

山东海阳核电项目 5、6 号机组工程

环境影响报告书

(选址阶段)

(公示稿)



山东核电有限公司

二〇二三年二月

目 录

第一章 概述

- 1.1 核电厂名称和建设性质
- 1.2 建设项目的规模和厂址总体规划
- 1.3 建设项目经费
- 1.4 建设目的
- 1.5 项目建设进度
- 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 环境保护设施
- 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 电厂用水和散热系统
- 4.4 输电系统
- 4.5 专设安全设施
- 4.6 放射性废物管理系统和源项
- 4.7 非放射性废物处理系统

4.8 放射性物质运输

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 施工影响的控制措施

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 其他环境影响

第七章 电厂事故的环境影响

7.1 选址假想事故

7.2 场内转运事故

7.3 其它事故

7.4 事故应急

第八章 流出物监测和环境监测

8.1 辐射监测

8.2 其他监测

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 承诺

第一章 概述

1.1 核电厂名称和建设性质

本项目所涉及的核电工程名称为“山东海阳核电项目 5、6 号机组工程”，山东海阳核电项目 5、6 号机组是在前期 1、2、3、4 号机组的基础上，扩建 2 台 CAP1000 核电机组。

山东核电有限公司为本项目的业主单位，承担项目业主责任，负责工程建设和运行管理。

1.2 建设项目的规模和厂址总体规划

山东海阳核电厂址规划容量为6台百万千瓦级核电机组和1台一体化小型堆，并预留两台百万千瓦级核电机组扩建余地。一期工程建设2台AP1000压水堆核电机组，3、4号机组工程建设2台国产化CAP1000压水堆核电机组。本期工程为5、6号机组工程，拟建设2台国产化CAP1000压水堆核电机组。

目前一期工程2台AP1000机组已先后于2018年10月22日和2019年1月9日投入商运，3、4号机组工程2台CAP1000机组的建造阶段环评已获得批复（环审[2022]87号）。

海阳核电厂在厂区布置、场地建设和取排水设施等方面兼顾全厂容量进行规划，其中电厂征地和场平工作按规划容量已经一次完成。厂区内按照“一址多堆”的核电基地规划，进行群堆管理，对电厂所有机组与环境保护相关的设施统筹安排，包括：

- 设立统一的非居住区边界和规划限制区边界；
- 整个厂区的总平面规划中功能分区明确，统一合理规划放射性区域和非放射性区域和设施；整个厂址区内建设统一的放射性中低放固体废物处理设施和暂存库；
- 针对所有机组实施统一的流出物排放管理、设置统一的环境监测中心和应急指挥中心等。

1.3 建设项目经费

本项目资金将通过项目注册资本金及融资贷款方式筹措。

1.4 建设目的

1) 满足我国能源发展战略的需要

核电是一种安全、可靠、清洁、经济的能源，由于其具备资源消耗少、环境

影响小和供应能力强等优点,已成为与火电、水电并列的世界三大电力供应支柱,在世界能源结构中有着重要的地位。在中国,加快发展核电,逐步提高核电在能源供应中的比例,已成为国家重要的能源发展战略。

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

在《中华人民共和国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》中明确提出“安全稳妥推动沿海核电建设”,可见未来沿海地区仍是核电建设重点区域。

从国家能源发展看,加快核电建设是优化能源结构的重要措施,对于满足经济和社会发展不断增长的能源需求,实现能源、经济和生态环境协调发展,具有重要意义。

2) 缓解能源供求矛盾, 促进经济可持续发展

随着“十四五”期间山东经济运行稳中向好,新旧动能转换成效逐步显现,预计“十四五”期间山东省GDP年均增长5.5~6%,略高于全国平均水平;预计2025年山东省全社会用电量达到8600亿kWh,全社会负荷达到145400MW,“十四五”年均增速分别为4.4%、4.9%;至2030年全省全社会用电量达到10000亿kWh、全社会最大负荷达到171800MW,“十五五”年均增速分别为2.7%、2.9%。

考虑当前“碳达峰、碳中和”能源发展背景下,煤电发展空间将持续缩小、燃机发展仍存在较大不确定性,核电作为运行可靠、安全低碳的清洁能源,对于保障全省电力安全可靠供应至关重要。因此,为保证能源的长期稳定供应,核能将成为必不可少的替代能源。发展核电可改善山东省的能源供应结构,减少对煤炭的依赖,保障能源安全和经济安全,是山东省经济可持续发展的需要。

3) 有助于保护环境, 节能降耗

山东省水资源贫乏,电源结构中水电的份额几乎为零,而大量燃煤机组的建设,不可避免地要大量增加二氧化硫、氮氧化物、烟尘灰渣等污染物的排放量,

地区的环境将受到严重影响。

山东省“十四五规划”建议加快推动绿色低碳发展。强化源头管控，加快优化能源结构、产业结构、交通运输结构、农业投入结构。完善高耗能行业差别化政策，实施煤炭消费总量控制，推进清洁能源倍增行动，积极推进能源生产和消费革命。发展绿色金融，支持绿色技术创新，大力推进清洁生产和生态工业园区建设，发展壮大环保产业，推进重点行业和领域绿色化改造。推广“无废城市”建设，实现设区市垃圾分类处置全覆盖。开展绿色生活创建活动，推动形成简约适度、绿色低碳的生活方式。降低碳排放强度，制定碳排放达峰行动方案。

核电是一种技术成熟的清洁能源，温室气体接近零排放，不排放二氧化硫、烟尘、氮氧化物。以核电替代部分煤电，不但可以减少煤炭的开采、运输和燃烧总量，而且是电力工业减排污染物的有效途径，是减缓地球温室效应的重要措施，是优化能源结构的优先选择，能够助力山东省实现“3060碳达峰碳中和”目标。

4) 改善电源结构、合理电源布局，提高供电可靠性

根据《山东省中长期能源规划纲要》，为优化电源结构，保障电力供应，今后山东省电力建设一是加快发展核电，增加核电装机容量；二是增大外受电比重，逐步提高清洁能源的比重。山东东部具有建设核电站的优良厂址，在负荷中心建设核电机组，不仅使山东电源结构多样化，也使电网的电源布局更趋合理，可加强受端电网，使负荷中心得到有力支撑。

在大气污染防治和环境保护双重压力下，减煤、节能减排、发展清洁能源替代传统化石能源已成为山东能源发展的必然趋势。为此，山东提出三个“三分之一”的电力能源结构调整战略，即规划到2035年，煤电、清洁能源、外电入鲁各占“三分之一”。

1.5 项目建设进度

山东海阳核电项目5、6号机组单台机组建设周期为56个月（从浇灌第一罐混凝土到商业运行）。5号机组预计于2024年3月浇灌第一罐混凝土，于2028年11月投产，6号机组的开工时间与5号机组间隔10个月。机组的设计寿期为60年。具体开工时间以相关部门批复为准。

1.6 环境影响报告书编制依据

1.6.1 厂址所在区域规划

1) 区域发展规划

本项目位于山东省海阳核电装备制造工业园区。山东省海阳核电装备制造工业园区 2010 年被认定为山东省“第一批新型工业化产业示范基地”，园区规划“以核电及新能源产业为主导、以高端装备制造业和临港工业为支撑、以服务业为补充”的发展导向。作为山东省首个省级核电装备制造工业园区和海阳市“一体两翼”发展格局中的先进制造业一翼，园区承接山东半岛蓝色经济区和胶东半岛高端产业聚集区优惠政策辐射。核电建设与当地规划相容。

根据《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》，山东省“十四五”时期经济社会发展主要目标之一就是“新能源新材料强省建设实现重大突破。以核能、氢能、智慧电网及储能等为支撑的新能源产业成为支柱产业，……”，在加快优化能源结构方面，“突出可再生能源、核电、外电、天然气四大板块，……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开发，探索核能小堆供热技术研究和示范，打造核能强省。……到 2035 年，在运在建核电装机规模达到 1300 万千瓦左右”。本期工程已被列入山东省重大能源发展工程。

2) 生态红线及三线一单符合性

据当地政府部门反馈，目前厂址地区的生态红线划定方案正在调整，尚无更新的生态红线方案正式发布，厂址周围生态红线依旧参照《山东省生态保护红线规划（2016-2020 年）》和《山东省黄海海洋生态红线划定方案（2016-2020 年）》。

根据《山东省生态保护红线规划（2016-2020 年）》，厂址所在地不占用生态保护红线区，厂址 10km 范围的陆域生态红线包括：

烟台海阳南部沿海防风固沙生态保护红线区（SD-06-B3-08），面积 2.29km²，位于厂址西北侧约 2km 处。

烟台海阳东南部土壤保持生态保护红线区（SD-06-B2-16），面积为 13.47km²，位于厂址东北侧约 5km 处。

该规划没有对陆域生态红线管控做出具体要求。

根据《山东省黄海海洋生态红线划定方案（2016-2020 年）》，厂址所在海域不属于海洋生态保护红线区。厂址半径 15km 范围内海域生态红线包括：

一乳山口限制区（37-Xb15），位于厂址东侧约 8km 处；

一大乳山红石崖禁止区（37-Jb15），位于厂址东侧约 10km 处；

- 大乳山杜家岛禁止区（37-Jb14），位于厂址东侧约 13km 处；
- 乳山湾滨海湿地限制区（37-Xd07），位于厂址东侧约 10km 处；
- 乳山湾限制区（37-Xb16），位于厂址东侧约 11km 处；
- 海阳万米海滩东禁止区（37-Jb16），位于厂址西侧约 14km 处；
- 马河港-东村河滨海旅游限制区（37-Xj18），位于厂址西侧约 14km 处。

该规划对各生态保护红线区的管控要求做出了规定，参见表 1.6-1。

此外，海阳市对海域和陆域生态保护红线优化核减后，初步形成 2021 年版生态保护红线。2021 年版生态保护红线划定面积为 299.02km²，其中：陆域生态红线 195.55km²，占陆地面积的 10%；海域生态红线 103.47km²，占海域面积的 5.7%。厂址附近海阳市域的生态红线与《山东省生态保护红线规划（2016-2020 年）》、《山东省黄海海洋生态红线划定方案（2016-2020 年）》基本一致，陆域生态红线距厂址最近距离约 2km，海洋生态红线位于凤城街道附近。

根据《烟台市人民政府关于印发烟台市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（烟政发[2021]7 号），本项目所在陆域及邻近海域均为重点管控单元。该通知没有对每个重点管控单元单独给出管控要求，仅针对陆域和海域管控单元提出了总体的管控要求。对于陆域重点管控单元，管控要求为：“重点推进产业布局优化、转型升级，提高资源利用效率，加强突出生态环境问题治理，污染物排放控制和环境风险防控。涉及城镇开发边界、产业园区的重点管控单元根据国土空间规划、产业发展规划以及规划环评等动态调整”。对于海域重点管控单元，管控要求为“重点提升海洋环境质量，强化陆海统筹，优化空间开发利用格局。”本项目可以满足以上管控要求。根据《烟台市环境管控单元生态环境准入清单》，本项目位于海阳市核电装备制造产业园重点管控单元。本项目“三线一单”符合性对比参见表 1.6-2 和表 1.6-3，可见本项目符合当地“三线一单”管控要求。

3) 其他环保相关区划、规划

根据《山东省海洋功能区划（2011-2020）》，山东海阳核电厂所在海域为“工业与城镇建设区”（海阳临港工业与城镇建设区，A3-29），该区域基本功能为工业与城镇用海，在基本功能未利用时兼容农渔业等功能。控制围填海规模，并接受围填海计划指标控制，保障河口行洪安全。该区域开发利用期执行海水水质不劣于三类标准，海洋沉积物质量、海洋生物质量不劣于二类标准。该区域用海面积为 86.34km²，岸段长度为 40.16km。

根据《山东省近岸海域环境功能区划》(2016~2020年),海阳核电厂厂址附近海域属于海阳临港工业与城镇建设区,属于三类功能区,同时在该区内设置排污口和混合区,混合区的范围(面积17.3 km²)。

1.6.2 遵循的主要法规、标准和导则以及专题报告

1) 主要法规、条例

- 《中华人民共和国环境保护法》(2015年1月1日);
- 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018年12月29日);
- 《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003年10月1日);
- 《中华人民共和国核安全法》(2018年1月1日);
- 《中华人民共和国大气污染防治法》(2018年10月26日);
- 《中华人民共和国水污染防治法》(2018年1月1日);
- 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》(2021年12月24日);
- 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2020年9月1日);
- 《中华人民共和国土壤污染防治法》(2019年1月1日);
- 《中华人民共和国海洋环境保护法》(2017年11月5日);
- 《建设项目环境保护管理条例》(2017年10月1日,国务院令第682号);
- 《中华人民共和国土地管理法》(2019年8月26日);
- 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021年版)》(生态环境部令第16号);
- 《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);
- 《国家危险废物名录(2021版)》(生态环境部令 第15号);
- 《核电厂核事故应急管理条例》(HAF002, 2011);
- 《核动力厂厂址评价安全规定》(HAF101, 2023);
- 《核动力厂设计安全规定》(HAF102, 2016);
- 《放射性废物安全监督管理规定》(HAF401, 1997);
- 《山东省环境保护条例》(2018);
- 《山东省大气污染防治条例》(2018)
- 《山东省环境噪声污染防治条例》(2018);

- 《山东省水污染防治条例》（2020）；
- 《山东省实施<中华人民共和国固体废物污染环境防治法>办法》（2018）；
- 《山东省扬尘污染防治管理办法》（2018）；
- 《山东省核事故应急管理办法》（2012）。

2) 技术标准和导则

- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）；
- 《核设施流出物监测的一般规定》（GB11217-89）；
- 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）；
- 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）；
- 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；
- 《海水水质标准》（GB3097-1997）；
- 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
- 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；
- 《环境空气质量标准》（GB3095-2012，2018年修改单）；
- 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）；
- 《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）；
- 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
- 《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）；
- 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001，环境保护部公告2013年第36号修改单）；
- 《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）；
- 《流域水污染物综合排放标准 第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）；
- 《核电厂应急计划与准备准则 第1部分：应急计划区的划分》（GB/T17680.1-2008）；
- 《核电厂厂址选择中的地震问题》（HAD101/01）；
- 《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02）；

- 《核电厂厂址选择及评价的人口分布问题》（HAD101/03）；
- 《核电厂厂址选择的外部人为事件》（HAD101/04）；
- 《核电厂厂址选择的放射性物质水力弥散问题》（HAD101/05）；
- 《核电厂厂址选择与水文地质的关系》（HAD101/06）；
- 《滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定》（HAD101/09）；
- 《核电厂厂址选择的极端气象现象》（HAD101/10）；
- 《核电厂设计基准热带气旋》（HAD101/11）；
- 《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01）；
- 《环境影响评价技术导则 核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ808-2016）；
- 《辐射环境保护管理导则—电磁辐射环境影响评价方法与标准》（HJ/T10.3-1996）；
- 《环境影响评价技术导则 输变电工程》（HJ24-2020）；
- 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；
- 《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）；
- 《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018）；
- 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）；
- 《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022）；
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；
- 《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）；
- 《关于印发<核电厂流出物放射性监测技术规范（试行）>的通知》（国核安发[2020]44号）。

3) 专题报告

建设单位非常重视环境保护工作，在前期工程推进过程中及本期工程可研阶段，开展了大量的专题研究，本报告主要依据以下专题成果编制：

- 《山东海阳核电项目 3、4 号机组工程排水明渠优化改造液态流出物数模计算成果报告》，2021 年 3 月；
- 《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程温排水数模计算、物模试验综合分析报告》，2022 年 4 月；

- 《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程液态流出物、余氯数模计算成果报告》，2021 年 12 月；
- 《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程厂址临近海域渔业资源及海域放射性本底调查专题报告》，2020 年 5 月；
- 《山东海阳核电项目 5、6 号机组春、夏、秋、冬季海洋环境现状调查报告》，2020 年 5 月；
- 《山东海阳核电项目 3、4 号机组工程大气扩散补充试验总结报告》，2017 年 12 月；
- 《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程极端气象参数复核报告》，2019 年 7 月；
- 《山东海阳核电厂址环境资料调查报告（5、6 号机组）》，2022 年 10 月；
- 《山东海阳核电项目 5、6 号机组陆生生态调查报告》，2020 年 5 月；
- 《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程水土保持方案报告书》（初稿），2022 年 9 月；
- 《山东海阳核电厂建设项目 2021 年度环境质量监测报告》，2022 年 3 月；
- 《海阳核电厂环境与流出物监测年报（2021 年）》，2022 年 3 月。

表 1.6-1 厂址半径 15km 范围海域生态红线管控要求

名称	代码	类别	类型	生态保护目标	管控要求
乳山口限制区	37-Xb15	限制开发区	海洋特别保护区	岩礁、海湾生态系统	<p>管控措施：按照《海洋特别保护区管理办法》进行管理。保障河口行洪安全。在不影响保护区保护的前提下，可适度进行旅游等用海活动。</p> <p>环境保护要求：加强海洋环境质量监测，维持、恢复、改善海洋生态环境和生物多样性，保护自然景观。海水水质不劣于二类标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量不劣于一类标准。</p>
大乳山红石崖禁止区	37-Jb15	禁止开发区	海洋特别保护区	岩礁、海湾生态系统	<p>管控措施：参照《海洋特别保护区管理办法》进行管理。禁止实施改变区内自然生态条件的生产活动和任何与保护无关的工程建设活动。保障河口行洪安全和湾口潮流畅通。</p> <p>环境保护要求：加强海洋环境质量监测，维持、恢复、改善海洋生态环境和生物多样性，保护自然景观。海水水质不劣于二类标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量不劣于一类标准。</p>
大乳山杜家岛禁止区	37-Jb14	禁止开发区	海洋特别保护区	岩礁、海湾生态系统	<p>管控措施：参照《海洋特别保护区管理办法》进行管理。禁止实施改变区内自然生态条件的生产活动和任何与保护无关的工程建设活动。严格控制岸线附近的景区建设工程；禁止占用岸线和沙滩。</p> <p>环境保护要求：保护基岩海岸、岩礁、防护林等优质旅游资源和近岸生态环境。海水水质不劣于二类标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量均不劣于一类标准。</p>
乳山湾滨海湿地限制区	37-Xd07	限制开发区	重要滨海湿地	海湾湿地生态系统、栉江珧	<p>管控措施：严格限制围填海、设置直接排污口等破坏海湾湿地生态系统功能的开发活动。保障河口行洪安全和湾口潮流畅通。在不影响海湾生态环境的前提下，允许航道用海。</p> <p>环境保护要求：保持和恢复海湾湿地生态系统，河口实行陆源污染物入海总量控制，减少</p>

					或避免陆源和港口污染。本海域海水水质不劣于二类标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量均不劣于一类标准。
乳山湾限制区	37-Xb16	限制开发区	海洋特别保护区	岩礁、海湾生态系统	<p>管控措施：按照《海洋特别保护区管理办法》进行管理。保障河口行洪安全。禁止改变海域自然属性。在不影响保护区保护的前提下，可适度进行旅游、渔业等用海活动。</p> <p>环境保护要求：加强海洋环境质量监测，维持、恢复、改善海洋生态环境和生物多样性，保护自然景观。海水水质不劣于二类标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量不劣于一类标准。</p>
海阳万米海滩东禁止区	37-Jb16	禁止开发区	海洋特别保护区	万米沙滩、海洋生物多样性	<p>管控措施：按照《海洋特别保护区管理办法》进行管理。禁止实施改变区内自然生态条件的生产活动和任何与保护无关的工程建设活动。设立砂质岸线退缩线，区内禁止采挖海砂。</p> <p>环境保护要求：保护区周边海域环境杜绝影响本海域的点面源污染，废水、污水、直排口必须达标排放。保护好沿海防护林，维护好沙滩植被。海水水质、海洋沉积物质量和海洋生物质量不劣于一类标准。</p>
马河港-东村河滨海旅游限制区	37-Xj18	限制开发区	重要滨海旅游区	河口湿地生态系统、海底沙源、海洋生物多样性	<p>管控措施：严格限制可能改变或影响滨海旅游的开发建设活动，严格控制景区建设工程，保障河口行洪安全。连理岛周边在保障海底动态平衡的前提下，经严格论证，可进行旅游开发。</p> <p>环境保护要求：加强海洋环境质量监测，河口实行陆源污染物入海总量控制，进行减排防治。海水水质不劣于二类标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量均不劣于一类标准。</p>

表 1.6-2 生态红线、环境质量底线和资源利用上线的符合性

	要求	符合性	结论
生态保护和一般生态空间	全市陆域生态保护红线面积不低于1478.59 平方公里，海洋生态保护红线面积不低于3551.57平方公里，除生态保护红线外的一般生态空间 面积不低于1983.02平方公里。以上生态空间管控区域涵盖全市生态功能极重要区和生态环境极敏感区，各类省级及以上自然保护地和饮用水水源保护区，重要海域、海岛、河流、湿地、林地、水库及其他具有重要生态功能的区域。	本项目位于海阳核电厂已建厂区内，为工业建设用地，不占用陆域和海域的生态保护红线。	符合
环境质量底线	稳固空气质量改善成效，市区环境空气质量稳定达到国家二级标准，空气质量优良率达到80%以上，基本消除重污染天气。水环境质量持续改善，各区市地表水考核断面水质达到国家、省、市考核要求， 国控地表水考核断面优良水 体比例达到63.6%；入海河流消除劣V类；近岸海域水质优良面积比例达到97.6%。土壤环境质量持续改善，土壤环境风险得到管控，全市受污染 耕地安全利用率达到96%以上，污染地块安全利用率达到 95%以上。	根据《2021 年烟台市国民经济和社会发展统计公报》（2016-2020），2021 年烟台市空气质量优良天数比例为86.6%，空气质量达到《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准；全市国控地表水考核断面优良水体比例为 81.8%，全市管辖海域海水水质以一类、二类为主。本项目位于海阳核电厂内，不涉及污染地块。	符合

资源 利用 上线	<p>能源结构调整优化，煤炭消费总量进一步压减，能耗总量及强度指标完成省下达任务。实行最严格的水资源管理制度，实现总量及强度“双控”，全市用水总量目标控制在17.01亿立方米以内，万元国内生产总值用水箱、万元工业增加值用水量控制目标完成省下达任务；浅层地下水超采区基本消除，平水年份基本实现地下水采补平衡。优化国土空间开发保护格局，控制国土空间开发强度，土地资源开发利用总量及强度指标达到省下达指标，确保耕地保有量，守住永久基本农田控制线；盘活存量建设用地，控制建设用地总规模和城市开发强度，落实城镇开发边界控制线。</p>	<p>本项目为核能发电项目，在已有厂区内进行扩建，不占用基本农田，不开采地下水，淡水水源为海水淡化。</p>	符合
----------------	--	--	----

表 1.6-3 海阳市核电装备制造产业园的管控清单符合性

	要求	符合性	结论
空间布局约束	1. 禁止不符合园区的产业定位并且污染较为严重的行业。 2. 禁止采用落后的生产工艺或生产设备，不符合国家相关产业政策、达不到规模经济的项目。 3. 禁止国家、省、市规定禁止发展和淘汰的其他项目 4. 禁止在沿海陆域内新建不具备有效治理措施的化学制浆造纸、化工、印染、制革、电镀、酿造、炼油、岸边冲滩拆船以及其他严重污染海洋环境的工业生产项目。严格限制在海岸采挖砂石。露天开采海滨砂矿和从岸上打井开采海底矿产资源，必须采取有效措施，防止污染海洋环境。 5. 生态保护红线按照《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》要求管理。 6. 一般生态空间严格按照《自然生态空间用途管制办法（试行）》执行，原则上按照限制开发区域管理。	本项目符合核电装备制造产业园的产业定位，符合国家产业政策，为山东省十四五期间重大能源发展工程。 本项目不占用陆域和海域的生态保护红线。	符合
污染物排放管控	1. 工业集聚区内根据严格落实大气污染物达标排放、总量控制、环保设施“三同时”、在线监测、排污许可等环保制度。持续降低大气污染物排放总量。新、改、扩建项目二氧化硫、氮氧化物、VOCs 须实行区域减量替代。 2. 提升高耗水、高污染行业清洁化发展水平；对于超标的水环境控制单元，新建、改建、扩建涉水项目重点污染物实施减量替代；采取综合性的治理措施，强化污染物排放总量控制，大幅削减污染物排放量，保障河道生态基流，确保水体和重点支流水环境质量明显改善。	本项目环保设施“三同时”，不排放二氧化硫、氮氧化物、VOCs，各类污染物处理后达标排放。	符合

环境 风险 防控	<p>1. 构建核电厂辐射环境现场监督监测体系和事故应急体系,组织制定和实施核事故应急预案及执行程序,完善部门应急协调处置联动机制,提高核电厂辐射环境监督监测和应急能力及辐射事故应急响应能力。</p> <p>2. 园区及生产、使用、储存、运输环境风险物质的企业编制突发环境事件应急预案,并定期开展应急演练,对重大危险源每年进行一次应急演练。</p> <p>3. 对于环境风险较大的控制单元,按照“预防为主、防治结合”的原则,加大环境监管力度,着力降低资源能源产业开发的环境风险。</p>	<p>海阳核电厂已建立辐射环境现场监督监测体系和事故应急体系,制定了核事故应急预案,具备核电厂辐射环境监督监测和应急能力及辐射事故应急响应能力。</p> <p>对于化学品及危险废物,海阳核电厂已落实各项管控措施并制定应急预案。</p>	符合
资源 开发 效率 要求	<p>1. 入园企业必须采用清洁的工艺和技术,节能节水降耗要达到国内先进水平。</p> <p>2. 高污染燃料禁燃区执行《海阳市高污染燃料禁燃区管理办法》相关要求。</p> <p>3. 全面实施节约用水集中行动,推进县域节水型社会达标建设。继续大力推广节水新技术、新工艺、新设备,鼓励节约用水、循环用水,提高水的重复利用率,开展公共机构节水型单位创建和节水宣传工作。</p>	<p>本项目不使用高污染燃料,用水由海水淡化供给,生活污水处理后回用。</p>	符合

表 1.6-4 工程附近海域海洋功能区登记表（《山东省海洋功能区划登记表（2011-2020 年）》）

代码	功能区名称	地区	地理范围	功能区类型	面积 (km ²)	岸段长度 (km)	海域使用管理要求	海洋环境保护要求
A3-29	海阳临港与工业城镇建设区（排放口所在海域）	烟台	海阳前山村至寨前村	工业与城镇用海区	86.34	40.16	用途管制：本区域基本功能为工业与城镇用海，在基本功能未利用时兼容农渔业等功能。控制围填海规模，并接受围填海计划指标控制。保障河口行洪安全。 用海方式：允许适度改变海域自然属性，鼓励采用人工岛、多突堤、区块组团等用海方式。 海域整治：优化围填海海岸景观设计。	生态保护重点目标：近岸生态系统。 环境保护要求：加强工业区环境治理及动态监测，对围填海、温排水进行动态监测和跟踪管理。河口实行陆源污染物入海总量控制，进行减排防治。海域开发前基本保持所在海域环境质量现状水平。开发利用期执行海水水质不劣于三类标准，海洋沉积物质量、海洋生物质量不劣于二类标准。
A2-30	乳山西南港口航运区	烟台	乳山口外海域	港口航运区	2.85	0	用途管制：本区域基本功能为港口航运功能。在基本功能未利用时允许兼容农渔业等功能。保障港口锚地用海，航道及两侧缓冲区内禁止养殖。 用海方式：严格限制改变海域自然属性。	生态保护重点目标：港口水深地形条件。 环境保护要求：加强海域污染防治和监测。航道及锚地海域海水水质不劣于三类标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量均不劣于二类标准。
A2-31	海阳港口航运区	烟台	海阳凤城镇南部	港口航运区	153.15	30.48	用途管制：本区域基本功能为港口航运功能。在基本功能未利用时允许兼容农渔业等功能。保障港口航运用海，航道及两侧缓冲区内禁止养殖。 用海方式：允许适度改变海域自然属性，港口内工程用海鼓励采用多突堤式透水构筑物方式。	生态保护重点目标：港口水深地形条件。 环境保护要求：加强海域污染防治和监测。港口区海域海水水质不劣于四类标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量均不劣于三类标准。航道及锚地海域海水水质不劣于三类标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量均不劣于二类标准。避免对毗邻海洋敏

代码	功能区名称	地区	地理范围	功能区类型	面积 (km ²)	岸段长 (km)	海域使用管理要求	海洋环境保护要求
								感区、亚敏感区产生影响。
A1-25	文登-乳山-海阳农渔业区	威海-烟台	文登五垒岛湾至海阳高家庄村	农渔业区	1028.48	11.89	<p>用途管制：本区域基本功能为农渔业功能，兼容旅游休闲娱乐等功能。在船舶习惯航路和依法设置的锚地、航道及两侧缓冲区水域禁止养殖。加强渔业资源养护，控制捕捞强度。保障河口行洪安全。</p> <p>用海方式：严格限制改变海域自然属性，鼓励开放式用海。</p> <p>海域整治：保护自然岸线，禁止破坏其自然形态，鼓励对人工岸线进行生态化建设。</p>	<p>生态保护重点目标：传统渔业资源的产卵场、索饵场、洄游通道等。</p> <p>环境保护要求：加强海洋环境监测。河口实行陆源污染物入海总量控制，进行减排防治。渔业设施建设区海水水质不劣于二类（渔港区执行不劣于现状海水水质标准），海洋沉积物质量和海洋生物质量均不劣于二类标准。其它海域海水水质不劣于二类标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量均不劣于一类标准。</p>

表 1.6-5 工程附近近岸海域环境功能区划表

序号	功能区代码	地市	名称	地理位置	面积 (km ²)	功能类别	水质保护目标	备注
1	SD227C III	烟台	海阳临港工业与城镇建设区	海阳前山村至寨前村	86.34	C	III	依据需要, 在该区内设置排污口和混合区范围 (面积 17.3 平方公里), 混合区内不设置水质目标。
2	SD228D IV (III)	烟台	乳山西南港口航运区	乳山口外海域	2.85	D	IV (港口 IV、航道与锚地 III)	除港池所在区域执行 IV 类标准外, 其余区域执行 III 标准。
3	SD231D IV (III)	烟台	海阳港口航运区	海阳凤城镇南部	153.15	D	IV (港口 IV、航道与锚地 III)	除港池所在区域执行 IV 类标准外, 其余区域执行 III 标准。
4	SD235A II	烟台	山东海阳万米海滩海洋资源国家级海洋特别保护区	海阳凤城南部海域	15.73	A	II	

1.7 评价标准

1.7.1 放射性评价标准

1) 正常运行状态（包括预计运行事件）的剂量约束值

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）6.1 条款的规定，任何厂址的所有核动力堆向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量，每年必须小于 0.25mSv 的剂量约束值。

根据厂址前期工程环评报告，山东海阳核电厂 1~4 号 4 台百万千瓦级核电机组向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量之和需小于 0.16mSv/a。考虑到全厂规划及前期工程评价情况，本项目两台机组的向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量需小于 0.04mSv/a。

2) 事故状态下的剂量控制值

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）5.9 条款的规定，在发生选址假想事故时，考虑保守大气弥散条件，非居住区边界上的任何个人在事故发生后的任意 2h 内通过烟云浸没外照射和吸入内照射途径所接受的有效剂量不得大于 0.25Sv；规划限制区边界上的任何个人在事故的整个持续期间内（可取 30d）通过上述两条照射途径所接受的有效剂量不得大于 0.25Sv。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 Sv。

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）7.2 条款的规定，在发生一次稀有事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 50mSv 以下；在发生一次极限事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 0.1Sv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 1Sv 以下。

3) 液态流出物排放口的浓度

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的规定：对于滨海厂址，槽式排放出口处的流出物中除氚和碳 14 外其他放射性核素浓度不应超过 1000Bq/L。

4) 海水中的放射性核素浓度

根据《海水水质标准》（GB3097-1997）的要求，本项目运行期间接纳水体

海水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

5) 年排放量控制值

根据《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011) 6.4 条款的规定，对于同一堆型的多堆厂址，所有机组的年总排放量应控制在 6.2 条款规定值的 4 倍以内。山东海阳核电厂 1~6 号机组在正常运行工况下气载流出物和液态流出物的设计排放量见表 1.7-1。由表 1.7-1 可见，山东海阳核电厂 6 台百万千瓦级核电机组流出物低于 GB6249-2011 第 6.4 条款的规定限值，满足国家标准要求。

1.7.2 与非放射性有关的环境影响评价标准

根据烟台市环境保护局《关于海阳核电厂附近区域执行部分环境标准的复函》、山东省环境保护厅《山东省环境保护厅关于海阳核电建设项目声环境影响评价执行标准的复函》以及《山东省近岸海域环境功能区划》(2016~2020 年)，本工程建设期及运行期执行标准如下：

①环境空气质量

环境空气质量执行《环境空气质量标准》(GB3095-2012, 2018 年修改单)中的二级标准。

②大气污染物排放

大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)中的二级标准。

③水环境质量

核电厂邻近海域环境功能区类别为三类，执行三类海水水质标准。

④非放废水排放

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》(DB37/3416.5-2018)中的一级排放标准。标准指标为：pH: 6~9; 悬浮物: 20mg/L; BOD₅: 10mg/L; COD_{cr}: 50mg/L; 氨氮: 5 mg/L; 总氮: 15mg/L; 总磷: 0.5mg/L; 石油类: 3 mg/L。

生活污水处理后回用，不外排，执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中“城市绿化、道路清扫、消防、建筑施工”的限值要求。主要指标为：pH：6~9；色度 \leq 30铂钴色度单位；浊度 \leq 10NTU；BOD₅ \leq 10mg/L；氨氮 \leq 8mg/L；阴离子表面活性剂 \leq 0.5mg/L；溶解氧 \geq 2.0 mg/L；溶解性固体 \leq 1000 mg/L；大肠埃希氏菌：不应检出。

⑤声环境质量

核电厂环境噪声执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的2类标准：昼间60dB（A）、夜间50dB（A）。

⑥噪声排放

核电厂施工期执行《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）；运行期的厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的2类标准：昼间60dB（A）、夜间50dB（A）。

3) 电磁辐射

核电厂电磁辐射的环境影响执行《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）的相关限值：

- 工频电场限值：4kV/m；
- 工频磁场限值：0.1mT。

表 1.7-1 山东海阳核电厂 1~6 号核电机组正常运行工况下的排放量 (Bq/a)

项目	设计值	气载流出物				液态流出物			
		惰性气体	碘	粒子 ($T_{1/2} \geq 8d$)	碳 14	氚	氚	碳 14	其余核素
5~6 号核电机组设计排放量		2.56E+14	1.36E+10	2.58E+10	7.88E+11	4.42E+12	8.40E+13	8.76E+10	2.42E+10
1~6 号核电机组设计总排放量		7.48E+14	4.00E+10	7.07E+10	2.22E+12	1.83E+13	2.53E+14	2.46E+11	7.12E+10
GB6249-2011 规定全厂排放量		2.40E+15	8.00E+10	2.00E+11	2.80E+12	6.00E+13	3.00E+14	6.00E+11	2.00E+11
1~6 号核电机组设计排放量占 GB6249-2011 控制值的比例		31.17%	50.00%	35.35%	79.14%	30.50%	84.40%	41.03%	35.60%

1.8 工程组成

山东海阳核电厂 5、6 号机组由主厂房群和厂区内的重要辅助设施组成。主厂房群由反应堆厂房、辅助厂房、汽机厂房、附属厂房、柴油发电机厂房和放射性废物厂房等组成。厂区内其他的重要辅助设施包括厂址废物处理设施、水处理厂、海水淡化厂房、除盐水处理厂、非放射性废水处理厂、生活污水处理设施、应急指挥中心、环境监测站、开关站、综合检修厂房、综合实验室、水文观测站等，除综合实验室为 3~6 号机组共用外，其他辅助设施全厂共用。

配套工程依托前期工程进行，进场道路、应急道路、大件码头、取水明渠等均已建设完毕。

1.9 环境保护措施

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

对于放射性污染物，工程配置有放射性液体废物处理系统（WLS）、放射性气体废物处理系统（WGS）、放射性固体废物处理系统（WSS）、乏燃料贮存系统、厂址废物处理设施（SRTF）。放射性液体废物处理系统（WLS）用于控制、收集、处理、输送、贮存和处置正常运行及预期运行事件下产生的放射性废液，并可控制地向环境排放。处理后的液态流出物放射性水平和年排放总量符合国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定的限值。放射性气体废物处理系统（WGS）的主要功能是接收系统运行期间产生的含氢气体和放射性气体，并对其进行处理和排放，使电厂气载流出物的放射性释放量低于《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定的限值。放射性固体废物处理系统（WSS）用于收集和暂存正常运行以及预期运行事件产生的废树脂、深床过滤器过滤介质、活性炭、废（水）过滤器滤芯、放射性干废物和混合固体废物。这些废物先收集暂存在辅助厂房和放射性废物厂房内，后送往厂址废物处理设施进一步处理和中间贮存。乏燃料贮存系统贮存设施包括乏燃料贮存水池和乏燃料贮存格架，反应堆换料时从堆芯卸出的乏燃料组件贮存在核岛辅助厂房的乏燃料贮存水池的乏燃料贮存格架内，采用水下密集型布置方式。厂址废物处理设施（SRTF）是一个集中式放射性废物处理设施，全厂共用。它作为核岛三废处理系统的补充，提供完整、适宜的手段来处理核岛产生但无法直接处理的放射性废液与放射性固体废物，设施内处理达标的废液将送至临近机组的厂区排放总管进

行排放。经该设施处理后的废物均采用统一包装容器进行包装，并送往设施内的废物暂存库进行暂存。

对于非放污染物，山东海阳核电厂也采取了相应的环保措施。在核电厂非控制区及厂外附属、辅助区产生的生活垃圾应按规定收集暂存并送到指定的垃圾场处理。核电厂产生的生活污水由生活污水处理设施处理达标后回用，生活污水处理设施设有污泥消化系统，产生的污泥量极少，建设单位定期运送至当地污水处理厂处置。

运行期间产生的危险废物主要在危废暂存库内存放，并委托有资质单位处理。

海阳核电厂实施厂址统一应急，已建立了全面完善的核安全体系和核应急体系。

此外，山东海阳核电厂配备有流出物监测设施和环境监测设施，监测方式包括在线连续监测和取样监测。

采取上述环境保护措施后，山东海阳核电厂所产生的各类污染物均能得到有效的控制，满足环保要求。

1.10 评价范围

本次评价中，辐射环境影响评价的范围为以5号反应堆为中心、半径80km范围内的区域，包括气载和液态流出物排放对80km范围内公众的辐射影响。

对于非放射性环境影响评价：

- 大气

根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018），本项目属于三级评价，不需设置大气环境评价范围。主要关注核电厂施工期废气无组织排放影响。

- 海水

海水评价范围为排水温升1℃以上影响区域范围，重点考虑取排水口附近海域及相关功能区的管理要求，以及环境敏感目标的环保要求。

- 噪声

根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021），本次声评价范围为厂界外200m，并考虑评价范围内的环境敏感目标——邵家庄和张家庄。

- 电磁辐射

根据《环境影响评价技术导则 输变电工程》（HJ24-2020），500kV 交流电评价范围为：开关站外 50m，厂内架空线边导线地面投影外两侧各 50m，厂内地下电缆管廊两侧边缘各外延 5m。

- 生态环境

本次评价范围主要为受影响的核电厂永久占地和临时施工占地范围、以及取排水的影响范围，并考虑附近自然保护区和生态敏感区。

第二章 厂址与环境

2.1 厂址地理位置

2.1.1 厂址位置

山东海阳核电厂地处胶东半岛的黄海之滨，为滨海核电厂。厂址位于山东省烟台市辖海阳市核电装备制造工业区，处于三面环海的岬角东端，东北有乳山湾，西南有海阳港，东部和南部面临广阔的黄海。

山东海阳核电厂位于山东省海阳核电装备制造工业园区内，该园区由原属留格庄镇 14 个行政村和凤城镇的 2 个行政村组成，园区管委会位于大辛家。园区于 2009 年 9 月 8 日授牌成立，2010 年 10 月 20 日经烟台市政府批准成立机构，2012 年 10 月 7 日确定行政区划。

山东海阳核电厂距海阳市市区直线距离约 22km（厂址 WNW 方位）；距烟台市直线距离约 93km（厂址 N 方位）；距威海市直线距离约 111km（厂址 NE 方位）。

山东海阳核电厂址规划容量为 6 台百万千瓦级核电机组和 1 台一体化小型堆，并预留两台百万千瓦级核电机组扩建余地。本项目在 1、2、3、4 号机组的基础上，扩建两台国产化 CAP1000 核电机组。6 台百万千瓦级核电机组以厂区西端为固定端，自西向东、依次布置并建设。

山东海阳核电厂地理位置见图 2.1-1。

2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区

海阳核电厂的征地工作已在一期工程时一次完成。本项目 5、6 号机组不涉及征地和搬迁工作。

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的要求，必须在核动力厂周围设置非居住区和规划限制区。

海阳核电厂 1~6 号机组设立统一的非居住区边界和规划限制区边界。根据《山东海阳核电厂一期工程环境影响报告书（运行阶段）》和《山东海阳核电项目 3、4 号机组工程环境影响报告书（建造阶段）》，山东海阳核电厂以厂址征地陆域边界作为 1、2、3、4 号机组陆域非居住区边界、以反应堆为中心 800m 范围作为海域非居住区边界是适宜的。对于 5、6 号机组，根据选址假想事故源项计算其非居住区边界范围完全包络在现有非居住区范围内，因此厂址非居住区边

界无需再扩大，也无新增搬迁人口。

根据山东省人民政府（2008）193号《山东省人民政府关于设置海阳核电项目规划限制区的批复》，确定山东海阳核电厂（以反应堆为中心）半径5km范围内为规划限制区。建设单位正在按照《中华人民共和国核安全法》的要求对全厂址规划限制区进行重新申请，规划限制区为以1~6号机组为中心、半径5km区域。

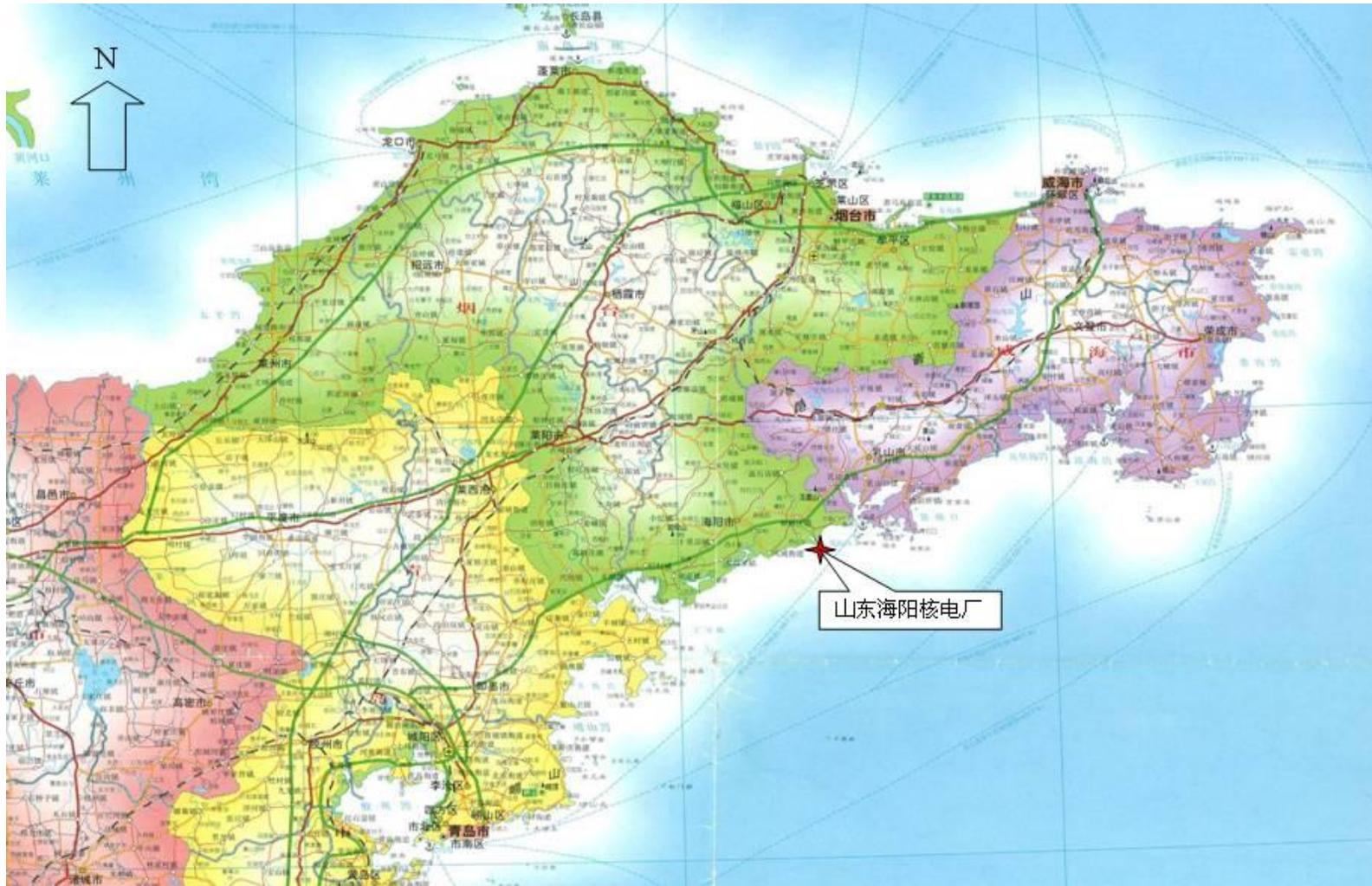


图 2.1-1 山东海阳核电厂厂址地理位置图

2.2 人口分布与饮食习惯

下文中的人口统计均以 5 号反应堆为中心。

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

2.2.1.1.1 常住人口

截至 2020 年底，厂址半径 5km 范围内的总人口为 6382 人，平均人口密度为 380 人/km²，低于山东省同期平均人口密度（643 人/km²）和烟台市同期平均人口密度（512 人/km²），高于海阳市同期平均人口密度（330 人/km²）。

厂址半径 5km 范围内无 1 万人以上的乡镇。

2.2.1.1.2 流动人口

厂址半径 5km 范围内共有流入人口约 600 人，流入人口主要为务工人员。流出人口 3148 人。

核电厂各施工单位的现场施工人员共计有 5540 人，施工结束后将离开当地。

2.2.1.2 厂址半径 10km 范围内的人口情况

厂址半径 10km 范围内不存在 10 万人以上的城镇。

厂址半径 10km 范围内公共设施有关情况如下，数据来自于当地相关部门提供的 2021 年数据。

2.2.1.2.1 学校

厂址半径 10km 范围内的学校及幼儿园主要分布于海阳市所辖的核电装备制造工业区、留格庄镇和凤城街道。

核电装备制造工业园区有小学 1 所，幼儿园 2 所；留格庄镇有中学 1 所，小学 1 所，幼儿园 3 所；凤城街道有 1 所幼儿园位于核电厂半径 10km 范围内。

2.2.1.2.2 医疗机构

厂址附近的医疗机构分布于海阳市所辖的市区、核电装备制造工业区、留格庄镇和凤城街道。

厂址半径 10km 范围内有 1 家卫生院

2.2.1.2.3 养老院

厂址半径 10km 范围内有 2 家养老院，还有部分小规模在农村幸福院。

2.2.1.2.4 监狱

厂址半径 10km 范围内无监狱。

2.2.1.3 厂址半径 15km 范围内的人口分布

2.2.1.3.1 常住人口

厂址半径 15km 范围内共有人口 113 个行政村，共 89186 人，陆域平均人口密度为 338 人/km²。

2.2.1.3.2 流动人口

厂址半径 15km 范围内的流动人口主要集中在凤城街道、留格庄镇、核电装备制造工业区。其中留格庄镇、核电装备制造工业区的流动人口主要是外来务工人员，大多在当地的企業中打工，除了春节等假期返乡外，其他季节变化不大。凤城街道除了部分打工人员外，也有旅游度假人员（在当地可居留 2~3 个月（7 月~9 月））。根据当地公安局提供的资料，截至 2022 年 8 月海阳市凤城街道流入人口为 9441 人，留格庄镇流入人口为 2066 人，核电装备制造工业区流入人口为 4870 人。

厂址 W 方位 14.0~18.0km 处的海阳旅游度假区为全国首批国家级旅游度假区，2021 年接待的海内外游客约 211 万人次，其中 5 月~10 月为游客高峰期，最大日游客量达 1.8 万人次。厂址 NE 方位约 11.0km 处的海阳大秧歌 琵琶岛影视文化旅游基地 2021 年接待的海内外游客约 9142 人次，其中 5 月~10 月为游客高峰期，最大日游客量约 160 人次。厂址 NE~ENE 方位 13.0km 处的大乳山滨海旅游度假区为国家 AAAA 级旅游度假区，2021 年接待的海内外游客约 5.8 万人次，最大承载量约为 5 万人次，其中 5 月~10 月旺季期间旅游人数约 1000 人次/天。

2.2.2 厂址半径 80km 范围内的人口分布

2.2.2.1 厂址半径 80km 范围内的现有人口分布

厂址半径 80km 范围内涉及了烟台市所辖的莱山区、昆崙区、牟平区、福山区、海阳市、栖霞市、莱阳市，威海市所辖的乳山市、文登区、荣成市和青岛市所辖的莱西市、即墨区。

截止到 2020 年底厂址半径 80km 范围内的常住人口数为 3506439 人。按厂址半径 80km 范围的陆域面积计算，平均人口密度 350 人/km²，远低于山东省同期平均人口密度 643 人/km²，低于烟台市同期平均人口密度 512 人/km²，低于威海市同期平均人口密度 502 人/km²，高于海阳市同期平均人口密度 330 人/km²。表 2.2-9 给出了出厂址半径 5km、15km、80km 范围内人口总数及人口密度值。

厂址周围各子区的人口分布详见图 2.2-1 和表 2.2-1。

2.2.2.2 厂址半径 80km 范围内的预期人口

山东海阳核电项目 5、6 号机组单台机组建设周期为 56 个月（从浇灌第一罐混凝土到商业运行）。5 号机组计划于 2024 年 3 月开工建设，2028 年 11 月具备商运条件；6 号机组计划 2025 年 1 月开工建设，2029 年 9 月具备商运条件。机组的设计寿期为 60 年。由此推算 5 号机组运行第一年（2028 年）以及寿期内每隔 10 年即 2038 年、2048 年、2058 年、2068 年、2078 年和 2088 年厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布。

在进行人口预测计算时，综合考虑未来城市发展及目前人口生育鼓励政策（三孩政策）等相关政策因素，保守采用表 2.2-2 中的人口预期自然增长率进行人口预测。对于山东省烟台市、威海市的人口预期增长率考虑在 2030 年以后降为 1%，至 2040 年以后为零增长；青岛市人口预期增长率在 2035 年后逐渐减小，至 2045 年后为零增长。

计算时采用下列人口预测模式进行推算：

$$N=N_0(1+\alpha)^T$$

上式中：

N~各子区域预测年的人口数 (人)

N₀~各子区域 2020 年度的人口数 (人)

α~预测采用的人口自然增长率 (‰)

T~预测年的时间间隔 (年)

由此计算得到的厂址半径 80km 范围内的预期人口分布见表 2.2-3。据此可见，厂址半径 80km 范围内 2048 年、2058 年、2068 年、2078 年、2088 年的人口均为 3715263 人。

2.2.3 居民的年龄构成及饮食习惯和生活习性

2.2.3.1 居民的年龄构成

1) 厂址 5km 范围内居民的年龄构成

根据当地政府提供的资料，厂址半径 5km 范围内居民的各年龄组的人口构成比例如下：

≤1 岁 占 0.42%；

1~7 岁 占 8.49%；

8~17岁 占 8.08%；
18岁以上 占 83.00%。

2) 厂址 80km 范围内居民的年龄构成

根据第七次人口普查资料，表 2.2-4 给出了烟台市、威海市和青岛市、厂址所在海阳市以及厂址半径 80km 范围内居民的各年龄组的人口比例。

按上述年龄组构成比例计算得到厂址半径 80km 范围内 2020 年度各子区各年龄组的人口分布情况见表 2.2-5~表 2.2-8。

2.2.3.2 居民的饮食习惯

2.2.3.2.1 厂址半径 5km 范围内的居民饮食习惯

厂址半径 5km 范围内不同年龄组人群的年最大和年平均食物消费量见表 2.2-9。渔民食物消费量调查结果见表 2.2-10。

厂址半径 5km 范围内不同年龄组的生活习惯参见表 2.2-11。

2.2.3.2.2 厂址半径 5km 范围内的食物来源

厂址附近居民消费的主食以面粉为主，其次为大米、玉米、薯类等，副食品主要为蔬菜、水果、肉类食品和水产品、蛋类、奶类。厂址附近的农产品以粮食为主，兼有油料、蔬菜和水果，除部分外销外，主要由当地消费。

2.2.3.2.3 厂址半径 80km 范围内的居民饮食习惯

当地居民消费的主食以面粉（小麦）为主，其次为大米、玉米、薯类等；副食品主要为蔬菜、水果、肉类食品和水产品和少量奶类。

根据 2021 年山东省和烟台市统计年鉴，以及 2021 年海阳市统计局提供的资料，厂址半径 80km 评价区范围内一般公众的年食物消费量见表 2.2-12。

表 2.2-1 厂址半径 80km 范围内各子区人口数（2020 年）单位：人

距离 方位	0~1 km	1~2 km	2~3 km	3~5 km	5~10 km	10~20 km	20~30 km	30~40 km	40~50 km	50~60 km	60~70 km	70~80 km	合计
N	0	0	0	1810	2971	12055	8840	44238	22798	16543	38897	224838	372990
NNE	0	0	0	0	2714	13278	194733	2500	34924	32622	6144	110781	397696
NE	0	0	0	0	964	10147	48869	21648	27237	57914	55411	196001	418191
ENE	0	0	0	0	233	7261	7252	3585	2356	17082	17209	70201	125179
E	0	0	0	0	0	287	1002	0	0	0	0	0	1289
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	12112	45889	0	26224	84225
WSW	0	0	0	0	0	0	9331	27750	12112	32385	54553	105445	241576
W	0	0	0	0	1663	42800	39172	59904	11384	117995	73234	121669	467821
WNW	0	282	0	0	6561	55489	116868	27591	9522	33177	399154	286377	935021
NW	0	1199	0	297	9806	15371	1820	29664	32288	54527	44510	48793	238275
NNW	0	0	0	2794	7156	11341	13980	11477	30353	76805	46895	23375	224176
合计	0	1481	0	4901	32068	168029	441867	228357	195086	484939	736007	1213704	3506439
累计	0	1481	1481	6382	38450	206479	648346	876703	1071789	1556728	2292735	3506439	

表 2.2-2 人口预测增长率（单位：‰）

年份	评价范围内烟台市、威海市区域 (山东省预期增长率)	评价范围内青岛市区域
2021	3	22.3
2022	3	22.3
2023	3	22.3
2024	3	22.3
2025	3	22.3
2026	2	11.7
2027	2	11.7
2028	2	11.7
2029	2	11.7
2030	2	11.7
2031	1	11.7
2032	1	11.7
2033	1	11.7
2034	1	11.7
2035	1	11.7
2036	1	10.6
2037	1	9.6
2038	1	8.5
2039	1	7.4
2040	1	6.4
2041	0	5.3
2042	0	4.3
2043	0	3.2
2044	0	2.1
2045	0	1.1

注：青岛市 2035 年后预期人口增长率按照 2035 年之前的预期增长率变化趋势线性外推，2045 年之后的年份均按照零增长考虑。

表 2.2-3 厂址半径 80km 范围内各子区人口数（2028 年）单位：人

距离 方位	0~1 km	1~2 km	2~3 km	3~5 km	5~10 km	10~20 km	20~30 km	30~40 km	40~50 km	50~60 km	60~70 km	70~80 km	合计
N	0	0	0	1844	3030	12307	9022	45171	23278	16889	39718	229599	380858
NNE	0	0	0	0	2769	13556	198856	2550	35661	33310	6270	113125	406097
NE	0	0	0	0	977	10357	49901	22103	27810	59137	56581	200151	427017
ENE	0	0	0	0	233	7409	7400	3656	2403	17439	17570	71685	127795
E	0	0	0	0	0	287	1023	0	0	0	0	0	1310
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	14001	53055	0	30316	97372
WSW	0	0	0	0	0	0	9525	28334	14001	37440	63071	121915	274286
W	0	0	0	0	1696	43703	39997	61169	11623	120493	74782	124245	477708
WNW	0	282	0	0	6695	56660	119340	28173	9719	33876	407609	292442	954796
NW	0	1220	0	297	10008	15694	1854	30289	32968	55679	45449	49824	243282
NNW	0	0	0	2849	7303	11580	14273	11716	30992	78429	47885	23866	228893
合计	0	1502	0	4990	32711	171553	451191	233161	202456	505747	758935	1257168	3619414
累计	0	1502	1502	6492	39203	210756	661947	895108	1097564	1603311	2362246	3619414	

续表 2.2-3 厂址半径 80km 范围内各子区人口数（2038 年）单位：人

距离 方位	0~1 km	1~2 km	2~3 km	3~5 km	5~10 km	10~20 km	20~30 km	30~40 km	40~50 km	50~60 km	60~70 km	70~80 km	合计
N	0	0	0	1858	3066	12451	9130	45711	23554	17088	40192	232364	385414
NNE	0	0	0	0	2795	13714	201250	2576	36085	33706	6342	114485	410953
NE	0	0	0	0	979	10477	50500	22367	28141	59845	57259	202561	432129
ENE	0	0	0	0	233	7493	7484	3694	2427	17643	17776	72546	129296
E	0	0	0	0	0	287	1035	0	0	0	0	0	1322
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	15622	59218	0	33836	108676
WSW	0	0	0	0	0	0	9635	28670	15622	41789	70400	136084	302200
W	0	0	0	0	1710	44226	40476	61901	11757	121941	75680	125738	483429
WN	0	282	0	0	6769	57339	120775	28509	9829	34282	412522	295965	966272
NW	0	1232	0	297	10128	15876	1868	30649	33363	56347	45990	50422	246172
NNW	0	0	0	2875	7387	11714	14441	11850	31363	79370	48459	24150	231609
合计	0	1514	0	5030	33067	173577	456594	235927	207763	521229	774620	1288151	3697472
累计	0	1514	1514	6544	39611	213188	669782	905709	1113472	1634701	2409321	3697472	

续表 2.2-3 厂址半径 80km 范围内各子区人口数（2048~2088 年）单位：人

距离 方位	0~1 km	1~2 km	2~3 km	3~5 km	5~10 km	10~20 km	20~30 km	30~40 km	40~50 km	50~60 km	60~70 km	70~80 km	合计
N	0	0	0	1860	3072	12475	9148	45801	23600	17122	40272	232828	386178
NNE	0	0	0	0	2799	13740	201652	2580	36157	33772	6354	114713	411767
NE	0	0	0	0	979	10497	50600	22411	28197	59963	57373	202965	432985
ENE	0	0	0	0	233	7507	7498	3700	2431	17677	17810	72690	129546
E	0	0	0	0	0	287	1037	0	0	0	0	0	1324
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	16089	61001	0	34853	111943
WSW	0	0	0	0	0	0	9653	28726	16089	43047	72519	140187	310221
W	0	0	0	0	1712	44314	40556	62023	11779	122184	75830	125988	484386
WN	0	282	0	0	6781	57453	121015	28565	9847	34350	413346	296556	968195
NW	0	1234	0	297	10148	15906	1870	30709	33429	56459	46081	50522	246655
NNW	0	0	0	2879	7401	11736	14469	11872	31425	79528	48555	24198	232063
合计	0	1516	0	5036	33125	173915	457498	236387	209043	525103	778140	1295500	3715263
累计	0	1516	1516	6552	39677	213592	671090	907477	1116520	1641623	2419763	3715263	

表 2.2-4 厂址半径 80km 范围内各市居民的年龄构成

年龄组	烟台市	威海市	青岛市	海阳市	厂址半径 80km 范围内
≤1 岁	0.60%	0.56%	0.80%	0.61%	0.64%
1~7 岁 (含 7 岁)	6.25%	5.92%	8.19%	4.96%	6.39%
7~17 岁 (含 17 岁)	7.47%	7.24%	9.00%	6.77%	7.64%
>17 岁	85.69%	86.28%	82.01%	87.65%	85.34%

表 2.2-5 厂址半径 80km 范围内人口分布 (<1 岁) (2020 年)

单位：人

距离 方位	0~1 km	1~2 km	2~3 km	3~5 km	5~10 km	10~ 20 km	20~ 30 km	30~ 40 km	40~ 50km	50~ 60 km	60~ 70 km	70~ 80 km	合计
N	0	0	0	11	19	77	56	283	145	105	248	1438	2382
NNE	0	0	0	0	17	84	1246	16	223	208	39	708	2541
NE	0	0	0	0	6	64	312	138	174	370	354	1254	2672
ENE	0	0	0	0	1	46	46	22	15	109	110	449	798
E	0	0	0	0	0	1	6	0	0	0	0	0	7
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	77	293	0	167	537
WSW	0	0	0	0	0	0	59	177	77	207	349	674	1543
W	0	0	0	0	10	273	250	383	72	755	468	778	2989
WNW	0	1	0	0	41	355	747	176	60	212	2554	1832	5978
NW	0	7	0	1	62	98	11	189	206	348	284	312	1518
NNW	0	0	0	17	45	72	89	73	194	491	300	149	1430
合计	0	8	0	29	201	1070	2822	1457	1243	3098	4706	7761	22395
累计	0	8	8	37	238	1308	4130	5587	6830	9928	14634	22395	

表 2.2-6 厂址半径 80km 范围内人口分布（1~7 岁）（2020 年）

单位：人

距离 方位	0~ 1km	1~2 km	2~3 km	3~5 km	5~10 km	10~ 20 km	20~ 30 km	30~ 40 km	40~ 50 km	50~ 60km	60~70 km	70~80 km	合计
N	0	0	0	115	189	770	564	2826	1456	1057	2485	14367	23829
NNE	0	0	0	0	173	848	12443	159	2231	2084	392	7078	25408
NE	0	0	0	0	61	648	3122	1383	1740	3700	3540	12524	26718
ENE	0	0	0	0	14	463	463	229	150	1091	1099	4485	7994
E	0	0	0	0	0	18	64	0	0	0	0	0	82
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	773	2932	0	1675	5380
WSW	0	0	0	0	0	0	596	1773	773	2069	3485	6737	15433
W	0	0	0	0	106	2734	2503	3827	727	7539	4679	7774	29889
WNW	0	18	0	0	419	3545	7467	1763	608	2120	25505	18299	59744
NW	0	76	0	18	626	982	116	1895	2063	3484	2844	3117	15221
NNW	0	0	0	178	457	724	893	733	1939	4907	2996	1493	14320
合计	0	94	0	311	2045	10732	28231	14588	12460	30983	47025	77549	224018
累计	0	94	94	405	2450	13182	41413	56001	68461	99444	146469	224018	

表 2.2-7 厂址半径 80km 范围内人口分布（8~17 岁）（2020 年）

单位：人

距离 方位	0~ 1km	1~2 km	2~3 km	3~5 km	5~10 km	10~ 20 km	20~ 30 km	30~ 40 km	40~ 50km	50~60 km	60~70 km	70~80 km	合计
N	0	0	0	138	226	921	675	3379	1741	1263	2971	17177	28491
NNE	0	0	0	0	207	1014	14877	191	2668	2492	469	8463	30381
NE	0	0	0	0	73	775	3733	1653	2080	4424	4233	14974	31945
ENE	0	0	0	0	17	554	554	273	179	1305	1314	5363	9559
E	0	0	0	0	0	21	76	0	0	0	0	0	97
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	925	3505	0	2003	6433
WSW	0	0	0	0	0	0	712	2120	925	2474	4167	8055	18453
W	0	0	0	0	127	3269	2992	4576	869	9014	5595	9295	35737
WNW	0	21	0	0	501	4239	8928	2107	727	2534	30495	21879	71431
NW	0	91	0	22	749	1174	139	2266	2466	4165	3400	3727	18199
NNW	0	0	0	213	546	866	1068	876	2318	5867	3582	1785	17121
合计	0	112	0	373	2446	12833	33754	17441	14898	37043	56226	92721	267847
累计	0	112	112	485	2931	15764	49518	66959	81857	118900	175126	267847	

表 2.2-8 厂址半径 80km 范围内人口分布 (≥18 岁) (2020 年)

单位: 人

距离 方位	0~ 1km	1~2 km	2~3 km	3~5 km	5~10 km	10~20 km	20~30 km	30~40 km	40~ 50km	50~ 60km	60~70 km	70~80 km	合计
N	0	0	0	1546	2537	10287	7545	37750	19456	14118	33193	191856	318288
NNE	0	0	0	0	2317	11332	166167	2134	29802	27838	5244	94532	339366
NE	0	0	0	0	824	8660	41702	18474	23243	49420	47284	167249	356856
ENE	0	0	0	0	201	6198	6189	3061	2012	14577	14686	59904	106828
E	0	0	0	0	0	247	856	0	0	0	0	0	1103
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	10337	39159	0	22379	71875
WSW	0	0	0	0	0	0	7964	23680	10337	27635	46552	89979	206147
W	0	0	0	0	1420	36524	33427	51118	9716	100687	62492	103822	399206
WNW	0	242	0	0	5600	47350	99726	23545	8127	28311	340600	244367	797868
NW	0	1025	0	256	8369	13117	1554	25314	27553	46530	37982	41637	203337
NNW	0	0	0	2386	6108	9679	11930	9795	25902	65540	40017	19948	191305
合计	0	1267	0	4188	27376	143394	377060	194871	166485	413815	628050	1035673	2992179
累计	0	1267	1267	5455	32831	176225	553285	748156	914641	1328456	1956506	2992179	

表 2.2-9 厂址半径 5km 范围内不同年龄组人群食物消费量调查结果（单位：kg/人·年）

年龄组		婴儿组		儿童组		青少年组		成人组	
食物种类		年平均消费量	年最大消费量	年平均消费量	年最大消费量	年平均消费量	年最大消费量	年平均消费量	年最大消费量
粮食	大米	8.00	9.60	18.82	36.5	29.98	55.00	35.94	91.25
	面粉	15.37	18.25	33.32	50.0	54.11	72.0	85.07	109.50
	其他	-	-	5.82	10.0	8.61	18.0	8.08	36.00
	粮食小计	23.37	27.85	57.96	96.5	92.7	145.00	129.09	236.75
蔬菜	叶类	11.13	27.38	19.89	46.0	40.09	55.00	48.48	91.3
	根茎类	4.17	10.27	12.98	18.0	18.45	36.00	23.35	51.33
	果实类	4.17	10.27	12.12	20.0	23.11	36.00	33.77	55.00
	水生类	2.78	6.85	3.43	5.0	4.23	9.6	7.65	36.6
	蔬菜小计	22.25	54.77	48.42	89.0	85.88	136.6	113.25	234.23
肉类	猪肉	4.8	9.6	10.43	30.00	16.12	36.5	21.70	54.75
	牛肉	-	-	1.55	2.50	2.05	4.8	2.54	6.00
	羊肉	-	-	1.54	3.60	2.11	4.8	2.58	6.00
	家禽肉	-	-	2.55	9.6	4.19	18.00	6.67	18.00
	其它肉类	-	-	0.2	0.45	0.21	3.50	0.50	3.50
	小计	4.8	9.6	16.27	46.15	24.68	67.6	33.99	88.25
海产品	海鱼类	6.6	9.6	18.87	18.00	25.15	50.00	35.06	91.25
	虾、蟹类	0.2	0.5	8.43	18.00	11.00	36.00	15.44	40.0
	软体类	-	-	0.27	0.50	0.08	9.60	2.64	10.00
	藻类	-	-	0.07	0.75	0.02	0.50	2.15	6.00
	小计	6.8	10.1	27.64	37.25	36.25	96.1	55.29	147.25
奶类及制品		103.42	164.25	75.39	164.25	46.99	68.25	22.25	54.75
水果		16.2	24.3	33.80	54.75	48.04	91.25	61.89	109.5
蛋类		11.02	20.00	12.55	22.50	16.52	36.6	17.38	36.6

表 2.2-10 渔民食物量调查结果（单位：kg/人·年）

食物种类		年平均消费量	年最大消费量
粮食	大米	35.33	54.75
	面粉	91.39	109.5
	其他	15.33	36.50
	粮食小计	142.05	200.75
蔬菜	叶类	51.40	73.00
	根茎类	22.87	36.50
	果实类	33.96	55.00
	水生类	7.63	36.00
	蔬菜小计	115.86	200.50
肉类	猪肉	24.91	55.00
	牛肉	2.53	3.60
	羊肉	2.80	3.60
	家禽肉	5.89	12.00
	其它肉类	0.30	5.00
	肉类小计	36.43	79.20
海产品	海鱼类	54.90	91.25
	虾、蟹类	21.59	40.0
	软体类	0.99	8.00
	藻类	-	-
	海产品小计	77.48	139.25
奶类及制品小计		12.6	36.5
水果		54.65	72.0
蛋类		22.23	25.00

表 2.2-11 厂址半径 5km 范围内不同年龄组的生活习惯（单位：h/人·年）

活动方式 年龄、职业		岸边活动		海水中活动 (游泳)		海上活动 (捕鱼、划船)	
		平均时间	最大时间	平均时间	最大时间	平均时间	最大时间
成人组	农民	130	800	0	0	23	100
	渔民	155	720	0	0	1806	3000
婴儿组		0	0	0	0	0	0
儿童组		37	80	0	0	0	0
青少年组		9	30	0	0	0	0

表 2.2-12 厂址半径 80km 范围居民（成人）个人年食物消费量（2020 年数据）

单位：kg

地区		粮食	蔬菜	瓜果类	肉类	蛋类	奶类	水产	油脂类
山东省	农村	142.0	80.4	61.8	23.5	19.5	11.1	11.2	8.2
	城镇	110.2	101.3	84.7	29.4	20.6	22.5	19.1	7.4
烟台市	农村	136.5	79.7	58.3	24.8	20.8	12.1	19.6	6.9
海阳市	农村	132.7	107.5	106.5	29.2	10.5	8.6	27.8	20.7

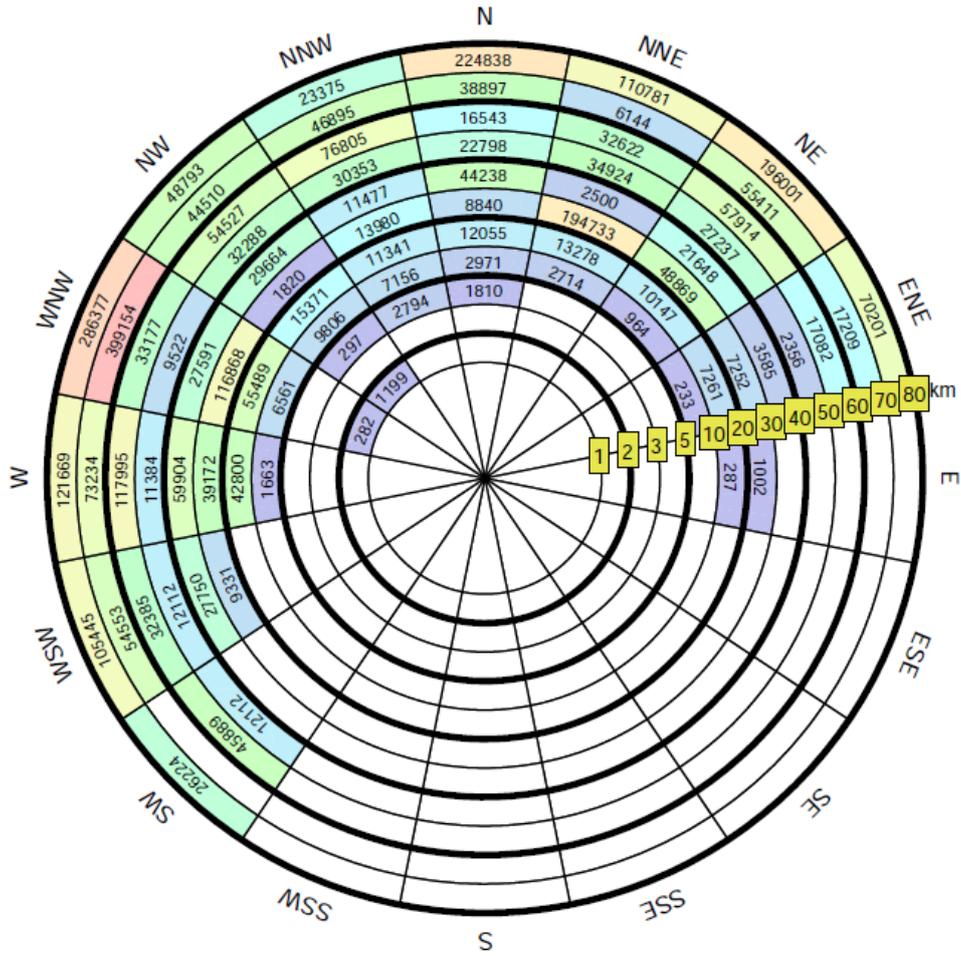


图 2.2-1 厂址半径 80km 范围内的人口分布图（2020 年）

2.3 土地利用及资源概况

2.3.1 土地和水体的利用

2.3.1.1 土地利用

2.3.1.1.1 土地利用概况

海阳市地形总体北高南低，西低东高，一般高程在 20~350m，区内最高点位于中南部海阳市域乳山市接壤的玉皇顶，地面高程 589.5m，最低处位于海阳市纪疃河、东村河和留格河入海口，地形高差 587.5m。山区多数山的坡度在 5°~15°之间，在跑马岭、招虎山和玉皇顶一带，坡度在 10°~30°之间，沟谷地带一般坡度在 1°~5°之间。

海阳市北部徐家店、郭城等镇，多为低山丘陵，间有河谷平原，平均海拔 140m，中部朱吴、盘石店等镇及方圆街道、东村街道北部，以招虎山脉为主体，形成境内屋脊，平均海拔 174m，西部发城、小纪等镇和二十里店部分村庄，山低坡缓，丘陵，平原交错，平均海拔 97m；西部凤城、龙山、留格庄、行村、辛安等镇街道及二十里店镇、方圆街道和东村街道部分村庄，地势低缓，海拔多在 50m 以下。

本项目厂址区域现状为城镇建设用地，本项目厂址区域规划为城镇建设用地，通过对比现状与规划情况来看，厂址所有区域用地类型没有改变，周边主要为农业用地或沿海滩涂用地。

表 2.3-1 给出了厂址半径 10km 范围的土地类型规划统计情况。对比现状与规划，厂址所有区域用地类型没有改变，周边主要为农业用地或沿海滩涂用地。厂址半径 10km 范围土地利用类型规划以旱地占比最高，达 18.85%，其次为水浇地，占 17.62%，再次为沿海滩涂用地，占 9.11%。

距厂址最近的基本农田位于厂址西北侧约 2.7km。

2.3.1.1.2 居民点和农牧场

厂址半径 10km 范围内没有奶牛场。

2.3.1.1.3 文物保护单位

厂址半径 10km 内有 1 处省级、4 处县级文物保护单位，其中省级文物保护单位为霞河头庄园，位于核电装备制造工业园区霞河头村，为清代文物保护单位，现房屋大部分已翻新，道台府衙门大堂木质屋架完好，东山墙尚存。院落完整，

南倒房部分存在。二堂、三堂及家族住宅房体还在。

2.3.1.1.4 风景旅游区

厂址半径 10km 内无风景旅游区，厂址半径 15km 内风景旅游区情况如下：

1) 海阳旅游度假区

海阳旅游度假区位于厂址 W 方位 14.0~18.0km 处，有长达 4km 的海岸线，是国家 AAAA 级旅游景区、国家级海洋特别保护区、国家沙滩体育健身基地。海滩宽阔平坦，海沙洁净细匀，海水清澈见底，是理想天然海水浴场。2001 年 12 月，山东省政府批准海阳旅游度假区为省级旅游度假区。2015 年 10 月 9 日海阳旅游度假区晋级为全国首批国家级旅游度假区。2020 年 12 月成功入围首批“山东省体育旅游示范基地”。

2) 大乳山滨海旅游度假区

大乳山滨海旅游度假区位于厂址 E~NE 方位约 13.0km 处，在乳山市海阳所镇境内，度假区总面积 60 平方公里，其中陆地面积 23 平方公里，海洋面积 37 平方公里。2009 年被国家旅游局批准为国家 AAAA 级旅游度假区。

3) 海阳大秧歌·琵琶岛影视文化旅游基地

海阳大秧歌·琵琶岛影视文化旅游基地位于山东省海阳市留格庄镇桃源村琵琶岛区域，东临大乳山旅游度假区，西接海阳旅游度假区，位于厂址 NE 方位约 11.0km 处。基地目前占地 33 公顷，规划占地 200 公顷，由海阳市琵琶岛旅游度假村有限公司预计总投资 7 亿元建设。是集影视拍摄、影视旅游、红色旅游、爱国主义教育、写生拍客、度假、休闲、观光为一体的大型综合性旅游区。

5) 规划

(1) 海阳市旅游发展规划

根据《海阳市全域旅游发展总体规划（2018~2035）》（2018.11），海阳市根据旅游资源分布特征及未来发展方向，按照“一核三极两片区，全域大环线”的空间统筹思路，形成“集群发展，绿道串联、山海联动、全域发展”的旅游空间格局。

— “一核”为中部城市海岸旅游核

— “三极”为东部山地海岸旅游极、西部湿地海岸旅游极、北部大招虎山旅游极；

— “两片区”为滨海片区，山地片区。

根据规划，厂址半径 10km 范围内主要涉及云瑞海岸集群景区；厂址半径 15km 范围内涉及运动海岸集群的部分区域。云端海岸游度假区：包括东部山地海岸滨区域，包括桃源村、大秧歌影视基等所处范围。运动海岸集群：包括海阳旅游度假区和亚沙新城一带。

(2) 乳山市旅游发展规划

根据《乳山市旅游发展规划 2016~2030 年》，乳山市旅游战略重点为：以“一心、三核、六区”，奠定乳山旅游空间格局。“一心”即市区作为旅游组织中心；“三核”即构建大乳山滨海景区、马石山红色旅游景区、银滩滨海度假区；“六区”即构建滨海蓝色度假区、海上风光休闲区、乳山口湿地观光区、绿色山水养生区、红色文化体验区、金色田园文化区。

(3) 大乳山国家级海洋公园规划

大乳山国家级海洋公园，位于山东省乳山市，厂址 E~NE 方位约 9.0km 处，北起乳山口湾，南至浦岛，东西向沿海滨方向长约 10km，南北陆地部分平均纵深约 2km。

根据《大乳山国家级海洋公园总体规划》(2016~2025 年)，大乳山国家级海洋公园总规划面积 4838.68 公顷，其中海域面积 3450.20 公顷。根据大乳山国家级海洋公园海洋生态资源与海岛的分布特点及地方经济发展和旅游发展规划需要，将大乳山国家级海洋公园海域分成 3 个功能区，其中重点保护区 620.67 公顷，生态与资源恢复区 1951.30 公顷，适度利用区 2266.71 公顷。海域面积 3450.20 公顷，占海洋公园总面积的 71.3%。

2.3.1.1.5 自然保护区

厂址半径 15km 范围内有 1 处自然保护区，为烟台沿海防护林省级自然保护区，最近处位于厂址 WNW~NW 方位约 2.7km。2020 年 1 月 19 日，烟台沿海防护林省级自然保护区总体规划经山东省自然资源厅批复（鲁自然资函〔2020〕82 号）。按照批复的总体规划，海阳市分布有保护区的实验区。

2.3.1.1.6 生态红线

海阳市形成了 2021 年版生态保护红线。2021 年版生态保护红线划定面积为 299.02km²，其中：陆域生态红线 195.55km²，占陆地面积的 10%；海域生态红线

103.47km²，占海域面积的 5.7%。

陆域生态保护红线包括自然保护区、国家级公益林与省级公益林。其中烟台海阳南部沿海防风固沙生态保护红线区（SD-06-B3-08），面积 2.29km²，位于厂址西北侧约 2km 处。烟台海阳东南部土壤保持生态保护红线区（SD-06-B2-16），面积为 13.47km²，位于厂址东北侧约 5km 处。

海域生态保护红线来自于《山东省黄海海洋生态红线划定方案（2016-2020 年）》中的保护区和限制区。

厂址半径 15km 范围内海域生态红线包括：

- 乳山口限制区（37-Xb15），位于厂址东侧约 8km 处；
- 大乳山红石崖禁止区（37-Jb15），位于厂址东侧约 10km 处；
- 大乳山杜家岛禁止区（37-Jb14），位于厂址东侧约 13km 处；
- 乳山湾滨海湿地限制区（37-Xd07），位于厂址东侧约 10km 处；
- 乳山湾限制区（37-Xb16），位于厂址东侧约 11km 处；
- 海阳万米海滩东禁止区（37-Jb16），位于厂址西侧约 14km 处；
- 马河港-东村河滨海旅游限制区（37-Xj18），位于厂址西侧约 14km 处。

根据正在编写的《海阳市国土空间规划》的相关资料，厂址附近的生态红线同 2021 版的海域生态红线和陆域生态红线一致。厂区范围不涉及陆域、海域生态保护红线。建设单位将持续跟踪生态红线划定方案的调整报批情况。

2.3.1.2 水体利用

2.3.1.2.1 地表水

1) 厂址半径15km范围内水体利用状况

(1) 水系

海阳市河流水系较发达，但均为中小河流，均属山东沿海诸小河水系，多砂石河，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甚大，汛期径流量占全年径流量的 70% 以上，枯水季节，河床裸露，时有干涸。市域地表水系多为发源于招虎山山脉的中小河流，流经本市（含市内）流域面积大于 10km² 的河流有 38 条。其中，流域面积大于 50km² 的河流有 13 条，100km² 以上的河流 8 条。富水河、富水河北支汇流入莱阳境内的五龙河，清阳河、古现河流入牟平境内的大沽夹河、白沙河、纪疃河、东村河和留格河均直接

流入黄海。正常降水年份，多数河流夏秋有水，冬夏干枯。

位于厂址半径 15km 范围内的主要河流为留格河。留格河为独流入海河流，全长 31km。流域面积 332km²，河源位于海阳市盘石店镇仙人盆村，由河源经过小东庵、鲁家、嘴子前、野口、潘家庄、龙头、盘石店、大柴、院下、留格庄、六甲、东远牛庄、南庄，至辛家港入黄海。

(2) 水库和饮用水源地

根据 2016 年 7 月 29 日海阳市人民政府文件《海阳市人民政府关于印发海阳市农村集中式饮用水水源地保护区划分方案的通知》（海政发[67]号），厂址半径 15km 范围内有 1 处农村集中式（服务人口 1 万人以上）饮用水源地：核电装备区望海水库饮用水源地，为湖库型水库，位于望海水库。该水源地供海阳大辛家自来水有限公司取水。

海阳大辛家自来水有限公司位于留格庄镇窑头村西，水源地为望海水库，设计年供水总量为 55 万 m³。大辛家自来水厂供水区域有：大辛家、外岛、张家庄、董家庄、邵家庄等村以及核电生活区、核电公司、丰汇公司、盈孚公司等。水源来自于望海水库下泄水。

留格河水域饮用水源地也为海阳市市区饮用水水源地，即海阳市二水厂供水。该水源地为地下水型，供海阳市区东片区域和核电工业区用水，包括旅游度假区、凤城街道、核电工业区和留格庄镇的部分区域。现平均日供水量为 0.5 万 m³/d。

厂址半径 15km 范围内的乳山市所属区域不涉及乡镇镇区，没有集中式饮用水水源地。偏远各村同海阳市偏远村庄一样，无统一的给水设施，各村自备水源，通过给水管供给村民，同时乡村大部分住户以自采地下水作为补充水源。

2) 厂址半径5km范围内居民用水状况

厂址半径 5km 范围主要由海阳大辛家自来水有限公司供水，个别村自行供水。

3) 海水养殖和海洋捕捞

海水养殖和海洋捕捞情况详见2.3.3节中相关描述。

4) 水环境功能区划

海阳市共划分水功能区一级区 13 个，其中保留区 2 个，开发利用区 11 个，总区划河长 327.7km；在一级区开发利用区范围内划分水功能二级区 15 个，其中饮用水源区 6 个，农业用水区 9 个，总区划河长 295.7km；合计海阳市共划分

水功能单元 17 个。其中，位于厂址半径 15km 范围内的一级水功能区为留格河海阳开发利用区（该功能区为市级水功能区），二级水功能区为留格河海阳饮用水源区（执行Ⅲ类水质标准）和留格河海阳农业用水区（执行 V 类水质标准）。

表 2.3-2 给出了厂址附近的地表水水环境功能区划表。

另外，根据 2016 年 7 月 29 日海阳市人民政府文件《海阳市人民政府关于印发海阳市农村集中式饮用水水源地保护区划分方案的通知》（海政发[67]号），该区域的核电装备区望海水库饮用水源地有一级保护区和二级保护区，其中一级保护区面积 0.378km²，二级保护区 0.398km²，准保护区 0.2km²；一级保护区范围为“正常水位线以下的全部水域面积及取水口侧以上至大坝的陆域”，二级保护区范围为“一级保护区边界外至高速公路桥的汇水区域”，准保护区范围为“自高速公路桥为起点，向上游延伸 1000m，以河道为中心，两侧延伸宽度为 100m 的区域”。

2.3.1.2.2 地下水

厂址半径 5km 范围内各村除了统一的供水外，一般各家建有小口径的地下水井（即原来的压水井，现动力由水泵取代），深 3~4m，作为补充水源，用于洗衣等。

2.3.2 陆生资源及生态概况

2.3.2.1 农牧业资源

2.3.2.1.1 主要农产品生产情况

厂址附近的农业生产以粮食为主，兼有油料、蔬菜和水果。粮食作物品种主要是小麦和玉米。油料作物主要是花生。蔬菜主要有油菜、芹菜、菠菜、生姜、大白菜、黄瓜、四季豆、豇豆、茄子、辣椒、西红柿、萝卜、韭菜等。水果品种较多，主要有苹果、梨、草莓、桃、樱桃、葡萄、草莓等。此外，还种植有茶树以采集茶叶。目前，海阳市作物种植 90% 为两年三作，10% 为一年一作。粮食作物（小麦、玉米）主要种植在海阳市东西部区域，北部区域由于发展果业生产，粮食作物种植比例逐年降低。花生多种植在丘陵薄地。当地的农产品特产有越冬番茄、网纹甜瓜、苹果等。

2020 年海阳市粮食作物面积为 41486.7ha，总产量为 298859t；蔬菜面积为 7347ha，总产量为 476231t；油料作物面积为 18233.3ha，总产量为 88067t；果园面积为 12942.9ha，水果产量 472917t。

厂址半径 5km 范围内粮食、蔬菜主要由当地消费。

厂址半径 10km 范围内的农产品中除水果和蔬菜有部分外销外，其余主要由当地消费。

2.3.2.1.2 副业生产情况

厂址半径 80km 范围内畜禽饲养种类有猪、家禽（鸡、鸭和鹅）、大牲畜（主要为牛和马、驴和骡）、羊、少量奶牛和兔等。

海阳市 2020 年末生猪存栏有 49.48 万头，出栏有 70.68 万头；牛存栏有 4 万头，其中肉牛存栏 3.87 万头；奶牛 0.13 万头；羊存栏 3.74 万只，出栏 6.69 万只；蛋鸡存栏 209.37 万只，肉鸡存栏 521.17 万只，出栏 2549.52 万只，肉总产量 11.88 万吨，蛋产量 3.09 万吨，奶产量 0.48 万吨。

厂址半径 10km 范围内家畜饲养种类主要有牛、猪、羊，家禽饲养种类主要是鸡、鸭等。

厂址半径 10km 范围无奶牛养殖。

2.3.2.2 林业资源

烟台市地处山东半岛东部，市域除少量平原分布于滨海地带和河谷两岸外，多为低山丘陵区。主要河流有：五龙河、大沽夹河、王河、界河、黄水河、辛安河等。烟台市属暖温带季风型大陆性气候，四季变化和季风进退都比较明显。烟台植被属暖温带落叶阔叶林区的胶东丘陵栽培植被赤松麻栎林分区。

烟台市主要森林植被类型有赤松林、黑松林、麻栎林、日本落叶松林、槲栎林、刺槐林、枫杨赤杨林、杨树林和竹林 9 个种类。灌丛植被有栎类、胡枝子、杜鹃灌丛、鹅耳枥灌丛、坚桦白檀灌丛、牛奶子灌丛、胡枝子灌丛、绣线菊灌丛、紫穗槐灌丛、怪柳灌丛 9 个类型。全市现有植物资源 1349 种，其中木本和藤本植物 70 科 457 种，草本植物 120 科 742 种，栽培植物（不包括观赏植物）150 种。野生动物资源现有脊椎动物 434 种，其中哺乳动物 30 种，鸟类 287 种，爬行类 15 种，两栖类 8 种。

海阳市为低山丘陵区，河流属季风区风雨源型，季节变化明显。海阳市的河流主要由东村河、城阳河、哲阳河等。海阳市属暖温带东亚季风型大陆性气候区，四季分明，干湿季和季风进退均较明显。海阳市属暖温带落叶阔叶林区域—暖温带落叶林地带—暖温带南部落叶栎林地带—山东丘陵栽培植被，赤松林、麻栎林

区—胶东丘陵栽培植被。

厂址半径 10km 范围内动植物分布情况详见 2.3.2.4 节。

2.3.2.3 矿业资源

截至 2020 年底，海阳市境内已探明资源储量的矿种 12 种（包括亚种），各类矿床（点）30 余处，包括铁、铜、铅、锌、岩金、砂金、硫铁矿、石墨、滑石、水泥用大理岩、水泥粘土矿、饰面用花岗石、饰面用大理石、板石、建筑用花岗岩、建筑用砂、砖瓦用粘土等。各矿种保有资源储量相差较大，禁采、限采、未开发矿种总体相对较多。

2.3.2.4 陆生生态系统概况

2019 年 7 月（夏季）和 2020 年 1 月（冬季，仅鸟类）对海阳核电厂址陆生生态情况进行了调查。调查工作在资料分析收集的基础上，对厂址半径 10km 范围进行现场动、植物调查。

1) 植被概况

植物群落调查主要采用设置样线和样方的方式，样线设置包含了厂址边界处植被、林地植被、荒地植被、农田植被、山地植被和海岛植被。

根据实地踏勘、调查统计，厂址半径 10km 调查区内有维管束植物 41 科 91 属 103 种，其中蕨类植物 1 科 1 属 1 种，裸子植物 2 科 2 属 3 种，被子植物 38 科 88 属 99 种。当地植物物种较为丰富，被子植物占主要地位。

调查区植物区系具有以下基本特征：

（1）古老植物成分丰富，调查区内植物区系含有丰富的古老植物，如银杏；也有中生代白垩纪的古老种类，如木贼，卷柏等；被子植物有不少古老的科、属、种。调查区现代植物区系中的许多成分是第三纪植物区系成分的直接后裔。

（2）滨海植物与盐生植物区系发达，由于调查区濒临海洋且有岛屿分布，海岸线漫长，故分布有丰富的较严格的分布于海岛及海岸线一带的植物，包括较多的盐生植物。如刺沙蓬、地肤、碱蓬等。

（3）调查区的岩山较多，岩面、岩缝中生长的岩生植物相当丰富，典型的如景天科植物费菜、瓦松，覆盖岩面的还有众多的藤本植物，如桑科的地锦、茅莓等。

调查区内主要包括常绿阔叶林、暖性针叶林、常绿阔叶灌丛、暖热性疏灌草丛和草本沼泽等主要植被类型。根据样方调查结果，主要群系包括：艾群系、雀

麦群系、鹅观草群系、翅果菊群系、小飞蓬群系、鸡眼草群系、猪毛蒿群系、黄花草木犀群系、黄背草群系、菊科群系、砂引草群系、大刺儿菜群系、芦苇群系、罗布麻群系、翅果菊群系、白羊草群系、碱蓬群系、地肤群系、荻群系、圆叶牵牛群系、银杏群系、月见草群系、兴安天门冬群系、枸树群系、茅莓群系、烟台补血草群系、紫穗槐群系、黑松群系、兴安胡枝子群系、单叶蔓荆群系、兴安胡枝子-狗牙根群系、筛草群系、月见草-软毛虫实群系、砂引草群系、鹅绒藤-猪毛蒿群系、杨树群系、地椒群系、胡枝子群系、中华卷柏群系、远东芨芨草群系、麻栎群系、玫瑰群系、圆叶鼠李群系、紫穗槐群系、肾叶打碗花群系、披碱草群系等。

常绿阔叶林群落乔木层的建群种和优势种均为银杏；灌木层的建群种为地椒和兴安胡枝子，优势种为地椒；草本层的建群种为荻和白茅，优势种为白茅。

暖性针叶林群落乔木层的建群种和优势种均为油松和黑松；灌木层的建群种为桃金娘和黄桅子，优势种为桃金娘；草本层的建群种为卷柏。

常绿阔叶灌丛群落灌木层的建群种为紫穗槐、单叶蔓荆、圆叶鼠李，优势种为紫穗槐、单叶蔓荆；草本层的建群种为砂引草、黄背草，优势种为砂引草。

藤本群落的建群种为野葛、鹅绒藤、圆叶牵牛、络石、茅莓，优势种为野葛、鹅绒藤。

灌草丛群落草本层的建群种为罗布麻、艾蒿、筛草，优势种为罗布麻、艾蒿、筛草海边月见草。

本次调查发现有国家 I 级重点保护野生植物 1 种，为野生的银杏，生长良好，能正常开花结果，距厂址约 2km。未发现其他国家 II 级及山东省重点保护植物。

2) 陆域脊椎动物

(1) 两栖动物

厂址半径 10km 范围内实地调查时，只在苏家屯河南庄村桥--海翔路苏家屯河桥样线发现中华大蟾蜍 1 只。

(2) 爬行动物

厂址半径 10km 范围实地调查只在邵家码头发现无蹼壁虎 1 种，通过文献检索未查到厂址半径 10km 范围有关爬行动物的详细记录。

(3) 鸟类

厂址半径 10km 区域现场调查，共计录鸟类 72 种，分隶于 14 目 31 科 54 属。

种类最多的目是雀形目 15 科 18 种，其次是鸽形目有 4 科 16 种，雁形目 1 科 13 种，鸬形目 1 科 6 种，鸱形目和鹰形目各 1 科 4 种，鸛形目、鸱形目、鹤形目都各有 1 科 2 种，其它各目均只有 1 科 1 种。

从留居型来看，留鸟 30 种，占 41.67%，种类最多；其次是夏候鸟 19 种，占 26.39%；旅鸟 12 种，占 16.67%；冬候鸟 11 种，占 15.28%。调查结果中出现 16.67% 的旅鸟，是由于部分春季北迁旅鸟的未达性成熟不参与繁殖活动，未到达繁殖地而在中途游荡的个体和 7 月下旬部分旅鸟已经开始迁徙，以及个别南迁旅鸟的少量个体留置越冬的结果。

由保护级别来看，未观察到国家一级重点保护鸟类，国家二级重点保护鸟类 5 种，即黑翅鸢、赤腹鹰、日本松雀鹰、白尾鹞和红隼。山东省重点保护鸟类有环颈雉、凤头鸛、赤膀鸭、针尾鸭、普通秋沙鸭、蛎鹬、普通鸬鹚、绿鹭、苍鹭、大白鹭、白鹭和黑枕黄鹬等 12 种。《濒危野生动植物种国际贸易公约》附录 II 物种有红隼、黑翅鸢和赤腹鹰 3 种，附录 III 物种有赤颈鸭、针尾鸭、琵嘴鸭、白眼潜鸭、大白鹭和白鹭等 6 种。《中国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境协定》附录中的鸟类有凤头鸛、大杜鹃、黑水鸡等 24 种，《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境协定》附录中的鸟类有金眶鸬、黑尾塍鹬、泽鹬等 12 种。世界自然与自然保护联盟（IUCN）红色名录中的受胁物种有红头潜鸭 1 种，为易危级（VU），没有发现极危级（CR）和濒危级（EN）的受胁物种。

其中凤头鸛、苍鹭在厂址 NNE 方位 1~2km 处有发现，蛎鹬、苍鹭在厂址 WNW 方位 1~2km 处有发现，二级保护鸟类（黑翅鸢）发现位置距厂址最近距离为 2.87km，位于厂址 NE 方位，其他保护鸟类的发现处均距厂址较远。厂区范围未观测到保护类鸟类。

由频率指数法评价结果看，该区域夏季鸟类群落中家燕、麻雀、喜鹊，黑尾鸥等为优势种，白鹭、白头鹎、小鸛鹬等为常见种，绿鹭、黑枕黄鹬等为稀少种。冬季鸟类群落中绿头鸭、红嘴鸥、麻雀、斑嘴鸭为优势种，普通秋沙鸭、喜鹊、西伯利亚银鸥、白骨顶等为常见种，白鹡鸰、棕背伯劳、普通翠鸟等为稀少种。

（4）哺乳动物

厂址半径 10km 范围现场调查记录到东北刺猬 1 只、黄鼬 1 只，其中黄鼬为山东省重点保护动物。

3) 生态系统调查

调查区域的陆域生态系统主要包括草地生态系统、森林生态系统和农田生态系统。

草地生态系统的生产者主要是小飞蓬、翅果菊、罗布麻、砂引草、黄花草木樨、猪毛蒿、鸡眼草、白羊草、烟台补血草、月见草等草本植物，植食性昆虫、鼠类、草兔、鸟类等作为初级消费者通过摄食草地植物的茎叶或种子而获得能量，蛙、蜥蜴、蛇、黑翅鸢、红隼、白尾鹞、黄鼬等肉食性动物作为次级消费者通过猎食作为初级消费者的植食性昆虫、鼠类、鸟类等获得能量，同时黑翅鸢和红隼等猛禽还可以通过猎食肉食性的蜥蜴、蛙和蛇等次级消费者而升级为三级消费者，最后草地上的这些生产者和各级消费者最终经过细菌、真菌等微生物的分解作用而复归自然。

森林生态系统生产者为林地中的杨树、黑松、油松、构树、银杏等高大乔木和胡枝子、桃金娘、黄桅子等灌木以及荻、白茅、小飞蓬、翅果菊、罗布麻、烟台补血草等草本植物，森林中的植食性昆虫、鼠类、草兔、鸟类等作为初级消费者通过摄食森林植物的茎叶或种子获得能量而得以生存，黑翅鸢、红隼、白尾鹞、黄鼬等肉食性动物通过猎食植食性昆虫、鼠类、鸟类等初级消费者而成为次级消费者，或者因猎食其它次级消费者而成为三级消费者，最后森林中的这些生产者和各级消费者最终经过细菌、真菌等微生物的作用而分解。

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

厂址周围以低山丘陵、河谷平原和海岛地貌为主，主要有河流、水库、潮间带等构成的滨海湿地景观，农田、果园等构成的农田景观以及以杨树林等构成的沿岸防护林带。当地植物多样性较为丰富，但缺乏珍惜濒危物种，只有银杏在此分布，且系人工栽植，保护意义不大。从动物多样性来看，本地区兽类欠丰富，且缺乏大型珍稀种类，这主要是由于人为干扰强度大、植被盖度较低、生境破碎化程度较高等造成的。此外，本区域气候较为干冷，加之人为因素的干扰，导致两栖、爬行类物种也不丰富，珍稀濒危物种分布较少。相比其他类群，本地区鸟类丰富度较高，但保护物种相对较少，且由于潮间带主要以沙滩和泥沙滩生境为

主，底栖生物生物量和多样性相对较低，导致鸟类食物不丰富，故而与其南部胶州湾和北部莱州湾相比较而言，本区域鸟类丰富度相对较低。

整体而言，本地区在生物多样性保护格局上发挥一定的作用，但重要性相对较弱。

4) 生态环境状况分级

在厂址调查的基础上，参照《生态环境状况评价技术规范》(HJ192-2015)对厂址所在地区生态环境现状进行评价，评价指标包括生物丰度指数、植被覆盖指数、水网密度指数、土地退化指数和环境质量指数，计算得到生态环境状况指数 $EI=116.18$ ，根据生态环境状况分级标准，生态环境状况指数位于 $EI>75$ 区间内，级别为优，生态系统稳定。

2.3.3 渔业资源及生态概况

2019年5月~2019年12月开展了厂址邻近海域的渔业资源调查和水生生态调查。

本节根据上述调查结果给出厂址半径15km范围内海域水产资源和水生态的现状。调查期间未发现保护性物种。

2.3.3.1 渔业资源现状及评价

2.3.3.1.1 捕捞现状

1) 主要渔港、渔场和渔汛

厂址周围沿海分布大小不等渔港20余个，距厂址半径15km范围内规模较大的中心渔港有2个，其他均为小型渔码头。

厂址附近的青海渔场位于山东半岛南岸，东连石岛渔场，南接海州湾渔场，面积5007平方海里($1.7\times 10^4\text{km}^2$)，位于东经 $121^\circ 27'\sim 121^\circ 53'$ ，北纬 $36^\circ 30'\sim 36^\circ 50'$ ，78海区。水深20~50m，绝大部分海水深度在30m以内。沿岸入海河流和港湾较多，饵料生物丰富，是多种经济鱼虾产卵场，也是人工增殖对虾的主要育肥场所和回捕作业渔场。作业形式以流网、挂网、坛子网和小圆网为主，主要渔获对象有对虾、蓝点马鲛、鲈、鲳、带鱼、黄姑鱼、白姑鱼、马面鲀、远东拟沙丁鱼、鲆鲽类、鹰爪虾、口虾姑、梭子蟹、海蜇等。

由于季节性变化导致洄游性种类和地方性种类的产卵期的不同，使渔业资源密度分布具有明显的季节差异。因此，形成了明显的季节性渔汛，即春汛和秋汛：

-春汛：3~6月为春汛期，春汛资源分布属向岸移动型；

-秋汛: 9~11月为秋汛期, 秋汛资源分布属向外移动型; 一般秋汛大于春汛。

2) 捕捞品种和捕捞量

厂址评价区沿海的海洋捕捞以近海作业为主。捕捞品种主要包括, 鱼类、甲壳类、头足类等。鱼类品种主要包括小黄鱼、梅童鱼、鳀鱼、鲐鱼、蓝点马鲛、银鲳等; 甲壳类主要包括鹰爪虾、口虾蛄、对虾、梭子蟹和日本蟳等; 头足类主要包括日本枪乌贼、长蛸和短蛸等。

2.3.3.1.2 人工养殖现状

厂址所在海阳市近海海域滩涂广阔, 潮滩多为沙、泥沙底质和部分岩礁。厂址半径 15km 范围内有滩涂养殖、池塘养殖、工厂化养殖和网箱养殖, 其中池塘养殖和工厂化养殖场所主要建在沿岸陆地上, 滩涂养殖主要在沿岸潮间带区域, 网箱养殖主要在大于 15m 水深海域。

厂址附近海水养殖区主要分布有海阳南部养殖区, 养殖区面积为 44353ha, 养殖品种主要包括南美白对虾、梭子蟹、牡蛎、贻贝、海参、蛤和蛭等。养殖方式以池塘、筏式、底播为主。其中留格庄镇和凤城街道以海水养殖为主, 养殖品种以贝、蟹、虾为主。

2.3.3.2 水生生态状况

2.3.3.2.1 叶绿素 a 和初级生产力

春季, 大面调查海域表层叶绿素 a 均值为 $0.82\text{mg}/\text{m}^3$; 底层均值为 $0.86\text{mg}/\text{m}^3$; 初级生产力为均值为 $109.98\text{mgC}/(\text{m}^2 \text{d})$ 。

夏季, 调查海域表层叶绿素 a 均值为 $2.27\text{mg}/\text{m}^3$; 底层均值为 $1.38\text{mg}/\text{m}^3$; 初级生产力为均值为 $235.06\text{mgC}/(\text{m}^2 \text{d})$ 。

秋季, 大面调查海域表层叶绿素 a 均值为 $1.41\text{mg}/\text{m}^3$; 底层均值为 $0.92\text{mg}/\text{m}^3$ 。初级生产力为均值为 $122.79\text{mgC}/(\text{m}^2 \text{d})$ 。

冬季, 大面调查海域表层叶绿素 a 均值为 $0.55\text{mg}/\text{m}^3$; 底层均值为 $0.60\text{mg}/\text{m}^3$ 。初级生产力为均值为 $41.44\text{mgC}/(\text{m}^2 \text{d})$ 。

大面调查中夏季表层叶绿素 a 最高, 冬季最低。连续调查中夏季 8:00 左右调查时的叶绿素 a 含量明显高于其他调查时间, 秋季和冬季同一调查站位不同时间段调查叶绿素 a 含量变化规律不明显。

2.3.3.2.2 浮游植物

春季, 大面调查海域共获得浮游植物 29 种, 优势种 4 种, 分别为尖刺伪菱

形藻、布氏双尾藻、丹麦细柱藻和辐射圆筛藻，浮游植物细胞密度平均值为 $29.64 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ 。

夏季大面调查海域共获得浮游植物 2 门 35 种，优势种 8 种，分别为一种圆筛藻、尖刺伪菱形藻、辐射圆筛藻、中肋骨条藻、薄壁几内亚藻、平滑角毛藻、梭角藻、和布氏双尾藻，大面调查浮游植物细胞密度平均值为 $45.63 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ 。

秋季，大面调查海域共获得浮游植物 2 门 55 种，优势种 5 种，分别为钝根管藻半刺变型、布氏双尾藻、一种圆筛藻、刚毛根管藻和旋链角毛藻。大面调查海区浮游植物细胞密度平均值为 $73.68 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ 。

冬季，大面调查海域共获得浮游植物 2 门 29 种，优势种 4 种，分别为一种圆筛藻、中肋骨条藻、一种角毛藻、海洋斜纹藻。大面调查海区浮游植物细胞密度平均值为 $7.64 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ 。

连续站调查中，夏季共采集鉴定浮游植物 2 门 27 种，秋季共采集鉴定浮游植物 2 门 51 种，冬季共采集鉴定浮游植物 2 门 26 种，夏季、秋季、冬季三次调查中，连续观测站同一调查站位不同时间段调查浮游植物种类和数量的变化规律不明显。

2.3.3.2.3 浮游动物

春季，大面调查共鉴定浮游动物 16 种，浮游幼体 4 类，鱼卵、仔鱼各 1 种，优势种 3 种，分别为中华哲水蚤、真刺唇角水蚤、强壮箭虫。浮游动物湿重生物量均值为 103.73mg/m^3 ；个体密度均值为 40.2ind./m^3 。

夏季，大面调查共鉴定浮游动物 36 种，浮游幼体 9 类，鱼卵、仔鱼各 1 种，优势种 4 种，分别为强壮箭虫、背针胸刺水蚤、太平洋纺锤水蚤和瘦尾胸刺水蚤。浮游动物湿重生物量均值为 76.86mg/m^3 ；个体密度均值为 104.9ind./m^3 。

秋季，大面调查共鉴定浮游动物 25 种，浮游幼体 6 类，优势种 6 种，分别为太平洋纺锤水蚤、异体住囊虫、肥胖软箭虫、强壮箭虫、小齿海樽和小拟哲水蚤。浮游动物湿重生物量均值为 228.15mg/m^3 ，个体密度均值为 65.5ind./m^3 。

冬季，大面调查共鉴定浮游动物 23 种，浮游幼体 7 类，优势种优势种 3 种，分别为强壮箭虫、中华哲水蚤、小拟哲水蚤。浮游动物湿重生物量均值为 84.07mg/m^3 ；个体密度均值为 22.8ind./m^3 。

连续调查站中，夏季共采集鉴定浮游动物 28 种，幼虫幼体 9 类；秋季共采集鉴定浮游动物 29 种，幼虫幼体 8 类，仔鱼 1 种；冬季共采集鉴定浮游动物 28

种, 幼虫幼体 3 类, 仔鱼 1 种。连续观测站同一调查站位不同时间段调查浮游动物种类和数量的变化规律不明显。

2.3.3.2.4 底栖生物

春季, 共发现大型底栖生物 45 种, 优势种 2 种, 分别为圆筒原盒螺、江户明樱蛤, 调查未发现常见污损生物。底栖生物湿重生物量平均为 $25.58\text{g}/\text{m}^2$, 栖息密度变化平均为 $116\text{ind.}/\text{m}^2$ 。

夏季, 共发现大型底栖生物 28 种, 优势种 4 种, 分别为不倒翁虫、寡鳃齿吻沙蚕、刚鳃虫和丝异须虫, 调查未发现常见污损生物。底栖生物湿重生物量平均为 $4.32\text{g}/\text{m}^2$; 栖息密度平均为 $103\text{ind.}/\text{m}^2$ 。

秋季, 共发现大型底栖生物 90 种, 优势种 6 种, 分别为不倒翁虫、丝异须虫、日本长尾虫、寡鳃齿吻沙蚕、独指虫和尖锥虫, 发现常见污损生物 1 种。底栖生物湿重生物量平均为 $4.40\text{g}/\text{m}^2$; 栖息密度平均为 $338\text{ind.}/\text{m}^2$, 26 站位发现数量较多的日本长尾虫致使本站底栖生物栖息密度明显高于其他调查站。

冬季, 共发现大型底栖生物 80 种, 优势种 4 种, 分别为不倒翁虫、寡鳃齿吻沙蚕、刚鳃虫和丝异须虫, 调查发现常见污损生物 2 种。底栖生物湿重生物量平均为 $40.63\text{g}/\text{m}^2$, 除去 57 号站外其他调查站生物量平均为 $13.65\text{g}/\text{m}^2$; 栖息密度平均为 $370\text{ind.}/\text{m}^2$ 。

四次调查底栖生物群落结构基本一致。

2.3.3.2.5 潮间带生物

春季, 潮间带生物调查共鉴定潮间带生物 29 种, 优势种 3 种, 分别为一种拟钩虾、绒毛近方蟹和中阿曼吉虫, 调查发现常见污损生物 4 种。潮间带所有调查断面生物量平均值为 $48.03\text{g}/\text{m}^2$, 栖息密度平均值为 $202\text{ind.}/\text{m}^2$ 。

夏季, 潮间带生物调查共鉴定潮间带生物 37 种, 优势种 4 种, 分别为绒毛近方蟹、中间拟滨螺、短滨螺和多齿围沙蚕, 调查发现常见污损生物 5 种。潮间带所有调查断面生物量平均值为 $51.53\text{g}/\text{m}^2$; 栖息密度平均值为 $91\text{ind.}/\text{m}^2$ 。

秋季, 潮间带生物调查共鉴定潮间带生物 56 种, 优势种 3 种, 分别为短滨螺、托氏昌螺和一种牡蛎, 调查发现常见污损生物 9 种。潮间带所有调查断面生物量平均值为 $53.06\text{g}/\text{m}^2$; 栖息密度范围平均值为 $100\text{ind.}/\text{m}^2$ 。

冬季, 潮间带生物调查共鉴定潮间带生物 50 种, 优势种 4 种, 分别为短滨

螺、肉球近方蟹、短叶索沙蚕和须鳃虫，调查发现常见污损生物 4 种。潮间带所有调查断面生物量平均值为 $200.49\text{g}/\text{m}^2$ ；栖息密度平均值为 $168\text{ind.}/\text{m}^2$ 。

四次调查潮间带生物群落结构基本一致。

2.3.3.2.6 鱼卵仔稚鱼

春季使用水平网和垂直网调查，在 7 个调查站位中共采集到鱼卵 10 种，其中鯤鱼卵 17 粒，占总卵数的 31.48%；多鳞鱮 11 粒，占总卵数的 20.37%，斑鱮 10 粒，占总卵数的 18.52%。仔稚鱼 5 种，其中虾虎鱼科仔稚鱼 9 尾，占总仔稚鱼数量的 39.13%，鮟仔稚鱼 7 尾，占总仔稚鱼数量的 30.43%，鯤鱼仔稚鱼 3 尾，占总仔稚鱼数量的 13.04%，皮氏叫姑鱼仔稚鱼 3 尾，占总仔稚鱼数量的 13.04%。调查的 7 个站位中，有 6 个站位捕获到鱼卵和仔稚鱼出现，其中有 6 个站位有鱼卵出现，鱼卵出现频率为 85.71%，6 个站位采到仔稚鱼，出现频率为 85.71%。水平网鱼卵最大值为 15 粒/站，最小值为 0，平均为 7.86 粒/站；仔稚鱼最大值为 2 粒/站，最小值为 0，平均为 0.86 尾/站。鱼卵平均密度为 $1.02\text{粒}/\text{m}^3$ ，仔稚鱼平均密度为 $0.11\text{尾}/\text{m}^3$ 。垂直网鱼卵最大值为 2 粒/站，最小值为 0，平均为 0.57 粒/站，仔稚鱼最大值为 13 粒/站，最小值为 0，平均为 2 尾/站。鱼卵平均密度为 $0.11\text{粒}/\text{m}^3$ ，仔稚鱼平均密度为 $0.4\text{尾}/\text{m}^3$ 。由空间分布看，春季鱼卵和仔稚鱼密度远岸水域大于近岸水域。

夏季使用水平网和垂直网调查共采集鱼卵 3151 粒，仔稚鱼 15 尾，隶属于 5 目 8 科 9 属。其中鱼卵共 9 种，多鳞鱮卵为 2098 粒，占总卵数的 66.58%；鯤鱼卵 789 粒，占总卵数的 25.04%，斑鱮卵 116 粒，占总卵数的 3.68%；小带鱼卵 74 粒，占总卵数的 2.35%。仔稚鱼 4 种，其中，鮟仔稚鱼 8 尾，占总仔稚鱼数量的 53.33%；鯤鱼仔稚鱼 4 尾，占总仔稚鱼数量的 26.67%。水平网调查的 7 个站位中，全部有鱼卵出现，鱼卵出现频率为 100%，6 个站位采到仔稚鱼，出现频率为 85.71%。水平鱼卵平均为 450 粒/站，仔稚鱼平均为 2.14 尾/站，鱼卵平均密度为 $58.5\text{粒}/\text{m}^3$ ，仔稚鱼平均密度为 $0.27\text{尾}/\text{m}^3$ 。垂直网调查的 7 个站位中，有 6 个站位有鱼卵出现，鱼卵出现频率为 85.71%，6 个站位采到仔稚鱼，出现频率为 85.71%。垂直鱼卵最大值为 9 粒/站，最小值为 0，平均为 3.14 粒/站，仔稚鱼最大值为 7 粒/站，最小值为 0，平均为 1.71 尾/站，鱼卵密度最大值为 $1.8\text{粒}/\text{m}^3$ ，最小值为 0，平均密度为 $0.63\text{粒}/\text{m}^3$ ，仔稚鱼平均密度为 $0.34\text{尾}/\text{m}^3$ 。从空间分布

上, 鱼卵仔稚鱼主要分布在排水口东南侧海域, 但靠近排水口区域的鱼卵仔稚鱼相对较少。

秋季使用水平网和垂直网调查, 共采集到鱼卵 89 粒, 仔稚鱼 3 尾。其中鱼卵 5 种, 鳀鱼卵为 82 粒, 占总卵数的 92.13%, 舌鳎属一种 3 粒, 占总卵数的 3.37%, 半滑舌鳎卵 2 粒, 占总卵数的 2.25%, 花鲈和小带鱼卵各 1 粒, 分别占总卵数的 1.12%。仔稚鱼 1 种, 鳀鱼仔稚鱼共 3 尾。可以看出, 鳀鱼在调查海域的鱼卵中占有绝对的优势, 为优势种。仔稚鱼的优势种也是鳀鱼。水平网调查的 7 个站位中, 6 个站位有鱼卵出现, 鱼卵出现频率为 85.71%, 2 个站位采到仔稚鱼, 出现频率为 28.57%。水平鱼卵平均为 12.29 粒/站, 仔稚鱼平均为 0.43 尾/站, 鱼卵平均密度为 1.60 粒/m³, 仔稚鱼平均密度为 0.06 尾/m³。垂直网调查的 7 个站位中, 只有 2 个站位有鱼卵出现, 鱼卵出现频率为 28.57%, 没有采到仔稚鱼。垂直鱼卵出现在 3 号和 5 号站位, 分别只捕获 2 粒和 1 粒鳀鱼卵。

冬季使用水平网和垂直网调查, 共采集到鱼卵 2 粒, 仔稚鱼 1 尾。其中鱼卵 1 种, 方氏云鳎卵为 2 粒。石鲈仔稚鱼 1 尾。冬季调查海域的鱼卵仔稚鱼分布非常少, 水平网没有调查到鱼卵仔稚鱼。同秋季调查结果一样, 垂直网调查的 7 个站位中, 只有 2 个站位(3 号和 5 号站位)有鱼卵出现, 鱼卵出现频率为 28.57%, 分别只捕获 1 粒方氏云鳎卵。只采到 1 尾石鲈仔稚鱼。

2.3.3.2.7 渔业动物

春季共捕获渔业动物 38 种, 其中鱼类 21 种, 占 55.26%; 甲壳类 14 种, 占 36.84%; 头足类 3 种, 占 0.80%。春季调查海域游泳动物优势种为 3 种, 分别是口虾蛄、脊腹褐虾和双斑蟳, 双斑蟳优势度最高, 其次是脊腹褐虾。重要种 11 种, 依次为大头鳕、戴氏赤虾、叫姑、日本鼓虾、鹰爪虾等, 常见种 14 种, 依次为叫黄鲩、鲜明鼓虾、赤鼻棱鳀、细条天竺鱼等。春季调查海域物种丰富度指数(D)范围为 1.23~3.22, 平均值为 2.27, 物种均匀性指数(J')范围为 0.37~0.659, 平均值为 0.50, 物种多样性指数(H')范围为 0.96~1.86, 平均值为 1.37。

夏季航次共捕获渔业生物 52 种, 其中鱼类 30 种, 占 57.69%; 甲壳类 19 种, 占 36.54%; 头足类 3 种, 占 5.77%。夏季渔业生物有 5 种优势种, 分别是双斑蟳、小黄鱼、口虾蛄、戴氏赤虾和细条天竺鱼, 双斑蟳优势度最高, 其次是小黄鱼。重要种 8 种, 依次为日本枪乌贼、三疣梭子蟹、绿鳍鱼、鲑鱼、鹰爪虾、短

吻红舌鳎、白姑鱼和黄鲫，常见种 10 种，包括叫姑、细巧仿对虾、矛尾鰕虎鱼、周氏新对虾、赤鼻棱鯧、日本鼓虾等；一般种 20 种，包括角木叶鲷、黄鮟鱇等。秋季航次共捕获渔业生物 42 种，其中鱼类 27 种，占 64.28%；甲壳类 12 种，占 28.57%；头足类 3 种，占 7.15%。夏季调查海域物种丰富度指数（D）范围为 1.82~3.76，平均值为 2.59，物种均匀性指数（J'）范围为 0.28~0.87，平均值为 0.59，物种多样性指数（H'）范围为 0.83~2.27，平均值为 1.69。

秋季航次共捕获渔业生物 42 种，其中鱼类 27 种，占 64.28%；甲壳类 12 种，占 28.57%；头足类 3 种，占 7.15%。秋季渔业生物有 6 种优势种，分别是日本枪乌贼、三疣梭子蟹、细巧拟对虾、口虾蛄、细条天竺鱼和小黄鱼，日本枪乌贼优势度最高，其次是三疣梭子蟹。重要种 8 种，依次为绿鳍鱼、鹰爪虾、双斑蟳、带鱼、方氏云鳎、周氏新对虾、黄鮟鱇和戴氏赤虾，常见种 13 种，包括银鲳、黄鲫、白姑鱼、叫姑、长蛸等；一般种 12 种，包括矛尾鰕虎鱼、黄姑鱼、角木叶鲷等。秋季调查海域物种丰富度指数（D）范围为 1.78~3.58，平均值为 2.94，物种均匀性指数（J'）范围为 0.24~0.76，平均值为 0.6，物种多样性指数（H'）范围为 0.77~2.18，平均值为 1.69。

冬季航次共捕获渔业生物 42 种，其中鱼类 22 种，占 52.38%；甲壳类 17 种，占 40.48%；头足类 3 种，占 7.14%。冬季渔业生物有 5 种优势种，分别是日本鼓虾、细巧拟对虾、细螯虾、口虾蛄和黄鮟鱇，日本鼓虾优势度最高，其次是细巧拟对虾。重要种 10 种，依次为三疣梭子蟹、脊腹褐虾、双斑蟳、长蛸、日本枪乌贼、双喙耳乌贼等，常见种 14 种，包括龙头鱼、鹰爪虾、方氏云鳎、绿鳍鱼、小黄鱼等；一般种 9 种，包括黄鲫、小带鱼、褐鲳鲷等等。冬季调查海域物种丰富度指数（D）范围为 2.57~4.01，平均值为 3.36，物种均匀性指数（J'）范围为 0.34~0.79，平均值为 0.60，物种多样性指数（H'）范围为 1.04~2.43，平均值为 1.83。

2.3.3.2.8 重要水生生物的生活习性

1) 优势种的生活习性

调查区及附近海域洄游于近海的渔业种类约有 260 种，较重要的经济鱼类和无脊椎动物近 80 种。

主要底层鱼类有：小黄鱼、黄姑鱼、白姑鱼、鲷鱼、叫姑鱼、梅童、带鱼、

鲈鱼、鲮鱼、六线鱼、黑裙、真鲷、鳕鱼、多鳞鱈、蛇鲻、大银鱼、油鲳、梭鱼、短鳍红娘鱼、绿鳍鱼、海鳗、星鳗、绵鳚、细纹狮子鱼、孔鳐、华鳐、美鳐、团扇鳐、赤魴、白斑星鲨、白斑角鲨、扁头哈那鲨、真鲨、牙鲆、高眼鲽、黄盖鲽、石鲽、木叶鲽、长鲽、半滑舌鳎、紫斑舌鳎、绿鳍马面鲀、假睛东方鲀、黄鳍东方鲀等，约占总生物量的 56%。

主要中上层鱼类有：蓝点马鲛（鲅鱼）、银鲳、鲐鱼、太平洋鲱（青鱼）、远东拟沙丁鱼、鳓鱼、竹荚鱼、燕鳐、黄鲫、斑鲈、青鳞、鳀鱼、棱鳀、小鳞箴、玉筋鱼、刀鲚、凤鲚等，约占总生物量的 22%。上述说明，调查区沿海渔业资源以多种类为特征，虽然存在优势种，但其优势度不够明显，渔业产量由较多个种类集合而成。

调查区地处暖温带，近海鱼类种类具有较明显的暖温带特点，因此，渔业资源中暖温性种类占主要地位，其次为暖水性种类。若按种类计，在较重要的经济种类中暖温性种占 54%，暖水性种占 35%，冷温性种占 11.1%；按重量计，在主要的经济种类中暖温性种占 70%，如鲅鱼、鳀鱼、青鳞、小黄鱼等，暖水性种占 20%，如黄鲫、叫姑鱼、鲐鱼等，冷温性种占 10%，如绵鳚、细纹狮子鱼。

按栖息水层分，主要生活在底层和近底层的有 37 种，占 58.7%，在中上层的有 26 种，占 41.3%。主要种类有鳀鱼、青鳞、黄鲫、鲅鱼、鲐鱼、银鲳、太平洋鲱鱼等，其次为底层鱼类，主要种类有小黄鱼、高眼鲽、孔鳐、华鳐、细纹狮子鱼、鮫鰈、牙鲆、鲈鱼、黄姑鱼等。

调查区近海水生生物基本属于两个生态类型：

地方性资源：栖息在河口、岛礁和较浅水域，随着环境的变化，作深浅水季节性移动。一般春、夏季游向岸边产卵，秋、冬季游向较深水域。由于移动范围不大，洄游路线一般不明显。属于这一类型的种类较多，多为暖温性及冷温性地方性种群。如六线鱼、黑鲟、多鳞鱈、太平洋鲱、鳕鱼等。

洄游性资源：多为暖温性及暖水性种类，分布范围较大，有明显的洄游路线，少数种类作较长距离的洄游（如鲅鱼、鲐鱼等）。一般春季游向近岸 30 米以内水域进行生殖活动，夏季分散索饵，主要分布在 20~60 米水域。秋季随着水温下降，则游向较深、较暖的水域。冬季主要在黄海洼地及东海北部水深 60-80 米深水区越冬。这一类群数不如前一类多，但资源量较大，多为调查区的主要渔业种类。

如鲅鱼、银鲳、鲳鱼、黄鲫、鳓鱼、小黄鱼、黄姑、鲈鱼。

2) 重要水生生物的洄游路线

调查区内主要鱼类的洄游移动按生态习性可分为三个类群：

第一类群：主要为黄渤海种群的暖温性鱼类，越冬场位于黄海中南部至东海北部的连青石、大沙、沙外及江外渔场。春、夏季鱼群大致分三路北上产卵洄游，各路的洄游模式特征是：一路向西偏北经长江口、吕泗外海进入山东南部日照近海产卵场产卵。秋季在海州湾、连青渔场索饵，入冬后返回越冬场；另一路向西北到达山东半岛以南近海产卵，产卵后即分布在附近海区索饵，直到进行越冬洄游；第三路鱼群的洄游路线比较长，由越冬场直接北上到达成山头外海，然后分成2支，一支继续向北到鸭绿江口进行产卵，另一支则折向西，经烟威外海进入渤海，分别游向莱州湾、渤海湾及辽东湾等产卵场，入秋后又分别从各湾游出渤海，返回原越冬场。属于这一类群的鱼类主要是底层鱼类。如小黄鱼、带鱼、鳓鱼、黄姑鱼、蓝点马鲛等。

第二类群：主要为黄海地方性种群的冷温性鱼类。大都栖息在黄海北部局部海区。该类群的鱼类洄游距离较短，仅随季节变化进行深水→浅水→深水的越冬、生殖索饵洄游。产卵期随鱼种有所差异，主要在冬末初春和春季。产卵结束后即分布在产卵场附近海区索饵，夏、秋季逐渐向深水作索饵、越冬洄游。属于这一类群的鱼类为数不多，主要有太平洋鲱、鳕鱼、高眼鲱等。

第三类群：主要为黄渤海种群的暖水性鱼类。越冬场或在东海中南部，或在黄海南部至济州岛附近海区。春、夏季鱼群主要分三路北上作产卵、索饵洄游，各路的模式特征是：一路从东海中南部越冬场出发，沿 123°00'E 线向北洄游，直达成山头附近即分别转向烟威和海洋岛渔场产卵；另一路则在成山头附近向西直接进入渤海；第三路从济州岛及其附近越冬场出发，向西北方向洄游，途径大沙渔场，然后分别到达青岛—石岛外海和海州湾产卵，产卵后的鱼群即向东、东南外海索饵。秋季这些鱼群大致沿 123°30'E 线南下进行越冬洄游。属于这一类群的鱼类为数不多，主要是中上层鱼类的鲈鱼、蓝点马鲛等。

三类群的产卵场和索饵场在黄海海域均有分布，厂址南侧的开敞海域涉及部分类群的产卵场和索饵场，最近位置距离厂址约 10~20km。

2.3.4 工业、交通及其它相关设施

2.3.4.1 工业

海阳市的工业体系坚持传统产业提升与新兴产业培育并举,推进工业化与信息化深度融合,加快培育优势产业集群,形成了以核电为代表的新能源、机械装备制造、海洋工程、电子信息、生物化工、汽车工业等新兴产业工业体系。

2020年,海阳市有规模以上工业企业176户,工业总产值(当年价)227.28亿元,主营业务收入222.81亿元,利润总额15.01亿元,资产总计923.28亿元。主要涉及的行业有纺织服装服饰、食品加工制造、装备制造、金属制品、化工等行业。其中:纺织服装、服饰业47户,食品加工制造业7户,装备制造业21户,金属制品业8户,化工行业8户,其他行业85户,分别占规模以上工业企业总数的26.7%、4%、11.9%、4.5%、4.5%、48.4%。

厂址半径15km范围内涉及水产品加工、羊毛衫加工、机械制造、电力生产、船舶制造等行业,共有规模以上工业企业27家。

2.3.4.1.1 工矿企业现状

1) 厂址半径5km范围内工业企业现状

厂址半径5km范围主要涉及海阳核电装备制造工业园区,该区域内有7家企业。

2) 厂址半径15km范围内规模工业企业现状

海阳核电厂位于山东省海阳核电装备制造工业园区内,该园区于2012年底成立,面积36km²,主要产业是核电及新能源、高端装备制造、临港工业。目前园区内有新能源产业项目20余个,初步形成了从核电建筑安装、设备制造到运营服务为一体的全链条产业体系,已成为知名的央企投资聚集区。园区内共有重点企业14家,总投资额约1721.35亿元,2021年产值约105.39亿,共有员工人数约1820人。上述14家工业企业中有9家为年产值2000万元以上的规模工业企业。

海阳市东方航天港产业新城项目于2020年4月22日正式开工。该产业新城位于厂址WNW~W方位约7.8km~15.3km处,总用地面积34.19km²,总投资230亿元。2021年东方航天港产业新城累计签约项目10个。至2022年4月已累计引进12个航空航天相关项目,总投资超百亿元,涉及火箭研发制造、卫星数据应用、航天高端配套、航天航海装备、空天运输及搭载服务、航天文化旅游、航天科技应用等领域。

凤城街道的规模以上工业主要以制衣业和纺织业为主，此外还有机械制造、钢铁铸件制造、玻璃制造、混凝土生产等企业。其中，规模以上工业企业有 13 家。

留格庄镇私营企业较为发达，大部分工业企业分布于留格庄村（原留格庄镇工业园区）附近。留格庄镇工业企业以毛衫加工和石材加工为主。现辖区内有规模以上工业企业 2 家。

乳山市海阳所镇发展定位为以现代服务、旅游休闲、现代渔业为主的旅游服务型城镇，该镇工业企业主要分布于镇区附近以及银海工业园（位于镇区，距离厂址较远），已经形成以内燃机连杆、汽车零部件、玻璃钢沼气池、海产加工食品、大姜制品为主的工业企业。根据调查，海阳所镇有 4 家规模以上工业企业，均位于镇区附近，距离厂址超过 15km。

乳山市乳山寨镇的发展定位为以现代农业、旅游为主的生态型城镇，主导行业有农药、铸件、化工、食品生产和服装加工等，现有的工业企业主要沿省道 202 和省道 208 分布，距离厂址较远。乳山寨镇只有 1 家规模以上工业企业，距离厂址超过 15km。

2.3.4.1.2 工业发展规划

（1）核电装备制造工业园区产业规划

本项目位于核电装备制造工业园区内，根据《山东省海阳核电装备制造工业园区总体规划（2009~2030 年）》（2009 年），未来核电装备制造工业园区产业总体发展策略主要为重点发展核电，积极培育临港装备产业，兼容发展先进制造业和适度发展现代服务业。是一个以核电产业为核心、海洋经济为主导，集科技研发、装备制造、运营维护、职教培训、仓储物流、滨海特色旅游、综合服务于一体的滨海生态型产业新区，成为推进我国核电设备国产化进程和山东省蓝色经济发展的重要平台。

目前核电装备制造工业园区进驻的企业主要为电力生产、机械制造、水产品加工等行业，不涉及油、气、危险品等仓储设施企业。

（2）海阳市产业规划

根据《海阳市城市总体规划》（2015-2035 年）（2018.12），海阳市规划如下：

海阳市全市产业功能定位为“两区、三基地”，即全国著名滨海休闲旅游度假区、区域性高端服务业聚集区、全国重要核电临港装备制造基地、国内外知名毛衫针织品牌生产创新基地以及区域性新兴产业研发孵化基地。

规划市域产业形成“一带、双核、四组团、五大板块和多点”。

“一带”：滨海产业聚集带，深度融入蓝色经济区发展，打造以海洋新兴产业为主导的产业聚集发展带；

“双核”：南部现代服务核-重点培育生产性服务和高端旅游服务；北部综合服务核-以商贸物流、生活服务为主。

“四组团”：中部综合高端产业组团以高端装备、电子信息、海洋生物医药、纺织创意、运动休闲旅游为主导；东部核电临港组团以核电产业、海工装备制造、海洋工程为主导；西部文化旅游组团以滨海旅游、养生健康、商务会展、科研孵化、汽车会展及零部件制造为重点；北部产业突破组团以现代物流、品牌商贸、先进制造、外向型高效农业为重点。

“五大板块”：分别为丘陵优质林果区、山区高质林木苗圃区、谷底高效粮食区、高端都市农业区和离岸高端养殖区。

“多点”：分别为行村汽车配套产业园、小纪工业园、朱吴生态文化产业园、盘石店生态文化产业园、发城工业园、郭城工业园等一二三产协调发展产业基地。

规划以经济开发区、核电产业区、丁字湾文化旅游产业集聚区和行村汽车配套产业园为核心，引导优势产业资源沿海集聚发展。优化和升级传统产业，积极培育海阳战略性新兴产业和高端海洋服务业；推进滨海产业集聚带和西海岸新区的政策叠加、产业对接、联动联进，释放出集聚集群效应，构筑开放型产业。

根据上述规划，厂址处于规划中的滨海产业集聚带，厂址半径 15km 范围内涉及临近的东部核电临港组团。该区域以核电装备制造业配套产业为主，结合凤城及留格庄镇，按照镇区一体的发展模式，打造山东核电产业基地。

(3) 东方航天港产业新城规划

东方航天港产业新城位于厂址 WNW~W 方位，其最近处距厂址约 7.8km。

东方航天港产业新城的发展目标为：国际级商业航天产业中心，“一带一路”开放合作新高地；国家级海上航天发射母港，航天强国、海洋强国战略的重要支点；山东省航空航天产业引领区，省内重要的新动能策源地及军民融合示范区。

发展定位为：国际重要的商业航天产业基地，以海上航天发射为牵引的国家

级空天信息产业新城，绿色生态智慧新城。

（4）乳山市产业规划

根据《乳山市城市总体规划（2018~2035年）》（2018.10），乳山市将积极发展海洋经济核心层产业。要发展壮大现代海洋渔业，形成一批具有海洋生物、海洋新材料、海洋新能源、装备制造等方面的拳头产业，并使之成为全省重要的产业基地。

乳山市的产业定位：生态农业采摘游地、海洋特色现代逸城、养生度假休闲胜地和威海市新兴产业发展新星。

抓住国家实施“中国制造 2025”战略的机遇，改造提升传统产业，大力发展战略性新兴产业，推动制造业向高端化、集群化方向发展。重点发展五大产业：装备制造产业、绿色食品与生物科技产业、新材料产业、节能环保产业及纺织服装产业。

打造市域“三区协同、两廊贯穿、多点支撑”的产业布局。构建以绿色工业为核心，现代服务为支撑，休闲旅游度假为特色，生态农业为基础的绿色产业体系。

— 三区：

· 北部生态农业、旅游发展区，中部城镇、产业发展区，南部海洋经济发展区。

— 两廊

对黄垒河与乳山河进行综合改造，提升景观品质，串联农业园、农业休闲园、田园综合体、美丽乡村等，打造贯穿市域的两条沿河经济带、景观带。

— 多点

依托现有产业和资源的基础，优化提升、传承创新，重点打造经济开发区、新兴产业园、银滩度假区、安全食品产业园、南黄制造区、大乳山风景区等。

2.3.4.2 交通

2.3.4.2.1 陆上交通

1) 公路

厂址所在的海阳市现状公路由高速公路、国道、省道、县乡道等组成，里程总数达到 596.29km（不含高速公路），路网密度 0.163 km/km²，总体呈现南密

北疏的特点。

厂址半径 15km 范围内的公路有：

——G1813 威青高速海阳段（青岛-威海），原为 S24，位于厂址北侧，距厂址的最近距离为 9.0km；

——S11 烟海高速（烟台-海阳），位于厂址西北侧，距厂址的最近距离 10.6km；

——G228 海阳段（丁字湾大桥-桃源），该国道由原海翔路改为 G228，位于厂址北侧，距厂址的最近距离约 4.7km；

——S202 青石线（乳山至即墨），位于厂址北侧，距厂址的最近距离 9.2km；

——S210 烟凤线（烟台至凤城）桃村-凤城段，位于厂址西侧，距厂址的最近距离 13.2km；

——S306 海莱线（海阳至莱阳）燕翅山-凤城段，位于厂址西侧，距厂址的最近距离 13.2km；

——X085 高凤线（高家-凤城）位于厂址西北侧，距厂址的最近距离为 9.3km；

——X093 周大线（周格庄-大埠圈），为核电厂的进厂道路，也称海核一路，北接威青高速公路，南到海阳核电厂，全长 8.5km，为二级公路。路基宽度为 18.0m，路面宽度为 15.0m，双向四车道，于 2004 年 8 月通车。

——X092 滨海公路，为核电厂的应急道路，也称海核二路，全长约 10km，东西走向，东至核电厂，西连 X085 高凤线，通往凤城街道。该道路为双向四车道，于 2009 年 8 月通车。

表 2.3-3 给出了厂址附近主要的公路情况。

厂址半径 5km 范围内交通发达，涉及公路有 G228 海阳段、X093 周大线（海核一路）和 X092 滨海公路（海核二路），除此之外，厂址半径 5km 范围的道路为村道。

厂址半径 15km 范围内没有规划新建的公路。

2) 铁路

厂址半径 15km 范围内无铁路通过。

厂址所在的海阳市现有铁路 2 条，分别为青烟威荣城际铁路和蓝烟铁路。这两条铁路均距离厂址较远，位于厂址半径 30km 范围外。另在建的莱荣高铁位于

厂址半径 15km 范围内。莱荣高铁最近处位于厂址 NNW 方位约 9km 处，从厂址北侧紧邻威青高速南侧穿过。

根据《新建铁路莱西至荣成铁路环境影响报告书》（2020 年 6 月），莱荣城际铁路建设标准为高速铁路，双线，电力牵引，设计速度目标值为 350km/h，运行长 422m 的长途跨线车和长 211m 的城际列车 2 种类型的列车。规划 2030 年年客流密度 843 万人次，2040 年年客流密度 1140 万人次；规划 2030 年每天 39 对车，规划 2040 年每天 54 对车。计划于 2024 年建成。

厂址半径 15km 范围内规划的铁路为远景海阳港的疏港铁路，最近处位于厂址 W 方位约 8km 处。

2.3.4.2.2 海上交通

1) 港口和码头

厂址半径 15km 范围内，较大的港口有烟台港海阳港区和威海港乳山港区。

(1) 海阳港区

海阳港区是以商为主、渔业为辅的综合性港口，为国家一类开放口岸。港区位于山东半岛南岸，行政区属海阳市凤城街道办事处。港口濒临黄海，东北为乳山口，西南为丁字河口。位于厂址 W~WSW 方位约 13km 处。2020 年，海阳港港口货物吞吐量为 94.5 万 t，同比下降 88.7%。受一类口岸开放利好影响，外贸吞吐量为 12 万 t，同比增长 14.5 倍。

一港口现状

海阳港区具有良好的集疏运条件，交通方便，货源充足，主要进口货种为煤炭和化肥，主要出口货种为粮食、水泥、石子、建材等。

海阳港区分为海阳港区西作业区和海阳港区东作业区。

——海阳港区西作业区为海阳港老港区，建设主体为海阳港务有限公司，已建成的码头工程均位于西作业区。目前有生产线泊位 5 个：2 个水深-9.5m 的 10000 吨级泊位，1 个水深-8m 的 5000 吨级杂货泊位，2 个 3000 吨级的舾装码头，泊位有效长度为 535m，设计年吞吐能力为 180 万吨；已建成水深-7.7m，宽 100m，总长度 4830m 的万吨级航道。

——海阳港区东作业区位于核电厂址 WSW 方位约 11.5km 处，计划建设 5 万吨级通用泊位 2 个，年吞吐能力 300 万吨；计划建设 5 万吨级进港航道 1 条，长 10km。计划建设防波堤 8719m，防波堤一期工程（长 3.7km）已完成。

一港口规划

根据《烟台港海阳港区总体规划》（交规划发[2010]355号），规划确定海阳港区的性质为：海阳港是烟台港的重要港区，是海阳市及周边腹地经济发展的重要支撑，是海阳市临港产业开发的重要依托。海阳港区主要服务地方经济发展，将以散、杂货运输为主，兼顾集装箱喂给和支线运输。

《烟台港海阳港区总体规划》将海阳港区规划为东部作业区和西部作业区两个作业区和远景预留发展区组成：

——东部作业区为海阳港区未来重点发展的区域，为由北向南回填海域，并在离岸约 4.7km 处形成 2 个突堤型港口岸线及陆域，港池和突堤间隔布置，主要为招商引资港口建设区并满足临港产业区企业对码头泊位的需要。规划区内东部作业区将以散杂货装卸为主，近期规划形成 10 个 2~5 万吨级散杂货泊位以及 2 个 5 万吨级危险品泊位。

——西部作业区在海阳港区一期工程（已经竣工）基础上向南延伸 1km 作为二期工程，规划形成 3 个 3 万吨级通用泊位及 2 个 2 万吨级液体化工泊位。在二期南端继续延伸 1.17km 作为三期工程，形成 4 个 5 万吨级多用途泊位岸线。西部作业区规划期内主要承担腹地生产所需散杂货装卸及部分油品进出中转运输任务，并兼顾少量集装箱运输。

（2）乳山港

一港口现状

乳山港位于山东半岛东南部，乳山市境内，在乳山河入海口的东岸，大乳山的对岸，码头南面有大乳山为屏障，西面有垛山共扼，港内掩护条件好。位于厂址 NE 方位约 14.5km 处，为国家一类开放港口。

乳山港拥有万吨级散杂货泊位，生产、生活辅助设施齐全，2020 年货物吞吐量为 396.04 万吨。港外运货种以矿建材料和农副加工产品为主，同时引进腹地经济发展所需的煤炭、木材、钢材、化肥、机械设备等物资。

目前乳山口港旗杆石渔港、西侧修船厂、东侧乳山口港区扩建一期工程岸线已开发，共计 1.7km，其中深水岸线长度 0.4m，其他岸线基本处于自然状态。

一港口规划

根据《威海港总体规划》（2009 年），威海港乳山口港区由乳山东作业区和大乳山作业区两部分组成，图 2.3-23 给出了乳山港总体规划布局图。

根据《威海港乳山口港区总体规划修定环境影响报告书》(2019年12月),对乳山口港区范围进行了调整。由于缩减了原规划乳山东作业区的填海区域,故新增旗杆石村东侧自然岸线1.6km。将大乳山作业区作为远期规划内容,用途为旅游,新增自然岸线1.2km。此外,根据港口规划的要求,规划水域向西南方向扩大部分面积。调整后乳山口港区规划陆域范围北至开拓五路,西至省道S207,南至国道G228,东至开拓七路与海湾路(规划路线,尚未建设)交汇处,包括乳山东作业区和大乳山作业区。其中,乳山东作业区包括已建修造船工业区、海洋装备工业区、已建通用码头区、多用途码头区、滚装码头区、支持系统区、临港物流园区;大乳山作业区主要为游船和游艇码头区。

根据《威海港乳山口港区总体规划修定环境影响报告书》(2019年12月),乳山口港区乳山东作业区从西向东划分为已建修造船工业区、海洋装备工业区、已建通用码头区、多用途码头区、滚装头区、支持系统区、临港物流园区七个区域,规划布置多用途、滚装、通用等各类头泊位共10个。规划形成港口用地约319.2万m²,设计年通过能力总计1470万t。规划货种包括煤炭、矿石、钢材、水泥、木材、化肥、粮食、矿建材料、集装箱,规划吞吐量为2020年430万t、2030年1470万t;规划输运旅客2030年18万人次。预测2024年、2034年乳山口港区总吞吐量分别为430万t、1470万t。

大乳山作业区为远期规划,用作旅游用途,未进行具体功能规划。

(3) 厂址5km范围内的渔港码头

厂址周围沿海分布大小不等的渔港码头(停泊点)合计40余个,其中约33个渔港和停泊点位于厂址半径15km范围内,8个位于厂址半径5km范围内。

2) 航道及锚地

(1) 海阳港

——航道现状

海阳港区现有万吨级进港航道,宽100m,底高程为-7.7m,长约4.4km。

海上航线距海阳核电厂最近的直线距离约为13km。

——航道规划

规划西部作业区航道按5万吨级散货船(兼顾2万吨级危险品船舶)乘潮单向航行考虑,总长10.3km。

规划东作业区5万吨级航道按5万吨级危险品船舶及5万吨级散货船乘潮单

向航行综合考虑，总长约 8.1km。

——锚地

海阳港区现有 #1 锚地，位于现有万吨级航道的西侧，水深 4~6m，面积约 6.25 km²，为 5 千吨级以下船舶锚地。

规划 #2 锚地水深 15m，面积约 27.2km²，为 5 千~5 万吨级船舶锚地。

(2) 乳山港

——航道及锚地现状

乳山口港进港航道为天然航道，现有航道仅能满足 5000 吨级船舶乘潮通航。随着 2 万吨散杂泊位的建成运营，乳山港于 2010 年 4 月开工建设 2 万吨级单向航道，航道总长 11233.6m。

目前，乳山口湾外现有 5000 吨级散杂货轮候潮待泊锚地（1#锚地），在进港航道西南侧，距厂址最近 11.0km。

——航道及锚地规划

(1) 航道

为了合理利用水域、尽可能减少开挖工程量，航道与港池船舶回旋水域共用。航道由乳山口外向乳山湾内分段布置。

(2) 锚地

根据规划港区规模以及乳山湾内、外水域状况，综合考虑水深、底质、船舶进出便利以及风浪等因素，规划在湾外主航道东南侧设置 2 块面积各为 5.8km² 的 5 万 t 级及以下锚地（2#锚地、3#锚地）。其中，2#锚地主要功能为待泊、检疫，兼具应急、公益等功能；3#锚地主要功能为避风，兼具应急、公益等。锚地与主航道距离约 6km，距厂址最近约 11.0km。

2.3.4.2.3 机场及航空线

厂址距青岛胶东机场 122 千米、距烟台蓬莱机场 111km、距威海大水泊机场 91km、距威海拟新建机场 82km；距厂址最近的航线为 H101（莱阳-屯里段），距离 68km。

厂址半径 16km 范围内无民用机场，厂址半径 4km 范围内无民用飞机航线通过。

根据《山东省民用机场布局规划（2018-2035 年）》，海阳市至 2025 年没有通用机场的建设规划，在 2026-2035 年规划建设 A3 级通用机场。

根据《海阳市城市总体规划（2015—2035年）》（2018.12），海阳市规划在海鑫路东侧，海景路以南（厂址 W 方位约 12.1km 处）新建标准的通用机场 1 处，用地规模控制在 30ha 以内。通用机场主要服务于航空旅游、航空运动等新兴消费服务，提供航空救援、娱乐飞行等水上通用航空器服务，提供直升机起降商业服务。

2.3.4.3 其他相关设施

厂址附近学校、敬老院、医院等设施情况情况参见 2.2.1.2 节。

2.3.4.4 外部人为事件

2.3.4.4.1 外部人为事件调查范围及内容

1) 调查范围

根据核安全导则《核电厂厂址选择的外部人为事件》（HAD101/04），外部人为事件潜在危险源筛选距离值（SDV）如下：

- 火灾 1~2km
- 爆炸 5~10km
- 危险气云源 8~10km
- 航线及起落通道 4km
- 一般民航机场 10km
- 每年设计起落大于 $193d^2$ 次的机场和 16 公里范围外设计年起落大于 $386d^2$ 的机场（这里的 d 是以公里为单位的离厂区的距离） 16km

本调查报告根据厂址周围环境及外部人为事件潜在危险源特点，初步确定外部人为事件调查范围：加油站等小规模危险源的调查范围为厂址半径 5km 区域；较大的危险源扩展到厂址半径 15km 区域；危险气云源等化学危险品的调查范围为厂址半径 15km 的区域；航线及起落通道的调查范围为厂址半径 4km 区域。

2) 调查内容

(1) 外部人为事件潜在源特征

核安全导则《核电厂厂址选择的外部人为事件》（HAD101/04）指出，在厂址选择阶段，应充分考虑现在和可预见的将来有潜在严重人为事件的区域。同时指出，必须查明能够影响核电厂安全的外部人为事件的每一有关的潜在源，以确定其对拟建核电厂工作人员和安全重要物项的潜在影响。就源本身而讲，可作如

下分类：

- 固定源：如化工厂、炼油厂、仓库、管线等制造、生产、加工、贮存设施或固定运输管线；
- 移动源：运输路线中的交通工具等运输设施。

(2) 外部人为始发事件

上述潜在危险源可能产生下列影响的始发事件，包括：

- 爆炸：产生空气压力波和飞射物撞击对人员和安全重要物项的潜在影响；
- 火灾：产生热辐射对人员和安全重要物项的潜在影响；
- 毒气飘移：对拟建核电厂主控室可居留性的影响；
- 码头或船只溢油事故与船只失事飘移；
- 坠机。

根据上述外部人为事件潜在危险源特征和始发事件类型，确定外部人为事件调查内容。

2.3.4.4.2 潜在固定危险源

根据分析计算，厂址附近的油、气、危险品仓储设施和天然气输送管道的存在或运行不会影响本项目的建设和安全运行。

2.3.4.4.3 潜在移动危险源

1) 公路运输

根据调查，厂址附近道路上近年来未发生过危险品运输事故。

根据计算，公路移动危险源不会对核电厂的安全运行构成潜在威胁。

2) 铁路运输

厂址半径 15km 范围内没有铁路，因此，不存在铁路危险品运输情况。

3) 海上航道运输

厂址附近海上航道主要有海阳港航道和乳山港航道，海阳港航道距厂址的最近直线距离为 13km，乳山港航道距离厂址最近距离约 8km。海阳港航道和乳山港海上航道近年来均没有油类等危险品运输。

根据调查，厂址附近海上航道上近年来未发生过危险品运输事故。

2.3.4.4.4 飞机坠毁

厂址半径 16km 范围内没有民航机场,厂址半径 4km 范围内没有民用空中航线或起落通道, 民航机场及航线不会对本项目的安全运行构成潜在威胁。

表 2.3-1 山东海阳核电厂半径 10km 范围内土地规划类型

序号	土地利用类型	面积 (m ²)	比例 (%)
1	采矿用地	576290.8	0.54%
2	茶园	92998.6	0.09%
3	城镇村道路用地	753091.5	0.70%
4	城镇住宅用地	860786.2	0.80%
5	港口码头用地	934590.2	0.87%
6	工业用地	3716249.9	3.45%
7	公路用地	1658050.6	1.54%
8	公用设施用地	80139.5	0.07%
9	公园与绿地	45556.3	0.04%
10	沟渠	1733534.1	1.61%
11	灌木林地	756418.8	0.70%
12	广场用地	87744.4	0.08%
13	果园	3345303.4	3.11%
14	旱地	20300964.8	18.85%
15	河流水面	2643485.9	2.45%
16	机关团体新闻出版用地	155013.5	0.14%
17	交通服务场站用地	17963.2	0.02%
18	科教文卫用地	205101.7	0.19%
19	坑塘水面	3033961.6	2.82%
20	空闲地	3683.3	0.00%
21	裸土地	9287.8	0.01%
22	裸岩石砾地	1068100.0	0.99%
23	内陆滩涂	3248.5	0.00%
24	农村道路	1522773.4	1.41%
25	农村宅基地	6491732.6	6.03%
26	其他草地	2846920.6	2.64%
27	其他林地	8844636.4	8.21%
28	其他园地	7816.9	0.01%
29	乔木林地	7628520.7	7.08%
30	商业服务业设施用地	328514.4	0.31%

31	设施农用地	3426100.3	3.18%
32	水工建筑用地	78336.6	0.07%
33	水浇地	18979287.0	17.62%
34	水库水面	593748.3	0.55%
35	特殊用地	373733.7	0.35%
36	物流仓储用地	132371.8	0.12%
37	沿海滩涂	9806389.0	9.11%
38	养殖坑塘	4542624.1	4.22%
39	竹林地	8972.7	0.01%
	总和	107694042.9	

表 2.3-2 厂址附近地表水水环境功能区划表

类别	名称	河流	起始断面			终止断面			长度 (km)	水质标准
			名称	东经	北纬	名称	东经	北纬		
一级区	留格河海阳 开发利用区	留格河	源头	121.173167°	36.899250°	入海口	121.360667°	36.7184727°	31	见二级功能 区
二级区	留格河海阳 饮用水源区	留格河	源头	121.173167°	36.899256°	日照庄	121.316364°	36.8066814°	19.2	III
	留格河海阳 农业用水区	留格河	日照庄	121.316364°	36.8066814°	入海口	121.360667°	36.7184727°	11.8	V

表 2.3-3 厂址附近公路情况

公路（或铁路）名称	起止点名称	最近距离(km)	等级	宽度(m)	车道数(个)	路面材料	限制时速(km/h)	车流量
G1813 威青高速公路	青岛-威海	9.0	高速	26	四车道	沥青混凝土路面	110	/
S11 烟海高速公路	烟台-威海	10.6	高速	26	四车道	沥青混凝土路面	100	/
G228（海阳段）	丁字湾大桥-桃源	4.7	一级~三级	6-26	两~四车道	沥青混凝土路面	40	≤2000
S202 青石线	乳山-即墨	9.2	二、三级	40	六车道	沥青混凝土路面	40	≤2000
S210 烟凤线	桃村-凤城	13.2	一级、二级	24	四车道	沥青混凝土路面	40	<2000
S306 海莱线	燕翅山-凤城	13.2	一、二级	30	四车道	沥青混凝土路面	40	<2000
X085 高凤线	高家-凤城	9.3	三级	6.5	双车道	水泥混凝土	40	<2000
X093 周大线（海核一路）	周格庄-大埠圈（核电厂）	/	二级	18	四车道	沥青混凝土	40	<2000
X092 滨海公路（海核二路）	凤城街道-核电厂	/	二级	18	四车道	沥青混凝土	80	≤3000

2.4 气象

2.4.1 区域气候

2.4.1.1 概述

山东海阳核电厂址位于山东半岛南部，南临黄海，北靠山东半岛丘陵，属暖温带大陆性季风气候，气温适中，四季分明，光照充足，雨热同季。山东半岛地处中纬度，全年盛行西风气流，槽脊活动频繁，不同季节在不同的环流形势下，产生不同的天气系统，使得天气变化很复杂，可能出现多种极端天气，如热带气旋、暴雨、寒潮大风和霜冻等。

2.4.1.2 区域气候要素统计

厂址区域周边分布有 25 个气象站。其中，乳山、海阳和青岛气象站的地理条件与厂址情况相似，且相距较近，具有与厂址相似的区域气候。厂址气象站的观测始于 1997 年 3 月，至 2001 年 2 月完成四整年观测后停止运行。2006 年 4 月厂址气象站在更换观测设备后重新开始观测至今。根据厂址气象站 4 年（1997.3.1~2001.2.28 年）观测成果与海阳（东村）、青岛和乳山等邻近气象站的同期观测资料的对比分析，海阳站对厂址的代表性较好。海阳气象站离厂址最近，气象条件相似，代表性好，观测项目全，历史上迁站和资料不连续现象少，所以确定海阳站为厂址气象代表站。

根据海阳气象站自建站截至 2018 年的资料统计区域常规气象参数如下：

1) 气压

该地区全年气压变化明显，冬季高于夏季，累年平均气压为 1011.4hPa，7 月平均气压最低，为 999.3hPa，1 月平均气压最高，为 1021.1hPa。该地区累年极端最高气压为 1040.5hPa（出现在 2006 年 2 月 3 日），累年极端最低气压为 977.2hPa（出现在 1984 年 6 月 16 日）。

2) 气温

最热月出现在 8 月，累年月平均温度为 25.1℃；最冷月出现在 1 月，累年月平均温度为-2.0℃。累年平均气温为 12.1℃，极端最高气温为 37.6℃（出现在 1997 年 7 月 27 日），极端最低气温为-16.3℃（出现在 1966 年 2 月 6 日）。

3) 水汽压

该地区水汽压高值出现在夏季，低值出现在冬季。累年平均水汽压为 12.2hPa，极端最大水汽压为 39.3hPa，出现在 2013 年 8 月 7 日；最小水汽压为 0.2hPa，出

现在 1975 年 3 月 30 日和 1993 年 4 月 4 日。

4) 蒸发量

该地区蒸发量的季节变化明显，夏季远高于冬季。累年平均蒸发量为 1472.9mm，蒸发最多的是 5 月，平均为 201.9mm，1 月蒸发最少，平均为 51.4 mm；累年日最大蒸发量为 22.4mm，出现在 1968 年 7 月 7 日。

5) 相对湿度

该地区累年平均相对湿度为 69%，7 月平均相对湿度最大，为 86%，3 月平均相对湿度最小，为 60%。

6) 降水量

该地区累年平均降水量为 727.9mm。降水集中于夏季，冬季降水最少；累年 8 月平均降水量最大，为 186.3mm；累年 1 月平均降水量最小，为 8.8mm。年最大降水量 1658.1mm，出现在 1964 年；年最小降水量 390.7mm，出现在 1981 年。最长连续降水日 16 日，出现在 1990 年 7 月 10 日~25 日，累计降水量 231.6mm。一日最大降水量为 245.2mm，出现在 1977 年 8 月 7 日。

7) 风

该地区季风特征明显，冬季风向集中于偏西北方位，最多风向为 WNW 风，频率为 16%，其次为 NW 风，其频率为 14%；夏季风向相对集中于东南方位，SE、SSE、S 风出现频率分别为 10%、11%、12%。全年最多风向为 WNW 和 NW 风，其出现频率均为 9%，年静风频率 13%，2004 年启用自动站后，2005 年~2018 年的年静风频率为 5%。

该地区累年极大风速 30.4m/s（风向 SE），出现在 1999 年 7 月 17 日；最大风速 26.0m/s（风向 SSE），出现在 1985 年 8 月 19 日。累年平均风速为 3.3m/s，累年各月平均风速相差不大。

2.4.2 设计基准气象参数

山东海阳核电项目在 1、2 号机组工程可研阶段曾开展极端气象专题研究，在 2006 年 4 月完成《山东海阳核电厂工程可行性研究极端气象现象和极端气象参数的分析确定综合报告》，为核电厂确定极端气象事件与参数提供了依据。此后，项目分别于 2009 年、2013 年开展对核电厂常规气象、极端气象与工程气象参数的复核工作并出版相应计算分析报告。历次复核报告计算所得极端气象参数与原推荐结果相比，数值不变或变化很小。基于合理偏保守原则，对于复核后“强

度”不变或变弱的参数，维持原设计基准；对于复核后“强度”略有增强的参数，采用新参数作为设计基准。

此外，日本福岛核电事故之后，山东核电有限公司委托中国海洋大学于 2011 年 12 月完成《山东海阳核电厂设计基准洪水位复核报告》，其中有关热带气旋的资料序列由 1949~2003 年增加到 1949~2010 年，增加资料序列后计算出的设计基准热带气旋参数与原成果相比没有变化。

在本项目 5、6 号机组工程可研阶段，山东核电有限公司委托山东省气候中心于 2019 年 7 月完成《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程极端气象参数复核报告》，其中资料序列统一延长至 2018 年。复核结果表明，包括热带气旋、龙卷风、极端气温、极端风、极端降雨、极端积雪在内的极端气象事件和参数均等于或略弱于原设计基准，因此维持原设计基准。

1) 热带气旋

根据统计，1949~2018 年影响核电厂址且进入以厂址为中心的 400km 半径以内的热带气旋共有 83 个，平均每年出现 1.19 个。8 月份为热带气旋发生频数最多的月份，为 38 个。在 70 年内一共出现 15 个强热带风暴和 10 个台风，平均每年出现 0.21 个强热带风暴和 0.14 个台风，均出现在 6~9 月。

从热带气旋中心经过以厂址为中心，半径为 400km 的圆域的路径图分析，影响本海区的热带气旋路径有三类：

第一类经台湾省附近，从温州至厦门之间登陆，然后北上，在长江口至山东半岛一带入海，在厂址附近强度已较弱。

第二类路径从台湾省到冲绳岛之间北上，直接进入厂址范围。在副热带高压势力比较强并位于日本列岛附近时常出现此类路径。此时，我国东部沿海通常有一长波槽发展，该槽与东部的高压脊之间形成的强南风带，牵引着热带气旋向偏北方向移动。当这类热带气旋进入研究海区后大多向东北方向移去并在朝鲜半岛登陆，仅有小部分向西北方向移动并可能在厂址附近登陆，这类路径的热带气旋直接由海登陆，强度最强，对厂址影响最大。

第三类是从冲绳岛到日本西部西进，进入厂址范围。

由第一类路径进入研究海域的热带气旋为最多，第二类路径为次，第三类路径最少。

根据 HAD101/11 要求计算分析，厂址设计基准热带气旋参数推荐值如下：

中心最低气压 P_0	928hPa
边缘气压 P_w	1010hPa
流入角 Φ	20°
气旋平移速度 V_c	27km/h
近中心最大风速 V_{max}	52m/s
最大风速半径 R	25km
影响厂址的最大风速	49m/s

2) 龙卷风

根据 HAD101/10 的要求和核电厂厂址附近的地域条件，龙卷风调查范围为以厂址中心经度和纬度各 3 度区域，包括山东半岛大部分地区，面积 33050km²。对区域内共 25 个气象台站的气象报表、省气象档案馆气候调查灾害性天气图表、山东省气候中心气候影响评价材料进行了普查，走访了省民政厅、省档案馆，查阅了当地民政、档案馆、史志办等单位的档案记载，并对重大个例进行了实地调查。1950 年前的记载资料不完整，对厂址区域龙卷风的评价基本采用 1950 年后资料。

调查分析结果显示：1950~2018 年共出现 122 次龙卷风纪录，其中 F0、F1 和 F2 分别发生 23 次、89 次和 10 次，单位面积（1000km²）上 F0、F1 和 F2 级龙卷风出现资料分别为 0.70 次、2.69 次和 0.30 次。

调查区域内各地龙卷风出现次数较为均匀，只有栖霞、招远、海阳、文登、蓬莱、莱西、莱州、平度、黄岛出现机率稍大一些。厂址附近区域海阳 F0 发生 2 次，F1 等级发生 6 次，F2 等级发生 1 次。即墨 F0 发生 3 次，F1 等级发生 1 次，F2 等级发生 1 次。

龙卷风发生存在明显的季节性变化，夏季发生数占全年的 65.6%。厂址区域各月龙卷风次数以 7 月发生次数最多，春秋两季次之。

对厂址区域有发生时刻记录的 42 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 21 次，占 52.4%。

根据 HAD101/10 的要求，厂址设计基准龙卷风为 F3 级，设计基准特征参数值如下：

最大风速 V	83m/s
最大旋转风速 V_m	67m/s

最大旋转风速半径 R_m	50m
最大平移速度 V_t	16m/s
总压降 ΔP	49.2hPa
最大压降速率	15.9hPa/s

3) 极端温度

采用耿贝尔法对海阳站 1961~2018 年历年极端最高、最低气温进行统计分析。海阳站百年一遇极端最高气温为 39.5℃，百年一遇极端最低气温为-17.8℃；根据相关关系换算，厂址百年一遇极端最高气温为 36.4℃，百年一遇极端最低气温为-16.6℃。按照偏保守考虑，推荐厂址百年一遇极端最高气温为 39.5℃，百年一遇极端最低气温为-17.8℃。

原设计基准气温为：厂址百年一遇最高气温为 39.6℃，厂址百年一遇最低气温为-18.7℃。与本次复核结果相比，原设计基准略保守。因此维持设计基准气温，即厂址百年一遇最高气温为 39.6℃，厂址百年一遇最低气温为-18.7℃。

4) 极端风

由海阳站 1962~2018 年的年最大风速资料经过高度订正、坡度订正和时距换算，得到海阳站实测 10m 高度最大风速序列。根据厂址气象站与海阳站同期逐日 10min 平均最大风速资料，建立两站 10min 平均最大风速之间的相关关系（相关系数 0.806），得到厂址站实测 10m 高度最大风速序列。采用耿贝尔法、皮尔逊III型法分别对厂址站的 10min 平均最大风速进行极值分析，从安全角度考虑，推荐百年一遇最大风速为 33.4m/s。

根据厂址气象站 10min 平均最大风速和 3s 阵风观测资料建立相关关系（相关系数 0.94），经换算得到厂址百年一遇极大风速为 44.0m/s。

原设计基准风速为：厂址百年一遇最大风速为 34.6m/s，厂址百年一遇极大风速为 44.0m/s。基于合理偏保守考虑，维持原设计基准风速。

5) 极端降雨

对海阳站 1967~2018 年的 5、10、15、20、30、45、60、90、120、360、1440min 和 72h 共 12 个时段年最大降水量资料进行了收集整理，分别采用耿贝尔、皮尔逊III型分布对降水资料进行拟合分析，取 2 种计算方法中保守值作为海阳站设计基准降雨。

根据厂址气象站与海阳站同期观测资料，建立两站降水资料相关关系（相关

系数 0.97)，厂址站日降水量约为海阳站的 1.1~1.2 倍，基于合理偏保守考虑，海阳站的计算结果扩大 1.2 倍作为厂址站的设计基准。厂址百年一遇 10min、1h、24h 设计基准降雨分别为 42.5mm、144.4mm、462.7mm；千年一遇降水分别为 55.1mm、211.2mm、750.6mm。本次复核结果略小于原设计基准，因此推荐维持原设计基准降雨值，即厂址百年一遇 10min、1h、24h 设计基准降雨分别为 45.1mm、150.7mm、477.6mm；千年一遇降水分别为 61.0mm、223.0mm、775.6mm。

6) 极端积雪

选用距厂址水平距离较近且处于大致相同的环流背景下的海阳气象站和乳山气象站的观测资料来进行设计基准积雪的计算。采用耿贝尔法和皮尔逊III型法对两站 57 年（1962~2018 年）的最大积雪深度和冬季 48 小时最大降水量进行极值分析，皮尔逊III型法计算成果更保守，采用皮尔逊III型法的计算结果。考虑冬季 48 小时最大降水量，厂址百年一遇最大雪压值为 0.77kN/m^2 。本次复核结果略小于原设计基准，因此推荐维持原设计基准积雪值，即厂址百年一遇最大雪压值为 0.79kN/m^2 。

7) 雷暴

海阳站 1961~2018 年平均雷暴日数分别 22.56 天。年最多雷暴日数为 44 天（1964 年），7、8 月雷暴发生频率最高，平均雷暴日数分别为 6.6、6.0 天。

厂址气象站周年 1997 年 3 月 1 日~1998 年 2 月 28 日观测得的雷暴初、终日与海阳站均为 4 月 29 日和 9 月 26 日，期间核电厂址共出现 17 个雷暴日，海阳气象站出现 20 个雷暴日。除个别月份外，两站雷暴出现日基本一致。

8) 冰雹

根据 1961~2018 年资料统计分析，海阳气象站多年平均冰雹日数 0.3 天。冰雹一般出现在 4~11 月份。一天中降雹多集中在 11 时到 20 时，又以 15~17 时为最多。冰雹直径一般在 5~10mm，最大 30~40mm。最大积雹深度一般在几厘米到十几厘米。降雹持续时间在 2~12 分钟。

2.4.3 当地气象条件

当地气象条件根据厂址气象塔和地面气象站观测获得的一整年（2022 年 1 月~2022 年 12 月）观测资料进行描述。2022 年度厂址气象站气象数据联合获取率 92.1%，满足核安全导则《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02）规定的不低于 90%的要求。

1) 气温

厂址地区年平均气温为 13.8°C，最低月平均气温为 0.7°C，出现在 1 月；最高月平均气温为 26.2°C，出现在 7 月和 8 月。极端最低气温-6.5°C，出现在 2 月；极端最高气温 33.8°C，出现在 8 月。

厂址气象塔 1~4 层（10m、30m、80m 和 100m）年平均气温分别为 13.8°C、13.5°C、13.6°C、13.4°C。

2) 气压

厂址地区全年平均气压为 1014.8hPa。2 月份的平均气压最高，为 1028.7hPa，7 月份的平均气压最低，为 1002.2hPa。

2 月出现了全年最高值，达到 1040.7hPa；9 月份出现了全年最低值，为 991.8hPa。

3) 相对湿度

厂址地区全年平均相对湿度为 76.3%，6 月份的平均相对湿度最高，为 93.0%，12 月份最低，为 61.7%。最小相对湿度为 14.1%，出现在 3 月份。

4) 降水

厂址地区年降水量为 929.3mm，6 月份的累积降水量最大，为 271.5mm，1 月、2 月以及 12 月无降水。小时最大降水量出现在 6 月，为 33.2mm。日最大降水量为 89.6mm，出现在 6 月 27 日。年降水 60 天，6 月降水日数最多，为 16 天。连续一次最大降水量为 73.5mm，持续时间为 18h，起始时间为 6 月 26 日 15 时。连续降水最长时间为 21 小时，起始时间为 9 月 14 日 6 时，总降雨量 68.1mm。

5) 风速、风向

气象塔各高度年平均风速分别为：3.7m/s(10m)，4.1m/s(30m)，4.9m/s(80m) 和 5.1m/s(100m)。

气象塔各高度处全年静风频率分别为 0.3%(10m)、0.4%(30m)、0.4%(80m)、0.4%(100m)。

图 2.4-1 给出了厂址气象塔各高度全年风向频率玫瑰图。由图可见，气象塔各层风向频率分布较为相近。10m 高度全年风向频率最高为 NNW 方位，风向频率 11.4%；30m 全年风向频率最高为 NW，风向频率 10.1%；80m 高度全年风向频率最高为 SW，风向频率 11.3%；100m 高度全年风向频率最高为 SSW，风向频率 10.3%。

从风向的季节性变化来看，厂址地区季风性气候较为明显，10m 高度风向分布为：冬季以西北风为主；夏季以东风、东南风和南风为主；春、秋为冬夏季风转换季节。

2.4.4 大气稳定度

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，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；
- 0.5~1.9m/s 为第二级风速；
- 2.0~2.9m/s 为第三级风速；
- 3.0~4.9m/s 为第四级风速；
- 5.0~5.9m/s 为第五级风速；
- 大于 6.0m/s 为第六级风速。

并分为有降水和无降水两种情况。

《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02）推荐了三种方法来分析厂址地区大气稳定度状况，分别为改进的 Pasquill 法，温度梯度法，温度梯度—风速法。

温度梯度法仅考虑热力作用对大气稳定度的影响，然而影响大气稳定度层结的机制不仅有热力的，也有机械作用，但温度梯度法并没有考虑机械湍流对大气稳定度的影响。

改进的 Pasquill 分类法，适用于较大的范围，同时，该稳定度分类法所采用的均为地面站数据，较适用于平坦地形的近地面释放，对于核电厂气载放射性流出物排放多采用高架排放，该法对高层大气稳定度分类时有一定的不确定性，因此，改进的 Pasquill 分类法反映出的厂址地区近地层大气层结状况并不足够准确。

温度梯度—风速法比温度梯度法多了一个湍流指标——风速，而且对划分不利于污染物扩散的稳定类天气是较为准确的，因此与其他大气稳定度分类方法比较，温度梯度-风速法对厂址大气稳定度分类是比较符合厂址实际情况的，本报告推荐采用温度梯度—风速法确定厂址地区的大气稳定度，在计算厂址地区大气稳定度时根据 10m 风速和 10m、80m 气温并采用 HAD101/02 导则推荐的温度梯度-风速法进行计算。

根据厂址气象塔 2022 年一整年逐时气象资料，采用温度梯度-风速法统计得到厂址地区出现频率最高的大气稳定度类型为中性天气类（D），出现频率为 53.9%，其次为不稳定天气类（A、B、C）出现频率为 31.8%，稳定天气类（E、F）出现频率为 14.3%。

2.4.5 联合频率

基于 2022 年逐时气象资料统计的海阳厂址 10 米处不同风向（16 个方位）、风速、稳定度的三维联合频率如表 2.4-1 所示。不同风向（16 个方位）、风速、稳定性和雨况（有雨和无雨）的四维联合频率如表 2.4-2 所示。

2.4.6 混合层高度及扩散参数值

2.4.6.1 混合层高度

厂址地区冬、夏两季低空探空试验统计的低空逆温特征显示：低空逆温出现概率夏季高于冬季，内陆点高于厂址。厂址测点夏季观测到有 65.8% 的时间出现低空逆温，冬季观测到 56.2%；内陆测点留格庄夏季出现 62.6%，冬季有 45.6%。虽然厂址地区出现低空逆温的频率较高，但比较浅薄，其平均厚度不到 100m。

分析发现，白天不存在低空逆温时，空中也往往存在一弱稳定的层结，在地面至低空逆温或空中稳定层结底部，大气层结一般呈中性或不稳定，这个中性或不稳定层即作为混合层，其厚度为混合层厚度。夜间近地面大多为稳定层结，一般不存在混合层，仅在大风或多云天气偶尔出现混合层。

在进行山东海阳核电厂厂址大气环境影响评价中，建议采用离海稍远的留格庄测点 A、B、C、D 类稳定度下混合层高度 490m、400m、330m 和 330m，由于留格庄测点距海边不足 10km，使用该点测得的混合层厚度进行评价是偏保守的。

2.4.6.2 扩散参数值

为研究厂址的大气扩散参数，中国辐射防护研究院于 2017 年完成了大气扩散补充试验。该试验分别采用三种方法获得扩散参数：（1）通过现场示踪试验获得 75m 高度的 A、B、C、D 类扩散参数和 30m 高度的 B 类扩散参数；（2）通过湍流观测获得 100m 和 30m 高度的六类扩散参数；（3）大气扩散数值模拟研究对 SF₆ 示踪试验和补充个例进行了模拟，获得 75m 高度的六类天气扩散参数。

在推荐扩散参数时，在 SF₆ 示踪试验、湍流观测和数值模拟三种方法拟合

的 A、B、C、D 类扩散参数平均值作为厂址 A、B、C、D 类扩散参数推荐值的基础上，综合考虑湍流测量和数值模拟的 E、F 类结果进行类比外推，给出推荐的厂址最终扩散参数。计算得到的山东海阳厂址相关大气弥散因子如表 2.4-3 所示。

2.4.7 运行前的厂址气象观测

山东海阳核电厂厂址运行前的气象观测包括气象梯度观测和厂址专用地面气象站观测，各个观测时段的气象观测联合数据获取率均达到 HAD101/02 不低于 90% 的要求。

1) 厂址气象梯度观测系统

气象塔 10m、30m、80m 和 100m 进行风向、风速、温度的逐时观测。仪器的性能和采样情况见表 2.4-4 和表 2.4-5。

2) 厂址专用地面气象站

选址阶段建立的厂址专用地面气象站的观测始于 1997 年 3 月，至 2001 年 2 月完成四整年观测后停止运行。目前该系统已拆除，新建的气象观测系统位于气象铁塔东南方向。地面气象站、观测项目包括：气压、温度、湿度、雨量、总辐射、净辐射和地温。仪器的性能和采样情况见表 2.4-5 和表 2.4-6。

表 2.4-1 厂址三维联合频率 (%)

稳定度	风速 m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合计
A	静风	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	≤1.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.15
	2.0~2.9	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.01	0.09	0.07	0.12	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.45
	3.0~4.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B	静风	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04
	≤1.9	0.09	0.04	0.15	0.19	0.24	0.29	0.36	0.32	0.30	0.17	0.20	0.12	0.10	0.15	0.27	0.07	3.05
	2.0~2.9	0.04	0.12	0.05	0.03	0.16	0.11	0.15	0.25	0.38	0.14	0.10	0.05	0.01	0.06	0.12	0.05	1.82
	3.0~4.9	0.55	0.30	0.12	0.20	0.25	0.26	0.35	0.52	0.73	0.62	0.15	0.05	0.07	0.04	0.25	0.43	4.89
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	静风	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≤1.9	0.06	0.03	0.15	0.09	0.12	0.16	0.27	0.34	0.35	0.21	0.17	0.14	0.03	0.09	0.14	0.16	2.49
	2.0~2.9	0.29	0.14	0.31	0.21	0.30	0.40	0.68	0.62	0.46	0.32	0.31	0.11	0.06	0.09	0.32	0.15	4.76
	3.0~4.9	1.15	0.65	0.42	0.60	0.69	1.08	0.77	0.65	1.27	1.14	0.56	0.19	0.34	0.32	0.45	0.37	10.63
	5.0~5.9	0.46	0.20	0.07	0.07	0.16	0.01	0.05	0.05	0.14	0.15	0.01	0.03	0.05	0.01	0.12	0.42	2.01
	≥6.0	0.32	0.12	0.03	0.00	0.10	0.04	0.01	0.01	0.10	0.06	0.04	0.01	0.00	0.09	0.19	0.36	1.47
D	静风	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.08
	≤1.9	0.53	0.46	0.46	0.41	0.26	0.30	0.31	0.31	0.30	0.22	0.22	0.19	0.06	0.19	0.68	0.87	5.77
	2.0~2.9	0.87	0.42	0.58	0.48	0.62	0.74	0.66	0.68	0.92	0.63	0.71	0.32	0.26	0.31	0.46	1.25	9.92
	3.0~4.9	1.40	0.38	0.69	1.05	1.19	0.96	0.92	0.88	1.18	1.74	1.24	0.88	0.67	1.03	1.91	1.80	17.92
	5.0~5.9	0.55	0.14	0.27	0.30	0.51	0.29	0.42	0.21	0.68	0.78	0.52	0.34	0.68	0.69	0.55	0.41	7.33
	≥6.0	0.72	0.30	0.30	0.32	0.50	0.37	0.71	0.48	0.91	2.18	0.76	0.46	0.72	1.81	1.13	1.22	12.87
E	静风	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≤1.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0~2.9	0.30	0.11	0.19	0.37	0.26	0.09	0.07	0.14	0.10	0.05	0.04	0.03	0.05	0.22	1.03	1.46	4.50
	3.0~4.9	0.00	0.00	0.01	0.04	0.07	0.01	0.01	0.01	0.07	0.10	0.07	0.04	0.00	0.01	0.17	0.12	0.75
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17

F	静风	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.04	0.01	0.03	0.18
	≤1.9	0.58	0.35	0.57	0.40	0.25	0.16	0.22	0.14	0.09	0.19	0.11	0.06	0.10	0.55	2.05	1.85	7.65
	2.0~2.9	0.01	0.01	0.00	0.05	0.00	0.03	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.31	0.37	0.88
	3.0~4.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 2.4-2 厂址四维联合频率 (%) (有降水)

稳定度	风速m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合计
A	静风	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≤1.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03
	2.0~2.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
	3.0~4.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B	静风	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≤1.9	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.07
	2.0~2.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
	3.0~4.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	静风	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≤1.9	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
	2.0~2.9	0.01	0.03	0.04	0.01	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.21
	3.0~4.9	0.03	0.05	0.07	0.11	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.46
	5.0~5.9	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
	≥6.0	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
D	静风	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≤1.9	0.03	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.12
	2.0~2.9	0.06	0.01	0.04	0.04	0.03	0.05	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.07	0.38
	3.0~4.9	0.12	0.04	0.10	0.11	0.05	0.09	0.04	0.03	0.01	0.06	0.09	0.04	0.00	0.03	0.00	0.07	0.87
	5.0~5.9	0.03	0.03	0.09	0.09	0.07	0.03	0.04	0.03	0.01	0.04	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.47
	≥6.0	0.04	0.01	0.21	0.16	0.10	0.11	0.17	0.12	0.05	0.21	0.03	0.04	0.01	0.01	0.03	0.05	1.35
E	静风	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≤1.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0~2.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
	3.0~4.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

F	静风	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≤1.9	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04
	2.0~2.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.0~4.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 2.4-2 续 厂址四维联合频率 (%) (无降水)

稳定度	风速 m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合计
A	静风	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	≤1.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
	2.0~2.9	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.01	0.09	0.07	0.12	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.43
	3.0~4.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B	静风	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04
	≤1.9	0.07	0.04	0.15	0.16	0.24	0.29	0.35	0.32	0.30	0.17	0.20	0.12	0.10	0.15	0.25	0.07	2.98
	2.0~2.9	0.04	0.12	0.05	0.03	0.16	0.11	0.15	0.25	0.38	0.14	0.10	0.05	0.01	0.06	0.12	0.04	1.81
	3.0~4.9	0.55	0.30	0.12	0.20	0.25	0.25	0.34	0.52	0.73	0.61	0.15	0.05	0.07	0.03	0.25	0.43	4.84
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	静风	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≤1.9	0.06	0.03	0.15	0.07	0.12	0.15	0.26	0.32	0.35	0.21	0.17	0.14	0.03	0.09	0.14	0.16	2.44
	2.0~2.9	0.27	0.11	0.27	0.20	0.25	0.40	0.67	0.62	0.46	0.32	0.30	0.10	0.06	0.07	0.31	0.14	4.55
	3.0~4.9	1.13	0.60	0.35	0.48	0.61	1.04	0.77	0.65	1.27	1.14	0.55	0.17	0.32	0.30	0.45	0.36	10.17
	5.0~5.9	0.46	0.19	0.06	0.07	0.16	0.01	0.05	0.05	0.14	0.15	0.01	0.03	0.05	0.01	0.12	0.42	1.98
	≥6.0	0.32	0.11	0.03	0.00	0.10	0.04	0.01	0.01	0.10	0.06	0.04	0.01	0.00	0.09	0.19	0.36	1.46
D	静风	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.08
	≤1.9	0.51	0.45	0.45	0.38	0.25	0.29	0.31	0.30	0.30	0.22	0.22	0.19	0.06	0.19	0.68	0.86	5.64
	2.0~2.9	0.81	0.41	0.55	0.45	0.60	0.69	0.66	0.68	0.89	0.63	0.68	0.32	0.25	0.30	0.45	1.18	9.53
	3.0~4.9	1.28	0.35	0.60	0.94	1.14	0.87	0.88	0.86	1.17	1.67	1.15	0.84	0.67	1.00	1.91	1.72	17.05
	5.0~5.9	0.52	0.11	0.19	0.21	0.43	0.26	0.38	0.19	0.67	0.74	0.51	0.34	0.67	0.69	0.55	0.40	6.86
	≥6.0	0.68	0.29	0.09	0.16	0.40	0.26	0.53	0.36	0.86	1.97	0.73	0.42	0.71	1.80	1.10	1.17	11.52
E	静风	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≤1.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0~2.9	0.30	0.11	0.19	0.37	0.26	0.09	0.07	0.14	0.10	0.05	0.04	0.03	0.05	0.21	1.03	1.46	4.49
	3.0~4.9	0.00	0.00	0.01	0.04	0.07	0.01	0.01	0.01	0.07	0.10	0.07	0.04	0.00	0.01	0.17	0.12	0.75
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17
F	静风	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.04	0.01	0.03	0.18

≤1.9	0.57	0.35	0.57	0.40	0.24	0.16	0.22	0.14	0.09	0.19	0.11	0.06	0.10	0.55	2.03	1.85	7.61
2.0~2.9	0.01	0.01	0.00	0.05	0.00	0.03	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.31	0.37	0.88
3.0~4.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 2.4-3 厂址扩散参数推荐值 ($\sigma_y = p_y x^{q_y}$, $\sigma_z = p_z x^{q_z}$)

稳定度类		A	B	C	D	E	F
系数	p_y	0.858	0.569	0.527	0.341	0.285	0.253
	q_y	0.819	0.834	0.813	0.831	0.808	0.781
	p_z	0.306	0.439	0.379	0.33	0.298	0.252
	q_z	0.882	0.771	0.756	0.718	0.689	0.648

表 2.4-4 气象塔设备测量参数

设备名称	测量范围	安装高度
温度传感器	-30~+50℃	10m、30m、80m、100m
风向风速传感器	风速：0~60m/s；风向： 0~360°	10m、30m、80m、100m

表 2.4-5 传感器性能指标

名称	单位	测量范围	测量精度	分辨率	灵敏度
风速	m/s	0~60	0.5m/s+0.03×实际 风速	0.1m/s	启动风速 ≥0.5m/s
风向	°	0~360	5	3°	—
气温	℃	-30~+50	0.2	0.1℃	—
地温	℃	-50~+80	0.5	0.1℃	—
降雨量	mm/min	0~4	0.4mm (≤10mm) 4% (>10mm)	0.1mm	—
总辐射	W/m ²	0~2000	5%	1W/m ²	7~14μV/W/m ²
净辐射	W/m ²	-0.2~1400	15%~20%	1W/m ²	7~14μV/W/m ²
气压	hPa	500~1100	0.3	0.1hPa	—
相对湿度	%	0~100%	4% (≤80%) 8% (>80%)	1%	—

表 2.4-6 地面站设备的测量参数

设备名称	测量范围	安装高度
气压传感器	500~1100hPa	自动气象站主机内
温湿度传感器	温度：-30~+50℃ 湿度：0~100%	1.5m
雨量传感器	雨强：0~4mm/min	0.7m
总辐射传感器	0~2000W/m ²	1.5m
净辐射传感器	-200~1400W/m ²	1.5m
地表温度传感器	-50~+80℃	0m

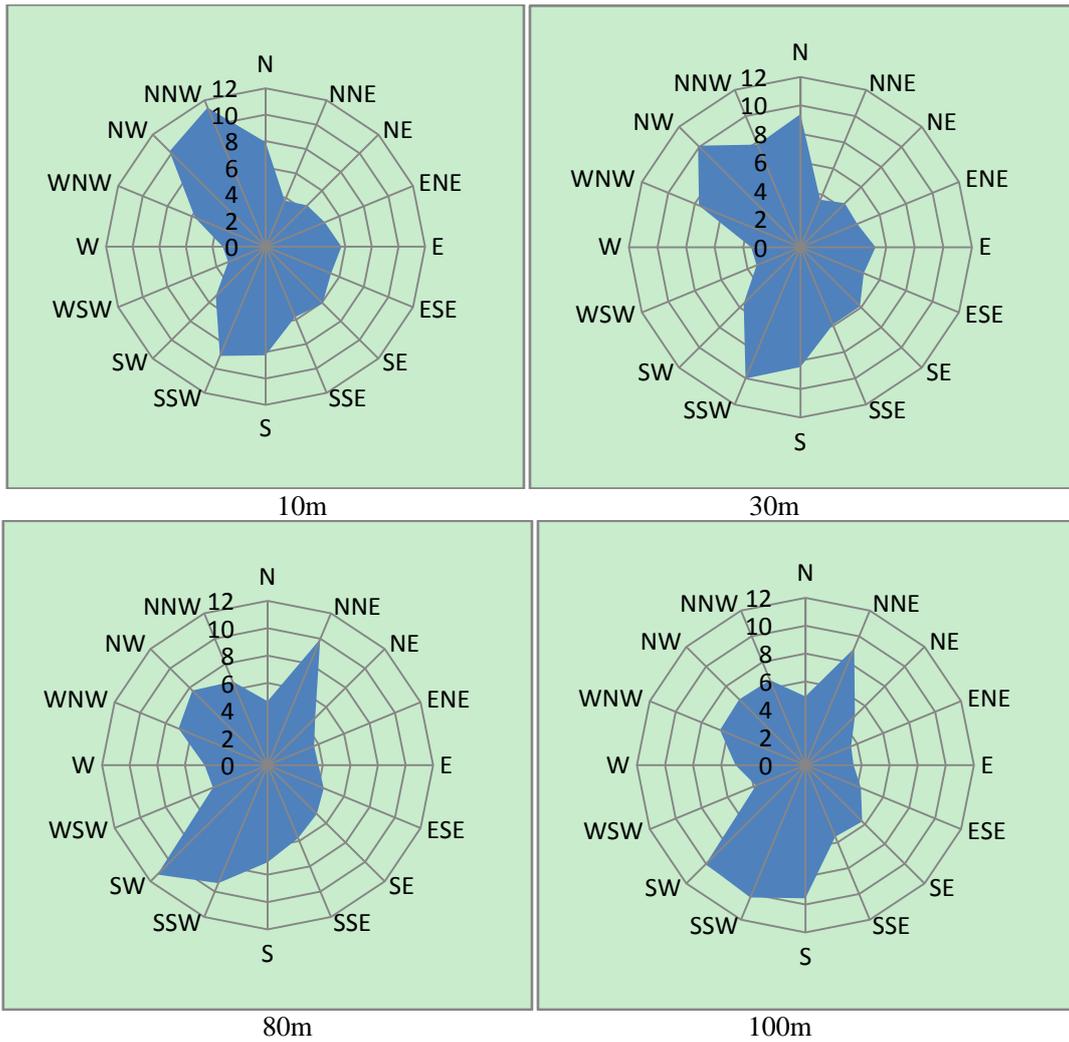


图 2.4-1 厂址气象塔各高度全年风向频率玫瑰图

2.5 水文

2.5.1 地表水

2.5.1.1 海洋水文

2.5.1.1.1 海域概况

山东海阳核电厂厂址位于山东半岛南侧，南临黄海。厂址所在地为向海凸出的犄角状的海岬地形，三面环海。东岬角称草岛咀，西北岬角为鹁鸽岚，两岬角间距约 2.5km，呈东北~西南走向。

鹁鸽岚西面沿岸是大片浅于 1m 的沙质浅滩，北至辛家港口门，南至鹁鸽岚西缘，面积约 1.5km²；南面为黑石头礁石区，并以浅滩形式向西南方延伸，海图 5m 等深线距岸边约 2km，波浪容易在这里破碎，经常形成条状的白浪区。草岛咀东面是深水区，海图 5m 等深线距东侧护岸约 600m。半岛东北侧建有核电厂大件码头，该区域位于琵琶口湾西南，海图水深总体介于 0~3m 不等。半岛南侧已建取水明渠（1~6 号机组共用），取水口位于-8.0m 等深线处。半岛西侧水深较浅，海图 2m 等深线距岸约 1.5km，西侧建设 1~4 号机组排水明渠，明渠排水至-3.0m 等深线处，目前已建成，为了进一步提高 1~4 号核电机组的环境效益，考虑对其予以优化改造：南北堤向 SSW 向延伸，南北堤分别延伸至-5.5m 和-5.0m 等深线附近。半岛周边，乳山河在琵琶口湾东北部入海；鹁鸽岚北侧有留格河注入半岛西侧湾内。

2.5.1.1.2 潮汐

根据厂址海洋水文站一年（1997 年 3 月~1998 年 3 月）的潮汐资料，分析厂址周围海区潮位特征值如下：

潮汐性质：0.37（正规半日潮）

海图深度基准面：-2.19m

最高高潮位：2.85m

最低低潮位：-2.29m

年平均高潮位：1.39m

年平均低潮位：-1.18m

年平均潮位：0.04m

年最大潮差：4.45m

年最小潮差：0.96m

年平均潮差：2.57m

年最高月平均海面：0.27m

年最低月平均海面：-0.12m

年平均涨潮历时：5 小时 51 分

年平均落潮历时：6 小时 33 分

依据厂址和乳山口站同期一年观测资料及乳山口站多年潮汐资料推算得：

厂址多年平均海面：-0.014m

厂址多年平均高潮位：1.23m

厂址多年平均低潮位：-1.16m

厂址多年平均潮差：2.39m

2.5.1.1.3 海流

根据 2019 年 6 月 27 日~2019 年 7 月 4 日和 2019 年 12 月 7 日~2019 年 12 月 20 日厂址海域夏冬季多断面全潮水文测验资料分析，潮流基本特征为：

1) 潮流性质基本以规则半日潮流为主。

2) 潮流的运动形式主要为往复流。涨潮期间的主流向为 WSW-WNW，落潮期间的主流向为 ENE-ESE。

3) 各站位流速垂线分布多表现为由表层至底层逐渐减小的趋势。潮流流速表现为近岸向远海逐渐增大的特点；此外，本海区存在涨潮流优势，大潮流矢量明显大于小、中潮。

2019 年观测结果与 2014 年观测结果基本一致，均符合当地水文一般特征。总体上看，无论是大潮、中潮还是小潮，潮流流速均表现为由近岸向远海逐渐增大的特点；潮流流向总体上偏东西向，主要以往复流为主，涨潮流偏西向，落潮流偏东向，存在涨潮流优势；从流速矢量的不同潮别比较来看，小、中潮较为接近，不存在显著的差异，大潮流矢量明显大于小、中潮，符合随月相变化的规律；最大垂线平均流速的量值，依大、中、小潮排列，具有良好的月相规律。两次观测的潮流垂线平均最大流速量级总体差异不大。

2.5.1.1.4 波浪

1) 波型

工程海域最常见的波浪是风浪，年出现频率为 43.7%；其次是涌浪为主的混

合浪，年出现频率为 21.3%，再次是涌浪，年出现频率为 17.9%，年出现次数最少的波型是风浪为主的混合浪，年出现频率为 4.5%。春、夏、秋三季出现频率最大的都为风浪，而冬季是涌浪的出现频率最大。各季最少出现的波型，在夏、秋、冬三季都是风浪为主的混合浪，而春季是风浪和涌浪相等的混合浪。

2) 常波向、强浪向

工程海域常浪向为 SSE 向，年出现频率为 19.0%，次常浪向在 SSW 向，年出现频率为 15.2%。

3) 波高和周期

工程海域全年 99%的时间是 3 级及以下的海浪，且 2 级（含 2 级）以下海浪占全年 2/3 的时间，4、5 级海浪只占 1%。

2.5.1.1.5 泥沙

根据 2019 年 6 月~7 月和 2019 年 12 月进行的夏冬季全潮同步水文测验的含沙量统计结果，厂址区域海水含沙量低。夏季平均含沙量在 $0.0061\sim 0.0212\text{kg/m}^3$ 之间，最大含沙量 0.0924kg/m^3 ；冬季平均含沙量在 $0.0072\sim 0.016\text{kg/m}^3$ 之间，最大含沙量 0.0341kg/m^3 。各站平均含沙量中，大潮为最大，其次中潮，小潮最小。

2.5.1.1.6 海水温度、盐度

1) 海水水温

根据厂址海洋水文站一年的水温资料，工程海域年平均水温为 14.3°C 。8 月平均水温最高，为 27.5°C ，极端最高温度出现在 8 月 28 日，为 30.2°C 。1 月平均水温最低，为 2.5°C ，极端最低温度出现在 1 月 24 日，为 -0.8°C 。

2019 年同步水文测验结果表明，工程海区夏季表层日平均水温在 $23.13^{\circ}\text{C}\sim 30.61^{\circ}\text{C}$ 之间，最高值出现在排水口前沿 S12 站，最低值出现在 S9 站；夏季底层日平均水温在 $15.39^{\circ}\text{C}\sim 29.46^{\circ}\text{C}$ 之间，最高值出现在 S12 站，最低值出现在 S9 站。夏季水温平面分布趋势总体为近岸水温高，随着远离岸边，水温逐渐降低。工程海区冬季表层日平均水温在 $6.92^{\circ}\text{C}\sim 16.18^{\circ}\text{C}$ 之间，最高值出现在 S12 站，最低值出现在 S10 站；冬季底层日平均水温在 $6.86^{\circ}\text{C}\sim 11.36^{\circ}\text{C}$ 之间，最高值出现在 S9 站，最低值出现在 S10 站。冬季水温平面分布趋势总体与夏季相反，近岸水温低，随着远离岸边，水温逐渐升高。

2) 盐度

根据厂址海洋水文站一年的盐度资料，工程海域年平均盐度为 31.93‰，其

年变幅仅为 1.21‰。总体而言夏半年盐度偏低，冬半年盐度偏高。1 月平均盐度最高，为 32.29‰，极端最高盐度出现在 12 月 11 日，为 32.84‰。8 月平均盐度最低，为 31.08‰，极端最低盐度出现在 8 月 26 日，为 27.64‰。

2019 年同步水文测验结果表明，工程海区夏季日平均盐度在 31.12‰~31.98‰，最高值出现在 S2 站，最低值出现在 S7 站。工程海区冬季日平均盐度在 31.79‰~32.84‰，最高值出现在 S7 站，最低值出现在 S6 站。两季盐度的垂直变化均不大，且盐度平面分布一般都是近岸盐度低、远岸盐度高的特征。

2.5.1.1.7 海冰

工程海区一般于 12 月中、下旬岸边浅水处可见到初生冰及少量薄冰，到翌年 2 月下旬海冰消失，冰期平均 65 天。个别年份初冰日可提前在 12 月上旬，或晚到次年 1 月上旬；终冰日最早在 2 月上旬，最晚在 3 月中旬。冰期短的为 46 天，长的达 87 天。厂址海洋水文站 1997~1998 年未观测到海冰现象。

厂址附近海区冬季海上冰情较轻。一般年份，对海上施工、交通运输没有多大影响，在冷冬或偏冷季节，海滨沿岸一定范围及数量的浮冰和流冰应引起注意。

2.5.1.1.8 海域岸线和滩槽的演变趋势

通过历史图件的对比、航片及多时相卫片遥感解译、数学模型和物理模型等多种手段的分析研究，对工程海域的岸滩稳定性进行分析，得到了如下结论：

1) 研究区近海海域表层沉积物呈由河口向外海逐渐变细的趋势，河道内主要沉积物类型为砂，向外逐渐过渡为砂质粉砂、砂。留格河河道内则粒径较粗；留格河河道外的海域，粉砂含量较高。黏土组分的含量在各海域均较低，总体上，在海湾东西两侧的岬角处黏土的含量较高，而海湾内海域黏土含量均较低。

2) 核电厂址附近海域表层和底层水体悬浮物浓度空间分布趋势相似，留格河河道内、口门和西侧近岸海区的表层水体悬浮物浓度较大，由河口向海方向，水体悬浮物浓度逐渐下降。而在鹁鸽岚岬角外围海域悬沙浓度较高，这与岬角的挑流作用有关。排水明渠的流出水冲沙对本区悬沙浓度分布格局有重要作用，受排出水的影响，明渠口门以及其 SW 向悬沙浓度较高。在留格河口和排水明渠之间的海域悬沙浓度始终为低值区，表明该区域为弱动力环境，底床物质以沉积为主，常规动力条件下未观测到明显的底床物质再悬浮。

3) 基岩岸滩稳定，两侧海湾湾顶的沙质海岸呈微淤，处于基本稳定状态；

海阳核电工程建设、海阳港开发和渔港建设等人为因素是影响本区岸线变化的主要因素。

4) 海滩整体保持稳定, 核电排水明渠的修筑并未改变留格河口西侧自然沙滩形态和功能, 河口附近存在一定的淤积, 河口东侧至排水明渠防浪堤段有一定淤积, 为河流来水来沙沉积、鸢鸽岚岬角阻挡形成动力减弱区等因素导致, 排水明渠建设没有改变总体冲淤格局, 仅在河口西侧岸段至排水明渠防波堤间的三角波影区有一定淤积加强。短期冲淤变化则表现为海阳港的东防波堤的修建对厂址西侧岬湾内的海滩冲淤变化影响有一定影响, 影响的程度向核电厂方向逐渐减小。

2.5.1.1.9 泥沙冲淤变化趋势

(1) 现状排水条件下, 研究区大部分外围开阔海域均处于冲淤平衡或略淤积状态, 海阳港东港区防波堤南侧、鸢鸽岚基岩岬角南侧以及海阳核电排水口堤坝南侧部分海域处于冲刷状态, 最大冲刷强度分别为 0.21m/a 、 0.02m/a 和 0.11m/a 左右。海阳港东堤东侧近岸存在较大面积的淤积区, 淤积程度约 $0.02\sim 0.04\text{m/a}$, 淤积等值线向留格河口-排水口区域延伸, 留格河口-排水明渠段底床呈弱淤积状态 ($<0.01\text{m/a}$)。由于排水水流的冲刷作用, 排水明渠口门外侧存在大约 200m 范围的冲刷坑。考虑 5、6 号机组暗涵排水情况下, 取水明渠内部淤积作用有所增大。5、6 号机组排水暗涵口门处海床受到排水的扰动, 由 0.02m/a 的略微淤积状态变为冲淤平衡状态。6 台机组同时运行条件下, 与 4 台机组运行条件下基本一致。

(2) 排水明渠采用方案优化之后, 厂址周边整体冲淤趋势没有太大改变, 海阳港东港区防波堤与排水明渠之间的近岸水域淤积范围有所增大, 且有向近岸扩展的趋势。排水明渠优化后堤坝西北侧年淤积强度最大增大约 0.014m , 排水明渠口门前沿水域年冲刷强度增加 0.006m , 留格河口附近海域冲淤无显著变化。

(3) 6 台机组运行条件下, 由于取水水量的增大, 取水明渠内部淤积作用有所增大, 正常天气 6 台机组运行时取水明渠平均淤厚为 5.9cm/a , 最大淤厚为 8.6cm/a , 年淤积量为 1.38万 m^3 。海阳港远景规划建成后, 厂址区附近水域泥沙活动性进一步减弱, 取水明渠泥沙回淤强度进一步降低, 正常天气 6 台机组运行时取水明渠平均淤厚为 5.2cm/a , 最大淤厚为 7.7cm/a , 年淤积量为 1.21万 m^3 。在大浪天气状况下, 水流挟沙能力显著提高, 高含沙水流进入取水工程口门后, 波能迅速衰减, 水流挟沙力降低, 在口门后部的沉砂池产生集中淤积, 而取水明

渠后部淤积强度都很小。极端天气 6 台机组运行时取水明渠平均淤厚为 2.2cm，最大淤厚为 7.3cm，总淤积量为 0.50 万 m³。海阳港远景规划建成后，极端天气 6 台机组运行时取水明渠平均淤厚为 2.0cm，最大淤厚为 7.0cm，总淤积量为 0.47 万 m³。

(4) 厂址区周边海岸的沿岸输沙总体趋势为自西向东方向。海阳核电现状排水方案情况下，排水口西侧海滩，在波浪的作用下近岸海域砂质向东迁移，湾顶砂质海岸相对稳定，处于动态平衡的状态；留格河口两侧沿岸输沙量逐渐减小，由波浪自西侧输送来的砂质逐渐在留格河口外侧淤积。海阳核电排水明渠优化改造后，在一定程度上阻挡了偏 E 向的波浪输沙作用，但此处砂质海岸仍处于动态平衡的状态。

(5) 核电厂址区附近海域由于工程建设导致的海床冲淤作用主要发生在前 10 年，其中前 5 年的冲淤速率较快，到第 10~15 年间冲淤曲线已趋于平缓，厂址附近海域海床基本已达到冲淤平衡状态。

2.5.1.2 陆域水文

2.5.1.2.1 河流和水库

海阳市河流水系较发达，但均为中小河流，均属山东沿海诸小河水系，位于厂址半径 15km 范围内的主要河流为留格河。

山东海阳核电厂位于海阳市境内留格河下游地区。留格河系胶东半岛南部入海的一条河流，发源于盘石镇仙人盆，经鲁家、院下在神宝山和唐王山处出山谷流入河谷平原，再经留格庄、六甲、南庄至辛家港入黄海，全长 31km。流域面积 332km²。

留格河上游有一座中型水库——盘石水库。

留格河下游支流建有小型水库 3 座，分别为徽村水库、山口水库、望海水库。

2.5.1.2.2 淡水水源

5、6 号机组施工期年用水量 80 万 m³，保证率 90%；运行期年用水量 197 万 m³，保证率 97%。采用海水淡化方式提供淡水。

2.5.2 地下水

2.5.2.1 地下水类型及特征

拟建场地现已开挖整平，在厂区范围内无地表水体。厂区场地地下水类型为第四系孔隙潜水和基岩裂隙水，以基岩裂隙水为主，第四系孔隙潜水仅在局部存

在。

根据岩土工程勘察揭露情况和前期水位地质资料，第四系孔隙水仅在厂区的南部和北部填方区域存在，其主要补给来源为大气降水，以蒸发和地下径流为排泄方式。

厂区范围地基岩节理裂隙较为发育。特别是场地浅部基岩以风化裂隙、构造裂隙及施工松动形成的裂隙（场地整平影响）为主，地下水主要赋存在这些裂隙中。风化裂隙水主要赋存在强风化和中等风化岩体中；构造裂隙水主要赋存在中等风化岩体中；因节理裂隙发育的不均匀性，构造裂隙水分布亦分布不均匀。浅部地下水主要赋存于强风化和中等风化岩体中，微风化岩体中节理裂隙多为闭合或者填充状态，延伸性差，只在局部范围内连通而构成互不联系或联系很差脉状或者带状裂隙水。

基岩裂隙水分为咸水和淡水两种类型，基岩裂隙水为淡水，仅在循环水泵房区局部受海水潮汐影响表现为低矿化度的微咸水。

2.5.2.2 地下水补给、径流、排泄

主厂区位于一个独立的水文地质单元，地下水主要接受大气降水补给，水位变化受季节和降水影响明显，且由于场地基岩的赋水能力差异较大，水位变化地段性差异明显。一般来说，在岩体完整的地段，地下水水位变化缓慢，水力联系不密切，局部填方区，强风化层和节理裂隙发育的中等风化基岩等地段，地下水水位变化明显，岩体有一定的连通性，水力联系较为密切。

地下水水位基本与厂区原始地形较为一致，地下水水位呈现中间高，南北两侧低的状态，地下水向北西、东南、南三个方向排泄，这与厂区节理裂隙的主发育方向基本相符。水力梯度北侧小，南侧，东南侧较大。综合判定厂区地下水总体上由厂区中间向北西、东南、南三个方向排泄入大海。

综合压水试验和抽水试验成果，本期场地范围内的浅部~中等风化岩体因风化裂隙和构造裂隙发育，以弱透水~中透水为主；微风化基岩以微透水为主，局部为极微透水或弱透水。

2.5.2.3 地下水与海水的水力联系

从地球水化学方面考虑，在主厂区采取的水样均为淡水，其Cl⁻含量和矿化度均较低，说明主厂区地下水在水质方面没有受到海水影响。在填方区距离海岸较近的局部区域地下水受到了海水的影响。

从地下水位变化方面考虑，5、6号机组详勘期间，对钻孔水位和潮汐水位进行了观测，在观测周期内（48小时），地下水的变化幅度较潮水位为小，地下水位起伏变化不明显。

核岛区水质分析显示钻孔地下水为淡水，说明水体并未受到海水影响；仅厂区南侧循环水泵房 HIII78 钻孔和虹吸井北侧 HIII05 钻孔为咸水，其 Cl^- 离子含量远小于海水，钻孔水位显示其水位与潮水位关系不密切，说明该位置连通性不好， Cl^- 以弥散的形式影响地下水。

综上所述，推测地下水与海水之间仅在近海岸或节理裂隙发育，连通性较好的地段存在着微弱的水力联系。在目前的情况下，厂区地下水位高于潮水位，不会发生海水入渗的情况；本工程核岛基坑开挖至海平面下以后，海水不会对基坑开挖和建（构）筑物施工产生影响。

2.5.3 洪水

2.5.3.1 陆域洪水

海阳核电厂址濒临黄海，考虑极端情况下可能最大降雨导致留格河上游四水库（盘石水库、徽村水库、山口水库、望海水库）溃决情况，溃坝洪水对厂址防洪安全没有威胁。核电厂的防洪安全取决于海域洪水。

2.5.3.2 设计基准洪水位

山东海阳核电厂址设计基准洪水组合分析中，充分考虑了地震海啸因素。日本福岛核事故后，中国地震局、国家海洋局等单位共同开展了我国沿海核电厂地震海啸风险分析。中国地震局针对琉球海沟、马尼拉海沟可能的海啸源进行了分析，提供不同破裂带的划分与震级。

国家海洋局海洋环境预报中心利用业务化数值模式，对这些潜在的海啸源可能对我国沿海核电厂造成的影响进行了数值计算。计算结果表明，琉球海沟、马尼拉海沟的潜在海啸源对海阳厂址影响均很小，最大海啸波幅为 0.09m，远小于可能最大风暴潮增水（PMSS）3.60m。地震海啸与热带气旋为相互独立事件，不同时参与洪水事件组合，通过上述分析成果可判断地震海啸对海阳核电厂址防洪无影响。

根据《核电厂厂址选择安全规定》（HAF101）和《滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定》（HAD101/09）的要求，并结合核电厂海域地理环境和工程布置特点，厂址洪水起因事件和基准水位的组合采用：

- 1) 10%超越概率天文高潮位;
- 2) 可能最大风暴潮;
- 3) 与可能最大风暴潮相应的波浪影响;
- 4) 二十五年一遇陆域洪水;
- 5) 核电厂寿期内平均海平面升高。

结合海阳核电厂总平面布置图，核电厂防洪方案采用“干厂址”方案，即将厂坪标高定在包括波浪影响的设计基准洪水位（DBF）之上。山东海阳核电厂与核安全有关区域的室外厂坪标高确定为 8.40m，高于考虑波浪影响的设计基准洪水位（8.05m），确保了核电厂的防洪安全，满足有关核安全法规的要求

2.6 地形地貌

厂址附近范围的地形呈北高南低，南临黄海，北倚低山丘陵区，最高的小凤岭山高 92.3m。西部为冲海积平原，高程（黄海高程，下同）一般 3~10m，河流在南庄一带入海；东部基岩裸露，呈鱼脊状 SN 向展布，高程 10~25m，厂址区地形平缓，高程一般在 5~10m。

厂址附近范围的地貌形态总体是在全新世前地壳处于长期上升剥蚀、晚更新世末期—全新世早期因海面上升堆积而形成的，按其成因类型可分为海岸地貌、重力地貌、构造地貌以及流水地貌等。其中海岸地貌包括海蚀地貌和海积地貌，分布在张家庄西和冷家庄以东的大埠圈一带，沿海分布；重力地貌主要分布在冷家庄东南 1km 南北向岸线处，受风暴浪和地层产状的影响而形成的海蚀陡坎在重力作用下发生崩塌，在海蚀崖的坡脚形成倒石碓；构造地貌主要有分布在大辛家东—张家庄一带的宽缓山丘，呈 NE 向，由于沿此带呈群出现的岩性以霏细斑岩较围岩抗风化能力强，在长期风化剥蚀夷平作用下形成的；流水地貌主要分布于大辛家以西一带。

厂址位于山东海阳市东南约 22km 的沿海半岛上，南临黄海，北倚低山丘陵区。厂址几乎四面环海，仅北侧有一狭长的颈状地带与大陆相接。区内地形较为平坦，东西宽，南北窄，地面标高一般在 5.00~12.00m 左右。厂址中部有董家庄、冷家庄两个居民区；厂址东北侧，大片地区建有海水养殖场，东北端用块石回填修筑了渔船码头和石砌护岸及民房。沿海岸的海蚀崖和距岸约 400m 范围内潮间带地段岩石直接裸露，半岛的东北端设有渔船码头。

厂址区原始地貌类型主要有剥蚀夷平台地、海蚀崖、海蚀岩滩和岩礁，微地貌有海蚀洞、倒石堆。其中，剥蚀夷平台地为厂区地貌主体；海蚀崖主要分布于厂区南侧和东侧；西南、南部基岩裸露，海蚀岩滩广布；海蚀洞、倒石堆和岩礁等局部可见。

现厂区整个场地已整平至厂坪开挖标高（+8.1m 左右），场地平整、开阔，厂区护堤工程已完成。

第三章 环境质量现状

3.1 辐射环境质量现状

3.1.1 辐射环境现状调查

山东核电有限公司开展了海阳核电厂辐射环境监测，并编制环境监测年报。根据《海阳核电厂环境与流出物监测年报（2021年）》的监测结果，编制完成以下内容。

3.1.1.1 调查内容及范围

根据海阳核电厂《环境监测大纲》，环境 γ 辐射水平监测范围为厂址半径50km范围内区域；其余项目监测范围取半径20~30km，重点监测核电厂周围10km范围；对海域的监测，重点关注核电厂排放口附近海域。环境放射性监测由大气放射性监测、陆地放射性监测和海洋放射性监测三部分组成，监测项目以环境 γ 辐射、气溶胶、空气、沉降物、水、土壤、沉积物、陆生及水生生物为主。取样计划见表3.1-1，具体如下：

1) 陆地 γ 辐射水平

调查内容包括 γ 辐射剂量率连续监测、瞬时 γ 辐射剂量率和 γ 辐射累积剂量。调查范围如下：

(1) γ 辐射剂量率连续监测：海阳核电厂共有9个环境 γ 辐射监测子站，其中厂区3个，场外6个，所有子站均设有有线及无线两种数据传输模式。

(2) 瞬时 γ 辐射剂量率：在以核电厂为中心50km范围内的道路、原野选取62个监测点（原野点位59个），每季度进行一次瞬时 γ 辐射空气吸收剂量率的测量。测量时仪器的有效中心离地面1m高，测点距附近高大建筑物的距离大于30m。

(3) γ 辐射累积剂量：每季度第一个月初开展热释光剂量片的布置工作，同时对上季度布置的剂量片进行回收测读。 γ 辐射累积剂量测量的点位与瞬时 γ 辐射剂量率测量点位相同。

2) 土壤

土壤样品范围为厂址半径20公里圆形区域，共设置12个采样点位。样品采集时间为3月，分析项目为 γ 谱和 ^{90}Sr 。

3) 大气、沉降物

海阳核电厂共有5个环境 γ 辐射监测子站安装了气溶胶、氡、碳-14、沉降

物及雨水采集装置，其中厂区 1 个，场外 4 个。调查内容及方案如下：

(1) 气溶胶

气溶胶样品的监测频率为 1 次/月。采集的样品主要用于 γ 谱及总放分析，采样体积约为 400m^3 。自 2021 年 8 月起，用于 γ 谱分析的样品采样体积调整为 10000m^3 及以上。

(2) 空气中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I

空气 ^3H 样品的监测频率为 1 次/月，采样持续时间为 1 天~1 周不等，冬季使用硅胶吸附法采集，其他季节使用冷凝法采样。

空气 ^{14}C 样品的监测频率为 1 次/月，采样持续时间为 1 周，采样总体积约为 5m^3 。

空气 ^{131}I 样品的监测频率为 1 次/月，使用碘盒采样，主要用于空气中有机碘的分析。采样持续时间为 3 天，采样总体积约为 400m^3 。

(3) 降水

降水样品的监测频率为 1 次/季，每次降雨后收集样品，采样后立即进行 ^3H 测量，累积季度样品进行 γ 谱测量。

(4) 沉降物

沉降物样品的监测频率为 1 次/季，使用湿法采样，累积季度样品进行总 β 、 γ 谱和 ^{90}Sr 测量。

4) 水体

调查内容如下：

(1) 地表水

地表水采集南庄、盘石水库和望海水库三个点位样品，采样频率为 1 次/半年，分析项目为 γ 谱和 ^3H 。

(2) 饮用水

饮用水采集邵家庄、方里、大辛家、凤城和海阳市区五个点位样品，采样频率为 1 次/半年，分析项目为总 α 、总 β 、 γ 谱和 ^3H 。

(3) 地下水

地下水的采样点位分别为：厂区三口地下水监测井（P1、P2、P3）、邵家庄及方里，采样频率为 1 次/半年，分析项目为 γ 谱、 ^3H 和 ^{90}Sr 。

控制区地下水样品的采样点位为厂区地下放射性管线周围布置的六口观测

井 (W1~W6), 以及 093 门岗附近的对照点 W7 井, 监测频率为 1 次/季, 分析项目为 ^3H , 若发现样品 ^3H 活度异常, 则进行 γ 谱分析。

(4) 海水

海水选择取排水口附近海域的 8 个点位进行取样分析, 采样频率为 1 次/半年, 分析项目为 γ 谱、 ^3H 和 ^{90}Sr 。

5) 岸边沉积物、潮间带土、底泥

岸边沉积物样品采样点位与地表水相同, 分别为南庄、盘石水库和望海水库三个点位样品, 采样频次为 1 次/年, 分析项目为 γ 谱和 ^{90}Sr 。

潮间带土的采样点位分别为: 邵家庄、小滩及凤城。其中邵家庄为排水口区域, 小滩为取水口区域。采样频次为 1 次/年, 分析项目为 γ 谱和 ^{90}Sr 。

底泥样品采样点位与海水相同(不采集取水口样品), 采样频次为 1 次/年, 分析项目为 γ 谱和 ^{90}Sr 。

6) 生物

调查内容如下:

(1) 水生物

水生物主要采集海水生物。采样点位包括邵家庄、凤城和南辛庄, 南辛庄为对照点位。采样种类包括: 鲅鱼(海鱼)、蛤蜊(贝壳类)、爬虾(甲壳类)及章鱼(软体类), 分析项目为 γ 谱和 ^{14}C , 采样频次为 1 次/年。

(2) 陆生植物

陆生植物采样点位主要分布在厂址半径 10km 区域, 不同样品采样点位略有不同, 采样点位主要有邵家庄、前山、张家庄、寨前及留格庄等, 对照点位设置为莱阳南石础村。采样种类包括: 花生、玉米、小麦、白菜、干草(玉米秸秆)和苹果, 采样频次为 1 次/年, 采样时间为收获季, 分析项目主要有 γ 谱和 ^{14}C 。

(3) 家畜、家禽

家畜和家禽的采样点位均为大辛家和凤城, 家畜选择了本地养殖较为普遍的山羊, 家禽选择散养的土鸡, 采样频次为 1 次/年, 分析项目主要有 γ 谱和 ^{14}C 。

(4) 牛奶

选择距离厂址最近的海阳市区北面的奶牛场采集牛奶样品, 采样频次为 1 次/年, 分析项目主要有 ^{14}C 和 ^{131}I 。

(5) 指示生物

开展两类指示生物的采样分析，包括松针（陆地指示生物）和牡蛎（海洋指示生物）。采样点位为邵家庄、凤城和南辛庄。采样频次为 1 次/年。指示生物的分析项目为 γ 谱、 ^{14}C 和 ^{90}Sr 。

3.1.1.2 监测方法

1) 取样方法

环境样品的采集严格按照相关标准及取样程序执行。

2) 测量分析方法

(1) 在线连续监测仪器测量分析方法

连续监测采用的是西安核仪器厂研制的 M-5007 型 G-M 管 γ 剂量率监测仪，监测时每一分钟测量 1 个数据为一条记录。按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）有关规定剔除可疑值，依次计算小时均值、日均值、月均值和年均值，并制作相应日变化、月变化和年变化曲线。

(2) 环境实验室样品测量方法

所有的监测项目均参考标准或国内同行做法编制了分析规程，并严格执行。

3.1.1.3 监测设施设备

环境监测的计量设备均按国家标准进行检定和校准，所有仪器均在质保有效期内使用。

3.1.1.3 调查结果及分析

1) 陆地 γ 辐射监测

(1) γ 辐射剂量率连续监测

2021 年各监测子站 γ 辐射剂量率各子站总数据获取率为 99.58%，连续监测数据范围为 131.2~280.0nGy/h（未扣除宇宙射线响应），均属于本底水平。

(2) 瞬时 γ 辐射空气吸收剂量率

2021 年厂区及周围区域瞬时 γ 辐射空气吸收剂量率的范围在 33.1~121.8nGy/h，平均值为 74.7nGy/h，均为环境本底水平。

(3) 累积剂量监测

2021 年热释光剂量片的回收率为 97.2%，环境 γ 辐射累积剂量率测量结果的范围在 51.5~219.0nGy/h 之间，平均值为 91.8nGy/h，监测结果均为环境本底水平。

2) 土壤

2021 年共分析了 12 个土壤样品，分析项目主要包括 ^{90}Sr 和 γ 谱。土壤 ^{90}Sr

活度浓度范围为 $<0.71\sim 1.31\text{Bq/kg}\cdot\text{干}$ ；通过 γ 谱核素分析，所有样品中测出天然核素 ^{40}K 、 ^{232}Th 和 ^{238}U ，活度浓度范围为 $710\sim 1142\text{Bq/kg}\cdot\text{干}$ 、 $39\sim 169.9\text{Bq/kg}\cdot\text{干}$ 和 $30\sim 100\text{Bq/kg}\cdot\text{干}$ ，部分样品测出天然核素 ^{226}Ra ，活度浓度范围为 $<1.8\sim 78.7\text{Bq/kg}\cdot\text{干}$ ，部分样品中监测到人工核素 ^{137}Cs ，活度浓度范围为 $<0.59\sim 3.14\text{Bq/kg}\cdot\text{干}$ ，其余关注核素活度浓度均小于探测下限。上述监测结果均为环境本底水平，无异常。

3) 大气、沉降物

(1) 气溶胶

经对环境监测子站气溶胶样品中 γ 谱分析、总放监测，样品中总 α 及总 β 测值范围分别为 $(0.31\sim 2.47)\times 10^{-1}\text{mBq/m}^3$ 、 $(1.06\sim 20.74)\times 10^{-1}\text{mBq/m}^3$ ； γ 谱核素测出天然核素 ^7Be 和 ^{40}K ，其中 ^7Be 测值范围为 $<1.1\sim 10.53\text{mBq/m}^3$ ，大部分样品中 ^{40}K 的低于探测下限，测出部分测值范围为 $0.3\sim 3.2\text{mBq/m}^3$ ，其它关注核素均未测出。上述监测结果均为环境本底水平，无异常。

(2) 空气中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I

经对环境监测子站空气样品中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I 监测，样品 ^3H 测值范围为 $<2.31\sim 34\text{mBq/m}^3$ ； ^{14}C 测值范围为 $37.4\sim 69.2\text{mBq/m}^3$ ；所有样品均未测出 ^{131}I 。上述监测结果均为环境本底水平，无异常。

(3) 沉降物

经对环境监测子站沉降物样品中总 β 、 γ 谱及 ^{90}Sr 监测，样品中总 β 测值范围为 $0.05\sim 1.0\text{Bq/m}^2\cdot\text{d}$ ； ^{90}Sr 测值范围为 $<0.25\sim 37.14\text{mBq/m}^2\cdot\text{d}$ ；所有样品均测出宇生核素 ^7Be ，部分样品测出天然核素 ^{40}K ，测值范围分别为 $0.2\sim 7.4\text{Bq/m}^2\cdot\text{d}$ 和 $<2.34\sim 30.3\times 10^{-2}\text{Bq/m}^2\cdot\text{d}$ ，其余关注人工放射性核素活度浓度均低于探测下限。上述监测结果均为环境本底水平，无异常。

(4) 降水

经对环境监测子站降水样品中 γ 谱核素及 ^3H 分析，样品中 ^3H 测值范围为 $<0.93\sim 1.26\text{Bq/L}$ ； γ 谱测量仅有部分样品测出天然核素 ^7Be ，活度浓度范围为 $<0.06\sim 0.47\text{Bq/L}$ 。上述监测结果均为环境本底水平，无异常。

4) 水体

(1) 地表水

2021年共分析了6个地表水样品，测量项目主要包括 γ 谱及 ^3H 。样品中 ^3H

活度浓度均小于探测限； γ 谱核素仅测出天然核素 ^{40}K ，活度浓度范围为 $<0.09\sim 0.31\text{Bq/L}$ 。上述监测结果均为环境本底水平，无异常。

(2) 饮用水

2021 年共分析了 10 个饮用水样品，各样品均进行总放、 ^3H 和 γ 谱核素分析。样品中中总 α 、总 β 活度浓度分别为 $<1.4\sim 14.0\times 10^{-2}\text{Bq/L}$ 、 $0.055\sim 0.25\text{Bq/L}$ ； ^3H 活度浓度均小于探测限； γ 谱测量仅测出天然核素 ^{40}K ，活度浓度范围为 $<0.07\sim 0.40\text{Bq/L}$ 。上述监测结果均为环境本底水平，无异常。

(3) 地下水

2021 年共分析了个 10 个地下水样品，分别进行了 ^3H 和 γ 谱核素分析，上半年 5 个样品同时还开展 ^{90}Sr 测量分析。样品中 ^3H 活度均小于探测限； ^{90}Sr 活度浓度范围为 $0.95\sim 3.26\text{mBq/L}$ ； γ 谱测量仅方里点位样品测出天然核素 ^{40}K ，活度浓度范围为 $0.25\sim 0.28\text{Bq/L}$ ，其余关注核素活度浓度均低于探测下限。上述监测结果均为环境本底水平，无异常。

2021 年共分析了 36 个控制区地下水样品，主要进行 ^3H 分析。每月对 W4 井 ^3H 活度监测分析， ^3H 活度浓度范围为 $2.12\sim 31\text{Bq/L}$ ，结果无异常；其余 6 个点位控制区地下水井样品每季度取样分析，活度浓度范围为 $<0.87\sim 1.58\text{Bq/L}$ ，为环境本底水平，无异常。

(4) 海水

2021 年按计划分析了 16 个海水样品，分别进行 ^3H 和 γ 谱核素，上半年 8 个海水样品同时开展了 ^{90}Sr 分析。样品中 ^{90}Sr 活度浓度范围为 $1.95\sim 6.71\text{mBq/L}$ ； ^3H 活度浓度范围为 $<1.42\sim 3.71\text{Bq/L}$ ； ^{137}Cs 活度浓度范围为 $<0.50\sim 1.3\text{mBq/L}$ ，其余关注 γ 谱核素活度浓度均小于探测下限。上述监测结果处于环境本底水平，无异常。

5) 岸边沉积物、潮间带土、底泥

(1) 岸边沉积物

2021 年共分析淡水沉积物样品 3 个，各样品均进行了 ^{90}Sr 和 γ 谱核素分析。所有样品中均测出核素 ^{90}Sr ，测量值为 $0.15\sim 0.53\text{Bq/kg}$ 干；通过 γ 谱核素分析，所有样品均测出天然核素 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{238}U ，活度浓度分别为 $723\sim 807\text{Bq/kg}\cdot\text{干}$ 、 $24\sim 30\text{Bq/kg}\cdot\text{干}$ 、 $62\sim 117\text{Bq/kg}\cdot\text{干}$ 和 $39\sim 65\text{Bq/kg}\cdot\text{干}$ ，望海水水库点位监测到人工核素 ^{137}Cs ，活度浓度为 $1.4\text{Bq/kg}\cdot\text{干}$ ，其余关注核素活

度浓度均小于探测下限。上述监测结果均为环境本底水平，无异常。

(2) 潮间带土

2021 年共分析潮间带土样品 3 个，各样品均进行了 ^{90}Sr 和 γ 谱分析。2 个点位样品中测出核素 ^{90}Sr ，测量值范围为 0.19~0.21Bq/kg·干；通过 γ 谱核素分析，所有点位测出天然核素 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{238}U ，活度浓度分别为 912~998Bq/kg·干、3.2~20Bq/kg·干、38~70Bq/kg·干和 24~63Bq/kg·干，所有样品测出人工放射性核素 ^{137}Cs ，活度浓度范围为 1.5~2.3Bq/kg·干，其余关注核素活度浓度均小于探测下限。上述监测结果均为环境本底水平，无异常。

(3) 底泥

2021 年共分析了 7 个底泥样品，各样品均进行了 ^{90}Sr 和 γ 谱分析。其中部分点位测出 ^{90}Sr ，活度浓度范围为 0.14~0.49Bq/kg·干；通过 γ 谱核素分析，测出天然核素 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{238}U ，活度浓度范围分别为 766~908Bq/kg·干、17~30Bq/kg·干、44~54Bq/kg·干和 30~98Bq/kg·干，所有样品均测出人工放射性核素 ^{137}Cs ，活度浓度范围为 1.6~2.6Bq/kg·干，其余关注核素活度浓度均小于探测下限。上述监测结果均为环境本底水平，无异常。

6) 生物

(1) 陆生植物

2021 年共分析陆地植物样品共 6 类 17 个，主要进行了 ^{14}C 和 γ 谱分析。

所有样品中均测出核素 ^{14}C ，活度浓度范围为 6.2~134.2Bq/kg 鲜；通过 γ 谱核素分析，部分样品测出天然核素 ^7Be ，测出的活度浓度范围为 0.33~33.3Bq/kg 鲜，所有样品测出天然核素 ^{40}K ，活度浓度范围为 35.8~244Bq/kg 鲜，部分样品还测出人工放射性核素 ^{137}Cs ，测出的活度浓度范围为 0.04~0.28Bq/kg 鲜，其余关注 γ 谱核素活度均小于探测下限。上述监测结果均为环境本底水平，无异常。

(2) 水生物

2021 年在电厂周围海域的邵家庄、凤城和南辛庄点位采集了鱼类、软体类、甲壳类、贝壳类等生物样品，并进行了 ^{14}C 和 γ 谱分析。

1) 鱼类样品为鲅鱼，共分析 3 个样品，所有样品均监测出 ^{14}C ，测值范围为 22.8~43.1Bq/kg 鲜；通过 γ 谱核素分析，所有样品均测出天然核素 ^{40}K 和人工放射性核素 ^{137}Cs ，活度浓度范围分别为 110~122Bq/kg 鲜、0.07~0.17Bq/kg 鲜，其余关注人工放射性核素活度均小于探测下限。

2) 软体类样品为章鱼, 共分析了 3 个样品, 所有样品均测出 ^{14}C , 测值范围为 9.8~12.2Bq/kg·鲜; 通过 γ 谱核素分析, 所有样品均测出天然核素 ^{40}K , 活度浓度范围为 28.0~36.7Bq/kg·鲜, 其余关注人工放射性核素活度均小于探测下限。

3) 甲壳类样品为爬虾, 共分析了 3 个样品, 所有样品均监测出 ^{14}C , 测值范围为 17.0~29.4Bq/kg·鲜; 通过 γ 谱核素分析, 所有样品均测出天然核素 ^{40}K 和人工放射性核素 ^{137}Cs , 活度浓度范围分别为 59.0~85.8Bq/kg·鲜、0.02~0.03Bq/kg·鲜, 其余关注人工放射性核素活度均小于探测下限。

4) 贝壳类样品为蛤蜊, 共分析了 3 个样品, 所有样品均测出 ^{14}C , 测值范围为 15.6~20.9Bq/kg·鲜; 通过 γ 谱分析, 所有样品均测出天然核素 ^7Be 和 ^{40}K , 活度浓度范围为 0.17~0.23Bq/kg·鲜、7.6~15.3Bq/kg·鲜, 其余关注人工放射性核素活度均小于探测下限。

上述监测结果均为环境本底水平, 无异常。

(3) 家畜、家禽

2021 年分析了羊肉及鸡肉两个种类共 4 个样品, 并进行了 ^{14}C 和 γ 谱分析, 均在凤城和大辛家点位采集。

所有样品均测出 ^{14}C , 测值范围为 25.3~37.5Bq/kg 鲜; 通过 γ 谱核素分析, 所有样品均测出天然核素 ^{40}K , 活度浓度范围为 23.5~62.1Bq/kg 鲜, 其余关注人工放射性核素活度均小于探测下限。上述监测结果均为环境本底水平, 无异常。

(4) 牛奶

2021 年分析了海阳市区的牛奶样品, 主要监测项目为 ^{14}C 和 ^{131}I 。其中, ^{131}I 未测出, ^{14}C 测量值为 13.29Bq/kg·鲜, 为环境本底水平, 无异常。

(5) 指示生物

2021 年分析了松针和牡蛎两个种类共 5 个指示生物样品, 进行了 ^{14}C 、 ^{90}Sr 和 γ 谱分析。

松针样品 ^{14}C 、 ^{90}Sr 活度浓度范围分别为 53.3~67.6Bq/kg·鲜、0.058~0.089Bq/kg·鲜; 通过 γ 谱核素分析, 所有样品均测出天然核素 ^7Be 和 ^{40}K , 活度浓度范围分别为 20.3~34.1Bq/kg·鲜和 52.2~58.6Bq/kg·鲜; 其余关注人工放射性核素活度均小于探测下限。

牡蛎样品 ^{14}C 和 ^{90}Sr 活度浓度范围分别为 13.4~21Bq/kg·鲜、<0.007~0.024Bq/kg·鲜; 通过 γ 谱核素分析, 所有样品均测出天然核素 ^{40}K , 活

度浓度范围为 31.6~108.1Bq/kg 鲜, 邵家庄、凤城样品中监测到人工核素 ^{110m}Ag , 活度浓度范围为 0.43~0.45Bq/kg · 鲜, 其余关注人工放射性核素活度均小于探测下限。

指示生物的放射性水平无异常。

3.1.1.4 质量保证

1) 人员技术资格和培训

环境监测技术人员必须在取得相应的授权后才能开展监测工作。2021 年环境监测专业现有本科及以上学历工作人员 14 名, 其中硕士 4 人。环境监测人员严格执行培训与授权制度, 所有人员均经过培训考核合格, 并取得了相应的授权。本年度主要开展了岗位复训和专项知识培训, 并完成 2 名人员的中级授权培训和 2 名人员的初级授权培训。

2) 仪器的可靠性及检定/校准情况

所有对分析测试结果的准确性和有效性有影响的仪器和设备, 均由计量部门或其授权单位进行校准或检定, 以保证所进行的检测量有溯源性。表 3.1-32 列出了环境监测使用的主要仪器和设备的检定情况。

环境监测 γ 谱仪、低本底 α/β 测量仪和液体闪烁计数器年进行 χ^2 检验以验证仪器本底是否满足泊松分布。高纯锗 γ 谱仪、低本底总放测量仪及液体闪烁测量谱仪还定期进行本底或效率计数检验, 并制作质控图, 以保证仪器正常运行。

每年至少一次对使用的放射性监测仪器进行效率刻度和本底测量, 用于刻度放射性测量仪器的标准源、标准溶液和标准物质, 均由权威计量部门提供, 为测量值可溯源到国家基准提供了有力的保证。

3) 取样、制样、测量过程中的质量控制

环境监测项目采样、制样、测量、分析、保存等过程均严格按照环境技术规程规定执行, 过程中防止交叉污染, 保证样品的代表性, 并采用平行样、复测样、密码质控样等质控措施, 保证检测数据准确可靠。

4) 实验室内部质量检查及控制

海阳核电厂通过以下手段对环境监测进行过程控制及数据审查。

- a) 环境监测技术人员必须在取得相应的授权后才能开展监测工作。
- b) 监测数据需经过编制、校核、审查三级验证后方可上报。
- c) 遇到监测结果出现异常的情况, 立即进行复查。

d) 原始记录统一管理、归档存查。

5) 实验室间外部质量保证

环境监测人员积极参加同行组织的外部样品比对、考核、能力验证工作,2021年参加了中国辐射防护研究院组织的能力验证、苏州热工院组织的比对以及生态环境部辐射环境监测中心组织的能力考核。除生物及空气¹⁴C外,环境监测所有开展监测的项目均参加了能力验证或外部比对,结果均为“满意”。

3.1.2 运行机组流出物排放情况

本项目为扩建项目,海阳核电厂一期工程2台机组已分别于2018年10月和2019年1月先后投入商运。

根据2020年和2021年环境监测和流出物年报,海阳核电厂一期两台机组运行状态良好,核安全形势总体平稳,各系统设备性能良好,各项指标均满足设计文件要求。

一期2台机组最近两年(2020年、2021年)流出物排放量达标,每个季度的排放总量不超过所批准的年排放总量的二分之一,每个月的排放总量不超过所批准的年排放总量的五分之一,满足GB6249-2011的规定和NNSA的排放量要求。

3.1.3 辐射环境质量评价

通过分析, γ 辐射空气吸收剂量率、陆地环境介质(气溶胶、沉降物、空气、生物、土壤、水)放射性水平、海洋环境介质(海洋生物、底泥、海水)放射性水平以及指示生物(松针、牡蛎)放射性水平总体监测结果较本底调查未见显著差异,核电厂运行对当地辐射水平无异常。

表 3.1-1 2021 年辐射环境监测取样计划

监测介质	月份												备注
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
连续 γ 辐射剂量率	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
瞬时 γ 辐射剂量率	√			√			√			√			
γ 累积剂量	√			√			√			√			
气溶胶	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
空气	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
降水			√			√			√			√	
沉降灰			√			√			√			√	
地表水			√						√				
地下水					√						√		
控制区地下水	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
饮用水			√						√				
海水				√						√			
土壤			√										
淡水沉积物									√				
海底泥				√									
潮间带土									√				
大白菜											√		
小麦							√						
花生											√		
玉米										√			
玉米秸秆	√												
苹果										√			
鲑鱼					√								
蛤蜊									√				
爬虾				√									
章鱼									√				
羊肉	√												
鸡肉									√				
牛奶	√												
松针					√								
牡蛎	√												

3.2 非辐射环境质量现状

受山东核电有限公司委托，青岛谱尼测试有限公司承担了山东海阳核电厂 2021 年度环境质量监测工作，并编制完成了《山东海阳核电厂 2021 年度环境质量监测报告》。国家海洋局北海海洋工程勘察研究院于 2019 年对厂址周围地表水环境进行调查和监测工作，共进行了春、夏、秋、冬四季调查，编制了《山东海阳核电项目 5、6 号机组春、夏、秋、冬季海洋环境现状调查报告》。本节根据《山东海阳核电厂 2021 年度环境质量监测报告》以及《山东海阳核电项目 5、6 号机组春、夏、秋、冬季海洋环境现状调查报告》对工程所在区域目前的非辐射环境质量现状进行描述和评价。

3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

3.2.1.1 大气环境质量现状初步调查

本工程厂址半径 5km 范围内的环境空气保护目标有居民点、学校等。

3.2.1.2 大气环境质量监测方案

无组织废气排放的监测因子为颗粒物、二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x），环境空气监测因子为颗粒物（TSP、PM₁₀、PM_{2.5}）、二氧化硫（SO₂）、二氧化氮（NO₂）。无组织排放的监测点位为厂址厂界外 10m 范围内，环境空气监测点位为村庄距离厂址最近处。

3.2.1.3 大气环境质量监测结果

（1）2021 年第一季度

无组织排放废气监控点二氧化硫最大浓度为 0.024mg/m³，氮氧化物最大浓度为 0.072mg/m³，颗粒物最大浓度为 0.32mg/m³，均满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值要求（SO₂、NO_x 和上风向颗粒物限值要求分别为 0.5mg/m³，0.15mg/m³ 和 2.0mg/m³）。

环境敏感点的环境空气中 SO₂、NO_x 小时值最大浓度分别为 12μg/m³、68μg/m³，日均值最大浓度分别为 10μg/m³、55μg/m³，均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准浓度限值要求。环境空气中 TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 日均值最大浓度为 216μg/m³、110μg/m³、68μg/m³，均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准浓度限值要求（TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 日均值二级限值要求为 300μg/m³、150μg/m³、75μg/m³）。

(2) 2021 年第二季度

无组织排放废气监控点二氧化硫最大浓度为 $0.020\text{mg}/\text{m}^3$ ，氮氧化物最大浓度为 $0.053\text{mg}/\text{m}^3$ ，颗粒物最大浓度为 $0.36\text{mg}/\text{m}^3$ ，均满足《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 中无组织排放监控浓度限值要求。

环境敏感点的环境空气中 SO_2 、 NO_x 小时值最大浓度分别为 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $46\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，日均值最大浓度分别为 $13\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中二级标准浓度限值要求。环境空气中 TSP、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 日均值最大浓度为 $148\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $98\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $62\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级标准浓度限值要求。

(3) 2021 年第三季度

无组织排放废气监控点二氧化硫最大浓度为 $0.025\text{mg}/\text{m}^3$ ，氮氧化物最大浓度为 $0.039\text{mg}/\text{m}^3$ ，颗粒物最大浓度为 $0.29\text{mg}/\text{m}^3$ ，均满足《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 中无组织排放监控浓度限值要求。

环境敏感点的环境空气中 SO_2 、 NO_x 小时值最大浓度分别为 $17\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $38\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，日均值最大浓度分别为 $13\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $31\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中二级标准浓度限值要求。环境空气中 TSP、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 日均值最大浓度为 $129\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $67\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级标准浓度限值要求。

(4) 2021 年第四季度。

无组织排放废气监控点二氧化硫最大浓度为 $0.016\text{mg}/\text{m}^3$ ，氮氧化物最大浓度为 $0.051\text{mg}/\text{m}^3$ ，颗粒物最大浓度为 $0.26\text{mg}/\text{m}^3$ ，均满足《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 中无组织排放监控浓度限值要求。

环境敏感点的环境空气中 SO_2 、 NO_x 小时值最大浓度分别为 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $52\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，日均值最大浓度分别为 $12\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $48\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中二级标准浓度限值要求。环境空气中 TSP、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 日均值最大浓度为 $151\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $79\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $42\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级标准浓度限值要求。

3.2.1.4 大气环境质量现状评述

2021年1-4季度对场界无组织废气进行了4次季度监测，监测结果表明：无组织排放废气场界监控点二氧化硫、氮氧化物、颗粒物最大浓度均满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表2中无组织排放监控浓度限值要求。

2021年1-4季度对两个村庄环境空气进行了4次季度监测，监测结果表明：监测期间，两个村庄监测点位环境空气中二氧化硫、氮氧化物、TSP、PM₁₀、PM_{2.5}浓度均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准浓度限值要求。

3.2.2 声环境质量现状调查与评价

3.2.2.1 声环境质量现状初步调查

本工程厂址半径5km范围内的声环境保护目标有居民点、学校等。

3.2.2.2 声环境质量监测方案

声环境监测在四个季度各开展一次。监测因子为昼间等效声级L_d和夜间等效声级L_n。共布设6个监测点位，厂址靠近居民点的厂界处布设4个监测点，厂外邵家庄和张家庄距离厂址最近处各布设1个监测点。

3.2.2.3 声环境质量监测结果

2021年第一季度厂界▲1、▲2、▲3、▲4号点昼、夜噪声测定值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）中2类标准要求。环境敏感点△5、△6监测点昼、夜噪声测定值均满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中2类标准的要求（昼间60dB（A）、夜间50dB（A））。

2021年第二季度、厂界▲1、▲2、▲3、▲4号点昼、夜噪声测定值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）中2类标准要求。环境敏感点△5昼间噪声测定值满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中2类标准的要求；夜间噪声不满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中2类标准的要求。环境敏感点△6监测点昼间噪声测定值不满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中2类标准的要求；夜间噪声满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中2类标准的要求。环境敏感点△5、△6噪声监测期间正值农忙，主要是受农机生产运输噪声影响。

2021年第三季度厂界▲1、▲2、▲3、▲4号点昼、夜噪声测定值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）中2类标准要求。环境敏感点

△5、△6 监测点昼、夜噪声测定值均满足《声环境质量标准》(GB 3096-2008)中 2 类标准的要求。

2021 年第四季度厂界▲1、▲2、▲3、▲4 号点昼、夜噪声测定值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348-2008)中 2 类标准要求。环境敏感点△5、△6 监测点昼、夜噪声测定值均满足《声环境质量标准》(GB 3096-2008)中 2 类标准的要求。

通过监测结果可见,本项目厂界 1~4 号点昼、夜噪声四季度测定值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中 2 类标准(昼间 60dB(A)、夜间 50dB(A))的要求。环境敏感点△5、△6 监测点昼、夜噪声测定值多数时段满足《声环境质量标准》(GB 3096-2008)中 2 类声环境功能区标准(昼间 60dB(A)、夜间 50 dB(A))的要求。

3.2.2.4 声环境质量现状评述

上述分析可见,厂址附近区域的声环境质量较好,除第二季度部分监测点外,基本符合《声环境质量标准》(GB 3096-2008)2 类标准要求。

3.2.3 水环境质量现状调查与评价

国家海洋局北海海洋工程勘察研究院于 2019 年对厂址周围地表水环境进行调查和监测工作,共进行了春、夏、秋、冬四季调查。

3.2.3.1 水环境质量监测方案

1) 调查范围

按照全面覆盖、重点代表的原则,结合周围养殖区和其他项目用海现状,在项目周边海域进行调查站位的布设,在取排水口和核电周边区域站位适当加密。以核电项目排水口为中心,两侧沿岸延伸距离各 15km 海域范围内布设了 6 条调查断面。春季航次调查设置大面站水质站位 24 个;夏季航次调查设置大面站水质站位 24 个连续站位 2 个;秋季航次设置大面站水质站位 29 个,连续站位 3 个;冬季航次设置大面站水质站位 29 个,连续站位 3 个;另外每季节设置 5 个水温加密站位。

2) 调查项目

调查内容包括包括 pH 值、温度、盐度、溶解氧(DO)、悬浮物、化学需氧量(COD)、营养盐(硝酸盐氮(NO_3^- -N)、亚硝酸盐氮(NO_2^- -N)、铵盐(NH_4^+ -N)、

磷酸盐 ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)、硅酸盐 ($\text{SiO}_3^{2-}\text{-Si}$)、挥发性酚、石油类、重金属 (铜、铅、锌、镉、总铬、汞、砷)、余氯等共计 21 项要素。

3) 调查时间

2019 年 5 月 (春季)、2019 年 8 月 (夏季)、2019 年 10 月 (秋季) 和 2019 年 12 月 (冬季) 国家海洋局北海海洋工程勘察研究院对工程海域进行了四次现场调查。采样日期分别为 2019 年 5 月 22-24 日、2019 年 8 月 24-31 日、2019 年 10 月 22-27 日和 2019 年 12 月 19-25 日。

4) 采样方法

调查船只进入预定站位, 使用 GPS 进行定位。

水质调查项目除石油类取表层水样外, 其余项目的采集均按以下要求进行:

- 当水深小于 10 米时, 采集表层水样;
- 当水深大于 10 米小于 25 米时, 采集表、底两层水样;
- 当水深大于 25 米小于 50 米时, 采表层、10m 水深处、底层水样 (注: 表层系指海面以下 0.1m~1m; 底层指距离海底 2m 处的水层)。

5) 分析方法和检出限

样品的分析严格按照《海洋监测规范》(GB17378-2007) 进行, 水样分析方法和检出限见表 3.2-32。

6) 水质评价标准

水质评价按照所能达到的《海水水质标准》(GB3097-1997) 等级进行描述, 首先利用一类水质标准进行评价, 对不满足一类标准的进行第二类标准评价, 以此类推。厂址临近海域主要执行三类标准, 远海区域执行二类标准。

3.2.3.2 水环境质量监测结果

1) 春季调查结果

按一类水质标准评价时, 无机氮有 11 个站位超出一类水质标准, 超标率为 11.1%, 其他调查因子均符合一类标准; 按二类水质标准评价时, 无机氮表层有 3 个站超出二类标准, 分别是 33 号站、35 号站和 36 号站, 超标率为 11.1%, 其他站位均符合二类标准; 按三类水质标准评价时, 所有调查调查因子均符合三类标准。

2) 夏季调查结果

按一类水质标准评价时, 大面站无机氮有 13 个站位超出一类水质标准, 超

标率为 50.0%；连续站的 56 号站的无机氮在每个时段的取样均超出一类标准，其他调查因子均符合一类标准；按二类水质标准评价时，大面站无机氮表层有 6 个站超出二类标准，超标率为 23.1%；其他站位均符合二类标准；按三类水质标准评价时所有站位均符合三类标准。

3) 秋季调查结果

按一类水质标准评价时，大面站无机氮有 13 个站位超出一类标准，超标率为 41.9%；连续站的 55 号站除了在 11:30 和 15:30 两个时间段符合一类标准外，其他站位无机氮均超过一类标准，其他调查因子均符合一类标准；按二类水质标准评价时，大面站无机氮表层有 4 个站超出二类标准，超标率为 12.9%；连续站的 56 号在 7:00 采集的样品超过二类标准，其他站位均符合二类标准；按三类水质标准评价时，大面站无机氮的 57 号站和 58 号站表层超出三类标准，其他站位均符合三类标准，所有站位均符合四类标准。

4) 冬季调查结果

按一类水质标准评价时，大面站无机氮超标率为 94.3%；连续站无机氮均超过一类标准，其他调查因子均符合一类标准；按二类水质标准评价时，大面站无机氮有 22 个站超出二类标准，超标率为 62.9%；连续站的 56 和 62 号站有 12 个样品超过二类标准，其他站位均符合二类标准；按三类水质标准评价时，大面站无机氮的 17 号站、24 号站、表层超出三类标准，连续站均符合三类标准，所有站位均符合四类标准。

3.2.3.3 水环境质量评价结论

1) 春季水质评价结论

本次调查因子为水温、pH、盐度、DO、悬浮物、COD、石油类、活性磷酸盐、无机氮、挥发性酚、砷、铜、铅、锌、镉、汞、总铬等 17 项。通过评价结果可以看出，该海域除无机氮有超标现象外，其余各调查因子均符合一类标准。

2) 夏季水质评价结论

本次调查因子为水温、pH、盐度、DO、悬浮物、COD、石油类、活性磷酸盐、无机氮、挥发性酚、砷、铜、铅、锌、镉、汞、总铬、余氯等。通过评价结果可以看出，该海域除无机氮有超标现象外，其余各调查因子均符合一类标准。

3) 秋季水质评价结论

本次调查因子为水温、pH、盐度、DO、悬浮物、COD、石油类、活性磷酸

盐、无机氮、挥发性酚、砷、铜、铅、锌、镉、汞、总铬等 17 项。通过评价结果可以看出，该海域除无机氮有超标现象外，其余各调查因子均符合一类标准。

4) 冬季水质评价结论

本次调查因子为水温、pH、盐度、DO、悬浮物、COD、石油类、活性磷酸盐、无机氮、挥发性酚、砷、铜、铅、锌、镉、汞、总铬、余氯等。通过评价结果可以看出，该海域除无机氮有超标现象外，其余各调查因子均符合一类标准。

5) 春、夏、秋、冬四季调查汇总

对春、夏、秋、冬四季水质调查结果进行汇总，可以看出大面站、连续站各调查项目的浓度总体变化不大，除无机氮在四个季节均出现超标现象外，四季调查的超标站位分布区域大体一致，其余调查项目均符合一类标准。

3.2.4 电磁环境质量现状调查与评价

根据《山东海阳核电厂一期工程竣工环保验收电磁辐射监测报告》，苏州热工研究院有限公司环境检测中心于 2019 年对海阳核电厂一期工程主变、开关站、辅助变、输电线以及敏感目标周围的工频磁场、工频电场进行了监测。

由监测结果可知：主变、500kV 开关站、220kV 辅助变周围的工频电场为 11.13~638.3V/m，工频磁场为 0.3492~4.707 μ T；500kV 架空线下周围的工频电场为 211.7~5688V/m，工频磁场为 1.302~8.601 μ T；200kV 辅助变地埋缆线上方的工频电场为 2.321~2.567V/m，工频磁场为 0.3484~0.3723 μ T。以上数值满足符合《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中规定的限值要求（对于 0.05kHz 频率，公众曝露限值分别为 4000V/m 和 100 μ T；架空输电线路下的耕地、园地、牧草地、畜禽饲养地、养殖水面、道路等场所，其频率 50Hz 的电场强度控制限值为 10kV/m）。

敏感点处的工频电场为 2.128~47.80V/m，工频磁场为 0.3390~0.5819 μ T。以上数值符合《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中规定的公众曝露控制限值的要求（对于 0.05kHz 频率，公众曝露限值分别为 4000V/m 和 100 μ T）。

3.2.5 环境质量现状监测质量保证

3.2.5.1 大气和噪声环境质量现状监测质量保证

大气和噪声环境质量现状监测工作由青岛谱尼测试有限公司承担，该单位在承担该项工作的质量保证如下：

- 1) 配备有资质的人员参与该项工作。

2) 对于采样和分析仪器, 使用前进行检定并在有效期内使用。采样、样品保存和监测方法按照国家相关规定执行。

3) 对数据的记录、检查、复审、保存进行全过程控制。

3.2.5.2 地表水环境质量现状监测质量保证

地表水环境质量现状监测工作由国家海洋局第一海洋研究所承担, 该单位在承担本项工作的质量保证如下:

1) 本项目所使用的调查船只符合国家有关安全导则和规定的精度要求。所使用的调查仪器设备都经过具有国家检定资质的检定单位进行检定, 并在有效期内使用。各种调查仪器设备都制定了完善的工作程序, 严格按工作程序操作, 确保仪器设备和人员的安全及资料与数据的正确性。

2) 所有调查的人员均经培训考核合格并取得上岗证书, 为推进本项目开展, 保证项目质量, 对参与本项目的人员进行相关培训。

3) 调查、监测、检测数据实行三级审核制度。

4) 采样、样品保存和监测方法按照国家相关规定执行。

5) 固定实验室、固定观测场的环境条件应根据实验室和观测场内的仪器设备及其调查(检验)工作的要求进行布置, 配备各类所需能源, 避免机械、电磁、热、化学等的交叉干扰和污染; 在船舶等其他非固定实验室进行检测工作时, 仪器设备应远离船舶的排气、排污口; 尽量安放在船舶的中部, 以减少震动影响; 仪器设备应不受船舶上雷达、电台等无线设备所产生的电磁干扰。

3.2.5.3 电磁环境质量现状监测质量保证

电磁环境质量现状监测工作由苏州热工研究院有限公司环境检测中心承担, 该单位在承担本项工作的质量保证如下:

1) 在选定分析测量方法时, 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, 项目负责人及所有工作人员由有相关资质的人员承担。

2) 测量环境条件符合行业标准和仪器标准中规定的适用条件, 即无雪、无雨、无雾、无冰雹。测量记录表应注明环境温度、相对湿度及天气状况。

3) 参与调查的仪器设备, 按照量值溯源关系, 定期经计量部门检定, 保证检定/校准结果能够溯源到国家计量基准, 检定合格后方可使用。

4) 专题报告完成编制后, 需经过审核后签发和方生效。

第四章 核电厂

4.1 厂区规划及平面布置

山东海阳核电厂规划工程规划容量为6台百万千瓦级核电机组和1台一体化小型堆，一次规划，分期实施，并预留两台百万千瓦级核电机组扩建余地。厂区一次规划，分期建设。本期工程为5、6号机组工程，拟建设2台国产化CAP1000压水堆核电机组。

按照“统一规划、分期建设”的原则，以及现有设备供货商提供的核岛和常规岛布置资料，并结合一期工程和3、4号机组工程的总体规划对5、6号机组工程进行总平面布置。厂区总平面布置方案充分考虑厂址的地形、气象和厂址环境、地基条件等因素，并满足循环冷却水南取，1~4号机组从厂区西侧明渠排水、5、6号机组从厂区南侧盾构排水，电力出线总体向北及辅助厂房与主厂房的工艺联系、厂前区的布置及施工等要求。

根据核电机组规模、厂址地形、地质条件、水工及电力出线等因素，将5、6号机组的主厂房群（由反应堆厂房、汽机厂房、附属厂房、辅助厂房、放射性废物厂房、柴油发电机厂房等组成）布置在南北护堤之间的台地上，即位于3、4号机组工程主厂房的东侧，核岛厂房布置在汽机厂房的南侧。1~6号机组依次由西向东排列，5、6号机组位于厂区的中部偏东。

根据厂区中等风化基岩、微风化基岩分布特征，核电厂5、6号机组主厂房的基础均坐落于微风化基岩上，地基承载力较高且均匀稳定，满足核岛厂房的地基要求。厂址绿地率约为9.5%。

主厂房区包括反应堆厂房、核辅助厂房、附属厂房、汽轮机厂房和柴油发电机厂房等，该区域四周有道路环绕，将主厂房区与其它各区分开，为施工安装、大件运输、燃料运输及事故工况下人员应急疏散创造了便利条件。反应堆厂房布置在南侧，汽机厂房布置在北侧。

综合考虑厂区防洪安全、地质条件和土石方工程等因素，厂区与核安全有关的区域的地面设计标高定为8.40m，建构筑物室内地坪标高8.70m；道路中心线标高为8.20m。其他区域，场地地坪设计标高可定为7.98~8.10m；建构筑物室内地坪标高8.40m；道路中心线标高约为7.90m。

5、6号机组的废气排放口即烟囱位于每台机组反应堆厂房的南部。5、6号机组液态流出物与一期、二期液态流出物一同排放，随着一期、二期温排水向西排放入海。

与放射性相关的建、构筑物，如放射性废物厂房单堆布置在反应堆厂房的南侧；厂址废物处理设施集中布置在一期工程主厂房区的南侧，现已建成，全厂共用。固体废物运输由厂区南侧道路至厂址废物处理设施区，经过处理的固体废物可通过主厂房南侧的道路，再经东侧海堤道路、北侧海堤道路运输至厂外。

在主厂房区域南侧布置取水明渠（全厂共用，一期工程已建），取水明渠的底标高为-7.0m，本期工程靠近岸边设置 1 个循环水泵房。1~4 号机组从厂区西侧明渠排水至-5.5m 等深线处；综合考虑施工条件、施工工期、盾构隧洞长度、经济性等因素，现阶段仅比选盾构隧洞方案而言，5、6 号机组初步考虑循环水排水方案为盾构排水，盾构隧洞的起始井由每台机组的虹吸井兼做。每台机组设置 1 条盾构隧洞，5、6 号机共设置盾构隧洞 2 条，隧洞内径 5.65m，内底标高暂定-8.05m/-9.80m（起始标高）~-22.00m（到达标高）。盾构隧洞的终端设置多点竖向排水管，每个盾构隧洞设置 8 个排水管，排放管直径 2.4m，每个排放管顶部设置 1 个圆形排水头，排水头直径 4.5m，排水窗底高出海底 1.5m，排水窗口高 2.5m。排水口设置于厂址东南侧海域-9.5m 水深处，排水口采用多点式淹没出流。在主厂房区域北侧布置开关站和出线走廊；水处理设施区布置在一期工程主厂房区的北侧。

山东海阳核电厂主要进厂道路——海核一路（X093），北接威青高速公路，南到海阳核电厂，全长 8km，为二级公路，路基宽度为 18m，路面宽度为 15m，双向四车道。2004 年 8 月通车。核电厂应急道路——海核二路（X092），全长约 14km，东西走向，东至核电厂，西方向可以通往凤城街道，该道路为双向四车道，已于 2009 年 8 月通车。

4.2 反应堆和蒸汽-电力系统

4.2.1 概述

根据我国已有的核电设计、制造、建设和运行技术水平及能力，并满足核电设计自主化和设备本地化的要求，海阳 5、6 号机组采用 CAP1000 核电机组，参考电厂为海阳 3、4 号机组。每台机组由核岛（NI）、常规岛（CI）和电厂配套设施（BOP）三大部分组成：

— NI 包括整个核蒸汽供应系统以及相关的辅助系统和支持系统。主要由反应堆厂房、核辅助厂房、核附属厂房、放射性废物厂房、柴油机厂房及相关基础组成。

— CI 主要指汽轮机厂房及其厂房内的系统设备；

— 而 BOP 则指 NI、CI 以外的辅助系统设备。

海阳 5、6 号机组每台机组的核蒸汽供应系统(NSSS)的额定功率为 3415MWt, 反应堆堆芯额定热功率为 3400MWt, 发电机额定电功率为 1253MWe; 堆芯热工裕量大于 15%，堆芯损伤频率为 $<10^{-6}$ /堆年；机组设计寿命为 60 年，机组平均可利用率 93%。主要设计性能参数见表 4.2-1。

4.2.2 核岛

核岛由一个独立的钢安全壳结构、一个混凝土屏蔽建筑和一个核辅助厂房建筑组成，安全壳/屏蔽/核辅助厂房的基础是一个整体。

4.2.2.1 燃料组件性能的描述

本工程反应堆堆芯装载 157 组 AP1000 型燃料组件。AP1000 型燃料组件由 17×17 正方形排列的燃料棒和燃料组件骨架组成。燃料组件骨架由上管座、下管座、15 层格架、24 根导向管和 1 根仪表管组成。在燃料组件骨架未装上、下管座之前，先插入燃料棒，然后再装上、下管座，组成完整的燃料组件。每个燃料组件共有 289 个棒位，其中 24 个由导向管占据，1 个由仪表管占用，其余 264 个装有燃料棒或整体燃料-可燃毒物（IFBA）棒。燃料棒装入燃料组件骨架内由格架夹持，使之保持在确定的轴向和径向位置上。燃料棒端部与上、下管座之间留有足够的间隙，以补偿燃料棒与导向管间不同的热膨胀和辐照生长。

燃料组件的一些主要特点如下：

- 采用一体化上管座，减少产生松脱件的可能性；
- 燃料棒内设置上、下轴向低富集度区，减少中子轴向泄漏从而改善中子利用；

- 采用防异物下管座、保护格架和下部包壳预氧化，有效防止燃料棒的异物磨损破坏；
- 燃料棒内设置上、下气腔，降低堆芯下板的中子辐照损伤，并有效降低燃料棒内压；
- 采用 ZIRLO 合金作为包壳和结构件材料；
- 组件上半部装有四层搅混格架，提高堆芯热工性能；
- 导向管壁厚增加，提高组件整体刚度，降低控制棒不完全插入风险；
- 使用先进的 IFBA 可燃毒物（芯块柱面涂 ZrB_2 ）；
- 增加燃料棒与格架刚凸及弹簧的接触面积，采用优化搅混翼布置形式，增加底部格架弹簧力，以减少燃料棒振动磨蚀破坏可能性；
- 堆内测量仪表从燃料组件上部插入，与压力容器底部无贯穿件设计相匹配；
- 14 英尺（4.27m）活性段燃料组件有丰富运行使用经验。

4.2.2.2 反应堆冷却剂系统

反应堆冷却剂系统（RCS）由两个传热环路组成，每个环路包括一台蒸汽发生器、两台反应堆冷却剂泵、一条热段主管道和两条冷段主管道。系统还包括一台稳压器、相关连接管道、阀门和用于运行控制和专设驱动的仪表。系统的主要功能包括：

- 维持反应堆冷却剂压力边界，限制放射性向安全壳的释放，限制一次侧系统向非放二次侧系统和大气的泄漏。
- 循环冷却剂，排出显热和衰变热，提供均匀的温度分布和化学性，补偿控制棒插入引起的负反应性。
- 监测反应堆冷却剂压力边界内的过程参数，向保护和安全监测系统（PMS）和操纵员提供所需信号。
- 在小破口失水事故时自动卸压，使非能动堆芯冷却系统（PXS）可以充分地冷却堆芯。
- 提供应急下泄以防止事故期间稳压器液位升高引起的长期满溢。
- RCS 能够排出可能聚集在稳压器和反应堆压力容器上封头的不凝性气体，以增强事故后的堆芯冷却能力。
- 在事故工况下，将其产生的热量传递给蒸汽发生器系统（SGS），避免非能动余热排出系统启动。

- 通过稳压器喷雾和电加热器控制系统压力,有助于阻止非能动安全系统的启动。
- 在所有电厂运行工况下,监测反应堆冷却剂压力边界内的过程参数,向多样化驱动系统(DAS)和操纵员提供所需的信号。
- 手动可控卸压以缓解蒸汽发生器传热管破裂(SGTR),并防止多重失效状况下的高压熔堆。
- 在电厂功率运行、热备用、电厂冷却第一阶段时,循环冷却剂将热量传递给SGS以冷却堆芯,正常运行时保证RCS温度的均匀分布和反应堆冷却剂中化学物质的均匀性,功率运行期间维持堆芯的中子链式反应和功率分布均匀并提供反应性控制,停堆运行期间补偿控制棒插入带来的负反应性,在电厂冷却第二阶段、冷停堆、换料和启动前期阶段,RCS通过正常余热排出系统(RNS)排出堆芯衰变热。
- 除开盖换料外的电厂所有正常运行期间,控制系统压力,冷停堆模式至热备用模式期间控制系统压力和温度,向电厂控制系统(PLS)提供各种信号以控制RCS平均温度和控制棒、RCS压力和稳压器液位等。
- 在电厂所有正常运行工况、电厂冷却和启动运行期间,监测反应堆冷却剂压力边界内的参数。

4.2.2.3 辅助系统

1) 化学和容积控制系统

化学和容积控制系统(CVS)由再生和下泄热交换器、树脂床和过滤器、补水泵、水箱和相关阀门、管道以及仪表组成。系统的主要功能包括:

- 净化:维持冷却剂纯度和活化程度在一个可接受的水平。
- 控制和补充反应堆冷却剂装量:维持RCS要求的冷却剂装量;电厂正常运行时维持设定的稳压器水位。
- 化学补偿和化学控制:在电厂启动时维持反应堆冷却剂的化学性能、正常稀释以补偿燃料消耗的反应性效应,以及停堆后的硼化,并通过维持合适的氢氧化锂浓度来控制RCS的pH值。
- 氧含量控制:在功率运行期间提供维持冷却剂中合适的氧浓度的手段,并在每次停堆后使氧浓度达到启动前合适的浓度。

- RCS 充满和压力试验：为 RCS 充满和压力试验提供手段。CVS 补水泵用于执行维修换料后的 RCS 水压试验，但不执行 RCS 的初始水压试验，CVS 可提供临时水压试验泵接口以支持该功能。
- 向辅助设备补充硼酸溶液：向需要硼化水的一次侧系统补充硼化水。
- 稳压器辅助喷淋—提供稳压器辅助喷淋以帮助降压。

2) 正常余热排出系统

正常余热排出系统（RNS）由两个机械序列组成，每个系列包含一台泵和一台热交换器以及相关的阀门、管道和仪表，两个系列共用一根连接到 RCS 的入口母管以及一根出口母管。系统的主要功能包括：

- 停堆热量排出：在电厂冷停堆期间排出堆芯衰变热和 RCS 显热。
- 停堆净化：换料期间提供从 RCS 到 CVS 的净化流。
- 安全壳内换料水箱（IRWST）冷却：在非能动余热排出系统长期运行时，RNS 可维持 IRWST 的水温低于沸点。
- 低压 RCS 补水和冷却：从 IRWST 或装料池向 RCS 提供低压补水，为堆芯冷却提供额外裕量。
- 低温超压保护：在启堆和停堆操作期间为 RCS 提供低温超压保护。
- 事故后安全壳水装量长期补充通道：在假想的安全壳泄漏事故情况下，为事故后安全壳水装量的长期补给提供通道。
- 事故后恢复：在 PXS 成功缓解事故后，从堆芯和 RCS 排出热量。
- 乏燃料池冷却：提供备用的乏燃料池冷却。

3) 乏燃料池冷却系统

乏燃料池冷却系统（SFS）由两个机械系列组成，每个系列包括一台泵、一台热交换器、一台除盐床、一台过滤器以及相关的阀门、管道和仪表，两个系列共用入口母管和回流母管。系统的主要功能包括：

- 乏燃料池冷却：运行期间从乏燃料池中排出衰变热，以维持其温度在可接受限值内。
- 乏燃料池净化：运行期间对乏燃料池水进行净化。
- 换料水池净化：换料操作期间对换料水池进行净化。
- 转运水：换料期间在 IRWST 和换料水池之间转运水。
- IRWST 净化：正常运行期间对 IRWST 进行净化和冷却。

4) 设备冷却水系统

设备冷却水系统 (CCS) 由两个机械系列组成, 每个系列包括一台泵和一台热交换器、一台波动箱以及相关的阀门、管道和仪表。各系列单独设置供水/回水管道。两个波动箱分别连接在两个系列的设备冷却水回水管上。系统的主要功能包括:

- 在正常停堆时, 向 RNS 的热交换器及泵提供冷却。
- 在换料和半充水运行时, 向 RNS 系统的热交换器及泵提供冷却。
- 向化学和容积控制系统补水泵的小流量热交换器提供冷却。
- 向乏燃料池热交换器提供冷却。
- 在非能动余热排出热交换器运行时, 向 RNS 热交换器提供冷却水以冷却 IRWST 的水。
- 在 PXS 缓解事故后的电厂恢复阶段, 向 RNS 系统提供冷却水带走堆芯热量。

5) 蒸汽发生器系统

蒸汽发生器系统 (SGS) 包括两个相同的系列, 每台蒸汽发生器对应一个系列。每个系列包括四个主要的部分: 安全有关主蒸汽管道及其相关管道、安全有关主给水管道、安全有关启动给水管道和安全有关蒸汽发生器排污管道。系统的主要功能包括:

- 安全壳内的 SGS 管道与蒸汽发生器壳侧, 以及传热管, 形成隔离屏障, 分隔工艺流体与安全壳大气。同时, 系统为贯穿安全壳的主给水、启动给水、主蒸汽以及蒸汽发生器排污管道提供安全壳隔离, 限制厂外辐射剂量。
- 发生蒸汽、主给水、启动给水、排污管道破裂、任一台主蒸汽安全阀或大气释放阀误开或卡开后, 通过提供隔离措施, 限制超过一台蒸汽发生器失控排放, 维持反应堆压力容器完整性, 避免燃料损坏。
- 蒸汽管道破裂事故后, 通过隔离给水和启动给水, 限制向安全壳的质能释放, 限制厂外辐射剂量。
- 通过主蒸汽安全阀为蒸汽发生器二次侧和主蒸汽管道提供超压保护。
- 监测蒸汽发生器液位、蒸汽管线流量、蒸汽管线压力、启动给水流量等工艺参数, 并提供 PMS 所必需的信号。
- 特定事故后, 将 RCS 系统产生的热量通过蒸汽发生器、主蒸汽系统输送至二回路或将蒸汽排至大气, 释放衰变热。

- 监测蒸汽发生器、主蒸汽和给水的工艺参数，向 DAS 和操纵员提供蒸汽发生器宽量程液位信号。
- 利用大气释放阀提供蒸汽发生器二次侧超压保护。
- 正常运行期间，将加热的给水从主给水系统输送到蒸汽发生器，并将蒸汽发生器产生的蒸汽输送到主蒸汽系统，供汽轮机发电。
- 功率运行期间连续运行，带走 RCS 产生的热量，并由蒸汽发生器传递至二次侧。
- 提供蒸汽发生器内、主蒸汽隔离阀上游的蒸汽管道以及蒸汽发生器给水的工艺参数监测。
- 在主给水流量和启动给水流量之间提供可靠稳定的自动切换，防止低功率运行时反应堆的不必要停堆，并避免启动给水管嘴处的热冲击。
- 正常停堆工况下提供非安全有关衰变热导出功能。
- 在电站启动、停堆和正常功率运行时，提供二次侧连续排污。
- 提供主蒸汽管道暖管、疏水、取样。

6) 蒸汽发生器排污系统

蒸汽发生器排污系统 (BDS) 设有两个系列，每个系列包括一台再生热交换器、一台隔离阀，一台流量控制阀和一套电离除盐装置以及其他相关的阀门、管道和仪表等。系统的主要功能包括：

- 正常运行期间，BDS 通过排出蒸汽发生器二次侧的流体对蒸汽发生器二次侧的水化学性质进行控制。
- 停堆期间，BDS 通过再循环运行进行蒸汽发生器湿保养。
- 停堆期间，BDS 为蒸汽发生器设置疏水通道，排空蒸汽发生器以进行检查和维修。
- BDS 通过从蒸汽发生器管板上部冲入二次侧水，带走淤积在管板上的淤泥。
- 恢复异常的蒸汽发生器水化学特性。

7) 启动给水系统

启动给水系统由并联的两台启动给水泵以及相应的阀门、管道和仪表等组成。系统的主要功能包括：

- 为 SGS 提供备用的给水隔离功能。

- 在某些设计基准事件中，向蒸汽发生器提供启动给水，执行排出 RCS 热量的纵深防御功能，防止非能动安全有关衰变热排出系统动作。
- 在热备用、启动、低功率运行和停堆冷却工况下，向蒸汽发生器提供所需压力和流量的给水并维持蒸汽发生器的液位。
- 为 PLS 提供每个蒸汽发生器的主给水流量信号。

4.2.3 常规岛

因本工程主机选型暂定参考海阳二期工程，主机、辅机均参考哈电提供二期资料。

本工程汽轮发电机组参考哈动机组。汽轮机型号 HN1253-5.38，由一个高压缸和三个低压缸组成，为单轴四缸六排汽凝汽式半转速汽轮机，汽轮机转速为 1500r/min，配有一级汽水分离和两级再热装置。

本工程凝汽器为单流程、表面式热交换器。凝汽器有 3 个壳体，每个壳体由颈部、壳体、热井和水室组成。每个凝汽器壳体均有 2 个独立的流道，允许凝汽器单侧解列运行。组合式 1 号、2 号低压加热器放置在凝汽器颈部。

表 4.2-1 核电机组的主要设计参数

参数名称	单位	参数值
NSSS 额定功率	MWt	3415
堆芯额定功率	MWt	3400
机组总电功率（毛）	MWe	1253
反应堆冷却剂环路数	个	2
堆芯/压力容器入口温度	℃	280.7
压力容器出口温度	℃	321.1
系统运行压力	MPa (g)	15.4
负荷跟踪能力		有
机组平均可利用率	%	93
机组总效率（毛）	%	~36.8
换料周期	月	18
燃料组件平均批卸料燃耗	MWd/tU	~50000
机组设计寿命	年	60

4.3 核电厂用水和散热系统

4.3.1 核电厂用水

山东海阳核电5、6号机组工程全厂用水分为循环冷却水、厂用水、除盐水车间用水、工业用水、生活用水、消防用水、绿化用水、洗车及道路浇洒用水等。循环冷却水系统和厂用水系统采用直流系统，直接取黄海海水作为冷却水；5、6号机组除盐水原水、生活水、工业水等淡水由海水淡化厂提供；循环冷却水、厂用水的水量参见4.3.2节。

山东海阳核电5、6号机组工程所用淡水分为电厂除盐水车间用水、工业用水、生活用水、消防用水、绿化用水、洗车及道路浇洒用水等。5、6号机组正常运行期设计淡水用水量为 $245.68\text{m}^3/\text{h}$ ，即 $5896.3\text{m}^3/\text{d}$ ，核电厂年发电小时数按8000h计，每年淡水用量为197.0万 m^3 。施工期取水量为 $153.5\text{m}^3/\text{h}$ ，每年取水量约为80万 m^3 。

5、6号机组除盐水原水、工业水、生活水等淡水由海水淡化厂提供。各项淡水用水量如下：

1) 正常运行时用水量

(1) 生产用水

a) 除盐水水量的估算

除盐水车间主要为核岛及常规岛水池提供除盐水，5、6号机组正常运行时的除盐水用水量为 $141\text{m}^3/\text{h}$ ，即 $3384\text{m}^3/\text{d}$ ，除盐水原水量为 $171\text{m}^3/\text{h}$ ，即 $4104\text{m}^3/\text{d}$ 。5、6号机组除盐水系统最大出力为 $232\text{m}^3/\text{h}$ （ $5568\text{m}^3/\text{d}$ ），对应原水量为 $282\text{m}^3/\text{h}$ （ $6768\text{m}^3/\text{d}$ ）。

b) 电厂工业用水量

5、6号机组电厂工业用水主要为常规岛提供生产用水、电厂空调机组补充水、未预见及管道漏损水量；

时平均用水量为 $52.4\text{m}^3/\text{h}$ ，则日用水量共计为 $1257.6\text{m}^3/\text{d}$ 。

c) 消防用水量

根据核电厂消防设计，消防用水采用消防储水池的蓄水，不直接采用核电厂水厂生产用水，因此可以不与上述用水一起组合。

(2) 生活用水

核电厂工作人员包括：

5、6号机组运行人员考虑800人，公安、消防、武警人员400人，厂前区办公及服务人员400人，运行期间维修承包商人员500人，每天用水量100L/d；共计210m³/d。

(3) 绿化、道路浇洒和洗车用水

5、6号机组主厂区内无绿化面积，因此不考虑绿化用水。5、6号机组主厂区的道路面积约3万m²，用水定额为1L/m²·d，则道路浇洒用水量约为30 m³/d。洗车用水考虑包括工作人员小汽车和大客车洗车总用水，小汽车数量考虑全场工作人员拥有小汽车，即1600辆，用水定额40L/辆·次（高压水枪冲洗），按每周冲洗一次考虑，则小汽车冲洗用水量为9150L/d=9.15m³/d；大客车数量按40辆考虑，用水定额为120L/辆·次，按每天冲洗一次考虑，则大客车冲洗用水量为4800L/d=4.8m³/d，则洗车总用水量为9.15+4.8=13.95m³/d。为节约用水，绿化用水、道路浇洒水、洗车用水可利用经生活污水处理设施处理后的生活污水。

(4) 未预见水量

未预见水量为总水量的5%计列，为280.8m³/d。

2) 施工用水量

施工用水主要考虑混凝土浇筑用水量及施工人员生活用水。

估计施工高峰期的混凝土浇筑量为5000m³/d，每m³混凝土需水量标准为300L/m³，每m³混凝土的沙石冲洗水为400L/m³，则混凝土浇筑需水量为1500m³/d，沙石料冲洗用水量为2000m³/d，根据节约用水及尽量采用循环用水的原则，沙石料冲洗用水采用循环工艺，沙石料冲洗用水量为1400m³/d。

高峰时施工人员3500人，管理人员1000人，每天用水量100L/d，最高日用水量450m³/d，

未预见用水量按上述用水量的10%计。

施工用水总量为3685 m³/d（153.5m³/h）。

3) 海水淡化

海阳核电厂当前的膜法海水淡化系统的服务范围不包括5、6号机组，5、6号机组所用淡化水考虑采用热法工艺，热法工艺较膜法工艺，产水水质好，对预处理要求简单。海水淡化所需的蒸汽由核电厂内拟建一体化小型堆提供。

本工程热法按低温多效蒸馏法（MED）设计，选择2×7500t/d（312.5t/h）的MED装置。

4.3.2 核电厂散热系统

4.3.2.1 电厂取排水系统

电厂取排水系统的功能是为核电厂提供循环冷却水系统和厂用水系统用水，并将温排水与符合排放标准的液态流出物排入受纳水体。

1~6号机组全部以明渠方式从厂址东南面折向取水，厂区取水工程已按6台机组容量一次性建成。取水明渠在一期工程时已统一规划建设，取水明渠从循环水泵房前沿延伸至-7.0m海床标高海域。明渠底标高为-7.0m，取水明渠的宽度从取水口处至三期循环水泵房进水口为120m，取水明渠总长度约1500m。

5、6号机组主要考虑采用暗涵排水方式。5、6号机组工程循环水排水采用南向排水暗涵方案，经过总平布置优化后，排水沟道自厂址东南侧海域入海，排水沟道出厂区防波堤后向南引至-9.5m等深线处排放。

4.3.2.2 循环冷却水系统

本工程厂址濒临黄海，采用海水直流供水系统。两台机组热季循环水量为482400m³/h，排水温升8.1℃；冷季循环水量为374400m³/h，排水温升10.8℃。

取排水系统流程为：黄海→明渠取水口→水生物拦截设施→取水明渠→循环水泵房前池→粗格栅→细格栅→鼓型滤网→循环水泵进水流道→循环水泵→循环水压力进水管→凝汽器/开式水系统→循环水排水管→虹吸井→循环水排水沟道→黄海。

4.3.2.3 厂用水系统

厂用水系统是一个非安全相关的开式冷却系统，把设备冷却水系统热交换器收集的热负荷直接输送到大海。设置在循环水泵房内的厂用水泵将海水输送至设备冷却水热交换器，经过设备冷却水系统热交换器升温后的海水籍余压排放到循环水排水渠道，最终和循环水一起排放到大海。

厂用水系执行以下非安全相关纵深防御的功能：

- 在反应堆冷却剂系统冷却和冷停堆期间，通过设备冷却水系统，为正常余热导出系统的热交换器和泵提供冷却；
- 在核电厂各种运行模式下，通过设备冷却水系统，为乏燃料池冷却系统的热交换器提供冷却；
- 通过设备冷却水系统，为化学和容积控制系统的小流量热交换器提供冷却；

- 在核电厂冷停堆和换料运行模式（模式 5 和 6）下，反应堆冷却剂减装量运行期间，通过设备冷却水系统，为正常余热导出系统的热交换器和泵提供冷却。

此外，厂用水系统还执行以下其它非安全相关功能：

- 在核电厂停堆、热备用、启动和正常运行模式下，通过设备冷却水系统，向核电厂的各种设备提供冷却；
- 在需要的时候，在非能动余热导出热交换器运行期间或者电厂正常运行时，通过设备冷却水系统和正常余热导出系统或者乏燃料池冷却系统，向安全壳内的换料水池提供冷却；
- 在通过非能动堆芯冷却系统成功缓解事故后，通过设备冷却水系统，向正常余热导出系统提供冷却以使电站得以恢复。

SWS的主要部件包括3台100%容量的SWS水泵、两台过滤器、阀门及控制仪表。

4.4 输电系统

4.4.1 接入系统方案

山东海阳核电厂规划容量为 6 台百万千瓦级机组，一次规划，分期建设。三期 2 ×1253MW（5 号、6 号）机组两回主变进线接入一期 500kV 母线预留间隔，500kV 6 回出线一期已全部建成，本期工程不新增出线，以 500kV 电压等级接入山东电网。

厂内 500kV 主接线按双母线三分段接线设计，前期已按远景规划并预留设备布置，本期扩建第三段母联断路器。

主变至开关站采用 GIL 接入 500kV 开关站。500kV 出线采用 4 分裂架空导线，从 500kV 开关站外的门型架构引至线路铁塔。

4.4.2 辅助备用电源

本期工程辅助备用电源引自一期已建成的 220kV 屋内 GIS 配电装置，在一期工程预留位置扩建间隔 2 个，为本期两回辅助备用电源。220kV 系统采用双母线接线。本期建成后配电装置规模为 6 进 2 出。

辅助变至 220kV 开关站进线由于受厂区布置位置的限制，采用高压交联电缆沿地下电缆沟敷设。根据厂区布置，220kV 电缆拟采用每回电缆单沟敷设方式。

发电机封闭母线沿机座底部中间层布置引至 T.A 列外变压器区域，封闭母线的强迫风冷设备布置在汽机房 0 米层靠近 T.A 列处，通过风道与三相封母连接，出口的 PT 柜布置在汽机房 7.5 米层。发电机出口断路器也布置在汽机房 7.5 米层。主变、高厂变、辅助变均布置在汽机房 T.A 列外的变压器区域，考虑变压器日后检修搬运通道及防火要求，主变垂直于汽机房 T.A 布置，两台高厂变和两台辅助变平行布置于主变的南侧，主变器身中心线距 T.A 列中心线约 16.5 米，主变各相间均设防火墙，2 台高厂变之间、高厂变和辅助变之间及 2 台辅助变之间均设防火墙。

4.5 专设安全设施

4.5.1 概述

核电厂安全是在反应堆固有安全性的基础上，通过设置合适的控制系统、保护系统和专设安全设施，在各种运行工况下尽可能减少放射性物质向环境的释放，保护公众和电站工作人员免受过量辐射伤害。

“纵深防御”是核电厂设计安全原则的基础，这是一套既逐渐深入又相互补充的设计防御措施，其核心是所有与核安全有关的活动，无论是组织实施还是系统设备配置，都应进行多重冗余设置，使单个失效可以得到补救或纠正。

实施纵深防御的一个重要内容是设置多道实体屏障，将放射性物质限制在特定的范围内。在压水堆核电厂中设置了燃料元件包壳、一回路压力边界和安全壳三道安全屏障。

专设安全设施是专门用来应付设计基准事故，以减轻其后果使之符合安全准则的规定要求。它是纵深防御体系中的第三个防御层次。专设安全设施主要包括非能动堆芯冷却系统、非能动安全壳冷却系统、安全壳氢气控制系统、安全壳和安全壳隔离系统、主控制室应急可居留系统。

4.5.2 非能动堆芯冷却系统

4.5.2.1 系统功能

非能动堆芯冷却系统（PXS）的主要功能是在假想的设计基准事件发生后提供应急堆芯冷却。为此，非能动堆芯冷却系统设计实现如下安全有关功能：

- 应急堆芯衰变热排出

在瞬态、事故或任何正常热量排出路径丧失时提供堆芯衰变热排出。该热量排出功能适用于包括停堆在内的RCS的各种工况。在换料期间，当IRWST水排入换料水池时，可利用其他非能动方法排出堆芯衰变热。

- 反应堆冷却剂系统应急补给和硼化

当发生化容系统提供的正常RCS补给不可用或不足的瞬态或事故时，PXS为RCS提供紧急补给和硼化。

- 安全注射

在发生所有破口范围内的冷却剂丧失事故，直至并包括RCS最大主管道双端断裂时，PXS为RCS提供安注以提供足够的堆芯冷却。

- 安全壳pH值控制

在事故工况后，PXS在安全壳内添加化学物质来控制内部环境的pH值。该pH值同时满足抑制放射性核素析出和在长期淹没条件下防止腐蚀安全壳内设备的要求。

4.5.2.2 系统组成

PXS是一个抗震I类安全系统。系统包括一个非能动余热排出热交换器、两个安注箱、两个堆芯补水箱、一个IRWST、两个鼓泡器、五个pH调节篮、三个IRWST滤网、两个安全壳再循环滤网和相关的阀门、管道及仪表组成。属于RCS一部分的自动卸压系统的管道及阀门，也提供重要的非能动堆芯冷却功能。

4.5.2.3 工艺流程

电厂正常运行期间，系统处于备用状态。事故工况下，PXS投入运行，以实现其安全功能。在发生LOCA事故时，堆芯补水箱通过直接注射管向RCS注入含硼水，当RCS压力降到安注箱静压以下，安注箱中含硼水通过直接注射管线快速注射到RCS。当RCS压力降到IRWST注射压力以下时，IRWST依靠重力向RCS进行安注。堆芯补水箱冷却水注入时，当堆芯补水箱液位降低到自动卸压系统的整定值时，自动卸压系统动作，逐渐降低RCS的压力，使得安注箱和IRWST能够连续投入。当安注箱、堆芯补水箱和IRWST注水完成后，安全壳内水淹达到相当高的水位，可以通过再循环管向堆芯注水以建立再循环。

4.5.3 非能动安全壳冷却系统

4.5.3.1 系统功能

非能动安全壳冷却系统（PCS）执行以下安全有关功能：

- 通过将安全壳大气中的热量传递至环境，限制并降低设计基准事故（DBA）后安全壳内的温度和压力。
- 当乏燃料池丧失正常冷却时，PCS为乏燃料池提供一个安全级补水源。
- 为保护和安全监测系统（PMS）提供安全壳压力信号，从而在适当的电站运行工况期间触发反应堆自动停堆并驱动非能动安全系统。

4.5.3.2 系统组成

非能动安全壳冷却系统为安全有关系统，由一台与屏蔽厂房结构为一体的非能动安全壳冷却水箱（PCCWST）、向安全壳输水的冷却水输送流道、位于屏蔽厂房内绕安全壳一周的空气流道、在空气入口处壁面上安装的辐射加热器、用于安全壳水分配的围堰和分水斗、非能动安全壳冷却辅助水箱（PCCWST）、再循

环回路（包括两台再循环泵、一台再循环加热器、一台化学添加箱等）、移动式应急柴油机补水泵机组以及相关的仪表、管道及阀门组成。

4.5.3.3 工艺流程

PCS利用钢制安全壳壳体作为一个传热表面，蒸汽在安全壳内表面冷凝并加热内表面，然后通过导热将热量传递至钢安全壳。加热的安全壳外表面通过水和空气的对流、辐射和蒸发等热传递机理冷却。热量以显热和水蒸汽的形式通过自然对流的空气带出。环境中的冷空气通过一个常开流道进入，沿安全壳外表面上升，然后通过一个高位排气段返回到环境中从而带走安全壳的热量。

DBA 72小时内，安全壳外表面由PCCWST利用重力排水洒湿，由安全壳高2压力或安全壳高温信号自动触发，满足至少在72小时内不需要操纵员的干预调节流量或补充冷却水的要求。PCS还设有空气流道，用来形成沿安全壳外表面向上的自然循环气流，增强安全壳外表面的水蒸发从而降低安全壳的压力，为事故后安全壳外表面提供长期冷却。

4.5.4 安全壳氢气控制系统

4.5.4.1 系统功能

安全壳氢气控制系统（VLS）的功能是限制安全壳大气中的氢气浓度，从而在发生各类假想事件后，不会威胁安全壳完整性。系统的主要功能包括：

- 在设计基准事故期间和事故后，利用安全级非能动氢复合器（PAR）防止安全壳氢浓度达到可燃限值；
- 利用氢点火器控制严重事故后安全壳内的氢气浓度；
- 在正常运行和事故后监测安全壳大气中的氢浓度。

4.5.4.2 系统组成

位于安全壳内的两台安全级PAR能在设计基准事故后维持安全壳总体氢气浓度在较低水平。安全壳内安装了66台氢点火器，在严重事故后，通过燃烧（爆燃）相对低浓度的氢气，以防止氢气浓度达到爆炸水平。三台氢浓度监测仪表分布在安全壳内，为操纵员提供安全壳大气氢气浓度的连续指示。

4.5.4.3 工艺流程

两台安全级PAR安装在安全壳内高于操作平台的区域，能适应丧失冷却剂事故（LOCA）后预期的氢气产生速率。

在严重事故后，假定100%的燃料包壳与水发生反应。锆-水蒸气反应产生氢

的速率足够快，基于PAR运行时不可能防止安全壳内氢浓度超过最低可燃浓度限值，特别是局部区域。因此，当安全壳内任一区域的氢气浓度达到最低可燃浓度限值后，预先启动的氢气点火器引发氢气的燃烧。在较低氢可燃范围燃烧氢气可防止在较高氢浓度时发生事故性氢燃烧。这可确保氢燃烧期间维持安全壳的完整性，并且保证氢燃烧期间及以后安全有关设备可持续运行。

对于氢快速产生的事故序列，通过点火器的运行也可限制安全壳内总体氢气浓度，从而防止氢爆炸的发生。为达到这个目的，点火器布置在安全壳内氢气可能释放、流动或聚集的区域。

分布在安全壳内的氢浓度监测仪表为操纵员提供安全壳大气氢浓度的连续指示。这些监控能力为操纵员监控和开始事故后缓解措施提供参考信息。

4.5.5 安全壳系统

4.5.5.1 系统功能

安全壳系统（CNS）执行以下与安全有关的功能：

- 完整性：在假定的冷却剂失水事故、蒸汽管道破裂和给水管道破裂时，安全壳系统能承受最大的安全壳内压力和温度。系统设计考虑了严重事故下的完整性要求。
- 隔离
- 转移热量：安全壳在安全壳大气和非能动安全壳冷却系统之间提供换热表面。

安全壳系统还执行以下非安全有关的功能：

- 泄漏率试验：对钢制安全壳和贯穿件进行泄漏率试验。
- 进口/出口：设备闸门和人员闸门留有足够的空间以便在任何正常或异常情况下设备和人员可以容易进出。
- 燃料运输：在安全壳内换料通道和辅助厂房的燃料处理区之间的燃料运输通过安全壳燃料运输贯穿件进行。

4.5.5.2 系统组成及工艺流程

安全壳系统（CNS）是分隔钢制安全壳与电厂结构和外部环境的边界。安全壳系统的边界包括钢制安全壳、电气和机械贯穿件、燃料运输贯穿件、设备闸门和人员闸门、蒸汽发生器外壳、蒸汽发生器蒸汽侧仪表连接件、以及安全壳内的蒸汽、给水和排污管线。

4.5.6 主控室应急可居留系统

主控制室应急可居留系统为主控制室提供可呼吸空气并防止气溶胶进入，保证主控制室的可居留性。在设计基准事故下本系统也用来限制电厂特定区域内的温度上升。

4.5.6.1 系统功能

本系统为非能动专设安全有关系统，执行以下功能：

- 为主控制室人员提供可呼吸空气。
- 维持主控制室相对周围区域为正压，以防止气溶胶污染物进入。
- 利用构筑物的蓄热能力，为设计基准事故后仍需保持功能的电厂部分区域的设备提供非能动冷却。
- 为主控制室提供非能动再循环过滤气流，在本系统运行期间维持主控制室剂量低于允许水平。

4.5.6.2 系统组成

本系统由应急空气储存罐和相关的管路，阀门以及仪表等组成，系统利用辅助厂房钢筋混凝土墙体、地板以及附带散热片的顶板的蓄热能力，来保证相关设备和人员停留房间的温度维持在可接受水平内。

4.5.6.3 工艺流程

系统包括四个压缩空气储存罐模块（共 32 个罐），每个模块包括 8 个独立的空气罐，空气罐内装有可供呼吸的压缩空气。每个模块的储存罐连接至一根集管，四根模块集管再连接至一根公用集气管。公用集气管上接出通往主控制室的两根管路，分别为主送风管路和备用送风管路。两根管路在主控制室内合并为一根供气管后连接至非能动过滤管线上的喷射器，通过喷射器诱导一定量的室内空气进入非能动过滤机组，以保证主控制室的人员剂量低于允许水平。非能动过滤机组包括 HEPA 过滤器，活性炭吸附器和后置高效过滤器。

在核岛非放射性通风系统不可运行后，本系统利用非能动热阱，限制主控制室、仪控间和和直流设备间内的空气温度不超过相应的设计限值。

4.6 放射性废物系统和源项

本节对核电厂中放射性废物处理系统和放射性源项进行描述。放射性源项主要包括堆芯放射性总量、一回路及二回路的放射性核素的活度浓度。放射性废物处理系统主要包括放射性液体、气体和固体废物处理系统，并给出了液体和气载流出物的释放量、固体放射性废物的产生量。

4.6.1 放射性源项

本节阐述由放射性液体及气体废物处理系统处理的放射性源项。在燃料芯块内产生的放射性物质（裂变产物）可能通过破损的燃料包壳泄漏进入到反应堆冷却剂系统中。堆芯辐射场导致了冷却剂中的物质活化后形成 ^{14}C 以及氚，而且反应堆冷却剂系统中的材料腐蚀产物也被活化成为具有放射性的活化腐蚀产物。

4.6.1.1 堆芯放射性总量

计算得到本项目平衡循环寿期末的堆芯放射性总量，并考虑了燃料管理方案变化及反应堆热功率的不确定性。

4.6.1.2 一回路冷却剂源项

1) 裂变产物

对于设计基准源项，假设燃料包壳小破损存在于能产生 0.25% 的堆芯功率输出的燃料棒中（也称之为 0.25% 燃料包壳破损率），并且破损燃料棒均匀分布在整个堆芯中。

用来计算设计基准一回路冷却剂裂变产物活度浓度的参数，包括裂变产物逃脱率系数、冷却剂净化率及除盐床去除效率等相关的数据。因为假设破损的燃料棒在堆芯中均匀分布，因此裂变产物的逃脱率系数是基于燃料的平均温度。

设计基准一回路冷却剂中裂变产物核素活度浓度的确定以计算得到的与时间相关的堆芯积存量为基础。

基于 0.25% 包壳破损率计算得到的设计基准一回路冷却剂中主要裂变产物核素的活度浓度为反应堆从启动到平衡循环的整个燃料循环过程中核素活度浓度的最大值。因此，该源项不代表燃料循环中任何特定时间点的值，但它是保守值。

用于设计排放源项分析的反应堆冷却剂剂量等效 ^{131}I 活度浓度为 5GBq/t，该源项是在参考核电厂运行经验数据的基础上，又保守考虑了电厂运行中可能的各种瞬态情况而确定的。用于现实排放源项分析的反应堆冷却剂剂量等效 I-131 活

度浓度为 0.1GBq/t, 该源项是在国内核电厂正常运行经验数据统计的基础上确定的。上述反应堆冷却剂源项通过对设计基准源项按照剂量等效 I-131 活度浓度的比例调整得到。

2) 腐蚀产物

反应堆冷却剂中的活化腐蚀产物来自两方面：一方面是堆内部件，另一方面是堆外的主回路管道和主回路设备。前者在发生腐蚀并释放到冷却剂中之前已经受到中子照射而具有放射性；后者产生的腐蚀产物流经堆芯时受到堆芯及其附近区域中子照射之后才具有放射性。

反应堆冷却剂中腐蚀产物活度浓度的确定以运行电厂数据为基础，并且与燃料包壳破损率无关。

对于腐蚀产物，考虑到本电厂采取了一系列降低腐蚀产物的措施，比如从电厂开堆时起，即向反应堆冷却剂中注入贫化锌；减少钴含量；主冷却剂的 pH 值控制；材料表面处理及减少设备数量等，以上措施预期会降低反应堆冷却剂中腐蚀产物的活度浓度。其中，根据 EPRI 等国际机构提供的经验数据，加锌电厂材料腐蚀释放速率降低为未加锌电厂的三分之一。同时根据国际上压水堆的运行经验，预期采取以上控制腐蚀产物措施将使反应堆冷却剂中腐蚀产物的活度浓度至少降低二分之一，因此本文假设腐蚀产物的现实源项为设计基准腐蚀产物源项的二分之一，用于设计排放源项分析的腐蚀产物源项与设计基准腐蚀产物源项相同。

3) 氚

一回路冷却剂中主要的产氚途径如下：

- 燃料裂变（三元裂变）产生的氚通过燃料包壳扩散或燃料包壳破损处泄漏进入反应堆冷却剂中；
- 在一回路冷却剂中可溶硼与中子的反应；
- 可燃的中子吸收体中产生的氚通过扩散或包壳破损进入一回路冷却剂中；
- 在一回路冷却剂中可溶锂与中子的反应；
- 一回路冷却剂中氘与中子的反应；
- 次级源棒产生的氚通过扩散进入一回路冷却剂中。

前两种途径为一回路冷却剂中氚的主要来源。

反应堆冷却剂中的氚主要以氚化水的形态存在（一个氚原子取代了水分子中

的一个氢原子), 因此不能轻易通过一般的处理方法把它分离出来。

4) C-14

C-14 主要是反应堆冷却剂水中的 O-17 和溶解在反应堆冷却剂中的 N-14 分别通过 O-17 (n,α) C-14 和 N-14 (n,p) C-14 反应生成的。由于 C-14 的半衰期非常长, 为 5730 年, 在核电厂运行期间内可以不考虑 C-14 的衰减。因此, 在计算 C-14 源项时不考虑 C-14 的衰变量。

4.6.1.3 二回路冷却剂源项

在计算用于设计排放源项分析的二回路源项时, 假定二回路总的活度浓度水平为 450Bq/L。用于设计排放源项分析的二回路源项核素谱与设计基准二回路源项的核素谱保持一致。

考虑到现实情况下二回路活度水平非常低, 因此不对二回路的现实源项进行分析。

4.6.2 放射性废液管理系统及排放源项

4.6.2.1 液态流出物排放源项

液体废物的放射性来自于反应堆冷却剂(主要来自于反应堆冷却剂调硼排水和反应堆冷却剂的泄漏)、二回路冷却剂(主要来自于蒸汽发生器排污流的处理和二回路的泄漏)和 SRTF 的排放(主要来自于洗衣废液、各种冷凝液以及设备/地面疏水)。

液态流出物向环境排放前, 操作员会对废液监测箱内的液体进行取样分析, 确定其放射性浓度在限值范围内(GB6249-2011)后进行排放, 同时取样结果在液态流出物计划排放记录内登记。若取样结果发现废液放射性活度浓度超过排放限值, 则将监测箱内的废液返回至废液暂存箱, 进行再处理。同时, 排放管线设有辐射监测仪表, 达到报警值时排放管线隔离阀自动关闭, 中止废液系统排放, 防止系统误排放。通过上述措施可以确保运行过程中液态流出物的排放浓度不会超过 GB6249-2011 中的排放控制值 1000Bq/L。

本文分析得到了液态流出物的两套排放源项, 包括设计排放源项和现实排放源项。基于反应堆冷却剂剂量等效 I-131 活度浓度为 5GBq/t 时的源项, 经过废液处理系统的处理, 结合核岛废液的排放量(调硼排水、设备疏水和脏废液)以及废液的处理量, 得到槽式排放口处的排放浓度约为 730.5Bq/L, 可见核岛槽式排放口处排放浓度低于 GB6249-2011 中规定的 1000Bq/L 的控制值要求。考虑到

电厂中实际的控制方式等，液态流出物设计排放源项计算时，保守假设核岛槽式排放口处的液态流出物排放浓度为 1000Bq/L，同时基于废液产生量，反推得到核岛废液的年排放量。

核岛槽式排放口液态流出物现实排放量计算时，以各类废液的产生量为基础，同时考虑了废液处理系统对各类废液中不同核素的去污因子。在计算液态流出物现实排放源项时，假定反应堆冷却剂中裂变产物的剂量等效 I-131 活度浓度为 0.1GBq/t。该源项是在核电厂正常运行经验数据的基础上确定的，通过对设计基准源项按照剂量等效 I-131 活度浓度的比例调整得到。对于腐蚀产物，考虑其反应堆冷却剂源项为设计基准源项的一半。

对于二回路设计排放源项，保守认为二回路冷却剂的总活度水平为 450Bq/L，并考虑二回路的排污流量后得到。分析时不考虑二回路排污系统的净化作用，并保守假定二回路排污流的排放份额为 10%。由于二回路现实源项的活度水平非常低，因此不对现实排放源项进行分析。

在计算本项目 SRTF 的排放源项时，对于洗衣废液，单机组每年产生的洗衣废液量取为 3000m³，该值为单台机组每年的预期最大洗衣废液产生量，考虑了正常运行及停堆检修情况下的洗衣废液量。根据电厂运行经验，洗衣废液的排放浓度保守取为 100Bq/L，同时参考了 NUREG-0017 中参考电厂运行经验数据的核素谱，计算得到洗衣废液的废液排放量。对于 SRTF 的冷凝液，分析时保守假定冷凝液的排放浓度取为浓度上限值 1000Bq/L，单机组每年产生的冷凝液废液量为 20m³，保守假定其核素谱与设计基准反应堆冷却剂的核素谱一致。对于 SRTF 的设备/地面疏水，单机组每年产生的废液量约为 5m³，分析时保守假定其排放浓度为 1000Bq/L 的浓度上限值，并保守假定其核素谱与设计基准反应堆冷却剂的核素谱一致。

单机组液态氙年设计排放量为 42.0TBq/a，年现实排放量为 36.7TBq/a。单机组液态 C-14 年设计排放量为 43.8GBq/a，年现实排放量为 40.7GBq/a。单台机组的液态流出物年设计排放量和现实排放量分别见表 4.6-1 和表 4.6-2。在表 4.6-3 给出了单台机组的液态流出物年排放量与 GB 6249-2011 中控制值的比较。可以看出，单台机组的液态流出物年排放量均能满足 GB 6249-2011 规定的排放量控制值要求。

4.6.2.2 放射性废液处理系统

1) 系统概述

放射性液体废物处理系统（WLS）设计用于控制、收集、处理、输送、贮存和处置正常运行及预期运行事件下产生的放射性废液，并可控制地向环境排放。处理后的液态流出物放射性水平和年排放总量符合国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定的限值。

2) 系统功能

WLS 执行的安全有关功能主要包括安全壳隔离和防止事故工况下安全壳内水淹倒流至不允许水淹的隔间。该系统的非安全有关功能为：

- 分类收集不同类型的放射性废液；
- 通过固定式处理设备（过滤器/化学絮凝处理装置/离子交换床），处理电厂预期产生的废液，使其可控制地向环境达标排放；
- 能够承受处理设备故障情况下的预期废液量和由于过量泄漏可能导致的波动量；
- 考虑到在电厂寿期内可预见的技术革新，保留接口使更为先进的工艺通过移动式设备的方式与WLS固定式设备串联使用。

3) 系统描述

WLS 系统放射性污废液分成四类：

- 反应堆冷却剂流出液（含硼废液）

反应堆冷却剂流出液（含硼废液）来自化容系统（CVS）下泄的反应堆冷却剂系统流出液、取样系统取样疏水以及设备引漏水和疏水。反应堆冷却剂流出液通过真空脱气塔去除溶解氢和裂变废气。脱气塔排放泵将脱气后废液输送至指定的流出液暂存箱。

- 地面疏水和含较多颗粒杂质的废液

地面疏水来自可能受污染地面疏水地坑的废液和其他含高颗粒物废液，收集在废液暂存箱中。

- 洗手废液

洗手废液为放射性热淋浴水、洗手水和附属厂房内相应房间的地面疏水。这类废液放射性水平较低，收集在两个洗手废液箱内。

- 化学废液

化学废液来自放化实验室、可能含有大量化学物质的废液。它可能含危险性

和放射性废物或其他高溶解性固体杂质的放射性废物，收集在化学废液箱中。

电厂正常运行期间，反应堆冷却剂流出液、地面疏水和含较多颗粒杂质的废液经由过滤器、化学絮凝处理装置、深床过滤器和离子交换床处理。

第一台床体（深床过滤器）的顶部通常装有活性炭起到过滤吸附作用，用于去除经上游化学絮凝处理装置在废水中形成的絮凝体，此外还可用于去除地面疏水中可能存在的杂质和少量油。这台床体比下游的树脂床略大。其它五台床体（离子交换树脂床）设计相同，但可根据电厂情况选择性的装填不同类型树脂。

经离子交换处理后，废液经过一台后过滤器，截留水中残留的放射性颗粒和碎树脂。处理后的废液进入一台监测箱。当一台监测箱充满时，系统会自动切换将废液转送至另一个监测箱。

监测箱内排放废液采取槽式监测排放，并在排放管路上设有在线辐射监测仪表监测放射性活度浓度，确保达标排放。

4) 部件描述

WLS 的主要部件包括泵、热交换器、箱体、过滤器、化学絮凝处理装置、深床过滤器、离子交换床等。

● 泵

- 2 台反应堆冷却剂疏水箱泵，可循环箱内的流出液，将其排至脱气塔或流出液暂存箱；
- 2 台安全壳地坑泵，将安全壳地坑内的废液排至废液暂存箱；
- 2 台脱气塔真空泵，维持脱气塔内的低压，以保证有效脱气；
- 2 台脱气塔分离器泵，回收从脱气塔分离器排放的水，并送回真空泵；
- 气动双隔膜泵，包括 2 台脱气塔排放泵、2 台流出液暂存箱泵、2 台废液暂存箱泵、8 台监测箱泵、1 台化学废液箱泵、2 台洗手废液箱泵；

● 热交换器

- 1 台反应堆冷却剂疏水箱热交换器，为卧式 U 型管式热交换器，热交换器的设计防止反应堆冷却剂疏水箱内收集的高温泄漏水沸腾；
- 1 台蒸汽冷凝器，为卧式 U 型管式热交换器，用于冷凝送往脱气塔真空泵气体中的水蒸汽；
- 1 台真空泵工作液冷却器，为板式热交换器，用于冷却真空泵的工作

液。

- 箱体

- 1 台反应堆冷却剂疏水箱，卧式圆筒形箱体；
- 1 台安全壳地坑，嵌入混凝土中的矩形不锈钢地坑水箱；
- 2 台流出液暂存箱，卧式圆筒形箱体；
- 2 台废液暂存箱，立式圆筒形箱体；
- 8 台监测箱，立式圆筒形箱体；
- 1 台化学废液箱，立式圆筒形箱体；
- 2 台洗手废液箱，立式圆筒形箱体；
- 1 台脱气塔，单级（净化）不锈钢脱气塔，流出液呈喷雾状进入脱气塔的顶部，并分为小股水流沿壁面流下，低压脱出的不凝性气体经真空接口排出；
- 1 台脱气塔分离器，不锈钢材质，从真空泵排放流中分离出压缩液回用。

- 化学絮凝处理装置

- 1 套，包括化学添加箱、化学添加泵、管道混合器等。

- 过滤器

- 1 台前过滤器，收集工艺流中的杂质颗粒；
- 1 台后过滤器，收集碎树脂等。

- 深床过滤器

- 1 台。床体顶部活性炭用于截留絮凝体与杂质颗粒，单独更换活性炭时可避免影响床体下层选择性介质，可有效减少固体放射性废物的产生量。

- 离子交换床

- 5 台串联的离子交换床，设有工艺流进出口以及用于树脂添加、排出和疏水的接口。工艺流出口、冲洗水出口和溢流口都装有树脂截流滤网。

5) 系统运行

- 反应堆冷却剂流出液

流出液子系统接收两个来源的含硼和含氢废液：反应堆冷却剂疏水箱以及化

学和容积控制系统。该类废液通常含氢和裂变气体。因此，废液在进入流出液暂存箱之前，需先经过脱气塔、蒸汽冷凝器、脱气塔分离器等设备，将含氢和裂变气体分离且送往放射性气体废物处理系统。一台脱气塔排放泵将液体输送至指定的流出液暂存箱。如果化容下泄流的管线和反应堆冷却剂疏水箱同时疏水至脱气塔，则优先处理下泄流，疏水箱疏水自动暂缓处理。

该系统设置两台流出液暂存箱。一个水箱接收废液，当箱内的液体装到适当液位时，向操作员发出该水箱已满，准备进行处理的报警。在水箱发出高液位报警时，自动切换阀门，将流出液排往另一个水箱。

反应堆冷却剂流出液通常经由过滤器、化学絮凝处理装置、深床过滤器、离子交换床处理。

反应堆冷却剂流出液先通过化学絮凝处理装置注入化学添加剂，使其利于深床过滤器和离子交换床处理。流经废液前过滤器的流出液再经深床过滤器和离子交换床进一步过滤和除盐处理。系统共设有 6 台串连的处理床体，包括 1 台深床过滤器和 5 台离子交换床。

经除盐和过滤后的废液送入监测箱。当其中一个监测箱充满时，触发报警，警告操作员某监测箱已满需要排放。在出现高液位报警时，自动切换阀门，将液体转送至另一个监测箱。操作员启动监测箱泵，循环监测箱内废液后进行取样。对处理后的废液取样分析，确定其放射性和化学特性。万一出现放射性水平超过排放限值时，监测箱中的液体送回废液暂存箱进行再处理。如果放射性水平低于排放限值，且接纳水体条件满足要求，则可监测排放。操作员启动监测箱泵，远控打开排放阀排放。在排放前，操作员需手动取样送至实验室并记录存档。

如果排放管线的放射性监测仪监测到较高的放射性，排放阀将自动关闭，并向操作员发出高放射性报警，要求采取纠正措施。操作员必须在确认低放射性后才能将其排出。

在反应堆冷却剂系统脱气期间，流出液暂存箱泵将液体排至化容系统补水泵吸入口。该运行模式适用于反应堆冷却剂脱气运行工况。化容系统的反应堆冷却剂下泄流在脱气塔中脱气后，收集在一台流出液暂存箱内，由泵不断地输送回化容系统补水泵入口。补水泵再将脱气后的冷却剂送回主系统。

- 地面疏水和含较多颗粒杂质的废液

该类废液通常包括放射性地面疏水、设备疏水和辅助厂房地坑收集水以及放

射性固体废物处理系统的过剩排水。该废液收集到两个废液暂存箱中。当一个水箱充满，需准备处理时，向操作员发出水箱高液位报警。在出现高液位报警时，入口管转换阀自动将液体转送至另一个废液暂存箱。废液暂存箱泵启动，循环水箱内废液，并进行取样。在废液暂存箱内可以按需加入添加剂，优化过滤和离子交换处理工艺。

来自安全壳地坑的地面疏水也排入废液暂存箱。地坑液位高时，自动打开安全壳隔离阀，启动一台地坑泵输送地坑内的废液。地坑液位低时，自动停泵，关闭隔离阀。安全壳地坑液位出现异常高液位时，向操作员发出报警，并自动启动备用泵。由于该类废液的放射性水平低于冷却剂类废液，一般情况下可以旁路化学絮凝处理装置。废液通过前过滤器处理，去除大量颗粒杂质，再通过一台或几台离子交换床和后过滤器处理后，进入监测箱。对监测箱内的废液进行取样，如果放射性活度浓度超过限值，则需要将其送回废液暂存箱重新处理。满足排放要求的废液通过放射性监测仪表后排放。

- 洗手废液

核岛厂房洗手废液由人员洗手产生。这类废液通常不适用上述离子交换方法处理，收集在两个洗手废液箱内。通常此类废液的放射性水平较低，可不经处理直接监测排放。

- 化学废液

化学废液产生量小，通常核岛内只作收集，不处理。但可在化学废液箱中添加化学试剂用以调节 pH 和其它化学性质等。化学废液可通过来自厂址废物处理设施的移动式化学废液处理装置进行处理。

- 蒸汽发生器排污

正常运行工况下，蒸汽发生器排污水不送往 WLS 系统处理。如果蒸汽发生器传热管发生泄漏导致蒸汽发生器排污水出现放射性高报时，排污水则需送往 WLS 系统。在该工况下，一台废液暂存箱排空用于接收排污水。排污水可由离子交换床处理。经处理后的排污水收集在监测箱内，取样并进行监测排放。系统描述参见 4.2.2.3 节。

4.6.3 放射性废气管理系统及排放源项

4.6.3.1 气载流出物排放源项

气载流出物主要通过下列途径，向环境大气排放：

➤ 从反应堆冷却剂系统泄漏到安全壳大气中的放射性核素通过安全壳通风向环境的释放；

➤ 工艺流体泄漏的放射性核素通过辅助厂房向环境的释放；

➤ 燃料操作区域的通风导致的放射性核素的释放；

➤ 放射性核素通过放射性废气处理系统的释放；

➤ 通过二回路系统的释放。

在计算气载流出物设计排放源项时，保守假定反应堆冷却剂中裂变产物的剂量等效 I-131 活度浓度为 5GBq/t。该源项保守考虑了电厂运行中可能的各种瞬态情况导致的反应堆冷却剂中核素活度浓度的增加，通过对设计基准源项按照剂量等效 I-131 活度浓度的比例调整得到。对于腐蚀产物，则保守考虑其冷却剂源项与设计基准源项相同。

在计算气载流出物现实排放源项时，假定反应堆冷却剂中裂变产物的剂量等效 I-131 活度浓度为 0.1GBq/t。该源项是在核电厂正常运行经验数据的基础上确定的，通过对设计基准源项按照剂量等效 I-131 活度浓度的比例调整得到。对于腐蚀产物，考虑其冷却剂源项为设计基准源项的一半。

通过以上各途径的气载流出物排放量的分析过程如下：

1) 反应堆厂房

反应堆厂房的气载放射性主要来自反应堆厂房设备的泄漏液，由于反应堆厂房泄漏液的压力和温度相对较高，泄漏液以一定的闪蒸份额变为蒸气后进入反应堆厂房气空间，然后经过通风过滤系统中的活性炭过滤器和高效过滤器的净化后排入环境中。

2) 辅助厂房

辅助厂房的气载放射性主要来自辅助厂房设备的泄漏液，由于辅助厂房冷却剂泄漏液的温度较低，泄漏液以一定的气水分配变为蒸气后进入辅助厂房气空间，然后通过厂房通风系统进入环境中。分析时，保守假设反应堆冷却剂泄漏到辅助厂房中的气载放射性核素没有衰变和沉积，直接释放到环境中。

3) 燃料操作区域

换料期间，换料通道将乏燃料池和反应堆压力容器连通，因此，反应堆冷却剂水将与乏燃料池水、燃料运输通道中的水（包括门和连接体积）和换料腔中的水混合，冷却剂水的活度被稀释。同时，乏燃料池中存放的破损乏燃料组件中的

核素也会以一定的释放份额进入冷却剂中。以上两部分是乏燃料水池放射性的主要来源，池水的放射性通过蒸发的形式进入燃料操作区域气空间，通过厂房通风系统进入环境中。

4) 放射性废气处理系统

在计算放射性废气处理系统的气态放射性流出物排放量时，考虑了化学与容积控制系统下泄流和反应堆冷却剂疏水箱中废液脱气产生的废气。根据反应堆冷却剂源项，并考虑了延迟床对氦和氙的延迟作用后，得到废气处理系统处理后的放射性废气的排放量。

5) 二回路

对于二回路系统，未经冷凝的放射性气体主要是通过真空泵的抽气释放进入环境。计算时，以二回路气态源项为基础，保守考虑放射性废气的排放流量为二回路蒸汽流量，同时考虑一定的气水分配系数后得到通过二回路系统释放的气载放射性流出物排放量。由于二回路现实源项的活度水平非常低，因此不对二回路的气态现实排放源项进行分析。

单机组气态 C-14 年设计排放量为 394GBq/a，年现实排放量为 367GBq/a。单机组气载流出物年设计排放量和现实排放量分别列在表 4.6-4 和表 4.6-5 中。

在表 4.6-6 中给出了单台机组的气载流出物年设计排放量与 GB 6249-2011 中规定的年排放量控制值的比较。可以看出，单台机组的气载流出物年设计排放量均能满足 GB 6249-2011 规定的排放量控制值要求。

4.6.3.2 系统概述及组成

在反应堆运行期间，会裂变产生放射性同位素氙、氪和碘。因为少量燃料包壳的破损，部分核素会释放到反应堆冷却剂中。反应堆冷却剂的泄漏又导致放射性惰性气体释放到安全壳内大气中。通过严格限制反应堆冷却剂泄漏和限制反应堆冷却剂系统内惰性气体和碘的放射性浓度，可控制气载放射性释放。

除放射性气体废物处理系统（WGS）释放途径以外，各厂房通风系统也是向环境释放气载放射性物质的途径。

1) 放射性气体废物处理系统（WGS）

(1) 系统功能

WGS 的主要功能是接收系统运行期间产生的含氢气体和放射性气体，并对其进行处理和排放，使电厂气载流出物释放量低于《核动力厂环境辐射防护规定》

(GB6249-2011)规定的限值。WGS 不执行安全有关功能，其非安全有关功能为：

- 收集含氢气体和放射性气体；
- 处理和排放废气，保持厂外放射性释放在可接受的限值以内；
- 排放管线上设置辐射监测仪表连续监测WGS的放射性释放。系统还可对释放流进行取样分析。

(2) 系统描述

放射性气体废物处理系统(WGS)是一个直流式常温活性炭延迟系统。WGS接收工艺系统运行期间产生的含氢气体和放射性气体。运行的设计基准时段为燃料周期末45天。在该时段内，排入WLS的反应堆冷却剂系统稀释流量和化学和容积控制系统下泄流量达到最大值。WGS输入如下：

- 放射性液体废物处理系统(WLS)脱气塔；
- WLS系统反应堆冷却剂疏水箱(RCDT)。

(3) 部件描述

WGS系统是一个直流常温活性炭延迟处理系统，包括一台气体冷却器、一台气水分离器、一台活性炭保护床和两台活性炭延迟床。此外，系统中还包括一套气体取样装置。

- 气体冷却器

气体冷却器将废气冷却至接近冷冻水温度，以便有效除湿。

- 气水分离器

去除气体冷却形成的水分。

- 活性炭保护床

活性炭保护床防止活性炭延迟床因过高水汽受到损害。正常运行时，活性炭保护床可增加氙和氡的延迟处理时间。

- 活性炭延迟床

系统设置两台活性炭延迟床串联运行。由于气流进出延迟床都是在其顶部，所以延迟床不需要活性炭截流筛网。

- 取样装置

提供两台取样泵。通常一台取样泵连续运行输送废气至氢气、氧气分析仪。另一台泵将各取样点的废气定期送至取样筒内，并作为向氢气、氧气分析仪输送

废气的备用泵。

(4) 系统运行

WGS 系统为间歇运行。没有废气进入 WGS 系统时，在排放管线的隔离阀入口处有小流量的氮气注入，以维持 WGS 系统处于正压，防止废气流量低时空气进入系统。

WGS 系统为非能动运行，借助气体输入源的压力，使废气通过本系统。进气先通过气体冷却器，由冷冻水对废气进行冷却。气水分离器去除由气体冷却形成的水分。气水分离器的疏水排往 WLS 脱气塔分离器。

放射性气体流经保护床，去除多余的水分。然后，放射性气体流经两台活性炭延迟床，通过动态吸附过程使氙、氪得以延迟衰变。离开 WGS 系统的废气在排往电厂通风系统前先经过一个辐射监测仪表。该仪表在放射性高整定值时联锁关闭 WGS 出口控制/隔离阀。出口隔离阀也在通风系统低流量时关闭，防止氢气在通风管道内的累积。

放射性气体在延迟床的吸附不需能动设备或运行人员操作。运行人员误操作或能动设备失效不会引起放射性向环境的非受控释放。若由于失去冷冻水或其他原因，废气进入延迟床之前未能去除水分，将导致 WGS 系统性能逐渐下降。

放射性气体废物处理系统设置独立、冗余的监测仪进行连续氧含量分析。系统氧含量过高时，将向运行人员发出警报。当氧含量在操作员可调控范围内的高值时，WLS 脱气塔真空泵自动停泵，防止可能含氧的气流进入 WGS，同时自动打开氮气阀门，使用氮气吹扫。系统出口隔离阀前用氮气连续加压，防止出口管路空气倒灌入系统。

2) 供暖、通风与空气调节 (HVAC)

本项目的供热、通风与空调系统 (HVAC) 的功能是：

- 对每个潜在污染的厂房进行供热、通风和空气调节以提供一个合适的环境，确保操作人员的舒适、安全、健康以及设备的有效运行；
- 控制空气气流从污染较少的区域流向污染逐渐增加的区域，并使各厂房内潜在污染区域的全部通风经放射性监测后，通过烟囱排放；
- 对需要进行放射性处理的排风进行过滤和/或除碘处理，以减少气载物质向大气环境的释放。HVAC 系统中对于未被放射性污染的废气直接排入大气；对于潜在污染区域的全部通风气体经过放射性监测后，通过核岛

烟囱排入大气。

HVAC 系统中与放射性废气产生及释放有关的主要包括以下系统，正常运行时总排风量约为 149000m³/h。

- 放射性控制区通风空调系统；
- 安全壳空气过滤系统；
- 放射性废物厂房通风空调系统；
- 核岛保健物理和热机修车间通风空调系统。

4.6.4 放射性废固管理系统及废物量

放射性固体废物处理系统（WSS）设计用于收集和暂存正常运行以及预期运行事件产生的废树脂、深床过滤器过滤介质、活性炭、废（水）过滤器滤芯、放射性干废物和混合固体废物。这些废物先收集暂存在辅助厂房和放射性废物厂房内，后送往厂址废物处理设施（SRTF）进一步处理和中间贮存。SRTF的描述参见第4.6.6节。

4.6.4.1 系统功能

WSS 系统设计满足下列要求：

- 输送和贮存来自WLS、CVS和SFS的废树脂和深床过滤器过滤介质；
- 提供混合、取样、输送废树脂和深床过滤器过滤介质的手段；
- 更换、输送、收集废（水）过滤器滤芯时，降低对人员的放射性照射和污染扩散；
- 收集来自电厂加热、通风、空调系统（HVAC）的废过滤器滤芯、活性炭；
- 根据放射性水平对固体废物进行分类和临时贮存；
- 收集含有害物质的放射性废物；
- 分类收集放射性控制区（RCA）产生的废物；
- 在废物送往厂址废物处理设施前（运输设备由厂址废物处理设施提供）可提供至少6个月的贮存时间；
- 向辅助厂房有轨车平台和放射性废物厂房移动设备提供所需的空间和辅助服务；
- 将废树脂接收槽内废液送回WLS进行再处理后，监测排放；
- 提供核岛与厂址废物处理设施之间的接口。

4.6.4.2 系统描述

WSS 处理对象分为湿固体废物和干固体废物两类。湿固体废物包括：一回路废树脂和深床过滤器过滤介质、水过滤器滤芯。干固体废物包括：可压实干废物（包含通风过滤器）和不可压实干废物等。预期的放射性废物产生量计算依据如下：

- 每个换料周期更换的离子交换树脂床废树脂（包含深床过滤器过滤介质）以及化学絮凝处理装置用活性炭床的活性炭；
- 每个换料周期更换WGS活性炭保护床内的活性炭；
- 每十年更换WGS活性炭延迟床内的活性炭；
- 每个换料周期更换全部水过滤器的滤芯；
- 使用电厂历史运行数据估计的可压实废物、不可压实废物和混合废物总量。

放射性废物最大产生量的计算依据如下：

- 处理的离子交换树脂床与化学絮凝处理装置用活性炭床在0.25%燃料包壳破损率下运行；
- 每个换料周期更换两次WGS活性炭保护床内的活性炭；
- 每五年更换WGS活性炭延迟床内的活性炭；
- 所有更换的水过滤器滤芯在0.25%燃料包壳破损率下运行；
- 预期可压实废物、不可压实废物、混合固体废物量增加约50%；
- 更换受污染的凝结水精处理系统和排污系统的树脂和膜。

废物的年预期产生量和最大产生量见表 4.6-7。

4.6.4.3 部件描述

- 箱体

2 台废树脂接收槽，每台废树脂接收槽内的树脂通过混合喷射器进行混合，此外废树脂接收槽还具有脱水、气体鼓泡和疏水功能。

- 泵

1 台树脂混合泵，为废树脂接收槽内树脂的流动和混合提供动力，在废树脂槽之间进行水流输送，将槽内多余的水排至放射性液体废物处理系统，以及冲洗树脂输送管线。

1 台树脂输送泵，为废树脂接收槽内的废树脂循环混合和取样提供动力。树

脂输送泵也用于向位于辅助厂房有轨车平台的屏蔽转运装置输送废树脂。

- 过滤器

1 台树脂碎片过滤器，树脂碎片过滤器将最大限度地防止树脂碎片的扩散，并过滤掉管线冲洗水或废树脂接收槽向 WLS 的排放水中的杂质颗粒。

- 树脂取样装置

树脂取样装置在废树脂循环时进行取样。设备配置一个移动式屏蔽桶用于取样后样品的输送。

- 废过滤器滤芯更换、运输装置

废过滤器滤芯屏蔽运输容器便携式操作工具（MH60）及废过滤器滤芯屏蔽桶（MR40）能够远距离更换废（水）过滤器滤芯，无泄漏输送至辅助厂房滤芯贮存区，将滤芯装入或取出临时贮存格架，吊入屏蔽转运装置内。

4.6.4.4 系统运行

- 废树脂的装运

在输送前先检查用于接收的废树脂接收槽，并确认有足够容量接收树脂床的废树脂。此外，还需确认系统已设置废树脂混合泵将过量的转运水通过树脂碎片过滤器排放至 WLS。

在树脂混合工况时，废树脂接收槽通过树脂截流滤网向外疏水。疏水通过混合喷射器再回到槽内。在该运行模式下，（废树脂接收槽内）废树脂层产生局部流态化。在循环或屏蔽转运装置装填工况时，运行树脂取样装置可获取有代表性的树脂样品。

开启屏蔽转运装置填充阀开始废物装填。冲排水回流至废树脂接收槽内，由此保持系统的水装量，并截留下系统中树脂碎片，去除杂质颗粒。

当装填操作完成时，手动开启管线冲洗控制器，自动运行泵和阀门，冲洗树脂输送管线，冲洗水再回流至废树脂接收槽。废树脂接收槽充填阀短时间开启，将残余树脂冲洗入接收槽内。废树脂混合泵输送废树脂接收槽内过滤后的冲洗水。

- 废（水）过滤器滤芯的处理操作

废过滤器滤芯屏蔽运输容器便携式操作工具（MH60）及废过滤器滤芯屏蔽桶（MR40）用于化学和容积控制系统（CVS）、乏燃料池冷却系统（SFS）、放射性液体废物处理系统（WLS）和放射性固体废物处理系统（WSS）放射性过滤器滤芯的更换。当更换废过滤器滤芯时，先将滤芯吊入 MR40 中，然后转运至

辅助厂房滤芯贮存区进行临时贮存。待滤芯贮存一段时间后，再利用 MR40 将滤芯转运至 HIC 中，用屏蔽运输容器 CASK 运往 SRTF 厂房 HIC 暂存库暂存。暖通设备的放射性过滤器滤芯装袋后和其他放射性干废物一起运往厂址废物处理设施处理。

- 干废物的处理操作

来自放射性控制区域表面污染区的废物打包或装入容器，在废物产生地点标注放射性水平、废物类型和处理地点的信息。废物袋或容器运至放射性废物厂房，使用合适屏蔽措施，分类存放在中、低放射性水平区域内。待累积到足够废物量后，再转运至厂址废物处理设施进行稳定化处理。在放射性控制区的表面污染区域以外产生的其他放射性废物装袋或装桶后运送到放射性废物厂房内临时贮存场所。通常这些废物通过便携式放射性监测装置确认其放射性水平并进行对应处理。

4.6.5 乏燃料贮存系统

反应堆换料时，从堆芯卸出的乏燃料组件贮存在核岛辅助厂房的燃料操作区域的乏燃料水池中，采用水下布置和贮存的方式。贮存设施包括乏燃料水池和乏燃料贮存格架。乏燃料贮存格架位于乏燃料水池内，乏燃料水池是池底和四壁衬有不锈钢覆面的钢筋混凝土结构，与辅助厂房构成整体结构。池内充以含硼去离子水，池水水质由乏燃料水池冷却系统保持。乏燃料组件贮存在格架的贮腔内。

乏燃料贮存格架的临界设计遵循《核动力厂燃料装卸和贮存系统设计》（HAD102/15）有关要求。乏燃料贮存格架由 I 区格架、II 区格架以及破损燃料组件贮腔组成。I 区贮存格架可以贮存最大设计基准富集度的燃料组件，II 区贮存格架可以贮存满足燃耗要求的乏燃料组件。

反应堆正常运行期间，每次卸出乏燃料组件 64 组。乏燃料贮存格架至少可以贮存反应堆 10 个日历年正常运行卸出的乏燃料组件外加一个完整堆芯的燃料组件数。

乏燃料贮存设施的设计准则如下：

- 1) 乏燃料贮存格架的设计，应保证在正常工况和特殊工况下燃料组件都处于次临界状态。

- 2) 乏燃料贮存格架的设计，能承受正常和假定的静载荷、动载荷、由于热效应产生的载荷和由安全停堆地震产生的载荷；应能承受一个燃料组件从抓取机

上的最高工位上掉落时的冲击能量；应能承受燃料抓取机的最大提升载荷。此外还具有稳定、不会倾倒或意外晃动等结构性能。

3) 乏燃料贮存水池的深度和水层高度具有足够的屏蔽防护能力，允许操作人员不受限制地接近池区而不受辐射危害。

4) 乏燃料贮存格架的设计，可以为乏燃料贮存提供安全、有效的保护措施。包括便于乏燃料组件的插入和取出、防止燃料组件不适当的插入及具有保护组件不受损伤的措施、有专门贮存破损或泄漏燃料组件的专用贮存腔。

5) 乏燃料贮存格架的材料与乏燃料贮存水池的环境条件相容。

6) 乏燃料贮存格架划分为非安全 D 级，抗震 I 类设备。

7) 乏燃料贮存格架的设计，应使贮存水池中的冷却水能够在贮存格架内自由循环，以冷却贮存的乏燃料组件。

8) 各贮存腔的周围设置有中子吸收材料，以保证满足贮存时对次临界的要求。

9) 乏燃料贮存水池有足够的密封性，使冷却水泄漏保持在可接受的限值内。

从堆芯卸出的乏燃料组件转运至燃料操作区后，插入乏燃料贮存格架，进行贮存和冷却。如果检测到有破损的组件，装入专门的破损组件贮存腔内。

乏燃料贮存格架采用奥氏体不锈钢制造，用于贮存燃料组件的贮存腔由围板构成方形的截面，贮存腔外围包覆有中子吸收材料。

乏燃料水池中的水为含硼去离子水，水池设有乏燃料池冷却系统，以排出乏燃料组件的余热，并保证水池的水温、水质和水位，同时，限制放射性水平在规定的范围内。

乏燃料水池设有水位、水温监测系统及水池检漏系统，可随时监测水池水位、水温及水池密封情况。

乏燃料贮存区域设有通风系统，系统能及时净化燃料贮存区域的空气。

乏燃料贮存区内还设置有辐射剂量监测点，保证操作人员的辐射安全。

4.6.6 厂址废物处理设施

厂址废物处理设施（Site Radwaste Treatment Facility，简称 SRTF）是一个集中式多机组共用的放射性废物处理设施，位于核岛 BOP 区域。它作为核岛三废处理系统的补充，提供完整、适宜的手段来处理核岛产生但无法直接处理的放射性废液与放射性固体废物。单台机组核岛内设置的废物处理系统与多机组公用的

厂址废物处理设施（SRTF）的组合，形成了核电厂完整的废物处理工艺。

SRTF 为全厂公用设施，采用了国内外成熟、先进的废物处理工艺，一期工程已建成投产并通过了审评，本期工程与一期工程工艺路线相同，采用移动式处理装置处理核岛产生的放射性废水；采用 HIC（高整体性容器）处理放射性废树脂及过滤器芯；采用预压、超压、水泥固定工艺处理电厂各种低放固体废物；洗涤受放射性污染的工作服；贮存经处理、整备后的合格废物包装体（320L 金属桶及交联高密度聚乙烯 HIC）。

SRTF 主要包括四个部分，分别为：

1) 移动式废液处理系统：处理核岛产生的化学废液、0.25%燃料包壳破裂一回路冷却剂和蒸汽发生器传热管破裂（SGTR）产生的放射性废液。三个系统分别安装于一个标准运输（海陆）集装箱中，与牵引车和拖车一起组成移动式废液处理系统。移动式废液处理系统的配置，提高了电厂废物处理的灵活性和方便性。

2) HIC 装料脱水系统：用于处理核岛产生的废树脂（包括废活性炭和选择性过滤介质）和废过滤器芯。在核岛的辅助厂房，将废树脂（包括废活性炭和选择性过滤介质）和废过滤器芯装入交联高密度聚乙烯高整体性容器（HIC）内，并对 HIC 内容物脱水。经脱水合格的 HIC 最终送至 SRTF 厂房内的 HIC 暂存库内暂存。HIC 装料脱水系统与传统水泥固化或水泥固定工艺相比，具有技术成熟、操作简单、废物不增容、废物容器具有 300 年的完整性等特点，体现了废物处理的先进性。

3) 固废处理系统（含湿废物烘干等辅助系统）：用于接收和处理从核电站产生的干（湿）放射性固体废物。该系统设计处理 6 台机组产生的放射性废物并留有处理 8 台机组废物的扩展能力，系统可每天分拣和压缩处理约 25 个 200L 金属桶装固体废物，经预压、超压并装入 320L 废物桶进行水泥灌浆固定，经检测合格的 320L 废物桶最终送至 SRTF 厂房内的 320L 废物桶暂存库内暂存。经超压后，废物的减容比可达 4.5，具有废物量小的优点。

4) 洗衣房系统：用于对核电厂运行和检修期间放射性控制区内工作人员的工作服（包括外衣、内衣、鞋子等）进行分拣检测、洗涤去污、烘干、整理、暂存和洗衣废水的监测排放。

SRTF 包括相关的支持系统，如中央控制系统（含废物跟踪）、辐射监测、通风空调、供配电等辅助系统；还包括核岛与 SRTF 之间的各种运输系统，如移动

式废液处理车、废物运输车、HIC 屏蔽容器运输车（CASK）、衣物运输电瓶车等。

SRTF 服务于厂址多台机组，海阳一期工程已建成投产并通过审评，因此本章对 SRTF 不作详细描述，只对主要系统进行简要描述。

4.6.6.1 主要工艺系统

4.6.6.1.1 移动式废液处理系统

核岛产生的化学废液、0.25%燃料包壳破裂一回路废液及二回路 SGTR 废液可采用不同的移动式装置处理：（1）化学废液采用 $1.14\text{m}^3/\text{hr}$ 移动式化学废液处理装置处理；（2）0.25%燃料包壳破裂一回路废液用 $1.14\text{m}^3/\text{hr}$ 和 $4.54\text{m}^3/\text{hr}$ 移动式装置串联进行处理；（3）SGTR 废液用 $4.54\text{m}^3/\text{hr}$ 移动式装置处理。

移动式废液处理设备采用化学絮凝、活性炭过滤、离子交换来处理放射性废液，通过快速接头、软管与核岛侧或其他需要处理的子项进行连接，具有灵活、快速、净化因子高的特点。3 台移动式废液处理设备已于一期工程配置，为公用设施，平时停泊在 SRTF 厂房，需要使用时则移动至相关厂房，满足整个厂址的需要。

4.6.6.1.2 HIC 装料脱水系统（FDS）

HIC 装料脱水系统（FDS）用于将核岛产生的放射性废树脂（包括废活性炭/选择性介质等）和废滤芯转入高完整性容器（HIC）并进行脱水，经脱水后废物体游离水体积含量 $\leq 1\%$ ，满足相关国家标准要求，最终的废物连同废物容器（HIC）一起通过屏蔽运输容器转入 HIC 暂存库暂存。

HIC 装料脱水系统（FDS）处理对象分为放射性废树脂（包括废活性炭/选择性介质等）和废滤芯两类废物。

（1）核岛产生的废树脂（包括废活性炭/选择性介质等）首先在核辅助厂房废树脂暂存罐（WSS-MV01A/B）暂存，经贮存衰变一定时间后，进行 HIC 废树脂装料脱水操作。脱水前，用 HIC 抓具将空的 HIC 容器吊入指定位置后，再用取封盖工具打开 HIC 盖，将脱水头（SEDS）安装到 HIC 上。启动废树脂混合泵（WSS-MP02）将废树脂（包括废活性炭/选择性介质）与水混合均匀，然后启动废树脂输送泵（WSS-MP01）将废树脂（包括废活性炭/选择性介质）送入 HIC 容器中。当 HIC 容器中废树脂与水的混合物液位达到设定值时，自动关闭废树脂输送阀门，开启脱水泵，进行脱水操作，脱除的废水返回核岛侧。循环进行废

树脂装料、脱水操作，直到 HIC 容器被装满并且脱水后废物游离水体积含量小于 1%。脱水完成后，将脱水头从 HIC 容器移开，用封盖工具对 HIC 进行封盖操作，用吊车或专用工具对屏蔽转运容器进行封盖操作。封盖完成后，最终将 HIC 转送至 HIC 暂存库暂存。

(2) 核岛产生的废滤芯首先存放在核辅助厂房 12374 房间废滤芯贮存格架暂存，经贮存衰变一定时间后，进行 HIC 废滤芯装料或装料脱水操作，利用废滤芯转运设备 (MR40)、数控吊车 (MH14) 及废滤芯适配器，将废滤芯从贮存格架转移至 HIC 容器中，直到贮存格架中的废滤芯全部装入 HIC 或 HIC 被装满。一般情况下，废滤芯在贮存格架内暂存时间较长 (>6 个月)，废滤芯已沥干，不需要进行脱水操作。如特殊情况下需要脱水，则连接适配器与 HIC、脱水泵之间的管线，进行远距离遥控脱水操作，直到 HIC 容器内废物游离水体积含量小于 1%。废滤芯装料/脱水完成后，远程用封盖工具对 HIC 进行封盖操作，用专用工具或吊车对屏蔽运输容器进行封盖操作。封盖操作完成后，最终将 HIC 送至 HIC 暂存库暂存。

本工程需配置 2 套 HIC 装料脱水成套设备，成套设备主要包括脱水头 (SEDs)、脱水泵、脱水验证罐、HIC 抓具、HIC 开盖工具、脱水控制盘、闭路电视系统 (CCTV) 及相关配套阀门、管线、快速接头等。控制盘、摄像头、电缆安装在核辅助厂房 12371/12461 房间，可远距离遥控操作，其他设备为移动式设备，使用时转运到核辅助厂房 12371 房间进行 HIC 装料脱水操作，操作完成后移出该区域。

4.6.6.1.3 暂存库

SRTF 设有 2 个废物暂存库，分别为 320L 桶暂存库和 HIC 暂存库。

1) 320L 桶暂存库

320L 废物桶暂存库采用堆码盘按 5 层堆码设计，可共暂存 5840 个 320L 废物桶。暂存库内配有 3 吨数控吊车，可以准确定位和抓取废物桶，实现废物桶的堆码、出库等遥控操作。

2) HIC 暂存库

HIC 暂存库共设计 120 个贮存井，每个暂存井内 HIC 按 2 层堆码设计，可暂存 240 个 HIC。贮存井设置有通风管路，保持井内负压。暂存库内配有 12.5 吨数控吊车，可以准确定位和抓取 HIC，实现 HIC 的堆码、出库等遥控操作。

废物暂存库一期工程已建成投产，为公用设施，满足 5、6 号机组废物暂存

需求。

4.6.6.1.4 废物分拣压缩灌浆系统

分拣压缩灌浆系统可处理核电厂产生的放射性固体废物，废物通过 X 射线实时成像（RTR）检测、废物分拣、预压、核素测量、超压、灌浆固定、封盖等处理工艺，最终被包容在 320L 金属废物桶内，最终送 320L 桶暂存库暂存。经处理整备后，可压缩废物的减容因子可达 4.5，有利于废物最小化管理。一般情况下，废通风过滤器芯首先在暂存房间暂存，待暂存衰变到一定时间后，预期进行清洁解控处理而不需要分拣压缩灌浆处理。分拣压缩系统每天可分拣和压缩处理约 25 个 200L 金属桶装干废物。灌浆后的废物包装体满足 GB9132、GB12711、EJ 1186 等相关标准要求。

废物分拣压缩灌浆系统一期工程已建成投产，为公用设施，本期可根据需要配置一台分拣手套箱（厂房内已预留按照空间），满足 5、6 号机组废物处理需求。

4.6.6.1.5 洗衣房系统（LAS）

洗衣房系统位于 SRTF 东北角的洗衣房区域，设有衣物分拣检测仪、洗衣机、烘干机、洗鞋机、烘鞋机、废水监测排放槽、排放泵、阀门、管道等设备，可实现对工作服的分拣检测、洗涤、烘干、整理、暂存、废水监测排放等功能。

洗衣房系统一期工程已建成投产并为后续机组需要预留了洗衣机、烘干机的安装位置，可根据时间需要适当增配洗衣机和烘干机等。洗衣房系统一期工程已建成投产，为全厂公用，满足 5、6 号机组需求。

4.6.6.1.6 超标废液处理系统（WTS）

WTS 系统用于处理放射性活度浓度超过排放标准的洗衣废液，系统的处理单元主要包括：袋式过滤器、一级活性炭过滤器、二级活性炭过滤器、沸石过滤器及相应的管道阀门等设备。超标放射性洗衣废水首先用活性炭过滤器除去表面活性剂、合成洗涤剂等有机物和部分放射性核素，然后再用沸石过滤器进行过滤除去其他的放射性核素，处理后的废水满足环境排放要求，送往洗衣房废水监测箱，最终由废水排放泵统一排至厂房外排放总管。

WTS 系统一期工程已建成投产，为全厂公用，满足 5、6 号机组需求。

4.6.6.1.7 湿废物烘干系统（DYS）

湿废物烘干系统功能是对核电厂运行产生的含水量较大的湿废物在超压前

进行烘干处理。湿废物烘干设备每天能烘干处理 4 个 200L 金属桶装废物，使其在预压和超压过程中无游离水被压出。湿废物烘干系统具有全自动控制功能，可以实现预热、烘干、冷却全过程的自动化，湿废物烘干冷却完毕后将自动停止运行。

湿废物烘系统一期工程已建成投产，为全厂共用，满足 5、6 号机组需求。

4.6.7 废物最小化

核电厂废物最小化的原则在国际上已得到充分的重视，本项目在设计、建造、运行乃至退役等各个阶段将积极考虑先进的技术和管理方法，在废物政策上落实最小化的原则。

核电厂放射性废物的体积和活度的量通过合理的设计手段和运行、退役措施保持在切实可行的最小水平，这些措施包括设备材料的选择和控制、材料的再循环和再利用、合理的运行程序的应用等，重点在于不同类型废物和材料的隔离以减少放射性废物的体积并利于管理。

“废物最小化”可从管理和技术安全两方面进行考虑：

- 管理：建立废物管理和废物最小化的程序和合理可靠的废物清洁和排放程序以及相应的质量保证系统，并对运行人员进行培训和论证等；
- 技术安全：核电站在设计和建造阶段对废物最小化的考虑对将来运行和退役阶段废物的产生有直接的影响。本项目在设计时将考虑如下因素：
 - 选择合适的材料（抗腐蚀、高质量的表面处理、不会或较低可能被活化或产生其它放射性核素）；
 - 应用最有效、可靠和先进的技术以确保设备尽可能长时间维持可运行状态，而不需要更换和/或维修；
 - 采用高性能的设备，避免废物的无序积累，减少泄漏或排放以避免维修的设备被污染而产生额外的废物；
 - 严格区分非放射性物质和放射性物质，合理地根据物质的特性和放射性活度进行分离。

需要指出的是，核电厂不可避免地将产生放射性废物，由于现有废物贮存设施和处理设备的限制以及保护环境和公众的考虑，在“废物最小化”原则中也包含了待处理和贮存放射性废物的体积和放射性最小化的含义，减少已产生废物的体积和放射性的措施主要有：

- 在处理已产生的放射性废物前放置足够长的时间，通过衰变来降低废物的放射性，这对于短半衰期核素特别有用。这也可以简化废物处理的过程并相应提高处理效率。
- 对于电站日常维护和大修、以及电站退役后产生的非放射性金属废物应区分出来，可用作民用建筑材料再循环复用。

单机组废物最小化的目标值为 $\leq 50\text{m}^3$ ，本项目单机组废物产生量为 48.09m^3 ，可以满足此目标。

表 4.6-1 单台机组液态流出物年设计排放量

核素	核岛废液 (Bq/a)	二回路 (Bq/a)	SRTF 释放 (Bq/a)	总释放 (Bq/a)
活化腐蚀产物				
Cr-51	4.09E+06	2.67E+06	1.79E+07	2.47E+07
Mn-54	2.48E+06	1.38E+06	1.45E+07	1.84E+07
Fe-55	1.91E+06	1.04E+06	2.73E+07	3.03E+07
Fe-59	4.25E+05	2.58E+05	8.36E+06	9.04E+06
Co-58	6.72E+06	3.96E+06	3.00E+07	4.07E+07
Co-60	8.28E+05	4.58E+05	5.32E+07	5.45E+07
Zn-65	7.84E+05	4.38E+05	1.16E+03	1.22E+06
Ag-110m	6.33E+05	8.51E+05	1.63E+06	3.11E+06
Sb-124	2.75E+06	3.73E+05	4.56E+06	7.68E+06
裂变产物				
Br-83	3.63E+05	1.45E+07	8.80E+04	1.50E+07
Br-84	4.34E+04	2.51E+06	4.46E+04	2.60E+06
Br-85	4.50E+02	3.09E+04	5.28E+03	3.66E+04
Rb-88	3.59E+06	1.60E+08	4.52E+06	1.68E+08
Sr-89	2.88E+05	1.98E+06	3.45E+05	2.61E+06
Sr-90	1.43E+04	8.95E+04	3.82E+04	1.42E+05
Sr-91	2.56E+04	2.13E+06	4.92E+03	2.16E+06
Sr-92	1.70E+03	2.67E+05	1.18E+03	2.70E+05
Y-90	1.16E+04	1.55E+04	3.18E+01	2.71E+04
Y-91m	1.62E+04	1.17E+06	2.57E+03	1.19E+06
Y-91	3.81E+04	1.35E+05	3.05E+05	4.78E+05
Y-92	3.48E+03	3.15E+05	9.38E+02	3.19E+05
Y-93	1.81E+03	9.35E+04	3.23E+02	9.56E+04
Zr-95	4.31E+04	1.60E+05	4.18E+06	4.38E+06
Nb-95	4.65E+04	1.60E+05	7.22E+06	7.43E+06
Mo-99	1.95E+07	2.09E+08	8.07E+05	2.29E+08
Tc-99m	1.87E+07	1.95E+08	5.34E+05	2.14E+08
Ru-103	3.53E+04	1.39E+05	1.10E+06	1.27E+06
Rh-103m	3.53E+04	1.38E+05	3.64E+02	1.74E+05

表 4.6-1 单台机液态流出物年设计排放量 (续)

核素	核岛废液 (Bq/a)	二回路 (Bq/a)	SRTF 释放 (Bq/a)	总释放 (Bq/a)
Ru-106	1.33E+04	4.62E+04	1.23E+02	5.96E+04
Rh-106	1.33E+04	4.62E+04	1.23E+02	5.96E+04
Te-127m	2.31E+05	7.69E+05	2.04E+03	1.00E+06
Te-129m	6.78E+05	2.64E+06	7.02E+03	3.33E+06
Te-129	4.35E+05	2.38E+06	1.09E+04	2.83E+06
Te-131m	3.01E+05	6.42E+06	1.87E+04	6.74E+06
Te-131	5.55E+04	1.82E+06	1.26E+04	1.89E+06
Te-132	6.43E+06	7.84E+07	2.15E+05	8.50E+07
Te-134	1.18E+04	2.24E+06	3.17E+04	2.28E+06
I-129	2.72E+01	1.47E+01	3.96E-02	4.19E+01
I-130	5.64E+05	7.95E+06	2.66E+04	8.54E+06
I-131	5.04E+08	6.87E+08	7.96E+06	1.20E+09
I-132	3.41E+07	4.84E+08	2.72E+06	5.21E+08
I-133	1.26E+08	1.16E+09	3.58E+06	1.29E+09
I-134	9.84E+05	5.62E+07	6.45E+05	5.78E+07
I-135	2.53E+07	5.69E+08	2.23E+06	5.97E+08
Cs-134	8.75E+08	1.10E+09	4.34E+07	2.02E+09
Cs-136	9.83E+08	1.66E+09	3.90E+06	2.65E+09
Cs-137	7.29E+08	8.73E+08	6.21E+07	1.66E+09
Cs-138	1.59E+06	6.69E+07	1.10E+06	6.96E+07
Ba-137m	2.47E+08	8.22E+08	1.28E+06	1.07E+09
Ba-140	2.12E+05	1.04E+06	3.46E+06	4.71E+06
La-140	1.93E+05	3.53E+05	8.01E+02	5.47E+05
Ce-141	3.94E+04	1.56E+05	8.74E+05	1.07E+06
Ce-143	7.11E+03	1.39E+05	4.02E+02	1.47E+05
Pr-143	3.40E+04	1.52E+05	4.02E+02	1.86E+05
Ce-144	3.44E+04	1.16E+05	1.48E+07	1.50E+07
Pr-144	3.44E+04	1.16E+05	3.10E+02	1.51E+05
总量	3.60E+09	8.18E+09	3.25E+08	1.21E+10
液态氙: 4.20E+13Bq/a				
液态 C-14: 4.38E+10Bq/a				

表 4.6-2 单台机组液态流出物年现实排放量

核素	核岛废液 (Bq/a)	SRTF 排放量 (Bq/a)	总释放 (Bq/a)
活化腐蚀产物			
Cr-51	1.22E+06	1.79E+07	1.91E+07
Mn-54	7.55E+05	1.45E+07	1.53E+07
Fe-55	5.78E+05	2.73E+07	2.79E+07
Fe-59	1.27E+05	8.36E+06	8.49E+06
Co-58	2.03E+06	3.00E+07	3.20E+07
Co-60	2.50E+05	5.32E+07	5.34E+07
Zn-65	2.43E+05	1.16E+03	2.44E+05
Sb-124	1.91E+05	1.63E+06	1.82E+06
Ag-110m	8.28E+05	4.56E+06	5.39E+06
裂变产物			
Br-83	3.33E+05	8.80E+04	4.21E+05
Br-84	4.00E+04	4.46E+04	8.46E+04
Br-85	4.14E+02	5.28E+03	5.69E+03
Rb-88	1.13E+05	4.52E+06	4.63E+06
Sr-89	8.06E+04	3.45E+05	4.26E+05
Sr-90	4.22E+03	3.82E+04	4.24E+04
Sr-91	4.70E+03	4.92E+03	9.62E+03
Sr-92	3.14E+02	1.18E+03	1.49E+03
Y-90	4.07E+03	3.18E+01	4.11E+03
Y-91m	3.00E+03	2.57E+03	5.57E+03
Y-91	1.12E+04	3.05E+05	3.16E+05
Y-92	6.37E+02	9.38E+02	1.58E+03
Y-93	3.33E+02	3.23E+02	6.56E+02
Zr-95	1.23E+04	4.18E+06	4.19E+06
Nb-95	1.40E+04	7.22E+06	7.23E+06
Mo-99	3.66E+06	8.07E+05	4.47E+06
Tc-99m	3.52E+06	5.34E+05	4.05E+06
Ru-103	9.81E+03	1.10E+06	1.11E+06
Rh-103m	9.81E+03	3.64E+02	1.02E+04

表 4.6-2 单台机组液态流出物年现实排放量 (续)

核素	调硼释放 (Bq/a)	SRTF 排放量 (Bq/a)	总释放 (Bq/a)
Ru-106	3.93E+03	1.23E+02	4.05E+03
Rh-106	3.93E+03	1.23E+02	4.05E+03
Te-127m	6.77E+04	2.04E+03	6.97E+04
Te-129m	1.82E+05	7.02E+03	1.89E+05
Te-129	1.17E+05	1.09E+04	1.28E+05
Te-131m	5.47E+04	1.87E+04	7.34E+04
Te-131	1.03E+04	1.26E+04	2.29E+04
Te-132	1.25E+06	2.15E+05	1.47E+06
Te-134	2.15E+03	3.17E+04	3.39E+04
I-129	2.40E+01	3.96E-02	2.40E+01
I-130	5.15E+05	2.66E+04	5.42E+05
I-131	4.56E+08	7.96E+06	4.64E+08
I-132	3.08E+07	2.72E+06	3.35E+07
I-133	1.18E+08	3.58E+06	1.22E+08
I-134	9.25E+05	6.45E+05	1.57E+06
I-135	2.29E+07	2.23E+06	2.51E+07
Cs-134	3.99E+07	4.34E+07	8.33E+07
Cs-136	3.82E+07	3.90E+06	4.21E+07
Cs-137	3.33E+07	6.21E+07	9.54E+07
Cs-138	4.96E+04	1.10E+06	1.15E+06
Ba-137m	9.18E+07	1.28E+06	9.31E+07
Ba-140	5.14E+04	3.46E+06	3.51E+06
La-140	5.07E+04	8.01E+02	5.15E+04
Ce-141	1.06E+04	8.74E+05	8.85E+05
Ce-143	1.30E+03	4.02E+02	1.70E+03
Pr-143	8.37E+03	4.02E+02	8.77E+03
Ce-144	1.01E+04	1.48E+07	1.48E+07
Pr-144	1.01E+04	3.10E+02	1.04E+04
总量	9.90E+08	3.25E+08	1.17E+09
液态氚: 3.67E+13Bq/a			
液态 C-14: 4.07E+10Bq/a			

表 4.6-3 单机组液态年设计排放量与控制值的比较

核素	GB 6249-2011 中规定的单 机组排放量控制值 (Bq/a)	单机组排放量计算值 (Bq/a)
除氚和 C-14 外的 其余核素	5.00E+10	1.21E+10
氚	7.50E+13	4.20E+13
C-14	1.50E+11	4.38E+10

表 4.6-4 单台机组气载流出物年设计排放量

惰性气体	废气处理系统 (Bq/a)	厂房通风区域				总量 (Bq/a)
		安全壳 (Bq/a)	辅助厂房 (Bq/a)	燃料操作区域 ⁽¹⁾ (Bq/a)	二回路 (Bq/a)	
Kr-83m	1.52E+04	2.37E+10	1.13E+11	0.00E+00	4.15E+09	1.41E+11
Kr-85m	3.25E+09	1.08E+11	5.16E+11	2.27E+00	1.70E+10	6.44E+11
Kr-85	1.77E+13	3.52E+11	1.68E+12	2.58E+08	5.49E+10	1.98E+13
Kr-87	1.34E+01	6.14E+10	2.92E+11	5.87E-18	9.58E+09	3.63E+11
Kr-88	8.61E+07	1.93E+11	9.18E+11	4.27E-04	3.02E+10	1.14E+12
Kr-89	0.00E+00	4.53E+09	2.16E+10	0.00E+00	6.96E+08	2.68E+10
Xe-131m	9.17E+11	1.71E+11	8.14E+11	4.22E+07	2.66E+10	1.93E+12
Xe-133m	6.66E+07	2.21E+11	1.05E+12	1.86E+07	3.47E+10	1.31E+12
Xe-133	5.31E+12	1.59E+13	7.59E+13	2.44E+09	2.49E+12	9.96E+13
Xe-135m	0.00E+00	2.21E+10	1.05E+11	9.78E-02	2.22E+10	1.49E+11
Xe-135	0.00E+00	4.67E+11	2.22E+12	2.89E+05	7.61E+10	2.76E+12
Xe-137	0.00E+00	8.72E+09	4.15E+10	0.00E+00	1.34E+09	5.16E+10
Xe-138	0.00E+00	3.20E+10	1.52E+11	0.00E+00	4.98E+09	1.89E+11
总量	2.39E+13	1.76E+13	8.38E+13	2.76E+09	2.77E+12	1.28E+14

表 4.6-4 单台机组气载流出物年设计排放量 (续)

碘	厂房/区域通风				总量 (Bq/a)
	燃料操作区域 ⁽¹⁾ (Bq/a)	安全壳 (Bq/a)	辅助厂房 (Bq/a)	二回路 (Bq/a)	
I-129	5.40E+02	8.60E+00	8.46E+00	6.01E-02	5.57E+02
I-130	9.23E+03	5.75E+06	5.67E+06	3.24E+04	1.15E+07
I-131	1.98E+09	4.09E+08	4.03E+08	2.81E+06	2.79E+09
I-132	2.95E-06	5.85E+08	5.82E+08	1.97E+06	1.17E+09
I-133	2.09E+07	7.75E+08	7.64E+08	4.72E+06	1.56E+09
I-134	1.38E-28	1.37E+08	1.38E+08	2.29E+05	2.75E+08
I-135	3.10E+03	4.82E+08	4.76E+08	2.33E+06	9.60E+08
总量	2.00E+09	2.39E+09	2.37E+09	1.21E+07	6.78E+09

表 4.6-4 单台机组气载流出物年设计排放量 (续)

核素	厂房/区域通风			总量 (Bq/a)
	安全壳(Bq/a)	辅助厂房 (Bq/a)	燃料操作区域 (¹) (Bq/a)	
Zn-65	1.28E+06	8.37E+05	9.84E+06	1.20E+07
Cr-51	7.83E+06	5.13E+06	2.10E+07	3.40E+07
Mn-54	4.02E+06	2.63E+06	3.12E+07	3.79E+07
Fe-55	3.02E+06	1.98E+06	2.36E+07	2.86E+07
Fe-59	7.55E+05	4.94E+05	3.38E+06	4.63E+06
Co-58	1.16E+07	7.59E+06	8.45E+07	1.04E+08
Co-60	1.33E+06	8.73E+05	1.04E+07	1.26E+07
Sb-124	1.02E+06	6.68E+05	4.27E+06	5.96E+06
Ag-110m	4.42E+06	2.90E+06	3.41E+07	4.14E+07
Br-83	1.54E+07	9.42E+06	3.81E-08	2.48E+07
Br-84	7.78E+06	4.77E+06	0.00E+00	1.26E+07
Br-85	9.20E+05	5.64E+05	0.00E+00	1.48E+06
Rb-88	7.88E+08	2.19E+09	1.57E-96	2.98E+09
Rb-89	3.61E+07	1.00E+08	0.00E+00	1.36E+08
Sr-89	5.03E+05	3.29E+05	2.58E+06	3.41E+06
Sr-90	2.31E+04	1.51E+04	1.81E+05	2.19E+05
Sr-91	8.56E+05	5.61E+05	2.36E+01	1.42E+06
Sr-92	2.06E+05	1.35E+05	1.80E-08	3.41E+05
Y-90	5.55E+03	3.63E+03	5.37E+02	9.72E+03
Y-91m	4.48E+05	2.93E+05	0.00E+00	7.41E+05
Y-91	6.07E+04	3.97E+04	3.63E+05	4.63E+05
Y-92	1.64E+05	1.07E+05	7.63E-06	2.71E+05
Y-93	5.63E+04	3.69E+04	3.03E+00	9.32E+04
Zr-95	7.39E+04	4.84E+04	4.85E+05	6.07E+05
Nb-95	7.40E+04	4.84E+04	2.55E+05	3.77E+05
Mo-99	1.01E+08	6.62E+07	1.04E+07	1.78E+08
Tc-99m	9.29E+07	6.08E+07	2.31E+01	1.54E+08
Ru-103	6.40E+04	4.19E+04	2.51E+05	3.57E+05
Rh-103m	6.35E+04	4.16E+04	0.00E+00	1.05E+05

表 4.6-4 单台机组气载流出物年设计排放量（续）

核素	厂房/区域通风			总量 (Bq/a)
	安全壳 (Bq/a)	辅助厂房 (Bq/a)	燃料操作区域 ⁽¹⁾ (Bq/a)	
Ru-106	2.14E+04	1.40E+04	8.48E+05	8.83E+05
Rh-106	2.14E+04	1.40E+04	8.48E+05	8.83E+05
Te-127m	3.56E+05	2.33E+05	2.72E+06	3.41E+06
Te-129m	1.22E+06	8.01E+05	4.04E+06	6.42E+06
Te-129	1.89E+06	1.24E+06	0.00E+00	3.68E+06
Te-131m	3.26E+06	2.13E+06	4.30E+04	6.38E+06
Te-131	2.19E+06	1.43E+06	0.00E+00	4.26E+06
Te-132	3.75E+07	2.46E+07	5.39E+06	7.84E+07
Te-134	5.52E+06	3.61E+06	0.00E+00	1.07E+07
Cs-134	2.83E+08	7.86E+08	2.21E+09	3.25E+09
Cs-136	4.35E+08	1.21E+09	4.86E+08	2.08E+09
Cs-137	2.24E+08	6.23E+08	1.76E+09	2.58E+09
Cs-138	1.91E+08	5.31E+08	0.00E+00	7.00E+08
Ba-137m	2.24E+08	1.46E+08	0.00E+00	4.36E+08
Ba-140	4.83E+05	3.16E+05	5.28E+05	1.47E+06
La-140	1.40E+05	9.15E+04	4.48E+03	2.76E+05
Ce-141	7.26E+04	4.75E+04	2.32E+05	3.73E+05
Ce-143	7.01E+04	4.59E+04	1.26E+03	1.38E+05
Pr-143	7.01E+04	4.59E+04	8.26E+04	2.19E+05
Ce-144	5.35E+04	3.51E+04	4.15E+05	5.19E+05
Pr-144	5.40E+04	3.54E+04	0.00E+00	1.05E+05
总量	2.49E+09	5.79E+09	4.71E+09	1.29E+10
气态氙：2.21E+12Bq/a				
气态 C-14：3.94E+11Bq/a				

注：（1）燃料操作区域在辅助厂房内，但被分开考虑。

（2）二回路粒子的排放量相比其他区域要小很多，因此本文未考虑二回路的排放。

表 4.6-5 单台机组气载流出物年现实排放量

惰性气体	废气系统 (Bq/a)	厂房通风区域			总量 (Bq/a)
		安全壳 (Bq/a)	辅助厂房 (Bq/a)	燃料操作区 域 ⁽¹⁾ (Bq/a)	
Kr-83m	1.61E+02	4.74E+08	2.26E+09	0.00E+00	2.73E+09
Kr-85m	3.46E+07	2.17E+09	1.03E+10	4.55E-02	1.25E+10
Kr-85	1.88E+11	7.01E+09	3.34E+10	5.16E+06	2.28E+11
Kr-87	1.43E-01	1.23E+09	5.84E+09	1.17E-19	7.07E+09
Kr-88	9.19E+05	3.86E+09	1.84E+10	8.54E-06	2.23E+10
Kr-89	0.00E+00	9.04E+07	4.30E+08	0.00E+00	5.20E+08
Xe-131m	9.79E+09	3.43E+09	1.63E+10	8.44E+05	2.95E+10
Xe-133m	7.11E+05	4.44E+09	2.11E+10	3.72E+05	2.55E+10
Xe-133	5.67E+10	3.20E+11	1.52E+12	4.87E+07	1.90E+12
Xe-135m	0.00E+00	4.44E+08	2.11E+09	1.95E-03	2.55E+09
Xe-135	1.74E-19	9.34E+09	4.45E+10	5.77E+03	5.38E+10
Xe-137	0.00E+00	1.74E+08	8.30E+08	0.00E+00	1.00E+09
Xe-138	0.00E+00	6.42E+08	3.06E+09	0.00E+00	3.70E+09
总量	2.55E+11	3.53E+11	1.68E+12	5.51E+07	2.29E+12

表 4.6-5 单台机组气载流出物年现实排放量 (续)

碘	厂房/区域通风			总量 (Bq/a)
	燃料操作区域 ⁽¹⁾ (Bq/a)	安全壳 (Bq/a)	辅助厂房 (Bq/a)	
I-129	1.08E+01	1.72E-01	2.51E-01	1.12E+01
I-130	1.85E+02	1.16E+05	1.69E+05	2.85E+05
I-131	3.95E+07	8.19E+06	1.20E+07	5.97E+07
I-132	5.89E-08	1.17E+07	1.73E+07	2.90E+07
I-133	4.16E+05	1.55E+07	2.26E+07	3.85E+07
I-134	2.76E-30	2.74E+06	4.09E+06	6.83E+06
I-135	6.20E+01	9.63E+06	1.41E+07	2.37E+07
总量	3.99E+07	4.79E+07	7.03E+07	1.58E+08

表 4.6-5 单台机组气载流出物年现实排放量（续）

核素	厂房/区域通风			总量 (Bq/a)
	安全壳 (Bq/a)	辅助厂房 (Bq/a)	燃料操作 区域 ⁽¹⁾ (Bq/a)	
Zn-65	6.39E+05	6.05E+05	4.92E+06	6.16E+06
Cr-51	3.92E+06	3.71E+06	1.05E+07	1.81E+07
Mn-54	2.01E+06	1.91E+06	1.56E+07	1.95E+07
Fe-55	1.51E+06	1.43E+06	1.18E+07	1.47E+07
Fe-59	3.78E+05	3.58E+05	1.69E+06	2.43E+06
Co-58	5.79E+06	5.48E+06	4.23E+07	5.36E+07
Co-60	6.67E+05	6.31E+05	5.22E+06	6.52E+06
Sb-124	5.10E+05	4.83E+05	2.14E+06	3.13E+06
Ag-110m	2.22E+05	2.10E+05	1.71E+07	1.75E+07
Br-83	3.06E+05	2.79E+05	7.60E-10	5.85E+05
Br-84	1.55E+05	1.42E+05	4.15E-55	2.97E+05
Br-85	1.84E+04	1.68E+04	0.00E+00	3.52E+04
Rb-88	1.57E+07	4.40E+07	0.00E+00	5.97E+07
Rb-89	7.21E+05	2.02E+06	0.00E+00	2.74E+06
Sr-89	1.00E+04	9.49E+03	5.14E+04	7.09E+04
Sr-90	4.61E+02	4.36E+02	3.61E+03	4.51E+03
Sr-91	1.71E+04	1.62E+04	4.72E-01	3.33E+04
Sr-92	4.11E+03	3.89E+03	3.59E-10	8.00E+03
Y-90	1.11E+02	1.05E+02	1.08E+01	2.27E+02
Y-91m	8.96E+03	8.48E+03	0.00E+00	1.74E+04
Y-91	1.21E+03	1.15E+03	7.25E+03	9.61E+03
Y-92	3.27E+03	3.09E+03	1.52E-07	6.36E+03
Y-93	1.12E+03	1.06E+03	6.04E-02	2.18E+03
Zr-95	1.48E+03	1.40E+03	9.72E+03	1.26E+04
Nb-95	1.48E+03	1.40E+03	5.11E+03	7.99E+03
Mo-99	2.01E+06	1.91E+06	2.07E+05	4.13E+06
Tc-99m	1.86E+06	1.76E+06	4.62E-01	3.62E+06
Ru-103	1.28E+03	1.21E+03	5.02E+03	7.51E+03
Rh-103m	1.27E+03	1.20E+03	0.00E+00	2.47E+03

表 4.6-5 单台机组气载流出物年现实排放量（续）

核素	厂房/区域通风			总量 (Bq/a)
	安全壳 (Bq/a)	辅助厂房 (Bq/a)	燃料操作 区域 ⁽¹⁾ (Bq/a)	
Ru-106	4.29E+02	4.06E+02	5.02E+04	5.10E+04
Rh-106	4.29E+02	4.06E+02	5.02E+04	5.10E+04
Te-127m	7.12E+03	6.74E+03	5.43E+04	6.82E+04
Te-129m	2.45E+04	2.32E+04	8.07E+04	1.28E+05
Te-129	3.80E+04	3.60E+04	0.00E+00	7.40E+04
Te-131m	6.51E+04	6.16E+04	8.60E+02	1.28E+05
Te-131	4.38E+04	4.14E+04	0.00E+00	8.52E+04
Te-132	7.50E+05	7.09E+05	1.08E+05	1.57E+06
Te-134	1.10E+05	1.04E+05	1.62E-41	2.14E+05
Cs-134	5.67E+06	1.51E+07	4.42E+07	6.50E+07
Cs-136	8.70E+06	2.32E+07	9.71E+06	4.16E+07
Cs-137	4.50E+06	1.20E+07	3.52E+07	5.17E+07
Cs-138	3.83E+06	1.02E+07	0.00E+00	1.40E+07
Ba-137m	4.46E+06	4.22E+06	0.00E+00	8.68E+06
Ba-140	9.66E+03	9.14E+03	1.06E+04	2.94E+04
La-140	2.79E+03	2.64E+03	8.93E+01	5.52E+03
Ce-141	1.45E+03	1.38E+03	4.64E+03	7.47E+03
Ce-143	1.40E+03	1.32E+03	2.51E+01	2.75E+03
Pr-143	1.40E+03	1.32E+03	1.65E+03	4.37E+03
Ce-144	1.07E+03	1.01E+03	8.27E+03	1.04E+04
Pr-144	1.08E+03	1.02E+03	0.00E+00	2.10E+03
总量	6.47E+07	1.31E+08	2.01E+08	3.96E+08
气态氙排放量：1.93E+12Bq/a				
气态 C-14 排放量：3.67E+11Bq/a				

注：（1）燃料操作区域在辅助厂房内，但被分开考虑。

表 4.6-6 单机组气载流出物年设计排放量与控制值的比较

核素	GB 6249-2011 中规定的单机组排放量控制值 (Bq/a)	单机组排放量计算值 (Bq/a)
惰性气体	6.00E+14	1.28E+14
碘	2.00E+10	6.78E+09
粒子 (半衰期 \geq 8d)	5.00E+10	1.29E+10
氡	1.50E+13	2.21E+12
C-14	7.00E+11	3.94E+11

表 4.6-7 预期固体废物量（单机组）

废物来源	预期产生量[m ³ /a]	最大产生量[m ³ /a]
湿废物		
一回路树脂（包括废树脂和湿活性炭）	10.2 ⁽²⁾	35.2 ⁽⁴⁾
化学废液	9.91	19.82
冷凝液精处理树脂 ⁽¹⁾	0	5.83 ⁽⁵⁾
蒸汽发生器排污 ⁽¹⁾⁽⁵⁾ 介质（树脂和过滤膜）	0	15.3 ⁽⁵⁾
一回路过滤器（包括中、低放过滤器滤芯）	0.06 ⁽³⁾	0.06 ⁽³⁾
湿废物总量	20.17	76.21
干废物		
可压实干废物	134.5	205.58
不可压实干废物	6.63	13.26
混合固体废物	0.14	0.28
干废物总量	141.27	219.12
干、湿废物总量	160.46	295.33

注:

1. 由一回路向二回路泄漏（如蒸汽发生器传热管泄漏）产生的二回路放射性树脂和过滤膜。
2. 预期活度基于 ANSI 18.1 中的反应堆冷却剂源项。
3. 预期活度是基于上游离子交换器中 10% 的树脂破碎和迁移到滤芯上。
4. 相当于燃料元件包壳破损率 0.25% 时的反应堆冷却剂源项。
5. 估计的体积和活性是保守的。树脂和膜随同电离除盐装置一起去除，不作为湿废物贮存。

4.7 非放射性废物处理系统

4.7.1 化学物质

山东海阳核电项目5、6号机组排放的化学物质主要来自于：

- 除盐水处理系统；
- 凝结水精处理系统；
- 循环水加药系统；
- 化学药剂供给系统；
- 海水淡化系统；
- 随液态流出物释放的化学物质（主要是硼）。

（1）除盐水处理系统

除盐水生产系统中的离子交换树脂在运行一段时间后需要再生。阳离子树脂的再生使用浓度为30%的盐酸，而阴离子树脂的再生则使用浓度为30%NaOH。此外再生废水中和处理也需要投入一定的酸碱。排放的酸碱性废水在中和池就地中和处理至pH为6~9后，由虹吸井经循环水稀释后入海（在进入虹吸井之前，设有在线pH表、浊度表和流量表），导致循环水排水含盐量增加小于0.5mg/L。

（2）凝结水精处理系统

凝结水精处理系统用于为核电厂二回路系统提供高纯度的水。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。凝聚水处理系统的树脂再生装置和使用的酸碱与除盐水生产系统相同。排放废水为酸碱性废水，收集在精处理中和池中和处理至pH为6~9后，排至非放射性废水处理系统（WWS），然后排入虹吸井，随循环水排入大海。

（3）循环水加药系统

循环水加药系统采用了电解海水加氯系统，使用浓度为30%的盐酸，电解海水加氯系统是通过整流变压器和整流器，将10KV交流电变压整流为低压0~135伏直流电，施加到海水电解槽的阴、阳极上。使海水发生电解产生活性有效氯，投加到机组冷却海水中。排放废水为酸碱性废水，收集在精处理中和池中和处理至pH为6~9后，排至非放射性废水处理系统（WWS），然后排入虹吸井，随循环水排入大海。

5、6号机组考虑加入型号Mixel 432 新型防生物滋生的表面活性剂，Mixel 432的设计以环境保护为准则，产品主要成份均为有机物，不论是排放到河流、

湖泊或海洋，都能快速且完全的生物分解，不会产生任何可检出的毒性中间产物。

(4) 化学药剂供给系统

化学药剂供给系统，将所需的化学药品注入凝结水、给水、闭式水系统，维持系统合适的水化学工况，保证这些系统免于腐蚀和结垢。注入的化学药品为30%氨水和40%联氨，排放废水为含 NH_3 或 N_2H_4 的废水。该废水收集在精处理中和池中和处理至pH为6~9后，排至非放射性废水处理系统(WWS)，然后排入虹吸井，随循环水排入大海。

凝结水精处理系统、循环水加药系统和化学药剂供给系统处理后排放的酸碱废水导致循环水排水含盐量增加小于 1.8mg/l ，氨氮增加小于 0.08mg/l (以N计)，湿保养期间，氨氮含量可能达到 2mg/l (以N计)。

(5) 海水淡化

海阳核电厂当前的膜法海水淡化系统的服务范围不包括5、6号机组，5、6号机组所用海水淡化考虑采用低温多效蒸馏法(MED)工艺。

海水淡化工艺流程为：水工来原海水→絮凝沉淀池→清水池→MED装置→淡水箱→水泵→各用户。

系统设置3台 $900\text{m}^3/\text{h}$ 絮凝沉淀池，2台 1000m^3 清水池，2套 7500t/d MED装置，2台 1500m^3 淡水箱。2台MED装置的最大出力 688t/h 。

海水淡化系统预处理产生的含泥废水输送至1~4号机组海水淡化系统污泥脱水系统集中处理。MED装置浓水不含酸、碱，通过废水收集池收集后，由废水输送泵提升后排至虹吸井混合后排放。

浓盐水含盐量约为 39873mg/L ，正常工况下排放量为 $2109\sim 2803\text{m}^3/\text{h}$ ，最大工况下排放量为 $2928\sim 3891\text{m}^3/\text{h}$ ，夏季温升 8.1°C ，冬季温升 10.8°C 。

(6) 硼酸的排放

本项目没有硼回收系统。由于调硼动作造成的化学和容积控制系统下泄流以及泄漏出的反应堆冷却剂中的硼进入放射性液体废物处理系统(WLS)，并最终随液态流出物一起与循环水排水掺混后排放。预计本项目单台机组每年排放的硼质量约为2吨。

4.7.2 生活废物

核电厂产生的生活废物主要包括生活垃圾和生活污水。

在核电厂非控制区及厂外附属、辅助区产生的生活垃圾应按规定收集暂存并

由环卫部门转运。

核电厂产生的生活污水由厂区内生活污水处理设施处理。保守估计全厂生活污水产生量不超过 570 m³/d。核电厂共设有 4 个污水处理设备，其中一处设在仓库区设置埋地式污水处理设备，实际日处理量为 400m³/d，收集开关站及部分厂前区 BOP 污水、现场办公楼的污水及规划二、三期主厂区污水；一处在厂前区东面，办公楼、二座监理楼、餐厅及承包商办公楼及力能区所排放的生活污水由 ED1（处理水量 160m³/d）污水处理站处理；一处在厂前区西面设置埋地式污水处理设备,收集并处理新建办公楼及一个施工区公厕的污水，实际日处理量为 200m³/d；还有一处设于一期厂房西侧 11 号排出口附近（处理水量 150 m³/d），收集并处理一期主厂区内污水。以上四处生活污水处理设施均已建成投运。

4.7.3 其他废物

本工程运行期间产生的危险废物主要来自实验室、维修更换、库存过期等来源。

实验室：环境监测实验室、BOP 实验室以及化学实验室中产生的实验废液和废试剂。

维修更换：核电站将定期对场内设施、设备等进行维护、整修，过程中产生少量检维修废料，具体包括废润滑油、废冷冻机油、废变压油、废液压油、废铅酸蓄电池、废油漆桶及油漆沾染物、废离子交换树脂、废电路板、废防冻液等。

库存过期：主要为废粘合剂密封剂、废有机溶剂等过期报废化学品。

以上危险废物分类收集、存放，部分易燃、易爆废液存放在化学品库的废液暂存柜内，其他危废存放在危废暂存库内。该暂存库已按照 GB18597-2001 及修改单中的相关规定建成并投入使用。

表 4.7-1 主要化学物质的产生及排放情况

系统	主要化学物质	年平均使用量	年最大使用量	排放形式	处理方式	排放方式	排放浓度	排放去向	最终排放浓度	达标情况
除盐水处理系统	30% 盐酸	84t	84t	酸碱性废水	在中和池就地中和处理 pH6~9	泵排放、 间断	主要为化学物质为 NaCl 总含盐量小于 30000 mg/l	2 号或 1 号虹吸井 经循环水稀释后 入海	导致循环水排水含盐量增加 小于 0.5mg/l	总排放口满足《流域水 污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》 (DB37/3416.5-2018) 要求
	30% 氢氧化钠	108t	108t							
凝结水精处理系统	30% 盐酸	0~5136t	5136t	酸碱性废水	均收集在精处理中和池中和处理 pH6~9， 中和处理后排至 WWS	泵排放、 间断	主要为化学物质为 NaCl, NH ₄ Cl(小于 5000mg/l) 总含盐量小于 20000 mg/l	排至非放射性废水处理系统 (WWS)，然后排入虹吸井，随循环水排入大海	导致循环水排水含盐量增加 小于 1.8mg/l， 氨氮增加小于 0.08 mg/l(以 N 计)， 湿保养期间，氨氮含量 可能达到 2mg/l(以 N 计)	总排放口满足《流域水 污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》 (DB37/3416.5-2018) 要求
	30% 氢氧化钠	0~840t	840t							
循环水加药系统	30% 盐酸	15t	15t	酸性废水						
化学药剂供给系统	30% 氨水	1920 t	1920 t	含 NH ₃ 或 N ₂ H ₄ 废水						
	40% 联氨	153.6 t	153.6 t							
循环水加药系统	1.6g/L 次氯酸钠	/	次氯酸钠溶液： 约 3×10 ⁶ m ³	加入循环水系统， 随海水排放	在循环水中反应， 杀菌灭藻后，余氯 小于 0.5mg/l。	连续	排放口余氯小于 0.5mg/l	随循环水排入大海	排放口余氯小于 0.5mg/l	总排放口满足《流域水 污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》 (DB37/3416.5-2018) 要求

海水淡化系统	10%凝聚剂（聚合铝）	720t	720t	随浓盐水排放	不处理	泵排放、连续	浓盐水含盐量、悬浮物均约为原海水的1.67倍增加的Fe(OH) ₃ 约为3mg/l,助凝剂(PAM)约为3mg/l	排入二期工程已有浓水池,浓水池中水排至循环水排放口混合后排放	浓盐水导致循环水排水悬浮物增加约0.3mg/l,有机氮增加小于0.002 mg/l(以N计)	满足《流域水污染物综合排放标准第5部分:半岛流域》(DB37/3416.5-2018)要求
	10%凝聚剂（聚合铁）	720t	720t							
	助凝剂(PAM)	31.2t	31.2t							

说明:

1. 表中所列为2台机组用量,年排放量均按系统年运行7000h计。
2. 凝结水精处理系统的酸碱用量与机组运行时二回路水质相关,当水质合格时,精处理系统不运行,无酸碱用量。

4.8 放射性物品厂内转运

4.8.1 新燃料运输

本工程的首炉和换料组件将由国核铀业发展有限责任公司供货。国核铀业委托中核包头核燃料元件股份有限公司开展燃料组件制造活动，该燃料厂具备每年约 740 组燃料组件的制造能力，能够满足本工程需求。

4.8.1.1 新燃料运输容器

新燃料组件在运输过程中应放在专用的运输容器内，使新燃料组件在运输过程中得到充分的保护而避免受到损伤。

新燃料运输容器能够满足核材料国际运输管理导则的要求，并应满足《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令第 562 号）、《放射性物品运输安全许可管理办法》（原国家环保部令第 11 号令）和《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的规定。在正常运输工况和事故工况下（如火烧、跌落、水淹等），新燃料运输容器能够保证运输容器内燃料组件的结构完整性。新燃料运输容器能够保证在最佳慢化条件下， $k_{\text{eff}} < 0.95$ 。

新燃料组件和相关组件存放在专用的新燃料组件运输容器内运输。新燃料运输容器用于保护新燃料组件，避免新燃料组件在正常运输或操作过程中受到振动和冲击而造成损坏；保证正常运输条件下对新燃料组件的屏蔽能力；保持新燃料组件在正常运输条件下的次临界状态。同时容器还需保持新燃料组件在运输事故条件下的次临界状态。新燃料运输容器基本结构为不锈钢上下外壳加铝合金内壳，附件包括减震器，聚氨酯泡沫填充等。新燃料运输容器可提供新燃料组件垂直装卸等功能，使新燃料组件在整个运输过程中便于实行由公路、铁路和海路分段运输之间的中转、转换等操作。

4.8.1.2 新燃料的场外运输

燃料组件和相关组件可以通过全程公路运输的形式运至本核电厂现场。

全程公路运输方案采用公路用专用卡车运输，全程长约 1400km。

目前，海阳核电 1、2 号机组工程已具备全程公路运输经验。公路运输前需要预先与高速公路管理部门就有关限速等问题进行协调。

4.8.1.3 新燃料的厂内运输

新燃料组件装在专用的新燃料运输容器内由专用运输车辆运至核岛辅助厂房，根据程序进行检查确认、开箱等操作，最终将新燃料组件吊运并贮存在新燃

料贮存格架中。

新燃料贮存格架的贮存容量或能力应能保证满足堆芯一次平衡换料所需的新燃料组件的数量。经检查合格的新燃料组件一次一个地被吊到新燃料贮存格架内，然后采用干法贮存。反应堆换料之前，用燃料抓取机（借助于新燃料组件操作工具）将新燃料组件从新燃料贮存格架内吊至新燃料升降机，然后由新燃料升降机将新燃料组件转运至乏燃料水池底部，再用燃料抓取机（借助于乏燃料组件操作工具）将新燃料组件吊入乏燃料贮存格架内暂存，换料时通过辅助厂房的燃料运输设备将新燃料组件传送到反应堆厂房。

新燃料的接收操作在核岛辅助厂房的新燃料接收和检查区进行。

现场接收新燃料运输容器后，首先进行外部检查，并确认商标、标记以及安全铅封均完好。当容器打开后，检查安装在其内部的震动监视器，确认运输过程中的震动没有超过设计限值。

从运输容器中取出燃料组件时，借助于新燃料开箱操作台，检查其塑料包装，确认没有受损。然后，去掉包装材料，对整个新燃料组件进行目测检查。

根据设计的详细步骤，用燃料抓取机将新燃料组件逐一转运至新燃料贮存格架中或转运到新燃料升降机里，经升降机下降到乏燃料水池中，然后转运并存放在乏燃料贮存格架中，或转运至燃料运输设备的燃料篮内。

重复上述贮存操作过程，直至所有新燃料组件全部放入贮存格架内。

对于首炉新燃料的贮存，在新燃料到厂后，超过新燃料贮存格架的贮存容量的部分，可采用暂时贮存在乏燃料贮存格架内的方法。

4.8.2 乏燃料的贮存及运输

4.8.2.1 乏燃料的厂内运输

乏燃料的厂内运输包括乏燃料组件装入乏燃料运输容器至厂外运输前的全过程。相关的操作工具和设备包括乏燃料运输容器吊车、燃料抓取机、乏燃料组件操作工具、容器专用运输卡车等。乏燃料组件装入专用的乏燃料运输容器中外运，对容器进行装载的操作以及容器的清洗、检查等操作分别在装料池和清洗池内进行。装料池和清洗池为毗邻的两个水池，均位于辅助厂房内乏燃料水池旁。

乏燃料组件通常贮存在乏燃料水池中，直到裂变产物的活性降低到允许外运的程度。然后，将乏燃料组件装入到乏燃料运输容器中进行外运。

乏燃料组件在装入乏燃料运输容器的过程中，以及之前在水池内贮存和转移

的过程中，其顶部均保持有足够的屏蔽水层。在装入乏燃料运输容器后，通过特殊设计的容器实现乏燃料组件的辐射屏蔽。因此，乏燃料组件厂内运输过程中的辐射影响是严格控制的，满足合理、可行、尽量低的原则。

乏燃料运输容器装料操作的典型步骤如下：

- 1) 装料池已经充满了水，且装料池和乏燃料水池之间的水闸门已经打开。
- 2) 将乏燃料运输容器运到清洗池，用去离子水洗净。卸掉容器外盖，给容器充水排气。
- 3) 将乏燃料运输容器吊运至充满水的装料池中，先在中转平台换钩再下放到装料池底部，卸掉容器内盖。
- 4) 连接乏燃料组件操作工具的燃料抓取机定位在待外运的乏燃料组件上方。
- 5) 提起燃料组件，经水闸门转运至装料池，将其装进已经就位的乏燃料运输容器内。在燃料组件转运的过程中，需保持燃料组件活性区顶部有足够的屏蔽水层。
- 6) 重复上述两步步骤直至装满乏燃料运输容器，将运输容器顶盖重新安装到运输容器上。
- 7) 将乏燃料运输容器转移到清洗池，进行内盖密封，充气排水、干燥、充氦气和外表面冲洗等处理措施，安装外盖并确认容器表面剂量率满足限值后，才能将容器提升出清洗池。

4.8.2.2 乏燃料的厂外运输

乏燃料组件厂外运输必须遵守《中华人民共和国核材料管制条例》(HAF501)、《放射性物品运输安全管理条例》(中华人民共和国国务院令 第 562 号)、《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019)、《放射性物质安全运输货包的泄漏检验》(GB/T17230-1998)、《乏燃料运输容器技术条件》(EJ/T565-1991)、《核级容器制造质量保证》(EJ/T619-1991)、《放射性物质安全运输条例》(IAEA No.TS-R-1)等相关条例、标准的要求。

乏燃料组件必须在乏燃料贮存水池内贮存足够的时间，使乏燃料组件的衰变热降到可以不必再用池水进行冷却，组件中的中短寿命放射性核素的放射强度大大衰减而便于外运。

乏燃料组件具有很强的放射性，如果组件中有破损的燃料棒，还会向外释放气体等放射性物质，所以核电厂乏燃料运往后处理厂的过程需要由专用的密封屏

蔽运输容器、专用的铁路或公路车辆及配套的辅助操作工具完成。且应综合考虑采用合适的陆路运输方案或铁路+公路联运方案，运至国家规定的专用乏燃料后处理基地。

《关于颁发 NAC-STC 型乏燃料运输容器设计批准书的通知》（国核安发[2003]88 号）中指出“美国 NAC International 公司设计、西班牙 ENSA 公司制造的 NAC-STC 型乏燃料运输容器为运输我国核电站乏燃料组件的专用运输容器，满足我国核安全法规和标准中有关 B（U）型货包设计的基本要求”。中核清原环境技术工程公司采用该运输容器已经承担过大亚湾的乏燃料的运送，路线从深圳到地处西北地区甘肃 404 厂，全部采用公路运输。本核电厂可参照大亚湾的模式进行乏燃料的运输。

至于今后的具体运输方法，不管采用铁路+公路的方式、还是采用铁路+海运的方式或全部公路的方式，鉴于中核清原环境技术工程公司已有类似经验，可有所参考。

乏燃料运输容器基本结构为不锈钢外壳加铅屏蔽，附件还包括减震器、运输托架和人员屏障，适用于陆路或水路运输。

本工程若每年均需外运乏燃料组件，2 个反应堆每个燃料循环周期（18 个月）最多需运出约 128 组无损的乏燃料组件。如采用单个装载 21 组乏燃料组件的运输容器，7 容器·次即可满足运出 128 组乏燃料组件的需求。此运输方案，完全可以满足乏燃料组件安全外运的要求。

4.8.3 放射性固体废物的转运

4.8.3.1 放射性固体废物的场内转运

海阳核电厂根据不同的放射性废物类型采取不同的运输方式，废水过滤器芯、废树脂等放射性水平较高的工艺废物在核岛侧装入高整体性容器（HIC）后由屏蔽转运容器（CASK）转运至 SRTF 厂房 HIC 暂存库进行暂存。

技术废物、HVAC 过滤器等放射性水平较低的固体废物、废油等在核岛放射性废物厂房打包后装入货柜式废物运输车，转运至 SRTF 厂房进行处理和暂存。运输前各类废物选择有效的防污染扩散和必要的屏蔽容器或包装，如干技术废物、HVAC 过滤器由塑料袋包装，湿技术废物、废油运输前装入 200L 钢桶，不可压缩废物装入 320L 钢桶，剂量率水平超过 2mSv 的废物要装入屏蔽容器后进行转运。

根据放射性废物的产生、处理、暂存情况，定期在核岛和 SRTF 之间进行废物转运，大修期间会适当增加转运频次。

4.8.3.2 放射性固体废物的厂外运输

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日）的要求：

- 国务院核设施主管部门会同国务院环境保护行政主管部门根据地质条件和放射性固体废物处置的需要，在环境影响评价的基础上编制放射性固体废物处置场所选址规划，报国务院批准后实施；
- 产生放射性固体废物的单位，应当按照国务院环境保护行政主管部门的规定，对其产生的放射性固体废物进行处理后，送交放射性固体废物处置单位处置，并承担处置费用。

本项目产生的放射性低、中放固体废物经处理、整备后，首先在 SRTF 废物暂存库内暂存，最终根据我国低、中放废物近地表处置场规划，转运至相应国家区域处置场设施进行集中处置。

低、中放固体废物的厂外运输和永久处置应保证运输人员和公众接受的照射控制在可合理做到的尽可能低的水平，厂外运输可通过铁路、公路、船舶等方式，并符合《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令 第 562 号）、《放射性物品运输安全许可管理办法》（原国家环保部第 11 号令）和《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）等规定。

第五章 电厂施工建设过程对环境的影响

5.1 土地利用

原国土资源部出具的《关于山东海阳核电厂项目建设用地预审意见的复函》（国土资预审字[2005]476号）明确山东海阳核电厂用地已列入当地土地利用总体规划，同意通过用地预审。山东海阳核电厂用地采用一次全部征用的方案，《关于山东海阳核电一期工程项目（申请报告）的核准评估报告》（资能源[2009]700号）中明确了规划建设6台百万千瓦级核电机组所征用的厂区用地面积。

山东海阳核电厂1、2号机组建设期间，建设单位基本完成1~6号机组场地平整工作，本工程建设工程量和建设期间产生的土石方量将大大减少。

山东海阳核电厂1、2号机组已竣工投运，3、4号机组已开工建设，本工程部分子项完成情况或初步施工进度见表5.1-1。

5.1.1 工程用地概况

山东海阳核电厂规划6台百万千瓦级压水堆核电机组及其相应的配套辅助设施，6台机组分三期建设，一期工程和3、4号机组工程装机容量为4台百万千瓦级压水堆核电机组，5、6号机组工程装机容量为2台百万千瓦级压水堆核电机组及其相应的配套辅助设施，机组选型按CAP1000机组考虑。

5.1.1.1 用地概况

山东核电有限公司依据国家有关土地征用的法规、制度和程序，一次性办理了整个厂区的土地征用手续，土地证编号为海国用（2012）第321号。本项目用地均位于海阳核电厂已征用的土地范围内，没有新增建设用地，没有新增搬迁人口。

5.1.1.2 土石方平衡

本工程5、6号机组相关建构筑物开挖土石方量见表5.1-2。

5、6号机组工程总计土石方开挖实方量约为149.19万立方米，松散后的土石方量约为170.07万立方米。回填工程量约为55.06万立方米。最终余方量约为115.01万立方米。

工程开挖多余的土石方、干化后的淤泥等余方、拆迁建筑废料等考虑外运综合利用，建设单位已与东方航天港（山东）发展集团有限公司签订弃土消纳意向书，弃土在厂内暂存后外运综合利用。本工程不设置弃渣场。

5.1.1.3 施工场地规划

5、6号机组工程施工场地布置于主厂房区东侧区域，主要包括核岛土建场地、常规岛土建场地、核岛安装场地、常规岛安装场地、BOP施工场地及部分临时堆场。另外在6号机组场地北侧为已建的混凝土预制区、砂石料堆场及搅拌站和现场临时办公区。在施工过程中产生的建筑垃圾考虑堆放在厂区的东北角，通过堤顶道路运往厂外，以减少对主厂房区的影响。在5、6号机组主厂房区的南侧布置了重件道路。全厂共用的模块拼装场地、安全壳模块拼装场地及其堆场布置在5、6号机组主厂房区西南侧。

5.1.2 施工活动对环境的影响

5.1.2.1 大气环境的影响

本工程建设将永久占用土地，本工程所在区域的场地开挖和填充以及建构筑物建设将改变本工程所在区域的局部地形和下垫面粗糙度，但与当地的地形相比，还不足以影响本工程所在厂址边界以外的大气环境。

本工程土石方工程施工过程中，由于爆破、开挖、填充、临时道路的修建、渣土的堆放以及车辆运输会造成施工区域尘土飞扬，大气中粉尘含量增高。必须采取必要的防护措施，以减少粉尘的影响。施工过后，当地的大气环境质量将很快得以恢复。因此，施工过程中产生的粉尘对大气环境的影响是局部的和暂时的。

由于山东海阳核电厂3、4号机组尚未形成施工期监测数据，因此以1、2号机组施工期监测结果作为参考。

山东海阳核电厂1、2号机组工程建设期间开展的施工期监测结果表明，厂区无组织废气排放中SO₂、NO_x、TSP、PM₁₀等指标均符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996，2000年修订）中无组织排放监控浓度限值的要求，环境敏感点个别时段的PM₁₀和TSP日均值不符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012，2018年修订）的限值，PM₁₀和TSP的超标主要因天气形势影响产生了大范围的污染，与核电厂施工的影响关联不显著。2017年山东海阳核电厂1、2号机组工程土建工作基本完成，期间山东海阳核电厂无组织排放废气厂界监控点SO₂、NO_x、TSP等指标均符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值的要求，环境敏感点个别时段的SO₂、NO_x、TSP、

PM₁₀和PM_{2.5}等指标均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012，2018年修订）二级标准浓度限值要求。

山东海阳核电厂1、2号机组工程建设期间基本完成厂址1~6号机组的场地平整以及部分公用建构筑物的建设工作，本工程的建设工程量较1、2号机组而言有较大减少，因此施工期大气环境影响程度与1、2号机组工程建设期间相比也有所减轻。此外，在建设单位对1、2号机组工程施工管理经验总结以及3、4号机组工程施工期各项环保措施的经验反馈和实践改进的基础上，本工程施工期将落实各项环保措施，预计厂区无组织废气排放符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）无组织排放监控浓度限值要求，环境敏感点的颗粒物、SO₂、NO_x浓度符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012，2018年修订）二级标准浓度限值要求。

5.1.2.2 水环境的影响

本项目施工期生产废水和生活污水均妥善处理，因此建设期间对水环境（地表水和黄海）的污染主要来自于施工期间暗涵排水沟道建设工程产生的悬浮泥沙、土石方和建筑材料的流失。

本项目施工期间，由于外界条件（如大风、降水等）的作用，容易造成开挖的土石方和堆放的建筑材料随风或水扩散，其中部分将落入附近的水体，会对当地水环境造成一定的影响，因此必须采取合理有效的预防措施，如加强对材料管理、设置围挡等，将上述影响降到最低程度。随着施工的结束，水环境质量将得到恢复。

本工程暗涵排水沟道建设工程施工期间将造成局部海域海水含沙量和浊度的增加。建设单位将采取相关管理及防护措施，将上述影响降到最低程度。随着施工的结束，水环境质量将得到恢复。

5.1.2.3 噪声的影响

本工程土石方工程施工期间，开挖爆破以及各类施工和运输机具所产生的噪声对厂址周围的声环境将产生较大的影响。但由于爆破施工是阶段性的，集中在施工初期，其影响时间短，因此影响范围有限。此外，本工程施工期主要噪声源包括来自不同施工阶段所使用的施工机械的非连续作业噪声，施工阶段所使用的打桩机、空压机、大型施工运输设备行驶时均会产生不同程度的噪声影响，且集

中于昼间时段。

2011 年四季度至 2013 年三季度开展的 1、2 号机组施工期噪声监测结果表明，山东海阳核电厂施工期厂界噪声符合《建筑施工场界噪声限值》（GB12523-1990）（2012 年 7 月前）以及《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）（2012 年 7 月后）建筑施工场界排放标准限值要求。环境敏感点昼间噪声来源主要为厂区施工车辆，除 2013 年三季度附近村庄昼间噪声超标外均符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）2 类环境功能区标准限值要求，村庄昼间噪声超标主要由交通噪声和社会生活噪声导致。

本项目施工建设时，厂区内 1、2 号机组已投运，根据《山东海阳核电厂 2021 年环境质量监测报告》中的监测结果（参见第三章），1、2 号机组运行时厂界噪声均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）中 2 类标准要求，昼间厂界噪声最大值为 50.2 dB(A)，夜间厂界噪声最大值为 44.6 dB(A)，可见机组运行时所产生的噪声量较小。

此外本项目施工建设时，厂区内 3、4 号机组预计将完成大部分土建工作，进入安装调试阶段或已投产，产生的噪声与 1、2 号机组运行水平相当，噪声影响较小。

由于本工程建设工程量少于 1、2 号机组工程建设量，预计施工期间噪声值不会高于 1、2 号机组施工期间噪声值，即使考虑 1~4 号机组运行产生的噪声，场界噪声的增加值预计不会超过 10dB（A）。

因此，通过总结 1、2 号机组和 3、4 号机组的施工管理经验以及优化施工方式，可以控制本工程施工的噪声影响，场界噪声符合《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）建筑施工场界排放标准限值要求（昼间 70dB（A），夜间 55dB（A））。由于环境敏感点主要噪声来源为厂区施工车辆，本工程建设工程量少于 1、2 号机组工程建设量，预计施工车辆运输强度不会多于 1、2 号机组施工车辆运输强度，因此预计环境敏感点符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）2 类环境功能区标准限值要求，不会出现扰民现象。

5.1.2.4 固体废物的影响

本工程施工阶段产生的工业固体废物主要为建筑类固体废物，主要分为弃土、废渣、废钢材、废木材、废塑料、废纸等 6 类。

1) 弃土：根据弃土消纳意向书，弃土在场内暂存后，由东方航天港（山东）发展集团有限公司外运并综合利用。

2) 废渣：由施工单位在其施工临建区内设立存放区、集中堆放，定期清理出厂区，运至当地固体废物贮存填埋场所进行处理。

3) 废钢材、废木材、废塑料、废纸等：具有一定的回收利用价值，由施工单位在其施工临建区内设立存放区、集中堆放，由废品回收单位进行回收处理。

4) 建筑垃圾：由施工单位自行运至当地固体废物贮存填埋场所进行处理，现场不设立集中的垃圾中转场地。

本项目施工阶段产生的危险废物包括废油（包括含油废水污水处理设施产生的浮油浮渣，HW08）、废油漆（HW12）、废显定影液（HW16）等，各类废物由施工方按危废管理要求收集暂存并委托有危险废物处理资质的专业单位处理。

本工程施工期间，施工现场生活垃圾主要为工程施工现场以及现有办公场所、食堂等场所产生的生活垃圾。上述区域分别设置垃圾箱，分类收集生活垃圾，及时清理，并就近运至生活垃圾处理场进行无害化处置。

5.1.2.5 生态环境的影响

山东海阳核电厂 1、2 号机组施工建设阶段已基本完成核电厂 1~6 号机组的场地平整工作，厂址地表原有植被已被剥离，均为人造地表。因此本项目用范围内无特殊生态环境，本工程施工完成后，建设单位将对本工程所在区域实施绿化，项目施工对当地生态环境的影响是可以接受的。

5.1.2.6 水土流失

本工程施工建设过程将产生水土流失。本工程所在区域将有开挖和填筑裸露面产生，裸露面表层结构疏松，植被覆盖度较低，使区域内土壤抗侵蚀能力下降；同时，大量土石方的搬运和堆置，也将造成本工程施工区域及邻近受影响区域的局部水土流失加剧。本工程施工结束后，因施工引起水土流失的各项因素逐渐消失，地表扰动也基本停止，本工程施工区域及邻近受影响区域的水土流失将明显减少。

本工程水土流失的重点时段为工程施工期，同时植被恢复期也会有一定程度的水土流失。相关内容参见 5.3.6 节。山东海阳核电厂 1、2 号机组工程建设期间基本完成厂址 1~6 号机组的场地平整以及部分公用建构物的建设工作，本工程

的建设工程量较 1、2 号机组而言有较大减少，因此施工期水土流失影响程度小于 1、2 号机组工程建设期间，预计与 3、4 号机组工程建设期间相当。

5.1.2.7 社会环境的影响

本工程的建设将永久占用土地。厂址非居住区边界范围内无常住居民，原厂址附近的董家庄和冷家庄现都已搬迁，分别搬迁到厂址5km外，本工程的建设对厂址周边区域的村民生活基本没有影响。

本工程建设期间需要大量的工程施工人员，大量外来施工人员将进驻施工现场，并在该地区居住和生活，这将增加该地区的消费能力，增加当地居民的就业机会，一定程度上将促进该地区经济的发展。与此同时对当地居民的物价指数可能会带来一定影响。

表 5.1-1 本工程部分子项完成情况或施工进度

子项	完成时间
水处理厂	已完成
废水处理厂房	按照项目进度进行
重件道路	按照项目进度进行
吊装场地	按照项目进度进行
CV、CA 模块拼装场	已完成
厂内道路	已完成

表 5.1-2 本工程 5、6 号机组土方工程量一览表（单位：万 m³）

序号	项目	数量（实方）	松散后	备注
1	排水海工工程基槽余土量 盾构开挖石方	21.9	25.19	松散系数 1.15
2	常规岛及其 BOP 区域子项的基槽余土量（包含 GIL 廊道、循环水管线、电缆沟等）	111.30	126.65	石方松散系数 1.15，土方松散系数 1.05
3	核岛负挖量（石方）	10.6	12.19	松散系数 1.15
4	综合管廊负挖量（石方）	3.79	4.36	松散系数 1.15
5	其它主要建、构筑物负挖量（土方）	1.6	1.68	松散系数 1.05
6	挖方工程量汇总	149.19	170.07	
7	回填工程量	-55.06		
8	土方量汇总（外抛淤泥量未计入）	115.01		

5.2 水的利用

5.2.1 水的相关工程

5.2.1.1 海水淡化工程

本工程 5、6 号机组施工期淡水用水由厂内已建成的海水淡化设施提供。

5.2.1.2 其它工程

山东海阳核电厂的生活污水处理站、取排水工程、重件码头、围填海工程在山东海阳核电厂 1、2 号机组开工时一次建成并已投产，现有排水明渠的优化改造于 3、4 号机组施工期开展。

5、6 号机组主要考虑采用暗涵排水方式。本工程计划新建供 5、6 号机组使用的暗涵排水沟道，5、6 号机组工程循环水排水采用南向排水暗涵方案，经过总平布置优化后，排水沟道自厂址东南侧海域入海，排水沟道出厂区防波堤后向南引至-9.5m 等深线处排放。

5.2.2 施工活动对水环境的影响评价

5.2.2.1 海水淡化对环境的影响

本工程 5、6 号机组施工期淡水用水由海水淡化厂提供，不会对当地的区域水资源和其他用户产生影响。海水淡化产生的浓盐水与已运行机组冷却水一同排放，不会对周围环境产生影响。

5.2.2.2 施工活动对水质环境的影响

本工程建设期间对环境的水污染主要来自于施工期间暗涵排水沟道建设工程产生的悬浮泥沙、土石方和建筑材料流失，生产废水和施工人员生活污水处置后回用。

1) 本工程排水工程施工活动与土石方和建筑材料流失对水质的影响

本工程产生的主要污染物为暗涵排水沟道建设工程产生的悬浮泥沙和油污水、土石方和建筑材料流失，会对山东海阳核电厂周边海域形成局部面源污染。

本工程施工活动对于入海悬浮泥沙对水质的影响采用数值模拟分析，利用水动力模型结合水质预测模型对 5、6 号机组暗涵排水沟道建设工程进行数值模拟，结果如下：

5、6 号机组排水工程产生的悬浮泥沙主要由爆破和基槽开挖产生，爆破产生的悬浮泥沙源强为 173t/次，基槽开挖产生的悬浮泥沙源强为 5kg/s。施工产生悬浮泥沙最大影响范围参见表 5.2-1，其中施工期间搅动产生的悬浮泥沙超二类水质

标准面积最大为16.01km²，超三类水质标准面积最大为3.15km²，超四类水质标准面积最大为1.41km²。搅动产生10mg/L浓度悬浮泥沙最大可能扩散距离约为2.8km。本工程施工期所产生悬浮泥沙对海洋环境的影响主要位于工程区2.8km范围内，对其它海域的影响较小，且超二类水质的区域不涉及养殖。随着施工结束，悬浮泥沙污染会很快消失。因此本工程暗涵排水沟道建设工程对水质的影响是可以接受的。

本工程施工活动对水质其他指标的影响以山东海阳核电厂1、2号机组工程施工期对海洋环境的影响为类比对象。

参考2006年开展的山东海阳核电厂海洋环境质量现状调查、2010年度开展的山东海阳核电厂1、2号机组施工期海洋环境影响跟踪监测以及2016年度开展的山东海阳核电项目3、4号机组工程厂址邻近海域水生生态调查的调查结果，上述调查内容包括特征污染物、水质、沉积物、海洋生物等，符合《近岸海域环境监测规范》（HJ 442-2008）调查要求。山东海阳核电厂1、2号机组施工前后的海洋水质对比如表5.2-2所示。

由表5.2-2可见，施工期前后，各站位表层和底层COD均符合站位所在近岸海域环境功能区对应《海水水质标准》（GB3097-1997）二、三类海水水质标准限值；施工期厂址近岸和离岸点位悬浮物含量基本相当；除1号站位的石油类超过《海水水质标准》（GB3097-1997）二类海水水质标准限值要求（50μg/L）外，其余站位符合《海水水质标准》（GB3097-1997）二类海水水质标准限值要求，1号站位超标原因可能是受途经轮船等影响而发生的偶发现象，且1号站位远离厂址区域，因此非厂址建造活动直接导致。

参考山东海阳核电厂1、2号机组施工期间监测结果，施工期间暗涵排水沟道建设工程产生的悬浮泥沙、土石方和建筑材料流失等面源污染产生的海洋环境影响较小，是可以接受的。

2) 施工生活污水及生产废水的处理

本工程施工期间的生活污水主要来自于山东海阳核电厂工作人员和本工程施工人员的生活用水。施工期间的生活污水含有一定量的无机盐类氯化物、硫酸盐和钠、钾、钙、镁等的重碳酸盐；有机物质有纤维素、淀粉、糖类、脂肪、蛋白质和尿素等；此外，还含有各种微量金属和各种洗涤剂、多种微生物。

山东海阳核电厂已建成4座埋地式污水处理站，污水处理能力分别是400t/d、

200t/d、160t/d、150t/d，均已投入运行。山东海阳核电厂厂区部分污水管网已完成建设并投用。本工程施工期间，污水管网覆盖区域内产生的生活污水直接排入污水管网，经污水处理站处理后可达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）中绿化的要求，进行绿化回用；污水管网覆盖区域外产生的生活污水由施工承包商用车辆运输至厂外处理。

本工程施工期间的生产废水来自场地冲洗水、混凝土拌合水、砂石料及设备洗涤用水。施工废水产生量较小，含有一定量的油污和泥沙，采用临时施工废水沉淀池以去除施工废水的固体污染物，上清液回用。含油废水主要来自调试阶段管道冲洗，依托厂区内已建含油废水处理设施处理。

5.2.2.3 对海洋生态环境的影响

本工程施工期间暗涵排水沟道建设工程产生的悬浮泥沙可能会对海洋生态环境产生一定影响。本工程暗涵排水沟道建设工程施工活动对厂址附近海域生态影响采用类比分析，以山东海阳核电厂 1、2 号机组工程施工期对海洋生态环境的影响为类比对象。

参考 2006 年 9 月 7~8 日开展的山东海阳核电厂海洋环境质量现状调查、2010 年 6 月开展的山东海阳核电厂 1、2 号机组施工期海洋环境影响跟踪监测以及 2016 年度开展的山东海阳核电项目 3、4 号机组工程厂址邻近海域水生生态调查的调查结果。上述调查结果对比发现，厂址附近海域生物类群总体无明显异常，符合中纬度近岸海域海洋生物的一般规律。

山东海阳核电厂 1、2 号机组施工前后海洋生物的变化差异见表 5.2-3。由表 5.2-3 可见，施工前后调查海域浮游动物、底栖动物和潮间带生物的优势种、生物量和丰度有一定的变化，这可能与各次观测的点位与时间差异有关（同一次采样的不同样点间生物组成、生物量的差异就比较大）。总体而言，山东海阳核电厂施工对厂址周边海域影响程度较小，不会对厂址附近海域的海洋生态环境产生明显影响。

本工程海工工程量小于 1、2 号机组，在施工时将充分吸取山东海阳核电厂 1、2 号机组海工工程施工经验与 3、4 号机组的经验反馈与实践改进，严格控制泥沙悬浮量增量面积，减少本工程对海域的环境影响。

表 5.2-1 施工期悬浮泥沙扩散包络面积表

悬浮泥沙增量浓度 (mg/L)	包络面积 (km ²)
>10	16.01
>20	10.28
>50	5.91
>100	3.15
>150	1.41

表 5.2-2 施工前后海洋水质对比表

因子 \ 时间	2006 年 9 月	2010 年 9 月	2016 年 8 月
水温 (表层)	23.36~25.08℃	23.0~25.9℃	27.15~29.80℃
水温 (底层)	23.75~24.60℃	23.6~25.5℃	19.28~28.99℃
COD _{Mn} (表层)	0.856~1.45mg/L	0.84~1.76mg/L	0.64~3.20mg/L
COD _{Mn} (底层)	0.824~1.30mg/L	0.96~1.4mg/L	0.49~2.42mg/L
悬浮物 (表层)	3.6~24.3mg/L	21.2~71.8mg/L	19.00~52.67mg/L
悬浮物 (底层)	8.3~27.8mg/L	37.2~87.8mg/L	9.73~43.00mg/L
石油类	11.5~30.6μg/L	5.4~57.6μg/L	1~79μg/L

表 5.2-3 施工前后海洋生物对比表

调查时间 调查项目	2006年9月	2010年6月	2016年8月	变化情况
浮游植物	浮游植物的生态类型较为单调，绝大多数种类属于北温带近岸广布类型。浮游植物细胞数量组成中，硅藻、甲藻和金藻分别占浮游植物总细胞数的 92.2%、7.6% 和 0.2%。密度在 $24.30\sim 938.93 \times 10^4$ 个/ m^3 之间。	浮游植物的种类组成，硅藻占优势。浮游植物细胞密度组成，甲藻占优势。优势种是夜光藻和圆筛藻；密度在 $0.39\sim 29.2 \times 10^4$ 个/ m^3 之间。	硅藻、甲藻在种类组成上占优，水采浮游植物总细胞数量范围为 67.01×10^4 个/ m^3 ~ 2560.01×10^4 个/ m^3 ，网采浮游植物总细胞数量范围为 8.60×10^4 个/ m^3 ~ 180.85×10^4 个/ m^3 。	优势种和密度无异常，符合当地海域浮游植物季节分布特征。
浮游动物	优势种为强壮箭虫；生物量（湿重）变化范围在 $22.5\sim 200.0\text{mg}/m^3$ 之间。	优势种为双毛纺锤水蚤、小拟哲水蚤和夜光虫；生物量的变化范围在 $187.50\sim 1216.67\text{mg}/m^3$ 之间。	桡足类在种类组成上占优，优势种主要是中华哲水蚤、小拟哲水蚤、拟长腹剑水蚤和近缘大眼剑水蚤，网采浮游动物数量范围为 0.024×10^4 个/ m^3 ~ 0.467×10^4 个/ m^3 ，一型网采浮游动物湿重范围为 $0.03\sim 0.657 \times 10^4\text{mg}/m^3$ 。	优势种和密度无异常，符合当地海域浮游动物季节分布特征。

表 5.2-2 续 施工前后海洋生物对比表

调查时间 调查项目	2006 年 9 月	2010 年 6 月	2016 年 8 月	变化情况
底栖生物	<p>常见种（出现频率在 50% 以上者）有纵沟纽虫、寡鳃齿吻沙蚕、不倒翁虫、西方似蛭虫、丝异须虫、双唇索沙蚕、蛇杂毛虫、脆壳理蛤和螺赢蜚等。生物量变化范围在（1.90~66.90）g/m² 之间。生物量组成以软体动物为主，棘皮动物次之，多毛类居第三位。</p>	<p>优势种是寡节甘吻沙蚕（丰度是 26.00 个/m²，站位出现率为 50%）；生物量的变化范围在 0.20~304.20g/m² 之间。生物量的组成以软体动物最高；其次是多毛类；甲壳动物和其它种类的生物量相同居第三位，没有采集到棘皮动物。</p>	<p>软体动物、环节动物、甲壳动物在种类组成上占优，优势种有环节动物不倒翁虫和甲壳动物绒毛细足蟹，生物量范围为 0.18-91.08g/m²，生物量组成以其它类群占优势，其次是环节动物，甲壳动物居第三位。</p>	<p>优势种发生变化，生物量变化不明显，组成上较为稳定。</p>
潮间带生物	<p>大型定生藻 10 种。潮间带动物以软体动物、甲壳类和多毛类为主，各调查断面出现的种类数差异较大。</p>	<p>以软体动物、甲壳类和多毛类为主，平均生物量是 399.40g/m²，调查海域潮间带大型底栖生物密度、生物量的分布不均匀。</p>	<p>软体动物、甲壳动物、环节动物在种类组成上占优，总平均生物量为 182.63g/m²，调查断面间种类数及生物量差异显著。</p>	<p>调查海域潮间带大型底栖生物种类组成、生物量和栖息密度的分布无明显异常，属于正常水平，符合中纬度潮间带大型底栖生物分布的一般规律。</p>

5.3 施工影响的控制

5.3.1 大气污染的控制

本工程施工期间对大气污染的防治主要是减少扬尘和尾气的释放，相应的防治措施包括：

- 施工区和相关道路上散落的灰土应及时清扫，道路路面上经常洒水，保持路面湿润。
- 在环境敏感区域附近使用隔离板使施工区域与周围环境隔离。
- 开挖出的土方应尽可能及时运至填方地段充填，尽量减少土方的堆置时间。
- 渣土临时堆放场应加盖布条进行防护。
- 水泥等粉状建筑材料应妥善保管，不得露天随意存放。
- 对必须废弃的渣土，将严格按照地方法律法规及标准规范要求倾倒在指定的区域，渣土运输车辆将加盖防尘罩。
- 加强施工管理，合理调度运输车辆等。

5.3.2 水污染的控制

本工程施工期间对水环境的污染虽然短暂而且有限，但还是需要采取适当的防治措施以使污染最小化。控制水污染的措施包括：

- 建造临时施工废水沉淀池，建筑污水在排放前必须经过沉淀以去除固体污染物。
- 施工材料妥善保管，堆放地宜远离海域及地表水体，且需采取一定的防护措施。
- 加强对生活污水的管理，施工期间产生的生活污水经污水处理站处理达标后排放。
- 禁止倾倒含油废水。加强对车辆和设备使用的油品管理，防止油品进入施工废水。施工期间管道冲洗产生的含油废水经含油废水污水处理站处理后达标排放，其余含油废水由各施工单位自行运出厂区交由专业单位处理。
- 建设单位加强重件码头等现有岸上设施管理，监督停靠重件码头船舶污水排放。

5.3.3 固体废弃物的控制

本工程施工期间将产生施工人员生活垃圾、工业固体废物及危险废物，如果不合理处置也将对环境造成破坏。

1) 生活垃圾

- 存放在桶类容器内，不随意抛弃垃圾。
- 用垃圾运输车运至市政指定地点处理。

2) 工业固体废物

- 弃土：在规划的土石方堆放场集中堆放开挖土石方和弃土，与有关单位签订弃土消纳意向书，对弃土综合利用。
- 废渣：由施工单位在其施工临建区内设立存放区、集中堆放，定期清理出厂区，运至当地固体废物贮存填埋场所处理。
- 废钢材、废木材、废塑料、废纸等：具有一定的回收利用价值，由施工单位在其施工临建区内设立存放区、集中堆放，由废品回收单位进行回收处理。
- 建筑垃圾：由施工单位自行运至当地固体废物贮存填埋场所处理，现场不设立集中的垃圾中转场地。

3) 危险废物

- 由施工单位分类暂存，委托有资质单位处理。

5.3.4 噪声污染的控制

本工程施工期间可以通过以下措施来降低噪声水平或减少噪声对敏感点的影响：

- 使用低噪声的施工设备。
- 合理安排施工进度，施工期间加强对高噪声设备的管理，避免同时使用多个高噪声设备。
- 关注噪声敏感区域，采用距离衰减、建立声屏障等方式以降低施工噪声对公众的影响。
- 合理施工流程，禁止在夜间使用具有较高噪声影响的施工设备。

5.3.5 生态保护

本工程施工期间的场地开挖、车辆运输等会对陆生生态造成一定的不利影响，

建设过程中将通过恢复植被、增设水土保持设施等措施减少对陆生生态的影响。

本工程施工期间的给排水工程施工等会对海洋生态造成一定的不利影响，建设过程中将通过合理选择施工方案、安排施工进度、采用先进机械等措施减少对海洋生态的影响：

- 水下爆破应严格采用微差延时爆破方式，严格控制一次爆破的总药量和最大一段药量；尽可能减少单次最大爆破药量尤其是爆夯药量以及爆破次数，并尽量分层、分片实施，以减小水下冲击波对海洋生物的影响。
- 尽可能增加单次爆破或爆夯之间的时间间隔。
- 爆破前，先用小当量爆炸驱赶鱼群；留出足够的时间让鱼群游离，起到大范围驱赶作用，从而减少后续爆破对渔业资源影响。
- 合理安排施工进度，爆破工程尽量避开浮游生物、鱼卵、仔稚鱼及鱼类繁殖生长旺盛的季节，清淤工程尽量避开海洋生物繁殖和生长最佳的春、夏季。

5.3.6 水土保持

5.3.6.1 水土流失现状

根据《全国水土保持规划（2015~2030）》，项目区不属于国家级水土流失重点预防区和重点治理区。根据《山东省水利厅关于发布省级水土流失重点预防区和重点治理区的通告》（鲁水保字〔2016〕1号），项目区属于山东省水土流失重点治理区，项目区不涉及崩塌、滑坡危险区和泥石流易发区。根据《烟台市水土保持规划（2017-2030年）》，由于山东省水土流失重点防治区划分已涵盖烟台市全部行政区域，烟台市不再重复划分市级水土流失重点防治区。

项目区属于以水力侵蚀为主的类型区——北方土石山区，项目区容许土壤流失量为 $200\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ 。水土流失类型主要为水力侵蚀，水土流失形式以面蚀和沟蚀为主，现状土壤侵蚀强度为微度，土壤侵蚀模数背景值为 $150\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ 。

5.3.6.2 水土流失的影响

1) 水土流失可能造成的影响

工程建设造成的水土流失主要表现在主厂房和循环水系统基础负挖、施工生产区的临时堆料及碾压、临时堆渣场堆渣等活动对地表扰动或再塑，使地表失去固土防冲的能力，造成水土流失。可能造成水土流失危害主要表现在以下三个

方面。

(1) 基础施工可能造成的水土流失危害

主厂房和循环水系统基础负挖量较大，开挖石料等形成的开挖边坡，如不及时采取防治措施，可能局部有松动岩块及危石失稳滑塌，同时，工程产生的大量松散石料，堆置在工程区周边，由于工程区汇水面积较大，水流侵蚀冲刷较大。在施工过程中，如不采取临时拦挡、支护、排水等措施，在水力侵蚀和重力侵蚀的双重作用下，易造成堆体失稳、渣体坍塌等地质灾害。

(2) 工程弃渣对厂区的影响

工程建设弃渣包括淤泥、土方和石方。淤泥和石方根据主体工程设计，在临时堆渣场集中堆置，临时堆渣场在无防护措施条件下，经雨水击溅和坡面径流冲刷，加上本身的重力作用，会诱发水土流失，对厂区及周边造成不利影响；钻渣含水量大，易流淌，堆放过程中，受降雨和地面径流冲刷，易产生水土流失。

(3) 对周边海域的影响

厂区三面环海，工程施工期间，建构筑物基础开挖、回填、部分淤泥及石方临时堆置等施工活动，产生的水土流失，可能增加近海域局部水体浑浊度，含沙量增大，将对近海域局部水质产生负面影响。

山东海阳核电厂 1、2 号机组建设期间开展了水土保持监测，包括水土流失量监测、弃渣场监测、植物样地监测、水土流失危害监测和水土保持防治措施监测。《山东海阳核电厂一期工程水土保持监测报告（2012 年度）》表明，厂区内水土流失在可控状态下进行，水土流失因子（径流系数、侵蚀强度、水土流失量等）都在正常范围内，弃渣场及其他各分区检测数据表明水土流失量都在控制范围内；水土保持工程措施、植物措施、临时措施及时到位，各分区无新增水土流失面积，未造成水土流失危害，水土保持总体情况良好。本工程工程量小于 1、2 号机组，在施工时将充分吸取山东海阳核电厂 1、2 号机组水土保持工作的经验，预计本工程施工期水土保持情况总体好于 1、2 号机组工程。

2) 水土流失预测

本期工程总平面规划严格按照节约、集约用地的基本要求，新建的功能区建设用地面积为 21.78hm²，施工用地面积 51.00hm²，均位于厂址征地范围内，不涉及厂外新增占地，占地性质为永久占地，占地类型为工矿仓储用地，对于非建

构筑物、硬化地表等占用的场地考虑植物措施。

5.3.6.3 防治责任范围及防治分区

根据工程建设特点、施工时序、工程布局、水土流失特点，将工程水土流失防治分为 2 个防治分区：主体工程区和施工临建设施区。结合各分区的特点，在不同分区中采用适当的工程措施和施工临时防护措施来防止水土流失。

水土流失防治分区防治体系见表 5.3-1。

5.3.6.4 水土保持效益分析

本工程水土保持方案实施后，形成综合防护体系，将有效地控制因本工程建设造成的新增水土流失，保护本工程项目区及周边的生态环境，恢复和重建因本工程建设而破坏的植被和水土保持设施，改善本工程建设区及周边地区的生产和生活环境，促进区域的经济的发展。

1) 生态效益

本工程水土流失防治标准执行建设类项目一级标准。采取相应的水土流失治理措施后，工程施工期渣土防护率为 95%，表土保护率为 95%。至设计水平年，整个工程区防治指标为水土流失治理度 95%，土壤流失控制比 1.0，渣土防护率 97%，表土保护率 95%，林草植被恢复率 97%。

2) 社会效益

本工程实施水土保持方案后，对确保核电厂安全生产、提高当地土地利用率、改善项目建设区生态环境起到积极重要的作用。另外为核电厂绿化创造了良好的环境，有利于核电厂职工和周边群众的身心健康，提高劳动生产率。

3) 经济效益

本工程实施水土保持方案后，由于本工程建设采取了有效的水土保持措施，并有可靠的资金作保障，可减少本工程建设区域内的水土流失。除此之外，本工程水土保持方案的实施还具有潜在的间接经济效益。

5.3.7 施工期环境监测

本工程施工期应开展施工期间环境监测工作，制定并实施施工期环境监测计划。建设单位通过开展施工期环境监测，掌握施工过程中的环境质量现状及变化，有效监督施工期各项生态环境保护措施的落实情况，及时准确地掌握环境质量和污染源动态和发现存在问题，以便进一步修正、改进生态环境保护措施，控制施

工活动对周边环境的影响，使施工行为对周边环境的影响减低到最小，符合生态环境法律法规和标准规范要求，切实保护环境资源和环境质量，实现经济建设和生态环境的协调发展。

根据山东海阳核电厂 1、2 号机组施工期环境监测的经验反馈、参考山东海阳核电厂现行的非放射性环境质量监测方案并结合本工程特征和区域环境现状，制定了本工程施工期环境监测计划（见表 5.3-2），山东核电有限公司应委托具有 CMA、CNAS 资质的专业环境监测机构进一步完善并实施本工程施工期环境监测计划。

表 5.3-1 水土流失防治分区防治体系一览表

防治分区	措施类型	水土流失防治措施体系
主厂房区	工程措施	① 主厂区排水工程(雨水管道、雨水口) ② 碎石压盖 ③ 场地整治
	临时工程	① 临时排水沟、沉沙池 ② 临时拦挡、苫盖防护
施工临建设施区	工程措施	① 场地整治 ② 拆除临时建筑、清运建筑垃圾
	植物措施	① 绿化
	临时工程	① 临时排水沟、沉沙池 ② 拦挡、苫盖工程

表 5.3-2 施工期环境监测计划

序号	监测内容	监测因子	监测频次	监测点位
1	海洋水质	pH、化学需氧量 (COD _{Cr})、生化需氧量 (BOD ₅)、氨氮 (NH ₃ -N)、悬浮物 (SS)、总磷 (磷酸盐, 以 P 计)、总氮、动植物油、石油类、阴离子表面活性剂 (LAS)、粪大肠菌群、水温、盐度、溶解氧 (DO)	春秋各一次	结合山东海阳核电厂 1、2 号机组海洋跟踪监测方案, 关注本期工程施工海域和受前期工程运行影响的海域。
2	沉积物	有机碳、硫化物、石油类	每年监测一次	
3	海洋生态	叶绿素 a、浮游植物、浮游动物、底栖生物	春秋各一次	
4	生活污水	pH、色度、浊度、嗅、BOD ₅ 、氨氮、溶解氧、溶解性固体、阴离子表面活性剂、大肠埃希氏菌、总氯	pH、色度、嗅、浊度、溶解氧和总氯为 1 次/日, 其余监测项目为 1 次/周	生活污水处理设施排放口
5	施工废气、扬尘	NO ₂ 、SO ₂ 、TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5}	每季一次	厂界: 同山东海阳核电厂现行厂界环境监测点位。 环境敏感点: 2 个村庄各设置 1 个大气环境监测点位。
6	施工噪声	L _{eq} (A)	每季昼、夜间各一次	厂界: 同山东海阳核电厂现行厂界环境监测点位。 环境敏感点: 2 个村庄各设置 1 个声环境监测点位。
7	水土保持	按本工程水土保持监测方案开展。		

第六章电厂运行的环境影响

6.1 散热系统的环境影响

6.1.1 散热系统方案

6.1.1.1 散热系统冷却方式比选

散热系统的冷却方式主要有海水直流循环和冷却塔二次循环两种。

海水直流循环的主要环境影响为温排水对海水温升的影响较大，对海洋生态、海水养殖会产生影响，4℃以上温升范围需要进行征海。

冷却塔二次循环方案对环境的主要影响为对局地气候、沉积和噪声的影响。参考内陆核电的模拟结果，冷却塔所致水沉积和辐射损失量远小于当地自然降水量和辐射量，不会对周围气候造成不良影响。由于本项目为滨海厂址，冷却塔采用海水进行冷却，所致盐沉积可能会影响周围植物的生长，具体需结合植被类型进行分析。一机一塔方案下各冷却塔的噪声源强约为 80dB (A)，一般不会对非居住区（800m）外产生影响，但由于冷却塔大多布置在厂区边界处，可能会导致厂界处噪声超标，需要考虑增加隔声措施。

从环境影响的角度看，海水直流循环和冷却塔二次循环对环境影响的途径各不相同，冷却塔二次循环的影响范围和影响程度相对较小。

在选择冷却方式时，还需考虑厂址自身条件、技术经济因素，因此委托国核电力规划设计研究院开展散热系统技术经济比选工作，首先对海水直流循环方案、海水二次循环方案进行冷端优化，得到两种循环冷却方式的相应最优配置方案，然后再进行技术经济比较，以确定本工程推荐的冷却方案。通过比较，两个方案在技术上均可行；从工程预留条件考虑，本工程陆域面积十分有限，5、6 号机组采用直流循环方案时，占地较小。直流循环方案机组出力大，系统简单可靠，便于维护，年费用低，符合国家倡导的建设节约型社会要求。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。经济比较结果表明：用直流循环方案年总费用作为基准，海水二次循环方案的年费用比直流循环方案多 5717 万元。因此本项目采用海水直流方案经济性更优。

海阳核电厂为滨海电厂，海水资源丰富。与二次循环相比，海水直流方案在技术上可行，经济上较优，因此散热系统采用直流循环的冷却方式。

6.1.1.2 取排水方案比选

本项目取水方案沿用 1~4 号机组方案，从厂址南侧海域明渠取水，取水明渠

从循环水泵房前沿延伸至-7.0m 海床标高海域。明渠底标高为-7.0m，取水明渠的底部宽度从取水口处至 5、6 号机组循环水泵房进水口为 120m，5、6 号机组循环水泵房进水口至 3、4 号机组循环水泵房进水口为 100m，3、4 号机组循环水泵房进水口至 1、2 号机组循环水泵房进水口为 80m；取水明渠总长度约 1700m。取水明渠在一期工程已按 1~6 号机组容量统一规划建成。

本项目排水方案比选和优化过程共有三个阶段。

1) 第一阶段：初步研究阶段

本阶段针对多种排水方案开展了比选，包含东北排暗涵、东南排暗涵、南排暗涵、西排暗涵、东北排明渠、南排明渠共 6 个方案。每台机组冷却水排水设计流量约为 $67\text{m}^3/\text{s}$ 。

方案一：东北排暗涵（海域暗涵约为 0.95km）；

方案二：东南排暗涵（海域部分暗涵采用暗敷，长度约为 2.4km）；

方案三：南排暗涵（海域部分暗涵采用暗敷，长度约为 2.1km）；

方案四：西排暗涵（排水口位于现有排水明渠北侧，虹吸井出口沟道向北布置，穿越北侧浅海后向西布置，之后穿越厂址北侧陆域，最终向西排入海内）；

方案五：东北排明渠（本方案海域暗涵长度约为 0.2km，明渠长度约为 0.9km，其中直段约为 0.74km，弯折短渠长度约为 0.16km）；

方案六：南排明渠（海域明渠约为 1.75km，海域暗涵约为 0.38km）；

夏季半月潮全潮最大条件下的初步温排水模拟结果参见表 6.1-1。

经过分析发现：

方案一和方案五具有工程量较小、布置简单、施工难度较小、运行维护量及难度较小、工程投资较低的优点。缺点是近岸浅排对海洋生态影响比离岸深排大，方案一比方案五更符合海洋景观和海洋环保要求。

方案二和方案三的优点是离岸深排可更好的满足近期、远期海洋环保要求；缺点是工程量较大、投资较高、施工相对复杂、运行维护量及难度相对较大。其中方案三与乳山生态红线及乳山海域边界距离更远。

方案四西侧区域 4°C 温升包络面积增加较多且贴岸，方案六明渠造成工程海域潮流动力条件及景观的变化，均属于用海政策严管的方案。

通过各方案通过技术经济比较，同时根据 2019 年 3 月 26 日《海阳核电项目 5、6 号机组循环水排水方案专家咨询会》评审意见：“根据国家环保政策要求，

从尽可能减少对环境生态影响角度考虑，推荐方案三（南向暗排）作为后续方案论证的重点研究方向；鉴于方案一（东北暗排）具有显著的工程经济性（比南向暗排低约 4.6 亿元），建议统筹环保要求，继续开展相关工作。”重点开展南向暗排和东北暗排的论证工作。

2) 第二阶段：重点研究阶段

重点研究阶段共有四个方案：

方案七：南排暗涵至-9.5m 等深线

方案八：南排暗涵至-12m 等深线

方案九：东北排暗涵（与初步研究阶段的方案一“东北排暗涵”相同）

方案十：南北分排（5 号机排水口同方案九；6 号机排水口同方案七）

以上方案夏季半月潮全潮最大条件下的初步温排水模拟结果参见表 6.1-2，不同方案经济性比较参见表 6.1-3。

分析发现：

方案七和方案八均为深海离岸排放，可更好的利用深海潮流动力强、掺混充分的特点，温排水对海洋生态的影响最小，同时 1℃温升线与乳山边界距离相对较远，可方便工程用海申请，避免越界风险的能力较强。其中方案七海域暗涵较短、水深较浅，施工运行相对方便，可提高施工运行安全性；与方案七相比，方案八海域暗涵增长 1.7km，由于暗涵较长，施工运行难度相对增加、安全性相对降低；方案七投资居中，方案八投资最高。

方案九属于近岸浅排，近岸增加高温升区面积较多，1℃温升线贴岸范围较广，至乳山口附近，海洋水文变化或者不确定因素可能造成该方案 1℃温升线进入生态红线区，对生态影响较大。该方案由于陆域及海域暗涵长度均较短，施工运行相对其他方案方便，投资也最小。

方案十相对东北暗排近岸高温升区面积有所减小，但同样存在 1℃温升线贴岸范围较广，对海洋生态影响较大的缺点，且该方案投资较高。

综上所述，方案七“南排暗涵至-9.5m 等深线”具有与法规政策符合性更高、对生态影响较小、施工运行难度相对较小、施工运行安全性相对较高、工程经济性相对较好、可为扩建机组预留温排条件等特点，推荐方案为“5、6 号机组采用南向暗涵排水，排水口布置在南向-9.5m 等深线”。

3) 第三阶段：1~4 号排水方案优化

2020年8月~12月,为进一步提高1~4号核发电机组的环境效益,减小温排水4℃温升影响范围,避免或大幅度减少4℃温升区对岸线及留格河水域的影响,对海阳核电1~4号机组现有排水明渠进行了改造优化研究,最终综合考虑温排水对海域环境及核电取水温升的影响、泥沙冲淤影响、海堤用海等方面因素,确定1~4号机组推荐排水方案为:在现有已建成的排水明渠基础上,将排水明渠南北堤同步向SSW方向延伸,北堤延伸至-5.0m等深线附近,北堤延长约550m,南堤延伸至-5.5m等深线附近,南堤延长约530m。由于5、6号机组的液态流出物随1~4号机组排水明渠排放,因此第三阶段确定了5、6号机组的液态流出物排水方案。

综上,本报告针对优化后的1~4号排取方案叠加5~6号推荐排水方案,作为基本分析工况。

6.1.2 散热系统对水体的物理影响

为掌握5、6号机组运行后温排水对受纳海域水体的影响,本项目已开展了1、2号机组运行后的温排水原型观测,以及5、6号机组温排水数学模型和物理模型专题研究。2021年12月,中国水利水电科学研究院编制了《山东海阳核电项目5、6号机组工程温排水二维数模计算成果报告》和《山东海阳核电项目5、6号机组工程温排水三维数模计算成果报告》;2022年2月,中国水利水电科学研究院编制了《山东海阳核电项目5、6号机组工程温排水物理模型试验成果报告》;2022年3月,中国水利水电科学研究院编制了《山东海阳核电项目5、6号机组工程温排水三维数模计算成果报告(升版)》和《山东海阳核电项目5、6号机组工程温排水数模计算、物模试验综合分析报告》,本节基于以上专题报告,阐述本工程对水体的物理影响。值得注意的是,核电厂址西侧海阳港东防波堤对局地流场和温排水扩散存在一定的影响,6.1.2.1节和6.1.2.2节将基于现状岸线和规划岸线工况分别开展评价。

以下阐述物理模型、三维数学模型的基本原理和关键参数取值。

● 物理模型

温排水物模试验模型设计以重力相似为主,兼顾浮力相似等其它相似准则。具体如下:

$$\text{重力相似准则: } (Fr)_r = \left(V / \sqrt{gH} \right)_r = 1$$

$$\text{浮力相似: } (Ri)_r = \left(V / \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} gH} \right)_r = 1$$

$$\text{温度分布相似: } (T - T_e)_r = (T_1 - T_e)_r = 1$$

式中, H 、 V 、 ρ 分别为相应的水深、流速及环境水体密度, $\Delta\rho$ 为因水体温差引起的密度差。 T 、 T_1 、 T_e 分别代表温排水影响区任意点温度、排水温度、环境温度。式中脚标 r 表示原体与模型的比值。

试验时控制排水口水域: $\left(\frac{\Delta\rho}{\rho} \right)_r = 1$, 则重力相似与浮力相似可同时满足。

按照上述模型相似准则, 模型比尺关系如下:

$$\text{流量比尺: } Q_r = L_r \cdot H_r^{3/2}$$

$$\text{流速比尺: } V_r = H_r^{1/2}$$

$$\text{糙率比尺: } n_r = H_r^{2/3} \cdot L_r^{-1/2}$$

$$\text{时间比尺: } t_r = L_r \cdot H_r^{-1/2}$$

● 三维数学模型

○ 控制方程

三维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。模型采用曲线坐标, 垂向上可以使用垂向坐标系统。

水深平均的连续方程:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d+\zeta)U\sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d+\zeta)V\sqrt{G_{\zeta\zeta}}]}{\partial \eta} = (d+\zeta)Q$$

其中, t 为时间, ξ 和 η 为曲线坐标系下水平方向的坐标, $G_{\zeta\zeta}$ 、 $G_{\eta\eta}$ 为曲线坐标系转换为直角坐标系的转换系数; U 、 V 分别为 ξ 和 η 方向的水深积分后的平均流速。 Q 表示源汇项, 如取排水、降雨和蒸发等。

模型在水平方向 ξ 和 η 的动量方程表示如下:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}}} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d+\zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\zeta\zeta}}}{\partial \eta} - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} - f_v \\ = -\frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\zeta\zeta}}} P_\xi + F_\xi + \frac{1}{(d+\zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\nu_v \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + M_\xi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d+\zeta} \frac{\partial v}{\partial \sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} - \frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} + fu \\ = -\frac{1}{\rho_0\sqrt{G_{\eta\eta}}} P_\eta + F_\eta + \frac{1}{(d+\zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(v_V \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + M_\eta \end{aligned}$$

式中 u 、 v 、 ω 是曲线正交坐标系下的流速分量， $f=2\Omega \sin\Phi$ 为 Coriolis 参数， Ω 为地球自转角速度， Φ 为纬度。 F_ξ 和 F_η 分别为 ξ 和 η 方向的紊动动量通量，反应雷诺应力； P_ξ 和 P_η 为 ξ 和 η 方向的水压力梯度， v_V 为垂向黏滞系数； M_ξ 和 M_η 为 ξ 和 η 方向上动量的源汇项。

σ 分层坐标下的 ω 方向流速分量通过连续方程计算：

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d+\zeta)u\sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d+\zeta)v\sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} \\ = (d+\zeta)(q_m - q_{out}) \end{aligned}$$

实际垂向流速 w 是在后处理过程中根据 ω 、水平流速 u 、 v 以及水深 H 和水位 ζ ，计算获得：

$$w = \omega + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \left[u\sqrt{G_{\eta\eta}} \left(\sigma \frac{\partial H}{\partial \xi} + \frac{\partial \zeta}{\partial \xi} \right) + v\sqrt{G_{\xi\xi}} \left(\sigma \frac{\partial H}{\partial \eta} + \frac{\partial \zeta}{\partial \eta} \right) \right] + \left(\sigma \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial \zeta}{\partial t} \right)$$

床底阻力采用二次型形式：

$$\bar{\tau}_b = \frac{\rho_0 g \bar{U} |\bar{U}|}{C_{2D}^2}$$

其中谢才系数 C_{2D} 可根据谢才公式 $C_{2D} = \frac{1}{n} H^{1/6}$ 计算， n 为糙率系数。

热输运方程：

$$\begin{aligned} \frac{\partial (d+\zeta)T}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \left\{ \frac{\partial [\sqrt{G_{\eta\eta}}(d+\zeta)uT]}{\partial \xi} + \frac{\partial [\sqrt{G_{\xi\xi}}(d+\zeta)vT]}{\partial \eta} \right\} + \frac{\partial \omega T}{\partial \sigma} = \\ \frac{d+\zeta}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \left\{ \frac{\partial}{\partial \xi} \left[D_H \frac{\sqrt{G_{\eta\eta}}}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial T}{\partial \xi} \right] + \frac{\partial}{\partial \eta} \left[D_H \frac{\sqrt{G_{\xi\xi}}}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial T}{\partial \eta} \right] \right\} + \frac{1}{d+\zeta} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[D_V \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right] + S \end{aligned}$$

其中 T 为水温， D_H 为水平扩散系数， D_V 为垂向扩散系数，扩散系数的确定方法可与水流涡粘系数关联。 S 为热量源汇项，体现为单位面积表层热交换通量，以及温排水引入的热量输入。

○ 定解条件

流场定解条件：

边界条件：岸边界为固定壁面，开边界采用潮位边界。开边界潮位由 TPXO 全球海潮模型给定。

初始条件：采用静流条件起算。

温度场定解条件：

边界条件：岸边界和底部边界为绝热边界，开边界上为环境水温。自由表面为散热边界，采用超温散热模块计算 $Q_{tot} = -K_s(T_s - T_{back})$ 。 Q_{tot} 为换热通量， T_s 为表面水温， T_{back} 为环境水温， K_s 为表面综合散热系数。

初始条件：采用零温升（即环境水温）起算。

○ 参数选择

糙率系数：依据同步水文测验资料及潮流潮位资料进行率定，谢才系数为 100，相应的糙率 n 与海床底质、水深分布有关，为空间分布场，取值范围基本 0.012~0.02 之间。

广义扩散系数：在三维数学模型中，扩散系数 D 包含了水平扩散系数 D_H 和垂向扩散系数 D_V ，综合反应了分子扩散、紊动扩散，是一个综合性的系数。对于大水体数值模拟计算，由于计算网格不可能分得足够精细而得到与网格无关的解，其扩散系数除了包含上述三方面因素外还计算了数值扩散和离散的作用，相当于使用了一个等效扩散系数。

水平扩散系数分为如下几部分：

$$D_H = D_{SGS} + D_V + D_H^{back}$$

D_{SGS} 由亚网格尺度湍流模型求解。

D_V 为垂向扩散系数， $D_V = \nu_{mol}/\sigma_T + \max(D_{3D} + D_V^{back})$ 。 D_{3D} 通过湍流模型求解。 $D_V^{back} = 1 \times 10^{-4} m^2/s$ 为垂向扩散系数背景值。

D_H^{back} 为水平扩散系数背景值，通过 1、2 号机组温排水原观资料并结合已完成的物模试验成果率定确定。

温排水三维数学模型水平扩散系数全场取值范围在 0.1~110m²/s 之间。扩散系数分布总体表现为从近岸浅滩到离岸深水逐渐增大、从排口近区向远区逐渐增大的分布特点。

5、6 号机组排水口位于水深较大的涨落潮主流区，直接采用潮平均流速计算扩散系数，排口周围扩散系数大约 20m²/s 左右。考虑到深水排放时高温升区

影响范围与排口附近潮流掺混稀释能力的关系更加密切，而憩流时段潮流较弱，对温排水扩散更加不利，会造成排口周围高温升区（如 4℃温升）面积相对较大，为此采用憩流时段平均流速（ $U_{min}=0.05\text{m/s}$ ）对排口周围扩散系数进行了复核计算，经计算扩散系数大约为 $6\text{m}^2/\text{s}$ 。为此，将 5、6 号机组排口周围局部区域扩散系数限定在 $5\text{m}^2/\text{s}$ 左右。

表面散热系数：根据当地水文气象条件，采用《冷却水工程水力、热力模拟技术规程》（SL160-2012）推荐公式计算。

$$K = (k+b)\alpha + 4\varepsilon\sigma(T_s + 273)^3 + \Delta K$$

式中：

$$\Delta K = \frac{80(1+km)}{\alpha} (b(T_s - T_a) + \Delta e_s), \quad k = \frac{\partial e_s}{\partial T_s}, \quad m = \frac{0.378}{P} (T_s + 273);$$

P—大气压强；

e_s —对应于水面温度的饱和水汽压；

T_s —水面水温；

B— $0.627\text{hPa}/\text{℃}$ ，

ε —水面发射率，取 0.97；

σ —Stafan-Boltzman 常数，取值 $5.6 \times 10^{-8} (\text{Wm}^{-2} \text{℃}^{-4})$ ；

α — $[22.0+12.5v_w^2+2.0(T_s-T_a)]^{1/2} (\text{Wm}^{-2}\text{hPa}^{-1})$

v_w —风速

T_a —气温

夏季、冬季的水面散热系数依据当地夏季、冬季平均水文气象条件计算得到，夏季 $K_s=45\text{Wm}^{-2} \text{℃}^{-1}$ ，冬季 $K_s=23\text{Wm}^{-2} \text{℃}^{-1}$ 。

6.1.2.1 现状岸线

核电厂址西侧海阳港东防波堤按现状 3.7km 考虑。

受防波堤影响，局部海域流场发生较明显的变化，涨潮时段主潮流受防波堤阻挡及挑流作用，在防波堤迎流面一侧水流流向向南偏转，在防波堤背流面一侧形成较大回流；落潮时段主潮流受防波堤挑流作用，在防波堤南端向东南南（ESS）方向发展，防波堤东侧流动明显减弱，贴近防波堤东侧区域流速减缓，流向转为东南-东南东（ES-ESE）向。

基于《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程温排水数模计算、物模试验综合

分析报告》的阐述，海阳港防波堤现状长度条件下 1~6 号机组的取水温升特征值为：夏季最大为 1.4℃，冬季最大为 1.8℃，参见表 6.1-3。

如表 6.1-4 所示，现状岸线条件下海阳核电厂 6 台核电机组运行最大温升包络范围如下（注：4℃影响范围采用物模试验的大/中/小潮包络范围，1-3℃影响范围采用三维数模试验的半月潮结果（最保守潮型））。

夏季：

— 1℃最大温升包络面积为 85.19km²，1~4 号与 5~6 号机组 1℃最大温升包络线重合；

— 2℃最大温升包络面积为 24.43km²，1~4 号与 5~6 号机组 2℃最大温升包络线重合；

— 3℃最大温升包络面积为：1~4 号机组 9.09km²，5、6 号机组 0.031 km²；

— 4℃最大温升包络面积为：1~4 号机组 3.88km²，5、6 号机组 0.026 km²。

冬季：

— 1℃最大温升包络面积为 114.9km²；

— 2℃最大温升包络面积为 32.78km²；

— 3℃最大温升包络面积为：1~4 号机组 12.42km²，5、6 号机组 0.129km²；

— 4℃最大温升包络面积为：1~4 号机组 8.12km²，5、6 号机组 0.045km²。

海阳港防波堤现状长度、1~6 号机组运行工况，温排水扩散形态相似，排放高温升区主要集中在厂址西侧 1~4 号机组排水所在浅湾内。5、6 号机组采用离岸深层排水方案，4℃温升影响范围很小。夏季 1℃与冬季 2℃均未影响到乳山海域界限及乳山湾限制区、大乳山红石崖禁止区、乳山口限制区这三个生态红线控制区，也未超出拟调整的空间规划，本项目温排水影响范围与拟调整的空间规划相容。

6.1.2.2 规划岸线

核电厂址西侧海阳港东防波堤按规划 8.7km 考虑。

基于《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程温排水数模计算、物模试验综合分析报告》的阐述，海阳港防波堤规划长度条件下 1~6 号机组的取水温升特征值为：夏季最大为 1.5℃，冬季最大为 1.9℃，参见表 6.1-5。

如表 6.1-6 所示，规划岸线条件下海阳核电厂 6 台核电机组运行最大温升包络面积如下（注：4℃影响范围采用物模试验的大/中/小潮包络范围，1-3℃影响

范围采用三维数模试验的半月潮结果（最保守潮型）。

夏季：

— 1℃最大温升包络面积为 79.43km²，1~4 号与 5~6 号机组 1℃最大温升包络线重合；

— 2℃最大温升包络面积为 24.66km²，1~4 号与 5~6 号机组 2℃最大温升包络线重合；

— 3℃最大温升包络面积为：1~4 号机组 9.79km²，5、6 号机组为 0.031km²；

— 4℃最大温升包络面积为：1~4 号机组 4.65km²，5、6 号机组为 0.028km²。

冬季：

— 1℃最大温升包络面积为 109.8km²，1~4 号与 5~6 号机组 1℃最大温升包络线重合；

— 2℃最大温升包络面积为 33.7km²，1~4 号与 5~6 号机组 2℃最大温升包络线重合；

— 3℃最大温升包络面积为：1~4 号机组 13.06km²，5、6 号机组为 0.133km²；

— 4℃最大温升包络面积为：1~4 号机组 8.80km²，5、6 号机组为 0.049km²。

规划岸线条件下，夏季 1℃与冬季 2℃均未影响到乳山海域界限及乳山湾限制区、大乳山红石崖禁止区、乳山口限制区这三个生态红线控制区，也未超出拟调整的空间规划，本项目温排水影响范围与拟调整的空间规划相容。

6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

6.1.3.1 取排水工程对水生生物的影响

取排水系统主要包括取水头部、自流引水管、闸门、拦污栅、鼓形滤网、水泵、冷凝器和排水明渠等。本项目取水沿用 1~4 号机组方案，取水工程影响与前期工程较为相似；排水推荐采用的暗涵方案，对水生生物的影响较小。一般取水产生的卷吸效应只对那些能通过滤网的鱼卵、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。这种伤害主要包括机械碰撞、温升和冷却水氯化的毒性等。

1) 卷吸效应对浮游生物的影响

关于机械冲击，法国沿海电站的观测表明，对浮游植物并未产生明显的影响，对浮游动物的影响亦很小，死亡率低于 10%。但据东北师范大学的观测报告，机械冲击对进入冷却系统中的浮游植物造成的损伤率达到 11.98%-27.08%。经过 72

小时后，浮游藻类损伤后恢复的数量与自然海水中的数量相同，经过 3 天后即可恢复到原来的数量。浮游动物个体相对较大，对机械冲击较为敏感，经过冷却系统，其损伤率可能重些，其中部分个体立即致死。浮游动物的总损伤率为 55%，高于浮游植物。但浮游动物生殖周期短（一般 1~7 天），繁殖快，生物量周转率较高，浮游动物各种类恢复到原来数量的时间为 30 小时~6 天。

根据上面分析初步预测，核电厂运行期间其取水系统产生的卷吸效应将对浮游生物产生一定程度的损伤，使取水口附近小范围内的浮游生物，尤其是浮游动物的生物量有所减少，局部范围的海洋初级生产力会有所降低，其中夏季的影响较重，而冬季的影响较轻。但由于浮游生物的生殖周期较短，繁殖较快，其损伤后的恢复也较快。因此，卷吸造成的损伤对厂址海区的浮游生物总量及种群结构等的影响将是有限的。

2) 卷吸对鱼卵、仔鱼、甲壳类幼体的影响

核电厂利用自然海水进行冷却作用，无疑将对水生生物产生一定的影响。对鱼类浮游生物来说，主要是鱼卵和仔稚鱼资源。国内若干电厂的现场实测结果，进入电厂冷却系统的梭鱼幼鱼（体长 25~40mm）的损伤率为 31.6%~46.3%。国外有关报道认为，卷吸效应造成的幼鱼致死率与幼鱼的体长有关，两者呈负相关关系。幼鱼体长在 14~40mm 范围内体长每增加 1mm，幼鱼因卷吸而造成的死亡率减少约 3%。冷却系统对仔虾的损伤实验表明，因卷吸进入冷却系统的仔虾致死率为 24.3%~56.9%，平均为 40.7%。仔虾损伤率随其密度的增加而增加，两者呈正相关关系。然而，在加氯情况下，进入冷却系统的海洋生物的死亡率要大于上述结果。

由于核电厂采用明渠取水，因而生活于核电厂取水口附近上层水体的鱼卵、仔鱼、甲壳类幼体将可能被吸入。但是，由于海洋鱼虾类属生态型，具有繁殖能力强，产卵多的特点，在自然环境下其幼体阶段的自然死亡率亦很高。根据人工育苗的经验，多数情况下鱼虾卵及其幼体达到商品苗规格的存活率为 10%。在自然环境下，鱼卵的存活率在十万分之一与百万分之一之间。根据调查厂址附近产卵场和幼鱼密集区离核电厂取水口有相当距离，加上鱼卵和幼鱼随时间的变化和成长过程以及鱼的逆流性，海水运移的时间因素，实际的吸入量将大为减少。

3) 卷吸效应对底栖生物的影响

底栖生物成体由于底表生活方式，受核电站取水口卷吸作用甚微，不会产生

明显影响。底栖生物在繁殖季节，其早期发育阶段主要以浮游幼虫方式度过，浮游幼虫的个体大小一般为 50~100 微米，个体非常微小。从法国沿海电站观测表明，卷吸的机械冲击对个体微小的浮游植物并未产生明显的影响，对浮游动物的影响亦很小，死亡率低于 10%，因此卷吸的机械冲击损伤对个体微小底栖生物浮游幼虫不会产生明显影响。

因此，海阳核电厂取水系统的卷吸效应对厂址海域的鱼卵和仔幼鱼会造成一定程度的损伤，但相对于广阔海域仔幼鱼蕴藏量，其损伤量是有限的。卷吸效应对于核电站取排水口近区影响相对较大，但这种较大影响的范围是局部的，有限的。

6.1.3.2 温排水对水生生物的影响

核电站运行过程中，大量的冷却水经过散热装置后升温，其后排入周围水体中，将导致周围水体有一定的温升。如果环境水体升温后超过海洋生物生长的适宜温度，温度的升高将可能导致海洋生物的生长受到抑制或死亡。另外，自然水体经过冷却系统后骤然形成的高温差，亦有可能使海洋生物不适应而造成死亡。但如果在适温范围内，环境水体温度的升高，则会促进海洋生物的生长和繁殖。

1) 对游泳动物的影响

调查发现，厂址附近海域的主要经济有用动物大部分为适温性较广的暖温种或暖水种鱼类，适温性和适盐性良好；对于少部分冷温性鱼类，冬季升温会对其产生一定影响，但由于游泳动物具备避开高温水域的能力，因此本工程排水温升对于游泳动物的影响较小。

2) 对浮游生物的影响

对于浮游生物，温排水作用的季节性明显。冬、春和秋季增温 2℃ 以上后的海水温度都在浮游生物适宜生长范围内，对浮游生物生长繁殖不会产生较大的不利影响，在一定程度上有促进生长和繁殖的作用；而在夏季，海域自然水温高达 26℃，受温排水影响再增温 3℃ 而达到 29℃ 以上，可能超过部分浮游生物最适生长的温度范围。温排水对的影响主要集中在近排水口附近区域，本项目 5、6 号机组高温升区所包络面积很小，>3℃ 的范围为 0.002km²，>2℃ 的范围为 0.346km² 左右，影响范围是有限的。

3) 对底栖动物的影响

对于底栖动物的影响，国内外普遍认为：只要温升不是过高，影响范围不是

过大，不会造成很大危害。季节不同，水温对底栖动物的影响有所差别，其中夏至中秋期间的的影响最大。核电厂厂址周围附近海域夏季海水温度平均为 24℃ 左右，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。由于本工程温排水高温升区温升线包络线面积较小，且在厂区的用海范围内，可认为温排水对底栖生物的影响相对较小。

另外，低梯度的温度变化对水生生物成体的生长存活影响较小。在水温较低的冬春季，适度温升（如 1-3℃）甚至促进水生生物的发育生长和存活。但是当温升速率到达一定阈值时，对渔业生物的存活会产生较大影响。特别是鱼卵、仔稚鱼及幼体对温升变化速率反应敏感。在自然水温较高的夏季（表层水温>28℃），即使低水平的温升变化也可能可能会对鱼卵、仔稚鱼的发育、生长存活、数量分布和生活习性等产生不利的影响。由于本项目温排水连续排放，仅在调整运行功率或启/停堆时会造成水温的变化，因此对水生生物的影响有限。

表 6.1-1 第一阶段排水方案温升面积模拟结果 (单位: km²)

	4℃		3℃		2℃		1℃		0.5℃	
	1-4#	56#	1-4#	56#	1-4#	56#	1-4#	56#	1-4#	56#
方案一	6.197	2.256	8.521	5.465	11.582	15.724	79.849		190.348	
方案二	6.382	-	8.681	0.011	12.154	0.283	78.212		200.9	
方案三	6.561	-	8.883	0.009	14.229	0.846	79.096		194.982	
方案四	10.409		12.605		19.52		72.228		183.536	
方案五	6.171	2.621	8.507	6.389	11.535	15.775	78.909		188.817	
方案六	6.867	0.479	9.326	0.525	12.889	1.125	57.835		191.501	

表 6.1-2 第二阶段排水方案温升模拟结果 (6 台机组运行)

	温升面积 (km ²)				取水温升 (℃)
	4℃	3℃	2℃	1℃	
方案七	6.518	8.817	13.797	79.001	1.3
方案八	6.41	8.742	12.729	69.865	1.18
方案九	6.197 (西) 2.256 (东)	8.521 (西) 5.465 (东)	11.582 (西) 15.724 (东)	79.849	1.12
方案十	6.384 (西) 0.202 (东)	8.668 (西) 1.321 (东)	12.208 (西) 5.638 (东)	82.712	1.22

表 6.1-3 现状岸线下取水温升特征值综合研究结果

潮型		取水温升平均值 (℃)	取水温升最大值 (℃)
夏季	大潮	1.2	1.3
	中潮	1.2	1.4
	小潮	1.0	1.2
冬季	大潮	1.5	1.6
	中潮	1.5	1.6
	小潮	1.4	1.8

表 6.1-4 现状岸线下排水温升包络面积（单位：km²）

最大温升包络面积

潮型	6 台机组							
	4℃		3℃		2℃		1℃	
	1~4#	56#	1~4#	56#	1~4#	56#	1~4#	56#
夏季	3.88	0.158	9.09	0.031	24.43		85.19	
冬季	8.12	0.263	12.42	0.129	32.78		114.9	

注：4℃影响范围采用物模试验的大/中/小潮包络范围，1-3℃影响范围采用三维数模试验的半月潮结果（最保守潮型）。

平均温升包络面积

潮型	6 台机组							
	4℃		3℃		2℃		1℃	
	1~4#	56#	1~4#	56#	1~4#	56#	1~4#	56#
夏季	1.86	/	1.35	0.005	3.32	0.027	32.63	
冬季	2.68	/	2.00	0.012	6.83	0.070	66.28	

注：4℃影响范围采用物模试验的大/中/小潮包络范围，1-3℃影响范围采用三维数模试验的半月潮结果（最保守潮型）。

表 6.1-5 规划岸线下取水温升特征值综合研究结果

潮型		取水温升平均值	取水温升最大值
夏季	大潮	1.2	1.3
	中潮	1.2	1.5
	小潮	1.0	1.2
冬季	大潮	1.6	1.8
	中潮	1.6	1.8
	小潮	1.4	1.9

表 6.1-6 规划岸线下排水温升包络面积（单位：km²）

最大温升包络面积

季节	6 台机组							
	4℃		3℃		2℃		1℃	
	1~4#	56#	1~4#	56#	1~4#	56#	1~4#	56#
夏季	4.65	0.028	12.93	0.005	27.48		82.88	
冬季	8.80	0.049	13.20	0.037	30.28		101.3	

注：4℃影响范围采用物模试验的大/中/小潮包络范围，1-3℃影响范围采用三维数模试验的半月潮结果（最保守潮型）。

平均温升包络面积

潮型	6 台机组							
	4℃		3℃		2℃		1℃	
	1~4#	56#	1~4#	56#	1~4#	56#	1~4#	56#
夏季	2.16	/	2.15	0.002	6.51	0.017	34.08	
冬季	3.23	/	3.56	0.007	8.86	0.076	59.29	

注：4℃影响范围采用物模试验的大/中/小潮包络范围，1-3℃影响范围采用三维数模试验的半月潮结果（最保守潮型）。

6.2 正常运行的辐射影响

6.2.1 流出物排放源项

核电厂正常运行状态下的气液态流出物的设计排放量和现实排放量分别见表 4.6-17、表 4.6-18、表 4.6-24 和表 4.6-25，计算方法及相关输入参数可见 4.6 节的相关描述。

本报告在估算环境介质中的放射性核素浓度、公众的最大个人剂量和非人类生物的辐射剂量时，均采用流出物的设计排放源项；在分析关键人群组、关键核素、关键照射途径时，采用流出物的现实排放源项。

6.2.2 照射途径

6.2.2.1 气态途径

核电厂在正常运行工况下，通过气态途径释放到大气中的放射性流出物在大气弥散过程中对公众造成辐射照射的途径如图 6.2-1 所示。在估算对周围公众造成的辐射剂量时考虑了如下的照射途径：

- 浸没于空气中受到的外照射；
- 由于干、湿沉降导致地面放射性沉积物引起的外照射；
- 吸入空气造成的内照射；
- 食入因干、湿沉降导致放射性沉积的粮食、蔬菜等食物造成的内照射；
- 食入由干、湿沉降导致放射性沉积的饲料所喂养的家畜肉、奶及其制品造成的内照射。

6.2.2.2 液态途径

核电厂在正常运行工况下，经处理合格后排放的液态流出物排入黄海。在辐射环境影响评价中，液态流出物对人造成辐射的途径如图 6.2-2 所示。在估算对周围公众造成的辐射剂量时考虑了如下的照射途径：

- 食用由受纳水域生长的水产品（或水生生物）所致的内照射；
- 在受纳水域中游泳或划船等造成的直接外照射；
- 岸边沉积的放射性流出物对岸边活动公众所造成的外照射。

6.2.3 计算模式与参数

6.2.3.1 气态途径

1) 弥散因子计算模式

混合层厚度是大气环境评价的重要参数之一。厂址地区，夏季和冬季均呈现早晨混合层厚度一般较低；日出后混合层厚度逐渐增大，在午后混合层厚度达到最大值。计算中使用的混合层厚度见表 2.4-10。

大气扩散参数 σ_y 、 σ_z 是进行大气弥散计算的基本参数，根据厂址大气扩散试验得到的结果进行修正，获得厂址地区的大气水平扩散参数和垂直扩散参数，见表 2.4-11。

本电厂烟囱几何高度为 75m，安全壳高度为 55.5m，安全壳上水箱高度为 70m，对烟囱释放的气态流出物按混合释放考虑。

在大气弥散因子计算中考虑了建筑物尾流影响，以及混合层高度的修正，同时也考虑了干、湿沉积损耗，核素衰变损耗的修正。

计算年均扩散因子的计算模式及参数如下描述：

(1) 烟云抬升

计算中考虑了动力抬升，对于高架排放，根据下式确定有效烟囱高度：

$$h_e = h_s + \Delta h \quad (6.2-1)$$

式中，

h_e =有效烟羽高度，m；

h_s =烟囱高度，m；

Δh =烟羽抬升高度，m；

使用 Briggs (1969) 给出的公式计算由于动量引起的烟羽抬升。

对于中性或者不稳定情况，按如下关系式计算烟羽抬升：

$$\Delta h = 1.44 \left(\frac{W_0}{u} \right)^{2/3} \cdot \left(\frac{x}{D} \right)^{1/3} \cdot D \quad \square \quad (6.2-2)$$

式中，

Δh =烟羽抬升高度，m；

W_0 =烟囱出口处速度，m/s；

x =下风向距离，m；

u =排放高度的风速，m/s；

D =烟囱出口内径，m。

当出口速度小于风速的 1.5 倍时，公式 (6.2-2) 中导入一个减去下洗气流的

修正 (Gifford,1972):

$$C = 3 \left(1.5 - \frac{W_0}{u} \right) D \quad (6.2-3)$$

式中, C 是被减去的值, 而其它项如公式 (6.2-2) 定义。公式 (6.2-2) 根据需要与否按公式 (6.2-3) 修正后的结果与公式 (6.2-4) 比较, 并取较小的 Δh :

$$\Delta h = 3 \left(\frac{W_0}{u} \right) D \quad (6.2-4)$$

对于稳定情况, 公式 (6.2-2) 和公式 (6.2-4) 的结果与如下两个公式的结果比较:

$$\Delta h = 4 \left(\frac{F_m}{S} \right)^{1/4} \quad (6.2-5)$$

和

$$\Delta h = 1.5 \left(\frac{F_m}{u} \right)^{1/3} \cdot S^{-1/6} \quad (6.2-6)$$

式中,

$$F_m = (W_0 \cdot D/2)^2 \quad (6.2-7)$$

F_m =动量流量参数, m^4/s^2 ;

S =大气中绝热运动每单位垂直位移的恢复性加速度, s^{-2} ;

程序中, S 对 E 稳定度设置为 8.7×10^{-4} , 对 F 稳定度设置为 1.75×10^{-3} , 计算后使用公式 (6.2-2), (6.2-5) 和 (6.2-6) 计算的最小的 Δh 值。

(2) 风速修正

高架排放使用排放高度处测得的风速, 地面排放使用 10 米处风速。如果为混合排放, 使用下列公式来修正风速。

$$COR = \left(\frac{SL}{PL} \right)^{EX} \quad (6.2-8)$$

式中, COR=用于测得风速的修正因子;

PL=测量风速的高度, m;

SL=风速期望高度, m;

EX=对不稳定或者中性大气状况为 0.25; 对稳定状况为 0.50。

(3) 烟云的扩散

程序计算高架和地面连续排放导致的浓度，如果是混合排放，需要同时计算高架和地面排放，计算结果根据排放类型发生的时间分配比相加。对于高架排放，浓度计算使用如下公式：

$$\frac{\bar{x}}{Q}(x,k) = \frac{2.032}{x} \cdot RF(x,k) \sum_{i,j}^{N,7} \frac{DEPL_{ij}(x,k) DEC_j(x) f_{ij}(K)}{U_i(x) \sigma_{zj}(x)} \cdot \exp \left[-0.5 \left(\frac{he^2}{\sigma_{zj}(x)^2} \right) \right] \quad (6.2-9)$$

式中，

$\frac{\bar{x}}{Q}(x,k)$ = k 方位 x 距离处的大气扩散因子， s/m^3 ；

x = 下风向距离， m ；

i = 第 i 风速级；

j = 第 j 大气稳定度；

k = 第 k 方位；

U_i = 第 i 风速级的中值；

$\sigma_{zj}(x)$ = 距离 x 处稳定度 j 的垂直烟羽扩散系数， m ；

$f_{ij}(k)$ = 第 i 风速级，第 j 稳定度和第 k 方位的联合频率；

he = 有效烟羽高度， m ；

$DEC_i(x)$ = x 距离第 i 风速级由于放射性衰变的损耗因子；

$DEPL_{ij}(x,k)$ = x 距离 i 风速级，第 j 稳定度和第 k 方位由于烟羽损耗的因子；

$RF(x,k)$ = x 距离和第 k 方位的环流和滞流的修正因子。

地面排放的浓度则由 Slade 给出的如下两个公式计算：

$$\frac{\bar{x}}{Q}(x,k) = \frac{2.032}{x} \cdot RF(x,k) \sum_{i,j}^{N,7} DEPL_{ij}(x,K) DEC_j(x) f_{ij}(K) \left[U_i (\sigma_{zj}^2(x) + CD_z^2 / \pi)^{1/2} \right]^{-1} \quad (6.2-10)$$

$$\frac{\bar{x}}{Q}(x,k) = \frac{2.032}{x} \cdot RF(x,K) \sum_{i,j}^{N,7} DEPL_{ij}(x,K) DEC_j(x) f_{ij}(K) \left[\sqrt{3} U_i \sigma_{zj}(x) \right]^{-1} \quad (6.2-11)$$

式中， $\frac{\bar{x}}{Q}(x,k)$ ， i ， j ， U_i ， $\sigma_{zj}(x)$ ， $f_{ij}(k)$ ， $DEC_i(x,k)$ ， $DEPL_{ij}(x,k)$ 和

$RF(x,k)$ 定义如前，此外 D_z = 建筑物高度， m 。

式 (6.2-11) 表示了由于建筑物尾流的最大附加扩散。比较式 (10) 和式 (11) 的结果，并取保守的较大的 X/Q 值。

式 (6.2-9)、(6.2-10) 和 (6.2-11) 中要用到由于放射性衰变的损耗因子， $DEC_j(x)$ ，按 Slade (1968) 给出的如下关系式计算：

$$DEC_i(x) = EXP(-0.693t_i / T) \quad (6.2-12)$$

式中,

$t_i = x / (86400 \times u_i)$;

T = 放射性元素的半衰期, d;

t_i = 传输时间, d;

x = 下风向距离, m;

u_i = 第 i 风速级的中值, m/s。

烟羽沉积损耗的因子 $DEPL_{ij}(x, k)$ 采用 NUREG1.111 中图 3~图 6 中给出的值。

(4) 相对沉积

● 干沉积

对每一方位扇形的相对干沉积按如下公式计算:

$$\frac{\bar{D}}{Q}(x, k) = \frac{RF(x, k) \sum_{ij}^{N7} D_{ij} f_{ij}(K)}{(2\pi/16)x} \quad (6.2-13)$$

式中,

$\frac{\bar{D}}{Q}(x, k)$ = x 距离和 k 方位处单位面积的相对干沉积因子, m^{-2} ;

D_{ij} = 按 NUREG1.111 (USNRC, 1977) 表 7 到 10 第 i 风速级和第 j 稳定度的相对沉积速度, m;

f_{ij} = 第 i 风速级, 第 j 稳定度和第 k 方位的联合频率;

x = 下风向距离, m;

$RF(x, k)$ = 距离 x 处, k 方位扇形的回流和滞流的修正因子。

● 湿沉积

湿沉积因子采用下列公式计算:

$$W(x, k) = \frac{N}{2\pi x} \left[\sum_{jkl} f_{ijkl} \frac{\lambda_i}{u_{ijkl}} \right] \quad (6.2-14)$$

其中,

$W(x, k)$ = x 距离和 k 方位处单位面积的相对湿沉积因子, m^{-2} ;

f_{ijkl} = 第 i 风速级、第 j 稳定度、第 k 风向和第 l 降雨强度的联合频率;

u =第 i 风速级的中值;

x =下风向距离, m;

λ_i =冲洗系数, 1/s;

$\lambda = \lambda_0 I^{0.8}$,

对于元素碘和气溶胶, $\lambda_0 = 7 \times 10^{-5}$;

对于有机碘, $\lambda_0 = 7 \times 10^{-7}$;

I =降雨强度, mm/h。

(5) 高、低架排放的时间分配

当烟囱高度高于邻近建筑物, 且低于其 2.5 倍时, 视为混合排放, 即部分时间为高架排放, 部分时间为地面源排放, 两者的分配由计算值 E_t 决定。

按如下关系式确定烟羽高架排放和地面排放的份额:

$$\begin{aligned} E_t &= 1.0 \text{ 当 } W_0 / \bar{u} \leq 1.0 \\ E_t &= 2.58 - 1.58(W_0 / \bar{u}) \text{ 当 } 1.0 < W_0 / \bar{u} \leq 1.5 \\ E_t &= 0.3 - 0.06(W_0 / \bar{u}) \text{ 当 } 1.5 < W_0 / \bar{u} \leq 5.0 \\ E_t &= 0.0 \text{ 当 } W_0 / \bar{u} \geq 5.0 \end{aligned} \quad (6.2-15)$$

式中,

E_t =排放为地面的时间份额;

W_0 =烟羽排出速度, m/s;

u =出口处平均风速, m/s。

2) 气载流出物剂量模式

本项目 2 台核电机组在正常运行时, 按照图 6.2-1 所示照射途径计算放射性流出物通过气态途径释放对人的受照剂量。

气态流出物对居民所致的剂量计算模式描述如下:

(1) 空气浸没外照射剂量

$$D_{ea} = \sum_i \chi_i \cdot DF_{ai}$$

式中,

D_{ea} =计算点处公众个人浸没于污染的半无限烟云中所致的有效剂量, Sv/a;

χ_i =地面空气中核素 i 的浓度, Bq/m³;

DF_{ai} =公众个人浸没于污染的半无限烟云中放射性核素 i 的有效剂量转换因

子, (Sv/a) / (Bq/m³)。

(2) 地面沉积外照射剂量

$$D_{eg} = 8760 \cdot \sum_i W_i \cdot [1 - \exp(-\lambda_{gi} \cdot t_g)] \cdot \lambda_{gi}^{-1} \cdot DF_{si}$$

式中,

D_{eg} = 污染的地面对公众个人所致的有效剂量, Sv/a;

W_i = 核素 i 的地面沉积率, Bq / (m²·d) ;

λ_i = 放射性核素 i 的衰变常数, 1/d;

λ_{gi} = 放射性核素 i 在陆地环境的有效去除常数, 1/d,

$$\lambda_{gi} = \lambda_i + \lambda_g$$

其中,

λ_g = 放射性核素在陆地环境中的物理去除常数, 1/d;

t_g = 放射性核素在地面上沉积的累积时间, d;

DF_{si} = 沉积物中放射性核素 i 的有效剂量转换因子, (Sv/h) / (Bq/m²) ;

8760 = h/a 的换算系数。

(3) 吸入内照射剂量

$$D_{eh} = 8760 \cdot \sum_i \chi_i \cdot B_r \cdot F_{hi}$$

式中,

D_{eh} = 公众个人吸入污染的空气所致的有效剂量, Sv/a;

χ_i = 地面空气中核素 i 的浓度, Bq/m³;

B_r = 公众个人的呼吸率, m³/h;

DF_{hi} = 公众个人吸入核素 i 的有效剂量转换因子, Sv/Bq;

8760 = h/a 的换算系数。

(4) 食入陆地动植物内照射剂量

因食入污染的食物产生的待积有效剂量当量为:

$$D_{Di}^g = g_{Da} \sum_P U_a^P f_P C_i^P$$

式中:

D_{Di}^g : i 风向扇形内 a 年龄组的个人因食入污染食物产生的待积有效剂量当量, Sv/a。

g_{D_a} : a 年龄组的食入剂量因子, Sv/Bq。

U_a^P : a 年龄组的个人对 P 类农产品的年摄入量, kg/a 或 1/a。

f_P : 食入有关地区产生的 P 类农产品的份额, %。

C_i^P : P 类农产品中的放射性核素浓度, Bq/kg 或 Bq/L。

a) 蔬菜、谷类、水果、饲料等农作物中的核素浓度 (不包括 ^3H 和 ^{14}C)

$$C_i^P = 3.15 \times 10^7 \dot{Q}(\bar{W}_{D_i} + \bar{W}_{w_i}) \left\{ \frac{RT_{iV}[1 - \exp(-\lambda_c^V t_c)]}{Y_V \lambda_c^V} + \frac{B_V[1 - \exp(-\lambda_e^S t_b)]}{P \lambda_c^S} \right\} \times \exp(-\lambda t_h)$$

式中:

R: 滞留份额, 即沉积放射性保留在植物中的份额。

T_{iV} : 易位因子, 即沉积于植物外部的放射性核素向植物食用部分的易位因子, 无量纲。

λ_c^V : 放射性核素由植物中清除的有效速率, 1/a, $\lambda_c^V = \lambda + \lambda_w$, 其中 λ_w 是风化产生的物理消除速率常数。

t_c : 农作物在生长季节受污染的时间, a。

Y: 收获时农作物的有效生物质量, 即单位面积产量, kg/m²。

B_V : 农作物食用部分从土壤摄入核素的浓集因子, [Bq/kg (鲜作物)]/[Bq/kg (干土壤)]。

t_b : 核素在土壤中的累积时间, a。

P: 土壤的有效表面密度, kg (干土壤)/m²。

t_h : 农作物由收获到消费的时间, a。

b) 植物中 ^3H 的浓度

$$C_i^T = 10^3 \dot{Q}_T(\bar{\chi}/\dot{Q})_i (0.75)(0.5/H) = 3.8 \times 10^2 \dot{Q}_T(\bar{\chi}/\dot{Q})_i \frac{1}{H}$$

式中:

C_i^T : i 风向下风向扇形内植物中的 ^3H 浓度, Bq/kg。

H: 评价点的年平均绝对湿度, g/m³。

\dot{Q}_T : ^3H 的释放率, Bq/a。

0.5: 植物中水的氘浓度与大气水中 ^3H 浓度之比。

0.75: 水在植物中总质量中的份额。

c) 植物中 ^{14}C 的浓度

$$C_{14}^T = \frac{1}{3.15 \times 10^4} \cdot Q_{14} \cdot (\chi/Q)_i \cdot p \cdot 0.11/0.16$$

式中：

C_{14}^T ：i 风向下风向扇形区内农作物中 ^{14}C 浓度，Bq/kg。

Q_{14} ： ^{14}C 的年释放率，Bq/a。

p：相对平衡比。

$(\chi/Q)_i$ ：i 风向下风向扇形区内在 x 距离处的大气弥散因子， s/m^3 。

0.11：植物总量中天然碳所占的份额。

0.16：大气中天然碳的浓度， g/m^3 。

$1/(3.5 \times 10^4)$ ：单位转换系数。

d) 奶、肉和蛋中的核素浓度

$$C_i^m = F_m C_i^a Q_F \exp(-\lambda t_F)$$

式中：

C_i^m ：i 风向下风向扇形内奶中的核素浓度，Bq/L。

C_i^a ：动物饲料中的核素比活度，Bq/kg（干重）。

F_m ：动物每天摄入的放射性核素出现在每升奶中的平均份额，d/L。

Q_F ：动物每天消耗的饲料量，kg（干重）/d。

t_F ：放射性核素由奶到人的平均迁移时间，a。

肉中的核素浓度同样可表示为

$$C_i^f = F_f C_i^a Q_F \exp(-\lambda t_f)$$

式中：

C_i^f ：肉中的核素比活度，Bq/kg。

F_f ：动物每天摄入的放射性核素出现在每公斤肉中的份额，d/kg。

t_f ：屠宰到消费的时间，a。

关于蛋中的核素浓度的表达式及各参数的含义，完全类同于奶中核素浓度的计算。

动物饲料核素浓度 C_i^a 由下式计算：

$$C_i^a = f_p f_s C_i^p + (1 - f_p) C_i^s + f_p (1 - f_s) C_i^s$$

式中：

C_i^p ：生长中的牧草的核素比活度，Bq/kg（干重）。

C_i^s : 贮存饲料的核素比活度, Bq/kg (干重)。

f_p : 动物每年放牧于牧场的时间份额。 f_s 为放牧期间饲料中鲜草的份额。

上也可以表示为

$$C_i^a = \hat{f}_p C_i^p + \hat{f}_s C_i^s$$

式中: $\hat{f}_p = f_p f_s$, 为饲料中鲜牧草的份额。

$\hat{f}_s = 1 - \hat{f}_p$, 为饲料中贮存牧草的份额。

e) 食入剂量

因食入污染的食物产生的待积有效剂量当量为:

$$D_{D_i}^g = g_{D_a} \sum_P U_a^P f_P C_i^P$$

式中:

$D_{D_i}^g$: i 风向下扇形内 a 年龄组的个人因食入污染食物产生的待积有效剂量当量, Sv/a。

g_{D_a} : a 年龄组的食入剂量因子, Sv/Bq。

U_a^P : a 年龄组的个人对 P 类农产品的年摄入量, kg/a 或 1/a。

f_P : 食入有关地区产生的 P 类农产品的份额, %。

C_i^P : P 类农产品中的放射性核素浓度, Bq/kg 或 Bq/L。

(5) 气载放射性释放物对公众个人总的照射剂量

$$D_e = D_{ea} + D_{eg} + D_{eh} + D_{ee}$$

式中,

D_e = 放射性气体废物释放对公众个人所致有效剂量, Sv/a;

D_{ea} = 公众个人浸没于污染的半无限烟云中所致的有效剂量, Sv/a;

D_{eg} = 污染的地面对公众个人所致有效剂量, Sv/a;

D_{eh} = 公众个人吸入污染的空气所致有效剂量, Sv/a;

D_{ee} = 公众个人摄入陆地动植物所致有效剂量, Sv/a。

(6) 放射性气体废物释放对公众群体的集体剂量

$$D = \sum_k D_{ek} \cdot P_k$$

式中,

D---评价区域内公众群体受到的集体有效剂量, 人·Sv/a;

D_{ek} ---第 k 子区中公众个人受到的有效剂量, Sv/a;

P_k ---评价区域内第 k 子区中公众人口数。

6.2.3.2 液态途径

1) 水体扩散计算模式

(1) 模型方程

采用通用的水动力模型模拟液态流出物的稀释扩散过程, 模型采用基于 Boussinesq 和垂向静水压力假定, 采用三维曲线坐标系, 垂向坐标表示如下:

$$\sigma = \frac{z - \zeta}{d + \zeta} = \frac{z - \zeta}{H}$$

其中 d 为参考平面以下的水深值, H 是全水深, z 为物理空间垂向坐标, ζ 为自由表面高程 (参考平面以上的数值)。在底层 $\sigma = -1$, 表层 $\sigma = 0$ 。

水深平均的连续方程:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta)U\sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta)V\sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} = Q$$

其中, t 为时间, ξ 和 η 为曲线坐标系下水平方向的坐标, $G_{\xi\xi}$ 、 $G_{\eta\eta}$ 为曲线坐标系转换为直角坐标系的转换系数; U 、 V 分别为 ξ 和 η 方向的垂向平均流速。 Q 表示源汇项, 如取排水、降雨和蒸发等。

模型动量方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{w}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} - fv \\ = -\frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\xi\xi}}} P_\xi + F_\xi + \frac{1}{(d + \zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(v_v \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + M_\xi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{w}{d + \zeta} \frac{\partial v}{\partial \sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} - \frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} + fu \\ = -\frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\eta\eta}}} P_\eta + F_\eta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(v_v \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + M_\eta \end{aligned}$$

式中 u 、 v 、 w 是曲线正交坐标系下的流速分量, f 是 Coriolis 参数。 F_ξ 和 F_η 分别为 ξ 和 η 方向的紊动动量通量; P_ξ 和 P_η 为 ξ 和 η 方向的水压力梯度, v_v 为垂向粘滞系数, M_ξ 和 M_η 为 ξ 和 η 方向上动量的源汇项。

物质输运方程:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(d+\zeta)c}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \left\{ \frac{\partial[\sqrt{G_{\eta\eta}}(d+\zeta)uc]}{\partial \xi} + \frac{\partial[\sqrt{G_{\xi\xi}}(d+\zeta)vc]}{\partial \eta} \right\} + \frac{\partial wc}{\partial \sigma} \\ & = \frac{d+\zeta}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \left\{ \frac{\partial}{\partial \xi} \left[D_H \frac{\sqrt{G_{\eta\eta}}}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial c}{\partial \xi} \right] + \frac{\partial}{\partial \eta} \left[D_H \frac{\sqrt{G_{\xi\xi}}}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial c}{\partial \eta} \right] \right\} \\ & + \frac{1}{d+\zeta} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(D_V \frac{\partial c}{\partial \sigma} \right) - \lambda_d(d+\zeta)c + S \end{aligned}$$

式中 c 为温度或物质浓度, D_H 为水平扩散系数, D_V 为垂向扩散系数, 物质扩散系数的确定方法类比水流粘滞系数。 λ_d 为物质衰变系数 (/day), S 为源项。

(2) 计算条件

流场定解条件: 以岸边界为固定壁面, 开边界采用潮位边界; 采用静流条件起算。

温度场定解条件: 岸边界和底部边界为绝热边界, 开边界上为环境水温。自由表面为散热边界, 采用超温散热模块计算; 采用零温升 (即环境水温) 起算。

浓度场定解条件: 开边界上浓度为零, 采用零浓度起算。

(3) 模型参数选择

a) 糙率系数 n

n 值取 0.018~0.025 之间。

b) 粘滞系数及扩散系数

涡黏系数及扩散系数: 广义水平扩散系数 D_H 分为湍流模型计算值 D_{SGS} 、水平扩散系数背景值 D_H^{back} 、垂向扩散参数 D_V 几部分:

$$D_H = D_{SGS} + D_V + D_H^{back}$$

基于一期工程温排水原型观测成果, 以及基于原型观测成果的数学模型校验研究成果, 最终确定水平广义扩散系数的背景值 D_H^{back} 与水深 H 、潮平均流速值 U 关联。温排水三维数学模型水平扩散系数全场取值范围在 0.1~110m²/s 之间。扩散系数分布总体表现为从近岸浅滩到离岸深水逐渐增大、从排口近区向远区逐渐增大的分布特点。

c) 核素衰减系数

不同核素半衰期如表 6.2-1 所示。

(4) 计算范围

液态流出物模拟范围沿岸线长约 300km，离岸约 130km，计算域面积约 36000km²。模型采用曲面四边形网格，最小网格尺度控制在 40m，最大网格尺度约 1000m，总网格数约 31000。

2) 液态途径剂量计算模式

核电厂液态流出物释放对附近居民中个人造成的受照剂量和集体剂量的计算模式如下：

(1) 计算液体途径所致个人放射性剂量的通用方程式

$$R_{aip} = C_{ip} \cdot U_{ap} \cdot D_{ai} \quad (6.2-16)$$

式中：

R_{aip} —核素 i 经途径 p 对年龄组 a 所致的年剂量，mSv/a；

C_{ip} —核素 i 在途径 p 介质中的浓度，按需要选用 Bq/l，Bq/kg 或 Bq/m²；

U_{ap} —年龄组 a 在途径 p 中的利用因子，按需要选用 h/a，1/a 或 kg/a；

D_{ai} —核素 i 经途径 p 对年龄组 a 所致的剂量转换因子，以 mSv/Bq 表示摄入放射性核素所致剂量转换因子；以 (mSv/h) / (Bq/m²) 表示沉积物中一定浓度的放射性核素所致的剂量转换因子。

(2) 食入水生生物所致的个人内照射剂量

$$R_{aip} = \frac{U_{ap} \cdot M_p}{F} \sum_i Q_i \cdot B_{ip} \cdot D_{aip} \cdot \exp(-\lambda_i t_p) \quad (6.2-17)$$

式中：

R_{aip} —核素 i 经途径 p 对年龄组 a 所致的年剂量，mSv/a；

M_p —排出流与受纳水体的混合比，即稀释倍数的倒数；

U_{ap} —年龄组 a 在途径 p 中的利用因子，kg/a；

F —排出流的流量，1/a；

Q_i —核素 i 的年释放率，Bq/a；

B_{ip} —核素 i 在途径 p 中的生物浓集因子，(Bq/kg) / (Bq/l)；

D_{aip} —核素 i 经途径 p 对年龄组 a 所致的剂量转换因子，mSv/Bq；

λ_i —核素 i 的衰变常数，h⁻¹；

t_p —食物链转移和食品加工的时间， $t_p = 24h$ 。

(3) 岸边沉积物所致的个人外照射剂量

$$C_{is} = Kc \frac{C_{iw}[1 - \exp(-\lambda_i t_b)]}{\lambda_i} \quad (6.2-18)$$

式中：

C_{is} —沉积物中核素 i 的浓度，Bq/kg；

C_{iw} —沉积物邻近水域中核素 i 的浓度。Bq/l；

Kc —从水到沉积物的转移常数，1/kg·d；

λ_i —核素 i 的衰变常数， d^{-1} ；

t_b —沉积物受到污染水的影响时间，取 $t_b=20$ 年（即 $t_b=7300$ 天）。

假定表面污染只在沉积物顶部以下 2.5cm 之间（表面质量为 40kg/m^2 ），深度在 2.5cm 以下的核素对剂量的贡献忽略不计，所得方程式为：

$$S_i = 100T_i \cdot C_{iw} \cdot W[1 - \exp(-\lambda_i t_b)] \quad (6.2-19)$$

式中：

S_i —用于以年计算的实际表面污染，Bq/m²；

T_i —核素 i 的放射性半衰期，d；

W —岸边宽度因子，对于海岸来说， $W=1$ ；

100—转换常数， $1/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ；

C_{iw} —核素 i 在水中的浓度，Bq/l；

λ_i —核素 i 的衰变常数， d^{-1} ；

t_b —污染水浸没土壤的时间，d。

组合方程（6.2-18）和（6.2-19）并代入方程式（6.2-16），导出用于计算岸边沉积物所致的外照射剂量的方程式（6.2-20）。

$$\begin{aligned} R_{aip} &= U_{ap} \cdot \sum_i S_i \cdot D_{aip} \\ &= 100U_{ap} \cdot w \sum_i C_{iw} \cdot T_i \cdot D_{aip} [1 - \exp(-\lambda_i t_b)] \end{aligned} \quad (6.2-20)$$

式中： $C_{iw} = \frac{Q \cdot M_p}{F} \exp(-\lambda_i t_p)$ 代入（6.2-21）式得到下列关系式：

$$\begin{aligned} R_{aip} &= 100 \frac{U_{ap} \cdot M_p \cdot W}{F} \sum_i Q_i \cdot T_i \cdot D_{aip} [\exp(-\lambda_i t_p)] \\ &\quad \cdot [1 - \exp(-\lambda_i t_b)] \end{aligned} \quad (6.2-21)$$

式中各符号的物理意义同上列方程式。

(4) 游泳和划船所致个人剂量

居民在受纳水域中游泳（淹没在水中）或划船（水表面）所受外照射剂量公式如下：

$$R_{aip} = \frac{U_{ap} \cdot M_p}{F \cdot K_p} \sum_i Q_i \cdot D_{aip} \exp(-\lambda_i t_p) \quad (6.2-22)$$

式中：

R_{aip} —核素 i 通过途径 p 对年龄组 a 所致年剂量， mSv/a ；

U_{ap} —年龄组 a 在途径 p 中的利用因子， h/a ；

M_p —排出流与受纳水体的混合比，即稀释倍数的倒数；

F —排出流的流量， l/a ；

K_p —几何因子，对于游泳 $K_p=1$ ，对于划船 $K_p=2$ ；

Q_i —核素 i 的年释放率， Bq/a ；

λ_i —核素 i 的衰变常数， h^{-1} ；

t_p —核素转移时所耗时间， $t_p=0.5h$ 。

(5) 计算居民集体剂量的通用方程式如下：

$$D_{ip} = 0.001P \sum_a D_a \cdot f_a \quad (6.2-23)$$

式中：

D_{ip} —核素 i 通过途径 p 所致的居民年集体剂量， $人 \cdot Sv/a$ ；

P —80km 半径范围内居民数， $人$ ；

D_a —年龄组 a 中个人所接受的年剂量， mSv/a ；

f_a —居民中年龄组 a 所占的份额；

0.001— mSv 转换成 Sv 的换算因子。

在 80km 半径范围内居民食用水产品所致的年集体剂量可用下式计算：

$$D_i = 0.001P_p \sum_a f_a \cdot C_{ip} \cdot U_{ap} \cdot DF_{ai} \quad (6.2-24)$$

式中：

D_i —居民食用水产品受到的年集体剂量， $人 \cdot Sv/a$ ；

p_p —消耗水产品 p 的居民数， $人$ ；

f_a —年龄组 a 所占居民中的份额;

C_{ip} —80km 范围内核素 i 在水产食品 p 中的平均浓度, Bq/kg 或 Bq/l;

U_{ap} —年龄组 a 中个人对水产食品 p 的平均利用因子或消耗因子, kg/a 或 l/a;

DF_{ai} —年龄组 a 的核素 i 剂量转换因子, mSv/Bq;

0.001—mSv 转换成 Sv 的换算因子。

岸边沉积所致居民的集体剂量可用下列方程式计算:

$$R_{aip} = 0.1 \frac{U_{ap} M_p W}{F} \sum_i Q_i T_i D_{aip} [\exp(-\lambda_i t_p)] [1 - \exp(-\lambda_i t_b)] \quad (6.2-25)$$

式中:

R_{aip} —核素 i 通过途径 p 对年龄组 a 居民产生的集体剂量, 人·Sv/a;

U_{ap} —年龄组 a 居民在岸边沉积途径 p 中的利用因子, 人·h/a;

M_p —排出流与受纳水体的混合比, 即稀释倍数的倒数;

其他参数的物理意义同上一列方程式。

居民在受纳水域中游泳及划船所致的集体剂量可由下列方程计算:

$$R_{aip} = 0.001 \frac{U_{ap} M_p}{F \cdot K_p} \sum_i Q_i D_{aip} [\exp(-\lambda_i t_p)] \quad (6.2-26)$$

式中:

R_{aip} —核素 i 通过游泳或划船途径 p 对年龄组 a 居民所致的年集体剂量, 人·Sv/a;

U_{ap} —年龄组 a 居民在游泳或划船途径 p 的利用因子, 人·h/a;

M_p —排出流与受纳水体的混合比, 即稀释倍数的倒数;

其他参数的物理意义同上一列方程式。

6.2.4 大气弥散和水体稀释

6.2.4.1 大气弥散

表 6.2-2~6.2-7 分别列出了厂址半径 80km 范围内各子区代表性放射性核素 ^{85}Kr 、 ^{133}Xe 、 ^{131}I 、 ^{137}Cs 、 ^3H 和 ^{14}C 混合释放情况下年均长期大气弥散因子值。海阳厂址半径 80km 范围因干、湿沉积所致的元素碘和粒子态核素年均沉积因子见表 6.2-8~表 6.2-9。

6.2.4.2 水体稀释

液态流出物在受纳水体中的稀释扩散，与受纳水体的水文气象条件、取排水构筑物的形式以及废水排放方式有密切关系。

本项目 5、6 号机组液态流出物与一期、二期液态流出物一同排放，随着一期、二期温排水向西排放入海。

根据中国水利水电科学研究院编制的《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程液态流出物、余氯数模计算成果报告》，表 6.2-10 给出了电厂液体放射性流出物排放在排水口周围不同海域的平均稀释倍数。图 6.2-3~图 6.2-14 给出了 6 台 1250MWe 级核电机组冬夏季潮型不同半衰期的平均和最大等浓度线包络图。

6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度

6.2.5.1 大气中主要核素浓度

根据 CAP1000 核电机组在正常运行工况下气载放射性核素的设计排放源项，表 6.2-11~6.2-16 分别列出了本项目 2 台机组运行时厂址半径 80km 范围内各子区代表性放射性核素 ^{85}Kr 、 ^{133}Xe 、 ^{131}I 、 ^{137}Cs 、 ^3H 和 ^{14}C 混合释放情况下空气中的平均活度浓度。由表可见，各核素浓度最大值出现在 NE 方位 0~1km 处。

本项目为扩建，考虑前期机组的影响，海阳厂址 1~6 号机组所致厂址半径 80km 范围内各子区代表性放射性核素 ^{85}Kr 、 ^{133}Xe 、 ^{131}I 、 ^{137}Cs 、 ^3H 和 ^{14}C 混合释放情况下空气中的平均活度浓度见表 6.2-17~6.2-22。

6.2.5.2 海水中主要放射性核素浓度

CAP1000 机组的核岛废液采用间歇性排放，单堆年排放量为 3000m^3 ，年排放时间 334h，平均排放速率为 $9\text{m}^3/\text{h}$ 。正常运行条件下，冬季冷却水（单堆）流量约为 $52\text{m}^3/\text{s}$ 。本项目液态流出物随 1~4 号机组冷却水一同排放。

根据 CAP1000 核电机组在正常运行工况下液态放射性核素的设计排放源项，本项目 2 台机组所致总排放口处各核素的浓度见表 6.2-23。由表 6.2-23 可见，总排放口处 5 种核素的排放浓度已低于《海水水质标准》（GB 3097-1997）中的限值，在排放入海后浓度将进一步降低。因此，本项目 2 台机组所致海水中核素浓度将远低于《海水水质标准》（GB 3097-1997）中的限值，满足海水水质标准要求。

本项目为扩建项目，考虑全厂址 6 台机组，保守假设 6 台机组同时排放，则总排放口处 5 种核素的年平均浓度见表 6.2-24，排放口浓度已低于《海水水质标

准》(GB 3097-1997)中的限值。核素排放后经稀释扩散浓度将进一步降低,海水中核素浓度将远低于《海水水质标准》(GB 3097-1997)中的限值,因此海阳核电厂海水中的核素浓度能满足海水水质标准要求。

6.2.6 公众的最大个人剂量

6.2.6.1 气态途径

根据单台 CAP1000 核电机组在正常运行工况下气载放射性核素的设计排放源项、各种放射性核素的平均长期大气弥散因子、地面沉积因子、食物摄入量、剂量转换因子(见表 6.2-25)等数据,计算了本项目 5、6 号机组在正常运行工况下由气态途径对厂址周围居民可能造成的最大个人有效剂量。

根据气态途径剂量计算结果,本项目 5、6 号机组由气态途径所致婴儿、儿童、青少年、成人和渔民的个人最大受照有效剂量分别为 $1.81\text{E-}03\text{mSv/a}$ 、 $2.93\text{E-}03\text{mSv/a}$ 、 $1.98\text{E-}03\text{mSv/a}$ 、 $2.01\text{E-}03\text{mSv/a}$ 和 $1.81\text{E-}03\text{mSv/a}$ 。

6.2.6.2 液态途径

为了计算人体通过食用水生生物、在厂址附近被放射性物质污染的岸滩上活动等水环境途径所致的内外照射剂量,本报告采用美国核管理委员会 R.G 1.109 中推荐的计算模式,剂量转换因子采用我国国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和美国能源部 DOE/EH-0071 和国际原子能机构 BSS 的推荐值,见表 6.2-26。计算采用 2 台百万级核电机组的液态途径设计排放源项,其中单台机组液态途径设计排放源项见第四章表 4.6-17。

根据液态途径剂量计算结果,本项目 5、6 号机组由液态途径所致厂址附近的婴儿、儿童、青少年、成人和渔民的最大有效剂量为 $1.27\text{E-}04\text{mSv/a}$ 、 $7.73\text{E-}04\text{mSv/a}$ 、 $7.07\text{E-}04\text{mSv/a}$ 、 $6.42\text{E-}04\text{mSv/a}$ 和 $7.14\text{E-}04\text{mSv/a}$ 。

6.2.6.3 剂量汇总

国家标准 GB6249-2011 规定:正常运行工况下,每座核电厂向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量,每年应小于 0.25mSv 。

本项目正常运行工况下剂量汇总见表 6.2-27。

由表 6.2-27 可知:本项目 2 台 CAP1000 核电机组在正常运行期间放射性物质所致的最大个人剂量为 $3.70\text{E-}03\text{mSv/a}$,为国家标准规定的 0.25mSv/a 的 1.48%,占本项目管理目标值 0.04mSv/a 的 9.25%。

由于本项目为扩建项目，全厂址所致最大个人剂量汇总参见表 6.2-28。海阳核电厂址 1~6 号机组所致最大个人剂量为 1.30E-02 mSv/a，为国家标准规定的 0.25mSv/a 的 5.2%。

6.2.7 对水生物的辐射影响

水生生物受到的辐射照射主要来自宇宙射线、天然放射性及核设施液态流出物，这些照射导致了水生生物的外照射剂量和内照射剂量。其中外照射剂量来源于水体照射和底泥照射；内照射剂量来源于生物直接摄入放射性核素并通过代谢过程在生物体内浓集。

评价水生生物的辐射影响采用了危害商的定义，危害商的定义是剂量估算值与参考值的比值，具体公式如下：

$$RQ = \frac{\text{预测的生物剂量率}}{\text{认定安全的剂量率基准值}}$$

由上述公式可知，如果危害商小于 1，说明不可能对环境产生危害。

评价模式三级筛选组成：一级筛选中只需输入要评价的生态系统、选择核素、输入核素在介质中的活度浓度，导出危害商，若危害商大于 1 则进入二级筛选；二级筛选在一级筛选的基础上增加了生物种类的选择，同时程序还允许用户进行核素参数设置（包括分布系数、生物参数设置等）；三级筛选的特点是用户在进行核素参数设置时，不但可以输入或采用程序提供的默认值，也可以根据选择的分布类型计算其分布值（可选择 7 种，包括指数分布、正态分布、三角分布、均匀分布、对数正态分布、对数三角分布、对数均匀分布）。

本次计算采用二级筛选模式，同时采用程序提供的参数默认值。水生生物辐射剂量计算模式和参数如下所述：

1) 浓度平衡比和分配系数

$$\text{浓度平衡比 } CR = \frac{\text{放射性核素在生物体中的浓度}(Bq/kg\text{干重})}{\text{放射性核素在水中的浓度}(Bq/L)}$$

$$\text{分配系数 } K_d = \frac{\text{放射性核素在沉积物中的浓度}(Bq/kg\text{干重})}{\text{放射性核素在水中的浓度}(Bq/L)}$$

2) 剂量转换因子

- 对于单能源的剂量转换因子

内照射剂量转换因子 $DCC_{int} = 5.77 \times 10^{-4} \times E \times \Phi_E$

外照射剂量转换因子 $DCC_{ext} = 5.77 \times 10^{-4} \times E \times (1 - \Phi_E)$

式中:

DCC—剂量转换因子 ($\mu\text{Gyh}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$);

E—单能源的能量 (MeV);

Φ_E —特定能量的吸收系数;

5.77×10^{-4} —转换因子。

➤ 对于多能源的剂量转换因子

$$DCC_{int} = wf_{low\beta} \times DCC_{int,low\beta} + wf_{\beta+\gamma} \times DCC_{int,\beta+\gamma} + wf_{\alpha} \times DCC_{int,\alpha}$$

$$DCC_{ext} = wf_{low\beta} \times DCC_{ext,low\beta} + wf_{\beta+\gamma} \times DCC_{ext,\beta+\gamma}$$

式中 wf 是各能源的权重因子 (β , $\beta+\gamma$ 和 α)

3) 水生生物辐射剂量

➤ 内照射剂量率

$$D_{int}^b = \sum_i C_i^b \times DCC_{int,i}^b$$

式中:

D_{int}^b —生物体 b 的内照射吸收剂量率;

C_i^b —核素 i 在生物体 b 内的平均浓度 (Bq/kg 干重);

$DCC_{int,i}^b$ —内照射剂量转换因子。

➤ 外照射剂量率

$$D_{ext}^b = \sum_z V_z \sum_i C_{zi}^{ref} \times DCC_{ext,Zi}^b$$

式中:

V_z —占有系数, 即生物体 b 在介质 Z 所停留时间的份额;

C_{zi}^{ref} —核素 i 在介质 Z 中的平均浓度 (Bq/kg 干重或 Bq/l);

$DCC_{ext,Zi}^b$ —外照射剂量转换因子。

➤ 总照射剂量

$$D = D_{int} + D_{ext}$$

表 6.2-29~表 6.2-31 给出了 ERICA 程序中生物浓集因子、分配系数和居留因

子的取值。

目前核电厂周围海域调查到的海洋生物主要包括浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物以及鱼类。本次评价中，对底层鱼类、软体动物、甲壳类、中上层鱼类、浮游植物、环节动物的多毛类、脉管类植物、浮游动物进行了评价，另外也关注了鸟类的情况，评价生物类别基本涵盖了厂址附近主要水生生物和鸟类。

表 6.2-32 给出了山东海阳核电厂 5~6 号核电机组正常运行时放射性液态流出物排放对厂址邻近海域的水生生物和鸟类造成的危害商，本次评价保守的采用 ERICA 程序中默认的剂量率基准值： $10\mu\text{Gy/h}$ 。

由表 6.2-32 可知，山东海阳核电厂 5~6 号核电机组正常运行时放射性液态流出物排放对厂址邻近海域的水生生物和鸟类造成的危害商最大为 $1.48\text{E-}03$ ，该值远小于 1。

表 6.2-33 给出了海阳核电厂 6 台机组所致的生物危害商，由表 6.2-36 可知，山东海阳核电厂 1~6 号核电机组正常运行时放射性液态流出物排放对厂址邻近海域的水生生物造成的危害商最大为 $1.58\text{E-}02$ ，该值远小于 1。因此可以认为，山东海阳核电厂 1~6 号核电机组正常运行工况下，液态放射性流出物排放不会对厂址邻近海域中的水生生物造成不良影响。

6.2.8 辐射影响评价

6.2.8.1 排放量和排放浓度评价

本报告第四章表 4.6-27 和表 4.6-20 给出了本项目 2 台机组的气载流出物和液态流出物设计排放量与国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）中规定的年排放量控制值的比较。从表中可以看出，本项目 5、6 号机组的气载和液态流出物的年排放量能满足标准要求。

根据前文 4.6.2.1 节的描述，本项目液态流出物除氚和碳 14 外其他放射性核素排放浓度不会超过 GB6249-2011 中的排放控制值 1000Bq/L 。

本报告第一章表 1.7-1 中列出了海阳核电厂 1~6 号机组的气载和液体放射性流出物的年排放量，全厂址 6 台机组的排放总量满足国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）。

6.2.8.2 辐射剂量评价

1) 公众

国家标准 GB6249-2011 规定：正常运行工况下，任何厂址的所有核动力堆向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量，每年应小于 0.25mSv 的剂量约束值。

考虑当地居民的生活习惯，并采用偏保守的假设条件，本项目正常运行工况下剂量汇总见表 6.2-27 和表 6.2-28。由表可知，本项目 5、6 号机组以及全厂址 6 台机组正常运行期间所致最大个人的有效剂量均小于 0.25mSv。因此，本项目在正常运行期间所致公众最大剂量满足 GB6249-2011 的规定。

2) 非人类生物

5、6 号机组正常运行时液态流出物排放对受纳海域中水生生物造成的危害商为 $1.48E-03$ ，海阳核电厂 1~6 号机组正常运行时液态流出物排放对受纳海域中水生生物的危害商为 $1.58E-02$ ，本项目 5、6 号机组和全厂址 6 台机组正常运行工况下，液态流出物排放不会对受纳海域中的水生生物的产生不良影响。

表 6.2-1 不同放射性核素衰变系数

半衰期	余氯 1.5h	8d	70d	250d	5a
λ_i (/s)	1.3×10^{-4}	1.0×10^{-6}	1.1×10^{-7}	3.2×10^{-8}	4.4×10^{-9}

表 6.2-2 厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子

核素： ^{85}Kr (s/m^3)

距离 方位	0~1km	1~2km	2~3km	3~5km	5~10km	10~20km	20~30km	30~40km	40~50km	50~60km	60~70km	70~80km
N	3.29E-07	1.69E-07	1.04E-07	5.72E-08	2.56E-08	1.16E-08	6.51E-09	4.46E-09	3.38E-09	2.71E-09	2.26E-09	1.93E-09
NNE	4.53E-07	2.10E-07	1.24E-07	6.66E-08	2.89E-08	1.33E-08	7.51E-09	5.19E-09	3.95E-09	3.19E-09	2.67E-09	2.29E-09
NE	5.40E-07	2.47E-07	1.49E-07	8.06E-08	3.29E-08	1.48E-08	8.28E-09	5.68E-09	4.30E-09	3.45E-09	2.88E-09	2.46E-09
ENE	1.90E-07	1.03E-07	6.83E-08	4.08E-08	1.84E-08	8.21E-09	4.49E-09	3.03E-09	2.27E-09	1.80E-09	1.49E-09	1.27E-09
E	2.18E-07	1.03E-07	7.14E-08	4.45E-08	2.01E-08	8.55E-09	4.46E-09	2.91E-09	2.13E-09	1.66E-09	1.36E-09	1.14E-09
ESE	3.28E-07	1.55E-07	1.05E-07	6.38E-08	2.76E-08	1.17E-08	6.13E-09	4.02E-09	2.95E-09	2.31E-09	1.89E-09	1.59E-09
SE	3.44E-07	1.76E-07	1.21E-07	7.41E-08	3.27E-08	1.40E-08	7.36E-09	4.85E-09	3.57E-09	2.80E-09	2.29E-09	1.94E-09
SSE	2.86E-07	1.44E-07	9.76E-08	5.96E-08	2.71E-08	1.19E-08	6.43E-09	4.30E-09	3.20E-09	2.53E-09	2.08E-09	1.77E-09
S	2.09E-07	1.05E-07	7.45E-08	4.77E-08	2.22E-08	9.39E-09	4.86E-09	3.15E-09	2.29E-09	1.78E-09	1.45E-09	1.22E-09
SSW	4.57E-07	2.10E-07	1.33E-07	7.74E-08	3.44E-08	1.53E-08	8.30E-09	5.58E-09	4.16E-09	3.30E-09	2.73E-09	2.32E-09
SW	2.12E-07	1.12E-07	7.37E-08	4.37E-08	2.01E-08	9.03E-09	4.96E-09	3.36E-09	2.52E-09	2.00E-09	1.66E-09	1.42E-09
WSW	1.50E-07	8.46E-08	6.06E-08	3.90E-08	1.85E-08	8.16E-09	4.37E-09	2.90E-09	2.15E-09	1.69E-09	1.39E-09	1.18E-09
W	1.51E-07	8.39E-08	5.75E-08	3.49E-08	1.59E-08	6.96E-09	3.73E-09	2.49E-09	1.84E-09	1.46E-09	1.20E-09	1.02E-09
WNW	1.90E-07	1.05E-07	6.70E-08	3.79E-08	1.65E-08	7.55E-09	4.24E-09	2.92E-09	2.21E-09	1.78E-09	1.48E-09	1.27E-09
NW	2.20E-07	1.23E-07	7.65E-08	4.17E-08	1.82E-08	8.40E-09	4.79E-09	3.33E-09	2.54E-09	2.05E-09	1.72E-09	1.48E-09
NNW	2.60E-07	1.39E-07	8.62E-08	4.76E-08	2.11E-08	9.68E-09	5.47E-09	3.77E-09	2.86E-09	2.30E-09	1.93E-09	1.65E-09

表 6.2-3 厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子

核素： ^{133}Xe (s/m^3)

距离 方位	0~1km	1~2km	2~3km	3~5km	5~10km	10~20km	20~30km	30~40km	40~50km	50~60km	60~70km	70~80km
N	3.29E-07	1.69E-07	1.04E-07	5.69E-08	2.53E-08	1.14E-08	6.27E-09	4.24E-09	3.16E-09	2.50E-09	2.06E-09	1.74E-09
NNE	4.53E-07	2.10E-07	1.23E-07	6.63E-08	2.86E-08	1.30E-08	7.25E-09	4.94E-09	3.71E-09	2.95E-09	2.43E-09	2.06E-09
NE	5.40E-07	2.47E-07	1.48E-07	8.03E-08	3.27E-08	1.46E-08	8.04E-09	5.45E-09	4.08E-09	3.24E-09	2.67E-09	2.27E-09
ENE	1.89E-07	1.02E-07	6.80E-08	4.05E-08	1.81E-08	7.97E-09	4.28E-09	2.84E-09	2.08E-09	1.63E-09	1.33E-09	1.11E-09
E	2.18E-07	1.03E-07	7.12E-08	4.43E-08	1.99E-08	8.36E-09	4.30E-09	2.77E-09	1.99E-09	1.54E-09	1.24E-09	1.03E-09
ESE	3.28E-07	1.55E-07	1.05E-07	6.35E-08	2.73E-08	1.14E-08	5.91E-09	3.83E-09	2.77E-09	2.14E-09	1.73E-09	1.44E-09
SE	3.44E-07	1.75E-07	1.21E-07	7.36E-08	3.23E-08	1.36E-08	7.08E-09	4.59E-09	3.33E-09	2.57E-09	2.08E-09	1.73E-09
SSE	2.85E-07	1.44E-07	9.73E-08	5.93E-08	2.67E-08	1.16E-08	6.16E-09	4.05E-09	2.97E-09	2.31E-09	1.88E-09	1.57E-09
S	2.09E-07	1.04E-07	7.42E-08	4.72E-08	2.18E-08	9.06E-09	4.59E-09	2.92E-09	2.09E-09	1.59E-09	1.28E-09	1.05E-09
SSW	4.57E-07	2.09E-07	1.33E-07	7.69E-08	3.40E-08	1.49E-08	7.95E-09	5.27E-09	3.88E-09	3.04E-09	2.48E-09	2.08E-09
SW	2.12E-07	1.12E-07	7.34E-08	4.34E-08	1.98E-08	8.77E-09	4.73E-09	3.15E-09	2.32E-09	1.82E-09	1.48E-09	1.25E-09
WSW	1.50E-07	8.45E-08	6.04E-08	3.87E-08	1.81E-08	7.89E-09	4.14E-09	2.69E-09	1.95E-09	1.51E-09	1.22E-09	1.01E-09
W	1.51E-07	8.38E-08	5.73E-08	3.46E-08	1.57E-08	6.79E-09	3.58E-09	2.35E-09	1.71E-09	1.33E-09	1.08E-09	9.04E-10
WNW	1.89E-07	1.05E-07	6.68E-08	3.77E-08	1.63E-08	7.37E-09	4.08E-09	2.76E-09	2.06E-09	1.63E-09	1.34E-09	1.13E-09
NW	2.20E-07	1.23E-07	7.62E-08	4.15E-08	1.79E-08	8.21E-09	4.61E-09	3.15E-09	2.37E-09	1.88E-09	1.56E-09	1.32E-09
NNW	2.60E-07	1.39E-07	8.59E-08	4.73E-08	2.08E-08	9.46E-09	5.26E-09	3.57E-09	2.67E-09	2.12E-09	1.74E-09	1.48E-09

表 6.2-4 厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子

核素: ^{131}I (s/m^3)

距离 方位	0~1km	1~2km	2~3km	3~5km	5~10km	10~20km	20~30km	30~40km	40~50km	50~60km	60~70km	70~80km
N	3.13E-07	1.49E-07	8.83E-08	4.57E-08	1.91E-08	8.09E-09	3.99E-09	2.46E-09	1.65E-09	1.27E-09	9.85E-10	7.46E-10
NNE	4.31E-07	1.84E-07	1.05E-07	5.31E-08	2.15E-08	9.13E-09	4.53E-09	2.80E-09	1.88E-09	1.44E-09	1.12E-09	8.44E-10
NE	5.13E-07	2.17E-07	1.26E-07	6.43E-08	2.46E-08	1.03E-08	5.03E-09	3.09E-09	2.07E-09	1.58E-09	1.23E-09	9.27E-10
ENE	1.80E-07	9.02E-08	5.79E-08	3.25E-08	1.36E-08	5.63E-09	2.69E-09	1.62E-09	1.07E-09	8.07E-10	6.19E-10	4.63E-10
E	2.07E-07	9.08E-08	6.06E-08	3.55E-08	1.50E-08	5.91E-09	2.71E-09	1.58E-09	1.02E-09	7.61E-10	5.77E-10	4.28E-10
ESE	3.12E-07	1.36E-07	8.91E-08	5.10E-08	2.06E-08	8.11E-09	3.74E-09	2.21E-09	1.44E-09	1.07E-09	8.19E-10	6.10E-10
SE	3.27E-07	1.54E-07	1.03E-07	5.91E-08	2.44E-08	9.69E-09	4.49E-09	2.66E-09	1.73E-09	1.30E-09	9.90E-10	7.39E-10
SSE	2.71E-07	1.27E-07	8.28E-08	4.75E-08	2.01E-08	8.23E-09	3.89E-09	2.33E-09	1.53E-09	1.15E-09	8.82E-10	6.59E-10
S	1.99E-07	9.19E-08	6.32E-08	3.80E-08	1.65E-08	6.48E-09	2.95E-09	1.71E-09	1.10E-09	8.19E-10	6.20E-10	4.59E-10
SSW	4.34E-07	1.84E-07	1.13E-07	6.18E-08	2.57E-08	1.06E-08	5.06E-09	3.05E-09	2.02E-09	1.53E-09	1.18E-09	8.89E-10
SW	2.01E-07	9.83E-08	6.25E-08	3.48E-08	1.49E-08	6.23E-09	3.00E-09	1.82E-09	1.21E-09	9.16E-10	7.06E-10	5.31E-10
WSW	1.43E-07	7.44E-08	5.14E-08	3.11E-08	1.37E-08	5.62E-09	2.64E-09	1.57E-09	1.03E-09	7.70E-10	5.88E-10	4.39E-10
W	1.44E-07	7.38E-08	4.88E-08	2.78E-08	1.19E-08	4.82E-09	2.27E-09	1.36E-09	8.91E-10	6.71E-10	5.14E-10	3.85E-10
WNW	1.80E-07	9.21E-08	5.69E-08	3.03E-08	1.24E-08	5.24E-09	2.60E-09	1.60E-09	1.08E-09	8.28E-10	6.45E-10	4.89E-10
NW	2.09E-07	1.08E-07	6.49E-08	3.33E-08	1.36E-08	5.84E-09	2.94E-09	1.83E-09	1.24E-09	9.60E-10	7.50E-10	5.71E-10
NNW	2.47E-07	1.22E-07	7.32E-08	3.80E-08	1.57E-08	6.73E-09	3.35E-09	2.07E-09	1.40E-09	1.08E-09	8.39E-10	6.37E-10

表 6.2-5 厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子

核素： ^{137}Cs (s/m^3)

距离 方位	0~1km	1~2km	2~3km	3~5km	5~10km	10~20km	20~30km	30~40km	40~50km	50~60km	60~70km	70~80km
N	3.13E-07	1.49E-07	8.84E-08	4.57E-08	1.92E-08	8.14E-09	4.03E-09	2.49E-09	1.68E-09	1.29E-09	1.01E-09	7.67E-10
NNE	4.31E-07	1.85E-07	1.05E-07	5.31E-08	2.15E-08	9.14E-09	4.54E-09	2.80E-09	1.89E-09	1.44E-09	1.12E-09	8.47E-10
NE	5.13E-07	2.17E-07	1.26E-07	6.43E-08	2.46E-08	1.03E-08	5.03E-09	3.09E-09	2.08E-09	1.59E-09	1.23E-09	9.31E-10
ENE	1.80E-07	9.02E-08	5.79E-08	3.25E-08	1.36E-08	5.65E-09	2.70E-09	1.63E-09	1.08E-09	8.14E-10	6.25E-10	4.68E-10
E	2.07E-07	9.08E-08	6.06E-08	3.55E-08	1.50E-08	5.92E-09	2.72E-09	1.59E-09	1.03E-09	7.69E-10	5.84E-10	4.34E-10
ESE	3.12E-07	1.36E-07	8.91E-08	5.10E-08	2.07E-08	8.15E-09	3.77E-09	2.23E-09	1.46E-09	1.09E-09	8.35E-10	6.24E-10
SE	3.27E-07	1.54E-07	1.03E-07	5.92E-08	2.45E-08	9.74E-09	4.53E-09	2.69E-09	1.76E-09	1.32E-09	1.01E-09	7.57E-10
SSE	2.71E-07	1.27E-07	8.29E-08	4.76E-08	2.02E-08	8.26E-09	3.91E-09	2.35E-09	1.55E-09	1.17E-09	8.95E-10	6.70E-10
S	1.99E-07	9.19E-08	6.33E-08	3.81E-08	1.66E-08	6.53E-09	2.98E-09	1.74E-09	1.13E-09	8.40E-10	6.39E-10	4.75E-10
SSW	4.34E-07	1.84E-07	1.13E-07	6.18E-08	2.58E-08	1.06E-08	5.11E-09	3.09E-09	2.06E-09	1.56E-09	1.21E-09	9.12E-10
SW	2.02E-07	9.83E-08	6.26E-08	3.49E-08	1.50E-08	6.26E-09	3.03E-09	1.84E-09	1.23E-09	9.32E-10	7.20E-10	5.43E-10
WSW	1.43E-07	7.44E-08	5.15E-08	3.12E-08	1.38E-08	5.66E-09	2.67E-09	1.59E-09	1.05E-09	7.88E-10	6.04E-10	4.52E-10
W	1.44E-07	7.38E-08	4.88E-08	2.78E-08	1.19E-08	4.84E-09	2.29E-09	1.37E-09	9.04E-10	6.83E-10	5.25E-10	3.94E-10
WNW	1.80E-07	9.21E-08	5.70E-08	3.03E-08	1.24E-08	5.28E-09	2.62E-09	1.63E-09	1.10E-09	8.46E-10	6.61E-10	5.03E-10
NW	2.09E-07	1.08E-07	6.50E-08	3.34E-08	1.36E-08	5.88E-09	2.97E-09	1.86E-09	1.27E-09	9.82E-10	7.71E-10	5.89E-10
NNW	2.47E-07	1.22E-07	7.33E-08	3.81E-08	1.58E-08	6.77E-09	3.38E-09	2.10E-09	1.43E-09	1.10E-09	8.61E-10	6.56E-10

表 6.2-6 厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子

核素： ^3H (s/m^3)

距离 方位	0~1km	1~2km	2~3km	3~5km	5~10km	10~20km	20~30km	30~40km	40~50km	50~60km	60~70km	70~80km
N	3.29E-07	1.69E-07	1.04E-07	5.72E-08	2.56E-08	1.16E-08	6.51E-09	4.46E-09	3.38E-09	2.71E-09	2.26E-09	1.93E-09
NNE	4.53E-07	2.10E-07	1.24E-07	6.66E-08	2.89E-08	1.33E-08	7.51E-09	5.19E-09	3.95E-09	3.19E-09	2.67E-09	2.29E-09
NE	5.40E-07	2.47E-07	1.49E-07	8.06E-08	3.29E-08	1.48E-08	8.28E-09	5.68E-09	4.30E-09	3.45E-09	2.88E-09	2.46E-09
ENE	1.90E-07	1.03E-07	6.83E-08	4.08E-08	1.84E-08	8.21E-09	4.49E-09	3.03E-09	2.27E-09	1.80E-09	1.49E-09	1.27E-09
E	2.18E-07	1.03E-07	7.14E-08	4.45E-08	2.01E-08	8.55E-09	4.46E-09	2.91E-09	2.13E-09	1.66E-09	1.36E-09	1.14E-09
ESE	3.28E-07	1.55E-07	1.05E-07	6.38E-08	2.76E-08	1.17E-08	6.13E-09	4.02E-09	2.95E-09	2.31E-09	1.89E-09	1.59E-09
SE	3.44E-07	1.76E-07	1.21E-07	7.41E-08	3.27E-08	1.40E-08	7.36E-09	4.85E-09	3.57E-09	2.80E-09	2.29E-09	1.94E-09
SSE	2.86E-07	1.44E-07	9.76E-08	5.96E-08	2.71E-08	1.19E-08	6.43E-09	4.30E-09	3.20E-09	2.53E-09	2.08E-09	1.77E-09
S	2.09E-07	1.05E-07	7.45E-08	4.77E-08	2.22E-08	9.39E-09	4.86E-09	3.15E-09	2.29E-09	1.78E-09	1.45E-09	1.22E-09
SSW	4.57E-07	2.10E-07	1.33E-07	7.74E-08	3.44E-08	1.53E-08	8.30E-09	5.58E-09	4.16E-09	3.30E-09	2.73E-09	2.32E-09
SW	2.12E-07	1.12E-07	7.37E-08	4.37E-08	2.01E-08	9.03E-09	4.96E-09	3.36E-09	2.52E-09	2.00E-09	1.66E-09	1.42E-09
WSW	1.50E-07	8.46E-08	6.06E-08	3.90E-08	1.85E-08	8.16E-09	4.37E-09	2.90E-09	2.15E-09	1.69E-09	1.39E-09	1.18E-09
W	1.51E-07	8.39E-08	5.75E-08	3.49E-08	1.59E-08	6.96E-09	3.73E-09	2.49E-09	1.84E-09	1.46E-09	1.20E-09	1.02E-09
WNW	1.90E-07	1.05E-07	6.70E-08	3.79E-08	1.65E-08	7.55E-09	4.24E-09	2.92E-09	2.21E-09	1.78E-09	1.48E-09	1.27E-09
NW	2.20E-07	1.23E-07	7.65E-08	4.17E-08	1.82E-08	8.40E-09	4.79E-09	3.33E-09	2.54E-09	2.05E-09	1.72E-09	1.48E-09
NNW	2.60E-07	1.39E-07	8.62E-08	4.76E-08	2.11E-08	9.68E-09	5.47E-09	3.77E-09	2.86E-09	2.30E-09	1.93E-09	1.65E-09

表 6.2-7 厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子

核素： ^{14}C (s/m^3)

距离 方位	0~1km	1~2km	2~3km	3~5km	5~10km	10~20km	20~30km	30~40km	40~50km	50~60km	60~70km	70~80km
N	3.29E-07	1.69E-07	1.04E-07	5.72E-08	2.56E-08	1.16E-08	6.51E-09	4.46E-09	3.38E-09	2.71E-09	2.26E-09	1.93E-09
NNE	4.53E-07	2.10E-07	1.24E-07	6.66E-08	2.89E-08	1.33E-08	7.51E-09	5.19E-09	3.95E-09	3.19E-09	2.67E-09	2.29E-09
NE	5.40E-07	2.47E-07	1.49E-07	8.06E-08	3.29E-08	1.48E-08	8.28E-09	5.68E-09	4.30E-09	3.45E-09	2.88E-09	2.46E-09
ENE	1.90E-07	1.03E-07	6.83E-08	4.08E-08	1.84E-08	8.21E-09	4.49E-09	3.03E-09	2.27E-09	1.80E-09	1.49E-09	1.27E-09
E	2.18E-07	1.03E-07	7.14E-08	4.45E-08	2.01E-08	8.55E-09	4.46E-09	2.91E-09	2.13E-09	1.66E-09	1.36E-09	1.14E-09
ESE	3.28E-07	1.55E-07	1.05E-07	6.38E-08	2.76E-08	1.17E-08	6.13E-09	4.02E-09	2.95E-09	2.31E-09	1.89E-09	1.59E-09
SE	3.44E-07	1.76E-07	1.21E-07	7.41E-08	3.27E-08	1.40E-08	7.36E-09	4.85E-09	3.57E-09	2.80E-09	2.29E-09	1.94E-09
SSE	2.86E-07	1.44E-07	9.76E-08	5.96E-08	2.71E-08	1.19E-08	6.43E-09	4.30E-09	3.20E-09	2.53E-09	2.08E-09	1.77E-09
S	2.09E-07	1.05E-07	7.45E-08	4.77E-08	2.22E-08	9.39E-09	4.86E-09	3.15E-09	2.29E-09	1.78E-09	1.45E-09	1.22E-09
SSW	4.57E-07	2.10E-07	1.33E-07	7.74E-08	3.44E-08	1.53E-08	8.30E-09	5.58E-09	4.16E-09	3.30E-09	2.73E-09	2.32E-09
SW	2.12E-07	1.12E-07	7.37E-08	4.37E-08	2.01E-08	9.03E-09	4.96E-09	3.36E-09	2.52E-09	2.00E-09	1.66E-09	1.42E-09
WSW	1.50E-07	8.46E-08	6.06E-08	3.90E-08	1.85E-08	8.16E-09	4.37E-09	2.90E-09	2.15E-09	1.69E-09	1.39E-09	1.18E-09
W	1.51E-07	8.39E-08	5.75E-08	3.49E-08	1.59E-08	6.96E-09	3.73E-09	2.49E-09	1.84E-09	1.46E-09	1.20E-09	1.02E-09
WNW	1.90E-07	1.05E-07	6.70E-08	3.79E-08	1.65E-08	7.55E-09	4.24E-09	2.92E-09	2.21E-09	1.78E-09	1.48E-09	1.27E-09
NW	2.20E-07	1.23E-07	7.65E-08	4.17E-08	1.82E-08	8.40E-09	4.79E-09	3.33E-09	2.54E-09	2.05E-09	1.72E-09	1.48E-09
NNW	2.60E-07	1.39E-07	8.62E-08	4.76E-08	2.11E-08	9.68E-09	5.47E-09	3.77E-09	2.86E-09	2.30E-09	1.93E-09	1.65E-09

表 6.2-8 厂址半径 80km 范围内年均沉积因子（干湿沉积所致）

元素碘 ($1/m^2$)

距离 方位	0~1km	1~2km	2~3km	3~5km	5~10km	10~20km	20~30km	30~40km	40~50km	50~60km	60~70km	70~80km
N	3.64E-09	1.81E-09	1.11E-09	6.16E-10	2.80E-10	1.28E-10	7.21E-11	4.96E-11	3.77E-11	3.03E-11	2.53E-11	2.17E-11
NNE	4.89E-09	2.22E-09	1.31E-09	7.11E-10	3.13E-10	1.45E-10	8.23E-11	5.71E-11	4.35E-11	3.51E-11	2.94E-11	2.53E-11
NE	6.09E-09	2.70E-09	1.63E-09	8.93E-10	3.76E-10	1.72E-10	9.67E-11	6.67E-11	5.07E-11	4.08E-11	3.41E-11	2.93E-11
ENE	2.47E-09	1.22E-09	7.97E-10	4.79E-10	2.22E-10	1.01E-10	5.64E-11	3.85E-11	2.90E-11	2.32E-11	1.93E-11	1.65E-11
E	2.76E-09	1.22E-09	8.29E-10	5.17E-10	2.39E-10	1.05E-10	5.61E-11	3.74E-11	2.77E-11	2.19E-11	1.80E-11	1.53E-11
ESE	3.48E-09	1.61E-09	1.09E-09	6.63E-10	2.89E-10	1.24E-10	6.52E-11	4.30E-11	3.16E-11	2.49E-11	2.04E-11	1.72E-11
SE	3.49E-09	1.77E-09	1.22E-09	7.46E-10	3.30E-10	1.41E-10	7.45E-11	4.91E-11	3.61E-11	2.84E-11	2.33E-11	1.97E-11
SSE	2.99E-09	1.49E-09	1.00E-09	6.13E-10	2.79E-10	1.24E-10	6.69E-11	4.49E-11	3.34E-11	2.65E-11	2.18E-11	1.86E-11
S	2.25E-09	1.10E-09	7.77E-10	4.96E-10	2.32E-10	9.92E-11	5.18E-11	3.38E-11	2.47E-11	1.93E-11	1.57E-11	1.32E-11
SSW	6.19E-09	2.64E-09	1.66E-09	9.76E-10	4.52E-10	2.07E-10	1.15E-10	7.89E-11	5.96E-11	4.78E-11	3.98E-11	3.40E-11
SW	3.60E-09	1.61E-09	1.03E-09	6.22E-10	2.99E-10	1.40E-10	7.92E-11	5.47E-11	4.16E-11	3.35E-11	2.80E-11	2.40E-11
WSW	2.81E-09	1.28E-09	8.69E-10	5.54E-10	2.72E-10	1.25E-10	6.99E-11	4.78E-11	3.61E-11	2.89E-11	2.40E-11	2.05E-11
W	2.53E-09	1.18E-09	7.79E-10	4.76E-10	2.27E-10	1.04E-10	5.77E-11	3.94E-11	2.98E-11	2.38E-11	1.98E-11	1.70E-11
WNW	2.32E-09	1.19E-09	7.56E-10	4.33E-10	1.94E-10	8.98E-11	5.10E-11	3.53E-11	2.69E-11	2.17E-11	1.81E-11	1.56E-11
NW	2.62E-09	1.37E-09	8.49E-10	4.70E-10	2.10E-10	9.81E-11	5.63E-11	3.93E-11	3.01E-11	2.43E-11	2.04E-11	1.76E-11
NNW	3.56E-09	1.71E-09	1.06E-09	5.96E-10	2.75E-10	1.29E-10	7.39E-11	5.14E-11	3.93E-11	3.18E-11	2.67E-11	2.29E-11

表 6.2-9 厂址半径 80km 范围内年均沉积因子（干湿沉积所致）

粒子态核素 ($1/m^2$)

距离 方位	0~1km	1~2km	2~3km	3~5km	5~10km	10~20km	20~30km	30~40km	40~50km	50~60km	60~70km	70~80km
N	8.56E-10	3.45E-10	2.09E-10	1.23E-10	6.07E-11	2.92E-11	1.71E-11	1.20E-11	9.23E-12	7.50E-12	6.31E-12	5.45E-12
NNE	9.92E-10	3.89E-10	2.32E-10	1.34E-10	6.48E-11	3.12E-11	1.83E-11	1.29E-11	9.94E-12	8.08E-12	6.81E-12	5.88E-12
NE	1.59E-09	5.95E-10	3.58E-10	2.11E-10	1.03E-10	4.97E-11	2.92E-11	2.06E-11	1.59E-11	1.30E-11	1.09E-11	9.43E-12
ENE	1.05E-09	3.89E-10	2.40E-10	1.48E-10	7.57E-11	3.69E-11	2.17E-11	1.53E-11	1.18E-11	9.63E-12	8.11E-12	7.01E-12
E	1.08E-09	3.91E-10	2.44E-10	1.53E-10	7.77E-11	3.73E-11	2.17E-11	1.53E-11	1.17E-11	9.52E-12	8.00E-12	6.90E-12
ESE	6.22E-10	2.53E-10	1.64E-10	1.01E-10	4.72E-11	2.15E-11	1.20E-11	8.21E-12	6.21E-12	4.98E-12	4.15E-12	3.55E-12
SE	4.08E-10	1.97E-10	1.34E-10	8.20E-11	3.69E-11	1.61E-11	8.63E-12	5.75E-12	4.27E-12	3.38E-12	2.78E-12	2.36E-12
SSE	4.81E-10	2.09E-10	1.37E-10	8.40E-11	4.01E-11	1.84E-11	1.03E-11	7.09E-12	5.36E-12	4.30E-12	3.59E-12	3.07E-12
S	4.48E-10	1.84E-10	1.22E-10	7.75E-11	3.81E-11	1.73E-11	9.63E-12	6.56E-12	4.94E-12	3.95E-12	3.29E-12	2.81E-12
SSW	2.89E-09	1.02E-09	6.19E-10	3.81E-10	1.96E-10	9.63E-11	5.69E-11	4.03E-11	3.12E-11	2.54E-11	2.14E-11	1.85E-11
SW	2.43E-09	8.52E-10	5.18E-10	3.21E-10	1.68E-10	8.31E-11	4.94E-11	3.51E-11	2.72E-11	2.22E-11	1.88E-11	1.62E-11
WSW	2.12E-09	7.41E-10	4.55E-10	2.85E-10	1.50E-10	7.38E-11	4.38E-11	3.10E-11	2.40E-11	1.96E-11	1.65E-11	1.43E-11
W	1.68E-09	5.94E-10	3.64E-10	2.26E-10	1.18E-10	5.80E-11	3.44E-11	2.44E-11	1.89E-11	1.54E-11	1.30E-11	1.12E-11
WNW	8.33E-10	3.19E-10	1.96E-10	1.18E-10	5.94E-11	2.90E-11	1.71E-11	1.21E-11	9.36E-12	7.63E-12	6.44E-12	5.56E-12
NW	8.52E-10	3.34E-10	2.03E-10	1.21E-10	6.03E-11	2.95E-11	1.74E-11	1.24E-11	9.56E-12	7.80E-12	6.58E-12	5.69E-12
NNW	1.70E-09	6.20E-10	3.75E-10	2.28E-10	1.17E-10	5.78E-11	3.44E-11	2.44E-11	1.89E-11	1.54E-11	1.30E-11	1.13E-11

表 6.2-10 现状岸线半月潮等相对浓度影响区域面积 (km²)

机组	潮型	半衰期	全潮最大等相对浓度影响面积					
			0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005
2 台	夏季半月潮	不衰变	8.651	51.23	216.7	553.3	1236	2395
	冬季半月潮	不衰变	5.382	23.54	154.9	399.6	885.5	1844
	潮型	半衰期	全潮平均等相对浓度影响面积					
			0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005
	夏季半月潮	不衰变	3.657	16.17	146.5	398.1	949.5	1879
冬季半月潮	不衰变	1.118	7.792	99.95	291.2	694	1503	
6 台	潮型	半衰期	全潮最大等相对浓度影响面积					
			0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005
	夏季半月潮	不衰变	51.44	215.2	429.3	1234	2391	3649
	冬季半月潮	不衰变	24.36	154.1	324.5	885.8	1840	3031
	潮型	半衰期	全潮平均等相对浓度影响面积					
			0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005
夏季半月潮	不衰变	15.16	143.0	305.6	949.7	1876	2924	
冬季半月潮	不衰变	7.247	88.56	225.9	694.3	1501	2476	

注：表格中影响面积包含排水明渠面积。

表 6.2-11 本项目 2 台机组半径 80km 范围内年均活度浓度

核素： ^{85}Kr (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	4.15E-01	2.13E-01	1.31E-01	7.21E-02	3.23E-02	1.47E-02	8.20E-03	5.62E-03	4.25E-03	3.41E-03	2.85E-03	2.44E-03
NNE	5.71E-01	2.64E-01	1.56E-01	8.39E-02	3.64E-02	1.67E-02	9.47E-03	6.54E-03	4.98E-03	4.01E-03	3.36E-03	2.88E-03
NE	6.80E-01	3.11E-01	1.87E-01	1.02E-01	4.15E-02	1.87E-02	1.04E-02	7.15E-03	5.41E-03	4.34E-03	3.62E-03	3.10E-03
ENE	2.39E-01	1.29E-01	8.60E-02	5.14E-02	2.31E-02	1.03E-02	5.66E-03	3.82E-03	2.86E-03	2.27E-03	1.88E-03	1.60E-03
E	2.75E-01	1.30E-01	9.00E-02	5.61E-02	2.53E-02	1.08E-02	5.62E-03	3.67E-03	2.68E-03	2.10E-03	1.71E-03	1.44E-03
ESE	4.14E-01	1.95E-01	1.32E-01	8.04E-02	3.48E-02	1.47E-02	7.72E-03	5.06E-03	3.71E-03	2.91E-03	2.38E-03	2.01E-03
SE	4.34E-01	2.21E-01	1.52E-01	9.33E-02	4.12E-02	1.76E-02	9.27E-03	6.11E-03	4.49E-03	3.53E-03	2.89E-03	2.44E-03
SSE	3.60E-01	1.82E-01	1.23E-01	7.51E-02	3.41E-02	1.50E-02	8.11E-03	5.42E-03	4.03E-03	3.19E-03	2.63E-03	2.23E-03
S	2.64E-01	1.32E-01	9.39E-02	6.00E-02	2.79E-02	1.18E-02	6.12E-03	3.97E-03	2.89E-03	2.25E-03	1.83E-03	1.53E-03
SSW	5.76E-01	2.64E-01	1.68E-01	9.75E-02	4.34E-02	1.92E-02	1.05E-02	7.03E-03	5.24E-03	4.16E-03	3.44E-03	2.93E-03
SW	2.67E-01	1.41E-01	9.28E-02	5.50E-02	2.53E-02	1.14E-02	6.25E-03	4.23E-03	3.17E-03	2.52E-03	2.09E-03	1.78E-03
WSW	1.89E-01	1.07E-01	7.64E-02	4.92E-02	2.32E-02	1.03E-02	5.50E-03	3.66E-03	2.70E-03	2.13E-03	1.75E-03	1.48E-03
W	1.91E-01	1.06E-01	7.25E-02	4.39E-02	2.00E-02	8.77E-03	4.70E-03	3.13E-03	2.32E-03	1.83E-03	1.51E-03	1.28E-03
WNW	2.39E-01	1.32E-01	8.45E-02	4.78E-02	2.08E-02	9.52E-03	5.34E-03	3.67E-03	2.79E-03	2.24E-03	1.87E-03	1.60E-03
NW	2.77E-01	1.55E-01	9.63E-02	5.26E-02	2.29E-02	1.06E-02	6.04E-03	4.19E-03	3.20E-03	2.58E-03	2.16E-03	1.86E-03
NNW	3.27E-01	1.75E-01	1.09E-01	6.00E-02	2.65E-02	1.22E-02	6.89E-03	4.75E-03	3.61E-03	2.90E-03	2.43E-03	2.08E-03

表 6.2-12 本项目 2 台机组半径 80km 范围内年均活度浓度

核素： ^{133}Xe (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	2.08E+00	1.07E+00	6.55E-01	3.59E-01	1.60E-01	7.19E-02	3.96E-02	2.68E-02	2.00E-02	1.58E-02	1.30E-02	1.10E-02
NNE	2.86E+00	1.32E+00	7.80E-01	4.19E-01	1.81E-01	8.20E-02	4.58E-02	3.12E-02	2.34E-02	1.86E-02	1.54E-02	1.30E-02
NE	3.41E+00	1.56E+00	9.38E-01	5.07E-01	2.06E-01	9.21E-02	5.08E-02	3.45E-02	2.58E-02	2.05E-02	1.69E-02	1.43E-02
ENE	1.20E+00	6.47E-01	4.30E-01	2.56E-01	1.14E-01	5.04E-02	2.70E-02	1.79E-02	1.32E-02	1.03E-02	8.38E-03	7.02E-03
E	1.38E+00	6.52E-01	4.50E-01	2.80E-01	1.26E-01	5.28E-02	2.72E-02	1.75E-02	1.26E-02	9.70E-03	7.81E-03	6.48E-03
ESE	2.07E+00	9.76E-01	6.61E-01	4.01E-01	1.73E-01	7.23E-02	3.73E-02	2.42E-02	1.75E-02	1.35E-02	1.09E-02	9.09E-03
SE	2.17E+00	1.11E+00	7.62E-01	4.65E-01	2.04E-01	8.62E-02	4.47E-02	2.90E-02	2.10E-02	1.63E-02	1.31E-02	1.09E-02
SSE	1.80E+00	9.10E-01	6.15E-01	3.75E-01	1.69E-01	7.34E-02	3.90E-02	2.56E-02	1.87E-02	1.46E-02	1.19E-02	9.90E-03
S	1.32E+00	6.59E-01	4.69E-01	2.99E-01	1.38E-01	5.73E-02	2.90E-02	1.85E-02	1.32E-02	1.01E-02	8.06E-03	6.65E-03
SSW	2.89E+00	1.32E+00	8.39E-01	4.86E-01	2.15E-01	9.39E-02	5.03E-02	3.33E-02	2.45E-02	1.92E-02	1.57E-02	1.32E-02
SW	1.34E+00	7.05E-01	4.64E-01	2.74E-01	1.25E-01	5.54E-02	2.99E-02	1.99E-02	1.47E-02	1.15E-02	9.38E-03	7.87E-03
WSW	9.48E-01	5.34E-01	3.81E-01	2.45E-01	1.15E-01	4.98E-02	2.61E-02	1.70E-02	1.23E-02	9.54E-03	7.70E-03	6.40E-03
W	9.56E-01	5.29E-01	3.62E-01	2.19E-01	9.93E-02	4.29E-02	2.26E-02	1.48E-02	1.08E-02	8.43E-03	6.84E-03	5.71E-03
WNW	1.20E+00	6.60E-01	4.22E-01	2.38E-01	1.03E-01	4.66E-02	2.58E-02	1.74E-02	1.30E-02	1.03E-02	8.48E-03	7.16E-03
NW	1.39E+00	7.75E-01	4.82E-01	2.62E-01	1.13E-01	5.19E-02	2.91E-02	1.99E-02	1.50E-02	1.19E-02	9.83E-03	8.32E-03
NNW	1.64E+00	8.77E-01	5.43E-01	2.99E-01	1.32E-01	5.98E-02	3.32E-02	2.26E-02	1.69E-02	1.34E-02	1.10E-02	9.32E-03

表 6.2-13 本项目 2 台机组半径 80km 范围内年均活度浓度

核素： ^{131}I (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	5.54E-05	2.64E-05	1.56E-05	8.08E-06	3.39E-06	1.43E-06	7.06E-07	4.35E-07	2.92E-07	2.24E-07	1.74E-07	1.32E-07
NNE	7.62E-05	3.26E-05	1.86E-05	9.39E-06	3.80E-06	1.62E-06	8.02E-07	4.95E-07	3.33E-07	2.55E-07	1.98E-07	1.49E-07
NE	9.07E-05	3.84E-05	2.23E-05	1.14E-05	4.35E-06	1.81E-06	8.89E-07	5.46E-07	3.66E-07	2.80E-07	2.17E-07	1.64E-07
ENE	3.18E-05	1.60E-05	1.02E-05	5.75E-06	2.41E-06	9.97E-07	4.77E-07	2.87E-07	1.89E-07	1.43E-07	1.10E-07	8.20E-08
E	3.66E-05	1.61E-05	1.07E-05	6.29E-06	2.65E-06	1.05E-06	4.79E-07	2.80E-07	1.81E-07	1.35E-07	1.02E-07	7.58E-08
ESE	5.52E-05	2.41E-05	1.58E-05	9.02E-06	3.65E-06	1.44E-06	6.62E-07	3.90E-07	2.54E-07	1.90E-07	1.45E-07	1.08E-07
SE	5.79E-05	2.73E-05	1.82E-05	1.05E-05	4.32E-06	1.71E-06	7.95E-07	4.70E-07	3.07E-07	2.30E-07	1.75E-07	1.31E-07
SSE	4.80E-05	2.25E-05	1.47E-05	8.41E-06	3.56E-06	1.46E-06	6.89E-07	4.12E-07	2.71E-07	2.04E-07	1.56E-07	1.17E-07
S	3.52E-05	1.63E-05	1.12E-05	6.72E-06	2.92E-06	1.15E-06	5.21E-07	3.03E-07	1.95E-07	1.45E-07	1.10E-07	8.12E-08
SSW	7.68E-05	3.26E-05	2.00E-05	1.09E-05	4.55E-06	1.87E-06	8.95E-07	5.41E-07	3.58E-07	2.71E-07	2.09E-07	1.57E-07
SW	3.56E-05	1.74E-05	1.11E-05	6.16E-06	2.64E-06	1.10E-06	5.32E-07	3.22E-07	2.14E-07	1.62E-07	1.25E-07	9.40E-08
WSW	2.52E-05	1.32E-05	9.10E-06	5.51E-06	2.43E-06	9.95E-07	4.67E-07	2.78E-07	1.82E-07	1.36E-07	1.04E-07	7.76E-08
W	2.55E-05	1.31E-05	8.64E-06	4.92E-06	2.10E-06	8.52E-07	4.02E-07	2.40E-07	1.58E-07	1.19E-07	9.10E-08	6.82E-08
WNW	3.19E-05	1.63E-05	1.01E-05	5.36E-06	2.19E-06	9.28E-07	4.59E-07	2.84E-07	1.91E-07	1.47E-07	1.14E-07	8.65E-08
NW	3.70E-05	1.91E-05	1.15E-05	5.90E-06	2.40E-06	1.03E-06	5.20E-07	3.24E-07	2.20E-07	1.70E-07	1.33E-07	1.01E-07
NNW	4.37E-05	2.16E-05	1.30E-05	6.73E-06	2.79E-06	1.19E-06	5.92E-07	3.67E-07	2.48E-07	1.90E-07	1.49E-07	1.13E-07

表 6.2-14 本项目 2 台机组半径 80km 范围内年均活度浓度

核素： ^{137}Cs (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	5.13E-05	2.44E-05	1.45E-05	7.50E-06	3.15E-06	1.33E-06	6.60E-07	4.08E-07	2.76E-07	2.12E-07	1.65E-07	1.26E-07
NNE	7.06E-05	3.03E-05	1.72E-05	8.70E-06	3.52E-06	1.50E-06	7.44E-07	4.60E-07	3.09E-07	2.37E-07	1.84E-07	1.39E-07
NE	8.41E-05	3.56E-05	2.07E-05	1.05E-05	4.03E-06	1.68E-06	8.25E-07	5.07E-07	3.40E-07	2.60E-07	2.02E-07	1.53E-07
ENE	2.95E-05	1.48E-05	9.49E-06	5.33E-06	2.24E-06	9.26E-07	4.43E-07	2.67E-07	1.77E-07	1.33E-07	1.03E-07	7.68E-08
E	3.39E-05	1.49E-05	9.94E-06	5.83E-06	2.46E-06	9.71E-07	4.46E-07	2.61E-07	1.69E-07	1.26E-07	9.58E-08	7.12E-08
ESE	5.12E-05	2.23E-05	1.46E-05	8.37E-06	3.39E-06	1.34E-06	6.18E-07	3.66E-07	2.39E-07	1.79E-07	1.37E-07	1.02E-07
SE	5.36E-05	2.53E-05	1.68E-05	9.71E-06	4.01E-06	1.60E-06	7.43E-07	4.41E-07	2.88E-07	2.17E-07	1.66E-07	1.24E-07
SSE	4.45E-05	2.08E-05	1.36E-05	7.80E-06	3.31E-06	1.35E-06	6.42E-07	3.85E-07	2.53E-07	1.91E-07	1.47E-07	1.10E-07
S	3.26E-05	1.51E-05	1.04E-05	6.24E-06	2.72E-06	1.07E-06	4.89E-07	2.86E-07	1.85E-07	1.38E-07	1.05E-07	7.79E-08
SSW	7.12E-05	3.02E-05	1.86E-05	1.01E-05	4.23E-06	1.74E-06	8.38E-07	5.07E-07	3.37E-07	2.56E-07	1.98E-07	1.49E-07
SW	3.30E-05	1.61E-05	1.03E-05	5.72E-06	2.46E-06	1.03E-06	4.97E-07	3.02E-07	2.01E-07	1.53E-07	1.18E-07	8.90E-08
WSW	2.34E-05	1.22E-05	8.44E-06	5.11E-06	2.26E-06	9.28E-07	4.38E-07	2.61E-07	1.72E-07	1.29E-07	9.90E-08	7.41E-08
W	2.36E-05	1.21E-05	8.01E-06	4.56E-06	1.95E-06	7.94E-07	3.75E-07	2.25E-07	1.48E-07	1.12E-07	8.61E-08	6.46E-08
WNW	2.95E-05	1.51E-05	9.34E-06	4.97E-06	2.03E-06	8.65E-07	4.30E-07	2.67E-07	1.80E-07	1.39E-07	1.08E-07	8.25E-08
NW	3.43E-05	1.77E-05	1.07E-05	5.48E-06	2.23E-06	9.64E-07	4.87E-07	3.05E-07	2.08E-07	1.61E-07	1.26E-07	9.67E-08
NNW	4.05E-05	2.00E-05	1.20E-05	6.24E-06	2.59E-06	1.11E-06	5.54E-07	3.45E-07	2.34E-07	1.81E-07	1.41E-07	1.08E-07

表 6.2-15 本项目 2 台机组半径 80km 范围内年均活度浓度

核素： ^3H (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	4.62E-02	2.37E-02	1.46E-02	8.02E-03	3.59E-03	1.63E-03	9.12E-04	6.25E-04	4.73E-04	3.80E-04	3.16E-04	2.71E-04
NNE	6.35E-02	2.94E-02	1.74E-02	9.33E-03	4.05E-03	1.86E-03	1.05E-03	7.28E-04	5.54E-04	4.47E-04	3.74E-04	3.21E-04
NE	7.56E-02	3.46E-02	2.09E-02	1.13E-02	4.62E-03	2.08E-03	1.16E-03	7.95E-04	6.02E-04	4.83E-04	4.03E-04	3.45E-04
ENE	2.66E-02	1.44E-02	9.57E-03	5.71E-03	2.57E-03	1.15E-03	6.29E-04	4.25E-04	3.18E-04	2.53E-04	2.09E-04	1.78E-04
E	3.06E-02	1.45E-02	1.00E-02	6.24E-03	2.82E-03	1.20E-03	6.25E-04	4.08E-04	2.98E-04	2.33E-04	1.90E-04	1.60E-04
ESE	4.60E-02	2.17E-02	1.47E-02	8.95E-03	3.87E-03	1.64E-03	8.58E-04	5.63E-04	4.13E-04	3.23E-04	2.65E-04	2.23E-04
SE	4.82E-02	2.46E-02	1.69E-02	1.04E-02	4.58E-03	1.96E-03	1.03E-03	6.80E-04	5.00E-04	3.92E-04	3.21E-04	2.71E-04
SSE	4.00E-02	2.02E-02	1.37E-02	8.36E-03	3.79E-03	1.67E-03	9.02E-04	6.03E-04	4.48E-04	3.54E-04	2.92E-04	2.48E-04
S	2.93E-02	1.46E-02	1.04E-02	6.68E-03	3.11E-03	1.32E-03	6.81E-04	4.42E-04	3.21E-04	2.50E-04	2.03E-04	1.71E-04
SSW	6.40E-02	2.94E-02	1.87E-02	1.08E-02	4.83E-03	2.14E-03	1.16E-03	7.82E-04	5.83E-04	4.63E-04	3.83E-04	3.25E-04
SW	2.97E-02	1.57E-02	1.03E-02	6.12E-03	2.81E-03	1.27E-03	6.95E-04	4.70E-04	3.52E-04	2.81E-04	2.33E-04	1.98E-04
WSW	2.10E-02	1.19E-02	8.49E-03	5.47E-03	2.59E-03	1.14E-03	6.12E-04	4.07E-04	3.01E-04	2.37E-04	1.95E-04	1.65E-04
W	2.12E-02	1.18E-02	8.06E-03	4.88E-03	2.23E-03	9.76E-04	5.23E-04	3.48E-04	2.58E-04	2.04E-04	1.68E-04	1.42E-04
WNW	2.66E-02	1.47E-02	9.40E-03	5.32E-03	2.32E-03	1.06E-03	5.95E-04	4.09E-04	3.10E-04	2.49E-04	2.08E-04	1.78E-04
NW	3.08E-02	1.72E-02	1.07E-02	5.85E-03	2.54E-03	1.18E-03	6.71E-04	4.66E-04	3.56E-04	2.87E-04	2.41E-04	2.07E-04
NNW	3.64E-02	1.95E-02	1.21E-02	6.67E-03	2.95E-03	1.36E-03	7.66E-04	5.28E-04	4.01E-04	3.23E-04	2.70E-04	2.32E-04

表 6.2-16 本项目 2 台机组半径 80km 范围内年均活度浓度

核素： ^{14}C (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	8.23E-03	4.23E-03	2.60E-03	1.43E-03	6.40E-04	2.91E-04	1.63E-04	1.11E-04	8.44E-05	6.77E-05	5.64E-05	4.83E-05
NNE	1.13E-02	5.24E-03	3.09E-03	1.66E-03	7.22E-04	3.32E-04	1.88E-04	1.30E-04	9.88E-05	7.96E-05	6.66E-05	5.72E-05
NE	1.35E-02	6.17E-03	3.72E-03	2.01E-03	8.23E-04	3.71E-04	2.07E-04	1.42E-04	1.07E-04	8.62E-05	7.18E-05	6.15E-05
ENE	4.74E-03	2.56E-03	1.71E-03	1.02E-03	4.59E-04	2.05E-04	1.12E-04	7.57E-05	5.66E-05	4.50E-05	3.73E-05	3.18E-05
E	5.45E-03	2.58E-03	1.78E-03	1.11E-03	5.02E-04	2.14E-04	1.11E-04	7.28E-05	5.32E-05	4.16E-05	3.39E-05	2.85E-05
ESE	8.20E-03	3.87E-03	2.62E-03	1.60E-03	6.90E-04	2.92E-04	1.53E-04	1.00E-04	7.36E-05	5.77E-05	4.72E-05	3.98E-05
SE	8.60E-03	4.39E-03	3.02E-03	1.85E-03	8.17E-04	3.49E-04	1.84E-04	1.21E-04	8.91E-05	6.99E-05	5.73E-05	4.84E-05
SSE	7.13E-03	3.61E-03	2.44E-03	1.49E-03	6.76E-04	2.98E-04	1.61E-04	1.07E-04	7.99E-05	6.32E-05	5.21E-05	4.42E-05
S	5.23E-03	2.61E-03	1.86E-03	1.19E-03	5.54E-04	2.35E-04	1.21E-04	7.88E-05	5.73E-05	4.46E-05	3.62E-05	3.04E-05
SSW	1.14E-02	5.23E-03	3.33E-03	1.93E-03	8.61E-04	3.82E-04	2.07E-04	1.39E-04	1.04E-04	8.25E-05	6.82E-05	5.80E-05
SW	5.30E-03	2.79E-03	1.84E-03	1.09E-03	5.01E-04	2.26E-04	1.24E-04	8.39E-05	6.28E-05	5.00E-05	4.15E-05	3.54E-05
WSW	3.75E-03	2.11E-03	1.51E-03	9.75E-04	4.61E-04	2.04E-04	1.09E-04	7.25E-05	5.36E-05	4.23E-05	3.47E-05	2.94E-05
W	3.78E-03	2.10E-03	1.44E-03	8.71E-04	3.98E-04	1.74E-04	9.33E-05	6.21E-05	4.61E-05	3.64E-05	2.99E-05	2.54E-05
WNW	4.74E-03	2.62E-03	1.68E-03	9.48E-04	4.13E-04	1.89E-04	1.06E-04	7.29E-05	5.53E-05	4.44E-05	3.71E-05	3.18E-05
NW	5.50E-03	3.07E-03	1.91E-03	1.04E-03	4.54E-04	2.10E-04	1.20E-04	8.31E-05	6.34E-05	5.12E-05	4.29E-05	3.69E-05
NNW	6.49E-03	3.47E-03	2.15E-03	1.19E-03	5.26E-04	2.42E-04	1.37E-04	9.42E-05	7.16E-05	5.76E-05	4.81E-05	4.13E-05

表 6.2-17 全厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素： ^{85}Kr (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	1.26E+00	6.48E-01	3.98E-01	2.19E-01	9.80E-02	4.46E-02	2.49E-02	1.71E-02	1.29E-02	1.04E-02	8.64E-03	7.40E-03
NNE	1.74E+00	8.04E-01	4.74E-01	2.55E-01	1.11E-01	5.08E-02	2.88E-02	1.99E-02	1.51E-02	1.22E-02	1.02E-02	8.76E-03
NE	2.07E+00	9.45E-01	5.70E-01	3.09E-01	1.26E-01	5.68E-02	3.17E-02	2.17E-02	1.64E-02	1.32E-02	1.10E-02	9.43E-03
ENE	7.25E-01	3.93E-01	2.61E-01	1.56E-01	7.03E-02	3.14E-02	1.72E-02	1.16E-02	8.68E-03	6.90E-03	5.71E-03	4.86E-03
E	8.35E-01	3.95E-01	2.73E-01	1.70E-01	7.70E-02	3.27E-02	1.71E-02	1.12E-02	8.15E-03	6.37E-03	5.19E-03	4.37E-03
ESE	1.26E+00	5.93E-01	4.02E-01	2.44E-01	1.06E-01	4.48E-02	2.34E-02	1.54E-02	1.13E-02	8.84E-03	7.23E-03	6.09E-03
SE	1.32E+00	6.72E-01	4.63E-01	2.83E-01	1.25E-01	5.35E-02	2.82E-02	1.86E-02	1.37E-02	1.07E-02	8.78E-03	7.41E-03
SSE	1.09E+00	5.52E-01	3.74E-01	2.28E-01	1.04E-01	4.57E-02	2.46E-02	1.65E-02	1.22E-02	9.68E-03	7.98E-03	6.77E-03
S	8.01E-01	4.00E-01	2.85E-01	1.82E-01	8.48E-02	3.59E-02	1.86E-02	1.21E-02	8.78E-03	6.83E-03	5.55E-03	4.66E-03
SSW	1.75E+00	8.02E-01	5.10E-01	2.96E-01	1.32E-01	5.85E-02	3.18E-02	2.14E-02	1.59E-02	1.26E-02	1.05E-02	8.89E-03
SW	8.12E-01	4.28E-01	2.82E-01	1.67E-01	7.68E-02	3.46E-02	1.90E-02	1.28E-02	9.63E-03	7.67E-03	6.36E-03	5.42E-03
WSW	5.75E-01	3.24E-01	2.32E-01	1.49E-01	7.06E-02	3.12E-02	1.67E-02	1.11E-02	8.22E-03	6.47E-03	5.32E-03	4.51E-03
W	5.80E-01	3.21E-01	2.20E-01	1.33E-01	6.09E-02	2.67E-02	1.43E-02	9.52E-03	7.06E-03	5.57E-03	4.59E-03	3.89E-03
WNW	7.25E-01	4.01E-01	2.57E-01	1.45E-01	6.33E-02	2.89E-02	1.62E-02	1.12E-02	8.47E-03	6.80E-03	5.68E-03	4.87E-03
NW	8.43E-01	4.71E-01	2.93E-01	1.60E-01	6.95E-02	3.22E-02	1.83E-02	1.27E-02	9.72E-03	7.85E-03	6.57E-03	5.65E-03
NNW	9.95E-01	5.32E-01	3.30E-01	1.82E-01	8.06E-02	3.71E-02	2.09E-02	1.44E-02	1.10E-02	8.82E-03	7.37E-03	6.32E-03

表 6.2-18 全厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素： ^{133}Xe (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	6.03E+00	3.09E+00	1.90E+00	1.04E+00	4.64E-01	2.08E-01	1.15E-01	7.76E-02	5.79E-02	4.58E-02	3.76E-02	3.18E-02
NNE	8.30E+00	3.84E+00	2.26E+00	1.21E+00	5.23E-01	2.38E-01	1.33E-01	9.04E-02	6.79E-02	5.40E-02	4.45E-02	3.77E-02
NE	9.88E+00	4.52E+00	2.72E+00	1.47E+00	5.98E-01	2.67E-01	1.47E-01	9.98E-02	7.48E-02	5.94E-02	4.90E-02	4.15E-02
ENE	3.47E+00	1.87E+00	1.25E+00	7.41E-01	3.31E-01	1.46E-01	7.83E-02	5.19E-02	3.82E-02	2.98E-02	2.43E-02	2.03E-02
E	3.99E+00	1.89E+00	1.30E+00	8.11E-01	3.64E-01	1.53E-01	7.87E-02	5.07E-02	3.65E-02	2.81E-02	2.26E-02	1.88E-02
ESE	6.01E+00	2.83E+00	1.92E+00	1.16E+00	5.00E-01	2.09E-01	1.08E-01	7.00E-02	5.07E-02	3.92E-02	3.16E-02	2.63E-02
SE	6.30E+00	3.21E+00	2.21E+00	1.35E+00	5.92E-01	2.50E-01	1.30E-01	8.41E-02	6.09E-02	4.71E-02	3.80E-02	3.17E-02
SSE	5.22E+00	2.64E+00	1.78E+00	1.09E+00	4.89E-01	2.13E-01	1.13E-01	7.42E-02	5.43E-02	4.23E-02	3.43E-02	2.87E-02
S	3.83E+00	1.91E+00	1.36E+00	8.65E-01	3.99E-01	1.66E-01	8.41E-02	5.35E-02	3.82E-02	2.92E-02	2.33E-02	1.93E-02
SSW	8.36E+00	3.83E+00	2.43E+00	1.41E+00	6.22E-01	2.72E-01	1.46E-01	9.65E-02	7.10E-02	5.56E-02	4.54E-02	3.81E-02
SW	3.88E+00	2.04E+00	1.34E+00	7.94E-01	3.62E-01	1.61E-01	8.66E-02	5.76E-02	4.25E-02	3.33E-02	2.72E-02	2.28E-02
WSW	2.75E+00	1.55E+00	1.10E+00	7.09E-01	3.32E-01	1.44E-01	7.57E-02	4.93E-02	3.58E-02	2.76E-02	2.23E-02	1.85E-02
W	2.77E+00	1.53E+00	1.05E+00	6.34E-01	2.88E-01	1.24E-01	6.55E-02	4.30E-02	3.14E-02	2.44E-02	1.98E-02	1.66E-02
WNW	3.47E+00	1.91E+00	1.22E+00	6.90E-01	2.99E-01	1.35E-01	7.46E-02	5.05E-02	3.78E-02	2.99E-02	2.46E-02	2.07E-02
NW	4.03E+00	2.25E+00	1.40E+00	7.60E-01	3.28E-01	1.50E-01	8.44E-02	5.77E-02	4.34E-02	3.45E-02	2.85E-02	2.41E-02
NNW	4.76E+00	2.54E+00	1.57E+00	8.66E-01	3.81E-01	1.73E-01	9.63E-02	6.54E-02	4.89E-02	3.88E-02	3.19E-02	2.70E-02

表 6.2-19 全厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素： ^{131}I (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	1.42E-04	6.76E-05	4.01E-05	2.07E-05	8.69E-06	3.67E-06	1.81E-06	1.12E-06	7.50E-07	5.75E-07	4.47E-07	3.39E-07
NNE	1.96E-04	8.38E-05	4.77E-05	2.41E-05	9.76E-06	4.15E-06	2.06E-06	1.27E-06	8.54E-07	6.54E-07	5.07E-07	3.83E-07
NE	2.33E-04	9.86E-05	5.73E-05	2.92E-05	1.12E-05	4.66E-06	2.28E-06	1.40E-06	9.40E-07	7.19E-07	5.57E-07	4.21E-07
ENE	8.17E-05	4.10E-05	2.63E-05	1.47E-05	6.19E-06	2.56E-06	1.22E-06	7.36E-07	4.86E-07	3.67E-07	2.81E-07	2.10E-07
E	9.40E-05	4.12E-05	2.75E-05	1.61E-05	6.80E-06	2.68E-06	1.23E-06	7.19E-07	4.65E-07	3.46E-07	2.62E-07	1.94E-07
ESE	1.42E-04	6.18E-05	4.05E-05	2.31E-05	9.37E-06	3.69E-06	1.70E-06	1.00E-06	6.52E-07	4.87E-07	3.72E-07	2.77E-07
SE	1.49E-04	7.01E-05	4.66E-05	2.68E-05	1.11E-05	4.40E-06	2.04E-06	1.21E-06	7.87E-07	5.89E-07	4.50E-07	3.36E-07
SSE	1.23E-04	5.76E-05	3.76E-05	2.16E-05	9.15E-06	3.74E-06	1.77E-06	1.06E-06	6.95E-07	5.23E-07	4.01E-07	3.00E-07
S	9.03E-05	4.17E-05	2.87E-05	1.73E-05	7.50E-06	2.94E-06	1.34E-06	7.79E-07	5.01E-07	3.72E-07	2.81E-07	2.08E-07
SSW	1.97E-04	8.37E-05	5.14E-05	2.80E-05	1.17E-05	4.81E-06	2.30E-06	1.39E-06	9.19E-07	6.96E-07	5.37E-07	4.04E-07
SW	9.15E-05	4.46E-05	2.84E-05	1.58E-05	6.78E-06	2.83E-06	1.36E-06	8.27E-07	5.49E-07	4.16E-07	3.21E-07	2.41E-07
WSW	6.47E-05	3.38E-05	2.34E-05	1.41E-05	6.24E-06	2.55E-06	1.20E-06	7.13E-07	4.66E-07	3.50E-07	2.67E-07	1.99E-07
W	6.53E-05	3.35E-05	2.22E-05	1.26E-05	5.39E-06	2.19E-06	1.03E-06	6.16E-07	4.05E-07	3.05E-07	2.34E-07	1.75E-07
WNW	8.18E-05	4.18E-05	2.59E-05	1.38E-05	5.61E-06	2.38E-06	1.18E-06	7.28E-07	4.91E-07	3.76E-07	2.93E-07	2.22E-07
NW	9.50E-05	4.91E-05	2.95E-05	1.51E-05	6.16E-06	2.65E-06	1.33E-06	8.32E-07	5.65E-07	4.36E-07	3.41E-07	2.59E-07
NNW	1.12E-04	5.55E-05	3.33E-05	1.73E-05	7.15E-06	3.05E-06	1.52E-06	9.42E-07	6.36E-07	4.89E-07	3.81E-07	2.89E-07

表 6.2-20 全厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素： ^{137}Cs (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	1.29E-04	6.14E-05	3.65E-05	1.89E-05	7.91E-06	3.35E-06	1.66E-06	1.03E-06	6.93E-07	5.33E-07	4.16E-07	3.16E-07
NNE	1.78E-04	7.61E-05	4.33E-05	2.19E-05	8.86E-06	3.77E-06	1.87E-06	1.16E-06	7.77E-07	5.95E-07	4.62E-07	3.49E-07
NE	2.11E-04	8.95E-05	5.20E-05	2.65E-05	1.01E-05	4.23E-06	2.08E-06	1.28E-06	8.56E-07	6.54E-07	5.08E-07	3.84E-07
ENE	7.42E-05	3.72E-05	2.39E-05	1.34E-05	5.62E-06	2.33E-06	1.11E-06	6.72E-07	4.44E-07	3.36E-07	2.58E-07	1.93E-07
E	8.54E-05	3.74E-05	2.50E-05	1.47E-05	6.19E-06	2.44E-06	1.12E-06	6.57E-07	4.26E-07	3.17E-07	2.41E-07	1.79E-07
ESE	1.29E-04	5.62E-05	3.68E-05	2.10E-05	8.52E-06	3.36E-06	1.55E-06	9.19E-07	6.00E-07	4.50E-07	3.44E-07	2.57E-07
SE	1.35E-04	6.37E-05	4.23E-05	2.44E-05	1.01E-05	4.01E-06	1.87E-06	1.11E-06	7.25E-07	5.45E-07	4.17E-07	3.12E-07
SSE	1.12E-04	5.23E-05	3.42E-05	1.96E-05	8.32E-06	3.40E-06	1.61E-06	9.67E-07	6.37E-07	4.80E-07	3.69E-07	2.76E-07
S	8.20E-05	3.79E-05	2.61E-05	1.57E-05	6.83E-06	2.69E-06	1.23E-06	7.19E-07	4.66E-07	3.46E-07	2.63E-07	1.96E-07
SSW	1.79E-04	7.60E-05	4.67E-05	2.55E-05	1.06E-05	4.39E-06	2.11E-06	1.28E-06	8.48E-07	6.44E-07	4.98E-07	3.76E-07
SW	8.31E-05	4.05E-05	2.58E-05	1.44E-05	6.17E-06	2.58E-06	1.25E-06	7.59E-07	5.05E-07	3.84E-07	2.97E-07	2.24E-07
WSW	5.88E-05	3.07E-05	2.12E-05	1.28E-05	5.68E-06	2.33E-06	1.10E-06	6.57E-07	4.31E-07	3.25E-07	2.49E-07	1.86E-07
W	5.93E-05	3.04E-05	2.01E-05	1.15E-05	4.90E-06	2.00E-06	9.44E-07	5.65E-07	3.73E-07	2.81E-07	2.16E-07	1.62E-07
WNW	7.42E-05	3.80E-05	2.35E-05	1.25E-05	5.10E-06	2.18E-06	1.08E-06	6.70E-07	4.53E-07	3.49E-07	2.73E-07	2.07E-07
NW	8.62E-05	4.46E-05	2.68E-05	1.38E-05	5.61E-06	2.42E-06	1.22E-06	7.67E-07	5.22E-07	4.05E-07	3.18E-07	2.43E-07
NNW	1.02E-04	5.04E-05	3.02E-05	1.57E-05	6.51E-06	2.79E-06	1.39E-06	8.68E-07	5.88E-07	4.54E-07	3.55E-07	2.71E-07

表 6.2-21 全厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素： ^3H (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	1.91E-01	9.82E-02	6.04E-02	3.32E-02	1.49E-02	6.75E-03	3.78E-03	2.59E-03	1.96E-03	1.57E-03	1.31E-03	1.12E-03
NNE	2.63E-01	1.22E-01	7.18E-02	3.86E-02	1.68E-02	7.70E-03	4.36E-03	3.01E-03	2.29E-03	1.85E-03	1.55E-03	1.33E-03
NE	3.13E-01	1.43E-01	8.63E-02	4.68E-02	1.91E-02	8.61E-03	4.80E-03	3.29E-03	2.49E-03	2.00E-03	1.67E-03	1.43E-03
ENE	1.10E-01	5.95E-02	3.96E-02	2.37E-02	1.06E-02	4.76E-03	2.61E-03	1.76E-03	1.31E-03	1.05E-03	8.66E-04	7.37E-04
E	1.27E-01	5.99E-02	4.14E-02	2.58E-02	1.17E-02	4.96E-03	2.59E-03	1.69E-03	1.24E-03	9.65E-04	7.87E-04	6.62E-04
ESE	1.91E-01	8.98E-02	6.09E-02	3.70E-02	1.60E-02	6.79E-03	3.55E-03	2.33E-03	1.71E-03	1.34E-03	1.10E-03	9.24E-04
SE	2.00E-01	1.02E-01	7.02E-02	4.30E-02	1.90E-02	8.11E-03	4.27E-03	2.81E-03	2.07E-03	1.62E-03	1.33E-03	1.12E-03
SSE	1.66E-01	8.37E-02	5.66E-02	3.46E-02	1.57E-02	6.92E-03	3.73E-03	2.50E-03	1.85E-03	1.47E-03	1.21E-03	1.03E-03
S	1.21E-01	6.06E-02	4.32E-02	2.77E-02	1.29E-02	5.45E-03	2.82E-03	1.83E-03	1.33E-03	1.04E-03	8.41E-04	7.06E-04
SSW	2.65E-01	1.22E-01	7.74E-02	4.49E-02	2.00E-02	8.86E-03	4.82E-03	3.24E-03	2.41E-03	1.92E-03	1.58E-03	1.35E-03
SW	1.23E-01	6.49E-02	4.28E-02	2.53E-02	1.16E-02	5.24E-03	2.88E-03	1.95E-03	1.46E-03	1.16E-03	9.63E-04	8.21E-04
WSW	8.71E-02	4.91E-02	3.52E-02	2.26E-02	1.07E-02	4.73E-03	2.53E-03	1.68E-03	1.25E-03	9.81E-04	8.07E-04	6.83E-04
W	8.79E-02	4.87E-02	3.34E-02	2.02E-02	9.23E-03	4.04E-03	2.17E-03	1.44E-03	1.07E-03	8.44E-04	6.95E-04	5.90E-04
WNW	1.10E-01	6.08E-02	3.89E-02	2.20E-02	9.59E-03	4.38E-03	2.46E-03	1.69E-03	1.28E-03	1.03E-03	8.61E-04	7.38E-04
NW	1.28E-01	7.13E-02	4.44E-02	2.42E-02	1.05E-02	4.88E-03	2.78E-03	1.93E-03	1.47E-03	1.19E-03	9.96E-04	8.57E-04
NNW	1.51E-01	8.06E-02	5.00E-02	2.76E-02	1.22E-02	5.62E-03	3.17E-03	2.19E-03	1.66E-03	1.34E-03	1.12E-03	9.59E-04

表 6.2-22 全厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素： ^{14}C (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	2.31E-02	1.19E-02	7.31E-03	4.02E-03	1.80E-03	8.18E-04	4.57E-04	3.14E-04	2.37E-04	1.90E-04	1.59E-04	1.36E-04
NNE	3.19E-02	1.47E-02	8.70E-03	4.68E-03	2.03E-03	9.32E-04	5.28E-04	3.65E-04	2.78E-04	2.24E-04	1.87E-04	1.61E-04
NE	3.79E-02	1.73E-02	1.05E-02	5.67E-03	2.31E-03	1.04E-03	5.82E-04	3.99E-04	3.02E-04	2.42E-04	2.02E-04	1.73E-04
ENE	1.33E-02	7.21E-03	4.80E-03	2.86E-03	1.29E-03	5.77E-04	3.16E-04	2.13E-04	1.59E-04	1.27E-04	1.05E-04	8.93E-05
E	1.53E-02	7.25E-03	5.02E-03	3.13E-03	1.41E-03	6.01E-04	3.13E-04	2.05E-04	1.50E-04	1.17E-04	9.54E-05	8.02E-05
ESE	2.31E-02	1.09E-02	7.37E-03	4.49E-03	1.94E-03	8.22E-04	4.30E-04	2.82E-04	2.07E-04	1.62E-04	1.33E-04	1.12E-04
SE	2.42E-02	1.23E-02	8.50E-03	5.20E-03	2.30E-03	9.82E-04	5.17E-04	3.41E-04	2.51E-04	1.97E-04	1.61E-04	1.36E-04
SSE	2.01E-02	1.01E-02	6.86E-03	4.19E-03	1.90E-03	8.38E-04	4.52E-04	3.02E-04	2.25E-04	1.78E-04	1.46E-04	1.24E-04
S	1.47E-02	7.34E-03	5.23E-03	3.35E-03	1.56E-03	6.60E-04	3.41E-04	2.22E-04	1.61E-04	1.25E-04	1.02E-04	8.55E-05
SSW	3.21E-02	1.47E-02	9.37E-03	5.44E-03	2.42E-03	1.07E-03	5.83E-04	3.92E-04	2.92E-04	2.32E-04	1.92E-04	1.63E-04
SW	1.49E-02	7.86E-03	5.18E-03	3.07E-03	1.41E-03	6.35E-04	3.49E-04	2.36E-04	1.77E-04	1.41E-04	1.17E-04	9.94E-05
WSW	1.05E-02	5.95E-03	4.26E-03	2.74E-03	1.30E-03	5.73E-04	3.07E-04	2.04E-04	1.51E-04	1.19E-04	9.77E-05	8.27E-05
W	1.06E-02	5.90E-03	4.04E-03	2.45E-03	1.12E-03	4.89E-04	2.62E-04	1.75E-04	1.30E-04	1.02E-04	8.42E-05	7.14E-05
WNW	1.33E-02	7.36E-03	4.71E-03	2.67E-03	1.16E-03	5.31E-04	2.98E-04	2.05E-04	1.55E-04	1.25E-04	1.04E-04	8.93E-05
NW	1.55E-02	8.64E-03	5.37E-03	2.93E-03	1.28E-03	5.90E-04	3.37E-04	2.34E-04	1.78E-04	1.44E-04	1.21E-04	1.04E-04
NNW	1.83E-02	9.76E-03	6.06E-03	3.34E-03	1.48E-03	6.80E-04	3.84E-04	2.65E-04	2.01E-04	1.62E-04	1.35E-04	1.16E-04

表 6.2-23 5、6 号机组总排放口放射性核素浓度

放射性核素	I~IV类海域浓度标准 (Bq/L)	单机组排放量 (Bq/a)	排放时总排放口浓度 (Bq/L)
^{60}Co	0.03	5.45E+07	4.36E-04
^{90}Sr	4	1.42E+05	1.14E-06
^{106}Ru	0.2	5.96E+04	4.77E-07
^{134}Cs	0.6	2.02E+09	1.62E-02
^{137}Cs	0.7	1.66E+09	1.33E-02

表 6.2-24 全厂址 6 台机组总排放口放射性核素浓度

放射性核素	I~IV类海域浓度标准 (Bq/L)	1、2号机组排放* (Bq/a)	3、4号机组排放** (Bq/a)	5、6号机组排放 (Bq/a)	全厂排放量 (Bq/a)	总排放口年均浓度 (Bq/L)
^{60}Co	0.03	1.08E+08	1.09E+08	1.09E+08	3.26E+08	1.30E-03
^{90}Sr	4	2.68E+05	2.84E+05	2.84E+05	8.36E+05	3.34E-06
^{106}Ru	0.2	2.86E+04	1.19E+05	1.19E+05	2.67E+05	1.07E-06
^{134}Cs	0.6	4.02E+09	4.04E+09	4.04E+09	1.21E+10	4.84E-02
^{137}Cs	0.7	3.12E+09	3.32E+09	3.32E+09	9.76E+09	3.90E-02

*取自《山东海阳核电厂一期工程环境影响报告书（运行阶段）》中的设计源项

**取自《山东海阳核电项目 3、4 号机组工程环境影响报告书（建造阶段）》。

表 6.2-25 用于计算气体辐射剂量的有关参数

核素名称	衰变常数 (s ⁻¹)	空气浸没 ^(a) (Sv/s) / (Bq/m ³)	吸入 (Sv/Bq) ^(b)				沉积 ^(c) (Sv/s) / (Bq/m ²)	食入 (Sv/Bq) ^(b)				Bv	BvS	FF	FE	FM	
			婴儿	儿童	青少年	成人		婴儿	儿童	青少年	成人						
^{85m} Kr	4.30E-05	6.83E-15	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	0.00E+00	0.00E+00
⁸⁵ Kr	2.09E-09	2.55E-16	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	0.00E+00	0.00E+00
⁸⁷ Kr	1.52E-04	3.94E-14	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	0.00E+00	0.00E+00
⁸⁸ Kr	6.78E-05	9.72E-14	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	0.00E+00	0.00E+00
^{131m} Xe	6.81E-07	3.70E-16	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	0.00E+00	0.00E+00
^{133m} Xe	3.55E-06	1.27E-15	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	0.00E+00	0.00E+00
¹³³ Xe-133	1.53E-06	1.39E-15	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	0.00E+00	0.00E+00
^{135m} Xe	7.55E-04	1.85E-14	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	0.00E+00	0.00E+00
¹³⁵ Xe	2.15E-05	1.11E-14	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	0.00E+00	0.00E+00
¹³⁸ Xe	1.20E-03	5.44E-14	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	0.00E+00	0.00E+00
³ H	1.79E-09	3.31E-19	3.40E-10	2.70E-10	8.20E-11	4.50E-11	0.00E+00	1.70E-06	1.70E-06	1.70E-06	1.70E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
¹⁴ C	3.84E-12	2.24E-19	1.90E-08	1.70E-08	7.40E-09	5.80E-09	1.61E-20	3.10E-04	3.10E-04	3.10E-04	3.10E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
⁴¹ Ar	1.05E-04	6.13E-14	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	0.00E+00	0.00E+00
¹³¹ I	9.98E-07	1.84E-14	7.20E-08	7.20E-08	1.90E-08	7.40E-09	3.81E-16	1.80E-07	1.80E-07	5.20E-08	2.20E-08	2.00E-02	1.00E-01	5.00E-02	5.00E-02	1.00E-02	1.00E-02
¹³³ I	9.25E-06	3.01E-14	1.90E-08	1.80E-08	3.80E-09	1.50E-09	6.34E-16	4.90E-08	4.40E-08	1.00E-08	4.30E-09	2.00E-02	1.00E-01	5.00E-02	5.00E-02	1.00E-02	1.00E-02
⁵¹ Cr	2.89E-07	1.52E-15	2.60E-10	2.10E-10	6.60E-11	3.70E-11	3.11E-17	3.50E-10	2.30E-10	7.80E-11	3.80E-11	1.00E-03	1.00E-01	9.00E-02	9.00E-02	2.00E-04	2.00E-04
⁵⁴ Mn	2.57E-08	4.12E-14	7.50E-09	6.20E-09	2.40E-09	1.50E-09	8.24E-16	5.40E-09	3.10E-09	1.30E-09	7.10E-10	3.00E-01	1.00E+01	7.00E-04	7.00E-04	3.00E-04	3.00E-04
⁵⁷ Co	2.96E-08	5.61E-15	4.40E-09	3.70E-09	1.50E-09	1.00E-09	1.15E-16	2.90E-09	1.60E-09	5.80E-10	2.10E-10	8.00E-02	2.00E+00	7.00E-02	7.00E-02	1.00E-02	1.00E-02
⁵⁸ Co	1.13E-07	4.76E-14	9.00E-09	7.50E-09	3.10E-09	2.10E-09	9.51E-16	7.30E-09	4.40E-09	1.70E-09	7.40E-10	8.00E-02	2.00E+00	7.00E-02	7.00E-02	1.00E-02	1.00E-02
⁶⁰ Co	4.17E-09	1.27E-13	9.20E-08	8.60E-08	4.00E-08	3.10E-08	2.38E-15	5.40E-08	2.70E-08	1.10E-08	3.40E-09	8.00E-02	2.00E+00	7.00E-02	7.00E-02	1.00E-02	1.00E-02
⁵⁹ Fe	1.80E-07	6.02E-14	2.10E-08	1.30E-08	5.80E-09	4.00E-09	1.14E-15	3.90E-08	1.30E-08	4.70E-09	1.80E-09	1.00E-03	1.00E-01	5.00E-02	5.00E-02	3.00E-04	3.00E-04
⁸⁹ Sr	1.59E-07	4.44E-16	3.90E-08	3.00E-08	1.20E-08	7.90E-09	6.98E-17	3.60E-08	1.80E-08	5.80E-09	2.60E-09	3.00E-01	1.00E+01	1.00E-02	1.00E-02	3.00E-03	3.00E-03
⁹⁰ Sr	7.67E-10	9.83E-17	4.20E-07	4.00E-07	1.80E-07	1.60E-07	1.11E-16	2.30E-07	7.30E-08	6.00E-08	2.80E-08	3.00E-01	1.00E+01	1.00E-02	1.00E-02	3.00E-03	3.00E-03
⁹⁵ Zr	1.25E-07	3.49E-14	2.40E-08	1.90E-08	8.30E-09	5.90E-09	1.49E-15	8.50E-09	5.60E-09	1.90E-09	9.50E-10	1.00E-03	1.00E-01	1.00E-05	1.00E-05	6.00E-06	6.00E-06
⁹⁵ Nb	2.29E-07	3.81E-14	7.70E-09	5.90E-09	2.50E-09	1.80E-09	7.61E-16	4.60E-09	3.20E-09	1.10E-09	5.80E-10	1.00E-02	2.00E-01	3.00E-06	3.00E-06	4.00E-06	4.00E-06
¹⁰³ Ru	2.04E-07	2.28E-14	1.30E-08	1.00E-08	4.20E-09	3.00E-09	4.76E-16	7.10E-09	4.60E-09	1.50E-09	7.30E-10	5.00E-02	2.00E-01	5.00E-02	5.00E-02	3.00E-05	3.00E-05
¹⁰⁶ Ru	2.18E-08	1.14E-14	2.60E-07	2.30E-07	9.10E-08	6.60E-08	3.49E-16	8.40E-08	4.90E-08	1.50E-08	7.00E-09	5.00E-02	2.00E-01	5.00E-02	5.00E-02	3.00E-05	3.00E-05
¹²⁵ Sb	7.93E-09	2.06E-14	4.20E-08	3.80E-08	1.60E-08	1.20E-08	4.44E-16	1.10E-08	6.10E-09	2.10E-09	1.10E-09	1.00E-03	1.00E-01	5.00E-03	5.00E-03	2.50E-04	2.50E-04
¹³⁴ Cs	1.07E-08	7.61E-14	7.00E-08	6.30E-08	2.80E-08	2.00E-08	1.55E-15	2.60E-08	1.60E-08	1.90E-08	1.90E-08	4.00E-02	1.00E+00	5.00E-02	5.00E-02	1.00E-02	1.00E-02
¹³⁶ Cs	6.12E-07	1.08E-13	1.50E-08	1.10E-08	4.10E-09	2.80E-09	2.12E-15	1.50E-08	9.50E-09	4.40E-09	3.00E-09	4.00E-02	1.00E+00	5.00E-02	5.00E-02	1.00E-02	1.00E-02
¹³⁷ Cs	7.32E-10	2.76E-14	1.10E-07	1.00E-07	4.80E-08	3.90E-08	5.71E-16	2.10E-08	1.20E-08	1.30E-08	1.30E-08	4.00E-02	1.00E+00	5.00E-02	5.00E-02	1.00E-02	1.00E-02
¹⁴⁰ Ba	6.32E-07	8.58E-15	2.90E-08	2.20E-08	8.60E-09	5.80E-09	1.80E-16	3.20E-08	1.80E-08	5.80E-09	2.60E-09	5.00E-02	1.00E-01	2.00E-03	2.00E-03	5.00E-03	5.00E-03
¹⁴¹ Ce	2.47E-07	3.49E-15	1.60E-08	1.20E-08	5.30E-09	3.80E-09	7.61E-17	8.10E-09	5.10E-09	1.50E-09	7.10E-10	5.00E-02	1.00E-01	2.00E-04	2.00E-04	3.00E-04	3.00E-04

注：(a) 取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(18871-2002)、IAEA19号报告、美国联邦导则12号报告(1993)《空气、水和土壤中核素导致的外照射》；

(b) 取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(18871-2002)。对于³H和¹⁴C的剂量转换因子单位为Sv·m³/Bq·a，取自IAEA19号报告；

(c) 取自IAEA19号报告、美国联邦导则12号报告(1993)《空气、水和土壤中核素导致的外照射》。

Bv: 农作物浓集因子 Bvs: 饲料作物的浓集因子 FF:元素在肉中的转移系数(d/kg) FE: 元素在蛋中的转移系数(d/kg) FM: 元素在牛奶中的转移系数(d/L)均取自IAEA19号报告

表 6.2-26 计算液态辐射途径所用的剂量转换因子

核素	淹没在水体 ^a (Sv/h/Bq/m ³)	岸边沉积 ^a (Sv/h/Bq/m ²)	食入 ^b (Sv/Bq)		
			儿童	青少年	成人
⁵¹ Cr	1.07×10 ⁻¹⁴	1.05×10 ⁻¹³	2.3×10 ⁻¹⁰	7.8×10 ⁻¹¹	3.8×10 ⁻¹¹
⁵⁴ Mn	2.91×10 ⁻¹³	2.59×10 ⁻¹²	3.1×10 ⁻⁹	1.3×10 ⁻⁹	7.1×10 ⁻¹⁰
⁵⁵ Fe	8.82×10 ⁻¹⁸	6.82×10 ⁻¹⁶	2.4×10 ⁻⁹	1.1×10 ⁻⁹	3.3×10 ⁻¹⁰
⁵⁹ Fe	4.13×10 ⁻¹³	3.39×10 ⁻¹²	1.3×10 ⁻⁸	4.7×10 ⁻⁹	1.8×10 ⁻⁹
⁵⁸ Co	3.36×10 ⁻¹³	3.05×10 ⁻¹²	4.4×10 ⁻⁹	1.7×10 ⁻⁹	7.4×10 ⁻¹⁰
⁶⁰ Co	8.70×10 ⁻¹³	7.00×10 ⁻¹²	2.7×10 ⁻⁸	1.1×10 ⁻⁸	3.4×10 ⁻⁹
⁶⁵ Zn	2.02×10 ⁻¹³	1.69×10 ⁻¹²	1.6×10 ⁻⁸	6.4×10 ⁻⁹	3.9×10 ⁻⁹
¹⁸⁷ W	1.62×10 ⁻¹³	1.52×10 ⁻¹²	4.3×10 ⁻⁹	1.3×10 ⁻⁹	6.3×10 ⁻¹⁰
²³⁹ Np	5.83×10 ⁻¹⁴	5.92×10 ⁻¹³	5.7×10 ⁻⁹	1.7×10 ⁻⁹	8.0×10 ⁻¹⁰
⁸⁴ Br	6.82×10 ⁻¹³	4.91×10 ⁻¹²	5.8×10 ⁻¹⁰	1.6×10 ⁻¹⁰	8.8×10 ⁻¹¹
⁸⁸ Rb	2.39×10 ⁻¹³	1.78×10 ⁻¹²	6.2×10 ⁻¹⁰	1.7×10 ⁻¹⁰	9.0×10 ⁻¹¹
⁸⁹ Sr	4.78×10 ⁻¹⁷	4.20×10 ⁻¹⁶	1.8×10 ⁻⁸	5.8×10 ⁻⁹	2.6×10 ⁻⁹
⁹⁰ Sr	0	0	7.3×10 ⁻⁸	6.0×10 ⁻⁸	2.8×10 ⁻⁸
⁹¹ Sr	2.39×10 ⁻¹³	2.09×10 ⁻¹²	4.0×10 ⁻⁹	1.2×10 ⁻⁹	6.5×10 ⁻¹⁰
^{91m} Y	1.79×10 ⁻¹³	1.68×10 ⁻¹²	6.0×10 ⁻¹¹	2.1×10 ⁻¹¹	1.1×10 ⁻¹¹
⁹³ Y	3.24×10 ⁻¹⁴	2.64×10 ⁻¹³	8.5×10 ⁻⁹	2.5×10 ⁻⁹	1.2×10 ⁻⁹
⁹⁵ Zr	2.53×10 ⁻¹³	2.30×10 ⁻¹²	5.6×10 ⁻⁹	1.9×10 ⁻⁹	9.5×10 ⁻¹⁰
⁹⁵ Nb	2.64×10 ⁻¹³	2.39×10 ⁻¹²	3.2×10 ⁻⁹	1.1×10 ⁻⁹	5.8×10 ⁻¹⁰
⁹⁹ Mo	5.34×10 ⁻¹⁴	4.94×10 ⁻¹³	3.5×10 ⁻⁹	1.1×10 ⁻⁹	6.0×10 ⁻¹⁰
^{99m} Tc	4.60×10 ⁻¹⁴	4.57×10 ⁻¹³	1.3×10 ⁻¹⁰	4.3×10 ⁻¹¹	2.2×10 ⁻¹¹
¹⁰³ Ru	1.62×10 ⁻¹³	1.54×10 ⁻¹²	4.6×10 ⁻⁹	1.5×10 ⁻⁹	7.3×10 ⁻¹⁰
¹⁰⁶ Ru	0	0	4.9×10 ⁻⁸	1.5×10 ⁻⁸	7.0×10 ⁻⁹
^{110m} Ag	9.47×10 ⁻¹³	8.27×10 ⁻¹²	1.4×10 ⁻⁸	5.2×10 ⁻⁹	2.8×10 ⁻⁹
^{129m} Te	1.16×10 ⁻¹⁴	1.13×10 ⁻¹³	2.4×10 ⁻⁸	6.6×10 ⁻⁹	3.0×10 ⁻⁹
¹²⁹ Te	1.83×10 ⁻¹⁴	1.75×10 ⁻¹³	4.4×10 ⁻¹⁰	1.2×10 ⁻¹⁰	6.3×10 ⁻¹¹
^{131m} Te	4.97×10 ⁻¹³	4.35×10 ⁻¹²	1.4×10 ⁻⁸	4.3×10 ⁻⁹	1.9×10 ⁻⁹
¹³¹ Te	1.46×10 ⁻¹³	1.35×10 ⁻¹²	6.6×10 ⁻¹⁰	1.9×10 ⁻¹⁰	8.7×10 ⁻¹¹
¹³¹ I	1.29×10 ⁻¹³	1.25×10 ⁻¹²	1.8×10 ⁻⁷	5.2×10 ⁻⁸	2.2×10 ⁻⁸
¹³² Te	7.50×10 ⁻¹⁴	7.65×10 ⁻¹³	3.0×10 ⁻⁸	8.3×10 ⁻⁹	3.8×10 ⁻⁹
¹³² I	7.90×10 ⁻¹³	7.07×10 ⁻¹²	2.4×10 ⁻⁹	6.2×10 ⁻¹⁰	2.9×10 ⁻¹⁰
¹³³ I	2.05×10 ⁻¹³	1.90×10 ⁻¹²	4.4×10 ⁻⁸	1.0×10 ⁻⁸	4.3×10 ⁻⁹
¹³⁴ I	9.19×10 ⁻¹³	7.96×10 ⁻¹²	7.5×10 ⁻¹⁰	2.1×10 ⁻¹⁰	1.1×10 ⁻¹⁰
¹³⁴ Cs	5.34×10 ⁻¹³	4.87×10 ⁻¹²	1.6×10 ⁻⁸	1.4×10 ⁻⁸	1.9×10 ⁻⁸
¹³⁵ I	5.58×10 ⁻¹³	4.47×10 ⁻¹²	8.9×10 ⁻⁹	2.2×10 ⁻⁹	9.3×10 ⁻¹⁰
¹³⁶ Cs	7.53×10 ⁻¹³	6.60×10 ⁻¹²	9.5×10 ⁻⁹	4.4×10 ⁻⁹	3.0×10 ⁻⁹
¹³⁷ Cs	0	0	1.2×10 ⁻⁸	1.0×10 ⁻⁸	6.3×10 ⁻⁸
¹⁴⁰ Ba	6.32×10 ⁻¹⁴	6.11×10 ⁻¹³	1.8×10 ⁻⁸	5.8×10 ⁻⁹	2.6×10 ⁻⁹
¹⁴⁰ La	8.21×10 ⁻¹³	6.57×10 ⁻¹²	1.3×10 ⁻⁸	4.2×10 ⁻⁹	2.0×10 ⁻⁹
¹⁴¹ Ce	2.69×10 ⁻¹⁴	2.71×10 ⁻¹³	5.1×10 ⁻⁹	1.5×10 ⁻⁹	7.1×10 ⁻¹⁰
¹⁴³ Ce	8.92×10 ⁻¹⁴	8.79×10 ⁻¹³	8.0×10 ⁻⁹	2.4×10 ⁻⁹	1.1×10 ⁻⁹
¹⁴³ Pr	3.06×10 ⁻²¹	2.80×10 ⁻²⁰	8.7×10 ⁻⁹	2.6×10 ⁻⁹	1.2×10 ⁻⁹
¹⁴⁴ Ce	6.42×10 ⁻¹⁵	6.66×10 ⁻¹⁴	3.9×10 ⁻⁸	1.1×10 ⁻⁸	5.2×10 ⁻⁹

^{144}Pr	1.19×10^{-14}	9.19×10^{-14}	3.5×10^{-10}	9.5×10^{-11}	5.0×10^{-11}
^3H	0	0	4.8×10^{-11}	2.3×10^{-11}	1.8×10^{-11}
^{14}C	4.39×10^{-22}	1.61×10^{-20}	1.6×10^{-09}	8.0×10^{-10}	5.8×10^{-10}

注：（a）：取自 DOE/EH-0070 External Dose Conversion Factors for Calculation of Dose to the Public, U.S. Department of Energy July 1988.

（b）：取自国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

表 6.2-27 5、6 号机组所致最大个人有效剂量汇总（设计排放源项）（mSv/a）

居民组 \ 年龄组别		婴儿	儿童	青少年	成人	渔民
村庄 1	气态	1.81E-03	2.93E-03	1.98E-03	2.01E-03	1.81E-03
	液态	1.27E-04	7.71E-04	7.07E-04	6.14E-04	7.14E-04
	合计	1.94E-03	3.70E-03	2.69E-03	2.62E-03	2.52E-03
村庄 2	气态	1.72E-03	2.85E-03	1.89E-03	1.88E-03	1.72E-03
	液态	1.27E-04	7.71E-04	7.07E-04	6.42E-04	7.14E-04
	合计	1.85E-03	3.62E-03	2.60E-03	2.52E-03	2.43E-03

表 6.2-28 厂址 1~6 号机组所致最大个人有效剂量汇总（mSv/a）

居民组 \ 年龄组别		婴儿	儿童	青少年	成人	渔民
村庄	1、2 号机组*	1.32E-03	3.52E-03	2.62E-03	2.54E-03	2.89E-03
	3、4 号机组**	3.38E-03	5.78E-03	4.78E-03	4.41E-03	4.44E-03
	5、6 号机组	1.94E-03	3.70E-03	2.69E-03	2.62E-03	2.52E-03
	合计	6.64E-03	1.30E-02	1.01E-02	9.57E-03	9.85E-03

*：数值取自《山东海阳核电厂一期工程环境影响报告书（运行阶段）》。

**：数值取自《山东海阳核电项目 3、4 号机组工程环境影响报告书（建造阶段）》。

表 6.2-29 生物浓集因子 ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}/\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$)

核素	底层鱼类	软体动物	甲壳类	大型海藻	浅海鱼类	浮游植物	多毛类	脉管类植物	浮游动物	鸟类
Cr	2.00E+02	2.00E+03	1.00E+02	6.00E+03	2.00E+02	5.00E+03	2.00E+03	6.00E+03	1.00E+03	2.00E+03
Mn	7.40E+02	1.10E+04	5.90E+03	7.90E+03	7.40E+02	3.50E+03	3.20E+03	3.00E+04	2.50E+03	4.50E+03
Fe	3.00E+04	5.00E+05	5.00E+05	2.00E+04	3.00E+04	4.00E+05	5.00E+05	4.00E+05	7.00E+05	7.00E+05
Co	5.60E+03	5.10E+03	1.80E+03	2.10E+03	5.60E+03	3.10E+03	8.30E+03	2.10E+03	4.80E+03	5.00E+02
Zn	2.50E+04	8.00E+04	3.00E+05	2.00E+03	2.50E+04	1.00E+04	2.50E+04	2.00E+03	1.00E+05	2.50E+04
Ag	2.90E+03	3.20E+04	1.60E+04	1.30E+03	2.90E+03	5.60E+04	2.70E+04	1.30E+03	1.70E+04	2.20E+04
Sb	2.30E+02	5.30E+02	1.40E+03	1.60E+02	2.30E+02	1.00E+03	1.40E+03	1.60E+02	1.30E+03	8.30E+03
Br	1.50E-02	3.10E+00	3.10E+00	3.10E+00	1.50E-02	1.50E+00	1.50E+00	1.50E+00	3.10E+00	3.10E+00
Rb	8.30E+00	1.70E+01	1.70E+01	1.70E+01	8.30E+00	1.70E+01	1.70E+01	1.70E+01	1.70E+01	1.70E+01
Sr	2.30E+01	1.20E+02	1.30E+01	4.20E+01	2.30E+01	2.10E+02	4.70E-01	4.20E+01	4.60E+00	1.64E+02
Y	2.50E+01	1.00E+03	1.00E+03	5.00E+03	2.50E+01	5.00E+03	5.00E+03	5.00E+03	1.00E+03	5.00E+03
Zr	8.30E+01	4.60E+03	2.20E+02	1.70E+03	8.30E+01	3.30E+04	4.60E+03	1.20E+03	2.20E+04	8.52E+01
Nb	8.30E+01	8.50E+02	1.00E+02	6.10E+02	8.30E+01	1.00E+03	8.50E+02	6.10E+02	2.20E+04	8.80E+02
Mo	1.00E+01									
Tc	8.00E+01	8.20E+03	1.73E+04	5.34E+04	8.00E+01	4.90E+00	1.73E+04	5.34E+04	1.00E+02	1.73E+04
Ru	2.60E+01	1.60E+03	3.20E+02	1.20E+03	2.60E+01	2.00E+05	1.60E+03	1.20E+03	3.40E+04	1.62E+03
Rh	1.00E+01	2.00E+03	2.00E+03	2.00E+03	1.00E+01	2.00E+03	2.00E+03	2.00E+03	2.00E+03	2.00E+03
Te	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+03	1.00E+04	1.00E+03	1.30E+04	1.00E+03	1.00E+04	1.00E+03	8.30E+03
I	3.60E+00	1.40E+01	3.60E+00	4.10E+03	3.60E+00	9.60E+02	1.40E+01	4.10E+03	3.00E+03	6.80E-01
Cs	8.60E+01	6.60E+01	4.10E+01	1.20E+02	8.60E+01	1.30E+02	1.80E+02	2.20E+01	1.10E+02	4.80E+02
Ba	2.50E+01	1.50E+02	4.95E+01	2.93E+01	2.50E+01	1.88E+02	4.60E-01	3.00E+00	6.80E+01	1.64E+02
La	1.13E+04	1.13E+04	5.70E+03	1.10E+04	1.13E+04	1.10E+04	1.13E+04	1.10E+04	1.13E+04	1.13E+04
Ce	1.20E+02	2.20E+03	3.40E+03	2.10E+03	1.20E+02	9.00E+04	3.40E+03	1.60E+02	6.00E+03	2.20E+03
Pr	2.50E+01	1.00E+03	1.00E+03	5.00E+03	2.50E+01	5.00E+03	5.00E+03	5.00E+03	1.00E+03	5.00E+03
H	1.00E+00									
C	1.20E+04	1.00E+04	1.00E+04	8.00E+03	1.20E+04	5.60E+03	1.00E+04	8.00E+03	1.00E+04	1.70E+03

表 6.2-30 各核素的分配系数

核素	分配系数 (Kd) (L/kg)
Cr	1.33E+05
Mn	1.00E+04
Fe	1.00E+04
Co	7.90E+01
Zn	1.86E+05
Ag	1.00E+04
Sb	1.00E+04
Br	1.00E+02
Rb	5.80E+02
Sr	3.20E+01
Y	1.00E+04
Zr	1.00E+04
Nb	1.00E+04
Mo	1.00E+04
Tc	2.66E+02
Ru	4.20E+02
Rh	2.10E+02
Te	1.00E+03
I	1.00E+00
Cs	1.40E+02
Ba	5.33E+03
La	7.99E+06
Ce	1.00E+04
Pr	1.00E+04
H	1.00E+00
C	1.00E+00

表 6.2-31 各生物的居留因子

水生生物	水表	水体	沉积物表面	沉积物内
底层鱼类	0	0	1	0
软体动物	0	0	1	0
甲壳类	0	0	1	0
大型海藻	0	0	1	0
浅海鱼类	0	1	0	0
浮游植物	0	1	0	0
多毛类	0	0	0	1
脉管类植物	0	0	1	0
浮游动物	0	1	0	0
鸟类	1	0	0	0

表 6.2-32 5、6 号机组水生生物危害商

水生生物名称	危害商
底层鱼类	1.29E-03
软体动物	1.17E-03
甲壳类	1.16E-03
大型海藻	1.08E-03
浅海鱼类	1.01E-03
浮游植物	4.94E-04
多毛类	1.48E-03
脉管类植物	1.10E-03
浮游动物	9.09E-04
鸟类	2.75E-04

表 6.2-33 全厂 1~6 号机组水生生物危害商

水生生物名称	1~4 号机组危害商*	5、6 号机组危害商	1~6 号机组危害商
底层鱼类	7.29E-03	1.29E-03	8.58E-03
软体动物	7.52E-03	1.17E-03	8.69E-03
甲壳类	6.86E-03	1.16E-03	8.02E-03
大型海藻	7.78E-03	1.08E-03	8.86E-03
浅海鱼类	1.22E-03	1.01E-03	2.23E-03
浮游植物	4.98E-04	4.94E-04	9.92E-04
多毛类	1.43E-02	1.48E-03	1.58E-02
脉管类植物	7.35E-03	1.10E-03	8.45E-03
浮游动物	1.27E-03	9.09E-04	2.18E-03
鸟类	2.75E-04	2.75E-04	5.50E-04

*除鸟类之外的危害商取自《山东海阳核电项目 3、4 号机组工程环境影响报告书（建造阶段）》回答单。

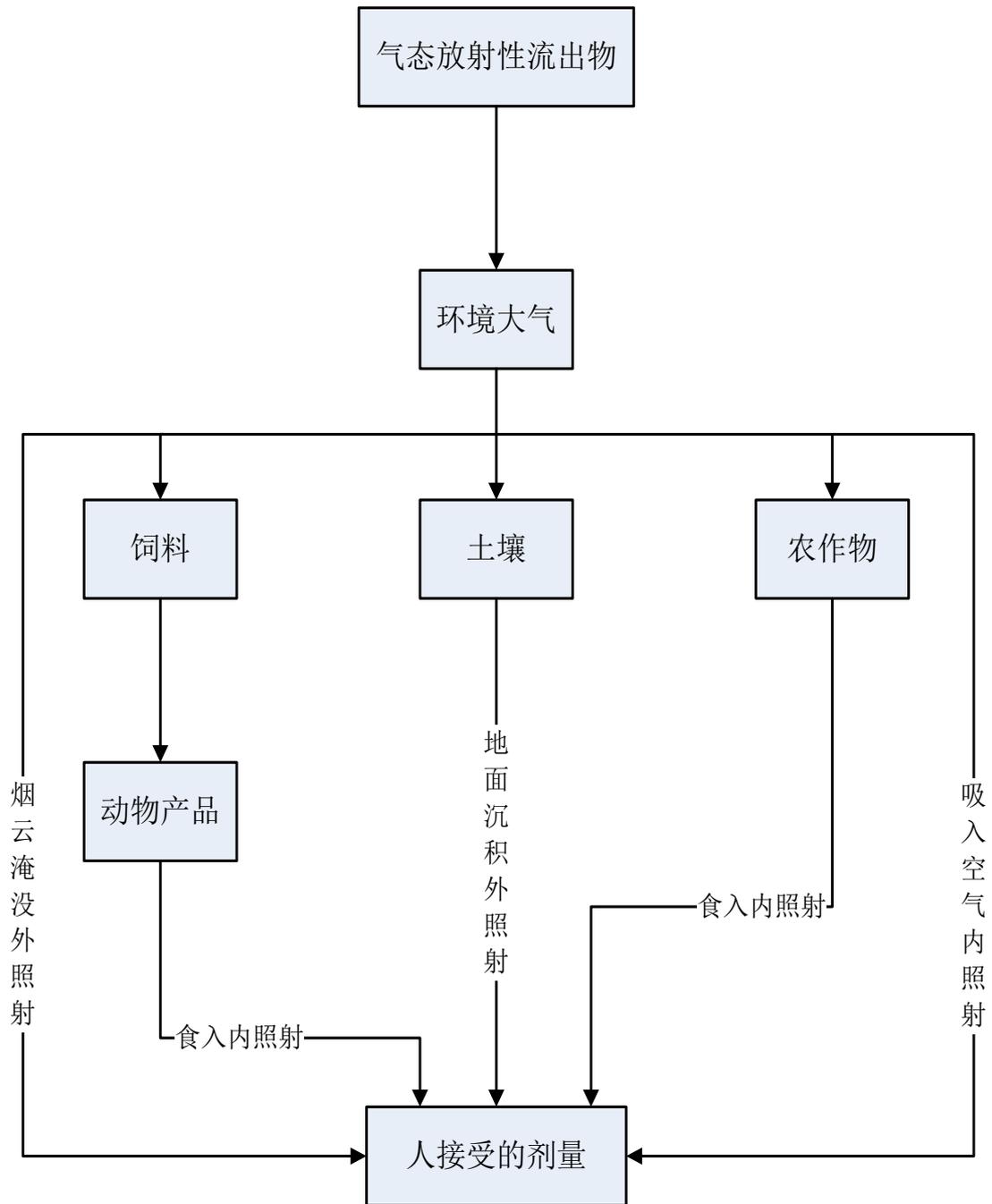


图 6.2-1 正常运行气态流出物对人体的照射途径

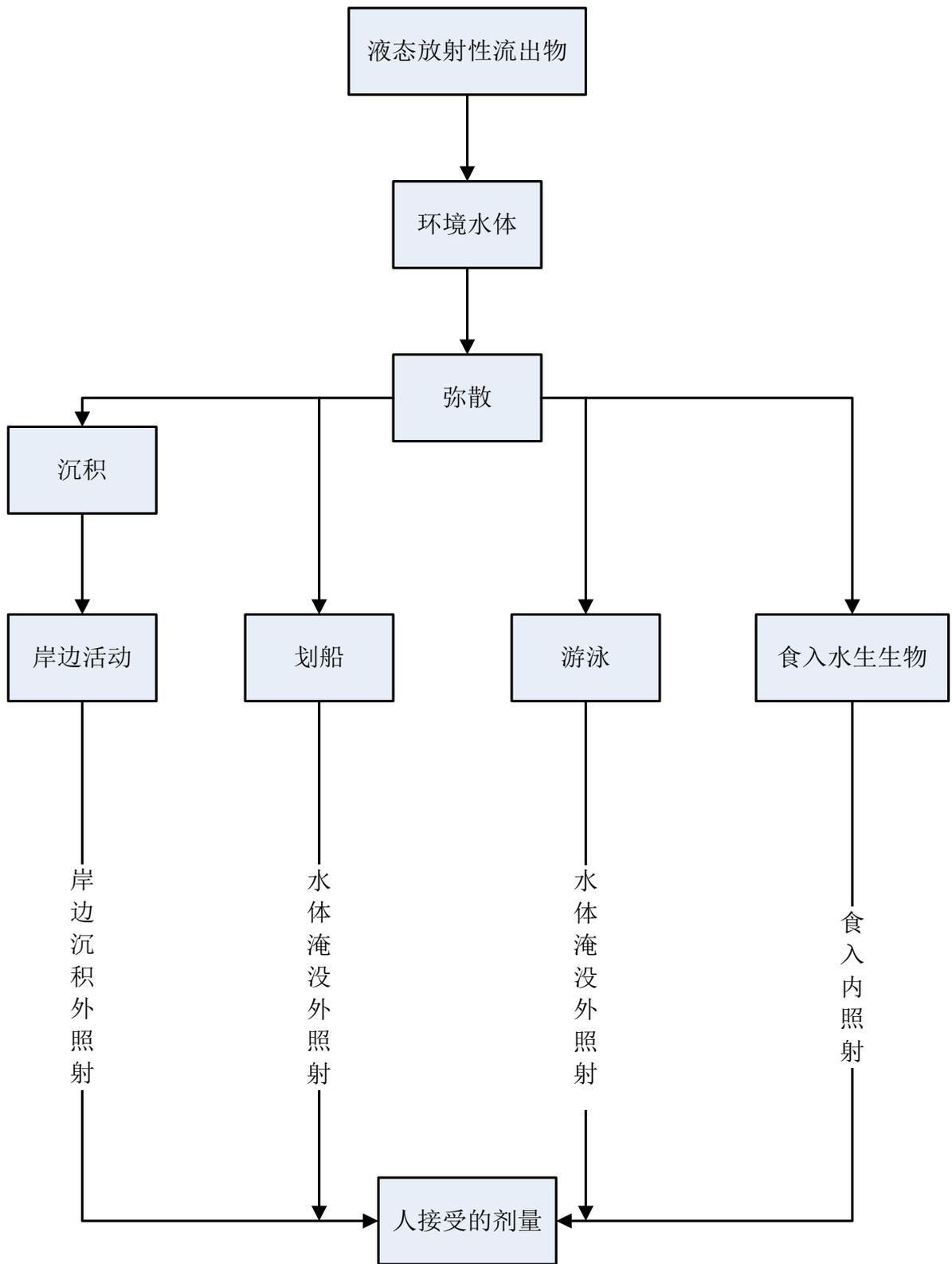
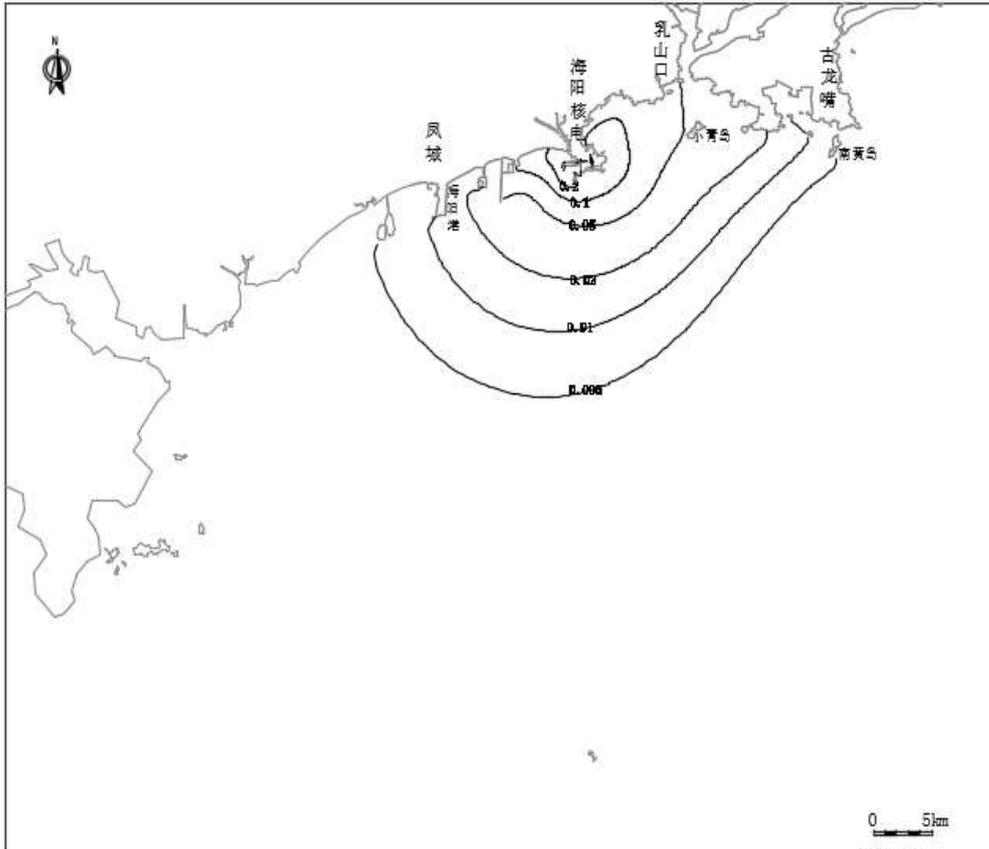
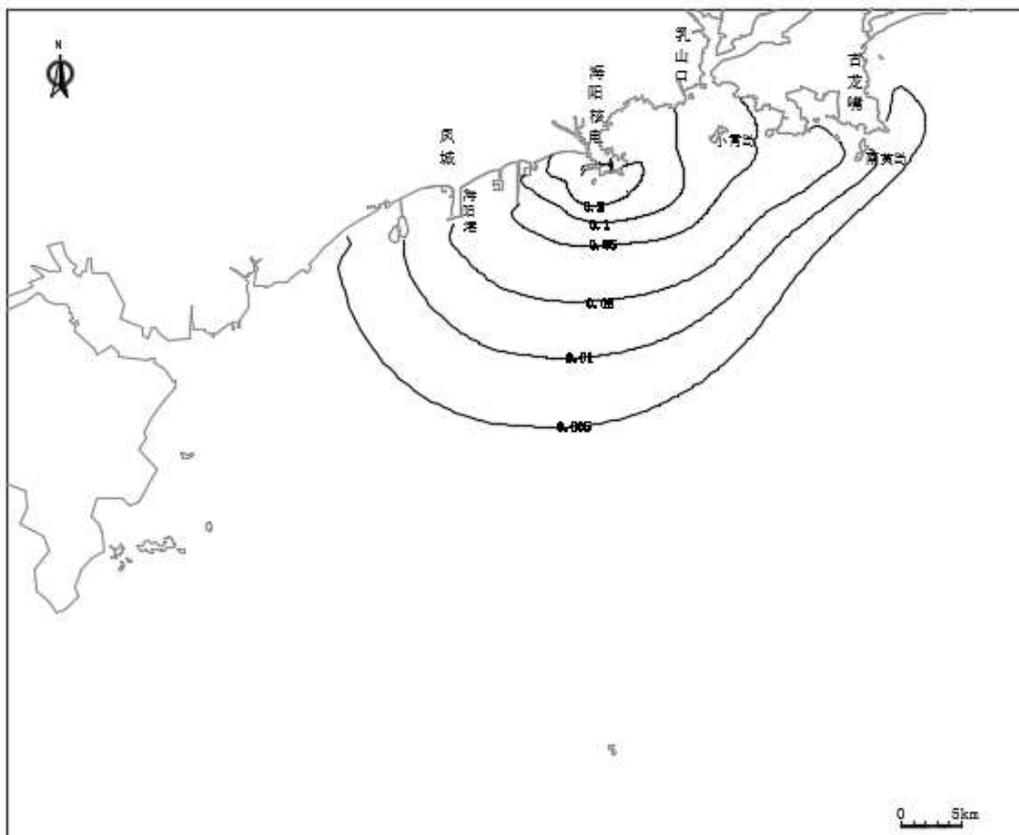


图 6.2-2 正常运行液态流出物对人体的照射途径

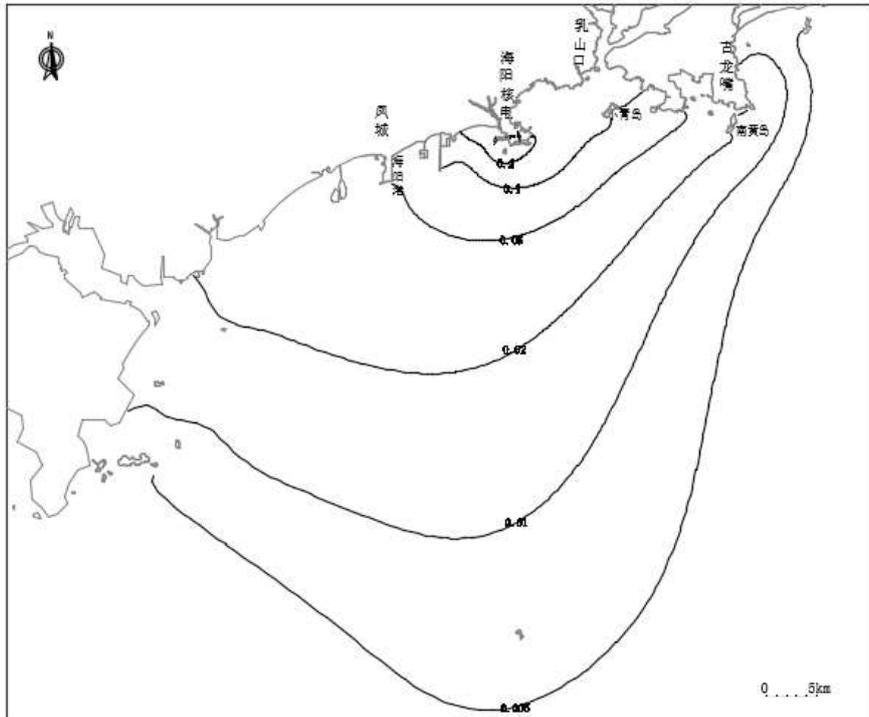


全潮平均

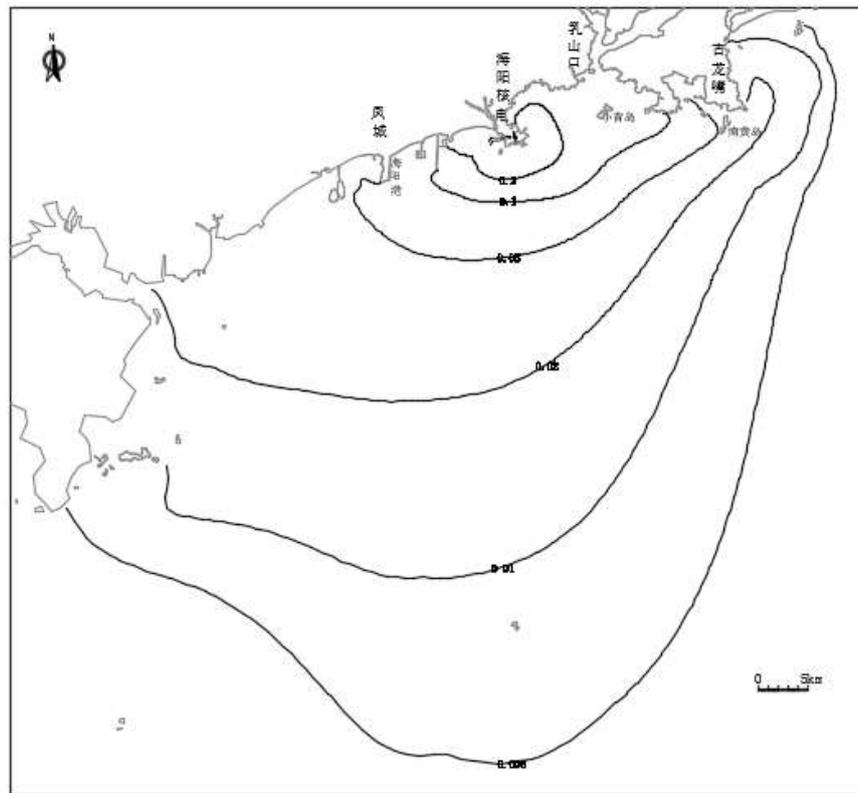


全潮最大

图 6.2-3 等浓度线包络图 (6×1250MWe 夏季典型半月潮半衰期 8d)

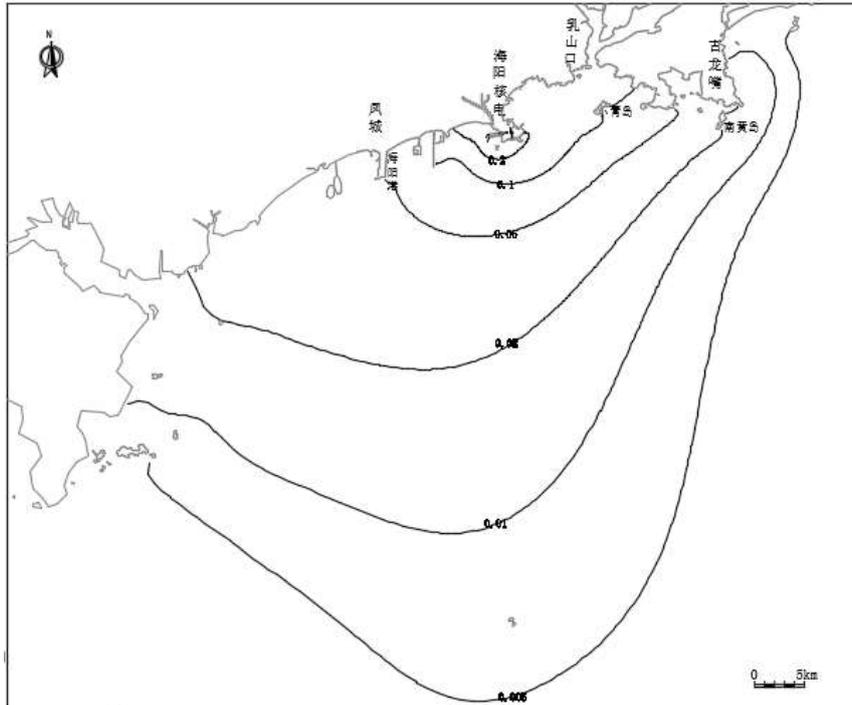


全潮平均

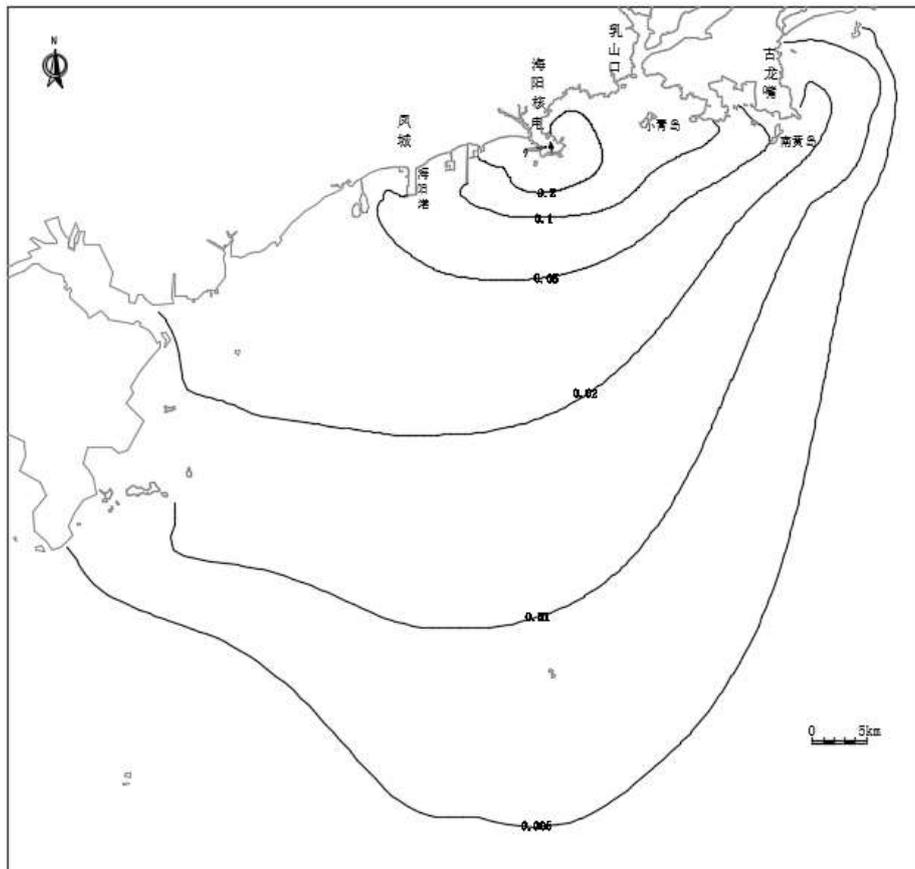


全潮最大

图 6.2-6 等浓度线包络图 (6×1250MWe 夏季典型半月潮半衰期 2.06a)

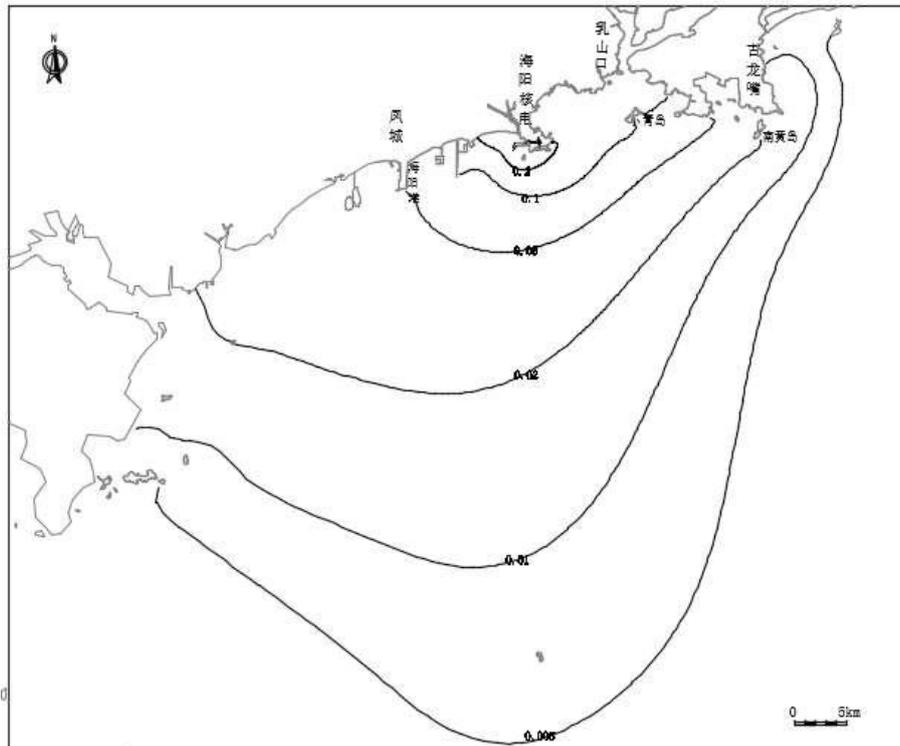


全潮平均

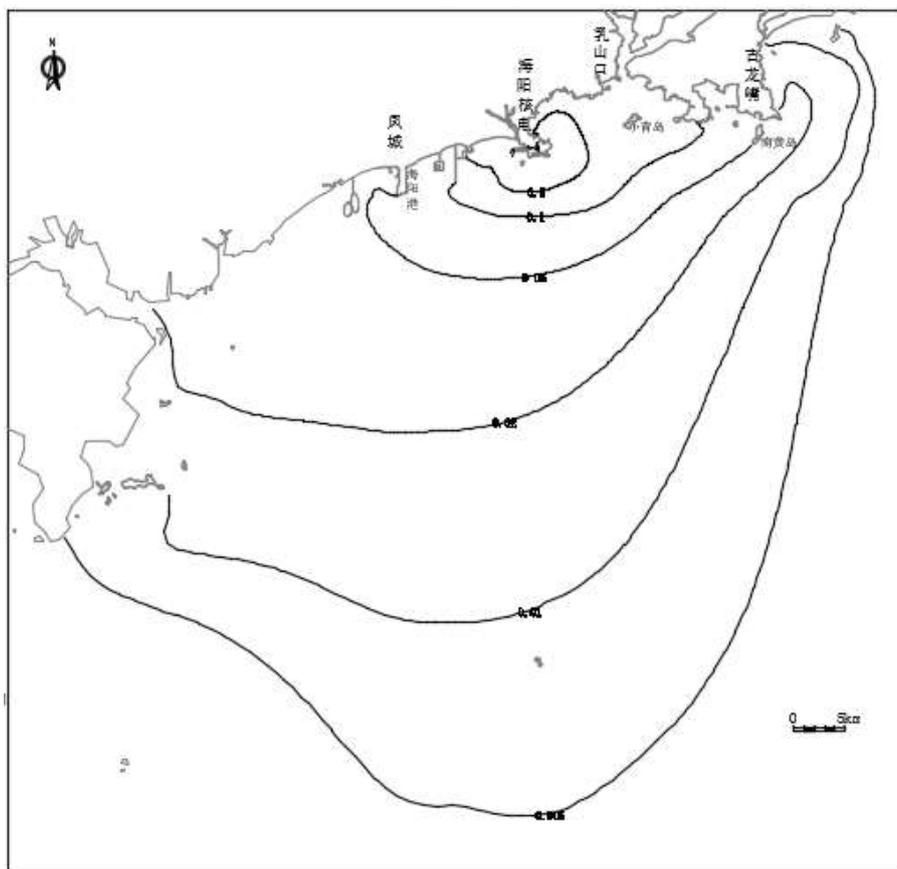


全潮最大

图 6.2-7 等浓度线包络图 (6×1250MWe 夏季典型半月潮半衰期 5.272a)

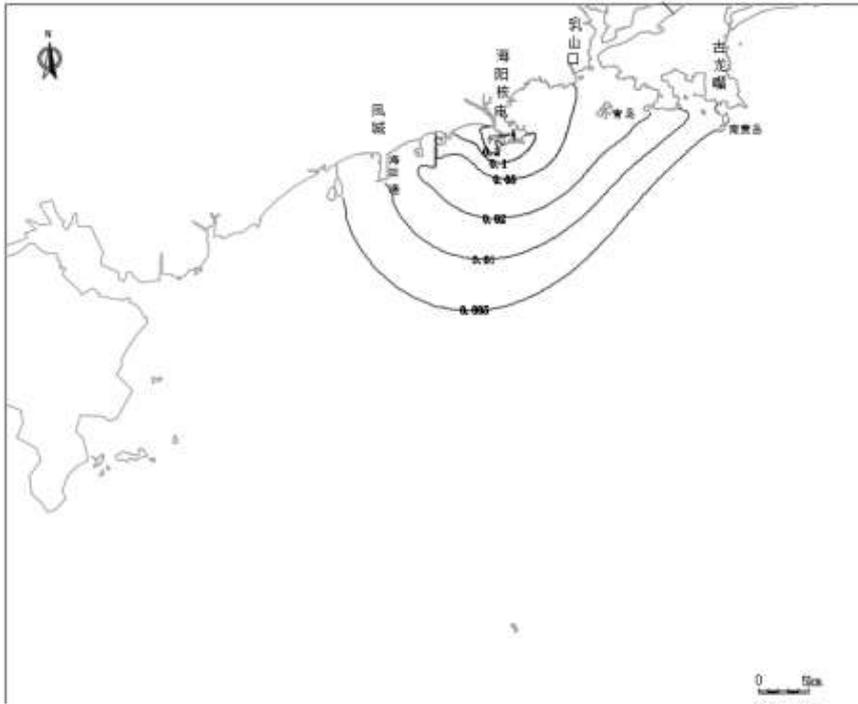


全潮平均

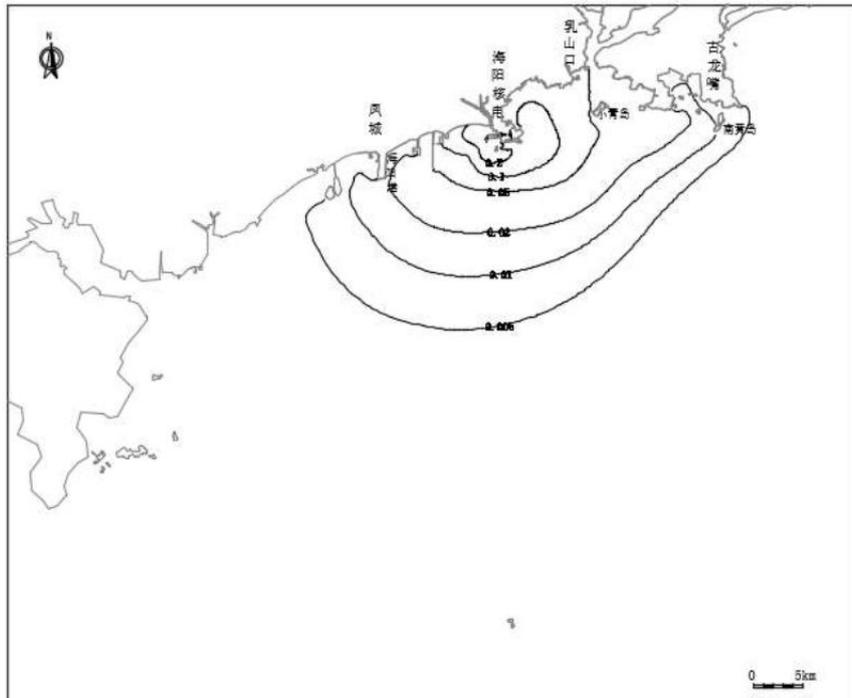


全潮最大

图 6.2-8 等浓度线包络图 (6×1250MWe 夏季典型半月潮不衰变)

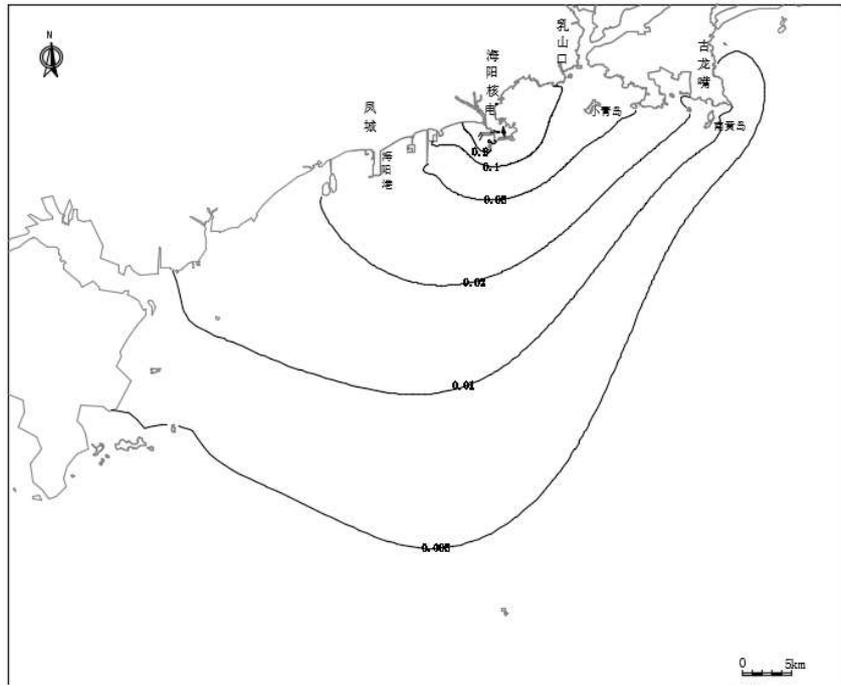


全潮平均

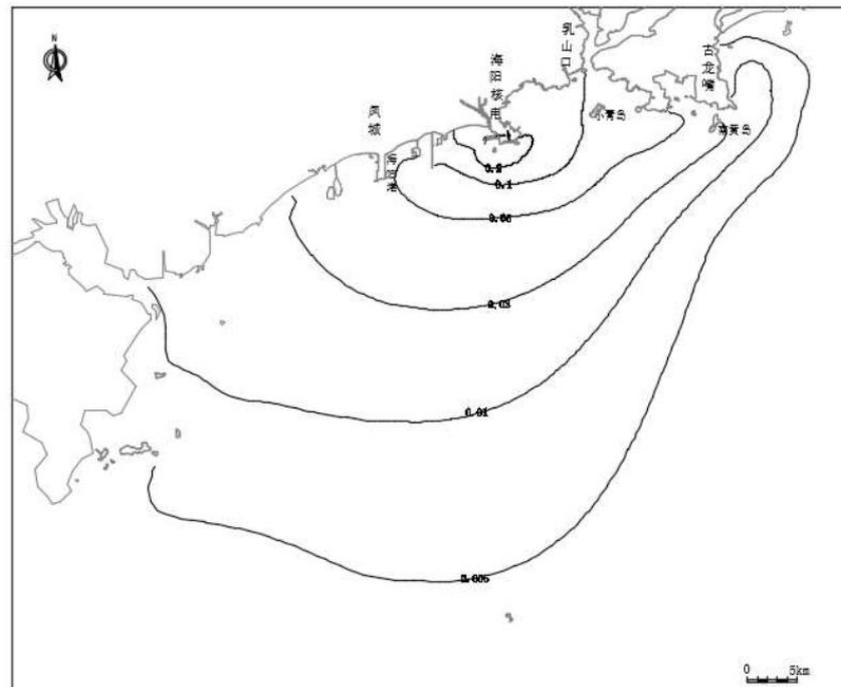


全潮最大

图 6.2-9 等浓度线包络图 (6×1250MWe 冬季典型半月潮半衰期 8d)

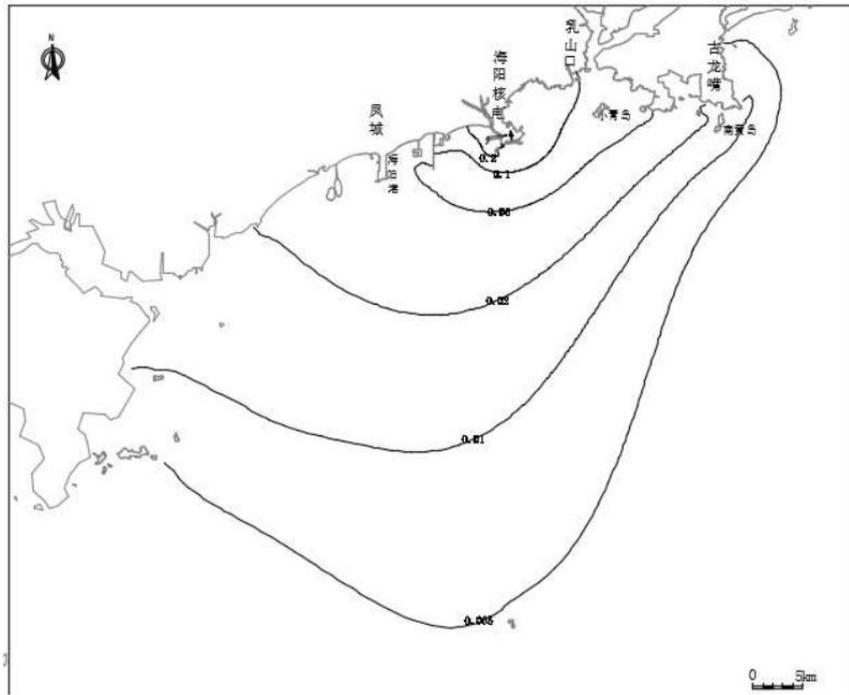


全潮平均

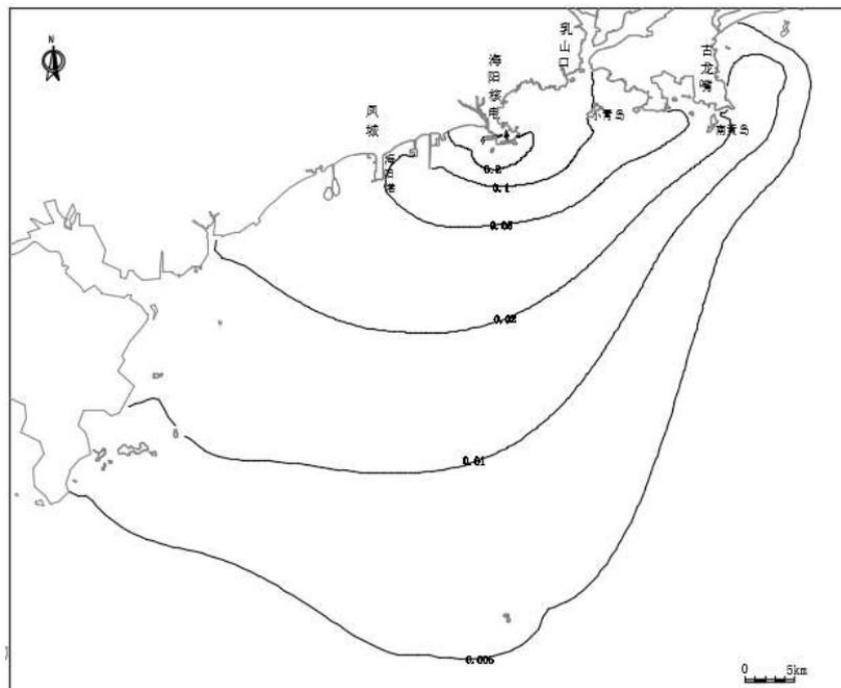


全潮最大

图 6.2-10 等浓度线包络图 (6×1250MWe 冬季典型半月潮半衰期 70.78d)

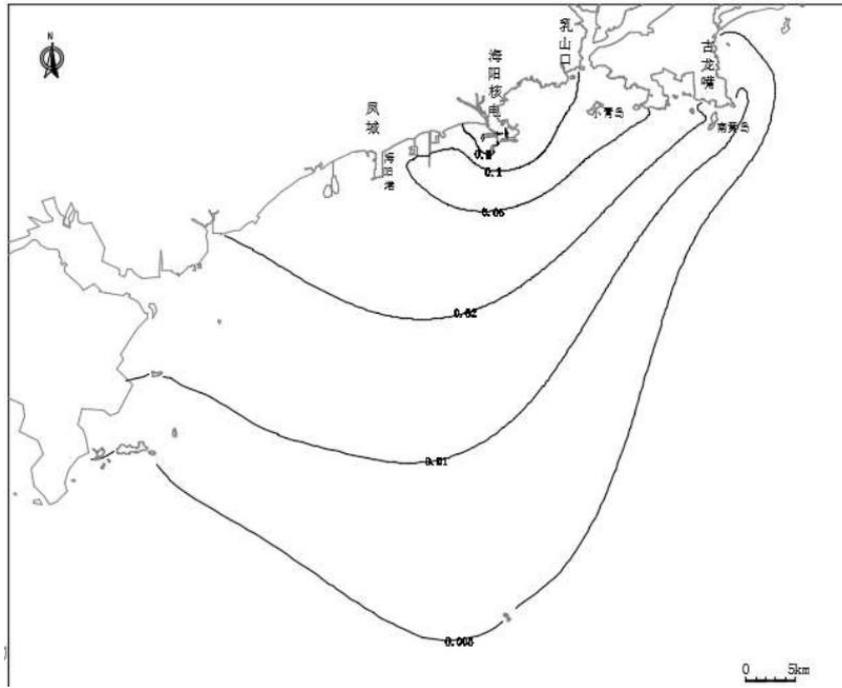


全潮平均

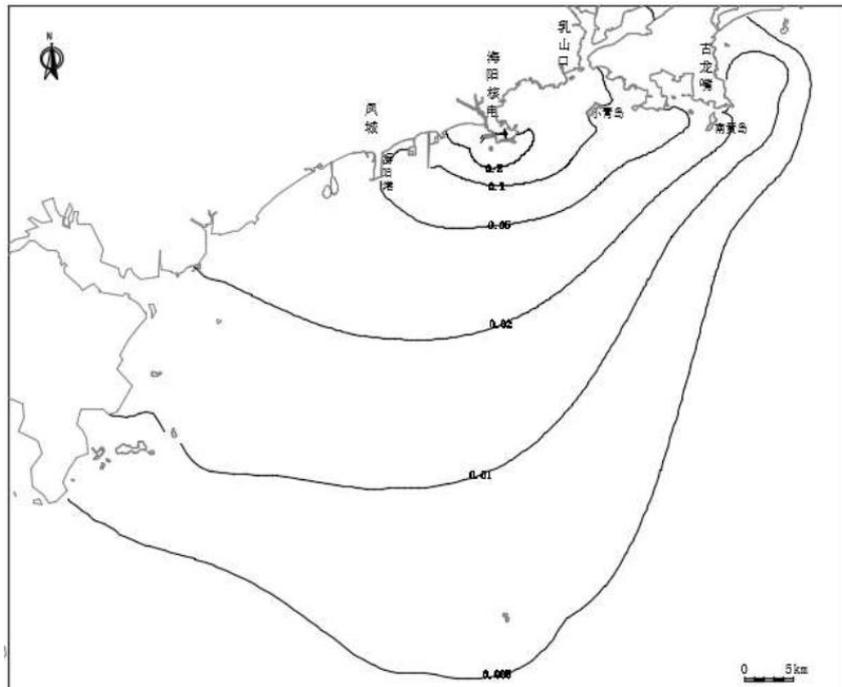


全潮最大

图 6.2-11 等浓度线包络图 (6×1250MWe 冬季典型半月潮半衰期 250d)

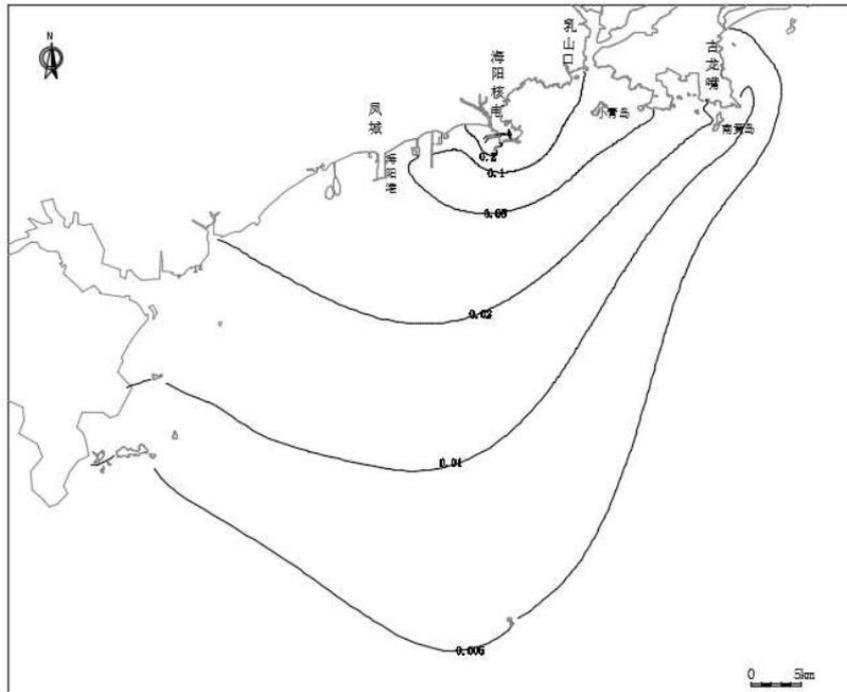


全潮平均

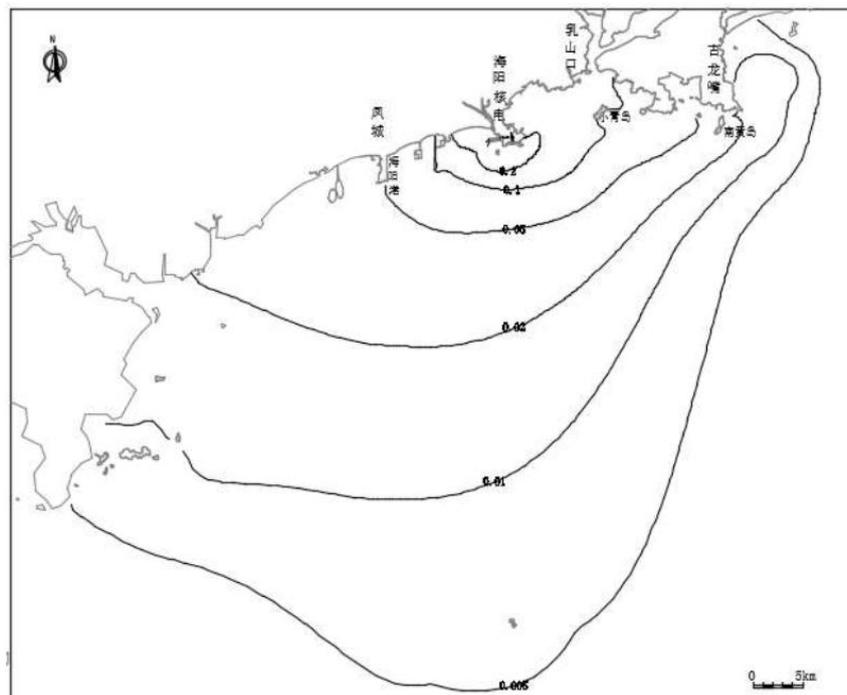


全潮最大

图 6.2-12 等浓度线包络图 (6×1250MWe 冬季典型半月潮半衰期 2.06a)

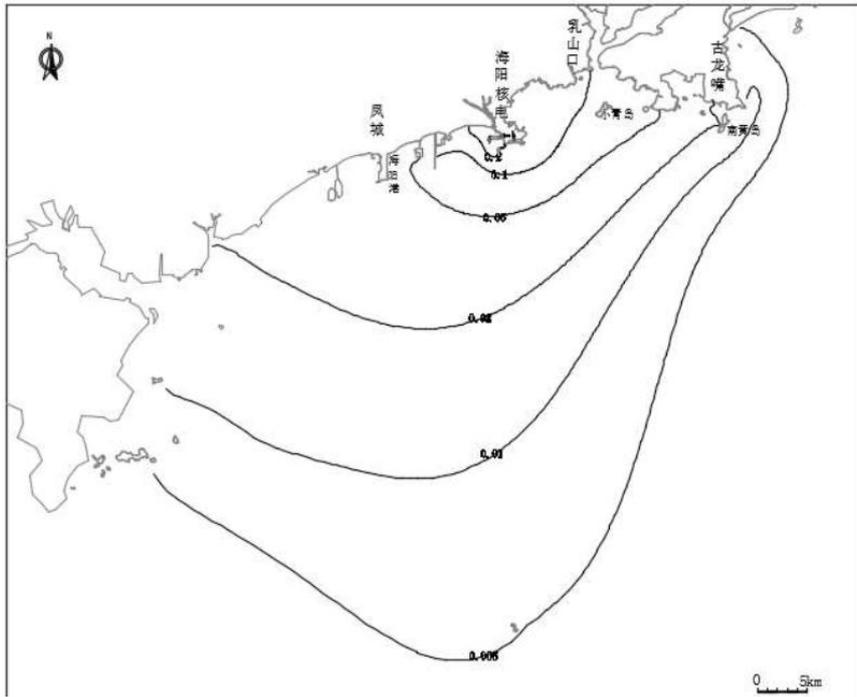


全潮平均

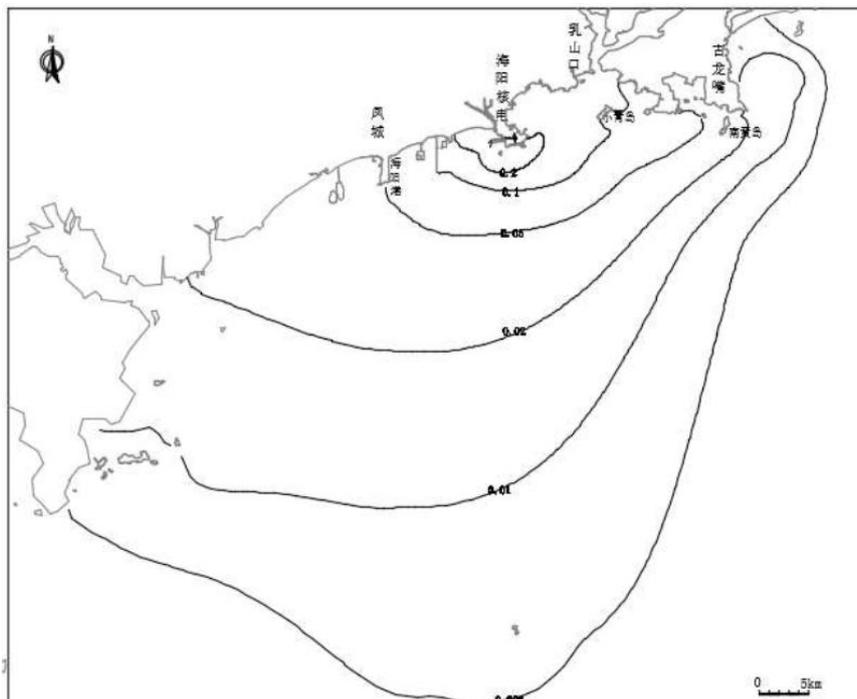


全潮最大

图 6.2-13 等浓度线包络图 (6×1250MWe 冬季典型半月潮半衰期 5.272a)



全潮平均



全潮最大

图 6.2-14 等浓度线包络图 (6×1250MWe 冬季典型半月潮不衰变)

6.3 其他环境影响

6.3.1 化学污染物的环境影响

核电厂运行对环境的其它影响主要是化学物质排放引起的影响，这些影响与液态流出物和温排水相比对环境的影响是很小的。

核电厂排放的化学物质来自下列工艺过程产生的废水中：

- 除盐水处理；
- 凝结水精处理；
- 化学加药处理；
- 循环水氯化处理；
- 海水淡化；
- 硼酸排放。

6.3.1.1 除盐过程产生的废水

此类废水包含的化学物质是酸碱和浓盐水中的 NaCl。酸碱性废水在中和池内中和处理，使 pH 值达到 6~9。浓盐水中 NaCl 总含盐量小于 30000mg/L，经虹吸井与循环水一同排海，导致循环水排水含盐量增加小于 0.5mg/L，不会对海水质量产生不良影响。

6.3.1.2 凝结水精处理系统排放的废水

凝结水精处理系统排放的废水主要为酸性废水，其废水就地中和处理，将 pH 值调至 6~9 后，排至非放射性废水处理系统（WWS），之后排入虹吸井随循环水入海，主要排放的化学物质包括酸碱中和后产生的 NaCl 和 NH₄Cl。凝结水精处理系统排放的废水不会对厂址附近海域的水质产生明显影响。

6.3.1.3 化学药剂供给系统排放的废水

常规岛化学加药药剂拟采用氨水和联氨。化学药剂供给系统排放的废水主要为含 NH₃ 或 N₂H₄ 的废水，其废水排至凝结水精处理系统的废水池，之后进入非放射性废水处理系统（WWS），再经虹吸井随循环水入海，不会对厂址附近海域的水质产生明显影响。

6.3.1.4 循环水加药系统

循环水加药的药剂主要为盐酸和次氯酸钠。

盐酸产生的酸性废水通过精处理中和池处理至 pH 值 6~9 后，排至非放射性废水处理系统（WWS），之后排入虹吸井随循环水入海。凝结水精处理、化学药

剂供给系统、循环水加药三个系统的废水导致循环水排水含盐量增加小于 1.8mg/l, 氨氮增加小于 0.08 mg/l (以 N 计), 湿保养期间, 氨氮含量可能达到 2mg/l (以 N 计)。

同时为保护循环冷却水系统不受海洋附着生物的堵塞, 在冷却水中注入次氯酸钠, 次氯酸钠的注入, 会在海水中产生下列产物:

- 次氯化物与海水中的溴盐作用, 产生次溴化物离子;
- 在海水中产生少量游离溴或游离氯;
- 次溴化物或次氯化物与海洋中的含氮有机化合物作用, 产生化合态的氧化物, 从而造成低值氧化剂残留量。

根据法国格拉芙林核电站的研究结果, 余氯浓度为 0.05mg/L 时, 藻类的初生组织就开始受到影响。但参考目前国内运行核电厂的运行情况, 余氯随循环冷却水系统的冷却水排入水环境前, 水体中余氯的浓度经降解(半衰减期 1.5h)一般均可降至 0.5mg/L 以下。本项目将根据厂址附近海域的实际污损生物量尽可能减少加氯量, 尽可能降低排水口处的余氯浓度。

关于余氯对水生生物的影响, 曾江宁¹等人对余氯造成水生生物的损伤开展了一定的研究, 研究发现余氯对浮游植物的损害较大, 0.2mg/L 的氯可以直接杀死水中 60~80%的藻类; 0.1mg/L 的余氯会使浮游植物光合作用下降 50%; 当余氯稀释到 0.03mg/L 以下时, 水中初级生产力可完全恢复。浮游动物对余氯较敏感, 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。25℃时余氯对海水中浮游动物 96h 的半致死浓度 (LC₅₀) 为 0.062~0.267mg/L。张穗²等人则选择若干养殖经济动物进行了余氯毒性胁迫试验。以 0.5 为安全因子, 余氯胁迫作用时间不超过 30min 时, 游离余氯对平鲷、黑鲷仔鱼的安全容许浓度约为 0.10mg/L, 对斑节对虾幼苗为 0.86mg/L; 余氯胁迫作用不超过 60min 时, 化合态余氯对平鲷、黑鲷仔鱼的安全容许浓度约为 0.30mg/L, 对斑节对虾幼苗约为 2.86mg/L。

根据中国水利水电科学研究院开展的《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程液态流出物、余氯数模计算成果报告》(2021 年 12 月), 海阳核电厂 6 台核电机组排放的余氯其 10 倍稀释因子对应的最大和平均包络面积约为 1.88 (1~4 号机

¹曾江宁等, 余氯对水生生物的影响, 生态学报, 2005 (10): 2717-2724。

²张穗等, 大亚湾核电站余氯排放对邻近海域环境的影响, 海洋环境科学, 2000 (2): 14-18。

组) +0.071 (5、6 号机组) km² 和 0.602 (1~4 号机组) +0.011 (5、6 号机组) km², 核电厂排放的余氯稀释 10 倍后其浓度已远小于各类生物的安全阈值。6 台百万千瓦级核电机组排放的余氯在附近海域中各相对浓度典型大潮最大和平均包络范围见图 6.3-1 和图 6.3-2。由图可见, 山东海阳核电厂 6 台核电机组余氯排放的影响仅局限于厂址以排水口附近的局部海域, 不会厂址附近海洋生态环境造成不良影响。

6.3.1.5 海水淡化排放的废水

海水淡化系统的废水主要为浓盐水。浓盐水含盐量约为 39873mg/L, 正常工况下排放量为 2109~2803m³/h, 最大工况下排放量为 2928~3891m³/h。浓盐水中不含酸、碱, 通过废水收集池收集后, 由废水输送泵提升后排至虹吸井与冷却水混合后排放。海水中盐浓度为 32‰, 混合后含盐量为 32.1‰混合后盐浓度与海水基本相当, 不会厂址附近海域水体质量产生明显影响。

由于本项目采用热法海淡, 浓盐水夏季温升 8.1℃, 冬季温升 10.8℃。根据 5、6 号机组现有温排计算结果: 夏季排水按 8.1℃温升考虑, 可利用裕量为 3.146m³/s, 热法海淡夏季最大工况下 8.1℃温升水量为 1.667 m³/s, 裕量可包络; 冬季排水 10.8℃温升考虑, 可利用裕量为 5.8326m³/s, 热法海淡冬季最大工况下 8.1℃温升水量为 0.833 m³/s, 裕量可包络。因此热法海淡所致温升已被现有冷却水温排水分析结果的计算裕量所包络, 不会对周围海域产生不良影响。

海水淡化系统预处理产生的含泥废水输送至 1~4 号机组海水淡化系统污泥脱水系统集中处理。

6.3.1.6 硼酸排放

由于《流域水污染物综合排放标准第 5 部分: 半岛流域》(DB37/3416.5-2018) 和《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 中均未对硼排放的浓度制定限值, 因此本报告参考《辽宁省污水综合排放标准》(DB21/1627-2008) 规定的硼排放限值 2.0 mg/L。

本项目单机组每年向海水排放的硼质量约为 2t (见本报告 4.7 节), 随液态流出物一起与 1~4 号机组循环水排水掺混后排放, 每台核电机组冬季冷却水流量为 51m³/s。经计算, 海阳核电厂 1~6 号机组总排放口处硼的浓度最大约为 0.049mg/L, 小于《辽宁省污水综合排放标准》(DB21/1627-2008) 规定的硼排放限值 2.0 mg/L, 因此不会对厂址附近海域的水质产生影响。

6.3.2 其他污染物的环境影响

6.3.2.1 生活污水的环境影响

生活污水经生活污水处理设施收集处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T18920-2020)的标准后回用,不排放,生活污水处理后不会对厂址附近海域水质产生影响。

6.3.2.2 固体废物的环境影响

生活垃圾定点收集由环卫部门统一清运。

危险废物包括实验室废液、废包装容器、废油、废油漆桶、废电路板、非废试剂、过期报废化学药品、废蓄电池等等,其中部分实验室废液按照有毒、易燃品的贮存要求,暂存于全厂共用化学品库(即 031 子项)的废液暂存柜中,多数其他危废暂存于全厂共用的危废暂存库(即 663 子项,非放废物暂存库)内。危险废物暂存后,委托地方专业危废处理单位有偿处理。

固体废物不会对周围环境产生不良影响。

6.3.2.3 噪声的环境影响

本工程主要噪声来自核岛主厂房和常规岛厂房,主要噪声源为各类泵、阀、风机、汽轮机、发电机等。噪声的主要控制措施是从设备噪声源强度上进行控制,设计中尽量选用低噪声设备,从根本上减少噪声的产生。对某些无法从声源上实现噪声控制的高噪声设备,采取加设吸声、隔声、消声装置,从传播途径上进行控制。

通过采取以上措施并通过建筑隔声、距离衰减,厂界处噪声可以满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中的 2 类标准:昼间 60dB(A)、夜间 50dB(A)。厂区内办公楼等处的噪声水平也能够满足《声环境质量标准》(GB3096-2008)中的 2 类标准:昼间 60dB(A)、夜间 50dB(A)。

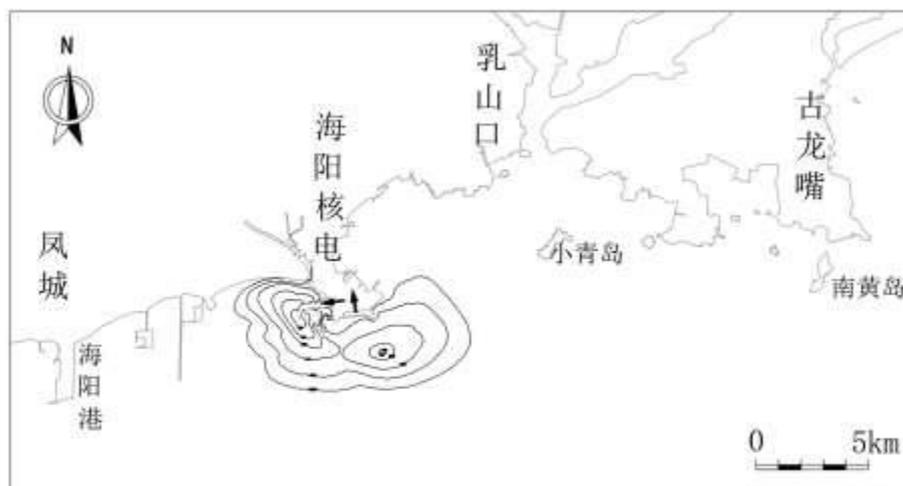
6.3.2.4 电磁的环境影响

本项目 2 台机组两回主变进线接入一期 500kV 母线预留间隔,500kV 6 回出线一期已全部建成,本期工程不新增出线。500kV 开关站与第一座铁塔之间多为电厂内部,周围无办公、居住等长期停留的人员,无敏感点。

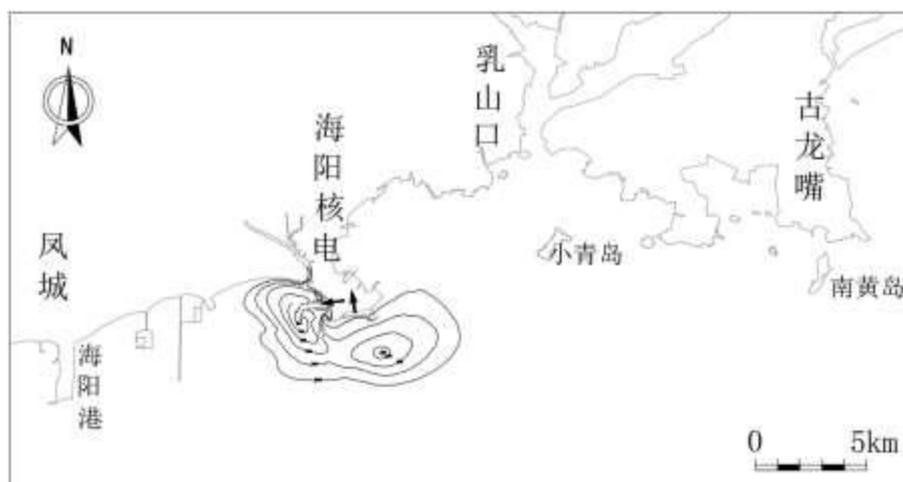
海阳核电一期工程现已投产,根据一期工程的验收监测结果(详见第三章),主变、500kV 开关站、220kV 辅助变周围工频电场最大值为 638.3V/m,工频磁场最大值为 4.707 μ T,满足《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)中规定的限值

要求（对于 0.05kHz 频率，公众暴露限值分别为 4000V/m 和 100 μ T）；500kV 架空线下周围的工频电场最大值为 5688V/m，工频磁场最大值为 8.601 μ T，满足 GB8702-2014 中的限值要求（架空输电线路下的耕地、园地、牧草地、畜禽饲养地、养殖水面、道路等场所，其频率 50Hz 的电场强度控制限值为 10kV/m）。

类比一期的结果，本项目电磁影响可以满足 GB8702-2014 的限值。



夏季



冬季

图 6.3-1 全厂 6 台机余氯半月潮全潮最大相对浓度影响范围



夏季



冬季

图 6.3-2 全厂 6 台机余氯半月潮全潮平均相对浓度影响范围

第七章 核电厂事故的环境影响和环境风险评价

7.1 选址假想事故

7.1.1 事故描述和事故源项

7.1.1.1 事故描述

根据《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)的规定,核电厂选址阶段基于选址假想事故开展核电厂事故的环境影响评价。选址假想事故仅适用于选址阶段,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,选址假想事故一般应考虑全堆芯熔化,否则应进行充分有效的论证。

7.1.1.2 事故源项

压水堆核电厂选址假想事故向环境释放的主要途径是安全壳的泄漏,释放的放射性物质主要是惰性气体、碘、碱金属、碲组、稀有金属、铯组、钡和铷组及镧组核素。

选址假想事故释放到环境的放射性计算公式如下:

1) 安全壳内大气活度

事故后,由于堆芯损坏,失去包容作用,放射性核素会随时间分阶段释放到安全壳大气。对核素*i*来说,影响其在安全壳活度的因素有两项:生成项和消失项。用公式表示为:

$$\frac{dQ'_i(t)}{dt} = q_i(t) - Q'_i(t) \times \lambda_i(t) \quad (7.1-1)$$

式中:

$q_i(t)$ 核素*i*在*t*时刻的释放率, Bq/h。

t 事故发生后的时间, h。

$Q'_i(t)$ 核素*i*在*t*时刻存在安全壳内的活度, Bq。

$\lambda_i(t)$ 核素*i*在*t*时刻的消失率, h^{-1} , 包括衰变、自然去除及安全壳泄漏。

2) 释放到环境的核素活度

任意时段内释放到环境的核素*i*活度的增加量为:

$$\Delta Q_{i,j} = \frac{q_{i,j} \times \lambda'_{i,j}}{\lambda_{i,j}} \times \Delta t_j + \lambda'_{i,j} \times \left(Q'_{i,j-1} - \frac{q_{i,j}}{\lambda_{i,j}} \right) \times \frac{1 - e^{-\lambda_{i,j} \times \Delta t_j}}{\lambda_{i,j}} \quad (7.1-2)$$

式中:

$\Delta Q_{i,j}$ j时段内, 核素 i 释放到环境活度的增加量, Bq。

$q_{i,j}$ j时段内, 安全壳内核素 i 的释放率, Bq/h。

Δt_j j时段的时间步长, h。

$Q'_{i,j-1}$ j-1时段末, 安全壳内核素 i 的活度, Bq。

$\lambda'_{i,j}$ 核素 i 在 j 时段从安全壳向环境的平均泄漏系数, h^{-1} 。

根据上述计算模式, 计算得到假想事故发生后各时间间隔内释入环境的放射性量列于表 7.1-1。

7.1.2 事故后果计算

7.1.2.1 事故大气弥散条件

本工程事故期间的短期大气弥散因子采用下列一组地面释放轴线浓度公式计算:

$$\left(\frac{x}{Q}\right)_x = \frac{1}{u_{10}(\pi\sigma_y\sigma_z + CA)} \quad (7.1-3)$$

$$\left(\frac{x}{Q}\right)_x = \frac{1}{u_{10}(3\pi\sigma_y\sigma_z)} \quad (7.1-4)$$

$$\left(\frac{x}{Q}\right)_x = \frac{1}{u_{10}\pi\Sigma_y\sigma_z} \quad (7.1-5)$$

式中:

$\left(\frac{x}{Q}\right)_x$ —释放点下风向 x 米距离处烟羽中心线上的地面相对浓度, 即大气弥散因子, s/m^3 。

u_{10} —地面上方 10m 高度处的风速, m/s。

σ_y —烟羽水平弥散参数, m。

σ_z —烟羽垂直弥散参数, m。

A—反应堆建筑物最小迎风截面积, $2000m^2$ 。

C—反应堆建筑物几何修正因子, 0.5。

Σ_y —考虑烟羽弯曲和建筑物尾流效应的烟羽水平弥散参数, m。

在用上列诸式作大气弥散因子计算时, χ/Q 按下述条件取值:

1) 对中性 (D) 和稳定 (E、F) 类大气稳定度, 且 $u_{10} < 6m/s$ 的天气条件, 考虑烟羽弯曲效应, χ/Q 由 (7.1-3) 与 (7.1-4) 两式计算结果的较大者再与 (7.1-5)

式的计算结果比较取较小者，即其取值表达式为：

$$\chi/Q = \min \left\{ \frac{1}{u_{10} \pi \Sigma_y \sigma_z}, \max \left[\frac{1}{u_{10} (\pi \sigma_y \sigma_z + CA)}, \frac{1}{u_{10} (3 \pi \sigma_y \sigma_z)} \right] \right\} \quad (7.1-6)$$

2) 对不稳定 (A、B、C) 类大气稳定度或 $u_{10} > 6\text{m/s}$ 的天气条件，不考虑烟羽弯曲效应， χ/Q 取 (7.1-3) 与 (7.1-4) 两式计算结果的较大者，即其取值表达式为：

$$\chi/Q = \max \left[\frac{1}{u_{10} (\pi \sigma_y \sigma_z + CA)}, \frac{1}{u_{10} (3 \pi \sigma_y \sigma_z)} \right] \quad (7.1-7)$$

厂址的年逐时风向、风速、大气稳定度联合频率见第二章第 2.4 节。用上述诸式计算释放点下风向不同距离处的逐时大气弥散因子 (χ/Q) 值，把算得的每个方位某给定距离处的所有逐时 (χ/Q) 值由大到小顺序排列，则可截取相应于某累积概率水平的 χ/Q 值。对 16 个方位的某个给定距离，可得到 16 个相应于某概率水平的短期大气弥散因子。取其最大者，用于短期释放 (持续时间在 1h 以内) 的后果评价。

对持续时间长于 1h 的事故释放，按事故过程划分不同的时间段。各时间段的短期大气弥散因子，可由短期大气弥散因子与年均弥散因子对数线性内插求取。

对于选址假想事故则先逐一计算非居住区边界和规划限制区边界处每个方位 99.5% 累积概率水平的大气弥散因子，并从对应于 16 个方位的数值中取出最大者与相应位置的全厂址 95% 累积概率水平的大气弥散因子相比较，择其大者作为评价用的短期大气弥散因子进行个人剂量评价。短期大气弥散因子计算采用 PAVAN 程序。

厂址非居住区边界的短期大气弥散因子及对应距离见表 7.1-2。厂址规划限制区边界的短期大气弥散因子见表 7.1-3。

采用全厂址 95% 概率水平的大气弥散因子作为集体剂量评价的短期大气弥散因子 (按照人口最多的连续 3 个方位保守计算集体剂量)，厂址半径 80km 评价区域下风向不同距离上的 95% 概率水平的大气弥散因子，见表 7.1-4。

山东海阳核电厂以厂址征地陆域边界作为非居住区边界，本报告根据山东海阳核电厂 5、6 号机组的选址假想事故源项计算其非居住区边界，经计算 5、6 号机组的非居住区边界范围完全包络在厂址征地陆域边界范围内，因此可采用厂址

征地陆域边界作为厂址的非居住区边界，无需再扩大，也无新增搬迁人口；海上非居住区边界为距各反应堆中心 800m 的包络范围。同时根据《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011) 的规定，规划限制区边界范围定为以厂址为中心、半径 5km 的圆周边界线。

7.1.2.2 事故剂量

所考虑的选址假想事故期间对公众产生辐射照射的主要途径包括：

- 浸没于放射性烟云中所受的外照射。
- 吸入放射性烟云中碘所受的内照射。

公众可能受到的照射剂量与受照个人的年龄有关。对个人剂量评价，假定受照者是处在厂址非居住区边界和规划限制区外边界上的公众，个人剂量是释放核素通过上述途径所致剂量的总和；对集体剂量评价，受照者为厂址半径 80km 评价区域内的公众。

个人剂量和集体剂量的计算模式如下：

1) 个人剂量：

(1) 浸没于半无限放射性烟云中所受外照射剂量 D^o ：

$$D^o = \sum_i Q_i \cdot (\chi/Q)_x \cdot (DCF)_i^o \quad (7.1-8)$$

式中：

D^o —烟云浸没对个人所致的外照射有效剂量，Sv。

Q_i —评价时间内核素 i 的释放量，Bq。

$(\chi/Q)_x$ —评价时间内，离释放点 x 米距离处的短期大气弥散因子， s/m^3 。

$(DCF)_i^o$ —核素 i 对个人的外照射有效剂量转换因子， $(Sv/s) / (Bq/m^3)$ 。

(2) 吸入放射性物质所受内照射剂量 D^i ：

$$D^i = \sum_i Q_i \cdot (\chi/Q)_x \cdot Ba \cdot (DCF)_i^i \quad (7.1-9)$$

式中：

Ba —a 年龄组个人的呼吸率， m^3/s 。

$(DCF)_i^i$ —核素 i 对组个人的内照射有效剂量转换因子， Sv/Bq 。

2) 集体剂量

$$D_J = \sum_{mn}^3 P_{mn} \cdot D_{mn} \quad (7.1-10)$$

式中：

D_J — 评价区域内的公众集体有效剂量，人 Sv。

P_{mn} — (mn) 子区域内人数，为人口最多的连续 3 个方位，人。

D_{mn} — (mn) 子区域内个人有效剂量，Sv。

7.1.3 事故后果评价

根据《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)的规定：在发生选址假想事故时，考虑保守大气弥散条件，非居住区边界上的任何个人在事故发生后的任意 2h 内通过烟云浸没外照射和吸入内照射途径所接受的有效剂量不得大于 0.25Sv；规划限制区边界上的任何个人在事故的整个持续期间内（可取 30d）通过上述两条照射途径所接受的有效剂量不得大于 0.25Sv。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。

本工程选址假想事故发生后，厂址非居住区边界、规划限制区外边界处的最大个人剂量和厂址半径 80km 范围内公众群体所受的集体剂量结果及与《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)中规定的有效剂量的比较见表 7.1-5。

由表 7.1-5 可见：

1) 在选址假想事故发生后任意 2h 内，厂址非居住区边界处任何个人所受的最大个人有效剂量为 0.174Sv。上述剂量能满足《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)规定的事故个人有效剂量 (0.25Sv) 的要求。

2) 在选址假想事故的整个持续期间 (30 天)，厂址规划限制区边界上 (5km) 任何个人所受的最大个人有效剂量为 0.024Sv。上述剂量能满足《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)规定的事故个人有效剂量 (0.25Sv) 的要求。

3) 在选址假想事故的整个持续期间 (30 天)，采用全厂址 95% 概率水平的大气弥散因子估算选址假想事故的集体剂量，计算得到厂址发生选址假想事故时所致的集体剂量为 $2.98E+03$ 人 Sv。上述剂量低于《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)规定的事故集体有效剂量 ($2.00E+04$ 人·Sv)。

由上述结论可见，核电厂非居住区边界及规划限制区边界的设置是合理的。

表 7.1-1 事故发生后各时段释入环境的放射性强

单位: GBq

核素	各时段释放量						
	1.2h~3.2h	1.4h~3.4h	0h~2h	2h~8h	8h~24h	24h~96h	96h~720h
元素碘							
¹³⁰ I	3.65E+01	3.20E+01	3.33E+01	6.26E+01	2.52E+01	1.30E+00	3.70E-02
¹³¹ I	1.24E+03	1.10E+03	1.10E+03	2.54E+03	1.46E+03	4.60E+02	1.28E+03
¹³² I	1.03E+03	8.81E+02	1.08E+03	9.00E+02	8.51E+01	0.00E+00	0.00E+00
¹³³ I	2.41E+03	2.12E+03	2.18E+03	4.45E+03	2.09E+03	2.08E+02	2.22E+01
¹³⁴ I	6.57E+02	5.26E+02	8.97E+02	2.43E+02	1.33E+00	0.00E+00	0.00E+00
¹³⁵ I	1.97E+03	1.72E+03	1.86E+03	2.92E+03	8.61E+02	1.41E+01	0.00E+00
有机碘							
¹³⁰ I	4.56E+00	4.75E+00	2.11E+00	2.33E+01	5.59E+01	1.90E+01	3.33E-01
¹³¹ I	1.58E+02	1.66E+02	7.02E+01	9.60E+02	3.86E+03	7.46E+03	2.25E+04
¹³² I	1.19E+02	1.19E+02	6.68E+01	2.98E+02	1.10E+02	4.44E-01	0.00E+00
¹³³ I	3.04E+02	3.18E+02	1.38E+02	1.67E+03	4.99E+03	3.24E+03	3.26E+02
¹³⁴ I	6.56E+01	6.07E+01	5.28E+01	6.12E+01	1.27E+00	0.00E+00	0.00E+00
¹³⁵ I	2.43E+02	2.51E+02	1.17E+02	1.06E+03	1.65E+03	1.90E+02	0.00E+00
粒子碘							
¹³⁰ I	1.58E+03	1.53E+03	9.73E+02	1.68E+03	5.62E+01	0.00E+00	0.00E+00
¹³¹ I	5.44E+04	5.32E+04	3.23E+04	6.23E+04	2.92E+03	3.70E+01	7.40E+01
¹³² I	4.25E+04	3.98E+04	3.12E+04	3.35E+04	2.22E+02	0.00E+00	0.00E+00
¹³³ I	1.05E+05	1.02E+05	6.37E+04	1.15E+05	4.48E+03	0.00E+00	0.00E+00
¹³⁴ I	2.48E+04	2.16E+04	2.52E+04	1.24E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
¹³⁵ I	8.46E+04	8.15E+04	5.41E+04	8.39E+04	2.07E+03	0.00E+00	0.00E+00
惰性气体							
^{85m} Kr	4.96E+04	5.10E+04	2.27E+04	1.13E+05	6.75E+04	3.07E+03	0.00E+00
⁸⁵ Kr	2.78E+03	2.93E+03	1.14E+03	9.36E+03	2.49E+04	5.59E+04	4.80E+05
⁸⁷ Kr	4.08E+04	3.95E+04	2.47E+04	4.53E+04	1.81E+03	0.00E+00	0.00E+00
⁸⁸ Kr	1.10E+05	1.12E+05	5.39E+04	2.07E+05	6.10E+04	6.29E+02	0.00E+00
^{131m} Xe	2.93E+03	3.08E+03	1.20E+03	9.80E+03	2.54E+04	5.13E+04	2.08E+05
^{133m} Xe	1.63E+04	1.72E+04	6.72E+03	5.29E+04	1.22E+05	1.59E+05	1.00E+05
¹³³ Xe	5.27E+05	5.55E+05	2.16E+05	1.74E+06	4.38E+06	7.77E+06	1.54E+07
^{135m} Xe	5.70E+02	3.91E+02	1.23E+03	1.00E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
¹³⁵ Xe	1.22E+05	1.27E+05	5.26E+04	3.34E+05	4.07E+05	8.47E+04	3.70E+02
¹³⁸ Xe	1.71E+03	1.13E+03	4.15E+03	2.50E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
其它核素							
⁸⁶ Rb	8.47E+01	8.26E+01	5.27E+01	9.63E+01	4.59E+00	3.70E-02	2.22E-01
¹³⁴ Cs	7.48E+03	7.29E+03	4.64E+03	8.56E+03	4.11E+02	3.70E+00	3.70E+01
¹³⁶ Cs	2.20E+03	2.14E+03	1.37E+03	2.50E+03	1.18E+02	0.00E+00	7.40E+00
¹³⁷ Cs	4.85E+03	4.73E+03	3.01E+03	5.55E+03	2.66E+02	3.70E+00	2.22E+01
¹³⁸ Cs	6.38E+03	5.12E+03	9.68E+03	2.12E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
¹²⁷ Sb	7.78E+02	7.67E+02	4.01E+02	8.99E+02	4.14E+01	3.70E-01	3.70E-01

注: 1.2h~3.2h 时间段为释放量最大的 2h 时间段。

表 7.1-1 事故发生后各时段释入环境的放射性量 (续)

单位: GBq

核素	各时段释放量						
	1.2h~3.2h	1.4h~3.4h	0h~2h	2h~8h	8h~24h	24h~96h	96h~720h
¹²⁹ Sb	1.71E+03	1.65E+03	9.68E+02	1.62E+03	2.85E+01	0.00E+00	0.00E+00
^{127m} Te	1.02E+02	1.01E+02	5.26E+01	1.20E+02	5.74E+00	7.40E-02	4.44E-01
¹²⁷ Te	6.81E+02	6.65E+02	3.66E+02	7.24E+02	2.18E+01	0.00E+00	0.00E+00
^{129m} Te	3.48E+02	3.44E+02	1.79E+02	4.08E+02	1.92E+01	3.70E-01	1.11E+00
¹²⁹ Te	6.84E+02	6.21E+02	4.98E+02	4.16E+02	7.40E-01	0.00E+00	0.00E+00
^{131m} Te	1.03E+03	1.01E+03	5.35E+02	1.17E+03	4.81E+01	0.00E+00	3.70E-01
¹³² Te	1.05E+04	1.04E+04	5.43E+03	1.22E+04	5.51E+02	3.70E+00	3.70E+00
⁸⁹ Sr	2.94E+03	2.91E+03	1.51E+03	3.45E+03	1.63E+02	3.70E+00	1.11E+01
⁹⁰ Sr	2.49E+02	2.46E+02	1.28E+02	2.92E+02	1.41E+01	3.70E-01	1.11E+00
⁹¹ Sr	3.14E+03	3.06E+03	1.68E+03	3.33E+03	9.99E+01	0.00E+00	0.00E+00
⁹² Sr	2.30E+03	2.18E+03	1.38E+03	1.95E+03	1.85E+01	0.00E+00	0.00E+00
¹³⁹ Ba	1.95E+03	1.79E+03	1.35E+03	1.28E+03	2.59E+00	0.00E+00	0.00E+00
¹⁴⁰ Ba	5.30E+03	5.23E+03	2.73E+03	6.19E+03	2.92E+02	3.70E+00	1.11E+01
⁹⁹ Mo	6.97E+02	6.88E+02	3.60E+02	8.10E+02	3.59E+01	3.70E-01	3.70E-01
^{99m} Tc	4.93E+02	4.79E+02	2.72E+02	4.95E+02	1.15E+01	0.00E+00	0.00E+00
¹⁰³ Ru	5.71E+02	5.64E+02	2.93E+02	6.70E+02	3.18E+01	3.70E-01	2.22E+00
¹⁰⁵ Ru	2.81E+02	2.71E+02	1.59E+02	2.68E+02	4.81E+00	0.00E+00	0.00E+00
¹⁰⁶ Ru	1.92E+02	1.90E+02	9.85E+01	2.26E+02	1.08E+01	1.11E-01	9.25E-01
¹⁰⁵ Rh	3.37E+02	3.32E+02	1.75E+02	3.85E+02	1.63E+01	0.00E+00	0.00E+00
¹⁴¹ Ce	1.26E+02	1.24E+02	6.47E+01	1.47E+02	7.03E+00	7.40E-02	4.44E-01
¹⁴³ Ce	1.12E+02	1.11E+02	5.85E+01	1.28E+02	5.37E+00	0.00E+00	3.70E-02
¹⁴⁴ Ce	9.48E+01	9.36E+01	4.87E+01	1.11E+02	5.33E+00	7.40E-02	4.44E-01
²³⁸ Pu	2.28E-01	2.25E-01	1.17E-01	2.68E-01	1.26E-02	3.70E-04	1.11E-03
²³⁹ Pu	2.26E-02	2.23E-02	1.16E-02	2.65E-02	1.26E-03	0.00E+00	1.48E-04
²⁴⁰ Pu	2.81E-02	2.77E-02	1.44E-02	3.29E-02	1.59E-03	0.00E+00	1.48E-04
²⁴¹ Pu	1.03E+01	1.01E+01	5.27E+00	1.20E+01	5.77E-01	3.70E-03	5.18E-02
²³⁹ Np	1.40E+03	1.38E+03	7.23E+02	1.61E+03	7.14E+01	3.70E-01	0.00E+00
⁹⁰ Y	2.52E+00	2.49E+00	1.30E+00	2.91E+00	1.33E-01	0.00E+00	0.00E+00
⁹¹ Y	3.79E+01	3.74E+01	1.95E+01	4.44E+01	2.11E+00	3.70E-02	1.48E-01
⁹² Y	2.62E+01	2.52E+01	1.52E+01	2.39E+01	3.33E-01	0.00E+00	0.00E+00
⁹³ Y	3.95E+01	3.86E+01	2.12E+01	4.21E+01	1.30E+00	0.00E+00	0.00E+00
⁹⁵ Nb	5.13E+01	5.07E+01	2.64E+01	6.01E+01	2.89E+00	3.70E-02	1.85E-01
⁹⁵ Zr	5.11E+01	5.04E+01	2.62E+01	5.99E+01	2.85E+00	3.70E-02	2.22E-01
⁹⁷ Zr	4.65E+01	4.57E+01	2.45E+01	5.15E+01	1.89E+00	0.00E+00	0.00E+00
¹⁴⁰ La	5.29E+01	5.21E+01	2.75E+01	6.05E+01	2.59E+00	0.00E+00	0.00E+00
¹⁴² La	1.91E+01	1.77E+01	1.28E+01	1.33E+01	4.07E-02	0.00E+00	0.00E+00
¹⁴⁷ Nd	2.01E+01	1.98E+01	1.03E+01	2.34E+01	1.11E+00	7.40E-03	4.07E-02
¹⁴³ Pr	4.56E+01	4.50E+01	2.34E+01	5.33E+01	2.52E+00	0.00E+00	1.11E-01
²⁴¹ Am	4.64E-03	4.58E-03	2.38E-03	5.45E-03	2.63E-04	3.70E-06	2.22E-05
²⁴² Cm	1.31E+00	1.29E+00	6.71E-01	1.53E+00	7.36E-02	7.40E-04	5.92E-03
²⁴⁴ Cm	1.03E-01	1.02E-01	5.28E-02	1.20E-01	5.77E-03	7.40E-05	5.18E-04

注: 1.2h~3.2h 时间段为释放量最大的 2h 时间段。

表 7.1-2 厂址非居住区边界 0-2h 短期大气弥散因子（各方位角 99.5%和全厂址 95%概率水平的最大值）及对应距离

方位	厂址	
	非居住区边界距离 (m)	0-2h 弥散因子 (s/m ³)
S	800.	1.28E-04
SSW	800.	9.50E-05
SW	800.	1.26E-04
WSW	800.	1.12E-04
W	800.	8.45E-05
WNW	1500.	3.53E-05
NW	1100.	5.72E-05
NNW	800.	7.13E-05
N	800.	7.02E-05
NNE	800.	7.96E-05
NE	800.	6.78E-05
ENE	800.	5.75E-05
E	800.	5.92E-05
ESE	800.	1.25E-04
SE	800.	2.16E-04
SSE	800.	2.10E-04
全厂址	--	1.48E-04
最大值	--	2.16E-04

表 7.1-3 厂址规划限制区外边界短期大气弥散因子（各方位角 99.5%和全厂址 95%
概率水平的最大值）

单位：s/m³

方位	厂址					
	规划限制区外边界 距离 (m)	不同时间段弥散因子 (s/m ³)				
		0-2h	0-8h	8-24h	24-96h	96-720h
S	5000	2.06E-05	9.49E-06	6.43E-06	2.77E-06	8.24E-07
SSW	5000	1.29E-05	5.81E-06	3.90E-06	1.64E-06	4.74E-07
SW	5000	2.05E-05	9.05E-06	6.01E-06	2.48E-06	6.93E-07
WSW	5000	1.58E-05	7.19E-06	4.85E-06	2.07E-06	6.07E-07
W	5000	1.14E-05	5.34E-06	3.65E-06	1.60E-06	4.92E-07
WNW	5000	8.49E-06	4.07E-06	2.82E-06	1.27E-06	4.04E-07
NW	5000	1.03E-05	4.89E-06	3.36E-06	1.49E-06	4.65E-07
NNW	5000	7.80E-06	3.80E-06	2.65E-06	1.22E-06	3.98E-07
N	5000	7.39E-06	3.74E-06	2.66E-06	1.27E-06	4.41E-07
NNE	5000	1.01E-05	4.93E-06	3.46E-06	1.60E-06	5.28E-07
NE	5000	7.41E-06	3.60E-06	2.51E-06	1.15E-06	3.72E-07
ENE	5000	5.59E-06	2.63E-06	1.80E-06	7.97E-07	2.47E-07
E	5000	6.67E-06	3.01E-06	2.02E-06	8.55E-07	2.48E-07
ESE	5000	2.02E-05	8.93E-06	5.94E-06	2.45E-06	6.89E-07
SE	5000	3.40E-05	1.65E-05	1.15E-05	5.24E-06	1.70E-06
SSE	5000	3.27E-05	1.61E-05	1.13E-05	5.23E-06	1.73E-06
全厂址	--	2.36E-05	1.23E-05	8.83E-06	4.34E-06	1.56E-06
最大值	--	3.40E-05	1.65E-05	1.15E-05	5.24E-06	1.73E-06

表 7.1-4 厂址用于集体剂量评价的短期大气弥散因子（全厂址 95%概率水平）

单位：s/m³

距离（m）	不同时间段弥散因子（s/m ³ ）			
	0-8h	8-24h	24-96h	96-720h
500	2.25E-04	1.89E-04	1.30E-04	7.58E-05
1500	4.99E-05	4.02E-05	2.51E-05	1.28E-05
2500	2.73E-05	2.09E-05	1.17E-05	5.06E-06
4000	1.59E-05	1.17E-05	5.94E-06	2.26E-06
7500	7.66E-06	5.37E-06	2.49E-06	8.22E-07
15000	3.45E-06	2.35E-06	1.02E-06	3.06E-07
25000	1.92E-06	1.29E-06	5.45E-07	1.58E-07
35000	1.30E-06	8.69E-07	3.62E-07	1.03E-07
45000	1.08E-06	7.12E-07	2.88E-07	7.82E-08
55000	9.85E-07	6.38E-07	2.48E-07	6.40E-08
65000	9.13E-07	5.83E-07	2.20E-07	5.42E-08
75000	8.56E-07	5.39E-07	1.98E-07	4.71E-08

表 7.1-5 厂址选址假想事故剂量计算结果

评价项目	计算结果	《核动力厂环境辐射防护规定》 (GB6249-2011) 规定的选址假想事故有效剂量限值	比例 (%)
非居住区边界 最大个人有效剂量 (Sv)	1.74E-01	0.25	69.47
规划限制区边界 最大个人有效剂量 (Sv)	2.44E-02	0.25	9.78
集体有效剂量 (人 Sv)	2.98E+03	2.00E+04	14.88

注：

- 1) 元素碘和有机碘的吸入所致的待积有效剂量取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)表 B9 吸入：可溶性或活性气体与蒸汽之单位摄入量所致的待积有效剂量。
- 2) 粒子碘以及其他核素的吸入所致的待积有效剂量取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)表 B7 吸入：公众成员吸入单位摄入量所致的待积有效剂量。
- 3) 惰性气体的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)表 B10，其他核素的外照射剂量转换因子取自 IAEA19 号报告。

7.2 厂内转运事故

7.2.1 新燃料厂内转运事故

本工程的新燃料组件采用专用新燃料运输容器运输。

新燃料组件可以通过全程公路运输方案运至核电厂现场，运输货包的设计和制造应同时满足我国《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）的要求。

根据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，安全可靠。

7.2.2 乏燃料厂内转运事故

乏燃料的厂内运输事故包括可能的燃料装卸事故和乏燃料运输容器坠落事故。

乏燃料运输容器的安全可靠是实现安全运输的前提。乏燃料组件运输必须遵守《中华人民共和国核材料管制条例》（HAF501）、《放射性物品运输安全管理条例》（中华人民共和国国务院令562号）、《放射性物品安全运输规定》（GB 11806-2019）、《放射性物质安全运输货包的泄漏检验》（GB/T 17230-1998）、《放射性材料安全运输规定》（IAEA SSR-6）等相关条例、标准的要求。

除了运输容器本身具有高的安全性外，乏燃料的安全运输还依靠运输过程中的正确操作和严格管理，为此，容器的设计制造和运输的操作管理两个方面均将履行规定的审批程序。

燃料装卸事故的放射性后果的计算分析表明其对公众的影响是可以接受的。

乏燃料运输容器坠落事故主要发生在由容器吊车进行的燃料装卸过程中，由于乏燃料组件在装入乏燃料运输容器之前要在乏燃料水池中至少贮存8年，事故发生后放射性的释放极少，事故后果可以被燃料装卸事故的后果包络，其后果也是可以接受的。

7.2.3 固体废物厂内转运事故

在放射性固体废物运输前及运输过程中，需要采取一系列安全措施，确保发生废物运输事故的概率足够低并且发生事故后能够及时响应。

海阳核电厂规定，在放射性固体废物运输前采取的主要安全措施有：（1）编制废物运输方案并办理相关工作许可证；（2）选择在风力6级以下且晴朗的天气运输；（3）运输前检查运输车辆车况，确保可用；（4）检查路况，提前清理路上障碍物；（5）工作人员（包括司机）接受辐射防护培训并取得授权等。

在运输过程中采取的主要安全措施有：（1）按照规定路线运输，并对路口进行隔离，辐射防护人员全程跟踪；（2）废物货包包装完好，摆放整齐、牢固，严禁途中打开放射性物品包装；（3）运输车辆运输速度小于5公里/小时，运输车辆一般情况下不允许中途停留；（4）车辆悬挂辐射警示标志，开启警示灯；（5）车辆外表面及驾驶员室剂量率满足相关要求等。

废物包装容器的设计和制造符合《低、中放水平放射性固体废物包装安全标准》（GB12711-2018）、《低、中水平放射性废物高完整性容器—交联高密度聚乙烯容器》（GB36900.3-2018）及《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的要求。废物运输容器CASK从美国ES公司采购，设计和制造满足美国运输部规定的厂外运输容器要求，也满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）要求。箱式货车货箱为全封闭设计并满足剂量屏蔽要求，能有效防止废物的泄漏和扩散。多种措施的有效结合，可以确保发生废物运输事故的概率足够低，即使废物包装容器从运输车辆上掉下来，也不会对环境造成污染。

放射性固体废物场内运输可能发生的事故主要有运输车（包括HIC屏蔽运输容器CASK和箱式货车）倾倒和抛锚事故。CASK的设计、制造满足美国运输部放射性废物厂外运输标准，也符合《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）要求，运输过程中脱水后的放射性废物封闭在HIC中，而HIC容器又封闭在屏蔽容器CASK中，CASK设计有防止倾倒装置和防撞装置，即使发生CASK倾倒事故，HIC内的废物也不会泄漏到CASK外，造成废物扩散。如果发生CASK倾倒事故，海阳核电有相应的放射性废物运输管理程序，将按照程序开展隔离、使用吊车扶正、辐射环境调查等活动。箱式货车内的废物一般装在密封的塑料袋和200L钢桶内，箱式货车货箱为全密闭屏蔽设计，即使发生车辆倾倒事故一般不会造成放射性污染扩散，如果发生车辆倾倒事故，经按照相关废物运输管理程序开展隔离、使用吊车扶正、辐射环境调查等活动。如果发生废物运输车辆抛锚事故，按照海阳放射性废物运输管理程序要求，将派临时车辆将废物运输车辆托运至SRTF厂房内，对临时车辆进行放射性污染调查，如果存在污染则进行及时去污。

7.3 其他事故

7.3.1 化学品容器破裂、泄漏或爆炸

山东海阳核电厂运行期间使用的硼酸、氢氧化锂、盐酸、氢氧化钠、氨、联氨、三氯化铁、次氯酸钠、柴油、抗燃油、润滑油、氮、氢等物料中，包括了易燃易爆、有毒有害及较强的腐蚀性物料，在使用这些物料时存在发生爆炸、火灾、化学灼伤等潜在非放射性事故的风险。

核电厂化学品贮存情况见表7.3-1。

由于核电厂在系统设计中考虑了运行期间所使用物料的安全性，并制定了严格的使用规范，可以最大限度地降低发生爆炸、泄漏等事故的发生，同时，核电厂在设计和运行管理上采取的措施也可使火灾的发生概率及发生火灾后对安全和环境的影响降到最低。主要采取了如下防范措施：

(1) 核岛

核岛使用的危险化学品有：氢气、联氨和过氧化氢。参照《危险化学品重大危险源辨识》(GB18218-2018)的规定，本工程各项化学品储存量均小于临界量，因此核岛内所用化学品及存储量不构成危险化学品重大危险源。

核电厂核岛生产工艺从核裂变到蒸汽发电的整个过程都是在密闭的容器和管道内进行的，除了放射性气溶胶外，主工艺过程基本不产生化学品危害。在辅助生产运行中可能使用或产生的化学品主要有硼酸、氢氧化锂和联氨等。这些物质有腐蚀性，可能产生有毒、有害气体、灼伤危害。此外，机加工车间可能使用多种焊材，在焊接过程中会接触电焊烟尘、有毒气体（如臭氧、一氧化碳、氮氧化物等）。

对硼酸、联氨和氢氧化锂等化学品的贮存和运送都是在密闭的容器管道内进行的，现场使用时加强管理和个人防护，避免人员直接接触。除上述措施外，设计中加强了加药处的通风，将可能逸出的有害气体排到室外。

辅助锅炉房化学加药的贮存和运送都是在密闭的容器管道内进行的，避免人员直接接触。锅炉的排污水直接排至室外降温池，同样避免与人员直接接触。

(2) 常规岛

常规岛使用的危险品有：氢、氢氧化钠、盐酸、氨和联氨。常规岛的危险化学品储存数量均不构成重大危险源。

酸碱贮罐位于地面零米层，酸罐顶部设置酸雾吸收器，以使酸雾经酸雾吸收

器洗涤吸收，不直接向大气挥发。酸、碱管道的法兰、接头处均采取防护措施，避免直接滴漏；酸、碱设施附近设置围堰及排水设施。酸碱间设置自然进风，机械排风的通风系统。通风量按不小于每小时 15 次换气。通风系统设备和管道均有防腐措施。

氨溶液箱、联氨溶液箱本体上设计有空气隔离装置，同时加药间设计有强制通风设备，以有效快速地降低挥发性气体在空气中的浓度。

酸碱贮存区域设有安全淋洗器、洗眼器、防毒面具和手套等。

除盐水厂房通风系统均采用自然进风、机械排风系统，将维持各区域及房间保持负压。

虽然上述化学物质使用量并不大，但如果忽视对其的防护，还是会对职业人员造成一定的伤害，但影响范围有限，不会对厂外公众和环境造成可察觉的影响。

7.3.2 氢气爆炸

山东海阳核电厂正常运行期间，反应堆及反应堆冷却剂系统的氢气主要来自化学与容积控制系统。核电厂功率运行期间，通过直接注入高压氢气向反应堆冷却剂系统补充氢气，利用溶解氢气控制和除去堆芯区域由于水辐照分解产生的氧气，使燃料和一回路系统材料表面的腐蚀降至最低。通过一回路取样系统监测反应堆冷却剂系统内的水质，若水中含氢量低于限值，则需进行加氢操作。贮存在高压氢气储气站内的高压氢气瓶内的氢气经减压后，通过化学与容积控制系统管道经注入反应堆冷却剂系统。事故后，除水辐照分解、材料腐蚀产生氢气外，锆合金包壳与水蒸汽反应、堆芯熔融物与混凝土反应等也会释放出相当数量的氢气。主要采取了如下防范措施：

(1) 系统设计时，保证各种运行状态或事故工况引起的机械应力在规范范围内，保证压力边界的完整性。

(2) 管道和设备安装完毕后，按规定进行水压试验和密封性试验。

(3) 反应堆冷却剂系统的布置确保具有足够的自然循环能力（蒸汽发生器位置高于反应堆压力容器，使得在失去强制循环能力时，仍能导出堆芯余热）。

(4) 反应堆冷却剂泵具有足够的惯性，使得失去电源后，短时间内有较高的流量通过堆芯，导出堆芯余热。

(5) 设置仪表装置监测反应堆冷却剂系统的运行，提供稳压及超压保护。

(6) 设置了非能动专设安全设施，如非能动堆芯冷却系统、非能动安全壳

冷却系统等，缓解事故后果。

(7) 安全壳内设置氢气监测系统，以监测安全壳内的氢气浓度。

(8) 安全壳内的结构布置有利于通过自然循环促进安全壳大气的混合，防止氢气在局部积累。

(9) 在选址假想事故后，由两台安全有关的非能动自催化复合器消除安全壳内产生的氢气，防止氢气浓度达到最低可燃限值。

(10) 严重事故后，66 台分散布置在安全壳内各个隔间的点火器将在安全壳内达到最低可燃浓度限值后不久引发氢气燃烧，防止发生较高氢浓度时的事故性氢气燃烧，保证氢气燃烧期间能维持安全壳的完整性，并保证在燃烧期间或燃烧后安全有关设备能持续运行。

7.3.3 火灾

为了隔离潜在的火灾发生，使火灾蔓延的风险和腐蚀气体、灭火产物、烟气、放射性污染合成的间接损害减到最小程度，主要采取了如下防范措施：

(1) 防火分区

为了隔离潜在的火灾发生，使火灾蔓延的风险和腐蚀气体、灭火产物、烟气、放射性污染合成的间接损害减到最小程度，把核电厂划分为若干个防火区。防火区为三维的空间，设计成能抑制内部可能会出现火灾。防火区通过防火屏障，防火屏障贯穿件防护和其它装置，例如空调通风管道内的防火阀进行隔离，这样就把火灾隔离在防火区内。

为了能对可燃物、火灾的探测以及灭火系统的类型及位置进行更精确的辨认，有些防火区再细分为若干个防火小区。防火小区是根据每个防火区内部墙体和楼板的外形轮廓以及主设备的位置细分的，是防火区内的一个三维空间，是与特定区域内其它的防火小区有着不同的防火特征或属性的唯一的区域。

辅助厂房被分为放射性控制区域和非放射性控制区域，由结构墙和楼板进行实体隔离，这些结构墙和楼板能够防止火灾通过防火区的边界进行蔓延。

辅助厂房被进一步细分为各防火区，由具有相应耐火极限的防火屏障进行隔离，这些防火屏障实现了 4 个 1E 级电气通道之间的实体隔离，以及这 4 个 1E 级电气通道和非安全相关区域的实体隔离。

在安全壳内，定义了火灾影响区，即容纳火灾的整个防火小区。安全壳内作为一个防火区，通过结构件或距离划分为多个防火小区。对于任何一个防火小区，

应认为小区内发生火灾时其所有设备均可能会失效，除非火灾危害性分析能够论证在足够的防护措施下防火小区内的某些设备不会受到火灾的影响。在安全壳外部，没有定义火灾影响区，在安全壳外部发生的火灾被假定为会影响它所在的整个防火区。

（2）建筑和结构

核电厂厂房使用不燃结构材料，主要是钢筋混凝土、石膏、砌块、结构钢、钢侧墙板、混凝土与钢复合材料。

核电厂设置防火屏障，将不燃的耐火极限为 3 小时的防火屏障环绕容纳安全相关部件的防火区。耐火极限为 3 小时的防火屏障为冗余安全停堆部件提供了完全的隔离。

（3）电气防火设计

为了避免和减少电气系统由于可燃物质和各种原因（如：短路、过负荷、散热失效等）产生的电火花、电弧放电或高温引起火灾的危险性，在电气设计中主要采取了下列电气防火措施：电缆设施防火、电气设备防火、通道隔离、蓄电池防火、防雷等内容。

电缆主要敷设在专用的电缆构筑物内，使用阻燃电缆。为防止电缆由于短路和长期超负荷引起火灾，电气开关设有过流和短路保护。

在电力系统中，尽量减少可燃性物质。属于不同安全通道的应急电源系统的电气设备分别布置在单独房间里，并用耐火极限为 3h 的隔墙和楼板与其它房间隔开。

（4）通风防火设计

核岛厂房通风系统的风管穿越防火屏障时设置防火阀。在空气温度达到 73.9℃（165°F）时，防火阀自熔关闭，限制火灾以及烟气的蔓延。风管穿越安全有关区域、烟雾敏感区域时设置防烟防火阀。防烟防火阀除了可自熔关闭，还可根据火灾探测及报警系统发出的信号联动关闭。已设置防烟防火阀的地方不再设置防火阀。防火阀、防烟防火阀的耐火极限与穿越的防火屏障的耐火极限相等。防火阀、防烟防火阀可手动或自动复位。

综上所述，预期不会有来自火灾造成的重大安全威胁和明显的环境影响。

表 7.3-1 核电厂主要化学品情况

序号	名称	危险性质	规格型号	规格型号说明	储存地点	用途
1	盐酸	酸性腐蚀品	储存罐, 50m ³	31%, 工业级, 高纯优等品	CPS 盐酸储存罐 A/B	现场工艺系统添加剂
			储存罐, 20m ³	31%, 工业级, 优等品	除盐水酸贮存罐 A/B	现场工艺系统添加剂
			储存罐, 10m ³	31%, 工业级, 优等品	WIS 系统酸储存罐	现场工艺系统添加剂
			500ml/瓶	AR	110B3-1	实验室化学试剂
					环境监测楼化学试剂室 115	实验室化学试剂
					危化品库 ED01-102	实验室化学试剂
			500ml/瓶	GR	110B3-2	实验室化学试剂
					环境监测楼化学试剂室 115	实验室化学试剂
					危化品库 ED01-203	实验室化学试剂
2	氢氧化钠	碱性腐蚀品	储存罐, 20m ³	32%, 工业级, 一等品	除盐水电碱贮存罐 A/B	现场工艺系统添加剂
			储存罐, 50m ³	32%, 高纯优等	CPS 氢氧化钠储存罐 A/B	现场工艺系统添加剂
			500g/瓶	AR	110A3-5	实验室化学试剂
					危化品库 EC	实验室化学试剂
					环境监测楼化学试剂室 308	实验室化学试剂
					SRTF 放化实验室	实验室化学试剂
			1L/瓶	50% w/w	110A3-5	实验室化学试剂
			500g/瓶	GR	110A3-5	实验室化学试剂
3	50%氢氧化钠	腐蚀品	25L/桶	/	危化品库 EC01-201	/
4	氨水	碱性腐蚀品	储存罐, 30m ³	25%, 工业级	CFS 氨水储罐	现场工艺系统添加剂
			储存罐, 20kg/桶	25%, 工业级	辅助锅炉厂房化学分析间药品柜	现场工艺系统添加剂
			500ml/瓶	GR	110A3-3	实验室化学试剂
			500ml/瓶	AR	SRTF 放化实验室	实验室化学试剂
			25kg/桶	TECH≥25%	危化品库 EC	/

表 7.3-1 核电厂主要化学品情况（续）

序号	名称	危险性质	规格型号	规格型号说明	储存地点	用途
5	氨水（氢氧化铵）	碱腐蚀性	500ml/瓶	AR	环境监测楼化学试剂室 308	实验室化学试剂
6	联氨	碱性腐蚀品	储存罐，2m ³	40%，工业级	CFS 联氨储罐	现场工艺系统添加剂
			25kg/桶	TECH80%	危化品库 EH	/
			200kg/桶	TECH40%	危化品库 EH	/
7	水合肼	腐蚀品	/	/	危化品库 EH01-105	/
			20L/桶	/	危化品库 EH	/
8	50%水合肼	碱性腐蚀品	500ml/瓶	AR	110A3-3	实验室化学试剂
9	氢气	易燃气体	40L/瓶	纯度：≥99.95%41.4MPa	氢气升压站（PGS 系统）	现场工艺系统添加剂
			氢气拖车容积 22.5m ³	纯度：≥99.99%19.3MPa	1/2 号机高压氢气站（PGS 系统）	现场工艺系统添加剂
			4L/瓶	纯度：99.999%≥10MPa	F61-101	实验室化学试剂
			40L/瓶	纯度：99.999%13±0.5MPa		实验室化学试剂
			40L/瓶	/	危化品库 EK	/
10	柴油	易燃液体	208L/桶	/	危化品库 EL	/

7.4 事故应急

7.4.1 核事故应急对策

为了快速有效地处理核事故发生后的各种问题，最大限度减少事故影响，在事故时便于执行上述应急措施，本工程在应急准备和应急响应方面建立统一的应急组织，按照国家“常备不懈，积极兼容，统一指挥，大力协同，保护公众，保护环境”的应急管理方针，进行统一的应急准备，在事故情况下实施统一的应急响应。

为了减少事故对公众的辐射影响，根据《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》(HAD002/01, 2019)和《地方政府对核动力厂的应急准备》(HAD002/02)的要求，事故应急应包括：隐蔽、简单的呼吸道和体表防护、服用稳定性碘、撤离；避迁、控制食品和水、控制通道、地区去污和人员去污等措施。

为了快速有效地处理核事故中的问题，最大限度减少事故影响，在事故时便于执行上述应急措施，在厂址所在地区要建立包括核电厂、当地政府所辖的环保、公安、卫生、消防等部门在内的各级应急组织，设立应急监测机构并配置相应的应急响应设施。

目前，山东海阳核电厂 1、2 号机组场内核事故应急预案已通过国家核安全局批复（国核安函[2020]68 号），5、6 号机组的核事故应急对策将基于 1、2 号机组场内核应急预案结合实际情况制定与完善。

7.4.2 实施应急预案的可行性

核电厂因运行失误或事故导致核事故应急状态的可能性极小，但仍不能完全排除。因此在核电厂选址阶段就应考虑妨碍或影响执行应急计划的厂址因素。

为了加强核电厂核事故应急管理工作控制和减少核事故危害，本工程将依据《核电厂核事故应急管理条例》(HAF002)、《国家核应急预案》(2013)等相关核安全法规以及《核电厂应急计划与准备准则——应急计划区的划分》(GB/T17680.1-2008)等相关国家标准确定应急计划区大小。应急计划区分为烟羽应急计划区和食入应急计划区，烟羽应急计划区为以核电厂为中心，半径 7-10km 划定的需做好撤离、隐蔽和服碘防护的区域，该区分为内、外两区，其中内区一般主要进行撤离（包括预防性撤离）准备，半径为 3-5km；食入应急计划区为以核电厂为中心，半径 30-50km 划定的区域。

海阳核电厂实施全厂统一应急，根据国家核事故应急办公室批准的《山东海

阳核电厂 5、6 号机组厂址区域核应急方案》（国核应办[2020]32 号），海阳核电厂应急计划区大小如下：

- 烟羽应急计划区为以海阳核电厂 1~6 号机组为中心，半径 10 公里的包络范围（其中烟羽应急计划区内区半径为 5 公里）；
- 食入应急计划区为以海阳核电厂 1~6 号机组为中心，半径 50 公里的包络范围。

按照我国核安全法规《核电厂厂址选择安全规定》（HAF101）和《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01，2019）的要求，必须考虑下述与厂址有关的因素，来评价执行应急计划的可行性：

- 人口密度和分布，离人口中心的距离，以及在核动力厂整个预计寿期内的变化；
- 在应急状态下难以隐蔽或撤离的人群，例如在医院或监狱内的人员或中、小学生；
- 特殊的地理特征，例如半岛、山地地形、河流；
- 当地的运输和通信网络的能力；
- 厂址周边和区域的经济、工业、农业、生态和环境特征；
- 可能导致应急状态或限制应急响应有效性的灾害性外部事件或可预见的自然灾害。

山东海阳核电厂 5、6 号机组应急可行性的主要结论如下：

1) 人口及外部危险源分布

(1) 人口分布

厂址半径 5km 范围截至 2020 年底共有常住人口 6382 人，陆域平均人口密度为 380 人/km²。

厂址半径 5km 范围内无养老院分布，但有一处小规模农村幸福院。厂址半径 5km 范围内有 2 所幼儿园和 1 所小学。幼儿园共有学生 95 人，没有住校生，教职员工 24 人；小学共有学生 339 人，没有住校生，教职员工 30 人。

厂址半径 5km 范围内没有监狱。

厂址半径 5km 规划限制区无难以撤离的人群。

厂址半径 15km 范围共有 27 个千人以上行政村，厂址半径 15km 范围内无万人以上城镇。

(2) 外部危险源分布

厂址半径 15km 范围内共有规模以上企业 24 家，厂址半径 5km 范围内除山东核电有限公司外共有企业 6 家，共有从业人员 218 人。

厂址 5km 范围内共有 4 家加油站，厂址半径 15km 范围内有 2 处港区油库、3 家液化气储配点、1 个炸药库、2 家危险化学品企业。距离厂址最近的天然气管线位于厂址 NNW 方位 4.2km，距离厂址最近的危险品运输路线位于厂址 NNW 方位 1.5km。上述危险源均不影响核电厂运行安全。

2) 交通和通信

厂址半径 15km 范围内有高速公路 2 条，国道 1 条，省道 3 条、县道 3 条。除海核一、二路外，距离厂址最近的公路为 G228（海阳段），距离厂址最近距离为 4.7km。G1813 威青高速公路距离厂址最近距离为 9.0km。此外，厂址半径 5km 范围内主要道路有 G228（海阳段）及海核一、二路。

厂址已设置 2 条不同方向的应急撤离路线，简述如下：

路线 1（进厂道路）：厂址（厂区北侧）→海核一路→G1813 威青高速公路→向西撤离至安置点。

路线 2（应急道路）：厂址（厂区东侧）→海核二路→专家村→凤城街道→向北撤离至安置点。

海阳市各乡镇及村都已建立通讯网络。厂址所在地的电信、移动和联通网络都已覆盖，核电厂事故应急通讯网络已建立，可以满足核事故应急通讯的需求。

厂址半径 15km 范围内农村区域居民住房一般为 1~2 层，1 层住房通常为砖木结构，极少数为土坯房；2 层楼房通常为砖混结构，个别农村居民家中建有地窖，对外照射有较好的屏蔽减弱能力，加之紧闭门窗并辅以简单的个人呼吸防护，对吸入内照射也有较好的防护效果，可尽可能地减少公众的受照剂量。

因此，厂址区域内具备良好的通信和交通运输网络与外界相连，可保证必备物资的及时供应。

3) 医疗后援

山东海阳核电厂针对核事故应急响应医疗急救做出了如下安排：核电厂场内配备医务室医生和护士、职业医疗助理，核电厂场外的海阳中医院和青岛 401 医院崂山分院分别作为常规和辐射医疗后援单位。

综上所述，海阳核电厂实施全厂址统一应急，厂址条件有利于核应急预案的

顺利实施。

第八章 流出物监测和环境监测

8.1 辐射监测

8.1.1 流出物监测

山东海阳核电项目 5、6 号机组工程的流出物监测包括营运单位的监测和地方政府的监督性监测。

核电厂营运单位对核电厂流出物中的放射性核素总量实施监测，用于定期向相关部门报告监测结果，证明释放到环境中的放射性物质总量遵守国家规定的排放限值和核电厂营运范围制定的管理目标值。

山东海阳核电项目 1、2 号机组工程已负责完成建设本厂址的辐射环境现场监督性监测系统，并已移交给山东省生态环境行政主管部门运行和管理。地方政府使用该系统对本厂址机组流出物中的放射性水平实施监督性监测，核电厂营运单位为流出物的连续监测和定期取样提供支持。

本节简要介绍核电厂营运单位开展的流出物监测与排放控制方案初步设想，详细的流出物监测与排放控制方案将在山东海阳核电项目 5、6 号机组工程后续阶段的环境影响评价报告中给出。

8.1.1.1 监测目的

山东海阳核电项目 5、6 号机组工程 2 台 CAP1000 压水堆核电机组产生的流出物是对周围环境造成影响的重要因素之一，流出物的监测和排放控制是减少对环境造成影响的重要措施。流出物监测的目的是：

- 1) 测量流出物中放射性物质的种类和数量，为判断核电厂流出物排放是否遵守管理限值或运行限值提供依据；
- 2) 为评价环境质量、估算公众受照射剂量提供源项数据；
- 3) 为判断三废处理系统和排放系统工作是否正常提供依据；
- 4) 迅速发现和鉴别非计划排放的性质和规模；
- 5) 给出是否启动报警系统的信息。

8.1.1.2 监测内容

8.1.1.2.1 气载流出物监测

山东海阳核电项目 5、6 号机组工程 2 台 CAP1000 压水堆核电机组产生的气载放射性流出物由电厂烟囱集中排放。气载放射性流出物监测的内容包括：惰性

气体、碘、气溶胶、H-3 和 C-14。

在正常运行和事故工况下，电厂烟囱辐射监测仪在覆盖正常和事故量程范围内连续测量电厂烟囱向外排放的气溶胶、碘和惰性气体的放射性活度浓度，当放射性活度浓度达到预置阈值时自动触发报警。该监测仪同时具备对气溶胶、碘、惰性气体、C-14 和 H-3 的取样功能，样品定期送往流出物实验室进行测量分析。

8.1.1.2.2 液态放射性流出物监测

按照 GB 6249-2011 的要求，山东海阳核电项目 5、6 号机组工程 2 台 CAP1000 压水堆核电机组产生的液态放射性流出物采用槽式排放。排放前对废液贮存罐内的废水进行充分混合并取样，送往核电厂流出物实验室内进行测量，确定废液的放射性活度浓度和活度总量，以判断是否满足排放要求。液态流出物排放期间，由液体辐射监测仪连续监测排放总管内的放射性活度浓度，当探测到高于预置阈值时，液体辐射监测仪会发出报警信号并自动终止流出物排放。

8.1.2 辐射环境监测

根据《海阳核电厂环境监测大纲》(SDNG-GU-MEHH-3001)，本项目运行期间环境监测范围、布点及监测项目参考 1、2 号机组运行期间放射性环境监测布点。

8.1.2.1 监测目的

运行期间的常规辐射环境调查的目的是：

1) 获取电厂运行期间的辐射环境数据，确定环境辐射及环境介质放射性水平及其变化，作为评价核电厂运行后的环境放射性的污染程度的依据；

2) 作为评价公众个人受照剂量的依据。

8.1.2.2 监测内容

根据《海阳核电厂环境监测大纲》，海阳核电厂环境 γ 辐射水平监测范围为厂址半径 50km 范围内区域；其余项目监测范围取半径 20~30km，重点监测核电厂周围 10km 范围；对海域的监测，重点关注核电厂排放口附近海域。

制订监测方案时，充分考虑了以下因素：

- 关键居民组的居住区域；
- 最大风频下风向厂区边界附近区域和烟羽照射区域；

- 监测点的选取和环境样品的采集充分保证监测区域和样品的代表性；
- 尽可能与环境本底调查布点一致；
- 在最小风频下风向受核电厂排放影响最小的区域设采样和监测对照点；
- 陆生和海生生物生长周期、采样品种的代表性。

辐射环境监测的重点放在对关键人群组影响最大的环境介质和排放核素上。环境放射性监测由大气放射性监测、陆地放射性监测和海洋放射性监测三部分组成，监测项目以环境 γ 辐射、气溶胶、空气、沉降物、水、土壤、沉积物、陆生及水生生物为主。

1) 陆地 γ 辐射

(1) γ 辐射剂量率连续监测（自动监测系统）

海阳核电厂共有 9 个环境 γ 辐射监测子站，其中厂区 3 个，场外 6 个，所有子站均具备有线及无线两种数据传输模式。

(2) 瞬时 γ 辐射剂量率

在以核电厂为中心的 50km 范围内的道路、原野选取 62 个监测点（原野点位 59 个），每季度进行一次瞬时 γ 辐射空气吸收剂量率的测量。测量时仪器的有效中心离地面 1m 高，测点距附近高大建筑物的距离大于 30m。

(3) γ 辐射累积剂量测量

每季度第一个月初开展热释光剂量片的布置工作，同时对上季度布置的剂量片进行回收测读。 γ 辐射累积剂量测量的点位与瞬时 γ 辐射剂量率测量点位相同。

2) 大气和沉降

海阳核电厂共有 5 个环境 γ 辐射监测子站安装了气溶胶、氡、碳-14、沉降物及雨水采集装置，其中厂区 1 个（气象站），场外 4 个。

(1) 气溶胶

气溶胶样品的监测频率为 1 次/月，采样体积约为 10000m³。采集的样品主要用于 γ 谱及总放分析。

(2) 空气中³H、¹⁴C、¹³¹I

空气³H样品的监测频率为 1 次/月，采样持续时间为 1 天~1 周不等，冬季使用硅胶吸附法采集，其他季节使用冷凝法采样。

空气 ^{14}C 样品的监测频率为 1 次/月，采样持续时间为 1 周，采样总体积约为 5m^3 。

空气 ^{131}I 样品的监测频率为 1 次/月，使用碘盒采样，主要用于空气中有机碘的分析。采样持续时间为 3 天，采样总体积约为 500m^3 。

(3) 雨水

降水样品的监测频率为 1 次/季，每次降雨后收集样品，采样后立即进行 ^3H 测量，累积季度样品进行 γ 谱测量。

(4) 沉降物

沉降物样品的监测频率为 1 次/季，使用湿法采样，累积季度样品进行总 β 、 γ 谱和 ^{90}Sr 测量。

3) 水体

(1) 地表水

地表水采集南庄、盘石水库和望海水库三个点位样品，采样频率为 1 次/半年，分析项目为 γ 谱和 ^3H 。

(2) 饮用水

饮用水采集邵家庄、方里、大辛家、凤城和海阳市区五个点位样品，采样频率为 1 次/半年，分析项目为总 α 、总 β 、 γ 谱和 ^3H 。

(3) 地下水

地下水的采样点位分别为：厂区三口地下水监测井（P1、P2、P3）、邵家庄及方里，分析项目为 γ 谱、 ^3H 和 ^{90}Sr ，其中 γ 谱、 ^3H 采样频率为 1 次/半年， ^{90}Sr 采样频率为 1 次/年。

(4) 控制区地下水

控制区地下水样品的采样点位为厂区地下放射性管线周围布置的六口观测井（W1~W6），以及 093 门岗附近的对照点 W7 井，监测频率为 1 次/季，分析项目为 ^3H ，若发现样品 ^3H 活度异常，则进行 γ 谱核素分析。目前控制区地下水仅针对一期工程 2 台机组设置，5、6 号机组将参照已有监测点位补充设置。

(5) 海水

海水选择取排水口附近海域的 8 个点位进行取样分析，分析项目为 γ 谱、 ^3H 和 ^{90}Sr ，其中 γ 谱、 ^3H 采样频率为 1 次/半年， ^{90}Sr 采样频率为 1 次/年。

4) 土壤

土壤样品范围主要在厂址半径 20 公里圆形区域，共设置 12 个采样点位，分别为：邵家庄、南庄、前山、留格、大辛家、寨前、方里、窑头、外岛、张家庄、凤城和海阳市区。采样频次为 1 次/年，分析项目为 γ 谱和 ^{90}Sr 。

5) 岸边沉积物

岸边沉积物样品采样点位与地表水相同，采样频次为 1 次/年，分析项目与土壤相同。

6) 潮间带土

潮间带土的采样点位分别为：邵家庄、小滩及凤城。其中邵家庄为排水口区域，小滩为取水口区域。采样频次为 1 次/年，分析项目与土壤相同。

7) 海底泥

底泥样品采样点位与海水相同（不采集取水口样品），采样频次为 1 次/年，分析项目为 γ 谱和 ^{90}Sr 。

8) 生物

(1) 水生物

水生物主要采集海水生物。采样点位包括邵家庄、凤城和南辛庄，南辛庄为对照点位。采样种类包括：鲅鱼（海鱼）、蛤蜊（贝壳类）、爬虾（甲壳类）及章鱼（软体类），分析项目为 γ 谱和 ^{14}C ，采样频次为 1 次/年。

(2) 陆生植物

陆生植物采样点位主要分布在厂址半径 10km 区域，不同样品采样点位略有不同，采样点位主要有邵家庄、前山、张家庄、寨前及留格等，对照点位设置为莱阳南石础村。采样种类包括：花生、玉米、小麦、白菜、干草（玉米秸秆）和苹果，采样频次为 1 次/年，采样时间为收获季，分析项目主要有 γ 谱和 ^{14}C 。

(3) 家畜、家禽

家畜和家禽的采样点位均为大辛家和凤城，家畜选择了本地养殖较为普遍的山羊，家禽选择散养的土鸡，采样频次为 1 次/年，分析项目主要有 γ 谱和 ^{14}C 。

(4) 牛奶

选择距离厂址最近的海阳市区北面的奶牛场采集牛奶样品，采样频次为 1 次/年，分析项目主要有 ^{14}C 和 ^{131}I 。

(5) 指示生物

开展两类指示生物的采样分析，包括松针（陆地指示生物）和牡蛎（海洋指示生物）。采样点位为邵家庄、凤城和南辛庄。采样频次为 1 次/年。指示生物的分析项目为 γ 谱、 ^{14}C 和 ^{90}Sr 。

8.1.3 应急监测

核电厂事故工况下的环境应急监测是环境监测的组成部分，它具有快速反应和机动灵活的能力，应急监测方案中考虑了如下要求：

1) 在厂址半径 5~10km 范围内，环境监测系统的固定式 γ 监测子站配置 72 小时 UPS 电源，具备应急条件下连续监测和通信的能力，测量范围能满足应急监测需求，相关数据能通过有线和无线方式及时传输至核电厂应急指挥中心等应急设施。

2) 在发生核事故时，核电厂的环境监测车和介质采样车在配置了便携式仪表和其它设备后，可参与应急监测和取样，快速判断放射性释放对环境造成的污染范围和污染程度。

3) 环境实验室位于核电厂厂外，用于对事故环境样品进行详细测量和分析，为事故后果评价提供支持。

8.2 其他监测

8.2.1 热影响监测

8.2.1.1 运行前热影响监测

山东海阳核电厂 5、6 号机组为扩建工程，前期机组运行期间的热影响监测可作为本期工程的运行前热影响监测。

8.2.1.2 运行期间热影响监测

山东海阳核电厂 5、6 号机组将在运行期间开展温排水监测，进行监测的主要目的是监测核电厂的温排水影响范围和程度，评估核电厂的温排水排放对厂址临近海域生态的影响。

本工程定点测量可在核电厂排水口设置取样监测点，并在周围海域设置一定的站位进行定时温排水采集监测。

8.2.2 化学污染物和生活污水监测

主要对海阳核电厂排放的非放射性液态流出物开展常规监测。非放射性液态流出物监测包括排水口温度、水质理化参数、核电厂可能排放的化学物质的取样测量分析和生活污水处理后取样监测等。

8.2.2.1 循环冷却水及生产废水排放监测

监测点位为电厂循环水取、排水口。

生产废水排放口与电厂循环水排水口相同，生产废水排放口处不再另设监测项目。

监测项目包括：

1) 硼、油类、铁、亚硝酸盐、锂、镍、钠、阴离子洗涤剂，监测频度为1次/月；

2) 溶解氧、余氯、电导率、pH值、可溶性正磷酸盐、联氨、氨氮，监测频度为1次/周。

8.2.2.2 生活污水监测

海阳核电厂共有4套生活污水处理设施，分别位于仓库区、厂前区东面、厂前区西面和一期厂房西侧。电厂对生活污水处理后监测，监测达标后用于绿化。

在生活污水处理设施排出口设置为生活污水监测点。监测项目包括pH、色度、浊度、嗅、BOD₅、氨氮、溶解氧、溶解性固体、阴离子表面活性剂、大肠埃希氏菌、总氯。监测频度为：pH、色度、嗅、浊度、溶解氧和总氯为1次/日，

其余监测项目为1次/周。

8.2.3 气象观测

山东海阳核电厂的地面气象观测场和气象铁塔设在厂区的西南角。气象观测系统包括1个约100m的气象铁塔、1个地面气象观测场和一个气象观测站工作室。

气象观测系统的测量项目包括：

气象铁塔：10m、30m、80m和100m四个高度处的风向、风速、温度；

地面气象观测站：气压、空气温度和湿度、降水、地表温度、天空总辐射和净辐射；

气象观测站工作室放置气象数据接收系统、气象梯度仪主机和自动气象站主机。气象数据接收系统包括一台气象专用计算机、相应的应用软件、打印机和专用网络接口。气象数据接收系统接受来自气象梯度仪主机和自动气象站主机的所有数据，并对这些数据进行储存、处理、显示、制表和打印。

8.2.4 水文观测

本项目拟在海阳核电大件码头处建设验潮站一座，布置验潮站及温盐井，实时连续观测潮汐、海流、波浪、水温、海水盐度等海洋环境参数。

8.3 监测设施

8.3.1 流出物实验室

流出物实验室配备实验家具、制样设备、放射性测量仪器，用于对核电厂气态和液态流出物样品进行预处理、样品制备、 γ 核素分析、 α/β 放射性测量等，以确定排放的液体和气体排出流的放射性水平，并为编写核电厂放射性物质排放的年度评价报告提供数据。

流出物实验室已在山东海阳核电项目3、4号机组工程中建造，位于流出物和放化实验室子项，为全厂共用，满足山东海阳核电项目5、6号机组工程的流出物监测需求。

8.3.2 环境监测设施

山东海阳核电厂环境监测系统由环境 γ 监测系统、废液采样站、环境实验室和环境监测网等部分组成。其中，环境 γ 监测系统、环境实验室和环境监测网已在山东海阳核电厂1、2号机组工程中建设完成，废液采样站将在山东海阳核电项目3号机组装料前完成建设。

8.3.2.1 环境 γ 监测系统

环境 γ 监测系统由9个大气 γ 辐射监测站（厂区3个，厂外6个）、1辆环境监测车和1台环境 γ 监测计算机等组成。

（1）大气 γ 辐射监测站

海阳核电厂9个大气 γ 辐射监测站设备的测量数据或失效报警信息将通过有线加无线的通信方式实时传输到环境 γ 计算机（位于应急指挥中心二层的数据中心及后果评价室内）。

（2）环境监测车

海阳核电厂配置1辆环境监测车。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 辐射水平进行巡测和对气象和环境监测系统日常维护。在核电厂发生事故情况下，环境监测车用作快速应急监测。环境 γ 辐射水平实时测量数据及车载卫星全球定位系统的定位数据，通过车载通讯装置实时传送到环境 γ 监测计算机。

（3）环境 γ 计算机

环境 γ 监测计算机布置在应急指挥中心二层的数据中心及后果评价室内，用于对大气 γ 辐射监测站、环境监测车和废液采样站等设备测量数据和失效报警信息进行采集，并传送至环境监测网的服务器中进行储存和集中管理。

8.3.2.2 废液采样站

废液采样站包括本工程循环水泵房（5#机组和6#机组共用）附近的废液采样设备和本工程排水沟道护岸闸门井（5#机组和6#机组共用）附近的废液采样设备。

这些废液采样设备分别从水井内抽取具有代表性的水样，样品送环境实验室进行测量分析。废液采样设备的失电和故障信息可通过电气控制箱传送到环境 γ 监测计算机。

8.3.2.3 环境实验室

海阳核电厂在距厂区约9km的核电专家村设置一个环境监测站，环境实验室位于该监测站内。实验室共三层，总建筑面积约为2200m²，其中一层为物理测量区，二层为办公和数据管理区，三层为样品处理和化学实验区。

环境实验室配置各种测量分析仪表，用于在核电厂正常运行期间对其周围环境介质中所含的放射性核素的种类、浓度进行监测，并对监测数据及时分析和评价，定期上报相关山东省生态环境主管部门。

8.3.2.4 环境监测网

环境监测网是一个局域网，由服务器、工作站、远距离显示和打印终端、交换机、网关、打印机及相应的操作系统和应用软件等组成。除了一台远距离显示和打印终端位于核电厂环境监测站内，环境监测网的其它设备均位于核电厂应急指挥中心的数据中心及后果评价室。

环境监测网实时接收核电厂正常运行和事故期间来自气象专用计算机的气象数据和环境 γ 监测计算机的环境测量数据和报警信息等，并负责对这些数据进行集中管理、存储、显示、报警和传送。

环境监测网将通过通讯方式实时地将气象和环境监测数据传送到应急指挥中心、山东海阳核电项目5、6号机组的数据显示和处理系统以及运行和控制中心供电厂操纵员使用。

8.3.2.5 地下水监测井

本项目周边现有地下水监测井包括厂区三口地下水监测井（P1、P2、P3），邵家庄及方里，采样频率为1次/半年，分析项目为 γ 谱、 ^3H 和 ^{90}Sr 。

山东海阳核电项目5、6号机组的地下水样品采样点参照1、2号机组进行设置。山东海阳核电项目1、2号机组的控制区地下水样品的采样点位为厂区地下放射性管线周围布置的六口观测井（W1~W6），以及093门岗附近的对照点W7井，监测频率为1次/季，分析项目为 ^3H ，若发现样品 ^3H 活度异常，则进行 γ 谱核素分析。

8.3.3 监督性监测系统

山东海阳核电厂辐射环境现场监督性监测系统（以下简称“监督性监测系统”）已建设完成。监督性监测系统由外围辐射环境监测系统和流出物监测系统组成。

8.3.3.1 外围辐射环境监测系统

外围辐射环境监测系统由监测子站和前沿站构成，主要用于对环境辐射水平及相关气象参数、样品中放射性物质等进行监测和采样分析，系统设计兼顾核事故应急环境辐射监测。

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场外应急决策提供依据。

2) 前沿站

山东海阳核电厂辐射环境现场监督性监测系统前沿站位于海阳市凤城,属于海阳经济开发区,在核电厂的 WNW 方位。前沿站是核电厂周围样品采集、处理、测量分析前沿工作场所,同时考虑流出物实验室与前沿站共址建设。

前沿站内设置环境实验室、数据汇总中心,用于对核电厂周围样品采集、处理、测量分析的前沿工作场所和对监测子站的数据进行监控、汇总以及对外传输的场所。

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、液态排放物进行在线连续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,并由核电厂辐射监测系统(RMS)的中央辐射处理计算机(CRP)对所测得的流出物数据进行汇总整理,再通过独立的数据传输设备,将监测数据传输至位于前沿站的数据汇总中心和山东省生态环境主管部门现场监督单位。

流出物在线监测系统配置了数据通信计算机、网络通信设备和单向网关,布置于海阳核电厂应急指挥中心内。

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、分区布置的原则建设。

8.4 质量保证

在核电厂正常运行情况下，需要对流出物和环境进行监测，以保障公众的安全，增加公众对核电的信心，确保核电厂的运行对环境不会造成不可接受的影响。因此流出物和环境监测质量保证是至关重要的，其目的是通过有计划/system行动，对监测过程进行全面控制（如监测过程的组织管理，参与人员的素质要求与岗位培训，仪器设备的管理与维护，样品采集布点与频度的设计，分析过程的质量控制，监测数据的记录、复核与审核等），使测量结果具有适当置信度，保证测量结果的可信性、有效性和可比性。

流出物和环境监测的质量保证计划依据下列法规：

- 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）
- 《核设施水质监测采样规定》（HJ/T 21-1998）
- 《气载放射性物质取样一般规定》（HJ/T 22-1998）
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）
- 《水质采样 样品的保存和管理技术规定》（HJ 493-2009）
- 《水质 采样技术指导》（HJ 494-2009）
- 《水质 采样方案设计技术规定》（HJ 495-2009）

8.4.1 质量控制

1) 样品采集、运输和贮存的质量控制

样品采集、运输和贮存的质量控制的目的是保证采集具有代表性并保持放射性核素在分析前的原始浓度。为此应该准确地测量样品的质量、体积和流量，其误差一般控制在 $\pm 10\%$ 以内。为了确定采样的不确定度，应该定期采集平行的瞬时样品。各类常规样品应妥善保存，直至得出最终分析结论。

2) 分析测量中的质量控制

样品的预处理和分析测量方法应采用标准方法或经过鉴定和验证过的方法。操作人员应严格按操作程序操作，防止样品间的交叉污染。为了确定分析测量过程中产生的不确定度，应该分析测量质量控制样品。为了发现和确定环境实验室分析测量系统的不确定性，必须参加本地区和国家组织的实验室之间的分析比对，对存在的系统误差查明原因，并采取校正措施。分析测量装置的性能应定期送往国家计量站进行检定、校准和检验。

3) 数据处理

每个样品从采集、预处理到分析测量、结果计算全过程中的每一步都应有清楚、详细和准确的记录。数据处理应采用标准方法，减少处理过程中产生的误差。对于偏离正常值的异常结果应及时向技术负责人报告，并在自己的职责范围内进行核查。监测数据的正式上报或使用，必须经有关技术负责人签发。

8.4.2 质量管理

1) 组织机构

建立合适的辐射监测机构并实施管理是流出物和环境监测质量保证的重要因素。对管理和实施质量计划的人员设置及其职责、权力应有明确规定。

2) 人员的资格和培训

辐射监测结果的准确性与操作人员的技术水平和经验有关，因此各类操作人员应有严格的资格要求，上岗前必须进行专业培训，取得有关技术操作资格后方可上岗。为保持和适应新技术发展的要求，对各类技术人员应进行反复的技术培训、考核和技能审评。

第九章 利益代价分析

9.1 利益分析

9.1.1 运行带来的直接利益

山东海阳核电项目5、6号机组工程的投产能够为山东省的经济发展提供电力保障，不仅使山东电源结构多样化，也使电网的电源布局更趋合理，能有效改变山东省目前“西电东送”的局面，解决山东省的电力供应紧张问题。

本期工程建设两台百万千瓦级CAP1000压水堆核电机组，2台机组的额定功率达到了2506MW，按80%的负荷因子计算，扣除厂用电后，正常年份售电量为162.3亿千瓦时。

按照山东省脱硫脱硝除尘燃煤机组标杆上网电价0.3949元/kWh计算，本工程的正常年份销售收入（不含税）为57亿元。本工程2台机组的设计寿命为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 对社会发展的利益

山东海阳核电项目5、6号机组工程5号机组建设工期为56个月，5、6号机组间隔10个月，双机组建设总工期达66个月。由于核电站的建设工程技术复杂，参加建设人员众多，本项目建设期间需要业主单位、总承包单位、监理单位、设计单位及建安施工企业等共计数千建设人员参与，高峰期甚至达到万余人，故本项目建设期间能创造大量的就业机会。

本项目建设期建成的道路、水、电、气等配套设施，不但方便本厂职工，而且给周围居民生活带来方便，同时给当地带来广泛的社会效益。山东海阳核电项目5、6号机组工程投产后，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。

9.1.2.2 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。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。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于税收，包括施工期和运行期的营业税、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年均 6 亿左右的销售税金，以及年均 4 亿左右的所得税。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的提供大量的就业岗位。本项目能增加当地的财政收入，促进地方税收增长。

9.1.2.4 对周边环境的利益

核电给环境带来的间接效益主要来自于其替代燃煤发电带来的减排效应，煤炭燃烧的主要污染物是 CO_2 、 SO_2 、 NO_x 以及烟尘等。本项目的建成可有效替代燃煤机组，大量减少胶东半岛的 CO_2 排放量，并缓解酸雨现象。

按照 CO_2 减排因子为 832 克/kWh 考虑，本项目投产后正常年份可实现 CO_2 减排 1459 万吨， CO_2 减排效益按 15 元/吨估算，正常年份内 CO_2 减排可实现经济效益约 2.2 亿元。

9.2 代价分析

9.2.1 直接代价

9.2.1.1 电厂建设和运行的经济代价

海阳5、6号机组工程用于环境保护的费用包括建设期费用和运行期费用。建设期费用是指用于环境保护的基本建设投入，运行期费用是指用于环境保护管理、治理、生态恢复、环境修复和环保设施运行的费用。

本项目并网投入商业运行后，运行期间的经济代价包括：基本折旧费、摊销费、核燃料费、大修理费、运行维护费、核后处理费、退役基金、财务费用和管理费用等。

9.2.1.2 电厂建设和运行的环境保护代价

本工程设置了各种放射性废物净化和处理系统、剂量检测系统、屏蔽防护及

应急设施等，以控制并确保核电厂在正常运行和事故期间向环境释放的放射性物质低于国家标准，从而保障电厂工作人员和周围居民的安全。

为达到保护环境及人身安全的目的，必须对放射性三废进行严格的治理。因此，核电厂专门设置了放射性废液、废气和固体废物处理和贮存设施，尽可能降低放射性废物对公众的照射。

具体的监测和应急措施包括：

（1）环境监测

核电厂应设置环境监测系统，对电厂运行期间的环境状况进行监测，同时为检验放射性废物处理系统是否满足要求提供对照测量，电厂环境设施包括：辐射监测设备、数据采集及试验仪表、气象设施、保安和放射性监测等。

（2）流出物监测

核电厂还应设置放射性流出物监测系统，对电厂运行期间的气载和液态放射性流出物进行监测，用于测量放射性流出物中放射性物质的种类和数量，为判断核电厂放射性排放是否满足国家标准限值或运行限值提供依据。

（3）应急设施

核电厂除考虑正常运行情况下的环境保护和人身安全外，还考虑了在事故状态下人员的紧急疏散和医疗措施。

9.2.2 间接代价

9.2.2.1 社会代价

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。

（1）交通运输问题

核电厂的运输包括施工期间大型设备、建筑材料的运输；运行期间的换料、乏燃料、固体废物运输；正常的人员进出等，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，核电厂采取以水运为主，陆运为辅的运输方式。在陆运方面需投入一定量的资金用于厂外公路的建设，包括新建、改造道路及修建桥梁，例如，核电厂通常会专门开辟进场道路和应急道路等。

（2）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、供热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。

（3）对当地社会安全、稳定的影响

核电厂建设期间将不可避免地带动当地第三产业的发展，同时也会引起当地人口数量的增加，从而对当地的社会秩序、安全和稳定带来一定压力。为使当地有一个安定的生活环境和经济持续发展的社会环境，当地政府须增加治安、社会服务等方面的投入。

9.2.2.2环境代价

为了达到保护环境和保护公众的目的，山东海阳核电项目 5、6 号机组工程设置了各种放射性废物净化和处理系统、环境监测和流出物监测系统、屏蔽防护体系以及应急设施等，以控制并确保核电厂在正常运行和事故期间向环境释放的放射性物质低于国家标准，从而保障电厂工作人员和周围居民的安全。

本项目建设期间对厂址区域生态环境的影响，一方面是厂区内土建施工过程中，地表植被将暂时剥离，在采取必要的防护措施后，水土流失的影响将被控制在较小的范围内，且项目建成后，周围环境将进行绿化和景观恢复，以改善生态环境。另一方面取排水构筑物施工时对周围海域有一定的影响，主要表现在：核电厂海域工程的建设将造成部分海域中海洋生物栖息地消失，施工期间也将暂时影响局部范围海域内海洋生物栖息环境，但在施工结束较短时间后即可恢复。

9.3 结论

从经济层面来看，本项目经济效益良好，能给各投资方带来稳定的收益。

从环境层面来看，本项目的环境效益远大于环境代价。

从社会层面来看，本项目社会代价远小于社会效益。

从本工程的代价利益分析，可以得出，本工程的建设是必要的，也是合理可行的。该项目的建设和运行能以较小的代价获得显著的直接经济效益、环境效益和社会效益。

第十章 结论

10.1 核电厂工程

本项目名称为“山东海阳核电项目5、6号机组工程”。厂址位于山东省烟台市辖海阳市核电装备制造工业区，距海阳市市区（海阳市政府）直线距离约19km（厂址W方位），距烟台市直线距离约93km（厂址N方位）。

山东海阳核电厂址规划容量为6台百万千瓦级核电机组和1台一体化小型堆，并留有扩建的余地。一期工程建设2台AP1000压水堆核电机组，3、4号机组工程建设2台国产化CAP1000压水堆核电机组。本期工程为5、6号机组工程，拟建设2台国产化CAP1000压水堆核电机组。

山东海阳核电项目5、6号机组单台机组建设周期为56个月（从浇灌第一罐混凝土到商业运行）。5号机组预计于2024年3月浇灌第一罐混凝土，于2028年8月投产，6号机组的开工时间与5号机组间隔10个月。机组的设计寿期为60年。

山东海阳核电厂址的水体弥散和大气扩散条件较好，厂址周边危险源不会对厂址安全构成潜在威胁，人口分布现状满足核电厂的厂址条件要求，具备在原有4台核电机组的基础上，扩建2台CAP1000核电机组的条件。

10.2 环境保护设施

工程配置有放射性液体废物处理系统（WLS）、放射性气体废物处理系统（WGS）、放射性固体废物处理系统（WSS）、乏燃料贮存系统、厂址废物处理设施（SRTF），可有效处理核电厂运营期间产生的放射性废气、废液、固体废物。对于非放污染物，海阳核电厂也采取一系列的环保措施，如生活污水处理设施，危险废物贮存设施等，以确保电厂运营过程中产生的非放污染物规范处置，达标排放。

10.3 放射性排放

海阳核电厂5、6号机组气载和液态流出物的年排放量能满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）对单堆排放量的要求。

海阳核电厂1~6号机组气载和液态流出物的年总排放量能满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）对全厂址排放量的要求，海水中5种核素浓

度均小于《海水水质标准》（GB 3097-1997）中规定的限值。

10.4 辐射环境影响评价结论

根据计算结果，海阳核电厂 5、6 号机组以及全厂址 6 台机组正常运行期间所致最大个人的有效剂量均能满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定的剂量限值 0.25mSv。因此，本项目在正常运行期间，对环境的辐射影响是可以接受的。

海阳核电厂 5、6 号机组以及全厂址 6 台机组正常运行工况下，液态流出物排放对受纳海域中的水生生物的影响较小。

海阳核电厂 1~6 号机组设立统一的非居住区边界和规划限制区边界，以陆域非居住区边界为厂址征地边界，海上厂非居住区边界为距各核岛中心 800m 所构成的包络线。同时山东省人民政府已确定山东海阳核电厂（以反应堆为中心）半径 5km 范围内为规划限制区。

在本项目选址假想事故发生后任意 2h 内，厂址非居住区边界处任何个人所受的最大个人有效剂量为 0.174Sv，能够满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定的事故个人有效剂量（0.25Sv）的要求。在选址假想事故的整个持续期间（30 天），厂址规划限制区边界上（5km）任何个人所受的最大个人有效剂量为 0.024Sv，能够满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定的事故个人有效剂量（0.25Sv）的要求。在选址假想事故的整个持续期间（30 天），采用全厂址 95% 概率水平的大气弥散因子估算选址假想事故的集体剂量，计算得到厂址发生选址假想事故时所致的集体剂量为 2.98E+03 人 Sv，低于《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定的事故集体有效剂量（2.00E+04 人·Sv）。

厂址区域交通情况良好，无难以撤离的居民点。厂址附近通讯条件良好，居民住宅以砖瓦房为主，对外照射有较好的屏蔽减弱能力。海阳核电厂实施全厂址统一应急，一期工程场内应急方案已通过国家核安全局审查，5、6 号机组区域核应急方案已通过国家核事故应急办公室审查。

10.5 非辐射环境影响评价结论

10.5.1 施工期环境影响

本项目施工期的主要污染物为扬尘、施工噪声、建筑垃圾、海域施工悬沙等，通过采取环境保护措施、开展环境管理和施工期环境监测，本项目施工期的环境影响是有限的、暂时的，在施工结束后即消失。不会对周围环境造成明显不良影响。

10.5.2 散热系统对环境的影响

根据温排水模拟成果，海阳核电厂址6台机组正常运行时在夏季温排水超1℃温升最大面积是85.19km²，超4℃温升最大面积是3.88km²（其中5、6号机组0.026 km²）；冬季温排水超2℃温升最大面积是32.78km²，超4℃温升最大面积是8.12km²（其中5、6号机组0.045km²）。夏季1℃与冬季2℃均未影响到海域生态红线控制区，也未超出拟调整的空间规划，本项目温排水影响范围与拟调整的空间规划相容。

10.5.3 其他非放射性环境影响

本项目各类生产废水的排放量不大，处理后与循环冷却水一同排海，经厂址附近水域的进一步稀释，其化学物质的浓度将更低，可以满足《海水水质标准》（GB3097-1997）中的相应规定。

生活污水经生活污水处理设施处理后，可以达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）的控制标准进行回用，不会对厂址附近海域水质产生不良影响。

本项目产生的各类固体废物均得到妥善处置，不会对周围环境产生不良影响。本项目厂界处噪声满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的2类标准。本项目电磁影响满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中规定的限值。

10.5.4 三线一单符合性

本项目位于烟台海阳市核电装备制造产业园重点管控单元。根据《烟台市人民政府关于印发烟台市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》以及《烟台市环境管控单元生态环境准入清单》，本项目符合当地“三线一单”管控要求。本项目用地用海不占用生态红线区，施工运行期间也不会对生态红线区造成不良影响。

10.6 承诺

山东核电有限公司承诺：在核电厂后续建设和运营过程中，按照环评报告要求及审管部门的要求，积极落实各项环保措施，做好三同时工作；积极跟踪前期项目运行经验、依托化项目的审评要求及西屋的设计修改和承诺，及时将设计改进落实到本项目中；积极开展核电科普宣传工作，实现核电发展与公众意识之间的和谐。