山东莱阳核电项目一期工程

生态环境影响报告书

（建造阶段）

（公示稿）

国电投核电（莱阳）核能有限公司

二〇二六年九月

山东莱阳核电项目一期工程

生态环境影响报告书

（建造阶段）
（公示稿）

上海核工程研究设计院股份有限公司编制

二〇二六年九月

编制说明

根据《环境影响评价技术导则 核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ 808-2016，2016年10月1日实施）的要求，环境影响报告书应编制公众参与相关章节。根据《建设项目环境影响评价技术导则总纲》（HJ2.1-2016，2017年1月1日实施），在环境影响评价工作程序中，将公众参与和环境影响评价文件编制工作分离。根据《环境影响评价公众参与办法》（2018年7月16日生态环境部令第4号公布，自2019年1月1日起施行），建设单位向生态环境主管部门报批环境影响报告书时，应当附具公众参与说明。

基于以上情况，本项目单独编制公众参与说明文件，与生态环境影响报告书同时报送生态环境主管部门，报告书不单独编制公众参与相关章节，特此说明。

目　录

第一章　概述

1.1　建设项目名称和建设性质

1.2　建设项目的规模和厂址总体规划

1.3　建设项目经费和环保设施投资

1.4　建设目的

1.5　项目建设的进度

1.6　环境影响报告书编制依据

1.7　评价标准

1.8　工程组成

1.9　环境保护措施

1.10　评价范围

1.11　环境影响报告书批复的落实情况

第二章　厂址与环境

2.1　厂址地理位置

2.2　人口分布与饮食习惯

2.3　土地利用及资源概况

2.4　气象

2.5　水文

2.6　地形地貌

第三章　环境质量现状

3.1　辐射环境质量现状

3.2　非辐射环境质量现状

第四章　核电厂

4.1　厂区规划及平面布置

4.2　反应堆和蒸汽-电力系统

4.3　核电厂用水和散热系统
4.4　输电系统
4.5　专设安全设施
4.6　放射性废物管理系统和源项
4.7　非放射性废物处理系统
4.8　放射性物质厂内运输
4.9　海水淡化厂

第五章　核电厂施工建设过程的环境影响
5.1　土地利用
5.2　水的利用
5.3　施工影响控制

第六章　核电厂运行的环境影响
6.1　散热系统的环境影响
6.2　正常运行的辐射影响
6.3　其它环境影响
6.4　初步退役计划

第七章　核电厂事故的环境影响和环境风险
7.1　核电厂放射性事故和后果评价
7.2　严重事故
7.3　场内运输事故
7.4　其它事故
7.5　事故应急

第八章　流出物监测与环境监测
8.1　辐射监测
8.2　其它监测

8.3　监测设施
8.4　质量保证

第九章　利益代价分析
9.1　利益分析
9.2　代价分析
9.3　结论

第十章　结论与承诺
10.1　核电厂建设项目
10.2　环境保护设施
10.3　放射性排放
10.4　辐射环境影响评价结论
10.5　非辐射环境影响评价结论
10.6　公众参与和调查结论
10.7　承诺

第一章　概述

1.1　建设项目名称和建设性质

1.1.1　核电厂名称及其建设单位

本建设项目所涉及的核电厂工程名称为“山东莱阳核电项目一期工程”，建设和营运单位为国电投核电（莱阳）核能有限公司，承担项目业主责任，负责工程建设和运行管理。

1.1.2　建设性质

山东莱阳核电项目一期工程建设性质为新建项目。拟建设 2 台国和一号核电机组，该工程将在国家的统一指导下，大力推进核电设计自主化和设备制造本土化，采用公开招投标选择国内外有资格的核电设备制造厂商，建成先进、高效、安全、可靠的核电厂。

1.2　建设项目的规模和厂址总体规划

山东莱阳核电项目规划容量为6台百万千瓦级国和一号核电机组，采用一次规划、分期建设的方式。一期工程建设规模为2台国和一号核电机组。山东莱阳核电项目每台机组反应堆堆芯额定热功率为4040MWt，额定电功率1543MWe。

工程建设管理采用全厂工程总承包模式，国电投核电（莱阳）核能有限公司已委托上海核工程研究设计院股份有限公司承担全厂工程总承包任务。总承包商负责全厂五通一平、勘察、设计以及相关技术服务、采购、建造、调试、役前检查以及项目管理等工作。国电投核电（莱阳）核能有限公司已委托具备资质的第三方监理公司，负责对工程总承包商及其施工承包商实施施工监理。

山东莱阳核电项目按规划容量建成后，整个厂址区域将有六台压水堆核电机组。为了对厂址内所有核电机组实施高效、安全的管理，实行辐射防护最优化，建设单位遵循近远期结合、统一规划和循序渐进的原则进行厂址总体规划，对电厂所有机组与环境保护相关的设施进行统筹安排，包括：

— 设立统一的非居住区和规划限制区；

— 设计上综合考虑六台机组的取、排水方案，既保证机组满功率运行的需要，又有利于减小对环境的影响；

— 整个厂区的总平面规划中功能分区明确，统一合理规划放射性区域和非放射性区域及相关设施；厂区内将建设统一的放射性固废处理设施和暂存库；

— 针对所有机组实施统一的流出物排放管理，设置统一的环境监测中心和应急指挥中心等。

1.3 建设项目经费和环保设施投资

本工程项目在建设期的环保投资占项目计划总投资比例为2.50%。本项目资金筹措将通过项目注册资本金及融资贷款取得。

1.4 建设目的

1）保障能源安全，践行国家能源发展战略

核电是一种安全、可靠、清洁、经济的能源，由于其具备资源消耗少、环境影响小和供应能力强等优点，已成为与火电、水电并列的世界三大电力供应支柱，在世界能源结构中有着重要的地位。在中国，加快发展核电，逐步提高核电在能源供应中的比例，已成为国家重要的能源发展战略。

我国的煤炭、石油、天然气、水资源等蕴藏量丰富，位居世界前列，但因人口数量多，人均占有量远低于世界平均水平。同时，我国用于发电的煤炭和水力资源分布极不均衡。大约有70％的煤炭资源集中分布在我国北部和中部的内蒙古、新疆、山西、陕西等地区，80％以上的水力资源分布在我国西南地区，而经济较发达的东部沿海地区则能源资源匮乏。作为世界能源消费大国，发展核电是解决我国资源分布不均、能源短缺的重要途径。

2026年6月13日，国家发展改革委、国家能源局印发《新型能源体系建设“十五五”规划》，要求积极安全有序发展核电。以三代压水堆技术为主，保持核电平稳建设节奏。积极稳妥推进先进堆型研发和示范工程建设。因地制宜推进核能综合利用。2030年在运核电装机达到1.1亿千瓦左右。2026年7月9日，国务院印发《“十五五”碳达峰行动方案》，要求到2030年，核电运行装机容量达到1.1亿千瓦左右。

2）助力山东省加快建设绿色低碳高质量发展先行区

山东是人口大省、文化大省、资源大省、经济大省，承载着党中央、国务院赋予的建设绿色低碳高质量发展先行区的重大战略使命，被国家列为沿海核电发展重点省份之一。在“双碳”目标下，综合考虑山东省能源资源禀赋和实际消费需求，核能的开发利用受到山东省委、省政府的高度重视。2024年5月，山东省

委书记林武在烟台、威海调研时强调，“积极安全有序开发利用核能，有效保障能源安全，加快推动产业结构调整优化，坚定不移推进绿色低碳高质量发展”。积极安全有序发展核电，探索和深化核能综合利用，能够有效推动能源结构加快优化调整，助力山东绿色低碳高质量发展先行区建设。

山东莱阳核电项目规划建设6台百万千瓦级国和一号核电机组，一次规划，分期实施。全面建成后，莱阳核电基地将成为全国装机容量最大的核电基地，能够更好地发挥清洁能源在能源绿色低碳转型中的引领作用，加快推动非化石能源规模化发展，助力山东省加快构建绿色低碳高质量发展新格局。

3）勇担生态文明建设时代使命，推动美丽山东建设新成效

山东省水资源贫乏，电源结构中水电的份额几乎为零，而大量燃煤机组的建设不可避免地增加二氧化硫、氮氧化物、烟尘灰渣等污染物的排放量，地区的环境将受到严重影响。核电作为一种技术成熟的清洁能源，温室气体接近零排放，不排放二氧化硫、烟尘、氮氧化物。以核电替代部分煤电，不但可以减少煤炭的开采、运输和燃烧总量，也是电力工业减排污染物的有效途径，是减缓地球温室效应的重要措施，是优化能源结构的优先选择，助力山东省实现“3060碳达峰碳中和”目标。

山东莱阳核电项目一期工程可有效改善山东省能源结构比例，减轻大气污染，减少雾霾等极端天气的发生，有效促进环境保护。同时，项目还能有效解决胶东半岛冬季清洁取暖等民生问题，有效获取碳排放指标和碳排放权，为山东省经济社会高质量发展提供新的动能，有力支撑烟台市、青岛市做好国家碳达峰试点城市建设，加快推进山东省生态文明建设，建设美丽山东。

4）把握核能发展重大机遇，加快发展形成新质生产力

核能是最近一次全球生产力革命的重要标志性技术之一，也是现代能源工业体系的重要支柱能源和技术集大成者。核电产业以先进核能技术为驱动，具有战略性新兴产业和未来产业的前沿技术引领、科技创新先导、产业集群发展、综合效益长远和国际竞争激烈等显著特征，我国长期将核电产业列入重点培育的战略性新兴产业名录，党的二十大报告也将核电技术列为中国进入创新型国家行列的重大成果之一。

山东莱阳核电项目一期工程采用的国和一号机组，是我国在引进、消化、吸收国际先进三代核电技术的基础上，通过再创新形成的具有完全自主知识产权的

第三代核电型号，是我国核电发展的重要技术创新，是国家科技重大专项的标志性成果，也是国家规划明确的未来核电批量化建设的主力机型。山东莱阳核电项目一期工程是承接国家科技重大专项“国和一号”示范工程批量推广的首批工程，对全面提升科技创新水平，加快自主化产业规模化发展突破，形成以“国和”系列为主的新质生产力，具有重要意义。

5）发挥产业引领作用，聚力推动山东核能产业高质量发展

核电是典型的技术和资本密集型战略性产业，涉及冶金、材料、机械、电子仪器等众多行业最复杂、最前沿技术，代表国家的技术创新能力和制造业水平。目前，国家电投集团是“国和一号”现代产业链链长、山东省核电装备产业链链主企业，正在积极打造“国和”系列技术品牌基地和具有国际影响力的先进三代核能产业基地。“国和一号”现代产业链是装备上完全自主可控、经济上有显著竞争优势的三代核电产业链。

围绕山东莱阳核电项目建设，以打造“国和”先进三代核电产业基地为目标，充分发挥“国和一号”现代产业链联盟招引作用，通过共建共享的供需对接机制，构建产业链地企协作良好生态，带动山东省内企业融入“国和”系列核能产业链供应链，强化核电关联产业培育，培优塑强核电装备产业链，推动本地龙头企业做大做强。同时，促进产业链上下游在鲁聚集，聚力打造核能未来产业集群，形成核能全产业链发展新格局，助力推动山东核能产业高质量发展。

1.5 建设项目的进度

本工程单台机组建设周期为 58 个月。工程设计寿期为 60 年。本工程环境保护设施将根据“三同时”原则，在机组运行前完成建设。

1.6 环境影响报告书编制依据

1.6.1 厂址所在区域规划

1）国家相关规划

2023 年 8 月，国家发展改革委印发《核电中长期发展规划（2023-2035 年）》，山东莱阳核电项目已列入核电中长期发展规划（2023-2035 年）。

2026 年 3 月，《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》提出：“积极安全有序推进沿海核电建设，核电运行装机规模容量达到 1.1

亿千瓦左右。因地制宜推进核能综合利用。”

2026 年 6 月，国家发展改革委、国家能源局印发《新型能源体系建设“十五五”规划》，要求“积极安全有序发展核电。以三代压水堆技术为主，保持核电平稳建设节奏。积极稳妥推进先进堆型研发和示范工程建设。因地制宜推进核能综合利用。2030 年在运核电装机达到 1.1 亿千瓦左右”，山东莱阳核电项目已纳入“十五五”开工备选名录。

2026 年 7 月，国务院印发《“十五五”碳达峰行动方案》，要求到 2030 年，核电运行装机容量达到 1.1 亿千瓦左右。

综上，山东莱阳核电项目的建设符合国家相关规划。

2）区域发展规划

2021 年 8 月，山东省人民政府发布《山东省能源发展“十四五”规划》，提出“3+2”核电总体开发布局，莱阳核电项目符合该总体布局，属于已列入规划的沿海核电厂址。

山东省人民政府于 2022 年印发了《山东省核能中长期发展规划》，提出了山东省“3+2+X”核电总体开发布局，重点推进海阳、荣成、招远 3 大基地开发建设，加快推动莱阳马家泊等 2 个新厂址开发。规划明确将莱阳核电项目纳入省内重大基础设施项目名录。

2022 年 9 月，烟台市人民政府印发《烟台市“十四五”时期全市重大工程项目清单》，明确将莱阳核电列入重大工程项目清单。烟台市人民政府 2026 年 5 月印发的《烟台市国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》提出“推进四大千万级基地建设。积极安全有序推进核电重大项目建设，争取核电新厂址纳入国家能源发展相关规划”。

综上，山东莱阳核电项目的建设符合区域发展规划。

3）国土空间规划

根据《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》，《烟台市国土空间总体规划（2021-2035 年）》和《莱阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，厂址区域、部分道路和部分取排水管线区域涉及规划的基本农田保护区。厂址取排水管线敷设区域多为临时占地，仅阀门井、排气井等设施涉及永久占地。关于本项目涉及基本农田保护区：（1）项目已纳入山东省、烟台市、莱阳市国土空间规划；（2）项目已编制《山东莱阳核电项目一期工程规划选址论证报告》，并取得烟

台市自然资源和规划局的审批意见；（3）用地预审报批阶段，莱阳市自然资源和规划局已完成《山东莱阳核电项目一期工程永久基本农田补划方案》编制；（4）烟台市自然资源和规划局已组织相关部门实地踏勘，核实了永久基本农田补划地块位置数量和质量，认为项目补划方案合理，符合《国土资源部关于全面实行永久基本农田特殊保护的通知》（国土资规〔2018〕1 号）和《自然资源部农业农村部关于加强和改进永久基本农田保护工作的通知》（自然资规〔2019〕1 号）相关规定，并出具踏勘意见。本工程于 2023 年 9 月取得自然资源部发布的用地预审意见（自然资办函〔2023〕1903 号）。

根据《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》、《烟台市国土空间总体规划（2021-2035 年）》和《莱阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，厂址所在位置不涉及生态保护红线，厂址半径 10km 范围内涉及一处陆域生态保护红线，名为胶东丘陵生物多样性维护生态保护红线，距离厂址最近处位于厂址 ESE 方位约 3.0km，本项目取排水管线穿越该陆域生态保护红线，具体见图 1.6-1。本项目海域取水管线、部分海域排水管线、取水头部、海水淡化厂排水口排水头部涉及穿越或占用海域生态保护红线，为丁字湾湿地重要滩涂及浅海水域生态保护红线。本工程生态保护红线不可避让论证报告通过了烟台市自然资源和规划局及山东省自然资源厅组织的专家评审，取得了山东省人民政府的支持性意见（山东省人民政府《山东省人民政府关于山东莱阳核电项目一期工程不可避让生态保护红线意见的函》（省政府便函〔2026〕39 号）），满足国土空间规划要求。

综上，山东莱阳核电项目的建设符合国土空间规划。

4）近岸海域环境功能区划

根据《山东省近岸海域环境功能区划（2016~2020 年）》，厂址取水口、海水淡化厂排水口和液态流出物排水口位于丁字湾旅游娱乐区（图 1.6-2），代码为 SD236CIII，水质保护目标为 III 类。另外，取水口和海水淡化厂排水口附近存在山东莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区，代码为 SD239AⅡ，水质保护目标为Ⅱ类。

根据《山东省近岸海域环境功能区划（2016~2020 年）》中的环境功能区分类：第二类环境功能区，适用于水产养殖区，海水浴场，人体直接接触海水的海上运动或娱乐区，以及与人类食用直接有关的工业用水区；第三类环境功能区，适用于一般工业或城镇建设用水区，滨海风景旅游区。二类环境功能区、

三类环境功能区，应分别执行《海水水质标准（GB3097-1997）》中第二类、第三类海水水质标准。

本项目取排水量小，冬季排水温升不超过 2℃，其他季节无温升，取排水符合近岸海域环境功能区划的水质保护目标管控要求。

5）生态环境分区管控方案

图 1.6-3 给出了厂址附近的环境管控单元分布情况。根据烟台市 2024 年生态环境分区管控动态更新成果、青岛市生态环境分区管控方案修改单和青岛市环境管控单元生态环境准入清单（2024 年版），厂址所在位置不涉及优先保护单元，厂址半径 10km 范围内涉及烟台市的 2 个优先保护单元。厂址海水淡化厂排水口半径 15km 范围内涉及烟台市的 1 个优先保护单元和青岛市的 2 个优先保护单元，液态流出物排水口半径 15km 范围内涉及烟台市的 2 个优先保护单元和青岛市的 2 个优先保护单元。厂址及取排水管线（陆域部分）均位于一般管控单元，不涉及优先保护单元和重点管控单元。厂址海域取排水管线、取水口和海水淡化厂排水口涉及优先保护单元，液态流出物排水口不涉及优先保护单元。

6）文物保护

建设单位已取得山东省文化和旅游厅《关于山东莱阳核电项目选址的意见》（鲁文旅许〔2024〕251 号）和《关于同意山东莱阳核电项目文物保护许可文件延期的意见》（鲁文旅许〔2026〕1109 号）。为保证落实文物保护相关工作，国电投核电（莱阳）核能有限公司向当地文物行政主管部门（莱阳市文化和旅游局）发函进一步请示了施工前和施工中落实文物保护的具体要求，莱阳市文化和旅游局回函对项目文物保护工作提出了三点具体要求。建设单位将严格按照文物行政主管部门的要求开展相关工作：1）施工开始前 2 周向莱阳市文化和旅游局提交施工计划；2）施工开始前，组织施工、监理等单位开展文物保护相关培训；3）积极配合文物行政主管部门的巡查监督。

1.6.2　环境影响评价所依据的国家和地方主要法规、技术标准和导则，以及相关技术专题论证和研究报告

1）主要法规、条例

— 《中华人民共和国生态环境法典》（2026.08.15）

— 《中华人民共和国原子能法》（2025.9.12）

— 《中华人民共和国核安全法》（2018.1.1）

— 《中华人民共和国土地管理法》（2020.01.01）

— 《中华人民共和国水土保持法》（2011.03.01）

— 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号，2017.10.01）

— 《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令第 562 号，2010.01.01）

— 《放射性物品运输安全许可管理办法》（第二次修正版，2021.01.04）

— 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号，2021.01.01）

— 《生态环境监测条例》（中华人民共和国国务院令 第 820 号，2026.01.01）

— 《近岸海域环境功能区管理办法》（2010.12.22）

— 《核电厂核事故应急管理条例》（国务院令第 588 号，HAF002，2011.01.08）

— 《核动力厂厂址评价安全规定》（HAF101，2023.02.27）

— 《核动力厂设计安全规定》（HAF102，2016.10.28）

— 《放射性废物安全监督管理规定》（HAF401，1997.11.05）

— 《核电厂质量保证安全规定》（HAF003，1991.07.27）

— 《山东省大气污染防治条例》（2026.08.15）

— 《山东省水污染防治条例》（2026.08.15）

— 《山东省土壤污染防治条例》（2026.08.15）

— 《山东省固体废物污染环境防治条例》（2026.08.15）

— 《山东省扬尘污染防治管理办法》（2018.01.24）

— 《山东省核事故应急管理办法》（2012.10.01）

2）技术标准和导则

（1）综合

— 《建设项目环境影响评价技术导则总纲》（HJ2.1-2016）

— 《环境影响评价技术导则 核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ808-2016）

（2）辐射

— 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

— 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）

— 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）

— 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）

— 《核电厂应急计划与准备准则 第 1 部分：应急计划区的划分》（GB/T17680.1-2008）

— 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）

— 《核动力厂运行前辐射环境本底调查技术规范》（HJ969-2018）

— 《核电厂厂址选择的放射性物质水力弥散问题》（HAD101/05，1991.04.26）

— 《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01，2020.01.01）

— 《地方政府对核动力厂的应急准备》（HAD002/02，1990.05.24）

— 《国家核应急预案》（2013.06.30）

（3）大气

— 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）

— 《环境空气质量标准》（GB3095-2026）

— 《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）

— 《挥发性有机物排放标准 第 7 部分：其他行业》（DB37/2801.7-2019）

— 《区域性大气污染物综合排放标准》（DB37/2376-2019）

（4）水

— 《海水水质标准》（GB3097-1997）

— 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）

— 《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）

— 《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2022）

— 《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2025）

— 《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）

— 《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）

— 《近岸海域环境监测技术规范》系列（HJ442-2020）

— 《核动力厂取排水环境影响评价指南》（试行）（HJ1037-2019）

— 《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）

（5）噪声

— 《声环境质量标准》（GB3096-2008）

— 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）

— 《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）

— 《环境影响评价技术导则　声环境》（HJ2.4-2021）

（6）固废

— 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）

（7）电磁

— 《辐射环境保护管理导则-电磁辐射环境影响评价方法与标准》（HJ/T10.3-1996）

— 《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）

— 《环境影响评价技术导则　输变电》（HJ24-2020）

（8）其它

— 《核电厂厂址选择及评价的人口分布问题》（HAD101/03，1987.11.20）

— 《核动力厂厂址评价中的外部人为事件》（HAD101/04，2025.12.30）

— 《核电厂厂址选择的极端气象事件》（HAD101/10，1991.04.26）

— 《核电厂冷却塔环境影响评价技术规范》（NB/T20307-2014）

— 《核动力厂长距离取排水管线审评技术指南》（国核安发〔2025〕203号）

— 《海水淡化浓盐水排放监测与影响评估技术指南》（DB37/T 4885-2025）

3）研究专题

本工程可研阶段开展的相关专题调查试验研究包括：厂址地形测量、地震地质、工程地质、工程水文、气象、人口、环境、外部事件等。

1.6.3　许可文件和批准文件

国家能源局综合司《关于山东莱阳核电项目前期工作座谈会的会议纪要》（国能综纪核电〔2022〕13 号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：未发现影响厂址适宜性和环境相容性的颠覆性因素。

中华人民共和国生态环境部《关于山东莱阳核电项目一期工程环境影响报告书（选址阶段）的批复》（环审〔2025〕121 号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：我部同意你公司按照《报告书》所列建设项目的性质、规模、地点以及采取的环境保护措施开展下一阶段工作。

中国民用航空华东地区管理局《关于山东莱阳核电项目厂址有关信息的复

函》（民航华东函〔2021〕37号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：该项目厂址距离附近最近的航线为W172，与航线最近水平距离约8.1km；距离附近最近的民用机场胶东机场的离场航线最近水平距离约22.9km。

烟台市海洋发展和渔业局《关于山东莱阳核能工程项目用海选址意见的函》，其中与环境保护有关的主要结论性意见为：我局原则同意该项目用海。

山东省核应急委员会办公室《关于山东莱阳核电项目厂址区域核应急初步方案的批复》（鲁核应急办〔2022〕30号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：原则上同意该厂址区域核应急初步方案。

国家核事故应急办公室文件《国家核事故应急办公室关于国家电投山东莱阳核电一期工程厂址区域核应急方案审查意见的通知》（国核应办〔2023〕14号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：该方案基本满足相关法律法规要求。

水利部《山东莱阳核电项目一期工程水土保持方案审批准予行政许可决定书》（水许可决〔2023〕48号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：经审查，该申请符合法定条件，生产建设单位在全面落实水土保持方案报告书及本许可决定的前提下，项目建设造成的水土流失可以得到有效控制。

水利部淮河水利委员会《关于山东莱阳核电项目一期工程取水许可申请准予行政许可决定书》（淮许可决〔2026〕46号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：同意莱阳核电一期工程取水方案。

烟台市林业局《烟台市林业局关于山东莱阳核电项目一期工程穿越（占用）莱阳五龙河省级湿地公园的意见》（烟林函〔2026〕7号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：经研究，原则同意山东莱阳核电项目一期工程穿越（占用）莱阳五龙河省级湿地公园。

烟台市自然资源和规划局《关于同意山东莱阳核电项目一期工程穿越烟台沿海防护林省级自然保护区的意见》（烟自然资规函〔2023〕55号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：经研究，我局同意山东莱阳核电项目一期工程穿越烟台沿海防护林省级自然保护区。

山东省人民政府《关于山东莱阳核电项目一期工程不可避让生态保护红线意见的函》（省政府便函〔2026〕39号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：项目位于生态保护红线内的建设内容主要包括取排水工程、厂外道路

（连接线及五龙河大桥）工程、热力管网工程、输电线路工程等。陆域范围确实无法避让生态保护红线，项目用海范围涉及的生态保护红线位于五龙河入海口丁字湾，丁字湾内开放海域均为生态保护红线，湾内仅 2 处深槽满足取排水的底高程要求，湾外排水管线需穿越丁字湾延伸至湾外排水口，确实无法避让生态保护红线。

莱阳市人民政府《关于同意设置山东莱阳核能项目非居住区的复函》（2023.12），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：同意莱阳核电项目在厂址（以 1—6 号反应堆为中心）半径 0.8 公里的区域设置非居住区。

山东省人民政府《关于划定山东莱阳核能项目规划限制区的批复》（鲁政字〔2023〕215 号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：确定山东莱阳核能项目 6 台机组半径 5 公里（以每台机组反应堆为中心）为规划限制区。

烟台市人民政府《关于山东莱阳核电项目一期工程社会稳定风险评估报告的认定意见》（烟政便函〔2024〕3 号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：本项目经过风险调查、风险识别、风险评估，制定并严格落实相应的风险防范、化解措施后，预期风险等级为低风险。

自然资源部办公厅《关于山东莱阳核电项目一期工程用海预审意见的函》（自然资办函〔2023〕2072 号）和自然资源部办公厅《关于山东莱阳核电项目一期工程用海预审意见延期的函》（自然资办函〔2025〕1917 号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：我部原则同意山东莱阳核电项目一期工程用海选址、用海方式、面积和用途。

自然资源部办公厅《关于山东莱阳核电项目一期工程建设用地预审意见的函》（自然资办函〔2023〕1903 号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：我厅同意该项目用地预审和选址。

山东省自然资源厅《关于同意山东莱阳核电项目占用莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区意见的函》（鲁自然资函〔2025〕1082 号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：原则同意山东莱阳核电项目占用莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区。

《关于对山东莱阳核能项目选址方案征询（文物管理部门）的意见》（莱文旅发〔2022〕30 号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：项目区域内不涉及各级文物保护单位和一般不可移动文物。

山东省文化和旅游厅《关于山东莱阳核电项目选址的意见》（鲁文旅许〔2024〕251号）和《关于同意山东莱阳核电项目文物保护许可文件延期的意见》（鲁文旅许〔2026〕1109号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：原则同意山东莱阳核电项目用地选址。

山东省文化和旅游厅《关于山东莱阳核电项目厂外工程文物保护许可意见》（鲁文旅许〔2026〕1315号），其中与环境保护有关的主要结论性意见为：山东莱阳核电项目厂外工程未占压文物保护单位和不可移动文物，原则同意实施该项目。

烟台市生态环境局莱阳分局《关于同意山东莱阳核电项目涉及“三线一单”优先保护单元的函》，其中与环境保护有关的主要结论性意见为：本项目属于国家重大战略项目，已纳入各级国土空间规划，开展了海域生态保护红线不可避让论证工作，并取得烟台市和山东省人民政府的支持性意见，符合丁字湾湿地重要滩涂及浅海水域生态保护区优先保护单元空间布局约束和污染物排放管控相关要求。

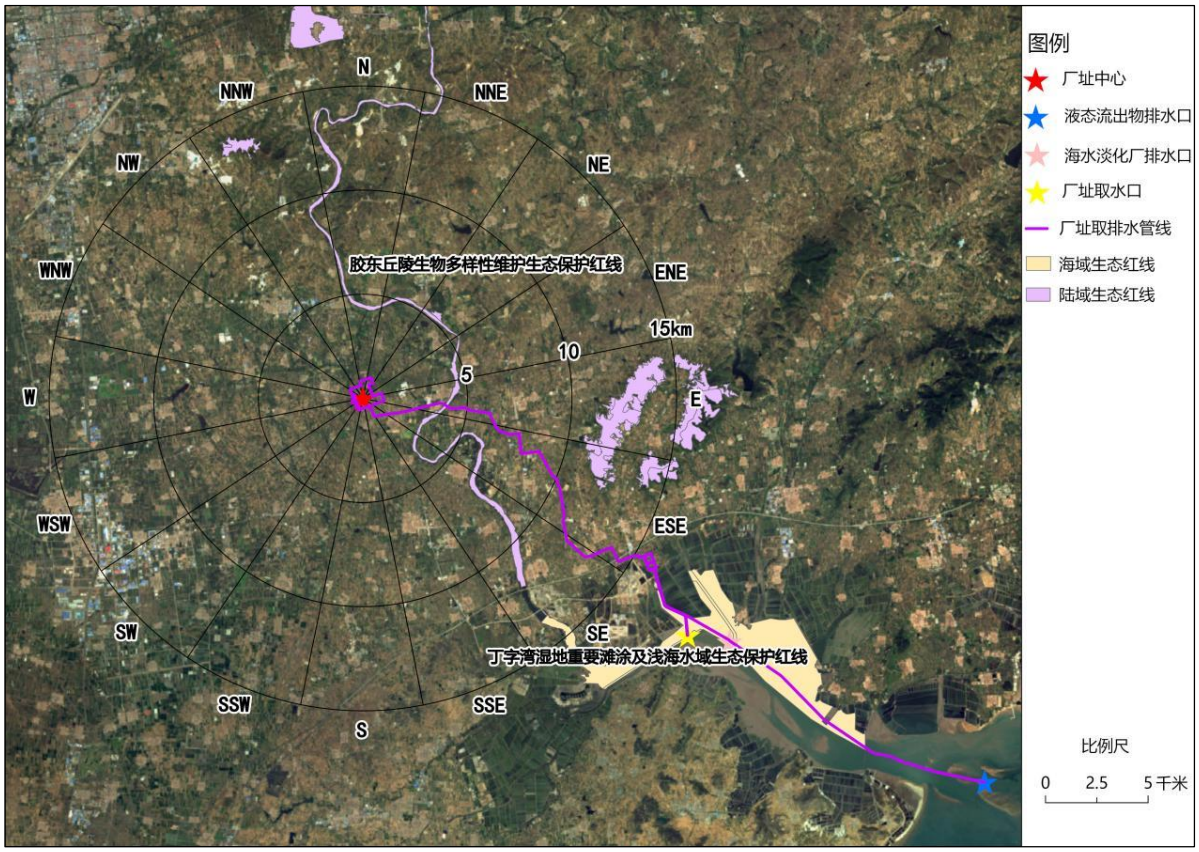


图 1.6-1（a） 厂址附近生态红线分布图（陆域）

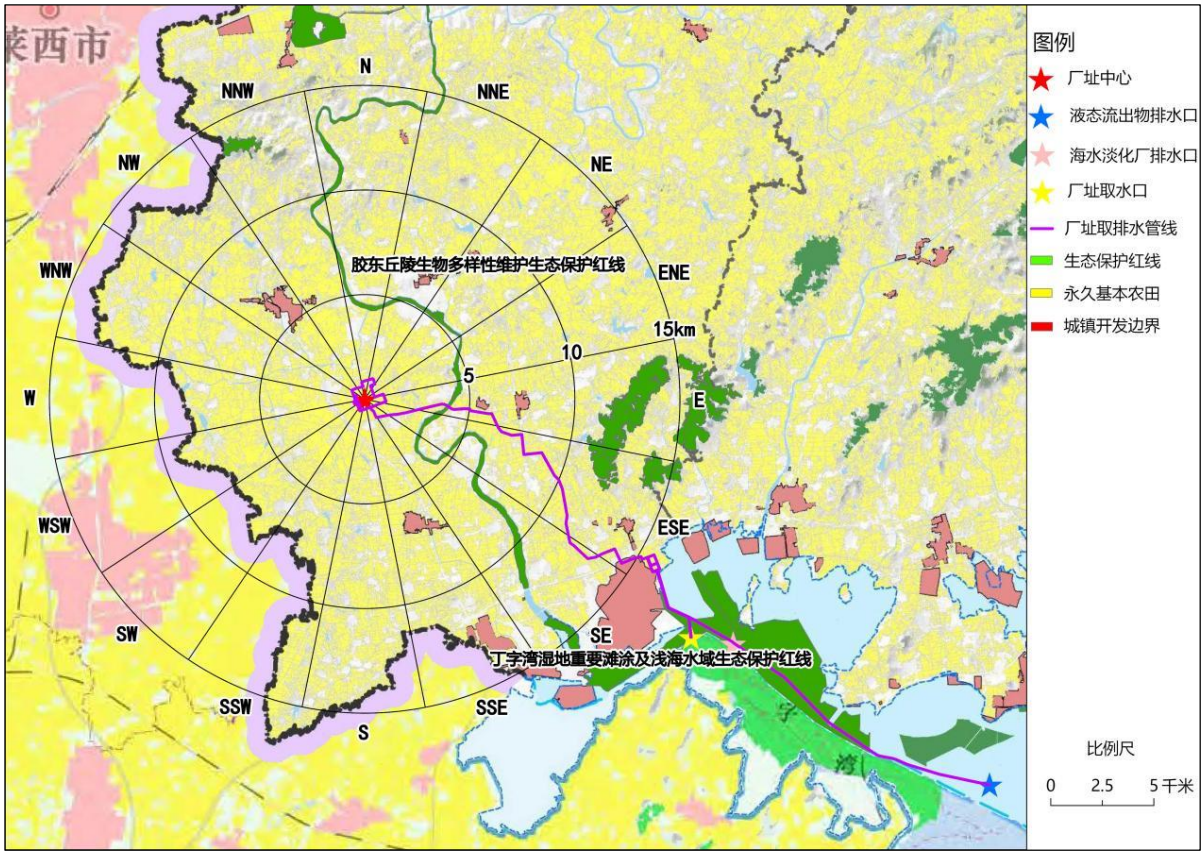


图 1.6-1（b） 厂址附近基本农田和生态红线分布图（深绿色区域为烟台市所划定的生态保护红线，浅绿色区域为青岛市所划定的生态保护红线）



图 1.6-2　厂址取排水口附近的近岸海域环境功能区划图（底图为《山东省近岸海域环境功能区划（2016~2020 年）》）

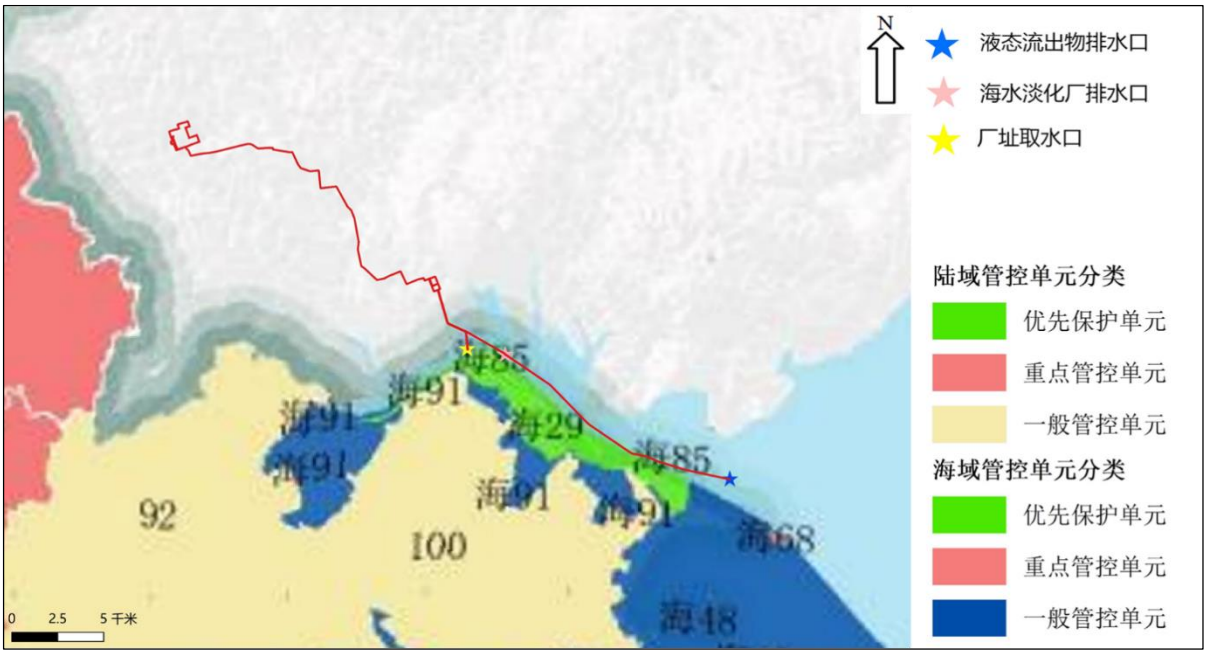


图 1.6-3（a） 厂址附近的环境管控单元图（青岛市）

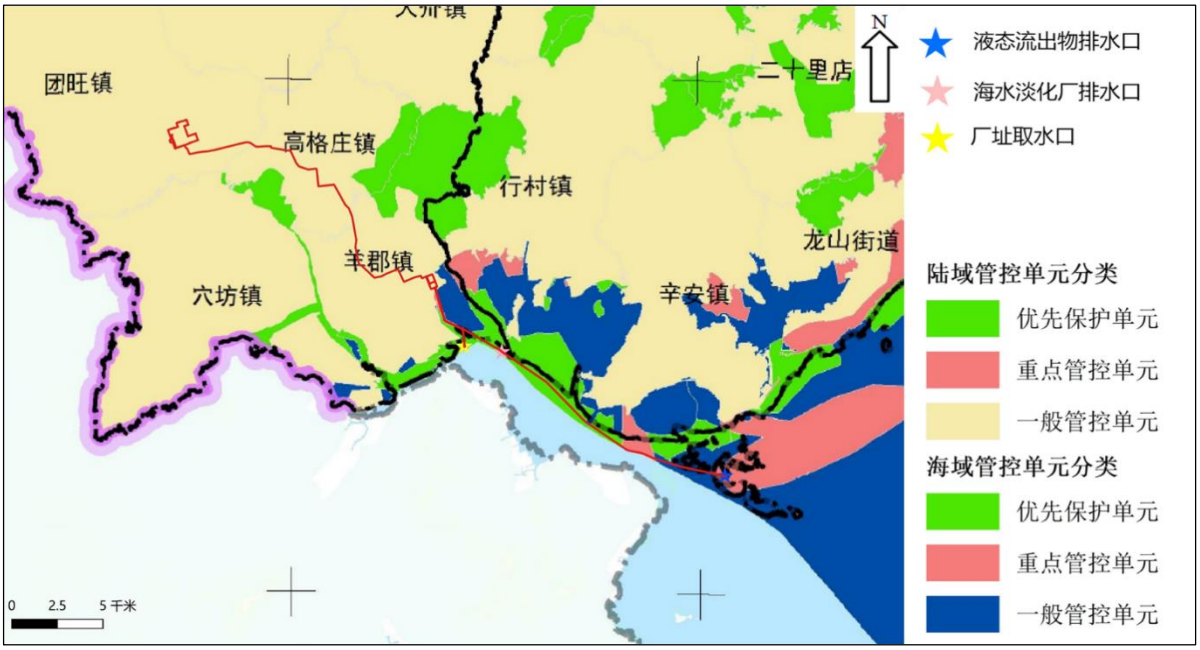


图 1.6-3（b） 厂址附近的环境管控单元图（烟台市）

1.7 评价标准

1.7.1 辐射环境影响的评价标准

本工程正常运行工况和事故条件下的剂量评价标准，遵循国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）有关规定。

本工程正常运行状态的剂量约束值以及放射性物质环境排放控制值的评价按照 2 台国和一号压水堆核电机组来考虑。

1）运行状态下的辐射防护要求

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）6.1 条款的规定，任何场址的所有核动力堆向环境释放的放射性核素对公众中任何个人造成的有效剂量，每年不得超过 0.25mSv。为了给后续四台机组建设留有余地，本次环境影响评价确定本工程 2 台机组向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量不超过 0.08mSv/a。

2）事故工况下的辐射防护要求

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）7.2 条款的规定，在发生一次稀有事故时，非居住区边界上公众在事故后任意 2h 内以及规划限制区外边界上公众在事故的整个持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 50mSv 以下。在发生一次极限事故时，非居住区边界上公众在事故后任意 2h 内以及规划限制区外边界上公众在事故的整个持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 100mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 1000mSv 以下。

3）运行状态下的流出物排放浓度控制值

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）规定：对于受纳水体为海洋的核动力厂场址，其槽式排放口处的液态流出物中氚的活度浓度不应超过 3×10^{7}Bq/L，碳-14 的活度浓度不应超过 3×10^{3}Bq/L，其他放射性核素总活度浓度不应超过 1000Bq/L，各核素活度浓度应满足附录 D 的要求。本项目根据《核动力厂长距离取排水管线审评技术指南》（国核安发〔2025〕203 号），结合流出物排放条件、受纳水体稀释扩散能力，槽式排放口除氚和碳-14 外其他核素浓度的设计目标值为不高于 100Bq/L。

4）运行状态下的气态流出物和液态流出物年排放量控制值

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）明确给出了核电厂在正常

运行工况下流出物的排放控制值，即同一厂址所有核电厂气态流出物和液态流出物的年排放量。本项目为多堆厂址，规划建设 6 台国和一号核电机组，一期工程 2 台机组热功率占厂址规划机组总热功率的比例为 33.3%。根据本报告采用的国和一号压水堆核电机组放射性源项，本工程 2 台国和一号压水堆核电机组流出物排放量满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）第 6.2~6.5 条款的规定。

5）环境介质中的核素浓度控制值

《海水水质标准》（GB3097-1997）对海水中核素浓度控制值的规定如下：

— ^{60}Co：0.03Bq/L；

— ^{90}Sr：4.0Bq/L；

— ^{106}Ru：0.2Bq/L；

— ^{134}Cs：0.6Bq/L；

— ^{137}Cs：0.7Bq/L。

1.7.2　非辐射环境影响的评价标准

建设单位向当地生态环境主管部门申请了本工程非放执行标准，并获得了复函《关于山东莱阳核电项目非辐射环境影响评价执行标准的复函》（莱环评函〔2026〕01 号），本次环境影响评价所执行标准主要依据该复函文件，同时结合近年来新生效的相关标准确定，具体如下：

1）环境质量标准

（1）环境空气质量标准

厂址区域环境空气质量评价执行《环境空气质量标准》（GB3095-2026）中的二级标准。

（2）海水水质标准

厂址附近海水水质按照厂址近岸海域环境功能区划的要求执行《海水水质标准》（GB3097-1997）中的相应标准。根据《山东省近岸海域环境功能区划（2016～2020 年）》，厂址取水口、海水淡化厂排水口、液态流出物排水口均位于丁字湾旅游娱乐区，代码为 SD236CIII，水质保护目标为 III 类。取水口、海水淡化厂排水口附近存在山东莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区，代码为 SD239AII，水质保护目标为 II 类。

本项目受纳水体温升执行《海水水质标准》（GB 3097-1997）中的相应要求：

I 类和 II 类区人为造成的海水温升夏季不超过当时当地 1℃，其他季节不超过 2℃，III 类和 IV 类区人为造成的海水温升不超过当时当地 4℃。

（3）地表水水质标准

厂址附近地表水质量评价执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）IV 类标准。

（4）地下水水质标准

厂址区域地下水质量评价按照《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中的 III 类标准。

（5）声环境质量标准

厂址周边声环境保护目标执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中相应功能区标准要求。

（6）电磁环境质量标准

厂址区域电磁辐射环境现状评价执行《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）。

2）污染物排放标准

（1）施工期和运行期的生活污水

本项目施工期和运行期的生活污水经预处理后，通过管道输送至团旺镇污水处理厂处理，不向周边环境排放。在生活污水管道建成前（涉及施工期部分时段），产生的生活污水由施工单位自行收集，定期通过有资质的第三方清运单位安排运输车辆外运至团旺镇污水处理厂处理。

（2）施工期和运行期的生产废水

施工期的生产废水经处理后回用，不进行排放。施工期生产废水经处理后执行《城市污水再生利用　城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中城市绿化、道路清扫的水质标准。

运行期的生产废水主要包括除盐水处理系统废水、循环水加药系统废水、生物防治加药系统废水等，以上废水经工业废水深度处理系统处理后回用至常规岛冷却塔，无法回用的少量部分与非放射性生产废水系统排水、液态流出物通过陆域排水管线输送至丁字湾附近，随后与少部分海水淡化厂反渗透浓盐水通过海域排水管线共同排放至丁字湾外液态流出物排水口。本项目运行期间的生产废水执行《流域水污染物综合排放标准　第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2025）中的一级标准。

本项目海水淡化厂浓盐水的主要污染因子为 pH、温升和含盐量，其中 pH 执行《流域水污染物综合排放标准　第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2025）中的一级标准。

（3）施工期场界噪声

本项目施工期间建筑施工场界噪声执行《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）的相应标准。

（4）运行期场界噪声

本项目运行期间厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）规定的“工业企业厂界环境噪声排放限值”3 类声环境功能区限值。

（5）大气污染物排放

施工期大气污染物无组织排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的无组织排放监控浓度限值。VOCs 无组织排放浓度执行《挥发性有机物排放标准 第 7 部分：其他行业》（DB37/2801.7-2019）表 2 排放限值。

施工期喷砂油漆车间排气筒处 VOCs 浓度执行《挥发性有机物排放标准 第 7 部分：其他行业》（DB37/2801.7-2019）表 1 中非重点行业排放限值，颗粒物浓度执行《区域性大气污染物综合排放标准》（DB37/2376-2019）中重点控制区标准。

（6）固体废物

本工程建造和运行期间，危险废物处置执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）。

（7）电磁辐射环境

本工程运行期间，电磁辐射环境执行《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）和《环境影响评价技术导则　输变电》（HJ24-2020）的相关限值：

— 工频电场强度限值：4kV/m；

— 工频磁感应强度限值：0.1mT。

1.8　工程组成

本工程主要由主厂房建筑群和厂区内与环境相关的重要辅助设施组成。2 台机组的核岛和常规岛及其密切相关的辅助厂房（如核岛除盐水贮箱、硼酸贮存箱

等）有机地组成一个综合体，即为主厂房建筑群。核岛根据工艺要求，主要包括：反应堆厂房、辅助厂房、附属厂房、柴油发电机厂房、放射性废物厂房；常规岛建构筑物主要包括：汽机厂房和变压器区域构筑物。厂区内的重要辅助设施主要包括：废物减容处理中心、大型自然通风冷却塔、1000kV 开关站、循环水泵房、除盐水厂房、工业废水深度处理厂房、非放射性生产废水处理厂房、应急指挥中心等。

本项目的配套设施主要包括：海水淡化厂、海水取排水设施（包括海水取水泵房、取排水管线、取排水口及暗涵工程等）、环境监测站、国和技术交流中心、厂外道路、主厂区至海淡厂 110kV 架空线等。其中，国和技术交流中心不在本报告书评价范围，其他配套设施在本报告书中开展相应评价。另外，本项目厂外施工临建区由地方承建，建设单位租用，因此，厂外施工临建区单独开展环评，不在本项目评价范围。

1.9 环境保护措施

为了尽可能减少核电厂运行过程中对环境的影响，本工程采取一系列的环境保护措施。

对于放射性污染物，本工程配置有放射性液体废物处理系统（WLS）、放射性液体废物精处理系统（WAS）、液态流出物排放系统（LES）、放射性气体废物处理系统（WGS）、放射性固体废物处理系统（WSS）、乏燃料贮存系统、废物减容处理中心（CVRF）。放射性液体废物处理系统（WLS）用于控制、收集、处理、输送、贮存和处置正常运行及预期运行事件下产生的放射性废液，并可控制地向环境排放。处理后的液态流出物放射性水平和年排放总量符合国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）规定的限值。放射性液体废物精处理系统（WAS）设计用于处理核岛 WLS 处理后的废液，进一步去除废液中的核素，并对反应堆冷却剂废液进行硼回收。液态流出物排放系统（LES）设计用于接收和贮存来自 WLS、WAS 和废物减容处理中心（CVRF）的废液，并对废液进行混匀、取样和监测排放。放射性气体废物处理系统（WGS）的主要功能是接收系统运行期间产生的含氢气体和放射性气体，并对其进行处理和排放，使电厂气载放射性释放量低于《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）规定的限值。放射性固体废物处理系统（WSS）用于收集和暂存正常运行以及预

期运行事件产生的废树脂、深床过滤器过滤介质、活性炭、水过滤器滤芯、放射性干废物和混合固体废物。这些废物先收集暂存在辅助厂房和附属厂房内，后送往废物减容处理中心（CVRF）进一步处理和中间贮存。乏燃料贮存系统包括乏燃料水池和乏燃料贮存格架，反应堆换料时从堆芯卸出的乏燃料组件贮存在核岛辅助厂房的燃料操作区域的乏燃料水池中，采用水下布置和贮存的方式。废物减容处理中心（CVRF）是一个集中式放射性废物处理设施。它作为核岛三废处理系统的补充，提供完整、适宜的手段来处理核岛产生但无法直接处理的放射性废液与放射性固体废物。经该设施处理后的废物均采用统一包装容器进行包装，并送往设施内的废物暂存库进行暂存。

对于非放污染物，本工程采取了一系列的环保措施。运行期间产生的生产废水一部分经工业废水深度处理系统设施处理后回用至常规岛循环冷却塔，一部分经二类污染物废水处理系统、非放射性生产废水系统处理达标后排放。运行期间产生的危险废物（主要包括废试剂、废油、废油漆、废涂料、废电池等）在危险废物贮存设施内存放。在核电厂非控制区及厂外附属、辅助区产生的生活垃圾按规定收集暂存并送到指定的垃圾场处理。

本项目拟采用带淡水冷却塔的二次循环冷却方案。取水量小、流速低，热量基本全部传递到大气，排水对受纳水体无显著温升影响，浓盐水致受纳水体的盐度升高有限，经评价不会对海洋生物和海水养殖生物造成不可接受的影响。循环水系统补充水量小，显著降低了取排水工程对海、陆域环境的影响，取排水不会改变局部海域的面貌和海流流场。本项目设置工业废水深度处理系统，冷却塔排水和部分非放射性废水进入工业废水深度处理系统处理后回用至冷却塔，最大程度降低核电厂内废水外排量。

本项目设有应急指挥中心等应急设施，并建立全面完善的核安全体系和核应急体系。

此外，本工程配备有系列的流出物监测设施和环境监测设施，监测方式包括在线连续监测和取样监测，并设置环境监测站和气象观测站。

本项目陆域排水管线采用管中管方案，除氚、碳-14 外，其它核素在陆域排水管线中的活度浓度低于 10Bq/L。

采取上述环境保护措施后，本工程所产生的各类污染物均能得到有效的控制，满足达标排放要求。本项目环保措施技术可行，经济合理，能够长期稳定运行，

满足环境质量与污染物排放总量控制和浓度控制要求。

1.10 评价范围

辐射环境影响评价范围为以本工程国和一号核电机组 1 号反应堆为中心，半径 80km 范围内的区域，包括气态和液态流出物排放对 80km 范围内公众的辐射影响。

非辐射环境影响评价范围如下：

- 大气

对于本工程，主要关注施工期的大气环境影响，评价范围为施工场区边界和厂址附近的大气保护目标。另外，需考虑淡水冷却塔对大气环境的影响，主要包括雾羽和荫屏、飘滴和沉降、下雾与结冰、盐沉积。参考《环境影响评价技术导则　核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ808-2016）中对大气环境质量现状调查与评价范围的要求，评价范围为厂址周边 5km。

- 海水

海水评价范围为本工程海工工程建设、运行期间影响海域，工业废水深度处理系统排水、浓盐水所致海域 0.5℃温升包络范围以及 0.5psu 盐度升高影响区域。重点考虑取排水口附近海域及相关功能区的管理要求，以及环境敏感目标的环保要求。

- 噪声

声环境影响的评价范围为厂界外 200m，以及周边环境敏感目标。

- 生态环境

本次评价范围主要为核电厂、海水淡化厂及取排水管线永久占地和临时施工占地范围，并考虑附近可能受影响的生态保护红线、自然保护区和生态敏感区范围。

- 电磁

根据《环境影响评价技术导则输变电工程》（HJ24-2020），电磁辐射环境影响评价范围为本工程 110kV 开关站界外 30m 和架空线路边导线地面投影两侧各 30m 范围，220kV 开关站界外 40m 范围和架空线路边导线地面投影外两侧各 40m 范围，以及 1000kV 开关站界外 50m 范围和架空线路边导线地面投影外两侧各 50m 范围。厂内地下电缆管廊两侧边缘外 5m。

其中，针对本工程取排水管线的评价范围如下：

建设期：

- 地下水环境：评价范围为管线边界两侧向外延伸 200m。
- 声环境：评价范围为管线中心线两侧 200m 以内范围及敏感点。
- 生态环境：评价范围为管线占地线两侧向外 300m 区域。
- 运行期：主要为地下水环境因子，评价范围为管线边界两侧外延 200m。

1.11 环境影响报告书批复的落实情况

《山东莱阳核电项目一期工程环境影响报告书（选址阶段）》于 2025 年 11 月 28 日取得生态环境部的批复意见（环审〔2025〕121 号）。对后续工作提出以下要求：

1）项目应严格执行配套建设的环境保护措施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的环境保护“三同时”制度。

落实情况：建设单位将严格执行配套建设的环境保护措施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的环境保护“三同时”制度。

2）《报告书》经批准后，项目的性质、规模、地点或者采取的环境保护措施发生重大变动的，应当重新报批项目环境影响报告书。

落实情况：本项目的性质、规模、地点或者采取的环境保护措施未发生重大变动。后续若发生重大变动，将按要求重新报批项目环境影响报告书。

3）你公司应在收到本批复后 20 个工作日内，将批准后的《报告书》分送我部华东核与辐射安全监督站和山东省生态环境厅。

落实情况：建设单位已将批准后的《报告书》分送生态环境部华东核与辐射安全监督站和山东省生态环境厅。

第二章　厂址与环境

2.1　厂址地理位置

2.1.1　厂址位置

山东莱阳核电项目位于山东省烟台市所属莱阳市团旺镇东马家泊村北侧。西南距青岛即墨区（距政府驻地距离，下同）约 43km；西北距团旺镇约 6km；西北距莱西市约 24km，西距平度市约 65km；北距莱阳市约 28km；东侧距高格庄镇约 6km，距海阳市约 43km，距山东海阳核电厂址约 61km；东北距烟台市约 106km；东南距丁字湾岸边约 20km，距黄海约 32km。厂址地理位置见图 2.1-1。

2.1.2　厂址边界、非居住区和规划限制区

山东莱阳核电项目厂址规划建设 6 台国和一号核电机组，一次规划，分期建设。一期工程建设 2 台国和一号核电机组。2 号机组位于 1 号机组 ENE 方位，距离约 260m。山东莱阳核电项目所在厂址周围将设置非居住区和规划限制区。

本项目厂外配套建设海水淡化厂，建设位置拟定位于莱阳市羊郡镇辖区，规划容量为 3 套海水淡化设施，采用南北向并联布置方式，一期工程海水淡化设施布置在海水淡化厂厂区南部，向北扩建。此外，本项目环境监测站拟建设在海水淡化厂区内，相关施工统一纳入海水淡化厂的施工管理。基于现阶段工程方案，厂址取排水管线敷设区域多为临时占地，仅阀门井、排气井等设施涉及永久占地。

厂址用地涉及基本农田。项目建设符合国家产业政策和国家土地供应政策，烟台市和莱阳市国土空间规划已将本项目列入重点建设项目安排表。本项目已于 2023 年 9 月取得自然资源部发布的用地预审意见〔自然资办函〔2023〕1903 号〕，自然资源部办公厅已同意本项目用地预审与选址，后续将按照“数量不减、质量不降”原则开展基本农田占补平衡工作。

因此，本项目用地符合国家和地方土地利用计划和政策。

对于事故环境影响的评价标准，《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）规定，核动力厂事故工况的环境影响评价可采用设计基准事故，在设计中应采取针对性措施，使设计基准事故的潜在照射后果符合下列要求：在发生一次稀有事故时，非居住区边界上公众在事故后任意 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 50mSv 以下。在发生一次极限事故时，非居住区边界

上公众在事故后任意 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 100mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 1000mSv 以下，具体见第七章。非居住区范围内不存在居民点，无需搬迁。厂址边界依据总平面布置方案确定，与厂址征地边界相同。厂址非居住区范围不涉及水域，有一冲沟。莱阳市人民政府于 2023 年 12 月复函同意山东莱阳核电项目在厂址（以 1-6 号反应堆为中心）半径 0.8 公里的区域设置非居住区（《关于同意设置山东莱阳核能项目非居住区的复函》，2023.12）。

根据国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）的规定，非居住区内禁止有常住居民，由核动力厂的营运单位对这一区域行使有效的控制，包括任何个人和财产从该区域撤离；公路、铁路、水路可以穿过该区域，但不得干扰核动力厂的正常运行；在事故情况下，可以做出适当和有效的安排，管制交通，以保证工作人员和居民的安全。

根据《中华人民共和国生态环境法典》和《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）的要求，在山东莱阳核电项目厂址周围将设置半径为 5km 的规划限制区。从各类设计基准事故的放射性后果分析可以看出，本工程的安全设施设计性能可靠，厂址周围各类边界的设置是合理的，本工程的设计基准事故导致的环境放射性后果满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）的相应要求，详见第七章。

建设单位于 2022 年 8 月向莱阳市人民政府上报了本项目设置规划限制区的请示文件。山东省人民政府于 2023 年 11 月以《山东省人民政府关于划定山东莱阳核能项目规划限制区的批复》（鲁政字〔2023〕215 号）批复确定山东莱阳核能项目 6 台机组半径 5 公里（以每台机组反应堆为中心）为规划限制区，并要求严格控制规划限制区内的人口机械增长，对规划限制区内新建和扩建项目加以引导或限制，以便在事故应急状态下采取紧急防护措施。基于以上情况，一期工程的规划限制区为 2 台机组半径 5 公里（以每台机组反应堆为中心）的包络区域。



图 2.1-1　山东莱阳核电项目厂址地理位置图

2.2 人口分布与饮食习惯

本报告的人口资料均为常住人口资料，使用的是截至 2024 年底的数据。

参考《核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ808-2016），厂址人口统计按照 16 个方位，以厂址 1 号机组为中心，以 1、2、3、5、10、20、30、40、50、60、70、80km 为半径，辐向以罗盘方位为扇形区中心线，划分为 16 个方位共 192 个子区进行统计。厂址半径 5km 范围的居民食谱调查采用发放调查表及取样统计等方式。

厂址周围涉及的行政村大多不再划分自然村，因此统计时以单个行政村作为一个居民点统计，对于部分居民区相连的村庄，如各镇镇区等，则按照一个集中的居民点进行统计。

2.2.1 厂址半径 15km 范围内的人口分布

2.2.1.1 厂址半径 5km 范围内人口分布

2.2.1.1.1 常住人口

厂址位于山东省烟台市所辖的莱阳市团旺镇。厂址半径 5km 范围内涉及山东省烟台市所辖的莱阳市穴坊镇、高格庄镇、团旺镇、姜疃镇所辖的 28 个行政村，总人口为 18670 人，陆域面积平均人口密度为 238 人/km^2，无万人以上居民点。厂址半径 5km 范围内最大的居民点为姜疃镇董格庄村，位于厂址 N 方位 4.8km，有人口 2222 人。距厂址最近的居民点是位于 WNW 方位 1.4~1.8km 的团旺镇东中荆西村/东中荆东村和位于厂址 SSE 方位 1.4km 的西马家泊村。东中荆西村、东中荆东村现有人口 930 人，西马家泊村现有人口 374 人。

厂址半径 1km 范围内无行政村，厂址征地边界范围内不涉及常住居民。

根据《莱阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，厂址半径 5km 范围内涉及的穴坊镇、高格庄镇、团旺镇、姜疃镇基本为农村地区，预计近年不会产生人口大规模机械增长。

2.2.1.1.2 流动人口

按《核电厂厂址选择及评价的人口分布问题》（HAD101/03）中的规定，暂住人口应包括短期的流动性人口（如旅游者）和长期的流动性人口（如季节性居民和学生）。流动人口应包括流出人口和流入人口。暂住人口与流动人口的统计数据由当地政府提供，统计年份为 2024 年。

厂址半径 5km 范围内涉及山东省烟台市所辖的莱阳市穴坊镇、高格庄镇、团旺镇、姜疃镇。该区域的经济结构主要以农业和工业为主。流入人口基本为居住期一个月以下的短期流动人口，为探亲访友、务工经商人员，高峰期出现在春节前后，主要为外出人员返乡探亲；零星流入人口为居住期一个月至半年、居住期半年至一年或一年以上的人口，主要为务工人群；流出人口基本为外出经商、务工、走亲访友、求学人员，流出目的地有莱阳、烟台以及青岛周边市县区，流出人口高峰期出现在春节后，主要为返乡探亲人员节后流出。

厂址半径 5km 范围内无旅游点。距离厂址最近的旅游点为濯村特色农业旅游区（厂址 NNE 方位约 5.7km），经调查，无万人以上同时在园区内游览的情况。

2.2.1.1.3　特殊人群

厂址半径 5km 范围内共有学校 5 所，其中 2 所小学、3 所幼儿园。距厂址最近的为莱阳市荆昌小学和莱阳市荆昌小学附属幼儿园，均位于厂址 WNW 方位约 2.1km 处，共有学生 305 人，教职工 31 人，无住校人员，详见 2.2.1.2 节。

厂址半径 5km 范围内无医院和养老院。

厂址半径 5km 范围内无监狱。

2.2.1.1.4　人口集中地区

厂址半径 5km 范围内的居民点中，对于部分居民区相连的村庄，按照一个集中的居民点进行统计，东中荆西村和东中荆东村已集中连片，现共有人口 930 人，西中荆后村和西中荆前村已集中连片，现共有人口 1082 人，前河前村和后河前村已集中连片，现共有人口 1157 人。

厂址半径 5km 范围有 4 处人口较为集中的区域，距离厂址最近的是东中荆村集中连片区，位于厂址 WNW 方位约 1.4~2.1km，包括东中荆东村、东中荆西村、莱阳市荆昌小学和莱阳市荆昌小学附属幼儿园，共有 1266 人。人口最多的为光山村集中连片区，包括光山村、莱阳市光山小学、莱阳市光山小学附属幼儿园、莱阳市花园食品有限公司，位于厂址 E 方位约 3~4km 处，共有 1602 人。

2.2.1.1.5　规划限制区人口分析

根据《山东省人民政府关于划定山东莱阳核能项目规划限制区的批复》（鲁政字〔2023〕215 号），山东莱阳核能项目 6 台机组半径 5 公里（以每台机组反应堆为中心）为规划限制区。

考虑人口集中地区后，厂址半径 5km 范围内最大的居民点仍为 N 方位 4.8km 处的董格庄村，有人口 2222 人。

叠加常住人口和流动人口的情况下，厂址半径 5km 范围内现无万人以上居民点。

基于厂址半径 5km 范围内人口现状，根据 2.2.2.2 节人口预期增长率计算，本项目预期人口最大年厂址 5km 范围无万人以上居民点。

厂址半径 5km 范围内无旅游点，根据现有资料，厂址半径 5km 范围内无新的旅游景点规划。

厂址半径 5km 范围涉及山东省烟台市所辖的莱阳市穴坊镇、高格庄镇、团旺镇、姜疃镇所辖的 28 个行政村，总人口为 18670 人。厂址半径 5km 范围主要涉及团旺镇，根据《莱阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，至 2035 年，团旺镇全镇常住人口规模为 2.8 万人，常住城镇人口规模为 0.5 万人，发展定位为以特色农业和高端装备制造为主的工贸型小城镇，工贸企业主要集中在团旺镇区。团旺镇近年来人口以流出为主，除核电项目外无大型规划开发项目，根据团旺镇人口现状和规划，团旺镇镇区人口和总人口均不会长期持续增长。莱阳项目规划限制区（5km）内团旺镇居民点共有 23 个，共有人口 9010 人，团旺镇镇区不在规划限制区范围内。《莱阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》仅涉及团旺镇镇区（不在规划限制区内），未涉及规划限制区内的居民点。此外，厂址半径 5km 范围内不涉及穴坊镇、高格庄镇、姜疃镇镇区，无万人以上城镇发展规划。

基于《山东省人民政府关于划定山东莱阳核能项目规划限制区的批复》（鲁政字〔2023〕215 号）的要求，将严格控制规划限制区内人口机械增长，对规划限制区内的新建和扩建项目加以引导或限制。在有效实施规划限制区管控的情况下，预计项目寿期内厂址半径 5km 范围内不会出现万人以上居民点、学校、医院、养老院、旅游点等人口集中地区的情况。

综合厂址半径 5km 范围内人口集中地区现状、莱阳市国土空间规划和规划限制区管控要求，厂址半径 5km 范围内现状无万人以上人口集中地区，预计项目寿期内厂址半径 5km 范围内也无形成万人以上人口集中地区的可能性。

2.2.1.1.6　与选址阶段对比

厂址半径 5km 范围内行政村数量无变化，距离最近和人口最多的居民点均与选址阶段相同。

2.2.1.2　厂址半径 10km 范围特殊人群分布

1）学校

厂址半径 10km 范围内无职业学校和培训机构。

厂址半径 10km 范围内共有学校 19 所，其中 9 所幼儿园，6 所小学，4 所中学，共有学生 6580 人，教职工 568 人。

厂址半径 5km 范围内共有学校 5 所，其中 3 所幼儿园、2 所小学。距厂址最近的为莱阳市荆昌小学和莱阳市荆昌小学附属幼儿园，均位于厂址 WNW 方位约 2.1km 处，共有学生 305 人，教职工 31 人，无住校人员。

2）医疗机构

厂址半径 10km 范围内有 4 家医疗机构，共有床位 377 张，医务人员 282 人，其中距离厂址最近的是莱阳市团旺中心卫生院，位于厂址 NW 方位约 6km，有床位 101 张，医务人员 83 人。

3）疗养院

厂址半径 10km 范围内没有疗养院。

4）敬老院

厂址半径 10km 范围内有 1 所养老院，为高格庄康华老年公寓，位于厂址 E 方位约 7.4km，有床位 58 张，入住 34 人，工作人员 5 人。

5）监狱

厂址半径 10km 范围内没有监狱。

6）企事业单位

厂址半径 10km 范围内有工业企业 21 家，主要生产经营品种有农副食品加工业、纺织业、金属加工等。距离厂址最近的企业为莱阳华安工艺有限公司，位于厂址 W 方位约 2km。详见本报告 2.3.4.1 节。

厂址半径 10km 范围涉及团旺镇、姜疃镇、高格庄镇、穴坊镇，其辖区内的机关事业单位主要位于镇区范围。其中，团旺镇 240 人，穴坊镇 97 人，高格庄镇 71 人，姜疃镇 96 人。

根据《莱阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，厂址半径 10km 范围内主要涉及团旺镇、姜疃镇、高格庄镇、穴坊镇，上述地区基本为农村，预计近年不会产生人口大规模机械增长。

7）与选址阶段对比

厂址半径 10km 范围内特殊人群与选址阶段相比无增长。

2.2.1.3　厂址半径 15km 范围内的人口分布

2.2.1.3.1　常住人口

厂址半径 15km 调查范围涉及烟台市莱阳市的大夼镇、高格庄镇、姜疃镇、吕格庄镇、团旺镇、穴坊镇、羊郡镇、照旺庄镇，涉及青岛市莱西市的姜山镇、望城街道，涉及青岛市即墨区的金口镇，共计 11 个乡（镇、街道）239 个行政村，涉及烟台市海阳市的行村镇部分陆域地区，但不涉及行政村。

厂址半径 15km 范围内共有人口 221312 人，共有行政村 239 个，陆域面积平均人口密度为 317 人/km^2。厂址半径 15km 范围内共有千人以上居民点 55 个，涉及 83 个行政村，其中，距离厂址中心最近的千人以上居民点为穴坊镇鸭儿沟村，位于厂址 SE 方位 3.6km 处，有人口 1900 人，人口最多的居民点为姜山镇垛埠社区，位于厂址 WSW 方位约 13km，有人口 9300 人。

厂址半径 10km 范围内无十万人以上城镇。

根据《莱阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》和《青岛市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，厂址半径 15km 范围基本为农村地区，预计近年不会产生人口大规模机械增长。

2.2.1.3.2　流动人口

厂址半径 15km 范围内各乡镇短期流动人口多为节假日走亲访友人群（包括了长期流出人口的返乡探亲人员），长期流入人口主要是务工、经商人员。流出人口基本为外出经商、务工、走亲访友、求学人员，流出目的地有莱阳、烟台以及青岛周边市县区。流动人口大部分为短期流动人口，其中以居住期在一个月以下的流动人口为主，高峰期在春节前后，主要为春节前返乡探亲人员大量流入，春节后又大量流出。

厂址半径 15km 范围内景区有莱阳市濯村特色农业旅游区、白垩纪国家地质公园团旺地质遗迹保护点、莱阳市娘娘山旅游区、丁字湾省级滨海旅游度假区、丁字湾省级滨海旅游度假区金山滑雪场。距离厂址最近的旅游点为濯村特色农业

旅游区，位于厂址 NNE 方位约 5.7km，日高峰游客数 19000 人，经调查，无万人以上同时在园区内游览的情况。

2.2.2　厂址半径 80km 范围内的人口分布

2.2.2.1　厂址半径 80km 范围内的现有人口分布

厂址半径 80km 范围内涉及山东省威海市所辖的乳山市，山东省烟台市所辖的莱阳市、海阳市、栖霞市、招远市、莱州市、牟平区、福山区，山东省青岛市所辖的莱西市、平度市、胶州市、即墨区、市南区、市北区、城阳区、李沧区、崂山区，山东省潍坊市所辖的高密市。

截至 2024 年底厂址半径 80km 范围内的常住人口数为 10305909 人。按厂址半径 80km 范围的陆域面积计算，2024 年平均人口密度 684 人/km^2，高于山东省同期平均人口密度 638 人/km^2，高于烟台市同期平均人口密度 506 人/km^2，低于青岛市同期平均人口密度 949 人/km^2。

厂址半径 80km 范围有万人以上的人口中心有 57 个，十万人以上的人口中心有 14 个。

厂址半径 80km 范围内最大的人口中心为城阳区城区，位于厂址 SSW 方位约 53km，有城镇人口 116.94 万人。距厂址最近的万人以上的人口中心为莱西市姜山镇镇区，位于厂址 WSW 约 15.4km 处，有人口 4.06 万人。

厂址 80km 范围内各子区的人口分布详见表 2.2-1 和图 2.2-1，厂址半径 80km 范围内 SSW 方位人口最多，有 4198249 人，主要因为青岛市市区位于该方位内；厂址半径 5km 范围内 SE 方位人口最多，有 2721 人。

2.2.2.2　厂址半径 80km 范围内的预期人口

本工程单台机组建设周期为 58 个月。本工程 1 号机组计划于 2027 年 11 月浇灌第一罐混凝土，2 号机组计划于 2028 年 11 月浇灌第一罐混凝土，两台机组间隔 12 个月。本工程 1 号机组计划于 2032 年 9 月投产，2 号机组计划于 2033 年 9 月投产。工程设计寿期为 60 年。本报告将预测 2032 年核电厂运行时及寿期内每隔 10 年厂址半径 80km 范围内各子区的人口分布，人口预测的基准年为 2024 年。

根据厂址 80km 范围内所在市县 2015 年~2025 年统计年鉴、国民经济与社会发展公报中提供的人口自然增长率数据，统计得出厂址 80km 范围内涉及的主要市县 2015~2025 年人口自然增长率，见表 2.2-2。由表可知，各地的人口自然

增长率整体呈震荡下降的趋势。除青岛市以外从 2021 年开始，厂址 80km 范围内涉及的地区人口自然增长率均为负增长。青岛市作为山东省重要城镇对外来人口有一定的吸引力，近十年常住人口呈增长趋势。

本次调查人口预测主要参考《新时代的中国人口（山东卷）》，结合其中低中高三个人口预测方案给出的人口峰值，对比厂址所在区域不同地市的人口变动情况，从而判断不同区域人口峰值出现的时间，最后通过人口峰值出现的时间以及数量推算预期的人口增长率。《新时代的中国人口（山东卷）》人口预测基于山东、全国及部分省份“七普”数据，结合第六次、第五次人口普查的历史数据，以及其他统计数据，从总量、结构、集聚与分布、流动等维度分析全省及各地区人口变动特征及趋势，给出了低中高三套方案预测结果。

低方案：按照总和生育率一直维持目前 1.44，2023 年全省人口达到峰值 1.0174 亿人。中方案，总和生育率由目前的 1.44 线性提高至 2030 年的 1.6，此后一直保持 1.6。2029 年全省人口达到峰值 1.031 亿人。高方案，总和生育率由目前的 1.44 线性提高至 2030 年的 1.8，此后一直保持 1.8。2032 年全省人口达到峰值 1.0368 亿人。

表 2.2-3 给出了山东省、烟台市、青岛市、威海市 2015 年至 2024 年总人口变化情况。可以看出，山东省人口在 2021 年达到了高峰值 1.017 亿人；烟台市在 2020 年达到峰值 710.4 万人；青岛市常住人口呈增长趋势，而增长趋势逐渐变缓。评价区内烟台市、威海市人口变化与低方案预测结果相接近，人口高峰期较“山东卷”预测结果提前出现，利用低方案预测评价区未来人口变化是保守且可行的。考虑到“山东卷”低方案 2023 年以后进入负增长，而厂址所在地莱阳市、莱西市等地区已进入负增长，从预测偏保守考虑，烟台市、威海市涉及地区的预期人口增长率取“0”。

由于青岛市目前的人口仍在增长，从保守性考虑，按照高方案进行预测，峰值出现在 2040 年，2040~2092 年的预期人口增长率取“0”。

根据上述合理性和保守性分析，表 2.2-4 给出采用的调查范围内各区域人口预期增长率。

人口预测时采用下列人口指数增长公式推算：

$$N = N_0(1+r)^n \qquad (2.2\text{-}1)$$

式中：

N—预期人口数；

N_0—现有人口数；

n—N 与 N_0 之间的时间长度，年；

r—t 时间段内的人口自然增长率。

根据上述的人口预测计算模式以及相应的人口预期增长率对厂址半径 80km 范围内的人口增长进行预测。预测结果表明：到 2032 年本工程 1 号机组建成发电时，厂址半径 80km 范围内的总人口数为 10968970 人。运行 8 年后 2040 年，厂址 80km 范围内的人口将达到最大值 11690658 人，2040 年后厂址 80km 范围内的人口不再增长。各年份具体预期人口分布情况详见表 2.2-5~表 2.2-6、图 2.2-2~图 2.2-3。

2.2.3 居民的年龄构成及饮食习惯和生活习性

2.2.3.1 居民的年龄构成

表 2.2-7 给出了厂址半径 5km 范围和半径 80km 范围内各年龄组的构成比例。

根据不同子区所在地理位置，按照上述年龄组构成比例，计算得到厂址半径 80km 范围内 2024 年各年龄组（≤1 岁、1~7 岁、7~17 岁和 17 岁以上）的分布情况分别列于表 2.2-8~11。

2.2.3.2 居民的饮食习惯和生活习性

2.2.3.2.1 厂址半径 5km 范围内居民的饮食习惯和生活习性

调查单位对厂址半径 5km 范围内居民、厂址半径 5km 范围内可能的关键居民组、排水口附近居民及可能的关键居民组进行了食谱和生活习惯调查。

调查单位在厂址半径 5km 范围内团旺镇的 25 个村，发放调查表 500 份，有效调查人数 1388 人。另外对位于厂址半径 5km 范围内的光山小学、光山小学附属幼儿园和荆昌小学、荆昌小学附属幼儿园走访调查。调查到儿童有 54 人，青少年 379 人。此外，本项目于 2025 年 2 月对厂址半径 5km 范围内东张格庄村等 5 个村进行了居民食谱调查，调查到婴儿 25 人。合并考虑后共计调查样本数为：≤1 岁年龄组婴儿 75 人，1~7 岁（含 7 岁）儿童组 252 人、7~17（含 17 岁）青少年组 579 人、>17 岁成人组 940 人。

实地调查发现，由于现在网络通信技术发达且年轻父母受教育程度较好，婴幼儿普遍按照科学方式喂养，同时随着当地经济水平的提高及外出务工，农村育

龄妇女有些选择在城市生产育婴，村内常住人口中婴儿很少，有的村甚至无婴儿。综合考虑，本项目婴儿食谱参考实地调查结果和国家卫健委《婴幼儿辅食添加营养指南》（WS/T678-2020）和中国营养学会《中国婴幼儿喂养指南 2022》给出。

厂址周边是农业区，大部分食材可自产，部分外购。厂址周边居民的粮食以小麦为主，成年人大米食用量相对较少，大米来自评价区外（东北大米居多），小麦来自本子区，其他主食（玉米、红薯、小米、豆类等）来自本子区；陆生蔬菜包括叶类中白菜、油菜等，根茎类土豆、萝卜等，果实类西红柿、茄子等，蔬菜主要来自本子区；当地盛产水果（如梨、苹果、葡萄等）大部分来自本子区，少量来自评价区和评价区外；肉类包括牛、羊、猪肉，以猪肉为主，偶尔食用牛羊肉，肉类来源包括本子区、评价区、评价区外，猪肉在评价区内为主，牛羊肉多来自评价区及评价区外；禽类包括鸡、鸭、鹅等以鸡肉消费量大，蛋类包括鸡、鸭、鹅蛋等，以鸡蛋为主，禽肉和蛋类来自本子区和评价区；奶类包括牛、羊奶及其奶制品，以牛奶为主，鲜奶来自本子区，成品包装奶多来自评价区和评价区外；鱼类以海产品为主；无脊椎包括甲壳类、软体类等食用季节性比较强，在秋季食用较多；食用的水生植物主要是紫菜、海带。

厂址半径 5km 范围是农业区，厂址距离烟台南部海域（排水口所在丁字湾海域）最近距离约 18km，该区域居民一般不会去海边。随着丁字湾省级滨海旅游度假区逐步开发、旅游设施不断完善，对当地旅游有一定带动，暑假期间，该区域居民偶尔带孩子去海边游玩，但时间不长，一般一年两三次，1 次 4~6 小时的岸边活动，因受交通影响，能去两处景区游玩的多为有车家庭。可能的关键居民组居民位于厂址半径 5km 范围内，居民生活习惯同厂址半径 5km 范围内居民。

2.2.3.2.2　厂址排水口附近居民的饮食习惯和生活习性

本项目针对厂址排水口附近居民同步开展食谱和生活习惯调查，本项目共设置 1 个取水口和 2 个排水口，取水口和海水淡化厂排水口位于丁字湾湾顶莱阳市辖海域，液态流出物排水口位于丁字湾外海阳市辖海域。海水淡化厂排水口位于厂址 SE 方位约 21km 处，液态流出物排水口位于厂址 ESE 方位约 36km 处。

本次调查对海水淡化厂排水口、液态流出物排水口沿岸居民共计发放调查表 120 份，有效调查人数 687 人，同时走访调查了羊郡镇中心幼儿园，调查儿童 140 人。此外，本项目于 2024 年 12 月对厂址排水口附近村庄进行了居民食谱调查，

调查到婴儿 14 人。合并考虑后共计调查样本数为：婴儿组 29 人，儿童组 223 人、青少年组 109 人、成人组 480 人。

根据现场调查可以看出，厂址排水口所在丁字湾海域沿岸主要为农业区，居民以农民为主，有部分从事渔业活动（养殖、捕捞）人员。当地渔业从业人员大部分是非渔民，渔业忙时从事渔业、农忙时务农、休渔期从事其他工作，因此在成人组单独给出渔业从业人员的生活习惯，居民食谱不区分职业统一给出。根据调查两个排水口附近居民生活饮食习惯相同。

养殖人员在近海养殖牡蛎、滩涂养殖贝类、岸基养殖虾、蟹、鱼等。养殖人员工作时间一年 8~10 个月，时长 8~12 小时，忙时养殖人员会住在养殖场旁的简易房内；养殖人员岸边活动时间时长一般在 6~10 小时，投食需要驾驶养殖船，一般一天 3~4 小时，下水作业比较少。

出海捕捞人员在捕捞业除休渔期和恶劣天气（台风、热带风暴等）外，都可进行海上生产作业，捕捞时间集中在 9~12 月份，人均每年 3 个月左右，80~100 天，每天 8~10 小时；岸边活动，装卸海产品、修补渔具等，每天约 8~10 小时。

沿岸居民会到岸边散步、根据潮汐变化，可到海边赶海，垂钓。

2.2.3.2.3　厂址半径 80km 范围内居民的饮食习惯和生活习性

厂址半径 80km 范围以资料收集为主，城乡居民食物消费量数据来自《山东省统计年鉴 2024 年》调查结果。

厂址半径 80km 范围内不同职业、不同年龄组居民食物消费量结果见表 2.2-12。从调查结果可以看出，厂址 80km 范围涉及的山东省居民饮食习惯接近，粮食以面食为主，蔬菜以叶类菜为主，肉类以猪肉为主，水产品以鱼类为主，蛋类消费也比较多，奶类及其制品婴儿组和儿童组消费较高。

厂址半径 80km 范围内居民生活习惯调查结果见表 2.2-13。农村居民岸边活动主要是退潮时赶海、岸边散步等，游泳和划船主要是出海捕鱼、近海养殖等；城镇居民岸边活动多为海边散步游玩、岸边垂钓，游泳和划船只是一种娱乐休闲活动。节假日、夏秋季节，尤其是学生暑假期间来海边的游客较多。厂址半径 80km 范围未成年组中，婴儿无海边活动；由于安全原因，儿童、青少年只有在家长监护下，有游泳、岸边活动，无划船活动。

2.2.4　厂址人口分布类别

国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）第 5.7 条款规定：核动力厂应尽量建在人口密度相对较低，离大城市相对较远的地点。规划限制区范围内不应有 1 万人以上的人口集中地区。根据 2.2.1.1.5 节分析可知，当前厂址 5km 半径范围内无万人以上人口集中地区。厂址能满足 GB6249-2025 该条款的要求。

根据《核电厂厂址选择及评价的人口分布问题》（HAD101/03）中推荐的“人口密度法”对厂址的人口分布进行评价。人口密度法是通过比较厂址周围地区的人口密度与参考人口密度，把厂址周围地区按人口密度分成三类，第 I 类代表人口密度最低（最优先）的厂址，而第III类属于人口密度最高（优先性最差）的厂址。

评价中，分别对不同半径的环形地带和扇形地带确定类别，该厂址采用山东省 2024 年全省平均人口密度作为参比对象（638 人/km^2）。由人口密度法评价结果可知，厂址类型为 I 类厂址。

表 2.2-1　厂址半径 80km 范围内各子区人口数（2024 年）单位：人

距离（km） 方位	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	扇形区内人口累计
N	0	0	0	2222	1261	35261	248797	101883	52790	45754	68298	66959	623225
NNE	0	0	670	0	6801	24487	72937	80280	48074	42120	76981	60703	413053
NE	0	0	0	1157	6197	19494	26675	32151	34617	37764	45368	52423	255846
ENE	0	0	0	148	3476	13421	21037	38698	74147	42556	36433	169990	399906
E	0	0	0	1427	5068	12598	25278	45974	113977	29549	21158	22706	277735
ESE	0	0	0	1360	3426	14428	24296	30585	0	0	0	0	74095
SE	0	821	0	1900	8373	12666	24622	20086	1695	0	0	0	70163
SSE	0	374	0	0	7829	16711	33222	19801	3870	0	0	0	81807
S	0	0	0	2120	2823	19231	36593	46627	41336	38204	74150	2373	263457
SSW	0	0	0	0	2871	17494	37119	150549	523741	697054	1283984	1485437	4198249
SW	0	0	164	947	1338	26065	32252	66032	236078	208590	211665	355126	1138257
WSW	0	0	0	820	900	18907	26174	43443	65625	83869	104115	156698	500551
W	0	0	0	1082	9361	9781	30017	49154	64589	79292	212699	135009	590984
WNW	0	930	231	918	3537	18400	34169	40640	37431	71649	112960	97942	418807
NW	0	0	268	192	3567	13358	129197	120209	35330	36953	43138	145094	527306
NNW	0	0	239	680	2310	17104	45112	45402	39745	37925	80566	203385	472468
各环形段人口合计	0	2125	1572	14973	69138	289406	847497	931514	1373045	1451279	2371515	2953845	10305909
半径区内人口累计	0	2125	3697	18670	87808	377214	1224711	2156225	3529270	4980549	7352064	10305909	10305909

表 2.2-2　厂址 80km 范围内涉及的市县 2015~2024 年人口自然增长率

单位：‰

年度	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
烟台	-0.30	2.78	-1.81	0.17	0.00	-2.04	-3.21	-7.40	/	/
莱阳	1.42	3.43	-3.12	0.86	-0.83	-2.92	-2.03	-6.36	/	/
海阳	-3.37	0.51	-8.60	-2.00	-3.05	-6.46	-3.54	-8.25	-9.64	/
威海	-1.04	1.69	-3.41	-0.07	-0.41	-3.05	-2.45	-6.25	-5.04	-8.79
青岛*	10.75	17.21	10.97	10.04	11.05	18.24	14.83	8.29	2.84	6.82
平度	-0.77	6.50	6.50	2.20	2.26	-1.55	-1.55	-3.26	-5.16	-3.6
莱西	-1.8	4.67	/	0.80	0.89	-1.80	-1.66	-3.34	-4.93	-4.54

注：青岛市 2013 年以后统计年鉴中不再公布户籍人口信息包括人口自然增长率，只提供青岛市常住人口数据，表中青岛市给出的是根据常住人口计算出的近十年人口增长率。另外部分地区 2022 年以后统计数据中也不再提供自然增长率数据。

表 2.2-3　山东省、烟台市、青岛市和威海市近十年常住总人口变化情况

年份（年）	近十年人口（万人）			
	山东省	烟台市	青岛市	威海市
2015	9866	697.8	944.6	282.5
2016	9973	702.9	961.0	285
2017	10033	704.4	971.6	286.6
2018	10077	706.8	981.4	287.6
2019	10106	707.9	992.3	288.9
2020	10165	710.4	1010.57	291.08
2021	10170	708.3	1025.67	291.46
2022	10163	705.9	1034.21	291.78
2023	10123	703.2	1037.15	291.36
2024	10080	703.5	1044.25	291.46
2025	10043	700.05	1051.55	-

注：2015 年至 2024 年数据来自统计年鉴，2024 年至 2025 年数据来自各地国民经济和社会发展统计公报。

表 2.2-4　厂址半径 80km 范围主要市县 2025—2092 年预期人口增长率

单位：‰

区域	2025~2040	2041~2092
莱阳市	0	0
烟台市	0	0
青岛市	10.73	0
威海市	0	0

表 2.2-5　厂址半径 80km 范围内各子区预期人口数（2032 年）

距离（km） 方位	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	扇形区内人口累计
N	0	0	0	2222	1261	35261	248797	101883	52790	45754	68298	66959	623225
NNE	0	0	670	0	6801	24487	72937	80280	48074	42120	76981	60703	413053
NE	0	0	0	1157	6197	19494	26675	32151	34617	37764	45368	52423	255846
ENE	0	0	0	148	3476	13421	21037	38698	74147	42556	36433	169990	399906
E	0	0	0	1427	5068	12598	25278	45974	113977	29549	21158	22706	277735
ESE	0	0	0	1360	3426	14428	24296	30585	0	0	0	0	74095
SE	0	821	0	1900	8373	12720	26829	21886	1847	0	0	0	74376
SSE	0	374	0	0	7829	16942	36199	21575	4217	0	0	0	87136
S	0	0	0	2120	2823	19564	39872	50805	45040	41628	80795	2586	285233
SSW	0	0	0	0	2871	17950	40445	164040	570676	759521	1399049	1618555	4573107
SW	0	0	164	947	1338	26132	35142	71949	257234	227283	230633	386951	1237773
WSW	0	0	0	820	900	18939	28520	47336	71506	91385	112960	163569	535935
W	0	0	0	1082	9361	9789	32707	53559	70377	86398	231760	147108	642141
WNW	0	930	231	918	3537	18417	37231	44282	40785	78070	122556	104903	451860
NW	0	0	268	192	3567	13373	140775	130982	38496	39750	43138	145094	555635
NNW	0	0	239	680	2310	17117	47496	49259	42937	37925	80566	203385	481914
各环形段人口合计	0	2125	1572	14973	69138	290632	884236	985244	1466720	1559703	2549695	3144932	10968970
半径区内人口累计	0	2125	3697	18670	87808	378440	1262676	2247920	3714640	5274343	7824038	10968970	

表 2.2-6　厂址半径 80km 范围内各子区预期人口数（2040 年~2092 年）

距离（km） 方位	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	扇形区内人口累计
N	0	0	0	2222	1261	35261	248797	101883	52790	45754	68298	66959	623225
NNE	0	0	670	0	6801	24487	72937	80280	48074	42120	76981	60703	413053
NE	0	0	0	1157	6197	19494	26675	32151	34617	37764	45368	52423	255846
ENE	0	0	0	148	3476	13421	21037	38698	74147	42556	36433	169990	399906
E	0	0	0	1427	5068	12598	25278	45974	113977	29549	21158	22706	277735
ESE	0	0	0	1360	3426	14428	24296	30585	0	0	0	0	74095
SE	0	821	0	1900	8373	12775	29233	23847	2013	0	0	0	78962
SSE	0	374	0	0	7829	17176	39443	23508	4595	0	0	0	92925
S	0	0	0	2120	2823	19903	43445	55358	49076	45359	88035	2818	308937
SSW	0	0	0	0	2871	18418	44069	178740	621817	827586	1524425	1763602	4981528
SW	0	0	164	947	1338	26199	38291	78397	280286	247651	251301	421628	1346202
WSW	0	0	0	820	900	18972	31076	51578	77914	99574	122556	170741	574131
W	0	0	0	1082	9361	9797	35638	58359	76684	94141	252529	160291	697882
WNW	0	930	231	918	3537	18434	40567	48250	44440	85066	132967	112359	487699
NW	0	0	268	192	3567	13388	153391	142720	41946	42758	43138	145094	586462
NNW	0	0	239	680	2310	17130	50006	53444	46385	37925	80566	203385	492070
各环形段人口合计	0	2125	1572	14973	69138	291881	924179	1043772	1568761	1677803	2743755	3352699	11690658
半径区内人口累计	0	2125	3697	18670	87808	379689	1303868	2347640	3916401	5594204	8337959	11690658	

表 2.2-7　厂址半径 80km 范围内居民的年龄构成

区域	人数/占比	年龄段			
		≤1 岁	1~7 岁	7~17 岁	>17 岁
厂址半径 80km	人数（人）	64610	581445	1216282	8443572
	所占比例（%）	0.63	5.64	11.80	81.93
厂址半径 5km	人数（人）	67	1111	1683	15809
	所占比例（%）	0.36	5.95	9.01	84.68

表 2.2-8　厂址半径 80km 范围内各子区人口分布（≤1 岁）（2024 年）单位：人

距离（km） 方位	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	扇形区内人口累计
N	0	0	0	8	4	180	1345	551	295	293	438	429	3543
NNE	0	0	2	0	25	118	395	433	278	270	493	388	2402
NE	0	0	0	4	22	90	147	190	218	243	291	334	1539
ENE	0	0	0	1	13	63	132	247	475	272	233	1088	2524
E	0	0	0	5	19	66	162	295	729	188	136	145	1745
ESE	0	0	0	5	14	70	156	196	0	0	0	0	441
SE	0	3	0	7	30	56	158	129	11	0	0	0	394
SSE	0	1	0	0	29	90	213	127	25	0	0	0	485
S	0	0	0	8	11	102	235	299	265	244	474	15	1653
SSW	0	0	0	0	10	89	237	965	3351	4460	8219	9506	26837
SW	0	0	1	4	5	109	206	423	1510	1335	1355	2272	7220
WSW	0	0	0	3	3	81	168	278	420	537	664	1001	3155
W	0	0	0	3	34	46	193	315	413	507	1360	864	3735
WNW	0	3	1	3	14	91	218	261	240	458	722	627	2638
NW	0	0	1	1	13	79	827	769	226	237	276	929	3358
NNW	0	0	1	2	9	85	264	281	241	241	515	1302	2941
各环形段人口合计	0	7	6	54	255	1415	5056	5759	8697	9285	15176	18900	64610
半径区内人口累计	0	7	13	67	322	1737	6793	12552	21249	30534	45710	64610	64610

表 2.2-9　厂址半径 80km 范围内各子区人口分布（1~7 岁）（2024 年）单位：人

距离（km） 方位	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	扇形区内人口累计
N	0	0	0	132	75	1783	11983	4907	2625	2607	3893	3816	31821
NNE	0	0	40	0	404	1288	3512	3867	2484	2401	4386	3461	21843
NE	0	0	0	69	369	1033	1312	1686	1941	2152	2585	2989	14136
ENE	0	0	0	9	208	740	1180	2207	4226	2425	2077	9690	22762
E	0	0	0	85	301	728	1441	2620	6496	1686	1206	1294	15857
ESE	0	0	0	81	203	844	1385	1743	0	0	0	0	4256
SE	0	49	0	113	499	744	1404	1145	97	0	0	0	4051
SSE	0	22	0	0	466	969	1894	1129	221	0	0	0	4701
S	0	0	0	126	168	1116	2086	2658	2356	2178	4227	135	15050
SSW	0	0	0	0	171	1017	2115	8583	29852	39732	73187	84669	239326
SW	0	0	10	56	79	1539	1838	3765	13456	11890	12065	20242	64940
WSW	0	0	0	49	54	1114	1492	2476	3742	4781	5935	8932	28575
W	0	0	0	65	556	573	1711	2802	3681	4518	12124	7696	33726
WNW	0	55	14	55	211	1074	1948	2316	2134	4085	6441	5583	23916
NW	0	0	16	11	212	766	7365	6853	2014	2106	2460	8271	30074
NNW	0	0	14	40	138	890	2346	2491	2145	2160	4593	11594	26411
各环形段人口合计	0	126	94	891	4114	16218	45012	51248	77470	82721	135179	168372	581445
半径区内人口累计	0	126	220	1111	5225	21443	66455	117703	195173	277894	413073	581445	581445

表 2.2-10　厂址半径 80km 范围内各子区人口分布（7~17 岁）（2024 年）单位：人

距离（km） 方位	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	扇形区内人口累计
N	0	0	0	200	114	3519	25230	10331	5527	5492	8196	8033	66642
NNE	0	0	60	0	613	2395	7397	8141	5226	5055	9238	7283	45408
NE	0	0	0	104	559	1883	2760	3549	4086	4531	5444	6291	29207
ENE	0	0	0	13	314	1325	2483	4644	8897	5107	4371	20399	47553
E	0	0	0	129	457	1348	3033	5517	13676	3546	2538	2725	32969
ESE	0	0	0	123	309	1475	2915	3671	0	0	0	0	8493
SE	0	74	0	171	755	1250	2954	2410	203	0	0	0	7817
SSE	0	34	0	0	705	1831	3987	2376	465	0	0	0	9398
S	0	0	0	192	254	2073	4391	5596	4960	4585	8898	285	31234
SSW	0	0	0	0	260	1861	4455	18065	62850	83647	154079	178253	503470
SW	0	0	15	85	121	2494	3870	7924	28329	25030	25401	42614	135883
WSW	0	0	0	74	81	1835	3140	5213	7874	10066	12496	18804	59583
W	0	0	0	97	843	985	3602	5898	7751	9516	25524	16200	70416
WNW	0	84	21	83	318	1919	4101	4876	4492	8597	13554	11753	49798
NW	0	0	24	17	320	1536	15504	14425	4240	4433	5177	17411	63087
NNW	0	0	22	61	208	1707	4939	5246	4513	4551	9670	24407	55324
各环形段人口合计	0	192	142	1349	6231	29436	94761	107882	163089	174156	284586	354458	1216282
半径区内人口累计	0	192	334	1683	7914	37350	132111	239993	403082	577238	861824	1216282	1216282

表 2.2-11　厂址半径 80km 范围内各子区人口分布（17 岁以上）（2024 年）单位：人

距离（km） 方位	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	扇形区内人口累计
N	0	0	0	1882	1068	29779	210239	86094	44343	37362	55771	54681	521219
NNE	0	0	568	0	5759	20686	61633	67839	40086	34394	62864	49571	343400
NE	0	0	0	980	5247	16488	22456	26726	28372	30838	37048	42809	210964
ENE	0	0	0	125	2941	11293	17242	31600	60549	34752	29752	138813	327067
E	0	0	0	1208	4291	10456	20642	37542	93076	24129	17278	18542	227164
ESE	0	0	0	1151	2900	12039	19840	24975	0	0	0	0	60905
SE	0	695	0	1609	7089	10616	20106	16402	1384	0	0	0	57901
SSE	0	317	0	0	6629	13821	27128	16169	3159	0	0	0	67223
S	0	0	0	1794	2390	15940	29881	38074	33755	31197	60551	1938	215520
SSW	0	0	0	0	2430	14527	30312	122936	427688	569215	1048499	1213009	3428616
SW	0	0	138	802	1133	21923	26338	53920	192783	170335	172844	289998	930214
WSW	0	0	0	694	762	15877	21374	35476	53589	68485	85020	127961	409238
W	0	0	0	917	7928	8177	24511	40139	52744	64751	173691	110249	483107
WNW	0	788	195	777	2994	15316	27902	33187	30565	58509	92243	79979	342455
NW	0	0	227	163	3022	10977	105501	98162	28850	30177	35225	118483	430787
NNW	0	0	202	577	1955	14422	37563	37384	32846	30973	65788	166082	387792
各环形段人口合计	0	1800	1330	12679	58538	242337	702668	766625	1123789	1185117	1936574	2412115	8443572
半径区内人口累计	0	1800	3130	15809	74347	316684	1019352	1785977	2909766	4094883	6031457	8443572	8443572

表 2.2-12　厂址半径 80km 范围内居民食物消费量调查结果

单位：kg/（人•a）

食物种类		≤1 岁		1~7 岁		7~17 岁		城镇居民		农村居民		食物来源（%）		
		平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值	本子区	评价区	评价区外
粮食	大米	1.0	1.5	5.4	10.2	7.4	13.2	13.7	20.7	11.5	17.4	0	0	100
	面	8.7	12.4	22.2	33.7	52.0	75.9	80.2	100.0	108.5	135.3	80	20	0
	其他主食	0.5	0.7	3.4	4.8	6.4	11.3	11.3	18.2	11.5	18.5	90	10	0
蔬菜	叶类菜	6.4	9.5	18.2	29.6	34.5	50.1	59.0	86.2	52.1	76.2	90	10	0
	根茎类	1.1	1.6	8.5	13.4	13.9	24.5	25.9	41.1	23.2	36.8	70	20	10
	果实类	2.1	3.2	6.7	10.6	10.9	18.5	21.2	32.4	18.8	28.7	30	50	20
	水生类	0.0	0.0	1.3	2.3	2.6	4.0	6.1	9.1	5.4	8.1	0.	10	90
肉类	猪肉	2.9	4.1	12.0	18.7	18.3	30.9	32.1	54.7	31.7	53.9	75	25	0
	牛肉	0.4	0.6	0.5	1.3	1.5	3.1	2.6	4.7	1.5	2.8	40	40	20
	羊肉	0.3	0.4	0.4	0.9	1.4	2.4	2.3	4.1	1.1	1.9	40	40	20
	禽肉	1.5	2.1	3.8	7.0	6.6	11.2	9.7	15.5	9.2	14.7	80	20	0
水产品	鱼	1.5	2.1	2.9	4.3	4.8	7.1	8.2	11.8	6.3	9.0	30	70	0
	甲壳类	0.7	1.0	2.1	3.9	3.0	5.0	6.3	10.7	2.3	3.9	30	70	0
	软体类	0.0	0.0	1.0	1.7	2.1	3.2	4.0	6.5	1.6	2.6	30	70	0
	海藻	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.2	0.3	10	30	60
其他副食	菌类	0.4	0.6	0.5	0.8	0.9	1.4	2.4	4.2	1.8	3.1	20	40	40
	豆制品	0.6	0.9	3.2	5.0	6.2	11.2	9.6	15.5	10.5	16.9	80	20	0
蛋类		5.6	8.1	21.6	28.7	22.7	33.8	24.9	40.9	25.5	41.9	80	20	0
牛奶及其制品		73.6	98.1	45.0	82.4	33.3	51.5	18.8	31.8	12.0	20.3	20	50	30
水果		8.4	12.6	66.7	111.6	66.2	105.1	88.5	142.8	77.1	124.4	70	20	10

表 2.2-13　厂址半径 80km 范围内居民生活习惯调查结果

单位：（小时/人·a）、人

生活习惯	≤1 岁		1~7 岁		7~17 岁		农民		城镇居民	
	年平均	人数	年平均	人数	年平均	人数	年平均	人数	年平均	人数
岸边活动	0	0	65	54475	172	104685	322	351793	32	1485661
游泳	0	0	5	5120	60	27303	86	9132	24	13481
划船	0	0	0	0	10	1756	890	2703	2	1350
活动地点	烟台市南部黄海近岸海域									

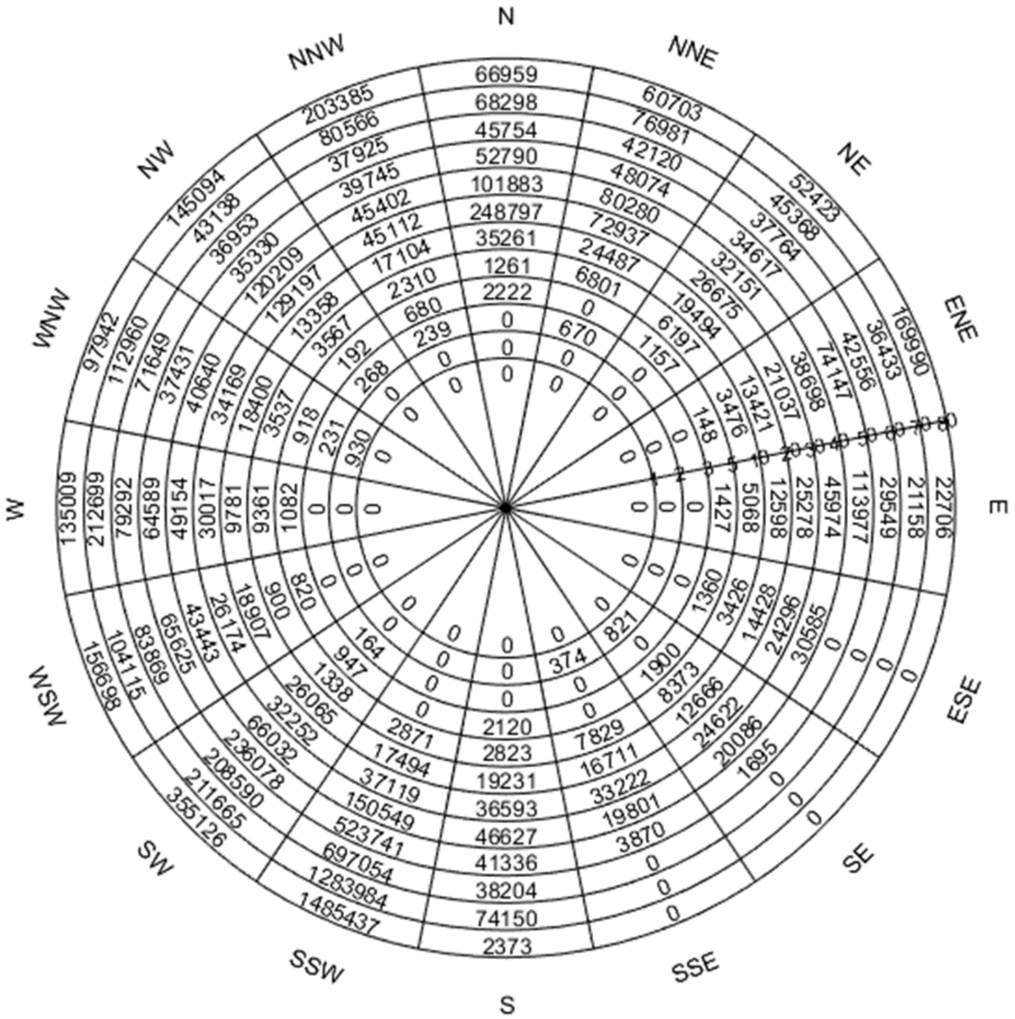


图 2.2-1　厂址半径 80km 范围内总人口子区分布图（2024 年）

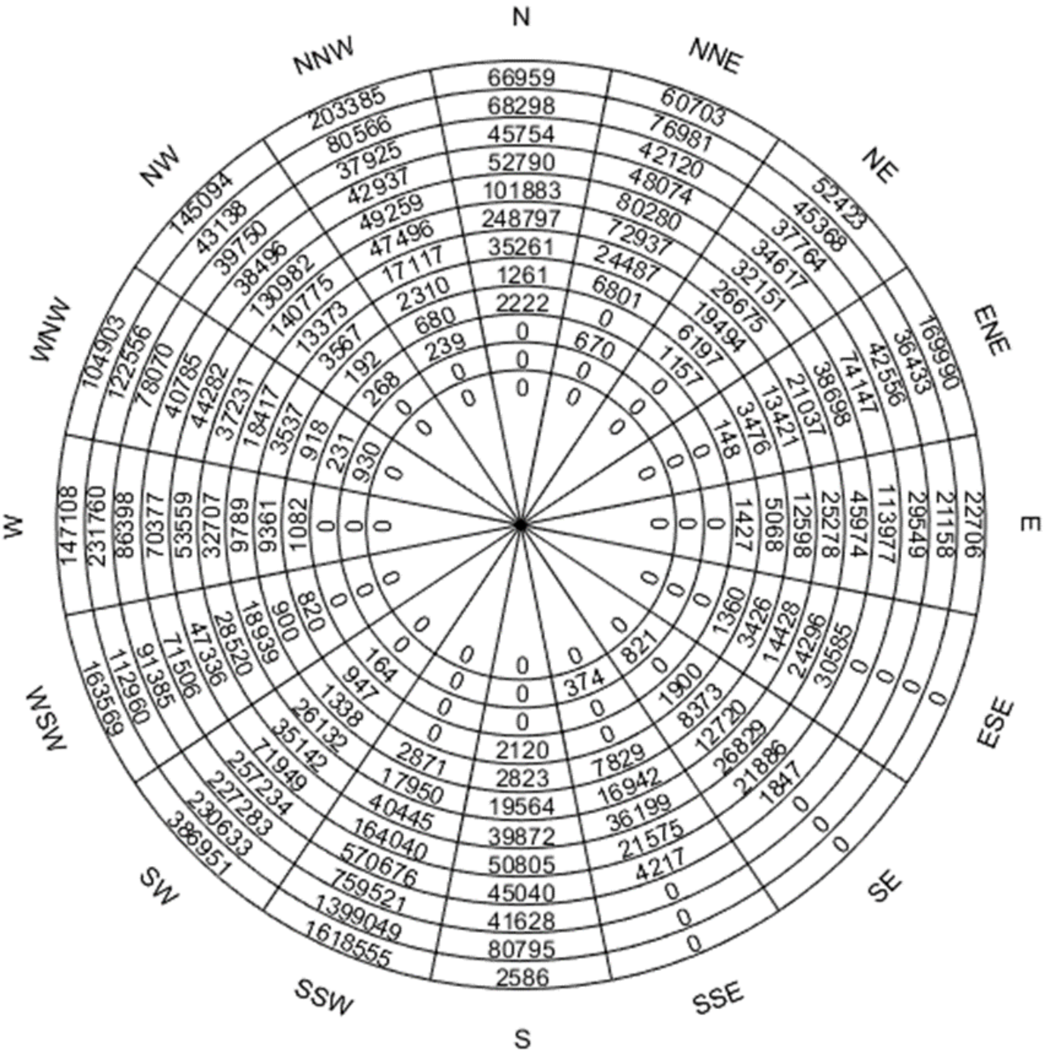


图 2.2-2　厂址半径 80km 范围预期人口分布图（2032 年）

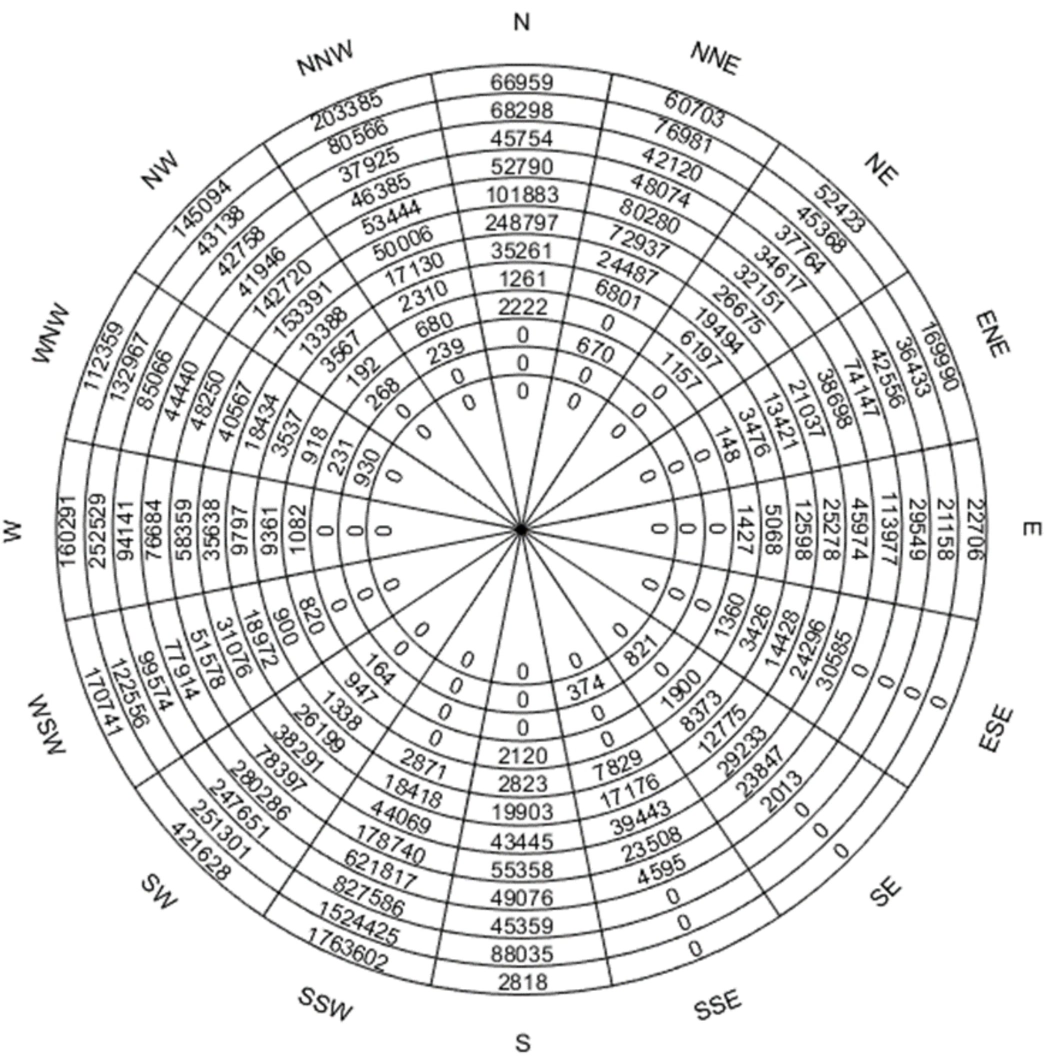


图 2.2-3　厂址半径 80km 范围预期人口分布图（2040~2092 年）

2.3 土地利用及资源概况

2.3.1 土地和水体的利用

2.3.1.1 土地利用情况

1）土地利用现状

厂址位于山东省烟台市所辖的莱阳市团旺镇。

莱阳市 2024 年土地总面积为 173027.00hm^2，其中耕地 82500hm^2，占土地总面积的 47.68%。莱阳市土地利用结构见表 2.3-1。

厂址半径 10km 范围内莱阳市区域的土地利用结构见表 2.3-2。厂址半径 10km 范围内土地利用类型主要为旱地。

本项目厂外配套建设海水淡化厂，建设位置拟定位于莱阳市羊郡镇辖区，规划容量为 3 套海水淡化设施，采用南北向并联布置方式，一期工程海水淡化设施布置在海水淡化厂厂区南部，向北扩建。此外，本项目环境监测站拟建设在海水淡化厂区内，相关施工统一纳入海水淡化厂的施工管理。基于现阶段工程方案，厂址取排水管线敷设区域多为临时占地，仅阀门井、排气井等设施涉及永久占地。

厂址用地涉及基本农田。项目建设符合国家产业政策和国家土地供应政策，烟台市和莱阳市国土空间规划已将本项目列入重点建设项目安排表。本项目已于 2023 年 9 月取得自然资源部发布的用地预审意见（自然资办函〔2023〕1903 号），自然资源部办公厅已同意本项目用地预审与选址，后续将按照“数量不减、质量不降”原则开展基本农田占补平衡工作。

因此，本项目用地符合国家和地方土地利用计划和政策。

2）土地利用规划

根据《莱阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，厂址区域和取排水管线涉及规划的农田保护区、村庄建设区等，海水淡化厂涉及规划土地为一般农业区。

3）生态保护红线及环境管控单元

根据《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》、《烟台市国土空间总体规划（2021-2035 年）》、《莱阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》和《青岛市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，厂址所在位置不涉及生态保护红线，厂址半径 10km 范围内涉及一处陆域生态保护红线，名为胶东丘陵生物多样性维

护生态保护红线，距离厂址最近处位于厂址 ESE 方位约 3.0km，取排水管线穿越该陆域生态保护红线。

《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》、《烟台市国土空间总体规划（2021-2035 年）》和《莱阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》未针对该陆域生态保护红线给出具体管控要求，仅给出生态保护红线的总体要求。

《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》中对于生态保护红线的管控要求为：生态保护红线内，自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动；自然保护地核心保护区外禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规前提下，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。生态保护红线内自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区等区域，依照法律法规执行。除允许的有限人为活动之外，确需占用生态保护红线的国家重大项目，按规定办理用地用海用岛审批。

《烟台市国土空间总体规划（2021-2035 年）》中对于生态保护红线的管控要求为：生态保护红线内，自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动。生态保护红线内自然保护地核心保护区外，禁止开发性、生产性建设活动，在符合法律法规的前提下，仅允许以下对生态功能不造成破坏的有限人为活动。具体管控要求依据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》、《山东省自然资源厅 山东省生态环境厅关于加强生态保护红线管理的通知》等规定执行，如上级相关部门发布生态保护红线最新管控要求，须依据最新要求执行。

《莱阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》中对于生态保护红线的管控要求为：生态保护红线内，自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动；自然保护地核心保护区外禁止开发性、生产性建设活动，在符合法律法规的前提下，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。生态保护红线内自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区等区域，依照相关法律法规执行。生态保护红线内允许有限人为活动之外，确需占用生态保护红线的国家重大项目（如：国家级规划明确的电网项目，国家级规划明确的且符合国家级产业政策的能源矿产勘查开采、油气管线、水电、核电项目），按照相关要求办理用地用海用岛审批。

本工程生态保护红线不可避让论证报告通过了烟台市自然资源和规划局和山东省自然资源厅组织的专家评审，取得了烟台市和山东省人民政府的支持性意见（山东省人民政府《山东省人民政府关于山东莱阳核电项目一期工程不可避让

生态保护红线意见的函》（省政府便函〔2026〕39 号），满足国土空间规划要求。

根据烟台市生态环境分区管控动态更新成果（2024 年版）、青岛市“三线一单”生态环境分区管控方案修改单和青岛市环境管控单元生态环境准入清单（2024 年版），厂址所在位置不涉及优先保护单元，厂址半径 10km 范围内涉及莱阳市的 2 个优先保护单元。厂址及取排水管线（陆域部分）均位于一般管控单元，不涉及优先保护单元和重点管控单元。本项目满足相关环境管控单元的空间布局约束要求、污染物排放管控要求、环境风险防控要求和资源开发效率要求。

2.3.1.2　水体利用情况

1）地表水利用情况

厂址半径 15km 范围内的地表水利用情况主要以河流和水利设施为主。其中河流主要是五龙河及其支流，水库主要以小（一）型水库和小（二）型水库以及塘坝为主。居民生活饮用水源主要为地下水。

灌溉用水方面，根据水利部办公厅《关于印发大中型灌区名录的通知》（办农水函〔2025〕736 号），莱阳市辖区内的大中型灌区包括沐浴水库东灌区、小平水库灌区和沐浴水库西灌区。厂址半径 15km 范围内不涉及大中型灌区。距离厂址最近的灌区为胡城灌区，位于厂址 E 方位约 4.0km 处。胡城拦河闸工程于 1965 年 8 月动工兴建，1966 年 6 月竣工。改建加固前闸坝全长 350m，包括 50 孔自动翻板闸、浆砌石砂芯溢流坝、4 孔泄水冲砂闸、灌区进水闸、电站等工程，是一座集拦蓄灌溉、发电等效益于一体的大型水利工程。胡城灌区原设计灌溉面积 9.75 万亩，灌区内近年来实施了农业综合开发项目，小农水项目，修建了小型农田水利灌溉设施，降低了生产成本，当前实际灌溉用水量不超过 10 万方。

（1）河流

莱阳市 500m 以上的河流、沟溪共 187 条，其中长度 9km 以上的河流 13 条，除西北部为大沽河支流的潴河及七星河外，均属五龙河水系，其上游有白龙河、蚬河、清水河、墨水河和富水河五大支流，汇于五龙峡口，即五龙河，主要支流蚬河经市区东侧由北向南流去，白龙河经市区西侧向南汇入五龙河。这些河流基本上都有源短流急、涨落急剧的特点，夏季雨量大、集中，易成水灾；春季降水量少，经常断流。年平均流量 1.439 亿 m^3，多年平均地表水资源量 2.48 亿 m^3。

五龙河：该河与厂址最近距离为 3.0km。上游有白龙河、蚬河、清水河、墨

水河、富水河五大支流，于五龙峡口汇聚始称五龙河。在其南下流经嵯阳河、玉岱河、金水河，然后注入黄海丁字湾，流经十个乡镇，长 53km，河床宽 100-400m，流域面积 2806km^2。五龙河干流水量变化大，1956 年 9 月 5 日最大洪峰流量 2940m^3/s。

富水河：该河位于市境东北部，发源于栖霞市牙山，至赤山与昌水河汇流南下，纳巨峰、芝水两河于五龙峡口入五龙河，全长 100km，河床宽 80-250m，总流域面积 1061.2km^2，最大枯水流量 0.96m^3/s。

墨水河：该河位于市境东中部，源于赤山乡大天山，在照旺庄西昌山村西南汇富水河。流长 15km，河床宽 10~40m，流域面积 10km^2，为季节性河流。

清水河：该河源于栖霞市牙山老庙顶，纳蛇窝河南流，于榆科顶乡又纳杨础河，南流至红土崖前会蚬河，南入五龙河，全长 73km，河床宽 70-250m，总流域面积 612.25km^2。

蚬河：该河位于市境北部，源出栖霞县寺口镇的黄土岭和苏家店乡马蹄夼南山的璇河，在东姜格庄东纳西留河，流至城东又纳旌阳河，至红土崖会清水河，南至五龙峡口入五龙河，全长 71km，境内流长 39km，河床宽 80-250m，总流域面积 523km^2。该河中上游修建一座大型水库—沐浴店水库，总库容 1.872 亿 m^3，兴利库容 1.074 亿 m^3，设计灌溉面积 1.3 万公顷，有效灌溉面积 1 万公顷。

厂址半径 15km 范围内的河流主要为五龙河及其支流。厂址附近的河流主要有五龙河、岔里河、团旺河、磋阳河、望埠河、金水河和玉带河等，基本属于五龙河水系。五龙河距离厂址最近处位于厂址 ESE 方位，距离约 3.0km。根据《烟台市水功能区划》，厂址附近的地表水功能一级区划为五龙河莱阳保留区，水质目标为Ⅳ类，二级区划为五龙河莱阳农业用水区，水质目标为Ⅴ类。厂址取排水管线穿越五龙河，穿越段为五龙河莱阳保留区，水质目标为Ⅳ类。

沐浴店水库为莱阳市集中式饮用水水源地，其周围水域分别划入一级保护区、二级保护区和准保护区。厂址距离沐浴店水库超 20km，其建设和运行不会对沐浴店水库产生影响。

（2）水利设施

莱阳市共有水库 74 座和塘坝 772 座，其中大型和中型水库各 1 座，小（一）型水库各 15 座，小（二）型水库 57 座。距离厂址最近的水库是方里水库，位于厂址的 W~WSW 方位约 8.0km 处。

2）地下水利用情况

厂址半径 15km 范围内除团旺镇外，其他各乡镇村村通自来水，水源均为地下水。地下水类型及特征详见 2.5.2.1 节。

3）水域环境功能区划及水质保护目标

（1）地表水环境功能区划

地表水环境功能区划见本节第 1）部分。

（2）海洋生态保护红线

本项目共设置 1 个取水口和 2 个排水口，取水口和海水淡化厂排水口位于丁字湾湾顶莱阳市辖区域，液态流出物排水口位于丁字湾外海阳市辖区域。

根据《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》，厂址排水口半径 15km 范围内涉及烟台市和青岛市所划定海域生态保护红线。本项目海域取水管线、海域排水管线部分区段、取水头部、海水淡化厂排水口排水头部涉及占用海域生态保护红线，为丁字湾湿地重要滩涂及浅海水域生态保护红线。

《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》指出：“生态保护红线内自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区等区域，依照法律法规执行。除允许的有限人为活动之外，确需占用生态保护红线的国家重大项目，按规定办理用地用海用岛审批”。山东莱阳核电项目为国家近期需要开展建设的重大能源项目，已纳入国家《新型能源体系建设“十五五”规划》（发改能源〔2026〕884 号）和《山东省核能中长期发展规划》，以及山东省、烟台市、莱阳市国土空间规划。项目符合“国家级规划明确的且符合国家产业政策的能源矿产勘查开采、油气管线、水电、核电项目”情形，根据《自然资源部生态环境部国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）和《山东省自然资源厅山东省生态环境厅关于加强生态保护红线管理的通知》（鲁自然资发〔2023〕1 号），属可占用生态保护红线的项目类型。本工程生态保护红线不可避让论证报告通过了烟台市自然资源和规划局和山东省自然资源厅组织的专家评审，取得了山东省人民政府《山东省人民政府关于山东莱阳核电项目一期工程不可避让生态保护红线意见的函》（省政府便函〔2026〕39 号））。

（3）近岸海域环境功能区划

根据《山东省近岸海域环境功能区划（2016~2020 年）》，厂址取水口、海水淡化厂排水口和液态流出物排水口位于丁字湾旅游娱乐区，代码为 SD236CIII，

水质保护目标为 III 类。另外，取水口和海水淡化厂排水口附近存在山东莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区，代码为 SD239AⅡ，水质保护目标为Ⅱ类。

根据《山东省近岸海域环境功能区划（2016~2020 年）》中的环境功能区分类：第二类环境功能区，适用于水产养殖区，海水浴场，人体直接接触海水的海上运动或娱乐区，以及与人类食用直接有关的工业用水区；第三类环境功能区，适用于一般工业或城镇建设用水区，滨海风景旅游区。二类环境功能区、三类环境功能区，应分别执行《海水水质标准（GB3097-1997）》中第二类、第三类海水水质标准。

本项目取排水量较小，排水温升较低，冬季无 2℃ 以上最大温升包络范围，其他季节无温升。取排水符合近岸海域环境功能区划的水质保护目标管控要求。

（4）海洋功能分区

根据《烟台市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，厂址海水淡化厂排水口所在区域属于生态保护区。生态保护区依据生态保护红线的管控要求进行管理，实行最严格的准入制度。在符合法律法规的前提下，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动；除有限人为活动之外，确需占用的国家重大项目，按照相关要求办理用地用海用岛审批。

厂址液态流出物排水口所在区域属于工矿通信用海区。工矿通信用海区主要以临海工业利用、矿产能源开发和海底工程建设为主要功能导向的用海活动。允许适度改变海域属性，突出节约集约用海原则，合理控制开发利用规模，优化空间布局。保护近岸海洋生态环境，维持海洋水动力环境条件稳定。加强环境治理及动态监测。

（5）生态环境分区管控方案

根据烟台市生态环境分区管控动态更新成果（2024 年版）、青岛市“三线一单”生态环境分区管控方案修改单和青岛市环境管控单元生态环境准入清单（2024 年版），厂址取排水管线（海域部分）、取水口和海水淡化厂排水口涉及优先保护单元，液态流出物排水口不涉及优先保护单元。本项目满足相关环境管控单元的空间布局约束要求、污染物排放管控要求、环境风险防控要求和资源开发效率要求。

2.3.1.3　自然保护区、历史古迹、风景名胜区等

厂址半径 15km 范围内（包括陆域和水域）的自然保护区包括莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区。

厂址半径 15km 范围内的自然遗迹主要为白垩纪国家地质公园。

人文遗迹方面，厂址半径 15km 范围内没有国家级文物保护单位，有 3 处省级文物保护单位，5 处市级文物保护单位，以及 22 处县级文物保护单位，有 5 处传统村落，其中 1 处国家级传统村落，4 处县级传统村落。

厂址半径 15km 范围内的风景名胜区主要有娘娘山旅游风景区、濯村特色农业旅游区、丁字湾省级旅游度假区。

厂址半径 15km 范围内的湿地有五龙河地方级湿地公园和姜山湿地。

1）自然保护区

（1）莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区

莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区（简称“莱阳五龙河口保护区”）于 2011 年获批建立，位于山东省莱阳市羊郡镇南部的五龙河入海口处、丁字湾的西北部，总面积为 1219.1ha。保护区划分为重点保护区、生态与资源恢复区和适度利用区三部分，面积占比分别为 39%、28%和 33%。重点保护对象是河口湿地、北方半岛地区独特的常年流水河口生态系统和常年流水河口附近特有的生物资源多样性。

莱阳五龙河口保护区距离厂址最近处位于厂址 SSE 方位约 12km，莱阳五龙河口保护区距离厂址取水口和海水淡化厂排水口较近，距离取水口约 0.1km，距离海水淡化厂排水口约 0.9km，距离液态流出物排水口约 14.6km。本项目取排水管线（海域部分）涉及穿越莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区。

2023 年 2 月，莱阳市自然资源和规划局组织编制了《莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区总体规划（2022-2030 年）》。本项目取排水管道部分盾构穿越莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区，穿越区域管理目标为：“严格控制人为干扰活动，除国家重大项目外，禁止实施改变区内自然生态条件的工程建设活动。根据科学研究结果，加强科学管理，采取适当的人工生态整治与修复措施，恢复海洋生态系统与关键生境。对于国家重大项目，根据《关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》、《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》等政策文件管控要求，适当开展海洋资源利用活动，并加强利用活动区域的生态环境与资源监测”。该区域保护和开发活动安排为：“在

生态与资源恢复区内，加强保护生态与资源恢复区的关键生境，发展五龙河口生态渔业项目，通过增殖放流、底播增殖等资源修复手段，恢复生态与资源恢复区内的渔业资源；同时，发展游艇观光游览、休闲渔业等生态产业，适度利用渔业资源；开展休闲观光项目，发展亲水休闲观光、休闲垂钓、生态养殖等生态产业；配合山东莱阳核电项目的取排水工程建设，在该区域南侧边缘区域设立取水口，并在海底以穿越方式铺埋取水和排水管道，合理利用保护区海洋空间资源；同时，应加强取排水管道的监督检查和维护，降低环境风险”。

根据《山东省自然资源厅关于建设项目使用自然保护地审查审核有关事项的通知》（鲁自然资字〔2020〕77 号）规定：“四、占用风景名胜区、海洋特别保护区（海洋公园）、森林公园并符合其总体规划的建设项目，须征得有关风景名胜区、海洋特别保护区（海洋公园）、森林公园管理机构同意”。2023 年 6 月 21 日，莱阳市自然资源和规划局（保护区管理机构）出具了《关于同意山东莱阳核电项目取排水工程穿越莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区的意见》，同意山东莱阳核电项目取排水工程穿越莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区。2025 年 9 月，山东省自然资源厅出具了《山东省自然资源厅关于同意山东莱阳核电项目占用莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区意见的函》，同意山东莱阳核电项目取排水工程穿越莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区。

综上，项目符合《莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区总体规划（2022-2030 年）》。

2026 年 7 月 31 日，国家林业和林草局发布《国家林业和林草局关于批复山东省国家级自然公园（不含风景名胜区）整合优化方案的函》（林函保字〔2026〕66 号），并公布了山东省国家级自然公园名录，其中包含莱阳五龙河国家级湿地公园，但未涉及湿地公园范围和管控要求，后续将关注相关管理要求的发布。

2）自然遗迹

厂址半径 15km 范围内的自然遗迹主要为白垩纪国家地质公园。

莱阳白垩纪国家地质公园 2012 年设立，包括金岗口园区、凤凰山园区、北泊子地质遗迹保护点、团旺地质遗迹保护点。白垩纪国家地质公园境内白垩纪地层发育齐全，蕴藏恐龙化石资源丰富，2014 年 3 月列入首批国家级重点保护古生物化石集中产地。

白垩纪国家地质公园的金岗口园区、凤凰山园区和北泊子地质遗迹点均位于厂址半径 15km 以外，团旺地质遗迹保护点位于厂址 NW 方位约 6.2km 处。保护措施要求保护点内需严格控制游客总量，日游客量不得超过 1000 人次。

厂址距离白垩纪国家地质公园 5km 以外，其建设不会对白垩纪国家地质公园产生影响。

3）人文遗迹

基于山东省文化和旅游厅《关于山东莱阳核电项目选址的意见》（鲁文旅许〔2024〕251 号）、《关于同意山东莱阳核电项目文物保护许可文件延期的意见》（鲁文旅许〔2026〕1109 号）、《关于山东莱阳核电项目厂外工程文物保护许可意见》（鲁文旅许〔2026〕1315 号）和莱阳市文化和旅游局《关于对山东莱阳核能项目选址方案征询（文物管理部门）的意见》（莱文旅发〔2022〕30 号），厂址及厂外工程区域内不涉及各级文物保护单位和一般不可移动文物。

厂址半径 15km 范围内没有国家级文物保护单位，共有 30 处文物保护单位，其中 3 处省级文物保护单位，5 处市级文物保护单位，22 处区县级文物保护单位。

厂址半径 15km 范围内共有 5 个传统村落，其中 1 个国家级传统村落，4 个省级传统村落。

4）风景名胜区

（1）娘娘山旅游风景区

娘娘山风景区位于高格庄镇，位于厂址 ESE 方位约 11.7km，该风景区主要包括七子连峰、老虎洞、龙爪子、马虎洞、樱桃涧等自然景观和天后圣母宫、昊天宫等人文景观。近年来高格庄镇党委、政府依托娘娘山资源，按照“一村一品”的发展规划打造的现代观光农业园、果树采摘园、绿茶品茗园，发展了山村游、民俗游、体验游等一批农业生态旅游项目。2024 年景区累计接待游客 24.3 万人次，日高峰游客量 3000 人。

（2）濯村特色农业旅游区

濯村特色农业旅游区位于莱阳市姜疃镇，位于厂址 NNE 方位约 5.7km。濯村是住建部首批中国美丽宜居村庄。濯村特色农业旅游区先后获得全国农业旅游示范点、中国美丽乡村、全国 AAA 级旅游景区、山东省旅游特色村、山东省最美旅游风情小镇等荣誉称号。濯村全村共种植各色苗木花卉 40 万株，每年的五一节前后游客较多。

（3）丁字湾省级滨海旅游度假区

莱阳丁字湾滨海新区地处黄海丁字湾畔穴坊镇和羊郡镇，位于厂址 SE 方位约 14.3km，新区规划总面积 92.2km^2，其中，威青高速南作为起步区，面积 57.5km^2。2010 年 8 月，莱阳丁字湾滨海新区成功获批“烟台莱阳丁字湾滨海省级旅游度假区”；2011 年，丁字湾区域被列入山东半岛蓝色经济区 9 大集中集约用海项目区之一，纳入了国家发展战略。丁字湾度假区主要项目有：金山滑雪场、金山旅游地产和中国香岛湾等项目。

（4）白垩纪国家地质公园团旺地质遗迹保护点

白垩纪国家地质公园团旺地质遗迹保护点位于厂址 NW 方位约 6.2km 处。保护措施要求保护点内需严格控制游客总量，日游客量不得超过 1000 人次。

5）湿地

厂址半径 15km 范围内的湿地有五龙河地方级湿地公园和姜山湿地。

莱阳五龙河地方级湿地公园面积 2144.40 公顷，最近处位于厂址 ESE 方位约 3.0km 处。莱阳五龙河地方级湿地公园是集生态保护、生境恢复、科研教育、宣传展示和资源可持续利用为一体的河流湿地生态系统类型的多功能自然保护区。主要保护对象为河流、湖泊为主的湿地生态系统。本项目取排水管线、热力管网工程、场外道路工程、施工期临时施工便桥、输电线路工程穿越五龙河地方级湿地公园。

2026 年 6 月，烟台市林业局出具《烟台市林业局关于山东莱阳核电项目一期工程穿越（占用）莱阳五龙河省级湿地公园的意见》（烟林函〔2026〕7 号），同意本项目取排水管线、热力管网工程、场外道路工程、施工期临时施工便桥、输电线路工程穿越（占用）该湿地公园。

2026 年 7 月 31 日，国家林业和林草局发布《国家林业和林草局关于批复山东省国家级自然公园（不含风景名胜区）整合优化方案的函》（林函保字〔2026〕66 号），并公布了山东省国家级自然公园名录，其中包含莱阳五龙河国家级湿地公园，但未涉及湿地公园范围和管控要求，后续将关注相关管理要求的发布。

姜山湿地又名涌态湿地公园，位于厂址 W~WSW 方位约 15km。姜山湿地有植物 282 种，动物 447 种，其中，国家级珍稀植物 7 种，有白天鹅、灰鹤、白鹭等 20 多种国家一级、二级保护动物。厂址距离姜山湿地 5km 以外，其建设和运行不会对姜山湿地产生影响。

本项目的建设和运行不会对周边的风景名胜区、历史遗迹和文物保护单位造成影响。

2.3.1.4　与选址阶段对比

与前阶段相比，厂址及取排水管线周边区域土地利用类型的主要类型依然为旱地。厂址半径 10km 范围内涉及陆域生态保护红线无变化，厂址取排水管线半径 15km 范围内涉及的海域生态保护红线无变化。

选址阶段项目取排水管线穿越烟台沿海防护林省级自然保护区莱阳段，2023 年 6 月，烟台市自然资源和规划局出具《烟台市自然资源和规划局关于同意山东莱阳核电项目一期工程穿越烟台沿海防护林省级自然保护区的意见》（烟自然资规函〔2023〕55 号），同意本项目取排水管线涉及穿越该保护区。根据 2026 年 8 月 25 日山东省人民政府发布的《山东省人民政府关于〈山东省省级自然保护区和省级风景名胜区整合优化方案〉的批复》（鲁政字〔2026〕117 号）和 2026 年 8 月 26 日山东省自然资源厅发布的《山东省自然资源厅关于公布山东省省级自然保护区和省级风景名胜区整合优化后名录的函》（鲁自然资源〔2026〕721 号），烟台沿海防护林省级自然保护区已不涉及莱阳段。

2.3.2　陆生资源及生态概况

2.3.2.1　农业概况

厂址半径 80km 区域处于山东半岛，该区域大力发展优质果蔬，其中主要以苹果、梨、桃、樱桃为主，销至北京、上海、江苏、湖北、广东以及出口日本等地。国家已将胶东地区确定为全国苹果生产优势区域。

厂址所在山东省烟台市所辖的莱阳市团旺镇现已形成粮食、蔬菜、花生、林果（苹果、樱桃、梨、葡萄、草莓等）、畜牧养殖为主的产业格局。以农产品加工龙头企业为依托，依照“公司+基地+农户”的发展模式。

厂址半径 10km 范围内各乡镇 2024 年农业生产情况（种植面积、单位面积产量和总产量）见表 2.3-3（a），厂址半径 10km 范围所在乡镇农副业产品生长期及销售情况见表 2.3-3（b）。

厂址区域为丘陵山地，周围土地类型以旱地为主，农作物有一年一作和二年三作、一年二作。

粮食作物以小麦、玉米、薯类为主，还有谷子、大豆等。油料作物主要为花生。瓜果类主要有西瓜、香瓜、草莓。水果主要有：苹果、梨、樱桃、葡萄、桃、

杏、红枣、冬枣、柿子、猕猴桃、山楂等。食用坚果类有核桃、板栗。蔬菜有芹菜、油菜、菠菜等叶菜类，有大白菜，有卷心菜等甘蓝类，有白萝卜、胡萝卜、生姜、马铃薯等根茎类，有南瓜、冬瓜、黄瓜、冬瓜等瓜菜类，有豇豆、四季豆等豆类，有茄子、辣椒、西红柿等茄果菜类，有大葱、蒜头等葱蒜类，以及其他蔬菜。另有少量茶叶、中药和棉花等经济作物。

2.3.2.2　牧业概况

1）家畜

团旺镇生猪出栏 57664 头，产肉量达 5766 吨，牛羊分别出栏 1300 头和 7300 只；穴坊镇生猪出栏 20190 头，产肉 2019 吨，牛羊出栏分别为 2200 头和 2200 只；羊郡镇生猪出栏 18685 头，产肉 1868 吨，牛羊出栏分别为 450 头和 1700 只；姜疃镇生猪出栏 43101 头，产肉 4310 吨，存栏 63385 头，牛羊出栏分别为 900 头和 2500 只；高格庄镇生猪出栏 12490 头，产肉 1249 吨，牛羊出栏分别为 1300 头和 1600 只。

莱西市生猪出栏 61.83 万头，产肉 5.06 万吨，存栏 33.9 万头；牛出栏 2.69 万头，产肉 5900 吨，存栏 7.33 万头；羊出栏 5.56 万只，产肉 900 吨，存栏 2.84 万只；奶牛存栏 5.85 万头，年产奶 21.89 万吨。

厂址半径 10km 范围内，共有 23 家规模化家畜养殖场，以生猪养殖为主，主要集中于莱阳市的团旺镇、穴坊镇、姜疃镇和高格庄镇。厂址半径 10km 超大型养殖场（存栏超过 1 万头）有 4 家。距离厂址最近的林宇牧业位于厂址 NNE 方位约 0.7km，存栏量 16000 头，已完成搬迁。

生猪养殖全部使用精饲料，日消耗量 3 公斤/头，贮存周期大多为 6 个月。区域内最大的生猪养殖企业亿合昶润年饲料需求量高达 4.32 万吨。

厂址半径 10km 范围共有 5 家奶牛饲养场，分布于团旺镇的西马家泊村、东大格庄村等以及穴坊镇西教格庄村。

厂址半径 10km 范围涉及乡镇家畜生产情况见表 2.3-4（a），家畜生长期及销售情况见表 2.3-4（b）。

2）家禽

莱阳市家禽养殖呈现“乡镇差异化发展、总量均衡分布”的特点，各镇产蛋量与产肉量比例反映养殖品种结构差异。团旺镇蛋鸡养殖占主导，蛋肉兼营模式明显。穴坊镇家禽存栏量 900 万只为全市最高，大规模肉禽养殖特征突出，肉禽

出栏率达 16.7%。羊郡镇肉禽专业化养殖趋势显著。姜疃镇肉禽产业规模化程度高。高格庄镇蛋肉平衡发展模式，产蛋量与产肉量比值处于中等水平。

莱西市家禽存栏量 1636.95 万只，年出栏 8917.15 万只，产肉量 13.03 万吨，单位出栏禽产肉 1.46kg/只；产蛋量 6.9 万吨，日均单产 38.4g/只。

厂址半径 10km 范围内共有 86 个家禽养殖场，从养殖品种与数量来看，肉鸡为主要养殖品种，多数饲养场饲养头数在 10000-160000 只。从饲养周期来看，肉鸡饲养周期多为 42 天，蛋鸡饲养周期为 500 天，肉鸭饲养周期为 28 天。从饲料来看，各养殖场所采用的饲料品种均为精料，全部来自饲料厂，饲料贮存期多数为 6 个月，肉鸡饲料日消耗量为 0.13kg/只，蛋鸡饲料日消耗量为 0.09kg/只。距离厂址最近的肉鸡养殖场为莱阳市团旺镇奕峰肉鸡养殖家庭农场，位于厂址 WNW 方位 2.9km 处，饲养量为 40000 只。

厂址半径 10km 范围内家禽生产情况见表 2.3-5（a），家禽生长期及销售情况见表 2.3-5（b）。

2.3.2.3　林业概况

厂址半径 10km 主要涉及莱阳市。莱阳市 2024 年林地面积为 11986.45 公顷，占土地总面积的 6.93%，其中乔木林地面积为 8997.24 公顷，灌木林地为 220.64 公顷，其他林地为 2767.93 公顷，竹林地 0.64 公顷。

莱阳市境域属于暖温带落叶阔叶林区，植物资源初步调查有 1446 种，其中木本植物有 54 科 99 属 206 种。由于农垦历史悠久，原始植被早已破坏殆尽，山地丘陵分布着不少针叶林和针阔混交林，按优势种原则分为针叶林、针阔混交林、落叶阔叶林、灌草丛四种类型。

2.3.2.4　矿产资源概况

根据《莱阳市矿产资源总体规划（2021-2025 年）》，截至 2020 年，莱阳境内已发现矿产共有 39 种（含亚矿种），发现各类矿床（点）129 处，已探明储量的矿产有 17 种，占已发现矿种总数的 44.74%。2020 年查明资源储量小型以上矿产地 11 处，中型矿床 1 处，其余均为小型矿床。

根据《莱西市矿产资源总体规划（2021-2025 年）》，截至 2020 年，全市已发现各类矿产 42 种，占青岛市已发现矿产的 65%。查明资源储量矿产 26 种，其中能源矿产 2 种，金属矿产 11 种，非金属矿产 13 种。已发现各类矿（床）点 53 处，其中大型矿床 2 处、中型矿床 6 处、小型矿床 40 处、矿点 5 处。

根据《建设项目压覆重要矿产资源情况查询表》，本项目评估范围内无探矿权设置，不压覆已查明矿产地，不压覆已查明重要矿产资源。

2.3.2.5　陆生生态系统状况

1）现场调查结果

专题单位于 2021 年 1 月~2022 年 5 月开展了 5 季陆生生态环境现场调查，调查范围为厂址中心半径 10km。

（1）植物调查

厂址半径 10km 范围内，共设置 10 条植物调查样线，调查样线的布设考虑了植物的不同群落类型，包括山地、农田、河流、居民区，以及取排水管线区域。在厂址半径 35km 范围内，考虑取排水管线区域以及生态系统类型，设置了 3 条样线。样线布置见表 2.3-6。在整个调查区共设置有代表性的样方 92 个，其中乔木样方 4 个，灌木样方 2 个，草本样方 86 个，主要包括落叶阔叶林、落叶阔叶灌丛、暖热性疏灌草丛和草本等主要植被类型，见表 2.3-7。

通过对调查区域内样线样方分布植物的统计分析，记录苔藓植物 1 科 1 属 1 种（葫芦藓），维管束植物 46 科 109 属 130 种，均为被子植物。整体来说，调查区是植物物种多样性较为丰富的区域，被子植物在调查区植物区系中占主要地位。

调查区的维管束植物，按照科内含种数的多少可分为三个等级（表 2.3-8）。含 10 种以上的优势科有 3 个，其中禾本科种类最多，高达 24 种；菊科居次，20 种；豆科 10 种。优势科共包含 3 科 45 属、54 种，分别占调查区科、属、种数的 6.52%、41.28%、41.54%。含 2~9 种的科有 14 个，如苋科 7 种、蓼科 6 种、夹竹桃科 5 种、旋花科 4 种、大戟科 3 种、蔷薇科 3 种等。14 个科含 35 属、47 种，分别占调查区科、属、种的比例为 30.43%、32.11%、36.15%。含一种的有 29 科、29 属、29 种，分别占调查区科、属、种比例为 63.04%、26.61%、22.31%。小比例的科占有高比例的属种，说明优势科在调查区植物区系中占有主导地位。在调查区记录的 109 属 130 种植物，根据各属所含种数的多寡，可将这些属划分为 2 个等级（表 2.3-9）。2 种以上的优势属共有 14 属，占总属数的 12.84%，共有 35 种，占总种数的 26.92%。它们常组成植物群落中的灌木层或草本层的优势成分，如蒿属 5 种、酸模属 3 种、萹蓄属 3 种、胡枝子属 3 种、鹅绒藤属 3 种、虎掌藤属 2 种等。2 种以下的单种属在数量上占绝对优势，共有 95 属，占总属

数的 87.16%，共有 95 种，占总种数的 73.08%。说明调查区区系成分复杂多样，较多的类群在该区均有一定分化。

调查区域内重点保护植物为野大豆。经现场调查，野大豆位于富山、卧虎山庄西面、濯村附近、五龙河东、方里水库、姜疃镇、行村镇大堰顶、辛安镇。整体来说，现场调查发现的野大豆距离厂址最近约 4.8km，厂址建设和运行不会对野大豆造成影响。

（2）野生动物调查

厂址半径 10km 范围内共布设了 9 条野生动物调查样线，包括居民点、农田、河流、水库、滩涂、入海口等，考虑取排水管线区域以及生态系统类型，在 10-35km 范围内设置了 3 条样线。具体见表 2.3-10。

a）两栖纲

在调查区域，通过实地调查，共记录两栖动物 1 目 2 科 2 属 2 种，即无尾目蟾蜍科的中华蟾蜍 9 只，蛙科的黑斑侧褶蛙 71 只。其中黑斑侧褶蛙为山东省重点保护动物，在调查区域 1 号、2 号、3 号、4 号、5 号、7 号、11 号和 12 号样线均有发现。未记录到国家重点保护两栖动物，也没有被列入《濒危野生动植物种国际贸易公约》附录中的物种。

b）爬行纲

夏季在调查区域，通过实地调查，只在 10 号样线（厂址 ESE 方位约 18.0km 处）发现 1 条有鳞目游蛇科的白条锦蛇。未记录到国家级和省级重点保护动物。

c）鸟类

在厂址周围陆域 10km 及管线沿线区域范围现场调查，共记录鸟类 144 种，分隶于 16 目 41 科 87 属。从目别层次统计，雀形目种类最多，为优势类群；其次是鸻形目。

在调查区域通过现场调查共记录国家重点保护鸟类 20 种。国家 I 级重点保护鸟类有青头潜鸭、黑嘴鸥、黄嘴白鹭、黄胸鹀 4 种；国家 II 级重点保护鸟类 16 种，即鸿雁、大白腰杓鹬、大杓鹬、翻石鹬、大滨鹬、黑翅鸢、雀鹰、白尾鹞、普通鵟、红角鸮、纵纹腹小鸮、长耳鸮、红隼、红脚隼、燕隼和云雀。厂址所在区域，基于现场实地调查，未发现国家 I 级重点保护动物，调查到 1 种国家 II 级重点保护动物红隼。红隼是具有较大数量，且分布比较广泛的猛禽，而且活

动范围大，周围具有广阔的替代生境，厂址区域的环境变化，预计不会对红隼的生存和发展构成明显影响。

d）哺乳动物

夏季现场调查时，在调查区域观察到兔形目的草兔 4 只和食肉目的黄鼬 2 只。未发现国家级重点保护动物，黄鼬为山东省重点保护动物，在调查区域记录于8号样线（厂址WSW~W方位约8.0km）和12号样线（厂址ESE方位约33.0km）。

2）生态景观

厂址位于山东半岛中部，属于暖温带季风气候区，高海拔丘陵一般植被稀疏低矮或为裸岩，低海拔丘陵则为杨树、构树林或疏灌草丛，也有梨树、苹果等果树园，河谷平原则主要为种植农作物和蔬菜、果树的农田景观。

厂址区域属于暖温带落叶阔叶林区，植物资源较丰富。由于农垦历史悠久，原始植被早已破坏殆尽。山地丘陵分布有针叶林和针阔混交林，其分布特点是山地丘陵森林植被茂密，组成种类复杂。森林植被按优势种原则分为针叶林、针阔混交林、落叶阔叶林、灌草丛四种类型。

3）生态系统类型

厂址半径 10km 范围内的陆域生态系统主要包括草地生态系统、森林生态系统和农田生态系统。

草地生态系统的生产者主要是马唐草、稗草、白茅、狗尾草、早熟禾、芦苇、鹅观草、地肤、狗牙根、大刺菜等草本植物通过光合作用吸收太阳光能，将水和二氧化碳合成有机物，把能量输入生态系统储存，植食性昆虫、鼠类、草兔、鸟类等作为初级消费者通过摄食草地植物的茎叶或种子而获得能量，蛙、蜥蜴、蛇、红隼、纵纹腹小鸮、黄鼬等肉食性动物作为次级消费者通过猎食作为初级消费者的植食性昆虫、鼠类、鸟类等获得能量，同时猛禽还可以通过猎食肉食性的蜥蜴、蛙和蛇等次级消费者而升级为三级消费者，最后草地上的这些生产者和各级消费者最终经过细菌、真菌等微生物的分解作用而复归自然。

森林生态系统生产者就是人工林地中的杨树、刺槐、梨树等高大乔木和酸枣、紫穗槐、胡枝子等灌木以及独行菜、阿拉伯黄背草、猪毛蒿、小蓬草、鸡眼草、白茅等草本植物，它们通过光合作用合成有机物，将太阳光能输入生态系统储存，森林中的植食性昆虫、鼠类、草兔、鸟类等作为初级消费者通过摄食森林植物的

茎叶或种子获得能量而得以生存，肉食性动物通过猎食植食性昆虫、鼠类、鸟类等初级消费者而成为次级消费者，或者因猎食其它次级消费者而成为三级消费者，最后森林中的这些生产者和各级消费者最终经过细菌、真菌等微生物的作用而分解。

农田生态系统的生产者为人工栽种的小麦、玉米、花生、甘薯、白菜、西瓜、油菜等各类农作物及农田里的各种杂草，各种植食性的昆虫、鼠类、食谷鸟类等以及人类为农田生态系统的初级消费者，以初级消费者昆虫、鼠类等为食的为次级消费者，以次级消费者蜥蜴、蛙等为食的红隼、雀鹰等也可为三级消费者。

4）植被类型

厂址半径 10km 范围在植被区划中属于暖温带落叶阔叶林区。地带性植被属于落叶阔叶林带。历史上天然森林植被类型丰富，因受历史性的人为影响与破坏，原生性植被早已不复存在，目前主要包括落叶阔叶林、灌丛、疏灌草丛和草本沼泽等主要植被类型。绝大部分被人工栽植的杨树群系，梨树、苹果树果园和次生刺状落叶绿灌丛及灌草丛所取代。

在一些山丘海岸线高潮位以上沿海基干防护林种植杨树防风固沙林，以及农田河网、乡道村道机耕道两侧种植杨树林，该区段的植被类型较为简单。

河谷平原河网区地带以种植梨树为主，旱地作物主要有甘薯、花生、玉米、黄豆、西瓜等农作物。

5）物种多样性

现场调查发现，厂址半径 10km 范围内植被生产力较低，作为消费者的动物物种多样性不丰富，大多都是广泛分布的常见种类，国家重点保护的珍稀濒危动、植物少，只有 1 种国家Ⅱ级重点保护野生植物野大豆，4 种国家Ⅰ级重点保护野生动物（均为野生鸟类），16 种国家Ⅱ级重点保护野生鸟类。

6）生物种群

厂址半径 10km 范围内的植物种群主要为被子植物，动物种群主要包括两栖动物、爬行动物、鸟类和哺乳动物。

7）重要生境与重要生物群落的建群种和优势种

优势种是指对群落结构和群落环境的形成有明显控制作用的植物。他们通常是个体数量多、投影盖度大、生物量高、体积较大、生活能力较强，即优势度较大的种。优势种对整个群落具有控制性的影响，如果把群落中的优势种去除，必

然导致群落性质和环境的变化；若把非优势种去除，只会发生较小的或不显著的变化。建群种指群落的不同层次可以有各自的优势种，其中优势层的优势种起着构建群落的作用。植被生态学上常用“等同优势种法”认为群落中的优势种就是关键种。厂址半径 10km 范围内重要生境与重要生物群落的建群种和优势种结果如下：

落叶阔叶林群落乔木层的建群种和优势种为白杜、杨树、臭椿；灌木层的建群种和优势种为酸枣、紫穗槐；草本层的建群种和优势种为商陆。

灌草丛群落灌木层的建群种为酸枣、兴安胡枝子、荆条，优势种为荆条；草本层的建群种为早熟禾、灯心草、雀麦、大蓟，优势种为白羊草、远志、狼尾花、葎草、叶下珠、芦苇。

藤本群落的建群种为鹅绒藤和鹅观草，优势种为鸭跖草。

草丛群落草本层的建群种为地椒、狗牙根、早熟禾、野艾蒿、马唐、稗草、芦苇、牻牛儿苗、扁蓄、地肤、萝藦、鹅观草、合萌、一年蓬、苍耳、狗尾草、黄花蒿、山马兰、附地菜、狼尾花、蒺藜、酸模叶蓼、三棱水葱、阿拉伯黄背草、鸡眼草、溪水蓼草、香蒲、灯心草、葎草、野大豆、荻、青绿薹草、月见草、鸭跖草、猪毛蒿、小蓬草、白茅、溪生苔草、茅茅叶苎草、披碱草、砂引草、肾叶打碗花，优势种为瓦松、狗牙根、鹅观草、一年蓬、木防己、地榆、溪水蓼草、猪毛蒿、野艾蒿、稗草、藜、葎草、灯心草、芦苇、扁蓄、虎尾草、大戟、合萌、大刺菜、野大豆、黄花蒿、裂叶牵牛、蒺藜、酸模叶蓼、通泉草、华北鸦葱、鸡眼草、结缕草、车前、溪生苔草、苍耳、早熟禾、青绿薹草、鸭跖草、小蓬草、雀麦、龙芽草、披碱草、肾叶打碗花。

8）特有种（土著种）

厂址半径 10km 范围内未发现我国维管束植物特有种。

两栖动物、爬行动物、鸟类和哺乳动物调查结果中，有无蹼壁虎、黄腹山雀、银喉长尾山雀和乌鸫共 4 种中国特有野生动物。

9）重要经济物种

厂址半径 10km 范围内的各种野生资源植物资源量均较小，呈零散分布，开发的经济价值不大，对植物资源的开发利用也尚处在初级阶段。该地区主要资源植物有木材与纤维资源、果蔬资源、粮食及淀粉植物资源、油料植物资源、药用植物资源、花卉及绿化植物资源 6 大类。

调查区域分布的两栖动物中的中华蟾蜍，哺乳动物中的草兔和黄鼬等作为药用、滋补、毛皮动物等具有重要的经济价值。

10）生态敏感区

生态敏感区主要包括自然保护区、历史古迹、风景名胜区、湿地等，厂址半径 10km 范围内的生态敏感区情况具体见本报告 2.3.1.3 节。

11）珍稀濒危物种保护状况

植物方面，调查区域内重点保护植物为野大豆，现场调查发现的野大豆距离厂址最近约 4.8km，厂址建设和运行不会对野大豆造成影响。

动物方面，调查区域内发现 4 种国家Ⅰ级重点保护野生动物（均为野生鸟类），16 种国家Ⅱ级重点保护野生鸟类。厂址所在区域，基于现场实地调查，未发现国家 I 级重点保护动物，调查到 1 种国家 II 级重点保护动物红隼。红隼是具有较大数量，且分布比较广泛的猛禽，而且活动范围大，周围具有广阔的替代生境，厂址区域的环境变化，预计不会对红隼的生存和发展构成明显影响。

2.3.2.6　距离反应堆最近的种植区、饲养场、保护区等

厂址半径 10km 范围内各方位离反应堆最近的农田、果园、养殖场、保护区和珍稀动植物栖息地情况列于表 2.3-11。

2.3.2.7　与选址阶段对比

选址阶段半径 15km 内有 110 余家养殖场（多为散户及小型场），本次调查半径 10km 内有 27 家家畜场、86 家家禽场，超大型场（存栏 1 万头以上）4 家，奶牛场从分散的 10 余家整合为 5 家。变化原因主要为当地政策驱动规模化场扶持、当地农业技术升级及市场需求的增加。

2.3.3　水产资源及生态概况

2.3.3.1　水产资源

专题单位于 2025 年 8 月、2025 年 11 月，2026 年 1 月、2026 年 4 月开展了本项目渔业资源补充调查专题工作。

现场调查范围为海水淡化厂排水口和液态流出物排水口为中心、周围半径约 15km 的海域。调查站位分布见图 2.3-1。

调查海域在夏季共捕获鱼类 30 种，优势种为白姑和短吻红舌鳎，平均资源量为 71.99kg/km^2，其中幼鱼平均资源量为 20.07kg/km^2；秋季共捕获鱼类 19 种，优势种为焦氏舌鳎，平均资源量为 64.36kg/km^2，其中幼鱼平均资源量为

43.48kg/km^2；冬季共捕获鱼类 10 种，优势种为长体刺虾虎鱼，平均资源量为 12.57kg/km^2，其中幼鱼平均资源量为 6.95kg/km^2；春季共捕获鱼类 30 种，优势种为丁氏狮子鱼、焦氏舌鳎，平均资源量为 199.96kg/km^2，其中幼鱼平均资源量为 133.00kg/km^2。

调查海域在夏季共捕获虾蟹类 18 种，其中虾类 11 种，蟹类 7 种，虾类优势种为口虾蛄和细巧拟对虾，蟹类优势种为三疣梭子蟹，虾蟹类平均资源量为 84.32kg/km^2，幼体平均资源量为 30.15kg/km^2；秋季共捕获虾类 11 种，无优势种，虾类资源平均量为 14.76kg/km^2；虾类幼体平均渔获重量密度为 0.16kg/km^2，蟹类 3 种，优势种为日本蟳，蟹类资源平均重为 38.94kg/km^2，蟹类幼体平均渔获重量密度为 10.81kg/km^2；冬季共捕获虾类 4 种，无优势种，虾类平均资源量为 0.12kg/km^2，虾类幼体平均资源量为 0.07kg/km^2，蟹类 8 种，无优势种，蟹类资源平均量为 3.22kg/km^2，蟹类幼体平均资源量为 1.05kg/km^2；春季共捕获虾类 16 种，无优势种，虾类平均资源量为 28.52kg/km^2，虾类幼体平均资源量为 0.70kg/km^2，蟹类 13 种，优势种为日本蟳，蟹类资源平均量为 41.12kg/km^2，蟹类幼体平均资源量为 16.31kg/km^2。

调查海域在夏季共捕获头足类 4 种，无优势种，平均资源量为 1.44kg/km^2；秋季共捕获头足类 3 种，无优势种，头足类资源平均量为 33.72kg/km^2；头足类幼体平均渔获重量密度为 5.37kg/km^2；冬季未捕获到头足类；春季共捕获头足类 4 种，无优势种，平均资源量为 20.70kg/km^2，幼体平均资源量为 0.18kg/km^2。

调查海域在夏季共采集到鱼卵 13 种，共 538 尾，仔稚鱼 10 种，共 127 尾。夏季鱼卵和仔稚鱼密度湾外高于湾内，厂址以东近岸水域有个别站位（D2）鱼卵高密度相对较大区，仔稚鱼相对分布比较均匀。湾外排水口 D12 站位鱼卵密度为 1.5 粒/m^3，没有捕获到仔稚鱼；湾内排水口 D18 站位没有捕获到鱼卵和仔稚鱼。秋季 15 个水平拖网均未采集到鱼卵，5 个站位采集到仔稚鱼（主要分布在丁字湾外，湾内仅 S23 站出现），共 4 种，15 个垂直网调查站位中均未采集到鱼卵、仔稚鱼。冬季 15 个水平拖网中，均未采集到鱼卵，3 个站位采集到仔鱼 2 种，15 个垂直网调查站位中均未采集到鱼卵、仔稚鱼。

调查海域在夏季共捕获底栖无脊椎动物 18 种，其中贝类 9 种，棘皮动物类 7 种，其他类 2 种。在秋季共捕获底栖无脊椎动物 29 种，其中贝类 12 种，无棘皮动物类和其他类。

经济浮游生物方面对毛虾和水母进行了调查。在夏季的 22 个调查站位中，有 2 个站位（丁字湾湾口南侧海域的 D9 和 D10 站位）出现中国毛虾，其中 D9 站位的毛虾最多，资源密度为 1800 尾/km^2，资源量为 0.29kg/m^2。夏季的 22 个调查站位中有 3 个站位出现水母，种类基本上是砂海蜇，均出现在湾外，其中 D8 站位水母最多，资源密度为 378 尾/km^2，资源量为 84.68kg/m^2。在秋季调查站位中未发现毛虾和水母。

4）养殖状况及捕捞情况

厂址取排水口半径 15km 范围涉及烟台市莱阳市、海阳市及青岛市即墨区。莱阳市、海阳市、即墨区的水产养殖、捕捞情况见表 2.3-12。

莱阳市 2021~2023 年水产养殖面积稳定保持在 1636 公顷，其中海水养殖面积为 1153 公顷，淡水养殖面积为 483 公顷。水产品总产量呈上升趋势，从 2021 年的 21081 吨增长到 2023 年的 22909 吨。其中，海水产品产量在 2021~2023 年有一定波动，海水捕捞产量下降，从 5385 吨降至 4230 吨，海水养殖产量上升，从 14154 吨增至 17141 吨；淡水产品产量变化较小，淡水产品中鱼类捕捞量 72~75 吨波动，养殖量 1463~1473 吨。

海阳市水产养殖面积逐年扩大，从 2021 年的 14572 公顷增长到 2023 年的 16988 公顷，海水养殖面积占比极高且持续增加。水产品总产量持续增长，从 303178 吨增长到 331205 吨。海水产品方面，海水捕捞产量相对稳定，海水养殖产量稳步上升；淡水产品中，淡水养殖产量保持在 900~905 吨。

即墨区的水产养殖面积在 2021~2023 年也有增长，从 13339 公顷增至 14134 公顷。水产品总产量从 291977 吨增长到 309975 吨。海水产品产量中，海水捕捞产量略有波动，海水养殖产量持续上升；淡水产品方面，淡水捕捞产量在 105~131 吨之间波动。

海水淡化厂排水口和液态流出物排水口周边有较多的养殖区，包括开放式养殖、围海养殖以及育苗场等。湾内养殖以围海养殖为主，高位纳潮取水，确权比例约 22%，主要分布在即墨区田横镇（9、10、11、13 等），国营养殖数量占比达 85%，面积占比达 89%。养殖品种以南美白对虾和三疣梭子蟹为主，1 年 1 季，每年 5 月至 11 月养殖，虾亩产约 120 斤，蟹亩产约 170 斤。湾外养殖以浅海底播养殖和筏式养殖为主，确权比例 70%，私营养殖数量占比 80%，面积占比 83%。养殖品种以扇贝、牡蛎为主，均 1 年 1 季，扇贝养殖 12 月到次年 8 月，

亩产约 2200 斤；牡蛎养殖 4 月至次年 1 月，亩产约 2200 斤。

厂址排水管道穿越部分浅海底播养殖区，液态流出物排水口位于浅海底播养殖区内部。

2.3.3.2　水生生态概况

专题单位于 2025 年 8 月、11 月、2026 年 1 月、4 月开展本项目水生生态调查专题工作。

在海水淡化厂排水口和液态流出物排水口所在海域（各自 15km 半径范围，并尽可能兼顾覆盖）按照全面覆盖、近密远疏、重点代表的原则布设了 25 个大面调查站位（含 3 个定点连续站）、3 个潮间带断面和 2 个污损生物挂板调查站。其中海水水质（含水文）25 个站位、海洋生物 15 个站位、潮间带 3 个断面均进行四个季节的调查，沉积物 13 个站位（潮间带沉积物 3 个断面）在秋季进行 1 次调查，污损生物 2 个站进行一年 12 个月次的调查采样。连续站选取大面站调查中位于取、排水口的 3 个站位，进行四个季节的调查。生物调查站位、沉积物调查站位均从水质调查站位中选取。

25 个大面站调查站位中有 24 个为原历史调查站位，仅新增液态流出物排放口处 1 个站位（P1），3 个潮间带中新增 1 个断面（C1）位于液态流出物排水口附近，另外 2 个选取原调查断面。详见图 2.3-2 和表 2.3-13。

（1）水体物理化学性质及水体营养状况

根据《山东省近岸海域环境功能区划（2016~2020 年）》，对水质调查结果进行评价，项目所处海域主要为二类水质要求和三类水质要求功能区，其中三类区内有 11 个站，分别为 S1、S2、S3、S4、S5、S13、A1、A2、A3、A7 和 P1，二类区内有 14 个站。

根据近岸海域环境功能区划的分区评价结果，夏季航次调查海域内水质超标因子为 DIN、DIP、COD、BOD_5 和 DO，二类站中有 6 个站点的 DO 和 BOD_5 超出标准，三类站中 DIN 超标站位 7 个，DIP 超标站位 7 个、DO 超标站位 2 个，COD 超标站位 1 个，BOD_5 超标站位 2 个。秋季航次调查海域内水质超标因子为 DIN、DIP、石油类、Cu 和 Ni，二类站中有 14 个站点的 DIN 和 1 个站点的石油类超出标准，三类站中 DIN 超标站位 11 个，DIP 超标站位 6 个、Cu 和 Ni 各超标 1 个（均为五龙河上游河道内站）。冬季航次调查海域内水质超标因子为 DIN、DIP、石油类和 BOD_5，二类站点中有 14 个站点的 DIN、4 个站点的石油类和 1

个站点的 BOD_5 超出标准，三类站点中，DIN 超标站位 11 个，DIP 超标站位 2 个，BOD_5 超标 5 个。春季航次调查海域内水质超标因子为 DIN、DIP、BOD_5 和 Zn，二类站中无要素超出标准，三类站中 DIN 超标站位 6 个，DIP 超标站位 1 个，BOD_5 超标 1 个，Zn 超标 1 个。

夏季航次调查海域内处于无富营养化到重度富营养化状态，25 个站位中有 12 个站位达到了富营养化程度。重度富营养化区域位于丁字湾内海域，由湾内和近岸区域向离岸区域富营养化程度逐渐降低。秋季航次调查海域处于轻度富营养化到重度富营养化状态，25 个站位全部处于富营养化程度。湾内海域均处于重度富营养化状态。冬季航次调查海域处于无富营养化到重度富营养化状态，25 个站位有 23 个达到了富营养化程度。春季航次调查海域处于无富营养化到重度富营养化状态，20 个站位有 7 个达到了富营养化程度。

本工程受纳水体环境质量现状调查与评价详见第三章。

（2）沉积物

2025 年 11 月，专题单位在工程附近海域进行了沉积物调查，包括海洋沉积物和潮间带沉积物。污染评价对照《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）中的第一类标准限值。

调查区大面站沉积物类型为砂质粉砂、粉砂质砂和粉砂。调查区潮间带 C1、C2 和 C3 断面沉积物类型分别为砂、砂质粉砂和砂。海洋沉积物和潮间带沉积物各要素的含量均未超过第一类标准限值。

（3）微生物、叶绿素和初级生产力

夏季调查海域表层海水的叶绿素 a 含量在 2.02~8.58μg/L 之间，平均值为 4.13μg/L；夏季调查海域表层海水的初级生产力在 28.31~250.08mg·C/m^2·d 之间，平均值为 91.68mg·C/m^2·d。

秋季调查海域表层海水的叶绿素 a 含量在 0.07~1.01μg/L 之间，平均值为 0.43μg/L；秋季调查海域表层海水的初级生产力在 1.90~47.09mg·C/m^2·d 之间，平均值为 16.32mg·C/m^2·d。

冬季调查海域表层海水的叶绿素 a 含量在 0.18~5.64 μg/L 之间，平均值为 1.28 μg/L；冬季调查海域表层海水的初级生产力在 1.40~72.22 mg·C/m^2·d 之间，平均值为 22.29 mg·C/m^2·d。

春季调查海域表层海水的叶绿素 a 含量在 0.24~29.20 μg/L 之间，平均值为

1.70 μg/L；春季调查海域表层海水的初级生产力在 3.72~842.71 mg·C/m^2·d 之间，平均值为 41.63 mg·C/m^2·d。位于五龙河上游的站位 Chla 含量和初级生产力水平较高，显著高于其他海洋站位。

夏季调查海域表层海水的细菌总数在（6.00~32.84）×10^4 个/mL 之间，平均值为 16.41×10^4 个/mL。秋季调查海域表层海水的细菌总数在（4.36~97.33）×10^4 个/mL 之间，平均值为 20.04×10^4 个/mL。冬季航次调查海域表层海水的细菌总数在（1.93~3.65）×10^4 个/mL 之间，平均值为 2.93×10^4 个/mL。春季航次调查海域表层海水的细菌总数在（15.96~96.67）×10^4 个/mL 之间，平均值为 32.67×10^4 个/mL。

夏季调查海域表层海水的大肠菌群数在 50~170 个/L 之间，平均值为 90 个/L。秋季调查海域表层海水的大肠菌群数在 30~110 个/L 之间，平均值为 63 个/L。冬季航次调查海域表层海水的大肠菌群数在 30~120 个/L 之间，平均值为 67 个/L。春季航次调查海域表层海水的大肠菌群数在 20~145 个/L 之间，平均值为 55 个/L。

夏季调查海域表层海水的粪大肠菌群数在 15~125 个/L 之间，平均值为 54 个/L。秋季调查海域表层海水的粪大肠菌群数在 10~60 个/L 之间，平均值为 25 个/L。冬季航次调查海域表层海水的粪大肠菌群数在 0~45 个/L 之间，平均值为 22 个/L。春季航次调查海域表层海水的粪大肠菌群数在 5~80 个/L 之间，平均值为 28 个/L。

（4）水生生物

a）浮游植物

夏季网采和水采浮游植物共出现 106 种，共鉴定网采浮游植物 75 种，大面站水样共鉴定浮游植物 61 种。

夏季网采浮游植物细胞丰度变化范围为 1.11~54.55×10^6cells/m^3，各站平均值为 10.42×10^6cells/m^3，最高值出现在湾外的 S13 站，最低值出现在湾外的 S11 站，分布趋势大致呈现调查区域湾外北部明显高于湾外南部，丁字湾湾内分布相对较为均匀。水采浮游植物细胞丰度分布不均，均值为 51.71×10^6cells/m^3，范围在 23.20×10^6~119.30×10^6cells/m^3 之间，最高值出现在丁字湾外北部的 S17 站，最低值出现在丁字湾中部的 S11 站。分布趋势大致呈现调查区域湾外北部明显高于湾外南部，丁字湾湾内由湾内向湾外递减的趋势。

夏季浮游植物网样优势种共有 6 种，均为硅藻。优势种以中肋骨条藻优势度

最高，水采浮游植物优势种共有 4 种，均为硅藻，优势种以中肋骨条藻优势度最高。

夏季大面站网采浮游植物多样性指数平均为 2.329，均匀度指数平均为 0.504，丰富度指数均值为 1.514，各站位种类数均值为 25.27。大面站水采浮游植物多样性指数平均为 1.786，多样性指数整体分布趋势为湾内及近岸区域多样性较低，湾外及开阔水域多样性较高。空间上大致呈现由湾内向湾外递增、调查区东北部及中部海域多样性较高的分布格局。均匀度指数平均为 0.441，均匀性整体分布趋势同多样性指数相类似，丰富度指数平均为 1.434，整体分布趋势呈由湾内向湾外递增，调查区中部和东南部海域丰富度较高，各站种类数均值为 16.3。

秋季网采和水采浮游植物共出现 93 种，其中网采浮游植物共鉴定 72 种，大面站水样共鉴定浮游植物 65 种。

秋季网采浮游植物细胞丰度变化范围为 0.07×10^6~2.34×10^6cells/m^3，各站平均值为 0.62×10^6cells/m^3，最高值出现在湾口邻近的 S17 站，最低值出现在湾中部的 S2 站，分布趋势大致呈现调查区湾口及其邻近海域高于湾外区域和湾内，丁字湾湾内分布相对均匀。秋季水采浮游植物细胞丰度范围在 6.36×10^6~524.70×10^6cells/m^3 之间，均值为 127.66×10^6cells/m^3，最高值出现在丁字湾外北部的 S14 站，最低值出现在丁字湾内的 S23 站。分布趋势大致呈现调查区域湾外的细胞丰度明显高于湾内，湾外北部和南部高于湾中部，湾内各站位间相差不大。

秋季网采浮游植物优势种有 11 种，均为硅藻，柔弱几内亚藻优势度最高。秋季水采浮游植物优势种有 2 种，均为硅藻，分别为中肋骨条藻和柔弱几内亚藻。

秋季大面站网采浮游植物多样性指数均值为 3.346，均匀度指数均值为 0.728，丰富度指数均值为 1.835。大面站水采浮游植物多样性指数平均为 1.383，多样性指数整体分布趋势为湾内区域多样性较高，湾外及开阔水域多样性较低。空间上大致呈现由湾内向湾外递减的分布格局。均匀度指数平均为 0.352，均匀性整体分布趋势同多样性指数相类似。丰富度指数均值为 1.568，整体分布趋势湾口和湾外东南部海域丰富度较高，其余海域丰富度较低。各站种类数均值为 18.4。

冬季网采和水采浮游植物共出现 95 种，其中网采浮游植物共鉴定 74 种，大面站水样共鉴定浮游植物 54 种。

冬季网采浮游植物细胞丰度变化范围为 0.06×10^6~7.13×10^6cells/m^3，各站

平均值为 3.24×10^6cells/m^3，最高值出现在邻近湾口的 S4 站，最低值出现在丁字湾外北部的 S14 站，分布趋势大致呈现调查区湾内及湾口海域高于湾外区域。冬季水采浮游植物细胞丰度分布不均，范围在 4.50×10^6~973.20×10^6cells/m^3 之间，均值为 277.33×10^6cells/m^3，最高值出现在丁字湾外南部的 S17 站，最低值出现在丁字湾外北部的 S14 站。分布趋势大致呈现调查区域湾外南部高于湾中部和北部，湾口及邻近海域高于湾内。

冬季网采浮游植物优势种有 2 种，均为硅藻，分别为中肋骨条藻和尖刺伪菱形藻。冬季水采浮游植物优势种为中肋骨条藻。

冬季大面站网采浮游植物多样性指数均值为 0.715，均匀度指数均值为 0.165，丰富度指数均值为 1.377。大面站水采浮游植物多样性指数均值为 0.286，多样性指数整体分布趋势为湾外区域多样性较高，湾内多样性较低。空间上大致呈现由湾内向湾外递增的分布格局。均匀度指数均值为 0.096，均匀性整体分布趋势为湾内区域和湾外北部区域均匀度较高，湾口及湾外南部均匀度较低。丰富度指数均值为 0.484，整体分布趋势湾口和湾外东南部海域丰富度较高，其余海域丰富度较低。

春季网采和水采浮游植物共出现 62 种，其中网采浮游植物共鉴定 48 种，大面站水采样品共鉴定浮游植物 36 种。

春季网采浮游植物细胞丰度变化范围为 0.012×10^6~0.347×10^6cells/m^3，各站平均值为 0.168×10^6cells/m^3，最高值出现在湾外的 S12 站，最低值出现在丁字湾内近湾口的 S2 站，分布趋势大致呈现调查区湾外高于湾内区域，湾内呈现近岸高，靠近湾口区域低，湾外呈现中部和南部高于北部。春季水采浮游植物细胞丰度分布不均，范围在 0.90×10^6~14.10×10^6cells/m^3 之间，均值为 4.94×10^6cells/m^3，最高值出现在丁字湾外南部的 S23 站，最低值出现在丁字湾中部的 S2 站。分布呈现明显的斑块状，大致调查区域湾外南部高于湾北部，湾口近岸区域高于湾中部及湾口。

春季网采浮游植物优势种有 4 种，派格棍形藻优势度最高。春季水采浮游植物优势种有 5 种，中肋骨条藻优势度最高。

春季大面站网采浮游植物多样性指数均值为 2.14，均匀度指数均值为 0.58，丰富度指数均值为 0.70。大面站水采浮游植物多样性指数均值为 2.21，多样性指数整体分布趋势为湾外区域多样性较高，湾内多样性较低。均匀度指数均值为

0.58，均匀性整体分布趋势为湾外北部区域均匀度较高，湾内、湾口及湾外南部均匀度较低。丰富度指数均值为 0.68，分布趋势为湾外东南部海域丰富度较高，其余海域丰富度较低。

b）浮游动物

夏季航次调查大面站共鉴定浮游动物合计 28 种，其中浮游动物 17 种，浮游幼体 11 类。磁蟹溞状幼体、太平洋纺锤水蚤、长尾类幼体等 6 种为优势种。

夏季航次大面站浮游动物丰度均值为 78.23ind./m^3，最高值出现在湾外的 S14 站，最低值出现在 P1 站；从水平分布来看，夏季浮游动物丰度并无明显的变化趋势，在丁字湾顶部、湾口附近及湾外均存在丰度高值区，但在湾内和湾外靠近湾口区域丰度相对较低。生物量均值为 705.36mg/m^3。最高值出现在湾内的 A2 站，主要原因是该站含水量高的刺胞动物类生物指突水母大量出现，最低值出现在湾内的 S1 站；生物量水平分布整体呈现从丁字湾顶部向湾口及湾外逐渐降低的趋势。

夏季多样性指数平均为 2.10，均匀度指数平均为 0.73，丰富度指数平均为 1.31，各站种类数均值为 8.27。整体来看，多样性指数在丁字湾内高于湾外，但湾内 A2 和 S1 站指数较低；均匀度指数存在从湾内向湾外逐渐降低的趋势；丰富度指数整体呈现从湾内向湾外逐渐升高的趋势；种类数也呈现从湾内向湾外逐渐升高的趋势，种类数高于 10 的站位均位于湾口和湾外。

秋季调查大面站共鉴定浮游动物合计 25 种，其中浮游动物 22 种，浮游幼体 3 类。火腿伪镖水蚤、太平洋纺锤水蚤、小拟哲水蚤 3 种（类）为优势种。

秋季大面站浮游动物丰度均值为 1782.87ind./m^3，最高值出现在湾顶部的 S22 站，最低值出现在湾外 S6 站；从水平分布来看，秋季浮游动物丰度呈现明显的湾内高于湾外的趋势，在丁字湾顶部、湾口附近存在丰度高值区。生物量均值为 285.40mg/m^3，最高值出现在湾顶部的 S22 站，最低值出现在湾外的 S6 站；生物量水平分布整体呈现从丁字湾顶部向湾口及湾外逐渐降低的趋势。

秋季多样性指数平均为 1.15，均匀度指数平均为 0.43，丰富度指数平均为 0.77，各站种类数均值为 7。整体来看，多样性指数在丁字湾外高于湾内，但湾外 S6 站仅有 1 种类出现，多样性指数为 0；均匀度指数存在从湾外向湾内逐渐降低的趋势；丰富度指数整体来看，同样呈现从湾外向湾内逐渐降低的趋势；种类数在湾外和湾内均存在高值站位，整体呈现斑块状分布。

冬季调查共鉴定浮游动物 25 种（类），另有浮游幼体 6 类，共计 31 种。太平洋真宽水蚤、小拟哲水蚤、中华哲水蚤、亚强次真哲水蚤和毛颚类强壮滨箭虫为优势种。

冬季大面站浮游动物丰度均值为 49.57ind./m^3。最高值出现在湾口附近的 S3 站，最低值出现在湾外 S11 站；从水平分布来看，冬季浮游动物丰度呈现明显的湾内高于湾外的趋势，在湾外则呈现冬近岸向远岸升高的趋势。生物量均值为 169.76mg/m^3。最高值出现在湾顶部的 S23 站，最低值出现在湾外的 S11 站；生物量水平分布整体呈现从丁字湾顶部向湾口及湾外逐渐降低的趋势，湾外呈现南部高于北部的趋势。

冬季多样性指数平均为 2.18，均匀度指数平均为 0.77，丰富度指数平均为 1.32，各站种类数平均为 8 种。整体来看，多样性指数在丁字湾外高于湾内，湾内则是湾顶部高于中部和近湾口海域；均匀度指数分布趋势与多样性指数相同，呈现湾外高于湾内，湾内则是湾顶部高于中部和近湾口海域；丰富度指数整体来看，呈现明显的从湾外向湾内逐渐降低的趋势；种类数也呈现明显的从湾外向湾内逐渐降低的趋势。

春季大面站调查共鉴定浮游动物 16 种（类），另有浮游幼体 7 类，共计 23 种。夜光虫、中华哲水蚤、太平洋真宽水蚤，刺胞动物八斑唇腕水母和毛颚类强壮箭虫为优势种。

春季大面站浮游动物丰度均值为 274.67ind./m^3。最高值出现在湾顶部的 S1 站，最低值出现在湾顶的 S22 站；整体来看，春季浮游动物丰度分布较均匀，最高值出现在湾顶，但在湾中部、湾口、湾外均存在丰度高值区。生物量均值为 127.30mg/m^3。最高值出现在湾顶部的 S1 站，最低值出现在湾顶部的 S22 站；生物量在湾顶部、湾口和湾外均存在高值区，湾中部生物相对较低。

春季多样性指数平均为 1.37，均匀度指数平均为 0.51，丰富度指数平均为 0.76，种类数各站平均为 7 种。整体来看，多样性指数分布呈现斑块状，湾顶部及湾外均存在低值区和高值区；均匀度指数存在从湾内向湾外逐渐降低的趋势；丰富度指数整体来看，同样呈现从湾内向湾外逐渐降低的趋势，但湾顶部的 S22 和 S23 站较低；种类数也呈现出较明显的从湾内向湾外降低的趋势，但湾顶部的 S22 和 S23 站较低。

c）底栖生物

夏季调查共采获底栖生物 54 种，其中节肢动物 18 种，软体动物 14 种，环节动物 12 种，其它类群动物软体动物 9 种，棘皮动物 1 种。优势种/常见种为网纹纹藤壶。夏季调查海域底栖生物平均生物量为 1.44g/m^2，其中节肢动物占 45.90%，环节动物占 29.38%，软体动物占 9.97%，棘皮动物占 10.99%，其它类群动物仅占 3.76%。夏季调查海域底栖生物栖息密度为 29 个/m^2，其中环节动物占 37.93%，节肢动物占 31.03%，软体动物占 17.24%，棘皮动物占 3.45%，其它类群动物占 10.34%。夏季调查海域底栖生物群落多样性指数在 0.64~1.61 之间，丰富度指数在 0.29~1.02，均匀度介于 0.92~1.00 之间，优势度平均为 0.61。

秋季调查共捕获底栖生物 59 种，其中软体动物 20 种，节肢动物 15 种，环节动物和其他类群动物均为 11 种，棘皮动物 2 种。优势种/常见种为小亮樱蛤。秋季调查海域平均生物量为 8.30g/m^2，其中其它类群动物占 36.27%，软体动物占 34.46%，节肢动物占 20.24%，环节动物占 8.92%，棘皮动物仅占 0.12%。秋季航次调查海域底栖生物栖息密度为 32 个/m^2，其中环节动物占 42.42%，软体动物占 36.36%，节肢动物和其他类群动物各占 9.09%，棘皮动物仅占 3.03%。秋季调查海域底栖生物群落多样性指数在 0.64~1.61 之间，丰富度指数在 0.87~2.4，均匀度介于 0.73~100 之间，优势度平均为 0.40。

冬季共捕获底栖生物 60 种，其中软体动物 19 种，节肢动物 17 种，环节动物 13 种，棘皮动物 3 种，其他类群动物 8 种，优势种/常见种为菲律宾蛤仔。冬季调查海域平均生物量为 41.78g/m^2，软体动物占 61.11%，棘皮动物占 28.27%，节肢动物占 0.12%，环节动物占 6.13%，其他类群动物占 4.38%。冬季调查海域底栖生物栖息密度为 35 个/m^2，软体动物占 52.78%，环节动物占 25.00%，节肢动物和其他类群动物各占 8.33%，棘皮动物仅占 5.56%。冬季调查海域底栖生物群落多样性指数在 0.56-1.42 之间，丰富度指数在 0.72-2.16 之间，均匀度介于 0.60-1.00 之间，优势度平均为 0.45。

春季共捕获底栖生物 50 种，节肢动物 17 种，软体动物 12 种，环节动物 11 种，其它类群动物 9 种，棘皮动物 1 种。优势种/常见种为凸壳肌蛤、锥唇吻沙蚕、背蚓虫、绕旋吻沙蚕、宽身大眼蟹。春季调查海域平均生物量为 10.09g/m^2，环节动物占 33.63%，软体动物占 25.20%，节肢动物占 15.58%，棘皮动物占 18.45%，其他类群动物占 7.14%。春季调查海域生物栖息密度平均值为 24 个/m^2，环节动物占 36.00%，软体动物占 36.00%，节肢动物占 20.00%，棘皮动物占 4.00%，其

他类群动物占 4.00%。春季调查海域底栖生物群落多样性指数在 0.64-1.61 之间，丰富度指数在 0.91-2.49 之间，均匀度介于 0.86-1.00 之间，优势度介于 0.20-0.56 之间，优势度平均为 0.37。

d）潮间带生物

夏季调查海域所采集的潮间带生物有 17 种，软体动物 7 种，环节动物 3 种，节肢动物 6 种，腔肠动物 1 种。常见种/优势种为圆球股窗蟹、斑点拟相手蟹、绒螯近方蟹和四角蛤蜊。从生物种类垂直分布来看，以低潮带出现的种类最多。

夏季航次潮间带生物平均生物量为 61.66g/m^2，环节动物 0.45g/m^2，软体动物 48.86g/m^2，节肢动物 11.53g/m^2，其它类群 0.83g/m^2。潮间带生物栖息密度平均为 21 个/m^2，环节动物 2 个/m^2，软体动物 6 个/m^2，节肢动物 12 个/m^2，其他类群 1 个/m^2。

秋季调查海域所采集的潮间带生物有 38 种，软体动物 22 种，节肢动物 72 种，环节动物 5 种，扁形动物 1 种，腔肠动物 2 种，腕足动物 1 种。常见种/优势种为疣荔枝螺、中国绿螂和双齿围沙蚕。从生物种类垂直分布来看，以中潮带出现的种类最多。

秋季潮间带生物平均生物量为 172.62g/m^2，环节动物 3.38g/m^2，软体动物 135.40g/m^2，节肢动物 15.84g/m^2，其它类群 17.99g/m^2。秋季潮间带生物栖息密度平均为 72 个/m^2，环节动物 8 个/m^2，软体动物 45 个/m^2，节肢动物 15 个/m^2，其他类群 4 个/m^2。

冬季调查海域所采集的潮间带生物有 27 种，软体动物 15 种，节肢动物 5 种，环节动物 5 种，腔肠动物 2 种，腕足动物 1 种。常见种/优势种为疣荔枝螺、中间似滨螺、短滨螺和白脊藤壶。从生物种类垂直分布来看，以低潮带出现的种类最多。

冬季潮间带生物平均生物量为 131.80g/m^2，环节动物 3.15g/m^2，软体动物 83.19g/m^2，节肢动物 19.73g/m^2，其它类群 25.73g/m^2。冬季潮间带生物栖息密度平均为 83 个/m^2，环节动物 7 个/m^2，软体动物 58 个/m^2，节肢动物 12 个/m^2，其他类群 6 个/m^2。

春季调查海域所采集的潮间带生物有 37 种，软体动物 16 种，环节动物 7 种，节肢动物 4 种，其他类群动物 10 种。常见种/优势种为四角蛤蜊、绒螯近方蟹、秀丽织纹螺、双齿围沙蚕。从生物种类垂直分布来看，以中潮带出现的种类

最多。

春季潮间带生物平均生物量为 233.98g/m^2，环节动物 5.63g/m^2，软体动物 160.91g/m^2，节肢动物 37.55g/m^2，其他 31.83g/m^2。春季潮间带生物栖息密度平均为 84 个/m^2，环节动物 11 个/m^2，软体动物 51 个/m^2，节肢动物 12 个/m^2，其他 10 个/m^2。

e）赤潮生物

夏季调查海区大面站网采和水采浮游植物共出现赤潮生物 39 种，其中硅藻 32 种，甲藻 7 种。调查海域网采浮游植物共鉴定出赤潮生物 32 种，水采浮游植物共鉴定出赤潮生物 31 种。

秋季调查海区大面站网采和水采浮游植物共出现赤潮生物 30 种，其中硅藻 20 种，甲藻 9 种，金藻 1 种。调查海域网采浮游植物共鉴定出赤潮生物 24 种，水采浮游植物鉴定出赤潮生物 23 种。

冬季调查海区大面站网采和水采浮游植物共出现赤潮生物 38 种，其中硅藻 30 种，甲藻 7 种，金藻 1 种。调查海域网采浮游植物共鉴定出赤潮生物 30 种，水采浮游植物鉴定出赤潮生物 25 种。

春季调查海区大面站网采和水采浮游植物共出现赤潮生物 26 种，其中硅藻 20 种，甲藻 6 种。调查海域网采浮游植物共鉴定出赤潮生物 22 种，水采浮游植物共鉴定出赤潮生物 12 种。

夏季、秋季、冬季和春季调查期间本海域未发现赤潮暴发。

f）污损生物

本次挂板调查自 2025 年 8 月底开始，进行 3 个月度调查，挂板位置位于液态流出物排水口附近的土埠岛附近海域。此外，为了全面掌握项目附近海域的生物污损特点，同时在潮间带开展附着生物调查。

污损生物潮间带取样共鉴定污损生物 6 种，包括软体动物 5 种，节肢动物 1 种，以白脊藤壶和近江牡蛎为优势种类。中潮位附着种类最多，有 6 种，高潮位仅附着 2 种。高潮位密度最高，为 7911 个/m^2，覆盖率达 90%，中潮位生物量最高，为 2550.97g/m^2。

4）陆源污染状况

莱阳市共有 2 个工业源，分别为山东鲁海食品有限公司和烟台永昌食品有限公司，其中烟台永昌食品有限公司日排放量大于 100m^3。直排海工业污染源污水

排放总量为 50.37 吨/年，COD 和氨氮排放总量分别为 22.57 吨/年和 3.69 吨/年。莱阳海水养殖主要分布于羊郡和穴坊 2 个乡镇，海水养殖模式主要为池塘和工厂化大棚，养殖品种主要为南美白对虾和大菱鲆，向外环境排放养殖废水。

5）遗传多样性

参考周边核电项目遗传多样性调查结论，邻近海域渔业生物的群体遗传多样性水平偏低，这可能与其自然资源的破坏及过度捕捞有关。

2.3.3.3　经济鱼类和保护性水生生物生活习性及活动区

1）海洋经济生物“三场一通”

（1）栖息地

根据渔业资源调查结果，矛尾鮕虎鱼为主要鱼类优势物种，占总渔业生物数量的 8.98%，栖息密度变动范围为 0~25 尾/站，平均 6.7 尾/站，栖息密度和生物量的分布都呈现自湾顶到湾外逐步增加的规律。

（2）产卵场

根据《山东近海产卵场索饵场综合评价报告》的研究结果，山东近海多数渔业资源种类的产卵场位于近海浅水区，且产卵时间主要为春季和夏季。根据产卵种类数量、产卵持续时间以及卵的密度可分为主要产卵场和重要产卵场。重要产卵场是指一些具有重要经济价值生物集中产卵的海域，主要表现为鱼卵、仔稚鱼密度分布特别高、种类多，持续时间长，一般分布在河口、浅滩等营养盐、饵料生物特别丰富的海域，如蓝点马鲛、小黄鱼、带鱼、中国对虾、鹰鲳、三疣梭子蟹、鲐、日本鳀、玉筋鱼、口虾蛄和太平洋褶柔鱼等。主要产卵场不仅具有上述重要经济价值生物产卵的种类，而且一些次要经济价值生物种类集中产卵的海域，如斑鰶、日本鳀、黑鳃梅童鱼、虾虎鱼、黄鲫、短吻红舌鳎和黄鲕鳙等。图 2.3-3 和图 2.3-4 为山东近海主要产卵场和重要产卵场分布图，本工程所在厂址排水口与山东近海主要产卵场和重要产卵场的距离大于 10km。

（3）索饵场

整个山东近海海域周年都有渔业资源索饵育肥，不同时期、不同区域索饵育肥的种类、密度存在着明显的时空分布上的差异。

短距离洄游种类在产卵后即在产卵场周边分散索饵，其产卵场也是该种类刚发生幼鱼的索饵场，索饵期直到越冬洄游。

长距离洄游种类的索饵场，春、夏季在近岸浅水区，秋、冬季在深水区。由图 2.3-5 可见，厂址外海海域有其索饵场分布，距厂址排水口超过 10km。

（4）越冬场和洄游通道

黄渤海多种经济鱼类的越冬场位于黄海中、南部，水温 9~11℃，水深在 60~100m 以上的深水域。

洄游通道是洄游性经济游泳动物的亲体主群，集群由越冬场游向产卵场生殖的必经水域，洄游通道水域一般位于沿岸浅水区。评价区海域主要游泳动物洄游路线为：5~7 月，当年生的稚鱼和幼鱼近岸产卵场索饵育肥，8 月陆续向产卵场周边深水区迁移索饵，10 月，随着气温继续下降，陆续离开索饵场，12~1 月进入黄海深水区水深 80 米左右的黄海洼地偏高温和高盐海域的越冬场。

山东近海底层鱼类的越冬场位于北纬 32°~36°，东经 122°~125°，黄海中、南部深水区。越冬场和洄游通道距厂址排水口超过 50km（图 2.3-6）。

山东近海中上层鱼类依其洄游距离的长短，可划分为沿岸型、近海型和外海型三大类。

沿岸型鱼类仅在其生活的海域从浅水到深水之间进行往返移动，越冬场位于黄海较深水域，距厂址排水口约 10km。

近海型鱼类终生栖息于黄渤海和东海北部海区，越冬场在黄海中南部至东海北纬 33°~36°，东经 123°~126°，水深 60~100m 范围内。越冬场距厂址排水口较远，厂址排水口外海有其洄游通道，距厂区排水口超过 10km（图 2.3-7）。

外海型底层鱼类整个生命阶段大部分时期栖息于沿岸水与外海水交汇区，它们的主要越冬场：一是在黄海南部外海至五岛外海的对马渔场，二是在东海中南部外海和钓鱼岛以北海域。越冬场距厂址排水口至少 150km 以上，厂址排水口外海有其洄游通道分布，距离超过 10km（图 2.3-8）。

2）水产种质资源保护区

厂址 2 个排水口半径 15km 范围内无水产种质资源保护区。

3）海洋保护区

根据《莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区总体规划（2022-2030 年）》，厂址附近主要有莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区，保护区面积 1219 公顷，保护目标为五龙河口湿地的保护与修复、常年流水河口生态系统和生物资源多样性的保护。见 2.3.1.3 节描述。

2.3.3.4　与选址阶段对比

本阶段 2025 年渔业资源和水生生态调查结果与选址阶段相比，本阶段调查由分批进行的湾内、湾外两次调查，改为一批次同时完成湾内、湾外的调查，方便直观对比渔业资源及水生生态的湾内外空间分布。

水产资源方面，本阶段秋、冬季捕获的鱼类平均资源量较 2022 年秋、冬季湾外调查和 2023 年秋、冬季湾内调查有所增加。

水生生态方面，依据《山东省近岸海域环境功能区划（2016~2020 年）》，调查海域水质评价结果无明显变化，秋季超标站位多于夏季，湾内海域富营养化程度高于湾外海域；本阶段调查海域表层海水的夏、秋季叶绿素 a 含量的变化范围上限和平均值较选址阶段均偏低；本阶段浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物的捕获种类数较选址阶段略有差异，由于选址阶段调查分为湾外海域、湾内海域两次调查，且分别在 2022 年和 2023 年完成，调查物种种类数的差异总体处于正常的波动范围，优势种与选址阶段部分优势种相同。

2.3.4　工业、交通及其它相关设施

2.3.4.1　工业

1）工业企业现状

莱阳市形成了门类比较齐全的区域性工业体系，主要有机电、食品、饮料酒、建材、造纸、纺织服装、电力、轻工、制药、精细化工等二十多个行业。其中，工业总产值排在较前的是食品、机电、轻工、纺织服装，其主导地位明显。另莱阳市有位于龙旺庄镇的食品加工工业园和位于冯格庄镇的经济开发区，均位于莱阳市区附近，距厂址超过 20km。

莱阳市 2024 年全年工业增加值 184.51 亿元，增长 7.3%。其中，规模以上工业企业（年主营业务收入 2000 万元及以上的工业法人企业）275 个，增加值增长 8.5%；工业总产值 384.14 亿元，增长 2.8%；营业收入 379.18 亿元，下降 2.5%；利润总额 14.02 亿元，增长 0.2%。

厂址 15km 半径范围内规模以上企业 98 家。距离厂址最近的规上企业为莱阳市花园食品有限公司，主营农副食品加工业，位于厂址 E 方位约 3km 处。

2）工业发展规划

厂址位于烟台市莱阳市团旺镇。

根据《莱阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，莱阳市将构建“两屏一廊、通山达海；两带三区、双核驱动”的总体格局。“两屏”是指北部山体屏障和南部滨海生态屏障。“一廊”指依托五龙河及其上游蚬河、白龙河、清水河、墨水河、富水河等共同形成的生态廊道，由北部山体贯通至南部滨海区域。“两带”是指双莱城镇发展带和滨海城镇发展带，双莱城镇发展带是烟青城镇发展轴的重要组成部分，连接双莱两市中心城区。“三区”是指主城区-城乡融合示范区、丁字湾-滨海生态活力示范区和乡村振兴与现代农业示范区。双核是指莱阳市中心城区发展核和滨海新区发展核。厂址位于“三区”中的乡村振兴与现代农业示范区。

未来莱阳市紧抓新经济时代的“窗口期”，立足制造业基础优势，以提升自主创新能力为核心，围绕产业链部署创新链与服务链，推动“三链融合”，强化企业创新主体地位，健全科技创新管理体系，加速构建开放协同、集约高效、富有活力的创新创业生态。莱阳市规划建设市场化创新载体、贯通科技创新服务链条、搭建多类型公共服务平台、实施龙头企业提质工程、实施科技企业跃升工程、实施小微企业壮大工程。

根据《团旺镇国土空间总体规划（2021-2035 年）》，团旺镇将构建“一心一带、两轴四区”的总体格局；一心：即综合服务中心，引导城镇未来发展；一带：即团旺镇东侧五龙河生态景观带，打造镇域的绿色生态景观带；两轴：即蓬黄线南北区域发展轴和大郭线东西发展轴；四区：即北部林果种植片区、中部城镇融合片区、西部特色种植片区、南部农业发展片区。厂址区域位于团旺镇南部农业发展片区。

厂址半径 15km 内还涉及烟台市莱阳市的大夼镇、高格庄镇、姜疃镇、吕格庄镇、穴坊镇、羊郡镇、照旺庄镇，涉及青岛市莱西市的姜山镇、望城街道，涉及青岛市即墨区的金口镇。

大夼镇在工业方面，实现税收 390 万元，完成率 141.82%。有骨干企业 3 家，规模以上工业企业 2 家。大夼镇通过深化农业产业结构调整，引导规模化、标准化种植，推进农村一、二、三产业融合发展，发展现代农业，多渠道实现农民致富、集体增收。

高格庄镇聚焦农村集体增收致富、全面梳理村庄房屋、土地等农村闲置资源、按照“以小促用，盘活资产”总思路，坚持“一村一策”，以个体承包、合作入股方式，发展果蔬加工、生猪养殖、中草药初加工等小微型产业 12 个。

姜疃镇围绕主导产业和特色农业产业，谋划项目 16 个，投资 5000 万元的姜疃镇乡村振兴赋能中心项目、投资 5000 万元的花生油绿色储存质保项目、投资 4000 万的山水田园漂流文旅项目和投资 600 万元的包装车间新增吹瓶设备技术改造项目等 6 个项目入库。

吕格庄镇镇域内形成以有色金属、建材、饲料、矿泉水、石材为主的五大产业支柱。有规模以上企业 9 家，其余中小企业 30 余家；聚焦“龙樱文旅”示范片建设，持续强化樱桃特色产业链建设，全面打造樱桃产业发展综合体。依托樱桃产业引领，构建“一村一产业、一村一品牌”产业发展格局，带动食用玫瑰、楸树、金银花、蔬菜大棚等产业加快发展，逐步形成一个重心、多点发力的特色农业产业格局。

羊郡镇依托北部山区丰富林地资源，拥有食用菌种植基地，多样发展木耳、菇、灰树花松茸等食用菌产品，形成“南渔、北果、西菜，林业遍地开花”农业产业结构大格局。全镇有山东永益集团、鲁海农业集团和鲁花包装工业有限公司 3 家骨干企业，以食品加工、注塑等为主，发展“总部经济”，拉动税收实现高幅增长。

照旺庄镇全镇主要种植秋月梨、黄金梨、新高梨等品种，总产量 6.9 万吨。莱阳梨被纳入山东农产品知名品牌目录，被认定为绿色食品 A 级产品，取得 16 个三品一标，获“国家地理标志保护产品”“全国一村一品标志”。

姜山镇紧扣“突破姜山”发展主线，立足资源禀赋、区位条件、产业基础等优势，重点从工业发展、城镇建设、农业农村、共富共享等方面加压发力，聚力在增强综合实力上谋突破，综合实力成功跻身全国千强镇前 200 名。姜山镇作为青岛市十大工业功能区之一，紧扣“2+2+1”创新性产业体系布局，以国道 G204 为发展动力轴，推动智能网联新能源汽车、生命健康两大产业两翼展开，让产业与规划匹配、项目与发展相融。

金口镇抓好重点项目，推动经济提质向新。主动谋划园区建设，实施集工业园基础设施提升和金口特色农业配套设施建设，以高品质园区承接优质项目、汇

聚资源要素。精准靶向招商引资，依托金口智能制造等三大核心产业园区，瞄准高端装备、新材料等产业方向，深入开展招商。

2.3.4.2　交通

1）陆上交通

（1）现状

莱阳市境内公路现有 G15 沈海高速、G1813 威青高速、G204 烟沪线（烟台-上海）、G308 文石线（文登-石家庄）、G517 长莱线（长岛-莱西）、S19 龙青高速、S16 荣潍高速、S202 威青线（威海-青岛）、S209 蓬黄线（蓬莱-黄岛）、S307 小莱线（小纪-莱州）、S310 躬崔路。

2023 年，莱阳站普速有正线 2 条，到发线 4 条，货物线 5 条。莱阳站分为普速场和高铁场（普速场办理普速货物列车和普速旅客列车业务，每日接发列车 86 列；高铁场只办理高铁旅客列车业务，每日接发列车 186 列）。

厂址半径 15km 范围，有高速公路 S19 龙青高速、G1813 威青高速；国道 G204 烟沪线（烟台-上海）、省道 S310 躬崔路、S202 威青线（威海-青岛）、S209 蓬黄线（蓬莱-黄岛）；县道 X081、X072、X080、X082 及其他乡村道路，距离厂址最近的为S209蓬黄线，位于厂址SW方位1.4km处。道路具体信息见表2.3-14，道路分布情况见图 2.3-9。

厂址半径 5km 范围，有省道 S209、县道 X081、乡道 Y025、Y017、Y024、Y034、Y009，距离厂址最近的乡道为 Y025，位于厂址 S 方位 1.1km 处。道路具体信息见表 2.3-15，分布情况见图 2.3-10。

目前，从厂址可以沿着 Y025 乡道汇入蓬黄线，从而通向各地。核电厂规划建设第一进厂道路和第二进厂道路，具体见第四章。第一进厂道路自厂址西侧省道 S209 引接。第二进厂道路（应急道路）自厂址南侧乡道 Y025 引接，同时利用厂址南侧乡道 Y025 向西衔接至省道 S209，向东衔接莱阳南站规划一路。

厂址半径 15km 范围内有莱荣高铁，最近处位于厂址 NNE 方位 3km 处。莱荣高铁是山东省境内一条连接青岛莱西市与威海荣成市的高速铁路。莱荣高铁仅承担旅客运输，不办理货运。距离厂址最近的高铁站为莱阳南站，位于厂址 E 方位约 5.7km 处。

（2）规划

根据《莱阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，莱阳市规划构建“枢纽引领，内畅外联”的莱阳市城乡交通发展格局，形成以铁路为核心、公路为主体、通用航空为补充的一体化、多元化交通体系。积极融入威海—烟台—潍坊—济南通道、龙口—青岛通道，进一步稳固莱阳市胶东半岛中部枢纽地位。完善绿色交通主导、服务便捷高效的现代综合交通运输体系。

莱阳市规划构建“两横三纵”的高速公路网络，其中“两横”为荣潍高速公路、威青高速公路，“三纵”为沈海高速公路—龙青高速公路、烟青高速公路、蓬海高速公路，规划构建“七横五纵”的干线公路系统。

莱阳市规划构建“一横两纵”铁路线网，完善东西向城际客运走廊，加强南北向海陆联系，预留国家东部沿海通道。“一横”即蓝烟铁路、青荣城际构成的铁路通道。“两纵”即莱荣高铁和市域铁路延长线。

距离厂址最近的规划公路为吉高路，位于厂址 S 方位约 1.1km 处，厂址半径 15km 范围内规划建设莱阳至青岛铁路（市域铁路延长线），位于厂址 E 方位约 5.3km 处。厂址半径 15km 范围内的陆上交通规划暂无详细实施计划。

2）水上交通

厂址取排水口半径 15km 范围内有 6 个渔港，无货运码头。

厂址液态流出物排水口半径 15km 范围，有进出海阳港的水上航线，位于液态流出物排水口 E 方位约 9.1km 处，位于海水淡化厂排水口 ESE 方位约 21.9km 处，位于取水口 ESE 方位约 23.9km 处。

厂址取排水口半径 15km 范围内暂无码头、水上航线相关规划。

3）机场及航空线

距离厂址最近的民用机场是青岛胶东国际机场，位于厂址 SW 方位约 67km 处。根据《关于山东莱阳核能项目厂址有关信息的复函》（民航华东函〔2021〕37 号），厂址距离附近最近的航线为 W172，与航线最近水平距离约 8.1km；距离附近最近的民用机场胶东机场的离场航线最近水平距离约 22.9km。

2.3.4.3　危险品设施

1）固定危险源

（1）加油站

厂址半径 15km 范围内的固定危险源主要为公路沿线小型民用加油站、液化气站，没有大型油库、炸药库等。

厂址 1 号机组 15km 范围涉及加油站 25 家。距离最近的为莱阳市中顺加油站，单罐最大贮存量柴油 30m^3，汽油 30m^3，位于厂址 WSW 方位约 1.5km 处。单罐贮存量最大的是位于厂址 ESE 方位 11.3km 的莱阳市通利石油有限公司，单罐最大贮存量 50m^3 汽油、50m^3 柴油。

采用《核动力厂厂址评价中的外部人为事件》（HAD101/04-2025）附录Ⅱ中对于 7kPa 压力值（正的入射峰值压力）的建议关系式计算。保守按距离厂址最近的莱阳市中顺加油站汽油最大单罐贮存量 30m^3 进行计算，计算结果表明，其发生爆炸造成 0.07bar 正入射峰压力的距离约 460.3m，远小于厂址与该加油站的距离。保守按柴油最大单罐贮存量 30m^3 进行计算，计算结果表明，其发生爆炸造成 0.07bar 正入射峰压力的距离约 452.1m，远小于厂址与该加油站的距离。

保守按单罐贮存量最大的莱阳市通利石油有限公司汽油最大单罐贮存量 50m^3 进行计算，计算结果表明，其发生爆炸造成 0.07bar 正入射峰压力的距离约 545.8m，远小于厂址与该加油站的距离。保守按柴油最大单罐贮存量 50m^3 进行计算，计算结果表明，其发生爆炸造成 0.07bar 正入射峰压力的距离约 556.9m，远小于厂址与该加油站的距离。

（2）液化气站

厂址半径 15km 范围涉及液化气站 10 家。距离最近的为位于厂址 WNW 方位 3.9km 处的莱阳市安源燃气能源有限公司福鑫液化气站，单罐最大贮存量 30m^3。单罐贮存量最大的为位于厂址 SW 方位 11.4km 处的莱西市红波液化气总公司 LPG 加气站，单罐最大贮存量 200m^3。

采用《核动力厂厂址评价中的外部人为事件》（HAD101/04-2025）附录Ⅱ中对于 7kPa 压力值（正的入射峰值压力）的建议关系式计算。保守按距离最近的莱阳市安源燃气能源有限公司福鑫液化气站最大单罐贮存量 30m^3 进行计算，计算结果表明，其发生爆炸造成 0.07bar 正入射峰压力的距离约 432.9m，远小于厂址与该液化气站的距离。保守按单罐贮存量最大的莱西市红波液化气总公司 LPG 加气站最大单罐贮存量 200m^3 进行计算，计算结果表明，其发生爆炸造成 0.07bar 正入射峰压力的距离约 815.0m，远小于厂址与该液化气站的距离。

按核安全导则 101/04 附录III中对于液化气罐破裂后，单一喷放浓度高于点燃极限值距离的计算公式，距离最近的莱阳市安源燃气能源有限公司福鑫液化气站气罐泄漏的最小允许安全距离为 206.6m，远小于厂址与该液化气站的距离。

单罐贮存量最大的莱西市红波液化气总公司 LPG 加气站气罐泄漏的最小允许安全距离为 485.3m，远小于厂址与该液化气站的距离。

厂址 E 方位约 2.8km 处规划建设一处厂外燃气锅炉场站，规划新建中压燃气管道接入高格庄镇至团旺镇光山村的市政中压天然气管线，管径 DN200，设计压力 0.4MPa，管线评价见后文 3）天然气管线。锅炉房采用 LNG 供气站+燃气管道供气方案，并备有 LNG 储罐在燃气管道供气不满足要求时投入使用。储罐为 50m^3 卧式储罐，设计压力 0.4~0.8MPa。保守按 50m^3、设计压力 0.8Mpa 进行计算，采用《核动力厂厂址评价中的外部人为事件》（HAD101/04-2025）附录Ⅱ中对于 7kPa 压力值（正的入射峰值压力）的建议关系式计算，其发生爆炸造成 0.07bar 正入射峰压力的距离约 110.6m，远小于厂址与该气罐的距离。按核安全导则 101/04 附录III中对于液化气罐破裂后，单一喷放浓度高于点燃极限值距离的计算公式，气罐泄漏的最小允许安全距离为 44.23m，远小于厂址与该气罐的距离。

因此，厂址附近的固定危险源不会对本项目的安全运行构成潜在危险。

2）移动危险源

厂址半径 15km 范围内无危险化学品生产企业，主要运输危险品为汽油、柴油、液化天然气。

距离厂址最近的运输道路为 S209，最近处位于厂址 SW 方位约 1.4km 处。经各道路运输的汽油、柴油单次最大运输量均为 32.2t，液化天然气单次最大运输量均为 24t。

采用《核动力厂厂址评价中的外部人为事件》（HAD101/04-2025）附录Ⅱ中对于 7kPa 压力值（正的入射峰值压力）的建议关系式计算。保守按汽油单次最大运输量 32.2t 进行计算，计算结果表明，其发生爆炸造成 0.07bar 正入射峰压力的距离约 521.1m，远小于厂址与各运输道路的距离。保守按柴油单次最大运输量 32.2t 进行计算，计算结果表明，其发生爆炸造成 0.07bar 正入射峰压力的距离约 511.7m，远小于厂址与各运输道路的距离。

采用《核动力厂厂址评价中的外部人为事件》（HAD101/04-2025）附录Ⅱ中对于 7kPa 压力值（正的入射峰值压力）的建议关系式计算。保守按液化天然气单次最大运输量 24t 进行计算，计算结果表明，其发生爆炸造成 0.07bar 正入射峰压力的距离约 486.0m，远小于厂址与各运输道路的距离。

按核安全导则 101/04 附录III中对于液化气罐破裂后，单一喷放浓度高于点燃极限值距离的计算公式，气罐泄漏的最小允许安全距离为 326.2m，远小于厂址与各运输道路的距离。

厂址半径 15km 范围内的铁路不涉及危险品运输。

厂址半径 15km 范围内不涉及海上危险品运输情况。

因此，厂址附近的移动危险源不会对本项目的安全运行构成潜在危险。

3）天然气管线

（1）管线

厂址半径 15km 范围涉及长输管线泰青威输气管道，最近处位于 WNW 方位，12.6km 处，泰青威管道 2015 年建成运营，管径 DN1016，设计压力 10MPa，目前运行压力 5MPa。该管线不在核安全导则《核动力厂厂址评价中的外部人为事件》（HAD101/04-2025）推荐的 10km 筛选距离内。

厂址半径 15km 范围内涉及高压次高压管线，最近管段位于厂址 E 方位 7.2km 处，管径为 DN300，管压 2.5MPa，厂址周边最近管段的阀门间距为 2.1km。

厂址半径 10km 范围内涉及规划的高压次高压管线 1 条，最近管段位于厂址 SW 方位约 1.4km 处，管径为 DN300，管压 2.5MPa。按照管压 2.5MPa，管径 DN300 估算气体泄漏速率。参考核安全导则《核动力厂厂址评价中的外部人为事件》（HAD101/04-2025）附录III中对于易燃气体连续释放，计算能达到点燃浓度限值的距离 X 为 789.7m，小于各高压次高压管线到厂址的最近距离。对于易燃气体单一喷放，按照阀门间距 2.1km 内天然气全部释放考虑，计算能达到点燃浓度限值的距离 X 为 341.73m，小于各高压次高压管线到厂址的最近距离。假设高压次高压管线两个阀门之间所有天然气爆炸，其发生爆炸造成 0.07bar 正入射峰压力的距离约 232.51m，小于各高压次高压管线至厂址的最近距离。

厂址半径 15km 范围内涉及现状中压管道属高格庄镇管道，最近管段位于厂址 E 方位约 3.5km 处，管径为 DN200，管压 0.4MPa，厂址周边最近管段的阀门间距为 3.15km。

厂址半径 10km 范围内涉及远期规划中压管道，最近管段位于厂址 S 方位约 0.9km 处，管径为 De200，管压 0.4MPa。

厂址 E 方位约 2.8km 处规划建设一处厂外燃气锅炉场站，规划新建中压燃气管道接入高格庄镇至团旺镇光山村的市政中压天然气管线，管径 DN200，设计压力 0.4MPa。

按照管压 0.4MPa，管径 DN200 估算气体泄漏速率。参考核安全导则《核动力厂厂址评价中的外部人为事件》（HAD101/04-2025）附录Ⅲ中对于易燃气体连续释放，计算能达到点燃浓度限值的距离 X 为 95.3m，小于各中压管线到厂址的最近距离。对于易燃气体单一喷放，按照阀门间距 3.15km 内天然气全部释放考虑，计算能达到点燃浓度限值的距离 X 为 124.82m，小于各中压管线到厂址的最近距离。假设中压管线两个阀门之间所有天然气爆炸，其发生爆炸造成 0.07bar 正入射峰压力的距离约 110.27m，小于各中压管线至厂址的最近距离。

（2）场站

厂址半径 15km 范围内无现状 LNG 储配站，近期规划建设穴坊 LNG 储配站，位于厂址 SE 方位 8.7km 处，储存规模规划为 200m^3。保守按储罐总容积 200m^3 液化天然气发生爆炸进行计算，其爆炸的最小允许安全距离约 766m，小于该储配站到厂址的距离；按核安全导则 101/04 附录III中对于液化气罐破裂后，单一喷放浓度高于点燃极限值距离的计算公式，气罐泄漏的最小允许安全距离为 603m，小于该储配站到厂址的距离。

经计算，上述各现状及规划管线、场站不会影响本工程的建设和安全运行。

表 2.3-1 莱阳市土地利用情况（2024 年）

序号	地类名称	面积（公顷）	比例
1	采矿用地	1162.70	0.67%
2	茶园	19.21	0.01%
3	城镇村道路用地	1047.41	0.61%
4	城镇住宅用地	1228.20	0.71%
5	高教用地	46.57	0.03%
6	工业用地	2901.87	1.68%
7	公路用地	2241.52	1.30%
8	公用设施用地	134.74	0.08%
9	公园与绿地	133.18	0.08%
10	沟渠	1175.66	0.68%
11	管道运输用地	0.31	0.00%
12	灌木林地	220.64	0.13%
13	广场用地	21.85	0.01%
14	果园	27067.54	15.64%
15	旱地	71737.10	41.46%
16	河流水面	3348.57	1.94%
17	机场用地	0.25	0.00%
18	机关团体新闻出版用地	206.55	0.12%
19	交通服务场站用地	115.78	0.07%
20	科教文卫用地	446.73	0.26%
21	坑塘水面	4138.91	2.39%
22	空闲地	0.09	0.00%
23	裸土地	121.06	0.07%
24	裸岩石砾地	70.30	0.04%
25	内陆滩涂	107.51	0.06%
26	农村道路	2214.57	1.28%
27	农村宅基地	9592.72	5.54%
28	其他草地	3454.74	2.00%
29	其他林地	2767.93	1.60%
30	其他园地	121.57	0.07%
31	乔木林地	8997.24	5.20%
32	商业服务业设施用地	766.84	0.44%
33	设施农用地	2144.87	1.24%
34	水工建筑用地	105.10	0.06%
35	水浇地	20869.92	12.06%
36	水库水面	1615.19	0.93%
37	水田	0.97	0.00%
38	特殊用地	1036.55	0.60%

序号	地类名称	面积（公顷）	比例
39	铁路用地	504.32	0.29%
40	物流仓储用地	355.20	0.21%
41	沿海滩涂	477.46	0.28%
42	盐田	5.33	0.00%
43	养殖坑塘	301.58	0.17%
44	竹林地	0.64	0.00%
45	总计	173027.00	100.00%

表 2.3-2 厂址半径 10km 范围土地利用情况（莱阳市区域 2024 年）

序号	一级地类编码	一级地类名称	二级地类编码	二级地类名称	面积（公顷）	合计（公顷）	比例
1	00	湿地	1106	内陆滩涂	7.37	7.37	0.0254%
2	01	耕地	0101	水田	0.71	20432.13	70.3116%
			0102	水浇地	5842.25		
			0103	旱地	14589.17		
3	02	种植园用地	0201	果园	1512.77	1522.20	5.2382%
			0204	其他园地	9.44		
4	03	林地	0301	乔木林地	849.33	1348.73	4.6413%
			0302	竹林地	0.16		
			0305	灌木林地	13.92		
			0307	其他林地	485.33		
5	04	草地	0404	其他草地	424.56	424.56	1.46%
6	05	商业服务用地	0508	物流仓储用地	34.71	122.79	0.4225%
			05H1	商业服务业设施用地	88.08		
7	06	工矿用地	0601	工业用地	259.68	397.38	1.3675%
			0602	采矿用地	137.70		
8	07	住宅用地	0701	城镇住宅用地	17.82	1779.88	6.1250%
			0702	农村宅基地	1762.06		
9	08	公共管理与公共服务用地	0809	公用设施用地	14.09	107.66	0.3705%
			0810	公园与绿地	0.66		
			0810A	广场用地	3.06		
			08H1	机关团体新闻出版用地	27.73		
			08H2	科教文卫用地	62.12		
10	09	特殊用地				58.93	0.2028%
11	10	交通运输用地	1001	铁路用地	66.22	879.40	3.0262%
			1003	公路用地	256.04		
			1004	城镇村道路用地	142.90		
			1005	交通服务场站用地	5.13		
			1006	农村道路	409.12		
12	11	水域及水利设施用地	1101	河流水面	708.30	1562.19	5.3758%
			1103	水库水面	140.63		
			1104	坑塘水面	404.23		

序号	一级地类编码	一级地类名称	二级地类编码	二级地类名称	面积（公顷）	合计（公顷）	比例
			1104A	养殖坑塘	21.74		
			1107	沟渠	265.11		
			1109	水工建筑用地	22.19		
13	12	其他土地	1201	空闲地	0.09	416.18	1.432 2%
			1202	设施农用地	402.59		
			1206	裸土地	4.08		
			1207	裸岩石砾地	9.42		
合计						29059.41	100%

表 2.3-3（a） 厂址半径 10km 范围内各乡镇农业生产情况

所在乡镇	粮食作物			油料作物			蔬菜			水果		
	单位：公顷、吨、公斤											
	播种面积	总产量	单产	播种面积	总产量	单产	播种面积	总产量	单产	播种面积	总产量	单产
团旺镇	13307.2	99604	7485	1693.3	13688.21	8083.65	514.7	22263.29	43257.75	244.9	10940.58	44667.6
穴坊镇	4584.1	31392.92	6848.1	1422.0	8789.63	6181.2	736.2	55185.36	74959.8	199.0	9337	46917.75
羊郡镇	2374.7	16438.52	6922.5	791.1	4040.98	5108.25	1415.6	105330.96	74407.35	119.1	6566	55148.1
姜疃镇	3246.6	21076.5	6491.85	1344.7	5646.585	4199.1	675.7	31050.25	45955.05	604.6	27269	45102.3
高格庄镇	3626.7	22700	6259.2	972.7	2054.95	2112.75	403.4	19756.53	48975	357.8	10780	30127.35
姜山镇	/	/	/	1199	7887	6577.95	1084	71601	66052.65	296	11760	39729.75

注：“/”表示相关政府未提供该项公开数据。

表 2.3-3（b） 厂址半径 10km 范围所在乡镇农副业产品生长期及销售情况

品种		平均生长期（d）	贮存期	销售
粮食作物	小麦	260	1-3 年	大部分自产自销，少量国内销售
	玉米	110～135	1-2 年	
	地瓜	140～180	4 个月-1 年	
	花生	120～150	半年-1 年	
	大豆	110～120	1-3 年	
蔬菜	大白菜	90	60 天	大部分销往北京、天津、大连、沈阳、青岛、烟台、威海等地。 少量用于蔬菜加工出口。
	冬菠菜	120～150	30-40 天	
	春蔬菜	70	30-40 天	
	韭菜	200	30-40 天	
	芹菜	50	30-40 天	
	黄瓜	90	30-40 天	
	白萝卜	70~90	3 个月	
	马铃薯	90	6 个月	
水果	苹果	90～170	30-40 天	大部分销往外地，销往江苏、上海、安徽、浙江、湖北等地。 少量加工。
	梨	120～150	30-40 天	
	桃	70～250	30 天	
	草莓	50~80	10-30 天	
	葡萄		10-30 天	

表 2.3-4（a） 厂址半径 10km 范围涉及乡镇家畜生产情况

所在市/县	所在乡镇	猪			牛			羊			奶牛	
		存栏	出栏	产肉量	存栏	出栏	产肉量	存栏	出栏	产肉量	存栏数	牛奶产量
单位：头、只、吨												
莱阳市	团旺镇	64213	57664	5766	450	1300	90	3000	7300	46	3540	15930
	穴坊镇	37029	20190	2019	810	2200	162	980	2200	15	1160	5220
	羊郡镇	27920	18685	1868	190	450	38	750	1700	11	/	/
	姜疃镇	63385	43101	4310	390	900	78	1000	2500	15	480	2160
	高格庄镇	18377	12490	1249	430	1300	86	740	1600	11	/	/
莱西市*	姜山镇	339000	618300	50600	73300	26900	5900	28400	55600	900	58500	218900

注：“*”莱西市无分乡镇畜牧生产统计结果，姜山镇提供的市级数据；“/”表示未获取到该项数据

表 2.3-4（b） 厂址半径 10km 范围涉及乡镇家畜生长期及销售情况

品种		平均生长期（d）	贮存期	销售
家畜	生猪	160－180	冷藏：2-3 天； 冷冻：3-6 个月	评价区内、山东省内、周边临省：河北、江苏、北京、上海等地。
	肥猪	180－210		
	牛	480~540	冷藏：2-3 天； 冷冻：3-6 个月	评价区内
	羊	180~240	冷藏：2-3 天； 冷冻：3-6 个月	评价区内
奶牛	/	1800	24-48 小时	大部分销往外地，销往江苏、上海、安徽、浙江、湖北等地。少量加工。

表 2.3-5（a） 厂址半径 10km 范围涉及乡镇家禽生产情况

所在市/县	所在乡镇	家禽			
		存栏	出栏	产肉量	产蛋量
单位：只、吨					
莱阳市	团旺镇	6000000	1000000	12000	12470
	穴坊镇	9000000	1500000	18000	3100
	羊郡镇	2772232	460000	5544	200
	姜疃镇	8500000	1400000	17000	900
	高格庄镇	4893277	800000	9786	1500
莱西市*	姜山镇	16369500	89171500	130300	69000

注：“*”莱西市无分乡镇家禽生产统计结果，姜疃镇提供的市级数据。

表 2.3-5（b） 厂址半径 10km 范围涉及乡镇家禽生长期及销售情况

品种		平均生长期（d）	贮存期	销售
家禽	肉鸡	42	冷藏：整鸡 1-2 天，分割部位 2-3 天 冷冻：整鸡 6-12 个月，分割肉 3-6 个月	大多数销往平度、荣成屠宰场
	蛋鸡	500	常温：7-10 天	评价区内

表 2.3-6　植物样线布设情况

样线编号	方位	距离（km）	生境类型描述
样线 1	WNW~N	厂址区域	厂址区域西侧-北侧植被
样线 2	SE	厂址区域	厂址周围、取排水管线区域植被
样线 3	NE~ENE	2.0	农田、居民区周围植被
样线 4	SSE	3.2	河流、取排水管线区域植被
样线 5	S	4.9	居民区周围植被
样线 6	WNW	4.5	农田、居民区周围植被
样线 7	NNE	5.0	河流、居民区周围植被
样线 8	SE	7.0	河流、取排水管线区域植被
样线 9	WSW~W	8.0	方里水库周围植被
样线 10	NNW~N	9.0	河流、山地区域植被
样线 11	ESE	18.0	取排水管线区域植被
样线 12	ESE	28.0	取排水管线区域植被
样线 13	ESE	33.0	取排水管线区域植被

表 2.3-7　调查区样线内的主要植被群系类型

样线编号	样方编号	群系类型	植被生活型	样方面积
样线 1	1-1	地椒草丛	草本	1m×1m
	1-2	狗牙根草丛	草本	1m×1m
	1-3	早熟禾草丛	草本	1m×1m
	1-4	早熟禾草丛	草本	1m×1m
	1-5	早熟禾草丛	草本	1m×1m
	1-6	野艾蒿草丛	草本	1m×1m
	1-7	白杜林	乔木	10m×10m
	1-8	马唐草丛	草本	1m×1m
	1-9	稗草草丛	草本	1m×1m
	1-10	芦苇草丛	草本	2m×2m
样线 2	2-1	野艾蒿草丛	草本	2m×2m
	2-2	早熟禾草丛	草本	1m×1m
	2-3	紫穗槐灌丛	灌木	5m×5m
	2-4	犊牛儿苗草丛	草本	1m×1m
	2-5	扁蓄草丛	草本	1m×1m
	2-6	地肤草丛	草本	1m×1m
	2-7	萝藦草丛	草本	2m×2m
	2-8	鹅观草草丛	草本	1m×1m
	2-9	合萌草丛	草本	1m×1m
	2-10	一年蓬草丛	草本	2m×2m
样线 3	3-1	苍耳草丛	草本	1m×1m
	3-2	鹅观草草丛	草本	2m×2m
	3-3	狗尾草草丛	草本	1m×1m
	3-4	酸枣灌丛	灌木	5m×5m
	3-5	黄花蒿草丛	草本	1m×1m
样线 4	4-1	山马兰草丛	草本	1m×1m
	4-2	早熟禾草丛	草本	1m×1m
	4-3	早熟禾草丛	草本	1m×1m
	4-4	附地菜草丛	草本	1m×1m
	4-5	狼尾花草丛	草本	1m×1m
样线 5	5-1	蒺藜草丛	草本	1m×1m
	5-2	蒺藜草丛	草本	1m×1m

样线编号	样方编号	群系类型	植被生活型	样方面积
	5-3	一年蓬草丛	草本	1m×1m
	5-4	鹅观草草丛	草本	1m×1m
	5-5	酸模叶蓼草丛	草本	1m×1m
样线 6	6-1	蔗草草丛	草本	2m×2m
	6-2	黄背草草丛	草本	1m×1m
	6-3	鸡眼草草丛	草本	1m×1m
	6-4	溪水苔草草丛	草本	2m×2m
	6-5	香蒲草丛	草本	2m×2m
	6-6	灯心草草丛	草本	1m×1m
样线 7	7-1	葎草草丛	草本	1m×1m
	7-2	野大豆草丛	草本	1m×1m
	7-3	荻草丛	草本	2m×2m
	7-4	酸模叶蓼草丛	草本	1m×1m
	7-5	野大豆草丛	草本	2m×2m
样线 8	8-1	杨树林	乔木	20m×20m
	8-2	杨树林	乔木	50m×50m
	8-3	芦苇草丛	草本	1m×1m
	8-4	杨树林	乔木	100m×10m
	8-5	黄花蒿草丛	草本	1m×1m
	8-6	荻草丛	草本	2m×2m
样线 9	9-1	野艾蒿草丛	草本	1m×1m
	9-2	山马兰草丛	草本	1m×1m
	9-3	灯心草草丛	草本	1m×1m
	9-4	青绿苔草草丛	草本	1m×1m
	9-5	月见草草丛	草本	1m×1m
	9-6	芦苇草丛	草本	1m×1m
	9-7	鸭跖草草丛	草本	1m×1m
样线 10	10-1	猪毛蒿草丛	草本	1m×1m
	10-2	小飞蓬草丛	草本	1m×1m
	10-3	鸡眼草草丛	草本	1m×1m
	10-4	白茅草丛	草本	2m×2m
	10-5	白茅草丛	草本	1m×1m
样线 11	11-1	芦苇草丛	草本	2m×2m

样线编号	样方编号	群系类型	植被生活型	样方面积
	11-2	灯心草草丛	草本	1m×1m
	11-3	雀麦草丛	草本	2m×2m
	11-4	大刺菜草丛	草本	2m×2m
	11-5	鹅观草草丛	草本	1m×1m
样线 12	12-1	溪生苔草-白茅草丛	草本	1m×1m
	12-2	茅叶荩草草丛	草本	1m×1m
	12-3	野艾蒿草丛	草本	1m×1m
	12-4	狗尾草草丛	草本	1m×1m
	12-5	一年蓬草丛	草本	1m×1m
样线 13	13-1	披碱草草丛	草本	1m×1m
	13-2	砂引草草丛	草本	1m×1m
	13-3	狗牙根草丛	草本	1m×1m
	13-4	鸭舌草-砂引草草丛	草本	1m×1m
	13-5	肾叶打碗花草丛	草本	1m×1m
	13-6	大刺菜草丛	草本	1m×1m

表 2.3-8　调查区内维管束植物科的统计

科内含种数	科数	占总科数比例（%）	科内属数	占总属数比例（%）	科内种数	占总种数比例（%）
10~24	3	6.52	45	41.28	54	41.54
2~9	14	30.43	35	32.11	47	36.15
1	29	63.04	29	26.61	29	22.31
总计	46	100	109	100	130	100

表 2.3-9　调查区维管束植物属的统计

属内含种数	属数	占总属数比例（%）	种数	占总种数比例（%）
2~5	14	12.84	35	26.92
1	95	87.16	95	73.08
总数	109	100	130	100

表 2.3-10　动物样线布设情况

样线编号	方位	距离（km）	生境类型描述
样线1	W~N	厂址区域	厂址区域
样线2	ESE	厂址区域	厂址区域、取排水管线区域
样线3	N	4.0	河流周围
样线4	NE~ENE	5.0	河流、村庄周围
样线5	SE	3.5	河流周围、取排水管线区域
样线6	SE	7.2	河流周围、取排水管线区域
样线7	SSW	6.0	村庄、水塘周围
样线8	WSW~W	8.0	方里水库周围区域
样线9	NNE	9.0	瑶头水库周围区域
样线10	ESE	18.0	取排水管线区域
样线11	ESE	28.0	取排水管线区域
样线12	ESE	33.0	取排水管线区域

表 2.3-11（a） 厂址半径 10km 范围内各方位离厂址最近农田、果园、养殖场、自然保护区和珍稀动植物栖息地情况

方位	农田				果园				奶牛场		
	距离（km）	面积（公顷）	主要作物	年产量（吨）	距离（km）	面积（公顷）	主要作物	年产量（吨）	距离（km）	年存栏量（头）	奶产量（吨）
N	4.8	302	小麦、玉米、薯类等	1677	4.8	13	苹果、梨等	591	/	/	/
NNE	2.6	164		912	2.6	6		258	/	/	/
NE	4.6	131		730	4.6	8		336	/	/	/
ENE	4.4	43		239	7.7	3		130	/	/	/
E	4	255		1418	4	11		202	/	/	/
ESE	4.6	272		1512	4.6	113		4800	/	/	/
SE	2	213		1183	5.6	22		990	/	/	/
SSE	1.4	94		524	1.4	1		15	/	/	/
S	3.7	181		1003	3.7	1		20	/	/	/
SSW	5.7	161		894	5.7	1		20	/	/	/
SW	2.4	43		240	2.4	5		101	/	/	/
WSW	4.6	148		825	4.6	3		179	/	/	/
W	1.8	143		792	1.8	1		5	/	/	/
WNW	2.9	53		292	1.4	1		20	5.4	840	2503
NW	2.3	67		370	2.3	1		10	/	/	/
NNW	2.3	61		338	2.3	13		181	4.5	799	2397

表 2.3-11（b） 厂址半径 10km 范围内各方位离厂址最近农田、果园、养殖场、自然保护区和珍稀动植物栖息地情况

种类 方位	养殖场			自然保护区				珍稀植物栖息地			珍稀动物栖息地		
	距离（km）	饲养品种	年存栏量（只、头）	距离（km）	级别	面积（公顷）	保护种类	距离	名称	保护级别	距离	名称	保护级别
N	7.6	肉鸭	45000	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
NNE	8.1	生猪	3500	/	/	/	/	4.8	野大豆	国家Ⅱ级	5.3	长耳鸮	国家Ⅱ级
NE	4.6	肉鸡	50000	/	/	/	/	/	/	/	8.2	红隼	国家Ⅱ级
ENE	4.3	肉鸡	60000	/	/	/	/	/	/	/	6.0	黑翅鸢	国家Ⅱ级
E	1.7	生猪	200000	/	/	/	/	/	/	/	0.8	红隼	国家Ⅱ级
ESE	4.7	肉鸡	25000	/	/	/	/	/	/	/	2.6	青头潜鸭	国家Ⅰ级
SE	6.1	生猪	800	/	/	/	/	4.8	野大豆	国家Ⅱ级	1.0	红隼	国家Ⅱ级
SSE	9.4	肉鸡	110000	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
S	3.7	肉鸡	184800	/	/	/	/	5.4	野大豆	国家Ⅱ级	8.1	纵纹腹小鸮	国家Ⅱ级
SSW	6.8	肉鸡	80000	/	/	/	/	/	/	/	8.0	红脚隼	国家Ⅱ级
SW	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1.3	黑翅鸢	国家Ⅱ级
WSW	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0.9	红隼	国家Ⅱ级

W	7.5	生猪	50000	/	/	/	/	8.2	野大豆	国家Ⅱ级	0.7	红隼	国家Ⅱ级
WNW	2.9	肉鸡	160000	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
NW	0.5	生猪	24000	7	国家级	1564	古生物化石、地质遗迹	/	/	/	7.5	红隼	国家Ⅱ级
NNW	7.8	肉鸡	156000	/	/	/	/	8.0	野大豆	国家Ⅱ级	4.4	红隼	国家Ⅱ级

注：厂址半径 10km 范围内不涉及珍稀两纲动物、珍稀爬行动物和珍稀哺乳动物栖息地。

表 2.3-12（a） 取排水口半径 15km 范围涉及的各城镇渔业生产情况

单位：面积：公顷；总产：吨

年份	地　　区	水产养殖面积	水产养殖		水产品总产量	水产品					
			海水养殖	淡水养殖		海水产品	海水产品		淡水产品	淡水产品	
							海水捕捞	海水养殖		淡水捕捞	淡水养殖
2021	莱阳市	1636	1153	483	21081	19539	5385	14154	1542	72	1470
	海阳市	14572	14356	216	303178	302273	92734	209539	905	0	905
	即墨区	13339	13079	260	291977	291869	51015	240854	108	0	108
2022	莱阳市	1636	1153	483	22030	20479	5180	15299	1551	78	1473
	海阳市	15400	15184	216	318466	317566	92696	224870	900	0	900
	即墨区	13339	13079	260	300175	300070	51160	248910	105	0	105
2023	莱阳市	1636	1153	483	22909	21371	4230	17141	1538	75	1463
	海阳市	16988	16772	216	331205	330305	92405	237900	900	0	900
	即墨区	14134	13889	245	309975	309844	50551	259293	131	0	131

表 2.3-12（b） 取排水口半径 15km 范围涉及的各城镇渔业生产情况

单位：吨

年份	地　　区	海水产品产量												淡水产品产量	
		鱼类		虾蟹类		贝类		藻类		头足类		其它		鱼类	
		捕捞	养殖	捕捞	养殖	捕捞	养殖	捕捞	养殖	捕捞	养殖	捕捞	养殖	捕捞	养殖
2021	莱阳市	5311	624	24	3260	0	10270	0	0	50	0	0	0	72	1470
	海阳市	55395	2979	24233	10168	164	195288	0	0	10463	0	2479	1104	0	905
	即墨区	14415	/	18219	3356	3520	31257	0	0	/	/	/	/	/	108
2022	莱阳市	5169	905	0	3862	0	10532	0	0	11	0	0	0	78	1473
	海阳市	55140	2997	24375	10571	164	210172	0	0	10528	0	2489	1130	0	900
	即墨区	14685	/	18481	3655	3682	32116	0	0	/	/	/	/	/	105
2023	莱阳市	4160	1239	0	5102	0	10800	0	0	70	0	0	0	75	1463
	海阳市	54876	2918	24388	10728	160	223124	0	0	10489	0	2492	1130	0	900
	即墨区	14962	/	18457	/	3720	/	0	0	/	/	/	/	0	131

注：“/”表示当地政府未提供该项公开数据

表 2.3-13　厂址附近海域生态调查站位调查内容（2025 年调查）

站位	工作内容
S1	水质、生物、沉积物
S2	水质、生物
S3	水质、生物、沉积物
S4	水质、生物、沉积物
S5	水质、生物
S6	水质、生物、沉积物
S7	水质
S10	水质、生物、沉积物
S11	水质、生物、沉积物
S12	水质
S13	水质、生物、沉积物
S14	水质、生物、沉积物
S15	水质
S17	水质、生物、沉积物
S18	水质
S19	水质
S30	水质、生物、沉积物
S31	水质
S32	水质
S33	水质
A1	水质
A2	水质、生物、沉积物
A3	水质、生物、沉积物
A7	水质
P1	水质、生物、沉积物、连续站
C1	潮间带生物、潮间带沉积物
C2	潮间带生物、潮间带沉积物
C3	潮间带生物、潮间带沉积物

表 2.3-14　厂址半径 15km 范围道路现状

序号	道路编码	道路名称	行政等级	技术等级	起点、终点名称	道路类型	设计行车速度（km/h）	车道数量	路面宽度（m）	距厂址最近距离（km）	方位
1	S19	龙青高速	高速	一级	龙口-青岛	沥青混凝土	120	4	27	11.5	W
2	G1813	威青高速	高速	一级	威海-青岛	沥青混凝土	120	4	27	11.4	SSE
3	G204	烟沪线	国道	一级/二级	烟台-上海	沥青混凝土	60/100	2/4/6	12/32	13.3	W
4	S209	蓬黄线	省道	二级	蓬莱-黄岛	沥青混凝土	60	2	12/17	1.4	SW
5	S202	威青线	省道	二级	威海-青岛	沥青混凝土	60	2	15	7.5	SSE
6	S310	躬崔路	省道	二级	S217 朱诸路-S218 三城路	沥青混凝土	80	2/4	9-15	8.9	SSW
7	X081	大郭线	县道	二级	大夼-郭家店	沥青混凝土	80	2	9	4.6	NNW
8	X072	莱高线	县道	二级	莱阳-高格庄	沥青混凝土	80	2	12	6.2	NNE
9	X080	万滨线	县道	四级	万第-滨海路	水泥混凝土	30	2	6	7.3	E
10	X082	莱羊线	县道	二级、三级	莱阳-羊郡	沥青混凝土	40/80	2/4	8.5/13.5/21	12.8	ESE

表 2.3-15　厂址半径 5km 范围道路现状

序号	道路编码	道路名称	行政等级	技术等级	起点、终点名称	道路类型	设计行车速度（km/h）	车道数量	路面宽度（m）	距厂址最近距离（km）	方位
1	S209	蓬黄线	省道	二级	蓬莱-黄岛	沥青混凝土	60	2	12/17	1.4	SW
2	X081	大郭线	县道	二级	大夼-郭家店	沥青混凝土	80	2	9	4.6	NNW
3	Y025	光山-中荆	乡道	四级	光山-中荆	水泥混凝土	30	2	6	1.1	S
4	Y017	中荆-莱西	乡道	四级	中荆-莱西	水泥混凝土	30	1	4	1.8	W
5	Y024	三青-小格庄	乡道	四级	三青-小格庄	水泥混凝土	30	1/2	4.5/6	4.1	WSW
6	Y034	S209-发埠线	乡道	三级	S209-发埠线	水泥混凝土	40	2	7	3.7	SSE
7	Y009	高格庄—光山	乡道	一级、三级	高格庄—光山	沥青混凝土	40/80	2/4	8/15	4.5	E

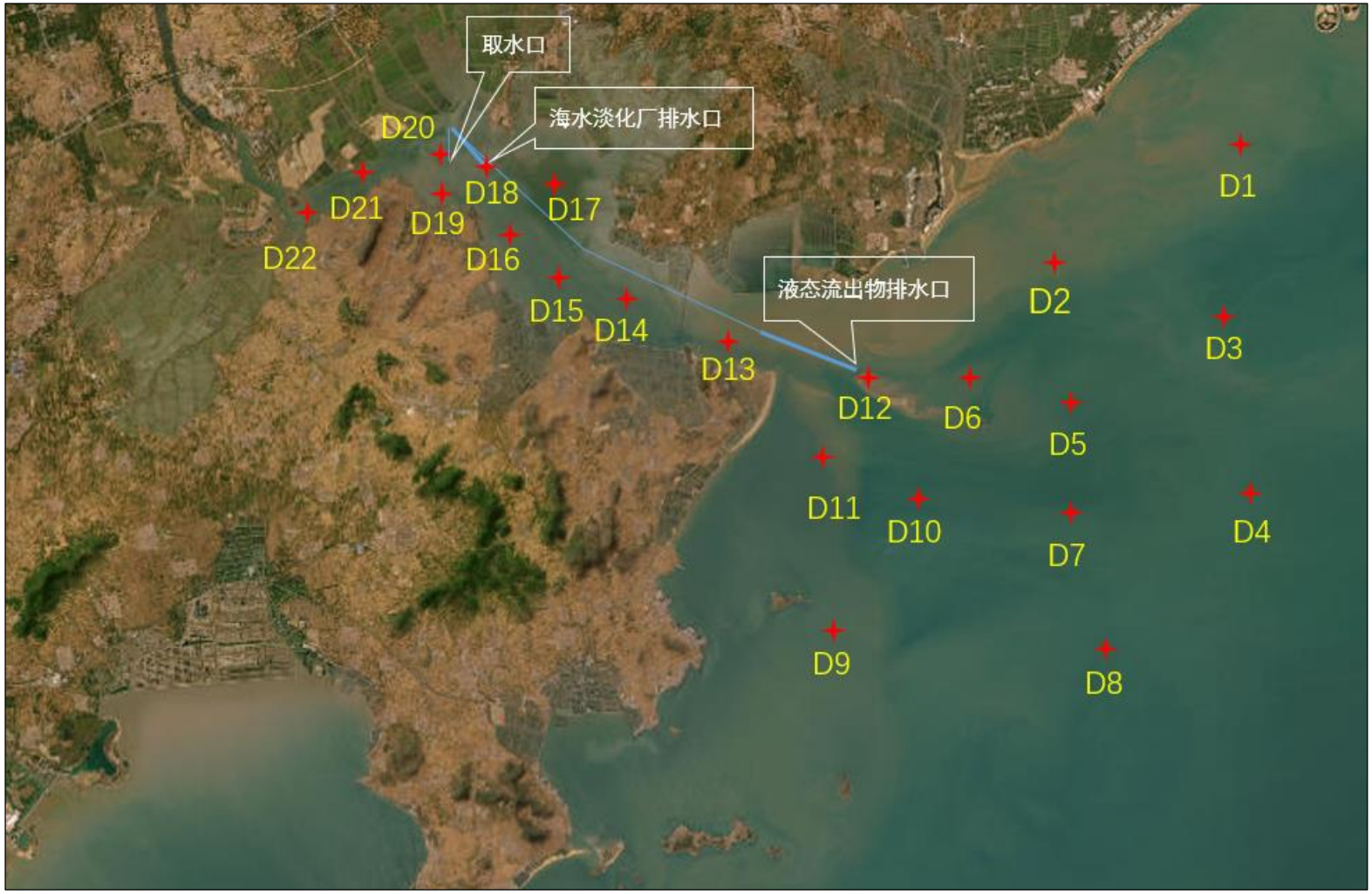


图 2.3-1　渔业资源调查站位分布（2025~2026 年调查）

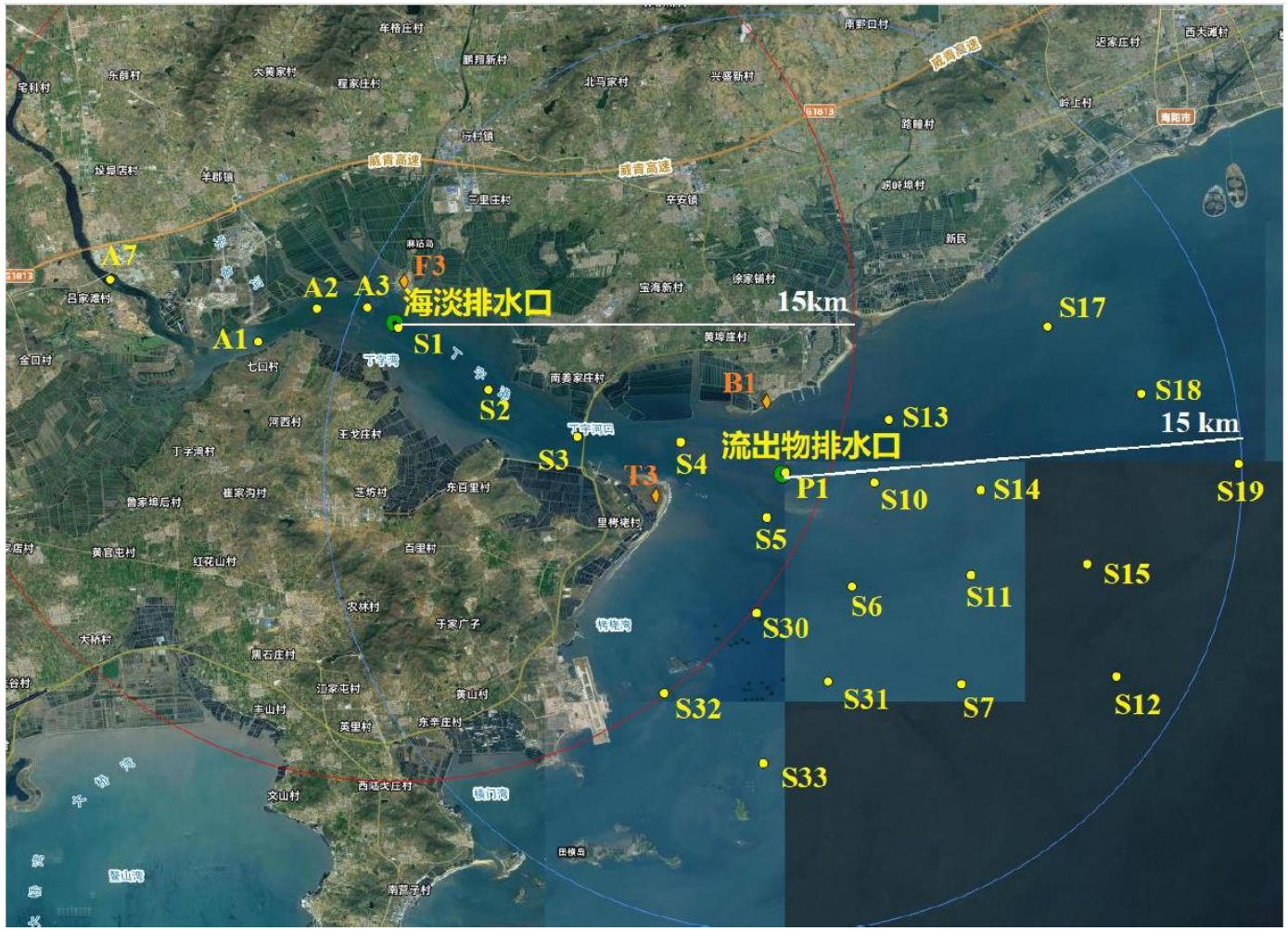


图 2.3-2　厂址附近海域生态调查站位示意图（2025~2026 年调查）

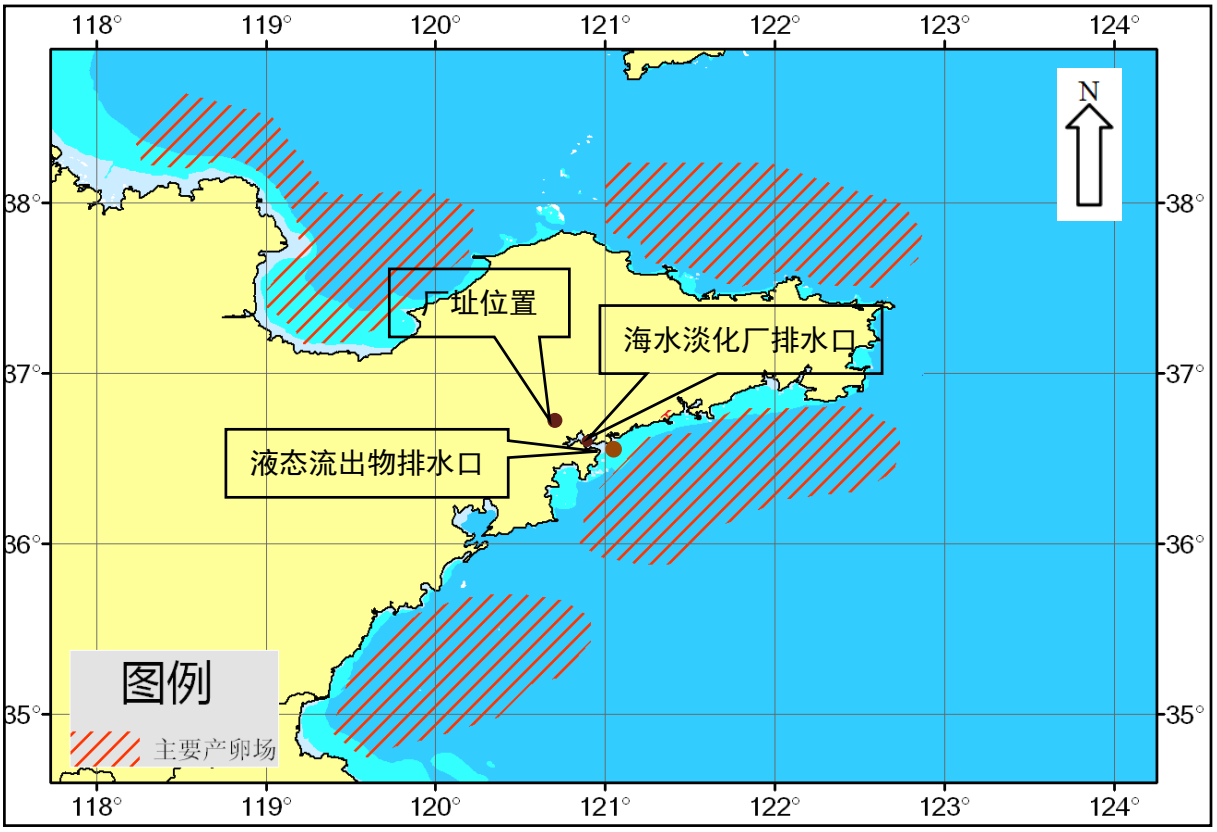


图 2.3-3　山东近海主要产卵场分布图

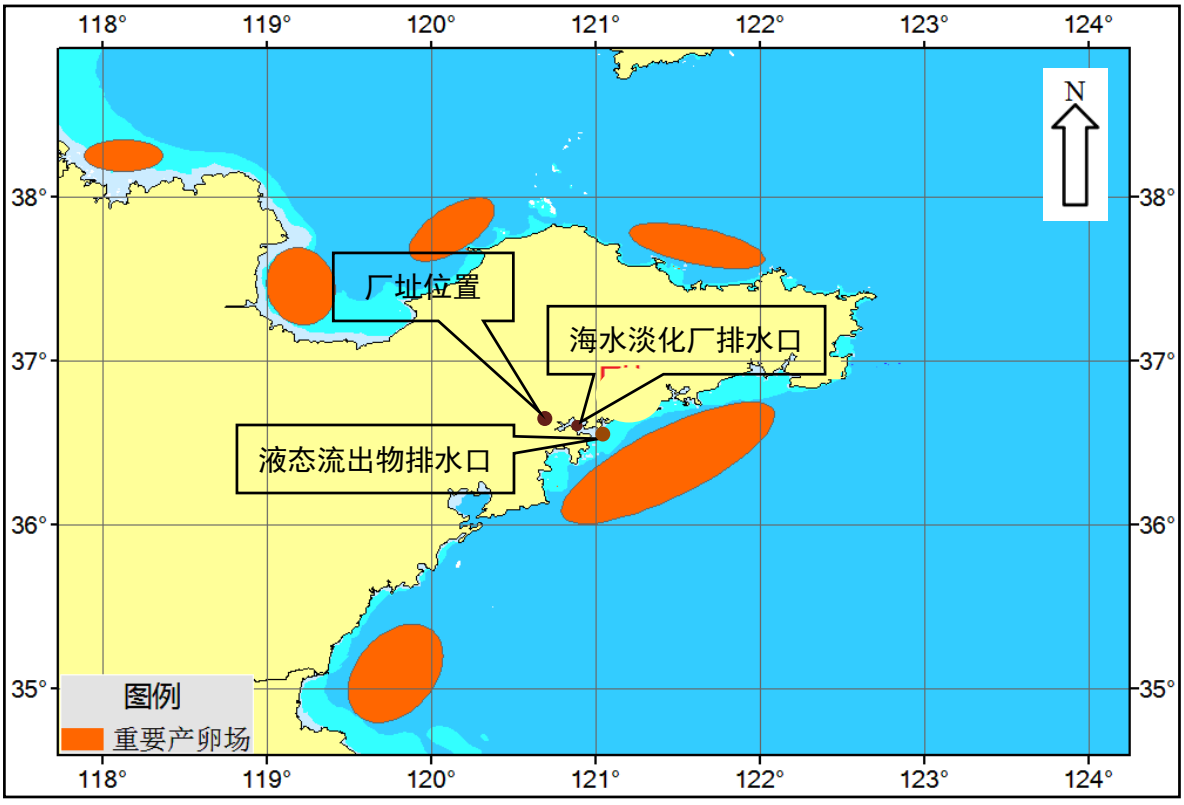


图 2.3-4　山东近海重要产卵场分布图

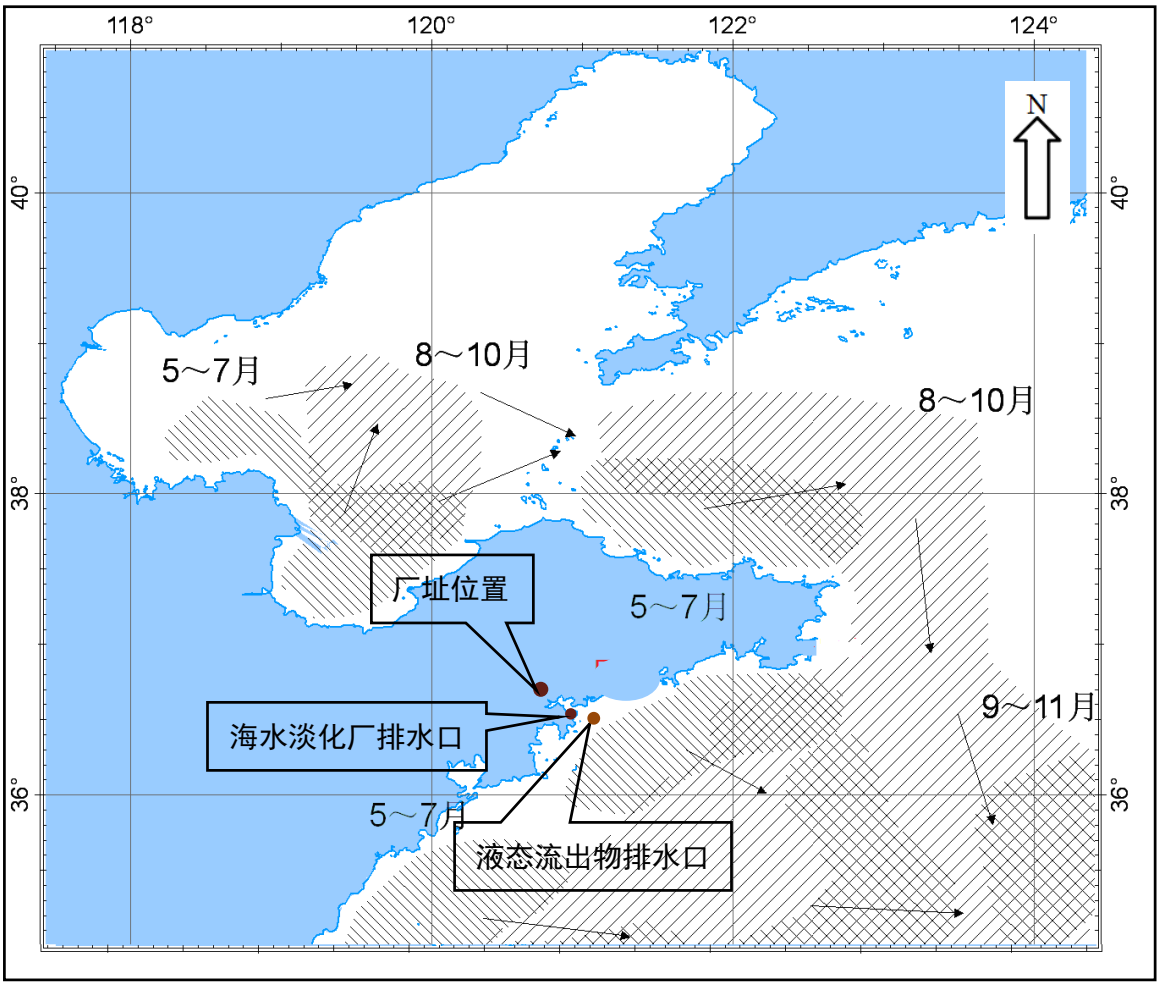


图 2.3-5　长距离洄游种类的索饵场

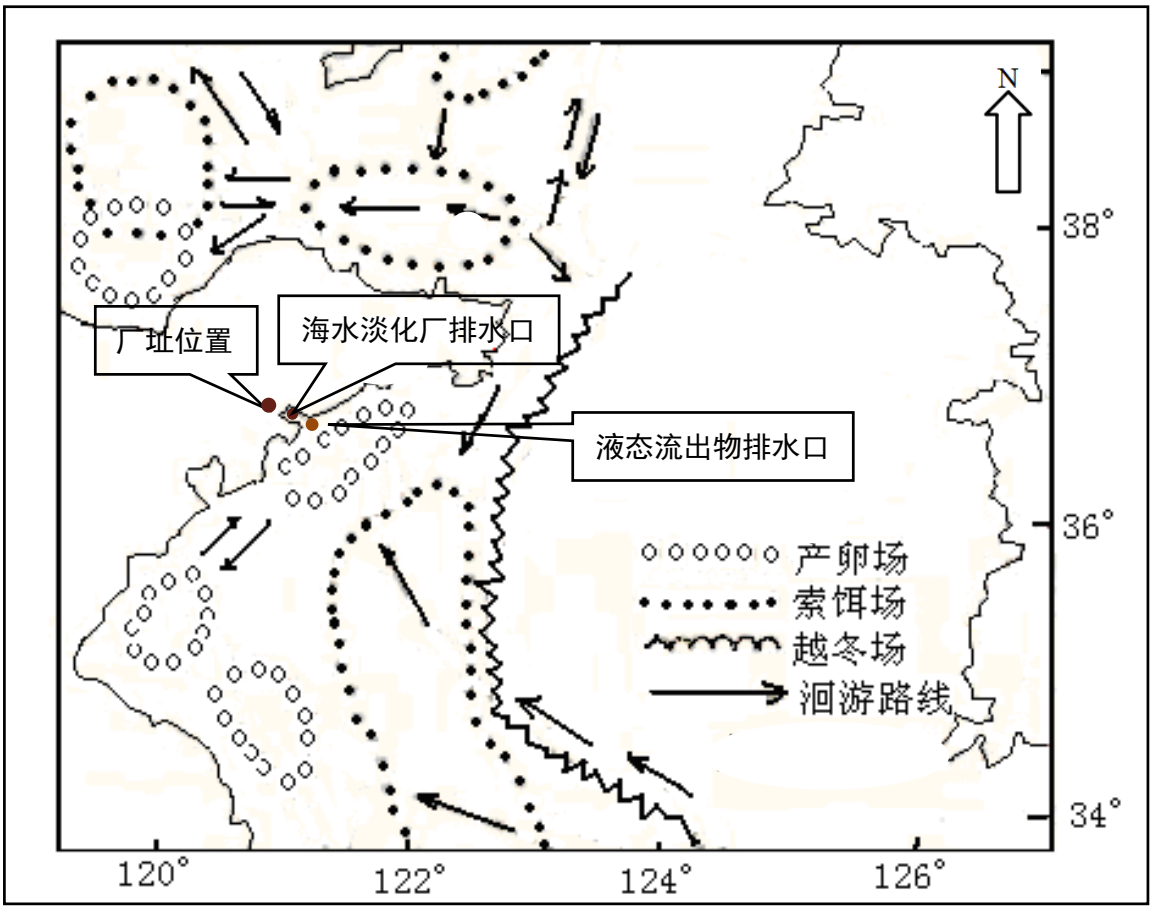


图 2.3-6　底层鱼类生殖洄游示意图

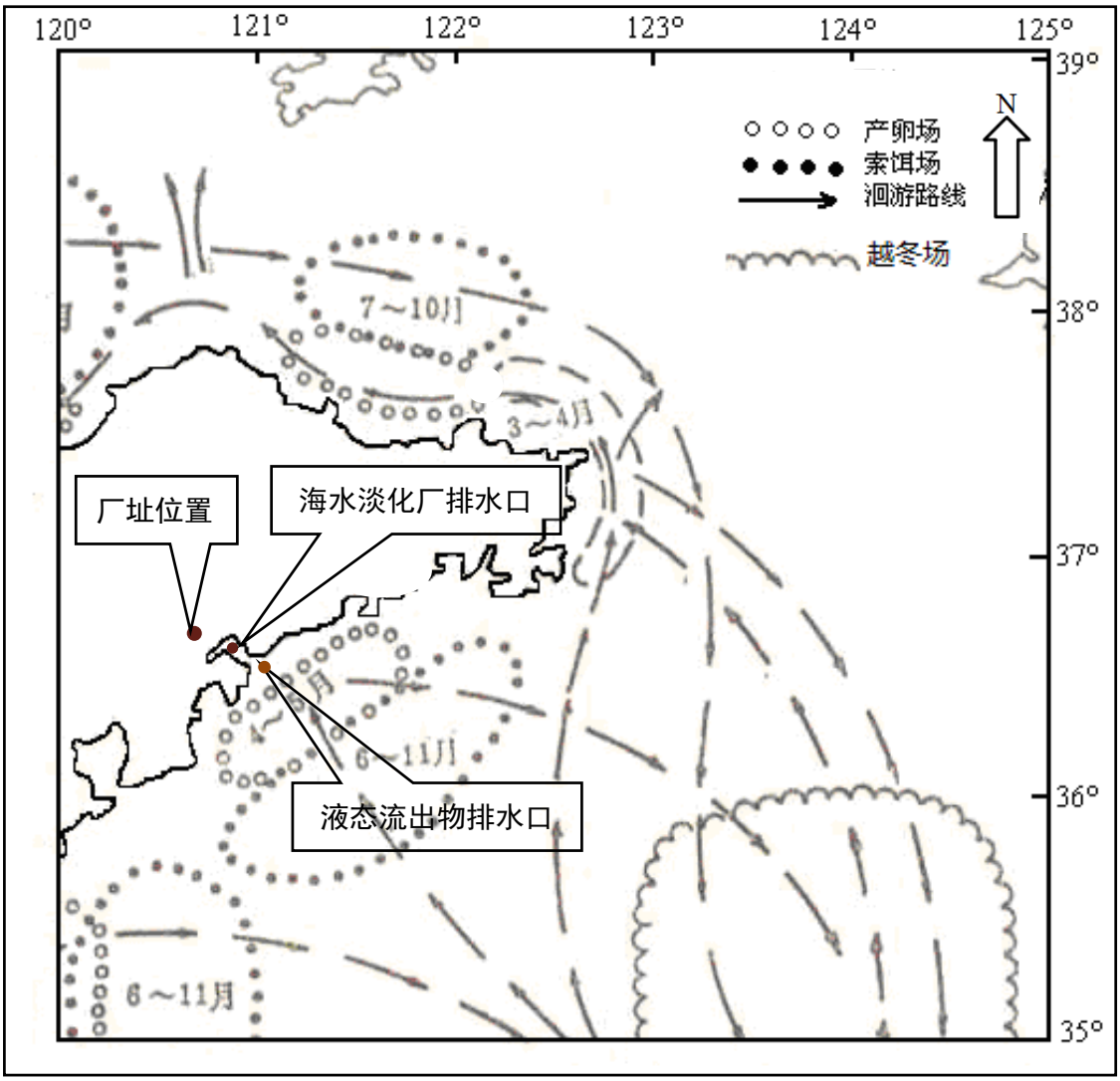


图 2.3-7　近海型中上层鱼类生殖洄游分布示意图

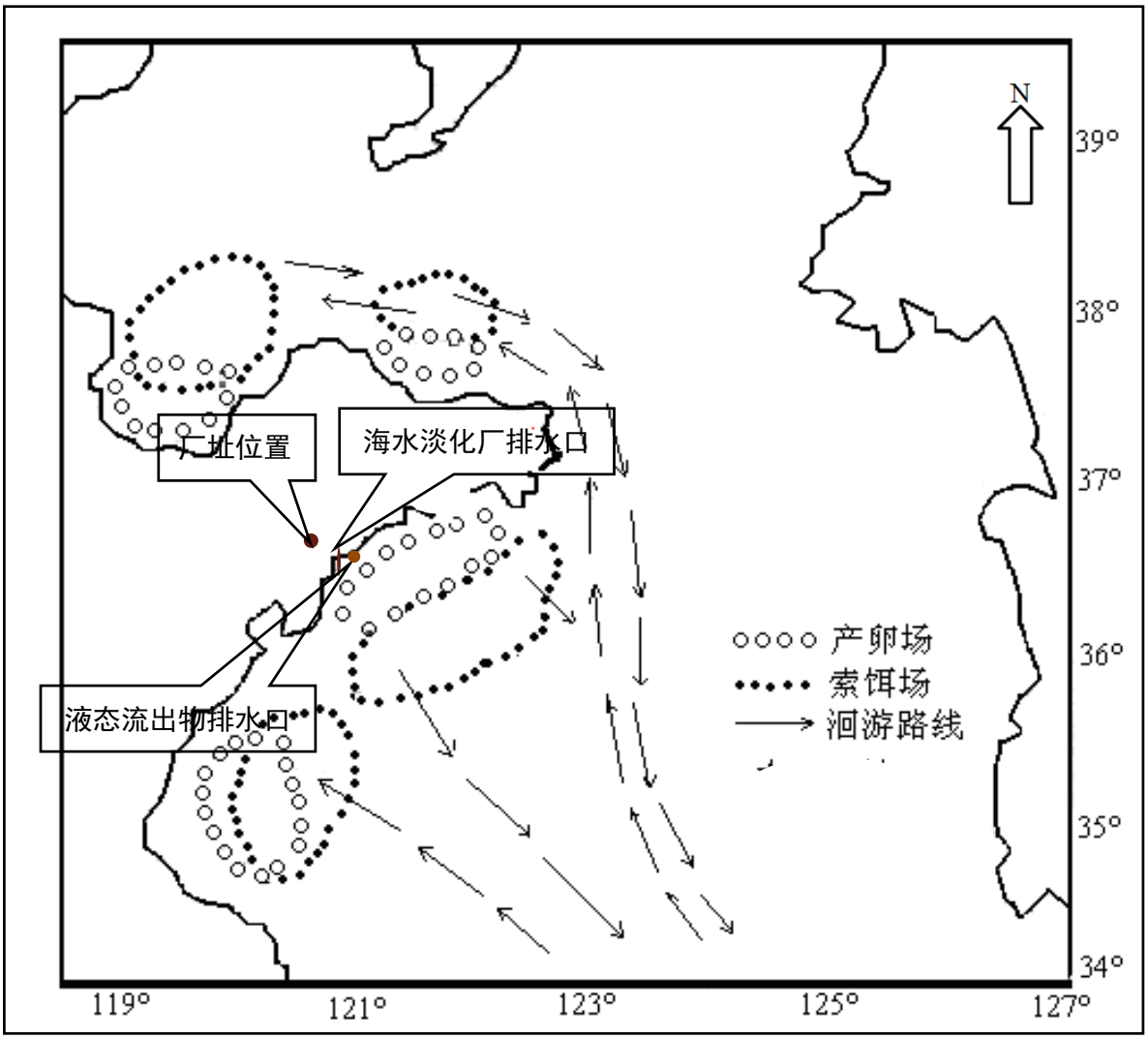


图 2.3-8　外海型中上层鱼类生殖洄游分布示意图

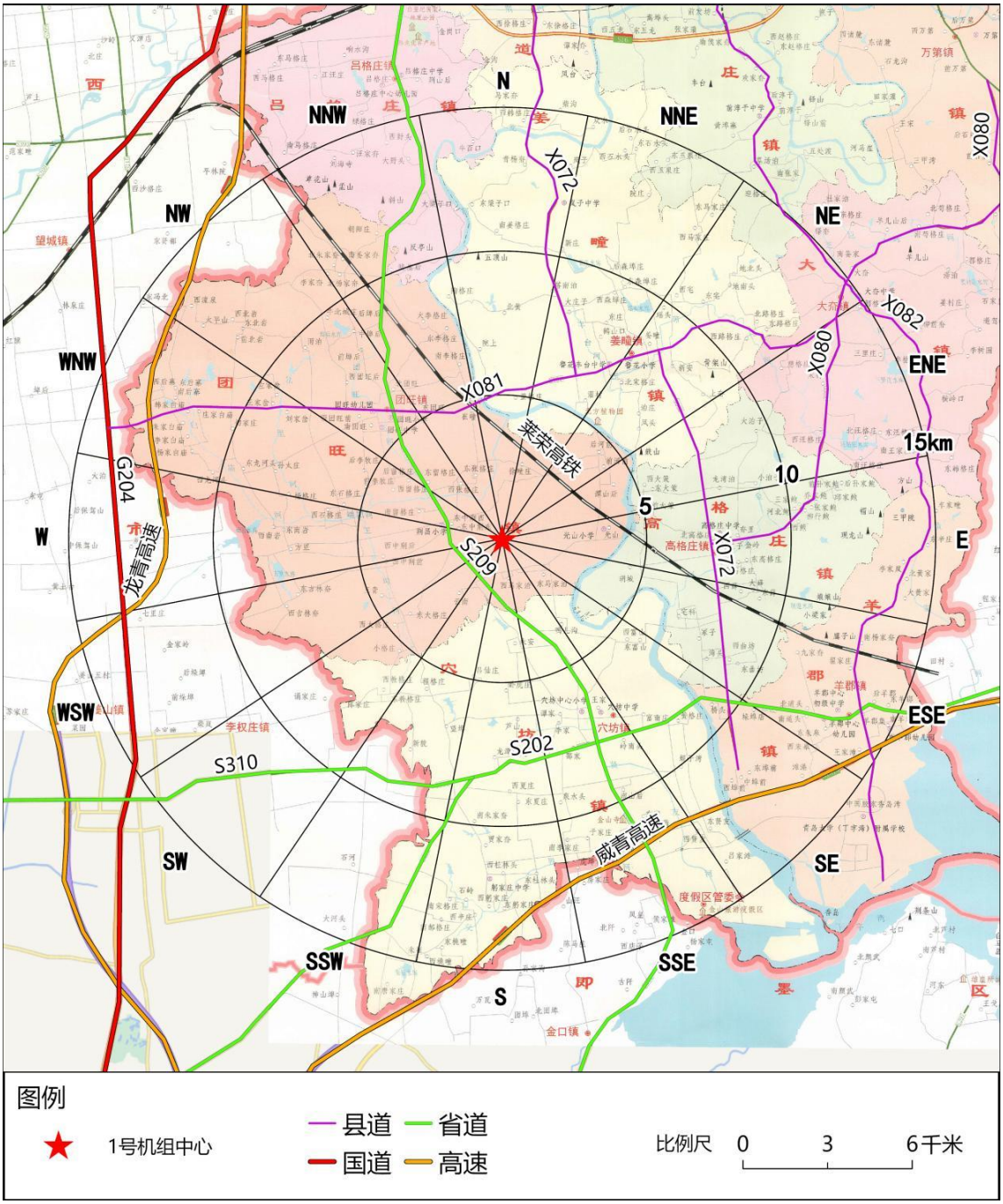


图 2.3-9　厂址半径 15km 范围交通现状



图 2.3-10　厂址半径 5km 范围交通现状

2.4 气象

2.4.1 区域气候

2.4.1.1 区域气候特征

厂址区域属暖温带大陆性季风气候，年温适中，四季分明，光照充足，雨热同季。

冬季山东半岛高空处于深厚的东亚大槽后部，盛行西北气流，引导极地大陆气团南下，多冷空气活动；厂址区域主要受蒙古冷高压控制，盛行偏北风，气候寒冷，雨雪稀少。入春以后，以印度半岛为中心的亚洲大陆热低压开始出现并明显增强，而蒙古冷高压的强度减弱，向西北收缩；由于春季海面温度低于大陆，当移动性的大陆高压入海后往往加强，在山东半岛东部沿海常维持着一个高气压，所以春季是厂址附近出现偏南大风最多的季节。夏季蒙古高压减弱消失，印度半岛热低压更加强大，西太平洋副热带高压不断加强北抬，厂址区域经常受热带海洋气团影响，天气炎热而潮湿，受来自高纬度的冷空气南下影响，变性的极地气团与暖湿的热带海洋气团在本地相遇，产生大量降水，甚至形成暴雨；受强大的大陆低压控制，厂址及附近区域多以偏南风为主。秋季随着印度半岛热低压和副热带高压的迅速减弱，蒙古冷高压又重新建立并加强，厂址区域又转受极地大陆气团控制，盛行偏北风，气温迅速下降，降水骤减。

2.4.1.2 气象代表站的选取

搜集厂址附近 80km 范围内的莱西站、莱阳站、栖霞站、招远站、平度站、崂山站、即墨站、乳山站和海阳站 9 个气象台站（见图 2.4-1）历年气象观测资料进行统计分析，各气象台站的背景和观测沿革见表 2.4-1。

根据地形地貌、厂址与各气象台站的相对位置与距离、极值保守性，通过比选，拟从厂址周边 80km 范围内的 9 个气象台站中选择栖霞站、平度站、莱阳站、即墨站、海阳站作为参证站。栖霞站、莱阳站、即墨站为国家一般气象站，平度站、海阳站为国家基本气象站；建站时间分别为 1958 年 12 月 1 日、1949 年 1 月 1 日、1959 年 1 月 1 日、1957 年 11 月 1 日、1958 年 9 月 1 日。2004 年 1 月 1 日平度气象站自动站单轨运行，2005 年 1 月 1 日栖霞气象站、莱阳气象站和即墨气象站自动站单轨运行，2006 年 1 月 1 日海阳气象站自动站单轨运行。

1）可靠性分析

栖霞站、平度站、莱阳站、即墨站、海阳站均为国家气象站，所有地面气象要素均按《地面气象观测规范》的规定观测，观测仪器也定期进行检定，因此，气象资料的来源是可靠的。

2）一致性分析

采用对比差值法分析资料一致性：先计算参证站与厂址站某要素资料的对比差值、对比差值的平均值与标准差，然后按对比差值的绝对值小于标准差的 2 倍为标准计算一致率。具体计算方法如下：

（1）对比差值月平均值的计算

设 U_i 为第 i 次某参证站观测值，A_i 为第 i 次厂址站观测值，则第 i 次的对比差值为：

$$X_i=U_i-A_i \qquad (2.4\text{-}1)$$

设两个观测站数据的观测次数均为 n，则对比差值的月平均值为：

$$X = \frac{\sum (U_i - A_i)}{n} \qquad (2.4\text{-}2)$$

（2）对比差值月标准差的计算

设对比差值的标准差为 σ。

$$\sigma = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (x_i - x)^2 \right]^{1/2} \qquad (2.4\text{-}3)$$

式中，x 为对比差值的月平均值，x_i 为第 i 次的对比差值。

（3）一致率的计算

一致率表示本月厂址站与参证站观测相一致的程度。

一致率的范围：X_i 的绝对值＜2σ。

$$\text{月一致率（\%）} = \frac{\text{对比差值的绝对值小于 2 倍标准差的次数}}{\text{有效总次数}} \times 100\% \qquad (2.4\text{-}4)$$

应用以上（2.4-1）~（2.4-4）式，计算出各参证站的各气象要素与厂址站资料的一致率。结果表明，各参证站气压、气温、相对湿度和风速的一致率都很高，均在 90%以上。在 5 个参证站中，厂址地面气象观测与栖霞站的一致性最好，65 个序列（1~12 月及累年对应的气压、气温、相对湿度、风速的 E-W 分量和 N-S 分量一致率）的相关系数中有 47 个排在第一位；其次是莱阳站，有 31 个排在第一位。

3）代表性分析

采用各参证站与厂址站 2021~2022 年各月逐时资料进行相关分析。结果表明，厂址站与莱阳站的相关性最好，65 个序列的相关系数中有 58 个排在第一位。

4）地形比较分析

厂址地貌为剥蚀丘陵、河流阶地和人工地貌，此外还发育冲沟、水塘等微地貌。剥蚀丘陵为厂址区的主要地貌形态，丘体坡度较缓，厂区自然地面标高在 20~75.5m 之间，整体呈中间高、四周低之势。

莱阳站位于厂址偏北方向 27.3km 处，栖霞站、平度站、即墨站、海阳站与厂址的距离分别为 67.4km、61.9km、45.3km、44.3km，从距离来看，莱阳站离厂址最近。

从地形地貌方面来看，即墨站、海阳站均位于山东半岛南部，平度站位于胶东半岛西部，栖霞站位于胶东半岛腹地，厂址和莱阳站位于胶东半岛中部，厂址处主要地形地貌为剥蚀丘陵，坡度较缓，莱阳站所处区域地势北高南低，东、北、西三面多丘陵，南部为平原，观测场海拔为 41.6m，与厂址地形地貌较为相似。

5）代表站的选取

各参证站均为国家气象站，气象资料的来源都是可靠的；一致性是栖霞站、莱阳站较好；代表性程度最高的是莱阳站。从地形地貌分析，莱阳站与厂址的气象特征较为相似。

综合考虑，选取莱阳气象站作为厂址的代表性气象站。

2.4.1.3　区域气象的平均值和极端值

根据厂址代表性气象站莱阳站1952~2021年的气象资料，统计区域常规气象参数如下：

1）气温

累年平均气温为11.8℃。累年各月平均温度7月最高，为25.3℃；1月最低，为-3.3℃。极端最高温度为40.0℃，出现在2005年6月24日；极端最低温度为-24.0℃，出现在1957年1月18日。

2）气压

累年平均气压为 1012.3hPa。累年各月平均气压 1 月最高，为 1022.1hPa；7 月最低，为 999.8hPa。极端最高气压为 1039.6hPa，出现在 1994 年 12 月 19 日；极端最低气压为 979.1hPa，出现在 2019 年 8 月 12 日。

3）水汽压

累年平均水汽压为12.0hPa。累年各月平均水汽压7月最高，为26.4hPa；1月最低，为3.3hPa。

4）相对湿度

累年平均相对湿度为71%。年平均相对湿度最大值为81%（1953年），最小值为64%（2017年）。累年各月平均相对湿度7月和8月最大，为83%；3月和4月最低，为60%。

5）蒸发量

累年平均蒸发量为1484.5mm。累年各月平均蒸发量5月最高，为211.6mm；12月最低，为40.1mm。

6）日照

累年平均日照小时数为2556.8h。年日照小时数最大值为2901.2h（1979年），年日照小时数最小值为2161.4h（2006年）。累年各月平均日照数5月最大，为267.2h；12月最小，为173.0h。

7）降水

累年平均降水量为694.5mm，年平均降水量最大值为1450.8mm（1964年）；一日最大降水量最大值为248.9mm，出现在1956年9月5日。

8）风向、风速

累年平均风速为 2.6m/s。年平均风速最大值为 3.1m/s（1992 年和 1994 年），最小值为 2.0m/s（2017 年）；年最大风速最大值为 25.0m/s，当时风向为 WNW，出现在 1983 年 4 月 26 日；年极大风速为 28.3m/s，当时风向为 W，出现在 1994 年 3 月 23 日。

自动站单轨运行（2005 年）至 2021 年，年最多风向为 SSE，频率为 10.2%；次多风向为 SE，频率为 9.1%。年静风频率为 12.2%，静风频率最大出现在 10 月（20.5%），其次是 11 月（18.7%）。莱阳站 2005~2021 年风玫瑰见图 2.4-2。

9）云

1952~2013 年累年平均总云量 5.0 成，平均低云量 1.8 成。

10）雾

共出现雾 1881 天，年平均 28.1 天，8 月份出现最多，为 13 天；年最多雾日为 56 天，最少雾日为 9 天。

11）雷暴和闪电

1954~2013 年累年平均发生雷暴 24.8 天，其中 7、8 月雷暴日数出现最多，平均发生 7.5 天、6.1 天。累年最多雷暴日数为 49 天；累年平均发生闪电 18.4 天，其中 7、8 月闪电日数出现最多，平均发生 5.5 天、5.1 天。累年最多闪电日数为 64 天。

12）冻土

累年平均最大冻土深度为 27.6cm。累年最大冻土深度为 50cm。

13）积雪

累年平均积雪深度为 5.1cm。累年最大积雪深度为 21cm。

2.4.2　设计基准气象参数

2.4.2.1　热带气旋

热带气旋的调查范围为以厂址为圆心 400km 半径的区域，如图 2.4-3 所示。根据 1949~2021 年热带气旋资料，调查范围内的热带气旋共 84 个。

84 个热带气旋中，有 79 个来自西北太平洋地区（120°E 以东），年平均 1.08 个，约占总数的 94.0%；只有 5 个在南海（120°E 以西）生成，年平均 0.07 个，约占 6.0%（表 2.4-2）。

73 年间出现热带气旋 84 个，年平均 1.15 个。热带气旋影响最多的年份是 1985 年，共出现 4 个；次多的每年有 3 个热带气旋，出现年份为 1962 年、1994 年、2000 年和 2018 年；每年有 2 个热带气旋的年份共 18 年；每年有 1 个热带气旋的年份共 32 年；没有遭到热带气旋影响的年份共 18 年（表 2.4-3）。

热带气旋主要集中在 7 月和 8 月，这两个月的热带气旋分别占总数的 41.7% 和 39.3%。夏季占总的 86.9%，其次是秋季，占 13.1%；春季、冬季没有热带气旋记录（表 2.4-4）。

影响厂址调查范围的热带气旋活动路径主要有三类：①登陆北上类，热带气旋生成后，自菲律宾以东洋面向西北方向移动，穿过台湾省和台湾海峡后，在浙江和福建沿海登陆，再经过江西、安徽及江苏北部进入山东；②登陆转向类，前期路径与登陆北上类似，但在浙闽登陆后，北上到 30°N 附近即逐渐转向东北方向移动，经江苏北部进入黄海；③黄海西折类，此类热带气旋在西太平洋上生成后，在我国东部海面上，直接向北偏西方向移动，进入黄海济州岛附近时，突然西折，在山东半岛登陆，然后进入渤海。

84 个热带气旋中，第 1 类路径为 9 个，第 3 类路径的有 32 个，出现最多的是第 2 类登陆转向类，有 43 个，占影响本区域所有热带气旋的 51.2%。

厂址设计基准热带气旋的各气象参数为：

中心气压 P_0：	930hPa
边缘气压 P_∞：	1010hPa
最大风速半径 R：	27km
气旋平移速度 V：	21km/h
气旋移动方向：	N、NE、NW
流入角 θ：	20°

2.4.2.2　龙卷风

龙卷风调查区域以厂址为中心，经度宽 3°、纬度宽 3°的范围，包括烟台市、青岛市所辖区域，具体为烟台市市辖区、龙口市、莱阳市、莱州市、招远市、栖霞市、海阳市、青岛市市辖区、胶州市、平度市、莱西市，以及威海市、乳山市、日照市、五莲县、潍坊市、昌邑市、安丘市、高密市、诸城市，调查面积为 42471km^2。调查区域见图 2.4-4。资料收集时间范围为：1949 年至 2021 年。

调查区域 1950~2021 年共出现 157 次龙卷风的记录，其中 F2 级 16 次，F1 级 84 次，F0 级 57 次。

龙卷风多发生在春、夏二季。夏季最多，占总次数的 74.6%；春季次之，占总次数的 12.7%；秋季和冬季各占 12.1%和 0.6%。按月而论，7 月发生龙卷风的次数最多，占总次数的 26.8%；其次是 8 月，占 26.1%；6 月位居第三，占 21.7%。

厂址设计基准龙卷风为 F3 级。设计基准特征参数值如下：

最大风速：	75.5m/s
最大旋转风速：	60.9m/s
最大平移风速：	14.6m/s
最大旋转风速半径：	50m
总压力降：	4.79kPa
最大压降速率：	1.40kPa/s

2.4.2.3　设计基准风

根据《核电厂厂址选择的极端气象事件》（HAD 101/10）附录推荐的方法，利用耿贝尔分布对所选 5 个参证站进行最大风速（10min）的统计分析，推荐计

算结果较保守的气象站（海阳站）作为极端风的代表站。同时，对比海阳气象站与厂址气象站2021~2024年同期观测的风速，年最大风速差值的最大值为7.1m/s，因此以推算结果加 7.1m/s 为厂址设计基准。厂址 10m 高度处百年一遇 10min 最大风速值为 37.8m/s。

分别采用各气象站极大风速资料拟合及最大风与极大风相关关系拟合两种方法计算，并取两者中偏保守结果为厂址极大风速。厂址 10m 高度处百年一遇极大风速 52.9m/s。

2.4.2.4　设计基准气温

根据《核电厂厂址选择的极端气象事件》（HAD 101/10）附录推荐的方法，利用 Gumbel 分布对所选 5 个气象参证站进行年极端最高温度与极端最低温度的统计分析，推荐计算结果较保守的气象站（莱阳站）作为设计基准气温的代表站。再根据厂址的实测最高、最低温度与莱阳站的对比分析，推荐最终设计基准气温。

厂址百年一遇极端最高温度为 40.6℃、百年一遇极端最低温度为-24.0℃。

2.4.2.5　设计基准降水

对所选 5 个气象参证站降水资料进行 P-III 型曲线拟合，从安全性角度考虑，采用各历时计算结果最大值作为厂区设计基准降水值，厂址 5min、10min、1h、24h 百年一遇最大降雨分别为 32.7mm、46.5mm、121.1mm、411.8mm，千年一遇最大降雨分别为 47.9mm、64.4mm、170.0mm、639.3mm。

厂址区 5min、10min、30min、1h、3h、6h、12h、24h 的可能最大降雨分别为 51.3mm、84.7mm、189.6mm、315.2mm、505.8mm、681.7mm、866.0mm、1100mm。

2.4.2.6　设计基准积雪

对所选 5 个气象参证站的积雪深度和冬季 48h 极端降水进行统计，分别采用 P-Ⅲ型和 Gumbel 分布进行拟合。结果表明，栖霞站积雪与冬季 48h 降水拟合结果最保守，且百年一遇积雪深度 29.6cm 超过各站历史实测值 27cm，因此以栖霞站拟合结果为设计基准，厂址百年一遇设计基准积雪为 0.832kN/m^2，即 0.832kPa。

2.4.2.7　其他极端气象现象

1）飑线

自建站到 2021 年，莱阳站出现飑线 61 次；栖霞站 55 次；平度站 50 次；即墨站 24 次；海阳站 43 次。

2）大风

自建站至 2021 年，莱阳站共出现大风 922 天，栖霞站 1472 天，平度站 871 天，即墨站 591 天，海阳站 1324 天。

3）冰雹

自建站至 2021 年，冰雹天气出现较少。莱阳站累年各月最多冰雹日数发生在 5 月，为 2 天，累年最多冰雹日数为 5 天；栖霞站累年各月最多冰雹日数发生在 6 月，为 3 天，累年最多冰雹日数为 4 天；平度站和海阳站累年最多出现的冰雹日数均只有 3 天；即墨站累年最多出现的冰雹日数为五站中最少，只有 2 天。

4）雷暴和闪电

自建站至 2013 年，莱阳站累年平均发生雷暴 24.8 天；栖霞站累年平均发生雷暴 24.1 天；平度站累年平均发生雷暴 25.7 天；即墨站累年平均发生雷暴 23.4 天；海阳站累年平均发生雷暴 25.1 天。

海阳站出现闪电日数最多，年均 20.0 天；莱阳站次之，年均 18.4 天；栖霞站第三，年均 8.9 天；平度站和即墨站年均分别为 7.3 天和 7.2 天。每年 6~9 月是厂址附近地区闪电的高发期，其中以 7、8 两月为最多，11 月到次年 3 月出现频数很少。

5）雾

自建站至 2021 年，莱阳站共出现雾 1881 天；栖霞站 961 天；平度站 1597 天；即墨站 936 天；海阳站 1457 天。

6）低温霜冻

自建站至 2021 年，莱阳站、栖霞站、平度站、即墨站和海阳站累年平均霜冻日数分别为 111.4 天、62 天、77.3 天、68 天和 76.1 天。霜冻主要出现在 10~12 月及次年的 1~5 月，其它月份基本没有出现。

2.4.3　当地气象条件

根据厂址气象站 2022 年 11 月至 2024 年 10 月的观测资料，以及厂址代表性气象站莱阳站 1952~2021 年的气象资料，分析厂址区域的气温、气压、水汽压、相对湿度、降水、蒸发、风速、风向等气象参数值。

1）气温

厂址站年平均气温为 13.5℃，最热月 8 月平均气温为 26.7℃，最冷月 12 月平均气温为-1.4℃，年最高气温为 37.5℃，年最低气温为-16.3℃。年平均气温日

较差为 10.4℃；3 月平均气温日较差最大，为 12.8℃；7 月平均气温日较差最小，为 7.2℃。

莱阳站累年平均气温为 11.8℃；7 月平均气温最高，为 25.3℃；1 月平均气温最低，为-3.3℃。极端最高气温为 40.0℃，极端最低气温为-24.0℃。累年平均气温日较差为 11.2℃；4 月、5 月平均气温日较差最大，为 13.0℃；7 月平均气温日较差最小，为 8.3℃。

2）湿球温度

厂址站年平均湿球温度为 11.3℃；8 月平均湿球温度最高，为 24.7℃；12 月平均湿球温度最低，为-2.4℃。极端最高湿球温度为 30.7℃，极端最低湿球温度为-16.3℃。年平均湿球温度日较差为 6℃；3 月平均湿球温度日较差最大，为 8.2℃；7 月平均湿球温度日较差最小，为 3℃。

莱阳站累年平均湿球温度为 11.8℃；7 月平均湿球温度最高，为 23.0℃；1 月平均湿球温度最低，为-4.8℃。极端最高湿球温度为 30.7℃，极端最低湿球温度为-23.6℃。累年平均湿球温度日较差为 5.0℃；1 月平均湿球温度日较差最大，为 6.9℃；7 月平均湿球温度日较差最小，为 2.7℃。

3）气压

厂址站年平均气压为 1014.1hPa，极端最高气压为 1038.9hPa，极端最低气压为 987.0hPa。

莱阳站累年平均气压为 1012.3hPa；1 月平均气压最高，为 1022.1hPa；7 月平均气压最低，为 999.8hPa。极端最高气压为 1039.6hPa，极端最低气压为 979.1hPa。

4）相对湿度

厂址站年平均相对湿度为 71%。极端最低相对湿度为 10.2%。年平均相对湿度日较差为 44.8%；3 月平均相对湿度日较差最大，为 56.4%；7 月平均相对湿度日较差最小，为 31.4%。

莱阳站累年平均相对湿度为 71%。7 月、8 月平均相对湿度最大，为 83%；3 月、4 月平均相对湿度最小，为 60%。累年平均相对湿度日较差为 44%；10 月平均相对湿度日较差最大，为 50%；7 月平均相对湿度日较差最小，为 33%。

5）降水

厂址站年均总降水量为 702.6mm，7 月雨量最大，为 236.2mm；2 月雨量最小，为 4.5mm。一日最大降水量为 121.4mm（2024 年 7 月 22 日），一小时最大降水量为 46.1mm（2024 年 7 月 22 日 12 时）。

莱阳站累年平均降水量为 694.5mm；7 月平均降水量最大，为 190.3mm；1 月平均降水量最小，为 7.7mm。年最大降水量为 1450.8mm（1964 年），月最大降水 428.3mm（1970 年 7 月），一日最大降水量为 248.9mm（1956 年 9 月 5 日），一小时最大降水量为 75.3mm（1985 年 9 月 5 日 06 时）。

6）积雪及冻土

厂址站年最大积雪深度为 5cm；年最大冻土深度为 20cm。

莱阳站累年平均积雪深度为 5.1cm，累年最大积雪深度为 21cm。累年平均最大冻土深度为 27.6cm，累年最大冻土深度为 50cm。

7）风向、风速

（1）厂址气象站

①地面气象站

根据地面自动气象站 10m 高度风速风向观测结果：年平均风速为 3.8m/s，最大风速为 18.2m/s。年最多风向为 SSE，频率为 17.8%；次多风向为 NNE，频率为 13.3%。年静风频率为 0.6%。地面站 10m 高度全年的风玫瑰图见图 2.4-5。

②气象铁塔

气象铁塔 100m 的年最多风向为 S，其频率为 16.9%，80m、55m、30m 和 10m 高度年最多风向均为 SSE，频率分别为 15.2%、17.5%、19.1%和 18.4%；100m、30m、10m 次多风向为 NNE，频率为 10.9%、11.1%、13.4%，80m、55m 的次多风向为 S，频率分别为 12.5%、11.1%。观测期间各高度主导与次主导风向集中在 NNE 和 SSE、S 风向上，三个风向的频率占 35%以上。

全年平均风速 100m 高度为 5.7m/s，80m 高度为 5.4m/s，55m 高度为 5.0m/s，30m 高度为 4.4m/s，10m 高度为 3.8m/s，平均风速随高度增高而增大。100m、80m、55m、30m 和 10m 高度静风频率分别占总观测时数的 0.3%、0.1%、0.2%、0.2%和 1.0%。

铁塔不同高度层全年的风玫瑰图见图 2.4-6。

（2）莱阳气象站

累年平均风速为2.6m/s。年平均风速最大值出现在1992年和1994年（3.1m/s），最小值出现在 2017 年（2.0m/s）。年最大风速最大值为 25.0m/s，当时风向为WNW，出现时间为1983年4月26日。年极大风速为28.3m/s，当时风向为W，出现时间为 1994 年 3 月 23 日。莱阳站 2005~2021 年最多风向为 SSE，频率为10.2%。全年的玫瑰图见图2.4-2。年静风频率为12.2%。

2.4.4　大气稳定度

根据厂址气象观测站 2022 年 11 月 1 日起至 2024 年 10 月 31 日的逐时刻气象观测资料，利用ΔT-u 法得到的厂址地区大气稳定度分类参见表 2.4-5。其中不稳定类（A、B、C 类）占 21.7%，中性类（D 类）占 43.1%，稳定类（E、F 类）占 35.2%。

该区域观测表明，厂址逆温出现频率很低，△T~u 法对于塔层低层大气温度梯度的识别更准确与客观，因此对局地气象所涉及的综合因素的影响的判定结果更可靠。因此对于该厂址而言，本报告推荐该方法作为厂址地区大气稳定度的分类方法。

2.4.5　联合频率

根据厂址气象观测站 2022 年 11 月 1 日起至 2024 年 10 月 31 日的逐时刻气象观测资料，统计厂址地区 10m 和 80m 高度的风向、风速、大气稳定度三维联合频率以及 10m 和 80m 高度的风向、风速、大气稳定度、降雨（无雨、小雨、中雨、大雨、暴雨）四维联合频率。

2.4.6　混合层高度及扩散参数值

2.4.6.1　大气边界层观测

近地面释放的污染物在大气中的扩散和输送主要受边界层和温度层结等气象条件影响，其中风、温廓线又在很大程度上影响边界层和湍流状态。为研究厂址地区大气边界层风温特征，专题承担单位于 2022 年 1 月 1 日~2022 年 1 月 20 日，2022 年 7 月 7 日~2022 年 7 月 26 日分别开展了冬、夏两季的低空探空探测。

冬季观测点位置在厂址气象站，有效观测时间 20 天，每天观测 8 次，分别是北京时间 02、05、08、11、14、17、20、23 时。

夏季观测点位置在厂址气象站、金口镇和卧龙村（测点 1、2、3），有效观测时间 20 天。厂址气象站测点每天观测 10 次，观测时间为北京时间 02、05、

08、11、12:30、14、15:30、17、20、23 时；金口镇和卧龙村测点每天观测 6 次，观测时间为北京时间 08、11、12:30、14、15:30、17 时。

1）边界层风廓线

通过观测得到了厂址区域以下特征：

厂址测点风场冬夏季差异明显。观测表明，冬季 10m 高度最多风向为 NNW，风频为 10.2%，从地面向上到 125m 主导风向主要为 WNW-NW-NNW，150m 到 275m 主导风向切换为 NNW-N-NNE，向上到 1000m 主导风向切换回 WNW-NW-NNW，1100m 以上主导风向切换为 W-WNW-NW。夏季厂址测点 10m 高度最多风向为 SE，风频为 15.2%，从地面向上到 500m 主导风向主要为 ESE-SE-SSE，500m 以上主导风向切换为 WNW-NW-NNW。

根据厂址气象站的观测结果，厂址 100m、80m、55m、30m 和 10m 高度的静风频率很低，大气扩散条件较好。各高度层内，大的风频均对应较大的风速，有利于污染物的输送。

冬夏季，从风速日平均值看，从地面至 2500m 风速均随高度的增加而增大。从数值差异程度来看，各高度上的平均风速夜间值与昼间值相差不大。

厂址测点冬季 25m 以下风速集中在 0.0-1.9m/s 风速段，50m-300m 高度层风主要集中在 3.0-4.9m/s 风速段，350m-1400m 高度，风速主要集中在 5m/s-6.9m/s。随高度的增加大风速段频率增大，1500m 高度层以上风速主要集中在≥11.0m/s。夏季，厂址测点 25m 以下风速集中在 0.0-1.9m/s 风速段，随着高度增加，0.0-1.9m/s 风速段占比减少，3.0m/s 以上风速段逐渐增大。50m-1200m 高度层风主要集中在 3.0-6.9m/s 风速段，1300m 高度层以上风速主要集中在 7.0-8.9m/s。

与《环境影响评价技术导则—大气环境》（HJ2.2-2018）中推荐的较为通用的幂指数相比对，冬夏两季厂址测点实测幂指数在不稳定的 A-B 类与标准中的城市幂指数接近，弱不稳定的 C 类介于标准中城市和农村幂指数之间，中性的 D 类和稳定的 E-F 类与标准中农村下垫面的幂指数较为接近。A-B、C、D 和 E-F 类推荐 P 幂指数值分别为 0.10、0.14、0.18 和 0.28。

2）混合层高度

参考专题单位编制的《山东莱阳核能工程大气扩散试验专题报告》：为了获得核电厂址大气边界层的混合层高度，根据观测期间所探测到的温度资料，利用观测资料和干绝热曲线法分别对冬、夏两季各观测点的混合层高度数值进行了统

计。干绝热上升曲线法是目前广泛应用的估算混合层厚度的方法，也是大气环评导则推荐的计算混合层厚度的首选方法。该方法利用任一时间的地面温度作干绝热线，该线与清晨 07 点的温度曲线的交点（或切点）可作为该时间的混合层高度。其中由午后地面最高气温作干绝热线与该廓线相交（或相切），地面到交点的高度即为最大混合层厚度。

从保守的角度出发，取同稳定度下，厂址冬、夏两季观测混合层高度的平均值的较小值作为该稳定度下混合层高度的推荐值：890m（A-B 类稳定度）、620m（C 类稳定度）、450m（D 类稳定度）。

3）其他因素对大气弥散条件的影响

（1）边界层逆温

根据观测结果，冬季逆温出现较多，1000m 以上逆温出现频率较高，逆温厚度较大；夏季逆温出现较少，同样是 1000m 以上逆温出现频率较高。冬季，在整个观测层中，逆温厚度最大的为 500m—1000m 逆温，为 2103.2m；出现逆温频率最多的情形是大于 1000m 的逆温，出现频率为 78.1%，其次是接地逆温，频率为 38.1%；逆温强度最大值出现在 0—300m 的逆温中，为 5.4℃/100m。

（2）热力内边界层

形成热力内边界层的必要条件是向岸流和一定的海陆温差。由于厂址附近夏季近地层偏 E 风频率较高，向岸流特征比较显著，三个测点均出现了热内边界层，且高度变化规律基本一致：距海岸线越近，热内边界层高度越低。平均而言，2022 年夏季测点 1、2、3 的热内边界层高度分别为 587m，324m、332m。

（3）山谷风、海陆风环流

基于现阶段调查资料，厂址区域不涉及山谷风、海陆风环流。

2.4.6.2　扩散参数

根据专题单位编制的《山东莱阳核能工程大气扩散试验专题报告》，本项目分别采用三种手段获得 80m 扩散参数：

（1）现场示踪试验获得 80m 高度的 A、C、D 类扩散参数；

（2）通过湍流观测 80m 高度的不稳定、中性和稳定类天气扩散参数；

（3）大气扩散数值模拟研究对 SF_6 示踪试验和补充个例进行了模拟，获得 80m 高度的六类天气扩散参数。

其中，六氟化硫（SF_6）示踪试验于 2022 年 7 月 17 日~30 日开展，期间共进行了 24 次有效示踪实验，其中 17 次释放高度为 80m，7 次释放高度 30m。24 次实验中，D 类稳定度占 12 次，C 类稳定度占 10 次，B 类稳定度占 1 次，A 类稳定度占 1 次。最终结合 P-G 曲线外推的方法，给出了 6 类稳定度条件下的扩散参数。

湍流观测分别于 2021 年 12 月 31 日~2022 年 1 月 21 日和 2022 年 7 月 10 日~2022 年 7 月 31 日进行，观测高度分别为 30m 和 80m。

推荐厂址扩散参数时会以 SF_6 试验中代表性最好的天气类型扩散参数为基准，类比示踪试验 A、C 和数值模拟 A、B、C 各类扩散曲线的间距来外推 A、B、C 类扩散参数，类比数值模拟 E、F 类外推现场试验没有获取的 E、F 天气类型扩散参数。使用等差法来外推其它类别扩散参数，即以三种方法获得的 D 类扩散参数对数值间的平均差值为基准，类比相应类别扩散曲线的间距来外推得到其它类别的扩散参数系数。

根据上述方法所获得的拟建厂址地区各类天气条件下的扩散参数推荐值见表 2.4-6。

2.4.7 运行前的厂址气象观测

山东莱阳核电项目一期工程运行前的气象观测包括气象梯度观测和厂址专用地面气象站观测。

1）站址位置

2021 年 3 月份，厂址气象观测专题承担单位对厂址气象站位置进行了现场踏勘，在此基础上，选择了距离厂址北侧边界约 500 米的位置开展气象站的建设工作。

该点在厂址的上风向处，四周地势相对均匀，起伏不大且无高大山体、建筑物以及树木的遮挡，总体来说，该点距离厂址较近，地形条件能够反映厂址特征，代表性较好。气象站的位置见图 2.4-7。气象站的外环境见图 2.4-8，图 2.4-9 为气象站建设完成后的照片。

厂址气象站于 2021 年 11 月投入使用，目前尚在继续观测。

2）厂址气象梯度观测系统

气象塔 10m、30m、55m、80m 和 100m 进行风向、风速、温度的逐时观测，30m 和 100m 高度层还设置湿度观测。

所有传感器和设备均具备检定证书或标定报告，仪器参数符合 HAD101/02 表 I 中仪器灵敏度和准确度的要求。

3）厂址地面气象站

厂址已建设地面气象站，观测项目包括：风向、风速、温度、湿度、气压、雨量、总辐射、净辐射、蒸发量、雪深及地温传感器。

所有传感器和设备均具备检定证书或标定报告，仪器参数符合 HAD101/02 表 I 中仪器灵敏度和准确度的要求。

气象观测系统设备主要参数如表 2.4-7 所示。

4）检定和维修

所有观测仪器均完成了出厂自检，进入现场安装之前，由国家气象局计量站进行检定。依照相关规范要求，专题承担单位对现场仪器进行了安装和调试。气象观测系统运行期间如发现问题，维护人员 24 小时内赶赴现场对设备进行检修，在恶劣天气前、后加强对所有设备进行检查和维护，发现问题或出现故障及时处理并填写故障记录单。

5）数据获取率

气象观测塔和地面气象站 2022.11.01~2024.10.31 两整年气象数据的联合获取率为 99.38%，满足 HAD101/02 不低于 90%的要求。

6）数据记录及分析程序

数据记录及分析软件采用国际上通用的较稳定的 lognet4.6，该软件具有较好的兼容性，在常规的中文操作系统下可正常运行。

数据采集硬件采用高性能采集器 CR1000X，能实现对所有的数据实时采集、保存，主机能够提供整时的或由用户定义（最小为 1min）时间间隔内的测量数据。主机能够同时显示多层数据，还能单独显示每层的数据，完全由用户自行定义。

表 2.4-1　厂址周边 80km 范围内气象站一览表

站名	海拔高度（m）		类别	站点距离厂址	
	水银槽	观测场		方位	距离（km）
招远	118.7	117.8	一般站	NNW	73.1
栖霞	206.5	205.5	一般站	N	67.4
平度	63.3	62.2	基本站	W	61.9
莱西	77.8	76.9	一般站	NNW	22.5
莱阳	42.6	41.6	一般站	N	27.3
崂山	55.4	54.0	一般站	SSW	67.5
即墨	49.0	47.8	一般站	SW	45.3
乳山	46.6	45.4	一般站	ENE	78.5
海阳	42.0	40.9	基本站	E	44.3

表 2.4-2　1949~2021 年划定区域各类热带气旋发生情况

名称	热带气旋	热带低压	热带风暴	强热带风暴	台风	强台风	超强台风	百分比（%）	年平均（个）
西北太平洋	79	5	0	15	17	11	31	94.1	1.08
南海	5	0	3	1	1	0	0	6.0	0.07
总计	84	5	3	16	18	11	31	100	1.15

表 2.4-3　影响区域热带气旋个数年代分布

热带气旋（个）	0	1	2	3	4	合计
年数（年）	18	32	18	4	1	73
百分比（%）	24.7	43.8	24.7	5.5	1.4	100

表 2.4-4　影响区域热带气旋随月份分布统计表

月份	6 月	7 月	8 月	9 月	总计
西北太平洋	4	32	33	10	79
南海	1	3	0	1	5
百分比(%)	6.0	41.7	39.3	13.1	100

表 2.4-5　Δ T-u 法得到的稳定度分类结果

稳定度	A	B	C	D	E	F
Δ T-u 法	0.03%	8.89%	12.80%	43.13%	6.95%	28.21%

表 2.4-6　厂址扩散参数推荐值（$\sigma_y = p_y x^{q_y}$，$\sigma_z = p_z x^{q_z}$）

稳定度类	扩散参数系数				取值方法
	p_y	q_y	p_z	q_z	
A	1.256	0.762	0.601	0.851	类比外推
B	0.800	0.785	0.361	0.800	类比外推
C	0.470	0.811	0.392	0.731	类比外推
D	0.323	0.815	0.262	0.738	综合值
E	0.194	0.818	0.165	0.740	类比外推
F	0.129	0.816	0.121	0.709	类比外推

表 2.4-7　气象观测系统各要素观测设备技术性能指标

测量要素	测量范围	分辨率	准确度	平均时间	自动采样速率
气温	-50℃~+50℃	0.1℃	0.1℃	1min	6 次/min
相对湿度	0~100%	1.5%	4%（≤80%） 8%（>80%）	1min	6 次/min
气压	600~1100hPa	0.1hPa	±0.3~1.5hPa	1min	6 次/min
风向	0 °~360 °	2.5 °	±3 °	3s 1min 2min 10min	1 次/s
风速	0.3~60m/s	0.05m/s	（0.3+0.03v）m/s 基准站		
降水量	雨强 0~4mm/min	0.1mm	2%（≤25mm） 3%（≤50mm）	累计	1 次/min
总辐射	0~2000W/m^2	1W/m^2	5%	1min	6 次/min
净辐射	-2000~2000W/m^2	1W/m^2	15%~20%	1min	6 次/min
蒸发	0-100mm	0.1mm	水面蒸发量为3000ml 时：≤±0.3mm 或者≤±0.1mm	1min	1 次/min
地温	-10℃~70℃	±0.2℃	±0.5℃（探体埋于土壤中时）	1min	1 次/3s
积雪	0.5m~10m	0.25mm	±1.0cm 或±0.4% 二者中取大值	1min	1 次/s

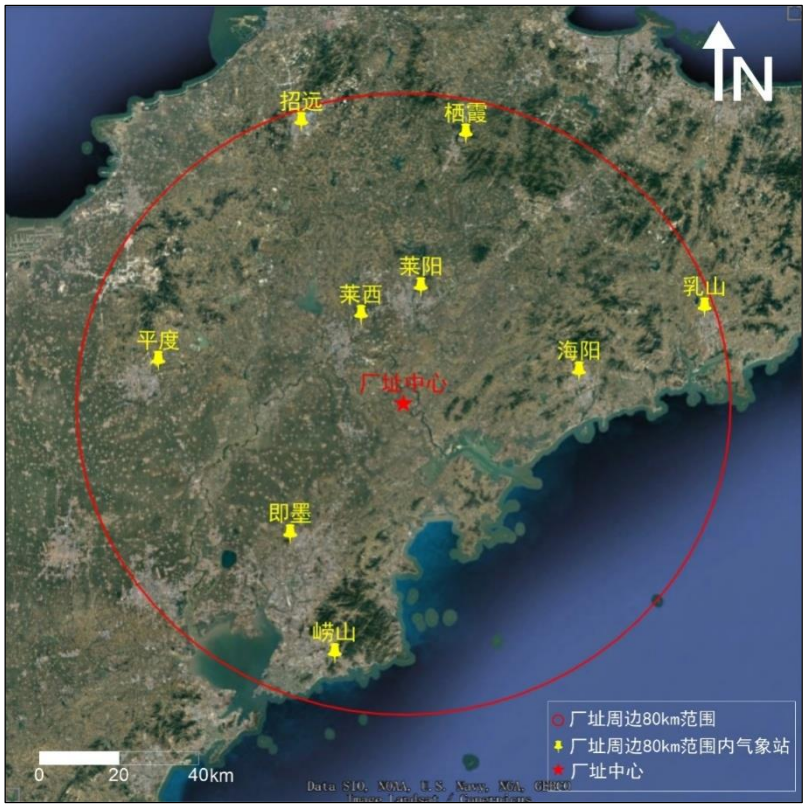


图 2.4-1　厂址的地理位置及周边气象站

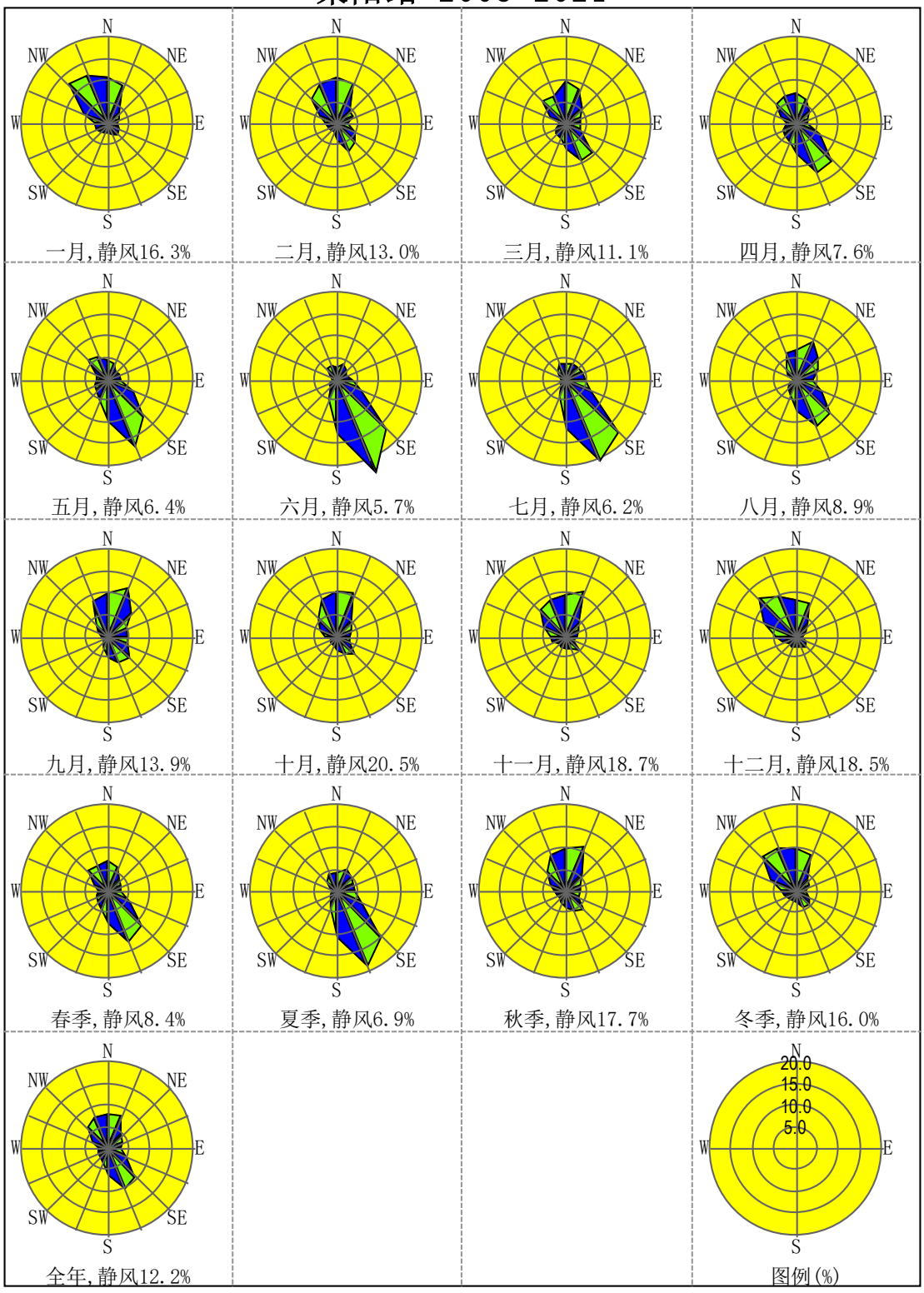


图 2.4-2　莱阳气象站 2005~2021 年风玫瑰图

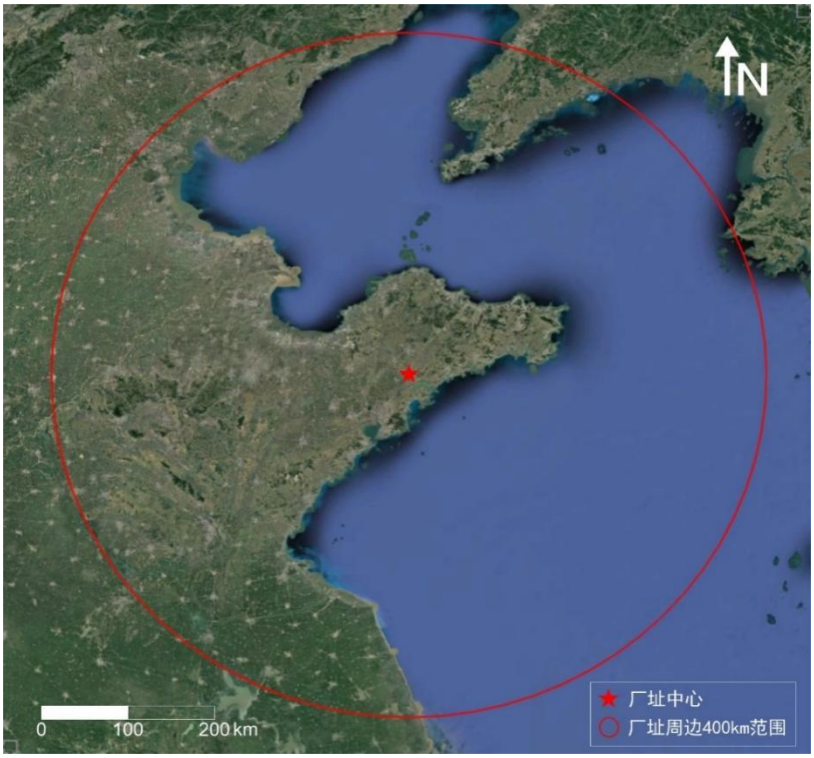


图 2.4-3　热带气旋调查范围

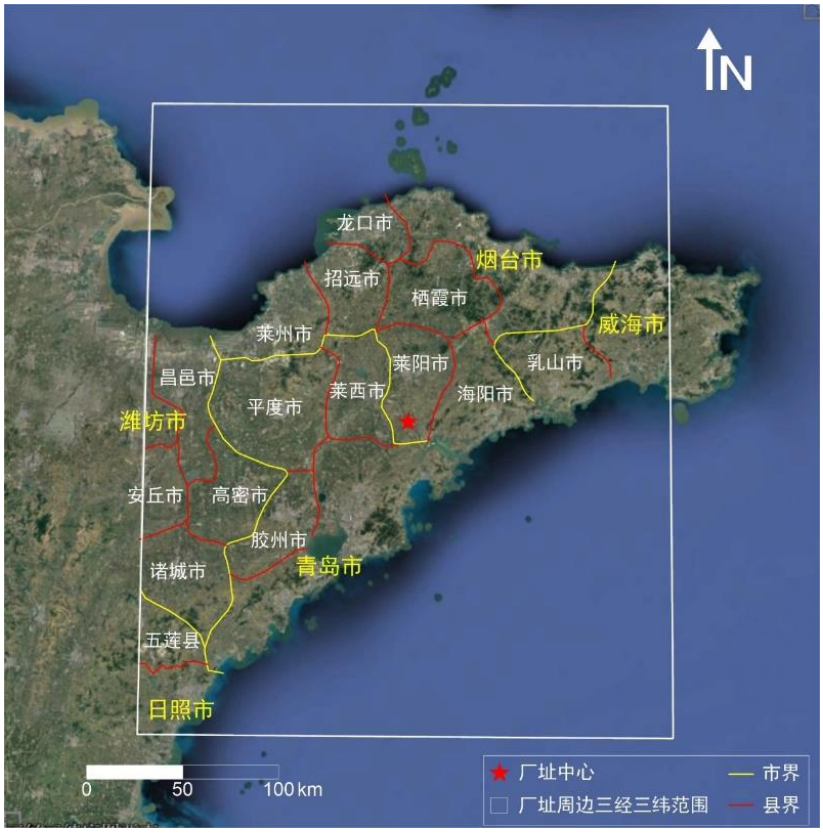
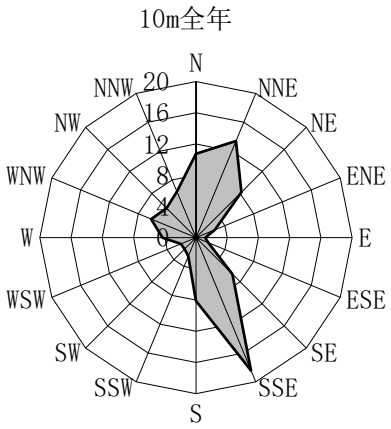
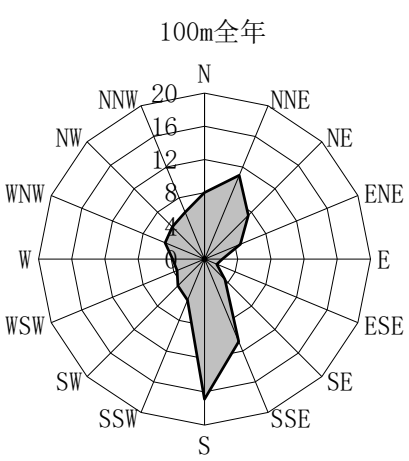


图 2.4-4　厂址外经纬跨度 3°示意图（矩形区域为龙卷风调查范围）

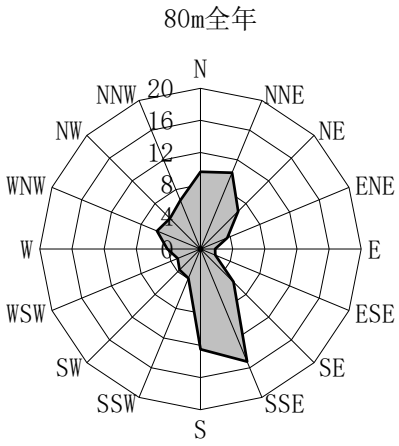


静风频率 1.0%

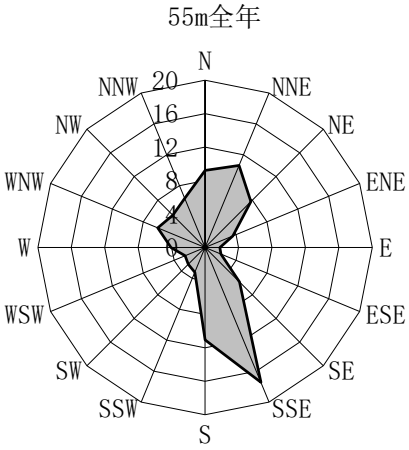
图 2.4-5　2022 年 11 月至 2024 年 10 月地面气象站全年风玫瑰图



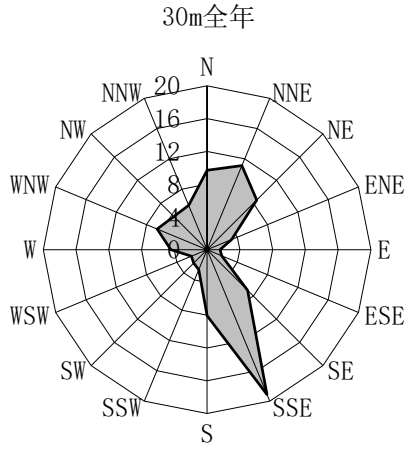
静风频率 0.3%



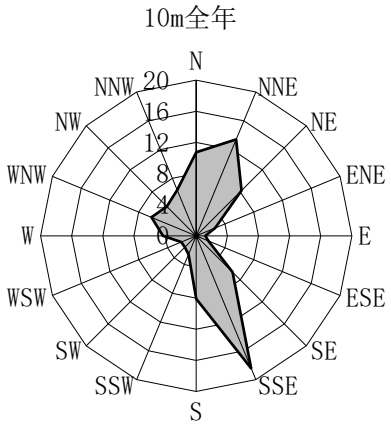
静风频率 0.1%



静风频率 0.2%



静风频率 0.2%



静风频率 1.0%

图 2.4-6　2022 年 11 月至 2024 年 10 月铁塔各高度全年风玫瑰图

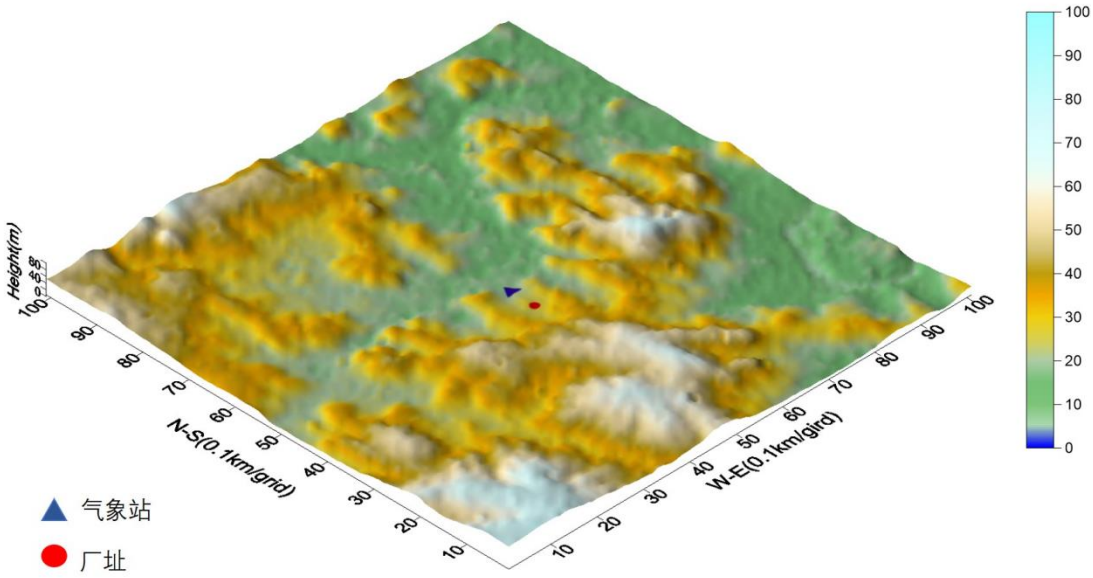


图 2.4-7　气象站位置示意图



北侧



西侧



南侧



东侧

图 2.4-8　气象站外部环境





图 2.4-9　气象站示意图

2.5 水文

2.5.1 地表水

2.5.1.1 海洋水文

项目取水口和海水淡化厂排水口位于丁字湾湾顶莱阳市辖区域，液态流出物排水口位于丁字湾外海阳市辖区域，海岸线受鳌山头、巉山头、丁字湾南头、丁字咀等基岩岬角控制，海岸线大体呈西南-东北走向，沿岸分布鳌山湾、巉山湾、横门湾、栲栳湾、丁字湾、马河港等大小不一的海湾（图 2.5-1）。项目沿岸水体功能区划和利用情况见 2.3.1.2 节。

山东半岛主要设有龙口、成山头、石岛、南黄岛、乳山口、千里岩、小麦岛、石臼所 8 个长期海洋站以及青岛港验潮站。各海洋站具体位置见表 2.5-1。

工程海域长期海洋观测站有千里岩站、石岛站、小麦岛站。其中，千里岩站与厂址直线距离约 80km，但它为海岛站，其潮汐特征与工程海域有一定差异；石岛站为岸边站，与厂址直线距离约 153km，且资料序列较短；小麦岛站为岸边站，与厂址直线距离约 79km，资料序列超过了 30 年，潮汐特征又较为相似，因此，选择小麦岛站作为参证站来辅助分析厂址的潮位特征。千里岩测波点正好位于工程海域外海，水深 31m，因此，选择千里岩海洋站作为参证站来辅助分析厂址的波浪特征。

千里岩海洋站始建于 1960 年 2 月 1 日，位于千里岩岛上北山。观测要素包括潮汐、表层海水温度、盐度、波浪、气压、风、气温等，资料较为完整。

小麦岛海洋站始建于 1959 年 7 月 8 日，三面环海，北面有一堤坝与陆地相连。该站从 1959 年 8 月起开始潮位观测，在 1962 年 1 月取消；1990 年验潮井建成之后，重新开始潮位观测。观测要素包括潮汐、表层海水温度、盐度、波浪、气压、风、气温等，资料较为完整。

2.5.1.1.1 潮汐

根据厂址水文站周年潮位观测资料（2023 年 1 月 1 日~2023 年 12 月 31 日），工程海域潮位特征值如下：

潮汐性质：　　正规半日潮

最高潮位：　　2.76m（2023 年 8 月 5 日）

最低潮位：　　-3.06m（2023 年 1 月 24 日）

年平均高潮位：　　1.59m

年平均低潮位：　　-1.21m

年最大潮差：　　4.84m（2023 年 9 月 2 日）

年平均潮差：　　2.80m

年平均涨潮历时：　　5 小时 24 分

年平均落潮历时：　　6 小时 59 分

2.5.1.1.2　海流

工程海域于 2022~2023 年（2022 年 12 月 25 日~2023 年 1 月 1 日、2023 年 7 月 26 日~8 月 15 日）开展冬季、夏季水文测验工作，测验站位见图 2.5-2。大、中、小潮期间各站垂线平均海流矢量平面分布图见图 2.5-3~图 2.5-5，平均余流矢量图见图 2.5-6~图 2.5-8。

冬季：大、中、小潮期垂线平均涨潮流平均流速分别在 31.3~64.5cm/s、22.5~50.2cm/s、21.3~44cm/s 之间，落潮流平均流速分别在 20.2~52.4cm/s、13.2~39.9cm/s、8.9~34.8cm/s 之间。夏季：大、中、小潮期垂线平均涨潮流平均流速在 27.7~59.5cm/s、23.0~47.4cm/s、16.3~37.5cm/s 之间，落潮流平均流速分别在 14.5~47.1cm/s、10.1~37.0cm/s、10.3~33.2cm/s 之间。整体而言，冬、夏季大潮涨落潮流速较大，中潮次之，小潮最小。

冬季、夏季：V6 测站垂线平均流速最大，V1、V3、V4、V5 测站次之，V2、V7、V8 测站流速最小；空间分布上主要表现为丁字湾湾口处的 V6 测站流速大，丁字湾内流速大，丁字湾外流速小。

冬季：V1~V7 测站表现为往复流特征，V8 测站表现为旋转流特征。夏季：V1~V6 测站表现为往复流特征，V7 和 V8 测站表现为旋转流特征。

冬季：潮流可能最大流速在 50.4~152.9cm/s 之间；潮流水质点的可能最大运移距离在 6966.7~21650.4m 之间。夏季：潮流可能最大流速在 38.7~156.5cm/s 之间；潮流水质点的可能最大运移距离在 5212.3~21716m 之间。

冬季：余流流速较小，流速在大潮期最大，中潮和小潮稍小一些；大、中、小潮期各站各层余流流速分别在 1.8~13.5cm/s、1.8~10.1cm/s、0.3~10.9cm/s 之间；垂线分布来看，余流流速基本表现为上层水体大于下层水体的特征。夏季：余流

流速不大，流速在大潮期和中潮期较大，小潮最小；大、中、小潮期各站各层余流流速分别在 2.9~20.9cm/s、1.0~19.0cm/s、1.7~11.0cm/s 之间；垂线分布来看，余流流速基本表现为由表层向底层递减的特征。

冬季：余流流速整体上在大潮期最大，中潮和小潮稍小一些，大、中、小潮期垂线平均余流分别为 3.5~12.5cm/s、2.6~6.9cm/s、0.8~9.0cm/s。夏季：余流流速整体上在大潮期和中潮期较大，小潮最小，大、中、小潮期垂线平均余流分别为 4.3~16.5cm/s、3.1~14.5cm/s、2.2~9.3cm/s。空间分布来看，湾内余流量值大于湾外，垂线分布来看，余流流速基本表现为上层水体大于下层水体的特征。

2.5.1.1.3　波浪

根据工程海域 2021 年 8 月 1 日~2022 年 7 月 31 日的波浪观测资料，年最大波高 H_m 为 5.1m，发生时间为 9 月 6 日；最大 $H_{1/3}$ 为 3.2m，发生在 9 月 20 日；最大 $H_{1/10}$ 为 3.9m，发生在 9 月 20 日。$H_{1/3}$ 平均值为 0.5m，$H_{1/10}$ 平均值为 0.6m。

2021 年夏季、秋季及冬季常浪向为 SE 向，次常浪向为 SSE 向；2022 年春季常浪向为 SSE 向，次常浪向 S 向；2022 年夏季常浪向为 SSE，次常浪向 SE 向。

工程海域可能最大台风浪百分之一大波平均波高 $H_{1/100}$ 为 7.40m。厂址与海域距离远，不受波浪影响。

2.5.1.1.4　泥沙

根据工程海域在 2022~2023 年开展的冬季、夏季同步水文测验的泥沙观测工作。

冬季：工程海域涨、落潮平均含沙量为 0.0530kg/m^3，大潮、中潮和小潮含沙量差异不大，分别为 0.0536kg/m^3、0.0524kg/m^3 和 0.0531kg/m^3。悬沙粒度组成以粉砂组分为主，粉砂含量平均值约 68.63%，粘土含量平均值约 22.91%，砂组分含量平均值约 8.46%。冬季各观测站全潮期中值粒径范围 0.0061~0.0252mm，大、中、小潮平均悬沙中值粒径分别为 0.0093mm、0.0105mm 和 0.0095mm，全潮期平均为 0.0097mm。平均粒径范围 0.0058~0.0214mm，平均值 0.0102mm。

夏季：工程海域涨、落潮平均含沙量为 0.0304kg/m^3，大潮、中潮和小潮含沙量分别为 0.0532kg/m^3、0.0200kg/m^3 和 0.0179kg/m^3。悬沙粒度组成以粉砂组分为主，粉砂含量平均值是 82.54%，粘土含量平均值是 13.19%，砂组分含量平均

值是 4.26%。夏季各观测站全潮期中值粒径范围为 0.0072~0.0318mm，大、中、小潮平均悬沙中值粒径分别为 0.0116mm、0.0147mm 和 0.0173mm，全潮期平均为 0.0145mm。平均粒径范围 0.0069~0.0287mm，平均值 0.0136mm。

2.5.1.1.5　海水温度

周年观测期间（2023 年 1 月 1 日~2023 年 12 月 31 日），表层最高水温为 32.33℃，出现在 2023 年 8 月；最低水温为-1.35℃，出现在 2023 年 1 月。底层最高水温为 31.27℃，出现在 2023 年 8 月；最低水温为-1.45℃，出现在 2023 年 12 月。年平均垂线水温为 17.29℃。7 月、8 月水温较高，12 月、1 月水温降低。表、底层垂向水温相差不大。

根据工程海域 2022~2023 年进行的冬、夏季多断面全潮同步水文测验：冬季观测期间，观测海域表层、中层、底层日平均水温分别在-0.40~2.82℃、-0.34~2.84℃、-0.35~2.86℃之间。表层至底层温度总体相差不大。整体上温度呈湾内略低湾外高的分布趋势。夏季观测期间，观测海域表层、中层、底层日平均水温分别在 27.84~29.66℃、27.77~29.63℃、27.73~29.62℃之间。表层至底层温度总体相差不大。整体上温度呈湾内略高、湾外低的分布趋势。

2.5.1.1.6　海水盐度

周年观测期间（2023 年 1 月 1 日~2023 年 12 月 31 日），表层最高盐度为 29.61‰，最低盐度为 12.24‰。底层最高盐度为 30.55‰，最低盐度为 14.39‰。2023 年 5 月、6 月盐度较高，2023 年 9 月份盐度最低。盐度日变幅表现为各月表层的变幅大于底层。各月各层盐度变化，无论是最高值、最低值还是平均值，盐度垂向整体表现为底层略高于表层的分布特征。

根据工程海域 2022~2023 年进行的冬、夏季多断面全潮同步水文测验：冬季观测期间，表层、中层、底层日平均盐度分别在 16.53‰~29.83‰、17.50‰~29.84‰、17.94‰~29.83‰之间。大、中、小潮实测垂线平均盐度分别为 24.93‰、25.29‰、25.55‰。夏季观测期间，表层、中层、底层日平均盐度分别在 19.67‰~31.66‰、20.72‰~31.72‰、22.08‰~31.73‰之间。大、中、小潮实测垂线平均盐度分别为 27.45‰、27.11‰、28.36‰。

冬夏观测期间，各测站盐度垂线平均值由湾内向湾外逐渐升高，主要是由上游河流淡水汇入导致。各站各潮期及各时刻的盐度大体呈现部分底层盐度略高于表层，部分表、中、底层盐度相差不大。

2.5.1.1.7　岸滩稳定性分析

1）工程海域海岸线变化

根据 1985 年、2005 年、2019 年及 2024 年遥感影像所提取的岸线，结合 1964 年海图岸线（图 2.5-9~图 2.5-10），工程海域海岸线变化如下：

1964~1985 年期间鳌山湾、巉山湾、栲栳湾岸线变化不大，横门湾及丁字湾岸线大幅向海推进。1985~2005 年期间，丁字湾及鳌山湾西侧海岸线向海明显推进，栲栳湾海岸线有小幅向海推进，其他区域海岸线变化不大。2005~2019 年期间，丁字湾内除湾顶及丁字口北侧局部海岸线向海明显推进，丁字湾内其他区域及其他海湾的海岸线变化不大。2019~2024 年期间，丁字湾岸线、水域面积无明显变动。

工程海域鳌山湾、巉山湾、横门湾、栲栳湾、丁字湾等处海岸线变化主要由人工围填海所致，造成工程海域岸线形成主要为人工岸线和基岩岸线构成的分布格局，在没有人工围填海的岸段或时段，海岸线的自然变化很小、保持稳定。由于工程海域泥沙来源少，且沿岸多沙质岬湾，自然状态下海岸线可保持稳定状态。

2）工程海域海床演变分析

（1）大范围海域海床演变特征

根据工程海域 1979 年海图、2015 年海图及 2021 年最新测图（图 2.5-11~图 2.5-14）和丁字湾局部放大图（图 2.5-15~图 2.5-18）。工程海域海床演变特征如下：

丁字湾大桥以西的湾内水域，主槽水道的 0m 等深线的位置和形态变化不大，白马岛附近边滩潮沟 0m 等深线有所萎缩。丁字湾大桥以东的湾口水域，主槽水道两侧 0m 等深线，除南滩附近局部向北淤进外，整体形状和位置变化不大；拦江沙北缘和马河港外 0m 等深线冲淤相间分布，变化幅度不大；南滩沙咀 0m 等深线整体萎缩后退并有北移趋势，对口门主槽水道形成挤压之势。丁字湾大桥以西的湾内水域 2m 等深线的位置和形态变化不大。丁字湾大桥以东的湾口水域，

主槽水道两侧 2m 等深线，除南滩附近局部向北淤进外，整体形状和位置变化不大；拦江沙北缘和马河港 2m 等深线冲淤相间分布，变化幅度不大；南滩沙咀 2m 等深线南缘明显侵蚀后退，北缘明显淤积北移。丁字湾大桥以西的湾内水域，5m 等深线除埠峙港西侧有所萎缩后退及外海大桥西侧局部形态变化外，整体位置整体变化也不大。拦江沙内侧至丁字湾大桥的口门段水域，5m 等深线除南滩附近局部向北淤进 200~300m、土埠岛附近局部向后外，整体形状和位置变化不大。拦江沙外侧外海水域，5m 等深线总体呈现南冲北淤的变化特点，拦江沙以南水域后退距离 100~200m，拦江沙以北水域向海淤进 200~800m，马河港外侧冲刷后退距离 200~300m。丁字湾 10m 等深线位于栲栳头和南头之间，形态和位置变化不大。

丁字湾湾内、湾口及口外拦江沙区域 0m、2m、5m 和 10m 等深线的位置和形状变化不大，丁字湾海域的滩槽地形保持稳定状态。总的来看，2015 年以前，除丁字湾湾顶及湾口南侧水域出现局部淤积外，滩槽地形总体保持稳定状态；2015 年后丁字湾海域滩槽地形保持稳定。

（2）丁字湾湾顶水域 2021 年 9 月至 2023 年 8 月局部测图冲淤对比

根据丁字湾湾顶水域 2021 年 9 月、2022 年 11 月和 2023 年 8 月三次测图，等深线对比见图 2.5-19～图 2.5-21，冲淤对比图见图 2.5-22～图 2.5-23，分析可知：

2021~2022 年期间除西顶子西侧局部 2m 淤积外移外，其他区域 2m 等深线的位置和形状变化均不大；深槽内 5m 及 8m 等深线的形状、位置均变化不大，滩槽地形格局保持稳定状态。取水口附近深坑 8m 等深线的位置和形状均变化不大，深坑地形保持基本稳定。2021~2022 年期间，取水口附近深坑区域的冲淤变化不大，深坑地形变化不大；西顶子西侧、取水口附近深坑南北两侧局部区域出现了较明显的淤积，局部淤厚达 0.5~2m，麻姑岛南侧深槽地形冲淤变化不大。2021~2022 年期间，湾顶水域局部区域出现了较显著淤积，可能与 2022 年 9 月五龙河受烟花台风影响发生了 10~20 年一遇大洪水的影响有关；另外，2021 年和 2022 年测图比尺局部差异较大也会对冲淤对比结果产生一定的影响。

2022~2023 年期间，丁字湾顶区域各等深线的位置和形态均未有明显变化，地形冲淤变化不大，尤其是取水口附近深坑地形冲淤变化不大。

总的来看，虽然 2021~2022 年期间五龙河发生了 10~20 年一遇的大洪水，但丁字湾顶区域的滩槽格局及局部深坑地形仍可大体保持稳定；2022~2023 年期间湾顶区域地形冲淤变化不大，取水口附近深坑地形保持稳定。

2.5.1.1.8　泥沙冲淤变化趋势

根据泥沙数模试验结果，正常天气情况下取水口附近年平均淤厚约 0.11m，最大淤厚约 0.31m；百年一遇大洪水情况下，取水口附近平均淤厚约 0.43m，最大淤厚约 1.06m。

根据泥沙物模试验结果，正常天气情况下取水口附近 100m 范围冲、淤幅度介于-0.4~0.6m，总体表现为淤积状态，平均淤积强度约 0.30m/a，淤积后其上游方向的深槽水深仍然可以维持在-7m 以上；百年一遇大洪水情况下，取水工程区局部地形冲淤变化显著，取水口所在深槽是淤积较重的区域，最大淤积厚度在 2.0m 以上，取水头附近 100m 范围平均淤积厚度在 1.2m 左右，取水头根部 10m 范围出现冲刷坑，冲刷深度超过 1.5m；淤积后取水头部上游方向的深槽水深维持在-6m 以上。

取水口底槛标高-6.80m，距现海床-9.0~-10.0m 以上 2.2~3.2m。从取水安全角度考虑，取水头附近需预留足够的备淤深度，按照取水窗口底槛高度并考虑大洪水淤积影响，核电运营期取水口附近深坑底标高的上限值建议为-8m，一旦取水口附近深坑底标高突破-8m，应及时安排清淤。

2.5.1.2　陆域水文

2.5.1.2.1　河流水系及水利工程

厂址位于五龙河流域，厂址以东约 4km 为五龙河干流，以北约 1.7km 为嵯阳河（五龙河支流）。厂址附近水系见图 2.5-24。

五龙河系胶东第一大河流，位于胶东半岛南部，西临大沽河，东临乳山河。自胶东低山丘陵发源，在胶东半岛以南注入丁字湾。上游自西向东由白龙河、蚬河、清水河、墨水河和富水河五大河流于莱阳市五龙村附近的五龙峡口汇合后始

称五龙河，在其南下过程中又纳嵯阳河、玉岱河、金水河，最后注入黄海丁字湾。五龙河流域面积 2806km^2，河长 128km，河道平均比降 1.45‰。

嵯阳河为五龙河下游右岸支流，发源于莱西市林泉庄。全长 23.22km，比降 1.26‰，流域面积 162km^2。

厂址所在的五龙河流域建有大型水库 1 座（沐浴水库），其它中、小型水库及塘坝 80 余座，除了沐浴水库外，流域内规模较大的水利工程有龙门口水库和建新水库等，在厂址北侧的嵯阳河上建有南岩水库和方里水库。厂址河段有胡城拦河闸，胡城闸上游约 13.5km 有陶格庄拦河闸，胡城闸上游约 4.4km 有濯村拦河闸，胡城闸下游约 10km 有凤凰台拦河闸。

2.5.1.2.2　淡水水源

施工期用水包括施工生产用水和消防用水等。其中，施工生产用水包括施工土建期生产用水、安装期生产用水和调试期生产用水。施工期最大年取水量 86.89 万 m^3，保证率 90%；日最大取水量为 4019.1m^3。施工期水源为五龙河地表水，可满足项目一期工程施工期用水水量及用水保证率要求。

运行期淡水主要包括循环冷却水补水、厂用水补水、电厂除盐水原水、生产用水、消防用水、绿化、洗车、道路浇洒等用水，其中绿化、洗车、道路浇洒用水为中水系统再生水。运行期使用海水淡化水，设计取水保证率为 97%。海水淡化厂位于莱阳市羊郡镇辖区，海水淡化的设计能力为 58.8 万 t/d，一期工程建设规模为 19.6 万 t/d，可满足项目运行期淡水用水需求。

项目已于 2026 年 6 月取得《水利部淮河水利委员会关于山东莱阳核电项目一期工程取水许可申请准予行政许可决定书》（淮许可决〔2026〕46 号），淡水用水方案合理。

2.5.2　地下水

2.5.2.1　厂址附近范围及取排水管线附近地下水条件

1）厂址附近范围地下水条件：

（1）水文地质单元划分

厂址附近范围位于剥蚀丘陵区，丘体坡度较缓，一般小于 10°，根据嵯阳河、五龙河主河道的位置将厂址附近范围分为三个水文地质单元，五龙河以东为第Ⅰ水文地质单元，嵯阳河以北、五龙河以西为第Ⅱ水文地质单元，嵯阳河以南，

五龙河以西为第III水文地质单元。其中第III水文地质单元根据丘包连线为界可划分三个亚单元，其中III_1亚单元，地下水流向为向北排泄至嵯阳河或五龙河，向西排泄至嵯阳河支流，III_2亚单元地下水流向为向东向南排泄至五龙河，III_3亚单元地下水流向为向南，最终也汇入五龙河排入丁字湾。剖面见图2.5-25~图2.5-26。厂址位于III_1亚单元、III_2亚单元。

（2）地下水类型和特征

厂址附近范围地下水主要为第四系松散岩类孔隙水和基岩裂隙水。第四系松散岩类孔隙水主要赋存于第四系冲洪积层、坡残积层等土层孔隙中，基岩裂隙水主要赋存于岩体风化裂隙及构造裂隙中。

①第四系松散岩类孔隙水

第四系松散岩类孔隙水主要含水层为冲洪积、坡残积，分布于河谷地带及河流沿岸，受地形、地貌严格控制。

坡残积层孔隙水分布在丘陵斜坡、沟谷洼地地段的第四系松散岩类，岩性主要为含砾粉土和粉质黏土。厚度一般小于5m，该含水层的地下水位埋深一般1～3m，年变幅 1～2m，富水性很弱。因其所处地貌不同，则各处坡残积厚度、颗粒大小和地下水的补给条件具有显著差异，其富水性大小不一，一般丘陵地带富水性很弱，近河谷边缘富水性明显增大。

冲洪积层孔隙水分布在河流沿岸，含水层岩性为细、中粗砂或砾石，出露于漫滩地带，埋藏于地表土之下，厚度＞1m。地下水位埋深0.1～8.0m，埋深及水力坡度随地形而异，厂址附近范围内孔隙水水力梯度为 0.0001～0.2，水位年变化幅度0.3～3.0m。单井涌水量一般为100-300m^3/d，富水性中等，雨季水量会有所增加。

②基岩裂隙水

基岩裂隙水主要赋存于场地强～微风化状态的基岩裂隙中。该含水层是区内的主要含水岩层，含水岩组主要为砂岩和砂砾岩等沉积岩以及安山岩和安山玢岩等岩浆岩类。地下水类型为潜水，地表表层风化裂隙较发育，由上到下逐渐变弱，该含水层赋水性弱。地下水位埋深0.6～18.5m，埋深及水力坡度随地形而异，水位年变化幅度 1.0～3.0m。区内基岩裂隙水无统一地下水水位。单井涌水量小于

100m^3/d。

（3）地下水补给、径流和排泄

①第四系松散岩类孔隙水

第四系松散岩类孔隙水主要接受大气降水、地表水体及基岩裂隙水的侧向径流的补给，接受补给后，径流主要受地形控制，由区中部的丘陵区向北或向南径流，最终流向五龙河或流向嵯阳河后汇入五龙河，地下水的排泄方式主要为蒸发、垂直向补给基岩裂隙水和侧向补给河流，最终由五龙河汇入丁字湾排入黄海。

②基岩裂隙水

主要接受大气降水、地表水和浅部第四系松散岩类孔隙水的补给，补给量的多少主要与降水的多少、裂隙发育特征有关。当地下水入渗到基岩的裂隙后，岩节理、裂隙向低处径流，直至裂隙发育下界，在地势低洼处或冲沟处溢出地表。地下水的径流、排泄速度受节理裂隙的连通性、地形坡度所控制。

厂区位于III_1亚单元、III_2亚单元的分界线附近，为丘包连线处，厂区原始地形属于周边地势最高处，挖填方后场平标高为36.0m，仍为周边地势较高处，径流主要受地形控制，初步判断场地平整后，地下水流向没有发生较大变化，依旧由厂区向北或向南径流，流向五龙河或流向嵯阳河后汇入五龙河，最终由五龙河汇入丁字湾排入黄海。

（4）水力联系

①地表水与地下水的水力联系

区内地表水体和地下水体存在相互补给的水力联系，区内地表水体有河流、水库（塘）等，山体中的地下水沿着岩土体内的裂隙向低处径流途中，在地势低洼处以微渗的形式补给地表水体；同时，地表水体在径流过程中也会入渗补给地下水。

②地下水各含水层之间的水力联系

松散岩类孔隙水含水岩组分布于基岩裂隙水含水岩组上部，松散岩类孔隙水通过岩体裂隙垂向补给基岩裂隙水；同时基岩裂隙水沿岩土体内的裂隙向低处径流，径流途径中在侧向补给松散岩类孔隙水。

（5）地下水的渗透性

根据双环渗水试验，第四系松散岩类孔隙水的渗透系数约在 2.86×10^{-4} 至 8.20×10^{-4}cm/s，为中等透水。

厂址区附近剥蚀丘陵地带的强风化层厚度较薄，场地的基岩裂隙水主要赋存于剥蚀丘陵地带的中~微风化岩体中。根据压水试验成果，中等风化岩体渗透系数为 3.14×10^{-6}~1.01×10^{-4}cm/s，岩体的透水性为微透水~中等透水；微风化岩体渗透系数为 5.98×10^{-7}~6.13×10^{-5}cm/s，岩体的透水性为极微透水~弱透水。根据抽水试验结果，中等风化岩体渗透系数为 3.24×10^{-6}~6.26×10^{-5}cm/s，渗透性为微透水~弱透水地层，微风化岩体渗透系数为 4.63×10^{-7}~2.43×10^{-6}cm/s，渗透性为极微~微透水地层。

综合已完成的现场水文地质试验，将厂址水文地质测绘范围的岩土层的渗透系数和透水率进行汇总，得到各含水岩组的渗透系数建议值。

（6）地下水流速

根据地下水流速数据分析，厂址区基岩内地下水综合流速为 0.4756～0.5792m/d。总体而言，厂址区附近的地下水主要赋存于基岩裂隙中，基岩裂隙连通性差，其地形有一定起伏，受其影响，地下水流速不稳定，差异较大。

（7）地下水水化学特征及腐蚀性

厂址范围的基岩裂隙水的矿化度均小于 1g/L，为淡水；厂址附近范围各村民井的矿化度为 0.8~1.5g/L，为淡水~微咸水。

厂区地下水对混凝土结构具有微腐蚀性，对钢筋混凝土结构中的钢筋在长期浸水情况下具有微腐蚀性，在干湿交替情况下具有微～弱腐蚀性。

（8）吸附特性

综合考虑厂区和排水管线的地质及水文地质条件、厂坪开挖、岩土介质的粒径分布、地下水流向与核素迁移途径等，最终筛选了 10 种岩土介质。采用静态批式法，开展岩土体对 Cs-137、Co-60、I-129、Mn-54、Ag-110m 和 Sr-90 的吸附试验。

2）取排水管线地下水条件：

（1）水文地质单元划分

管线整体处于五龙河流域下游，以娘娘山山脊分水岭为界，将五龙河下游地

下水系统 I 进一步划分为水文地质二级单元，即由西向东分别为五龙河下游水文地质二级单元（I_1）和白沙河下游水文地质二级单元（I_2）。再根据每个水文地质二级单元内地形地貌及局部地表分水岭，进一步划分至水文地质三级单元，管线主要跨越五龙河下游水文地质二级单元（I_1）。

（2）地下水类型和特征

地下水主要分为碎屑岩类孔隙裂隙水、岩浆岩类裂隙水和松散岩类孔隙水，并基于该地下水类型划分三类含水岩组。

①松散岩类孔隙水

松散岩类孔隙水主要分布在河流两侧、上游山间河谷地带、丘陵坡麓及沟谷地带、滨海地带，是管线附近面积最大而且富水性也较好的主要含水层。从低山丘陵到滨海，含水层颗粒由粗到细，厚度由小到大，层次由少到多。根据成因类型、岩性构造、分布范围及埋藏条件的不同，将其进一步划分为：坡麓、谷缘洪坡积层、山间冲洪积层孔隙含水亚组，单井涌水量均小于 500m^3/d；山前冲洪积层孔隙含水亚组，距河流越近，富水性越高，单井涌水量可高达 1000~3000m^3/d，之后水量减少，单井涌水量降至 500~1000m^3/d，在离河流较远的山前，水量贫乏，单井涌水量普遍低于 500m^3/d；滨海平原海积、冲洪积层孔隙含水亚组，水量普遍贫乏，单井涌水量一般小于 500m^3/d。只在东南纪疃河流入海及新安镇临海附近水量中等，单井涌水量在 500~1000m^3/d 之间。

②碎屑岩类孔隙裂隙水

碎屑岩类孔隙裂隙水主要分布于羊郡镇及高格庄镇南部的低山丘陵及剥蚀台地莱阳群地层中，上覆第四系较薄透水不含水层。工作区内广泛分布，岩性主要为砂岩、砂砾岩等，含水层以风化裂隙为主，含水层厚度通常在 5~20m，在局部的构造线周边含水层普遍较厚。该含水岩组的地下水位埋深 0.64~5.00m，但由于裂隙发育较差，含水贫乏。单井涌水量均小于 100m^3/d。

③岩浆岩类裂隙含水岩组

主要分布在辛安镇南北部及行村镇东部一带的低山丘陵及剥蚀台地青山群地层中，岩性以安山玢岩、流纹凝灰岩以及中性/酸性岩脉为主。地下水主要赋存于风化裂隙较发育的风化层，含水层厚度一般为 5~15m。该含水岩组的地下水

位埋深 0.30~7.17m，因裂隙发育很差，补给来源贫乏，含水微弱。单井涌水量均小于 100m^3/d，整体水量贫乏，富水性较好的区域呈零星点状分布于强风化较厚的沟谷底部。

（3）地下水补给、径流和排泄

区内两个水文地质二级单元之间受隔水边界和河流边界的控制，补给、径流和排泄相对独立，但单元内不同含水岩组之间的补给、径流和排泄相互关联，形成该单元内较为完整的地下水循环体系。整体上，区内低山丘陵和剥蚀台地的地下水主要赋存于风化带碎屑岩类孔隙裂隙和基岩裂隙含水岩组，山间河谷冲洪积平原和冲海积平原地下水主要赋存于松散岩类孔隙含水岩组。因此，下文按照含水岩组类型分别论述地下水补径排条件。

①松散岩类孔隙水

主要分布于区内山间河谷冲洪积平原和冲海积平原，补给方式主要以垂向补给为主，水平补给为辅。垂向上，孔隙水的主要补给来源为大气降水。另外，农业灌溉的回灌补给以及五龙河、纪疃河、白沙河等主要河流的渗漏补给也是孔隙水的重要补给来源。河流渗漏补给除了受气候条件的影响之外，还受上游来水量的影响。水平向上，孔隙水普遍分布在山间河谷冲洪积平原和冲海积平原，地势较低，可接受其地下水上游区，即剥蚀台地和低山丘陵碎屑岩类孔隙裂隙水和基岩裂隙水的侧向径流补给。松散岩类孔隙水沿河流径流从周围各个方向向丁字湾运动，最终径流入海。

②碎屑岩类孔隙裂隙水

主要分布于区内低山丘陵和剥蚀台地的沉积岩区，大部分裸露或薄层粘性土覆盖，其主要补给来源为大气降水。地下水运动与地形变化一致，由于该含水层透水性较差，径流速度慢，地下径流量也较小。排泄方式主要以侧向径流流出和人工开采为主，其次在低洼处水位埋藏较浅处，蒸发也是排泄方式之一。

③岩浆岩类裂隙水

主要分布于区内低山丘陵和剥蚀台地的侵入岩区。其补给来源以大气降水补给为主，在地势较低处可接受松散岩类孔隙水和地表水的补给。由于区内基岩裂隙一般发育细微，地形坡度较大，大部分降水以片流形式流失，仅部分大气降水

直接沿裂隙发育方向渗入地下形成径流。在剥蚀台地，可接受上游区基岩裂隙水径流补给，随地形起伏多呈散状径流；沟谷下游多以潜流形式排泄于松散层，排泄量一般较小。地下水位埋深程度随地形由高到低呈起伏不平的地下水自由面。地下水径流方向与地形坡向基本一致。

（4）水力联系

降雨是河流和潜水的主要补给水源，但河流和潜水受到一定的蒸发影响。区内河流和潜水之间有较好的水力联系，在五龙河和白沙河下游地区，河水补给傍河周边区域的潜水。

（5）地下水的渗透性

取排水陆域管线穿过主要含水岩组有第四系松散岩类孔隙水与碎屑岩类孔隙裂隙水。

松散岩类孔隙水广泛分布于工作区内山间河谷平原与冲海积平原，根据抽水试验结果，松散岩类孔隙含水岩组渗透系数以小于 20m/d 为主，其中渗透系数小于 10m/d 主要分布于冲海积平原粉细砂、黏土质砂含水层中；渗透系数 10~20m/d 主要分布于河谷冲洪积原砂砾石、含砾砂土含水层中。

碎屑岩类孔隙裂隙含水岩组岩性为全~中等风化石英砂岩，主要分布于 I_1 水文地质单元北部与 I_2 水文地质单元西北部。根据抽水试验结果，其渗透系数分布范围为 0.01~20.75m/d。碎屑岩类孔隙裂隙含水岩组渗透系数大部分区域小于 10m/d，渗透性较差，局部基岩较完整区，含水层渗透性极差，小于 1m/d。但是，在垛埠店村、北道头村抽水试验点渗透系数分别为 10.70、20.75m/d。通常情况下，渗透性与风化裂隙发育程度有关，风化裂隙越密集，渗透性越强。因此推断垛埠店村至北道头村附近砂岩风化裂隙相对密集，含水层渗透性相对较强。

根据现场抽水试验及搜集抽水试验孔渗透性结果，综合分析后，得到各含水层的渗透系数。

（6）地下水流速

管道沿线的剥蚀台地的地下水流速约 0.0358~0.3108m/d，山间河谷冲洪积平原地下水流速约 0.0513~0.1564m/d，冲海积平原地下水流速约 0.0102~0.0459m/d。

（7）地下水水化学特征及腐蚀性

基于取排水管线附近地下水水质分析结果，管线附近潜水 pH 平均值为 7.14，水质整体呈现中性略偏碱性。氧化还原电位平均值为 15mv，潜水处于偏向氧化的环境中。潜水的 TDS 均值小于 1000mg/L，总硬度均值为 498mg/L，整体上属于低矿化度、中等硬度的淡水。地下水的水化学类型呈现出多样性，但是整体上以 HCO_3^-和 Ca^{2+}为主导离子。

管线附近潜水 pH 整体大于 6.8，潜水整体处于氧化环境，且潜水中 SO_4^{2-}含量大于 25mg/L，基于地下水酸碱度条件及氧化还原环境和地下水中游离硫酸的含量条件，地下水对铁质管道构件具有一定的腐蚀性，腐蚀性等级弱级别。

2.5.2.2　地下水的使用情况及对地下水可能的影响

核电厂无利用地下水的计划。

1）电厂对地下水的可能影响

根据上述描述，拟建场地及其附近没有大的供水水源地，不存在对供水水源的影响问题。当场地开挖整平后，较高部位的含水层将被挖除，据调查，周边村民的生活用水主要来自村中的深井，位于厂址下游的村庄主要有#J01 水井附近的谭山后村、前河前村、后河前村、#J22 水井附近的东马家泊村、#J35 水井附近的西马家泊村、#J39 水井附近的光山村，上述村庄的生活用水井距离厂址不小于 1000m，考虑到厂址区至水井的地下水迁移路径主要为基岩区且基岩的透水性和连通性较差，由此可判断，工程建设不会对外围居民的生活用水产生不利影响。

2）取排水管线对地下水可能的影响

取排水管线附近区域地下水开采利用现状比较简单，主要是农村居民生活用水和养殖业用水，基本无工矿业用水，农业用水以坑塘水为主，很少开采地下水。管线附近所有乡村已完成农村饮水安全工程改造，饮用水井单独修建并配净化装置。管线所在水文地质单元沿途有 10 个生活集中供水井，采用间歇式供水方式。胡城村、西曲坊村、垛埠店村、北道头村、东朱皋村、南道头村、中埠前村、王家滩村及滩港村等村位于取排水管线所在地区地下水径流方向下游，西薛村的供水井位于取排水管线所在地区地下水径流方向上游。为保守评价液态流出物在陆域排水管线输送过程中对地下水可能的影响，基于陆域排水管线发生意外断裂的

极端假设，采用 Visual MODFLOW 软件计算了液态流出物泄漏对地下水的影响，详见 7.3.5 节。本项目陆域排水管线采用管中管方案，在正常运行工况下，液态流出物排放时不会对地下水环境造成影响。陆域排水管线即使发生了意外断裂的极端情况，通过地下水途径对公众的影响可接受。

2.5.3 洪水

2.5.3.1 海域洪水

厂址与海域距离远，海域洪水组合不考虑台风浪影响；假潮、海啸对厂址区域无影响，最后选取天文高潮位、海平面上升、可能最大风暴潮增减水进行基准洪水位的组合计算，即海域基准洪水位=10%超越概率天文高潮位+可能最大风暴增水+海平面上升=2.53+5.35+0.19=8.07(m)。

2.5.3.2 陆域洪水

陆域基准洪水事件为沐浴水库、龙门口水库、建新水库、南岩水库、方里水库溃坝与区间可能最大洪水（PMF）洪峰相遇。陆域基准洪水位为 24.81m。

2.5.3.3 设计基准洪水位

综合海域、陆域基准洪水位，确定厂址的设计基准洪水位为 24.81m。一期工程与核安全有关的区域厂坪设计标高为 36.0m，高于设计基准洪水位（24.81m），可确保核电厂防洪安全，满足有关核安全法规的要求。

表 2.5-1　厂址附近海洋站一览表

站名	观测项目	观测起止时间
石臼所	表层水温、盐度、海发光、波浪、水位、气象	水位观测始于 1968 年
青岛港	潮汐观测	1949 开始至今
小麦岛	表层水温、盐度、海发光、波浪、水位、气象。	1954 年开始波浪观测
千里岩	包括表层水温、盐度、海发光、波浪、气象。	1960 年开始波浪观测
乳山口	表层水温、盐度、海发光、海冰、水位、气象	1958.5-1985．12
南黄岛	波浪观测	1984-1997.5
石岛	表层水温、盐度、海发光、波浪、气象	1960 开始观测
成山头	波浪、水温、盐度、海发光和地面气象	始建于 1959 年
龙口	表层水温、盐度、海发光、波浪、水位、气象。	始建于 1959 年

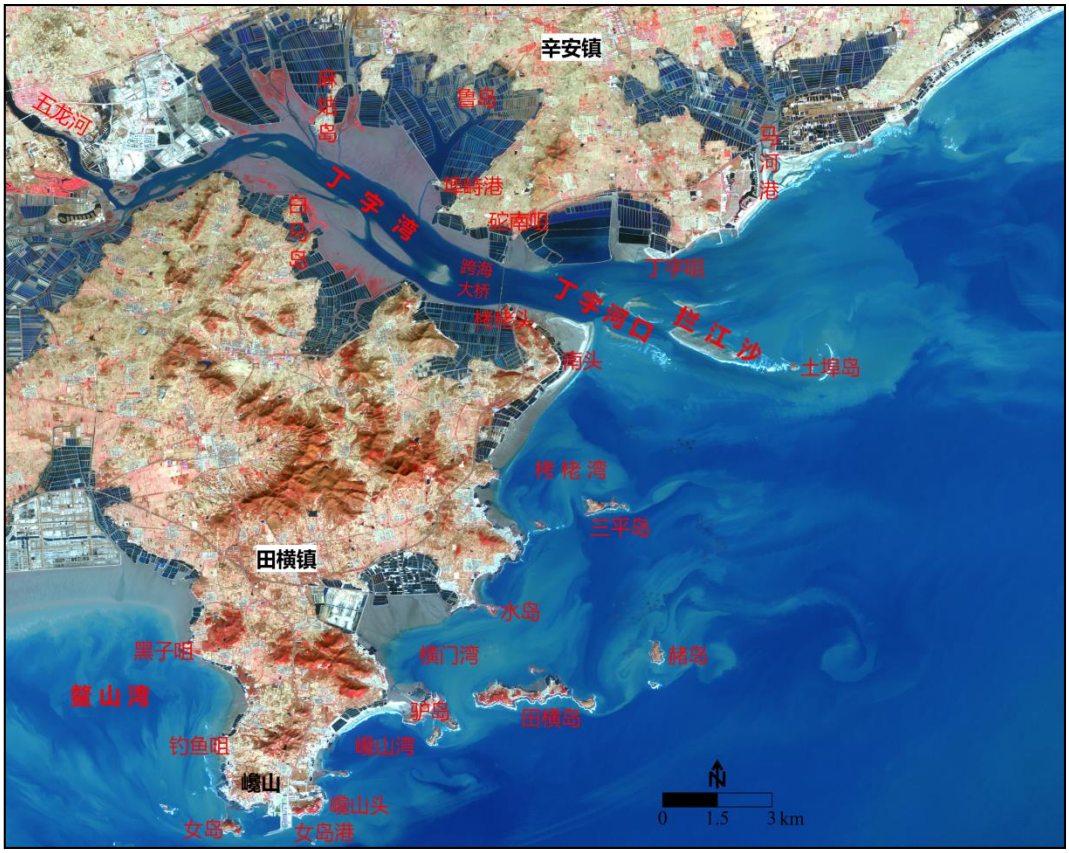


图 2.5-1　丁字湾海岸形势图



图 2.5-2　潮位及水文测验站位布置图

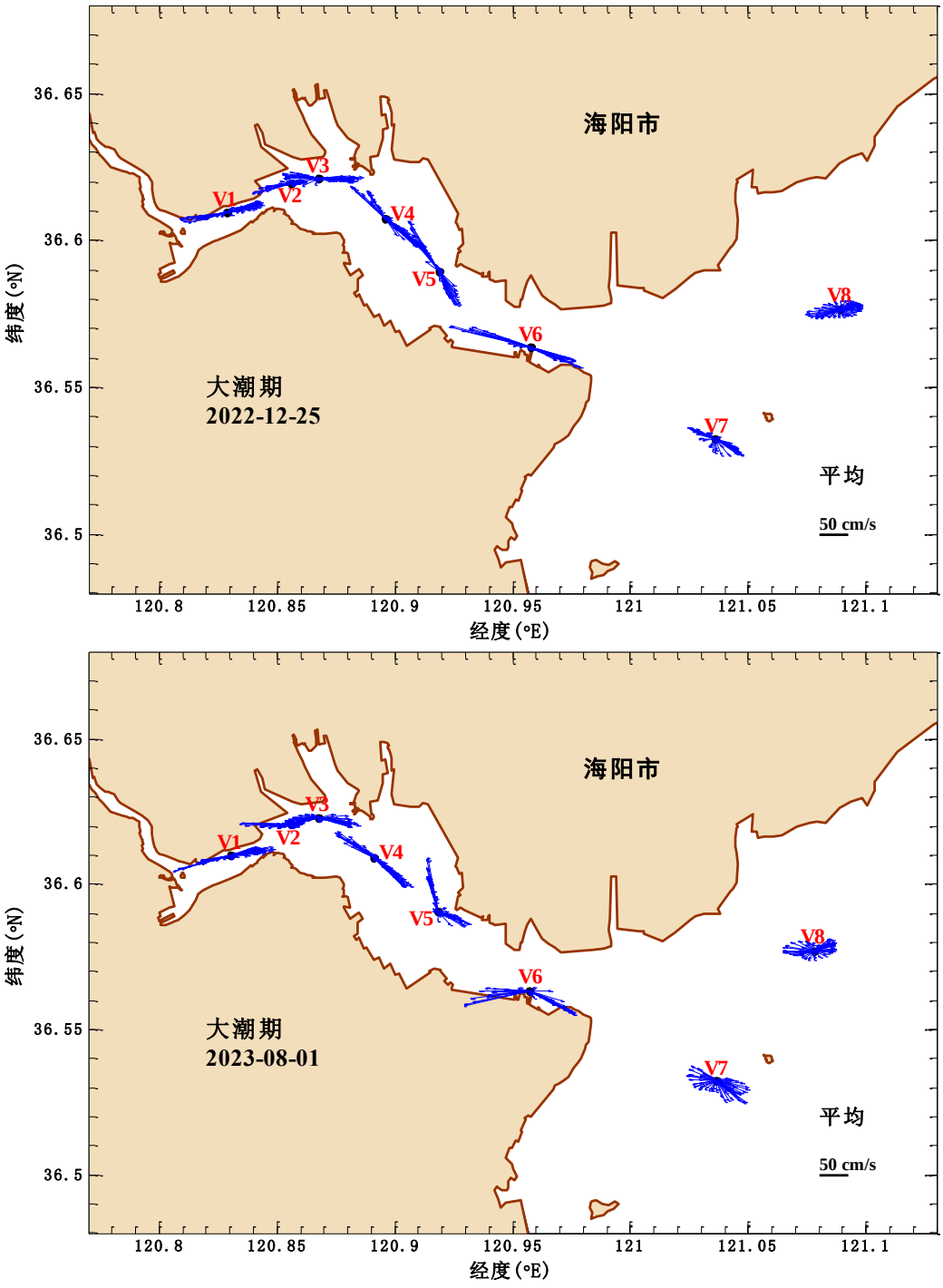


图 2.5-3　工程海域冬、夏季大潮垂线平均海流矢量平面分布图

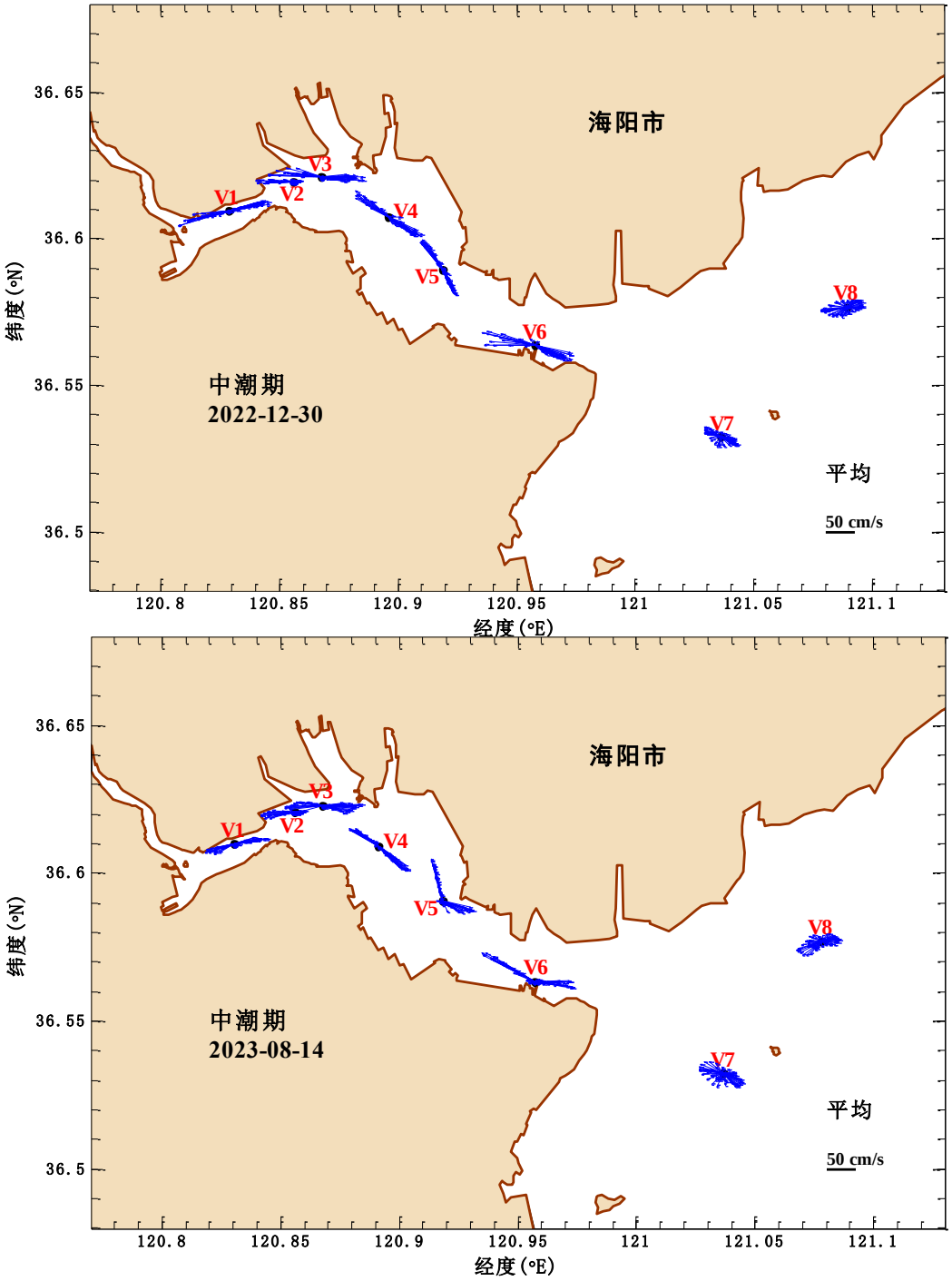


图 2.5-4　工程海域冬、夏季中潮垂线平均海流矢量平面分布图

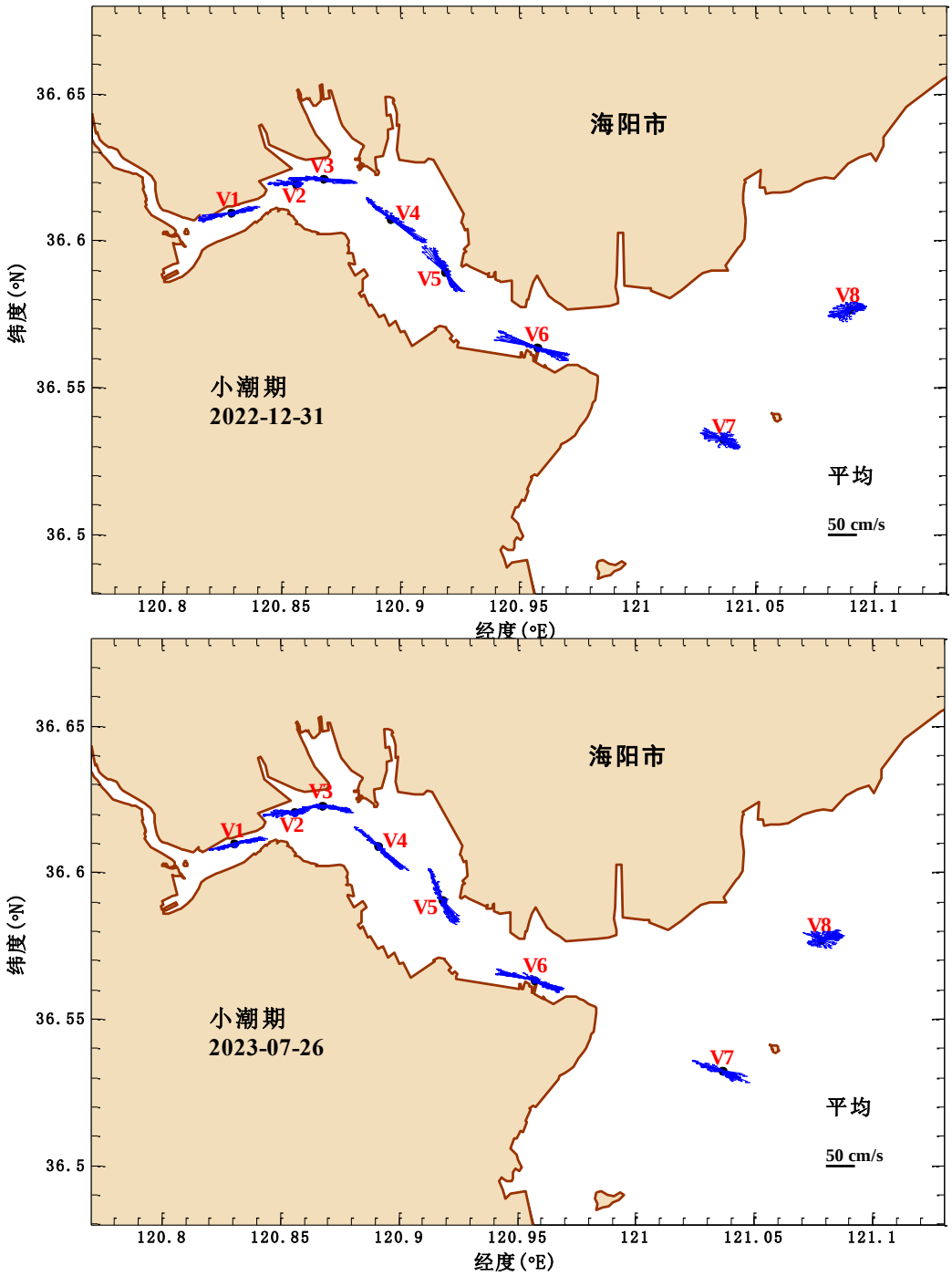


图 2.5-5　工程海域冬、夏季小潮垂线平均海流矢量平面分布图

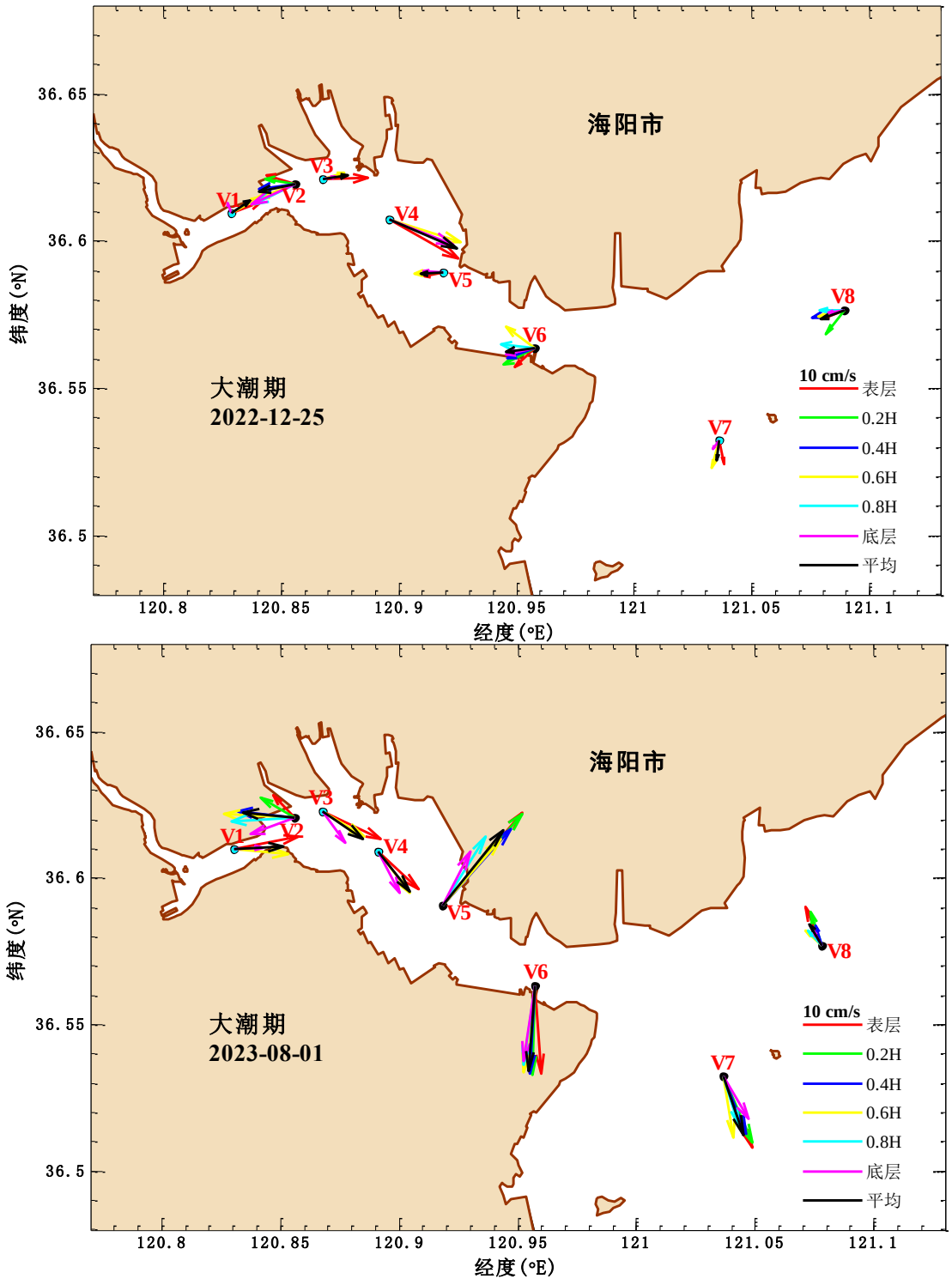


图 2.5-6　工程海域冬、夏季大潮垂线平均余流矢量图

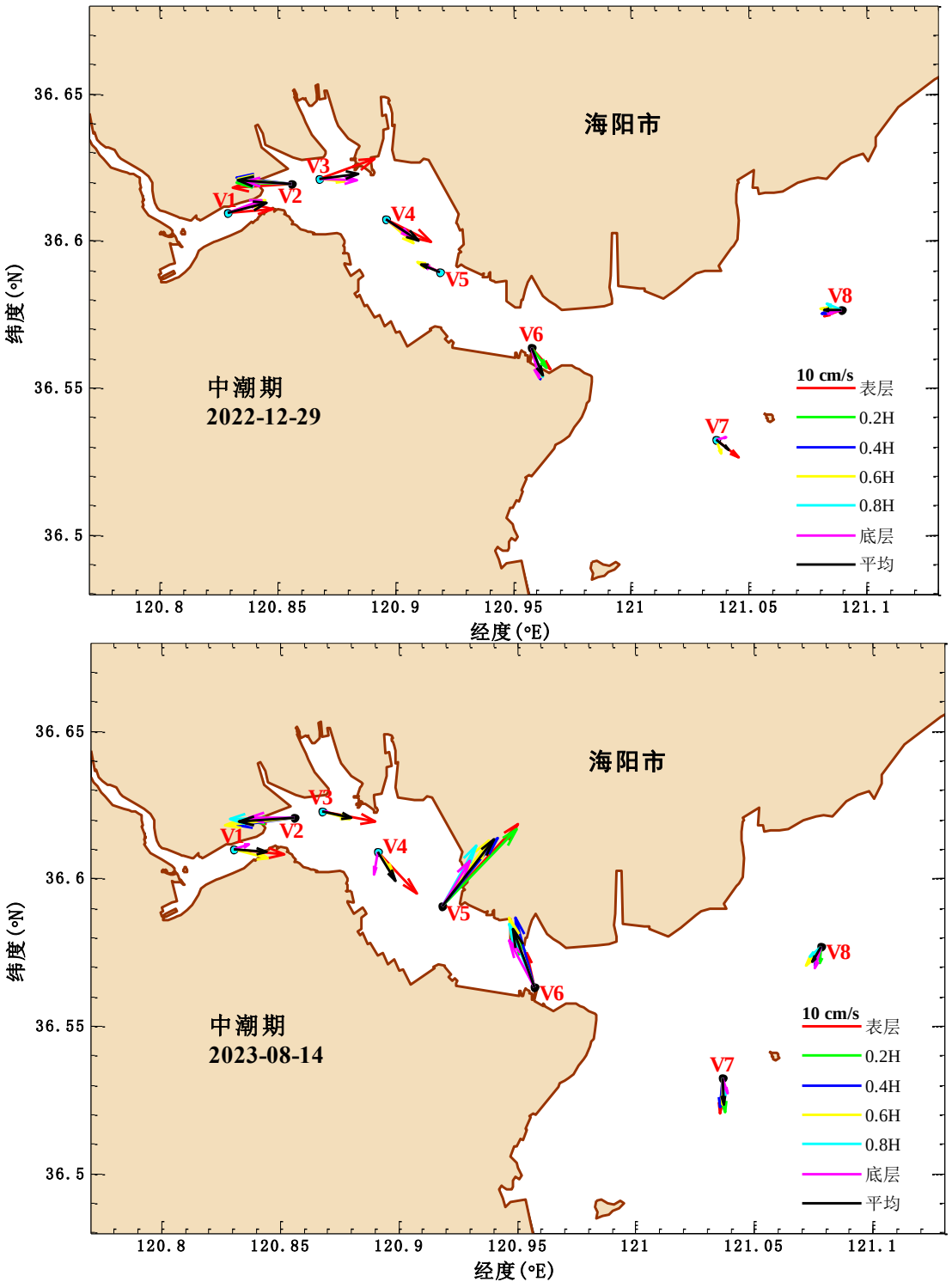


图 2.5-7　工程海域冬、夏季中潮垂线平均余流矢量图

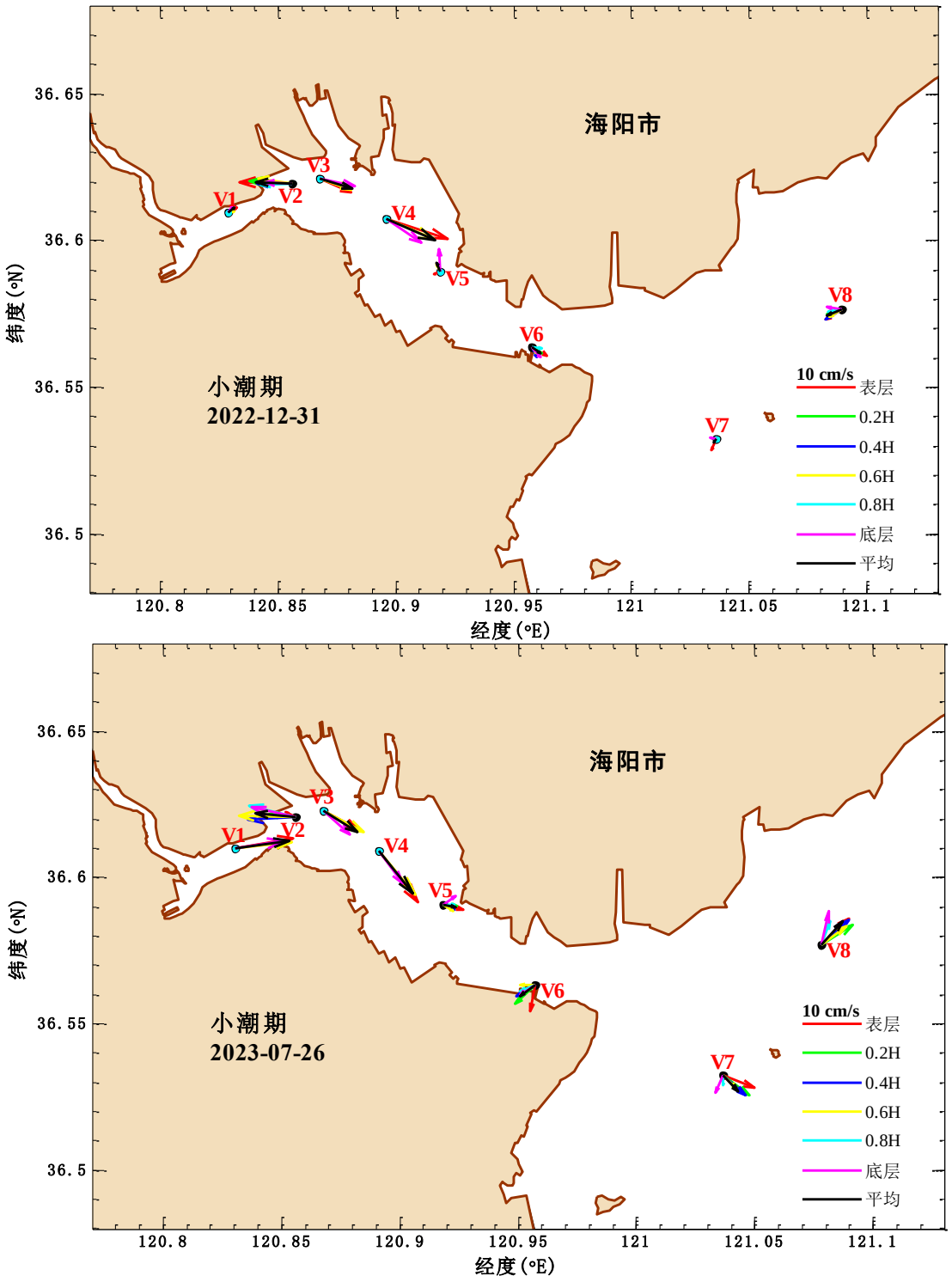


图 2.5-8　工程海域冬、夏季小潮垂线平均余流矢量图

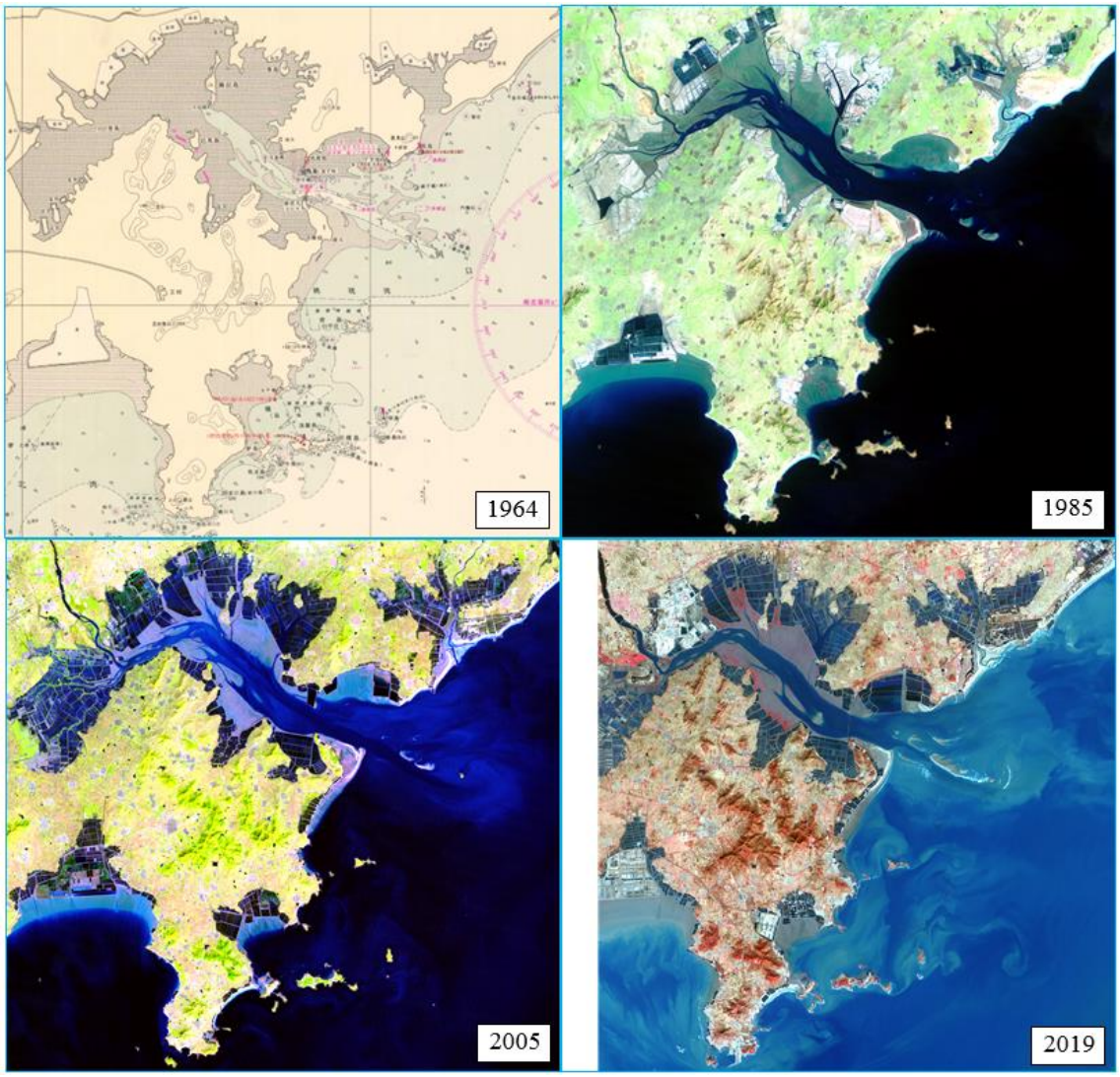


图 2.5-9　工程海域历年岸线情况

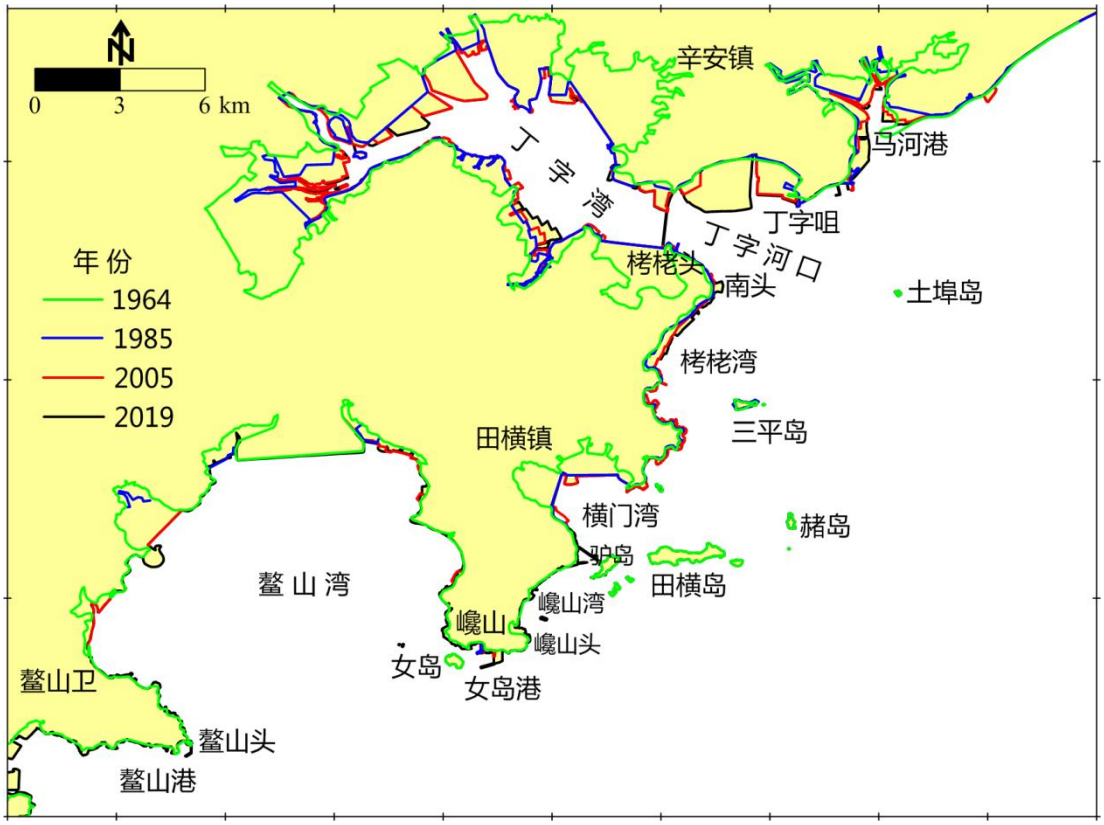


图 2.5-10　工程海域 1964~2019 年岸线变化

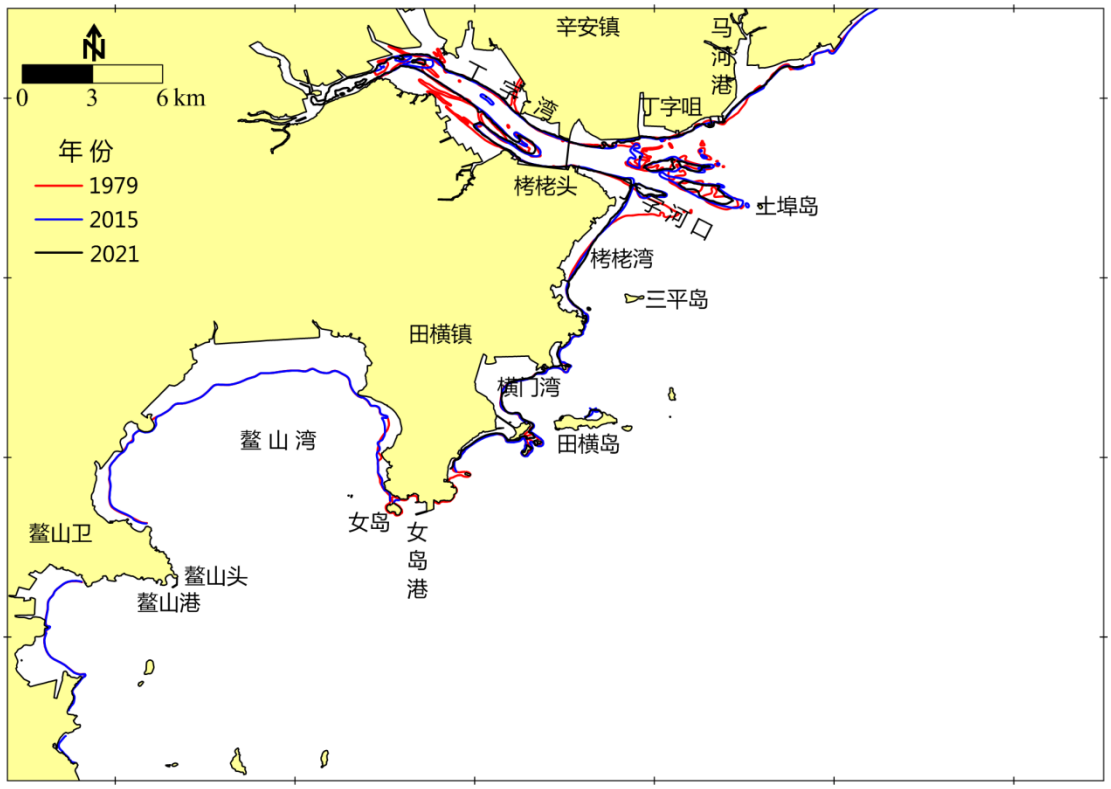


图 2.5-11　工程海域 1979~2021 年 0m 等深线变化

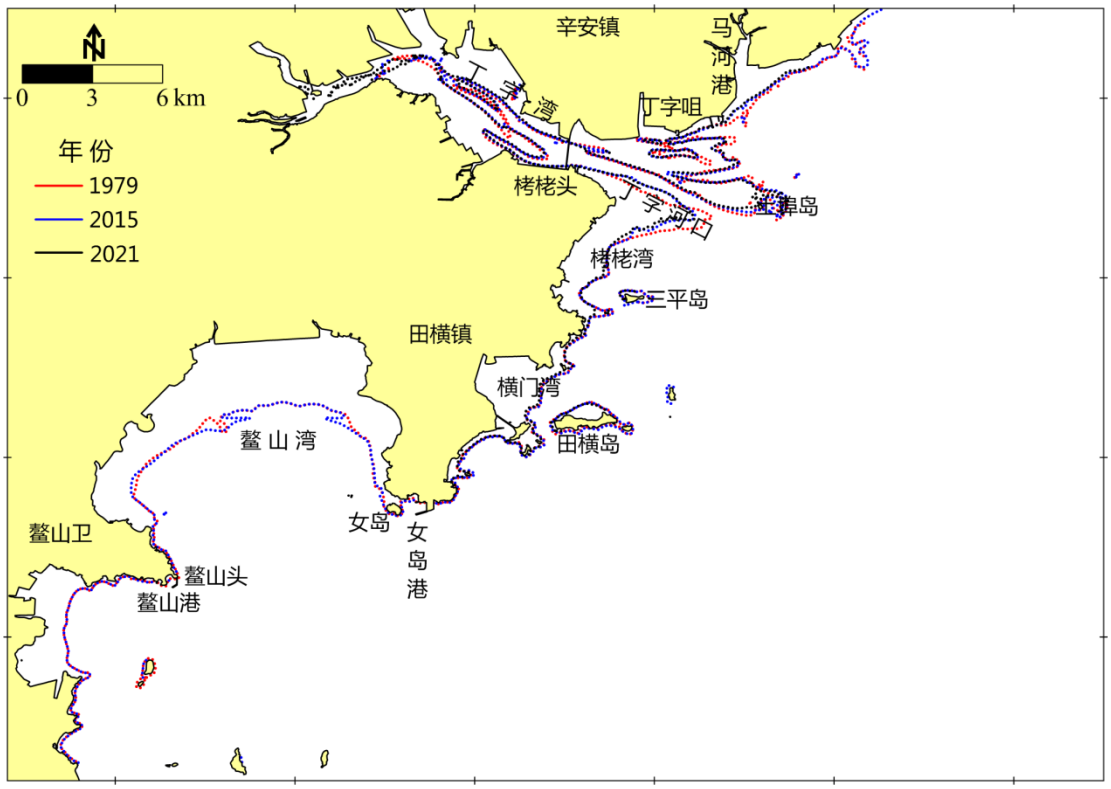


图 2.5-12　工程海域 1979~2021 年 2m 等深线变化

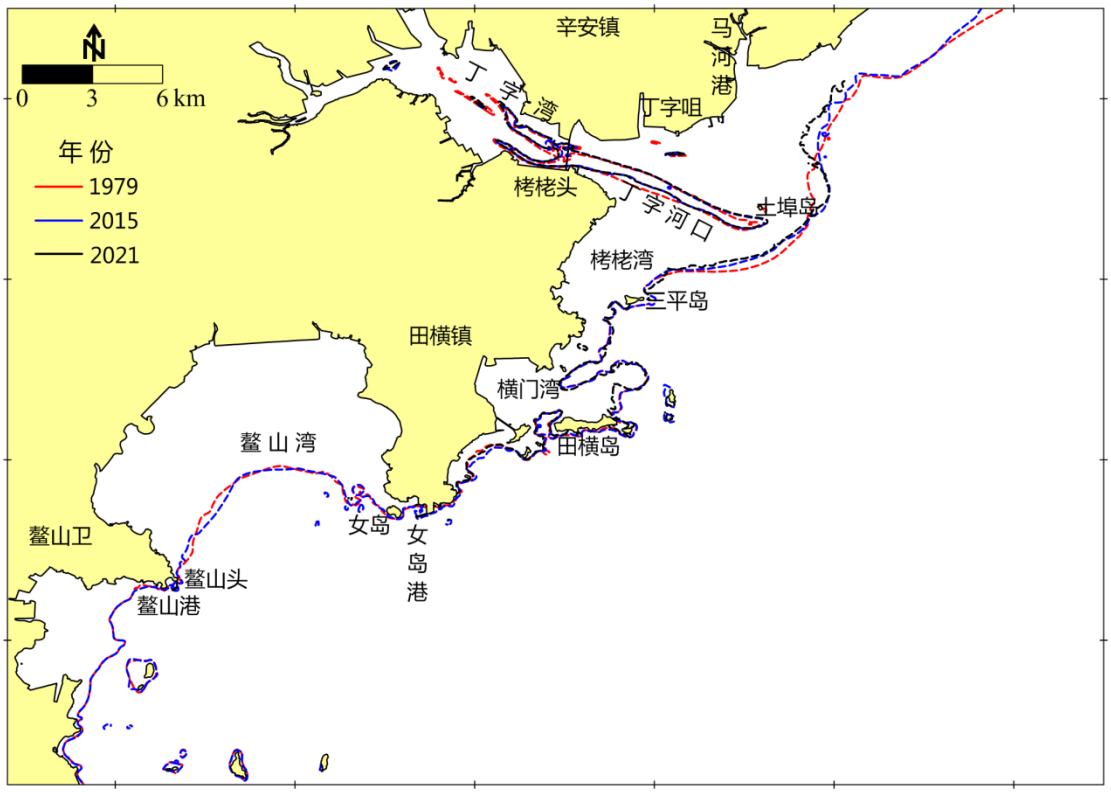


图 2.5-13　工程海域 1979~2021 年 5m 等深线变化

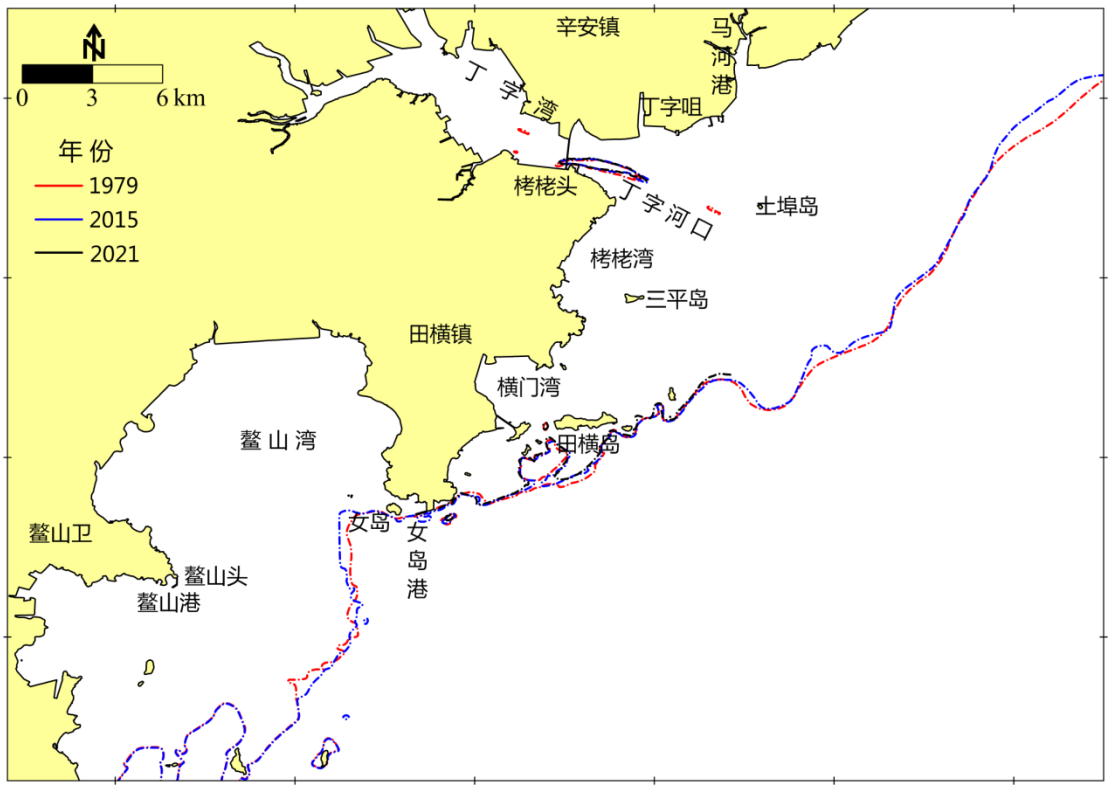


图 2.5-14　工程海域 1979~2021 年 10m 等深线变化

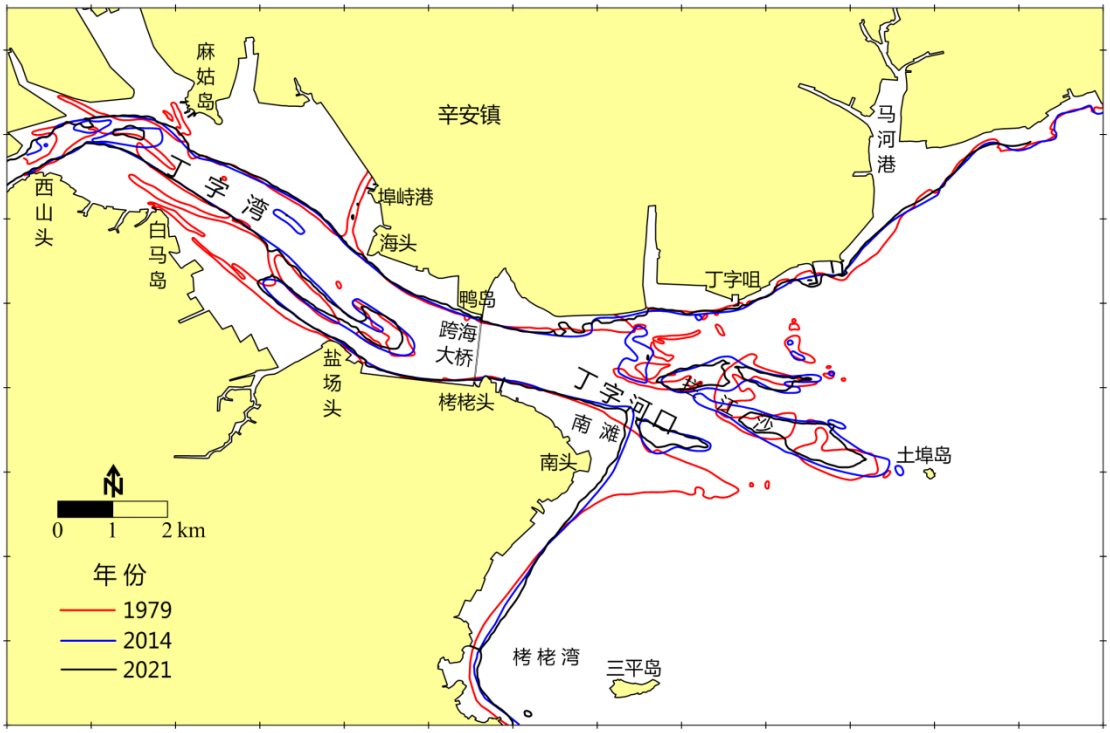


图 2.5-15　丁字湾海域 1979~2021 年 0m 等深线对比

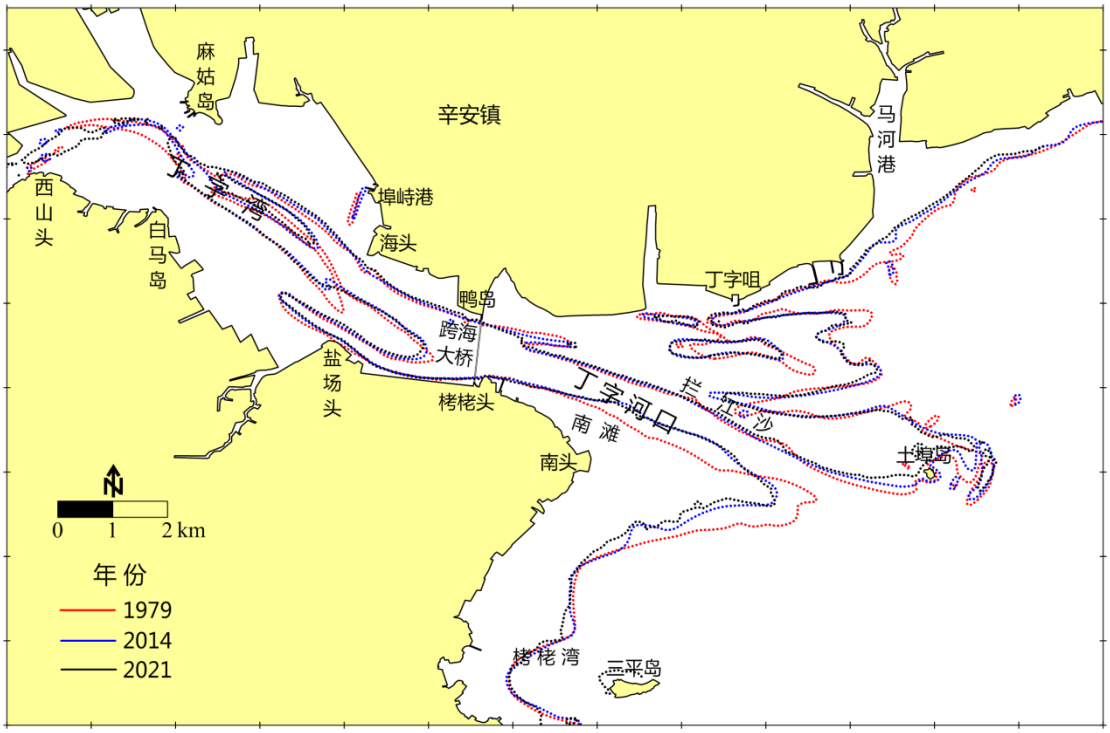


图 2.5-16　丁字湾海域 1979~2021 年 2m 等深线对比

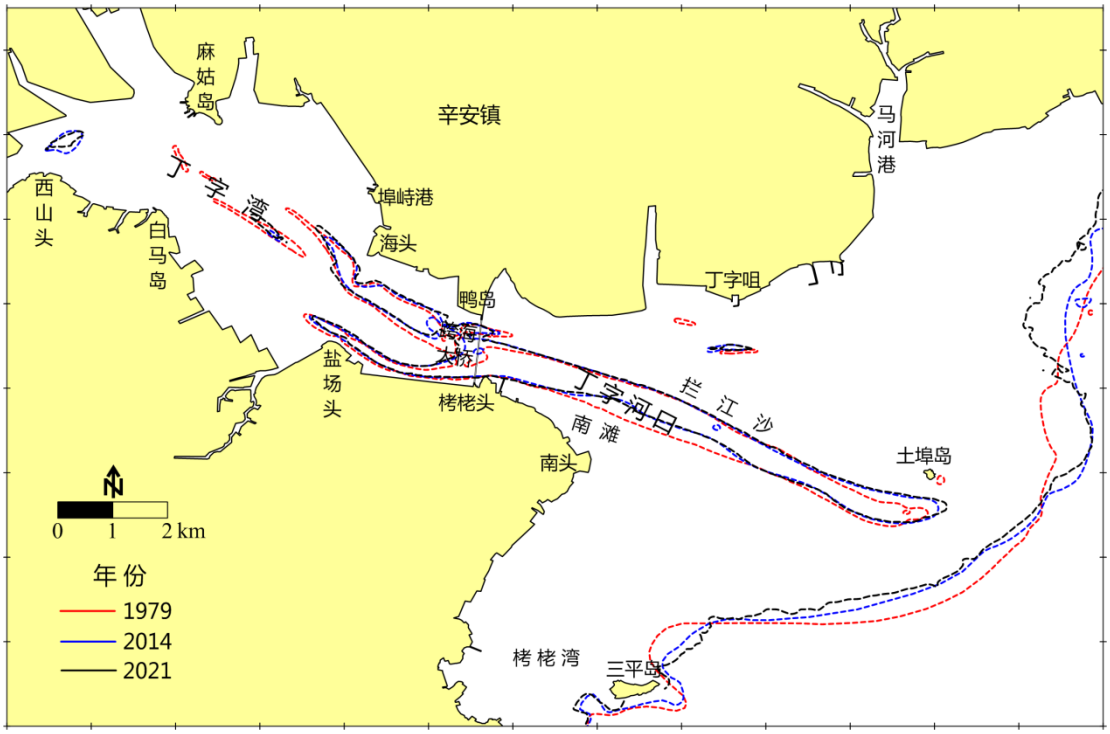


图 2.5-17　丁字湾海域 1979~2021 年 5m 等深线对比

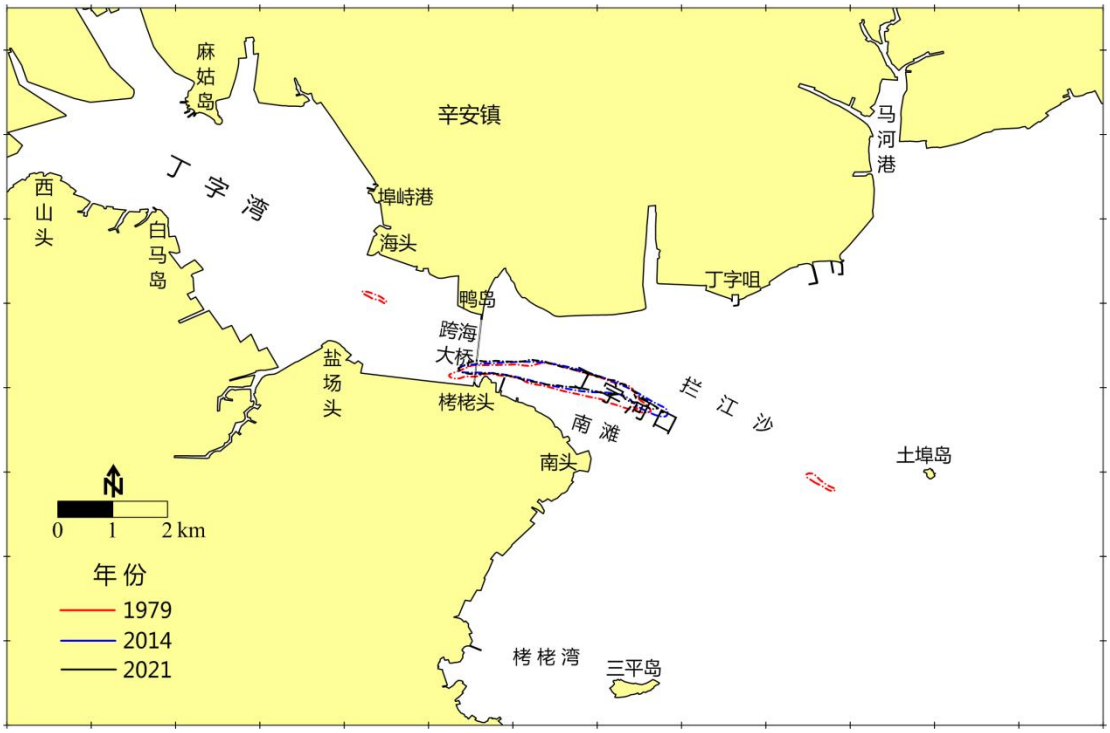


图 2.5-18　丁字湾海域 1979~2021 年 10m 等深线对比

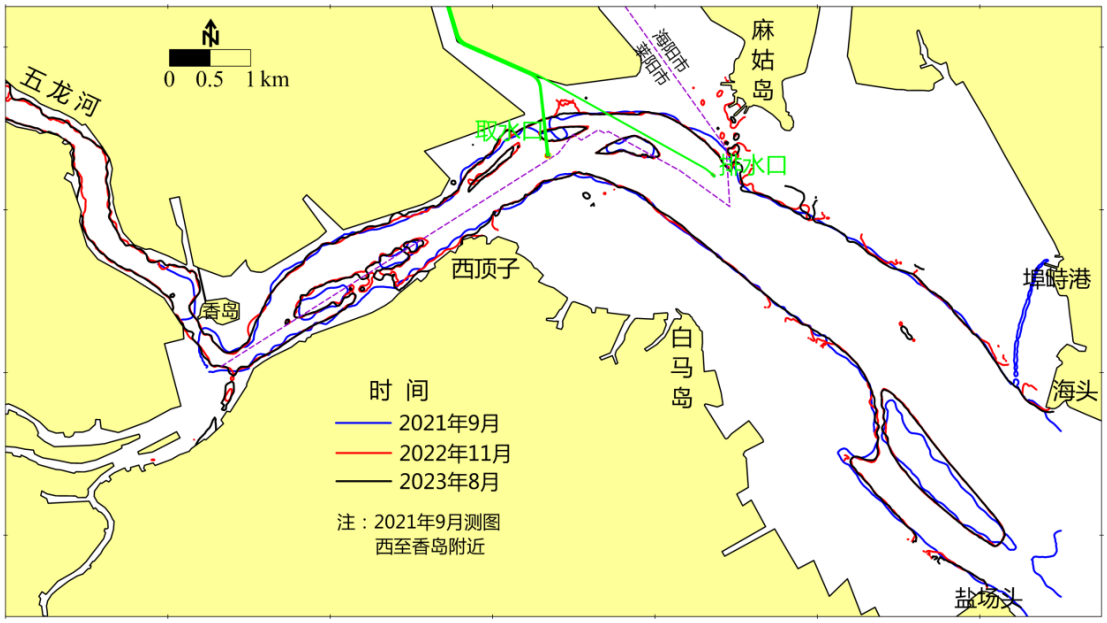


图 2.5-19　丁字湾湾顶 2021~2023 年 2m 等深线对比

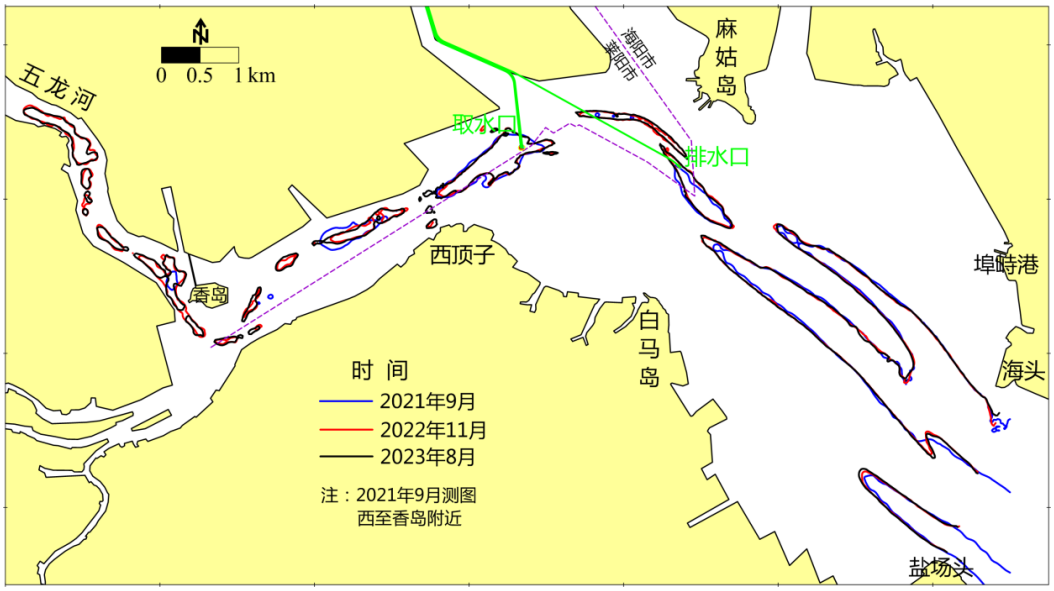


图 2.5-20　丁字湾湾顶 2021~2023 年 5m 等深线对比

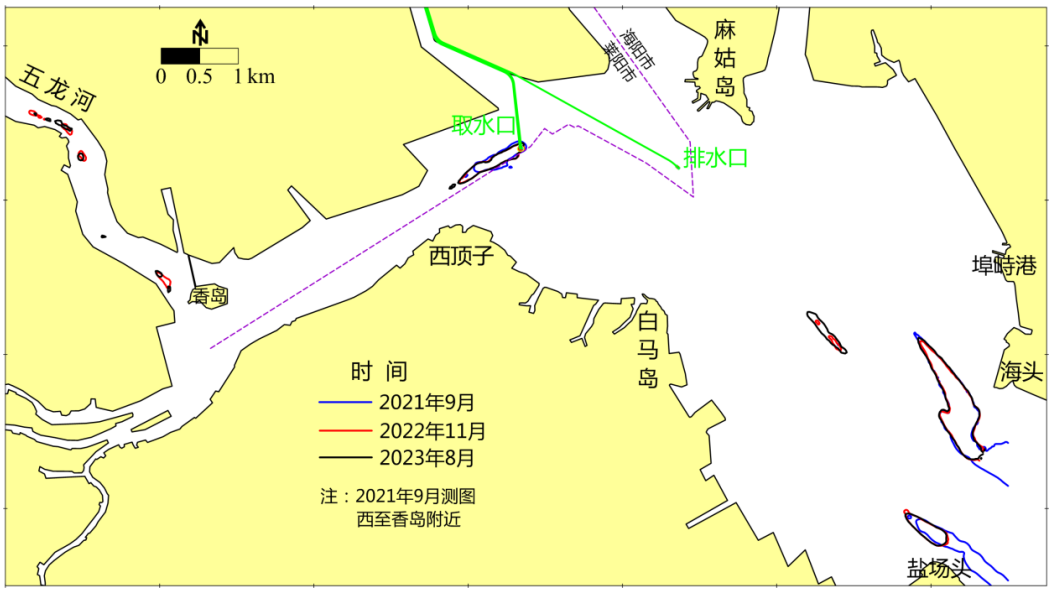


图 2.5-21　丁字湾湾顶 2021~2023 年 8m 等深线对比

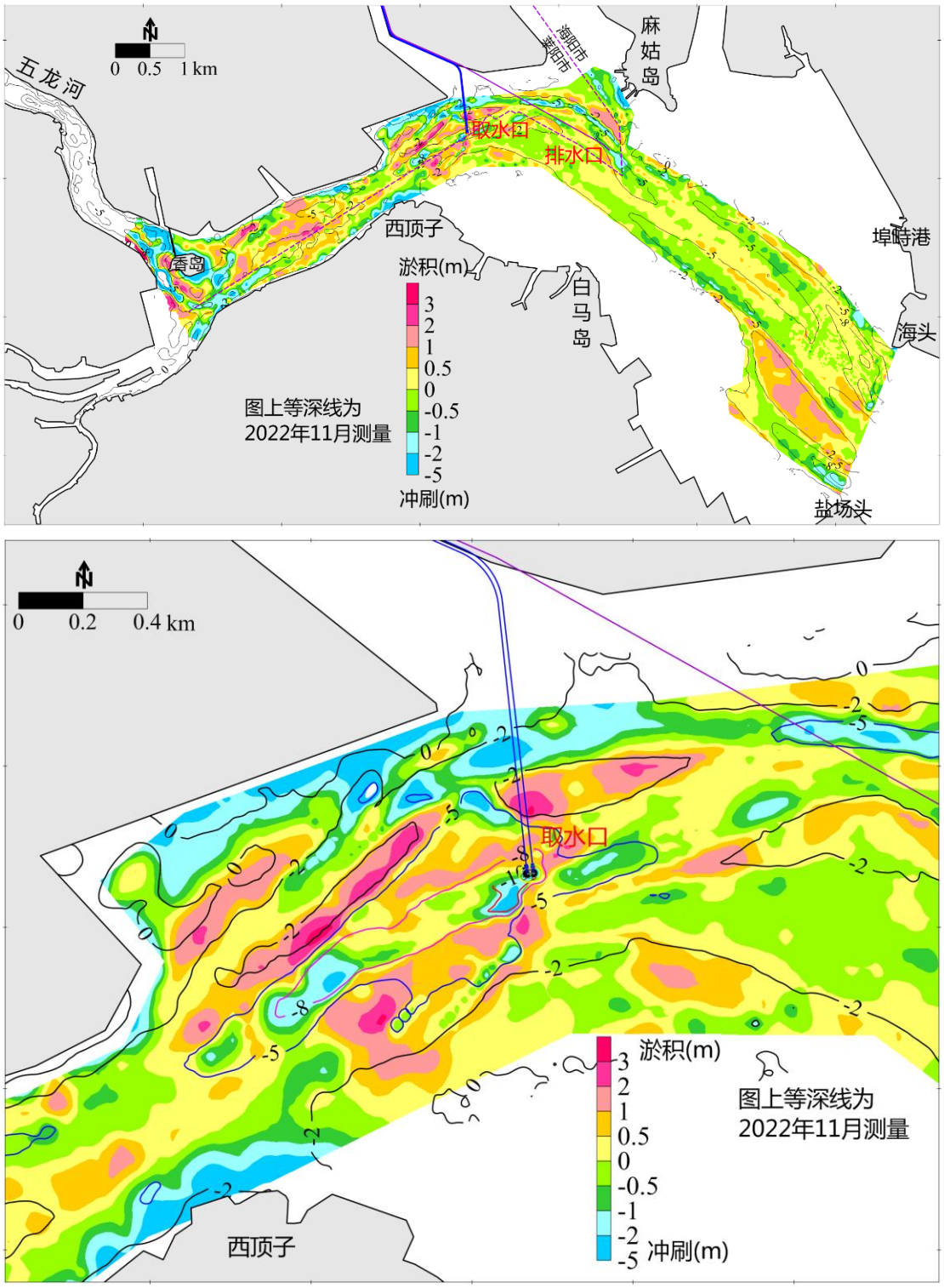


图 2.5-22　丁字湾湾顶 2021~2022 年地形冲淤变化

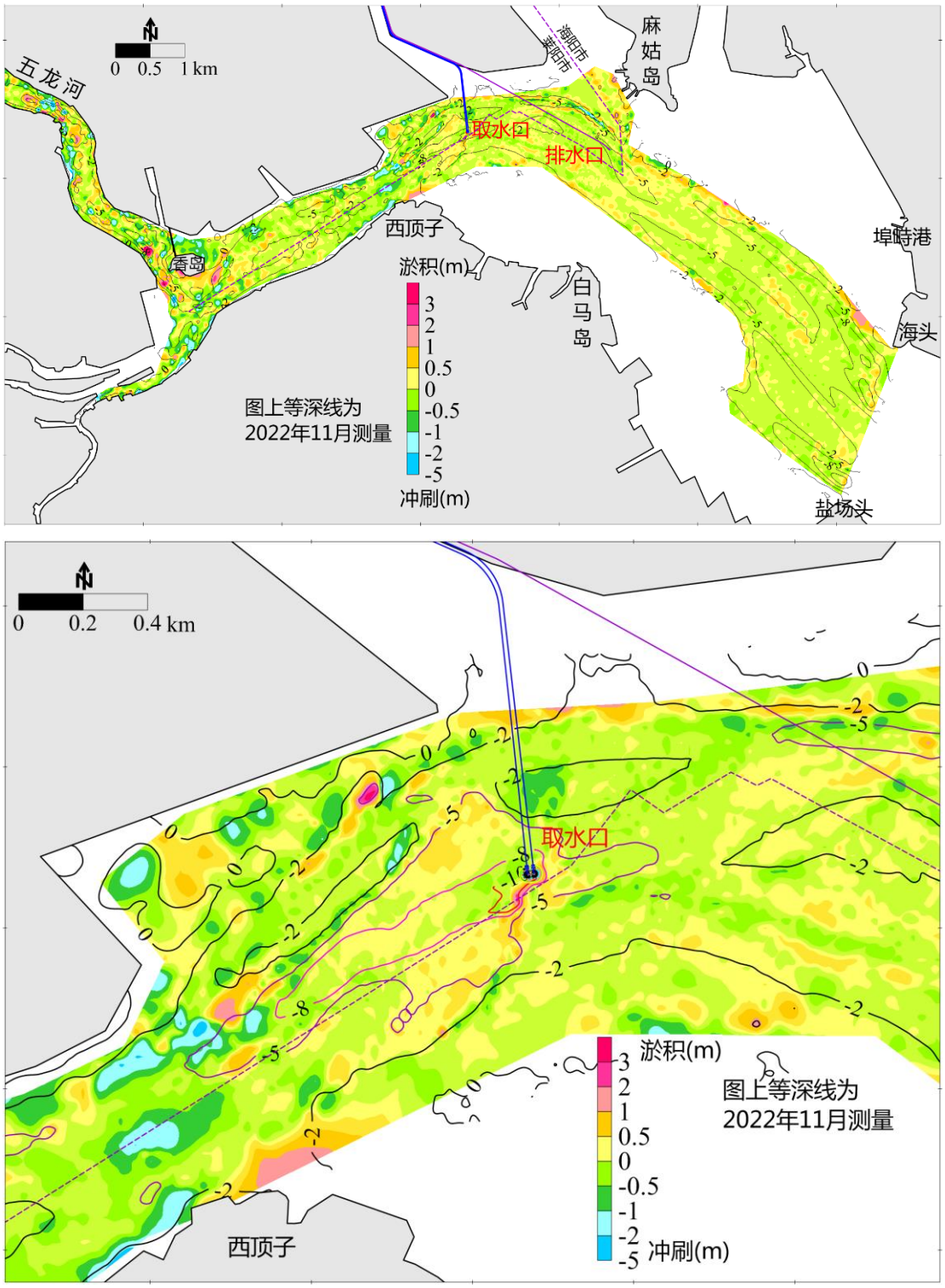


图 2.5-23　丁字湾湾顶 2022~2023 年地形冲淤变化



图 2.5-24　厂址附近水系分布

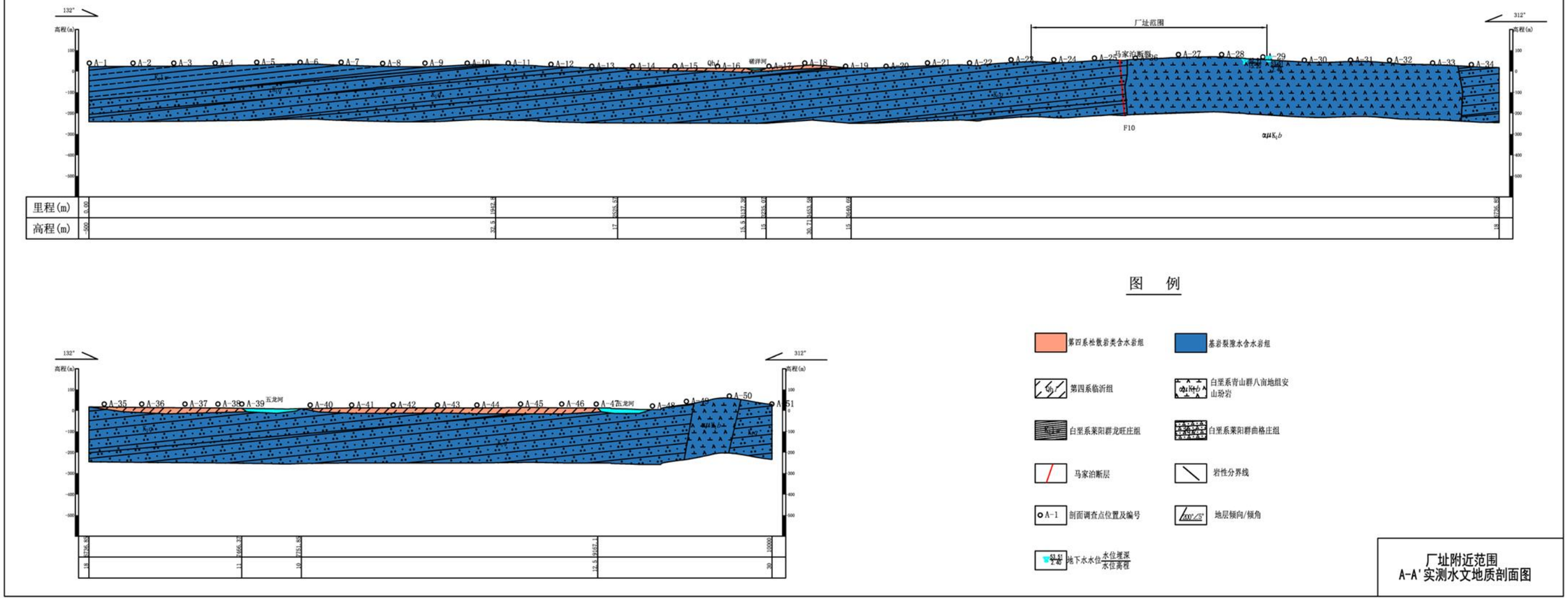


图 2.5-25　A-A’实测水文地质剖面图

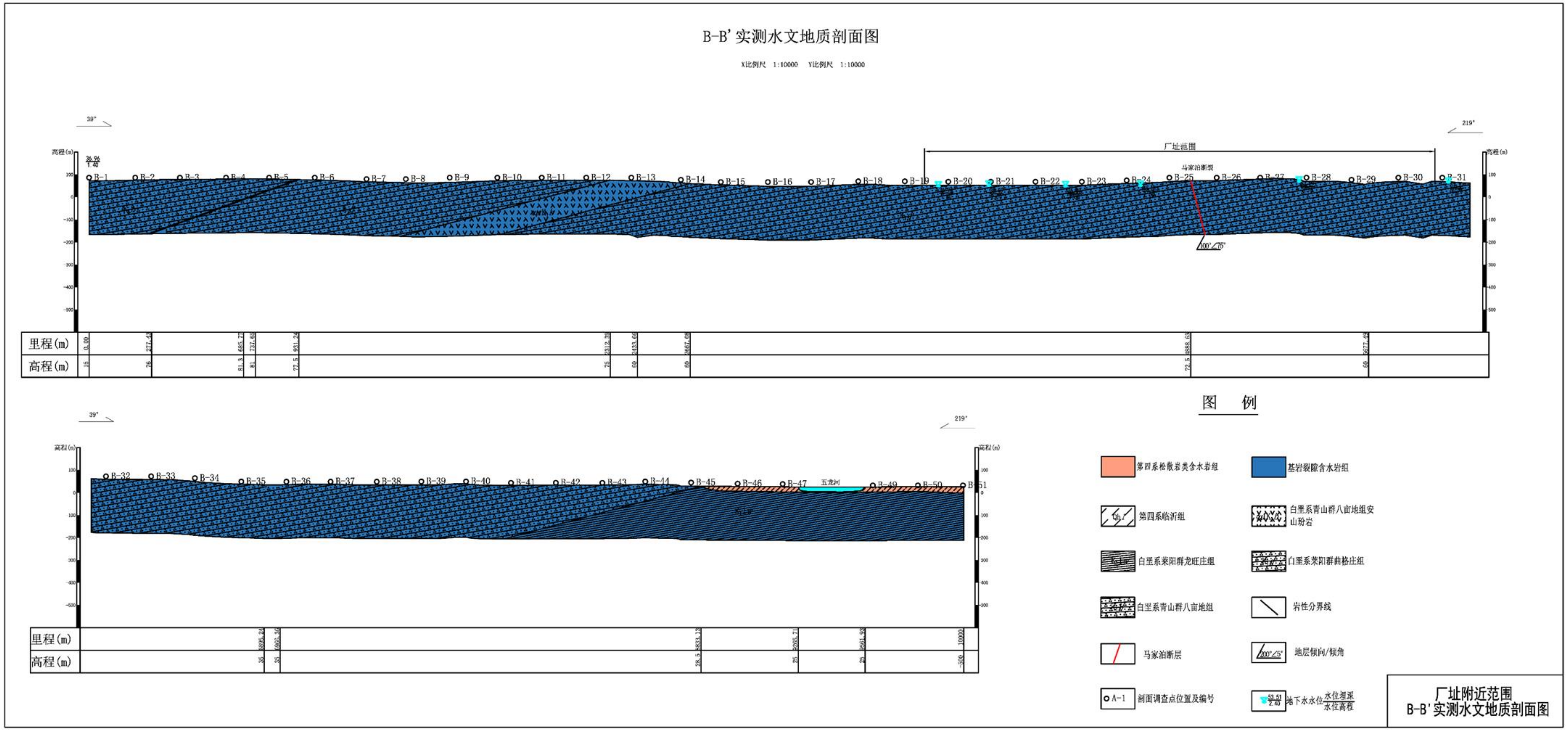


图 2.5-26　B-B'实测水文地质剖面

2.6 地形地貌

依据地形地貌特征以及成因，厂址 5km 范围地貌主要分为二个地貌单元：剥蚀丘陵（Ⅰ）、河流阶地（Ⅱ），另外还发育一些微地貌，主要为冲沟、水塘等。

厂址附近地面标高在 10.8~79.6m 之间，厂区地面标高在 20.0~75.0m 之间，整体呈中间高、四周低之势。最高点位于厂址东南侧的富山，山顶标高约 79.6m；最低点位于北侧五龙河河谷，地面标高约 10.8m。

（1）剥蚀丘陵（Ⅰ）

厂址 5km 范围地形整体呈中间高四周低之势，地面标高一般在 17.0~79.6m 之间，现多为农田、荒地，地表多见中等风化岩体出露。丘体坡度较缓，一般小于 10°，丘间多分布冲沟等负地形，沟谷宽窄不一。剥蚀丘陵为厂址 5km 范围主要地貌形态。

（2）河流阶地（Ⅱ）

五龙河自厂区东部及北部穿过，嵯阳河流经厂区西北部，在河流两岸形成河流阶地地貌，地势平坦，地面标高一般在 10.8~17.0m 之间。

（3）微地貌

①冲沟

根据统计，厂址 5km 范围内发育大小冲沟共 22 条。冲沟分布于剥蚀丘陵区，多呈南北向延伸，受地形影响，冲沟大小不一，沟宽 2.0~100.0m，位于丘陵之间的沟谷地带，沟底较平坦，冲沟主要汇集丘陵地带的坡面流水，然后向南或向北流入五龙河或流入嵯阳河后再汇入五龙河。大部分冲沟调查期间无水流，但大气降水后时会存在临时性的水流。

②水塘

调查区内分布水库、水塘较多，一般规模较小，较大规模的有 7 处，库容 6-17 万 m^3。

第三章　环境质量现状

3.1　辐射环境质量现状

3.1.1　辐射环境本底（现状）调查

专题单位于 2022 年 6 月~9 月开展了本项目陆域现场放射性环境本底调查，并于 2022 年 11 月完成了《山东莱阳核能项目辐射环境本底调查报告》。后续，专题单位于 2023 年 7~11 月以及 2025 年 3 月，分两次对厂址周边以及取排水管线沿线区域开展了两次土壤、饮用水和地下水的补充调查。

专题单位于2025年11月在项目液态流出物排水口所在海域开展了秋季航次调查采样工作，调查项目为海水和海洋沉积物，并于 2026 年 7 月完成了《山东莱阳核电项目扩建工程可行性研究海域辐射本底调查专题》。

3.1.1.1　监测项目及范围

根据《核动力厂运行前本底调查技术规范》（HJ969-2018），放射性环境本底调查中，陆地环境γ辐射的调查范围取以核电厂反应堆为中心半径 20km；环境介质(空气、土壤、水体等)的调查范围取以核电厂反应堆为中心半径 5~10km，重点为半径 5km。监测项目为陆地环境γ辐射（包括γ辐射剂量率、累积剂量和γ辐射剂量率连续监测）以及环境介质中的放射性核素活度浓度（监测的环境介质包括：空气（气溶胶）、土壤、饮用水、地下水、地表水、地表水沉积物（底泥）、海水（受纳水体）和海水沉积物（底泥）。

具体调查方案如下：

1）陆地环境γ辐射水平

监测项目包括环境γ辐射剂量率、环境γ累积剂量和剂量率的连续监测。调查范围和布点原则如下：

（1）环境γ辐射剂量率和环境γ累积剂量：调查范围为 20km，测量点的设置按照均匀布点，近密远疏，方位交错的原则，以厂址为中心半径 2km、5km、10km、20km 与 16 个方位角形成的扇形区域内布点（2km 范围内的布点兼顾考虑厂界和区域内），在附近居民组、主导风下风向、环境敏感区等增加针对性监测点位。陆地环境γ辐射剂量率设置 71 个测量点，监测频次为 2 次。累积剂量布点与γ辐射剂量率布点一致，监测 1 次，持续监测 2 个月。测量点位具体见表 3.1-1 与表 3.1-2。

对于宇宙射线的测量，厂址附近的产芝水库（NW 方位 31km）为饮用水源保护区，且厂址周边无满足宇宙射线测量要求的其它水库，测量点位选址山东省荣成市八河水库，八河水库位于厂址 E 方位 158.2km 处。八河水库为大型水库，海拔高度约 20m，测量点位于水库中间，水深约 10m，测量使用的船只为电动玻璃钢船。八河水库与厂址区域海拔高度差别≤200m，经度差别≤5°，纬度差别≤2°，在该点位的测量结果可以满足 HJ61-2021 中 8.6.1 章节关于环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测中宇宙射线响应值的扣除要求。

（2）环境 γ 辐射剂量率连续监测：连续监测点位设置在厂址 S 方位 1.6km 处的西马家泊村，进行为期 2 个月的连续监测，与两次环境 γ 辐射剂量率的间隔时间以及环境 γ 累积剂量测量时间同步。

2）气溶胶（空气）

监测项目包括：γ 能谱（主要分析 ^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{134}Cs、^{137}Cs 和 ^{7}Be、^{131}I），监测频次为 1 次。采样点位具体见表 3.1-3。

3）土壤

土壤监测项目为 ^{90}Sr 和 γ 谱分析，γ 谱分析项目包括：^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{134}Cs、^{137}Cs 和 ^{238}U、^{232}Th、^{226}Ra、^{40}K。监测频次均为 1 次。

监测范围和布点如下：在以厂址为中心半径 10km 与 8 个方位角形成的扇形区域内布点，主要考虑最大风频下风向、人口稠密区和附近居民组，并尽可能与累积剂量测量点、剂量率测量点重合。2022 年 11 月共布置监测点位 12 个，2023 年 7~11 月对于取排水管线沿线区域补充了西薛村等 4 个监测点位，2025 年 3 月针对取排水管线在厂址半径 10km 范围外区域的土壤补充了 4 个监测点位。

土壤采样点的数量和位置见表 3.1-4。

4）非受纳水体

监测项目综合考虑厂址附近的陆域地表水体，主要包括饮用水、地下水、地表水和地表水沉积物，具体监测项目和频次如下：

（1）饮用水：监测项目包括总 α、总 β、^{3}H、^{90}Sr 和 γ 谱分析，γ 谱分析项目包括：^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{134}Cs、^{137}Cs。监测频次为 1 次。

（2）地下水：监测项目包括 ^{3}H、^{90}Sr 和 γ 谱分析，γ 谱分析项目包括：^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{134}Cs、^{137}Cs。监测频次为 1 次。

（3）地表水和地表水沉积物：地表水监测项目包括 ^{3}H、^{90}Sr 和 γ 谱分析，γ 谱分析项目包括：^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{134}Cs、^{137}Cs。监测频次为 1 次。地表水沉积物监测项目包括 ^{90}Sr 和 γ 谱分析，γ 谱分析项目包括：^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{134}Cs、^{137}Cs 和 ^{238}U、^{232}Th、^{226}Ra、^{40}K。监测频次为 1 次。

监测范围和布点信息统计见表 3.1-5。

5）受纳水体

受纳水体主要包括海水和海洋沉积物两种环境介质，具体如下：

海水监测项目包括：总铀、总 β、^{3}H、^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{59}Fe、^{65}Zn、^{90}Sr、^{106}Ru、^{110m}Ag、^{134}Cs、^{137}Cs、^{226}Ra，共 14 项调查要素。

海洋沉积物监测项目包括：总铀、总 β、^{3}H、^{14}C、^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{59}Fe、^{65}Zn、^{90}Sr、^{110m}Ag、^{134}Cs、^{137}Cs、^{226}Ra，共 14 项调查要素。

监测范围和布点示意图见图 3.1-1。受纳水体点位信息统计见表 3.1-6。

3.1.1.2　样品的采集和预处理

1）γ 辐射瞬时剂量率和累积剂量

（1）γ 辐射瞬时剂量率：陆地 γ 辐射剂量率一共 71 个点位，其中 51 个道路点位，包括 37 个水泥路面、7 个沥青路面、3 个土路、4 个地砖路；20 个原野点位，包括 2 个草地、15 个农田和 3 个沙地。测量点距附近高大建筑物的距离大于 30m，测量时仪器的有效中心离地面 1m 高。

（2）累积剂量：热释光剂量计的现场放置地点尽量选择能代表总的被测环境，共布设了 71 个点位，均布设在树上，同一地点与地表 γ 辐射剂量率点位重合。回收率为 97.2%。监测频次为 1 次。

（3）连续监测：连续剂量率测点在西马家泊村进行测量。

2）气溶胶

空气中气溶胶样品的采集采用青岛崂应公司生产的 2031 型大流量采样器，滤膜采用聚丙烯滤膜，每个采样点采样时间为 7~8 天。气溶胶样品的采样频度为 1 次，所有样品的采样体积均大于 10000m^3。

3）土壤

土壤的采样工具为土壤采集器，采样前用自来水冲洗干净，采样容器为聚乙烯塑料袋，再装入布袋内，采样点位与对应的剂量率测量点位重合。土壤样品进实验室后，进行如下预处理：（1）剔除杂物，样品量取 2~3kg；（2）将样品倒

在托盘中晾干；（3）在干燥箱中经 105℃ 烘干；（4）用粉碎机将样品进行粉碎，粉碎过的样品过筛（40~60 目），充分混合均匀后装入Φ75mm×50mm 的聚乙烯塑料盒中，称重；（5）用胶带密封样品，放置 3~4 周后进行 γ 谱测量；其余样品放置在干燥器内，供放化分析。

土壤样品采集的土壤主要为田埂地头不被耕种的表层土壤、草地和树林等受人类活动影响较小的区域的土壤和不发生水土流失的田间土壤等，每个样品的采样量一般大于 2kg。

4）饮用水、地下水、地表水、地表水沉积物

水样品包括地表水、地下水和饮用水。

地表水用塑料桶直接采集表层水；地下水和饮用水从出水口直接接取至塑料桶中（测量 ^{3}H 的样品用玻璃瓶采集）。

对于γ谱测量和放化分析，每个样品采集50L左右，在现场进行酸化处理后，运回实验室。对于分析 ^{3}H 的样品采集 2.5L，在现场不做任何处理（不加酸）。

在实验室内对于分析 ^{3}H 的样品采用电解浓集的方法进行处理，用液闪测量。

对于供 γ 谱分析用的水，采用加热蒸发浓缩的方法，将样品浓集到 200mL 后，用 HPGe γ 谱仪测量。γ 谱测量完成后，在浓集后的水样中加入 10mL 浓度为50mg/mL的锶载体溶液和20mL浓度为20mg/mL的钇载体溶液。充分搅拌后，用氨水调节溶液的 pH 至 8~9，加入适量氯化铵，搅拌到固体溶解后，再加入碳酸铵，使钙完全沉淀，搅拌 1 小时。如沉淀量太少，可适当加入 Ca（100~300mg），静置 2 天。用虹吸法吸去上清液，过滤残渣，将碳酸钙溶解后，用氨水调节 pH 值至 1，通过色层柱，使钇与锶、钙、铯等低价离子分离。再以 1.5mol/L 硝酸淋洗色层柱，清除钇以外的其他被吸附的离子，并以 6mol/L 硝酸解析钇，实现钇的快速测定，水样中 ^{90}Sr 的活度浓度根据其子体 ^{90}Y 活度浓度来推算。

地表水沉积物样品用长柄铁锹伸入水库或河床底部挖取，将采集到的地表水沉积物剔除杂物后装入聚乙烯塑料袋内，再装入布袋内。运回实验室后进行如下处理：（1）剔除异物，样品称取 1kg 以上；（2）称湿重后将样品倒在托盘中晾干，经 100℃烘干至恒重；（3）用粉碎机将样品进行粉碎，粉碎过的样品过筛（40-60 目），充分混合均匀后装入Φ75mm×50mm 的聚乙烯塑料盒中，称重；（4）密封样品，放置 3~4 周后进行 γ 谱分析。样品粉碎过的样品过筛（120 目），供测放化分析用。

5）海水和海洋沉积物

海水：使用水泵抽取表层 2m 以浅的海水，采样量 150L，采集后立即酸化处理，密封，并记录好采样站位经纬度、采样日期、采样时间、温度和盐度。另采集 50L 海水，不酸化，用于总铀、^{3}H、^{14}C 分析。

沉积物：采用抓斗采泥器采集表层沉积物，采样量为每个湿样 2~3kg 左右，装入塑料袋中，并记录采样站位经纬度、采样日期、采样时间、沉积物厚度、表观性状。如果采样点遇到沙质环境无法采样，则采样位置稍作移动再进行采样。

3.1.1.3　样品的分析

环境辐射本底监测对象中的分析核素的方法和标准、分析仪器见表 3.1-7。

环境辐射本底环境介质样品分析中各类样品分析方法的探测下限见表 3.1-8。

3.1.1.4　调查结果

1）厂址周围存在的辐射或放射源应用情况

厂址半径 30km 范围内，无铀、钍矿、伴生放射性矿设施；厂址半径 15km 范围内，无人为活动引起天然辐射照射增加的设施；厂址半径 15km 范围内，无同位素生产以及非密封放射源同位素的应用；厂址半径 5km 范围内，无 I 类和 II 类放射源的应用。

2）现状调查结果

（1）环境 γ 辐射水平

（a）瞬时γ辐射剂量率

地表 γ 辐射剂量率一共 71 个点位，其中 51 个道路点位，包括 37 个水泥路面、7 个沥青路面、3 个土路、4 个地砖路；20 个原野点位，包括 2 个草地、15 个农田和 3 个沙地。测量点距附近高大建筑物的距离大于 30m，测量时仪器的有效中心离地面 1 米高。本次调查选择在荣成八河水库测量宇宙射线，测量结果均值为 32.3±0.9nGy/h。监测结果见表 3.1-9。

71 个测量点位中，平均最低值是 SSW 方位 2.5km 处，为 32.3±0.7nGy/h（已扣除宇宙射线），地表是沥青路；最高值是青杨夼村，为 101±1nGy/h（已扣除宇宙射线），地表是水泥路，71 个点位结果均值为 51.6±11.7nGy/h（已扣除宇宙射线），各测量点位 2 次测量结果无明显差别。

（b）TLD 累积剂量

TLD 累积剂量共布设了 71 个点位，点位同瞬时γ辐射剂量率点位，监测频度为 1 次/两个月，TLD 由于树木砍伐等原因共丢失 2 个，回收率为 97.2%。累积剂量测量结果见表 3.1-10。从累积剂量换算出的剂量率结果可以看出：各测量点位结果最低值是 SE 方位 4.0km 处为 57.3nGy/h，最高值是高格庄镇为 101.7nGy/h，平均值为 80.5±11nGy/h（均未扣除宇宙射线）。累积剂量与剂量率值比较见表 3.1-11。

（c）γ 辐射连续监测

本次连续剂量率测点在西马家泊村进行测量，测量时间为 2022 年 7 月 1 日至 2022 年 8 月 31 日，期间受降雨的影响，导致剂量率有所波动。本次连续剂量率范围在（35.9~55.9）nGy/h，均值为 40.1nGy/h（已扣除宇宙射线）。

（2）土壤

土壤样品的分析项目包括 ^{90}Sr 和 γ 核素（^{134}Cs、^{137}Cs、^{58}Co、^{60}Co、^{54}Mn、^{238}U、^{232}Th、^{226}Ra、^{40}K），监测频次为 1 次。测量结果具体见表 3.1-12。

γ谱分析测量结果中：

^{238}U 的活度浓度范围为（17.2~48.9）Bq/kg，最低值出现在西吉林亦村，最高值出现在南羊郡村。

^{226}Ra的活度浓度范围为（14.2~30.7）Bq/kg，最低值出现在西吉林亦村，最高值出现在里岛。

^{232}Th 的活度浓度范围为（21.4~51.3）Bq/kg，最低值出现在垛埠店村，最高值出现在团旺镇。

^{40}K的活度浓度范围为（514~897）Bq/kg，最低值出现在王家滩村，最高值出现在里岛。

^{137}Cs的活度浓度范围为(低于探测限~3.23) Bq/kg，最高值出现在垛埠店村。

除^{238}U、^{232}Th、^{226}Ra、^{40}K和^{137}Cs外，其余核素测量结果均低于探测限。

放化分析结果中，^{90}Sr的活度浓度范围为（0.20~1.86）Bq/kg，最低值出现在西马家泊村，最高值出现在垛埠店村。

（3）气溶胶

气溶胶样品的分析项目包括 γ 核素（^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{134}Cs、^{137}Cs、^{7}Be 和 ^{131}I）。测量结果具体见表 3.1-13。

γ 谱分析测量结果中，^{7}Be 的活度浓度范围为 2.67~2.81mBq/m^3，均值为

2.74±0.10mBq/m^3。除 ^{7}Be 外，其余核素（^{134}Cs、^{58}Co、^{60}Co、^{54}Mn、^{131}I）结果均低于探测限。

（4）饮用水、地下水、地表水

饮用水监测项目为总 α、总 β、^{3}H、^{90}Sr 和 γ 核素（^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{134}Cs、^{137}Cs）。监测频次为 1 次，测量结果具体见表 3.1-14。

γ 谱测量结果均低于探测限。

放化分析中：

总 α 测量结果活度浓度范围（低于探测限~0.228）Bq/L。

总 β 测量结果活度浓度范围（0.006~0.177）Bq/L。

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围（0.10~8.83）mBq/L。

^{3}H 测量结果活度浓度范围（0.30~1.35）Bq/L。

地下水监测项目为 ^{3}H、^{90}Sr 和 γ 核素（^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{134}Cs、^{137}Cs）。监测频次为 1 次，测量结果具体见表 3.1-15。

γ 谱测量结果均低于探测限。

放化分析中：

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围（0.10~3.71）mBq/L。

^{3}H 测量结果活度浓度范围（0.26~0.79）Bq/L。

地表水监测项目为 ^{90}Sr、^{3}H 和 γ 核素（^{134}Cs、^{137}Cs、^{58}Co、^{60}Co、^{54}Mn）。监测频次为 1 次，测量结果具体见表 3.1-16。

γ 谱测量结果均低于探测限。

放化分析中：

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围（0.81~5.82）mBq/L，均值为 3.43±2.18mBq/L。

^{3}H 测量结果活度浓度范围（0.46~0.64）Bq/L，均值为 0.56±0.08Bq/L。

（5）地表水沉积物

地表水沉积物的分析项目包括 ^{90}Sr 和 γ 核素（^{134}Cs、^{137}Cs、^{58}Co、^{60}Co、^{54}Mn、^{238}U、^{232}Th、^{226}Ra、^{40}K）。与地表水一同采集，监测频次为 1 次，测量结果具体见表 3.1-17。

γ谱分析测量结果中：

^{238}U测量结果活度浓度范围为（18.4~32.6）Bq/kg，均值为23.8±5.4Bq/kg。

^{226}Ra测量结果活度浓度范围为（15.9~27.2）Bq/kg，均值为19.9±4.6Bq/kg。

^{232}Th测量结果活度浓度范围为（36.8~68.4）Bq/kg，均值为48.3±12.2Bq/kg。

^{40}K测量结果活度浓度范围为（496~840）Bq/kg，均值为643±165Bq/kg。

^{137}Cs测量结果活度浓度范围为（<0.50~1.55）Bq/kg。

除^{238}U、^{232}Th、^{226}Ra、^{40}K和^{137}Cs外，其余核素测量结果均低于探测限。

放化分析中，^{90}Sr测量结果活度浓度范围为（0.15~1.20）Bq/kg，均值为0.78±0.41Bq/kg。

（6）海水

海水放射性调查结果显示：^{90}Sr 的活度浓度范围为（0.51~2.18）mBq/L，平均值为 0.97±0.39mBq/L；^{137}Cs 的活度浓度范围为（ND~1.38）mBq/L，平均值为0.77±0.28mBq/L；总铀的活度浓度范围为（1.44~2.80）μg/L，平均值为2.29±0.38μg/L；^{226}Ra 的活度浓度范围为（1.82~8.55）mBq/L，平均值为5.61±1.65mBq/L；总 β（去钾）的活度浓度范围为（19.0~90.2）mBq/L，平均值为 59.2±18.0mBq/L；^{3}H 的活度浓度范围为（ND-4.25）Bq/L，平均值为0.88±0.82Bq/L。海域海水中 ^{134}Cs、^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{110m}Ag、^{65}Zn、^{56}Fe 和 ^{106}Ru 等放射性核素的活度浓度均低于检测下限。具体调查结果见表 3.1-18。

（7）海水沉积物

沉积物放射性调查结果显示：总铀的含量范围为（1.28~12.4）μg/g，平均值为（2.88±2.93）μg/g；总 β 的活度范围为（379~980）Bq/kg，均值为 648±167Bq/kg；^{226}Ra 的活度范围为（13.6~127）Bq/kg，均值为 32.4±29.4Bq/kg；^{232}Th 的活度范围为（20.3~276）Bq/kg，均值为 54.6±67.6Bq/kg；^{40}K 的活度范围为（553~916）Bq/kg，均值为 664±107Bq/kg；^{137}Cs 的活度范围为（ND~1.61）Bq/kg，均值为1.02±0.50Bq/kg；^{90}Sr 的活度范围为（ND~0.85）Bq/kg，均值为 0.50±0.19Bq/kg；^{238}U 的活度范围为（15.9~154）Bq/kg，均值为 37.6±36.0Bq/kg。^{106}Ru、^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{59}Fe、^{65}Zn、^{110m}Ag、^{3}H 和 ^{134}Cs 等核素的活度浓度均低于检测限。具体结果见表 3.1-19。

3.1.1.5　质量保证

专题单位根据 HAF003《核电厂质量保证安全规定》所规定的程序和要求，制定质量方针和质量目标，建立了项目组织机构，明确了有关部门、人员的责任

和权限，对文件控制、设计控制、不符合的控制、纠正措施、记录控制等有关内容做出了规定。专题单位已获得辐射环境质量监测资质，项目参与人员均有相应的专业背景和技术资质。放射性环境本底调查涉及到的样品采集和预处理按照专题单位有关作业指导书进行。按照相关操作规范采集完成并做好标识的样品按照样品的特性进行适当的包装，在运输前认真填写样品清单，清点样品，并且检查包装是否符合要求，然后用厢式货车公路运输样品到实验室，样品送达实验室后，接样人员和送样人员清点样品，并在样品清单上签字，将样品有条理的放置在样品室的未检区，分析人员按规定领取样品，及时分析测量。用于采样和分析的仪器设备，按照国家计量法的要求进行检定/校准后在有效期内使用。所有对分析测试结果的准确性和有效性有影响的计量器具或检测设备，均由计量部门或其授权单位进行校准或检定，以保证检测量值具有溯源性。实验室在 2021 年参加了国际原子能机构组织的国际比对 IAEA-TEL-2021-04，通过比对对实验室的测量分析进行了质量控制。

专题单位根据《核电厂质量保证安全规定》（HAF003）及其有关导则中的要求，建立了核电厂项目质量保证组织，包括所领导、下属总工办、技术开发处、综合办、人事处、科技处、项目承担部门。其中总工办由分管所领导直接领导，在监查和督促质保大纲有效实施方面拥有足够的权力和组织独立性。专题单位已获得国家级计量认证资质（含海洋放射性与辐射监测），项目参与人员均有相应的专业背景和技术资质。项目严格按照质保大纲中的质量控制方法及海洋三所质量管理体系的相关要求进行实验室分析质量控制工作。样品采集、贮存与运输严格按照《海洋监测规范》（GB17378-2007）和《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）执行，对样品采集、贮存与运输、分析方法进行了全面的质量控制。实验室按分析、测试的介质和核素明确分工，相关分析人员对样品分析测试的质量负责，严格按照规程和国标方法、工作大纲的要求操作，确保分析结果的准确、可靠。样品分析、测试前做好器皿、试剂、仪器的充分准备，对同一批测试样品使用同一批试剂和耗材。通过平行样的分析、测定，保证了分析数据的质量。通过掺标样品对实验室内放化分析过程进行质量控制。

3.1.2　辐射环境质量评价

本次调查结果主要与 2010 年厂址周边地区环境辐射本底调查（简称“以往调查-1”）和 2019 年 9 月至 2020 年 7 月厂址周边地区监测数据（简称“以往调

查-2”）进行了比较和分析，此外还与 2020 年全国辐射环境质量报告（中华人民共和国生态环境部出版）和国内其他地区辐射背景资料进行了比较和分析。

1）厂址周围存在的辐射或放射源应用情况

厂址半径 30km 范围内，无铀、钍矿、伴生放射性矿设施；厂址半径 15km 范围内，无人为活动引起天然辐射照射增加的设施；厂址半径 15km 范围内，无同位素生产以及非密封放射源同位素的应用；厂址半径 5km 范围内，无Ⅰ类和Ⅱ类放射源的应用。

2）环境γ辐射水平

本次调查 TLD 测量结果与陆地γ辐射剂量率测量结果基本相符。陆地γ辐射剂量率测量结果与以往调查数据比较见表 3.1-20。累积剂量测量结果与以往调查数据比较见表 3.1-21。

2020 年全国辐射环境质量报告全国各地区剂量率年均值范围为（49.8~194.4）nGy/h，累积剂量测得的空气吸收剂量率年均值范围为（42.1~265）nGy/h，其中山东省剂量率年均值范围为（60.1~103.3）nGy/h，累积剂量测得的空气吸收剂量率年均值范围为（69.2~157）nGy/h。本次调查无监测结果异常或偏高点位，与全国和山东地区的结果相比，本次调查结果均属于环境本底水平。本次调查结果与以往调查结果基本吻合，没有出现异常值。

3）大气中气溶胶

γ谱分析测量结果中，除 ^{7}Be 外，其余核素（^{134}Cs、^{58}Co、^{60}Co、^{54}Mn、^{131}I）结果均低于探测限。^{7}Be 测量活度浓度范围为（2.67~2.81）mBq/m^3，均值为 $2.74\pm0.10mBq/m^3$。

2020 年全国辐射环境质量报告全国各地区气溶胶中 ^{7}Be 的活度浓度范围为（0.04~21）mBq/m^3，其中山东省的结果为（0.31~12）mBq/m^3。与全国和山东地区的结果相比，本次调查结果属于环境本底水平（以往调查中没有γ核素的测量结果）。

本次调查中，气溶胶测量结果属于正常环境水平，本次调查无监测结果异常或偏高点位。

4）土壤

γ谱分析测量结果中，^{238}U、^{232}Th、^{226}Ra、^{40}K和部分^{137}Cs给出了测量结果，其余核素测量结果均低于探测限，具体监测结果见3.1.1.4节中的土壤监测结果。

本次调查与以往调查结果比较见表 3.1-22。本次调查中，土壤测量结果属于正常环境水平，本次调查无监测结果异常或偏高点位，与以往调查结果相比没有显著性差异。

5）非受纳水体

（1）饮用水

本次调查 γ 谱测量结果（^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{134}Cs、^{137}Cs）均低于探测限，饮用水中总 α 的活度浓度范围在（低于探测限~0.228）Bq/L ；总 β 的活度浓度范围在（0.006~0.177）Bq/L；^{90}Sr 的活度浓度范围在（0.10~8.83）mBq/L；^{3}H 的活度浓度范围在（0.30~1.35）Bq/L。本次调查结果与以往调查结果比较见表 3.1-23。以往调查-1 饮用水中 ^{90}Sr 的活度浓度范围在（1.2~9.0）mBq/L；^{3}H 的活度浓度范围在（0.39~0.79）Bq/L。以往调查-2 饮用水中总 α 的活度浓度范围在（0.0266~0.382）Bq/L；总 β 的活度浓度范围在（<0.0088~0.3081）Bq/L；^{3}H 的活度浓度范围在（<0.90~11.93）Bq/L。2020 年全国辐射环境质量报告全国各地区饮用水中 ^{90}Sr 的测量结果为（0.29~5.6）mBq/L。《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2022）规定生活饮用水的放射性指标总 α 指导值为 0.5Bq/L，总 β 为 1Bq/L，本次调查饮用水中总 α 和总 β 监测结果均满足 GB 5749-2022 要求。

本次调查结果与以往调查结果相比，饮用水中 ^{90}Sr 和 ^{3}H 测量结果与以往结果没有显著差异；与全国各地区调查结果相比，处于中间水平，都属于正常环境水平。

（2）地下水

本次调查γ谱测量结果（^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{134}Cs、^{137}Cs）均低于探测限。本次调查地下水中^{90}Sr的活度浓度范围在（0.10~3.71）mBq/L；^{3}H的活度浓度范围在（0.26~0.79）Bq/L。本次调查与以往调查结果比较见表3.1-24。以往调查-1地下水中^{90}Sr的活度浓度范围在（1.5~9.1）mBq/L；以往调查-1地下水中^{3}H的活度浓度范围在（0.41~0.79）Bq/L。以往调查-2地下水中^{90}Sr的活度浓度范围在（2.29~8.57）mBq/L；^{3}H的活度浓度＜0.9Bq/L。

本次调查结果与以往调查相比，地下水中^{90}Sr和^{3}H测量结果与以往结果没有显著差异，属于正常的环境水平。

（3）地表水

本次调查γ谱测量结果（^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{134}Cs、^{137}Cs）均低于探测限，本次调查地表水中^{90}Sr的活度浓度均值为3.43±2.18mBq/L，范围在（0.81~5.82）mBq/L；^{3}H的活度浓度均值为0.56±0.08Bq/L，范围在（0.46~0.64）Bq/L。本次调查与以往调查结果比较见表3.1-25。以往调查-1地表水中^{90}Sr的活度浓度均值为4.6mBq/L，范围在（2.4~6.5）mBq/L；^{3}H的活度浓度均值为0.62Bq/L，范围在（0.44~0.79）Bq/L。以往调查-2地表水中^{3}H的活度浓度范围在（<0.85~1.72）Bq/L。2020年全国辐射环境质量报告全国各地区地表水中^{90}Sr的活度浓度范围为（0.52~8.7）mBq/L。

本次调查结果与以往调查结果相比，地表水中^{90}Sr和^{3}H测量结果与以往结果没有显著差异；与全国各地区调查结果相比，处于中间水平，都属于正常环境水平。

（4）地表水沉积物

γ谱分析测量结果中，^{238}U、^{232}Th、^{226}Ra、^{40}K和部分^{137}Cs给出了测量结果，其余核素测量结果均低于探测限，放化分析中^{90}Sr各样品均给出了测量结果。具体监测结果见3.1.1.4节中的地表水沉积物。

本次调查与以往调查结果比较见表3.1-26。以往调查-1地表水沉积物中^{137}Cs的活度浓度均值为1.39±0.67Bq/kg，范围在（0.68~2.65）Bq/kg；^{90}Sr的活度浓度均值为1.52±0.19Bq/kg，范围在（1.33~1.86）Bq/kg。以往调查-2地表水沉积物中^{137}Cs的活度浓度范围在（<0.60~1.54）Bq/kg；^{90}Sr的活度浓度均值为1.1±1.0Bq/kg，范围在（0.24~3.01）Bq/kg。全国不同地区62组地表水沉积物中^{90}Sr的含量为（0.19~3.72）Bq/kg，均值为1.39±0.67Bq/kg。本次调查结果与以往调查结果相比，地表水沉积物中^{137}Cs和^{90}Sr测量结果与以往结果没有显著差异；与全国各地区调查结果相比，处于中间水平，都属于正常环境水平。

本次调查中，地表水沉积物测量结果属于正常环境水平，本次调查无监测结果异常或偏高点位，与以往调查结果相比没有显著性差异。

6）受纳水体

海水和海洋沉积物放射性调查结果具体见 3.1.1.4 节。根据监测结果，本次调查海域海水和海洋沉积物放射性核素水平，均处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常，与我国其他近岸海域放射性水平处于同一水平。

表 3.1-1　陆地环境γ辐射空气吸收剂量率监测点位统计表

序号	布点范围	点位布设个数
1	0~2km	21
2	2km~5km	17
3	5km~10km	16
4	10km~20km	17
合计	/	71

表 3.1-2　陆地环境γ辐射空气吸收剂量率监测点位

序号	方位	距离	备注	监测项目	地表描述
1	/	/	1、2 号机组	剂量率、累积剂量	农田
2	/	/	厂区北部-1	剂量率、累积剂量	农田
3	/	/	3、4 号机组	剂量率、累积剂量	农田
4	/	/	厂区北部-2	剂量率、累积剂量	农田
5	/	/	5、6 号机组	剂量率、累积剂量	农田
6	/	/	厂区东部	剂量率、累积剂量	农田
7	WSW	1.3	厂址边界	剂量率、累积剂量	农田
8	SE	1.0	厂址边界	剂量率、累积剂量	农田
9	ENE	1.4	厂址边界	剂量率、累积剂量	农田
10	NNW	1.6	厂址边界	剂量率、累积剂量	农田
11	S	1.6	/	剂量率、累积剂量	水泥地
12	SSE	1.8	/	剂量率、累积剂量	水泥地
13	ESE	1.9	/	剂量率、累积剂量	水泥地
14	E	1.8	/	剂量率、累积剂量	草地
15	NE	1.8	/	剂量率、累积剂量	农田
16	N	1.7	/	剂量率、累积剂量	土路
17	NW	1.2	/	剂量率、累积剂量	土路
18	WNW	1.8	/	剂量率、累积剂量	农田
19	W	1.9	/	剂量率、累积剂量	水泥地
20	SW	1.8	/	剂量率、累积剂量	土路
21	SSW	1.6	/	剂量率、累积剂量	水泥地
22	N	2.3	/	剂量率、累积剂量	地砖
23	NW	2.5	/	剂量率、累积剂量	水泥地
24	W	3.5	/	剂量率、累积剂量	水泥地
25	SSW	2.5	/	剂量率、累积剂量	沥青路
26	SSE	3.6	/	剂量率、累积剂量	水泥地
27	SE	4	/	剂量率、累积剂量	水泥地
28	ESE	4.1	红薯、梨、苹果种植区域；排水管线区域	剂量率、累积剂量	水泥路
29	E	3.3	/	剂量率、累积剂量	地砖
30	ENE	4.7	/	剂量率、累积剂量	水泥路
31	NE	4	/	剂量率、累积剂量	水泥地
32	NNE	4.9	/	剂量率、累积剂量	地砖
33	N	4.7	/	剂量率、累积剂量	水泥路
34	NNW	4.5	厂址下风向	剂量率、累积剂量	沙土路
35	WNW	4.2	/	剂量率、累积剂量	农田

序号	方位	距离	备注	监测项目	地表描述
36	WSW	4.7	/	剂量率、累积剂量	水泥地
37	SW	4.7	/	剂量率、累积剂量	沙土路
38	S	3.9		剂量率、累积剂量	水泥地
39	S	5.3	/	剂量率、累积剂量	沙土路
40	SSE	7.3	人口集中区域	剂量率、累积剂量	沥青路
41	SE	5.7	/	剂量率、累积剂量	水泥地
42	ESE	7.4	/	剂量率、累积剂量	农田
43	E	6.9	人口集中区域、学校、医院、蔬菜种植基地	剂量率、累积剂量	水泥路
44	ENE	9	/	剂量率、累积剂量	水泥路
45	NE	7.9	/	剂量率、累积剂量	水泥地
46	NNE	7.2	人口集中区域	剂量率、累积剂量	石砖路
47	N	8.5	/	剂量率、累积剂量	水泥地
48	NNW	6.1	/	剂量率、累积剂量	水泥地
49	NW	6.1	人口集中区域	剂量率、累积剂量	水泥路
50	WNW	5.7	/	剂量率、累积剂量	水泥路
51	W	8.4	/	剂量率、累积剂量	水泥路
52	WSW	8.4	/	剂量率、累积剂量	水泥路
53	SW	6.9	/	剂量率、累积剂量	水泥地
54	S	7.9	/	剂量率、累积剂量	水泥地
55	S	13.3	/	剂量率、累积剂量	水泥路
56	SSE	13.8	水产养殖场	剂量率、累积剂量	水泥路
57	SE	13.3	/	剂量率、累积剂量	水泥地
58	ESE	13.2	/	剂量率、累积剂量	沥青路
59	ESE	16.4	排水管线区域	剂量率、累积剂量	水泥地
60	E	14.3	/	剂量率、累积剂量	沥青路
61	ENE	19.3	/	剂量率、累积剂量	农田
62	NE	13.8	/	剂量率、累积剂量	水泥地
63	NNE	14	/	剂量率、累积剂量	水泥地
64	N	12.8	/	剂量率、累积剂量	水泥路
65	NNW	16	/	剂量率、累积剂量	水泥路
66	NW	18.3	/	剂量率、累积剂量	沥青路
67	WNW	18.7	人口集中区域	剂量率、累积剂量	沥青路

序号	方位	距离	备注	监测项目	地表描述
68	W	14.9	/	剂量率、累积剂量	沥青路
69	WSW	16.1	/	剂量率、累积剂量	草地
70	SW	12.3	/	剂量率、累积剂量	水泥路
71	SSW	13	/	剂量率、累积剂量	水泥地

注：剂量率监测频次为 2 次、累积剂量监测频次为 1 次。

表 3.1-3　气溶胶监测点位信息

序号	方位	距离（km）	备注
1	S	1.6	厂址附近居民组
2	NNW	2.5	厂址下风向

注：监测频次 1 次，气溶胶采样量体积大于 10000m^3。

表 3.1-4　土壤采样点位信息表

序号	方位	距厂址中心距离(km)	距取排水管线距离(km)	备注
1	SE	1.0	/	厂址边界
2	NNW	1.6	/	厂址边界
3	S	1.6	0.4	关键居民组 平行样采样点
4	SSE	1.8	0.3	/
5	NNW	4.5	/	厂址下风向
6	NW	6.1	/	人口集中区域 平行样采样点
7	WSW	8.4	/	/
8	SSE	7.3	/	人口集中区域
9	ESE	4.1	0.5	排水管线途经居民点
10	E	6.9	1.1	人口集中区域、学校、医院、蔬菜种植基地
11	NNE	7.2	/	人口集中区域
12	SW	31	/	对照点
（1）	ESE	7.9	0.8	管线沿线，表层土 平行样品
（2）	SE	10.2	0.9	管线沿线，表层土+深层土
（3）	SE	12.8	0.4	管线沿线，表层土
（4）	ESE	14.6	0.7	管线沿线，表层土+深层土
（5）	SE	11.6	0.1	管线沿线，表层土+深层土
（6）	SE	13.9	0.1	管线沿线，表层土+深层土
（7）	SE	16.4	0.1	管线沿线，表层土+深层土
（8）	SE	17.4	0.1	管线沿线，表层土+深层土 平行样品

注：（1）~（4）点位为 2023 年 7~11 月第一次补充调查布点。（5）~（8）点位为 2025 年 3 月第二次补充调查布点。监测频次为 1 次，每个样品采样量大于 2kg。

表 3.1-5　陆地水体监测点位

监测项目	序号	方位	距厂址中心距离(km)	距取排水管线距离(km)	备注
饮用水和地下水	1	S	1.6	0.4	厂址附近居民点、管线沿线
	2	SSE	1.8	0.3	厂址附近居民点、管线沿线
	3	ESE	4.1	0.6	厂址附近居民点、管线沿线
	4	E	6.9	1.3	/
	5	ESE	16.4	3.9	/
	6	SW	31	/	/
	（1）	ESE	7.9	0.8	管线沿线
	（2）	SE	10.2	0.9	管线沿线
	（3）	SE	12.8	0.4	管线沿线
	（4）	ESE	14.6	0.7	管线沿线
	（5）	N	2.3	/	厂址附近居民点
	（6）	WNW	2.5	/	关键居民组
	（7）	WNW	3.5	/	厂址附近居民点
	（8）	W	2.2	/	厂址附近居民点
	（9）	SW	3.0	/	厂址附近居民点
地表水及其沉积物	1	SE	2.6	/	厂址排水管线与五龙河交汇处
	2	ESE	19.5	/	厂址排水管线与白沙河交汇处
	3	ENE	14.1	/	厂址附近水库
	4	NE	25	/	对照点

注：（1）~（4）为 2023 年 7~11 月第一次补充调查布点。（5）~（9）为 2025 年 3 月第二次补充调查布点。监测频次为 1 次。对于水体 γ 谱测量和放化分析，每个样品采集 50L 左右，对于分析 ^{3}H 的样品采集 2.5L。地表水沉积物样品称取 1kg 以上。

表 3.1-6 受纳水体海水和海洋沉积物点位信息

序号	站位	备注
1	L1	排水口/沉积物站位
2	L2	生态保护红线
3	L3	生态保护红线/沉积物站位
4	L4	生态保护红线
5	L5	海水淡化厂排水口/生态保护红线
6	L6	取水口/沉积物站位
7	L7	生态保护红线/国家级海洋特别保护区
8	L8	
9	L9	
10	L10	沉积物站位
11	L11	
12	L12	
13	L13	沉积物站位
14	L14	沉积物站位
15	L15	
16	L16	
17	L17	
18	L18	沉积物站位
19	L19	
20	L20	
21	L21	
22	L22	沉积物站位
23	L23	
24	LC1	潮间带站位
25	LC2	潮间带站位
26	LC3	潮间带站位
27	LC4	潮间带站位
28	LC5	潮间带站位/国家级海洋特别保护区

表 3.1-7（a） 采用的仪器及测量方法依据（陆域）

序号	监测项目	仪器设备	测量方法依据	分析样品量
1	环境地表γ辐射剂量率	高气压电离室	HJ1157-2021《环境γ辐射剂量率测量技术规范》	/
2	累积剂量	RGD-3 型热释光剂量仪	GB/T 10264-2014《个人和环境监测用热释光剂量测量系统》	/
2	总α	低本底 α/β 测量仪	EJ/T1075-1998《水中总 α 放射性浓度的测定厚源法》	3L
3	总β	低本底 α/β 测量仪	EJ/T 900-1994《水中总β放射性测定蒸发法》	3L
4	^{3}H	低水平液闪谱仪	HJ1126-2020《水中氚的分析方法》	淡水 500mL，海水 250mL
5	水中 ^{90}Sr	低本底 α/β 测量仪	HJ815-2016《水和生物样品灰中锶-90 放射化学分析方法》	50L
6	土壤、沉积物中 ^{90}Sr	低本底 α/β 测量仪	EJ/T 1035-2011《土壤中锶-90 的分析方法》	50g
7	水中γ核素	HPGeγ谱仪	GB/T 16140-2018《水中放射性核素的γ能谱分析方法》	50L
8	土壤、沉积物中γ核素	HPGeγ谱仪	GB/T 11743-2013《土壤中放射性核素的γ能谱分析方法》	300g
9	气溶胶中γ核素	HPGeγ谱仪	HJ1149-2020《环境空气气溶胶中γ放射性核素的测定滤膜压片/γ能谱法》	10000m^3

表 3.1-7（b） 采用的仪器及测量方法依据（海域）

序号	项目	分析介质	分析方法	规范/标准	样品用量
01	总铀	海水 沉积物	激光荧光法	HY/T235-2018 HY/T235-2018	海水：50mL； 沉积物：20-50mg
02	^{40}K	沉积物	γ 能谱法	HY/T235-2018	沉积物：300g；
03	^{226}Ra	海水 沉积物	多核素联合沉淀-γ能谱法 γ 能谱法	HY/T235-2018 GB/T30738-2014	海水：60L； 沉积物：300g；
04	^{232}Th	沉积物	γ 能谱法	GB/T30738-2014	
05	^{134}Cs	海水 沉积物	AMP 富集-γ 能谱法 γ能谱法	HY/T235-2018 GB/T30738-2014	
06	^{137}Cs	海水 沉积物	AMP 富集-γ 能谱法 γ 能谱法	HY/T235-2018 GB/T30738-2014	
07	^{58}Co	海水 沉积物	多核素联合沉淀-γ 能谱法 γ 能谱法	HY/T235-2018 GB/T30738-2014	
08	^{60}Co	海水 沉积物	多核素联合沉淀-γ 能谱法 γ 能谱法	HY/T235-2018 GB/T30738-2014	
09	^{54}Mn	海水 沉积物	多核素联合沉淀-γ 能谱法 γ 能谱法	HY/T235-2018 GB/T30738-2014	
10	^{65}Zn	海水	多核素联合沉淀-γ 能谱法	HY/T235-2018	

序号	项目	分析介质	分析方法	规范/标准	样品用量
11	^{110m}Ag	海水 沉积物	多核素联合沉淀-γ 能谱法 γ 能谱法	HY/T235-2018 GB/T30738-2014	
12	^{59}Fe	海水	γ 能谱法	GB/T16145-2022	海水：25L；
13	总β	海水 沉积物	铁明矾-氯化钡法 直接铺样法	HY/T235-2018 HY/T235-2018	海水：3L； 沉积物：100mg
14	^{90}Sr	海水 沉积物	HDEHP 萃取-β 计数法	HY/T235-2018 HY/T235-2018	海水：40L； 沉积物：100g
15	^{3}H	海水	电解富集-液体闪烁计数法	HJ1126-2020	海水：1 L；
16	^{106}Ru	海水 沉积物	共沉淀-γ 能谱法 γ 能谱法	GB/T16145-2022 GB/T30738-2014	海水：15L； 沉积物：300g

表 3.1-8（a） 各类样品分析方法的探测下限（陆域）

序号	调查对象	样品用量	分析核素	测量时间	探测限	HJ969-2018 给出的探测限
1	气溶胶	10000m^3	γ 谱分析	80000s	^{134}Cs：$5.8\times10^{-6}Bq/m^3$ ^{137}Cs：$5.0\times10^{-6}Bq/m^3$ ^{60}Co：$9.0\times10^{-6}Bq/m^3$ ^{54}Mn：$5.8\times10^{-6}Bq/m^3$ ^{7}Be：$6.5\times10^{-5}Bq/m^3$ ^{131}I：$5.0\times10^{-6}Bq/m^3$	^{137}Cs：$5.0\times10^{-6}Bq/m^3$ ^{131}I：$1.0\times10^{-5}Bq/m^3$
2	土壤、底泥、地表水	50g	^{90}Sr	900min	0.15 Bq/kg	$2.0\times10^{-1}Bq/kg$
		300g	γ 谱分析	80000s	^{137}Cs：0.26Bq/kg ^{134}Cs：0.24Bq/kg ^{58}Co：0.22Bq/kg ^{60}Co：0.24Bq/kg ^{110m}Ag：0.40Bq/kg ^{54}Mn：0.26Bq/kg ^{238}U：10Bq/kg ^{232}Th：1.1Bq/kg ^{226}Ra：0.69Bq/kg ^{40}K：4.5Bq/kg	^{137}Cs：$5.0\times10^{-1}Bq/kg$
3	地表水、地下水、饮用水	3L	总 α	600min	$2.0\times10^{-3}Bq/L$	$2.0\times10^{-2}Bq/L$
		3L	总 β	600min	$5.0\times10^{-3}Bq/L$	$5.0\times10^{-2}Bq/L$
		500mL	^{3}H	1000min	0.14Bq/L	$5.0\times10^{-1}Bq/L$
		50L	^{90}Sr	500min	$1.5\times10^{-4}Bq/L$	$3.0\times10^{-4}Bq/L$
		50L	γ 谱	80000s	^{137}Cs：$1.6\times10^{-3}Bq/L$	^{137}Cs：$2.0\times10^{-3}Bq/L$

序号	调查对象	样品用量	分析核素	测量时间	探测限	HJ969-2018 给出的探测限
			分析		^{134}Cs：1.4×10^{-3}Bq/L ^{54}Mn：1.5×10^{-3}Bq/L ^{58}Co：1.3×10^{-3}Bq/L ^{60}Co：1.7×10^{-3}Bq/L	

注：表中给出的探测下限是在样品用量固定时计算得到的结果，而实际样品分析过程中由于取样量不同，造成探测限也略有差异。

表 3.1-8（b） 各类样品分析方法的探测下限（海域）

核素	介质	本项目		核动力厂运行前辐射环境本底调查技术规范（HJ969-2018）
^{137}Cs	海水（水）	0.28 Bq/m^3	0.28×10^{-3} Bq/L	2.0×10^{-3} Bq/L
	沉积物（土壤类）	0.41 Bq/kg	4.1×10^{-1}Bq/kg	5.0×10^{-1} Bq/kg
总 β	海水（水）	1.0 Bq/m^3	0.1×10^{-2} Bq/L	5.0×10^{-2} Bq/L
^{3}H	海水（水及空气、生物中的水）	0.3 Bq/L	3.0×10^{-1} Bq/L	5.0×10^{-1} Bq/L
^{90}Sr	海水（水）	0.1 Bq/m^3	1.0×10^{-4} Bq/L	3.0×10^{-4} Bq/L
	沉积物（土壤、沉积物类）	0.05 Bq/kg	0.5×10^{-1} Bq/kg	2.0×10^{-1} Bq/kg

表 3.1-9　地表γ辐射剂量率测量结果（nGy/h）（已扣除宇宙射线）

序号	2022 年 6 月	2022 年 9 月	均值
1	43.6±0.5	43.8±0.5	43.7±0.1
2	41.7±0.5	39.8±0.9	40.8±1.3
3	50.5±0.6	47.1±0.8	48.8±2.4
4	43.5±0.6	43.3±0.7	43.4±0.1
5	53.4±0.6	50.1±0.5	51.8±2.3
6	45.5±0.5	42.2±0.6	43.9±2.3
7	40.9±0.6	40.4±0.5	40.7±0.4
8	52.5±0.5	53.1±0.7	52.8±0.4
9	53.5±0.5	46.9±0.9	50.2±4.7
10	49.7±0.5	47.4±0.7	48.6±1.6
11	44±0.6	43±0.9	43.5±0.7
12	46.4±1.2	47.2±0.7	46.8±0.6
13	45.3±0.8	43.5±0.7	44.4±1.3
14	49.4±0.5	46.8±0.8	48.1±1.8
15	48.5±0.5	47.9±0.7	48.2±0.4
16	34.6±0.6	36.7±0.5	35.7±1.5
17	31.9±0.7	35.4±0.7	33.7±2.5
18	35.2±0.8	37.7±0.5	36.5±1.8
19	33.4±0.5	39.8±0.5	36.6±4.5
20	44.7±0.5	45±0.6	44.9±0.2
21	38.5±0.6	42.7±0.7	40.6±3
22	39.4±0.8	42.4±1	40.9±2.1
23	50.7±0.6	53.3±0.6	52±1.8
24	35.9±0.6	38.7±0.7	37.3±2
25	31.8±0.4	32.8±0.5	32.3±0.7
26	60.8±0.5	59.8±1	60.3±0.7
27	47.3±0.5	48.5±0.8	47.9±0.8
28	53.3±0.5	56.9±1	55.1±2.5
29	51.9±0.5	52.3±0.9	52.1±0.3
30	54.6±0.6	50±0.7	52.3±3.3
31	47.1±0.7	48.6±0.7	47.9±1.1
32	64.6±0.5	68.7±1	66.7±2.9
33	47.6±0.5	50.3±0.8	49±1.9
34	72.7±1	66.1±1.1	69.4±4.7
35	55±0.5	59.6±0.8	57.3±3.3
36	55.9±0.5	56.9±0.5	56.4±0.7
37	47±0.7	47.9±1.5	47.5±0.6
38	52±0.5	53.8±0.6	52.9±1.3
39	43.3±0.9	46.1±0.7	44.7±2
40	45.8±0.6	49.7±0.6	47.8±2.8
41	59.2±0.5	62.5±0.8	60.9±2.3
42	55.7±0.5	52.5±0.8	54.1±2.3
43	67.6±0.8	64±0.7	65.8±2.5
44	54.2±0.5	54.4±0.7	54.3±0.1

序号	2022 年 6 月	2022 年 9 月	均值
45	53.1±0.5	53.9±1.3	53.5±0.6
46	69.7±1	64.7±0.7	67.2±3.5
47	50.5±0.5	53.6±0.9	52.1±2.2
48	57.9±0.5	62.6±0.5	60.3±3.3
49	65.5±0.7	63.9±0.9	64.7±1.1
50	82.7±1	84.7±1	83.7±1.4
51	52.8±0.4	53.5±0.9	53.2±0.5
52	65.9±0.6	68.7±1	67.3±2
53	48.2±0.7	52.8±0.6	50.5±3.3
54	39.7±0.5	47±0.6	43.4±5.2
55	70.7±1	66.5±0.7	68.6±3
56	50.2±0.5	52.8±0.5	51.5±1.8
57	47±0.7	49.9±0.3	48.5±2.1
58	43.2±0.7	51.5±1.2	47.4±5.9
59	70.7±1	69.7±1	70.2±0.7
60	52.8±0.7	53.9±0.6	53.4±0.8
61	39.5±0.5	42.9±0.6	41.2±2.4
62	56.7±0.6	57.6±0.6	57.2±0.6
63	69.7±1	68.7±1	69.2±0.7
64	101.7±1	99.7±1	101±1
65	45.4±0.5	48.3±1	46.9±2.1
66	48.7±0.7	47±0.7	47.9±1.2
67	32.5±0.7	35.5±0.7	34±2.1
68	39.3±0.5	43.4±0.5	41.4±2.9
69	50.6±0.6	51.9±0.4	51.3±0.9
70	62.8±0.5	65.4±0.6	64.1±1.8
71	43.1±0.5	48.2±0.7	45.7±3.6

表 3.1-10　累积剂量测量结果（未扣除宇宙射线响应值）

序号	2022 年 6 月~9 月		
	累积剂量（mGy）	布放时间（h）	TLD 小时均值（nGy/h）
1	0.129	1864.52	69.1
2	0.131	1849.25	70.7
3	0.116	1849.57	62.7
4	0.120	1849.07	64.7
5	0.145	1824.60	79.2
6	0.119	1823.97	65.5
7	0.147	1845.38	79.5
8	0.134	1823.98	73.7
9	0.134	1823.48	73.5
10	\	\	丢失
11	0.159	1817.70	87.6
12	0.168	1817.48	92.4
13	0.150	1772.13	84.5
14	0.124	1726.00	71.9
15	0.140	1774.25	78.7
16	0.134	1824.92	73.3
17	0.124	1824.87	67.9
18	0.139	1824.95	76.0
19	0.143	1825.00	78.2
20	0.106	1843.30	57.7
21	0.119	1817.58	65.3
22	0.136	1824.90	74.4
23	0.157	1826.52	86.0
24	0.126	1794.83	70.2
25	0.112	1724.58	64.8
26	0.131	1754.32	74.5
27	0.098	1707.28	57.3
28	0.107	1725.58	61.9
29	0.121	1774.33	68.3
30	0.122	1725.65	70.5
31	0.112	1774.33	63.4
32	0.131	1725.92	76.1
33	0.135	1798.10	75.2
34	0.143	1798.45	79.8
35	0.143	1776.47	80.7

序号	2022 年 6 月~9 月		
	累积剂量（mGy）	布放时间（h）	TLD 小时均值（nGy/h）
36	0.165	1794.27	92.1
37	0.151	1794.70	84.3
38	0.138	1793.45	77.0
39	\	\	丢失
40	0.149	1681.05	88.4
41	0.166	1754.93	94.8
42	0.163	1724.42	94.6
43	0.175	1725.13	101.7
44	0.156	1724.63	90.3
45	0.156	1726.18	90.6
46	0.156	1725.58	90.3
47	0.162	1726.02	94.1
48	0.162	1774.82	91.0
49	0.161	1798.07	89.8
50	0.174	1777.93	98.1
51	0.163	1778.97	91.5
52	0.141	1750.93	80.8
53	0.139	1749.87	79.2
54	0.130	1732.38	74.8
55	0.165	1637.17	100.8
56	0.121	1655.75	73.0
57	0.136	1615.47	84.0
58	0.136	1639.07	82.9
59	0.156	1640.00	95.1
60	0.153	1725.92	88.5
61	0.124	1725.82	72.1
62	0.132	1725.78	76.6
63	0.153	1769.20	86.5
64	0.170	1769.27	96.1
65	0.153	1746.62	87.7
66	0.148	1609.00	92.1
67	0.137	1609.75	84.8
68	0.145	1611.13	89.9
69	0.167	1729.00	96.8
70	0.143	1730.60	82.8
71	0.144	1731.40	83.0

表 3.1-11　累积剂量与剂量率值比较（未扣除宇宙射线响应值）

序号	瞬时剂量率值（nGy/h）	TLD 小时均值（nGy/h）	瞬时/TLD
1	76.0	69.1	1.1
2	73.1	70.7	1.0
3	81.1	62.7	1.3
4	75.7	64.7	1.2
5	84.1	79.2	1.1
6	76.2	65.5	1.2
7	73.0	79.5	0.9
8	85.1	73.7	1.2
9	82.5	73.5	1.1
10	80.9	丢失	/
11	75.8	87.6	0.9
12	79.1	92.4	0.9
13	76.7	84.5	0.9
14	80.4	71.9	1.1
15	80.5	78.7	1.0
16	68.0	73.3	0.9
17	66.0	67.9	1.0
18	68.8	76.0	0.9
19	68.9	78.2	0.9
20	77.2	57.7	1.3
21	72.9	65.3	1.1
22	73.2	74.4	1.0
23	84.3	86.0	1.0
24	69.6	70.2	1.0
25	64.6	64.8	1.0
26	92.6	74.5	1.2
27	80.2	57.3	1.4
28	87.4	61.9	1.4
29	84.4	68.3	1.2
30	84.6	70.5	1.2
31	80.2	63.4	1.3
32	99.0	76.1	1.3
33	81.3	75.2	1.1
34	102.0	79.8	1.3
35	89.6	80.7	1.1
36	88.7	92.1	1.0

序号	瞬时剂量率值（nGy/h）	TLD 小时均值（nGy/h）	瞬时/TLD
37	79.8	84.3	0.9
38	85.2	77.0	1.1
39	77.0	丢失	/
40	80.1	88.4	0.9
41	93.2	94.8	1.0
42	86.4	94.6	0.9
43	98.1	101.7	1.0
44	86.6	90.3	1.0
45	85.8	90.6	0.9
46	99.5	90.3	1.1
47	84.4	94.1	0.9
48	92.6	91.0	1.0
49	97.0	89.8	1.1
50	116.0	98.1	1.2
51	85.5	91.5	0.9
52	99.6	80.8	1.2
53	82.8	79.2	1.0
54	75.7	74.8	1.0
55	101.0	100.8	1.0
56	83.8	73.0	1.1
57	80.8	84.0	1.0
58	79.7	82.9	1.0
59	103.0	95.1	1.1
60	85.7	88.5	1.0
61	73.5	72.1	1.0
62	89.5	76.6	1.2
63	102.0	86.5	1.2
64	133.0	96.1	1.4
65	79.2	87.7	0.9
66	80.2	92.1	0.9
67	66.3	84.8	0.8
68	73.7	89.9	0.8
69	83.6	96.8	0.9
70	96.4	82.8	1.2
71	78.0	83.0	0.9

表 3.1-12　土壤样品测量结果

序号	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{226}Ra (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	^{90}Sr (Bq/kg)
1	17.6±1.9	27.4±0.6	16.1±0.3	718±5	2.39±0.11	0.74±0.12
2	22.1±2.0	32.2±0.6	17.5±0.3	624±5	2.19±0.11	1.04±0.10
3	20.9±1.8	29.6±0.6	16.4±0.3	618±5	0.47±0.07	0.26±0.09
	18.6±1.8	30.5±0.6	17.2±0.3	621±5	0.37±0.09	0.20±0.07
4	20.3±1.7	35.5±0.7	17.5±0.3	662±5	0.87±0.10	0.24±0.08
5	36.2±2.3	46.0±0.8	25.6±0.4	869±5	＜0.41	0.65±0.07
6	33.4±2.5	51.3±0.8	24.1±0.4	638±5	0.63±0.11	0.35±0.07
	32.9±2.5	50.4±0.8	24.2±0.4	624±5	0.75±0.09	0.36±0.13
7	17.2±1.7	29.0±0.6	14.2±0.3	646±5	0.36±0.08	0.60±0.11
8	28.4±2.4	36.3±0.8	24.5±0.4	706±5	1.56±0.12	0.54±0.11
9	22.7±2.2	34.7±0.7	20.3±0.4	624±5	1.33±0.10	1.14±0.10
	23.6±1.7	36.3±0.7	20.9±0.4	548±4	0.61±0.09	0.80±0.08
10	20.0±1.9	30.7±0.6	17.8±0.3	536±4	0.32±0.08	0.24±0.08
11	22.2±2.3	42.6±0.8	23.1±0.4	669±5	0.38±0.08	0.99±0.10
12	31.4±2.2	38.6±0.7	21.9±0.4	564±4	1.61±0.10	1.16±0.09
范围	17.2~36.2	27.4~51.3	14.2~25.6	536~869	<0.41~2.39	0.20~1.16
均值	24.5±6.3	36.7±7.7	20.1±3.7	644±80	0.99±0.70	0.62±0.34

注：取样时选取 3 号和 6 号作为采集平行样品点位

表 3.1-12 续　土壤样品测量结果

点位名称	^{134}Cs（Bq/kg）	^{58}Co（Bq/kg）	^{54}Mn（Bq/kg）	^{60}Co（Bq/kg）
1	<0.49	＜0.37	＜0.38	＜0.53
2	<0.46	＜0.38	＜0.40	＜0.53
3	<0.45	＜0.38	＜0.40	＜0.52
	<0.44	＜0.40	＜0.39	＜0.53
4	<0.45	＜0.38	＜0.41	＜0.52
5	<0.45	＜0.44	＜0.47	＜0.62
6	<0.43	＜0.44	＜0.45	＜0.56
	<0.42	＜0.43	＜0.44	＜0.56
7	<0.44	＜0.37	＜0.39	＜0.52
8	<0.45	＜0.38	＜0.40	＜0.52
9	<0.44	＜0.40	＜0.39	＜0.53
	<0.45	＜0.38	＜0.41	＜0.52
10	<0.45	＜0.44	＜0.47	＜0.62
11	<0.43	＜0.44	＜0.45	＜0.56
12	<0.42	＜0.43	＜0.44	＜0.56

注：取样时选取 3 号和 6 号作为采集平行样品点位。

表 3.1-12 续 土壤样品测量结果

序号	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{226}Ra (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	^{90}Sr (Bq/kg)	^{134}Cs (Bq/kg)	^{58}Co (Bq/kg)	^{54}Mn (Bq/kg)	^{60}Co (Bq/kg)
1	30.0±2.6	31.3±1.1	21.5±0.5	628±8	2.08±0.16	1.05±0.12	＜0.44	＜0.50	＜0.56	＜0.92
	30.5±2.6	33.1±1.0	23.3±0.5	647±8	2.84±0.16	1.26±0.15	＜0.44	＜0.49	＜0.57	＜0.85
2	29.2±2.5	21.4±0.9	18.9±0.5	578±8	1.57±0.16	1.86±0.18	＜0.52	＜0.49	＜0.55	＜0.86
	35.1±2.5	34.4±0.9	21.5±0.5	631±7	3.23±0.18	0.83±0.11	＜0.51	＜0.50	＜0.55	＜0.86
3	33.5±2.7	40.1±1.0	22.9±0.5	705±7	1.29±0.16	0.98±0.09	＜0.53	＜0.53	＜0.59	＜0.90
4	48.9±3.1	43.0±1.2	30.3±0.6	749±8	0.90±0.18	1.09±0.10	＜0.61	＜0.59	＜0.64	＜1.0
	39.4±2.9	43.3±1.1	30.3±0.6	626±7	2.18±0.19	1.24±0.13	＜0.57	＜0.54	＜0.60	＜0.92
5	19.4±1.6	26.4±0.5	17.7±0.3	653±4	2.30±0.09	0.98±0.11	＜0.33	＜0.34	＜0.36	＜0.43
	18.3±1.0	26.9±0.9	16.8±0.4	749±7	1.76±0.20	1.35±0.09	＜0.64	＜0.62	＜0.69	＜0.93
6	18.7±1.5	32.6±1.4	26.1±0.7	514±9	＜1.2	1.00±0.08	＜1.0	＜0.98	＜1.1	＜1.3
	27.2±1.8	35.8±1.1	26.1±0.6	544±7	1.08±0.20	1.35±0.10	＜0.83	＜0.81	＜0.88	＜1.1

序号	^{238}U (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{226}Ra (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	^{90}Sr (Bq/kg)	^{134}Cs (Bq/kg)	^{58}Co (Bq/kg)	^{54}Mn (Bq/kg)	^{60}Co (Bq/kg)
7	25.3±1.6	38.1±1.2	25.6±0.6	802±9	＜0.92	0.75±0.10	＜0.87	＜0.83	＜0.91	＜1.2
	31.8±2.0	41.2±1.1	30.7±0.6	897±1	＜0.83	0.50±0.07	＜0.74	＜0.74	＜0.80	＜1.1
8	30.6±4.8	38.3±1.1	28.9±0.6	684±8	1.57±0.17	0.79±0.11	＜0.65	＜0.65	＜0.71	＜0.82
	27.2±2.2	38.6±0.6	25.3±0.4	667±4	1.42±0.09	0.52±0.09	＜0.38	＜0.37	＜0.14	＜0.46
	28.0±2.8	40.0±0.8	26.8±0.5	694±6	1.55±0.12	0.60±0.08	＜0.48	＜0.48	＜0.53	＜0.59

注：（1）~（4）点位为 2023 年 7~11 月第一次补充调查布点。（5）~（8）点位为 2025 年 3 月第二次补充调查布点。1 和 8 为平行样采样点。

表 3.1-13　气溶胶测量结果

序号	^{7}Be (mBq/m^3)	^{134}Cs ($\mu Bq/m^3$)	^{137}Cs ($\mu Bq/m^3$)	^{58}Co ($\mu Bq/m^3$)	^{54}Mn ($\mu Bq/m^3$)	^{60}Co ($\mu Bq/m^3$)	^{131}I ($\mu Bq/m^3$)
1	2.81±0.10	＜3.16	＜3.84	＜3.28	＜3.69	＜4.51	＜3.95
2	2.67±0.10	＜3.06	＜4.06	＜3.29	＜3.82	＜4.54	＜3.97
范围值	2.67~2.81	/					
均值	2.74±0.10	/					

表 3.1-14　饮用水测量结果

序号	总 α（Bq/L）	总 β（Bq/L）	^{90}Sr（mBq/L）	^{3}H（Bq/L）
1	0.0050±0.0020	0.0060±0.0010	0.58±0.05	0.53±0.06
	0.0050±0.0020	0.0060±0.0010	0.62±0.05	0.47±0.06
2	0.0060±0.0030	0.028±0.001	1.43±0.07	0.42±0.06
3	0.044±0.015	0.11±0.01	2.26±0.07	0.33±0.06
4	0.083±0.014	0.071±0.005	1.90±0.07	0.47±0.06
5	0.061±0.019	0.15±0.01	5.54±0.10	0.42±0.06
6	0.032±0.010	0.15±0.01	8.83±0.16	0.39±0.06
范围值	0.005~0.083	0.006~0.150	0.58~8.83	0.33~0.53
均值	0.034±0.031	0.074±0.064	3.02±3.06	0.43±0.06

注：1 号点位为平行样点位

表 3.1-14 续　饮用水测量结果

序号	^{134}Cs（mBq/L）	^{137}Cs（mBq/L）	^{58}Co（mBq/L）	^{54}Mn（mBq/L）	^{60}Co（mBq/L）
1	＜0.91	＜1.12	＜0.94	＜0.94	＜1.03
	＜0.89	＜1.15	＜0.99	＜1.07	＜1.03
2	＜1.06	＜1.38	＜0.89	＜1.08	＜1.25
3	＜0.91	＜1.26	＜0.97	＜0.98	＜1.09
4	＜0.92	＜1.33	＜1.00	＜1.09	＜1.12
5	＜1.61	＜2.17	＜1.60	＜1.71	＜2.14
6	＜1.16	＜1.47	＜1.10	＜1.27	＜1.24

注：1 号点位为平行样点位

表 3.1-14 续　饮用水测量结果

序号	总 α（Bq/L）	总 β (Bq/L)	^{90}Sr (mBq/L)	^{3}H（Bq/L）	^{134}Cs (mBq/L)	^{137}Cs (mBq/L)	^{58}Co (mBq/L)	^{54}Mn (mBq/L)	^{60}Co (mBq/L)
（1）	＜0.036	0.050±0.005	0.96±0.07	0.95±0.06	＜4.0	＜5.3	＜4.7	＜5.2	＜5.4
	＜0.038	0.067±0.006	0.77±0.05	0.86±0.06	＜3.0	＜4.1	＜3.8	＜4.0	＜4.1
（2）	＜0.046	0.054±0.008	0.85±0.05	1.23±0.07	＜2.8	＜3.7	＜3.3	＜3.6	＜3.8
（3）	0.041±0.014	0.055±0.005	0.32±0.05	1.35±0.07	＜2.8	＜3.6	＜3.2	＜3.4	＜3.7
（4）	0.056±0.014	0.054±0.004	0.39±0.05	1.21±0.07	＜2.6	＜3.5	＜3.1	＜3.2	＜3.3
（5）	0.048±0.011	0.037±0.004	0.27±0.05	0.48±0.07	＜2.1	＜2.4	＜2.0	＜2.1	＜2.2
（6）	0.135±0.031	0.129±0.012	0.10±0.04	0.53±0.07	＜2.1	＜2.4	＜2.0	＜2.1	＜2.3
	0.143±0.042	0.177±0.014	0.18±0.04	0.52±0.07	＜2.1	＜2.5	＜2.0	＜2.1	＜2.2
（7）	0.052±0.014	0.033±0.005	0.14±0.04	0.30±0.07	＜1.3	＜1.5	＜1.2	＜1.3	＜1.5
（8）	0.228±0.015	0.090±0.004	0.53±0.05	0.35±0.07	＜2.9	＜3.3	＜3.2	＜3.2	＜3.5
（9）	0.045±0.015	0.051±0.005	0.17±0.04	0.53±0.07	＜2.2	＜2.6	＜2.2	＜2.3	＜2.3

注：（1）~（4）为 2023 年 7~11 月第一次补充调查布点。（5）~（9）为 2025 年 3 月第二次补充调查布点。监测频次为 1 次。（1）和（6）为平行样采样点。

表 3.1-15　地下水测量结果

序号	^{90}Sr（mBq/L）	^{3}H（Bq/L）
1	2.94±0.08	0.43±0.06
	3.66±0.08	0.47±0.06
2	2.50±0.10	0.26±0.06
3	2.98±0.07	0.41±0.06
4	2.28±0.07	0.49±0.06
5	3.71±0.08	0.40±0.06
6	3.38±0.09	0.76±0.07
范围值	2.28~3.71	0.26~0.76
均值	3.06±0.55	0.46±0.15

注：

1）1 号点位为平行样点位

2）除 1 号点位、3 号点位以及 6 号点位外，其它点位饮用水和地下水均为同一水源，各点位饮用水和地下水中 ^{90}Sr 和 ^{3}H 测量结果的相对偏差均小于 20%，满足 HJ61-2021 中关于平行样品相对偏差的控制要求。

表 3.1-15 续　地下水测量结果

序号	^{134}Cs（mBq/L）	^{137}Cs（mBq/L）	^{58}Co（mBq/L）	^{54}Mn（mBq/L）	^{60}Co （mBq/L）
1	＜1.48	＜1.63	＜1.26	＜1.55	＜1.78
	＜1.42	＜1.67	＜1.29	＜1.56	＜1.77
2	＜1.61	＜1.79	＜1.45	＜1.70	＜1.87
3	＜1.73	＜1.89	＜1.52	＜1.96	＜2.33
4	＜1.56	＜1.93	＜1.48	＜1.74	＜2.06
5	＜1.97	＜2.10	＜1.75	＜1.99	＜2.48
6	＜1.60	＜1.77	＜1.40	＜1.77	＜2.12

注：1 号点位为平行样点位

表 3.1-15　续地下水测量结果

序号	^{90}Sr (mBq/L)	^{3}H （Bq/L）	^{134}Cs (mBq/L)	^{137}Cs (mBq/L)	^{58}Co (mBq/L)	^{54}Mn (mBq/L)	^{60}Co (mBq/L)
(1)	0.41±0.05	0.62±0.06	＜2.7	＜3.7	＜3.2	＜3.3	＜3.6
(2)	0.65±0.05	0.79±0.06	＜2.5	＜3.3	＜2.8	＜3.2	＜3.2
(3)	0.53±0.05	0.70±0.06	＜2.5	＜3.3	＜2.8	＜3.2	＜3.3
(4)	0.16±0.05	0.59±0.06	＜2.5	＜3.2	＜2.8	＜3.0	＜3.2
(5)	2.02±0.06	0.63±0.07	＜1.3	＜1.1	＜1.2	＜1.2	＜1.4
(6)	0.10±0.04	0.53±0.07	＜2.1	＜2.4	＜2.0	＜2.1	＜2.3
	0.18±0.04	0.52±0.07	＜2.1	＜2.5	＜2.0	＜2.1	＜2.2
(7)	0.30±0.04	0.32±0.07	＜2.7	＜3.0	＜3.0	＜3.3	＜3.2
(8)	0.53±0.05	0.35±0.07	＜2.9	＜3.3	＜3.2	＜3.2	＜3.5
(9)	0.12±0.04	0.41±0.07	＜1.6	＜1.5	＜1.3	＜1.5	＜1.8

注：（1）~（4）为 2023 年 7~11 月第一次补充调查布点。（5）~（9）为 2025 年 3 月第二次补充调查布点。（6）、（8）两个点位饮用水和地下水为同一水源（村中井水），地下水测量结果同饮用水。

表 3.1-16　地表水测量结果

序号	^{90}Sr（mBq/L）	^{3}H（Bq/L）
1	2.63±0.07	0.64±0.06
2	0.81±0.07	0.46±0.06
3	4.46±0.08	0.54±0.06
4	5.82±0.09	0.58±0.06
范围值	0.81~5.82	0.46~0.64
平均值	3.43±2.18	0.56±0.08

表 3.1-16 续　地表水测量结果

序号	^{134}Cs（mBq/L）	^{137}Cs（mBq/L）	^{58}Co（mBq/L）	^{54}Mn（mBq/L）	^{60}Co（mBq/L）
1	＜1.56	＜1.79	＜1.65	＜1.69	＜2.16
2	＜1.07	＜1.25	＜1.29	＜1.26	＜1.86
3	＜1.36	＜1.71	＜1.56	＜1.52	＜1.73
4	＜0.97	＜1.19	＜1.01	＜1.04	＜1.10

表 3.1-17　地表水沉积物测量结果

序号	^{238}U（Bq/kg）	^{232}Th（Bq/kg）	^{226}Ra（Bq/kg）	^{40}K（Bq/kg）	^{90}Sr（Bq/kg）
1	18.4±2.0	42.6±1.0	16.2±0.4	505±6	1.06±0.17
	20.9±1.9	43.7±1.0	15.9±0.4	496±5	1.20±0.11
2	24.0±1.8	50.0±1.0	20.7±0.4	799±6	0.15±0.09
3	22.9±2.0	36.8±1.0	19.5±0.4	575±6	0.68±0.08
4	32.6±2.3	68.4±1.2	27.2±0.5	840±7	0.82±0.09
范围值	18.4~32.6	36.8~68.4	15.9~27.2	496~840	0.15~1.20
均值	23.8±5.4	48.3±12.2	19.9±4.6	643±165	0.78±0.41

注：1 号点位为平行采样点

表 3.1-17 续　地表水沉积物测量结果

序号	^{134}Cs（Bq/kg）	^{58}Co（Bq/kg）	^{54}Mn（Bq/kg）	^{60}Co（Bq/kg）	^{137}Cs（Bq/kg）
1	< 0.44	< 0.45	< 0.46	< 0.66	< 0.52
	< 0.43	< 0.42	< 0.46	< 0.64	< 0.50
2	< 0.44	< 0.46	< 0.49	< 0.70	< 0.51
3	< 0.42	< 0.44	< 0.47	< 0.68	1.55±0.12
4	< 0.47	< 0.48	< 0.53	< 0.72	< 0.54

注：1 号点位为平行采样点

表 3.1-18　海水测量结果（单位：mBq/L）

站位号	^{226}Ra	^{137}Cs	^{90}Sr	^{3}H（Bq/L）	总 β（去钾）	总铀（μg/L）
L1	3.44±0.37	0.54±0.07	1.13±0.10	ND (0.98)	46.8±1.4	1.86±0.14
L2	5.88±0.47	0.73±0.21	0.85±0.05	1.85±0.10	61.8±1.2	1.83±0.14
L3	4.54±0.62	ND	0.77±0.10	4.25±0.19	85.6±1.5	1.69±0.15
L4	1.82±0.36	0.48±0.16	1.61±0.12	0.91±0.09	56.0±1.3	2.52±0.20
L5	6.22±0.59	0.26±0.05	1.27±0.07	ND (0.98)	62.5±1.4	1.77±0.16
L6	4.70±0.48	ND	2.18±0.09	0.71±0.08	90.2±2.0	1.87±0.17
L7	3.78±0.46	ND	0.51±0.07	ND (0.98)	70.6±1.6	1.44±0.14
L8	5.06±0.46	0.36±0.07	0.87±0.06	ND(0.98)	84.2±1.2	2.68±0.20
L9	8.55±0.97	ND	0.87±0.08	0.89±0.08	65.2±1.4	2.80±0.21
L10	4.29±0.40	0.94±0.16	0.59±0.07	1.42±0.15	61.5±1.4	2.40±0.18
L11	7.10±0.72	0.80±0.13	1.26±0.08	0.50±0.08	22.9±0.4	2.27±0.18
L12	5.99±0.67	0.73±0.32	1.07±0.05	ND(0.98)	19.0±0.3	2.16±0.17
L13	7.22±0.68	0.67±0.11	0.60±0.05	0.60±0.08	54.5±1.0	2.34±0.18
L14	7.13±0.55	0.59±0.08	0.82±0.06	ND(0.98)	50.4±1.0	2.36±0.18
L15	7.42±0.74	0.84±0.12	0.61±0.06	ND(0.98)	71.7±1.3	2.28±0.17
L16	5.08±0.62	1.03±0.14	0.78±0.05	0.70±0.08	80.0±1.4	2.44±0.18
L17	5.45±0.47	1.04±0.10	0.82±0.07	ND(0.98)	68.9±1.1	2.62±0.20
L18	6.95±0.51	0.78±0.09	0.99±0.06	ND(0.98)	41.2±0.8	2.70±0.21
L19	6.14±0.64	0.91±0.13	1.53±0.07	0.67±0.08	61.3±1.0	2.29±0.18
L20	5.68±0.48	0.54±0.08	0.67±0.07	/	45.2±0.8	2.31±0.18
L21	2.95±0.35	1.23±0.11	0.98±0.08	0.42±0.32	42.3±0.8	2.71±0.21
L22	5.87±0.68	1.38±0.28	0.68±0.08	0.51±0.32	60.1±1.1	2.77±0.21
L23	7.68±0.63	0.76±0.09	0.75±0.07	0.77±0.35	59.8±1.3	2.52±0.18
平均值	5.61±1.65	0.77±0.28	0.97±0.39	0.88±0.82	59.2±18.0	2.29±0.38
范围	1.82~8.55	ND~1.38	0.51~2.18	ND~4.25	19.0~90.2	1.44~2.80

[注]1.“ND”表示测量结果低于检测限；2.除表中所列数据外，秋季航次海水中 ^{106}Ru、^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{59}Fe、^{65}Zn、^{110m}Ag 和 ^{134}Cs 等核素的活度浓度均低于检测限；3.平均值为“平均值±本海域各站位的标准偏差”。

表 3.1-19　海洋沉积物测量结果（单位：Bq/kg)）

站位号	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	总 β	总铀(μg/g)	^{137}Cs	^{90}Sr	^{238}U
L1	15.6±0.7	23.8±1.0	572.5±13.7	379.0±18.3	1.40±0.09	ND	0.33±0.04	17.4±1.1
L3	22.3±1.0	31.8±1.4	598.4±14.9	505.8±29.0	1.28±0.09	ND	0.45±0.05	16.0±1.2
L6	26.2±1.0	42.4±1.7	640.1±15.2	678.5±38.2	2.44±0.13	1.50±0.09	ND	30.3±1.7
L10	27.4±1.2	35.1±1.5	579.1±14.6	581.6±31.6	2.68±0.16	0.29±0.06	0.43±0.03	33.4±2.0
L13	22.1±1.0	28.5±1.3	553.2±13.7	412.7±20.4	2.54±0.15	ND	0.33±0.04	31.6±1.9
L14	27.2±1.1	41.3±1.8	659.5±15.7	835.4±51.6	2.21±0.85	0.68±0.06	0.64±0.03	27.5±10.6
L18	25.6±1.2	35.0±1.6	642.3±16.9	713.5±43.9	1.28±0.09	1.13±0.13	0.42±0.02	15.9±1.2
L22	28.2±1.2	38.7±1.7	639.2±16.2	755.2±52.7	2.60±0.09	0.91±0.08	0.70±0.03	32.3±1.2
LC1	25.6±3.0	34.9±1.2	641.6±10.4	728.8±44.8	2.17±0.49	1.61±0.20	ND	27.0±6.1
LC2	13.6±0.6	20.3±0.9	611.1±14.0	608.1±33.4	1.76±0.66	ND	0.22±0.02	21.9±8.2
LC3	19.7±0.8	33.3±1.4	833.9±19.2	700.0±116.3	3.37±0.83	ND	0.68±0.04	41.9±10.3
LC4	127.7±13.0	276.4±3.4	746.1±10.0	551.4±27.8	12.40±1.53	ND	0.49±0.04	154.3±19.0
LC5	40.2±1.7	68.3±2.9	916.5±23.2	980.2±77.3	1.28±0.18	ND	0.85±0.03	39.8±2.3
平均值	32.4±29.4	54.6±67.6	664±107	648±167	2.88±2.93	1.02±0.50	0.50±0.19	37.6±36.0
范围	13.6~127.7	20.3~276.4	553~916	379~980	1.28~12.4	ND ~1.61	ND ~0.85	15.9~154.3

[注]1.“ND”表示测量结果低于检测限；2.除表中所列数据外，秋季航次沉积物中 ^{106}Ru、^{54}Mn、^{58}Co、^{60}Co、^{59}Fe、^{65}Zn、^{110m}Ag、^{3}H 和 ^{134}Cs 等核素的活度浓度均低于检测限；3.平均值为“平均值±本海域各站位的标准偏差”。

表 3.1-20　陆地γ辐射剂量率测量结果比较

调查项目	点位个数	范围值 （nGy/h）	均值 （nGy/h）	以往监测数据均值/ 本次监测数据均值
以往调查-1	道路：52 原野：68	道路：47~110 原野：35~108	道路：68±14 原野：63.4±14	1.27
以往调查-2	62	34.22~100.28	66±14	1.28
本次调查	71	32.3~101.0	51.6±11.7	/

注：表中剂量率数据已扣除宇宙射线影响。

表 3.1-21　累积剂量测量结果比较

调查项目	点位个数	范围值 （nGy/h）	均值 （nGy/h）	以往监测数据均值/ 本次监测数据均值
以往调查-1	120	63~121	92±11	1.14
以往调查-2	30	82.4~164.3	120±17	1.49
本次调查	71	57.3~101.7	80.5±11	/

表 3.1-22　土壤测量结果比较

调查项目	^{137}Cs（Bq/Kg）	^{90}Sr（Bq/Kg）
	范围值	范围值
以往调查-1	1.2~5.9	1.2~2.7
以往调查-2	<0.54~4.68	0.22~3.82
本次调查	低于探测限~3.23	0.20~1.86

表 3.1-23　饮用水测量结果比较

调查项目	总 α（Bq/L）	总 β（Bq/L）	^{90}Sr（mBq/L）	^{3}H（Bq/L）
	范围值	范围值	范围值	范围值
以往调查-1	/	/	1.2~9.0	0.39~0.79
以往调查-2	0.0266~0.382	<0.0088~0.3081	/	<0.90~11.93
本次调查	低于探测限~0.228	0.006~0.177	0.10~8.83	0.30~1.35

表 3.1-24　地下水测量结果比较

调查项目	^{90}Sr（mBq/L）	^{3}H（Bq/L）
	范围值	范围值
以往调查-1	1.5~9.1	0.41~0.79
以往调查-2	2.29~8.57	＜0.9
本次调查	0.10~3.71	0.26~0.79

表 3.1-25　地表水测量结果比较

调查项目	^{90}Sr（mBq/L）		^{3}H（Bq/L）	
	范围值	均值	范围值	均值
以往调查-1	2.4~6.5	4.6±1.2	0.44~0.79	0.62±0.10
以往调查-2	/	/	<0.85~1.72	/
本次调查	0.81~5.82	3.43±2.18	0.46~0.64	0.56±0.08

表 3.1-26　地表水沉积物测量结果比较

调查项目	^{137}Cs（Bq/Kg）		^{90}Sr（Bq/Kg）	
	范围值	均值	范围值	均值
以往调查-1	0.68~2.65	1.39±0.67	1.33~1.86	1.52±0.19
以往调查-2	<0.60~1.54	/	0.24~3.01	1.1±1.0
本次调查	<0.50~1.55	/	0.15~1.20	0.78±0.41

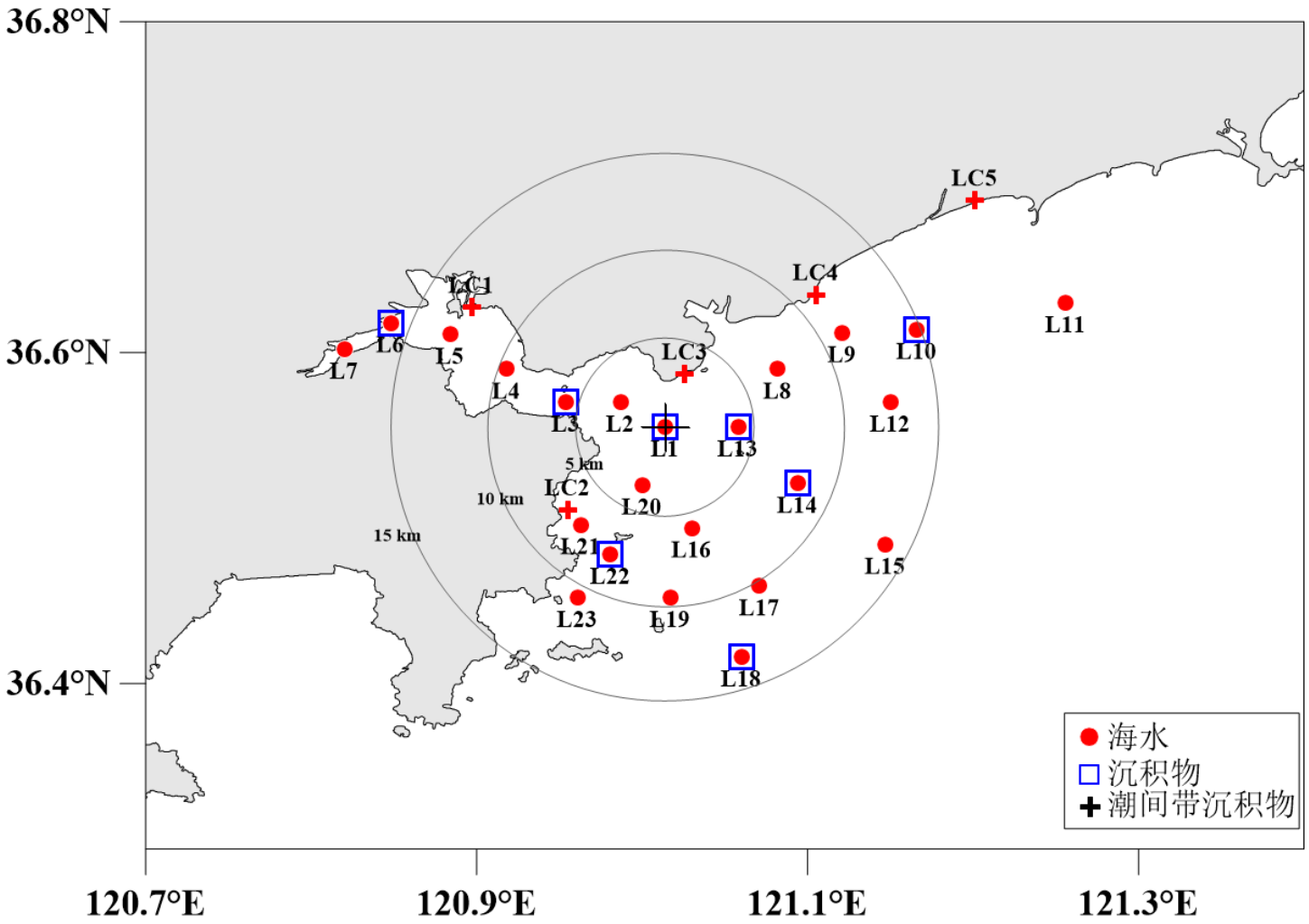


图 3.1-1　海域辐射本底调查站位示意图

3.2 非辐射环境质量现状

专题单位于2026月3月在厂址所在区域开展大气环境、声环境、土壤环境、地表水和地下水的现状调查工作，完成了《山东莱阳核电项目非放射性环境本底调查专题报告》。专题单位于2022年7月在厂址所在区域开展电磁环境现状监测工作，并完成了《山东莱阳核能工程项目电磁辐射环境本底调查专题报告》。

专题单位于2025年8月、2025年11月、2026年1月和2026年4月开展本项目水生生态调查工作。本节根据《山东莱阳核电项目非放射性环境本底调查专题报告》、《山东莱阳核能工程项目电磁辐射环境本底调查专题报告》、和《山东莱阳核电项目可行性研究阶段厂址邻近海域海洋生态及渔业资源调查专题成果报告》，对厂址所在区域目前的非辐射环境质量现状进行描述和评价。

3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

根据莱阳市环境空气质量功能区划，烟台市生态环境分区管控动态更新成果（2024 年版）以及《烟台市生态环境局莱阳分局关于山东莱阳核电项目非辐射环境影响评价执行标准的复函》（莱环评函〔2026〕01号），厂址半径5km范围内属于大气环境一般管控区，执行空气质量二级标准。厂址半径 5km 范围内的环境空气保护目标主要涉及团旺镇、穴坊镇、姜疃镇、高格庄镇的居民点及学校。

大气环境质量监测于2026年3月7日至3月14日期间开展现场采样工作。监测期间的气象条件见表 3.2-1。对厂址周围团旺镇、穴坊镇、姜疃镇、高格庄镇2025年度的环境空气质量状况资料进行了收集，分别统计了四镇环境空气质量级别天数、冬季大气环境质量和团旺镇最近3年大气环境质量，数据来源自当地生态环境局环境监测中心，统计结果见表3.2-2至表3.2-9。

根据统计，厂址周围团旺镇、穴坊镇、姜疃镇、高格庄镇2025年度的环境空气主要污染物是臭氧、PM_{10}和$PM_{2.5}$，四镇环境空气质量超标（空气质量指数二级“良”以下）污染天数分别为66天、71天、64天和57天，达标率分别为81.9%、80.5%、82.5%和84.4%。四镇PM_{10}超标天数分别为57天、48天、38天和38天；$PM_{2.5}$超标天数分别为78天、77天、69天和71天；臭氧超标天数分别为20天、25天、25天和24天；团旺镇和穴坊镇NO_2偶然出现超标，超标天数分别为1天和2天。可以看出，冬季PM_{10}、$PM_{2.5}$浓度较高。

3.2.1.1 监测范围

本项目环境空气监测范围为厂址半径 5km 范围内区域。

3.2.1.2　监测项目

本次大气监测项目为 SO_2、PM_{10}、$PM_{2.5}$、TSP、NO_2、NO_X、O_3、CO 和臭气浓度。其中 SO_2、NO_X、NO_2、CO、臭气浓度为 1 小时均值和日均值；臭氧为 1 小时均值和日最大 8 小时平均值。PM_{10}、$PM_{2.5}$、TSP 为日均值。

3.2.1.3　监测布点原则及方案

大气环境现状调查监测点位的布设主要考虑当地的地形条件、风频分布等因素，具体原则如下：

1）在厂址季度主导风向（冬季）下风向布点监测，优先选取居民点并同时考虑陆域取排水管线沿线；

2）拟建进场和应急道路附近；

3）在厂址周围最近的居民点布点监测；

4）在海水淡化厂周围最近的居民点布点监测。

监测点位依据《环境空气质量监测点位布设技术规范（试行）》（HJ 664-2013）要求，根据厂址周围气象统计资料、人口分布及厂区平面布置情况进行布设，大气环境监测点位详细信息见表 3.2-10。

3.2.1.4　采样和监测方法

大气环境监测分析方法、数据统计方法等具体要求按照《环境空气质量标准》（GB 3095-2026）执行。各点位连续监测 7 天，每日采样时间不低于 20 小时，每小时采样时间不低于 45min；SO_2、NO_2、CO、NO_X给出日均值和时均值，O_3给出 1 小时均值和日最大 8 小时均值，PM_{10}、$PM_{2.5}$、TSP 给出日均值；时均值至少包括 2、8、14、20 时的监测数据（臭氧为 8、10、13、15 时的监测数据）；8 小时均值为连续 8 小时平均浓度的算数平均值，即 8 小时滑动平均；日均值每小时记录 1 次数据。大气环境检测方法见表 3.2-11。环境空气质量监测仪器见表 3.2-12.

3.2.1.5　监测结果与标准比较

根据莱阳市环境空气质量功能区划，烟台市生态环境分区管控动态更新成果（2024 年版）以及《烟台市生态环境局莱阳分局关于山东莱阳核电项目非辐射环境影响评价执行标准的复函》（莱环评函〔2026〕01 号），厂址半径 5km 范围内属于大气环境一般管控区，执行空气质量二级标准。

具体监测点的监测结果见表 3.2-13 至表 3.2-15。根据监测结果，调查期间 7 个大气监测点位的 SO_2 最大日均值为 0.014mg/m^3，占二级浓度限值约 9.33%；NO_X 最大日均值为 0.066 mg/m^3，占二级浓度限值约 66.00%；NO_2 最大日均值为 0.054 mg/m^3，占二级浓度限值约 67.50%；CO 最大日均值为 2.5mg/m^3，占二级浓度限值约 62.50%；PM_{10} 最大日均值为 0.1 mg/m^3，占二级浓度限值约 83.33%；$PM_{2.5}$ 最大日均值为 0.04mg/m^3，占二级浓度限值约 6.67%；TSP 最大日均值为 0.199 mg/m^3，占二级浓度限值约 66.33%。

根据监测结果，调查期间 7 个大气监测点位的 SO_2 最大时均值为 0.016mg/m^3，占二级浓度限值约 3.20%；NO_X 最大时均值为 0.068 mg/m^3，占二级浓度限值约 27.20%；NO_2 最大时均值为 0.058 mg/m^3，占二级浓度限值约 29.00%；CO 最大时均值为 3.1 mg/m^3，占二级浓度限值约 31.00%；臭氧最大时均值为 0.121mg/m^3，占二级浓度限值约 60.50%。

臭氧 8 小时滑动平均采用连续测量小时均值，每天 8 点~24 点，共计算得到 16 个 8 小时算术平均值，取所有平均值的最大值。根据监测结果，日 8 时-16 时臭氧浓度最大。调查期间日 8 时-16 时连续采集 8 个小时值计算臭氧 8 小时均值。7 个大气监测点位测得的臭氧最大 8 小时均值为 0.101mg/m^3，占二级浓度限值约 63.13%，最大值点位出现在 1#。

监测结果表明，厂址周围 7 个监测点所有监测结果均满足环境空气质量二级浓度限值，达标率 100%。厂址环境空气保护目标、进厂道路和应急道路沿线、厂址区域（施工场地）的环境空气质量符合环境空气保护目标。

环境空气质量监测质量保证内容见 3.2.5 节。

3.2.2 声环境质量现状调查与评价

根据《烟台市生态环境局莱阳分局关于山东莱阳核电项目非辐射环境影响评价执行标准的复函》（莱环评函〔2026〕01 号），厂址周边声环境保护目标执行相应功能区标准要求。厂外声环境敏感目标声环境质量评价执行 1 类声环境功能区限值，工业活动较多的村庄以及有交通干线经过的村庄可局部或全部执行 2 类声环境功能区要求（昼间等效声级 60dB（A）、夜间等效声级 50 dB（A））或 4a 类声环境功能区要求（昼间等效声级 70dB（A）、夜间等效声级 55 dB（A））。

厂址半径 5km 范围内的声环境敏感目标主要涉及团旺镇、穴坊镇、姜疃镇、高格庄镇的居民点及学校。

厂址周边的地形地貌特征如下：

厂址区域地貌主要分为三个地貌单元：剥蚀丘陵（Ⅰ）、河流阶地（Ⅱ）和人工地貌（Ⅲ），另外还发育一些微地貌，主要为冲沟、水塘等。

厂址区域地面标高一般为 15.0~75.0m，厂区地面标高一般在 20.0~75.0m，整体由相连的两个低丘和丘间凹地组成，东侧低丘整体略高于西侧低丘，西侧低丘标高一般为 20.0~48.0m，东侧低丘一般为 25.0~75.0m。最高点位于厂址区东部，地面标高约 75.0m；最低点位于厂址西北角嵯阳河河流阶地，地面标高约 15.0m。

厂址周边的噪声源主要为工业企业运行生产噪声、交通噪声以及村民活动。其中工业企业噪声源位置见 3.2.2.2 节中固定噪声源情况。

3.2.2.1　调查和监测对象

声环境监测于 2026 年 3 月 23 日至 3 月 26 日期间开展，监测因子如下：

网格监测：在厂址半径 5km 范围内开展 1km×1km 的网格环境噪声监测，测量 10min 的等效声级 *Leq*，监测一天，昼夜各监测一次。

道路现状监测：测量 20min 的等效声级 *Leq*、最大声级 *Lmax*、L_{10}、L_{50}、L_{90}，监测一天，昼夜各监测一次，同步记录车流量。

连续监测：在厂址区域设置噪声连续监测点位，开展连续 24 小时噪声现状监测，测量各时间段的等效声级 L_{eq}、最大声级 L_{max}、L_{10}、L_{50}、L_{90}，并分析 L_{dn}、L_d 和 L_n。

固定污染源监测：兼顾网格布点，测量 10min 等效声级 L_{eq}，监测一天，昼夜各监测一次。

厂界周围：测量 1min 等效声级 L_{eq}，监测一天，昼夜各监测一次。

3.2.2.2　布点方案

1）监测范围

以厂址 1 号机组为中心半径 5km 的包络区域。

2）监测布点原则及方案

点位布设覆盖整个评价范围，重点关注厂界（或场界、边界）和敏感目标，同时结合当地地形、建筑风格综合布点。根据现场收集和踏勘情况，采取网格布点和近密远疏的原则布点。当厂址周围有固定声源时，点位布设重点关注可能既受到现有声源影响，未来可能受到本项目声源影响的敏感目标处。当厂址周围有

线声源时，点位布设兼顾敏感目标的分布状况及线声源噪声影响随距离衰减的特点，布设在具有代表性的敏感目标处。

本次调查共布设 95 个噪声监测点，其中含 6个道路噪声监测点位、9 个固定噪声源监测点位、9 个厂界外监测点位和 1 个连续监测点位。网格噪声监测点位兼顾噪声敏感点、保护目标等声环境敏感目标。所有点位均监测昼间和夜间等效 A 声级。噪声点位信息及气象条件见表 3.2-16a。声环境监测因子和采样时间见表 3.2-16b。

3.2.2.3　监测方法

测量仪器：声环境质量监测设备具体信息如表 3.2-17。

测量方法：测量在无雨雪、无雷电天气、风速 5m/s 以下时进行；距离任何反射物（地面除外）至少 3.5m 外测量，距地面高度 1.2m 以上；在噪声敏感建筑物外，距墙壁或窗户 1m 处，距地面高度 1.2m 以上；厂界外 1m、高度 1.2m 以上、距任意反射面距离不小于 1m；选择昼间（6:00~22:00）和夜间（22:00~6:00）两个时段进行噪声监测，网格布点普测采用 10min 等效声级，交通道路侧噪声监测采用 20min 等效声级，夜间有频发、偶发噪声影响时同时测量最大声级，厂址、海水淡化厂厂界声环境现状监测采用 10min 等效声级。

3.2.2.4　监测结果与标准比较

具体监测结果见表 3.2-18~表 3.2-22。

根据《烟台市生态环境局莱阳分局关于山东莱阳核电项目非辐射环境影响评价执行标准的复函》（莱环评函〔2026〕01 号），厂址周边声环境保护目标执行相应功能区标准要求。本项目厂外声环境敏感目标声环境质量评价执行 1 类声环境功能区限值，工业活动较多的村庄以及有交通干线经过的村庄可局部或全部执行 2 类声环境功能区要求（昼间等效声级 60dB（A）、夜间等效声级 50 dB（A））或 4a 类声环境功能区要求（昼间等效声级 70dB（A）、夜间等效声级 55 dB（A））。声环境功能标准分类见表 3.2-23。

针对网格噪声监测，厂址 1 号机组半径 5km 范围内农田、丘陵和村庄网格监测点内的昼间噪声值范围为（39~54）dB(A)，夜间噪声值范围为（36~47）dB(A)。昼间噪声值全部满足声环境 1 类限值；夜间噪声有 5 个点位超过声环境 1 类限值要求，14#、19#、22#点位靠近河流，受河流流动和夜间风声综合影响，2#、81#点位受附近村路交通噪声、夜间村民活动和牲畜叫声综合影响。

网格点位中的声环境敏感目标主要为村庄，其昼间噪声值范围为（44~53）dB(A)，夜间噪声值范围为（39~47）dB(A)。昼间噪声值全部满足声环境 1 类限值，夜间噪声值 2#、19#、22#、81#共有 4 个敏感目标超过 1 类限值，主要原因为 19#、22#点位靠近河流，受河流流动和夜间风声综合影响，2#、81#点位受附近村路交通噪声、夜间村民活动和牲畜叫声综合影响。

针对厂址中心（施工场地）24h 噪声现状连续监测，监测结果为 L_d=39dB（A），L_n=36dB（A），L_{dn}=38dB（A），昼间与夜间监测值分别占声环境 3 类标准限值的 60.0%、69.1%。

针对道路交通噪声监测，厂址进厂道路（莱穴路）附近的昼间噪声最大值为 66dB（A），夜间噪声最大值为 47dB（A），分别占声环境 4a 类标准限值的 94.3%、85.5%，应急道路附近的昼间噪声值为 68dB（A），夜间噪声值为 47dB（A），分别占声环境 4a 类标准限值的 97.1%、85.5%。

针对固定噪声源监测，厂址 5km 范围内主要固定噪声源处昼间 L_{eq} 噪声值为（48~57）dB（A），夜间 L_{eq} 噪声值为（40~48）dB（A），昼间 L_{max} 噪声值为（65.1~79.2）dB（A），夜间 L_{max} 噪声值为（51.6~60.0）dB（A）。

针对厂界声环境质量监测，监测结果显示，核电厂厂界昼间噪声值范围为（42~48）dB(A)，夜间噪声值范围为（36~40）dB(A)，昼间和夜间监测最大值分别占声环境 3 类标准限值的 73.8%和 72.7%；海水淡化厂厂界昼间噪声值范围为（39~46）dB(A)，夜间噪声值范围为（38~42）dB(A)，昼间和夜间监测最大值分别占声环境 3 类标准限值的 70.8%和 76.4%。监测数据表明，本项目核电厂厂界和海水淡化厂厂界噪声的监测结果均低于《声环境质量标准》（GB3096-2008）3 类声环境功能区规定环境噪声昼间 65dB（A）、夜间 55dB（A）的限值。

厂址中心（施工场地）的昼间（39dB（A））和夜间（36dB（A））的噪声监测结果（L_{eq}）满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）3 类声环境功能区规定环境噪声昼间 65dB（A）、夜间 55dB（A）的限值。

厂址 5km 范围内设有 9 处固定噪声源点位，根据监测结果，24#点位噪声值超过声环境 1 类限值要求，其他监测点位满足声环境 2 类限值要求。

声环境质量监测质量内容保证见 3.2.6 节。

3.2.3　受纳水体环境质量现状调查与评价

3.2.3.1　受纳水体

厂址取排水口半径15km范围内的环境保护目标主要为位于丁字湾内的莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区，该保护区执行二类海水水质标准。

厂址半径15km范围内的受纳水体为丁字湾及临近海域。根据山东省近岸海域环境功能区划（2016-2020年），丁字湾及临近海域的海水评价标准包含二、三类海水水质标准。

丁字湾位于山东半岛南部黄海沿海，南岸为青岛市下辖的即墨区，北岸为烟台下辖的莱阳市和海阳市。取水口、海水淡化厂排水口及对应管线位于丁字湾湾顶的莱阳市辖海域，液态流出物排水口及排水管线布置于莱阳—海阳市辖海域。受纳水体开展了春、夏、秋、冬四个季节的水质调查。

3.2.3.1.1　受纳水体环境质量现状

收集了丁字湾海域内国家监测站点SDH060482022年5月~2026年5月的海水水质监测数据（表3.2-24），评价标准采用山东省近岸海域环境功能区划规定的海水水质三类标准。其中，溶解氧（DO）、化学需氧量（COD）、pH符合三类海水水质标准，无机氮（DIN）、活性磷酸盐存在超出三类海水水质标准的现象，其中，主要污染因子为无机氮，其每年均存在超标记录。

由表3.2-24的监测数据可知，丁字湾海域存在常年无机氮超标现象。主要原因为近年来含氮量较高的陆源污染物和养殖污染物流入受纳水体所致。

3.2.3.1.2　受纳水体环境质量监测方案

1）调查范围

受纳水体环境质量监测范围为丁字湾内海域（取水口、海水淡化厂排水口所在海域）及液态流出物排水口附近15km范围海域。

2）监测布点原则及方案

受纳水体环境质量监测布点主要考虑取水口、海水淡化厂排水口所在丁字湾内海域以及液态流出物排水口附近15km范围海域。

2025年8月、2025年11月、2026年1月和2026年4月于海水淡化厂排水口和液态流出物排水口所在海域（两个排水口半径15km叠加范围）布设25个大面站，1个连续站。

3）调查项目

海水调查的所有要素都进行全部站位的取样。

（1）大面站水文、水质参数：

主要调查水温、盐度、浊度、水深、透明度、水色、pH、悬浮物、溶解氧、化学需氧量、生化需氧量、无机氮（硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮）、活性磷酸盐、活性硅酸盐、氰化物、硫化物、氟化物、挥发性酚、石油类、重金属（铜、铅、锌、镉、总铬、总汞、镍）、砷、硒、硼、余氯等。

（2）连续站水质参数：

主要调查水温、水深、盐度、水色、透明度、浊度、pH、溶解氧、化学需氧量、无机氮（硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮）、磷酸盐、硅酸盐、悬浮物等。

（3）水质采样：

水样按标准层取样。当水深小于 10m 时，采表层水样；超过 10m，采表层、底层。水质参数中水深、水色、石油、挥发性酚、硫化物、氟化物、氰化物、余氯等按站采样观测，其他参数分层采样和观测。其中溶解氧、BOD_5 和石油均采集双样。

连续站水质采样每 3 小时取样一次，根据水深情况，每航次样品数 9 个，溶解氧为 18 个。

4）调查时间

大面站的水质调查进行春、夏、秋、冬四个季节的调查，每个季节进行一次调查，共计 4 个航次。

连续站连续观测为 3 小时采样一次，调查季节为春、夏、秋、冬四个季节，共计 4 个季节航次。

针对海水淡化厂排水口和液态流出物排水口所在海域（两个排水口半径 15km 叠加范围），于 2025 年 8 月进行了夏季航次调查，2025 年 11 月进行了秋季航次调查，2026 年 1 月进行了冬季航次调查，2026 年 4 月进行了春季航次调查。

5）采样方法

样品的采集按照《海洋调查规范》（GB12763-2007）和《海洋监测规范：第 3 部分样品采集、贮存与运输》（GB17378.3-2007）、《近岸海域环境监测技术规范》（HJ 442-2020）等技术规范的有关规定进行，依据参数的优先顺序，依次采集水样样品。采集样品后严格按照相关规定程序和操作要求进行样品的分装、预处理、编号记录、贮存和运输。

6）分析方法

水样中各化学要素的分析、记录、数据处理严格按照《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）第 2 部分“海洋水文观测”、《海洋监测规范》（GB 17378-2007）第 4 部分“海水分析”、《近岸海域环境监测技术规范》（HJ 442-2020）和《海洋监测技术规程》（HY/T147-2013）等有关标准执行。主要分析项目与方法见表 3.2-25。使用的仪器已经经过国家法定计量机构的计量检定与校准，并且符合检定周期的要求，主要仪器设备见表 3.2-26。

3.2.3.1.3　受纳水体环境质量监测结果与标准比较

根据项目所在山东省近岸海域环境功能区划，确定工程附近海域存在功能区名称、类型和海洋环境保护管理要求，根据《海水水质标准》（GB3097-1997）按照站位分区进行评价。

该标准将海水水质分为四类：①第一类：适用于海洋渔业水域，海上自然保护区和稀濒危海洋生物保护区。②第二类：适用于水产养殖区，海水浴场，人体直接接触海水的海上运动或娱乐区，以及与人类食用直接有关的工业用水区。③第三类：适用于一般工业用水区，滨海风景旅游区。④第四类：适用于海洋港口水域，海洋开发作业区。

根据《山东省近岸海域环境功能区划》（2016-2020 年），项目所处海域主要为二类水质要求和三类水质要求功能区，其中三类区内有 11 个站，对应站位号分别为 S1、S2、S3、S4、S5、S13、A1、A2、A3、A7 和 P1，上述站点执行三类海水水质标准，其余站点均执行二类海水水质标准。

（1）采用富营养指数法进行富营养化评价，调查海域水质评价结果如下：

2025 年 8 月至 2026 年 4 月各航次调查海域富营养化指数评价结果见表 3.2-27。

夏季航次调查海域内处于无富营养化到重度富营养化状态，25 个站位中有 12 个站位达到了富营养化程度，富营养化的站位比为 48%。其中 4 个站为轻度富营养化，占比 16%；1 个站为中度富营养化，占比 4%，另有 7 个站为重度富营养化，占比 28%。

秋季航次调查海域处于轻度富营养化到重度富营养化状态，25 个站位全部处于富营养化程度，站位比 100%。其中 5 个站为轻度富营养化，占比 20%；12 个站为中度富营养化，占比 48%；其余 8 个站为重度富营养化，占比 32%。从富营养化的区域看，湾内海域均处于重度富营养化状态。

冬季航次调查海域处于无富营养化到重度富营养化状态，25 个站位有 23 个

达到了富营养化程度，站位比 92%。其中 9 个站为轻度富营养化，占比 36%；6 个站为中度富营养化，占比 24%；8 个站位为重度富营养化，站位占比 32%。

春季航次调查海域处于无富营养化到重度富营养化状态，20 个站位有 7 个达到了富营养化程度，站位比 35%。其中 2 个站为轻度富营养化，占比 10%；2 个站为中度富营养化，占比 10%；3 个站位为重度富营养化，占比 15%，其余 12 个站位无富营养化，占比 60%。

（2）根据山东省近岸海域环境功能区划，以 S1、S2、S3、S4、S5、S13、A1、A2、A3、A7 和 P1 站点执行三类海水水质标准、其余站点执行二类海水水质标准为参考，进行单因子指数评价，分别计算出污染物的水质指数，如果该指数大于 1，则判断为水质超出对应水质标准；如果指数小于 1，则该因子未超标，因此单因子指数即可代表水质数据占相应指标的百分比。

由评价结果（表 3.2-28）可知，夏季航次调查海域内水质超标因子为 DIN、DIP、COD、BOD_5 和 DO，其中水质管控要求为二类的 14 个站点中有 6 个站点的 DO 和 BOD_5 超出标准，管控要求为三类的 11 个站点中，DIN 超标站位 7 个，DIP 超标站位 7 个、DO 超标 2 个，COD 超标 1 个，BOD_5 超 2 个。各要素中 DIN 总超标站位 7 个，占比 28%；DIP 总超标站位 7 个，占比 28%；DO 和 BOD_5 总超标站位各 8 个，占比 32%；COD 超标站位 1 个。其余的 pH、石油类、重金属元素等均满足各自管控要求。

秋季航次调查海域内水质超标因子为 DIN、DIP、石油类、Cu 和 Ni，其中水质管控要求为二类的 14 个站点中有 14 个站点的 DIN 和 1 个站点的石油类超出标准，管控要求为三类的 11 个站点中，DIN 超标站位 11 个，DIP 超标站位 6 个、Cu 和 Ni 各超标 1 个（均为五龙河上游河道内站）。各要素中 DIN 总超标站位 25 个，占比 100%；DIP 总超标站位 6 个，占比 24%；石油类、Cu 和 Ni 总超标站位各 1 个，占比 4%。其余的 pH、DO、COD、BOD_5 和重金属元素等均满足各自管控要求。

冬季航次调查海域内主要的超标因子为 DIN、BOD_5、DIP 和石油类等，其中 DIN 的 25 个站均超过一类和二类标准，其中有 4 个站位满足三类海水水质标准，有 3 个站位满足四类海水水质标准，其余 18 个站位超过四类海水水质标准。BOD_5 有 25 个站位超过一类海水水质标准，有 16 个站满足二类海水水质标准，其中有 4 个站位满足三类海水水质标准，有 3 个站位满足四类海水水质标准，其

余 2 个站位超过四类海水水质标准。DIP 有 19 个站位超出一类标准，其中有 17 个满足二类（同时也是三类标准），另有 2 个站满足四类海水水质标准。石油类有 20 个站满足一类海水水质标准（同时是二类标准），有 5 个站满足三类标准。Zn 有 23 个站位满足一类海水水质标准，有 2 个满足二类海水水质标准。其余的要素等均满足一类海水水质标准要求。

春季航次调查海域内主要的超标因子为 DIN、DIP、COD 和 Zn 等，其中 DIN 的 25 个站有 8 个站超过一类，其中有 2 个站位满足二类海水水质标准，其余 6 个站位超过四类海水水质标准。DIP 有 10 个站位超过一类海水水质标准，其中有 9 个站满足二类（同时是三类）海水水质标准，其余 1 个站满足四类海水水质标准。BOD_5 有 24 个站超过一类标准，其中 22 个站满足二类标准，1 个站满足三类标准，另有位于五龙河上游 1 个站超过四类标准。COD 有 2 个站位超过一类海水水质标准，均满足二类海水水质标准。Zn 有 15 个站位超出一类标准，其中 13 个站满足二类，1 个满足三类 1 个满足四类；其余各站位均满足一类海水水质标准。其余的要素等均满足一类海水水质标准要求。

3.2.3.2　非受纳水体

地表水与地下水监测于 2026 年 3 月 26 日至 3 月 27 日期间开展现场采样工作。

3.2.3.2.1　非受纳水体环境质量现状

厂址周围水域主要涉及五龙河干流和嵯阳河（五龙河支流），这些河段主要用于农业生产，执行地表水 IV 类水质标准。根据当地生态环境局环境监测中心的环境监测数据，2025 年五龙河桥头地表水断面 pH、高锰酸盐指数满足《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）的 IV 类标准，总氮不满足《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）的 IV 类标准，溶解氧、氨氮、总磷少量数据超标。

对项目周边涉及的团旺镇、姜疃镇、穴坊镇、羊郡镇、高格庄镇地下水数据进行统计分析，根据当地生态环境局提供的 2025 年农村万人千吨以下地下水饮用水源地监测数据，2025 年项目所在地周边乡镇地下水总硬度、硝酸盐、氟化物存在部分超标，其余指标满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）中 III 类水质标准。

3.2.3.2.2　非受纳水体环境质量监测方案

1）地表水环境质量监测方案

（1）监测范围

地表水监测范围主要考虑厂址临近区域、厂址配套设施区、陆域取排水管线穿越处的地表水体，主要包括五龙河、嵯阳河和朱皋河。

（2）监测因子

地表水监测分析主要包括地表水环境中水温、pH、溶解氧（DO）、化学需氧量（COD）、五日生化需氧量（BOD_5）、总氮、氨氮、总磷、石油类、阴离子表面活性剂、挥发酚、悬浮物等。

（3）采集方法

采样点设置根据《地表水环境质量监测技术规范》（HJ 91.2-2022）要求进行断面垂线设点。

（4）分析方法

地表水质量分析方法见表 3.2-29。

（5）监测布点原则及方案

地表水监测点位的布设主要考虑流经厂址 5km 范围内的五龙河和嵯阳河水环境质量以及海水淡化厂附近的朱皋河水环境质量。在五龙河上游和下游各布设 1 个点位，嵯阳河上游和下游各布设 1 个点位，在五龙河背景断面布设 1 个点位。根据陆域取排水管线布设走向，在厂址附近五龙河靠近取排水管线与五龙河交叉处布设 1 个监测断面，在海水淡化厂及陆域取水管线临近朱皋河区域布设 1 个监测断面。

2）地下水环境质量监测方案

（1）监测范围

地下水质量监测范围主要考虑厂址取排水管线沿线的地下水环境保护目标，水环境质量现状等因素。

（2）监测因子

地下水监测分析主要包括地下水环境中 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、CO_3^{2-}、HCO_3^-、Cl^-、SO_4^{2-}的浓度，以及地下水基本水质因子，包含 pH、氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐、挥发酚、氰化物、砷、汞、六价铬、总硬度、铅、氟、镉、铁、锰、溶解性总固体、高锰酸盐指数、硫酸盐、氯化物、总大肠菌群、细菌总数等。

（3）分析方法

地下水质量分析方法见表 3.2-30。

（4）监测布点原则与方案

地下水监测点位的布设主要考虑厂址取排水管线沿线的地下水环境保护目标，水环境质量现状等因素。监测点布设要求和布设方法按《地下水环境监测技术规范》（HJ 164-2020）要求执行。

根据取排水管线布设情况与居民点分布情况，本次地下水共布设 7 个监测点位。采样方式为依托现有水井采样。。

3.2.3.2.3　水环境质量监测结果

1）地表水环境质量监测结果

根据《莱阳市人民政府关于同意莱阳市水环境功能区划调整的批复》（莱证字[2018]22 号）和《莱阳市环保局关于莱阳市水环境功能区划调整的报告》，厂址附近的嵯阳河（五龙河支流）、五龙河干流，以上河段主要用于农业生产，为一般工业用水保护区及人体直接接触的娱乐用水功能区域，水质需达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中的 IV 类标准。

根据地表水监测结果，所有断面的总氮均超过《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中水质 V 类标准，7#断面的总磷、化学需氧量（COD）和五日生化需氧量（BOD_5）超过《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中水质 V 类标准。4#断面的总磷超过《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中水质 IV 类标准。相对于五龙河，嵯阳河和朱皋河地表水水质较差。地表水具体监测结果见表 3.2-31。

2）地下水环境质量监测结果

根据现场调查，厂址区域涉及的团旺镇、姜疃镇、高格庄镇、穴坊镇农村饮用水水源地均为地下水，部分集中式饮用水水源地分一级保护区和二级保护区，保护区按《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中 III 类标准执行。其他分散式饮用水水源地参考地下水水质 III 类标准执行。考虑到厂址取排水管线沿线村庄均采用地下水作为生活饮用水水源，地下水水质需按 III 类标准执行。

根据监测结果，地下水环境指标中，除 2#和 3#外，总硬度均超过《地下水质量标准》GB/T 14848-2017 中 III 类标准，1#、6#和 7#硝酸盐均超过 III 类标准，4#超过 IV 类标准，其他水质指标符合地下水水质 III 类标准。地下水具体监测结果见表 3.2-32。

水环境质量监测质量内容保证见 3.2.6 节。

3.2.4 电磁环境现状调查与评价

电磁辐射环境本底现场调查与监测工作于 2022 年 7 月开展，厂区目前环境特征处于原始状态，以农田和当地村民的晒粪场为主。

厂址半径 5km 范围内其他电磁场设施如下：

通讯基站 16 个，500kV 高压线 2 个。没有变电站、中/微波基站、雷达等。

3.2.4.1 电磁环境质量监测方案

1）监测范围

本项目厂址边界、主厂房区、开关站区和输电线路投影区域；厂址半径 5km 范围内送电走廊下方及距出线走廊较近的敏感点。

2）监测内容

本次调查主要内容为厂址边界、主厂房区、变电站区、附近居民点等处的电磁辐射水平，以及厂址半径 5km 范围内主要的电磁辐射源。调查的主要项目有工频电场、工频磁场、射频场强，监测频次均为单次。

3）监测布点原则

根据已有电磁辐射源调查结果，厂址半径 5km 范围内共有移动通讯基站 16 个、500kV 高压线 2 条。没有变电站和中/微波基站。

500kV 崂阳线位于厂址南侧，沿西南——东北方向布设，最近处位于厂址 SE 方向 850m 处。测量点位布设于 128~129 号铁塔中间，测量工频电磁场；

500kV 核泽 1 号线位于厂址北侧，沿东——西方向布设，最近处位于厂址 N 方向 1.6km 处。测量点位布设于 166~167 号铁塔中间，测量工频电磁场；

针对通讯基站，监测射频场强。测量时以基站为中心，选取基站附近环境敏感目标处（包括天线主瓣方向、人员密集区域等）进行监测。测量时避开周围有高大建筑物、高大树木的点位。测量期间同时对厂址半径 5~6km 范围内的 3 个移动通信基站进行监测。

针对厂址边界、主厂房区布点，厂区基本处于原始状态，仅有少数村民种地开辟的小路可以通向厂址中心，本次测量在主厂房区设置 2 个监测点，厂址边界 4 个方位上各布设 2 个监测点。分别测量工频电场、工频磁场、射频场强。

针对开关站区、输电线路布点，在开关站区布设 2 个监测点位，分别布设在开关站区中心和开关站围墙外，开关站围墙外点位选择在开关站南侧靠近厂址中

心位置进行测量。出线方向布设 2 个监测点。分别测量工频电场、工频磁场、射频场强。

针对厂外敏感点调查布点，根据本工程的总平面布置以及送电走廊规划及走向，选取规模较大且距出线走廊较近的敏感点，设定为厂区附近的东马家泊村和西马家泊村以及出线方向的徐疃庄村和东张格庄村 4 个监测点位。测量项目包括工频电场、工频磁场、射频场强。

3.2.4.2　电磁环境质量监测方法

各测量项目在选定分析测量方法时，采用国家和行业标准方法及规范。测量项目、主要依据的测量方法及评价标准如表 3.2-33 所示。

使用的主要仪器相关参数见表 3.2-34。所有仪器均在校准有效期内。

3.2.4.3　电磁环境质量监测结果分析

电磁环境质量监测主要结论为：

（一）已有电磁辐射源：厂址半径 5km 范围内共有通讯基站 16 个，500kV 高压线 2 个。没有变电站、中/微波基站、雷达等。射频场强的监测结果均未超出标准规定限值。

通讯基站射频场强测量结果最高值位于谭山后村基站，测量结果最高为 2.746V/m；等效平面波功率密度结果最高为 20.00mW/m^2；5G 频段射频场强测量结果最高为 2.711V/m，等效平面波功率密度结果最高为 19.49mW/m^2。

高压线测量工频电场、工频磁场，工频电场垂直分量测量结果最高点出现在 500kV 崂阳线弧垂下 0m 点位，测量结果为 107.12V/m，工频磁场垂直分量测量结果最高点出现在 500kV 崂阳线西侧投影 10m 点位，测量结果为 0.053μT，工频磁场水平分量测量结果最高点出现在 500kV 崂阳线西侧投影 20m 点位，测量结果为 0.062μT。

（二）厂址区域：本次测量在厂址边界布设 8 个测量点，主厂房区、开关站区和输电线路出线方向各布设 2 个测量点，测量工频电场、工频磁场、射频场强，所有测量结果未超出标准规定限值。

工频电场垂直分量最高值出现在厂址边界 4#点（厂址东偏南方向），测量结果为 0.518V/m；工频磁场磁感应强度垂直分量测量结果最高值出现在厂址边界 3#点（厂址东偏北方向），测量结果为 0.047μT；磁感应强度水平分量测量结果最高值出现在厂址边界 7#点（厂址西偏南方向），测量结果为 0.051μT。

射频场强测量结果最高值出现在厂址边界 6#点（厂址南偏西方向），测量结果为 0.51V/m（0.70mW/m^2）。

（三）开关站区、输电线路：在开关站区布设 2 个监测点位，出线方向布设 2 个监测点。分别测量工频电场、工频磁场、射频场强，所有测量结果未超出标准规定限值。

工频电场垂直分量最高值出现在输电出线 1#点，测量结果为 0.478V/m；工频磁场磁感应强度垂直分量最高值出现在开关站围墙外，测量结果为 0.042μT，磁感应强度水平分量最高值出现在开关站，测量结果为 0.049μT。

射频综合场强最高值出现在输电出线 1#点，测量结果为 0.29V/m（0.22mW/m^2）。

（四）厂外敏感点：厂外敏感点选取在厂址附近及输电方向的东马家泊村、西马家泊村、徐疃庄村和东张格庄村进行测量，共 4 个监测点位，测量了工频电场、工频磁场、射频场强，所有测量结果未超出标准规定限值。

工频电场垂直分量最高点为西马家泊村，测量结果为 0.368V/m；工频磁场磁感应强度垂直分量最高点为东马家泊村，测量结果为 0.042μT，磁感应强度水平分量最高点为东马家泊村，测量结果为 0.043μT。

射频综合场强最高点为东马家泊村，测量结果为 0.79V/m，等效平面波功率密度结果为 1.655mW/m^2。

根据本次电磁现状调查结果，厂址区域的电磁环境监测情况均符合《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）的相关规定。

电磁环境质量监测质量内容保证见 3.2.5 节。

3.2.5　土壤环境质量现状调查与评价

针对本项目厂址区域和取排水管线沿线的土壤环境质量现状调查于 2026 年 3 月 24 日开展现场采样和分析工作。

3.2.5.1　监测项目

土壤监测分析主要包括土壤环境中 pH、硼、土壤盐分含量、氯离子浓度、密度等理化指标等。

3.2.5.2　监测布点原则及方案

对厂址半径 10km 范围及陆域取排水管线沿线区域的土壤进行现状调查监测。厂址半径 10km 范围重点关注下风向及环境敏感目标区域。对厂址排水管线途经

的各居民点和农田、跨越或穿越的环境敏感目标所在区域（包括但不限于饮用水水源地等地表水体）和管线转折处收集土壤相关资料并取样进行监测。

土壤环境质量现状监测共设置 9 个监测点位，1#离村庄较近且位于陆域管线穿越五龙河段附近；9#为陆域管线穿越五龙河沿岸点位；2#、5#点位为取排水管线折弯处；3#位于厂界西侧；4#位于厂址区域；6#位于冷却塔最大浓度落点；7#位于陆域管线穿越沿海防护林带附近；8#位于海水淡化厂北厂界以及取排水管线折线处。具体点位信息见表 3.2-35。

3.2.5.3　采样和监测方法

1）采样方法

土壤样品的收集与保存均执行国家的相关规定。现场采集的样品装入由实验室提供的标准取样瓶中，现场采样人员对采样日期、采样地点等进行记录并在瓶标签上用油性记号笔进行标识并确保拧紧瓶盖。标识后的样品经现场负责人核对后，立即存放入低温保温箱中。

2）分析方法

土壤质量分析方法见表 3.2-36。

3.2.5.4　监测结果

土壤环境检测结果见表 3.2-37。由表可知，土壤密度范围为 1.12~1.63mg/cm^3，最低值出现在 8#（0.5~1.5m），最高值出现在 5#（0.5~1.5m），均值为 1.38Mg/cm^3。土壤全盐量范围为 25.1~159.7 μS/cm，最低值出现在 5#（0.5~1.5m），最高值出现在 7#（0.5~1.5m）。pH 值范围为 5.34~8.51，最低值出现在 2#（0~0.5m），最高值出现在 7#（0.5~1.5m），均值为 6.66。氯离子浓度范围为 7.1×10^{-4}~0.054g/kg，最低值出现在 3#、5#和 6#（0.5~1.5m），最高值出现在 2#（0~0.5m），均值为 0.014g/kg。硼浓度范围为 2.52~9.94mg/kg，最低值出现在 6#（0.5~1.5m），最高值出现在 1#（0.5~1.5m），均值为 5.87mg/kg。

3.2.6　环境质量现状监测质量保证

3.2.6.1　大气、声、地表水、地下水、土壤环境现状监测质量保证

大气、声、地表水、地下水环境现状监测工作承担单位承担该项工作的质量保证如下：

1）承担单位的 CMA 资质认定证书由山东省市场监督管理局颁发，资质覆盖本项目大气环境、地表水环境、地下水环境、声环境和土壤环境监测的所有项

目，且资质证书处于有效期内。

2） 设立专题项目组，项目主要检测人员通过专业技能考核合格后授权上岗，负责检测过程内部质量监督的人员经授权任命，负责检测数据审核和专题报告审核的人员具备高级工程师资格。

3） 对监测仪器设备、监测方法、现场采样、样品保存运输和交接、样品分析进行全过程控制。所有监测项目仪器设备均按计量法规定，定期送法定计量检定机构检定，并且检定合格。所有监测项目的采样方法依据相应分析标准方法开展。所有监测方法均现行有效。

3.2.6.2 电磁环境质量现状监测质量保证

电磁环境质量现状监测工作承担单位在承担本项工作的质量保证如下：

1） 专题单位有着完善的质量保证管理体系，已通过 GB/T19001-2000-ISO 9001：2000 标准的认证，并获得相关证书；拥有经国防科学技术委员会组织认定计量认可评定的《计量认可证书》，可提供计量器具的计量认可；拥有经国家环境评价与监测中心颁发的《建设项目环境影响评价资格证书》（甲级），业务范围包括核反应堆及核技术应用。

2） 专题单位通过了 GB/T 19001-2008-ISO 9001:2008 质量体系认证。该体系适用于环境影响评价、核安全评价与辐射防护等相关专业内容。具备完善的质量管理组织机构和管理程序与质量手册。

3） 项目负责人和质保负责人具有硕士研究生以上学历，从事环境辐射本底初步调查相关工作 5 年以上，项目参加人员具有大专以上学历，具有环境辐射本底初步调查相关工作 1 年以上，并进行质保培训与考核。

4） 用于分析的仪器设备，按照国家计量法的要求进行检定/校准后在有效期内使用；对多台同样的设备按仪器编号标识，防止混用；仪器经长途运输到达现场后，工作人员首先查看仪器外形是否有损伤、变形，异常部位着重检查，以消除隐患；经外观确认正常后，通电检查，按照说明书上的技术要求操作，使用场强校准器对仪器探头进行检验，确认仪器是否工作正常；仪器经常维护，保持清洁，防止交叉污染；仪器维修后重新检定合格后使用。

5） 所有对分析测试结果的准确性和有效性有影响的计量器具或检测设备，均由计量部门或其授权单位进行校准，以保证检测量值具有溯源性。

3.2.6.3 海水监测质量保证

海水监测专题承担单位在承担本项工作的质量保证如下：

1）专题单位已经建立完善的质量管理体系，拥有国家级《计量认证合格证书》，具备向社会提供使用“CMA”标志、具有法律效力的公正、准确检测数据的能力，并通过了 GB/T19001-2016（ISO9001：2015）标准质量管理体系认证。

2）本项目主要人员均由具有高级职称以及经验丰富的科研人员组成，人员经过培训和严格考核，主要岗位均做到持证上岗；在外业调查的观测、取样、定位和内业实验室中配置当前国际上较为先进的仪器设备，并按规定进行检定/校准，且相关证件资料齐备；根据调查研究技术要求，均采用有效版本的国际标准、国家标准、行业标准作为工作的依据。在项目实施中，严格执行 GB/T19001-2016（ISO9001：2015）国际标准的各项要求，严把质量关，狠抓过程控制这一关键环节，从技术方案设计到项目实施等不同阶段以及质量问题的处理等不同环节，始终按照《技术服务合同》、《工作大纲》、《质保大纲》等文件实施作业并自查自检，同时，成立质保组进行质量审核和全过程的质量监督检查，充分保证该项调查的数据和报告的质量满足要求。

表 3.2-1　大气环境监测气象条件

检测时间		天气状况	大气压（kPa）	温度（℃）	风向	风速（m/s）	总云量	低云量
2026.03.07	20:00	——	102.1	-1.1	南	1.9	1	1
2026.03.08	2:00	——	102.1	-3.3	东南	2.0	——	——
	8:00	晴	102.0	1.2	东南	1.9	3	0
	9:00	晴	102.0	1.9	东南	1.9	2	0
	10:00	晴	102.0	2.4	东南	1.9	2	0
	11:00	晴	101.9	5.7	东南	1.7	3	0
	12:00	晴	101.9	6.9	东南	1.7	3	0
	13:00	晴	101.9	6.5	东南	1.7	3	0
	14:00	晴	101.9	6.5	东南	2.1	3	0
	15:00	晴	101.9	5.3	南	2.1	3	0
	20:00	——	102.0	2.6	南	2.3	——	——
2026.03.09	2:00	——	103.1	1.3	西	2.4	——	——
	8:00	晴	103.0	3.6	西南	2.2	3	0
	9:00	晴	103.0	4.0	西南	2.1	3	0
	10:00	晴	102.9	4.7	南	1.7	3	0
	11:00	晴	102.9	5.1	南	1.7	3	0
	12:00	晴	102.8	5.8	南	1.5	3	0
	13:00	晴	102.8	6.2	南	1.5	3	0
	14:00	晴	102.9	5.2	西南	1.6	3	0
	15:00	晴	102.9	4.8	西南	1.8	3	0
	20:00	——	103.1	2.1	西南	1.8	——	——
2026.03.10	2:00	——	102.5	3.0	南	1.9	——	——
	8:00	晴	102.5	6.3	东南	1.8	2	0
	9:00	晴	102.5	7.5	东南	1.8	2	0
	10:00	晴	102.4	9.4	南	1.8	2	0
	11:00	晴	102.4	10.8	南	1.6	2	0
	12:00	晴	102.3	11.4	南	1.4	2	0
	13:00	晴	102.3	12.2	南	1.4	2	0
	14:00	晴	102.4	10.6	东南	1.5	2	0
	15:00	晴	102.4	9.9	东南	1.5	2	0
	20:00	——	102.5	2.7	东南	2.0	——	——
2026.03.11	2:00	——	102.8	1.3	东北	2.3	——	——
	8:00	晴	102.7	4.5	东北	2.0	3	0
	9:00	晴	102.7	5.7	东北	1.9	3	0
	10:00	晴	102.7	7.1	东北	1.9	2	0
	11:00	晴	102.7	9.6	东北	1.9	2	0

检测时间		天气状况	大气压（kPa）	温度（℃）	风向	风速（m/s）	总云量	低云量
	12:00	晴	102.6	9.9	北	2.3	2	0
	13:00	晴	102.6	10.8	北	2.3	2	0
	14:00	晴	102.6	10.6	北	2.1	2	0
	15:00	晴	102.6	10.3	北	2.1	2	0
	20:00	——	102.7	5.1	北	2.0	——	——
2026.03.12	2:00	——	102.7	3.1	西北	1.9	——	——
	8:00	晴	102.6	8.5	北	1.5	3	0
	9:00	晴	102.6	8.9	北	1.4	3	0
	10:00	晴	102.5	10.5	西北	1.4	3	0
	11:00	晴	102.5	11.1	西北	1.4	3	0
	12:00	晴	102.5	11.8	西北	1.4	2	0
	13:00	晴	102.5	12.6	西北	1.4	2	0
	14:00	晴	102.5	13.7	北	1.4	2	0
	15:00	晴	102.5	10.2	北	1.6	2	0
	20:00	——	102.7	5.3	西北	1.4	——	——
2026.03.13	2:00	——	102.8	-2.1	东南	2.8	——	——
	8:00	晴	102.7	3.6	南	1.8	3	0
	9:00	晴	102.7	4.6	南	1.8	3	0
	10:00	晴	102.6	7.9	东南	1.8	3	0
	11:00	晴	102.5	11.2	东南	1.5	3	0
	12:00	晴	102.5	12.6	东南	1.5	2	0
	13:00	晴	102.5	13.5	东南	1.5	2	0
	14:00	晴	102.5	13.5	南	1.3	2	0
	15:00	晴	102.5	11.4	南	1.3	2	0
	20:00	——	102.7	4.2	东南	1.8	——	——
2026.03.14	2:00	——	102.7	3.4	北	2.1	——	——
	8:00	多云	102.7	6.7	东北	1.7	7	4
	9:00	多云	102.7	7.1	东北	1.7	7	4
	10:00	多云	102.7	8.3	东北	1.7	7	4
	11:00	多云	102.6	10.4	东北	1.6	7	4
	12:00	多云	102.6	10.8	东北	1.6	7	3
	13:00	多云	102.6	11.1	东北	1.6	7	3
	14:00	多云	102.6	10.5	东北	1.7	7	3
	15:00	多云	102.7	9.5	北	1.7	7	3

表 3.2-2　环境空气质量级别天数统计表

地区	监测天数	AQI 最大值	AQI 最小值	质量级别天数					
				I	II	III	IV	V	VI
团旺镇	365	223	18	98	201	49	15	2	0
穴坊镇	365	220	19	90	204	56	14	1	0
姜疃镇	365	225	18	103	198	54	9	1	0
高格庄镇	365	210	22	101	207	46	10	1	0

表 3.2-3　环境空气首要污染物天数统计表

地区	监测天数	污染总天数	首要污染物天数					
			SO_2	NO_2	CO	O_3	PM_{10}	$PM_{2.5}$
团旺镇	365	66	0	1	0	136	40	90
穴坊镇	365	71	0	1	0	157	27	90
姜疃镇	365	64	0	0	0	153	19	90
高格庄镇	365	57	0	0	0	155	22	87

表 3.2-4　环境空气超标污染物天数统计表

地区	监测天数	良好率(%)	超标污染物天数					
			SO_2	NO_2	CO	O_3	PM_{10}	$PM_{2.5}$
团旺镇	365	81.9	0	1	0	20	57	78
穴坊镇	365	80.5	0	2	0	25	48	77
姜疃镇	365	82.5	0	0	0	25	38	69
高格庄镇	365	84.4	0	0	0	24	38	71

表 3.2-5　团旺镇冬季大气环境质量统计表（2025 冬季）

日期	SO_2	NO_2	CO	O_3			PM_{10}	$PM_{2.5}$
	日均值	日均值	日均值	日均值	日最大 1 小时值	日最大 8 小时值	日均值	日均值
	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$
12 月平均值	10	30	1.2	39	72	61	90	60
12 月最大值	15	43	2.8	56	102	81	171	126
1 月平均值	16	33	1.3	53	91	79	113	79
1 月最大值	32	50	2.4	67	126	101	225	173
2 月平均值	8	24	0.9	62	95	88	84	58
2 月最大值	14	40	1.5	102	134	125	164	124
冬季平均值	11	29	1.1	51	86	76	96	66
冬季最大值	32	50	2.8	102	134	125	225	173
GB 3095-2012 二级浓度限值	150	80	4	/	200	160	150	75

注：2025 年监测数据执行 GB3095-2012 相关限值要求。

表 3.2-6　穴坊镇冬季大气环境质量统计表（2025 冬季）

日期	SO_2	NO_2	CO	O_3			PM_{10}	$PM_{2.5}$
	日均值	日均值	日均值	日均值	日最大 1 小时值	日最大 8 小时值	日均值	日均值
	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$
12 月平均值	8	24	1.0	37	72	63	85	60
12 月最大值	15	43	2.0	59	93	85	170	132
1 月平均值	11	32	1.2	47	89	77	108	79
1 月最大值	20	51	2.0	63	116	95	213	170
2 月平均值	9	21	0.8	64	99	92	78	56
2 月最大值	12	39	1.3	115	143	134	139	105
冬季平均值	9	26	1.0	49	86	77	91	65
冬季最大值	20	51	2.0	115	143	134	213	170
GB 3095-2012 二级浓度限值	150	80	4	/	200	160	150	75

注：2025 年监测数据执行 GB3095-2012 相关限值要求。

表 3.2-7　姜疃镇冬季大气环境质量统计表（2025 冬季）

日期	SO_2	NO_2	CO	O_3			PM_{10}	$PM_{2.5}$
	日均值	日均值	日均值	日均值	日最大1 小时值	日最大8 小时值	日均值	日均值
	μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³
12 月平均值	7	23	0.9	42	75	65	77	56
12 月最大值	9	37	1.6	74	102	88	150	128
1 月平均值	8	25	1.1	51	88	78	98	74
1 月最大值	19	43	2.0	68	112	95	214	175
2 月平均值	7	16	0.9	66	99	92	74	54
2 月最大值	11	28	1.2	115	143	132	148	115
冬季平均值	7	21	1.0	52	87	78	83	61
冬季最大值	19	43	2.0	115	143	132	214	175
GB 3095-2012 二级浓度限值	150	80	4	/	200	160	150	75

注：2025 年监测数据执行 GB3095-2012 相关限值要求。

表 3.2-8　高格庄镇冬季大气环境质量统计表（2025 冬季）

日期	SO_2	NO_2	CO	O_3			PM_{10}	$PM_{2.5}$
	日均值	日均值	日均值	日均值	日最大 1 小时值	日最大 8 小时值	日均值	日均值
	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$
12 月平均值	8	20	0.9	40	74	64	76	54
12 月最大值	11	35	2.0	75	103	89	148	119
1 月平均值	8	28	1.0	53	91	80	95	76
1 月最大值	22	43	1.9	69	115	97	191	160
2 月平均值	6	19	0.7	69	101	94	73	53
2 月最大值	10	30	1.2	124	141	132	137	109
冬季平均值	8	22	0.9	54	88	79	81	61
冬季最大值	22	43	2.0	124	141	132	191	160
GB 3095-2012 二级浓度限值	150	80	4	/	200	160	150	75

注：2025 年监测数据执行 GB3095-2012 相关限值要求。

表 3.2-9　团旺镇近 3 年大气环境质量统计表（2023.1-2025.12）

日期	SO_2	NO_2	CO	O_3			PM_{10}	$PM_{2.5}$
	日均值	日均值	日均值	日均值	日最大 1 小时值	日最大 8 小时值	日均值	日均值
	μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³
2023								
1 月平均值	13	29	1.2	49	82	70	127	79
1 月最大值	22	56	2.3	68	131	92	240	191
2 月平均值	9	30	0.9	57	95	84	102	65
2 月最大值	17	45	1.9	78	121	108	181	136
3 月平均值	8	31	0.7	73	123	109	130	64
3 月最大值	13	44	1.1	117	183	163	210	130
4 月平均值	6	19	0.5	90	134	121	75	33
4 月最大值	11	30	0.8	133	200	179	110	68
5 月平均值	5	17	0.5	98	145	132	54	24
5 月最大值	8	31	0.8	148	214	184	94	43
6 月平均值	5	15	0.4	110	160	146	39	18
6 月最大值	12	29	0.7	168	254	222	77	38
7 月平均值	3	13	0.4	89	133	120	30	15
7 月最大值	5	22	0.7	143	222	202	72	26
8 月平均值	3	15	0.6	82	135	120	32	16
8 月最大值	6	22	0.8	123	200	181	55	30
9 月平均值	6	18	0.5	77	130	117	37	19
9 月最大值	9	24	0.8	105	198	164	59	35
10 月平均值	8	31	0.6	66	143	122	74	37
10 月最大值	11	43	1.0	104	204	178	141	78
11 月平均值	6	31	0.7	44	83	72	73	43
11 月最大值	10	51	1.3	86	172	155	162	115
12 月平均值	10	36	1.3	42	75	63	118	85
12 月最大值	21	58	2.6	68	114	75	244	193
2024								
1 月平均值	9	34	1.2	45	77	66	106	77
1 月最大值	15	53	2.5	71	99	89	240	175

日期	SO_2	NO_2	CO	O_3			PM_{10}	$PM_{2.5}$
	日均值	日均值	日均值	日均值	日最大1小时值	日最大8小时值	日均值	日均值
	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$
2月平均值	9	20	0.8	70	96	88	90	70
2月最大值	29	41	2.5	88	131	114	439	400
3月平均值	7	23	0.7	74	115	104	93	56
3月最大值	12	37	1.4	108	165	142	174	126
4月平均值	7	18	0.5	92	136	124	58	27
4月最大值	11	30	0.7	131	215	193	181	59
5月平均值	6	16	0.4	99	147	133	47	21
5月最大值	9	28	0.7	174	244	226	115	41
6月平均值	7	16	0.4	104	156	142	35	16
6月最大值	10	27	0.7	179	239	216	76	35
7月平均值	4	11	0.5	85	122	111	27	16
7月最大值	7	21	0.8	135	211	187	59	42
8月平均值	3	10	0.6	83	126	113	27	16
8月最大值	7	15	0.8	145	197	180	61	34
9月平均值	6	14	0.5	77	120	108	28	13
9月最大值	11	22	0.8	112	187	161	43	29
10月平均值	8	23	0.5	64	117	103	52	28
10月最大值	13	36	1.0	93	179	151	129	83
11月平均值	7	28	0.7	47	93	79	72	40
11月最大值	11	46	1.8	84	148	115	165	93
12月平均值	13	37	1.0	40	76	64	101	68
12月最大值	24	51	1.8	63	110	86	164	122
2025								
1月平均值	16	33	1.3	53	91	79	113	79
1月最大值	32	50	2.4	67	126	101	225	173
2月平均值	8	24	0.9	62	95	88	84	58
2月最大值	14	40	1.5	102	134	125	164	124
3月平均值	6	24	0.6	74	112	103	75	42
3月最大值	9	41	1.2	95	161	150	154	124
4月平均值	8	22	0.5	94	143	128	65	32

日期	SO_2	NO_2	CO	O_3			PM_{10}	$PM_{2.5}$
	日均值	日均值	日均值	日均值	日最大1小时值	日最大8小时值	日均值	日均值
	μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³	μg/m³
4月最大值	29	31	0.7	151	210	193	117	61
5月平均值	5	18	0.5	106	152	139	47	25
5月最大值	7	27	0.7	146	258	210	92	44
6月平均值	5	15	0.4	103	149	136	33	18
6月最大值	12	24	0.7	169	266	237	63	32
7月平均值	4	11	0.4	74	111	99	27	16
7月最大值	7	22	0.6	143	204	184	46	29
8月平均值	3	11	0.4	69	115	102	24	14
8月最大值	7	16	0.6	99	168	148	42	29
9月平均值	6	13	0.5	72	118	106	30	18
9月最大值	9	20	0.9	92	165	144	55	39
10月平均值	8	18	0.4	55	86	76	36	21
10月最大值	12	32	0.8	84	165	144	101	66
11月平均值	10	33	0.7	44	96	78	107	66
11月最大值	14	51	1.6	68	155	124	243	167
12月平均值	10	30	1.2	39	72	61	90	60
12月最大值	15	43	2.8	56	102	81	171	126
近三年平均值	7	22	0.7	72	116	103	65	38
近三年最大值	32	58	2.8	179	266	237	439	400
GB 3095-2012 二级浓度限值	150	80	4	/	200	160	150	75

注：2023年至2025年监测数据执行GB3095-2012相关限值要求。

表 3.2-10　环境空气监测采样位置信息

编号	相对位置 方位	距离（km）	功能意义
1#	SE	4.241	冬季主导风向下风向敏感点；陆域取排水管线周边敏感点
2#	E	4.761	主导风向下风向敏感点
3#	NW	4.022	进场道路
4#	S	1.236	应急道路、陆域取排水管线附近敏感点
5#	/	/	厂址
6#	SE	14.154（与距离海水淡化厂550m）	海水淡化厂、陆域取排水管线周边敏感点
7#	E	临近规划厂界	施工临建区

表 3.2-11　环境空气质量监测方法

序号	检测项目	标准依据及名称	检出限
1	PM_{10}	HJ 618-2011 环境空气　PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的测定　重量法	0.010mg/m^3
2	$PM_{2.5}$		0.010mg/m^3
3	二氧化氮、氮氧化物	HJ 479-2009 环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法	0.005mg/m^3（小时）
			0.003 mg/m^3（日均）
4	一氧化碳	GB/T 9801-1988 空气质量 一氧化碳的测定 非分散红外法	0.3mg/m^3
5	臭氧	HJ 504-2009 环境空气 臭氧的测定 靛蓝二磺酸钠分光光度法	0.010mg/m^3
6	总悬浮颗粒物	HJ 1263-2022 环境空气总悬浮颗粒物的测定重量法	1mg
7	臭气浓度	HJ 1262-2022 环境空气和废气 臭气的测定 三点比较式臭袋法	——

表 3.2-12　环境空气监测项目主要设备一览表

序号	名称	厂家	型号	仪器编号	有效期
1	电子分析天平	天津市德安特传感技术有限公司	ES1035A	HLJC-138-4	2025/10/14 至 2026/10/13
2	紫外可见分光光度计	北京普析通用仪器有限责任公司	TU-1901	HLJC-93-3	2025/10/14 至 2026/10/13
3				HLJC-93	
4	便携式红外线气体分析仪	北京华云分析仪器研究所有限公司	GXH-3011A1	HLJC-159-1	2025/12/31 至 2026/12/30
5				HLJC-159-2	
6				HLJC-159-3	2026/2/26 至 2027/2/25
7				HLJC-159-4	
8				HLJC-159-5	
9				HLJC-159-6	
10	红外一氧化碳分析仪	常州亿通分析仪器制造有限公司	ET-3015A	HLJC-182	2026/1/25 至 2027/1/24

表 3.2-13　环境空气日均值统计表

单位：mg/m^3

点位	日期	总悬浮颗粒物	PM_{10}	$PM_{2.5}$	二氧化硫	二氧化氮	一氧化碳	氮氧化物
1#	2026.03.07	0.187	0.096	0.039	0.009	0.044	1.9	0.051
	2026.03.08	0.190	0.091	0.032	0.011	0.045	1.8	0.054
	2026.03.09	0.195	0.091	0.033	0.010	0.043	1.8	0.054
	2026.03.10	0.190	0.080	0.039	0.011	0.046	1.5	0.055
	2026.03.11	0.183	0.081	0.040	0.010	0.044	1.8	0.055
	2026.03.12	0.186	0.100	0.036	0.010	0.043	2.0	0.053
	2026.03.13	0.198	0.092	0.037	0.008	0.045	1.9	0.052
	最大值	**0.198**	**0.100**	**0.040**	**0.011**	**0.046**	**2.0**	**0.055**
2#	2026.03.07	0.192	0.088	0.035	0.010	0.046	2.3	0.053
	2026.03.08	0.190	0.092	0.040	0.007	0.047	2.5	0.056
	2026.03.09	0.194	0.085	0.032	0.007	0.049	2.4	0.060
	2026.03.10	0.192	0.080	0.031	0.008	0.046	2.2	0.058
	2026.03.11	0.197	0.090	0.039	0.007	0.042	2.4	0.052
	2026.03.12	0.194	0.093	0.032	0.007	0.045	2.4	0.054
	2026.03.13	0.181	0.093	0.032	0.005	0.045	2.5	0.053
	最大值	**0.197**	**0.093**	**0.040**	**0.010**	**0.049**	**2.5**	**0.060**
3#	2026.03.07	0.188	0.092	0.032	0.009	0.043	1.7	0.051
	2026.03.08	0.196	0.086	0.039	0.007	0.046	1.7	0.054
	2026.03.09	0.184	0.081	0.038	0.008	0.049	1.6	0.059
	2026.03.10	0.199	0.085	0.030	0.007	0.044	1.7	0.053
	2026.03.11	0.199	0.087	0.039	0.011	0.045	1.6	0.053
	2026.03.12	0.195	0.091	0.037	0.011	0.046	1.6	0.053
	2026.03.13	0.184	0.087	0.037	0.011	0.044	1.6	0.054

点位	日期	总悬浮颗粒物	PM_{10}	$PM_{2.5}$	二氧化硫	二氧化氮	一氧化碳	氮氧化物
	最大值	**0.199**	**0.092**	**0.039**	**0.011**	**0.049**	**1.7**	**0.059**
4#	2026.03.07	0.181	0.094	0.035	0.011	0.048	2.2	0.056
	2026.03.08	0.190	0.088	0.038	0.006	0.049	2.2	0.056
	2026.03.09	0.190	0.100	0.033	0.006	0.046	2.3	0.055
	2026.03.10	0.185	0.086	0.036	0.009	0.046	2.3	0.055
	2026.03.11	0.199	0.086	0.031	0.008	0.044	2.3	0.053
	2026.03.12	0.194	0.096	0.031	0.005	0.045	2.4	0.055
	2026.03.13	0.184	0.087	0.037	0.012	0.040	2.3	0.052
	最大值	**0.199**	**0.100**	**0.038**	**0.012**	**0.049**	**2.4**	**0.056**
5#	2026.03.07	0.189	0.093	0.034	0.010	0.047	1.4	0.056
	2026.03.08	0.182	0.088	0.030	0.005	0.048	1.2	0.059
	2026.03.09	0.190	0.088	0.034	0.006	0.046	1.3	0.057
	2026.03.10	0.187	0.086	0.039	0.009	0.048	1.2	0.059
	2026.03.11	0.190	0.093	0.035	0.006	0.045	1.2	0.055
	2026.03.12	0.183	0.098	0.037	0.010	0.046	1.2	0.057
	2026.03.13	0.191	0.098	0.038	0.006	0.044	1.3	0.053
	最大值	**0.191**	**0.098**	**0.039**	**0.010**	**0.048**	**1.4**	**0.059**
6#	2026.03.07	0.186	0.085	0.031	0.013	0.040	1.4	0.052
	2026.03.08	0.199	0.095	0.032	0.008	0.044	1.5	0.052
	2026.03.09	0.199	0.097	0.038	0.010	0.047	1.4	0.055
	2026.03.10	0.182	0.088	0.030	0.013	0.046	1.3	0.054
	2026.03.11	0.189	0.088	0.040	0.011	0.045	1.4	0.054
	2026.03.12	0.197	0.084	0.033	0.011	0.045	1.4	0.051
	2026.03.13	0.190	0.087	0.035	0.009	0.040	1.5	0.052
	最大值	**0.199**	**0.097**	**0.040**	**0.013**	**0.047**	**1.5**	**0.055**
7#	2026.03.07	0.187	0.082	0.036	0.014	0.054	1.2	0.063
	2026.03.08	0.181	0.093	0.038	0.009	0.053	1.2	0.066

点位	日期	总悬浮颗粒物	PM_{10}	$PM_{2.5}$	二氧化硫	二氧化氮	一氧化碳	氮氧化物
	2026.03.09	0.194	0.083	0.034	0.009	0.052	1.2	0.062
	2026.03.10	0.190	0.080	0.030	0.008	0.053	1.2	0.064
	2026.03.11	0.181	0.081	0.030	0.006	0.053	1.2	0.060
	2026.03.12	0.194	0.094	0.036	0.006	0.050	1.2	0.061
	2026.03.13	0.191	0.090	0.037	0.007	0.053	1.2	0.062
	最大值	**0.194**	**0.094**	**0.038**	**0.014**	**0.054**	**1.2**	**0.066**
GB3095-2026 二级浓度限值		**0.300**	**0.120**	**0.060**	**0.150**	**0.080**	**4**	**0.100**

注：对于 2026 年开展的现场监测，基本污染物和氮氧化物执行 GB3095-2026 过渡阶段浓度限值。

表 3.2-14　环境空气小时均值统计表

单位：mg/m^3

点位	采样日期	采样时间	SO_2	NO_X	CO	NO_2	采样时间	O_3
1#	2026.03.07	20:00	0.008	0.050	1.7	0.039	/	/
	2026.03.08	20:00	0.011	0.055	2.0	0.046	8:00	0.082
		02:00	0.007	0.052	2.0	0.042	10:00	0.085
		08:00	0.010	0.057	1.4	0.046	13:00	0.095
		14:00	0.013	0.052	1.8	0.042	15:00	0.102
	2026.03.09	02:00	0.011	0.052	2.2	0.040	8:00	0.078
		08:00	0.012	0.064	1.6	0.052	10:00	0.084
		14:00	0.009	0.056	1.4	0.048	13:00	0.096
		20:00	0.011	0.052	2.3	0.042	15:00	0.112
	2026.03.10	02:00	0.012	0.059	2.0	0.048	8:00	0.084
		08:00	0.007	0.054	1.4	0.044	10:00	0.088
		14:00	0.009	0.064	1.2	0.051	13:00	0.112
		20:00	0.013	0.052	1.9	0.044	15:00	0.110
	2026.03.11	02:00	0.012	0.059	1.7	0.044	8:00	0.075
		08:00	0.008	0.060	1.4	0.051	10:00	0.086
		14:00	0.013	0.064	1.4	0.052	13:00	0.094
		20:00	0.011	0.053	2.0	0.045	15:00	0.096
	2026.03.12	02:00	0.009	0.057	1.9	0.044	8:00	0.072
		08:00	0.008	0.052	1.8	0.043	10:00	0.088
		14:00	0.013	0.058	1.2	0.046	13:00	0.098
		20:00	0.009	0.053	1.9	0.044	15:00	0.102
	2026.03.13	02:00	0.011	0.055	2.0	0.043	8:00	0.084
		08:00	0.008	0.053	2.3	0.045	10:00	0.085
		14:00	0.012	0.050	1.5	0.041	13:00	0.115
		20:00	0.011	0.051	2.1	0.043	15:00	0.112
	2026.03.14	02:00	0.010	0.053	2.2	0.042	8:00	0.072
		08:00	ND	0.054	1.9	0.048	10:00	0.078
		14:00	0.009	0.054	1.3	0.046	13:00	0.092
		/	/	/	/	/	15:00	0.108
	最大值		**0.013**	**0.064**	**2.3**	**0.052**	**/**	**0.115**
2#	2026.03.07	20:00	0.010	0.050	2.4	0.041	/	/
	2026.03.08	20:00	0.013	0.055	1.9	0.045	8:00	0.075
		02:00	0.009	0.062	2.3	0.053	10:00	0.081
		08:00	0.012	0.053	3.0	0.046	13:00	0.094
		14:00	0.007	0.064	2.7	0.051	15:00	0.102
	2026.03.09	02:00	0.011	0.052	1.9	0.043	8:00	0.081
		08:00	0.010	0.058	2.7	0.048	10:00	0.092
		14:00	0.010	0.053	2.8	0.042	13:00	0.096
		20:00	0.009	0.061	2.7	0.052	15:00	0.105
	2026.03.10	02:00	0.007	0.062	1.9	0.050	8:00	0.072
		08:00	0.009	0.059	2.5	0.049	10:00	0.081

点位	采样日期	采样时间	SO_2	NO_X	CO	NO_2	采样时间	O_3
		14:00	0.011	0.056	2.9	0.046	13:00	0.092
		20:00	0.009	0.055	1.9	0.045	15:00	0.108
	2026.03.11	02:00	0.008	0.062	1.8	0.048	8:00	0.085
		08:00	ND	0.054	1.8	0.047	10:00	0.082
		14:00	0.011	0.056	3.0	0.044	13:00	0.109
		20:00	0.007	0.051	2.7	0.042	15:00	0.115
	2026.03.12	02:00	0.009	0.053	1.7	0.041	8:00	0.077
		08:00	0.010	0.055	2.8	0.044	10:00	0.081
		14:00	0.010	0.051	2.9	0.045	13:00	0.102
		20:00	0.007	0.051	2.7	0.043	15:00	0.112
	2026.03.13	02:00	0.009	0.054	1.8	0.044	8:00	0.072
		08:00	ND	0.054	2.7	0.048	10:00	0.076
		14:00	0.010	0.053	2.8	0.042	13:00	0.105
		20:00	ND	0.051	3.1	0.043	15:00	0.115
	2026.03.14	02:00	0.008	0.051	2.3	0.041	8:00	0.083
		08:00	ND	0.054	2.4	0.048	10:00	0.085
		14:00	0.009	0.055	2.9	0.045	13:00	0.108
		/	/	/	/	/	15:00	0.121
	最大值		**0.013**	**0.064**	**3.1**	**0.053**	**/**	**0.121**
3#	2026.03.07	20:00	0.008	0.051	1.6	0.041	/	/
	2026.03.08	20:00	0.011	0.051	1.9	0.039	8:00	0.071
		02:00	0.008	0.051	2.1	0.042	10:00	0.078
		08:00	0.013	0.057	1.7	0.046	13:00	0.105
		14:00	0.011	0.057	1.8	0.049	15:00	0.102
	2026.03.09	02:00	0.007	0.051	1.5	0.042	8:00	0.074
		08:00	0.009	0.055	1.8	0.048	10:00	0.081
		14:00	0.010	0.056	1.7	0.045	13:00	0.095
		20:00	0.008	0.056	1.5	0.047	15:00	0.105
	2026.03.10	02:00	0.009	0.061	1.5	0.049	8:00	0.079
		08:00	ND	0.061	1.5	0.051	10:00	0.086
		14:00	0.010	0.058	1.5	0.048	13:00	0.096
		20:00	0.007	0.052	1.7	0.044	15:00	0.114
	2026.03.11	02:00	0.009	0.053	1.4	0.042	8:00	0.082
		08:00	0.007	0.055	1.7	0.046	10:00	0.085
		14:00	0.010	0.058	1.7	0.046	13:00	0.094
		20:00	0.012	0.051	1.6	0.043	15:00	0.102
	2026.03.12	02:00	0.013	0.050	1.3	0.041	8:00	0.075
		08:00	0.008	0.056	2.2	0.047	10:00	0.078
		14:00	0.011	0.056	1.7	0.044	13:00	0.093
		20:00	0.008	0.052	1.5	0.043	15:00	0.112
	2026.03.13	02:00	0.012	0.055	1.7	0.043	8:00	0.082
		08:00	0.007	0.055	1.9	0.049	10:00	0.085
		14:00	0.013	0.053	1.7	0.045	13:00	0.095
		20:00	0.011	0.050	1.4	0.041	15:00	0.105
	2026.03.14	02:00	0.014	0.054	1.6	0.043	8:00	0.081

点位	采样日期	采样时间	SO_2	NO_X	CO	NO_2	采样时间	O_3
		08:00	0.009	0.056	1.6	0.048	10:00	0.085
		14:00	0.012	0.054	1.5	0.042	13:00	0.095
		/	/	/	/	/	15:00	0.105
	最大值		**0.014**	**0.061**	**2.2**	**0.051**	**/**	**0.114**
4#	2026.03.07	20:00	0.009	0.063	2.6	0.051	/	/
	2026.03.08	20:00	0.014	0.052	2.1	0.044	8:00	0.077
		02:00	0.010	0.056	2.1	0.047	10:00	0.080
		08:00	0.008	0.062	2.4	0.049	13:00	0.104
		14:00	0.008	0.065	2.3	0.052	15:00	0.106
	2026.03.09	02:00	0.011	0.051	1.5	0.043	8:00	0.081
		08:00	ND	0.062	2.5	0.051	10:00	0.082
		14:00	0.009	0.056	2.4	0.048	13:00	0.108
		20:00	0.007	0.054	2.4	0.045	15:00	0.112
	2026.03.10	02:00	0.009	0.053	2.0	0.042	8:00	0.071
		08:00	ND	0.063	2.3	0.051	10:00	0.081
		14:00	0.008	0.060	1.9	0.047	13:00	0.092
		20:00	0.011	0.054	2.7	0.045	15:00	0.090
	2026.03.11	02:00	0.012	0.052	1.7	0.041	8:00	0.068
		08:00	0.008	0.056	2.1	0.048	10:00	0.075
		14:00	0.010	0.057	3.0	0.045	13:00	0.098
		20:00	0.008	0.053	2.5	0.043	15:00	0.092
	2026.03.12	02:00	0.010	0.055	1.6	0.045	8:00	0.084
		08:00	ND	0.050	2.6	0.042	10:00	0.088
		14:00	0.011	0.055	3.1	0.043	13:00	0.098
		20:00	ND	0.056	2.8	0.046	15:00	0.102
	2026.03.13	02:00	0.009	0.050	1.7	0.041	8:00	0.081
		08:00	0.015	0.055	2.5	0.047	10:00	0.082
		14:00	0.011	0.051	3.1	0.042	13:00	0.105
		20:00	0.009	0.050	2.6	0.042	15:00	0.102
	2026.03.14	02:00	0.012	0.053	1.9	0.041	8:00	0.075
		08:00	0.008	0.052	2.2	0.044	10:00	0.076
		14:00	0.016	0.049	3.1	0.040	13:00	0.105
		/	/	/	/	/	/	0.108
	最大值		**0.016**	**0.065**	**3.1**	**0.052**	**/**	**0.112**
6#	2026.03.07	20:00	0.011	0.051	1.3	0.041	/	/
	2026.03.08	20:00	0.015	0.054	1.7	0.043	8:00	0.085
		02:00	0.009	0.054	1.1	0.045	10:00	0.086
		08:00	0.013	0.057	1.0	0.046	13:00	0.107
		14:00	0.011	0.052	1.5	0.043	15:00	0.118
	2026.03.09	02:00	0.013	0.052	1.8	0.041	8:00	0.081
		08:00	0.008	0.055	1.5	0.046	10:00	0.091
		14:00	0.009	0.056	1.1	0.044	13:00	0.102
		20:00	0.010	0.058	1.7	0.049	15:00	0.108
	2026.03.10	02:00	0.013	0.051	1.6	0.042	8:00	0.076

点位	采样日期	采样时间	SO_2	NO_X	CO	NO_2	采样时间	O_3
		08:00	0.007	0.058	0.9	0.050	10:00	0.079
		14:00	0.011	0.062	1.1	0.049	13:00	0.092
		20:00	0.011	0.052	1.5	0.043	15:00	0.102
	2026.03.11	02:00	0.013	0.052	1.4	0.041	8:00	0.082
		08:00	0.008	0.055	1.1	0.047	10:00	0.083
		14:00	0.015	0.057	1.1	0.047	13:00	0.098
		20:00	0.009	0.052	1.6	0.043	15:00	0.102
	2026.03.12	02:00	0.012	0.053	1.5	0.041	8:00	0.071
		08:00	0.008	0.056	1.0	0.047	10:00	0.072
		14:00	0.011	0.051	1.1	0.042	13:00	0.091
		20:00	0.009	0.052	1.7	0.044	15:00	0.105
	2026.03.13	02:00	0.013	0.050	1.7	0.041	8:00	0.082
		08:00	0.008	0.052	1.1	0.046	10:00	0.085
		14:00	0.011	0.055	1.0	0.045	13:00	0.111
		20:00	0.008	0.052	1.6	0.041	15:00	0.108
	2026.03.14	02:00	0.011	0.053	1.9	0.044	8:00	0.078
		08:00	0.008	0.055	1.0	0.047	10:00	0.088
		14:00	0.012	0.050	1.3	0.039	13:00	0.093
		/	/	/	/	/	15:00	0.102
	最大值		**0.015**	**0.062**	**1.9**	**0.050**	**/**	**0.118**
7#	2026.03.07	20:00	0.012	0.065	1.4	0.056	/	/
	2026.03.08	20:00	0.016	0.062	1.1	0.051	8:00	0.074
		02:00	0.014	0.068	1.3	0.057	10:00	0.078
		08:00	0.010	0.060	1.3	0.051	13:00	0.091
		14:00	0.009	0.067	1.2	0.055	15:00	0.101
	2026.03.09	02:00	0.010	0.066	1.2	0.053	8:00	0.082
		08:00	0.007	0.063	1.1	0.055	10:00	0.085
		14:00	0.009	0.065	1.3	0.052	13:00	0.099
		20:00	0.008	0.060	1.1	0.051	15:00	0.115
	2026.03.10	02:00	0.011	0.064	1.3	0.049	8:00	0.068
		08:00	ND	0.064	1.4	0.053	10:00	0.075
		14:00	0.009	0.057	1.3	0.049	13:00	0.095
		20:00	0.009	0.066	1.2	0.055	15:00	0.105
	2026.03.11	02:00	0.009	0.061	1.4	0.051	8:00	0.076
		08:00	ND	0.068	1.2	0.058	10:00	0.081
		14:00	0.011	0.057	1.2	0.049	13:00	0.091
		20:00	0.007	0.061	1.2	0.051	15:00	0.116
	2026.03.12	02:00	0.009	0.058	1.2	0.047	8:00	0.081
		08:00	ND	0.068	1.3	0.055	10:00	0.082
		14:00	0.009	0.055	1.3	0.046	13:00	0.096
		20:00	ND	0.062	1.2	0.051	15:00	0.105
	2026.03.13	02:00	0.011	0.056	1.4	0.048	8:00	0.077
		08:00	ND	0.065	1.3	0.054	10:00	0.086
		14:00	0.009	0.060	1.2	0.051	13:00	0.105
		20:00	0.008	0.061	1.2	0.052	15:00	0.112

点位	采样日期	采样时间	SO_2	NO_X	CO	NO_2	采样时间	O_3
	2026.03.14	02:00	0.009	0.061	1.3	0.048	8:00	0.083
		08:00	ND	0.065	1.1	0.056	10:00	0.086
		14:00	0.009	0.058	1.2	0.051	13:00	0.096
		/	/	/	/	/	15:00	0.104
	最大值		**0.016**	**0.068**	**1.4**	**0.058**	**/**	**0.116**
GB3095-2026 二级浓度限值			**0.500**	**0.250**	**10**	**0.200**	**/**	**0.200**

注：（1）ND 为未检出（2）对于 2026 年开展的现场监测，基本污染物和氮氧化物执行 GB3095-2026 过渡阶段浓度限值。

表 3.2-14（续） 环境空气小时均值统计表

点位	采样日期	采样时间	SO_2	NO_X	CO	臭气浓度	NO_2	采样时间	O_3
5#	2026.03.07	20:00	0.007	0.058	1.2	＜10	0.048	/	/
	2026.03.08	20:00	0.011	0.055	1.2	＜10	0.046	8:00	0.070
		02:00	0.009	0.062	1.5	＜10	0.050	10:00	0.072
		08:00	0.013	0.057	1.4	＜10	0.048	13:00	0.092
		14:00	0.009	0.064	1.1	＜10	0.052	15:00	0.091
	2026.03.09	02:00	0.010	0.059	1.2	＜10	0.047	8:00	0.075
		08:00	ND	0.061	1.4	＜10	0.051	10:00	0.079
		14:00	0.011	0.052	1.1	＜10	0.045	13:00	0.096
		20:00	ND	0.058	1.4	＜10	0.049	15:00	0.092
	2026.03.10	02:00	0.008	0.055	1.2	＜10	0.046	8:00	0.082
		08:00	ND	0.062	1.5	＜10	0.051	10:00	0.085
		14:00	0.009	0.054	1.3	＜10	0.046	13:00	0.105
		20:00	0.008	0.061	1.2	＜10	0.051	15:00	0.112
	2026.03.11	02:00	0.012	0.052	1.2	＜10	0.043	8:00	0.078
		08:00	0.008	0.058	1.4	＜10	0.051	10:00	0.082
		14:00	0.009	0.054	1.2	＜10	0.046	13:00	0.092
		20:00	ND	0.052	1.3	＜10	0.044	15:00	0.091
	2026.03.12	02:00	0.010	0.055	1.2	＜10	0.043	8:00	0.079
		08:00	ND	0.058	1.2	＜10	0.049	10:00	0.083
		14:00	0.007	0.055	1.2	＜10	0.045	13:00	0.095
		20:00	0.014	0.056	1.1	＜10	0.047	15:00	0.111
	2026.03.13	02:00	0.012	0.052	1.2	＜10	0.042	8:00	0.083
		08:00	0.008	0.061	1.2	＜10	0.050	10:00	0.086
		14:00	0.011	0.055	1.1	＜10	0.047	13:00	0.098
		20:00	0.008	0.055	1.4	＜10	0.042	15:00	0.102
	2026.03.14	02:00	0.007	0.052	1.2	＜10	0.041	8:00	0.081
		08:00	ND	0.058	1.2	＜10	0.046	10:00	0.084
		14:00	0.009	0.050	1.3	＜10	0.042	13:00	0.105
		/	/	/	/	/	/	15:00	0.102
	最大值		**0.014**	**0.064**	**1.5**	**＜10**	**0.052**	/	**0.112**
GB3095-2026 二级浓度限值			**0.500**	**0.250**	**10**	/	**0.200**	/	**0.200**

注：对于 2026 年开展的现场监测，基本污染物和氮氧化物执行 GB3095-2026 过渡阶段浓度限值。

表 3.2-15　臭氧 8 小时均值结果统计表

单位：mg/m^3

采样日期	采样方式	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#
2026.03.08	8 小时均值	0.092	0.090	0.092	0.093	0.083	0.099	0.089
2026.03.09		0.092	0.094	0.087	0.097	0.088	0.095	0.093
2026.03.10		0.101	0.086	0.094	0.084	0.095	0.085	0.088
2026.03.11		0.090	0.099	0.091	0.084	0.087	0.094	0.092
2026.03.12		0.091	0.094	0.091	0.093	0.090	0.084	0.092
2026.03.13		0.100	0.093	0.090	0.095	0.092	0.099	0.094
2026.03.14		0.090	0.098	0.093	0.090	0.095	0.092	0.091
最大值		**0.101**	**0.099**	**0.094**	**0.097**	**0.095**	**0.099**	**0.094**
GB3095-2026 二级浓度限值		**0.160**						

表 3.2-16a　噪声监测点位信息

序号	网格点位	昼间			夜间		
		检测日期	风向	最大风速(m/s)	检测日期	风向	最大风速(m/s)
1	2#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
2	1#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
3	3#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
4	8#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
5	4#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
6	9#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
7	81#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
8	10#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
9	18#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
10	27#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
11	17#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
12	35#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
13	43#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
14	89#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
15	42#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
16	7#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
17	6#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
18	12#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
19	5#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
20	11#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
21	20#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
22	19#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
23	21#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
24	23#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
25	22#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7

序号	网格点位	昼间			夜间		
		检测日期	风向	最大风速(m/s)	检测日期	风向	最大风速(m/s)
26	13#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
27	14#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
28	15#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
29	16#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
30	25#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
31	26#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
32	30#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
33	32#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
34	29#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
35	37#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
36	38#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
37	39#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
38	31#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
39	40#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
40	44#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.25	东南	3.3
41	54#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.25	东南	3.3
42	53#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.25	东南	3.3
43	62#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.25	东南	3.3
44	96#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.25	东南	3.3
45	68#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.25	东南	3.3
46	61#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.25	东南	3.3
47	60#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.25	东南	3.3
48	52#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.25	东南	3.3
49	51#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.25	东南	3.3
50	99#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.25	东南	3.3
51	48#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.25	东南	3.3

序号	网格点位	昼间			夜间		
		检测日期	风向	最大风速(m/s)	检测日期	风向	最大风速(m/s)
52	57#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.25	东南	3.3
53	47#	2026.03.25	东南	2.4	2026.03.25	东南	3.3
54	56#	2026.03.25	东南	2.4	2026.03.25	东南	3.3
55	55#	2026.03.25	东南	2.4	2026.03.25	东南	3.3
56	73#	2026.03.25	东南	2.4	2026.03.25	东南	3.3
57	46#	2026.03.25	东南	2.4	2026.03.25	东南	3.3
58	45#	2026.03.25	东南	2.4	2026.03.25	东南	3.3
59	63#	2026.03.25	东南	2.4	2026.03.25	东南	3.3
60	69#	2026.03.25	东南	2.4	2026.03.25	东南	3.3
61	70#	2026.03.25	东南	2.4	2026.03.25	东南	3.3
62	64#	2026.03.25	东南	2.4	2026.03.25	东南	3.3
63	65#	2026.03.25	东南	2.4	2026.03.25	东南	3.3
64	66#	2026.03.25	东南	2.4	2026.03.25	东南	3.3
65	71#	2026.03.25	东南	2.4	2026.03.25	东南	3.3
66	72#	2026.03.25	东南	2.4	2026.03.25	东南	3.3
67	59#	2026.03.25	东南	2.4	2026.03.25	东南	3.3
68	58#	2026.03.25	东南	2.4	2026.03.25	东南	3.3
69	34#	2026.03.26	东南	2.6	2026.03.26	东南	3.4
70	95#	2026.03.26	东南	2.6	2026.03.26	东南	3.4
71	41#	2026.03.26	东南	2.6	2026.03.26	东南	3.4
72	80#	2026.03.26	东南	2.6	2026.03.26	东南	3.4
73	79#	2026.03.26	东南	2.6	2026.03.26	东南	3.4
74	77#	2026.03.26	东南	2.6	2026.03.26	东南	3.4
75	76#	2026.03.26	东南	2.6	2026.03.26	东南	3.4
76	93#	2026.03.26	东南	2.6	2026.03.26	东南	3.4
77	92#	2026.03.26	东南	2.6	2026.03.26	东南	3.4

序号	网格点位	昼间			夜间		
		检测日期	风向	最大风速(m/s)	检测日期	风向	最大风速(m/s)
78	91#	2026.03.26	东南	2.6	2026.03.26	东南	3.4
79	94#	2026.03.26	东南	2.6	2026.03.26	东南	3.4
80	24#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
81	87#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
82	88#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
83	86#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
84	100#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
85	85#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
86	84#	2026.03.23	西南	1.9	2026.03.23	西南	3.5
87	82#	2026.03.26	东南	2.6	2026.03.26	东南	3.4
88	67#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.25	东南	3.3
89	50#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.25	东南	3.3
90	101#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.25	东南	3.3
91	33#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
92	83#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
93	49#	2026.03.24	东南	2.2	2026.03.24	东南	3.7
94	75#	2026.03.25	东南	2.5	2026.03.24	东南	3.7
95	102#	2026.05.28	南	2.5	2026.05.28	南	2.4

注：监测期间均无雷电、无雨雪。

表 3.2-16b　声环境质量监测因子及采样时间

序号	监测类型	监测因子	采样时间
1	网格监测	10min的等效声级L_{eq}	一天 昼夜各一次
2	道路监测	20min的等效声级L_{eq}、最大声级L_{max}、L_{10}、L_{50}、L_{90}	一天 昼夜各一次
3	连续监测	各时间段的等效声级L_{eq}、最大声级L_{max}、L_{10}、L_{50}、L_{90}	一天
4	固定源监测	10min等效声级L_{eq}	一天 昼夜各一次
5	厂界周围	10min等效声级L_{eq}	一天 昼夜各一次

表 3.2-17　声环境质量监测设备信息表

仪器名称	仪器型号	生产厂家	编号	有效期
多功能声级计	AWA5688	杭州爱华仪器有限公司	HLJC-03-5	2025/5/8 至 2026/5/7
			HLJC-03-17	2026/1/12 至 2027/1/11
			HLJC-03-10	2025/7/22 至 2026/7/21

表 3.2-18　网格噪声监测结果统计表

序号	网格点位	昼间 dB(A)	夜间 dB(A)	声功能区
1	1#	50	43	1 类
2	2#	52	**46**	1 类
3	3#	53	44	1 类
4	4#	50	45	1 类
5	5#	40	39	1 类
6	6#	39	38	1 类
7	7#	42	41	1 类
8	8#	49	43	1 类
9	9#	47	41	1 类
10	10#	50	45	1 类
11	11#	44	41	1 类
12	12#	42	40	1 类
13	13#	53	43	1 类
14	14#	49	**46**	1 类
15	15#	52	42	1 类
16	16#	47	39	1 类
17	17#	50	44	1 类
18	18#	49	41	1 类
19	19#	45	**46**	1 类
20	20#	50	43	1 类
21	21#	47	45	1 类
22	22#	53	**47**	1 类
23	23#	50	41	1 类
24	25#	48	42	1 类
25	26#	46	43	1 类
26	27#	50	44	1 类
27	29#	49	43	1 类
28	30#	50	44	1 类
29	31#	54	40	1 类
30	32#	45	41	1 类
31	34#	51	42	1 类
32	35#	50	41	1 类
33	37#	47	39	1 类
34	38#	44	36	1 类
35	39#	45	41	1 类
36	40#	47	41	2 类
37	42#	48	41	1 类
38	43#	51	39	1 类
39	44#	49	43	1 类
40	45#	51	41	1 类
41	46#	50	43	1 类
42	47#	51	40	1 类
43	48#	46	41	1 类
44	51#	46	41	1 类
45	52#	46	40	1 类
46	53#	48	45	1 类

序号	网格点位	昼间 dB(A)	夜间 dB(A)	声功能区
47	54#	50	45	1 类
48	55#	49	42	1 类
49	56#	47	41	1 类
50	57#	51	40	1 类
51	58#	48	41	1 类
52	59#	50	43	1 类
53	60#	48	42	1 类
54	61#	51	44	1 类
55	62#	46	44	1 类
56	63#	45	38	1 类
57	64#	47	38	1 类
58	65#	49	39	1 类
59	66#	46	40	1 类
60	68#	46	43	1 类
61	69#	50	39	1 类
62	70#	51	41	1 类
63	71#	53	40	1 类
64	72#	48	41	1 类
65	73#	49	42	1 类
66	81#	52	**46**	1 类
67	89#	52	42	1 类
68	96#	53	44	1 类
69	99#	47	42	1 类

备注：1.噪声值超标数据加粗表示。

表 3.2-19　厂址中心 24h 连续监测统计表

监测日期	检测时间段	L_{eq}[db（A)]	L_{10}[db（A)]	L_{50}[db（A)]	L_{90}[db（A)]	L_{max}[db（A)]
2026.03.24	17:00~18:00	41.7	42.8	37.6	34.8	66.2
2026.03.24	18:00~19:00	45.4	51.4	37.8	35.2	63.8
2026.03.24	19:00~20:00	37.8	39.0	36.8	35.0	60.9
2026.03.24	20:00~21:00	37.3	38.8	36.0	34.6	65.8
2026.03.24	21:00~22:00	36.3	37.8	35.4	34.0	58.9
2026.03.24	22:00~23:00	36.2	37.4	35.6	34.2	61.1
2026.03.24	23:00~24:00	35.6	36.2	34.2	33.4	67.8
2026.03.25	0:00~1:00	35.3	36.4	33.6	33.0	58.2
2026.03.25	1:00~2:00	34.7	36.6	34.0	33.4	54.8
2026.03.25	2:00~3:00	33.9	35.2	33.2	32.6	56.1
2026.03.25	3:00~4:00	34.1	36.0	33.4	32.6	50.2
2026.03.25	4:00~5:00	36.2	38.6	35.0	33.0	55.7
2026.03.25	5:00~6:00	38.2	39.8	37.2	35.0	59.2
2026.03.25	6:00~7:00	41.8	40.2	36.6	34.2	74.4
2026.03.25	7:00~8:00	38.0	39.0	35.6	32.8	69.0
2026.03.25	8:00~9:00	39.1	40.4	35.0	32.8	66.6
2026.03.25	9:00~10:00	39.0	41.2	36.4	33.8	63.2
2026.03.25	10:00~11:00	39.3	40.2	35.8	33.8	71.5
2026.03.25	11:00~12:00	39.3	39.4	35.6	33.6	73.0
2026.03.25	12:00~13:00	37.8	39.6	35.8	33.8	61.9
2026.03.25	13:00~14:00	37.6	38.8	35.4	33.8	59.0
2026.03.25	14:00~15:00	36.7	38.4	35.6	33.6	58.3
2026.03.25	15:00~16:00	36.9	38.4	35.6	34.0	61.6
2026.03.25	16:00~17:00	36.9	38.2	35.8	34.2	63.7

表 3.2-20　道路两侧声环境监测结果

序号	网格点位	L_{eq}	L_{10}	L_{50}	L_{90}	L_{max}	20min 车流量
1	67#	昼间					大型车 24 辆，中型车 10 辆，小型车 84 辆
		66	69.6	56.4	47.8	83.8	
		夜间					中型车 2 辆，小型车 6 辆
		47	50.2	39.6	38.4	65.0	
2	50#	昼间					大型车 5 辆，中型车 7 辆，小型车 42 辆
		68	70.2	52.4	42.4	91.3	
		夜间					小型车 1 辆
		42	43.8	39.2	38.8	61.2	
3	101#	昼间					大型车 21 辆，中型车 7 辆，小型车 87 辆
		62	64.8	53.0	43.8	86.0	
		夜间					中型车 2 辆，小型车 2 辆
		47	47.2	40.2	39.4	68.4	
4	33#	昼间					中型车 3 辆，小型车 2 辆
		52	56.8	45.0	41.4	66.6	
		夜间					无
		47	51.6	37.4	24.6	62.2	
5	83#	昼间					大型车 25 辆，中型车 12 辆，小型车 114 辆
		66	68.4	58.0	47.2	97.1	
		夜间					大型车 7 辆，小型车 5 辆
		46	47.8	41.6	35.0	67.2	
6	49#	昼间					大型车 20 辆，中型车 8 辆，小型车 96 辆
		63	66.8	60.0	55.0	80.4	
		夜间					大型车 5 辆，小型车 3 辆
		46	50.4	34.8	29.8	67.0	

表 3.2-21　固定噪声源监测结果统计表

序号	点位号	昼间 Leq dB(A)	昼间 Lmax dB(A)	夜间 Leq dB(A)	夜间 Lmax dB(A)
1	24#	56	70.6	48	60.0
2	82#	48	71.6	40	56.6
3	87#	52	66.6	45	55.4
4	88#	52	71.6	44	56.7
5	86#	52	72.3	43	56.2
6	100#	51	65.1	45	56.2
7	85#	57	79.2	45	54.4
8	84#	54	74.0	43	51.6
9	102#	57	69.2	44	54.6

表 3.2-22　厂址厂界周围噪声值（dB（A））

（核电厂厂界）

编号	检测点位置	监测日期	噪声值（10min）	
			昼间	夜间
41#	厂址南厂界 1	2026.03.26	44	36
80#	厂址东厂界		42	37
79#	厂址南厂界 2		48	40
77#	厂址西厂界		44	37
76#	厂址北厂界		42	37

（海水淡化厂厂界）

编号	检测点位置	监测日期	噪声值（10min）	
			昼间	夜间
93#	海水淡化厂西厂界	2026.03.26	46	39
92#	海水淡化厂南厂界		42	38
91#	海水淡化厂东厂界		39	38
94#	海水淡化厂北厂界		40	42

表 3.2-23　环境噪声限值等效声级 L_{eq} 值：dB（A）

声环境功能区类别 / 类别		昼间	夜间
0 类		50	40
1 类		55	45
2 类		60	50
3 类		65	55
4 类	4a 类	70	55
	4b 类	70	60

表 3.2-24　丁字湾内国家监测站点海水水质监测数据

时间	区域	DIN	DIP	DO	COD	pH
2022.5	丁字湾海域	0.344	0.007	9.47	1.36	8.30
2022.8		**8.172**	**0.212**	6.90	2.95	7.95
2022.11		0.310	未检出	9.37	1.25	8.13
2023.5		0.229	0.007	7.04	0.87	7.90
2023.8		**0.570**	0.015	6.95	1.89	8.16
2023.10		**0.608**	0.003	6.94	1.18	8.01
2024.5		0.052	0.002	7.60	1.07	7.92
2024.8		**5.333**	**0.047**	5.70	1.66	8.02
2024.11		**2.149**	0.017	8.50	1.19	8.00
2025.5		0.130	0.012	7.56	1.00	8.02
2025.7		0.093	0.001	5.70	1.30	7.89
2025.11		**1.458**	0.022	8.43	1.00	8.19
2026.5		0.204	0.012	7.80	0.80	8.01
三类水质标准		≤0.40	≤0.03	＞4	≤4	6.8~8.8

注：数据均来自于国家监测站点 SDH06048 的水质监测数据。

表 3.2-25　主要水化学样品分析方法和检出限

序号	分析项目	分析方法	检出限	规范性引用文件
1	透明度	透明度盘法-直接测量	0.1 m	GB/T12763.2-2007
2	水温	传感器法	0.01 ℃	GB/T12763.3-2007
3	盐度	传感器法	0.01 ‰	GB/T12763.3-2007
4	pH	电位法	0.01 pH	GB 17378.4-2007
5	总悬浮物	重量法	0.2 mg/L	GB 17378.4-2007
6	DO	碘量滴定法	5.3 μmol/L	GB 17378.4-2007
7	COD	碱性高锰酸钾法	0.15 mg/L	GB 17378.4-2007
8	BOD_5	碘量滴定法	0.042 mg/L	GB 17378.4-2007
9	油类	紫外分光光度法	3.5 μg/L	GB 17378.4-2007
10	NO_3^--N	流动分析法	0.05 μmol/L	HY/T 147.1-2013
11	NO_2^--N	流动分析法	0.02 μmol/L	HY/T 147.1-2013
12	NH_4^+-N	流动分析法	0.03 μmol/L	HY/T 147.1-2013
13	PO_4^{3-}-P	流动分析法	0.02 μmol/L	HY/T 147.1-2013
14	SiO_3^{2-}-Si	流动分析法	0.45 μmol/L	HY/T 147.1-2013
15	铜	电感耦合等离子体质谱法	0.12 μg/L	HY/T 147.1-2013
16	铅	电感耦合等离子体质谱法	0.07 μg/L	HY/T 147.1-2013
17	锌	电感耦合等离子体质谱法	0.10 μg/L	HY/T 147.1-2013
18	镉	电感耦合等离子体质谱法	0.03 μg/L	HY/T 147.1-2013
19	总铬	电感耦合等离子体质谱法	0.05 μg/L	HY/T 147.1-2013
20	砷	电感耦合等离子体质谱法	0.05 μg/L	HY/T 147.1-2013
21	汞	原子荧光法	0.007 μg/L	GB 17378.4-2007
22	硒	荧光分光光度法	0.2 μg/L	GB 17378.4-2007
23	硫化物	亚甲基蓝分光光度法	0.2 μg/L	GB17378.4-2007
24	硼	姜黄素分光光度法	0.02 mg/L	HJ/T 49-1999
25	挥发性酚	4-氨基安替比林分光光度法	0.001 mg/L	GB 17378.4-2007
26	总磷	过硫酸钾氧化法	0.09 μmol/L	GB/T12763.4-2007
27	总氮	过硫酸钾氧化法	3.78 μmol/L	GB/T12763.4-2007
28	阴离子表面活性剂	亚甲基蓝分光光度法	0.01 mg/L	GB 17378.4-2007
29	总有机碳	仪器法	0.01 mg/L	GB 17378.4-2007
30	氟化物	氟试剂分光光度法	0.02mg/L	HJ 488-2009
31	余氯	分光光度法	0.001 mg/L	DPD 滴定法原理

表 3.2-26 主要仪器设备信息

序号	检测项目	仪器设备名称	型号/规格
水文参数			
1	温度	多参数水质监测仪	Eureka_Manta+2.5、exo2
2	盐度		
3	水深	钢丝绳	钢丝绳
4	水色	水色计	水色计
5	透明度	海水透明度盘	定制
6	浊度	便携式浊度计	WZB-172
水质参数			
1	pH	酸度计	PHS-3C、A211、PHBJ-260F
2	溶解氧、COD	溶解氧滴定管	——
3	五项营养盐、油类、硫化物、挥发酚等	紫外-可见分光光度计	UV-6100S、UV-1100
4	五项营养盐	营养盐自动分析仪	QuAAtro 39
5	悬浮物	电子天平	CPA225D、pL203、BCE124i-1CCN
6	铜、铅、锌、镉、铬、砷	等离子体质谱仪	ICP-MS7900
7	汞	原子荧光光度仪	AFS930
8	油类	紫外-可见分光光度计	UV-6100S、UV-1780、UV-1100
9	阴离子表面活性剂	紫外-可见分光光度计	UV-6100S/UV-1780
10	硫酸盐、氟化物	离子色谱仪	ICS 2000
11	硼	等离子体质谱仪	ICP-MS7900
		紫外-可见分光光度计	UV-1780、UV-1100

表 3.2-27　2025 年 8 月至 2026 年 4 月各航次调查海域海水富营养化指数评价结果

航次	最小	最大	平均	富营养化率
夏季	0.16	393.32	34.48	4 个站位轻度富营养化（16%） 1 个站位中度富营养化（4%） 7 个站位重度富营养化（28%）
秋季	1.79	230.94	37.58	5 个站位轻度富营养化（20%） 12 个站位中度富营养化（48%） 8 个站位重度富营养化（32%）
冬季	0.82	95.88	12.95	9 个站位轻度富营养化（36%） 6 个站位中度富营养化（24%） 8 个站位重度富营养化（32%）
春季	0.24	18.15	2.87	2 个站位轻度富营养化（10%） 2 个站位中度富营养化（10%） 3 个站位重度富营养化（15%）

表 3.2-28　2025 年 8 月至 2026 年 4 月各航次调查海域超标海水水质要素的分区评价结果汇总（按近岸海域环境功能区划）

航次	要素	超标站位数			站位超标率
		二类	三类	总数	
管控要求站位数		14	11	25	
夏季航次	DIN	0	7	7	28%
	DIP	0	7	7	28%
	DO	6	2	8	32%
	COD	0	1	1	4%
	BOD_5	6	2	8	32%
秋季航次	DIN	14	11	25	100%
	DIP	0	6	6	24%
	石油类	1	0	1	4%
	Cu	0	1	1	4%
	Ni	0	1	1	4%
冬季航次	DIN	14	11	25	100%
	DIP	0	2	2	8%
	石油类	4	0	4	16%
	BOD_5	1	5	6	24%
春季航次	DIN	0	6	6	24%
	DIP	0	1	1	4%
	BOD_5	0	1	1	4%
	Zn	0	1	1	4%

表 3.2-29　地表水环境质量检测方法

序号	检测项目	标准依据及名称	检出限
1	水温	GB/T 13195-1991 水质 水温的测定 温度计或颠倒温度计测定法	/
2	pH 值	HJ 1147-2020 水质 pH 值的测定电极法	/
3	悬浮物	GB/T 11901-1989 水质 悬浮物的测定 重量法	4mg/L
4	氨氮	HJ 535-2009 水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法	0.025mg/L
5	总氮	HJ 636-2012 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法	0.05mg/L
6	石油类	HJ 970-2018 水质 石油类的测定紫外分光光度法（试行）	0.01mg/L
7	挥发酚	HJ 503-2009 水质 挥发酚的测定 4-氨基安替比林分光光度法	0.0003mg/L
8	总磷	GB/T 11893-1989 水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法	0.01mg/L
9	COD	HJ 828-2017 水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法	4mg/L
10	BOD_5	HJ 505-2009 水质 五日生化需氧量（BOD_5）的测定 稀释与接种 法	0.5mg/L
11	阴离子表面活性剂	GB/T 7494-1987 水质 阴离子表面活性剂的测定 亚甲蓝分光光度法	0.05mg/L
12	溶解氧	HJ 506-2009 水质 溶解氧的测定 电化学探头法	/

表 3.2-30　地下水环境质量检测方法

检测项目	检测依据及名称	方法检出限
钾	HJ 776-2015 水质 32 种元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法	0.07mg/L
钠		0.03mg/L
钙		0.02mg/L
镁		0.02mg/L
铁		0.01mg/L
锰		0.01mg/L
碳酸根、重碳酸根	DZ/T 0064.49-2021 地下水质分析方法 第 49 部分：碳酸根、重碳酸根和氢氧根离子的测定 滴定法	5mg/L（定量限）
F^-	HJ 84-2016 水质 无机阴离子（F^-、Cl^-、NO_2^-、Br^-、NO_3^-、PO_4^{3-}、SO_3^{2-}、SO_4^{2-}）的测定 离子色谱法	0.006mg/L
Cl^-		0.007mg/L
SO_4^{2-}		0.018mg/L
NO_2^-		0.016mg/L
NO_3^-		0.016mg/L
pH	HJ 1147-2020 水质 pH 值的测定 电极法	——
氨氮	HJ 535-2009 水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法	0.025mg/L
挥发性酚	DZ/T 0064.73-2021 地下水质分析方法 第 73 部分：挥发性酚的测定 4-氨基安替吡啉分光光度法	0.002mg/L（定量限）
氰化物	DZ/T 0064.52-2021 地下水质分析方法 第 52 部分：氰化物的测定 吡啶-吡唑啉酮分光光度法	0.002mg/L（定量限）
六价铬	DZ/T 0064.17-2021 地下水质分析方法 第 17 部分：总铬和六价铬量的测定 二苯碳酰二肼分光光度法	0.004mg/L（定量限）
汞	HJ 694-2014 水质 汞、砷、硒、锑和铋的测定 原子荧光法	0.04 μg/L
砷		0.3 μg/L
总硬度	GB/T 7477-1987 水质 钙和镁总量的测定 EDTA 滴定法	0.05mmol/L
镉	HJ 700-2014 水质 65 种元素的测定 电感耦合等离子体质谱法	0.05 μg/L
铅		0.09 μg/L
溶解性总固体	DZ/T 0064.9-1993 地下水质检验方法 溶解性固体总量的测定	4mg/L
耗氧量（CODMn 法，以 O2 计）	DZ/T 0064.68-2021 地下水质分析方法 第 68 部分：耗氧量的测定 酸性高锰酸钾滴定法	0.4mg/L（定量限）
总大肠菌群	GB/T 5750.12-2023 生活饮用水标准检验方法 第 12 部分：微生物指标 5.1 多管发	2MPN/100mL

检测项目	检测依据及名称	方法检出限
	酵法	
菌落总数	GB/T 5750.12-2023 生活饮用水标准检验方法 第 12 部分：微生物指标 4.1 平皿计数法	——

表 3.2-31　地表水监测结果统计表（单位：pH 无量纲）

采样时间	监测位点	监测项目														
		河宽（m）	水深度（m）	流速（m/s）	水温（℃）	pH	阴离子表面活性剂(mg/L)	石油类(mg/L)	氨氮(mg/L)	溶解氧(mg/L)	悬浮物(mg/L)	挥发酚(mg/L)	总磷(mg/L)	总氮(mg/L)	COD(mg/L)	BOD_5(mg/L)
2026.03.26	1#	137	0.2	1.2	17.2	8.2	ND	ND	0.967	6.3	17	ND	0.23	**25.6**	22	4.4
	2#	290	0.2	1.4	18.7	8.2	ND	0.01	0.551	7.2	9	ND	0.2	**19.1**	23	4.8
	3#	10	0.4	3.4	19.1	7.9	ND	ND	0.449	6.8	19	ND	0.27	**8.08**	27	5.1
	4#	25	0.7	3	19	7.9	ND	0.01	0.707	7	9	ND	**0.35**	**7.98**	30	5.6
	5#	126	0.3	1.5	16	8.3	ND	ND	0.689	7.1	22	ND	0.2	**20.5**	20	4.4
	6#	93	0.8	0.6	19.5	8.4	ND	ND	0.509	6.7	9	ND	0.22	**18.4**	27	5.4
	7#	23	0.9	0.1	19.4	9.2	ND	ND	0.198	6	25	ND	**1.12**	**5.05**	**49**	**11**
GB3838-2002 IV 类		/	/	/	/	6~9	≤0.3	≤0.5	≤1.5	≥3	/	≤0.01	≤0.3	≤1.5	≤30	≤6
GB3838-2002 V 类		/	/	/	/		≤0.3	≤1.0	≤2.0	≥2		≤0.1	≤0.4	≤2.0	≤40	≤10

表 3.2-32　地下水监测结果统计表

检测项目	检测时间	2026.03.27							GB/T 14848-2017 III 类	GB/T 14848-2017 IV 类
	检测点位	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#		
钾	mg/L	0.65	3.81	13.1	7.81	1.21	1.24	2.59	/	/
钠	mg/L	45.4	60.4	234	77.9	57.8	50.7	56.2	≤200	≤400
钙	mg/L	195	136	84.8	187	146	160	153	/	/
镁	mg/L	31.0	26.3	40.0	31.7	27.8	21.6	22.8	/	/
铁	mg/L	0.06	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	≤0.3	≤2.0
锰	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	≤0.10	≤1.50
碳酸根	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	/	/
重碳酸根	mg/L	322	300	333	303	378	260	400	/	/
F^-	mg/L	0.206	0.221	0.198	0.305	0.283	0.198	0.323	≤1.0	≤2.0
Cl^-	mg/L	104	136	242	154	79.8	110	69.1	≤250	≤350
SO_4^{2-}	mg/L	91.8	71.5	101	68.7	101	69.4	56.3	≤250	≤350
NO_2^-（以 N 计）	mg/L	0.135	ND	ND	ND	ND	ND	ND	≤1.00	≤4.80
NO_3^-（以 N 计）	mg/L	**22.8**	12.8	15.5	**35.7**	11.9	**21.8**	**20.3**	≤20.0	≤30.0
pH	无量纲	7.6（15.5℃）	7.7（16.5℃）	7.7（17.5℃）	7.6（17.5℃）	7.6（16.2℃）	7.8（16.0℃）	7.7（16.1℃）	6.5≤pH≤8.5	5.5≤pH<6.5 8.5<pH≤9.0
氨氮	mg/L	0.244	ND	ND	0.114	0.278	ND	ND	≤0.50	≤1.50
挥发性酚	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	≤0.002	≤0.01
氰化物	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	≤0.05	≤0.1
六价铬	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	≤0.05	≤0.10

检测项目	检测时间	2026.03.27							GB/T 14848-2017 III 类	GB/T 14848-2017 IV 类
	检测点位	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#		
汞	μg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	≤1	≤2
砷	μg/L	3.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	≤10	≤50
总硬度	mg/L	**610**	445	372	**584**	**480**	**482**	**474**	≤450	≤650
镉	μg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	≤5	≤10
铅	μg/L	0.13	0.38	0.18	0.26	ND	0.21	ND	≤10	≤100
溶解性总固体	mg/L	773	624	886	850	714	688	674	≤1000	≤2000
耗氧量（COD_{Mn}法，以O_2计）	mg/L	1.1	1.0	1.0	1.2	1.0	1.2	1.2	≤3.0	≤10.0
总大肠菌群	MPN/100mL	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	≤3.0	≤100
菌落总数	CFU/mL	37	45	49	58	41	33	40	≤100	≤1000

表 3.2-32　地下水监测结果统计表（续表）

采样时间	监测位点	监测项目										
		氨氮（mg/L）	硝酸盐（mg/L）	亚硝酸盐（mg/L）	挥发酚（mg/L）	氟化物（mg/L）	总硬度（mg/L）	溶解性总固体（mg/L）	细菌总数（CFU/ml）	氯化物（mg/L）	六价铬（mg/L）	硫酸盐（mg/L）
2022.07.27	1#	0.788	2.49	<0.003	<0.0003	<0.2	436	761	57	121	<0.004	67
	4#	1.15	2.60	<0.003	<0.0003	<0.2	340	576	52	103	<0.004	70
	7#	1.08	2.54	<0.003	<0.0003	<0.2	366	643	70	152	<0.004	76
2022.07.28	2#	0.980	2.41	<0.003	<0.0003	<0.2	328	470	89	49	<0.004	83
	3#	0.900	2.56	<0.003	<0.0003	<0.2	320	665	74	84	<0.004	29
	5#	1.07	2.44	<0.003	<0.0003	<0.2	589	1436	45	346	<0.004	139
	6#	1.40	2.65	<0.003	<0.0003	<0.2	283	547	63	65	<0.004	84
GB/T 14848-2017中III类标准		≤0.50	≤20.0	≤1.00	≤0.002	≤1.0	≤450	≤1000	≤100	≤250	≤0.05	≤250
备注		亚硝酸盐检出限为 0.003 mg/L，挥发酚的检出限为 0.0003mg/L，氟化物的检出限为 0.2mg/L，六价铬的检出限为 0.004mg/L										

表 3.2-32　地下水监测结果统计表（续表）

采用时间	监测位点	监测项目									
		*砷（μg/L）	*汞（μg/L）	*K^+（mg/L）	*Na^+（mg/L）	*Ca^{2+}（mg/L）	*Mg^{2+}（mg/L）	*CO_3^{2-}（mol/L）	*HCO_3^-（mol/L）	*SO_4^{2-}（mol/L）	*Cl^-（mg/L）
2022.07.27	1#	1.2	<0.04	0.70	41.2	172	3.46	0	5.56	55.6	110
	4#	0.7	<0.04	1.41	63.5	135	3.05	0	5.90	58.2	96.6
	7#	0.6	<0.04	1.88	49.5	115	2.07	0	4.71	59.1	83.8
2022.07.28	2#	2.0	<0.04	0.70	46.1	123	2.59	0	4.29	83.1	50.5
	3#	<0.3	<0.04	0.93	63.9	88.4	2.87	0	4.43	39.1	79.3
	5#	<0.3	<0.04	3.77	144	246	6.38	0	6.20	117	358
	6#	1.8	<0.04	1.17	38.0	113	2.81	0	3.89	73.8	65.4
GB/T 14848-2017中III类标准		≤0.01	≤0.001	/	/	/	/	/	/	/	/
备注	砷的检出限为 0.3μg/L，汞的检出限为 0.04μg/L										

表 3.2-33　测量项目、测量方法及评价标准

测量项目	仪器设备	频率范围/量程	依据标准
工频电场	PMM8053B 电磁场分析仪	工频频率范围：5Hz~100kHz	GB/T 12720-1991《工频电场测量》；
	EHP-50C 电磁场探头	频率范围：5Hz~100kHz 电场量程：0.01V/m~100kV/m	HJ 681-2013《交流输变电工程电磁环境监测方法（试行）》
工频磁场	PMM8053B 电磁场分析仪	工频频率范围：5Hz~100kHz	HJ 681-2013《交流输变电工程电磁环境监测方法（试行）》
	EHP-50C 电磁场探头	频率范围：5Hz~100kHz 磁场量程：1nT~10mT	
射频场强	PMM8053B 电磁场分析仪	射频频率范围：100kHz~3GHz	HJ972-2018 《移动通信基站电磁辐射环境监测方法》
	EP300 电场探头	频率范围：100kHz~3GHz 量程：0.01V/m~100kV/m	
	OS-4P 选频式电磁辐射测量仪	频率范围：100kHz~6GHz	HJ1151-2020 《5G 移动通信基站电磁辐射环境监测方法（试行）》
	SRF-06 三轴全向天线	频率范围：30MHz~6GHz 量程：2.6×10^{-9}W/m^2~238 W/m^2（1mV/m~300V/m）	

表 3.2-34　测量仪器情况

序号	仪器名称	型号规格	最近检校准日期	校准单位	校准周期	频率范围/量程
1	电磁场分析仪+电磁场探头	PMM8053B/EHP-50C	2022.6.30	中国泰尔实验室	一年	频率范围：5Hz~100kHz 电场量程：0.01V/m~100kV/m 磁场量程：1nT~10mT
2	电磁场分析仪+电场探头	PMM8053B/EP300	2022.6.30	中国泰尔实验室	一年	频率：100kHz~3GHz 量程：0.01V/m~100kV/m
3	选频式电磁辐射测量仪+三轴全向天线	OS-4P/SRF-06	2022.6.30	中国泰尔实验室	一年	频率范围30MHz~6GHz 量程：$2.6\times10^{-9}W/m^2$~$238W/m^2$（1mV/m~300V/m）

表 3.2-35　土壤理化性质监测点位信息表

序号	距厂址距离（m）	距陆域取排水管线距离（m）	取样深度
1#	4400	30	0~0.5m、0.5~1.5m
2#	8000	10	
3#	480	10	
4#	/	/	
5#	1100	30	
6#	1450（距离冷却塔1100）	/	
7#	14200	30	
8#	30（距离海水淡化厂）	30	
9#	3600	20	

表 3.2-36　土壤环境质量检测方法

检测项目	检测依据及名称	方法检出限
pH 值	HJ 962-2018 土壤 pH 值的测定 电位法	——
全盐量	LY/T 1251-1999 森林土壤水溶性盐分分析 3.2 全盐量的测定 电导法	——
土壤密度	LY/T 1215-1999 森林土壤水分-物理性质的测定	——
氯离子	NY/T 1121.17-2006 土壤检测 第 17 部分：土壤氯离子含量的测定	——

表 3.2-37　土壤监测结果

检测项目	检测点位	1#（0~0.5m）	2#（0~0.5m）	3#（0~0.5m）	4#（0~0.5m）	5#（0~0.5m）	6#（0~0.5m）	7#（0~0.5m）	8#（0~0.5m）	9#（0~0.5m）
pH 值	无量纲	7.33	5.34	5.68	6.11	7.32	6.42	8.20	5.41	6.04
全盐量	μS/cm	85.4	98.3	32.8	46.4	46.5	43.9	149.2	114.8	98.1
土壤密度	mg/m^3	1.37	1.37	1.36	1.28	1.34	1.61	1.26	1.12	1.33
氯离子	g/kg	0.021	0.054	7.1×10^{-4}	0.014	7.1×10^{-4}	0.011	0.011	0.014	0.021
硼	mg/kg	4.66	3.70	2.79	8.07	4.85	7.08	4.67	5.23	3.77
检测项目	检测点位	1#（0.5~1.5m）	2#（0.5~1.5m）	3#（0.5~1.5m）	4#（0.5~1.5m）	5#（0.5~1.5m）	6#（0.5~1.5m）	7#（0.5~1.5m）	8#（0.5~1.5m）	9#（0.5~1.5m）
pH 值	无量纲	7.52	6.94	6.03	6.52	7.30	7.41	8.51	5.40	6.32
全盐量	μS/cm	75.7	57.1	25.1	49.7	25.1	43.1	159.7	119.3	100.1
土壤密度	mg/m^3	1.56	1.52	1.37	1.32	1.63	1.58	1.26	1.20	1.40
氯离子	g/kg	0.014	0.021	7.1×10^{-4}	0.011	7.1×10^{-4}	7.1×10^{-4}	0.011	0.014	0.014
硼	mg/kg	9.94	9.91	5.21	5.88	7.63	2.52	6.19	7.19	6.29

第四章　核电厂

4.1　厂区规划及平面布置

4.1.1　厂区规划

山东莱阳核电项目位于烟台下属莱阳市团旺镇东马家泊村北侧。西南距青岛即墨区约 43km，北距莱阳市约 28km，距海阳核电厂址约 61km，东南距丁字湾岸边约 20km，距黄海约 32km。

本工程选用技术先进和符合我国核电发展的核电机组，拟规划建设 6 台国和一号核电机组，一次规划，分期实施，一期工程建设 2 台国和一号核电机组。

4.1.1.1　规划原则

- 总体规划选用技术先进、符合我国核电发展的第三代非能动压水堆核电机组。
- 总体规划应满足核电厂规划容量及其配套设施所需的用地面积。
- 核岛应布置在地基承载力满足要求、均匀稳定的基岩上。
- 充分结合地形、地质条件，尽可能减少土石方开挖、回填工程量以及其他工程量，降低工程投资和缩短工期。
- 取排水系统和电力出线力求线路短捷、顺畅。
- 节约用地，合理规划反应堆厂房位置，以便最大限度地缩小非居住区面积，并充分利用非居住区边界。
- 满足与相邻城镇设施的安全、卫生、环境等要求，并不影响相互的发展。
- 各配套设施，在符合安全和有关规范的前提下，宜适当集中。
- 厂外道路规划应满足核电厂建设、运行和应急疏散等要求。
- BOP 辅助设施和施工场地等规划均参照类似核电工程的有关规模确定。
- 符合厂址附近城镇区域规划的要求。

4.1.1.2　工程建设规模与核电机组选型

山东莱阳核电项目规划建设 6 台国和一号先进压水堆核电机组，一次规划、分期建设，一期工程拟建设 2 台国和一号核电机组。

4.1.1.3　主厂房建筑群位置的确定

每一台机组由核岛与常规岛组成。核岛根据工艺要求，主要包括：反应堆厂房、辅助厂房、附属厂房、放射性废物厂房、柴油发电机厂房和辅助柴油发电机厂房；常规岛建（构）筑物包括：汽机厂房和变压器区域构筑物。每一期工程的

核岛、常规岛及其密切相关的配套设施有机地组成一个综合体，这个综合体即为本期工程的主厂房建筑群。

综合考虑各方面因素，厂址的主厂房建筑群宜布置在东马家泊村北侧，位于厂址中部地势较高的区域；厂区东南侧丁字湾内取水，再经陆域取水管线输送至厂区，丁字湾内设海水淡化厂排水口，厂区工业废水深度处理系统排水、非放射性生产废水系统排水、液态流出物通过陆域排水管线输送至丁字湾附近，与部分浓盐水通过单独排水管线共同排放至丁字湾外；考虑尽量减少冷却塔对周围村庄的影响，循环水设施区位于主厂房区的北侧；开关站位于循环水设施区的北侧；其他辅助设施根据功能需求围绕主厂房区进行布置。根据规划容量、工艺流线与管线敷设要求及核能供热规划等因素综合考量，本项目一期工程建设 2 台国和一号机组，并列布置，两台机组反应堆厂房中心间距为 260m；后续工程建设 4 台国和一号核电机组，并列布置，3 号与 4 号、5 号与 6 号机组的反应堆厂房中心间距均暂为 260m。

4.1.1.4　厂区扩建方向

考虑厂址区域南、北两侧有 500kV 架空输电走廊，南北向布置场地相对有限，结合以往评审意见，厂区宜采用近东西向并列布置形式。同时，厂区地形西低东高，结合厂外交通主要来流，厂区扩建方向确定为由西向东。

4.1.1.5　供排水方案

本项目，循环水系统采用湿式二次循环冷却方式，每台机组拟配置一座自然通风淡水冷却塔和一座循环水泵房。

项目取水口和海水淡化厂排水口布置在丁字湾内。厂区工业废水深度处理系统排水、非放射性生产废水系统排水、液态流出物通过陆域排水管线输送至丁字湾附近，与部分浓盐水通过单独排水管线共同排放至丁字湾外。

1）海域取、排水方案

本项目取排水工程考虑一次建成。海水淡化厂址位于莱阳市羊郡镇南羊郡村南侧。规划取水口位于丁字湾-9m 深槽内，海水淡化厂排水口位于-5.5～-6.0m 等深线处；液态流出物排水口布置在湾外工矿通信用海区内，水深-7m。取排水管线沿养虾池西侧排水渠敷设。

2）陆域取、排水方案

本项目规划容量下陆域取、排水共设置 4 根管道。一般路段取排水管道采用

同槽直埋敷设，穿越重要的河流和道路等采用顶管方案。

3）海水淡化厂

海水淡化厂位于莱阳市羊郡镇辖区，厂区南临黄海海域水产养殖区，东邻海阳市，北邻威青高速，西邻丁字湾新城。海水淡化厂位于主厂区 SE 方位，与主厂区直线距离约 16km。本工程统一规划，分期建设，规划建设 58.8 万 t/d 海水淡化装置，一期工程建设规模为 19.6 万 t/d。

本工程取水口位于海水淡化厂区东南侧约 3.6km 处，考虑到缩短海水取水管线长度，取水泵房及短明渠布置在海水淡化厂区南部。本工程 110kV 电源由位于海水淡化厂区西北侧的主体工程莱阳核能项目引接，考虑到缩短 110kV 线路长度，变压器区域布置在一期工程西北部。

综合考虑厂址所在区域地形地质情况，结合 110kV 线路进线方向、核电厂淡水供应以及取水口位置，确定厂区总体布置格局为：取水泵房布置在厂区南侧、淡水升压泵房和 110kV 海淡降压变等电气设施布置在厂区西北侧。

4）核电厂用水系统方案

厂用水系统管路和部件都布置在附属厂房、厂用水泵房和厂区。

4.1.1.6　电力出线规划

山东莱阳核电项目初步考虑以 1000kV 电压等级接入系统，暂按出线 2 回，从厂区北侧向北再向西接至海阳西特高压站，新建线路长度为 2×8km。厂址南侧 500kV 高压线路走廊与厂区的距离不小于 150m，与北侧 500kV 高压线路走廊距离不小于 760m。

4.1.1.7　交通运输规划

4.1.1.7.1　交通运输要求

核电厂对外交通运输包括施工安装期间的运输、生产运行期间的日常货物运输、新/乏燃料运输、放射性废物运输以及应急计划等。

4.1.1.7.2　对外交通运输方案

根据厂址附近的交通现状和规划，厂址西侧有南北向的省道 S209 通过，厂址南北两侧有东西向的乡道 Y025 通过。

第一进厂道路规划自厂址西侧省道 S209 引接，长约 1.101km，采用二级公路技术标准新建。

第二进厂道路（应急道路）规划自厂址南侧乡道 Y025 引接，长约 0.759km，

采用二级公路技术标准（考虑第二进厂道路承担大件设备运输的功能）新建。

同时，考虑到国和技术交流中心到主厂区的交通需求，对厂址南侧乡道 Y025 进行改扩建，路线西起省道 S209，沿现状道路向东途经西马家泊村、东马家泊村后向东北方向跨越五龙河后继续向东，经胡城村北侧，止于莱高线（X072）。路线全长约 8.958km，采用二级公路技术标准改建。

4.1.1.8　厂前区及配套设施区规划

为满足核电厂生产运行要求，厂前区拟规划综合办公楼（含档案馆）、食堂以及厂前停车场，布置在整个厂区的西侧，靠近第一进厂道路，对外联系方便，同时，通过厂区主干道与主厂房区及辅助设施区相连，方便人员联系和生产管理。

其他非核配套设施包括消防站、武警营房、应急指挥中心、公安保卫楼、国和技术交流中心、气象观测站和环境监测站等。

消防站、武警营房、应急指挥中心及公安保卫楼位于厂址西南侧，非居住区范围外，靠近第二进厂道路。

现场服务区及职工生活区依托国和技术交流中心布置。国和技术交流中心位于莱阳市高格庄镇莱阳南站附近，位于主厂区东侧位约 5km 处。国和技术交流中心满足国核莱阳业主等相关各方人员的现场临时住宿、办公和会议以及倒班住宿和接待的需求，规划建设功能包括：交流中心办公楼、交流中心食堂、员工宿舍及招待所、模拟机培训楼等。

气象观测站位于厂址北侧一处小山坡上，与厂址边界的直线距离约 0.5km。环境监测站考虑规划在海水淡化厂内。

4.1.1.9　施工场地规划

一期工程施工时，厂区内预留场地作为施工设施用地，主要用于建设力能区供热站、变电站、供水站，重件道路、模块拼装场地、混凝土搅拌站和安全壳拼装场地等。其他施工临建设施由地方承建，建设单位租用。

4.1.2　厂区平面布置

本工程选用技术先进和符合我国核电发展的核电机组，拟规划建设 6 台国和一号核电机组，一次规划，分期实施，一期工程建设 2 台国和一号核电机组。

总平面布置原则：

- 厂区总平面布置应满足总体规划要求。
- 总平面布置应以主厂房为中心，以保证安全、工艺流程和交通组织等合

理为原则，应注意到地形、地质、气象、设备特点和施工条件等的影响，合理统筹安排竖向、交通、管线和绿化，因地制宜地进行布置。

- 循环冷却水供排水系统（如循环水泵房等）应尽可能靠近汽机厂房布置，以缩短循环冷却水管线和降低运行费用。
- 合理布置汽机厂房、主变压器和开关站三者之间的位置，应尽可能使主变压器和开关站之间的连线短捷。
- 总平面布置必须符合核安全要求，如安全重要建、构筑物应尽可能避开汽轮机飞射物的影响区。
- 在满足生产流程的前提下注意功能分区，合理区划放射性和非放射性厂房的位置。放射性厂房与核岛以及其它厂房之间的管线和道路连接应短捷，并保证安全和生产管理方便，它们宜相对集中布置在厂区边缘，并位于常年最小风频的上风侧；并尽可能使运输放射性货物的道路与厂区主要道路和人行道分开。
- 道路布置应短捷，人车分流，以满足货运、人行、各类运输（如大件设备、大型模块和乏燃料）、消防和安全等要求。
- 厂区场地的设计标高应适宜，既满足核安全要求，又合理降低汽机厂房的标高以降低运行费用。
- 充分利用地形条件，尽可能使土石方工程量既小又平衡，以降低造价和缩短工期；同时，应避免高边坡和高填方。充分考虑厂址用地条件（周边现状均为基本农田），按一期工程土石方基本自平衡，兼顾与二三期的交通联系进行地坪标高设置。
- 在满足安全、防火、卫生、环保、生产、运输、管网布置和施工检修等要求的前提下，总平面应紧凑布置，以节约用地，并使道路、工程管线和围栏等设施短捷，同时使生产管理方便。
- 主厂房群和辅助生产区四周应留足够的场地，以满足布置道路、围栏和工程管线以及施工需求。
- 满足分期建设的要求，近期工程宜集中布置，以形成完整的生产体系，并为后期工程的扩建留好发展余地；同时，尽可能减少后期工程施工对前期工程运行的影响。
- 用地宜符合《电力工程项目建设用地指标（火电厂、核电厂、变电站和

换流站）》的要求。在满足工艺流程和输送能力的前提下，辅助生产设施宜适度集中。

- 主要建筑物和有特殊要求的主要车间的朝向，应为自然通风和自然采光提供良好条件，以节能环保。

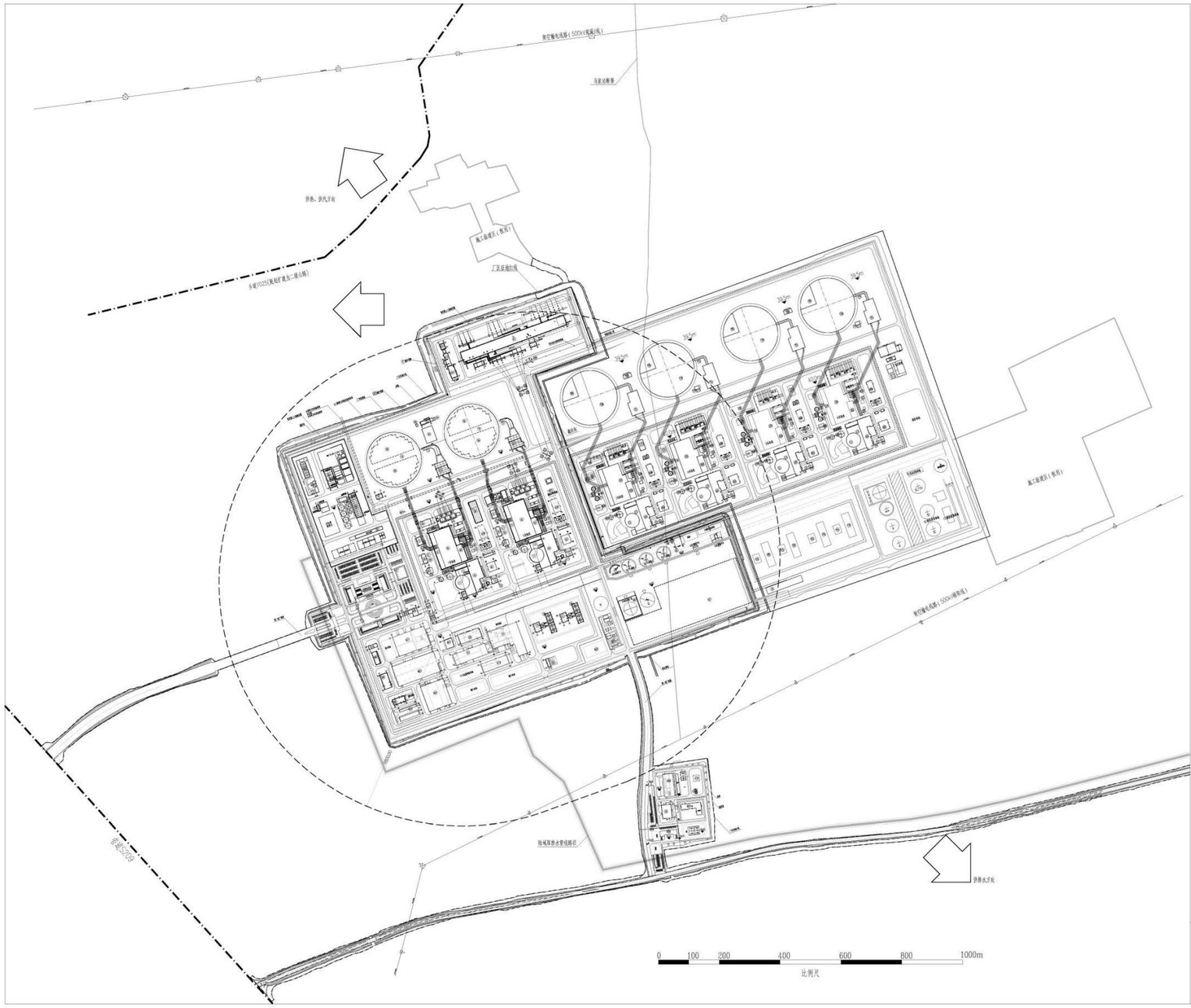
总平面布置图见图 4.1-1。

4.1.3　排放口布置

一期工程两台机组产生的放射性废气经处理达标后通过位于辅助厂房顶部的烟囱排入环境。

一期工程两台机组产生的低放废液经过放射性液体废物处理系统（WLS）和放射性液体废物精处理系统（WAS）处理后排入液态流出物排放系统（LES），经监测符合排放控制标准后，液态流出物从槽式排放口排出。液态流出物排水口布置在丁字湾外，水深约-7m。

厂址实行分期场平，排放口按永临结合考虑，一期工程场平阶段共设置 4 个主要雨水排放口：P1 雨水排放口在水处理设施区附近，P2 雨水排放口在开关站区附近，P3 雨水排放口在核岛循环冷却水区附近，P4 雨水排放口在警卫营房区附近。



子项一览表

环保代码	子项名称	环保代码	子项名称
00	室外工程	50	发配世居物厂房
001	厂内道路	51	装卸减压站平台
002	综合管廊和管沟	516	液化烃泵棚厂房
005	停车场	53	占环卫车间
01	开关站和变电所	56	综合实验室和监控楼房
011	1000kV开关站	60	取油区电机厂房
012	220kV开关站	61	取油区储罐区
013	110kV开关站	62	螺旋桨油机厂房
014	网格储型箱	63	管氨及泵油发电机厂房
015	水压器区域控制箱	65	综合办公楼
016	3厂区10kV开关站	651	食堂
017	警卫消防区域变电所	66	水大仓库
02	水工设施（厂外）	661	水大仓库A、B楼库
021	厂外海水供热管线	662	水大仓库C楼库
023	厂外海水取水设施	664	一般固体废物库
024	厂外海水排水设施	665	非废危险废物库
025	排水集中池	667	油脂库
026	海水升压泵房	67	检修厂房（水大）
027	厂外海水供水管线	671	综合检修厂房
028	厂外排水管线	69	天地大作器非设施
029	海水取水泵房	693	地震监测台站
0210	海水重水池	694	餐工修房
03	化学、燃料、气体和煤和炉房	695	消防站
031	化学品库	696	环境监测站
033	供氢站	697	气象观测站
035	氢气压反站	698	公安防卫楼
036	高压氢气储气站	70	循环水给水设施
039	气热厂房	71	循环水泵房
04	不同危险岗吃楼房/库区线	72	循环水管
041	1000kV GIL/库区线	73	循环水回水沟
042	220kV电缆沟	75	凡水泵房
043	其它零星构筑物	751	取及引水泵房
044	天海水淡化厂110kV库区线	77	预乒房舞
05	保卫控制中心	78	机械通风冷却塔及水池
06	应急指挥中心	79	大型自然通风冷却塔
061	移动发射警站电源储存间车库	791	温泥池
09	办证中心、出入口和警卫室	792	冷却塔补水泵房
091	西侧区出入口及办证中心	793	零氧水池
092	保护区出入口	794	冷却塔其测温测小间
094	厂区辅助出入口	80	施工营地
095	厂区大门	801	功能区供热站
096	开关站出入口	802	功能区变电站
10	检查	803	功能区供水站
11	天压库厂房	809	室外道路
12	储放厂房	811	建设办公楼
13	除盐水贮罐	82	模块部装场地
14	硼酸贮存厂房	87	混凝土搅拌站
15	事故状态全员存储罐放大罐	871	钢结构集制造加工厂
16	碱液贮罐	88	安全员部层综地
20	汽机厂房	89	采砂营
22	网滑油贮油箱	891	土建车物营
23	碱性水预处理室外设施	90	厂外设施
24	汽机厂房暖保间	901	福型环境质检监督管监测站
25	辅助锅炉房	902	福强线及五龙河大桥
251	换热站	903	第一进厂道路
252	供热后海及办热联合供热站	904	第二进厂道路
26	消防泵房	905	厂外1000kV库空线
27	第一消防水箱	906	厂外220kV库空线
28	第二消防水箱	907	厂外10kV及110kV库空线
29	汽机事故油池	908	大件运输道路
210	鲁王消防区域消防泵房	909	大件码头改造
30	综合水泵房和重水池	910	厂外施工用水取直济管线
31	海水淡化厂	912	综合检查及卫中心
32	除盐水及热网补水处理厂房	92	医和技术交流中心
33	海水加热站	921	交流中心办公楼（货船培训楼）
34	输变110kV变电站	922	交流中心食堂
35	排水泵房及水池	923	员工倒休及招待所
36	三台废水深度处理厂房	924	开关站
37	生活污水处理设施	925	地下车库
38	冬放新型生产废水处理厂房	926	模拟机培训楼
381	二类污染物废水处理厂房	927	污水处理站
40	附属厂房	928	垃圾站
41	运行和维修技术支持楼	929	门卫

图例

	一期工程新建建筑物、构筑物和设备		大门和围墙（厂内）
	后期工程拟建建筑物、构筑物和设备		文物保护围墙
	建筑物室外地坪标高		建筑
	地下管线		道路

说明：
1.本图采用2000国家大地坐标系(中央子午线120°30′)，1985国家高程基准。
2.本图尺寸以米计。

全厂总平面布置

图 4.1-1　总平面布置图

4.2 反应堆和蒸汽-电力系统

4.2.1 概述

山东莱阳核电项目一期工程拟建 2 台国和一号核电机组，国和一号采用先进的非能动安全系统，不依赖泵、风机或柴油机等能动部件，仅利用压缩气体、重力、自然循环等自然驱动力即可驱动系统运行；非能动安全系统能够在没有安全级电源、设备冷却水及暖通等支持条件下实施安全功能，事故后操纵员可不干预时间达 72 小时。每台机组由核岛（NI）、常规岛（CI）和电厂配套设备（BOP）三大部分组成：

- NI 包括整个核蒸汽供应系统以及相关的辅助系统和支持系统。主要由反应堆厂房、辅助厂房、附属厂房、放射性废物厂房、柴油机厂房及相关基础组成；
- CI 主要指汽轮机厂房及其厂房内的系统设备；
- BOP 则指 NI、CI 以外的辅助系统设备。

4.2.2 核岛

核岛由一个独立的钢安全壳结构、一个混凝土屏蔽建筑和一个核辅助厂房建筑组成，安全壳/屏蔽/核辅助厂房的基础是一个整体。

4.2.2.1 燃料组件性能描述

本工程燃料组件采用燃料棒和燃料组件骨架组成。燃料组件骨架由上管座、下管座、格架、导向管和仪表管组成。燃料棒装入燃料组件骨架内由格架夹持，使之保持在确定的轴向和径向位置上，并允许燃料棒沿轴向自由热膨胀。燃料棒端部与上、下管座之间留有足够的间隙，以补偿燃料棒与导向管间不同的热膨胀和辐照生长。

4.2.2.2 反应堆冷却剂系统

反应堆冷却剂系统由两个传热环路组成，每个环路包括一台蒸汽发生器、两台反应堆冷却剂泵、一条热段主管道和两条冷段主管道。系统还包括一台稳压器、相关连接管道、阀门和用于运行控制和专设驱动的仪表。

4.2.2.3 核辅助系统及其他系统

1）化学和容积控制系统

化学和容积控制系统(CVS)由再生和下泄热交换器、树脂床和过滤器、补水泵、水箱和相关阀门、管道以及仪表组成。

2）正常余热排出系统

正常余热排出系统(RNS)由两个设备序列组成，每列包含一台泵和一台热交换器。两个序列共用一根连接到 RCS 的入口母管以及一根出口母管。RNS 包括系统运行所必需的管道、阀门和仪表。

3）乏燃料池冷却系统

乏燃料池冷却系统(SFS)由两个机械系列组成，每个系列包括一台泵、一台热交换器、一台除盐床、一台过滤器以及相关的阀门、管道和仪表，两个系列共用入口母管和回流母管。

4）设备冷却水系统

设备冷却水系统(CCS)由两个机械系列组成，每个系列包括一台泵和一台热交换器。各系列单独设置供水/回水管道。两个波动箱分别连接在两个系列的设备冷却水回水管上。

5）蒸汽发生器系统

蒸汽发生器系统包括两个相同的系列，每台蒸汽发生器对应一个系列。每个系列包括四个主要的部分：安全有关主蒸汽管道及其相关管道、安全有关主给水管道、安全有关启动给水管道和安全有关蒸汽发生器排污管道。

6）蒸汽发生器排污系统

蒸汽发生器排污系统设有两个系列，每个系列包括一台再生热交换器、一个隔离阀，一个流量控制阀和一套电离除盐装置。

7）启动给水系统

启动给水系统由并联的两台启动给水泵以及相应的阀门、管道和仪表等组成。

4.2.3　常规岛

常规岛工艺系统主要由汽、水系统两大部分组成。核岛蒸汽发生器二次侧产生的饱和蒸汽通过主蒸汽系统输送到汽轮机，汽轮机将蒸汽热能转化为机械能并继而通过发电机转化为电能。做完功的排汽经凝汽器凝结成水，由凝结水泵经低压加热器送入除氧器除氧，此后再由给水泵经高压加热器加热后送回蒸汽发生器二次侧，带走反应堆冷却剂热量转变成饱和蒸汽，如此往复构成了汽-水-汽不断转换的二回路系统。常规岛系统及其辅助系统主要包括：主蒸汽系统、汽水分离再热器系统、凝结水系统、主给水系统、汽轮机抽汽系统和其它辅助系统。

4.3 核电厂用水和散热系统

4.3.1 核电厂用水

山东莱阳核电工程项目规划建设 6 台百万千瓦级国和一号核电机组，一期（本期）建设两台机组。本期工程淡水用水量包括施工期淡水用水量及运行期淡水用水量，施工期取用五龙河水源，运行期采用海水淡化水源。施工期用水主要包括施工人员、设备用生活水，混凝土浇筑、砂石料冲洗、施工机械冷却等生产水以及施工场地用消防水。运行期淡水用水系统主要包括：

1）生活水系统：提供人员、设备用生活水；

2）生产水系统：提供设备冷却、厂房地面冲洗等生产用水；

3）循环水系统：循环水系统冷却塔补充水；

4）厂用水系统：厂用水系统冷却塔补充水；

5）除盐水系统：提供核岛、常规岛用除盐水；

6）消防系统：提供运行期消防用水。

4.3.2 核电厂散热系统

本项目采用以海水淡化产生的海淡水为补给水源、带高位集水自然通风冷却塔的循环供水系统。取水水源为厂址附近的黄海丁字湾海水，取排水相关构筑物拟按照规划容量一次建成，设备分期安装。采用“暗取暗排”方案，海淡浓盐水取排水口布置在莱阳丁字湾内海域，液态流出物排水口位于丁字湾外海域。取水泵房及海水淡化处理厂设置在丁字湾北岸附近区域，海水经海水淡化处理后通过陆域长距离管线输送至厂区。本工程电厂冷却塔排水采用工业废水深度处理系统处理回用，末端少量高盐废水与液态流出物共同通过液态流出物陆域排水管线输送至海水淡化厂附近，与少部分海水淡化浓盐水共同通过液态流出物排水管线排至丁字湾外海域，大部分浓盐水通过海水淡化厂排水口排至丁字湾海域。

4.4 输电系统

4.4.1 接入系统

目前山东电网已建成以特高压交流扩大环网为区域骨干网架，“四直五交”九大外来电源为支撑，500kV 坚强环网为省域核心主网架的交直流混联大电网。截至 2025 年，山东电网拥有 5 座 1000kV 特高压变电站，即泉城特高压（4×3000MVA）、昌乐特高压（3×3000MVA）、高乡特高压（2×3000MVA）、微山湖特高压（2×3000MVA）和曹州特高压（1×3000MVA）。

从电网发展形势来看，随着经济社会进一步发展，能源结构的加快调整，保障全省电力供应、满足大型电源基地送出、解决重点区域供电能力不足、提升电网对新能源承载能力等问题，需要在“十五五”规划中予以统筹解决。

对于山东特高压方面，山东特高压电网将重点围绕满足清洁电源基地送出和负荷供电需求，“十五五”期间，规划建设 1000kV 烟威特高压输变电工程，构建“东电西送”“北电南送”电力格局，提升主网架大范围资源优化配置能力。到 2030 年，随着特高压骨干网架建设以及核电机组并网，特高压层面电压支撑能力显著增强，电网安全稳定水平有效提升。

2023 年 12 月，国家发展改革委、国家能源局印发《“十四五”电力发展规划中期滚动调整意见》，烟威 1000kV 特高压交流输变电工程（以下简称“烟威特高压工程”）纳入国家规划。

烟威特高压工程规划建设 1000kV 海阳西特高压，规划建设主变 2 台，1000kV 出线 12 回，一个半断路器设母线分段接线，500kV 出线 8 回，一个半断路器接线，烟威特高压工程一期建设海阳西开关站，1000kV 出线 6 回，至高乡特高压 2 回、昌乐特高压 2 回；新建海阳西开关站～昌乐特高压双回线路，线路途经登州（烟台）特高压站站址；新建海阳西开关站～高乡特高压双回线路。

根据山东省能源局《关于反馈分阶段实施烟威 1000 千伏特高压交流输变电工程有关情况的复函》，国家能源局同意工程分两个阶段实施，第一阶段实施烟威 1000kV 特高压交流输变电工程，第二阶段实施烟威 1000kV 特高压交流输变电工程（登州站升压），即将 500kV 登州（烟台）开关站升压为特高压站，登州特高压（烟台）1000kV 侧规划出线 10 回，本期出线 4 回，开断第一阶段海阳西开关站～昌乐特高压双回线路 π 接入登州（烟台）特高压 4 回，形成海阳西开关站～登州（烟台）特高压双回线路、登州（烟台）特高压～昌乐特高压双回线路。

结合电网规划，莱阳核电项目考虑以下接入系统方案：核电厂以 1000kV 送出，出线 2 回，至海阳西开关站 2 回。本工程 2 台国和一号核电机组分别经双绕组变压器升压至电站新建 1000kV 配电装置，本工程新建 2 回 1000kV 线路，接至海阳西开关站。新建 2 个单回线路，长度为 2×8km，均采用 8×630mm^2 截面导线。对侧海阳西开关站：扩建 2 个 1000kV 出线间隔。

4.4.2　启备电源系统

核电厂正常运行时，交流厂用电源来自发电机母线，由高压厂用变压器供给。当主发电机不可用时，则由优先电源通过主变压器和高厂变从开关站倒送，同时作为机组启动、正常停堆及紧急停堆的主电源。

为满足核电站的安全运行，山东莱阳核电项目拟建设 220kV 备用电源开关站一座。当主发电机及 1000kV 优先电源均不可用时，则由 220kV 备用电源通过备用变压器为机组正常停堆及紧急停堆的非安全级负荷提供电源。

核电机组的厂外备用电源作为核电厂的优先电源之一，引自外部电网。在电厂失去正常电源和厂外主电源时切换投入，可在紧急情况下实现有序停堆，提高核电厂的纵深防御能力和可用率，在保障机组运行的安全性、可靠性、经济性、灵活性方面有着十分重要的作用。

本工程备用电源采用 220kV 电压等级接入系统，出线 2 回。烟台电网具备向山东莱阳核电项目备用电源供电的能力，备用电源的接入用电不会造成周边电网线路重、过载。

经国网烟台供电公司综合比较，推荐山东莱阳核能项目 220kV 备用电源开关站新建 1 回 220kV 线路至 220kV 五龙变电站，线路长度约 10km；另 1 回 220kV 线路至 500kV 神山变电站，线路长度约 20km。6 台机组投产后，备用电源仍采用上述二回 220kV 线路。

备用电源开关站电气主接线建议采用双母线或者双母线分段；备用变压器中性点考虑直接接地，同时也应保留不接地运行的条件。

4.4.3　海水淡化厂110kV架空线

为满足海水淡化厂用电需求，规划建设莱阳核电海水淡化厂 110kV 线路工程。工程位于烟台市莱阳市，新建线路长度约 40.92km，主要工程建设内容为：新建 110kV 单回架空线路 32.07km，单回电缆线路 8.85km（其中排管（4+2）长

度 0.94km，排管（8+2）长度 2.926km，拉管（8+2）长度 0.31km，余缆槽长度 1.358km）。新建杆塔 129 基，其中单回路耐张塔 75 基，单回路直线塔 54 基。

4.4.4　开关站和升压站

厂区南侧边界距架空输电走廊较近，综合考虑电力出线方向与厂区布置情况，1000kV、220kV 和 110kV 开关站布置在全厂区的北侧。现阶段 1000kV 开关站与主变的连接拟采用架空线的方式，220kV 开关站与辅助变的连接采用电缆沟的方式。

莱阳核电项目1000kV升压站规划主变6台，本期建设主变容量2×1725MVA。

调度关系：莱阳核电厂 1000kV 升压站由华北网调、山东省调两级调度管理。远动信息应分别送至华北网调、山东省调。

莱阳核电厂 1000kV 升压站的电量信息向华北网调和山东省调传送。

4.5　专设安全设施

核电厂安全是在反应堆固有安全性的基础上，通过设置合适的控制系统、保护系统和专设安全设施，在各种运行工况下尽可能减少放射性物质向环境的释放，保护公众和电站工作人员免受过量辐射伤害。

“纵深防御”是核电厂设计安全原则的基础，这是一套既逐渐深入又相互补充的设计防御措施，其核心是所有与核安全有关的活动，无论是组织实施还是系统设备配置，都应进行多重冗余设置，使单个失效可以得到补救或纠正。

实施纵深防御的一个重要内容是设置多道实体屏障，将放射性物质限制在特定的范围内。在压水堆核电厂中设置了燃料元件包壳、一回路压力边界和安全壳三道安全屏障。

专设安全设施是专门用来应对设计基准事故，以减轻其后果使之符合安全准则的规定要求。它是纵深防御体系中的第三个防御层次。专设安全设施主要包括非能动堆芯冷却系统、非能动安全壳冷却系统、安全壳氢气控制系统、安全壳和安全壳隔离系统、主控制室应急可居留系统。

4.6 放射性废物管理系统和源项

放射性源项主要包括堆芯放射性积存量、一回路及二回路放射性核素的活度浓度。放射性废物处理系统主要包括放射性液体、气体和固体废物处理系统。

4.6.1 放射性源项

在燃料芯块内产生的放射性物质（裂变产物）可能通过破损的燃料包壳泄漏进入到反应堆冷却剂系统中。堆芯辐射场导致了冷却剂中的物质活化后形成 C-14 以及氚，而且反应堆冷却剂系统材料表面的腐蚀产物也被活化成为具有放射性的活化腐蚀产物。

4.6.2 放射性废液管理系统及排放源项

4.6.2.1 放射性液态流出物排放源项

液体废物的放射性来自于反应堆冷却剂（主要来自于反应堆冷却剂调硼排水和反应堆冷却剂的泄漏）、二回路冷却剂（主要来自于蒸汽发生器排污流的处理和二回路的泄漏）和 CVRF 的排放（主要来自于洗衣废液、各种冷凝液以及设备/地面疏水）。

液态流出物向环境排放前，操作员会对废液监测箱内的液体进行取样分析，确定其放射性浓度在控制值范围内（GB6249-2025）后进行排放，同时取样结果在放射性废液计划排放记录内登记。若取样结果发现废液放射性活度浓度超过排放控制值，则将监测箱内的废液返回至废液暂存箱，进行再处理。同时，排放管线设有辐射监测仪表，达到报警值时排放管线隔离阀自动关闭，中止废液系统排放，防止系统误排放。通过上述措施可以确保运行过程中废液的排放浓度不会超过本项目槽式排放口处排放浓度设计目标值 100Bq/L（氚和 C-14 除外）。

槽式排放口处液态流出物中氚的平均排放浓度满足 GB 6249-2025 中规定的槽式排放口处液态流出物中氚的活度浓度不应超过 3.0E+07Bq/L 的限值要求。

槽式排放口处液态流出物中 C-14 的平均排放浓度满足 GB 6249-2025 中规定的槽式排放口处液态流出物中 C-14 的活度浓度不应超过 3.0E+03Bq/L 的限值要求。

在表 4.6-1 给出了单台机组的液态流出物年排放量与 GB 6249-2025 中控制值的比较。可以看出，单台机组的液态流出物年排放量均能满足 GB 6249-2025 规定的排放量控制值要求。

本项目 0.1GBq/t 工况下槽式排放口处各核素的活度浓度分析结果可以满足

GB 6249-2025 附录 D 给出的推荐排放浓度要求。

4.6.2.2　放射性废液管理系统

放射性废液管理系统主要包含放射性液体废物处理系统（WLS）、放射性液体废物精处理系统（WAS）和液态流出物排放系统（LES）。

放射性液体废物处理系统（WLS）设计用于控制、收集、处理、输送和贮存正常运行及预期运行事件下产生的放射性废液。

放射性液体废物精处理系统（WAS）设计用于处理核岛 WLS 处理后的废液，进一步去除废液中的核素，并对反应堆冷却剂废液进行硼回收。

液态流出物排放系统（LES）设计用于接收和贮存来自 WLS、WAS 和废物减容处理中心（CVRF）的废液，并对废液进行混匀、取样和监测排放。

4.6.2.3　陆域长距离排水管道

来自厂常规岛侧及核岛侧的废水在核电厂内混合后，通过泵提供动力经陆域长距离排水管道输运至海边海淡厂内，管道内液态流出物掺混比例不高于 1:10。

排水管道采用双层管的形式，直埋敷设，共设置两套，一套运行使用，一套备用，单套管道均可满足全部排水需求。排水管道内管采用高密度聚乙烯（HDPE）材质，外管采用防腐钢管材质，外管与内管间设置支撑。管道设置多种泄漏监测措施，系统性监测管道泄漏，可分别监测内、外管泄漏，保障管道运行安全。

废水仅通过内管输送，内外管之间预留有一定的间隙；外管可保护执行液态流出物输送功能的内管，减缓外部冲击；同时内管发生泄漏时，外管可包络滞留液态流出物。管道在经过河流、道路、铁路等环境敏感点及载荷较大区域采取顶管施工，加强管道防护。

管道沿途设置多座阀门井。在每间隔约 1km 的局部低点处设置一座集液井，集液井内设置检漏装置和集液罐，集液罐内设有液位监测仪表，以监测管道的微小泄漏。

4.6.3　放射性废气管理系统及排放源项

4.6.3.1　放射性气载流出物排放源项

放射性气载流出物主要通过下列途径，向环境大气排放：

- 因安全壳中空气活化，以及从反应堆冷却剂系统泄漏到安全壳和辅助厂房大气中的 Ar-41 通过通风向环境的释放；

- 从反应堆冷却剂系统泄漏到安全壳大气中的放射性核素通过安全壳通风向环境的释放；
- 工艺流体泄漏的放射性核素通过辅助厂房向环境的释放；
- 燃料操作区域的通风导致的放射性核素的释放；
- 放射性核素通过放射性废气处理系统的释放；
- 通过二回路系统的释放。

单台机组的气载流出物年设计排放量均能满足 GB 6249-2025 规定的排放量控制值要求。

4.6.3.2　系统概述及组成

在反应堆运行期间，会裂变产生放射性同位素氩、氪。因为少量燃料包壳的破损，部分核素会释放到反应堆冷却剂中。反应堆冷却剂的泄漏又导致放射性惰性气体释放到安全壳内大气中。通过严格限制反应堆冷却剂泄漏和限制反应堆冷却剂系统内惰性气体的放射性浓度，可控制气载放射性释放。

除放射性气体废物处理系统（WGS）释放途径以外，各厂房通风系统也是向环境释放气载放射性物质的途径。

4.6.4　放射性固体废物管理系统

放射性固体废物处理系统（WSS）设计用于收集和暂存正常运行以及预期运行事件产生的废树脂（含深床过滤器过滤介质）、水过滤器滤芯、放射性干废物和混合固体废物。这些废物先收集暂存在辅助厂房和附属厂房内，后送往废物减容处理中心（CVRF）进一步处理和中间贮存。

4.6.5　乏燃料贮存系统

反应堆换料时，从堆芯卸出的乏燃料组件贮存在核岛辅助厂房的燃料操作区域的乏燃料水池中，采用水下布置和贮存的方式。贮存设施包括乏燃料水池和乏燃料贮存格架。乏燃料贮存格架位于乏燃料水池内，乏燃料水池是池底和四壁衬有不锈钢覆面的钢筋混凝土结构，与辅助厂房构成整体结构。池内充以含硼去离子水，池水水质由乏燃料水池冷却系统保持。乏燃料组件贮存在格架的贮腔内。

乏燃料贮存格架的临界设计遵循 HAD102-15《核动力厂燃料装卸和贮存系统设计》有关要求。乏燃料贮存格架由Ⅰ区格架、Ⅱ区格架以及破损燃料组件贮腔组成。Ⅰ区贮存格架可以贮存最大设计基准富集度的燃料组件，Ⅱ区贮存格架可以贮存满足燃耗要求的乏燃料组件。

反应堆正常运行期间，每次平衡换料卸出乏燃料组件 72 组。乏燃料贮存格架至少可以贮存反应堆 10 个日历年正常运行卸出的乏燃料组件外加一个完整堆芯的燃料组件数。

4.6.6　废物减容处理中心

废物减容处理中心（CVRF）是一个集中式放射性废物处理设施，位于核岛BOP区域。它作为核岛三废处理系统的补充，提供完整、适宜的手段统一处理厂址各机组核岛产生但无法直接处理的放射性废液与放射性固体废物。根据该设施执行的功能，可划分为：废物处理厂房、洗衣房、废物暂存库三大区域。废物处理厂房为现浇钢筋混凝土剪力墙结构，局部有地下室。厂房部分墙体和楼板厚度除需满足结构要求外还需满足屏蔽要求。废物暂存库为钢筋混凝土排架结构。洗衣房为单层现浇钢筋混凝土框架结构，局部有一层地下室。设施内处理达标的废液将排放至液态流出物贮罐厂房（516子项）。经该设施处理后的废物采用200L钢桶或混凝土HIC进行最终包装，废物包在废物暂存库进行中间贮存。

4.6.7　放射性固体废物处置方案

本项目放射性固体废物包最终处置方法为：

1、国电投核电（莱阳）核能有限公司对具备处置条件的低放废物送交甘肃龙和环保科技有限公司运行的龙和近地表处置场、对具备处置条件的极低放废物送交金塔极低放填埋场实施最终处置。

2、甘肃龙和环保科技有限公司负责对满足龙和近地表处置场和金塔极低放填埋场接收准则要求的低放和极低放废物进行运输、处置。

3、针对混凝土高完整性容器（HIC）废物包，甘肃龙和环保科技有限公司协助国电投核电（莱阳）核能有限公司开展处置实施方案编制和安全评估，经国家核安全局批准后实施。

表 4.6-1　单机组液态年设计排放量与控制值的比较

核素	GB 6249-2025 中规定的单机组排放量控制值(Bq/a)	单机组排放量计算值(Bq/a)
除氚和 C-14 外的其余核素	9.0E+09	2.06E+09
氚	7.5E+13	4.84E+13
C-14	1.5E+11	3.06E+10

4.7 非放射性废物处理系统

4.7.1 化学污染物

为满足莱阳核能项目的运行要求，不仅需对核电厂有关系统的用水作一些化学处理，而且核电厂产生的废水在处理过程中也需使用一些化学物质。

化学处理的主要方法是在系统中加入一定量的混凝剂、絮凝剂、杀菌剂、阻垢剂、还原剂、树脂再生用酸碱药剂、调节 pH 值用酸碱药剂、除氧药剂、污泥脱水用药剂等化学物质，以保证相关工艺系统的正常运行。这些化学物质的最终产物也将随着排水排入到环境中去。

本期工程释放到环境中的化学物质主要来源于海水淡化系统、除盐水处理系统、凝结水精处理系统、常规岛化学药剂供给系统、循环水加药系统、二类污染物废水处理系统、工业废水深度处理系统等。

4.7.1.1 海水淡化系统

海水淡化厂（布置于厂外）是莱阳核能项目的配套工程，用于将海水转化为淡水，提供核电厂运行期间循环水补水、除盐水、厂用水、生产水等水源。海水淡化厂系统工艺详见4.9节。

4.7.1.2 除盐水处理系统

除盐水处理系统的功能是处理来自淡水供应系统的水，为常规岛、核岛和BOP等项目提供符合水质和水量要求的除盐水，处理后的除盐水输送至除盐水储存和分配系统、凝结水精处理系统、凝结水系统、CVRF厂房。

除盐水处理系统采用一级除盐+混床的处理工艺。该系统中使用的化学物质是盐酸和氢氧化钠，主要用于树脂再生，其排放物为再生过程产生的酸碱废水，该废水中主要化学物质为NaCl，主要污染因子为pH和含盐量。酸碱废水经过曝气中和处理后pH=6~9，排入工业废水深度处理系统，废水中和池排放管设置pH计。

4.7.1.3 凝结水精处理系统

凝结水精处理系统在机组启停及异常运行期间能从凝结水中除去微量的离子态杂质和腐蚀产物，缩短机组启动时间，维持正常运行以及在凝汽器管材泄漏时确保在一定时间内有计划地停机。

凝结水精处理系统流程为：凝结水泵→前置阳床→树脂捕捉器→高速混床→树脂捕捉器→升压泵→凝结水系统。

该系统中使用的化学物质是盐酸和氢氧化钠，主要用于树脂再生，其排放物为再生过程产生的酸碱废水，该废水中主要化学物质为NaCl和NH_4Cl，主要污染因子为pH、氨氮、含盐量。废水收集在废水中和池，经过曝气中和处理后pH=6~9，废水中氨氮含量通常为500～1200mg/L，废水排入二类污染物废水处理系统进行氨氮处理，废水中和池排放管设置pH计。

4.7.1.4　常规岛化学药剂供给系统

常规岛化学药剂供给系统将所需的化学药品注入凝结水、给水、闭式水以及蒸汽发生器排污系统，维持系统的合适水化学工况，以使这些系统腐蚀和结垢倾向减至最低。

系统包括加pH调整剂加药装置一套，用于给水、凝结水、闭式水和湿保养期间的加药；联氨加药装置一套，用于给水、凝结水、闭式水和湿保养期间的加药。

运行期间，pH调整剂和联氨加入二回路系统后随着处理工艺消耗，凝结水精处理系统投运时，pH调整剂和联氨随凝结水精处理系统再生废水排出。

4.7.1.5　循环水加药系统

循环水加药系统在厂内循环冷却水系统中加入杀菌剂、稳定剂等药品，防止冷却水系统结垢和微生物生长，保证凝汽器和热交换器良好的传热性能。

该系统中使用的化学物质主要是次氯酸钠溶液、稳定剂，通过该系统进入厂内循环冷却水系统中，并随系统运行不断消耗。循环冷却水杀菌加药暂按间断加药方式设计，每天1～3次，宜控制凝汽器冷却水出口中余氯量为0.1～0.5mg/L。

循环冷却水排水（余氯量约为0.1～0.5mg/L）排至工业废水深度处理系统。

4.7.1.6　二类污染物废水处理系统

二类污染物废水处理系统主要处理凝结水精处理系统的再生废水、BDS(EDI)排水和辅助锅炉房排放水中的氨氮和磷。

二类污染物废水处理系统采用折点加氯处理工艺。该系统中使用的化学物质是盐酸、氢氧化钠、次氯酸钠、氯化钙，主要用于调节pH、去除废水中的氨氮及磷。

该废水中主要污染因子为pH、氨氮、磷、含盐量。次氯酸钠与氨氮反应生成氮气排放，余氯随工艺系统消耗，氯化钙与废水中磷反应成磷酸盐沉淀物外运。处理后的废水满足氨氮≤5mg/L，总磷≤0.5mg/L，中和后pH=6～9，废水排至非放射性生产废水系统，回收水池排放管设置pH计、氨氮、总磷、总氮监测仪表。

4.7.1.7　工业废水深度处理系统

工业废水深度处理系统处理核电厂内部分非放射性废水。工业废水深度处理系统处理的水源主要包括：高位集水冷却塔循环冷却水排水、核岛机械通风冷却塔循环冷却水排水、核岛侧工业废水、除盐水处理系统废水等系统排水。系统处理后的淡水回用至高位集水冷却塔循环水系统，废水则与核电厂内槽式排水废水混合后排放至厂外。

该系统中使用的化学物质有凝聚剂、助凝剂、阻垢剂、还原剂、盐酸、氢氧化钠、非氧化性杀菌剂、化学清洗药品，主要用于废水预处理的絮凝、阻垢过程，以及防止反渗透膜结垢。

预处理系统添加的凝聚剂拟采用氯化铁、助凝剂拟采用聚丙烯酰胺，主要随预处理反洗水排至预处理系统的污泥脱水设备，脱水后泥饼外运，上清液回用至系统进水口循环使用，不外排。

反渗透系统添加的阻垢剂推荐采用无磷阻垢剂，还原剂拟采用亚硫酸钠，主要随反渗透浓水排放至厂区总排放口。

超滤、反渗透化学清洗药品根据运行情况，可能添加柠檬酸、有机酸或盐酸，化学清洗废水收集至废水池与浓水混合，酸碱中和后排至厂区总排放口。

综上分析，工业废水深度处理系统的排水包括反渗透浓水和化学清洗废水，主要污染因子包括：pH、含盐量。废水池排放管设置pH计。

4.7.1.8　非放射性生产废水系统

非放射性生产废水系统根据来水水质情况分别进行收集。其中，来自主厂房含油废水坑的废水，变压器区域的含油废水，柴油贮存罐区域废水，以及核岛附属厂房、辅助厂房、柴油发电机房、BOP厂房的非放射性含油生产废水收集至含油废水调节池；二类污染物废水处理系统排水和二回路排水收集至排放监测水箱。上述废水皆为间歇性排放。

非放射性生产废水中含油废水经一座约800m^3 调节池收集后，排入4台15m^3/h油水分离器进行分离。分离后的污油收集后外运。清水先排入约150m^3 中间水池内，再经精滤器过滤后排入槽式排放监测水箱。潜在放射性非含油废水则不经处理（或简单处理）直接排入槽式排放监测水箱。

本工程共设3个1500m^3 的槽式排放监测水箱，当1个接收排放监测水箱接收废液时，另1个取样混合、取样分析、排放废液，还有1个备用。通常水箱内水质

取样检测结果达到排放标准后，由排水泵把取样合格的废水输送到排放总管，经连续剂量监测仪监测后排至排水混合池，与工业废水深度处理系统排水混合后通过排水泵升压，与液态流出物在母管混合后排出厂外至海水淡化厂，与部分海淡浓盐水共同排海。

4.7.1.9　硼酸的排放

本工程通过放射性废液精处理装置，采用组合膜工艺，对WLS处理后的反应堆冷却剂废液进一步处理，将硼与放射性核素进行分离，并对硼进行浓缩与回收，将回收的浓硼酸调配至满足复用要求后送往CVS的硼酸贮存箱。经WAS系统处理后，硼浓度小于170ppm，与工业废水深度处理系统、非放射性生产废水处理系统排水和部分浓盐水共同排海。

4.7.1.10　生物防治加药系统

生物防治加药系统（WES）向海水淡化取水加入非氧化性药剂，以抑制污损生物在冷源系统设施的生长；向厂用水系统（SWS）加入次氯酸钠、非氧化性杀菌剂、稳定剂等药品，以防止细菌滋生和固体物质的沉积及管道、设备腐蚀。向循环水系统（CWS）加入非氧化性药剂，以防止循环水系统设施滋生细菌。

药剂通过该系统进入相应的系统中，并随系统运行不断消耗。非氧化性药剂选用高效、低毒、广谱、pH值适用范围宽、与阻垢剂和缓蚀剂不相互干扰、易于降解、使生物粘泥易于剥离等性能。

此外，该系统向SWS系统中投加的化学物质还包括次氯酸钠溶液、稳定剂，通过该系统进入SWS系统中，并随系统运行不断消耗。

4.7.2　生活废物

核电厂产生的与放射性有关的固体生活废物均按放射性废物做专门处理，非放射性垃圾按生活垃圾处理规定分类收集处理。在核电厂非控制区及厂外附属、辅助区产生的非放射性固体生活垃圾按规定收集暂存并送到指定的垃圾场处理，参考国内其他核设施，运行期间生活垃圾产生量约 3.5 吨/天。

本项目运行期生活污水经生活污水处理设施预处理后，通过管道输送至团旺镇污水处理厂处理，不向周边环境排放。

4.7.3　其他废物

本项目一期工程运行期间产生一般工业固体废物及危险废物，其中危险废物主要包括废试剂、废油、废油漆、废涂料、废电池等。本项目一期工程拟建设一

般固体废物库和非放危险废物库，全厂共用。

非放危险废物库目前考虑布置在厂区化学品库东侧。非放危险废物贮存设施在厂区内建设，非放危险废物库的设计和建造按照 GB 18597-2023 的相关规定开展，其中包括：危险废物贮存于专用厂房内；各类危险废物分类存放并置于符合规定的容器内；厂房内加装排风机以保持厂房内通风良好，以减少挥发出的有害气体积聚；地面水泥硬化，并考虑防渗措施。

4.8 放射性物质厂内运输

运进核电厂的放射性物品有初级中子源组件和未经辐照的新燃料组件。为了安全运输初级中子源组件，应根据《密封放射源一般要求和分级》（GB 4075-2009）中的试验要求对密封中子源的试样进行试验，每项试验后应按《密封放射源的泄漏检验方法》（GB/T 15849-2025）的规定对试样进行泄漏试验。新燃料组件和初级中子源组件运输容器的设计、制造应能满足我国《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）的要求。

运出核电厂的放射性物品有两类，即乏燃料组件和放射性固体废物。

4.8.1 新燃料的转运

4.8.1.1 新燃料运输容器

新燃料组件存放在专用的新燃料组件运输容器内运输。新燃料运输容器用于保护新燃料组件，避免新燃料组件在正常运输或操作过程中受到振动和冲击而造成损坏；保证正常运输条件下对新燃料组件的屏蔽能力；保持新燃料组件在正常运输条件下的次临界状态；保持新燃料组件在运输事故条件下的次临界状态。新燃料运输容器基本结构为不锈钢上下外壳加铝合金内壳，附件包括减震器，聚氨酯泡沫填充等。新燃料运输容器可提供新燃料组件垂直装卸等功能，使新燃料组件在整个运输过程中便于实行由公路、铁路和海路分段运输之间的中转、转换等操作。

新燃料运输容器能够满足核材料国际运输管理导则的要求，并应满足《放射性物品运输安全许可管理办法》（HAF 701）、《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令 第 562 号）和《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）的规定。在正常运输工况和事故工况下（如火烧、跌落、水淹等），新燃料运输容器能够保证运输容器内燃料组件不发生散落。

4.8.1.2 新燃料的厂内运输

新燃料组件装在专用的新燃料运输容器内由专用运输车辆运至核岛辅助厂房内，根据程序进行检查确认、开箱等操作，最终将新燃料组件吊运并贮存在新燃料贮存格架中。

新燃料贮存格架的贮存容量或能力应能保证充分满足堆芯一次平衡换料所需的新燃料组件的数量。经检查合格的新燃料组件一次一个地吊运到新燃料贮存格架内，然后采用干法贮存。反应堆换料之前，用燃料抓取机（借助于新燃料组

件操作工具）将新燃料组件从新燃料贮存格架内吊至新燃料升降机，然后由新燃料升降机将新燃料组件转运至乏燃料水池底部，再用燃料抓取机（借助于乏燃料组件操作工具）将新燃料组件吊入乏燃料贮存格架内暂存，换料时通过辅助厂房的燃料运输设备将新燃料组件传送到反应堆厂房。

新燃料的接收操作在核岛辅助厂房的新燃料接收和检查区进行。

现场接收新燃料运输容器后，首先进行外部检查，并确认商标、标记以及安全铅封均完好。当容器打开后，检查安装在其内部的震动监视器，确认运输过程中的震动没有超过设计限值。

从运输容器中取出燃料组件时，借助于新燃料开箱操作台，检查其塑料包装，确认没有受损。然后，去掉包装材料，对整个新燃料组件进行目测检查。

根据设计的详细步骤，用燃料抓取机将新燃料组件逐一转运至新燃料贮存格架中或转运到新燃料升降机里，经升降机下降到乏燃料水池中，然后转运并存放在乏燃料贮存格架中，或转运至燃料运输设备的燃料篮内。

重复上述贮存操作过程，直至所有新燃料组件全部放入贮存格架内。

对于首炉新燃料的贮存，在新燃料到厂后，超过新燃料贮存格架的贮存容量的部分，可采用暂时贮存在乏燃料贮存格架内的方法。

4.8.1.3　新燃料的厂外运输

新燃料组件可以通过铁路、公路等不同的形式运至本核电厂现场，可选取“铁路+公路”联运的方案或“全程公路”运输的方案。目前国内大多数核电站新燃料均采用“全程公路”运输的方式进行运输，具有丰富的运输经验，为优先考虑方案。

“全程公路”运输方案采用公路用专用卡车运输，全程长约 1400km。可经由京藏高速、京新高速、京津高速、京沪高速、荣乌高速、长深高速、青新高速、威青高速等高速公路运往核电现场。

公路运输前需要预先与高速公路管理部门就有关限速等问题进行协调。

4.8.2　乏燃料的厂内运输

乏燃料的厂内运输包括从乏燃料组件装入乏燃料运输容器至厂外运输前的全过程。相关的操作工具和设备包括乏燃料运输容器吊车、燃料抓取机、乏燃料组件操作工具、容器专用运输卡车等。乏燃料组件装入专用的乏燃料运输容器中外运，对容器进行装载的操作以及容器的清洗、检查等操作分别在装料池和清洗

池内进行。装料池和清洗池为毗邻的两个水池，均位于辅助厂房内乏燃料水池旁。

乏燃料组件通常贮存在乏燃料水池中，直到裂变产物的活性降低到允许外运的程度。然后，将乏燃料组件装入到乏燃料运输容器中。

乏燃料组件在装入乏燃料运输容器的过程中，以及之前在水池内贮存和转移的过程中，其顶部均保持有足够的屏蔽水层。在装入乏燃料运输容器后，通过特殊设计的容器实现乏燃料组件的辐射屏蔽。因此，乏燃料组件厂内运输过程中的辐射影响是严格控制的，满足合理、可行、尽量低的原则。

乏燃料运输容器装料操作的典型步骤如下：

1） 装料池已经充满了水，且装料池和乏燃料水池之间的水闸门已经打开。

2） 将乏燃料运输容器运到清洗池，用去离子水洗净。卸掉容器外盖，给容器充水排气。

3） 将乏燃料运输容器吊运至充满水的装料池中，先在中转平台换钩再下放到装料池底部，卸掉容器内盖。

4） 连接乏燃料组件操作工具的燃料抓取机定位在待外运的乏燃料组件上方。

5） 提起燃料组件，经水闸门转运至装料池，将其装进已经就位的乏燃料运输容器内。在燃料组件转运的过程中，需保持燃料组件活性区顶部有足够的屏蔽水层。

6） 重复上述两步步骤直至装满乏燃料运输容器，将运输容器内盖重新安装到运输容器上。

7） 将乏燃料运输容器转移到清洗池，进行内盖密封，充气排水、干燥、充氦气和外表面冲洗等处理措施，安装外盖并确认容器表面剂量率满足限值后，才能将容器提升出清洗池。

4.8.3 放射性固体废物的转运

4.8.3.1 放射性固体废物的厂内转运

核岛无法直接处理的各类放射性废物，将根据其废物类型，采用适宜的运输形式，转运至废物减容处理中心（CVRF）进行处理。废物类型主要包括废树脂、水过滤器滤芯、化学废液及其他废物。

放射性各类废物转运至CVRF后，通过对应的处理工艺，最终以200L钢桶和混凝土HIC的包装形式在废物暂存库内进行中间贮存，暂存期间废物桶外不另设

屏蔽外包装，在外运送至最终处置场时再根据废物表面剂量水平加装外屏蔽桶。

废物暂存库按照废物放射性水平分区存放。废物暂存库具有暂存全厂址5年内产生的放射性废物的能力。电厂处理产生的最终废物包装体符合GB 9132-2018《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》。这些废物桶最终将运至国家区域处置场作最终处置。

废物暂存库内废物经过5年暂存后，最终根据我国低、中放废物近地表处置场规划，由转运卡车运至相应国家区域处置场设施进行集中处置。整个废物转运过程遵照GB 11806-2019《放射性物品安全运输规程》执行，保证转运工作人员的安全，并尽量避免核废物运输对公众的影响。

4.8.3.2　放射性固体废物的厂外运输

电厂采用 200L 钢桶和混凝土 HIC 作为废物中间贮存包装容器，废物包自废物暂存库送出厂外进行运输时，对于表面剂量率小于等于 2mSv/h 的废物包，可直接通过转运车辆运输，对于表面剂量率大于 2mSv/h 的废物包，则在外加屏蔽体后通过转运车辆运输。在运输过程中将严格遵守 GB11806-2019《放射性物品安全运输规程》中的有关要求，防止事故发生，确保运输人员和沿途公众接收的辐照控制在合理可行尽量低的水平，维护其安全和健康。

放射性废物运输的起点为本电厂废物减容处理中心（CVRF）内的废物暂存库，运输终点为规划中的低、中放固体废物区域处置场。废物的厂外运输可通过铁路、公路、船舶进行运输，运输时应符合安全运输规定的要求。

4.9 海水淡化厂

4.9.1 概述

海水淡化厂是山东莱阳核电项目的配套工程，为核电厂供应生产运行所需的淡水。本项目规划建设58.8万t/d（一、二级反渗透联合出力）海水淡化厂，一期建设19.6万t/d，二期建设39.2万t/d。

4.9.2 建设地点

海水淡化厂拟建设在丁字湾湾顶区域北侧岸边。

4.9.3 主要设施

厂内主要建筑物有海水取水泵房、电解海水制氯厂房、脱水机及预处理加药楼、排水混合池、排水泵房、气浮池厂房、V型滤池、风机及清水泵房、海水淡化厂房、淡水综合水泵房、淡水蓄水池、110kV海淡降压变、110kV屋内GIS及网络继电器、综合楼、生活污水处理站、环境监测站、短明渠等。

4.9.4 工艺设计

本项目海水淡化工艺拟采用反渗透膜法方案。

本项目核电厂冷却水补水及厂内用淡水水源采用海水淡化系统产水。海水淡化出水进行加碱调质处理。海水经过取水头和引水管引入取水泵房前池，海水经海水取水泵站加压后，进入预处理工艺，主要预处理工艺包括气浮池+V型滤池装置+双介质过滤器系统。脱盐工艺分为海水反渗透和淡水反渗透，为满足膜系统运行水温要求，本项目在海水反渗透之前设置海水加热系统。海水淡化系统产水采用55%淡水反渗透产水和45%海水反渗透产水混合淡水，作为核电厂淡水水源。蓄水池内的淡化水经过升压泵加压后通过陆域管道送至主体工程厂区，另外有少部分淡化水供厂区生产使用。

4.9.5 主要化学药剂

主要药剂有次氯酸钠、絮凝剂、助凝剂、盐酸、氢氧化钠、还原剂、阻垢剂等。

4.9.6 废水处理工艺和污染物排放情况

厂外海水淡化厂有海淡浓盐水、生活污水、含油废水，具体如下：

1）海淡浓盐水

海水淡化厂建设在丁字湾湾顶区域北侧岸边。系统产生的外排水主要为反渗透浓盐水和化学清洗废水，化学清洗废水经中和处理后pH=6～9排放，系统废水

量最大约每年$5.7\times10^7m^3$。

2）生活污水

海淡厂生活污水主要来自综合楼、海淡厂房等各建筑的卫生间污水及洗涤污水，污水收集至生活污水处理站，经处理达标后回用于厂区绿地和道路浇洒，不外排。

3）含油废水

海淡厂变压器区域设事故油池1座，事故水池1座，用于贮存变压器事故排油。事故排油由专业机构外运处理。

海水淡化系统的废水处理工艺为化学清洗废水pH调节，化学清洗废水在废水中和池中将pH调节至6~9后再输送至排水混合井，与反渗透浓盐水共同排海。

海水淡化系统外排水的主要污染因子为pH、温升和含盐量。

对于pH，《流域水污染物综合排放标准　第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2025）中一级标准对pH的要求为6~9（其他排污单位），本项目所排放浓盐水满足pH相关标准要求。

对于温升，《流域水污染物综合排放标准 第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2025）中无相关限值要求。海水淡化系统仅冬季需要对海水进行加热，浓盐水温升不超过2℃，其他季节无温升。

对于含盐量，根据《流域水污染物综合排放标准 第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2025）中5.2.5条：“污水通过入海排污口或位于感潮河段的入河排污口排放的，不对其全盐量及硫酸盐进行控制”。因此，海水淡化浓盐水不对全盐量及硫酸盐进行控制。

第五章　核电厂施工建设过程的环境影响

5.1　土地利用

5.1.1　项目用地概况

山东莱阳核电项目拟规划建设6台国和一号核电机组，一次规划，分期实施，一期工程建设2台国和一号核电机组。

5.1.1.1　用地概况

本工程拟用地总规模189.8724hm^2（不包括国和技术交流中心、大件码头、气象站等），全部为新申请用地。上述用地皆为永久性占地。

厂址用地涉及基本农田。项目建设符合国家产业政策和国家土地供应政策，烟台市和莱阳市国土空间规划已将本项目列入重点建设项目安排表。本项目已于2023年9月取得自然资源部发布的用地预审意见（自然资办函〔2023〕1903号），自然资源部办公厅已同意本项目用地预审与选址。

因此，本项目用地符合国家和地方土地利用计划和政策。

5.1.1.2　土石方平衡

综合考虑分期征用地要求、地质条件、防洪安全和土石方平衡等因素，一期工程厂区竖向设计拟采用平坡式布置，与核安全有关的区域室外地坪设计标高为36.0m，其他区域室外地坪设计标高适当降低，为35.5~36.0m。

本期工程土石方工程量基本平衡。

5.1.1.3　施工场地规划

一期工程施工时，厂区内预留场地作为施工设施用地，主要用于建设力能区供热站、变电站、供水站，重件道路、模块拼装场地、混凝土搅拌站和安全壳拼装场地等。其他施工临建设施由地方承建，建设单位租用。

5.1.2　施工活动对环境的影响

本节将对本项目施工活动期间的环境影响进行分析。

5.1.2.1　社会环境及环境敏感区域影响

本项目的建设将永久占用土地。

本项目建设期间需要大量的项目施工人员，大量外来施工人员将进驻施工现场，并在该地区居住和生活，这将增加该地区的生产和消费能力，增加当地居民的就业机会，一定程度上将促进该地区经济的发展。与此同时对当地居民的物价指数可能会带来一定影响。综上，本项目陆域施工活动预计不会对附近居民的生

产、生活带来不可接受的影响。

厂区附近存在 1 处历史古迹以及 1 处旅游景区，分别为前河前村南的前河前墓群（位于厂址 NE 方位约 3.3km 处）以及濯村特色农业旅游区（位于厂址 NNE 方位约 5.7km 处）。本项目距离上述历史古迹与旅游景区较远，不会产生不可接受的影响。

厂址取排水管线部分穿越生态保护红线。取水口和海水淡化厂排水口位于生态保护红线内，液态流出物排水口不在生态保护红线内。

5.1.2.2　大气环境影响

本项目建设将永久占用土地，核电厂场地的开挖和填充，以及核电厂建构筑物的建设，将改变当地的局部地形和下垫面粗糙度，但与当地的地形相比，不足以影响厂址边界以外的大气环境。

土石方项目施工过程中，由于爆破、开挖、填充、砂石搅拌、道路的修建、渣土的堆放以及车辆运输会造成施工区域扬尘，大气中粉尘含量增高。

此外，喷砂、油漆、切割、焊接等工序也会产生大气污染物，主要情况如下：喷砂利用压缩空气将磨料高速喷射到工件表面，以去除杂质、氧化皮等，提高工件表面粗糙度和附着力，该工艺会产生含尘废气，粉尘主要成分为金属氧化物、砂粒等。喷砂工艺与油漆、烘干工艺在同一车间内实施。油漆作业会产生一定的 VOCs，主要来源于油漆的调配、涂装、干燥作业，预计施工期产生量约 26 吨。切割主要产生金属粉尘。焊接工艺产生焊接烟尘，其成分包含金属氧化物、氟化物等。

混凝土链（主要为混凝土搅拌站、砂石料加工厂、砂石厂料仓、中转待检仓、成品骨料仓、综合办公楼及土建试验检测楼等）总占地面积约5.4万平方米。混凝土搅拌站区域规划建设6条单盘容量3m^3 生产线，每台机组的理论生产率180m^3 /h。砂石料加工厂区域规划建设1条产能≥250吨/小时的砂石生产线，采用“干制法”工艺。一期工程混凝土总量约100万方，共需成品砂石料约190万吨，全周期固废量约53万吨，拟招采有处理资格的承包商外运出现场，砂石生产周期约60个月，全周期混凝土单次浇筑最大方量约1.5万方。施工高峰期，年度最大混凝土生产量约40万方，年度最大砂石生产量约80万吨。混凝土链作业过程中，因原料运输、装卸料、混合搅拌、罐车运输过程中会造成作业区域扬尘，大气中粉尘含量增高。

施工期拟采用外部热源，不产生大气污染物，不会对大气环境产生影响。

施工过程中产生的粉尘对大气环境的影响是局部的和暂时的。在采取必要的防护措施后即可降低粉尘的影响。施工过后，当地的大气环境质量将很快得以恢复。

采用类比分析法，预测厂区无组织废气排放的影响：

采用广东廉江核电项目一期工程进行类比，本项目建设的国和一号机组与广东廉江核电项目一期工程所建机组属于同类型机组，工程组成、建设工序、施工机械、施工方式等方面具有相似性，因此本工程以广东廉江核电项目一期工程施工期环境监测结果开展类比分析是合理的。

1）工程场地平整阶段

广东廉江核电项目一期工程FCD时间为2023年9月，FCD前主要开展工程场平工作，本项目一期工程于2022年第四季度至2023年第三季度开展了施工期环境监测，监测点位覆盖厂址主厂区、施工临建区边界、主导风向上风向及下风向范围，布设上风向参照点位1个，下风向监控点位4个，共计5个厂界无组织废气监测点位。根据《广东廉江核电项目一期工程厂址陆域施工期环境监测报告》，厂区无组织废气排放监测结果如下：

（1）2022年第四季度厂区无组织废气排放中SO_2、NO_x小时值的最大浓度分别为0.028mg/m^3、0.059mg/m^3，均符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值要求；TSP小时值的最大浓度为2.72mg/m^3，不符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值的要求；TSP超标原因主要为施工作业密集，经合理安排施工时序，TSP浓度可得到有效控制。

（2）2023年第一季度厂区无组织废气排放中SO_2、NO_x小时值的最大浓度分别为0.030mg/m^3、0.053mg/m^3，TSP小时值的最大浓度为0.717mg/m^3，均符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值的要求；

（3）2023年第二季度厂区无组织废气排放中SO_2、NO_x小时值的最大浓度分别为0.030mg/m^3、0.055mg/m^3，TSP小时值的最大浓度为0.703mg/m^3，均符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值的要求；

（4）2023年第三季度厂区无组织废气排放中SO_2、NO_x小时值的最大浓度分别为0.028mg/m^3、0.051mg/m^3，TSP小时值的最大浓度为0.588mg/m^3，均符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值的要求。

2）主体工程施工阶段

广东廉江核电项目一期工程FCD时间为2023年9月，FCD后主要开展主体工程施工工作，广东廉江核电项目一期工程于2023年第四季度至2025年第一季度开展了施工期环境监测，根据《广东廉江核电项目一期工程厂址陆域施工期环境监测报告》，厂区无组织废气排放监测结果如下：

（1）2023年第四季度厂区无组织废气排放中SO_2、NO_x小时值的最大浓度分别为0.028mg/m^3、0.051mg/m^3，TSP小时值的最大浓度为0.375mg/m^3，均符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值的要求。

（2）2024年第一季度厂区无组织废气排放中SO_2、NO_x小时值的最大浓度分别为0.031mg/m^3、0.054mg/m^3，TSP小时值的最大浓度为0.378mg/m^3，均符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值的要求。

（3）2024年第二季度厂区无组织废气排放中SO_2、NO_x小时值的最大浓度分别为0.030mg/m^3、0.055mg/m^3，TSP小时值的最大浓度为0.580mg/m^3，均符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值的要求。

（4）2024年第三季度厂区无组织废气排放中SO_2、NO_x小时值的最大浓度分别为0.032mg/m^3、0.055mg/m^3，TSP小时值的最大浓度为0.688mg/m^3，均符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值的要求。

（5）2024年第四季度厂区无组织废气排放中SO_2、NO_x小时值的最大浓度分别为<0.007mg/m^3、0.055mg/m^3，TSP小时值的最大浓度为0.129mg/m^3，均符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值的要求。

（6）2025年第一季度厂区无组织废气排放中SO_2、NO_x小时值的最大浓度分别为0.009mg/m^3、0.043mg/m^3，TSP小时值的最大浓度为0.123mg/m^3，均符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值的要求。

2024 年 11 月在喷漆工序废气排放口检测苯、甲苯、二甲苯、VOCs 和非甲烷总烃的排放浓度分别为未检出、未检出、0.05mg/m^3、0.33mg/m^3 和 1.69mg/m^3。在抛丸工序废气排放口检测颗粒物和VOCs的排放浓度为<20mg/m^{3}和1.4mg/m^3，均满足《挥发性有机物排放标准 第 7 部分：其他行业》（DB37/2801.7-2019）表

1 中非重点行业排放限值要求（VOCs）和《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）新污染源大气污染物最高允许排放浓度（颗粒物）。

2025 年 4 月在喷漆工序废气排放口处对废气进行监测，苯、甲苯、二甲苯、VOCs 和非甲烷总烃的排放浓度分别为未检出、0.01mg/m^3、0.38mg/m^3、15.6mg/m^{3}和 1.66mg/m^3。在喷砂工序废气排放口检测颗粒物和 VOCs 的排放浓度为<20mg/m^3 和 0.5mg/m^3，均满足《挥发性有机物排放标准 第 7 部分：其他行业》（DB37/2801.7-2019）表 1 中非重点行业排放限值要求（VOCs）和《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）新污染源大气污染物最高允许排放浓度（颗粒物）。

本项目厂区无组织废气的排放情况与施工方施工工艺与施工管理方式密切相关。本项目将严格遵循施工管理的有关要求，加强施工管理，尽可能减少厂区无组织废气的排放。在满足以上条件的情况下，预计厂区无组织废气排放能满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值的要求和《挥发性有机物排放标准 第7部分：其他行业》（DB37/2801.7-2019）表2排放限值要求。

本项目施工期喷砂油漆车间排气筒处颗粒物浓度执行《区域性大气污染物综合排放标准》（DB37/2376-2019）中重点控制区标准，相对于广东廉江核电项目一期工程执行的《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）新污染源大气污染物最高允许排放浓度更加严格，因此需采取环保施工工艺并严格落实环保措施要求。在满足以上条件的情况下，预计施工期喷砂油漆车间排气筒处的大气污染物排放可满足《挥发性有机物排放标准 第7部分：其他行业》（DB37/2801.7-2019）表1中非重点行业排放限值要求和《区域性大气污染物综合排放标准》（DB37/2376-2019）中重点控制区标准要求。

距本项目厂址最近的居民点是位于厂址SSE方位1.4km的西马家泊村以及位于厂址W~WNW方位1.4~1.8km的东中荆西村、东中荆东村。由于西马家泊村、东中荆西村与东中荆东村距离厂址边界较远，在有效落实各项施工期大气环境控制措施的基础上，预计施工期厂址周边的环境敏感目标可满足《环境空气质量标准》（GB3095-2026）的二级标准。

5.1.2.3　水环境影响

本项目建设期间对地表水环境（厂区附近水体）的影响主要来自于施工期间

土石方和建筑材料的流失，生产废水和生活污水不向厂址周边水环境排放，对海洋环境（受纳水体）的影响主要来自于施工期间取排水构筑物的施工影响（详见5.2.2.1 节描述）。

1）土石方和建筑材料的流失

项目施工期间，由于外界条件（如大风、降水等）的作用，可能造成开挖的土石方和堆放的建筑材料随风或水扩散，其中部分可能落入厂址附近的水体，可能导致厂址附近水体的地表水含沙量和浊度的增加。

厂区第四系松散岩类孔隙水主要接受大气降水、地表水体及基岩裂隙水的侧向径流的补给，排泄方式主要为蒸发、垂直向补给基岩裂隙水和侧向补给河流，最终由五龙河汇入丁字湾排入黄海。基岩裂隙水主要接受大气降水、地表水和浅部第四系松散岩类孔隙水的补给，在地势低洼处或冲沟处溢出地表或通过人工开采的方式人工排泄。地下水的径流、排泄速度受节理裂隙的连通性、地形坡度所控制。当场地开挖整平后，较高部位的含水层将被挖除；厂坪标高以下的强风化岩体、节理裂隙和低洼地段的第四系地层还赋存有地下水；由于厂区地势较高，地下水径流方向基本仍受原地形控制，总体上自高处向低处流动，最终均汇入五龙河，同时考虑到厂址区基岩的透水性和连通性较差，由此可判断，工程建设不会改变地下水的补径排条件。

2）生产废水和生活污水

本项目施工期间产生的污水主要包括生活污水、施工废水以及调试期废水。

（1）生活污水

本项目施工期生活污水经预处理后，通过管道输送至团旺镇污水处理厂处理，不向周边环境释放。在生活污水管道建成前（涉及施工期部分时段），产生的生活污水由各施工单位自行收集，定期通过有资质的第三方单位外运至当地污水处理厂处理。

（2）生产废水

施工期生产废水主要包括场地冲洗废水、混凝土拌合废水、砂石料冲洗及设备清洗废水，污染物以悬浮物为主。施工场区设置临时沉淀池，生产废水统一收集、沉淀处理，上清液回用于场地洒水抑尘、施工养护等工序。沉淀池沉积污泥定期清淤，污泥经干化晾晒后，统一收集、集中堆存，最终合规清运处置，严禁随意倾倒。

（3）调试废水

参考同类核电项目，调试期未加药废水与加药废水的产生情况预计如下：

主厂区调试期未加药废水主要包括核岛一回路联合冲洗、流道试验废水、二回路冷态联合冲洗废水、设备检修需排放的未加药废水等。涉及的污染因子主要包含悬浮物。调试期加药废水包含系统维护保养的加药废水、SG 冲洗及水压试验、热试结束后一回路加药废水、二回路热态冲洗等。其中，维护保养的加药废水主要为 SGS 系统湿保养，二回路热态冲洗的凝结水热态冲洗期间的冲洗水水源为 DWS 或 DTS 除盐水（冲洗过程中向凝结水添加联氨（或氨水）以维持凝结水碱性还原性条件），主给水热态冲洗期间的冲洗水水源为 CDS 凝结水（冲洗过程中向主给水添加联氨（或氨水）以维持主给水碱性还原性条件）。

针对未加药的调试冲洗水先排入槽式排放厂房检测 pH、SS、COD、氨氮、总磷、油类等指标，不合格的排放至二类污染物处理厂房进行处理后重新排放至槽式厂房，再次检测合格后排放。针对有加药后排放废水的系统，加药废水先排入槽式排放厂房化验，检测 pH、SS、COD、氨氮、总磷、油类等指标，pH 不合格废水排至中和池中和后重新排放至槽式厂房，其余指标不合格废水输送至二类污染物处理厂房处理后重新排放至槽式厂房，检测达标后排放。

本项目调试期加药、非加药废水总量预计约 32 万 m^3（陆域取排水管线打压冲洗废水单列，详见 5.1.2.9 节）。

施工期间产生的水土流失会对当地水环境造成临时性影响。对此，在采取合理有效的预防措施后，水土流失的影响能降到最低程度。随着施工的结束，水环境质量将得到恢复。

5.1.2.4　噪声影响

1）施工期施工机械噪声影响分析

本项目建设期间的主要噪声污染源为不同施工阶段所使用的各类施工机械设备运行噪声、混凝土链噪声（砂石料加工、混凝搅拌生产等）和运输车辆的交通噪声，主要施工作业尽量安排在昼间完成，部分施工作业涉及夜间施工。土石方项目施工期间的开挖爆破所产生的噪声对厂址周围的声环境将产生较大的影响。但由于爆破施工是阶段性的，集中在施工初期，且避免夜间高噪声施工，其影响时间短，属于暂时性影响，且影响范围有限。施工期噪声影响将在电厂施工完成后不复存在。

采用广东廉江核电项目一期工程进行类比，本项目建设的国和一号机组与广东廉江核电项目一期工程所建机组属于同类型机组，工程组成、建设工序、施工机械、施工方式等方面具有相似性。广东廉江核电项目一期工程施工期（2022~2024 年，含昼间和夜间施工）场界噪声监测结果如下：监测开展期间，主厂区场界昼间噪声最大监测值范围为 48~67dB(A)，夜间噪声最大监测值范围为 39~54dB(A)，均满足《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）场界环境噪声限值（昼间 70dB(A)，夜间 55dB(A)）要求。

因此，通过采取对噪声污染的控制措施（选用低噪声的施工机械、合理安排施工进度和时间、避免夜间高噪声施工等），预计本项目施工场界的昼间和夜间噪声影响能满足《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）场界环境噪声限值的要求。

距本项目厂址最近的居民点是位于厂址 SSE 方位 1.4km 的西马家泊村以及位于厂址 W~WNW 方位 1.4~1.8km 的东中荆西村、东中荆东村。由于西马家泊村、东中荆西村与东中荆东村距离厂址边界较远，因此预计本项目昼间和夜间施工期产生的噪声对周围环境敏感点的影响可接受。

2）施工期交通噪声影响分析

运送材料的汽车等运行噪声为随机移动声源，施工期大型运输设备正常行驶时噪声最大可达 80dB(A)，鸣笛时可达 85dB(A)。由于是间断运输，对交通噪声贡献量较小，途经居民点等敏感区域时限速行驶，无特殊或紧急情况时禁止鸣笛。

5.1.2.5　固体废物影响

1）工业固废

本项目施工期一般工业固体废物产生量约 365460t（包含混凝土链产生的废弃砂石、废渣；钢筋及钢结构产生的废钢筋、废金属边角料、设备及管道安装产生的废弃管材废保温材料、废木材等）。

2）生活垃圾

本项目施工期生活垃圾产生量预计 6435t。

3）建筑垃圾

本项目建筑垃圾产生量预计约 70000m^3/年（包含土石方开挖产生的工程渣土、主体结构施工产生的废弃混凝土块、废钢筋模板及临时设施拆除产生的混合废弃物等）。海工取排水工程开挖弃土量约 20 万 m^3。

4）危险废物

危险废物：本项目施工期间，危险废物来源主要为建安及调试阶段管道/地面油漆、射线检测、渗漏检测、危化品过期报废、管道冲洗、实验产生的废液等。参照同类型项目危废产生数据，预估本项目不同种类危险废物产生量如下：废油漆桶及渗透剂罐 180t、废显影液定影剂 10t、实验室废液 2t、废油漆 27t、废柴油 3t、液态过期报废化学品 20t、废弃离子交换树脂 50t、废矿物油及废弃包装物 40t、管道系统及金属表面酸洗、除锈等产生的废酸液 300t，其他危险废物 10t。

本项目危险废物统一分类收集、规范贮存、台账管理。施工期危险废物全部委托具备危废经营资质、持有危废经营许可证的专业处置单位定期转运、合规处置，严格执行危废转移联单制度，全程可追溯、可监管。

5.1.2.6　生态环境影响

本项目施工期间将在建设规划区内占用土地，其表土和植被需要剥离，这将影响建设规划区内植物资源量和动物的生存环境。

本项目厂址区域范围内，通过实地调查未发现国家Ⅰ级重点保护动物，调查到 1 种国家Ⅱ级重点保护动物红隼，其分布比较广泛，且活动范围大，周围具有广阔的替代生境，小面积的环境变化，不会对其生存和发展带来明显影响。还有 6 种山东省重点保护动物，皆为分布广泛，数量较大，对环境适应能力较强的物种。

本项目取排水管线区域施工期较短，影响范围有限，施工期结束后生态环境会较快恢复，预计不会对生态环境造成影响。

总体而言，本项目的建设不会对当地的陆生生态环境与保护性动物造成不良影响。

5.1.2.7　地形地貌和水土流失影响

本项目建设将永久占用土地，核电厂场地的开挖和填充，以及核电厂建构筑物的建设，将改变当地局部的地形地貌。

水土流失主要发生在施工期。期间，将有开挖和填筑裸露面产生，裸露面表层结构疏松，植被覆盖度较低，使区域内土壤抗侵蚀能力下降；同时，大量土石方的搬运和堆置，也将造成项目区及其附近施工区域的局部水土流失加剧。

本项目不涉及水土流失严重、生态脆弱的区域，不涉及国家级水土流失重点防治区，但涉及山东省昆嵛山省级水土流失重点治理区，通过提高防治标准值和

工程防护等级，优化施工工艺，减少扰动和植被损坏范围，加强补偿措施，补充完善主体工程措施。工程占地、土石方调配，施工组织、施工工艺基本合理。在此基础上，符合水土保持要求，项目建设可行。本项目的水土保持方案已于 2023 年 10 月 10 日获水利部行政许可（水许可决〔2023〕48 号）。

项目施工结束后，因施工引起水土流失的各项因素逐渐消失，地表扰动也基本停止，施工区域的水土流失将明显减少。

5.1.2.8　第一进厂道路与第二进厂道路建设影响

本项目施工期涉及厂外道路的建设，主要为第一进厂道路与第二进厂道路，其中，本工程的第一进厂道路，位于厂区西侧，规划起点位于核电厂西侧边界，西衔接省道 S209；新建道路长度约 1.101km。第二进厂道路，位于厂区南侧，规划起点位于核电厂南侧边界，向南衔接乡道 Y025，新建道路长度约 0.759km。

第一进厂道路与第二进厂道路均不涉及穿越居民点。

1）环境空气影响分析

施工过程中大气污染物主要有挖掘、填筑、搅拌、装卸等产生的扬尘，沥青加热产生的油气，施工机械产生的尾气。鉴于施工道路距周边的居民点距离较远，且施工过程中产生的扬尘、油气、尾气对大气环境的影响是局部的和暂时的。通过对扬尘采取洒水和避免大风天气作业，沥青混合料拌和作业远离居民区，尽量避免使用尾气污染严重的机械施工，同时注意施工安排，可有效降低对大气环境的影响。施工过后，当地的大气环境质量将很快得以恢复。

2）水环境影响分析

施工过程中产生的施工废水均外运处理。施工人员产生的生活污水收集后，定期由有资质的第三方清运单位安排运输车辆外运至当地污水处理厂处理，上述产生的废水均不外排。

针对道路施工期间的水土流失，通过对施工用的材料妥善保管，避免洒落及雨水冲失，尽量避免破坏原有植被，路线外围遭破坏的植被应在施工完毕后尽快全面恢复，水土流失的影响能降到最低程度。

3）声环境影响分析

施工期间噪声污染源为挖掘、搅拌及施工机械运作、打桩、钢筋切割等施工噪声以及运输车辆的交通噪声。上述噪声的产生均为间断且不连续的，通过合理安排施工进度和时间，选用低噪声的施工机械，居民区附近尽量避免夜间施工，

并做好跟当地居民沟通工作，第一进厂道路与第二进厂道路施工期间产生的噪声影响是可接受的。

通过上述分析可知，在做好环保措施的基础上，厂外道路施工对环境的影响是可接受的。

5.1.2.9　陆域取排水管线建设影响

陆域取排水管线全域在烟台市莱阳市境内，由西北向东南布置。出厂址取排水管线并排布置，向东南穿越五龙河至胡城村南，向东南穿过威青高速至海边，全长约 22.2km。

取排水管线建设过程中涉及施工作业带清理、管沟开挖和回填、管道穿越、防腐及铺设的施工作业，以及施工便道、防渗监控等辅助配套项目。

取排水管线涉及穿越的陆域环境敏感区域情况如下：

- 取排水管线路由不涉及穿越居民区。
- 根据《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》，厂址陆域取排水管线部分穿越陆域生态保护红线（五龙河），穿越距离约 127m。
- 根据《烟台市“三线一单”生态环境分区管控方案》（烟政发〔2021〕7 号）及其 2024 年动态更新成果，厂址陆域取排水管线位于一般管控单元内，不涉及优先保护单元和重点管控单元。
- 根据《烟台市国土空间总体规划（2021-2035 年）》和《青岛市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，厂址取排水管线区域涉及基本农田保护区。
- 厂址陆域取排水管线沿程周边存在集中式和分散式饮用水水源保护区水井，距取排水管线最近的水井距离约 300m。

针对上述陆域取排水管线穿越的环境敏感点，取排水管线施工期间的环境影响分析如下：

1）取排水管线建设对周边居民的环境影响

取排水管线路由不涉及穿越居民区。

（1）大气环境影响分析

根据《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996），本项目颗粒物无组织排放按照 1.0mg/m^3 作为排放标准。

取排水管线施工对环境空气的影响，主要为施工过程中产生的扬尘及施工机械、车辆排放的废气。

施工扬尘主要来自施工场地平整、土方的开挖、堆放、回填，施工建筑材料的装卸、运输、堆放等及施工车辆运输。通过类比调查，同类管道施工区域下风向 50m 处的 TSP 浓度仅为 0.722mg/m^3，低于 1.0mg/m^3，符合要求。管线距离最近的居民点约 50m。因此，管线施工产生的扬尘对周围居民点的环境空气影响是可接受的。

施工废气主要来自施工机械驱动设备排放的废气、运输车辆的尾气、焊接工序产生的焊接烟尘和管线热熔工艺产生的 VOCs。

对于机械废气，管道工程一般分段施工，施工机械及车辆排放的废气较分散，排放量相对较少，时间较短，对区域环境空气影响较小。

对于焊接工艺产生的烟尘和热熔工艺产生的 VOCs，因焊接和热熔工序是随着管道的敷设情况分段进行，因此属于流动源且为间歇短暂性排放，随着焊接和热熔工作的结束而结束。而且焊接和热熔工序为野外露天工作，污染物扩散条件好，对周围环境影响较小。

综上分析，在做好防尘措施、加强施工管理、合理调度运输车辆等的基础上，取排水管线施工对附近居民点的环境空气影响是可接受的。

（2）声环境影响分析

根据《关于山东莱阳核能项目环境影响评价执行标准的复函》，本项目施工期间建筑施工场界噪声执行《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）的相应标准，即昼间 70dB（A）、夜间 55dB（A）。

取排水管道路由施工过程中的声环境敏感目标主要是管道沿线附近的居民点。

施工期对声环境的影响主要是由施工机械、车辆造成的。目前，管道建设施工中使用的机械、设备和运输车辆主要包括挖掘机、推土机、轮式装载车、吊管机、各类电焊机及柴油发电机等。

通过类比同类管道工程施工过程中对施工机械、设备等的噪声值实测结果。将各种施工机械等近似为点声源，仅考虑距离衰减进行计算，可得到施工期各种机械等在不同距离处的噪声贡献值。

取排水管线施工一般在白天开展，昼间，距离主要机械施工点距离大于 50m 区域，噪声值满足《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）的相应标准。

由于各段管线施工周期较短，因此影响时间较短，结合声环境防护措施：采用低噪声工程设备、禁止距离村庄附近的区域夜间高噪声施工、做好施工期噪声监督、合理安排施工时间，并加强与当地居民的沟通工作后，取排水管线施工的声环境影响是可以接受的。

（3）固体废物环境影响分析

取排水管线陆域施工期间产生的固体废物主要包括施工废料、危险废物以及生活垃圾。

施工废料：主要包括木料碎块、废铁、废钢筋等，产生的施工废料通过分类收集、回收利用，剩余废料交由工业废物回收单位处置。

危险废物：管道施工过程中防腐会产生少量废弃防腐材料，收集后交由有资质单位处理。

生活垃圾：管线施工期间，施工人员产生的生活垃圾经分类收集后，由具有资质的第三方单位统一清运、处置。

取排水管线陆域施工期废弃防腐材料收集后交由有资质单位处理；施工人员吃住依托当地的旅馆、饭店或民居，其生活垃圾由具有资质的第三方单位进行统一收集、排入生活垃圾清运系统。采取上述措施后，取排水管线陆域施工期产生的固体废物对周边居民无影响。

（4）水环境影响分析

本项目陆域取排水管线施工期产生的施工废水全部收集处理，处理后上清液回用于场地抑尘、厂区绿化、施工养护等；沉淀池淤泥干化后委托当地具备资质的单位定期外运处置，建立转运台账，确保全部合规处置。

陆域取排水管线打压冲洗废水预计产生 30 万 m^3（水源为海水淡化水），待海水淡化投用后，利用海淡提升泵冲洗，在管线厂区端制作一组 U 型管，将取水管道联通进行闭环冲洗，冲洗水回至海淡区域，排至海水淡化预处理系统进行处理。排水管利用取水管进行冲洗，同样排至海水淡化预处理系统。综上，陆域取排水管线打压冲洗废水不外排。

2）取排水管线建设对穿越的陆域生态红线的环境影响

厂址陆域取排水管线部分穿越生态保护红线（五龙河），建设单位已开展厂址取排水方案的生态红线不可避让论证工作，并取得了山东省政府的支持性意见（省政府便函〔2023〕76 号）。

取排水管道采用顶管的方式穿越陆域生态保护红线（五龙河），不涉及施工爆破。顶管法属于非开挖敷设方式，具有对周围环境影响较小，施工场地小的特点，且穿越深度在五龙河河底以下，施工时工作坑、接收坑、机械等均布置在生态红线区外，不占用河道断面，不会对五龙河产生扰动。

因此，取排水陆域管线穿越段的施工对陆域生态保护红线（五龙河）的影响可接受。

3）取排水管线建设对穿越的基本农田的环境影响

取排水管线敷设区域多为临时占地，仅阀门井等设施涉及永久占地，对于取排水管线区域穿越基本农田的部分，施工期间针对涉及区域进行租地。目前已于2023 年 9 月取得自然资源部发布的用地预审意见（自然资办函〔2023〕1903 号），并基于相关法律法规要求，完成《山东莱阳核电项目一期工程永久基本农田补划方案》（2023 年 5 月），将按照“数量不减、质量不降”原则开展基本农田占补平衡工作。

取排水管线施工期间涉及土方的开挖与回填，施工前，首先对管线占地范围内占用的耕地、草地 10~30cm 厚表层土进行剥离，并集中堆存。表土与其他土方分开堆放，用防尘网覆盖。

土方开挖时，以挖掘机挖土，自卸车运输，分段分期进行，分层开挖，减少地表裸露时间和范围。回填施工时，采用自卸车运送石料至施工现场，挖掘机配合理坡、整平，振动压路机压实，施工连续，减少裸露时间。

管道布设完成后进行土地整治、回覆表土，对占用的耕地进行复垦。回覆时先将其他土方回填，然后再回覆表土。

通过上述分析可知，取排水管线施工多为临时用地，通过分段分期、分层开挖、连续施工的方式减少了地表裸露时间，有利于水土保持，并通过表土剥离、与其他土方分开堆放、回填时先将其他土方回填再回覆表土等方式保证了耕地的复垦，因此取排水管线施工期间对穿越的基本农田的影响是可接受的。

4）取排水管线建设对沿程周边水井的环境影响

本项目陆域取排水管线施工期产生的部分扬尘会随着沉降落入附近水井中。同类管道项目施工区域下风向 50m 处的大气污染物监测结果符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值的要求，小于距离取排水管线最近的水井距离，可知施工扬尘对水井的影响是可接受的。

通过上述分析，取排水管线穿越段的施工不会对沿线附近的水井产生明显影响。

综上可知，本项目陆域取排水管线的建设不会对穿越的环境敏感点以及沿线居民造成不可接受的影响，通过采取相关环境保护措施可将对环境的影响减至最小。

5.1.2.10　海水淡化厂建设影响

本项目厂外配套建设海水淡化厂，建设位置拟定位于莱阳市羊郡镇辖区，规划容量为 3 套海水淡化设施，采用南北向并联布置方式，一期工程海水淡化设施布置在厂区南部，向北扩建。此外，本项目环境监测站拟建设在海水淡化厂区内，相关施工统一纳入海水淡化厂的施工管理。

1）环境空气影响分析

海水淡化厂施工期对环境空气的污染主要来自施工扬尘和施工机械、运输车辆产生的尾气。通过采取以下措施，可有效控制施工过程中对大气环境的影响：

（1）地面开挖、土石方堆放过程为分段进行，施工时间较短。通过加强日常施工管理，如对容易起尘的作业面和土堆适当喷水、土堆和建筑材料遮盖、大风天停止作业、运输车辆所经村镇路段勤洒水等，采取上述措施后，施工扬尘对周围环境的影响将显著降低。

（2）施工期间以燃油为动力的运输车辆和施工机械在施工场地附近排放一定量的废气，通过加强设备及车辆的养护，选用环保型车辆、施工机械和清洁燃料，严格执行国家关于机动车辆、机械设备的相关规定，其对周围环境空气的影响是短暂而有限的。

2）水环境影响分析

海水淡化厂施工期废水主要来自施工人员在施工作业中产生的生活污水、管道安装完成后清管试压排放的废水。

（1）生活污水

根据工程施工过程类比调查，施工队伍的吃住一般依托当地的旅馆、饭店或租用当地民房，同时施工是分期进行，局部排放量很小，因此施工期生活污水主要依托当地的生活污水处理系统，若无现有处理设施可依托，则委托当地具备资质的单位定期外运处置，建立转运台账，确保全部合规处置、不直接外排地表水体。

（2）生产废水

本项目海水淡化厂施工期间采用核电站主厂区搅拌站混凝土或外购混凝土，因此海淡区域不产生混凝土链生产废水。其他生产废水全部收集处理，处理后上清液

回用于场地抑尘、厂区绿化、施工养护等，沉淀池淤泥干化后委托当地具备资质的单位定期外运处置，建立转运台账。

（3）清管、试压排水

海水淡化厂工程清管、试压用水为无腐蚀性的清洁水，可重复利用，最终排水中主要污染物为含少量铁锈、泥沙等悬浮物，优先考虑经沉淀后回用。由于此类废水仅少量的、暂时性的。采取上述措施后，清管、试压废水不会对周围地表水环境产生影响。

（4）施工期间的雨水及地下水

海水淡化厂施工期间地下水、雨水经沉淀后排放，此类水不会对周围地表水环境产生影响。

3）声环境影响分析

施工期噪声源主要来自施工作业机械，如挖掘机、电焊机、定向钻等，其声源强度在 85～105dB（A）。

在施工过程中将选用符合国家标准的施工机具和运输车辆以及低噪声的施工机械和工艺，加强各类施工设备的维护和保养；同时合理安排施工时间，在村庄附近严禁夜间高噪声施工。由于施工噪声是短暂的，一般在白天施工。因此，本工程施工噪声对周围居民的生活影响可接受。

4）固体废物影响分析

海水淡化厂施工期产生的固体废物主要有生活垃圾、工程土石方、施工废料以及危险废物等。

海水淡化厂施工期生活垃圾定点集中收集，委托具有资质的第三方单位定期统一清运处置，不会对周围环境产生影响。

施工废料主要为施工过程中产生的废混凝土、废钢材、废木材、废塑料、废纸等，可回收部分统一分类回收利用，不可回收部分委托具备相应处置资质的单位合规清运处置。

施工期产生的危险废物主要包括废油漆、废弃包装物（废油漆桶、废油桶）等，施工期将设立危险废物集中存放区域，危险废物集中暂存在该区域，后续统一交由具有危险废物处理资质的单位将其安全处置。

采取上述措施后，海水淡化厂施工期产生的固体废物对周围环境影响可接受。

5.1.2.11　主厂区至海淡厂 110kV 架空线建设影响

1）大气环境影响

施工期，扬尘来自于平整土地、打桩、开挖土方、道路铺浇、材料运输、装卸和搅拌等过程，如遇干旱无雨季节扬尘则更为严重。为抑制扬尘影响，采取粉性材料堆放在料棚内、施工工地定期增湿等措施后，施工扬尘对空气环境影响很小。

2）水环境影响

线路塔基施工人员产生的少量生活污水利用当地已有的化粪池等处理设施进行处理，线路施工不产生施工废水，输电线路施工对周边水环境没有影响。

3）噪声影响

施工时牵张场内的牵张机、绞磨机等设备产生的机械噪声，声级一般为65dB(A)～84dB(A)；施工时开挖等施工噪声，其声级一般小于 70dB(A)。

由于施工噪声影响持续时间较短，施工结束噪声即消失，且施工区域距离居民区较远。施工单位合理安排施工时间和工序，高噪声施工机械避免夜间施工。采取上述措施后，施工噪声对周围声环境影响可接受。

4）固体废物影响

施工期间固体废物主要为施工人员的生活垃圾和建筑垃圾。施工人员日常生活产生的生活垃圾应集中堆放，委托当地环卫部门定期清运，建筑垃圾应运至指定地点倾倒。施工期产生固体废物均得到妥善处置和综合利用，对周围环境影响可接受。

5）生态影响

本工程生态环境影响途径主要是土石方开挖、临时占地及人员施工活动，可能对工程所在区域的土地利用、植被、野生动物、水土流失等产生一定影响。本工程线路主要采用架空和电缆，施工期短，对周围生态环境影响较小。

整个塔基区及周边约 2m 范围的塔基施工临时占地区为整体施工平台，施工过程中会对整个塔基区及周边 2m 范围的占地区造成扰动。因此需剥离各施工平台的表层土，表土剥离堆放塔基临时施工场地，并设置临时防护措施。施工结束后，对临时占地应及时恢复原有的用地形态。施工结束后将表土回覆于表层便于后期恢复。

在架空线路架设完毕后，对塔基基坑填平并夯实。本工程施工期不设弃渣场，塔基处开挖的土方石全部用于回填及周围洼地覆平，无弃土产生。

牵张场选择在交通条件好、场地开阔的地块，以满足施工设备、线材运输等要求。施工完毕后，及时清理施工场地，进行翻松土地，恢复其原有土地用途，必要时进行植草绿化处理，以减少对生态的破坏及水土的流失。

线路周围无自然保护区、风景名胜区等，周围无珍稀植物和国家、地方保护动物。项目建设对当地植被及生态系统的影响轻微。在采取合理的施工方式和生态保护措施的基础上，工程建设对生态环境的影响可接受。

6）对生态环境敏感区的影响

线路架空跨越生态保护红线、湿地公园时尽量避免在雨季施工，安排专门人员负责项目区施工的监督和管理工作，设置相关告示牌、警告牌等，加强施工人员对野生动物和生态环境的保护意识教育，加强对项目区内的生态保护，严格按照规章制度执行。

施工场地尽量远离生态环境敏感区，采用商品混凝土，不在施工现场拌和混凝土，施工现场定时洒水抑制扬尘；施工期间产生的生活污水利用施工场地附近的村庄已有的化粪池等处理设施进行处理，不得排入生态环境敏感区内。通过施工期采取相应的环保措施及施工结束后采取的生态恢复措施，本工程对生态环境敏感区的影响可接受。

5.2 水的利用

5.2.1 水资源利用

本项目一期工程 2 台国和一号核电机组所用淡水包括施工期和运行期用水。施工期年最大取水量约为 86.89 万 m^3，设计取水保证率为 90%。

本项目一期工程施工阶段淡水水源为五龙河。五龙河位于厂址东侧约 4km 处，五龙河系胶东第一大河流，位于胶东半岛南部，西临大沽河，东临乳山河。自胶东低山丘陵发源，在胶东半岛以南注入黄海丁字湾。上游自西向东由白龙河、蚬河、清水河、墨水河和富水河五大河流于莱阳市五龙村附近的五龙峡口汇合后始称五龙河，一般以清水河为正源。在其南下过程中又纳嵯阳河、玉岱河、金水河，最后注入黄海丁字湾。

本项目一期工程已编制完成《山东莱阳核电项目一期工程水资源论证报告书》并按程序上报，并已取得水利部淮河水利委员会（淮许可决〔2026〕46 号）的审查意见，同意莱阳核电项目一期工程取水方案。

根据专题单位编制的《山东莱阳核电项目一期工程水资源论证报告书》，本项目取水后，周围水用户的农业灌溉水和河道内生态用水的用水满足程度均为100%，故本项目取水对上述水用户无影响。

5.2.2　水工工程施工活动对环境的影响

本工程建设期间对环境的水污染主要来自于施工期间取排水建设工程产生的悬浮泥沙、淤泥弃方等。本项目不涉及疏浚作业、取直或挖深水道、修建护坡或码头、水库等活动。

5.2.2.1　海域取排水工程项目

1）平面布置方案

本项目取排水方案为暗涵取水排水。取排水工程考虑一次建成。

本项目共设置 1 个取水口和 2 个排水口（分为海水淡化厂排水口、液态流出物排水口），其中，取水口位于-9m 深槽内，海水淡化厂排水口位于-6m 深槽内；液态流出物排水口位于丁字湾外工矿通信用海区内（海阳市辖区域）约-7m 水深处，管线与海水淡化厂至海水淡化厂排水口的排水管线部分共管（长度约5.43km），并进一步向湾外单独敷设至工矿通信用海区内（长度约 14.5km）。对于取水管线和海域排水管线（海水淡化厂位置至海水淡化厂排水口位置区段），采用盾构施工方案；对于海域排水管线（海水淡化厂排水口位置至液态流出物排水口位置区段），采用铺管法施工方案，其中基槽开挖采用预挖沟法、后挖沟法结合的方式，预挖沟段泥沙需海抛处理，后挖沟段泥沙无需海抛。

2）穿越的海域环境敏感点情况

根据《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》，厂址海域取排水管线涉及穿越生态保护红线，厂址取水口以及海水淡化厂排水口位于生态保护红线内，液态流出物排水口不在生态保护红线范围内。建设单位已开展厂址取排水方案的生态红线不可避让论证工作，取得了山东省人民政府的支持性意见（山东省人民政府《山东省人民政府关于山东莱阳核电项目一期工程不可避让生态保护红线意见的函》（省政府便函〔2026〕39 号）），满足国土空间规划要求。

根据《烟台市“三线一单”生态环境分区管控方案》（烟政发〔2021〕7 号）及其 2024 年动态更新成果，厂址海域取排水管线、取排水口涉及丁字湾湿地重要滩涂及浅海水域生态保护区优先保护单元。烟台生态环境局莱阳分局已发函件明确“本项目属于国家重大战略项目，已纳入各级国土空间规划，开展了海域生

态保护红线不可避让论证工作，并取得山东省人民政府的支持性意见，符合丁字湾湿地重要滩涂及浅海水域生态保护区优先保护单元空间布局约束和污染物排放管控相关要求”。

厂址取排水管线拟穿越莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区。2025年9月，山东省自然资源厅出具了《山东省自然资源厅关于同意山东莱阳核电项目占用莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区意见的函》，同意山东莱阳核电项目取排水工程穿越莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区。

3）对海洋环境的影响

取排水管线在海域的施工影响主要涉及船舶溢油，以及取水管线和海域排水管线（海水淡化厂位置至海水淡化厂排水口位置区段）、取水口、海水淡化厂排水口以及海域排水管线（海水淡化厂排水口位置至液态流出物排水口位置区段）施工影响。

（1）海域施工船舶溢油风险分析

本工程施工过程中，可能导致溢油事故的主要情景为施工船舶与周边船舶因恶劣气象条件或操作不当而发生的碰撞。取排水工程所在海域水深较浅，通行的船舶较小，在施工期加强管理和严格实施安全操作的基础上，发生船舶碰撞事故的概率极低，对应的溢油事故发生概率极低。

（2）取水管线和海域排水管线（海水淡化厂至海水淡化厂排水口区段）施工影响分析

本项目海域取水管线和海域排水管线（海水淡化厂位置至海水淡化厂排水口位置区段）施工工艺采用盾构的方式，不会对敷设沿线产生施工悬沙影响。盾构施工会产生一定程度的振动，来源主要是刀盘切削地层时刀具与岩土体的摩擦、挤压，以及推进系统液压千斤顶的周期性波动和泥浆在管道中运转产生的振动。鉴于盾构作业区上方存在养殖区，因此针对盾构作业产生的振动对上方养殖区影响分析如下：

盾构掘进为间歇性施工，只有盾构机掘进时才产生振动。海域取水管线盾构施工的地质主要为砂层，振动较小且砂层中振动传播衰减较快。取水管盾构管片外径3.5m，排水管盾构管片外径3.7m，取水隧洞养殖区部分最小覆土厚度10.5m，排水养殖区部分最小覆土厚度7.7m，均大于2倍洞径。根据同类案例经验，3~4米直径的盾构机掘进时地表振动通常在0.5mm/s以下。

本工程取排水管道上部为养虾池，施工振动速度小于 5mm/s，因此盾构施工不影响上方养虾池养殖活动。

（3）取水口、海水淡化厂排水口以及海域排水管线（海水淡化厂排水口至液态流出物排水口位置区段）施工影响

本项目施工期产生悬浮泥沙主要是由取水口桩基施工、海水淡化厂排水口桩基施工、海水淡化厂排水口块石抛填防护、海域排水管线（海水淡化厂排水口位置至液态流出物排水口位置区段）开挖和抛石回填施工、液态流出物排水口桩基施工和块石抛填引起的。

经分析，取水口桩基施工产生的悬浮物源强为 0.2047kg/s，海水淡化厂排水口抛石施工回填料悬浮泥沙及抛石挤淤同时发生，抛石施工悬沙总源强为 0.49kg/s，海水淡化厂排水口桩基施工产生的悬浮物源强为 0.0754kg/s，海域排水管线（海水淡化厂排水口位置至液态流出物排水口位置区段）沟槽开挖产生的悬浮泥沙扩散源强介于 0.45~10.65kg/s 之间，抛石回填源强产生的悬浮泥沙扩散源强介于 1.40~1.83kg/s 之间，液态流出物排水口抛石施工回填料悬浮泥沙及抛石挤淤同时发生，抛石施工悬沙总源强为 1.71kg/s，液态流出物排水口桩基施工悬沙总源强为 1.40kg/s。

针对取排水构筑物的悬沙影响，采用潮流运动数学模型结合悬沙扩散数学模型模拟施工期悬沙扩散影响，模拟结果如下：

取水口桩基施工过程中，悬浮泥沙浓度≥10mg/L 的影响面积约为 1.8645hm^2，≥20mg/L 的影响面积约为 1.0197hm^2，≥50mg/L 的影响面积约为 0.3022hm^2，未出现≥100mg/L 浓度的悬浮泥沙扩散。10mg/L 悬浮泥沙最大扩散距离约 157m，悬浮泥沙扩散方向略偏 NE-SW 向。

海水淡化厂排水口桩基施工过程中，悬浮泥沙浓度≥10mg/L 的影响面积约为 0.9522hm^2，≥20mg/L 的影响面积约为 0.4423hm^2，≥50mg/L 的影响面积约为 0.1117hm^2，未出现≥100mg/L 浓度的悬浮泥沙扩散。悬浮泥沙最大扩散距离约 140m，悬浮泥沙扩散方向呈现偏 NW-SE 向。海水淡化厂排水口块石抛填过程中，悬浮泥沙浓度≥10mg/L 的影响面积约为 25.7176hm^2，≥20mg/L 的影响面积约为 11.4463hm^2，≥50mg/L 的影响面积约为 5.1311hm^2，≥100mg/L 的影响面积约为 2.8107hm^2，≥150mg/L 的影响面积约为 1.9952hm^2。悬浮泥沙最大扩散距离约 1012m，悬浮泥沙扩散方向呈现偏 NW-SE 向。

海域排水管线（海水淡化厂排水口位置至液态流出物排水口位置区段）开挖施工过程中，悬浮泥沙浓度≥10mg/L 的影响面积约为 331.8377hm^2，≥20mg/L 的影响面积约为 255.0453hm^2，≥50mg/L 的影响面积约为 193.3822hm^2，≥100mg/L 的影响面积约为130.1647hm^2，≥150mg/L 的影响面积约为96.1213hm^2。悬浮泥沙最大扩散距离约 995m，悬浮泥沙扩散方向呈现偏 NW-SE 向。抛石回填悬浮泥沙浓度≥10mg/L 的影响面积约为 192.3578hm^2，≥20mg/L 的影响面积约为 133.3045hm^2，≥50mg/L 的影响面积约为 79.3284hm^2，≥100mg/L 的影响面积约为 51.1240hm^2，≥150mg/L 的影响面积约为 32.6563hm^2。悬浮泥沙最大扩散距离约 930m，悬浮泥沙扩散方向呈现偏 NW-SE 向。

经统计，液态流出物排水口桩基施工中，悬浮泥沙浓度≥10mg/L 的影响面积约为 7.3738hm^2，≥20mg/L 的影响面积约为 4.8572hm^2，≥50mg/L 的影响面积约为 2.5744hm^2，≥100mg/L 的影响面积约为 1.4327hm^2，≥150mg/L 的影响面积约为 0.9264hm^2。悬浮泥沙最大扩散距离约 322m，悬浮泥沙扩散方向呈现偏 W-E 向。液态流出物排水口块石抛填过程中，悬浮泥沙浓度≥10mg/L 的影响面积约为 8.7631hm^2，≥20mg/L 的影响面积约为 5.6366hm^2，≥50mg/L 的影响面积约为 3.1479hm^2，≥100mg/L 的影响面积约为 1.6680hm^2，≥150mg/L 的影响面积约为 1.1723hm^2。悬浮泥沙最大扩散距离约 336m，悬浮泥沙扩散方向呈现偏 W-E 向。

项目施工过程使用科学施工工艺，合理安排施工时间，减少悬浮泥沙的扩散量，尽量减轻对周边海域的生态影响。同时施工是临时性的，悬浮泥沙扩散将随着施工结束而消失。因此本工程取排水工程对海洋环境的影响是可以接受的。

4）对海洋生态环境的影响

海域取排水管线施工期造成的生物损失量包括直接影响和间接影响两个方面。直接影响主要是施工围堰占用海域的范围内，项目建设将直接破坏底栖生物生境，并造成海洋生物的直接死亡。间接影响主要指防撞桩施工、抛填防护、排水管线（海水淡化厂排水口至液态流出物排水口段）开挖施工致使施工水域的悬浮浓度增加。

（1）取水口占用海域造成的生物资源损失量

本项目取水口施工围堰面积为 875.48 m^2，水深按照 9.5m 计算，施工围堰占用体积为 8317.06 m^3。根据施工围堰面积及体积，结合现状调查的生物资源密度，可计算出施工围堰占用海域共造成浮游植物总损失量为 3.00×10^{10} 个，浮游动物

总损失量为 2.68kg，底栖生物损失量为 13.48kg，鱼卵损失量为 2495.12 粒，仔稚鱼损失量为 748.54 尾，游泳动物损失量为 0.17kg。取水口防撞桩直径 1.5m，共设置 25 根。根据防撞桩面积及体积，结合现状调查的生物资源密度，可计算出取水口防撞桩占用海域共造成浮游植物总损失量为 1.52×10^{9} 个，浮游动物总损失量为 0.14kg，底栖生物损失量为 0.68kg，鱼卵损失量为 125.91 粒，仔稚鱼损失量为 37.77 尾，游泳动物损失量为 0.01kg。

（2）海水淡化厂排水口占用海域造成的生物资源损失量

海水淡化厂排水口块石抛填面积为 2890m^2。根据底栖生物的资源密度计算，海水淡化厂排水口占用海域造成底栖生物的损失量为 44.51kg。

（3）液态流出物排水管道占用海域造成的生物资源损失量

根据施工布置，液态流出物排水管道施工开挖面积约 25.8345hm^2，共造成底栖生物损失约 3978.51kg。

（4）液态流出物排水口占用海域造成的生物资源损失量

液态流出物排水口块石抛填面积为 2481m^2。根据底栖生物的资源密度计算，液态流出物排水口占用海域造成底栖生物的损失量为 38.21kg。

（5）取水口施工悬沙扩散造成的生物资源损失量

浮游植物损失量为 1.05×10^{11} 个，浮游动物损失量为 9.38kg，鱼卵损失量为 8.23×10^{3} 粒，仔稚鱼损失量为 2.47×10^{3} 尾，游泳动物损失量为 0.18kg。

（6）海水淡化厂排水口施工悬沙扩散造成的生物资源损失量

桩基施工浮游植物损失量为 2.95×10^{10} 个，浮游动物损失量为 2.63kg，鱼卵损失量为 2.30×10^{3} 粒，仔稚鱼损失量为 6.91×10^{2} 尾，游泳动物损失量为 0.08kg。块石抛填施工浮游植物损失量为 9.34×10^{11} 个，浮游动物损失量为 83.26kg，鱼卵损失量为 7.47×10^{4} 粒，仔稚鱼损失量为 2.24×10^{4} 尾，游泳动物损失量为 2.64kg。

（7）海域排水管线（海水淡化厂排水口位置至液态流出物排水口位置区段）开挖和抛石回填施工悬沙扩散造成的生物资源损失量

开挖施工浮游植物损失量为 6.16×10^{14} 个，浮游动物损失量为 5.48×10^{4}kg，鱼卵损失量为 5.04×10^{7} 粒，仔稚鱼损失量为 1.51×10^{7} 尾，游泳动物损失量为 1.50×10^{3}kg。抛石回填施工浮游植物损失量为 1.90×10^{14} 个，浮游动物损失量为 1.69×10^{4}kg，鱼卵损失量为 1.54×10^{7} 粒，仔稚鱼损失量为 4.61×10^{6} 尾，游泳动物损失量为 4.41×10^{2}kg。

（8）液态流出物排水口施工悬沙扩散造成的生物资源损失量

桩基施工浮游植物损失量为 5.07×10^{11} 个，浮游动物损失量为 45.21kg，鱼卵损失量为4.08×10^{4}粒，仔稚鱼损失量为1.22×10^{4}尾，游泳动物损失量为1.15kg。抛石回填施工浮游植物损失量为 6.01×10^{11} 个，浮游动物损失量为 53.57kg，鱼卵损失量为4.84×10^{4}粒，仔稚鱼损失量为1.45×10^{4}尾，游泳动物损失量为1.36kg。

悬浮泥沙造成的损失是一次性的海洋资源损失，本项目取排水工程施工强度低，施工期短，在海工工程施工过程中使用科学施工工艺，合理安排施工时间，尽可能地减少悬浮泥沙扩散。施工结束后，悬浮泥沙会很快消失，涉及海域的海洋生物及渔业资源会逐步恢复。

取排水管线涉及占用海域，会改变用海范围内海洋生物原有的栖息环境，对底栖生物的影响相对较大。在施工阶段底质环境完全破坏，生物生存与栖息功能丧失，施工结束后，施工区域恢复原有海域属性，海洋生态功能逐步恢复至原有状态。

综合上述分析可知，取排水项目施工对海域海洋生态的影响可接受。

5）对周边养殖区的影响

海域取排水管线周边有较多的养殖区，包括开放式养殖和围海养殖等。开放式养殖主要分布在丁字湾湾口以及湾外的位置，围海养殖主要分布在丁字湾的两侧区域。

（1）对围海养殖的影响

根据海域取排水管线周边开发利用现状，管道开挖过程中的悬浮泥沙扩散方向呈现偏 NW-SE 向，围海养殖主要分布在丁字湾的近岸区域，悬浮泥沙未进入最近的围海养殖区。

海域取排水管线施工引起的悬沙扩散不会对围海养殖活动造成明显影响。需注意施工强度，尽量在低潮时进行施工，尽可能降低对周边养殖取水的影响。

（2）对开放式养殖的影响

根据海域取排水管线周边的开发利用现状，开放式养殖主要分布在丁字湾湾外海域。施工过程导致的悬浮泥沙扩散会影响到湾外的开放式养殖，一定时间内会对养殖产生影响。后续建设单位将与受影响的开放式养殖业主做好沟通协调和补偿工作。

6）对“三场一通道”的影响

根据《黄渤海区渔业资源调查与区划》（农业部渔业局编，海洋出版社，1990）及《山东近海产卵场索饵场综合评价报告》（山东省海洋资源与资源研究院，2010年），以及本项目调查数据分析卵子和仔稚鱼的总量分布、种类组成分析，丁字湾内渔业生物种类单一，经济渔业生物数量很少，调查没有发现产卵群体。乳山湾等海域曾是小黄鱼、带鱼、蓝点马鲛等经济渔业生物的产卵场，但是这些传统产卵场、洄游通道等均距离丁字湾较远。

根据渔业资源调查结果，丁字湾海域没有游泳动物和重要物种的“三场一通道”，厂址取排水口与最近的“三场一通道”距离均大于10km。因此，本项目取排水管线工程的建造不会对“三场一通道”造成影响。

7）对其他环境的影响

本项目海工工程施工期间固体废弃物主要分为陆域和海域固体废弃物：

（1）陆域固体废弃物主要为建筑废料、盾构施工产生的泥饼和生活垃圾。陆域生活垃圾集中收集后由具有资质的第三方单位定时清运。建筑废料、盾构施工产生的泥饼委托第三方有资质的单位进行处置。

（2）海域固体废弃物主要为取排水构筑物建设施工产生的少量淤泥弃方、施工人员生活垃圾和船舶生活垃圾等。船舶生活垃圾靠岸后定点集中收集，陆上施工人员生活垃圾在施工区集中收集，收集后均由第三方有资质的单位定时清运。少量淤泥弃方运送至海洋倾倒区，在海工工程施工前进行使用申请。管线路由线路存在岩石开挖或爆破，其中开挖的块石，处理方式为重复利用回填或上岸处置。

本项目海工工程施工期大气污染源主要物料运输、混凝土搅拌产生的粉尘，各类施工车辆、机械设备等产生的废气和海上施工区域施工船舶、机械在运行中排放的废气。各类机械设备均以柴油或汽油为燃料，主要污染物质包括 NOx、CO、SO_2 等，均为无组织排放，扩散面积大、污染物排放总量小。上述施工影响都是暂时性的，且建设单位和施工单位在核电厂建设过程中加强大气环境保护工作，通过洒水抑尘、冲洗车辆、硬化路面、优化施工方式等措施，将施工过程造成的大气污染影响程度降到最低。

8）对航运、防洪堤坝、景观的影响

厂址半径 5km 范围内无航运线路、防洪堤坝，且本项目海工工程产生的悬浮泥沙扩散影响范围有限，也不会对厂址周边的景观产生影响。

5.2.2.2　建造施工期排水项目

通过实行污水集中处理，施工期废水不向海洋直接排放，将对环境的影响减至最小。

海工工程的施工队伍的吃住一般依托当地旅馆、饭店或租用当地民房，同时施工分段分期进行，具有较大的分散性，局部排放量很小，因此施工期生活污水主要依托当地的生活污水处理系统，若无现有处理设施可依托，则采用移动厕所或临时厕所进行收集，并委托当地具备资质的单位定期外运处置，建立转运台账，确保全部合规处置、不直接外排地表水体。海域施工期间，各类施工船舶上的作业人员产生的生活污水，统一收集运输至岸上处理，并委托有资质的单位接收处置。施工垃圾、船舶垃圾均收集、分类与储存，由有资质的单位统一接收处理。

5.3 施工影响控制

本项目的建设过程，特别是“四通一平”等前期厂址场地准备项目，其施工活动会对周围环境产生一定的影响。为此，需要采取一定的控制措施，以减少对环境造成的不利影响。

5.3.1 施工期污染物产生情况

施工期污染物产生量变化较大，参考其他核电厂施工期的初步统计结果，对本工程施工期污染物产生情况进行估算。本工程施工期将开展相关监测及台账记录，以确定各类污染物的实际产生量。

1）废水

（1）调试废水

主厂区未加药废水主要包括核岛一回路联合冲洗、流道试验废水、二回路冷态联合冲洗废水、设备检修需排放的未加药废水等，未加药废水预计产生量约 11 万 m^3。另外，陆域取排水管线打压冲洗废水（未加药）预计产生 30 万 m^3。

调试期加药废水包含系统维护保养的加药废水、热试结束后一回路加药废水、二回路热态冲洗等，加药废水预计产生量约 21 万 m^3。

（2）生活污水

主体工程施工高峰期间，预计同时在场人数约 10815 人，预计生活污水产生量约为 934m^3/d，来源主要为施工区域、办公、食堂等部位所产生的污水，包括冲厕污水、盥洗污水、厨房污水等。海水淡化厂施工高峰期间，在场人数约 400 人，预计生活污水产生量约为 40.8m^3/d。

2）废气

（1）颗粒物

施工期颗粒物的排放主要为无组织排放，无组织排放浓度在施工场界外通过监测确定。预计本项目颗粒物无组织排放浓度小于 1mg/m^3。

（2）VOCs

施工期间的喷涂作业会产生一定的 VOCs，产生 VOCs 的工艺主要为油漆的调配、涂装、干燥作业。预计施工期产生量约 26t。

3）固体废物

（1）工业固体废物

本项目施工期一般工业固体废物产生量约 365460t。

（2）生活垃圾

本项目生活垃圾产生量预计 6435t。

（3）建筑垃圾

本项目建筑垃圾产生量预计约 7 万 m^3/年（包含土石方开挖产生的工程渣土、主体结构施工产生的废弃混凝土块、废钢筋模板及临时设施拆除产生的混合废弃物等），海工取排水工程开挖弃土量约 20 万 m^3。

（4）危险废物

参考同类型项目，预估本项目不同种类危险废物的产生量如下：废油漆桶及渗透剂罐 180t、废显影液定影剂 10t、实验室废液 2t、废油漆 27t、废柴油 3t、液态过期报废化学品 20t、废弃离子交换树脂 50t、废矿物油及废弃包装物 40t、管道系统及金属表面酸洗、除锈等产生的废酸液 300t，其他危险废物 10t。

5.3.2 施工污染控制

5.3.2.1 大气污染的控制

施工期间对大气污染的防治主要是减少扬尘和尾气的释放，相应的防治措施包括：

— 施工区和车辆运输相关道路上散落的灰土应及时清扫，道路路面上经常洒水，保持路面湿润。

— 在环境保护目标附近，应使用隔离板使施工区与周围环境隔离。

— 开挖出的土方应尽可能及时运至填方地段充填，尽量减少土方的堆置时间，应注意防止二次扬尘。

— 渣土临时堆放场应加盖防尘网（抑尘网）进行防护。

— 水泥等粉状建筑材料应妥善保管，不得露天随意存放。

— 混凝土搅拌站和碎石加工生产线均采用封闭措施，每个粉料罐安装除尘器。

— 加强施工管理，合理调度运输车辆等。

本工程施工期间的喷涂作业会产生一定的 VOCs，产生 VOCs 的工艺主要为油漆的调配、涂装、干燥作业，采取的防控措施如下：

— 设置喷砂油漆车间，相关作业主要集中在该车间开展。

— 喷砂油漆车间内送风系统采用风机送风，室体设置有静压室并装有精密级过滤棉，风均匀经过静压室进入室内；VOCs 通过漆雾处理系统、废气处理系统处理后，经排风系统由排放筒高空排放。

— 设置排放筒，排放筒直径根据室体空间及匹配风机确定，排放筒高度不低于 15m。

— 考虑源头控制，采用环保型涂料、先进且环境友好的处理工艺，不采用即将淘汰的处理工艺。

本工程施工期间的喷砂、切割、焊接作业采取的防控措施如下：

— 喷砂工艺产生的粉尘在喷砂设施设置风机+布袋除尘进行处理。

— 焊接优先选用环保型焊接材料，减少烟尘产生。

— 小规模、短时焊接切割工况经评估后采用自然通风辅助，施工过后，当地的大气环境质量将很快得以恢复；当作业点集中且产尘量较大，或同一时段内多处作业形成区域性烟尘聚集时经移动式烟尘净化器进行吸收过滤。

基于以上措施，本项目施工期 VOCs 有组织排放浓度预计可满足《挥发性有机物排放标准 第 7 部分：其他行业》（DB37/2801.7-2019）表 1 中非重点行要求，即不高于 60mg/m^3，无组织排放浓度不高于 2.0mg/m^3。

5.3.2.2 水污染的控制

施工期间对水环境的污染主要考虑对取排水项目施工区附近海域的海水水质的影响以及厂址附近水体的地表水水质的影响，影响虽然短暂而且有限，但仍需要采取适当的防治措施以使污染最小化。水污染防治措施主要包括：

— 海工项目（主要为取排水构筑物及泵房等）建设施工应采用合理可行的

方法，尽量减少建设施工对取排水项目施工区附近海域的海水水质的影响。

— 施工材料妥善保管，堆放地宜远离厂址附近水体和取排水项目所邻海岸，且需采取一定的防护措施。

— 加强对车辆、设备使用的油品的管理，防止油品进入施工生产废水，避免污染水环境。

— 加强施工人员环保意识，禁止将生产废水和生活污水乱排或就近排放入厂址邻近水体，对施工人员开展节水宣传，加强节水意识，且尽可能采用节水设备和工艺。

— 建设施工过程中，生产废水经临时废水沉淀池去除其中的固体污染物，上清液回用，不外排。

— 混凝土链区域内配套建设三级沉淀池和污水处理设备（砂石分离机、压滤机等），对污水进行处置，清水回用。

— 施工期生活污水拟通过管道输送至当地污水处理厂处理，不向周边水环境排放。在生活污水管道建成前（涉及施工期部分时段），产生的生活污水由施工单位自行收集，定期通过有资质的第三方单位外运至当地污水处理厂处理。

— 调试期未加药废水通过静态沉淀的方式进行悬浮物净化，经监测合格后排放。

— 调试期加药废水通过二类污染物处理系统处理，针对性去除废水中所含化学成分，经监测合格后排放。

5.3.2.3 生态污染的控制

1）陆生生态污染的控制

本项目施工期间的场地开挖、车辆运输等会对陆生生态造成一定的不利影响，建设过程中将通过恢复植被、增设水土保持设施等措施减少对陆生生态的影响。

针对厂址附近的野生生物、前河前墓群（位于厂址 NE 方位约 3.3km 处）以及濯村特色农业旅游区（位于厂址 NNE 方位约 5.7km 处），本项目施工期间将做好建筑材料堆放等场所的面源排放控制，合理安排爆破施工作业以缩小地表振动影响范围等，以此避免对上述环境敏感对象产生影响。

本项目陆域取排水管线施工期间的环境保护措施见 5.3.2.9 节。

2）海洋生态污染的控制

本项目海工工程施工期的影响主要来自取水头部、海水淡化厂排水头部以及海水淡化厂排水口至液态流出物排水口的排水管线施工产生的悬浮泥沙、施工人员产生的生活污水以及生活垃圾、施工船舶产生的油污水等。本项目海域取排水管线施工期拟采取的环境保护措施见 5.3.2.9 节。

5.3.2.4　噪声污染的控制

施工期间可以通过以下措施来降低噪声水平或减少噪声对敏感点的影响：

— 使用低噪声的施工设备。

— 合理安排施工进度，施工期间加强对高噪声设备的管理，避免同时使用多个高噪声设备。

— 合理控制夜间施工作业和车辆运输时长，运输路线应尽量避开居民区等环境敏感点。

— 禁止夜间高噪声施工作业。

— 关注噪声敏感点，采用距离衰减的方式，必要时建立隔声屏障以降低施工噪声对公众的影响。

— 施工期加强昼/夜间噪声影响监测。

5.3.2.5　固体废弃物的控制

施工期间将产生施工人员的生活垃圾和一些生产固体废物，如果不合理处置也将对环境造成破坏，对固体废弃物的控制措施主要包括：

— 对施工过程产生的弃渣弃土进行分类，能回收利用的尽量回用于陆域回填，达到建筑固废的减量化；如产生不能回收利用的则及时清运至合适地点实施回填或进行临时堆存，不长期堆积或随意丢弃。

— 废钢铁、废木材、废塑料、废纸等具有一定的回收利用价值，由施工单位在其施工临建区内设立存放区、集中堆放，由废品回收单位进行回收处理。

— 在施工场地和施工人员临时生活区指定地点设置垃圾桶和垃圾箱，垃圾分类堆放及时清理，最终运往垃圾处理场进行无害化处置。

— 施工期各标段承包商按需设置危废暂存间，用于存放建设过程中产生的危险废物，拟设置的暂存间（部分暂存间的位置可能根据施工场地情况进行变动）信息如下：（1）混凝土链建设砖混结构危废暂存间 2 间（位

置：砂石场 1#骨料仓西侧）；（2）CACV 拼装标段设置成品式危废暂存间 1 间（位置：主厂区 CACV 拼装场地）；（3）土石方标段设置成品式危废暂存间 1 间（位置：主厂区）；（4）场平标段设置成品式危废暂存间 1 间（位置：主厂区 664 子项边）；（5）海域取排水标段设置成品式危废暂存间 1 间（位置：海工盾构区）；（6）海淡与陆域取排水标段设置成品式危废暂存间 2 间（位置：陆域取排水管线靠近厂区和海淡段）；（7）冷却塔标段设置成品式危废暂存间 2 间（位置：主场区）。施工临建区的危险废物暂存间设置不在本报告评价范围。

— 危废暂存期间，安排有相应资质和能力的专职人员对危险废物进行管理。

— 建立完整的危险废物出入库台账并及时更新。

— 危废暂存库具备防风、防雨、防晒及防渗漏功能，暂存库地面刷环氧地坪并在危废下方放置防漏托盘，出入口处设置消防和应急物资。

— 暂存库钥匙由专人管理。

— 危险废物最终通过委托具有处理资质的单位外运合规处理。

— 海域取排水管道盾构施工产生的泥浆通过设在陆域始发井附近的泥水分离系统进行处理，泥浆通过压滤处理后实现固液分离，分离后的清水回用于制备盾构机掘进所用新浆，压滤后的泥饼及分离设备产生的土砂固体委托有资质的单位运输至当地主管部门批准的消纳场地。

5.3.2.6　辐射污染的控制

施工期间的辐射污染来源主要是密封放射源和射线装置进行无损探伤时的射线照射，不会对大气和水环境产生影响，相应的防治措施包括：

— 开展放射源和射线装置探伤作业时必须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的相关规定。

— 在使用放射源和射线装置的作业区范围内设置警示区，防止有人误入工作区。

— 根据国家颁布的《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关条例制订放射源和射线装置探伤操作管理制度。

— 放射源存放区域必须是专用源库或带有屏蔽的厂房内，并设置双人双锁，并由专人看管，并严格执行源进出的登记制度。

— 探伤作业时，放射工作人员必须配备个人剂量计、个人剂量报警器和辐

射监测仪。

5.3.2.7　厂外道路施工污染的控制

1）大气污染的控制

— 施工区和车辆运输相关道路上散落的灰土应及时清扫，道路路面上经常洒水，保持路面湿润。

— 尽量避免大风天气作业。

— 沥青混合料拌和作业远离居民区。

— 尽量避免使用尾气污染严重的机械施工。

2）水污染的控制

— 施工人员产生的生活污水收集后，定期由有处理生活污水资质的第三方清运单位安排运输车辆抽水外运至当地污水处理厂处理，不外排。

— 对施工用的材料妥善保管，避免洒落及雨水冲失。

— 尽量避免破坏原有植被，路线外围遭破坏的植被应在施工完毕后尽快全面恢复。

3）噪声污染的控制

— 合理安排施工进度和时间。

— 选用低噪声的施工机械。

— 居民区附近尽量避免夜间施工。

— 做好跟当地居民沟通工作。

5.3.2.8　海水淡化厂施工污染的控制

1）大气污染的控制

— 容易起尘的作业面和土堆适当喷水。

— 土堆和建筑材料遮盖。

— 尽量避免大风天气作业。

— 运输车辆所经村镇路段勤洒水。

— 加强设备及车辆的养护。

— 选用环保型车辆、施工机械和清洁燃料。

— 严格执行国家关于机动车辆、机械设备的相关规定。

2）水污染的控制

— 若无可依托的现有处理设施，则采用移动厕所或临时厕所进行处理。

— 生活污水收集后通过有资质的第三方单位外运处理，不外排。

— 清管、试压用水优先考虑经沉淀后回用。

3）噪声污染的控制

— 选用符合国家标准的施工机具和运输车辆、船舶以及低噪声的施工机械和工艺。

— 加强各类施工设备的维护和保养。

— 合理安排施工时间。

4）固体废物的控制

— 将生活垃圾集中收集，采取袋装方式，送到近距离内的垃圾处置场所集中处置。

— 产生的废混凝土、废钢材、废木材、废塑料、废纸等，其中可回收部分统一分类回收利用，不可回收部分委托具备相应处置资质的单位合规清运处置。

5.3.2.9 取排水管线施工污染的控制

本项目取排水管线涉及穿越基本农田、陆域生态红线（五龙河）、海域生态红线以及莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区，为尽可能减小取排水管线建设对涉及穿越的环境敏感点的影响，取排水管线建设过程中应采取如下措施：

1）陆域施工通用的环境保护措施

（1）施工期间大气环境保护（防尘）措施

— 施工区和车辆运输相关道路上散落的灰土及时清扫，道路路面上经常洒水，保持路面湿润。对运土运浆的道路派专人检查、清扫，保证道路整洁。

— 建设单位应合理设计材料运输路线，粉状材料如水泥、石灰等应罐装或袋装，禁止散装运输，严禁运输途中扬尘、散落，土、砂、石料运输禁止超载，装高不得超过车厢板，并盖篷布。

— 科学管理施工现场，建筑材料统一堆放，堆放应有篷布遮盖。施工弃土弃渣等施工垃圾及时运离现场，堆放时间长时应采取防风防雨措施，必要时设围栏，并定时洒水防止扬尘。

— 建设单位应合理设计材料运输路线，及时采取洒水降尘等措施；土方、水泥和石灰等散装物料运输、临时存放和装卸过程中，应采取防风遮挡

措施或降尘措施。

— 加强施工管理，合理调度运输车辆。

— 禁止不符合国家废气排放标准的施工机械、车辆进入施工场地，降低施工机械和车辆废气排放的影响。

— 风速过大时应立即停止施工作业，及时检查建筑材料和施工固废堆放场所的覆盖措施并进行加固。

（2）施工期间水环境保护措施

— 施工人员的生活污水集中收集并定时清运。

— 盾构机掘进时会产生废弃泥浆。泥水分离设备对废浆深度处理与循环利用，经过多级分离后，部分达到要求的浆液回流到浆池，与新浆混合后再次注入盾构机使用。剩余无法直接回用的高浓度废浆，进入固液压滤分离。高浓度废浆通过板框压滤机高压脱水，最终形成泥饼和可循环的清水。处理后的清水可回用于调制新泥浆，剩余部分尾水约 90000m^3，经处理达标后，委托具有资质的第三方机构外运处置。

— 施工中的废油及带有油污的固体废物不得抛入附近水体，也不得堆放在水体旁，按照危险废物规范化管理要求贮存、转运、处置。

— 选用先进的设备、机械、以有效地减少机械维修次数，减少含油污水的产生量。机械设备及运输车辆的维修保养集中于各路段处的维修点进行，方便含油污水的收集。

— 含有害物质的建材如水泥等不准堆放在河流附近，并应设蓬盖，必要时设围栏，防止被雨水冲刷入水体。

（3）施工期间固体废物处置措施

施工期产生的固体废弃物主要有施工废料、建筑垃圾及施工人员产生的生活垃圾，均为无毒无害废弃物。

— 施工废料：主要包括木料碎块、废铁、废钢筋等，可回收部分统一分类回收利用，不可回收部分委托具备相应处置资质的单位合规清运处置。

— 危险废物：管道施工过程中防腐会产生少量废弃防腐材料，收集后交由有资质单位处理。

— 生活垃圾：生活垃圾应配备专门的清理人员，同时在施工区和生活区一角设置垃圾箱或堆运站，对生活垃圾统一收集后通过有资质的第三方单

位外运处理。

— 清理措施：工程结束后，拆除施工区的临建设施，对施工机械停放场等施工用地，及时进行场地清理，对周围的生活垃圾、厕所等进行清理和填平，并进行消毒。

基于上述通用环保措施，针对取排水管线穿越的环境敏感点需进一步采取的环境保护措施如下：

2）针对沿线居民点的环境保护措施

— 禁止夜间高噪声施工、做好施工期噪声监督、合理安排施工时间。

— 加强与当地居民的沟通工作。

3）针对穿越的基本农田的环境保护措施

— 施工前对管线占地范围内的耕地表层土进行剥离，并集中堆存，并用防尘网覆盖。

— 土方开挖时，分段分期进行，分层开挖，减少地表裸露时间和范围。

— 管道布设完成后进行土地整治、回覆表土，对占用的耕地进行复垦。回覆时先将其他土方回填，然后再回覆表土。

4）针对穿越陆域生态红线的环境保护措施

— 在生态保护红线设置警示标志。

— 不在红线内设置施工生产管理和生活区，生活垃圾堆放点设置在红线外等。

— 严格遵守环保要求，加强对污染物治理措施的运营监管与维护。

5）针对海域生态红线以及莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区的环境保护措施

（1）工程管理措施

— 采取先进的施工工艺和设备。

— 合理安排施工顺序和进度。

— 施工作业选择小潮、海况好的时间施工。

（2）悬浮物影响减缓措施

— 施工船舶应精确定位后再开始施工，选用 GPS 全球定位系统，精确确定施工位置。

— 采用先进的施工工艺和设备，合理安排施工顺序和进度；工程施工过程

中加强船舶的管理和施工工艺的控制，尽量降低悬浮泥沙产生浓度和扩散范围。

— 针对海水淡化厂排水口至液态流出物排水口的排水管线施工，采用分时段分区域施工，提前规划开挖速率，严格控制影响范围。

— 合理安排施工时间和施工次序，尽量选择落潮时进行施工，并避开不利气象条件，减少悬浮泥沙产生量。

— 针对液态流出物排水管线挖沟施工，采用淤泥屏障将产生的悬浮物进行过滤/隔离，笼式淤泥屏障主体为钢制框架，框架由 ϕ820×14mm 的钢管组成，钢管结构上布置挂钩，用来连接土工布，土工布围绕在笼式淤泥屏障四周，围成一个封闭的施工区域，土工布底部由钢链压载链加固。

（3）海上污水处理与防治措施

— 对于施工所采用的各类施工船舶，在水上作业时将遵照交通部发布的《中华人民共和国船舶及其有关作业活动污染海洋环境防治管理规定》中对海上施工船舶的要求管理，禁止直接向海域水体排放机舱所处的舱底含油污水、丢弃生活垃圾。

— 严格执行国家《船舶水污染物排放控制标准》和 73/78 国际防止船舶污染海洋公约的相关规定，严禁所有施工船只的含油废水等在施工海域排放。本工程船只无压舱水排放，大型施工船舶设相应的防污设备和器材，并备油类记录簿，含油污水如实记录；设专用容器，回收施工残油、废油；对船舶油污水进行统一收集运至岸上，委托有资质的公司接收处置。

— 对海域施工期间，各类供给船、铺缆船和起重作业船等施工船舶上作业人员产生的生活污水，统一收集运至岸上处理，并委托有资质的单位接收处置。

— 加强施工设备的管理与养护，杜绝石油类物质泄漏，减少海水受污染的可能性。

— 针对可能发生的溢油风险事故，配备一定数量的污染防治物资、设备和器材，如围油栏、吸油毡、消油剂等防污器材。

（4）海上固体废弃物污染防治措施

— 对于施工期船舶施工人员产生的生活垃圾，设立定点生活垃圾收集装置，定期运至陆上，由具有资质的第三方单位外运处置。

— 施工船舶、机械设备作业产生的残油、废油等危险废物，统一交由有危险废物处理资质的单位将其安全处置。

（5）进一步减轻施工对海洋生物影响的措施

— 优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间。

— 严格限制工程方的施工区域，避免任意扩大施工范围，以减小施工作业对生态的影响。

— 施工避免恶劣天气，保障施工安全并避免悬浮物剧烈扩散。

— 取排水构筑物建设施工不涉及水下爆破作业。

— 合理安排施工进度，清淤项目尽量避开海洋生物繁殖和生长最佳的春、夏季。

（6）减轻工程施工建设对渔业资源和渔业生产的影响

— 注意鱼类在遭到水下噪声影响时所处的生命周期，尽量避免在鱼类繁殖期、产卵期时的施工，建立水中作业时间窗的概念。水中作业时间窗表示在该段时间中对某个物种的潜在影响最小，或者在该窗时间内物种本身的生命周期使之不受影响。

— 对施工海域设置明显警示标志，告知施工周期，明示禁止进行捕捞活动的范围、时间。

— 施工期对附近水域开展生态环境及渔业资源跟踪监测，及时了解工程施工对生态环境及渔业资源的实际影响。

（7）减轻工程建设对生态保护红线区的影响

— 施工船舶应精确定位后再开始挖掘，选用 GPS 全球定位系统，精确确定施工的位置。

— 采用先进的施工工艺和设备，合理安排施工顺序和进度，施工作业选择中小潮、海况好的时间施工，以减少工程建设对生态保护红线区的影响。

5.3.2.10　文物保护计划

为保证落实文物保护相关工作，根据《关于山东莱阳核电项目选址的意见》（鲁文旅许〔2024〕251 号）中对建设单位的要求，建设单位向当地文物行政主管部门（莱阳市文化和旅游局）发函进一步请示了施工前和施工中落实文物保护的具体要求，莱阳市文化和旅游局回函（详见附件）对项目文物保护工作提出了

三点具体要求。建设单位将严格按照文物行政主管部门的要求开展相关工作；

— 施工开始前 2 周向莱阳市文化和旅游局提交施工计划。

— 施工开始前，组织施工、监理等单位开展文物保护相关培训。

— 积极配合文物行政主管部门的巡查监督。

5.3.2.11 景观修复计划

本项目不会对周边景观产生影响，因此不涉及景观修复。

5.3.3 施工建设监控计划

本项目将在开工建设后开展施工期环境监测，本项目施工期监测计划设想见表 5.3-1，具体如下：

1）大气环境

监测因子包括 TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$、SO_2、NO_x、NO_2、CO、O_3 等指标。依据厂址施工活动以及所在地的气象条件，结合大气环境本底监测点位布设情况，在主体工程施工场界四周布设无组织排放废气监测点，进行无组织排放废气监测。在厂址附近居民点、敏感点布设大气环境监测点，进行施工期大气环境监测。

此外，针对陆域取排水管线沿线 200m 范围内距离居民点、环境敏感点较近区域、布设大气环境监测点。

针对 VOCs 的监测计划，根据《排污单位自行监测技术指南 涂装》（HJ1086-2020），在喷砂油漆车间排气筒设置 VOCs 监测点，排放监测频次一年一次。排放标准按照《挥发性有机物排放标准 第 7 部分：其他行业》（DB37/2801.7-2019）表 1 中非重点行业执行（见表 5.3-2）。在主体工程和海水淡化厂施工场界四周布设 VOCs 监测点，监测频次每季一次，排放标准按照《挥发性有机物排放标准 第 7 部分：其他行业》（DB37/2801.7-2019）表 2 执行（见表 5.3-2）。

针对海水淡化厂，考虑在海水淡化厂施工场界四周布设无组织排放废气监测点，进行无组织排放废气监测。在厂址附近居民点、敏感点布设大气环境监测点，进行施工期大气环境监测。

2）噪声

监测因子为等效连续 A 声级。根据施工活动状况、敏感区分布等情况，在施工场界四周、厂区外敏感区和噪声源处设置监测点。

此外，针对陆域取排水管线沿线 200m 范围内距离居民点、环境敏感点较近

区域布设声环境监测点。

针对海水淡化厂，考虑在施工场界四周和厂区外敏感区设置监测点。

以上监测点，如涉及夜间施工作业，需在夜间施工期间开展噪声监测。

3）海洋环境

监测范围为取排水工程施工区附近海域，监测内容包括海洋水质、沉积物、海洋生态。其中，海洋水质监测因子包括 pH、盐度、悬浮物、化学需氧量、生化需氧量、溶解氧、无机氮、非离子氮、活性磷酸盐、石油类、硫化物、挥发性酚、重金属（铜、铅、镉、汞、锌、总铬、六价铬、砷）、余氯；沉积物监测因子包括密度、含水率、底质类型、总汞、镉、铅、锌、铜、铬、砷、硒、石油类、硫化物、有机碳；海洋生态监测因子包括浮游植物、浮游动物、叶绿素 a、底栖动物、微生物、游泳动物、赤潮生物、潮间带生物。布点应符合近密远疏的原则。

4）生活污水、生产废水及调试废水

施工期生活污水通过管道输送至当地污水处理厂处理，不向周边环境释放。在生活污水管道建成前（涉及施工期部分时段），产生的生活污水由施工单位自行收集，定期通过有资质的第三方单位外运至当地污水处理厂处理。

施工期的生产废水经处理后回用，不进行排放。

调试期间产生的未加药废水通过静态沉淀的方式进行悬浮物净化，经监测合格后排放，产生的加药废水通过二类污染物废水处理系统处理，针对性去除废水中所含化学成分，经监测合格后排放。调试废水通过陆域和海域排水管线输送至液态流出物排水口排放。

此外，针对海水淡化厂，施工期生活污水主要依托当地的生活污水处理系统，若无现有处理设施可依托，则采用移动厕所或临时厕所进行处理，收集后通过有资质的第三方单位收集处理，不外排。施工期生产废水主要为清管、试压用水，优先考虑经沉淀后回用，不外排。调试期生产废水主要为预处理反洗排水、含油废水、化学清洗废水和反渗透浓盐水，处理方式与运行期一致，详见第六章，其中，预处理反洗排水、含油废水经处理后回用，化学清洗废水和反渗透浓盐水经处理达标后排放。

5）陆域取排水管线五龙河穿越段水环境

鉴于陆域取排水管线穿越陆域生态保护红线（五龙河），因此计划针对五龙河穿越段上游与下游各布设 1 个监测点，开展水质监测。

5.3.4 水土保持方案

5.3.4.1 水土流失现状

山东莱阳核电项目位于烟台市所属莱阳市旺团镇东马家泊村北侧。西南距青岛即墨区约43km；西北距团旺镇约6km；西距莱西市约24km，距平度市约65km；北距莱阳市约28km；东侧距高格庄镇约6km，距海阳市约43km，距山东海阳核电厂址约61km；东北距烟台市约106km；东南距丁字湾岸边约20km，距黄海约32km。

根据《水利部办公厅关于印发<全国水土保持规划国家级水土流失重点预防区和重点治理区复核划分成果>的通知》（办水保〔2013〕188号），项目区不属于国家水土流失重点防治区；根据《山东省水利厅关于发布省级水土流失重点预防区和重点治理区的通告》（鲁水保字〔2016〕1号），项目区属于山东省昆嵛山省级水土流失重点治理区。项目区不涉及饮用水水源保护区、水功能一级区的保护区和保留区、世界文化和自然遗产地、风景名胜区、地质公园、森林公园、重要湿地等水土保持敏感区域。根据《烟台市水土保持规划（2017-2030 年）》，莱阳市土壤侵蚀以微度、轻度水力侵蚀为主，容许土壤流失量为200t/(km^2 .a)。

项目区为低山丘陵区，主要地貌类型有剥蚀丘陵、河流阶地和人工地貌，丘体坡度较缓，此外还发育冲沟、水塘等微地貌。核电厂区地面标高20.0~75.0m，中间高、四周低，最高点位于厂址区东部，地面高程约75.0m，最低点位于厂址区西北角嵯阳河河谷，地面高程约20.0m。海水淡化厂厂址场地较平坦、开阔，自然地面标高5~25m。本项目建设区域水土流失背景值为180~300t/（km^2·a）。

5.3.4.2 水土流失的影响

1）水土流失可能造成的影响

（1）厂区在建设中，由于建筑物基础开挖，出现了新的开挖面，如不采取有效的水土流失防治措施，遇大雨天气，将会造成基坑开挖坡面的冲刷和基坑底部泥土淤积，以及临时堆土的冲刷流失。因此，施工过程中表层土和基坑回填土需要集中堆放，并采取拦挡措施，以避免大雨冲刷造成道路泥泞，同时影响项目的施工，降低工效，使工期延长，相应增加了项目的投资费用。

（2）施工生产生活区由于施工过程中施工机械设备在场地的反复碾压和扰动，使熟化的表层土板结化，土壤由松变硬，由厚变薄。表层土如果不加以保护，若遇大雨天气，会造成土壤有机质和氮、磷、钾养分及土壤随水流失，使后期恢

复原地表植被困难。施工生产区的砂、石、水泥等建筑材料的堆放，若不采取有效的防治措施，将会造成砂、石、水泥在场地流失，影响该区域的后期利用。

（3）由于项目取排水口离海边较近，施工期间如果不采取措施进行防护，可能造成泥沙冲到海里，导致海边泥沙淤积，影响海边水质。

2）水土流失预测

（1）本项目在项目建设期，将扰动地表。

（2）本项目厂址的设计基准洪水位为24.81m，综合考虑分期征用地的要求、地质条件、防洪安全和土石方平衡等因素，厂区的场地平整拟分期实施。

（3）项目建设新增的水土流失量中，核电厂区和厂外取排水区占的比重较大。在不采取任何水保措施的情况下，该区域是造成水土流失最为严重的区域，是本项目水土流失防治的重点。施工准备期和施工期是水土流失防治的重点时段。

（4）如不采取必要的水土流失防治措施，本项目建设造成的水土流失将危害项目安全，增大区域水土流失、破坏当地的水土资源。

3）防治责任范围及防治分区

防治责任范围及防治分区将根据“谁开发谁保护，谁造成水土流失谁负责治理”的原则和《开发建设项目水土保持方案技术规范》的规定进行确定。本项目水土流失防治区分为5个防治分区，即核电厂区、厂外附属设施区、厂外道路区、厂外取排水区和厂外施工力能区。

5.3.4.3　水土保持效益分析

1）减蚀效益

本项目水土保持方案实施后，通过采用工程及植物相结合的综合防治措施，在水土流失防治责任范围内进行有效治理后，可减少的水土流失量47071.34t，水土流失预测总量50148t，因此方案控制率为91.00%。项目建设区防治责任范围内侵蚀总量2987.06t，平均土壤侵蚀模数将降到157.93t/(km^2.a)。因此，方案实施后到各项措施正常发挥效益时，项目建设区防治责任范围内土壤侵蚀模数控制比为1.27，大于目标值1.0。

2）水土流失防治效益

在项目区扰动地表面积301.11hm^2中，水土流失防治面积283.14hm^2，主体工程硬化面积119.21hm^2，水土流失总治理度 97.30%。

3）生态效益

本项目建成后，林草覆盖率10.03%，符合《核电厂总平面及运输设计规范》（GB/T50294-2014）中核电厂绿化率规定。

项目区植物措施的布局是在服从工程施工、保障安全、保持水土、改善环境的基础上，将点、线、面结合布置，采用乔、灌、草相结合的立体配置方案，既能起到绿化美化的效果，又可增加物种的多样性，保证植物群落的稳定性，组成完整的绿色防护体系， 改善核电厂区、海水淡化厂及厂外道路沿线生态环境。

4）社会效益

通过本项目水土保持方案的实施，使主体工程建设被破坏的水土保持设施得到最大限度地恢复，宜林（草）地植被恢复系数达到97.92%。临时占用的耕地、园地等也得到复耕，减少了因工程实施造成的土地资源减少，减轻了对周边环境造成的影响，恢复并改善了项目区周边生态环境，对核电厂正常运行、协调与周边居民关系具有积极作用。

本项目水土保持方案的实施，一方面使新增的水土流失得到有效治理，另一方面也会增加项目区周边居民的经济收入，同时项目区周边种苗种植、流通环节各部门、农资供应各部门等相关行业，均会不同程度地受益，对增加地方财政收入、维护社会稳定具有积极作用。

表5.3-1　施工期环境监测计划

序号	监测内容	监测因子	监测频次	监测点位
1	海洋水质	pH、盐度、悬浮物、化学需氧量、生化需氧量、溶解氧、无机氮、非离子氮、活性磷酸盐、石油类、硫化物、挥发性酚、重金属（铜、铅、镉、汞、锌、总铬、六价铬、砷）、余氯	海工工程施工期的枯水期、丰水期监测 1 次	取排水工程施工海域
2	沉积物	密度、含水率、底质类型、总汞、镉、铅、锌、铜、铬、砷、硒、石油类、硫化物、有机碳	海工工程施工期的枯水期、丰水期监测 1 次	
3	海洋生态	浮游植物、浮游动物、叶绿素 a、底栖生物、微生物、游泳动物、赤潮生物、潮间带生物	海工工程施工期的枯水期、丰水期监测 1 次	
4	生产废水	pH、悬浮物、色度、化学需氧量、氨氮、总氮、阴离子表面活性剂等	每季一次	生产废水处理设施出口
5	穿越五龙河生态红线区的水质	pH、溶解氧、化学需氧量、五日生化需氧量、总氮、氨氮、总磷、石油类、阴离子表面活性剂、挥发酚、悬浮物	陆域取排水管线穿越段施工期间，视施工总时长，开展 1~2 次	陆域取排水管线河流穿越段上游 200m 和穿越段下游 500m 处各设 1 个监测点
6	无组织排放废气	颗粒物、氮氧化物、二氧化硫、VOCs	每季一次	考虑风向影响，在主体工程施工场界、海水淡化厂施工场界设置对照点（1 个）和监测点（3 个）
		颗粒物	在监测点附近的陆域取排水管线段施工时，每段的施工期间视施工时长，开展 1~2 次	陆域取排水管线沿线 200m 范围内的环境敏感目标
7	有组织排	颗粒物、VOCs	每年一次	喷砂油漆车间排

序号	监测内容	监测因子	监测频次	监测点位
	放废气			气筒
8	大气环境	二氧化硫、二氧化氮、氮氧化物、TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$、CO、O_3	每季一次	东马家泊村、西马家泊村、前河前村、徐疃村、董格庄村、胡城村、西张格庄村、东中荆村、第一进厂道路、第二进厂道路、海水淡化厂附近居民点/敏感点
9	施工噪声	昼间、夜间 $L_{eq}(A)$	每季一次	施工场界四周各 1 个点、海水淡化厂施工场界四周各 1 个点、第一进厂道路、第二进厂道路、徐疃村、董格庄村、西马家泊村、东马家泊村、东中荆村、西张格庄村、龙大光山猪场、海水淡化厂外敏感区
			在监测点附近的陆域取排水管线段施工时，每段的施工期间视施工总时长开展 1~2 次	陆域取排水管线沿线 200m 范围内的环境敏感目标

表5.3-2　VOCs排放浓度限值

污染物项目	有组织排放最高允许排放浓度（mg/m^3）
VOCs	60
污染物项目	无组织排放最高允许排放浓度（mg/m^3）
VOCs	2.0

第六章　核电厂运行的环境影响

6.1　散热系统的环境影响

6.1.1　散热系统方案

1）工程方案

距离本项目最近的海域为丁字湾海域。从陆域管线/海域管线距离尽可能短、陆域/海域管线环境风险尽可能低、工程经济性尽可能优化的角度，并考虑行政管理的因素，本项目取水口、海水淡化厂排水口拟设置在丁字湾莱阳市辖范围内，液态流出物排水口设置在丁字湾外海阳市辖范围内。莱阳海域潮汐汊道水深约2~4m，仅有两处水深大于5m的深槽，分别布置本项目取水口和海水淡化厂排水口。液态流出物排水口布置在丁字湾外的工矿通信用海区。

为尽可能降低本项目排水对受纳水体的影响，本项目拟采用二次循环冷却方式，因此取排水量小，相应的，对受纳水体的温升影响、卷塞和卷载效应可显著降低。为进一步优化散热系统工程方案，降低对生态环境的影响，本节对二次循环冷却方式采用的海水冷却方案和淡水冷却方案进行进一步的优化与论证。

海水冷却方案和淡水冷却方案：根据水源不同，可将二次循环冷却方式分为海水冷却方式和淡水冷却方式。海水冷却方案下，通过取水管线取丁字湾海水作为冷却塔的补水水源，少部分冷却塔排水、工业废水与液态流出物通过排水管线共同排放至丁字湾外的液态流出物排水口，剩余大部分冷却塔排水排放至丁字湾内海水淡化厂排水口（海水冷却方案下无海水淡化厂，此处仅为保持两方案下排水口命名的一致性）。淡水冷却方案下，拟配套建设海水淡化厂，通过海域取水管线取丁字湾海水输送至海水淡化厂。6 台机组海水淡化系统一次规划，具备分期建设条件。以海水淡化水作为冷却塔补水及厂内用淡水水源。冷却塔排水经工业废水深度处理系统处理后回用至冷却塔，以最大程度节约淡水资源，无法回用的少量部分与非放射性生产废水系统排水、液态流出物通过陆域排水管线输送至丁字湾附近，随后与少部分海水淡化厂浓盐水共同排放至丁字湾海外液态流出物排水口，剩余大部分浓盐水排放至丁字湾内海水淡化厂排水口。海水冷却方案和淡水冷却方案的取排水口位置相同。

海水冷却方案和淡水冷却方案主要设计参数的对比见表6.1-1a，技术特点对比见表6.1-1b。

2）合理性、可行性分析

（1）受纳水体扩散条件

取排水口区域潮汐、海流特征的描述详见2.5.1.1节。

基于同步水文测验成果，取水口、海水淡化厂排水口区域的潮汐属于正规半日潮，冬季观测期间潮差（T2站位）为176~471cm，平均潮差286cm，平均涨潮历时5小时33分，平均落潮历时6小时52分，落潮历时长于涨潮；夏季观测期间潮差（T2站位）为118~472cm，平均潮差279cm，平均涨潮历时5小时19分，平均落潮历时7小时06分，落潮历时长于涨潮。

取水口、海水淡化厂排水口所在丁字湾内海域受到地形岸线的限制，呈现出明显的往复流特征，冬季垂线平均涨潮流平均流速为31.3～64.5cm/s，落潮流平均流速为20.2～52.4cm/s；中潮期：垂线平均涨潮流平均流速为22.5～50.2cm/s，落潮流平均流速为13.2～39.9cm/s；小潮期：垂线平均涨潮流平均流速为21.3～44cm/s，落潮流平均流速为8.9～34.8cm/s。整体而言，大潮涨落潮流较大，中潮次之，小潮最小。夏季垂线平均涨潮流平均流速为27.7～59.5cm/s，落潮流平均流速为14.5～47.1cm/s；中潮期：垂线平均涨潮流平均流速为23.0～47.4cm/s，落潮流平均流速为10.1～37.0cm/s；小潮期：垂线平均涨潮流平均流速为16.3～37.5cm/s，落潮流平均流速为10.3～33.2cm/s。整体而言，大潮涨落潮流较大，中潮次之，小潮最小。对于海水淡化厂排水口所在的V4站位，冬季大、中、小潮观测期间垂线平均的涨潮平均流速为47.4、39.6和29.9cm/s，落潮平均流速为52.0、37.3和34.4cm/s；夏季大、中、小潮观测期间垂线平均的涨潮平均流速为45.8、33.0和27.0cm/s，落潮平均流速为46.3、36.6和33.2cm/s。从余流来看，冬季大、中、小潮V4站位的垂线平均余流流速分别为12.5、6.6和9.0cm/s，整体朝向湾外；夏季垂线平均余流流速分别为8.7、5.7和9.3cm/s，整体朝向湾外。

整体来说，取水口、海水淡化厂排水口附近海域潮汐动力较强（最大潮差达到4.7m），在地形岸线的约束作用下，潮流呈现往复流形态。

液态流出物排水口所在丁字湾外海域为开敞海域。根据2021年8月~2022年8月开展的海洋水文站观测，丁字湾外海域潮汐属于正规半日潮，最高潮位为240cm，最低潮位为-241cm，最大潮差为428cm，平均潮差为256cm，平均涨潮历时为5小时33分，平均落潮历时为6小时51分。液态流出物排水口附近站位的海流和余流情况如下：冬季大、中、小潮垂线平均的涨潮流平均流速分别为33cm/s、23cm/s、22cm/s，垂线平均落潮流平均流速分别为29cm/s、23cm/s、19cm/s；大、

中、小潮垂线平均涨潮流最大流速分别56cm/s、44cm/s、40cm/s，垂线平均落潮流最大流速分别为42cm/s、34cm/s、29cm/s；大、中、小潮垂线平均余流流速分别为5.0cm/s、4.5cm/s、1.2cm/s。夏季大、中、小潮垂线平均涨潮流平均流速分别为34cm/s、26cm/s、20cm/s，垂线平均落潮流平均流速分别为36cm/s、26cm/s、22cm/s；大、中、小潮垂线平均涨潮流最大流速分别为69cm/s、48cm/s、32cm/s，垂线平均落潮流最大流速分别为54cm/s、41cm/s、34cm/s；大、中、小潮垂线平均余流流速分别为9.5cm/s、7.5cm/s、6.8cm/s。

由于海水冷却方案和淡水冷却方案的液态流出物排水口相同，因此从受纳水体扩散条件角度，两方案相当。

（2）大气扩散条件

厂址当地气象条件的描述详见2.4.3节。

根据厂址气象站的观测结果，厂址100m、80m、55m、30m和10m高度的静风频率很低，大气扩散条件较好。各高度层内，大的风频均对应较大的风速，有利于污染物的输送。

海水冷却方案和淡水冷却方案的冷却塔位置相同，因此大气扩散条件相当。

（3）环境容量

本项目采用二次循环冷却方案，采用海水冷却方案和淡水冷却方案下，取水口、液态流出物排水口和冷却塔位置相当，因此，从环境容量角度，两套方案相当。

（4）生态保护

大气和土壤环境影响：海水冷却方案下，冷却塔以海水作为补水水源，补水量略大于淡水冷却方案。采用海水冷却方案下，雾羽和荫屏、飘滴和沉降、下雾和结冰效应与淡水冷却方案相当，但海水中的盐分会随冷却塔湿热羽向周边大气环境输移扩散，并沉降至地表，因此，盐沉积效应显著高于淡水冷却方案。淡水冷却方案下，配套建设海水淡化厂，冷却塔以海水淡化水作为补水水源。采用淡水冷却方案下，雾羽和荫屏、飘滴和沉降、下雾和结冰效应与海水冷却方案相当，但盐沉积效应远小于海水冷却方案。基于以上分析，淡水冷却方案的大气、土壤环境影响显著小于海水冷却方案。

水环境影响：本项目采用二次循环冷却方案，排水对受纳水体的影响主要为温升、液态流出物和盐度影响。对于温升影响，本项目排水量较小，基于6.1.2节

的分析，采用淡水冷却方案下，冬季对受纳水体的温升影响小，其他季节无温升。基于表6.1-1b的对比分析，海水冷却方案的取排水量略大于淡水冷却方案，且温升影响持续全年，因此，从受纳水体的温升影响角度，淡水冷却方案更优。对于液态流出物的影响，由于海水冷却方案和淡水冷却方案排放的液态流出物排放总量和排放位置均一致，因此，两方案的水环境影响相当。对于盐度影响，海水冷却方案和淡水冷却方案排放的盐分均来源于取水口取用的原料海水，因此，对受纳水体整体盐度的影响相当，但淡水冷却方案由于浓盐水的排放，会导致海水淡化厂排水口附近局部海域盐度的升高，基于6.3.3节的评价，其影响有限，因此，从受纳水体的盐度影响角度，海水冷却方案略优。综合对受纳水体温升、液态流出物和盐度的影响，结合受纳水体的水环境条件，淡水冷却塔方案整体较优。

（5）水域环境功能区划

本项目温排水受纳水体主要为丁字湾海水淡化厂排水口附近海域，根据《山东省近岸海域环境功能区划（2016～2020年）》，厂址取水口、海水淡化厂排水口和液态流出物排水口附近海域的功能区为丁字湾旅游娱乐区，代码为SD236CIII，水质保护目标为III类。另外，取水口和海水淡化厂排水口附近存在山东莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区，代码为SD239AII，水质保护目标为II类。

采用海水冷却方案下取排水量略大于淡水冷却方案，温升更高（4~5℃）且影响持续全年，因此，从水域环境功能区划角度，淡水冷却方案更优。

（6）水体功能区划

根据山东省各级国土空间规划，本项目取水口、海水淡化厂排水口均位于生态保护红线内。淡水冷却方案的温升影响小于海水冷却方案，从水体功能区划角度来看，淡水冷却方案更优。

（7）取排水管线环境风险

海水冷却方案下，取水管线输送海水，而淡水冷却方案下输送海水淡化水，因此，从取水管线的环境风险角度考虑，淡水冷却方案更优。两套方案的排水均采用“管中管”方案并配套监测设施，环境风险均较低。综合取排水管线的环境风险，淡水冷却方案更优。

（8）综合分析比选

基于淡水冷却方案和海水冷却方案的技术参数和特点，两者在受纳水体的

扩散条件、大气扩散条件、环境容量方面相当；在生态保护、水域环境功能区划、取排水管线环境风险方面，淡水冷却方案更具有合理性和可行性；在水体功能区划方面，淡水冷却方案更优。综合以上情况，将淡水冷却方案作为推荐方案。

3）推荐循环冷却方式的优化

基于现阶段设计方案，推荐方案下本项目循环冷却水系统拟采用带自然通风淡水冷却塔的循环冷却系统，补给水为海水淡化水。

在液态流出物排水口方案优化过程中，进一步提出了两种布置方案，分别位于丁字湾外约-5m和-7m等深线处。根据数学模型计算结果，-7m方案所在位置的潮汐动力更强，受纳水体的水交换条件优于-5m方案，有利于液态流出物的稀释与扩散。综合比较，优化采用-7m等深线处方案作为液态流出物排水口的优化布置方案。

推荐方案下，配套建设海水淡化厂，位于莱阳市羊郡镇南羊郡村南侧，水源为丁字湾海水。6 台机组海水淡化系统一次规划，具备分期建设条件。淡水作为冷却塔补水及厂内用淡水水源。冷却塔排水经工业废水深度处理系统处理后回用，无法回用的部分与非放射性生产废水系统排水、液态流出物通过陆域排水管线输送至丁字湾附近，随后与海水淡化厂少部分浓盐水共同排放至丁字湾外海域，剩余大部分浓盐水通过海水淡化厂排水口排放至丁字湾。

推荐方案下，本项目一期工程 2 台机组运行工况的取排水量、排水温度和温升见表 6.1-2。选址阶段海水淡化厂产水由 20%海水反渗透和 80%淡水反渗透混合产水，本项目在建造阶段通过对海水淡化厂产水量的优化调整（优化为由 45%海水反渗透和 55%淡水反渗透混合产水），较选址阶段进一步降低了取排水量。

6.1.2　散热系统对水体的物理影响

针对推荐的取排水方案，建设单位委托专题单位编制完成了《山东莱阳核能工程可行性研究阶段岸滩稳定分析及泥沙数值模拟计算专题报告》（2022.12）和《山东莱阳核电项目泥沙物理模型试验研究专题报告》（2025.02），委托专题单位编制完成了《冷却塔排水、液态流出物和浓盐水数学模型补充计算报告》（2026.08）。关于取排水海域流场、温升、液态流出物和浓盐水排放的分析结果采用推荐取排水方案的数值模拟结果。

6.1.2.1　散热系统设施对水体的物理影响

拟采用二次循环冷却供水方案，采用海水淡化水作为冷却塔的补给水源。取排水方案为暗涵取水排水，取排水工程一次建成。

根据本项目岸滩稳定性分析及泥沙数模报告，丁字湾湾顶水域水清沙少，自然淤积较小，局部深坑地形短期内淤平或消失的可能性小，可用于布置取排水工程。取排水工程方案实施后，流场变化和泥沙冲淤变化都局限于工程附近区域，取水口附近呈现淤积而排水口附近呈现冲刷。取排水工程对周边大范围流场的影响有限，不会影响周边滩槽稳定格局。工程实施后丁字湾内北汊道西段最浅处的冲淤变化厚度不超过 0.1m。现状地形叠加平衡冲淤厚度后，取水口和海水淡化厂排水口之间两个汊道深槽地形与现状地形并没有明显差异。

本工程对水体热分层模式的改变见温排水对水体的物理影响。

6.1.2.2　温排水对水体的物理影响

本项目采用二次循环冷却方案，取排水量较小，排水温升较低。本项目冷却塔排水输送至工业废水深度处理系统处理后回用，少量无法回用的部分与非放射性生产废水系统排水、液态流出物通过陆域排水管线输送至丁字湾附近，随后与少部分海水淡化浓盐水（约 0.38m^3/s）共同排放至丁字湾外液态流出物排水口，其余大部分浓盐水排放至丁字湾海水淡化厂排水口。本项目排水中，浓盐水的水量占总排水量的绝大部分。本项目海水淡化厂采用膜法海淡工艺，仅冬季需要加热海水，且排水温升不高于 2.0°C，其他季节由于不需要加热海水，因此排水温升为 0°C。2 台机组运行期间冬季典型工况下的取排水流量：补充水量 3.42m^3/s，排水量为 1.95m^3/s。

温排水对受纳水体温升影响的预测方法：为评估本项目排水对受纳水体的温升影响，本阶段采用数学模型模拟的方法，对 2 台机组运行工况状态下的排水温升影响进行了研究。

6.1.2.2.1　水动力模型

1）预测模式

本阶段采用三维水动力——水质数学模型，基于连续方程、雷诺平均的动量方程、物质对流扩散方程、湍流方程和海水状态方程，联立求解水位、流速、流向、温度等物理量。

基本控制方程描述如下：

连续性方程：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial Hu}{\partial x}+\frac{\partial Hv}{\partial y}+\frac{\partial H\hat{w}}{\partial \sigma}=0 \quad (6.1\text{-}1)$$

式中：x 轴正向取为正东，y 轴正向取为正北，$H=h+\eta$ 为总水深，η 为自由表面高度。u 、v 和 w 分别为笛卡尔坐标系下的流速分量（$m\cdot s^{-1}$），$\hat{w}$ 为 σ 坐标系下的垂向流速 $\hat{w}=\frac{\partial \sigma}{\partial t}+u\frac{\partial \sigma}{\partial x}+v\frac{\partial \sigma}{\partial y}+w\frac{\partial \sigma}{\partial z}$。

运动方程：

$$\frac{\partial Hu}{\partial t}+\frac{\partial Hu^{2}}{\partial x}+\frac{\partial Huv}{\partial y}+\frac{\partial Hu\hat{w}}{\partial \sigma}+gH\frac{\partial \eta}{\partial x}=\frac{\partial}{\partial x}(2HN_h\frac{\partial u}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}[HN_h(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x})]+\frac{\partial}{\partial \sigma}(\frac{N_z}{H}\frac{\partial u}{\partial \sigma})+fvH-\frac{gH^{2}}{\rho_0}\frac{\partial}{\partial x}(\int_0^{\sigma}\rho d\sigma)+\frac{gH}{\rho_0}\frac{\partial H}{\partial x}\int_0^{\sigma}\sigma\frac{\partial \rho}{\partial \sigma}d\sigma \quad (6.1\text{-}2)$$

$$\frac{\partial Hv}{\partial t}+\frac{\partial Huv}{\partial x}+\frac{\partial Hv^{2}}{\partial y}+\frac{\partial Hv\hat{w}}{\partial \sigma}+gH\frac{\partial \eta}{\partial y}=\frac{\partial}{\partial x}[HN_h(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x})]+\frac{\partial}{\partial y}[2HN_h\frac{\partial u}{\partial y}]+\frac{\partial}{\partial \sigma}(\frac{N_z}{H}\frac{\partial v}{\partial \sigma})-fuH-\frac{gH^{2}}{\rho_0}\frac{\partial}{\partial y}(\int_0^{\sigma}\rho d\sigma)+\frac{gH}{\rho_0}\frac{\partial H}{\partial y}\int_0^{\sigma}\sigma\frac{\partial \rho}{\partial \sigma}d\sigma \quad (6.1\text{-}3)$$

式中：f 为科氏力系数，ρ 为水体密度，下标（$_0$）表示参考密度，N_h 和 N_z 分别为水平和垂向的涡动粘性系数。

热传导方程：

$$\frac{\partial T}{\partial t}+u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}+w\frac{\partial T}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}(\upsilon_H\frac{\partial T}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(\upsilon_H\frac{\partial T}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(\upsilon_T\frac{\partial T}{\partial y})+Q \quad (6.1\text{-}4a)$$

式中：T 为温度，℃。υ_H 和 υ_T 分别为水平方向和垂向的涡动扩散系数，$m^2\cdot s^{-1}$；u，v 为水深平均流速，m/s。Q 为源汇项，对于温度的模拟，Q 以下式计算：

$$Q=-\frac{K_S T}{\rho C_P H} \quad (6.1\text{-}4b)$$

式中：K_S 为水面综合散热系数，$W/m^2\cdot℃$；C_p 为定压比热，$W.s/kg\cdot℃$。

2）计算域设置

模拟范围包含丁字湾及东、南侧外海海域，自液态流出物排水口向东侧外海海域扩展约 36km，向南侧外海海域的扩展距离约为 72km。模拟采用无结构三角形网格剖分单元，最小网格尺度为 2m，最大网格尺度约 3000m，总网格数为 70621 个。计算网格划分时在取水口、海水淡化厂排水口和液态流出物排水口附近部分区域进行了局部加密，以适应周边流场和物质场的模拟。

温排水数模计算域包括了五龙河入海河段。对于河口区域的模拟，通常需将计算域上溯至潮区界，但由于五龙河存在较多拦河闸和橡胶坝，人工构筑物已改

变了自然河道的流场属性，本报告将五龙河的上游边界取在五龙河大桥附近（上游约 1km 处）。

3）模式参数

根据厂址附近夏季和冬季气象水文条件，在相同条件下采用《工业循环水冷却设计规范》推荐公式，等效计算出冬季综合散热系数取值为 17.73W m^{-2}℃$^{-1}$。糙率系数 *n* 与海床底质、水深分布有关，基于同步水文观测资料的率定，糙率系数取值范围基本在 0.01~0.02。

涡动扩散系数 *D* 反映了热量（或物质）在环境水体中的掺混扩散特性，是温度场模拟的关键参数。在三维数学模型中，扩散系数 *D* 包含了分子扩散和紊动扩散，是一个综合性的系数。对于大尺度水体数值模拟计算，由于计算网格不可能分得足够精细而得到与网格无关的解，其扩散系数除了包含上述因素外还计算了数值扩散和离散的作用，相当于使用了一个等效扩散系数。通常情况下，在数值模型的参数选取中，紊动扩散系数为比较复杂和难以确定的参数。通过文献调研并结合工程研究经验，海域污染物扩散系数量级基本在 10^0~$10^2$$m^2$/s 之间。本项目排水口位于丁字湾湾顶主槽区域，从同步水文观测结果来看，丁字湾内平均流速高于湾外，但考虑到憩流时段的潮流较弱，对温度扩散不利，会造成排口周围局部的高温升区面积相对较大，因此为保守分析温排水影响，采用憩流时段平均流速（U_{min}=0.05m/s）对排口周围扩散系数进行了估算，在此基础上，参考国内同类型项目经验，在温排水模拟中采用的扩散系数取值限定在 2m^2/s。

4）模型验证

- 潮位验证

基于《山东莱阳核电项目一期工程同步水文测验专题成果报告》，数学模型的潮位验证采用连理岛站、南邵码头站、大桥站、女岛站、鳌山湾站（即峰山东渔港站）的观测数据，夏季观测时间为 2021 年 07 月 09 日 0:00~2021 年 08 月 09 日 24:00，冬季观测时间为 2021 年 11 月 21 日 0:00~2021 年 12 月 21 日 24:00，夏季和冬季均覆盖一个完整月份。各潮位站的位置如图 6.1-1 和图 6.1-2 所示。

基于《山东莱阳核电项目同步水文补充测验专题成果报告》，夏季潮位观测时间为 2022 年 7 月 15 日 0:00~2023 年 8 月 15 日 23:00，冬季潮位观测时间为 2022 年 12 月 25 日 0:00~2023 年 1 月 25 日 23:00。潮位观测时间覆盖定点水文观测大、中、小潮时期。

夏季和冬季的潮位验证结果如图 6.1-3~图 6.1-4 所示。从潮位验证结果可以看出，夏季和冬季计算潮位过程与实测过程吻合良好，计算的潮位过程可准确反映模拟区域潮差、相位的半日/日/半月变化。

- 潮流验证

（1）丁字湾外站位

丁字湾外站位夏季大、中、小潮潮流流速和流向的验证时间分别为 2021 年 07 月 24 日 10:00 至 2021 年 07 月 25 日 12:00、2021 年 08 月 07 日 09:00 至 2021 年 08 月 08 日 11:00，和 2021 年 08 月 02 日 10:00 至 2021 年 08 月 03 日 12:00，冬季大、中、小潮潮流流速和流向的验证时间分别为 2021 年 12 月 07 日 10:00 至 2021 年 12 月 08 日 12:00、2021 年 12 月 10 日 10:00 至 2021 年 12 月 11 日 12:00，和 2021 年 12 月 13 日 08:00 至 2021 年 12 月 14 日 10:00，验证站位为 V1~V16 水文观测站。二维模型计算输出的各站位流速、流向与观测数据的对比如图 6.2-8 和图 6.2-9 所示。

（2）丁字湾内站位

丁字湾内站位夏季大、中、小潮潮流流速和流向的验证时间分别为 2023 年 8 月 1 日 08:00~8 月 2 日 10:00、2023 年 8 月 14 日 14:00-8 月 15 日 16:00、2023 年 7 月 26 日 13:00~7 月 27 日 15:00，冬季大、中、小潮潮流流速和流向的验证时间分别为 2022 年 12 月 25 日 08:00~12 月 26 日 10:00、2022 年 12 月 31 日 09:00-2023 年 1 月 1 日 11:00、2022 年 12 月 29 日 08:00~12 月 30 日 10:00，验证站位为 V1~V8 水文观测站。三维模型计算输出的各站位流速、流向与观测数据的对比如图 6.1-5 和图 6.1-6 所示。

（3）流场验证结果

整体来说，夏季和冬季各站位流速和流向的模拟值和观测值吻合较好，潮流流速和流向的模拟结果能够反映出局地流场的时间变化（小/中/大潮，以及一个潮周期内变化）和空间变化（近岸/离岸位置）特征，说明数值模型具有较好的潮流预报能力。

对于离岸站位，例如 V6、V9、V11、V13、V16，由于受到岸线的约束作用相对较小，呈现较为明显的旋转流流态，模型在大、中、小潮周期内均可正确模拟各离岸站位的潮流形态。

部分近岸站位的潮流受局地地形和岸线的影响较大，例如靠近丁字湾的 V7

站位，呈现显著的往复流流态，且流速的潮周期变化较为剧烈，模型在大、中、小潮周期内均可正确模拟以上流场细节，表明基于无结构三角网格的计算可较好的适应复杂地形岸线下的局部高精度水动力模拟。

对于丁字湾内海域，模型能够准确模拟丁字湾内 T1~T6 站位的往复流结构，并反映潮流流速和流向的大小潮和涨落潮变化，模拟的 T7~T8 站位流场能够反映出一定的旋转流特征，与实测流速和流场一致性较好。整体来说，丁字湾内海域的流场验证较好。

6.1.2.2.1　模拟结果

考虑到本项目春、夏和秋季排水温度与海水温度相同，无温升影响，故不作评价。冬季 2 台机组运行工况下的排水量较小（其中，0.38m^3/s 排放至液态流出物排水口，1.57m^3/s 排放至海水淡化厂排水口，由于液态流出物排水口排放的水量很小，且丁字湾外海域水交换条件整体优于丁字湾内海域，因此预计不会导致液态流出物排水口周边水体明显的温升影响），经三维数学模型计算，一期工程正常运行对受纳水体的冬季半月潮（根据《核动力厂取排水环境影响评价指南》（试行）（HJ 1037-2019）的要求，“关注夏季和冬季典型潮型（大、中、小潮）或半月潮型条件全潮最大和全潮平均的温升面积”，本报告计算了半月潮工况，经模型计算，可包络典型潮结果）的最大、平均温升包络范围如表 6.1-3 和图 6.1-7~图 6.1-8 所示。

结果表明，受潮汐水流影响，海水淡化厂排放的温排水主要在湾内排水口附近海域形成局部温升，影响范围小；而位于湾外的液态流出物排水口由于流量小，对附近海域的温升影响可忽略。冬季半月潮工况下，海水淡化厂排水口附近 0.5℃以上垂向投影平均温升包络范围为 5.18E-04km^2，面积微小，温升影响有限，最大温升影响范围从水平方向上看仅涉及海水淡化厂排水口周边有限区域，形状主要沿主槽向上游和下游扩展。从垂向上看，温升影响主要集中在水体中下层，主要原因是本项目排水温升主要来自浓盐水，而浓盐水的重力作用显著超过了温升带来的浮力作用，因此排水对受纳水体的温升影响主要集中在中下层。

整体来说，本工程不会对受纳水体产生冬季 2℃以上温升影响。因此，本工程排水不会对受纳海域产生明显的温升影响，不涉及混合区的设置。

本项目排水口附近无其它热污染源。

6.1.2.2.3　温排用海相容性

1）国土空间规划符合性

根据《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》，本项目取水口和海水淡化厂排水口位于烟台市和青岛市所划定海域生态保护红线内，为丁字湾湿地重要滩涂及浅海水域生态保护红线。液态流出物排水口不在生态保护红线内。基于数学模型计算结果，一期工程正常运行工况下冬季无 2℃ 以上最大温升包络范围，其他季节无温升。由于对受纳水体的温升影响很小，不会对生态保护红线内的生态环境造成影响。

2）近岸海域环境功能区划符合性

根据《山东省近岸海域环境功能区划（2016～2020 年）》，厂址取水口、海水淡化厂排水口和液态流出物排水口位于丁字湾旅游娱乐区，代码为 SD236CIII，水质保护目标为 III 类。另外，取水口和海水淡化厂排水口附近存在山东莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区，代码为 SD239AII，水质保护目标为 II 类。

根据《山东省近岸海域环境功能区划（2016~2020 年）》中的环境功能区分类：第二类环境功能区，适用于水产养殖区，海水浴场，人体直接接触海水的海上运动或娱乐区，以及与人类食用直接有关的工业用水区；第三类环境功能区，适用于一般工业或城镇建设用水区，滨海风景旅游区。二类环境功能区、三类环境功能区，应分别执行《海水水质标准（GB3097-1997）》中第二类、第三类海水水质标准。

基于数学模型计算结果，一期工程正常运行工况下冬季无 2℃ 以上最大温升包络范围，夏季无温升，以上情况满足三类海水水质要求。本工程生态保护红线不可避让论证报告已通过烟台市自然资源和规划局及山东省自然资源厅组织的专家评审，取得了山东省人民政府《山东省人民政府关于山东莱阳核电项目一期工程不可避让生态保护红线意见的函》（省政府便函〔2026〕39 号）。

3）生态环境分区管控要求符合性

根据烟台市 2024 年“三线一单”生态环境分区管控动态更新成果、青岛市“三线一单”生态环境分区管控方案修改单和青岛市环境管控单元生态环境准入清单（2024 年版），厂址海水淡化厂排水口所在的环境管控单元为：丁字湾湿地重要滩涂及浅海水域生态保护区（HY37060010002），属于优先保护单元；液态流出物排水口所在的环境管控单元为：海阳南部近海工矿通信用海区

（HY37060020005），属于重点管控单元。

本项目循环冷却方式为二次循环冷却方案，取排水量较小，排水温升较低，根据温排水排放数值模拟结果，一期工程正常运行工况下冬季无 2℃ 以上最大温升包络范围，其他季节无温升。本工程温排水与生态环境分区管控要求符合性如表 6.1-4 所示，符合生态环境分区管控要求。

6.1.3　取排水系统对水体水生生物的影响

6.1.3.1　取排水工程对水生生物的影响

1）取水系统组成

本项目取水系统主要由陆域/海域取水管线、取水头部组成。由于采用二次循环方式，取水流量小，一期工程夏季 10%气象条件下海水取水量仅为 4.83m^3/s，冬季海水取水量仅为 3.42m^3/s。本项目未采用明渠取水方式，不涉及取水构筑物的内部流场。

2）取水系统卷吸卷载效应程度与影响范围

本项目采用二次循环冷却方案，取水量小，远低于采用直流循环冷却方案的核电厂址，预计取水系统对水生生物（浮游生物、游泳动物、底栖生物、潮间带生物、养殖生物等）的卷塞和卷载效应可接受。

3）降低或减少不利影响所采取的工程措施

本工程从设计阶段尽可能的降低取水口的取水流速，一期工程正常运行工况下的流速为 0.11m/s，小于取水口区域潮流平均流速，且取水量较小，取水卷载能力相对环境流较弱。在以上设计优化条件下，本工程取水系统不会对水生生物（浮游生物、游泳动物、底栖生物、潮间带生物、养殖生物等）产生明显的卷载和卷塞效应（截留、撞击和夹带作用）。

6.1.3.2　温排水对水生生物的影响

本项目采用二次循环冷却方式，排水温升较低，温升影响主要来源于冬季海水淡化厂排放的浓盐水。本项目冬季排水温升不超过 2.0℃，其他季节无温升。根据三维数学模型模拟结果，冬季不利潮型下无 4℃ 和 2℃ 温升包络范围，不会导致受纳水体水温稳定性的改变，夏季无温升。另一方面，本工程排水中不含余氯，不会对受纳水体的水生生物造成影响。综上，本项目排水对水生生物（浮游生物、游泳动物、底栖生物、潮间带生物等）的影响是可以接受的，不会对受纳海域的海洋生物及其栖息环境造成不良影响。

本工程取排水系统周边的自然保护区主要为莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区。从保护区的分布位置看，莱阳五龙河口保护区距离厂址取水口和海水淡化厂排水口较近，距离取水口约 0.1km，距离海水淡化厂排水口约 0.9km，距离液态流出物排水口约 14.6km。本项目取排水管线（海域部分）涉及穿越莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区。由于本工程采用二次循环冷却方式，排水温升较低，1、2 号机组工程排水温升影响范围很小，不影响上述保护区，因此预计不会对保护区内海洋生物及其栖息环境造成不良影响。

厂址附近水产养殖现状详见 2.3.3 节。由于本项目排水对受纳水体的温升影响很小，可满足二类水质要求，因此对于取排水系统周边的水产养殖区域，温排水的影响是可接受的。

本项目减少对水生生物不利影响的计划和措施：降低海水淡化厂冬季原料海水的加热温度，将浓盐水的温升控制在最低水平，以最大限度的降低对受纳水体的温升影响。

综上所述，本项目取排水系统工程量较小，对河床形态，水流状况，水体理化条件均影响较小。同时，工程取排水量较小，排水温升较低，排水温升影响可接受。因此，取排水系统对水生生态的影响可接受。

6.1.4　散热系统对声环境的影响

冷却塔噪声源种类：本项目采用自然通风高位收水冷却塔，循环冷却水通过淋撒喷头均匀的喷洒在填料顶部，透过填料滴落在收水斜板上，收水斜板连接着U型集水槽将冷却水循环收集。噪声主要在收水斜板处产生，再通过冷却塔底部的进风口向外传播，因此认为自然通风高位收水冷却塔噪声为垂直面声源。另外本项目厂用水系统（SWS）还配置机械通风冷却塔，其噪声可简化为点声源。

冷却塔数量：山东莱阳核电项目冷却塔采用一机一塔的高位收水塔方案，一期工程设置2座冷却塔。厂用水系统（SWS）机械通风冷却塔布置在核岛南侧，每机组共设置4个冷却塔格间。

噪声级、频率特征：本项目塔型相较常规塔可以明显降低淋水噪声。常规冷却塔中，冷却水能够对水池中的水及淋水构架板、梁柱等大面积连续性直接撞击。由于其声源庞大、频带宽，因此声效等级强，传播距离远。冷却塔落水频谱特性与冷却塔集水池的水深有关，水池水越深，水落声音的低频成分越强，噪声传得越远。而高位集水冷却塔，冷却塔下部无集水水池，相对来说噪声较常规冷却塔

小。本项目高位收水冷却塔外1m处、1.5m高度的设计声压级为76dB（A）。对于机械通风冷却塔，噪声主要来自风机进风噪声、排风噪声、淋水噪声，排风噪声通过顶部风口直接向外传播，进风噪声及淋水噪声通过进风口向外传播。对于机械塔噪声源强，由于缺少现场实测数据，根据相关研究（[1]曾少雁,吕小兰,吕春玲,等. 燃机电厂机械通风冷却塔群噪声治理方案研究 [J]. 南方能源建设, 2021, 8 (04): 73-78. [2]冯晶晶,尤坤运,黄青青. 电厂大型机力通风冷却塔噪声控制浅析 [J]. 中国环保产业, 2019, (10): 32-36. [3]高岚. 火力发电厂冷却塔降噪措施 [J]. 吉林电力, 2016, 44 (04): 38-40. [4]袁丽. 机械通风式冷却塔噪声控制及效果研究 [D]. 西南交通大学, 2013.）取较保守值，单点声源声压级设置为85dB（A）。发声持续时间：主要是水滴下落时所产生的连续性噪声。

对敏感目标的作用时间段：本项目冷却塔对厂址附近敏感目标（居民点）的作用时间段为全天。

固定声源的具体位置：本工程2座高位收水冷却塔进风口和两组机械通风冷却塔外侧进风口。

本项目基于噪声专业评价软件CadnaA对一期工程2座高位收水冷却塔和两组机械通风冷却塔的噪声进行预测评价。

根据《环境影响评价技术导则声环境》（HJ 2.4-2021），本次评价范围为厂界外200m以及周围的声环境敏感点。本项目厂界处噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的3类标准：昼间65dB（A）；夜间55dB（A）。厂界外声环境敏感目标执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）1类标准。

在自然通风冷却塔北侧的厂区北边界外1m设置三处受声点，在机械通风冷却塔南侧厂区南边界外1m设置一处受声点，在厂区西侧东中荆东村距厂址最近处设置一处受声点，在厂区西边界外1m设置两处受声点，在厂区东边界外1m设置一处受声点，共8处。

受声点预测噪声值见表6.1-5和表6.1-6。

结果显示，位于厂区北边界外1m的三处受声点预测声压级分别为50.9、62.5、53.2dB（A），受声点2不满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类声环境功能区要求中夜间不超过55dB的要求。位于厂区西边界外1m的两处受声点预测声压级分别为27.1、33.9dB（A），位于厂区东边界外1m的一处

受声点预测声压级为35.5dB（A），满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类声环境功能区要求。

位于厂区西侧东中荆东村的受声点5预测声压级41.9dB（A），东中荆东村东侧声环境本底值为昼间53.9dB，夜间40.9dB，叠加背景值后，受声点5的昼间声压级为54.3dB（A），夜间为44.1dB（A），满足1类声环境功能区中要求昼间不超过55dB（A），夜间不超过45dB（A）的要求。

在冷却塔北侧的厂界处拟通过采取设置声屏障的方式，确保厂界噪声可以满足标准限值的要求。基于现阶段方案，声屏障高度按7m考虑，位置设在厂区边界内1m处。设置声屏障后，模式预测的受声点模拟噪声值见表6.1-7和表6.1-8。

结果显示，受声点1、2、3声压级分别为33.8、44、49.4dB（A），相较于设置声屏障前，下降了17.1、18.5、3.8dB（A），说明在厂界内1m设置声屏障可以有效地降低厂界边缘处噪声，满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类声环境功能区要求。东中荆东村处的噪声预测值下降了1.4dB（A），叠加声环境本底值后东中荆东村处噪声值为昼间54.2dB（A）、夜间43.3dB（A），满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）1类声环境功能区要求。

6.1.5　散热系统对大气环境的影响

本项目厂址距海域较远，取水管线过长限制了海水直流循环冷却方式的使用，散热系统采用淡水自然通风冷却塔方案，以大气为最终热阱。夹带在冷却水中的废热在散热装置内与空气进行热交换，传输给空气并散入大气。

莱阳核电厂冷却塔运行散热水汽对环境的影响，采用《核电厂冷却塔环境影响评价技术规范》（NB/T20307-2014）中的模式进行分析评价。该模式在国内外核电厂环境影响评价中被广泛采用。

莱阳核电厂的大型自然通风冷却塔采用一机一塔的方案进行布置。由于本项目采用淡水冷却塔，冷却循环水为海水淡化水。计算总飘滴释放率时考虑了收水器的除水率，为百万分之五。

6.1.5.1　雾羽和荫屏

电厂湿式冷却塔内在水、气交换的过程中产生大量热水汽，水汽排出后与周围空气混合，其中一部分可能冷凝形成白色的羽状雾气，即称“雾羽”。雾羽中的雾滴由于粒径小，重量轻，可以在自然风的吹送下达到一定距离，并在一定范围内影响太阳辐射，形成阴影，即称“荫屏”，从而减弱到达地面的太阳辐射的

能量。

根据莱阳气象站一年（2023.11~2024.10）的逐时厂址气象资料和本项目冷却塔设计参数，本节计算本项目2台机组在全年正常工况下冷却塔雾羽和荫屏造成的太阳辐射损失量。荫屏的覆盖范围由雾羽扩散范围、抬升高度结合当时太阳高度角计算得到。

表6.1-9~表6.1-11分别给出了冷却塔雾羽长度、高度及半径在各个方位上的频率分布，雾羽的分布主要受厂址地区主导风向影响。表6.1-12给出了全年中雾羽造成冷却塔周围地面“荫屏”小时数，表6.1-13~表6.1-14给出了冷却塔周围各距离上和区域内全年太阳辐射累积损失量及其损失率。雾羽长度频率和太阳辐射损失量分布参见图6.1-9和图6.1-10。

本项目2台机组正常运行时，在冷却塔附近区域：

- 最大的年均雾羽长度频率为14.55%，位于冷却塔NNW方位约200m处。该处的年均荫屏小时数约为709.2h，相应减少的太阳辐射能量约为855MJ/m^2，辐射能量损失率为15.9%。
- 最大年均荫屏小时数为766.2h，位于冷却塔NNE方位约200处；最大太阳辐射能量约为907.3MJ/m^2，位于冷却塔N方位约200m处，相应总太阳辐射能量损失率为16.9%
- 800m处，平均太阳辐射损失为122.5MJ/m^2，平均辐射能量损失率为2.3%。
- 2000m处，平均太阳辐射损失约为35.3MJ/m^2，平均辐射能量损失率为0.7%。
- 在5000m处，平均太阳辐射损失约为8.2MJ/m^2，平均辐射能量损失率约为0.2%。

莱阳核电厂正常运行时冷却塔雾羽引起的荫屏主要集中在冷却塔近区核电厂厂区周围有限范围内。因此，预计莱阳核电厂冷却塔形成的雾羽“荫屏”不会对周围陆生生态产生明显影响。

6.1.5.2　飘滴和沉降

核电厂循环冷却水在冷却塔内溅落过程中，产生大量的细小水滴，被上升气流顶托带出塔外，形成飘滴。飘滴不但损失了循环水，而且可能对局地环境造成一定的影响。飘滴的环境影响和气象条件密切相关，环境气温高或湿度低，小粒径飘滴容易蒸发消失，对环境影响明显减少；在温度低或湿度大时，则影响加强。

表6.1-15给出了莱阳核电厂2台机组正常运行，冷却塔引起附近局地范围内的水沉积量的计算预测结果。

- 年均地面沉积水量最大值出现在冷却塔SSW方位1000m附近，约为6.8E+03kg/（km^2·月），相当于增加0.0816mm/年的降水量。
- 在800m处，地面平均沉积水量2.0E+03kg/（km^2·月），相当于全年增加降水0.024mm。
- 在5000m处，地面平均沉积水量为9.3E+01kg/（km^2·月），相当于全年增加降水约1.116E-03mm。

核电厂址区域年平均降水量超过600mm，冷却塔飘滴引起的降水量远低于自然降水量。因此，莱阳核电厂2台机组冷却塔的正常运行不会引起厂址周边区域明显的降水变化。

6.1.5.3　盐分沉积

莱阳核电厂拟采用海水淡化水作为冷却水，本身盐分含量较少，但由于工业废水深度处理系统的循环倍率较高，因此仍含有少量的盐分，本节基于数学模型计算并给出了核电厂附近地面盐沉积量的计算预测结果（表6.1-16和图6.1-11）。

年均盐沉积的最大值出现在冷却塔NNW方位1100m处，约为25.38kg/（km^2·月）。

在800m处，盐的平均沉积量为9.17kg/（km^2·月）。

在5000m处，盐的平均沉积量为0.66kg/（km^2·月）。

《核电厂冷却塔环境影响评价技术规范》（NB/T20307 2014）对植物影响的评价准则中给出盐沉积率对植物影响的评价准则：当飘滴中盐沉积率在1~2kg/(ha·月)的情况下（相当于200kg/km^2·月），不会对植物产生危害；当盐沉积率在植物的生长期接近或超过10kg/（ha·月）时（相当于1000kg/km^2·月），可能会对植物的叶片产生危害。

根据计算结果，本项目冷却塔周围盐沉积最大值小于200kg/km^2·月，因此冷却塔造成的盐沉积不会对周围植物产生危害，也不会对周围土壤产生影响。

6.1.5.4　下雾与结冰

莱阳核电厂拟采用的自然通风冷却塔高度达到200m以上，具有较高的排放高度。雾羽在排出冷却塔后，由于动量和浮力作用还要向上抬升一段高度。在国外的实测和相关研究中，自然通风冷却塔的雾羽到达地面可能性较小，不会

导致地面结雾现象。本次评价结果也表明自然通风冷却塔不会对地面产生下雾和结冰的明显影响，因此不会对项目周边公路产生影响。本项目周边无机场，不会对机场安全产生影响。

综上，本项目冷却塔所引起的局地气象现象（主要包括雾羽荫屏、太阳辐射损失和地面水沉积）对厂址附近的环境影响可接受，对厂址周围大气环境、土壤、建筑物、公路的影响可接受。

6.1.5.5　冷却塔烟羽与其他流出物混合后的扩散影响

考虑到冷却塔烟羽可能对局地扩散产生影响，参考同类核电厂通过风洞实验及CFD数值模拟得到的分析结果，冷却塔烟羽对其他流出物扩散的影响与风向和冷却塔与其他流出物排放点之间的相对位置有关。风向与冷却塔和其他流出物排放点连线同向时，同一机组的冷却塔烟羽会不同程度地提高其他流出物扩散的高度，这是因为冷却塔烟羽与其他流出物相混合，其他流出物受到冷却塔浮力的影响而产生一定的提高。风向与冷却塔和其他流出物排放点连线近似呈90°时，冷却塔烟羽对其他流出物扩散高度基本没有影响。冷却塔烟羽对扩散参数的影响还表现在对σ_z的影响大于σ_y，这也是由冷却塔热羽的浮力作用所引起的。

表 6.1-1a　取排水方案比选阶段：海水冷却方案和淡水冷却方案设计参数比较一览表

序号	项目	海水冷却方案	淡水冷却方案
1	海域取排水管道及头部	同淡水冷却方案。	取水口位于丁字湾-9m 深槽内取水口设置在丁字湾海域-9～-10m 等深线处。为了便于稀释扩散，海水淡化厂排水口采用多点排水方式，排水暗涵末端设置 6 个排水头。液态流出物排水口位于丁字湾外工矿通信用海区。
2	海淡系统	仅在厂内设置小型海水淡化系统，本期系统设计出力为：3×136m^3/h 二级淡水反渗透装置，2 用 1 备。	在丁字湾岸边设置海水淡化系统供全厂补水，本期系统设计出力为：8×1085m^3/h 一级反渗透，6×700m^3/h 二级反渗透。
3	海水杀菌加药系统	本期设置 4×260kg/h，满足取水头、取水流道、陆域海水输水、排水管线加药需求	本期设置 2×36kg/h，满足取水头、取水流道加药需求

表 6.1-1b　取排水方案比选阶段：海水冷却方案和淡水冷却方案技术特点比较一览表

序号	比较内容		海水冷却方案	淡水冷却方案
1	方案差异	水质	取排水工程和循环水系统输送介质为海水。	取排水陆域管线输送为二级反渗透出水，循环水系统输送水氯离子含量约 1400mg/L。
		浓缩倍率	1.5 倍	15 倍
		海水淡化设施	仅供电厂工业生活用水，规模小，设在厂内。	供全电厂用水，设在海边。
		工业废水深度处理设施	无	有
2	陆域环境影响	冷却塔	将对厂址附近产生一定程度的盐沉积影响。	盐沉积影响显著降低。
		取排管线	管道渗漏对附近土壤和地下水可能存在影响。	渗漏对附近土壤和地下水盐度无明显影响。
		液态流出物	采用双层管输送，可有效降低环境风险。	采用双层管输送，可有效降低环境风险。
3	海域环境影响	温排水排放	全年存在冷却塔排水，冷却塔排水与海水温差约为 4~5℃。	由于冬季海淡加热，海淡系统冬季排放的浓盐水温升不高于 2℃，其他季节无温升。
		浓盐水排放	无	有
4	征租地		海边仅设海水预处理设施，占地面积小，不单独建厂。	海边海水淡化处理设施规模较大，占地面积较大，单独建厂，易于地方融合。

表 6.1-2　厂址取排水量和排水温升

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	夏季 10%
2 台机总取水（m^3/s）	3.33	3.46	3.54	3.97	4.31	4.56	4.70	4.69	4.45	4.08	3.64	3.48	4.83
2 台机总排水（m^3/s）	1.90	1.97	2.02	2.26	2.46	2.60	2.68	2.67	2.53	2.32	2.07	1.98	2.75
排水温升（℃）	2.0	2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.0	0

表 6.1-3a　本项目运行对海水淡化厂排水口附近海域温升影响的模拟结果

（km^2）

机组数	季节	潮型	水层	类型	温升（℃）			
					4	2	1	0.5
2 台	冬季	半月潮	表层	平均值	0	0	<1.00E-05	<1.00E-05
				最大值	0	0	<1.00E-05	2.25E-06
			中层	平均值	0	0	<1.00E-05	<1.00E-05
				最大值	0	0	<1.00E-05	2.22E-06
			底层	平均值	0	0	1.45E-04	5.18E-04
				最大值	0	0	4.76E-03	1.01E-02
			垂向投影	平均值	0	0	1.45E-04	5.18E-04
				最大值	0	0	4.76E-03	1.01E-02

表 6.1-3b　本项目运行对液态流出物排水口附近海域温升影响的模拟结果

（km^2）

机组数	季节	潮型	水层	类型	温升（℃）			
					4	2	1	0.5
2 台	冬季	半月潮	表层	平均值	0	0	<1.00E-05	<1.00E-05
				最大值	0	0	<1.00E-05	<1.00E-05
			中层	平均值	0	0	<1.00E-05	<1.00E-05
				最大值	0	0	<1.00E-05	<1.00E-05
			底层	平均值	0	0	<1.00E-05	<1.00E-05
				最大值	0	0	6.43E-05	3.21E-04
			垂向投影	平均值	0	0	<1.00E-05	<1.00E-05
				最大值	0	0	6.43E-05	3.21E-04

表 6.1-4　本工程温排水与周边生态环境分区管控要求符合性评价

范围	环境管控单元编码	环境管控单元名称	市	县	管控单元分类	空间布局约束	污染物排放管控	环境风险防控	资源开发效率要求	本工程与管控要求的相符性评价
海水淡化厂排水口位置及温排水影响范围	HY37060010002	丁字湾湿地重要滩涂及浅海水域生态保护区	烟台市	/	优先保护单元	严格禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规前提下，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。	加强海洋环境质量监测，河口实行陆源污染物入海总量控制，进行减排防治。	/	/	本工程为我国能源建设重大项目，符合空间布局约束要求。 根据《山东省近岸海域环境功能区划（2016～2020年）》，本工程温排水符合要求。
液态流出物排水口位置及温排水影响范围	HY37060020005	海阳南部近海工矿通信用海区	烟台市	/	重点管控单元	除省级重点工程项目外，严格限制高耗能、高污染和资源消耗型工业项目用海。减少对海洋水动力环境、岸滩及海底地形地貌的影响，防止海岸侵蚀。禁止在海洋保护区、侵蚀岸段、防护林带毗邻海域开采海砂等固体矿产资源，防止海砂开采破坏重要水产种质资源产卵场、索饵场和越冬场。	加强环境治理及动态监测，严格实行污水达标排放。实行陆源污染物入海总量控制，进行减排防治。优化围填海海岸景观设计，按要求开展围填海项目生态保护修复工作。	新建石化等危险化学品项目应远离人口密集的城镇；严格执行海洋油气勘探、开采中的环境管理要求，防范海上溢油等海洋环境突发污染事件。	合理控制规模，提高海域空间资源的整体使用效能。	本工程为我国能源建设重大项目，采用二次循环冷却方式，对周边水动力环境影响较小，不涉及开采海砂等固体矿产资源，符合空间布局约束要求。 本工程排放液态流出物符合国家放射性污染防治标准。 根据《山东省近岸海域环境功能区划（2016～2020年）》，本工程温排水符合要求。

表 6.1-5　厂界各受声点噪声预测值（设置声屏障前）

单位：dB（A）

受声点序号	噪声预测值		标准限值		是否达标
	昼间	夜间	昼间	夜间	
1（厂区北边界外 1m）	50.9	50.9	65	55	达标
2（厂区北边界外 1m）	62.5	62.5	65	55	夜间超标
3（厂区北边界外 1m）	53.2	53.2	65	55	达标
4（厂区南边界外 1m）	38.4	38.4	65	55	达标
6（厂区西边界外 1m）	27.1	27.1	65	55	达标
7（厂区西边界外 1m）	33.9	33.9	65	55	达标
8（厂区东边界外 1m）	35.5	35.5	65	55	达标

表 6.1-6　最近居民点处噪声预测值（设置声屏障前）

单位：dB（A）

受声点名称	噪声预测值		叠加环境本底值		标准限值		是否达标
	昼间	夜间	昼间	夜间	昼间	夜间	
5（厂区西侧东中荆东）	41.9	41.9	54.3	44.1	55	45	达标

注：东中荆东村东侧声环境本底值为昼间 54dB，夜间 40dB。

表 6.1-7　厂界各受声点噪声预测值（设置声屏障后）

单位：dB（A）

受声点序号	噪声预测值		标准限值		是否达标
	昼间	夜间	昼间	夜间	
1（厂区北边界外 1m）	33.8	33.8	65	55	达标
2（厂区北边界外 1m）	44.0	44.0	65	55	达标
3（厂区北边界外 1m）	49.4	49.4	65	55	达标
4（厂区南边界外 1m）	38.4	38.4	65	55	达标
6（厂区西边界外 1m）	27.2	27.2	65	55	达标
7（厂区西边界外 1m）	33.9	33.9	65	55	达标
8（厂区东边界外 1m）	35.5	35.5	65	55	达标

表 6.1-8　最近居民点处噪声预测值（设置声屏障后）

单位：dB（A）

受声点名称	噪声预测值		叠加环境本底值		标准限值		是否达标
	昼间	夜间	昼间	夜间	昼间	夜间	
5（厂区西侧东中荆东）	40.5	40.5	54.2	43.3	55	45	达标

注：东中荆东村东侧声环境本底值为昼间 54dB，夜间 40dB。

表 6.1-9　冷却塔周边不同方位雾羽长度频率分布（%）

雾羽长度(m)	雾羽朝向																
	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	SUM
100.	10.18	10.25	6.34	4.02	2.29	2.43	6.07	14.55	12.62	3.81	3.42	2.66	3.71	4.84	6.64	6.18	100.00
200	10.04	10.09	6.17	3.96	2.26	2.32	6.03	14.34	12.54	3.67	3.23	2.34	3.54	4.76	6.56	6.08	97.93
300	10.04	10.09	6.17	3.96	2.26	2.32	6.03	14.34	12.54	3.67	3.23	2.34	3.54	4.76	6.56	6.08	97.93
400	9.23	9.19	5.29	3.02	1.89	2.10	5.50	13.13	11.69	3.16	2.56	1.51	2.35	4.00	6.08	5.60	86.29
500	8.11	7.99	5.29	3.02	1.89	2.07	5.08	11.40	9.18	2.90	2.56	1.51	2.35	3.90	5.72	4.50	77.48
600	7.38	7.19	5.04	3.02	1.84	1.97	4.56	9.83	6.95	2.27	2.27	1.51	2.32	3.78	5.54	4.11	69.58
700	7.38	7.13	4.46	2.90	1.63	1.87	4.56	9.80	6.95	2.22	1.75	1.36	2.12	3.67	5.53	4.10	67.43
800	7.38	7.12	4.33	2.66	1.63	1.87	4.56	9.40	6.95	2.22	1.59	1.22	1.92	3.66	5.53	3.98	66.02
900	7.07	7.12	4.28	2.66	1.63	1.87	4.32	8.91	6.50	2.22	1.57	1.22	1.92	3.66	5.44	3.87	64.26
1000	6.80	6.74	4.28	2.66	1.57	1.71	4.13	8.52	6.23	1.87	1.57	1.22	1.92	3.37	5.30	3.69	61.57
2000	3.74	2.95	1.05	0.85	0.48	0.66	1.92	4.13	2.79	0.48	0.16	0.05	0.27	1.84	3.34	2.01	26.75
3000	1.82	1.43	0.73	0.53	0.27	0.22	0.97	1.76	1.08	0.15	0.09	0.02	0.19	0.57	2.20	1.05	13.10
4000	1.39	1.43	0.73	0.53	0.27	0.22	0.86	1.41	0.95	0.15	0.09	0.02	0.19	0.57	1.84	0.79	11.45
5000	0.92	0.89	0.61	0.53	0.27	0.16	0.65	1.08	0.72	0.07	0.05	0.02	0.19	0.37	0.53	0.60	7.65

表 6.1-10　冷却塔周边不同方位雾羽抬升高度频率分布（%）

抬升高度(m)	雾羽朝向																
	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	SUM
10.	10.18	10.25	6.34	4.02	2.29	2.43	6.07	14.55	12.62	3.81	3.42	2.66	3.71	4.84	6.64	6.18	100.00
20	9.49	9.25	6.09	3.93	2.29	2.42	5.92	13.55	10.84	3.66	3.13	2.60	3.69	4.79	6.40	5.32	93.36
30	9.49	9.25	6.09	3.93	2.29	2.42	5.92	13.55	10.84	3.66	3.13	2.60	3.69	4.79	6.40	5.32	93.36
40	9.49	9.25	6.09	3.93	2.29	2.42	5.92	13.55	10.84	3.66	3.13	2.60	3.69	4.79	6.40	5.32	93.36
50	9.49	9.25	6.09	3.93	2.29	2.42	5.92	13.55	10.84	3.66	3.13	2.60	3.69	4.79	6.40	5.32	93.36
60	9.49	9.25	6.09	3.93	2.29	2.42	5.92	13.55	10.84	3.66	3.13	2.60	3.69	4.79	6.40	5.32	93.36
70	9.40	9.10	5.95	3.64	2.28	2.34	5.91	13.46	10.81	3.56	3.00	2.28	3.34	4.76	6.33	5.24	91.40
80	9.40	9.10	5.95	3.64	2.28	2.34	5.91	13.46	10.81	3.56	3.00	2.28	3.34	4.76	6.33	5.24	91.40
90	9.40	9.10	5.95	3.64	2.28	2.34	5.91	11.96	10.81	3.56	3.00	2.28	3.34	4.76	6.33	4.89	89.55
100	8.73	8.49	5.91	3.55	2.22	2.23	5.44	11.96	8.63	3.10	2.93	2.26	3.17	4.64	6.18	4.89	84.34
200	8.48	8.28	4.53	3.42	1.82	2.20	5.31	10.88	8.06	2.95	1.81	1.95	2.97	4.54	6.12	4.58	77.91
300	6.67	6.80	4.40	2.69	1.68	1.79	3.98	8.59	5.83	1.91	1.65	1.28	1.99	3.58	5.22	3.72	61.79
400	6.67	6.47	4.40	2.69	1.63	1.63	3.98	8.59	5.83	1.80	1.65	1.28	1.99	3.34	5.22	3.72	60.88
500	6.67	6.47	4.11	2.61	1.63	1.63	3.98	8.59	5.83	1.80	1.47	1.10	1.83	3.34	5.22	3.72	59.99
1000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 6.1-11　冷却塔周边不同方位雾羽半径频率分布（%）

雾羽半径(m)	雾羽朝向																
	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	SUM
5.	10.18	10.25	6.34	4.02	2.29	2.43	6.07	14.55	12.62	3.81	3.42	2.66	3.71	4.84	6.64	6.18	100.00
10	10.18	10.25	6.34	4.02	2.29	2.43	6.07	14.55	12.62	3.81	3.42	2.66	3.71	4.84	6.64	6.18	100.00
15	10.18	10.25	6.34	4.02	2.29	2.43	6.07	14.55	12.62	3.81	3.42	2.66	3.71	4.84	6.64	6.18	100.00
20	10.18	10.25	6.34	4.02	2.29	2.43	6.07	14.55	12.62	3.81	3.42	2.66	3.71	4.84	6.64	6.18	100.00
25	10.18	10.25	6.34	4.02	2.29	2.43	6.07	14.55	12.62	3.81	3.42	2.66	3.71	4.84	6.64	6.18	100.00
30	10.18	10.25	6.34	4.02	2.29	2.43	6.07	14.55	12.62	3.81	3.42	2.66	3.71	4.84	6.64	6.18	100.00
35	10.18	10.25	6.34	4.02	2.29	2.43	6.07	14.55	12.62	3.81	3.42	2.66	3.71	4.84	6.64	6.18	100.00
40	9.49	9.25	6.34	3.93	2.29	2.42	5.92	13.55	10.84	3.66	3.42	2.60	3.69	4.79	6.40	5.32	93.91
45	9.49	9.25	6.34	3.93	2.29	2.42	5.92	13.55	10.84	3.66	3.42	2.60	3.69	4.79	6.40	5.32	93.91
50	8.73	8.49	5.95	3.64	2.23	2.23	5.44	11.96	8.63	3.10	3.00	2.28	3.34	4.64	6.18	4.89	84.75
100	6.67	6.97	4.16	2.61	1.63	1.79	3.98	8.59	5.83	2.11	1.49	1.10	1.83	3.58	5.22	3.72	61.27
200	5.25	4.69	2.44	1.74	1.12	1.14	2.79	5.87	3.77	0.81	0.48	0.29	0.76	2.53	4.25	2.80	40.74
300	0.92	0.89	0.61	0.53	0.27	0.16	0.65	1.08	0.72	0.07	0.05	0.02	0.19	0.37	0.53	0.60	7.65
400	0.54	0.49	0.42	0.39	0.21	0.13	0.48	0.71	0.44	0.06	0.01	0.02	0.16	0.19	0.22	0.29	4.75
500	0.54	0.49	0.21	0.14	0.06	0.13	0.48	0.71	0.44	0.06	0.00	0.00	0.09	0.19	0.22	0.29	4.03

表 6.1-12　冷却塔周边不同方位和距离处的荫屏小时数（h）

	雾羽朝向																
距离(m)	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	平均值
200	189.2	202.2	237.2	281.2	375.2	520.2	679.2	709.2	748.2	**766.2**	712.2	596.2	437.2	312.2	238.2	196.2	450.0
400	107.5	127.5	163.5	241.5	423.5	571.3	588.0	580.3	583.0	598.0	645.2	606.2	446.2	248.2	146.0	98.2	385.9
600	78.7	110.9	142.9	193.9	417.7	448.9	422.3	334.4	273.1	291.1	392.5	433.3	370.4	183.0	98.0	80.7	267.0
800	69.7	90.2	122.2	193.6	372.6	356.2	321.9	222.4	163.1	137.4	237.3	301.3	302.2	150.0	72.0	60.7	198.3
1000	56.7	72.3	108.3	171.6	340.3	301.8	267.4	181.4	125.1	89.8	146.5	240.6	225.3	119.2	62.4	52.7	160.1
2000	16.3	27.5	31.3	69.8	124.0	83.1	83.8	55.0	17.2	18.7	16.1	48.6	38.8	28.5	32.0	17.0	44.2
3000	16.3	27.5	31.3	69.8	124.0	83.1	83.8	55.0	17.2	18.7	16.1	48.6	38.8	28.5	32.0	17.0	44.2
4000	12.3	21.5	28.7	56.4	83.5	57.7	51.3	36.2	11.2	8.7	5.4	28.1	27.3	23.5	28.0	6.8	30.4
5000	11.3	16.1	24.0	52.1	52.9	34.9	42.9	32.2	8.2	5.7	4.2	23.2	17.8	19.8	7.0	7.0	22.5
6000	6.3	13.4	19.1	43.3	37.0	26.0	33.7	27.2	6.2	3.4	2.1	15.7	11.8	17.5	6.2	6.0	17.2
7000	5.4	10.8	10.9	42.5	23.0	18.6	27.2	23.6	6.2	3.4	0.9	7.8	8.0	14.9	0.0	4.0	12.9
8000	5.4	7.8	8.9	37.6	18.9	18.8	18.7	17.5	3.1	2.4	0.9	4.6	8.6	12.5	0.0	4.0	10.6

表 6.1-13　冷却塔周边不同方位和距离处的总太阳辐射损失量（MJ/m^2）

距离(m)	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	平均值
200	195.6	208.7	245.8	294.7	402.8	588.3	796.3	855.0	**907.3**	903.9	804.6	629.4	462.2	334.3	259.9	206.0	505.9
400	93.4	108.3	135.7	195.9	313.8	467.5	543.6	617.4	630.9	577.9	535.3	473.4	337.4	211.1	136.0	86.8	341.5
600	62.8	85.1	102.0	129.1	242.1	283.2	320.0	301.6	246.4	231.7	261.3	256.5	216.0	133.8	86.6	63.2	188.8
800	51.1	64.9	83.2	117.7	174.5	184.2	219.7	189.8	136.7	91.8	131.1	150.1	149.2	105.0	64.7	47.0	122.5
1000	41.6	51.4	70.5	91.2	148.3	136.6	171.3	152.0	101.8	54.7	72.2	113.8	103.1	76.4	56.5	39.9	92.6
2000	14.7	16.3	27.8	48.5	56.3	56.2	79.8	69.9	36.8	16.1	8.3	27.7	28.7	26.2	34.5	16.3	35.3
3000	11.0	14.6	14.0	25.4	28.3	20.5	38.9	36.3	11.0	9.1	3.6	10.3	11.2	12.8	29.2	8.6	17.8
4000	8.8	10.5	11.0	19.0	16.5	11.4	23.5	21.5	7.2	3.9	0.9	5.2	7.7	10.4	28.3	3.7	11.8
5000	7.3	8.7	9.5	18.0	8.8	6.6	19.2	18.1	3.6	2.6	0.6	4.5	6.6	8.6	3.9	4.1	8.2

表 6.1-14　冷却塔周边不同方位和距离处的总太阳辐射损失率（%）

距离(m)	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	平均值
200	3.6	3.9	4.6	5.5	7.5	10.9	14.8	15.9	**16.9**	16.8	15.0	11.7	8.6	6.2	4.8	3.8	9.4
400	1.7	2.0	2.5	3.6	5.8	8.7	10.1	11.5	11.7	10.7	10.0	8.8	6.3	3.9	2.5	1.6	6.4
600	1.2	1.6	1.9	2.4	4.5	5.3	6.0	5.6	4.6	4.3	4.9	4.8	4.0	2.5	1.6	1.2	3.5
800	1.0	1.2	1.5	2.2	3.2	3.4	4.1	3.5	2.5	1.7	2.4	2.8	2.8	2.0	1.2	0.9	2.3
1000	0.8	1.0	1.3	1.7	2.8	2.5	3.2	2.8	1.9	1.0	1.3	2.1	1.9	1.4	1.1	0.7	1.7
2000	0.3	0.3	0.5	0.9	1.0	1.0	1.5	1.3	0.7	0.3	0.2	0.5	0.5	0.5	0.6	0.3	0.7
3000	0.2	0.3	0.3	0.5	0.5	0.4	0.7	0.7	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	0.3
4000	0.2	0.2	0.2	0.4	0.3	0.2	0.4	0.4	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.5	0.1	0.2
5000	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2

表 6.1-15　冷却塔周边不同方位和距离处的水沉积量（kg/km^2/月）

距离(m)	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	AVG
100	1.80E+02	1.80E+02	1.30E+02	7.80E+01	5.00E+01	5.50E+01	1.10E+02	2.60E+02	2.00E+02	8.70E+01	8.20E+01	8.80E+01	9.50E+01	1.00E+02	1.20E+02	1.00E+02	1.20E+02
200	1.80E+02	1.80E+02	1.30E+02	7.80E+01	5.00E+01	5.50E+01	1.10E+02	2.60E+02	2.00E+02	8.70E+01	8.20E+01	8.80E+01	9.50E+01	1.00E+02	1.20E+02	1.00E+02	1.20E+02
300	2.80E+02	2.70E+02	2.40E+02	1.20E+02	8.20E+01	1.20E+02	1.40E+02	4.40E+02	2.60E+02	1.80E+02	2.20E+02	3.40E+02	2.00E+02	1.80E+02	1.60E+02	1.70E+02	2.10E+02
400	7.80E+02	8.70E+02	8.80E+02	3.40E+02	2.30E+02	5.00E+02	2.90E+02	1.20E+03	5.70E+02	6.80E+02	9.30E+02	1.50E+03	8.40E+02	4.80E+02	4.60E+02	5.50E+02	6.90E+02
500	9.70E+02	1.00E+03	8.60E+02	4.50E+02	3.60E+02	4.60E+02	5.30E+02	1.50E+03	8.90E+02	7.60E+02	8.60E+02	1.30E+03	9.10E+02	7.20E+02	5.70E+02	6.10E+02	8.00E+02
600	1.10E+03	1.30E+03	9.20E+02	5.60E+02	4.50E+02	4.00E+02	7.90E+02	1.70E+03	1.20E+03	7.70E+02	7.10E+02	8.20E+02	9.10E+02	8.20E+02	7.10E+02	6.80E+02	8.70E+02
700.	2.20E+03	2.50E+03	1.70E+03	1.10E+03	8.00E+02	7.10E+02	1.60E+03	3.40E+03	2.50E+03	1.30E+03	1.10E+03	1.10E+03	1.50E+03	1.50E+03	1.40E+03	1.30E+03	1.60E+03
800	2.90E+03	3.20E+03	2.20E+03	1.40E+03	9.50E+02	9.00E+02	2.10E+03	4.30E+03	3.30E+03	1.60E+03	1.30E+03	1.30E+03	1.80E+03	1.80E+03	1.80E+03	1.60E+03	2.00E+03
900	3.20E+03	3.90E+03	2.60E+03	1.50E+03	9.70E+02	9.70E+02	2.30E+03	4.90E+03	3.70E+03	1.60E+03	1.40E+03	1.30E+03	1.70E+03	1.90E+03	2.20E+03	1.80E+03	2.20E+03
1000	4.20E+03	6.80E+03	3.70E+03	1.90E+03	1.10E+03	1.30E+03	2.90E+03	6.40E+03	4.80E+03	2.20E+03	2.20E+03	1.40E+03	1.90E+03	2.40E+03	2.70E+03	2.40E+03	3.00E+03
1100	1.80E+03	1.90E+03	7.60E+02	4.10E+02	2.40E+02	3.60E+02	8.50E+02	2.60E+03	2.80E+03	5.10E+02	4.00E+02	1.80E+02	2.60E+02	7.10E+02	1.00E+03	1.40E+03	1.00E+03
2000	7.50E+02	6.80E+02	4.50E+02	2.50E+02	1.60E+02	1.40E+02	3.80E+02	9.80E+02	8.00E+02	1.50E+02	1.80E+02	1.00E+02	1.60E+02	2.90E+02	5.40E+02	5.20E+02	4.10E+02
3000	4.00E+02	3.90E+02	2.00E+02	1.40E+02	8.70E+01	7.40E+01	2.10E+02	4.90E+02	4.10E+02	7.20E+01	5.70E+01	2.70E+01	6.80E+01	1.70E+02	3.00E+02	2.70E+02	2.10E+02
4000	2.10E+02	1.70E+02	9.10E+01	6.80E+01	3.80E+01	2.90E+01	1.00E+02	1.80E+02	1.80E+02	2.20E+01	1.80E+01	7.40E+00	2.70E+01	7.70E+01	1.50E+02	1.00E+02	9.30E+01
5000	1.80E+02	1.80E+02	1.30E+02	7.80E+01	5.00E+01	5.50E+01	1.10E+02	2.60E+02	2.00E+02	8.70E+01	8.20E+01	8.80E+01	9.50E+01	1.00E+02	1.20E+02	1.00E+02	1.20E+02

表 6.1-16　冷却塔周边不同方位和距离处的盐沉积量（kg/km^2/月）

距离(m)	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	平均值
100	0.56	0.58	0.41	0.25	0.16	0.17	0.36	0.83	0.62	0.28	0.26	0.28	0.31	0.32	0.36	0.33	0.38
200	0.56	0.58	0.41	0.25	0.16	0.17	0.36	0.83	0.62	0.28	0.26	0.28	0.31	0.32	0.36	0.33	0.38
300	0.92	0.91	0.81	0.41	0.28	0.42	0.47	1.48	0.88	0.62	0.79	1.22	0.71	0.6	0.54	0.58	0.73
400	3.59	4.06	4.17	1.53	1	2.4	1.19	5.4	2.45	3.28	4.52	7.28	4.06	2.16	2.11	2.58	3.24
500	4.96	5.41	4.85	2.23	1.68	2.71	2.32	7.6	4.08	4.17	5.14	7.97	5.09	3.52	2.89	3.27	4.24
600	5.43	6.07	4.7	2.64	2.06	2.29	3.36	8.45	5.42	4.02	4.22	5.66	4.84	3.98	3.29	3.38	4.36
700	9.76	11.02	7.65	4.74	3.51	3.38	6.8	14.63	10.57	6.32	5.64	6.16	7.33	6.91	6.01	5.66	7.26
800	12.89	14.3	9.69	6.07	4.3	4.25	8.86	18.76	14.02	7.81	6.58	6.83	8.89	8.3	7.89	7.27	9.17
900	13.68	16.1	10.63	6.55	4.34	4.24	9.62	20.38	15.46	7.59	6.53	6.2	8.33	8.47	8.92	7.61	9.67
1000	16.45	24.99	14.02	7.86	4.67	5.1	11.63	**25.22**	19.08	9.22	8.78	6.35	8.69	9.85	10.43	9.25	11.97
1100	7.64	7.83	3.07	1.73	0.97	1.61	3.90	11.49	12.97	2.65	1.71	0.95	1.31	2.96	4.09	5.88	4.42
2000	3.78	3.54	2.44	1.31	0.80	0.82	2.17	5.59	4.73	1.15	1.15	0.73	1.03	1.57	2.51	2.46	2.24
3000	2.29	2.27	1.29	0.86	0.52	0.53	1.33	3.12	2.41	0.63	0.48	0.36	0.59	1.06	1.65	1.43	1.30
4000	1.51	1.11	0.61	0.45	0.25	0.24	0.65	1.34	1.37	0.25	0.21	0.17	0.28	0.54	0.93	0.66	0.66
5000	0.56	0.58	0.41	0.25	0.16	0.17	0.36	0.83	0.62	0.28	0.26	0.28	0.31	0.32	0.36	0.33	0.38

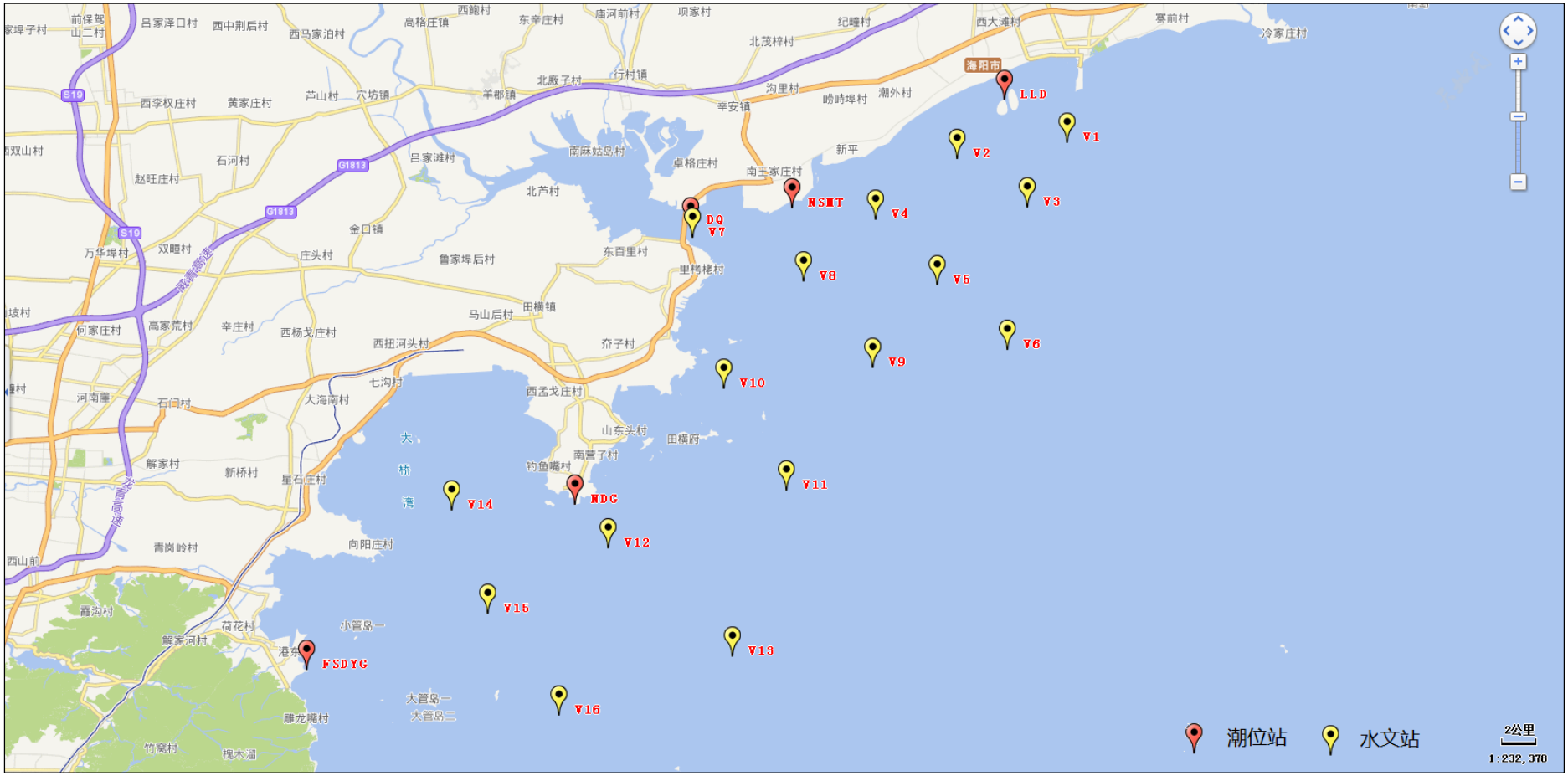


图 6.1-1　厂址同步水文测验站位布置示意图（共有 5 个潮位站，分别为 NDG—女岛港站，DQ—大桥站，NSMT—南邵码头站，LLD—连理岛站，FSDYG—峰山东渔港站，即鳌山湾站；共有 16 个水文站，为 V1~V16 站）

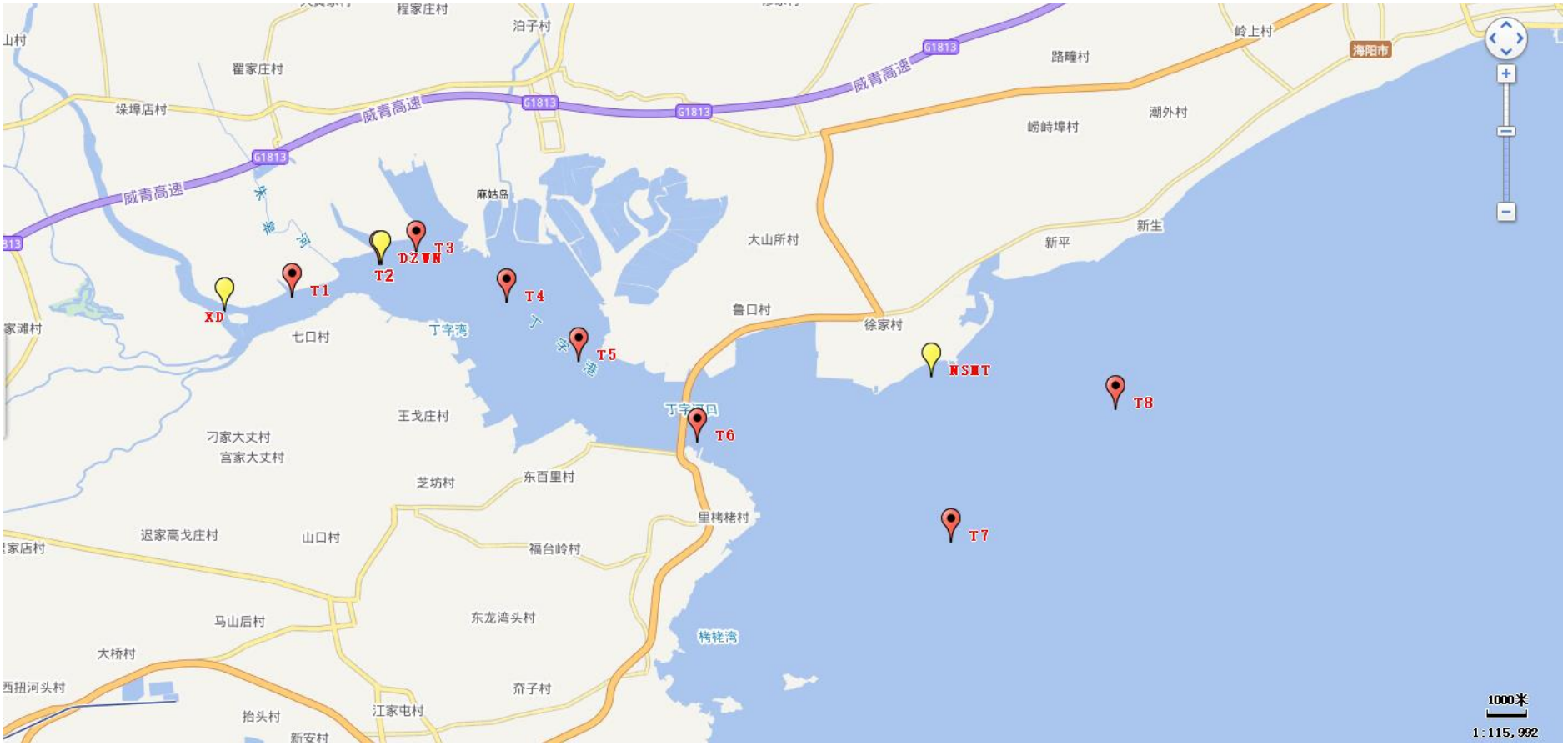


图 6.1-2　丁字湾内补充同步水文测验站位布置示意图（共有 3 个潮位站，分别为 DZWN—丁字湾内站，XD—香岛站，NSMT—南邵码头站；共有 8 个水文站，为 T1~T8 站）

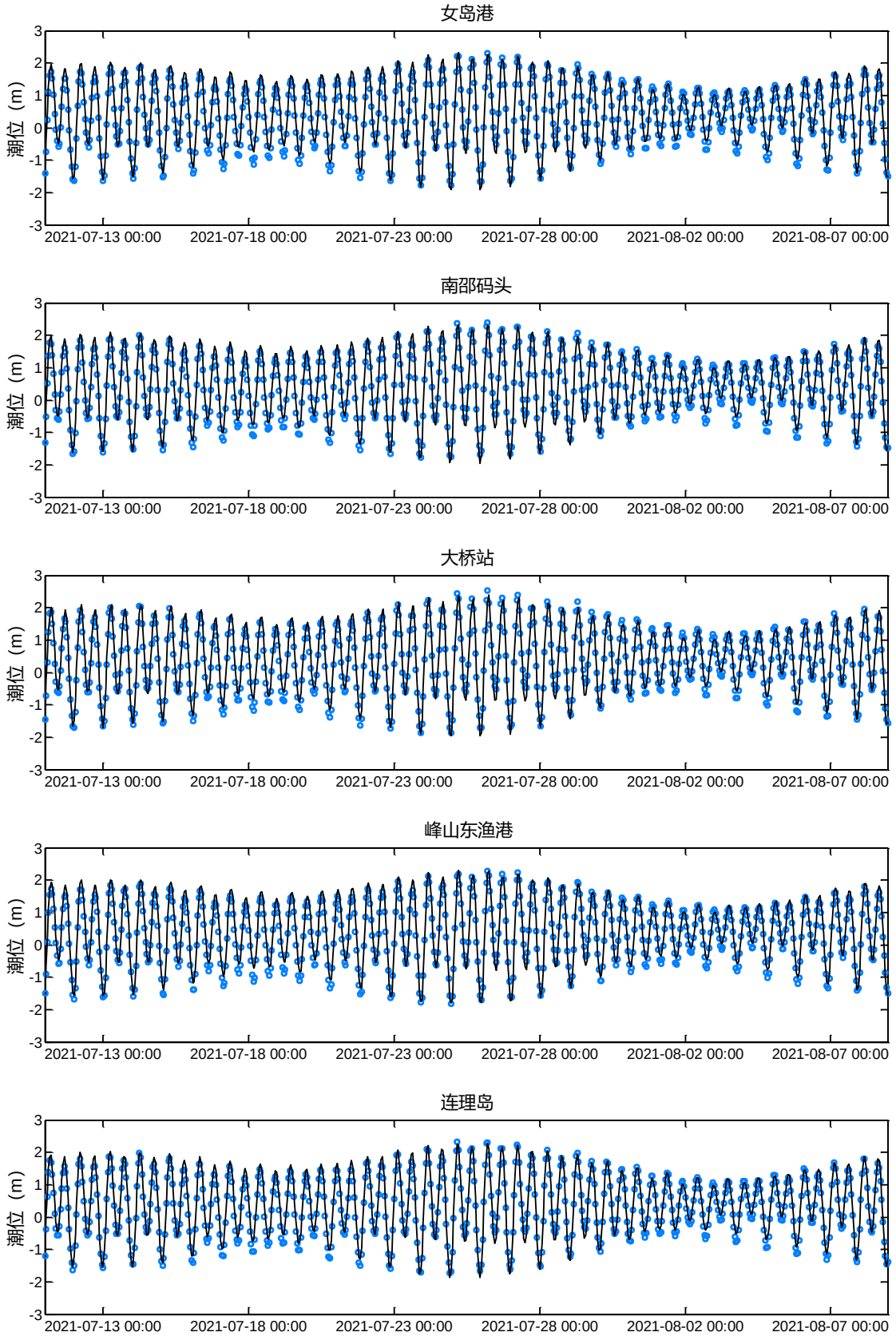


图 6.1-3a　夏季湾外潮位模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

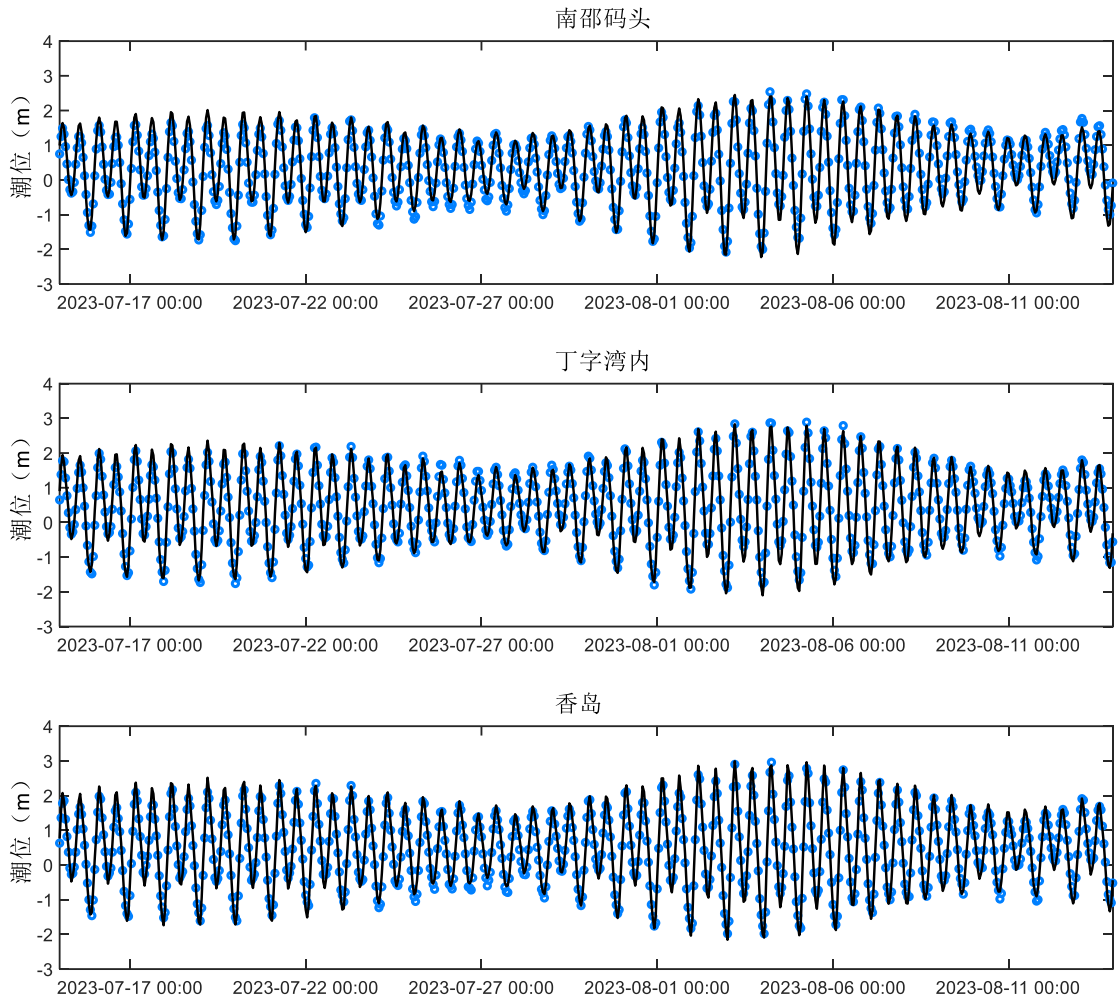


图 6.1-3b　夏季湾内潮位模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

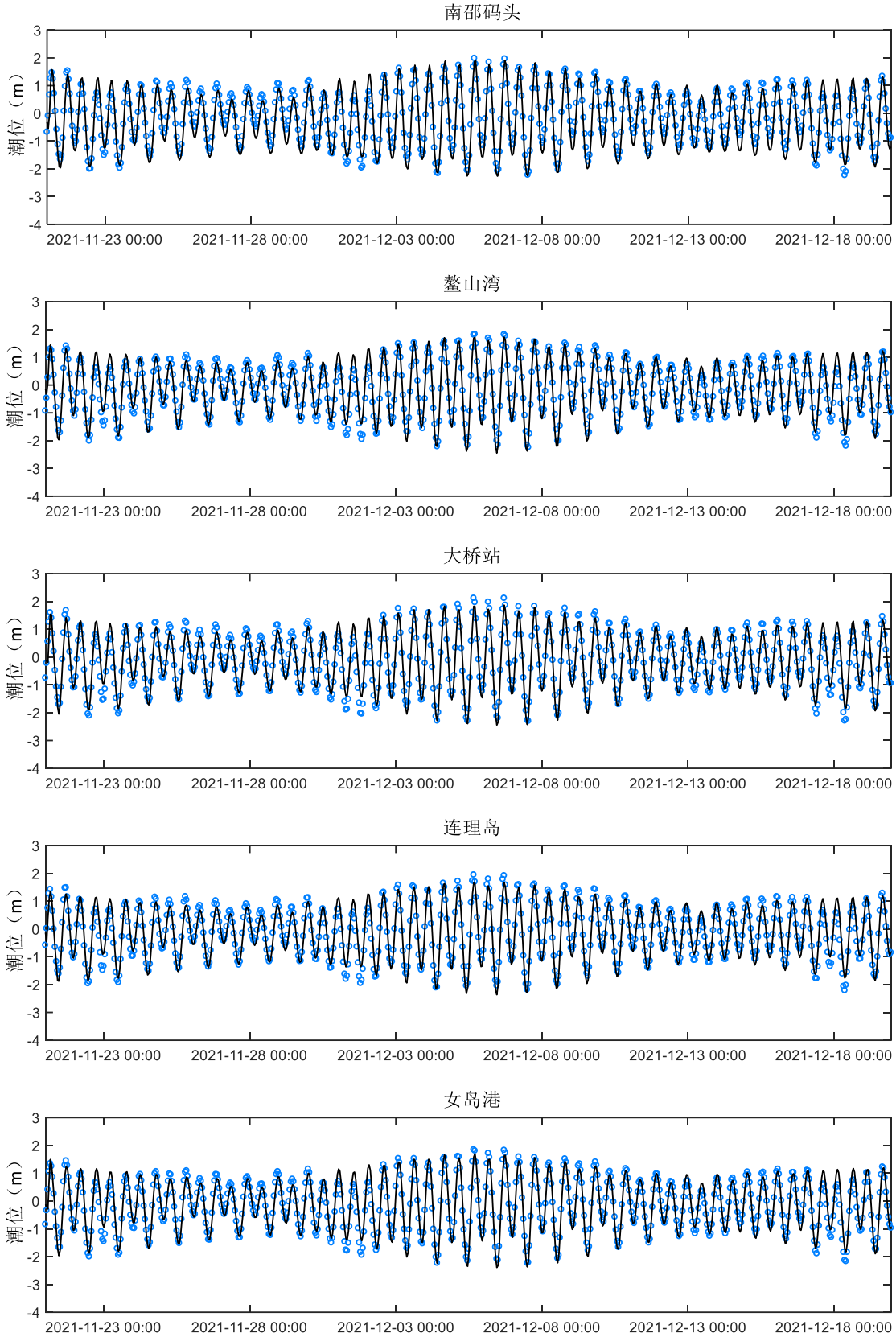


图 6.1-4a　冬季湾外潮位模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

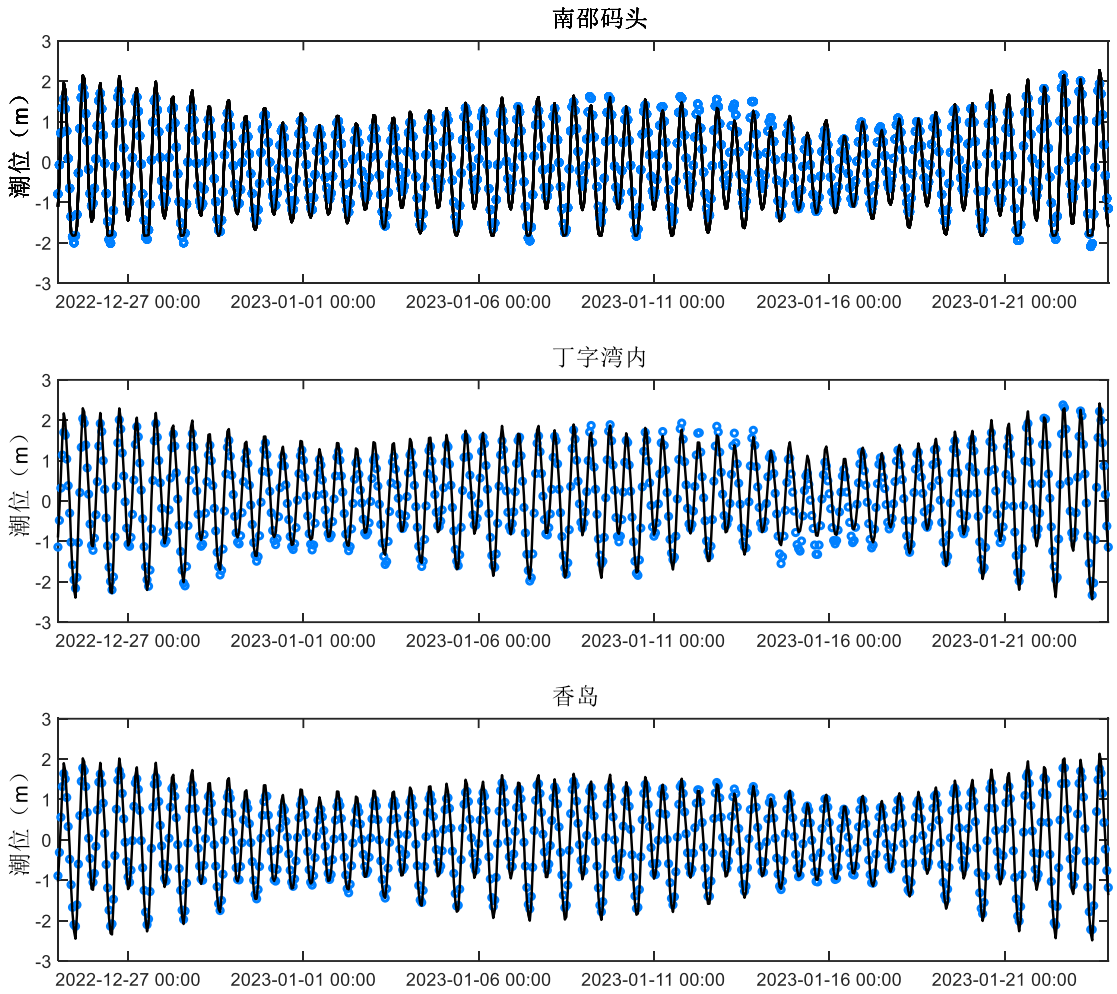


图 6.1-4b　冬季湾内潮位模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

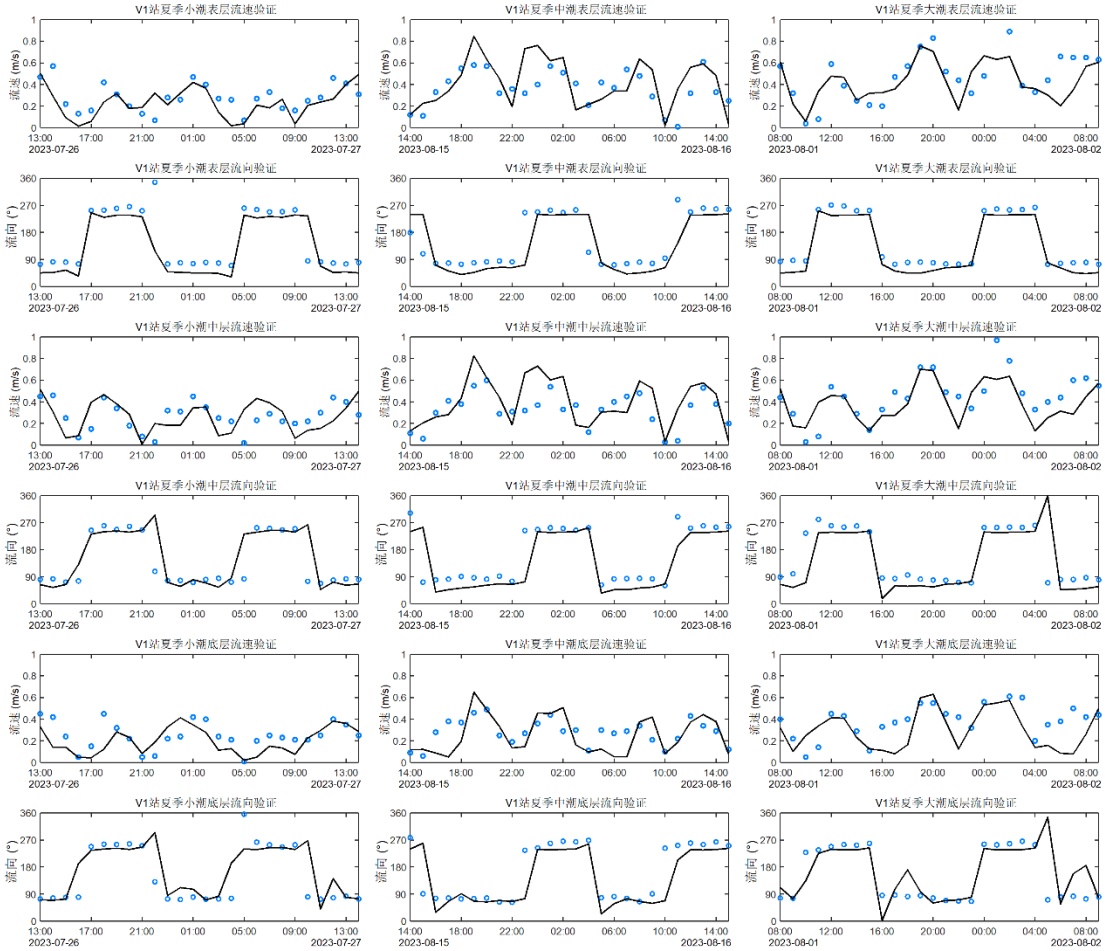


图 6.1-5　夏季湾内各水文观测站三维数模流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

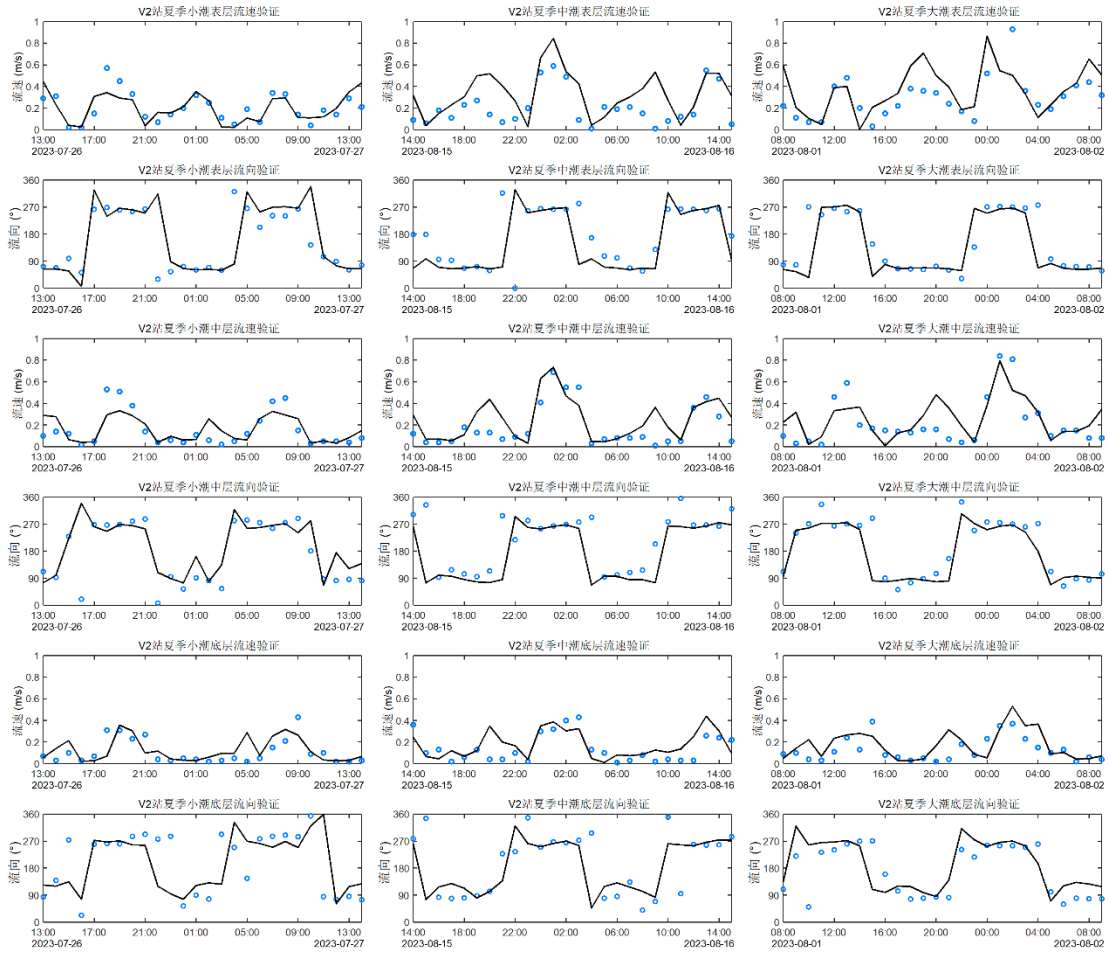


图 6.1-5 续　夏季湾内各水文观测站三维数模流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

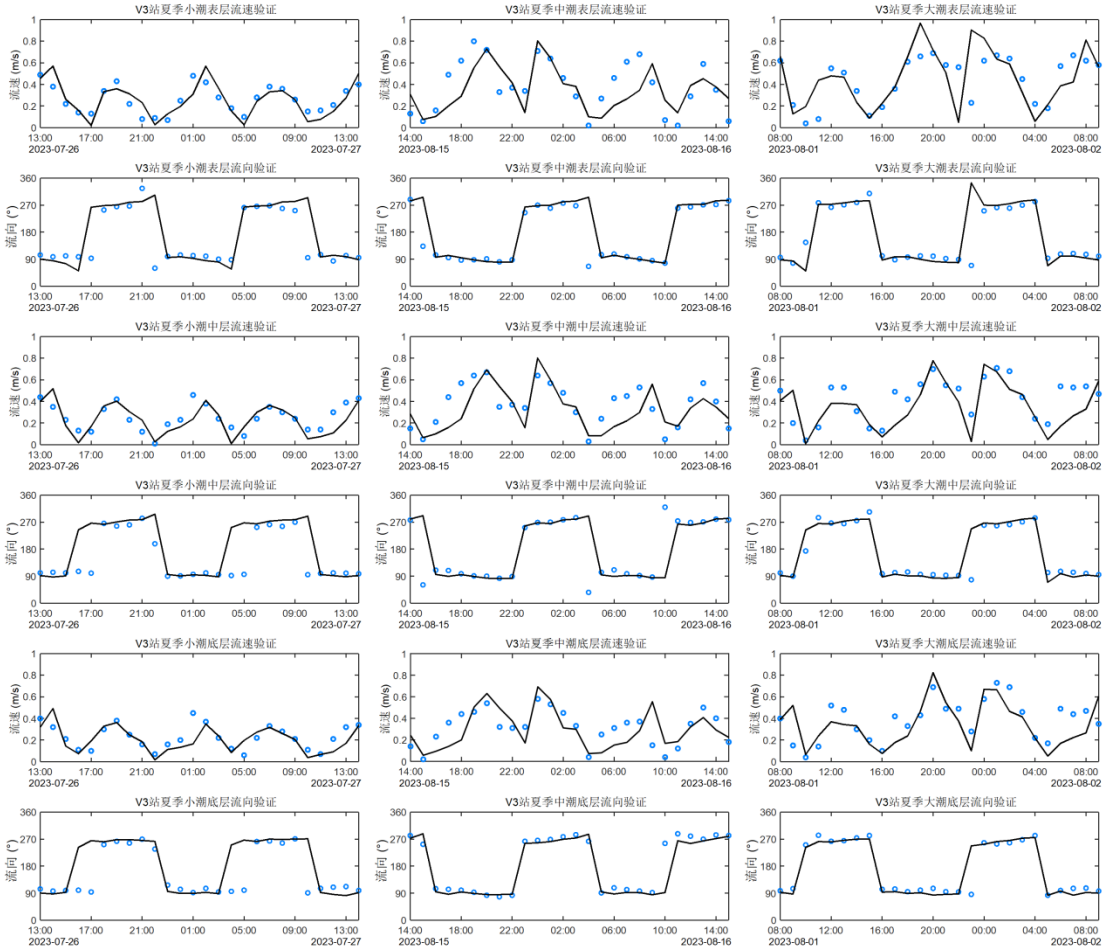


图 6.1-5 续　夏季湾内各水文观测站三维数模流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

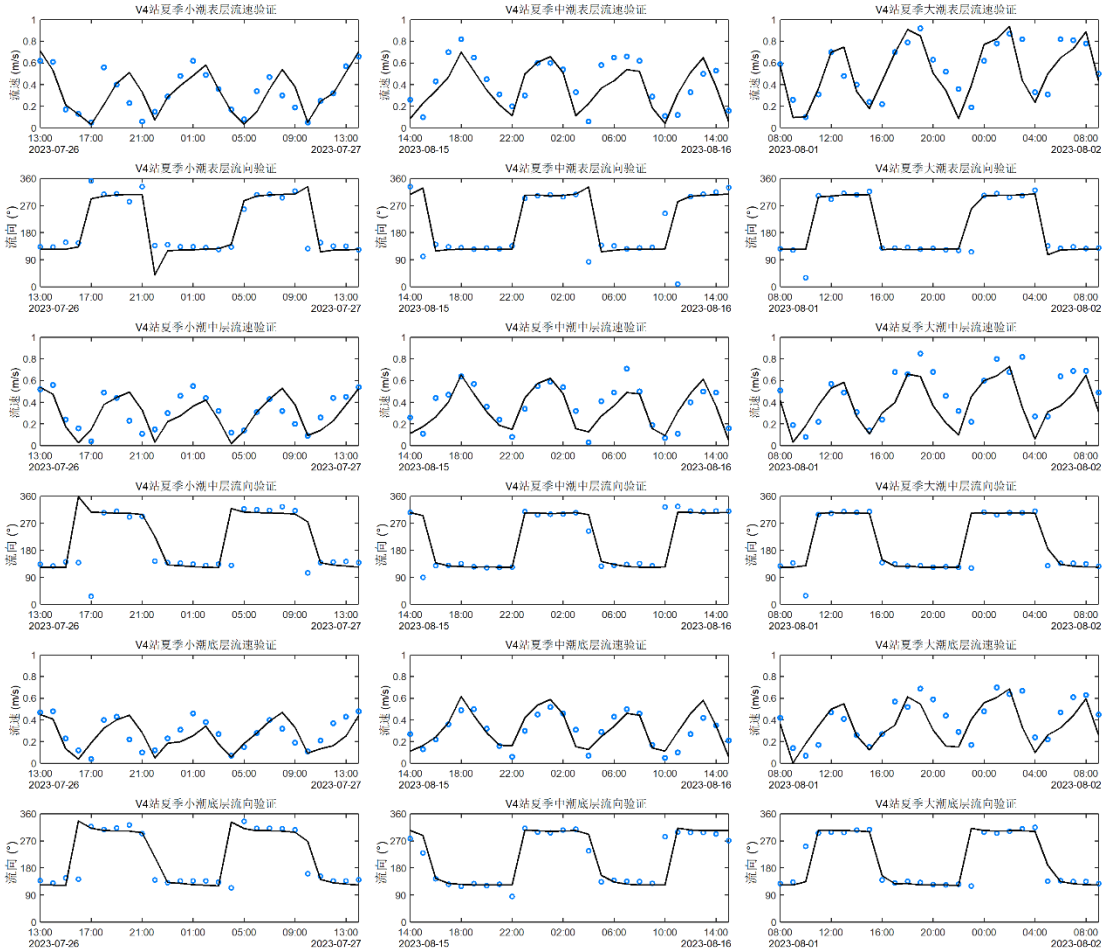


图 6.1-5 续　夏季湾内各水文观测站三维数模流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

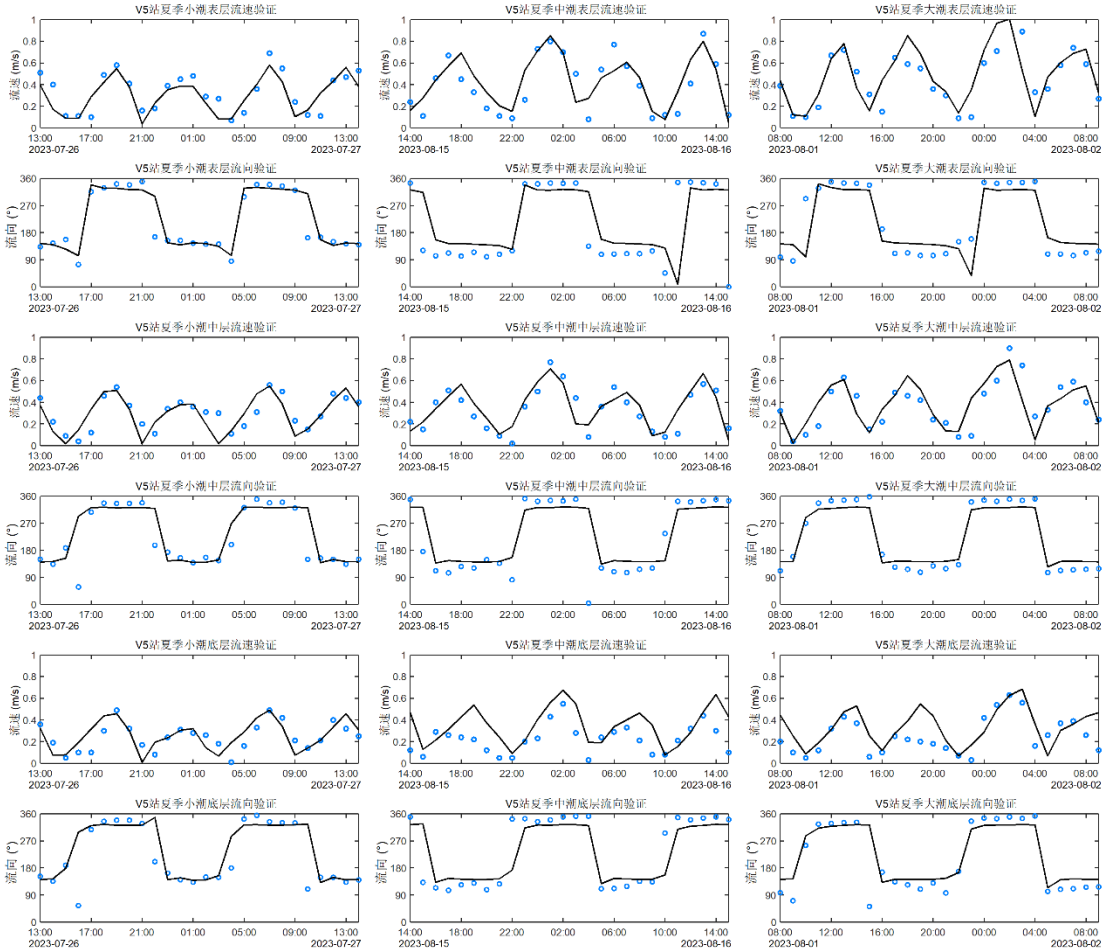


图 6.1-5 续　夏季湾内各水文观测站三维数模流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

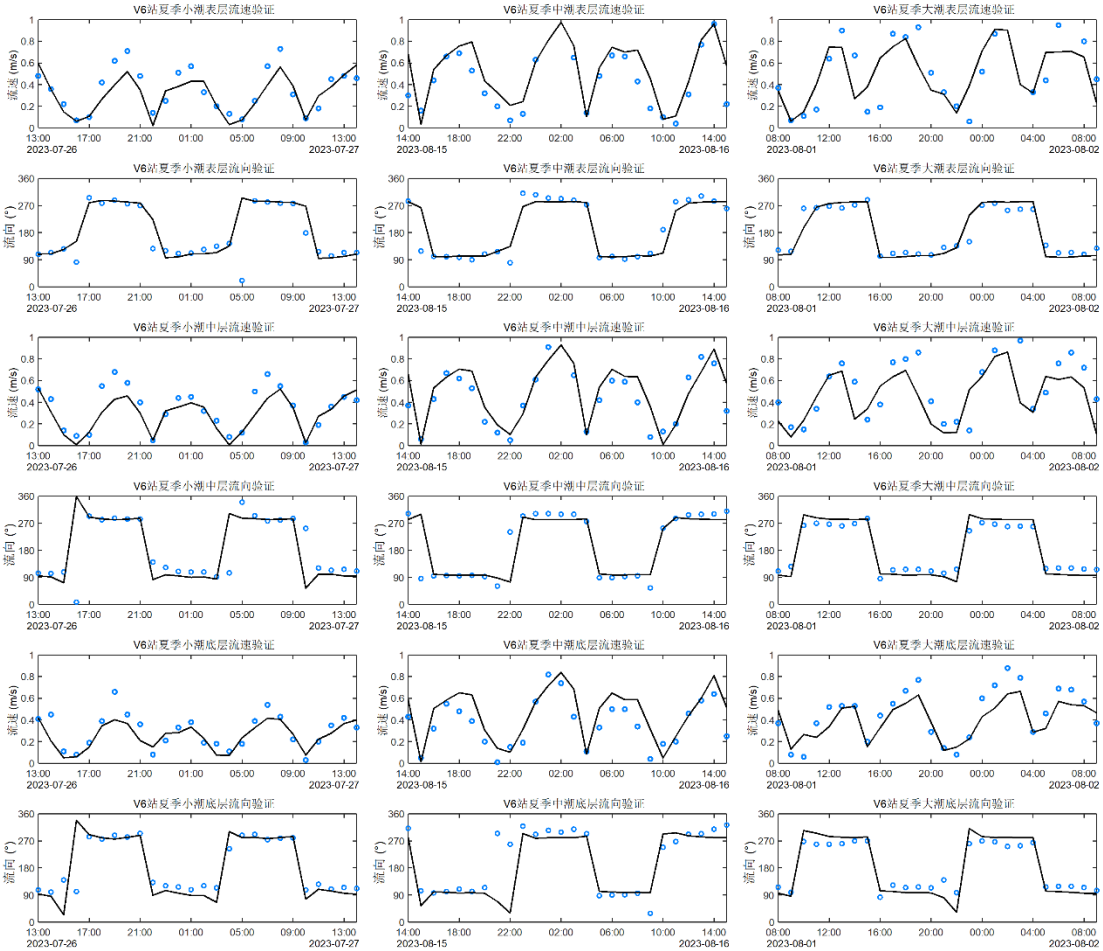


图 6.1-5 续　夏季湾内各水文观测站三维数模流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

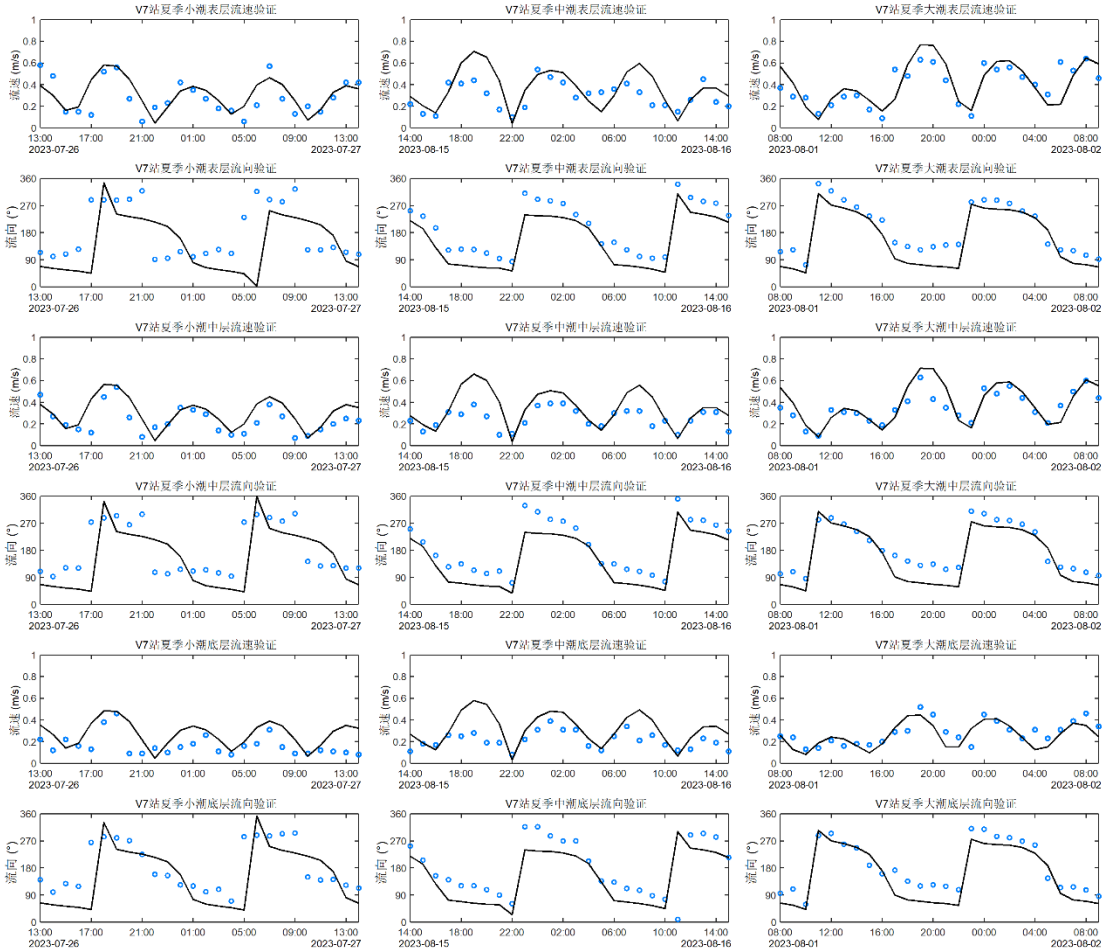


图 6.1-5 续　夏季湾内各水文观测站三维数模流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

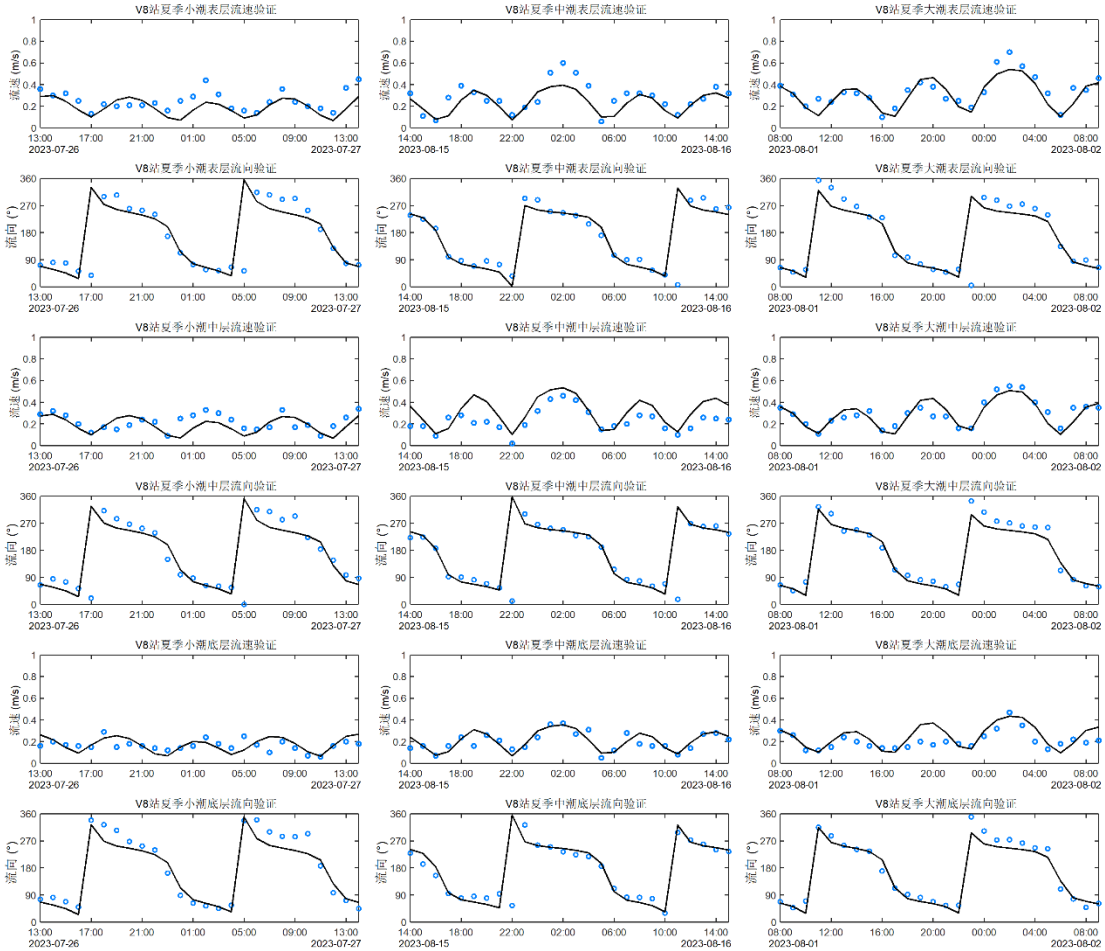


图 6.1-5 续　夏季湾内各水文观测站三维数模流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

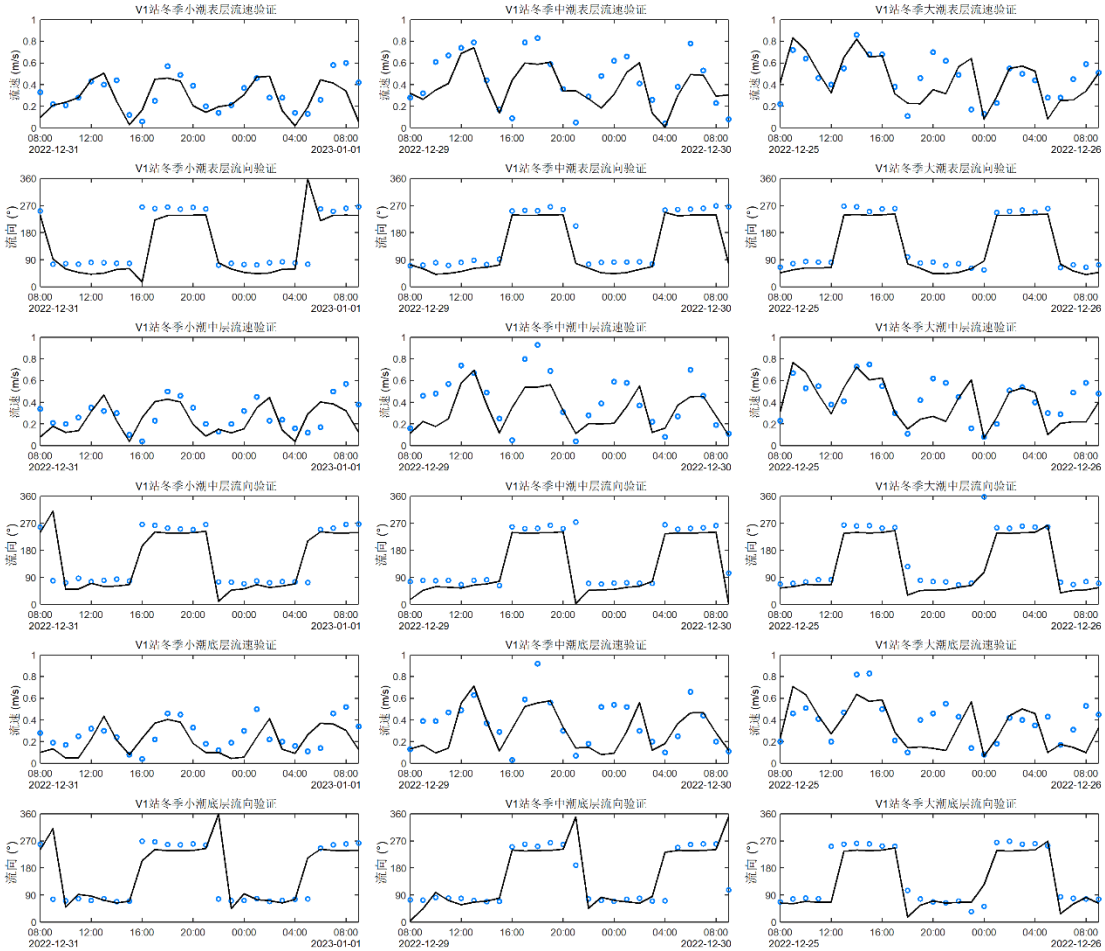


图 6.1-6　冬季湾内各水文观测站三维数模流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）



图 6.1-6 续　冬季湾内各水文观测站三维数模流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

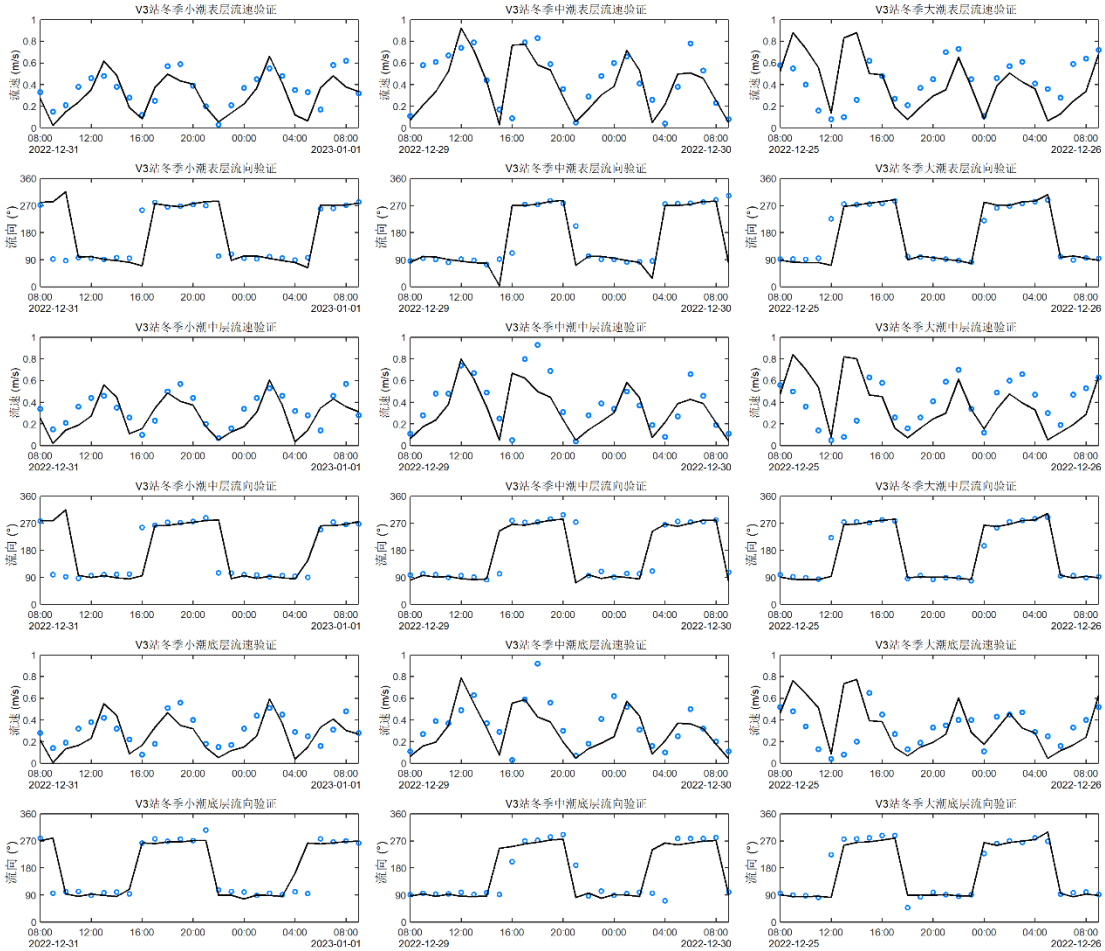


图 6.1-6 续　冬季湾内各水文观测站三维数模流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

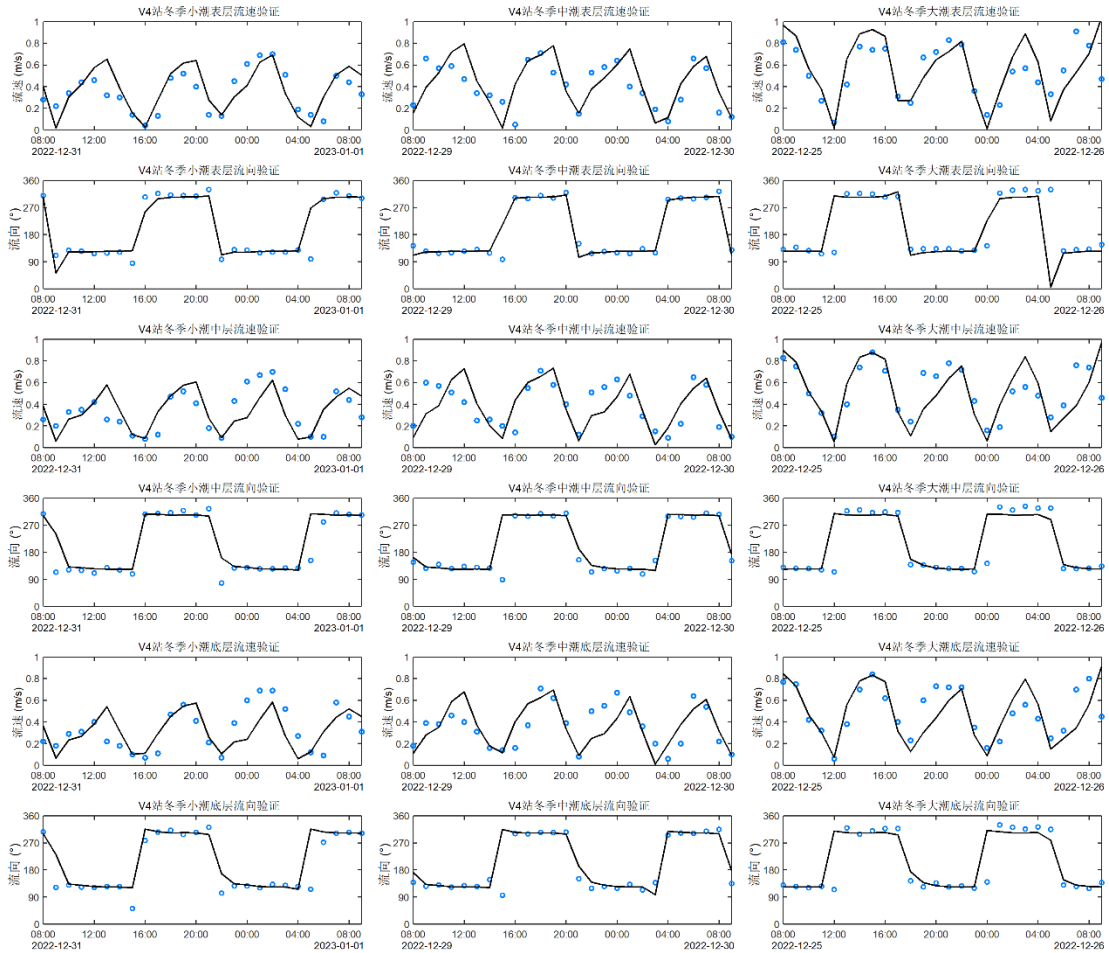


图 6.1-6 续　冬季湾内各水文观测站三维数模流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

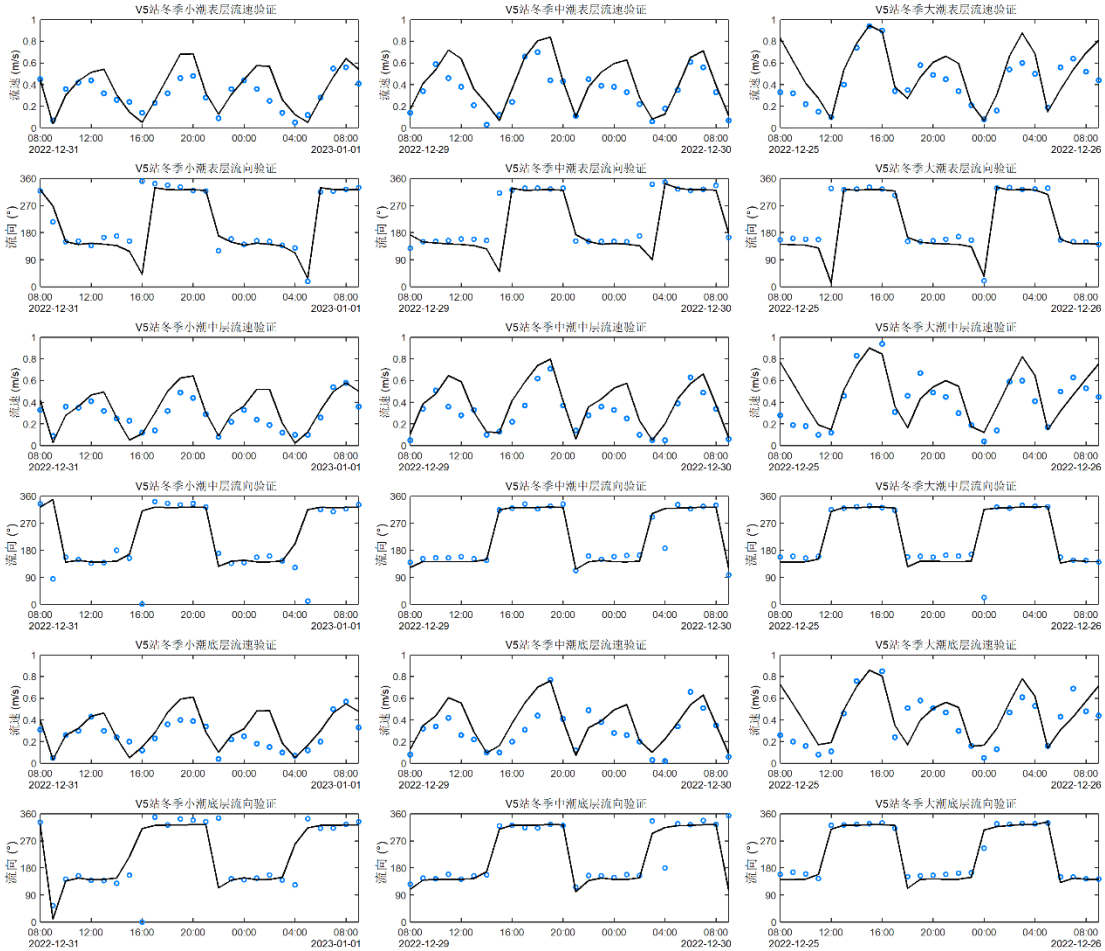


图 6.1-6 续　冬季湾内各水文观测站三维数模流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

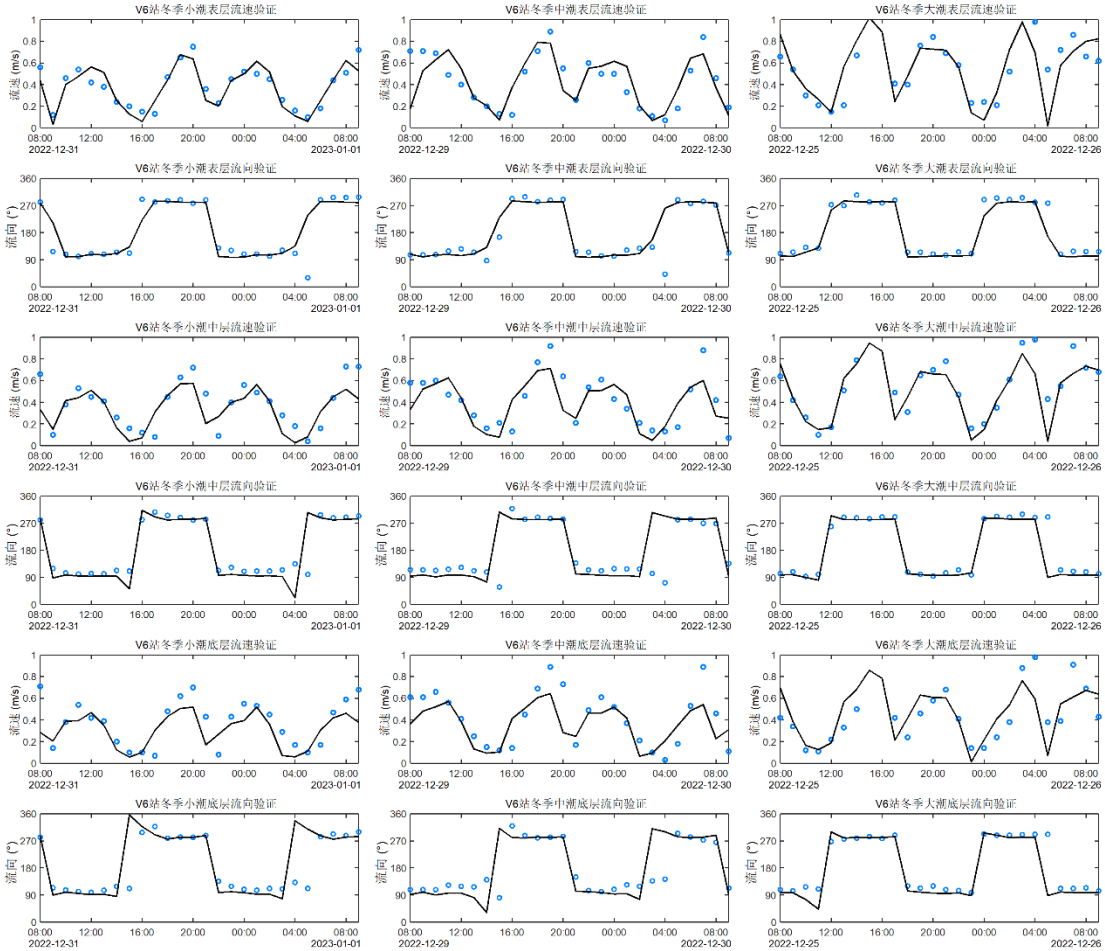


图 6.1-6 续　冬季湾内各水文观测站三维数模流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

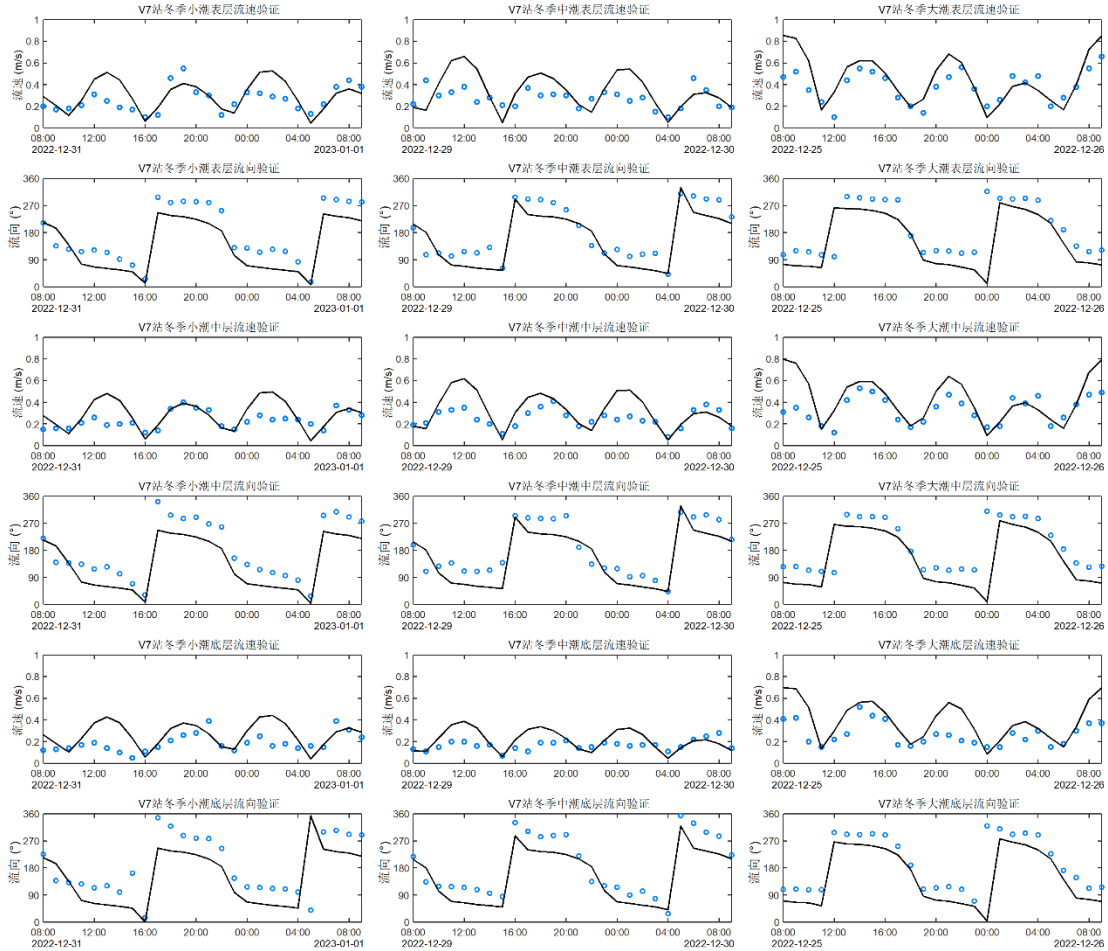


图 6.1-6 续　冬季湾内各水文观测站三维数模流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

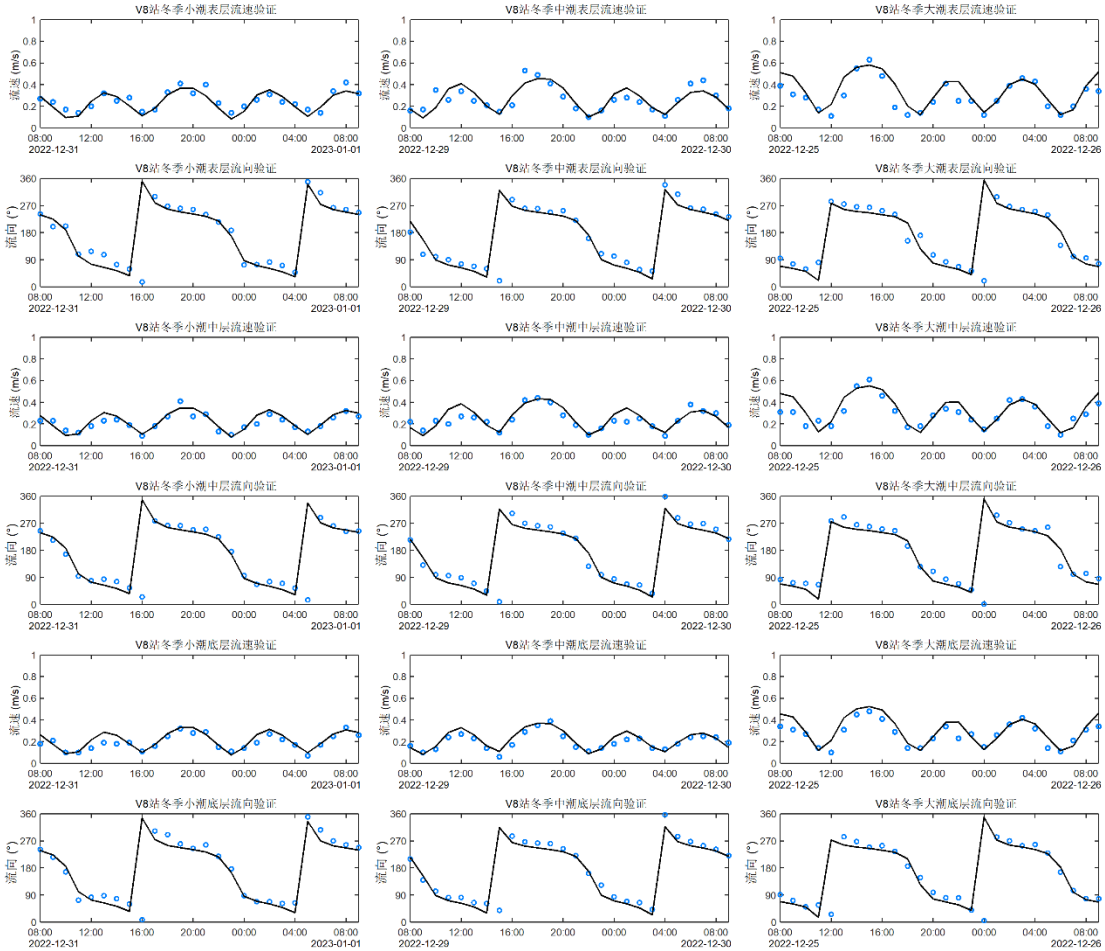
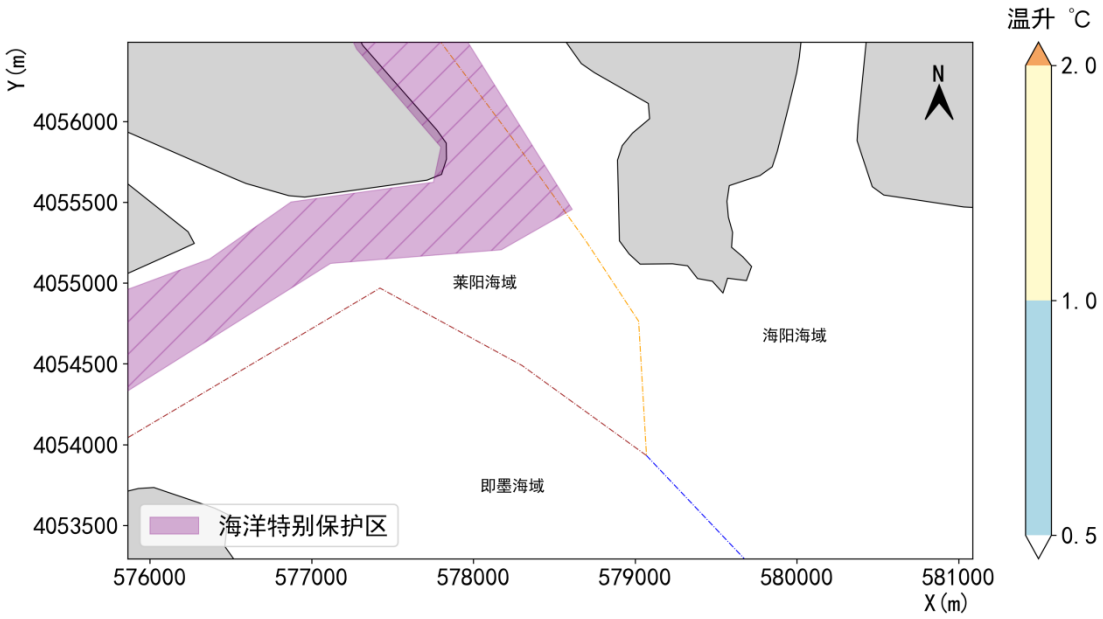
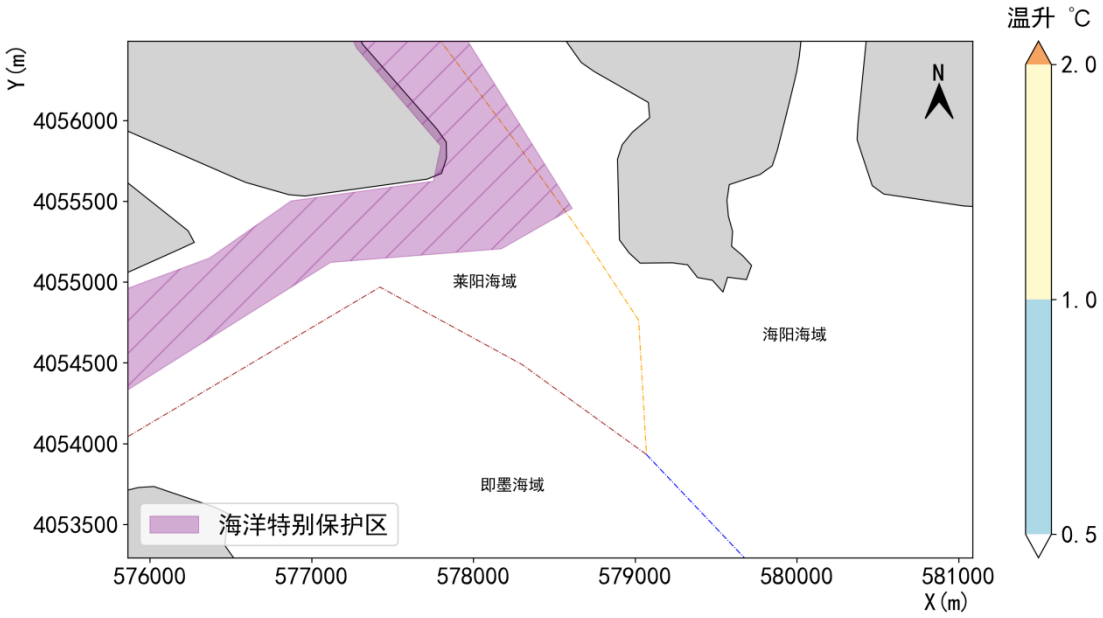


图 6.1-6 续　冬季湾内各水文观测站三维数模流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

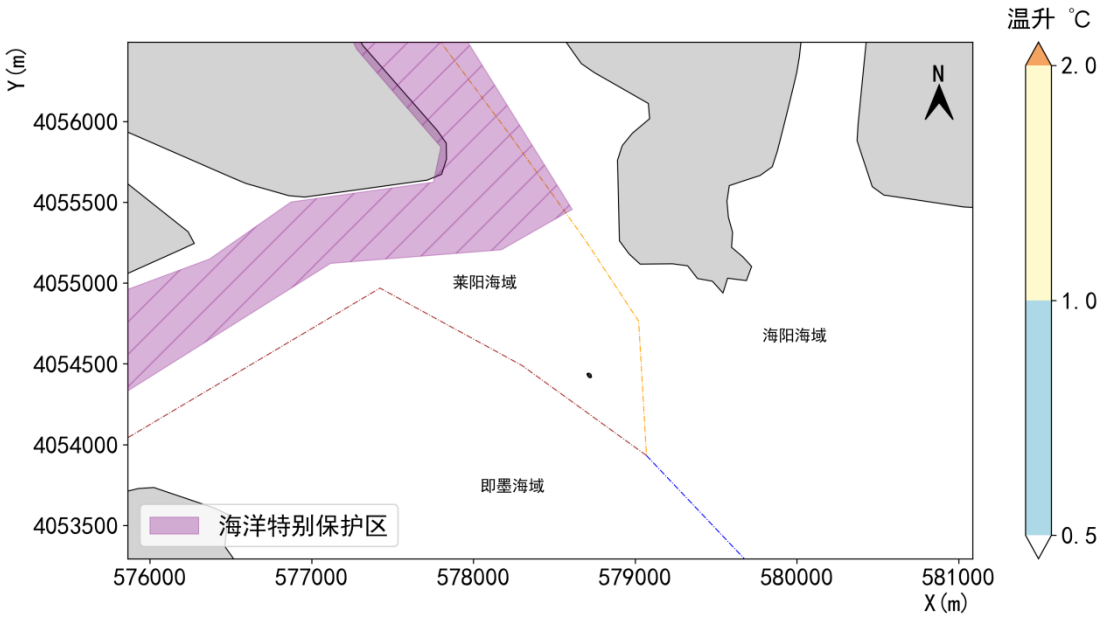


（表层）

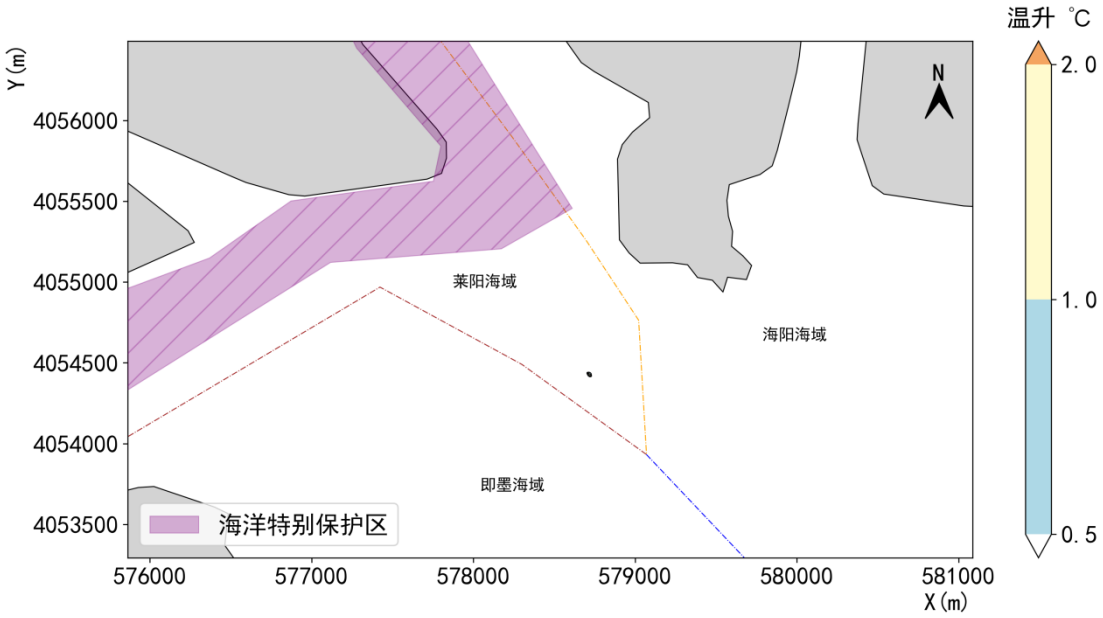


（中层）

图 6.1-7a　一期工程 2 台机组冬季半月潮工况全潮平均温升包络影响范围（海水淡化厂排水口附近海域）

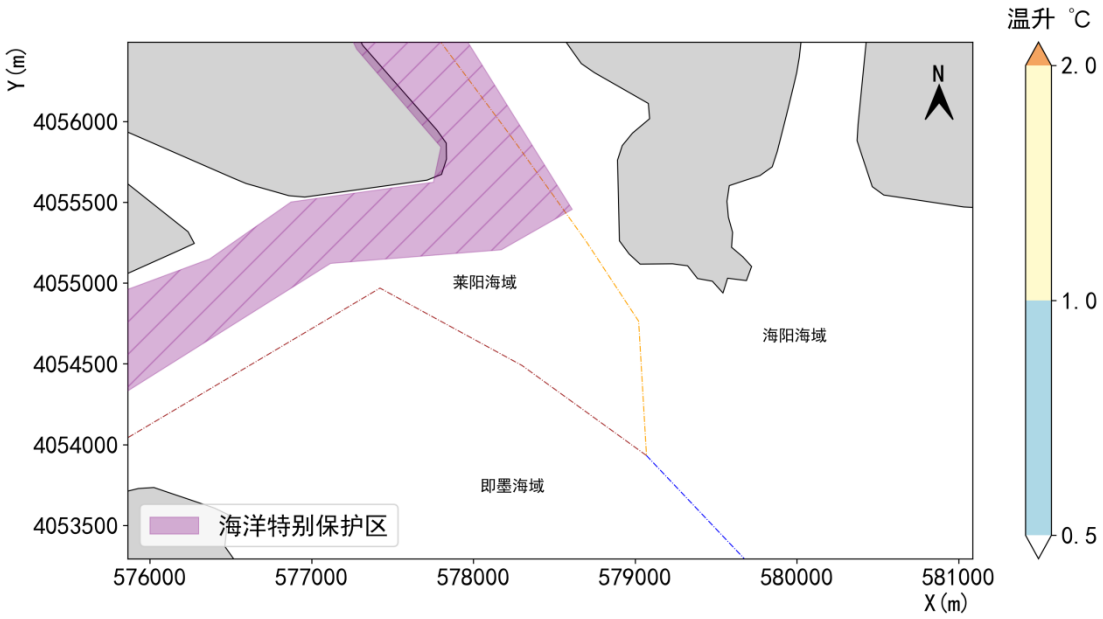


（底层）

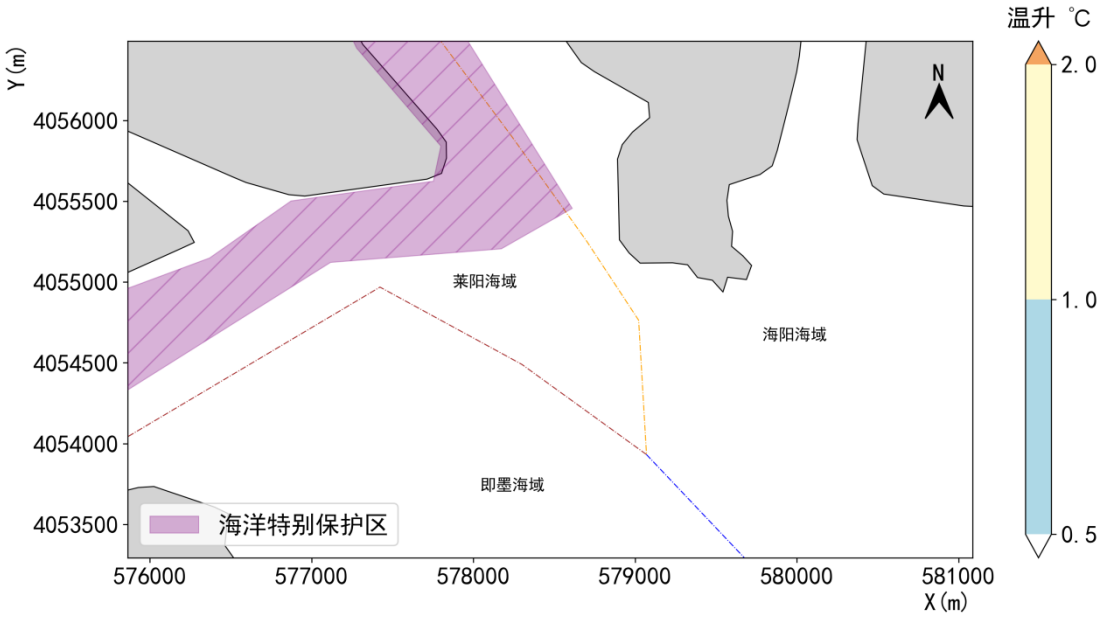


（垂向投影）

图 6.1-7b　一期工程 2 台机组冬季半月潮工况全潮平均温升包络影响范围（海水淡化厂排水口附近海域）

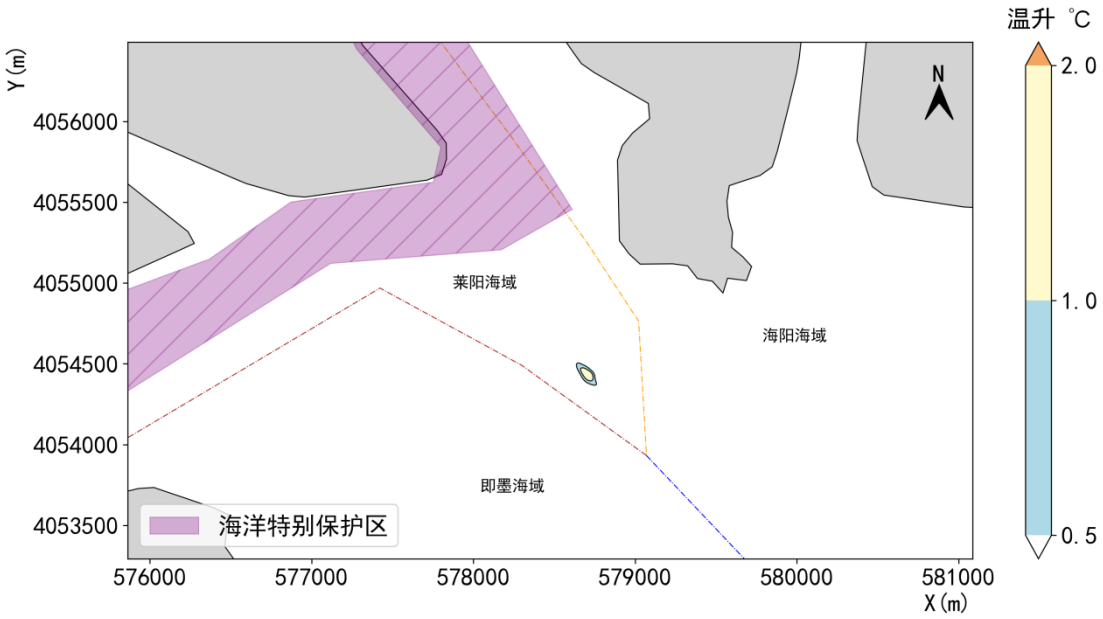


（表层）

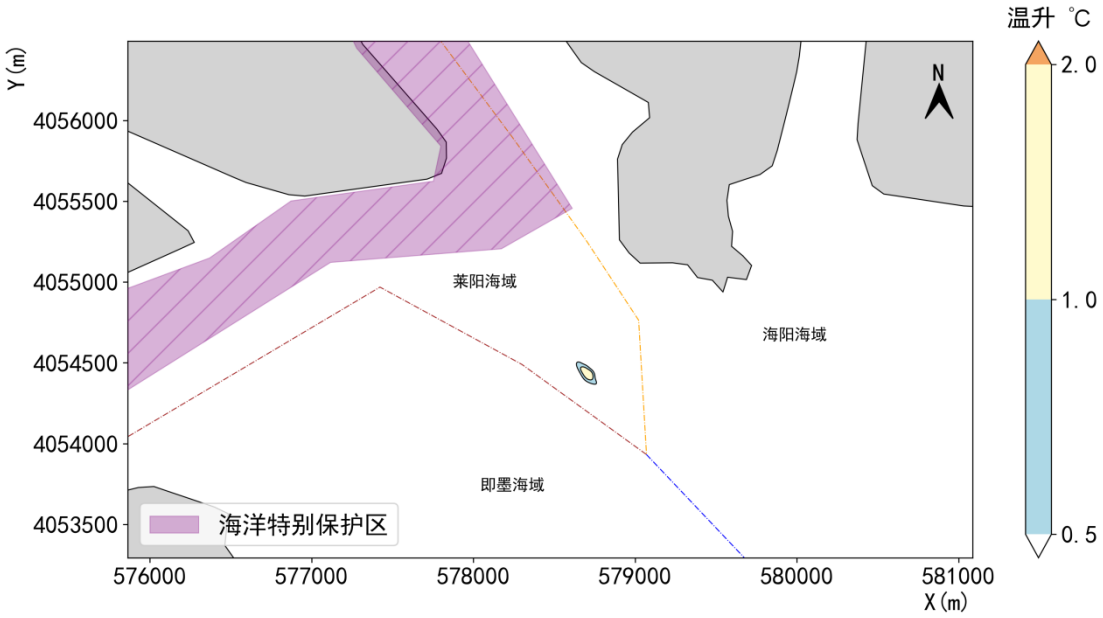


（中层）

图 6.1-8a　一期工程 2 台机组冬季半月潮工况全潮最大温升包络影响范围（海水淡化厂排水口附近海域）



（底层）



（垂向投影）

图 6.1-8b　一期工程 2 台机组冬季半月潮工况全潮最大温升包络影响范围（海水淡化厂排水口附近海域）

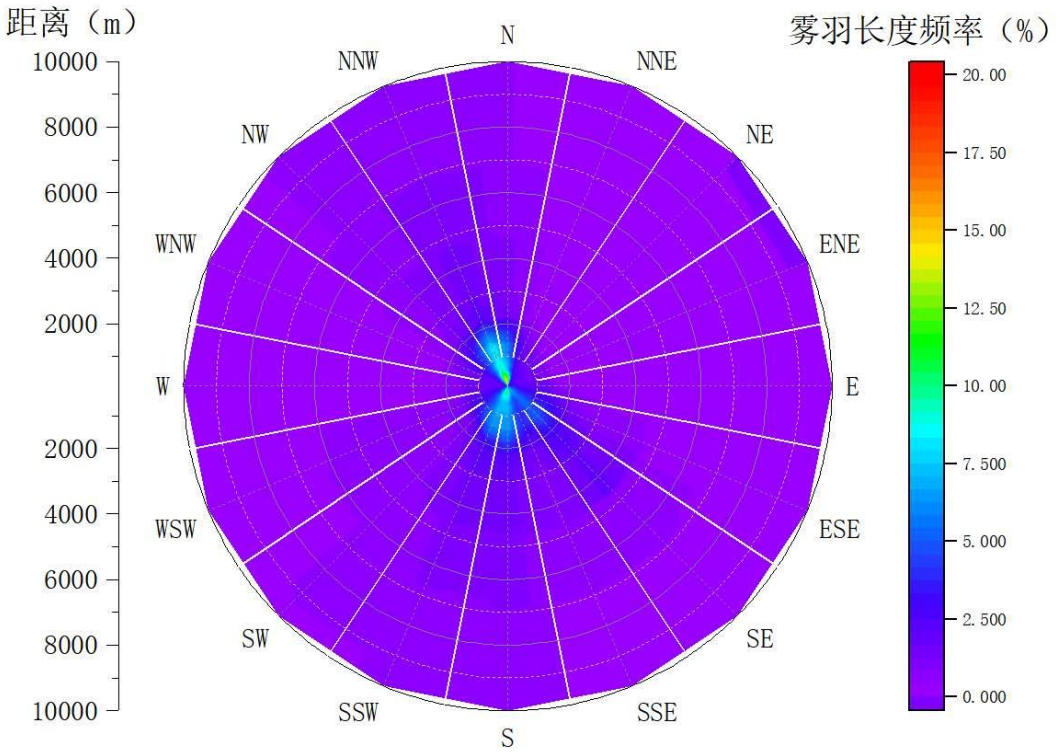


图 6.1-9　雾羽长度频率分布图

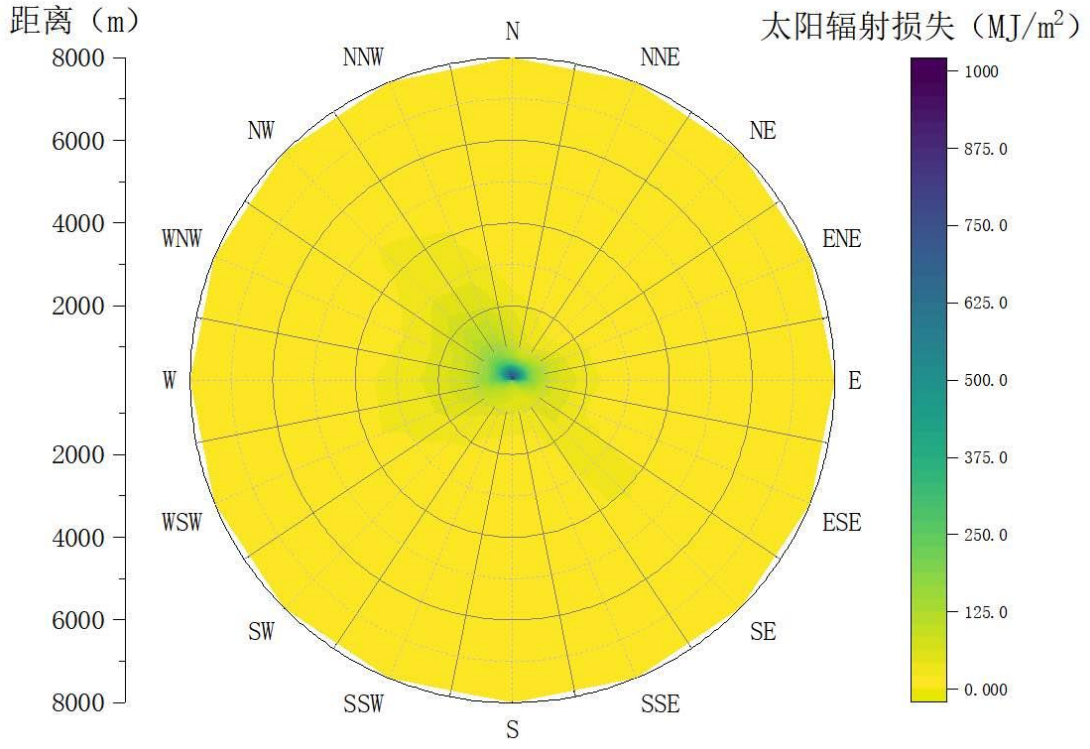


图 6.1-10　太阳辐射损失量分布图

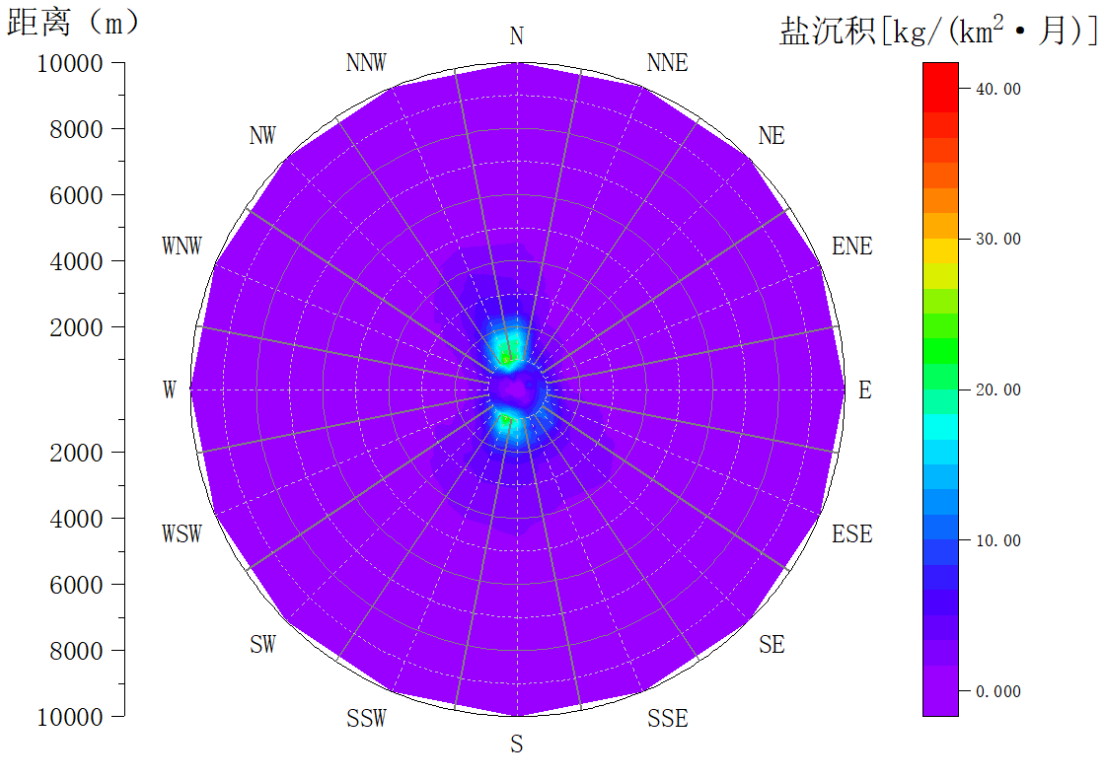


图 6.1-11　盐沉积分布示意图

6.2 正常运行的辐射影响

本节将对山东莱阳核电项目一期工程 2 台机组正常运行工况下气态和液态流出物所造成的辐射影响进行估算及评价。

6.2.1 流出物排放源项

核电厂正常运行状态下的气、液态流出物的设计/现实排放量、核素组成、排放方式、计算方法及相关输入参数可见第四章的相关描述。

本次估算环境介质中的核素浓度、公众的最大个人剂量和非人类生物的辐射剂量时，采用流出物的设计排放源项。

6.2.2 照射途径

6.2.2.1 气载途径

一期工程 2 台国和一号核电机组在正常运行工况下，通过气态途径释放到大气中的放射性流出物在大气弥散过程中对公众造成辐射照射的途径如图 6.2-1 所示。在估算对周围公众造成的辐射剂量时考虑了如下的照射途径：

- 浸没于空气中受到的外照射；
- 由于干、湿沉降导致地面放射性沉积物引起的外照射；
- 吸入空气造成的内照射；
- 食入因干、湿沉降导致放射性沉积的粮食、蔬菜等食物造成的内照射；
- 食入由干、湿沉降导致放射性沉积的饲料所喂养的家畜肉、奶及其制品造成的内照射。

在气载食入途径中，以 CO_2 形式存在的 ^{14}C 可被植物通过光合作用吸收，从而通过食物摄入的形式进入食物链，对摄入者造成内照射影响。根据 IAEA 421 号技术报告，压水堆堆型通过气载途径释放到环境中的 ^{14}C 主要为碳氢化合物形态（占比约 75%~95%），仅有少部分 ^{14}C 为 CO_2 的形式。因此，针对 ^{14}C 在气载食入途径下的影响，保守考虑二氧化碳形态排放的 ^{14}C 占 ^{14}C 气载排放总量的 25% 开展评估。

6.2.2.2 液态途径

厂址机组正常运行工况下，冷却塔排水输送至工业废水深度处理系统处理后回用，少量无法回用的部分与非放射性生产废水系统排水、液态流出物通过陆域排水管线输送至丁字湾附近，随后与少部分海水淡化浓盐水掺混后通过液态流

出物排水口排放至丁字湾外的液态流出物排水口。其余大部分海水淡化厂浓盐水通过海水淡化厂排水口排放。液态流出物对公众的照射方式包括内照射和外照射。在辐射环境影响评价中，液态流出物对人造成辐照的途径如图 6.2-2 所示。在估算对周围公众造成的辐射剂量时考虑了如下的照射途径：

- 食用由受纳水域生长的水产品（或水生生物）所致的内照射；
- 在受纳水域中游泳或划船等造成的直接外辐照；
- 岸边沉积的流出物对岸边活动公众所造成的外照射。

本项目液态途径不涉及饮用水的内照射、食入用水灌溉的作物（蔬菜、粮食、水果等）的内照射、食入与液态排放有关的动物产品（肉、奶等）的内照射。

6.2.2.3　其它途径

经分析，厂址周围区域不存在达到或超过以上途径的个人有效剂量 10%的其他照射途径。

6.2.3　计算模式与参数

6.2.3.1　气态途径

1）弥散因子计算模式与参数

混合层厚度是大气环境评价的重要参数之一。混合层高度中午前后较大，随后混合层高度逐渐减小，观测期间混合层高度随大气层结变得稳定而降低。由于混合层底面对烟气的向上扩散起到抑制作用，故混合层越低越不利于污染物的扩散。根据冬夏两季的混合层观测结果，从保守的角度出发，取同稳定度下，厂址冬、夏两季混合层高度的平均值的较小值作为该稳定度下混合层高度的推荐值。最终推荐的不同稳定度条件下的混合层高度为 A-B 类 890m，C 类 620m，D 类 450m。

大气扩散参数 σ_y、σ_z 是进行大气弥散计算的基本参数。本项目依据中国辐射防护研究院编制的《山东莱阳核能工程大气扩散试验专题报告》，对厂址大气扩散试验得到的结果进行修正，获得厂址地区的推荐大气扩散参数，详见第二章。

本项目气态流出物排放烟囱的高度为 81.15m，邻近最高的建筑物为反应堆厂房，高度 75.55m。对烟囱释放的气态流出物按混合释放考虑。

在大气弥散因子计算中考虑了建筑物尾流影响，以及混合层高度的修正，同时也考虑了干、湿沉积损耗，核素衰变损耗的修正。

一期工程 2 台国和一号机组在正常运行时，按照图 6.2-1 所示照射途径计算放射性流出物通过气态途径释放对人的受照剂量。

2）公众位置、人口分布、食物生产、加工以及消费

公众位置、人口分布、食物生产、加工及消费等与受照途径相关的数据详见第二章相关章节描述。

6.2.3.2　液态途径

1）水体扩散计算模式

（1）控制方程

采用通用的平面二维数学模型，从不可压缩流体运动的基本方程忽略物理量沿水深方向的变化，沿水深方向积分，即求得深度平均的平面二维水流运动方程为：

连续性方程：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \cdot \vec{\nabla}(h) + h div\ (\vec{u}) = S_h \quad （6.2\text{-}1）$$

式中：h 为水深，t 为时间，$\vec{u}$ 为流速矢量，u 为流速的东分量，S_h 为流体的源汇。

运动方程：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}(u) = -g\frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{h} div\ (h\upsilon_t \vec{\nabla} u) + S_x \quad （6.2\text{-}2）$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}(v) = -g\frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{1}{h} div\ (h\upsilon_t \vec{\nabla} v) + S_y \quad （6.2\text{-}3）$$

式中：v 为流速的北分量，η 为自由表面高程，υ_t 为涡动粘性系数，S_x 和 S_y 为动量方程中的源汇项。

物质传输方程：

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}(T) = \frac{1}{h} div\ (h\upsilon_T \vec{\nabla} T) + S_T \quad （6.2\text{-}4）$$

式中：T 为物质浓度或密度（本报告中液态流出物为归一化浓度），υ_T 为涡动扩散系数（$m^2 \cdot s^{-1}$），S_T 为源汇项。

湍流模型采用标准 k-ε 二方程湍流模型。

（2）模拟范围和计算网格

模拟范围及水下地形情况见图 6.2-3 所示，大区地形数据采用美国国家海洋和大气管理局（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）提供的全球 1’海洋地形数据，丁字湾周边精确地形数据采用海域地形测量专题数据，在统一水深基面的基础上将大区地形和厂址附近精确地形叠加，获得数值模型所需的地形资料。模型采用无结构三角形网格剖分单元（图 6.2-3 和图 6.2-4），最小网格尺度为 2m，最大网格尺度约 3000m，总网格数约 70621 个。时间步长 90s。

（3）模型参数选择

a）糙率系数 n

糙率系数 n 的取值见 6.1.2 节。

b）扩散参数 D

在二维数学模型中，扩散系数 D 包含了分子扩散和紊动扩散，是一个综合性的系数，其中紊动扩散部分基于 k-ε 二方程湍流模型求解，分子扩散取常数 1.0E-6m^2/s。

c）核素衰减系数

不同核素半衰期如表 6.2-1 所示。基于保守考虑，本阶段不考虑核素衰变对浓度的影响。

d）涡黏系数

核素水体扩散数值模拟中，涡黏系数是重要的反映湍流强度的物理参数，其数值大小呈现周期性变化。涡黏系数的单位为 m^2/s，在数学模型中该参数基于 k-ε 二方程湍流模型求解。

（4）模型边界条件

a）流场边界条件：岸边界为固定壁面，开边界采用潮位控制，分别采用夏季和冬季典型半月潮潮型，初始按静流起算。边界潮位采用潮汐调和常数计算，后通过验证点潮位、流速验证调试，最终确定边界处潮位过程。

b）浓度场边界条件：开边界上采用自由流出边界方式。初始条件：采用零浓度（即环境本底浓度）起算。

c）源项处理

排水口液态流出物浓度按归一化处理。

（5）模型验证

模型验证主要基于同步水文测验专题成果数据开展，主要包括潮位验证和流场验证。本项目于 2021~2022 年完成了丁字湾外的同步水文测验（夏季和冬季），并于 2022~2023 年开展了丁字湾内补充同步水文测验。本节基于以上成果开展模型验证工作。

a）潮位验证

丁字湾外潮位验证采用连理岛站、南邵码头站、大桥站、女岛站、鳌山湾站（即峰山东渔港站）的观测数据（各潮位站的位置如图 6.2-5a 所示）。丁字湾内潮位验证采用香岛站、丁字湾内站和南邵码头站的观测数据（各潮位站的位置如图 6.2-5b 所示）。计算潮位与验证资料潮位过程线的比较如图 6.2-6～图 6.2-7 所示，从潮位验证结果可以看出，夏季和冬季计算潮位过程与实测过程吻合良好，计算的潮位过程可准确反映模拟区域潮差、相位的半日/日/半月变化。

b）流场验证

丁字湾外夏季大、中、小潮潮流流速和流向的验证时间分别为 2021 年 07 月 24 日 10:00 至 2021 年 07 月 25 日 12:00、2021 年 08 月 07 日 09:00 至 2021 年 08 月 08 日 11:00，和 2021 年 08 月 02 日 10:00 至 2021 年 08 月 03 日 12:00，冬季大、中、小潮潮流流速和流向的验证时间分别为 2021 年 12 月 07 日 10:00 至 2021 年 12 月 08 日 12:00、2021 年 12 月 10 日 10:00 至 2021 年 12 月 11 日 12:00，和 2021 年 12 月 13 日 08:00 至 2021 年 12 月 14 日 10:00，验证站位为 V1~V16 水文观测站（图 6.2-5a）。丁字湾内冬季大、中、小潮潮流流速和流向的验证时间分别为 2022 年 12 月 25 日 08:00 至 2022 年 12 月 26 日 10:00、2022 年 12 月 29 日 08:00 至 2022 年 12 月 30 日 10:00，和 2022 年 12 月 31 日 09:00 至 2023 年 01 月 01 日 11:00，验证站位为 T1~T8 水文观测站（图 6.2-5b）。模型计算输出的各站位流速、流向与观测数据的对比如图 6.2-8 和图 6.2-9a 和图 6.2-9b 所示。

流场验证结果表明：（a）整体来说，夏季和冬季各站位流速和流向的模拟值和观测值吻合较好，潮流流速和流向的模拟结果能够反映出局地流场的时间变化（小/中/大潮，以及一个潮周期内变化）和空间变化（近岸/离岸位置）特征，说明数值模型具有较好的潮流预报能力。（b）对于离岸站位，例如 V6、V9、V11、V13、V16，由于受到岸线的约束作用相对较小，呈现较为明显的旋转流流态，

模型在大、中、小潮周期内均可正确模拟各离岸站位的潮流形态。（c）近岸站位的潮流受局地地形和岸线的影响较大，例如靠近丁字湾的 V7 站位，以及丁字湾内各站位，呈现显著的往复流流态，且流速的潮周期变化较为剧烈，模型在大、中、小潮周期内均可正确模拟以上流场细节，表明基于无结构三角网格的计算可较好的适应复杂地形岸线下的局部高精度水动力模拟。整体来说，模型与原型潮位过程以及定点流速、流向符合较好，模型的整体流场分布特征与原型一致，即模型流场可反映工程实际。

2）液态途径剂量计算模式

液态流出物致公众个人和集体剂量的计算理论主要基于《滨海核电厂液态放射性流出物辐射环境影响评价技术规范》（NB/T 20199-2013），主要计算海产品食入内照射、岸边沉积外照射、海水浸没外照射和海上活动外照射四种主要照射途径下的公众剂量。

6.2.4 大气弥散和水体稀释

6.2.4.1 大气弥散

表 6.2-2~6.2-7 分别列出了厂址半径 80km 范围内各子区代表性核素 ^{85}Kr、^{133}Xe、^{131}I、^{137}Cs、^{14}C 和 ^{3}H 混合释放情况下年均长期大气弥散因子值。厂址半径 80km 范围因干、湿沉积所致的元素碘和粒子态核素年均沉积因子见表 6.2-8~表 6.2-9。

6.2.4.2 水体稀释

液态流出物在受纳水体中的稀释扩散，与受纳水体的水文气象条件、取排水构筑物的形式以及废水排放方式有密切关系。

为减少液态流出物排放对受纳海域环境与水生态的影响，考虑将处理排放合格并达到排放标准后的流出物在厂区内与非放射性生产废水系统排水、液态流出物通过陆域排水管线输送至丁字湾附近，随后与海水淡化厂的浓盐水共同排放至丁字湾口水体中。

本项目在一期工程 2 台机组运行工况下，保守不考虑核素衰变，基于二维数学模型计算了冬季半月潮条件下全潮平均值包络线范围，计算结果如图 6.2-10 所示。由于冬季排水量较小，因此从保守性上考虑，以冬季结果开展液态流出物辐射环境影响评价。

从结果分析，液态流出物输移扩散主要受到潮汐水流的影响，高浓度区主要分布于液态流出物排水口附近。在后续计算一期工程 2 台机组正常运行期间厂址附近居民个人最大有效剂量时，近区食入水生生物途径、岸边活动、游泳等途径的稀释因子保守取 0.001（稀释 1000 倍）；在计算 80km 范围内的集体有效剂量时，稀释因子取 0.0005（稀释 2000 倍）。

6.2.5　环境介质中的放射性核素浓度

6.2.5.1　大气中主要核素浓度

表 6.2-10~6.2-15 分别列出了厂址半径 80km 范围内各子区代表性核素 ^{85}Kr、^{133}Xe、^{131}I、^{137}Cs、^{14}C 和 ^{3}H 混合释放情况下空气中的平均活度浓度。由表可见，^{85}Kr、^{133}Xe、^{14}C、^{131}I、^{137}Cs 和 ^{3}H 浓度最大值出现在 NNW 方位 0~1km 处。表 6.2-16~6.2-17 列出了厂址半径 80km 范围内各子区因干、湿沉积所致的元素碘和粒子态核素年均沉积浓度。由表可见，元素碘和粒子态核素的浓度最大值均出现在 NNW 方位 0~1km 处。

6.2.5.2　海水中主要放射性核素浓度

《海水水质标准》（GB 3097-1997）中规定了 5 种核素的限值。本项目单台机组正常运行工况下，液态流出物排水口的液态流出物排放量为 $4m^3/h$，工业废水深度处理系统、非放射性生产废水系统排水量为 $79m^3/h$，浓盐水排水量为 $0.19m^3/s$。根据 5 种核素的年排放量计算得到厂址总排放口各核素的浓度见表 6.2-18。由表可见：总排放口处 5 种核素的浓度均小于《海水水质标准》（GB 3097-1997）中规定的限值。因此，液态流出物的排放能满足标准要求。

6.2.6　公众的最大个人剂量

6.2.6.1　气态途径

根据单台国和一号核电机组在正常运行工况下气态流出物的设计排放源项（见第四章）、各种核素的平均长期大气弥散因子、地面沉积因子、食物摄入量、剂量转换因子等数据，计算了一期工程 2 台国和一号机组在正常运行工况下由气态途径对厂址周围居民可能造成的最大个人（成人）有效剂量。

根据气态途径剂量计算结果，一期工程 2 台国和一号机组由气态途径所致个人最大受照有效剂量出现的位置为厂址 NNW 方位 2~3km 处。婴儿、儿童、青少年、成人的最大个人剂量分别为 3.97E-04mSv/a、9.51E-04mSv/a、6.58E-04mSv/a、

5.80E-04mSv/a。

6.2.6.2　液态途径

为了计算人体通过食用水生生物、在厂址附近被放射性物质污染的岸滩上活动等水环境途径所致的内外照射剂量，本报告采用《滨海核电厂液态放射性流出物辐射环境影响评价技术规范》（NB/T 20199-2013）中推荐的计算模式，剂量转换因子采用我国国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《滨海核电厂液态放射性流出物辐射环境影响评价技术规范》（NB/T 20199-2013）和《Federal Guidance Report No. 12: External Exposure to Radionuclides in Air, Water, and Soil》（EPA-402-R-93-081）的推荐值。计算采用 2 台国和一号核电机组的液态途径设计源项，其中单台机组液态途径设计源项见第四章相关章节。

本项目排水口距厂址较远，基于第二章中的居民生活习惯数据，分别计算厂址周边区域和排水口区域的液态途径剂量。

厂址一期工程 2 台机组由液态途径所致厂址附近的婴儿、儿童、青少年和成人的最大有效剂量为 6.26E-05mSv/a、5.68E-04mSv/a、4.77E-04mSv/a 和 3.44E-04mSv/a。厂址一期工程 2 台机组由液态途径所致排水口附近的婴儿、儿童、青少年、成人和渔民的最大有效剂量为 6.26E-05mSv/a、6.92E-04mSv/a、5.37E-04mSv/a、4.83E-04mSv/a 和 5.64E-04mSv/a。

6.2.6.3　剂量汇总

国家标准 GB6249-2025 规定：正常运行状态下，任何场址的所有核动力堆向环境释放的放射性核素对公众中任何个人造成的有效剂量，每年不得超过 0.25mSv。

本项目正常运行工况下剂量汇总见表 6.2-19。计算中考虑了当地居民的生活习惯，并采用了偏保守的假设条件（保守认为厂址附近、排水口附近居民食用的海产品来自液态流出物排放口附近海域）。

由表 6.2-19 可知：一期工程 2 台国和一号核电机组在正常运行期间放射性物质由气态途径和液态途径排放所致最大个人的有效剂量为位于厂址 NNW 方位 2~3km 处的儿童，其受照总有效剂量为 1.52E-03mSv/a，为国家标准规定的 0.25mSv/a 的 0.61%。

气态途径所致的半径 80km 范围内居民集体有效剂量 1.07E-01 人·Sv/a。液态途径所致的半径 80km 范围内居民集体有效剂量 5.26E-01 人·Sv/a。厂址半径 80km 范围内集体有效剂量为 6.33E-01 人·Sv/a，气态途径份额为 16.92%，液态途径份额为 83.08%。

6.2.7　非人类生物的辐射剂量

基于《山东核能新项目可行性研究阶段厂址邻近海域水生生态调查专题成果报告》，本项目选取以下代表性的指示生物：

重要经济物种：小黄鱼（鱼类）、银鲳（鱼类）、带鱼（鱼类）、花鲈（鱼类）、短吻红舌鳎（鱼类）、口虾姑（甲壳类）、脊尾白虾（甲壳类）、三疣梭子蟹（甲壳类）、日本枪乌贼（软体类）、中华马珂蛤（软体类）、菲律宾帘蛤（软体类）、褶牡蛎（软体类）；

国家保护的珍稀濒危物种：大白鹭（鸟类）；

在生态系统结构和功能中起重要作用的物种：中肋骨条藻（浮游植物）、短角弯角藻（浮游植物）、角毛藻（浮游植物）、尖刺拟菱形藻（浮游植物）、中华哲水蚤（浮游动物）、拟铃虫（浮游动物）、薮枝螅水母（浮游动物）、五角水母（浮游动物）、球栉水母（浮游动物）、菲律宾帘蛤（底栖生物）；

潮间带生物：短滨螺、白脊藤壶、甲壳动物绒螯近方蟹、长牡蛎。

生物受到的辐射照射主要来自宇宙射线、天然放射性及核设施气、液态流出物，这些照射导致了水生生物和陆生生物的内外照射剂量。核设施气、液态流出物引起的生物内外照射，对于水生生物而言，外照射主要分为水体照射和底泥照射，内照射主要来自于生物体的食入照射；对于陆生生物而言，外照射主要分为空气照射和地面沉积外照射，内照射主要来自于生物体的食入照射。

2000 年 11 月~2003 年 10 月欧共体完成了 FASSET 计划，这个计划的目的是发展评价电离辐射生物和生态系统影响的方法和工具，以及支持防护辐射对环境有害效应的努力。计划分为 4 个方面：1）环境计量学；2）核素在生态系统中的转移；3）电离辐射生物效应；4）建立评价的框架。欧共体在完成 FASSET 计划后，在 2004 年 3 月制定了一个 ERICA 计划，计划实施从 2004 年 1 月到 2007 年 2 月，计划分为 5 个方面：1）提供评价工具；2）提供生态危害评价危害特征方法学；3）提供管理导则，支持电离辐射的环境保护；4）在 5 个不同场址事例

研究情景中，应用和检验评价的方法学；5）总的管理和计划进展评价。

基于欧洲模式的 ERICA 程序采用了危害商的定义，危害商的定义是剂量估算值与参考值的比值，具体公式如下：

$$RQ=\frac{\text{预测的生物剂量率}}{\text{认定安全的剂量率基准值}} \quad (6.2\text{-}5)$$

由上述公式可知，如果危害商小于 1，说明不可能对环境产生危害。

基于欧洲模式的 ERICA 程序由三级筛选组成：一级筛选中只需输入要评价的生态系统、选择核素、输入核素在介质中的活度浓度，导出危害商，若危害商大于 1 则进入二级筛选；二级筛选在一级筛选的基础上增加了生物种类的选择，同时程序还允许用户进行核素参数设置（包括分布系数、生物参数设置等）；三级筛选的特点是用户在进行核素参数设置时，不但可以输入或采用程序提供的默认值，也可以根据选择的分布类型计算其分布值（可选择 7 种，包括指数分布、正态分布、三角分布、均匀分布、对数正态分布、对数三角分布、对数均匀分布）。

根据欧共体的 ERICA 评价软件对厂址受纳水体水生生物和陆生生物的辐射剂量进行了计算。本次计算采用二级筛选模式，同时采用程序提供的参数默认值。

6.2.7.1　水生生物

表 6.2-20 给出了厂址受纳海域代表性生物及一期工程 2 台机组正常运行时液态流出物排放对受纳海域中水生生物造成的危害商，本次评价保守的采用 ERICA 程序中默认的剂量率基准值：10μGy/h。考虑到液态流出物进入受纳海域后会马上被海水所稀释，同时各类生物也会具有一定的移动能力，因此计算时各核素浓度考虑 10 倍的稀释倍数。

由表 6.2-20 可知，厂址一期工程 2 台机组正常运行时液态流出物排放对受纳海域中水生生物造成的危害商最大为多毛类，其值为 2.76E-02，小于 1，无需进一步开展三级筛选评价，且二级筛选评价模式评价使用的参数具有保守性。因此，可以认为，厂址一期工程 2 台机组正常运行工况下，液态流出物排放不会对受纳海域中的水生生物产生影响。

6.2.7.2　陆生生物

表 6.2-21 给出了厂址一期工程 2 台机组正常运行时气态流出物排放对陆生生物造成的危害商，本次评价保守的采用 ERICA 程序中默认的剂量率基准值：

10μGy/h。

本工程 2 台机组正常运行时气态流出物排放对陆生生物造成的危害商最大为鸟类，其值为 6.74E-04，远小于 1。可以认为，本工程 2 台机组正常运行工况下，气态流出物排放不会对陆生生物产生影响。

6.2.8 辐射影响评价

6.2.8.1 排放量和排放浓度评价

在本报告第四章中给出了槽式排放口处液态流出物排放浓度及与国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）中规定的控制值的比较。同时，本报告第一章给出了本项目 2 台机组的气态流出物和液态流出物设计排放量与国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）中规定的年排放量控制值的比较。结果表明：厂址一期工程 2 台机组气态和液态流出物的年排放量及槽式排放口处排放浓度能满足标准要求。

6.2.8.2 辐射剂量评价

1）公众

国家标准 GB6249-2025 规定：

正常运行状态下，任何场址的所有核动力堆向环境释放的放射性核素对公众中任何个人造成的有效剂量，每年不得超过 0.25mSv。

考虑当地居民的生活习惯，并采用偏保守的假设条件，一期工程 2 台国和一号核电机组在正常运行期间放射性物质由气态途径和液态途径排放所致厂址附近的最大个人的有效剂量为 1.52E-03mSv/a，为国家标准规定的 0.25mSv/a 的 0.61%；致厂址排水口附近的最大个人的有效剂量为 7.10E-04mSv/a，为国家标准规定的 0.25mSv/a 的 0.28%。因此，本项目在正常运行期间，对环境的辐射影响是可以接受的。

2）非人类生物

本工程 2 台核电机组正常运行时液态流出物排放对受纳海域中水生生物造成的危害商如表 6.2-20 所示。从表中可以看出，厂址一期工程 2 台核电机组正常运行工况下，液态流出物排放不会对受纳海域中的水生生物产生明显影响。本工程 2 台机组正常运行时气态流出物排放对陆生生物造成的危害商如表 6.2-21 所示。从表中可以看出，本工程 2 台机组正常运行工况下，气态流出物排放不会对

陆生生物产生影响。

6.2.9　排水管线的辐射影响

6.2.19.1　排水管线的防泄漏措施

基于现阶段设计方案，本项目拟配置 2 条“管中管”排放液态流出物，2 条管道互为备用。管道每隔一定距离设一个渗漏检测装置，该装置探测到外管有液体时，发出报警信号。排水管线沿线设置集液井，用于收集管道渗漏的废液。集液井与管道有接口，井内包含排气阀或泄水管及阀门、检修闸阀。集液井密闭，所有现场接口均进行密封处理，防止废液渗漏污染土壤及地下水渗入。集液井有开启式保护顶盖，防止雨水灌入。

6.2.9.2　排水管线的环境影响

基于现阶段设计方案，即使液态流出物从内管泄漏至外管中，由于设置了渗漏检测装置，也可及时收到警报并开展监测，最大程度地保障液态流出物通过排水管线从厂区输送至排水口的过程中不向外管外部环境泄漏，预计不会对公众产生影响。

另一方面，由于排水管线路由所在的大部分区域采用地埋方式。采用基于点核积分方法的屏蔽计算程序，计算得到液态流出物通过内管、外管管壁和地表土壤的屏蔽后，地表处外照射剂量率小于 1.0E-05mSv/h，不会对周边公众产生不可接受的影响。

6.2.9.3　排水管线周边的环境监测

针对排水管线周边的地下水监测井布设，主要考虑地下水分布特征、含水层性质、地下水径流排泄特征、地形地貌、岩性特征、环境敏感点、周边影响等，监测井的层位以可能受影响的含水层为主；对于管线周边的土壤监测点位，主要考虑在生态红线、居民点、生态防护林等环境敏感区布设。一期工程运行前，完成地下水监测井的施工并适时开展地下水监测工作。地下水、土壤的监测计划具体见第八章 8.1.2 节。

6.2.9.4　排水管线泄漏的应对方案

正常情况下，液态流出物不会进入外管，即使液态流出物从内管泄漏至外管中，由于外管设置了渗漏检测装置，可及时收到警报并开展监测，最大程度地保障液态流出物管线不向外部环境释放。

当陆域排水管线发生泄漏时，沿程设置的管道泄漏监测仪表以及就近集液井液位指示计将泄漏报警及泄漏点定位等仪表信号实时传输至控制值班室。参考国外氚泄漏事件，排放管道发生管道泄漏后，运行人员应及时关闭当前发生泄漏排放管道阀门，并切换另一排放管道，支撑厂内正常排水需求。同时运行人员迅速抵达现场，根据在线泄漏监测设备定位和集液井定位，确定泄漏管道范围并封控管制。取样检测漏点附近土壤，判断是否发生外管泄漏，并同步更换管道，同时收集、转移集液井中漏液。根据土壤取样检测结果，评估漏点附近是否可解控或进一步选择处理污染土壤。

若管道出现大破口后，除上述封控措施外，应及时对已受污场地的原地进行开挖及抽治处理，并开展风险评估，定期取样评估地下水水质。

表 6.2-1　不同核素衰变系数

核素	^{131}I	^{58}Co	^{110m}Ag	^{60}Co
半衰期	8.07d	70.78d	249.9d	5.27a
λ_i(/s)	1.00×10^{-6}	1.15×10^{-7}	3.21×10^{-8}	4.40×10^{-9}

表 6.2-2　山东莱阳核电项目厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子

核素：Kr-85（s/m^3）

距离（km） 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	6.48E-07	2.28E-07	1.44E-07	9.01E-08	4.36E-08	1.60E-08	8.14E-09	5.18E-09	3.70E-09	2.84E-09	2.28E-09	1.90E-09
NNE	2.40E-07	6.75E-08	4.53E-08	3.39E-08	2.01E-08	8.30E-09	4.06E-09	2.48E-09	1.71E-09	1.27E-09	9.91E-10	8.03E-10
NE	2.30E-07	6.51E-08	4.23E-08	3.04E-08	1.75E-08	7.16E-09	3.52E-09	2.16E-09	1.49E-09	1.11E-09	8.73E-10	7.10E-10
ENE	2.10E-07	5.53E-08	3.62E-08	2.74E-08	1.66E-08	6.96E-09	3.42E-09	2.09E-09	1.44E-09	1.07E-09	8.39E-10	6.81E-10
E	2.57E-07	7.62E-08	4.79E-08	3.38E-08	1.94E-08	7.91E-09	3.93E-09	2.43E-09	1.69E-09	1.27E-09	1.00E-09	8.17E-10
ESE	3.47E-07	1.09E-07	6.92E-08	4.79E-08	2.68E-08	1.08E-08	5.39E-09	3.35E-09	2.35E-09	1.77E-09	1.40E-09	1.15E-09
SE	2.99E-07	9.84E-08	6.34E-08	4.41E-08	2.45E-08	9.81E-09	4.91E-09	3.06E-09	2.15E-09	1.62E-09	1.28E-09	1.05E-09
SSE	3.36E-07	1.17E-07	7.50E-08	4.94E-08	2.56E-08	9.83E-09	4.96E-09	3.13E-09	2.21E-09	1.68E-09	1.34E-09	1.11E-09
S	5.13E-07	1.72E-07	1.10E-07	7.09E-08	3.59E-08	1.36E-08	6.86E-09	4.34E-09	3.08E-09	2.35E-09	1.88E-09	1.55E-09
SSW	5.44E-07	1.88E-07	1.21E-07	7.80E-08	3.96E-08	1.50E-08	7.61E-09	4.82E-09	3.43E-09	2.62E-09	2.10E-09	1.74E-09
SW	3.53E-07	1.13E-07	7.72E-08	5.58E-08	3.18E-08	1.27E-08	6.35E-09	3.94E-09	2.75E-09	2.07E-09	1.63E-09	1.34E-09
WSW	1.94E-07	5.88E-08	4.12E-08	3.21E-08	1.98E-08	8.27E-09	4.11E-09	2.53E-09	1.76E-09	1.32E-09	1.03E-09	8.43E-10
W	6.45E-08	2.74E-08	2.23E-08	1.96E-08	1.30E-08	5.58E-09	2.79E-09	1.73E-09	1.20E-09	9.00E-10	7.08E-10	5.77E-10
WNW	7.67E-08	2.95E-08	2.26E-08	1.97E-08	1.31E-08	5.68E-09	2.84E-09	1.75E-09	1.21E-09	9.05E-10	7.10E-10	5.77E-10
NW	2.98E-07	9.94E-08	6.67E-08	4.76E-08	2.70E-08	1.08E-08	5.45E-09	3.40E-09	2.39E-09	1.80E-09	1.43E-09	1.17E-09
NNW	8.11E-07	2.77E-07	1.72E-07	1.06E-07	5.06E-08	1.85E-08	9.47E-09	6.06E-09	4.35E-09	3.34E-09	2.70E-09	2.25E-09

表 6.2-3　山东莱阳核电项目厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子

核素：Xe-133（s/m^3）

距离(km) 方位	0～1	1～2	2～3	3～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～60	60～70	70～80
N	6.48E-07	2.27E-07	1.44E-07	8.98E-08	4.32E-08	1.57E-08	7.88E-09	4.95E-09	3.50E-09	2.65E-09	2.11E-09	1.73E-09
NNE	2.40E-07	6.74E-08	4.52E-08	3.37E-08	1.99E-08	8.10E-09	3.90E-09	2.35E-09	1.59E-09	1.16E-09	8.96E-10	7.15E-10
NE	2.30E-07	6.50E-08	4.22E-08	3.03E-08	1.74E-08	7.00E-09	3.38E-09	2.04E-09	1.39E-09	1.02E-09	7.91E-10	6.33E-10
ENE	2.10E-07	5.52E-08	3.61E-08	2.72E-08	1.65E-08	6.80E-09	3.29E-09	1.98E-09	1.35E-09	9.85E-10	7.59E-10	6.06E-10
E	2.57E-07	7.61E-08	4.77E-08	3.36E-08	1.92E-08	7.73E-09	3.79E-09	2.31E-09	1.59E-09	1.17E-09	9.10E-10	7.32E-10
ESE	3.47E-07	1.09E-07	6.90E-08	4.77E-08	2.65E-08	1.05E-08	5.17E-09	3.17E-09	2.19E-09	1.62E-09	1.27E-09	1.02E-09
SE	2.99E-07	9.82E-08	6.32E-08	4.38E-08	2.42E-08	9.56E-09	4.70E-09	2.88E-09	1.99E-09	1.47E-09	1.15E-09	9.29E-10
SSE	3.36E-07	1.17E-07	7.49E-08	4.92E-08	2.54E-08	9.62E-09	4.79E-09	2.97E-09	2.08E-09	1.56E-09	1.23E-09	1.00E-09
S	5.13E-07	1.71E-07	1.09E-07	7.06E-08	3.56E-08	1.33E-08	6.63E-09	4.14E-09	2.90E-09	2.19E-09	1.73E-09	1.41E-09
SSW	5.44E-07	1.88E-07	1.20E-07	7.77E-08	3.92E-08	1.47E-08	7.34E-09	4.59E-09	3.22E-09	2.43E-09	1.92E-09	1.57E-09
SW	3.53E-07	1.13E-07	7.70E-08	5.55E-08	3.14E-08	1.24E-08	6.09E-09	3.72E-09	2.56E-09	1.89E-09	1.48E-09	1.19E-09
WSW	1.94E-07	5.88E-08	4.10E-08	3.19E-08	1.96E-08	8.05E-09	3.93E-09	2.38E-09	1.63E-09	1.19E-09	9.23E-10	7.39E-10
W	6.45E-08	2.74E-08	2.22E-08	1.95E-08	1.28E-08	5.40E-09	2.65E-09	1.60E-09	1.09E-09	8.01E-10	6.17E-10	4.93E-10
WNW	7.66E-08	2.95E-08	2.25E-08	1.95E-08	1.29E-08	5.50E-09	2.69E-09	1.62E-09	1.10E-09	8.07E-10	6.21E-10	4.95E-10
NW	2.98E-07	9.93E-08	6.65E-08	4.74E-08	2.67E-08	1.06E-08	5.22E-09	3.21E-09	2.22E-09	1.65E-09	1.29E-09	1.04E-09
NNW	8.11E-07	2.76E-07	1.72E-07	1.05E-07	5.02E-08	1.81E-08	9.19E-09	5.81E-09	4.13E-09	3.14E-09	2.51E-09	2.07E-09

表 6.2-4　山东莱阳核电项目厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子

核素：I-131（s/m^3）

距离(km) / 方位	0～1	1～2	2～3	3～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～60	60～70	70～80
N	6.16E-07	2.00E-07	1.22E-07	7.20E-08	3.25E-08	1.11E-08	4.97E-09	2.84E-09	1.80E-09	1.32E-09	9.87E-10	7.25E-10
NNE	2.28E-07	5.93E-08	3.85E-08	2.70E-08	1.50E-08	5.74E-09	2.47E-09	1.35E-09	8.24E-10	5.83E-10	4.24E-10	3.03E-10
NE	2.19E-07	5.72E-08	3.59E-08	2.43E-08	1.31E-08	4.96E-09	2.15E-09	1.18E-09	7.25E-10	5.16E-10	3.77E-10	2.70E-10
ENE	1.99E-07	4.87E-08	3.07E-08	2.19E-08	1.24E-08	4.83E-09	2.09E-09	1.15E-09	7.04E-10	5.00E-10	3.64E-10	2.61E-10
E	2.44E-07	6.70E-08	4.07E-08	2.70E-08	1.45E-08	5.50E-09	2.41E-09	1.34E-09	8.29E-10	5.94E-10	4.37E-10	3.16E-10
ESE	3.29E-07	9.60E-08	5.88E-08	3.83E-08	2.00E-08	7.47E-09	3.30E-09	1.84E-09	1.15E-09	8.26E-10	6.10E-10	4.42E-10
SE	2.84E-07	8.65E-08	5.38E-08	3.52E-08	1.83E-08	6.80E-09	2.99E-09	1.67E-09	1.04E-09	7.47E-10	5.51E-10	3.99E-10
SSE	3.19E-07	1.03E-07	6.37E-08	3.94E-08	1.91E-08	6.79E-09	3.01E-09	1.70E-09	1.06E-09	7.71E-10	5.72E-10	4.17E-10
S	4.87E-07	1.51E-07	9.31E-08	5.65E-08	2.68E-08	9.38E-09	4.18E-09	2.37E-09	1.49E-09	1.08E-09	8.06E-10	5.89E-10
SSW	5.17E-07	1.65E-07	1.02E-07	6.23E-08	2.96E-08	1.04E-08	4.66E-09	2.65E-09	1.68E-09	1.22E-09	9.14E-10	6.70E-10
SW	3.35E-07	9.92E-08	6.56E-08	4.46E-08	2.37E-08	8.84E-09	3.88E-09	2.16E-09	1.34E-09	9.62E-10	7.08E-10	5.13E-10
WSW	1.84E-07	5.18E-08	3.50E-08	2.57E-08	1.48E-08	5.74E-09	2.51E-09	1.39E-09	8.56E-10	6.11E-10	4.47E-10	3.22E-10
W	6.13E-08	2.41E-08	1.89E-08	1.57E-08	9.69E-09	3.86E-09	1.70E-09	9.41E-10	5.80E-10	4.14E-10	3.03E-10	2.18E-10
WNW	7.28E-08	2.60E-08	1.92E-08	1.57E-08	9.79E-09	3.92E-09	1.72E-09	9.50E-10	5.83E-10	4.15E-10	3.02E-10	2.17E-10
NW	2.83E-07	8.75E-08	5.66E-08	3.80E-08	2.02E-08	7.51E-09	3.32E-09	1.86E-09	1.16E-09	8.35E-10	6.17E-10	4.48E-10
NNW	7.70E-07	2.43E-07	1.46E-07	8.45E-08	3.79E-08	1.28E-08	5.80E-09	3.33E-09	2.13E-09	1.56E-09	1.18E-09	8.67E-10

表 6.2-5　山东莱阳核电项目厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子

核素：Cs-137（s/m^3）

距离(km) / 方位	0～1	1～2	2～3	3～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～60	60～70	70～80
N	6.16E-07	2.00E-07	1.23E-07	7.20E-08	3.26E-08	1.11E-08	4.99E-09	2.86E-09	1.82E-09	1.33E-09	1.00E-09	7.36E-10
NNE	2.28E-07	5.93E-08	3.85E-08	2.70E-08	1.50E-08	5.76E-09	2.48E-09	1.36E-09	8.33E-10	5.91E-10	4.30E-10	3.08E-10
NE	2.19E-07	5.72E-08	3.59E-08	2.43E-08	1.31E-08	4.98E-09	2.16E-09	1.19E-09	7.35E-10	5.24E-10	3.84E-10	2.77E-10
ENE	1.99E-07	4.87E-08	3.08E-08	2.19E-08	1.25E-08	4.86E-09	2.11E-09	1.16E-09	7.16E-10	5.10E-10	3.73E-10	2.68E-10
E	2.44E-07	6.70E-08	4.07E-08	2.70E-08	1.45E-08	5.53E-09	2.43E-09	1.36E-09	8.43E-10	6.06E-10	4.48E-10	3.25E-10
ESE	3.29E-07	9.61E-08	5.88E-08	3.83E-08	2.01E-08	7.52E-09	3.33E-09	1.87E-09	1.17E-09	8.45E-10	6.26E-10	4.56E-10
SE	2.84E-07	8.66E-08	5.38E-08	3.52E-08	1.83E-08	6.83E-09	3.02E-09	1.69E-09	1.06E-09	7.62E-10	5.64E-10	4.10E-10
SSE	3.19E-07	1.03E-07	6.37E-08	3.94E-08	1.91E-08	6.80E-09	3.02E-09	1.71E-09	1.07E-09	7.77E-10	5.77E-10	4.21E-10
S	4.87E-07	1.51E-07	9.31E-08	5.66E-08	2.68E-08	9.41E-09	4.19E-09	2.38E-09	1.50E-09	1.09E-09	8.15E-10	5.96E-10
SSW	5.17E-07	1.65E-07	1.02E-07	6.24E-08	2.97E-08	1.05E-08	4.70E-09	2.68E-09	1.70E-09	1.24E-09	9.33E-10	6.86E-10
SW	3.35E-07	9.92E-08	6.56E-08	4.46E-08	2.38E-08	8.89E-09	3.91E-09	2.19E-09	1.36E-09	9.82E-10	7.26E-10	5.27E-10
WSW	1.84E-07	5.18E-08	3.50E-08	2.57E-08	1.48E-08	5.77E-09	2.54E-09	1.41E-09	8.72E-10	6.25E-10	4.60E-10	3.32E-10
W	6.13E-08	2.41E-08	1.89E-08	1.57E-08	9.73E-09	3.88E-09	1.72E-09	9.57E-10	5.93E-10	4.25E-10	3.12E-10	2.26E-10
WNW	7.28E-08	2.60E-08	1.92E-08	1.57E-08	9.82E-09	3.95E-09	1.74E-09	9.64E-10	5.95E-10	4.24E-10	3.11E-10	2.24E-10
NW	2.83E-07	8.75E-08	5.67E-08	3.81E-08	2.02E-08	7.55E-09	3.35E-09	1.88E-09	1.18E-09	8.51E-10	6.31E-10	4.59E-10
NNW	7.70E-07	2.43E-07	1.46E-07	8.46E-08	3.79E-08	1.29E-08	5.83E-09	3.36E-09	2.15E-09	1.58E-09	1.19E-09	8.81E-10

表 6.2-6　山东莱阳核电项目厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子

核素：C-14（s/m^3）

距离(km) / 方位	0～1	1～2	2～3	3～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～60	60～70	70～80
N	6.48E-07	2.28E-07	1.44E-07	9.01E-08	4.36E-08	1.60E-08	8.14E-09	5.18E-09	3.70E-09	2.84E-09	2.28E-09	1.90E-09
NNE	2.40E-07	6.75E-08	4.53E-08	3.39E-08	2.01E-08	8.30E-09	4.06E-09	2.48E-09	1.71E-09	1.27E-09	9.91E-10	8.04E-10
NE	2.30E-07	6.51E-08	4.23E-08	3.04E-08	1.75E-08	7.16E-09	3.52E-09	2.16E-09	1.49E-09	1.11E-09	8.73E-10	7.10E-10
ENE	2.10E-07	5.53E-08	3.62E-08	2.74E-08	1.66E-08	6.96E-09	3.42E-09	2.09E-09	1.44E-09	1.07E-09	8.39E-10	6.81E-10
E	2.57E-07	7.62E-08	4.79E-08	3.38E-08	1.94E-08	7.91E-09	3.93E-09	2.43E-09	1.69E-09	1.27E-09	1.00E-09	8.17E-10
ESE	3.47E-07	1.09E-07	6.92E-08	4.79E-08	2.68E-08	1.08E-08	5.39E-09	3.35E-09	2.35E-09	1.77E-09	1.40E-09	1.15E-09
SE	2.99E-07	9.84E-08	6.34E-08	4.41E-08	2.45E-08	9.81E-09	4.91E-09	3.06E-09	2.15E-09	1.62E-09	1.28E-09	1.05E-09
SSE	3.36E-07	1.17E-07	7.50E-08	4.94E-08	2.56E-08	9.83E-09	4.96E-09	3.13E-09	2.21E-09	1.68E-09	1.34E-09	1.11E-09
S	5.13E-07	1.72E-07	1.10E-07	7.09E-08	3.59E-08	1.36E-08	6.86E-09	4.34E-09	3.08E-09	2.35E-09	1.88E-09	1.55E-09
SSW	5.44E-07	1.88E-07	1.21E-07	7.80E-08	3.96E-08	1.50E-08	7.61E-09	4.82E-09	3.43E-09	2.62E-09	2.10E-09	1.74E-09
SW	3.53E-07	1.13E-07	7.72E-08	5.58E-08	3.18E-08	1.27E-08	6.35E-09	3.94E-09	2.75E-09	2.07E-09	1.63E-09	1.34E-09
WSW	1.94E-07	5.88E-08	4.12E-08	3.21E-08	1.98E-08	8.27E-09	4.11E-09	2.53E-09	1.76E-09	1.32E-09	1.03E-09	8.43E-10
W	6.45E-08	2.74E-08	2.23E-08	1.96E-08	1.30E-08	5.58E-09	2.79E-09	1.73E-09	1.20E-09	9.00E-10	7.08E-10	5.77E-10
WNW	7.67E-08	2.95E-08	2.26E-08	1.97E-08	1.31E-08	5.68E-09	2.84E-09	1.75E-09	1.21E-09	9.05E-10	7.10E-10	5.77E-10
NW	2.98E-07	9.94E-08	6.67E-08	4.76E-08	2.70E-08	1.08E-08	5.45E-09	3.40E-09	2.39E-09	1.80E-09	1.43E-09	1.17E-09
NNW	8.11E-07	2.77E-07	1.72E-07	1.06E-07	5.06E-08	1.85E-08	9.47E-09	6.06E-09	4.35E-09	3.34E-09	2.70E-09	2.25E-09

表 6.2-7　山东莱阳核电项目厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子

核素：H-3（s/m^3）

距离(km) 方位	0～1	1～2	2～3	3～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～60	60～70	70～80
N	6.48E-07	2.28E-07	1.44E-07	9.01E-08	4.36E-08	1.60E-08	8.14E-09	5.18E-09	3.70E-09	2.84E-09	2.28E-09	1.90E-09
NNE	2.40E-07	6.75E-08	4.53E-08	3.39E-08	2.01E-08	8.30E-09	4.06E-09	2.48E-09	1.71E-09	1.27E-09	9.91E-10	8.03E-10
NE	2.30E-07	6.51E-08	4.23E-08	3.04E-08	1.75E-08	7.16E-09	3.52E-09	2.16E-09	1.49E-09	1.11E-09	8.73E-10	7.10E-10
ENE	2.10E-07	5.53E-08	3.62E-08	2.74E-08	1.66E-08	6.96E-09	3.42E-09	2.09E-09	1.44E-09	1.07E-09	8.39E-10	6.81E-10
E	2.57E-07	7.62E-08	4.79E-08	3.38E-08	1.94E-08	7.91E-09	3.93E-09	2.43E-09	1.69E-09	1.27E-09	1.00E-09	8.17E-10
ESE	3.47E-07	1.09E-07	6.92E-08	4.79E-08	2.68E-08	1.08E-08	5.39E-09	3.35E-09	2.35E-09	1.77E-09	1.40E-09	1.15E-09
SE	2.99E-07	9.84E-08	6.34E-08	4.41E-08	2.45E-08	9.81E-09	4.91E-09	3.06E-09	2.15E-09	1.62E-09	1.28E-09	1.05E-09
SSE	3.36E-07	1.17E-07	7.50E-08	4.94E-08	2.56E-08	9.83E-09	4.96E-09	3.13E-09	2.21E-09	1.68E-09	1.34E-09	1.11E-09
S	5.13E-07	1.72E-07	1.10E-07	7.09E-08	3.59E-08	1.36E-08	6.86E-09	4.34E-09	3.08E-09	2.35E-09	1.88E-09	1.55E-09
SSW	5.44E-07	1.88E-07	1.21E-07	7.80E-08	3.96E-08	1.50E-08	7.61E-09	4.82E-09	3.43E-09	2.62E-09	2.10E-09	1.74E-09
SW	3.53E-07	1.13E-07	7.72E-08	5.58E-08	3.18E-08	1.27E-08	6.35E-09	3.94E-09	2.75E-09	2.07E-09	1.63E-09	1.34E-09
WSW	1.94E-07	5.88E-08	4.12E-08	3.21E-08	1.98E-08	8.27E-09	4.11E-09	2.53E-09	1.76E-09	1.32E-09	1.03E-09	8.43E-10
W	6.45E-08	2.74E-08	2.23E-08	1.96E-08	1.30E-08	5.58E-09	2.79E-09	1.73E-09	1.20E-09	9.00E-10	7.08E-10	5.77E-10
WNW	7.67E-08	2.95E-08	2.26E-08	1.97E-08	1.31E-08	5.68E-09	2.84E-09	1.75E-09	1.21E-09	9.05E-10	7.10E-10	5.77E-10
NW	2.98E-07	9.94E-08	6.67E-08	4.76E-08	2.70E-08	1.08E-08	5.45E-09	3.40E-09	2.39E-09	1.80E-09	1.43E-09	1.17E-09
NNW	8.11E-07	2.77E-07	1.72E-07	1.06E-07	5.06E-08	1.85E-08	9.47E-09	6.06E-09	4.35E-09	3.34E-09	2.70E-09	2.25E-09

表 6.2-8　山东莱阳核电项目厂址半径 80km 范围内年均沉积因子（干湿沉积所致）

元素碘（1/m^2）

距离(km) 方位	0～1	1～2	2～3	3～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～60	60～70	70～80
N	7.90E-09	2.75E-09	1.72E-09	1.08E-09	5.30E-10	2.07E-10	1.10E-10	7.20E-11	5.27E-11	4.12E-11	3.37E-11	2.84E-11
NNE	2.84E-09	8.22E-10	5.42E-10	3.94E-10	2.30E-10	9.77E-11	4.95E-11	3.11E-11	2.20E-11	1.67E-11	1.33E-11	1.10E-11
NE	2.72E-09	7.89E-10	5.06E-10	3.56E-10	2.03E-10	8.55E-11	4.35E-11	2.75E-11	1.96E-11	1.49E-11	1.19E-11	9.88E-12
ENE	2.45E-09	6.71E-10	4.33E-10	3.18E-10	1.90E-10	8.14E-11	4.13E-11	2.60E-11	1.84E-11	1.39E-11	1.11E-11	9.16E-12
E	3.04E-09	9.17E-10	5.72E-10	3.96E-10	2.25E-10	9.46E-11	4.86E-11	3.10E-11	2.21E-11	1.69E-11	1.36E-11	1.13E-11
ESE	4.13E-09	1.31E-09	8.24E-10	5.62E-10	3.12E-10	1.30E-10	6.71E-11	4.30E-11	3.08E-11	2.37E-11	1.91E-11	1.59E-11
SE	3.60E-09	1.19E-09	7.56E-10	5.17E-10	2.86E-10	1.18E-10	6.13E-11	3.93E-11	2.82E-11	2.17E-11	1.75E-11	1.46E-11
SSE	4.10E-09	1.42E-09	8.99E-10	5.87E-10	3.06E-10	1.23E-10	6.45E-11	4.19E-11	3.04E-11	2.36E-11	1.92E-11	1.61E-11
S	6.21E-09	2.08E-09	1.31E-09	8.44E-10	4.31E-10	1.72E-10	9.03E-11	5.88E-11	4.28E-11	3.33E-11	2.71E-11	2.28E-11
SSW	6.60E-09	2.27E-09	1.44E-09	9.25E-10	4.73E-10	1.88E-10	9.93E-11	6.48E-11	4.72E-11	3.67E-11	2.99E-11	2.51E-11
SW	4.28E-09	1.38E-09	9.21E-10	6.52E-10	3.67E-10	1.52E-10	7.84E-11	5.00E-11	3.58E-11	2.75E-11	2.21E-11	1.84E-11
WSW	2.35E-09	7.25E-10	4.94E-10	3.73E-10	2.25E-10	9.64E-11	4.93E-11	3.12E-11	2.22E-11	1.69E-11	1.35E-11	1.12E-11
W	8.54E-10	3.44E-10	2.65E-10	2.23E-10	1.44E-10	6.27E-11	3.21E-11	2.03E-11	1.44E-11	1.09E-11	8.69E-12	7.17E-12
WNW	9.89E-10	3.69E-10	2.70E-10	2.24E-10	1.46E-10	6.42E-11	3.28E-11	2.07E-11	1.46E-11	1.11E-11	8.81E-12	7.25E-12
NW	3.64E-09	1.21E-09	7.99E-10	5.59E-10	3.14E-10	1.30E-10	6.76E-11	4.34E-11	3.12E-11	2.40E-11	1.94E-11	1.61E-11
NNW	9.82E-09	3.34E-09	2.06E-09	1.27E-09	6.20E-10	2.42E-10	1.29E-10	8.50E-11	6.25E-11	4.90E-11	4.01E-11	3.38E-11

表 6.2-9　山东莱阳核电项目厂址半径 80km 范围内年均沉积因子（干湿沉积所致）

粒子态核素（1/m^2）

距离(km) 方位	0～1	1～2	2～3	3～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～60	60～70	70～80
N	2.77E-09	9.34E-10	5.68E-10	3.55E-10	1.85E-10	8.66E-11	5.05E-11	3.55E-11	2.73E-11	2.21E-11	1.86E-11	1.60E-11
NNE	9.03E-10	2.89E-10	1.78E-10	1.17E-10	6.43E-11	3.04E-11	1.73E-11	1.20E-11	9.08E-12	7.30E-12	6.10E-12	5.23E-12
NE	8.55E-10	2.73E-10	1.67E-10	1.09E-10	5.92E-11	2.80E-11	1.60E-11	1.11E-11	8.44E-12	6.80E-12	5.68E-12	4.88E-12
ENE	7.38E-10	2.32E-10	1.42E-10	9.35E-11	5.19E-11	2.46E-11	1.40E-11	9.65E-12	7.32E-12	5.88E-12	4.91E-12	4.21E-12
E	9.57E-10	3.10E-10	1.88E-10	1.21E-10	6.60E-11	3.12E-11	1.79E-11	1.24E-11	9.47E-12	7.63E-12	6.39E-12	5.48E-12
ESE	1.34E-09	4.40E-10	2.68E-10	1.72E-10	9.29E-11	4.38E-11	2.52E-11	1.75E-11	1.34E-11	1.08E-11	9.03E-12	7.76E-12
SE	1.21E-09	4.03E-10	2.46E-10	1.58E-10	8.53E-11	4.02E-11	2.32E-11	1.61E-11	1.23E-11	9.91E-12	8.30E-12	7.13E-12
SSE	1.45E-09	4.89E-10	2.99E-10	1.89E-10	1.00E-10	4.71E-11	2.73E-11	1.91E-11	1.46E-11	1.18E-11	9.94E-12	8.56E-12
S	2.14E-09	7.13E-10	4.35E-10	2.74E-10	1.44E-10	6.77E-11	3.94E-11	2.75E-11	2.11E-11	1.71E-11	1.44E-11	1.24E-11
SSW	2.28E-09	7.68E-10	4.69E-10	2.96E-10	1.56E-10	7.30E-11	4.24E-11	2.97E-11	2.28E-11	1.84E-11	1.55E-11	1.33E-11
SW	1.47E-09	4.86E-10	3.01E-10	1.96E-10	1.06E-10	5.01E-11	2.88E-11	1.99E-11	1.52E-11	1.23E-11	1.03E-11	8.80E-12
WSW	8.09E-10	2.64E-10	1.64E-10	1.09E-10	6.08E-11	2.88E-11	1.64E-11	1.13E-11	8.60E-12	6.91E-12	5.77E-12	4.95E-12
W	3.78E-10	1.32E-10	8.50E-11	5.89E-11	3.39E-11	1.60E-11	9.07E-12	6.21E-12	4.69E-12	3.75E-12	3.12E-12	2.67E-12
WNW	4.10E-10	1.41E-10	8.92E-11	6.13E-11	3.54E-11	1.68E-11	9.50E-12	6.51E-12	4.91E-12	3.93E-12	3.27E-12	2.80E-12
NW	1.29E-09	4.29E-10	2.64E-10	1.71E-10	9.28E-11	4.37E-11	2.52E-11	1.75E-11	1.34E-11	1.08E-11	9.02E-12	7.75E-12
NNW	3.37E-09	1.13E-09	6.85E-10	4.26E-10	2.22E-10	1.04E-10	6.07E-11	4.27E-11	3.28E-11	2.67E-11	2.24E-11	1.93E-11

表 6.2-10　山东莱阳核电项目厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素：^{85}Kr（Bq/m^3）

距离（km） 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	4.73E-01	1.66E-01	1.05E-01	6.57E-02	3.18E-02	1.17E-02	5.94E-03	3.78E-03	2.70E-03	2.07E-03	1.66E-03	1.38E-03
NNE	1.75E-01	4.92E-02	3.30E-02	2.47E-02	1.47E-02	6.05E-03	2.96E-03	1.81E-03	1.25E-03	9.26E-04	7.23E-04	5.86E-04
NE	1.68E-01	4.74E-02	3.08E-02	2.22E-02	1.28E-02	5.22E-03	2.57E-03	1.57E-03	1.09E-03	8.12E-04	6.37E-04	5.18E-04
ENE	1.53E-01	4.03E-02	2.64E-02	2.00E-02	1.21E-02	5.08E-03	2.50E-03	1.53E-03	1.05E-03	7.83E-04	6.12E-04	4.96E-04
E	1.87E-01	5.56E-02	3.49E-02	2.46E-02	1.41E-02	5.77E-03	2.87E-03	1.77E-03	1.24E-03	9.26E-04	7.30E-04	5.96E-04
ESE	2.53E-01	7.96E-02	5.05E-02	3.49E-02	1.95E-02	7.85E-03	3.93E-03	2.45E-03	1.71E-03	1.29E-03	1.02E-03	8.37E-04
SE	2.18E-01	7.18E-02	4.62E-02	3.21E-02	1.79E-02	7.16E-03	3.58E-03	2.23E-03	1.56E-03	1.18E-03	9.34E-04	7.67E-04
SSE	2.45E-01	8.50E-02	5.47E-02	3.60E-02	1.87E-02	7.17E-03	3.62E-03	2.28E-03	1.61E-03	1.23E-03	9.79E-04	8.09E-04
S	3.74E-01	1.25E-01	7.99E-02	5.17E-02	2.62E-02	9.89E-03	5.01E-03	3.16E-03	2.25E-03	1.71E-03	1.37E-03	1.13E-03
SSW	3.97E-01	1.37E-01	8.79E-02	5.69E-02	2.89E-02	1.09E-02	5.55E-03	3.51E-03	2.50E-03	1.91E-03	1.53E-03	1.27E-03
SW	2.58E-01	8.23E-02	5.63E-02	4.07E-02	2.32E-02	9.29E-03	4.63E-03	2.87E-03	2.01E-03	1.51E-03	1.19E-03	9.75E-04
WSW	1.41E-01	4.29E-02	3.00E-02	2.34E-02	1.44E-02	6.03E-03	3.00E-03	1.85E-03	1.28E-03	9.60E-04	7.54E-04	6.15E-04
W	4.70E-02	2.00E-02	1.62E-02	1.43E-02	9.48E-03	4.07E-03	2.04E-03	1.26E-03	8.77E-04	6.56E-04	5.16E-04	4.21E-04
WNW	5.59E-02	2.15E-02	1.65E-02	1.43E-02	9.58E-03	4.14E-03	2.07E-03	1.27E-03	8.84E-04	6.60E-04	5.18E-04	4.21E-04
NW	2.17E-01	7.25E-02	4.86E-02	3.47E-02	1.97E-02	7.91E-03	3.97E-03	2.48E-03	1.74E-03	1.31E-03	1.04E-03	8.55E-04
NNW	5.91E-01	2.02E-01	1.25E-01	7.72E-02	3.69E-02	1.35E-02	6.90E-03	4.42E-03	3.17E-03	2.44E-03	1.97E-03	1.64E-03

表 6.2-11　山东莱阳核电项目厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素：^{133}Xe（Bq /m^3）

距离(km) / 方位	0～1	1～2	2～3	3～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～60	60～70	70～80
N	1.82E+00	6.40E-01	4.05E-01	2.53E-01	1.22E-01	4.42E-02	2.22E-02	1.39E-02	9.84E-03	7.46E-03	5.93E-03	4.88E-03
NNE	6.74E-01	1.90E-01	1.27E-01	9.48E-02	5.60E-02	2.28E-02	1.10E-02	6.60E-03	4.48E-03	3.28E-03	2.52E-03	2.01E-03
NE	6.48E-01	1.83E-01	1.19E-01	8.52E-02	4.89E-02	1.97E-02	9.53E-03	5.76E-03	3.92E-03	2.88E-03	2.23E-03	1.78E-03
ENE	5.90E-01	1.55E-01	1.02E-01	7.67E-02	4.63E-02	1.92E-02	9.27E-03	5.58E-03	3.79E-03	2.77E-03	2.14E-03	1.71E-03
E	7.23E-01	2.14E-01	1.34E-01	9.46E-02	5.40E-02	2.18E-02	1.07E-02	6.50E-03	4.46E-03	3.30E-03	2.56E-03	2.06E-03
ESE	9.76E-01	3.07E-01	1.94E-01	1.34E-01	7.45E-02	2.96E-02	1.46E-02	8.92E-03	6.16E-03	4.57E-03	3.56E-03	2.88E-03
SE	8.41E-01	2.77E-01	1.78E-01	1.23E-01	6.81E-02	2.69E-02	1.32E-02	8.11E-03	5.60E-03	4.15E-03	3.24E-03	2.61E-03
SSE	9.45E-01	3.28E-01	2.11E-01	1.39E-01	7.15E-02	2.71E-02	1.35E-02	8.37E-03	5.85E-03	4.40E-03	3.46E-03	2.82E-03
S	1.44E+00	4.82E-01	3.08E-01	1.99E-01	1.00E-01	3.74E-02	1.87E-02	1.16E-02	8.17E-03	6.16E-03	4.87E-03	3.98E-03
SSW	1.53E+00	5.28E-01	3.38E-01	2.19E-01	1.10E-01	4.13E-02	2.07E-02	1.29E-02	9.08E-03	6.85E-03	5.41E-03	4.43E-03
SW	9.94E-01	3.17E-01	2.17E-01	1.56E-01	8.84E-02	3.50E-02	1.71E-02	1.05E-02	7.20E-03	5.33E-03	4.15E-03	3.35E-03
WSW	5.45E-01	1.65E-01	1.16E-01	8.99E-02	5.51E-02	2.27E-02	1.11E-02	6.70E-03	4.58E-03	3.36E-03	2.60E-03	2.08E-03
W	1.81E-01	7.70E-02	6.24E-02	5.49E-02	3.60E-02	1.52E-02	7.45E-03	4.51E-03	3.08E-03	2.26E-03	1.74E-03	1.39E-03
WNW	2.16E-01	8.30E-02	6.34E-02	5.49E-02	3.64E-02	1.55E-02	7.57E-03	4.57E-03	3.11E-03	2.27E-03	1.75E-03	1.39E-03
NW	8.39E-01	2.80E-01	1.87E-01	1.33E-01	7.52E-02	2.98E-02	1.47E-02	9.04E-03	6.25E-03	4.65E-03	3.63E-03	2.94E-03
NNW	2.28E+00	7.78E-01	4.83E-01	2.97E-01	1.41E-01	5.11E-02	2.59E-02	1.64E-02	1.16E-02	8.85E-03	7.06E-03	5.82E-03

表 6.2-12　山东莱阳核电项目厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素：^{131}I（Bq /m^3）

距离(km) / 方位	0～1	1～2	2～3	3～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～60	60～70	70～80
N	1.27E-05	4.14E-06	2.53E-06	1.49E-06	6.73E-07	2.29E-07	1.03E-07	5.86E-08	3.72E-08	2.72E-08	2.04E-08	1.50E-08
NNE	4.71E-06	1.23E-06	7.95E-07	5.58E-07	3.10E-07	1.19E-07	5.10E-08	2.79E-08	1.70E-08	1.20E-08	8.76E-09	6.26E-09
NE	4.52E-06	1.18E-06	7.42E-07	5.02E-07	2.71E-07	1.03E-07	4.43E-08	2.44E-08	1.50E-08	1.07E-08	7.78E-09	5.59E-09
ENE	4.12E-06	1.01E-06	6.36E-07	4.52E-07	2.57E-07	9.99E-08	4.33E-08	2.38E-08	1.46E-08	1.03E-08	7.53E-09	5.40E-09
E	5.04E-06	1.39E-06	8.40E-07	5.58E-07	2.99E-07	1.14E-07	4.98E-08	2.77E-08	1.71E-08	1.23E-08	9.03E-09	6.52E-09
ESE	6.81E-06	1.99E-06	1.21E-06	7.91E-07	4.13E-07	1.55E-07	6.81E-08	3.81E-08	2.37E-08	1.71E-08	1.26E-08	9.14E-09
SE	5.87E-06	1.79E-06	1.11E-06	7.27E-07	3.78E-07	1.40E-07	6.18E-08	3.45E-08	2.15E-08	1.55E-08	1.14E-08	8.26E-09
SSE	6.60E-06	2.12E-06	1.32E-06	8.15E-07	3.95E-07	1.40E-07	6.22E-08	3.51E-08	2.20E-08	1.59E-08	1.18E-08	8.62E-09
S	1.01E-05	3.12E-06	1.92E-06	1.17E-06	5.54E-07	1.94E-07	8.63E-08	4.89E-08	3.08E-08	2.24E-08	1.67E-08	1.22E-08
SSW	1.07E-05	3.42E-06	2.12E-06	1.29E-06	6.12E-07	2.15E-07	9.63E-08	5.48E-08	3.47E-08	2.53E-08	1.89E-08	1.39E-08
SW	6.93E-06	2.05E-06	1.36E-06	9.21E-07	4.90E-07	1.83E-07	8.02E-08	4.47E-08	2.77E-08	1.99E-08	1.46E-08	1.06E-08
WSW	3.80E-06	1.07E-06	7.23E-07	5.30E-07	3.06E-07	1.19E-07	5.19E-08	2.87E-08	1.77E-08	1.26E-08	9.25E-09	6.66E-09
W	1.27E-06	4.98E-07	3.91E-07	3.24E-07	2.00E-07	7.97E-08	3.51E-08	1.95E-08	1.20E-08	8.56E-09	6.26E-09	4.50E-09
WNW	1.51E-06	5.37E-07	3.96E-07	3.24E-07	2.02E-07	8.11E-08	3.56E-08	1.96E-08	1.21E-08	8.57E-09	6.25E-09	4.48E-09
NW	5.85E-06	1.81E-06	1.17E-06	7.86E-07	4.17E-07	1.55E-07	6.87E-08	3.85E-08	2.40E-08	1.73E-08	1.28E-08	9.25E-09
NNW	1.59E-05	5.03E-06	3.02E-06	1.75E-06	7.83E-07	2.65E-07	1.20E-07	6.89E-08	4.40E-08	3.23E-08	2.43E-08	1.79E-08

表 6.2-13　山东莱阳核电项目厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素：^{137}Cs（Bq /m^3）

距离(km) / 方位	0～1	1～2	2～3	3～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～60	60～70	70～80
N	3.20E-05	1.04E-05	6.37E-06	3.74E-06	1.69E-06	5.78E-07	2.60E-07	1.49E-07	9.44E-08	6.93E-08	5.20E-08	3.83E-08
NNE	1.18E-05	3.09E-06	2.00E-06	1.41E-06	7.81E-07	2.99E-07	1.29E-07	7.08E-08	4.33E-08	3.07E-08	2.24E-08	1.60E-08
NE	1.14E-05	2.98E-06	1.87E-06	1.26E-06	6.82E-07	2.59E-07	1.12E-07	6.20E-08	3.82E-08	2.73E-08	2.00E-08	1.44E-08
ENE	1.04E-05	2.53E-06	1.60E-06	1.14E-06	6.48E-07	2.53E-07	1.10E-07	6.05E-08	3.72E-08	2.65E-08	1.94E-08	1.39E-08
E	1.27E-05	3.49E-06	2.12E-06	1.40E-06	7.55E-07	2.87E-07	1.26E-07	7.06E-08	4.39E-08	3.15E-08	2.33E-08	1.69E-08
ESE	1.71E-05	5.00E-06	3.06E-06	1.99E-06	1.04E-06	3.91E-07	1.73E-07	9.72E-08	6.08E-08	4.39E-08	3.25E-08	2.37E-08
SE	1.48E-05	4.50E-06	2.80E-06	1.83E-06	9.53E-07	3.55E-07	1.57E-07	8.80E-08	5.49E-08	3.96E-08	2.93E-08	2.13E-08
SSE	1.66E-05	5.34E-06	3.31E-06	2.05E-06	9.94E-07	3.54E-07	1.57E-07	8.87E-08	5.57E-08	4.04E-08	3.00E-08	2.19E-08
S	2.53E-05	7.84E-06	4.84E-06	2.94E-06	1.39E-06	4.89E-07	2.18E-07	1.24E-07	7.80E-08	5.68E-08	4.24E-08	3.10E-08
SSW	2.69E-05	8.60E-06	5.33E-06	3.24E-06	1.54E-06	5.43E-07	2.44E-07	1.39E-07	8.84E-08	6.47E-08	4.85E-08	3.57E-08
SW	1.74E-05	5.16E-06	3.41E-06	2.32E-06	1.24E-06	4.62E-07	2.04E-07	1.14E-07	7.09E-08	5.10E-08	3.77E-08	2.74E-08
WSW	9.56E-06	2.69E-06	1.82E-06	1.34E-06	7.71E-07	3.00E-07	1.32E-07	7.33E-08	4.54E-08	3.25E-08	2.39E-08	1.73E-08
W	3.19E-06	1.25E-06	9.83E-07	8.16E-07	5.06E-07	2.02E-07	8.93E-08	4.98E-08	3.08E-08	2.21E-08	1.62E-08	1.17E-08
WNW	3.79E-06	1.35E-06	9.97E-07	8.16E-07	5.11E-07	2.05E-07	9.04E-08	5.01E-08	3.09E-08	2.21E-08	1.62E-08	1.16E-08
NW	1.47E-05	4.55E-06	2.95E-06	1.98E-06	1.05E-06	3.93E-07	1.74E-07	9.80E-08	6.12E-08	4.43E-08	3.28E-08	2.39E-08
NNW	4.01E-05	1.27E-05	7.59E-06	4.40E-06	1.97E-06	6.70E-07	3.03E-07	1.75E-07	1.12E-07	8.23E-08	6.20E-08	4.58E-08

表 6.2-14　山东莱阳核电项目厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素：^{14}C（Bq /m^3）

距离(km) / 方位	0～1	1～2	2～3	3～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～60	60～70	70～80
N	1.89E-02	6.63E-03	4.20E-03	2.62E-03	1.27E-03	4.66E-04	2.37E-04	1.51E-04	1.08E-04	8.26E-05	6.64E-05	5.52E-05
NNE	6.97E-03	1.96E-03	1.32E-03	9.85E-04	5.85E-04	2.42E-04	1.18E-04	7.22E-05	4.97E-05	3.69E-05	2.89E-05	2.34E-05
NE	6.70E-03	1.89E-03	1.23E-03	8.86E-04	5.11E-04	2.08E-04	1.02E-04	6.28E-05	4.35E-05	3.24E-05	2.54E-05	2.07E-05
ENE	6.10E-03	1.61E-03	1.05E-03	7.97E-04	4.84E-04	2.03E-04	9.96E-05	6.09E-05	4.20E-05	3.13E-05	2.44E-05	1.98E-05
E	7.48E-03	2.22E-03	1.39E-03	9.83E-04	5.64E-04	2.30E-04	1.14E-04	7.08E-05	4.93E-05	3.70E-05	2.91E-05	2.38E-05
ESE	1.01E-02	3.18E-03	2.01E-03	1.39E-03	7.79E-04	3.13E-04	1.57E-04	9.76E-05	6.84E-05	5.15E-05	4.08E-05	3.34E-05
SE	8.69E-03	2.86E-03	1.84E-03	1.28E-03	7.13E-04	2.86E-04	1.43E-04	8.91E-05	6.25E-05	4.71E-05	3.73E-05	3.06E-05
SSE	9.78E-03	3.39E-03	2.18E-03	1.44E-03	7.46E-04	2.86E-04	1.45E-04	9.10E-05	6.44E-05	4.90E-05	3.91E-05	3.23E-05
S	1.49E-02	4.99E-03	3.19E-03	2.06E-03	1.04E-03	3.95E-04	2.00E-04	1.26E-04	8.96E-05	6.83E-05	5.47E-05	4.52E-05
SSW	1.58E-02	5.47E-03	3.51E-03	2.27E-03	1.15E-03	4.36E-04	2.21E-04	1.40E-04	9.98E-05	7.62E-05	6.11E-05	5.06E-05
SW	1.03E-02	3.28E-03	2.25E-03	1.62E-03	9.24E-04	3.71E-04	1.85E-04	1.15E-04	8.01E-05	6.02E-05	4.76E-05	3.89E-05
WSW	5.64E-03	1.71E-03	1.20E-03	9.35E-04	5.77E-04	2.41E-04	1.20E-04	7.38E-05	5.12E-05	3.83E-05	3.01E-05	2.45E-05
W	1.88E-03	7.98E-04	6.48E-04	5.72E-04	3.78E-04	1.62E-04	8.13E-05	5.03E-05	3.50E-05	2.62E-05	2.06E-05	1.68E-05
WNW	2.23E-03	8.59E-04	6.57E-04	5.72E-04	3.83E-04	1.65E-04	8.25E-05	5.09E-05	3.53E-05	2.63E-05	2.07E-05	1.68E-05
NW	8.68E-03	2.89E-03	1.94E-03	1.39E-03	7.86E-04	3.16E-04	1.59E-04	9.90E-05	6.95E-05	5.25E-05	4.16E-05	3.41E-05
NNW	2.36E-02	8.05E-03	5.00E-03	3.08E-03	1.47E-03	5.38E-04	2.76E-04	1.76E-04	1.27E-04	9.73E-05	7.85E-05	6.54E-05

表 6.2-15　山东莱阳核电项目厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素：^{3}H（Bq /m^{3}）

距离(km) 方位	0～1	1～2	2～3	3～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～60	60～70	70～80
N	2.21E-01	7.77E-02	4.92E-02	3.08E-02	1.49E-02	5.46E-03	2.78E-03	1.77E-03	1.26E-03	9.69E-04	7.79E-04	6.47E-04
NNE	8.18E-02	2.30E-02	1.55E-02	1.15E-02	6.85E-03	2.83E-03	1.39E-03	8.46E-04	5.83E-04	4.33E-04	3.38E-04	2.74E-04
NE	7.85E-02	2.22E-02	1.44E-02	1.04E-02	5.98E-03	2.44E-03	1.20E-03	7.36E-04	5.09E-04	3.80E-04	2.98E-04	2.42E-04
ENE	7.15E-02	1.89E-02	1.24E-02	9.35E-03	5.68E-03	2.38E-03	1.17E-03	7.14E-04	4.93E-04	3.66E-04	2.86E-04	2.32E-04
E	8.76E-02	2.60E-02	1.63E-02	1.15E-02	6.61E-03	2.70E-03	1.34E-03	8.29E-04	5.78E-04	4.33E-04	3.42E-04	2.79E-04
ESE	1.18E-01	3.73E-02	2.36E-02	1.63E-02	9.13E-03	3.67E-03	1.84E-03	1.14E-03	8.01E-04	6.04E-04	4.78E-04	3.92E-04
SE	1.02E-01	3.36E-02	2.16E-02	1.50E-02	8.36E-03	3.35E-03	1.68E-03	1.04E-03	7.32E-04	5.52E-04	4.37E-04	3.59E-04
SSE	1.15E-01	3.98E-02	2.56E-02	1.69E-02	8.74E-03	3.35E-03	1.69E-03	1.07E-03	7.55E-04	5.74E-04	4.58E-04	3.78E-04
S	1.75E-01	5.85E-02	3.74E-02	2.42E-02	1.22E-02	4.63E-03	2.34E-03	1.48E-03	1.05E-03	8.01E-04	6.41E-04	5.30E-04
SSW	1.86E-01	6.41E-02	4.11E-02	2.66E-02	1.35E-02	5.11E-03	2.60E-03	1.64E-03	1.17E-03	8.94E-04	7.16E-04	5.93E-04
SW	1.20E-01	3.85E-02	2.63E-02	1.90E-02	1.08E-02	4.35E-03	2.17E-03	1.34E-03	9.39E-04	7.06E-04	5.58E-04	4.56E-04
WSW	6.61E-02	2.01E-02	1.40E-02	1.10E-02	6.76E-03	2.82E-03	1.40E-03	8.65E-04	6.01E-04	4.49E-04	3.53E-04	2.87E-04
W	2.20E-02	9.36E-03	7.60E-03	6.70E-03	4.44E-03	1.90E-03	9.53E-04	5.90E-04	4.10E-04	3.07E-04	2.42E-04	1.97E-04
WNW	2.62E-02	1.01E-02	7.70E-03	6.71E-03	4.48E-03	1.94E-03	9.67E-04	5.96E-04	4.14E-04	3.09E-04	2.42E-04	1.97E-04
NW	1.02E-01	3.39E-02	2.28E-02	1.63E-02	9.22E-03	3.70E-03	1.86E-03	1.16E-03	8.15E-04	6.15E-04	4.88E-04	4.00E-04
NNW	2.77E-01	9.44E-02	5.86E-02	3.61E-02	1.73E-02	6.30E-03	3.23E-03	2.07E-03	1.48E-03	1.14E-03	9.20E-04	7.66E-04

表 6.2-16　山东莱阳核电项目厂址半径 80km 范围内年均沉积浓度（干湿沉积所致）

元素碘（Bq/a ·m^2）

距离(km) 方位	0～1	1～2	2～3	3～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～60	60～70	70～80
N	1.63E-01	5.67E-02	3.56E-02	2.23E-02	1.10E-02	4.28E-03	2.27E-03	1.49E-03	1.09E-03	8.52E-04	6.96E-04	5.86E-04
NNE	5.86E-02	1.70E-02	1.12E-02	8.14E-03	4.76E-03	2.02E-03	1.02E-03	6.43E-04	4.54E-04	3.45E-04	2.75E-04	2.27E-04
NE	5.61E-02	1.63E-02	1.05E-02	7.36E-03	4.20E-03	1.77E-03	8.99E-04	5.69E-04	4.04E-04	3.08E-04	2.47E-04	2.04E-04
ENE	5.06E-02	1.39E-02	8.93E-03	6.57E-03	3.92E-03	1.68E-03	8.53E-04	5.37E-04	3.79E-04	2.88E-04	2.29E-04	1.89E-04
E	6.27E-02	1.90E-02	1.18E-02	8.18E-03	4.64E-03	1.95E-03	1.00E-03	6.40E-04	4.57E-04	3.50E-04	2.81E-04	2.33E-04
ESE	8.53E-02	2.71E-02	1.70E-02	1.16E-02	6.44E-03	2.68E-03	1.39E-03	8.88E-04	6.37E-04	4.90E-04	3.94E-04	3.28E-04
SE	7.43E-02	2.45E-02	1.56E-02	1.07E-02	5.90E-03	2.45E-03	1.27E-03	8.12E-04	5.83E-04	4.48E-04	3.61E-04	3.01E-04
SSE	8.48E-02	2.92E-02	1.86E-02	1.21E-02	6.32E-03	2.54E-03	1.33E-03	8.66E-04	6.28E-04	4.88E-04	3.96E-04	3.32E-04
S	1.28E-01	4.29E-02	2.71E-02	1.74E-02	8.91E-03	3.55E-03	1.87E-03	1.22E-03	8.85E-04	6.88E-04	5.60E-04	4.70E-04
SSW	1.36E-01	4.68E-02	2.97E-02	1.91E-02	9.78E-03	3.89E-03	2.05E-03	1.34E-03	9.75E-04	7.59E-04	6.18E-04	5.19E-04
SW	8.84E-02	2.84E-02	1.90E-02	1.35E-02	7.59E-03	3.15E-03	1.62E-03	1.03E-03	7.40E-04	5.67E-04	4.56E-04	3.79E-04
WSW	4.85E-02	1.50E-02	1.02E-02	7.70E-03	4.66E-03	1.99E-03	1.02E-03	6.45E-04	4.58E-04	3.49E-04	2.79E-04	2.31E-04
W	1.76E-02	7.11E-03	5.46E-03	4.60E-03	2.97E-03	1.30E-03	6.63E-04	4.19E-04	2.96E-04	2.25E-04	1.80E-04	1.48E-04
WNW	2.04E-02	7.63E-03	5.58E-03	4.63E-03	3.02E-03	1.33E-03	6.77E-04	4.27E-04	3.01E-04	2.29E-04	1.82E-04	1.50E-04
NW	7.52E-02	2.51E-02	1.65E-02	1.15E-02	6.48E-03	2.69E-03	1.40E-03	8.97E-04	6.44E-04	4.96E-04	4.00E-04	3.33E-04
NNW	2.03E-01	6.89E-02	4.26E-02	2.63E-02	1.28E-02	4.99E-03	2.66E-03	1.76E-03	1.29E-03	1.01E-03	8.28E-04	6.99E-04

表 6.2-17　山东莱阳核电项目厂址半径 80km 范围内年均沉积浓度（干湿沉积所致）

粒子态核素（Bq/a ·m^2）

距离(km) 方位	0～1	1～2	2～3	3～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～60	60～70	70～80
N	8.63E+01	2.91E+01	1.77E+01	1.11E+01	5.77E+00	2.70E+00	1.58E+00	1.11E+00	8.50E-01	6.89E-01	5.80E-01	5.00E-01
NNE	2.82E+01	9.00E+00	5.55E+00	3.64E+00	2.01E+00	9.49E-01	5.41E-01	3.73E-01	2.83E-01	2.28E-01	1.90E-01	1.63E-01
NE	2.67E+01	8.53E+00	5.22E+00	3.39E+00	1.85E+00	8.73E-01	5.00E-01	3.46E-01	2.63E-01	2.12E-01	1.77E-01	1.52E-01
ENE	2.30E+01	7.22E+00	4.43E+00	2.91E+00	1.62E+00	7.67E-01	4.36E-01	3.01E-01	2.28E-01	1.83E-01	1.53E-01	1.31E-01
E	2.98E+01	9.65E+00	5.86E+00	3.78E+00	2.06E+00	9.74E-01	5.59E-01	3.88E-01	2.95E-01	2.38E-01	1.99E-01	1.71E-01
ESE	4.18E+01	1.37E+01	8.35E+00	5.36E+00	2.90E+00	1.37E+00	7.87E-01	5.46E-01	4.17E-01	3.37E-01	2.82E-01	2.42E-01
SE	3.78E+01	1.26E+01	7.67E+00	4.93E+00	2.66E+00	1.25E+00	7.22E-01	5.02E-01	3.83E-01	3.09E-01	2.59E-01	2.23E-01
SSE	4.53E+01	1.53E+01	9.31E+00	5.90E+00	3.12E+00	1.47E+00	8.52E-01	5.95E-01	4.56E-01	3.69E-01	3.10E-01	2.67E-01
S	6.67E+01	2.22E+01	1.36E+01	8.54E+00	4.50E+00	2.11E+00	1.23E+00	8.59E-01	6.59E-01	5.34E-01	4.48E-01	3.86E-01
SSW	7.12E+01	2.40E+01	1.46E+01	9.22E+00	4.85E+00	2.28E+00	1.32E+00	9.26E-01	7.10E-01	5.75E-01	4.83E-01	4.16E-01
SW	4.59E+01	1.52E+01	9.39E+00	6.11E+00	3.32E+00	1.56E+00	8.97E-01	6.22E-01	4.74E-01	3.82E-01	3.20E-01	2.75E-01
WSW	2.52E+01	8.23E+00	5.12E+00	3.40E+00	1.90E+00	8.98E-01	5.12E-01	3.53E-01	2.68E-01	2.16E-01	1.80E-01	1.54E-01
W	1.18E+01	4.12E+00	2.65E+00	1.84E+00	1.06E+00	5.00E-01	2.83E-01	1.94E-01	1.46E-01	1.17E-01	9.74E-02	8.32E-02
WNW	1.28E+01	4.38E+00	2.78E+00	1.91E+00	1.10E+00	5.23E-01	2.96E-01	2.03E-01	1.53E-01	1.23E-01	1.02E-01	8.73E-02
NW	4.01E+01	1.34E+01	8.24E+00	5.33E+00	2.90E+00	1.36E+00	7.86E-01	5.46E-01	4.17E-01	3.36E-01	2.81E-01	2.42E-01
NNW	1.05E+02	3.53E+01	2.13E+01	1.33E+01	6.91E+00	3.24E+00	1.89E+00	1.33E+00	1.02E+00	8.31E-01	6.99E-01	6.03E-01

表 6.2-18　5 种核素总排放口浓度

核素	Ⅰ~Ⅳ类海域浓度标准（Bq/L）	单机组排放量（Bq/a）	总排放口浓度（Bq/L）
^{60}Co	0.03	5.20E+07	2.27E-02
^{90}Sr	4	9.57E+04	4.17E-05
^{106}Ru	0.2	3.87E+04	1.69E-05
^{134}Cs	0.6	3.60E+08	1.57E-01
^{137}Cs	0.7	3.14E+08	1.37E-01

表 6.2-19　一期工程 2 台国和一号核电机组工程方案最大个人有效剂量汇总（设计源项）（mSv/a）

途径＼年龄组		婴儿	儿童	青年	成人	渔民
厂址附近	气态	3.97E-04	9.51E-04	6.58E-04	5.80E-04	/
	液态	6.26E-05	5.68E-04	4.77E-04	3.44E-04	/
	合计	4.60E-04	1.52E-03	1.14E-03	9.24E-04	/
排水口附近	气态	8.35E-06	1.85E-05	1.41E-05	1.21E-05	1.21E-05
	液态	6.26E-05	6.92E-04	5.37E-04	4.83E-04	5.64E-04
	合计	7.09E-05	7.10E-04	5.51E-04	4.95E-04	5.76E-04

注：由于厂址附近无渔民，故渔民组无相应计算结果。

表 6.2-20　水生生物危害商

水生生物名称	危害商
底层鱼	1.33E-02
鸟类	1.75E-03
甲壳类	1.25E-02
大型海藻（藻类）	1.49E-02
软体双壳类	1.43E-02
浅层鱼	1.53E-03
浮游植物	7.50E-04
多毛纲动物(蠕虫)	**2.76E-02**
维管植物	1.36E-02
浮游动物	1.32E-03

表 6.2-21　陆生生物危害商

生物	危害商
两栖类	6.44E-04
环节动物	6.19E-05
节肢动物	6.00E-04
鸟类	**6.74E-04**
飞行昆虫	6.27E-04
牧草	7.50E-05
苔藓	6.29E-04
大型哺乳类	4.55E-04
小型哺乳类	6.54E-04
软体动物	5.93E-04
爬行动物	6.22E-04
灌木	7.99E-05
乔木	8.55E-05

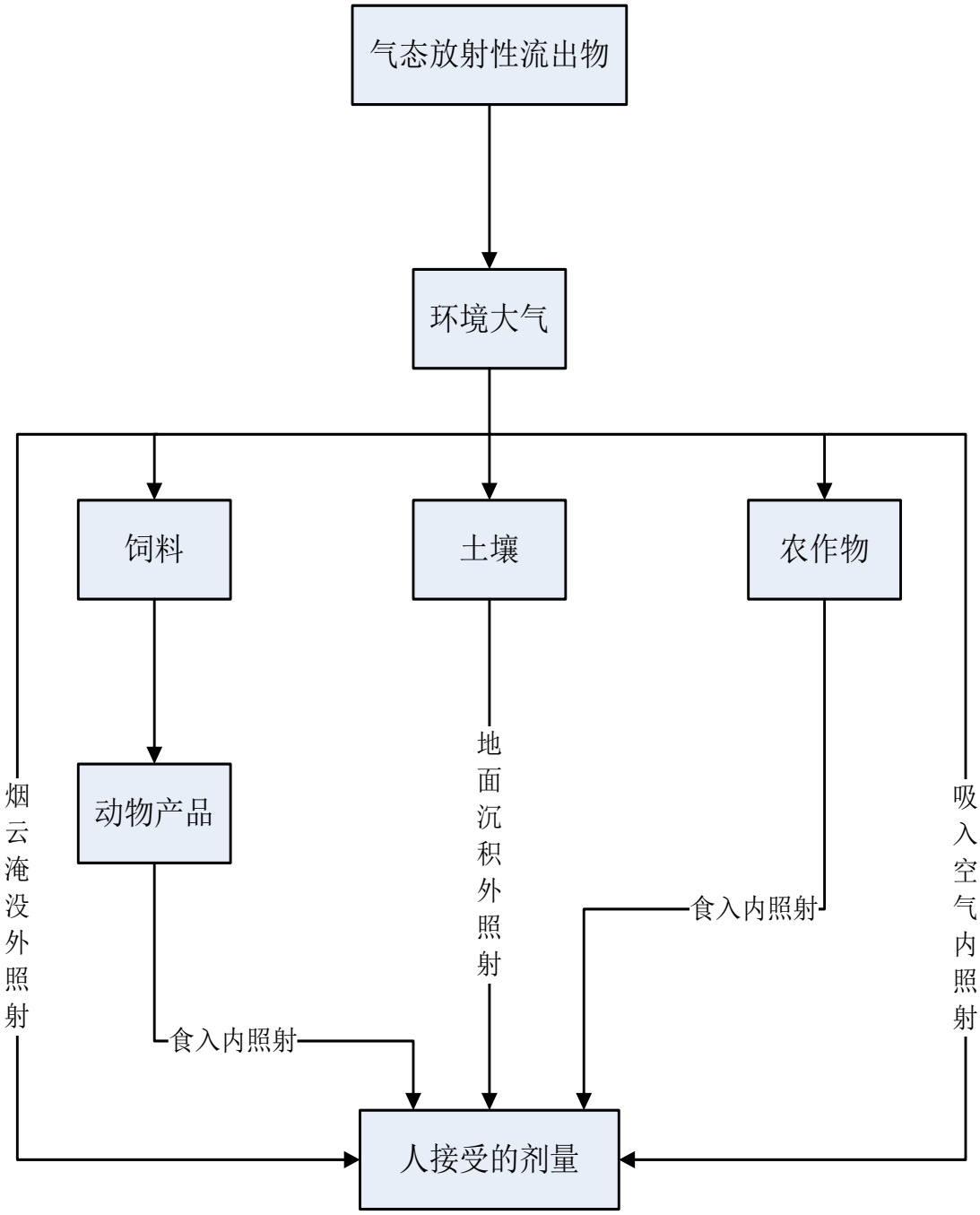


图 6.2-1　正常运行气态流出物对人体的照射途径

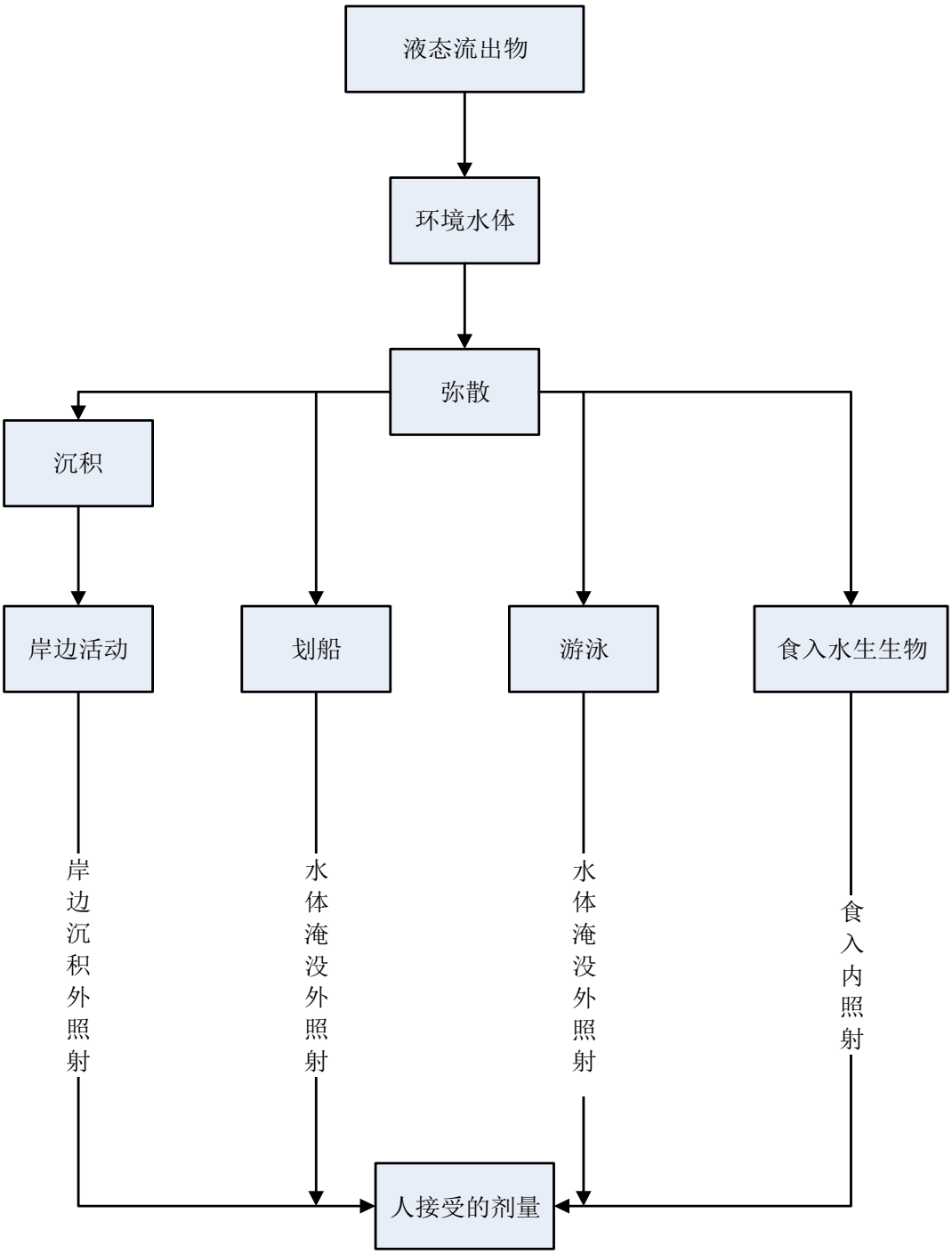


图 6.2-2　正常运行液态流出物对人体的照射途径

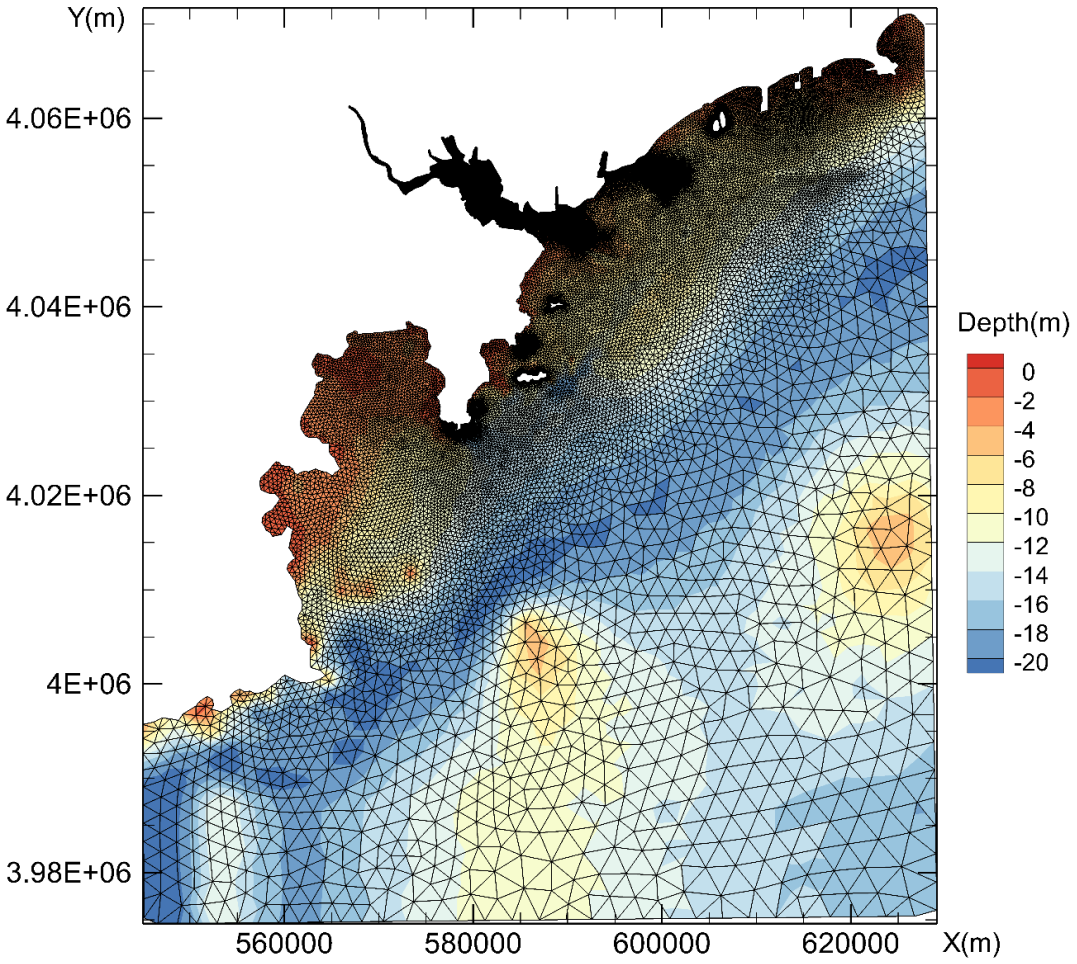


图 6.2-3　模拟区范围及水下地形图

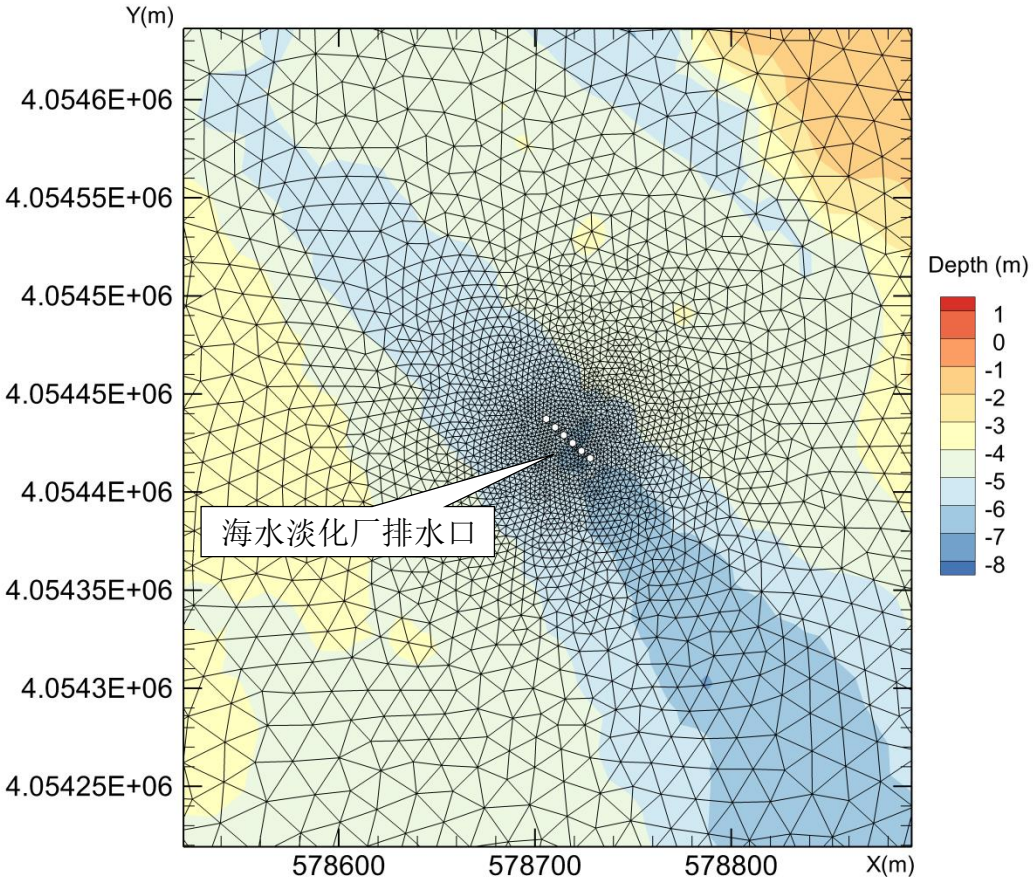


图 6.2-4　数学模型网格剖分图

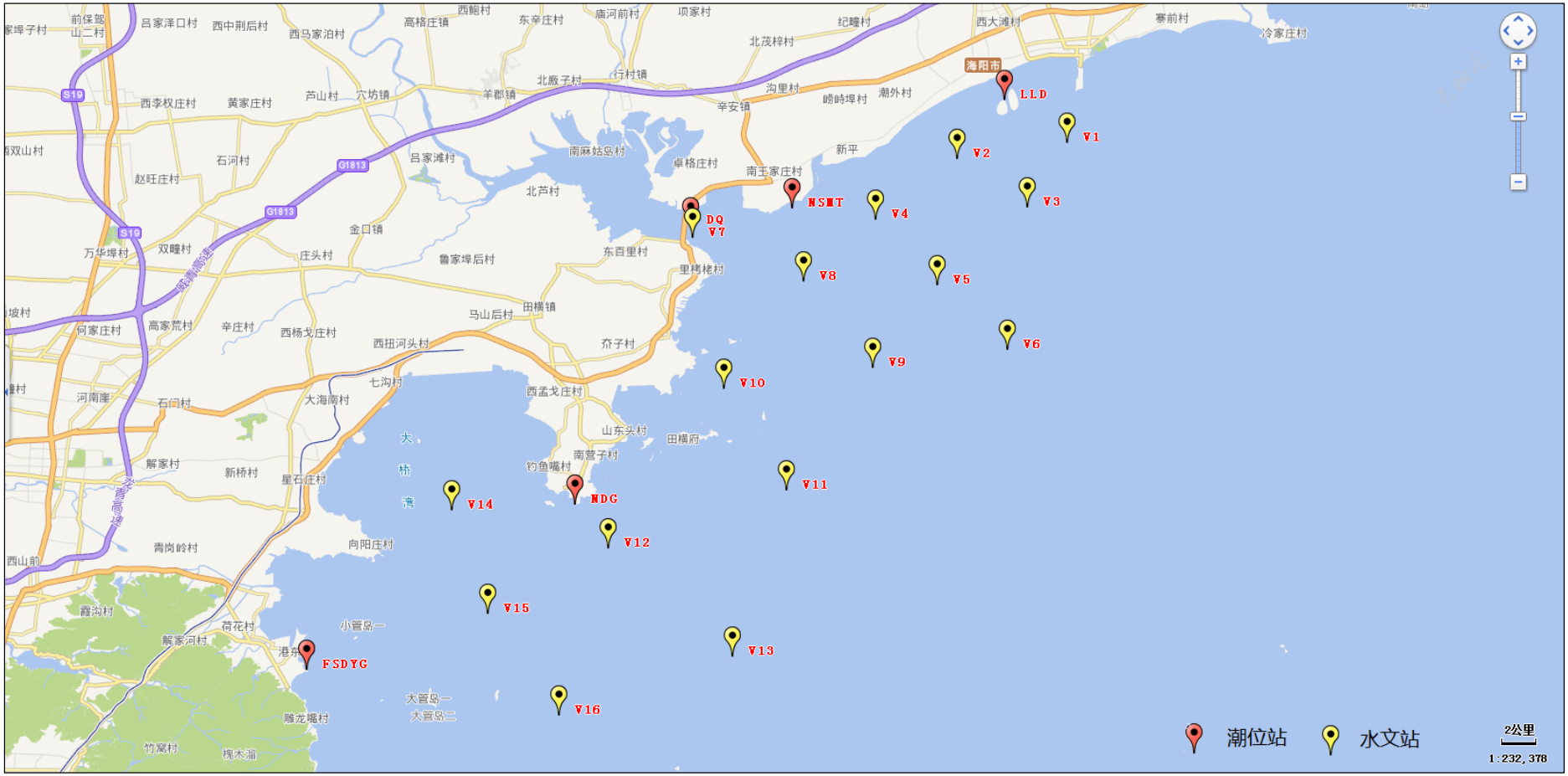


图 6.2-5a　厂址同步水文测验站位布置示意图（共有 5 个潮位站，分别为 NDG—女岛港站，DQ—大桥站，NSMT—南邵码头站，LLD—连理岛站，FSDYG—峰山东渔港站，即鳌山湾站；共有 16 个水文站，为 V1~V16 站）



图 6.2-5b　丁字湾内补充同步水文测验站位布置示意图（共有 3 个潮位站，分别为 DZWN—丁字湾内站，XD—香岛站，NSMT—南邵码头站；共有 8 个水文站，为 T1~T8 站）

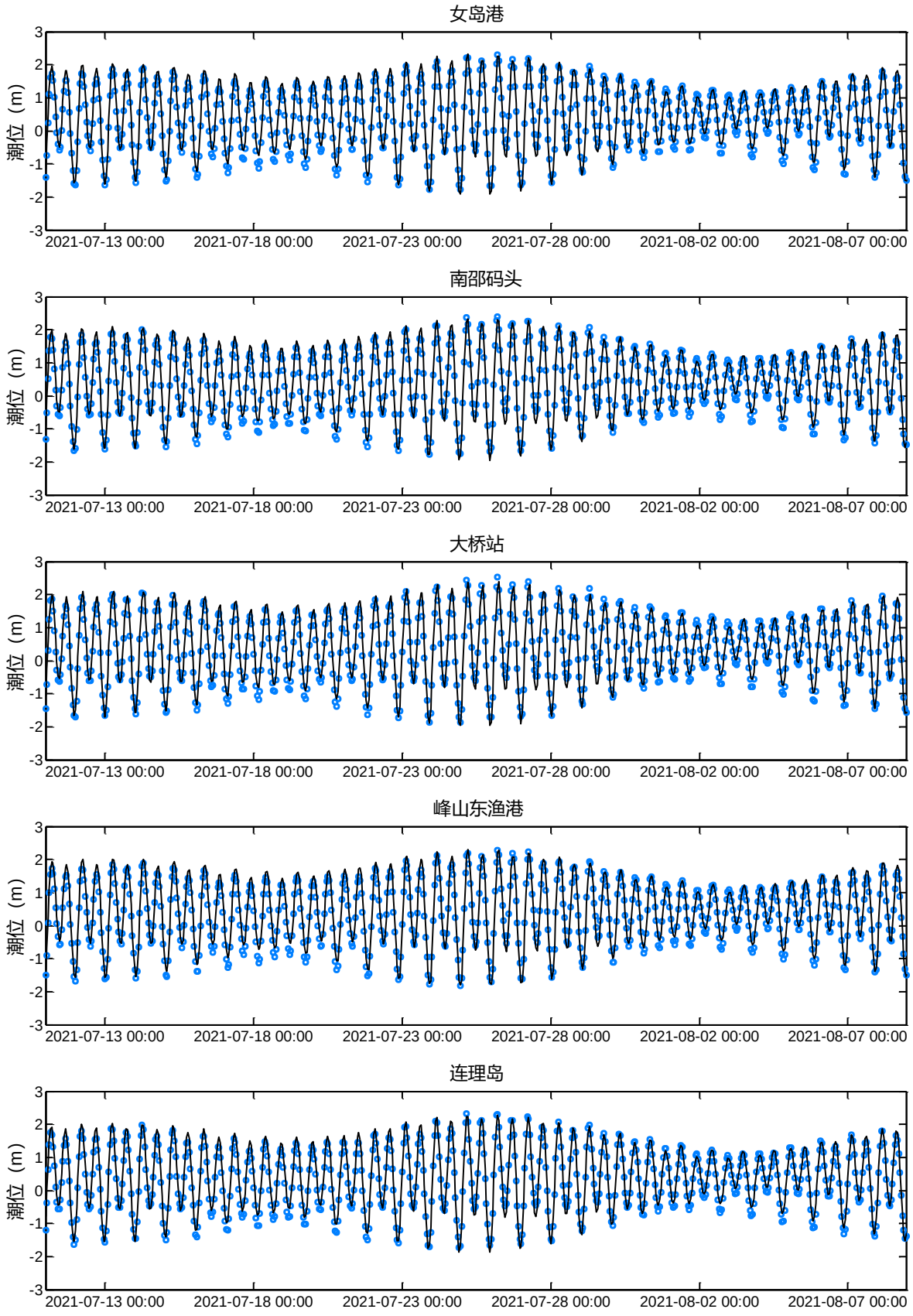


图 6.2-6　夏季潮位模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

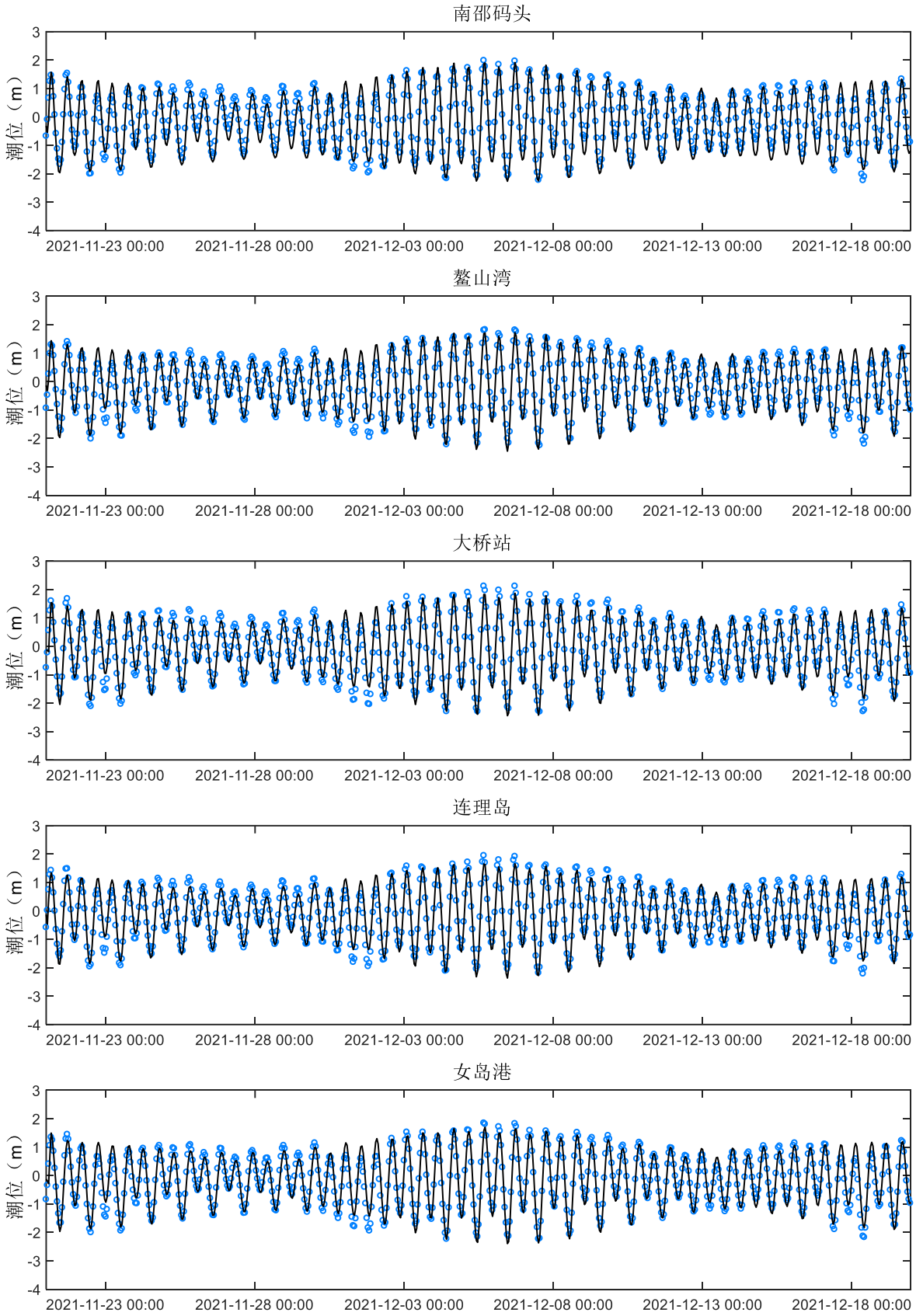


图 6.2-7a　冬季潮位模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

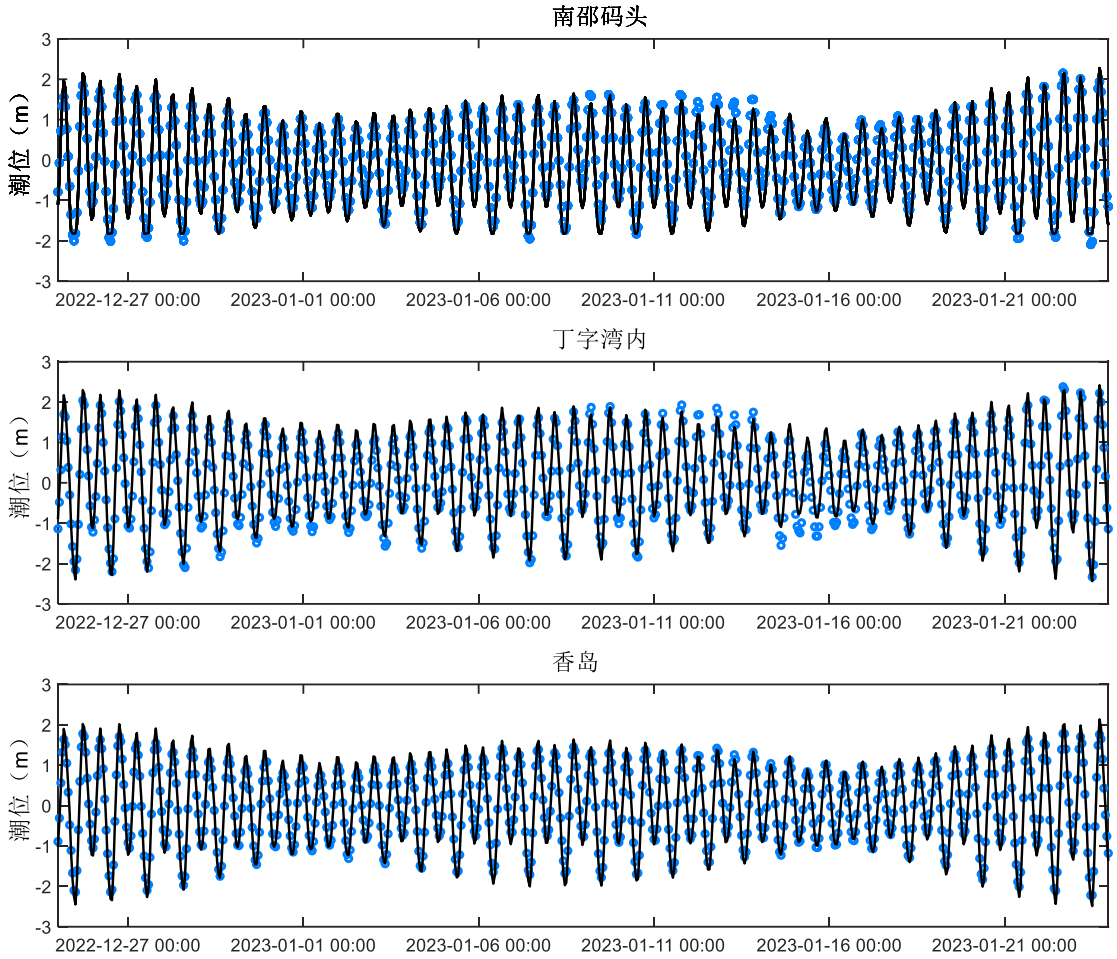


图 6.2-7b　丁字湾内补充调查站位冬季潮位模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

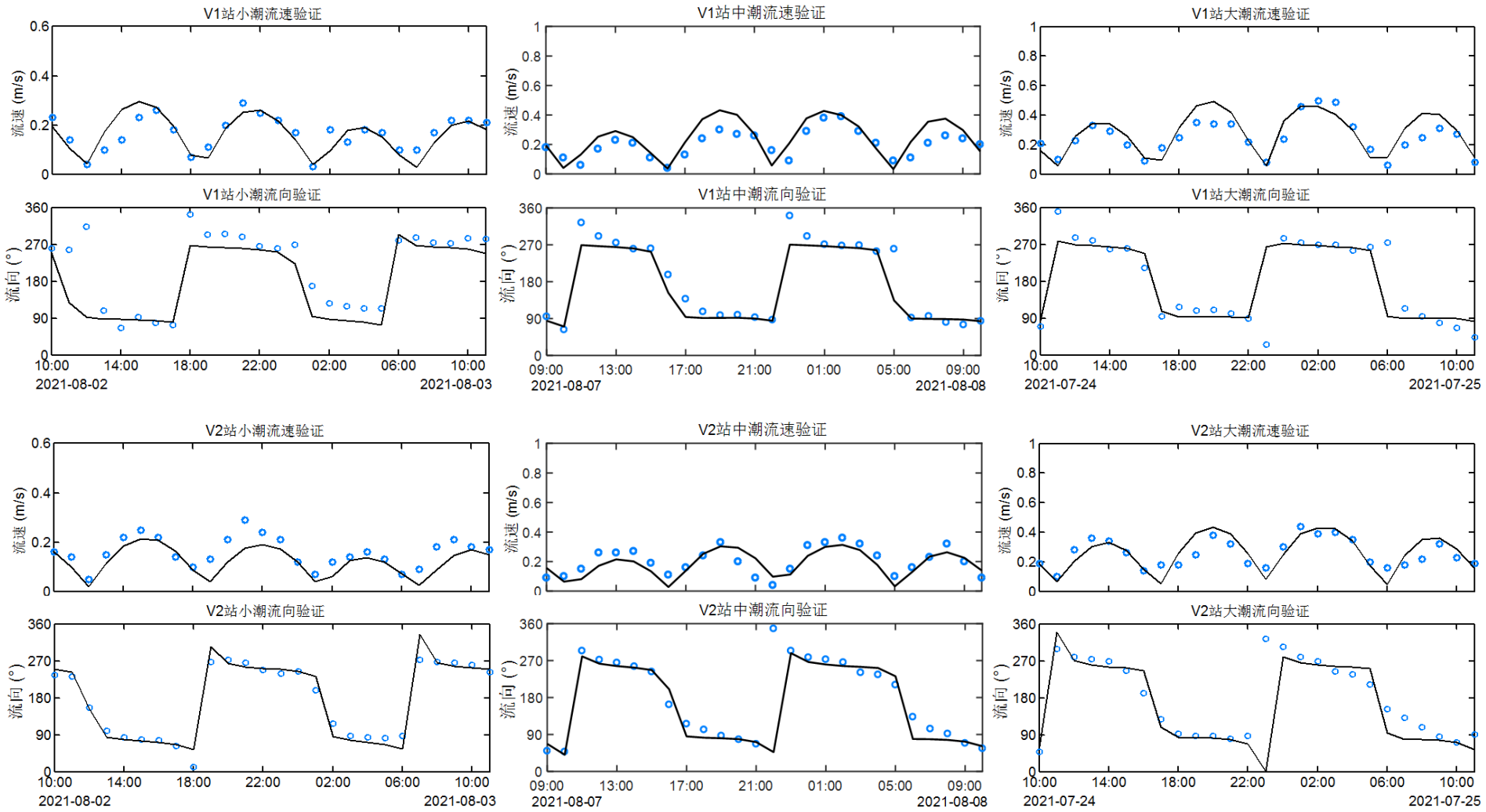


图 6.2-8　夏季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

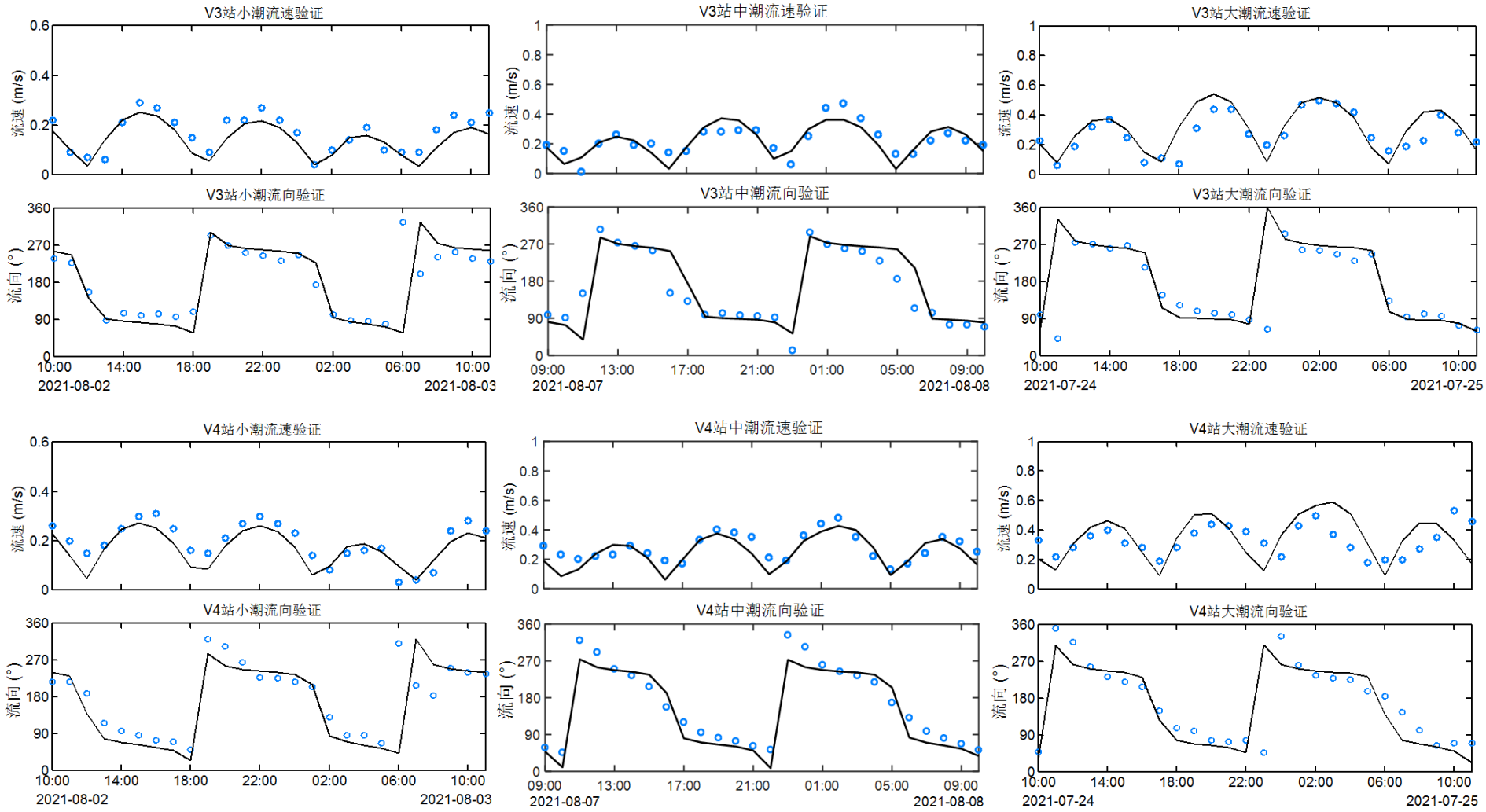


图 6.2-8 续　夏季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

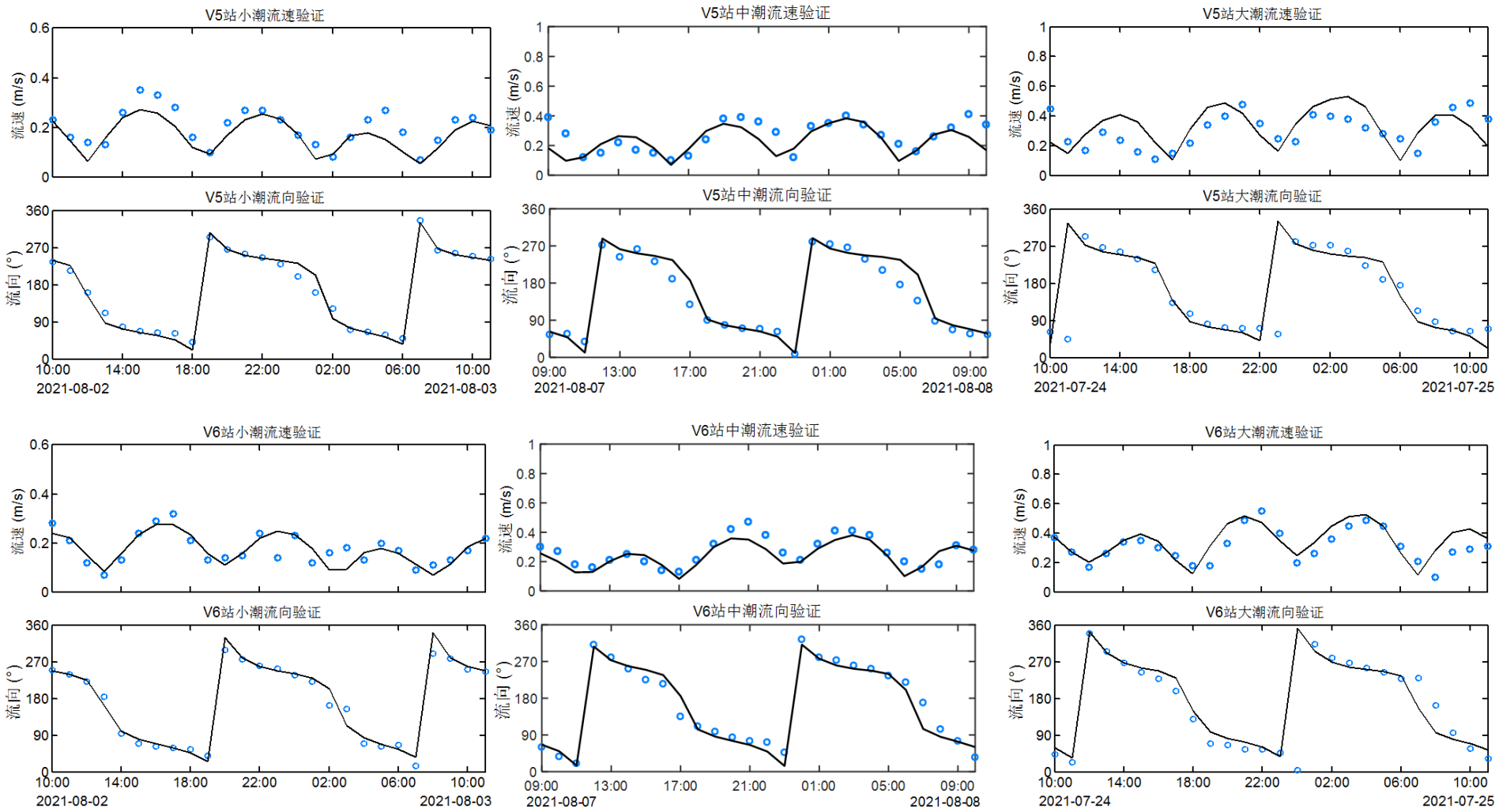


图 6.2-8 续　夏季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

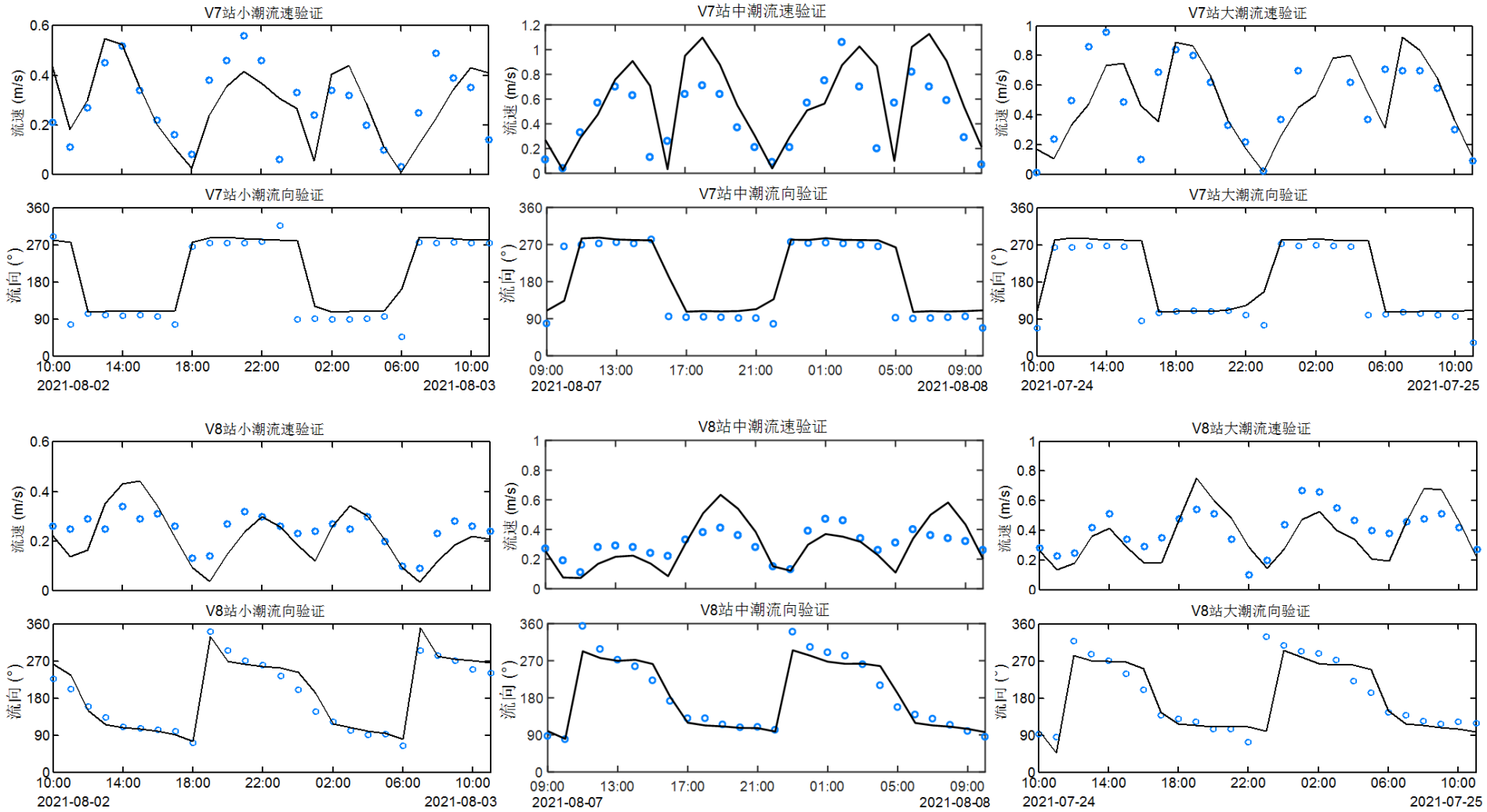


图 6.2-8 续　夏季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

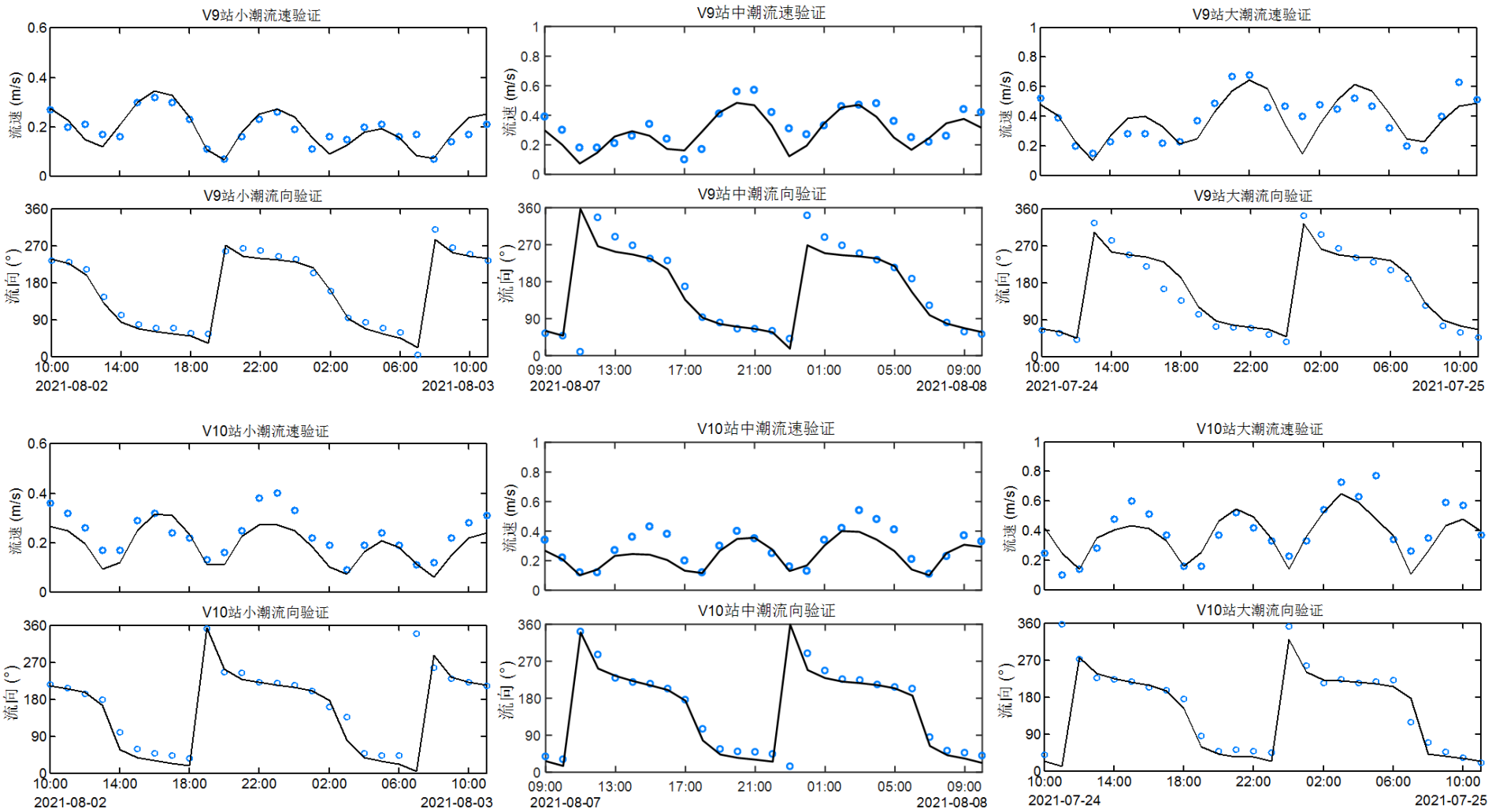


图 6.2-8 续　夏季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

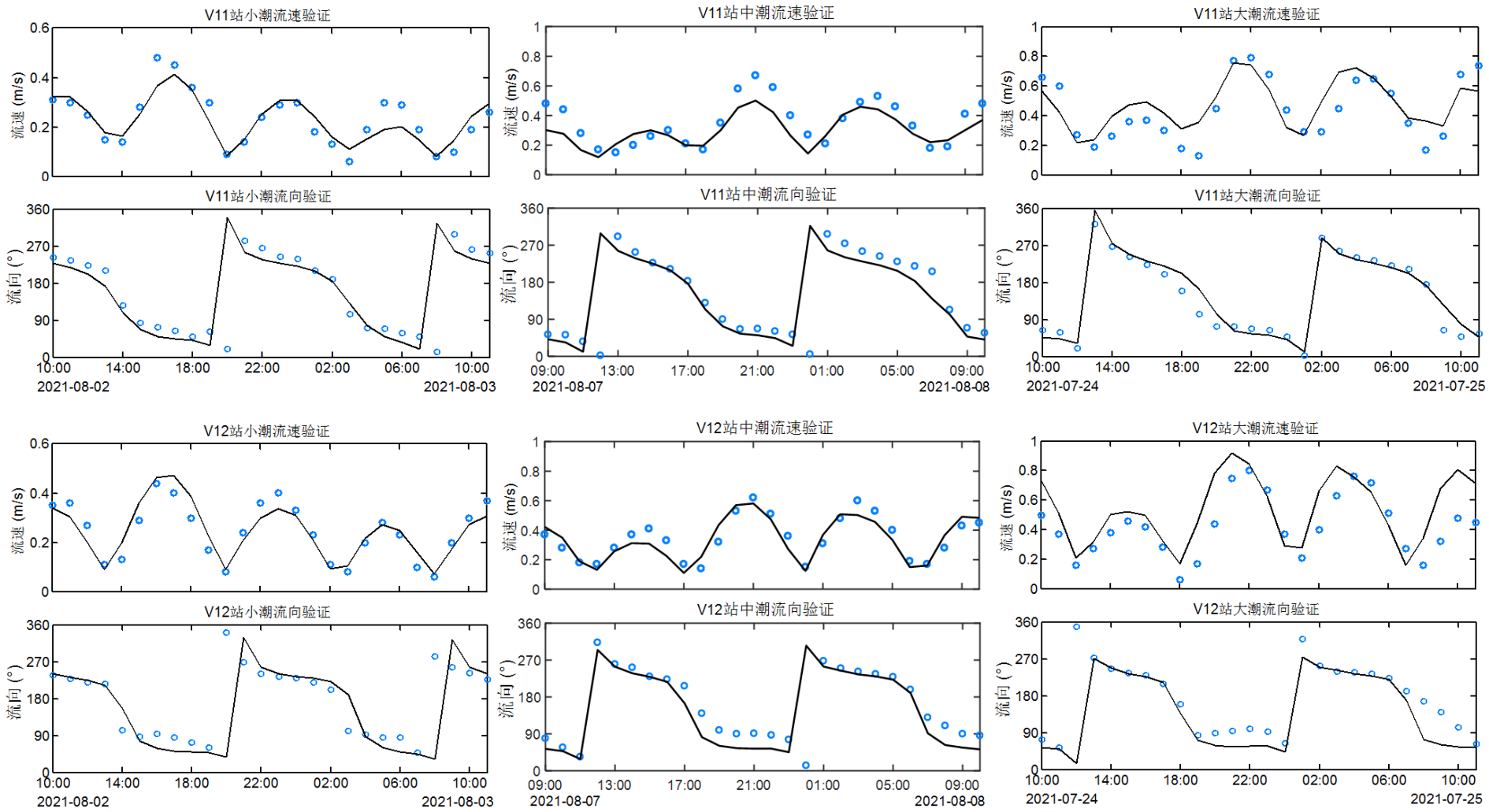


图 6.2-8 续　夏季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

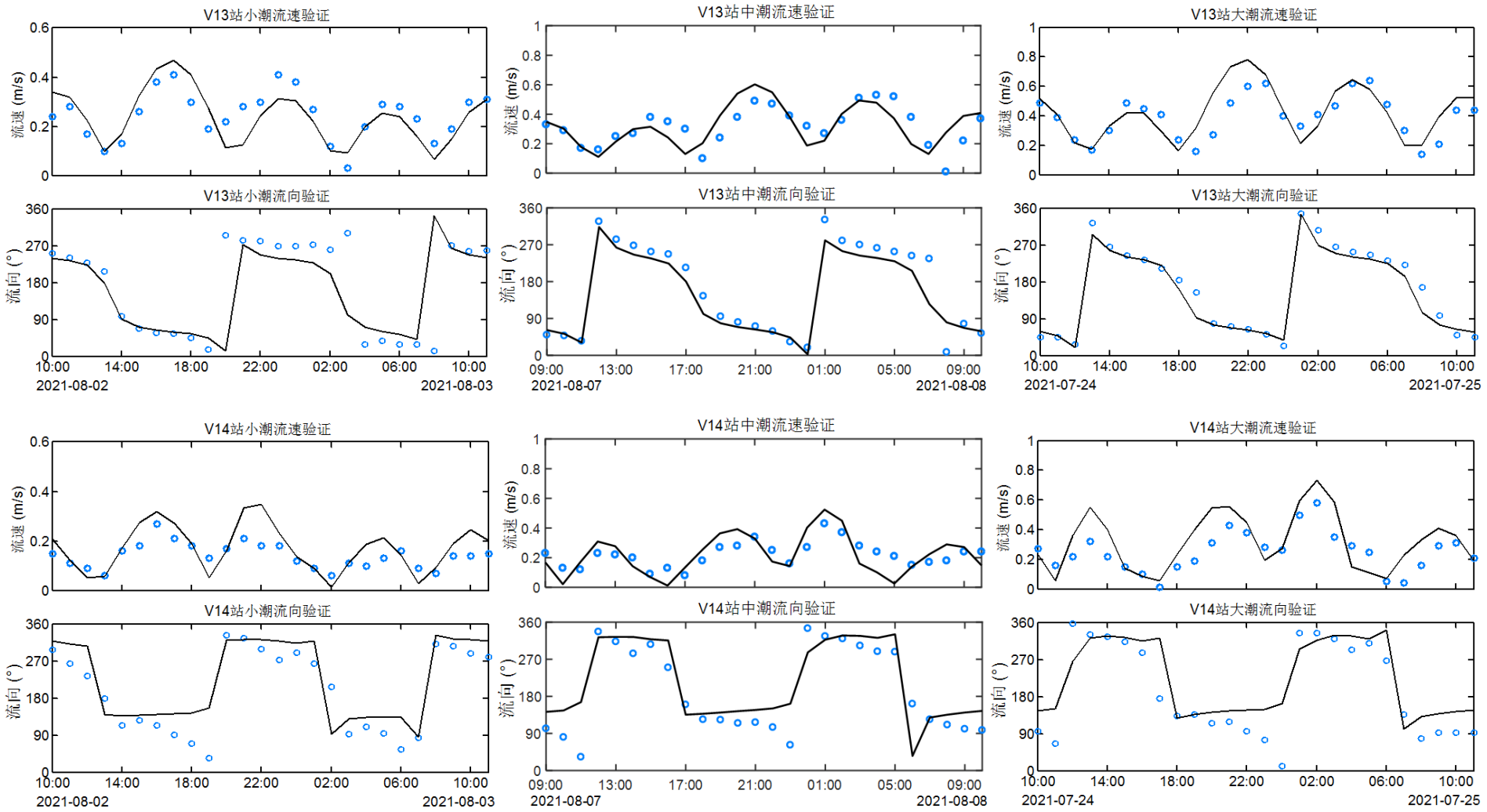


图 6.2-8 续　夏季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

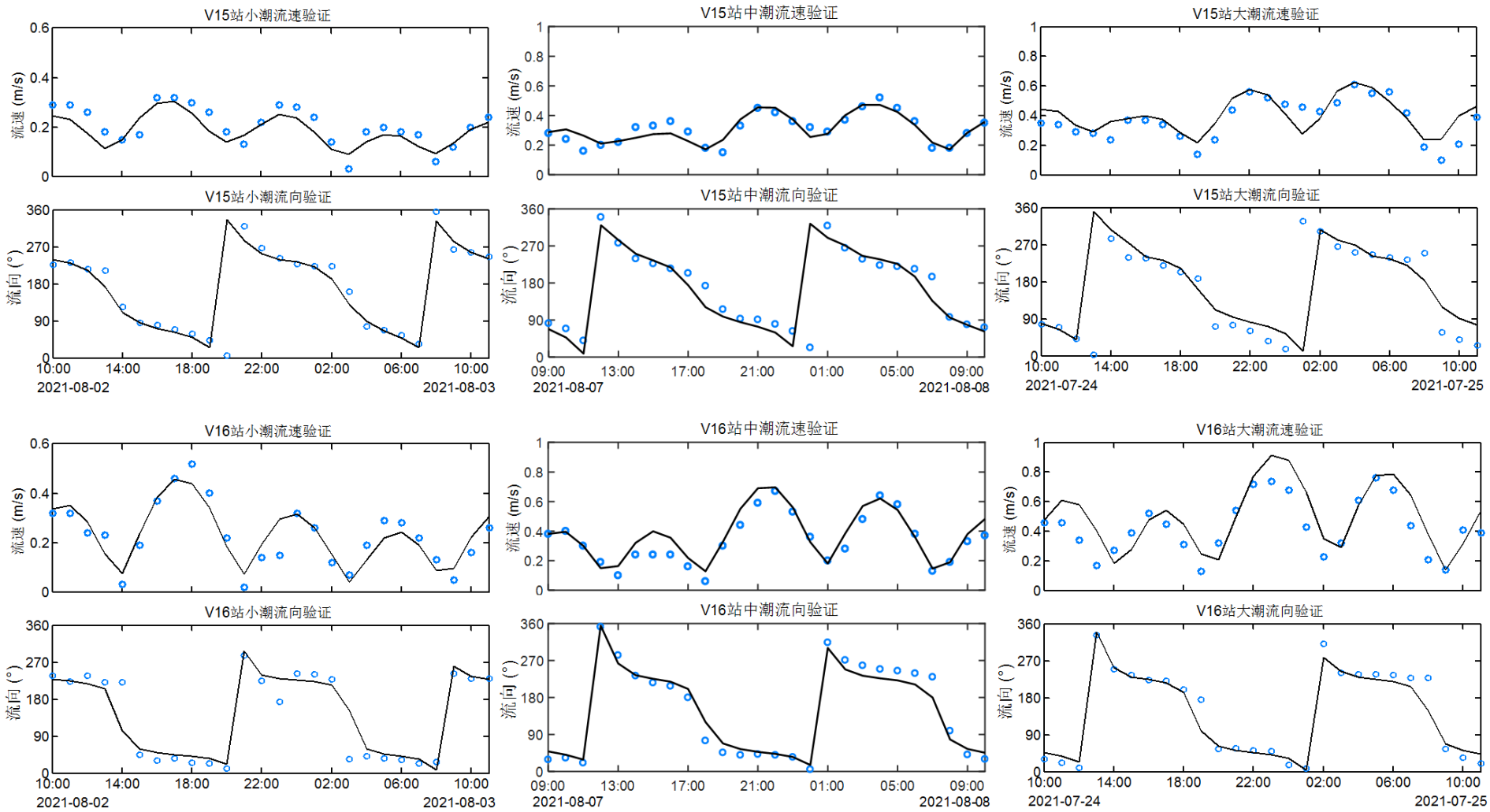


图 6.2-8 续　夏季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

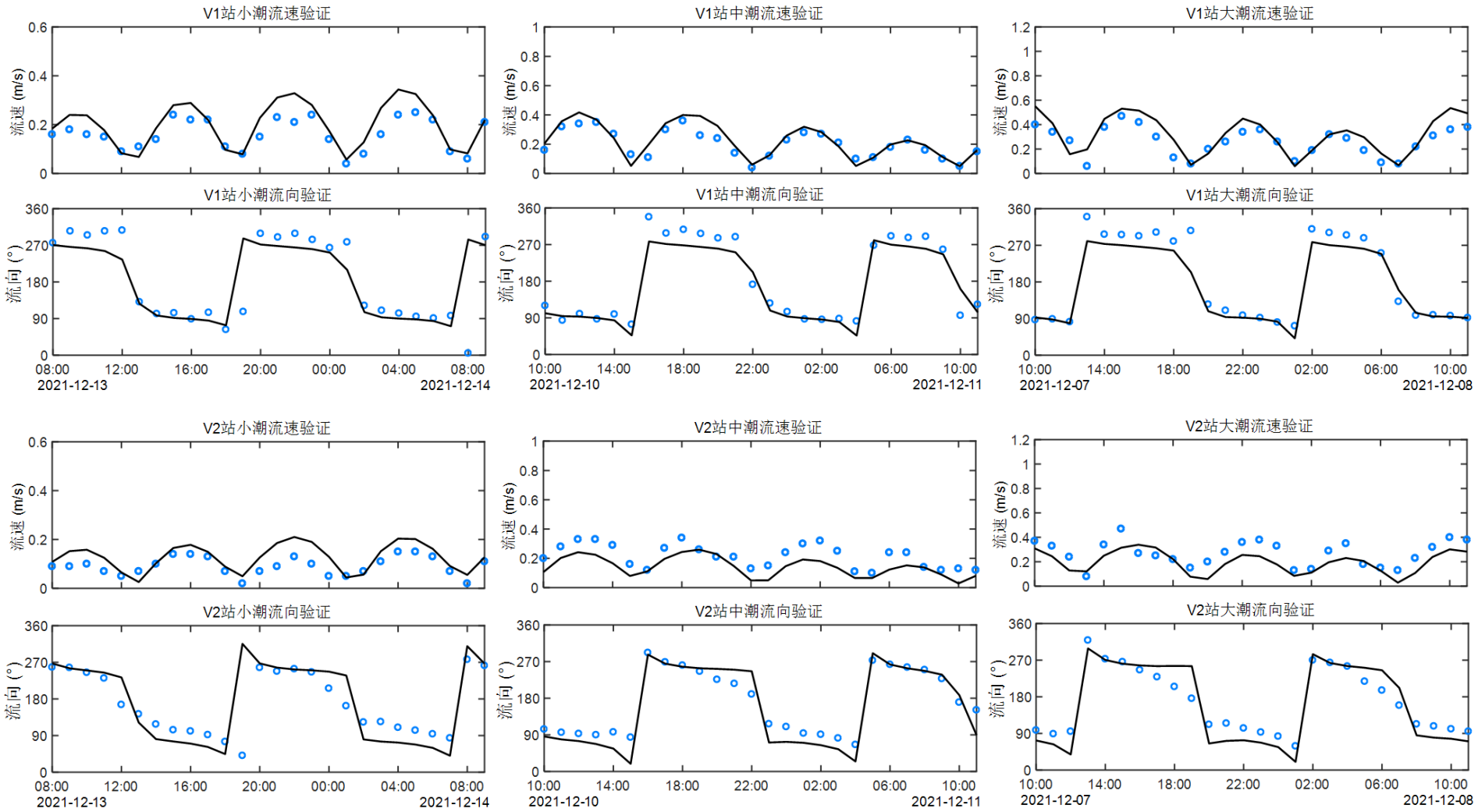


图 6.2-9a　冬季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

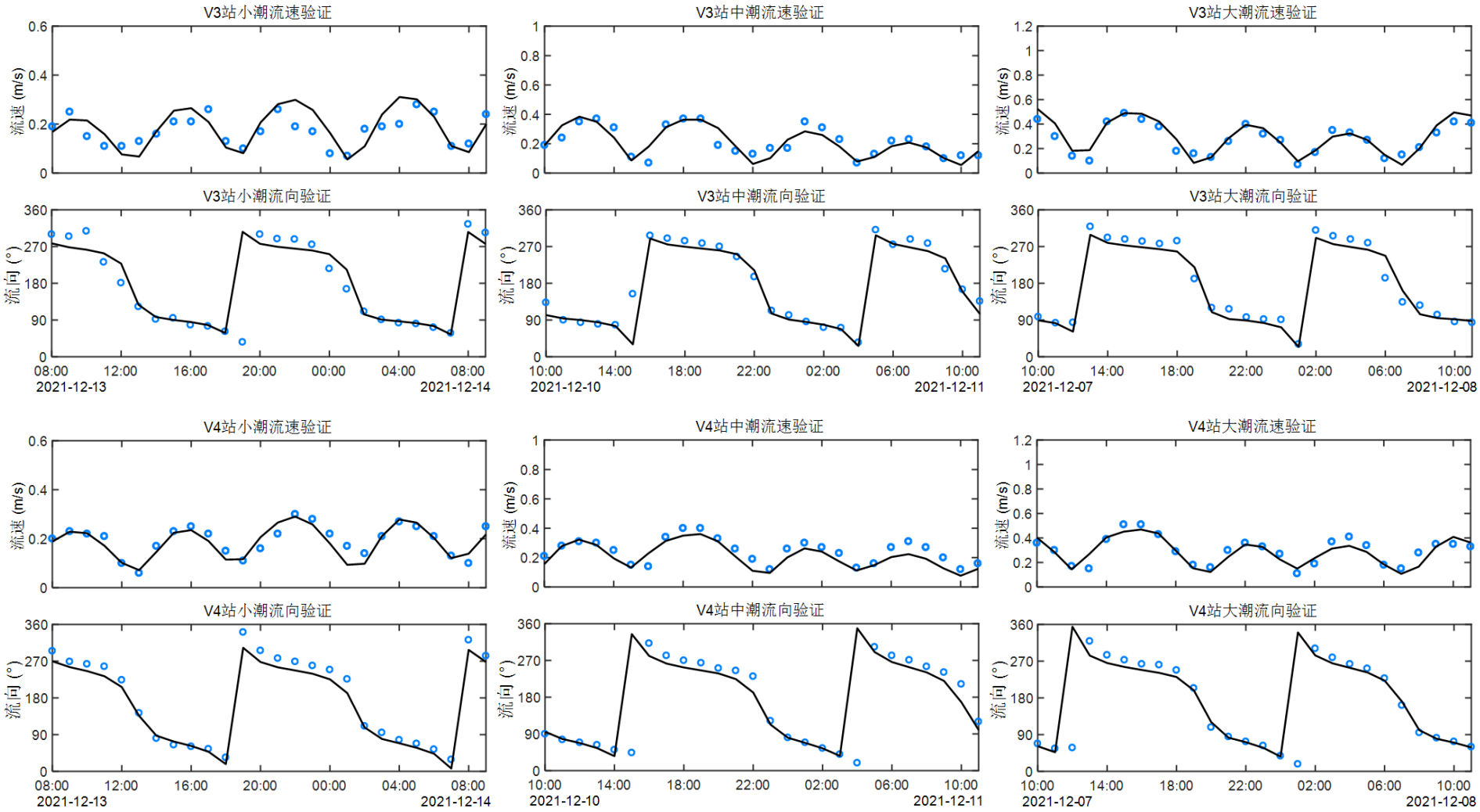


图 6.2-9a 续　冬季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

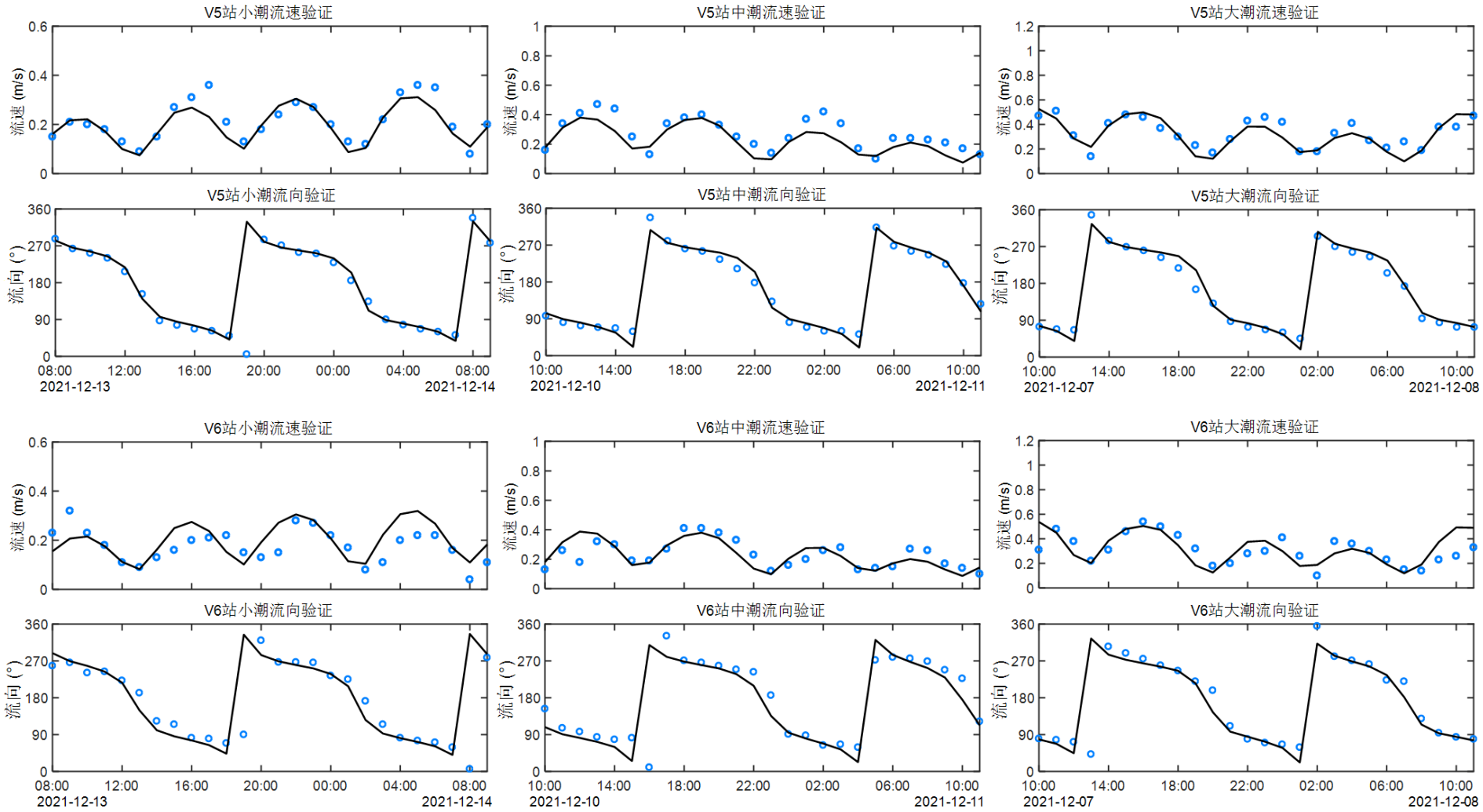


图 6.2-9a 续　冬季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

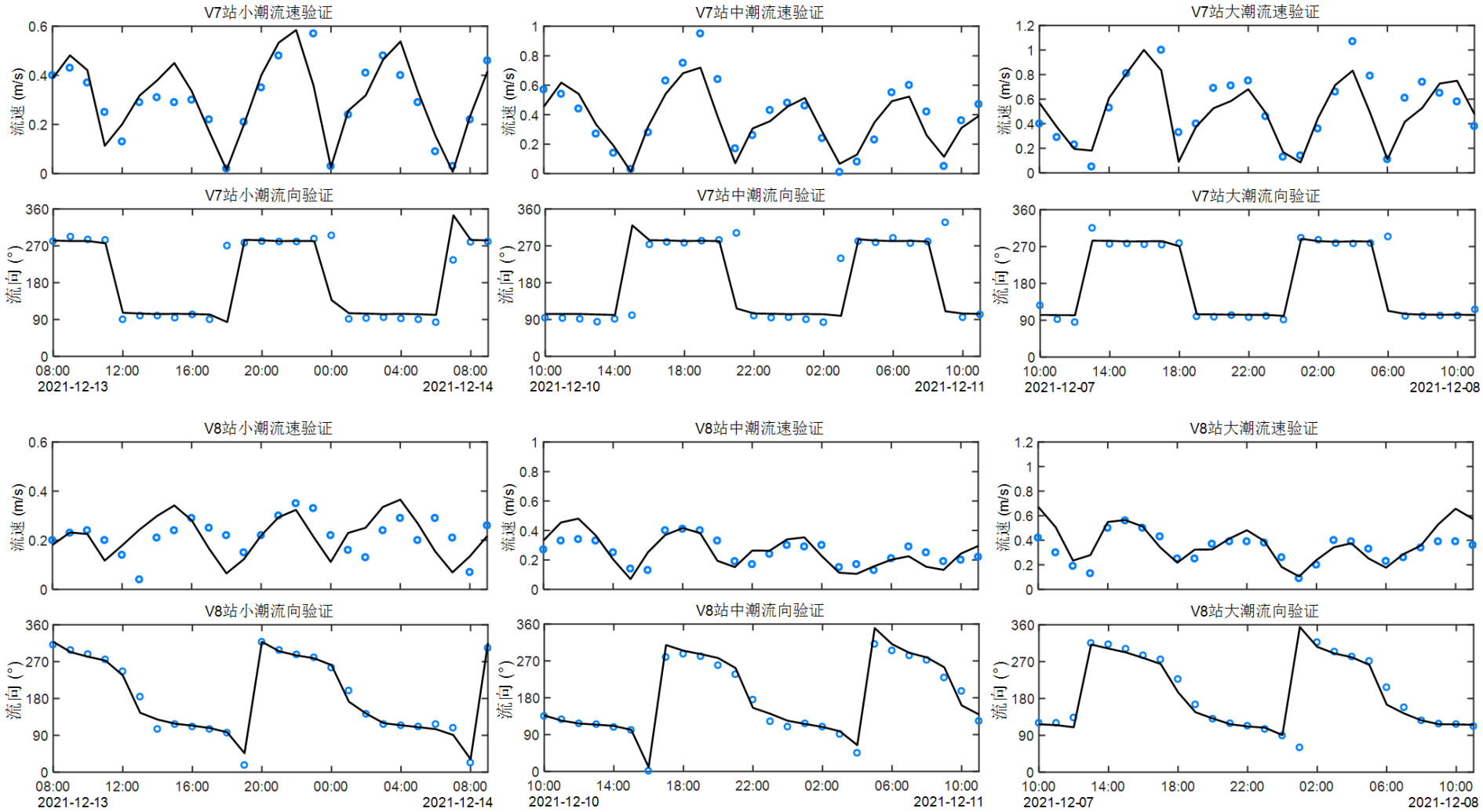


图 6.2-9a 续　冬季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

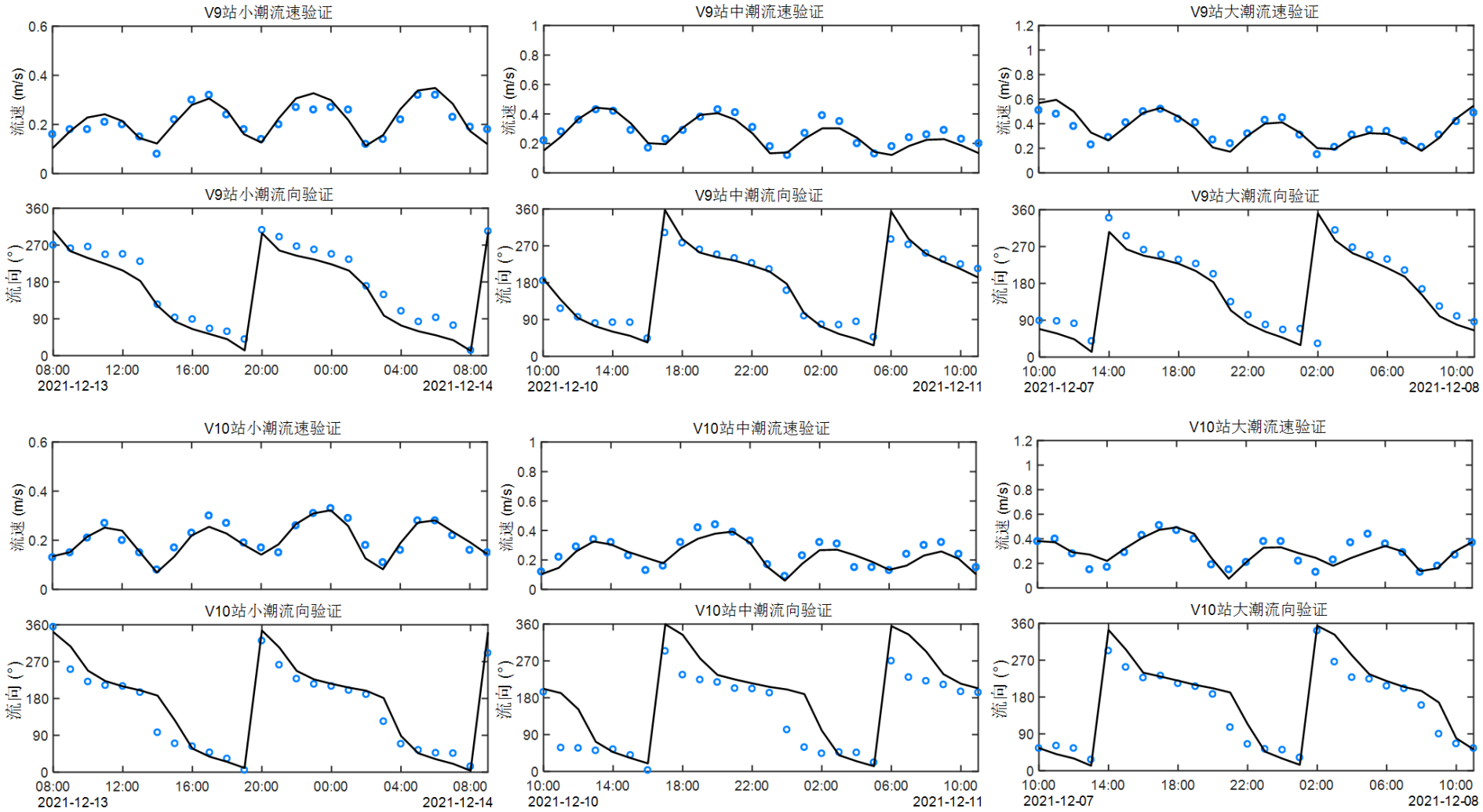


图 6.2-9a 续　冬季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

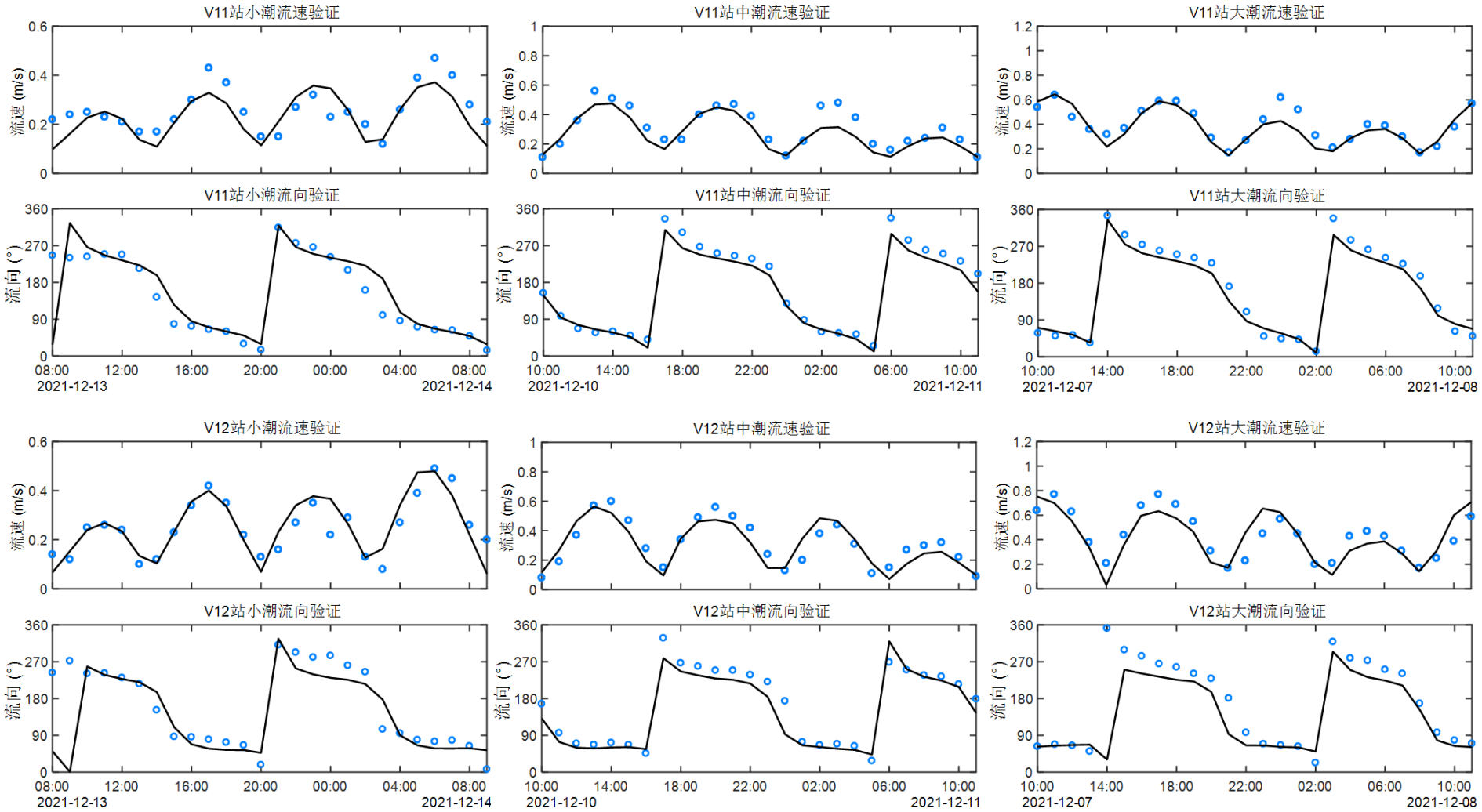


图 6.2-9a 续　冬季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

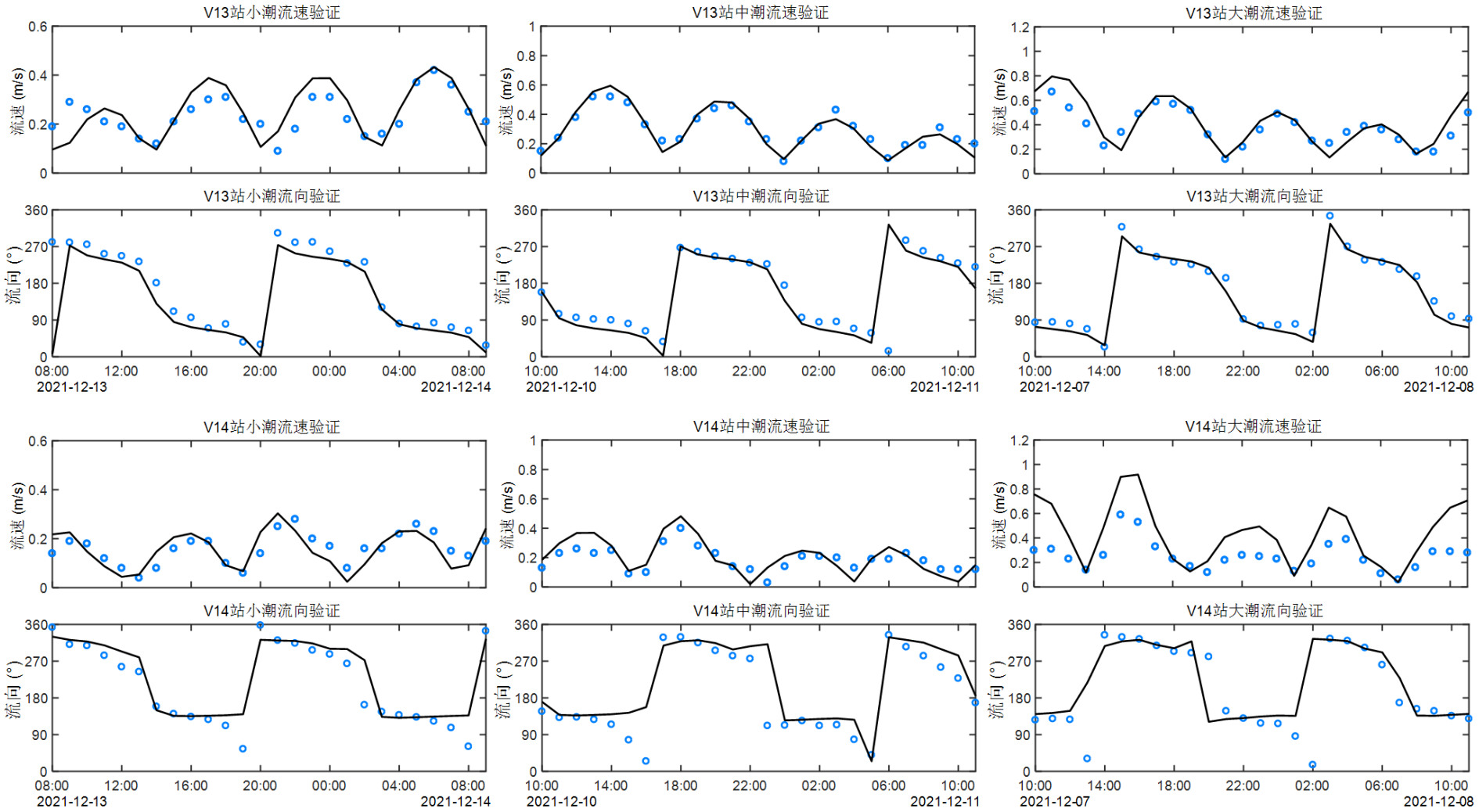


图 6.2-9a 续　冬季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

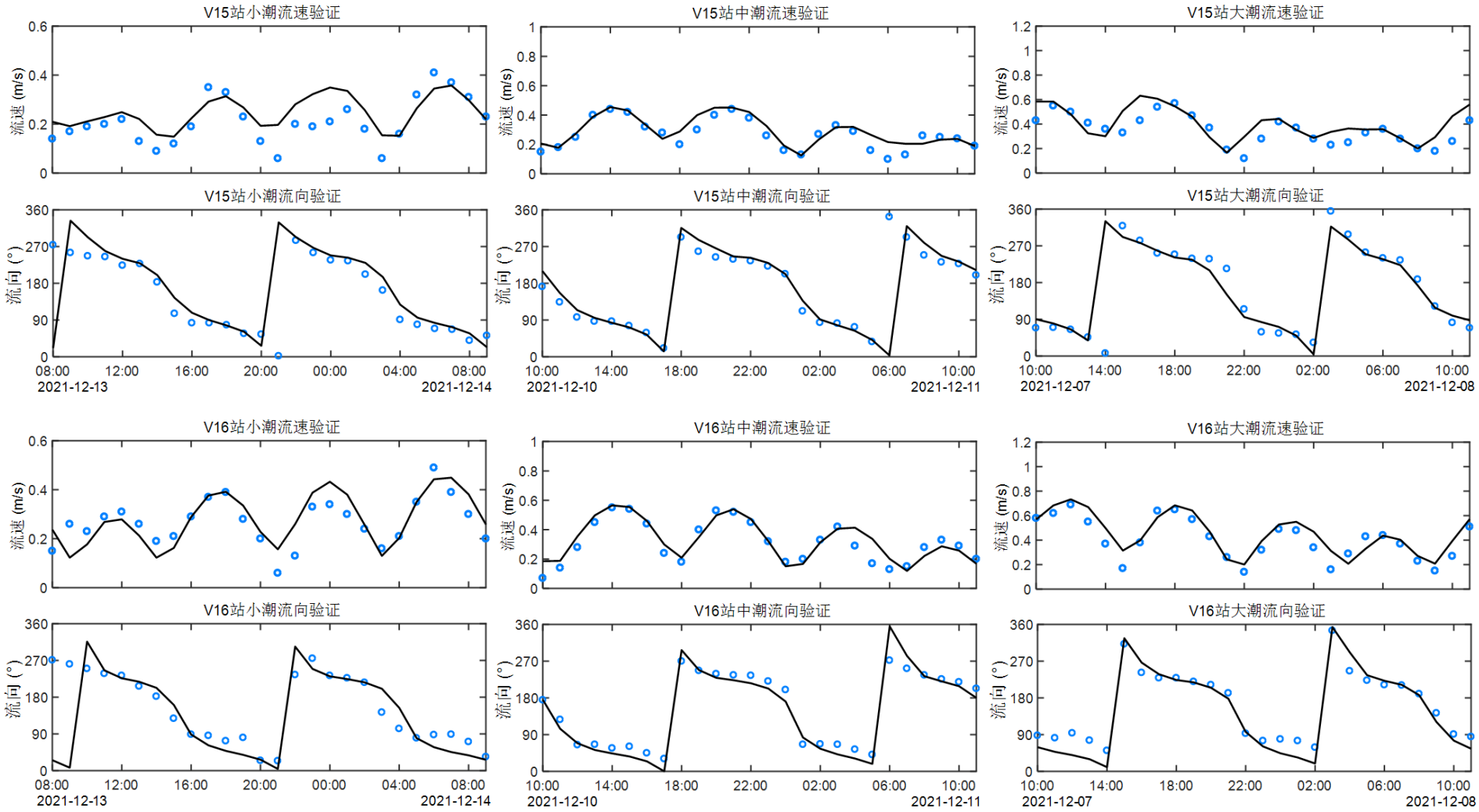


图 6.2-9a 续　冬季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

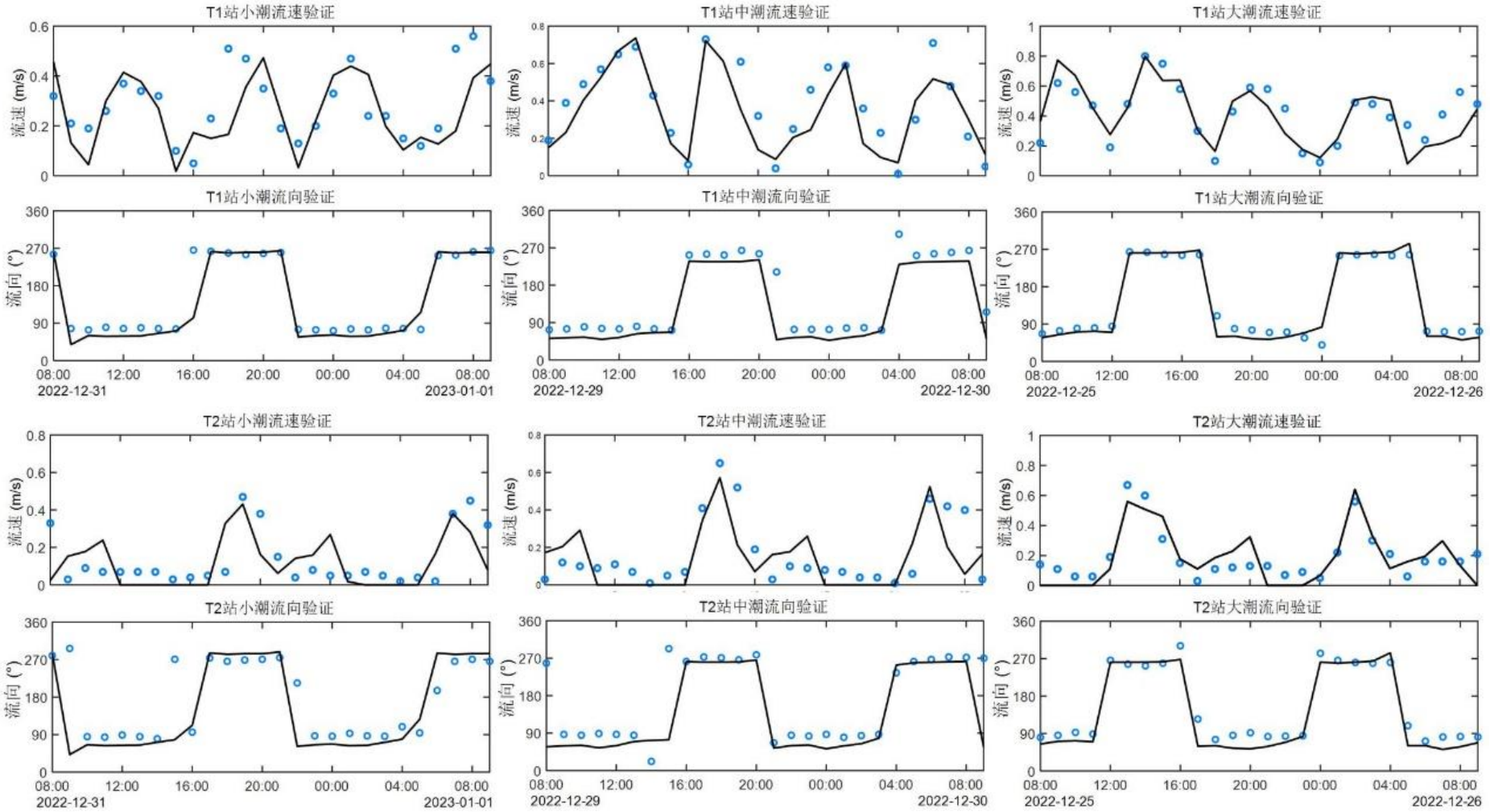


图 6.2-9b　丁字湾内补充调查站位冬季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

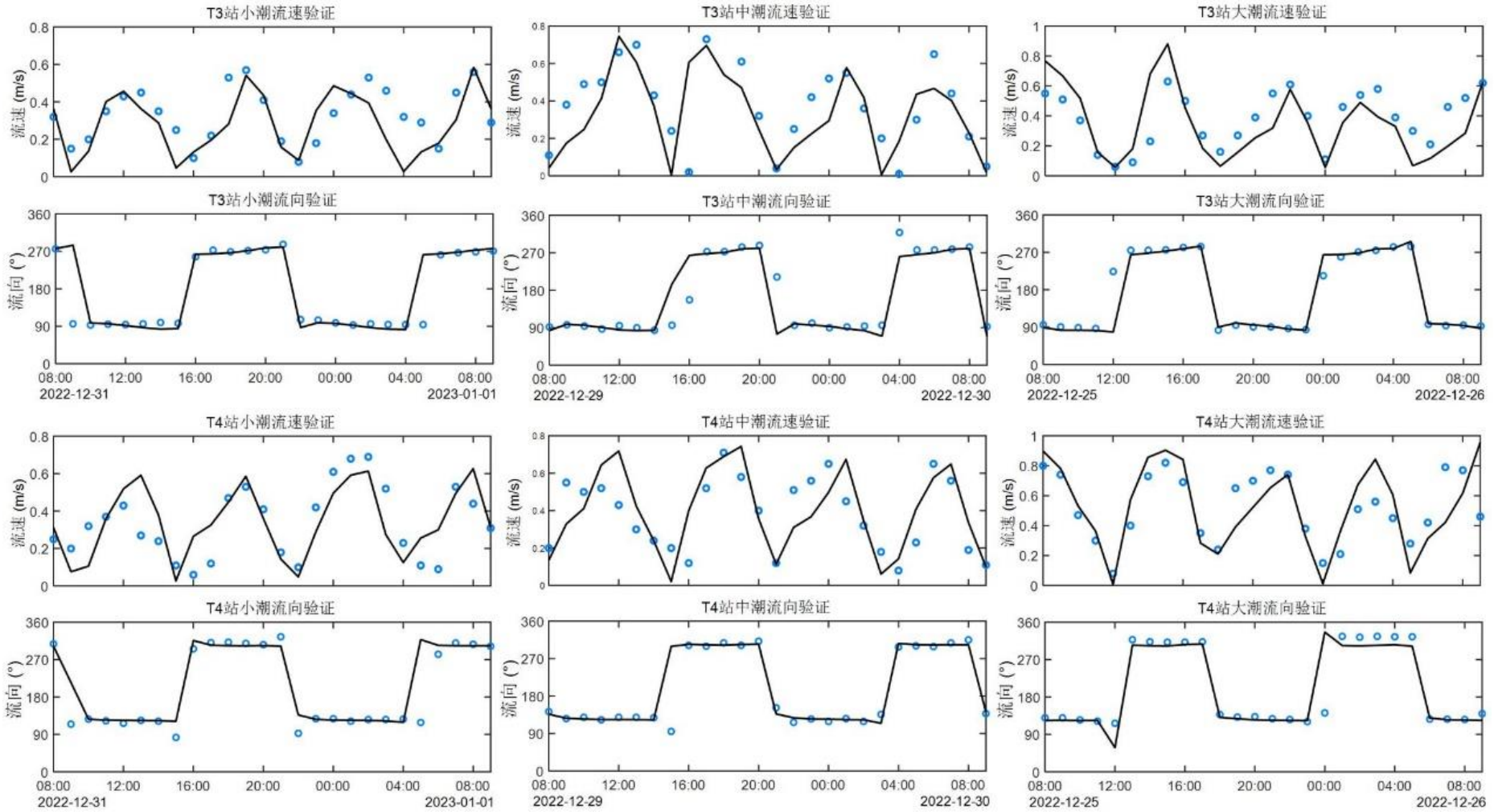


图 6.2-9b 续　丁字湾内补充调查站位冬季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

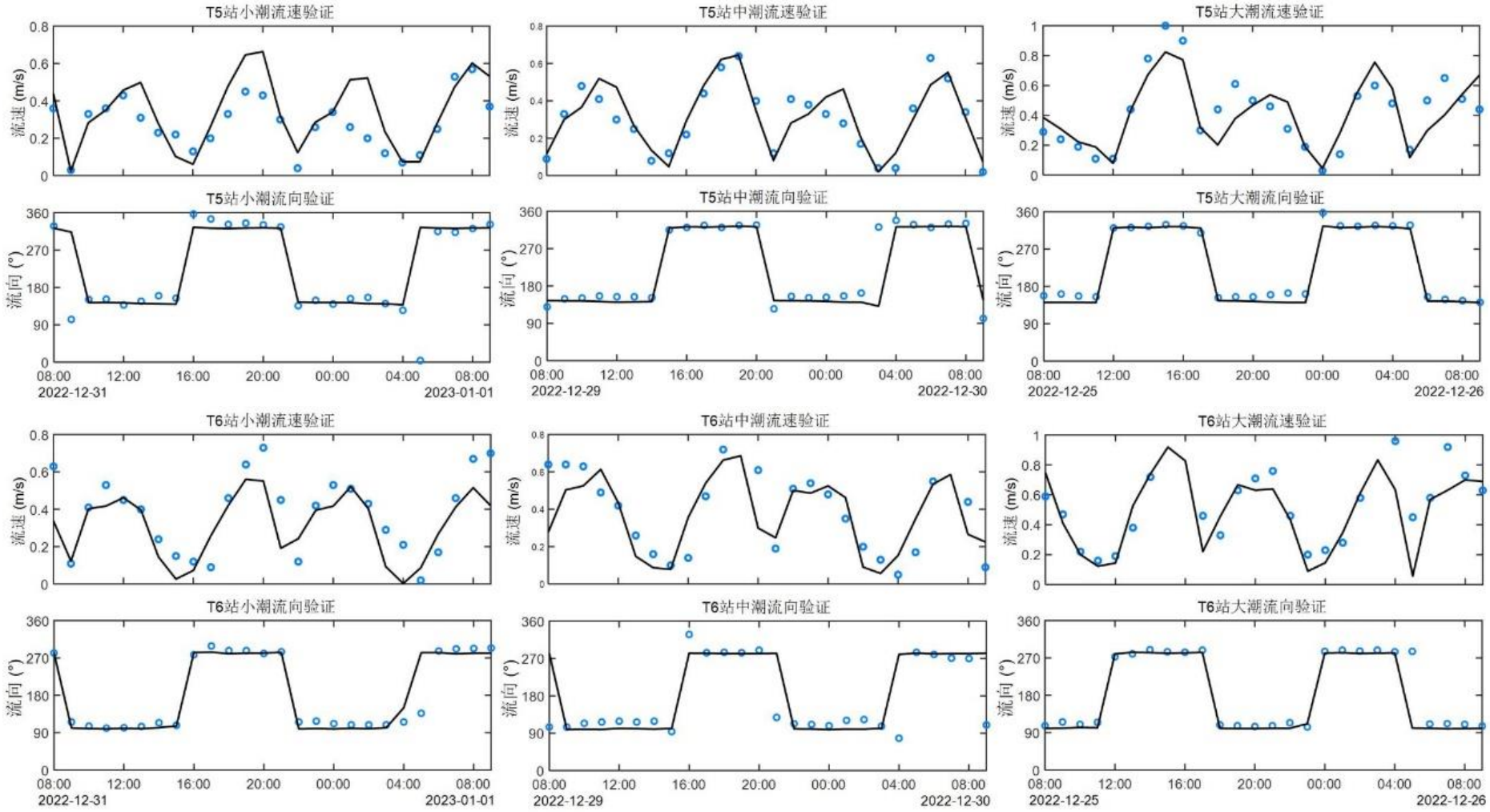


图 6.2-9b 续　丁字湾内补充调查站位冬季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

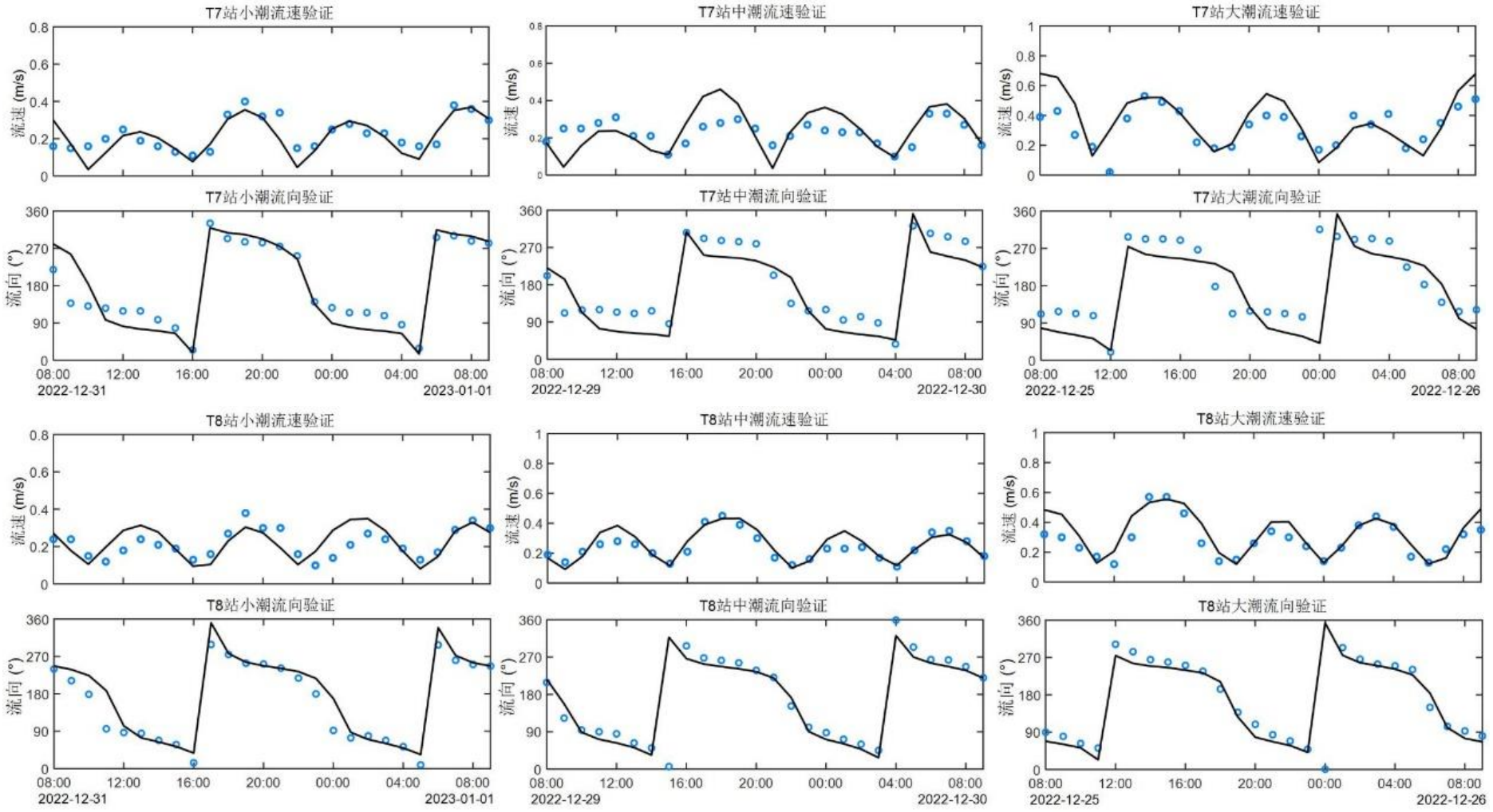


图 6.2-9b 续　丁字湾内补充调查站位冬季各水文观测站流速/流向模拟验证（蓝色圆圈为实测值，黑色实线为模拟值）

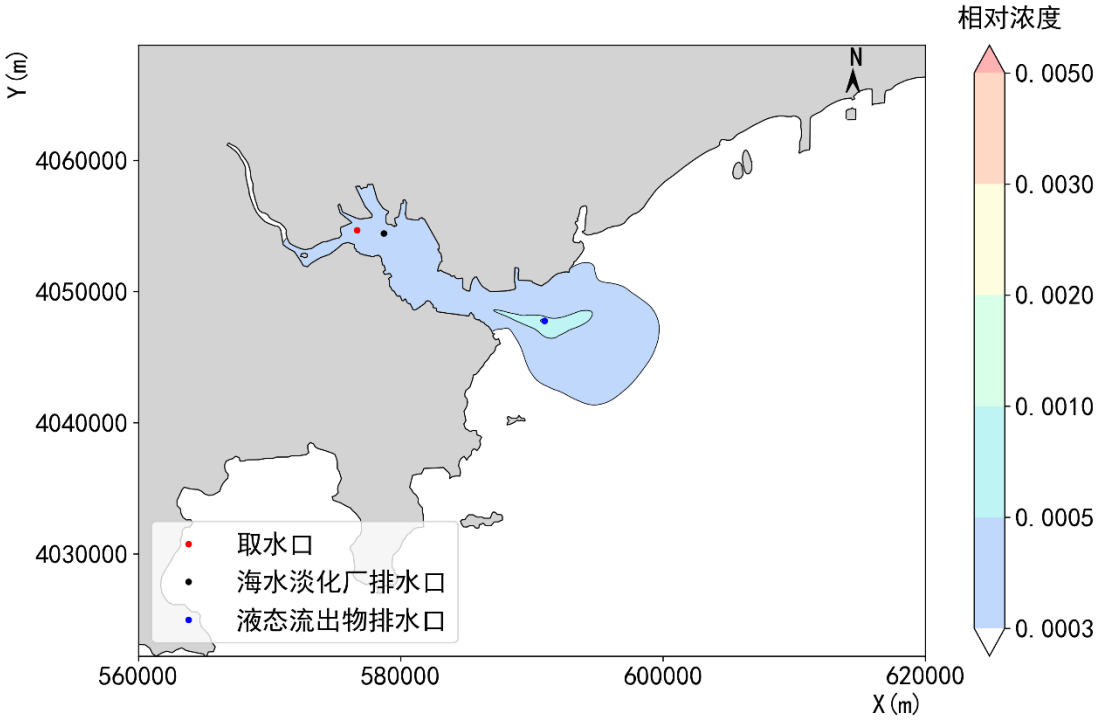


图 6.2-10　核素（不衰变）相对浓度全潮平均值包络线范围
（2 台机组冬季半月潮）

6.3 其它环境影响

6.3.1 化学污染物的环境影响

核电厂运行对环境的其它影响主要是化学物质排放引起的影响。

1）核电厂排放的化学物质

核电厂排放的化学物质来自下列工艺过程产生的废水中：

- 凝结水精处理；
- 除盐水处理；
- 循环水加药；
- 常规岛化学药剂供给；
- 二类污染物废水处理系统
- 非放射性生产废水系统
- 硼酸排放；

（1）凝结水精处理产生的废水

该系统中使用的化学物质是盐酸和氢氧化钠，主要用于树脂再生，其排放物为再生过程产生的酸碱性废水，酸碱性废水经过曝气中和处理后 pH=6~9，排入生产废水系统（WWS）统一排放至二类污染物废水处理系统。因此，凝结水精处理系统排放的废水对厂址附近海域水质产生的影响可接受。

（2）除盐过程排放的废水

该系统中使用的化学物质是盐酸和氢氧化钠，主要用于树脂再生，其排放物为再生过程产生的酸碱性废水，酸碱性废水经过曝气中和处理后 pH=6~9，排入工业废水深度处理系统，经处理后回用至冷却塔。因此，除盐水处理系统排出的废水不会对厂址附近海域的水质产生影响。

（3）循环水加药处理的废水

循环水加药系统采用外购次氯酸钠及稳定剂，防止冷却水系统结垢和微生物生长，保证凝汽器和热交换器良好的传热性能。

该系统中使用的化学物质主要是次氯酸钠溶液，主要用于杀菌灭藻，其加入系统后随着处理工艺消耗，无外排，不会对厂址附近海域的水质产生影响。

常规岛及其 BOP 次氯酸钠加药点有两处：海水淡化系统和循环水系统。海水淡化系统采用电解海水制取次氯酸钠的方式，对原海水进行杀菌处理，除去原

海水中海生物、有机物及藻类等物质。循环水系统采用外购次氯酸钠对循环水进行杀菌处理。循环水系统产生的排污水进入工业废水深度处理系统进行处理。海水淡化系统和工业废水深度处理系统均设有反渗透膜装置，由于反渗透膜为复合膜，次氯酸钠对其有强烈的氧化作用，会导致膜老化失去脱盐功能，因此在原水进入反渗透膜前投加还原剂亚硫酸钠，除去剩余的次氯酸钠，所以反渗透的浓盐水中不含余氯。综上，海水淡化系统和循环水系统（工业废水深度处理系统）排水主要为反渗透浓盐水，因此排水不含余氯，不会对受纳水体产生影响。

（4）常规岛化学药剂供给

常规岛化学药剂供给系统将所需的化学药品注入凝结水、给水、闭式水以及蒸汽发生器排污系统，维持系统的合适水化学工况，以使这些系统腐蚀和结垢倾向减至最低。

系统包括加pH调整剂加药装置一套，用于给水、凝结水、闭式水和湿保养期间的加药；联氨加药装置一套，用于给水、凝结水、闭式水和湿保养期间的加药。

运行期间，pH调整剂和联氨加入二回路系统后随着处理工艺消耗，凝结水精处理系统投运时，pH调整剂和联氨随凝结水精处理系统再生废水排出。

（5）二类污染物废水处理系统

该废水中主要污染因子为pH、氨氮、磷、含盐量。氯化钙与废水中磷反应成磷酸盐沉淀物外运。处理后的废水满足氨氮≤5mg/L，总磷≤0.5mg/L，中和后pH=6～9，废水排至非放射性生产废水系统。

（6）非放射性生产废水系统

非放射性生产废水系统根据来水水质情况分别进行收集。其中，来自主厂房含油废水坑的废水，变压器及电抗器区域的含油废水，柴油机燃油贮存罐区域废水，以及核岛附属厂房、辅助厂房、柴油发电机房、BOP厂房的非放射性含油生产废水收集至含油废水调节池；凝结水精处理系统排水和二回路排水收集至排放监测水箱。上述废水皆为间歇性排放。

非放射性生产废水中含油废水经一座约800m^3 调节池收集后，排入4台15m^3/h油水分离器进行分离。分离后的污油收集后外运。清水先排入约150m^3 中间水池内，再经精滤器过滤后排入槽式排放监测水箱。潜在放射性非含油废水则不经处理（或简单处理）直接排入槽式排放监测水箱。

本工程共设3个1500m³的槽式排放监测水箱，当1个接收排放监测水箱接收废液时，另1个取样混合、取样分析、排放废液，还有1个备用。通常水箱内水质取样检测结果达到《流域水污染物综合排放标准　第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2025）中的一级标准后，由排水泵把取样合格的废水输送到排放总管，经连续剂量监测仪排出厂外至海水淡化厂与浓盐水混合后排海。

（7）硼酸排放

本项目通过放射性废液精处理装置，采用组合膜工艺，对WLS处理后的反应堆冷却剂废液进一步处理，将硼与放射性核素进行分离，并对硼进行浓缩与回收，将回收的浓硼酸调配至满足复用要求后送往CVS的硼酸贮存箱。经废液精处理系统处理后，硼浓度小于170ppm，预计液态流出物排水口处硼的浓度小于2ppm，小于海水本身含硼量4~7ppm，因此不会对有液态流出物排水口附近海域的水质产生影响。

2）海水淡化厂排放的化学物质

海水淡化厂正常运行的主要污染物为 pH 和含盐量，其中 pH 经中和处理后为 6-9，可达到《流域水污染物综合排放标准　第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2025）标准。海水淡化厂排放浓盐水的含盐量为原料海水的 1.8 倍，目前无可参考的排放标准和环境标准，其环境影响分析详见 6.3.3 节。

6.3.2　其它污染物的环境影响

1）生活污水

本项目运行期生活污水通过管线输送至当地污水处理厂处理，不会对周边环境造成影响。

2）固体废弃物

生活垃圾：主要为核电厂人员产生的生活垃圾，厂区内设置有垃圾箱，分类收集生活垃圾，及时清理，最终运往垃圾处理场进行无害化处置。

一般工业固体废物：核电厂运行期间产生的一般工业固体废物主要来自核电厂在正常运行过程中因设备的维修、零部件的损坏等产生一定量的工业固废，运行期间产生的一般固体废物可分为可再生废物和其他工业固体废物，严格依据《固体废物分类与代码目录》（生态环境部 2024 年第 4 号公告）进行细化分类并标注废物代码，实现规范化暂存与处置。本项目一般工业固体废物将收集并在

一般固体废物库进行贮存，预计本工程一般工业废物的年产生量约为 700~1000t/年，不会对周围环境产生不良影响。

危险废物：危险废物主要包括废试剂、废油、废油漆、废涂料、废电池等。危险废物收集后临时贮存在危险废物贮存设施中，定期委托有资质的单位外运处置。预计本项目危险废物年产生量约为 130t/年。危险废物贮存设施目前考虑布置在厂区化学品库东侧。目前危险废物贮存设施正在设计，将在厂区内建设，危险废物贮存设施的设计将参照 GB18597-2023 要求及修改单中的相关规定开展，其中包括：危险废物贮存于专用厂房内；各类危险废物分类存放并置于符合规定的容器内；厂房内加装排风机以保持厂房内通风良好，以减少挥发出的有害气体积聚；地面水泥硬化，并考虑防渗措施。

因此，固体废物不会对环境造成不良影响。

3）噪声的环境影响

本项目主要噪声来自冷却塔运行。冷却塔的噪声影响评价详见 6.1.4 节。

4）电磁的环境影响

本项目计划建设 220kV 开关站、1000kV 开关站、第一跨内的 1000kV 架空线、220kV 电缆沟、海水淡化厂 110kV 线路工程以及其它等级电缆沟等输电系统设施。具体输电系统布设将避开可能存在的办公、居住等长期停留人员的敏感点。

国内目前尚无已商运的 1000kV 送出的核电项目。根据《海阳核电厂一期工程竣工环境保护验收监测报告》：

1）500kV 开关站及 220kV 辅助变周围工频电场范围为（15.32~275.9）V/m，工频磁场范围为（0.3492~4.707）μT，结果满足《电磁环境控制标准限值》（GB 8702-2014）中公众曝露控制限值的要求，即工频电场强度应小于 4kV/m、工频磁感应强度应小于 100μT。

2）500kV 架空输电线路下方衰减断面上的工频电场范围为（211.7~5688）V/m，工频磁场范围为（1.302~8.601）μT，满足 GB8702-2014 规定架空输电线路线下道路等场所频率 50Hz 的电场强度应小于 10kV/m，工频磁场强度应小于 100μT 的限值要求。

3）220kV 辅助变，通过地埋电缆与厂外电网连接，根据现场检测，220kV 地

埋电缆上方衰减断面上的工频电场范围为（2.321~2.567）V/m，工频磁场范围为（0.3484~0.3723）μT，满足《电磁环境控制标准限值》（GB 8702-2014）中公众曝露控制限值的要求，即工频电场强度应小于 4kV/m、工频磁感应强度应小于100μT 的限值要求。

4）工程周围环境敏感目标处的工频电场范围为（2.128~47.80）V/m，工频磁场范围为（0.3390~0.5819）μT，满足《电磁环境控制标准限值》（GB8702-2014）中公众曝露控制限值的要求，即工频电场强度应小于 4kV/m、工频磁感应强度应小于 100μT。

5）为满足海水淡化厂用电需求，规划建设莱阳核电海水淡化厂 110kV 线路工程。工程位于烟台市莱阳市，新建线路长度约 40.92km。经类比监测及理论预测分析，本工程输电线路工频电场强度、工频磁感应强度可以满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）规定的 4000V/m 和 100μT 的公众曝露限值要求。也可满足架空输电线路线下的耕地、园地、牧草地、畜禽饲养地、养殖水面、道路等场所，其频率 50Hz 的电场强度控制限值为 10kV/m 的标准要求。

基于以上核电项目的实际运行监测结果，类比百万千瓦级火电项目实际运行监测结果，预计本项目运行后工频电场与工频磁场可满足《电磁环境控制标准限值》（GB 8702-2014）中的相应限值要求。

因此，预计本项目的输电系统布设满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中规定的限值要求。

5）冷却塔排水的环境影响

本项目冷却塔采用海水淡化厂输出的海水淡化水作为补给水源，冷却塔排水与厂址其他系统经处理后的回收水进入工业废水深度处理系统，经处理后不断回用至冷却塔，以实现全厂废水的深度处理。

工业废水深度处理系统拟采用工艺：原料进水→进水池→絮凝沉淀池→超滤→反渗透→淡水回用至冷却塔→极少量无法回用的部分与非放射性生产废水系统排水、液态流出物共同排放。工业废水深度处理系统、非放射性生产废水系统排水水质达到《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2025）。基于以上技术方案，本项目冷却塔排水的环境影响很小。

6.3.3　海水淡化厂运行期的环境影响

本项目海水淡化厂运行期间无大气污染物排放，主要污染物及防治措施包括以下四方面：

1）水污染防治

本期工程采用分流制排水系统，按照“清污分流”、“一水多用”的原则对污废水分类收集、处理并回用。

（1)厂区雨水排放设置独立的雨水排水管网，将雨水回用或排至周围河道，保证海淡厂安全。

（2）生活污水主要是各建筑物内卫生间冲洗水、食堂等处的排水。生活污水、经过隔油池简单处理后的厨房污水，经厂内生活污水管网收集至生活污水处理设施，处理达标后回用于厂区绿地和道路浇洒。

（3）生产废水包括预处理反洗排水、含油废水、化学清洗废水和反渗透浓盐水。预处理反洗排水收集至回收水池，通过回收水泵小流量稳定的输送至气浮池进水回用，减少海水的取水及废水排放量。海淡厂变压器区域产生的含油废水，收集至变压器事故油池，事故排油由专业机构外运处理。化学清洗废水收集至废水中和池，调节 pH 值合格后统一输送至排水混合井排海处理。反渗透浓盐水除温度外，无其它化学污染物，利用水的压力将浓盐水直接输送至排水混合井排海处理，控制浓盐水冬季排水温升不高于 2℃，其他季节无温升。

2）噪声防治

本期工程主要噪声为水泵、风机等机械设备运转时产生的机械动力噪声。首先从噪声源上进行控制，设计中尽量选用低噪声设备，设备选型及订货时，向制造厂家提出噪声限值的要求，从根本上减少噪声的产生。对某些无法从声源上实现噪声控制的高噪声设备，可采取加设隔声、消声装置的措施，从传播途径上进行控制。管道设计时做到合理布置，流道顺畅，注意管道及阀门合理布置，管线布置力求短捷，降低气流和振动噪声。本项目高噪声设备均布置在取水泵房、海水淡化厂房等厂房内，通过建筑物厂房墙体自身隔声作用，可将噪声影响控制在一定范围内。

3）固废处置

本期工程正常运行期间产生的固体废物主要为海水淡化装置产生的污泥和废滤膜、废机油、废油桶以及生活垃圾等。其中，海水淡化装置产生的污泥、废

滤膜为一般固体废物，污泥可委托有能力单位处理处置，废滤膜定期由具有资质的第三方单位处理；废机油和废油桶为危险废物，可委托有资质的危废处置单位进行处置；生活垃圾可以分类收集后由具有资质的第三方单位处置。

4）浓盐水的环境影响

本项目配套建设的海水淡化厂正常运行工况下会产生浓盐水，海水淡化厂水源为海水，经膜法工艺生产淡水的同时会产生浓盐水，其盐分来自于海水，本项目未新增盐分的排放。大部分浓盐水经排水管道排放至丁字湾内海水淡化厂排水口，少部分浓盐水（一期工程约 0.38m^3/s）随液态流出物、工业废水深度处理系统排水、非放射性生产废水系统排水排放至丁字湾外的液态流出物排水口。本节评价浓盐水对受纳水体的影响，由于经液态流出物排水口排放的浓盐水量小，预计不会对周边海域的盐度造成明显影响，因此，本节主要评价经海水淡化厂排水口排放的浓盐水对丁字湾内水体的影响。

（1）浓盐水影响范围计算

基于三维数学模型（主要原理如 6.1.2 节所述），本阶段分析计算了典型工况下一期工程 2 台国和一号机组运行工况下浓盐水对丁字湾受纳水体的盐度影响。

典型工况描述如下：

a）计算季节：本项目原料海水取水口和海水淡化厂排水口均位于丁字湾内，其原料海水盐度及浓盐水盐度受五龙河径流影响，冬季和春季为五龙河枯水期，入海径流量小，河口区盐度高，其中冬季多年平均入海径流量较小；夏季为五龙河丰水期，其中 7 月、8 月和 9 月入海径流量最大，河口区盐度低。因此选用夏季和冬季作为三维数值模拟的典型季节。

b）计算潮型：典型半月潮。

c）五龙河径流量：基于五龙河下游团旺水文站多年逐日径流量统计，夏季平均径流量 19.15m^3/s，冬季平均径流量 4.53m^3/s。

d）计算模型维度：三维。

e）取排水量：2 台国和一号机组运行下，夏季和冬季取水量分别为 4.83m^3/s 和 3.42m^3/s，排水量分别为 2.75m^3/s 和 1.95m^3/s。

f）浓缩倍率：海淡排水盐度为取水盐度的 1.8 倍。

g）统计范围：盐度全潮平均值和最大值。

h）水层：分别统计表层、中层、底层和垂向投影。

i）模拟时间：本项目浓盐水三维数值模拟计算时长为 60 天，计算过程中浓盐水为连续排放，对浓盐水的分析基于连续排放且达到稳定状态的情况。在数值模拟初期，受浓盐水排放影响，丁字湾盐度快速上升，之后上升幅度逐渐减小，1 个半月后模型的盐度场可达到稳定状态。

（2）浓盐水影响范围

基于以上计算工况，2 台机组正常运行产生的浓盐水致受纳水体夏季和冬季全潮最大和全潮平均盐度升高影响范围如图 6.3-1~图 6.3-4 所示，包络面积统计值如表 6.3-1 所示。

2 台机组正常运行工况下，计算结果表明：

表层、中层和底层的盐升影响范围较为接近，垂向投影最大盐升包络范围略大于表层、中层和底层。

夏、冬季丁字湾内 0.5psu 以上全潮平均盐升包络垂向投影面积均小于 1.00E-02km^2，全潮最大盐升垂向投影包络面积分别为 2.78E+01 和 2.76E+01km^2；1PSU 以上全潮平均盐升包络垂向投影面积均小于 1.00E-03km^2，全潮最大盐升垂向投影包络面积分别为 4.34E-02 和 1.04E-01km^2；2psu 以上全潮平均盐升包络垂向投影面积均小于 1.00E-05km^2，最大盐升包络面积均小于 1.00E-02km^2，仅局限在海水淡化厂排水口附近海域和水深较浅的岸滩区域。

盐升影响范围主要集中在排水口附近海域及丁字湾靠近五龙河的区域，最大盐度出现地点位于海水淡化厂排水口附近。

海水淡化厂排水口区域盐度背景值为 14~25psu，随季节和涨落潮周期性波动，因本项目运行导致的盐度升高值远小于该区域涨落潮和季节性的波动值。

（3）浓盐水对生态环境的影响

a）对浮游植物的影响

丁字湾内水采浮游植物的优势种类和优势度分别为：冬季，中肋骨条藻、诺式海链藻、短角弯角藻、圆海链藻、尖刺拟菱形藻；春季，中肋骨条藻、圆筛藻、裸甲藻、短角弯角藻、圆海链藻、曲舟藻；夏季，中肋骨条藻、劳氏角毛藻、旋链角毛藻、其它角毛藻、大洋角管藻。总体上中肋骨条藻、角毛藻类、短角弯角

藻是最主要的三种优势种。

其中，中肋骨条藻属广盐型，能够在较高盐度下生长，在盐度 25~35psu 条件下藻体均能正常繁殖，最适生长盐度为 30psu（王志宝等, 2018），实验表明，在盐度为 31.3psu 和 36.6psu 条件下，藻细胞形态基本无变化，说明在该盐度条件下，中肋骨条藻仍然可以很好的存活；当盐度达到 40psu 时，藻细胞形态基本保持正常，但在培养后期，细胞链已经开始变短，且有个别细胞形态开始发生变化（蔺智泉, 2012）。角毛藻生存盐度范围为 19~35psu。海链藻在盐度 20~30psu 之间能保持相对较高的生长速率，盐度 20psu 时获得最大生长率；盐度低于 10psu 和高于 40psu 时生长相对缓慢，并分别在 4 天和 5 天后出现负增长（朱明等, 2003）。圆筛藻在盐度 25~35psu 条件下藻体均能正常繁殖，不同种类盐度适应性有差异，威氏圆筛藻适宜盐度为 30~35psu，星脐圆筛藻能适应 30psu 以上盐度。圆海链藻为广盐型，威氏海链藻的最适培养盐度为 15~35psu（陈墅鑫等, 2021）。

丁字湾主要浮游植物均为广盐性种属，本项目一期工程浓盐水排放导致的盐升程度较低，对海湾浮游植物影响整体可接受。

b）对浮游动物的影响

丁字湾内水采浮游动物优势种为拟玲虫、类玲虫、无壳纤毛虫、夜光虫、薄玲虫，网采浮游动物为中华哲水蚤、强壮箭虫、小拟哲水蚤、太平洋真宽水蚤、纺锤水蚤和腹胸刺水蚤等。其中，中华哲水蚤生存盐幅 11~48psu，在 20~35psu 盐度范围内存活率随培养时间有所下降。强壮箭虫生存盐幅 9.3~48.7psu，最适盐度为 20~25psu（刘青等, 2011）。瘦尾胸刺水蚤生存盐幅 9~48psu，最适盐度为 18~42psu。纺锤水蚤中的刺尾纺锤水蚤最适生长盐度为 17.0psu，36.5psu 以上不适合该类水蚤生长（黄加棋和郑重, 1984）。

丁字湾浮游动物均为广盐性种属，本项目浓盐水排放导致的盐升程度较低，对海域内浮游动物影响整体可接受。

c）对鱼类的影响

丁字湾内主要的鱼类为矛尾虾虎鱼、鲻、斑鰶、鲈鱼、纹缟虾虎鱼等。研究表明，盐度升高会增加海水渗透压，从而引起鱼体对渗透压的调节。鱼类的盐度忍耐能力取决于其对机体渗透压调节、代谢的重新调整和能量的重新分配等。盐度过高会影响受精卵细胞内外物质平衡，导致卵细胞受到损伤或破裂，孵化率降

低，仔鱼畸形率也将随之增加。高盐度还能改变鱼卵的比重，如鲍状黄姑鱼受精卵在盐度 26.9psu 以下海水中呈沉性，在盐度 40.7psu 以上海水中呈浮性（黄永春等，1997）。

丁字湾属于受五龙河口影响的溺谷河口潮汐汊道海湾，其盐度分布空间差异很大，适应盐度分布差异，不同耐盐能力的鱼类均可在海湾内繁殖生长。研究表明，生活在河口、潮间带等盐度波动大的区域的鱼类可以通过调节渗透压，很好地适应盐度变化，属于广盐性鱼类（Fiol and Kültz, 2007）。例如，鲈鱼生存盐度为 0~35psu，其胚胎和仔鱼发育的适宜盐度为 19~28psu（王艳等, 2007）。另一方面，研究表明，突出于海底的浓盐水排放口头部具有一定的人工鱼礁效应，为鱼类提供了新的栖息地，再加上排放口附近浓盐水和海水混合作用能够带来更丰富的营养和食物，这些原因可引起经原料海水稀释后的浓盐水排放口附近鱼类增加（图 6.3-5）；同时，浓盐水的上射作用可局部改善底部水层含氧条件，促进底层水体循环，有利于动物群落维持稳定，甚至增加群落物种数量。此外，当局部海域盐度发生变化时，鱼类可借助其游泳能力选择湾内适宜的栖息地，进行回避性盐适应。

d）对虾蟹类的影响

丁字湾内主要虾蟹类为口虾蛄、脊尾白虾、疣背宽额虾、三疣梭子蟹、豆形拳蟹。研究表明，口虾蛄生存盐度范围是 20~40psu，适宜盐度范围是 24~36psu，最适生长盐度为 32psu 左右；存活低盐极限在突变状态下为 16psu、渐变状态下为 12psu；高盐极限在突变状态下为 44psu、渐变状态下为 46psu（徐海龙, 2005）。脊尾白虾为广盐性虾类，在 5~30psu 水体中可正常生长且成活率无显著差异，盐度 20psu 时的特定生长率最高（张年国等, 2022）。

研究表明，三疣梭子蟹是一种广盐性蟹类，适宜盐度为 10~35psu，最适盐度为 25~30psu（胡则辉等, 2011）。此外，锯缘青蟹（Scylla serrat）的盐度适宜范围是 23~35psu，且在盐度为 27psu 时成活和生长情况最好，而当盐度达到 39psu 时，其幼体在实验初期便大量死亡；中华虎头蟹（Orithyia sinica）的适宜盐度范围为 25~35psu，最适盐度为 30psu，当盐度达到 55psu 时虽仍能存活，但其摄饵量和存活率均显著降低。

e）对头足类的影响

丁字湾内调查发现的头足类主要为日本枪乌贼。枪乌贼属喜盐性种类，适应盐度不低于 27~28psu，且具有快速游泳能力。山东近海枪乌贼类的分布具有明显的季节变化，且集中分布在海水表温为 16℃、海水表盐为 31.2~32.5psu 和水深 40m 以浅海域。研究表明，相较于水深和海水表温，海水表层盐度对枪乌贼类甚至是整个头足类的影响较小（王斌等, 2020）。

本项目一期工程浓盐水入海导致的盐升程度较低，同时游泳动物具有渗透压调节功能和躲避能力，因此，其对丁字湾内游泳动物影响不大。

f）对底栖动物的影响

丁字湾内主要的底栖生物为饭岛全刺沙蚕、大沽全海笋、那不勒斯膜帽虫、青岛文昌鱼、菲律宾蛤仔、海湾扇贝、阳遂足、软大螺蠃蜚等。其中，大沽全海笋在 20.20~32.74psu 条件下可以正常生活（魏利平等, 1997）。青岛文昌鱼胚胎正常发育的盐度范围是 21~33psu，最适盐度为 24.5~30.2psu（吴贤汉, 1998）；文昌鱼成体适宜生活的海水盐度为 21～31.6psu，在盐度低于 15psu 的海水中无法生存（杨建威, 2008）。菲律宾蛤仔的最适生长盐度是 23.8~34.8psu，蛤仔幼虫适宜生长的盐度范围 23~35 psu，稚贝适宜生长的盐度范围 14.5~33.5psu，幼贝适宜生长的盐度范围 9.36~34.16psu；菲律宾蛤仔幼虫在盐度 11~47psu 条件下 24h 内存活率为 100%，盐度 32~41psu 条件下 48h 内存活率 100%；菲律宾蛤仔稚贝和蛤仔幼贝在盐度 8~47psu 条件下 24h 内存活率为 100%，在盐度 14~38psu 条件下 48h 存活率为 100%（范超等, 2016）。海湾扇贝为广盐性物种，可以在 16~42psu 条件下生存，最佳盐度范围为 20-35psu（卢婉娴和梁小云, 1996）。

本项目一期工程浓盐水入海导致的盐升程度较低，对丁字湾内大部分区域底栖生物影响可接受。

g）对潮间带生物的影响

潮间带冬季优势种为软体动物的短滨螺、疣荔枝螺、黑荞麦蛤和绒螯近方蟹；春季优势种为短滨螺、长牡蛎、疣荔枝螺、文蛤、白脊藤壶和绒螯近方蟹；春季优势种为短滨螺、疣荔枝螺、白脊藤壶和绒螯近方蟹；秋季优势种为短滨螺、疣荔枝螺、长牡蛎和绒螯近方蟹。

疣荔枝螺在盐度 15~18psu 时会部分或全部关闭贝壳，当盐度在 15.01~28.19psu 时耗氧率逐渐增大，在盐度 28.19psu 时出现峰值，其代谢活动较

强，然后开始下降，盐度 33psu 与盐度 21psu 条件下耗氧率相近，在盐度 37psu 条件下仍可存活（樊甄姣等, 2009）。绒螯近方蟹的最适盐度 25~31psu（于晓明等, 2005）。长牡蛎的最适生存盐度为 15~35psu，最适生长盐度为 25~35psu（姚托等, 2015）。文蛤浮游幼体期最适盐度为 15.9~22.6psu，其成活率、变态率、生长速度皆最高，而在盐度 41.5psu 海水中不能存活（陈冲等, 1999）。

本项目一期工程浓盐水入海导致的盐升程度低，对潮间带生物影响可接受。

（4）浓盐水对养殖的影响

丁字湾周边区域的养殖包括围海养殖区和开放式养殖区，湾内养殖以围海养殖为主，主要分布在即墨区田横镇，养殖品种以南美白对虾和三疣梭子蟹为主，湾外养殖以浅海底播养殖和筏式养殖为主，养殖品种以扇贝、牡蛎为主。南美白对虾和三疣梭子蟹属于虾蟹类生物，扇贝、牡蛎属于底栖动物，根据上文浓盐水对生态环境的影响分析，本项目浓盐水入海导致的盐升程度低，对丁字湾内大部分区域虾蟹类生物，底栖生物影响较小，不会对丁字湾内外养殖造成影响。

（5）小结

基于丁字湾受纳水体盐度背景值、水文水动力条件、生物适盐度特征（包括养殖品种），以及浓盐水影响范围的三维数学模拟结果，并考虑本项目海水淡化工艺、浓盐水盐度、排放量及排放前处理工艺，综合评估认为，浓盐水排放入海后的影响范围和影响程度均较小，对丁字湾浮游植物、浮游动物、底栖生物、渔业资源、渔业养殖的负面影响可接受，对“莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区”的影响可接受。

6.3.4 第一进厂道路和第二进厂道路运行期的环境影响

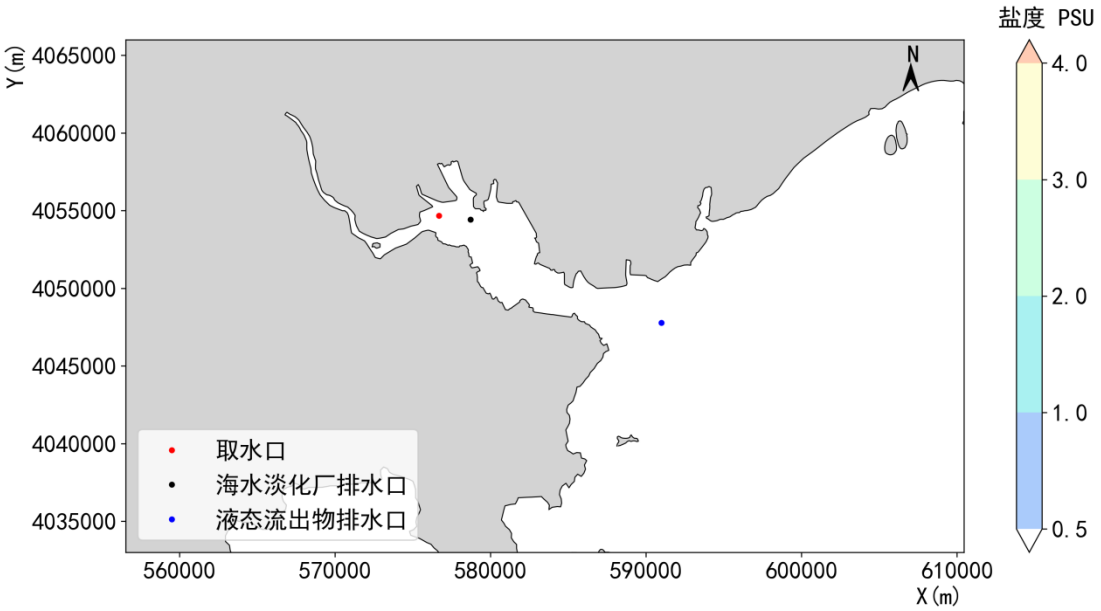
厂址设置了第一进厂道路和第二进厂道路（兼做应急道路）。本工程的第一进厂道路，位于厂区西侧，规划起点位于核电厂西侧边界，西衔接省道 S209；新建道路长度约 1.101km，按照二级公路标准设计，双向四车道，路面宽为 16m。本工程的第二进厂道路，位于厂区南侧，规划起点位于核电厂南侧边界，向南衔接乡道 Y025，新建道路长度约 0.759km，按照二级公路标准设计，双向四车道，路面宽为 16m。

第一进厂道路和第二进厂道路建成后，可能造成的环境影响及相应的措施包括：

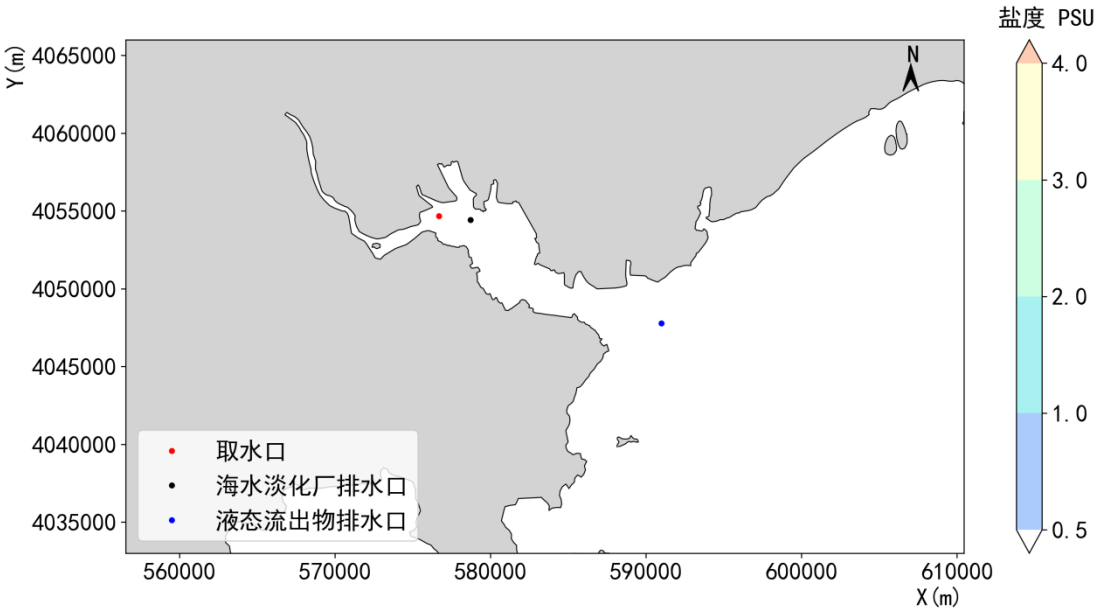
- 道路通行车辆由于车辆燃油燃烧或燃烧不充分而产生的 CO2 和 NOx 及燃料添加剂（如铅）对大气环境产生影响。对此，可考虑严禁陈旧、车况不好、尾气排放不达标车辆上路并推广使用高标号、无铅汽油。
- 由于交通事故等突发性事件导致的化学物、燃料油的泄漏及燃烧，车辆所载有害物质的泄漏对地表水、地下水及土壤环境的影响；公路自身水土流失对地表水、地下水及土壤环境的影响。对此，可考虑设置必要的安全设施和通讯监控设施，以减少交通事故的发生。
- 由于汽车通行时汽车自身机械系统运转、轮胎摩擦路面、汽车鸣笛等对周围声环境产生的影响。对此，可考虑设置禁止鸣笛标志。

表 6.3-1　一期工程海淡浓盐水排放致受纳海域盐度升高包络影响面积统计表

机组数	季节	潮型	水层	类型	4	3	2	1	0.5
2 台	夏季	半月潮	表层	平均值	<1.00E-05	<1.00E-05	<1.00E-05	<1.00E-05	8.96E-04
				最大值	6.75E-06	1.28E-04	7.47E-04	1.40E-02	2.72E+01
			中层	平均值	<1.00E-05	<1.00E-05	<1.00E-05	6.75E-06	1.80E-03
				最大值	6.75E-06	1.16E-04	1.17E-03	1.44E-02	2.54E+01
			底层	平均值	<1.00E-05	<1.00E-05	<1.00E-05	1.00E-04	4.03E-03
				最大值	1.77E-04	9.69E-04	2.64E-03	3.43E-02	2.52E+01
			垂向投影	平均值	<1.00E-05	<1.00E-05	<1.00E-05	1.00E-04	4.03E-03
				最大值	1.83E-04	9.79E-04	2.67E-03	4.34E-02	2.78E+01
2 台	冬季	半月潮	表层	平均值	<1.00E-05	<1.00E-05	<1.00E-05	2.25E-06	1.13E-03
				最大值	1.38E-06	1.57E-04	7.93E-04	3.76E-02	2.72E+01
			中层	平均值	<1.00E-05	<1.00E-05	<1.00E-05	2.39E-05	2.89E-03
				最大值	2.25E-06	1.24E-04	1.33E-03	1.98E-02	2.66E+01
			底层	平均值	<1.00E-05	<1.00E-05	<1.00E-05	1.61E-04	6.95E-03
				最大值	3.23E-04	1.31E-03	4.24E-03	6.57E-02	2.66E+01
			垂向投影	平均值	<1.00E-05	<1.00E-05	<1.00E-05	1.61E-04	6.95E-03
				最大值	3.24E-04	1.31E-03	4.24E-03	1.04E-01	2.76E+01

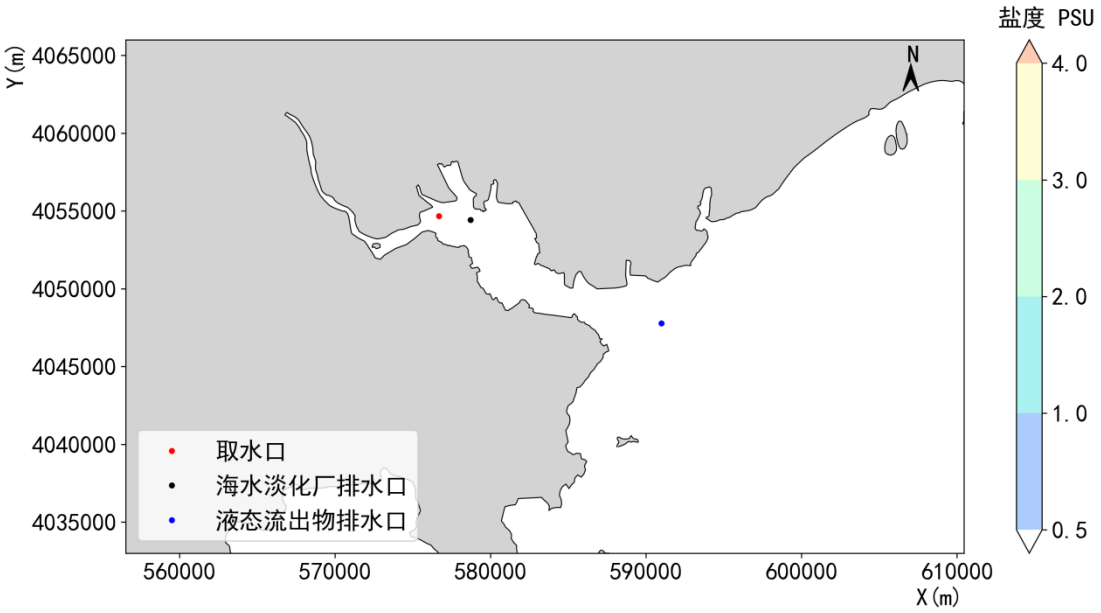


（表层）

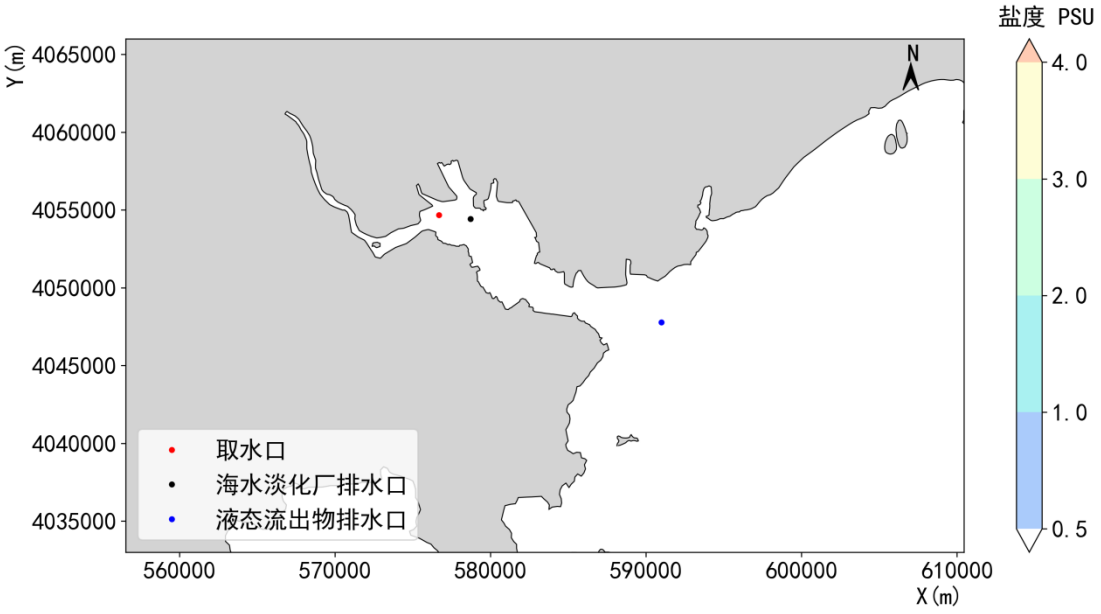


（中层）

图 6.3-1a　一期工程 2 台机组夏季半月潮工况盐度升高全潮平均包络范围

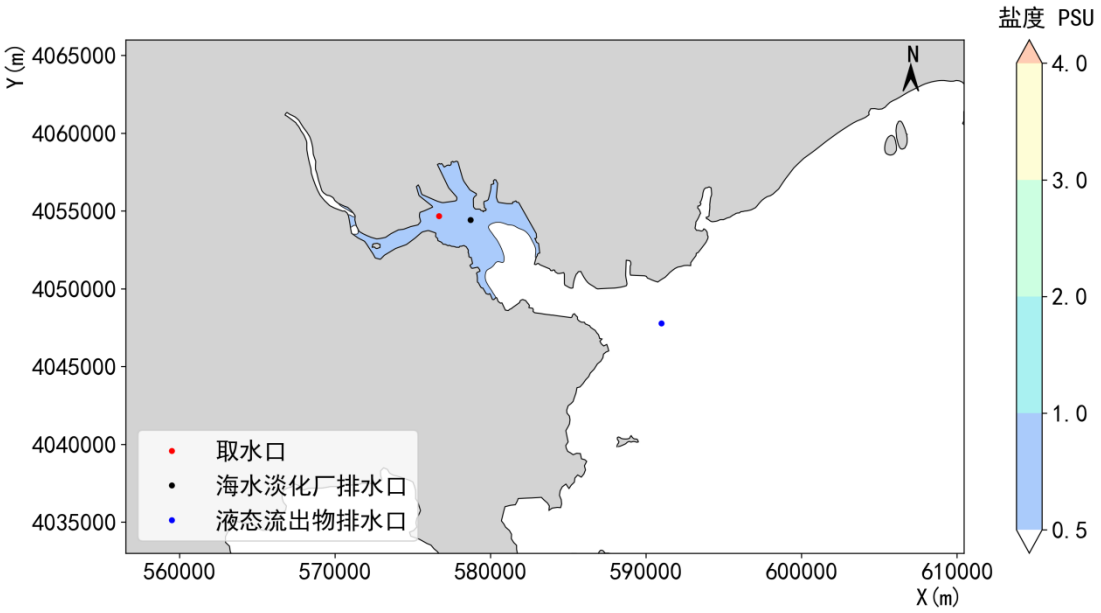


（底层）

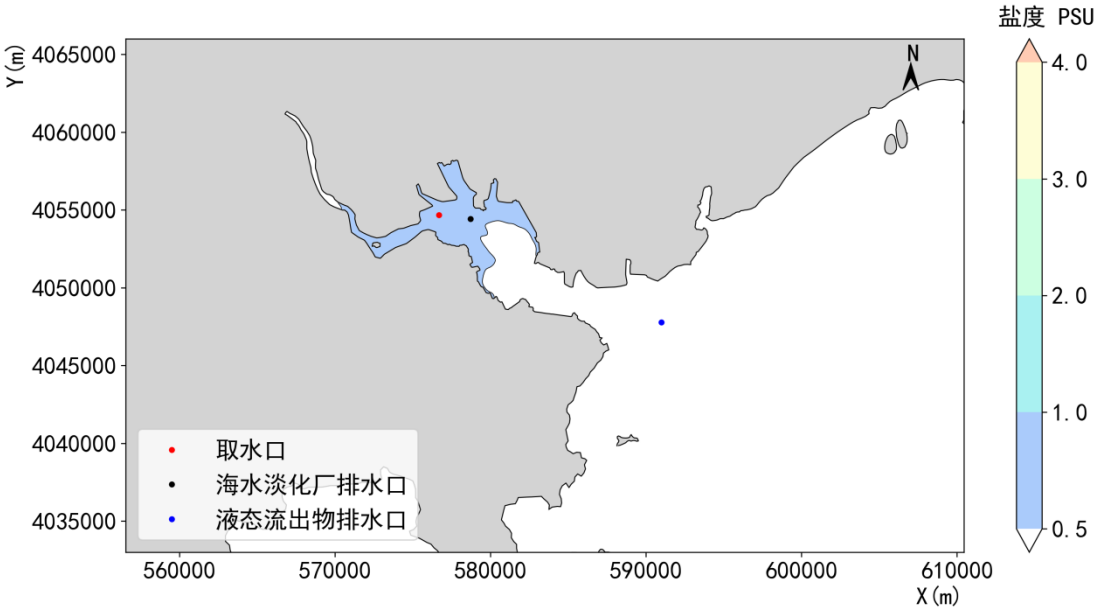


（垂向投影）

图 6.3-1b　一期工程 2 台机组夏季半月潮工况盐度升高全潮平均包络范围

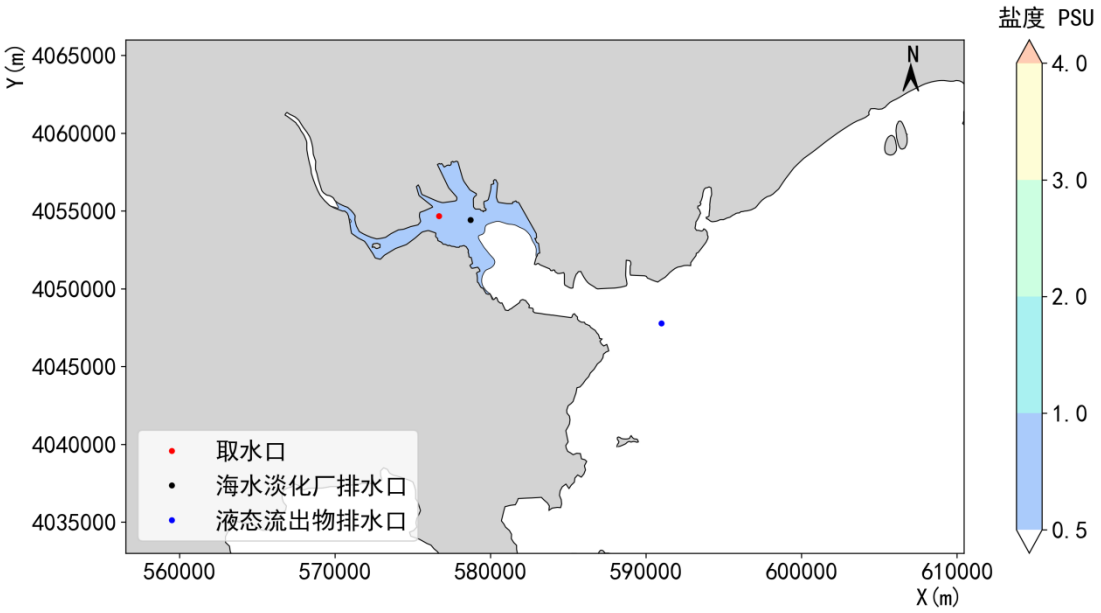


（表层）

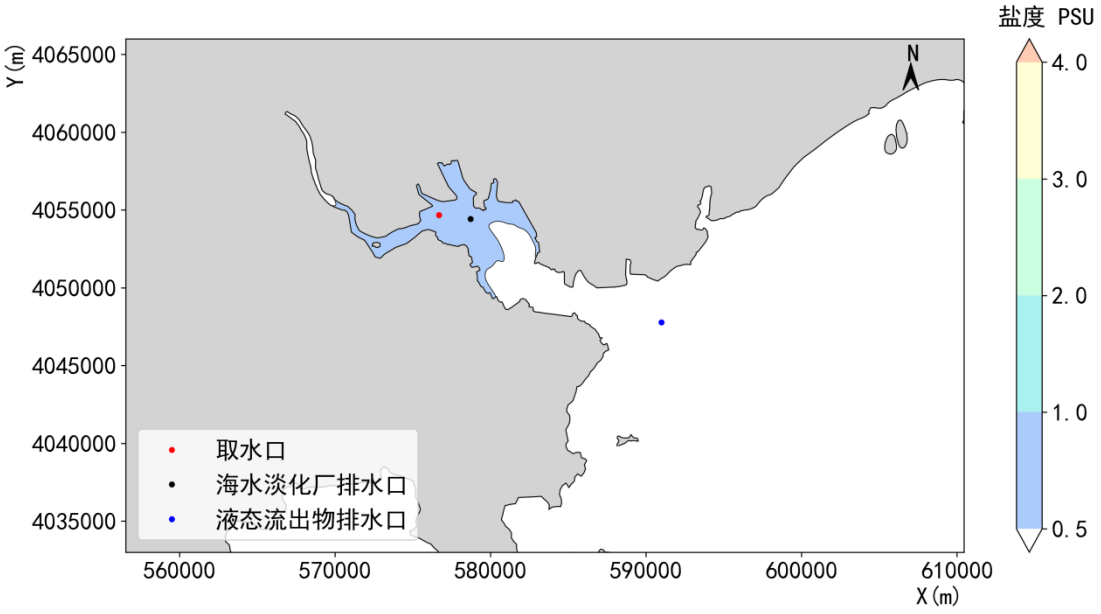


（中层）

图 6.3-2a　一期工程 2 台机组夏季半月潮工况盐度升高全潮最大包络范围

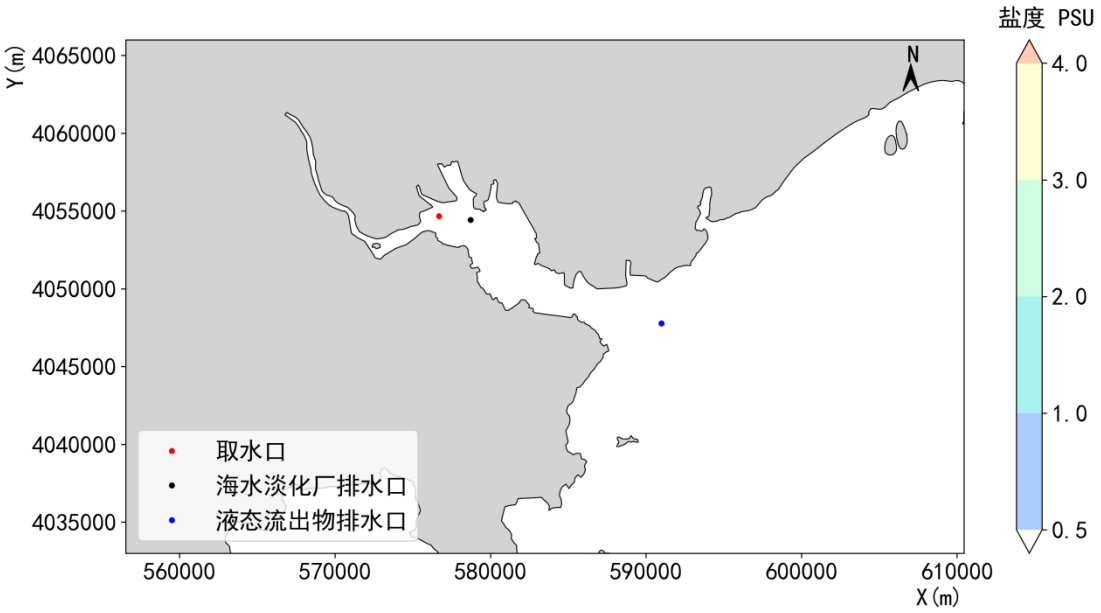


（底层）

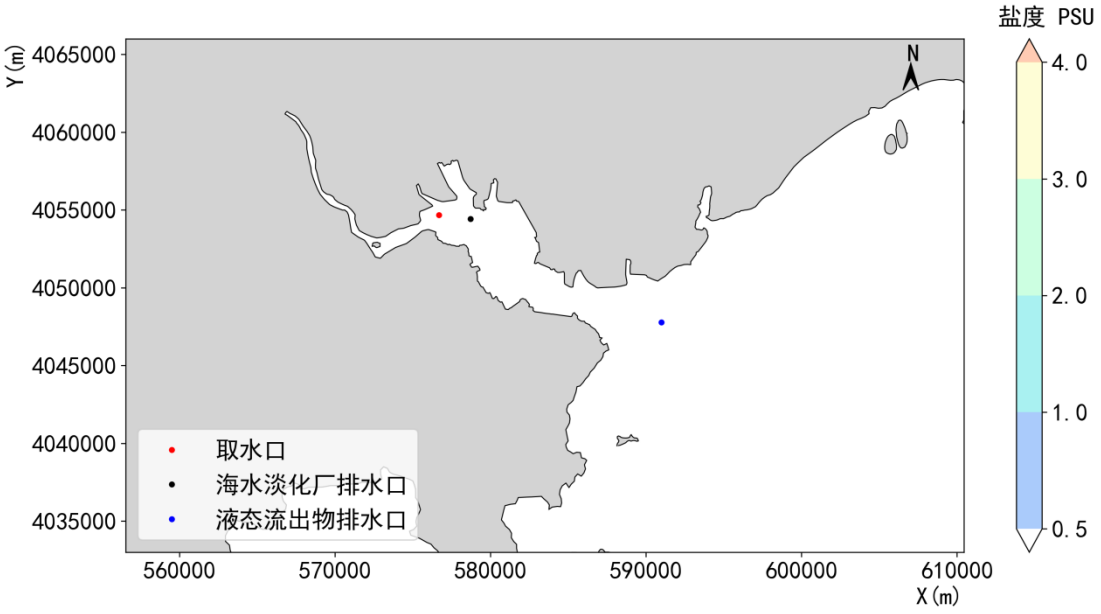


（垂向投影）

图 6.3-2b　一期工程 2 台机组夏季半月潮工况盐度升高全潮最大包络范围

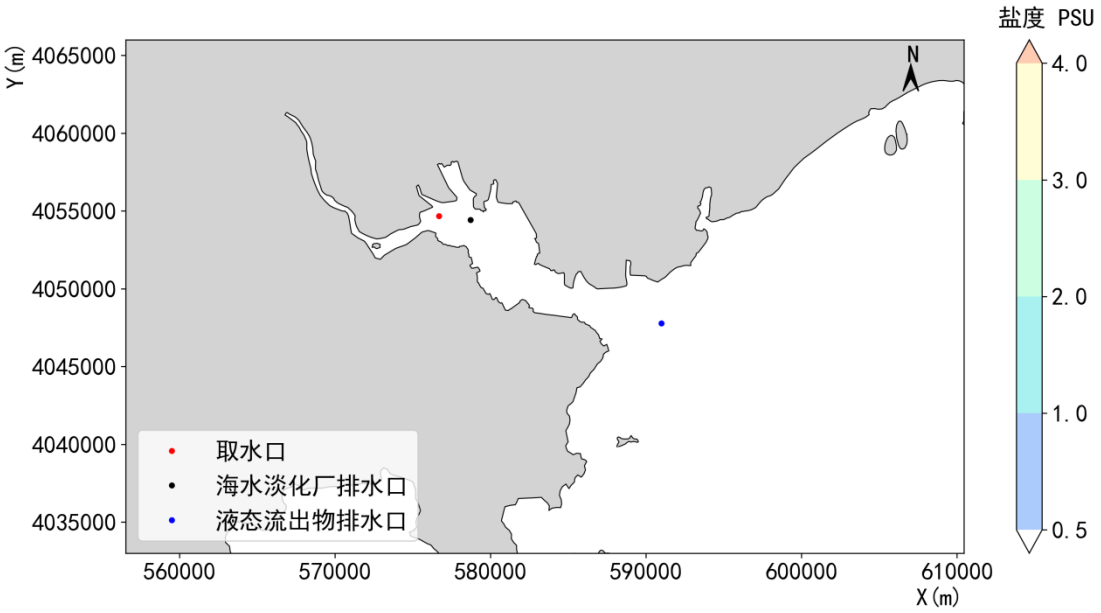


（表层）

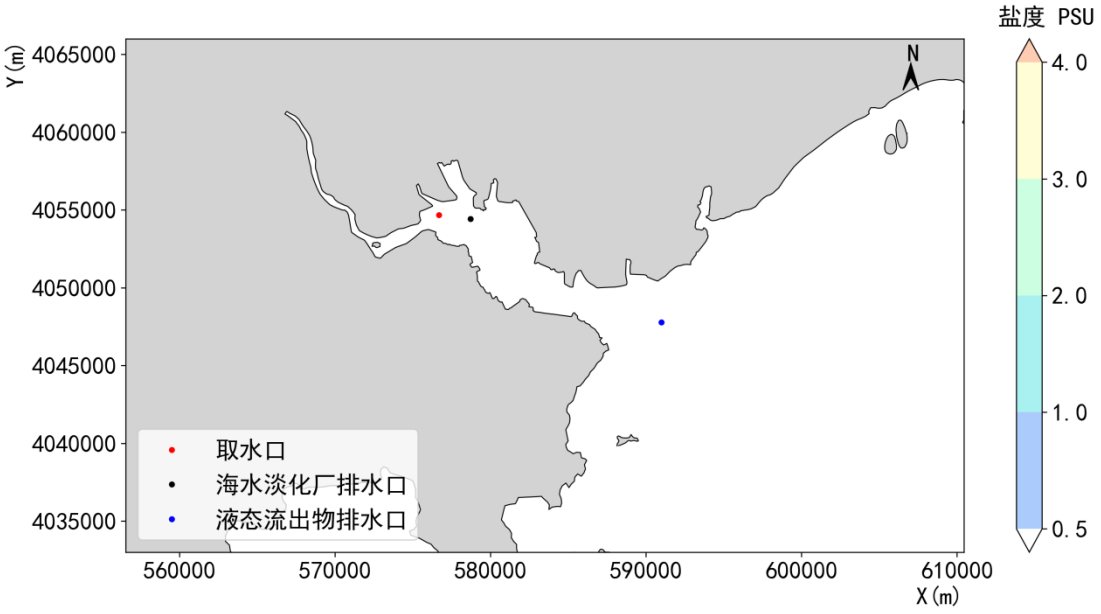


（中层）

图 6.3-3a　一期工程 2 台机组冬季半月潮工况盐度升高全潮平均包络范围

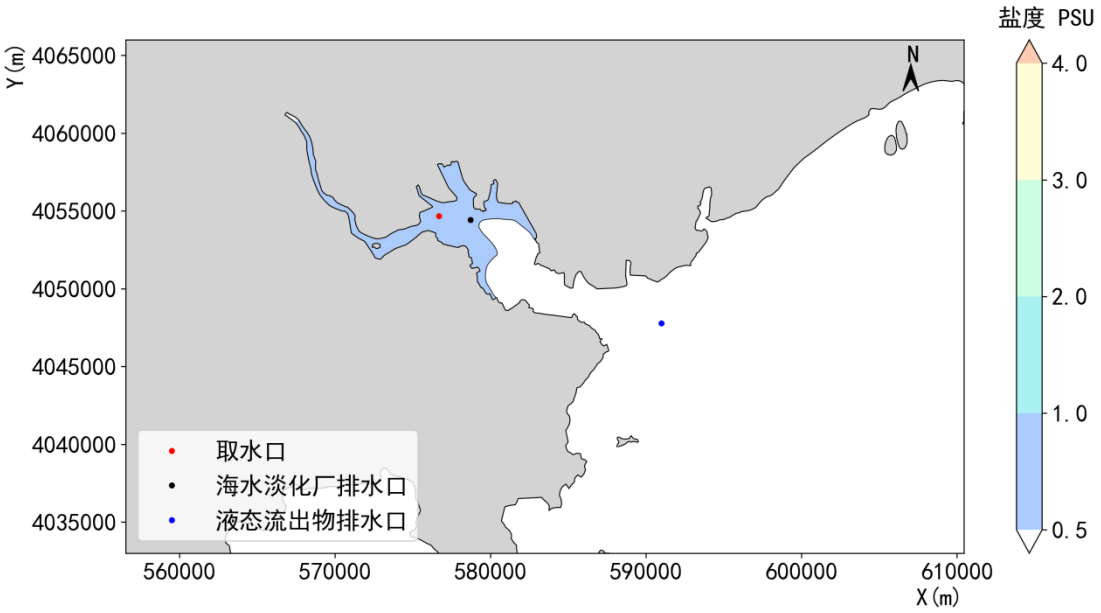


（底层）

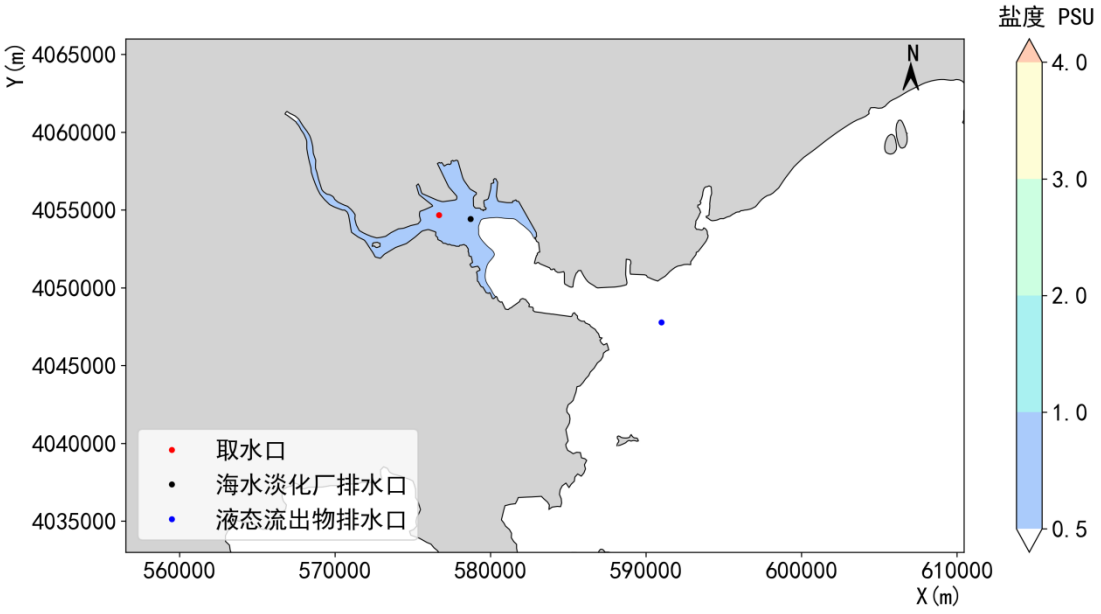


（垂向投影）

图 6.3-3b　一期工程 2 台机组冬季半月潮工况盐度升高全潮平均包络范围

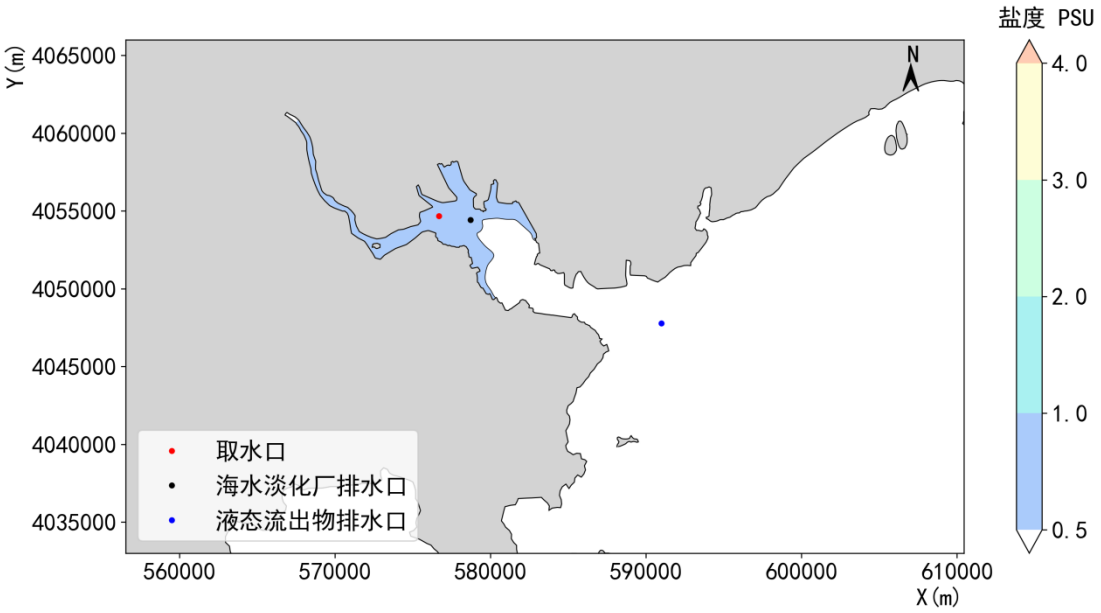


（表层）

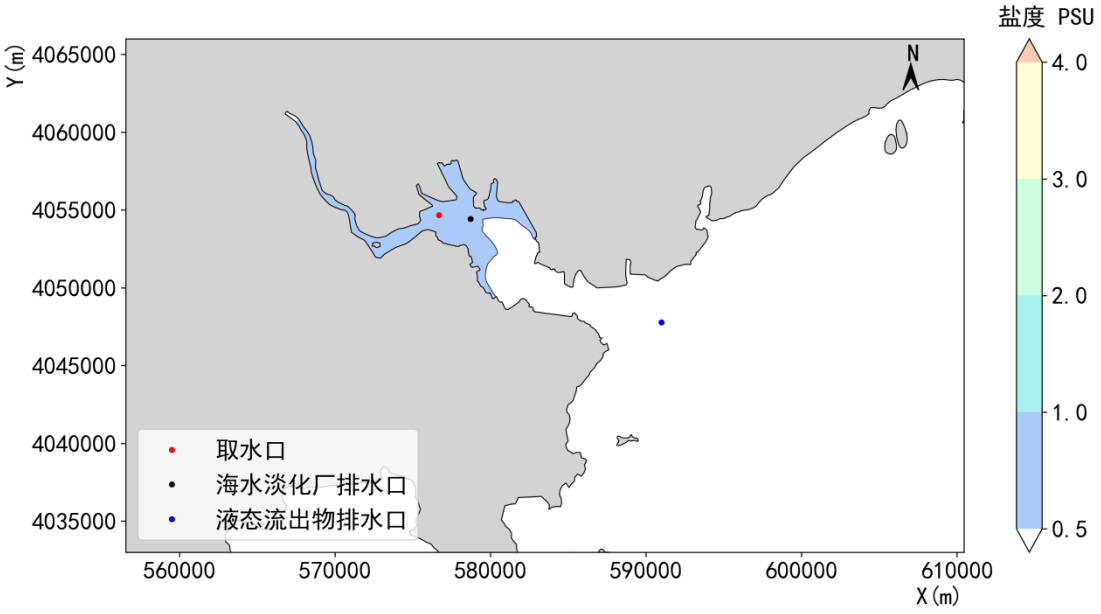


（中层）

图 6.3-4a　一期工程 2 台机组冬季半月潮工况盐度升高全潮最大包络范围



（底层）



（垂向投影）

图 6.3-4b　一期工程 2 台机组冬季半月潮工况盐度升高全潮最大包络范围

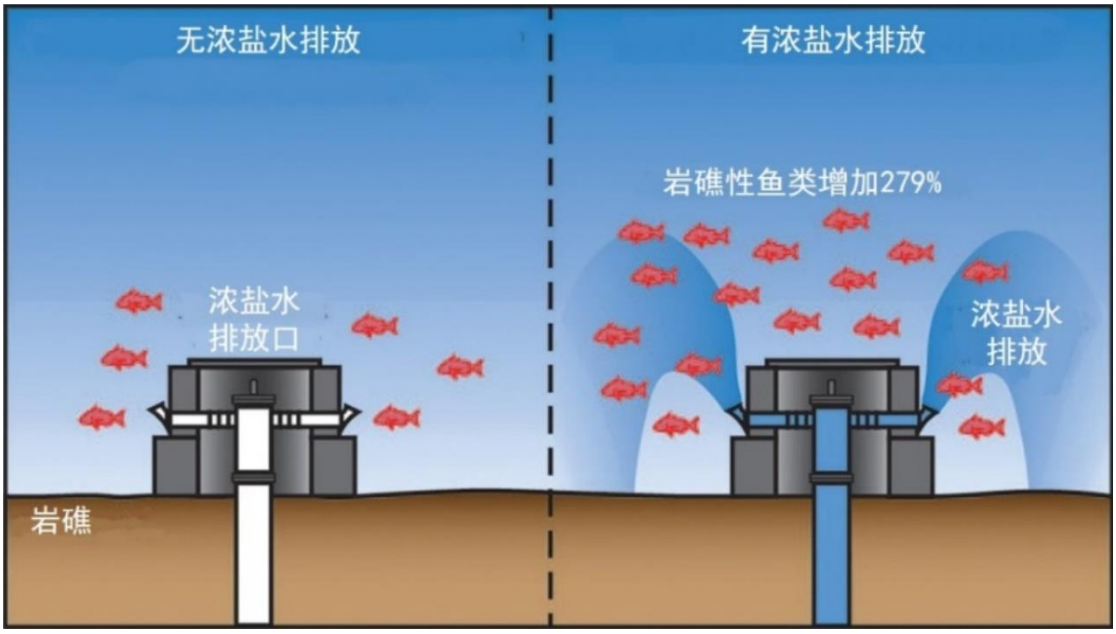


图 6.3-5　浓盐水排放前后岩礁性鱼类变化示意图

6.4 初步退役计划

核电厂退役的重点是反应堆装置的退役，其退役受多方面的制约，其中包括政治、经济、科学技术和政策法规等的影响，本节仅提出本项目退役的设想。

6.4.1 设计对退役的考虑

本项目已经从几个方面采取了便于退役的相应措施：

- 在确保设备和管道材料机械性能的同时，降低材料中钴的含量，以降低钴-59 产生的钴-60 放射源（减少长半衰期放射性物质的含量），减少退役时的辐照剂量，缩短退役周期；
- 采取一定的水化学措施，减小材料的腐蚀，降低腐蚀活化源项；
- 放射性废物产生最小化；
- 设施和设备提供适当的维修和更换设备和空间，在某些需要区域提供设置局部屏蔽的空间和场所等。

6.4.2 退役方案

核电厂退役的重点是反应堆堆芯装置的退役，退役受多方面影响因素的制约，其中包括政治、经济、科学技术和政策法规等的影响，本节提出可研阶段核电厂初步的退役方案。

核电厂退役的最终目标是无限制开放或使用场址，退役方案取决于核设施的大小和所采取的退役策略。

尽管各国核电厂退役方案各不相同，但随着退役技术的发展和人们对退役认识的提高，现在国际原子能机构把推荐的退役策略分为两种，即：

- 方案 I：立即拆除；
- 方案 II：延缓拆除。

对于核电厂这类大型核设施的退役，废物出路和退役经费是确定退役策略的两大关键因素。

核电厂反应堆本体经过几十年的运行，由活化、污染和沉积带来的放射性污染水平很高，含有很多强半衰期、射线能量较强的活化产物，这些放射性物质的存在是影响核电厂退役的重要因素。

按照目前世界上所开展的退役方案，可供核电厂选择和可实施的退役方案为：

- 方案 I，立即拆除方案

此方案考虑在电厂最终停闭后 4~5 年内完成拆除。

采用此退役方案的前提是厂址有限，需循环使用，旧厂址需尽快利用。其优点是能尽快利用场地和部分利用现场原有设备和辅助设施。但是，由于反应堆停堆时间比较短，长半衰期的高放射性核素（如钴-60 等）还未进行充分地衰变，因此为确保满足辐射防护目标，需要广泛采用远距离遥控操作和大范围的局部屏蔽来拆除构件和处理放射性废物，因此操作困难且费用昂贵。

- 方案 II，延缓拆除方案

此方案考虑在电厂停闭 20 年以后完成退役。在此期间内，核电厂运行期间产生的大部分放射性核素保留在生物屏蔽和压力容器内，并且已充分地得到了衰变。此方案相比方案 I，由于辐射强度下降明显，因此对放射性部件较易于拆卸、运走，但是在此过程中需对遗留结构进行长期监测和维护。

第七章　核电厂事故的环境影响和环境风险

7.1　核电厂放射性事故和后果评价

7.1.1　事故描述和事故源项

7.1.1.1　事故描述

7.1.1.1.1　事故分类

根据国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）的要求，按可能导致环境危害程度和发生概率的大小，可将核动力厂事故工况分为设计基准事故和严重事故。其中设计基准事故包括稀有事故和极限事故，本节开展核电厂事故工况环境影响评价时采用设计基准事故。

1）稀有事故

在核电厂运行寿期内发生频率很低的事故（预计为 10^{-4}~10^{-2}/堆年），这类事故可能导致少量燃料棒损坏，但单一的稀有事故不会导致反应堆冷却剂系统或安全壳屏障丧失功能。

2）极限事故

在核电厂运行寿期内发生频率极低的事故（预计为 10^{-6}~10^{-4}/堆年），这类事故的后果包含了大量放射性物质释放的可能性，但单一的极限事故不会造成应对事故所需的系统（包括应急堆芯冷却系统和安全壳）丧失功能。

7.1.1.1.2　事故选取

对 7 类共 11 种具有代表性的、放射性后果为所属类型中最严重的设计基准事故进行分析，确定与不同释放时间相对应的放射性释放量，用来计算对本工程周围人员造成的剂量。

对 11 类事故分类如下所示：

事故	事故类别
蒸汽系统管道破裂事故（SLB）-事故并发碘尖峰	极限事故
蒸汽系统管道破裂事故（SLB）-事故前碘尖峰	极限事故
反应堆冷却剂泵卡轴/断轴事故（LR）-两台 SG 启动给水无效	极限事故
反应堆冷却剂泵卡轴/断轴事故（LR）-两台 SG 启动给水有效	极限事故
反应堆冷却剂泵卡轴/断轴事故（LR）-单列启动给水有效	极限事故
棒束控制组件弹出事故（RE）	极限事故

蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）-事故并发碘尖峰	稀有事故
蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）-事故前碘尖峰	极限事故
安全壳外含有一回路冷却剂的小管道破裂事故（SLBOC）	稀有事故
设计基准装卸燃料事故（FHA）	极限事故
设计基准失水事故（DBA LOCA）	极限事故

7.1.1.1.3　事故分析保守性说明

在对核电厂进行的事故分析中，为了使结果具有代表性和包络性，在分析中作一定的假设，使结果处于合理保守的程度。主要包括以下四个方面：

1）失去厂外电源

这个假设对本工程事故分析中的影响包括：二回路蒸汽旁排至冷凝器的导热失效，为了导出堆芯余热保证堆芯的完整性，此时蒸汽直接排向大气环境，放射性就混合于蒸汽释放，保守地考虑事故放射性后果。

2）最大价值棒卡在堆外

此时停堆系统引入的负反应性最小，使停堆深度最小，从反应性的角度使事故放射性后果更加保守。

3）仅考虑安全级设备的缓解作用

本工程部分系统设计为非安全级，如：正常余热排出系统（RNS）、柴油机供电系统、二回路辅助给水系统（本工程对应为启动给水系统 SFW，Startup Feed Water）。事故分析中均保守假设这些系统在事故后失效。如果这些系统的投入反而会导致事故剂量的增加，则要分别进行计算。如反应堆冷却剂泵卡轴/断轴事故，当 SFW 有效时，蒸汽发生器传热管不裸露，则不发生一回路泄漏液在 SG 内的闪蒸，但事故将持续更长的时间，可能使最终的剂量结果比 SFW 无效时更大，所以要对两种情况均进行分析。

4）假设极限的单一故障

事故后，考虑某些系统设备失效，但只选择可能导致放射性后果最严重的设备失效，而不是所有设备均失效。如 SGTR 事故，事故后放射性通过二回路蒸汽管线的阀门释放，并假设其打开后失效（卡开不能回位），此时放射性释放将持续。当二回路压力继续降到一定程度，另外一种类型的隔离阀将在低压信号下隔离该释放管线，从而终止释放。

7.1.1.2　事故源项

7.1.1.2.1　堆芯源项及冷却剂源项

1）堆芯源项

采用堆芯核素放射性积存量作为堆芯源项，热功率在 4040MWt 的基础上考虑了功率测量 1%的不确定性，增加到 4080MWt。

2）一回路及二回路源项

事故发生时，认为反应堆已经运行足够长的时间，一回路冷却剂源项已经达到电厂允许的最大值。计算该源项的主要参数和假设有：

- 与时间相关的堆芯放射性积存量作为输入条件之一；
- 假设堆芯存在 0.25%的燃料包壳破损率，破损燃料棒均匀分布在整个堆芯中，该值与电厂技术规格书中一致；
- 对碘同位素的活度浓度要进行一定的修正，使得该浓度下所有碘同位素产生的剂量等效于活度浓度为 3.70E+01GBq/t 的 ^{131}I 产生的剂量，与技术规格书中的规定相一致；
- 对惰性气体，活度浓度修正到 1.04E+04GBq/t 剂量等效 ^{133}Xe，与技术规格书中的规定相一致。

碘同位素活度浓度为 3.70E+01GBq/t 剂量等效 ^{131}I，惰性气体活度浓度为 1.04E+04GBq/t 剂量等效 ^{133}Xe，碱金属活度浓度对应于设计基准燃料棒破损水平。

对于二回路的源项：保守地假定事故时二回路中核素的活度浓度为一回路的 1%。

7.1.1.2.2　分析中的假设与说明

1）放射性物质形态分类

本工程事故分析时，假设放射性物质释放出来后以气体和气溶胶等形态存在。对于碘核素，进一步分为三类：

粒子碘（Particulate）　　95%

元素碘（Elemental）　　4.85%

有机碘（Organic）　　0.15%

核素形态的划分，主要是考虑到其在迁移及释放过程中的去除机制不同。对以气体形态存在的放射性物质，如惰性气体，释放后就直接进入安全壳或外环境。对于粒子碘、碱金属和其他放射性核素假设均以气溶胶形式存在，在空气中由于

各种沉积机制被去除。对于有机碘假设不能被去除，元素碘则会由沉积去除。

2）碘尖峰释放

堆芯内的燃料棒存在一定的破损，当运行出现瞬态时，由于堆芯功率、一回路的压力、温度等的变化，造成破损燃料棒中的放射性在短时间内向冷却剂的释放增加，使冷却剂中碘等同位素的活度浓度大幅增加。

在事故分析中考虑以下两种情况：

- 事故并发（accident-initiated）碘尖峰释放

这种情况认为，事故发生时出现瞬态，使碘尖峰释放与事故同时发生。主蒸汽管道破裂事故及安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道破裂事故假设碘同位素从燃料棒间隙向冷却剂的释放速率为反应堆冷却剂中放射性为 3.70E+01GBq/t 剂量等效 I-131 时平衡释放速率的 500 倍。而碘的平衡释放速率根据释放与去除作用的平衡方程求解得到。蒸汽发生器传热管破裂事故，认为破损燃料棒间隙的放射性在事故后 8h 内全部释放到冷却剂中，燃料棒破损率对应于一回路冷却剂中放射性为 3.70E+01GBq/t 剂量等效 I-131。

- 事故前（pre-accident）碘尖峰释放

考虑事故前碘尖峰时，认为在事故发生之前一回路已经发生了瞬态，使得一回路内碘同位素的浓度达到了技术规格书中规定的 1.11E+03GBq/t 剂量等效 I-131。

3）放射性的自然去除（natural removal）

除了衰变外，放射性核素在迁移过程中还存在其它形式的损耗。本工程在设计中，采用了“非能动”的先进理念，通过自然的力量来减轻事故后的后果，对放射性进行自然去除。本工程主要的非能动设计之一即为“非能动安全壳冷却系统（PCS）”。

PCS 主要由钢安全壳和屏蔽厂房顶部的冷却水箱构成。事故后，如果安全壳出现高温高压，会触发该系统的投入。此时水箱的水就会通过重力作用流到钢安全壳的外表面，对钢安全壳起到冷却作用，以散热的方式带走事故后从堆芯释放到安全壳内的能量。而钢安全壳里面，由于事故后，大量高温冷却剂释放到安全壳大气内产生带有放射性的蒸汽。当这些高温蒸汽遇到温度较低的钢安全壳时，就会冷凝并顺着内壁流下，先回到地坑，再回到堆芯，最终形成安全壳内的自然循环。与采用混凝土安全壳的传统电厂相比，这些设计的效果使得安全壳内的换

热效率提高，从而加剧了事故后安全壳内流体的流动性，除了可以高效地导出热量外，还增强了对安全壳大气中放射性的去除效果。

对以气溶胶形态（粒子碘、碱金属和其它裂变产物）存在的放射性核素来说，主要有三种去除方式：

- 重力沉降（Gravitational sedimentation）

此去除机制主要是在重力的作用下，悬浮在安全壳大气中的气溶胶沉降在相关设备或构筑物的表面。

- 扩散泳（Diffusiophoresis）

此机制主要是由于气溶胶载体-气体中的蒸汽在墙壁表面上凝结而引起的。蒸汽在墙壁表面的凝结导致了墙壁附近的蒸汽浓度减低，从而形成了一个离墙壁越远浓度越大的蒸汽浓度梯度。因为浓度梯度的存在及蒸汽凝结的持续，导致气溶胶向墙壁表面流动，当气溶胶接触到墙壁时被吸附到墙壁表面上，从而对安全壳内的气溶胶起到了去除的作用。

- 热泳（Thermophoresis）

此机制是由于堆芯附近的温度高，而钢安全壳温度相对较低，在这样一个存在温度梯度的场内，气溶胶就会发生自然的定向运动，最终也是在钢安全壳内壁附着，随冷凝流回到地坑液相中。

综合考虑气溶胶的自然去除机制后，计算得到事故开始后 24 小时内的去除系数。

4）闪蒸（flashing）现象与分配系数

事故分析中假设一回路冷却剂通过破口泄漏到压力温度较低的环境时，就会发生闪蒸，液相中的放射性在汽化时释放到气相中，形成气载放射性。此时保守假设释放到气相中的放射性份额与液相汽化的份额相同，称之为“闪蒸份额（flash fraction）”。

根据泄漏液的泄漏率和闪蒸份额，就可计算出闪蒸到气相的放射性物质的释放率。泄漏液闪蒸后剩余的液相将与泄漏进入的液相混合，然后通过蒸发继续释放放射性。

低于饱和温度的液体蒸发比闪蒸轻微得多，此时液相中的放射性核素向气相的转移速率也慢得多。此时放射性活度存在一个分配效应：气相与液相中有一个稳定的核素浓度之比（分配系数）。事故分析中，根据液相的活度浓度和热工水

力分析得到的蒸汽释放量，就可以求出释放到气相或环境的放射性总量。分析中选取的分配系数的具体数值见各事故的参数表。

7.1.1.2.3　计算模型简述

将放射性迁移中每个有明显边界的系统或设备看作一个“体元”，这个“体元”可以表示为体积或质量。放射性物质在这些“体元”之间可以相互转移，对转移过程中的任意一个“体元”，及对任意核素有如下平衡方程：

活度变化量=增加量 - 减少量

活度变化率=（释放率+流入率）-（流出率+衰变率+去除率）

对于向环境释放的总量，可对所有向环境释放放射性的“体元”进行积分，再求和，可得到任意时段内向环境的释放总量。

对一般的典型事故来说“体元”可以包括：堆芯、安全壳、一回路系统、二回路系统及其他设备。

7.1.1.2.4　事故进程及源项分析

1）蒸汽系统管道破裂事故（SLB）

蒸汽系统管道大破口是“一次侧热输出增加”这类事故中最严重的反应堆冷却剂降温瞬态，计算时选择最极限的安全壳外主蒸汽管道双端断裂事故。

主蒸汽管道破裂引起的蒸汽释放，起初引起蒸汽流量快速增加，而后，随着蒸汽压力下降，蒸汽流量逐渐减小。一次侧排出热量过多导致反应堆冷却剂系统降温降压。由于存在负的慢化剂温度系数，反应堆冷却剂降温将向堆芯引入正的反应性。分析时假设反应堆初始状态为热态无负荷状态并且不考虑衰变热的影响，这是因为衰变热可缓解反应堆冷却剂降温过程，从而降低了堆芯重返功率的可能性。

分析表明蒸汽系统管道破裂事故满足堆芯偏离泡核沸腾设计准则的要求。根据该准则，主蒸汽管道破裂后，堆芯偏离泡核沸腾和包壳穿孔并非不可接受。但分析表明，主蒸汽管道破裂后，在假设一束具有最大反应性价值的控制棒组件卡在完全抽出位置的工况下，堆芯没有发生偏离泡核沸腾。反应堆最终将由非能动堆芯冷却系统停堆。

事故后的放射性释放分析假设破损回路的蒸汽发生器通过破口处在 200s 内喷放蒸干，该回路碘和碱金属全部释放到环境中。同时，考虑事故期间从一回路按技术规格书中蒸汽发生器假想的设计泄漏率，泄漏到二回路的碱金属、碘（分

别计算事故前碘尖峰和事故并发碘尖峰两种情况）及惰性气体。

本事故有三个释放途径：

- 假设破损回路蒸汽发生器中的二回路冷却剂以蒸汽形式从破口释放出去，冷却剂中所有碘和碱金属全部释放出去。
- 虽然完好蒸汽发生器不会蒸干，但放射性后果分析中仍保守的假设二回路冷却剂中所有碘和碱金属全部释放出去。
- 假设泄漏到破损回路蒸汽发生器的反应堆冷却剂，不考虑汽水分配效应及在蒸汽发生器内的沉积，全部直接排放到环境。

考虑放射性物质在事故过程中的衰变，一旦释放到环境后，不再考虑衰变。

2）反应堆冷却剂泵卡轴/断轴事故

反应堆冷却剂泵卡轴/断轴事故是“反应堆冷却剂系统流量下降”这类事故中产生最严重放射性释放的事故，可以包络其他此类型事故造成的放射性后果。

该事故假设一台（一共四台）反应堆冷却剂泵转轴瞬时卡死。受影响环路的冷却剂流量迅速减小，将由冷却剂低流量停堆信号触动反应堆停堆。

随着反应堆停堆，储存于燃料棒中的热量持续传给冷却剂，这将导致冷却剂温度上升、体积膨胀。同时，故障环路蒸汽发生器传热管壳侧的传热量减少。

反应堆堆芯内冷却剂的快速膨胀以及蒸汽发生器传热量减少，将导致冷却剂的波动流量进入稳压器、整个反应堆冷却剂系统压力升高。波动流量进入稳压器压缩了蒸汽空间，将依次触动稳压器自动喷淋系统，并使得稳压器安全阀开启。基于保守考虑，分析中不考虑稳压器喷淋的降压效应。

热工水力分析表明该事故中没有燃料棒损坏，所以燃料棒包壳间隙中的放射性不会释放到反应堆冷却剂中。但放射性分析中保守假定有 10%的燃料棒损坏。反应堆冷却剂活度考虑为事故前碘尖峰释放模式。

本事故释放到环境中的放射性包括：

- 二回路初始的碘和碱金属。
- 按技术规格书中规定的蒸汽发生器的设计泄漏率，从一回路泄漏到二回路的碱金属、碘及惰性气体。
- 从破损燃料棒间隙中释放到反应堆冷却剂中的碱金属、碘及惰性气体，最终通过泄漏到二回路释放。

该事故释放到环境的主要放射性核素为碘、碱金属和惰性气体。另外，考虑

到破损燃料棒的间隙份额可能存在高于堆芯平均水平情况，因此源项还需考虑乘以径向功率峰因子。

事故放射性释放中有两个途径：

- 二回路中初始的放射性随蒸汽排放而释放。
- 假设泄漏到蒸汽发生器的反应堆冷却剂与二回路冷却剂混合，来自反应堆冷却剂的放射性与二回路冷却剂混合。蒸汽释放时，冷却剂中的部分放射性碘和碱金属被排放出去，所释放的放射性份额取决于蒸汽发生器假定的闪蒸因子和分配系数。进入二回路的放射性惰性气体均释放到环境。这些释放持续到蒸汽排放结束为止。

考虑放射性核素在事故过程中的衰变，一旦释放到环境后衰变不再考虑。

反应堆冷却剂泵卡轴/断轴事故源项分析中，分别考虑了两台 SG 启动给水无效、单列启动给水有效以及两台 SG 启动给水有效三种工况，三种工况蒸汽释放量以及蒸汽释放持续时间有所不同。

3）棒束控制组件弹出事故

该事故定义为一个控制棒机构承压壳套机械损坏导致一束控制棒组件及其驱动杆弹出堆芯。这种机械损坏的后果是在堆芯快速引入正反应性并且产生不利的堆芯功率分布，可能导致局部燃料棒损坏。该事故是堆芯“反应性和功率分布异常”这类型事故中最为严重的，最有可能导致燃料棒破损甚至部分熔化，造成更大的放射性释放。其放射性后果可以包络此类型的其他事故造成的影响。

发生棒束控制组件弹出事故后，将导致堆芯反应性快速引入，使得中子注量率迅速增大，此时反应堆“保护和安全监测系统”将由高中子注量率停堆和中子注量率高的正变化速率停堆提供反应堆停堆保护，之后核功率激增被终止，使反应堆维持在安全状态。

通过大量的堆芯物理、热工水力分析结果表明，最不利工况下，发生燃料棒破损的份额将小于 10%，分析中保守认为最大发热点在发生棒束控制组件弹出前后重合。但预期发生棒束控制组件弹出事故不会导致燃料芯块发生熔化。放射性后果分析中仍然保守假设有 0.25%的燃料发生熔化，燃料棒破损的份额也保守取 10%。

棒束控制组件弹出事故导致释放的重要放射性核素有碘同位素、碱金属及惰性气体。与部分堆芯损坏释放的裂变产物相比，初始反应堆冷却剂活度是次要的。

反应堆冷却剂活度考虑为事故前碘尖峰释放模式。具体的初始源项包括：

- 二回路初始的碘和碱金属。
- 按技术规格书中规定的蒸汽发生器设计泄漏率，从一回路泄漏到二回路的碱金属、碘及惰性气体。
- 从破损燃料棒间隙中释放到一回路冷却剂中的碱金属、碘及惰性气体，最终通过泄漏到二回路释放。

释放途径：

- 一回路的放射性先从压力容器顶盖破口处释放到安全壳内，然后通过安全壳再泄漏到外环境。
- 来自一回路的放射性通过蒸汽发生器泄漏到二回路，与二回路的初始放射性混合后，再通过蒸汽管道的安全阀或者动力卸压阀释放到环境。

4）蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）

蒸汽发生器传热管破裂事故属于“反应堆冷却剂系统装量减少”事故中放射性后果最为严重的两个事故之一（另一个是 LOCA 事故）。事故分析中，假设一根传热管完全断裂。事故发生时处于功率运行，反应堆冷却剂含有的放射性物质处于在技术规格书规定允许的有限数量的燃料棒破损情况下连续运行时的最大平衡浓度。由于带有放射性的冷却剂经由破口流入蒸汽发生器的二次侧，这将导致二回路系统放射性增加。如果在事故期间核电厂丧失厂外电源或者冷凝器蒸汽旁排失效，放射性将通过蒸汽发生器动力卸压阀或安全阀排至大气中。这种情况将导致最大的放射性释放。

在事故分析中，假设发生单根传热管完全断裂是保守的，因为蒸汽发生器传热管的材料是一种耐腐蚀的高韧性金属。蒸汽发生器传热管更加可能的破损模式是一个或多个小裂缝。在核电厂运行期间，二次侧的放射性是连续监测的，这样的泄漏引起的放射性积累不允许超过技术规格书规定的限值。

本工程设计为 SGTR 事故提供了自动保护措施，自动保护措施包括反应堆停堆、非能动余热排出（PRHR）热交换器投入、启动堆芯补水箱（CMT）、关闭稳压器电加热器、以及由蒸汽发生器（SG）高水位信号隔离化学和容积控制系统（CVS）等。这些保护措施可实现反应堆冷却剂系统（RCS）自动降温降压，终止破口流量和向大气的蒸汽释放，并将 RCS 长期保持在稳定状态下。这些保护系统还可防止 SG 发生满溢以使厂外放射性剂量保持在设计基准事故所允许的

限值范围内。

事故发生后通过一系列报警信号，操纵员可以很容易判断 SGTR 事故的发生，识别并隔离破损蒸汽发生器，并完成要求的恢复操作以稳定核电厂和终止一次侧向二次侧的破口流量。恢复规程必须在一定时间范围内完成，以便在破损蒸汽发生器发生满溢之前终止向二次侧的破口流量。核电厂为操纵员执行这些功能提供了足够的指示和控制。SGTR 事故后操纵员的这些操作进一步的缓解了事故的后果，使得预期的结果小于保守分析的情况。

分析中采取了下列保守假设：

- 反应堆处于满功率运行状态，并且假定一、二次侧的初始水装量为运行名义值减去允许的不确定度（使得放射性浓度更大）。
- 极限单一故障为破损蒸汽发生器大气释放阀失效，失效模式为阀门卡在开启位置，这将导致破损蒸汽发生器的不可控的降压，从而增大一次侧向二次侧的泄漏量和蒸汽向大气的排放量。假定破损蒸汽发生器的大气释放阀失效卡开发生在稳压器水位低-2 信号产生时，这将导致累计的一次侧向二次侧破口流量闪蒸量最大。随后，将由保护系统的主蒸汽低压力信号触动相关的隔离阀自动关闭，从而使该阀门隔离。
- 保守认为破口位置在传热管顶部，使可能的裸露时间更长（闪蒸更多的放射性）。

最终，堆芯的剩余热量由非能动堆芯冷却系统导出，使得主系统压力最终将会降至破损 SG 二次侧压力。破口流量将终止，并且系统将稳定在安全状态，向环境排放的蒸汽也将停止。

SGTR 事故释放的主要放射性核素为惰性气体、气载的碱金属和碘，它们作为事故后的放射性释放到环境中。具体的源项包括：

- 事故过程中通过受损蒸汽发生器破口和完好蒸汽发生器正常泄漏到二回路的一回路源项，包括碘（分别计算事故前碘尖峰和事故并发碘尖峰两种情况）、碱金属和惰性气体。
- 二回路初始的源项，主要是碱金属和碘。

只要存在通向环境的出口，泄漏进入完好蒸汽发生器和通过破口进入破损蒸汽发生器反应堆冷却剂里的放射性惰性气体立即向环境释放。碘和碱金属的释放模式一共有三种：

- 完好环路的蒸发释放，考虑碘和碱金属的分配效应。
- 通过破损环路反应堆冷却剂的闪蒸释放，不考虑覆盖水层的水洗作用（保守假设破口位于传热管顶部）。
- 破损环路的蒸发释放，考虑闪蒸释放后余下的碘和碱金属的蒸发时的分配效应。

这些放射性最终都通过二回路的安全阀或者动力卸压阀释放到环境，释放持续到蒸汽排放结束为止。在释放到环境之前考虑放射性核素的衰变。一旦释放到环境中，则不考虑放射性核素的衰变。

5）安全壳外含有一回路冷却剂的小管道破裂事故

安全壳外含有一回路冷却剂的小管道包括反应堆冷却剂系统取样管和从化学容积控制系统至放射性液体废物处理系统的排放管。这些管道仅周期性使用。安全壳外没有含有反应堆冷却剂的仪表管道。

当因硼稀释运行产生过多的一次侧冷却剂时，化学和容积控制系统的净化流量将排至安全壳外的核岛放射性液体废物处理系统。在排出安全壳之前，流体将经过化学和容积控制系统热交换器和除盐床。因此，排至安全壳外时，流体温度低于 60℃，而且已经经过化容混床净化。这些假想的管道破口流量受到化学和容积控制系统净化流量的限制。由于流体温度低，而且经过除盐处理后碘的放射性活度降低，因此，对该事件不作分析。假想的取样管破裂事故是较不利的事故工况。

安全壳内、外的取样管道隔离阀只有在取样时才开启。假设取样管破口发生在安全壳外隔离阀和取样盘之间。因为隔离阀只在取样时打开，所以核电厂人员可根据丧失取样流量，判定出现破口。此外，取样管道破口也会导致放射性释放，从而导致区域和空气辐射监测器报警。丧失冷却剂将会使稳压器水位降低，需要对反应堆冷却剂系统进行补水。根据取样管破口指示，操纵员将会采取操作措施，隔离破口。

假设取样系统在安全壳外发生取样管双端断裂，取样管破口流量保守地采用 5.04 m^3/h。根据事故分析结果，保守假设在 30min 后隔离破口。

事故后释放到环境中有重要影响的放射性核素是碘、惰性气体和碱金属。分析假设反应堆在连续运行的条件下，反应堆冷却剂中的碘含量达到技术规格书所允许的最高水平。另外，事故时并发碘尖峰。反应堆冷却剂中惰性气体浓度达到

平衡运行限值对应的值。反应堆冷却剂中的碱金属活度浓度达到设计基准的燃料破损水平（0.25%）对应的值。

假设从破口处释放的反应堆冷却剂为高温高压，则大部分流体将闪蒸为蒸汽，液体中的碘就变成气载碘。破口处反应堆冷却剂闪蒸份额取 0.42。

尽管预期大部分的气载碘和气载碱金属将沉积在周围建筑物的表面，但分析中假设碘、惰性气体和碱金属毫无损失地直接释放到环境。释放到环境后不再考虑放射性核素的衰变。

6）设计基准装卸燃料事故

设计基准装卸燃料事故是在换料期间装卸核燃料组件时，发生组件跌落，导致燃料棒损坏，包壳间隙内的放射性释放出来。

假想的设计基准装卸燃料事故可发生在安全壳内或辅助厂房的燃料操作区域。事故定义为一个乏燃料组件跌落，保守认为组件所有燃料棒包壳破损，燃料和包壳间隙中的放射性释放出来。

事故发生时，可能释放出的裂变产物活度与很多因素有关，如燃料组件的功率历史、停堆到换料操作时经过的衰变时间和核素的挥发特性等。为了使事故具有包络性，保守假定发生事故的组件中的所有燃料棒曾以最大燃料功率因子运行，即最大功率组件。根据技术规格书中的规定，设计基准装卸燃料事故前裂变产物经历的衰变时间至少为 48h。

在功率运行过程中，燃料芯块中产生的一部分裂变产物会扩散到燃料棒和包壳的间隙中。间隙中裂变产物的份额由核素的扩散速率和其放射性衰变率共同决定。发生设计基准装卸燃料事故时，间隙中的气体和挥发性放射核素直接释放出来，主要关注的放射性核素是惰性气体（Kr 和 Xe）与碘。

本事故放射性的释放途径假设为：

在水下释放出的放射性首先会受到至少 7m 深的水层的过滤。水层过滤对惰性气体和有机碘都不起作用，但对于元素碘有显著的去除作用。假设碘的水洗去除因子为 200。

从水层释放出来的放射性，假设在 2h 内直接释放到环境，而不考虑其它任何对碘的去除作用。

如果设计基准装卸燃料事故是在安全壳内发生，一旦探测到高放射性出现，安全壳净化管线就会立即隔离，终止放射性的释放。分析时保守认为该管线隔离

失效，放射性继续释放，并且进一步忽略净化管线的过滤器对气载碘的去除作用。

对于发生在乏燃料水池的设计基准装卸燃料事故，此时认为从乏燃料水池释放出的放射性物质直接通过厂房排风系统排向环境，而不考虑在厂房内滞留或延迟。

由于设计基准装卸燃料中有许多的管理控制措施和设备操作限制，设计基准装卸燃料事故的发生的可能性是很低的。分析中使用的参数和假设也是非常保守的：比如间隙份额取值较大；忽略了放射性物质在包壳内壁的附着作用；碘化铯向元素碘的转化也是瞬间完成；认为有机碘初始就存在于间隙内；操作的第一个组件就发生事故等。

7）设计基准失水事故（DBA LOCA）

LOCA 是反应堆冷却剂系统压力边界管道发生破损的事故。对于本分析，定义为总的破口横截面积大于或等于 0.09m^2（1.0ft^2）的破口。

事故分析表明在 LOCA 中堆芯能保持完整性，不会发生熔化。与 NB/T20444-2017RK 相一致，LOCA 事故放射性释放分为反应堆冷却剂系统中的放射性的初始释放和堆芯间隙释放两个阶段：

- 反应堆冷却剂放射性初始释放

假设反应堆冷却剂的活度达到技术规格书中的限值。本工程为“先漏后破（Leak-before-break）”型的电厂，假设反应堆冷却剂向安全壳喷放 10min，且在这 10min 内流量为常数。这段时间内释放到安全壳的放射性主要为一回路冷却剂中的碘、碱金属和惰性气体。

- 堆芯间隙释放

堆芯间隙释放，假设发生在反应堆冷却剂释放结束后（事故后 10min），持续 30min。间隙释放的放射性分三组核素：惰性气体、碘和碱金属（铯、铷），释放到安全壳大气的各类放射性核素份额均为 0.05。

模型中，碘的各形态中以非挥发性的碘化铯为主，附带少量元素碘。此外模型中还假设元素碘和安全壳内的有机物反应生成有机碘化合物。

如果事故后的冷却溶液的 pH 值小于 6，部分碘化铯将转化成元素碘形态。非能动堆芯冷却系统会向事故后冷却溶液中加入足够的磷酸三钠，维持事故后地坑溶液的 pH 值大于等于 7。

不考虑能动系统对安全壳内大气中放射性的去除。在安全壳内部，放射性元素碘和气溶胶考虑自然去除作用。元素碘通过表面沉积去除。气溶胶的去除方式有重力沉降、扩散泳（蒸汽冷凝驱动的沉积）、热泳（传热引起的沉积）等。有机碘假设不能去除。

事故后所有的放射性将释放到安全壳内，通过安全壳这个唯一的途径释放到外环境。安全壳释放包括两种方式：安全壳净化管线泄漏和安全壳正常泄漏。事故开始到安全壳隔离之前，假设安全壳净化管线在运行，放射性的释放将持续到净化管线阀门关闭。不考虑净化管线的过滤作用。事故发生后 24h 内的安全壳泄漏率为设计泄漏率，此后的泄漏率为设计泄漏率的一半。

7.1.2 事故后果计算

7.1.2.1 事故大气弥散条件

计算方法采用《核电厂事故工况气载放射性物质释放辐射环境影响评价技术规范》（NB/T20182-2012）推荐的模式，该模式适用于大多数地形较为开阔平坦的厂址。

厂址 10m 高度的年逐时风向、风速、大气稳定度联合频率见第二章 2.4 节。用上列诸式计算释放点下风向不同距离处的逐时大气弥散因子（χ/Q）值，把算得的每个方位某给定距离处的所有逐时（χ/Q）值由大到小顺序排列，则可截取相应于某累积概率水平的 χ/Q 值。对 16 个方位的某个给定距离，可得到 16 个相应于某概率水平的小时短期大气弥散因子。取其最大者，用于短期释放（持续时间在 1 小时以内）的后果评价。

对持续时间长于 1 小时的事故释放，按事故过程划分不同的时间段。各时间段的短期大气弥散因子，可由小时短期大气弥散因子与年均弥散因子对数线性内插求取。

对于设计基准事故先逐一计算非居住区边界和规划限制区边界处每个方位的大气弥散因子，选择全厂址 95%概率水平和各方位 99.5%概率水平中较大的大气弥散因子（保守值）以及全厂址 50%概率水平的大气弥散因子（现实值）两组大气弥散因子进行个人剂量评价。

本工程非居住区边界范围为距 1、2 号机组核岛各方位均为 800m 所构成的边界线。同时根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）的规定，规划限制区边界范围定为以反应堆为中心、半径 5km 的圆周边界线。表 7.1-1 和表

7.1-2 分别给出了厂址非居住区边界（0~2h）和规划限制区边界（30d）上短期大气弥散因子。

7.1.2.2　事故剂量

本工程事故放射性释放造成的剂量后果估算主要考虑事故期间起主要作用的 3 个照射途径：

- 烟云浸没外照射；
- 吸入内照射；
- 地面沉积外照射。

采用《核电厂事故工况气载放射性物质释放辐射环境影响评价技术规范》（NB/T20182-2012）推荐的剂量计算模式，该模式适用于核电厂选址、建造和运行等阶段事故工况下的辐射环境影响评价。

7.1.3　事故后果评价

本工程非居住区边界范围与选址阶段环评一致，为距 1、2 号机组核岛各方位均为 800m 所构成的边界线。厂址规划限制区范围为反应堆为中心、半径 5km 的区域。针对本工程非居住区边界和规划限制区外边界上公众进行事故放射性后果计算。

对于事故环境影响的评价标准，《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）规定：

核动力厂事故工况的环境影响评价可采用设计基准事故，在设计中应采取针对性措施，使设计基准事故的潜在照射后果符合下列要求：

—在发生一次稀有事故时，非居住区边界上公众在事故后任意 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 50mSv 以下。

—在发生一次极限事故时，非居住区边界上公众在事故后任意 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 100mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 1000mSv 以下。

表 7.1-3 给出了按照偏保守和偏现实大气弥散因子计算的设计基准事故后果与国家标准的比较。从表中可以看出，在非居住区边界处、规划限制区边界处的最大个人剂量为 2.61E-02Sv、6.64E-03Sv，在非居住区边界处、规划限制区边界处的最大甲状腺剂量为 4.69E-01Sv、7.06E-02Sv，在本节所考虑的设计基准事故

工况下，均能满足国家相关标准的要求。

从各类设计基准事故的放射性后果分析可以看出，本工程的安全设施设计性能可靠，厂址周围各类边界的设置是合理的，本工程的设计基准事故导致的环境放射性后果满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）的相应要求。

表 7.1-1　厂址非居住区边界 0-2 小时短期大气弥散因子

（各方位角 99.5%和全厂址 95%、50%概率水平）

方位	距离（m）	0h~2h 弥散因子（s/m^3）*
S	800	1.98E-04
SSW	800	2.81E-04
SW	800	2.60E-04
WSW	800	1.44E-04
W	800	8.46E-05
WNW	800	9.75E-05
NW	800	1.44E-04
NNW	800	2.00E-04
N	800	1.77E-04
NNE	800	1.30E-04
NE	800	8.71E-05
ENE	800	1.19E-04
E	800	1.74E-04
ESE	800	1.92E-04
SE	800	1.71E-04
SSE	800	1.63E-04
全厂址 50%	--	2.10E-05
全厂址 95%	--	2.31E-04
最大值	--	2.81E-04

*用于计算任意 2h 内公众所受剂量。

表 7.1-2　厂址规划限制区边界 30 天内短期大气弥散因子

（各方位角 99.5%和全厂址 95%、50%概率水平）

单位：s/m^3

方位	规划限制区外边界（5000m）				
	0h~2h	2h~8h	8h~24h	24h~96h	96h~720h
S	2.94E-05	1.62E-05	9.48E-06	4.18E-06	1.29E-06
SSW	4.18E-05	2.43E-05	1.49E-05	7.09E-06	2.43E-06
SW	3.83E-05	2.17E-05	1.31E-05	6.02E-06	1.97E-06
WSW	2.14E-05	1.09E-05	5.95E-06	2.36E-06	6.26E-07
W	9.97E-06	5.08E-06	2.78E-06	1.10E-06	2.93E-07
WNW	1.40E-05	6.93E-06	3.70E-06	1.41E-06	3.55E-07
NW	2.08E-05	1.09E-05	6.16E-06	2.56E-06	7.24E-07
NNW	2.83E-05	1.60E-05	9.68E-06	4.45E-06	1.46E-06
N	2.52E-05	1.36E-05	7.83E-06	3.36E-06	9.98E-07
NNE	1.94E-05	9.72E-06	5.24E-06	2.03E-06	5.22E-07
NE	1.00E-05	5.14E-06	2.84E-06	1.14E-06	3.08E-07
ENE	1.75E-05	8.64E-06	4.59E-06	1.75E-06	4.36E-07
E	2.51E-05	1.32E-05	7.41E-06	3.07E-06	8.67E-07
ESE	2.76E-05	1.49E-05	8.63E-06	3.71E-06	1.11E-06
SE	2.49E-05	1.32E-05	7.48E-06	3.13E-06	8.97E-07
SSE	2.40E-05	1.27E-05	7.15E-06	2.98E-06	8.46E-07
全厂址 50%	1.71E-06	1.51E-06	1.35E-06	1.13E-06	8.88E-07
全厂址 95%	3.37E-05	2.01E-05	1.27E-05	6.26E-06	2.27E-06
最大值	4.18E-05	2.43E-05	1.49E-05	7.09E-06	2.43E-06

注：对应事故为蒸汽系统管道破裂事故（事故前碘尖峰释放）、反应堆冷却剂泵卡轴/断轴事故-两台 SG 启动给水无效、反应堆冷却剂泵卡轴/断轴事故-单列启动给水有效、棒束控制组件弹出事故、蒸汽发生器传热管破裂事故（事故并发碘尖峰）、蒸汽发生器传热管破裂事故（事故前碘尖峰）、安全壳外含有一回路冷却剂的小管道破裂事故、设计基准装卸燃料事故。

表 7.1-2　续　厂址规划限制区边界 30 天内短期大气弥散因子

（各方位角 99.5%和全厂址 95%、50%概率水平）

单位：s/m^3

方位角	规划限制区外边界（5000m）						
	0h~1.16h	1.16h~4.16h	4.16h~6.16h	6.16h~9.16h	9.16h~24h	24h~96h	96h~720h
S	9.48E-06	1.62E-05	2.94E-05	1.62E-05	9.48E-06	4.18E-06	1.29E-06
SSW	1.49E-05	2.43E-05	4.18E-05	2.43E-05	1.49E-05	7.09E-06	2.43E-06
SW	1.31E-05	2.17E-05	3.83E-05	2.17E-05	1.31E-05	6.02E-06	1.97E-06
WSW	5.95E-06	1.09E-05	2.14E-05	1.09E-05	5.95E-06	2.36E-06	6.26E-07
W	2.78E-06	5.08E-06	9.97E-06	5.08E-06	2.78E-06	1.10E-06	2.93E-07
WNW	3.70E-06	6.93E-06	1.40E-05	6.93E-06	3.70E-06	1.41E-06	3.55E-07
NW	6.16E-06	1.09E-05	2.08E-05	1.09E-05	6.16E-06	2.56E-06	7.24E-07
NNW	9.68E-06	1.60E-05	2.83E-05	1.60E-05	9.68E-06	4.45E-06	1.46E-06
N	7.83E-06	1.36E-05	2.52E-05	1.36E-05	7.83E-06	3.36E-06	9.98E-07
NNE	5.24E-06	9.72E-06	1.94E-05	9.72E-06	5.24E-06	2.03E-06	5.22E-07
NE	2.84E-06	5.14E-06	1.00E-05	5.14E-06	2.84E-06	1.14E-06	3.08E-07
ENE	4.59E-06	8.64E-06	1.75E-05	8.64E-06	4.59E-06	1.75E-06	4.36E-07
E	7.41E-06	1.32E-05	2.51E-05	1.32E-05	7.41E-06	3.07E-06	8.67E-07
ESE	8.63E-06	1.49E-05	2.76E-05	1.49E-05	8.63E-06	3.71E-06	1.11E-06
SE	7.48E-06	1.32E-05	2.49E-05	1.32E-05	7.48E-06	3.13E-06	8.97E-07

方位角	规划限制区外边界（5000m）						
	0h~1.16h	1.16h~4.16h	4.16h~6.16h	6.16h~9.16h	9.16h~24h	24h~96h	96h~720h
SSE	7.15E-06	1.27E-05	2.40E-05	1.27E-05	7.15E-06	2.98E-06	8.46E-07
全厂址 50%	1.35E-06	1.51E-06	1.71E-06	1.51E-06	1.35E-06	1.13E-06	8.87E-07
全厂址 95%	1.27E-05	2.01E-05	3.37E-05	2.01E-05	1.27E-05	6.26E-06	2.27E-06
最大值	1.49E-05	2.43E-05	4.18E-05	2.43E-05	1.49E-05	7.09E-06	2.43E-06

注：对应事故为蒸汽系统管道破裂事故（并发碘尖峰）

表 7.1-2　续　厂址规划限制区边界 30 天内短期大气弥散因子

（各方位角 99.5%和全厂址 95%、50%概率水平）

单位：s/m^3

方位	规划限制区外边界（5000m）		
	0h~3h	3h~6h	6h~8h
S	9.48E-06	1.62E-05	2.94E-05
SSW	1.49E-05	2.43E-05	4.18E-05
SW	1.31E-05	2.17E-05	3.83E-05
WSW	5.95E-06	1.09E-05	2.14E-05
W	2.78E-06	5.08E-06	9.97E-06
WNW	3.70E-06	6.93E-06	1.40E-05
NW	6.16E-06	1.09E-05	2.08E-05
NNW	9.68E-06	1.60E-05	2.83E-05
N	7.83E-06	1.36E-05	2.52E-05
NNE	5.24E-06	9.72E-06	1.94E-05
NE	2.84E-06	5.14E-06	1.00E-05
ENE	4.59E-06	8.64E-06	1.75E-05
E	7.41E-06	1.32E-05	2.51E-05
ESE	8.63E-06	1.49E-05	2.76E-05
SE	7.48E-06	1.32E-05	2.49E-05
SSE	7.15E-06	1.27E-05	2.40E-05
全厂址 50%	1.35E-06	1.51E-06	1.71E-06
全厂址 95%	1.27E-05	2.01E-05	3.37E-05
最大值	1.49E-05	2.43E-05	4.18E-05

注：对应事故为反应堆冷却剂泵卡轴/断轴事故（两台 SG 启动给水有效）

表 7.1-2　续　厂址规划限制区边界 30 天内短期大气弥散因子

（各方位角 99.5%和全厂址 95%、50%概率水平）

单位：s/m^3

方位角	规划限制区外边界（5000m）					
	0h~0.3h	0.3h~2.3h	2.3h~8h	8h~24h	24h~96h	96h~720h
S	1.62E-05	2.94E-05	1.62E-05	9.48E-06	4.18E-06	1.29E-06
SSW	2.43E-05	4.18E-05	2.43E-05	1.49E-05	7.09E-06	2.43E-06
SW	2.17E-05	3.83E-05	2.17E-05	1.31E-05	6.02E-06	1.97E-06
WSW	1.09E-05	2.14E-05	1.09E-05	5.95E-06	2.36E-06	6.26E-07
W	5.08E-06	9.97E-06	5.08E-06	2.78E-06	1.10E-06	2.93E-07
WNW	6.93E-06	1.40E-05	6.93E-06	3.70E-06	1.41E-06	3.55E-07
NW	1.09E-05	2.08E-05	1.09E-05	6.16E-06	2.56E-06	7.24E-07
NNW	1.60E-05	2.83E-05	1.60E-05	9.68E-06	4.45E-06	1.46E-06
N	1.36E-05	2.52E-05	1.36E-05	7.83E-06	3.36E-06	9.98E-07
NNE	9.72E-06	1.94E-05	9.72E-06	5.24E-06	2.03E-06	5.22E-07
NE	5.14E-06	1.00E-05	5.14E-06	2.84E-06	1.14E-06	3.08E-07
ENE	8.64E-06	1.75E-05	8.64E-06	4.59E-06	1.75E-06	4.36E-07
E	1.32E-05	2.51E-05	1.32E-05	7.41E-06	3.07E-06	8.67E-07
ESE	1.49E-05	2.76E-05	1.49E-05	8.63E-06	3.71E-06	1.11E-06
SE	1.32E-05	2.49E-05	1.32E-05	7.48E-06	3.13E-06	8.97E-07
SSE	1.27E-05	2.40E-05	1.27E-05	7.15E-06	2.98E-06	8.46E-07
全厂址 50%	1.51E-06	1.71E-06	1.51E-06	1.35E-06	1.13E-06	8.87E-07
全厂址 95%	2.01E-05	3.37E-05	2.01E-05	1.27E-05	6.26E-06	2.27E-06
最大值	2.43E-05	4.18E-05	2.43E-05	1.49E-05	7.09E-06	2.43E-06

*:对应事故为：设计基准失水事故

表 7.1-3（a）事故后果与国家标准的比较（保守值）

事故	事故类别	非居住区边界（800m）				规划限制区边界（5km）			
		有效剂量（Sv）		甲状腺当量剂量（Sv）		有效剂量（Sv）		甲状腺当量剂量（Sv）	
		最大剂量	限值占比（%）	最大剂量	限值占比（%）	最大剂量	限值占比（%）	最大剂量	限值占比（%）
蒸汽系统管道破裂事故（SLB）-并发碘尖峰释放	极限事故	1.07E-03	1.07	1.90E-02	1.90	1.17E-03	1.17	5.32E-03	0.53
蒸汽系统管道破裂事故（SLB）-事故前碘尖峰释放	极限事故	5.14E-04	0.51	4.77E-03	0.48	2.27E-04	0.23	2.28E-03	0.23
反应堆冷却剂泵卡轴/断轴事故-两台 SG 启动给水无效	极限事故	3.70E-03	3.70	5.41E-02	5.41	6.95E-04	0.69	8.26E-03	0.83
反应堆冷却剂泵卡轴/断轴事故-两台 SG 启动给水有效	极限事故	3.99E-03	3.99	6.31E-02	6.31	1.31E-03	1.31	1.60E-02	1.60
反应堆冷却剂泵卡轴/断轴事故-单列启动给水有效	极限事故	4.04E-03	4.04	6.07E-02	6.07	7.61E-04	0.76	9.26E-03	0.93
棒束控制组件弹出事故	极限事故	1.64E-02	16.41	1.58E-01	15.84	6.64E-03	6.64	5.36E-02	5.36
蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）-事故并发碘尖峰	稀有事故	2.55E-03	51.01	3.46E-02	69.19	7.31E-04	14.61	8.26E-03	16.52
蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）-事故前碘尖峰	极限事故	8.15E-03	8.15	1.37E-01	13.74	1.69E-03	1.69	2.24E-02	2.24
安全壳外含有一回路冷却剂的小管道破裂事故	稀有事故	1.83E-03	36.67	2.82E-02	56.48	3.53E-04	7.05	4.32E-03	8.63
设计基准装卸燃料事故	极限事故	2.61E-02	26.09	4.69E-01	46.87	4.56E-03	4.56	7.06E-02	7.06
设计基准失水事故（DBA LOCA）	极限事故	2.10E-02	20.96	2.12E-01	21.25	5.15E-03	5.15	4.56E-02	4.56

注：依据全厂址 95%概率水平和各方位 99.5%概率水平中较大的大气弥散因子计算

表 7.1-3（b）事故后果与国家标准的比较（现实值）

事故	事故类别	非居住区边界（800m）				规划限制区边界（5km）			
		有效剂量（Sv）		甲状腺当量剂量（Sv）		有效剂量（Sv）		甲状腺当量剂量（Sv）	
		最大剂量	限值占比（%）	最大剂量	限值占比（%）	最大剂量	限值占比（%）	最大剂量	限值占比（%）
蒸汽系统管道破裂事故（SLB）-并发碘尖峰释放	极限事故	8.00E-05	0.08	1.41E-03	0.14	1.14E-04	0.11	1.53E-03	0.15
蒸汽系统管道破裂事故（SLB）-事故前碘尖峰释放	极限事故	3.83E-05	0.04	3.55E-04	0.04	1.79E-05	0.02	2.01E-04	0.02
反应堆冷却剂泵卡轴/断轴事故-两台 SG 启动给水无效	极限事故	2.76E-04	0.28	4.03E-03	0.40	2.84E-05	0.03	3.42E-04	0.03
反应堆冷却剂泵卡轴/断轴事故-两台 SG 启动给水有效	极限事故	2.97E-04	0.30	4.70E-03	0.47	6.79E-05	0.07	8.18E-04	0.08
反应堆冷却剂泵卡轴/断轴事故-单列启动给水有效	极限事故	3.01E-04	0.30	4.52E-03	0.45	3.11E-05	0.03	3.83E-04	0.04
棒束控制组件弹出事故	极限事故	1.22E-03	1.22	1.18E-02	1.18	3.89E-04	0.39	3.34E-03	0.33
蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）-事故并发碘尖峰	稀有事故	1.90E-04	3.80	2.58E-03	5.15	4.12E-05	0.82	4.82E-04	0.96
蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）-事故前碘尖峰	极限事故	6.07E-04	0.61	1.02E-02	1.02	7.48E-05	0.07	9.92E-04	0.10
安全壳外含有一回路冷却剂的小管道破裂事故	稀有事故	1.37E-04	2.73	2.10E-03	4.21	1.44E-05	0.29	1.79E-04	0.36
设计基准装卸燃料事故	极限事故	1.94E-03	1.94	3.49E-02	3.49	1.86E-04	0.19	2.91E-03	0.29
设计基准失水事故（DBA LOCA）	极限事故	1.56E-03	1.56	1.58E-02	1.58	2.51E-04	0.25	2.38E-03	0.24

注：依据全厂址 50%概率水平的大气弥散因子计算

7.2 严重事故

7.2.1 事故描述

超设计基准事故中的某些概率很低的核动力厂状态，可能由安全系统多重故障而引起，并导致堆芯明显恶化，它们可能危及多层或所有用于防止放射性物质释放的屏障的完整性。这些事件序列被称之为严重事故。对压水堆核电厂，尽管严重事故的发生概率极低，但是一旦发生，将会导致堆芯损伤，如果不采取相应的缓解措施，不仅会导致反应堆压力容器失效，还可能导致安全壳失效，引起放射性物质不可控地向环境大量释放，后果极其严重。因此，需要采用充分可靠的措施来防止设计基准事故发展为严重事故，并设置相关的措施在严重事故发生后缓解事故的后果。

严重事故发生后，烟羽中的放射性气体和气溶胶会随着风向在大气中输运。输运过程中，放射性物质会对人体产生辐射影响。为全面评价潜在的事故造成的厂外剂量风险，针对每一类别的释放，均选取了一个代表性源项，作为该释放类别的包络值。共确定 6 类典型的释放类别，概述如下：

- IC：事故中安全壳始终保持完整，放射性物质向环境的释放量与安全壳设计基准泄漏率相关。
- BP：裂变产物从反应堆冷却剂系统通过旁通安全壳的二回路系统和其它连接系统，释放到环境中。安全壳在堆芯开始损伤之前失效。
- CI：裂变产物通过那些失效的用于隔离安全壳与环境之间连接的系统和阀门释放。安全壳在堆芯开始损伤之前失效。
- CFE：裂变产物通过失效安全壳释放，安全壳失效由发生在堆芯开始损伤之后堆芯熔融物再就位之前的严重事故现象造成。这些现象包括：氢气爆炸、氢气扩散火焰、蒸汽爆炸以及压力容器失效。
- CFI：裂变产物通过失效安全壳释放，安全壳失效由发生在堆芯熔融物再就位之后 24h 之内的严重事故现象造成的。这些现象包括：氢气爆炸和氢气爆燃。
- CFL：裂变产物通过失效安全壳释放，安全壳失效由在 24h 后发生的一些严重事故现象造成的。这些严重事故现象包括：安全壳热排出失效（非能动安全壳冷却系统失效）。

7.2.2 事故后果

厂址不同距离处的通用干预水平超越概率和厂址半径80km范围内公众集体剂量风险值计算均采用基于概率论方法的严重事故后果评价方法。评价计算包括大气扩散模拟、事故早期剂量评估。

大气扩散模拟中主要考虑天气条件的分类取样、释放量的计算、烟羽抬升高度的计算、烟羽长度的计算、烟羽扩散和输运计算、核素浓度计算。

早期剂量评估主要考虑 3 种途径：1）烟羽中放射性物质的直接外照射（烟云照射）；2）吸入烟羽中放射性物质造成的照射（烟云吸入）；3）放射性物质沉积在地面上的照射（地面照射）。

气象数据采用 8760 小时的全年逐时气象数据，主要的观测要素为山东莱阳厂址气象观测设施 10m 高度风速、风向、降雨量和大气稳定度。

混合层高度参数的设置参考厂址的混合层高度推荐值，具体数值见本报告第二章 2.4 节。

大气弥散因子计算基于概率论的严重事故评价模型采用气象序列抽样得到厂址典型气象序列，通过分段烟羽模型计算不同气象序列中的核素迁移与扩散。

气象序列抽样中单个气象序列的长度为 120 小时，抽样方法为结构化的蒙特卡罗取样法，即按照选取条件对全年的天气序列进行分类，再从每一个类别中随机抽取一定数量的天气序列分别作为一次大气输运和扩散计算的输入，天气序列的分类和抽取是按照序列的起始时刻进行标记的，一年的气象文件包含 8760 小时的数据，也就是 8760 个天气序列的起始时刻。

核素在大气环境中的扩散采用高斯烟羽扩散模型，其基本假设为核素浓度在侧风向与垂向均满足高斯分布，同时将地面和逆温层作为全反射边界处理，得到烟羽中心线空气浓度和中心线以下地面空气浓度。

此外，模型还考虑了烟团抬升、径流修正、干沉积和衰变所致烟羽的耗散等现象。

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的适于应急照射情况下的通用干预水平：隐蔽为 10mSv、撤离为 50mSv、临时避迁为 30mSv、永久再定居为 1Sv。

《核电厂应急计划与准备准则第 1 部分：应急计划区的划分》（GB/T17680.1-2008）规定对于压水堆核电厂，在满足安全准则的前提下，其烟羽应急计划区的区域范围，一般应考虑反应堆热功率的大小，在以反应堆为中心、

半径 7km~10km 的范围内确定；烟羽应急计划区内区的范围，一般应考虑反应堆热功率的大小，在以反应堆为中心、半径 3km~5km 的范围内确定。

根据经批复的《国家电力投资集团有限公司山东莱阳核电项目一期工程厂址区域核应急方案》，应急计划区范围划分如下：烟羽应急计划区内区为各国和一号核电机组半径 5km 的包络范围，外区为各国和一号核电机组半径 10km 的包括范围，食入应急计划区为各国和一号核电机组半径 50km 的包络范围。应急计划区最终范围和大小将由当地政府在编制场外应急预案时最终确定。计算距反应堆 3~10km 各距离段，各类严重事故加权综合的个人剂量超越干预水平概率结果见表 7.2-1。

结合本厂址气象条件、地形特征及人口分布特征，计算得到满功率运行工况下，由于假想的裂变产物释放造成 80km 范围内公众集体剂量总风险是 5.64E-04 人 Sv/堆年，各释放类别详细数据见表 7.2-2。

7.2.3 严重事故预防和缓解方案

本工程采用先进非能动型压水堆核电厂设计，其系统和设备采用先进、成熟和保守的设计，满足我国法律法规和 IAEA、美国 URD 的要求，根据 PSA 分析结果，其发生堆芯损伤的概率比美国 URD 的要求低得多。另外，在设计上充分考虑了严重事故相关的预防和缓解措施，其目标是缓解严重事故后果，尽可能保持安全壳完整，防止放射性物质向环境的大量释放。

主要的严重事故预防和缓解措施包括：

- 预防界面 LOCA—界面系统采用全压设计
- 预防保护和安全监测系统（PMS）共因失效及未能实现反应堆紧急停堆的预期瞬态（ATWS）—设置多样化驱动系统
- 事故下堆芯应急冷却—采用非能动堆芯冷却系统设计
- 事故下安全壳热量移出——设计非能动安全壳冷却系统
- 防止高压熔堆——设计非能动余热排出系统和自动卸压系统
- 缓解事故下产生的氢气——设置安全壳内氢气控制系统
- 防止反应堆压力容器失效——采取熔融物堆内滞留策略，采用事故下淹没堆腔设计并考虑堆腔淹没系统功能，使得在事故下反应堆压力容器淹没在冷却水中，从而使堆芯熔融物保持在反应堆压力容器内

- 防止堆外严重事故条件下安全壳失效——采用合理的堆腔设计，使其能够承受堆外严重事故现象产生的载荷
- 防止放射性废液产生和释放——采取安全壳滞留策略，保证事故废液全部滞留于安全壳内

此外，本工程还通过对人因、应急运行规程、核电厂应急计划、可能的高级别严重事故响应、堆芯损伤后投入操作的利弊和严重事故进程及时间表的综合考虑，建立严重事故管理导则，可在严重事故下为操纵员提供技术指导。其内容主要包括如下三个部分：（1）主控室严重事故管理导则；（2）技术支持中心严重事故管理导则；（3）技术支持中心严重挑战响应导则。

下面对严重事故下的主要预防和缓解措施进行简单评价：

1）界面系统采用全压设计

界面系统 LOCA（ISLOCA）是指反应堆冷却剂系统（RCS）压力边界在与一个低压系统的交界面处发生泄漏，RCS 冷却剂将会进入到低压系统。低压的界面系统不能承受 RCS 的高压力，在其边界（安全壳外）发生破口，从而将会导致反应堆冷却剂直接向环境的释放。由于冷却剂直接释放至安全壳外而大量流失，从而可能直接导致堆芯损伤。

对本工程而言，最重要的 ISLOCA 途径为正常余热排出系统（RNS）入口管和出口管。

RNS 管道设计为极限破裂强度不小于 RCS 的运行压力，并且位于安全壳外的 RNS 设备设计符合抗震Ⅰ类的要求。对于 RNS 暴露在正常的反应堆冷却剂系统压力事件中，RNS 管道发生破裂的概率极低。

2）设置多样化驱动系统

本工程设置了多样化驱动系统（DAS）来提供必要的仪控功能，以减少与 PMS 相关的共因失效所带来的风险。DAS 主要有以下三项功能：

- 在核电厂参数超出整定值的情况下，提供多样、备用、自动的驱动信号以使反应堆停堆，并启动选定系列的专设安全设施；
- 为反应堆停堆和选定的专设安全设施的启动提供一个多样、备用的独立手动启动能力；
- 为选定的核电厂参数提供专门独立的指示。

上述功能的目的是：

- 缓解 ATWS 的后果；
- 降低概率安全评价（PSA）中由于 PMS 的共因失效导致的堆芯熔化和安全壳超压事故概率。

3）采用非能动堆芯冷却系统设计

本工程非能动堆芯冷却系统（PXS）包括一个非能动余热排出热交换器、两个堆芯补水箱、两个安注箱和一个内置换料水箱（IRWST）。另外的 PXS 设备还包括 IRWST 滤网、IRWST 重力注射管线、安全壳再循环管线和事故后 pH 值调节篮等。非能动堆芯冷却系统可以在事故下为堆芯提供非能动的堆芯冷却，并可提供反应堆冷却剂系统的应急补水和硼化。PXS 可以完成如下功能：

- 应急堆芯余热排出

在设计基准瞬态、事故或丧失正常余热排出系统时，非能动余热排出系统可提供应急堆芯冷却功能。在功率运行 RCS 条件及停堆状态下，只要 RCS 压力边界维持完整，其热移出功能均可用。从长期而言，非能动余热排出系统可将 RCS 冷却至安全停堆状态。

- 反应堆冷却剂系统应急补水和硼化

在事故下，当化学和容积控制系统（CVS）的正常补水不可用或不足时，为 RCS 提供补水和硼化。

- 安全注射

对各种破口尺寸直至主管道双端断裂破口 LOCA 事故提供非能动安全注射，从而为堆芯提供充分的冷却。

- 安全壳 pH 值控制

在事故发生后，通过添加化学物质调节安全壳内的 pH 值，以支持安全壳内高剂量放射性物质的包容，并防止在长期淹没过程中安全壳设备的应力腐蚀。

4）非能动安全壳热量移出

本工程安全壳由非能动安全壳冷却系统进行冷却，能够将热量通过钢安全壳直接传至大气环境。在事故工况下，安全壳外的冷却水依靠蒸发带走热量，为安全壳提供长期冷却并限制安全壳压力。当发生概率极低的非能动安全壳冷却系统冷却水丧失事故时，通过环形空间的空气自然对流也能持续为安全壳提供重要的冷却，减缓安全壳升压速度，在较长时间内防止安全壳超压。

在接收到自动触发或手动打开信号后，非能动安全壳冷却系统阀门将打开，并依靠从顶部喷淋水的自然蒸发带走热量，通过设置导流板使得流道内气体流量较大，可以有效带走热量。阀门采用并联设计并采用不同型号，防止发生共因失效，此外，还可以通过消防水源或消防车为该系统提供水源。因此，该系统热移出能力足够并且可靠性高。

5）防止高压熔堆

本工程在设计上考虑了防止高压熔堆的措施。这些措施主要包括非能动余热排出系统和自动卸压系统。非能动余热排出系统可以可靠地导出反应堆余热，自动卸压系统可以保证 RCS 系统成功卸压。

非能动余热排出系统主要依靠重力自然循环形成冷却剂流动环路，将存有大量水源的内置换料水箱作为热阱。整个系统除阀门外没有能动部件，阀门采用并联设计，由安全级电源供电。通过合理设置换热器排管数量和优化流道设计，非能动余热排出系统热移出能力足够并高度可靠。

自动卸压系统采用双列设计，各级阀门尺寸不完全相同，在丧失交流电的情况下依靠蓄电池传递信号或触动阀门即可运行。通过设置合理的时间延迟和阀门打开顺序，自动卸压系统能够快速、有效地将 RCS 系统压力降低至安全壳压力附近。

6）安全壳内氢气控制

本工程由安全壳内氢气控制系统控制氢气，该系统包括氢气浓度监测器、非能动氢气复合器和氢气点火器。氢气控制系统执行如下监测和控制安全壳内氢气浓度的功能：

- 氢气浓度监测：分布在安全壳内的氢气监测器可以为操纵员提供安全壳内氢气浓度的连续指示。该监测功能可使操纵员能够监测并启动事故后的缓解措施，包括启动氢气点火器。
- 非能动氢气复合器：在设计基准事故下，氢气复合器将自动使安全壳内的整体氢气浓度维持在较低水平。对严重事故，非能动氢气复合器协助氢气点火器降低安全壳内的整体氢气浓度。
- 氢气点火器：分布在安全壳内的氢气点火器通过对局部燃烧相对较低浓度的氢气，防止氢气浓度达到可能的爆炸限值。

本工程采用纵深防御的方法，应对可能危及安全壳完整性的氢气扩散火焰。反应堆冷却剂系统的自动卸压系统第 4 级阀门作为第一层次防御，它阻止大量的氢气释放至内置换料水箱和非能动堆芯冷却系统隔间。ADS 第 4 级阀门出口位于环路隔间，而环路隔间与安全壳壳体相互隔开，并且通过安全壳内自然循环提供稳定的氧气源。在环路隔间内，氢气以扩散火焰方式燃烧，不会危及安全壳的完整性。如果自动卸压系统第 4 级阀门失效，本工程在内置换料水箱处设计了排气口，以缓解安全壳壁附近的扩散火焰。

本工程设计由于没有能直接导致氢气爆炸的足够能量，因此燃爆转变（DDT）是唯一可能导致安全壳内发生氢气爆炸的原因。在严重事故后，当安全壳内任一区域的氢浓度达到最低可燃浓度限值不久后，安全壳氢气控制系统的氢点火器启动以促进氢气的燃烧，从而防止安全壳内氢浓度达到燃爆转变限值。

氢气控制系统在没有外电源的情况下依靠蓄电池以及非能动部件仍然可以正常运行，因而，通过合理的氢气点火器和氢气复合器布置，氢气控制系统可有效地降低安全壳内氢气浓度。

7）防止反应堆压力容器失效

通过反应堆压力容器外水冷实现堆芯熔融物堆内滞留是本工程严重事故关键缓解措施。在假想的严重事故期间，利用内置换料水箱的水淹没反应堆堆腔，并使反应堆压力容器浸于水中，这一严重事故管理策略可有效地防止压力容器失效。利用水冷却压力容器外表面，可防止反应堆下封头内的堆芯熔融物使压力容器失效和向安全壳迁移。通过将堆芯熔融物滞留在压力容器内，可限制发生某些与安全壳完整性相关且具有很大不确定性的压力容器外的严重事故现象（如：压力容器外蒸汽爆炸、堆芯熔融物－混凝土反应等），以保持安全壳的完整性。

本工程在设计上具有如下改善反应堆压力容器外的冷却特性，以实现熔融物堆内滞留：

- 设置了可靠的多级反应堆冷却剂系统卸压系统，可保证在 RCS 系统卸压后压力容器壁面将承受较小的应力；
- 反应堆压力容器下封头未设置贯穿件，除了压力容器壁面自身的蠕变失效外，不会发生与容器贯穿件相关的失效；
- 来自内置换料水箱的水可淹没反应堆堆腔，使反应堆容器浸没至高于反应堆冷却剂环路；

- 反应堆压力容器外保温层设计为水和蒸汽的流动提供了一个流道，在该流道内水大量汽化并从顶部出口喷出，在流道内形成很大的流量。

熔融物堆内滞留策略完全是非能动的，通过设计保证压力容器外壁面热流密度低于临界热流密度，可以保证熔融物堆内滞留的成功。

8）防止堆外严重事故条件下安全壳失效

本工程熔融物堆内滞留策略的有效性极高，但为了提供更高的安全性评价，仍假设会发生堆外严重事故。对本工程构成较大威胁的堆外严重事故现象主要包括堆外蒸汽爆炸和熔融物－混凝土相互作用。由于本工程采用非能动堆芯冷却系统设计，使得严重事故期间堆腔内肯定存在一定量的水。通过合理设计堆腔结构，使得堆腔可以承受蒸汽爆炸产生的瞬间高压载荷。在熔融物和混凝土相互作用过程中，水的存在可以减缓熔融物侵蚀速度，在相当长时间内保持安全壳底板不被熔穿，最终熔融物非常可能被冷却并终止对混凝土的侵蚀。

由于采用非能动设计，以上各个系统都可以在丧失常规电源的情况下正常工作，保证严重事故缓解措施的有效性，因此，本工程严重事故缓解措施合理可行，各个系统互不干扰且高度可信，裕量充分，在假想的严重事故期间能有效保证不会发生大量放射性物质向环境的释放。

表 7.2-1　个人有效剂量当量高于通用干预水平的条件概率

剂量（Sv） 距离（km）	0.01（隐蔽）	0.05（撤离）	0.03（临时避迁）	1.00（永久再定居）
3	7.29%	7.27%	7.29%	4.55%
4	7.29%	6.59%	7.29%	4.05%
5	7.29%	6.13%	7.29%	3.46%
6	7.29%	5.66%	7.29%	2.86%
7	7.29%	5.51%	7.29%	2.37%
8	7.29%	5.31%	7.29%	2.12%
9	7.29%	5.21%	7.24%	1.97%
10	7.29%	4.90%	7.14%	1.70%

表 7.2-2　厂址半径 0~80km 范围内集体剂量风险

释放类别	释放频率（/堆年）	平均剂量（人 Sv）	风险（人 Sv/堆年）	占总剂量风险的百分比（%）
CFI	5.91E-09	4.22E+03	2.49E-05	4.43
CFE	2.67E-09	1.06E+05	2.83E-04	50.22
IC	1.23E-07	1.59E+01	1.96E-06	0.35
BP	1.06E-09	2.31E+05	2.45E-04	43.45
CI	1.90E-11	4.35E+05	8.27E-06	1.47
CFL	9.66E-12	5.14E+04	4.97E-07	0.09
总风险			5.64E-04	100

7.3 场内运输事故

7.3.1 新燃料厂内运输事故

本工程的首炉和后续燃料组件将由中核包头核燃料元件股份有限公司制造，采用专用新燃料运输容器运输。对于新燃料组件的运输，建设单位须委托有资质的承运人承担，并尽早开展新燃料运输容器的使用申请手续。

首炉和后续换料燃料组件可以通过铁路和公路等不同的形式运至核电厂现场，目前国内多数核电厂均采用全程公路运输的方式运输新燃料组件，提供了充分的全程公路运输参考经验，因此本工程优先考虑全程公路运输方案。运输货包的设计和制造应同时满足我国《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的要求。

根据国内其它核电厂新燃料运输的经验表明，在严格遵循国家标准的技术规范下运输新燃料组件时，运输容器及新燃料组件的性能可以确保新燃料不对环境产生任何有害的影响。

新燃料运输容器设计时应充分考虑可能的事故工况。即使发生运输事故，容器本身发生变形，燃料棒包壳密封仍然保持完好，燃料组件不会产生临界反应，燃料组件也不会发生燃料散落。另外，新燃料组件未经辐照，并且放射性水平很低。因此，新燃料运输事故不会污染周围环境和危害人员健康。

7.3.2 乏燃料厂内运输事故

乏燃料的厂内运输事故包括可能的燃料装卸事故和乏燃料运输容器坠落事故。

乏燃料运输容器的安全可靠是实现安全运输的前提。乏燃料组件运输必须遵守《中华人民共和国核材料管制条例》（HAF501）、《放射性物品运输安全管理条例》（中华人民共和国国务院令第 562 号）、《放射性物品安全运输规定》（GB 11806）、《放射性物质安全运输货包的泄漏检验》（GB/T 17230）、《放射性材料安全运输规定》（IAEA SSR-6）等相关条例、标准的要求。

除了运输容器本身具有高的安全性外，乏燃料的安全运输还依靠运输过程中的正确操作和严格管理，为此，容器的设计制造和运输的操作管理两个方面均将履行规定的审批程序。

燃料装卸事故的放射性后果的计算分析表明其对公众的影响是可以接受的。

乏燃料运输容器坠落事故主要发生在由容器吊车进行的燃料装卸过程中，由

于乏燃料组件在装入乏燃料运输容器之前要在乏燃料水池中至少贮存 8 年，事故发生后放射性的释放极少，事故后果可以被燃料装卸事故的后果包络，其后果也是可以接受的。

7.3.3 固体废物厂内运输事故

本项目通过屏蔽转运装置和专用车辆处理来自核岛的各类放射性废物流，保证运输的安全。屏蔽转运容器是可靠的转运设备，有足够的屏蔽厚度，能够实现放射性物质的完整包容。此外，厂内运输的废物流通过管理手段保证放射性物质安全运输，保护厂区不受污染，保证运输和公众接受的辐射照射控制在合理可行尽量低的水平。

可压实及不可压实干废物通过专用转运卡车从核岛放射性废物厂房按照厂区制定路线转运至废物减容处理中心（CVRF）的混合废物装卸区。该废物活度水平较低，包装后的表面剂量率很低，对环境影响较小。

水过滤器滤芯通过 FCS 屏蔽装运装置从核岛辅助厂房的轨道平台/滤芯存放区按照指定运输路线转运至 CVRF 的过滤器滤芯屏蔽转运存放间。该容器在厂区内运行速度不大于 10km/h，确保运送安全。容器本身由保护装置锁紧，保证良好的密封性。

放射性废树脂采用专用的废树脂屏蔽装运装置从核岛辅助厂房的轨道平台/滤芯存放区按照指定运输路线转运至 CVRF 的废树脂屏蔽装运装置存放间。废树脂屏蔽装运装置内设有检漏仪表，用于监测运输过程中可能发生的放射性废树脂泄漏。在厂区内运行速度不大于 10km/h，确保运送安全。

7.4 其他事故

7.4.1 核电厂化学物质贮存和使用风险评价

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）对核电厂化学物质贮存和使用开展环境风险评价。

1）核电厂环境风险评价分级

（1）本工程危险物质及工艺系统危险性（P）分级如下：

本工程化学物质总量与其临界量比值（Q）计算值为 20.2。

本工程为其他行业，行业及生产工艺（M）取值为 5。

因此，本工程危险物质及工艺系统危险性等级判断（P）为轻度危害（P4）。

（2）本工程环境敏感程度（E）分级如下：

大气环境：厂址半径 500m 范围内无人口分布，因此本工程大气环境敏感程度为环境低度敏感区（E3）。

地下水环境：厂址周边无集中式饮用水水源准保护区及补给径流区、分散式饮用水水源地特殊地下水资源保护区及分区等环境敏感区。初步判断化学品储存区域不能满足地下水包气带防污性能中“包气带岩土分布连续稳定，岩土层单层厚度不小于 1m，渗透系数不大于 1E-04cm/s”的要求。据此初步判断，本工程地下水环境敏感程度为环境中度敏感区（E2）。

综上所述，本工程大气环境风险潜势为Ⅰ类，评价工作等级为简单分析；地下水环境风险潜势为Ⅱ类，评价工作等级为三级评价。

2）核电厂大气环境风险评价

对核电厂大气环境风险评价开展简单分析。

为避免化学品泄漏，核电厂在设计中采取了一系列化学品泄漏风险防范措施，具体见本报告 7.4.2 节。

3）核电厂地下水环境风险评价

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）要求，参照《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ610-2016）进行风险预测及分析。由于《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ610-2016）未对核电厂进行项目分类，参照“其他能源发电”、“海水淡化、其他水处理和利用”分类为 IV 类，此外厂址周边无集中式饮用水水源准保护区及补给径流区、分散式饮用水水源地特殊地下水资源保护区及分区等环境敏感区，因此参照《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ610-2016）无需开展地下水评价，但为保守考虑厂区贮罐泄漏后对地下水可能的影响，7.4.5 节开展了单独评价。

核电厂在设计中采取了一系列化学品泄漏风险防范措施，具体见本报告 7.4.2 节。根据化学品泄漏风险防范措施，核电厂各存放液态危险品存放地点能有效防止化学品泄漏，避免化学品对厂址区域地下水产生污染。后续，核电厂将制定《突发环境事件专项应急预案》进一步减少化学品泄漏的可能性。

4）核电厂地表水环境途径风险评价

一期工程与核安全有关的区域厂坪设计标高为 36.0m，高于考虑风浪影响的设计基准洪水位（24.81m），可确保核电厂防洪安全，满足有关核安全法规的要

求。

化学加药间、循环水加药间、凝结水精处理室酸碱储存区域等涉及化学品存放和使用场所的建构筑物设计过程中均考虑了防雨措施并在将建造过程中给予落实。

本工程化学物质贮存和使用场所不会因洪水或暴雨导致场所水淹和形成地表径流，导致化学物质意外向厂址附近海域泄漏，即无地表水泄漏途径，因此不考虑地表水环境途径风险。

核电厂施工建设期间的环境风险主要包括厂平及负挖期间炸药的储存和运输风险、化学品存储和使用风险、山坡开采等。核电厂建设施工期将采用严格的管理要求，减少环境风险。如将爆破所用炸药集中存放于场外仓库，对炸药入库、出库、运输等过程设专人管理，每次使用前均需向公安部门申报，严格控制炸药使用量。施工过程中，在场地各主要出入口设置警示牌，告知爆破时间，每次爆破前须提前疏散周围施工人员，确保爆炸区无人员车辆后方可实施爆炸作业。对于核电厂施工期使用的危险化学品危险废物按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）的要求安全妥善贮存，产生的废物委托具有资质的第三方单位处置。

7.4.2 核电厂化学品泄漏风险防范措施

本工程化学危险品仓库用的化学药品分间、分类堆放，不堆放杂物，并设有良好的通风设施；有毒气释放的化学试验均在通风柜中进行。各化学药品的贮存和运行设施处，均设有冲洗水。地面、墙壁、沟道处设有防腐蚀措施，并设有喷淋器、洗眼器和急救药箱等。

除盐水及凝结水精处理系统的再生系统，所有设备、管道、阀门、法兰做到严密不漏，采用耐腐蚀材料，对设备及管道内壁衬胶，或涂刷耐腐蚀的涂料，并定期检查管壁腐蚀情况，发现损坏应及时修复，避免 HCl、NaOH 泄漏。

凝结水精处理再生后的废液，除盐水再生后的废液，必须经中和处理后达标排放。

为预防 HCl、NaOH 因泄漏灼伤人体，职工在工作时均穿着耐酸碱的衣服，戴耐酸碱的手套、眼镜。严格按操作规程执行，小心谨慎操作。在工作场所（酸碱贮存间、计量间及卸酸、碱泵房等）设有安全通道及方便的冲洗水喷淋设施、洗眼器及排水设施，加强通风，同时加强作业环境的监测。装卸浓酸及液碱时采

用负压抽吸、泵送或自流输送方式。对于酸雾逸出，专门设置酸雾吸收器装置进行吸收。

氨和联氨加药系统所有设备、管道、阀门等做到严密不漏，发现损坏及时修复，避免氨和联氨泄漏，加药装置周围设置围堰，一旦发生泄漏，及时冲洗，并从围堰中及时排出，作业现场还设置安全淋浴器（带洗眼功能），以便接触药品后及时冲洗。配备必要的应急救援器材，采用自动化加氨加联氨设施，并对加氨、联氨点的厂房和氨、联氨溶液管道通过的厂房采取机械通风，防止泄漏的氨和联氨聚集。

氨气及联氨间、电解海水制氯车间中液氯加氯间及氯瓶间均设不小于 15 次/h 的机械排风，酸碱间设不小于 10 次/h 的机械排风。化学制氢站电解间、电解海水制氯车间中电解间设自然排氢的通风系统，并设不小于 12 次/h 的事故排风。氨气及联氨间内通风机及电机为防爆型。化学加药间、酸碱间、电解海水制氯车间通风风管采用防腐材料。蓄电池室设不少于 12 次/h 通风换气次数的事故排风系统，通风机及电机为防爆型。

7.4.3 核电厂氢气爆炸风险防范措施

正常运行期间，反应堆及反应堆冷却剂系统的氢气主要来自化学与容积控制系统。电站功率运行期间，通过直接注入高压氢气向反应堆冷却剂系统补充氢气，利用溶解氢气控制和除去堆芯区域由于水辐照分解产生的氧气，使燃料和一回路系统材料表面的腐蚀降至最低。通过一回路取样系统监测反应堆冷却剂系统内的水质，若水中含氢量低于限值，则需进行加氢操作。贮存在高压氢气储气站内的高压氢气瓶内的氢气经减压后，通过化学与容积控制系统管道经注入反应堆冷却剂系统。事故后，除水辐照分解、材料腐蚀产生氢气外，锆合金包壳与水蒸汽反应、堆芯熔融物与混凝土反应等也会释放出相当数量的氢气。主要采取了如下防范措施：

1）系统设计时，保证各种运行状态或事故工况引起的机械应力在规范范围内，保证压力边界的完整性。

2）管道和设备安装完毕后，按规定进行水压试验和密封性试验。

3）反应堆冷却剂系统的布置确保具有足够的自然循环能力（蒸汽发生器位置高于反应堆压力容器，使得在失去强制循环能力时，仍能导出堆芯余热）。

4）反应堆冷却剂泵具有足够的惯性，使得失去电源后，短时间内有较高的

流量通过堆芯，导出堆芯余热。

5）设置仪表装置监测反应堆冷却剂系统的运行，提供稳压及超压保护。

6）设置了非能动专设安全设施，如非能动堆芯冷却系统、非能动安全壳冷却系统等，缓解事故后果。

7）安全壳内设置氢气监测系统，以监测安全壳内的氢气浓度。

8）安全壳内的结构布置有利于通过自然循环促进安全壳大气的混合，防止氢气在局部积累。

9）在设计基准事故后，由两台安全有关的非能动自催化复合器消除安全壳内产生的氢气，防止氢气浓度达到最低可燃限值。

10）严重事故后，66 台分散布置在安全壳内各个隔间的点火器将在安全壳内达到最低可燃浓度限值后不久引发氢气燃烧，防止发生较高氢浓度时的事故性氢气燃烧，保证氢气燃烧期间能维持安全壳的完整性，并保证在燃烧期间或燃烧后安全有关设备能持续运行。

7.4.4　核电厂火灾风险防范措施

1）防火分区

将电厂分为各防火区，以隔离潜在的火灾，使火灾的蔓延风险以及随之产生的腐蚀性气体、灭火剂、烟气和放射性污染造成的危害最小化。一些防火区再细分为防火小区，以允许可燃物、火灾探测和灭火系统类型和位置的更精确鉴别。耐火极限为 3 小时的防火屏障为多重安全停堆部件提供了完全的分隔，这些部件包括设备、电缆和仪控等。

2）建筑和结构

电厂厂房使用不燃结构材料，主要是钢筋混凝土、石膏、砌块、结构钢、钢侧墙板、混凝土与钢复合材料。

3）电气防火设计

为了避免和减少电气系统由于可燃物质和各种原因（如：短路、过负荷、散热失效等）产生的电火花、电弧放电或高温引起火灾的危险性，在电气设计中主要采取了下列电气防火措施：电缆设施防火、电气设备防火、通道隔离、蓄电池防火、防雷等内容。

电缆主要敷设在专用的电缆构筑物内，使用阻燃电缆。为防止电缆由于短路和长期超负荷引起火灾，电气开关设有过流和短路保护。

在电力系统中，尽量减少可燃性物质。属于不同安全通道的应急电源系统的电气设备分别布置在单独房间里，并用耐火极限为 3 小时的隔墙和楼板与其它房间隔开。

4）通风防火设计

核岛厂房通风系统的风管穿越防火屏障时设置防火阀。在空气温度达到 165℉（73.9℃）时，防火阀自熔关闭，限制火灾以及烟气的蔓延。风管穿越安全有关区域、烟雾敏感区域时设置防烟防火阀。防烟防火阀除了可自熔关闭，还可根据火灾探测及报警系统发出的信号联动关闭。已设置防烟防火阀的地方不再设置防火阀。防火阀、防烟防火阀的耐火极限与穿越的防火屏障的耐火极限相等。防火阀、防烟防火阀可手动或自动复位。

7.4.5　贮罐泄漏事故

本项目厂区液体放射性废物储存箱为不锈钢构件，安置在核辅助厂房（12 厂房）、放射性废物厂房（50 厂房）和液态流出物贮罐厂房（516 厂房）内。根据放射性废液系统设计特点，当发生放射性废液储存箱泄漏事故时，液体放射性废物储存箱和所在厂房内设有的仪表和控制系统能够迅速地探测到事故，并通过操纵员隔离发生泄漏的储存箱。

12 厂房流出液暂存箱间设有钢覆面，在发生泄漏时可以将放射性液体滞留在厂房内部，不会渗漏到环境中。50 厂房设有 6 台有效容积 75m^3 的监测箱，用于接收存放经离子交换工艺处理后的废液。这些废液送往膜工艺进一步处理，经膜工艺处理后的废液放射性水平满足设计排放目标值要求。516 厂房用于接收暂存上游系统处理后的废液，设置 3 台有效容积 750m^3 的大贮罐，厂房设置混凝土滞留池，可容纳罐体意外破裂后的全部废液。滞留池设有地坑，若某一罐体意外破裂，滞留池内的液体可以通过地坑泵和管道转运到另一台贮罐中。50 厂房和 516 厂房在房间地面及墙面设有防水涂层，可以有效防止废液向外界渗漏。

综上，516 厂房的大贮罐放射性总量在 50、516 厂房各监测箱、贮罐中最高，故选择该贮罐进行事故工况的分析，考虑一定的包络性和保守性，贮罐体积保守按照 1000m^3 进行事故分析计算，这种情况是十分保守的。厂区内 516 厂房的贮罐，若发生意外泄漏，主要影响范围会被限制在厂区内部，且泄漏后易于发现并得到有效控制，正常情况下厂区贮罐泄漏不会对厂外公众造成影响。为保守评价，本节假设贮罐泄漏后液态流出物全部进入地下水环境，通过地下水途径扩散至厂

区外的嵯阳河，地下水核素迁移模型中核素选择 8 种核素（H-3、C-14、Cs-137、Sr-90、Co-60、Mn-54、I-129、Ag-110m）进行迁移模拟计算。

基于地下水扩散数学模型模拟计算得到以下结果：污染物在地下水中经过入渗及弥散作用后，不论是不吸附核素 H-3、C-14，还是吸附核素 Co-60、Cs-137、Sr-90、Mn-54、I-129、Ag-110m 都不会迁移进入附近民井。H-3、C-14 迁移入河流，其余核素迁移范围集中在 516 子项液态流出物贮罐附近。H-3 浓度峰约在 41900 天（114.8 年）到达嵯阳河，峰值浓度为 4.25E-02Bq/L。C-14 浓度峰约在 63800 天（174.8 年）到达嵯阳河，峰值浓度为 5.40E-02Bq/L。

假设嵯阳河周边居民全年一直饮用核素浓度达到峰值的河水。参考美国核管理委员会 R.G 1.109 和《反应堆放射性流出物常规排放所致公众剂量的估算方法》（NB/T 20186-2012）中的计算模式。

保守假设不考虑嵯阳河对液态流出物中核素的稀释，并结合上述情景假设和辐射剂量计算公式，经计算得到厂区内贮罐液态流出物泄漏至嵯阳河中所致的公众剂量结果。

由计算结果可知，在保守情况下，因厂区内贮罐破损，泄漏的液态流出物随地下水迁移至嵯阳河所致周边公众个人剂量为 2.34E-05mSv/a，叠加正常运行期间放射性物质由气态途径和液态途径排放所致最大个人的有效剂量后，低于本项目一期工程运行状态下的辐射防护要求（0.08mSv/a），对周边公众的辐射影响可接受。

7.4.6 陆域排水管线意外断裂

本项目陆域排水管线采用管中管方案，在正常运行工况下，液态流出物排放时不会对地表水和地下水环境造成影响。为保守评价液态流出物在陆域排水管线输送过程中对地下水可能的影响，基于陆域排水管线发生意外断裂的极端假设，采用地下水扩散数学模型计算了液态流出物泄漏对地下水的影响。

假设液态流出物正在排放时，排水管线以及含液态流出物的排水管道的内管和外管均发生意外破裂，保守假设从发现报警信号，至确定意外释放点进行截堵的时间为 1h。即排水管线发生破裂后，管线中所有液态流出物全部进入地下水环境，持续时间为 1h，这种假设对于评价排水管线破裂液态流出物意外释放影响是十分保守的。单台机组液态流出物槽式排放口流量为 $4m^3/h$。

基于模拟结果，保守假设周边公众一直饮用受影响的地下水，参考美国核管

理委员会 R.G 1.109 和《反应堆放射性流出物常规排放所致公众剂量的估算方法》（NB/T 20186-2012）中的计算模式计算对周边公众（按成人计算）所致的辐射剂量。

计算得到对周边公众的个人最大剂量叠加正常运行期间放射性物质由气态途径和液态途径排放所致最大个人的有效剂量后，低于本项目一期工程运行状态下的辐射防护要求（0.08mSv/a），对周边公众的辐射影响可接受。

综上所述，本项目陆域排水管线即使发生了意外断裂的极端情况，通过地下水途径对公众的影响可接受。

7.4.7 海域排水管线意外断裂

本项目海域段液态流出物管线设置了负压波法监测措施，在管线意外断裂工况下可及时监测到泄漏，并在 1 小时内关闭管线，确保液态流出物不会持续向受纳水体排放，因此该工况下，液态流出物的泄漏量不会超过 8m^3，预计对丁字湾氚浓度的影响可忽略。

7.5 事故应急

7.5.1 核事故应急对策

核电厂因运行失误或事故导致核事故应急状态的可能性极小，但仍不能完全排除。因此在核电厂选址阶段就应考虑妨碍或影响执行应急计划的厂址因素。

为了减少核事故对公众所造成的辐射影响，根据核安全导则《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01-2019）和《地方政府对核动力厂的应急准备》（HAD002/02）的要求，可能采取的应急措施包括：

- 隐蔽；
- 简单的呼吸道和体表防护；
- 服用稳定性碘；
- 撤离；
- 避迁；
- 控制食品和水；
- 控制通道；
- 地区去污；
- 人员去污。

为了快速有效地处理核事故中的问题，最大限度减少事故影响，在事故时便于执行上述应急措施，在厂址所在地区要建立包括核电厂、当地政府所辖的环保、公安、卫生、消防等部门在内的各级应急组织，设立应急监测机构并配置相应的应急响应设施。

7.5.2　实施核应急预案的可行性

为了加强核电厂核事故应急管理工作控制和减少核事故危害，山东莱阳核电厂将依据《核电厂核事故应急管理条例》（HAF002）、《国家核应急预案》等相关核安全法规以及《核电厂应急计划与准备准则——应急计划区的划分》（GB/T17680.1-2008）等相关国家标准确定应急计划区大小。应急计划区分为烟羽应急计划区和食入应急计划区，烟羽应急计划区为以核电厂为中心，半径7~10km 划定的需做好撤离、隐蔽和服碘防护的区域，该区分为内、外两区，其中内区一般主要进行撤离（包括预防性撤离）准备，半径为 3-5km；食入应急计划区为以核电厂为中心，半径 30-50km 划定的区域。2023 年 10 月，上海核工程研究设计院股份有限公司编制了《国家电力投资集团有限公司山东莱阳核电项目一期工程厂址区域核应急方案》，已取得国家核事故应急办公室的批复意见（国核应办〔2023〕14 号）。根据经批复的方案，应急计划区范围划分如下：烟羽应急计划区内区为各国和一号核电机组半径 5km 的包络范围，外区为各国和一号核电机组半径 10km 的包括范围，食入应急计划区为各国和一号核电机组半径 50km 的包络范围。应急计划区最终范围和大小将由当地政府在编制场外应急预案时最终确定。

1）5km 范围内的撤离可行性

厂址半径 5km 范围内涉及莱阳市穴坊镇、高格庄镇、团旺镇、姜疃镇所辖的 28 个行政村，总人口为 18670 人，陆域平均人口密度为 238 人/km^2。

厂址 5km 半径范围内无万人以上人口集中地区。

厂址半径 5km 范围内共有学校 5 所，其中 2 所小学、3 所幼儿园。

厂址半径 5km 范围内无医院和养老院。

厂址半径 5km 范围内无监狱。

厂址半径 5km 范围，有省道 S209、县道 X081、乡道 Y025、Y017、Y024、Y034、Y009，距离厂址最近的乡道为 Y025，位于厂址 S 方位 1.1km 处。

厂址半径 5km 范围内无危险品工业企业。

核电厂厂址周围设置有两条不同方向的应急撤离路线，简述如下：

路线 1（第一进厂道路）：厂址（厂区西侧）→第一进厂道路→接至省道 S209→向北至莱阳市区。

路线 2（第二进厂道路）：厂址（厂区南侧）→第二进厂道路→接厂区南侧乡道 Y025→向东接至县道 X072→向北至县道 X081→向东撤离至烟羽应急计划区外→向北至莱阳市区。

厂址半径 5km 范围内居民点较为集中，有利于人员的集合、清点，也有利于车辆到达设置在县道、乡道上的指定集合点实施人员撤离。

根据厂址半径 5km 范围内的人口分布，核电厂营运单位和山东省各级政府及其核事故应急组织合理调配莱阳地区运力，可满足应急计划区内区的公众撤离的需求。

2）10km 范围内的隐蔽可行性

厂址半径 10km 范围内总人口为 87808 人，陆域平均人口密度为 280 人/km^2，其中厂址半径 5~10km 范围内总人口为 69138 人。厂址 10km 范围内无十万人以上城镇。

厂址半径 5~10km 范围内无监狱。

厂址半径 5~10km 范围内共有 4 所医疗机构，其中 3 所卫生院，1 所一级综合医院，4 所医疗机构共有医技人员 282 人，床位 377 张。

厂址半径 5~10km 范围内有 1 家养老院，有床位 58 张，入住 34 人，工作人员 5 人。

厂址半径 5~10km 范围内有普通中小学 8 所，在校学生 5358 人，教职工 434 人，无住校学生。

厂址半径 5~10km 范围内有幼儿园 6 所，在校幼儿 754 人，教职工 78 人。

厂址半径 5~10km 范围有 1 处风景名胜区，即濯村特色农业旅游区，位于厂址 NNE 方位约 5.7km，日高峰游客数 19000 人，经调查，无万人以上同时在园区内游览的情况。

厂址半径 10km 范围内的居民住宅多为砖混、砖木结构，少数为钢筋混凝土结构、土石木结构，对外照射有较好的屏蔽减弱能力。如果关闭门窗并辅以简单的个人呼吸防护，对吸入内照射也有较好的防护效果。另外，需关注该区域内特殊人口、流动人口的隐蔽。对于该区域内的特殊人群组，地方政府可在这些地方

建立核应急组织，开展实施应急防护行动措施相关知识的教育和指导，利用学校自身的建筑物作为隐蔽场所，有效地组织在校学生就地实施隐蔽。

厂址半径 5~10km 范围内居民点较为集中，特殊人群主要为在校师生、患者及医护人员、养老院人员，流动人口主要为濯村特色农业旅游区的游客，其分布基本位于道路沿线，必要时有利于人员的集合、清点，也有利于车辆到达设置在县道、乡道上的指定集合点实施人员撤离。

因此，在厂址半径 10km 范围内实施隐蔽是可行的。

3）其他条件

该区域内具备良好的通信、医疗卫生条件，也有较好的交通运输网络与外界相连，可保证必备物资的及时供应和患者的外送。

厂址半径 15km 范围内不存在会对核电厂构成潜在危害的外部人为事件。

距厂址最近的万人以上的人口中心为位于厂址 WSW 方位约 15.4km 处的莱西市姜山镇镇区，有人口 4.06 万人。距厂址最近的十万人以上的人口中心为位于厂址 WNW 方位约 18.4km 处的莱西城区，有人口 27.54 万人。

厂址半径 10km 范围内，共有 23 家规模化家畜养殖场，以生猪养殖为主。距离厂址最近的家畜养殖场为位于厂址 NNE 方位约 0.7km 的林宇牧业，存栏量 16000 头，已完成搬迁。厂址半径 5km 范围内仅有一个奶牛养殖场，为位于厂址 SSE 方位 1.2km 的莱阳市团旺尹飞奶牛场。

厂址选择和工程设计中已对可能对核电厂构成潜在危害的外部自然事件进行了考虑。但对于核应急预案执行而言，需重视外部自然事件（如台风、龙卷风、暴雨、冰冻、大雾、地震及其并发灾难）发生时对道路运输、通讯、工农业生产等造成的破坏及由此造成的人员撤离的困难，因此在核应急预案的制定过程中应对此给予充分考虑。

综上所述，山东莱阳核电厂厂址在实施场外核事故应急预案方面没有不可克服的困难。

第八章　流出物监测与环境监测

8.1　辐射监测

8.1.1　流出物监测

山东莱阳核能项目一期工程的流出物监测包括营运单位的监测和地方政府的监督性监测。

核电厂营运单位对核电厂流出物中的放射性核素总量实施监测，用于向相关部门报告监测结果，证明释放到环境中的放射性物质总量遵守国家规定的排放限值。

核电厂营运单位负责建设本项目的辐射环境现场监督性监测系统，并移交给山东省环境保护行政主管部门运行和管理。地方政府使用该系统对本厂址机组流出物中的放射性水平实施监督性监测，核电厂营运单位为该系统中流出物的连续监测和定期取样提供支持。

8.1.1.1　监测目的

山东莱阳核能项目一期工程 2 台国和一号压水堆核电机组产生的流出物是对周围环境造成影响的重要因素之一，流出物的监测和排放控制是减少对环境造成影响的重要措施。流出物监测的目的是：

- 测量流出物中放射性物质的种类和数量，为判断流出物排放是否遵守管理限值或运行限值提供依据。
- 为评价环境质量、估算公众受照射剂量提供源项数据。
- 为判断三废处理系统和排放系统工作是否正常提供依据。
- 迅速发现和鉴别非计划排放的性质和规模。
- 给出是否启动报警系统的信息。

8.1.1.2　监测内容

山东莱阳核能项目一期工程流出物监测主要包括气态流出物监测和液态流出物监测。

1）气载放射性流出物辐射监测

- 电厂烟囱辐射监测仪

核电厂烟囱是核电厂向周围环境释放放射性物质的主要设计通道。核电厂烟囱正常量程辐射监测仪VFS-JS-01A、VFS-JS-01B和核电厂烟囱事故量程辐射监测仪VFS-JS-02A、VFS-JS-02B分别在正常和事故量程范围内，对核电厂烟囱中

放射性活度浓度进行连续测量。核电厂烟囱辐射监测仪还用作事故后监测仪，变量定义为C类2级（C2）和E类2级（E2），满足RG1.97和NUREG-0737的要求。

核电厂烟囱辐射监测仪是离线式监测仪，由取样嘴、取样管道和监测设备组成。取样系统的设计满足《核电厂烟囱的气载放射性物质取样》（NB/T 20374-2016），可以保证在本工程各种运行工况期间从烟囱获取的样本都具有代表性。

核电厂烟囱辐射监测仪还具有气溶胶、碘和惰性气体的手动取样功能。此外，对经核电厂烟囱向外排放的气载流出物，RMS还分别设置了两套冗余的氚和碳-14连续取样装置，布置在核电厂烟囱辐射监测仪对应的取样回路下游。取样获取的气溶胶、碘、惰性气体、氚和碳-14等样品将定期送至流出物和化学实验室进行测量和分析。

流量计 VFS-JE-FE105A 和 VFS-JE-FE105B 布置于烟囱内，连续测量通过核电厂烟囱向环境的排风量，VFS-JE-FE105A 信号送往核电厂正常量程辐射监测仪 VFS-JS-01A，VFS-JE-FE105B 信号送往核电厂正常量程辐射监测仪 VFS-JS-01B。核电厂烟囱辐射监测仪接收流量计的信号，并计算标准状态下的放射性气体活度浓度、释放量和流量。这些模拟信号还用来计算在操纵员选定的时间段内的总取样流量、总排放量。

当探测到放射性活度浓度超过报警阈值时，辐射监测仪提供就地报警，该报警信号还送往主控制室。

当核电厂烟囱正常量程辐射监测仪探测到放射性活度浓度超过正常量程范围时，正常量程的气溶胶、碘和惰性气体探测器将自动旁路。样品中的一小部分将通过旁路绕过正常量程探测器，进入事故量程气溶胶和碘过滤器以及惰性气体探测器进行测量。这样不仅可以防止正常量程探测器的损坏，还可以在放射性水平降低后重新使用正常量程探测器来测量正常量程探测器范围内的放射性活度浓度。

事故量程辐射监测仪VFS-JS-02A和VFS-JS-02B分别设置了两条并行固定的过滤器和气体手动取样连接器，用于收集样品中高放射性活度浓度的气溶胶和碘。

事故量程辐射监测仪每条取样回路的气溶胶、碘过滤器和气体手动取样连接器的安装、设计及制造应易于拆卸，以便送流出物和化学实验室分析。

- 凝汽器抽真空系统排放辐射监测仪

凝汽器抽真空系统排放辐射监测仪CMS-JS-01连续测量通过CMS通风排放管道中放射性物质活度浓度。如果通风排放管道中存在放射性，则表明蒸汽发生器传热管出现一次侧向二次侧的泄漏。按照《核动力厂辐射防护设计》（HAD102-12）的要求，凝汽器抽真空系统排放辐射监测仪为气载流出物的释放报告提供测量数据。该监测仪还用作事故后监测仪，变量定义为C类2级（C2）和E类2级（E2），满足RG1.97的要求。

- BOP子项气态流出物辐射监测

在废物减容处理中心（CVRF）排风总管上设置气溶胶连续监测和取样通道，由取样头、取样管道、气溶胶辐射监测仪、C-14取样装置和流量计组成。当探测到放射性活度浓度超过报警阈值时，辐射监测仪提供就地报警，报警信号还送往集中控制室。辐射监测仪还具有气溶胶和碘手动取样功能，所有样品将定期送至流出物实验室进行测量和分析。

此外，本项目还在去污和热检修车间及特种汽车库的排风总管中设置气溶胶连续取样通道，由取样头、取样管道、取样回路组合装置和流量计组成。取样回路组合装置具有气溶胶和碘手动取样功能，所有样品将定期送至流出物实验室进行测量和分析。

2）液态放射性流出物辐射监测

- 放射性液体废物排放（厂区废液大贮罐）辐射监测仪

放射性液体废物排放（厂区废液大贮罐）辐射监测仪 LES-JS-119 连续监测液态流出物储存罐流出物排放总管中废液的放射性活度浓度。这些液体经过充分混合并在释放前取样分析，分析结果满足排放标准后进行分批排放，以便确认排放的放射性活度浓度和总量都在允许的范围内。当 LES-JS-119 探测到放射性活度浓度超过 H2 报警阈值或设备故障时，将自动关闭液态流出物排放泵和管线隔离阀，停止废液排放。

- 常规岛生产废水排放辐射监测仪

常规岛生产废水排放辐射监测仪WWS-JS-23连续测量二回路排放口的放射性物质活度浓度。当放射性活度浓度超过预置阈值或仪表故障时，监测仪将就地产生一个报警，停止废液排放并通过就地控制系统自动关闭接收排放监测箱水箱排水泵和总管隔离阀。

- BOP子项液态流出物辐射监测

本项目未设置BOP子项液态流出物排放口。

BOP子项（CVRF、去污和热检修车间及特种汽车库、流出物和放化实验室）的排放废液集中汇总至LES系统排放，以满足法规的规定。

8.1.1.3　监测取样代表性

8.1.1.3.1　气态流出物监测

本项目核岛烟囱结构形式与参考电站“国和一号示范工程”的烟囱结构形式相同，参考电站已经进行了气态流出物取样代表性验证试验。根据适用标准的要求，本项目不需要重复开展烟囱比例模型试验但是需要开展现场验证试验，取样点位置选择在相同的标高位置，保证在电厂各种运行工况期间从烟囱获取的样品都具有代表性。

8.1.1.3.2　液态流出物监测

本项目液态流出物采用槽式排放监测，排放前对废液贮存罐内的液态流出物进行充分混合后再取样，使得样品具有代表性。

8.1.1.4　流出物监督性监测系统

为配合地方生态环境部门监督性监测工作，山东莱阳核能项目一期工程将按照“关于征求《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设技术要求》意见的函”（2025年）和“国核安发〔2025〕149号《核动力厂流出物放射性监督性监测管理要求》”建设监督性监测系统，并为监督性监测系统流出物在线监测提供数据接口和为地方生态环境部门到电厂内进行流出物取样提供便利和支持。

8.1.2　辐射环境监测

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）规定，在进行常规环境辐射监测时，应与运行前的放射性环境本底（或现状）调查工作相衔接，充分利用运行前环境调查所获得的资料。项目采样点要与运行前环境调查保持适当比例的同位点。辐射环境监测关注的重点是对关键人群组影响较大的主要放射性核素和环境介质。

本节将根据本项目一期工程所在厂址的环境特征和国内现役核电厂放射性环境监测的经验提出运行期间放射性环境监测初步方案。

8.1.2.1　监测目的

运行期间的环境监测的主要目的是：

- 跟踪核电厂气态和液态流出物所引起厂址周围环境介质变化情况，为评价

环境辐射安全和估算公众所受剂量提供依据。

- 测定环境介质中放射性核素浓度或照射量率的变化。
- 发现核电厂周围地区放射性污染变化的异常现象，及时查找原因，鉴别污染来源，追踪污染趋势，提出环保措施建议及修正监测计划。
- 为场外核应急预案实施提供依据。

8.1.2.2　监测范围、布点原则及监测项目

本项目一期工程运行期间环境监测范围、布点及监测项目与运行前的放射性本底监测范围和布点基本类同，并在运行前本底调查的基础上优化取样点、取样品种、取样频率。在开展运行期间环境辐射监测时，应与运行前的放射性环境本底（或现状）调查工作相衔接，充分利用运行前环境调查所获得的资料。项目采样点要与运行前环境调查保持适当比例的同位点。

1）监测范围

- 环境γ辐射水平的调查范围为厂址半径20km，其余项目的调查范围为厂址半径10km。
- 厂址邻近海域的放射性环境监测范围主要设在液态流出物排放口周围海域，同时关注取水口附近海域。

2）环境监测布点原则

- 关键居民组的居住区域。
- 最大风频下风向厂区边界附近区域。
- 尽可能与环境本底调查的布点一致。
- 气态流出物经大气弥散后的最大浓度落地点。
- 液态流出物排放方式及受纳海域水体的水文特征。
- 陆生生物、海洋生物的生长周期、采样品种的代表性。
- 考虑监测取排水管线沿线的土壤和地下水，并在农田、村庄、水源地等环境敏感区和管线转折处等易泄漏点加密布设。

3）环境监测项目

- 环境介质监测。
- 环境γ辐射监测。

8.1.2.3　监测内容

放射性环境监测包括环境介质辐射水平测量、核素分析和放射性活度测量，其监测的环境介质有大气、水、陆生生物、海洋生物、土壤和沉积物等，特别关注对关键居民组影响较大的环境介质和放射性核素。

本项目一期工程正常运行条件下，流出物排放对人体造成辐射照射的途径主要是食入途径，对剂量贡献较大的核素主要有 ^{14}C 等。运行期间的环境监测方案将充分考虑这些对公众造成辐射的主要核素及迁移转移介质的分析测量。

运行期间环境辐射监测大纲将在辐射影响分析结果和核电厂运行前放射性环境本底调查基础上对环境介质的采样品种、频率、地点和测量方法优化后确定。核电厂环境监测项目的采样或测量的频度取决于如下因素：

- 核电厂计划排放周期和非计划排放。
- 流出物中放射性核素的物理化学特性、环境介质的稳定性、核素在环境中的迁移规律。
- 生物的收获期及渔汛期并考虑人为转移因素。
- 气象状况的变化。
- 核电厂周围环境条件的变化情况。

具体监测项目包括：

1）γ辐射

- γ辐射空气吸收剂量率（连续）。

以厂址 1 号机组反应堆为中心，在厂址周围 16 个方位上布设自动监测站（含前沿站），每个方位考虑布设 1 个自动监测站。此外，考虑在厂址 1 号机组反应堆气载流出物排放口主导风下风向、次主导风向下风向和居民区（至少包括东张格庄村）布设自动监测站。除对照点外的自动监测站应建在核电厂烟羽应急计划区范围内。

每个自动监测站按指定间隔记录，一般每 30 秒或 1 分钟记录一次γ辐射空气吸收剂量率数据，实行全天 24 小时连续监测，报送 5 分钟均值或小时均值。部分关键站点设置能甄别核素的固定式能谱探测系统，对周围环境进行实时的γ能谱数据采集，并将能谱数据传送回数据处理中心。

- γ辐射累积剂量。

在厂界外，以厂址1号机组反应堆为中心，8个方位半径为2km、5km、10km、

20km的圆所形成的各扇形区域内布点测量。

2）空气

- 气溶胶、沉降物

在厂区边界处、主导风下风向、次主导风向下风向、厂址半径 10km 范围内的居民区（三关键区域）布设采样点，点位设置与该方位角的γ辐射空气吸收剂量率监测点位一致，并与γ辐射空气吸收剂量率监测站共站，选择其中一个监测点（优先考虑厂外烟羽最大浓度落点处或关键居民点）设置空气气溶胶 24 小时连续采样，至少每周测量一次总β或（和）γ能谱，向监测机构传输一次数据。当总β活度浓度大于该站点周平均值的 10 倍或γ能谱中发现人工放射性核素异常升高，则将滤膜样品取回实验室进行γ能谱等分析。

对照点设 1~2 个。气溶胶采样每月一次，采样体积应不低于 10000m^3。沉降物累积每季收集 1 次样品。

- 空气

^{3}H（HTO）、^{14}C和^{131}I采样点设置同气溶胶、沉降物的监测布点。

^{3}H（HTO）开展连续采样，每月分析累积样品，根据历史监测数据，可选择其中1~2个采样点，每周分析一个累积样品或开展在线监测。^{14}C的采样体积一般应大于3m^3，^{131}I累积采样体积大于100m^3。设置对照点位。

- 降水

降水采样点设置同气溶胶、沉降物的监测布点。

3）表层土壤

在厂址半径 10km 范围内和取排水管线沿线采集陆地表层土。考虑没有水土流失的陆地原野土壤表面土样，以了解当地大气沉降导致的人工放射性核素的分布情况。考虑在农作物采样点采集表层土壤。

4）陆地水

- 地表水：

根据厂址环境特征决定采样点数，对照点设在不可能受到本工程释放的流出物影响的水源处。

- 地下水、饮用水：

考虑可能受影响的地下水和饮用水处采样。可利用厂内监测井，根据厂址环

境特征可设置厂外环境监测井。厂区及管线沿线的地下水监测井位置见8.2.4.2节。

5）地表水沉积物

监测厂址附近河流及水库沉积物中的放射性核素含量，根据厂址环境特征决定采样点数，与地表水采样点重合。

6）陆生生物

采集厂址半径 10km 范围内的粮食、蔬菜水果、禽畜产品中的放射性核素含量。

- 植物

采集关键人群组食用主要农作物，如谷类 1~2 种，蔬菜类 2~4 种，水果类 1~2 种。

- 动物

采集关键人群组食用的当地禽、畜 1~2 种。

- 牛（羊）奶

厂址半径20km范围内以当地饲料为主的奶牛（羊）牧场，并确认以当地饲料为主。根据环境调查资料，初步考虑在位于厂址NNW方位约5.2km处的莱阳市团旺镇宏德奶牛养殖场开展监测。

7）陆地水生物

监测地表水体养殖产品鱼类（注意不采集以饵料喂养为主的水产品）、藻类和其他水生生物中的放射性核素含量。

8）海水

监测液态流出物排水口附近海域海水中放射性核素，对照点设在50km外远离其他核设施排水口的海域。

9）海水沉积物

与海水采样点相同。

10）海洋生物

主要包括鱼类、藻类、软体类以及甲壳类海洋生物，采样点一般应包括本工程液态排水口附近野生类或当地渔民的养殖场或放养场（注意不采集以饵料喂养为主的海产品）。每类生物采集地点不少于3个。

11）指示生物

选择能够高水平或快速富集（富集时间短于采样周期）环境中的放射性物质的生物（如：陆地上的松叶、杉叶、艾蒿、苔藓、菌菇等富集铯同位素，海洋环境的藻类、软体类、甲壳类富集^{60}Co、^{58}Co、^{54}Mn、^{99}Tc等核素，鱼骨和贝类富集锶和钚同位素等），通过测量了解环境中放射性浓度的时间性和空间性变化。

8.1.2.4　测量方法

环境辐射监测主要是物理测量、放射化学分析测量和就地定点的环境γ辐射监测、移动或巡测的辐射监测或取样测量。

1）物理测量

使用α/β低本底测量装置、低本底γ谱仪、低本底液体闪烁装置等设备来测量总β、γ放射性核素和^{3}H的放射性浓度。

2）化学测量

使用放射化学分析方法测量^{90}Sr等放射性核素。

3）环境γ辐射测量

- 设置环境γ辐射监测站，用γ辐射剂量率仪连续监测γ辐射剂量率。
- 用TLD元件和热释光剂量测量装置进行定点的γ累积剂量监测。

8.1.3　应急监测

核电厂事故工况下的环境应急监测是环境监测的组成部分，它具有快速反应和机动灵活的能力，应急监测方案中考虑了如下要求：

- 在厂址半径5~10km范围内，环境辐射监测系统的固定式γ辐射监测子站应具备应急条件下进行连续监测和通信的能力，测量范围能满足应急监测需求，相关数据能通过有线和无线方式及时传输至核电厂应急指挥中心等应急设施。
- 在发生核事故时，核电厂的环境监测车和介质采样车在配置了便携式仪表和其它设备后，可参与应急监测和取样，快速判断放射性释放对环境造成的污染范围和污染程度。
- 环境实验室位于核电厂烟羽应急计划区外，用于对事故环境样品进行详细测量和分析，为事故后果评价提供支持。

8.2 其它监测

8.2.1 热影响监测

由第六章的分析结果可知，本项目一期工程取排水量较小，排水温升较低，排水管线距离长，运行期间由二次循环系统产生的温排水引起排放口周围海域的温升基本可以忽略，对排放口周围海域的水体及海洋生物造成的影响非常有限，可不考虑热影响。

为验证本项目一期工程温排水排放的实际影响，本项目一期工程运行期间的热影响监测点位可设置于取水口（对照点）和海水淡化厂排水口。

8.2.2 化学污染物和生活污水监测

8.2.2.1 监测目的

1）反映本项目一期工程运行期间的工业废水、生活污水排放情况。

2）判断本项目一期工程运行期间的非放射性生产废水系统（WWS）等废物处理设施（放射性废物处理设施除外）是否正常运行。

8.2.2.2 监测内容

对本项目一期工程排放的工业废水、生活污水开展常规监测。监测项目包括排水口温度、水质理化参数、核电厂可能排放的化学物质的取样测量分析等，具体如下：

1）生产废水排放监测

监测点位为厂址取水口和厂区排放口。监测项目包括：pH、悬浮物、色度、化学需氧量（COD_{Cr}）、石油类、硼、氨氮、总氮、总磷、硫酸盐和阴离子表面活性剂。

2）生活污水排放监测

本项目生活污水通过管道外送当地污水处理厂处理，不向厂址周边环境排放。

8.2.3 气象观测

本工程运行期间的气象观测包括气象梯度观测和厂址专用地面气象站观测。

厂址气象铁塔与地面站的地理位置为东经 120°40′，北纬 36°43′，距厂址北侧边界约 500m，四周地势相对均匀，起伏不大且无高大山体、建筑物以及树木的遮挡，总体来说，该点距离厂址较近，在厂址的上风向处，地形条件能够反映厂址特征，代表性较好。

1）厂址气象梯度观测系统

气象塔 10m、30m、55m、80m 和 100m 进行风向、风速、温度的逐时观测，30m 和 100m 高度层还设置湿度观测。

所有传感器和设备均具备检定证书或标定报告，仪器参数符合《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD 101/02-1987）表 I 中仪器灵敏度和准确度的要求。

2）厂址地面气象站

观测项目包括：风向、风速、温度、湿度、气压、雨量、总辐射、净辐射、蒸发量等。

所有传感器和设备均具备检定证书或标定报告，仪器参数符合《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD 101/02-1987）表 I 中仪器灵敏度和准确度的要求。

3）检定和维修

所有观测仪器均完成了出厂自检，进入现场安装之前，由国家气象局计量站进行检定。

气象观测系统运行期间如发现问题，维护人员及时赶赴现场处理。

4）数据联合获取率

气象观测塔和地面气象站 2022 年 11 月至 2024 年 10 月两整年气象数据的联合获取率为 99.38%，满足《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD 101/02-1987）不低于 90%的要求。

8.2.4　水文观测

8.2.4.1　海水

本工程拟在运行期间观测潮汐、海流、海水水温、海水盐度等海洋水文要素，根据海域泥沙淤积情况，适时开展工程周边海域的水下地形测量工作。

8.2.4.2　地下水

本次地下水监测的范围是厂区及管线地下水可能受影响的区域。

1）厂区地下水监测点

地下水环境监测井点布设主要考虑厂区地下水分布特征、含水层性质、地下水径流排泄特征以及核电厂地下水污染影响的可能范围，主要布设在核电厂厂区内环境敏感点及厂区内地下水可能的污染源地点，监测井点的层位以可能受影响含水层为主。

根据厂址区水文地质条件、厂区总平面布置方案以及地下水监测目的，共设置12个监测井（W1～W12），各监测井点的布置依据为：

（1）考虑到核电厂运行后厂区地下水同期本底对比要求，在厂区西北侧适当位置布置监测井W1，该井处的地下水应不受主厂房、循环水排水管和CVRF等可能污染源的影响。

（2）厂区内地下水向北或向南方向流入五龙河或经嵯阳河汇入到五龙河，最终于丁字湾汇入黄海。结合厂区总平面布置方案，考虑布置监测井W2～W12，且同时考虑放射性液体贮存设施及输送管道、二类污染物废水处理系统及输送管道和非放射性生产废水系统及输送管道等建（构）筑物以及环境敏感点。

2）排水管线地下水监测点

地下水监测共设置24个监测井（W13～W36），本项目排水管线附近地下水监测井布置依据如下：

（1）管线沿线应布置地下水监测井，监测井平均间距约1km；

（2）在农田、村庄、水源地等环境敏感区和管线转折处等布设监测点；

（3）排水管线附近地下水流向主要受地形控制，地下水自低山丘陵朝南偏西流向剥蚀台地与河谷平原，向五龙河汇流或向丁字湾汇流，于丁字湾汇入黄海。排水管线附近地下水监测井布置结合排水管线附近水文地质条件、含水层性质分布以及地下水径流路径；

（4）同时地下水监测井的位置不与其它建（构）筑物及生态保护等区域的位置冲突。

8.2.5　取排水管线渗漏监测

在本项目排水管线设计中将考虑管线渗漏监测手段，以确保及时发现排污管线渗漏导致非受控排放情况出现。

本项目排水管线采用双层管直埋的形式，共设置两条100%容量排水管道，当一条不可用时，另一条可满足100%排水容量。内管采用HDPE材质，外管采用防腐钢管。排水由于内外管热膨胀系数不一致，为了防止热胀冷缩产生的管道滑移切应力损伤，外管与内管间支撑采用滑动支架设计，同时可以确保内管始终处于外管中心位置。管道设置负压波/声波、分布式光纤、集液井等多种监测措施，系统性监测管道泄漏，保障管道运行安全。

液态流出物和非放废水仅通过内管输送，内外管之间预留有一定的间隙；外管可保护执行液态流出物输送功能的内管，减缓外部冲击；同时内管发生泄漏时，外管可包络滞留液态流出物。排水管线每间隔一段距离设置一处物理隔断，形成

若干个独立的密封单元。外管在每间隔约1km的局部低点处设置一座集液井。集液井内设置有液态流出物检漏装置，包括检测罐（或槽）、集液罐等设备，检测罐内设有液位监测仪表，外管通过一个支管与集液井内的检测罐连接。

管道泄漏监测系统包括：

（1）集液井：外管可分段包络滞留因内管泄漏的液态流出物，并通过支管进入检测罐中，检测罐内的液位监测仪表可实时监测液位变动并发送报警信号。此外，若内管未发生破裂泄漏的情况下，外管发生破裂泄漏，土壤中水分易渗入外管中，并被外管外侧支管收集至检测罐内，触发槽中液位监测仪表报警；可通过对漏液取样分析，判断废液泄漏来源。

（2）两端式泄漏检测装置：排水管道为有压流排水管道，管道两端及中间设置若干声波/负压波泄漏监测装置，实时在线感应管道中的异常声波/负压波，监测精度为管内流量的1%，并通过波传输时间、距离等智能系统计算定位管道泄漏位置。

（3）分布式光纤外管监测：由一根铠装光缆沿着外层管道外壁铺设，并配置光纤振动监测主机，主机内置激光光源、驱动器以及采集器和信号处理分析系统。分布式光纤振动监测系统能够将管道沿线的振动完整采集并能够清晰还原。一旦有外部压力导致的异常振动和引起的管道破裂等异常振动，可以立即识别，即时发出预警提示以及位置信息。

光纤传感技术利用光纤自身作为传感器，沿管道外壁敷设，具有连续不间断测量的优点。

8.2.6　浓盐水排放监测

本项目配套建设的海水淡化厂正常运行工况下会产生浓盐水，海水淡化厂水源为海水，经膜法工艺生产淡水的同时会产生浓盐水，其盐分来自于海水，本项目未新增盐分的排放。大部分浓盐水经排水管道排放至丁字湾内海水淡化厂排水口，少部分浓盐水（约 0.38m^3/s）随液态流出物、工业废水深度处理系统排水、非放射性生产废水系统排水排放至丁字湾外的液态流出物排水口。

对于经液态流出物排水口排放的浓盐水，由于排放量小，预计不会对周边海域的盐度造成明显影响。对于经海水淡化厂排水口排放的浓盐水，根据第六章浓盐水数模结果，浓盐水排放入海后的影响范围和影响程度均较小，对丁字湾浮游植物、浮游动物、底栖生物、渔业资源、渔业养殖的影响可接受，对“莱阳五龙

河口滨海湿地国家级海洋特别保护区”的影响可接受。

为验证本项目一期工程浓盐水排放的实际影响，本项目一期工程运行期间的浓盐水监测参考《海水淡化浓盐水排放监测与影响评估技术指南》（DB37/T 4885-2025）执行。

8.3 监测设施

8.3.1 流出物实验室

流出物实验室用于核电厂液态和气态流出物样品的预处理、样品制备、γ能谱分析、总α/β放射性测量和核素分析，以确定排放的液态和气态流出物的放射性水平，保证环境不受污染，并为编写核电厂放射性物质排放的年度评价报告提供数据。流出物实验室位于主厂区三废处理区，处于综合实验室和放射源库（56子项）的一层，初步规划设置流出物测量间1、流出物测量间2、制样与化学分析间和天平间等房间。

本项目流出物实验室为全厂共用设施（设备分期采购），设计考虑6台国和一号压水堆核电机组流出物样品的制样和检测能力。

流出物实验室应在1号机组装料前，具备投用条件；将以1号机组装料时间为基准，制定合理的设备采购、安装等进度计划，并严格按计划完成相关工作。

8.3.2 环境监测设施

山东莱阳核能项目一期工程的气象和环境监测系统（MES）包括气象观测系统和环境监测系统两个分系统。

环境监测系统由环境γ监测系统、废液采样站、环境监测站和环境监测网四个部分组成。

8.3.2.1 环境γ监测系统

环境γ监测系统由厂区内和厂区外的监测子站、环境监测车和环境γ监测计算机组成。

1）监测子站

本项目设置若干监测子站。每个监测子站包括部分或全部下述设备：

- 环境γ监测仪；
- 雨量计；
- 气溶胶及碘取样装置；
- 氚取样装置；

- C-14 取样装置；
- 大气沉降灰和雨水收集器；
- 通信设备；
- 供电设备。

各监测子站的环境γ监测仪、雨量计实时采集的大气γ辐射水平、降雨量等信息通过有线加无线的方式实时传送到环境γ监测计算机（位于应急指挥中心）。气溶胶及碘取样装置、氚取样装置以及 ^{14}C 取样装置的失电和取样故障等信息也可通过就地的通信设备传送至环境γ监测计算机。

2）环境监测车

环境监测系统配置 1 辆环境监测车。

环境监测车由车体、车载γ辐射探测器、便携式多道γ谱仪、便携式γ剂量率仪、便携式表面α/β污染仪、便携式气溶胶和碘取样装置、便携式气象观测设备、工作人员防护装备、便携式数据采集计算机、车载传输装置、车载卫星全球定位系统以及供电设备、消防用品和应急医药箱等组成。

环境监测车主要用于对厂区及周围的环境γ辐射水平进行巡测，对厂区及周围的环境介质进行放射性核素测量以及对气象和环境监测系统（MES）进行日常维护。在事故情况下可用作快速应急监测。环境γ辐射水平实时测量数据及车载卫星全球定位系统的定位数据通过车载传输装置实时传送到环境 γ 监测计算机进行处理，也可通过车内便携式数据采集计算机进行处理。

环境γ监测计算机主要实现以下功能：

- 实时采集监测子站的全部测量数据、报警信息、工作参数和设备失效信息；
- 实时采集环境监测车的测量数据、报警信息、工作参数和设备失效信息；
- 采集废液采样站设备的失效信息；
- 将采集的数据传送至环境监测网进行集中储存和管理。

8.3.2.2　废液采样站

废液采样站由若干套连续采样设备组成。采样设备拟设置在核电厂取水设施和排水设施处进行取样，样品送实验室进行分析。采样设备的失效报警信号将被传送至环境γ监测计算机。

通过对进水样品和排水样品中放射性核素的活度浓度和其他有关非放射性

元素浓度分析结果的对比，可为核电厂对环境的排放评价提供参考。

8.3.2.3　环境监测站

根据国家电投集团核能领域辐射环境监测专业化、集约化工作实施方案，本项目环境监测站拟建设在海水淡化厂区内。环境监测站共 1 层，主要设置各种实验室，包含物理测量区、办公和数据管理区、样品处理和化学实验区，实验室面积约 700 平米。

环境实验室配置各种测量分析仪表，该子项对本项目周围的环境样品进行测量分析，为评价本项目对环境的影响提供依据。在本项目发生事故的情况下，可用作对核应急取样样品进行测量分析的实验场所，为本项目的应急计划提供必要的事故监测手段。

环境实验室应在 1 号机组装料前，具备投用条件；将以 1 号机组装料时间为基准，制定合理的设备采购、安装等进度计划，并严格按计划完成相关工作。

环境监测站还配置有一辆介质采样车，主要用于常规监测时的环境新鲜样品的采集和运输，还可进行热释光元件（TLD）的布设及回收。事故时可配置便携式仪表和其它设备参与统一的应急行动，车内放置一些采样工具和样品容器等。

8.3.2.4　环境监测网

环境监测网是一个局域网，由服务器、工作站、交换机、网关、打印机及相应的操作系统和应用软件等组成。

环境监测网实时接收核电厂正常运行和事故期间来自气象专用计算机的气象数据和环境γ监测计算机的环境测量数据和报警信息，并对这些数据进行集中管理、存储、显示、报警和传送。

主要功能包括：

1）实时接收从 1 号机组时钟系统发出的时钟信息，校准本网络的时钟，同时向气象观测系统的气象专用计算机和环境γ监测系统的环境γ监测计算机发送时钟信息。

2）从下述系统或设备中采集数据，并将这些数据储存在服务器的数据库文件中：

- 气象专用计算机：

从该计算机连续自动地获取核电厂气象观测系统的气象要素数据。

- 环境γ监测计算机：

从该计算机上获取的数据有：

- 监测子站的大气γ辐射信息、雨量信息、监测仪表或取样设备的失效报警信息。
- 环境监测车上的环境γ监测仪对厂区及周围的环境γ辐射水平进行巡测的测量数据和车载卫星全球定位系统的定位数据。
- 废液采样站采样设备的失效报警信息。

3）环境监测网对采集到的气象观测数据、环境γ辐射监测数据具有集中管理、存储、显示、报警、制表和打印的能力。

4）环境监测网的数据共享及数据交换：

- 环境监测网的数据可通过规定的接口传送到应急指挥中心的信息系统；
- 环境监测网的数据可通过规定的接口传送到1号和2号机组的数据显示和处理系统（DDS）；
- 环境监测网具备向另外四个待建机组传输数据的硬件和软件扩展能力。

5）在厂外环境监测站，环境监测网还配有一台终端，用于远距离显示和打印环境监测网的数据。

6）环境监测网具有面向责任人的实时报警功能，以便在无人值班时责任人能及时了解系统的运行是否正常。

8.3.2.5　地下水监测井

本项目将建设地下水监测井。

8.3.2.6　监督性监测系统

1）系统组成

本项目将建设本厂址的辐射环境现场监督性监测系统，拟移交给山东省环境保护行政主管部门运行和管理。由地方政府使用该系统对本厂址机组流出物中的放射性水平实施监督性监测，核电厂营运单位为该系统中流出物的连续监测和定期取样提供支持。

辐射环境现场监督性监测系统（以下简称“监督性监测系统”）由外围辐射环境监测系统和流出物监测系统组成，见图8.3-1。

监督性监测系统应在1号机组装料前，具备投用条件；将以1号机组装料时间为基准，制定合理的设备采购、安装等进度计划，并严格按计划完成相关工作。

2）外围辐射环境监测系统

外围辐射环境监测系统由监测子站和前沿站构成，主要用于对环境辐射水平及相关气象参数、样品中放射性物质等进行监测和采样分析，系统设计兼顾核事故应急环境辐射监测。外围辐射环境监测系统信息送往前沿站的数据汇总中心和省级数据汇总点。

（1）监测子站

监测子站配置辐射监测设备、气象测量设备、采样设备等，用于连续实时地监督本工程所在厂址周围环境中的辐射水平和变化趋势。当本工程发生事故时，监测子站的测量数据可以为后果评价以及场外应急决策提供依据。

（2）前沿站

本项目监督性监测系统前沿站共址建位于海阳市经济开发区国家区域核与辐射应急监测物资储备库（东部）项目南侧地块。前沿站内设置环境实验室、数据汇总中心，用于对本工程所在厂址周围样品采集、处理、测量分析的前沿工作场所和对监测子站及流出物在线监测数据进行汇总、处理、存储、显示以及对外传输的场所。

3）流出物监测系统

流出物监测系统由流出物在线监测系统和流出物实验室（监督性监测系统）构成，实现对本工程释放到环境中气载、液态流出物进行在线连续监测和抽样监测的功能，流出物在线监测系统的系统流程图见图8.3-2。

（1）流出物在线监测系统

流出物在线监测系统共用本工程自行实施的流出物在线连续监测仪表，再通过本工程的核数据链服务器与独立配置的数据传输设备，将监测仪表的测量数据传输至位于前沿站的数据汇总中心和生态环境部现场监督单位。数据传输协议满足《辐射环境自动监测系统数据传输协议规范》（国环辐[2014]6号）的要求。

流出物在线监测系统将流出物在线监测仪表的测量数据传输至位于前沿站的数据汇总中心和生态环境部现场监督单位，在本工程应急指挥中心设置有流出物在线监测数据服务器、工作站和网络通信设备。

流出物在线监测系统主要完成下述功能：

- 获取各机组（2 台国和一号压水堆核电机组，预留后续压水堆核电机组）流出物在线监测数据的实时值。
- 具有本地数据展示、日志和报表功能，可动态显示系统的实时运行状态

和设备状态。

- 含超阈值报警功能，当发现异常监测数据时可自动识别。
- 具有远程数据传输功能，将获取的数据通过有线加无线的方式传输至前沿站的数据汇总中心与生态环境部现场监督单位，数据传输频率不低于1次/分钟。
- 具有就地存储三个月监测数据的功能，当本系统与监督性监测网或环保部现场监督单位发生通信中断，可在通信恢复后，将丢失的数据重新发送。
- 配置相应的数据安全措施对传输的数据进行加密，确保数据传输的安全可靠。
- 配置UPS不间断电源，以保证在正常供电失效时，流出物在线监测系统可正常工作2小时。

（2）流出物实验室（监督性监测系统）

本项目监督性监测系统流出物实验室拟同前沿站共址建设。流出物实验室（监督性监测系统）对本工程释放到环境中的气载、液态排放物进行抽样监测，并承担事故时应急样品的分析。

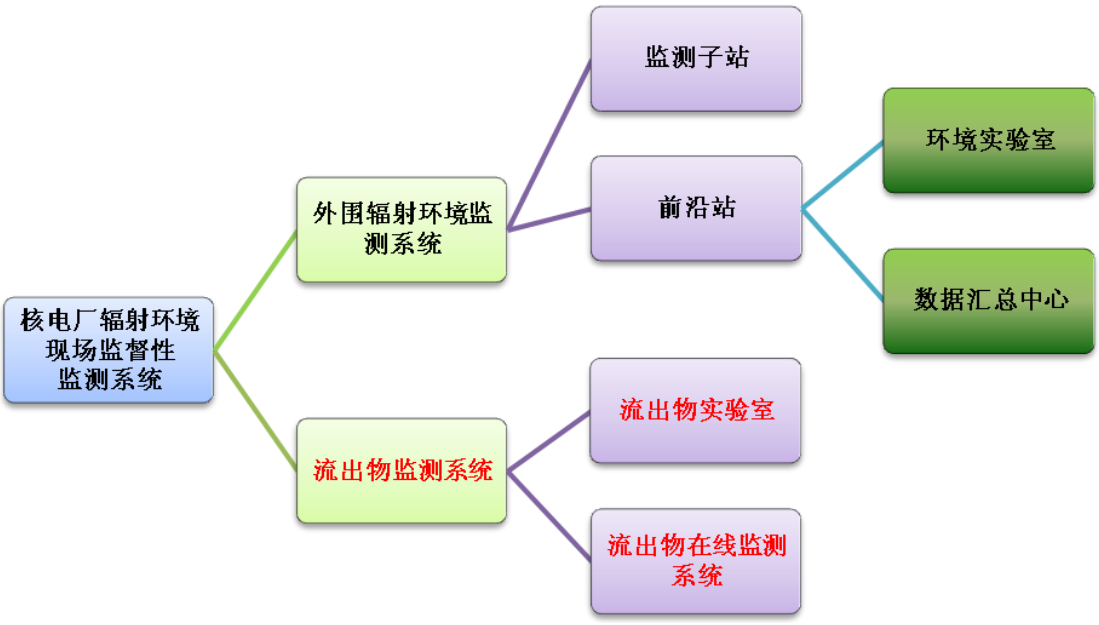


图 8.3-1　监督性监测系统组成

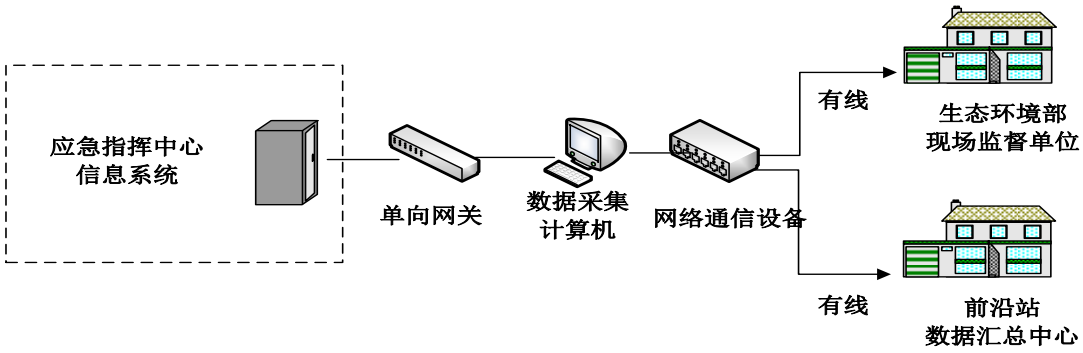


图 8.3-2　流出物在线监测系统流程图

8.4 质量保证

在核电厂正常运行情况下，需要对流出物和环境进行监测，以保障公众的安全，增加公众对核电的信心，确保核电厂的运行对环境不会造成不可接受的影响。因此流出物和环境监测质量保证是至关重要的，其目的是通过有计划的系统行动，对监测过程进行全面控制（如监测过程的组织管理，参与人员的素质要求与岗位培训，仪器设备的管理与维护，样品采集布点与频度的设计，分析过程的质量控制，监测数据的记录、复核与审核等），使测量结果具有适当置信度，保证测量结果的可信性、有效性和可比性。

流出物和环境监测的质量保证计划依据下列标准：

- 《生态环境监测条例》（中华人民共和国国务院令 第 820 号）
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）
- 《核设施流出物和放射性环境监测质量保证计划的一般要求》（GB11216-1989）
- 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）
- 《核设施水质监测采样规定》（HJ/T21-1998）
- 《气载放射性物质取样一般规定》（HJ/T22-1998）
- 《水质采样样品的保存和管理技术规定》（HJ493-2009）
- 《水质采样技术指导》（HJ494-2009）
- 《水质采样方案设计技术规定》（HJ495-2009）

8.4.1 质量控制

1）样品采集、运输和贮存的质量控制

样品采集、运输和贮存的质量控制的目的是保证采集具有代表性并保持放射性核素在分析前的原始浓度。为此应该准确地测量样品的质量、体积和流量，其误差一般控制在±10%以内。为了确定采样的不确定度，应该定期采集平行的瞬时样品。各类常规样品应妥善保存，直至得出最终分析结论。

2）分析测量中的质量控制

样品的预处理和分析测量方法应采用标准方法或经过鉴定和验证过的方法。操作人员应严格按操作程序操作，防止样品间的交叉污染。为了确定分析测量过程中产生的不确定度，应该分析测量质量控制样品。为了发现和确定环境实验室

分析测量系统的不确定性，必须参加本地区和国家组织的实验室之间的分析比对，对存在的系统误差查明原因，并采取校正措施。分析测量装置的性能应定期进行检定、校准和检验，所使用的标准源应定期进行标定。

3）数据处理

每个样品从采集、预处理到分析测量、结果计算全过程中的每一步都应有清楚、详细和准确的记录。数据处理应采用标准方法，减少处理过程中产生的误差。对于偏离正常值的异常结果应及时向技术负责人报告，并在自己的职责范围内进行核查。监测数据的正式上报或使用，必须经有关技术负责人签发。

8.4.2　质量管理

1）组织机构

建立合适的辐射监测机构并实施管理是流出物和环境监测质量保证的重要因素。对管理和实施质量计划的人员设置及其职责、权力应有明确规定。

2）人员的资格和培训

辐射监测结果的准确性与操作人员的技术水平和经验有关，因此各类操作人员应有严格的资格要求，上岗前必须进行专业培训，取得有关技术操作资格后方可上岗。为保持和适应新技术发展的要求，对各类技术人员应进行反复的技术培训、考核和技能审评。

第九章　利益代价分析

9.1　利益分析

9.1.1　运行带来的直接利益

山东莱阳核电项目一期工程规划建设 2 台国和一号机组，单台机组额定电功率 1543MWe，按 80%的负荷因子、8.3%的厂用电率估算，正常年份 2 台机组的年上网电量可达到 198.09 亿 kWh。

本工程 2 台机组的设计寿命为 60 年，在商业运行寿期内经济效益显著。

9.1.2　建设和运行带来的间接利益

9.1.2.1　社会效益

9.1.2.1.1　对关联产业的利益

核电投资建设对相当多产业形成了直接和间接拉动。关联面较大的核电是拉动我国经济增长、促进经济结构优化与升级的难得的驱动项目。

9.1.2.1.2　对区域经济的利益

核电项目能够推动和促进地方经济的发展，核电站对地方财政收入的影响主要来自于税收，包括营业税、城市维护建设税及教育费附加等，除此之外，核电项目能够为地方创造大量的就业机会，不仅在建设期需要大量的不同层次的劳动力，而且运行期间也能直接或间接地提供大量的就业岗位。

9.1.2.1.3　对社会发展的利益

本项目投产后，核电厂职工的货币购房和生活消费等，将促进当地的房地产业、零售业、通讯、教育、医疗卫生及其他市政设施（包含交通等）和社会福利事业的发展，繁荣当地经济。核电厂职工受教育水平和文化水平较高，在融入地方的过程中，也会产生积极的影响，带动整个社会发展水平的提高和技术进步。

9.1.2.2　环境效益

本项目的建设有利于调整区域能源结构，提升清洁能源占比。核电给环境带来的间接效益主要来自于其替代燃煤发电带来的减排效应，煤炭燃烧的主要污染物是 CO_2、SO_2、NO_X 以及烟尘等。本项目的建成可有效替代燃煤机组，大量减少 CO_2 排放量，并缓解酸雨现象。

9.2　代价分析

9.2.1　直接代价

9.2.1.1　电厂建设期的环保投资

本工程设置了各种放射性废物净化和处理系统、剂量检测系统、屏蔽防护及应急设施等，以控制并确保核电厂在正常运行和事故期间向环境释放的放射性物质低于国家标准，从而保障电厂工作人员和周围居民的安全。

为达到保护环境及人身安全的目的，必须对放射性三废进行严格的治理。因此，核电厂专门设置了放射性废液、废气和固体废物处理和贮存设施，尽可能降低放射性废物对公众的照射。

具体的监测和应急措施包括：

1）环境监测

核电厂应设置环境监测系统，对电厂运行期间的环境状况进行监测，同时为检验放射性废物处理系统是否满足要求提供对照测量，电厂环境设施包括：辐射监测设备、数据采集及试验仪表、气象设施、保安和放射性监测等。

2）流出物监测

核电厂还应设置流出物监测系统，对电厂运行期间的气态和液态流出物进行监测，用于测量流出物中放射性物质的种类和数量，为判断核电厂放射性排放是否满足国家标准限值或运行限值提供依据。

3）应急设施

核电厂除考虑正常运行情况下的环境保护和人身安全外，还考虑了在事故状态下人员的紧急疏散和医疗措施。

本工程项目在建设期的环保投资占项目计划总投资比例为 2.50%。

9.2.1.2　电厂运行期的环保费用

本项目并网投入商业运行后，运行期间的经济代价包括：基本折旧费、摊销费、核燃料费、大修理费、运行维护费、核后处理费、退役基金、财务费用和管理费用等。

9.2.2　间接代价

本工程建设和运行可能的间接影响所产生的代价分析如下：

1）规划限制区的影响

厂址周围规划限制区内人口的机械增长受到限制，新建和扩建的项目受到一定的规划限制和条件制约。

2）流出物排放可能引起的长期生态问题

项目正常运行过程中，气态流出物和液态流出物中的核素会在厂址周边的大气环境、水环境、土壤环境中输移扩散，对周边的生态环境产生一定的影响。经评价，流出物的影响程度是可接受的。

3）温排水可能引起的长期生态影响

本项目采用二次循环冷却方案，取排水量较小，冬季无 2°C 以上温升，其他季节无温升影响，不会对受纳水体的生态环境造成影响。

4）对局地气候的影响

本项目冷却塔运行会产生一定程度的雾羽和荫屏、飘滴和沉降等环境影响。经评价，影响范围和影响程度均可接受，不会对局地气候产生影响。

5）淡水供应的负担

项目施工过程中需要从五龙河中取水用于工程建设，对五龙河的淡水分配使用可能产生短期的影响，且影响可接受。建成运营后使用海水淡化后的淡水供电厂循环水和厂用水，不占用当地淡水资源。

6）交通运输问题

核电厂的运输包括施工期间大型设备、建筑材料的运输；运行期间的换料、乏燃料、固体废物运输；正常的人员进出等，运输量较大，不可避免增加当地的运输负担。另一方面，本项目配套建设/改造的当地道路，能够有效缓解项目对当地交通运输带来的压力。

7）当地生产率影响

本项目的建造和运行不会造成当地生产率的丧失。

8）野生动物栖息地的影响

本项目的建设和运行涉及永久占地和临时占地，可能对区域内的野生动物栖息地产生一定的影响。

9）电厂建设对当地市政建设设施产生的影响

本工程的建设和运行，使厂址所在地区的人口数量有所增加，可能造成医疗、学校、商业和基础设施如道路、供排水、供热等市政工程和生活服务设施的紧张。

10）对当地社会安全、稳定的影响

核电厂建设期间将不可避免地带动当地第三产业的发展，同时也会引起当地人口数量的增加，从而对当地的社会秩序、安全和稳定带来一定压力。为使当地有一个安定的生活环境和经济持续发展的社会环境，当地政府须增加治安、社会

服务等方面的投入。

11）为缓解不利影响而采用的所有替代方案的代价

为缓解对受纳水体的温升影响，本项目采用了二次循环冷却方案替代直流循环冷却方案，相应的增加了工程投资。

为降低冷却塔对周边土壤、生态环境的影响，并降低取水管线对周边土壤、地下水环境的潜在影响，本项目采用淡水替代海水作为冷却塔的补水水源，相应的，需配套建设海水淡化厂，增加了工程投资。

为降低排水管线对周边土壤、地下水环境和公众健康的潜在影响，本项目排水管线采用“管中管”替代单层管方案，相应的增加了工程投资。

9.3 结论

从经济层面来看，本项目经济效益良好，能给各投资方带来稳定的收益。

由于项目设计寿命长达 60 年，本项目的环境效益远大于环境代价。

从社会层面来看，本项目会对当地的交通运输、市政设施等造成一定的影响。但同时，本项目建设及运营期能为当地提供众多就业岗位，促进相关产业发展及区域经济发展，进而促进当地的社会发展。可见，本项目社会代价远小于社会效益。

通过本工程的利益—代价比较分析，可以得出，本工程的建设是必要的，也是合理可行的，该项目的建设和运行能以较小的代价获得显著的经济效益、环境效益和社会效益。

第十章　结论与承诺

10.1　核电厂建设项目

山东莱阳核电项目一期工程位于山东省烟台市所属莱阳市团旺镇东马家泊村北侧。西南距青岛即墨区（距政府驻地距离，下同）约 43km；西北距团旺镇约 6km；西北距莱西市约 24km，西距平度市约 65km；北距莱阳市约 28km；东侧距高格庄镇约 6km，距海阳市约 43km，距山东海阳核电厂址约 61km；东北距烟台市约 106km；东南距丁字湾岸边约 20km，距黄海约 32km。

山东莱阳核电项目规划容量为 6 台百万千瓦级国和一号核电机组。厂区一次规划，分期建设。一期工程建设规模为 2 台国和一号核电机组。

本项目在设计和建造过程中充分依托国家电力投资集团的工程建设管理经验，参考国和一号示范项目以及在设计、建造和运行中的其他项目的设计优化、经验反馈，以及福岛事故后的改进等，使本工程充分体现三代核电技术的安全性、可靠性和经济性。

本工程单台机组建设周期为 58 个月。工程设计寿期为 60 年。本工程环境保护设施将根据“三同时”原则，在机组运行前完成建设。

山东莱阳核电项目一期工程的建设和运行从环境影响角度是可接受的。

10.2　环境保护设施

本工程配置放射性液体废物处理系统（WLS）、放射性液体废物精处理系统（WAS）、液态流出物排放系统（LES）、放射性气体废物处理系统（WGS）、放射性固体废物处理系统（WSS）、乏燃料贮存系统、废物减容处理中心（CVRF），可有效处理核电厂运营期间产生的放射性废气、废液、固体废物。对于非放污染物，山东莱阳核电项目一期工程也采取一系列的环保措施，如非放危险废物贮存设施、工业废水深度处理系统等，以确保电厂建设和运行过程中产生的非放污染物规范处置，达标排放。另外，本项目建设流出物实验室、辐射环境监测系统，对电厂运行期间的气态流出物、液态流出物、厂址周边环境状况开展监测，确保流出物排放和环境状况满足国家标准。

10.3　放射性排放

山东莱阳核电项目一期工程 2 台机组气态流出物年排放量、液态流出物排放

口处排放浓度和年排放量能满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）标准要求。液态流出物总排放口处 5 种核素浓度均小于《海水水质标准》（GB3097-1997）中的限值。

10.4 辐射环境影响评价结论

根据计算结果，山东莱阳核电项目一期工程 2 台机组在正常运行期间所致最大个人有效剂量小于《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）中的辐射防护要求（0.25mSv/a），也小于本工程管理目标值 0.08mSv/a。因此，本项目在正常运行期间，对公众的辐射影响是可以接受的。

考虑工程实际情况，山东莱阳核电项目一期工程 2 台国和一号核电机组正常运行工况下，气态流出物/液态流出物排放造成的陆域生物/受纳水体水生生物的危害商均小于 1，流出物排放不会对厂址周边非人类生物造成的影响可接受。

本项目一期工程非居住区范围为距 1、2 号核岛各方位 800 米构成的封闭区域。本项目一期工程规划限制区为 2 台机组半径 5km（以每台机组反应堆为中心）的包络范围。从本工程各类设计基准事故的放射性后果分析可以看出，本工程安全设施设计性能可靠，事故导致的环境放射性后果满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）的事故后果限值要求，厂址非居住区和规划限制区边界的设置合理，符合《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）的规定。

厂址周边区域交通便利，无难以撤离的居民点。厂址附近通讯条件良好，居民住宅以钢筋混凝土结构和砖混结构自建房为主，对外照射有较好的屏蔽减弱能力。因此，山东莱阳核电项目一期工程在实施场外事故应急计划方面没有不可克服的困难。

10.5 非辐射环境影响评价结论

10.5.1 施工期环境影响

本项目施工期的主要污染物为扬尘、VOCs、施工噪声、生活污水、调试废水、生活垃圾、建筑垃圾、危险废物、海域施工悬沙等，通过采取环境保护措施、开展环境管理和施工期环境监测，对环境影响是有限的、暂时的，在施工结束后很快恢复，不会对周围环境造成明显不良影响。

10.5.2 散热系统对环境的影响

1）对水体的物理影响

本项目采用二次循环冷却方式，取排水量较小，海域工程施工量不大。因此工程对水体岸线侵蚀、底部冲刷、泥沙淤积以及工程附近水体的水动力条件的影响可接受。

2）散热系统对水生生物的影响

（1）取水工程对水生生物的影响

本项目采用二次循环冷却方式，取水流量较小。同时，工程将采取一定措施尽可能的降低取水口的取水流速，对水生生物的卷吸和卷载影响可接受。

（2）排水工程对水生生物的影响

本项目采用二次循环冷却方式，取排水量小，对受纳水体的温升影响主要来自于海水淡化厂排放的浓盐水，冬季排水温升不高于 2.0℃，其他季节无温升。根据一期工程正常运行工况下的三维数学模型模拟结果，冬季不利潮型下无 4℃和 2℃温升包络范围，其他季节无温升，符合受纳水体近岸海域环境功能区划对海水水质的要求。因此，本项目排水对水生生物的影响是可以接受的，不会对受纳海域的海洋生物及其栖息环境造成不良影响。同样，对于取排水系统周边的水产养殖区域，从目前的调查结果来看，对养殖的影响可接受。

3）排水工程的规划相容性

（1）国土空间规划

本项目取排水管线部分区域涉及规划的基本农田保护区，已于2023年9月取得自然资源部发布的用地预审意见（自然资办函〔2023〕1903号）。

本项目取排水管线涉及穿越陆域生态保护红线（五龙河），本项目取水口、海水淡化厂排水口均位于海洋生态保护红线内，取水管线和部分海域排水管线涉及穿越生态保护红线。本工程生态保护红线不可避让论证报告通过了烟台市自然资源和规划局及山东省自然资源厅组织的专家评审，取得了烟台市和山东省人民政府的支持性意见，符合国土空间规划要求。

（2）近岸海域环境功能区划

本项目一期工程正常运行工况下冬季无2 ℃以上最大温升包络范围，其他季节无温升，以上情况满足三类海水水质要求，满足近岸海域环境功能区划对水质的要求。

（3）生态环境分区管控要求

陆域取排水管线位于一般管控单元，部分海域取排水管线、取水口和海水淡化厂排水口涉及优先保护单元，本项目已通过生态红线不可避让论证，取得了烟台市和山东省的支持性意见，可满足生态环境分区管控要求。

4）散热系统对声环境的影响

本项目厂界处噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的 3 类标准：昼间 65dB（A）；夜间 55dB（A）。

本项目采用带淡水冷却塔的二次循环冷却方案。基于冷却塔设计方案，采取声屏障的情况下，厂址最近边界处噪声可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）的 3 类标准。本项目厂址周边居民点距离厂址均较远，距离冷却塔最近的居民点的声环境可满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）的 1 类标准。

5）散热系统对大气环境的影响

本项目散热系统对大气环境的影响主要为冷却塔的雾羽和荫屏、飘滴和沉降，以及下雾与结冰效应。

经评价，散热系统对大气环境影响的主要评价结论如下：

（1）莱阳核电厂正常运行时冷却塔雾羽引起的荫屏主要集中在冷却塔近区核电厂厂区周围有限范围内，对周围环境和陆生生态的影响可接受。

（2）核电厂址区域年平均降水量超过600mm，冷却塔飘滴引起的降水量远低于自然降水量。因此，本项目2台机组冷却塔引起的降水不会对周围环境造成影响。

（3）冷却塔周围盐沉积最大值小于200kg/km^2·月，因此冷却塔造成的盐沉积不会对周围植物产生危害。

（4）莱阳核电厂拟采用的自然通风冷却塔高度达到200m以上，具有较高的排放高度。雾羽在排出冷却塔后，由于动量和浮力作用还要向上抬升一段高度，自然通风冷却塔的雾羽到达地面可能性较小。

10.5.3　化学污染物对环境的影响

本项目各类生产废水的排放量小，经工业废水深度处理系统处理后回用至冷却塔，少量无法回用的部分与非放射性生产废水系统排水、液态流出物经陆域排水管线输送至丁字湾附近，随后与海水淡化厂排水通过海域排水管线共同排放至丁字湾外海域。

本项目不涉及余氯排放，其他化学污染物排放量均较小，且浓度较低，不会影响周边海域的海水水质和海洋生物。

10.5.4 其他污染物的影响

本项目运行期生活污水经预处理后通过管道输送至当地污水处理厂，不向周边环境释放。

本项目配套海水淡化厂排放浓盐水对受纳水体盐度的影响范围集中在海水淡化厂排水口附近，对整个丁字湾的影响有限。基于丁字湾受纳水体盐度背景值、水文水动力条件、生物适盐度特征（包括养殖品种），以及浓盐水影响范围的三维数学模拟结果，并考虑本项目海水淡化工艺、浓盐水盐度、排放量及排放前处理工艺，综合评估认为，浓盐水排放入海后的影响范围和影响程度均可接受，对丁字湾浮游植物、浮游动物、底栖生物、渔业资源和海水养殖的负面影响小，对“莱阳五龙河口滨海湿地国家级海洋特别保护区”影响可接受。少量排放至丁字湾外液态流出物排水口的浓盐水，由于排水量小，预计不会对周边海水盐度产生明显影响。

本项目的输电系统布设可满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中规定的限值要求。

本项目运行期生活垃圾分类收集，并及时清理，最终运往垃圾处理场进行无害化处置。本项目危险废物统一分类收集、规范贮存、台账管理，最终委托具备危废经营资质、持有危废经营许可证的专业处置单位定期转运、合规处置。本项目固体废物不会对环境造成影响。

10.6 公众参与和调查结论

建设单位联合地方科协制定科普宣传计划，通过科普进社区、科普进党校、科普进村庄、科普进校园、科普进机关等方式深入开展核电科普活动，传播核电的安全性能、环保价值、经济效益和社会效益，让公众了解真实的核电知识、消除公众对核电的疑虑。

根据《中华人民共和国生态环境法典》和《环境影响评价公众参与办法》的相关规定，建设单位进行了三次环评信息公开。

10.7 承诺

国电投核电（莱阳）核能有限公司承诺：在核电厂后续建设和运营过程中，按照环评报告要求及审管部门的要求，积极落实各项环保措施，做好三同时工作；积极跟踪参考电站项目的运行情况，及时将设计改进落实到本项目中；积极开展核电科普宣传工作，实现核电发展与公众意识之间的和谐。