

山东石岛湾核电站扩建二期工程

环境影响报告书

（选址阶段）

（送审公示稿）



华能石岛湾核电开发有限公司

二〇二五年十月

编制单位和编制人员情况表

项目编号	qpd7qi		
建设项目名称	山东石岛湾核电站扩建二期工程 (选址阶段)		
建设项目类别	55--167核动力厂 (核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等); 反应堆 (研究堆、实验堆、临界装置等); 核燃料生产、加工、贮存、后处理设施; 放射性污染治理项目		
环境影响评价文件类型	报告书		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	华能石岛湾核电开发有限公司		
统一社会信用代码	91371082696855604K		
法定代表人 (签章)	张延旭		
主要负责人 (签字)	常重喜		
直接负责的主管人员 (签字)	张延旭		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	苏州热工研究院有限公司		
统一社会信用代码	913205084669547113		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
游春华	2015035320350000003509320449	BH011459	游春华
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
邵贤明	第三章, 第八章	BH055874	邵贤明
徐天寒	6.2	BH062605	徐天寒
蔺鹏	第七章	BH058783	蔺鹏
徐月平	2.5, 6.1	BH016833	徐月平

游春华	第一章, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.6, 第四章, 第五章, 6.3, 第九章, 第十章	BH011459	游春华
-----	---	----------	-----

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 建设项目的进度
- 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

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 安全系统
- 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

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

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 场内运输事故
- 7.3 其它事故
- 7.4 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

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
- 1.2 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 建设项目的进度
- 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

1.1 建设项目名称和建设性质

1.1.1 建设项目名称

本项目核电厂名称为“山东石岛湾核电站”，简称“石岛湾核电站”，本项目名称为“山东石岛湾核电站扩建二期工程”，简称“扩建二期工程”。

扩建二期工程由华能石岛湾核电开发有限公司负责建设和运营管理，华能石岛湾核电开发有限公司由华能核电开发有限公司、国家核电技术有限公司、华能国际电力开发公司和华能国际电力股份有限公司出资组建。

1.1.2 建设性质

山东石岛湾核电站扩建二期工程为扩建工程，位于石岛湾核电基地。本项目东北侧的华能山东石岛湾核电厂1台200兆瓦高温气冷堆核电站示范工程已投入商业运行，山东石岛湾核电站扩建一期工程正在建设中，本项目西南侧的国和一号示范工程1号机组已经商运，2号机组正在调试。本项目采用华龙一号技术融合方案（2.0版）再建两台核电机组。

1.2 建设项目的规模和厂址总体规划

石岛湾核电基地规划总容量为1台200兆瓦高温气冷堆机组+国和一号示范工程2台机组+山东石岛湾核电站扩建4台百万千瓦级压水堆机组工程。本项目为山东石岛湾核电站扩建4台百万千瓦级压水堆机组工程的二期工程，建设2台机组，采用华龙一号技术融合方案（2.0版）。山东石岛湾核电基地按规划容量建成后，整个厂址区将形成一址多堆的核电基地。

关于统一流出物管理：（1）按照机组设计情况及厂址总体规划情况，厂址各期工程统筹考虑流出物排放量申请。其中，高温气冷堆示范工程、国和一号示范工程流出物排放申请已获批，流出物排放按照要求进行监测、管理；厂址后续项目在流出物排放申请时统筹考虑已建机组批复情况，确保厂址流出物排放总量满足规范要求。（2）华能石岛湾核电与国核示范电站签署了“石岛湾厂址四统一工作协议”，协议规定了公司与国核示范应建立厂址流出物统一排放协调机制。公司制定的《石岛湾厂址流出物统一排放三天滚动计划工作方案》对全厂址流出物排放活动的协调、计划制定进行了详细的规定。后续也将扩建一期、二期流出物排放纳入厂址流出物统一排放管理，

不断优化排放活动安排。（3）根据高温气冷堆和后续机组的实际运行情况，及时开展流出物排放量的优化工作，做好石岛湾核电基地的流出物排放量控制。

为有效落实石岛湾厂址统一环境监测管理，满足高温气冷堆、国和一号及扩建工程核电项目建设和运行的需要，华能山东石岛湾核电有限公司、华能石岛湾核电开发有限公司、国核示范电站有限责任公司共同签署了《崮山环境监测站共用技术方案》，按照“分工协作、统一管理、设备共用、数据共享、对上级监管各自负责”的原则实施石岛湾厂址统一辐射环境监测管理。共用包括环境实验室子项、监测仪器、试剂器材、监测车辆等设备设施，开展石岛湾核电基地辐射环境监测。共同建立环境监测管理与监测队伍，环境实验室的管理由国核示范电站有限责任公司牵头负责，华能山东石岛湾核电有限公司和华能石岛湾核电开发有限公司协助参与，日常运维由三方共同参与。

华能石岛湾核电开发有限公司、华能山东石岛湾核电有限公司、国核示范电站有限责任公司各自单独建设环境 γ 辐射监测系统。厂区外监测站点协同按照全厂址统一布置考虑，厂区内站点各自单独考虑。三方系统互相预留相关数据发送和接收接口，数据共享形成统一的厂址环境 γ 辐射监测数据。

据“石岛湾厂址四统一工作协议”和《厂址放射性废物与辐射监测统一管理》程序，石岛湾厂址辐射环境监测已实施统一管理和数据共享，并按照要求各自向上级监管部门报送相关文件，本期工程运行后将由华能石岛湾核电开发有限公司向监管单位上报辐射监测数据，并对报送数据的真实性、可靠性负责。

流出物实验室由扩建一期工程按照四机共用配置原则建设，扩建二期工程采购本期设备。

监督性监测方面，石岛湾核电厂址辐射环境现场监督性监测系统按满足石岛湾核电基地高温气冷堆、国和一号示范工程以及山东石岛湾核电站扩建工程共用需求规划，由华能山东石岛湾核电有限公司和国核示范电站有限责任公司共同出资建设。石岛湾核电厂址辐射环境现场监督性监测系统于2022年9月完成最终验收，已移交山东省核与辐射安全监测中心进行运行和管理。

为有效促进石岛湾厂址统一应急工作的开展，根据厂址各项目工程进展及国家核安全局《关于一个厂址多家核动力厂营运单位统一核事故应急审评问题的技术见解》，华能石岛湾核电开发有限公司、华能山东石岛湾核电有限公司、国核示范电站有限责

任公司三方共同签订了《石岛湾厂址统一应急方案》（D版），制定了高温堆示范工程运行阶段、国和一号示范工程装料前及运行阶段的厂址统一应急机制，明确了厂址统一应急工作原则，确立了厂址统一应急组织、应急准备和应急响应的要求，进一步满足多机组、多机型、多业主情况下的厂址统一应急工作要求。

1.3 建设项目经费和环保设施投资

扩建二期工程资金来源中资本金部分由本项目的各股东注资形成，贷款部分中外币及人民币部分拟通过国内商业银行提供的人民币贷款解决。扩建二期工程环保设施投资比例约 1.86%。

1.4 建设目的

（1）项目建设符合国家能源产业政策，支撑实现“双碳”目标

核电是我国电力工业的重要组成部分，核电厂基本上不排放CO₂等温室气体，属于国家鼓励发展的清洁能源。在日益重视环境保护、全球气候变化的形势下，安全高效推进核电建设，是当前我国能源发展的一项重要战略方针。“十三五”“十四五”期间，国家颁布了一系列支持核电发展的政策方针。

国家相关政策中关于积极安全有序发展核电的方针政策体现了核能对于我国当前阶段能源发展以及能源结构调整的重要性和紧迫性，同时增加核电项目投资有助于促进国民经济发展，增加核电的供应和使用量能够有效减少二氧化碳排放，助力“30•60目标”实现。因此，本期工程的建设符合当前国家能源产业政策的需求。

山东省政府于2021年10月印发的《山东省能源发展“十四五”规划》提出“要加快能源结构调整步伐，实施‘四增两减’工程，聚焦可再生能源、核能、天然气、省外来电做加法，打造全国重要的核电基地”，秉承“审慎细实”核安全理念，在确保安全的前提下，积极有序推进核电项目建设，加快核能综合利用示范推广。

国家和山东省相关政策中关于积极安全有序发展核电的方针政策体现了核能对于我国当前阶段能源发展以及能源结构调整的重要性和紧迫性，本期工程的建设符合当前国家和山东省能源产业政策的需求。

（2）项目建设是实现山东电源结构优化和能源可持续发展的需要

山东省的电源装机以燃煤为主，能源消费结构也以煤炭为主，受环境保护压力的

影响，山东省煤炭消费总量控制形势非常严峻。山东积极响应国家重要战略部署，提出实施“四增两减一提升”工程，为能源结构降压减负，并明确提出核能安全高效利用稳步推进的工作目标。此外，山东省电网电源点主要集中在西南部和西部，对于经济发达、用电量增长较快、一次能源又严重短缺的胶东半岛，长距离输电不仅投资大，输送容量也受到限制。

核能作为低碳清洁能源，本期工程的建设，不仅能有效地缓解山东能源供求的结构性矛盾，满足山东省电力负荷增长需要，还可加强受端电网支撑，推进能源供应结构多元化的进程，加快新旧动能转换，减少对煤炭等传统不可再生能源的依赖，而且能保障山东省的能源安全和经济安全，为地方和区域经济的可持续发展提供强大的动力。

因此，本期工程建设是山东省优化能源结构、实现能源可持续发展、践行国家能源安全新战略的必然选择。

（3）项目建设是适应山东电力发展需要

考虑省内规划电源建设、外电按规划进入山东电网的前提下，对山东电网进行电力平衡表明，山东电网 2032 年、2035 年电力缺额较大，具备消纳本期工程两台机组的电力空间。因此，为适应山东省电力需求增长，满足电力供应的安全性和可靠性，应加快推进本期工程的建设。

（4）项目建设推动生态文明建设，打赢蓝天保卫战，建设美丽山东

核电厂的建设可以有效减少由于燃煤发电带来的环境污染，有利于山东省大气环境质量的改善。

综上所述，本项目是“双碳”目标背景下的国家重大能源工程，项目建设符合国家核能发展和能源安全产业政策的要求，将为我国早日实现“碳达峰，碳中和”、降低碳排放提供有力支撑。核电作为低碳清洁能源，是优化电源结构、践行国家能源安全新战略的必然选择，通过核电项目建设，将进一步推动山东省能源清洁低碳转型、加快新旧动能转换的有力支撑。

1.5 建设项目的进度

扩建二期工程单台机组总工期 54 个月，扩建二期工程 3 号机组预计于 2032 年建成发电，4 号机组和 3 号机组开工间隔 12 个月。

1.6 环境影响报告书编制依据

1.6.1 相关规划

（1）发展规划

山东省人民政府 2021 年 4 月印发的《山东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》（2021 年 2 月）提出：“实施核能高效开发利用行动计划，按照“3+2”总体布局，稳步有序推进海阳、荣成、招远等沿海核电基地建设，适时启动第四核电厂址开发，探索核能小堆供热技术研究和示范，打造核能强省”。“到 2025 年，全省可再生能源发电装机规模达到 8000 万千瓦以上，在运在建核电装机规模达到 1300 万千瓦左右。”

山东省人民政府 2018 年 9 月印发的《山东省新能源产业发展规划（2018—2028 年）》提出：“围绕我国先进的三代、四代核电技术示范项目与核能小型堆多元供给平台建设，以核电技术自主创新为重点，发挥国家级核电产业创新示范平台作用，加快技术创新和产业孵化，打造我国先进的核能技术研发、人才集聚和核能综合利用产业示范高地，支撑和培育核能材料与装备制造、核电建设运维等产业发展，形成具有国际先进水平的核电装备基地和集成供应商。到 2022 年，核电技术创新能力与装备制造规模进一步提升，全省核电及配套产业产值力争突破 1000 亿元。到 2028 年，核电装备与材料关键技术走在全国前列，具备新一代核电共用技术支持能力，成为中国核电走向世界的“桥头堡”，全省核电及配套产业产值力争达到 1800 亿元。”

山东省人民政府 2021 年 8 月印发的《山东省能源发展“十四五”规划》中提出：“秉承‘严谨细实’核安全理念，在确保安全的前提下，积极有序推进核电项目建设，加快核能综合利用示范推广。到 2025 年，在运在建核电装机达到 1300 万千瓦左右。”“围绕打造胶东半岛千万千瓦级核电基地，按照‘3+2’核电总体开发布局，积极推进海阳、荣成、招远三大核电厂址开发”。“依托沿海核电基地，聚焦国和一号、华龙一号、高温气冷堆等三代及以上核电关键技术装备国产化，重点在烟台、威海、济南等地布局核电装备产业园区。”

《荣成市城市总体规划（2018—2035）》将厂址区域规划为核电配套产业园。

综上，扩建二期工程的建设符合区域发展规划。

（2）国土空间规划

《荣成市国土空间总体规划（2021—2035 年）》已于 2025 年 4 月 25 日发布。核电厂陆域区域位于国土空间规划三条控制线之外，本项目运行期温排水 4℃ 以上温升区部分涉及宁津海洋生态控制区，1℃ 温升区影响范围主要位于荣成宁津工矿通信用海区。本项目符合领海基点相关管控要求。根据分析，本项目建设及运行与国土空间规划总体上是相符的。

（3）近岸海域环境功能区划

2022 年 8 月 23 日经山东省生态环境厅（鲁环函〔2022〕88 号）批复调整厂址附近海域环境功能区划，调整后 A1~A4 四点连线围成的区域为混合区，不设水质管控目标。B1~B4 四点连线围成的区域为三类环境功能区，执行第三类海水水质标准。

（4）生态环境分区管控方案

威海市生态环境局 2024 年 4 月发布了《关于发布 2023 年生态环境分区管控动态更新成果的通知》，根据该成果：

1）本项目厂址所处区域的陆域环境管控单元

厂址陆域工程位于一般管控单元，分析表明本项目施工期和运行期陆域环境影响与厂址周围的陆域环境管控单元的管控要求相符。

2）本项目厂址所处区域的海域环境管控单元

本项目运行期温排水 4℃ 以上温升区部分涉及宁津海洋生态控制区（优先保护单元），1℃ 温升区影响范围主要位于荣成宁津工矿通信用海区。分析表明本项目施工期和运行期海域环境影响与厂址周围的海域环境管控单元的管控要求相符。

1.6.2 相关管理文件

- 关于山东省荣成市石岛湾核电厂扩建项目前期工作专家座谈会的会议纪要（国家能源局综合司，国能综纪核电〔2021〕4 号）；
- 山东省生态环境厅关于调整华能山东石岛湾核电厂址近岸海域环境功能区划的函（山东省生态环境厅，鲁环函〔2022〕88 号）；
- 山东省人民政府关于设置华能山东石岛湾核电厂压水堆扩建工程规划限制区的批复（山东省人民政府，鲁政字〔2022〕137 号）；
- 荣成市人民政府关于同意设置压水堆扩建工程非居住区的批复（荣成市人民政府，荣政字〔2021〕60 号）；

- 威海市行政审批服务局关于华能山东石岛湾核电厂扩建工程建设项目用地预审和选址意见的初审意见（威海市行政审批服务局，威审服投〔2021〕25号）；
- 关于华能石岛湾核电开发有限公司扩建工程环境影响评价执行标准的函（威海市生态环境局荣成分局，2025年8月18日）；
- 华能山东石岛湾核电有限公司高温气冷堆核电站示范工程施工生活区生活污水处理站排污登记回执，2025年5月20日；
- 关于同意设置压水堆扩建工程非居住区的复函（威海（荣成）海洋高新技术产业园管委会、荣成市人民政府石岛管理区管委会，威海高园（石）管字〔2022〕5号，2022年8月26日）。

1.6.3 法规、标准和导则

（1）主要法律法规、条例、部门规章和文件

- 中华人民共和国环境保护法（自2015年1月1日起施行）；
- 中华人民共和国核安全法（自2018年1月1日起施行）；
- 中华人民共和国海洋环境保护法（自2024年1月1日起施行）；
- 中华人民共和国放射性污染防治法（自2003年10月1日起施行）；
- 中华人民共和国环境影响评价法（2018年12月29日修正）；
- 中华人民共和国大气污染防治法（2018年10月26日修正）；
- 中华人民共和国水污染防治法（自2018年1月1日起施行）；
- 中华人民共和国噪声污染防治法（自2022年6月5日起施行）；
- 中华人民共和国固体废物污染环境防治法（自2020年9月1日起施行）；
- 中华人民共和国水土保持法（自2011年3月1日起施行）；
- 中华人民共和国海域使用管理法（自2002年1月1日起施行）；
- 中华人民共和国自然保护区条例（2017年10月7日修订）；
- 建设项目环境保护管理条例（自2017年10月1日起施行）；
- 中华人民共和国防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例（2018年3月19日修订）；
- 中华人民共和国防治陆源污染物污染损害海洋环境管理条例（自1990年8月

1 日起施行）；

- 放射性废物安全管理条例（自 2012 年 3 月 1 日起施行）；
- 危险化学品安全管理条例（自 2013 年 12 月 7 日起施行）；
- 海洋自然保护区管理办法（自 1995 年 5 月 29 日起施行）；
- 国家危险废物名录（2025 年版）（自 2025 年 1 月 1 日起施行）；
- 近岸海域环境功能区管理办法（2010 年 12 月 22 日修正）；
- 建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）（自 2021 年 1 月 1 日起施行）；
- 放射性废物安全监督管理规定（HAF401，自 1997 年 11 月 5 日起施行）；
- 环境影响评价公众参与办法（生态环境部令〔2018〕4 号，自 2019 年 1 月 1 日起施行）；
- 关于印发《生态环境分区管控管理暂行规定》的通知（环环评〔2024〕41 号，2024 年 7 月 6 日）；
- 关于印发《入海排污口监督管理办法（试行）》的通知（环海洋〔2024〕72 号，2024 年 10 月 2 日）；
- 关于印发《核电厂流出物放射性自行监测管理要求》的通知（国核安发〔2025〕120 号，2025 年 7 月 24 日）；
- 关于印发《核动力厂流出物放射性监督性监测管理要求》的通知（国核安发〔2025〕149 号，2025 年 9 月 10 日）；
- 关于发布 2023 年生态环境分区管控动态更新成果的通知（威海市生态环境委员会办公室，2024 年 4 月 29 日）；
- 荣成市国土空间总体规划（2021—2035 年）（荣成市人民政府，2025 年 3 月）；
- 威海市“十四五”生态环境保护规划（威海市人民政府，2021 年 12 月 2 日）；
- 山东省环境保护条例（2019.1.1 修订实施）；
- 山东省大气污染防治条例（2018.11 修正）；
- 山东省水污染防治条例（2020 年 11 月修正）；
- 山东省环境噪声污染防治条例（2018.01 修正）；
- 山东省海洋环境保护条例（2018.11 修正）；
- 山东省辐射污染防治条例（2014.5.1 实施）；

- 山东省固体废物污染环境防治条例（2023 年 1 月 1 日施行）；
- 山东省核事故应急管理办法（2012 年 10 月 1 日施行）；
- 山东省“十四五”核与辐射安全监管规划等。

（2）技术标准和导则

1) 辐射

- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；
- 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025）；
- 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；
- 《核设施流出物监测的一般规定》（GB 11217-89）；
- 《放射性废物管理规定》（GB 14500-2002）；
- 《低、中水平放射性固体废物包安全标准》（GB 12711-2018）；
- 《核动力厂运行前辐射环境本底调查技术规范》（HJ 969-2018）；
- 《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）；
- 《放射性废物分类》（2018 年 1 月 1 日起施行）；
- 《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD 002/01-2019）；
- 《核设施放射性废物处置前管理》（HAD 401/12-2020）；
- 《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）等。

2) 大气

- 《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）；
- 《区域性大气污染物综合排放标准》（DB37/ 2376-2019）；
- 《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）；
- 《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018）。

3) 水

- 《海水水质标准》（GB 3097-1997）；
- 《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）；
- 《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）；
- 《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ 2.3-2018）；

- 《核动力厂取排水环境影响评价指南（试行）》（HJ 1037-2019）；
- 《流域水污染物综合排放标准 第5部分：半岛流域》（DB37 3416.5-2025）。

4) 噪声

- 《声环境质量标准》（GB 3096-2008）；
- 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）；
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）；
- 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ 2.4-2021）。

5) 电磁

- 《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020）；
- 《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）。

6) 其他

- 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；
- 《环境监测质量管理技术导则》（HJ 630-2011）；
- 《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022）；
- 《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）；
- 《入河入海排污口监督管理技术指南 入海排污口设置论证技术导则》（HJ 1406-2024）；
- 《近岸海域环境监测技术规范》（HJ 442-2020）；
- 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）；
- 《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）；
- 《危险废物收集 贮存 运输技术规范》（HJ 2025-2012）；
- 《危险化学品重大危险源辨识》（GB 18218-2018）；
- 《危险货物品名表》（GB 12268-2025）；
- 《危险货物分类和品名编号》（GB 6944-2025）；
- 《核电厂施工期环境监测技术规范》（DB37/T 3547-2019）等。

1.6.4 相关技术文件

- 山东石岛湾核电站厂址邻近海域水生生态与渔业资源调查最终成果报告（B版）
（国家海洋局北海环境监测中心，2025年3月）；

- 华能山东石岛湾核电厂扩建工程海域四季同步水文测验专题分析报告（中国科学院海洋研究所，2021年12月）；
- 华能山东石岛湾核电厂扩建工程陆生生态调查专题报告（中国辐射防护研究院，2021年10月）；
- 山东石岛湾核电站扩建二期工程厂址区域环境特征及外部人为事件调查报告（中核第四研究设计工程有限公司，2024年8月）；
- 山东石岛湾核电站扩建二期工程厂址区域人口分布、饮食习惯和生活习性调查报告（中核第四研究设计工程有限公司，2024年8月）；
- 山东石岛湾核电站扩建二期工程极端气象与常规气象分析报告（山东省气候中心，2025年4月）；
- 国核压水堆示范工程运行前放射性环境本底调查专题报告（B版）（中国辐射防护研究院，2023年6月）；
- 国核压水堆示范工程运行前放射性环境本底调查专题质量保证报告（B版）（中国辐射防护研究院，2023年6月）；
- 国核压水堆示范工程电磁环境本底调查专题报告（浙江国辐环保科技有限公司，2021年11月）；
- 石岛湾核电厂址大气扩散模式研究总结报告（中国辐射防护研究院，2013年3月）；
- 石岛湾核电厂址温排水和液态流出物综合分析报告（中国水利水电科学研究院，2022年6月）；
- 石岛湾核电厂址温排水和液态流出物数模计算成果报告（中国水利水电科学研究院，2022年6月）；
- 石岛湾核电厂址温排水和液态流出物物模试验成果报告（中国水利水电科学研究院，2022年6月）；
- 山东石岛湾核电站扩建二期工程海域使用论证报告书（国核电力规划设计研究院有限公司，2024年11月）等。

1.7 评价标准

1.7.1 辐射环境影响的评价标准

（1）运行状态（包括正常运行和预计运行事件）下的剂量要求和排放控制值

按《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025）6.1 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。山东石岛湾核电厂址规划建设规模为 1 台 200 兆瓦高温气冷堆机组和 6 台百万千瓦级核电机组，高温气冷堆公众剂量不得超过 0.01mSv/a，2 台国和一号机组的公众剂量不得超过 0.08mSv/a，扩建工程为 4 台百万千瓦级核电机组，扩建一期工程的公众剂量不得超过 0.07mSv/a，本期工程 2 台机组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不得超过 0.07mSv/a。

本项目采用的是轻水反应堆，机组额定热功率为3180兆瓦。根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025）6.2款规定，对于3000MW热功率的反应堆，每座反应堆气载和液态流出物年排放量控制值为：

气载流出物：

- 惰性气体： $1.0 \times 10^{14} \text{Bq/a}$ ；
- 碘： $3.0 \times 10^9 \text{Bq/a}$ ；
- 粒子（半衰期 $\geq 8\text{d}$ ）： $9.0 \times 10^9 \text{Bq/a}$ ；
- ^{14}C ： $7.0 \times 10^{11} \text{Bq/a}$ ；
- ^3H ： $1.5 \times 10^{13} \text{Bq/a}$ 。

液态流出物：

- ^3H ： $7.5 \times 10^{13} \text{Bq/a}$ ；
- ^{14}C ： $1.5 \times 10^{11} \text{Bq/a}$ ；
- 其余核素： $9.0 \times 10^9 \text{Bq/a}$ 。

场址规划1台高温气冷堆机组加六台轻水堆机组，根据GB 6249-2025要求，场址所有反应堆的流出物年排放总量控制值见6.3条款表2。

根据比较，本项目单堆流出物排放量设计值满足GB 6249-2025控制值要求。

叠加国和一号示范工程批复的流出物排放量、扩建一期工程和扩建二期工程流出物排放量设计值以及高温气冷堆拟调整的流出物排放量申请值，得到场址流出物排放总量，满足GB 6249-2025场址流出物排放总量控制值。

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025）6.5款规定，对于接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 $3 \times$

10^7Bq/L ，碳-14的活度浓度不应超过 $3 \times 10^3\text{Bq/L}$ ，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。

（2）事故工况下的剂量限值

按《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025）5.10款的规定，在评价选址假想事故后果时，应考虑保守大气弥散条件和烟云浸没外照射、吸入内照射和地面沉积外照射途径。非居住区边界上的任何个人在事故发生后的任意2h内通过上述途径所接受的有效剂量不得大于 250mSv ，规划限制区外边界上的任何个人在事故的整个持续期间内（可取30d）通过上述照射途径所接受的有效剂量不得大于 250mSv 。在事故的整个持续期间内，环境影响评价范围内公众群体集体有效剂量应小于 $2 \times 10^4\text{人} \cdot \text{Sv}$ 。

（3）海水中的放射性核素浓度

根据《海水水质标准》（GB 3097-1997）的要求，运行期间接纳水体中的放射性核素浓度控制值为：

- ^{60}Co ： 0.03Bq/L ；
- ^{90}Sr ： 4.0Bq/L ；
- ^{134}Cs ： 0.6Bq/L ；
- ^{137}Cs ： 0.7Bq/L ；
- ^{106}Ru ： 0.2Bq/L 。

1.7.2 非辐射环境影响评价的标准

根据“关于华能石岛湾核电开发有限公司扩建工程环境影响评价执行标准的函”（威海市生态环境局荣成分局，2025年8月），以及山东省生态环境厅批复调整的厂址附近海域环境功能区划（鲁环函〔2022〕88号），确定非辐射环境影响评价的标准如下：

（1）环境质量标准

— 空气

环境空气执行《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中的二级标准。

— 海水

2022年8月23日经山东省生态环境厅（鲁环函〔2022〕88号）批复调整厂址附近海域环境功能区划，调整后A1~A4四点连线围成的区域为混合区，不设水质管控目

标。B1~B4 四点连线围成的区域为三类环境功能区，执行第三类海水水质标准。

— 声

声环境质量评价执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中的 2 类标准：昼间 60dB（A），夜间 50dB（A）。敏感点执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中的 1 类标准：昼间 55dB（A），夜间 45dB（A）。

— 电磁环境

按照《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）的公众曝露控制限值（50Hz）：电场强度：4kV/m，磁感应强度：0.1mT。

（2）污染物排放标准

— 污水

施工期及运行期的生活污水处理后排放达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中的一级 A 标准，循环回用的中水达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）。施工期调试废水、运行期生产废水排放执行《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，如回用，循环回用的中水执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）。

废水在对外排放前将按照当地环保部门要求办理排污登记。

— 噪声

施工期间噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）；运行期间厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）中的 2 类标准；厂外声环境保护目标须满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中 1 类声环境功能区限值。

— 大气污染物

施工期无组织大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）中的无组织排放监控浓度限值。运行期执行《区域性大气污染物综合排放标准》（DB37/2376-2019）。

— 固体废物

一般工业固体废物的处置和贮存执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020），危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）

中的相关要求。

1.8 工程组成

本项目是扩建工程，相关辅助设施将充分使用前期工程建设的设施，包括重件码头、施工与辅助电源输变电工程、220kV辅助电源开关站、500kV开关站、淡水管道、放射源库、进厂道路和应急道路等（均已开展环评），施工临建区在前期工程中建设，本项目主要建设扩建二期工程厂区（含主厂房区、BOP区），排水通过隧洞（暗涵）接入全厂共用的排水明渠，最终排向东侧海域。

1.9 环境保护措施

（1）辐射影响防治措施分析

本项目采用华龙一号技术融合方案（2.0版），放射性废物管理系统（放射性废气系统、放射性废液系统、放射性固体废物系统）能满足核电厂正常运行的基本需求。

废气处理系统（TEG）通过废气预处理、活性炭滞留、排放前连续监测确保废气排放满足要求。

废液处理系统（TEU）实现了对放射性废液的分类收集和处理。TEU采用较为成熟的处理工艺对放射性废液进行处理，以确保处理后排放的液态流出物浓度和总量满足国家有关标准的要求。废液采用槽式排放的方式，经取样分析合格后才予以排放。通过取样监测和在线监测两重控制的方式，可以保证对核电厂核岛和常规岛所排放的液态流出物进行有效控制。

本工程放射性废树脂、废活性炭和废滤芯采用高完整性容器（HIC）工艺处理，干废物采用先初级压缩再超级压缩的二级压缩减容工艺，保证预期最终废物包体积小于 $40\text{m}^3/(\text{堆}\cdot\text{年})$ 。

（2）非辐射影响防治措施分析

1）废水防治措施分析

本项目工业废水、生活污水按照“清污分流”“分类处理”“一水多用”的原则处理。

为了保证核电厂的正常运行，需要对电厂工艺用水进行除盐处理，通过加入一定数量的腐蚀抑制剂或化学活性添加剂（如氢氧化钠、盐酸、次氯酸钠、联氨等），将

淡水经絮凝、沉淀和离子交换除盐，以实现各系统用水的水质要求。从估算结果预计不会对排放口附近海域环境及海洋生物造成不利影响。

生活污水处理站（BEW）按照“永临结合”的方式建设，用于处理施工期的主厂区、施工准备区、临建办公区的生活污水，处理运行期的山东石岛湾核电站扩建工程4台机组包括核岛、常规岛以及其它BOP厂房、办公室、值班室等场所的生活污水。主体工艺采用“厌氧缺氧好氧除磷（A²O）”，废水经处理后达标回用或排放。

非放射性含油废水进入非放射性含油废水处理站（BES），经过贮存、油水分离处理。分离出的油脂收集后装入油桶，交由有资质的单位处置。分离出的水排入非放工业废水处理系统，非放工业废水处理系统处理后回用或排放。

2) 噪声污染防治措施分析

- 合理进行总平面布置，使重点噪声源尽量布置在厂区中部，并充分利用其他辅助建筑物进行屏蔽。
- 发电机、汽轮机、水泵、风机等设备均密闭于厂房内、高噪声设备均经过减震、隔噪等工程措施处理。通过多种方式使厂区边界处噪声满足国家标准要求。

3) 固体废弃物污染防治措施分析

- 一般工业固弃物：核电厂在正常运行过程中因设备的维修、零部件的损坏等会产生一定量的工业固废，有废木材、废钢铁、废电缆、废塑料、废金属、废电动机、废变压器和废空调等，将纳入全厂固废收集处理系统，委托专业废弃物公司对上述废物进行处置。
- 危险固废：本项目运行时将会产生废矿物油、废涂料、废碱、废乳化液、废石棉类材料、废油面纱/布、废电子线路板、感光材料废物、废树脂、无机氟化物废物、废酸、含汞废物、含铅废物以及废化学试剂等危险固废，将其归类暂存于危险废物库，委托具有危险废弃物处置资质的公司对其外运处置。
- 生活垃圾及污泥：本项目运行时厂区工作人员产生的生活垃圾由专门部门清运处置、生活污水处理站产生的污泥，检测合格后回用或由专门部门清运处置。

1.10 评价范围

（1）辐射环境

辐射环境的评价范围是以扩建二期工程3号机组反应堆为中心，半径80km范围的

区域。

（2）非辐射环境

1）水环境和海洋生态环境

参照《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025），评价范围为受纳海域 0.5℃温升范围，重点考虑取排水口附近海域及相关功能区管理要求，以及有关环境保护目标的环保要求。

2）大气环境

由于核电厂施工期废气为无组织排放，因此评价范围为施工厂界和有关环境保护目标。

3）声环境

声环境影响的评价范围为厂界外 200m 及声环境保护目标。

4）生态环境

参照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目陆域生态环境评价范围以核电厂永久占地和临时占地范围为主，并考虑附近自然保护区和生态敏感区。

5）电磁环境

参照《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020），本项目电磁环境影响评价范围以厂内输变电工程站界外 50m 以及输电走廊（厂内部分）边导线两侧各 50m（500kV）或 40m（220kV）区域。

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

2.1 厂址地理位置

2.1.1 厂址位置

2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区

图

图 2.1-1 厂址地理位置示意图

2.1 厂址地理位置

2.1.1 厂址位置

山东石岛湾核电站厂址位于山东省威海市所辖荣成市石岛管理区宁津街道办事处东南。工程以北 3.2km 处为宁津街道办事处机关驻地——宁津所，厂址西南及西面分别与东墩、所前王家相望，东部面向黄海。西北距烟台市约 120km，西北距威海市约 68km，西北距荣成市约 23km，西南距山东海阳核电厂址约 105km。

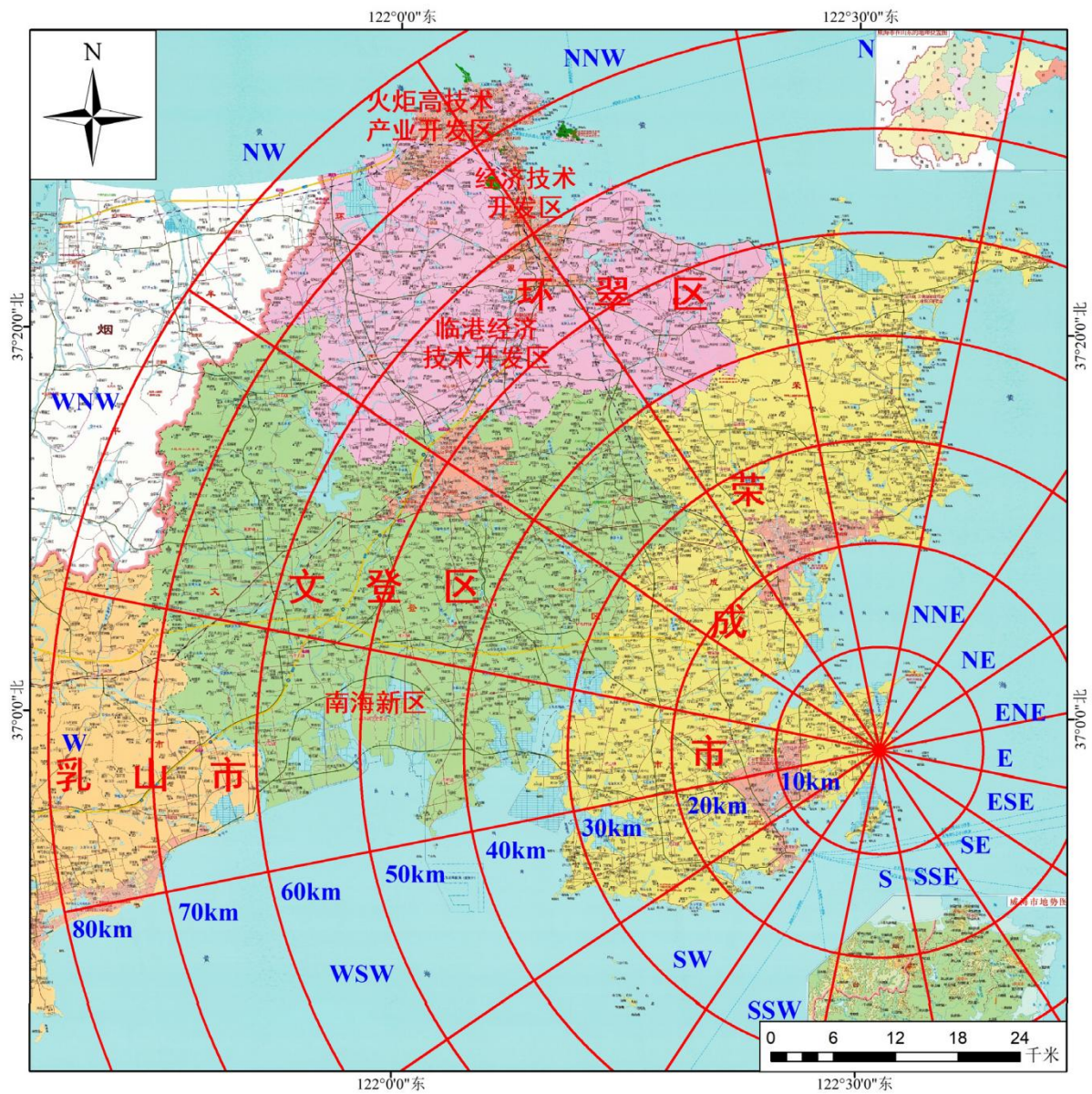
厂址地理位置见图 2.1-1。扩建二期工程主厂房布置在扩建一期工程西南侧，3、4 号机组平行布置。

2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区

扩建二期工程用地类型有农用地、建设用地和其他土地。

根据厂址周围环境特征，以反应堆为中心设置半径 500m 非居住区。根据评价，选址假想事故发生后任意 2h 内，非居住区边界上的公众个人（成人）受照最大有效剂量为 $1.69 \times 10^{-1} \text{Sv}$ ，占国家标准限值的 67.6%。扩建二期工程非居住区边界设置是合理的。荣成市人民政府已发函“荣成市人民政府关于同意设置压水堆扩建工程非居住区的批复（荣政字〔2021〕60 号）”，威海（荣成）海洋高新技术产业园管委会、荣成市人民政府石岛管理区管委会发函“关于同意设置压水堆扩建工程非居住区的复函（威海高园（石）管字〔2022〕5 号）”，同意以山东石岛湾核电站扩建工程反应堆为中心设置半径 500m 的非居住区，华能石岛湾核电开发有限公司对非居住区内超出征地范围的区域做好安全管理工作。华能石岛湾核电开发有限公司已与国核示范电站有限公司签署文件，两个核电厂征地范围外、非居住区范围内的交叉区域由华能石岛湾核电开发有限公司负责管理。

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025）的要求，在山东石岛湾核电站扩建二期工程厂址周围设置半径 5km 的规划限制区。2022 年 7 月 20 日，山东省人民政府正式印发《关于设置华能山东石岛湾核电厂压水堆扩建工程规划限制区的批复》（鲁政字〔2022〕137 号），批复确定以扩建工程每台机组反应堆为中心，周围半径 5km 为规划限制区。根据评价，对于选址假想事故，事故持续时间 30d 内，规划限制区边界上的公众个人（成人）受照最大有效剂量为 $4.18 \times 10^{-2} \text{Sv}$ ，占国家标准限值的 16.7%。



山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
厂址地理位置示意图		
图 2.1-1	版次：	A

2.2 人口分布与饮食习惯

2.2.1 厂址半径 15km 范围内的人口分布

2.2.2 厂址半径 80km 范围内的人口分布

2.2.3 居民的年龄构成及饮食习惯和生活习性

2.2.4 参考资料

2.2 人口分布与饮食习惯

山东石岛湾核电站扩建二期工程环境影响评价区（厂址半径 80km 范围）内涉及威海市所辖的荣成市、文登区、环翠区、经济技术开发区、临港经济技术开发区、火炬高技术产业开发区、南海新区、乳山市和烟台市牟平区。

人口数据来自威海市、烟台市公安局、统计局获取的相关市区县 2023 年度统计公报或 2023 年度人口统计资料，户籍人口均来自各级公安局，常住人口均来自各级统计局。

人口统计按子区分别进行，以扩建二期工程 3 号机组反应堆为中心划分半径为 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 和 80km 的同心圆，辐向以罗盘方位为扇形区中心线，划分成 16 个方位，评价区共有 192 个子区。

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 范围内的人口分布现状

厂址半径 5km 范围涉及宁津街道、东山街道、桃园街道共 41 个居民点或自然村。户籍人口共计 16478 人，常住人口共计 18106 人。距离厂址最近居民点为宁津街道的周庄村，位于厂址 NW 方位 1.1km 处。户籍人口最多的居民点为宁津街道的东墩村，位于厂址 SW~WSW 方位 1.76km 处。

厂址半径 5km 范围内陆域平均户籍人口密度为 499 人/km²，陆域平均常住人口密度为 549 人/km²，均低于山东省同期平均人口密度，高于威海市同期平均人口密度。

扩建二期工程非居住区范围内无常住居民。

厂址半径 5km 范围涉及的旅游景点主要为宁津渔家风情样板片区包含的村落，其中距离厂址最近的旅游景点为厂址 SW~WSW 方位 1.76km 处的东墩村。

综合厂址半径 5km 范围内常住人口、流动人口、公共设施、旅游人口情况，目前没有万人以上的人口集中区。厂址半径 5km 范围内企业职工人数和游客较少，无大规模公共设施，不存在出现大规模人口机械增长的因素，预计不会出现万人以上的人口集中区。

2.2.1.2 厂址半径 10km 范围内的公共设施

厂址半径 10km 范围共有学校 9 所。其中距离厂址最近的是荣成市宁津街道中心幼

儿园，位于厂址 WNW 方位 2.36km 处。学生人数最多的学校为荣成市石岛湾中学区，位于厂址 WSW 方位 8.19km 处。

厂址半径 10km 范围内已建敬老院有 4 所。距离厂址最近的敬老院为宁津敬老院和荣成市官道老年公寓，位于厂址 SW 方位 2km 左右处。

厂址半径 10km 范围内医院和卫生院共 3 家。距离厂址最近的医院为荣成市宁津街道卫生院。

厂址半径 10km 范围内风景名胜区有历史文化名村东楮岛景区、甲子山庄景区、山东省威海市荣成市国家电投新能源科技馆 3 个 AAA 级以上风景名胜区，距离最近的为甲子山庄景区，位于厂址的 W 方位，距离 6.1km。

厂址半径 10km 范围内没有监狱。

2.2.1.3 厂址半径 15km 范围内的人口分布现状

厂址半径 15km 范围内涉及宁津街道、东山街道、桃园街道、斥山街道、王连街道、港湾街道、崂山街道和滕家镇。居民点（行政村或社区）总数为 163 个，其中超过千人行行政村、社区共计 33 个，其中人口最多的为位于厂址 SW 方位 13.16km 处的港湾街道中心处的单位小区。距离厂址最近居民点为宁津街道的周庄村，位于厂址 NW 方位 1.1km 处。

厂址半径 15km 范围陆域面积为 229km²，陆域平均人口密度为 603 人/km²。低于山东省同期平均人口密度，高于威海市同期平均人口密度。陆域平均常住人口密度为 764 人/km²，高于山东省和威海市同期平均人口密度。

厂址半径 15km 范围有几处人口居住较集中、较密集的区域，分别为港湾街道中心、桃园街道中心及斥山街道中心，均位于石岛管理区中心城区。

厂址半径 15km 范围内流入人口最多的为务工和务农，斥山街道流入人口最多。

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 范围内的人口分布现状

厂址半径 80km 评价区范围内，共有户籍人口 2182390 人，常住人口 2500299 人，分布在 N~NNE、S~NNW 共 9 个方位的扇形区域内，其中人口最多的方位为 NNW 方位，共有户籍人口 635406 人，占总人口数的 29%。人口最多的城镇为荣成市的崖头街

道，位于厂址 NNW 方位 21.60km 处。距离厂址最近的城镇为荣成市的宁津街道，位于厂址 WNW 方位 3.25km 处。按厂址半径 80km 范围的陆域面积计算，评价区内的平均户籍人口密度为 434 人/km²，低于山东省和威海市同期平均人口密度；平均常住人口密度为 498 人/km²，低于山东省同期平均人口密度，高于威海市同期平均人口密度。

厂址半径 80km 范围共有 5 个 10 万人以上人口中心，分别是荣成市市区、文登区市区、火炬高技术产业开发区市区、威海经济技术开发区市区、环翠区市区。其中人口最多的是位于厂址 NW~NNW 方位约 70km 处的环翠区市区。

2.2.2.2 厂址半径 80km 范围内的预期人口分布

根据《核电厂厂址选择及评价的人口分布问题》（HAD101/03）的要求，需要预测核电厂投运及电厂寿期内（每隔十年）核电厂址周围区域的人口数量。

专题单位采用中国人口预测系统（CPPS, China Population Prediction System）预测山东省人口，并使用马尔萨斯人口模型计算自然增长率，将得到的自然增长率结果乘以 80km 范围内总人口数，得到本项目 3 号机组投产年份（2032 年）起始 60 年寿期内每隔 10 年厂址半径 80km 的预期人口数。

2.2.3 居民的年龄构成及饮食习惯和生活习性

2.2.3.1 居民年龄构成

根据常住人口，厂址半径 80km 范围居民的年龄构成按≤1 岁，1~7 岁（含），7~17 岁（含），17 岁以上几个年龄组统计。

2.2.3.2 居民饮食习惯和生活习性

厂址半径 80km 范围内居民食谱的调查方式为资料收集结合现场调查方式，由于厂址半径 80km 范围内主要涉及山东省威海市及烟台市，因此资料主要包括《山东省统计年鉴（2023）》中居民食谱、年食物消费量统计数据，并结合《核设施评价区居民食物消费量参考值的推荐》中由 2002 年我国营养与健康状况调查资料输出的我国沿海部分省、自治区、直辖市不同区域城乡居民个人食物消费量数据表与我国部分内陆核设施、我国部分滨海核设施评价区成人食物消费量值推荐表进行参考。并且通过对评价区内的居民发放问卷和座谈方式进行实地调查复核。

此范围内的居民分为城镇居民、农村居民和渔民，调查区内的居民主食以面食为

主，辅以大米及其他主食；肉类以猪肉为主，水产品以鱼类为主。本次居民食谱调查对厂址半径 5km 范围内的 12 个居民组（小河东、西钱家、东张家、于家、周庄、曲家、杜家、项家庄、南泊、东钱家、东墩、前王家）通过现场走访、发放调查表格的方式进行。根据居民组人口数量设定调查表数量。收回的调查问卷共涉及有效调查人数 853 人，无少数民族，叠加 2020 年的调查样本 555 份，样本量共计 1409 份。此范围内的居民分为农民、渔民以及城镇居民，调查区中居民的主食以面为主，多数为本子区内或邻近子区自家种植的小麦，另外少量购买外地大米。春菜以自家种植的菠菜、韭菜、小白菜、大葱为主；夏季以自家种植的黄瓜、豆角、茄子、土豆等为主；秋、冬季以自家种植的白菜、土豆、萝卜等为主，蔬菜绝大多数是自家门前种植。肉类以调查范围内本地养殖的猪肉、牛肉、羊肉为主，禽肉食用相对较少，全部来自调查范围内养殖的禽类。鱼类几乎全部来源于调查范围内养殖。鲜蛋、水果也基本是调查范围内自产自销。牛奶基本是购买包装牛奶。

本次调查选取各个方位最近的居民点作为本项目可能的关键居民组，N 方位为东钱家，NNW 方位为西钱家，NW 方位为小河东，WNW 方位为曲家，W 方位为前王家，WSW 方位为东墩。为增加样本量，本次可能的关键居民组食谱调查计算叠加 2020 年完成的前次调查的样本量，且将调查结果与《中国居民膳食指南（2022）》中婴幼儿、儿童、青少年和成人食物推荐量进行对比，结果均在推荐范围内，认为本次调查结果是合理的。

厂址半径 80km 范围内居民生活习性的调查方式主要为抽样调查辅以资料收集方式，走访厂址半径 80km 范围涉及的荣成市、环翠区、文登区、乳山市、牟平区并对城镇居民、农民、渔民随机抽样调查。厂址半径 5km 范围内居民和关键居民组生活习性调查方法、人数与食谱调查一致。调查结果显示：除渔民外，年龄大于 17 岁的居民岸边活动较多，游泳时间较少，几乎没有划船活动。儿童和青少年的岸边活动时间较少，有较少的划船和游泳活动。对于渔民来说，划船时间较多。

2.2.4 参考资料

- [1] 山东石岛湾核电站扩建二期工程厂址区域人口分布、饮食习惯和生活习性调查报告，中核第四研究设计工程有限公司，2024 年 8 月。

2.3 土地利用及资源概况

2.3.1 土地和水体的利用

2.3.2 陆生资源及生态概况

2.3.3 水产资源及生态概况

2.3.4 工业、交通及其它相关设施

2.3.5 参考资料

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

（1）土地利用类型和国土空间规划

根据荣成市自然资源与规划局提供的 2023 年土地利用数据，厂址半径 10km 范围主要涉及威海市荣成市宁津街道、东山街道、桃园街道和斥山街道部分区域。半径 10km 范围内土地利用类型以耕地占比最高（主要为旱地），其次是水域及水利设施用地（主要为养殖坑塘）和林地。

山东石岛湾核电站扩建二期工程永久用地土地类型主要有农用地，建设用地及其他土地。2022 年 6 月 30 日，扩建工程取得自然资源部的用地预审批复意见。

根据《荣成市国土空间总体规划（2021—2035 年）》，核电厂陆域区域位于国土空间规划三条控制线之外。

厂址陆域半径 10km 范围内的生态保护红线主要位于以下 3 处位置：（1）厂址西～西南方位约 5～9km 处，荣成市朝阳山及周边的山体区域；（2）厂址西北方位最近约 9km 处，八河水库；（3）厂址北方位约 5～6km 处，马兰耩村北侧的林地。

根据规划：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，其他区域严格禁止开发性生产性建设活动，在符合现行法律法规的前提下，除国家重大项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。

厂址陆域范围位于三条控制线之外，距离生态保护红线较远，且核电厂建设和运行均不会对生态保护红线产生影响。因此本项目建设及运行总体上与国土空间规划陆域部分是相符的。

（2）陆域生态保护红线和自然保护区

根据威海市生态环境分区管控方案（2023 年），厂址附近的陆域生态保护红线为荣成市胶东丘陵生物多样性维护保护红线。

该管控区最近处位于本项目 3 号反应堆 NW 方位 4.1km，本项目不涉及该管控区，符合该管控区的要求。

一 山东荣成大天鹅国家级自然保护区

厂址半径 10km 陆域范围内涉及 1 处自然保护区，为山东荣成大天鹅国家级自然保护区。位于厂址的 W~NW 方位，最近距离 8.8km。该片区原为荣成八河港省级湿地公

园，近期的自然保护地优化整合中将其纳入了荣成大天鹅国家级自然保护区，该保护区的保护目标为大天鹅等珍稀濒危鸟类及其赖以生存的滨海潟湖湿地生态系统，保护区 1992 年批准成为市级自然保护区，2000 年晋升为省级自然保护区，2007 年建立国家级自然保护区。

（3）生态环境分区管控方案中陆域环境管控单元

根据威海市生态环境分区管控方案（2023 年）中管控单元分布及管控要求，本项目位于一般管控单元，且不涉及一般生态空间。根据分析，本项目与厂址周围的环境管控单元的管控要求相符。

（4）风景名胜区

厂址半径 10km 范围内有历史文化名村东楮岛景区、甲子山庄景区、山东省威海市荣成市国家电投新能源科技馆 3 个 AAA 级以上风景名胜区。

一 荣成市东楮岛村

荣成市东楮岛村位于荣成市东南最东端的一个狭长半岛上，于明神宗万历年间建村。岛上种满了楮树，村落由此而得名。村落呈荷花状，北东南三面环海，西有一路通陆，环境优美，气候宜人。

村里海草房民居别具特色，2007 年 6 月 9 日，被国家建设部和国家文物局评为中国历史文化名村。2012 年，东楮岛村入选首批中国传统村落名录。

东楮岛位于厂址 NNE 方向，距离厂址最近距离 7.5km。

一 甲子山庄

荣成市甲子山露营休闲基地以茶叶、水果、粮食、蔬菜有机栽植及采摘园休闲观光、餐饮服务娱乐服务等于一体。

甲子山庄位于厂址 W 方向，距离厂址最近距离 6.1km。

一 国家电投新能源科技馆

该科技馆由国家电投投资建设，国核示范布展运营，设有企业馆、生活馆、美术馆、书吧、电影院等，是展示山东乃至全国能源行业品牌形象的重要窗口、国际合作交流的重要平台。

国家电投新能源科技馆位于厂址 NW 方向，距离厂址最近距离 9.4km。

（5）文物古迹

厂址半径 10km 陆域范围涉及名胜古迹 10 处，包括全国重点文保单位 1 处，省级

文物保护单位 2 处，县市级文物保护单位 5 处。

— 全国重点文物—留村石墓群

2012 年留村石墓群入选国家第七批全国重点文物保护单位，2013 年 5 月文化部正式发布。

石墓群位于厂址 WSW 方向，距离厂址最近距离 5.3km。

— 省级保护文物—东楮岛海草房

东楮岛海草房位于厂址 NNE 方向，距离厂址最近距离 8.2km。

— 省级保护文物—东墩海草房

东墩村现有保存比较完好的、有 200 年以上历史的海草房 30 多幢。

东墩海草房位于厂址 SW 方向，距离厂址最近距离为 2.0km。

2.3.1.2 水体利用

（1）水体利用情况

厂址半径 15km 范围内共有 20 座水库，仅有 1 个大型水库——八河水库，距离最近的为甲子山水库，位于厂址 W 方位，距离 6.1km。其余 19 座水库为防洪灌溉用的中小型水库。根据《山东省水利厅关于公布〈全省重要饮用水水源地名录〉的通知》（鲁水资字〔2015〕25 号），八河水库已不是饮用水源地，八河水库区域目前为荣成大天鹅国家级自然保护区（八河片区），调查范围内的水库无居民生活饮用水取水口。

厂址半径 15km 范围内主要河流为小落河、王连河，小落河距离厂址最近处位于厂址 WNW 方位 14.5km，王连河距离厂址最近处位于厂址 W 方位 11.9km。调查范围内的河流无居民生活饮用水取水口。

厂址半径 15km 范围内有一凤凰湖，位于厂址 WSW 方向 10.5km 处，为国家 3A 级旅游景区，不作为水源地及灌溉用途。

厂址半径 15km 范围饮用水水源主要是地下水，通过自各村自建的深井、大口井等供水工程对本村集中供水，少量行政村使用市政大管网统一供水。同时也有少数村庄通过小型塘坝集中供水。

其中使用地下水（深井、大口径）的行政村占比为 91.3%，使用大管网供水的行政村占比 8.6%。仅有 3 个行政村共用自建塘坝供水，均位于厂址的 SE 方位，距离 13.1km。

距离厂址最近的水井位于周庄、小河东，位于厂址的 NW 方位，距离 1.1km。

根据厂址附近范围水文地质调查，厂址区西部居民生活取水点均为风化裂隙水或第四系孔隙水的浅水井，该层厚度较小，起伏较大，含水量较少，水井单位涌水量一般小于 $100\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$ 。厂址临近海边，处于本水文地质单元的下游，居住区和农业生产处于上游区。

本工程用海总面积为 129.3005hm^2 ，包括温排水用海和海底电缆管道用海。

（2）环境功能区划

2022 年 8 月 23 日经山东省生态环境厅（鲁环函〔2022〕88 号）批复调整厂址附近海域环境功能区划，调整后 A1~A4 四点连线围成的区域为混合区，不设水质管控目标。B1~B4 四点连线围成的区域为三类环境功能区，执行第三类海水水质标准。

（3）国土空间规划

根据《荣成市国土空间总体规划（2021—2035 年）》，本项目 1°C 温升区主要位于荣成宁津工矿通信用海区。

根据评价分析，本项目 1°C 温升区涉及海域养殖，建设单位将按照与当地政府已签订的补偿框架协议协调解决。本项目对海洋水文动力环境影响较小。因此，本项目温升影响满足荣成宁津工矿通信用海区管控要求。

本项目部分 4°C 以上温升区涉及宁津海洋生态控制区。根据规划，海洋生态控制区以生态保护与修复为主导用途，原则上应予以保留原貌、强化生态保育和生态建设、限制开发建设。生态控制区内原则上严禁随意开发，不得擅自改变岸线、地形地貌及其他自然生态环境原有状态。加强用海活动监督与环境监测，严格限制区内影响海洋生态的用海活动，维护、恢复、改善海洋生态环境和生物多样性，保护自然景观，提高保护水平。

根据报告书 6.3 节的评价分析，本项目运行期的化学污染物和经处理后排放的生产废水、生活污水对海域的影响较小。温排水对该区域的海水环境影响较小。本项目建设及运行总体上与国土空间规划海域部分是相符的。

本项目 1°C 温升区涉及荣成黑石岛、东南江、老铁石、北帽子、东山号等 5 个生态保护类海岛， 4°C 温升区涉及老铁石。针对上述海岛的管控，根据 2024 年 1 月山东省自然资源厅出具的有关意见，荣成黑石岛等海岛周围海域不涉及生态保护红线；本工程对海洋水文动力环境影响较小，本项目的建设和运行对海岛的岸滩稳定性无影响。

综上分析，本项目建设及运行总体上与国土空间规划总体上是相符的。

（4）海洋生态保护红线和生态环境分区管控方案中海域环境管控单元
根据分析，本项目与厂址周围的环境管控单元的管控要求相符。

（5）水产种质资源保护区

厂址半径 15km 范围内有一个国家级水产种质资源保护区—荣成楮岛藻类国家级水产种质资源保护区。主要保护对象为大叶藻、石花菜、马尾藻。特别保护期为每年 5-8 月。该保护区是离厂址最近的一个保护区，最近边界位于本工程排水口的 N 方位约 7km。

（6）海草床

根据文献调查结果，本项目以北的桑沟湾分布较大面积的海草床。

其中与本项目距离最近的分布区位于荣成东楮岛渔港码头西侧，分布面积约 0.1km²，海草床种类为鳗草和日本鳗草。

2.3.2 陆生资源及生态概况

2.3.2.1 农业生产状况

厂址半径 80km 范围内粮食作物种植普遍为一年两季，小麦和玉米轮作，每年 5 月左右种植玉米、玉米收获后的 10 月左右种植冬小麦。经济作物则以油料作物花生为主，也有少量药材和棉花等种植。瓜类种植以西瓜为主，也有部分甜瓜种植。水果种植以苹果和梨为主，也有葡萄和桃子种植。

厂址半径 80km 范围内是苹果主产区，在每年的秋季，区域内生产的苹果大量销往全国各地。厂址半径 15km 范围内主要种植农产品有粮食作物冬小麦、夏玉米；油料作物大豆、花生以及一些蔬菜瓜果作物。

2.3.2.2 牧业生产概况

厂址半径 15km 范围内共有养殖场 128 家，主要饲养品种为生猪，有少量牛、羊、鸡、蛋鸡、鹅饲养场，奶牛场仅 1 家，位于王连街道峨石村，位于厂址的 W 方位，距离 12.1km。

2.3.2.3 林业资源和其它矿产资源

厂址半径 15km 范围内以国家级公益林为主，占比 63.54%，其次是一般商品林，占比 19.39%。

厂址半径 15km 范围涉及 1 处采矿区，为荣成市石岛矿产资源开发有限公司甲子山矿区，矿种为建筑用花岗岩，开采方式为露天开采，矿山最近点位于厂址 W 方位，距离 4.5km。

厂址半径 15km 范围还涉及 8 处规划矿区，矿种为饰面用花岗岩和建筑用花岗岩。此外，在厂址东部海域还有 1 处勘察规划区块，为山东省荣成市石岛地区东部近海海砂详查区块，该区块最近点位于厂址的 E 方位，距离 7.6km。

2.3.2.4 陆生生态系统状况

厂址陆生生态调查专题采取资料收集与现场调查相结合的方式，资料收集的调查范围为厂址半径 80km 的陆域，现场调查的调查范围为厂址半径 10km 的陆域。于 2020 年 7 月 12 日—17 日赴现场进行植物调查和夏季动物调查，2020 年 10 月 22 日—24 日进行秋季动物调查，2021 年 1 月 19 日—21 日进行冬季动物调查，2021 年 3 月 21 日—24 日进行春季动物调查。

（1）陆生植物调查样线和样方的布设

在厂址半径 0-5km 范围布设 12 个调查样线，在厂址半径 5—10km 范围，布置 4 条样线。在现场调查中，根据生态环境的实际情况对陆生植物调查样线的具体位置进行确定，提供 GPS 信息，并做适当调整，以便调查结果反映最具代表性的生态系统类型。

（2）野生动物样线和样点的布设

对厂址半径 10km 范围内的动物资源状况，根据陆生动物不同类群，选择样线和定点观察相结合的方法开展现场调查。在调查区域布设 9 条样线，样线涵盖了调查区域内的典型生境，包括林地、灌丛、草地、农田、居民区、海岸湿地、河流、水库、养殖塘等生态景观。

（3）植被概况

根据实地踏勘和调查统计的结果，厂址周围 10km 陆域范围植物调查有维管束植物 49 科 123 属 156 种（含变种及种下等级）。调查区是植物物种多样性较为丰富的区域，且被子植物在调查区植物区系占主要地位。

调查区主要群落类型有：落叶阔叶林、暖性针叶林、落叶阔叶灌丛、暖热性疏灌草丛和草本沼泽等。

调查区分布的乔木层主要以黑松、槐、杨树等为主，灌木层种类较为复杂，且多为多优势种的群落，包括胡枝子、兴安胡枝子、紫穗槐等植物。通过对调查区的踏察及植被群落的样方调查，调查区域的森林植被，面积最大，生物量最高的植物群落主要是人工种植的杨树，其建群种只有一个，为单优势种或单优势种群落，林下的灌木层、草本层的优势种常为单优势种或多优势种。根据按照《国家重点保护野生植物名录》，本次调查，发现有国家Ⅱ级重点保护野生植物 1 种，为野大豆（*Glycine soja*）。

（4）动物概况

一 两栖动物

在距厂址 10km 范围内，通过样线法实地调查，共记录两栖动物 1 目 4 科 4 属 4 种。其中夏季记录两栖动物 1 目 3 科 3 属 3 种，即无尾目蟾蜍科的中华蟾蜍、蛙科的黑斑侧褶蛙和姬蛙科的北方狭口蛙；秋季只记录 1 目 1 科 1 属 1 种，即无尾目铃蟾科的东方铃蟾；冬季调查时两栖动物处于休眠期，未记录到两栖动物；春季调查时两栖动物尚未出眠，也未记录到两栖动物。

从数量来看，黑斑侧褶蛙最多，北方狭口蛙次之，中华蟾蜍和东方铃蟾较少。

一 爬行动物

厂址 10km 陆域范围，只在夏季常青园西寺样线的墓地稀疏草丛中发现 1 条虎斑颈槽蛇，在西寺附近山坡路边发现 1 条丽斑麻蜥。在一墓地稀疏草丛中发现 1 条游蛇科的虎斑颈槽蛇。冬季和春季现场调查未记录到爬行动物。

一 鸟类

厂址周围陆域 10km 区域范围，经过夏、秋、冬、春四季现场调查，厂址周围 10km 陆域范围，共记录鸟类 14 目 39 科 124 种。从目别统计，雀形目种类最多，21 科 51 种，其次是雁形目有 1 科 19 种，鸽形目有 4 科 18 种，鸛形目 1 科 8 种，鹰形目 1 科 6 种，鸻形目有 1 科 4 种，鸡形目、鸛形目、鹤形目、鷸形目和隼形目各有 1 科 2 种，佛法僧目 2 科 2 种，鸱形目和犀鸟目均为 1 科 1 种。

一 哺乳动物

在厂址 10km 范围，现场调查共记录哺乳动物 3 目 4 科 4 属 4 种，其中记录数量最多、分布最广的是兔形目兔科的草兔；食虫目猬科的东北刺猬和啮齿目鼠科的褐家鼠

各记录活体 1 只。麝鼯为山东省重点保护动物。

（5）重要生境与重要生物群落的建群种和优势种

落叶阔叶林群落乔木层的建群种和优势种均为杨树；灌木层的建群种为兴安胡枝子；草本层的建群种为荻。

暖性针叶林群落乔木层的建群种和优势种均为黑松。

落叶阔叶灌丛群落灌木层的建群种和优势种均为紫穗槐、圆叶鼠李；草本层优势种为砂引草。

藤本群落的建群种为鹅绒藤，优势种为鹅绒藤、圆叶牵牛、茅莓。

灌草丛群落草本层的建群种为艾，优势种为月见草。

（6）特有种

调查区内的特有植物记录只有银杏 1 种。

厂址 10km 范围内无中国特有动物物种；厂址 80km 范围内，两栖动物中昆嵛林蛙为中国特有种，爬行动物中北草蜥为中国特有种，鸟类中的中国特有种有乌鸫和宝兴歌鸫。

（7）珍稀濒危物种

现场调查未发现国家 I 级重点保护植物，发现国家 II 级重点保护植物 1 种，为野大豆。

10km 范围内通过现场调查和文献检索，共记录到的国家 I 级保护鸟类有黑嘴鸥、中华秋沙鸭、黑脸琵鹭和黄嘴白鹭 4 种，国家 II 级保护鸟类有白额雁、角鸬鹚、鸮、小白额雁、大天鹅、疣鼻天鹅、斑头秋沙鸭、白腰杓鹬、红隼、游隼、黑鸢、黑翅鸢、雀鹰、白尾鹞、普通鵟、大鵟、长耳鸮和云雀等 18 种；山东省级重点保护鸟类有 17 种，中华秋沙鸭、黑脸琵鹭为 IUCN 红色名录中的濒危物种，红头潜鸭、黑嘴鸥、小白额雁、黄嘴白鹭、角鸬鹚属于 IUCN 红色名录中的易危物种，罗纹鸭和白腰杓鹬属于 IUCN 红色名录中的近危物种。山东省重点保护两栖动物 2 种，山东省重点保护哺乳动物 1 种。

80km 范围内分布的 8 种两栖动物和 12 种爬行动物中，都没有国家重点保护动物，也没有 IUCN 红色名录中的受胁物种。东方铃蟾、黑斑侧褶蛙和金线侧褶蛙、北草蜥、岩栖蝮、中华草龟为山东省重点保护动物，北草蜥为我国特有爬行动物。在 203 种鸟类中，国家 I 级重点保护鸟类中华秋沙鸭、丹顶鹤、白头鹤、金雕、白尾海雕 5 种，

国家Ⅱ级重点保护鸟类有大天鹅、白额雁、鸳鸯、黑翅鸢、赤腹鹰、日本松雀鹰、白尾鹳、红隼等 26 种。世界自然保护联盟（IUCN）红色名录中的极危物种有青头潜鸭，濒危物种有中华秋沙鸭、丹顶鹤、大杓鹬、大滨鹬、东方白鹳和黑脸琵鹭 6 种，鸿雁、小绒鸭、红头潜鸭、角鸬鹚、黄嘴白鹭和白头鹤 6 种被列为易危级物种。14 种哺乳动物中豹猫和赤狐是国家Ⅱ级重点保护动物，没有 IUCN 红色名录中的极危和濒危物种。

（8）重要经济物种

调查区内分布的 156 种维管植物中，多数都具有一定的经济价值，但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、药用植物资源、花卉及绿化植物资源等 6 大类。

调查区域分布的两栖动物中的昆嵛林蛙和大蟾蜍，爬行动物中的蝮蛇、龟和鳖，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。

（9）生态环境综合分析评价

根据厂址附近环境调查的结果，采用《生态环境状况评价技术规范》（HJ 192-2015）对石岛湾核电厂址半径 10km 范围内生态环境现状进行了综合评价。评价指标包括生物丰度指数、植被覆盖指数、水网密度指数、土地胁迫指数和污染负荷指数和环境限制指数，在各项指标计算结果的基础上，给出生态环境状况分级结果。评价结果表明，评价区生态环境状况指数为 $EI=50.03$ ，级别为一般，植被覆盖度中等。

2.3.2.5 自然保护区和种质资源保护区保护对象

荣成大天鹅国家级自然保护区主要保护对象为大天鹅等珍稀濒危鸟类及其赖以生存的滨海潟湖湿地生态系统。

荣成楮岛藻类国家级水产种质资源保护区主要保护对象为大叶藻、石花菜、马尾藻。

2.3.3 水产资源及生态概况

2.3.3.1 水产资源

厂址半径 15km 范围内主要经济鱼类为带鱼、鲢鱼、蓝点马鲛鱼等。

厂址排水口半径 15km 范围内主要的捕捞品种包括鱼类、甲壳类、贝类、藻类、头

足类和其他。

2.3.3.2 海洋生态

2023 年—2024 年开展了厂址邻近海域水生生态与渔业资源调查，调查时间为：2023 年 11 月开展了秋季调查，2024 年 1 月、2024 年 4 月—5 月，2024 年 7 月—9 月分别开展了冬季调查、春季调查和夏季调查。

大面站位中，以厂址二期工程排水口为中心、半径 15km 范围内共计 34 个水质站位、21 个沉积物站位、22 个生态站位、7 个生物质量站位、4 条潮间带断面、16 个放射性现状站位。黑石岛、老铁石岛群环岛海域生态调查站位与 2021 年秋季海岛补充调查的生态站位一致，在黑石岛西北侧、北侧 1km 范围内生态加密站参考 2021 年底质调查站位 HS07、HS08 站，增加了水质和生物调查，海岛生态调查潮间带断面共 3 条。

● 生物多样性和遗传多样性

秋季航次 29 个站位的多样性指数范围为 2.26~4.07，平均值 3.32；均匀度指数范围为 0.51~0.81，平均值为 0.68；丰度指数范围为 1.93~4.10，平均值为 2.66。冬季航次，29 个站位的多样性指数范围为 1.47~3.63，平均值 2.27；均匀度指数范围为 0.38~0.80，平均值为 0.56；丰富度指数范围为 0.85~2.56，平均值为 1.82。春季航次，29 个站位的多样性指数 H' 范围为 1.59~3.54，平均值 2.73；均匀度指数范围为 0.36~0.80，平均值为 0.64；丰富度指数范围为 1.05~2.78，平均值为 1.91。夏季航次，29 个站位的多样性指数 H' 范围为 2.19~3.63，平均值 3.16；均匀度指数范围为 0.48~0.78，平均值为 0.70；丰富度指数范围为 1.49~2.13，平均值为 1.86。

本项目共对甲壳类、鱼类、软体动物类共 13 个物种进行了基因片段碱基测量和遗传多样性分析。

根据各类型基因的单倍型多样性及单倍型数计算了各物种各测量片段随机抽取到两个不同单倍型的频率 2024 年为 0.9890~0.9969，物种的遗传多样性均较为多样且稳定。

● 渔场分布、三场一通道

在厂址周围 80km 范围内涉及的渔场有石岛渔场和烟威渔场，其中最主要的是石岛渔场，本项目排水口位于石岛渔场范围内，烟威渔场最近处位于厂址 N 方位约 48km。

石岛渔场位于山东石岛东南的黄海中部海域，东经 122~124°E 北纬 36~38°N，面

积 8002 平方海里（2.7 万 km²）。常年海水温度 5~28℃，年平均表层为 13.3~15.2℃，盐度年平均表层为 31.3~32.1，水深 1~78m，平均水深 40m。该渔场地处黄海南北要冲，既是鱼虾洄游的过路渔场，又是青鱼、鳕鱼、大银鱼的主要产卵水域，是多种经济鱼虾类洄游的必经之地，同时也是黄海对虾、小黄鱼越冬场之一和鳕鱼的唯一产卵场，渔业资源丰富，为我国北方海区的主要渔场之一，是我国沿海五大渔场之一。渔场常年可以作业，主要渔期自 10 月至次年 6 月。主要捕捞对象：黄海鲱鱼（青鱼）、对虾、枪乌贼、鲜鲈、鲈鱼、蓝点马鲛、鳎、小黄鱼、黄姑鱼、鳕和带鱼等。

烟威渔场地处山东半岛北部，38°30′N 以南，面积约 7200 平方海里。水温年平均表层为 11.1~14.4℃，盐度年平均表层为 30~31.8，水深 1~70m。主要捕捞对象鳀、细纹鳀仔鱼、小黄鱼、绒杜父鱼、鲈鱼、鲜鲈类、鳕鱼、蓝点马鲛、对虾、叫姑鱼、黄姑鱼、带鱼、真鲷、对虾、鹰爪虾。主要渔期 3~6 月和 8~12 月。

黄渤海渔业资源属同一结构单元：即越冬场多在黄海中、南部，沿岸多是其产卵场，索饵场则退缩至 50m 等深线附近。在荣成市近海，仅有部分种类在此繁殖和育幼，或者是某些种类进出渤海时路过。但渤海渔业资源种类的主群则由石岛渔场直接进出，历史上曾作为生产渔场，但范围小，时间短。

- 产卵场：本工程厂址所处海域不在主要产卵场和重要产卵场范围内，离厂址排水口较远，至少 30km 以上。
- 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。长距离洄游鱼类的索饵场，春、夏季在近岸浅水区，秋、冬季在深水区。厂址外海海域有其索饵场分布，但距厂址较远，至少距厂址排水口 60km 以上约 30m 等深线以外范围。
- 越冬场和洄游通道：越冬场是指鱼虾类群聚过冬的水域。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 60~100 以上的深水域。山东近海底层鱼类的越冬场位于东经 122°~125°E，北纬 32°~36°N，黄海中、南部深水区，其越冬场和洄游通道距厂址约 60km 左右。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

址约 30km。近海型鱼类终生栖息于黄渤海和东海北部海区，越冬场在黄海中部至东海 33°00'N 以北，东经 123°~126°E，北纬 33°~36°N，水深 60~100m 范围内。越冬场距厂区较远，至少 100km 以上，厂区外海有其洄游通道，距厂区约 25km。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。越冬场距厂区至少 150km 以上，但厂区排水口外海约 30km 有其洄游通道分布。

● 保护性水生生物

本次调查在厂址排水口 15km 范围内未发现保护性水生生物。

2.3.4 工业、交通及其它相关设施

2.3.4.1 工业

厂址半径 15km 范围大部分企业主要集中在石岛管理区的各街道办事处驻地附近。

1) 工矿企业现状

厂址半径 15km 范围规模以上企业有 84 家。

2) 工业企业规划

根据《荣成市城市总体规划（2018—2035 年）》，荣成市以蓝色产业为主导，以先进制造业为支撑，以战略性新兴产业为引领，推动三次产业协调融合发展，加快构建具有持续创新能力和较强竞争力的现代产业体系。

依托海洋渔业，合理利用荣成市渔业岸段，积极推进精品养殖、渔业增殖，深入发展海洋捕捞，做大做强海洋食品工业，大力推进海洋产业升级换代，发展高端海洋生物科技产业；以创新作为海洋产业集群发展突破口，积极建设海洋科技研发中心，把荣成市建设成为全国海洋经济最强县。

做强机械制造业。大力提升汽车工业技术水平和规模，加快电机制造业产品的更新换代，发展先进机床装备制造业，促进产品向智能制造价值链高端迈进。做优船舶产业。通过技术升级和创新，提升船舶整体装备制造水平。努力打造国内知名的特种船舶建造基地、船舶出口基地。重点建设俚岛港、石岛港建设两大造船基地，俚岛、石岛两大船舶配套园区。

新能源产业。重点推进以核电为主的新能源产业发展，同步培育核电关联服务产

业，打造核电配套和衍生产业基地。

2.3.4.2 交通

厂址周围的公路交通较为发达，海运条件也很好，厂址半径 15km 范围内有石岛港与韩国仁川、釜山，日本门司、博多，朝鲜南浦和青岛、泉州、广州等港口通航。

（1）陆上交通

厂址半径 15km 范围内主要涉及石岛管理区 6 个街道以及崂山街道、滕家镇，乡级以上道路交通运输网络主要由国道 G228，省道 S201、S203、S305，县道 X035、X042，乡道 Y044、Y052，市区主干道朝阳路构成，朝阳路为市区主干道，无公路等级，拥有双向 6 车道。距离厂址最近的乡级以上级别道路为县道 X035，最近处位于厂址 W 方位 2.04km 处，车道数为双向 4 车道。所有道路均为沥青混凝土路面，无大型隧道。厂址半径 15km 范围无铁路。

（2）海上交通

1) 港口、码头和锚地

厂址半径 15km 范围涉及的港区为石岛港区，石岛港区包括多个作业区，其中位于厂址半径 15km 范围内的作业区为石岛作业区和修造船作业区。

排水口半径 15km 范围涉及 15 个码头、渔港，距离最近的为 N 方位 7.3km 处的楮岛渔港。

厂址半径 15km 范围内涉及以下 2 处锚地：石岛国内商船锚地和石岛港区检疫锚地。

2) 海上航线

厂址半径 15km 范围涉及以下 3 条水上航线：除核电厂自用的石岛湾核电码头航道外，还包括石岛港外航道、石岛新港 5 万吨级航道。

（3）机场及航空线

厂址半径 4km 范围内无民航航线和起落通道通过。

2.3.4.3 危险源及外部人为事件评价结论

1) 固定危险源

厂址半径 15km 范围内危险品生产和使用企业共 34 家，多为加油站或油库。距厂址最近的企业是中国石油天然气股份有限公司山东威海荣成销售分公司宁津加油站，

位于厂址 W 方位，距离厂址 2.3km。

厂址半径 15km 范围内涉及现状次高压管线和现状天然气中压管线，同时还有规划新建的高压天然气管线。

距离厂址最近的调压站为宁津调压站。

2) 移动危险源

厂址半径 15km 范围道路涉及的危险品运输主要为各道路沿线的加油站运输的成品油、液化石油气、天然气和其他易燃气体、有整体爆炸危险的物质。目前厂址半径 15km 范围内无危险品运输码头及船只，不存在危险品运输、装卸货情况。

根据厂址安全评价报告对外部人为事件的评价，厂址附近的外部危险源不会对本工程构成潜在危害。

2.3.5 参考资料

- [1] 华能山东石岛湾核电厂扩建工程陆生生态调查专题报告，中国辐射防护研究院，2021 年 10 月；
- [2] 山东石岛湾核电站扩建二期工程厂址区域环境特征及外部人为事件调查报告，中核第四研究设计工程有限公司，2024 年 8 月；
- [3] 山东石岛湾核电站扩建二期工程海域使用论证报告书，国核电力规划设计研究院有限公司，2024 年 11 月；
- [4] 山东石岛湾核电站厂址邻近海域水生生态与渔业资源调查最终成果报告（B 版），国家海洋局北海环境监测中心，2025 年 3 月。

2.4 气象

2.4.1 区域气候

2.4.2 设计基准气象参数

2.4.3 当地气象条件

2.4.4 大气稳定度

2.4.5 联合频率

2.4.6 混合层高度及扩散参数值

2.4.7 运行前的厂址气象观测

2.4.8 参考资料

图

图2.4-1 厂址周边气象站和厂址的相对地理位置

2.4 气象

山东石岛湾核电站厂址位于山东半岛东南部，滨临黄海，地处中纬度，属于北温带季风型大陆性气候，四季变化和季风进退都较明显。受海洋和大陆的影响，季风气候特点相当显著，是受季风环流影响较强的地区。厂址区域与同纬度的内陆地区相比，具有雨水丰富、年温适中、气候温和的特点。另外，受海洋的调节作用，具有明显的海洋性气候特点。

（1）春季

春季特点是气温回升慢、天气多变、大风多、降水量少、低温。沿海地区比内陆地区春季持续时间长，气旋活动强烈，是全年大风最多的季节；春温低于秋温，干旱程度比同纬度华北地区轻。

春季是大气环流型由冬到夏的转换季节，低层环流形势表现为冬、夏季的主要大气活动中心并存。由于我国是大陆性季风气候，大陆的热力因素起主导作用，所以大气环流的季节转换也从下层开始。春季 500hPa（5500m）以上的环流基本上仍是冬季形势，南支西风位置变化不大，北支西风稍有北退；但低层 850hPa（1500m）以下则开始出现夏季环流形势。入春以后，随着太阳辐射日益增强，地面和空气的温度不断增高，蒙古高压强度减弱，并向西、向北收缩；蒙古气旋频繁出现，发展强烈，形成南高北低的气压场，所以春季是山东偏南大风出现最多的季节。同时南方气旋活跃，造成山东大风天气。春季虽然冷空气势力减弱，但出现次数仍频繁，若有较强的冷空气南下，会造成较强的降温，也会造成冰雹等强对流天气。此时，西太平洋副热带高压（以下简称“副高”）、大陆热低压势力逐渐增强，西南暖湿气流较冬季活跃，降水比冬季明显增多。由于春季回暖快，风力大，蒸发强，所以常出现春旱。

（2）夏季

夏季是四季中最短的季节。其特点是气温高、降水量大。月平均气温都在 20℃ 以上，旺盛的夏季风从海洋上带来丰沛的降水，大部分地区降水在 500mm 以上，占全年的 60%，是全年降水量最多的季节，也是最潮湿的季节。高温期与多雨期一致。

夏季主要受西太平洋副高和大陆热低压控制，经常受热带海洋气团影响。在单一热带海洋气团控制之下，常是天气晴朗、高温而潮湿。此时来自高纬度的冷空气仍经常南下，在变性极地气团与热带海洋气团之间形成冷锋。虽然影响山东的冷锋次数及强度远不及春季，但由于南方暖湿气流强盛，经冷空气抬升常造成大量降水，有时达

到暴雨强度，甚至出现冰雹等强对流天气，此时会出现短时间大风。6、7月份南方气旋经常影响山东，造成大范围的降水，有时出现暴雨。盛夏台风活动频繁，平均每年有2.9次影响山东，带来大风和降水天气。随着大陆特别是青藏高原的增温，高原南侧温度梯度减弱。到5月底或6月初，高原南侧南支西风急流消失，青藏高压建立，西南季风爆发，我国大陆上主要雨带随之北移。6月中旬到7月上旬，西太平洋副高第一次北跳后，脊线位于20~25°N之间，江淮流域梅雨开始，在梅雨后期（6月末到7月初），山东进入雨季。7月中旬副高第二次北跳，脊线到达30°N附近，华北雨季开始。8月下旬副高开始南撤，雨带也开始南退，8月底或9月初山东雨季结束。

（3）秋季

秋季其特点是秋温高于春温，9月上、中旬暖湿气团仍较活跃，带来较多降水，有时形成阴雨天气，影响秋收、秋晒；9月下旬冷空气从北部入侵，气温逐渐降低，降水减少，云量较少，晴天日数多。全市平均秋温比春温高4.6℃，秋温较高是海洋性气候的特征之一。

秋季是大气环流型自夏到冬季的转换季节。9月蒙古高压建立后，山东基本上处在极地大陆气团的影响下。10月，蒙古高压再度加强，地面上已是稳定的冬季环流形势。9月上旬500hPa副高脊线已南撤到25°N以南，雨带也随之南撤，山东降水显著减少，秋季对流层上部的青藏高压消失，西风带南移，高原南侧的南支西风重新建立。10月份，高空基本上为冬季的环流形势。秋季，随着蒙古高压的建立和加强，山东又转受极地大陆气团控制，气温明显下降，降水骤减，多秋高气爽天气。

（4）冬季

冬季是持续时间最长、温度最低、降水最少的季节。冬少严寒，以1月为代表，其月平均温度为-1.8℃。因受北部冷高压控制，多偏北大风，常出现有规则的天气变换，人们称之为“三寒四温”。

冬季我国高空基本上受西风气流控制。影响我国有南、北两支急流：沿着青藏高原南侧经我国东部沿海到日本是一支稳定的南支西风急流；另一支在我国新疆北部、内蒙古、华北上空为北支西风急流，这支急流与极锋相联系。冬季影响山东的地面天气系统主要是冷锋，它是极地大陆气团和变性极地大陆气团之间的界面。较强冷锋过境后，常常出现偏北大风并引起强烈的降温，当南方暖湿空气较强时也会造成雨雪天气，有时还有雨淞。当青藏高原上有较深的低槽移出，西南气流较强时，南方气旋也

会北上影响山东，造成大风和雨雪天气。冬季，强大干冷的蒙古高压控制我国，它主宰着冷空气的活动。山东位于蒙古冷高压的东南部，盛行偏北风，气候寒冷而干燥。

2.4.1 区域气候

厂址周边气象站位置和信息见图 2.4-1。

厂址极端和常规气象专题对距厂址 80km 范围内的威海、成山头、荣成、文登和石岛气象站累年气象观测数据进行了对比分析，通过分析确定的代表性气象站是石岛气象站。

厂址区域气候根据石岛气象站 1953 年—2024 年气象观测数据统计结果进行描述。

2.4.1.1 气温

石岛气象站累年平均气温为 12.2℃，8 月份平均气温最高，为 24.6℃，1 月份平均气温最低，为-0.7℃，7 月至 9 月平均气温较高，均超过 20.0℃。

2.4.1.2 气压

石岛气象站累年平均气压为 1014.6hPa，1 月份平均气压最高，为 1024.0hPa，7 月份平均气压最低，为 1002.7hPa。

2.4.1.3 相对湿度

石岛气象站累年平均相对湿度为 71%，7 月份平均相对湿度最大，为 90%，1 月份平均相对湿度最小，为 63%。

2.4.1.4 日照

石岛气象站累年平均日照时数为 2485.8h，5 月份最多，为 247.5h，7 月份最少，为 165.2h。

2.4.1.5 降水

厂址区域降水较少，6~9 月雨水较为集中。

石岛气象站累年平均降水量为 806.7mm，8 月份平均降水量最多，为 187.9mm，1

月份平均降水量最少，为 12.0mm，其中 7 月、8 月份平均降水量超过 100.0mm。

2.4.1.6 风

石岛气象站累年（1953—2024 年）平均风速为 4.0m/s，4 月份平均风速最大，为 4.7m/s，7 月份和 8 月份平均风速最小，为 3.3m/s；累年最多风向为北（N）风，出现频率为 12.8%，累年静（C）风频率为 6.7%。

2.4.2 设计基准气象参数

2.4.2.1 热带气旋

按照“国际热带气旋名称和等级标准”，台风指最大风速大于 32.6m/s 的热带气旋，由于长期以来我国气象界和民间习惯把热带气旋称为台风，在本报告部分地方所称台风实际即热带气旋。

调查范围为以厂址为中心的 400km 半径的区域，根据 1949 年—2020 年间台风资料，穿越或登陆厂址 400km 半径范围内的热带气旋（含热带低压、热带风暴、强热带风暴、台风和强台风）共有 80 个，平均每年 1.11 个。其中，强台风 1 个、台风 12 个、强热带风暴 25 个，热带风暴 25 个，热带低压 17 个。主要发生于 6 月~9 月份，发生次数分别为 2 次、28 次、40 次和 10 次，10 月~翌年 5 月均没有过程发生。

2.4.2.2 龙卷风

石岛湾核电站滨海，三个经纬度范围覆盖的陆地区域面积较小，海洋区域面积较大。由于海洋区域内的龙卷风缺少记录，考虑到较小面积陆地区域的龙卷风记录代表性不足，因此将原三个经纬度范围向西适当拓展后作为龙卷风评估区域。

拓展后的评价区域具体包括烟台、福山、牟平、莱阳、栖霞、莱州、龙口、招远、蓬莱、海阳、威海、荣成、成山头、石岛、文登、乳山、平度、莱西、胶州、即墨、青岛、崂山、胶南、高密、潍坊、诸城、昌邑、安丘等 28 个市（县、区）行政区域。

收集 1949 年—2024 年的龙卷风数据，评价区域内共获得了 195 个龙卷风样本实例。平均每年出现约 2.57 次，出现次数最多的年份 1966 年，达 11 次；1971 年出现 9 次；1996 年出现 7 次，有 13 年未出现龙卷风。

龙卷风发生存在明显的季节性变化，夏季（6—8 月）发生数最多，共 136 次（占

69.7%)，春秋两季相对较少，春季发生 25 次（占 13.2%），秋季发生 27 次（占 13.8%），冬季无龙卷风发生。对厂址区域有发生时刻记录的 91 次龙卷风进行统计，龙卷风主要发生于午后至傍晚，13~17 时共发生 52 次，占 57.1%，其他时间发生 39 次，占 42.9%，因为龙卷风是一种小尺度天气现象，受下垫面影响非常明显，午后对流发展强盛，龙卷风容易发生。

龙卷风是一种小尺度天气现象，生命史很短，对厂址区域有持续时间记录的龙卷风进行统计，龙卷风持续时间大部分在 30min 以下，在 30min 以上的很少。多数龙卷风仅能维持不到 10 分钟，持续时间在 30 分钟以下有 19 次，占 95.0%，在 30 分钟及以上的很少，只有 1 次。

2.4.2.3 极端积雪

通过对厂址周边气象站的资料分析，以文登站的雪压计算成果最大。

2.4.3 当地气象条件

山东石岛湾核电站厂址气象观测系统包括气象梯度自动观测系统和厂址专用地面气象站。本报告当地气象分析采用厂址气象观测系统 2024 年 7 月至 2025 年 6 月一整年气象观测数据，数据的联合获取率为 99.8%。

2.4.3.1 气温

（1）地面气温

厂址地区年平均气温为 13.3℃，8 月平均气温最高，为 27.0℃，2 月平均气温最低，为-0.3℃。最高气温为 33.0℃，出现在 8 月，最低气温为-9.2℃，出现在 2 月。

（2）气象塔塔层气温

气象塔 10m 高度年平均气温 13.6℃，8 月平均气温最高，为 27.0℃，2 月平均气温最低，为 0.1℃。

气象塔 30m 高度年平均气温 13.6℃，8 月平均气温最高，为 26.8℃，2 月平均气温最低，为 0.2℃。

气象塔 80m 高度年平均气温 13.6℃，8 月平均气温最高，为 26.7℃，2 月平均气温最低，为-0.1℃。

气象塔 100m 高度年平均气温 13.3℃，8 月平均气温最高，为 26.5℃，2 月平均气温最低，为-0.3℃。

2.4.3.2 露点

厂址地区年平均露点为 7.9℃，8 月平均露点最高，为 24.8℃，2 月平均露点最低，为-6.6℃。最高露点为 27.6℃，出现在 8 月，最低露点为-16.9℃，出现在 2 月。

2.4.3.3 气压

厂址地区全年平均气压为 1015.1hPa，2 月份平均气压最高，为 1025.4hPa，7 月份平均气压最低，为 1002.9hPa。最高气压 1037.4hPa，出现在 11 月，最低气压 989.9hPa，出现在 7 月。

2.4.3.4 相对湿度

厂址地区全年平均相对湿度为 73%，全年内各月平均相对湿度在 58%至 89%之间波动。最小相对湿度 11%，出现在 3 月。

2.4.3.5 降水量

厂址地区年降水量为 590.4mm，年降水小时数 334h。年内各月降水分配不均，雨水主要集中在 8~11 月。

2.4.3.6 辐射

厂址地区年均总辐射为 349.4W/m²，厂址地区年均夜间净辐射为-53.6W/m²。

2.4.3.7 风

- 10m 风杆和气象塔 10m、30m、80m 和 100m 高度静风频率分别为 0.7%、1.1%、0.2%、0.0%和 0.1%。
- 10m 风杆和气象塔 10m、30m、80m 和 100m 高度层主导风向分别为 NW（11.3%）、SSW（10.8%）、SSW（12.0%）、SW（12.2%）、SSW（12.2%）；
- 10m 风杆和气象塔 10m、30m、80m 和 100m 高度层平均风速分别为 2.7m/s、

2.6m、4.0m/s、5.5m/s 和 6.0m/s。

— 厂址降水期主导风向为 NE，风频为 13.2%，静风频率为 0.9%。

风杆 10m 高度和气象塔 10m 高度的风速、风向基本一致。

2.4.3.8 厂址地区大气边界层特征

为研究本厂址的气象特征和大气弥散特征，北京大学于 2007 年开展了“华能石岛湾核电厂大气扩散实验”，内容包括：大气边界层特征的观测与分析、大气扩散数值模拟研究、湍流测量与扩散参数计算、野外示踪试验研究。中国辐射防护研究院于 2012 年开展了风洞模拟实验和数值模拟研究工作。

通过该试验得到了厂址区域以下气象特征：

- （1）厂址区域夏季主导风向为 NNE、NE，冬季主导风向为 NNW、WNW。夏季各高度层集中在偏东风（NE，ENE），但有少数西南风（SW）情况。冬季各高度层集中在 NNW、WNW 风向；
- （2）夏季风速最大值集中出现在中午（11 时、14 时），最小值集中出现在夜间至凌晨。冬季近地面风速最大值多出现在上午，高空最大值则多出现在夜间。两季风速主要集中于 5.0~6.9m/s 风速段；
- （3）大气边界层逆温特征为：（a）贴地逆温出现频率最大，1000m~2000m 空中逆温次之，500m~1000m 空中逆温最少；（b）冬季逆温层厚度和强度均大于夏季；（c）夏季逆温层通常出现于凌晨，而冬季逆温层则常出现于夜间；（d）冬季逆温层持续时间长于夏季；
- （4）厂址区域各类稳定度条件下混合层高度推荐值为：A-B 类 900m，C 类 350m，D 类 200m。

热内边界层研究的关键之一是确定边界层高度从海岸线向内陆的空间变化。该次观测共设有 3 个测点，总体向西边内陆一侧延伸。结果表明，当地热内边界层高度偏大，但变化趋势基本符合距离的 1/2 次方律，与前人的理论和实验结果一致。观测期间，在夏季偏南风且风力不大的天气条件下，易出现热内边界层，但其强度较弱。

2.4.4 大气稳定度

综合比较三种稳定度分类方法表明，温度梯度-风速分类法最适用于本厂址。厂址

地区各类稳定度所占比例分别为：A 类 8%，B 类 16.3%，C 类 10%，D 类 32.7%，E 类 6%，F 类 27%。

2.4.5 联合频率

联合频率统计采用 2024 年 7 月至 2025 年 6 月一整年逐时 10m 风杆风向、风速，降水量和大气稳定度，上述数据的联合获取率为 99.8%，满足相关导则中获取率不低于 90% 的要求。按照《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02）导则要求，在联合频率统计中，风向分 16 个方位。将风速划分为 6 级，即：

- 风速小于 0.5m/s 按静风处理，作为第一级风速；
- 0.5m/s~1.9m/s 为第二级风速；
- 2.0m/s~2.9m/s 为第三级风速；
- 3.0m/s~4.9m/s 为第四级风速；
- 5.0m/s~5.9m/s 为第五级风速；
- 大于 6.0m/s 为第六级风速。

2.4.6 混合层高度及扩散参数值

2.4.6.1 混合层高度

北京大学科技开发部于 2007 年 12 月 11 日—12 月 28 日和 2007 年 08 月 21 日—09 月 11 日分别进行了厂址地区冬夏两季的大气测试实验。根据实验结果统计得到了厂址区域各类稳定度条件下混合层高度推荐值：A-B 类 900m，C 类 350m，D 类 200m。

2.4.6.2 扩散参数

中国辐射防护研究院编制了《石岛湾核电厂址大气扩散模式研究总结报告》，对石岛湾核电厂址开展过的大气扩散实验获取的结果进行整理，推荐了适用于山东石岛湾核电站扩建二期工程的大气扩散参数。本报告采用了该大气扩散参数。

2.4.7 运行前的厂址气象观测

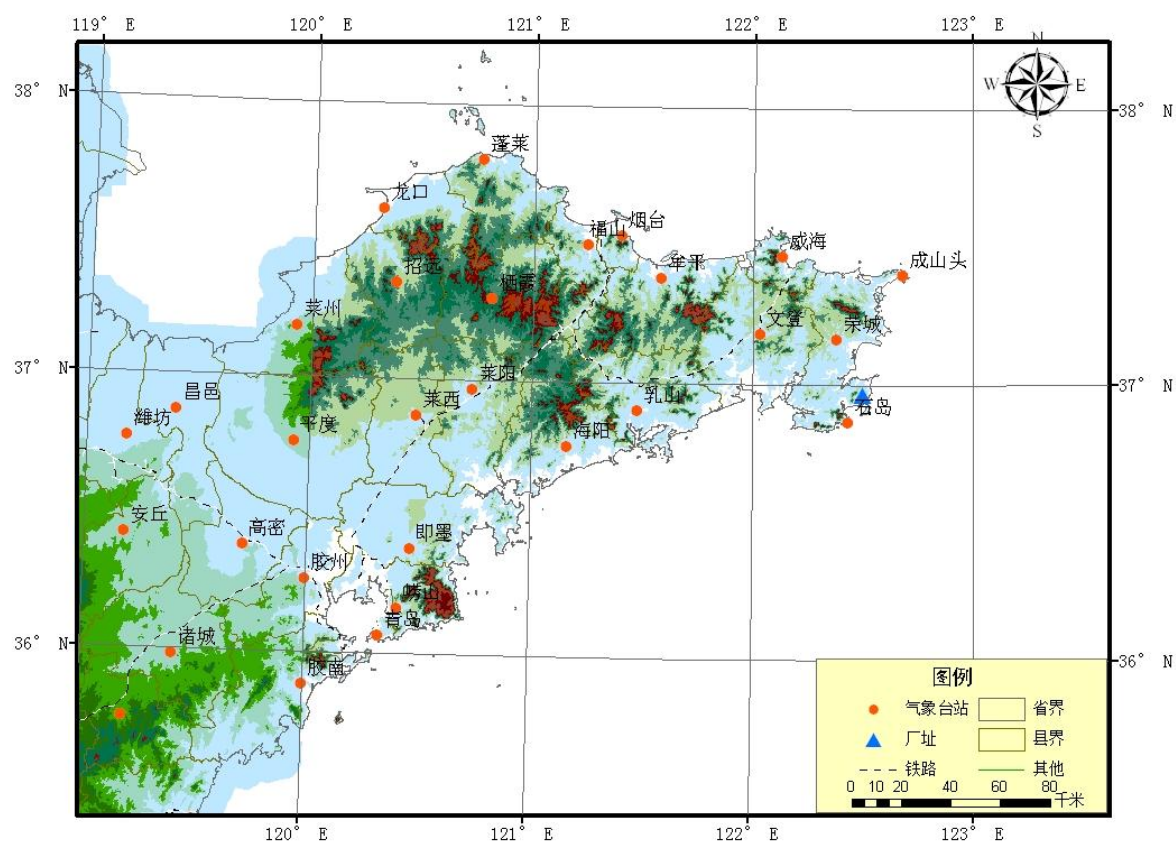
石岛湾核电站厂址气象观测系统包括气象梯度自动观测系统和厂址专用地面气象站，气象梯度自动观测系统为 102m 铁塔，在五个高度（10m、30m、60m、80m、100m）观测风向、风速和温度。气象铁塔为底面边长 1m 等边三角形、高 102m 的三棱柱，风

速传感器及温湿度传感器伸臂长度均为 3m，满足《核电厂气象观测规范》（QX/T369-2016）中的要求。

厂址专用地面气象站气象观测要素主要有温度、湿度、气压、雨量、总辐射、净辐射，以及 1 座 10m 风杆测量风向、风速。

2.4.8 参考资料

- [1] 中国辐射防护研究院，石岛湾核电厂址大气扩散模式研究总结报告，2013 年 3 月；
- [2] 北京大学科技开发部，华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电示范工程大气扩散试验研究报告，2008 年 3 月；
- [3] 山东省气候中心，山东石岛湾核电站扩建二期工程极端气象与常规气象分析报告，2025 年 4 月。



山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
厂址周边气象站和厂址的 相对地理位置		
图 2.4-1	版次：	A

2.5 水文

2.5.1 地表水

2.5.2 地下水

2.5.3 洪水

2.5.4 参考资料

2.5 水文

2.5.1 地表水

2.5.1.1 陆地水文

厂址位于山东省荣成市，荣成位于山东半岛的最东端，东、南、北三面濒临黄海，属暖温带东亚季风区大陆性气候，冬冷夏热，四季分明。雨季一般从7月下旬开始，9月上旬结束，雨量集中。

（1）河流水系

荣成市河流均属于山东沿海诸河直流入海水系，属沿海边缘水系，多为季节性间歇河流，河流水系分散，流域面积小。河流受地形地貌的影响，河流特点为源短流急、涨落急剧，冲刷力强，属季风雨源型河流，径流量受季节影响差异大。境内共有独立入海的流域面积 1km^2 以上的河流 102 条，其中流域面积 20km^2 以上的有 10 条，其距厂址最近处为 NNW 方位约 16.6km。

厂址 15km 范围内的流域面积大于 20km^2 的河流有小落河和王连河。小落河是荣成市第一大河，位于荣成市中部，该河发源于大疃镇的邹山山脉，流经大疃、上庄、滕家三镇，在滕家镇套河村东入八河水库，担负着整个流域的防洪、排涝任务。王连河起于虎山镇龙庙山南，流经虎山镇桥头庄、黄山王家、台上三个行政村，王连街道马岭滑家、马岭许家、北桥头、河西乔家、王家庄、隋家庄、沟曲家、常家庄八个行政村，汇入八河水库，。距厂址最近的河流为 WSW 方位约 3.4km 处的东墩河，河流现状利用情况以工业用水和农田灌溉为主。

厂址半径 15km 范围内有一凤凰湖，位于厂址 WSW 方向 10.5km 处，为国家 3A 级旅游景区，原是一个与海相通的咸水湖，后经抽泥扩湖，填地造岛，形成 200hm^2 水面， 800hm^2 土地的旅游景区，不作为水源地及灌溉用途。

（2）水利工程

厂址位于东墩村东北部，厂址半径 15km 范围内共有 20 座水库，其中有一座大型水库——八河水库，其余水库均为防洪灌溉用的中小型水库。八河水库坐落于小落河、王连河下游入海口处，是全市范围内最大的水库，位于厂址 WNW 方位约 9.2km 处。

距厂址最近的为 WSW 方位约 5.3km 处的南夏家水库，是一座以防洪和农业灌溉为主的小型水库。

（3）淡水水源

扩建二期工程的淡水水源由海水淡化设施（扩建一期工程已建）供应。

2.5.1.2 海洋水文

厂址位于山东省荣成市宁津所街道办事处东南、石岛湾以北、桑沟湾以南的黑泥湾西北滨海区域，由海向陆约 100m~200m，为侵蚀台地，地面高程约为 4m~25m。厂址所在山东半岛附近有成山头 and 石岛两个国家海洋站。其中，成山头海洋站位于厂址北侧约 52km，观测要素包括潮位和波浪；石岛海洋站位于厂址西南侧约 13km，观测要素包括波浪和水温。厂址处海洋水文专用站（宁津站）于 2006 年—2007 年期间开展了一年半的海洋水文观测工作，观测要素包括潮位、波浪、水温和盐度等。

本期工程与华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电示范工程和国和一号示范工程属同一厂址。在 2020 年 12 月和 2021 年 8 月期间，中国科学院海洋研究所开展了厂址附近海域的夏、冬季全潮水文观测工作，观测期间共设置潮位观测站点 2 个，水文观测站点 9 个，观测项目有水深、流速、流向、水温、盐度、悬沙等。同时，本工程对厂址潮位等参数进行了复核计算，并开展了岸滩稳定性复核及泥沙冲淤数模专题研究等工作。本节将结合上述海洋水文专题进行相应描述，如无特殊说明，本节高程以 1985 国家高程为基准。

（1）海域地理

山东石岛湾核电站位于胶东半岛的黄海之滨，厂址北、东、南三面临海，海北面有老铁石和黑石岛等岛屿从西北向东南方向断续排列，长约 3km，构成深度浅于 5m 的浅滩。近岸地形较为平缓。

（2）潮汐

根据厂址海洋水文专用站 2006 年 3 月—2007 年 9 月的逐时潮位分析资料，工程海域潮汐属不正规半日潮。厂址附近海域平均涨潮历时（6h20min）与平均落潮历时（6h03min）接近，平均涨潮历时略长。

（3）海流

根据 2020 年—2021 年期间实测全潮水文测验专题，工程海域潮流类型为规则半日潮流，大部分海区潮流运动形式为往复流，涨潮流向总体为偏 SW 向，落潮流向为偏 NE 向。观测期间，海流流速大部分站的最大值出现在表层或 0.2H 层，流速基本上均自表至底逐渐减小，流向在垂直线上的分布比较一致。整体来看各站涨、落潮平均

流速大潮期最大，中潮期次之，小潮期最小。各站涨（落）潮流速最小的时刻发生在高（低）潮附近时刻，流速最大的时刻发生在高（低）潮后 2~3h 左右。

（4）波浪

厂址位于褚岛至镆铘岛海岸段，西为陆地，东临黄海，是敞开海域，偏东向海浪可以充分成长，直接传播至工程海域。海域夏季主要受副热带高压的影响，盛行偏南风，除台风影响外，一般风速不大，常浪向为东南向，强浪向也为东南向；冬季蒙古强冷高压控制，多出现偏北大风，但受陆地掩护，波浪不能充分成长，常浪向为北向，强浪向为西北向；春季偏东和南风开始增强，常浪向为南南西，强浪向也是南南西向；秋季的常浪向为东南向，强浪向为东南向。

根据厂址海洋水文专用站波浪观测统计资料，厂址海域强浪向为 NW~N，次强浪向为 NE~E。

（5）海水水温和盐度

根据厂址海洋水文专用站 2006 年 3 月—2007 年 9 月的水温和盐度观测统计资料，观测期间厂址海域的实测水温范围为 2.14~24.95℃，月均水温范围为 4.05~23.67℃；实测盐度范围为 28.47‰~31.92‰，月均盐度范围为 30.01‰~31.25‰。

根据石岛海洋站和厂址海洋水文专用站同步水温观测资料，二者温度趋势基本一致，且相关性较好（相关系数大于 0.98），结合石岛海洋站 1981 年—2015 年水温观测资料进行统计分析，厂址处极端最高水温为 27.31℃，月均水温不超过 23.03℃（9 月）。

（6）海冰影响

厂址区域所处的地理纬度较低，海域处于东亚季风区，季风特点明显。厂址海域的海水温度呈季节变化，冬季海域水温一般在 2℃ 以上。

本工程海区平常年份不出现固定冰，多为流冰。流冰量（流冰覆盖能见海面的成数）平均占 2~3 成，最多的年度可达 6 成。除少数受大风影响支配外，主要是随潮流方向运动。流冰厚度为 3cm~20cm，堆积冰厚度 20cm~40cm。总之，厂址附近海区，冬季海上冰情较轻，不存在冰的阻塞影响。

（7）泥沙和岸线稳定性

工程海区的泥沙主要来自邻近岸滩及海底细粒物质在流、浪作用下的再悬浮和再搬运所致。厂址附近海区无中、大型河流注入。厂址区位于老炕石岬角附近，其两侧存在沿岸流物质输运，对厂址区海滩的影响主要为弱侵蚀。

1) 泥沙

根据厂址海域历史资料及研究成果，厂址附近海域内靠近南北两个岬角（镆铘岛和楮岛）是含沙量最大的区域，近岸处工程区海域含沙量整体较低。

本次调查期间，总体来看，冬季测验期间，测区海域悬沙浓度整体水平较高。冬、春两季各潮期垂线平均含沙量分布均表现为：大潮期>中潮期>小潮期，夏、秋两季各潮期垂线平均含沙量则表现为：中潮期>大潮期>小潮期。冬季垂线平均含沙量高值区主要分布于测区中部（L5、L6 站附近）随涨落潮呈东西向运移；春季测区西南部（L7 站附近）开始出现次高值区，悬沙在海区中部呈东西向运移，且在近岸海区南部呈西南向偏转；夏、秋季垂线平均含沙量高值区主要分布于测区南部近岸（L7 站附近），总体表现为由测区西南部向北逐渐降低的趋势。从空间分布上来看，近岸海湾内由于地形的控制作用，水动力较弱，沉积物粒径较细，而离岸较远的海域沉积物粒径较粗。海区夏季和冬季日单宽输沙量最大分别为 914.9kg/d.m 和 5696.9kg/d.m，海区总体上沉积物粒径较细，以粉砂和粉砂质黏土为主。

根据以往现场踏勘和相关资料分析，工程水域泥沙来源主要包括陆域来沙、海域来沙、海岸侵蚀来沙、本地掀沙、沿岸输沙等。从动力角度分析，根据核电厂址水文专用站的常年波浪观测资料，石岛海域波浪强度不大，较弱的波浪动力使输沙能力有限。从地貌角度分析，根据现场勘查和不同时期的卫星遥感影像对比，养参池附近岸滩较为平缓，堤身附近无明显淤高或冲深，数十年来亦无输沙跨过养参池堤头的现象。从整段岸线看，石岛湾核电厂址处于半岛东端，南北两侧均为岬角，整体形成岬湾相间分布的地形特征，而该岸段多处被围垦区阻断，也限制了沿岸输沙。总体来说，石岛湾核电厂址处于岬湾岸段，常年波浪不强，泥沙来源不充足，岸线常年稳定、已有工程两侧岸滩形态较为对称。以上特征均表明工程海岸的沿岸输沙强度较低，输沙量十分有限。

2) 岸线及地形演变

厂址附近地势平缓，近岸海域岛屿较多，沙嘴、沙坝较为发育，并有陡峭的海蚀崖，串珠式泻湖和陆连岛等。侵蚀海岸主要发育在岬角处，现状条件下，在工程区及镆铘岛附近，存在大量的围堰，靠近围堰是波浪较为集中的地方，岸滩略有侵蚀，厂址近岸海域海底坡度较平缓。工程海域岸线及海床演变分析基于以下资料：（a）2006 年—2021 年卫星遥感影像；（b）1934 年、1980 年、2006 年工程区附近水域海图；（c）

2006 年 4 月、2011 年 5 月和 2021 年 2 月工程区附近水域水深测图。

根据厂址附近海域内 1953 年以来的卫片资料，比较历年工程海域的陆域岸线形态，分析工程海域岸线的历史变迁，可以看到：

- 1953 年—1975 年间，镆铳岛岸线为基岩海岸，多年来相对稳定，其变化很小；至 1990 年养殖池的大面积修建，使人工岸线迅速外延，变化最大处约 850m；1990 年—2006 年本区海岸线基本没有变化，比较稳定；2002 年—2006 年间，镆铳岛东南侧岛岸线处于缓慢蚀退状态，但变化非常小，其他岸段基本稳定。
- 2006 年—2014 年间，工程海域岸线长期保持稳定，局部呈缓慢蚀退状态。
- 2010 年—2021 年间，核电厂工程所在海域岸线变动较大。其中，2012 年 10 月工程区所在的养参池围垦北侧开口封堵；至 2016 年位于围垦区西南侧约 700m 处的大件码头已建成；2020 年底后工程区所在的养参池围垦区内开始修建取排水设施。综上所述，养参池围垦及附近区域在此期间所有的岸线变化均为施工导致。

根据 2023 年期间对取排水工程地形地貌跟踪监测，主要是对周边海域自北向南 5 条监测断面调查，对比各监测断面形态与 2021 年度监测结果基本一致。水深测量结果显示，监测范围内水深与第一次监测结果（2018 年）、第二次监测结果（2021 年）整体基本吻合，主要表现在断面图形态和水深数据上，说明监测周期内整体水深地形特征无明显变化。

2.5.2 地下水

2.5.2.1 厂址附近范围水文地质条件

（1）岩性特征及含水层分布

厂址区域的西北部属于中朝准地台范围，区域的东南部属扬子准地台，两者之间为大别～苏鲁造山带，鲁东隆起区新构造时期为幅度不大的整体抬升，整体上是比较稳定的。厂址近区域总体上属滨海低山丘陵，区内主要出露底层有新生代地层，岩浆岩及变质岩，近区域范围断裂距厂址距离最近 13km 及以上，断裂总体上较短，陆域断裂均为前第四纪断裂。

厂址附近范围地层较为单一，基岩岩系主要为侵入岩类，其中变质侵入岩主要为晚元古代青白口纪荣成片麻岩套、晚元古代南华纪铁山片麻岩套；侵入岩主要为中生

代三叠纪宁津所超单元；另有少量脉岩类。厂址附近范围主要发育 3 条断裂，断裂形成时代较早，规模较小，不通过主厂区，最新活动年代均为第四纪，不属于能动断层。

本工程场地主要是位于扩建一期工程场地以西，拟建场地原为剥蚀残丘地貌单元，地势自西北向东南倾斜，呈缓坡状，厂址区位置位于倾向海域的缓坡地带（现已大部分经过整平），厂址东南侧为海域。厂址区内水文地质条件相对简单，地下水主要为第四系松散岩类孔隙水和基岩裂隙水，区内地下水主要接受大气降水补给，地下水流向为自西北向东南方向，最终流入大海。

（2）水文地质单元划分

厂址 5km 范围内可分为三个水文地质单元，水文地质单元的界限以分水岭为界，三个水文地质单元地下水的流向基本与地形的起伏相近，由地势高处向地势低处流动。第 I 水文地质单元的地下水流向基本是向北或北东向，最终排泄到龙门水库或大海；第 II 水文地质单元的地下水流向基本向东或北东向，最终排泄到林家流水库或大海，第 III 水文地质单元的地下水流向为南或南东向，最后排泄入大海。厂区内地势自西北向东南倾斜，地表呈缓坡状，东南侧为海域。厂区位于倾向海域的缓坡地带，地下水自西北向东南沿缓坡向流入大海，水文地质条件相对简单。厂址区全部位于第 III 水文地质单元内。第 III 水文地质单元地下水流向为南或东南，最终排泄入大海，水文地质条件相对简单。

2.5.2.2 厂址区域地下水特征及补径排条件

（1）地下水类型及含水层特征

地下水可分为第四系松散岩类孔隙水和基岩裂隙水两大类。

第四系松散岩类孔隙水包括冲洪积孔隙水、冲洪积或海积孔隙水与海水混合水，主要赋存于第四系冲洪积层、海积层、坡残积层等土层孔隙中，有统一的地下水位，属孔隙潜水；基岩裂隙水包括侵入岩岩组裂隙水和变质岩岩组裂隙水，主要赋存于浅部岩体风化裂隙及构造裂隙中。

第 I 水文地质单元的地下水类型主要是第四系松散岩类孔隙水和侵入岩岩组裂隙水；第 II 水文地质单元的地下水类型主要是第四系松散岩类孔隙水和侵入岩岩组裂隙水，东南角分布有变质岩岩组裂隙水；第 III 水文地质单元的地下水类型主要是第四系松散岩类孔隙水和变质岩岩组裂隙水。整体而言，地下水的总体流向沿地势从西北向

东南流动，最终排泄入大海。

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、海积砂砾石层，分布于河谷地带及滨海堆积区。含水层分布狭窄、厚度较小，地下水埋藏浅，主要赋存砂及砂砾石层中，其次为粘质沙土夹碎石空隙中。渗透系数为 $0.02\text{m/d} \sim 5.57\text{m/d}$ ，富水性贫乏。

2) 基岩裂隙水

侵入岩组裂隙水所处岩性，以正长岩为主，岩体厚度大于 90m 。裂隙水主要分布于强风化～中等风化上部岩体中，中等风化和微风化岩体水量贫乏或基本无水，区域内下部深处基岩因风化程度低，节理构造等裂隙发育少而为相对隔水层。

变质岩组裂隙水所处岩性，以花岗片麻岩、粒岩和石英岩为主，岩体厚度大于 100m 。核电厂址位于该区域。裂隙水主要分布于强风化～中等风化上部岩体中，中等风化和微风化岩体水量贫乏或基本无水。勘查未发现有贯通厂址区内外的断裂构造和岩溶所形成的含水通道。

在勘察期间共采取了 5 组水样水质分析结果显示，松散岩类孔隙水为低矿化水，基岩裂隙水为淡水。

(2) 厂址附近地下水补给、径流、排泄条件

基岩裂隙水富水性受裂隙发育程度、张开程度和贯通程度控制，根据可研期间场区岩土勘察结果，场地浅部全风化～强风化岩体厚度一般 $1.00\text{m} \sim 25.80\text{m}$ ，赋存于该类裂隙内的基岩风化裂隙水含水量相对富集，透水性较差，富水性一般，勘察期间测得钻孔内该类地下水水位埋深 $2.87\text{m} \sim 3.80\text{m}$ ，水位标高 $6.02\text{m} \sim 6.74\text{m}$ ，深部的中等风化～微风化岩体因节理裂隙多闭合，接受补给量甚少，水量贫乏或无水。

第四系松散岩类孔隙水直接接受大气降水补给，接受补给后，潜水含水层沿地势向低凹处渗流或向下渗透，补给河流、海积层孔隙水或向下渗透补给基岩裂隙水，部分靠蒸发排泄。基岩裂隙水主要接受大气降水及第四系松散岩类孔隙水渗透补给，接受补给后，沿裂隙顺岩层倾斜方向流动，地下水排泄方式有蒸发以及向冲沟、海洋分散排泄等，最终排入大海。

此外，根据勘察结果显示，核岛区和常规岛区地下水类型主要以基岩裂隙水为主，勘察期间测得水位标高 $6.02\text{m} \sim 6.74\text{m}$ ，远高于最高潮位 1.20m （根据厂址区 2006 年 3

月—2007年3月潮水位观测资料），基岩裂隙水通过岩体浅部的风化裂隙或深部的构造裂隙内向海域排泄，属于海域的上游区，另外根据水质分析结果，基岩裂隙水中的Cl⁻及Na⁺离子含量远低于海水，综合分析，核岛及常规岛区地下水将排泄至海水。

2.5.2.3 厂址区域地下水利用及地下水影响

（1）厂址5km范围内的地下水利用及水量情况

荣成市平原区多年平均地下水资源量为0.43亿m³，地下水资源可开采量为0.67亿m³。厂址5km范围内无大规模开采地下水的计划。村民在自己院落内或自家农田内打简易水井，井壁一般采用石块砌，水井深度较小，水井单位涌水量一般小于100m³/d·m。

在扩建一期工程厂区施工阶段，反应堆、乏燃料与核辅助厂房开挖至基底标高，对基坑进行验槽发现，出露岩性主要为微风化花岗片麻岩，微风化斜长角闪岩，局部地段斜长角闪岩表现为强风化，岩性分布情况与勘察报告基本一致，核岛基坑开挖至设计标高及开挖过程中，基坑内未见地下水，与勘察报告一致。

（2）施工建造活动的地下水可能影响

从总体上说，厂址区及其附近没有大的供水水源地，现阶段场地已大部分被平整后，厂址区地下水位整体上偏低，地下水径流方向基本受原地形控制，总体上由西北向东南方向流动，厂址区处于水文地质单元的下游，居住区和农业生产处于上游区。

扩建工程所在的场地开挖平整后，较高部位的含水层已被挖除，厂坪以下的部分强风化岩体、节理裂隙和低洼地段的第四系还赋存有地下水；厂区地下水径流方向基本受原地形控制，总体上自高处向低处流动，地下水自西北向东南方向流动，最终排入大海。厂区整平开挖后，整个厂区的水文地质条件变化不大，地下水的流向没有变化。无贯通厂区内外的断裂构造及其它地下水通道，不会有海水入侵的威胁，同时，厂区附近无大量的开采地下水的取水点，也不会有大规模开采地下水的计划。厂区临近海边，处于第Ⅲ水文地质单元的下游，居民区和农业生产处于上游区，由于本工程建设和运行不会对周边村庄的地下水产生显著影响。

2.5.3 洪水

厂址属滨海厂址，厂址区域的荣成市河流属于沿海边缘水系，很不发达，多为季

节性间歇河流，源短流急，流域面积较小。因此不考虑溪流和江河在厂址上引起洪水泛滥。为保证厂址安全，在厂址北、南两侧设置浆砌石护面截洪沟，分别从东北方向和西南方向排至大海。

高温气冷堆工程厂区场坪标高定为 7.2m。扩建工程对海洪的防护是按照《滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定》（HAD101/09）进行设计的。该导则要求在所有时间内确保安全停堆、堆芯冷却和放射性物质的抑制，其中包括防止以后可能发生外部洪水给核设施所带来的不利影响。

本工程厂址设计基准洪水位为 3.39m，与扩建一期相同。本工程的场坪标高高于设计基准洪水位。厂址设计基准低水位由可能最大减水与最低天文潮低潮位组合起来估算。

2.5.4 参考资料

- [1] 中核第四研究设计工程有限公司，山东石岛湾核电站扩建二期工程厂址区域环境特征及外部人为事件调查报告，2024 年 8 月。
- [2] 中科院海洋所，华能山东石岛湾核电厂工程可行性研究海洋水文专用站观测专题报告，2007 年 11 月。
- [3] 天津市海岸带工程有限公司，设计基准洪水位复核报告，2021 年 12 月。
- [4] 天津水运工程科学研究所，华能石岛湾核电厂岸滩稳定性复核及泥沙冲淤变化数值模拟研究报告，2022 年 3 月。
- [5] 中国科学院海洋研究所，华能山东石岛湾核电厂扩建工程海域四季同步水文测验专题分析报告，2021 年 12 月。
- [6] 山东石岛湾核电站扩建二期工程可行性研究阶段（华龙一号方案）岩土工程勘察成果报告，核工业南京工程勘测院，2025 年 8 月。
- [7] 天津水运工程科学研究所，山东石岛湾核电站扩建二期工程泥沙冲淤复核数模研究报告，2024 年 5 月。

2.6 地形地貌

2.6 地形地貌

扩建二期工程场地原地形总体呈西北高东南低之势，向大海缓倾。原地貌主要为剥蚀残丘地貌（II）和东南侧沿海岸线分布的海积平原地貌（III），经多年工程建设后，除测区北侧少部分地区（开关站西北侧）尚为剥蚀残丘地貌外，现阶段测区主要为人工地貌，其中，人工地貌又可细分为人工开挖地貌（I₁）和人工回填地貌（I₂），另外还发育微地貌（水塘）。

现阶段扩建二期工程用地红线范围内地面标高在 2.80m~16.0m 范围内，地貌均为人工地貌。其中，核岛和常规岛北侧大部分区域为人工开挖地貌，地面标高 9.0m~10.0m，联合泵房所在位置现为一期负挖施工堆料区，地面标高 8.50m~16.0m，南侧 BOP 区域地面标高 2.80m~9.0m。

1) 人工开挖地貌（I₁）

主要分布于核岛及常规岛以北区域，地表出露地层主要以强风化花岗片麻岩为主，局部地段出露第四系残坡积土、中等风化花岗片麻岩及全~强风化斜云煌斑岩侵入岩脉，现地面标高 9.0m~21.0m。

另外，4#机组反应堆厂房以北原分布一条冲沟，冲沟走向约 E90°，长度约 360m，宽 10.0m~35.0m，沟深一般为 1.0m~3.0m，沟底标高 9.90m~15.0m，整体位于厂坪标高以上，现已整体挖除，对工程建设无影响。

2) 人工回填地貌（I₂）

主要分布于核岛及常规岛以南区域，呈松散~稍密状态，回填成分主要由块石、砂性土、黏性土等组成，现地面标高 2.80m~16.00m。

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

3.1 辐射环境质量现状

3.1.1 辐射环境本底和现状调查

3.1.2 辐射环境质量评价

3.1.3 参考资料

表

表 3.1-1 华能高温堆临界后一年调查工作完成的样品个数

表 3.1-2 地表 γ 辐射剂量率、累积剂量测量点和土壤采样点位置

表 3.1-3 气溶胶、沉降灰、空气中 ^3H 、 ^{14}C 采样点

表 3.1-4 地表水（底泥）、地下水、饮用水、陆地水生生物采样点

表 3.1-5 陆生生物样品采样点位置

表 3.1-6 海水和海洋沉积物采样点

表 3.1-7 海洋生物采样点位置

表 3.1-8 采用的仪器及测量方法依据

表 3.1-9 各类样品分析方法的探测下限

表 3.1-10 项目主要仪器和设备检定情况表

表 3.1-11 平行样品测量结果统计

表 3.1-12 掺标样品测量结果统计

表 3.1-13 地表 γ 辐射剂量率测量结果

表 3.1-14 累积剂量计算出的剂量率值

表 3.1-15 累积剂量与剂量率值比较

表 3.1-16 气溶胶测量结果

表 3.1-17 沉降灰测量结果

表 3.1-18 空气 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I 测量结果

表 3.1-19 降水测量结果

表 3.1-20 地表水测量结果

表 3.1-21 地下水测量结果

表 3.1-22 饮用水测量结果

表 3.1-23 地表水底泥测量结果

表 3.1-24 土壤样品测量结果

表 3.1-25 陆生生物测量结果

表 3.1-26 淡水水生生物测量结果

表 3.1-27 海水样品测量结果

表 3.1-28 海洋沉积物样品测量结果

表 3.1-29 海洋生物样品测量结果

表 3.1-30 厂址附近（附近 5km 左右）放射源、射线装置使用情况（2022 年 5 月）

表 3.1-31 本次调查剂量率与全国、山东省、烟台市剂量率水平对比

表 3.1-32 本次调查土壤中天然放射性核素浓度水平与全国、山东省、烟台市水平对比

表 3.1-33 各类环境介质中³H 与¹⁴C 活度浓度汇总对比

表 3.1-34 各类环境介质中⁹⁰Sr 与¹³⁷Cs 活度浓度汇总对比

图

图 3.1-1 地表 γ 辐射剂量率、累积剂量监测和土壤采样点图

图 3.1-2 气溶胶、沉降灰和空气中³H、¹⁴C、¹³¹I 采样布点图

图 3.1-3 地表水（底泥）、地下水、饮用水、水生物监测布点图

图 3.1-4 陆生生物采样点示意图

图 3.1-5 海水、海洋沉积物采样点示意图

图 3.1-6 海洋生物采样点示意图

图 3.1-7 地表 γ 辐射剂量率测量结果

图 3.1-8 辐射剂量率与雨量连续监测结果

3.1 辐射环境质量现状

3.1.1 辐射环境本底和现状调查

山东石岛湾核电站为多堆场址，本节采用同场址的国和一号压水堆示范工程运行前放射性本底调查成果编写。调查工作于 2021 年 4 月开展，原计划于 2023 年 7 月结束，进行连续 2 年的本底调查监测，后因华能高温气冷堆于 2021 年 9 月达到临界，因此调查工作更改为在华能高温气冷堆运行后进行连续 1 年的环境现状监测，并于 2022 年 12 月完成了全部的现场采样工作，2023 年 6 月完成报告。本小节将主要描述该次调查的方案，并对华能高温气冷堆运行后的监测结果进行评价。

3.1.1.1 调查方案

3.1.1.1.1 调查目的

本次调查的主要目的是：

- （1）全面掌握厂址所在地的放射性环境水平；
- （2）为编制项目运行阶段环境影响报告书提供支持性材料；
- （3）为建设单位“辐射环境监测大纲”优化提供资料及数据支持。

3.1.1.1.2 调查范围

本次调查的范围为：对于陆域环境，环境 γ 辐射水平的调查范围选择半径 50km，其余项目的调查范围选择半径 20km~30km，监测的环境介质包括土壤、空气（气溶胶、沉降物、降水、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I ）、非受纳水体（饮用水、地下水、地表水、地表水沉积物、水生生物）、陆生生物（植物、动物、牛（羊）奶）、受纳水体（海水、沉积物、海洋生物）等。

3.1.1.1.3 总体要求与布点原则

（1）总体要求

根据本工程具体特点类型、规模确定调查计划。调查监测方案制定中充分考虑厂址的大气和水的传输途径特点，合理布设监测点位，选择分析监测项目，确定采样频

次。在可能的情况下，采用比常规监测方法探测下限更低的测量方法（如采用更灵敏的仪器、更大的样品量、更长的测量时间等）。

通过现场踏勘和预调查，充分考虑核电厂周围地区的人口分布、农、牧、水产、矿产资源和居民饮食习惯的调查资料、当地水文、气象资料和核电厂厂址周围存在的辐射或放射源应用情况等。充分考虑关键核素、关键照射途径和关键人群组。

所有调查方法执行有关法律、法规和标准，满足相关技术规范要求。

（2）布点原则

监测点位的布设在收集资料和现场踏勘的基础上，在环境监测方案中提出，并说明布点原则和布点合理性，提供相应的布点图。

监测点位的布设具有很好的代表性，能够全面、客观、真实地反映调查范围内的环境辐射本底水平。结合核电厂周围的水文、气象、资源、人口分布以及该地区的生态环境特点近密远疏布点。对人口、道路、物产相对集中地区、养殖业地区、旅游或自然保护区及个别敏感地区和最大风频下风向相对加密布点。

监测点位布设的选择除考虑国家标准规范要求、厂址周围环境特点及参考核电厂的相关经验反馈外，还兼顾核电厂后续运行期间环境监测的延续性。此外，监测点位布设还充分注意不同监测介质和项目的关系，气溶胶、沉降灰和降水同位布点，土壤采样与 γ 辐射空气吸收剂量率同位布点，土壤与植物、海水与沉积物也尽量同位布点、同步采样。

3.1.1.1.4 调查内容、点位和频次

国和一号压水堆示范工程运行前放射性环境本底调查在华能高温堆临界后完成的样品数量见表 3.1-1。

（1）陆地 γ 辐射剂量率

— 陆地 γ 辐射/贯穿辐射水平

陆地 γ 辐射剂量率按以 1 号机组反应堆厂房为中心半径 2km、5km、10km、20km、30km、50km 与 16 个方位角形成的扇形区域内布点，贯穿辐射累积剂量按以 1 号机组反应堆厂房为中心半径 2km、5km、10km、20km、30km、50km 与 16 个方位角形成的扇形区域内布点。在人口稀少的山区适当减少测量点，在人口稠密的居民区域和最大风频下风向适当增加测量点。在烟羽地面最大浓度处特别设置测量点（设置在厂

址边界）。布点时，距离核电厂同一距离和在同一方位的累积剂量和剂量率测量点尽可能重合。

根据上述原则，本次调查地表 γ 辐射剂量率共布设了 80 个点位，其中 2km 范围内有 10 个点位，2km~5km 范围内有 21 个点位，5km~10km 范围内有 17 个点位，10km~20km 范围内有 12 个点位，20km~30km 范围内有 7 个点位，30km~50km 范围内有 13 个点位。累积剂量共布设了 50 个测量点位，同一地点与原野贯穿辐射剂量率点位重合，其中 2km 范围内有 10 个点位，2km~5km 范围内有 13 个点位，5km~10km 范围内有 11 个点位，10km~20km 范围内有 6 个点位，20km~30km 范围内有 6 个点位，30km~50km 范围内有 4 个点位。剂量率和累积剂量的监测频次为 1 次/季。

— 连续监测

设 2 个原野贯穿辐射剂量率连续监测点，监测点选取在烟羽地面最大浓度处附近的厂址边界楼顶以及关键居民组东钱家村的居民楼顶，楼顶表面为混凝土。监测频率为连续监测，监测时间为 2021 年 4 月—2022 年 12 月，共 21 个月。

陆地 γ 辐射剂量率监测点位见图 3.1-1 和表 3.1-2。

（2）空气介质中放射性水平

调查范围为厂址半径 10km 区域，共布设 5 个采样点，分别在关键居民组设置 1 个采样点（东钱家村），烟羽地面最大浓度处设置 1 个采样点（厂址边界），人员密集处设置 1 个采样点（宁津街道），最大风频下风向的居民区设置 1 个采样点（镆铘岛），成山镇设置 1 个对照点。监测频次为 1 次/季。采样点位见图 3.1-2 和表 3.1-3。

（3）陆地水中放射性水平

— 地表水

地表水调查范围为半径 10km 范围内主要地表水体、流域覆盖厂址 20km 范围面积较大的水体及流域覆盖主导风下风向面积较大的水体，共设置 4 个采样点，分别为厂址附近的南夏家水库、八河水库、郭家水库和后龙河水库。将后龙河水库作为对照点。在八河水库采集平行样品。监测频次为 1 次/半年。监测点位具体见表 3.1-4 和图 3.1-3。

— 地下水、饮用水

地下水和饮用水调查范围为厂址半径 10km 区域，共设置 4 个采样点，分别为厂址附近的东钱家村、宁津街道、东墩村和后海崖村。监测频次为 1 次/半年。监测点

位具体见表 3.1-4 和图 3.1-3。

一 水生生物

厂址周围水库均为人工开挖水库，底面和侧面使用混凝土进行了硬化，都没有水生植物生长，选择在离厂址较远的后龙河水库采集水草样品，同时在八河水库采集白鲢鱼样品。监测频次为 1 次/年。监测点位具体见表 3.1-4 和图 3.1-3。

（4）土壤中放射性水平

土壤调查范围为厂址半径 20km 区域，在半径 2km、5km、10km、20km 与 8 个方位角形成的扇形区域内布点，土壤采样点与累积剂量测量点、地表 γ 辐射剂量率测量点重合。共选取 25 个采样点。考虑到后港头村的伽玛辐射空气吸收剂量率水平较高，在最后一个季度中补充采集了该点位的土壤样品。采样点兼顾农田、山区、丘陵等不同类型的土壤。将成山镇作为对照点。监测频次为 1 次/年。土壤采样点具体见表 3.1-2 和图 3.1-1。

（5）陆生生物

陆生生物的调查范围为厂址半径 20km 范围。

粮食作物：粮食作物选取小麦和玉米，监测频次为 1 次/年。小麦设置 2 个采样点，分别位于东墩村和龙山前村。玉米设置 2 个采样点，分别位于于家村和东钱家村。

蔬菜：蔬菜作物选取白菜、豆角和葱，监测频次为 1 次/年。白菜设置 1 个采样点，位于卢家庄村。豆角设置 1 个采样点，位于于家村。葱设置 1 个采样点，位于东钱家村。

水果：水果类选取苹果，监测频次为 1 次/年。苹果设置 2 个采样点，分别为宁津街道和宁家村。

奶：奶类选取牛奶，监测频次为 1 次/半年。分别在大疃镇和滕家镇的养殖场进行了采集。

肉类：肉类选取猪肉和鸡肉，监测频次为 1 次/年。猪肉设置 1 个采样点，位于南港头村；鸡肉设置 1 个采样点，位于宁津街道于家村。

松针：监测频次为 1 次/半年。设置 1 个采样点，位于大岔河村村口。

花生：监测频次为 1 次/年。设置 1 个采样点，位于南泊村。

陆生生物采样点见表 3.1-5 和图 3.1-4。

（6）海水中放射性水平

海水以厂址排水口为中心半径 5km、10km 与 8 个方位角形成的扇形海域内布设采样点。部分点位与 2016 年海域本底调查站位相同，共布设 15 个采样点。其中排水口附近有一个废弃的养参池，现在已被大坝围在内部，在该处布设 1 个采样点。对其距排水口较近的 11 个点位补充监测 ^{14}C 和 ^{90}Sr 。

海水采样监测点位见表 3.1-4 和图 3.1-5。

（7）海洋沉积物中放射性水平

海洋沉积物与海水采样点重合，并在排水口南北两侧渔民活动区各 1 个采样点，共 17 个采样点。对其中距排水口较近的 13 个点位补充监测 $^{239+240}\text{Pu}$ 。

海洋沉积物采样点位见表 3.1-6 和图 3.1-5。

（8）海洋生物中放射性水平

海洋生物采样点选在厂址排放口附近海域及厂址附近渔民养殖场和放养场，采集浮游生物（鱼类）、底栖生物（贝类、甲壳类、海参类）、海藻类和附着生物（牡蛎、紫贻贝），优先采集近海养殖的海洋生物。

鱼类：鱼类采集马鲛鱼（当地称“鲅鱼”）、梭鱼和白姑鱼。马鲛鱼在东楮岛渔港附近海域采集，白姑鱼在泓运码头附近海域采集；梭鱼在排水口东侧海域采集。

贝类：贝类采集扇贝。扇贝在林家流村附近海域养殖场采集。

甲壳类：甲壳类采集白对虾。白对虾在止马滩村附近养殖场采集。

海参：在宁津街道岛西庄村海参养殖场采集。

海藻类：海藻类采集海带。分别在排水口东侧海域和宁津养殖二场附近海域养殖场采集。

附着生物：采集牡蛎（当地称“海蛎子”）和紫贻贝（当地称“海虹”），牡蛎在泓运码头和东楮岛附近海域的养殖场采集，紫贻贝在排水口东侧海域进行捕捞。

海洋生物采样点位见表 3.1-7 和图 3.1-6。

3.1.1.1.5 现场测量与样品采集

（1）地表 γ 辐射剂量率和累积剂量监测

地表 γ 辐射剂量率：地表 γ 辐射剂量率一共测量了 80 个点位，其中 32 个测量点位是道路，包括 16 个水泥地面、8 个沥青地面、7 个地砖地面和 1 个碎石地面；48 个测量点位是原野，包括 27 个土地、19 个草地和 2 个田地。测量点距附近高大建筑物的

距离大于 30m，使用高压电离室测量，测量时仪器的有效中心离地面 1m 高。

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 50 个点位。除厂址边界布设在铁栅栏上以外，其余点位的样品均布设在树上，同一地点与地表 γ 辐射剂量率点位重合。布设时间在每季度第一个月，在同一点位布设下一季度的样品时，回收上个季度的样品。

（2）空气介质采样

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 PP 滤膜，其规格为 20cm×25cm，采样前先检查有无漏光现象。每个采样点每季采样时间为 7~8 天，瞬时流量设为 1.05m³/min 左右，采样结束后填写采样记录表，将采集完成的滤膜对折后装入封口袋内，并在袋上注明样品编号和采样体积等信息，以便样品交接。气溶胶大部分样品每月采样体积大于 10000m³。2021 年 4 月厂址边界采样时因厂内停电检修线路，采样器少采 2 天，导致采样体积较少。考虑到采样体积减少会导致探测限升高，通过延长测量时间来降低探测限。

沉降灰：沉降灰采样接收装置系由不锈钢板制成的正方形采样槽，接收面积为 0.25m²，槽壁高 30cm，采样槽放置在楼顶或固定于使灰槽上边缘距地 1.5m 的支架上。在收集槽内加注一定量的蒸馏水，采用湿法采样。在沉降灰收集期间，对每个采样点要定期观察一次沉降灰的收集情况。每个采样点采样时间为 1 个季度的累积混合样。采样结束后，将收集槽内水与沉降灰的混合物小心转入干净的塑料桶内，用蒸馏水冲洗槽壁三次，冲洗液合并到塑料桶内。如果收集物的体积太大，吸去上清液至体积小于 2L，盛于 2.5L 的塑料桶内，加盖拧紧，运回实验室供分析使用。

降水：降水采样接收装置系由不锈钢板制成的正方形采样槽，接收面积为 0.25m²，槽壁高 30cm，采样槽固定在角钢制成的框架上，采样槽上边缘距地 1.5m。采样槽底部留有出水口，保证降水及时自动流入 100L 塑料桶中。

考虑到华能高温气冷堆 2022 年 9 月 12 日临界，本应于 2022 年 10 月份采集的累积样品在 2022 年 9 月份提前收集，避免可能的放射性释放对监测数据造成影响。

空气中 ³H：用空气采样泵，经粒子过滤器、2 个串联的硅胶吸附瓶，每个串联的硅胶吸附瓶装约 500g 硅胶，以 5L/min~10L/min 的流量抽取空气样品，至硅胶大部分变红为止，使被抽取的空气样品中所含水分被吸附瓶内的干燥剂完全捕集，取样气体流量由转子流量计指示与调节，累积流量由累积流量计给出指示。取样完成后，将已

吸附水分的硅胶吸附瓶取下，拿回实验室进行高温真空解吸，然后对冷凝水称重、蒸馏、制样，液闪测量。

空气 ^3H 采样与当地空气湿度关系较大，采样终点以硅胶管中大部分硅胶变红但没有完全变红为止，2022 年 1 月由于当地气候比较干燥，除成山镇外每个点采样时间相对较长，导致采样体积较大，成山镇因为空气湿度相对较高，采样时间较短。

空气中 ^{14}C ：用抽气泵抽取一定体积的空气，采样流量为 $1\text{L}/\text{min}\sim 1.5\text{L}/\text{min}$ ，使空气中的 CO_2 完全被碱液吸收捕集。使溶液中的 CO_2 转化为 CaCO_3 沉淀，用乳化闪烁液的固体悬浮物测量技术直接测定 CaCO_3 粉末中 ^{14}C 的活度浓度，从而估算出空气中 ^{14}C 的活度浓度。该取样系统由下列部件构成：转子流量计与调节器，分别装有 0.5M 氢氧化钠溶液的多孔鼓泡器吸收瓶，空气采样泵及其连接件。采样在建筑物外距离地面 1m 以上的高度进行，使总的累积取样空气体积 $3\text{m}^3\sim 4\text{m}^3$ 。采样空气体积由连接在气路中的累积流量计直接读出。

空气中 ^{131}I ：使用崂应公司生产的 2030 型中流量空气采样器配定制的采样头采集，采样时空气先通过气溶胶滤膜，再通过装有活性炭的碘盒，从而将空气中的碘全部捕集。采样头在建筑物外距离地面 1.5m 以上的高度进行，取样流量为 $100\text{L}/\text{min}$ ，累积取样体积在 100m^3 左右。

（3）陆地水采样

水样品包括地表水、地下水和饮用水，其中地表水的 4 个采样点均为水库水，地下水采集的都是井水（除东钱家村外其余采样点均由村里统一安装的机井送至各家水龙头），饮用水采集的都是自来水，由石岛开发区自来水厂由自来水管道路送至各家，水源地为湾头水库，备用水源地为八河水库。

地表水用塑料桶直接采集表层水，采样时使用橡皮筏在远离岸边 5m 左右位置采集表层水，避免采集到水面的漂浮物；地下水和饮用水从出水口直接接取至塑料桶中。对于 γ 谱测量和放化分析，每个每次样品采集 50L 左右，在现场进行酸化处理后，运回实验室。对于分析 ^3H 的样品采集 2L （玻璃瓶采集），对于分析 ^{14}C 的样品采集约 50L ，在现场不做任何处理（不加酸），采集好样品后用汽车直接运回实验室。

在实验室内对于分析 ^3H 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 HpGey 谱仪测量。 γ 谱测量完成后，将浓集后的水样采用如下方法处理后供 ^{90}Sr 分析用：

在浓集后的水样中加入 1.00mL 浓度为 50mg/mL 的锆载体溶液和 2.00mL 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，加入适量氯化氨，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 载体 100mg~300mg，静置 2 天。用虹吸法吸去上清液，过滤残渣，将碳酸铵溶解后，用氨水调节 pH 值至 1.0，通过色层柱，使钇与锆、铈等低价离子分离。再以 1.5mol/L 硝酸淋洗色层柱，清除钇以外的其它被吸附的离子，并以 6mol/L 硝酸解析钇，实现钇的快速测定，水样中 ^{90}Sr 的浓度根据其子体 ^{90}Y 的 β 活度来确定。

（4）底泥样品采集

底泥样品用长柄铁锹伸入水库底部挖取，将采集到的底泥剔除明显的石子、草根等杂物后装入聚乙烯塑料袋内，再装入布袋内，写明样品名称、编号和采样时间等信息。运回实验室后进行如下处理：

a. 剔除草根等杂物，样品量取 2kg~3kg；

b. 将样品倒在托盘中晾干；

c. 在干燥箱中经 100°C 烘干；

d. 用粉碎机将样品进行粉碎，粉碎过的样品过筛（60目~80目），充分混合均匀后装入 $\Phi 75\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的聚乙烯塑料盒中，称重；

e. 用胶带密封样品，放置 2~3 周后进行 γ 谱测量；其余样品放置在干燥器内，供放射分析。

（5）土壤样品采集

土壤的采样工具为小铁铲，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，采样点位与对应的辐射场测量点位重合。在比较开阔的未耕区，面积在 10m×10m 范围内，去除采样点表层土后，按五点法（四角和中心）在土壤表层下 1cm~5cm 处采集样品，混合成原始样品。

土壤样品进实验室后，进行如下预处理：

a. 剔除杂草、碎石等异物，样品量取 2kg~3kg；

b. 将样品倒在托盘中晾干；

c. 在干燥箱中经 105°C 烘干；

d. 用粉碎机将样品进行粉碎，粉碎过的样品过筛（60目~80目），充分混合均匀

后装入Φ75mm×50mm的聚乙烯塑料盒中，称重；

e.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。

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。

（6）陆生生物采样

粮食作物：小麦和玉米样品均是到当地农民田间或家中购买，并用GPS记录种植样品的田地位置。小麦在现场脱壳后运回实验室处理。

蔬菜作物：采集当地种植面积较大的白菜、豆角以及食用量较大的葱，白菜和豆角均为到当地农户的田地中直接采集、购买。葱因为当地食用量较大，单一的菜地采样量无法满足要求，在村子里的多片菜地上同时进行采集，混合为1个样品后进行处理。采集到的蔬菜在现场洗净表面土壤，沥干表面水分，称重后晒干后运回实验室处理。

水果：采集当地种植较多的苹果，在苹果园直接采集、购买，并在果园进行了GPS定位记录。采集到的样品直接运回实验室处理。

奶类：采集当地的主要饮用的牛奶，牛奶样品在大疃镇和滕家镇奶牛养殖场购买鲜牛奶，采集后的样品经冷冻后，运回实验室处理。

肉类：采集当地食用量较多的猪肉和鸡肉，猪肉是在农户家中购买当地饲养的猪肉，鸡肉是收购附近居民喂养的鸡，现场宰杀后取瘦肉、洗净污血后沥干表面水分，称重后冷冻运回实验室。

松针：松针直接在松树上采集老叶，避免采集干叶和新长出的叶子，采集到的样品直接运回实验室处理。

花生：花生直接在花生地中采集，现场洗净，脱壳称重后运回实验室处理。

分析³H的样品现场不进行清洗处理，现场装袋抽真空后直接运回实验室。

样品运回实验室后，用于γ谱和放化分析的样品再次用净水洗净，苹果直接削皮去核取可食部分；进行炭化、灰化处理。生物样品的炭化、灰化处理：将样品放入锅内，加热使之充分炭化，炭化过程中防止出现明火，然后将炭化完成的样品转移至马弗炉内，在450℃条件下灰化，直至灰化完全，呈现灰白疏松状，无炭粒。冷却后称灰重，计算灰鲜比。

用于水氙、有机氙分析的样品，直接在冻干机-55℃冷冻脱水，将水分取出，蒸馏纯化后供液闪分析自由水氙使用；被冻干的样品，氧化燃烧，使样品中有机氙转化为水，收集的水蒸馏纯化后，供液闪分析有机氙使用。

用于 ^{14}C 分析的样品，运回实验室后处理方法为：

- a.称取一定量鲜样，放入冻干机中，在-55℃冷冻脱水；
- b.将脱水后的干样碾碎，封存；
- c.放入氧弹燃烧装置的样品杯中引爆，收集二氧化碳，供液闪分析有机氙使用。

供 ^{131}I 分析使用牛奶样品加入碘载体，经过阴离子交换树脂吸附后，经过解吸和萃取，最终制成硝酸银沉淀，压入样品盒中密封待测。

（7）水生生物

淡水鱼样品是直接到采样水库养殖场捕捞购买，水草在水库沿岸直接摘取。

水草用自来水洗净后沥干表面水分，称鲜重，冷冻后运回实验室。

淡水鱼类在现场请人去除鱼鳞、鱼刺等部位，取鱼肉，再用自来水洗净血污等杂质后沥干表面水分，称鲜重将可食部分进行炭化、灰化处理。生物样品的炭化、灰化及用于水氙、有机氙和 ^{14}C 分析样品的处理方法同陆生生物。

（8）海水

海水的采集是租用当地渔民的渔船采集，近海处浅层海水直接用水泵采集表层0.5m处的海水，远海处的海水分别采集0.5m和10m处的水样，混合后作为1个样品，采集到的海水放置一夜后取上清液，保证样品清澈透明无杂质。用于 γ 谱分析和放化分析的海水每个采集100L，完成现场酸化后，运回实验室进一步处理。用于 ^3H 和 ^{14}C 分析的样品，不酸化直接运回实验室处理， ^3H 和 ^{14}C 分析的样品每个分别采集2L和50L。

（9）海洋沉积物

海洋沉积物样品的采集是租用当地渔民的渔船采集，沉积物用斗式采泥器抓取，采集到的沉积物混有少量的碎裂贝壳，剔除明显的杂质后，装入自封袋内，再装入布袋内，运回实验室后进行如下处理：

- a.剔除贝壳等杂物，样品量取2kg~3kg；
- b.将样品倒在托盘中晾干；
- c.在干燥箱中经100℃烘干；

d.用粉碎机将样品进行粉碎，粉碎过的样品过筛（60目），充分混合均匀后装入Φ75mm×50mm的聚乙烯塑料盒中，称重；

e.用胶带密封样品，放置2~3周后进行γ谱测量；其余样品放置在干燥器内，供放化分析。

（10）海洋生物

海洋生物采样点选在厂址排放口附近海域及厂址附近渔民养殖场和放养场，采集浮游生物（鱼类）、底栖生物（贝类、甲壳类、海参类）、海藻类和附着生物（牡蛎、紫贻贝），优先采集近海养殖的海洋生物。用于γ谱和放化分析的样品做以下处理：

a.鱼类样品去鳞、鳍、骨、刺等非可食部位后取鱼肉，用清水洗净后沥干水分称鲜重；

b.贝类样品、甲壳类样品去壳取可食部分，用清水洗去表面黏液后沥干水分称鲜重；

c.海参用剪刀剪开去除内脏取可食部分，用清水洗去表面黏液后沥干水分称鲜重；

d.湿藻类样品（海带）用清水洗去表面黏液后沥干水分称鲜重，干样现场不进行处理。

回到实验室之后将可食部分进行炭化、灰化处理。生物样品的炭化、灰化及用于水氚、有机氚和¹⁴C分析样品的处理方法同陆生生物。

3.1.1.1.6 测量仪器和方法

调查项目所采用的仪器及测量方法依据见表3.1-8。各分析测量项目在选定分析方法时，有国家标准的，一律采用国家标准，没有国家标准的选用行业标准或经权威专家认可的方法。

（1）地表γ辐射空气吸收剂量率的测量方法

依据标准 HJ 1157-2021《环境γ辐射剂量率测量技术规范》，采用 RP3000B 型高压电离室进行测量。仪器具有足够高的灵敏度和准确度，能量响应特性好，自身本底很低。监测时仪器的有效中心离地面 1m。高压电离室在现场测量的是贯穿辐射剂量率。

累积剂量测量方法依据标准 GB/T 10264-2014《个人和环境监测用热释光剂量测量系统》，测量仪器采用中国辐射防护研究院生产的 LiF（Mg·Cu·P）热释光剂量

元件进行测量，读数器采用中国防化研究院生产的 RGD-3 型热释光剂量仪。

（2）主要环境介质 γ 能谱分析

本次调查测量方法依据标准 GB/T 11743-2013《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》、GB/T 16140-2018《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》、HJ 1149-2020《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》、GB/T 16145-2020《生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》和 GB/T 11713-2015《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》进行分析。测量仪器共 6 套，均为 CANBERRA 或 ORTEC 公司生产的高纯锗 γ 谱仪。样品预处理后装入样品盒内密封待测，样品测量时间一般为 80000s。样品中核素活度的计算公式如下：

$$A = \frac{\frac{Area}{t} - n}{\lambda \cdot \eta}$$

式中： A ，样品中放射性核素的活度浓度，Bq； $Area$ ，核素在能量 E 处净峰面积计数； t ，样品的测量活时间，s； n ，空白样品的本底计数率； λ ，放射性核素在能量为 E 的 γ 射线的发射率； η ，能量 E 的全能峰效率。

（3）水中总 α 、总 β 分析

实验室依据标准 EJ/T 1075-1998《水中总 α 放射性浓度测定 厚源法》和 EJ/T 900-1994《水中总 β 放射性测定 蒸发法》制定总 α 、总 β 的分析测量技术规范，分析方法经过有关专家的认可，分析仪器采用德国伯托公司生产的 LB770 低本底 α/β 测量仪。主要分析步骤如下：

取一定量水样（淡水 2L~5L，海水约 100mL）于烧杯中，加入一定量的浓硫酸（如需要，可加入适量氯化钙固体），置于电热板上缓慢加热，蒸发浓缩至一定体积后，将样品转入已称重的坩埚中；将坩埚置于红外灯下将样品烤干，转入马福炉 350℃灼烧 1h，置于干燥器中冷却至室温并称重；样品全部转入研钵内，研细并确保均匀，准确称取 0.2g 于样品盘中，用无水乙醇铺成厚薄均匀的样品源，红外灯下烤干；在 LB770 十路 α 、 β 测量仪上总 α 、 β 计数道上测量样品源的计数。按下式计算水样品中总 α 、 β 放射性浓度：

$$C = \frac{(N_x - N_0) \cdot W_t}{60 \cdot E \cdot W_x \cdot V}$$

式中： C ，水中总 α 或总 β 放射性浓度，Bq/L； E ，仪器对 α 或 β 的探测效率，%；

W_t , 浓缩后残渣的总重量, g; W_x , 样品源的重量, g; N_x , 样品源的计数率, cpm; N_0 , 仪器的本底计数率, cpm; V , 制样所用样品溶液体积, L。

（4）主要环境介质中 ^{90}Sr 活度浓度分析

— 气溶胶中 ^{90}Sr 的测量

a. 将玻璃纤维滤膜样品剪成小碎块, 在 450°C 下灼烧 2h。加入 1mL 锶载体和 1mL 钪载体溶液。

b. 用 30mL~50mL 1:1 盐酸加热浸取两次。经离心或过滤后, 浸取液收集于 250mL 烧杯中, 再用盐酸洗涤不溶物和容器。离心或过滤, 洗涤液并入浸取液中。弃去残渣。浸取液的体积控制在 150mL 左右。

c. 加入 5g~10g 草酸, 用氢氧化铵调节溶液的 pH 至 3。在水浴中加热 30min, 冷却。

d. 用中速定量滤纸过滤沉淀, 用 20mL 草酸溶液洗涤沉淀两次。滤液储存在专用的塑料瓶中供以后分析 ^{137}Cs 用。将沉淀连同滤纸移入 100mL 瓷坩埚中, 在电炉上烘干, 炭化后, 移入 600°C 马福炉中灼烧 1h。

e. 取出, 冷却。先用少量硝酸溶解沉淀, 直至不再产生气泡为止。再加入 40mL 硝酸使沉淀完全溶解。溶解液用慢速定量滤纸过滤, 滤液收集于 150mL 烧杯中, 用硝酸洗涤沉淀和容器, 洗涤液经过滤后合并于同一烧杯中, 弃去残渣。滤液体积控制在 60mL 左右。

f. 在滤液中加入铈的载体, 用氨水调节溶液的 pH=1.0。加入液体硫化钠做硫化铈沉淀, 过滤, 滤液以 2mL/min 的流速通过色层柱, 记下从开始过柱到过柱完毕的中间时刻, 作为锶、钪分离的时刻 t_1 。

g. 用 40mL 1.5mol/L 硝酸以 2mL/min 的流速洗涤色层柱, 弃去流出液, 再用硝酸以 1mL/min 流速解吸钪, 解吸液收集于烧杯中。向解吸液加入饱和草酸溶液, 用氨水调节溶液的 pH 至 1.5~2.0, 加热至将近沸腾, 再冷却至室温。

h. 沉淀在垫有已称重滤纸的可拆卸式漏斗中抽吸过滤, 依次用 0.5% 草酸溶液、水和无水乙醇各 10mL 洗涤沉淀。将沉淀连同滤纸固定在测量盘上, 在低本底 β 计数器上进行 β 计数。记下测量的中间时刻 t_2 。

i. 沉淀在 45°C ~ 50°C 干燥, 称至恒重, 按草酸铈 $\text{Y}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 的分子式计算钪的化学回收率。

按下式计算气溶胶中 ^{90}Sr 的浓度：

$$A = \frac{N}{60 \cdot E_f \cdot V \cdot Y_Y \cdot e^{-\lambda(t_2-t_1)}}$$

式中： A ，气溶胶样品中 ^{90}Sr 的放射性浓度，Bq/g； N ，样品源的净计数率，cpm； E_f ，仪器对 ^{90}Y 的探测效率； Y_Y ，钇的化学回收率，%； V ，转换成标准大气压下的气溶胶样品的采样量， m^3 ；60，将 dpm 变为 Bq 的转换系数； $e^{-\lambda(t_2-t_1)}$ ， ^{90}Y 的衰变因子， t_1 为锶钇分离的时刻 h， t_2 为 ^{90}Y 测量进行到一半的时刻 h， $\lambda=0.693/T$ ， T 为 ^{90}Y 的半衰期，64.2h。

— 沉降灰中 ^{90}Sr 的测量

a. 取全部灰样于烧杯中，加 1mL 锶载体和 1mL 钇载体溶液，再加 20mL 6mol/L 的硝酸和 10mL 浓盐酸，置于电热板上蒸至近干，取下冷却。

b. 烧杯中加入 50mL 6.0mol/L 的盐酸，电热板上加热 1h；冷却后离心分离，残渣再用 50mL 盐酸浸取一次，离心分离用 20mL 的 1mol/L 的盐酸洗 2 次，合并浸取液。

c. 称 10g 草酸加入玻璃烧杯中，用氨水调节 pH1.5~2.0，加热，使沉淀凝聚，趁热过滤，用 0.5% 的草酸洗涤沉淀至洗液无铁绿色。

d. 用 6.0mol/L 的硝酸溶解沉淀，溶解液收集于 100mL 玻璃烧杯中，体积控制在 30mL 左右。加入铈的载体，用氨水调节溶液的 pH=1.0。加入液体硫化钠做硫化铈沉淀，过滤，滤液可直接上柱。以下部分同“气溶胶中 ^{90}Sr 的测量”中的 f-i。

按下式计算沉降灰中 ^{90}Sr 放射性活度浓度：

$$C = \frac{W_t \cdot N}{E_f \cdot W_x \cdot SS \cdot d \cdot Y_Y \cdot e^{-\lambda(t_2-t_1)}}$$

式中： C ，沉降灰中 ^{90}Sr 放射性浓度，Bq/ $\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ； W_t ，浓缩后残渣的总重量，mg； W_x ，样品重量，mg； N ，样品源的计数率，cpm； SS ，采样盘的面积， m^2 ； d ，采样天数，d； E_f ， ^{90}Y 的探测效率； $e^{-\lambda(t_2-t_1)}$ ， ^{90}Y 的衰变因子， t_1 为锶钇分离的时刻 h， t_2 为 ^{90}Y 测量进行到一半的时刻 h， $\lambda=0.693/T$ ， T 为 ^{90}Y 的半衰期，64.2h。

— 水中 ^{90}Sr 的测量

a. 淡水样品：将样品加热浓缩至 200mL 左右，过滤，定容 200mL 供 γ 谱分析后，取全量或一定量样品于 2L 烧杯中，加入 1.00mL 锶载体溶液（50mgSr/mL）和 1.00mL 钇载体溶液（20mgY/mL）。搅拌均匀，调节溶液的 pH=7 左右，加入碳酸钠，

用氨水调节溶液的 pH=9 左右，过滤或离心分离，沉淀用适量酸溶解，滤去不溶物。以下接 c；

b.海水样品：将现场采集处理的海水样品用蒸馏水稀释至 50L 左右，加入 AMP 吸附碳酸盐沉淀，悬浊液用布氏漏斗过滤，用 1%的碳酸铵溶液洗涤沉淀。弃去清液，沉淀转入烧杯中，逐滴加入 6mol/L 的硝酸至沉淀完全溶解，加热，滤去不溶物；

c.滤液用氨水调节溶液的 pH=1.0。溶液以 2.0mL/min 的流速通过色层柱，记下从开始过柱到过柱完毕的中间时刻，作为锶、钇分离的时刻 t_1 。弃去流出液；

d.用 30mL0.1mol/L 硝酸和 40mL1.5mol/L 硝酸以 2.0mL/min 的流速洗涤色层柱，弃去流出液，再用 30mL6.0mol/L 硝酸以 1.0mL/min 流速解吸钇，解吸液收集于烧杯中；

e.向解吸液加入饱和草酸溶液，用氨水调节溶液的 pH 至 1.5~2.0，加热至接近沸腾，再冷却至室温；

f.沉淀在可拆卸式漏斗中抽吸过滤，依次用 0.5%草酸溶液、水、无水乙醇各 10mL 洗涤沉淀。将沉淀连同滤纸固定在测量盘上，在低本底β计数器上进行β计数。记下测量的中间时刻 t_2 ；

g.沉淀在 45°C~50°C干燥，称至恒重，按草酸钇 $Y_2(C_2O_4)_3 \cdot 9H_2O$ 的分子式计算化学回收率。

按下式计算 ^{90}Sr 的浓度：

$$A = \frac{N}{K \cdot E_f \cdot V \cdot Y_Y \cdot e^{-\lambda(t_2 - t_1)}}$$

式中： A ，水中 ^{90}Sr 的放射性浓度，Bq/L； N ，样品源的净计数率，cpm； K ，转换系数。当 A 为 Bq/L 时， $K=60$ ； Y_Y ，钇的化学回收率； V ，分析用水样品的体积，L； E_f ， ^{90}Y 的探测效率； $e^{-\lambda(t_2 - t_1)}$ ， ^{90}Y 的衰变因子。 t_1 为锶钇分离的时刻 h， t_2 为 ^{90}Y 测量进行到一半的时刻 h， $\lambda=0.693/T$ ， T 为 ^{90}Y 的半衰期，64.2h。

—土壤、底泥、沉积物中 ^{90}Sr 的测量

a.称取 50g 土壤（或地表水沉积物、海洋沉积物）样品放入烧杯中，加入 0.50mL 锶载体和 1.00mL 钇载体和铋载体溶液，加入 140mL6.0mol/L 盐酸溶液，加热煮沸 1h，冷却、离心，上清液收集于 500mL 烧杯中，再用 40mL1.0mol/L 盐酸溶液洗涤残渣一次，将上清液和洗涤液合并（浸取液），弃去残渣；

b.向浸取液中加 40g 草酸，加热溶解，加入适量氢氧化钠溶液，调节溶液 pH 至 3（若无白色沉淀出现再加适量草酸）；然后在沸水浴上加热，不断搅拌，使氢氧化铁沉淀完全消失。得到带有白色沉淀的亮绿色溶液，继续加热 15min，冷却至室温；

c.用定量滤纸过滤沉淀，用草酸溶液洗涤两次，每次 20mL，弃去溶液；将沉淀连同滤纸移入 100mL 瓷坩埚中，烘干、炭化后，在马福炉中于 600℃灼烧 1h；

d.坩埚冷却后，将残渣转入 150mL 烧杯中，先用少量 6.0mol/L 硝酸溶液湿润残渣，再用浓硝酸将其完全溶解，然后加入 1mL 过氧化氢脱色，将其在砂浴上加热，得到透明无色溶液；

e.离心，将溶液转移到 200mL 烧杯中，用适量硝酸溶液把不溶物转移到另一烧杯中，加入 1~2 滴氢氟酸，加热破坏硅酸盐和磷酸盐，将其和 200mL 烧杯中的溶液合并。冷至室温；

f.轻轻摇动溶液并滴加 0.5mL 硫化钠溶液，生成黑色的硫化铋沉淀。离心或过滤。收集的溶液加热至微沸，冷却后用水稀释，使体积为 90~100mL，酸度小于 1.0mol/L；

g.浸取液以 0.6mL/min~0.8mL/min 的流速通过 HDEHP—kel-F 色层柱，记下从开始过柱到过柱完毕的中间时间，作为 ^{90}Sr - ^{90}Y 分离时间 t_1 ；用 50mL 1.0mol/L 盐酸溶液和 40mL 1.3mol/L 硝酸溶液以相同的流速洗涤柱子；

h.用 50mL 6.0mol/L 硝酸溶液以 0.4mL/min 的流速解吸铋。解吸液收集于烧杯中，加入 5mL 饱和草酸溶液，用氢氧化铵调至 pH1.5~2.0，将烧杯置于水浴中煮 10min；

i.沉淀转移到铺有已称重定量滤纸的可拆卸式漏斗中，抽吸过滤，依次用草酸溶液、无水乙醇各 5mL 洗涤沉淀；将其固定在测量盘上，烘干、测量，记下从开始测量到测量完毕的中间时间，作为测量时间 t_2 ；

j.测量后的样品源置于 45℃~50℃烘 30min，冷至室温，称至恒重，计算铋的化学回收率。

按下式计算试样中 ^{90}Sr 的含量：

$$A = \frac{N}{60 \cdot E_f \cdot W \cdot Y_Y \cdot e^{-\lambda(t_2 - t_1)}}$$

式中： A ，样品中 ^{90}Sr 的放射性浓度，Bq/g； N ，样品源的净计数率，cpm；60，将 dpm 变为 Bq 的转换系数； Y_Y ，铋的化学回收率； W ，称取样品量，g； E_f ， ^{90}Y 的探测效率； $e^{-\lambda(t_2 - t_1)}$ ， ^{90}Y 的衰变因子。 t_1 为铋分离的时刻 h， t_2 为 ^{90}Y 测量进行到一

半的时刻 h , $\lambda=0.693/T$, T 为 ^{90}Y 的半衰期, 64.2h。

— 生物灰中 ^{90}Sr 的测量方法

a.称取 5g~20g 试样, 准确到 0.01g, 置于 100mL 瓷坩埚内, 加入 1.00mL 锶载体溶液和 1.00mL 钇载体溶液。用少许水润湿后, 加入 5mL~10mL 硝酸, 3mL 过氧化氢。置于电热板上蒸干。移入 600°C 马福炉中灼烧至试样无炭黑为止;

b.取出试样, 冷却至室温。用 30mL~50mL 盐酸加热浸取两次。经离心或过滤后, 浸取液收集于 250mL 烧杯中。再用盐酸洗涤不溶物和容器。离心或过滤。洗涤液并入浸取液中。弃去残渣。浸取液的体积控制在 150mL 左右;

c.加入 5g~10g 草酸, 用氢氧化铵调节溶液的 pH 至 3。在水浴中加热 30min。冷却至室温;

d.用中速定量滤纸过滤沉淀, 用 20mL 草酸溶液洗涤沉淀两次。弃去滤液。将沉淀连同滤纸移入 100mL 瓷坩埚中, 在电炉上烘干, 炭化后, 移入 600°C 马福炉中灼烧 1h;

e.取出, 冷却。先用少量硝酸溶解沉淀, 直至不再产生气泡为止。再加入 40mL 硝酸使沉淀完全溶解。溶解液用慢速定量滤纸过滤, 滤液收集至 150mL 烧杯中, 用硝酸洗涤沉淀和容器, 洗涤液经过滤后合并于同一烧杯中, 弃去残渣, 滤液体积控制在 60mL 左右;

f.溶液以 2mL/min 流速通过 HDEHP-kel-F 色层柱。记下从开始过柱至过柱完毕的中间时刻, 作为锶钇分离时刻 t_1 ;

g.流出液收集于 150mL 烧杯中。用 40mL 硝酸以 2mL/min 流速洗涤色层柱;

h.用 30mL 硝酸以 1mL/min 流速解吸钇, 解吸液收集于 100mL 烧杯中。向解吸液加入 5mL 饱和草酸溶液, 用氢氧化铵调节溶液 pH 至 1.5~2.0, 水浴加热 30min, 冷却至室温;

i.在铺有已恒重的慢速定量滤纸的可拆卸式漏斗上抽吸过滤。依次用草酸溶液、水和无水乙醇各 10mL 洗涤沉淀。将沉淀连同滤纸固定在测量盘上, 在低本底 β 测量仪上计数。记下测量进行到一半的时刻 t_2 ;

j.沉淀在 45°C~50°C 下干燥至恒重。按草酸钇 $\text{Y}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 的分子式计算钇的化学回收率;

快速法测定 ^{90}Sr 时计算试样中 ^{90}Sr 的含量:

$$A = \frac{N}{60 \cdot E_f \cdot m \cdot Y_Y \cdot e^{-\lambda(t_2-t_1)}}$$

式中：A，生物样品中 ^{90}Sr 的放射性浓度，Bq/g；N，样品源的净计数率，cpm； Y_Y ，钇的化学回收率；m，称取的灰样量，g； E_f ， ^{90}Y 的探测效率；60，将 dpm 变为 Bq 的转换系数； $e^{-\lambda(t_2-t_1)}$ ， ^{90}Y 的衰变因子。 t_1 为锶钇分离的时刻 h， t_2 为 ^{90}Y 测量进行到一半的时刻 h， $\lambda=0.693/T$ ，T 为 ^{90}Y 的半衰期，64.2h。

（5）主要环境介质中 ^3H 活度浓度分析

— 空气中 ^3H 分析测定

将现场带回的吸湿硅胶放入高温管式电炉内，加热解吸。加热温度保持在 $120^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ 之间。解吸出的水按下节“水中 HTO 的分析测定”步骤分析测定。

空气中 ^3H 的放射性浓度公式为：

$$C_a = \frac{(N_s - N_b) \cdot m_2}{60 \cdot E \cdot m_1 \cdot V \cdot K}$$

式中： C_a ，空气中 ^3H （HTO）浓度，Bq/m³； N_s ，样品总计数率，cpm； N_b ，本底计数率，cpm； m_1 ，液闪制样水重，g； m_2 ，解析的水重，g；E，仪器对 ^3H 的探测效率；K，电解浓集倍数；V，空气体积，m³。

— 水中 HTO 的分析测定

取 300mL 水样，放入 500mL 蒸馏烧瓶中，加入 1g 高锰酸钾，加热蒸馏，将收集到的蒸馏液进行二次蒸馏。将 250mL 的二次蒸馏液分别加入电解浓集装置的 2 个 500mL 的储液瓶中，接通电解系统的半导体制冷器电源，在电解过程中注意检查电解电流与半导体冷阱的温度指示。电解的时间约为 3 天。当电解池的液面下降到输液管三通交叉点位置时，停止电解。收集浓集液，称重，并做好记录。取 8mL 浓集液，加入 12mL 闪烁液，振荡混合均匀后放入仪器内测量。

计算水中 ^3H 的放射性浓度公式为：

$$A = \frac{(N_s - N_b) \cdot 1000}{60 \cdot E \cdot V_m \cdot K} \quad K = \frac{N_f}{N_i}$$

式中：A，水中 ^3H （HTO）的放射性活度，Bq/L； N_s ，样品总计数率，cpm； N_b ，本底计数率，cpm； V_m ，测量时所用水样体积，mL；K，电解前后标样 ^3H 浓度比； N_f ，电解后标记 ^3H 的活度浓度，cpm/mL； N_i ，电解前标记 ^3H 的活度浓度，cpm/mL；

E ，液闪谱仪对 ^3H 的计数效率，%。

— 生物中自由水氚（TFWT）的分析测定

动、植物、水产品等生物样品根据符合大多数人的食用习惯和取样处理方便的原则取可食部分。样品置于冻干机中，在 -55°C 以下的温度冷冻生物样品，利用真空抽吸的方法获得样品中的自由水。收集的自由水蒸馏后，电解浓缩，液闪制样。按“水中 HTO 的分析测定”步骤分析测定。

生物中 TFWT 的活度浓度公式为：

$$A = \frac{(N_s - N_b) \cdot 1000 \cdot W_{\text{水}}}{60 \cdot E \cdot V_m \cdot K \cdot W_{\text{样}}}$$

式中： A ，生物中 TFWT 的放射性活度， Bq/kg ； N_s ，样品总计数率， cpm ； N_b ，本底计数率， cpm ； V_m ，测量时制备的测量样重量， g ； K ，电解倍数； E ，液闪谱仪对 ^3H 的计数效率，%； $W_{\text{水}}$ ，生物中 TFWT 含量， kg ； $W_{\text{鲜}}$ ，生物鲜样重量， kg 。

— 生物中有机氚（OBT）的分析测定

称取冷冻脱水后的干样，粉碎后装入石英舟放进石英管内，将氧化燃烧装置连接好。通入氧氮混合气体，氧气流速 0.5L/min ；氮气流速 0.5L/min 。加热催化氧化室，使其温度恒定在 $400^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ 。加热燃烧室，温度从 100°C 缓慢升高，温度升到 $200^\circ\text{C} \sim 300^\circ\text{C}$ 时，升温尽可能慢，仔细观察通氧情况，若有爆燃现象，将移动式电炉移开几分钟。一般燃烧室温度升至 500°C 以上，馏分流出很少。温度为 $600^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ ，继续燃烧一段时间，使样品完全氧化，然后切断电源，停止加热和通气。

燃烧室中产生的气体经氧化室氧化，水蒸气通过冷凝部分收集。冷凝部分包括采用水冷的串接二级蛇形管冷凝器和后接的采用干冰冷却的、由反接的鼓泡器构成的第三级冷凝器。两根蛇形冷凝管的下端由热派克斯三通磨口管相接，其底部出水口接置于液氮冷阱中的圆底烧瓶。

水样称重后，转入 100mL 蒸馏瓶，加入少量氢氧化钠，调节 PH 为 7，加入少量高锰酸钾，氧化回流 2h。将蒸馏瓶接入蒸馏装置蒸馏，所得的水密封在磨口烧瓶内。该水样无需电解浓缩，样品蒸馏后，样品蒸馏后直接液闪测量。

准确吸收纯化后的水样 8mL 于液闪测量瓶内，与 12mL 闪烁液混匀，放入液体闪烁计数器的样品室内避光数小时，进行放射性测量。

生物样品中 OBT 活度浓度的计算公式如下：

$$A = \frac{N \cdot V}{60 \cdot E \cdot V_0 \cdot W \cdot K}$$

式中：A，样品中 OBT 的放射性活度，Bq/kg；N，样品的净计数率，cpm；E，仪器对氚的探测效率；W，分析样品鲜样量，kg；V₀，测量样品体积，mL；V，燃烧过程收集样品水体积，mL；K，回收率。

（6）主要环境介质中 ¹⁴C 活度浓度分析

— 空气中 ¹⁴C 的分析测定

a. 将 2 个吸收瓶中的吸收碱液倒入烧杯中，对每个吸收瓶分别加入 10mL 蒸馏水进行清洗，并将清洗液一并倒入烧杯中；

b. 在烧杯内的吸收碱液中加入 20% 的 NH₄Cl 溶液；

c. 用滴定管缓慢滴加饱和 CaCl₂ 溶液，使 CaCO₃ 沉淀完全析出；抽吸过滤。弃去上清液，用蒸馏水和乙醇反复洗涤 CaCO₃ 沉淀物 3 次，以消除 Ca(OH)₂ 可能产生的影响；将滤纸上纯净的 CaCO₃ 沉淀放入烘箱内，在 100℃ 下烘干，取出冷却到室温后用天平称重，记录生成 CaCO₃ 的重量；

d. 将烘干称重后的 CaCO₃ 用研钵研磨成粉状，保存在干燥器中备用。从制备的 CaCO₃ 粉末中用天平称取 4g 放入 20mL 计数瓶中，加入 6mL 水摇匀，再加入 12mL 甲苯-TritonX-100 闪烁液，加盖密封；

e. 将加好闪烁液样品的计数瓶震荡 1min，静置 2h 后在液闪谱仪上进行计数测量。

空气中 ¹⁴C 的放射性浓度计算公式如下：

$$C = \frac{M \cdot (N_c - N_b)}{60 \cdot E \cdot W \cdot V}$$

式中：C，空气中放射性浓度，Bq/m³；W，测 CaCO₃ 粉末的重量，g；M，由吸收 CO₂ 的碱液生成的 CaCO₃ 粉末总重量，g；V，取样空气体积，m³；N_c，样品计数率，cpm；N_b，本底计数率，cpm；E，样品在液闪谱仪 ¹⁴C 道的计数效率，%。

— 水中 ¹⁴C 的分析测定

环境水体的预处理方法：通过鼓泡法浓集水中的 CO₂。该装置由水罐、水泵、流量计、吸收瓶、氮气高压气瓶组成。每次测量时所用样品量为 50L。用水泵一次性将样品水通过进水口抽入到水罐中，从进水口加 H₃PO₄ 200mL，关闭阀门。用氮气将水中的 CO₂ 吹出，氮气通过过滤器，使之成细小的气泡吹出。氮气流速为 2L/min，被

氮气赶出的 CO₂ 气体用 3 级串接的吸收瓶吸收，每个吸收瓶中装有 2mol/L 氢氧化钠溶液 150mL。当捕集完成后，把氢氧化钠溶液混倒入烧杯中，调节 pH 值为 10，加入饱和 CaCl₂ 溶液使溶液中的 CO₃²⁻ 完全沉淀，过滤并洗涤沉淀，于 110℃ 下干燥至恒重，冷却至室温，称重，计算含碳率。

将得到的碳酸盐沉淀装入 CO₂ 释放吸收装置中，加入 150mL 水；在液闪瓶中加入 10mL CARBOSORB E 吸收液吸收释放出来的 CO₂，吸收前对液闪瓶准确称重，检查装置气密性后，开始滴加 1:1H₃PO₄ 溶液，控制释放速度，直到液闪瓶中的气泡鼓出非常缓慢，停止吸收。再次对液闪瓶准确称重，计算 CO₂ 的吸收量；在吸收了 CO₂ 的液闪瓶中加入 10mL PERMAFLUOR E+闪烁液，混合均匀，避光 2h。

用液闪谱仪计数，样品中 ¹⁴C 的活度计算公式如下：

$$A = \frac{(n - n_0) \cdot m}{60 \cdot E \cdot m_1 \cdot Y \cdot M}$$

式中：A，样品中放射性浓度，Bq/L；E，¹⁴C 的计数效率；n，样品的计数率，min⁻¹；n₀，本底计数率，min⁻¹；Y，回收率，%；m，合成碳酸盐的质量，g；m₁，测量碳酸盐的质量，g；V，水样的体积，L。

— 生物中 ¹⁴C 的分析测定

称取一定量鲜样，放入冻干机中，在 -55℃ 冷冻脱水。将脱水后的干样碾碎，封存；把 5g 干样放入氧弹燃烧装置的样品杯中，样品上端有一段镍丝，装置底部装有 50mL 的水，首先抽真空，通入 0.8Mpa 氧气，引爆，压力上升，样品中的碳氧化为 CO₂，CO₂ 传输到两个串联的 3.75L 的不锈钢储气瓶中。缓慢释放储气瓶中的气体，用两级串接的装有氢氧化钠溶液的鼓泡器吸收 CO₂；把氢氧化钠溶液倒入烧杯中，调节 pH 值为 10，加入饱和 CaCl₂ 溶液使溶液中的 CO₃²⁻ 完全沉淀，过滤并洗涤沉淀，于 110℃ 下干燥至恒重，冷却至室温，称重，计算含碳率；将得到的碳酸盐沉淀装入 CO₂ 释放吸收装置中，加入 150mL 水；在液闪瓶中加入 10mL CARBO-SORB E 吸收液吸收释放出来的 CO₂，吸收前对液闪瓶准确称重，检查装置气密性后，开始滴加 1:1H₃PO₄ 溶液，控制释放速度，直到液闪瓶中的气泡鼓出非常缓慢，停止吸收。再次对液闪瓶准确称重，计算 CO₂ 的吸收量；在吸收了 CO₂ 的液闪瓶中加入 10mL PERMAFLUOR E+闪烁液，混合均匀，避光 2h。

生物中 ^{14}C 活度测量：用液闪谱仪计数，样品中 ^{14}C 的活度公式如下：

$$A = \frac{(n - n_0) \cdot m}{60 \cdot E \cdot m_1 \cdot Y \cdot M}$$

式中：A，样品中 ^{14}C 放射性浓度，Bq/kg；E， ^{14}C 的计数效率，%；n，样品的计数率， min^{-1} ； n_0 ，本底计数率， min^{-1} ；Y，回收率，%；m，合成碳酸盐的质量，g； m_1 ，测量碳酸盐的质量，g；M，生物样品的鲜重，kg。

（7）土壤、沉积物中 $^{239+240}\text{Pu}$ 活度浓度分析

a.准确称取 30.0g 样品于 250mL 锥形瓶中，准确加入一定量的钪示踪剂，缓慢加入 7.5mol/L 的硝酸 70mL，搅拌均匀后置于电热板上加热，煮沸浸取 2h，冷却至室温后，将浸取液用快速滤纸过滤。再用 50mL 7.5mol/L 的硝酸重复上述操作一次。合并滤液；

b.滤液按每 100mL 加入 0.5mL 氨基磺酸亚铁，进行还原，放置 5min~10min，再加入 0.5mL 亚硝酸钠，进行氧化，放置 5min~10min，然后在电热板上煮沸溶液，使过量的亚硝酸钠完全分解，冷却至室温；

c.控制溶液的酸度为 7mol/L~8mol/L，以 1mL/min 的流速通过交换柱，用 10mL 7.5mol/L 的硝酸分两次洗涤原烧杯洗涤液以相同的流速通过交换柱；

e.依次用 30mL 8mol/L 的盐酸，40mL 7.5mol/L 的硝酸，3mL 3mol/L 的硝酸和 1mL 0.1mol/L 硝酸洗涤交换柱，其流速为 2mL/min；

f.在不低于 20℃ 条件下，用 8.0mL 0.36mol/L 盐酸-0.01mol/L 氢氟酸溶液，以 0.2mL/min 的流速解吸，解吸液收集在 50mL 小烧杯中，在电热板上缓慢蒸干。用 8.0mL 0.150mol/L 硝酸铵-0.150mol/L 硝酸溶液分三次洗涤小烧杯，并将其用滴管转移到电沉积槽中，将电沉积槽置于流动的冷水浴中，极间距离为 10mm~15mm，电流密度为 900mA/cm²~1200mA/cm² 下，电沉积 1.5h。终止前加入 1mL 氢氧化铵，继续电沉积 1min，断开电源，弃去电沉积液，并依次用水和乙醇洗涤镀片，在红外灯下烤干；

g.将镀片置于低本底α谱仪上测量；

试样中钪的放射性活度按下式计算：

$$A = \frac{N \cdot 1000}{E \cdot m \cdot Y}$$

式中： A ，试样中钚的放射性活度，Bq/kg； N ，样品源的净计数率，cps； E ，仪器探测效率； Y ，钚的全程放化回收率，由 ^{242}Pu 确定； m ，分析试样所用的重量，g。

（8）牛奶中 ^{131}I 活度浓度分析

a.将牛奶搅拌均匀后，分别用 5L 量筒量取 4 组样品，每组样品 4L，分别加入 30mg 碘载体，搅拌 15min 后加入 30mL 201×7 型阴离子交换树脂，再搅拌 30min 后静置 5min，将牛奶转移至新烧杯中加入 30mL 阴离子交换树脂，再搅拌 30min 后静置 5min，合并两次的树脂，用蒸馏水漂洗；

b.向树脂中加入 40mL 7.5mol/L 的硝酸溶液，煮沸 1h，冷却至室温后将树脂转入玻璃解吸柱内，加入 50mL 蒸馏水洗涤树脂；

c.向解吸柱内加入 30mL 次氯酸钠溶液（活性氯含量 5.2% 以上），搅拌 30min，收集解吸液，重复解吸一次，再向解吸柱内加入 15mL 次氯酸钠溶液和 15mL 蒸馏水搅拌解吸 20min，合并三次解吸液。用 40mL 蒸馏水分 2 次清洗解吸柱，每次搅拌 3min~5min，将清洗液合并至解吸液中；

d.向解吸液中加入 30mL 四氯化碳和 8mL 3mol/L 的盐酸羟胺溶液，用硝酸调节 pH=1，振荡 2min 后静置，转移有机相后再用 15mL 四氯化碳重复萃取 2 次，合并有机相；

e.用等体积蒸馏水洗涤有机相，振荡 2min 后转移有机相；

f.有机相中加入等体积蒸馏水，加入 8 滴质量浓度 5% 的亚硫酸氢钠溶液，振荡 2min，待紫色消退后转移水相；

g.将水相加热至残余的四氯化碳全部挥发，冷却后搅拌滴加质量浓度 65% 的硝酸至溶液呈金黄色，加入 7mL 质量浓度 1% 的硝酸银溶液，加热至微沸后冷却至室温，转移碘化银沉淀；

h.将沉淀进行抽滤，用蒸馏水和无水乙醇洗涤 3 次，在烘箱中 110℃ 烘干 15min，冷却后称重，计算回收率，压入样品盒中放入 γ 谱仪测量。

样品中 ^{131}I 的放射性活度按下式计算：

$$A = \frac{(N_c - N_b) \times F}{\eta \times Y \times V \times p \times e^{-\lambda t}}$$

式中： A ，样品中 ^{131}I 的放射性活度，Bq/L； N_c ，全能峰的计数率，s⁻¹； N_b ，全能峰的本底计数率，s⁻¹； η ，全能峰的探测效率； Y ，回收率； p ，全能峰的分支比； F ，

衰变校正因子。

3.1.1.1.7 探测下限及数据处理

（1）探测下限

探测下限是表示测量方法（或装置）所能发现的最小期望放射性水平，即当测量到的计数值 $\geq$ 探测下限时以（1- β ）的把握推断样品中含有的最小期望放射性水平。

LLD 的计算公式为：

$$LLD = \frac{4.66\sqrt{n_b/t_b}}{\varepsilon \cdot \eta \cdot Y \cdot W}$$

式中： n_b ， t_b 时间内的本底计数率， ε ，探测效率， η ，探测核素发射该能量的几率， Y ，化学回收率， W ，测量样品的重量或体积。

本次调查给出的探测下限是特定的具体条件下的估计值。其主要条件是： $\alpha=\beta=0.05$ ；在低水平计数时样品加本底的总计数与本底计数相近；样品测量时间与本底测量时间应足够长。各环境介质的 γ 谱测量探测下限和放化分析方法探测下限计算方法如下，计算结果见表 3.1-9。

1) 土壤样品中 γ 能谱

根据下式计算：

$$LLD = \frac{4.66\sqrt{N_b}}{\varepsilon \cdot \eta \cdot t \cdot m}, \text{ Bq/kg}$$

式中： N_b ，测量时间为 t 时的本底计数； ε ， γ 射线探测效率； η ， γ 射线分支比； t ，测量时间，s； m ，被测样品的质量，kg。

2) 生物样品与水样品中 γ 能谱

探测下限计算公式与土壤样品相同，公式中 m 分别表示生物样品灰重（kg）和水样品体积（L），计算结果单位分别为生物样品：Bq/kg（灰）；水样品：Bq/L。

3) 气溶胶样品中 γ 能谱

探测下限根据下式计算：

$$LLD = \frac{4.66\sqrt{N_b}}{\varepsilon \cdot \eta \cdot t \cdot V}, \text{ Bq/m}^3$$

式中： N_b ，测量时间为 t 时的本底计数； ε ， γ ，探测效率； η ，分支比； t ，测量

时间，s； V ，气溶胶样品的采样体积， m^3 。

4) 沉降物样品中 γ 能谱

探测下限根据下式计算：

$$LLD = \frac{4.66\sqrt{N_b}}{\varepsilon \cdot \eta \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot s}, \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{d}$$

式中： N_b ，测量时间为 t 时的本底计数； ε ， γ 射线探测效率； η ，分支比； t_1 ，测量时间，s； s ，沉降物样品的采样面积， m^2 ； t_2 ，沉降物样品的采样时间，天。

5) 水中 ^3H

探测下限按下式计算：

$$LLD = \frac{4.66\sqrt{n_b/t} \cdot 1000}{60 \cdot \varepsilon \cdot K \cdot V_m}, \text{ Bq/L}$$

式中： n_b ， t 时间内的平均本底计数率，cpm； t ，样品测量时间，min； ε ，探测效率，%； V_m ，测量样品的体积，mL； K ，电解浓集因子。

6) 空气中 ^3H

探测下限按下式计算：

$$LLD = \frac{4.66\sqrt{n_b/t} \cdot m_2}{60 \cdot E \cdot m_1 \cdot K \cdot V}, \text{ Bq/m}^3;$$

式中： n_b ，本底计数率，cpm； t ，样品测量时间，min； m_1 ，液闪制样水重，g； m_2 ，解析的水重，g； E ，仪器对 ^3H 的探测效率； K ，电解浓集倍数； V ，空气体积， m^3 。

7) 生物中TFWT

探测下限按下式计算：

$$LLD = \frac{4.66 \cdot \sqrt{n_b/t} \cdot 1000 \cdot W_{\text{水}}}{60 \cdot E \cdot V_m \cdot K \cdot W_{\text{样}}}, \text{ Bq/kg};$$

式中： n_b ，本底计数率，cpm； V_m ，测量时制备的测量样重量，g； K ，电解倍数； E ，液闪谱仪对 ^3H 的计数效率，%。 $W_{\text{水}}$ ，生物中TFWT含量，kg； $W_{\text{鲜}}$ ，生物鲜样重量，kg。

8) 生物中OBT

探测下限按下式计算：

$$LLD = \frac{4.66 \cdot \sqrt{n_b / t} \cdot N \cdot V}{60 \cdot E \cdot V_0 \cdot K \cdot W}, \text{ Bq/kg};$$

式中： n_b ，样品的本底计数率，cpm； E ，仪器对氚的探测效率； W ，分析样品鲜样量，kg； V_0 ，测量样品体积，ml； V ，燃烧过程收集样品水体积，mL； K ，回收率。

9) 空气中 ^{14}C

探测下限按下式计算：

$$LLD = \frac{4.66 \cdot \sqrt{n_b / t} \cdot M}{60 \cdot E \cdot V_m \cdot W}, \text{ Bq/m}^3$$

式中： n_b ， t 时间内的平均本底计数率，cpm； t ，样品测量时间，min； V_m ，取样空气体积， m^3 ； E ，样品在液闪谱仪 ^{14}C 道的计数效率，%； W ，测 CaCO_3 粉末的重量，g； M ，由吸收 CO_2 的碱液生成的 CaCO_3 粉末总重量，g。

10) 水中 ^{14}C

探测下限按下式计算：

$$LLD = \frac{4.66 \cdot \sqrt{n_b / t} \cdot m}{60 \cdot E \cdot Y \cdot m_1 \cdot V \cdot K}, \text{ Bq/L}$$

式中： n_b ，测量时间为 t 时的本底计数，cpm； E ，探测效率，%； Y ，回收率，%； t ，测量时间，min； m ，生成 CaCO_3 的质量，g； m_1 ，测量 CaCO_3 的质量，g； V ，水样的体积，L； K ，回收率。

11) 生物中 ^{14}C

探测下限按下式计算：

$$LLD = \frac{4.66 \cdot \sqrt{n_b / t} \cdot m}{60 \cdot E \cdot Y \cdot m_1 \cdot M}, \text{ Bq/kg}$$

式中： n_b ，测量时间为 t 时的本底计数，cpm； E ，探测效率，%； Y ，回收率，%； t ，测量时间，min； m ，生成 CaCO_3 的质量，g； m_1 ，测量 CaCO_3 的质量，g； M ，生物样品的干重，kg。

12) 放化分析（包括总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 等）方法

探测下限的计算公式为：

$$LLD = \frac{4.66 \cdot \sqrt{n_b / t}}{\varepsilon \cdot \eta \cdot Y \cdot W}$$

式中： n_b ， t 时间内的本底计数率； ε ，探测效率； η ，为探测核素发射该能量的几率； Y ，化学回收率； W ，为测量样品的重量或体积。

（2）数据处理与表示

单次放射性测量结果后面所附标准偏差仅代表放射性测量的单倍计数统计误差。
所有调查结果的平均值均为等权的算术平均值。

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^m X_i / m$$

式中： $\bar{X}$ 为平均值； X_i 为单次测量值； m 为单次测量结果个数。

对同类环境样品调查结果平均值后面所附的标准偏差为参加平均的一组测量结果的标准偏差。

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})^2 / (m - 1)}$$

式中： σ 为平均值后所附的标准偏差； $\bar{X}$ 为平均值； X_i 为单次测量值； m 为单次测量结果个数。

如果样品的部分测量结果低于探测限，则低于探测限的测量结果未参与平均。

3.1.1.2 质量保证

3.1.1.2.1 组织机构

项目承担单位成立了项目组，明确了项目组成员的职责和分工，并配备了合格的人员，成员通过质量培训和技术培训，确保调查工作在管理上满足质量保证要求。

3.1.1.2.2 野外测量的控制

采用 GPS（卫星定位仪）测量外环境各采样点位的经纬度，并记录采样点相对于厂址位置的方位和距离，在指定的地点采样或测量。

γ 辐射剂量率监测仪器在实施野外监测工作之前，经计量部门校准，并出具证书。

3.1.1.2.3 样品的采集、预处理与运输

本次调查按照承担单位的有关样品采集、预处理和运输的作业指导书进行，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，将样品有条理地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。

3.1.1.2.4 设备的控制

（1）现场采样设备的控制

— 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；

— 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，查看仪器是否工作正常；

— 现场仪器经运输后，使用前检验，确认其性能良好后使用，并做好记录；

— 仪器、采样器和样品容器经常维护，保持清洁，防止交叉污染；

— 仪器维修后重新检定合格后使用。

（2）装置的检定

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。表 3.1-10 列出的主要仪器和设备的检定情况。

（3）标准物质

用于刻度放射性测量仪器的标准源，标准溶液和标准物质，均由 IAEA-AQCS 或中国计量科学研究院等计量部门提供。

（4）放射性测量装置的性能检验

γ 谱仪：在每次开机后、关机前或仪器连续运行一个月以上时测量 γ 谱仪的本底、效率和稳定性（峰位）并绘制质控图，以确保仪器工作在正常状态下。

α/β 测量仪：采用中国计量科学研究院提供的 ^{241}Am 粉末标准物质制成与待测样品相同形式的标准源标定仪器的总 α 探测效率；采用中国计量科学研究院提供的 ^{40}K 粉末标准物质制成与待测样品相同形式的标准源标定仪器的总 β 探测效率。 α/β 测量仪连续运行一段时间后，测量本底，并绘制质控图。

α 谱仪：在每次开机后、关机前或仪器连续运行一个月以上时测量 α 谱仪的本底、效率和能量（峰位）并绘制质控图，以确保仪器工作在正常状态下。

液闪谱仪：液闪谱仪在测量样品前或仪器运行一段时间后，测量本底和效率，并绘制质控图，确保仪器处于正常稳定的状态。

3.1.1.2.5 化学试剂的控制

化学试剂的控制遵循以下原则：

- 用标准溶液配制工作溶液时，根据国家标准的技术规范执行，并做详细记录；
- 在使用高活度标准溶液时，防止其对低本底实验室的沾污；
- 实验室使用的试剂溶液和蒸馏水必须贴上标签，试剂溶液的标签必须写明名称、浓度、配制日期，有的试剂还要写明有效期。

3.1.1.2.6 实验室分析的质量控制

（1）样品比对

实验室在 2021 年度和 2022 年度均参加了国际原子能机构组织的国际比对 IAEA-TEL-2021-04 和 IAEA-TEL-2022-02，通过比对对实验室的测量分析进行了质量控制。IAEA-TEL-2021-04 比对内容包括 3 个水样品、1 个竹子样品和 1 个气溶胶样品。除 1 号水样品因人为失误将 ^{134}Cs 和 ^{137}Cs 结果报反导致结果不合格外，其余样品比对结果均良好。IAEA-TEL-2022-02 对比内容包括 4 个水样品和一个滤膜样品，共发现 3 个警告项，未发现不满意项，所有项目均已落实整改。

（2）平行样

为了对项目中样品的采集、预处理及分析测量的全部过程进行有效的质量控制，在项目的实施过程中，分别对地下水、饮用水、土壤、陆生生物、海水、海洋沉积物、海洋生物等种类的样品采集了平行样，平行样品从样品的采集、预处理到分析测量与其余样品完全相同。华能高温堆临界后：

- 1) 地下水平行样品有 2 组，给出了 3 种核素的测量结果，共有 8 组测量结果；
- 2) 土壤平行样品有 2 组，给出了 7 种核素的测量结果，共有 14 组测量结果；
- 3) 陆生生物平行样品有 3 组，给出了灰鲜比、灰干比和 4 种核素的测量结果，共有 13 组测量结果；
- 4) 海水平行样品有 4 组，给出了总 β 和 6 种核素的测量结果，共有 28 组测量结果；
- 5) 海洋沉积物平行样品有 2 组，给出了 7 种核素的测量结果，共有 14 组测量结果；
- 6) 海洋生物平行样品有 3 组，给出了灰鲜比、灰干比和 4 种核素的测量结果，共有 18 组测量结果；

总的平行样品为 16 组，给出 95 组测量结果，除 2022 年 5 月采集的海水 10#点样品 ^3H 的测量结果相对偏差为 23.1%外（未超过标准中规定 30%的要求），其余结果相对偏差均 $<20\%$ ，样品平行性良好。

平行样结果统计见表 3.1-11。

（3）空白样

2021 年度对 ^{90}Sr 、总铀、总 α 、总 β 测量过程中的空白样品进行了测量，待测样品以蒸馏水作为基质，测量结果如下：

^{90}Sr ：0.22mBq/L、0.26mBq/L；总 α ： $<0.031\text{Bq/L}$ 、 $<0.028\text{Bq/L}$ ；总 β ：0.014Bq/L、0.006Bq/L；总铀：0.03 $\mu\text{g/L}$ 。

测量结果表明，样品测量过程中使用的试剂、材料本底满足分析要求。

（4）掺标样

2021 年度对气溶胶、土壤、水、生物灰等介质进行了掺标样品的测量，2022 年度对土壤、水、沉降灰、生物介质进行了掺标样品的测量，测量结果见表 3.1-12。

3.1.1.3 调查结果

3.1.1.3.1 地表 γ 辐射剂量率和累积剂量

（1）地表 γ 辐射剂量率（瞬时测量）

地表 γ 辐射剂量率共 80 个点位，其中 32 个测量点位是道路，包括 16 个水泥地面、8 个沥青地面、7 个地砖地面和 1 个碎石地面；48 个测量点位是原野，包括 27 个土地、19

个草地和2个田地。华能高温堆临界后，48个原野测量点位中，结果平均最低值是崂山街道，为50.7nGy/h；最高值是所东王家村，为130nGy/h；48个点位结果均值为90.7±19.9nGy/h。32个道路测量点位中，结果平均最低值是文登区，为60.1nGy/h；最高值是小河东村，为114nGy/h；32个点位结果均值为91.6±14.0nGy/h。所有点位均值为91.1±17.7nGy/h。

华能高温堆临界后，地表γ辐射剂量率测量结果具体见表 3.1-13 和图 3.1-7。

（2）累积测量

累积剂量共布设了 50 个点位，累积剂量的布设点位与该点位的剂量率测量点位重合。从累积剂量换算出的小时均值结果可以看出：华能高温堆临界后连续 1 年的监测数据中，平均结果最低值为 112.7nGy/h 点位为成山镇，平均结果最高值为 218.6nGy/h，点位为南夏家村。

华能高温堆临界后，累积剂量测量结果具体见表 3.1-14，与地表γ辐射剂量率监测结果的对比见表 3.1-15。

（3）连续测量

测量仪器为 NC-HPIC8000 型高气压电离室。仪器每 1 分钟给出一个结果，连续监测，对每小时内的平均结果进行统计。华能高温堆临界后，测量结果变化见图 3.1-8，统计过程中对明显异常的数据进行了剔除。分析表明，厂址边界和东钱家两个点位各月度（2021 年 9 月—2022 年 12 月）的平均辐射剂量率结果范围分别为 111.3nGy/h~127.3nGy/h 和 93.5nGy/h~107.7nGy/h，未见明显异常。

（4）宇宙射线测量

宇宙射线于 2021 年 7 月在八河水库进行了测量。八河水库面积约 1.7 万平方米，位于厂址西北约 10km，为大(二)型水库。本次调查宇宙射线测量结果为 32.3±0.9nGy/h。测量点接近水库中心，测量点距岸边>1km，水深 4.2m，测量船只为水库管理所所属的玻璃钢快艇，四周有金属围挡，船尾有发动机。测量时电离室放置在船舱中靠船头远离发动机的位置，不使用三脚架。

3.1.1.3.2 空气介质中放射性水平

（1）气溶胶

气溶胶样品的分析项目包括每个季度一次的 ^{90}Sr 、 ^7Be 、 ^{54}Mn 、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、

^{58}Co 、 ^{60}Co 分析。华能高温堆临界后，测量结果具体见表 3.1-16。

γ 谱分析测量结果中， ^7Be 给出了全部样品的测量结果， ^{137}Cs 在2021年9月的东钱家村测量结果高于探测下限，其余核素 ^{134}Cs 、 ^{54}Mn 、 ^{131}I 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 结果均低于探测下限。其中， ^7Be 的测量结果均已计算至各季度采样中点时间，呈现出非常明显的季节差异，冬季和春季降水少，气温低，测量结果较高，夏季和秋季降水多，气温高，测量结果较低。活度浓度范围为 $2.95\text{mBq/m}^3\sim 12.1\text{mBq/m}^3$ ，均值为 $6.18\pm 3.04\text{mBq/m}^3$ 。

^{90}Sr 的活度浓度范围为 $0.33\mu\text{Bq/m}^3\sim 4.58\mu\text{Bq/m}^3$ ，均值为 $2.18\pm 1.42\mu\text{Bq/m}^3$ 。最低值出现在2022年5月的镆铳岛，最高值出现在2021年9月的宁津街道。

（2）沉降灰

沉降灰样品的分析项目包括每个季度一次 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 和 ^{90}Sr 分析。华能高温气冷堆临界后的测量结果具体见表 3.1-17。

γ 谱分析测量结果中， ^{137}Cs 给出了测量结果，但测量数据在探测限水平附近，其余核素均低于探测下限。 ^{137}Cs 测量结果范围为 $\langle \text{MDC}\sim 4.36\text{mBq/m}^2\cdot\text{d}$ 。

^{90}Sr 的活度浓度范围为 $0.11\text{mBq/m}^2\cdot\text{d}\sim 5.18\text{mBq/m}^2\cdot\text{d}$ ，最低点出现在2022年7月—12月的成山镇，最高点出现在2022年5月—7月的宁津街道。

（3）空气中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I

空气中 ^3H 、 ^{14}C 共设置 5 个采样点。华能高温气冷堆临界后的测量结果见表 3.1-18。

^3H 的活度浓度范围为 $3.31\text{mBq/m}^3\sim 22.0\text{mBq/m}^3$ （ $0.26\text{Bq/L水}\sim 1.17\text{Bq/L水}$ ），最低值出现在2022年1月的厂址边界，最高值出现在2021年9月的镆铳岛。 ^{14}C 活度浓度范围为 $31.6\text{mBq/m}^3\sim 56.7\text{mBq/m}^3$ （ $0.14\text{Bq/g碳}\sim 0.26\text{Bq/g碳}$ ），最低值出现在2022年7月的镆铳岛，最高值出现在2022年5月的镆铳岛。

所有点位 ^{131}I 测量结果均低于探测下限。

（4）降水测量结果

降水监测项目为 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 。监测频次为1次/季。

华能高温气冷堆临界后， γ 谱测量所有测量结果均低于探测下限。

^{90}Sr 结果活度浓度范围为 $4.74\text{mBq/L}\sim 62.7\text{mBq/L}$ ，均值为 $17.2\pm 14.9\text{mBq/L}$ ，最低值出现在2022年1月—5月镆铳岛，最高值出现在2021年9月—2022年1月成山镇；

^3H 结果活度浓度范围为0.35Bq/L~1.03Bq/L，均值为 $0.64\pm 0.20\text{Bq/L}$ ，最低值出现在2022年5月—7月宁津街道，最高值出现在2022年1月—5月镆铳岛。

测量结果具体见表3.1-19。

3.1.1.3.3 陆地水中放射性水平

（1）地表水

地表水监测项目为 ^3H 、 ^{90}Sr 和 γ 能谱（ ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs ），在八河水库和后龙河水库还补充监测了 ^{14}C 。华能高温气冷堆临界后，测量结果具体见表3.1-20。

γ 谱测量 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 测量结果均低于探测下限。

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围为3.78mBq/L~14.1mBq/L，最低值出现在2022年7月的郭家水库，最高值出现在2022年1月的后龙河水库，均值为 $8.06\pm 3.28\text{mBq/L}$ 。2024年补充测量南夏家水库地表水 ^{90}Sr ，平水期活度浓度为 $2.71\pm 0.22\text{mBq/L}$ ，枯水期活度浓度为 $3.82\pm 0.29\text{mBq/L}$ 。

^3H 测量结果活度浓度范围为0.33Bq/L~0.64Bq/L，最低值出现在2022年1月的南夏家水库，最高值出现在2022年7月的后龙河水库，均值为 $0.47\pm 0.12\text{Bq/L}$ 。

^{14}C 监测点位为八河水库和后龙河水库（对照点），测量结果范围为2.23mBq/L~5.14mBq/L（0.15Bq/g碳~0.20Bq/g碳），最低值出现在2022年7月的八河水库，最高值出现在2022年7月的后龙河水库，均值为 $4.33\pm 1.15\text{mBq/L}$ （ $0.17\pm 0.03\text{Bq/g碳}$ ）。

（2）地下水

地下水监测项目为 ^3H 、 ^{90}Sr 和 γ 能谱（ ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs ），在东钱家村、宁津街道还补充监测了 ^{14}C 。华能高温气冷堆临界后，测量结果具体见表3.1-21。

γ 谱测量所有结果均低于探测下限。

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围为2.67mBq/L~9.57mBq/L，最低值出现在2021年9月的后海崖村，最高值出现在2022年7月的东钱家村。2024年补充测量东钱家村和后海崖村地下水 ^{90}Sr ，平水期活度浓度分别为 $1.37\pm 0.19\text{mBq/L}$ 、 $8.24\pm 0.30\text{mBq/L}$ ，枯水期活度浓度分别为 $4.86\pm 0.29\text{mBq/L}$ 、 $11.3\pm 0.4\text{mBq/L}$ 。

^3H 测量结果活度浓度范围为0.25Bq/L~0.49Bq/L，最低值出现在2021年9月的东钱

家村，最高值出现在2022年7月的后海崖村。

^{14}C 测量结果活度浓度范围为4.54mBq/L~7.92mBq/L，最低值出现在2022年1月的宁津街道，最高值出现在2021年9月的东钱家村。

（3）饮用水

饮用水监测项目为 ^3H 、总 α 、总 β 和 γ 能谱（ ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs ），在东钱家村、宁津街道以及饮用水源地湾头水库还补充监测了 ^{14}C 和 ^{90}Sr 。华能高温气冷堆临界后，测量结果具体见表3.1-22。

γ 谱测量所有测量结果均低于探测下限。

总 α 部分结果低于探测下限，结果范围为〈MDC~0.075Bq/L。

总 β 测量结果活度浓度范围0.053Bq/L~0.27Bq/L，最低值出现在2022年1月的后海崖村，最高值出现在2021年9月的东墩村。

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围5.76mBq/L~10.7mBq/L，最低值出现在2021年9月的宁津街道，最高值出现在2022年7月的宁津街道。2024年补充测量东钱家村饮用水中的 ^{90}Sr ，平水期活度浓度为 $0.75 \pm 0.14\text{mBq/L}$ ，枯水期活度浓度为 $4.14 \pm 0.22\text{mBq/L}$ 。

^3H 测量结果活度浓度范围0.39Bq/L~1.11Bq/L，最低值出现在2021年9月的东钱家村，最高值出现在2022年7月的宁津街道。

^{14}C 测量结果活度浓度范围4.06mBq/L~8.10mBq/L（0.18Bq/g碳~0.20Bq/g碳），最低值出现在2022年7月的湾头水库，最高值出现在2021年9月的东钱家村。

3.1.1.3.4 土壤与沉积物中放射性水平

（1）地表水底泥

底泥样品的分析项目包括测量 ^{40}K 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U ，在八河水库和南夏家水库补充测量 $^{239+240}\text{Pu}$ 。监测频次为1次/年。八河水库第一季度因水位太高，无法采集到样品，因此在第二季度进行了采集。华能高温气冷堆临界后，测量结果具体见表3.1-23。

γ 谱分析测量结果中，天然放射性核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 均给出了测量结果，其余核素测量结果均低于探测下限。其中：

^{238}U 测量结果活度浓度范围为10.5Bq/kg~88.2Bq/kg；

^{226}Ra 测量结果活度浓度范围为10.2Bq/kg~57.6Bq/kg；

^{232}Th 测量结果活度浓度范围为17.4Bq/kg~160Bq/kg;

^{40}K 测量结果活度浓度范围为707Bq/kg~1870Bq/kg;

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围为0.36Bq/kg~1.98Bq/kg。

$^{239+240}\text{Pu}$ 测量结果活度浓度范围为0.006Bq/kg~0.011Bq/kg。

（2）土壤

土壤样品的分析项目包括 ^{40}K 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U ，每个子区最近采样点补充进行 $^{239+240}\text{Pu}$ 分析，华能高温气冷堆临界后，共测量了28个样品（包括2个平行样品）。测量结果见表3.1-24。

γ 谱分析测量结果中，天然放射性核素 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 均给出了测量结果，人工核素 ^{137}Cs 在大部分样品中高于探测下限，其中：

^{238}U 的活度浓度范围为10.1Bq/kg~95.4Bq/kg，最低值出现在成山镇，最高值出现在港湾街道，均值为 $38.7\pm 16.6\text{Bq/kg}$ ；

^{226}Ra 的活度浓度范围为11.1Bq/kg~83.5Bq/kg，最低值出现在成山镇，最高值出现在港湾街道，均值为 $33.9\pm 14.3\text{Bq/kg}$ ；

^{232}Th 的活度浓度范围为15.6Bq/kg~200Bq/kg，最低值出现在宁津养殖二厂，最高值出现在港湾街道，均值为 $66.7\pm 38.6\text{Bq/kg}$ ；

^{40}K 的活度浓度范围为712Bq/kg~1560Bq/kg，最低值出现在崂山街道，最高值出现在南夏家村，均值为 $1146\pm 249\text{Bq/kg}$ ；

^{137}Cs 的活度浓度范围为〈MDC~2.06Bq/kg，最高值出现在南泊村，均值为 $1.01\pm 0.51\text{Bq/kg}$ ；

^{90}Sr 的活度浓度范围为0.35Bq/kg~1.93Bq/kg，最低值出现在北场村，最高值出现在西钱家村，均值为 $0.94\pm 0.44\text{Bq/kg}$ ；

$^{239+240}\text{Pu}$ 的活度浓度范围为0.011Bq/kg~0.13Bq/kg，最低值出现在厂址边界，最高值出现在小河东村，均值为 $0.065\pm 0.034\text{Bq/kg}$ 。

3.1.1.3.5 陆生生物中放射性水平

华能高温堆临界后，共采集陆地生物样品7类10种15个样品，包括粮食类、蔬菜类、水果类、肉类、指示生物、特色作物。其中，粮食类采集了小麦、玉米；蔬菜类采集了豆角、白菜和葱；水果类采集了苹果；奶类采集了牛奶，肉类采集了猪肉，并

采集了指示生物松针和特色作物花生。

陆生生物监测项目包括 ^3H （有机氚、组织自由水氚）、 ^{14}C 、 ^{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 。牛奶的监测项目为 ^{131}I 。所有给出结果均为可食鲜重（干重）的结果。测量结果见表3.1-25。

γ 谱分析测量结果中，松针、猪肉和苹果样品的 ^{137}Cs 测量结果高于探测下限，其余核素测量结果均低于探测下限。小麦、玉米给出的测量结果为干重的结果。松针的测量结果最高，小麦等测量结果低于探测下限。

有机氚的测量结果的范围值为〈MDC~1.13Bq/kg，小麦中最高。

^{14}C 的测量结果的范围值为3.13Bq/kg~102Bq/kg，粮食作物的测量结果相对较高，葱、豆角、白菜和苹果的测量结果较低。

松针的 ^{90}Sr （ $0.17 \pm 0.01\text{Bq/kg}$ 鲜）明显高于其它样品。

3.1.1.3.6 陆域水生生物中放射性水平

水生生物采集了白鲢鱼和水草。监测项目为 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs ，所有给出结果均为可食鲜重的结果。采样频次为1次/年。具体结果见表3.1-26。水草的各核素测量结果都大于白鲢鱼。

3.1.1.3.7 海水中放射性水平

海水共布设15个采样点，测量项目包括总 α 、总 β 、 ^3H 和 γ 谱分析（ ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{106}Ru 、 ^{40}K 、 ^{65}Zn 、 ^{131}I 、 ^{226}Ra ）。每个方位最近的点位和取水口、排水口还补充监测 ^{14}C 、 ^{90}Sr 。监测频次为1次/半年。高温气冷堆临界后，具体结果见表3.1-27。

γ 谱分析结果中，所有样品都给出了 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 的测量结果，其它核素（包括 ^{134}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{106}Ru 、 ^{65}Zn 、 ^{131}I ）测量结果均低于探测下限。

^{137}Cs 测量结果活度浓度范围0.92mBq/L~1.74mBq/L，最低值出现在2022年5月的排水口，最高值出现在2021年9月的取水口，均值为 $1.22 \pm 0.21\text{mBq/L}$ ；

^{226}Ra 测量结果活度浓度范围2.27mBq/L~9.94mBq/L，最低值出现在2022年5月的海水8#点，最高值出现在2021年9月的排水口第二个平行样品，均值为 $5.92 \pm 2.08\text{mBq/L}$ ；

^{40}K 测量结果活度浓度范围8.15Bq/L~14.2Bq/L，最低值出现在2021年9月的海水10#点第二个平行样品，最高值出现在2021年9月的海水3#点，均值为 $10.1\pm 1.4\text{Bq/L}$ ；

总 α 测量结果均低于探测下限；

总 β 测量结果活度浓度范围8.53Bq/L~14.0Bq/L，最低值出现在2022年5月的海水6#点，最高值出现在2022年5月的海水12#点，均值为 $10.2\pm 1.0\text{Bq/L}$ ；

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围0.83mBq/L~1.86mBq/L，最低值出现在2022年5月的海水13#点，最高值出现在2021年9月的取水口，均值为 $1.17\pm 0.28\text{mBq/L}$ ；2024年补充测量排水口 ^{90}Sr ，活度浓度为 $1.40\pm 0.22\text{mBq/L}$ 。

^3H 测量结果活度浓度范围0.13Bq/L~0.48Bq/L，最低值出现在2021年9月的海水11#点，最高值出现在2022年5月的海水10#点第二个平行样品，均值为 $0.31\pm 0.08\text{Bq/L}$ ；

^{14}C 测量结果活度浓度范围4.81mBq/L~6.97mBq/L（0.18Bq/g碳~0.21Bq/g碳），最低值出现在2022年5月排水口的第一个平行样品，最高值出现在2021年9月的海水11#点，均值为 $5.33\pm 0.43\text{mBq/L}$ （ $0.19\pm 0.01\text{Bq/g碳}$ ）。

3.1.1.3.8 海洋沉积物中放射性水平

海洋沉积物与海水采样点重合，共布设17个采样点，测量项目包括 ^{90}Sr 和 γ 谱分析（ ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{106}Ru 、 ^{40}K 、 ^{65}Zn ），选择距排水口较近的采样点进行 $^{239+240}\text{Pu}$ 分析。高温气冷堆临界后，分析结果见表3.1-28。分析表明：

^{238}U 的活度浓度范围为15.7Bq/kg~52.0Bq/kg，最低值出现在10#点，最高值出现在排水口南侧潮间带，均值为 $25.4\pm 8.3\text{Bq/kg}$ ；

^{226}Ra 的活度浓度范围为15.0Bq/kg~49.9Bq/kg，最低值出现在12#点，最高值出现在排水口南侧潮间带，均值为 $24.1\pm 7.1\text{Bq/kg}$ ；

^{232}Th 的活度浓度范围为23.2Bq/kg~98.6Bq/kg，最低值出现在12#点，最高值出现在排水口南侧潮间带，均值为 $35.6\pm 16.2\text{Bq/kg}$ ；

^{40}K 的活度浓度范围为623Bq/kg~1100Bq/kg，最低值出现在7#点，最高值出现在排水口南侧潮间带，均值为 $760\pm 137\text{Bq/kg}$ ；

^{137}Cs 的活度浓度范围为〈MDC~1.75Bq/kg，最高值出现在9#点，均值为 $1.17\pm 0.40\text{Bq/kg}$ ；

其他人工 γ 放射性核素活度浓度均低于探测下限。

^{90}Sr 的活度浓度范围为 $0.48\text{Bq/kg}\sim 2.32\text{Bq/kg}$ ，最低值出现在9#点，最高值出现在14#点，均值为 $1.06\pm 0.48\text{Bq/kg}$ ；

$^{239+240}\text{Pu}$ 的活度浓度范围为 $0.013\text{Bq/kg}\sim 0.12\text{Bq/kg}$ ，最低值出现在3#点，最高值出现在13#点和取水口的第二个平行样品，均值为 $0.065\pm 0.038\text{Bq/kg}$ 。

3.1.1.3.9 海洋生物中放射性水平

高温气冷堆临界后，海洋生物共采集样品5类9种11个样品，包括海洋鱼类、贝类、甲壳类、头足类和藻类。其中，海洋鱼类采集了马鲛鱼（当地称“鲅鱼”）、梭鱼和白姑鱼；贝类采集了扇贝和牡蛎（当地称“海蛎子”）样品；甲壳类采集了白对虾样品；头足类采集了海参样品；藻类采集了海带样品。

海洋生物样品测量项目为自由水氚、有机氚、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{106}Ru ，所有给出结果均为可食鲜重（干重）的结果。测量结果见表3.1-29。

γ 谱分析测量结果中， ^{137}Cs 大部分样品的测量结果高于探测下限，其余核素测量结果均低于探测下限。 ^{137}Cs 鱼类相对较高，甲壳类（白对虾）较低，海参低于探测下限。

^{90}Sr 海带样品较高，对虾、牡蛎和梭鱼结果较低；

自由水氚的测量结果较为平均，扇贝、海参测量结果相对较高，鱼类测量结果相对较低；

牡蛎、扇贝的有机氚测量结果低于探测下限，鱼类的测量结果相对较高，其它品种的测量结果都较低；

^{14}C 的测量结果较为平均，鱼类相对较高，海参和扇贝较低。

3.1.1.4 区域内核设施、核技术利用调查

（1）核设施

除本厂址外，周围80km范围内无核设施。本厂址高温气冷堆示范工程已于2023年12月6日实现商运。国和一号示范工程1号机已商运，2号机在调试。扩建一期工程2台华龙一号机组正在建设中。厂址30km范围内无其它核设施和铀、钍矿设施。

（2）核技术利用

截至 2022 年 5 月，厂址半径 15km 范围内无 NORM 设施和同位素生产企业。厂址周围 5km 范围内的放射源、射线装置使用情况，见表 3.1-30。

3.1.2 辐射环境质量评价

3.1.2.1 本底调查结果评价

3.1.2.1.1 环境 γ 辐射水平评价

本次调查获得的华能高温气冷堆临界后的原野辐射剂量率（扣除宇宙射线响应）范围为 50.7nGy/h~130nGy/h，平均值为 90.7 ± 19.9 nGy/h；道路辐射剂量率范围为 60.1nGy/h~114nGy/h，平均值为 91.6 ± 14.0 nGy/h；

根据上世纪 80 年代“全国环境天然放射性水平调查研究”，山东省的辐射剂量率范围（扣除宇宙射线响应）原野辐射剂量率为 16.9nGy/h~162.6nGy/h，道路辐射剂量率为 10.3nGy/h~204.1nGy/h。项目所在烟台市（1987 年以前属烟台市）的辐射剂量率范围（扣除宇宙射线响应）原野是 21.4nGy/h~120.5nGy/h，道路是 19.1nGy/h~201.1nGy/h，本次调查结果在其范围内。

本次调查剂量率监测结果与烟台市、山东省及全国辐射剂量率水平对比情况见表 3.1-31。

3.1.2.1.2 环境土壤中天然放射性核素水平评价

本次调查对土壤中的天然放射性核素活度浓度水平进行了调查，共设 25 个点位。华能高温气冷堆临界后，各天然放射性核素活度浓度范围分别为： ^{238}U ，10.1Bq/kg~95.4Bq/kg； ^{226}Ra ，11.1Bq/kg~83.5Bq/kg； ^{232}Th ，15.6Bq/kg~200Bq/kg； ^{40}K ，712Bq/kg~1560Bq/kg。

根据上世纪 80 年代“全国环境天然放射性水平调查研究”，山东省的土壤中 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 的范围分别为 15.7Bq/kg~90.1Bq/kg、9.8Bq/kg~50.0Bq/kg、20.7Bq/kg~202Bq/kg、391.7Bq/kg~1870Bq/kg。项目所在烟台市（1987 年以前属烟台市）的土壤中 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 的范围分别为 17.2Bq/kg~61.6Bq/kg、16.2Bq/kg~46.1Bq/kg、20.8Bq/kg~70.4Bq/kg、118.4Bq/kg~1870Bq/kg，整体上本次调

查结果与烟台市、山东省平均水平相当。

本次调查土壤中天然放射性核素活度浓度监测结果与烟台市、山东省及全国水平对比见表 3.1-32。

3.1.2.1.3 各类环境介质中 ^3H 与 ^{14}C 的评价

本次调查中对各类环境介质进行了 ^3H 的监测，包括大气、降水、地表水、饮用水、地下水、海水及各类生物中的 TFWT 和 OBT。以 Bq/L 为单位进行汇总，各类样品中 ^3H 的监测结果均处于正常水平。

本次调查还得到了大气、地表水、海水、陆地生物、淡水鱼和海洋生物中 ^{14}C (OBC)的活度浓度水平，整体上，各类介质中的 ^{14}C 活度浓度范围为 0.12Bq/g 碳~0.26Bq/g 碳，与全球大气平衡的 ^{14}C 活度浓度水平相当。

目前本次调查中各类环境介质中的 ^3H 与 ^{14}C 总体上处于正常水平，且主要来自自然界的本底及核燃料循环、早期核试验释放后在大气中的累积。

统计本次调查华能高温气冷堆临界后，各类环境介质中 ^3H 与 ^{14}C 活度浓度水平的对比见表 3.1-33。

3.1.2.1.4 各类环境介质中 ^{137}Cs 与 ^{90}Sr 的评价

^{137}Cs 和 ^{90}Sr 历来是核电厂本底调查关注的人工放射性核素，处于痕量水平，常在一般辐射环境监测中监测到。其中， ^{90}Sr 在本次调查的所有样品中均检出，包括各类海洋生物和陆生生物，而 ^{137}Cs 在部分土壤、沉积物、海水等样品中检出。 ^{90}Sr 在各类环境介质中的浓度水平整体上要高于 ^{137}Cs 。

统计本次调查华能高温气冷堆临界后，各类环境介质中 ^{137}Cs 与 ^{90}Sr 活度浓度对比情况，见表 3.1-34。

3.1.2.1.5 土壤和海洋沉积物中 $^{239+240}\text{Pu}$ 的评价

本次调查对土壤和海洋沉积物中的 $^{239+240}\text{Pu}$ 进行了分析。其中土壤监测结果范围为 0.011Bq/kg~0.13Bq/kg，平均值为 $0.065\pm 0.034\text{Bq/kg}$ ；海洋沉积物监测结果范围为 0.013Bq/kg~0.12Bq/kg，平均值为 $0.065\pm 0.038\text{Bq/kg}$ 。此结果处于沙连茂等人报道的我国几个地区环境土壤中 $^{239+240}\text{Pu}$ 的活度浓度范围内（0.04Bq/kg~0.23Bq/kg）；与卜文

庭和郭秋菊报道的我国环境土壤和地表水沉积物监测结果处于相近水平（北京 $0.363 \pm 0.152 \text{Bq/kg}$ 、集宁 $0.237 \pm 0.014 \text{Bq/kg}$ 、青州 $0.013 \pm 0.001 \text{Bq/kg}$ 、兰州 $0.023 \pm 0.003 \text{Bq/kg}$ 、襄樊 $0.358 \pm 0.021 \text{Bq/kg}$ 、 $0.380 \pm 0.016 \text{Bq/kg}$ 及华北地区 0.4Bq/kg ）。

3.1.2.2 辐射环境现状评价

根据示范工程运行前辐射环境现状调查报告的数据分析表明，厂址周围的 γ 辐射剂量率本底处于正常水平，未见厂址周围存在可能的高本底地区；调查的各类环境介质包括空气、土壤与沉积物、各类水、生物等，其放射性水平均处于正常范围，检测到放射性核素主要以天然放射性核素及少数人工放射性核素；其中人工放射性核素主要包括 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs ， ^3H 与 ^{14}C 主要由自然界产生，同时由早期核试验及全球核燃料循环产生并随着时间而衰减；而 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 主要由早期大气核试验通过大气沉降产生，目前处于痕量水平。本次调查还监测了部分土壤和海洋沉积物的 $^{239+240}\text{Pu}$ ，结果表明，其活度浓度处于正常水平。

3.1.3 参考资料

- [1] 中国辐射防护研究院，国核压水堆示范工程运行前放射性环境本底调查专题报告（B版），2023年6月；
- [2] 中国辐射防护研究院，国核压水堆示范工程运行前放射性环境本底调查专题质量保证报告（B版），2023年6月；
- [3] 沙连茂，山本政儀，小村和久，上野馨，中国几个地区土壤中 $^{239+240}\text{Pu}$ ， ^{241}Am 和 ^{137}Cs 等放射性核素的测量，环境科学，1991，12(6): p.58-63；
- [4] 卜文庭，郭秋菊，我国环境土壤和地表水沉积物中 Pu 的分布特征研究，辐射防护，2013，33(03): p144-150。

表 3.1-1（1/2） 华能高温堆临界后一年调查工作完成的样品个数

序号	调查对象		监测项目	监测频度	采样点数	应采集样品总数	已采集样品数	平行样品数	
1	陆地环境γ辐射	剂量率	陆地γ辐射剂量率瞬时测量	1次/季	80	640	320	0	
			原野贯穿辐射剂量率连续测量	连续	2	——	——	/	
		累积剂量	γ辐射累积剂量	1次/季	50	400	200	0	
2	陆地介质	空气	气溶胶	γ谱、 ⁹⁰ Sr	1次/季	5	40	20	0
			沉降灰	γ谱、 ⁹⁰ Sr	1次/季	5	40	20	0
			降水	γ谱、 ³ H、 ⁹⁰ Sr	1次/季	5	40	20	0
			气体	³ H、 ¹⁴ C、 ¹³¹ I	1次/季	5	40	20	0
		水	地表水	γ谱、 ³ H、 ⁹⁰ Sr	1次/半年	4	16	8	0
				¹⁴ C		2	8	4	0
			地下水	γ谱、 ³ H、 ⁹⁰ Sr	1次/半年	4	16	18	3
				¹⁴ C		2	8	11	3
			饮用水	总α、总β、γ谱、 ³ H	1次/半年	5	20	15	1
				⁹⁰ Sr、 ¹⁴ C		3	12	9	1
			底泥	γ谱、 ⁹⁰ Sr	1次/年	4	8	4	0
				²³⁹⁺²⁴⁰ Pu		2	4	2	0
		土壤	γ谱、 ⁹⁰ Sr	1次/年	25	50	25	2	
			²³⁹⁺²⁴⁰ Pu		11	22	11	1	
		陆生生物	粮食类（小麦、玉米）	水氡、有机氡、 ¹⁴ C、 ⁹⁰ Sr、γ谱	1次/年	4	8	2	1
			蔬菜（白菜、豆角、葱）	水氡、有机氡、 ¹⁴ C、 ⁹⁰ Sr、γ谱	1次/年	3	6	3	1
			水果（苹果）	水氡、有机氡、 ¹⁴ C、 ⁹⁰ Sr、γ谱	1次/年	2	4	0	0
			牛奶	¹³¹ I	1次/半年	1	4	4	0
			肉类（猪肉、鸡肉）	水氡、有机氡、 ¹⁴ C、 ⁹⁰ Sr、γ谱	1次/年	2	4	1	0
			松针	水氡、有机氡、 ¹⁴ C、 ⁹⁰ Sr、γ谱	1次/年	1	2	1	0
			花生	水氡、有机氡、 ¹⁴ C、 ⁹⁰ Sr、γ谱	1次/年	1	2	1	1
			水生生物（白鲢鱼、水草）	水氡、有机氡、 ¹⁴ C、 ⁹⁰ Sr、γ谱	1次/年	2	4	2	0

表 3.1-1（2/2） 华能高温堆临界后一年调查工作完成的样品个数

序号	调查对象			监测项目	监测频 度	采样点 数	应采集样品 总数	已采集 样品数	平行样品 数
3	海洋介 质	海水		总α、总β、 ³ H、γ谱	1次/半 年	15	60	30	4
				¹⁴ C、 ⁹⁰ Sr		11	44	22	2
		沉积物		γ谱、 ⁹⁰ Sr	1次/年	17	34	17	1
				²³⁹⁺²⁴⁰ Pu		13	26	13	1
		生物样 品	鱼类（梭鱼、马鲛鱼、白 姑鱼）	水氡、有机氡、 ¹⁴ C、γ谱	1次/年	3	6	3	1
			贝类（扇贝、牡蛎、紫贻 贝）	水氡、有机氡、 ¹⁴ C、γ谱	1次/年	4	4	4	1
			甲壳类（白对虾）	水氡、有机氡、 ¹⁴ C、γ谱	1次/年	1	2	1	0
			头足类（海参）	水氡、有机氡、 ¹⁴ C、γ谱	1次/年	1	2	1	0
			藻类（海带）	水氡、有机氡、 ¹⁴ C、γ谱	1次/年	2	4	2	1
4	合计	/	/	/	/	297	1580	814	25

表 3.1-2（1/4）地表 γ 辐射剂量率、累积剂量测量点和土壤采样点位置

序号	点位名称	方位	距离（km）	海拔（m）	纬度（N）	经度（E）	测量项目	地表描述
1	厂址边界*	E	0.918	20	36°57'53.34"	122°31'40.44"	连续剂量率和累积剂量、土壤	碎石
2	国核厂区大门*	W	1.44	14	36°57'52.56"	122°30'05.27"	剂量率和累积剂量	草地
3	华能施工生活区*	WNW	1.16	23	36°58'15.19"	122°30'24.10"	剂量率和累积剂量	草地
4	华能核电厂区大门*	NNE	2.29	13	36°59'01.89"	122°31'42.40"	剂量率和累积剂量、土壤	草地
5	东钱家村	NNE	2.28	-3	36°59'05.77"	122°31'27.31"	连续剂量率和累积剂量、土壤	土地
6	小河东村	N	1.77	4	36°58'51.41"	122°30'59.90"	剂量率和累积剂量、土壤	水泥
7	西钱家村	N	2.15	-4	36°59'03.75"	122°31'11.05"	剂量率和累积剂量、土壤	水泥
8	周庄村*	NNW	1.64	5	36°58'45.92"	122°30'46.39"	剂量率和累积剂量、土壤	水泥
9	所前杜家村*	NW	1.95	20	36°58'37.31"	122°30'05.15"	剂量率和累积剂量、土壤	草地
10	所前王家村	WNW	1.59	16	36°58'09.50"	122°30'01.55"	剂量率和累积剂量、土壤	土地
11	季家村	W	2.03	31	36°58'01.35"	122°29'41.63"	剂量率	土地
12	东墩村*	WSW	1.48	17	36°57'30.87"	122°30'11.32"	剂量率和累积剂量、土壤	草地
13	南泊村*	SW	1.86	4	36°57'18.20"	122°30'03.53"	剂量率和累积剂量、土壤	水泥
14	宁津养殖二厂*	S	4.19	0	36°55'40.37"	122°31'26.47"	剂量率和累积剂量、土壤	土地
15	好当家渔场	SSW	1.75	11	36°57'00.13"	122°30'43.62"	剂量率和累积剂量	土地
16	所东王家村	N	3.45	13	36°59'45.90"	122°31'10.59"	剂量率和累积剂量	土地
17	止马滩村	N	3.73	8	36°59'54.45"	122°31'19.58"	剂量率	沥青
18	所后王家村	NNW	3.31	16	36°59'31.35"	122°30'06.26"	剂量率和累积剂量、土壤	土地
19	所后卢家村	NNW	3.70	15	36°59'51.60"	122°30'16.40"	剂量率	草地
20	华东乐园	SSW	4.37	0	36°55'55.76"	122°29'26.82"	剂量率	草地
21	小岔河村	NW	2.35	26	36°58'46.30"	122°29'53.92"	剂量率	土地
22	宁津街道	NNW	2.87	39	36°59'17.14"	122°30'10.52"	剂量率和累积剂量、土壤	土地
23	吉屯村	NW	4.67	15	36°59'44.32"	122°28'53.38"	剂量率和累积剂量	田地
24	大岔河村	WNW	2.00	23	36°58'25.45"	122°29'52.23"	剂量率和累积剂量	土地
25	鞠家村	WNW	3.63	41	36°58'56.36"	122°38'58.35"	剂量率和累积剂量、土壤	田地

表 3.1-2（2/4）地表 γ 辐射剂量率、累积剂量测量点和土壤采样点位置

序号	点位名称	方位	距离（km）	海拔（m）	纬度（N）	经度（E）	测量项目	地表描述
26	北场村	W	3.15	47	36°57'59.82"	122°28'55.85"	剂量率	草地
27	东苏家村	WSW	2.25	57	36°57'35.70"	122°29'35.46"	剂量率	草地
28	南夏家村	WSW	3.74	36	36°57'21.64"	122°28'37.86"	剂量率和累积剂量、土壤	土地
29	苑家村	WSW	4.21	25	36°56'34.73"	122°28'45.19"	剂量率	草地
30	南港头村	SW	2.66	23	36°56'57.55"	122°29'42.51"	剂量率和累积剂量	水泥
31	东南海村	SW	4.69	10	36°56'13.24"	122°28'42.25"	剂量率和累积剂量、土壤	土地
32	后海崖村	S	5.13	6	36°55'09.94"	122°31'28.35"	剂量率和累积剂量、土壤	沥青
33	马栏耩村	NNE	5.12	6	37°00'34.85"	122°31'54.93"	剂量率和累积剂量	土地
34	黄山养殖场	NNE	7.48	0	37°01'47.58"	122°32'24.50"	剂量率	水泥
35	东楮岛村	NNE	9.06	3	37°02'16.21"	122°33'48.33"	剂量率和累积剂量、土壤	土地
36	林家流村	N	6.26	-2	37°01'15.89"	122°30'37.60"	剂量率和累积剂量、土壤	土地
37	马家寨村	NNW	6.45	8	37°01'11.85"	122°29'39.03"	剂量率和累积剂量	草地
38	后港头村	NW	5.50	10	37°01'30.95"	122°28'05.00"	剂量率	土地
39	八河姚家村	NW	8.64	-5	37°01'37.65"	122°27'32.59"	剂量率和累积剂量、土壤	草地
40	八里王家村	WNW	7.98	-3	36°59'54.39"	122°26'17.34"	剂量率和累积剂量	土地
41	甲子山村	WNW	5.42	36	36°58'55.19"	122°27'37.53"	剂量率	草地
42	东山街道	W	6.61	-8	36°58'43.75"	122°26'42.91"	剂量率和累积剂量、土壤	地砖
43	沟王家村	W	8.16	22	36°57'28.64"	122°25'34.72"	剂量率	土地
44	桃园街道	WSW	7.78	12	36°55'56.07"	122°26'25.69"	剂量率和累积剂量	水泥
45	嘉和社区	WSW	7.23	28	36°56'57.35"	122°26'19.62"	剂量率	水泥
46	凤凰湖	WSW	9.97	-11	36°56'23.82"	122°24'36.40"	剂量率和累积剂量	草地
47	岛西庄村	S	6.47	9	36°54'25.24"	122°50'57.79"	剂量率和累积剂量	水泥
48	吕家庄村	S	6.84	18	36°54'13.30"	122°30'53.65"	剂量率	土地
49	崂山街道	NNW	16.5	12	37°05'31.81"	122°25'19.99"	剂量率和累积剂量、土壤	草地
50	罗家庄村	NW	13.7	27	37°03'28.92"	122°24'59.43"	剂量率和累积剂量	土地

表 3.1-2（3/4）地表 γ 辐射剂量率、累积剂量测量点和土壤采样点位置

序号	点位名称	方位	距离(km)	海拔 (m)	纬度(N)	经度 (E)	测量项目	地表描述
51	桑梓村	NW	18.8	47	37°04'45.79"	122°21'40.42"	剂量率	水泥
52	西慕家村	WNW	12.3	36	37°00'10.62"	122°23'16.45"	剂量率	草地
53	滕家镇	WNW	17.9	5	37°03'09.68"	122°20'57.78"	剂量率和累积剂量	水泥
54	王连街道	W	13.6	6	36°58'46.45	122°21'57.76"	剂量率和累积剂量	地砖
55	桥头庄村	W	18.5	36	36°56'42.43"	122°18'39.39"	剂量率	土地
56	斥山街道	WSW	11.7	-11	36°55'25.14"	122°23'49.44"	剂量率和累积剂量	土地
57	古楼村	WSW	17.8	33	36°54'30.61"	122°19'50.56"	剂量率	水泥
58	港湾街道	SW	13.5	23	36°52'34.92"	122°24'52.29"	剂量率和累积剂量、土壤	水泥
59	玄镇村	SW	17.7	1	36°52'21.49"	122°21'21.32"	剂量率	水泥
60	碌对岛	NNW	18.1	21	37°07'17.13"	122°27'31.49"	剂量率	草地
61	寻山街道	N	23.2	7	37°10'26.14"	122°31'35.73"	剂量率和累积剂量	草地
62	俚岛镇	N	31.4	14	37°14'40.38"	122°34'25.17"	剂量率	地砖
63	成山镇*	N	46.5	7	37°23'02.27"	122°32'42.45"	剂量率和累积剂量、土壤	土地
64	荣成市	NNW	26.1	63	37°10'32.44"	122°23'15.07"	剂量率和累积剂量	地砖
65	埠柳镇	NNW	42.4	26	37°20'20.88"	122°25'16.97"	剂量率	沥青
66	崖西镇	NNW	34.1	93	37°15'01.48"	122°22'25.79"	剂量率	沥青
67	大疃镇	NW	24.5	64	37°07'08.20"	122°19'10.22"	剂量率和累积剂量	土地
68	荫子镇	NNW	30.8	104	37°12'21.75"	122°20'46.16"	剂量率	水泥
69	大水泊镇	NW	35.5	49	37°11'46.58"	122°14'30.70"	剂量率	沥青
70	高村镇	WNW	31.4	13	37°04'28.59"	122°11'30.29"	剂量率	土地
71	张家产镇	WNW	40.6	44	37°05'54.14"	122°05'59.19"	剂量率和累积剂量	草地
72	文登区	WNW	44.6	56	37°10'48.64"	122°05'36.34"	剂量率	地砖
73	上庄镇	W	21.2	16	36°59'40.04"	122°16'55.74"	剂量率和累积剂量	沥青
74	虎山镇	W	25.1	39	36°57'15.80"	122°14'08.91"	剂量率	地砖
75	侯家镇	W	38.5	20	37°01'05.49"	122°05'24.59"	剂量率	沥青

表 3.1-2（4/4）地表γ辐射剂量率、累积剂量测量点和土壤采样点位置

序号	点位名称	方位	距离(km)	海拔（m）	纬度(N)	经度（E）	测量项目	地表描述
76	人和镇	WSW	21.6	1	36°53'49.44"	122°17'25.08"	剂量率和累积剂量	土地
77	沙窝岛村	WSW	31.2	1	36°51'27.73"	122°11'37.74"	剂量率	水泥
78	朱口村	SW	20.9	3	36°50'21.68"	122°20'32.69"	剂量率和累积剂量	地砖
79	龙须岛村	NNE	49.6	-5	37°23'32.81"	122°40'58.21"	剂量率和累积剂量	沥青
80	崮山镇（对照点）	NNW	55.3	21	37°24'42.65"	122°14'32.40"	剂量率和累积剂量	土地
81	八河水库	NW	10.7	-16	37°01'22.37"	122°25'17.28"	宇宙射线测量	淡水水面

注：1、标*号的点位土壤补充测量 ²³⁹⁺²⁴⁰Pu，后港头村在最后一个季度中补充采集了一个土壤样品；

2、道路剂量率测量并采集土壤的点位，土壤在测量点位旁边的土地或草地上采集。

表 3.1-3 空气采样点

序号	采样点	方位	距离 (km)	纬度(N)	经度 (E)	监测项目	备注
1	厂址边界	E	0.824	36°57'53.36"	122°31'40.31"	气溶胶、沉降灰、空气中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I	最大落地浓度处
2	东钱家村	NNE	2.45	36°59'08.17"	122°31'28.15"	气溶胶、沉降灰、空气中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I	关键居民组
3	宁津街道	NW	2.72	36°58'59.08"	122°29'42.28"	气溶胶、沉降灰、空气中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I	人员密集处
4	镆铳岛	S	5.65	36°54'48.50"	122°31'24.64"	气溶胶、沉降灰、空气中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I	主导风下风向
5	成山镇	N	46.5	37°23'02.80"	122°32'42.32"	气溶胶、沉降灰、空气中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I	对照点

表 3.1-4 地表水（底泥）、地下水、饮用水、陆地水生生物采样点

监测项目	采样点	方位	距离 (km)	纬度(N)	经度 (E)
地表水和 底泥	八河水库	NW	11.7	37°02'25.07"	122°2 5'24.76"
	南夏家水库	NW	4.16	36°57'23.03"	122°2 8'15.87"
	郭家水库	WSW	13.7	36°58'11.64"	122°22'25.20"
	后龙河水库	NNW	29.5	37°12'48.92"	122°24'09.10"
地下水	东钱家村	NNE	2.23	36°59'04.18"	122°31'21.33"
	宁津街道	NW	2.72	36°58'59.08"	122°29'42.28"
	东墩村	WSW	1.27	36°57'13.57"	122°30'19.26"
	后海崖村	S	5.05	36°55'13.14"	122°31'33.81"
饮用水	东钱家村	NNE	2.28	36°59'06.47"	122°31'23.47"
	宁津街道	NW	3.16	36°5 9'12.88"	122°2 9'38.49"
	东墩村	WSW	1.48	36°5 7'42.08"	122°30'05.67"
	后海崖村	S	5.82	36°54'46.39"	122°31'19.32"
	湾头水库（水源地）	NW	23.2	37°05'04.00"	122°18'08.74"
白鲢鱼	八河水库	NW	11.7	37°02'25.07"	122°25'24.76"
水草	后龙河水库	NNW	29.5	37°12'48.92"	122°24'09.10"

表 3.1-5 陆生生物样品采样点位置

名称	采样点位	方位	距离	纬度(N)	经度 (E)
			(km)		
小麦	宁津街道东墩村	WSW	1.27	36°57'13.57"	122°30'19.26"
小麦	东山街道龙山前村	WNW	9.55	36°59'52.44"	122°25'03.17"
玉米	宁津街道于家村	NNW	1.97	36°58'56.50"	122°30'45.01"
玉米	宁津街道东钱家村	NNE	2.23	36°59'04.18"	122°31'21.33"
白菜	宁津街道卢家庄村	NW	2.72	36°58'59.08"	122°29'42.28"
豆角	宁津街道于家村	NNW	1.97	36°58'56.50"	122°30'45.01"
葱	宁津街道东钱家村	NNE	2.23	36°59'04.18"	122°31'21.33"
苹果	宁津街道富甲山庄	NW	3.53	36°59'23.97"	122°29'34.55"
苹果	崂山街道宁家村	NW	15.8	37°05'22.16"	122°25'49.85"
牛奶	大疃镇	NW	26.6	37°06'15.15"	122°16'28.20"
牛奶	滕家镇	WNW	16.3	37°01'10.75"	122°20'48.13"
猪肉	宁津街道南港头村	SW	2.78	36°56'50.00"	122°29'41.35"
鸡肉	宁津街道于家村	NNW	1.97	36°58'56.50"	122°30'45.01"
松针	宁津街道大岔河村村口	NW	1.88	36°58'35.62"	122°30'04.59"
花生	宁津街道南泊村	SW	1.83	36°57'14.37"	122°30'05.31"

表 3.1-6 海水和海洋沉积物采样点

序号	方位	距离（km）	纬度(N)	经度（E）
取水口*	NNW	1.76	36°59'12.4"	122°32'40.6"
排水口*	/	/	36°58'27.1"	122°33'24.4"
3#点*	NE	1.84	36°59'11.53"	122°34'11.41"
4#点*	N	4.73	37°01'00.04"	122°33'33.09"
5#点	NNW	8.91	37°03'07.33"	122°32'00.42"
6#点	NNE	7.03	37°01'53.31"	122°35'23.07"
7#点*	NNE	2.89	36°59'54.89"	122°34'15.72"
8#点*	SSE	2.17	36°57'23.83"	122°34'03.37"
9#点*	SSW	4.12	36°56'21.62"	122°32'31.31"
10#点	S	6.44	36°54'59.10"	122°33'59.66"
11#点*	SE	3.67	36°57'00.11"	122°35'06.38"
12#点	ESE	7.77	36°56'40.82"	122°38'11.74"
13#点*	E	3.07	36°58'24.54"	122°35'29.86"
14#点*	ENE	4.27	36°59'16.87"	122°36'06.31"
养参池*	WSW	1.65	36°57'58.19"	122°32'28.74"
北侧潮间带*	NW	2.56	36°59'22.94"	122°32'07.97"
南侧潮间带*	SSW	5.72	36°55'38.45"	122°31'49.61"

注：方位距离为相对于排水口的方位距离。标*号的点位海水补充监测 ^{14}C 和 ^{90}Sr ，沉积物补充监测 $^{239+240}\text{Pu}$ 。

表 3.1-7 海洋生物采样点位置

样品名称	当地名称	采样地点	方位	距离(km)	纬度(N)	经度(E)	备注
马鲛鱼	鲅鱼	东楮岛渔港	N	7.96	37°02'44.24"	122°34'04.36"	捕捞
梭鱼	梭鱼	排水口东侧海域	ESE	10.6	36°56'3.77"	122°39'52.92"	捕捞
扇贝	扇贝	林家流村	NNW	6	37°01'13.50"	122°31'21.50"	捕捞
牡蛎	海蛎子	泓运码头	SW	9.5	36°55'32.90"	122°28'07.86"	捕捞
牡蛎	海蛎子	东楮岛	N	7.96	37°02'44.24"	122°34'04.36"	捕捞
白对虾	白对虾	止马滩村	NW	8.9	36°55'43.76"	122°28'31.14"	养殖
海参	海参	岛西庄村	SSW	7.91	36°54'55.57"	122°30'24.35"	养殖
海带	海带	排水口东侧海域	ENE	3	36°59'03.06"	122°35'18.08"	养殖
海带	海带	宁津养殖二场	SW	3.27	36°57'01.62"	122°32'05.19"	养殖
白姑鱼	白姑鱼	泓运码头	SW	9.5	36°55'32.90"	122°28'07.86"	捕捞
紫贻贝	海虹	排水口东侧海域	ESE	1.36	36°57'59.93"	122°34'07.93"	捕捞

注：方位距离为相对于排水口的方位距离。

表 3.1-8 采用的仪器及测量方法依据¹

序号	监测项目	仪器设备	测量方法依据
1	地表水 γ 辐射空气吸收剂量率	RP3000B 型高气压电离室	HJ 1157-2021《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》
2	γ 辐射连续剂量率	HPIC-8000 型高气压电离室	HJ 1157-2021《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》
3	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》
4	总 α	LB770 低本底 α/β 测量仪	EJ/T 1075-1998《水中总 α 放射性浓度的测定 厚源法》
5	总 β	LB770 低本底 α/β 测量仪	EJ/T 900-1994《水中总 β 放射性测定 蒸发法》
6	^3H	Quantulus1220 低水平液闪	HJ 1126-2020《水中氚的分析方法》、GB 14883.2-2016 食品中放射性物质氢-3 的测定
7	空气 ^{14}C	Quantulus1220 低水平液闪	EJ/T 1008-1996《空气中 ^{14}C 的取样与测定方法》
8	水 ^{14}C	Quantulus1220 低水平液闪	ISO 13162-2011《水质-碳-14 活度浓度的液体闪烁计数测定法》
9	生物 ^{14}C	Quantulus1220 低水平液闪	GB/T 37865-2019《生物样品中 ^{14}C 的分析方法 氧弹燃烧法》
10	水、生物灰 ^{90}Sr	LB770 低本底 α/β 测量仪	HJ 815-2016《水和生物样品灰中锶-90 放射化学分析方法》
11	土壤、沉积物 ^{90}Sr	LB770 低本底 α/β 测量仪	EJ/T 1035-2011《土壤中锶-90 的分析方法》
12	空气 ^{131}I	HPGe γ 谱仪	GB/T 14584-1993《空气中碘-131 的取样与测定》
13	牛奶 ^{131}I	HPGe γ 谱仪	HJ 841-2017《水、牛奶、植物、动物甲状腺中碘-131 的分析方法》
14	水中 γ 能谱	HPGe γ 谱仪	GB/T 16140-2018《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》
15	土壤、沉积物 γ 能谱	HPGe γ 谱仪	GB/T 11743-2013《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》
16	气溶胶 γ 能谱	HPGe γ 谱仪	HJ 1149-2020《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》
17	沉降灰 γ 能谱	HPGe γ 谱仪	GB/T 11713-2015《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》
18	生物灰 γ 能谱	HPGe γ 谱仪	GB/T 16145-2020《生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》
19	土壤、沉积物中 $^{239+240}\text{Pu}$	低本底 α 能谱测量仪	HJ 814-2016《水和土壤样品中钚的放射化学分析方法》

¹ 本表中最后一列为国和一号压水堆示范工程运行前放射性环境本底调查专题实际采用的测量方法标准。

表 3.1-9 各类样品分析方法的探测下限

序号	调查对象	样品用量	分析核素	测量时间	探测限	HJ 969 规定的探测下限值
1	气溶胶	10000m ³	⁹⁰ Sr	500min	0.5μBq/m ³	2.0μBq/m ³
		10000m ³	γ谱分析	80000s	¹³⁴ Cs: 4.8μBq/m ³ ; ¹³⁷ Cs: 5.0μBq/m ³ ; ⁶⁰ Co: 4.0μBq/m ³ ; ⁵⁸ Co: 4.8μBq/m ³ ; ⁵⁴ Mn: 4.8μBq/m ³ ; ⁷ Be: 8.5μBq/m ³ ; ¹³¹ I: 9.0μBq/m ³	¹³⁷ Cs: 5μBq/m ³ ¹³¹ I: 10μBq/m ³
2	沉降物	5g	⁹⁰ Sr	500min	1.0mBq/m ² ·d	2.0mBq/m ² ·d
		0.25m ² 灰×90d	γ谱分析	80000s	¹³⁴ Cs: 2.8mBq/m ² ·d; ¹³⁷ Cs: 2.0mBq/m ² ·d; ⁶⁰ Co: 3.3mBq/m ² ·d; ⁵⁸ Co: 3.0mBq/m ² ·d; ⁵⁴ Mn: 2.2mBq/m ² ·d	¹³⁷ Cs: 3.0mBq/m ² ·d
3	空气	10m ³	HTO	1000min	8.0mBq/m ³ (0.14Bq/L)	0.5Bq/L
		3m ³	¹⁴ C	1000min	0.05Bq/g·碳	0.05Bq/g·碳
		100m ³	¹³¹ I	80000s	1.0mBq/m ³	2.0mBq/m ³
4	土壤、底泥、海洋沉积物	50g	⁹⁰ Sr	900min	0.15Bq/kg	0.2Bq/kg
		30g	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	24h	1.5×10 ⁻² Bq/kg	1.5×10 ⁻² Bq/kg
		300g	γ谱分析	80000s	¹³⁷ Cs: 0.5Bq/kg; ¹³⁴ Cs: 0.4Bq/kg; ⁵⁸ Co: 0.4Bq/kg; ⁶⁰ Co: 0.9Bq/kg; ^{110m} Ag: 0.9Bq/kg; ⁵⁴ Mn: 0.5Bq/kg; ²³⁸ U: 10Bq/kg; ²³² Th: 1.1Bq/kg; ²²⁶ Ra: 0.9Bq/kg; ⁴⁰ K: 4.5Bq/kg	¹³⁷ Cs: 0.5Bq/kg
		300g	γ谱分析	80000s	¹³⁷ Cs: 0.5Bq/kg; ¹³⁴ Cs: 0.4Bq/kg; ⁵⁸ Co: 0.4Bq/kg; ⁶⁰ Co: 0.9Bq/kg; ^{110m} Ag: 0.9Bq/kg; ⁵⁴ Mn: 0.5Bq/kg; ²³⁸ U: 10Bq/kg; ²³² Th: 1.1Bq/kg; ²²⁶ Ra: 0.9Bq/kg; ⁴⁰ K: 4.5Bq/kg	¹³⁷ Cs: 0.5Bq/kg
5	地表水、地下水、饮用水、降水	3L	总α	600min	2.0×10 ⁻² Bq/L	2.0×10 ⁻² Bq/L
		3L	总β	600min	5.0×10 ⁻² Bq/L	5.0×10 ⁻² Bq/L
		250mL	³ H	1000min	0.14Bq/L	0.5Bq/L
		50L	¹⁴ C	1000min	0.2mBq/L(0.05Bq/g 碳)	0.05Bq/g 碳
		50L	⁹⁰ Sr	500min	0.15mBq/L	0.3mBq/L
		50L	γ谱分析	80000s	¹³⁷ Cs: 1.6mBq/L; ¹³⁴ Cs: 1.4mBq/L; ⁵⁴ Mn: 1.5mBq/L; ⁵⁸ Co: 1.3mBq/L; ⁶⁰ Co: 1.7mBq/L	¹³⁷ Cs: 2.0mBq/L
6	海水	250mL	³ H	1000min	0.14Bq/L	0.5Bq/L
		50L	¹⁴ C	1000min	0.2mBq/L(0.05Bq/g 碳)	0.05Bq/g 碳
		50L	⁹⁰ Sr	500min	0.15mBq/L	0.3mBq/L
		50L	γ谱分析	80000s	¹³⁷ Cs: 0.8mBq/L; ¹³⁴ Cs: 1.0mBq/L; ⁵⁸ Co: 0.9mBq/L; ⁶⁰ Co: 1.1mBq/L; ^{110m} Ag: 1.3mBq/L; ⁵⁴ Mn: 1.0mBq/L; ¹⁰⁶ Ru: 8.5mBq/L	¹³⁷ Cs: 2.0mBq/L
7	生物	20g 灰	⁹⁰ Sr	600min	0.5mBq/g 灰	0.8mBq/g 灰
		280g 鲜	有机氚	1000min	0.14Bq/L	0.5Bq/L
		280g 鲜	水氚	1000min	0.14Bq/L	0.5Bq/L
		4g 干	¹⁴ C	1000min	0.05Bq/g 碳	0.05Bq/g 碳
		60g 灰	γ谱分析	80000s	¹³⁷ Cs: 1.4mBq/g 灰; ¹³⁴ Cs: 1.1mBq/g 灰; ⁵⁸ Co: mBq/g 灰; ⁶⁰ Co: 1.8mBq/g 灰; ^{110m} Ag: 1.6mBq/g 灰; ⁵⁴ Mn: 1.2mBq/g 灰; ¹⁰⁶ Ru: 2.0mBq/g 灰	2mBq/g 灰
8	牛奶	20L	γ谱分析	80000s	¹³¹ I: 0.01Bq/L	¹³¹ I: 0.01Bq/L

表 3.1-10 项目主要仪器和设备检定情况表

序号	仪器设备名称	型号规格	最近检定日期	证书编号	检定周期
1	HPGe γ 谱仪	GR3019	2021.7.6	校字第[2021]-P1036	2年
2	HPGe γ 谱仪	BE3830	2021.7.6	校字第[2021]-P1035	2年
3	HPGe γ 谱仪	GCDX60200	2021.8.8	校字第[2021]-P016	2年
4	HPGe γ 谱仪	GEM40P4-76	2022.10.9	检字第[2022]-PA1025	2年
5	HPGe γ 谱仪	GC4019	2021.7.7	校字第[2021]-P1038	2年
6	低本底 α/β 测量仪	LB770	2022.3.5	检字第[2022]-DD006	2年
7	低本底 α/β 测量仪	LB770	2022.10.18	检字第[2022]-DD005	2年
8	低本底 α 谱仪	7200-08	2021.8.20	校字第[2021]-SQDD1056	2年
9	低水平液闪谱仪	Quantulus1220	2022.6.15	校字第[2022]-SB004	2年
10	热释光剂量仪	RGD-3D	2022.2.18	校字第[2022]-R0306	1年
11	高气压电离室	NC-HPIC8000	2022.1.6	校字第[2022]-L1001	1年
12	高气压电离室	NC-HPIC8000	2022.1.6	校字第[2022]-L1001	1年
13	高气压电离室	RP3000B	2021.11.16	检字第[2021]-L1299	1年

表 3.1-11（1/4）平行样品测量结果统计

地下水	样品编号	采样地点	⁹⁰ Sr（mBq/L）		³ H（Bq/L）		¹⁴ C（mBq/L）		¹⁴ C（Bq/gC）
	RCLDX210902-1	宁津街道	5.47±0.08		0.39±0.07		5.44±0.19		0.20±0.01
	RCLDX210902-2	宁津街道	6.81±0.10		0.35±0.07		5.14±0.19		0.19±0.01
	相对偏差（%）		10.9		5.41		2.84		2.56
	RCLDX220102-1	宁津街道	5.62±0.10		0.34±0.07		4.54±0.17		0.18±0.01
	RCLDX220102-2	宁津街道	6.58±0.11		0.30±0.07		4.60±0.16		0.20±0.01
	相对偏差（%）		7.87		6.25		0.66		5.26
土壤	样品编号	采样地点	⁹⁰ Sr （Bq/kg）	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu （Bq/kg）	²³⁸ U （Bq/kg）	²²⁶ Ra （Bq/kg）	²³² Th （Bq/kg）	⁴⁰ K （Bq/kg）	¹³⁷ Cs （Bq/kg）
	RCLTR220503-1	东钱家村	0.87±0.10	0.072±0.008	34.2±2.7	31.0±0.4	55.4±0.9	1070±6	0.84±0.13
	RCLTR220503-2	东钱家村	1.08±0.12	0.072±0.008	34.9±2.8	31.3±0.4	56.1±0.9	1110±9	0.85±0.13
	相对偏差（%）		10.8	0.01	1.01	0.48	0.63	1.83	0.59
	RCLTR220513-1	宁津街道	0.63±0.07	/	39.7±2.8	34.0±0.5	68.1±1.0	1260±6	1.29±0.11
	RCLTR220513-2	宁津街道	0.57±0.09	/	42.3±2.9	35.3±0.5	65.4±0.9	1290±6	1.20±0.10
	相对偏差（%）		5.00	/	3.17	1.88	2.02	1.18	3.61

表 3.1-11（2/4） 平行样品测量结果统计

陆生生物 （干样）	样品名称	样品编号	⁹⁰ Sr (Bq/kg 干)	有机氚 (Bq/kg 干)		有机氚 (Bq/L)	¹⁴ C (Bq/kg 鲜)	¹⁴ C (Bq/g 碳)	灰干比	
	花生	RCLSL210901-1	0.099±0.004	<0.18		<1.06	95.5±3.4	0.19±0.01	0.0230	
	花生	RCLSL210901-2	0.132±0.005	<0.18		<1.06	102±4	0.20±0.01	0.0233	
	相对偏差（%）		14.3	/		/	3.22	2.56	0.65	
	小麦	RCLSL220701-1	0.085±0.003	0.95±0.21		1.63±0.48	72.3±2.6	0.19±0.01	0.0157	
	小麦	RCLSL220701-2	0.068±0.003	1.13±0.34		1.94±0.48	70.2±2.6	0.19±0.01	0.0144	
	相对偏差（%）		11.1	8.65		8.68	1.47	0.01	4.32	
陆生生物 （鲜样）	样品名称	样品编号	⁹⁰ Sr (Bq/kg 鲜)	自由水氚 (Bq/kg 鲜)	自由水氚 (Bq/L)	有机氚 (Bq/kg 鲜)	有机氚 (Bq/L 水)	¹⁴ C (Bq/kg 鲜)	¹⁴ C (Bq/g 碳)	灰鲜比
	白菜	RCLSC221201-1	0.087±0.002	0.45±0.10	0.5±0.11	0.15±0.02	1.46±0.51	4.97±0.18	0.19±0.01	0.0108
	白菜	RCLSC221201-2	0.080±0.002	0.59±0.10	0.65±0.11	0.14±0.02	1.44±0.51	5.73±0.18	0.20±0.01	0.0122
	相对偏差（%）		4.19	13.5	13.0	3.45	0.69	7.10	2.56	6.09

表 3.1-11（3/4） 平行样品测量结果统计

海水	样品编号	采样地点	总 β (Bq/L)	^{90}Sr (mBq/L)	^{226}Ra (mBq/L)	^{40}K (Bq/L)	^{137}Cs (mBq/L)	^3H (Bq/L)	^{14}C (mBq/L)	^{14}C (Bq/gC)
	RCHHS210902-1	排水口	11.0±0.5	1.03±0.05	7.41±0.40	8.96±0.27	1.28±0.23	0.26±0.07	4.89±0.18	0.18±0.01
	RCHHS210902-2	排水口	9.71±0.39	1.11±0.04	9.94±0.46	9.52±0.28	1.25±0.22	0.26±0.07	5.15±0.18	0.19±0.01
	相对偏差 (%)		6.23	3.74	14.6	3.03	1.19	0.01	2.59	1.35
	RCHHS210910-1	海水10#点	10.2±0.4	/	7.46±0.45	9.97±0.28	1.10±0.20	0.29±0.07	/	/
	RCHHS210910-2	海水10#点	10.2±0.4	/	6.60±0.36	8.15±0.39	1.12±0.20	0.24±0.07	/	/
	相对偏差 (%)		0.01	/	6.12	10.0	0.90	9.43	/	/
	RCHHS220501-1	取水口	9.36±0.41	1.64±0.06	3.18±0.26	8.47±0.26	1.68±0.25	0.32±0.05	4.81±0.18	0.19±0.01
	RCHHS220501-1	取水口	9.29±0.35	1.39±0.05	2.78±0.24	9.06±0.43	1.30±0.23	0.37±0.05	5.42±0.18	0.21±0.01
	相对偏差 (%)		0.38	8.25	6.71	3.37	12.8	7.25	5.96	5.00
	RCHHS220510-1	海水10#点	10.5±0.5	/	7.15±0.38	9.96±0.31	1.00±0.24	0.30±0.05	/	/
	RCHHS220510-1	海水10#点	10.4±0.4	/	6.12±0.32	10.1±0.3	1.26±0.30	0.48±0.06	/	/
	相对偏差 (%)		0.48	/	7.76	0.70	11.5	23.1	/	/
海洋沉积物	样品编号	采样地点	^{238}U (Bq/kg)	^{226}Ra (Bq/kg)	^{232}Th (Bq/kg)	^{40}K (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	^{90}Sr (Bq/kg)	$^{239+240}\text{Pu}$ (Bq/kg)	
	RCHCJ210902-1	排水口	28.5±2.3	22.4±0.4	32.6±0.7	705±5	0.83±0.09	1.16±0.08	0.075±0.012	
	RCHCJ210902-2	排水口	25.5±1.7	20.2±0.3	29.7±0.7	673±5	1.19±0.13	1.19±0.08	0.10±0.02	
	相对偏差 (%)		5.56	5.16	4.65	2.32	17.8	1.28	14.3	
	RCHCJ220501-1	取水口	22.9±4.4	26.6±0.6	34.6±1.1	675±6	<0.65	1.03±0.07	0.095±0.010	
	RCHCJ220501-2	取水口	21.0±4.4	20.8±0.5	29.6±1.0	698±6	<0.67	1.17±0.09	0.12±0.01	
	相对偏差 (%)		4.33	12.2	7.79	1.68	/	6.36	11.6	

表 3.1-11（4/4）平行样品测量结果统计

海洋生物 （鲜样）	样品名称	样品编号	¹³⁷ Cs （Bq/kg 鲜）	⁹⁰ Sr （Bq/kg 鲜）	自由水 氡 （Bq/kg 鲜）	自由水 氡 （Bq/L ）	有机氡 （Bq/kg 鲜）	有机氡 （Bq/L ）	¹⁴ C （Bq/kg 鲜）	¹⁴ C （Bq/g 碳）	灰鲜比
	鲎鱼	RCHSY220502-1	0.42±0. 03	0.011±0 .002	0.25±0. 08	0.35±0. 11	0.27±0. 07	1.40±0. 48	20.1±0. 8	0.19±0. 01	0.0168
	鲎鱼	RCHSY220502-2	0.52±0. 03	0.013±0 .002	0.20±0. 05	0.42±0. 11	0.22±0. 07	1.17±0. 47	19.3±0. 7	0.17±0. 01	0.0149
	相对偏差（%）		10.6	8.33	11.1	9.09	10.2	8.95	2.03	5.56	5.99
	紫贻贝	RCHSB220102-1	0.044±0 .009	0.015±0 .003	0.26±0. 09	0.32±0. 11	<0.12	<1.06	13.5±0. 5	0.17±0. 01	0.0310
	紫贻贝	RCHSB220102-2	0.044±0 .008	0.020±0 .003	0.31±0. 09	0.39±0. 11	<0.12	<1.06	14.2±0. 5	0.18±0. 01	0.0282
	相对偏差（%）		0.01	7.14	4.39	4.93	/	/	1.26	1.43	2.36
海洋生物 （干样）	样品名称	样品编号	¹³⁷ Cs （Bq/kg 干）	⁹⁰ Sr （Bq/kg 干）	自由水 氡 （Bq/kg 鲜）	自由水 氡 （Bq/L ）	有机氡 （Bq/kg 鲜）	有机氡 （Bq/L ）	¹⁴ C （Bq/kg 鲜）	¹⁴ C （Bq/g 碳）	干鲜比
	海带	RCHSC221201-1	<0.23	0.28±0. 02	0.54±0. 10	0.61±0. 11	0.10±0. 03	1.29±0. 49	7.48±0. 25	0.20±0. 01	0.178
	海带	RCHSC221201-2	<0.22	0.30±0. 02	0.48±0. 10	0.55±0. 11	0.08±0. 03	1.25±0. 49	7.27±0. 24	0.20±0. 01	0.171
	相对偏差（%）		/	3.45	5.88	5.17	11.1	1.57	1.42	0.01	2.01

注：平行样相对偏差计算公式：

$$\text{相对偏差} = \frac{|\text{平行样品1} - \text{平行样品2}|}{\text{平行样品1} + \text{平行样品2}} \times 100\%$$

表 3.1-12 掺标样品测量结果统计

年份	介质	测量项目	测量值	指定值	回收率（%）
2021	气溶胶	总 α	277.34Bq	252Bq	110.1
		总 β	130Bq	142Bq	91.5
		^{137}Cs （ γ 谱）	8.44Bq	8.28Bq	101.9
	土壤	总 α	366Bq/kg	310Bq/kg	118.1
		总 β	743Bq/kg	765Bq/kg	97.1
		^{137}Cs （ γ 谱）	17.1Bq/kg	16.3Bq/kg	104.9
		^{90}Sr	26.4Bq/kg	27.6Bq/kg	95.7
	水	总 α	5.68Bq/L	5.36Bq/L	106.0
		总 β	5.93Bq/L	5.76Bq/L	103.0
		^3H	30.3Bq/L	30.1Bq/L	100.7
		^{137}Cs （ γ 谱）	16.8Bq/L	16.3Bq/L	103.1
		^{90}Sr	24.2Bq/L	24.8Bq/L	97.6
	生物灰	总 α	638Bq/kg	759.60Bq/kg	84.0
		总 β	3433Bq/kg	3435Bq/kg	99.9
		^{137}Cs	256Bq/kg	271Bq/kg	94.5
		^{90}Sr	15.15Bq/kg	15.05Bq/kg	100.7
2022	水	总 α	34.8Bq/L	31.4Bq/L	110.8
		总 β	36.0Bq/L	36.6Bq/L	98.4
		^{137}Cs （ γ 谱）	30.7Bq/L	31.8Bq/L	96.5
		^{90}Sr	48.9Bq/L	48.5Bq/L	100.8
		^3H	47.7Bq/L	47.1Bq/L	101.3
		^{14}C	37.7Bq/L	34.2Bq/L	110.2
	沉降灰	^{137}Cs （ γ 谱）	58.7Bq/kg	61.1Bq/kg	96.1
		^{90}Sr	52.4Bq/kg	53.9Bq/kg	97.2
	生物	总 β	532Bq/kg	558Bq/kg	95.3
		^{14}C （猪肉）	0.190Bq/g 碳	0.244Bq/g 碳	77.9
			92.0Bq/kg 干	114 Bq/kg 干	80.7
		^{14}C （大米）	0.206Bq/g 碳	0.229Bq/g 碳	90.0
			72.0Bq/kg 干	83.8Bq/kg 干	85.9
	土壤	总 α	1223Bq/kg	1025Bq/kg	119.3
		总 β	433Bq/kg	414Bq/kg	104.6
		^{137}Cs （ γ 谱）	8.20Bq/kg	8.83Bq/kg	92.9
		^{90}Sr	40.2Bq/kg	40.4Bq/kg	99.5

表 3.1-13（1/4）地表 γ 辐射剂量率测量结果

单位：nGy/h

序号	点位名称	2021 年 9 月	2022 年 1 月	2022 年 5 月	2022 年 7 月	范围	均值
1	厂址边界	102	102	108	107	102~108	105±5
2	国核厂区大门	86.1	94.1	95.7	95.7	86.1~95.7	92.9±3.6
3	华能施工生活区	103	88.6	84.7	86.7	84.7~103	90.8±6.2
4	华能核电厂区大门	97.7	94.0	83.7	86.7	83.7~97.7	90.5±7.1
5	东钱家村	102	105	90.7	101	90.7~105	99.7±9.2
6	小河东村	115	109	115	115	109~115	114±6
7	西钱家村	103	95.3	89.7	105	89.7~105	98.3±8.0
8	周庄村	117	112	103	109	103~117	110±5
9	所前杜家村	108	111	105	106	105~111	108±7
10	所前王家村	103	108	98.7	90.7	90.7~108	100±6
11	季家村	85.0	76.4	84.7	77.7	76.4~85.0	81.0±5.4
12	东墩村	85.9	91.5	85.7	80.7	80.7~91.5	86.0±4.3
13	南泊村	89.4	85.1	78.7	76.7	76.7~89.4	82.5±4.7
14	宁津养殖二厂	77.1	84.0	64.7	72.7	64.7~84.0	74.6±6.6
15	好当家渔场	82.2	94.5	72.7	76.7	72.7~94.5	81.5±7.6
16	所东王家村	136	138	118	129	118~138	130±10
17	止马滩村	101	105	108	109	101~109	106±7
18	所后王家村	99.7	101	108	111	99.7~111	105±4
19	所后卢家村	105	113	109	108	105~113	109±7
20	华东乐园	93.1	92.4	101	92.7	92.4~101	94.8±3.8
21	小岔河村	105	109	104	108	104~109	107±4
22	宁津街道	123	115	124	117	115~124	120±5
23	吉屯村	101	110	110	107	101~110	107±4
24	大岔河村	86.5	88.0	98.7	88.7	86.5~98.7	90.5±6.6
25	鞠家村	126	125	125	122	122~126	125±2

表 3.1-13（2/4）地表 γ 辐射剂量率测量结果

单位：nGy/h

序号	点位名称	2021 年 9 月	2022 年 1 月	2022 年 5 月	2022 年 7 月	范围	均值
26	北场村	82.7	95.2	110	90.7	82.7~110	94.7±10.5
27	东苏家村	78.3	82.3	112	82.7	78.3~112	88.8±12.2
28	南夏家村	123	118	154	118	118~154	128±14
29	苑家村	99.1	97.6	87.7	96.7	87.7~99.1	95.3±4.9
30	南港头村	78.0	85.5	86.7	86.7	78.0~86.7	84.2±3.5
31	东南海村	96.6	95.0	84.7	82.7	82.7~96.6	89.8±8.0
32	后海崖村	87.7	89.7	86.7	77.7	77.7~89.7	85.5±6.3
33	马栏耩村	80.9	91.9	94.7	83.7	80.9~94.7	87.8±9.1
34	黄山养殖场	92.1	106	91.7	99.7	91.7~106	97.4±5.6
35	东楮岛村	59.5	59.7	49.8	50.9	49.8~59.7	55.0±4.8
36	林家流村	99.6	99.8	101	96.7	96.7~101	99.3±2.1
37	马家寨村	94.5	96.7	101	96.7	94.5~101	97.2±4.1
38	后港头村	123	123	131	132	123~132	127±5
39	八河姚家村	107	108	97.7	95.7	95.7~108	102±7
40	八里王家村	91.9	86.0	97.7	92.7	86.0~97.7	92.1±6.4
41	甲子山村	106	123	112	124	106~124	116±6
42	东山街道	115	97.2	108	108	97.2~115	107±6
43	沟王家村	89.4	84.5	89.7	91.7	84.5~91.7	88.8±2.6
44	桃园街道	103	105	93.7	92.7	92.7~105	98.6±5.8
45	嘉和社区	78.8	85.0	80.7	79.7	78.8~85.0	81.1±6.2
46	凤凰湖	99.1	85.2	93.7	92.7	85.2~99.1	92.7±4.5
47	岛西庄村	78.7	76.6	73.7	76.7	73.7~78.7	76.4±5.4
48	吕家庄村	84.6	92.7	97.7	79.7	79.7~97.7	88.7±6.0
49	崂山街道	52.7	50.4	48.3	51.4	48.3~52.7	50.7±4.3
50	罗家庄村	77.2	80.9	74.7	70.7	70.7~80.9	75.9±3.5

表 3.1-13（3/4）地表 γ 辐射剂量率测量结果

单位：nGy/h

序号	点位名称	2021 年 9 月	2022 年 1 月	2022 年 5 月	2022 年 7 月	范围	均值
51	桑梓村	63.9	73.5	63.3	65.6	63.3~73.5	66.6±5.3
52	西慕家村	68.3	69.1	63.9	58.1	58.1~69.1	64.9±4.1
53	滕家镇	75.3	64.7	71.7	72.7	64.7~75.3	71.1±3.7
54	王连街道	87.4	81.4	87.7	89.7	81.4~89.7	86.6±5.3
55	桥头庄村	93.3	92.9	89.7	88.7	88.7~93.3	91.2±3.0
56	斥山街道	102	102	101	88.7	88.7~102	98.4±8.0
57	古楼村	104	91.5	95.7	87.7	87.7~104	94.7±5.4
58	港湾街道	90.9	96.6	103	97.7	90.9~103	97.1±7.1
59	玄镇村	102	98.1	98.7	88.7	88.7~102	96.9±5.7
60	碌对岛	67.4	67.4	60.9	60.2	60.2~67.4	64.0±3.0
61	寻山街道	81.6	68.2	79.7	72.7	68.2~81.6	75.6±5.0
62	俚岛镇	100	99.1	104	105	99.1~105	102±6
63	成山镇	53.9	51.5	52.3	52.9	51.5~53.9	52.7±1.8
64	荣成市	98.0	86.0	96.7	85.7	85.7~98.0	91.6±5
65	埠柳镇	93.3	93.1	85.7	78.7	78.7~93.3	87.7±8.1
66	崖西镇	108	108	102	104	102~108	106±6
67	大疃镇	65.8	68.8	63.2	59.8	59.8~68.8	64.4±4.6
68	荫子镇	103	103	109	115	103~115	108±5
69	大水泊镇	79.2	69.4	78.7	77.7	69.4~79.2	76.3±8.1
70	高村镇	58.1	57.5	50.9	51.5	50.9~58.1	54.5±3.3
71	张家产镇	80.5	93.1	84.7	89.7	80.5~93.1	87.0±6.2
72	文登区	59.2	67.3	57.9	56.1	56.1~67.3	60.1±3.7
73	上庄镇	75.0	85.5	82.7	76.7	75.0~85.5	80.0±8.3
74	虎山镇	72.5	86.2	67.7	67.7	67.7~86.2	73.5±6.4
75	侯家镇	81.1	85.0	80.7	77.7	77.7~85.0	81.1±2.4

表 3.1-13（4/4）地表γ辐射剂量率测量结果

单位：nGy/h

序号	点位名称	2021 年 9 月	2022 年 1 月	2022 年 5 月	2022 年 7 月	范围	均值
76	人和镇	85.3	80.9	84.7	73.7	73.7~85.3	81.2±6.0
77	沙窝岛村	102	105	79.7	103	79.7~105	97.4±9.0
78	朱口村	104	98.9	95.7	99.7	95.7~104	99.6±7.0
79	龙须岛村	110	104	109	116	104~116	110±4
80	固山镇（对照点）	56.7	57.5	55.6	58.6	55.6~58.6	57.1±3.3
81	八河水库（宇宙射线）	2021 年 7 月	32.3±0.9	/	/	/	/
范围		52.7~136	52.7~137	48.3~154	50.9~132	/	50.7~130
均值		91.6±17.6	91.6±17.7	90.9±19.5	89.3±18.9	/	91.1±17.7

注：表中数据已扣除宇宙射线成分。

表 3.1-14（1/3） 累积剂量计算出的剂量率值

单位：nGy/h

序号	点位名称	2021年9月~2022年 1月	2022年1~5月	2022年5~7月	2022年7~12月	高温堆临界后4个季度监测结果 均值
1	厂址边界	161.2	142.4	181.3	173.4	164.6±16.9
2	国核厂区大门	147.6	丢失	158.4	184.2	163.4±18.8
3	华能施工生活区	142.2	119.8	138.1	172.0	143.0±21.6
4	华能核电厂区边界	159.5	128.7	152.5	176.3	154.3±19.7
5	东钱家村	丢失	125.6	146.1	165.2	145.6±19.8
6	小河东村	165.0	136.7	162.0	189.1	163.2±21.4
7	西钱家村	145.3	118.7	143.4	154.2	140.4±15.2
8	周庄村	丢失	138.5	154.4	178.6	157.2±20.2
9	所前杜家村	170.9	155.6	178.0	200.2	176.2±18.5
10	所前王家村	156.7	138.1	151.7	177.8	156.1±16.5
11	东墩村	144.2	131.4	143.5	164.8	146.0±13.9
12	南泊村	148.3	141.8	157.3	182.8	157.6±18.0
13	宁津养殖二厂	111.6	97.0	109.2	133.7	112.9±15.3
14	好当家渔场	140.3	123.9	152.6	158.5	143.8±15.3
15	所东王家村	丢失	161.4	丢失	丢失	161.4
16	所后王家村	167.2	149.4	154.1	196.7	166.9±21.3
17	宁津街道	丢失	162.9	167.2	188.7	172.9±13.8
18	吉屯村	189.3	169.1	181.7	219.1	189.8±21.2
19	大岔河村	182.8	169.8	193.4	216.3	190.6±19.7
20	鞠家村	164.3	丢失	180.6	213.0	186.0±24.8

表 3.1-14（2/3） 累积剂量计算出的剂量率值

单位：nGy/h

序号	点位名称	2021 年 9 月—2022 年 1 月	2022 年 1~5 月	2022 年 5~7 月	2022 年 7~12 月	高温堆临界后 4 个季度监测结果 均值
21	南夏家村	丢失	193.9	223.4	238.4	218.6±22.6
22	南港头村	146.5	132.8	157.6	174.5	152.9±17.6
23	东南海村	146.4	133.7	152.0	172.1	151.1±16.0
24	后海崖村	137.3	117.3	136.2	155.7	136.6±15.7
25	马栏耩村	134.3	117.5	128.0	151.8	132.9±14.4
26	东楮岛村	丢失	103.0	113.0	147.1	121.0±23.1
27	林家流村	166.0	155.3	157.0	178.9	164.3±10.8
28	马家寨村	153.3	139.6	丢失	186.1	159.7±23.9
29	八河姚家村	155.7	141.1	153.2	178.9	157.2±15.8
30	八里王家村	139.8	126.1	168.4	179.9	153.6±24.9
31	东山街道	丢失	152.5	丢失	182.8	167.7±21.4
32	桃园街道	丢失	148.7	172.1	189.3	170.0±20.4
33	凤凰湖	169.0	154.4	丢失	丢失	161.7±10.3
34	岛西庄村	140.0	125.7	146.2	159.3	142.8±14.0
35	崂山街道	111.0	108.5	122.8	142.8	121.3±15.6
36	罗家庄村	125.1	115.9	142.8	146.3	132.5±14.5
37	滕家镇	126.4	丢失	142.7	148.9	139.3±11.6
38	王连街道	119.8	113.4	127.5	丢失	120.2±7.1
39	斥山街道	150.7	149.4	178.9	179.7	164.7±16.9
40	港湾街道	174.5	170.3	177.5	189.7	178.0±8.3

表 3.1-14（3/3）累积剂量计算出的剂量率值

单位：nGy/h

序号	点位名称	2021 年 9 月—2022 年 1 月	2022 年 1~5 月	2022 年 5~7 月	2022 年 7~12 月	高温堆临界后 4 个季度监测结果 均值
41	寻山街道	139.0	134.5	148.2	172.7	148.6±17.0
42	成山镇	107.1	105.2	105.8	132.8	112.7±13.4
43	荣成市	132.2	125.0	145.2	156.7	139.8±14.0
44	大疃镇	113.1	96.4	118.8	137.2	116.4±16.8
45	张家产镇	137.4	140.7	144.8	167.8	147.7±13.8
46	上庄镇	118.7	111.1	126.8	143.9	125.1±14.1
47	人和镇	158.2	151.6	162.3	189.2	165.3±16.5
48	朱口村	186.5	193.4	212.1	丢失	197.3±13.2
49	龙须岛村	167.0	172.2	181.9	191.7	178.2±10.9
50	固山镇（对照点）	118.8	118.9	129.6	159.2	131.6±19.1
范围值		107.1±189.3	96.4~193.9	105.8~223.4	132.8~238.4	112.7~218.6
均值		146.9±21.1	137.4±23.1	153.9±24.8	173.9±23.0	154.0±22.3

注：表中数据未扣除宇宙射线成分。

表 3.1-15 累积剂量与剂量率值比较

点位名称	TLD 小时均值 (nGy/h)	剂量率值 (nGy/h)	TLD/剂量率	点位名称	TLD 小时均值 (nGy/h)	剂量率值 (nGy/h)	TLD/剂量率
厂址边界	164.6	137	1.20	东楮岛村	121	87.3	1.39
国核厂区大门	163.4	125	1.31	林家流村	164.3	132	1.25
华能施工生活区	143	123	1.16	马家寨村	159.7	130	1.23
华能核电厂区边界	154.3	123	1.26	八河姚家村	157.2	134	1.17
东钱家村	145.6	132	1.10	八里王家村	153.6	124	1.23
小河东村	163.2	146	1.12	东山街道	167.7	139	1.20
西钱家村	140.4	131	1.08	桃园街道	170	131	1.30
周庄村	157.2	142	1.10	凤凰湖	161.7	125	1.29
所前杜家村	176.2	140	1.26	岛西庄村	142.8	109	1.31
所前王家村	156.1	132	1.18	崂山街道	121.3	83.0	1.46
东墩村	146	118	1.23	罗家庄村	132.5	108	1.22
南泊村	157.6	115	1.37	滕家镇	139.3	103	1.35
宁津养殖二厂	112.9	107	1.06	王连街道	120.2	119	1.01
好当家渔场	143.8	114	1.26	斥山街道	164.7	131	1.26
所东王家村	161.4	162	0.99	港湾街道	178	129	1.38
所后王家村	166.9	137	1.22	寻山街道	148.6	108	1.38
宁津街道	172.9	152	1.14	成山镇	112.7	85.0	1.33
吉屯村	189.8	139	1.36	荣成市	139.8	124	1.13
大岔河村	190.6	123	1.55	大疃镇	116.4	96.7	1.20
鞠家村	186	157	1.18	张家产镇	147.7	119	1.24
南夏家村	218.6	160	1.36	上庄镇	125.1	112	1.11
南港头村	152.9	117	1.31	人和镇	165.3	114	1.46
东南海村	151.1	122	1.24	朱口村	197.3	132	1.50
后海崖村	136.6	118	1.16	龙须岛村	178.2	142	1.25
马栏耩村	132.9	120	1.11	固山镇（对照点）	131.6	89.4	1.47

注：表中数据未扣除宇宙射线成分。

表 3.1-16 气溶胶测量结果

采样时间	样品编号	点位名称	修正日期（采样中点）	⁷ Be (mBq/m ³)	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn	¹³¹ I
					μBq/m ³						
2021 年 9 月	RCLRJ210901	厂址边界	2021.09.26	3.94±0.05	4.54±0.34	<9.4	<8.7	<8.5	<10	<8.8	<8.5
	RCLRJ210902	东钱家村	2021.09.26	4.12±0.05	3.85±0.34	10.0±2.7	<8.9	<8.9	<10	<9.4	<8.3
	RCLRJ210903	宁津街道	2021.09.26	4.64±0.05	4.58±0.36	<9.3	<9.1	<8.7	<9.9	<8.7	<8.6
	RCLRJ210904	镆铳岛	2021.09.26	4.29±0.05	3.73±0.36	<9.3	<9.4	<9.0	<9.9	<9.1	<8.7
	RCLRJ210905	成山镇	2021.09.26	3.18±0.05	3.55±0.38	<10	<10	<9.8	<11	<10	<9.5
2022 年 1 月	RCLRJ220101	厂址边界	2022.01.16	6.30±0.04	1.86±0.32	<7.8	<6.6	<7.2	<8.2	<7.2	<7.1
	RCLRJ220102	东钱家村	2022.01.15	6.77±0.05	3.82±0.33	<8.7	<7.1	<7.8	<9.0	<7.9	<7.5
	RCLRJ220103	宁津街道	2022.01.16	5.96±0.04	1.47±0.27	<8.1	<6.8	<7.4	<8.5	<7.1	<7.1
	RCLRJ220104	镆铳岛	2022.01.16	4.93±0.04	3.54±0.18	<6.4	<5.2	<5.8	<6.5	<6.0	<5.5
	RCLRJ220105	成山镇	2022.01.15	6.20±0.05	2.16±0.27	<10	<8.5	<9.1	<11	<9.5	<8.7
2022 年 5 月	RCLRJ220501	厂址边界	2022.05.08	10.5±0.1	1.10±0.25	<8.0	<6.7	<7.3	<9.1	<7.7	<6.0
	RCLRJ220502	东钱家村	2022.05.08	10.7±0.1	0.48±0.25	<8.2	<7.1	<7.4	<9.2	<7.9	<6.0
	RCLRJ220503	宁津街道	2022.05.08	10.6±0.1	0.94±0.18	<8.3	<7.4	<7.6	<9.2	<8.2	<6.9
	RCLRJ220504	镆铳岛	2022.05.08	12.1±0.1	0.33±0.17	<7.8	<7.1	<7.4	<8.5	<7.2	<6.3
	RCLRJ220505	成山镇	2022.05.08	11.0±0.1	1.10±0.22	<7.8	<6.9	<7.5	<8.6	<7.5	<6.1
2022 年 7 月	RCLRJ220701	厂址边界	2022.07.17	4.06±0.05	1.84±0.26	<11	<10	<11	<13	<12	<8.1
	RCLRJ220702	东钱家村	2022.07.16	3.42±0.03	1.93±0.23	<7.5	<6.5	<7.0	<7.8	<7.0	<5.2
	RCLRJ220703	宁津街道	2022.07.15	3.55±0.03	1.05±0.20	<8.7	<7.2	<7.9	<9.1	<7.8	<5.8
	RCLRJ220704	镆铳岛	2022.07.16	3.46±0.03	0.91±0.21	<7.8	<6.7	<7.0	<8.3	<7.3	<5.4
	RCLRJ220705	成山镇	2022.07.15	3.79±0.03	0.88±0.26	<8.4	<6.8	<7.5	<9.2	<7.7	<5.6

表 3.1-17 沉降灰测量结果

采样时间	样品编号	点位名称	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn
			mBq/m ² .d					
2021 年 9 月—2022 年 1 月	RCLCJ220101	厂址边界	2.45±0.09	<3.3	<2.8	<3.0	<3.4	<3.0
	RCLCJ220102	东钱家村	0.90±0.08	<3.4	<2.8	<3.1	<3.5	<2.9
	RCLCJ220103	宁津街道	1.01±0.08	<3.4	<2.8	<3.6	<3.6	<3.6
	RCLCJ220104	镆铳岛	1.97±0.10	<3.4	<2.8	<3.1	<3.5	<3.0
	RCLCJ220105	成山镇	1.13±0.09	<3.4	<2.8	<2.9	<3.7	<3.1
2022 年 1-5 月	RCLCJ220501	厂址边界	1.32±0.08	<3.4	<2.8	<3.2	<3.8	<3.2
	RCLCJ220502	东钱家村	1.36±0.08	4.36±0.97	<2.6	<2.8	<3.5	<2.9
	RCLCJ220503	宁津街道	0.86±0.09	<3.2	<2.6	<2.8	<3.5	<2.9
	RCLCJ220504	镆铳岛	0.64±0.07	<3.3	<2.6	<2.8	<3.6	<3.1
	RCLCJ220505	成山镇	0.96±0.10	<3.3	<2.7	<3.0	<3.9	<3.1
2022 年 5-7 月	RCLCJ220701	厂址边界	0.68±0.16	<5.7	<4.7	<5.1	<6.3	<5.2
	RCLCJ220702	东钱家村	2.44±0.15	<5.5	<4.7	<5.1	<5.9	<5.0
	RCLCJ220703	宁津街道	5.18±0.16	<6.0	<5.0	<5.6	<6.8	<5.8
	RCLCJ220704	镆铳岛	2.52±0.13	<5.4	<4.5	<5.0	<5.9	<5.0
	RCLCJ220705	成山镇	3.29±0.15	<5.8	<4.7	<5.0	<6.2	<5.2
2022 年 7-12 月	RCLCJ220701	厂址边界	2.03±0.09	<2.5	<2.3	<2.7	<3.2	<2.6
	RCLCJ220702	东钱家村	0.43±0.07	<2.3	<2.2	<2.3	<2.8	<2.5
	RCLCJ220703	宁津街道	0.28±0.07	<2.2	<2.2	<2.4	<2.9	<2.5
	RCLCJ220704	镆铳岛	0.20±0.06	<2.2	<2.1	<2.4	<2.9	<2.5
	RCLCJ220705	成山镇	0.11±0.07	<2.3	<2.2	<2.3	<2.7	<2.4

表 3.1-18 空气 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I 测量结果

采样时间	采样点	样品编号	^3H		样品编号	^{14}C		样品编号	^{131}I
			mBq/m ³	Bq/L 水		mBq/m ³	Bq/g 碳		mBq/m ³
2021 年 9 月	厂址边界	RCLQH210901	9.92±4.06	0.26±0.11	RCLQC210901	48.5±5.9	0.20±0.01	RCLQI210901	<0.47
	东钱家村	RCLQH210902	11.6±2.8	0.45±0.11	RCLQC210902	49.4±5.1	0.22±0.01	RCLQI210902	<0.51
	宁津街道	RCLQH210903	11.8±2.2	0.60±0.11	RCLQC210903	48.0±4.8	0.23±0.01	RCLQI210903	<0.80
	镆铳岛	RCLQH210904	22.0±4.9	0.48±0.11	RCLQC210904	53.2±5.9	0.22±0.01	RCLQI210904	<0.63
	成山镇	RCLQH210905	14.0±2.5	0.61±0.11	RCLQC210905	45.9±5.6	0.20±0.01	RCLQI210905	<0.69
范围值			9.92~22.0	0.26~0.61	/	45.9~53.2	0.20~0.23	/	/
均值			13.9±4.8	0.48±0.14	/	49.0±2.7	0.21±0.01	/	/
2022 年 1 月	厂址边界	RCLQH220101	3.31±0.66	0.81±0.16	RCLQC220101	49.2±5.1	0.22±0.01	RCLQI220101	<0.52
	东钱家村	RCLQH220102	4.40±1.06	0.67±0.16	RCLQC220102	38.3±4.9	0.17±0.01	RCLQI220102	<0.57
	宁津街道	RCLQH220103	5.92±1.37	0.70±0.16	RCLQC220103	50.3±5.3	0.22±0.01	RCLQI220103	<0.51
	镆铳岛	RCLQH220104	5.00±0.93	0.88±0.16	RCLQC220104	42.4±5.0	0.19±0.01	RCLQI220104	<0.52
	成山镇	RCLQH220105	8.61±2.53	0.54±0.16	RCLQC220105	43.0±5.1	0.19±0.01	RCLQI220105	<0.54
范围值			3.31~8.61	0.54~0.88	/	38.3~50.3	0.17~0.22	/	/
均值			5.45±2.01	0.72±0.13	/	44.6±5.0	0.20±0.02	/	/
2022 年 5 月	厂址边界	RCLQH220501	5.87±1.93	0.35±0.11	RCLQC220501	36.8±5.0	0.16±0.01	RCLQI220501	<0.51
	东钱家村	RCLQH220502	9.49±1.87	0.60±0.12	RCLQC220502	47.3±7.1	0.15±0.01	RCLQI220502	<0.48
	宁津街道	RCLQH220503	14.1±2.7	0.61±0.12	RCLQC220503	36.1±4.8	0.16±0.01	RCLQI220503	<0.55
	镆铳岛	RCLQH220504	16.9±2.8	0.73±0.12	RCLQC220504	56.7±5.1	0.25±0.01	RCLQI220504	<0.53
	成山镇	RCLQH220505	19.6±3.0	0.77±0.12	RCLQC220505	52.0±5.0	0.24±0.01	RCLQI220505	<0.54
范围值			5.87~19.6	0.35~0.77	/	36.1~56.7	0.15~0.25	/	/
均值			13.2±5.5	0.61±0.16	/	45.8±9.1	0.19±0.05	/	/
2022 年 7 月	厂址边界	RCLQH220701	11.7±2.2	0.61±0.12	RCLQC220701	45.6±4.3	0.24±0.01	RCLQI220701	<0.77
	东钱家村	RCLQH220702	17.3±1.8	1.17±0.12	RCLQC220702	32.0±4.1	0.17±0.01	RCLQI220702	<0.57
	宁津街道	RCLQH220703	14.3±2.9	0.58±0.12	RCLQC220703	54.2±4.8	0.26±0.01	RCLQI220703	<0.55
	镆铳岛	RCLQH220704	17.4±2.3	0.90±0.12	RCLQC220704	31.6±4.8	0.14±0.01	RCLQI220704	<0.55
	成山镇	RCLQH220705	18.5±2.1	1.04±0.12	RCLQC220705	33.7±4.9	0.15±0.01	RCLQI220705	<0.59
范围值			11.7~18.5	0.58~1.17	/	31.6~54.2	0.14~0.26	/	/
均值			15.8±2.8	0.86±0.26	/	39.4±10.1	0.19±0.05	/	/

表 3.1-19 降水测量结果

采样日期	样品编号	采样地点	⁹⁰ Sr	³ H	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn
			(mBq/L)	(Bq/L)	(mBq/L)				
2021 年 9 月—2022 年 1 月	RCLJS220101	厂址边界	14.5±0.3	0.44±0.07	<2.4	<4.2	<2.1	<2.2	<2.1
	RCLJS220102	东钱家村	22.2±0.2	0.42±0.07	<2.0	<3.5	<1.7	<1.8	<1.7
	RCLJS220103	宁津街道	34.8±0.3	0.57±0.07	<1.7	<2.9	<1.6	<1.6	<1.5
	RCLJS220104	镆铳岛	15.4±0.2	0.51±0.07	<2.1	<3.3	<1.8	<1.8	<1.8
	RCLJS220105	成山镇	62.7±0.4 ²	0.69±0.07	<2.0	<3.3	<1.8	<1.8	<1.8
2022 年 1~5 月	RCLJS220501	厂址边界	/	/	/	/	/	/	/
	RCLJS220502	东钱家村	5.28±0.29	0.99±0.06	<9.8	<14	<9.3	<13	<13
	RCLJS220503	宁津街道	6.08±0.35	0.97±0.06	<13	<19	<12	<15	<16
	RCLJS220504	镆铳岛	4.74±0.37	1.03±0.06	<11	<15	<11	<12	<14
	RCLJS220505	成山镇	/	/	/	/	/	/	/
2022 年 5~7 月	RCLJS220701	厂址边界	7.98±0.14	0.74±0.06	<0.97	<1.5	<0.90	<0.97	<0.90
	RCLJS220702	东钱家村	28.6±0.3	0.83±0.06	<0.96	<1.5	<0.89	<0.92	<0.86
	RCLJS220703	宁津街道	35.1±0.2	0.35±0.05	<0.92	<1.5	<0.83	<1.1	<0.94
	RCLJS220704	镆铳岛	7.78±0.11	0.62±0.06	<1.1	<1.6	<0.96	<1.1	<1.1
	RCLJS220705	成山镇	10.6±0.2	0.67±0.06	<0.92	<1.7	<0.98	<1.3	<1.1
2022 年 7~12 月	RCLJS221201	厂址边界	13.7±0.2	0.73±0.06	<1.6	<1.7	<1.4	<2.0	<1.6
	RCLJS221202	东钱家村	10.3±0.2	0.88±0.06	<1.5	<1.6	<1.4	<1.8	<1.4
	RCLJS221203	宁津街道	5.99±0.12	0.77±0.06	<1.4	<1.6	<1.2	<1.6	<1.4
	RCLJS221204	镆铳岛	8.69±0.15	0.89±0.06	<1.5	<1.7	<1.4	<1.8	<1.5
	RCLJS221205	成山镇	15.5±0.2	0.89±0.06	<1.5	<1.4	<1.6	<2.0	<1.5

² 根据辐射环境调查单位的分析，造成 2021 年 9 月~2022 年 1 月成山镇降水中 ⁹⁰Sr 测量结果较高的原因是放置采样器的附近有居民翻修场地，有较大灰尘。统计中剔除该离群值。

表 3.1-20 地表水测量结果

采样 时间	样品编号	采样地点	⁹⁰ Sr	³ H	¹⁴ C		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn
			(mBq/L)	(Bq/L)	(mBq/L)	(Bq/g 碳)	(mBq/L)				
2022 年 1 月	RCLDB220101	八河水库	9.11±0.11	0.35±0.07	4.91±0.17	0.20±0.01	<1.8	<3.2	<1.6	<1.7	<1.6
	RCLDB220102	南夏家水库	10.5±0.2	0.33±0.07	/	/	<1.9	<3.2	<1.6	<1.7	<1.7
	RCLDB220103	郭家水库	7.09±0.11	0.36±0.07	/	/	<1.9	<3.4	<1.6	<1.8	<1.8
	RCLDB220104	后龙河水库	14.1±0.2	0.42±0.07	3.52±0.16	0.15±0.01	<1.8	<3.3	<1.6	<1.7	<1.7
2022 年 7 月	RCLDB220701	八河水库	5.33±0.07	0.53±0.06	2.23±0.08	0.20±0.01	<0.93	<1.6	<0.78	<1.0	<0.96
	RCLDB220702	南夏家水库	8.72±0.10	0.51±0.06	/	/	<0.94	<1.7	<0.83	<0.92	<1.0
	RCLDB220703	郭家水库	3.78±0.07	0.62±0.06	/	/	<1.1	<1.9	<0.98	<1.0	<1.1
	RCLDB220704	后龙河水库	5.86±0.08	0.64±0.06	5.14±0.18	0.19±0.01	<0.87	<1.5	<0.86	<1.0	<0.92

表 3.1-21 地下水测量结果

采样时间	样品编号	采样地点	⁹⁰ Sr	³ H	¹⁴ C		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn
			(mBq/L)	(Bq/L)	(mBq/L)	(Bq/g 碳)	(mBq/L)				
2021 年 9 月	RCLDX210901	东钱家村	4.54±0.08	0.25±0.07	7.92±0.27	0.20±0.01	<1.6	<2.6	<1.3	<1.3	<1.4
	RCLDX210902-1	宁津街道	5.47±0.08	0.39±0.07	5.44±0.19	0.20±0.01	<1.6	<2.6	<1.3	<1.4	<1.4
	RCLDX210902-2	宁津街道	6.81±0.10	0.35±0.07	5.14±0.19	0.19±0.01	<1.6	<2.4	<1.3	<1.4	<1.2
	RCLDX210903	东墩村	7.36±0.12	0.32±0.07	/	/	<1.6	<2.5	<1.3	<1.3	<1.4
	RCLDX210904	后海崖村	2.67±0.07	0.41±0.07	/	/	<1.6	<2.5	<1.4	<1.3	<1.5
2022 年 1 月	RCLDX220101	东钱家村	3.22±0.08	0.28±0.07	7.46±0.27	0.20±0.01	<1.8	<2.8	<1.5	<1.6	<1.5
	RCLDX220102-1	宁津街道	5.62±0.10	0.34±0.07	4.54±0.17	0.18±0.01	<1.7	<2.7	<1.4	<1.5	<1.5
	RCLDX220102-2	宁津街道	6.58±0.11	0.30±0.07	4.60±0.16	0.20±0.01	<2.0	<3.2	<1.7	<1.8	<1.8
	RCLDX220103	东墩村	5.81±0.08	0.31±0.07	/	/	<1.8	<2.8	<1.5	<1.6	<1.7
	RCLDX220104	后海崖村	4.30±0.09	0.26±0.07	/	/	<1.7	<2.8	<1.5	<1.5	<1.6
2022 年 7 月	RCLDX220701	东钱家村	9.57±0.11	0.39±0.06	6.77±0.23	0.21±0.01	<0.79	<1.2	<0.85	<0.86	<0.83
	RCLDX220702	宁津街道	9.48±0.12	0.42±0.06	4.64±0.16	0.20±0.01	<0.82	<1.4	<0.97	<0.96	<0.85
	RCLDX220703	东墩村	5.41±0.09	0.33±0.05	/	/	<0.92	<1.5	<0.77	<1.0	<0.94
	RCLDX220704	后海崖村	7.70±0.10	0.49±0.06	/	/	<0.81	<1.3	<0.82	<0.84	<0.77

表 3.1-22 饮用水测量结果

采样时间	样品编号	采样地点	总 α	总 β	^{90}Sr	^3H	^{14}C		^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{54}Mn
			(Bq/L)	(Bq/L)	(mBq/L)	(Bq/L)	(mBq/L)	(Bq/g 碳)	(mBq/L)				
2021 年 9 月	RCLYY210901	东钱家村	<0.038	0.14±0.01	7.40±0.11	0.39±0.07	8.10±0.16	0.19±0.01	<1.7	<2.6	<1.3	<1.3	<1.4
	RCLYY210902	宁津街道	<0.024	0.24±0.01	5.76±0.09	0.47±0.07	4.21±0.15	0.18±0.01	<1.6	<2.5	<1.3	<1.3	<1.4
	RCLYY210903	东墩村	0.062±0.017	0.27±0.01	/	0.41±0.07	/	/	<1.7	<2.7	<1.4	<1.4	<1.6
	RCLYY210904	镆铳岛	<0.028	0.19±0.01	/	0.77±0.08	/	/	<1.9	<2.9	<1.5	<1.5	<1.8
	RCLYY210905	湾头水库	<0.023	0.18±0.01	5.86±0.10	0.63±0.08	5.91±0.20	0.20±0.01	<1.8	<2.7	<1.4	<1.5	<1.7
2022 年 1 月	RCLYY220101	东钱家村	0.075±0.026	0.13±0.01	7.83±0.11	0.41±0.06	7.08±0.25	0.20±0.01	<1.8	<3.1	<1.6	<1.6	<1.6
	RCLYY220102	宁津街道	<0.055	0.14±0.01	7.78±0.11	0.46±0.06	4.43±0.16	0.20±0.01	<2.0	<3.4	<1.7	<1.7	<1.7
	RCLYY220103	东墩村	<0.093	0.23±0.01	/	0.47±0.06	/	/	<1.9	<3.2	<1.6	<1.6	<1.7
	RCLYY220104	后海崖村	<0.077	0.053±0.009	/	0.48±0.06	/	/	<1.8	<3.1	<1.6	<1.5	<1.7
	RCLYY220105	湾头水库	<0.046	0.17±0.01	5.80±0.09	0.67±0.06	4.26±0.16	0.19±0.01	<1.8	<3.1	<1.5	<1.7	<1.6
2022 年 7 月	RCLYY220701-1	东钱家村	0.032±0.011	0.15±0.01	6.58±0.11	0.51±0.05	6.70±0.23	0.20±0.01	<1.2	<3.0	<1.1	<1.6	<1.2
	RCLYY220701-2	东钱家村	0.032±0.011	0.14±0.01	8.46±0.12	0.57±0.06	6.66±0.23	0.19±0.01	<1.2	<2.9	<1.2	<1.4	<1.2
	RCLYY220702	宁津街道	0.030±0.010	0.18±0.01	10.7±0.2	1.11±0.06	4.92±0.18	0.18±0.01	<1.2	<2.8	<1.1	<1.4	<1.2
	RCLYY220703	东墩村	0.030±0.010	0.11±0.01	/	0.82±0.06	/	/	<1.3	<2.7	<1.2	<1.3	<1.2
	RCLYY220704	后海崖村	0.027±0.009	0.15±0.01	/	0.71±0.06	/	/	<1.2	<2.6	<1.1	<1.3	<1.1
	RCLYY220705	湾头水库	0.033±0.011	0.18±0.01	6.47±0.11	0.93±0.06	4.06±0.14	0.20±0.01	<1.3	<3.1	<1.3	<1.5	<1.3

表 3.1-23 地表水底泥测量结果

单位：Bq/kg

样品编号	采样地点	⁹⁰ Sr	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn
RCLDN220701	八河水库	1.98±0.11	0.006±0.006	88.2±4.1	57.6±0.6	160±1	1870±9	<0.73	<0.68	<0.63	<0.84	<0.69
RCLDN220702	南夏家水库	1.09±0.12	0.011±0.004	26.2±1.9	26.6±0.4	41.4±0.7	854±5	<0.47	<0.45	<0.42	<0.58	<0.44
RCLDN220703	郭家水库	1.63±0.09	/	10.5±1.0	10.2±0.3	17.4±0.5	707±4	<0.37	<0.36	<0.33	<0.50	<0.35
RCLDN220704	后龙河水库	0.36±0.08	/	51.4±3.0	41.1±0.5	119±1	1110±6	<0.62	<0.59	<0.53	<0.69	<0.58

表 3.1-24 土壤样品测量结果

样品编号	采样地点	⁹⁰ Sr	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn
		(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)
RCLTR220501	厂址边界	0.44±0.08	0.011±0.005	36.2±3.3	34.3±0.4	66.2±0.9	971±6	<0.55	<0.52	<0.47	<0.65	<0.53
RCLTR220502	华能核电厂区边界	0.51±0.07	0.058±0.010	29.2±2.9	26.8±0.3	50.4±0.9	1010±6	0.91±0.12	<0.55	<0.49	<0.71	<0.57
RCLTR220503-1	东钱家村	0.87±0.10	0.072±0.008	34.2±2.7	31.0±0.4	55.4±0.9	1070±6	0.84±0.13	<0.52	<0.47	<0.69	<0.54
RCLTR220503-2	东钱家村	1.08±0.12	0.072±0.008	34.9±2.8	31.3±0.4	56.1±0.9	1110±9	0.85±0.13	<0.55	<0.51	<0.71	<0.56
RCLTR220504	小河东村	1.06±0.10	0.13±0.02	33.9±2.6	27.0±0.4	47.8±0.8	1230±6	1.90±0.14	<0.52	<0.47	<0.70	<0.52
RCLTR220505	西钱家村	1.93±0.10	/	32.9±3.2	29.5±0.4	55.9±0.8	1160±6	0.82±0.13	<0.53	<0.48	<0.69	<0.53
RCLTR220506	周庄村	1.22±0.12	0.075±0.010	34.1±2.9	33.5±0.4	76.0±1.0	1350±7	0.88±0.14	<0.55	<0.50	<0.73	<0.57
RCLTR220507	所前杜家村	1.05±0.09	0.065±0.010	40.2±3.5	39.8±0.5	95.2±1.0	1390±7	0.58±0.15	<0.60	<0.53	<0.76	<0.62
RCLTR220508	所前王家村	1.84±0.09	/	45.6±3.2	36.5±0.5	73.9±1.0	1310±7	<0.55	<0.60	<0.52	<0.78	<0.60
RCLTR220509	东墩村	1.11±0.08	0.041±0.008	42.6±2.8	30.1±0.4	59.1±0.8	1100±6	0.55±0.10	<0.50	<0.45	<0.66	<0.51
RCLTR220510	南泊村	1.10±0.13	0.096±0.011	37.3±2.8	28.4±0.4	50.1±0.9	1390±7	2.06±0.13	<0.55	<0.49	<0.75	<0.55
RCLTR220511	宁津养殖二厂	1.03±0.09	0.045±0.009	14.1±1.1	11.3±0.17	15.6±0.3	721±4	0.34±0.02	<0.40	<0.36	<0.54	<0.37
RCLTR220512	所后王家村	0.42±0.09	/	47.8±3.2	35.5±0.5	74.9±1.0	1270±7	0.63±0.11	<0.58	<0.52	<0.76	<0.57
RCLTR220513-1	宁津街道	0.63±0.07	/	39.7±2.8	34.0±0.5	68.1±1.0	1260±6	1.29±0.11	<0.53	<0.49	<0.70	<0.52
RCLTR220513-2	宁津街道	0.57±0.09	/	42.3±2.9	35.3±0.5	65.4±0.9	1290±6	1.20±0.10	<0.53	<0.49	<0.71	<0.52
RCLTR220514	鞠家村	0.62±0.09	/	38.9±2.6	39.0±0.5	78.2±1.0	1500±7	0.44±0.10	<0.56	<0.53	<0.76	<0.56
RCLTR220515	北场村	0.35±0.07	0.021±0.008	35.2±2.4	29.5±0.4	58.3±0.9	1100±6	<0.53	<0.52	<0.48	<0.68	<0.51
RCLTR220516	南夏家村	0.42±0.08	/	67.6±3.1	59.2±0.6	140±1	1560±7	0.74±0.12	<0.64	<0.60	<0.80	<0.55
RCLTR220517	东南海村	0.68±0.07	/	32.4±2.4	28.0±0.4	46.6±0.9	872±6	1.55±0.11	<0.52	<0.49	<0.66	<0.51
RCLTR220518	后海崖村	1.47±0.09	/	18.8±1.9	19.0±0.4	30.2±0.7	806±5	1.16±0.09	<0.46	<0.42	<0.60	<0.45
RCLTR220519	东楮岛村	0.86±0.07	/	27.7±2.3	24.2±0.41	38.9±0.8	835±5	1.85±0.10	<0.48	<0.45	<0.61	<0.45
RCLTR220520	林家流村	1.07±0.09	/	62.9±3.5	55.9±0.6	133±1	1120±6	<0.44	<0.62	<0.57	<0.72	<0.61
RCLTR220521	八河姚家村	0.81±0.08	/	30.6±2.6	29.1±0.5	56.4±0.9	1453±7	<0.39	<0.55	<0.51	<0.76	<0.54
RCLTR220522	东山街道	1.04±0.08	/	33.3±2.6	29.8±0.4	52.8±0.9	1150±6	<0.32	<0.52	<0.49	<0.69	<0.50
RCLTR220523	崂山街道	0.72±0.08	/	46.5±2.9	42.5±0.6	40.3±0.8	712±5	<0.38	<0.54	<0.52	<0.66	<0.54
RCLTR220524	港湾街道	1.19±0.11	/	95.4±5.2	83.5±0.7	200±2	1460±7	<0.77	<0.74	<0.66	<0.83	<0.73
RCLTR220525	成山镇（对照点）	1.87±0.11	0.098±0.018	10.1±1.2	11.1±0.3	16.0±0.5	752±5	0.65±0.09	<0.37	<0.34	<0.51	<0.36
RCLTR221201	后港头	0.27±0.07	/	46.1±2.4	42.2±1.1	84.0±2.7	1382±9	<0.53	<0.58	<0.55	<0.77	<0.59

表 3.1-25（1/2） 陆生生物测量结果

样品名称	采样点位	样品编号	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	自由水氚		有机氚		¹⁴ C		¹³⁴ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn	灰鲜比
			Bq/kg 鲜		Bq/kg 鲜	Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/g 碳	Bq/kg 鲜				
葱	宁津街道东钱家村	RCLSC220501	<0.024	0.070±0.002	0.43±0.10	0.50±0.11	0.20±0.02	2.98±0.50	8.33±10.30	0.19±0.01	<0.019	<0.025	<0.043	<0.024	0.00818
松针	宁津街道大岔河村村口	RCLSZ220501	0.038±0.009	0.17±0.01	0.29±0.04	0.92±0.12	0.63±0.14	1.52±0.48	52.6±2.0	0.18±0.01	<0.041	<0.049	<0.073	<0.047	0.0160
猪肉	宁津街道南港头村	RCLSR220701	0.076±0.011	0.021±0.002	0.21±0.03	0.76±0.11	0.70±0.06	1.5±0.51	26.6±0.9	0.21±0.01	<0.030	<0.037	<0.069	<0.037	0.0112
豆角	宁津街道于家村	RCLSC220702	<0.097	0.046±0.002	0.10±0.01	0.82±0.11	0.28±0.03	1.46±0.51	8.99±0.31	0.19±0.01	<0.041	<0.047	<0.083	<0.044	0.0106
白菜	宁津街道卢家庄村	RCLSC210901	<0.018	0.070±0.002	0.66±0.10	0.71±0.11	<0.18	<1.06	3.13±0.11	0.17±0.01	<0.015	<0.018	<0.029	<0.017	0.00536
		RCLSC221201-1	<0.019	0.087±0.002	0.45±0.10	0.5±0.11	0.15±0.02	1.46±0.51	4.97±0.18	0.19±0.01	<0.015	<0.018	<0.038	<0.020	0.0108
		RCLSC221201-2	<0.019	0.080±0.002	0.59±0.10	0.65±0.11	0.14±0.02	1.44±0.51	5.73±0.18	0.20±0.01	<0.016	<0.016	<0.039	<0.021	0.0122
金帅苹果	宁津街道富甲山庄	RCLSG210901	0.019±0.005	0.005±0.001	0.34±0.09	0.40±0.11	0.10±0.02	1.45±0.48	10.9±0.4	0.20±0.01	<0.015	<0.020	<0.034	<0.019	0.00265
富士苹果	崂山街道宁家村	RCLSG210902	0.022±0.005	0.009±0.001	0.42±0.09	0.48±0.11	0.11±0.02	1.96±0.49	8.91±0.30	0.18±0.01	<0.021	<0.023	<0.036	<0.022	0.00437

表 3.1-25 (2/2) 陆生生物测量结果

[illegible]

表 3.1-26 淡水水生生物测量结果

采样时间	样品名称	采样地点	样品编号	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹⁴ C		¹³⁴ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn	灰鲜比
				Bq/kg 鲜		Bq/kg 鲜	Bq/g 碳	Bq/kg 鲜				
2022 年 5 月	白鲢鱼	八河水库	RCLSY220501	<0.014	0.010±0.001	5.85±0.22	0.17±0.01	<0.013	<0.015	<0.032	<0.016	0.00934
2022 年 7 月	水草	后龙河水库	RCLSC220701	0.14±0.04	0.59±0.01	53.15±1.83	0.20±0.01	<0.094	<0.092	<0.11	<0.097	0.0509

表 3.1-28 海洋沉积物样品测量结果

样品编号	采样点	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	¹³⁴ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn	^{110m} Ag	¹⁰⁶ Rh	⁶⁵ Zn
		Bq/kg													
RCHCJ220501-1	取水口	22.9±4.4	26.6±0.6	34.6±1.1	675±6	<0.65	1.03±0.07	0.095±0.010	<0.48	<0.40	<0.64	<0.40	<0.52	<4.1	<0.99
RCHCJ220501-2	取水口	21.0±4.4	20.8±0.5	29.6±1.0	698±6	<0.67	1.17±0.09	0.12±0.01	<0.43	<0.36	<0.54	<0.37	<0.50	<3.7	<0.88
RCHCJ220502	排水口	23.7±4.9	21.5±0.6	33.8±1.1	647±6	<0.72	1.05±0.09	0.049±0.007	<0.48	<0.39	<0.57	<0.40	<0.53	<4.1	<0.94
RCHCJ220503	沉积物 3#点	21.6±5.1	21.1±0.6	31.1±1.0	883±7	1.00±0.13	0.82±0.08	0.013±0.004	<0.44	<0.38	<0.58	<0.38	<0.53	<3.9	<0.95
RCHCJ220504	沉积物 4#点	22.0±6.8	22.6±0.6	30.5±1.3	644±7	<0.77	1.22±0.11	0.057±0.008	<0.50	<0.42	<0.60	<0.43	<0.56	<4.3	<1.0
RCHCJ220505	沉积物 5#点	23.9±5.0	23.7±0.6	33.6±1.2	795±7	<0.77	1.09±0.07	/	<0.49	<0.41	<0.62	<0.42	<0.57	<4.2	<1.0
RCHCJ220506	沉积物 6#点	20.9±5.4	25.5±0.6	31.1±1.1	705±6	<0.72	0.50±0.07	/	<0.46	<0.39	<0.54	<0.41	<0.52	<4.0	<0.94
RCHCJ220507	沉积物 7#点	22.8±4.8	25.5±0.6	28.8±1.0	623±6	<0.71	0.71±0.10	0.065±0.009	<0.47	<0.38	<0.57	<0.40	<0.53	<4.0	<0.95
RCHCJ220508	沉积物 8#点	37.7±4.3	21.3±0.6	29.5±1.2	658±6	0.79±0.11	1.23±0.09	0.034±0.007	<0.48	<0.40	<0.58	<0.41	<0.54	<4.2	<1.0
RCHCJ220509	沉积物 9#点	32.7±5.6	25.9±0.7	38.1±1.2	717±7	1.75±0.19	0.48±0.07	0.10±0.01	<0.53	<0.44	<0.64	<0.46	<0.59	<4.5	<1.1
RCHCJ220510	沉积物 10#点	15.7±3.9	17.7±0.6	26.7±1.0	768±6	<0.68	1.09±0.11	/	<0.43	<0.37	<0.55	<0.39	<0.51	<3.9	<0.92
RCHCJ220511	沉积物 11#点	25.4±5.7	22.7±0.6	33.2±1.2	719±6	1.42±0.17	1.56±0.08	0.11±0.02	<0.49	<0.41	<0.57	<0.42	<0.54	<4.1	<0.96
RCHCJ220512	沉积物 12#点	17.3±3.8	15.0±0.5	23.2±1.0	738±6	<0.55	0.78±0.15	/	<0.41	<0.34	<0.53	<0.35	<0.47	<3.4	<0.84
RCHCJ220513	沉积物 13#点	22.3±4.4	23.5±0.7	30.7±1.1	691±6	<0.69	0.64±0.08	0.12±0.02	<0.45	<0.37	<0.54	<0.38	<0.51	<3.7	<0.90
RCHCJ220514	沉积物 14#点	25.4±4.4	20.7±0.7	34.2±1.1	706±6	0.91±0.12	2.32±0.11	0.061±0.012	<0.49	<0.39	<0.58	<0.41	<0.54	<4.2	<0.99
RCHCJ220515	养参池	26.0±4.8	24.5±0.7	34.4±1.2	830±6	<0.67	0.53±0.08	0.014±0.007	<0.46	<0.39	<0.57	<0.40	<0.52	<3.9	<0.97
RCHCJ220516	北侧潮间带	24.4±4.7	26.1±0.7	38.2±1.3	1080±8	<0.73	0.96±0.11	0.031±0.008	<0.49	<0.42	<0.62	<0.43	<0.56	<4.2	<1.0
RCHCJ220517	南侧潮间带	52.0±6.3	49.9±0.9	98.6±1.6	1100±7	<0.79	1.86±0.11	0.043±0.010	<0.55	<0.45	<0.63	<0.50	<0.59	<4.8	<1.1

表 3.1-29 海洋生物样品测量结果

样品名称	样品编号	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	自由水氚		有机氚		¹⁴ C		¹³⁴ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn	^{110m} Ag	¹⁰⁶ Rh	灰鲜比
		Bq/kg 鲜			Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/g 碳	Bq/kg 鲜						
鲎鱼	RCHSY220502-1	0.42±0.03	0.011±0.002	0.25±0.08	0.35±0.11	0.27±0.07	1.40±0.48	20.1±0.8	0.19±0.01	<0.083	<0.097	<0.21	<0.10	<0.15	<0.77	0.0168
	RCHSY220502-2	0.52±0.03	0.013±0.002	0.20±0.05	0.42±0.11	0.22±0.07	1.17±0.47	19.3±0.7	0.17±0.01	<0.085	<0.10	<0.21	<0.11	<0.16	<0.81	0.0149
梭鱼	RCHSY220503	0.079±0.010	0.025±0.003	0.35±0.08	0.47±0.11	0.26±0.05	1.87±0.48	19.78±0.67	0.19±0.01	<0.045	<0.052	<0.083	<0.50	<0.097	<4.0	0.0240
牡蛎	RCHSB220501	<0.022	0.017±0.003	0.43±0.09	0.53±0.11	<0.12	<1.06	11.32±0.39	0.20±0.01	<0.019	<0.021	<0.040	<0.022	<0.034	<0.17	0.0183
海参	RCHSR220501	<0.020	0.030±0.002	0.40±0.09	0.48±0.11	0.13±0.03	1.63±0.48	11.3±0.4	0.18±0.01	<0.016	<0.018	<0.051	<0.018	<0.027	<0.17	0.0201
扇贝	RCHSB220701	<0.064	0.078±0.003	0.06±0.02	0.29±0.11	0.28±0.03	1.33±0.49	14.95±0.50	0.20±0.01	<0.055	<0.058	<0.086	<0.060	<0.082	<0.56	0.0313
白对虾	RCHSK220701	<0.042	0.026±0.002	0.13±0.02	0.6±0.11	0.19±0.04	1.17±0.48	15.6±0.56	0.18±0.01	<0.025	<0.029	<0.047	<0.028	<0.045	<0.28	0.0168
白姑鱼	RCHSY210901	0.036±0.006	0.030±0.002	0.60±0.08	0.81±0.11	<0.12	<1.06	12.5±0.4	0.21±0.01	<0.021	<0.025	<0.041	<0.025	<0.036	<0.22	0.0127
褚岛牡蛎	RCHSB220101	<0.015	0.029±0.002	0.35±0.09	0.42±0.11	<0.12	<1.06	12.5±0.4	0.21±0.01	<0.013	<0.014	<0.028	<0.015	<0.022	<0.13	0.0118
紫贻贝	RCHSB220102-1	0.044±0.009	0.015±0.003	0.26±0.09	0.32±0.11	<0.12	<1.06	13.5±0.5	0.17±0.01	<0.034	<0.032	<0.064	<0.036	<0.054	<0.31	0.0310
	RCHSB220102-2	0.044±0.008	0.020±0.003	0.31±0.09	0.39±0.11	<0.12	<1.06	14.2±0.5	0.18±0.01	<0.034	<0.034	<0.065	<0.034	<0.053	<0.32	0.0282
排水口东侧 海带*	RCHSC221201-1	<0.23	0.28±0.02	0.54±0.10	0.61±0.11	0.10±0.03	1.29±0.49	7.48±0.25	0.20±0.01	<0.14	<0.19	<0.39	<0.20	<0.27	<1.5	0.178
	RCHSC221201-2	<0.22	0.30±0.02	0.48±0.10	0.55±0.11	0.08±0.03	1.25±0.49	7.27±0.24	0.20±0.01	<0.14	<0.17	<0.39	<0.20	<0.27	<1.6	0.171
宁津养殖二 场海带*	RCHSC221202	<0.19	0.16±0.02	0.40±0.10	0.45±0.11	0.10±0.02	1.28±0.49	6.83±0.22	0.21±0.01	<0.12	<0.15	<0.34	<0.17	<0.23	<1.3	0.136

注：带*样品 ¹³⁷Cs、⁹⁰Sr、¹³⁴Cs、⁵⁸Co、⁶⁰Co、⁵⁴Mn、^{110m}Ag、¹⁰⁶Rh 等核素测量结果单位为 Bq/kg 干。

表 3.1-30 厂址附近（附近 5km 左右）放射源、射线装置使用情况（2022 年 5 月）

使用单位	所在地	射线装置/放射源名称	类别	状况	相对厂址位置	
					方位	距离(km)
华能山东石岛湾核电有限公司	核电厂区	U-235 放射源共 33 枚	IV类放射源	在用	NNE	2
		放射源共 28 枚（22 枚 Cs-137、2 枚 Co-60、2 枚 Cf-252、1 枚 Sr-90 和 1 枚 Am-241/Be）	V类放射源	在用	NNE	2
中核二三公司国和一号示范工程项目部	核电厂区	3 枚 Ir-192 放射源、1 枚 ⁷⁵ Se 放射源	II类放射源	在用	/	/
		X 射线探伤机 7 台	II类射线装置	在用	/	/
威海石岛重工有限公司	石岛国际工业园 龙云路 500 号	2 枚 Ir-192 放射源、1 枚 Co-60 放射源	II类放射源	在用	W	8
		X 射线探伤机 10 台	II类射线装置	在用		
荣成市宁津街道卫生院	宁津街道	CT 机、X 光机共 2 台	III类射线装置	在用	NNW	3
黄海造船有限公司	石岛管理区黄海中路 18 号	X 射线探伤机 5 台	II类射线装置	在用	SW	6
荣成市东山街道中心卫生院	东山街道	X 光机 1 台	III类射线装置	在用	W	7

表 3.1-31 本次调查剂量率与全国、山东省、烟台市剂量率水平对比

单位：nGy/h

对比内容	原野			道路		
	范围	平均值	标准偏差	范围	平均值	标准偏差
本次调查	50.7~130	90.7	19.9	60.1~114	91.6	14.0
烟台市	21.4~120.5	58.4	16.6	19.1~201.1	64.9	23.9
山东省	16.9~162.6	56.5	12.6	10.3~201.1	51.7	18.2
全国	2.4~340.8	62.8	31.2	3.0~399.1	61.8	21.5

表 3.1-32 本次调查土壤中天然放射性核素浓度水平与全国、山东省、烟台市水平对比

对比内容		本次调查			烟台市			山东省			全国		
		范围	平均值	标准偏差	范围	平均值	标准偏差	范围	平均值	标准偏差	范围	平均值	标准偏差
土壤 (Bq/kg)	²³⁸ U	10.1~95.4	38.7	16.6	17.2~61.6	28.4	9.3	15.7~90.1	33.6	8.2	1.8~520.0	39.5	34.4
	²²⁶ Ra	11.1~83.5	33.9	14.3	16.2~46.1	28.5	8.1	9.8~50.0	30.3	7.3	2.4~425.8	36.5	22.0
	²³² Th	15.6~200	66.7	38.6	20.8~70.4	39.2	14.8	20.7~202	45.2	11.5	1.0~437.8	49.1	27.6
	⁴⁰ K	712~1560	1146	249	118.4~1870	805.8	243.7	391.7~1870	671.0	135.2	11.5~2185.2	580.0	202.0

表 3.1-33 各类环境介质中 ^3H 与 ^{14}C 活度浓度汇总对比

（一） ^3H

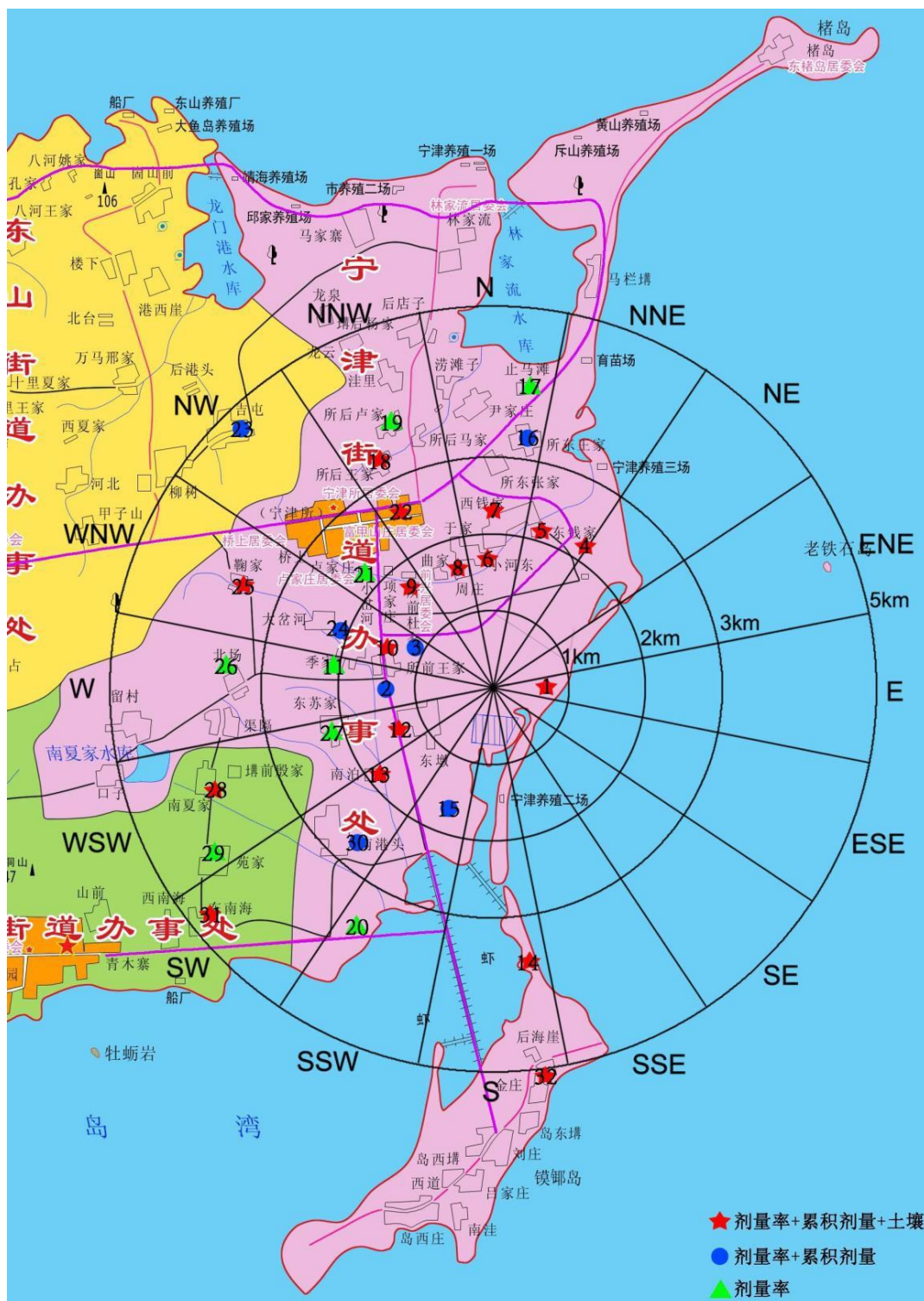
环境介质	样品数量	点位数	范围（Bq/L）	平均值（Bq/L）	标准偏差（Bq/L）
大气	20	5	0.26~1.17	0.67	0.22
降水	18	5	0.35~1.03	0.64	0.20
地表水	8	4	0.33~0.64	0.47	0.12
地下水	21	6	0.24~0.60	0.37	0.10
饮用水	16	5	0.39~1.11	0.61	0.21
海水	34	15	0.13~0.48	0.31	0.08
陆地生物 TFWT	9	/	0.40~0.92	/	/
陆地生物 OBT	14	/	<1.06~2.98	/	/
海洋生物 TFWT	14	/	0.29~0.81	/	/
海洋生物 OBT	14	/	<1.06~1.87	/	/

（二） ^{14}C

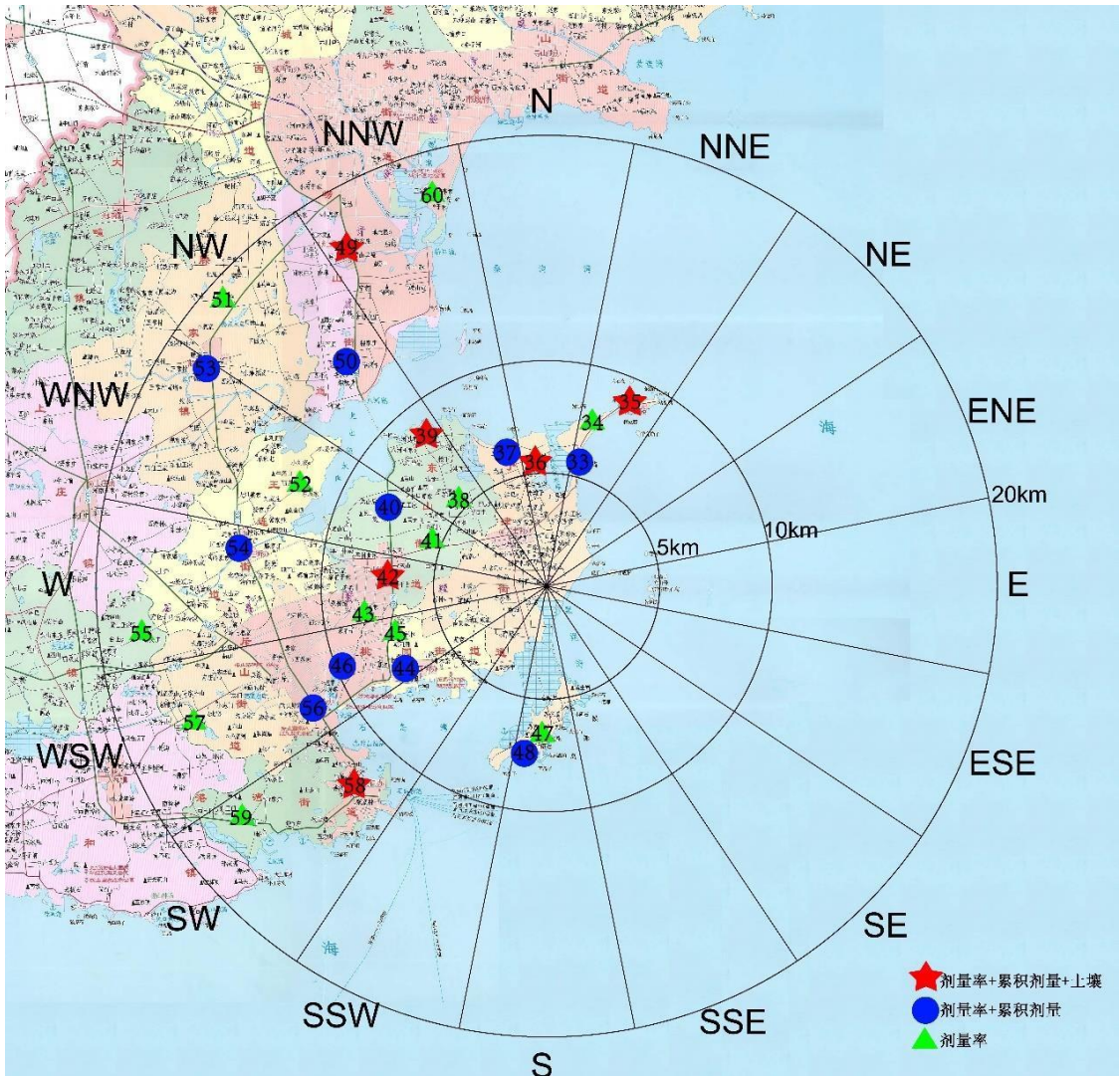
环境介质	样品数量	点位数	范围（Bq/g 碳）	平均值（Bq/g 碳）	标准偏差（Bq/g 碳）
大气	20	5	0.14~0.26	0.20	0.04
地表水	4	2	0.15~0.21	0.17	0.03
地下水	14	4	0.12~0.21	0.18	0.03
饮用水	10	3	0.18~0.20	0.19	0.01
海水	24	11	0.18~0.21	0.19	0.01
陆地生物 OBC	14	/	0.17~0.21	/	/
淡水生物 OBC	2	/	0.17~0.19	/	/
海洋生物 OBC	14	/	0.17~0.21	/	/

表 3.1-34 各类环境介质中 ^{90}Sr 与 ^{137}Cs 活度浓度汇总对比

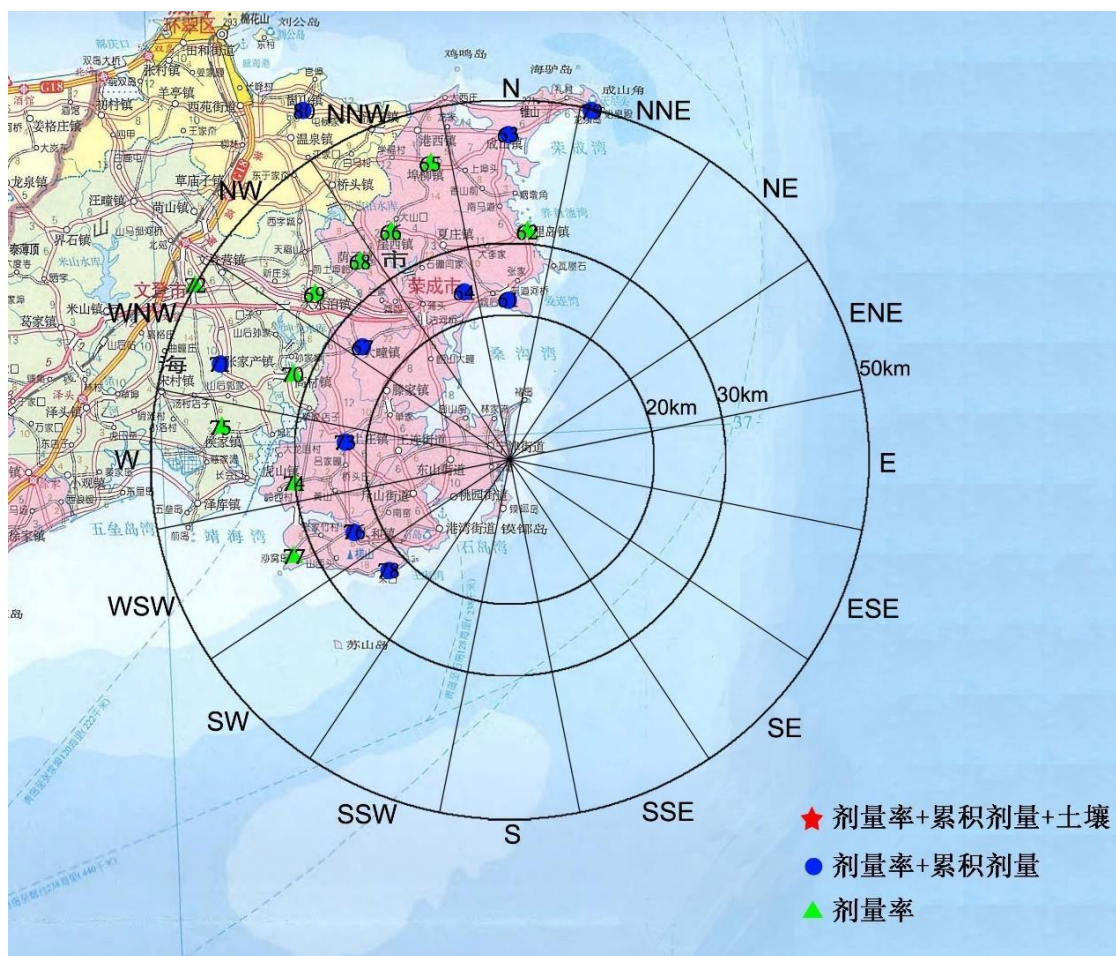
环境介质	单位	样品数量	点位数	^{90}Sr			^{137}Cs		
				范围	平均值	标准偏差	范围	平均值	标准偏差
气溶胶	$\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	20	5	0.33~4.58	2.18	1.42	<MDC ~10.0	/	/
沉降灰	$\text{mBq}/\text{m}^2\cdot\text{d}$	20	5	0.11~5.18	1.49	1.24	<MDC ~4.36	/	/
降水	mBq/L	18	5	4.74~62.7	17.2	14.9	<MDC	/	/
地表水	mBq/L	8	4	3.78~14.1	8.06	3.28	<MDC	/	/
地下水	mBq/L	21	6	2.67~10.0	6.00	2.37	<MDC	/	/
饮用水	mBq/L	16	5	5.76~10.7	7.26	1.54	<MDC	/	/
淡水底泥	Bq/kg	4	4	0.36~1.98	1.27	0.71	<MDC	/	/
土壤	Bq/kg	28	26	0.35~1.93	0.94	0.44	<MDC~2.06	1.01	0.51
陆地生物（鲜样）	Bq/kg 鲜	9	/	0.005~0.17	/	/	<MDC~0.076	/	/
陆地生物（干样）	Bq/kg 干	5	/	0.023~0.13	/	/	<MDC	/	/
淡水生物	Bq/kg 鲜	2	/	0.01~0.53	/	/	<MDC	/	/
海水	mBq/L	34	15	0.83~1.86	1.17	0.28	0.92~1.74	1.22	0.21
海洋沉积物	Bq/kg	18	17	0.48~2.32	1.06	0.48	<MDC~1.75	1.17	0.40
海洋生物（鲜样）	Bq/kg 鲜	11	/	0.011~0.078	/	/	<MDC~0.52	/	/
海洋生物（干样）	Bq/kg 干	3	/	0.16~0.30	/	/	<MDC	/	/



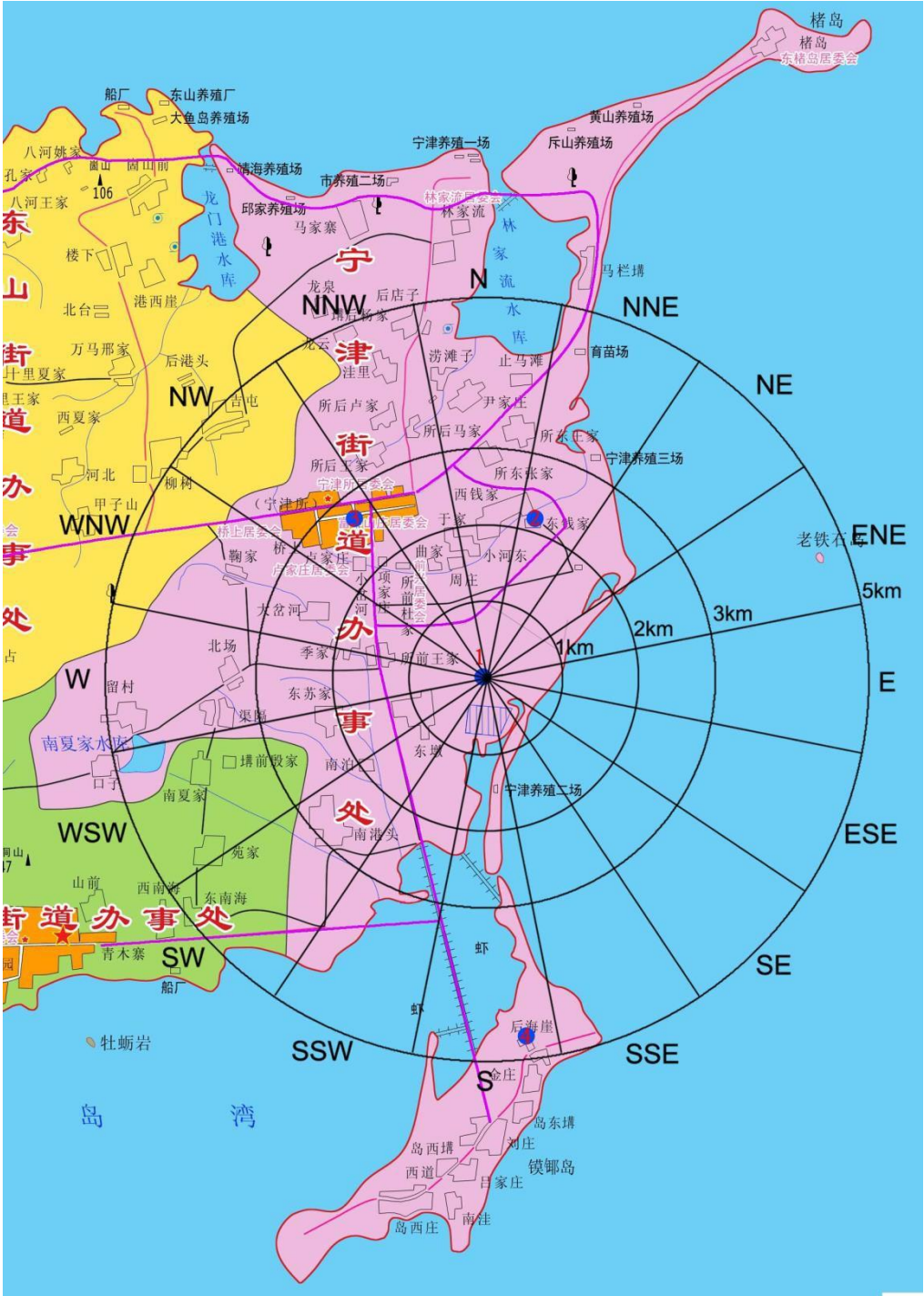
山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
地表γ辐射剂量率、累积剂量监测和 土壤采样点图（5km 范围）		
图 3.1-1（1/3）	版次：	A



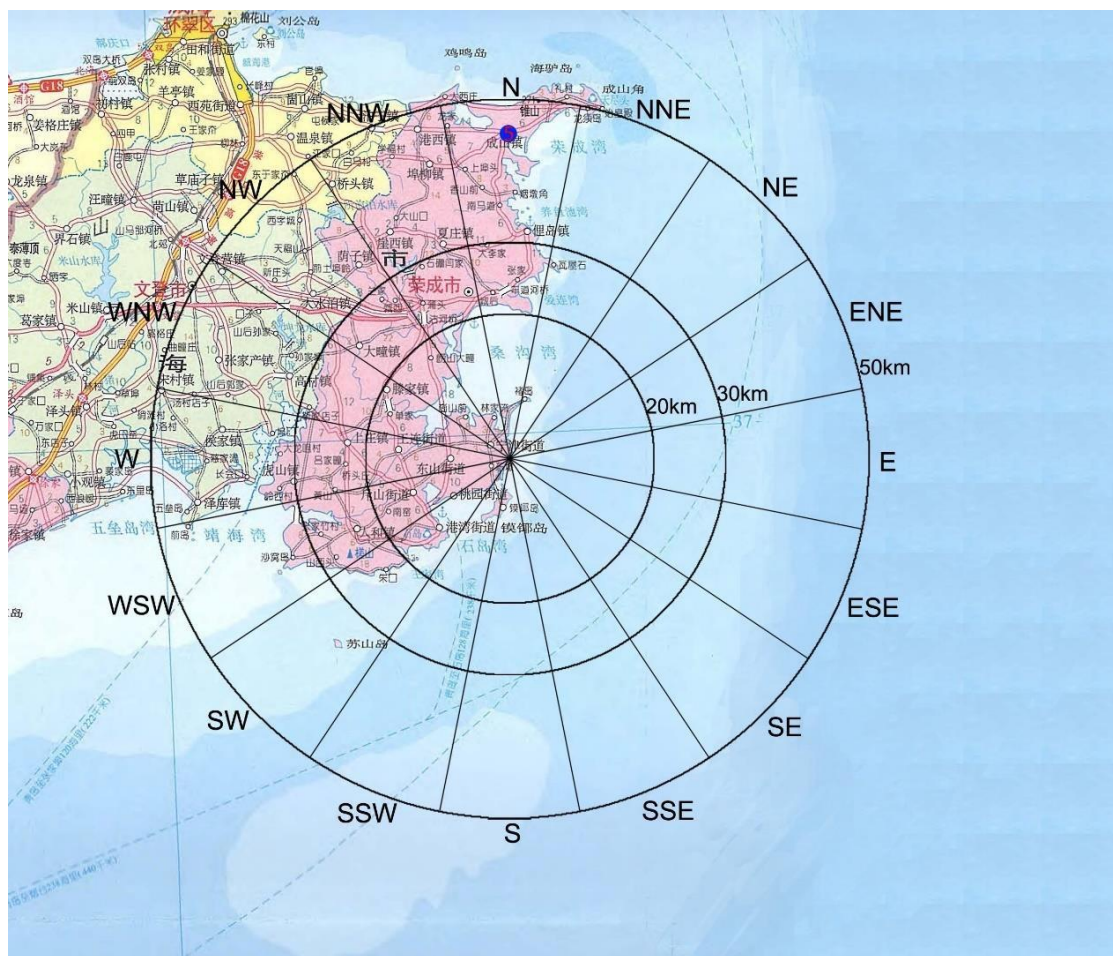
山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
地表γ辐射剂量率、累积剂量监测和 土壤采样点图（5~20km 范围）		
图 3.1-1（2/3）	版次：	A



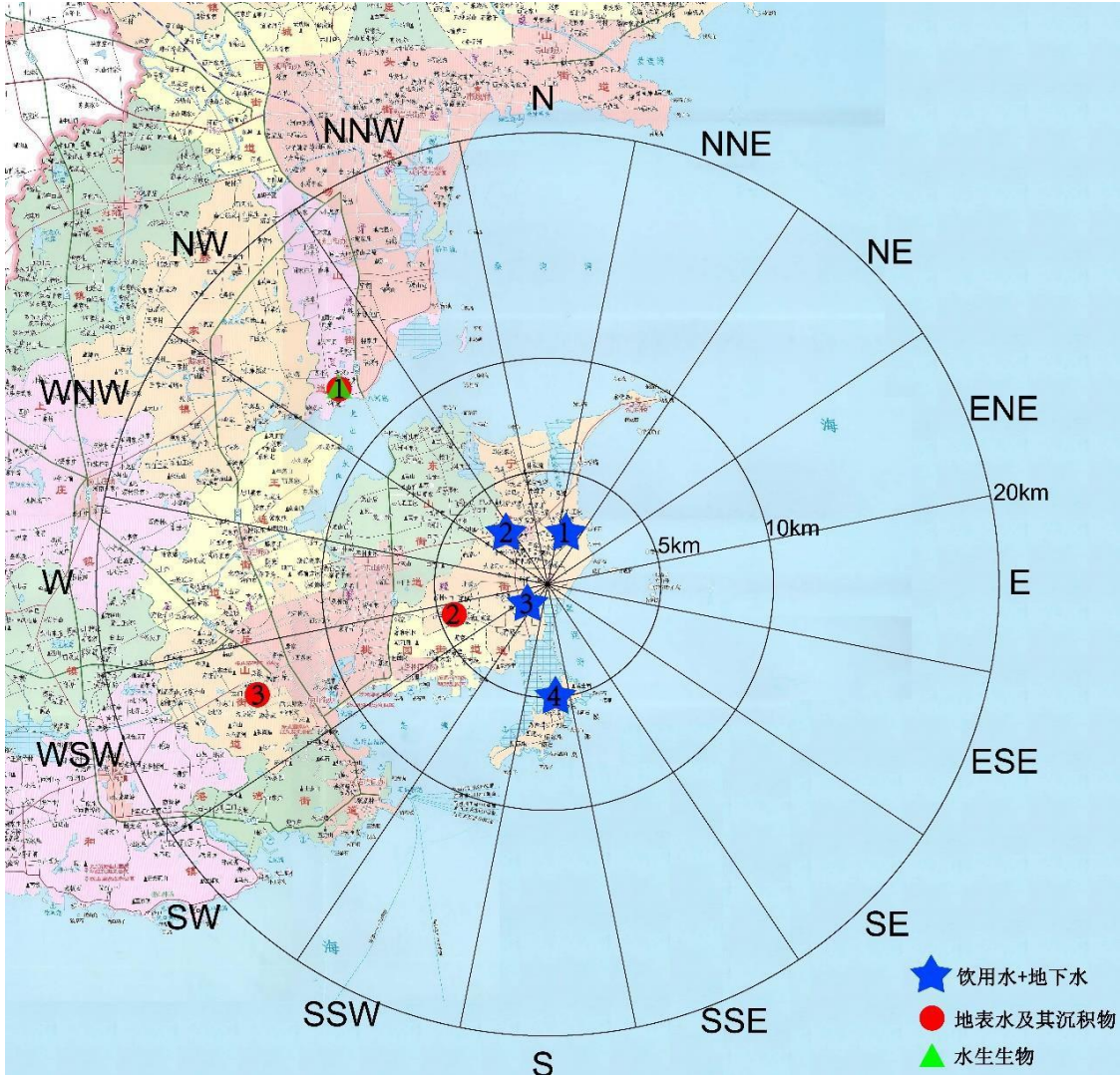
山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
地表γ辐射剂量率、累积剂量监测和 土壤采样点图（20~50km 范围）		
图 3.1-1（3/3）	版次：	A



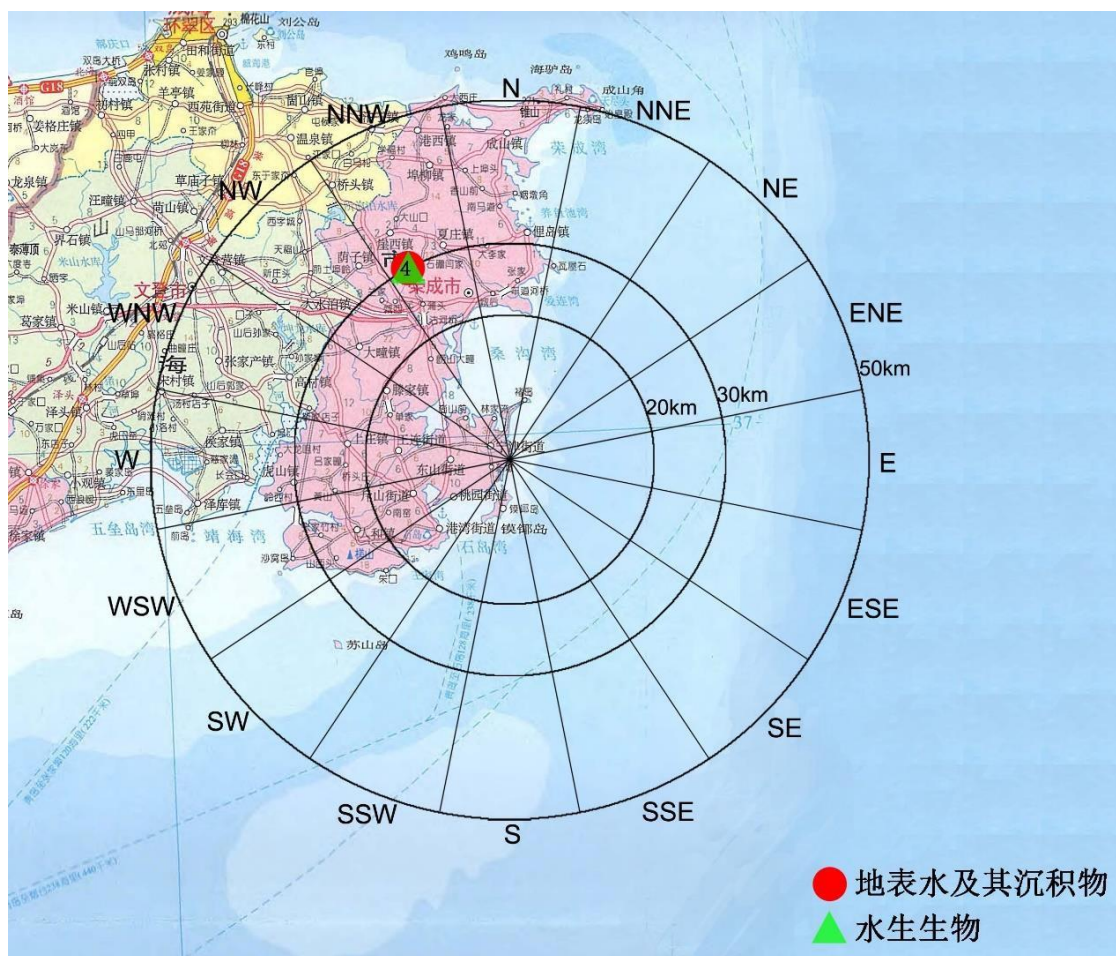
山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
气溶胶、沉降灰和空气中 ³ H、 ¹⁴ C采 样布点图（5km范围）		
图 3.1-2（1/2）	版次：	A



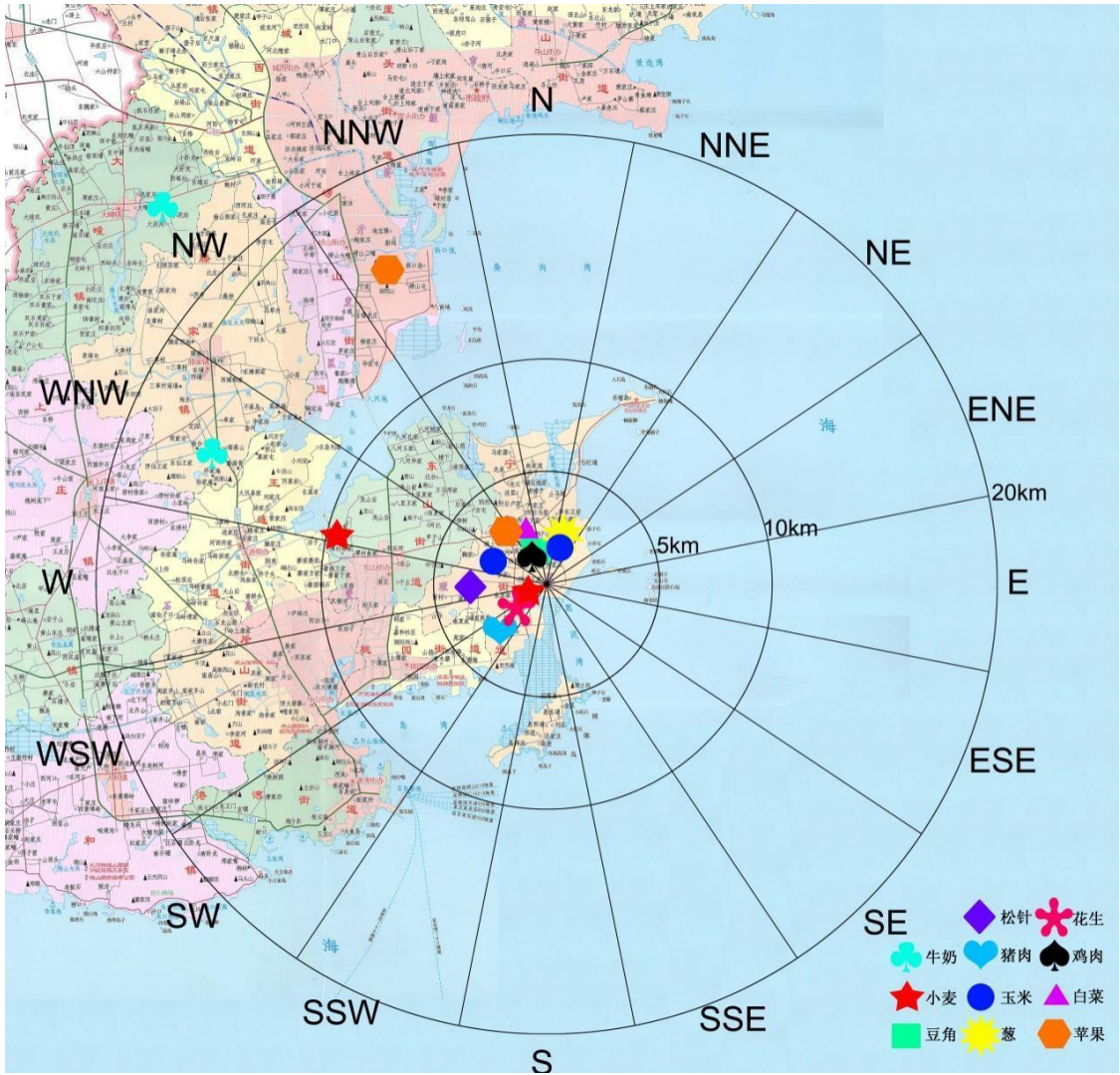
山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
气溶胶、沉降灰和空气中 ^3H 、 ^{14}C 采 样布点图（对照点）		
图 3.1-2（2/2）	版次：	A



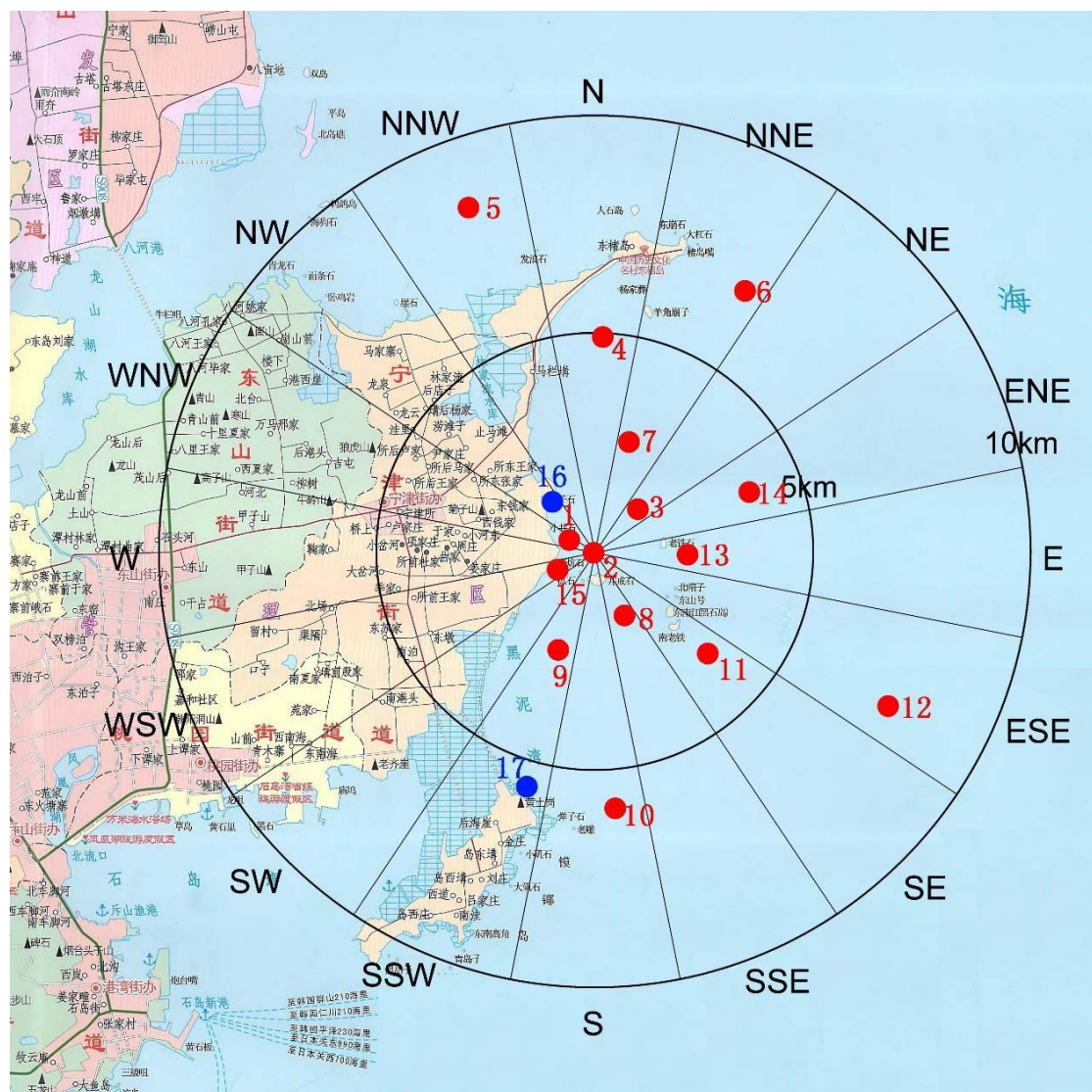
山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
地表水（底泥）、地下水、饮用水、 水生生物监测布点图		
图 3.1-3（1/2）	版次：	A



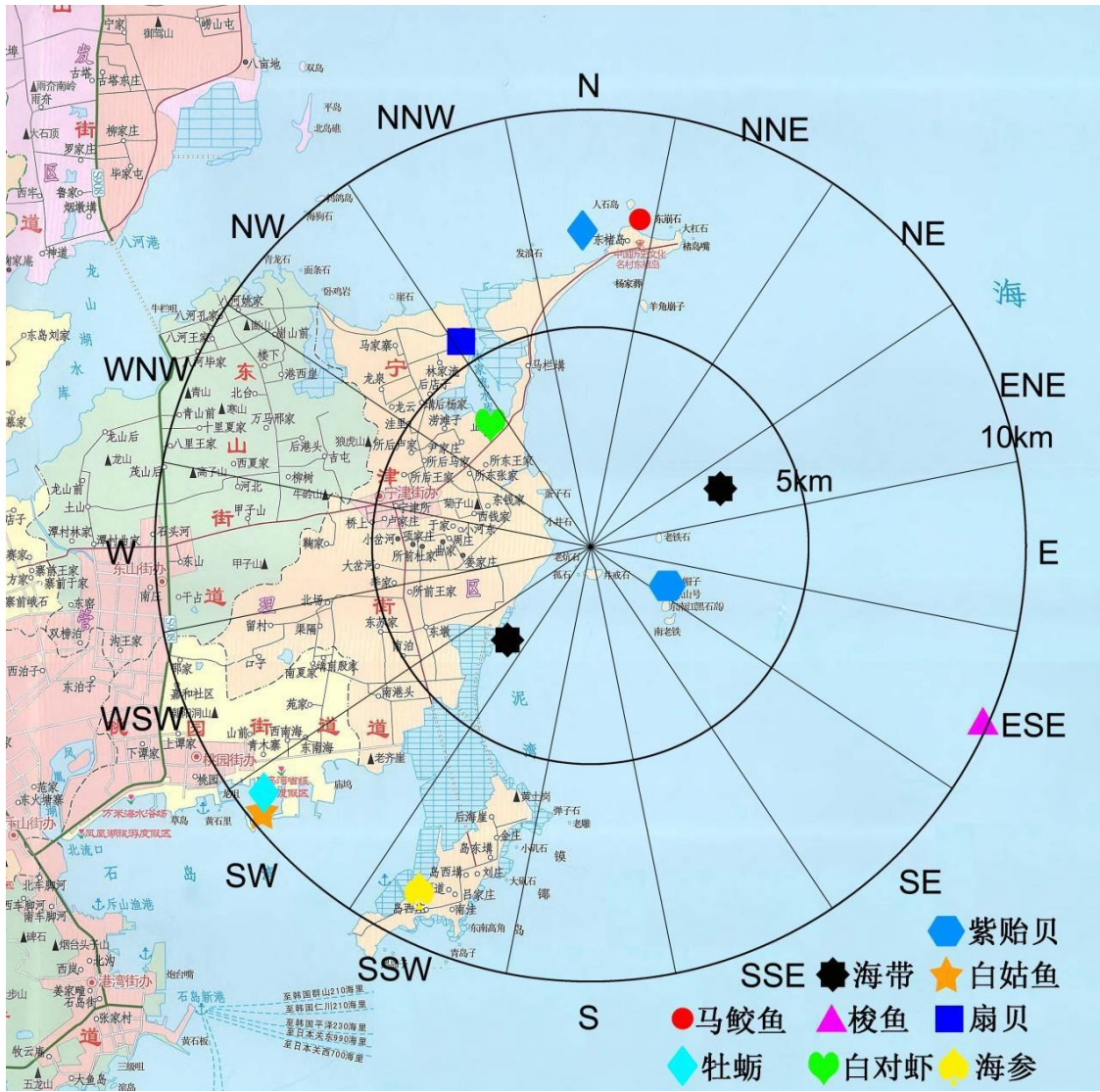
山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
地表水（底泥）、地下水、饮用水、 水生生物监测布点图（对照点）		
图 3.1-3（2/2）	版次：	A

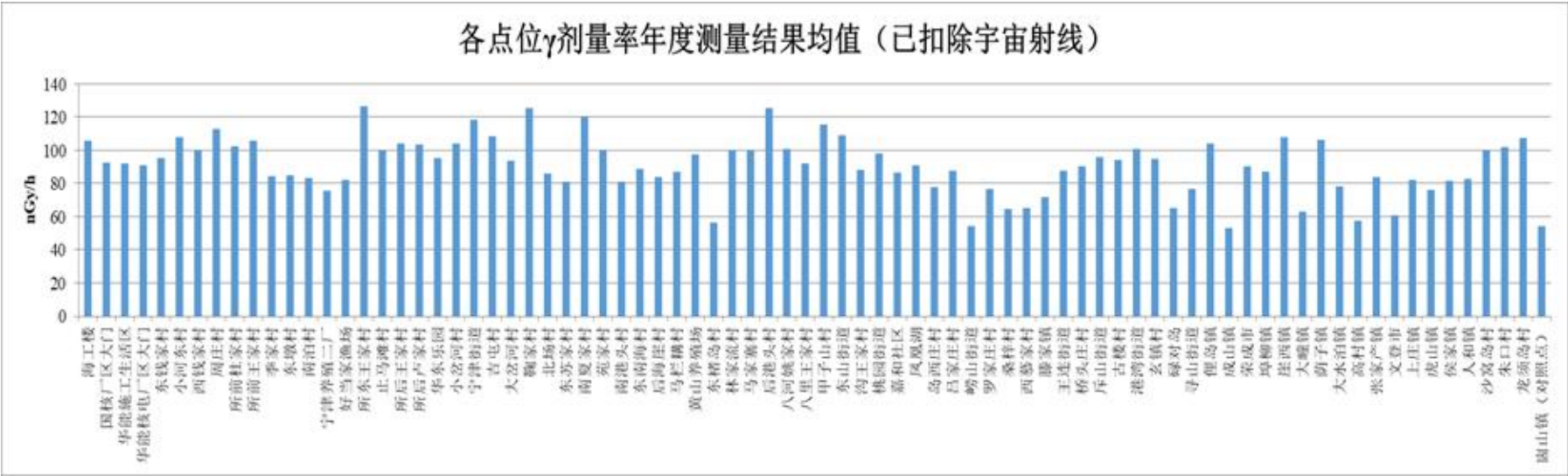


山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
陆生生物、水生生物采样点示意图		
图 3.1-4	版次:	A

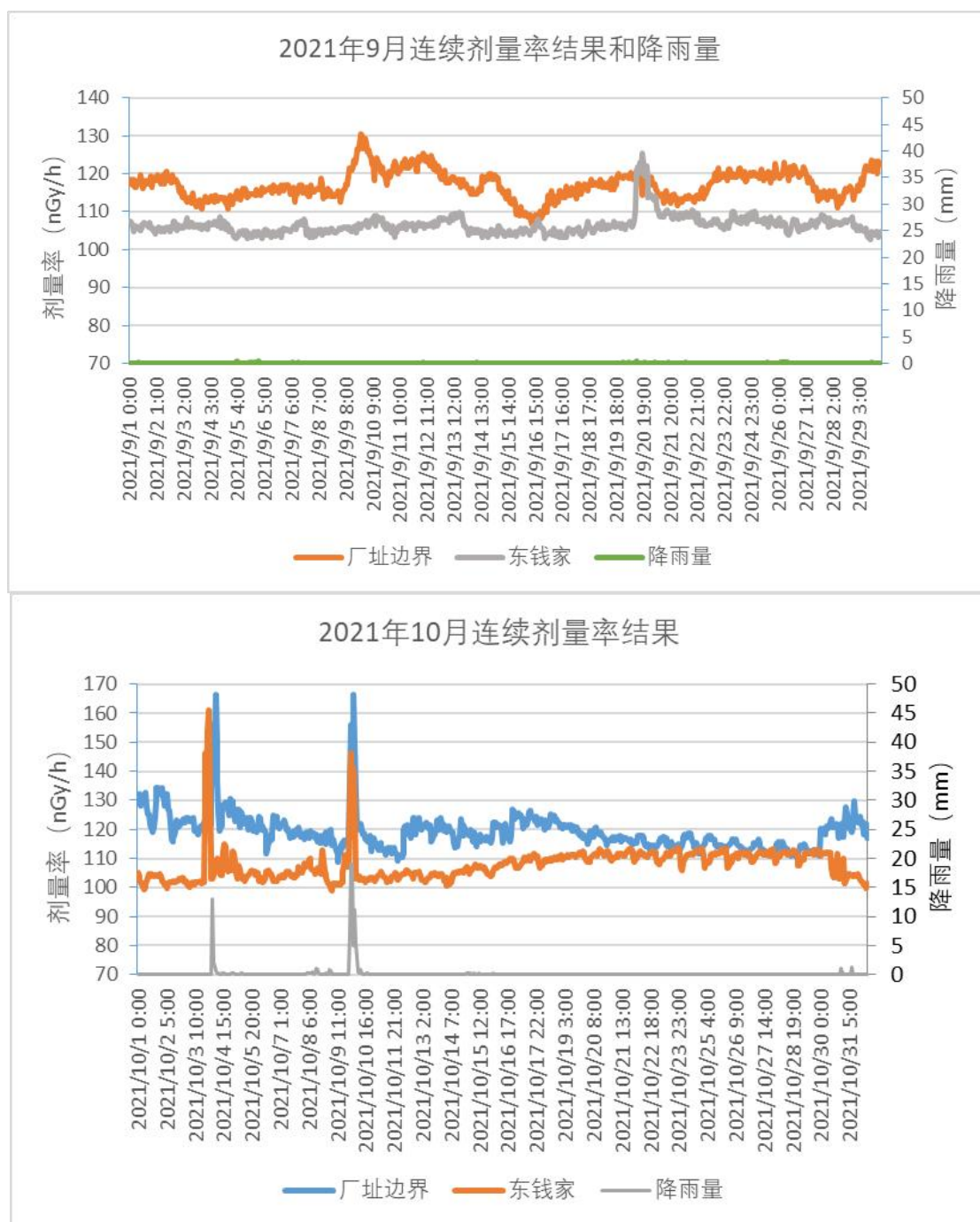


山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
海水、海洋沉积物采样点示意图		
图 3.1-5	版次：	A

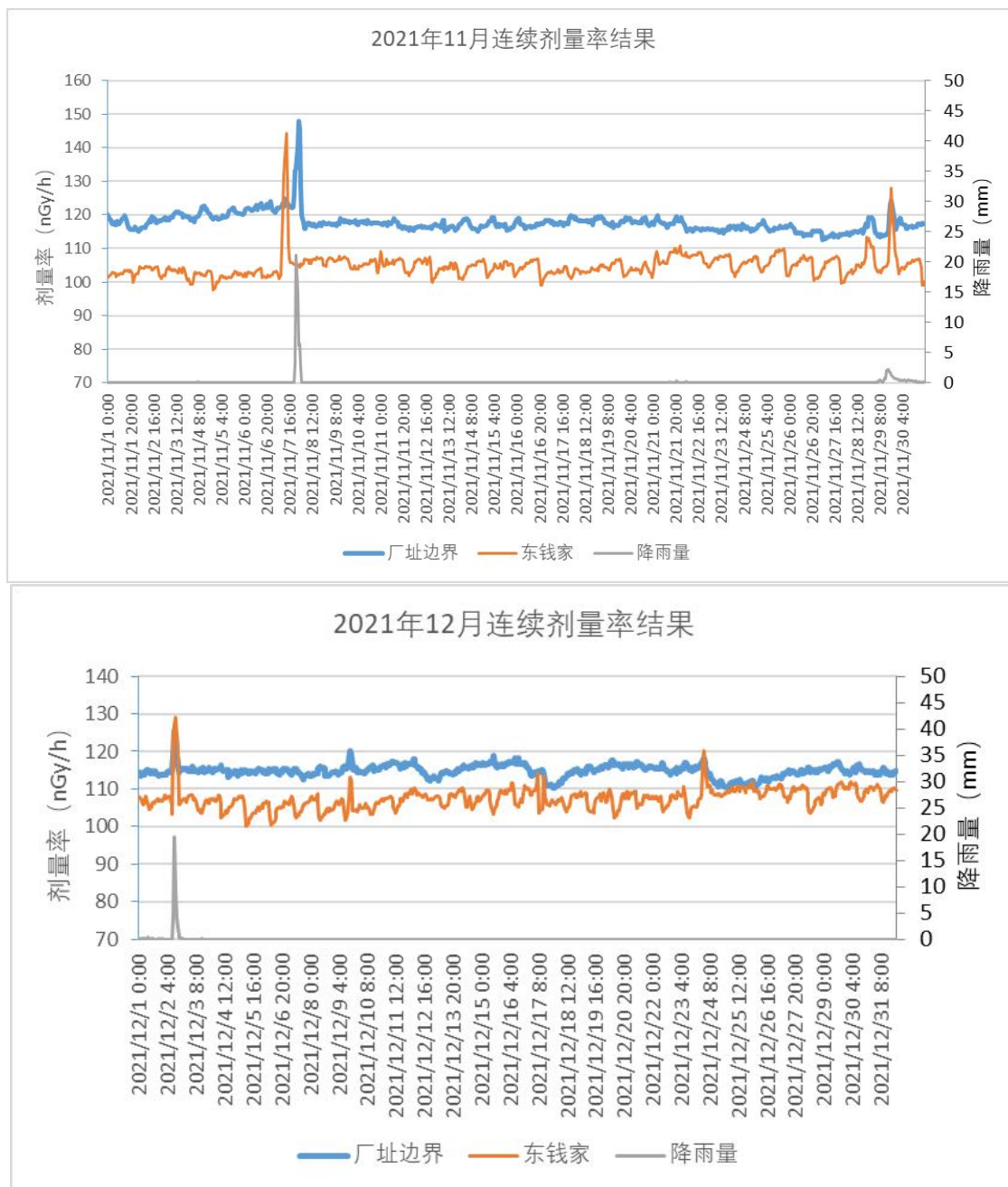




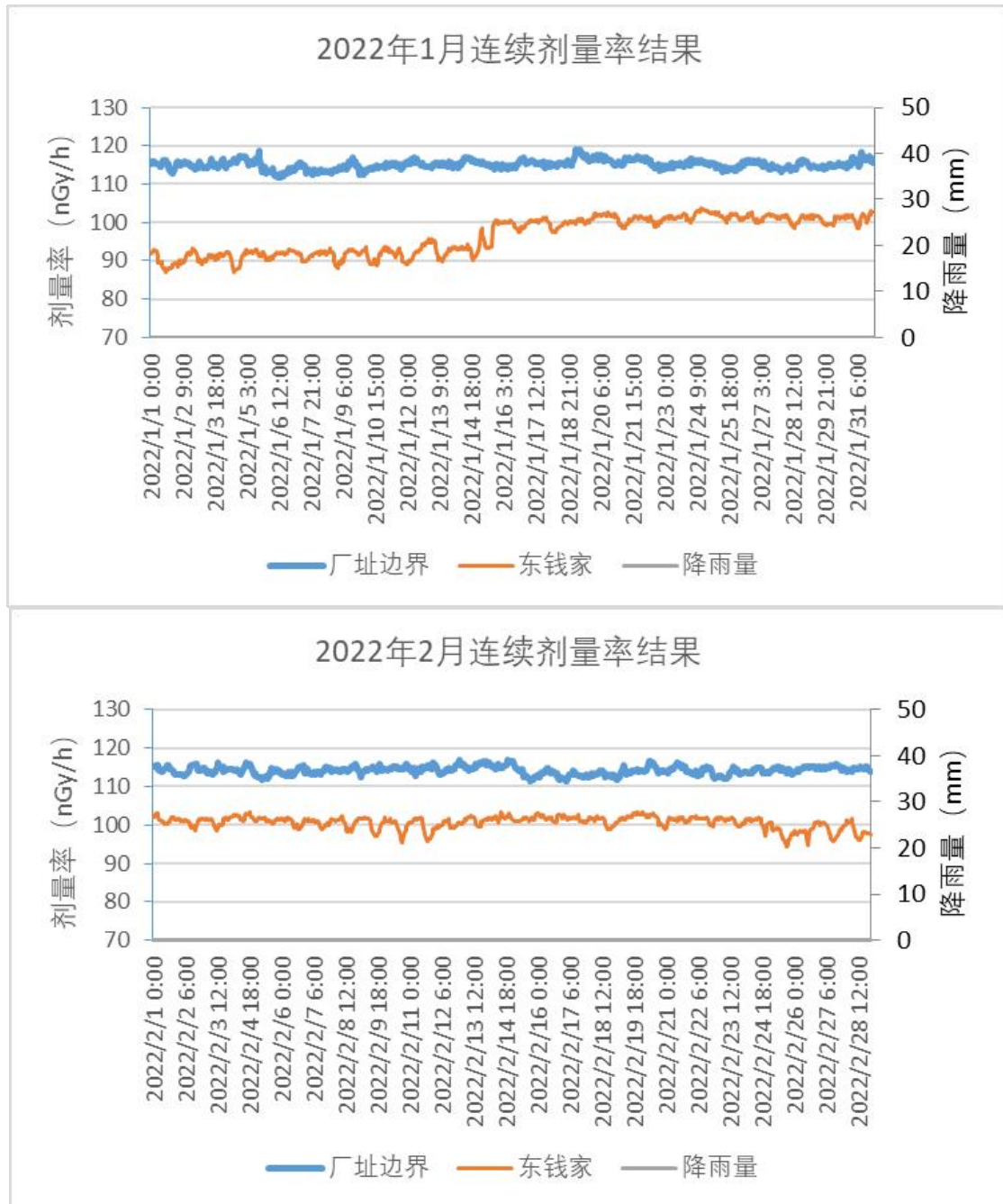
山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
地表 γ 辐射剂量率测量结果（已扣除宇宙射线成分）		
图 3.1-7	版次：	A



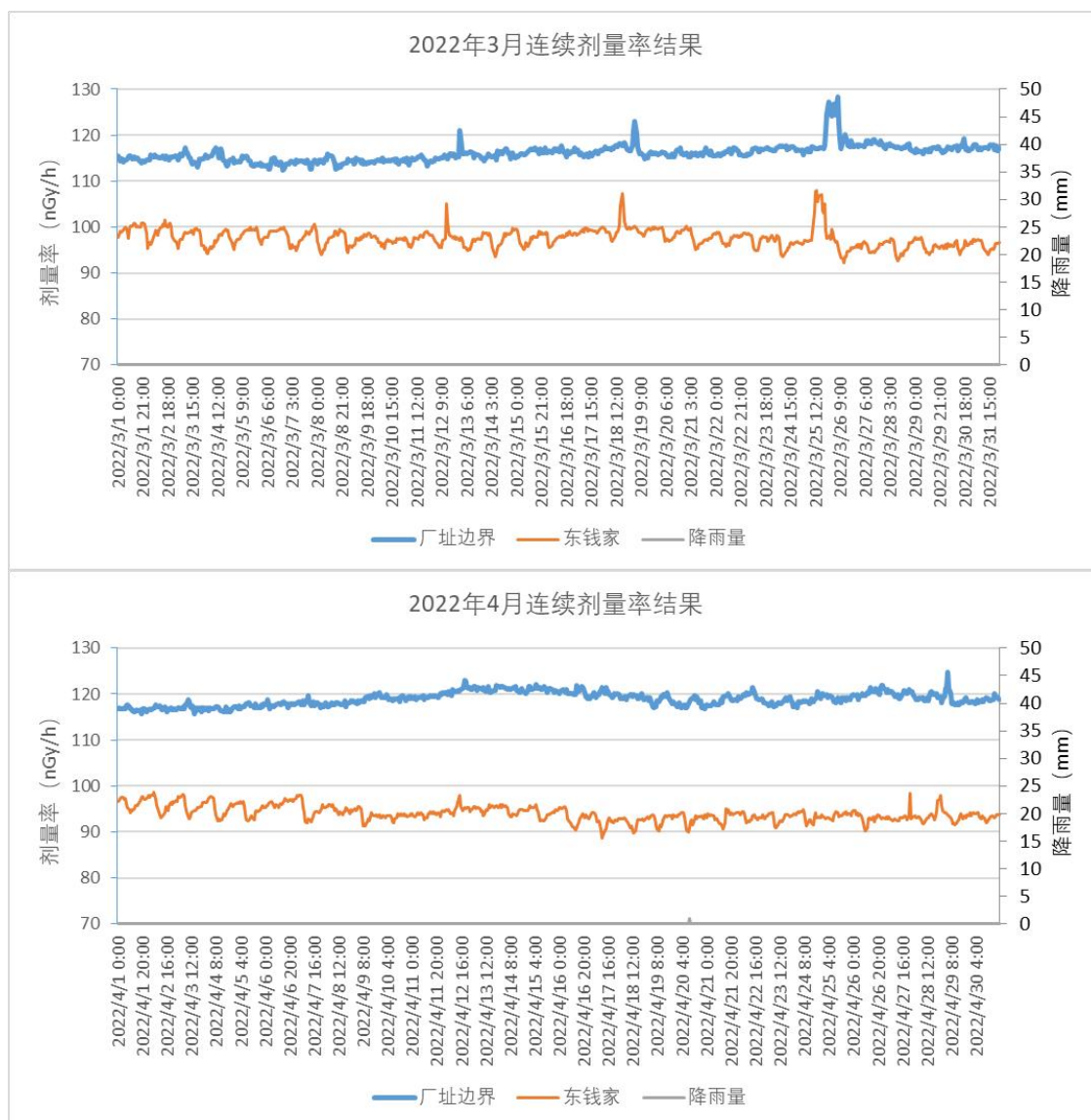
山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
辐射剂量率与雨量连续监测结果 （2021年9~10月）		
图 3.1-8（1/8）	版次：	A



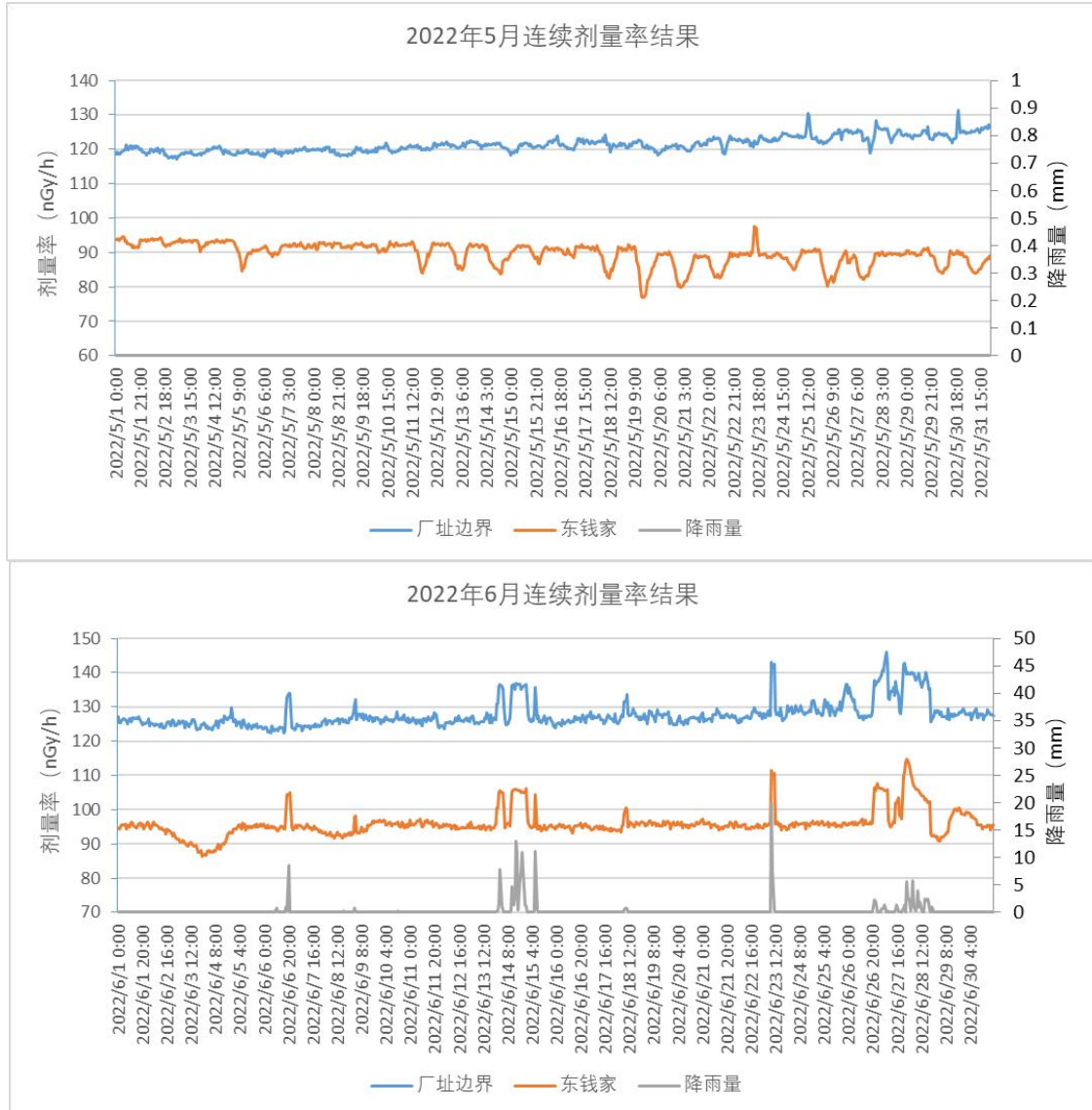
山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
辐射剂量率与雨量连续监测结果 （2021年11~12月）		
图 3.1-8（2/8）	版次：	A



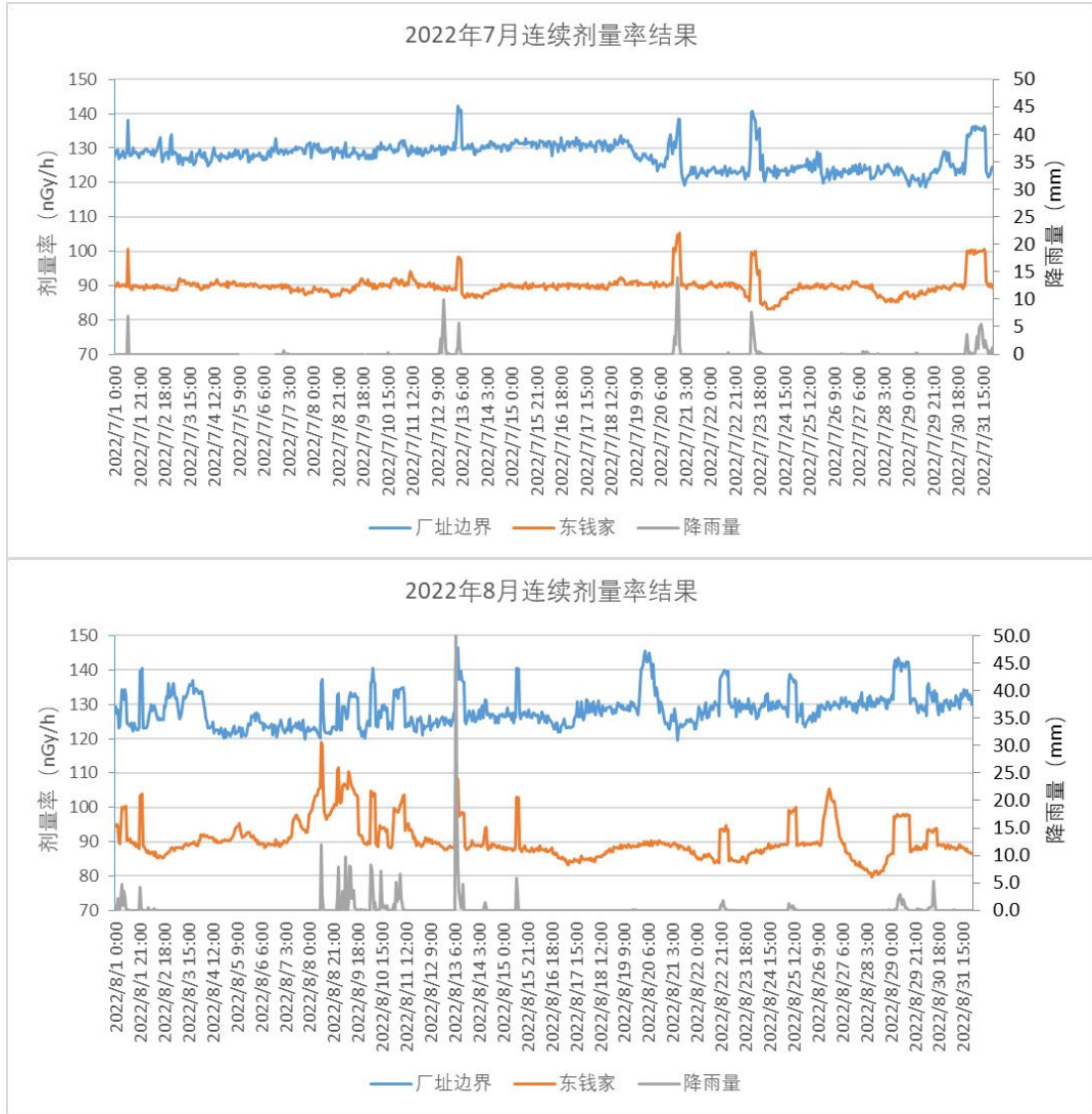
山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
辐射剂量率与雨量连续监测结果 （2022年1月~2022年2月）		
图 3.1-8（3/8）	版次：	A



山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
辐射剂量率与雨量连续监测结果 （2022年3~4月）		
图 3.1-8（4/8）	版次：	A



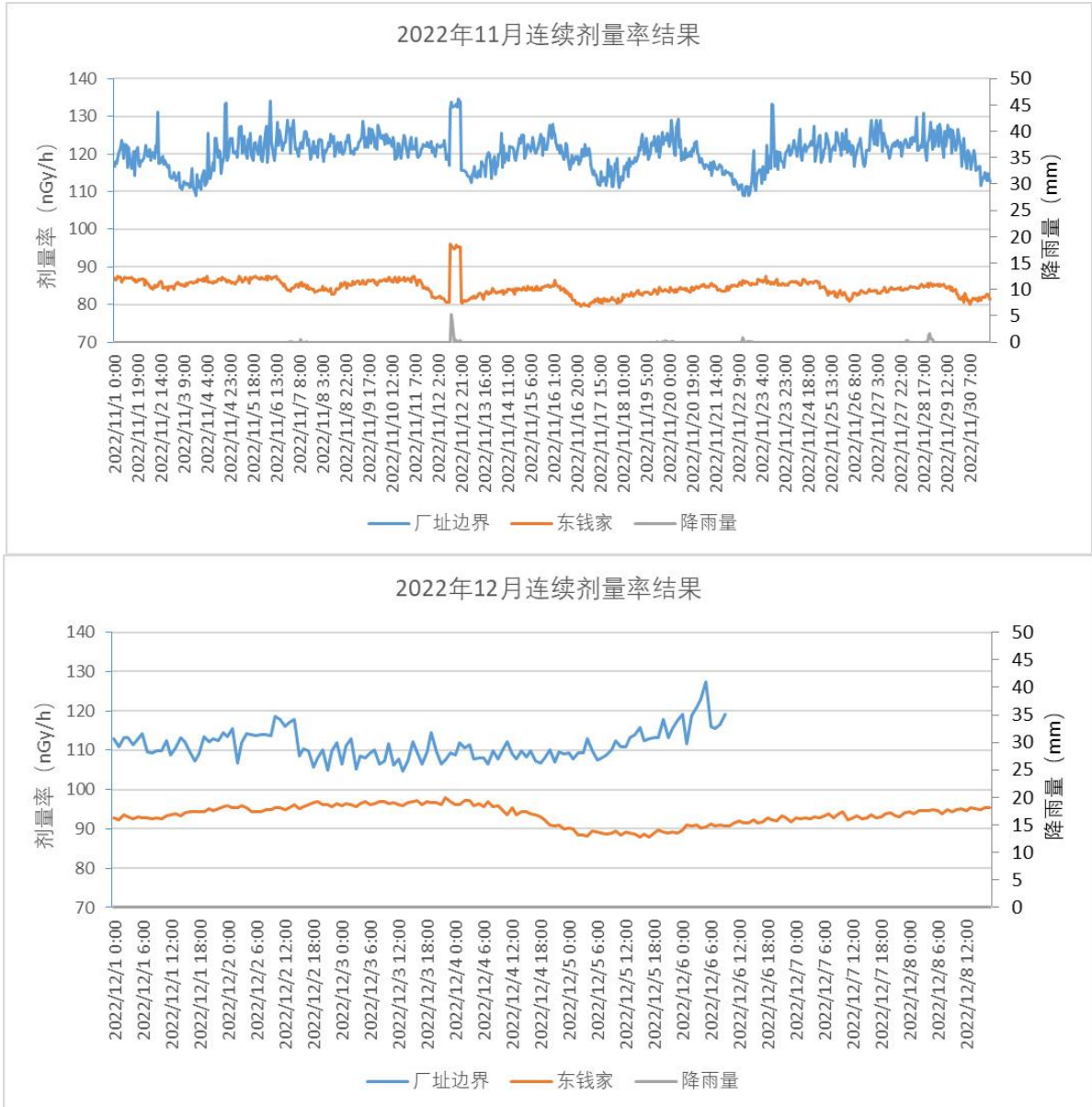
山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
辐射剂量率与雨量连续监测结果 （2022 年 5~6 月）		
图 3.1-8（5/8）	版次：	A



山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
辐射剂量率与雨量连续监测结果 （2022年7~8月）		
图 3.1-8（6/8）	版次：	A



山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
辐射剂量率与雨量连续监测结果 （2022年9~10月）		
图 3.1-8（7/8）	版次：	A



山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
辐射剂量率与雨量连续监测结果 （2022年11~12月）		
图 3.1-8（8/8）	版次：	A

3.2 非辐射环境质量现状

3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

3.2.2 声环境质量现状调查与评价

3.2.3 受纳水体环境质量现状调查与评价

3.2.4 电磁环境质量现状调查与评价

3.2.5 质量保证及质量控制

3.2.6 参考资料

表

表 3.2-1 2023 年第四季度大气环境空气质量现状调查结果

表 3.2-2 2023 年第四季度声环境质量监测结果

表 3.2-3 厂址附近海域海水水质监测站位置（15km 范围内）

表 3.2-4 厂址附近海域秋季海水水质评价结果（15km 范围内）

表 3.2-5 厂址附近海域冬季海水水质评价结果（15km 范围内）

表 3.2-6 厂址附近海域春季海水水质评价结果（15km 范围内）

表 3.2-7 厂址附近海域夏季海水水质评价结果（15km 范围内）

表 3.2-8 厂址附近海域海洋沉积物评价结果（15km 范围内）

表 3.2-9 厂址附近海域海洋生物质量评价结果（15km 范围内）

表 3.2-10 厂址周围工频电场、工频磁场测量结果

图

图 3.2-1 大气环境监测点位示意图

图 3.2-2 声环境监测点位示意图

图 3.2-3 海水水质调查布点示意图

3.2 非辐射环境质量现状

3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

根据《荣成市2023年国民经济和社会发展统计公报》，荣成市二氧化硫浓度年均值 $6\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；二氧化氮浓度年均值 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；可吸入颗粒物（ PM_{10} ）浓度年均值 $39\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，达到国家一级标准；细颗粒物（ $\text{PM}_{2.5}$ ）浓度年均值 $19\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，达到国家二级标准；环境空气质量达到国家二级标准，全年空气质量优良天数达到337天，优良率达到93.7%。厂址半径5km范围内空气污染源主要是建筑施工扬尘、汽车尾气等。

2023年，山东同济测试科技股份有限公司（CMA资质证书号211520341589）受委托开展了厂址周围大气环境质量监测，对2023年度第四季度的数据进行评价。对厂界（设4个点位）监测因子包括非甲烷总烃、颗粒物、 SO_2 、 NO_x 小时平均值，对周围环境敏感点（东钱家村、西钱家村、于家村）的监测因子包括 SO_2 、 NO_2 、 O_3 、CO小时平均值和日均值，TSP、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 日均值。监测布点图见图3.2-1，监测数据见表3.2-1。

监测结果表明，厂界无组织颗粒物浓度为 $0.233\text{mg}/\text{m}^3\sim 0.296\text{mg}/\text{m}^3$ ，小于《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）要求的无组织排放监控浓度限值 $1.0\text{mg}/\text{m}^3$ ；无组织 SO_2 浓度为 $0.008\text{mg}/\text{m}^3\sim 0.013\text{mg}/\text{m}^3$ ，小于《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）要求的无组织排放监控浓度限值 $0.4\text{mg}/\text{m}^3$ ；无组织 NO_x 浓度为 $0.018\text{mg}/\text{m}^3\sim 0.029\text{mg}/\text{m}^3$ ，小于《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）要求的无组织排放监控浓度限值 $0.12\text{mg}/\text{m}^3$ ；无组织非甲烷总烃浓度为 $0.12\text{mg}/\text{m}^3\sim 0.74\text{mg}/\text{m}^3$ ，小于《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）要求的无组织排放监控浓度限值 $4\text{mg}/\text{m}^3$ 。

厂址周边三个敏感点（东钱家村、西钱家村、于家村） SO_2 、 NO_2 、 O_3 、CO的小时值范围分别为 $0.007\text{mg}/\text{m}^3\sim 0.017\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.006\text{mg}/\text{m}^3\sim 0.012\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.051\text{mg}/\text{m}^3\sim 0.088\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.417\text{mg}/\text{m}^3\sim 0.562\text{mg}/\text{m}^3$ ， SO_2 、 NO_2 、 O_3 、CO、TSP、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 的日均值范围分别为 $0.008\text{mg}/\text{m}^3\sim 0.010\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.008\text{mg}/\text{m}^3\sim 0.011\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.073\text{mg}/\text{m}^3\sim 0.079\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.440\text{mg}/\text{m}^3\sim 0.535\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.171\text{mg}/\text{m}^3\sim 0.175\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.051\text{mg}/\text{m}^3\sim 0.059\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.031\text{mg}/\text{m}^3\sim 0.039\text{mg}/\text{m}^3$ ，均可满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中的二级标准限值要求。

3.2.2 声环境质量现状调查与评价

2023 年，华能山东石岛湾核电有限公司委托山东同济测试科技股份有限公司（CMA 证书编号 211520341589）开展了厂址周围噪声监测，对 2023 年第四季度的数据进行评价。厂址半径 5km 范围内的噪声污染源主要是生活噪声和交通噪声。

声环境质量现状调查中声环境保护目标监测点位分别位于东钱家村、西钱家村和于家村，其中进厂道路、应急道路附近的声环境保护目标位于于家村、西钱家村和东钱家村。监测布点图见图 3.2-2，监测数据见表 3.2-2。

2023 年第四季度监测结果表明，厂界昼间、夜间噪声最高值分别为 58.9dB（A）、47.0dB（A），施工准备区昼间、夜间噪声最高值分别为 64.4dB（A）、42.9dB（A），均满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）中昼间不超过 70dB（A），夜间不超过 55dB（A）的限值要求。三个敏感点昼间、夜间噪声最高值分别为 52.2dB（A）、40.0dB（A），均可满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中 1 类功能区昼间不超过 55dB（A）、夜间不超过 45dB（A）的限值要求。

3.2.3 受纳水体环境质量现状调查与评价

建设单位委托国家海洋局北海环境监测中心于 2023 年 11 月开展了秋季调查，2024 年 1 月、2024 年 4 月—5 月，2024 年 7 月—9 月分别开展了冬季调查、春季调查和夏季调查。现场调查范围以厂址二期工程排水口为中心向外扩展 50km 范围内的海域，调查大面站位共计 62 个水质站位，其中排水口半径 15km 范围内共计 34 个水质站位、21 个沉积物站位、22 个生态站位、7 个生物质量站位、4 条潮间带断面、16 个放射性现状站位。表 3.2-3 和图 3.2-3 给出了监测点位置。本节根据这四次的调查成果进行评价。

（1）海水水质

根据《山东省近岸海域环境功能区划（2016—2020 年）》及鲁环函〔2022〕88 号文，排水口半径 15km 范围内位于各环境功能区的站位号如下：

二类环境功能区：1、2、3、7、8、10、11、13、14、15、16、37、38、48、22、23、24、27、45、W3、B6；

三类环境功能区：4、5、6、Q1、Q2、B7、9、12、25；

四类环境功能区：21、B9；

混合区：P、B8；

本次海洋水质调查的项目有：pH、溶解氧、化学需氧量、生化需氧量、总碱度、总磷、总氮、活性硅酸盐、活性磷酸盐、无机氮（硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐）、总悬浮物、氰化物、硫化物、挥发性酚、石油类、重金属（铜、铅、镉、总铬、锌、汞、砷、银、锰、硼）、多环芳烃、多氯联苯、余氯、氟化物。海水水质评价采用单项标准指数法。根据各站位的近岸海域环境功能区划水质保护目标，各季度的海水水质评价结果见表 3.2-4—表 3.2-7，根据表格可知：

秋季调查中，排水口 15km 范围的站位水质均符合《山东省近海海域环境功能区划（2016—2020 年）》及相关文件要求。

冬季调查中，排水口 15km 范围 38 号站无机氮及 2 号站铜共计 2 个站位不符合《山东省近海海域环境功能区划（2016—2020 年）》要求，超标率为 5.9%。

本次冬季调查 38 号站位无机氮超二类海水水质标准，因其距陆地较远（14km），主要来源可能是附近渔船产生的生活污水。2 号站位海水中铜离子升高的主要原因一方面可能是沉积物的再悬浮另一方面则可能来源于船只防腐材料的使用，本次调查中沉积物中铜含量较为均匀，周边无大型生产企业，因此推测铜离子的升高可能是受到了附近船只燃料油或防腐材料的影响。以上两个站位超标指数分别为 1.04 和 1.17，超标比例较小，根据北海区历年海洋环境公报，近岸海域受陆源输入和人类活动影响无机氮和活性磷酸盐超标情况较为常见，重金属也存在个别站位偶发性超标情况。

春季调查中，排水口 15km 范围的站位水质均符合《山东省近海海域环境功能区划（2016—2020 年）》及相关文件要求。

夏季调查中，排水口 15km 范围的站位水质均符合《山东省近海海域环境功能区划（2016—2020 年）》及相关文件要求。

根据调查结果，厂址排水口附近海域海水水质较好。

（2）海洋沉积物

排水口 15km 范围内的海洋沉积物调查站点有：P（未采集到样品）、Q1、Q2、1、4、6（未采集到样品）、8、9、12、14、15、21、24、27、45、48、W3、B6、B7（未采集到样品）、B8、B9。大面站沉积物质量调查结果按一类标准评价结果见表 3.2-8，根据结果：

硫化物、有机碳、油类、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷等 10 项指标的一类标准指

数均小于 1，评价指标均符合海洋沉积物质量第一类标准，未存在超标情况。

（3）海洋生物质量

排水口 15km 范围内的生物质量调查站位有：Y20、Y10、Y12、Y29、Y11、Y1、Y2 共 7 个站位。海洋生物质量评价结果见表 3.2-9，根据结果：

秋季调查中鱼类、甲壳类、软体类中铜、铅、锌、镉、汞和石油烃均未超过《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规范》和《第二次全国海洋污染基线调查规程》中重金属和石油烃评价标准值。鱼类、甲壳类和软体类中 666 和激素含量均未检出。秋季甲壳类、软体类、鱼类体内 DDT 含量均未检出。

春季调查中鱼类、甲壳类中铜、铅、锌、镉、汞和石油烃均未超过《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规范》和《第二次全国海洋污染基线调查规程》中重金属和石油烃评价标准值。鱼类、甲壳类中 666、DDT 和激素含量均未检出。

3.2.4 电磁环境质量现状调查与评价

山东同济测试科技股份有限公司（CMA 证书编号 211520341589）于 2023 年 5 月 16 日—17 日和 2024 年 5 月 7 日—8 日开展了厂区电磁辐射监测。监测对象为厂址区域，监测结果见表 3.2-10。

结果表明 2023 年厂址区域工频电场强度范围为：0.30V/m~279.5V/m，工频磁感应强度范围为：0.013μT~2.643μT；2024 年厂址区域工频电场强度范围结果为：0.35V/m~2298V/m，工频磁感应强度范围结果为：0.036μT~1.411μT。所有监测点位监测结果均满足《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）中工频电场小于 4000V/m、磁感应强度小于 100μT 的限值要求。

3.2.5 质量保证及质量控制

3.2.5.1 大气环境质量现状调查

山东同济测试科技股份有限公司具备 CMA 资质证书（211520341589），在资质认定允许范围内开展本项目监测工作。废气监测的质量保证按照《固定污染源监测质量保证与质量控制技术规范（试行）》（HJ/T 373-2007）和《大气污染物无组织排放监测技术导则》（HJ/T 55-2000）；环境空气监测质量保证按照《环境空气质量手工监测技术

规范》（HJ 194-2017）的要求与规定进行全过程质量控制。监测仪器经计量部门检验并在有效期内使用，监测人员持证上岗，监测数据经三级审核。

3.2.5.2 声环境质量现状调查

山东同济测试科技股份有限公司具备 CMA 资质证书（211520341589），在资质认定允许范围内开展本项目监测工作。噪声监测质量保证按照国家相关标准中噪声测量标准方法的有关规定进行：测量仪器和声校准器在检定规定的有效期限内使用；监测人员持证上岗；测量前后在测量的环境中用声校准器校准测量仪器，示值偏差不得大于 0.5dB，否则，本次测量无效，重新校准测量仪器，重新进行监测；测量时传声器加防风罩；记录影响测量结果的噪声源。

3.2.5.3 受纳水体环境质量现状调查

项目承担单位严格按照国家海洋局北海环境监测中心质量管理体系的相关要求及质量保证大纲中的质量控制方法实施全程质量控制工作。项目质保组组织开展调查项目的航前检查、航次内控等质控措施。实验室分析人员严格按照规程、规范、技术工作大纲的要求操作，并对样品分析测试的质量负责。

样品采集及分析过程中的质量控制严格按照《海洋监测规范》（GB 17378-2007）、《海洋调查规范》（GB 12763-2007）以及海域水生生态调查质量保证大纲执行。

按照核电项目水质生态环境调查中的质量控制方法和要求，每个航次按照不少于大面站样品总数的 10%数量进行水质平行样测试。水质采用平行样测试来检验分析结果的精密度，采用内控标准物测试和加标测试来检查分析结果的准确度；生物体分析结果的质量控制采用内控标准物质测试来检验分析结果的准确度。通过以上措施进行调查工作质量控制，以保证调查结果符合质量要求。

（1）水质平行样的相对偏差允许值，满足相关分析方法及本项目制定目标值的要求。样品加标回收率，不得超出方法给出的范围值。

（2）标准样品的测试结果应在给定保证值的范围内。

（3）每批平行样合格率在 90%以上，分析结果有效；合格率在 70%~90%时随机抽 30%的样品进行复查，复查结果与原结果总合格率达 90%以上时，结果有效；合格率为 50%~70%时，应复查 50%的样品，累计合格率达 90%以上时，结果有效；合格

率小于 50%时，需重新取样分析；上报数据时，按平行双样结果的均值计算。

（4）当质控样超出允许误差时，应重新分析超差的质控样并随机抽取一定比例样品进行复查。如复查的质控样品合格且复查样品的结果与原结果不超出平行双样允许偏差，则原分析结果有效；如复查的质控样仍不合格，表明本批分析结果准确度失控，分析结果不得接受，应找出原因加以排除后，再行分析。

水质质量控制结果表明，水质要素分析均符合质量控制要求。

3.2.5.4 电磁环境质量现状调查

山东同济测试科技股份有限公司具备 CMA 资质证书（211520341589），在资质认定允许范围内开展本项目监测工作。在项目现场工作开展前编制了项目工作大纲及质保大纲并经专家审评。

公司成立了项目质保机构，制定了质保工作方案，以开展对各个环节的相关工作进行质量检查和质量指导，确定抽查方案，对争议质量问题进行处理，对检查中发现的问题，分析原因并采取纠正和预防措施。

公司参与项目的人员均经考核并持有公司颁发的监测上岗证。测量方法选用国家标准、行业标准或者国家检定规程规定的方法。质保组负责确保使用的标准、规程、技术规范和校准方法是现行有效的版本。

项目开展前，设备管理员核查相关仪器设备，并做好核查记录，确保所有仪器均能正常使用。在项目进行过程中，设备管理员负责设备的检定、校准、维修、报废工作，并做好相应的记录，保证设备在计量检定或校准的有效范围内使用。

参与本项目的仪器设备，按照量值溯源关系，定期经计量部门检定/校准，保证检定或校准结果能够溯源到国家计量基准，检定/校准合格后可使用，并定期进行期间核查。

3.2.6 参考资料

- [1] 山东石岛湾核电站厂址邻近海域水生生态与渔业资源调查最终成果报告（B 版），国家海洋局北海环境监测中心，2025 年 3 月。

表 3.2-1（1/2） 2023 年第四季度大气环境空气质量现状调查结果

（一）环境敏感点大气环境空气质量监测结果（单位：mg/m³）

点位	采样日期	采样时间	SO ₂	NO ₂	O ₃	CO	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
东钱家村	11.15	小时值	0.007	0.006	0.067	0.531	-	-	-
		小时值	0.007	0.006	0.076	0.542	-	-	-
		小时值	0.012	0.008	0.051	0.531	-	-	-
		小时值	0.013	0.006	0.088	0.500	-	-	-
		日均值	0.009	0.008	0.076	0.533	0.172	0.057	0.031
	11.16	小时值	0.009	0.012	-	0.417	-	-	-
		小时值	0.012	0.010	-	0.458	-	-	-
		小时值	0.009	0.012	-	0.479	-	-	-
		小时值	0.009	0.011	-	0.448	-	-	-
		日均值	0.009	0.011	-	0.445	0.173	0.051	0.038
西钱家村	11.15	小时值	0.011	0.008	0.081	0.562	-	-	-
		小时值	0.009	0.008	0.069	0.490	-	-	-
		小时值	0.008	0.009	0.063	0.521	-	-	-
		小时值	0.009	0.010	0.084	0.552	-	-	-
		日均值	0.008	0.009	0.079	0.535	0.171	0.053	0.038
	11.16	小时值	0.010	0.010	-	0.427	-	-	-
		小时值	0.011	0.009	-	0.438	-	-	-
		小时值	0.009	0.008	-	0.448	-	-	-
		小时值	0.008	0.010	-	0.417	-	-	-
		日均值	0.009	0.009	-	0.445	0.171	0.053	0.039
于家村	11.15	小时值	0.007	0.007	0.084	0.500	-	-	-
		小时值	0.007	0.008	0.068	0.531	-	-	-
		小时值	0.009	0.009	0.063	0.531	-	-	-
		小时值	0.007	0.010	0.065	0.562	-	-	-
		日均值	0.008	0.008	0.073	0.530	0.175	0.059	0.039
	11.16	小时值	0.011	0.010	-	0.417	-	-	-
		小时值	0.017	0.009	-	0.448	-	-	-
		小时值	0.014	0.010	-	0.448	-	-	-
		小时值	0.012	0.009	-	0.438	-	-	-
		日均值	0.010	0.009	-	0.440	0.174	0.056	0.031
评价标准(GB 3095-2012)	二级浓度限值	小时值	≤0.5	≤0.2	≤0.2	≤10	-	-	-
		最大值占标率	3.4%	6%	44%	5.62%	-	-	-
		日均值	≤0.15	≤0.08	≤0.16	≤4	≤0.30	≤0.15	≤0.075
		最大值占标率	6%	13.75%	49.38%	13.37%	58.33%	39.3%	52%

表 3.2-1（2/2） 2023 年第四季度大气环境空气质量现状调查结果

（二）厂界大气环境空气质量监测结果（单位：mg/m³）

点位	采样日期	TSP	SO ₂	NO _x	非甲烷总烃
厂界外上风向 1 [#]	11.20	0.234	0.010	0.019	0.33
		0.238	0.008	0.020	0.36
		0.239	0.011	0.018	0.35
		0.238	0.009	0.019	0.32
	11.21	0.234	-	0.018	0.22
		0.233	-	0.018	0.31
		0.235	-	0.019	0.30
		0.235	-	0.018	0.32
厂界外下风向 2 [#]	11.20	0.258	0.013	0.027	0.34
		0.269	0.009	0.023	0.34
		0.295	0.008	0.021	0.35
		0.278	0.009	0.024	0.31
	11.21	0.278	-	0.029	0.30
		0.268	-	0.029	0.32
		0.281	-	0.026	0.34
		0.294	-	0.027	0.32
厂界外下风向 3 [#]	11.20	0.272	0.010	0.021	0.37
		0.277	0.009	0.023	0.34
		0.273	0.011	0.023	0.36
		0.274	0.010	0.023	0.34
	11.21	0.268	-	0.023	0.58
		0.293	-	0.019	0.74
		0.287	-	0.023	0.71
		0.289	-	0.024	0.12
厂界外下风向 4 [#]	11.20	0.296	0.010	0.025	0.32
		0.293	0.013	0.023	0.32
		0.274	0.011	0.024	0.33
		0.288	0.009	0.023	0.33
	11.21	0.263	-	0.026	0.24
		0.265	-	0.024	0.29
		0.289	-	0.024	0.32
		0.284	-	0.023	0.34
评价标准（GB 16297-1996）	无组织排放监控浓度限值	≤1.0	≤0.40	≤0.12	≤4.0
	最大值占标率	29.6%	3.25%	24.16%	18.5%

表 3.2-2 2023 年第四季度声环境质量监测结果

单位：dB(A)

检测点位	11.15		11.16	
	昼间	夜间	昼间	夜间
东厂界 1 [#]	58.8	44.2	56.9	43.4
南厂界 2 [#]	57.1	43.2	57.1	44.6
西厂界 3 [#]	58.6	45.4	58.9	46.4
北厂界 4 [#]	57.7	42.2	57.9	47.0
施工准备区	64.4	42.9	64.4	39.9
评价标准（GB 12523-2011）	70	55	70	55
最大值占标率	92%	82.5%	92%	85.4%
东钱家村	50.6	40.0	52.2	38.6
西钱家村	51.0	39.1	50.0	38.2
于家村	49.5	39.2	49.6	38.0
评价标准（GB 3096-2008）	55	45	55	45
最大值占标率	92.7%	88.9%	94.9%	85.8%

表 3.2-3 厂址附近海域海水水质监测站位置（15km 范围内）

序号	站号	经度（E）	纬度（N）	调查项目
1	1	122°33'00.00"	37°01'30.00"	水质（放射性）、沉积物（放射性）、生态
2	2	122°35'00.00"	37°01'30.00"	水质
3	3	122°37'00.00"	37°01'30.00"	水质
4	4	122°33'03.60"	36°59'52.80"	水质（放射性）、沉积物（放射性）、生态
5	5	122°35'00.00"	37°00'00.00"	水质
6	6	122°35'09.60"	36°58'26.40"	水质（放射性）、沉积物（放射性）、生态
7	7	122°37'00.00"	36°58'30.00"	水质
8	8	122°41'31.20"	36°58'33.60"	水质（放射性）、沉积物（放射性）、生态
9	9	122°32'49.20"	36°55'51.60"	水质（放射性）、沉积物（放射性）、生态
10	10	122°35'00.00"	36°55'30.00"	水质
11	11	122°37'00.00"	36°55'30.00"	水质
12	12	122°32'56.40"	36°57'18.00"	水质（放射性）、沉积物（放射性）、生态
13	13	122°36'00.00"	36°53'00.00"	水质
14	14	122°29'58.00"	36°52'07.00"	水质（放射性）、沉积物（放射性）、生态
15	15	122°32'52.00"	36°52'59.00"	水质（放射性）、沉积物（放射性）、生态
16	16	122°42'15.00"	37°01'24.00"	水质
17	21	122°26'51.00"	36°53'26.00"	水质（放射性）、沉积物（放射性）、生态
18	22	122°28'25.00"	36°55'01.00"	水质
19	23	122°31'15.00"	37°04'06.00"	水质
20	24	122°34'36.00"	37°04'18.00"	水质（放射性）、沉积物（放射性）、生态
21	25	122°34'37.20"	36°58'22.80"	水质、生态
22	27	122°38'10.00"	37°03'59.00"	水质（放射性）、沉积物（放射性）、生态
23	37	122°34'01.00"	36°50'47.00"	水质
24	38	122°40'04.00"	36°52'56.00"	水质
25	45	122°28'37.00"	37°03'51.00"	水质（放射性）、沉积物（放射性）、生态
26	48	122°42'08.00"	36°55'27.00"	水质（放射性）、沉积物（放射性）、生态
27	P	122°33'31.20"	36°58'26.04"	水质（放射性）、生态（连续站）、沉积物（放射性）、污损生物
28	Q1	122°32'38.06"	36°59'16.10"	水质、生态（连续站）、沉积物、污损生物
29	Q2	122°31'47.00"	36°57'14.83"	水质、生态（连续站）、沉积物、污损生物
30	W3	122°28'05.93"	37°04'37.47"	水质（放射性）、沉积物、生态
31	B6	122°28'10.57"	37°02'49.21"	水质、沉积物、生态
32	B7	122°32'45.60"	36°58'13.00"	水质、沉积物、生态（结合实际情况选取池内代表性区域）
33	B8	122°32'45.60"	36°58'15.44"	水质（放射性）、沉积物、生态（结合实际情况选取池内代表性区域）
34	B9	122°26'25.06"	36°54'37.59"	水质、沉积物、生态

表 3.2-4（1/3） 厂址附近海域秋季海水水质评价结果（15km 范围内）

站号	层次	pH	DO	COD	活性 磷酸盐	无机氮	总铬	铜	锌	镉	铅	砷	汞	油类	BOD ₅	硫化物	挥发性酚	氰化物
4	表	0.42	0.02	0.08	0.34	0.17	0.02	0.00	0.13	0.01	0.04	0.03	0.12	0.06	0.22	0.000	0.00	0.00
1	表	0.23	0.62	0.13	0.42	0.23	0.03	0.03	0.22	0.01	0.07	0.05	0.39	0.32	0.33	0.000	0.00	0.00
2	表	0.17	0.60	0.18	0.33	0.28	0.03	0.04	0.18	0.01	0.05	0.05	0.42	0.30	0.28	0.000	0.00	0.15
2	底	0.20	0.38	0.13	0.47	0.25	0.03	0.03	0.20	0.01	0.13	0.05	0.48	0.00	0.26	0.000	0.00	0.11
5	表	0.42	0.54	0.13	0.28	0.14	0.02	0.01	0.06	0.00	0.02	0.03	0.18	0.06	0.21	0.000	0.00	0.00
5	底	0.42	0.06	0.11	0.33	0.14	0.02	0.00	0.09	0.00	0.03	0.03	0.18	0.00	0.19	0.000	0.00	0.00
6	表	0.41	0.01	0.07	0.46	0.18	0.02	0.00	0.07	0.02	0.06	0.03	0.15	0.02	0.21	0.000	0.00	0.00
6	底	0.41	0.48	0.21	0.34	0.14	0.02	0.01	0.07	0.00	0.02	0.03	0.17	0.00	0.19	0.000	0.00	0.00
7	表	0.20	0.23	0.19	0.48	0.22	0.03	0.07	0.19	0.01	0.07	0.05	0.26	0.63	0.22	0.000	0.00	0.00
7	底	0.23	0.64	0.26	0.27	0.20	0.03	0.09	0.24	0.01	0.08	0.05	0.41	0.00	0.25	0.000	0.00	0.00
8	表	0.23	0.05	0.34	0.44	0.28	0.03	0.02	0.14	0.01	0.05	0.05	0.04	0.29	0.29	0.000	0.00	0.00
8	中	0.26	0.63	0.39	0.69	0.28	0.03	0.02	0.15	0.03	0.14	0.05	0.00	0.00	0.29	0.000	0.00	0.00
8	底	0.26	0.00	0.46	0.46	0.27	0.03	0.02	0.15	0.03	0.08	0.05	0.00	0.00	0.26	0.004	0.00	0.00
9	表	0.41	0.02	0.08	0.45	0.19	0.01	0.00	0.24	0.00	0.03	0.03	0.16	0.02	0.14	0.000	0.00	0.00
10	表	0.20	0.06	0.29	0.36	0.21	0.03	0.21	0.15	0.01	0.05	0.05	0.21	0.24	0.29	0.000	0.00	0.00
10	底	0.17	0.60	0.24	0.36	0.24	0.03	0.15	0.15	0.01	0.04	0.05	0.22	0.00	0.25	0.000	0.00	0.00
11	表	0.17	0.03	0.11	0.43	0.20	0.03	0.11	0.20	0.01	0.11	0.05	0.53	0.16	0.26	0.000	0.00	0.00
11	中	0.20	0.60	0.27	0.40	0.22	0.03	0.14	0.17	0.01	0.10	0.05	0.54	0.00	0.24	0.000	0.00	0.00
11	底	0.20	0.60	0.06	0.45	0.24	0.03	0.00	0.21	0.01	0.07	0.05	0.84	0.00	0.23	0.000	0.00	0.00
12	表	0.41	0.22	0.15	0.44	0.21	0.01	0.00	0.19	0.01	0.03	0.03	0.18	0.03	0.14	0.000	0.00	0.00
13	表	0.14	0.02	0.22	0.40	0.28	0.03	0.24	0.16	0.01	0.06	0.04	0.29	0.35	0.27	0.000	0.00	0.00
13	中	0.20	0.60	0.25	0.25	0.15	0.03	0.18	0.15	0.05	0.05	0.05	0.27	0.00	0.25	0.000	0.00	0.00
13	底	0.20	0.60	0.30	0.24	0.15	0.03	0.18	0.19	0.01	0.05	0.05	0.26	0.00	0.24	0.000	0.00	0.00
14	表	0.20	0.08	0.19	0.35	0.21	0.03	0.32	0.34	0.02	0.08	0.05	0.20	0.27	0.29	0.000	0.00	0.00
14	底	0.17	0.03	0.27	0.32	0.25	0.03	0.40	0.32	0.02	0.05	0.05	0.25	0.00	0.25	0.000	0.00	0.00

表 3.2-4（2/3） 厂址附近海域秋季海水水质评价结果（15km 范围内）

站号	层次	pH	DO	COD	活性 磷酸盐	无机氮	总铬	铜	锌	镉	铅	砷	汞	油类	BOD5	硫化物	挥发性酚	氰化物
15	表	0.17	0.11	0.11	0.29	0.18	0.03	0.14	0.15	0.01	0.05	0.05	0.30	0.34	0.29	0.000	0.00	0.00
15	中	0.17	0.60	0.22	0.42	0.23	0.03	0.33	0.15	0.01	0.05	0.05	0.20	0.00	0.25	0.000	0.00	0.00
15	底	0.20	0.02	0.37	0.36	0.27	0.03	0.35	0.14	0.02	0.04	0.05	0.21	0.00	0.23	0.000	0.00	0.00
16	表	0.23	0.00	0.22	0.37	0.22	0.03	0.01	0.15	0.02	0.13	0.05	0.00	0.21	0.29	0.000	0.00	0.00
16	中	0.23	0.62	0.29	0.27	0.17	0.03	0.01	0.14	0.01	0.05	0.05	0.00	0.00	0.28	0.000	0.00	0.00
16	底	0.26	0.62	0.26	0.37	0.25	0.03	0.01	0.15	0.02	0.06	0.05	0.00	0.00	0.26	0.000	0.00	0.00
22	表	0.11	0.04	0.31	0.43	0.42	0.03	0.01	0.33	0.01	0.10	0.05	0.31	0.34	0.35	0.000	0.22	0.00
23	表	0.26	0.81	0.25	0.54	0.43	0.03	0.02	0.35	0.01	0.06	0.05	0.40	0.34	0.27	0.000	0.00	0.00
24	表	0.34	0.57	0.12	0.49	0.30	0.03	0.02	0.26	0.01	0.05	0.05	0.49	0.24	0.28	0.000	0.00	0.00
24	中	0.43	0.24	0.14	0.52	0.33	0.03	0.03	0.27	0.01	0.03	0.05	0.44	0.00	0.25	0.000	0.00	0.00
27	表	0.23	0.60	0.19	0.30	0.14	0.03	0.00	0.18	0.01	0.07	0.05	0.24	0.36	0.26	0.000	0.00	0.00
27	中	0.20	0.61	0.28	0.31	0.15	0.03	0.01	0.17	0.01	0.06	0.05	0.21	0.00	0.25	0.000	0.00	0.00
27	底	0.23	0.61	0.18	0.25	0.12	0.03	0.01	0.17	0.01	0.13	0.05	0.19	0.00	0.21	0.000	0.00	0.00
37	表	0.26	0.62	0.12	0.32	0.22	0.03	0.02	0.27	0.01	0.05	0.02	0.04	0.36	0.17	0.000	0.00	0.00
37	中	0.26	0.62	0.05	0.28	0.30	0.03	0.02	0.28	0.02	0.05	0.02	0.05	0.00	0.14	0.000	0.00	0.00
37	底	0.26	0.61	0.30	0.21	0.35	0.03	0.02	0.27	0.02	0.04	0.02	0.04	0.00	0.19	0.000	0.00	0.00
38	表	0.23	0.61	0.26	0.35	0.20	0.03	0.02	0.15	0.01	0.05	0.06	0.21	0.32	0.29	0.000	0.00	0.00
38	中	0.26	0.18	0.22	0.39	0.42	0.03	0.01	0.16	0.01	0.04	0.05	0.15	0.00	0.28	0.000	0.00	0.00
38	底	0.23	0.06	0.31	0.65	0.53	0.03	0.07	0.16	0.02	0.06	0.06	0.21	0.00	0.27	0.000	0.00	0.00
45	表	0.37	0.58	0.22	0.67	0.45	0.03	0.02	0.32	0.01	0.04	0.05	0.43	0.56	0.29	0.000	0.00	0.00
48	表	0.23	0.28	0.44	0.75	0.38	0.03	0.03	0.15	0.01	0.05	0.05	0.00	0.36	0.29	0.000	0.00	0.13
48	中	0.23	0.35	0.23	0.57	0.33	0.03	0.02	0.14	0.02	0.07	0.05	0.00	0.00	0.28	0.000	0.00	0.00
48	底	0.23	0.17	0.26	0.43	0.30	0.03	0.01	0.13	0.01	0.05	0.04	0.00	0.00	0.25	0.000	0.00	0.00
B6	表	0.34	0.54	0.28	0.69	0.44	0.03	0.02	0.32	0.01	0.03	0.05	0.41	0.25	0.27	0.004	0.00	0.00
W3	表	0.40	0.55	0.25	0.40	0.26	0.03	0.02	0.30	0.01	0.06	0.05	0.44	0.57	0.30	0.000	0.00	0.00

表 3.2-4（3/3） 厂址附近海域秋季海水水质评价结果（15km 范围内）

站号	层次	pH	DO	COD	活性 磷酸盐	无机氮	总铬	铜	锌	镉	铅	砷	汞	油类	BOD5	硫化物	挥发性酚	氰化物
25	表	0.40	0.47	0.12	0.29	0.15	0.01	0.00	0.21	0.01	0.03	0.03	0.11	0.02	0.14	0.000	0.00	0.07
25	底	0.41	0.46	0.09	0.44	0.17	0.01	0.00	0.18	0.00	0.02	0.03	0.27	0.00	0.10	0.000	0.00	0.00
B7	表	0.39	0.45	0.13	0.45	0.23	0.02	0.00	0.18	0.00	0.01	0.03	0.12	0.03	0.15	0.000	0.00	0.00
Q1	表	0.36	0.04	0.11	0.83	0.69	0.01	0.00	0.16	0.01	0.07	0.03	0.14	0.08	0.15	0.002	0.00	0.00
Q2	表	0.41	0.46	0.09	0.61	0.26	0.01	0.00	0.22	0.00	0.03	0.03	0.23	0.02	0.16	0.002	0.00	0.06
3	表	0.20	0.60	0.20	0.42	0.24	0.03	0.01	0.21	0.01	0.09	0.04	0.26	0.23	0.30	0.000	0.00	0.00
3	底	0.20	0.59	0.28	0.42	0.27	0.03	0.01	0.17	0.01	0.06	0.05	0.17	0.00	0.25	0.000	0.00	0.00
21	表	0.40	0.36	0.16	0.28	0.28	0.01	0.07	0.04	0.00	0.00	0.03	0.11	0.03	0.15	0.000	0.00	0.00
B8	表	0.41	0.36	0.06	0.30	0.17	0.01	0.00	0.04	0.01	0.01	0.03	0.20	0.01	0.12	0.000	0.00	0.00
B9	表	0.39	0.06	0.16	0.22	0.20	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.03	0.10	0.04	0.20	0.000	0.02	0.00
P	表	0.38	0.10	0.07	0.31	0.19	0.01	0.00	0.03	0.01	0.01	0.03	0.12	0.01	0.12	0.000	0.00	0.00
P	中	0.38	0.35	0.09	0.19	0.10	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	0.03	0.12	0.00	0.10	0.000	0.00	0.00

表 3.2-5（1/3） 厂址附近海域冬季海水水质评价结果（15km 范围内）

站号	层次	pH	DO	COD	活性 磷酸盐	无机氮	总铬	铜	锌	镉	铅	砷	汞	油类	BOD	硫化物	挥发性酚	氰化物
38	表	0.40	0.09	0.19	0.67	0.65	0.00	0.10	0.18	0.01	0.06	0.03	0.06	0.28	0.28	0.001	0.06	0.03
38	中	0.03	0.05	0.26	0.74	1.04	0.00	0.07	0.08	0.01	0.05	0.02	0.08	0.00	0.27	0.001	0.06	0.03
38	底	0.26	0.05	0.23	0.88	0.71	0.00	0.13	0.11	0.02	0.05	0.02	0.07	0.00	0.26	0.001	0.06	0.03
37	表	0.23	0.07	0.20	0.68	0.60	0.00	0.08	0.11	0.01	0.04	0.03	0.04	0.19	0.17	0.001	0.06	0.02
37	中	0.26	0.05	0.26	0.69	0.58	0.00	0.09	0.09	0.01	0.10	0.03	0.04	0.00	0.12	0.001	0.06	0.03
37	底	0.29	0.04	0.13	0.70	0.62	0.00	0.08	0.10	0.00	0.06	0.02	0.04	0.00	0.17	0.001	0.06	0.04
14	表	0.26	0.05	0.22	0.70	0.69	0.00	0.10	0.12	0.01	0.08	0.03	0.05	0.30	0.29	0.001	0.06	0.02
14	底	0.17	0.03	0.20	0.68	0.60	0.00	0.13	0.09	0.02	0.05	0.01	0.09	0.00	0.24	0.001	0.06	0.04
15	表	0.14	0.03	0.41	0.73	0.85	0.00	0.08	0.23	0.01	0.22	0.04	0.05	0.28	0.29	0.001	0.06	0.03
15	中	0.11	0.02	0.55	0.69	0.61	0.00	0.08	0.15	0.01	0.04	0.03	0.04	0.00	0.24	0.001	0.06	0.03
15	底	0.09	0.03	0.47	0.67	0.60	0.00	0.08	0.09	0.01	0.08	0.04	0.08	0.00	0.21	0.001	0.06	0.03
13	表	0.06	0.05	0.40	0.68	0.59	0.00	0.09	0.10	0.00	0.04	0.03	0.08	0.19	0.27	0.001	0.06	0.03
13	中	0.06	0.04	0.51	0.69	0.64	0.00	0.13	0.09	0.01	0.06	0.02	0.11	0.00	0.25	0.001	0.06	0.03
13	底	0.03	0.02	0.44	0.70	0.73	0.00	0.09	0.11	0.01	0.04	0.03	0.07	0.00	0.21	0.001	0.06	0.03
10	表	0.03	0.02	0.44	0.69	0.65	0.00	0.09	0.09	0.02	0.03	0.04	0.06	0.43	0.27	0.001	0.06	0.03
10	底	0.00	0.02	0.43	0.72	0.91	0.01	0.12	0.13	0.02	0.11	0.03	0.07	0.00	0.23	0.001	0.06	0.11
11	表	0.03	0.06	0.42	0.61	0.71	0.00	0.08	0.19	0.01	0.10	0.04	0.07	0.30	0.24	0.001	0.06	0.03
11	中	0.03	0.03	0.49	0.81	0.78	0.00	0.11	0.15	0.03	0.06	0.04	0.09	0.00	0.23	0.001	0.06	0.03
11	底	0.03	0.04	0.46	0.72	0.69	0.00	0.08	0.09	0.01	0.04	0.04	0.15	0.00	0.21	0.001	0.06	0.03
48	表	0.03	0.05	0.34	0.71	0.58	0.00	0.09	0.14	0.01	0.05	0.04	0.11	0.20	0.28	0.001	0.06	0.03
48	中	0.03	0.04	0.38	0.70	0.64	0.00	0.09	0.22	0.01	0.08	0.03	0.09	0.00	0.26	0.001	0.06	0.03
48	底	0.03	0.02	0.30	0.74	0.62	0.00	0.12	0.12	0.01	0.08	0.03	0.11	0.00	0.24	0.001	0.06	0.03
8	表	0.03	0.05	0.39	0.80	0.64	0.00	0.40	0.12	0.01	0.07	0.03	0.11	0.33	0.28	0.001	0.06	0.03
8	中	0.03	0.05	0.48	0.70	0.62	0.00	0.08	0.33	0.02	0.11	0.04	0.11	0.00	0.27	0.001	0.06	0.03
8	底	0.03	0.47	0.37	0.61	0.62	0.00	0.10	0.19	0.01	0.06	0.04	0.10	0.00	0.25	0.001	0.06	0.03

表 3.2-5（2/3） 厂址附近海域冬季海水水质评价结果（15km 范围内）

站号	层次	pH	DO	COD	活性 磷酸盐	无机氮	总铬	铜	锌	镉	铅	砷	汞	油类	BOD	硫化物	挥发性酚	氰化物
16	表	0.00	0.04	0.40	0.66	0.60	0.00	0.09	0.10	0.01	0.05	0.04	0.08	0.20	0.29	0.001	0.06	0.03
16	中	0.03	0.05	0.33	0.99	0.71	0.00	0.12	0.20	0.00	0.07	0.04	0.06	0.00	0.28	0.001	0.06	0.03
16	底	0.06	0.02	0.44	0.77	0.53	0.00	0.11	0.11	0.02	0.10	0.04	0.08	0.00	0.24	0.004	0.06	0.10
27	表	0.09	0.09	0.34	0.65	0.58	0.00	0.21	0.14	0.01	0.06	0.04	0.10	0.20	0.25	0.001	0.06	0.03
27	中	0.09	0.06	0.30	0.70	0.56	0.00	0.11	0.20	0.00	0.06	0.04	0.11	0.00	0.24	0.001	0.06	0.03
27	底	0.09	0.05	0.32	0.63	0.60	0.00	0.09	0.08	0.00	0.05	0.04	0.11	0.00	0.20	0.001	0.06	0.03
3	表	0.09	0.02	0.40	0.65	0.52	0.00	0.16	0.09	0.00	0.05	0.04	0.09	0.19	0.29	0.001	0.06	0.03
3	底	0.09	0.00	0.47	0.65	0.52	0.01	0.24	0.25	0.02	0.33	0.03	0.11	0.00	0.24	0.001	0.06	0.03
7	表	0.11	0.04	0.30	0.64	0.50	0.00	0.08	0.09	0.01	0.05	0.04	0.12	0.14	0.20	0.001	0.06	0.03
7	底	0.11	0.03	0.47	0.68	0.61	0.00	0.10	0.10	0.01	0.07	0.04	0.11	0.00	0.24	0.001	0.06	0.03
22	表	0.37	0.14	0.20	0.73	0.79	0.00	0.09	0.13	0.01	0.09	0.04	0.21	0.50	0.33	0.004	0.22	0.03
1	表	0.14	0.10	0.54	0.68	0.87	0.00	0.11	0.19	0.01	0.07	0.04	0.13	0.45	0.33	0.001	0.06	0.03
2	表	0.23	0.01	0.29	0.52	0.55	0.00	0.09	0.18	0.00	0.05	0.04	0.14	0.58	0.27	0.001	0.06	0.03
2	底	0.34	0.05	0.32	0.52	0.50	0.00	1.17	0.19	0.01	0.32	0.04	0.27	0.00	0.25	0.001	0.06	0.03
24	表	0.31	0.04	0.32	0.55	0.45	0.00	0.12	0.16	0.01	0.07	0.04	0.26	0.55	0.27	0.001	0.06	0.03
23	表	0.46	0.04	0.46	0.29	0.40	0.00	0.13	0.16	0.01	0.16	0.03	0.21	0.42	0.27	0.004	0.06	0.03
B6	表	0.51	0.43	0.57	0.22	0.38	0.00	0.10	0.16	0.01	0.06	0.02	0.22	0.42	0.26	0.004	0.06	0.03
45	表	0.51	0.05	0.54	0.19	0.41	0.00	0.10	0.13	0.01	0.07	0.03	0.22	0.55	0.27	0.004	0.06	0.03
W3	表	0.69	0.43	0.50	0.21	0.38	0.00	0.13	0.20	0.00	0.06	0.03	0.26	0.66	0.30	0.001	0.06	0.10
5	表	0.38	0.06	0.25	0.50	0.32	0.00	0.02	0.06	0.00	0.04	0.02	0.04	0.03	0.20	0.001	0.03	0.01
5	底	0.40	0.04	0.34	0.66	0.41	0.00	0.02	0.05	0.01	0.02	0.02	0.04	0.00	0.18	0.001	0.03	0.01
9	表	0.48	0.06	0.12	0.55	0.34	0.00	0.10	0.06	0.01	0.04	0.02	0.09	0.05	0.13	0.001	0.03	0.01
9	底	0.49	0.07	0.11	0.55	0.30	0.00	0.02	0.12	0.01	0.04	0.03	0.10	0.00	0.11	0.002	0.03	0.01
Q1	表	0.24	0.36	0.22	0.24	0.22	0.00	0.04	0.10	0.00	0.16	0.02	0.06	0.07	0.17	0.001	0.03	0.01
B7	表	0.31	0.35	0.20	0.41	0.30	0.00	0.02	0.07	0.01	0.04	0.02	0.10	0.06	0.14	0.001	0.03	0.01
Q2	表	0.33	0.36	0.19	0.41	0.26	0.00	0.02	0.06	0.00	0.03	0.02	0.08	0.05	0.15	0.001	0.03	0.05

表 3.2-5（3/3） 厂址附近海域冬季海水水质评价结果（15km 范围内）

站号	层次	pH	DO	COD	活性 磷酸盐	无机氮	总铬	铜	锌	镉	铅	砷	汞	油类	BOD	硫化物	挥发性酚	氰化物
12	表	0.35	0.36	0.19	0.49	0.33	0.00	0.02	0.06	0.01	0.58	0.02	0.11	0.06	0.13	0.001	0.03	0.01
25	表	0.35	0.36	0.16	0.48	0.32	0.00	0.02	0.04	0.01	0.02	0.03	0.10	0.05	0.15	0.001	0.03	0.01
25	底	0.34	0.37	0.27	0.52	0.39	0.00	0.02	0.07	0.00	0.05	0.03	0.10	0.00	0.14	0.001	0.03	0.06
6	表	0.34	0.37	0.46	0.33	0.23	0.00	0.03	0.08	0.01	0.12	0.02	0.10	0.06	0.21	0.001	0.03	0.01
6	底	0.34	0.37	0.21	0.47	0.29	0.00	0.03	0.11	0.00	0.05	0.03	0.09	0.00	0.20	0.001	0.03	0.01
4	表	0.38	0.35	0.21	0.52	0.32	0.00	0.02	0.07	0.00	0.05	0.02	0.09	0.06	0.21	0.001	0.03	0.01
21	表	0.48	0.05	0.07	0.40	0.30	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.09	0.03	0.15	0.001	0.02	0.00
B9	表	0.49	0.05	0.08	0.48	0.51	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.24	0.08	0.04	0.21	0.000	0.01	0.00
P	表	0.28	0.27	0.17	0.29	0.24	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.08	0.03	0.12	0.001	0.01	0.00
B8	表	0.31	0.27	0.15	0.29	0.24	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.07	0.03	0.12	0.001	0.01	0.00

表 3.2-6（1/3） 厂址附近海域春季海水水质评价结果（15km 范围内）

站号	层次	pH	DO	COD	活性 磷酸盐	无机氮	总铬	铜	锌	镉	铅	砷	汞	油类	BOD	硫化物	挥发性酚	氰化物
4	表	0.46	0.22	0.22	0.07	0.28	0.00	0.01	0.12	0.01	0.08	0.01	0.07	0.07	0.20	0.00	0.03	0.01
4	底	0.46	0.13	0.22	0.05	0.06	0.00	0.02	0.16	0.00	0.04	0.01	0.09	/	0.18	0.00	0.03	0.01
1	表	0.31	0.63	0.26	0.07	0.09	0.00	0.08	0.13	0.00	0.15	0.01	0.20	0.33	0.31	0.00	0.06	0.03
2	表	0.14	0.38	0.16	0.09	0.07	0.00	0.10	0.17	0.01	0.14	0.01	0.24	0.38	0.30	0.00	0.06	0.03
2	底	0.17	0.47	0.19	0.09	0.09	0.00	0.09	0.15	0.01	0.14	0.01	0.26	/	0.29	0.00	0.06	0.03
5	表	0.41	0.25	0.14	0.14	0.08	0.00	0.02	0.13	0.00	0.04	0.01	0.10	0.06	0.22	0.00	0.03	0.01
5	底	0.42	0.15	0.08	0.14	0.09	0.00	0.02	0.07	0.01	0.07	0.01	0.05	/	0.20	0.00	0.03	0.01
6	表	0.40	0.19	0.14	0.15	0.10	0.00	0.02	0.08	0.00	0.05	0.01	0.09	0.08	0.22	0.00	0.03	0.01
6	底	0.40	0.13	0.11	0.12	0.08	0.00	0.02	0.05	0.01	0.08	0.01	0.07	/	0.20	0.00	0.03	0.01
25	表	0.39	0.21	0.19	0.25	0.14	0.00	0.01	0.05	0.00	0.03	0.01	0.09	0.02	0.17	0.00	0.03	0.01
25	底	0.41	0.17	0.14	0.23	0.11	0.00	0.02	0.07	0.00	0.08	0.01	0.11	/	0.15	0.00	0.03	0.01
P	表	0.40	0.20	0.12	0.09	0.13	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.09	0.02	0.19	0.00	0.01	0.00
P	底	0.43	0.09	0.11	0.11	0.09	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09	/	0.19	0.00	0.01	0.00
12	表	0.39	0.10	0.10	0.18	0.12	0.00	0.02	0.07	0.00	0.03	0.01	0.13	0.02	0.21	0.00	0.03	0.01
9	表	0.42	0.30	0.21	0.21	0.11	0.00	0.02	0.07	0.00	0.04	0.01	0.07	0.05	0.23	0.00	0.03	0.01
Q2	表	0.42	0.35	0.17	0.16	0.05	0.00	0.02	0.07	0.01	0.04	0.01	0.07	0.04	0.22	0.00	0.11	0.01
B7	表	0.41	0.18	0.19	0.24	0.09	0.00	0.01	0.07	0.01	0.03	0.01	0.08	0.03	0.22	0.00	0.03	0.01
B8	表	0.40	0.22	0.07	0.15	0.06	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.10	0.03	0.18	0.00	0.01	0.00
Q1	表	0.40	0.22	0.11	0.23	0.11	0.00	0.02	0.06	0.00	0.04	0.01	0.08	0.02	0.23	0.00	0.03	0.01
10	表	0.03	0.58	0.48	0.21	0.22	0.00	0.11	0.38	0.01	0.17	0.02	0.26	0.45	0.28	0.00	0.06	0.03
10	中	0.03	0.18	0.26	0.21	0.07	0.00	0.07	0.11	0.00	0.06	0.02	0.27	/	0.26	0.00	0.06	0.03
10	底	0.09	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.37	0.37	0.01	0.06	0.02	0.22	/	0.24	0.00	0.06	0.03
13	表	0.03	0.07	0.54	0.23	0.07	0.00	0.08	0.13	0.00	0.14	0.02	0.18	0.48	0.28	0.00	0.06	0.03
13	中	0.03	0.16	0.49	0.22	0.05	0.00	0.34	0.37	0.00	0.06	0.02	0.17	/	0.25	0.00	0.06	0.03
13	底	0.06	0.11	0.36	0.21	0.03	0.00	0.08	0.14	0.01	0.06	0.02	0.22	/	0.23	0.00	0.06	0.03

表 3.2-6（2/3） 厂址附近海域春季海水水质评价结果（15km 范围内）

站号	层次	pH	DO	COD	活性 磷酸盐	无机氮	总铬	铜	锌	镉	铅	砷	汞	油类	BOD	硫化物	挥发性酚	氰化物
37	表	0.06	0.33	0.37	0.22	0.02	0.00	0.13	0.20	0.01	0.14	0.02	0.32	0.32	0.26	0.00	0.06	0.03
37	中	0.11	0.19	0.44	0.21	0.01	0.00	0.09	0.24	0.01	0.06	0.02	0.27	/	0.23	0.00	0.06	0.03
37	底	0.09	0.09	0.37	0.21	0.02	0.00	0.10	0.15	0.01	0.14	0.02	0.23	/	0.19	0.00	0.06	0.03
21	表	0.33	0.22	0.14	0.28	0.16	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.13	0.03	0.18	0.00	0.02	0.00
B9	表	0.36	0.23	0.18	0.26	0.03	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.08	0.04	0.20	0.00	0.02	0.00
22	表	0.09	0.29	0.39	0.41	0.05	0.00	0.10	0.17	0.01	0.06	0.02	0.22	0.40	0.36	0.00	0.24	0.03
14	表	0.06	0.15	0.35	0.41	0.11	0.00	0.08	0.12	0.00	0.11	0.02	0.21	0.46	0.33	0.00	0.06	0.03
14	底	0.06	0.13	0.30	0.39	0.08	0.00	0.08	0.14	0.00	0.06	0.03	0.27	/	0.31	0.00	0.06	0.03
15	表	0.00	0.30	0.26	0.42	0.04	0.00	0.08	0.09	0.00	0.05	0.03	0.27	0.44	0.32	0.00	0.06	0.03
15	中	0.06	0.30	0.29	0.41	0.20	0.00	0.10	0.19	0.01	0.09	0.02	0.28	/	0.29	0.00	0.06	0.03
15	底	0.09	0.25	0.31	0.41	0.08	0.00	0.07	0.11	0.01	0.09	0.02	0.23	/	0.26	0.00	0.06	0.03
27	表	0.17	0.62	0.33	0.27	0.08	0.00	0.11	0.16	0.00	0.08	0.03	0.24	0.45	0.30	0.00	0.06	0.03
27	中	0.17	0.61	0.23	0.43	0.04	0.00	0.10	0.39	0.01	0.08	0.03	0.26	/	0.29	0.00	0.06	0.03
27	底	0.14	0.55	0.23	0.42	0.09	0.00	0.08	0.15	0.01	0.07	0.03	0.21	/	0.28	0.00	0.06	0.03
7	表	0.26	0.28	0.42	0.21	0.64	0.00	0.08	0.10	0.01	0.05	0.02	0.37	0.36	0.29	0.00	0.06	0.03
7	中	0.20	0.17	0.28	0.21	0.25	0.00	0.08	0.16	0.01	0.06	0.02	0.31	/	0.27	0.00	0.06	0.03
7	底	0.23	0.18	0.44	0.19	0.07	0.00	0.12	0.16	0.01	0.07	0.02	0.36	/	0.24	0.00	0.06	0.03
11	表	0.23	0.19	0.50	0.23	0.05	0.00	0.08	0.13	0.01	0.19	0.02	0.37	0.38	0.28	0.00	0.06	0.03
11	中	0.17	0.13	0.37	0.19	0.02	0.00	0.10	0.12	0.01	0.05	0.03	0.36	/	0.25	0.00	0.06	0.03
11	底	0.17	0.06	0.47	0.17	0.04	0.00	0.07	0.11	0.01	0.08	0.02	0.28	/	0.22	0.00	0.06	0.03
38	表	0.29	0.39	0.53	0.21	0.02	0.00	0.09	0.11	0.01	0.07	0.03	0.31	0.46	0.25	0.00	0.06	0.03
38	中	0.29	0.02	0.51	0.19	0.01	0.00	0.08	0.11	0.01	0.07	0.03	0.31	/	0.23	0.00	0.06	0.03
38	底	0.37	0.09	0.56	0.18	0.02	0.00	0.08	0.16	0.01	0.08	0.03	0.34	/	0.19	0.00	0.06	0.03
48	表	0.29	0.39	0.45	0.20	0.03	0.00	0.07	0.11	0.01	0.07	0.03	0.25	0.43	0.24	0.00	0.06	0.03
48	中	0.29	0.17	0.40	0.19	0.02	0.00	0.21	0.15	0.01	0.07	0.03	0.28	/	0.22	0.00	0.06	0.03
48	底	0.26	0.10	0.49	0.19	0.11	0.00	0.08	0.12	0.01	0.05	0.03	0.25	/	0.18	0.00	0.06	0.03

表 3.2-6（3/3） 厂址附近海域春季海水水质评价结果（15km 范围内）

站号	层次	pH	DO	COD	活性 磷酸盐	无机氮	总铬	铜	锌	镉	铅	砷	汞	油类	BOD	硫化物	挥发性酚	氰化物
8	表	0.26	0.37	0.40	0.21	0.03	0.00	0.07	0.10	0.00	0.07	0.03	0.24	0.43	0.23	0.00	0.06	0.03
8	中	0.11	0.04	0.46	0.18	0.02	0.00	0.08	0.13	0.01	0.06	0.03	0.23	/	0.21	0.00	0.06	0.03
8	底	0.17	0.06	0.38	0.18	0.01	0.00	0.09	0.14	0.01	0.05	0.03	0.26	/	0.18	0.00	0.06	0.03
16	表	0.23	0.31	0.37	0.21	0.02	0.00	0.21	0.20	0.00	0.07	0.02	0.23	0.39	0.25	0.00	0.06	0.03
16	中	0.29	0.11	0.27	0.19	0.01	0.00	0.09	0.14	0.00	0.05	0.03	0.23	/	0.22	0.00	0.06	0.03
16	底	0.31	0.11	0.45	0.19	0.02	0.00	0.06	0.09	0.01	0.08	0.03	0.26	/	0.18	0.00	0.06	0.03
W3	表	0.06	0.71	0.31	0.23	0.05	0.00	0.12	0.12	0.00	0.06	0.02	0.27	0.38	0.24	0.00	0.06	0.03
45	表	0.11	0.29	0.14	0.26	0.02	0.00	0.08	0.10	0.00	0.05	0.02	0.19	0.34	0.26	0.00	0.06	0.03
B6	表	0.03	0.39	0.14	0.23	0.02	0.00	0.15	0.14	0.01	0.11	0.02	0.23	0.33	0.27	0.00	0.06	0.03
23	表	0.17	0.29	0.12	0.24	0.03	0.00	0.07	0.11	0.00	0.06	0.02	0.20	0.29	0.27	0.00	0.06	0.03
24	表	0.40	0.29	0.10	0.22	0.08	0.00	0.07	0.10	0.01	0.05	0.02	0.31	0.30	0.27	0.00	0.06	0.03
24	底	0.46	0.41	0.11	0.19	0.03	0.00	0.11	0.15	0.01	0.07	0.02	0.09	/	0.25	0.00	0.06	0.03
3	表	0.43	0.21	0.11	0.13	0.04	0.00	0.10	0.16	0.01	0.07	0.02	0.10	0.32	0.25	0.00	0.06	0.03
3	底	0.43	0.24	0.10	0.16	0.04	0.00	0.14	0.10	0.00	0.06	0.02	0.11	/	0.23	0.00	0.06	0.03

表 3.2-7（1/3） 厂址附近海域夏季海水水质评价结果（15km 范围内）

站号	层次	pH	DO	COD	活性 磷酸盐	无机氮	总铬	铜	锌	镉	铅	砷	汞	油类	BOD	硫化物	挥发性酚	氰化物
21	表	0.26	0.44	0.36	0.16	0.08	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.07	0.04	0.22	0.00	0.01	0.00
B9	表	0.35	0.53	0.36	0.14	0.05	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.08	0.04	0.25	0.00	0.02	0.00
22	表	0.17	1.00	0.54	0.23	0.07	0.00	0.14	0.07	0.01	0.05	0.03	0.16	0.41	0.41	0.00	0.24	0.03
14	表	0.26	0.44	0.35	0.22	0.07	0.00	0.04	0.03	0.00	0.04	0.03	0.21	0.41	0.31	0.00	0.06	0.03
14	底	0.20	0.17	0.48	0.22	0.06	0.00	0.12	0.10	0.00	0.06	0.03	0.17	/	0.35	0.00	0.06	0.03
15	表	0.20	0.07	0.36	0.10	0.13	0.00	0.04	0.04	0.01	0.04	0.03	0.21	0.31	0.30	0.00	0.06	0.03
15	中	0.20	0.11	0.20	0.11	0.03	0.00	0.04	0.03	0.02	0.08	0.03	0.21	/	0.30	0.00	0.06	0.03
15	底	0.17	0.63	0.22	0.08	0.18	0.00	0.03	0.06	0.02	0.14	0.03	0.17	/	0.28	0.00	0.06	0.03
37	表	0.09	0.30	0.28	0.07	0.07	0.00	0.04	0.05	0.00	0.06	0.03	0.17	0.32	0.31	0.00	0.06	0.03
37	中	0.00	0.62	0.20	0.11	0.07	0.00	0.05	0.03	0.15	0.18	0.03	0.17	/	0.25	0.00	0.06	0.03
37	底	0.00	0.20	0.22	0.10	0.04	0.00	0.10	0.06	0.00	0.09	0.03	0.17	/	0.26	0.00	0.06	0.03
13	表	0.11	0.26	0.24	0.11	0.04	0.00	0.09	0.07	0.01	0.11	0.03	0.17	0.46	0.27	0.00	0.06	0.03
13	中	0.06	0.00	0.23	0.07	0.06	0.00	0.08	0.11	0.00	0.06	0.03	0.17	/	0.30	0.00	0.06	0.03
13	底	0.09	0.61	0.17	0.07	0.04	0.00	0.05	0.05	0.02	0.06	0.03	0.21	/	0.24	0.00	0.06	0.03
38	表	0.03	0.26	0.22	0.11	0.07	0.00	0.03	0.03	0.00	0.12	0.03	0.19	0.37	0.29	0.00	0.06	0.03
38	中	0.11	0.63	0.18	0.08	0.08	0.00	0.10	0.09	0.01	0.05	0.03	0.17	/	0.27	0.00	0.06	0.03
38	底	0.14	0.62	0.26	0.06	0.07	0.00	0.03	0.03	0.02	0.08	0.03	0.18	/	0.26	0.00	0.06	0.03
48	表	0.00	0.32	0.28	0.13	0.33	0.00	0.05	0.03	0.01	0.05	0.03	0.19	0.39	0.27	0.00	0.06	0.03
48	中	0.11	0.61	0.20	0.13	0.06	0.00	0.04	0.05	0.00	0.04	0.03	0.18	/	0.18	0.00	0.06	0.03
48	底	0.11	0.61	0.36	0.16	0.25	0.00	0.05	0.06	0.01	0.17	0.03	0.19	/	0.25	0.00	0.06	0.03
11	表	0.00	0.37	0.16	0.07	0.13	0.00	0.03	0.04	0.01	0.12	0.03	0.18	0.41	0.21	0.00	0.06	0.03
11	中	0.03	0.11	0.28	0.07	0.07	0.00	0.10	0.11	0.00	0.05	0.03	0.18	/	0.24	0.00	0.06	0.03
11	底	0.09	0.62	0.32	0.07	0.20	0.00	0.06	0.06	0.00	0.09	0.03	0.18	/	0.25	0.00	0.06	0.03
10	表	0.09	0.11	0.11	0.10	0.17	0.00	0.02	0.05	0.00	0.11	0.03	0.19	0.34	0.19	0.00	0.06	0.03
10	中	0.17	0.64	0.32	0.11	0.11	0.00	0.09	0.05	0.02	0.07	0.03	0.18	/	0.27	0.00	0.06	0.03
10	底	0.14	0.64	0.17	0.11	0.12	0.00	0.08	0.10	0.02	0.07	0.03	0.20	/	0.22	0.00	0.06	0.03

表 3.2-7（2/3） 厂址附近海域夏季海水水质评价结果（15km 范围内）

站号	层次	pH	DO	COD	活性 磷酸盐	无机氮	总铬	铜	锌	镉	铅	砷	汞	油类	BOD	硫化物	挥发性酚	氰化物
9	表	0.29	0.29	0.14	0.08	0.07	0.00	0.01	0.02	0.00	0.05	0.02	0.08	0.06	0.19	0.00	0.03	0.01
9	中	0.30	0.52	0.34	0.08	0.16	0.00	0.02	0.03	0.00	0.03	0.02	0.08	/	0.23	0.00	0.03	0.01
5	表	0.24	0.10	0.27	0.21	0.10	0.00	0.02	0.03	0.00	0.02	0.02	0.09	0.05	0.23	0.00	0.03	0.01
5	底	0.24	0.04	0.26	0.21	0.08	0.00	0.01	0.03	0.00	0.02	0.02	0.08	/	0.22	0.00	0.03	0.01
7	表	0.34	0.40	0.64	0.21	0.30	0.00	0.06	0.07	0.00	0.06	0.03	0.21	0.43	0.34	0.00	0.06	0.03
7	中	0.31	0.11	0.31	0.18	0.18	0.00	0.10	0.07	0.00	0.06	0.02	0.23	/	0.32	0.00	0.06	0.03
7	底	0.26	0.03	0.52	0.21	0.15	0.00	0.07	0.06	0.00	0.13	0.03	0.21	/	0.38	0.00	0.06	0.03
8	表	0.23	0.35	0.67	0.03	0.14	0.00	0.09	0.09	0.00	0.08	0.02	0.14	0.43	0.42	0.00	0.22	0.03
8	中	0.11	0.04	0.61	0.03	0.06	0.00	0.03	0.04	0.00	0.04	0.02	0.13	/	0.34	0.00	0.06	0.03
8	底	0.11	0.06	0.51	0.03	0.08	0.00	0.04	0.05	0.00	0.05	0.02	0.08	/	0.38	0.00	0.06	0.03
16	表	0.23	0.33	0.79	0.09	0.08	0.00	0.21	0.18	0.00	0.05	0.02	0.19	0.26	0.45	0.00	0.06	0.03
16	中	0.09	0.12	0.66	0.21	0.09	0.00	0.06	0.08	0.00	0.06	0.02	0.17	/	0.44	0.00	0.06	0.03
16	底	0.06	0.01	0.45	0.21	0.14	0.00	0.07	0.07	0.00	0.09	0.02	0.15	/	0.30	0.00	0.06	0.03
27	表	0.26	0.31	0.64	0.05	0.18	0.00	0.12	0.09	0.00	0.11	0.03	0.11	0.36	0.34	0.00	0.06	0.03
27	中	0.26	0.22	0.48	0.05	0.05	0.00	0.07	0.05	0.01	0.12	0.03	0.11	/	0.34	0.00	0.06	0.03
27	底	0.23	0.08	0.65	0.04	0.07	0.00	0.04	0.07	0.01	0.06	0.03	0.12	/	0.38	0.00	0.06	0.03
3	表	0.31	0.26	0.59	0.04	0.04	0.00	0.09	0.07	0.00	0.08	0.03	0.11	0.33	0.37	0.00	0.06	0.03
3	底	0.26	0.13	0.64	0.04	0.08	0.00	0.04	0.04	0.01	0.09	0.02	0.11	/	0.35	0.00	0.06	0.03
1	表	0.34	0.03	0.40	0.17	0.09	0.00	0.03	0.05	0.00	0.06	0.03	0.20	0.85	0.35	0.00	0.06	0.03
2	表	0.37	0.66	0.18	0.09	0.07	0.00	0.37	0.07	0.00	0.07	0.03	0.26	0.81	0.23	0.00	0.06	0.03
2	底	0.43	0.67	0.30	0.16	0.19	0.00	0.02	0.05	0.00	0.08	0.03	0.27	/	0.30	0.00	0.06	0.03
24	表	0.43	0.67	0.34	0.12	0.05	0.00	0.01	0.03	0.00	0.07	0.03	0.26	0.70	0.30	0.00	0.06	0.03
24	底	0.43	0.68	0.40	0.07	0.06	0.00	0.03	0.04	0.00	0.17	0.03	0.23	/	0.29	0.00	0.06	0.03
23	表	0.66	0.14	0.47	0.07	0.10	0.00	0.02	0.06	0.01	0.06	0.03	0.16	0.54	0.32	0.00	0.06	0.03
B6	表	0.77	0.73	0.49	0.16	0.07	0.00	0.02	0.04	0.00	0.10	0.04	0.16	0.98	0.31	0.00	0.06	0.03
45	表	0.91	0.79	0.50	0.13	0.05	0.00	0.02	0.06	0.00	0.08	0.04	0.16	0.93	0.35	0.00	0.06	0.03
W3	表	0.97	0.81	0.49	0.30	0.14	0.00	0.05	0.11	0.02	0.19	0.04	0.16	0.17	0.35	0.00	0.06	0.03

表 3.2-7（3/3） 厂址附近海域夏季海水水质评价结果（15km 范围内）

站号	层次	pH	DO	COD	活性 磷酸盐	无机氮	总铬	铜	锌	镉	铅	砷	汞	油类	BOD	硫化物	挥发性酚	氰化物
Q1	表	0.15	0.55	0.20	0.29	0.56	0.00	0.01	0.06	0.00	0.03	0.02	0.08	0.13	0.21	0.00	0.03	0.01
P	表	0.16	0.08	0.17	0.19	0.29	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.08	0.08	0.17	0.00	0.01	0.00
B7	表	0.15	0.56	0.17	0.36	0.41	0.00	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.06	0.10	0.19	0.00	0.03	0.01
B8	表	0.16	0.41	0.13	0.17	0.26	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.03	0.14	0.00	0.01	0.00
Q2	表	0.18	0.56	0.22	0.21	0.40	0.00	0.03	0.06	0.00	0.03	0.02	0.06	0.05	0.22	0.00	0.03	0.01
12	表	0.18	0.56	0.20	0.20	0.41	0.00	0.01	0.10	0.00	0.09	0.02	0.06	0.06	0.20	0.00	0.03	0.01
25	表	0.19	0.55	0.27	0.26	0.24	0.00	0.02	0.04	0.01	0.06	0.02	0.07	0.05	0.25	0.00	0.03	0.01
25	底	0.19	0.55	0.24	0.17	0.19	0.00	0.01	0.13	0.00	0.08	0.02	0.09	/	0.23	0.00	0.03	0.01
6	表	0.20	0.55	0.28	0.18	0.29	0.00	0.01	0.04	0.00	0.06	0.02	0.06	0.06	0.24	0.00	0.03	0.01
6	底	0.21	0.55	0.23	0.16	0.20	0.00	0.00	0.03	0.00	0.05	0.02	0.06	/	0.22	0.00	0.03	0.01
4	表	0.18	0.55	0.28	0.18	0.27	0.00	0.01	0.05	0.01	0.05	0.02	0.07	0.07	0.25	0.00	0.03	0.01

[illegible][illegible]

表 3.2-9 厂址附近海域海洋生物质量评价结果（15km 范围内）

（一）秋季

序号	站位	名称	铜	锌	镉	铅	汞	石油烃	DDT	666
1	Y1	口虾蛄	0.04	0.04	0.73	0.33	0.04	/	<0.01	<0.01
2	Y2	黄鮟鱇	<0.01	0.09	0.01	0.30	0.02	0.03	<0.01	<0.01
3	Y2	鹰爪虾	<0.01	0.03	0.04	0.29	0.04	/	<0.01	<0.01
4	Y10	日本枪乌贼	0.04	0.01	0.17	0.02	0.01	0.03	<0.01	<0.01
5	Y11	鹰爪虾	<0.01	0.02	0.05	0.30	0.04	/	<0.01	<0.01
6	Y12	周氏新对虾	<0.01	0.03	0.02	0.55	0.03	/	<0.01	<0.01
7	Y12	日本枪乌贼	0.04	0.01	0.19	0.02	0.02	0.05	<0.01	<0.01
8	Y20	小黄鱼	0.01	0.06	0.05	1.69	0.03	0.01	<0.01	<0.01
9	Y20	鹰爪虾	<0.01	0.02	0.05	0.30	0.02	/	<0.01	<0.01
10	Y29	鲷	<0.01	0.04	0.03	0.14	0.03	0.03	<0.01	<0.01
11	Y29	日本枪乌贼	0.05	0.01	0.19	0.02	0.04	0.01	<0.01	<0.01

（二）春季

序号	站位	名称	铜	锌	镉	铅	汞	石油烃	DDT	666
1	Y01	绵鳎	0.02	0.21	0.02	0.16	0.05	0.09	<0.01	<0.01
2	Y01	口虾蛄	0.05	0.06	0.20	0.12	0.10	/	<0.01	<0.01
3	Y10	鲷	0.07	0.24	0.02	0.30	0.12	0.05	<0.01	<0.01
4	Y10	口虾蛄	0.05	0.06	0.20	0.12	0.11	/	<0.01	<0.01
5	Y11	绵鳎	0.02	0.18	0.02	0.15	0.06	0.08	<0.01	<0.01
6	Y11	鲷	0.07	0.24	0.03	0.38	0.14	0.06	<0.01	<0.01
7	Y12	绵鳎	0.02	0.18	0.02	0.13	0.05	0.09	<0.01	<0.01
8	Y12	口虾蛄	0.05	0.05	0.20	0.11	0.11	/	<0.01	<0.01
9	Y20	口虾蛄	0.04	0.04	0.19	0.11	0.10	/	<0.01	<0.01
10	Y20	短吻红舌鳎	0.07	0.43	0.16	0.66	0.06	0.28	<0.01	<0.01
11	Y29	鲷	0.07	0.26	0.03	0.36	0.16	0.05	<0.01	<0.01
12	Y02	鲜明鼓虾	0.05	0.03	0.08	0.93	0.07	/	<0.01	<0.01
13	Y02	银鲳	0.02	0.44	0.12	0.36	0.04	0.74	<0.01	<0.01

表 3.2-10（1/4） 厂址周围工频电场、工频磁场测量结果

测点名称	2023 年 5 月 16 日~17 日（23~26℃；30%~34%）		2024 年 5 月 7 日~8 日（17~24℃；22%~31%）	
	工频电场强度（V/m）	磁感应强度（μT）	工频电场强度（V/m）	磁感应强度（μT）
边界 1#（进厂大门）	0.41	0.035	2.189	0.074
边界 2#（水土保持小区）	0.42	0.025	1.131	0.073
边界 3#（循环水泵房）	0.53	0.057	0.468	0.072
边界 4#（消防站旁）	0.82	0.093	0.350	0.062
边界 5#（化工品库）	0.78	0.066	0.934	0.080
边界 6#（应急货运道路）	0.86	0.057	6.126	0.110
边界 7#（国核共用变电站）	0.53	0.014	24.74	0.361
边界 8#（数字块生产场）	0.34	0.042	6.291	0.073
边界 9#（大件码头路）	0.53	0.024	26.91	0.122
边界 10#（东墩村海草房东）	0.53	0.022	6.143	0.075
边界 11#（东墩村南）	0.31	0.015	3.626	0.072
边界 12#（国核示范正门）	0.30	0.013	5.655	0.083
高温堆主厂房区	0.82	0.025	0.366	0.036
变电站	/	/	6.725	0.082
高温堆出线	/	/	2200	1.031
施工生活区	/	/	3.446	0.066
220kV 湾石 II 线 01#与 02#线塔导线下 0m	279.5	2.623	1725	0.815
220kV 湾石 II 线 01#与 02#线塔导线下 5m	271.6	2.595	1303	0.661
220kV 湾石 II 线 01#与 02#线塔导线下 10m	218.6	1.996	1049	0.491
220kV 湾石 II 线 01#与 02#线塔导线下 15m	142.3	1.363	875.5	0.353
220kV 湾石 II 线 01#与 02#线塔导线下 20m	92.65	1.046	788.0	0.253
220kV 湾石 II 线 01#与 02#线塔导线下 25m	31.24	0.926	641.3	0.229
220kV 湾石 II 线 01#与 02#线塔导线下 30m	9.84	0.796	415.7	0.171
220kV 湾石 II 线 01#与 02#线塔导线下 35m	6.16	0.556	239.3	0.168
220kV 湾石 II 线 01#与 02#线塔导线下 40m	3.26	0.376	92.84	0.156
220kV 湾石 II 线 01#与 02#线塔导线下 45m	1.63	0.216	65.54	0.148
220kV 湾石 II 线 01#与 02#线塔导线下 50m	0.57	0.182	40.49	0.143

表 3.2-10（2/4） 厂址周围工频电场、工频磁场测量结果

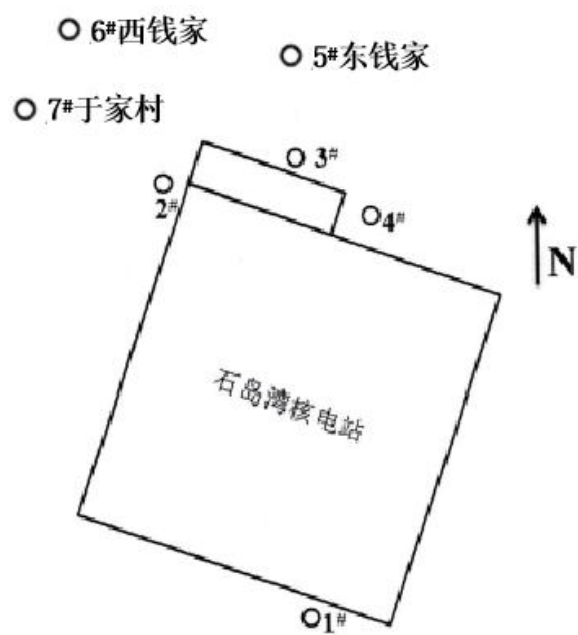
测点名称	2023 年 5 月 16 日~17 日（23~26℃；30%~34%）		2024 年 5 月 7 日~8 日（17~24℃；22%~31%）	
	工频电场强度（V/m）	磁感应强度（μT）	工频电场强度（V/m）	磁感应强度（μT）
220kV 湾石 II 线 02#与 03#线塔导线下 0m	223.6	2.463	2191	0.986
220kV 湾石 II 线 02#与 03#线塔导线下 5m	212.6	2.134	2298	1.084
220kV 湾石 II 线 02#与 03#线塔导线下 10m	171.6	1.825	1943	0.976
220kV 湾石 II 线 02#与 03#线塔导线下 15m	101.5	1.264	1725	0.892
220kV 湾石 II 线 02#与 03#线塔导线下 20m	67.44	1.026	1196	0.833
220kV 湾石 II 线 02#与 03#线塔导线下 25m	22.86	0.867	822.1	0.616
220kV 湾石 II 线 02#与 03#线塔导线下 30m	8.69	0.715	428.9	0.395
220kV 湾石 II 线 02#与 03#线塔导线下 35m	5.27	0.526	203.3	0.229
220kV 湾石 II 线 02#与 03#线塔导线下 40m	2.47	0.324	136.4	0.233
220kV 湾石 II 线 02#与 03#线塔导线下 45m	1.32	0.166	641.3	0.189
220kV 湾石 II 线 02#与 03#线塔导线下 50m	0.22	0.086	40.02	0.159
220kV 湾石 II 线 03#与 04#线塔导线下 0m	224.4	2.533	1648	0.925
220kV 湾石 II 线 03#与 04#线塔导线下 5m	212.4	2.426	1893	0.965
220kV 湾石 II 线 03#与 04#线塔导线下 10m	161.3	1.682	1797	0.901
220kV 湾石 II 线 03#与 04#线塔导线下 15m	120.4	1.404	1212	0.700
220kV 湾石 II 线 03#与 04#线塔导线下 20m	64.23	0.845	817.5	0.460
220kV 湾石 II 线 03#与 04#线塔导线下 25m	15.27	0.633	408.7	0.334
220kV 湾石 II 线 03#与 04#线塔导线下 30m	8.13	0.526	203.9	0.228
220kV 湾石 II 线 03#与 04#线塔导线下 35m	5.12	0.334	86.32	0.190
220kV 湾石 II 线 03#与 04#线塔导线下 40m	3.33	0.413	41.30	0.132
220kV 湾石 II 线 03#与 04#线塔导线下 45m	1.43	0.234	35.38	0.131
220kV 湾石 II 线 03#与 04#线塔导线下 50m	0.45	0.156	31.13	0.127
220kV 湾石 II 线 04#与 05#线塔导线下 0m	253.6	2.546	1794	0.922
220kV 湾石 II 线 04#与 05#线塔导线下 5m	241.7	2.397	1781	0.857
220kV 湾石 II 线 04#与 05#线塔导线下 10m	216.7	1.866	1604	0.701
220kV 湾石 II 线 04#与 05#线塔导线下 15m	139.3	1.447	970.4	0.425
220kV 湾石 II 线 04#与 05#线塔导线下 20m	95.87	1.025	680.0	0.373
220kV 湾石 II 线 04#与 05#线塔导线下 25m	28.94	0.896	440.5	0.254
220kV 湾石 II 线 04#与 05#线塔导线下 30m	9.18	0.716	224.2	0.268
220kV 湾石 II 线 04#与 05#线塔导线下 35m	4.63	0.486	83.92	0.192
220kV 湾石 II 线 04#与 05#线塔导线下 40m	1.23	0.195	64.31	0.169
220kV 湾石 II 线 04#与 05#线塔导线下 45m	0.73	0.124	40.49	0.133
220kV 湾石 II 线 04#与 05#线塔导线下 50m	0.21	0.075	31.74	0.141

表 3.2-10（3/4） 厂址周围工频电场、工频磁场测量结果

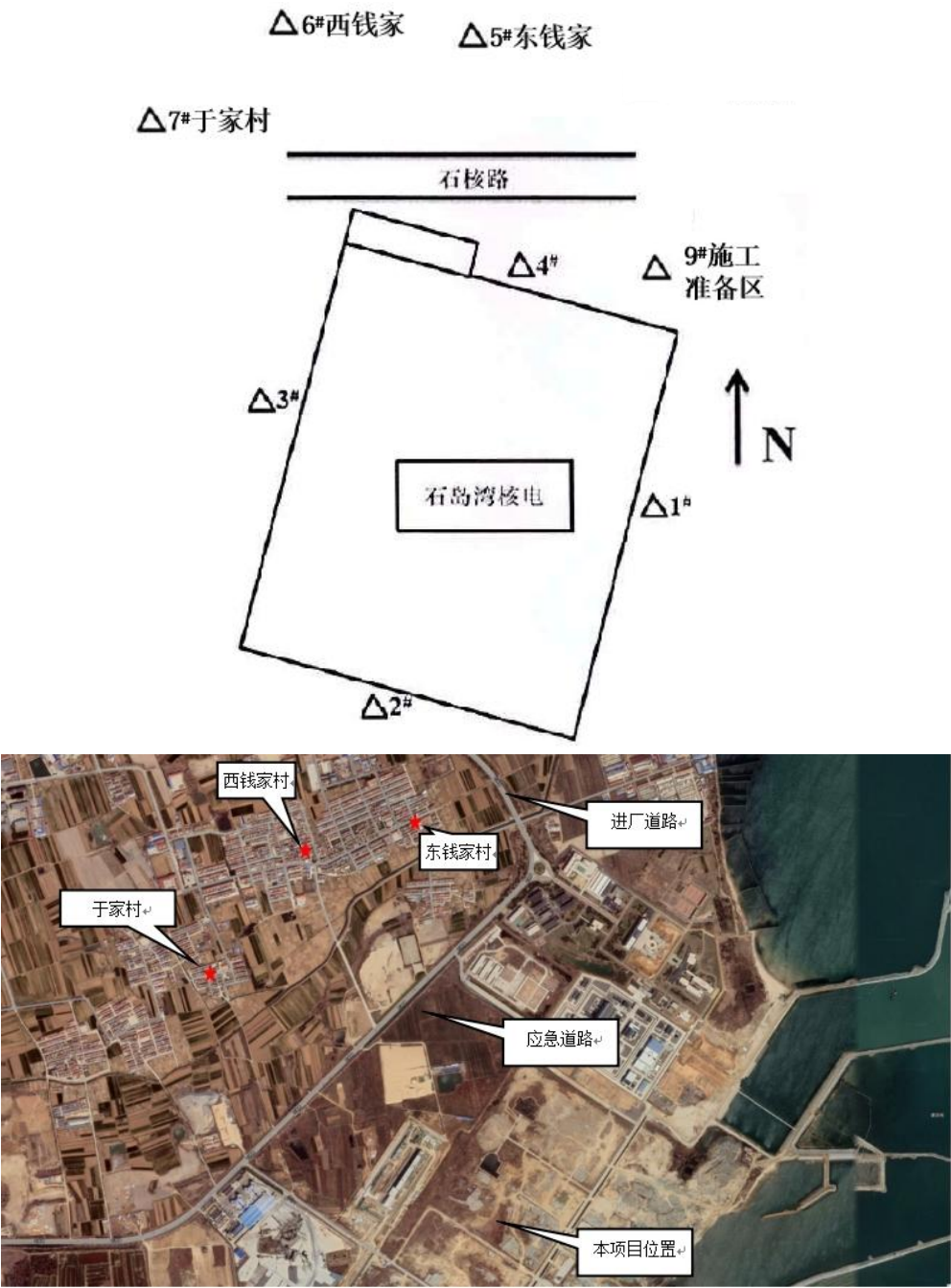
测点名称	2023 年 5 月 16 日~17 日（23~26℃；30%~34%）		2024 年 5 月 7 日~8 日（17~24℃；22%~31%）	
	工频电场强度（V/m）	磁感应强度（μT）	工频电场强度（V/m）	磁感应强度（μT）
220kV 湾石 II 线 05#与 06#线塔导线 下 0m	223.5	2.643	1598	0.914
220kV 湾石 II 线 05#与 06#线塔导线 下 5m	207.6	2.453	1609	0.897
220kV 湾石 II 线 05#与 06#线塔导线 下 10m	158.6	1.643	1472	0.774
220kV 湾石 II 线 05#与 06#线塔导线 下 15m	122.4	1.434	1209	0.431
220kV 湾石 II 线 05#与 06#线塔导线 下 20m	65.25	0.835	809.4	0.304
220kV 湾石 II 线 05#与 06#线塔导线 下 25m	14.33	0.625	412.6	0.218
220kV 湾石 II 线 05#与 06#线塔导线 下 30m	8.23	0.544	224.5	0.218
220kV 湾石 II 线 05#与 06#线塔导线 下 35m	5.30	0.363	86.31	0.186
220kV 湾石 II 线 05#与 06#线塔导线 下 40m	3.25	0.284	57.52	0.149
220kV 湾石 II 线 05#与 06#线塔导线 下 45m	1.41	0.174	36.27	0.146
220kV 湾石 II 线 05#与 06#线塔导线 下 50m	0.41	0.103	27.61	0.125
220kV 湾石 II 线 06#与 07#线塔导线 下 0m	223.7	2.584	1555	0.600
220kV 湾石 II 线 06#与 07#线塔导线 下 5m	216.6	2.435	1940	0.770
220kV 湾石 II 线 06#与 07#线塔导线 下 10m	172.7	1.966	1774	0.678
220kV 湾石 II 线 06#与 07#线塔导线 下 15m	113.4	1.297	1186	0.339
220kV 湾石 II 线 06#与 07#线塔导线 下 20m	83.67	1.186	752.5	0.212
220kV 湾石 II 线 06#与 07#线塔导线 下 25m	34.94	0.985	429.7	0.137
220kV 湾石 II 线 06#与 07#线塔导线 下 30m	8.87	0.797	327.6	0.129
220kV 湾石 II 线 06#与 07#线塔导线 下 35m	2.64	0.316	244.8	0.124
220kV 湾石 II 线 06#与 07#线塔导线 下 40m	1.12	0.185	116.9	0.112
220kV 湾石 II 线 06#与 07#线塔导线 下 45m	0.92	0.123	84.90	0.106
220kV 湾石 II 线 06#与 07#线塔导线 下 50m	0.32	0.067	37.42	0.091
220kV 湾石 II 线 07#与 08#线塔导线 下 0m	222.5	2.620	1805	0.676
220kV 湾石 II 线 07#与 08#线塔导线 下 5m	212.6	2.433	1980	0.756
220kV 湾石 II 线 07#与 08#线塔导线 下 10m	151.4	1.734	1748	0.705
220kV 湾石 II 线 07#与 08#线塔导线 下 15m	112.5	1.326	1228	0.230
220kV 湾石 II 线 07#与 08#线塔导线 下 20m	65.15	0.833	768.4	0.131
220kV 湾石 II 线 07#与 08#线塔导线 下 25m	14.43	0.674	584.7	0.134
220kV 湾石 II 线 07#与 08#线塔导线 下 30m	8.22	0.612	375.8	0.120
220kV 湾石 II 线 07#与 08#线塔导线 下 35m	5.14	0.324	310.5	0.116
220kV 湾石 II 线 07#与 08#线塔导线 下 40m	3.12	0.423	192.7	0.131
220kV 湾石 II 线 07#与 08#线塔导线 下 45m	1.24	0.254	164.4	0.132
220kV 湾石 II 线 07#与 08#线塔导线 下 50m	0.63	0.125	104.7	0.153

表 3.2-10（4/4） 厂址周围工频电场、工频磁场测量结果

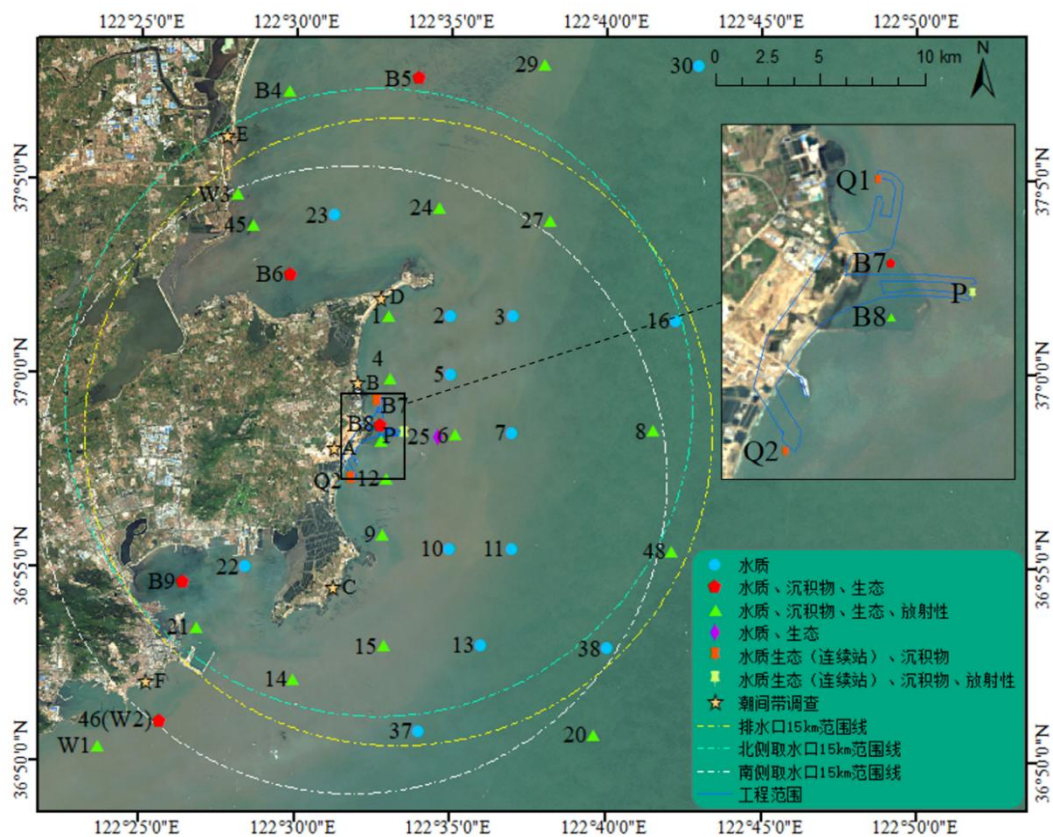
测点名称	2023 年 5 月 16 日~17 日（23~26℃；30%~34%）		2024 年 5 月 7 日~8 日（17~24℃；22%~31%）	
	工频电场强度（V/m）	磁感应强度（μT）	工频电场强度（V/m）	磁感应强度（μT）
220kV 湾石 II 线 12#与 13#线塔导线下 0m	213.2	2.633	1486	0.673
220kV 湾石 II 线 12#与 13#线塔导线下 5m	204.4	2.428	1840	0.814
220kV 湾石 II 线 12#与 13#线塔导线下 10m	148.4	1.834	1657	0.612
220kV 湾石 II 线 12#与 13#线塔导线下 15m	105.9	1.215	1147	0.220
220kV 湾石 II 线 12#与 13#线塔导线下 20m	65.18	0.879	758.5	0.133
220kV 湾石 II 线 12#与 13#线塔导线下 25m	12.72	0.630	547.8	0.116
220kV 湾石 II 线 12#与 13#线塔导线下 30m	8.31	0.542	366.0	0.131
220kV 湾石 II 线 12#与 13#线塔导线下 35m	5.92	0.384	244.2	0.111
220kV 湾石 II 线 12#与 13#线塔导线下 40m	3.46	0.313	123.7	0.112
220kV 湾石 II 线 12#与 13#线塔导线下 45m	1.34	0.187	97.26	0.124
220kV 湾石 II 线 12#与 13#线塔导线下 50m	0.56	0.109	47.91	0.113
220kV 湾石 II 线 17#与 18#线塔导线下 0m	220.4	2.534	353.6	0.876
220kV 湾石 II 线 17#与 18#线塔导线下 5m	205.4	2.305	424.4	1.411
220kV 湾石 II 线 17#与 18#线塔导线下 10m	145.3	1.727	366.4	0.956
220kV 湾石 II 线 17#与 18#线塔导线下 15m	104.3	1.213	193.1	0.762
220kV 湾石 II 线 17#与 18#线塔导线下 20m	63.14	0.824	133.9	0.380
220kV 湾石 II 线 17#与 18#线塔导线下 25m	12.53	0.632	95.15	0.186
220kV 湾石 II 线 17#与 18#线塔导线下 30m	7.32	0.505	45.47	0.163
220kV 湾石 II 线 17#与 18#线塔导线下 35m	4.89	0.313	32.89	0.143
220kV 湾石 II 线 17#与 18#线塔导线下 40m	3.22	0.204	16.57	0.127
220kV 湾石 II 线 17#与 18#线塔导线下 45m	1.45	0.176	4.861	0.096
220kV 湾石 II 线 17#与 18#线塔导线下 50m	0.46	0.104	1.891	0.048



山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
大气环境监测点位示意图		
图 3.2-1	版次：	A



山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
声环境监测点位示意图		
图 3.2-2	版次：	A



山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
海水水质调查布点图		
图 3.2-3	版次：	A

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 安全系统

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

4.1 厂区规划及平面布置

4.1.1 厂区规划

4.1.2 厂区总平面布置

4.1.3 排放口布置

4.1 厂区规划及平面布置

山东石岛湾核电站扩建工程与高温气冷堆核电示范工程、国和一号示范工程同属石岛湾厂址。扩建工程东北侧的华能山东石岛湾核电厂 $1\times 200\text{MW}$ 高温气冷堆示范工程已建成投入运行。扩建工程西南侧的国和一号示范工程 1 号机组已经商运，2 号机组正在调试。山东石岛湾核电站扩建工程分两期建设 4 台百万千瓦级压水堆核电机组，一次规划，分期接续建设，其中扩建工程一期的华龙一号机组正处于施工建设中，二期工程建设两台“华龙一号”机组。

4.1.1 厂区规划

核电厂总体规划依据厂址规划容量和核电厂生产、施工、生活的要求，结合厂址条件，对厂区、厂外设施、非居住区、施工区、防洪排涝设施、交通运输及其设施，出线走廊等从近期出发，并兼顾远期发展，进行统筹规划。总体规划应与城镇和工业区总体规划相协调。

总体规划布置一般需遵循以下原则：

- 山东石岛湾核电站扩建工程分两期建设 4 台百万千瓦级压水堆核电机组，一次规划，分期接续建设，二期工程建设 2 台机组。
- 遵从国家和地方有关城市规划、土地利用规划、海洋功能区划及现行的国家法规和标准，与地方经济发展战略相适应，与当地城市发展相协调。
- 尽量符合现场总体规划，并充分利用现场条件，规划布局尽量减少后期施工对前期生产运行的影响。
- 妥善处理好核电与环境、建设与运行、临时与永久、厂内与厂外等各方面的关系。
- 核岛厂房等与核安全相关的厂房和设施，应布置在埋深适宜、承载力满足要求的均匀、稳定的地基上。
- 以核电厂厂区布局为中心，功能分区明确，辅助配套设施齐全，满足工艺流程及生产、生活的需要；满足物料运输流向及消防、安全的需要。
- 坚持节约用地、合理用地及节省投资的原则。
- 近、远期相结合，统筹规划，分期实施，永久建筑与生产临建相结合，根据要求做好施工场地的规划。

4.1.1.1 分区规划

规划分区原则：

- 以核电厂厂区布局为中心，功能分区明确，辅助配套设施齐全，满足工艺流程及生产、生活的需要；满足物料运输流向及消防、安全的需要；
- 统筹规划，永久建筑与生产临建相结合，根据要求做好施工场地的规划；
- 充分利用现场条件，规划布局尽量减少后期施工对前期生产运行的影响；
- 注重环境建设，节约用地。

根据上述规划原则及核电厂生产运营特点，并结合已有电厂规划现状，全场址主要分为：高温气冷堆示范工程厂区、国和一号示范工程厂区、扩建工程厂区、开关站区、施工准备区（施工临建区、施工办公区、施工生活区）、厂外辅助设施及现场服务区。

1) 核电厂厂区

核电厂厂区是核电厂规划的核心部分，包含有主厂房区（核岛和常规岛）、BOP区等，其它各区均服务于该区。扩建二期工程厂区布置于国和一号示范工程、开关站及扩建一期工程围合形成的区域。

2) 厂外辅助设施区

厂外辅助设施区主要是为电厂服务的相关配套项目，包括应急指挥中心、消防站、武警营房、综合办公楼、展示中心等。高温气冷堆示范工程已建厂外辅助设施能够基本满足扩建工程要求，扩建二期工程规划冷源管理中心的预留用地。

3) 现场服务区

现场服务区主要包括值班宿舍、食堂、停车场及室外活动设施等公共设施。扩建工程与高温气冷堆示范工程共用大部分现场服务设施，扩建二期工程新建活动中心、接待中心。

4) 开关站区

扩建工程（含一期、二期工程）与国和一号示范工程采用电力联合送出方案，共用一个开关站。开关站位于扩建工程西北侧，独立成区布置。

5) 施工准备区

本着方便施工、节省投资、缩短工期、节约用地的原则，施工场地宜前后期衔接，并按照滚动方式考虑。在充分利用已有施工临建区、扩建二期工程厂区周边空地的基

基础上，扩建二期工程不新增施工用地，后续结合项目情况进行优化。

4.1.1.2 专项规划

1) 淡水水源规划

扩建二期施工生产及生活用水均由扩建一期海水淡化系统供应。

2) 取排水规划

取水明渠按 5 台机组（1×200MW 高温气冷堆机组+4 台华龙一号机组）用水量一次规划，在厂址东北面取水，分三期建设。取水明渠一期满足高温气冷堆示范工程的取水条件，取水明渠二期满足扩建一期工程的取水条件，取水明渠三期满足扩建二期工程的取水条件。扩建二期工程将在明渠内增加短中隔堤以消除多机组共模故障。

排水明渠按厂址 7 台机组（1×200MW 高温气冷堆机组+4 台华龙一号机组+2 台国和一号示范工程机组）用水量一次规划，分期建设，向厂址东侧排水。厂址规划容量下的排水明渠方案为相对养参池向东延伸约 600m，其中排水明渠相对养参池向东延伸约 400m 已建成，规划剩余的排水明渠 200m 延长段为扩建一期工程拟建内容。

3) 出线规划

根据厂址的核电机组建设时序及出线规划，扩建工程（含一期、二期工程）与国和一号示范工程采用电力联合送出方案。前序项目投产后，石岛湾核电厂址已建成 500kV 出线 6 回。扩建二期工程仅考虑 3 号、4 号机组通过厂内已建成的 500kV 开关站接入电网，不新增 500kV 出线。

4) 交通运输规划

根据核电厂对交通运输的要求和厂址的自然条件，扩建二期工程的设备与材料运输采用以水运和公路联运为主的运输方式。

— 对外交通

核电厂主要进厂道路、次要进厂道路均已按二级公路标准建成通车。主要进厂道路从厂址西北侧 X042 县道引接，长度约 1.8km，沥青混凝土路面宽 18m；次要进厂道路从厂址西南侧 X035 县道引接，长度约 2.6km，沥青混凝土路面宽 18m。

— 大件设备运输

大件设备可用 5000 吨级船舶运至已建成的石岛湾核电厂大件设备运输码头，再通过大件运输道路进入厂区的安装场地。

— 新燃料、乏燃料运输

在国内供货情况下，新燃料组件可经公路运至核电厂燃料厂房或其它暂存场所，具体方案及运输路线待下阶段论证后确定。

乏燃料运往后处理厂时，需将乏燃料组件装于乏燃料运输容器中，乏燃料运输所需容器考虑由乏燃料专业运输公司或乏燃料后处理厂自备。根据厂址地理位置及附近交通状况，扩建工程的乏燃料组件的运输拟采用采用公海铁联运方式。具体的运输方案、运输路线和接口待大型商用后处理厂选址确定后，由乏燃料专业运输公司与项目法人一起进行可行性研究后确定。

5) 防排洪规划

高温气冷堆示范工程、扩建工程及国和一号示范工程独立考虑厂区防排洪规划，保证洪水互不影响。扩建工程厂区的防排洪采用统一规划设计并一次建设投用，扩建工程厂区位于高温气冷堆示范工程和国和一号示范工程之间，为防止厂址西北侧山体和边坡汇水对厂区造成威胁，沿厂址北侧、西侧及东侧设置厂区排洪沟及暗涵，将厂址附近汇水面积内的洪水、雨水由东、西两个方向排入海域。

6) 边坡规划

厂址地形自西北向东南倾斜，地势低缓，海岸为缓倾的沙滩。自然边坡、岸坡均处于稳定状态。

厂址范围内已有（扩建一期工程建设前）的人工边坡主要有开关站南侧边坡、进场道路两侧边坡、应急道路西侧边坡、石核路两侧边坡。结合厂坪标高及周边地形、场地，扩建一期工程厂区西北侧形成 10.5m~22.2m 挖方边坡，厂区东北侧形成最大高差约 3.8m 的填方边坡。扩建二期工程无新增永久性边坡。

7) 用地及用海规划

扩建二期工程永久用地的用地类型有农用地、建设用地及其他土地。最终以国家正式批复的用地面积为准。

4.1.2 厂区总平面布置

在核电厂总体规划基础上，根据生产、应急、安全、环境、卫生、土建施工、设备安装及检修等要求，结合地形、地质、气象、厂内外运输条件和建设顺序等因素进行总平面布置。总平面布置一般需遵循以下原则：

— 总平面布置与总体规划相协调一致，满足规划容量的要求；

- 核岛厂房等与核安全相关的厂房和设施，应布置在埋深适宜、承载力满足要求的均匀、稳定的地基上；
- 工艺流程合理，功能分区明确，交通运输便捷；
- 确定合理的通道宽度，满足管网布置、生产运行管理和施工安装要求；
- 合理利用厂址地形、地质条件，减少土石方工程量；
- 在满足安全的基础上，综合考虑经济性、可实施性合理确定厂坪标高；
- 节约用地。

综合考虑场地边界、主厂房地基地质条件、厂址周围环境条件、取排水方案及电气出线方向等多方面因素，扩建工程 1 号~4 号机组由东北向西南依次布置在离海岸线约 700m 的缓坡地带，厂区位于国和一号示范工程、高温气冷堆示范工程及开关站围合形成的场地，四台机组并列式布置，与国和一号示范工程相邻的两台机组为扩建二期工程。厂区绿地率 3.2%。

1) 主厂房区

主厂房建筑群主要由反应堆厂房（BRX）、燃料厂房（BFX）、核辅助厂房（BNX）、电气厂房（BLX）、附属厂房（BAA、BAB、BAC）、补给水工艺厂房（BPS）、专用抗震柴油发电机厂房（BDU、BDV）、备用冷却厂房（BEJ）以及汽轮发电机厂房（BMX）等组成，是核电厂最重要的组成部分。主厂房区位于核电厂区的核心，电厂其它辅助厂房围绕主厂房紧凑布置。

综合考虑场地边界、主厂房地基地质条件、厂址周围环境条件、取排水方案及电气出线方向等多方面因素，扩建二期工程厂区规划于国和一号示范工程、开关站及扩建一期工程围合形成的场地，主厂房离海岸线约 700m 的缓坡地带。

2) BOP 厂房区

与生产和运行联系密切的大部分新建 BOP 设施主要围绕主厂房区布置，放射性废物暂存库、厂用气体贮存区、运行值班楼、消防稳压罐间、核岛废液贮存罐厂房/常规岛废液贮存罐厂房、空压机房、备用柴油发电机厂房及柴油机油罐区利用主厂房周边空地布置，潜在放射性含油废水处理站/非放射性含油废水处理站、氨氮处理设施及其它预留用地布置在控制区。

3) 开关站布置

500kV 开关站及 220kV 开关站布置在扩建工程主厂区中部的西侧，便于各机组进

线布置。500kV 开关站采用屋内 GIS 设备，至主变的连接采用 500kV GIL 管道母线。220kV 开关站与辅助变压器间采用 220kV 电缆连接。

4) 取排水工程

扩建工程沿用高温气冷堆示范工程规划的取排水方案，全厂统一规划，取水明渠分期实施。取水明渠及泵房位置基本与一期对应，保证厂区整体效果更为协调统一。扩建二期工程将在明渠内增加短中隔堤以消除多机组共模故障。

全厂共用排水设施，本扩建工程排水通过隧洞（暗涵）接入全厂共用的排水明渠，最终排向东侧海域。

5) 实物保护及出入口

实物保护分控制区、保护区及要害区，三个区域为纵深布局，保护区在控制区内，要害区在保护区内，实物保护措施逐级加强。

扩建二期工程的主保护区、控制区与扩建一期工程连成一体，泵房设置独立保护区及出入口。与扩建一期工程共用主出入口，在厂区西北侧新建次出入口（代替扩建一期工程的次出入口），分别与厂外辅助及现场服务区、应急道路衔接。厂区东南侧（码头附近）设置设备运输的辅助出入口。

6) 厂区交通运输及道路

核电厂厂区运输主要包括施工期间的建材运输和大件设备的运输、运行期间新乏燃料、固体废物、废液及职工上下班人员的运输。运输主要采用公路方式，根据物料的数量、重量及外形尺寸选用适用的汽车、平板车、电瓶车、叉车等。人流、一般货流线路与放射性物流尽量分开，厂区内各建（构）筑物之间的物料运输道路应顺直、短捷。为满足以上的运输要求，确保工程施工及运行期间互为独立的管理体制，需对厂区路网、厂区道路和运输方案做相应规划。

4.1.3 排放口布置

本工程产生的放射性废气经处理、监测达到排放规定后，主要通过各自位于辅助厂房顶部的烟囱排入环境。华龙一号机组采用单堆布置，机组烟囱的顶部标高为65m。

放射性废液经过放射性废液系统处理后采用槽式排放，贮存在贮存槽中的放射性废液经处理、监测达到排放标准后，与电厂的循环冷却水混合后最终排入大海。

施工及运行期生活污水收集后进入生活污水处理站（BEW）进行处理，BEW子项

四机共用，永临结合，扩建二期无新增设备。本期工程施工期及运行期生活污水输送至一期生活污水处理站进行处理，处理后中水尽量回用于厂区绿化、道路浇洒等，剩余部分从扩建一期BCC井排入大海。

从常规岛等厂房收集来的含有潜在放射性含油废水，进入潜在放射性含油废水处理站（BER），经过油水分离，分离出的油脂收集后装入油桶运送到厂外；分离出的水送至BQB厂房进行统一处理排放；从常规岛等厂房收集来的非放射性含油废水，进入非放射性含油废水处理站（BES），经过油水分离处理，分离出的油脂收集后装入油桶运送到厂外；分离出的水排入非放射性工业废水处理系统。

设置非放射性工业废水处理站，针对核电厂正常生产过程中的淡水类非放射性废水进行收集、处理后达标回用或从虹吸井排入大海，以实现“雨污分流”。

厂区内设置独立的雨水排放系统SEO2，扩建二期厂区内布置独立的雨排水管网，拟设置8个排放口排至主厂区周边的防洪沟，最终通过排洪沟排至外海。

本项目温排水采用离岸深排方案，可以利用深海潮流动力强、掺混充分的特点，减少温排水对环境的影响。本项目气态流出物经比周边厂房更高的高烟囱排放，利于弥散并减少对周边环境的影响。

4.2 反应堆和蒸汽—电力系统

4.2.1 概述

4.2.2 核岛

4.2.3 常规岛

4.2 反应堆和蒸汽—电力系统

4.2.1 概述

山东石岛湾核电站扩建二期工程拟建两台华龙一号核电机组，每台机组由核岛、常规岛和电厂配套设备组成，部分设施按全厂共用原则设置。

每台华龙一号机组核蒸汽供应系统（NSSS）的额定热功率为 3190MW，堆芯额定热功率 3180MW。

本工程采用 18 个月换料方式，电厂设计寿命为 60 年。

华龙一号充分借鉴融合了第三代核电技术的先进设计理念和我国现有压水堆核电厂设计、建造、调试、运行的经验，以及近年来核岛发展及研究领域的成果，满足我国最新核安全法规要求和国际、国内最先进的标准要求，同时参考国际先进轻水堆核电厂用户要求（URD 和 EUR），满足三代核电技术的指标要求，满足“采用国际最高安全标准”要求。此外，华龙一号采用经过验证的技术，并充分利用我国目前成熟的装备制造业体系，具有技术成熟性和完全自主知识产权，采用能动与非能动技术相结合的技术，满足全面参与国内和国际核电市场的竞争要求。

4.2.2 核岛

4.2.2.1 核岛厂房布置

核岛厂房主要包括反应堆厂房（BRX）、电气厂房（BLX）、燃料厂房（BFX）、核辅助厂房（BNX）、备用冷却厂房（BEJ）、附属厂房（BAA、BAB、BAC）、专用抗震柴油发电机厂房（BDU、BDV）、补给水工艺厂房（BPS）。核岛厂房采用单堆布置方案，反应堆厂房位于核岛厂房的中间。

（1）反应堆厂房（BRX）

反应堆厂房正常运行时为反应堆冷却剂系统（RCP）、非能动安全注入系统（RIS）、非能动安全壳冷却系统（EPS）、主蒸汽系统（VVP）、主给水流量控制系统（ARE）、安全壳冷却通风系统（EVR）、燃料操作与贮存系统（PMC）等相关的设备和管道提供运行、检修和维护所需的空間，防止这些系统受到内外部灾害影响，并作为放射性屏障保护工作人员和公众，避免受到不必要的照射。在发生事故时，反应堆厂房需要承受事故工况下的最大压力和温度，起到放射性物质包容作用。

（2）电气厂房（BLX）

电气厂房主要是为主控室，安全级电气系统和仪控系统，主蒸汽和主给水系统等提供运行、检修和维护所需的空間。

电气厂房内主要布置以下系统：主给水流量控制系统（ARE），非能动安全壳冷却系统（EPS），主蒸汽系统（VVP），蒸汽大气排放系统（GTA），二次侧非能动余热排出系统（ASP），安全级电气系统，安全级仪控系统，通信系统，主控室，主控室通风系统（DCL），主控室应急可居留系统（DCE）。

（3）燃料厂房（BFX）

燃料厂房主要是为核燃料的贮存、吊装转运等设施提供必要的运行、检修和维护空间。此外，燃料厂房内还布置了部分核岛流体工艺系统和相应的支持系统，为机组的正常运行提供适宜的空間。

燃料厂房内主要布置有以下系统：燃料操作与贮存系统（PMC），反应堆水池和燃料水池冷却和处理系统（PTR），正常余热排出系统（RRA），蒸汽发生器排污系统（APG），非能动安全壳冷却系统（EPS），二次侧非能动余热排出系统（ASP），设备冷却水系统（RRI），核取样系统（REN），核岛排气和疏水系统（RPE），燃料厂房通风系统（DWK）及其他相关支持系统。

（4）核辅助厂房（BNX）

核辅助厂房主要用于布置核岛安全系统以外的辅助系统设施，主要功能单元包括化学和容积控制系统（RCV）的上充单元，放射性液体的过滤、净化、贮存单元，放射性废气处理与滞留单元，一回路和二回路样品的取样单元，核岛厂房控制区的排风单元，热实验室、热机修间等生产服务单元等。同时，作为核岛废物收集处理中转站，收集和暂存机组产生的放射性废物。

核辅助厂房主要布置的系统包括：冷却剂贮存和处理系统（TEP）、废气处理系统（TEG）、废液处理系统（TEU）、反应堆硼和水补给系统（REA）、化学和容积控制系统（RCV）、核取样系统（REN）、固体废物处理系统（TES）、核岛排气与疏水系统（RPE）、核辅助厂房通风系统（DWN）非能动安全壳冷却系统（EPS）、二次侧非能动余热排出系统（ASP）、反应堆水池和燃料水池冷却处理系统（PTR）及相关支持系统等。

（5）附属厂房（BAA、BAB、BAC）

附属厂房主要是为非安全级电气和仪控系统、暖通系统、冷冻水系统、设备冷却水系统、核岛厂用水系统、三废运输通道及人员进出区域等设施提供运行、检修、维

护所需要的空间。

附属厂房内主要布置以下系统：设备冷却水系统（RRI），核岛厂用水系统（SEC），固体废物处理系统（TES），废液处理系统（TEU），蒸汽发生器排污系统（APG），非安全级电气和仪控系统，人员进出区域，电气厂房通风系统（DVL），核辅助厂房通风系统（DWN），附属厂房机械区通风系统（DVX），附属厂房人员服务区通风系统（DWW），运行冷冻水系统（DER），电气厂房冷冻水系统（DEL）。

（6）备用冷却厂房（BEJ）

备用冷却厂房无放射性工艺系统，主要布置备用冷却系统（ECS）及消防水生产系统（JAC）。

（7）补给水工艺厂房（BPS）

补给水工艺厂房主要为核岛区域提供硼水及除盐除氧水，主要布置反应堆硼和水补给系统（REA），除盐除氧水系统（SDD），冷却剂贮存和处理系统（TEP）。

（8）专用抗震柴油发电机厂房（BDU、BDV）

专用抗震柴油发电机组共涉及 2 台柴油发电机组，分别布置在 BDU、BDV 厂房。专用抗震柴油发电机厂房主要布置以下系统：核岛专用抗震柴油发电机系统（第 1 组）（LHU），核岛 380V 专用抗震柴油发电机系统（第 2 组）（LLQ），柴油发电机厂房通风系统（DVD），烟气控制系统（DFL），核岛柴油发电机厂房消防系统（JPV）。

4.2.2.2 堆芯设计

4.2.2.2.1 堆芯描述

山东石岛湾核电站扩建二期工程反应堆堆芯额定功率为 3180MWt，一回路工作压力为 15.5MPa。

山东石岛湾核电站扩建二期工程的堆芯设计采用 18 个月换料燃料管理策略。为了展平功率分布，按 ^{235}U 富集度的不同和含有固体可燃毒物数量的不同，初始堆芯中燃料分区装载，装有较低富集度燃料组件以及含有固体可燃毒物的燃料组件交替排列在堆芯的中心区域，最高富集度的燃料组件和较高且不含固体可燃毒物的燃料组件放置在堆芯外围区域。

4.2.2.2.2 燃料组件和燃料棒

本工程机组堆芯可选用全 M5 AFA 3G 燃料组件。燃料组件由 17×17 排列的燃料棒和燃料组件骨架组成。其中燃料棒由包壳管及装在其中的低富集度烧结圆柱形 UO_2 或 $\text{UO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$ 芯块及螺旋弹簧组成，并在管的端部装上端塞，进行密封焊接。

4.2.2.2.3 其他组件

本工程堆芯内的其他相关组件包括控制棒组件、中子源组件和阻流塞组件。

（1）控制棒组件

由星形架和 24 根控制棒组成，具有启停堆、变更堆功率和保护反应堆的功能。

（2）固定式相关组件

包括一次中子源组件、二次中子源组件和阻流塞组件。首循环堆芯内一次中子源组件和二次中子源组件各 2 组，阻流塞组件 104 组；后续循环只有 2 组二次中子源组件和 106 组阻流塞组件。

4.2.2.3 反应堆冷却剂系统

（1）传热回路

反应堆冷却剂系统（RCP）由并联到反应堆压力容器的三条相同的传热环路组成。每一条传热环路包含一台反应堆冷却剂泵和一台蒸汽发生器。在运行时，通过反应堆冷却剂泵使冷却剂在反应堆压力容器和传热环路中循环。作为冷却剂、慢化剂和硼酸溶剂的水在通过堆芯时被加热，然后进入蒸汽发生器，将热量传递给二回路系统后返回到反应堆冷却剂泵入口，通过反应堆冷却剂泵重新打入到压力容器反复循环。

（2）压力控制

在水密实状态下，反应堆冷却剂系统的压力是通过化学和容积控制系统（RCV）进行控制。当稳压器为汽液两相状态时，通过稳压器控制反应堆冷却剂系统的压力。

（3）超压保护

当正常余热排出系统（RRA）与反应堆冷却剂系统相连时，利用RRA的安全阀对反应堆冷却剂系统进行超压保护；当RRA系统与反应堆冷却剂系统未相连时，由两台分别通过一段管道连接在不同列的ADS-1~3阀门入口母管上的弹簧式稳压器安全阀执行反应堆冷却剂系统的超压保护。

（4）严重事故卸压

自动卸压系统第4级连接到每个反应堆冷却剂回路热段管道上，提供严重事故下卸压功能。在严重事故工况下（DEC-B），操作员手动启动自动卸压系统第4级中爆破阀进行一回路卸压，以防止多重失效状况下的高压熔堆。

（5）堆顶事故排气功能

压力容器顶部配有2列堆顶排气系统（2×100%），该系统通过执行事故下排气功能在事故工况下排出压力容器上封头的不可凝气体，从而保证反应堆冷却剂系统的自然循环。

4.2.2.4 核辅助系统

核辅助系统保证反应堆和一回路的正常启动、运行与停堆。核辅助系统包括：化学和容积控制系统（RCV）、反应堆硼和水补给系统（REA）、反应堆水池和燃料水池冷却和处理系统（PTR）、蒸汽发生器排污系统（APG）、核取样系统（REN）等，其中：

（1）化学和容积控制系统（RCV）

RCV系统主要由下泄、上充、主泵轴封注入和回流、冷却剂净化单元、容积控制单元、注锌单元和高压补硼单元组成，其功能主要是一回路容积控制、反应性控制和水化学控制。RCV系统下泄管线从RCP系统2环路的过渡段引出，流过再生式热交换器的管侧，在此被壳侧的上充流冷却再流经下泄热交换器管侧，由下泄热交换器壳侧的设备冷却水将下泄流冷却至冷却剂净化、除气系统允许的温度后，通过高压减压阀进行降压，降温降压后的下泄流离开反应堆厂房，进入核辅助厂房。

随后冷却剂流经冷却剂过滤器去除固体杂质，再通过混床除盐器去除离子态杂质，根据需要也可再流经阳床除盐器以去除铯或过剩的锂，然后冷却剂经过除盐器下游树脂捕集过滤器去除破损的树脂杂质。功率运行寿期末冷却剂可通过与混床除盐器并联的除硼除盐器进行除硼，同时硼饱和后的除硼除盐器可兼顾停堆期间一回路冷却剂的氧化净化。净化单元设有旁路，当部件失效或下泄温度高时净化单元将被隔离。

净化后的反应堆冷却剂被送至容积控制箱内进行喷淋加氢，随后大部分冷却剂流经再生式热交换器壳侧被下泄流加热后由上充泵注入RCP系统1环路冷管段；剩余部分冷却剂经轴封注入过滤器过滤后，分别注入到三台反应堆冷却剂泵轴封，为其提供轴封注入水。

除正常上充管线外，还设有一条从再生式热交换器出口至稳压器的辅助喷淋管线，当正常喷淋不可用或流量不足时，为稳压器提供辅助喷淋。

功率运行期间，注锌单元持续将醋酸溶液注入到上充泵入口母管，由上充泵注入到一回路反应堆冷却剂中，以维持一回路材料表面含锌氧化膜的稳定性。

一回路高压运行阶段，当堆芯补水箱内硼浓度不满足要求以及安注箱内硼酸浓度或装量低于要求值时，通过 RCV 的高压补硼泵对堆芯补水箱或安注箱进行补硼操作。

（2）反应堆硼和水补给系统（REA）

REA 系统包括硼酸制备与分配、硼酸贮存与补给、除盐水补给和化学添加四个子系统。硼酸制备与分配子系统为机组所有贮存硼酸溶液的系统或设备提供首次注入和补给需要的硼酸溶液；硼酸贮存与补给部分贮存机组正常运行期间慢反应性变化控制及容积控制所需的硼酸溶液，并通过 RCV 系统向 RCP 系统补给；除盐水补给部分从除盐除氧水生产系统（SDD）除盐除氧水箱取水，通过 RCV 系统向 RCP 系统补给慢反应性变化控制、容积控制所需的除盐除氧水；化学添加子系统将一回路水化学调节所需的化学药品通过除盐水注入管线经 RCV 系统注入到 RCP 系统。

（3）反应堆水池和燃料水池冷却和处理系统（PTR）

PTR 系统是非安全有关系统，事故后乏燃料水池中燃料的冷却通过池水沸腾蒸发和补水方式实现。

PTR 系统包含两个机械系列，每个系列包含一台冷却泵、一台换热器、一台前置过滤器、一台混床除盐器和一台后置过滤器，均布置在燃料厂房和辅助厂房。此外，PTR 系统还包括系统运行所必需的管道、阀门和仪表等。

两个系列均能独立执行 PTR 系统的相关功能，包括：冷却、净化、水传输。当一个系列对乏燃料水池进行冷却和净化时，另一个系列可用于水传输，或其他水池（安全壳内置换料水箱（IRWST）、反应堆水池）的净化，或作为在运列的备用列。两个系列共用吸入母管和排出母管，可以同时从乏燃料水池取水，冷却后汇合传回乏燃料水池。

PTR 系统设有取样点，可以实现对乏燃料水池、反应堆水池、IRWST、转运井、装载井及准备井的取样。

冷却泵的另外一条吸入母管与 IRWST 和反应堆水池相连接，可以完成对 IRWST 和反应堆水池的净化和冷却，也可以完成水池间的水传输。该母管还与转运井、装载

井和准备井相连，可用于转运井、装载井和准备井之间的水传输。

PTR 系统为非安全有关系统，不要求用于缓解设计基准事故。当 PTR 系统不能运行时，可通过正常余热排出系统（RRA）冷却乏燃料水池。如果乏燃料水池完全丧失能动循环冷却，可通过沸腾蒸发、补水带出乏燃料水池衰变热。

（4）蒸汽发生器排污系统（APG）

APG 系统主要有以下几个组成部分：

排污水收集：收集三台蒸汽发生器二次侧的排污水；

排污水冷却：根据核电厂的运行情况，排污水通过热交换器后被冷却到低于 60℃；

降压和流量控制站：经过冷却后的排污水，通过一个降压和流量控制站用于调节总排污水流量和排污水降压；

排污水处理：APG 系统可以净化处理冷却后的排污水，净化内容主要包括腐蚀产物及离子杂质的去除。净化单元由两台并联的过滤器（一用一备）和两列除盐系列组成；

排放：除盐处理后的排污水汇合到一根排污管后通过凝汽器返回到二回路。在蒸汽发生器二次侧水污染较严重的情况下，如凝汽器泄漏或蒸汽发生器传热管泄漏，可在机械过滤后由旁路管线将排污水排往常规岛废液排放系统（SEL）或核岛放射性废液排放系统（TER）。

（5）核取样系统（REN）

REN 系统分为一次侧取样子系统、二次侧取样子系统和事故后取样子系统。

一次侧取样子系统对反应堆冷却剂和辅助系统的液体和气体样品进行取样，通过测量或分析确定样品特性。二次侧取样子系统对来自蒸汽发生器排污管和蒸汽发生器排污系统（APG）净化单元的液体样品进行取样分析，通过测量或分析确定样品特性。事故后取样子系统在事故后对安全壳内气体样品和液体样品进行取样。

REN 系统通过工艺处理单元对样品进行降温 and 减压。高温高压样品采用两级降温一级降压，中高压样品采用一级降压，低温低压样品采用一级降温一级降压。高温取样冷却器由设备冷却水（RRI）冷却，低温取样冷却器由运行冷冻水（DER）冷却。

经工艺处理后的样品送往在线分析仪表自动分析或手动取样分析。

未被污染的样品进行回收：一回路液体样品返回至 RCV 容控箱，当容控箱不可用时，样品通过 RCV 低压下泄返回管线汇集至 RRA 泵上游。事故后，样品排至核岛排

气和疏水系统（RPE）。二次侧液体样品返回至 APG 净化单元上游，当 APG 净化单元不可用时，样品排往 RPE。被污染的样品直接排往 RPE。

（6）设备冷却水系统（RRI）

设备冷却水系统（RRI）是一个闭式回路的冷却水系统，通过核岛厂用水系统（SEC）与最终热阱相连，导出核岛系统及设备的热量。

RRI 系统由两个系列组成，每个系列可以为列内用户和列间公共用户提供冷却。正常运行工况，RRI 系统的两列相互隔离，当其中一列出现故障时，公共用户可以由另外一列进行冷却。LOOP 工况时，RRI 系统每列由对应列的备用柴油机供电，为列内和列间用户提供冷却。

每个系列的主要设备包括：2 台设冷水泵、2 台 RRI 板式换热器和 1 台波动箱。

（7）核岛厂用水系统（SEC）

核岛厂用水系统（SEC）是一个开式系统，从大海吸取冷却水，冷却设备冷却水系统（RRI）的 RRI/SEC 换热器，再将冷却 RRI/SEC 换热器后的热水排至大海，执行其将 RRI 系统收集的热负荷输送至最终热阱（大海）的运行功能。

SEC 系统由两个系列组成。两个系列的 SEC 泵各自布置在联合泵房相互分隔开的泵房间内。两个系列 SEC 泵从循环水过滤系统（CFI）的旋转滤网下游取水。海水由 SEC 泵通过廊道送往附属厂房，经贝类捕集器过滤后冷却 RRI 换热器，然后通过溢流井排往虹吸井，最终排入大海。

（8）主蒸汽系统（VVP）

VVP 系统通过三列主蒸汽管线将蒸汽发生器（SG）产生的蒸汽输送到各蒸汽用户。VVP 系统每列主蒸汽管线上配置相同。

在安全壳内，每根主蒸汽管道设有二次侧非能动余热排出系统（ASP）的接管。

在安全壳外，每列主蒸汽管线主要设有主蒸汽安全阀（MSSV）、主蒸汽隔离阀（MSIV）、暖管管线及阀门、疏水管线及阀门，以及与蒸汽大气排放系统（GTA）相连的接管。

（9）主给水流量控制系统（ARE）

给水通过常规岛（CI）的给水母管分配到三列独立的给水管线，经过电气厂房的 ARE 阀站，分别送至三个蒸汽发生器。每列主给水管线的给水阀站上游装有流量测量装置用于流量测量。

在给水管隔间内，每列主给水由两条并联的给水管线组成：

满负荷管线安装有一台满负荷调节阀（FLCV）和一台满负荷隔离阀（FLIV）；

低负荷管线安装有一台低负荷调节阀（LLCV）和一台低负荷隔离阀（LLIV）。

在低负荷管线连接着一根支管，用于 CI 侧给水管线的暖管。

调节阀下游与反应堆厂房贯穿件上游之间的主给水管线上安装有一台主隔离阀（MIV），执行安全壳隔离功能。

在反应堆厂房内，每列主给水管线上有一台止回阀，安装在靠近 SG 给水管嘴的位置。

每台 SG 配置了液位测量仪表，用于 SG 二次侧液位的监视和控制。

（10）安全壳泄漏率试验和监测系统（EPP）

安全壳泄漏率试验和监测系统由设备闸门、人员闸门（应急人员闸门）以及安全壳泄漏率试验需要的增压降压管线和相应的安全壳内仪表构成。

设备闸门和人员闸门（应急人员闸门）用于在停堆换料期间向安全壳内外运输人员及设备，在机组正常运行阶段处于关闭状态，构成安全壳的一部分保证安全壳密封功能。

安全壳增压降压管线用于在调试阶段和机组正常运行后定期执行安全壳泄漏率试验，管线设置隔离阀和调节阀，用于控制增压降压的启停和流量。

（11）正常余热排出系统（RRA）

RRA 系统包含两个子系列，每列包含一台泵、一台热交换器。两列共用吸入母管和排出母管。此外，RRA 系统还包括系统运行所必需的管道、阀门和仪表等。RRA 系统从 RCP 一环路热段吸水，可从 DVI 管线或二、三环路冷段注入 RCP。

RRA 泵的吸入母管和排出母管配置了与 IRWST 相连接的管线，可以完成对 IRWST 搅混和冷却。

RRA 泵的吸入母管和排出管配置了与 RCV 相连接的管线，可以完成低压下泄功能以及低压下泄回水功能。

RRA 泵的吸入母管和排出管配置了与 PTR 相连接的管线，可以备用 PTR 系统对乏燃料水池进行冷却并兼顾 PTR 装载井的搅混功能。

为防止 RRA 系统隔离后的意外超压，在两个子系列后设置了一台安全阀以保护 RRA 系统安全壳外设备不超压。另外，在 RRA 的壳内吸入母管上还并联设置了两台

安全阀用于在停堆期间为反应堆冷却剂系统提供超压保护。

（12）启动和停堆给水流量控制系统（AAE）

AAE 系统包括三列，每列对应一台 SG，三列的系统配置完全相同。

启停给水通过常规岛（CI）的给水母管分配到三列独立的启停给水管线，每列包含一台启停给水调节阀、一台启停给水隔离阀和一台安全壳内启停给水止回阀，后连接到相应的 SG。

（13）蒸汽大气排放系统（GTA）

GTA 系统位于电气厂房，与 VVP 系统的主蒸汽管道相连。每列主蒸汽管道上配置一列 GTA 管线。每列 GTA 管线设有一台隔离阀和一台调节阀，管道末端连接至电气厂房外部并设置一台消音器，可向大气排放蒸汽。

（14）备用冷却系统（ECS）

ECS 系统用于事故工况下的热量导出，通过机械通风冷却塔将用户热量导出至大气。ECS 系统由中间冷却回路和终端冷却回路组成，其中终端冷却回路由一台终端循环泵、一台终端过滤器、一套机械通风冷却塔（含配套风机、水池等）及相关管道、阀门和管件组成；中间冷却回路由一台中间循环泵、一台中间波动箱、一台中间换热器及相关管道、阀门和管件组成。

4.2.3 常规岛

4.2.3.1 常规岛主厂房布置

常规岛主厂房包括汽轮发电机厂房与毗屋。汽轮发电机厂房内主要安装有汽轮机、发电机、励磁机、汽水分离再热器、凝汽器、凝结水泵、低压加热器、除氧器、电动给水泵组、凝结水精处理设备、高压加热器、化学取样设备、暖通设备、电气开关柜、蓄电池组以及其它辅助设备；毗屋内设有凝结水精处理间、润滑油传送间等。

4.2.3.2 蒸汽—电力转换系统

蒸汽—电力转换系统由核岛蒸汽供应系统供汽，驱动额定输出功率为不小于 1200MWe 的汽轮发电机组。蒸汽电力转换系统包括主蒸汽系统及疏水系统、汽水分离再热器系统、凝结水系统、汽机回热抽汽系统、汽机旁路系统、主给水系统和其它辅助系统。

4.2.3.3 汽轮机发电机组

（1）汽轮机

汽轮机为三缸四排汽，全周进汽，串联布置，转速为 1500rpm，每台汽轮机组配有四组高压主汽调节联合阀。每组联合阀体上有 1 个主汽门和 1 个调节汽门。蒸汽通过这 4 套主汽门和调节汽门进入高压缸。主汽门的主要作用是在紧急条件下切断通往高压缸的蒸汽。调节汽门的主要功能是根据控制系统的要求调节进入汽机的蒸汽量。经由主汽门的蒸汽，通过调节汽门后进入到高压缸膨胀做功。

高压缸上有两级抽汽分别至 7 号和 6 号高压加热器加热给水。高压缸排汽通过高压排汽管输送到位于机组两侧的汽水分离再热器中进行汽水分离和再加热，其中一部分排汽被送往除氧器对给水进行除氧和加热。经过汽水分离和两级再热后的蒸汽进入中压缸继续膨胀做功，之后再进入低压缸做功。

中压缸上有 2 级抽汽分别被引出至 4 号、3 号低压加热器；低压缸上有 2 级抽汽分别被引出至 2 号和 1 号低压加热器。蒸汽在低压缸膨胀做功后排入凝汽器，最终凝结成水。

汽轮机抽汽还作为热水生产和分配系统与厂外供暖系统的汽源。

（2）发电机

本工程采用的发电机为三相、旋转磁场、圆柱形转子、水平放置同步发电机，1500rpm，4 极，额定功率为 1200MWe 级，额定电压 24kV 或 27kV，自并励静态励磁（或无刷励磁）。

发电机冷却方式为水-氢-氢冷却，即定子绕组、引线、引出线等为水内冷，转子绕组为氢内冷，定子铁芯及其它构件为氢冷。冷风由发电机风扇通过通风孔和通风沟打入转子和铁芯背部通风道。气体冷却器水平安装在发电机机座顶部的冷却器罩内，氢气通过冷却器的翅片管内的冷却水冷却。

发电机定子机座由一个钢板焊接结构的气密圆柱形外壳组成，内部在径向和轴向两个方向上用筋板加固，以提供一个刚性结构。定子铁芯由高质量硅钢片组成。定子绕组由双层、半个绕组构成，并在嵌入定子铁芯槽中后端部被连接起来，形成一个完整的绕组。

氢冷发电机配有密封油系统，用来防止氢气通过轴通透部分泄漏出发电机，同时

又防止空气进入到发电机内。密封油系统分为空侧密封油系统和氢侧密封油系统。空侧密封油由 2 台互为备用的交流密封油泵或应急直流密封油泵提供。

定子冷却水系统设计用以维持定子线圈的合适温升，保持冷却水导电率在足够低的水平。在发电机额定输出功率的条件下，供给定子线圈的冷却水保持在一个额定的流量，流量的大小和冷却水的导电率由控制系统检测和控制。

4.2.3.4 凝汽器

凝汽器为单背压、单流程的表面式热交换器。凝汽器的壳体布置在汽轮机厂房运转层的下方，每台凝汽器壳体喉部均安装有复合低压加热器。凝汽器冷却管采用钛管。每个壳体均设置 2 个凝结水出口，通过支管汇集到凝结水母管，然后进入凝结水泵。

凝汽器不仅接收并冷凝满负荷运行时的汽轮机排汽，还需接收二回路热力循环系统中的各个设备及热力管道的排汽和疏水，以及热水生产和分配系统和厂外供暖系统的疏水。这些流体通过凝汽器被循环水冷却，热量由循环水带入大海，不凝结气体由凝汽器真空系统抽出。凝汽器的设计容量除能够满足低压缸排汽之外，还能够接收部分满负荷主蒸汽流量的旁路蒸汽。

4.3 核电厂用水和散热系统

4.3.1 核电厂用水

4.3.2 核电厂散热系统

4.3 核电厂用水和散热系统

4.3.1 核电厂用水

4.3.1.1 核电厂用水来源

山东石岛湾核电站扩建二期工程施工期生产、生活用水由扩建一期海水淡化系统供应。运行期生产、生活用水由海水淡化供应，饮用水采取桶装水，海域赤潮工况下，采用八河水库作为赤潮临时水源。本期工程施工期日最大用水量约为 $4000\text{m}^3/\text{d}$ 。考虑管网漏损和未预见水量，本期工程两台机组正常运行耗水量约为 $3000\text{m}^3/\text{d}$ ，两台机组最高取水量约为 $5000\text{m}^3/\text{d}$ 。本期工程淡水耗水指标为： $0.02\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{GW})$ 。工业用水的重复利用率为 99%。

4.3.1.2 核电厂用水系统

（1）与核岛冷却用水相关的系统主要有：

- 核岛厂用水系统（SEC）：核岛厂用水系统（SEC）是一个开式系统，从大海吸取冷却水，冷却设备冷却水系统（RRI）的 RRI/SEC 换热器，再将冷却 RRI/SEC 换热器后的热水排至大海，执行其将 RRI 系统收集的热负荷输送至最终热阱——大海的运行功能。
- 设备冷却水系统（RRI）：设备冷却水系统（RRI）是一个闭式回路的冷却水系统，通过核岛厂用水系统（SEC）与最终热阱相连，导出核岛相关系统及设备的热量。RRI 系统由两个冷却系列组成，每个系列由对应的 SEC 系列为其提供冷却。RRI 系统作为核岛一回路和环境之间的一道屏障，能够防止放射性物质泄漏到环境，同时也可以防止未经处理的海水进入安全壳或反应堆系统中。

（2）与常规岛冷却用水相关的系统主要有：

- 循环水系统（CRF）：为汽机凝汽器提供冷却水。并通过辅助冷却水系统（SEN）为常规岛闭路冷却水系统（SRI）、凝汽器真空系统（CVI）的热交换器提供冷却水。
- 循环水过滤系统（CFI）：确保常规岛的循环水系统及核岛厂用水系统（SEC）的过滤功能，并防止海生物和污物经由海水冷却水夹带进入联合泵站和各冷却系统。循环水过滤系统（CFI）位于联合泵房（BPX）。

- 循环水处理系统（CTE）：向循环水过滤系统（CFI）、循环水系统（CRF）和核岛厂用水系统（SEC）供应活性氯化物溶液，以尽量减少微生物、藻类和贝类的繁殖。

（3）与生产用水相关的系统主要有：

- 饮用水系统（SEP）：SEP 饮用水系统的任务是供应生活用水并将其分配至核电厂的各个建筑物。
- 生产用水系统（SEI）：SEI 生产用水系统的任务是供应生产用水并将其分配至核电厂的各个建筑物。

4.3.2 核电厂散热系统

4.3.2.1 取排水系统

（1）取排水工程现状

石岛湾核电厂址取排水方案为南、北两侧明渠取水，中间明渠离岸集中排水。南侧为国和一号示范工程 2 台 CAP1400 机组取水口、北侧为华能 1 台高温堆和扩建 4 台华龙一号机组取水口，7 台机组通过中间排水明渠合排至厂址东侧。北取水明渠分公共段（海域）和扩建段（陆域），其中公共段已建成，扩建段（陆域）为扩建工程拟建内容；南取水明渠已建成；厂址规划容量下的排水明渠方案为相对养参池向东延伸约 600m，其中排水明渠相对养参池向东延伸约 400m 段已建成，规划剩余的排水明渠 200m 延长段为扩建一期工程拟建内容。此外，南取水明渠北侧设置 5000 吨级大件码头，作业区以引堤形式与岸侧连接，已建成。

（2）设计原则

- 循环水系统采用直流供水系统，以海水为冷却水水源。
- 现状取排水工程尺寸已考虑了扩建工程取排水量，取排水扩建工程需在现状取排水工程基础上进行优化。
- 工程附近海域和陆域海水养殖规模均较大，应采取工程措施减轻温排水和放射性液态流出物对海水养殖的影响，力争做到 1℃ 温升区离岸。
- 取排水设施应与当地的海域环境功能区划相协调，尽量减小 1℃ 和 4℃ 温升影响范围，减轻取排水对环境、生态敏感点的影响，以满足日趋严格的环保法规要求。

（3）扩建工程取排水方案

北取水明渠按规划容量机组（1×200MW 高温堆气冷机组+4 台华龙一号机组）用水量一次规划，在厂址东北面取水，分三期建设。一期满足高温堆 1 台机组的取水条件，二期满足扩建工程 1#、2#机组的取水条件，三期满足扩建工程 3#、4#机组的取水条件。

1 台高温堆机组采用一条单孔取水沟道穿过北取水渠西护岸，在取水明渠内取水，取水沟道端部采用喇叭口形式；扩建工程 1#、2#机组通过北取西护岸和内护岸之间的泵房前池直接从北取水明渠取水；扩建工程 3#、4#机组通过内护岸和北取南护岸之间的泵房前池直接从北取水明渠取水。

基于冷源防护方面的考虑，取水明渠内设中隔堤以便扩建一期与扩建二期的取水相对独立，中隔堤起端为取水明渠中轴线水陆分界线处，终端为扩建一期泵房下游。

排水明渠按厂址规划容量机组（1×200MWe 高温堆气冷机组+4 台万千瓦级压水堆机组+2 台国和一号示范工程机组）用水量一次规划建设，向厂址东侧排水。排水明渠长约 2.55km。

（4）冷源防护方案

山东石岛湾核电站厂址北取水明渠已按 5 台机组一次性规划、分期开展建设。扩建一期工程在取水明渠内设置了一套循环水监测与预过滤系统，扩建二期工程与扩建一期工程共用中隔堤起端上游的拦截设施，本期工程在独立的取水通道内布设两道拦截网兜及一道兜底网。监测预警由前端监测预警设备及监测预警平台组成，前端监测预警设备主要有浮标集成监测设备、声呐、水上水下视频、拉力计、海流计、岸基雷达、气象等；驱离消杀主要采用移动式喷洒装置喷洒改性粘土应对微藻类赤潮暴发；拦截清理主要由围油栏、机械化粗拦网、机械化细目网兜、网兜的机械清理装置、兜底平面网等组成。系统对机组所使用的全部海水进行预过滤，降低了海生物及垃圾进入泵房堵塞过滤系统的风险，提高了取水的可靠性。

4.3.2.2 循环水系统

山东石岛湾核电站扩建二期工程（3#、4#机组）建设 2 台华龙一号核电机组，电厂海水直流供水系统分别向循环冷却水系统（CRF）、核岛厂用水系统（SEC）、辅助冷却水系统（SEN）、循环水处理系统（CTE）、海水淡化系统（SWD）以及循环水过滤系统（CFI）提供冷却和生产用海水。

循环水系统组成如下：

- 取水明渠；
- 明渠拦污设施；
- 联合泵房，包括循环水泵、核岛厂用水泵、消防泵及过滤设备鼓网等；
- 循环水压力进水管等；
- 凝汽器；
- 循环水压力排水管沟；
- 虹吸井；
- 排水暗涵及排水明渠；
- 排水口。

主要工艺流程如下：

黄海→取水明渠→明渠拦污设施→泵房前池→粗格栅→钢闸门/加氯框→细格栅/清污机→旋转滤网→循环水泵→循环水压力进水管→二次滤网→凝汽器→循环水压力排水管沟→虹吸井→排水暗涵→排水明渠→厂区东侧排水口。

本期工程通过电解海水制氯来达到抑制海生物滋生附着的目的。

4.4 输电系统

4.4 输电系统

前期工程投产后，石岛湾核电厂址已有 500kV 出线 6 回，分别至乳山 2 回、至栖霞 1 回、至牟平 1 回、至昆嵛 2 回，达到规划规模。本期工程仅考虑 3、4 号机组接入电网，不新增 500kV 出线。最终接入方案以本期工程接入系统专题的批复意见为准。

石岛湾核电厂址 220kV 辅助电源（启备电源）前期已考虑 2 回 220kV 线路接入系统，分别至漠陂站 1 回、高温气冷堆 220kV 开关站 1 回，达到规划规模，本期不新建 220kV 线路。

4.5 安全系统

4.5.1 专设安全设施

4.5.2 严重事故预防和缓解设施

4.5 安全系统

山东石岛湾核电站扩建二期工程安全系统包括专设安全设施和严重事故预防和缓解措施。

专设安全设施：非能动安全注入系统（RIS）、二次侧非能动余热排出系统（ASP）、非能动安全壳冷却系统（EPS）、安全壳隔离系统（伪系统）等组成。

严重事故预防和缓解措施：安全壳喷淋系统（EAS）、安全壳可燃气体控制系统（EUH）、熔融物堆内滞留冷却系统（RIV）以及安全过滤排放系统（EUF）等组成。

4.5.1 专设安全设施

（1）非能动安全注入系统（RIS）

RIS 系统主要包括 2 个堆芯补水箱（CMT）、2 个安注箱（ACC）、1 个安全壳内换料水箱（IRWST）、相关的滤网、阀门、管道和仪表。3 个水源和安全壳再循环流道通过两条压力容器直接注入（DVI）管线与反应堆压力容器相连。

电厂正常运行期间，RIS 系统处于备用状态；发生事故后，RIS 系统可能投运。

收到投运信号后，CMT 出口隔离阀自动打开，触发 CMT 运行。CMT 有两种运行模式。若一回路主管道冷管段充满水，则 CMT 运行在水循环模式，驱动力是 CMT 平衡管线中热水和 CMT 中冷水的密度差。若冷管段排空，则 CMT 运行在蒸汽补偿模式，其驱动力是冷段的蒸汽和 CMT 中水的密度差。

当 RCP 系统压力低于安注箱氮气压力时，安注箱出口止回阀自动开启，安注箱内的氮气提供动力，将硼水通过 DVI 管线注入压力容器。

收到 IRWST 重力注入投运信号后，IRWST 注入管线爆破阀启动，触发 IRWST 重力注入。当 IRWST 的液位降低至整定值时，安全壳再循环管线爆破阀开启，提供安全壳再循环注入。

（2）二次侧非能动余热排出系统（ASP）

ASP 系统的主要功能是在设计基准事故（DBC）/没有造成堆芯明显损伤的设计扩展工况（DEC-A）后冷却一回路，带出堆芯余热。

ASP 系统共三列，每列由一个冷却水箱（与 EPS 系统共用）、一台冷凝器、一个应急补水箱、相关的阀门、管道和仪表组成。蒸汽侧壳内接蒸汽发生器出口的主蒸汽系统（VVP）管线，冷凝回流侧接启动和停堆给水流量控制系统（AAE）壳内止回阀

下游。冷凝器的蒸汽侧设置两道串联的常开能动隔离阀，冷凝器的冷凝回流侧设置两道并联的常关能动隔离阀、一道止回阀和一道手动隔离阀。应急补水箱入口连接蒸汽侧，设置两道串联的常开能动隔离阀和一道常开的手动隔离阀，出口连接冷凝回流侧，设置两道并联的常关能动隔离阀和一道止回阀。

电厂正常运行期间，ASP 系统不运行。事故工况下，ASP 系统接收到启动信号后，冷凝器出口的隔离阀打开，ASP 系统投入运行，带走堆芯的余热。

（3）非能动安全壳冷却系统（EPS）

EPS 系统主要安全功能为设计基准事故工况以及设计扩展工况下（尤其是失水事故（LOCA）工况下），有效导出安全壳内的热量，并维持安全壳压力和温度在可接受的低水平，从而保障安全壳的完整性及安全壳内的放射性物质的可控泄漏。EPS 系统的冷却水箱作为二次侧非能动余热排出系统（ASP）的热阱，参与于非 LOCA 事故下的导热功能。此外，冷却水箱同时还执行事故后的乏池补水功能。当乏燃料水池长期丧失冷却时，高位布置的冷却水箱通过重力向乏池提供补水，乏燃料的衰变热以补水蒸发的形式带出。

EPS 系统由 12 个配置相同的换热单元组成。换热单元共用安全壳外的三个冷却水箱，每个换热单元均由热管回路、安全壳隔离阀以及壳外冷却水箱组成。热管回路采用分离式换热器，具体包括布置在安全壳内的蒸发器和布置在安全壳外冷却水箱里的冷凝器以及上升段和下降段的连接管道及贯穿件，此外冷凝器出口设置集气器，用于收集回路中的不凝结气体，提高系统的传热性能。

系统备用时，热管回路中充入一定充液率的换热介质，并抽至尽可能高的真空状态。上升段和下降段的阀门均可以处于常开状态，事故后不需要任何动作，系统自动运行。

（4）安全壳隔离系统

安全壳隔离系统为伪系统，通过安全壳贯穿件及安全壳隔离阀来执行安全壳隔离功能，确保正常运行和事故期间安全壳的完整性。在安全壳内有裂变产物释放时，安全壳隔离系统确保安全壳的密封性以减少放射性向外部大气的释放。

安全壳隔离功能有助于放射性物质的包容，以确保在伴有放射性物质释放的事故期间，能将通过流体贯穿件释放到环境中的放射性减小到最低程度。

4.5.2 严重事故预防和缓解措施

（1）安全壳喷淋系统（EAS）

安全壳喷淋系统（EAS）在事故后通过执行安全壳喷淋功能，支持事故后安全壳降温及降压，沉降放射性，为专设安全设施的事故缓解功能提供补充或支持。

在设计基准事故（DBC）长期及没有造成堆芯明显损伤的设计扩展工况（DEC-A）下，EAS 系统由正常余热排出系统（RRA）供水，由 RRA 泵从壳内再循环地坑取水，输送到喷淋环管执行安全壳喷淋功能，该功能为纵深防御功能。

严重事故后（DEC-B），EAS 系统由核岛水消防系统（JPI）供水，由消防泵从消防水池取水，输送到喷淋环管执行安全壳喷淋功能，该功能为非安全相关功能。

EAS 系统由管道、阀门、安全壳喷淋环管及喷头组成。

（2）安全壳可燃气体控制系统（EUH）

设置完善的可燃气体控制系统是应对严重事故的重要措施。所谓可燃气体主要是指氢气，当安全壳内的氢气浓度达到一定比例后，在外界条件（例如温度、压力、氧气浓度等）适合的情况下，可能会发生氢气燃烧或迅速爆燃而造成与安全有关的设备和系统的局部损坏，甚至损坏安全壳的结构，造成大量的放射性物质进入环境，所以危及安全相关设备和系统的氢气局部燃烧和危及安全壳完整性的整体氢气爆炸必须被排除。安全壳可燃气体控制系统（EUH）由氢气复合器子系统、氢气点火器子系统和氢气监测子系统组成。

氢气复合器子系统包含一系列的非能动氢复合器，氢气复合器主要布置在安全壳大空间，以降低安全壳大空间的氢气浓度。

氢气点火器子系统包含一系列的氢气点火器。氢气点火器布置于安全壳内，用于事故工况下快速消氢。

氢气测量子系统由布置在安全壳内的氢气浓度探测器和布置在安全壳外的信息处理柜以及通往主控室显示装置组成。氢气测量子系统将为操纵员提供严重事故下的安全壳内氢气浓度信息，为严重事故导则中的操作提供依据。

（3）熔融物堆内滞留冷却系统（RIV）

熔融物堆内滞留冷却系统（RIV）利用安全壳内置换料水箱（IRWST）的水淹没反应堆堆腔，并使反应堆压力容器（RPV）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，可阻止发生某些与安全壳完整性相关且具有很大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。此外，RIV 系统在安全外还设置了非能动补水箱，事故长期如果安全壳淹没区的液位因泄漏或蒸汽冷凝损失导致液位下降，可以根据需要执行非能动安全壳补水功能，以维持长期再循环的安全壳淹没液位。

机组正常运行时，RIV 系统不执行安全功能。RPV 保温层的进水口和排汽口保持关闭状态，维持保温层的完整性。堆腔隔间的非能动单向门保持关闭状态，维持堆坑通风边界完整性。事故长期在安全壳淹没区液位降低时，根据需要执行非能动安全壳补水功能。

（4）安全壳过滤排放系统（EUF）

本项目配置了非能动安全壳冷却系统（EPS）、安全壳喷淋系统（EAS）以及熔融物堆内滞留冷却系统（RIV）等措施，并可在严重事故情况下通过 ADS 卸压系统对一回路卸压，显著降低了严重事故对安全壳的挑战，包括安全壳晚期超压失效风险。如发生了严重事故后的安全壳超压，从剩余风险应对角度，配置了 EUF 系统，极端情况下 EUF 系统通过主动卸压使安全壳内的压力不超过其承载限值，避免安全壳晚期超压失效。同时，通过安装在卸压管线上的过滤装置对排放气体的放射性物质进行过滤。EUF 系统主要包括：过滤组合装置、化学加药组合装置、相关管线及阀门。

4.6 放射性废物管理系统和源项

4.6.1 放射性源项

4.6.2 放射性废液管理系统及排放源项

4.6.3 放射性废气管理系统及排放源项

4.6.4 放射性固体废物管理系统及废物量

4.6.5 乏燃料贮存系统

4.6 放射性废物管理系统和源项

放射性废物管理系统主要包括放射性废液管理系统、放射性废气管理系统和放射性固体废物管理系统。

本节描述山东石岛湾核电站扩建二期工程的放射性废物管理系统和放射性源项，包括堆芯积存量、一回路和二回路的放射性活度，放射性液体、气体和固体废物处理系统，气载和液体放射性流出物的排放量及固体放射性废物的产生量。

放射性排放量主要取决于：

- 一回路冷却剂的放射性活度；
- 处理系统的设计处理能力及运行效能。

4.6.1 放射性源项

核电厂放射性物质最根本的来源是反应堆燃料芯块内的链式裂变反应，运行状态下裂变产生的放射性裂变产物基本上都包容在燃料元件的包壳内，只有极少量的裂变产物通过包壳缺陷泄漏到一回路冷却剂中；同时裂变产生的中子使一回路冷却剂、硼酸和其它结构材料受到激活而产生中子活化产物。这些裂变产物和活化产物形成反应堆冷却剂中的放射性源。它们通过冷却剂的净化、蒸汽发生器传热管束的泄漏等过程造成对核辅助系统和二回路的污染。

（1）堆芯裂变产物积存量

山东石岛湾核电站扩建二期工程平衡循环采用18个月换料的燃料管理策略，使用177组全M5 AFA3G燃料组件。

（2）一回路冷却剂的放射性活度

反应堆运行时燃料元件中产生的气态和固态放射性产物，在元件中迁移并积存，当发生包壳破损情况后以一定的几率释放到冷却剂中，构成冷却剂中裂变产物源项，包括惰性气体、卤素等。

此外，一方面由于堆内构件因受到中子照射而具有放射性，在发生活化腐蚀后释放到冷却剂中；另一方面一回路管道和设备的材料由于氧化和腐蚀进入到冷却剂中，随冷却剂流经堆芯受到堆芯及其相邻区域的中子照射后具有放射性，主要有Cr-51、Mn-54、Fe-59、Co-58、Co-60、Ag-110m、Sb-122、Sb-124、Fe-55、Ni-63和Zn-65等核素。这些构成了冷却剂中的腐蚀产物源项。

1) 裂变产物

影响裂变产物的产生及其随后通过燃料包壳缺陷从燃料释放到反应堆冷却剂中的现象是复杂的，通过计算程序可以清楚地理解这些过程。针对本期工程，设计方使用CPFP程序计算稳态工况下一回路冷却剂系统的裂变产物稳态源项。瞬态工况下的裂变产物活度通过稳态工况的裂变产物活度与“峰值因子”计算获得。峰值因子采用与中国广核集团在运百万千瓦级压水堆机组18个月换料设计相同的峰值因子。

在CPFP程序中，裂变产物在燃料中产生并随后进入反应堆冷却剂的模型分为五个过程。

- a) 通过裂变、放射性衰变或中子俘获产生裂变产物；
- b) 裂变产物通过扩散、反冲和击出等方式进入燃料棒内间隙；
- c) 裂变产物通过包壳缺损释入反应堆冷却剂；
- d) “沾污铀”在中子照射下发生裂变及裂变产物的释放；
- e) 考虑反应堆运行参数后，裂变产物在反应堆冷却剂系统的分布。

根据燃料循环管理策略中平衡循环特性，使用CPFP程序模拟共8个循环，并将第3至第8循环寿期末的最大值提取作为裂变产物源项值。

在进行源项计算时，采用如下三套假设：

— 0.1GBq/t I-131当量工况

对于本工况裂变产物的稳态值，在1根燃料棒包壳破损、34微米破口尺寸的假设下，使用CPFP计算并归一化、再考虑1g包壳表面铀沾污的假设条件下使得I-131当量比活度为0.1GBq/t。此工况下的源项称为“现实源项”。该活度谱主要用于排放源项预期值的计算和放射性废物最小化管理。

— 5GBq/t I-131当量工况

对于本工况裂变产物的稳态值，在12根燃料棒包壳破损、34微米破口尺寸的假设下，使用CPFP计算并归一化，再考虑3g包壳表面铀沾污的假设条件下使得I-131当量比活度为5GBq/t。该活度谱用于流出物排放源项设计值计算，满足环境影响评价和排放量申请的需要。

— 37GBq/t I-131当量工况

对裂变产物，该工况对应于0.25%燃料元件发生破损的极限假设。对该工况分析时，在整个燃料循环中，反应堆冷却剂的放射性浓度取为37GBq/t I-131当量。该活度谱是

其他情况的包络值，主要用于事故分析、废物管理系统屏蔽设计和作为运行技术规格书限值。

2) 活化腐蚀产物

反应堆冷却剂中的活化腐蚀产物主要由于堆芯及结构材料所含的某些元素被中子照射后活化产生。冷却剂中的溶解物和悬浮物颗粒与基体金属、氧化物薄层以及沉积物之间不停地进行物质交换，这个过程是非常复杂的。

本期工程以中国广核集团在运机组近年来的冷却剂活化腐蚀产物的运行监测数据为基础，经过对这些运行反馈数据的分析，设计出活化腐蚀产物源项。本项目定义了两套冷却剂活化腐蚀产物源项，即现实和设计源项。这两套源项均包括机组稳态功率运行、瞬态和停堆三种工况。在机组功率运行期间，冷却剂活化腐蚀产物源项采用“对运行数据取百分比包络性”的方式确定，具体方法为：

- a) 现实源项的稳态值包络50%运行数据；
- b) 设计源项的稳态值包络95%的运行数据；
- c) 现实源项和设计源项的瞬态值均为包络100%的运行数据。

在机组停堆前通常会采用氧化操作使沉积在管道表面的腐蚀产物溶解，从而形成停堆期间活化腐蚀产物活度的快速增加（即停堆的氧化峰）。本期工程停堆期间的活化腐蚀产物源项来自中广核在运机组运行数据以及法国压水堆的运行数据。

根据国内外在运机组的大量运行经验，沉积在一回路主管道并且对辐射防护起主要贡献的是Co-58和Co-60，其他核素（包括Cr-51、Mn-54、Fe-59、Ag-110m、Sb-122、Sb-124、Fe-55、Ni-63和Zn-65）的贡献很小。根据中国广核集团在运电站的辐射防护运行监测数据，设计得到本期工程一回路系统典型沉积源项。

为控制核电厂辐射源项，降低人员集体剂量，本期工程实施了一回路注锌。一回路注入醋酸锌（ $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ）后，醋酸锌中的稳定元素Zn-64通过核反应 $^{64}\text{Zn}(n,\gamma)^{65}\text{Zn}$ 生成放射性核素Zn-65。本期工程为减少Zn-65的产生，采用了贫化醋酸锌（Zn-64的原子丰度<1%）。

在不考虑注锌的条件下，本期工程活化腐蚀产物源项与参考技术方案一致。考虑一回路注入醋酸锌，对活化腐蚀产物进行了修正。醋酸锌中的锌原子能够与钴原子竞争堆外金属材料表面氧化层内的原子吸收点，减少氧化层内放射性钴的含量，从而降低沉积源项和堆外辐射场剂量。而由于锌对氧化膜中放射性钴的置换作用以及对冷却

剂中放射性钴的沉积抑制作用，可能会导致存留在冷却剂中的放射性钴含量增大，尤其是在注锌后的短期阶段。参考同机组的运行经验反馈：

- 考虑注锌短期内（2~3）个循环：冷却剂放射性钴为不注锌的10倍，沉积源项为不注锌的70%；
- 注锌长期内（3个循环以上）：冷却剂放射性钴与不注锌相同，沉积源项为不注锌的70%。

由于缺少一回路Zn-65运行反馈数据，本期工程参考法国1450MWe机组运行经验，确定一回路Zn-65比活度为10 MBq/t。

（3）二回路系统的放射性活度

二回路系统的污染是由蒸汽发生器传热管束处一回路冷却剂向二回路系统的泄漏造成的。带放射性的一回路冷却剂经由破损的蒸汽发生器传热管进入蒸汽发生器二次侧。蒸汽发生器中带放射性的蒸汽均匀混合，经汽轮机膨胀做功后进入冷凝器。在冷凝器中，蒸汽中所有惰性气体和部分的碘及其他放射性核素（份额与汽水分配因子有关）从冷凝器抽真空系统向大气排放。其他的放射性蒸汽全部被冷凝成液体后经过凝结水除盐器回到给水系统。二回路的泄漏主要发生在冷凝器后端的给水系统中。

具体计算时，对于不同类别的核素作如下考虑：

1）惰性气体。假设蒸汽发生器一次侧泄漏到二次侧中的所有惰性气体立刻被蒸汽全部带走，且全部由凝汽器真空系统排放。

2）其他核素。对于其他核素，假设放射性核素在三台蒸汽发生器液相和气相中均匀分布；蒸汽发生器内裂变产物和腐蚀产物的净化是衰变、排污、泄漏和抽真空的综合结果；不考虑核素在二回路传输过程中的衰变；假设二回路核素的泄漏全部发生在给水系统，进入凝汽器中的放射性核素一部分通过凝汽真空系统排放，剩余部分则进入给水系统。

（4）氚源项

氚主要是由裂变反应以及硼、锂和氘的中子活化反应产生。本项目18个月换料周期情况下，单台机组氚的年产生量预期值和设计值分别为 $3.80\text{E}+04\text{GBq/a}$ 和 $4.88\text{E}+04\text{GBq/a}$ 。

氚的半衰期较长，且无法被处理单元有效去除，故计算中保守假设在一回路冷却剂系统中产生的氚全部向环境排放，其中通过气态与液态途径排放的氚分别考虑为总

量的10%和90%。因此，每台机组每年经由气态和液态途径释放的氡源项为：

- a) 对于预期工况，气态氡源项为 $3.80\text{E}+03\text{GBq}$ ，液态氡源项为 $3.42\text{E}+04\text{GBq}$ 。
- b) 对于设计工况，气态氡源项为 $4.88\text{E}+03\text{GBq}$ ，液态氡源项为 $4.39\text{E}+04\text{GBq}$ 。

（5）C-14源项

C-14 主要由中子与存在于氧化物燃料和慢化剂里的 O-17 之间的（n， α ）反应、中子与燃料中的杂质 N-14 的（n，p）反应以及三元裂变产生。本项目 18 个月换料周期情况下，单台机组一回路 C-14 的年产生量预期值和设计值分别为 $3.84\text{E}+02\text{GBq/a}$ 和 $4.26\text{E}+02\text{GBq/a}$ 。

C-14 半衰期长且无法被处理单元有效去除，计算中保守假设一回路冷却剂系统中产生的 C-14 全部向环境排放，且通过气态与液态途径排放的 C-14 分别占总量的 93% 和 7%。因此，每台机组每年经由气态和液态途径释放的 C-14 源项为：

- a) 对于预期工况，气态C-14源项为 $3.57\text{E}+02\text{GBq}$ ，液态C-14源项为 $2.69\text{E}+01\text{GBq}$ 。
- b) 对于设计工况，气态C-14源项为 $3.96\text{E}+02\text{GBq}$ ，液态C-14源项为 $2.98\text{E}+01\text{GBq}$ 。

4.6.2 放射性废液管理系统及排放源项

放射性废液管理系统指具有控制、收集、处理、输送、贮存及排放放射性废液能力的系统，主要包括：

- 冷却剂贮存和处理系统（TEP）；
- 废液处理系统（TEU）；
- 核岛废液排放系统（TER）；
- 放射性废水回收系统（SRE）；
- 核岛排气和疏水系统（RPE）。

除此之外，其它已被污染或可能被污染的液体也由下列系统处理或收集：

- 化学和容积控制系统（RCV）；
- 反应堆换料水池和乏燃料水池冷却系统（PTR）；
- 蒸汽发生器排污系统（APG）；
- 常规岛废液排放系统（SEL）。

4.6.2.1 冷却剂贮存和处理系统（TEP）

TEP 系统接收、贮存电站正常运行中产生的可复用一回路冷却剂，通过除气工艺，降低一回路冷却剂的放射性活度浓度。除气后的冷却剂经过滤、除盐净化后，通过热泵蒸发工艺进行硼酸回收。

冷却剂中的硼酸被分离、浓缩为 4100mg/kg~4500mg/kg 的硼酸溶液（浓缩液），然后送至 REA 系统硼酸贮存箱以备复用。冷却剂中的水（蒸馏液）中硼浓度和放射性较低，送至核岛废液排放系统（TER）进行监测排放。

TEP 根据不同的运行功能，TEP 系统被分成冷却剂贮存、除气、净化、硼回收 4 个子系统：

- 冷却剂贮存子系统（TEP1）
- 冷却剂除气子系统（TEP4）
- 冷却剂净化子系统（TEP2）
- 硼回收子系统（TEP3）

4.6.2.2 废液处理系统（TEU）

TEU 系统位于 BNX 厂房，为单台机组配置。用于接收、贮存、监测并处理机组正常运行期间及预计运行事件工况期间产生的不可复用放射性废液，并将处理合格的废液送入核岛废液排放系统（TER）排放。

TEU 系统处理三类放射性废液：工艺废液、化学废液和地面废液。上述废液主要由核岛排气和疏水系统（RPE）收集。

4.6.2.3 核岛废液排放系统（TER）

TER 系统运行功能如下：

- 收集来自 TEU 系统的达标废液、TEP 的排气废液的废液，对这些废液进行暂存、混匀、监测，并有控制地向环境水体进行排放；
- 当 SEL 系统贮存能力不足、贮罐破裂或排往 SEL 系统的废液放射性水平较高时，接收该部分废液；
- 经取样分析或电厂辐射监测系统（KRT）监测，废液放射性水平超过排放管理限值时，将其送回 TEU 系统进行处理；
- 排放废液时，监测并记录废液的放射性剂量水平、流量和累计水量。

4.6.2.4 常规岛废液排放系统（SEL）

SEL系统的功能为：

— 收集来自常规岛废液收集系统（SEK）和蒸汽发生器排污系统（APG）排放的潜在放射性废液收集，对于这些废液进行暂存、混匀、监测，并有控制地向环境水体进行排放；

— 经取样分析或电厂辐射监测系统（KRT）监测，废液放射性水平超过管理限值时，将其送回 TEU 系统进行处理；

— 排放废液时，监测并记录废液的放射性剂量水平、流量和累计水量。

4.6.2.5 核岛排气和疏水系统（RPE）

核岛排气和疏水系统（RPE）分类收集机组运行期间反应堆厂房、燃料厂房、核辅助厂房、电气厂房和附属厂房产生的放射性废液和潜在放射性废液，并根据其特性、种类以及相应的处理工艺，分别转送至对应的处理系统。有时也会对废液分类进行调整，如少量废液可能从一条收集管道转到另外的收集管道，以便旁通一台设备或避免管道太长。

核岛排气和疏水系统（RPE）主要执行如下功能：

- 废液分类收集；
- 防止在事故工况下安全壳内隔间的倒流水淹；
- 安全壳隔离；
- 一回路抽真空；
- IRWST 检漏；
- 参与一回路泄漏监测；
- 一回路排空；
- 再注入。

4.6.2.6 放射性废液的排放源项

液态放射性流出物源项计算主要考虑冷却剂贮存和处理系统（TEP）含氚废液释放、废液处理系统（TEU）系统释放和二回路系统释放。

本期工程运行状态下的放射性液态流出物排放采用槽式排放的方式，即所有的放射性废液均通过核岛废液排放系统（TER）或常规岛废液排放系统（SEL）取样分析达标后排放，流出物源项计算中考虑其滞留衰变影响。

（1）TEP系统含氚废液释放

为了控制一回路冷却剂系统中反应堆冷却剂的氚浓度，使之不超过化学技术规范中的期望值，蒸馏液必要时不复用并通过TER系统排往环境，放射性核素将随蒸馏液的排放而向环境释放。计算中还应考虑一回路冷却剂在TEP系统中的暂存及处理时间。

（2）TEU系统释放

TEU系统处理三类放射性废液：工艺废液、化学废液和地面废液。放射性废液根据放射性浓度和化学组分由RPE系统分类收集，然后送至TEU系统贮槽分别贮存。按照废液的特性分别采用下述方法进行处理。

- 工艺废液、化学废液放射性活度浓度较高，由吸附除盐、反渗透工艺处理；
- 地面废液的放射性浓度较低，含悬浮固体和颗粒物等，采用过滤工艺进行处理，若放射性浓度超过排放限值，可由吸附除盐、反渗透工艺处理。

计算中还应考虑一回路冷却剂在TEU系统中的暂存及处理时间。

（3）二回路系统释放

由于蒸汽发生器传热管处一回路冷却剂向二回路系统的泄漏，二回路系统中流体也具有放射性。经二回路系统释放到环境中的放射性废液主要包括不回收的蒸汽发生器排污和二回路系统泄漏。

在功率运行期间，蒸汽发生器排污系统（APG）将蒸汽发生二次侧水通过除盐器处理后，返回二回路系统中复用。但当处理设施失效、凝汽器不能使用或者二回路水质超标时，蒸汽发生器排污水不再复用，而直接通过SEL系统向环境释放。

4.6.3 放射性废气管理系统及排放源项

放射性废气管理系统收集、贮存反应堆正常运行工况和预计运行事件时产生的放射性废气，处理后经监测符合国家标准的相关要求后排入大气。处理的废气包括含空气废气和含氢废气：

- 对放射性含氢废气进行控制、收集、输运、贮存、衰变和监测，直至达到允许向环境排放的水平时进行可控排放；

- 对放射性含空气废气进行控制、收集、输运和处理，直至达到允许向环境排放的水平时进行可控排放。

放射性废气管理系统主要包括废气处理系统（TEG）、核岛厂房的采暖通风与空气调节系统（HVAC）和冷凝器真空系统（CVI）。

4.6.3.1 废气处理系统（TEG）

反应堆堆芯裂变反应会产生氦和氩等放射性惰性气体，当燃料包壳发生破损时泄漏进入到冷却剂中，随着冷却剂的流动及压力变化，冷却剂中的放射性惰性气体释放至与一回路相连的辅助系统中。同时，为控制一回路冷却剂氧浓度，通过化学和容积控制系统（RCV）向反应堆冷却剂加氢，由于氢气的易爆性，需对流体系统排放的含氢废气进行收集与处理。

TEG 系统主要执行如下运行功能：

- 收集上游用户系统运行期间产生的含氢放射性废气；
- 对废气进行预处理，通过冷却除湿和硅胶干燥除湿有效降低进入活性炭滞留床的废气湿度，确保活性炭物理吸附功能顺利实现；
- 对系统中氢、氧浓度进行实时监测与控制，防止产生燃爆环境，确保系统平稳运行；
- 利用活性炭滞留床对废气中含有的放射性惰性核素进行滞留与衰变，降低放射性水平；经过滞留处理的气体在放射性活度连续监测后排往下游 DWN 系统最终通过烟囱向环境排放。

4.6.3.2 核岛厂房的采暖通风与空气调节系统

1) 反应堆厂房通风系统

➤ 安全壳冷却通风系统（EVR）

EVR 系统为闭式循环通风系统，由主送风子系统、堆坑冷却通风子系统、穹顶冷却通风子系统组成。系统功能为在电厂正常功率运行和短期 LOOP 期间，维持设备正常运行所需的环境条件，防止氢气在穹顶聚集；电厂正常功率运行和短期 LOOP 期间，对反应堆堆坑进行通风和冷却。

➤ 安全壳换气通风系统（EBA）

EBA 系统包括小流量和大流量两种运行模式，EBA 安全壳隔离阀为安全相关。

EBA 系统小流量模式的功能：在停堆前期及停堆进程初期，对安全壳内空气进行清洗，降低安全壳内气载放射性物质和有害气体的浓度，满足少量人员进入要求；电厂功率运行期间，控制安全壳内大气压力在规定范围内；电厂功率运行期间，降低安全壳内放射性碘和气溶胶的浓度；安全壳内发生放射性事故时，根据需要维持反应堆厂房和周边厂房贯穿件区域的动态包容或静态包容；通过 HEPA 过滤器和碘吸附器限制放射性物质释放；在燃料操作大厅出现燃料吊装事故时，维持燃料操作大厅的动态包容。

EBA 系统大流量模式的功能：在停堆进程后期及冷停堆期间，对安全壳内空气进行清洗，降低安全壳内气载放射性物质和有害气体的浓度，满足大规模人员进入要求；冷停堆期间，维持反应堆厂房内的环境条件在人员工作可接受范围内；当燃料厂房和/或核辅助厂房出现碘污染时，对燃料厂房和/或核辅助厂房进行动态包容。

2) 反应堆厂房外控制区厂房通风系统

➤核辅助厂房通风系统（DWN）

- DWN 系统功能：正常工况下，维持核辅助厂房适宜的环境条件，满足设备运行和人员工作的要求。
- 正常工况下，为燃料厂房通风系统（DWK）提供经过处理的新风，并为 DWK 系统、各厂房二次包容区提供排风。当燃料厂房、燃料操作大厅或辅助厂房出现碘污染时，将排风由 DWN 排风子系统切换至 EBA 排风子系统，由 EBA 系统实现上述区域的过滤净化。
- 停堆工况下，为安全壳换气通风系统（EBA）系统提供处理过的新风。
- 通过维持核辅助厂房内相对于室外大气的负压将放射性气体限制在 BNX 内。正常运行条件下将污染物限制在污染源处，以避免污染物从潜在高污染区域蔓延到潜在低污染的区域。
- 当燃料厂房出现燃料吊装事故时，将燃料操作大厅的排风由 DWN 排风子系统切换至 EBA 排风子系统，由 EBA 系统实现上述区域的过滤净化。
- 当反应堆厂房出现质能释放事故时，将燃料厂房、辅助厂房和电气厂房二次包容区的排风由 DWN 排风子系统切换至 EBA 排风子系统，由 EBA 系统实现上述区域的过滤净化。

— 维持化学和容积控制系统（RCV）的泵间的温度满足要求。

DWN 系统由送风子系统、带有 HEPA 过滤器进行持续过滤的排风子系统、送风管网、排风管网和核岛烟囱组成。

➤ 燃料厂房通风系统（DWK）

DWK 系统功能：正常运行工况下，DWK 系统保证厂房环境条件在设备正常运行和/或人员正常工作的限制范围内；确保在正常运行条件下将污染物限制在污染源处，避免气载污染物从潜在高污染区域蔓延到潜在轻度受污染的区域；限制室内及排放至室外大气中气溶胶和放射性气体的浓度；保持燃料厂房相对于室外大气的负压；防止燃料水池大厅壁面产生凝结水。

DWK 系统的送风来自 DWN 系统，正常排风经过 DWN 系统或 EBA 系统过滤后排放。

3）反应堆厂房外非控制区厂房通风系统

➤ 电气厂房通风系统（DVL）

DVL 系统功能：在电厂运行状态和事故工况下，维持室内环境条件（温度和湿度）在人员和设备（特别是电仪设备）可接受范围内。

DVL 系统的采用新风加一次回风空调系统，同时每列设置有备用列。DVL 系统空调冷源来自于 DEL 系统。

➤ 主控室应急可居留系统（DCE）

在电厂事故工况，主控室通风系统（DCL）不可用的情况下，在 72h 内维持主控室应急可居留区的环境条件满足人员可居留和设备运行的要求。

主控室应急可居留系统采用非能动原理，划分为压缩空气子系统、循环冷却及过滤子系统、泄压子系统，事故下依靠蓄冷水和主控室围护结构蓄冷维持主控室的环境条件。

➤ 主控室空调系统（DCL）

DCL 系统功能：为主控室内人员和设备维持适宜的环境条件，当厂区发生放射性污染事故时，确保主控室可居留区域的可居留性。

主控室通风系统以一次回风加新风模式运行，正常工况下，DCL 系统为可居留区内人员和设备维持适当环境条件（温度和湿度）；发生厂区污染事故时，确保主控室可居留区域的可居留性。

➤ 附属厂房人员服务区通风系统（DWW）

DWW 系统功能：正常运行期间，DWW 系统为附属厂房人员服务区的设备运行和人员提供适宜的环境条件，并控制气流流向由低污染物流向高污染区。

附属厂房人员服务区包含控制区和非控制区，DWW 系统采用集中直流通风空调系统，室外空气经新风空气处理机组处理后分别送往放废控制机柜间、非控制区电仪机柜间和非控制区更衣区，非控制区更衣区的排风转送至控制区更衣区，控制区更衣区的排风与控制区机柜间排风经过滤后排向烟囱。

➤ 主蒸汽和主给水阀门间通风系统（DVT）

DVT 系统采用就地空调机组，在电厂正常运行期间，维持主蒸汽和主给水阀门间合适的环境条件。

➤ 附属厂房机械区通风系统（DVX）

DVX 系统功能：正常运行期间，DVX 系统为附属厂房机械区的设备运行和人员提供适宜的环境条件：

- 维持核岛运行冷冻水系统（DER）的设备所在房间的环境条件在适宜的范围内；
- 控制制冷剂泄漏带来的风险；
- 维持设备冷却水系统（RRI）泵间的环境条件。

➤ 备用冷却厂房通风系统（DXE）

DXE 系统功能：在正常运行和事故工况下，维持厂房设备运行所需的环境条件。

4) 冷热水系统

➤ 热水生产和分配系统（SES）

SES 系统功能：正常运行期间为核岛厂房、常规岛、部分辅助配套厂房提供热源。

热水系统采用闭式循环系统，正常运行时，加热蒸汽来自汽轮机抽汽，机组启动时加热蒸汽来自辅助蒸汽，通过汽水热交换器制备热水，作为核岛厂房、常规岛、部分辅助配套厂房暖通系统的热源。

➤ 电气厂房冷冻水系统（DEL）

DEL 系统功能：电气厂房冷冻水系统（DEL）在电厂正常工况和部分事故工况下作为冷源为以下系统提供冷冻水：DVL 系统、DCL 系统、DWK 系统（RRA、PTR 泵间空调）、DWN（RCV 泵间空调）和 DCE 系统。

DEL 系统设有 $2 \times 100\%$ 的独立冗余列，每列管线为相应厂房内的 DVL 系统、DCL

系统、DWK 系统（RRA、PTR 泵间空调）、DWN（RCV 泵间空调）和 DCE 系统提供冷源。

➤ 运行冷冻水系统（DER）

在电厂正常运行工况下，运行冷冻水系统（DER）为 DVT、DWW、DVX、DWN、DWK、TEP 用户提供所需的冷冻水。

在电厂正常运行工况及短期 LOOP 工况下，运行冷冻水系统（DER）为 EVR、REN、RPE、TEG 用户提供所需的冷冻水。

DER 系统由 4 列冷冻水生产和输送列组成，由两列不同的 RRI 列提供冷却水。每列由一台冷水机组和一台循环水泵组成。

4.6.3.3 冷凝器真空系统

冷凝器真空系统（CVI）的主要功能是保持冷凝器的真空度在正常运行所要求的水平。同时，把抽出的气体输送至 DWN 系统或在启动时抽出气体直接排入大气。该系统本身不具备放射性废气的贮存、处理功能。

当蒸汽发生器传热管破损时，一回路冷却剂从蒸汽发生器一次侧向二次侧泄漏，从而造成 CVI 系统抽出的气体可能带有放射性，系统为此设置了放射性气体监测装置。

4.6.3.4 放射性废气的排放源项

山东石岛湾核电站扩建二期工程运行状态下气态放射性核素向环境释放的途径主要有以下三种：

- a) 通过废气处理系统（TEG）向环境释放；
- b) 通过厂房通风系统向环境释放；
- c) 通过二回路系统向环境释放。

其中，TEG 系统中气态放射性核素来自于放射性液体储罐和一回路冷却剂系统的气相空间的吹扫以及对于一回路冷却剂的脱气。厂房通风系统中气态放射性核素来自于各放射性设备的泄漏以及开放水面的蒸发。二回路系统中气态放射性核素来自于蒸汽发生器一二次侧泄漏情况下冷凝器真空系统对不凝气体的抽气。

4.6.4 放射性固体废物管理系统及废物量

固体废物处理系统（TES）为核电厂运行和维修时所产生的放射性湿废物和干废物在处置之前提供收集、处理、整备及暂存。TES系统处理以下几种废物：

a) 干废物（包括废纸、抹布、塑料、金属等）

b) 湿废物

— 废离子交换树脂（简称“废树脂”）；

— 废过滤器芯（简称“废滤芯”）；

— 废活性炭。

TES系统按不同的功能主要分为三部分：

第一部分为湿废物处理，包括湿废物的收集、转运、处理、整备等管理。湿废物处理相关的设备位于核辅助厂房（BNX）和附属厂房（BAA），该部分为单机组布置。

第二部分为干废物处理，包括干废物的收集、转运、处理、整备等管理。干废物处理相关的设备位于废物辅助厂房（BQS），为全厂共用。废物辅助厂房（BQS）一期工程已建造。

最后一部分为废物包暂存，包括各类废物包的引入、暂存及引出等管理。废物包暂存于废物暂存库（BQT）和放射性废物暂存库（BQU），BQT 于一期工程建成，BQU 本期工程建设。

4.6.5 乏燃料贮存系统

乏燃料贮存系统的主要功能是对从反应堆中卸出的乏燃料组件，在运往后处理厂之前进行贮存和冷却。

本工程采用 18 个月换料方式，反应堆在平衡循环每次换料产生约 72 组乏燃料组件。乏燃料组件采用水下湿法贮存，贮存在燃料厂房乏燃料水池里。乏燃料水池设置有水下燃料贮存格架和破损燃料组件贮存小室等设备，总的贮存容量满足最多 15 个换料循环产生的乏燃料组件量和一个全堆芯紧急卸出的燃料组件量。

从堆芯卸出的乏燃料组件贮存在乏燃料水池里水下燃料贮存格架中；破损的燃料组件（如有）存放到破损燃料组件贮存小室中。在贮存期间保持燃料组件的次临界状态、保证燃料组件衰变热的有效导出和保持燃料包壳的完整性。

乏燃料贮存区内设置剂量监测点，以确保操作人员的安全。

4.7 非放射性废物处理系统

4.7.1 化学污染物

4.7.2 生活废物

4.7.3 其他废物

图

图 4.7-1 生活污水处理站（BEW）流程图

4.7 非放射性废物处理系统

4.7.1 化学污染物

山东石岛湾核电站扩建二期工程生产过程中需要使用一定量的化学品。这些化学品包括：硼酸、盐酸、硝酸、氢氧化钠、氢氧化锂、氨水、水合联氨、次氯酸钠、氢气、液氮、二氧化碳、轻柴油、润滑油等。此外在检修过程中使用的材料、取样化验和实验室分析药剂还将使用氧气、乙炔、氮气、氩气、氦气等化学品。上述化学品中，大宗的化学物质排放主要来自以下系统：

- 除盐水生产系统（SDA）；
- 凝结水精处理系统（ATE）；
- 循环水处理系统（CTE）；
- 常规岛化学加药系统（SIR）；
- 海水淡化系统（SWD）。

（1）除盐水生产系统

除盐水生产系统产生的废水主要来自离子交换树脂酸碱再生产生的酸碱废液。树脂再生废液排入酸碱中和池，再通过加酸或者加碱进行中和，调节 pH 值至 6~9 后至 SWD 回收利用。

（2）凝结水精处理系统

凝结水精处理系统用于净化核电厂二回路系统凝结水。系统内设有前置阳床和混床，运行一段时间后阴阳离子需要再生，再生需要使用酸（如盐酸）、碱（如NaOH），再生废水排至中和池，再生废水中和处理也需要投入一定量的酸碱。

（3）循环水处理系统

为满足核电厂运行的要求，循环水处理系统对循环冷却水连续加入次氯酸钠处理（电解氯化钠溶液）。电解设备运行一段时间需要酸（如盐酸）洗，产生酸洗废液收集至中和池，用碱（如NaOH）进行中和调节pH6~9后送往废水处理站。

（4）常规岛化学加药系统

常规岛化学加药系统，将化学添加剂注入二回路系统，用以控制二回路系统中水的化学工况，使蒸汽发生器在正常运行和停机保养中的腐蚀和固体沉积物减少至最小。在凝结水精处理混床出水和给水中实施加氨、加联氨处理。

（5）海水淡化系统

海水淡化系统的功能是将海水进行淡化处理后，向除盐水生产系统、生产用水系统供应符合质量要求的淡水。

海水淡化系统拟采用反渗透法海水淡化方案，具体流程为：

海淡取水泵→混凝沉淀池→V型砂滤池→清水池→清水泵→超滤装置→超滤产水箱→一级反渗透提升泵→一级反渗透装置→一级淡水箱→二级反渗透提升泵→二级反渗透装置→二级淡水箱、工业水箱。

混凝沉淀池的排泥水排入污泥浓缩系统进行浓缩处理，V型滤池的反洗水收集后返回沉淀池进水；超滤正常反洗水和一级反渗透的浓盐水经海水管网排至虹吸井（BCC）后与循环水排水混合排放；第二级反渗透的浓水回收至过滤水箱后回用；超滤加强反洗排水、超滤化学清洗排水及反渗透化学清洗排水等均排至废水收集池中和处理后排放。

机组运行时氨、联氨、磷酸三钠投加到二回路；阻垢剂、非氧化杀菌剂等投加到海淡系统的海水中；助凝剂、絮凝剂等在海淡系统、非放射性工业废水处理系统投加的药剂随沉淀物一起作为固废处置。其他化学加药则随系统排水收集到非放射性工业废水处理站（BST）统一处理达标排放。

4.7.2 生活废物

本扩建工程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应按规定收集暂存并送到指定的垃圾场处理。

本扩建工程生活污水处理站（BEW）污水来源主要为生活污水。水质、水量变化幅度大，污水中含有大量的有机污染物和无机污染物，一般不含金属和有毒化学物质。生活污水处理站（BEW）按照“永临结合”的方式建设，用于处理施工期的主厂区、施工准备区、临建办公区的生活污水，处理运行期的山东石岛湾核电站扩建工程4台机组包括核岛、常规岛以及其它BOP厂房、办公室、值班室等场所的生活污水。施工期生活污水通过吸粪车或者施工期临时生活污水管网转运送至生活污水处理站处理。考虑扩建一期、扩建二期施工高峰叠加主厂区服务人数高峰为12600人，施工准备区服务人数高峰为1800人，临建办公区及其他区域考虑施工人员约为3600人，总用水量约900m³/d，污

水采用生活用水量的90%，为810m³/d。考虑施工期及运行期生活污水，BEW子项设计规模为960m³/d，满足高峰期人员使用。

结合实际工程情况，污水处理站采用工艺成熟、技术先进、经济节能的污水处理工艺，并结合先进的自动化控制技术，出水满足相关污水排放标准的要求。其水质经生物处理和深度处理后，达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）的一级A标准和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）的水质标准。达到相关的标准后，部分回用于厂区绿化、道路浇洒等，其余从虹吸井排入大海。生活污水处理站火灾危险性分类为戊类，建筑耐火等级为二级。

本扩建工程生活污水处理站（BEW）流程图见图4.7-1。

4.7.3 其他废物

4.7.3.1 工业固废和危险固废

核电厂在正常运行过程中因设备的维修、零部件的损坏等会产生一定量工业固废，其中一般工业固废有废木材、废钢铁、废电缆、废塑料、废金属、废电动机、废变压器和废空调等，危险固废包括废油漆、废化学品、废润滑油、废日光灯管和废油布等。类比已运行核电站的年固废产生量，预计本工程正常运行期间每年预期产生危险废物约150t，一般固体废物约167t。

固废将纳入全厂固废收集处理系统，委托专业废弃物公司将一般固体废物外运处置。危险废物将在危险废物库暂存后委托具有相关处理资质的公司进行外运处置。

工业废物暂存库（BKI，五机共用）布置于厂区东部，本子项为工业仓库，包含危险废物库及常规废物库两栋建筑，均为地上一层，无地下室。其中危险废物库主要为临时存储电厂在运行和维修过程中产生的非放射性危险工业废物；而常规废物库主要为临时存储电厂在运行和维修过程中产生的非放射性常规工业废物。

该子项目目前已完成初步设计，计划2028年4月完成施工及系统安装工作。BKI子项的设计满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）的要求。

4.7.3.2 工业废水处理系统

（1）潜在放射性含油废水处理站（BER）

从常规岛等厂房收集来的含有潜在放射性含油废水，进入放射性含油废水处理站

（BER），经过油水分离，分离出的油脂收集后装入油桶运送到厂外；分离出的水送至BQB 厂房进行统一处理排放。

（2）非放射性含油废水处理站（BES）

从常规岛等厂房收集来的非放射性含油废水，进入非放射性含油废水处理站（BES），经过油水分离处理，分离出的油脂收集后装入油桶运送到厂外；分离出的水排入非放射性工业废水处理系统。

（3）非放工业废水处理站（BST）

非放工业废水处理系统（SWT）主要接受处理核电站正常运行期间以及电站建设调试期间产生的非放射性工业废水，处理达标后的废水回用或排放。根据本工程废水情况，进入非放工业废水处理系统的废水主要分为经常性废水和非经常性废水，具体情况如下：

a）经常性废水

经常性废水主要来源为除盐车站废水中和池排水，平均每天排水量约为 200m³；经常性废水直接回用至海水淡化系统。

b）非经常性废水

非经常性废水主要来源为闭式冷却水系统、热水系统、辅助锅炉系统及通风系统的检修排水，均为机组大修期间排水，主要是含磷酸盐的废水。年排放量约 350m³，磷酸盐含量小于 170mg/L（以 P 计）。

c）调试废水

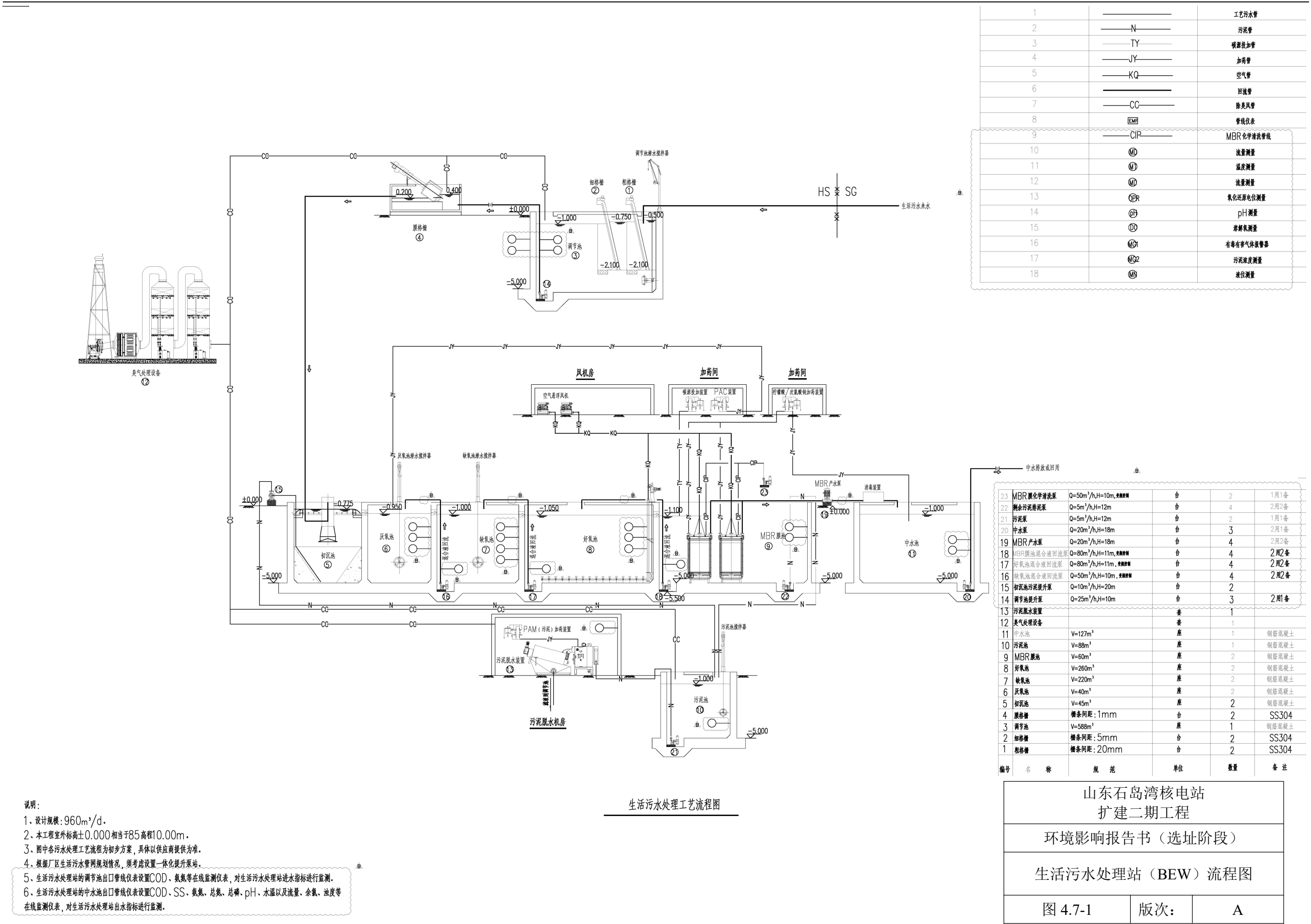
调试生产废水分为非加药废水和调试加药废水。非加药废水包括系统冲洗水及系统消缺阶段管网排水，冲洗水水源一般为 pH 为 7 左右的除盐水，水质基础较好。调试加药废水主要包括闭式冷却水系统排水（加磷酸三钠）、核电厂二回路排水（加氨水、联氨）、核电厂一回路排水（加 LiOH 调节 pH）。调试废水通过非放工业废水处理（BST）处理后达标排放。

非经常性废水经过废水收集、调质、混凝、澄清及 pH 调整可满足《流域水污染物综合排放标准第 5 部分：半岛流域》（DB37 3416.5-2025）的一级标准，排放控制指标如下：

污染物	排放标准控制指标，mg/L
-----	---------------

pH 值（无量纲）	6~9
色度（稀释倍数）	≤30
悬浮物（SS）	≤20
五日生化需氧量（BOD ₅ ）	≤10
化学需氧量（COD _{Cr} ）	≤50
石油类	≤3
氨氮（NH ₃ -H）	≤5
总氮（以 N 计）	≤15
总磷（以 P 计）	≤0.5

根据非放工业废水含有的主要污染物来源，非放射性生产废水处理站出水设置检测仪表：温度、流量、pH、氨氮、总磷、总氮、COD。监测水质达标后通过管线至 BCC 井通过入海排污口向海洋排放。



4.8 放射性物质厂内运输

4.8.1 新燃料运输

4.8.2 乏燃料组件运输

4.8.3 放射性固体废物运输

4.8 放射性物质厂内运输

运进核电厂的放射性物质有中子源和未经辐照的新燃料组件。中子源有一次源组件和二次源组件。新燃料组件和中子源运输容器的设计、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质有两类，即乏燃料组件和放射性固体废物。

本节简要叙述新燃料、乏燃料和放射性固体废物的运输。

4.8.1 新燃料运输

新燃料组件的运输由新燃料供应商负责。新燃料组件可采用全程公路或者公铁（铁路+公路）联运两种形式运输。其中公路运输直接由燃料组件制造厂运至核电厂。公铁联运方式则是先从燃料组件制造厂运至核电厂附近的铁路站点，再采用公路运输到核电厂。新燃料运输容器的设计和制造满足《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）的要求。

新燃料组件通过新燃料运输容器运输到核电厂后，在燃料厂房接收区内将新燃料组件从新燃料运输容器中卸出，经外观检查合格后，根据需要运至指定的位置进行暂存。对于不带控制棒组件及带控制棒组件但不需要做抽插力试验的新燃料组件运送至新燃料升降机，并通过新燃料升降机将新燃料组件放入乏燃料水池底部，然后通过乏燃料水池吊车将新燃料组件放入水下燃料贮存格架中贮存；对于堆芯装料备用的新燃料组件，送至新燃料贮存格架中进行暂存。对于需要进行控制棒组件抽插力试验的带控制棒组件的新燃料组件，运送至新燃料贮存格架内，借助辅助吊车及测力计进行控制棒组件抽插力试验，试验合格后，带控制棒组件的新燃料组件通过新燃料升降机放入乏燃料水池底部，再通过乏燃料水池吊车放入水下燃料贮存格架中贮存。

4.8.2 乏燃料组件运输

乏燃料的厂内运输包括乏燃料装入乏燃料运输容器，至厂外运输前的全过程。

乏燃料的厂内运输由乏燃料容器吊车、乏燃料水池吊车、容器专用运输卡车及相应的操作工具完成。乏燃料组件装在专用的密封乏燃料运输容器中外运。乏燃料装入运输容器的操作以及容器的清洗、检查在装载井和准备井内进行。装载井和准备井为两个毗邻的水池，均位于燃料厂房内乏燃料水池旁侧。它们均为内衬不锈钢板覆面的

钢筋混凝土结构，与乏燃料水池连成整体结构。其中装载井与乏燃料水池相通，并由水闸门隔开。

乏燃料组件通常存储在乏燃料水池中，直到裂变产物的活性降低到允许运输的程度。然后，将乏燃料组件装入到乏燃料运输容器中。

乏燃料的厂外运输拟委托国内有资质的公司进行。乏燃料厂外运输遵循《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）的要求，按选定的并经国家核安全局批准的运输线路，使用经国家核安全局批准的车辆，将乏燃料运至国家指定的乏燃料处理厂。

4.8.3 放射性固体废物运输

4.8.3.1 厂内转运

核电厂运行过程中产生的放射性固体物质（如废树脂、废过滤器芯子、干废物等）将根据其性质进行分类，并按照《低、中水平放射性固体废物包安全标准》（GB 12711-2018）的要求进行包装处理。

本期工程运行产生的固体废物最终包装体为 400L 钢桶和高完整性容器（HIC）废物包。核电厂运行过程中产生的放射性固体物质（如废树脂、废过滤器芯子、干废物等）将根据其性质进行分类，并按照《低、中水平放射性固体废物包安全标准》（GB 12711-2018）的要求进行包装处理。

低、中水平放射性固体废物包表面剂量率限值：

- 直接操作进行装卸、搬运、贮存和处置的低、中水平放射性固体废物包，其表面任意一点的剂量率应 $\leq 2.0\text{mSv/h}$ 。超过此限值者，应采取外加屏蔽（如外包装容器等）或采用远距离操作；
- 场外运输的低、中放射性固体废物包，其剂量率限值应满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）相关规定。

低、中水平放射性固体废物包表面污染限值要求：

- β 、 γ 发射体、低毒性 α 发射体不超过 4Bq/cm^2 ；
- 其它 α 发射体不超过 0.4Bq/cm^2 。

4.8.3.2 厂外运输

放射性固体废物的厂外运输方案将考虑运输过程中可能发生的事故，并准备具体的应急措施，使其对环境的可能影响减至最低。

公路运输的经验表明，事故发生率（次/km·车）以及预计事故次数很低。另外，废物桶的设计和制造符合《低、中水平放射性固体废物包安全标准》（GB 12711-2018）和《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）的要求，即使废物桶从运输车辆上坠落，最大限度只会造成废物桶的局部损坏，废物散落的可能性很小，即便散落少量废物，也可以采取措施收集，故不会对环境造成污染。

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

5.1 土地利用

5.1.1 陆域工程

5.1.2 陆域施工活动对环境的影响

表

表 5.1-1 各种施工机械在不同距离的预测值

表 5.1-2 扩建一期工程建筑施工场界噪声和声环境保护目标噪声监测结果

表 5.1-3 扩建一期工程建筑施工场界无组织废气监测结果

表 5.1-4 扩建一期工程敏感点空气质量监测结果

5.1 土地利用

5.1.1 陆域工程

5.1.1.1 本工程概况

扩建二期工程陆域施工主要包括扩建二期工程厂区（含主厂房区、BOP区），布置于国和一号示范工程、开关站及扩建一期工程围合形成的区域。

5.1.1.2 土地使用情况

山东石岛湾核电站扩建二期工程永久用地土地类型主要有农用地，建设用地及其他土地。

在充分利用已有施工临建区、扩建二期工程厂区周边空地的基础上，扩建二期工程不新增施工用地。

扩建二期工程不涉及搬迁，占用土地范围内没有工业、商业和公共娱乐设施，也没有名胜古迹和风景旅游区，本期工程用地已在扩建一期工程中统一申请。

5.1.1.3 土石方平衡

扩建二期工程余方全部综合利用。

5.1.1.4 重要产污子项

本期工程由各承包商开展现场施工，根据各自责任分工，在施工区域内建设相应临时车间，生产用于本期工程建设的材料，如钢结构件、金属管件、预拌混凝土、回填级配料生产等，待各承包商施工完成或本期建造施工结束后拆除设备及临时设施。上述各种材料中，钢结构件和金属管件预制工艺较复杂，一般来讲，其预制工艺流程如下：

①下料、切割：根据设计图纸，采用切割机、气割机将外购的钢板切割成需要的规格，切割过程中会产生粉尘和边角料。

②机加工：根据钢材功能用途进行相应机加工，涉及折弯、车、铣、钻等，该工序会产生少量的金属边角料和噪声。

③焊接：通过焊机使焊丝、焊条等将切割好的钢材部件焊接组装成型，此过程产生焊接烟尘、废焊丝/条等。

④人工打磨：焊接后如焊接点位需平整的，采用人工打磨的方式进行处理。该工序产生少量金属粉尘。

⑤抛丸、喷砂：抛丸和喷砂处理目的是清除焊接产品表面的锈蚀、焊渣、氧化皮以及表面附着物，使产品表面达到一定的清洁度指标，以增强漆膜的附着力，从而根本上提高产品的抗腐蚀能力和表面质量，为涂装作业准备一个清洁无锈蚀的表面。同时，经喷砂后，产品的焊接应力分布状态有明显改善，提高了抗疲劳性能。此过程产生一定的粉尘。

⑥涂装：为保证涂层均匀，可根据工件特点及用途，选择采用人工滚涂或者喷枪喷涂的方式进行涂装作业。此过程产生一定的废气。

根据上述分析，结合现场情况，施工现场预计有 7 个主要产污子项：砂石料厂；混凝土搅拌站及相关厂房、场地；焊接车间相关场地；酸洗钝化车间；油漆喷砂车间及相关厂房、区域；临时危化品库和危险废物暂存库；临时放射源库。

扩建二期工程施工阶段，各种设备和连接管道需要运输、贮存和现场安装，为避免盐雾锈蚀和表面氧化，将采用一些化学物质和缓蚀剂进行表面处理。这些化学物质和缓蚀剂包括磷酸三钠、硼酸钠、非卤素的有机溶剂和硫酸、磷酸、有机酸等。上述物质有些是有毒有害化学物品，因此，在施工时应要求设备承包商尽量提供已经处理过的建材和设备，确实需要在现场进行补充处理的，由施工单位按照制定的化学物品使用管理规定进行操作，对化学物品的使用量严格控制。涉及到化学品使用工艺，如油漆喷涂、酸洗钝化等场所，化学物质使用应建立原辅料使用台账，包括原辅材料名称、使用量、回收量、废弃量、VOCs 含量等信息。油漆喷砂作业有机溶剂年使用量 10t 以上的办理排污许可，有机溶剂年使用量 10t 以下的办理排污登记。

石岛湾项目所使用 II 类射线装置已获得环评批复（批复文号：威环荣辐表审（2023）2 号）。

（1）混凝土搅拌站及相关厂房、场地

1) 生产工艺

混凝土搅拌站生产工艺主要包括以下几个关键环节：

①原材料准备

水泥、粉煤灰、矿粉：选择符合生产要求的水泥品种和强度等级，通过水泥罐储存，使用时通过螺旋输送机输送到搅拌机。

骨料：包括砂、石等，按不同规格分别堆放防止混杂。通过装载机、皮带运输将骨料送入搅拌机待料斗。

水：采用清洁的混凝土拌合水，储存在水池中通过水泵和计量装置精确控制用水量。

外加剂：根据混凝土性能要求选择合适的减水剂，储存罐储存，通过计量装置准确添加。

②配料

根据混凝土的配合比要求，配料机对各种原材料进行精确计量。骨料通过皮带秤称斗进行计量，水泥、水和外加剂则通过各自的计量装置进行精确称量。

搅拌将计量好的原材料投入搅拌机内进行搅拌，搅拌时间根据混凝土的类型和搅拌机的性能而定，一般为 30 秒到 2 分钟。

③运输

搅拌好的混凝土通过混凝土搅拌运输车运送到施工现场。在运输过程中，搅拌筒保持慢速转动，以防止混凝土离析和初凝。

④质量控制

在生产过程中，要对原材料的质量、混凝土的配合比、坍落度、强度等指标进行严格检测和控制。每月对搅拌机计量秤进行维护和校准，确保生产工艺的稳定和混凝土质量的可靠。

2) 污染物

混凝土搅拌站主要设备有砂石分离器、除尘器、沉淀池、粉料罐、搅拌机。生产过程中产生的污染物主要有含有颗粒物的废气，含有悬浮物的生产废水。

(2) 油漆喷砂车间及相关厂房、区域

1) 生产工艺

核电厂施工时会采用油漆喷砂工艺对相关设施进行防腐，工艺流程如下：

①预处理：当表面存在碎屑、灰尘等时用压缩空气冲干净，当存在油脂时，采用乳化剂或碱性溶剂脱脂。

②喷砂：抛丸和喷砂处理目的是清除焊接产品表面的锈蚀、焊渣、氧化皮以及表面附着物，使产品表面达到一定的清洁度指标，以增强漆膜的附着力，从而根本上提高产品的抗腐蚀能力和表面质量，为涂装作业准备一个清洁无锈蚀的表面。

③调漆：使用搅拌机搅拌基质、固化剂、稀释剂。

④喷漆：在油漆间开展喷漆作业，喷漆间微负压设计，喷漆时，外部空气经由送风机送入喷漆房内，气流在工件周围形成风幕。喷漆时产生的漆雾随气流迅速下降，之后在排风机的作用下，经过地坑漆雾折流过滤后向抽风口收缩，再进入废气处理系统处理。

⑤烘干/晾干：油漆后的工件通过输送传动链缓慢自动传动过程中即可流平完成。本项目工件主要采用静置晾干的方式，环境温度过低时采用电加热进行烘干，温度不高于 80℃。

2) 原辅料

油漆喷砂工艺的原辅料有油漆主剂、固化剂、稀释剂。油漆种类有环氧和聚氨酯，成分为有机溶剂、辅助溶剂。

3) 污染物

油漆喷砂工序产生的污染物如下：

①废气：抛丸、喷砂粉尘（颗粒物），调漆、喷漆和烘干作业产生的废气（挥发性有机废气）。

②危险废物：预处理脱脂废物，油漆间（含烘干间、调漆间）废过滤棉，喷漆作业产生的废包装桶，设备维保产生的废机油，油漆作业产生的沾污废弃物、油漆间剩余的漆渣等。

③工业固体废物：喷砂间产生的废钢砂、钢丸，喷砂间废气处理系统产生的废渣。

（3）酸洗钝化车间及酸洗钝化废水处理装置

核电厂施工时，采用酸洗钝化工艺对构件焊缝及表面进行处理，防止生锈。

1) 生产工艺

本工程施工时，在施工现场使用酸洗钝化膏对不锈钢构件进行防锈，钝化后采用抹布擦洗干净不锈钢构件，抹布按危废处理。

2) 原辅材料

原辅材料：脱脂剂和酸洗钝化膏。

脱脂剂：挥发性溶剂有无氟异丙醇、无水乙醇、磷酸三钠等脱脂溶剂。

酸洗膏主要成分为硝酸（ HNO_3 ）、氢氟酸（ HF ）、硝酸镁。

3) 污染物

①废气：废酸雾（硝酸、氢氟酸）。

②危险废物：废酸洗钝化废膏、废包装桶、沾污废弃物、废活性炭、污泥。

③废水：酸洗钝化废水。

（4）核岛、常规岛及 BOP 工程焊接及相关场地：

安全壳、贯穿件、预埋件、牛腿、管道、支吊架等物项的焊接作业是核电建设的核心作业。其核心工作是借助各类焊机，运用焊丝、焊条等焊接材料，对已切割完成的钢材部件实施焊接组装，最终形成符合工程要求的物项。

该焊接工序具有作业范围广的特点，既有车间内固定区域开展，也涉及车间外的施工现场。在核岛、常规岛及 BOP 建安工程的整体架构中，此环节起着承上启下的关键作用，直接关系到工程的质量，是保障整个建安工程结构稳定性和安全性的重要支撑。

1) 原辅材料情况

① 原辅材料种类及成分

本工程焊接工序所使用的原辅材料以焊条和焊丝为主。其中，焊条由焊芯和药皮两部分组成，焊芯的主要成分包含 Ni、Mo、Cr、Si、Mn 等金属元素；焊丝作为填充金属，其成分同样以这些金属元素为核心。

金属元素在焊接时，会因高温发生熔化、氧化等一系列物理和化学变化。例如，Ni 在高温下易形成氧化镍，Cr 会生成氧化铬等，这些反应产物是焊接过程中污染物的重要来源之一，可能对环境产生多方面的影响。

② 原辅材料用量

工程焊接工序的焊材用量呈现显著的区域分化特征。车间内的焊接作业受限于作业空间与预制规模，焊接材料用量约为 950t，主要用于安装或拼装前期预制工作，成为焊材消耗的主力区域；而车间外的焊接作业因露天施工条件灵活、覆盖范围广，且承担着大型构件现场拼接等重要任务，焊接材料用量约为 40t。

从现场实际用量分析，车间焊接作业的焊材消耗量占据绝对主导地位。依据物质守恒原理，其伴随产生的污染物总量也相应处于较高水平，因此在污染防控体系中，需将车间的治理措施作为重点防控对象，通过强化技术配置与管理力度，确保污染物排放得到有效控制。

2) 污染物产生及治理

①废气：

焊接过程中产生的废气即焊接烟气，其成分复杂，包含颗粒物、臭氧、氮氧化物、一氧化碳等多种有害物质。颗粒物主要是焊接过程中金属熔化产生的金属烟尘，长期吸入会对人体呼吸系统造成损伤；臭氧具有强氧化性，会刺激呼吸道黏膜；氮氧化物和一氧化碳则会影响人体血液携氧能力，危害人体健康，同时这些物质进入大气环境，还会对局部空气质量产生不利影响。

为有效控制焊接烟气污染，本工程针对性地采取了分类治理策略。在车间内，根据作业区域的特点，安装了通风管道过滤装置和焊烟净化装置。通风管道过滤装置通过合理布局的管道网络，将焊接点产生的烟气及时收集，引入过滤系统，过滤材料采用高效滤料，对颗粒物的过滤效率可达 90%以上，能有效去除烟气中的大部分颗粒物。

焊烟净化装置则采用更先进的复合净化技术，先通过高压静电吸附去除部分颗粒物，再经过活性炭吸附层吸附臭氧、氮氧化物、一氧化碳等气态污染物，使处理后的烟气各项污染物浓度均达到《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）中的相关要求后再排放。

在施工现场，由于焊接作业点分散且不固定，采用排气系统或移动式焊烟净化装置。焊烟净化装置配备灵活的吸气臂，可根据焊接位置随意调整，将焊接烟气直接吸入净化系统。其净化原理与车间内的焊烟净化装置类似，净化效率能满足现场作业的环保要求，大幅减少了烟气的无组织排放，预计对厂区及附近环境空气质量影响不大。

②工业固体废物：

焊接过程中产生的工业固体废物主要有焊渣、飞溅物及废弃焊材等。焊渣是焊接时熔化的金属在冷却过程中与熔渣分离后形成的固体残渣，其成分与焊接材料及被焊金属有关；飞溅物是焊接电弧高温作用下，熔化的金属颗粒脱离熔池飞溅到周围形成的；废弃焊材包括使用后剩余的焊条头、短段焊丝等，仍含有一定量的金属成分。

对于这些工业固体废物，本工程建立了完善的收集、储存和处置体系。在各焊接作业区域，按照固体废物的种类设置专门的收集容器，容器上标注清晰的分类标识，引导操作人员将焊渣、飞溅物及废弃焊材分别投放，避免混合污染。

收集后的固体废物统一运输至指定的储存场所，该场所采用硬化地面，并设置防渗围堰，防止雨水冲刷导致污染物渗入土壤和地下水。对于废弃焊材中可回收利用的部分，如长度较长的焊丝段和焊条头，交由专业回收企业进行回收处理，确保其对环

境的影响降至最低。

5.1.2 陆域施工活动对环境的影响

山东石岛湾核电站扩建二期工程陆域施工活动对环境的影响主要是工程负挖、土石方爆破、道路施工、汽车运输以及设备安装等造成的噪声、粉尘、植被破坏和水土流失等生态方面的影响。

5.1.2.1 噪声的影响

扩建二期工程施工过程中，厂区内和施工准备区产生噪声的活动包括场地负挖，土石方爆破、道路平整、主厂房（核岛、常规岛）的建设和厂区辅助配套设施的建设，另外设备安装和汽车运输也会产生一定噪声。噪声源按无指向性点声源简化处理，点声源对外界环境的影响可用半自由声场点声源几何发散衰减公式计算，各种施工机械在不同距离的预测值见表 5.1-1。

现场施工机械设备如挖掘机、推土机、钻孔机等噪声值也较高，且在实际施工过程中，通常是多台机械设备同时作业，各台设备产生的噪声会互相叠加。同一地点同时作业的机械设备多为 2~6 台，一般不会超过 10 台，叠加后的噪声增值约 3~10dB。

施工机械作业时可视为点声源，距离加倍时噪声降低 6dB，如果考虑空气吸收，则附加衰减 0.5~1dB/100m。表 5.1-1 所示结果表明，昼间施工机械在距施工场地 100m 外可以达到标准限值；夜间噪声超标主要集中在 400m 以内。表中仅是部分施工机械满负荷运作时的辐射噪声，在施工现场，往往是多种施工机械共同作业的结果，因此达标距离要更大一些。施工单位在合理布置高噪声设备使用位置、统筹安排高噪声设备工作时间同时尽量选用低噪声设备的情况下，预计本项目施工期噪声可以满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的要求。距本工程厂区和施工准备区最近的居民点是东钱家村，位于厂区 NNW 方位最近约 0.72km 和施工准备区 W 方位最近约 300m。通过点声源衰减计算公式预测，施工噪声对东钱家村的最大贡献值约 50dB（A），施工单位在合理统筹安排高噪声设备工作时间和使用位置的情况下，施工噪声不会改变居民点所处《声环境质量标准》（GB 3096-2008）1 类功能区的要求，对居民点影响很小。需要说明的是，建设过程中建筑材料及施工过程中产生的固体废物运输需要使用运输车辆，大型运输车辆具有高噪声的特点，往往对运输道路沿线声环

境造成较大的影响，鸣笛、超载、超速等会加剧这类噪声影响。因此，对于施工车辆的交通噪声应通过合理安排进出路线、减少鸣笛等措施来减缓对沿线环境影响。

为落实施工期间的环境保护措施，石岛湾核电站编制了《施工现场环境管理规定》《施工现场环境因素识别、评价、控制》等管理程序，通过识别施工现场的环境因素，有针对性地实施环境保护措施。

表 5.1-2 给出了扩建一期工程施工期 2023 年 4 个季度场界噪声、敏感点噪声监测结果，其中建筑施工场界噪声最大值为昼间 59dB(A)，夜间 48dB(A)，满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011) (昼间 70dB(A)，夜间 55dB(A))，敏感点噪声最大值为昼间 52.2dB(A)，夜间 44dB(A)，满足《声环境质量标准》(GB 3096-2008) 中的 1 类标准 (昼间 55dB(A)，夜间 45dB(A))。类比扩建一期工程施工期监测结果，本工程监测结果可满足相关标准要求。

施工期将根据监测结果采取适当的防护措施，尽量减小施工噪声对敏感点的影响。

5.1.2.2 大气的影响

扩建二期工程施工期间的主要大气污染物包括扬尘、粉尘、汽车尾气、酸性气体、挥发性有机废气、烟尘，在这些污染物中，扬尘和粉尘对大气局部环境质量影响较为明显。

(1) 地面扬尘、粉尘和汽车尾气

施工产生的地面扬尘和粉尘主要来自于施工机械和运输车辆的行驶、爆破、土石方开挖和填筑、物料堆放以及施工建筑材料的搅拌等环节，TSP 产生量与施工方式、车辆数量、道路路面状况以及天气情况相关。

由于施工现场车辆较多，特别是大型工程车和施工机械设备（挖掘机、铲土机等），在施工和运输过程中会产生一定量的汽车尾气，主要成分为 CO、NO_x 和碳氢化合物。

爆破过程除产生大量粉尘外，还会产生一定量的烟气，烟气量与炸药种类、用量和操作方式等诸多因素有关。炸药集中存放于仓库，每次使用前均向公安部门申报。

施工中采用了覆盖、定期洒水等措施减少扬尘的产生。有资料表明，在施工期内对车辆行驶的路面实施洒水抑尘，每天洒水 4~5 次，可使扬尘减少 70% 左右；对施工场地实施每天洒水 4~5 次进行抑尘，可有效地控制施工扬尘，并可将 TSP 污染距离缩小到 20~50m 范围。因此，在施工活动中，在采取覆盖、定期洒水等减少扬尘的措

施后，施工粉尘及扬尘的影响可局限于施工场地周围，对大气环境影响范围有限。另外，由于部分粉尘的粒径和质量较大，也很快在空气中自然沉降，大规模扩散的粉尘量较小。施工结束后这部分大气污染源将不再存在，影响时段有限。

扬尘、粉尘及尾气的影响范围主要局限于厂区，受影响的人群为厂区工作人员。施工期的大气污染源多为无组织排放，由于山东石岛湾核电站为滨海厂址，大气扩散条件较好，类比高温气冷堆土建施工高峰期 2016 年施工期各季监测结果，敏感点环境空气监测结果均可满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中的二类标准限值要求，场界处的无组织废气均满足《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）中的无组织排放浓度限值。预计本项目施工期地面扬尘、粉尘和汽车尾气对区域环境和敏感点的影响较小。

表 5.1-3 给出了 2023 年 4 个季度建筑施工场界无组织废气监测结果，表 5.1-4 给出了 2023 年 4 个季度敏感点空气质量监测结果。根据场界无组织废气、敏感点空气质量监测结果，其中无组织废气满足《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）中的无组织排放浓度限值，敏感点空气质量满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中的二级标准。2023 年施工期监测结果均满足相关标准要求。

（2）焊接废气

焊接过程中产生的废气即焊接烟气，其成分复杂，包含颗粒物、臭氧、氮氧化物、一氧化碳等多种有害物质。颗粒物主要是焊接过程中金属熔化产生的金属烟尘，长期吸入会对人体呼吸系统造成损伤；臭氧具有强氧化性，会刺激呼吸道黏膜；氮氧化物和一氧化碳则会影响人体血液携氧能力，危害人体健康，同时这些物质进入大气环境，还会对局部空气质量产生不利影响。

为有效控制焊接烟气污染，本工程针对性地采取了分类治理策略。在车间内，根据作业区域的特点，安装了通风管道过滤装置和焊烟净化装置。通风管道过滤装置通过合理布局的管道网络，将焊接点产生的烟气及时收集，引入过滤系统，过滤材料采用高效滤料，对颗粒物的过滤效率可达 90%以上，能有效去除烟气中的大部分颗粒物。

焊烟净化装置则采用更先进的复合净化技术，先通过高压静电吸附去除部分颗粒物，再经过活性炭吸附层吸附臭氧、氮氧化物、一氧化碳等气态污染物，使处理后的烟气各项污染物浓度均达到《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）中的相关要求后再排放。

在施工现场，由于焊接作业点分散且不固定，采用排气系统或移动式焊烟净化装置。焊烟净化装置配备灵活的吸气臂，可根据焊接位置随意调整，将焊接烟气直接吸入净化系统。其净化原理与车间内的焊烟净化装置类似，净化效率能满足现场作业的环保要求，大幅减少了烟气的无组织排放，预计对厂区及附近环境空气质量影响不大。

（3）酸性气体

本工程施工期间涉及不锈钢等金属工件采用酸洗钝化工艺进行工件除锈防腐，在酸洗钝化过程中会采用酸洗钝化膏对工件表面进行涂抹钝化，涂抹反应时间不少于半小时，酸洗钝化膏成分为硝酸、氢氟酸和硝酸镁，对工件进行表面处理会有少量的酸雾产生。施工现场会产生少量酸性气体，加强通风，减少其影响。

（4）挥发性有机废气

本工程施工期间涉及喷漆工艺对金属工件进行防腐防锈，待处理工件将通过油漆喷壶进行底漆和面漆处理作业，在喷漆作业和工件晾干作业过程中将产生一定量漆雾（挥发性有机废气），喷漆过程在喷漆房中进行。

调漆房和喷漆房密闭负压抽风后汇总，通常经“漆雾过滤器+活性炭吸附浓缩+催化燃烧装置”系统处理：废气经引风机作用，先经过干式过滤箱去除废气中的粉尘及杂质部分，经过初步过滤后“相对纯净的有机废气”进入吸附装置进行吸附净化处理，有机物质被活性炭吸附，洁净气体通过不低于 15m 高度的排风口排放到大气中。经过一段时间吸附，活性炭达到饱和状态，催化燃烧装置的催化箱自动升温将热空气通过风机送入活性炭床使碳层升温将有机物从活性炭中“蒸”出，脱附后的有机废气经加热升温后进入催化室，在催化剂的催化作用下被分解为二氧化碳和水。

参考太平岭核电厂喷漆喷砂车间废气监测结果，喷漆室废气排放口有组织排放甲苯、二甲苯排放浓度分别为 $0.10\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $0.38\text{mg}/\text{m}^3$ ，排放速率分别为 $1.05\text{E-}03\text{kg}/\text{h}$ 、 $3.98\text{E-}03\text{kg}/\text{h}$ ；喷漆喷砂车间无组织排放最大检测浓度结果反映，其甲苯、二甲苯分别为未检出、 $0.03\text{mg}/\text{m}^3$ ，可以满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表 2 中的相关排放要求。通过类比分析认为，本项目喷涂工艺在落实废气处理措施后对环境空气质量产生影响较小。

（5）喷砂工艺产生的粉尘

本工程施工期间将采用喷砂工艺对中小型铸件锻件、焊接钢结构件等工件表面进行喷砂，以除去其表面的污物、氧化皮、焊渣、废漆等，使工件表面光洁并提高涂料

的附着力，同时降低工件内应力，使工件表面得到强化，进而达到提高工件表面及内在质量的目的。

喷砂是利用高速砂流的冲击作用清理和粗化基体表面的过程。采用压缩空气为动力，以形成高速喷射束将喷料高速喷射到需要处理的工件表面，使工件外表面或形状发生变化，由于磨料对工件表面的冲击和切削作用，使工件的表面获得一定的清洁度和不同的粗糙度，因此提高了工件的抗疲劳性，增加涂层的附着力，延长涂膜的耐久性，有利于涂料的流平和装饰。喷砂房配备了高效除尘机组，喷砂房内为负压工作状态，粉尘无外泄现象。喷砂房外的气流经粗效过滤器进入喷砂房内，之后通过匀流板在喷砂房的横断面形成自上而下的气流，把喷砂房内的砂料、粉尘、清理物等通过蜂窝式吸砂地板进入砂尘分选器，通过砂尘分选器将磨料及粉尘污物分开。有用的砂料进入储砂罐内继续循环使用，粉尘则随气流进入除尘系统内。

喷砂过程会有粉尘废气产生，主要污染物为颗粒物。喷砂房内为负压工作状态，废气被密闭抽风收集后，通常采用“旋风除尘器+滤筒除尘器”装置处理，使含尘气流作旋转运动，借助离心力将尘粒从气流中分离并捕集于器壁，再借助重力作用使尘粒落入灰斗。经处理后的废气经不低于 15m 高度排气筒排放；对灰斗进行定期清灰后将粉尘拉到指定位置处理

参考太平岭核电厂 2023 年 11 月编制的喷漆喷砂车间环境空气和废气检测报告，喷漆喷砂车间的喷砂室废气排放口的颗粒物检测浓度为 $3.6\text{mg}/\text{m}^3$ ；喷漆喷砂车间无组织排放最大检测浓度结果反映，总悬浮颗粒物分别为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。能够满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）。通过类比分析认为，本项目喷砂工艺在落实废气处理措施后不会对环境空气质量产生影响。

（6）砂石料厂废气

砂石料厂的废气主要为砂石生产粉尘，分为鄂破车间、圆锥破车间、振动筛车间、整形车间、制砂楼，每个车间及制砂楼内均配套集气装置及布袋除尘器，排放浓度应满足《建材工业大气污染物排放标准》（DB37/ 2373-2018）表 2 非金属矿一般控制区标准（ $20\text{mg}/\text{m}^3$ ）规定。

（7）混凝土搅拌站废气

混凝土生产过程中产生的污染物主要为含有颗粒物的废气，采用脉冲除尘器除尘进行处理，脉冲除尘器安装在粉料罐顶部。含尘气体由灰斗进入过滤室，粉尘颗粒直

接落入灰斗或灰仓，含尘气体经滤袋过滤，粉尘阻留于布袋表面，净化后的气体经袋口至净气室，由风机排入大气。当滤袋表面的粉尘不断增加，导致设备阻力上升到设定值时，控制器输出信号，程控仪工作，逐个开启脉冲阀，压缩空气通过喷口瞬间高压喷吹滤袋，使滤袋突然膨胀，在反向气流的作用下，附着于袋表面的粉尘迅速脱离滤袋落入粉料罐内重复使用。排放浓度应满足《建材工业大气污染物排放标准》（DB37/2373-2018）的要求（大气污染物中颗粒物排放浓度小于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ ）。

5.1.2.3 厂区生态的影响

电厂在施工期需要对厂址场地进行平整，场平将去除原有植被，进行大量的土石方挖掘工作，完全改变当地局部生态环境。由于当地无特殊生态环境，不属于国家和地方自然保护区和生态红线区，施工范围内无国家濒危保护物种和特殊生境，电厂规划对整个厂区实施绿化，建造全新的人文景观。

在水土保持方案实施后，可减少水土流失量32362.05t，水土流失治理度100%。

5.1.2.4 使用化学物质对环境的影响

核电厂建设施工阶段，各种设备和连接管道需要运输、贮存和现场安装，为避免盐雾锈蚀和表面氧化，采用喷砂油漆、酸洗钝化等工艺对构件或管件表面进行处理，处理过程中将使用一些化学物质。这些化学物质包括油漆、固化剂、稀释剂、磷酸三钠、无水乙醇、硝酸、氢氟酸、羧甲基纤维素（CMC）、硅酸盐等。另外，现场施工还会用到煤油、氧气（压缩）、乙炔、丙酮、润滑油、硼酸、树脂等，上述物质有些是有毒化学物品，由施工单位按照制定的使用管理规定严格操作，对使用量严格控制。

5.1.2.5 施工固体废弃物对环境的影响

扩建二期工程建设过程中，将产生一定量的生活垃圾和工业废弃物。本项目运行时将会产生废矿物油、废涂料、废碱、废乳化液、废石棉类材料、废油面纱/布、废电子线路板、感光材料废物、废树脂、无机氟化物废物、废酸、报废氟利昂、含汞废物、含铅废物以及废化学试剂等危险固废，将其归类暂存于危险废物库，委托具有危险废物处置资质的公司对其外运处置。

施工期间的危险废物由各参建单位自行管理。参建单位在施工临建区设置危险废

物暂存库，并在危险废物库设置危险废物警告标志和标签，盛装危险废物的容器和包装物粘贴危废标签。存放时按照危险废物的种类、状态以及兼容性等分别存放，存放场地做好硬化及防渗处理。在存放液态、半固态危险废物的场所设置泄漏液体收集装置，同时危险废物暂存库设置消防设施、防爆照明设施和通风降温设施等。并委托第三方单位定期对危险废物进行外运处置。危险废物的存放应满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）的要求。

为进一步减少危险废物的产生量，建设单位从源头治理出发，计划建设酸洗钝化废液减量化处置装置，设置一套酸洗钝化废水处理装置，对石岛湾核电厂建设过程中产生的酸洗、钝化等表面处理废水及渗透探伤废水进行净化，废水处理采用预处理（调节+化学沉淀）+生化处理（厌氧池+好氧池+MBR膜生物反应器）+深度处理（碳罐过滤+紫外线消毒）。废水处理后回用于素混凝土拌合，不外排，污泥经压滤脱水后外运交有资质单位处置。设计处理能力： $0.5\text{m}^3/\text{h}$ ，单日以运行工作8小时计，年处理量300t。若不满足酸洗钝化废水处理装置建设条件，将委托有资质的部门外运中和处理。

电厂应制定严格的施工环境管理规定，对生活垃圾和施工垃圾制定相应的管理措施，对不同类别的施工垃圾和生活垃圾按不同要求进行处理。施工垃圾中不可回收利用的无毒无害废弃物运至指定的临时废弃物堆放场，可回收利用废弃物尽量回收再利用；有毒有害废弃物交由有资质的单位进行处理。

通过采取上述措施，使核电厂施工产生的废弃物尽可能实现回收利用和分类处理，以减轻对环境的影响。

5.1.2.6 道路对环境的影响

本项目的进场道路和应急道路大部分路段已在高温气冷堆示范工程中建成，在扩建一期工程中将建设应急道路连接线路915m。本项目不新建道路。

应急道路连接线路运行期环境影响主要为噪声和机动车尾气，由于该道路距居民点较远，预计对环境的影响较小。根据表5.1-2中2023年施工期敏感点声环境质量监测结果，进场道路和应急道路附近的敏感点声环境质量均满足标准要求。

5.1.2.7 施工活动对社会环境的影响

电厂陆域征地包括林地、农用地和部分耕地等，被占用的土地将彻底失去生产能

力，从而对厂址所在区域的农业经济造成了一定的影响。但由于征地范围内耕地面积比较少，因此，工程建设对原有社会经济的不利影响有限。

核电厂工程的建设期间需要大量的工程施工人员，大量的外来施工人员进驻施工现场，可能对附近居民的日常生活造成轻微的影响，但同时也可以增加当地居民的就业机会和商机，而大量施工人员在该地区较长时期的居住和生活，可以增强该地区的消费能力，促进经济的发展。

厂址离历史古迹、风景名胜区较远，施工活动对其产生影响较小。

表 5.1-1 各种施工机械在不同距离的预测值

单位：dB（A）

距离 施工设备	5m	10m	20m	40m	60m	80m	100m	200m	300m	400m	500m
推土机	86	80.0	74.0	67.9	64.4	61.9	60.0	54.0	50.4	47.9	46.0
挖掘机	86	80.0	74.0	67.9	64.4	61.9	60.0	54.0	50.4	47.9	46.0
装载机	93	87.0	81.0	74.9	71.4	68.9	67.0	61.0	57.4	54.9	53.0
打桩机	91	85.0	79.0	73.0	69.4	66.9	65.0	59.0	55.5	53.0	51.0
重型运输车	86	80.0	74.0	67.9	64.4	61.9	60.0	54.0	50.4	47.9	46.0
混凝土输送泵	92	86.0	80.0	73.9	70.4	67.9	66.0	60.0	56.4	53.9	52.0
振捣棒	84	78.0	72.0	65.9	62.4	59.9	58.0	52.0	48.4	45.9	44.0
电锯	91.0	85.0	79.0	73.0	69.4	66.9	65.0	59.0	55.5	53.0	51.0
吊车、升降机	75	69.0	63.0	56.9	53.4	50.9	49.0	43.0	39.4	36.9	35.0
切割机	93	87.0	81.0	74.9	71.4	68.9	67.0	61.0	57.4	54.9	53.0

表 5.1-2 建筑施工现场界噪声和声环境保护目标噪声监测结果

单位：dB(A)

监测时间	场界噪声	
	昼间 Leq	夜间 Leq
2023 年第 1 季度	56.0~59.0	43.0~47.0
2023 年第 2 季度	52.8~57.6	40.6~48.0
2023 年第 3 季度	55.7~58.6	42.6~46.5
2023 年第 4 季度	56.9~58.9	42.2~47.0
《建筑施工现场环境噪声排放标准》 (GB 12523-2011)	70	55

监测时间	声环境保护目标噪声	
	昼间 Leq	夜间 Leq
2023 年第 1 季度	50.0~52.0	41.0~44.0
2023 年第 2 季度	49.9~51.3	39.3~41.3
2023 年第 3 季度	50.2~52.1	40.3~43.7
2023 年第 4 季度	49.5~52.2	38.0~40.0
《声环境质量标准》(GB 3096-2008) 1 类标准	55	45

表 5.1-3 建筑施工场界无组织废气监测结果

单位：mg/m³

监测时间	SO ₂	NO _x	颗粒物	VOCs
2023 年第 1 季度	0.007L~0.013	0.013~0.023	0.192~0.298	0.72~1.12
2023 年第 2 季度	0.007L~0.010	0.018~0.026	0.251~0.281	0.38~0.72
2023 年第 3 季度	0.007L~0.011	0.014~0.026	0.230~0.292	0.23~1.16
2023 年第 4 季度	0.008~0.013	0.018~0.029	0.233~0.296	0.12~0.74
《大气污染物综合排放标准》 (GB 16297-1996) 标准限值	0.4	0.12	1	4

表 5.1-4 敏感点空气质量监测结果
1 小时平均监测结果（mg/m³）

监测时间	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃
2023 年第 1 季度	0.007L~0.014	0.014~0.021	0.479~0.562	0.064~0.087
2023 年第 2 季度	0.007L~0.011	0.011~0.020	0.500~0.552	0.083~0.118
2023 年第 3 季度	0.007L~0.009	0.009~0.015	0.438~0.542	0.101~0.144
2023 年第 4 季度	0.007~0.017	0.006~0.012	0.417~0.562	0.051~0.088
《环境空气质量标准》 (GB 3095-2012) 二级标准	0.5	0.2	10	0.2

24 小时平均值（mg/m³）

监测时间	SO ₂	NO ₂	CO	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
2023 年第 1 季度	0.007L~0.014	0.014~0.021	0.479~0.562	0.064~0.087	0.080~0.105	0.047~0.072
2023 年第 2 季度	0.008~0.010	0.014~0.017	0.521~0.541	0.165~0.177	0.046~0.053	0.028~0.039
2023 年第 3 季度	0.004~0.005	0.010~0.014	0.107~0.135	0.168~0.174	0.046~0.053	0.027~0.033
2023 年第 4 季度	0.008~0.010	0.008~0.011	0.440~0.535	0.171~0.175	0.051~0.059	0.031~0.039
《环境空气质量标准》 (GB 3095-2012) 二级标准	0.15	0.08	4	0.3	0.15	0.075

日最大 8 小时平均（mg/m³）

监测时间	O ₃
2023 年第 1 季度	0.072~0.084
2023 年第 2 季度	0.091~0.118
2023 年第 3 季度	0.107~0.135
2023 年第 4 季度	0.073~0.079
《环境空气质量标准》 (GB 3095-2012) 二级标准	0.16

5.2 水的利用

5.2.1 海域工程概况

5.2.2 施工期供水及排水系统对水环境的影响

图

图 5.2-1 施工生活区污水站工艺流程图

5.2 水的利用

山东石岛湾核电站扩建二期工程的水体利用相关工程包括：

- 海工工程：沿用高温气冷堆工程规划的取排水方案，全厂统一规划，分期实施。
扩建二期工程与高温气冷堆工程、扩建一期工程取水共用北侧取水口及明渠。
全厂共用排水设施，扩建二期工程排水通过隧洞（暗涵）接入全厂共用的排水明渠，最终排向东侧海域。
- 水处理设施：电厂生活污水处理站（BEW）按照“永临结合”的方式建设，施工期的主厂区、施工准备区、临建办公区的生活污水通过吸粪车或者施工期临时生活污水管网转运送至生活污水处理站处理。施工生活区沿用已有的生活污水处理站，采用 MBR 膜生物反应器处理工艺。

5.2.1 海域工程概况

山东石岛湾核电站扩建二期工程的取排水方案与华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电示范工程、扩建一期工程及国和一号示范工程统一规划，采用南北明渠分取、中间明渠合排布置方式，排水通过隧洞（暗涵）接入全厂共用的排水明渠，排水隧洞采用干施工方案，对海洋环境影响很小。

5.2.2 施工期供水及排水系统对水环境的影响

5.2.2.1 供水水源

扩建二期施工生产及生活用水均由扩建一期海水淡化系统供应，不对其他用水户产生影响。

5.2.2.2 排水系统污染物排放

（1）生产废水

不同的施工阶段产生不同种类的施工生产废水，土建阶段的施工生产废水主要来自场地冲洗水、混凝土搅拌站废水、砂石料洗涤用水和车辆冲洗废水。

混凝土搅拌站废水主要来自搅拌机、混凝土运输车冲洗水。砂石分离器对冲洗废水及混凝土废料进行分离。分离出的砂石混合料作为回填料供施工现场使用，泥水通

过压滤机压缩为泥饼后作为建筑垃圾进行处理。冲洗用水量约为：200t/月。冲洗废水经沉淀、过滤后用于冲洗车辆及地面降尘。

安装和调试阶段的施工生产废水为水压试验废水、冲洗废水、除盐水箱废水、酸洗钝化废水等。安装阶段核岛冲洗和打压的水源为 SED 除盐水，水质基础较好。

调试生产废水分为非加药废水和调试加药废水。

本期工程配有酸洗钝化废水处理装置，对酸洗钝化废水和渗透探伤废水进行处理。废水处理后回用于素混凝土拌合，不外排，污泥经压滤脱水后外运交有资质单位处置。设计处理能力：0.5m³/h，单日以运行工作 8 小时计，年处理量 300t。若不满足酸洗钝化废水处理装置建设条件，将委托有资质的部门外运中和处理。

安装和调试阶段除了酸洗钝化废水和渗透探伤废水外的施工生产废水均通过厂区非放射性工业废水收集管网（SEW）收集排至非放射性工业废水处理站（BST）统一处置。排放执行《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，如回用，中水执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）。

（2）生活污水

施工期间厂区内产生的生活污水由扩建一期工程已建的污水处理站进行处理，处理达标后优先回用，施工期及运行期的生活污水处理后达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中的一级 A 标准，回用中水达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）。

扩建一期已建成正式污水处理厂 BEW，其处理能力为 960m³/d。扩建二期工程建设阶段生活污水排入正式污水处理站，特殊情况委托第三方污水处理站处理。

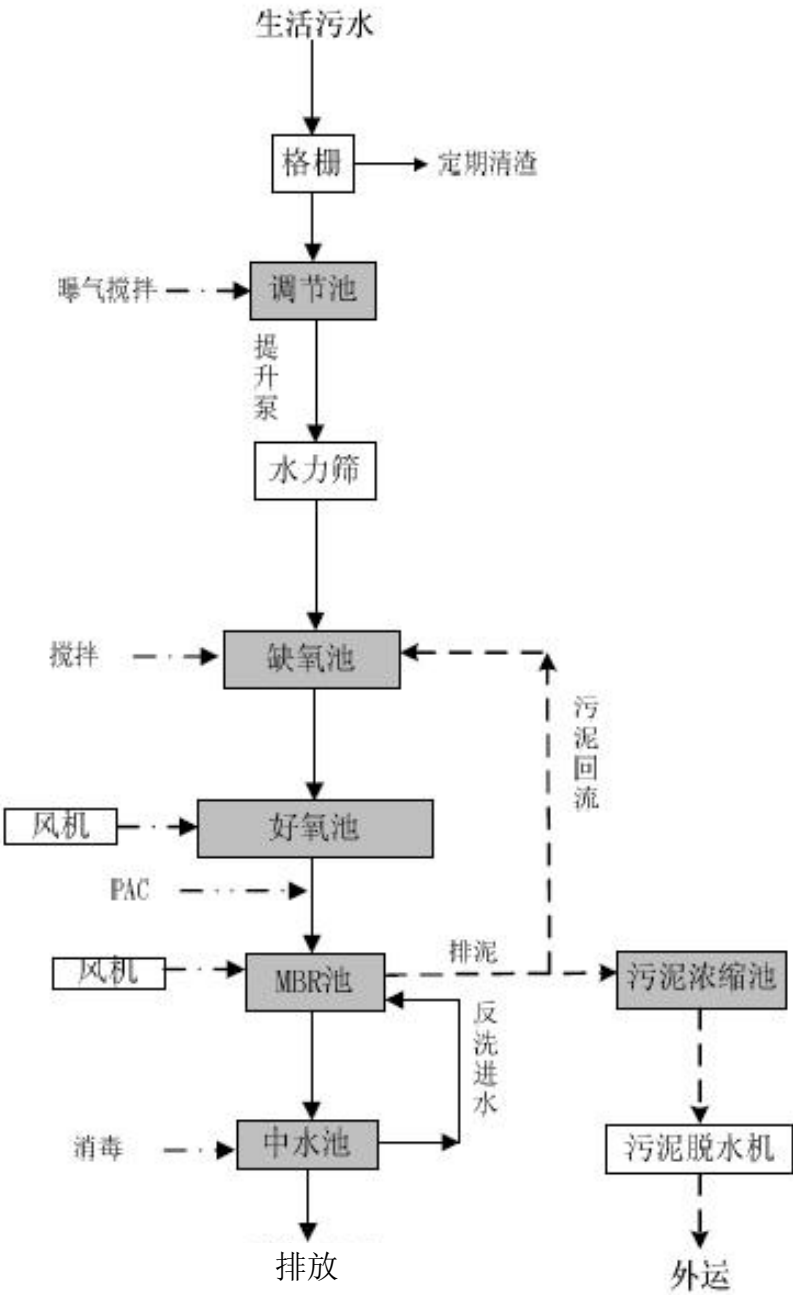
在本期工程施工期间，扩建一期工程正在施工。扩建一期工程主厂区服务人数高峰为 7000 人，施工准备区服务人数高峰为 1000 人，临建办公区及其他区域考虑施工人员约为 2000 人，按照用水定额 50L/人.d，总用水量约 500m³/d。污水采用生活用水量的 90%，为 450m³/d。考虑扩建一期、扩建二期施工高峰叠加主厂区服务人数高峰为 12600 人，施工准备区服务人数高峰为 1800 人，临建办公区及其他区域考虑施工人员约为 3600 人，总用水量约 900m³/d，污水采用生活用水量的 90%，为 810m³/d。综上 BEW 子项满足施工高峰期人员使用。施工生活区污水处理站采用 MBR 膜生物反应器处理工艺，该污水站工艺流程见图 5.2-1。施工生活区污水处理站主要负责处理施工

生活区中居住的施工工人产生的生活污水，处理后的出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中的一级 A 标准后排放入海。

（3）含油废水

施工期的含油污水主要源于施工机械的跑冒滴漏和故障维修，产污点分散，废水不连续，很难准确估算产生量。根据大型机械设备预防维护保养制度，每台大型施工机械设备年维修保养过程产生的含油污水为 4400L，废油量为 6.4kg。

扩建二期工程施工区的含油废水由各承包商单独收集后外运处置。



山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
施工生活区污水站工艺流程图		
图 5.2-1	版次：	A

5.3 施工影响控制

5.3.1 减少陆域环境影响的措施

5.3.2 减少海洋环境影响的措施

5.3.3 施工期环保措施有效性分析

5.3.4 施工期间的环境监测

5.3 施工影响控制

5.3.1 减少陆域环境影响的措施

扩建二期工程在施工期间对陆域环境的影响主要是不同工程阶段和工程子项目建设期间对陆地生态、大气环境和声环境等方面的影响。工程中将采取相应的有效缓解措施，主要包括：

（1）大气环境

- 施工期间爆破、混凝土搅拌和载重车辆运输过程等引起粉尘和地面尘土飘散，为降低其对大气环境的影响，保护施工人员的身体健康，施工过程中采取了洒水抑尘、深孔爆破、硬化路面、控制车速和加盖苫布等方式来降低施工起尘量，有效改善了施工区域的大气环境；
- 施工过程产生一定量的临时弃土，临时弃土场对环境的影响主要是弃土在堆放过程产生的扬尘污染。为控制临时弃土场对大气环境的不利影响，采取在弃土倾倒和堆放过程中适量洒水抑尘，并避免同时进行大规模的弃土倾倒；
- 加强区域内的场地绿化，栽植能阻挡灰尘的高矮不等的乔木、灌木。

（2）声环境

- 使用低噪声施工设备，在高噪声源设备上加装消音、减振装置，经常对设备进行保养，维持设备处于良好的运转状态；
- 合理安排施工进度，避免在施工期间同步使用高噪声设备，严格控制夜间施工过程；
- 对于土石方爆破、场地负挖和设备安装带来的振动和噪声影响，采取深孔爆破方法，合理选择装药量，划定安全防护距离、装卸设备轻拿轻放和避免同时大规模爆破等方式，来控制噪声及振动影响的范围；
- 场区绿化，选用灌木和草坪等对噪声吸收效果较好的植物构成绿化带，减轻对周围声环境的影响。

（3）生态环境

- 为控制临时弃土场的水土流失，通过工程措施、植物措施与预防保护措施来实施有效的控制。工程措施包括：弃土场“先挡后弃”，弃土堆放前在弃土场周围坡脚设砖砌挡坎，弃土结束后，对弃土顶面进行土地平整，为恢复创造条件；

弃土结束顶面平整后，在弃土顶面及马道周围修筑挡水土埂，保持水土。植物措施包括：在弃土场顶面采取乔、草结合的方式，种植当地优势物种。预防保护措施包括：弃土过程中，将清基表土与其他弃土分开堆放，表土集中堆于弃土场一角，用于弃后回铺；

- 为工程取土方便，在施工现场路边设置临时堆土场，为控制堆土场的水土流失；
- 采取在堆土场周围坡脚设砖砌挡坎，同时覆盖密目网的方式，减少雨水和大风天气造成的不良生态影响。

（4）放射源及化学物品管理

- 施工期间主要用 γ 射线进行无损探伤检验，管理措施如下：
 - 1) 聘请有相应辐射安全许可证的专业公司开展；
 - 2) 根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等，制定电厂放射源的管理制度，包括操作规程、应急预案、监测计划等；
 - 3) 放射源存放在厂区内专用源库中，并设有专人看管和安保监控，放射源的进出库均需登记；
 - 4) 使用放射源的作业区范围内设置警示区和警戒线，防止有人误入控制区；
 - 5) 探伤操作人员佩戴个人剂量计和报警器，监控工作过程中个人所受辐射剂量。各探伤场地需配备一台辐射剂量率巡检仪，监控放射性工作场所的辐射水平；
 - 6) 放射源的退役由持证单位联系供源厂家回收处置。

（5）固体废弃物管理

建设单位将制定严格的施工环境管理规定，对不同类别的施工垃圾和生活垃圾按分类进行处理。施工垃圾中不可回收利用的无毒无害废弃物运至建设单位指定的临时废弃物堆放场，可回收利用废弃物应尽量回收再利用；有毒有害废弃物按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）设置专门的危废贮存仓库，具体管理措施包括：

- 禁止随意倾倒、丢弃所产生的危险废物，按照国家有关安全管理和环境保护的规定进行处理和回收；
- 危险废物交由相应承包商和具有相应处理资质的单位进行统一回收和处理；
- 在收集和外送处置的过程中，危险废物建立台账，做到账物相符；
- 电厂安全质保部不定期对全厂危险废物的管控进行监督检查，保证实施过程的

规范和有效性；

- 通过采取上述措施，使核电厂施工产生的固体废弃物尽可能实现回收利用和合理处置，以减轻对环境的影响。

（6）化学品管理

核电厂建设施工阶段，将涉及多种化学物质的使用。在施工时，严格执行制定的化学物品管理使用规定，对化学物品的贮存和使用量严格控制，产生的危险废物由相关资质单位处理或由供应商回收处理。

5.3.2 减少海洋环境影响的措施

扩建二期工程在施工期间产生的含油废水、生活污水、回填土方等将会对附近海洋环境产生影响。施工阶段为减少海洋环境影响采取的措施主要有：

- 对于岸边堆放的土方及建筑材料，加强场地管理，增加防护措施，以防止由于外界因素进入水体；
- 厂区雨污分流，禁止生活污水乱排或未经处理直接排海，加强对厂区污水站的维护管理，定期监测出水口水质，确保污水达标排放；
- 场地冲洗、混凝土搅拌等生产废水经沉淀池处理后，全部回用于场地洒水抑尘和绿化，不外排。

5.3.3 施工期环保措施有效性分析

本项目为扩建工程，从前期工程的项目施工经验及类比监测数据来看，在采用了科学合理可行的环保措施后，本项目施工期间对环境的影响可接受。本项目后续施工期间将定期开展环境监测，根据监测结果进行本项目施工期环保措施有效性的具体分析，确保工程施工期间对周边环境的影响可接受。

5.3.4 施工期间的环境监测

扩建二期工程主要为陆域施工，这些施工建设会造成厂址附近局部陆域环境质量受到影响，为掌握核电厂建设施工期间对陆域环境造成影响的程度，检验核电厂施工期间采取的减缓环境影响措施的实施效果，促使施工单位采用更合理的工艺以最大限度降低工程建设对周边环境的不利影响，扩建二期工程将开展施工期间的陆域环境监

测。

对扩建二期工程施工期间的环境空气、废气、噪声和生活污水开展监测，每季度监测一次。具体监测内容如下：

a、环境空气监测：布设空气监测点位包括各临建区喷漆房、厂址边界和环境敏感点。

VOCs 主要由油漆调配、喷涂、烘干工艺产生，本项目施工期将按照《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）要求，在喷漆作业期间对各临建区喷漆房每年开展一次监测工作，监测项目包括颗粒物、非甲烷总烃、烟气参数。

场界监测项目为 TSP、非甲烷总烃、二氧化硫（SO₂）和氮氧化物（NO_x）等项目小时值。监测点位为扩建二期工程主厂区上风向布设一个参照点，扩建二期工程主厂区场界下风向设三个点。监测频次为每季度一次，每次两天，4 次/天。

敏感点监测项目包括 TSP、PM_{2.5}、PM₁₀ 等项目 24 小时均值，二氧化硫（SO₂）、二氧化氮（NO₂）、一氧化碳（CO）、臭氧等项目小时值、24 小时均值。监测点位为东钱家、于家村和周庄村各布设一个点位，监测频次为每季度一次。

b、噪声监测：设置监测点包括场界和声环境保护目标。场界噪声和声环境保护目标噪声均监测等效声级（Leq）、昼夜等效声级（Ld、Ln、Ldn）、累积百分声级（L10、L50、L90）。监测点位包括主厂区场界布设四个点，施工准备区场界布设一个点，声环境保护目标布三个点，分别为东钱家、于家村和周庄村。监测频次为每季监测一次。

c、生活污水排放监测：施工生活区污水处理站出口设置一个采样点，测试化学需氧量、五日生化需氧量、悬浮物、动植物油、阴离子表面活性剂、总氮、氨氮和总磷。设置污水在线监控系统，对污水中的 COD、瞬时流速进行实时监测。生活污水处理站（BEW）出口设置采样装置及在线监测设备，取样监测悬浮物、色度、五日生化需氧量、动植物油、石油类、阴离子表面活性剂、粪大肠菌群数等水质指标，在线监测出水 pH、COD 等主要水质指标。

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

6.1 散热系统的环境影响

6.1.1 散热系统方案

6.1.2 散热系统对水体的物理影响

6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

6.1.4 参考资料

6.1 散热系统的环境影响

本期工程与华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电示范工程和国和一号示范工程属同一厂址，厂址位于山东省威海市所辖荣成市石岛管理区宁津所街道办事处东南的海滨，东侧濒临黄海。厂址规划总容量为 1 台 200MWe 高温气冷堆机组+2 台国和一号机组+4 台百万千瓦级大型压水堆机组，本工程为在现有 1 台高温气冷堆机组、2 台国和一号机组，以及扩建一期 2 台华龙一号核电机组的基础上的扩建二期工程，本期工程规划建设 2 台华龙一号机组，其中东北侧的华能石岛湾高温气冷堆核电示范工程已建成，本工程西南侧的国和一号示范工程 1 号机组已经商运、2 号机组正在调试，东侧的扩建一期正处于建设中。石岛湾厂址濒临黄海，厂址拟采用海水直流循环供水系统。

石岛湾核电厂址紧邻黄海，深水区离岸较近，海域取水条件较好；排水明渠离岸后水动力条件增强，扩散条件良好。在确定厂址规划高温气冷堆的基础上，整个石岛湾厂址对规划的 7 台核电机组按直流冷却方案开展厂址整体规划、总平面布置和取排水方案相关的大量研究工作。为了尽可能减少取排水对近岸海域的影响，整个厂址及现有核电机组工程取排水方案前期阶段经过了多年的反复论证和优化，现有机组工程均已按直流循环方案开展建设。

根据厂址机组规划方案及取排水条件分析论证，石岛湾厂址采用南北两侧明渠取水、中间明渠离岸集中排水的取排水方案，厂址海工工程为整体规划、分批建设。华能高温堆核电机组和扩建 4 台机组采用明渠在厂址东北面取水，国和一号示范工程 2 台国和一号机组采用明渠在厂址南面取水，厂址机组温排水共用一条排水明渠，从养殖池中间穿过，扩建一期工程拟将排水明渠外延，最终选取养参池外延 600m 排水明渠排放方案。

本工程（扩建二期工程）选用厂址规划容量下取排水方案，采用现有养参池向东延伸约 600m 的排水明渠方案排水，其中排水明渠相对养参池向东延伸约 400m 已建成，规划剩余的排水明渠 200m 延长段为扩建一期工程建设内容。本工程作为扩建二期工程，本期取排水工程不在厂址权属范围外新增构筑物用海。

针对厂址取排水条件，本节根据厂址已开展的相关专题研究成果，并结合本项目散热系统运行方案，对本工程在现有已建设机组（已建 1 台高温堆机组+2 台国和一号机组基础上+扩建一期工程 2 台华龙机组）基础上对扩建二期 2 台华龙一号机组的

散热系统运行期间的取水和温排水对受纳海域的环境影响进行评价。

6.1.1 散热系统方案

厂址北、东、南三面濒临黄海，东南隔馍铧岛与石岛湾毗邻，东北隔楮岛与桑沟湾毗邻，海域条件较好，可采用直流冷却供水系统，以海水作为冷却水源，将大部分余热通过海水排出。

本期工程建设期间，结合厂址前期取排水整体规划及多阶段的取排水工程优化论证研究结果，采用南北两侧明渠取水、中间明渠离岸集中排水的取排水方案，排水口为至养参池外延约 600m。

（1）取排水方案的比选分析

本厂址具有一址多堆、分期建设、不同装机组合对应不同海工布置方案的特点。石岛湾厂址早在 2008 年以前，就开展了高温气冷堆的取排水方案设计研究，此后根据厂址共有 7 台核电机组的规划容量，厂址多机组采用统一的排水方案，取排水方案分期建设实施。

对不同工况组合及其相应海工方案的温排水数模研究时，针对机组规模为 1 台高温气冷堆+2 台国和一号装机容量条件下，取排水方案规划为排水明渠自养参池外延约 400m。在厂址高温堆开展取排水工程部分设施的施工建设后，又经多次厂址综合研究，确定厂址考虑石岛湾高温堆及国和一号机组条件下，优选得出取排水方案为南北分取明渠集中排水（外延 400m）的方案，即排水明渠长 2.3km 可满足要求。

在扩建一期工程规划期间，作为已有高温堆和国和一号基础上的扩建工程，对厂址规划扩建工程机组的循环冷却系统开展多方面比选论证，研究论证表明，在现有 400m 明渠基础上延长 200m（即原养参池向东外延 600m 排放方案）是合理优选方案。

对于本工程采用二次循环冷却方式的对比分析可知：a）直流供水方案机组出力大，系统简单可靠，便于维护，现有直流循环方案符合厂址已有取排水研究论证结果，本工程可直接采用扩建一期已经建设的明渠排水，海工施工影响小，运行期间直流循环的经济优势异常明显；b）二次循环方案机组出力相对较低，系统相对复杂，运行维护工作量大经济性差，冷却塔运行对陆域和植被等影响较大；c）限于厂址现有场地和布置条件，二次循环场地用地大，施工和运行复杂，难以满足工程建设运行条件。综合分析，本期扩建工程采用厂址规划的直流循环冷却方案是较为合理的。

根据扩建工程的取排水方案研究结果，从减小海域环境影响，以及减小温排水对岸边养殖的影响角度，600m 明渠中排方案是相对合理的。从整个厂址条件来说，本工程从北侧取水口取水、全厂共用的排水口排水时，利用现有明渠排放方案有利于整个石岛湾基地的总体规划和安全运行，可有效减少温排水影响面积，可有效降低取水温升，降低海洋环境影响，取排水满足近岸海域环境功能区划要求，技术可行经济较优，是较为合理的优选方案。

（2）取排水工程布置方案

石岛湾厂址规划多台核电机组，结合工程条件和厂区布置特点，厂址按南北分取中间合排方案考虑，其中北取为高温堆机组和规划百万千瓦级压水堆机组使用，南取为国和一号机组使用，对厂址海工工程为整体规划、分批建设。

取水明渠按规划容量机组（1×200MW 高温气冷堆机组+4 台华龙一号机组）用水量一次规划，在厂址东北面取水，分期建设。取水明渠一期满足高温气冷堆示范工程的取水条件，取水明渠后续满足扩建工程的取水条件；排水明渠按厂址规划容量机组（1×200MW 高温气冷堆机组+4 台华龙一号机组+2 台国和一号示范工程机组）用水量一次规划，分期建设，向厂址东侧排水，扩建一期工程取排水方案比选和优化论证阶段，确定厂址规划容量下的排水明渠方案为相对养参池向东延伸约 600m，其中排水明渠相对养参池向东延伸约 400m 已建成，规划剩余的排水明渠 200m 延长段为扩建一期工程建设内容。

厂址采用北取中排方案，排水明渠自养参池外延600m，取排水方案如下：取水工程一进水口在北取水明渠处的端部采用喇叭口形式；排水工程一厂区东侧明渠排水，排水明渠长约2.6km（至养参池外延约600m）。

6.1.2 散热系统对水体的物理影响

6.1.2.1 散热系统设施对水体的物理影响

厂址附近海域周边岸线类型主要为砂质岸线和基岩岸线，本项目取排水防波堤用海、取排水明渠利用扩建一期已形成的取水口和排水口进行取排水。

（1）对海域水体的水文水动力影响

根据前期已开展的数模专题研究表明，厂址取排水工程实施后，南北两侧取水明渠、排水明渠堤头外侧流速有所增大；厂址取排水工程建设未明显改变当地海域的整

体潮流运动特征，对大范围流场的影响局限在楮岛至镆鵁岛范围海域内，不会造成对海域热分层模式的改变。根据扩建工程开展的岸滩及泥沙数模专题研究，在排水明渠向外海延伸后，排水明渠堤头的挑流作用略有增强，排水明渠堤头平均流速增幅在0.1m/s以内；黑石岛附近流速几乎无变化，最大流速变幅仅在0.04m/s左右；本次核电机组取排水方案实施后其影响主要集中在核电工程取排水明渠局部，将不会对大范围水域的潮流整体运动规律造成影响。由于周边海岛岛基为基岩，其周围岛基的侵蚀速率在 10^{-4} 量级，本区领海基线海岛及其它海岛岛基及砾石滩均为稳定状况，不会因工程建设引起的局部动力条件改变而导致岛基侵蚀速率改变。

根据本期工程对泥沙冲淤复核数模研究结果表明，通过复核认为，本次扩建二期工程各工况实施后潮流泥沙运动规律与原扩建一期专题报告一致，潮流流速及泥沙冲淤预测结果与原扩建一期专题报告差异较小，其中潮流流速相差在0.05m/s以内，不同等级的流速影响面积相差在1.0km²以内；核电机组建设后不会对大范围水域潮流整体运动规律产生较大影响，含沙量场分布差异较小，基本处于同一量级，影响较有限。

（2）对海域内领海基点的影响

根据《威海市无居民海岛保护与利用规划（2015—2025年）》，厂址周边海域7km范围内现共有5个海岛（礁），分别是老铁石、北帽子、荣成黑石岛、东南江和东山号岛，其与排水明渠头部距离分别约为0.8km、1.1km、1.2km、1.4km、1.4km。由于北帽子、荣成黑石岛、东南江和东山号岛这4个位于同一岛基之上，以下简称黑石岛岛群。

根据海岛功能分类保护体系，荣成黑石岛、东南江的一级类为特殊保护类、二级类为领海基点海岛，其管理要求为依法保护领海基点海岛，禁止在领海基点保护范围内进行工程建设以及其它可能改变地形、地貌的活动；老铁石、北帽子、东山号岛的一级类为一般保护类、二级类为保留类海岛，保留类海岛管理要求主要包括在规划期以保护为主，保持生态系统稳定，维持海岛利用现状，防止海岛资源遭到破坏，在不影响海岛生态稳定的前提下，可适度开展观光旅游和渔业生产活动，不得在海岛建造永久性建筑物或设施。

根据《山东省人民政府关于苏山岛等8个领海基点保护范围的批复》（鲁政字〔2015〕272号），上述5个海岛中北帽子、荣成黑石岛、东南江和东山号岛等4个海岛位于领海基点保护范围内，均为构造基岩岛。其中，北帽子和东山号岛上基岩裸露，

无土壤，无植被，岛上无人居住，无大型岛陆动物，海岸线属于基岩岸线，海岸稳定性类型属于稳定海岸；荣成黑石岛上基岩裸露，少量土壤分布，是周边海岛中唯一有植被分布的海岛，岛上无人居住，无大型岛陆动物，海岸线类型包括基岩岸线和砂质岸线，海岸稳定性类型属于稳定海岸，周围有礁石分布，荣成黑石岛上有镆铘岛（1）领海基点方位点碑；东南江岛上基岩裸露，无土壤，无植被，岛上无人居住，无大型岛陆动物，海岸线属于基岩岸线，海岸稳定性类型属于稳定海岸，为领海基点一镆铘岛（1）的实际载体岛。

本期工程利用前期建成的排水明渠排放温排水，对领海基点保护区的环境影响主要是因水温导致水质的变化。根据本期工程泥沙冲淤复核数模研究结果表明，本期工程运行后各工况潮流泥沙运动规律与扩建一期工程专题报告一致，潮流流速相差在0.05m/s以内，不同等级的流速影响面积相差在1.0km²以内，不会对大范围水域潮流整体运动规律产生较大影响，含沙量场分布差异较小，基本处于同一量级，影响有限。

根据专题研究对领海基点的水文水动力及领海基点稳定性分析如下：

— 水动力、泥沙冲淤环境影响

根据对海岛专题调查结果，厂址周边的5个海岛（礁）均为基岩岛（礁），海岛岸线变化很小或基本稳定。专题预测结果显示厂址建成后，周边海岛包括领海基点一镆铘岛（1）附近潮流作用下的海底侵蚀强度和格局没有发生明显变化。

— 领海基点稳定性影响

领海基点一镆铘岛（1）位于荣成黑石岛东南侧的东南江上，与荣成黑石岛、东山号岛、北帽子位于同一岛基之上。东南江实为该岛基上出露的一个礁体，低潮时出露面积稍大，高潮时出露面积较小。由于厂址排水工程位于领海基点一镆铘岛（1）的西北侧海域，距离领海基点所在东南江海岛较远，同时两者之间有荣成黑石岛等较大的岛群相隔。专题预测结果显示厂址建成后，领海基点一镆铘岛（1）附近潮流作用下的海底侵蚀强度和格局没有发生明显变化，其附近海域的波浪场不受厂址建设的影响。东南江海岛岛基为基岩，其周围岛基的侵蚀速率在10⁻⁴量级，本区领海基线海岛及其它海岛岛基及砾石滩均为稳定状况，不会因厂址建设引起的局部动力条件改变而导致岛基侵蚀速率改变。所以，厂址排水工程对领海基点一镆铘岛（1）的稳定性没有影响。

6.1.2.2 温排水对水体的物理影响

本期工程建设后，厂址共有 1 台高温气冷堆+2 台国和一号+4 台华龙一号机组运行。中国水利水电科学研究院针对取排水温升影响开展了专题研究，以下根据温排水数模计算及数模物模研究综合专题成果对本期工程运行期间的温排水环境影响进行评价。

6.1.2.2.1 数值模拟

（1）数学模型及主要研究条件

数学模型计算域大小主要由可能的扩散范围来确定，计算域的选择原则是尽量减小边界对扩散的影响，同时也应兼顾潮流模型的精度和计算量大小。因此在本项目的数值模型边界中，西起乳山口东至 50m 等深线附近，北起成山角南至 50m 等深线，南北方向沿岸线长约 160km，东边界离岸长约 50km，南边界离岸长约 90km，计算域面积约 14000km²。

模型中选用工程海域代表性潮型计算，选取本工程海域冬、夏季实测潮（大、中、小潮）作为典型潮，并以此大、中、小潮的连续半月潮进行（冬季半月潮，2020 年 12 月 11 日 8:00~12 月 26 日 8:00；夏季半月潮，2021 年 8 月 4 日 8:00~8 月 19 日 8:00）分析计算。

数值模拟采用荷兰水工研究所研制的 Delft3D 模型开展模拟计算。Delft3D 提供了贴体曲面四边形网格生成系统，可以较好地拟合复杂岸线，在垂向上使用网格系统。模型变量布置在交错网格上，数值离散采用有限差分格式，模型方程求解采用 ADI 方法。

数学模型以水深积分形式的浅水方程为基础，模型采用基于 Boussinesq 和垂向静水压力假定。

（2）模型验证

数学模型在模拟实际物理过程时，均会采用一定的简化，由于实际温排水扩散过程的复杂性，对数学模型的参数进行验证率定，使模拟结果尽量接近客观实际是必要的过程。

根据采用 2020 年冬季和 2021 年夏季大、中、小潮分层流速、流向过程对数学模型进行验证。验证结果表明：计算的潮位相位与实测吻合，潮位值除部分日期有一定

系统性偏差（可能受增减水影响），整体与实测符合较好。计算的夏、冬季潮流流向与实测吻合良好，计算的流速值除个别外围站位部分潮次与实测有所偏差外，大部分站位、潮次与实测流速变化相位及流速值吻合较好，表明所采用的数学模型可以合理反映工程海域的水动力过程，可用于温度场模拟。

针对温度场的分析及验证表明，采用水深、流速关联的扩散系数取值方式（温排水主影响区扩散系数取值范围 $0.01\sim 15\text{m}^2/\text{s}$ ）开展工作是较适宜的。通过针对厂址不同装机组合，选取固定空间分布扩散系数（排口局部限制 $D_{\max}=5\text{m}^2/\text{s}$ ）、扩散系数取常值 $5\text{m}^2/\text{s}$ 以及扩散系数采用 Sgs 方法（Sgs $c=1$ ， $\sigma_t=0.5$ ）三组与前期温升分布进一步对比，固定空间分布扩散系数（排口局部限制 $D_{\max}=5\text{m}^2/\text{s}$ ）温排水数模计算结果与相应条件下物模试验结果具有较好的可比性，可用于开展模拟预测。

6.1.2.2.2 物模试验

物理模型试验依据相关规程、规范，模型设计以重力相似为主，兼顾浮力相似等其它相似准则要求。物模试验考虑温排水主影响区的水力热力特性、水工构筑物，以及几何变态率、水深条件以及整体流态特征、模拟精度等原则和要求开展，模型开边界走向尽量与主流线垂直或平行。

依据上述原则并结合场地条件，最终选择物理模型几何比尺为：水平比尺 $L_r=350$ 、垂向比尺 $H_r=125$ ，模型几何变态率为 2.8，属于小变态模型。模拟以排水点为中心约 $20\text{km}\times 10\text{km}$ 海域，总面积约 200km^2 ，北起楮岛，南至镆陂岛。模型采用控制开边界流量过程模拟潮流、同步监测潮位的潮控系统，模拟区域周边水域开边界分 21 个通道模拟潮流的进出。

温排水物理模型试验中，控制潮型为冬、夏季大、中、小潮。物理模型采用 2020 年冬季和 2021 年夏季实测大、中、小潮的潮位和多个测流站的潮流资料率定。物模试验模拟海域包含 9 个原型测流点。模型开边界条件由数模计算提供，各种潮型下模型验证结果如下：模拟潮位与实测潮位吻合良好，两者最大偏差的模型值不超过 1mm ，高平潮与低平潮的出现时刻相同；各测站流速、流向模型与原体对比结果显示，各测点特别是主流区测点模型与原型流速、流向随潮变化过程基本一致。

6.1.2.2.3 温排水影响预测结果

（1）温排水数模结果

根据数模结果显示，扩建工程采用排水明渠离岸排水的方式，一方面将温排水引至深水主潮区，使得温升区主要分布在深水区，另一方面明渠的挑流作用更加强了出口外缘水域的流动，掺混作用随之加强，使明渠外温排水影响区面积较小。

模拟得出的温度场显示，明渠出口处温升分布偏向南侧，主要因为明渠出口附近地形比较复杂，较多潜礁和深潭，出口北侧水深较大流强，南侧水深相对较浅流缓。

据三维数模计算结果表明：温排水温升影响区范围呈现表层最大、底层最小的基本特征，全潮最大温升范围半月潮较大；扩建二期工程建设后由于装机容量增加而温升影响区范围有所增大，取水口取水温升有所增加。

数模结果表明，针对取水温升，夏季的本工程取水口（北取水口）最大取水温升为 0.9°C ，冬季的最大取水温升为 0.95°C 。针对温升影响面积，半月潮条件下，最大温升包络线面积为： 4°C 温升面积夏季最大为 2.20km^2 ，冬季为 3.43km^2 ； 3°C 温升面积夏季为 6.08km^2 ，冬季为 7.10km^2 ； 2°C 温升面积夏季为 14.73km^2 ，冬季为 15.11km^2 ； 1°C 温升面积夏季为 35.55km^2 ，冬季为 34.43km^2 ； 0.5°C 温升面积夏季为 87.17km^2 ，冬季为 86.61km^2 。

（2）温排水物模结果

根据物模试验结果显示，本工程运行后：工程海域主潮流区（老铁石至黑石岛以东海域）呈东北—西南走向的往复流，温排水随着涨落潮流输移扩散，高温升分布形态呈现明显的顺岸带状分布特征，主要输移方向与主潮流方向基本一致；不同潮型工况下，温排水高温升影响区包络面积的分布规律基本为大潮最小、中潮次之、小潮最大。

物模试验结果表明，针对取水温升，夏季的本工程取水口（北取水口）最大取水温升为 1.2°C ，冬季的最大取水温升为 1.2°C 。针对温升影响面积，各典型潮条件下，最大等温升线面积为： 4°C 温升面积夏季最大为 2.99km^2 ，冬季为 3.85km^2 ； 3°C 温升面积夏季为 8.53km^2 ，冬季为 9.29km^2 ； 2°C 温升面积夏季为 16.58km^2 ，冬季为 17.83km^2 ； 1°C 温升面积夏季为 25.96km^2 ，冬季为 26.30km^2 。

（3）温排水综合分析预测结果

物理模型能够较为准确地模拟取、排水口近区水域的三维水力、热力特性，可以

较好地预测排口近区温升场（表层及垂向温升分布）。排口附近物理模型的高温升区影响范围通常大于分层准三维数学模型，本项目 4℃温升物模预测面积相对较三维数模结果保守。温排水影响区温度分层现象随着环境流的增强以及与排水出口距离的增大而逐渐减弱，在远区沿垂向均化后，物理模型与数学模型的模拟结果差异缩小。

根据本工程温排水模拟专题综合分析，针对本期扩建二期工程，温排水影响高温升区保守采用物模结果，低温升区采用数模结果。针对取水温升，物理模型试验可更好地直接反映取水进流条件，相应取水温升模拟结果更符合工程实际，故各工况组合下电厂取水温升宜采用物模试验结果。

因此，根据温升影响范围预测的综合结果，在本工程实施后，最大温升包络线面积为：4℃温升面积最大为 3.95km²（夏、冬季潮叠加）；冬季 2℃温升面积为 15.11km²；夏季 1℃温升面积为 35.55km²。

6.1.2.2.4 温排水影响评价

（1）与近岸海域环境功能区的关系

根据《山东省生态环境厅关于调整华能山东石岛湾核电厂址近岸海域环境功能区的函》（鲁环函〔2022〕88号），厂址排放口附近的近岸海域环境功能区为混合区，不设置水质管控目标，在B1~B4四点连线围成的区域为三类环境功能区，执行三类海水水质标准。

本工程运行期间，冬季 2℃温升外包络区域和夏季 1℃温升外包络范围位于三类功能区内，温排水 4℃温升影响范围位于混合区范围内，核电厂温排水温升影响满足相应的近岸海域环境功能区的水质温升管理要求。

（2）与国土空间规划的关系

本工程拟采用海水直流供水系统，采用一期已经建成排水明渠排水。本项目用海包含温排水和位于排水明渠的排水暗涵。本期工程于 2024 年 12 月 20 日取得用海预审意见《自然资源部办公厅关于山东石岛湾核电站扩建二期工程用海预审意见的函》（自然资办函〔2024〕2769 号）。

根据荣成市国土空间规划，本项目 1℃温升区主要位于荣成宁津工矿通信用海区。根据规划中的表12海洋功能分区登记表，荣成宁津工矿通信用海区的空间用途准入：基本功能为工矿通信功能，基本功能未利用时兼容渔业等功能。严控围填海规模，保

障核电用海需要。严格控制温排水影响范围，避免对周边养殖用海产生不利影响。工矿通信功能启用前，需协调好已有合法养殖活动。开发利用方式：允许适度改变海域自然属性，领海基点及周围海域禁止开发。海域保护修复：优化海岸景观设计，按国家相关要求清除核电周围及温排水海域养殖。生态保护重点目标：海洋水文动力环境。

针对本项目温排水温升区可能涉及海域养殖，建设单位将按照与当地政府已签订的补偿框架协议协调解决。根据《华能石岛湾核电厂岸滩稳定性复核及泥沙冲淤变化数值模拟研究报告》（交通运输部天津水运工程科学研究所港口水工建筑技术国家工程研究中心工程泥沙交通行业重点实验室，2022年3月）以及二期工程期间对泥沙冲淤复核数模研究结果，本项目对海洋水文动力环境影响较小。因此，本项目海工工程及温升影响满足荣成宁津工矿通信用海区管控要求。

本项目 4°C 以上温升区涉及宁津海洋生态控制区。根据规划，生态控制区以生态保护与修复为主导用途，原则上应予以保留原貌、强化生态保育和生态建设、限制开发建设。生态控制区内原则上严禁随意开发，不得擅自改变岸线、地形地貌及其他自然生态环境原有状态。加强用海活动监督与环境监测，严格限制区内影响海洋生态的用海活动，维护、恢复、改善海洋生态环境和生物多样性，保护自然景观，提高保护水平。

温排水对该区域的海水环境影响较小，对该区域无不良影响。本项目 1°C 温升区涉及荣成黑石岛、东南江、老铁石、北帽子、东山号等5个生态保护类海岛， 4°C 温升区涉及老铁石。针对上述海岛的管控，根据2024年1月山东省自然资源厅出具的有关意见，荣成黑石岛等海岛周围海域不涉及生态保护红线；本工程对海洋水文动力环境影响较小，本项目的建设和运行对海岛的岸滩稳定性无影响。

综上分析，本项目建设及运行总体上与国土空间规划总体上是相符的。

（3）与生态环境分区管控的关系

根据威海市生态环境分区管控方案（2023年）中管控单元分布及管控要求，厂址排水口处于荣成宁津工矿通信用海区单元，附近海域最近的优先保护区分别为镆鵁岛重要滩涂及浅海水域生态保护红线（排水口S方位约5.8km），以及楮岛滨海湿地重要滩涂及浅海水域生态保护红线（排水口NNW方位约5.8km），距离排放口较远；本项目运行期温排水 4°C 以上温升区部分涉及宁津海洋生态控制区（优先保护单元）， 1°C 温升区影响范围主要位于荣成宁津工矿通信用海区。根据分析，本项目运行期温

排水与相关海域环境管控单元要求相符。

（4）对无居民海岛生态环境的影响分析

本项目 1℃温升区涉及荣成黑石岛、东南江、老铁石、北帽子、东山号等 5 个生态保护类海岛。针对上述海岛的管控，根据 2024 年 1 月山东省自然资源厅出具的有关意见，荣成黑石岛等海岛周围海域不涉及生态保护红线；本工程建设对海洋水文动力环境影响较小，本项目的建设和运行对海岛的岸滩稳定性无影响。根据无居民海岛专题研究，温排水对海岛生态影响不显著，本工程运行期间温排水对海岛生态影响分析如下：

1) 温排水对浮游生物的影响

一般来说，多数浮游生物在生存水体温度不超过 35℃时，不会被抑制生长或造成死亡，当水体适度增温时（ $\Delta T \leq 3^\circ\text{C}$ ），群落中的种类数增加，其中浮游植物和浮游动物种类数增加，尤其是水温较低的春秋季节，在冬季表现更加明显。夏季当人为温升增加 6℃以上时，影响到浮游植物的光合作用，使其活动减弱，但这种现象并未破坏藻类的细胞，经过几小时后浮游植物的光合作用就能恢复。

石岛附近海域夏季表层最高水温可达 25℃，但是实际达到这个高水温的天数很少，频率也很低。老铁石周围 100m 范围内海域位于 4℃最大温升包络线范围以内，而黑石岛岛群周围 100m 范围内海域主要是位于 2℃温升包络线附近范围，整个高温升区范围小，影响是局部的，结合温排水对浮游生物的影响特征，温升对浮游植物影响不显著。

2) 温排水对鱼类的影响

不同的鱼要求不同的水温：普通鱼类适宜生活的水温范围一般是 12~30℃，超过这个温度范围，其生存就会受影响。根据历史资料的综合分析，黄渤海区属典型暖温性气候带，鱼类群落以暖温性种类居多数，暖水性种类其次，冷温性种类最少。温度对鱼类种群的影响是双向的，既有正效应，也有负效应。目前黑石岛等海岛附近海域没有大的水产渔场，所以温排水对鱼类影响不明显。

3) 温排水对底栖生物的影响

底栖动物是海洋生态系统的重要组成部分。温升对底栖动物的种类组成和生物量没有明显的规律性影响，但是季节不同，水温对底栖动物的影响有所差别。在春秋两季，温升对底栖动物种类和数量的增加有利，但强增温除外；增温 6℃以上，将对底

栖动物造成危害，即使是冬季也是如此。

黑石岛等海岛岸滩主要底栖生物为多毛类、甲壳动物和软体动物。黑石岛等海岛岸滩出现的底栖生物种类，均为暖温带生物种类，春季产卵，最适宜的海水温度为 $14^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ ，在 28°C 以下海水温度条件下，能正常生存。核电厂厂址周围附近海域，8、9月为最高海水温度叠加海水温升后，海水温度不会超过上述重要底栖生物正常生存温度的上限，而且底埋性底栖生物生境海水温度会低于上层海水温度，底埋性底栖生物会有向下垂直运动，对过高的海水温度产生自我保护，温升不会对其生存产生明显的不利影响，底栖生物在温升影响范围内能够正常地生存。综合底栖生物生长繁殖特征，温升对黑石岛等海岛底栖生物影响不显著。

4) 温排水对海岛潮间带生物的影响

潮间带周期性地潮涨潮落，潮间带生物周期性地暴露于外部严寒和酷热空气环境，由于长期适应于潮间带周期性剧烈变化的环境，潮间带生物对环境的适应能力特别强。一方面，黑石岛等海岛潮间带大部分时间处于低温升区，另一方面，黑石岛等海岛潮间带范围小，而且只有黑石岛潮间带上有一面积很小的砂砾滩，其余海岛潮间带均为基岩滩，所以，核电厂温排水效应对黑石岛等海岛潮间带生物影响不显著。

5) 海岛岸滩冲淤影响

荣成黑石岛群岛基为基岩。岛群向海一侧海域除基岩以外表层沉积物类型大都为砾石。海岛潮间带类型均为岩滩，岸滩为稳定岸滩，且排水口距离黑石岛岛群和老铁石在400m以上，项目建成后对岛群海域的潮流场、波浪场及冲淤变化影响较小，工程排水的冲刷效应对老铁石和黑石岛岛群岸滩冲淤变化影响不大。

6) 对领海基点稳定性影响

领海基点位于黑石岛东南方的东南江上，与东山号岛、北帽子位于同一片基岩之上。东南江实为该片基岩上出露的一个礁体，高潮时出露面积较小。黑石岛岛群海岸为稳定海岸类型，海岛基岩、礁盘由抗蚀强度大的花岗片麻岩构成，蚀退速率很低。同时，领海基点东南江高潮时出露面积很小，且其基岩周围地形较缓，结合本区的岩石组成、地形地貌特征，可以推断该领海基点基岩海岸的侵蚀速率应该在 10^{-4}m/a 量级，其在相对长的时期内将保持稳定。从动力角度分析，核电取排水工程对领海基点周围海域的波浪没有影响，且工程建设导致工程海区的潮流场变化不大，因此取排水工程建设对领海基点的稳定性基本没有影响。

针对海域内海岛的管控，根据 2024 年 1 月山东省自然资源厅出具的《山东省自然资源厅关于山东石岛湾核电站扩建一期工程项目用海及温排水区域的审查意见》，荣成黑石岛等海岛 5 个海岛在《山东省国土空间规划（2021—2035 年）》中属于纳入生态保护红线实施清单管理的无居民海岛（岛体周围海域不涉及生态保护红线），石岛湾厂址前期工作中开展了海域使用论证、泥沙冲淤数模研究、海岛生态调查等多个专题研究，根据专题研究成果，扩建一期建设和运行对五个海岛的海岛岸滩稳定性无影响，符合领海基点相关管理要求。本项目利用现有排水明渠进行温排水排放，运行期间主要是温排水对海水温升影响，本工程建设对海洋水文动力环境影响较小，本项目的建设和运行对海岛的岸滩稳定性无影响。

厂址已开展的海岛专题调查结果显示海岛潮间带没有珍稀保护生物。荣成黑石岛群为规模较小的基岩海岛，岛陆生物资源匮乏，岛滩潮间带生物范围有限，岛群周边浅海生态系统长期稳定，不涉及珍稀濒危及地域重要物种，非珍稀濒危及地域重要物种栖息地，综合分析认为温排水不会对荣成黑石岛基岩海岛群的生态系统造成破坏性影响。厂址建设不会造成地形冲淤等生态环境要素的变化，温排水对领海基点无明显不良影响，不会影响到领海基点稳定性，厂址建设是满足领海基点保护区的管控要求。

6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

取排水系统主要包括取水头部、拦污栅、水泵、冷凝器和排水渠等部分。取排水系统各个部分对海洋生物可能产生的影响主要通过机械因素、热因素和化学因素实现。在所有这些影响因素中，最主要的是排水系统的热影响以及取水系统的卷载效应的影响。

6.1.3.1 取排水系统对水体水生生物的影响

取水系统对生物影响主要表现为取水的卷载及卷塞，即水生物随电站抽取循环冷却水而进入冷却系统，并在其中受到热、压力等物理因素和氯化等化学因素综合影响而死亡的现象。一般取水只对那些能通过取水系统滤网的鱼卵、仔鱼、仔虾、浮游生物及其它游泳类生物幼体产生明显的伤害。

卷塞是冷却水进入冷却系统时被拦截在滤网等装置上导致的生物伤害或死亡的物理现象，其与取水口位置、取水口流速、过网流速有关。在取水头部设置拦污栅和

旋转滤网，防止水生物吸入，取水时尽可能降低取水头部的进水流速，以尽可能减小对鱼类及水生生物吸入造成的机械损伤。

由于取水明渠口门处设有拦污网，取水口进水窗设耐海水粗拦污栅，栅条间距为200mm，进口流速在0.3m/s以下，此流速条件下，游泳生物在拦污栅、旋转滤网处因卷塞而发生机械损伤和堵塞滤网等现象较少，在取水过程中具有游泳能力的游泳动物，由于有防护网的阻隔，大部分游泳动物可以回避因机械卷塞造成的死亡。

在取水过程中，随同取水进入冷却水系统的鱼卵、仔稚鱼产生伤害，在高压、高温以及杀生剂的作用下导致伤害或死亡而产生卷载，即使能够存活的极少部分鱼卵、仔稚鱼也因受到不同程度的损伤，而不能正常生长发育。

在核电厂取水对渔业资源的损失中，主要是考虑对鱼卵、仔稚鱼和较小幼体造成的卷载损失。电站运行期间取水系统产生的卷载效应可能会对浮游生物产生一定程度的损伤，尽管会使取水口附近小范围内的海洋生物有所减少，但由于其生殖周期较短、繁殖快，其损伤后的恢复也较快。因此，本工程取水造成的损伤预计对厂址海区的海洋生物总量及种群结构等的影响将是有限的。

6.1.3.2 温排水对水生生物的影响

电厂温排水对水生生态系统的影响是多方面的，如适度的水温升高可以增加水体中浮游生物种类和数量，使鱼类的产卵期提前等，但如果环境水体升温后超过海洋生物生长的适宜温度，将可能导致海洋生物的生长受到抑制或死亡。

本工程采用错位式取排水口，取水口位于厂区北侧、排水口为中部明渠离岸远排，使温排水得到有效的扩散和稀释，后续将在运行期间开展海洋跟踪监测，并将开展增殖放流的海洋生物资源恢复及岸线修复等工作，做好海洋生态环境保护。

（1）温排水对初级生产力及浮游生物的影响

浮游生物不但是某些鱼、虾、贝类的饵料生物，同时其数量的多少也决定海域海洋初级生产力的大小，从而影响渔业资源的潜在量。如果核电厂的温排水对浮游生物产生严重危害的话，其后果也会间接影响到本海域的渔业资源量。

根据相关资料，在生物量方面，环境水温较低时，水体升温能促进藻类生长，且藻类增长量服从强增温（增温 $\Delta T > 3^{\circ}\text{C}$ ）>中增温（增温 $\Delta T = 3^{\circ}\text{C}$ ）>弱增温（增温 $\Delta T < 3^{\circ}\text{C}$ ）的规律。环境水温适中时，弱增温和中增温能促进藻类生长，强增温则抑

制了藻类的生长；环境水温较高时，水体升温会抑制藻类生长，且增温幅度越大，抑制效果越强。水温较高时，增温会使藻类种群数量锐减。一般在 20-35℃ 之间，藻类生物量随着温度升高而增加，35℃ 增长最快，但是到 40℃ 时生物量就会大为降低。当受纳水域温度升高时，浮游动物常由水体的上层移到下层，只有当底层水温也升至 27~28℃ 时，所有种类的数量才急剧下降。海水水温升至 30℃ 以上，又是强增温水域（即 $\Delta T > 3^\circ\text{C}$ ）时，则大多数浮游动物停止繁殖，甚至死亡或种类灭绝。

温排水的热效应会改变局部海区的自然水温状况，浮游生物最易受到影响。冷却水作用的季节性明显，尤其在夏季其热效应的影响较大。由于在自然海区，水温是控制生物多样性的主要因素，在一定范围内，水温高，物种数多，水温低，物种数少。

多数浮游生物在水体温度不超过 35℃ 时，生长不会被抑制或造成死亡。根据厂址水温连续观测资料统计结果，厂址附近海域水温一般在 25℃ 以下、最高不超过 30℃，考虑到温排水的高温升区影响范围总体较小，因此温排水造成的海水升温后仍处于浮游生物的适温范围，预计温排水对浮游生物的影响可接受。

（2）温排水对游泳动物的影响

由于温度变化对鱼类的各种生命活动过程有很大影响。在适温范围内，水温的升高会提高鱼类的摄食能力，促进其性成熟，生长加速；但在水温过高时，温排水也会对鱼类产生不利的影响，包括：在强增温区、亚增温区会对鱼类洄游行为造成明显逆反影响；会提早鱼类性腺发育成熟产卵，对鱼类生殖产生影响；会使鱼类饵料生物发生变化，从而影响鱼类生长，可能引起种群结构的变动；可能增多寄生虫病的危害，增加对鱼类的致病影响。

根据厂址附近海域内的海洋生态调查可知，调查水域鱼类种类区系组成以暖水性和暖温性为主。暖温性鱼类适温性较广，因此，对游泳动物的影响主要是对沿岸性鱼类和冷温性鱼类的影响相对较大，而对暖温性鱼类的影响相对较小。除夏季外，其他季节核电厂温排水排入受纳海域后其水体温度仍在鱼类的适温范围内。此外，鱼类是变温动物，能感受到环境水温的微弱变化，并喜在适宜温度水域内活动，对超出适宜温度范围的高温或低温水体具有回避反应。

根据海洋生态调查结果，厂址周围海域鱼类洄游路线中，距厂址最近距离约为 5km，主要为黄渤海具有短距离洄游的冷温性、温水性或冷水性鱼类，夏季厂址周围海域甲壳类的重要种为口虾蛄等。厂址排水口 15km 范围内未发现保护性水生生物，

运行期本项目夏季温升大于 0.5℃影响范围不处于洄游性游泳生物的主要产卵场和重要产卵场范围内，厂址附近海域内三场一通道距离厂址远，距离可在 30km 以上，因此估计温排水影响有限。

（3）温排水对底栖生物的影响

温度变化对底栖动物的潜在影响主要包括底栖动物群落结构发生变化，动物组成、种类、数量等变化明显，底栖动物栖息地减少、生物多样性指数降低。但研究表明，只要温升不是过高，影响范围不是过大，不会造成很大危害；在夏季的强增温区内，底栖动物会减少，如果增温区仅限于表层，则对底栖动物无影响；季节不同，水温对底栖动物的影响有所差别；温升对底栖动物的种类组成和生物量没有明显的规律性影响。一般认为，温排水会造成底栖动物栖息场所的减少，其中夏末至中秋期间，影响最大。因为在夏末至中秋期间，自然水温很高，若再提高水温，动物的生长可能受到抑制或导致死亡。因此，在夏末至中秋季节，温升对底栖动物造成不利影响最大。

厂址海域主要底栖生物为软体动物、甲壳动物和多毛类。软体动物双壳类和多毛类主要是底埋性栖息类群，运动性低。软体动物中的腹足类如红螺，为底爬性生态习性，具备一定的爬行运动能力。厂址海域出现的底栖生物种类，均为暖温带生物种类，最适宜的海水温度为 14~25℃，在 28℃以下海水温度条件下，能正常生存。若核电厂排水口周围海域温升 4℃的话，海水温度将超过一些重要底栖生物正常生存温度的上限，对底栖生物可产生一定损害，同时海水的温升效应会使底栖生物的繁殖期提前。

核电厂附近海域中四季渔获的蟹类主要有三疣梭子蟹等。蟹类的适温范围多在 18~32℃之间，而大于 39℃将可能导致其死亡。春、秋、冬三季由于自然水体温度较低，电厂温排水引起排水口周围局部海域升温，仍将使底层海水保持在蟹类生物的适温范围内，温排水引起的温升不会对该区域内该类生物构成明显的影响。即使在夏季高温季节，电厂温排水对蟹类的影响也是有限的。总体来说，初步预计对海域内的底栖生物影响非常有限。

（4）温排水对厂址附近海水养殖的影响

石岛湾核电厂址附近沿海区域海水养殖较发达，浅海养殖的规模相对滩涂养殖和港湾养殖较大，养殖方式多为筏式养殖。厂址附近受纳海域内的海水养殖分布状况详见本报告书 2.3 节。

根据温排水预测结果，温排水高温升区温升包络面积有限，全潮最大 4℃温升包

络面积最大不超过 3.95km^2 ，夏季最大 1°C 温升 35.55km^2 。因此，机组运行期间可能会对周围水产养殖产生一定影响。建设单位将按照与当地政府已签订的补偿框架协议协调解决。

（5）温排水对保护生物和特殊生境的影响

本工程半径 5km 范围内无国家级水产种质资源保护区分布，最近的国家级水产种质资源保护区——荣成楮岛藻类国家级水产种质资源保护区位于厂址 NNE 方位约 7.3km 处。

根据温排水影响预测结果，全潮最大 1°C 温升外包络影响范围不涉及种质资源保护区。全潮最大 0.5°C 温升外包络影响范围涉及荣成楮岛藻类国家级水产种质资源保护区的核心区和实验区，该保护区主要保护对象为大叶藻、石花菜、马尾藻。特别保护期为每年 5-8 月。本项目温排水对保护对象不会造成明显影响。

根据海洋生态调查结果，厂址附近海域内没有珊瑚礁和红树林分布，本项目全潮最大 0.5°C 温升外包络影响范围不涉及桑沟湾海草床。

（6）温排水造成的生物损失量

根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）计算本项目运行期温升浮游植物、浮游动物、鱼卵、仔鱼、幼体年损失量。

（7）温排水对海洋生态影响程度分级

本工程运行对场址附近海域生物多样性影响是较有限的，经分析，本工程对厂址附近海域生态敏感区、生物资源、重要物种和特殊生境的影响程度为弱。

（8）减少电厂散热系统对海洋生物影响的措施

基于多种取排水方案的比选论证，采用优化比选后的散热系统减小了核电厂温排水，可有效改善海洋生态环境。

除了从工程设计上采取有效措施减轻电厂散热系统造成的生物效应外，在核电厂运行过程中，建设单位将加强对附近海域的海洋生态环境监测，以分析海域海洋生态环境变化的原因，并为核电厂对海洋生态环境和海洋生物资源的可能影响积累基本数据。

此外，建设单位将开展岸线修复工程和增殖放流进行生态修复。

6.1.4 参考资料

- [1] 华能山东石岛湾核电厂址无居民海岛生态本底补充调查专题报告，中国科学院海洋研究所，2021 年 12 月。
- [2] 石岛湾核电厂址温排水和液态流出物综合分析报告，中国水利水电科学研究院，2022 年 6 月。
- [3] 石岛湾核电厂址温排水和液态流出物数模计算成果报告，中国水利水电科学研究院，2022 年 6 月。
- [4] 石岛湾核电厂址温排水和液态流出物物模试验成果报告，中国水利水电科学研究院，2022 年 6 月。
- [5] 山东石岛湾核电站扩建二期工程泥沙冲淤复核数模研究报告，交通运输部天津水运工程科学研究所，2024 年 5 月。
- [6] 山东石岛湾核电站扩建二期工程海域使用论证报告书，国核电力规划设计研究院有限公司，2024 年 11 月。

6.2 正常运行的辐射影响

6.2.1 流出物排放源项

6.2.2 照射途径

6.2.3 计算模式和参数

6.2.4 大气弥散和水体稀释

6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度

6.2.6 公众最大个人剂量

6.2.7 非人类生物的辐射剂量

6.2.8 关键人群组、关键核素、关键照射途径

6.2.9 辐射影响评价

6.2.10 参考资料

表

表6.2-1 公众受照辐射剂量“三关键”计算分析结果

图

图6.2-1 气态照射途径

图6.2-2 液态照射途径

6.2 正常运行的辐射影响

扩建二期工程与扩建一期工程、国和一号示范工程（两台国和一号机组）及高温气冷堆核电站示范工程位于同一厂址，属一址多堆厂址，扩建二期工程采用华龙一号技术方案。本节将根据电厂的放射性流出物排放量，结合厂址周围环境特征和公众生活习性，分析和预测扩建二期工程运行后，扩建二期工程和厂址所有核设施（扩建一、二期工程四台机组+两台国和一号机组+高温堆）放射性流出物排放对厂址周围环境以及公众造成的辐射影响。

6.2.1 流出物排放源项

扩建二期工程运行状态下，放射性流出物以气载和液态两种形态向环境释放，在周围大气环境和受纳水体中稀释扩散。本报告第四章 4.6 节给出了扩建二期工程运行状态下，气载和液态放射性流出物的年排放量。

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025）要求核动力厂必须按每堆实施流出物的年排放总量控制。根据国家标准的要求，扩建二期工程和全场址将严格按照国家标准的排放控制要求进行总量控制。根据比较，本项目单堆流出物排放量设计值满足GB 6249-2025控制值要求。叠加国和一号示范工程批复的流出物排放量、扩建一期工程和扩建二期工程流出物排放量设计值以及高温气冷堆拟调整的流出物排放量申请值，得到场址流出物排放总量，满足GB 6249-2025场址流出物排放总量控制值。

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025）对核动力厂放射性流出物排放除规定了总量控制要求外，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 ^3H 的活度浓度不应超过 $3 \times 10^7 \text{Bq/L}$ ， ^{14}C 的活度浓度不应超过 $3 \times 10^3 \text{Bq/L}$ ，其他放射性核素总浓度不应超过 1000Bq/L ，各核素活度浓度应满足GB 6249-2025附录D的要求。本期工程将参考其他华龙核电机组的运行经验，控制一回路中的放射性水平以及设置监测控制值，确保本项目其他放射性核素总活度浓度、 ^3H 和 ^{14}C 的活度浓度满足GB 6249-2025的要求。本期工程其他放射性核素排放浓度预期值满足GB 6249-2025附录D的要求。

根据HJ 808-2016的要求，本节采用设计排放源项对公众的辐射剂量进行估算，采用较为实际的预期源项进行“三关键”分析，确定核电厂放射性流出物排放造成公众辐射影响的关键人群组、关键核素和关键照射途径，以更现实的反映核电厂放射性流出物排放在环境中的分布及影响情况。

气载放射性流出物中的 ^{14}C 在环境介质中的转移过程具有特殊机理,通常只有以二氧化碳形式存在的 ^{14}C 才能通过光合作用被植物吸收,并以食物的摄入形式进入食物链,对摄入者造成内照射影响。根据 IAEA 421 号技术报告,欧洲和美国的压水堆核电站以二氧化碳形态向环境排放的 ^{14}C 占 ^{14}C 气载排放量的 5%~25%,根据此研究结论,本节在评估气载 ^{14}C 的排放所造成的环境辐射影响时,假定以二氧化碳形态排放的 ^{14}C 占 ^{14}C 气载排放量的 25%。

6.2.2 照射途径

6.2.2.1 气态途径

气载放射性流出物排放对厂址评价区内公众造成的辐射影响,考虑如下四种照射途径:

- 空气浸没外照射: 气载流出物进入空气后对公众造成的直接外照射剂量;
- 地面沉积物外照射: 由于干湿沉积作用流出物沉积于地面对公众地面活动造成的直接外照射剂量;
- 吸入空气内照射: 气载流出物进入空气后被公众吸入体内造成的内照射;
- 食入陆生食品内照射: 气载流出物由于植物光合作用、根部吸收等途径进入植物体内,动物食入植物进而进入动物体内。公众食入相关动植物食品造成内照射剂量。公众食入陆生食品包括蔬菜、粮食、水果等作物产品,以及肉类、奶类等动物产品。

图6.2-1给出了气载放射性流出物对公众造成辐射的途径。

6.2.2.2 液态途径

液态放射性流出物排放对厂址评价区内公众造成的辐射影响,考虑如下四种照射途径:

- 水体浸没外照射: 液态流出物进入水体后公众由于游泳活动造成的浸没外照射剂量;
- 水上活动外照射: 液态流出物进入水体后公众由于划船活动造成的水上外照射剂量;

— 岸边沉积物外照射：液态流出物进入水体后被泥沙吸附进而由海水冲刷作用沉积至岸边对公众在岸边活动造成的外照射剂量；

— 食入海产品内照射：液态流出物进入水体后转移至海产品内，公众食入海产品摄入放射性核素造成的内照射剂量。

公众食入海产品包括鱼类、甲壳类、软体类、藻类产品。

图6.2-2给出了液态放射性流出物对公众造成辐射的途径。

6.2.2.3 其它途径

厂址周围区域不存在可能达到或超过上述途径的个人有效剂量10%的其它照射途径。

6.2.3 计算模式和参数

扩建二期工程运行状态下，气载和液态放射性流出物通过各照射途径对公众造成的剂量估算模式相关的计算参数如下：

（1） 大气弥散

根据核安全导则HAD101/02推荐高斯直线烟羽扩散模型，采用厂址气象塔2024年7月到2025年6月一整年逐时观测的风向、风速和温度，以及地面气象站的逐时雨量等气象数据，计算厂址周围评价区域各子区的大气弥散因子和地面沉积因子。

扩建二期工程华龙一号机组气载放射性流出物排放烟囱高度为65m，邻近建筑物高度为58.6m，由于排放高度低于邻近建筑物高度的2倍，根据核安全导则HAD101/02，扩建二期工程气载放射性流出物大气弥散计算按混合排放考虑。大气弥散计算还考虑了气载放射性流出物雨水冲洗、重力沉降以及核素衰变等因素造成的烟羽损耗和地面沉积。扩散参数采用本报告2.4节的推荐值。

（2） 水体稀释

本项目采用明渠取水，中间明渠离岸集中排水的方案，液态放射性流出物随循环冷却水一起排入厂址附近的海域。采用国际原子能机构IAEA 19号安全报告推荐的模型和参数，计算放射性核素迁移扩散过程中在海水悬浮物、沉积物中的浓度。

（3） 剂量转换因子

因子，其中惰性气体空气浸没外照射剂量转换因子以及其它各类放射性核素的吸入和食入内照射剂量转换因子取自《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》（GB

18871-2002），除惰性气体外其它核素的空气浸没以及地面沉积外照射剂量转换因子取自IAEA 19号安全报告，水体浸没外照射剂量转换因子取自美国联邦导则12号报告。

6.2.4 大气弥散和水体稀释

本项目采用明渠取水，中间明渠离岸集中排水的方案。中国水利水电科学研究院对厂址高温堆+2台国和一号机组+扩建一期工程两台华龙机组+本工程两台华龙机组工况下排水明渠延伸 600m 方案的液态流出物排放进入海域进行了模拟，模型采用荷兰水工研究所研制的 Delft3D 模型。水位开边界采用潮位边界，采用 TPXO 全球海潮模型给出开边界上的潮汐调和常数作为输入，初始条件采用静流条件起算。

6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度

环境空气中核素 ^{85}Kr 、 ^{60}Co 、 ^{131}I 放射性年平均浓度最大值位于 0~1km 子区，核素 ^{85}Kr 、 ^{60}Co 、 ^{131}I 的年平均浓度最大值分别为 2.83Bq/m^3 （SE 方位 0~1km）、 $7.61\times 10^{-7}\text{Bq/m}^3$ （SE 方位 0~1km）、 $1.48\times 10^{-4}\text{Bq/m}^3$ （SE 方位 0~1km）。

受纳水体中放射性浓度最大值位于排放口 R<0.2km 海域，核素 ^3H 、 ^{14}C 在该海域海水中的年平均浓度分别为 $1.98\times 10^1\text{Bq/L}$ 、 $1.40\times 10^{-2}\text{Bq/L}$ 。

《海水水质标准》（GB3097-1997）中规定了海水中部分放射性核素的浓度限值，其中与本项目液态放射性流出物排放相关的有 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 ^{106}Ru 、 ^{134}Cs 和 ^{137}Cs 五个核素，其水质指标限值分别为 0.03Bq/L 、 4.0Bq/L 、 0.2Bq/L 、 0.6Bq/L 和 0.7Bq/L 。五个核素在排放口 0~1km 海域峰值浓度分别为 $8.43\times 10^{-4}\text{Bq/L}$ 、 $2.19\times 10^{-6}\text{Bq/L}$ 、 $6.19\times 10^{-7}\text{Bq/L}$ 、 $1.76\times 10^{-2}\text{Bq/L}$ 和 $1.78\times 10^{-2}\text{Bq/L}$ ，均能满足《海水水质标准》（GB 3097-1997）中相应的浓度限值要求。

6.2.6 公众最大个人剂量

（1）公众（成人）个人剂量

厂址六台压水堆机组+高温堆运行状态下，放射性流出物排放对于成人组公众个人造成最大有效剂量的居民点位于厂址 N 方位 1~2km 子区，厂址六台压水堆机组+高温堆对该子区成人组公众个人造成的年有效剂量为 $5.52\times 10^{-6}\text{Sv}$ ，其中由气态和液态途径造成的年有效剂量分别为 $5.30\times 10^{-6}\text{Sv}$ 和 $2.23\times 10^{-7}\text{Sv}$ ；其中扩建二期工程对该子区成人

组公众个人造成的年有效剂量贡献为 $5.73 \times 10^{-7} \text{Sv}$ ，其中通过气态和液态途径造成的年有效剂量贡献分别为 $4.94 \times 10^{-7} \text{Sv}$ 和 $7.88 \times 10^{-8} \text{Sv}$ 。

（2）公众（青少年）个人剂量

厂址六台压水堆机组+高温堆运行状态下，放射性流出物排放对青少年组公众个人造成辐射剂量最大子区为位于厂址 N 方位 1~2km 子区，所造成的年有效剂量为 $4.03 \times 10^{-6} \text{Sv}$ ，其中扩建二期工程对该子区青少年组公众的年有效剂量贡献为 $5.06 \times 10^{-7} \text{Sv}$ 。

（3）公众（儿童）个人剂量

厂址六台压水堆机组+高温堆运行状态下，放射性流出物排放对儿童组公众个人造成辐射剂量最大子区为位于厂址 N 方位 1~2km 子区，所造成的年有效剂量为 $3.06 \times 10^{-6} \text{Sv}$ ，其中扩建二期工程对该子区儿童组公众的年有效剂量贡献为 $3.81 \times 10^{-7} \text{Sv}$ 。

（4）公众（婴儿）个人剂量

厂址六台压水堆机组+高温堆运行状态下，放射性流出物排放对婴儿组公众个人造成辐射剂量最大子区为位于厂址 N 方位 1~2km 子区，所造成的年有效剂量为 $2.43 \times 10^{-6} \text{Sv}$ ，其中扩建二期工程对该子区婴儿组公众的年有效剂量贡献为 $2.69 \times 10^{-7} \text{Sv}$ 。

（5）最大受照年龄组

对上述各年龄组公众个人的辐射剂量结果进行比较，扩建二期工程两台机组以及叠加厂址两台国和一号机组+扩建一期工程两台机组+高温堆核电机组运行状态下，放射性流出物排放对厂址 N 方位 1~2km 子区内各年龄段一般公众个人造成的年有效剂量均大于其它各子区同年龄组公众的受照剂量。而对于厂址 N 方位 1~2km 子区内各年龄组公众，核电厂放射性流出物排放造成的年受照有效剂量为成人组最大，青少年组次之，儿童组大于婴儿组，婴儿组最小。

因此，厂址六台压水堆机组+高温堆运行状态下，就一般公众的受照剂量而言，厂址 N 方位 1~2km 子区内的成人组公众个人受放射性流出物造成的年有效剂量最大，为该子区的最大受照年龄组，受到扩建二期工程和厂址六台压水堆机组+高温堆的年有效剂量分别为 $5.73 \times 10^{-7} \text{Sv}$ 和 $5.52 \times 10^{-6} \text{Sv}$ 。

（6）集体剂量

扩建二期工程运行当年，两台机组放射性流出物排放对厂址半径 80km 评价区内公众群体造成的集体年有效剂量为 $2.22 \times 10^{-2} \text{人} \cdot \text{Sv/a}$ ，其中气态途径和液态途径分别为

1.71×10^{-2} 人·Sv/a、 5.11×10^{-3} 人·Sv/a。厂址六台压水堆机组+高温堆放射性流出物排放对厂址半径 80km 评价区内公众群体造成的集体年有效剂量为 2.98×10^{-1} 人·Sv/a，其中气态途径和液态途径分别为 2.85×10^{-1} 人·Sv/a、 1.42×10^{-2} 人·Sv/a。

6.2.7 非人类生物的辐射剂量

非人类生物受到的辐射照射主要来自宇宙射线、天然放射性核素以及核设施排放的气液态放射性流出物，由于生物种类的庞大和生存环境的广阔，目前国际上普遍使用一系列特征生物的概念，包括参考生物，参考动植物，代表物种，特征物种和受体等，对生物进行辐射影响评价。

国际放射防护委员会（ICRP）于 2008 年发布的第 108 号报告中提出了参考动植物（RAP）的概念，并将其定义为“参考动植物是一个假想的实体，具有特定动物或植物类别的假想的基本生物特征，用于描述不同科类生物分类上的共性，具有明确的解剖学、生理学和生命历史的属性，可用于将该种生物体的暴露与辐射剂量，以及剂量与产生效应相联系起来。”根据一系列的选择准则，ICRP 报告推荐了 16 种用于辐射影响评价的参考动植物。

欧盟在 2004-2007 年间开展的 ERICA 项目中选取参考生物的方式与 ICRP 报告稍有不同，它不根据分类学、解剖学、生理学以及生活史等特征选取特定物种，而是基于不同的环境特征中的典型生物类别。

ERICA 项目中采用的一系列水生和陆生生物在不同生境中的剂量学模型也为 ICRP 所采用，在辐射剂量率计算方法上，两者也都采用了 Ulanovsky 等人运用 Monte-Carlo 方法计算不同体形尺寸生物体对 α 、 β 、 γ 辐射的吸收比例，再结合各核素的辐射能量得出各种核素对于不同生物体辐射的剂量转换因子。

6.2.7.1 非人类生物的分类

ERICA 程序根据生物所在的栖息环境选择了不同的代表性生物作为参考生物，其中海洋生态系统的参考生物包括底栖鱼类、鸟类、甲壳类、大型藻类、哺乳动物、双壳软体类、浮游鱼类、浮游植物、多毛纲蠕虫、爬行动物、海葵珊瑚、导管植物和浮游动物 13 类。陆生生态系统的参考生物包括两栖动物、环节动物、腐食节肢动物、鸟类、飞行类昆虫、草本植物、苔藓植物、大型哺乳动物、小型掘洞哺乳动物、腹足纲软体动物、爬行动物、灌木植物、乔木 13 类。

根据厂址周边海洋生态调查结果，海洋参考生物选取底栖鱼类、甲壳类、藻类、软体类、浮游鱼类、浮游植物、浮游动物进行评价。

根据厂址周围的陆域生态，陆域代表性生物选取两栖动物、环节动物、腐食节肢动物、鸟类、飞行类昆虫、草本植物、苔藓植物、大型哺乳动物、小型掘洞哺乳动物、腹足纲软体动物、爬行动物、灌木植物、乔木 13 类进行评价。

6.2.7.2 参数选取

（1）悬浮物分配因子（Kd）

水生生态（核电周围海域）中悬浮物分配因子 Kd 值取自 IAEA 422 号报告。

（2）浓集因子（Bp）

参考 ERICA 程序和 IAEA 422 号报告的海洋参考生物的浓集因子。

参考 ERICA 程序和 IAEA 479 号报告的陆生参考生物的浓集因子。

（3）放射性核素对生物的辐射剂量转换因子

ERICA 程序对陆生生态系统生物依据生物的生活习性将照射类型分为空气浸没外照射、土表沉积外照射、土中浸没外照射和内照射途径。

（4）各生物居留因子

海洋生态系统和陆生生态系统各生物的居留因子根据各生物的生物习性并参考 ERICA 程序得到。

6.2.7.3 非人类生物辐射影响

（1）水生生物辐射影响

厂址六台压水堆机组+高温堆正常运行状态情况下，厂址周围海域生物受到的附加剂量率值最大的为浮游动物，为 $5.03\text{E-}03\mu\text{Gy/h}$ ，其中扩建二期工程造成的剂量率贡献为 $2.34\text{E-}03\mu\text{Gy/h}$ 。各类海洋生物受到的附加剂量率值均小于 ERICA 程序推荐的 $10\mu\text{Gy/h}$ 剂量率筛选值，对核电厂周围海域中的海洋生物总体上影响很小。

（2）陆生生物辐射影响

厂址六台压水堆机组+高温堆正常运行状态情况下，厂址周围陆域生物受到的附加剂量率值最大的为飞行类昆虫，为 $4.61\text{E-}02\mu\text{Gy/h}$ ，其中扩建二期工程造成的剂量率贡献为 $1.02\text{E-}03\mu\text{Gy/h}$ 。各类陆域生物受到的附加剂量率值均远小于 ERICA 程序推荐的

10 μ Gy/h 剂量率筛选值，对核电厂周围陆域中的生物总体上影响很小。

6.2.8 关键人群组、关键核素、关键照射途径

扩建二期工程放射性流出物排放造成的辐射影响进行“三关键”分析时，根据一般公众的辐射剂量影响分析结果，初步考虑厂址较近的东钱家、西钱家、小河东、曲家、前王家和东墩村渔民作为可能的关键居民组进行筛选。

厂址六台压水堆机组+高温堆运行状态下，放射性流出物排放对厂址 N 方位 1.38km 的东钱家渔民造成的年有效剂量为 1.30×10^{-6} Sv，大于其他人群的受照剂量。根据上述分析结果，将厂址 N 方位 1.38km 的东钱家渔民作为受辐射影响的关键人群组。

- 厂址六台压水堆机组+高温堆运行状态下，放射性流出物排放对关键人群组个人造成的有效剂量为 1.30×10^{-6} Sv/a。其中通过气态途径造成的剂量贡献为 1.07×10^{-6} Sv/a，占个人总有效剂量的 82.41%；通过液态途径造成的剂量贡献为 2.29×10^{-7} Sv/a，占个人总有效剂量的 17.59%。比较发现，气态途径对关键人群组个人造成的剂量贡献大于液态途径。
- 关键照射途径为食入陆生食品内照射，对关键人群组个人造成的有效剂量为 9.73×10^{-7} Sv/a，占个人总有效剂量的 72.06%。其它重要照射途径为食入海产品内照射和空气浸没外照射，对关键人群组个人造成的有效剂量分别为 1.82×10^{-7} Sv/a、 7.33×10^{-8} Sv/a，占个人总有效剂量分别为 14.02%、5.64%。
- 关键核素为 C-14，对关键人群个人造成的有效剂量为 1.02×10^{-6} Sv，占个人总有效剂量的 78.42%；其它重要核素为 H-3、Cs-137，对关键人群组个人造成的有效剂量分别为 5.66×10^{-8} Sv/a、 4.22×10^{-8} Sv/a，分别占个人总有效剂量的 4.35%、3.25%。

表 6.2-1 给出了公众辐射剂量“三关键”分析结果。

6.2.9 辐射影响评价

扩建二期工程及厂址六台压水堆机组+高温堆各类放射性流出物的年排放量均能满足国家标准 GB 6249-2025 相应的控制要求。

（1）公众辐射影响评价

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025）对于任何厂址的所有核动力堆

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/a。因此，本次评价确定厂址六台压水堆机组+高温堆正常运行向环境释放的放射性物质对公众中任何个人（成人）造成的年有效剂量限值为 0.25mSv，同时，扩建二期工程向环境释放的放射性流出物每年对公众所造成年有效剂量限值不超过 0.07mSv。

对于一般公众最大受照年龄组（成人）个人，扩建二期工程运行状态下，放射性流出物排放造成的最大有效剂量为 $5.73 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，占本次评价年剂量约束值（0.07mSv/a）的 0.82%；厂址六台压水堆机组+高温堆正常运行状态下，放射性流出物排放造成的最大有效剂量为 $5.52 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ ，占 GB 6249-2025 中年剂量约束值（0.25mSv/a）的 2.21%。

通过公众辐射剂量“三关键”分析，扩建二期工程运行状态下，在制定环境辐射监测方案时，需要关注的关键居民组为位于厂址 N 方位 1.38km 的东钱家渔民人群，需要关注的照射途径包括：食入陆生食品内照射途径、食入海产品内照射和空气浸没外照射途径，关键核素为 C-14，其它重要核素为 H-3、Cs-137 等。

（2）非人类物种辐射影响评价

厂址六台压水堆机组+高温堆运行状态下，液态放射性流出物排放对排放口附近海域生物造成的附加剂量率值最大的为浮游动物，为 $5.03 \text{E-}03 \mu\text{Gy/h}$ ，气载流出物对厂址周围陆域生物造成的附加剂量率值最大的为飞行类昆虫，为 $4.61 \text{E-}02 \mu\text{Gy/h}$ ，海域和陆域生物受到的剂量率均低于 ERICA 程序推荐的 $10 \mu\text{Gy/h}$ 剂量率筛选值，因此，可以认为扩建二期工程运行状态下，放射性流出物排放不会对附近的非人类生物在种群上造成明显的损伤。

扩建二期工程运行状态下，就放射性流出物的排放控制和公众所受剂量而言，三废处理系统的预期处理效果可以满足国家标准的相应要求。而就放射性流出物排放造成的环境辐射影响而言，对非人类生物的辐射影响有限，是可以接受的。

6.2.10 参考资料

- [1] IAEA Safety Reports Series No.19, Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, 2001;
- [2] IAEA Safety Reports Series No.57, Generic models and parameters for assessing the environmental transfer of radionuclides from routine releases, 1982;

- [3] Federal guidance report No.12, External exposure to radionuclides in air, water, and soil, 1993;
- [4] IAEA Technical reports series No.422, Sediment distribution coefficients and concentration factors for Biota in the marine environment, 2004;
- [5] IAEA Technical reports series No.479, Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer to wildlife, 2014;
- [6] Projects: Simulation modeling: ERICA version 1.2. <https://erica-tool.com>;
- [7] The Environment Agency, Radiological impact assessment for terrestrial ecosystems version 2.0;
- [8] 广东核电厂放射性释放环境影响计算机程序系统——CEIRA, 苏州热工研究院有限公司, 1992年;
- [9] 石岛湾核电厂址温排水和液态流出物数模计算成果报告, 中国水利水电科学研究院, 2022年6月;
- [10] 山东石岛湾核电站扩建一期工程环境影响报告书（建造阶段）, 华能石岛湾核电开发有限公司, 2024年5月;
- [11] 华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程环境影响报告书（运行阶段）, 华能山东石岛湾核电有限公司, 2021年7月;
- [12] 放射生态学转移参数手册, 原子能出版社, 李建国、商照荣等;
- [13] UNSCEAR. 1996. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1996 Report to the General Assembly, Fifty-first Session, Supplement No. 46 (A/51/46), Annex: “Effects of Radiation on the Environment”, United Nations Sales No. E96.IX.3 (1996);

表 6.2-1 公众受照辐射剂量“三关键”计算分析结果

a) 关键组居民及其受照剂量

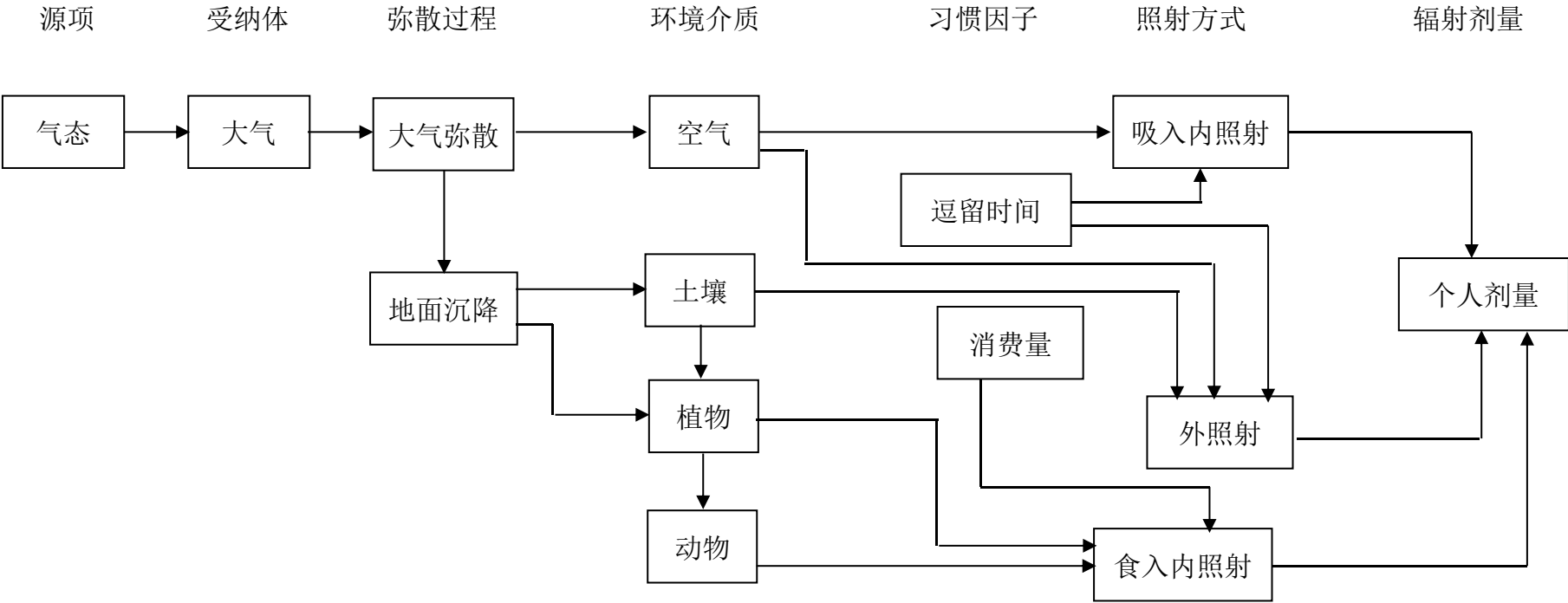
方位	距离 (km)	群体	有效剂量— H_E (Sv/a)
N	1.38	东钱家渔民	1.30E-06

b) 关键照射途径和重要照射途径

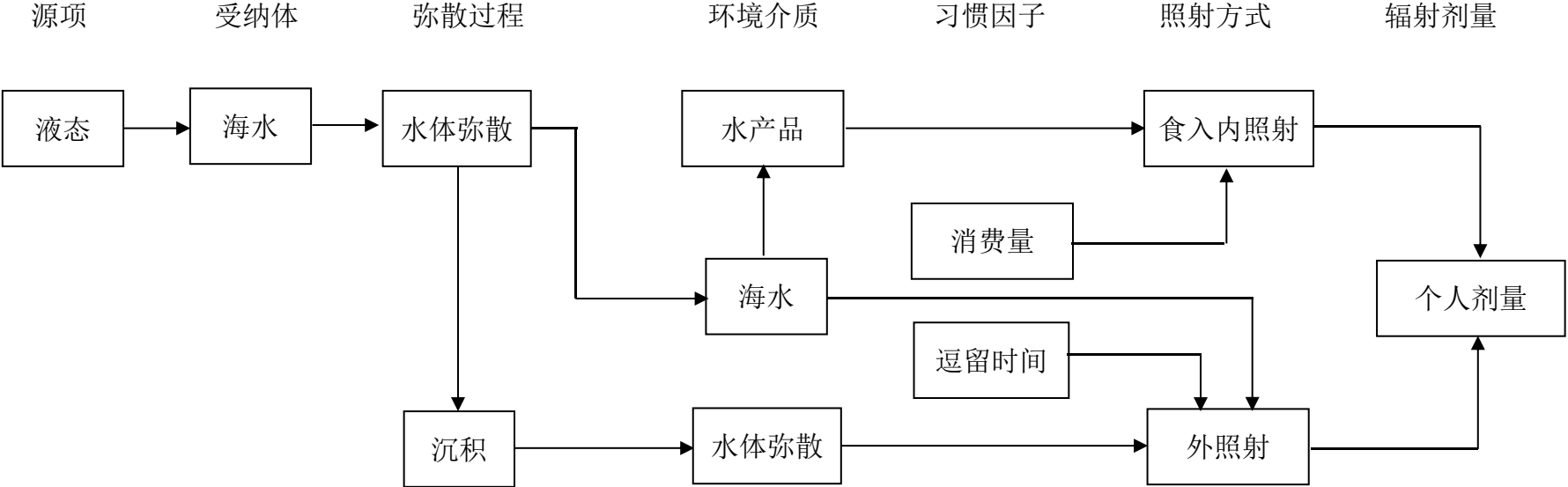
名 称		有效剂量 (Sv/a)	占 H_E 的份额 (%)
关键照射途径	食入陆生食品内照射	9.73E-07	72.06
重要照射途径	食入海产品内照射	1.82E-07	14.02
	空气浸没外照射	7.33E-08	5.64

c) 关键核素和重要核素

名 称		剂量贡献 (Sv/a)	占 H_E 的份额 (%)	主要照射途径及占 H_E 的份额 (%)
关键核素	C-14	1.02E-06	78.42	食入陆生食品内照射: 65.9
重要核素	H-3	5.66E-08	4.35	食入陆生食品内照射: 2.34
	Cs-137	4.22E-08	3.25	食入陆生食品内照射: 1.92



山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
气态照射途径		
图 6.2-1	版次	A



山东石岛湾核电站 扩建二期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
液态照射途径		
图 6.2-2	版次	A

6.3 其它环境影响

6.3.1 化学污染物的环境影响

6.3.2 其它污染物的环境影响

6.3 其它环境影响

石岛湾核电站扩建二期工程正常运行时，可能造成的环境影响除了前述温排水影响和辐射影响外，还包括循环冷却水中的化学物质、生活污水与含油废水、固体废物、海水淡化系统排放的浓盐水等非放射性的影响。核电厂排放的化学物质主要来自于非放射性化学物质排放、污水处理系统的流出物排放以及海水连续加氯处理系统的余氯排放等工艺过程。

本节将对上述非放射性污染物对环境的可能影响进行分析和评价。

6.3.1 化学污染物的环境影响

6.3.1.1 余氯排放的影响

为保护核电厂冷却系统不被水中附着生物堵塞，避免因其繁殖而导致的管道断面变小和流量降低，通常在循环冷却系统取水加入一定浓度的次氯化物。加氯处理虽然抑制了浮游生物在管道内的繁殖，但也造成电厂排放冷却水中含有一定量的余氯。

余氯对水生生物构成的影响，不仅来自于氯直接作用于水生生物，还包括氯可在水中与有机物形成一系列有机氯化物，对水生生物带来更大的损伤，甚至可能通过食物链对人体健康造成危害，因此需要关注余氯对受纳水体的环境影响。

余氯进入水体后可水解生成游离有效氯（ HClO 和 ClO^- ），进而与水中的氨反应产生化合态有效氯（ NH_2Cl 和 NHCl_2 ）。游离态余氯毒性强于化合态余氯，但自然条件下游离态较化合态更容易衰减，实际情况中它们对水生生物的影响差别不大。水体化学性质、pH、温度以及外界光照，对余氯生物效应都有影响。较低的 pH 值和 NH_3 含量及较高的温度，都有利于余氯毒性增强；光照会引起余氯衰减，降低其生物毒性。

浮游植物受余氯损害较大。国内研究人员发现，0.2mg/L 的氯可以直接杀死水中 60%~80% 的藻类；0.1mg/L 的氯会使浮游植物光合作用下降 50%；当余氯被稀释到 0.03mg/L 以下时，水中初级生产力可完全恢复；25℃ 时余氯对咸水中浮游动物的 96h 半致死浓度（ LC_{50} ）为 0.062mg/L~0.267mg/L；鱼类受余氯影响也较大，余氯对平鲷等几种海水鱼类 48h 的 LC_{50} 为 0.18mg/L~0.19mg/L；白鲢、银蛙等 10 种鱼类对氯的回避相应浓度范围为 0.04mg/L~0.41mg/L。有研究提出由 48h 的半致死浓度乘以安全因子 0.5 可确定余氯的安全浓度。

目前国内尚没有对水体中余氯浓度的标准限值。国外研究人员通过对包括水生植

物、水生无脊椎动物和鱼类在内的 120 多种水生生物的余氯毒性研究，证明当余氯浓度低于 $20\mu\text{g/L}$ 时，不论作用多长时间，也不会对海洋生物有毒性作用。美国 EPA 于 2006 年发布的水质基准中，针对氯对海洋生物影响制定的避免急性损伤的基准最大浓度和慢性损伤的基准连续浓度分别为 $13\mu\text{g/L}$ 和 $7.5\mu\text{g/L}$ 。

核电厂运行中控制循环水出口余氯量在 $0.1\sim 0.3\text{mg/L}$ ，本项目运行时石岛湾核电厂址所有核设施（扩建一、二期工程共四台机组+两台风机和一号机组+高温堆）的余氯影响范围不大，根据《石岛湾核电厂址温排水和液态流出物数模计算成果报告》（中国水利水电科学研究院，2022 年 6 月），夏季半月潮余氯 0.1 相对浓度等值线最大影响面积为 0.92km^2 ，冬季半月潮余氯 0.1 相对浓度等值线最大影响面积为 0.30km^2 。核电厂排放的余氯的影响区域仅在排水口附近有限的海域，对附近海域中海洋生物的影响范围很小。

6.3.1.2 非放射性化学物质排放的影响

为了保证核电厂的正常运行，需要对电厂工艺用水进行除盐处理，通过加入一定数量的腐蚀抑制剂或化学活性添加剂（如氢氧化钠、盐酸、次氯酸钠、联氨等），将淡水经絮凝、沉淀和离子交换除盐，以实现各系统用水的水质要求。除盐过程加入的化学添加剂，除一部分进入固体废物外，其余将随电厂温排水排入厂址附近海域。

根据报告书 4.7 节给出的核电厂化学物质使用情况，石岛湾核电站扩建二期工程在正常运行期间排入受纳水体的主要的化学物质可能包括氯化物、无机氮等。

- 氯化物（ Cl^- ）：氯化物本身的毒性很低，在低浓度条件下可被水生植物作为营养物质。核电厂排放氯化物经冷却水完全混合后浓度为 0.27mg/L ，按盐度计算公式该氯化物产生盐度约为 0.50mg/L ，远低于厂址附近海水天然盐度约 30‰ （ 30000mg/L ）左右，因此不会对周围海洋生物产生明显影响。
- 无机氮（ N ）是水生植物生长所必需的元素，也是造成海洋赤潮的重要物质。GB3097-1997 中三类海水标准限值为 0.40mg/L 。本工程排放的无机氮经冷却水完全混合后浓度约 0.19mg/L ，预计造成的排放口浓度增量在其正常涨落范围内。

从以上估算结果可以看出，由于核电厂运行中使用的化学物质相对较少，核电厂运行在排放口中产生的浓度增量或远低于国内外的其他标准限值，或在环境中的本底

背景值正常涨落范围内，因此预计不会对排放口附近海域环境及海洋生物造成不利影响。

6.3.2 其它污染物的环境影响

6.3.2.1 生产废水排放的影响

石岛湾核电站扩建二期工程正常运行时，含有潜在放射性的污水，不含油部分直接送往 BQB 厂房；含油部分，送往潜在放射性含油废水处理站（BER）。

不含放射性的含油废水，汇集到专门的管网内，进入非放射性含油废水处理站（BES），经过贮存、油水分离处理。分离出的油脂收集后装入油桶运送到厂外；分离出的水排入非放工业废水系统。

非放射性工业废水处理系统主要对核电站正常生产过程中的淡水类废水进行收集处理后达标回用或排放。正常运行期间产生的废水主要为经常性废水和非经常性废水。经常性废水主要来源为除盐水处理站废水中和池排水，非经常性废水主要来源为闭式冷却水系统、热水系统、辅助锅炉系统及通风系统的检修排水。经常性废水直接回用至海水淡化系统；非经常性废水经过废水收集、调质、混凝、澄清及 pH 调整可满足《流域水污染物综合排放标准第 5 部分：半岛流域》（DB37 3416.5-2025）的一级标准，实现达标排放。排至 BCC 井与大量的温排水混合后，因其排放量极少，预计不会对排放口周围海域造成影响。本项目运行期间通过入海排污口向海洋排放的常规污染物主要有：悬浮物、磷酸盐、氨氮、联氨、COD、总氮、总磷。

6.3.2.2 生活污水排放的影响

扩建工程生活污水处理站处理核岛、常规岛以及其它 BOP 厂房、办公室、值班室等场所的生活污水。生活污水处理站包括地上部分和地下部分，地上部分包括中控室、楼梯间、加药间、污泥存放间、污泥脱水间、配电间和风机房；地下部分包括调节池、厌氧池、缺氧池、好氧池、MBR 膜池中水池、污泥浓缩池等。沉淀池中的污泥经脱水浓缩制成泥饼后外运。污水站出水部分用于道路喷洒及绿化，执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020），剩余部分排放执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中的一级 A 标准，预计对环境产生影响较小。

6.3.2.3 非放射性固废对环境的影响

石岛湾核电站扩建二期工程在正常运行过程中因设备的维修、零部件的损坏等会产生一定量工业固废，其中一般工业固废有废木材、废钢铁、废电缆、废塑料、废金属、废电动机、废变压器和废空调等，危险固废包括废油漆、废化学品、废润滑油、废日光灯管和废油布等。固废将纳入全厂固废收集处理系统，委托专业废弃物公司将一般固体废物外运处置。危险废物将委托具有相关处理资质的公司进行外运处置。

运行期间产生的生活垃圾主要来源于厂区办公及员工生活区的垃圾。生活垃圾实行袋装分类收集，并委托当地环卫所定期收集处理，餐饮废弃物由专门机构上门清运。在落实固废收集和处置工作后，本工程非放射性固废对环境影响较小。

6.3.2.4 噪声对环境的影响

核电厂运行噪声主要来自核岛厂房群和汽轮机厂房中高速运转和有高速流体流动的设备。核岛厂房群的噪声主要来自五个方面：

- 大量高温高压水泵及配套电动机在不停地高速运转；
- 柴油发电机组在热备用状态下的高速运转；
- 为大型空调和通风系统服务的电动鼓风机不停运转；
- 工艺过程的泄压释放系统的安全阀、管道和箱罐等，在执行排放或泄压功能时发出很强噪声；
- 电气系统的部分设备也会发出很强噪声，例如：开式变压器、逆变器等。

汽轮发电机厂房的噪声主要来自以下四个方面：

- 高速运转的汽轮发电机组、主给水泵、增压泵和凝结水泵等机械动力噪声；
- 电动机、变压器等电气设备的磁场交变运动产生的电磁噪声；
- 在甩负荷时，蒸汽排入冷凝器前减温减压器会发出较强的噪声；
- 设备运行中其安全阀或排汽阀事故排汽时，尤其是主蒸汽管道内蒸汽通过安全阀和泄压阀向大气排放时，会产生极强气体动力噪声，但发生概率非常低。

根据国内核电厂相关资料，每台泵、风机、设备的噪声源强为 85dB（A）～110dB（A）。类比国内同类电厂噪声预测影响范围，考虑到石岛湾核电站扩建二期工程最近居民点距离厂址较远，因此预计噪声对厂界和敏感点的声环境影响较小。

6.3.2.5 电磁环境的影响

类比田湾核电厂厂内电磁辐射监测结果（包含一、二期工程 $4 \times 1060\text{MW}$ 和 5、6 号机组 $2 \times 1000\text{MW}$ 的 500kV 开关站和 220kV 辅助开关站），预计本项目 500kV 主开关站和 220kV 辅助开关站及输电线路周围的工频电场和工频磁场均满足 GB 8702-2014 中 4kV/m 和 0.1mT 的限值要求。

6.3.2.6 海水淡化环境影响

石岛湾核电厂扩建二期工程运行期间采用海水淡化设备供应核电厂所需生产生活淡水，海水淡化站按扩建四台机组共用配置，厂房一次建成，设备分期安装，本期工程新增相关水处理设备。混凝沉淀池的泥渣废水排至污泥浓缩池，然后污泥经过脱水后运出厂区由相关有资质单位处理；污泥浓缩池排出的清水、V 型砂滤池和超滤反洗水达标排放，海淡一级反渗透浓水经过能量交换后排至循环水系统 BCC 井，排放满足《海水淡化浓盐水排放要求》（HY/T 0289-2020）表 1 海水淡化浓盐水排放水质要求。

项目运行后单台机组年冬季取水量为 $45.52\text{m}^3/\text{s}$ （ $163872\text{m}^3/\text{h}$ ），依据工程海域水质调查结果，盐度变化范围为 $30.422\text{‰} \sim 31.877\text{‰}$ ，海水平均盐度为 31.183‰ 。本次扩建二期工程浓海水与循环水温排水混合后水体盐度约为 31.243‰ ，混合水体的盐度增量为 0.06‰ 。经海水稀释后对海洋生物影响不大。海淡二级反渗透浓水回流至超滤产水箱进行再利用。

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 场内运输事故

7.3 其它事故

7.4 事故应急

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

7.1.2 事故后果计算

7.1.3 事故后果评价

表

表 7.1-1 厂址半径 80km 范围内公众受到的集体有效剂量

表 7.1-2 公众个人剂量和集体剂量与国家标准的比较

7.1 核电厂放射性事故和后果评价

根据我国国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025）的规定：应在核动力厂周围设置非居住区和规划限制区。非居住区和规划限制区边界根据选址假想事故和场址环境特征进行测算，并考虑场址的行政区划、地形、地貌、气象、交通等具体条件确定。非居住区边界与反应堆的距离不得小于 500m；规划限制区外边界与反应堆的距离不得小于 5km。

核动力厂的选址假想事故仅适用于审批厂址阶段，作为确定厂址非居住区、规划限制区边界的依据。对于水冷反应堆，该事故一般应考虑全堆芯熔化，否则应进行充分有效的论证。本工程选址假想事故考虑全堆芯熔化的 LOCA 事故。

7.1.1 事故描述和事故源项

7.1.1.1 事故描述

核电厂选址假想事故是用于厂址适宜性评价的假想事故。对于本项目，选址假想事故是考虑全堆芯熔化的失水事故（LOCA），这种事故在核电厂寿期内极不可能发生。

本项目为增强的单层安全壳设计，放射性物质向环境的释放主要考虑以下途径：事故后一回路冷却剂及堆芯中的放射性核素释放到安全壳大气中，经由安全壳泄漏释放到环境。

7.1.1.2 事故源项

本项目拟采用华龙一号融合技术方案，事故源项计算分析中考虑功率等不确定性，对堆芯核素积存量额外考虑+2%的不确定性，计算包括以下步骤：

(1) 源项计算模型

本项目事故源项计算分析中考虑功率等不确定性，对堆芯核素积存量额外考虑+2%的不确定性，事故源项计算包括以下步骤：

1) 计算事故后释放进入安全壳大气的放射性核素。堆芯及一回路冷却剂系统向安全壳大气的放射性释放分为三个阶段：

— 一回路冷却剂释放阶段：假设一回路冷却剂中放射性核素在事故开始 0s 瞬间进入安全壳大气中，并与安全壳大气混合均匀；

— 包壳释放阶段：燃料芯块和包壳间隙内的放射性核素，假设该部分核素在事故后 30s-1830s 内线性释放到安全壳大气；

— 早期压力容器内释放阶段：由于堆芯熔化，造成部分燃料芯块中的放射性物质向外释放，假设该部分核素在事故后 0.5h-1.8h 内线性释放到安全壳大气。

2) 计算安全壳内放射性活度随时间的变化情况，进而计算由安全壳向外部环境释放的放射性源项。

(2) 源项计算参数

选址假想事故源项计算考虑裂变产物堆芯积存量和一回路冷却剂比活度的贡献。

裂变产物从堆芯释放分为两个阶段：

— 包壳释放阶段：该阶段导致 5%的惰性气体、5%的卤素及 5%的碱性金属释放到安全壳大气中；

— 早期压力容器内释放阶段：该阶段导致 95%的惰性气体、35%的卤素及 25%的碱性金属释放到安全壳大气中。

1) 碘的化学形态

考虑进入安全壳大气中放射性碘的化学形态如下：

— 有机碘：0.15%；

— 元素碘：4.85%；

— 粒子碘：95%。

2) 安全壳泄漏率

保守假定 LOCA 发生后 24 小时内的安全壳泄漏率为 0.3%/d，24 小时以后安全壳泄漏率为 0.15%/d。

3) 自然去除过程

考虑安全壳内气溶胶和元素碘的自然去除作用。元素碘的去除方式是表面沉积。气溶胶的去除方式主要有重力沉降、扩散泳和热泳等。有机碘及惰性气体假设不能被去除。

经安全壳泄漏向外释放的气溶胶，考虑安全壳窄缝的自然去除。窄缝去污因子假设为 5（去除效率 80%）。

7.1.2 事故后果计算

本项目按机组半径 500m 作为非居住区边界，机组半径 5km 作为规划限制区边界。

7.1.2.1 事故大气弥散条件

事故后果计算中使用的小时大气弥散因子采用苏州热工研究院有限公司开发的改进版 CEIRA 程序系统计算。CEIRA 程序系统采用了高斯烟羽模式。

本章采用厂址气象观测系统 2024 年 7 月至 2025 年 6 月一整年的逐时气象观测数据，以及厂址大气扩散参数计算事故期间各时段大气弥散因子。

（1）非居住区边界和规划限制区外边界上的事故大气弥散因子

厂址周围 16 个方位、99.5%概率水平的高斯烟羽轴线浓度的小时大气弥散因子作为 0~2h 的事故大气弥散因子；各个方位年平均大气弥散因子为该方位按高斯烟羽模式的扇形区平均浓度公式计算的小时大气弥散因子的年平均值；对于持续时间长于 2h 的释放时段的事事故大气弥散因子，则利用 2h 时段的事事故大气弥散因子与年平均事故大气弥散因子之间的双对数内插的方法求得。

事故后果分析选择全厂址 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。

（2）用于事故集体剂量计算的大气弥散因子

对于用于事故集体剂量计算的各时段的大气弥散因子，首先采用高斯扇形平均公式计算厂址半径 80km 范围内 192 个子区、99.5%概率水平下的小时大气弥散因子，作为 0~2h 的事故大气弥散因子，对于持续时间长于 2h 的释放时段的事事故大气弥散因子，则利用 0~2h 时段事故大气弥散因子与年平均事故大气弥散因子之间的双对数内插的方法求得。

7.1.2.2 事故剂量

（1）事故剂量估算模式

在事故释放期间，考虑公众可能受到的辐射照射途径包括如下途径：

- 烟云浸没外照射；
- 空气吸入内照射；
- 地面沉积外照射

（2）剂量转换因子

— 惰性气体

烟云浸没外照射剂量转换因子取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；

— 碘和碱金属

吸入内照射有效剂量转换因子主要取自国际辐射防护委员会（ICRP）71号出版物和GB 18871-2002；烟云浸没外照射剂量转换因子主要取自国际原子能机构（IAEA）19号安全报告（2001）；

（3）呼吸率

呼吸率取自美国核管理委员会管理导则RG1.183：

- 0~8h时间段： $Br=3.5 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ ；
- 8~24h时间段： $Br=1.8 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ ；
- 24~720h时间段： $Br=2.3 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ 。

根据以上参数，计算非居住区边界和规划限制区外边界上的事故放射性剂量，可以得出：

- 事故后0~2h内，非居住区边界上公众个人（成人）最大有效剂量为 $1.69 \times 10^{-1} \text{Sv}$ ；
- 事故后0~30d内，规划限制区边界上公众个人（成人）最大有效剂量为 $4.18 \times 10^{-2} \text{Sv}$ 。

根据厂址半径80km范围内各子区计算得到的公众个人有效剂量以及运行首年的预期人口数据，计算了选址假想事故持续期间内对各子区内公众可能造成的集体有效剂量。表7.1-1给出了厂址半径80km范围内各子区公众在选址假想事故发生持续期间受到的集体有效剂量。从表中可以看出，选址假想事故发生期间30d内，厂址半径80km范围公众受到集体有效剂量为 $3.46 \times 10^3 \text{人} \cdot \text{Sv}$ 。

7.1.3 事故后果评价

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025），在评价选址假想事故后果时，应考虑保守大气弥散条件和烟云浸没外照射、吸入内照射和地面沉积外照射途径。非居住区边界上的任何个人在事故发生后的任意2h内通过上述途径所接受的有效剂量不得大于250mSv，规划限制区外边界上的任何个人在事故的整个持续期间内（可

取 30d) 通过上述照射途径所接受的有效剂量不得大于 250mSv。在事故的整个持续期间内，厂址半径 80km 范围内公众群体通过上述两条照射途径接受的集体有效剂量应小于 2×10^4 人·Sv。

表 7.1-2 给出了事故剂量与国家标准的比较。

(1) 个人剂量

选址假想事故发生任意 2h 内，拟定非居住区边界上的公众个人（成人）受照最大有效剂量为 1.69×10^{-1} Sv，占国家标准限值的 67.6%；事故持续时间 30d 内，规划限制区边界上的公众个人（成人）受照最大有效剂量为 4.18×10^{-2} Sv，占国家标准限值的 16.7%。

(2) 集体剂量

选址假想事故发生持续期间 30d 内，厂址半径 80km 范围内公众群体所受到的集体有效剂量为 3.46×10^3 人·Sv，占国家标准限值的 17.3%。

因此，基于选址假想事故的辐射影响评价结果分析，本项目非居住区边界、规划限制区边界能够满足核安全相关法规的要求。

表 7.1-1 整个事故期间厂址半径 80km 范围内公众受到的集体有效剂量

单位：人·Sv

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	合计
N	0.00E+00	6.29E+01	1.96E+01	2.60E+01	0.00E+00	0.00E+00	2.36E+02	6.33E+01	6.56E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.73E+02
NNE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.22E+00	0.00E+00	1.66E+01	0.00E+00	4.90E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.77E+01
NE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
ENE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
E	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
ESE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
SE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
SSE	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
S	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.03E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.03E+01
SSW	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.52E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.52E+00
SW	0.00E+00	2.70E+01	4.85E+01	4.69E+01	1.82E+02	4.75E+02	2.73E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.07E+02
WSW	0.00E+00	1.14E+01	1.56E+01	1.60E+01	1.03E+02	1.66E+02	6.24E+01	9.65E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.10E+00	3.87E+02
W	0.00E+00	2.49E+00	1.60E+01	7.00E+00	3.91E+01	3.47E+01	2.77E+01	7.57E+00	6.02E+00	1.07E+01	6.83E+00	8.50E+00	1.67E+02
WNW	0.00E+00	9.81E+00	5.58E+00	3.99E+01	1.25E+01	1.32E+01	5.19E+00	7.22E+00	2.73E+01	1.12E+01	4.19E+00	2.12E+00	1.38E+02
NW	0.00E+00	3.24E+01	6.43E+01	1.37E+01	1.95E+01	3.33E+01	2.07E+01	1.75E+01	1.84E+01	6.66E+01	3.29E+01	9.47E+01	4.14E+02
NNW	0.00E+00	2.99E+01	1.38E+01	5.15E+01	1.08E+01	3.85E+01	4.74E+02	2.57E+01	5.32E+01	8.14E+01	1.49E+02	3.57E+01	9.64E+02
合计	0.00E+00	1.76E+02	1.83E+02	2.01E+02	4.53E+02	7.61E+02	8.70E+02	1.31E+02	1.75E+02	1.70E+02	1.93E+02	1.44E+02	3.46E+03

表 7.1-2 公众个人剂量和集体剂量与国家标准的比较

项 目	剂量结果	GB 6249-2025 事故剂量限值	占限值比 例
事故后任意 2 小时内非居住区边界（500m） 个人受照的最大有效剂量（Sv）	1.69×10^{-1}	0.25	67.6%
整个事故持续期间内规划限制区边界（5km） 个人受照的最大有效剂量（Sv）	4.18×10^{-2}	0.25	16.7%
整个事故持续期间内厂址半径 80km 范围内公 众个人受照的集体有效剂量（人·Sv）	3.46×10^3	2×10^4	17.3%

7.2 场内运输事故

7.2.1 新燃料运输事故

7.2.2 乏燃料运输事故

7.2.3 固体废物运输事故

7.2 场内运输事故

7.2.1 新燃料运输事故

新燃料运输货包的设计和制造同时满足《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）、《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令 第 562 号）和交通运输相关要求。

国内其它核电厂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燃料组件时，组件的抗震和密封性能可确保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，燃料组件也不会产生临界反应，同时燃料棒包壳密封仍然保持完好，不会发生燃料散落。加上新燃料组件未经辐照，放射性水平很低。

总体而言，新燃料运输事故不会污染周围环境和危害人员健康，可达到安全可靠。

7.2.2 乏燃料运输事故

乏燃料运输容器的安全可靠是实现安全运输的前提。乏燃料运输容器满足《放射性物品运输安全管理条例》和《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）的要求，同时容器具有承受正常运输条件下和运输中事故条件下的各种试验的能力，能够满足保持符合密封性能与屏蔽性能的要求，并确保临界安全。

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。预期的乏燃料运输事故不会对周围环境和人员造成不可接受的后果。

7.2.3 固体废物运输事故

核电厂运行产生的放射性固体废物（如废树脂、废滤芯、干废物等）将根据其性质进行分类，并按照《低、中水平放射性固体废物包安全标准》（GB 12711-2018）的要求进行包装处理。废物包装容器外表面剂量率不超过 2.0mSv/h，超过此限值的容器，采用屏蔽容器进行运输。废物桶从运输车辆上掉下来，最大限度只会造成废物桶的局部损坏，废物散落的可能性很小，即便散落少量废物，也可以采取措施收集，故不会对环境造成污染。

7.3 其它事故

7.3.1 建设期间其它事故分析

7.3.2 运行期间其它事故分析

7.3 其它事故

7.3.1 建设期间其它事故分析

本项目无需进行大规模爆破作业活动，施工建设期间的环境风险主要为化学品存储和使用风险、道路施工引起滑坡以及施工营地环境卫生问题导致施工人员的健康风险。

核电厂可能需要采用一些化学物质和缓蚀剂进行表面处理，以避免设备及管道的盐雾锈蚀和表面氧化。这些化学物质和缓蚀剂主要包括磷酸三钠、硼酸钠、非卤素的有机溶剂和硫酸、磷酸、有机酸等，如保存管理不当，可能造成泄漏风险，对地表土壤及植被生态造成破坏。由于核电厂设备和管道等均在厂内定点存放，并考虑防水防雨等不利影响，因此需后续处理过程较少，化学物质使用量不大。该部分危险废物按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）可以得到安全妥善贮存，产生的废物由生产厂商回收处理。在施工阶段，由于化学品泄漏造成的环境风险较小。

核电厂施工周期较长，施工人数众多，施工期间大量人员涌入电厂区域及附近进行施工和居住，如环境卫生管理不到位，特别在夏季，容易使爆发流行性传染病的机会大大增加，一旦发生疫情，将对整个施工区内的人员健康造成极大威胁。在电厂施工期间，将积极做好施工营地及施工场所的卫生管理，做到垃圾日产日清，提供安全的饮食和饮用水，不会对人员的健康产生风险。若发现人员出现疫情特征，及时送往附近医院治疗，减少疫情大规模扩散的几率，保障施工人员的健康。

7.3.2 运行期间其它事故分析

本节主要依据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）相关要求进行分析与评价。

7.3.2.1 环境风险识别

核电厂在运行中将使用一些毒性物质和易燃物质等，这些物质在运输、使用、储存过程中均存在一定的事故风险隐患。运行期间使用的化学物质主要用于水处理系统。

7.3.2.2 环境风险评价

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）附录 B.1 给出的突发环

境事件风险物质及临界量，筛选出环境风险及存量较大的危险化学品，根据 HJ 169-2018 附录 C 危险物质数量与临界量比重计算，本工程各风险较大的危险化学品的最大储存量与临界量的比值之和 Q 为 23.4。

根据 HJ 169-2018，本工程行业及生产工艺为 M4，结合 Q 值可得危险物质及工艺系统危险性（P）的分级为 P4。依据附录 D 的环境敏感程度（E）分级，厂址周边 5km 范围居住人口大于 1 万人小于 5 万人，故大气环境敏感程度分级为 E2。本项目周边无敏感或较敏感的地表水体，发生危险化学品环境事故时，危险化学品不会泄漏至敏感或较敏感的地表水体，故地表水环境敏感目标分级为 S3，根据 HJ 169-2018，本项目地表水环境敏感程度分级为 E3。本项目包气带防污性能分级为 D2，地下水功能敏感性分区为 G2，根据 HJ 169-2018，地下水环境敏感程度分级为 E2。

综上，根据 HJ 169-2018 表 2 内容可将本项目环境风险潜势划分为 II 级，对应的环境风险评价等级为三级，需定性分析说明环境风险影响后果。

本项目危险性相对较大的危险化学品均在室内储存，配备泄漏应急处理设备，地面为混凝土防渗地面，并根据相关规范设置围堰，危险化学品泄漏后不会污染周边地表水或地下水，有毒气体（主要是挥发性较强的氨水泄漏）不会大量飘散至室外造成严重的大气环境污染。因此，在做好相关管控防护措施后，上述危险化学品储存设施的环境风险很小。

7.4 事故应急

7.4 事故应急

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），在选址阶段，应描述执行应急计划的初步可行性，说明不存在妨碍区域人群隐蔽、撤离以及应急时所需外部资源进出的不利厂址条件，重点考虑厂址周边人口分布、区域环境、潜在危险源等与厂址相关的重要因素。

（1）人口分布

厂址半径 5km 范围涉及宁津街道、东山街道、桃园街道共 41 个居民点或自然村。户籍人口共计 16478 人，常住人口共计 18106 人。厂址半径 5km 范围内陆域平均户籍人口密度为 499 人/km²。常住人口数为 18106 人，陆域平均常住人口密度为 549 人/km²，低于山东省同期平均人口密度。

厂址半径 10km 范围共有学校 9 所，其中幼儿园 5 所，小学 1 所，中学 3 所。其中距离厂址最近的是荣成市宁津街道中心幼儿园。学生人数最多的学校为荣成市石岛湾中学区，位于厂址 WSW 方位 8.19km 处。厂址半径 10km 范围内医院和卫生院共 3 家。厂址半径 10km 范围内已建敬老院有 4 所。厂址半径 10km 范围内无监狱。

（2）经济形态

厂址半径 15km 范围内现有的危险品存储设施不会威胁到核设施的安全。

就厂址外围地带的经济、工业、农业以及生态和环境特征而言，暂不存在妨碍在厂址外围地带建立应急计划区的外部事件。

（3）公共交通

厂址半径 10km 范围涉及的公交中转枢纽为宁津公交站，为镇级公交站，位于宁津街道办事处驻地，厂址 NW 方位 2.6km 处。

（4）通讯网络

厂址所在地及附近村镇的电信、移动、联通信号均已覆盖，基本可以满足应急通讯的需求。根据《荣成市重大突发事件应急保障体系建设规划》，荣成市将构建综合应急通信保障网络，强化指挥信息网、卫星通信网、无线通信网、电子政务网和互联网各有侧重、互为补充功能，保证在任何时间、任何地点和任何灾情下至少 1 种通信方式畅通。

（5）消防和公安

石岛湾核电厂专职消防队成立于 2013 年 12 月，由公司委托荣成市公安消防大队

组建。配有水罐泡沫消防车、移动式消防水炮、风力灭火机、细水雾灭火装置、水驱动排烟机、遥控浮艇泵、液压破拆工具组、移动照明灯组等装备器材，涵盖了个人防护、灭火、侦检、警戒、破拆、救生、排烟照明等 7 大类 104 种装备，基本满足厂区内各类突发事件的应急处置工作。

除了石岛湾核电厂专职消防队的专职消防队，厂址半径 10km 范围有 1 所消防救援站，为东山街道的峨石山路消防救援站，位于厂址 W 方位 8.9km 处。

（6）应急避难场所

厂址半径 10km 范围共有应急避难场所 2 所，分别为位于厂址 NW 方位 2.53km 处的荣成市第九中学；位于厂址 WNW 方位 7.94km 处的荣成市第三十七中学。

综上所述，从可能影响执行应急计划可行性的厂址因素分析，扩建二期工程制定和执行核事故应急预案没有难以克服的困难。

第八章 流出物监测与环境监测

8.1 辐射监测

8.2 其它监测

8.3 监测设施

8.4 质量保证

8.1 辐射监测

8.1.1 流出物监测

8.1.2 辐射环境监测

8.1.3 应急监测

8.1 辐射监测

8.1.1 流出物监测

运行期间的流出物监测主要监测对象是核电厂向环境排放的气载和液态放射性流出物。山东石岛湾核电站扩建二期工程规划建设两台华龙一号机组。根据设计，机组将建立流出物监测系统对核电厂排放的流出物进行监测。本小节主要描述山东石岛湾核电站扩建二期工程流出物监测的初步设想。

8.1.1.1 监测依据

放射性流出物监测的内容包括流出物的放射性浓度、排放总量和核素的种类等。运行期间流出物监测方案根据我国有关法规和工程的实际情况制定。制定流出物监测方案将依据和参考下列标准：

- 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025）；
- 《核设施流出物监测的一般规定》（GB 11217-89）；
- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；
- 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；
- 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第1部分：一般要求》（GB/T 7165.1-2005）；
- 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第2部分：放射性气溶胶（包括超铀气溶胶）监测仪的特殊要求》（GB/T 7165.2-2008）；
- 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第3部分：放射性惰性气体监测仪的特殊要求》（GB/T 7165.3-2008）；
- 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第4部分：放射性碘监测仪的特殊要求》（GB/T 7165.4-2008）；
- 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第5部分：氡监测仪的特殊要求》（GB/T 7165.5-2008）；
- 《核电厂安全重要仪表 事故及事故后辐射监测 第1部分：一般要求》（GB/T 12726.1-2013）；
- 《核电厂安全重要仪表 事故及事故后辐射监测 第2部分：气态排出流及通风中放射性离线连续监测设备》（GB/T 12726.2-2013）；

- 《海水水质标准》（GB 3097-1997）；
- 《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设规范（试行）》（环发〔2012〕16号文件）；
- 《核电厂烟囱的气载放射性物质取样》ANSI N13.1-2011；
- 《核电厂流出物放射性自行监测管理要求》（国核安发〔2025〕120号）。

8.1.1.2 监测目的

运行期间流出物监测目的是：

- 监测释放到环境中的气载和液态放射性流出物的浓度，判断其是否符合国家批准的排放量控制值和营运单位规定的排放管理目标值；
- 为判明本工程的运行以及放射性废物的处理和控制装置的工作是否正常有效提供数据和资料；
- 为评价环境质量、估算公众受照剂量提供放射性测量数据和资料；
- 使公众确信本工程的放射性物质排放确实受到严格的控制；
- 迅速发现有无计划外排放和事故排放，鉴别其性质、种类及其程度，以便及时采取措施；
- 给出报警和必要的执行动作，以控制不合理的排放，可为本工程在事故期间的应急响应提供信息。

8.1.1.3 制定监测方案的原则

制定本工程运行期间流出物监测方案和监测系统设计遵循的主要原则包括：

- 满足国家标准法规提出的流出物监测管理要求；
- 对于所有可能产生放射性排放的途径，均应设置合理的监测手段。取样点的设置和取样系统的设计应确保监测结果能代表实际的排放；
- 对于分批排放，排放前取样分析；
- 对于具有事故后监测功能的仪表需考虑冗余监测；
- 根据国家标准规定的年排放总量限值和排放浓度上限值，制定合理的排放量控制值和仪表的报警阈值；
- 流出物监测和取样系统的设计中将考虑地方环保部门的监督性检查和测量。

8.1.1.4 气载放射性流出物监测

对核电厂气载放射性流出物的排放监测和控制是防治环境污染措施的重要组成部分。本工程采用华龙一号三代核电技术方案，均为单堆布置，两台机组气载放射性流出物监测系统均相同，各核岛反应堆厂房、燃料厂房、核辅助厂房等的放射性排放经过滤后汇总到各自核岛烟囱集中排放。气载放射性流出物监测集中对核岛烟囱排放的气体进行监测，并对烟囱排气进行取样测量。

（1）气载流出物连续监测

1）惰性气体连续监测

烟囱排气低量程惰性气体放射性浓度监测通道在正常运行与预期运行事件条件下，监测烟囱排放流出物中惰性气体的放射性浓度及单位时间内排放的放射性总活度。监测方法是从烟囱排放管中抽取气体依次经过气溶胶过滤、碘吸附后，将过滤后的气体送往惰性气体测量装置，使用探测器测量惰性气体的放射性浓度。测量烟囱内气体的排放速率，结合惰性气体的放射性浓度得出单位时间内惰性气体排放总活度（Bq/h）。

2）气溶胶连续监测

烟囱排气气溶胶放射性浓度监测通道在正常运行与预期运行事件条件下，监测烟囱排气中气溶胶的放射性浓度及单位时间内排放的放射性总活度。监测方法是从烟囱排放管中抽取气体送往气溶胶测量装置，气体中的气溶胶被过滤在滤纸上，设置在滤纸上方的探测器测量沉积在滤纸上的气溶胶放射性浓度。测量烟囱排放气体的速率，结合气溶胶的浓度得出单位时间内气溶胶排放的总活度（Bq/h）。

3）碘连续监测

烟囱气态流出物中碘放射性浓度连续监测通道在正常运行与预期运行事件条件下，监测烟囱排放流出物中碘的放射性浓度及单位时间内排放的放射性总活度。监测方法是从烟囱排放管中抽取气体经过气溶胶过滤后送往碘测量装置，气体中的碘被活性炭吸附，设置在活性炭盒上方的探测器测量在碘盒中放射性碘的放射性浓度。测量烟囱排放气体的速率并结合碘的放射性浓度得出单位时间内放射性碘排放的总活度（Bq/h）。

4）事故惰性气体连续在线监测

事故及事故后烟囱排气惰性气体监测通道采用管内在线监测方式，使用 γ 灵敏探测

器。

（2）气载流出物取样测量

1）气溶胶取样监测

烟囱排气气溶胶取样装置从烟囱排放管内抽取气体，将取样气体中的气溶胶过滤在取样装置内。取样方法是连续从烟囱排放管内抽取空气并将取样空气送往气溶胶取样装置。空气中的气溶胶被取样装置的滤纸过滤并沉积在滤纸上，定期送流出物分析实验室进行分析。

2）碘取样监测

烟囱排放流出物碘取样装置从烟囱排放管内抽取气体，将取样气体中的放射性碘吸附在碘盒内。取样方法是连续从烟囱排放管内抽取空气并将取样空气中的气溶胶过滤后，再将空气送往碘吸附器，空气中的碘被吸附并沉积在活性炭的碘盒内，定期送流出物分析实验室进行分析。

3） ^3H 、 ^{14}C 取样监测

烟囱排放流出物中 ^3H 取样装置和 ^{14}C 取样装置从烟囱排放管内抽取气体，将取样气体中的 ^3H 和 ^{14}C 滞留在取样装置内。取样方法是连续从烟囱排放管内抽取空气，利用 ^3H 和 ^{14}C 取样装置自带的过滤器将取样气体中的气溶胶与碘过滤后，再将过滤后气体依次送往 ^3H 和 ^{14}C 取样装置。空气中的 ^3H 和 ^{14}C 分别被滞留在 ^3H 取样瓶与 ^{14}C 取样瓶内，定期送流出物分析实验室进行分析。

4）惰性气体取样监测

烟囱排放流出物预留惰性气体取样接口，拟采用 3L 气体采样钢瓶进行采样，定期送流出物分析实验室进行分析。

本项目的气载流出物监测的项目、频次、探测限等方案应满足《核电厂流出物放射性自行监测管理要求》（国核安发〔2025〕120 号）。

（3）取样代表性

山东石岛湾核电站扩建二期工程采用华龙一号技术方案，每台机组设有两套气载放射性流出物监测系统（冗余设计，互为备用），对烟囱排放的气载放射性流出物进行连续在线监测和采样，取样系统的设计满足 ANSI N13.1-2011。

8.1.1.5 液态放射性流出物监测

华龙一号机组放射性废液主要来自废液处理系统、放射性废水回收系统、蒸汽发生器排污系统蒸汽发生器排污液、常规岛废液收集系统等，废液经处理后分别汇总到核岛废液排放系统及常规岛废液排放系统的贮罐中作为液态放射性流出物集中排放。液体放射性流出物监测包括排放前的取样测量和排放过程中的在线监测。

（1）液态流出物连续在线监测

1）核岛液态流出物连续在线监测

核岛废液排出流放射性浓度监测道在正常运行与预期运行事件条件下，监测核岛废液排放系统（TER）排放废液的放射性浓度。使用 γ 灵敏探测器连续测量 TER 系统排放管道内的废液放射性浓度（ Bq/m^3 ）。探测器需采用 4π 铅屏蔽，屏蔽环境本底对测量结果的影响。

2）常规岛流出物连续在线监测

常规岛废液排出流放射性浓度监测道在正常运行与预期运行事件条件下，监测常规岛废液排放系统（SEL）排放废液的放射性浓度。使用 γ 灵敏探测器连续测量 TER 系统排放管道内的废液放射性浓度（ Bq/m^3 ）。探测器采用 4π 铅屏蔽，屏蔽环境本底对测量结果的影响。

（2）液态流出物取样测量

在 TER 系统和 SEL 系统的贮存罐上预留有废液取样接口，废液在排放前需由工作人员手动取样，将废液样品送往流出物实验室进行测量，废液达到相应的放射性控制要求后，才能排放。

建议本项目的液态流出物监测的项目、频次、探测限等方案应满足《核电厂流出物放射性自行监测管理要求》（国核安发〔2025〕120 号）。

（3）取样代表性

在每台废液排放泵出口管线上设有就地取样点，在排放前通过取样对液态流出物进行分析。在取样前将开启废液排放泵对废液贮存槽内废液进行循环混匀。为确保混匀效率，每台废液贮存槽底部循环管线上配置喷射器，在调试期间对喷射器效率将进行验证。取样前先开启取样阀将取样管线内原有的废液排出再进行取样，确保取得废液贮存槽内混匀后的样品。通过以上措施确保液态流出物取样具有代表性。

8.1.1.6 流出物监督性监测

为了满足地方环保部门进行监督性监测，本工程将采取一系列措施，以满足地方环保部门进行流出物监督性监测。这些措施主要包括：

- 流出物在线监测数据传输至环保部门指定地点；
- 经常保持与地方环保部门联系，接受地方环保部门的监督与指导；
- 积极配合地方环保部门进行流出物监督性监测工作，并为地方环保部门定期取样提供方便。

8.1.2 辐射环境监测

8.1.2.1 监测依据

石岛湾核电站扩建二期工程为石岛湾核电基地后续建设工程，根据国家对多堆厂址核电厂“统一考虑环境监测”的要求，营运单位应统一环境监测方案，由统一的监测机构进行常规环境辐射监测。因此，本工程运行后的环境监测方案应在已有监测方案的基础上，结合石岛湾核电站扩建二期工程“三关键”来制定。

目前，石岛湾核电基地已建立了一套能够覆盖整个厂址区域的环境监测设施，并且制定了详细的辐射环境监测大纲，按照监测大纲进行日常的环境监测。本节简要概述石岛湾核电基地目前已有运行期间环境监测内容、统一规划建设的环境监测系统。在此基础上，针对本工程，提出了现有环境监测方案的调整设想。

运行期间环境监测依据的主要标准规范有：

- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；
- 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025）；
- 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；
- 《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）；
- 《流域水污染物综合排放标准 第5部分：半岛流域》（DB37 3416.5-2025）；
- 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；
- 《环境辐射监测中生物采样的基本规定》（EJ 527-90）；
- 《福岛核事故后核电厂改进行动通用技术要求（试行）》（国核安发〔2012〕98号文）；

- 《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设规范（试行）》（环发〔2012〕16号文件）。

8.1.2.2 监测目的

运行期间环境监测的目的为：

- 通过监测核电厂周围海水、地表水、地下水、大气、土壤、沉积物、陆生及水生动、植物等介质中的放射性活度，评估电厂的运行对海洋环境、大气环境和陆地环境的影响；
- 评估与验证电厂放射性流出物排放控制的有效性；
- 评估由于电厂放射性排放使公众实际或可能受到的辐射影响；
- 监测和评估电厂周围环境放射性水平的变化趋势；
- 对电厂流出物在环境中的传输和扩散情况进行评估；
- 鉴别由其他来源引起的污染；
- 对发现的异常情况进行分析，通过监测、评估数据及信息的反馈，改进电厂排放控制，保证核电环境保护的持续改进。

8.1.2.3 监测范围及布点

依据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025）的要求，核电厂在进行常规环境辐射监测时，应与运行前的辐射环境本底调查工作相衔接，充分利用运行前环境调查所获得的资料。

基地环境 γ 辐射水平的调查范围半径一般取 20km，陆地其余项目的调查范围半径一般取 10km。

环境监测布点综合考虑：关键人群居住地区，最大风频下风向区域，与本底调查中取样点、样品种类等的一致性，周边海域水域潮汐特点，取样点地理位置的特点，核电厂放射性流出物的排放方式及特点，采样品种的代表性，陆生及水生生物的生长周期，电厂排放渠的具体条件等。

8.1.2.4 石岛湾核电基地现有环境监测方案

基地运行期间的辐射环境监测项目包括大气放射性监测、陆地放射性监测和海洋

放射性监测三部分组成，监测对象包括环境 γ 辐射、空气、水、土壤、沉积物、陆生及水生动物、植物。现有监测方案基本满足基地辐射环境监测需求。

（1）环境 γ 辐射

γ 辐射固定点连续监测：基地监测点包括高温气冷堆核电辐射环境监测系统监测站和国和一号示范电站辐射环境监测系统。高温气冷堆厂内 3 个：1#（核岛北部）、2#（核岛西部）、3#（厂前区），厂外 5 个：4#（东钱家）、5#（宁津九中）、6#（东墩村）、7#（镆铘岛）、8#（荣成生活区石核馨园）。国和一号厂内 3 个：AS01（三废区）、AS02（综合楼）、AS03（氢气升压站），厂外 3 个：BS01（渠隔村）、BS02（厂区西南边界）、BS03（南泊村）。固定监测点除用于环境 γ 辐射剂量率连续监测外，同时兼容气溶胶、气碘、空气中 ^3H 、 ^{14}C 以及沉降物、雨水等环境样品的取样。

γ 辐射剂量率瞬时监测：野外就地测量的对象是开阔的路面与田野，按 22.5° 方位角，近密远疏原则布点，同时兼顾地理、地形、居民分布、交通、土地利用等因素。总监测点位数 75 个，监测周期：每季。

γ 辐射累积剂量测量：采用热释光剂量计，放置在有代表性的不受附近建筑物影响的空旷地区，总监测点位数 30 个，监测周期：每季。

（2）空气及沉降物

大气监测包括空气中气溶胶、空气 ^{131}I 、空气 ^3H 、空气 ^{14}C 、沉降灰、降水，布点考虑厂区边界，烟羽最大浓度落点及 10km 范围居民区。

气溶胶： γ 能谱，频度 1 次/周。采样点位 1 个（4#）。

气溶胶：总 α 、总 β 、 γ 能谱，频度 1 次/月。采样点位 8 个（1#、2#、4#、5#、7#、8#、AS03、BS02）。

气溶胶： ^{90}Sr ，频度 1 次/年，季度/年度混合样。采样点位 8 个（1#、2#、4#、5#、7#、8#、AS03、BS02）。

空气 ^{131}I ： ^{131}I ，频度 1 次/月。采样点位 8 个（1#、2#、4#、5#、7#、8#、AS03、BS02）。

空气 ^3H ： ^3H （HTO），频度 1 次/周。采样点位 1 个（4#）。

空气 ^3H ： ^3H （HTO），频度 1 次/月。采样点位 8 个（4#、5#、6#、7#、8#、AS01、AS03、BS02）。

空气 ^{14}C ： ^{14}C ，频度 1 次/月。采样点位 8 个（4#、5#、6#、7#、8#、AS01、AS03、

BS02)。

沉降物：总 β 、 γ 能谱，频度 1 次/季。采样点位 8 个（1#、2#、4#、5#、7#、8#、AS03、BS02）。

沉降物： ^{90}Sr ，频度 1 次/年或 1 次/季度，混合样。采样点位 8 个（1#、2#、4#、5#、7#、8#、AS03、BS02）。

降水： γ 能谱、 ^3H ，降雨期取样，频度 1 次/季。取样点位 8 个（1#、2#、4#、5#、7#、8#、AS03、BS02）

（3）陆地水和底泥

陆地水包括地表水、饮用水和地下水。

地表水：总 β 、 γ 能谱、 ^3H 、 ^{14}C ，频度为平水期和枯水期各 1 次。采样点位 3 个（南夏家水库、八河水库、后龙河水库）。

地表水： ^{90}Sr ，频度为平水期和枯水期各 1 次。采样点位 1 个（南夏家水库）。

地表水沉积物： ^{90}Sr 、 γ 能谱，频度 1 次/年。采样点位 3 个（与地表水相同，为南夏家水库、八河水库、后龙河水库）。

地表水沉积物： $^{239+240}\text{Pu}$ ，频度 1 次/年。采样点位 2 个（南夏家水库、八河水库）。

地下水： ^3H 、 ^{90}Sr 、 γ 能谱，频度为平水期和枯水期各 1 次。厂外监测井取样点位 2 个（东钱家村、后海崖）。

地下水： ^{14}C ，频度为平水期和枯水期各 1 次。厂外监测井取样点位 1 个（东钱家村）。

地下水： ^3H ，频度 1 次/月（抽测）。公司厂区内监测井采样点位 2 个，国核压水堆厂区内监测井采样点位 8 个，位于相应机组所在的水文地质单元上下游。厂区内地下水首先测量 ^3H ，若发现 ^3H 测量结果异常升高，则另外补充进行 γ 能谱分析。

地下水： ^{90}Sr 、 γ 能谱，频度 1 次/半年。公司厂区内监测井采样点位 2 个，国核压水堆厂区内监测井采样点位 8 个。

饮用水：总 α 、总 β 、 ^3H 、 γ 能谱，频度 1 次/季，取样点位 2 个（东钱家村、后海崖）。

饮用水： ^{90}Sr 、 ^{14}C ，频度为平水期和枯水期各 1 次，取样点位 1 个（东钱家村）。

（4）土壤

土壤样品的测量能指示长期污染趋势，对事故后的评价以及环境质量趋势分析尤

为重要，监测项目包括 ^{90}Sr 、 γ 能谱、 $^{239+240}\text{Pu}$ ，频度为 1 次/年。取样点 12 个，设置在所东张家村、宁津街道、东墩村、后海崖村、东楮岛村、东南海村、东山街道、斥山街道、寻山街道、大疃镇、马栏耩村、成山镇。

（5）陆生生物

小麦： ^3H （TFWT）、 ^3H （OBT）、 ^{14}C 、 γ 能谱，收获季节取样，频度 1 次/年。采样点位 2 个（东山街道龙山前村、东钱家村）。

在此基础上选取东钱家的小麦，监测 ^{90}Sr ，收获季节取样，频度 1 次/年；王家庄村的小麦监测 ^3H （OBT），收获季节取样，频度为 1 次/年。

玉米： ^{14}C 、 γ 能谱，收获季节取样，频度 1 次/年，采样点位 3 个（宁津街道于家村、东山街道谭村林家村、成山镇）。

白菜： ^3H （OBT）、 γ 能谱，收获季节取样，频度 1 次/年。采样点位 2 个（东山街道谭村林家村、宁津街道马栏耩村）。

豆角： γ 能谱，收获季节取样，频度 1 次/年。采样点位 1 个（宁津街道于家村）。

苹果： ^3H （TFWT）、 ^3H （OBT）、 ^{14}C 、 γ 能谱，收获季节取样，频度 1 次/年。采样点位 2 个（宁津街道、崂山街道宁家村）。

自选蔬菜：根据实际情况选取村民产量较为充足的蔬菜监测项目为 ^3H （TFWT）、 ^3H （OBT）、 ^{14}C 、 γ 能谱，收获季节取样，频度为 1 次/年，采样点位 1 个（东钱家村）。

猪肉： ^3H （TFWT）、 ^3H （OBT）、 ^{14}C 、 γ 能谱，频度 1 次/年。采样点位 2 个（东钱家、宁津街道）。

猪肉： ^{90}Sr ，频度 1 次/年。采样点位 1 个（东钱家）。

鸡肉： γ 能谱，频度 1 次/年。采样点位 1 个（宁津街道于家村）。

牛奶： ^{131}I ，频度 1 次/季度。采样点位 2 个（厂址周边牧场，对照点）。

淡水鱼：鲢鱼，采样点均设置在八河水库。监测项目包括 γ 能谱，频度为 1 次/年。

（6）海洋生物

海洋生物样品采样点选在厂址排放口附近海域及厂址附近进行渔业生产的养殖场或放养场，采集鱼类、贝类、甲壳类和藻类，优先采集近海养殖的海洋生物。

鱼类：马鲛鱼（当地称“鲅鱼”）、海杂鱼（首选鲷鱼）、梭鱼。

贝类：紫贻贝（当地称“海虹”）、花蛤（当地称“蚬子”）。

甲壳类：虾（首选白对虾）、螃蟹。

藻类：首选海带。

马鲛鱼： ^{14}C 、 γ 能谱（包括 ^{131}I ），频度 1 次/年。采样点位 2 个（泓运码头附近海域、东楮岛渔港附近海域）。

海杂鱼： γ 能谱（包括 ^{131}I ），频度 1 次/年。采样点位 2 个（泓运码头附近海域、东楮岛渔港附近海域）。

梭鱼： γ 能谱（包括 ^{131}I ），频度 1 次/年。采样点位 1 个（泓运码头附近海域）。

紫贻贝： γ 能谱（包括 ^{131}I ），频度 1 次/年。采样点位 1 个（泓运码头附近海域）。

花蛤： γ 能谱（包括 ^{131}I ），频度 1 次/年。采样点位 1 个（宁津街道林家流村附近海域）。

虾： γ 能谱（包括 ^{131}I ），频度 1 次/年。采样点位 2 个（泓运码头附近海域、宁津街道止马滩村）。

螃蟹： γ 能谱（包括 ^{131}I ），频度 1 次/年。采样点位 2 个（泓运码头附近海域、东楮岛渔港附近海域）。

藻类： ^3H （TFWT）、 ^3H （OBT）、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 γ 能谱（包括 ^{131}I ），频度 1 次/年，收获季取样。采样点位 2 个（宁津街道东楮岛村附近海域、宁津街道宁津养殖二场附近海域）。

（7）海水及海洋沉积物

海底沉积物： ^{90}Sr 、 γ 能谱，频度 1 次/年。与海水监测点位相同，采样点位 8 个。 $^{239+240}\text{Pu}$ ，频度 1 次/年，采样点位 1 个（排水口）。

潮间带土： ^{90}Sr 、 γ 能谱，频度 1 次/年。采样点位 2 个（东墩村、固山基地）。

（8）指示生物

陆地指示生物：松针，富集铯同位素。

松针： ^3H （TFWT）、 ^3H （OBT）、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 γ 能谱（包括 ^{131}I ），收获季取样，频度 1 次/年，采样点位 2 个（宁津街道马栏耩林场、施工生活区）。

海洋指示生物：牡蛎（当地称“海蛎子”），富集 ^{60}Co 、 ^{58}Co 、 ^{54}Mn 等核素。

牡蛎： ^3H （TFWT）、 ^3H （OBT）、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 γ 能谱（包括 ^{131}I ），频度 1 次/年，收获季取样。采样点位 1 个（泓运码头附近海域）。

牡蛎： ^3H （OBT），频度 1 次/年，收获季取样。采样点位 1 个（俚岛附近海域）。

8.1.2.5 辐射环境监测方案调整设想

（1）监测内容调整原则

- 根据扩建二期工程机组评价结果和“三关键”变化情况对监测点位、监测内容进行调整；
- 根据扩建二期工程机组位置和机组建设对地下水的影响增加和调整地下水监测点位；
- 如有变化，根据法规标准要求调整监测内容。

（2）监测设施调整设想

将结合厂址扩建工程建设情况，综合考虑厂址大气扩散情况，在场外烟羽最大浓度落地点新增环境辐射监测子站，开展该点位空气中氡和 C-14、气溶胶、沉降物等样品的采集工作。根据扩建二期工程机组运行期间环境监测的经验反馈及监测技术进步、厂址周围可能的环境变化，进行调整优化。

8.1.3 应急监测

目前石岛湾核电基地已制定了应急监测方案。现有应急监测组织、仪器设备和设施基本能够满足石岛湾核电基地的应急环境监测要求，本小节简要概述现有的应急监测方案。将在下个阶段将根据扩建二期工程事故分析结果判断现有应急监测方案是否需要进行调整。

8.1.3.1 石岛湾核电基地现有应急监测方案

（1）厂区监测

厂区监测主要监测内容为：

- a) 近地表上部 γ 剂量率（连续测量和即时测量）；
 - 厂区固定监测站连续测量
 - 便携式仪表即时测量
- b) 地表 α 、 β 污染水平；
- c) 空气中放射性污染水平。

（2）外环境监测

在事故早期，主要监测内容为：

- a) 近地表上部 γ 剂量率：固定监测站连续测量、便携式仪表即时测量；
- b) 地表 α 、 β 污染水平；
- c) 空气中放射性污染浓度（主要测放射性气溶胶和碘）；
- d) 热释光剂量计（TLD）测量累积剂量；
- e) 车载移动 γ 谱仪分析测量核素组成（视可能和需要）；
- f) 海水中放射性污染物浓度（视可能和需要）。

8.1.3.2 应急监测设施及资源配备

（1）监测队伍

在安全防护组（GSP）组长领导下，由 GSP 辐射防护助理、环境监测助理、厂区巡测小分队、外环境巡测小分队及环境实验室人员组成。一般情况下，厂区巡测小分队一个，共 3 人（含 1 名司机），队员由辐射防护人员担当，车辆和司机由行政保卫组派遣。外环境巡测小分队一个，每队至少为 3 人（含 1 名司机），队员由环境监测人员担当。

（2）监测设施

1) 厂区辐射和气象监测系统（KRS）

厂区辐射和气象监测系统由 17 个固定监测站组成，厂内、厂外各设有 8 个和 9 个监测站。对核电厂周围 10km 范围大气环境中的 γ 辐射水平进行连续监测，其中部分站还配有气溶胶、碘、空气氡、空气碳和干湿沉降取样设备。

2) 应急环境监测车及便携式仪器

环境监测车设备由环境监测车车体、车载 γ 辐射监测仪、便携式 LaBr₃ 多道 γ 谱仪、便携式 γ 剂量率仪、便携式表面 α/β 污染测量仪、便携式气溶胶和碘取样装置、气象观测设备、车载计算机（含车载电子地图）以及 GPS 导航系统、车载通信装置、供电设备、工作人员防护装备、应急医药箱以及消防用品等组成。

3) 临时组网系统

临时组网系统是用于 KRS 系统不可用时的备用系统，应急情况下能够快速取出投放到监测点使用。临时组网系统包括 3 个移动式环境 γ 辐射监测仪，配备通讯组网模块。

8.1.3.3 应急监测的准备

为及时有效地进行巡测，必须按下述要求在巡测出发前完成必要的快速准备工作。

（1）对巡测小分队出发前的指令

已启动的 GSP 组长，应根据已获知的有关事故和环境状况的信息，对厂区和厂外环境监测人员发布简短指示。指示主要内容应包括：

- 1) 事故的简略情况；
- 2) 事故的可能辐射后果，如根据风向推测的烟羽走向，监测中可能遇到的照射水平和污染水平等；
- 3) 职责分工（包括厂区及外环境巡测小分队的数目及其负责人，与参加监测行动的其它组织之间的配合和协调等）和任务要求（包括具体的巡测路线、可能需要增加的特殊取样和监测任务）；
- 4) 巡测开始时间。

（2）巡测小分队出发前的快速检查

厂区和外环境巡测小分队在出发前必须按要求对主要设备和物资检查清单做一次快速检查并必要记录。检查和记录内容包括：

- 1) 所有仪器设备是否到位和切实可用；
- 2) 记录测量仪器的本底读数；
- 3) 电子个人直读剂量计读数清零，检查报警阈设置；
- 4) 指令中需要完成的某些特殊监测或取样所需的设备；
- 5) 检查是否携带足够数量的碘片。

（3）出发地点及车辆

厂区巡测小分队的出发地点为应急指挥中心，巡测车辆由行政保卫组根据安全防护组的要求派遣（一般在厂房应急的时候就要到应急指挥中心门口待命），并由经过辐射防护和应急专项培训的司机驾驶；环境监测小分队的巡测出发地点亦为应急指挥中心，巡测车辆为环境应急监测车，必要时还需一台取样车。

8.1.3.4 应急辐射监测人员的启动

当收到进入应急状态手机短信，或听到进入应急状态的广播通知或警笛报警时，当时在现场的当周 ON-CALL 的安全防护组成员，必须在接到应急通知或警报后 30 分

钟之内启动到岗；如果当时不在现场，必须在接到应急通知或警报后 70 分钟之内启动到岗。

8.1.3.5 应急辐射监测人员的行动

（1）事故早期应急监测

事故早期的主要任务是尽可能多地获得烟羽特征（输运方向、高度、放射性水平以及随时间和空间的变化）。主要监测项目包括 γ 剂量率监测、空气取样监测、固定点取样以及巡测等。

1）环境 γ 辐射剂量计的实时自动监测

在应急响应期间，固定站环境 γ 辐射剂量计自动监测并实时地获取、储存整个应急响应期间的环境 γ 辐射剂量率。应急指挥中心的环境监测助理密切注意各固定点的 γ 辐射剂量率监测数据及其变化趋势，适时或定时（一般应每 30 分钟提交一次）将其整理打印出来，提交应急指挥部。当发现 γ 剂量率达到或超过相应水平时，应立即向 GSP 组长报告并提供准确的数据表格和分析结果。

2）固定站采集样品和 TLD 的应急辐射监测

对于固定站样品（气溶胶累积样品、气载碘累积样品、大气沉降灰物累积样品）的采集和 TLD 的取放，环境监测小分队一般应在持续释放结束后及时取回样品和 TLD 送环境实验室测量。在取回样品和 TLD 的同时应立即安放新的样品盒和 TLD。

3）应急巡测

— 厂区巡测

考虑主导风向、人员分布等因素，选取 6 个厂内巡测点。

巡测内容主要为环境 γ 剂量率和地表放射性物质污染水平。厂区巡测一般应在厂区应急状态时实施，但也可能在厂房应急时就对受到影响的厂房附近开展巡测；具体启动时间由安全防护组组长或辐射防护助理根据实际情况下达。

— 环境巡测

厂外巡测一般应在厂区应急状态时实施，具体启动时间由环境监测助理下达。

一共有 4 条陆上巡测路线。实际巡测时，应考虑地形、交通、气象、常规监测点等因素，选择 4 条路线中处在下风向一侧的一条或两条作为巡测路线，然后视情况按指令变更巡测路线。

巡测内容主要为环境 γ 剂量率和地表放射性物质污染水平。这两项巡测在半径 5km 范围内一般应在巡测路线上每 500m 作为一个测点，在半径 5—10km 范围内应在巡测路线上每 1000m 作为一个测点。

整个外环境巡测期间，巡测小分队除了完成上述监测任务外，还要依据环境监测助理的指令，采集指定测点的土壤、水或其它环境样品。

环境巡测小分队要把测量每个点的数据实时地向环境监测助理汇报，由环境监测助理分析所测的数据并向安全防护组组长汇报环境辐射情况。

4) 环境实验室监测人员的任务

环境实验室人员在应急辐射监测中承担多种任务。环境实验室既是实验分析和巡测支持中心，又是固定监测站监测信息分析与保存的中心。环境实验室人员在应急响应期间的主要任务有：

- 根据指令要求，为派出巡测小分队提供技术支援和咨询；
- 做好所有环境介质样品和 TLD 的实验室分析和测量；
- 按规定进行样品的保存。

5) 海上监测

若事故电站下风向是海上，需要开展海上监测时，实施应急监测任务。在进行海上监测前，监测人员应从个人防护用品、取样装置、便携式仪器等方面做好准备。

监测范围：以厂址排水口为中心半径 1km、3km、5km 与 6 个方位角形成的扇形海域范围内选点。

监测内容：在无液态途径释放时，主要监测海域空气 γ 剂量率水平，必要时进行海水取样。一旦有废液释放，则需要对海域海水进行取样，必要时需取海底泥、海生物等样品。

（2）事故中、后期监测

1) 事故中期环境监测

事故中期主要对地面沉积外照射、吸入再悬浮核素内照射和食入被污染饮水的内照射等重要照射途径的监测。监测项目主要包括：

- 空气介质放射性活度，取气溶胶、沉降物及空气放射性碘同位素，分析包括 ^{90}Sr 、 ^{131}I 、 ^{133}I 及其它 γ 核素活度；
- 地面沉积引起的辐射剂量率和地表污染水平，测量就地 γ 剂量率和 TLD 累积剂

量；取陆地表层土样，分析 γ 能谱和 ^{90}Sr 核素单位面积沉积量；

— 水体（饮用水）的污染水平，分析 ^{90}Sr 、 γ 核素活度浓度。

事故中期的监测范围主要是烟羽所致地面沉降的区域，同时应向食入应急计划区扩展。

2) 事故后期环境监测

事故后期重点是对食入危害途径的监测，主要监测项目包括外照射剂量、表面污染水平、空气污染、其它环境介质中放射性测量，重点关注 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 等长寿命核素，即：

- 空气介质放射性活度，取气溶胶、沉降物及空气放射性碘同位素，分析包括 ^{90}Sr 、 ^{131}I 、 ^{133}I 及其它 γ 核素活度；
 - 地面沉积引起的辐射剂量率和地表污染水平，测量就地 γ 剂量率和 TLD 累积剂量；取陆地表层土样，分析 γ 核素和 ^{90}Sr 核素单位面积沉积量；
 - 水体（饮用水）的污染水平，分析 ^{90}Sr 、 γ 核素活度浓度；
 - 粮食作物、蔬菜、水果及其它农作物，分析 ^{90}Sr 、 γ 能谱；
 - 与食物链有关的陆地和水生动物，分析 ^{90}Sr 、 γ 能谱；
 - 水体（饮用水、海水）及其底泥，分析 ^{90}Sr 、 γ 能谱，水样还包括 ^3H 核素分析。
- 事故后期监测应包括中期监测规定的监测项目，并恢复到常规监测。

8.1.3.6 严重事故情况下应急监测的考虑

在严重事故情况下，电厂可能丧失部分或全部应急监测能力，此时需要采取以下措施。

(1) 其它核电厂的应急监测支援

山东石岛湾核电站与周围其它核电厂签订了应急支援协议，协议内容包括人员支持、监测车辆支持、监测设备和物资支持、样品分析支持，并可根据山东石岛湾核电站的支援请求提供相应支援，以保证山东石岛湾核电站能够完成相应的应急监测任务。

(2) 请求厂外监测支援

当后果评价或测量结果表明需要请求厂外航测、海上或陆上监测支援时，由安全防护组长向应急总指挥提出建议。经应急总指挥批准，按规定渠道提请支援。

8.2 其他监测

8.2.1 热影响监测

8.2.2 化学污染物和生活污水监测

8.2 其它监测

8.2.1 热影响监测

8.2.1.1 海域温度场原型观测

华能石岛湾核电开发有限公司于2022年7~8月委托开展了工程海域本底温度场原型观测。主要工作内容如下：

（1）温度场遥感观测：针对夏季大、中、小潮，开展航空遥感海面温度场测量，结合同期海面温度场实测数据进行校验分析，提供夏季大、中、小潮的涨急、涨憩、落急、落憩12个特征潮态的海面温度场分布。收集同期（夏季）工程海域大范围卫星遥感资料。

（2）海面水温、潮位和潮流同步观测：针对上述夏季大、中、小潮的涨急、涨憩、落急、落憩共12个特征潮态，开展与航空遥感温度场观测同步（准同步）的表层水温走航测量及定点垂向水温测量；在工程海域特征位置开展固定站（如排水口、养参池、取水口以及褚岛、镆铎岛、黑石岛附近水域等特征位置）连续测温；设置1个厂址临时潮位站开展连续半个月的潮位观测，观测时段覆盖夏季温度场原型观测的大潮、中潮与小潮这三个潮型。在取排水海域设置测流站（3个）进行夏季大、中、小潮固定点潮流流速、流向、温度与盐度（表面和垂向）同步观测。

8.2.1.2 运营期热影响监测

本工程运行期间在海水热影响监测方面将开展下述监测工作：

（1）在电站取水口及排放口定期开展海水温度监测，监测频度与该处其它非放监测项目相同。

（2）本工程运行后将结合厂址其他机组建设情况适时开展遥感或大面测量，以监测核电厂温排水热污染影响。

8.2.2 化学污染物和生活污水监测

（1）排放口化学污染物监测

核电厂化学污染物的监测主要针对受纳水体进行，监测项目及点位、频次为：

- 在取水口和排水口分别设点，监测项目为：油类、铁、硫酸盐、镍、钠、阴离子洗涤剂，监测频次为每季；

- 一 在取水口和排水口设点，监测项目为：溶解氧、六价铬、总铬、余氯、电导率、pH 值、联氨、氨氮，监测频次为每月。

（2）生活污水监测

扩建二期工程施工及运行期生活污水经管网收集到生活污水处理站（BEW）进行处理。BEW 由扩建一、二期工程共用。BEW 出水水质监测执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）要求，BEW 出水设置了在线监测设备，能够监测 pH、COD 等主要水质指标；取样监测项目包括悬浮物、色度、五日生化需氧量、动植物油、石油类、阴离子表面活性剂、粪大肠菌群数，取样监测频次：每季度。

8.3 监测设施

8.3.1 流出物实验室

8.3.2 环境监测设施

8.3.3 监督性监测系统

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气态和液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载流出物的放射性水平，保证向环境的受控排放，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。

8.3.2 环境监测设施

8.3.2.1 核电厂环境监测系统

（1）点位分布

目前，基地已建设环境监测系统，包括厂区周围连续监测站以及相应的服务器。二期工程建成后将共用这些设施。

（2）仪器配置

1) 主服务器系统

主服务器系统设置于应急指挥中心。主要对下列数据信息进行显示、查询、打印、存档管理以及环境监测实时数据网的传送等：环境 γ 自动监测数据信息；气象监测数据信息；环境监测车所监测的数据信息。

主服务器系统由以下设备组成：环境 γ 辐射监测数据中央计算机；端口交换机；网络隔离装置；监测数据工作站；环境监测实时数据服务器；光电转换器；无线传输装置；有线传输装置；打印机；电源（含不间断电源）等。

2) 辅助服务器系统

辅助服务器系统设置于基地环境实验室。电站正常运行时，环境 γ 辐射监测数据与实时收集的核电站地区气象要素数据一起由主服务器系统传至环境监测实时数据网，进行集中处理、贮存、显示、网络传输、查询和网上发布，并定期上传至上级部门和地方环保部门。

辅助服务器系统由以下设备组成：环境监测实时数据服务器；端口交换机；投影设备；打印机；电源（含不间断电源）；防火墙等。

8.3.2.2 环境监测车

目前基地已配置了 1 辆监测车和 2 辆介质采样车。

（1）环境监测车

环境监测车的配置及功能如下：

1) 设备组成及结构

环境监测车设备由环境监测车车体、车载 γ 辐射监测仪、便携式 LaBr₃ 多道 γ 谱仪、便携式 γ 剂量率仪、便携式表面 α/β 污染测量仪、便携式气溶胶和碘取样装置、气象观测设备、车载计算机（含车载电子地图）以及 GPS 导航系统、车载通信装置、供电设备、工作人员防护装备、应急医药箱以及消防用品等组成。

2) 主要功能

在核电厂正常运行情况下，环境监测车主要用于对厂区及周围区域内的环境 γ 辐射水平进行巡测，对环境介质样品的总 α 、总 β 、总 γ 放射性活度进行测量以及进行 γ 能谱分析，对各种被测对象的 α 、 β 表面污染进行测量等。在核电厂发生事故的情况下，环境监测车用作快速应急监测。

环境监测车的测量数据可以通过车载计算机进行处理，然后通过车载通信装置传输至基地以及山东石岛湾核电站的环境监测系统相关通信接口。

（2）介质采样车

核电厂将配置两台介质采样车，包括大体积介质采样车和小体积介质采样车。大体积介质采样车主要进行液体介质以及大体积固体新鲜样品的采集和运输。小体积介质采样车主要用于小体积环境样品的采集和运输，也可进行热释光元件（TLD）的布设及回收，在核电厂发生事故时，可以配置便携式仪表和其他设备参与统一的应急行动。

8.3.2.3 环境实验室

（1）位置

目前基地已建设了环境实验室，统一用于基地辐射环境监测。基地现有监测站设计基本满足本工程运行期间辐射环境监测要求。

环境实验室位于厂址（扩建一期工程 1 号机组）NW 方位约 9.5km，其选址避开了主导风向（SSW）的下风向，位于烟羽应急计划区的边界处。

（2）功能

环境实验室内的实验室主要功能为：

- 通过介质采样车对核电厂所在区域的空气、陆生生物、水生生物、食物、土壤、水、沉降灰以及核电厂的进排水等环境样品进行采样；
- 配置烘箱、电炉、马弗炉等设备，对采集的环境样品进行预处理和样品制备（干燥、碳化和灰化等）；
- 配置高纯锗 γ 谱仪、低本底 α/β 测量仪、低本底液闪计数器等仪器设备，对环境样品进行放射性物理测量；
- 配置各种仪器、化学试剂等对环境样品进行放射性化学分析；
- 配置原子吸收光谱仪、分光光度计等设备对环境样品进行非放射性测量；
- 在环境监测中央站内设置一台环境监测网的远距离显示和打印终端，用于对环境监测网服务器（位于厂区应急指挥中心）中的气象和环境数据进行显示、打印和储存。

（3）功能布局及设计

环境实验室主要设置各种实验室，主要有留样间、 γ 谱测量室、液闪测量室、总 α/β 测量室、UPS室、气瓶间、便携式仪表和防护用品存放室、热释光测量室、源室、样品预处理室、化学实验室、天平室、加标实验室、非放测量室、H-3实验室、C-14实验室等。

（4）家具设备配置

监测站的家具设备主要包括分析实验台、仪器台、通风柜、通风罩、天平台、柜子、实验桌等。

8.3.3 监督性监测系统

石岛湾核电厂址辐射环境现场监督性监测系统由核电厂外围辐射环境监测系统和流出物监测系统两部分组成。核电厂外围辐射环境监测系统包括监测子站和前沿站。流出物监测系统包括流出物在线监测系统和流出物实验室。监督性监测系统按满足厂址高温气冷堆、国和一号示范工程以及后续压水堆扩建工程共用需求规划建设，监督性监测系统在设计中充分考虑了厂址核电项目发展需要，预留后续扩建工程的相关接口。流出物在线监测系统拟共用核电厂自行实施的流出物在线连续监测仪表，再通过电厂的信息系统与独立配置的流出物在线监测数据服务器和数据传输设备，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。

目前，监督性监测系统已完成建设和调试，于 2022 年 9 月完成最终验收，已移交山东省核与辐射安全监测中心进行运行和管理。

石岛湾核电厂址环境监测站共布设了 8 个厂内站，9 个厂外站；监督性监测系统共设置 12 个监测子站。石岛湾核电基地环境监测站点布点方案和监督性监测系统布点方案满足《福岛核事故后核电厂改进行动通用技术要求（试行）》（国核安发〔2012〕98 号）中“核电厂监测站点应考虑与监督性监测系统站点互补的原则，保证核电厂周围 16 个方位的陆域原则上都布设至少 1 个自动监测站房”的要求。

8.3.3.1 辐射环境监测系统

（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核电厂周围环境中的辐射水平和变化趋势。当核电厂发生事故时，监测子站的测量数据可以为后果评价以及厂外应急决策提供信息。

基地共设 12 个子站，包括厂区边界子站（MS1）、东钱家村（MS2）、马兰耩村（MS3）、宁津街道办（MS4）、东墩村（MS5）、吕家庄（MS6）、核电厂施工生活区（MS7）、楮岛村（MS8）、东山街道办（MS9）、林家流（MS10）、耩后杨家（MS11）、前沿站（MS12）。

（2）前沿站

前沿站位于荣成市王连镇，位于石岛湾核电站 W 方位，距离石岛湾核电站 14.3km。前沿站场址占地约 17 亩，场址内设施包括前沿站实验室、流出物实验室、车库、门卫、消防水池及泵房、监测子站、标准气象观测场等。

8.3.3.2 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构成，实现对核电厂释放到环境中放射性气态、液态放射性物质进行连续在线监测和抽样监测的功能。

（1）流出物在线监测系统

流出物在线监测系统共用核电厂自行实施的流出物在线连续监测仪表，再通过核电厂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。

（2）流出物实验室

流出物实验室用于对核电厂释放到环境中的放射性气态、液态排放物进行抽样监测，并承担事故时的应急样品的分析。流出物实验室与前沿站共址，按独立设计、分散布局的原则建设。

8.4 质量保证

8.4.1 环境监测质量保证

8.4.2 流出物监测质量保证

8.4 质量保证

为了保证本工程环境监测和流出物监测设备的可靠性，确保监测数据的精确性、可比性，依据国家有关标准，运营单位制订了环境与流出物监测质量保证程序。本节主要描述运行期间环境与流出物监测质量保证的主要内容。

8.4.1 环境监测质量保证

（1）组织机构

石岛湾核电基地的辐射环境监测实施统一管理，具体由基地的环境实验室实施。环境实验室人员由国核示范电站化学环保处人员、华能山东石岛湾核电有限公司和华能石岛湾核电开发有限公司辐射防护与环境应急部人员、业务支持人员组成。环境实验室的管理由国核示范电站牵头负责，华能山东石岛湾核电有限公司和华能石岛湾核电开发有限公司协助参与，日常运维由三方共同参与。

（2）样品质量控制

采集样品时需满足相应的规范要求，符合采样规程。取样后，需及时张贴对应的样品标签，记录和标识完整、清晰。

采集样品量需满足测量的需求，包括质量控制样品和备样。质量控制样品包含平行样品、加标样品和空白样品。

只要样品可获得，应采集不少于每批次样品总数 10% 的平行双样。当同批次样品数量较少时，应适当增加平行双样的测定率。

实验室应明确规定不同类型留样的保存期，保留一定比例的留样备查。

样品运输过程中需保证包装状态良好，以免运输过程中发生破损或洒漏。

样品交接过程中应按照样品类别和放射性等级分别放置，防止交叉污染，由对应实验的工作人员负责样品交接。

当样品是指一次观测或者是一个定性或定量的观测值时，如现场监测、 γ 辐射连续测量等，需严格遵循相关标准和规范等要求。使用前需检查测量设备本身状态，必要时进行校准或核查，保证设备性能可靠。监测人员应参与现场监测全过程，如实填写测量记录。

样品在采集、运输、流转、分析、贮存等过程，需满足设施环境的质量控制要求（如环境温度、湿度等）。

保留样品质量控制中所产生的各类记录文件等。

（3）仪器设备的质量控制

实验室仪器所使用的标准物质，需为有证标准物质或经过国家计量部门检定合格。

采用与监测目标相符的测量仪器设备，定期进行检定或校准，确保仪器设备使用有效。

应制定测量仪器设备的期间核查、泊松分布检验等相关操作规程，并以此开展相应的质量控制措施。

各种计量器具需进行定期维护、期间核查和稳定性控制，使其计量学特性维持在规定限度内。

仪器部件维修后，需保存相关的仪器维修记录，如有必要，重新检定或校准，或通过其他方式进行性能检验。

分析加标样品的仪器设备或器皿等专用，应进行标记。

保留仪器设备质量控制中所产生的各类记录文件，包括不限于仪器设备校准记录表、仪器设备维护保养记录表、仪器设备期间核查记录表等。

（4）监测方法的质量控制

辐射环境监测方法的标准，应优先选用生态环境主管部门发布的环境监测专用的环境标准；没有环境标准的，使用适合的国家标准；没有国家标准的，选用适合的其他部门行业标准，或适合的国际标准。

初次使用标准方法前，应进行方法验证。包括对方法涉及的人员培训和技术能力、设施和环境条件、采样及分析仪器设备、试剂材料、标准物质、原始记录、方法性能指标等内容进行验证，并根据标准的适用范围，选取不少于一种实际样品进行测定。方法验证过程应当可追溯。

使用非标准方法前（除非标准无法获取，且行业内已推广使用，否则不建议使用非标准方法），应进行方法确认。包括对方法的适用范围、干扰和消除、试剂和材料、仪器设备、方法性能指标等内部进行确认，并根据方法的适用范围，选取不少于一种实际样品进行测定。方法确认过程应当可追溯。

（5）分析测量的质量控制

样品的预处理、分析测量方法必须有完备的程序文件，应采用标准方法或经过鉴定和验证的方法。严格遵循程序文件开展分析测量。

分析测量过程中应注意防止样品之间的交叉污染，依照监测目标对实验室进行分区使用，禁止在实验室内开展不相关、不配套的实验。

分析过程中应准确配置载体和标准溶液，并确保在有效期内使用。对于开封试剂，应设置开封标签，标明使用有效期，确保不使用过期或不合格产品。

为了评定分析测量过程中产生的不确定度以便了解测量结果的分散性，在条件许可情况下应多分析测量质量控制样品。

环境样品应当进行精密度控制，相对偏差的控制指标按照《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）等标准执行。

（6）质量控制样品分析要求

分析测量的每种质量控制样品数不低于分析测量总样品数的 10%，而且应该均匀地分布在每批样品中。若测量方法没有规定，平行样测量的相对偏差一般控制在 40% 以内，加标回收率一般应在 80%~120%之间，参考样品测量值的 $|En|$ 值应不大于 1。

开展 ^{90}Sr 、 ^{131}I 等放化分析的环境样品（生物、土壤、沉积物、海水和牛奶）100% 作平行样分析。

开展 γ 谱核素分析的环境样品（生物、表层土、海洋沉积物、海水等）复检率 $\geq 5\%$ 。

其他监测项目需根据实验室内部质量保证计划、质量保证核查等开展相关质量控制样品的分析。

（7）数据处理质量控制

每个样品从采样、预处理、分析测量到数据处理过程需有清楚、详细、准确的记录，确保原始记录的完整性、充分性和可追溯性，安全储存必要的纸质、电子记录。

原始测量数据和监测记录，需有记录人和复核人签字确认，不能为同一人。经审查签字后，将数据和记录及时归档保存。

每年对电子计算表的计算结果进行验证和检查，确保满足数据要求后方可使用。

对于测量检出的异常值，需及时向实验负责人报告，进行核查、复测、分析原因。异常值的剔除、修正等处理原因，应予以记录，以备查询。

保留分析测量质量控制中所产生的各类记录文件，包括不限于原始记录、监测报告等。

（8）人员资格与培训的质量控制

监测人员需熟悉有关环境保护和环境监测的法规和标准。放射性分析的监测人员需掌握辐射防护基础知识和放射性环境监测技术。

监测人员应经过培训、考核合格后，授权（持证）上岗，方能正式开展实验，出具有效测量结果。

不定期通过专业技术培训、实验监督指导、内部比对、盲样分析等方式，不断提高监测人员岗位技能和专业水平，确保监测人员达到并保持与其承担的工作相适应的水平。

保留人员资格与培训中所产生的各类记录文件，包括不限于培训考勤记录、培训考核记录、授权书等。

（9）外部质量控制

尽可能参加国内外机构组织的能力验证、测量审核、实验室之间比对等活动，比较鉴别本实验室的测量误差是否在合格范围内，从中发现可能存在的系统误差，及时采取措施加以改进，确保测量的准确性。

加强信息交流，关注国际、国内有关监测标准、规范、方法和理论概念的变化，及时使用国家和行业新的监测标准和规定。

加强与地方环保部门的联系，开展技术交流、文件交流等。

必要时可向专业监测单位进行技术咨询，外部送检部分环境样品。

（10）异常数据处理

辐射环境监测活动中出现可疑数据并判断为异常数据后，按以下流程进行处理：

1) 发现异常数据后，环境实验室内部应立即对采样、制样、测量、分析等过程进行初步复核，确保数据的准确性；

2) 在确认数据无误后，环境监测专工 1 小时内就数据异常情况向公司进行逐级汇报；再次复核为异常后，各方 1 个工作日内向华东核与辐射安全监督站现场监督组、山东省核与辐射安全监测中心前沿站进行汇报；

3) 站长、副站长组织开展异常情况的分析、调查；潜在排放源的运行部门根据监测数据排查是否存在具有潜在影响的作业或异常操作；环境实验室视情况采取重新制样复检、二次采样、现场调查、前沿站验证等方式进行处理；

4) 完成异常情况的原因分析后，各方出具统一的调查报告并进行双签。报告由主要责任方上报监督管理部门。

8.4.2 流出物监测质量保证

（1）流出物排放取样及样品测量质量控制

对电厂所有流出物排放的取样和测量，应严格按相应程序规定执行。包括：

- 取回样品应及时测量，测量前，首先确认仪器处于可用状态。
- 对液态流出物样品测量，应先制备氡样、后测 pH 值和总 γ 或 γ 谱测量。
- 样品测量完毕后并检查数据无误，应及时处理，废液样品倒入指定放射性水池，禁止倒入非放射性水池。
- 测量所使用的样品盒不在不同系统中混用，避免交叉污染，并定期监测是否受到污染。
- 各系统进行 γ 谱测量的样品应保留最近的样品，作为保留样品以备复查。

（2）实验室环境质量控制

- 进入流出物实验室控制区工作，应遵守辐射防护相关规定，佩戴个人剂量计，穿白大褂、戴白色细纱手套，制样时戴乳胶手套。
- 放射性样品送到实验室后，应在控制区实验室进行样品拆包、制备等，禁止在非控制区实验室对放射性样品进行拆包和制备。
- 实验室内应有足够的通风以防止样品污染。
- 平时工作应注意保持实验室环境整洁干净，保持实验室台面的清洁，做完试验及时清理台面和处理塑料瓶、吸管等。
- 仪器使用的电源电压应稳定，重要仪器要配置不间断电源，或从不间断电源系统引电。

（3）监测设备质量控制

- 对 γ 谱仪、液闪谱仪、 α/β 测量仪等大型仪器须建立仪器档案。
- 检定与标定：仪器仪表的标定与检定按照程序要求，进行强制检定或内部标定。下次进行检定或标定的日期需在仪器检定或标定有效期内，如超过有效期，则需对此期间测量数据的有效性进行评估。仪器标定应按照相应仪器操作规程执行，仪器的检定按照检定规程执行。当仪器部件维修后，需做好仪器维修与维护记录，对于影响仪器性能的部件维修（如探头等）和导致重要参数更改（如高压等）的维护需要重新检定或标定。计量用的玻璃仪器等必须经过计量检定

合格后方可作为计量器具使用。

- 性能试验：在仪器检定或标定的有效期内，为确保仪器状态未发生较大变化和持续跟踪仪器的状态，应定期对仪器的性能参数（如本底、探测效率、能量分辨率等）进行定期性能试验，并对性能试验结果和仪器状态作出评价。用正常工作状态下的上述性能检验数据，对 γ 谱仪、低本底 α/β 测量仪、液闪谱仪等仪器的本底、效率值（ ≥ 12 个数据）等做仪器质控图，若仪器本底、效率等超过质控图的质控范围（ $X \pm 3\sigma$ ），应查明原因，及时采取措施，确保测量仪器处于正常的工作状态。

（4）外部质量控制

流出物监测的外部质量控制措施主要有：

- 尽可能参加国内外机构组织的实验室之间比对。
- 加强信息交流，关注国内外有关监测标准、规范、方法和理论概念的变化，及时使用国家和行业新的监测标准和规定。
- 加强与山东省核与辐射安全监测中心等环保部门之间的技术交流。
- 不定期地与山东省核与辐射安全监测中心流出物实验室进行样品比对。
- 采购权威机构研制的标准参考物质。
- 实验室计量器具定期由国家计量部门或其授权的计量站检定，保证量值溯源的可靠性。

第九章 利益代价分析

9.1 利益分析

9.2 代价分析

9.1 利益分析

9.1.1 运行带来的直接利益

9.1.2 建设和运行带来的间接利益

9.1 利益分析

9.1.1 运行带来的直接利益

本工程采用华龙一号技术方案。单台机组额定功率为 1200 兆瓦，装机总容量 2400 兆瓦，正常年份 2 台机组的年上网电量可达 1557 万兆瓦时。建成发电后，平均每年向国家和地方直接上缴的增值税、城市维护建设税及附加所得税数亿元。机组的设计寿命为 60 年，在其整个商业运行寿期内，将取得显著的经济效益。

9.1.2 建设和运行带来的间接利益

9.1.2.1 对周边环境的利益

核电给环境带来的间接效益主要来自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。本工程的建成可有效替代燃煤机组，大量减少 CO_2 排放量。

9.1.2.2 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。根据测算，1 元的核电建设投资，对关联产业的拉动作用如下：一是对 42 个行业门类中的 37 个行业产出的拉动作用超过 0.01 元；二是对通用、专用设备制造业等 14 个行业产出的拉动作用超过 0.1 元。本工程将促进相关产业的发展。核电生产运营也对相关产业产生较强的拉动，1 元的核电产出将拉动主要行业的产出增长为：石油加工、炼焦及核燃料业 0.11 元，农业 0.10 元，化学工业 0.08 元，金融保险业 0.08 元。据测算，本工程正常运营年份，可以带动数亿元的相关产业的发展。由此可见，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。

9.1.2.3 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税收，包括营业税、城市维护建设税及教育费附加等，项目投产后可为地方贡献每年 1 亿元左右的销售税金，以及几亿元的所得税。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。

9.1.2.4 对社会发展的利益

本工程投产后，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。

9.2 代价分析

9.2.1 直接代价

9.2.2 间接代价

9.2 代价分析

9.2.1 直接代价

9.2.1.1 电厂建设的经济代价

本工程是扩建工程，将共用大量厂区前期工程建设的设施，因此本工程的建设经济代价相对较小。

9.2.1.2 电厂运行的经济代价

本工程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

本工程的建设和运行，不仅要解决电厂职工的饮食、居住、交通和子女受教育、就业等实际问题，而且还会给当地带来一系列亟待解决的社会问题。

— 交通运输问题

核电厂的运输包括施工期间设备、建筑材料等的运输；运行期间的换料、乏燃料、固体废物运输；正常的人员进出等，其运输量非常大，不可避免增加当地的运输负担。

为解决电厂建设和运行期间的运输问题，采取水、陆两种运输方式。

— 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，这势必造成医疗、学校、商业和基础设施（如道路、供排水等市政工程和生活服务设施）的紧张局面，加重了当地政府的负担。

— 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，从而影响当地的社会秩序、安全和稳定。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。

— 对当地环境产生的影响

本工程建成运行后，会向环境释放放射性物质。为了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，核电厂设置了各种放射性废物净化和处理系统、剂量监测系统、屏蔽防

护及应急设施等。

本工程建成运行后，在发生放射性泄漏事故的情况下，会有一定量的气载放射性流出物排放，对周围环境产生影响。气载放射性流出物对核电厂周围环境产生辐射影响，并通过污染空气浸没外照射、地面沉积放射性外照射、吸入污染空气内照射和食入污染陆生动植物产品内照射对厂址周围公众产生一定的剂量影响。根据本报告对选址假想事故的评价结果，发生选址假想事故时气载放射性流出物对周围公众产生的影响满足国家有关标准。

本工程运行产生的中、低放固体废物和乏燃料作为核废料，将均按照国家规定进行严格的处置。中、低放固体废物在废物暂存库内贮存一定时间后送往中、低放固体废物处置厂进行处置。乏燃料一般经过冷却，包装后送入乏燃料暂存系统暂存，暂存达到国家有关标准要求的年限后，送往乏燃料处置厂处置。

本工程运行期间造成的海洋生物损失主要来自取水系统卷载效应和温排水扩散持续性影响所致。对渔业资源造成的损失主要包括机械碰撞、温升、余氯的毒性作用等，一般对那些通过电厂进水系统滤网装置的水生生物产生明显的伤害。核电厂冷凝系统需用大量的海水作冷却，冷却后的温水排放在附近海域中扩散，引起排水口附近水温升高，将对海洋生物产生影响。

为了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，核电厂设置了各种放射性废物净化和处理系统、剂量监测系统、屏蔽防护及应急设施等。在核电厂发生放射性泄漏事故时，营运单位将及时启动应急预案，确保核电厂对周围环境的影响尽可能降低到最小。

为达到保护环境及人身安全的目的，核电厂必须对放射性三废进行严格的治理。因此，核电厂专门设置了废液、废气和固体废物处理和贮存设施以及放射性流出物监测、环境监测和事故应急设施，尽可能降低放射性废物对公众的照射。

- 环境监测：核电厂设置环境监测系统，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，电厂环境监测设施包括：辐射监测设备、数据采集及试验仪表、气象数据采集设施和环境放射性监测设备等。
- 流出物监测：核电厂设置流出物监测系统，对电厂运行期间的气载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。

- 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。

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

10.1 核电厂建设项目

山东石岛湾核电基地位于山东省威海市所辖荣成市石岛管理区宁津街道办事处东南。山东石岛湾核电基地规划总容量为1台200兆瓦高温气冷堆机组+国和一号示范工程2台机组+山东石岛湾核电站扩建工程4台百万千瓦级压水堆机组。本工程为山东石岛湾核电站扩建4台百万千瓦级压水堆机组工程中的二期工程，建设2台机组，采用华龙一号技术方案。华能石岛湾核电开发有限公司负责核电厂的建设和运营管理。

本工程的建设与国家及区域发展规划相符，厂址周围不存在影响核电厂建设和运行的不可克服的颠覆性因素。在事故情况下对周围公众的辐射影响满足国家相关标准的要求，核电厂拟设的非居住区边界和规划限制区边界是可行的，核电厂正常运行期间的放射性物质排放对公众和周围环境的影响满足国家相关法规和标准的要求。

总体上，就核电厂对环境的影响以及环境对核电厂的影响而言，在山东石岛湾核电基地扩建本工程是可行的。

10.2 环境保护设施

本工程采用华龙一号技术方案，根据设计资料：

（1）每台机组设置一套废气处理系统（TEG），采用滞留床延时衰变的方式进行放射性废气的处理。

（2）在烟囱排放管线上设置了对废气的净化和控制装置。放射性气载流出物在排入环境前，将通过高效颗粒过滤器和碘吸附器进行净化。同时，在排放管线上设置了监测通道和相关的取样通道，在监测通道上将分别设置两级排放报警阈值，以保证对放射性气载流出物排放的有效控制。

（3）每台机组设置一套冷却剂贮存和处理系统（TEP）。该系统通过脱气、蒸发、除盐等净化设施，保持了对反应堆冷却剂良好的去污能力。

（4）每两台机组共用一套废液处理系统（TEU）。实现了对放射性废液的分类收集和处理，确保处理后排放的液态流出物浓度和总量满足国家有关标准的要求。

（5）核岛废液排放系统（TER）和常规岛废液排放系统（SEL），各自分别设计有废液贮存罐。废液采用槽式排放的方式，经取样分析合格后才予以排放。

（6）本工程放射性废树脂、废活性炭和废滤芯采用高完整性容器（HIC）工艺处理，干废物采用先初级压缩再超级压缩的二级压缩减容工艺，保证预期最终废物包体

积小于 $40\text{m}^3/(\text{堆}\cdot\text{年})$ 。

（7）为了加强对核电厂运行后辐射环境的监测，核电厂依据厂址周围的环境特征设计建设统一的厂区环境辐射与气象监测系统（KRS）。

总体而言，本工程环境保护设施的设计性能可以满足环境保护的要求。

10.3 放射性排放

国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025）规定了每座反应堆、场址所有反应堆的流出物年排放总量控制值。根据国家标准的要求，本工程将严格按照国家标准的排放控制要求进行总量控制。将本工程单台机组以及场址各类放射性流出物年排放量与GB 6249-2025相应总量控制值进行比较，结果表明各类放射性流出物的年排放量均能满足国家标准GB 6249-2025的总量控制要求。

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2025）6.5款规定，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 $3\times 10^7\text{Bq/L}$ ，碳-14的活度浓度不应超过 $3\times 10^3\text{Bq/L}$ ，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。

本工程的放射性废液经废液处理系统（TEU）处理，通过核岛废液排放系统（TER）向环境受控排放，并满足排放要求。废气处理系统（TEG）通过废气预处理、活性炭滞留、排放前连续监测确保废气排放满足要求。

10.4 辐射环境影响评价结论

（1）正常运行期间的辐射环境影响

核电厂正常运行期间造成的环境和公众辐射剂量的结果分析表明：

- 石岛湾核电厂厂址六台压水堆机组+高温堆运行状态下，放射性流出物排放对于成人组公众个人造成最大有效剂量的居民点位于厂址 N 方位 $1\sim 2\text{km}$ 子区，对该子区成人组公众个人造成的年有效剂量为 $5.52\times 10^{-6}\text{Sv}$ ，其中由气态和液态途径造成的年有效剂量分别为 $5.30\times 10^{-6}\text{Sv}$ 和 $2.23\times 10^{-7}\text{Sv}$ ；其中本工程对该子区成人组公众个人造成的年有效剂量贡献为 $5.73\times 10^{-7}\text{Sv}$ ，其中通过气态和液态途径造成的年有效剂量贡献分别为 $4.94\times 10^{-7}\text{Sv}$ 和 $7.88\times 10^{-8}\text{Sv}$ 。
- 石岛湾核电厂厂址六台压水堆机组+高温堆运行状态下，关键人群组为位于

厂址最近的 N 方位 1.38km 的东钱家渔民，放射性流出物排放对关键人群组个人造成的有效剂量为 $1.30 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ 。关键照射途径为食入陆生食品内照射，其它重要照射途径为食入海产品内照射和空气浸没外照射。关键核素为 ^{14}C ，其它重要核素为 ^3H 、 ^{137}Cs 。

- 全厂正常运行状态下，放射性流出物排放对厂址附近非人类物种造成的辐射剂量率低于 ERICA 程序推荐的 $10 \mu\text{Gy/h}$ 剂量率筛选值，因此，可以认为全厂运行状态下，放射性流出物排放不会对厂址附近的非人类物种在种群上造成明显的损伤。
- 液态放射性排放造成核素 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 ^{106}Ru 、 ^{134}Cs 和 ^{137}Cs 在排放口处海域峰值浓度分别 $8.43 \times 10^{-4} \text{Bq/L}$ 、 $2.19 \times 10^{-6} \text{Bq/L}$ 、 $6.19 \times 10^{-7} \text{Bq/L}$ 、 $1.76 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ 和 $1.78 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ ，均满足《海水水质标准》（GB 3097-1997）中相应的浓度限值要求。

本工程运行状态下，就放射性流出物的排放控制和公众所受剂量而言，可以满足国家标准的相应要求。就放射性流出物排放造成的环境辐射影响而言，对非人类物种的辐射影响有限，是可以接受的。

（2）事故工况下的辐射环境影响

- 选址假想事故发生后任意 2h 内，非居住区边界上的公众个人（成人）受照最大有效剂量为 $1.69 \times 10^{-1} \text{Sv}$ ，占国家标准限值的 67.6%；事故持续时间 30d 内，规划限制区边界上的公众个人（成人）受照最大有效剂量为 $4.18 \times 10^{-2} \text{Sv}$ ，占国家标准限值的 16.7%；
- 选址假想事故发生持续期间 30d 内，厂址半径 80km 范围内公众群体所受到的最大集体有效剂量为 $3.46 \times 10^3 \text{人} \cdot \text{Sv}$ ，占国家标准限值的 17.3%。

从选址假想事故的放射性后果分析可以看出，本工程两台华龙一号机组的专设安全设施的设计性能可靠，厂址周围各类边界的设置是合理的，选址假想事故导致的环境放射性后果满足 GB 6249-2025 的相应要求。

（3）实施应急计划的可行性

本工程半径 5km 范围内有 41 个居民点或自然村，户籍人口共计 16478 人，常住人口共计 18106 人。厂址半径 5km 范围内没有大、中型医院、监狱、大型工厂和养老院，也没有大的学校。因此，厂址半径 5km 范围内没有难以撤离的人群。

厂址周围交通网络较为发达，厂区与外围交通联系便捷，厂址周围具有良好的应急撤离、疏散和运输条件。无线通讯网络已覆盖厂址区域，不存在应急通讯的困难。从环境风险的角度，本工程的建设是可以接受的。

10.5 非辐射环境影响评价结论

（1）施工期环境影响

本工程施工期间对周围环境的影响主要是：土石方工程负挖、运输以及其他活动造成的陆域生态的影响、水土流失的影响、噪声的影响、大气环境的影响，以及施工固体废弃物对环境的影响。施工活动给环境带来的影响是局部的、短期的，并随着工程竣工而消失，施工活动对环境的影响较小。

（2）运行期间环境影响

— 散热系统运行的影响

根据本工程温排水预测结果，核电厂排放的温排水造成的温升影响满足近岸海域环境功能区划的水质温升管理要求。

通过分析散热系统运行影响与国土空间规划和生态环境分区管控方案的管控要求表明，本工程符合厂址附近海域国土空间规划、生态环境分区管控方案中近岸海域环境管控单元以及无居民海岛的相关要求。

根据温排水影响预测结果，初步预测本工程运行期间温排水造成的海水温升对浮游生物、游泳动物和底栖生物影响有限。本工程运行期间温排水的全潮最大 1℃ 温升外包络影响范围不涉及种质资源保护区。

— 其他非辐射影响

本工程投产运行后对环境的其它影响主要包括，电厂向海域排放的化学物质、海水加氯处理的余氯、排放的非放射性污水以及暂时贮存的固废，噪声和电磁对环境造成的影响。

余氯对海洋生物的安全浓度影响范围仅限于电厂排水口附近的局部海域，光照引起的余氯衰减以及核电厂附近海域较高的 pH 值均会降低余氯毒性，实际情况中，机组排放水中余氯对附近海域中海洋生物的影响有限。核电厂非放工业废水处理系统处理达标后回用或排放，不会对周围海域造成明显影响。

生活污水处理后部分用于道路喷洒及绿化，执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020），剩余部分排放执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中的一级 A 标准。生活污水不会对附近海洋环境造成明显的影响。

非放射性工业废水处理系统主要对核电站正常生产过程中的淡水类废水进行收集处理达标后回用或排放。正常运行期间产生的废水主要为经常性废水和非经常性废水。经常性废水主要来源为除盐水处理站废水中和池排水，非经常性废水主要来源为闭式冷却水系统、热水系统、辅助锅炉系统及通风系统的检修排水。经常性废水直接回用至海水淡化系统；非经常性废水经过废水收集、调质、混凝、澄清及 pH 调整可满足《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》（DB37 3416.5-2025）的一级标准，实现达标排放。因其排放量极少，在排至 CC 井与大量的温排水混合后，预计不会对排放口周围海域造成影响。

核电厂在正常运行过程中因设备的维修、零部件的损坏等会产生一定量工业固废，核电厂内人员会产生生活垃圾，在落实固废收集和处置工作后，本工程的非放射性固废对环境影响较小。

机组运行期间的噪声主要来自汽轮机厂房、循环水泵房、空气压缩机房等厂房内的汽轮机、发电机、循环水泵、送风机及引风机等设备的运转以及变压器区域的主变压器运行，类比国内同类电厂噪声预测影响范围，考虑到本工程最近居民点距离厂址较远，预计噪声对厂界和声环境保护目标的声环境影响较小。

类比国内已建成运行的核电厂厂区电磁环境监测结果，500kV 开关站及输电线路周围的工频电场和工频磁场均满足《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）中 4kV/m 和 0.1mT 的限值要求。

10.6 公众参与和调查结论

针对本项目，建设单位开展了问卷调查、座谈会以及三次环境影响评价信息公开工作。根据问卷调查及座谈会，公众提出的意见和建议主要是加强环境保护、环境监测、核安全及应急管理，环评报告书采纳相关意见和建议。三次环境影响评价信息公开期间均未收到公众意见。

10.7 承诺

（1）本工程建设单位将优化高温堆气态流出物中碘的排放量申请值至不超过 $1.308\text{E}+09\text{Bq/a}$ 或优化国和一号示范工程放射性流出物排放量申请值，确保厂址排放总量满足 GB 6249-2025 控制值要求。

（2）本工程所处山东石岛湾核电基地为一址多堆场址，涉及多家不同核电运营业主。本工程建设单位将与厂址其他业主积极沟通，协调做好流出物排放管理、环境监测、核应急等方面统一管理工作。

（3）建设单位将总结借鉴前期工程和国内同类项目建设经验，合理制定施工方案，落实相关施工环境管理措施，开展相应的施工期环境监测，实现对项目施工环境影响的有效控制。