

山东海阳核电项目 3、4 号机组工程 环境影响报告书

(运行阶段)
(公示稿)



山东核电有限公司

二〇二五年十一月

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 建设项目经费和环保设施投资
- 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 环境保护措施
- 1.10 评价范围
- 1.11 环境影响报告书批复的落实情况

第二章 厂址与环境

- 2.1 厂址地理位置
- 2.2 人口分布与饮食习惯
- 2.3 土地利用及资源概况
- 2.4 气象
- 2.5 水文
- 2.6 地形地貌

第三章 环境质量现状

- 3.1 辐射环境质量现状
- 3.2 非辐射环境质量现状

第四章 核电厂

- 4.1 厂区规划及平面布置
- 4.2 反应堆和蒸汽-电力系统
- 4.3 核电厂用水和散热系统

- 4.4 输电系统
- 4.5 专设安全设施
- 4.6 放射性废物管理系统和源项
- 4.7 非放射性废物处理系统
- 4.8 放射性物质厂内运输

第五章 核电厂施工建设过程的环境影响

- 5.1 土地利用
- 5.2 水的利用
- 5.3 施工影响控制

第六章 核电厂运行的环境影响

- 6.1 散热系统的环境影响
- 6.2 正常运行的辐射影响
- 6.3 其他环境影响
- 6.4 初步退役计划

第七章 核电厂事故的环境影响和环境风险

- 7.1 核电厂放射性事故和后果评价
- 7.2 严重事故
- 7.3 场内运输事故
- 7.4 其他事故
- 7.5 事故应急

第八章 流出物监测与环境监测

- 8.1 辐射监测
- 8.2 其它监测
- 8.3 监测设施
- 8.4 质量保证

第九章 利益代价分析

9.1 利益分析

9.2 代价分析

9.3 结论

第十章 结论与承诺

10.1 核电厂建设项目

10.2 环境保护设施

10.3 放射性排放

10.4 辐射环境影响评价结论

10.5 非辐射环境影响评价结论

10.6 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 3、4 号机组工程”，山东海阳核电项目 3、4 号机组是在前期 1、2 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。一期工程建设2台AP1000压水堆核电机组，已先后于2018年10月22日和2019年1月9日投入商运。本期工程为3、4号机组工程，建设2台国产化CAP1000压水堆核电机组，建造阶段环评已获得批复（环审〔2022〕87号），目前处于施工建设阶段。

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；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实验室和应急指挥中心等。

1.3 建设项目经费和环保设施投资

本工程建设期环保投资占总资金比例为 1.16%。

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不断发展增长的能源需求，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、安全低碳的清洁电源，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 and 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，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 3、4 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），两台机组开工时间间隔 10 个月，机组的设计寿期为 60 年。3 号机组于 2022 年 7 月浇灌第一罐混凝土（FCD），预计于 2027 年 3 月投产。4 号机组预计于 2028 年 1 月投产。

除 516 子项外环保设施可以实现与机组同时投产，在 516 子项投产前采用临时措施确保液态流出物达标排放，临时措施满足三同时要求。

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) 国土空间规划

根据《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》和《烟台市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，本项目位于城镇开发边界内，不占用生态保护红线。

3) 生态红线及三线一单符合性

根据《烟台市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，厂址附近陆域海域生态红线情况如下：

- ① 厂址半径 10km 范围内陆域生态保护红线有 1 处：胶东丘陵生物多样性维护生态保护红线，距厂址最近距离约 2.3km，位于厂址 WNW~NW 方位；此外该红线还涉及乳山区域，乳山市胶东丘陵生物多样性维护保护红线最近处位于厂址 NNE 方位约 9.7km。
- ② 以排水口为中心半径 15km 范围内海域生态保护红线有 3 处：排水口距海阳海岸防护物理防护极重要区生态保护红线，最近处位于排水口 NE 方位约 12.4km；烟台海阳万米海滩海岸侵蚀极脆弱区生态保护红线，最近处位于排水口 W 方位约 12km；威海乳山滨海湿地重要滩涂及浅海水域生态保护红线，最近处位于排水口 E 方位约 10.5km。

根据 2024 年 4 月 7 日烟台市发布的 2023 年生态环境分区管控动态更新成果，本项目所在陆域及邻近海域均为重点管控单元。

厂址半径 10km 范围内陆域各生态环境分区管控单元情况详见表 1.6-1。本项目位于海阳市核电装备制造产业园重点管控单元，符合该产业园的管控要求，详见表 1.6-1。

以排水口为中心半径 15km 范围内海域各生态环境分区管控单元情况见表 1.6-2。本工程排水口位于海阳临港工矿通信用海区，符合管控要求，详见表 1.6-2。

厂址紧邻留格庄镇优先保护单元，本工程施工期和运行期不影响留格庄镇优先保护单元，满足留格庄镇优先保护单元的管控要求，参见表 1.6-3。

4) 近岸海域环境功能区划

2024 年 8 月 2 日，山东省生态环境厅发布《关于调整山东海阳核电厂近岸海域环境功能区划的函》（鲁环函〔2024〕102 号），其中核电厂西侧混合区（1~4 号机组）调整为 8.205km²，厂址南侧混合区（5、6 号机组）调整为 0.117km²，三类功能区面积调整为 87.05km²。

2025 年 7 月 30 日，山东省生态环境厅发布《关于征求〈山东省近岸海域环境功能区划（2026—2035 年）（征求意见稿）〉意见的函》（鲁环便函〔2025〕1119 号）。征求意见稿中，厂址附近三类区范围调整为 92.091km²，西侧混合区面积调整为 12.206km²，南侧混合区面积调整为 0.646km²，参见表 1.6-4。

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）；
- 《中华人民共和国噪声污染防治法》（2022 年 6 月 5 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》（2024 年 1 月 1 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（2025 版）》（生态环境部、国家发展和改革委员会、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会令第 36 号，2024 年）；
- 《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）；
- 《山东省海洋环境保护条例》（2018）；
- 《山东省扬尘污染防治管理办法》（2018）；
- 《山东省固体废物污染环境防治条例》（2023）；
- 《山东省辐射污染防治条例》（2014）；
- 《山东省核事故应急管理办法》（2012）。

2) 技术标准和导则

- 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）；
- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）；
- 《环境空气质量标准》（GB3095-2012，2018 年修改单）；
- 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
- 《海水水质标准》（GB3097-1997）；
- 《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）；

- 《密封放射源 一般要求和分级》（GB4075-2009）；
- 《爆破安全规程》（GB6722-2014）；
- 《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）；
- 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；
- 《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》（GB9132-2018）；
- 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）；
- 《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）；
- 《低、中水平放射性固体废物包安全标准》（GB12711-2018）；
- 《海洋监测规范》（GB17378-2007）；
- 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）；
- 《危险化学品重大危险源辨识》（GB18218-2018）；
- 《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）；
- 《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）；
- 《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）；
- 《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）；
- 《密封放射源的泄漏检验方法》（GB/T15849-1995）；
- 《放射性物质安全运输货包的泄漏检验》（GB/T17230-1998）；
- 《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）；
- 《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）；
- 《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）；
- 《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01）；
- 《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02）；
- 《核电厂厂址选择的外部人为事件》（HAD101/04）；
- 《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事件》（HAD101/10）；
- 《核电厂设计基准热带气旋》（HAD101/11）；
- 《核动力厂燃料装卸和贮存系统设计》（HAD102/15）；

- 《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 声环境》（HJ2.4-2021）；
- 《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022）；
- 《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ24-2020）；
- 《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）；
- 《生态环境状况评价技术规范》（HJ192-2015）；
- 《水质采样 样品的保存和管理技术规定》（HJ493-2009）；
- 《水质 采样技术指导》（HJ494-2009）；
- 《水质 采样方案设计技术规定》（HJ495-2009）；
- 《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ610-2016）；
- 《环境影响评价技术导则 核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ808-2016）；
- 《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）；
- 《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）；
- 《核电厂建设项目经济评价方法》（NB/T20048-2011）；
- 《核电厂事故工况气载放射性物质释放辐射环境影响评价技术规范》（NB/T20182-2012）；
- 《滨海核电厂液态流出物辐射环境影响评价技术规范》（NB/T20199-2013）；
- 《压水堆核电厂设计基准事故源项分析准则》（NB/T20444-2017RK）；
- 《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）；
- 《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2025）；
- 《挥发性有机物排放标准 第 5 部分：表面涂装行业》（DB37/2801.5-2018）。

3) 专题报告

建设单位非常重视环境保护工作，在各阶段均开展了大量的专题研究（部分 5、6 号机组的专题成果也覆盖本工程），本报告主要依据以下专题

成果编制：

- 《山东海阳核电厂址邻近海域渔业资源调查专题报告》，2024 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（15km 范围内）报告》，2024 年 10 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 号机组工程常规气象、极端气象及工程气象参数复核报告》，2024 年 10 月；
- 《山东海阳核电厂址环境资料调查报告（3、4 号机组）》，2025 年 4 月；
- 《山东海阳核电项目 3、4 号机组陆生生态调查专题报告》，2025 年 6 月；
- 《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程厂址附近范围水文地质调查专题报告》，2025 年 2 月；
- 《山东海阳核电厂 2024 年环境质量监测报告》，2024 年 12 月；
- 《海阳核电厂环境与流出物监测年报（2024 年）》，2025 年 3 月；
- 《山东海阳核电项目 5、6 号机组液态流出物、余氯模拟复核计算成果报告》，2025 年 9 月；
- 《山东海阳核电项目 5、6 号机组温排水数值模拟复核计算成果报告》，2025 年 9 月。

1.6.3 已取得的许可文件、批复文件及其他文件

山东海阳核电项目 3、4 号机组工程已获得核准并取得建造阶段环评批复，取得的相关文件如下：

- 《国家发展改革委关于核准山东海阳核电站 3、4 号机组项目的批复》（发改能源〔2022〕743 号，2022 年 5 月 16 日）；
- 《关于山东海阳核电项目 3、4 号机组工程环境影响报告书（建造阶段）的批复》（环审〔2022〕87 号）；
- 中国民用航空华东地区管理局《关于山东海阳核电项目厂址与民用航线位置关系的复函》（民航华东航〔2022〕325 号，2022 年 11 月 9 日）；
- 山东省人民政府《山东省人民政府关于设置山东海阳核电厂规划限制区的批复》（鲁政字〔2023〕233 号，2023 年 12 月 19 日）；
- 《山东省环境保护厅关于海阳核电建设项目非放射性环评执行标准的复

函》（鲁环函〔2024〕57号）；

—《山东省生态环境厅关于调整山东海阳核电厂近岸海域环境功能区划的函》（鲁环函〔2024〕102号）；

—《海阳核电非放废水二类污染物处理工程环境影响登记表》（备案号：202537068700000039）；

—《海阳核电3、4号机组900MW供热工程环境影响登记表》（备案号：202537068700000043）。

表 1.6-1 厂址半径 10km 范围内陆域各生态环境分区管控单元									
管控单元编码	管控单元名称	分类	方位	距离 (km)	管控要求				符合性
					空间布局约束	污染物排放管控	环境风险防控	资源开发效率要求	
ZH37068720008	海阳市核电装备制造产业园重点管控单元	重点管控单元	位于该管控单元		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《山东省自然资源厅山东省生态环境厅关于加强生态保护红线管理的通知》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。 7.烟台沿海防护林地方级自然保护区执行《中华人民共和国自然保护区条例》要求、烟台小孩儿口地方级湿地公园严格按照《国家湿地公园管理办法》管理。	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。 2.提升高耗水、高污染行业清洁化发展水平；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。	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。 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。 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。	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。 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。 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。	符合。 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，符合山东省十四五规划。 本项目不占用陆域和海域的生态保护红线。 本项目可以实现环保设施“三同时”，不排放二氧化硫、氮氧化物，各类污染物处理后达标排放。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。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。 本项目不使用高污染燃料，用水由海水淡化供给，生活污水处理后优先纳管排入城镇污水处理厂，并保留绿化回用功能，不会对厂址周围海域环境造成影响。本项目不会对烟台沿海防护林地方级自然保护区和烟台小孩儿口地方级湿地公园造成影响。
ZH37068710004	留格庄镇优先保护单元	优先保护单元	NNW	0.7	1.生态保护红线按照《山东省自然资源厅 山东省生态环境厅关于加强生态保护红线管理的通知》要求管理。 2.一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。 3.烟台沿海防护林地方级自然保护区执行《中华人民共和国自然保护区条例》要求。 4.饮用水水源地保护区严格按照《烟台市饮用水水源保护条例》进行管理与保护。	1.海水养殖与盐场需要控制生产规模，优化产业工艺，严格控制水体污染，禁止侵蚀滩涂湿地。 2.工业集聚区内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。 3.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。	1.工业集聚区内重污染天气应急减排清单中企业制订重污染天气应急减排“一厂一策”实施方案。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。	1.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。	/
ZH37068720004	留格庄镇重点管控单元	重点管控单元	NW	4	1.生态保护红线按照《山东省自然资源厅山东省生态环境厅关于加强生态保护红线管理的通知》要求管理。 2.一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。	1.加强工业污染防治。按照石材整治方案的要求，有效治理石材废水。加快完善企业污水处理站及配套设施。 2.配套的污水集中处理设施完善前，禁止新建、改建、	1.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	1.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	/

管控单元编码	管控单元名称	分类	方位	距离 (km)	管控要求				符合性
					空间布局约束	污染物排放管控	环境风险防控	资源开发效率要求	
					3.烟台沿海防护林地方级自然保护区执行《中华人民共和国自然保护区条例》要求。	扩建排放废水项目；间接排放生产废水应满足行业排放标准相关限值要求，其他污染物应满足污水处理厂纳管要求。 3.加强留格镇河段畜禽养殖污染防治。严禁畜禽养殖场区向留格河直接排放未经处理的污水。加强种植业面源污染防治。加大农药化肥污染防治，实施农业节水、化肥减量、农药减控与废弃物资源化利用工程，推广有机肥使用。 4.海水养殖与盐场需要控制生产规模，优化产业工艺，严格控制水体污染，禁止侵蚀滩涂湿地。 5.提升高耗水、高污染行业清洁化发展水平；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。 6.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。	的环境风险。	公共机构节水型单位创建和节水宣传工作。 2.加快农副食品加工、纺织、化学原料和化学制品制造、金属冶炼、酿酒和造纸等重点行业清洁化改造任务，淘汰落后生产工艺。	
ZH37068720002	凤城街道重点管控单元	重点管控单元	W	6.6	1.生态保护红线按照《山东省自然资源厅山东省生态环境厅关于加强生态保护红线管理的通知》要求管理。 2.一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。 3.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。 4.烟台沿海防护林地方级自然保护区执行《中华人民共和国自然保护区条例》要求、山东万米海滩海洋资源国家级海洋公园执《海洋特别保护区管理办法》	1.加快完善企业污水处理厂及配套设施。 2.配套的污水集中处理设施完善前，禁止新建、改建、扩建排放废水项目；间接排放生产废水应满足行业排放标准相关限值要求，其他污染物应满足污水处理厂纳管要求。 3.矿山企业在矿山开采、选矿、运输等活动中应当采取防护措施，防止废气、废水、尾矿、矸石等污染土壤环境；矿业废物贮存设施和矿场停止使用后，采矿企业应当采取防渗漏、封场、闭库、生态修复等措施，防止污染土壤环境。	1.工业集聚区内重污染天气应急减排清单中企业制订重污染天气应急减排“一厂一策”实施方案。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。 2.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	1.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。	/

管控单元编码	管控单元名称	分类	方位	距离 (km)	管控要求				符合性
					空间布局约束	污染物排放管控	环境风险防控	资源开发效率要求	
					要求、烟台小孩儿口地方级湿地公园严格按照《国家湿地公园管理办法》管理。	4.海阳港和船舶修造厂实现船舶含油污水、化学品洗舱水、生活污水和垃圾全部收集处理。 5.海水养殖与盐场需要控制生产规模，优化产业工艺，严格控制水体污染，禁止侵蚀滩涂湿地。 6.工业集聚区内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。 7.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。 8.提升高耗水、高污染行业清洁化发展水平；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。	风险。		
ZH37108330006	乳山寨镇一般管控单元	一般管控单元	NNE	9	1.生态保护红线内原则上按禁止开发区域的要求进行管理，严禁不符合主体功能定位的各类开发活动，严禁任意改变土地用途。 2.一般生态空间内原则上按照限制开发区域管理。 3.新（改、扩）建涉气工业项目，在满足产业准入、总量控制、排放标准等管理制度要求的前提下，应大力推进项目进园、集约高效发展。 4.乳山河水源地内执行国家、省、市饮用水源地的有关规定。	1.严格执行山东省《区域性大气污染物综合排放标准》排放要求，SO ₂ 、NO _x 、烟粉尘、VOCs 排放量不得超过区域允许排放量。全面加强VOCs 污染管控。加大秸秆禁烧管控力度。 2.乳山河水源地内执行国家、省、市饮用水源地的有关规定，其他区域落实普适性治理要求，加强污染预防，保证水环境质量不降低。	1.当预测到区域将出现重污染天气时，根据预警发布，按级别启动应急响应，落实各项应急减排措施。 2.乳山河水源地内执行国家、省、市饮用水源地的有关规定。 3.对于高关注度地块，调查结果表明超过土壤污染风险管控标准的，应按照规定开展土壤污染状况调查、风险评估、风险管控和修复。	1.推进冬季清洁取暖，实现清洁能源逐步替代散煤。严防散煤复烧，对已整体完成清洁取暖改造并稳定运行的地区，依法划定为禁燃区。对暂未实施清洁取暖的地区，确保使用的散煤质量符合标准要求。 2.强化水资源消耗总量和强度双控行动，实行最严格的水资源管理制度。鼓励和支持使用雨水、再生水、海水等非常规水，并纳入水资源统一配置，优化用水结构。	/
ZH37108310001	山东崂嵎山国家森林公园 优先保护单元	优先保护单元	NNE	9.7	1.公园内的建设项目应当符合总体规划的要求，其选址、规模、风格和色彩等应当与周边景观与环境相协调，相应的	1.水环境保护：加强基础设施建设，实行雨污分流，污水排入处理系统进行统一处	1.公园管理机构应当在危险地段设置安全防护设施和安全警示	1.保护区内严禁乱开、乱采矿产资源。 2.加强森林公园内森林、林	/

管控单元编码	管控单元名称	分类	方位	距离 (km)	管控要求				符合性
					空间布局约束	污染物排放管控	环境风险防控	资源开发效率要求	
					<p>废水、废物处理和消防设施应当同时设计、同时施工、同时使用。公园内已建或者在建的项目不符合总体规划要求的，应当按照总体规划逐步进行改造、拆除或者迁出。在公园内进行建设活动的，应当采取措施保护景观和环境；施工结束后，应当及时整理场地，美化绿化环境。</p> <p>2.严格控制建设项目使用公园林地，因保护森林及其他风景资源、建设森林防火设施和林业生态文化示范基地、保障游客安全等直接为林业生产服务的工程设施除外。建设项目确需使用公园林地的，应避免或者减少对森林景观、生态以及旅游活动的影响，并依法办理林地占用、征收审核审批手续。建设项目可能对公园景观和生态造成较大影响或者导致森林风景资源质量明显降低的，应在取得公园撤销或改变经营范围的行政许可后，依法办理林地占用、征收审核审批手续。</p> <p>3.在公园内禁止从事下列活动：擅自采折、采挖花草、树木、药材等植物；非法猎捕、杀害野生动物；刻划、污损树木、岩石和文物古迹及葬坟；损毁或者擅自移动园内设施；未经处理直接排放生活污水和超标准的废水、废气，乱倒垃圾、废渣、废物及其他污染物；在非指定的吸烟区吸烟和在非指定区域野外用火、焚烧香蜡纸烛、燃放烟花爆竹；擅自摆摊设点、兜售物品；擅自围、填、堵、截自然水系；法律、法规、规章禁止的其他活动。</p> <p>4.公园管理机构应当引导公园内及周边的居民发展具有地方特色的、无污染的种植、养殖和林副产品加工业，鼓励其从事与森林公园相关的资源管护和旅游接待等活动。</p> <p>5.公园管理机构应当根据总体规划确定的游客容量组织安排旅游活动，不得超过最大游客容量接待旅游者。</p>	<p>理，雨水经过生物过滤后直接排入水体。</p> <p>2.大气环境保护：尽量减少交通扬尘、烟尘、颗粒物的排放，园区旅游交通工具以无污染的绿色能源车辆为主，硬化旅游公路以减少汽车引起的尘土，临近环山公路、进山公路区域种植绿化带，培植具有净化空气、滞尘吸气的树种。进入国家级森林公园的交通工具，应当按照规定路线行驶，并在指定地点停放。</p> <p>3.声环境保护：严格控制燃放鞭炮、燃香烧纸造成的空气污染，未经有关部门批准禁止使用大功率的广播喇叭和宣传车。</p> <p>4.固体废弃物处理：在园区主要游览线路和游客集中地段，根据游客分布情况设垃圾收集箱集中处理。</p>	标识，制定突发事件应急预案。	<p>木的保护、培育和管理。因提高森林风景资源质量或者开展森林生态旅游的需要，可以对公园内的林木进行抚育和更新性质的采伐。</p> <p>3.公园管理机构应当对森林公园内的森林风景资源和生物多样性进行调查，建立保护管理档案，并制定相应的保护措施。同时应当加强对重要森林风景资源的监测，必要时可以划定重点保护区域。此外，应当严格保护森林公园内的天然林、珍贵树木，培育具有地方特色的风景林木，保持当地森林景观优势特征，提高森林风景资源的游览、观赏和科普价值。</p>	

表 1.6-2 排水口半径 15km 范围内海域各生态环境分区管控单元

管控单元编码	管控单元名称	分类	方位	距离 (km)	管控要求				符合性
					空间布局约束	污染物排放管控	环境风险防控	资源开发效率要求	
HY37060020003	海阳临港工矿通信用海区 重点管控单元	重点管控单元	位于该管控单元		1.1 除省级重点工程项目外，严格限制高耗能、高污染和资源消耗型工业项目用海。减少对海洋水动力环境、岸滩及海底地形地貌的影响，防止海岸侵蚀。禁止在海洋保护区、侵蚀岸段、防护林带毗邻海域开采海砂等固体矿产资源，防止海砂开采破坏重要水产种质资源产卵场、索饵场和越冬场。	2.1 加强环境治理及动态监测，严格实行污水达标排放。实行陆源污染物入海总量控制，进行减排防治。优化围填海海岸景观设计，按要求开展围填海项目生态保护修复工作。	3.1 新建石化等危险化学品项目应远离人口密集的城镇；严格执行海洋油气勘探、开采中的环境管理要求，防范海上溢油等海洋环境突发污染事件。	4.1 合理控制规模，提高海域空间资源的整体使用效能。	符合。 本项目为省级重点工程，不属于高耗能、高污染和资源消耗型项目。 山东海阳核电厂取水明渠一次建成；本期工程将排水明渠导流堤继续向西南深水区方向延伸，对周边海域冲淤环境整体影响较小。 本项目不占用海域生态保护红线，不涉及海砂等资源开采。 本项目设置污水处理设施及监测设施，生活污水处理后优先纳管并保留绿化回用功能，生产废水处理达标排放。 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。 海阳核电厂一次规划分期建设，建设规模合理。
HY37060030031	海阳南部近海渔业用海区 一般管控单元	一般管控单元	S	3	/	2.1 加强海洋环境监测和综合治理，防治渔港和养殖废水污染。加强渔业资源养护，合理控制海水养殖密度，防止海域富营养化。	/	/	/
HY37060020012	海阳港交通运输用海区重点管控单元	重点管控单元	W	0.4	1.1 合理控制港口建设规模和节奏。港口建设应减少对海洋水动力环境、岸滩及海底地形地貌的影响，防止海岸侵蚀。	2.1 港口区执行不劣于四类海水水质标准。航道、锚地和邻近水生野生动植物保护区、水产种质资源保护区等海洋生态敏感区的港口区执行不劣于现状海水水质标准。	/	/	/
HY37060010036	海阳海岸防护物理防护极重要区生态保护区优先保护单元	优先保护单元	ENE	12.2	1.1 严格禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规前提下，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。	2.1 实施河口实行陆源污染物入海总量控制。	/	/	/

管控单元编码	管控单元名称	分类	方位	距离 (km)	管控要求				符合性
					空间布局约束	污染物排放管控	环境风险防控	资源开发效率要求	
HY37060010004	烟台海阳万米海滩海岸侵蚀极脆弱区优先保护单元	优先保护单元	W	12	1.1 严格禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规前提下，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。在不影响砂质海岸保护前提下，可适度进行生态旅游开发。	2.1 保护周边海域环境，杜绝影响本海域的点源污染，废水、污水、直排口必须达标排放。加强海洋环境质量的监测，河口实行陆源污染物入海总量控制，进行减排防治。	/	/	/
HY37060030001	海阳西南部万米海滩游憩用海区一般管控单元	一般管控单元	W	14.7	1.1 旅游休闲娱乐区开发建设要合理控制规模；禁止非公益性设施占用公共旅游资源。	2.1 严格落实生态环境保护措施。	/	/	/
HY37100020053	文登-乳山养殖区重点管控单元	重点管控单元	ENE	10	1.1 严格限制改变海域自然属性，鼓励开放式用海，控制养殖强度。	2.1 排放尾水应符合《海水养殖尾水排放标准》（DB37 4676）的相应要求。 2.2 严禁在水产养殖中使用硝基呋喃类、孔雀石绿等国家禁用药及其化合物。	3.1 加强渔业资源养护，控制养殖密度。保障河口行洪安全。保护生物多样性。 3.2 加强海洋环境质量的监测。	/	/
HY37100010044	威海乳山滨海湿地重要滩涂及浅海水域生态保护	优先保护单元	N	10.5	1.1 禁止围填海、截断洄游通道、水下施工等破坏区域生态系统功能的用海活动。	2.1 禁止排污、倾倒等不利于环境保护与资源恢复行为，保护海洋生物资源的生存环境不受破坏。	3.1 加强渔业资源养护，控制捕捞强度。维持和改善区内海洋和海岛生态环境和生物多样性。	/	/
HY37100020005	大乳山文体休闲娱乐区重点管控单元	重点管控单元	ENE	10.7	1.1 允许建设旅游基础设施，严格控制岸线附近的景区建设工程；严格控制占用岸线、沙滩和沿海防护林。	2.1 妥善处理生活垃圾，避免破坏海洋生态。	3.1 不应破坏自然景观，严格控制占用海岸线、沙滩和沿海防护林的建设项目和人工设施。	4.1 合理控制旅游开发强度，严格蓝线、绿线管理，妥善保护沙滩岩礁岸线和山体、河流、湿地等生态资源。	/
HY37100030044	乳山口养殖区一般管控单元	一般管控单元	ENE	12.3	1.1 严格限制改变海域自然属性，鼓励开放式用海，控制养殖强度。	2.1 排放尾水应符合《海水养殖尾水排放标准》（DB37 4676）的相应要求。 2.2 严禁在水产养殖中使用硝基呋喃类、孔雀石绿等国家禁用药及其化合物。	3.1 加强渔业资源养护，控制养殖密度。保障河口行洪安全。保护生物多样性。 3.2 加强海洋环境质量的监测。	/	/

表 1.6-3 本工程与留格庄镇优先保护单元的管控要求相符性分析表

管控 维度	管控要求	本项目施工期影响	本项目运行期影响	相符性
空间布局 约束	1.生态保护红线按照《山东省自然资源厅山东省生态环境厅关于加强生态保护红线管理的通知》要求管理。 2.一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。 3.烟台沿海防护林地方级自然保护区执行《中华人民共和国自然保护区条例》要求。 4.饮用水水源地保护区严格按照《烟台市饮用水水源保护条例》进行管理与保护。	1.本项目不位于此单元内，不占用陆域和海域的生态保护红线。 2.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，符合山东省十四五规划，规划限制区依据《山东省人民政府关于设置山东海阳核电厂规划限制区的批复》（鲁政字【2023】233号）。 3.本项目不占用烟台沿海防护林地方级自然保护区。 4.施工期产生的生活污水和生产废水均妥善处置，不排入大海，也不会对周围地表水产生不利影响；调试期废水处理达标排放入大海。施工期间对饮用水水源地保护区无影响。	1.本项目不位于此单元内，不占用陆域和海域的生态保护红线。 2.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，符合山东省十四五规划，规划限制区依据《山东省人民政府关于设置山东海阳核电厂规划限制区的批复》（鲁政字〔2023〕233号）。 3.本项目不占用烟台沿海防护林地方级自然保护区。 4.本项目不使用高污染燃料，用水由海水淡化供给。本项目接纳水体为黄海，运行期产生的液态流出物排放对饮用水水源地保护区无影响。生活污水处理后优先纳管排入城镇污水处理厂，并保留绿化回用功能。非放生产废水处理达标后排入大海。本项目运行期对饮用水水源地保护区无影响。	相符
污染物排放 管控	1.海水养殖与盐场需要控制生产规模，优化产业工艺，严格控制水体污染，禁止侵蚀滩涂湿地。 2.工业集聚区内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。 3.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。	1.本项目不占用滩涂湿地，施工期产生的各类废水均得到妥善处理，不会对留格庄镇优先保护单元的水体产生影响。 2.施工期主要产生扬尘等，严格落实大气污染物达标排放、施工期环境监测等环保制度。 3.施工期厂界大气污染物、噪声均符合相关标准，不会对留格庄镇优先保护单元造成不良影响。	1.本项目不占用滩涂湿地。运行期液态流出物及非放生产废水经处理后达标排放，生活污水部分处理后回用、部分纳管排入城镇污水处理厂，不会留格庄镇优先保护单元的水体造成影响。 2.运行期不排放二氧化硫、氮氧化物、VOCs等大气污染物。 3.严格落实环保设施“三同时”、在线监测、排污许可等环保制度。 4.运行期厂界噪声达标排放，不会对留格庄镇优先保护单元造成不良影响。	相符
环境风险 防控	1.工业集聚区内重污染天气应急减排清单中企业制订重污染天气应急减排“一厂一策”实施方案。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。	1.施工期已制定相应的保护环境措施和监督管理办法、突发环境事件应急预案。 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。	1.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，并定期开展各类应急演练，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。 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。	相符
资源开发 效率要求	1.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。 2.加快农副食品加工、纺织、化学原料和化学制品制造、金属冶炼、酿酒和造纸等重点行业清洁化改造任务，淘汰落后生产工艺。	1、本项目不位于此单元内，在施工过程中节约水资源、施工生产废水处理回用。 2、施工期不涉及落后生产工艺。	1、本项目不位于此单元内，在运行过程中常采用海水淡化，节约淡水资源，部分生活污水处理回用。 2、核电为清洁能源，不涉及落后生产工艺。	相符

表 1.6-4 近岸海域环境功能区拟调整范围表

单元代码	单元名称	面积（平方公里）	功能代码	水质目标	生态保护要求
SD266C III	海阳临港工矿通信三类功能区	92.091	C	III	保护河口生态系统、砂质海岸、海岛生态系统和近岸海洋生态环境，维持海洋水动力环境条件稳定。
SD267H	海阳核电（一）混合区	12.206	H	-	
SD268H	海阳核电（二）混合区	0.646	H	-	

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》（GB6249-2025）6.1 条款的规定，任何场址的所有核动力堆向环境释放的放射性核素对公众中任何个人造成的有效剂量，每年不得超过 0.25mSv。

根据海阳核电厂一期工程环评报告，山东海阳核电厂 1~2 号 2 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 0.08mSv/a。考虑到全厂规划及前期工程评价情况，本工程两台机组向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量需小于 0.08mSv/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》（GB6249-2025）7.2 条款的规定，在发生一次稀有事故时，非居住区边界上公众在事故后任意 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 50mSv 以下；在发生一次极限事故时，非居住区边界上公众在事故后任意 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 100mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 1000mSv 以下。

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》（GB6249-2025）的规定：对于受纳水体为海洋的核动力场址，其槽式排放出口处的液态流出物中氚的活度浓度不应超过 $3 \times 10^7 \text{Bq/L}$ ，碳-14 的活度浓度不应超过 $3 \times 10^3 \text{Bq/L}$ ，除氚、碳-14 外其他放射性核素总活度浓度不应超过 1000Bq/L，各核素活度浓度应满足附录 D 的如下要求：

放射性核素	推荐值（Bq/L）	放射性核素	推荐值（Bq/L）
⁵⁵ Fe	190	¹⁰⁶ Ru	45
⁶³ Ni	90	^{110m} Ag	70
⁹⁰ Sr	10	¹²⁴ Sb	20
⁵¹ Cr	40	¹²⁵ Sb	60
⁵⁴ Mn	15	¹³⁴ Cs	20

^{58}Co	200	^{137}Cs	30
^{59}Fe	10	^{131}I	10
^{60}Co	120	^{133}I	10
^{65}Zn	10		

注： ^{55}Fe 、 ^{63}Ni 和 ^{90}Sr 等难测核素排放前的活度浓度合理估值应低于推荐值，在留样测量中进行复核。不同放射性核素之间的浓度推荐值可根据其裂变能量比值进行适当调整，但除氚和碳 14 以外其他总活度浓度不应超过 1000Bq/L。

考虑到一期工程流出物排放浓度申请值为 900Bq/L，本工程槽式排放口处液态流出物除氚和碳 14 外放射性活度浓度申请值也为 900Bq/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》（GB6249-2025）6.2 款规定，核动力厂必须按每堆实施流出物年排放总量的控制，对于 3000MW 热功率的轻水堆，流出物控制值如下：

气态流出物：

惰性气体：1E+14Bq/a，碘：3E+09 Bq/a，粒子（半衰期 $\geq 8\text{d}$ ）：9E+09 Bq/a，
碳 14：7E+11 Bq/a，氚：1.5E+13 Bq/a。

液态流出物：

氚：7.5E+13 Bq/a，碳 14：1.5E+11 Bq/a，其他核素：9E+09 Bq/a。

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）6.3 款还规定，对于多堆场址，所有反应堆的流出物年排放总量为：

气态流出物：

惰性气体：6E+14Bq/a，碘：2E+10 Bq/a，粒子（半衰期 $\geq 8\text{d}$ ）：5E+10 Bq/a，

碳 14: $2.8\text{E}+12$ Bq/a, 氚: $6\text{E}+13$ Bq/a。

液态流出物:

氚: $3\text{E}+14$ Bq/a, 碳 14: $6\text{E}+11$ Bq/a, 其他核素: $5\text{E}+10$ Bq/a。

本工程单机组以及山东海阳核电厂 1~4 号机组在正常运行工况下气态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, 本工程单机组以及山东海阳核电厂 1~4 号核电机组流出物均满足相应控制值要求。

本工程将设计排放量作为流出物申请值。

1.7.2 与非放射性有关的环境影响评价标准

根据《山东省环境保护厅关于海阳核电建设项目非放射性环评执行标准的复函》(鲁环函〔2024〕57 号)、《山东省生态环境厅关于调整山东海阳核电厂近岸海域环境功能区划的函》(鲁环函〔2024〕102 号), 同时参考海阳核电厂一期工程的执行标准, 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

核电厂施工期大气污染物无组织排放执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)表 2 中无组织排放监控浓度限值标准。

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》(DB37/3416.5-2025)中的一级排放标准。标准指标为: pH: 6~9; 悬浮物: 20mg/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。

生活污水处理后优先纳管排入城镇污水处理厂, 并保留绿化回用功能。回用部分执行《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 ≤ 30 铂钴色度单位; 浊度 $\leq 10\text{NTU}$; $\text{BOD}_5 \leq 10\text{mg/L}$; 氨氮 $\leq 8\text{mg/L}$; 阴离子表面活性剂 $\leq 0.5\text{mg/L}$; 溶解氧 ≥ 2.0 mg/L; 溶解性固体 ≤ 1000 mg/L; 大肠埃希氏菌: 不应检出。纳管部分执行《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T31962-2015)

中的B级标准，控制指标为氨氮 $\leq 45\text{mg/L}$ ；总氮 $\leq 70\text{mg/L}$ 和总磷 $\leq 8\text{mg/L}$ 。

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3类标准：昼间65dB（A）、夜间55dB（A）。

周边居民点噪声执行《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3类标准：昼间65dB（A）、夜间55dB（A）。

⑦固体废物

固体废物按照《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020年9月1日）以及《山东省固体废物污染环境防治条例》（2023）的要求进行管理；危险废物还应满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）的有关要求。

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 本工程单机组排放量申请值及山东海阳核电厂 1~4 号核电机组正常运行工况下的排放量申请值（Bq/a）

a) 单机组排放量

设计值 项目	气态流出物					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
本工程单机组排放量申请值	6.70E+13	1.45E+09	3.36E+09	3.94E+11	5.01E+12	4.51E+13	2.63E+10	5.82E+09
GB6249-2025 单堆控制值	1.00E+14	3.00E+09	9.00E+09	7.00E+11	1.70E+13	7.50E+13	1.50E+11	9.00E+09
单机组排放量申请值占控制值的比例	67.00%	48.33%	37.33%	56.29%	29.47%	60.13%	17.53%	64.67%

b) 1~4 号机组总排放量

设计值 项目	气态流出物					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
1~4 号核电机组总排放量申请值	2.68E+14	6.90E+09	1.27E+10	1.43E+12	1.95E+13	1.75E+14	1.24E+11	2.28E+10
GB6249-2025 规定全厂排放量	6.00E+14	2.00E+10	5.00E+10	2.80E+12	6.00E+13	3.00E+14	6.00E+11	5.00E+10
1~4 号核电机组排放量申请值占 GB6249-2025 控制值的比例	44.67%	34.50%	25.44%	51.00%	32.47%	58.47%	20.60%	45.60%

1.8 工程组成

山东海阳核电厂 3、4 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、非放废水二类污染物处理厂房、生活污水处理设施、应急指挥中心、环境监测站、550kV 开关站、综合检修厂房、综合实验室等，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。

1~4 号机组取水工程以明渠方式从厂址南面取水，已按 6 台机组容量在一期工程时一次性建成。1~4 号机组排水工程以明渠方式从厂址西侧排放，排水明渠已在一期工程时一次性建成，本期进行改造。在一期工程已建排水明渠基础上南北堤同步向 SSW 方向延伸，北堤延长约 550m，南堤延长约 530m。目前排水明渠改造已完成。

配套工程依托前期工程进行，进场道路、应急道路、重件码头、220kV 变电站、放射源库等均已建设完毕。

另外针对非放废水二类污染物处理厂房，建设单位已填报环境影响登记表，备案号 202537068700000039，本报告将纳入该登记表的相关结论。该子项为全厂共用子项，初步预计 2026 年 12 月投产，满足本工程三同时要求。

3、4 号机组 900MW 供热工程的环评单独开展，建设单位已填报环境影响登记表并备案，备案号 202537068700000043，本报告不再对供热工程进行评价。

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、输送和贮存处置正常运行及预期运行事件下产生的放射性废液，液态流出物贮罐系统（LES）设计用于接收和贮存来自核岛（WLS）和厂址废物处理设施（SRTF）的废液，并对废液进行混匀、取样和监测排放。处理后的液态流出物槽式排放口处活度浓度和年排放总量符合国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）规定的限值。放射性气体废物处理系统（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，使电厂气态流出物的放射性释放量低于《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）规定的限值。放射性固体废物处理系统（WSS）用于收集和暂存正常运行以及预期运行事件产生的废树脂、深床过滤器过滤介质、活性炭、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，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。生产废水经处理后达标排放。核电厂产生的生活污水部分纳管排入城镇污水处理厂，部分由生活污水处理设施处理达标后回用，生活污水处理产生的污泥量极少，建设单位定期委托有资质单位外运处理。在核电厂非控制区及附属、辅助区产生的生活垃圾应按规定收集暂存并委托有资质单位外运处理。

运行期间产生的危险废物主要在全厂共用的危废暂存库内存放，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

根据《环境影响评价技术导则 核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ808-2016），本次评价中辐射环境影响评价的范围为以3号反应堆为中心、半径80km范围内的区域，包括气态和液态流出物排放对80km范围内公众的辐射影响。

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

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025），海水评价范围为排水温升 0.5℃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。

- 电磁辐射

根据《环境影响评价技术导则 输变电》（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

根据《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022）、《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025），本次评价范围主要为受影响的核电厂永久占地范围、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。

1.11 环境影响报告书批复的落实情况

本工程建造阶段环评已于 2022 年 6 月 21 日取得生态环境部的批复（《关于山东海阳核电厂 3、4 号机组工程环境影响报告书（建造阶段）的批复》，环审〔2022〕87 号）。批复中同意按照报告书所列建设项目的性质、规模、地点以及采取的环境保护措施开展下一阶段工作。

此外批复要求：在工程建造阶段及今后一个时期应进一步明确放射性固体废物的最终去向和处置方案，确保本项目放射性固体废物的安全处置。建设项目应严格执行配套建设的环境保护措施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的环境保护“三同时”制度。

本工程严格按照批复要求开展施工建设工作，已经确定低放废物的去向（参见后文 4.6 节），并将继续跟踪乏燃料的处置方案，确保各类放射性固体废物得

到安全处置；本工程可以实现环保措施“三同时”。

在建造阶段环评报告审查过程中主要承诺项以及落实情况参见表 1.11-1。

表 1.11-1 建造阶段承诺项以及落实情况

序号	审评问题	承诺内容/批复意见	进展情况
1	2.4 节, 请补充最近几年的极端气象的复核结果	目前, 极端气象参数的复核数据截止到 2018 年度, 后面未开展复核工作。2018 年到现在, 海阳核电厂厂址区域(极端气象设计基准评价范围内)未发生超过或接近设计基准的极端天气。后续在发生极端气象天气, 超过或接近设计基准时, 将开展极端气象参数的复核工作。	本阶段数据已更新至 2022 年, 通过设计基准值复核, 更新了百年一遇最低气温, 详见 2.4 节
2	请进一步开展源项分析工作。	本工程在进行二回路设计排放源项分析时, 保守假定了“二回路总的活度浓度水平为 450Bq/L", 并考虑二回路的排污流量后计算得到。该方法计算得到的二回路流出物年设计排放量是较为保守的。当前分析方案与 AP1000 依托项目运行阶段环境影响评价中审评认可的方案保持一致, 后续将结合 AP1000 依托项目运行经验反馈, 在 FSAR 阶段做进一步优化分析研究。	本阶段基于 AP1000 依托项目运行经验反馈和新标准要求, 对源项进行了整体更新
3	完善气液态流出物取样监测内容, 具备分析 Kr-85 的能力	3、4 号机组建造阶段环评中的流出物监测方案与一期工程内容一致, 海阳核电将根据一期工程运行经验, 适时开展流出物监测大纲的优化工作, 优化完成后, 相关内容在下阶段环评报告中进行完善。 目前尚无满足实验室使用的 Kr-85 成熟分析方法, 海阳核电将持续跟踪行业内 Kr-85 分析方法的开发进展情况, 适时建立分析能力。	建设单位已更新流出物监测大纲并采购 Kr-85 分析设备, 预计 2026 年 12 月前完成安装调试
4	增加废水处理厂房废水处理后监测	承诺对废水处理厂房出水进行监测, 监测项目包括 pH 和石油类。	建设单位已对一期工程开展非放废水监测
5	增加循环冷却水的温升监测	承诺对循环冷却水温升开展监测。	建设单位已对一期工程开展冷却水监测, 本期工程将参照一期工程开展

6	建议在地面站增加风向、风速的观测	在 3、4 号机组的建造阶段考虑增加地面观测站风向、风速的观测。	已列入改造计划，预计于 2026 年 3 月完成
7	批复意见	在工程建造阶段及今后一个时期应进一步明确放射性固体废物的最终去向和处置方案，确保本项目放射性固体废物的安全处置。	建设单位已确定低放废物去向，将持续跟进乏燃料处置方案

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园区，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。本项目在1、2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

山东海阳核电厂的征地工作已在一期工程时一次完成。2005年9月21日，山东核电有限公司通过原海阳市国土资源局向原烟台市国土资源局、原山东省国土资源局以及原国土资源部上报了山东海阳核电厂建设用地预审申请。原国土资源部以《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，项目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1、2号机组工程核准后，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，土地证编号是海国用（2012）第321号。

本项目3、4号机组不涉及征地和搬迁工作。3、4号机组工程所涉及土地已包括在土地证中。3、4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4号机组场地东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。

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）的要求，应在核动力厂周围设置非居住区和规划限制区。

山东海阳核电厂1~6号机组设立统一的非居住区边界和规划限制区边界。

山东海阳核电厂以征地边界作为陆域非居住区边界，以机组为中心800m范围作为海域非居住区。非居住区陆域部分在海阳核电厂的征地范围内，无常住居

民，海阳核电厂对这一区域行使有效的控制。非居住区除陆域部分外，其他均为海上区域。山东海阳核电厂和当地政府签订了协议，对征地岸线 800 米海域范围内的养殖物进行了补偿，并对养殖物进行了清理，不允许在该区域内进行养殖。

根据《山东省人民政府关于设置海阳核电厂规划限制区的批复》（鲁政字〔2023〕233 号），确定山东海阳核电厂 1-6 号机组周围半径 5km（以每台机组反应堆为中心）为规划限制区。



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 3 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 2023 年底，厂址半径 5km 范围内的总人口为 6310 人，按陆域面积计算，平均人口密度为 376 人/km²，低于山东省同期平均人口密度（641 人/km²）。

厂址半径 5km 范围内共有 1 所小学，2 所幼儿园，1 家卫生服务中心和 7 家企事业单位。厂址半径 5km 范围内人口集中地区主要为居民点住宅区、学校、卫生服务中心、企业等，无旅游景点。

厂址半径 5km 范围内无 1 万人以上的人口集中地区。

与 3、4 号机组建造阶段环评相比，厂址附近居民点数量不变，厂址半径 5km 范围内的总户籍人口数减少。

2.2.1.1.2 流动人口

2023 年，厂址半径 5km 范围内共有流入人口 6937 人，流入人口主要为核电务工人员。共有流出人口 135 人。

2.2.1.2 厂址半径 10km 范围内的人口情况

截止 2023 年底，厂址半径 10km 范围内共有常住人口 34798 人。厂址半径 10km 范围内不存在 10 万人以上的城镇。结合当地发展规划，厂址半径 10km 范围内规划无超过 10 万人的居民集中居住区。

厂址半径 10km 范围内公共设施有关情况如下：

厂址半径 10km 范围内有 2 所小学，1 所中学，6 所幼儿园。

厂址半径 10km 范围内有 1 家卫生院和 1 家卫生服务中心。

厂址半径 10km 范围内有 2 家养老院和 1 家幸福院。

厂址半径 10km 范围内无监狱。

厂址半径 10km 范围内主要有 19 家工业企业（不包括山东核电有限公司）。厂址半径 10km 范围内无大型企事业单位。

根据当地规划，厂址半径 10km 范围内不会出现 10 万人以上居民集中住区。

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 115 个行政村，共 83738 人，陆域平均人口密度为 317 人/km²。

厂址半径 15km 范围内共有 22 个千人以上的行政村。

与 3、4 号机组建造阶段环评相比，千人以上行政村数量减少，本次调查的常住人口少于前次调查的户籍人口。

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、核电装备制造工业园区。其中留格庄镇、核电装备制造工业园区的流动人口主要是外来务工人员，大多在当地的企业中打工，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））。

2023 年，凤城街道流入人口约 1700 人，留格庄镇流入人口 504 人，核电装备制造工业园区流入人口 6937 人。

厂址 W 方位约 11~17.5km 处的海阳旅游度假区为全国首批国家级旅游度假区，2023 年海阳旅游度假区接待总人次 323.3 万人次，最大客流量出现在暑期，日均 2 万人左右。厂址 NE 方位约 10km 处的海阳大秧歌·琵琶岛影视文化旅游基地，2023 年接待总人次约 1.2 万人次，最大客流量出现在春节期间，日均 300 人左右。厂址 E~NE 方位约 9.5km 处的大乳山滨海旅游度假区，2023 年接待总人次约 10 万人次，最大客流量出现在 5 月~10 月旺季期间，旅游人数约 1200 人次/天。现有旅游景点及旅游规划景点均位于规划限制区范围之外（规划情况参见 2.3.1.1.4 节），预计不会导致人口机械增长，后续建设单位将持续关注厂址附近旅游人口变化情况。

2.2.2 厂址半径 80km 范围内的人口分布

2.2.2.1 厂址半径 80km 范围内的现有人口分布

厂址半径 80km 范围内涉及了烟台市所辖的莱山区、昆嵛区、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。

截至 2023 年底，厂址半径 80km 范围内的常住人口数为 3583282 人。按厂址半径 80km 范围的陆域面积计算，平均人口密度 358 人/km²，远低于山东省同期平均常住人口密度 641 人/km²，低于烟台市同期平均常住人口密度 505 人/km²。

表 2.2-1 给出了厂址半径 5km、15km、80km 范围内人口总数及人口密度值。

厂址半径 80km 范围内城镇人口超过万人的人口中心有 35 个，超过 10 万人以上的人口中心有 4 个。

与 3、4 号机组建造阶段环评相比，本次调查的常住人口少于前次调查的户籍人口。

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 3、4 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）。3 号机组计划于 2027 年具备商运条件；4 号机组与 3 号机组开工建设的时间间隔为 10 个月，计划于 2028 年具备商运条件。机组的设计寿期为 60 年。由此推算 3 号机组运行第一年（2027 年）以及寿期内每隔 10 年即 2037 年、2047 年、2057 年、2067 年、2077 年和 2087 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。

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)
N ₀ ~各子区域 2023 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 2027 年的人口为 3661443 人，2037 年的人口为 3772387 人，2047 年、2057 年、2067 年、2077 年、2087 年的人口均为 3808231 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 0.47%；

1~7 岁 占 12.71%；
8~17 岁 占 3.90%；
18 岁以上 占 82.93%。

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 2.2-2 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。

2.2.3.2 居民的饮食习惯

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，基本上是当地生产当地消费。

根据 2024 年山东省统计年鉴（2023 年数据），厂址半径 80km 范围内一般公众（成人）的年食物消费量见表 2.2-3。

厂址半径 80km 范围内各年龄组人群食物消费量结果采用 5km 范围内各年龄组居民食谱消费量结合 2024 年山东省统计年鉴推算给出，见表 2.2-4。

表 2.2-1 厂址半径 5km、15km、80km 范围内人口总数及人口密度值
单位：人口（人）；面积（km²）；人口密度（人/km²）

范围	总面积	陆域面积	陆域面积比例	人口	人口密度
5km	78.5	16.8	21.4%	6310	376
15km	706.5	263.9	37.3%	83738	317
80km	20106.2	10018.1	49.8%	3583282	358

表 2.2-2 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%
≥18 岁	85.69%	86.28%	82.01%	87.65%	85.34%

表 2.2-3 厂址半径 80km 范围居民（成人）个人年食物消费量（2023 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	143.0	99.7	77.1	43.5	25.5	12.0	10.4	8.8
	城镇	115.7	113	88.5	46.7	24.9	18.8	18.8	7.2

表 2.2-4 厂址半径 80km 范围内不同年龄组人群食物消费量

(单位: kg/人•年)

居民类型	年龄组	粮食	蔬菜	肉类	蛋类	水产品	水果	奶类
城镇	婴儿	24.6	16.7	6.4	26.7	1.4	24.0	121.8
	儿童	55.3	41.6	21.2	18.4	5.0	45.4	66.8
	青少年	96.8	75.7	31.7	25.1	6.5	63.7	39.3
	成人	143	99.7	43.5	25.5	10.4	77.1	18.8
农村	婴儿	19.9	18.9	6.9	26.0	2.5	27.6	77.8
	儿童	44.8	47.1	22.7	17.9	9.0	52.2	42.7
	青少年	78.4	85.8	34.1	24.5	11.8	73.1	25.1
	成人	115.7	113	46.7	24.9	18.8	88.5	12

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工业用地，厂址区域规划为工业发展区。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 范围以水浇地占比最高，占 18.37%，其次为旱地，占比 17.91%，再次为沿海滩涂用地，占比 9.97%。

距厂址最近的基本农田位于厂址 NNW 方位约 2.4km。

与 3、4 号机组建造阶段环评相比，厂址土地利用性质没有变化，建造阶段厂址半径 5km 范围内没有基本农田保护区。

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、6 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，位于厂址 5km 外，为清代文物保护单位。

2.3.1.1.4 风景旅游区

厂址半径 10km 内有 2 处风景旅游区，分别为海阳大秧歌·琵琶岛影视文化旅游基地（位于厂址 NE 约 10.0km 处）和大乳山滨海旅游度假区（位于厂址 E~

NE 方位约 9.5km 处)。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 方位约 11~17.5km 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。

其中位于厂址半径 15km 范围内的旅游景点有:海阳万米海滩浴场、海阳国际沙雕艺术公园、凤翔滩休闲度假景区和海立方欢乐水世界。

海阳万米海滩浴场,其最近处位于厂址 W 方位约 13km 处,万米海滩曲折绵延,海滩底质全部为沙质,是天然的海水浴场。

海阳国际沙雕艺术公园,位于厂址 W 方位约 14.5km 处,是中国北方最大的以沙雕艺术为主题的公园。

海立方欢乐水世界,位于厂址 W 方位约 13km 处,西邻海阳万米海滩浴场,项目总投资 15 亿元,集水上乐园、度假酒店、商业区、生活配套区为一体。

凤翔滩景区位于厂址 W 方位约 14km 处,西邻国际沙雕艺术公园,东邻万米海水浴场,东西海岸线长大约 700m,占地 9.87 公顷。

2) 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为国家 AAA 级旅游景区,位于厂址 NE 约 10.0km 处。基地目前占地 33.33 公顷,规划占地 200 公顷。拥有影视基地、精品民宿、旅游景区等多个项目,是集影视拍摄、中医颐养、红色旅游、爱国主义教育、写生拍客、休闲度假、非遗民宿、观光为一体的大型综合旅游区。

3) 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 9.5km 处,在乳山市海阳所镇境内。度假区总面积 60km²,其中陆地面积 23km²,海洋面积 37km²。

厂址半径 15km 内风景旅游区的规划情况如下:

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。

厂址半径 10km 范围内陆域主要涉及云端海岸集群景区,规划距厂址最近的景点位于厂址 NE 方位约 8.8km 处。

2) 乳山市旅游发展规划

根据《乳山市国土空间总体规划（2021-2035 年）》（2024.12），乳山市规划打造两河流域特色产业带、西部环山路沿线现代农业集群产业带、滨海旅游路沿线现代农业与旅游产业一体化发展产业带，发展乡村旅游、文化创意和特色产业。

厂址半径 10km 范围内乳山所辖区域涉及大乳山国家级海洋公园。大乳山国家级海洋公园，位于厂址 E~NE 方位约 9.5km 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。

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，位于烟台市沿海区域，最近处位于厂址 WNW 方位约 2.3km。

2.3.1.1.6 国土空间规划及生态保护红线

根据《海阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》（2024.02），厂址和排水口不占用生态保护红线。

厂址半径 10km 范围内陆域生态保护红线的分布情况如下：

胶东丘陵生物多样性维护生态保护红线，最近处位于厂址 WNW 方位约 2.3km；该红线还涉及乳山区域，乳山市胶东丘陵生物多样性维护保护红线，最近处位于厂址 NNE 方位约 9.7km。

排水口半径 15km 范围内海域生态保护红线的分布情况如下：

海阳海岸防护物理防护极重要区生态保护红线，最近处位于排水口 NE 方位约 12.4km；烟台海阳万米海滩海岸侵蚀极脆弱区生态保护红线，最近处位于排水口 W 方位约 12km；威海乳山滨海湿地重要滩涂及浅海水域生态保护红线，最近处位于排水口 E 方位约 10.5km。

根据《海阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》（2024.02），全市划定生态保护红线主要包括丁字湾湿地重要滩涂及浅海水域、海阳海岸防护物理防护极重要区、胶东丘陵生物多样性维护区、千里岩特别保护海岛以及烟台海阳万米海滩海岸侵蚀极脆弱区等区域。生态保护红线内自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动。生态保护红线内自然保护地核心保护区外，禁止开发性、生产性建设活动，在符合法律法规的前提下，仅允许部分对生态功能不造成破坏的有限人为

活动。允许的有限人为活动之外，确需占用生态保护红线的国家重大项目，按照相关规定办理用地用海用岛审批。生态保护红线内自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区等区域，依照法律法规执行。如上级相关部门发布生态保护红线最新管控要求，须依据最新要求执行。

根据《乳山市国土空间总体规划（2021-2035 年）》（2024.12），全市划定生态保护红线主要包括胶东丘陵生物多样性维护生态保护红线，崂嵎山等区域。乳山市严格生态保护红线管控，维护生态安全。生态保护红线内禁止开发性、生产性建设活动，在符合法律法规的前提下，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。

根据上述规划，本项目不占用生态保护红线，满足生态保护红线的管控要求。

2.3.1.1.7 环境管控单元

根据《烟台市“三线一单”生态环境分区管控方案》（烟政发〔2021〕7号，2023年动态更新），本项目所在陆域及邻近海域均为重点管控单元。

本项目位于海阳市核电装备制造产业园重点管控单元，符合该单元的管控要求。

排水口位于海阳临港工矿通信用海区重点管控单元，符合该单元的管控要求。

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。海阳市市域地表水系多为发源于招虎山山脉的中小河流，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6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，位于厂址NW方位，距厂址最近距离约2.1km。留格河为独流入海河流，河流干流长度34km，流域面积

247km²，干流平均比降为 2.41%，流域多年平均降水量 734.0mm，流域多年平均径流深 212.3mm。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

距厂址最近的水库为梁家水库，位于厂址 N 方位约 6.5km。

厂址半径 15km 范围内较大的灌溉水源地为望海水库（厂址 N 方位 9km）和山口水库（厂址 NNW~N 方位 11km）。

厂址半径 10km 范围内涉及一个饮用水水源地保护区，为核电装备区望海水库饮用水源地，取水口位于厂址 N 方位约 9km。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〔2016〕67 号），望海水库饮用水源地为湖库型水库。

海阳市现有的第一、二、三水厂配水管网已经联通，其中第二水厂位于厂址半径 15km 范围内。第二水厂位于厂址 NNW 方位约 12km。

1 家自来水有限公司位于厂址 NNW 方位约 6km。

乳山市海阳所镇镇区居民用水来自乳山市第三水厂，其水源地位于厂址 15km 外。除此之外，厂址半径 15km 范围内的乳山市所属其他区域不涉及乡镇镇区，没有集中式饮用水水源地。目前各村已实现水厂全面供水。

2）厂址半径5km范围内居民用水状况

厂址半径 5km 范围内包括了 6 个村，其中 4 个村由自来水有限公司供水，2 个村自行供水，采用的供水工程为机井。

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。

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

根据《海阳市水资源保护规划》（2021-2035 年），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）。

2024 年 8 月 2 日，山东省生态环境厅发布《关于调整山东海阳核电厂近岸海域环境功能区划的函》（鲁环函〔2024〕102 号），其中核电厂西侧混合区（1~4 号机组）调整为 8.205km²，厂址南侧混合区（5、6 号机组）调整为 0.117km²，三类功能区面积调整为 87.05km²。

根据《山东省近岸海域环境功能区划（2026-2035 年）》（征求意见稿），拟调整的混合区范围为：南侧混合区面积调整为 0.646km²，比现南侧混合区增加了 0.529km²；西侧混合区面积调整为 12.206km²，比现西侧混合区增加 4.001km²。

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。

2.3.1.2.3 与建造阶段相比变化情况

与3、4号建造阶段环评相比，水体利用无明显变化。

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、蔬菜和薯类。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、葡萄等，其中以苹果为主，远销至北京、上海、江苏、湖北、广东等地。国家已将胶东地区确定为全国苹果生产优势区域。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。

2023 年海阳市粮食作物面积为 51223ha，总产量为 307104t；蔬菜面积为 7900ha，总产量为 507949t；油料作物面积为 18260ha，总产量为 85128t；果园面积为 12057ha，水果产量 490240t。

厂址半径 5km 范围内粮食、蔬菜主要由当地消费。

海阳市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 2023 年末生猪存栏有 38.76 万头，出栏有 69.32 万头；牛存栏有 1.1 万头，存栏 2.59 万只，出栏 6.24 万只；家禽存栏 564.98 万只，出栏 2796.59 万只，肉总产量 9.7 万吨，蛋产量 2.31 万吨，奶产量 0.69 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 9 种，包括赤松林、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。灌丛植被有 9 种，包括栎类、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、柞柳灌丛。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 524 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 2023 年，海阳市境内已探明资源储量的矿种 13 种（包括亚种），各类矿床（点）41 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。

目前，厂址半径 15km 范围内有一家正在开采的矿产企业，位于厂址 NNW 方位 14.9km 处。

2.3.2.4 陆生生态系统概况

中国辐射防护研究院于 2024 年 9 月、2024 年 11 月、2025 年 1 月、2025 年 4 月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、滩涂湿地处植被、水库水塘处植被、林地植被、农田植被和海岛植被。

根据实地调查，厂址半径 10km 调查区内有维管束植物 56 科 144 属 180 种。其中，裸子植物 3 科 4 属 5 种，为木本，被子植物 53 科 140 属 175 种。当地植物物种较为丰富，被子植物在调查区植物区系中占主要地位。

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，位于厂外，距厂址 NNW 方位约 1.1km；国家 II 级重点保护野生植物 1 种，为野大豆，最近位于厂址 NW 方位约 1.6km 处。未发现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 范围内实地调查时共记录到两栖动物 1 目 2 科 3 种，分别为：中华蟾蜍、黑斑侧褶蛙、中国林蛙。

中国林蛙、黑斑侧褶蛙属于山东省重点保护动物。本次调查未发现国家 I 级、II 级重点保护动物。

(2) 爬行动物

厂址半径 10km 范围实地调查共记录到爬行动物 1 目 3 科 3 种，分别为：无蹼壁虎、丽斑麻蜥、棕黑锦蛇。

本次调查未发现国家 I 级、II 级重点保护动物、山东省重点保护动物。

(3) 鸟类

厂址半径 10km 区域现场调查，共计录鸟类 16 目 41 科 93 种。其中，雀形

目种类最多，共计 21 科 40 种，其次是鸽形目 4 科 16 种，雁形目 1 科 9 种，鸛形目 1 科 7 种，鸽形目 1 科 4 种，其余各目单目种类较少。

从留居型来看，留鸟 40 种，占 35.71%，种类最多；其次是旅鸟 32 种，占 28.57%；夏候鸟 28 种，占 25.00%；冬候鸟最少，共 12 种，占 10.71%。由海阳市所处地理纬度看，应是春、秋迁徙季节的旅鸟物种多样性最丰富，这与本次实地调查结果相符合。

通过本次实地调查并结合历史资料，厂址半径 10km 范围内分布有国家 I 级重点保护鸟类 2 种，分别为东方白鹳、小青脚鹬；分布有国家 II 级重点保护鸟类 10 种，分别为大天鹅、白琵鹭、黑翅鸢、赤腹鹰、日本松雀鹰、白尾鹬、普通鵟、红隼、红脚隼、云雀。属于山东省重点保护鸟类的有 17 种，分别为环颈雉、普通秋沙鸭、赤膀鸭、针尾鸭、凤头鹳鹬、灰斑鸠、四声杜鹃、绿鹭、苍鹭、大白鹭、中白鹭、白鹭、普通鸬鹚、蛎鹬、反嘴鹬、黑枕黄鹬、凤头百灵。其中，红隼在厂址 WNW 方位约 1.4km 处有发现，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鸟类。

（4）哺乳动物

厂址半径 10km 范围现场调查记录到哺乳动物共 4 目 5 科 5 种，分别为东亚蝠翼、黄鼬、蒙古兔、褐家鼠、达乌尔黄鼠。

黄鼬属于山东省重点保护动物。本次调查未发现国家 I 级、II 级重点保护动物。

3) 生态系统调查

厂址半径 10km 范围内的陆域生态系统包括森林生态系统、灌丛生态系统、草地生态系统、湿地生态系统、农田生态系统、城镇生态系统及其它（裸岩、裸土）。调查区在植被区划中属于暖温带落叶阔叶林区。地带性植被属于南落叶阔叶林带。历史上天然森林植被类型丰富，因受历史性的人为影响与破坏，原生性植被早已不复存在，目前主要包括常绿阔叶林、常绿阔叶灌丛、疏灌草丛和草本沼泽等主要植被类型。绝大部分被刺槐群系、油松群系、果园和次生刺状常绿灌丛及灌草丛所取代，植被类型较为简单。

调查区域植被生产力较低，作为消费者的动物物种多样性不丰富，大多都是广泛分布的常见种类。

4) 生态景观

调查区地处山东半岛东南部，属于暖温带海洋性季风型气候。高海拔丘陵植被稀疏低矮或为裸岩，低海拔丘陵为黑松、油松、构树林或疏灌草丛，也有苹果、桃等果树园，河谷平原则主要为种植农作物和蔬菜、水果的农田景观，近海岸有以杨树为主的沿海防护林带，尚有两处较大面积的淡水湖泊（水库），海阳核电厂南面及东、西三面临海。

5) 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、土地胁迫指数和污染负荷指数和环境限制指数。评价结果表明，评价区生态环境状况指数为 $EI=56.79$ ，级别为良，植被覆盖度较高，生物多样性较丰富，适合人类生活。

2.3.2.5 与建造阶段相比变化情况

3、4 号建造阶段为 2018 年的陆生资源调查数据。本阶段与建造阶段相比，变化不大。

3、4 号建造阶段于 2019 年开展陆生生态调查。与建造阶段相比，本次调查频次增加，相应的发现物种数量也有所增多。

2.3.3 渔业资源及生态概况

2022 年 11 月至 2023 年 8 月，专题单位对厂址周边海域开展了渔业资源调查和海洋环境现状调查。共进行了四季调查。

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

厂址附近渔港码头分布详见本章 2.3.4.2.2 节“海上交通”。

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

评价区沿海的海洋捕捞以近海作业为主,捕捞的种类主要包括鱼类、甲壳类、头足类和海蜇等。捕捞的鱼类主要包括小黄鱼、梅童鱼、鲢鱼、鲈鱼、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;其它类主要为海蜇和小杂鱼等。

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,全市养殖主要分布在沿海 5 个乡镇,有近 1 万多人从事海水养殖。厂址半径 15km 范围内主要是留格庄镇,有滩涂养殖、池塘养殖和网箱养殖,其中池塘养殖主要建在沿岸陆地上,少量的滩涂养殖主要在沿岸潮间带区域。

厂址附近海水养殖区主要分布在核电取排水口的东北侧海域,养殖品种主要包括牡蛎、贻贝、海参、蛤等。

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

秋季,大面调查海域表层叶绿素 a 变化范围(0.119~0.510) mg/m³,均值为 0.256 mg/m³;底层叶绿素 a 变化范围(0.229~0.561) mg/m³,均值为 0.340 mg/m³。初级生产力为(2.76~19.35) mgC/(m²·d),均值为 10.21 mgC/(m² d)。

冬季,大面调查海域表层叶绿素 a 变化范围(2.26~8.26) mg/m³,均值为 4.44 mg/m³;底层叶绿素 a 变化范围(1.875~3.88) mg/m³,均值为 3.30 mg/m³。初级生产力为(62.45~292.08) mgC/(m² d),均值为 165.56 mgC/(m² d)。

春季,大面调查海域表层叶绿素 a 变化范围(0.916~4.84) mg/m³,均值为 2.65 mg/m³;底层叶绿素 a 变化范围(1.68~3.40) mg/m³,均值为 2.63 mg/m³。初级生产力为(56.94~293.40) mgC/(m² d),均值为 137.68 mgC/(m² d)。

夏季,大面调查海域表层叶绿素 a 变化范围(2.96~8.66) mg/m³,均值为 4.44 mg/m³;底层叶绿素 a 变化范围(1.88~3.88) mg/m³,均值为 3.30 mg/m³。初级生产力为(85.16~398.28) mgC/(m² d),均值为 225.76 mgC/(m² d)。

大面调查中表层叶绿素 a 在夏季最高,秋季最低。

2.3.3.2.2 浮游植物

秋季,大面调查海域共获得浮游植物 2 门 37 种,优势种 1 种。浮游植物细胞密度变化范围在(1.60~119.11) × 10⁴ cells/m³ 之间,平均值为 31.92 × 10⁴ cells/m³。浮游植物群落的丰富度指数变化范围(0.07~0.65),均值为 0.38;多

样性指数变化范围（0.27~2.33），均值为 1.03；均匀度变化范围（0.09~0.83），均值为 0.39；优势度变化范围（0.61~1.00），均值为 0.88。

冬季，大面调查海域共获得浮游植物 2 门 34 种，优势种 6 种。大面调查浮游植物细胞密度变化范围在 $(133.32\sim29004.80) \times 10^4$ cells/m³ 之间，平均值为 6609.65×10^4 cells/m³。浮游植物群落的丰富度指数变化范围（0.40~0.91），均值为 0.68；多样性指数变化范围（0.88~2.40），均值为 1.74；均匀度变化范围（0.24~0.56），均值为 0.42；优势度变化范围（0.17~0.52），均值为 0.31。

春季，大面调查海域共获得浮游植物 2 门 27 种，优势种 6 种。大面调查海区浮游植物细胞密度变化范围在 $(0.71\sim24.96) \times 10^4$ cells/m³ 之间，平均值为 6.08×10^4 cells/m³。浮游植物群落的丰富度指数变化范围（0.24~0.75），均值为 0.41；多样性指数变化范围（1.36~3.22），均值为 2.24；均匀度变化范围（0.48~0.95），均值为 0.79；优势度变化范围（0.40~0.95），均值为 0.65。

夏季，大面调查海域共获得浮游植物 5 门 40 种，优势种 5 种。大面调查海区浮游植物细胞密度变化范围在 $(5.86\sim1248.33) \times 10^4$ cells/m³ 之间，平均值为 2.24×10^6 cells/m³。浮游植物群落的丰富度指数变化范围（0.23~0.76），均值为 0.47；多样性指数变化范围（0.28~2.68），均值为 1.53；均匀度变化范围（0.09~0.70），均值为 0.44；优势度变化范围（0.60~0.98），均值为 0.82。

连续站调查中，秋季共采集鉴定浮游植物 2 门 30 种，冬季共采集鉴定浮游植物 2 门 41 种，春季共采集鉴定浮游植物 2 门 41 种，夏季共采集鉴定浮游植物 4 门 25 种，四次调查中，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。秋季三个连续观测站的浮游植物丰富度指数和多样性指数水平较低，冬季、春季、夏季三个连续观测站的浮游植物丰富度指数和多样性指数均较秋季同一调查站不同时段浮游植物相应的群落指数高。

2.3.3.2.3 浮游动物

秋季，大面调查共鉴定浮游动物 13 种，浮游幼体 6 类。共发现优势种 2 种。浮游动物湿重生物量的变化范围在 $(213.24\sim3240.74)$ mg/m³ 之间，均值为 1190.29 mg/m³；个体密度在 $(4.7\sim68.8)$ ind/m³ 之间，均值为 23.6 ind/m³。浮游动物群落的丰富度指数变化范围（0.58~1.79），均值为 1.04；多样性指数变化范围（1.03~2.33），均值为 1.65；均匀度变化范围（0.45~0.97），均值为 0.71；优势度变化范围（0.56~0.95）均值为 0.79。

冬季，大面调查共鉴定浮游动物 20 种，浮游幼体 8 类，仔鱼 1 种。共发现优势种 4 种。浮游动物湿重生物量的变化范围在 (67.61~1012.00) mg/m³ 之间，均值为 260.23 mg/m³；个体密度在 (14.9~1100.0) ind./m³ 之间，均值为 209.4 ind./m³。浮游动物群落的丰富度指数变化范围 (0.59~2.04)，均值为 1.31；多样性指数变化范围 (1.27~2.37)，均值为 1.71；均匀度变化范围 (0.37~0.81)，均值为 0.55；优势度变化范围 (0.62~0.86)，均值为 0.76。

春季，大面调查共鉴定浮游动物 15 种，浮游幼体 3 类。共发现优势种 4 种。浮游动物湿重生物量的变化范围在 (12.33~1937.86) mg/m³ 之间，均值为 332.79 mg/m³；个体密度在 (11.2~1199.9) ind./m³ 之间，均值为 262.0 ind./m³。浮游动物群落的丰富度指数变化范围 (0.68~1.64)，均值为 1.09；多样性指数变化范围 (1.20~2.33)，均值为 1.89；均匀度变化范围 (0.40~0.63)，均值为 0.83；优势度变化范围 (0.54~0.95)，均值为 0.74。

夏季，大面调查共鉴定浮游动物 13 种，浮游幼体 13 类，仔鱼 1 种。共发现优势种 3 种。浮游动物湿重生物量的变化范围在 (110.00~1040.00) mg/m³ 之间，均值为 337.62 mg/m³；个体密度在 (146.0~26298.0) ind./m³ 之间，均值为 5925.0 ind./m³。浮游动物群落的丰富度指数变化范围 (0.42~1.38)，均值为 0.85；多样性指数变化范围 (1.37~2.85)，均值为 2.37；均匀度变化范围 (0.61~0.88)，均值为 0.72；优势度变化范围 (0.48~0.90)，均值为 0.63。

连续调查站中，秋季，连续站共采集鉴定浮游动物 15 种，幼虫体 7 类，仔鱼 1 种。冬季，连续站共采集鉴定浮游动物 24 种，其中浮游幼虫体和仔鱼 8 类。春季，连续站共采集鉴定浮游动物 20 种，幼虫体 3 类。夏季，连续站共采集鉴定浮游动物 28 种，幼虫体 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。同一调查站不同时段浮游动物的群落多样性水平差别不明显。

2.3.3.2.4 底栖生物

秋季，调查共发现大型底栖生物 50 种。环节动物、软体动物和节肢动物是构成该区底栖生物种类的主要类群，共发现优势种 6 种。大型底栖生物湿重生物量变化范围在 (0.13~267.69) g/m² 之间，平均为 17.71 g/m²。栖息密度变化范围在 (27~181) ind./m² 之间，平均密度为 109 ind./m²。大型底栖生物群落的丰富度指数变化范围为 (0.39~1.77)，均值为 1.03；多样性指数变化范围为 (1.39~3.64)，

均值为 2.65；均匀度指数变化范围为（0.80~1.00），均值为 0.92；优势度变化范围（0.24~0.79），均值为 0.49。

冬季，调查共发现大型底栖生物 106 种。环节动物、软体动物和节肢动物是构成该区底栖生物种类的主要类群，共发现优势种 9 种。大型底栖生物湿重生物量变化范围在（1.56~321.01）g/m² 之间，平均为 34.16g/m²，栖息密度变化范围在（212~2363）ind./m² 之间，平均密度为 732ind./m²。大型底栖生物群落的丰富度指数变化范围为（1.02~3.57），均值为 2.45；多样性指数变化范围为（2.60~4.42），均值为 3.79；均匀度变化范围为（0.62~0.91），均值为 0.84；优势度变化范围（0.23~0.57），均值为 0.35。

春季，调查共发现大型底栖生物 65 种。共发现优势种 10 种。底栖生物湿重生物量变化范围在（0.05~15.50）g/m² 之间，平均为 3.64 g/m²。栖息密度变化范围在（15~230）ind./m² 之间，平均密度为 51 ind./m²。大型底栖生物群落的丰富度指数变化范围为（0.90~3.07），均值为 2.05；多样性指数变化范围为（0.47~4.57），均值为 2.44；均匀度变化范围为（0.14~1.20），均值为 0.69；优势度变化范围（0.03~1.73），均值为 0.35。

夏季，调查共发现大型底栖生物 41 种。共发现优势种 4 种。底栖生物湿重生物量变化范围在（0.01~30.36）g/m² 之间，平均为 3.02 g/m²。栖息密度变化范围在（5~180）ind./m² 之间，平均密度为 49 ind./m²。由于调查站位 10 和 19 站只发现一种底栖生物，因此计算群落特征指数时将此二站剔除。其余各站群落的丰富度指数变化范围为（0.30~1.46），均值为 1.45；多样性指数变化范围为（1.00~2.92），均值为 2.20；均匀度变化范围为（0.78~1.00），均值为 0.92；优势度变化范围（0.38~1.00），均值为 0.61。

四次调查底栖生物群落结构基本一致，根据生物多样性指数评价标准，该海区夏季底栖生物生境质量等级为一般，秋季、冬季和春季底栖生物生境质量等级为优良。

2.3.3.2.5 潮间带生物和污损生物

秋季，共鉴定潮间带生物 63 种，其中软体动物 22 种，占 34.9%；环节动物发现 18 种，占 28.6%；节肢动物发现 14 种，占 22.2%；棘皮动物发现 3 种，占 4.8%；刺胞动物发现 2 种，占 3.2%；脊索动物、纽形动物、扁形动物、绿藻门各 1 种，均占 1.6%。调查发现常见污损生物 6 种，包括节肢动物 2 种，软体动

物 3 种，刺胞动物 1 种。

冬季，共鉴定潮间带生物 91 种，其中环节动物 35 种，占 38.5%；软体动物 27 种，占 29.7%；节肢动物 22 种，占 24.2%；脊索动物 3 种，占 3.3%；刺胞动物 2 种，占 2.2%；纽形动物、绿藻门各 1 种，均占 1.1%。调查发现常见污损生物 8 种，包括节肢动物 2 种，软体动物 5 种，刺胞动物 1 种。

春季，共鉴定潮间带生物 88 种，其中环节动物发现 32 种，占 36.4%；软体动物 30 种，占 34.1%；节肢动物发现 16 种，占 18.2%；脊索动物发现 3 种，占 3.4%；刺胞动物发现 3 种，占 3.4%；纽形动物、扁形动物、红藻门和褐藻门各 1 种，均占 1.1%。调查发现常见污损生物 14 种，包括节肢动物 3 种，软体动物 9 种，刺胞动物 2 种。

夏季，共鉴定潮间带生物 71 种，其中软体动物 25 种，占 35.2%；节肢动物发现 19 种，占 26.8%；环节动物 16 种，占 22.5%；脊索动物、红藻门、绿藻门各 3 种，各占 4.2%；刺胞动物 2 种，占 2.8%。调查发现常见污损生物 14 种，包括节肢动物 3 种，软体动物 9 种，刺胞动物 2 种。

四次调查潮间带生物群落结构基本一致，软体动物、环节动物、节肢动物是每次调查构成该区潮间带生物群落的主要类群。

2.3.3.2.6 鱼卵仔稚鱼

1) 种类组成

秋季，使用水平网和垂直网调查，在 4 个调查站位中没有采集到鱼卵。只采集到鲈鱼 1 种仔稚鱼。

冬季，使用水平网和垂直网调查没有采集鱼卵，只采集到斑鲷 1 种仔稚鱼。

春季，使用水平网和垂直网调查，共采集到鱼卵 122 粒，仔稚鱼 13 尾。其中鱼卵 5 种，鳀卵为 93 粒，占总卵数的 76.23%，花鲈卵 16 粒，占 13.11%，舌鳎属一种 9 粒，占总卵数的 7.38%，半滑舌鳎和小黄鱼卵 2 粒，占总卵数的 1.64%。仔稚鱼 1 种，鳀仔稚鱼共 3 尾。可以看出，鳀鱼在调查海域的鱼卵中占有绝对的优势。仔稚鱼的优势种类也是鳀鱼。

夏季，使用水平网和垂直网调查，共采集到鱼卵 7 粒，仔稚鱼 11 尾。其中鱼卵 2 种，多鳞鳕卵为 5 粒，占总卵数的 71.43%，小带鱼 2 粒，占总卵数的 28.57%。仔稚鱼 4 种，虾虎鱼科仔稚鱼共 7 尾，占总仔稚鱼数量的 63.64%；小黄鱼 2 尾，占 18.18%；短吻红舌鳎和许氏平鲉各 1 尾，占 9.09%。可以看出，多鳞鳕在调

查海域的鱼卵中占有优势，为优势种。仔稚鱼的优势种是虾虎鱼科一种。

2) 数量分布

秋季，调查的 4 个站位中，没有捕获到鱼卵，只有 1 个站位捕获到仔稚鱼（鲈鱼），仔稚鱼出现频率为 25%。水平网仔稚鱼最大值为 4 粒/站，最小值为 0，平均为 1 尾/站。

冬季，调查的 4 个站位中，没有捕获到鱼卵，只有 1 个站位捕获到斑鲈仔稚鱼，仔稚鱼出现频率为 25%。水平网仔稚鱼最大值为 1 粒/站，最小值为 0，平均为 1 尾/站。

春季，水平网调查的 4 个站位中，4 个站位有鱼卵出现，鱼卵出现频率为 100%，2 个站位采到仔稚鱼，出现频率为 50%。水平鱼卵平均为 21.5 粒/站，垂直网调查的 4 个站位中，有 3 个站位有鱼卵出现，鱼卵出现频率为 75%，有两个站位捕获到仔稚鱼，出现频率为 50%。鱼卵平均为 9 粒/站，仔稚鱼平均为 1 尾/站，鱼卵平均密度为 1.80 粒/m³，仔稚鱼平均密度为 0.2 尾/m³。

夏季，水平网调查的 4 个站位中，有 1 个站位采集到鱼卵，鱼卵出现频率为 25%，1 个站位采到仔稚鱼，出现频率为 25%。水平鱼卵平均为 1.75 粒/站，仔稚鱼平均为 0.25 尾/站。垂直网调查的 4 个站位中，没有捕获到鱼卵，有 1 个站位有仔稚鱼出现，仔稚鱼出现频率为 25%。仔稚鱼最大值为 7 粒/站，平均为 1.75 尾/站，平均密度为 0.36 尾/m³。

2.3.3.2.7 渔业资源生物多样性和遗传多样性

秋季，共捕获游泳动物 42 种，其中鱼类 22 种，占 52.38%；虾类 10 种，占 23.80%；蟹类 7 种，占 16.67%；头足类 3 种，占 7.14%。秋季调查海域重量资源量的变动范围为 60.12kg/ km²-301.32kg/ km²，平均为 200.5kg/ km²，数量资源量的变动范围为 46564ind./ km²-121912 ind./ km²，平均为 75551 ind./ km²。秋季调查海域游泳动物没有优势种；重要种 7 种，常见种 9 种，一般种 12 种。调查海域物种丰富度指数(D)范围为 2.19~3.14，平均值为 2.56，物种均匀性指数(J')范围为 0.42~0.53，平均值为 0.48，物种多样性指数(H')范围为 1.28~1.65，平均值为 1.46。

冬季，共捕获游泳动物 28 种，其中鱼类 15 种，占 57.69%；虾类 8 种，占 28.57%；蟹类 2 种，占 7.14%；头足类 3 种，占 10.71%。冬季调查海域重量资

源量的变动范围为 26.43kg/ km²-52.19kg/ km², 平均为 37.51kg/ km², 数量资源量的变动范围为 4410ind./ km²-32400 ind./ km², 平均为 11736 ind./ km²。冬季游泳动物有 3 种优势种, 重要种 13 种, 常见种 6 种, 一般种 5 种。调查海域物种丰富度指数 (D) 范围为 1.96~2.36, 平均值为 2.16, 物种均匀性指数 (J') 范围为 0.38~0.45, 平均值为 0.41, 物种多样性指数 (H') 范围为 1.15~1.45, 平均值为 1.28。

春季, 共捕获游泳动物 39 种, 其中鱼类 23 种, 占 58.97%; 虾类 9 种, 占 23.08%; 蟹类 4 种, 占 10.26%; 头足类 3 种, 占 7.69%。春季调查海域重量资源量的变动范围为 189.53kg/ km²-1179.54kg/ km², 平均为 476.01kg/ km², 数量资源量的变动范围为 27018ind./ km²-96462 ind./ km², 平均为 54103 ind./ km²。春季游泳动物有 3 种优势种, 重要种 12 种, 常见种 12 种, 一般种 7 种。调查海域物种丰富度指数 (D) 范围为 2.32~2.49, 平均值为 2.50, 物种均匀性指数 (J') 范围为 0.45~0.52, 平均值为 0.49, 物种多样性指数 (H') 范围为 1.87~2.32, 平均值为 2.07。

夏季, 共捕获游泳动物 40 种, 其中鱼类 27 种, 占 67.5%; 虾类 8 种, 占 20%; 蟹类 3 种, 占 7.5%; 头足类 2 种, 占 5%。夏季调查海域重量资源量的变动范围为 15.66kg/ km²-136.62kg/ km², 平均为 66.69kg/ km², 数量资源量的变动范围为 3744ind./ km²-17334ind./ km², 平均为 10755ind./ km²。夏季游泳动物有 11 种优势种, 重要种 9 种, 常见种 12 种, 一般种 7 种。调查海域物种丰富度指数 (D) 范围为 2.36~2.89, 平均值为 2.57, 物种均匀性指数 (J') 范围为 0.48~0.55, 平均值为 0.51, 物种多样性指数 (H') 范围为 1.98~2.48, 平均值为 2.25。

在海洋生物生长旺期, 主要从渔业资源调查所采集当地常见的、有代表性的海洋生物。在海阳核电厂址周围海域收集了斑鲆、黄鲫、鲛、鲷、脉红螺、长牡蛎、孔石莼、鼠尾藻、三疣梭子蟹、口虾蛄等开展调查。分析表明, 鲷、斑鲆、口虾蛄、三疣梭子蟹、脉红螺、长牡蛎等生物的核苷酸多样性指数分别为 0.0025 ± 0.0012 、 0.0048 ± 0.0018 、 0.0031 ± 0.0014 、 0.0024 ± 0.0009 、 0.0029 ± 0.0011 和 0.0034 ± 0.0021 相对较低, 而单倍型多样性指数分别为 0.97 ± 0.08 、 0.67 ± 0.06 、 0.86 ± 0.19 、 0.72 ± 0.05 、 0.88 ± 0.16 、 0.79 ± 0.06 相对较高, 属于海水渔业生物中高单倍型多样性、低核苷酸多样性的遗传多样性模式。这种遗传多样性模式在黄海北部沿海分布的海洋生物中普遍存在, 如细纹狮子鱼、中国明对虾及海蜇等。

海阳沿岸渔业生物的群体遗传多样性水平偏低，这可能与过度捕捞有关。

2.3.3.2.8 重要水生生物的生活习性

1) 主要经济渔业生物的生活习性

根据调查海域的春夏秋冬四个季度调查结果，该海域的主要经济渔业生物包括小黄鱼、带鱼、蓝点马鲛、中国对虾等。

①小黄鱼

小黄鱼的产卵场一般都分布在河口区和受入海径流影响较大的沿海区，底质为泥砂质、砂泥质或软泥质。产卵场的主要范围一般都分布在低盐水与高盐水混合区的偏高温区。中心产卵场也随着混合区的变动面变动。产卵场底层水温一般为 10-13℃，产卵较适底温随产卵场位置不同而有所差异，一般为 11-14℃。黄海方面的吕泗小黄鱼产卵场，是小黄鱼产卵场中最大的一个，还有海州湾产卵场、乳山产卵场、海洋岛产卵场和朝鲜西海岸海区几个较小的产卵场；渤海方面在辽东湾、渤海湾和莱州湾均有产卵场；东海方面小黄鱼的产卵场比较分散，象山、韭山、东亭、大东、鱼山、洞头山等海区都有小黄鱼的产卵场。产卵期随纬度的增高而推迟。东海区的小黄鱼一般 3 至 4 月为产卵期。辽东湾的小黄鱼产卵期最迟，一般开始于 5 月中旬产卵，至 5 月底结束。

通过调查发现，调查海域生活一定数量的小黄鱼成鱼，但该海域的小黄鱼鱼卵仔稚鱼数量较少。

②蓝点马鲛

蓝点马鲛分布于太平洋西北部，日本本岛、四国、九州诸岛海域；朝鲜半岛南端群山至釜山外海一带；渤、黄、东海近海水域。每年 3 月鱼群便开始陆续游离越冬场向北生殖洄游。3 月中下旬到达闽中及闽东沿海名渔场，并在此产卵、索饵，4 月上中旬大群沿 123° 30'E 附近海域分别游抵舟山渔场和长江口、大沙渔场，当时表层平均水温在 9-11℃，鱼群分为两支北上洄游，一支向东偏北游向朝鲜西海岸，到达海洋岛渔场，并在此产卵索饵；一支沿 20-40 米等深线北上，鱼群由东南向西北进入连青石渔场西南部海域。其中一部分鱼群向西，于 4 月下旬前期进入海州湾、连青石、青海及石岛诸渔场，另一部分鱼群向东北经石岛渔场绕过成山头进入黄海北部烟威渔场，通过渤海海峡于 4 月下旬后进入渤海的莱州湾、辽东湾、渤海湾及滦河口诸产卵场。每年 9 月上旬前后鱼群陆续游离浅海，9 月中旬黄海北部成鱼，当年生的幼鱼主要集中于烟威、海洋岛渔场进行索饵，

10 月上、中旬主群南移，主要集中于石岛、连青石、海州湾外海以及长江口渔场附近海域索饵，12 月下旬后鱼群已基本返回越冬场。蓝点马鲛越冬场的大致范围，是在沙外渔场，舟外、温台及闽南外海水域。

调查海域没有在蓝点马鲛产卵区内，调查发现蓝点马鲛捕获率较低，且鱼卵分布密度较小。

③带鱼

3-4 月黄、渤海带鱼自济州岛附近越冬场开始向产卵场作产卵前索饵洄游和产卵洄游。从大沙渔场游往黄海的海州湾、乳山湾、辽东半岛东岸近海、烟威近海和渤海的莱州湾、渤海湾、辽东湾等海区。海州湾带鱼产卵群体自大沙渔场向西北方向洄游进入海州湾产卵场。于 5 月下旬至 6 月产卵，产卵后在海州湾东部和青岛外海索饵。乳山湾带鱼产卵群体经连青石渔场北部进入产卵场，历年以灰岛东南到苏山岛西北一带为鱼群分布的中心。主要产卵期为 6 月，产卵后游向较深水域索饵。黄海北部带鱼产卵群体自成山头外海直向海洋岛、大鹿岛南、大长山岛北和庄河、新金沿岸海区产卵。渤海和黄海北部越冬洄游带鱼群体 11 月开始南下，12 月和山东半岛南部的带鱼群汇合后向越冬场洄游。秋汛东海带鱼索饵群体，于 6 月底 7 月初游进黄海南部索饵。在索饵期间带鱼索饵群体常与其他经济鱼类共同索饵，以分布广泛、数量众多的饲料生物为主要利用对象。

带鱼在调查海域也有一定数量的分布，夏季、春季和秋季均捕获到带鱼成鱼。但是四个季节均没有捕获到鱼卵仔稚鱼。

④中国对虾

中国对虾有明显的季节性洄游习性，五、六月间新生的幼虾，到九、十月间体长与亲体大小相似，十月底雄虾发育成熟，开始交配。此时近岸区水温降低，虾群开始向外海集结，十二月逐渐游离渤海，陆续经山东半岛沿岸到黄海南部深水区越冬，称之为越冬洄游。翌年春季二、三月间又开始向北洄游，主群三、四月间经山东半岛沿岸进入渤海，到四月底五月初开始在莱州湾、渤海湾及辽东湾各大河口附近产卵繁殖，称之为产卵洄游。

核电厂址邻近调查海域没有中国对虾的产卵场，并且也没有位于中国对虾的三场一通道中。

2) 三场一通道分布

调查区近海按鱼类生态特点划分，基本属于两个生态类型，即地方性种类和

洄游性种类，其中洄游性种类又分为短距离洄游种类和长距离洄游种类。

短距离洄游种类主要为黄、渤海地方性种群的冷温性、温水性或冷水性生物资源，有青鳞小沙丁鱼、斑鲚、太平洋鲱等。厂址西南部和东部海域有其产卵场分布，距厂址至少 20km 以上。短距离洄游种类在产卵后即在产卵场周边分散索饵，其产卵场也是该种类刚发生幼鱼的索饵场，索饵期直到越冬洄游。

山东近海的长距离洄游种类主要有头足类的太平洋褶柔鱼以及小黄鱼、带鱼、蓝点马鲛等暖水性和暖温性鱼类。其产卵场分布距厂址至少 40km 以上。索饵场距厂址 60km 以上。

越冬场和洄游通道距厂址较远，至少 30km 以上。

3) 海洋牧场和水产种质资源保护区

在排水口东侧海域有两个国家级海洋牧场，距厂址约 10km，主要养殖品种包括牡蛎、徐氏平鲉和黑鲷。

厂址半径 80km 范围内有乳山湾国家级水产种质资源保护区和千里岩岛海域国家级水产种质资源保护区，均位于厂址、排水口 15km 之外。

2.3.3.3 与建造阶段相比变化情况

3、4 号建造阶段于 2019 年开展渔业资源和水生生态的调查。本阶段与建造阶段相比，均未调查到珍稀濒危的水生生物，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。对于生物多样性变化情况，与建造阶段相比，厂址附近海域生物的丰富度指数、多样性指数、均匀度等变化处于正常波动范围，总体无明显异常。

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，积极培育核电、海上发电等清洁能源产业、航空航天、新材料、海洋工程、电子信息等新兴产业工业体系，新旧动能转换迸发新活力。

2023 年，海阳市有规模以上工业企业 236 户，工业总产值（当年价）343.2 亿元，主营业务收入 341.84 亿元，利润总额 34.55 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、新材料、电子信息等行业。其中：纺织服装、服饰业 60 户，食品加工制造业 34 户，装备制造业 50 户，新材料产业 14

户，电子信息行业 6 户，其他行业 72 户，分别占规模以上工业总户数的 25.4%、14.4%、21.2%、5.9%、2.5%、30.5%。

厂址半径 15km 范围内的工业企业主要分布在核电装备制造工业园区、留格庄镇和凤城街道的部分区域。

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 范围主要涉及核电装备制造工业园区，该区域内有包含山东海阳核电厂在内的共计 8 家企业。

2) 厂址半径 15km 范围内规模工业企业现状

厂址半径 15km 范围内共有规模以上工业企业 55 家，涉及水产品加工、羊毛衫加工、机械制造、电力生产等行业。

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

厂址位于核电装备制造工业园区内，根据《海阳核电周边配套设施规划》(2024.04)，海阳核电装备制造工业园区依托海阳核电及新能源产业基础、优越的资源条件，积极推进新能源及核电装备制造、核能综合利用等产业。围绕园区核心定位，打造以清洁能源发展为主体的高质量产业园区。园区将重点发展核电风电装备制造、新材料产业、核能综合利用、中心渔港牡蛎产业等四大领域，最终形成“4+N”产业发展体系。

目前核电装备制造工业园区进驻的工业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《海阳市国土空间总体规划》(2024.02)，海阳市规划构建“2+4+N”的现代产业体系，其中“2”指清洁能源和航空航天 2 大主导产业，“4”指新材料、针织毛衫、装备制造、食品加工 4 大支柱产业，“N”指文旅康养、现代服务业、现代海洋产业、现代高效农业等优势特色产业。

(3) 留格庄镇产业规划

根据《海阳市国土空间总体规划》(2024.02)，留格庄镇规划重点发展以核电、海上风电、垃圾焚烧发电为主的清洁能源，核能综合利用，核电、风电和海工装备制造等主导产业。优化发展石材加工、现代渔业、特色农业、滨海旅游等

优势特色产业。

根据《海阳市留格庄镇国土空间规划（2021-2035 年）》（2024.06），留格庄镇规划建设区域绿色能源中心、核电装备制造重镇、滨海康养度假城镇。成为海阳核电服务基地、海阳东部工业基地、特色农业示范基地、滨海旅游目的地。

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，2023 年公路通车总里程 2860.4km（不含专用道路），路网密度 1.493km/km²；总体呈现南密北疏的特点。厂址半径 15km 范围内的公路交通比较发达，村村通公路。其中位于厂址半径 15km 内的主要公路有：

——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 10.2km；

——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 威青线（乳山-即墨），位于厂址北侧，距厂址的最近距离 9.2km；

——S210 烟凤线（烟台-凤城）桃村-凤城段，位于厂址西侧，距厂址的最近距离 12.7km；

——S306 海莱线（海阳-莱阳）燕翅山-凤城段，位于厂址西侧，距厂址的最近距离 12.7km；

——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，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，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。

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 范围内有 1 条铁路通过。莱荣高铁最近处位于厂址 NW 方位约 13km 处。

厂址所在的海阳市还有铁路 2 条，分别为青烟威荣城际铁路和蓝烟铁路。这两条铁路距离厂址较远，均位于厂址半径 30km 范围外。

海阳港远景规划建设疏港铁路，用于完善通道大运量货运功能，最近处位于厂址 W 方位约 7.5km 处。

2.3.4.2.2 海上交通

1) 港口和码头

厂址半径 15km 范围内，较大的港口有海阳港、乳山口港。

(1) 海阳港

一港口现状

海阳港是以商为主、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。海阳港位于厂址 W~WSW 方位约 13km 处。

海阳港具有良好的集疏运条件，交通方便，货源充足，目前主要进出口货种为矿建材料、煤炭、金属矿石、钢材、水泥熟料、石粉等，无危险品运输。2023 年，港口货物吞吐量 123.9 万吨。

海阳港划分为东、中、西三个港池和作业区，拥有千吨级以上生产性泊位 5 个，均分布在西港池。

海阳港建设有一条疏港公路，全长约 9.5km，北部连接 S11 烟海高速，连接处设主线收费站 1 处，南部延伸进入港区与港区主干道相接。疏港公路位于厂址 W 方位约 7.5km 处。

海阳港正在建设东港池 1#、2# 通用泊位工程(位于厂址 WSW 方位约 9.7km 处)和 5 万吨级散货船单线乘潮航道工程(厂址 WSW 方位约 9.8km 处)。1#泊位主要承担件杂货和散货的装卸作业。2#泊位主要承担散货的装卸船作业。

一港口规划

根据《烟台港总体规划(2016-2030)》，海阳港规划西港池航道控制在万吨

级规模，不再扩建。规划东港池及中港池航道等级为 10 万吨级，满足 10 万吨级危险品船舶和 10 万吨级散货船乘潮通航要求，目前没有规划明确的危险品信息。

（2）乳山口港

一港口现状

乳山口港位于山东半岛东南部，乳山市境内，也被称为“乳山港”，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。乳山口港位于厂址 NE 方位约 14.5km 处，为国家一类开放港口。目前，总通过能力 209 万吨/年，拥有 500 吨级、1000 吨级泊位各 1 个，20000 吨级通用泊位 2 个。

乳山口港拥有万吨级散杂货泊位，生产、生活辅助设施齐全，2023 年货物吞吐量为 624.26 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，无危险品运输。

一港口规划

根据《威海港总体规划》（2020 年修订），乳山口港区由乳山东作业区和大乳山作业区两部分组成。

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、临港物流园区共七个区域；大乳山作业区用途为旅游，主要为游船和游艇码头区，为远期规划内容。乳山东作业区规划布置多用途、滚装、通用等各类头泊位，规划形成港口用地约 319.2 万 m²，设计年通过能力总计 1470 万吨。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。

根据《乳山市国土空间总体规划（2021-2035 年）》（2024.12），乳山市规划建设乳山口港 5#、6#泊位工程，提升港口服务承接能力。根据《威海港乳山口港区 5#、6#泊位工程海域使用论证报告书》（2023 年），新建的 5#、6#泊位工程为 2 个 20000 吨级件杂货码头，位于已建成的乳山口港扩建一期工程东侧，新建工程设计通过能力为 120 万吨/年，其中 5#泊位主要装卸货种为件杂货、集装箱，6#泊位主要装卸货种为件杂货、重大件，无危险品运输。

（3）厂址 5km 范围内的渔港码头

厂址半径 5km 范围内的渔港码头（停泊点）共 8 个。

2) 航道及锚地

(1) 海阳港航道及锚地

一现状

①航道

海阳港现有万吨级进港航道，航道距厂址最近距离约 13km。

②锚地

海阳港现有 #1 锚地，位于现有万吨级航道的西侧，距厂址 WSW 方位约 17km。

一规划

①航道

根据《烟台港总体规划（2016-2030）》，规划西港池航道控制在万吨级规模，不再扩建。

海阳港正在建设东港池 5 万吨级散货船单线乘潮航道工程（厂址 WSW 方位约 9.8km 处），航道全长 11.2km。

②锚地

规划东部作业区进港航道穿越了原规划的 #2 锚地，为便于锚泊船舶进入港区，规划将 #2 锚地向东平移 1.6km，平移后 #2 锚地边缘距航道边线最近 1.1km，位于厂址 SW 方位约 15.6km。同时规划保留原烟台港总体规划批复的 #3 锚地，位于厂址 30km 外。

(2) 乳山港航道及锚地

一现状

①航道

乳山口港进港航道为天然航道，航道距厂址最近约 7km。

②锚地

乳山口港现有四个锚地，包括 2 个检疫锚地、1 个深水锚地和 1 个避风锚地。距厂址最近的锚地为 1#检疫锚地，位于主航道西侧，厂址 E 方位 5.7km 处，为锚泊待检锚地，随着航道西侧养殖业的发展，1#检疫锚地已被养殖区占用，无法为到港传播提供锚泊服务。2#深水锚地位于主航道东侧，厂址 E 方位 24.5km 处，为锚泊待检锚地。3#检疫锚地位于主航道东南侧，厂址 ESE 方位 14.3km 处，为锚泊检疫锚地；4#避风锚地位于主航道东南侧，厂址 ESE 方位 16km 处，为锚泊

避风锚地。

一规划

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。乳山口港拟建航道距厂址最近约 7km。

②锚地

乳山口港无规划锚地。

2.3.4.2.3 机场及航空线

根据民航华东地区地区管理局出具的《关于山东海阳核电项目厂址与民用航线位置关系的复函》(民航华东函[2022]325 号),厂址距青岛胶东机场 122km、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《海阳市综合交通中长期规划(2024-2035 年)》(2024.11),厂址半径 15km 范围内没有通用机场规划。

2.3.4.3 其他相关设施

厂址附近学校、敬老院、医院等设施情况参见 2.2.1.2 节。

2.3.4.4 外部人为事件

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。厂址附近移动危险源不会对核电厂的安全运行构成潜在威胁。

2.4 气象

2.4.1 区域气候

2.4.1.1 概述

山东海阳核电项目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。

2.4.1.2 区域气候要素统计

根据山东省气候中心 2024 年完成的《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程常规气象、极端气象及工程气象参数复核报告》，厂址周边区域分布有 25 个气象站。其中，厂址半径 80km 范围内国家气象观测站有 4 个，分别为海阳站、乳山站、莱阳站和莱西站，均为国家气象观测站。莱阳气象站和莱西气象站距离厂址分别约 66.9km 和 75.7km，距离厂址较远，位于山东半岛内陆丘陵腹地，气候条件以大陆性气候为主导，与厂址区域的气候条件有较大差异；海阳气象站和乳山气象站距离厂址分别约 19.8km 和 31.2km，且距黄海较近，与厂址区域的气候条件接近，海洋性气候特征显著，与厂址均在相同的大气环流背景下，天气系统的影响一致，因此将海阳气象站和乳山气象站作为参证站。根据厂址气象站 2018~2022 年气压、气温、风速和降水观测成果与海阳气象站和乳山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，因此确定海阳站为厂址气象代表站。

根据海阳气象站 1961~2022 年的资料统计区域常规气象参数如下：

1) 气压

累年平均气压为 1011.4hPa；7 月平均气压最低，为 999.4hPa；1 月平均气压最高，为 1021.1hPa；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

累年平均气温为 12.2℃；最热月出现在 8 月，累年月平均温度为 25.2℃；最冷月出现在 1 月，累年月平均温度为-1.8℃；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

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) 相对湿度

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%。

5) 降水量

累年平均降水量为 733.3mm。累年 8 月平均降水量最大，为 186.5mm；累年 1 月平均降水量最小，为 8.6mm。年最大降水量为 1658.1mm，出现在 1964 年；年最小降水量为 390.7mm，出现在 1981 年。最长连续降水日为 16 日，出现在 1990 年 7 月 10 日~25 日，累计降水量为 231.6mm。一日最大降水量为 245.2mm，出现在 1977 年 8 月 7 日。

6) 风

累年平均风速为 3.1m/s；累年极大风速为 30.4m/s（风向 SE），出现在 1999 年 7 月 17 日；最大风速为 26.0m/s（风向 SSE），出现在 1985 年 8 月 19 日。

厂址地区季风特征明显，冬季风向集中于偏西北方位，最多风向为 WNW 风，频率为 16.5%，其次为 NW 风，频率为 13.2%；夏季风向相对集中于东南方位，SE、SSE、S 风出现频率分别为 9.7%、11.5%、12.1%。

全年最多风向为 WNW 风，频率为 9.4%；次最多风向为 NW 风，频率为 8.3%；全年静风频率为 12.2%，2004 年启用自动站后，2005~2022 年的年静风频率为 5.1%。

2.4.2 设计基准气象参数

山东海阳核电项目在可研阶段曾开展极端气象专题研究，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，分别于 2009 年、2013 年、2019 年和 2024 年开展了对核电厂常规气象、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。

1) 热带气旋

根据统计,1949~2022 年影响厂址且进入以厂址为中心的 400km 半径以内的热带气旋共有 75 个,平均每年出现 1.01 个。其中有 73 个,即 97.3%的热带气旋发生在 7~9 月;而 8 月为热带气旋发生频数最多的月份,为 38 个,占总数的 50.7%。74 年中台风及以上有 12 个,年平均 0.16 个,占总数的 16.0%;强热带风暴 17 个,年平均 0.23 个,占总数的 22.6%。

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:

第一类是经台湾省附近,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。

第二类是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《核电厂设计基准热带气旋》(HAD 101/11)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 :	24km

2) 龙卷风

根据《核电厂厂址选择的极端气象事件(不包括热带气旋)》(HAD 101/10)的要求,龙卷风调查范围为以厂址中心经度和纬度各 3°区域,包括山东半岛大部分地区,面积 33050km²。采用的资料年限从 1950 年至 2023 年 6 月。

调查分析结果显示：1950~2023 年 6 月共出现 124 次龙卷风纪录，其中 F0、F1 和 F2 分别发生 23 次、91 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、2.75 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 发生 6 次，F2 发生 1 次；即墨 F0 发生 3 次，F1 发生 1 次，F2 发生 1 次。

龙卷风发生存在明显的季节性变化，夏季发生次数占全年的 65.3%。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。

根据 HAD 101/10 的要求，厂址设计基准龙卷风为 F3 级，设计基准特征参数数值如下：

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) 设计基准气温

采用 Gumbel 法对海阳站（1961~2022 年）和乳山站（1956~2022 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 39.4℃，百年一遇极端最低气温为-17.8℃；乳山站百年一遇极端最高气温为 39.0℃，百年一遇极端最低气温为-19.2℃，乳山站实测极端最低气温为-20.3℃，出现于 1957 年 2 月 11 日；根据相关关系换算，厂址百年一遇极端最高气温为 37.4℃，百年一遇极端最低气温为-17.3℃。从偏安全角度考虑，推荐厂址百年一遇极端最高气温为 39.4℃，百年一遇极端最低气温为-20.3℃。

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，百年一遇最高气温原设计基准略保守，百年一遇最低气温本次复核结果略保守。因此推荐厂址设计基准气温为：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-20.3℃。

4) 设计基准风

由海阳站 1962~2022 年和乳山站 1973~2022 年的年最大风速资料经过高度订正、坡度订正和时距换算，得到海阳站和乳山站实测 10m 高度最大风速序列。根据厂址气象站、海阳站和乳山站同期逐日 10min 平均最大风速资料，分别建立厂址气象站与海阳站、厂址气象站与乳山站 10min 平均最大风速之间的相关关系，得到厂址站实测 10m 高度最大风速序列。采用 Gumbel 法、P-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 34.2m/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，即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。

5) 设计基准降水

对海阳站 1967~2022 年的 5min、10min、15min、20min、30min、45min、60min、90min、120min、360min、1440min 和 72h 共 12 个时段年最大降水量资料进行收集整理，分别采用 Gumbel、P-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 45.1mm、146.9mm、477.6mm；千年一遇降水分别为 61.0mm、215.3mm、775.6mm。

原设计基准降雨值：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。基于合理偏保守考虑，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) 设计基准积雪

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 Gumbel 法和 P-III 型法对两站 61 年（1962~2022 年）的最大积雪深度和冬季 48h 最大降水量进行极值分析，P-III 型法计算成果更保守，采用 P-III 型法的计算结果，海阳站和乳山站百年一遇积雪深度分别为 18.9cm 和 21.1cm；百年一遇冬季 48 小时最大降水量分别为 51.2mm 和 52.1mm。考虑冬季 48h 最大降水量，海阳站和乳山站百年一遇最大雪压值分别为 0.74kN/m^2 和 0.77kN/m^2 。从安全角度考虑，推荐厂址百年一遇最大雪压值为 0.77kN/m^2 。

原设计基准积雪为：厂址百年一遇最大雪压值为 0.79kN/m^2 。基于合理偏保守考虑，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) 雷暴与闪电

海阳站多年平均雷暴日数为 25.1 天。年最多雷暴日数为 48 天，7、8 月雷暴发生频率最高。

海阳站多年平均闪电日数为 7.8 天，年最多闪电日数为 38 天。

8) 冰雹

海阳气象站多年平均冰雹日数 0.4 天。冰雹一般出现在 3~11 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 2~12min。

2.4.3 当地气象条件

根据厂址气象观测站 2023 年 1 月~2024 年 12 月两整年的观测资料，以及代表性气象站海阳站 1961 年~2022 年的气象观测资料，分析厂址区域的气温、气压、湿度、降水、风速、风向等气象参数值。

1) 气温

厂址站年平均气温为 13.8°C ，极端最低气温 -12.8°C ，出现在 2023 年 1 月；极端最高气温 32.4°C ，出现在 2024 年 8 月和 2023 年 8 月。厂址气象塔 1-4 层（10m、30m、80m 和 100m）年平均气温分别为 14.6°C 、 14.5°C 、 14.5°C 、 14.3°C 。

海阳站累年平均气温为 12.2°C ，极端最高气温为 37.6°C ，出现在 1997 年 7 月 27 日，极端最低气温为 -16.3°C ，出现在 1966 年 2 月 6 日；最热月出现在 8 月，累年月平均温度为 25.2°C ；最冷月出现在 1 月，累年月平均温度为 -1.8°C 。

2) 气压

厂址站年平均气压为 1015.4hPa ，极端最高气压 1042.2hPa ，出现在 2023 年

12 月；极端最低气压 987.5hPa，出现在 2024 年 7 月。

海阳站累年平均气压为 1011.4hPa。1 月平均气压最高，平均为 1021.1hPa，7 月平均气压最低，为 999.4hPa；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。

3) 相对湿度

厂址站年平均相对湿度为 76.8%，最小相对湿度为 12.7%，出现在 2023 年 4 月。

海阳站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%。

4) 降水

厂址站 2023 年~2024 年降水量为 2453mm，2023 年总降水量为 784.8mm，2024 年总降水量为 1668.2mm。2024 年 7 月份降水量最大，为 603.2mm，日最大降水量为 360mm，出现在 2024 年 7 月 22 日。两年降水日数为 117 天，2023 年降水日数为 49 天，2024 年降水日数为 68 天，2024 年 7 月降水日数最多为 13 天。连续一次最大降水量为 358.6mm，持续时间为 12h，起始时间为 2024 年 7 月 22 日 03 时。连续降水最长时间为 23h，起始时间为 2023 年 5 月 4 日 0 时，总降水量为 22.6mm。

海阳站累年平均降水量为 733.3mm。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 186.5mm；累年 1 月平均降水量最小，为 8.6mm。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。最长连续降水日为 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。

5) 风速、风向

厂址气象塔各高度年平均风速分别为：3.9m/s（10m），4.4m/s（30m），4.9m/s（80m）和 5.4m/s（100m）；各高度最大风速分别为：18.3m/s（10m），19.7m/s（30m），33.6m/s（80m）和 22.4m/s（100m）。

海阳站累年平均风速为 3.2m/s；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。

厂址气象塔各高度处全年静风频率分别为 0.7%（10m）、0.6%（30m）、0.9%（80m）、0.5%（100m）。10m 高度全年风向频率最高为 NNW 方位，风向频率

9.8%；30m 全年风向频率最高为 NW，风向频率 9.7%；80m 高度全年风向频率最高为 NNE，风向频率 11.8%；100m 高度全年风向频率最高为 SSW，风向频率 10.5%。

海阳站全年最多风向为 WNW 风，频率为 9.4%；次最多风向为 NW 风，频率为 8.3%；全年静风频率 12.2%，2004 年启用自动站后，2005 年~2022 年的年静风频率为 5.1%。

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 2023 年 1 月~2024 年 12 月两整年逐时气象资料，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 62.23%，其次为不稳定天气类（A、B、C）出现频率为 20.47%，稳定天气类（E、F）出现频率为 17.3%。

2.4.5 联合频率

基于 2023 年 1 月~2024 年 12 月两整年逐时气象资料统计的海阳厂址 10m 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、稳定度和雨况（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。

A、B、C、D 类稳定度下混合层高度 490m、400m、330m 和 330m。

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。

2.4.6.3 海陆风及热内边界层

1) 海陆风

根据 1997 年 4 月~1998 年 3 月一整年 10m 风向观测结果,厂址地区有 83 天出现局部海陆风环流,出现概率为 22.7%,其中 12 月和 1 月最多(各 14 天),8 月最少(1 天);根据 100m 风向观测结果,仅 12 天出现海陆风环流,出现概率 3.3%,可见厂址地区海陆风环流很浅薄。

此外通过对海陆风环流的风向分析发现,近地面白天海风与夜间陆风的风向并非完全相反,大多有一定交叉角度,说明局地海陆风环流系统并非闭合的环流系统,核电厂流出物不会因为局地海陆风环流而对相同地点造成反复污染。

2) 热内边界层

在冬夏两季现场大气扩散实验期间,冬季风向以离岸流为主,未观测到热内边界层结构;夏季风向以向岸流为主,在夏季开展了 188 次同步探空实验,仅有 10 次出现热内边界层结构,出现频率仅为 5%;如将冬夏两季一同考虑,则热内边界层出现概率不到 3%,且热内边界层的出现时间较短,一般为 1~2 小时。

此外通过对比厂址测点和留格庄测点的不稳定层厚度,海上来流的稳定气层逐步削弱,再起到达留格庄测点之前已消失,可见热内边界层深入内陆的距离是有限的。

综上,厂址地区热内边界层的出现频率较小、出现时间较短、空间尺度有限,可以认为热内边界层对厂址地区的不利影响是有限的。

2.4.7 运行前的厂址气象观测

山东海阳核电厂已建立气象观测系统,位于厂址西南角,包括气象梯度观测和厂址专用地面气象站,2023 年 1 月~2024 年 12 月的联合获取率为 99.53%,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

地面气象站位于气象铁塔东南方向。观测项目包括：气压、温度、湿度、雨量、总辐射、净辐射。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
A	<0.5	0															
	0.5~1.9	0	0.017	0.006	0.011	0.006	0.011	0.011	0.011	0.074	0.029	0.006	0.011	0	0.006	0	0.023
	2.0~2.9	0	0.023	0.011	0.006	0.006	0.029	0.160	0.252	0.155	0.034	0.011	0.011	0	0	0.011	0
	3.0~4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.0~5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	<0.5	0.017															
	0.5~1.9	0.029	0.120	0.040	0.046	0.046	0.074	0.218	0.269	0.389	0.212	0.103	0.103	0.069	0.046	0.052	0.034
	2.0~2.9	0	0.040	0.011	0.023	0.029	0.069	0.132	0.326	0.321	0.109	0.029	0.029	0.011	0.006	0.006	0.023
	3.0~4.9	0.120	0.326	0.080	0.086	0.132	0.275	0.367	0.258	0.739	0.424	0.109	0.029	0.017	0.029	0.063	0.155
	5.0~5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	<0.5	0.046															
	0.5~1.9	0.080	0.109	0.063	0.103	0.080	0.086	0.183	0.281	0.349	0.218	0.149	0.097	0.057	0.063	0.029	0.052
	2.0~2.9	0.040	0.115	0.086	0.040	0.132	0.212	0.355	0.470	0.515	0.229	0.178	0.097	0.034	0.046	0.046	0.029
	3.0~4.9	0.321	0.859	0.166	0.166	0.458	0.470	0.767	0.389	0.979	0.762	0.550	0.143	0.109	0.103	0.252	0.269
	5.0~5.9	0.109	0.344	0.029	0.006	0.057	0.097	0.017	0.006	0.132	0.080	0.040	0.006	0.006	0.011	0.074	0.069
	>6.0	0.120	0.200	0.011	0.011	0.023	0.052	0.006	0.011	0.080	0.080	0.034	0	0.006	0.017	0.063	0.069
D	<0.5	0.189															
	0.5~1.9	0.521	0.424	0.338	0.298	0.252	0.258	0.407	0.384	0.407	0.355	0.298	0.155	0.120	0.252	0.298	0.481
	2.0~2.9	0.716	0.636	0.487	0.458	0.481	0.458	0.670	0.762	1.065	0.928	0.584	0.263	0.229	0.212	0.659	0.859
	3.0~4.9	1.833	1.884	0.956	1.466	1.581	1.231	0.888	0.676	2.010	1.712	1.483	0.630	0.636	1.174	2.526	2.331
	5.0~5.9	0.876	0.945	0.338	0.349	0.498	0.447	0.367	0.092	0.785	0.779	0.836	0.292	0.458	0.808	0.762	0.556
	>6.0	1.077	1.329	0.361	0.372	0.808	0.481	0.556	0.132	0.916	1.529	1.340	0.281	0.871	2.371	1.472	1.231
E	<0.5	0															
	0.5~1.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.0~2.9	0.682	0.258	0.246	0.464	0.361	0.286	0.252	0.275	0.269	0.206	0.149	0.057	0.069	0.155	1.306	1.563
	3.0~4.9	0.017	0.023	0.011	0.120	0.040	0.011	0.017	0.034	0.063	0.069	0.040	0	0.017	0.017	0.361	0.269
	5.0~5.9	0	0	0	0	0.011	0.006	0	0	0.046	0.040	0.034	0	0	0	0.006	0
	>6.0	0	0	0	0	0.006	0	0	0	0.017	0.040	0.034	0	0	0	0	0
F	<0.5	0.430															

稳定度	风速 m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
	0.5~1.9	1.174	0.676	0.395	0.384	0.252	0.292	0.269	0.304	0.258	0.172	0.103	0.097	0.092	0.321	1.071	1.392
	2.0~2.9	0.195	0.040	0.017	0.063	0.092	0.029	0.046	0.034	0.029	0.023	0.006	0.011	0.017	0.057	0.596	0.418
	3.0~4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.0~5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

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
A	<0.5	0															
	0.5~1.9	0	0.006	0	0.006	0	0.006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.006
	2.0~2.9	0	0.011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.011	0	0	0	0
	3.0~4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.0~5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	<0.5	0															
	0.5~1.9	0	0.006	0.006	0.006	0.006	0	0.006	0	0	0	0.006	0	0	0	0.006	0.006
	2.0~2.9	0	0	0	0	0.006	0.006	0	0.006	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.0~4.9	0.023	0	0	0	0.006	0.006	0.006	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.0~5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	<0.5	0.006															
	0.5~1.9	0.011	0	0.011	0.017	0.006	0	0.011	0.017	0.006	0	0.006	0	0	0	0.006	0
	2.0~2.9	0	0.017	0.006	0	0.023	0.011	0.006	0	0	0.006	0	0	0	0	0.006	0
	3.0~4.9	0.017	0.017	0.006	0.017	0.029	0.011	0.011	0.006	0.006	0	0	0	0.006	0	0	0.006
	5.0~5.9	0.006	0	0	0	0	0	0	0	0	0.006	0	0	0	0	0.011	0
	>6.0	0	0	0	0.006	0	0	0.006	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	<0.5	0.006															
	0.5~1.9	0.011	0.006	0.011	0	0.017	0	0.023	0	0	0.011	0.011	0.006	0.011	0	0	0.040
	2.0~2.9	0.034	0.046	0.023	0.017	0.029	0.006	0.017	0.023	0.017	0.006	0.017	0.006	0.006	0.006	0.023	0.063
	3.0~4.9	0.178	0.086	0.109	0.080	0.092	0.029	0.080	0.086	0.109	0.017	0.011	0.017	0.006	0.006	0.052	0.080

稳定度	风速 m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
	5.0~5.9	0.034	0.023	0.046	0.074	0.034	0.040	0.040	0.006	0.034	0.023	0.011	0.006	0.017	0.006	0.023	0.006
	>6.0	0.040	0.103	0.052	0.160	0.263	0.103	0.069	0.029	0.034	0.057	0.029	0.011	0.029	0.023	0.034	0.006
E	<0.5	0															
	0.5~1.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.0~2.9	0	0.006	0	0.006	0	0.006	0.006	0.017	0	0	0	0	0	0.006	0	0
	3.0~4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.006	0
	5.0~5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.006	0	0	0	0	0
	>6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	<0.5	0															
	0.5~1.9	0.023	0.017	0	0.006	0.006	0	0	0	0	0	0	0	0.011	0	0	0
	2.0~2.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.006	0
	3.0~4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.0~5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

续表 2.4-2 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
A	<0.5	0															
	0.5~1.9	0	0.011	0.006	0.006	0.006	0.006	0.011	0.011	0.074	0.029	0.006	0.011	0	0.006	0	0.017
	2.0~2.9	0	0.011	0.011	0.006	0.006	0.029	0.160	0.252	0.155	0.034	0.011	0	0	0	0.011	0
	3.0~4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.0~5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	<0.5	0.017															
	0.5~1.9	0.029	0.115	0.034	0.040	0.040	0.074	0.212	0.269	0.389	0.212	0.097	0.103	0.069	0.046	0.046	0.029
	2.0~2.9	0	0.040	0.011	0.023	0.023	0.063	0.132	0.321	0.321	0.109	0.029	0.029	0.011	0.006	0.006	0.023
	3.0~4.9	0.097	0.326	0.080	0.086	0.126	0.269	0.361	0.258	0.739	0.424	0.109	0.029	0.017	0.029	0.063	0.155
	5.0~5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	<0.5	0.040															

稳定度	风速 m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
	0.5~1.9	0.069	0.109	0.052	0.086	0.074	0.086	0.172	0.263	0.344	0.218	0.143	0.097	0.057	0.063	0.023	0.052
	2.0~2.9	0.040	0.097	0.080	0.040	0.109	0.200	0.349	0.470	0.515	0.223	0.178	0.097	0.034	0.046	0.040	0.029
	3.0~4.9	0.304	0.842	0.160	0.149	0.430	0.458	0.756	0.384	0.974	0.762	0.550	0.143	0.103	0.103	0.252	0.263
	5.0~5.9	0.103	0.344	0.029	0.006	0.057	0.097	0.017	0.006	0.132	0.074	0.040	0.006	0.006	0.011	0.063	0.069
	>6.0	0.120	0.200	0.011	0.006	0.023	0.052	0	0.011	0.080	0.080	0.034	0	0.006	0.017	0.063	0.069
	<0.5	0.183															
D	0.5~1.9	0.510	0.418	0.326	0.298	0.235	0.258	0.384	0.384	0.407	0.344	0.286	0.149	0.109	0.252	0.298	0.441
	2.0~2.9	0.682	0.590	0.464	0.441	0.452	0.452	0.653	0.739	1.048	0.922	0.567	0.258	0.223	0.206	0.636	0.796
	3.0~4.9	1.655	1.798	0.848	1.386	1.489	1.203	0.808	0.590	1.901	1.695	1.472	0.613	0.630	1.168	2.474	2.251
	5.0~5.9	0.842	0.922	0.292	0.275	0.464	0.407	0.326	0.086	0.750	0.756	0.825	0.286	0.441	0.802	0.739	0.550
	>6.0	1.037	1.226	0.309	0.212	0.544	0.378	0.487	0.103	0.882	1.472	1.311	0.269	0.842	2.348	1.437	1.226
	<0.5	0															
E	0.5~1.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.0~2.9	0.682	0.252	0.246	0.458	0.361	0.281	0.246	0.258	0.269	0.206	0.149	0.057	0.069	0.149	1.306	1.563
	3.0~4.9	0.017	0.023	0.011	0.120	0.040	0.011	0.017	0.034	0.063	0.069	0.040	0	0.017	0.017	0.355	0.269
	5.0~5.9	0	0	0	0	0.011	0.006	0	0	0.046	0.040	0.029	0	0	0	0.006	0
	>6.0	0	0	0	0	0.006	0	0	0	0.017	0.040	0.034	0	0	0	0	0
	<0.5	0.430															
F	0.5~1.9	1.151	0.659	0.395	0.378	0.246	0.292	0.269	0.304	0.258	0.172	0.103	0.097	0.080	0.321	1.071	1.392
	2.0~2.9	0.195	0.040	0.017	0.063	0.092	0.029	0.046	0.034	0.029	0.023	0.006	0.011	0.017	0.057	0.590	0.418
	3.0~4.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.0~5.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<0.5	0.430															

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

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。根据《烟台市国土空间总体规划》（2021-2035 年），本项目邻近海域为工矿通信用海区。在已调整的近岸海域环境功能区划中，本项目邻近海域属于三类区。

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，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。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。

本节除另有说明外，高程系统均为 1985 国家高程基准。

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）
最高高潮位：	2.82m
最低低潮位：	-2.32m
年平均高潮位：	1.36m
年平均低潮位：	-1.21m
年平均潮位：	0.011m
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:	0.24m
年最低月平均海面:	-0.15m
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:	-0.043m
厂址多年平均高潮位:	1.20m
厂址多年平均低潮位:	-1.19m
厂址多年平均潮差:	2.39m

2.5.1.1.3 海流

根据 2024 年 7 月 10 日~2024 年 7 月 22 日和 2024 年 12 月 16 日~2024 年 12 月 23 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) 潮流的运动形式主要为往复流。涨潮流偏西向,落潮流偏东向,个别站位表现一定的旋转性,近岸站位流向受到岸线形态、水下地形以及海阳港防波堤人工构筑物等的影响发生一定的偏转。

2) 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。

3) 夏季实测各站各层的最大涨、落潮流速分别为 0.55m/s 和 0.54m/s;冬季实测各站各层的最大涨、落潮流速分别为 0.57m/s 和 0.53m/s。夏季各站大潮垂线平均流速为 0.097m/s~0.249m/s,中潮垂线平均流速为 0.103m/s~0.214m/s,小潮垂线平均流速为 0.104m/s~0.196m/s;冬季各站大潮垂线平均流速为 0.095m/s~0.316m/s,中潮平均流速为 0.094m/s~0.265m/s,小潮平均流速为 0.073m/s~0.197m/s。

4) 本海区潮流最大可能流速为 0.01m/s~0.68m/s 之间,潮流质点最大可能运移的方向基本上为偏 W 向。各站位的夏季实测余流量值介于 0.004m/s~0.143m/s、冬季余流量值介于 0.002m/s~0.164m/s;从垂向分布特征看,由表层向底层,余流呈逐渐减小的趋势。

5) 海流采用 12 站同步观测,27 小时连续测量,每小时测量一次,以往复

流为主，涨潮流偏西向，落潮流偏东向。

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) 常浪向、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%。

工程海域强浪向位于 ESE 向。大于 1.5m 的波高年出现率为 0.55%，年最大波高 $H_{1/10}=3.0\text{m}$ ， $H_{1\%}=3.5\text{m}$ 。次强浪向为 SE 向，大于 1.5m 的波高年出现率为 0.34%，年次最大波高 $H_{1/10}=1.8\text{m}$ ， $H_{1\%}=2.3\text{m}$ 。

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%。

工程海域年平均十分之一大波波高为 0.39m。工程海域年平均周期为 3.6s。

2.5.1.1.5 泥沙

根据 2024 年 7 月和 2024 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，厂址附近海域夏季悬沙浓度介于 1.3mg/L~87.1mg/L 之间；小潮期平均含沙量为 20.8mg/L~37.2mg/L；中潮期平均含沙量为 11.1mg/L~42.6mg/L；大潮期平均含沙量为 14.8mg/L~42.5mg/L。厂址附近海域冬季悬沙浓度介于 1.3mg/L~46.8mg/L 之间；小潮期平均含沙量为 9.2mg/L~14.4mg/L；中潮期平均含沙量为 12.0mg/L~24.5mg/L；大潮期平均含沙量为 9.0mg/L~19.4mg/L。各站平均含沙量中，大潮为最大，其次中潮，小潮最小。

厂址海域夏季调查悬沙以黏土制粉砂为主，含有少量的粉砂。各个潮期均是黏土质粉砂占主体。

厂址海域冬季调查悬沙以粉砂为主，含有少量的砂。各个潮期均是粉砂占主体。

厂址海域表层沉积物总体分布呈现近岸粗远海细的特征。夏季和冬季调查粒径最大值分别为 27.6 μm 和 59.7 μm ，分布在核电厂址西侧海域；厂址东侧的乳山口海域粒径也稍大。5 个站位海底沉积物粒度组成相同，均为粘土质粉砂，其余站点均为粉砂，粉砂含量均在 80% 以上。

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（1997 年 3 月~1998 年 3 月）的水温资料，工程海域年平均水温为 14.3℃。8 月平均水温最高，为 27.5℃，极端最高温度出现在 8 月 28 日，为 30.2℃。1 月平均水温最低，为 2.5℃，极端最低温度出现在 1 月 24 日，为 -0.8℃。

2024 年开展的同步水文测验结果表明，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。

各站位在各潮位和潮时温度的变化为随深度的增加而降低。

根据厂址附近海域长期水文站（南黄站）海水温度资料（2015~2022 年），厂址附近海域水温月际变化呈夏秋季高、冬春较低的特征，其中月平均最大值出现在 8 月份，为 25℃ 左右；最小值出现在 1 月份。

2015~2022 年，南黄岛站月平均水温的变化具有峰谷明显的特点，8 月最高，为 26.6℃，2 月份最低，为 2.9℃，年较差为 23.7℃。2~8 月为升温期，9 月至翌年 1 月为降温期，月平均水温的最高值和最低值的变化与平均值变化一致。历年的平均水温为 14.2~14.9℃，其中 2018 年最低，2019 年最高，累年平均水温为 14.6℃。观测的水温极大值为 30.6℃，出现在 2016 年 8 月 12 日，观测水温极小值为 -1.1℃，出现在 2016 年 1 月 25 日。

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‰。

2024 年开展的同步水文测验结果表明，工程海区夏季日平均盐度为 30.30‰~31.44‰，空间分布均匀，垂直变化较小。工程海区冬季日平均盐度在

29.70‰~30.96‰，垂直变化很小，且盐度平面分布呈现近岸盐度高、远岸盐度低的特征。

2.5.1.1.7 海冰

厂址区域所处的地理纬度较低，不易出现结冰现象。根据距离厂址约 15km 东北方向的乳山口海洋站 1960~1979 年冰情观测资料和厂址海洋水文专用观测站 1997~1998 年观测记录分析和厂址附近历史海冰调查结果如下：

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。

工程海区平常年份不出现固定冰，多为流冰。乳山口附近海上流冰的方向，除少数受大风影响支配外，主要是随潮流方向运动。

根据近年观测情况，海阳附近海域只有轻微浮冰，海阳核电厂的取水构筑物附近未发现结冰现象。

总之，厂址附近海区，冬季海上冰情较轻，不存在冰的阻塞引起的洪水。

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) 厂址东西两侧海湾近岸沉积物粒径较粗、沿等深线向外逐渐变细、再向外海过渡变粗的特征。核电厂址附近海域表层沉积物以粉砂和粘土质粉砂为主，受河流输沙的影响，留格河口近岸区域、乳山口外围海域沉积物粒度较粗。在厂址西侧海域，向岸侧为砂含量较高的粉砂类型过渡；厂区南侧及前沿海域砂含量极低，为黏土含量较高的粉砂类型，向岸与粉砂类型过渡；在厂址东侧海域，主要为 U 型海湾地形控制所致，向岸一侧与粉砂或砂质含量较高的粉砂渐变过渡。

(2) 核电厂址近岸附近区域悬沙浓度相对高于外海；泥沙扩散与输移受波浪、潮流、涨落潮过程和风场条件等多种动力因素的共同驱动，涨潮过程向岸输移，近岸悬沙浓度相对较高。在常规天气条件下，厂址区附近海域的泥沙含量相对较低，潮流是影响其悬浮泥沙分布及扩散输移的主要因素。物源来看，海底底床细颗粒物质的再悬浮和厂址附近乳山湾、留格河口的陆源物质输入是主要来源。

(3) 厂址海域整体呈现近岸淤积、离岸冲刷的特征，总体保持基本稳定状

态。

2.5.1.1.9 泥沙冲淤变化趋势

(1) 海阳港现状岸线状态下, 厂址周边大部分外围开阔海域均处于冲淤平衡状态, 海阳港东港区防波堤南侧、鹤鸽岚基岩岬角南侧以及取水口堤坝南侧都处于冲刷状态, 最大冲刷强度分别为 32.2cm/a、3.7cm/a 和 6.6cm/a 左右。老龙头基岩岬角与核电厂址之间的近岸水域淤积区被海阳港东港区堤坝分割为东西两部分, 堤坝西侧淤积作用略强于东侧, 最大淤积强度分别为 5.2cm/a 和 4.2cm/a。取水口门附近及取水明渠内部沉砂池内存在一定淤积, 最大淤积强度在 6.8cm/a。厂址东侧湾内水域也存在略微的淤积, 最大淤积强度为 2.4cm/a, 排水明渠口门处也会产生一定的淤积作用, 最大淤积强度为 6.5cm/a。

(2) 海阳港规划岸线状态下, 海域总体冲淤格局与现状相比将会发生较大改变, 但是取排水明渠附近冲淤变化相对较小。海阳港东港区防波堤向南侧延伸, 其堤头前沿将发生较强冲刷, 最大冲刷强度为 46.6cm/a, 相应海阳港东港区东西两侧淤积作用相助增强, 海阳港与厂址之间的水域最大淤积强度为 6.2cm/a 左右, 但主要发生在距离海阳港东港区防波堤 6km 范围内, 并未远及 1~4 号机组排水口前沿水域。此外, 由于厂址区域附近海域水动力减弱, 取水口堤坝南侧水域冲刷作用略有减弱, 最大冲刷轻度减小到 4.2cm/a 左右。

(3) 现状岸线状况下, 正常天气 4 台机组运行时取水明渠平均淤厚为 5.4cm/a, 最大淤厚为 8.0cm/a, 年淤积量为 1.25 万 m^3 ; 大浪天气 4 台机组运行时取水明渠平均淤厚为 1.6cm, 最大淤厚为 5.4cm, 总淤积量为 0.37 万 m^3 ; 海阳港规划岸线状况下, 受堤坝建设影响, 厂址区域附近水域泥沙活动性有所减弱, 取水明渠泥沙回淤强度略微降低, 正常天气 4 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 1.20 万 m^3 ; 大浪天气 4 台机组运行时取水明渠平均淤厚为 1.5cm, 最大淤厚为 5.2cm, 总淤积量为 0.36 万 m^3 。

(4) 厂址区域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，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

3、4 号机组施工期年用水量约 80 万 m³，设计保证率 90%；正常运行期年用水量 221.7 万 m³，设计保证率 97%。

3、4 号机组采用海水淡化方式提供淡水水源。

2.5.2 地下水

厂址附近范围整体处于留格庄河流域下游，受中部南北向隆起形成的局部地表水分水岭影响，使地下水由小凤岭分别向黄海和乳山口汇流，并由此形成两个水文地质单元（第 I、第 II 水文地质单元）。由于厂址所在半岛属中心区相对隆起的剥蚀台地，可大致以厂址西北界的面状隆起部和东西两侧沟谷集水线（或谷底线）为边界，分为第 I 和第 III 水文地质单元。第 I 和第 II 水文地质单元的界限为地表分水岭，第 I 和第 III 水文地质单元的界限主要为沟谷集水线组成的定水头边界，边界两侧地下水汇流至边界附近后沿集水线向地势低处汇流，最终入海。

主厂区内地下水总体上是由场地中间部位向北、南两个方向排泄入大海。

2.5.2.1 地下水类型及特征

按照含水介质，厂址附近范围地下水主要分为碎屑岩类孔隙裂隙水和松散岩类孔隙水，岩浆岩类基岩裂隙水仅在极小面积分布。厂区场地地下水类型以裂隙水为主，孔隙水仅局部存在。基于上述地下水类型划分三类含水岩组。各含水岩组的地下水特征详述如下：

（1）碎屑岩类孔隙裂隙含水岩组

该含水岩组主要分布于厂址附近范围中部的小凤岭和东南部的陆域剥蚀台地莱阳群水南组地层中，上覆第四系较薄透水不含水层。该含水层岩性主要为砂岩和页岩，含水层以风化裂隙为主，含水层厚度通常在 4~14m，在局部的构造线周边含水层普遍较厚。该含水岩组的地下水位埋深 0.4~5.3m，但由于裂隙发育较差，含水贫乏。根据抽水试验成果，该含水岩组换算后单井涌水量均小于 100m³/d，

水量贫乏。但赋存其中的地下水水质较好，水化学类型多为 $\text{HCO}_3\text{--Na}$ 型水，TDS 通常小于 1.0g/L ，属淡水。

（2）松散岩类孔隙含水岩组

该含水岩组主要分布在厂址附近范围内主要河流两侧、滨海地带及剥蚀台地两侧缓坡地带，是厂址附近范围面积最大而且富水性也较好的主要含水层。含水层厚度从剥蚀台地和滨海地带分别向留格庄河逐渐增加，含水层中黏土质含量逐渐减小。地下水补给来源相对充沛，除大气降水渗入补给外，台地区地下水侧向径流、河水渗入都是其重要的补给来源。

留格庄河的河谷及阶地地段含水层岩性为细砂、中粗砂及卵砾石等，埋藏于粉土或粉质黏土之下，或于河床漫滩处出露。富水性差异较大，在部分村一带，富水性中等—强，单井涌水量 $1000\sim 3000\text{m}^3/\text{d}$ ，其它地段单井涌水量 $500\sim 1000\text{m}^3/\text{d}$ 。地下水 TDS 均小于 1g/L ，地下水化学类型以 $\text{SO}_4\text{ Cl HCO}_3\text{--Na Ca}$ 型水为主。

湾口的滨海平原区含水层岩性为海积、冲洪积海陆交互的灰黄色、褐黄色粉质黏土，灰黑色粉砂质淤泥，褐灰色、土黄色粉质黏土，细砂和粉砂。根据附近项目专题成果推测富水性较为单一，水量普遍贫乏，单井涌水量一般小于 $500\text{m}^3/\text{d}$ ，留格庄河流入海口附近水量中等，单井涌水量在 $500\sim 1000\text{m}^3/\text{d}$ 之间。该含水亚组地下水化学类型主要为 $\text{Cl--Na}\cdot\text{Ca}$ 型水，TDS 一般大于 1.0g/L 。

厂址附近范围内剥蚀台地两侧坡麓和谷缘地带含水岩组岩性主要为灰黄色、红棕色含砾砂质黏土、黏土质粉砂，局部含砾砂、砂砾层。其富水性整体较差，单井涌水量均小于 $100\text{m}^3/\text{d}$ 。赋存其中的地下水水质较好，水化学类型以 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl--Ca}\cdot\text{Na}$ 和 $\text{HCO}_3\text{--Ca Na}$ 型水为主，TDS 一般小于 1g/L 。

（3）岩浆岩类基岩裂隙含水岩组

该含水岩组主要以岩脉形式线状极小面积分布，大部分为通天岭单元灰红色中粗粒二长花岗岩。已有工程抽水试验结果表明中等及以上风化带的渗透系数为 $1.32\times 10^{-4}\sim 2.67\times 10^{-2}\text{cm/s}$ ，该含水岩组的富水性相对较统一，均小于 $100\text{m}^3/\text{d}$ ，构成富水性一般的含水亚组。岩浆岩类基岩裂隙水的水质整体较好，通常为 TDS 低于 0.5g/L 的良好淡水。

2.5.2.2 地下水补给、径流、排泄

（1）碎屑岩类孔隙裂隙水

分布于厂址附近范围内小凤岭及其周边剥蚀台地，岩石大部分裸露和被薄层

黏性土覆盖。岩石风化裂隙较发育，多被黏性土充填，其主要补给来源为大气降水，且地形相对平缓，覆盖好，有利于降水渗入。地下水径流与地形变化一致，只在浅表全-强风化层地下水径流速度较快，中风化层因透水性较差，径流速度慢，径流量小。排泄方式以地下水侧向径流排泄为主，其次在低洼区水位埋藏较浅处，蒸发也是排泄方式之一。

（2）松散岩类孔隙水

松散岩类孔隙水主要补给来源为大气降水，区内包气带岩性主要以粉土、砂土为主，结构松散，渗透性强，为大气降水就地入渗补给提供了有利条件。另外，留格庄河的河流侧向补给及灌溉水的回灌补给也是松散岩类孔隙水重要的补给来源，补给量的大小决定于降水量、降水强度、河流径流量、灌溉量及灌溉方式、地下水位埋深、包气带岩性、地形地貌条件等诸多因素。

松散岩类孔隙水地下水的径流主要受区内地形地貌、含水层岩性、水力坡度和水文气象等因素控制。地下水接受大气降水入渗补给后，在地形地貌、水力坡度等控制下，地下水的运动与地形变化基本一致。整体上，在第Ⅰ水文地质单元地下水自西北向东南径流，在第Ⅱ水文地质单元地下水在留格庄河东岸自东北向西南径流，在留格庄河西岸自西北向东南径流，最终径流入海。

地下水排泄有三种途径，主要是农田灌溉排泄、河流（海洋）排泄和蒸发排泄。厂址附近范围内农业灌溉对地下水开采量相对较小。地下水以地下潜流的方式汇入河流向下游排泄，是厂址附近范围地下水的主要排泄途径之一。此外，地面土壤蒸发和植物蒸腾也是地下水消耗的途径之一。

（3）岩浆岩类基岩裂隙水

岩浆岩类基岩裂隙水主要赋存在花岗岩与厂区岩脉中，在厂址附近范围内分布较少。基岩裂隙以大气降水补给为主，其补给程度主要与地形地貌、裂隙发育程度关系密切。基岩裂隙一般发育细微，基岩出露处地势较高，地形坡度较大，大部分降水以片流形式流失，仅部分大气降水直接沿裂隙发育方向渗入地下形成径流。

2.5.2.3 地下水弥散度

为了测试地下水的弥散度，选择碎屑岩类孔隙裂隙含水岩组钻孔 HYZK-004 和 HYZK-005 开展了 2 组地下水弥散试验。

2.5.2.4 岩土体渗透性与吸附系数

（1）包气带渗透性

厂址附近范围内坡残积层岩性为含砾粉土和粉质黏土，冲洪积层岩性为细、中粗砂或砾石。坡残积层区域降雨入渗补给系数经验值 0.09~0.15，冲洪积层区域降雨入渗补给系数经验值 0.28~0.38。

为探究包气带垂向渗透性，厂址附近范围水文地质调查期间选择了 12 处第四系相对较厚的位置进行了双环渗水试验。按照《核电厂水文地质调查与评价技术规范》（NB/T 20306-2014）含水介质渗透性分级标准，厂址附近范围第四系渗透性等级为大多为中等透水至微透水，只有岩性为含黏土中粗砂和中粗砂的试验点渗透性为强透水。

（2）岩体渗透性

已完成本期工程详勘阶段钻孔压水试验。

为得到厂址附近范围内第四系松散含水层的渗透系数，在留格庄河流域布设 3 个厂外地下水监测孔成井后进行抽水试验，表层为第四系松散沉积物，揭露强~中等风化基岩，含水层渗透性都为中等透水。厂区内抽水试验利用详勘阶段已有试验成果，试验结果显示 3 号核岛、常规岛及 BOP 区渗透系数属弱透水岩体。4 号核岛、常规岛及 BOP 区渗透系数属于弱透水~中等透水。

综合压水试验和抽水试验成果，厂区内基岩渗透性具有非均匀性、各向异性和随机性的特点，基岩裂隙均匀性差，渗透性存在较大差异。3 号岛及常规岛区微风化岩体以微透水为主，局部节理连通性较好的地段弱透水~中等透水；中等风化岩体弱透水，局部节理连通性较好的地段为中等透水。4 号核岛及常规岛区微风化岩体以弱透水为主，局部微透水，节理连通性较好地段中等透水；中等风化岩体弱透水~中等透水。

（3）岩土体吸附系数

根据厂址回填土样品和岩石样品的吸附性参数测试结果，岩石样品对于金属元素的吸附系数要远大于回填土。岩土吸附系数主要受到岩土体结构风化程度影响，岩石样品比土壤样品对金属元素具有较好的吸附性。

2.5.2.5 地下水与地表水的水力联系

厂区附近主要河流为留格庄河以及个别水量很少的灌溉水渠。留格庄河干流整体自西北向东南流动，北面两条支流与干流汇合后流入黄海。留格庄河干流的水量较大，河流切割作用更强；支流水量较小，河流切割作用较弱。河流的流量

主要受大气降雨的影响，雨季流量大，旱季流量小。

厂址附近范围内分水岭西部河水补给地下水，补给强度与大气降水对河流的补给量成正相关，地下水位受降雨影响大。厂址所在分水岭东部没有河流分布，地下水位主要受当地大气降雨影响。

根据厂区钻孔水位和海水水位同步观测以及水质分析结果，厂区地下水位高于潮水位，潮水位的涨落变化对地下水位没有影响，不会发生海水入渗的情况。

2.5.2.6 地下水水质评价

厂址附近范围地下水的 pH 值范围为 6.63~7.99，平均值为 7.3，水质整体呈现中性略偏碱性。氧化还原电位范围为-5~138mV，平均值为 81.9mV，地下水处于偏氧化环境。总硬度为 51~2212mg/L，平均值为 406mg/L，整体上表现出偏硬水的特点。TDS 为 76~4544mg/L，平均值为 740.6mg/L，整体上属于中低矿化度的淡水。

地下水的水化学类型呈现出多样性，阴离子主要以 HCO_3^- 为主导离子，阳离子主要以 Ca^{2+} 和 Na^+ 为主导离子，以三种主导离子组合的地下水化学类型共 7 种： $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Ca Na}$ 、 $\text{HCO}_3\text{ Cl-Ca Na}$ 、 $\text{HCO}_3\text{ Cl-Na Ca}$ 、 $\text{HCO}_3\text{ Cl-Ca Mg}$ 、 $\text{HCO}_3\text{ NO}_3\text{-Ca}$ 和 $\text{HCO}_3\text{ NO}_3\text{-Ca Na}$ ，主要分布于中东部大面积区域。

根据本期工程详勘测试成果，未受海水影响的地下水对混凝土结构有微腐蚀性；对钢筋混凝土结构中的钢筋在干湿交替情况下具有微~弱腐蚀性；在长期浸水的情况下具有微腐蚀性。受海水影响的地下水对混凝土结构有弱~中等腐蚀性，对钢筋混凝土结构中的钢筋在干湿交替情况下具有强腐蚀性；在长期浸水的情况下具有微腐蚀性。海水对混凝土结构具中等腐蚀性；对钢筋混凝土结构中的钢筋在长期浸水情况下具弱腐蚀性，干湿交替情况下具强腐蚀性。

2.5.2.7 厂址附近地下水利用情况

厂址附近范围内无集中民用采水和大型厂矿取水工程。核电厂无利用地下水的计划。厂址半径 5km 范围内的水井分布于当地村民聚居区，取水用途均为日常生活用水。

厂址区附近 500m 不存在地下水用户敏感点，距离厂址区最近的农村生活供水井，与厂址区分属不同的水文地质单元，与厂址区的地下水无水力联系，不受厂址区的地下水影响。

2.5.2.8 地下水影响评价

厂址区基岩埋藏较浅，基岩透水性很差，水力联系不明显，基本不存在一个反映水力联系的连续地下水面；上覆坡残积层透水性虽好但常处于地下水位以上，且厂区在一期工程期间已完成场地平整工作，场地平整时坡残积层基本挖除，地下水特征早已稳定，本期工程不存在由于场地平整造成的地下水基本特征的变化，厂址区位于独立的第Ⅲ水文地质单元，为独立的局部地下水体，工程建设不会对外围居民的生活用水产生不利影响。

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

核安全导则《滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定》（HAD 101/09）指出，滨海核电厂的设计基准洪水是一个核电厂应经受的可能最大的洪水，它应是下列多种因素的最不利的组合。

- （1）极端洪水事件
- （2）历史最高天文潮
- （3）陆域洪水
- （4）风一浪的影响
- （5）海平面的异常现象

对于极端洪水事件，它应该是下列洪水类型中最严重的一种，即：

- （1）可能最大风暴潮引起的洪水
- （2）可能最大海啸引起的洪水（如果存在时）
- （3）可能最大假潮引起的洪水（如果存在时）
- （4）由上述（1）～（3）项严重事件的组合引起的洪水

同时，HAD 101/09 也指出，这些因素应分别论述，但不能采用简单的线性叠加，总水位的合成要综合处理，把各种非线性的因素考虑进去。

根据调查研究，历史上黄海没有发生海啸的记录，附近青岛港验潮记录中，也从未发现过海啸记录。厂址可不考虑地震海啸影响。根据青岛和乳山口站 1981 年～1985 年和厂址水文专用站 1997 年 3 月～1998 年 2 月同步逐时潮汐观测资料，

发生在黄海中的假潮现象是伴生在风暴潮增减水过程中的。假潮振幅在厂址附近可达 40cm，但假潮振动已被包含在风暴潮水位中。

根据中国海洋大学 2023 年 6 月完成的《海阳核电 5、6 号机组工程设计基准洪水位、设计基准低水位复核分析报告》，对厂址的天文潮、可能最大风暴潮、海平面上升、可能最大台风浪等进行复核计算。

经复核，厂址西侧护堤前沿的可能最大台风浪 $H_{1/100}$ 为 2.64m。

综上，海阳 3、4 号机组工程厂址考虑波浪影响的设计基准洪水位=10%超越概率天文高潮位（2.11m）+可能最大风暴潮增水（3.85m）+厂址寿期内平均海平面升高（0.20m）+可能最大台风浪影响（ $0.6 \times 2.64m$ ）=7.74m。与原设计基准洪水位（8.02m）相比，原设计基准洪水位略保守，因此，海阳 3、4 号机组工程厂址考虑波浪影响的设计基准洪水位仍维持 8.02m。与建造阶段采用的设计基准洪水位一致。

山东海阳 3、4 号机组工程与核安全有关区域的室外厂坪标高为 8.37m，高于考虑波浪影响的设计基准洪水位（8.02m），可确保厂址防洪安全，满足有关核安全法规的要求。

2.6 地形地貌

厂址附近范围处于胶东低山丘陵地带南部，因受胶东脊背地形影响，地势由北向南倾斜，北倚低山丘陵区，最高的小凤岭山高 62m，河流多为北源南流。西部为冲海积平原，高程（1985 国家高程基准，下同）一般在 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。沿河地带及丘陵群之间形成互不连片的山间河谷平原，地貌成因类型及形态如下：

（1）剥蚀台地

该区海拔 20~62m，切割深度 2m 左右。地貌形态皆为低矮的隆岗，残丘，起伏平缓，坡降为 2%。岗丘之间沟壑开阔宽敞，岗丘之前缘经流水侧蚀形成陡坎，局部有基岩深露。在临海处地面平，向海微倾斜，为覆盖很薄的海蚀基座台地，同时因沟壑切割面分布不连续，局部为古海蚀崖构成的陡。地表残坡积层发育，且被沟壑切割。岩性主要为中生代砂砾岩、页岩、花岗岩。

（2）山间河谷平原

山间平原属冲洪积堆积地形，其成因主要为山间河谷洼地冲洪积平原。主要分布于留格庄河两侧，海拔 5~15m，自上游向下游逐渐降低，坡降 1‰~2‰。上游狭窄，下游宽广，为高出河床 2~4m 的一级阶地。冲积物厚 5~15m，上覆黏质砂土，下伏砂砾石层，具双重结构。

（3）海积平原

陆地南缘沿海岸分布，海拔 3~10m，地形极平坦，向海面微倾斜，地面坡降 0.5% 左右。地表岩性多为粉砂、黏质砂土，下伏海相泥，厚 5~18m。地形态有滨岸砂堤、风力再造砂丘等。

（4）微地貌

厂址附近范围内还分布海蚀崖、海蚀岩滩、岩礁、海蚀洞和倒石堆等微地貌。

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 5~12m 左右。

厂址区原始地貌类型主要有剥蚀夷平台地、海蚀岩滩和岩礁等，现厂区整个场地已整平至厂坪开挖标高（+8.07m 左右），场地平整、开阔。核岛及常规岛基坑已完成施工回填。厂区护堤工程已完成。厂区北侧已修建完成主要进厂道路，往北和威青高速公路相接。在场地西北边已修建完成核电厂第二通道，与海阳市

的滨海大道连接。

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

山东核电有限公司已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（2024 年）》的监测结果，编制完成以下内容。

厂址半径 15km 范围内有海阳核电 1、2 号机组，分别于 2018 年、2019 年投入商运。本项目为扩建项目，于 2022 年 7 月开工建设。厂址半径 15km 范围内没有铀（钍）矿和伴生放射性矿的开发利用情况等。

3.1.1.1 调查内容、范围及布点原则

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 30km 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。2024 年 6 月，海阳核电厂对照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021），升版了《环境监测大纲》，调整了部分监测点位及监测项目。布点原则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。

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 辐射空气吸收剂量率连续监测、瞬时 γ 辐射空气吸收剂量率和 γ 辐射累积剂量。调查范围及点位信息如下：

（1） γ 辐射空气吸收剂量率连续监测：海阳核电厂共有 9 个环境 γ 辐射监测子站，其中厂区 3 个，厂外 6 个。

（2）瞬时 γ 辐射空气吸收剂量率：在以核电厂为中心，半径为 30km 的范围内，在道路、原野等选取 49 个监测点（原野点位 46 个），每季度进行一次 γ

辐射空气吸收剂量率的瞬时测量。

(3) γ 辐射累积剂量：每季度第一个月初开展热释光剂量片 (TLD) 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，采样频次为 1 次/年，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 (气象站)，厂外 4 个。调查内容及方案如下：

(1) 气溶胶

2024 年 1 月至 6 月，厂外 1 个子站气溶胶样品的监测频率为 1 次/月，2024 年 7 月至 12 月，厂外 1 个子站气溶胶样品的监测频率为 1 次/周；其余 4 个子站气溶胶样品的监测频率为 1 次/月。采集的样品主要用于 γ 核素及总 α 、总 β 分析，样品采样体积大于等于 10000m^3 。

(2) 空气中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I

2024 年 1 月至 6 月，厂外 1 个子站空气 ^3H 样品的监测频率为 1 次/月，2024 年 7 月至 12 月，厂外 1 个子站空气 ^3H 样品的监测频率为 1 次/周；其余 4 个子站空气 ^3H 样品的监测频率为 1 次/月。采样持续时间为 1 天~1 周，使用冷凝法、硅胶吸附法采样。

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 300m^3 。

(3) 降水

2024 年 1 月至 6 月，雨水 ^3H 样品的监测频率为 1 次/季，每季度首次降雨后收集样品，采样后立即进行 ^3H 测量；2024 年 7 月至 12 月，雨水 ^3H 样品的监测频率为 1 次/月，每次降雨后收集样品，月度累积样品取 500mL ，进行 ^3H 测量，剩余样品作为测量 γ 核素的累积季度样品。

雨水 γ 核素样品的监测频率为 1 次/季，每次降雨后收集样品，累积季度样

品进行 γ 核素测量。

(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 γ 核素和 ^{90}Sr 测量。

4) 水体

调查内容如下：

(1) 地表水

地表水采集 3 个点位样品，采样频率为 1 次/半年，分析项目为 γ 核素和 ^3H ，2024 年 6 月《环境监测大纲》升版后，地表水下半年新增分析总 β 项目，采样频率为 1 次/半年。

(2) 饮用水

饮用水采集 5 个点位样品，采样频率为 1 次/半年，分析项目为总 α 、总 β 、 γ 核素及 ^3H ，2024 年 6 月《环境监测大纲》升版后，2 个点位的饮用水样品下半年新增分析 ^{90}Sr 项目，采样频率为 1 次/半年。

(3) 地下水

厂外地下水设置 2 个采样点位，采样频率为 1 次/半年，分析项目为 γ 核素、 ^3H 和 ^{90}Sr ，2024 年 6 月《环境监测大纲》升版后，地下水新增了 1 个点位。

厂区地下水采样点位分别为：厂区三口地下水监测井（P1、P2、P3）、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。2024 年 1 月~6 月，P1~P3、W1~W3、W5、W7 监测频率为 1 次/季，W4、W6 监测频次为 1 次/月，分析项目为 ^3H ，其中，若发现样品 ^3H 活度异常，则进行 γ 核素分析。2024 年 6 月《环境监测大纲》升版后，取消了 W4 井，新增了 XW2 井，XW2 和 W6 井的 ^3H 样品监测频次 1 次/月，其余厂区地下水井采样频率为月度抽测，分析项目为 ^{90}Sr 、 γ 核素及 ^3H 。

(4) 海水

海水选择取排水口附近海域的 8 个点位及烟台近海 1 个点位进行取样分析，采样频率为 1 次/半年，分析项目为 γ 核素、 ^3H 和 ^{90}Sr ，2024 年 6 月《环境监测大纲》升版后，下半年海水样新增总 β 分析项目，采样频率为 1 次/半年。

5) 淡水沉积物、潮间带土、底泥

淡水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。

潮间带土设置 3 个采样点位，覆盖排水口区域和取水口区域。采样频次为 1 次/年，分析项目与土壤相同。

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）水生生物

水生生物主要采集海水生物。采样点位有 3 个（含对照点位）。采样种类包括：鲛鱼（海鱼）、蛤蜊（贝壳类）、爬虾（甲壳类）及章鱼（软体类），分析项目为 γ 核素和 ^{14}C ，蛤蜊和章鱼分析项目还有 ^3H 和 ^{90}Sr ，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，并设置对照点位。采样种类包括：花生、玉米、小麦、白菜和苹果，采样频次为 1 次/年，采样时间为收获季，分析项目主要有 ^3H 、 ^{90}Sr 、 γ 核素和 ^{14}C ，其中白菜不分析 ^{14}C ；干草分析项目为 γ 核素。

（3）家畜、家禽

家畜和家禽的采样点位有 3 个（含对照点位），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 核素和 ^{14}C ，2024 年 6 月《环境监测大纲》升版后，下半年分析项目新增了 ^3H 和 ^{90}Sr ，采样频次为 1 次/年。

（4）牛奶

选择距离厂址最近的奶牛场采集牛奶样品，采样频次为 1 次/年，2024 年 6 月《环境监测大纲》升版后，下半年采样频次变更为 1 次/季，分析项目主要有 ^{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）。松针采样点位有 2 个，牡蛎采样点位有 3 个。其中 1 个点位的牡蛎 γ 核素采样频次为 1 次/季，其余采样频次为 1 次/年。指示生物的分析项目为 γ 核素、 ^{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

实验室样品放射性测量方法、装置及探测下限严格按照相关标准执行。

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 辐射空气吸收剂量率连续监测

2024 年各监测子站 γ 辐射空气吸收剂量率连续监测总数据获取率为 99.20%,连续监测数据小时均值范围为 98.8~268.1nGy/h (未扣除宇宙射线响应),对照点样品连续监测数据小时均值范围为 98.8~194.6nGy/h (未扣除宇宙射线响应)。

(2) 瞬时 γ 辐射空气吸收剂量率

2024 年厂区及周边区域瞬时 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果范围为 40.7~125.2nGy/h,平均值为 79.6nGy/h,测量结果已扣除宇宙射线响应。对照点样品瞬时 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果范围为 55~88nGy/h,平均值为 72nGy/h,测量结果已扣除宇宙射线响应。

(3) γ 辐射累积剂量监测

2024 年 γ 辐射累积剂量测量的热释光剂量片回收率为 97.9%,环境 γ 辐射空气吸收剂量率累积测量结果范围为 29.4~167.0nGy/h 之间,平均值为 85.1nGy/h,测量结果已扣除宇宙射线响应。对照点样品 γ 辐射空气吸收剂量率累积测量结果范围为 55~121nGy/h,平均值为 81nGy/h,测量结果已扣除宇宙射线响应。

2) 土壤

2024 年共分析了 12 个土壤样品,分析项目为 ^{90}Sr 和 γ 核素。

土壤 ^{90}Sr 活度浓度范围为 <0.19~0.52Bq/kg 干。对照点样品 ^{90}Sr 活度浓度为 0.49Bq/kg 干。

通过 γ 核素分析,所有样品中测出天然核素 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{238}U ,活度浓度范围为 657~867Bq/kg 干、18.9~46.9Bq/kg 干、25.7~62.9Bq/kg 干和 16.5~42.0

Bq/kg·干，所有点位监测到人工核素 ^{137}Cs ，活度浓度范围为 $5.40\text{E-}01\sim 2.47\text{Bq/kg}$ 干，其余关注 γ 核素活度浓度均小于探测下限。对照点样品 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U 、 ^{137}Cs 活度浓度分别为 729Bq/kg 干、 40.3Bq/kg 干、 61.7Bq/kg 干、 41.7Bq/kg 干、 2.47Bq/kg 干。

3) 大气、沉降物

(1) 气溶胶

2024 年共分析了 79 个气溶胶样品，测量项目主要包括总 α 、总 β 和 γ 核素，样品总 α 及总 β 测值范围分别为 $2.90\text{E-}05\sim 2.70\text{E-}04\text{Bq/m}^3$ 、 $2.45\text{E-}04\sim 2.05\text{E-}03\text{Bq/m}^3$ ，平均值分别为 $1.24\text{E-}04\text{Bq/m}^3$ 和 $1.03\text{E-}03\text{Bq/m}^3$ ； γ 核素测量中，所有样品测出天然核素 ^7Be ，测值范围为 $7.26\text{E-}04\sim 8.18\text{E-}03\text{Bq/m}^3$ ，平均值为 $4.69\text{E-}03\text{Bq/m}^3$ ；其它关注核素活度浓度均小于探测下限。对照点样品总 α 、总 β 测值范围分别为 $6.00\text{E-}05\sim 2.40\text{E-}04\text{Bq/m}^3$ 、 $4.80\text{E-}04\sim 1.95\text{E-}03\text{Bq/m}^3$ ，天然核素 ^7Be 测值范围为 $9.25\text{E-}04\sim 7.22\text{E-}03\text{Bq/m}^3$ 。

2024 年共分析了 5 个子站的气溶胶年混合样品，测量项目为 ^{90}Sr ，样品中 ^{90}Sr 测值范围为 $2.02\text{E-}07\sim 5.8\text{E-}07\text{Bq/m}^3$ ，平均值为 $3.34\text{E-}07\text{Bq/m}^3$ 。对照点样品 ^{90}Sr 测值为 $5.8\text{E-}07\text{Bq/m}^3$ 。

(2) 空气中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I

2024 年共分析了 81 个空气样品，测量项目为 ^3H ，样品中 ^3H 测值范围为 $<3.00\text{E-}03\sim 4.1\text{E-}02\text{Bq/m}^3$ 。对照点样品 ^3H 测值范围为 $<3.00\text{E-}03\sim 1.49\text{E-}02\text{Bq/m}^3$ 。

2024 年共分析了 60 个空气样品，测量项目为 ^{14}C 和 ^{131}I ， ^{14}C 测值范围为 $4.46\text{E-}02\sim 7.09\text{E-}02\text{Bq/m}^3$ ；所有样品均未测出 ^{131}I 。对照点样品 ^{14}C 测值范围为 $4.46\text{E-}02\sim 6.10\text{E-}02\text{Bq/m}^3$ 。

(3) 沉降物

2024 年共分析了 20 个沉降物样品，测量项目为 ^{90}Sr 和 γ 核素，样品中 ^{90}Sr 测值范围为 $<1.9\text{E-}04\sim 1.0\text{E-}03\text{Bq/m}^2\cdot\text{d}$ ；所有样品均测出天然核素 ^7Be ，测值范围为 $2.40\text{E-}01\sim 1.92\text{Bq/m}^2\cdot\text{d}$ ；天然核素 ^{40}K 的测值范围为 $<2.36\text{E-}02\sim 3.98\text{E-}01\text{Bq/m}^2\cdot\text{d}$ ；天然核素 ^{232}Th 的测值范围为 $<1.94\text{E-}03\sim 2.30\text{E-}02\text{Bq/m}^2\cdot\text{d}$ ；其余关注核素活度浓度均低于探测下限。对照点样品 ^{90}Sr 测值范围为 $<2.4\text{E-}04\sim 9.0\text{E-}04\text{Bq/m}^2\cdot\text{d}$ ，天然核素 ^7Be 测值范围为 $2.40\text{E-}01\sim 1.32\text{Bq/m}^2\cdot\text{d}$ ，天然核素 ^{40}K 的测值范围为 $<2.36\text{E-}02\sim 7.5\text{E-}02\text{Bq/m}^2\cdot\text{d}$ ，天然核素 ^{232}Th 的测值范围为

$<2.27\text{E-}03\sim5.3\text{E-}03\text{Bq/m}^2\cdot\text{d}$ 。

(4) 降水

2024 年共分析了 20 个雨水样品中 γ 核素和 35 个雨水样品中 ^3H ，样品中 ^3H 测值范围为 $<7.80\text{E-}01\sim2.08\text{Bq/L}$ ；通过 γ 核素测量，仅有部分样品测出天然核素 ^{40}K ，所有样品 ^{40}K 的活度浓度范围为 $<3.34\text{E-}02\sim2.29\text{Bq/L}$ ，其余关注核素活度浓度均低于探测下限。对照点样品 ^3H 测值范围为 $<0.78\sim1.92\text{Bq/L}$ ， ^{40}K 的活度浓度范围为 $<2.10\text{E-}01\sim2.29\text{Bq/L}$ 。

4) 水体

(1) 地表水

2024 年共分析了 6 个地表水样品，测量项目主要包括 γ 核素及 ^3H ，下半年分析了 3 个地表水样品的总 β 。一个样品中 ^3H 活度浓度为 0.86Bq/L ，其他样品中 ^3H 活度浓度均小于探测限； γ 核素仅测出天然核素 ^{40}K ，其活度浓度范围为 $8.00\text{E-}02\sim5.30\text{E-}01\text{Bq/L}$ ，其余关注核素活度浓度均低于探测下限；三个样品中总 β 活度浓度范围为 $0.078\sim0.155\text{Bq/L}$ 。对照点样品 ^3H 小于探测限，天然核素 ^{40}K 活度浓度范围 $8.0\text{E-}02\sim5.30\text{E-}01\text{Bq/L}$ ，总 β 活度浓度为 0.101Bq/L 。

(2) 饮用水

2024 年共分析了 10 个饮用水样品，各样品均进行总放、 ^3H 和 γ 核素分析，下半年还对 2 个点位的饮用水进行了 ^{90}Sr 分析。所有样品中总 α 均小于探测下限；总 β 的活度浓度范围为 $0.008\sim0.205\text{Bq/L}$ ；上半年 3 个样品中 ^3H 活度浓度分别为 1.18Bq/L 、 2.08Bq/L 、 2.55Bq/L ，其余样品中 ^3H 活度浓度均小于探测下限； γ 核素仅测出天然核素 ^{40}K ，其活度浓度范围为 $<7.75\text{E-}03\sim3.14\text{E-}01\text{Bq/L}$ ，其余关注核素活度浓度均低于探测下限；2 个样品中 ^{90}Sr 的活度浓度分别为 $9.83\text{E-}04\text{Bq/L}$ 和 $2.62\text{E-}04\text{Bq/L}$ 。

(3) 地下水

2024 年共分析了厂区外 5 个地下水样品，分别进行了 ^3H 、 ^{90}Sr 和 γ 核素分析。上半年 1 个样品中 ^3H 活度浓度为 1.32Bq/L ，其余样品 ^3H 活度浓度均低于探测下限；所有样品中 ^{90}Sr 活度浓度范围为 $8.7\text{E-}04\sim3.71\text{E-}03\text{Bq/L}$ ；经过 γ 核素测量分析，下半年 2 个点位测出 ^{40}K ，其活度浓度分别为 $4.64\text{E-}01\text{Bq/L}$ 和 $1.23\text{E-}01\text{Bq/L}$ ；其余关注核素活度浓度均低于探测下限。

2024 年共分析了 58 个厂区地下水样品，主要进行 ^3H 分析。2024 年 6 月进

行了《环境监测大纲》修订，W4 监测井由 XW2 监测井替代，XW2 监测井监测结果作为每月控制区地下水监测井的数据上报，6~12 月对 XW2 井 ^3H 活度监测分析，其浓度活度范围为 $<0.85\sim 1.22\text{Bq/L}$ ；每月对 W6 井 ^3H 活度监测分析， ^3H 活度浓度范围为 $<0.87\sim 2.54\text{Bq/L}$ ；其余 8 个厂区地下水井样品每季度取样分析，其活度浓度范围为 $<0.78\sim 2.17\text{Bq/L}$ 。

2024 年下半年还分析了 15 个厂区地下水样品，分别进行了 ^{90}Sr 和 γ 核素分析，样品中 ^{90}Sr 的活度浓度范围为 $<8.0\text{E-}04\sim 4.19\text{E-}03\text{Bq/L}$ ，经 γ 核素分析，仅测出天然核素 ^{40}K ，其活度浓度范围为 $<4.70\text{E-}02\sim 3.70\text{E-}01\text{Bq/L}$ ，其余关注核素活度浓度均低于探测下限。

（4）海水

2024 年共分析了 18 个海水样品，分别进行 ^3H 、 ^{90}Sr 和 γ 核素分析，下半年 9 个海水样品同时开展了总 β 分析。样品中 ^{90}Sr 活度浓度范围为 $1.55\text{E-}03\sim 6.60\text{E-}03\text{Bq/L}$ ；样品中 ^3H 活度浓度范围 $<0.85\sim 3.51\text{Bq/L}$ ，下半年 9 个海水样品中总 β 活度浓度范围为 $11.6\sim 17.5\text{Bq/L}$ 。经过 γ 核素测量分析， ^{137}Cs 活度浓度范围为 $5.20\text{E-}04\sim 9.80\text{E-}04\text{Bq/L}$ ，其余关注 γ 核素活度浓度均小于探测下限。对照点样品 ^{90}Sr 活度浓度范围为 $1.90\text{E-}03\sim 4.1\text{E-}03\text{Bq/L}$ ， ^3H 活度浓度范围为 $0.99\sim 2.32\text{Bq/L}$ ， ^{137}Cs 活度浓度范围为 $5.2\text{E-}04\sim 8.6\text{E-}04\text{Bq/L}$ 。

5）淡水沉积物、潮间带土、底泥

（1）淡水沉积物

2024 年共分析淡水沉积物样品 3 个，各样品均进行了 ^{90}Sr 和 γ 核素分析。所有样品中 ^{90}Sr 活度浓度范围为 $<0.2\sim 0.72\text{Bq/kg 干}$ ；通过 γ 核素分析，所有样品均测出天然核素 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{238}U ，活度浓度范围分别为 $453\sim 822\text{Bq/kg 干}$ 、 $30.6\text{E}\sim 46.5\text{Bq/kg 干}$ 、 $42.6\sim 82.0\text{Bq/kg 干}$ 和 $35.0\sim 99.0\text{Bq/kg 干}$ ，其余关注核素活度浓度均小于探测下限。对照点样品测出天然核素 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{238}U ，活度浓度分别为 822Bq/kg 干 、 46.5Bq/kg 干 、 82.0Bq/kg 干 、 49.0Bq/kg 干 。

（2）潮间带土

2024 年共分析潮间带土样品 3 个，各样品均进行了 ^{90}Sr 和 γ 核素分析。所有点位样品中 ^{90}Sr 测量值范围为 $0.22\sim 0.84\text{Bq/kg 干}$ ；通过 γ 核素分析，所有点位测出天然核素 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{238}U ，活度浓度范围分别为 $768\sim 832\text{Bq/kg 干}$ 、 $15.2\sim 20.9\text{Bq/kg 干}$ 、 $19.1\sim 28.6\text{Bq/kg 干}$ 和 $12.6\sim 27.0\text{Bq/kg 干}$ ，所有点位样品均测

出人工放射性核素 ^{137}Cs ，活度浓度范围为 $4.4\text{E}-01\sim 6.3\text{E}-01\text{Bq/kg}$ 干，其余关注核素活度浓度均小于探测下限。

(3) 底泥

2024 年共分析了 8 个底泥样品，各样品均进行了 ^{90}Sr 和 γ 核素分析。所有点位样品中 ^{90}Sr 的活度浓度范围为 $<0.22\sim 0.80\text{Bq/kg}$ 干；通过 γ 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 $613\sim 719\text{Bq/kg}$ 干、 $33.0\sim 46.5\text{Bq/kg}$ 干、 $33.0\sim 46.5\text{Bq/kg}$ 干和 $23.9\sim 38.5\text{Bq/kg}$ 干，所有样品均测出人工放射性核素 ^{137}Cs ，活度浓度范围为 $0.89\sim 1.50\text{Bq/kg}$ 干，其余关注核素活度浓度均小于探测下限。对照点样品 ^{90}Sr 的活度浓度为 0.29Bq/kg 干， γ 核素分析测出天然核素 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{238}U ，活度浓度分别为 639Bq/kg 干、 38.3Bq/kg 干、 46.5Bq/kg 干、 27.0Bq/kg 干。

6) 生物

(1) 陆生植物

2024 年分析陆地植物样品共 6 类 18 个，主要进行了 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 和 γ 核素分析，其中干草（玉米秸秆）仅分析 γ 核素，白菜不进行 ^{14}C 分析，每类样品中选择 1 个点位进行 ^{90}Sr 。

所有样品中均测出核素 ^{14}C ，活度浓度范围为 $10.7\sim 114.0\text{Bq/kg}$ 鲜，对照点样品 ^{14}C 活度浓度范围为 $11.3\sim 105.5\text{Bq/kg}$ 鲜；所有样品中组织自由水氚(TFWT)活度浓度范围为 $<0.07\sim 1.49\text{Bq/kg}$ 鲜，对照点样品组织自由水氚(TFWT)活度浓度范围为 $<0.07\sim 1.37\text{Bq/kg}$ 鲜；样品中生物有机结合氚(OBT)活度浓度范围为 $<0.032\sim 0.85\text{Bq/kg}$ 鲜，对照点样品有机结合氚(OBT)活度浓度范围为 $<0.045\sim 0.82\text{Bq/kg}$ 鲜；经 ^{90}Sr 分析，样品中 ^{90}Sr 的活度浓度范围为 $<0.004\sim 0.196\text{Bq/kg}$ 鲜；通过 γ 核素分析，对照点白菜、外岛和窑头点位的小麦、玉米样品测出人工放射性核素 ^{137}Cs ，测出的活度浓度范围为 $1.05\text{E}-02\sim 4.98\text{E}-02\text{Bq/kg}$ 鲜，其余关注 γ 核素活度均小于探测下限。

(2) 水生生物

2024 年在电厂周围海域的 3 个点位采集了鱼类、软体类、甲壳类、贝壳类等生物样品，并进行了 ^{14}C 和 γ 核素分析，其中贝壳类和软体类还进行了 ^3H 和 ^{90}Sr 的分析。

鱼类样品为鲅鱼，共分析 3 个样品，样品中 ^{14}C 测值范围为 $25.0\sim 28.3\text{Bq/kg}$ 鲜；

通过 γ 核素分析，人工放射性核素 ^{137}Cs 活度浓度范围分别为 $1.58\text{E}-01\sim 1.82\text{E}-01\text{Bq/kg}$ 鲜，其余关注放射性核素活度均小于探测下限。对照点样品 ^{14}C 测值为 25.0Bq/kg 鲜， ^{137}Cs 活度浓度为 $1.58\text{E}-01\text{Bq/kg}$ 鲜。

软体类样品为章鱼，共分析了 3 个样品，样品中 ^{14}C 测值范围为 $10.5\sim 13.2\text{Bq/kg}$ 鲜，对照点样品 ^{14}C 测值为 10.5Bq/kg 鲜；通过 γ 核素分析，所有关注放射性 γ 核素活度均小于探测下限；对照点位的样品中测出生物组织自由水氘（TFWT），其活度浓度为 1.06Bq/kg 鲜，其余点位的 TFWT 均小于探测下限，所有样品均测出有机氘（OBT），其活度浓度范围为 $0.095\sim 0.165\text{Bq/kg}$ 鲜，对照点样品有机氘（OBT）活度浓度为 0.165Bq/kg 鲜；样品中 ^{90}Sr 的活度浓度范围为 $0.017\sim 0.048\text{Bq/kg}$ 鲜，对照点样品 ^{90}Sr 的活度浓度为 0.036Bq/kg 鲜。

甲壳类样品为爬虾，共分析了 3 个样品，样品中 ^{14}C 测值范围为 $15.1\sim 16.6\text{Bq/kg}$ 鲜，对照点样品 ^{14}C 测值为 15.1Bq/kg 鲜；通过 γ 核素分析，人工放射性核素 ^{137}Cs 活度浓度范围为 $<1.81\text{E}-02\sim 2.3\text{E}-02\text{Bq/kg}$ 鲜；其余关注放射性核素活度均小于探测下限。

贝壳类样品为蛤蜊，共分析了 3 个样品，样品中 ^{14}C 测值范围为 $12.5\sim 16.4\text{Bq/kg}$ 鲜，对照点样品 ^{14}C 测值为 12.5Bq/kg 鲜；通过 γ 核素分析，样品中只有凤城点位测出人工放射性核素 ^{137}Cs ，其活度浓度为 $6.6\text{E}-03\text{Bq/kg}$ 鲜，其余关注放射性核素活度均小于探测下限；所有样品均未检出生物组织自由水氘（TFWT），样品中有机氘（OBT）的活度浓度范围为 $0.102\sim 0.139\text{Bq/kg}$ 鲜，对照点样品有机氘（OBT）的活度浓度为 0.115Bq/kg 鲜；样品中 ^{90}Sr 的活度浓度范围为 $<0.006\sim 0.011\text{Bq/kg}$ 鲜，对照点样品 ^{90}Sr 的活度浓度小于探测下限。

（3）家畜、家禽

2024 年分析了羊肉及鸡肉两个种类共 6 个样品，进行了 ^{14}C 和 γ 核素分析，其中 1 个点位羊肉和所有点位鸡肉还分析了 ^3H ，1 个点位鸡肉分析了 ^{90}Sr 。所有样品中 ^{14}C 测值范围为 $19.9\sim 28.4\text{Bq/kg}$ 鲜，对照点样品中 ^{14}C 测值范围为 $20.1\sim 20.9\text{Bq/kg}$ 鲜；样品中生物组织自由水氘的活度浓度范围为 $0.53\sim 1.29\text{Bq/kg}$ 鲜，对照点样品中生物组织自由水氘的活度浓度范围为 $0.76\sim 1.29\text{Bq/kg}$ 鲜；有机氘（OBT）的活度浓度范围为 $0.21\sim 0.36\text{Bq/kg}$ 鲜，对照点样品中有机氘（OBT）的活度浓度范围为 $0.29\sim 0.36\text{Bq/kg}$ 鲜；1 个点位鸡肉中 ^{90}Sr 的活度浓度为 0.081Bq/kg 鲜；通过 γ 核素分析，样品中人工放射性核素 ^{137}Cs

活度浓度范围为 $<1.0\text{E}-02\sim 1.50\text{E}-02\text{Bq/kg}$ 鲜, 对照点样品 ^{137}Cs 活度浓度范围为 $1.16\text{E}-02\sim 1.33\text{E}-02\text{Bq/kg}$ 鲜; 其余关注人工放射性核素活度均小于探测下限。

(4) 牛奶

2024 年一、三和四季度均分析了牛奶样品, 监测项目为 ^{131}I 。其中, ^{131}I 的活度浓度均低于探测下限。

(5) 指示生物

2024 年对松针和牡蛎两个种类共 5 个指示生物样品, 进行了 ^{14}C 和 ^{90}Sr 分析, 对松针和牡蛎两个种类共 8 个指示生物样品进行了 γ 核素分析, 其中 1 个点位牡蛎样品每季度采样进行 γ 核素分析, 其余样品的监测项目为年样。

松针样品 ^{14}C 、 ^{90}Sr 活度浓度范围分别为 $56.2\sim 57.1\text{Bq/kg}$ ·鲜、 $0.381\sim 0.449\text{Bq/kg}$ 鲜, 对照点样品 ^{14}C 、 ^{90}Sr 活度浓度分别为 57.1Bq/kg 鲜、 0.449Bq/kg 鲜; 通过 γ 谱核素分析, 所有样品均测出人工核素 ^{137}Cs , 活度浓度范围为 $5.3\text{E}-02\sim 5.8\text{E}-02\text{Bq/kg}$ 鲜, 对照点样品 ^{137}Cs 活度浓度为 $5.3\text{E}-02\text{Bq/kg}$ 鲜; 其余关注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 $17.2\sim 20.7\text{Bq/kg}$ ·鲜、 $0.039\sim 0.134\text{Bq/kg}$ 鲜, 对照点样品 ^{14}C 和 ^{90}Sr 活度浓度分别为 17.3Bq/kg 鲜、 0.039Bq/kg 鲜; 通过 γ 谱核素分析, 1 个点位第三季度牡蛎测出人工核素 ^{137}Cs , 其活度浓度为 $1.42\text{E}-02\text{Bq/kg}$ 鲜, 对照点样品 ^{137}Cs 活度浓度小于探测下限; 其余关注核素活度均小于探测下限。

3.1.1.4 质量保证

1) 人员技术资格和培训

环境监测实验室人员必须在取得相应的授权后才能开展监测工作。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。2024 年环境监测科 15 人, 均具有大专以上学历, 检测人员均为化学或辐射相关专业人员。2024 年主要培训为: 11 人完成中级岗位授权再培训, 1 人完成中级岗位授权培训, 1 人完成初级岗位授权培训, 新增 16 项检测项目的授权培训。

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。

环境监测高纯锗 γ 谱仪、低本底 α/β 测量仪和液体闪烁计数器每年进行 χ^2 检验以验证仪器是否满足泊松分布。高纯锗 γ 谱仪、低本底 α 、 β 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本底测量或效率刻度、效率检验，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) 采样、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，2024 年的质控样品分析结果均满足环境监测质控要求。

4) 实验室间外部质量保证

按照能力验证规则和能力验证频次表的要求，经查询 CNAS 官网发布的能力验证计划提供者，2024 年环境监测实验室参加了中国辐射防护研究院组织的能力验证和样品比对，生态环境部核与辐射安全中心组织的比对。结果表明，环境监测实验室检测能力能够保持和外部检测机构水平一致，检测结果质量处于受控状态。

3.1.2 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次对照点监测结果、本底调查处于同一水平范围，海水中氚浓度较为稳定，无持续升高，当地辐射水平无异常。

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。

海阳核电厂一期两台机组自投运以来，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。

一期工程 2 台机组近年来（2020 年~2024 年）的流出物排放量达标，满足 GB6249-2011 的规定和国家核安全局（NNSA）的排放控制要求。

综上所述,当地辐射环境质量变化处于同一水平范围,当地辐射水平无异常。

表 3.1-1 2024 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 辐射空气吸收剂量率	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
瞬时 γ 辐射空气吸收剂量率	√			√			√			√			
γ 辐射累积剂量	√			√			√			√			
气溶胶	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	7月~12月1个子站为周取样
空气	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	7月~12月1个子站为周取样
雨水			√			√	√	√	√	√	√	√	7月~12月监测项目 ^3H 为月取样, γ 谱为季度取样
沉降物			√			√			√			√	
地表水			√						√				
地下水		√						√					
厂区地下水	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
饮用水		√						√					
海水				√						√			
土壤			√										
淡水沉积物									√				
海底泥				√									
潮间带土									√				
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

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

本项目厂址半径 5km 范围内的环境空气保护目标有居民点、学校等。

本项目 5km 范围内处于乡村地区，没有较大规模的大气污染源。关于工业污染源，厂址半径 5km 范围内仅有 8 家工业企业（包括山东核电有限公司），其中部分企业规模较小。交通污染源为厂址附近公路上汽车排出的废气。

3.2.1.2 大气环境质量监测方案

监测布点充分考虑项目所在区域的环境条件和气象条件。

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）、氮氧化物（NO_x）。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环境敏感点（居民点）距离厂址最近处。

3.2.1.3 大气环境质量监测结果

2024 年，本项目所在厂址 1、2 号机组已投运，本项目处于主体工程施工阶段。

1) 2024 年第一季度

根据监测结果，无组织排放废气监控点 SO₂ 未检出，NO_x 最大浓度为 0.017mg/m³，颗粒物最大浓度为 0.277mg/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。

两处环境敏感点环境空气中 SO₂ 均未检出，NO_x 小时值最大浓度为 0.012mg/m³，NO_x 日均值最大浓度为 0.010mg/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、PM_{2.5}、PM₁₀ 日均值最大浓度为 0.175mg/m³、0.034mg/m³、0.053mg/m³，均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准浓度限值要求。

2) 2024 年第二季度

根据监测结果，无组织排放废气监控点 SO₂ 未检出，NO_x 最大浓度为 0.017mg/m³，颗粒物最大浓度为 0.288mg/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。

两处环境敏感点环境空气中 SO₂ 均未检出，NO_x 小时值最大浓度为

0.007mg/m³，NO_x 日均值最大浓度为 0.009mg/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、PM_{2.5}、PM₁₀ 日均值最大浓度为 0.174mg/m³、0.027mg/m³、0.047mg/m³，均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准浓度限值要求。

3) 2024 年第三季度

根据监测结果，无组织排放废气监控点 SO₂ 未检出，NO_x 最大浓度为 0.022mg/m³，颗粒物最大浓度为 0.296mg/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。

两处环境敏感点环境空气中 SO₂ 均未检出，NO_x 小时值最大浓度为 0.016mg/m³，NO_x 日均值最大浓度为 0.015mg/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、PM_{2.5}、PM₁₀ 日均值最大浓度为 0.178mg/m³、0.037mg/m³、0.059mg/m³，均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准浓度限值要求。

4) 2024 年第四季度

根据监测结果，无组织排放废气监控点 SO₂ 未检出，NO_x 最大浓度为 0.026mg/m³，颗粒物最大浓度为 0.282mg/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。

两处环境敏感点环境空气中 SO₂ 均未检出，NO_x 小时值最大浓度为 0.018mg/m³，NO_x 日均值最大浓度分别为 0.015mg/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、PM_{2.5}、PM₁₀ 日均值最大浓度为 0.178mg/m³、0.037mg/m³、0.053mg/m³，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

2024 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 SO₂、NO_x、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。

2024 年 1-4 季度对两个环境敏感点环境空气进行了 4 次季度监测，监测结果表明：监测期间，两个环境敏感点监测点位环境空气中 SO₂、NO_x、TSP、PM_{2.5}、PM₁₀ 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

厂址区域处于胶东低山丘陵地带南部，因受胶东脊背地形影响，地势由北向南倾斜，北倚低山丘陵区，最高的小凤岭山高 62m，河流多为北源南流。西部为冲海积平原，高程（1985 国家高程基准，下同）一般在 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。厂址区域还分布海蚀崖、海蚀岩滩、岩礁、海蚀洞和倒石堆等微地貌。厂区整个场地已整平至厂坪开挖标高（+8.07m 左右），场地平整、开阔。（地形地貌情况详见第二章）。

厂址半径 5km 范围内为乡村地区，工业企业较少，厂址附近主要噪声源为乡村居民产生的社会生活噪声及道路车辆产生的交通噪声。

《海阳市人民政府办公室关于印发海阳市声环境功能区划分方案的通知》（海政办发〔2023〕13 号）未划定厂址周围区域的声环境功能区划。声环境敏感目标执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 2 类标准。

3.2.2.2 声环境质量监测方案

监测布点在充分考虑项目所在区域的环境条件和气象条件，依据《环境影响评价技术导则-声环境》（HJ 2.4-2021）进行布点。

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 2 个居民点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

2024 年，本项目所在厂址 1、2 号机组已投运，本项目处于主体工程施工阶段。

2024 年本项目厂界监测点位昼、夜噪声四季度测定值均满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）要求。环境敏感点监测点昼、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

厂址附近区域环境敏感点的声环境质量符合《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

3.2.3.1 受纳水体环境质量现状调查与评价

按照海岸带类型分类，厂址周边人工海岸和自然海岸均有分布。其中厂址周边以前期工程形成的人工海岸类型为主，主要为取、排水明渠和岸堤构筑物。

厂址半径 15km 范围内仅有 1 家企业的生产废水排入留格河（留格河距厂址最近距离约 2.1km），该企业位于厂址 NW 方位约 4.9km 处，主要从事水产加工、冷藏。

2022 年 11 月至 2023 年 8 月，青岛环海海洋工程勘察研究院有限责任公司对厂址附近海域开展了海洋环境现状调查，共进行了秋、冬、春、夏四季调查。

3.2.3.1.1 海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，在向外延伸 15km 形成的扇形区域内布设了 7 条调查断面，共布设海水水质站位 34 个，沉积物站位 17 个，海洋生物生态站位 21 个，连续站 3 个，潮间带调查断面为 6 个，布设 5 个水温加密站位。

2) 调查项目

大面站水质调查内容包括：水温、盐度、pH、COD、DO、悬浮物、石油类、磷酸盐、无机氮、挥发酚、铜、铅、锌、镉、总铬、总汞、砷、硅酸盐、硫化物、总氮、总磷、硼、铁、余氯。

连续站水质调查内容包括：水温、盐度、pH、COD、DO、悬浮物、石油类、磷酸盐、无机氮、挥发酚、铜、铅、锌、镉、总铬、总汞、砷、硅酸盐、余氯。

3) 调查时间

专题单位于 2022 年 11 月（秋季）、2023 年 2 月（冬季）、2023 年 5 月（春季）、2023 年 8 月（夏季）进行了四个季度的现状调查。

4) 采样方法

水质样品采样层次的确定按《海洋监测规范》（GB17378-2007）执行，根据现场水深决定采样层次，其中油类只调查表层样品，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；
- 当水深大于等于 10 米小于 25 米时，采集表、底两层水样；
- 当水深大于等于 25 米时，采表层、10m 水深处、底层水样。

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。

6) 水质评价标准

厂址排水口位于工矿通信用海区。距排水口最近的海域生态红线为威海乳山滨海湿地重要滩涂及浅海水域生态保护红线, 位于排水口 E 方位约 10.5km 处。

本次调查站位涉及不同的近岸海域环境功能分区, 分别执行三类标准、二类标准、一类标准。

3.2.3.1.2 海水环境质量监测结果

1) 春季调查结果

对各站实测数据进行统计分析, 大面站有 6.9%的无机氮样品、3.4%磷酸盐样品超出所在区域的水质标准要求, 其余调查因子均符合所对应的评价标准, 超标站位所在区域主要集中在乳山湾, 主要受地表径流、人类活动的影响。

2) 夏季调查结果

对各站实测数据进行统计分析, 大面站有 3.4%溶解氧样品超出所在区域的水质标准要求, 所有调查因子均符合所对应的评价标准。

3) 秋季调查结果

对各站实测数据进行统计分析, 大面站有 6.9%的站位无机氮样品、6.9%站位的磷酸盐样品超出所在区域的水质标准要求, 其余调查因子均符合所对应的评价标准。超标站位主要集中在乳山湾及近岸海域, 主要受地表径流、人类活动的影响。

4) 冬季调查结果

对各站实测数据进行统计分析, 大面站有 13.8%的站位无机氮样品超出所在区域的水质标准要求, 其他调查因子均符合相应的评价标准。超标站位所在区域主要集中在乳山湾、近岸海域及港口航运区, 主要受地表径流、人类活动影响。

3.2.3.1.3 海水环境质量评价结论

通过监测结果可以看出, 春季大面站有 6.9%的站位无机氮样品、3.4%站位的磷酸盐样品超出所在区域的水质标准要求, 其余调查因子均符合所对应的评价标准。

夏季大面站 3.4%的溶解氧样品超出所在区域的水质标准要求, 其余调查因子均满足所在区域的水质要求。

秋季大面站 6.9%的站位无机氮样品、6.9%站位的磷酸盐样品超出所在区域的水质标准要求，其余调查因子均符合所对应的评价标准。

冬季大面站 13.8%的站位无机氮样品超出所在区域的水质标准要求，其余调查因子均符合所对应的评价标准。

各季节超标站位主要集中在乳山湾及近岸海域，主要受地表径流、人类活动的影响。

因此，除少数点位的个别监测因子在个别时段超标外，厂址临近海域水质满足海水水质标准要求。

3.2.3.1.4 海洋沉积物环境质量监测方案

以核电项目排水口为中心，在向外延伸 15km 形成的扇形区域内共布设沉积物站位 17 个。

调查因子选取油类、硫化物、有机碳、铜、铅、总汞、铬、镉、砷、锌及粒度进行监测分析。

海洋沉积物进行了春、秋季调查。

海洋沉积物评价标准采用《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）中的一类标准。

3.2.3.1.5 海洋沉积物环境质量监测结果

1) 春季调查结果

选取有机碳、硫化物、石油类、铜、铅、锌、镉、汞、铬、砷 10 项作为评价因子，按《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）中的第一类进行评价。经评价，所有评价因子均符合一类标准。沉积物质量状况良好。

2) 秋季调查结果

选取有机碳、硫化物、石油类、铜、铅、锌、镉、汞、铬、砷 10 项作为评价因子，按《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）中的第一类进行评价。经评价，所有评价因子均符合一类标准。沉积物质量状况良好。

3.2.3.1.6 海洋沉积物环境质量评价结论

本次共进行了 17 个站位的春秋季沉积物调查，对有机碳、硫化物、石油类、铜、铅、锌、镉、汞、铬、砷 10 项因子进行了分析评价。本次评价标准为一类，经评价，所有评价因子均符合一类标准，沉积物质量状况良好。

3.2.3.2 非受纳水体环境质量现状调查与评价

3.2.3.2.1 地下水环境水质监测方案

地下水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。地下水监测布点在厂区内地下水井和厂外 1 处地下水井。

地下水共进行了春、夏、秋、冬四季调查。

3.2.3.2.2 地下水环境水质监测结果

监测期间，厂区内地下水井监测结果：pH 值范围为 7.1~7.5（无量纲）、耗氧量最大值为 2.99mg/L、总硬度最大值为 426mg/L、硫酸盐最大值为 64mg/L、氯化物最大值为 158mg/L、溶解性总固体最大值为 634mg/L、氨氮最大值为 0.495mg/L、亚硝酸盐最大值为 0.226mg/L、硝酸盐最大值为 5.3mg/L、阴离子表面活性剂未检出、总大肠菌群最大值为 2MPN/100mL。

厂外 1 处地下水井监测结果：pH 值范围为 7.2~7.5（无量纲）、耗氧量最大值为 1.35mg/L、总硬度最大值为 446mg/L、硫酸盐最大值为 64mg/L、氯化物最大值为 220mg/L、溶解性总固体最大值为 726mg/L、氨氮最大值为 0.480mg/L、亚硝酸盐最大值为 0.026mg/L、硝酸盐最大值为 7.0mg/L、阴离子表面活性剂未检出、总大肠菌群未检出。

3.2.3.2.3 地下水环境水质监测结论

厂区内地下水井和厂外 1 处地下水井的污染物浓度均满足《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）III 类标准限值要求。

3.2.4 电磁环境质量现状调查与评价

海阳核电厂半径 5km 范围已有电磁设施（包括核电厂配套输变电设施）包括：2 条 220kV 高压线路、3 条 500kV 高压线路、1 条 110kV 高压线路和 110kV 南庄变电站。

青岛谱尼测试有限公司于 2025 年 6 月对海阳核电厂厂界、一期工程主变、开关站、辅助变、输电线、5、6 号机组建设区以及敏感目标周围的工频电场、工频磁场进行了监测。监测点位的设置考虑了海阳核电厂的总平面布置、送电走廊走向、主要的环境敏感点。

由监测结果可知：厂界处工频电场为 3.006~369.1V/m，工频磁场为 0.064~0.01μT；主变、500kV 开关站、220kV 辅助变周围的工频电场为 9.054~1354V/m，工频磁场为 0.172~7.066μT；5、6 号机组建设区工频电场为 1.186V/m，工频磁场为 0.189μT；500kV 架空线下周围的工频电场为

222.1~8855V/m，工频磁场为 0.854~8.254 μ T；200kV辅助变地埋缆线周围的工频电场为 2.597~3.38V/m，工频磁场为 0.077~0.175 μ T。监测结果符合《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 28.59~34.51V/m，工频磁场为 0.028~0.138 μ T。厂区内内部点位的工频电场为 1.471~56.45V/m，工频磁场为 0.019~0.646 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、噪声和地下水环境质量现状监测质量保证

大气、噪声和地下水环境质量现状监测的质量保证情况如下：

- 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 海水环境质量现状监测质量保证

海水环境质量现状监测工作的质量保证情况如下：

（1）人员及检测仪器设备的质量控制

所有参与检测工作的人员根据岗位要求经过海上作业专业培训和相关监（检）测技术培训，具备相关分析资质，做到持证上岗，岗位到人、职责到位。

分析仪器、计量器具定期检定，检测工作中使用的计量仪器和器具均经过检定或校准，并在有效期内使用。

船用仪器设备和救生设备在出航前按照公司体系文件要求进行全面检查和调试，确认合格后使用，并特别注意检测用船和采样设备的防玷污处理。

（2）样品采集质量控制

①采样及登记

船上采样向风逆流采样，采样器不能接触船体的任何部分，裸手不能接触采样器的排水口，采样器内的水样放掉一部分后，然后再取样。现场样品采集完成后保持与采样时相同的状态，避免沾污。采样时确保采集 10%以上的原始平行样。

样品瓶事先编号，装样后认真做好采样现场记录，现场记录详尽，不可漏项，采样记录从采样时直至分析结束，始终伴随样品。

②特殊样品采集

采集痕量金属样品时避免直接接触铁质或其他金属物品，溶解氧样品最先采集，油类样品的采集在船头进行采样，油类、溶解氧采集 100% 原始双平行样品。

海洋沉积物样品在同一采样点周围采集 2-3 次，将各次采集的样品混合均匀分装。

③样品预处理、贮存

水质样品的固定通常采用冷冻和酸化后冷藏两种方法，水质过滤样加酸酸化，使 pH 值小于 2，然后低温冷藏保存，未过滤的样品不能酸化（汞样品除外）应冷冻贮存。

凡装海洋沉积物样品的广口瓶均用氮气充满空间，低温冷藏保存。其他海洋沉积物样品低温冷藏保存。

④样品运输

样品运输过程中防止样品破碎、沾污及损失，保持样品的完整性。

其他未尽事宜均按照《海洋监测规范》（GB17378-2007）、《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）执行。

（3）实验室内质量控制

实验室内质量控制包括空白试验、校准曲线核查、仪器设备定期校检、平行样分析、内控样分析等。

①实验室空白试验

在测试样品的过程中增加空白样品，扣除试剂、环境等带来的误差。

②校准曲线核查

采用校准曲线方法测试样品的，标准序列分布均匀，标准样品基体与样品接近。样品浓度基本分布在曲线中间位置，且校准曲线的相关系数在 0.995 以上。

③仪器设备定期校检

实验过程中所使用的量器、设备等均在校检有效期内，对于不在校检有效期内的设备不参与实验过程。

④平行样分析、内控样分析

在分析样品过程中，选取一定比例的平行样、内控样，平行样、内控样比例

不少于待测样品的 10%，质控样及平行样合格性判定按照《海洋监测规范》（GB17378-2007）执行。未采取质控样分析的项目，一律测试双平行分析样。

（4）数据资料的质量保证与管理

严格资料数据的审核制度，监测数据处理按《海洋监测规范》（GB 17378-2007）和法定计量单位的规定执行，数据记录按统一格式上报，并保数据资料报表齐全、完整、准确。

（5）成果报告的质量控制

成果报告严格按照公司《管理手册》进行质量控制。

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质量保证情况如下：

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，需经过审核后签发方生效。

第四章 核电厂

4.1 厂区规划及平面布置

4.1.1 厂区规划

4.1.1.1 规划原则

(1) 山东海阳核电规划容量为 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；

(2) 总体规划应选用技术先进、符合我国核电发展的核电机组，本次厂区总平面设计拟建设 2 台国产化 CAP1000 压水堆核电机组；

(3) BOP 辅助设施和施工场地等规划均参照类似核电工程的有关规模确定；

(4) 核岛和常规岛应尽量布置在地基承载力满足要求且均匀稳定的基岩上；

(5) 取排水系统和电力出线力求线路短捷、顺畅；

(6) 进厂道路和应急道路规划应满足核电厂建设、运行及应急等的交通运输要求；

(7) 符合厂址附近城镇区域规划的要求。

4.1.1.2 主厂房建筑群位置的确定

主厂房建筑群位置主要是依据《核动力厂厂址评价安全规定》、《核动力厂设计安全规定》等法规、导则和规范，充分考虑地形特征、地下岩土适宜性、地基条件及主厂房与循环水冷却系统、电力出线和 BOP 设施区的工艺联系，并综合生产运行、交通运输和实物保护等多方面因素最终确定的。

综合上述诸多因素，3、4 号机组的主厂房建筑群应布置于南北护堤之间的中部台地上，紧邻 1、2 号机组主厂区东侧布置。

4.1.1.3 供排水方案

本工程厂址西侧、北侧均为浅滩，厂址南面、东南面草岛嘴至鹁鸽岚岸线为深水区。取水明渠按 6 台机组容量已一次建成，取水明渠及循环水泵房区均布置在主厂区的南侧。

3、4 号机组工程的循环水排水由厂址西面排出。厂区的循环水排水沟均布置在厂区的北侧。厂区循环水排水沟出厂区护堤后即设置喇叭形排水口，排水口出口接底宽为 150m 的排水明渠，在排水明渠两侧布置排水导流堤，该部分已于 1、2 号机组工程建成。为降低排水工程对生态环境的影响，本期工程将排水明渠导流堤继续向西

南深水区方向延伸。

4.1.1.4 电力出线规划

500kV 出线规划：3、4 号机组接入系统方案为 6 回 500kV 线路，分别为莱阳 2 回、神山 2 回和大泽 2 回；厂址电力出线为从主厂区向北出线，然后继续向北或向西出线。厂区开关站布置在 3、4 号机组主厂房的北侧。

220kV 备用电源进线规划：本期工程备用电源共一回线，来自 220kV 观星变电站。

4.1.1.5 交通运输规划

（1）主要进厂道路（海核一路）

本工程的主要进厂道路（海核一路）起于核电厂北侧边界，止于威青高速公路留格庄立交；海核一路全长 8.0km，全线采用二级公路标准设计，路面宽约为 15m，于 2004 年 8 月建成通车。

（2）第二进厂道路（海核二路）

本工程的第二进厂道路（海核二路）起点位于核电厂西北角大门，终点到达核电专家村西侧，与海阳市滨海路连接；海核二路全长约 14km，按二级公路标准设计，路面宽约为 15m。已于 2009 年 8 月通车。

（3）重件码头

厂址东侧有山东海阳核电厂专用重件码头，建设规模为 5000t 级，在山东海阳核电一期工程中已建造完成，并投入使用。码头平台长度 145m，码头使用的主要装卸设备为一台 550t 人字桅杆吊。550t 以下的大件设备由该桅杆吊完成卸船上岸工作。

4.1.1.6 厂区规划

主厂区布置在厂区的中心区域；开关站布置在主厂房区的北侧；取水明渠、循环水泵房和放射性废物厂房等辅助设施布置在主厂房区的南侧，1-4 号机组排水明渠布置在主厂房区的西北侧。已建成的水处理厂、除盐水车间和海水淡化厂房等辅助设施布置在一期工程的西北侧；已建成的综合检修厂房和模拟体厂房集中紧靠布置在主厂房区北侧；已建成的仓库区布置在主厂房区东北侧。这些与主厂房联系较密切的辅助设施均围绕主厂房区布置，这样使各类管线连接短捷，辅助设施与主厂房联系便捷，使用方便。

模块拼装场地顺接重件道路，布置在主厂房区南侧区域，方便大型模块运输。

厂前区布置在整个厂区的北侧，靠近海核一路的一号门处，对外联系方便，同时，

通过厂区主干道与主厂区及辅助设施区相连，使人员联系和生产管理方便。

4.1.1.7 项目用地方案

山东海阳核电有限公司已为厂区土地（含填海形成土地）办理了国有土地使用证（海国用〔2012〕第 321 号），证上面积 211.17 公顷。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。

4.1.2 厂区平面布置

4.1.2.1 总平面布置原则

- (1) 厂区总平面规划应满足生产流程和运输的要求；
- (2) 循环冷却水供水系统应尽可能靠近汽轮发电机厂房，以缩短循环冷却水管线和降低运行费用；
- (3) 合理布置汽轮发电机厂房、主变压器和开关站三者之间的平面位置，应尽可能使输电线路出线方便；
- (4) 在满足生产流程的前提下注意功能分区，合理区划放射性厂房和非放射性厂房的位置。尽可能使放射性厂房布置在非放射性厂房的下风向，并尽可能使运输放射性废物的道路与厂区主要道路分开；
- (5) 总平面布置必须符合核安全要求，如与核安全有关的建筑物和构筑物应尽量避免汽轮机飞射物的影响区；
- (6) 道路布置应短捷，人车分流，以满足生产、大件运输、消防和安全等要求；
- (7) 厂区场地的设计标高应适宜，既满足核安全要求，又合理降低汽轮机厂房的标高以降低运行费用；
- (8) 充分利用地形条件，尽可能使土石方工程量既小又平衡，以降低造价和缩短工期；
- (9) 在满足生产流程前提下紧凑布置，使生产管理方便、用地少、道路和工程管线短捷；
- (10) 主厂房群四周应留足够的场地，以满足工程管线布置和施工等需要。

4.1.2.2 总平面布置方案

本工程为海阳厂址扩建工程，主要新建主厂区、辅助生产设施区等的生产子项，多数位于保护区围墙内，此区域不设置绿地。全厂绿化率约 5%。

(1) 主厂房区的布置

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 3、4 号

机组的主厂房群布置在南北护堤之间的中部台地上，即位于一期工程主厂房的东侧。核岛朝南、常规岛朝北，两台机组并列布置。

根据厂区中等风化基岩、微风化基岩分布特征，核电厂 3、4 号机组主厂房（核岛、常规岛）的基础均坐落于微风化～未风化基岩上。其地基承载力较高，并且均匀稳定，能满足核岛厂房的地基要求。

（2）配电装置区的布置

500kV 开关站和 220kV 辅助开关站布置在主厂区的北侧。一期工程主变区距离开关站较远，500kV 开关站至主变的连接采用架空线，以节省工程投资；3、4 号机组主变区距离开关站较近，同时，没有足够的空间用于布置架空线，500kV 开关站至主变的连接采用 GIL 电缆沟。220kV 辅助开关站至辅变的连接均采用电缆沟。220kV 备用电源从厂区西北侧进入，然后通过电缆沟敷设至开关站。500kV 开关站和 220kV 辅助开关站统一规划，全厂共用。

（3）循环水取、排水方案

本工程 1~6 号机组工程取水方案均从厂址南侧海域采用明渠取水。

1~4 号机组工程的循环水向西排，排水明渠 1~4 号机组共用，一次建成，本期工程将排水明渠道流堤继续向西南深水区方向延伸。

（4）循环水泵房区的布置

3、4 号机组工程的循环水泵房和加氯车间布置在主厂房区的南侧。循环水通过循环水压力供水管道从汽机厂房东侧进入，然后从汽机厂房的西侧出来，通过循环压力排水管进入虹吸井，再通过循环水排水沟向西侧排入大海。

（5）放射性辅助生产区的布置

放射性辅助生产区由厂址废物处理设施、放射源库和电离辐射剂量实验室、流出物和放化实验室、去污和热检修车间以及特种汽车库组成。

放射性辅助生产区统一规划，全厂共用，位于 3、4 号机组主厂房的西南侧，通过厂区道路连接。放射性辅助生产区与主厂区共用一个保护区，运输和管理方便。

（6）非核辅助生产设施区的布置

水处理厂为全厂共用，布置在 3、4 号机组工程主厂区的西北侧，靠近厂前区布置，该处离水库淡水供水管线较近，处理好的水可向全厂供应。除盐水车间紧邻布置在水处理厂的西侧，以缩短除盐水原水管线的长度。海水淡化厂房紧贴布置在除盐车间的西侧。

每座主厂房均设一间柴油驱动消防泵房、两个消防水箱和相应配套的电动消防泵房、消防稳压罐。布置在汽机厂房的西北侧。

低压氢气站考虑采用双堆布置，尽量就近布置在 3、4 号机组工程主厂房区的西北侧空地，以缩短管线。高压氢气站采用单堆布置，位于每台机组汽机厂房西侧。

气体厂房为单机组布置，在主厂房区内部，位于每台机组汽机厂房东侧。

综合检修厂房和模拟体厂房集中紧靠布置在 3、4 号机组工程主厂房区的北侧，以形成全厂性的综合检修及检修培训区，方便全厂使用。

仓库区考虑到全厂共用的特点，布置在 3、4 号机组工程主厂房的北侧，即开关站区域的东侧。仓库区于一期工程期间已经建成。

（7）厂前区的布置

综合办公楼、模拟机厂房和培训中心及档案馆（含模拟机厂房）布置在整个厂区的北侧，靠近海核一路的一号门处，对外联系方便，同时，通过厂区主干道与主厂区及辅助设施区相连，使人员联系和生产管理方便。

（8）其他设施区的布置

应急指挥中心布置于综合办公楼西南侧，紧邻厂区次干道，方便人员进入；环境监测站位于厂区外。

警卫营房及消防站布置在厂前区的东侧（即力能区的南侧），该处靠近厂区三号门及海堤道路，交通方便，有利于处理突发事件。警卫营房和消防站为全厂共用子项。

供热联合泵站位于 3 号机组汽机厂房西北侧，供热架空管线从 3、4 号机组汽机厂房接出，架空管架沿着主厂区北侧以及厂区东北侧堤顶布置。

4.1.3 排放口布置

3、4 号机组的废气排放口即烟囱位于每台机组反应堆厂房的东北部。3、4 号机组液态流出物和温排水与一期工程共用排放口，经排水明渠由西侧排放入海。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。固体废物运输由主厂房区南侧道路或从主厂房区北侧道路沿主厂房由北向南运输至至厂址废物处理设施区，经过处理的固体废物可南向北沿着主厂房道路，运输至实保门岗外，再运输至厂外。

厂前办公区（主要建构筑物为综合办公楼、食堂、培训中心等）布置在厂区的西北侧。烟囱位于厂前办公区的下风向，因此气态流出物排放口设置较为合理。排水明

渠设置在厂区西侧，离厂前办公区位置较远，因此排放口设置较为合理。

全厂排水采用分区排水、重力流排放的原则。本工程主厂区包括常规岛、核岛和辅助设施等，核岛、汽机房、加氯车间区域雨水分区域汇集后分别向西、向北排入海中，循泵房区域雨水汇集后向西排入海中。

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，本工程采用 CAP1000 核电机组。每台机组由核岛（NI）、常规岛（CI）和电厂配套设备（BOP）三大部分组成：

- NI 包括整个核蒸汽供应、相关辅助和支持的系统设备，涉及的厂房包括反应堆厂房、屏蔽厂房、辅助厂房、附属厂房、放射性废物厂房、柴油机厂房等；
- CI 包括二回路常规岛相关的系统设备，主要涉及汽轮机厂房；
- BOP 指 NI、CI 以外的辅助系统设备及厂房构筑物。

本项目每台机组的核蒸汽供应系统（NSSS）的额定功率为 3415MWt，反应堆堆芯额定功率为 3400MWt，机组电功率(毛)约 1253MWe；堆芯热工裕量 > 15%，堆芯损伤频率为 $< 10^{-6}$ /堆年，大量放射性释放频率为 $< 10^{-7}$ /堆年；机组设计寿命为 60 年，机组年平均可利用率 93%。

CAP1000 在传统成熟的压水堆核电技术的基础上，运用非能动安全设计理念，采用非能动专设安全系统，系统简单，不依赖交流电和能动设备即可确保核电厂安全功能，事故发生后 72 小时内可不需要操纵员干预，极大的降低了由于人因失误导致的事故风险。

4.2.2 核岛

核岛厂房由反应堆厂房和辅助厂房组成，其基础是一个整体。

4.2.2.1 燃料组件

本工程反应堆堆芯装载 157 组 AP1000 型燃料组件。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。

AP1000 型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、下轴向低富集度段，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（IFM），提高堆芯热工安全性能；
- 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 ZrB₂）；
- 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。
- 安全壳内置换料水箱（IRWST）冷却：对 IRWST 进行冷却，保证 RNS 长期运行期间 IRWST 水温低于 100℃，正常运行期间水温不大于 49℃。
- 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 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 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

常规岛工艺系统主要由蒸汽-电力转换系统和给水系统两大部分组成。核岛蒸汽发生器二次侧产生的饱和蒸汽通过主蒸汽系统输送到二回路汽轮机，汽轮机将蒸汽热能转化为机械能并继而通过发电机转化为电能。在供暖季，部分热量抽取至热网加热器，通过加热热网循环水，为用户供热。

本工程汽轮机为单轴四缸六排汽凝汽式汽轮机，配有一级汽水分离和两级再热装置。每台汽轮机组有四个高压主汽阀和四个高压主汽调节汽阀，每两个主汽阀和两个调节汽阀组装成一套联合阀，两套联合阀分别位于高压缸的两侧。通过四根导汽管，主蒸汽进入高压缸膨胀做功，高压缸排汽通过高压排汽管输送到位于机组两侧的汽水分离再热器(MSR)中进行汽水分离，并由抽汽和主蒸汽进行再热。每个 MSR 有 3 个进汽口和 3 个排汽口，经过汽水分离和再热的蒸汽通过 6 根排汽管道送入低压缸继续膨胀做功，在每根排汽管道上设一组再热蒸汽联合阀，共设六组，再热蒸汽联合阀均为蝶阀形式，每组由一个关断阀和一个控制阀组成。汽轮机乏汽排入凝汽器，最后凝结成水。

高压缸上有三级抽汽分别为 7 号高压加热器、汽水分离再热器第一级再热器和 6 号高压加热器提供加热蒸汽，高压缸排汽至汽水分离再热器，高压缸排汽的

一部分作为除氧器的正常加热汽源，低压缸上有四级抽汽分别至 4 号，3 号，2 号和 1 号低压加热器。

凝汽器为单流程、表面式热交换器。汽轮机低压缸的排汽、旁路排放蒸汽和其它汽水流体，进入凝汽器冷却和除氧。热量由循环水带入海中，不凝结气体由凝汽器真空系统抽出。冷却管为钛管。

凝汽器有 3 套，每套由颈部、壳体、热井和水室组成。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。

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3、4号机组工程全厂用水分为循环冷却水、厂用水、除盐车间用水、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。3、4号机组生活水、除盐水原水、工业水等淡水由海水淡化厂提供。循环冷却水系统和厂用水系统采用海水直流系统，直接取黄海海水作为冷却水。

3、4号机组正常运行期设计淡水用水量为 $277.1\text{m}^3/\text{h}$ ，即 $6650\text{m}^3/\text{d}$ ，核电厂年发电小时数按 8000h 计，年淡水用量为 221.7万m^3 。

本工程正常运行设计耗水指标为 $0.127\text{m}^3/(\text{MW}\cdot\text{h})$ ，即 $0.035\text{m}^3/(\text{GW}\cdot\text{s})$ ，满足《核电工程项目节能评价方法和参数》（NB/T 20544-2019）中装机容量大于 600MW ，直流及海水循环供水系统耗水指标小于等于 $0.04\text{m}^3/(\text{GW}\cdot\text{s})$ 的要求。本工程考虑电厂核蒸汽供应系统、常规岛各主要系统以及全厂其它工业用水，工业水重复利用率约为 99.8% 。

3、4号机组生活水、除盐水原水、工业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

除盐车间主要为核岛及常规岛水池提供除盐水；3、4号机组运行时除盐水最大用水量为 $208.5\text{m}^3/\text{h}$ ，即 $5004\text{m}^3/\text{d}$ ，除盐水原水量为 $285.9\text{m}^3/\text{h}$ ，即 $6861.6\text{m}^3/\text{d}$ ，正常运行时除盐水用水量为 $141.5\text{m}^3/\text{h}$ ，即 $3396\text{m}^3/\text{d}$ ，除盐水原水量为 $194\text{m}^3/\text{h}$ ，即 $4656\text{m}^3/\text{d}$ ，由海水淡化厂供应原水。海水淡化厂投运后同时向1、2号机组提供除盐水原水，1、2号机组除盐水原水量为 $194\text{m}^3/\text{h}$ ，即 $4656\text{m}^3/\text{d}$ ，1、2号机组正常运行的除盐水用量为 $141.5\text{m}^3/\text{h}$ ，即 $3396\text{m}^3/\text{d}$ 。除盐水系统最大出力为 $360\text{m}^3/\text{h}$ （ $8640\text{m}^3/\text{d}$ ），所需除盐水原水量为 $480\text{m}^3/\text{h}$ （ $11520\text{m}^3/\text{d}$ ）。

b) 电厂工业用水量

3、4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：

小时平均用水量为 $46\text{m}^3/\text{h}$ ，则日用水量共计为 $1104\text{m}^3/\text{d}$ ，由海水淡化厂供应。

海水淡化厂也同时向1、2号机组提供工业用水，1、2号机组工业水用水量为 $52.4\text{ m}^3/\text{h}$ ，则日用水量为 $1257.6\text{ m}^3/\text{d}$ 。

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：3、4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 $100\text{ L}/\text{d}$ ；共计 $210\text{ m}^3/\text{d}$ 。

(3) 绿化、道路浇洒和洗车用水

根据1、2号机组景观公司绿化用水量（ $500\text{ m}^3/\text{d}$ ）预估3、4号机组绿化用水量约为 $300\text{ m}^3/\text{d}$ 。1、2号机组和3、4号机组的道路浇洒用水各按 $200\text{ m}^3/\text{d}$ 考虑，洗车用水各按 $68.8\text{ m}^3/\text{d}$ 考虑。绿化、道路浇洒和洗车用水由水处理厂供应，为节约用水，部分绿化用水、道路浇洒水可利用经生活污水处理设施处理后的再生水。

2) 水处理厂系统

水处理厂为山东海阳核电一期工程已建子项。水处理厂作为3、4号机组生活水的备用水源。

3) 海水淡化系统

海水淡化系统（WDS）将水工送来的原海水进行处理，除去原水中的浊度、微生物和大部分离子性杂质，为3、4号机组提供淡水水源。

根据淡水需求量，并考虑部分备用量，海水淡化系统设备容量按 $4\times 175\text{ m}^3/\text{h}$ 设计，系统流程如下：

膜法海淡系统流程为：海水→絮凝沉淀池→V型滤池→清水池→细砂过滤器→海水反渗透→淡水池→各用户。

预处理排水主要为澄清池排泥水、V型滤池反洗排水，本期工程配置一套污泥脱水系统，澄清池产生的含泥废水经污泥脱水系统处理后，泥饼委托有资质单位外运处理，清水回收至絮凝沉淀池入口，V型滤池反洗排水收集后输送絮凝沉淀池入口回收利用，反渗透浓水随循环水排入大海。海淡浓水的浓缩倍数约为1.67。

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。

循环冷却水水源为黄海海水，采用明渠取水。取水口布置在厂址东南侧海域-7.0m处，明渠底标高为-7.0m，取水口与三期循环水泵房之间的明渠底宽为120m，三期循环水泵房与本期循环水泵房之间的明渠底宽为100m，本期循环水泵房与一期循环水泵房之间的明渠底宽为80m，取水明渠总长度约1500m。一期工程时已按六台机组的循环水量统一规划并建成了取水明渠，本期工程取水部分与一期工程分界线在本期循环水泵房前厂区护岸处。

3、4 号机组工程的循环水排水由厂址西面排出。厂区的循环水排水沟均布置在厂区的北侧。厂区循环水排水沟出厂区护堤后即设置喇叭形排水口，排水口出口接底宽为 150m 的排水明渠，在排水明渠两侧布置排水导流堤该部分已于 1、2 号机组工程建成。为降低排水工程对生态环境的影响，本期工程将排水明渠导流堤继续向西南深水区方向延伸，其中北堤向 SSW 方向延伸 550m，南堤向 SSW 方向延伸 530m。

4.3.2.2 循环冷却水系统

本工程濒临黄海，采用海水直流供水系统。本工程两台机组热季循环水量约为 482400m³/h，1~4 号机组循环水量约为 964800 m³/h；本工程两台机组冷季循环水量约为 374400m³/h，1~4 号机组循环水量约为 748800 m³/h。实际运行时排水温升有一定波动，热季排水温升预计不超过 10℃，冷季排水温升预计不超过 14℃。

循环水系统的工艺流程为：大海海水→明渠取水口→拦污网→取水明渠→循环水泵房前池→粗格栅及加氯框（移动式清污机）→钢闸门→细格栅及清污机→鼓形滤网→循环水泵进水流道→循环水泵房→循环水压力供水管→凝汽器/开式循环冷却水系统//汽侧真空泵密封水热交换器→循环水压力排水管→虹吸井→循环水排水沟道→排水口→排水明渠→大海。

循环水系统采用单元制供水系统，每台机组配 3 台循环水泵、2 条压力供水管、1 座虹吸井、1 条双孔循环水排水沟。循环水泵运行方式为：夏春秋季 3 泵运行，冬季 2 台循环水泵运行。

4.3.2.3 厂用水系统

1) 系统功能

厂用水系统（SWS）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。

2) 设计基准

SWS系统或者系统部件的故障不会影响其它安全相关系统执行相应的安全功能。SWS系统不提供安全有关的功能，因此，SWS系统无核安全设计基准。

(1) 许可证申请相关设计基准

SWS系统提供检测和控制放射性物质泄漏或者进入本系统的功能。放射性物质检测装置安装在连接CCS系统热交换器的下游SWS系统管道上，以检测可能的放射性流体从CCS系统进入SWS系统。

(2) 非安全有关纵深防御基准

SWS系统设计为在可靠的或者在故障允许范围内来执行系统功能。这些保证措施是利用可靠的、多重的设备以及简化的系统设计来实现的。

对于电厂冷停堆模式SWS系统的设计依据下列基准,考虑单个的能动设备出现故障,或者失去正常的交流电源,同时一台柴油机出现故障:

SWS系统在停堆冷却开始时(停堆后4h)提供冷却,维持反应堆冷却剂温度等于或低于176.7°C(350°F),以及乏燃料水池温度等于或低于48.9°C(120°F)。

在装换料运行模式,所有的燃料卸出反应堆后,SWS系统提供足够的冷却水以维持乏燃料水池温度等于或低于48.9°C(120°F)。

在失去正常交流电源的工况下,每个厂用水泵和相应的电动阀门由独立的后备交流电源供电(柴油发电机)。

(3) 其它非安全有关设计基准

在电厂正常运行期间,SWS系统只有一个系列运行,在最高海水温度为33.9°C(93°F)的条件下,保证设备冷却水系统供水温度不超过限值,包括反应堆冷却剂泵。

在反应堆冷却剂系统冷却开始时(停堆后4h),两台SWS泵处于运行,SWS系统提供冷却给两台CCS热交换器,以27.8°C/hr(50°F/hr)的冷却速度,维持反应堆冷却剂系统温度等于或低于176.7°C(350°F),及乏燃料水池温度等于或低于48.9°C(120°F)。

在反应堆冷却剂系统冷却末期(安全停堆96h后),两台SWS泵处于运行,SWS系统提供冷却给两台CCS热交换器,以维持反应堆冷却剂系统温度等于或低于51.7°C(125°F),及乏燃料水池温度等于或低于48.9°C(120°F)。

3) 系统描述

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。厂用水系统的组成部件及管路系统设计成两系列。每列包括一台供水泵(厂用水泵MP01C作为MP01A/B的备用泵)、一个过滤器。每一系列向一个设备冷却水热交换器提供冷却。在设备冷却水系统热交换器的上游和下游管道,2个系列之间接有联络管,可以允许任何一台泵提供冷却水给任何一个热交换器,以及允许任何一个热交换器的排水通过另外一个热交换器的出水管排放到循环水排水渠道。

厂用水泵（SWS泵）与循环水泵（CWS泵）一起布置于循环水泵房内。海水通过格栅、鼓形滤网进入CWS泵进水池，并在此进入厂用水泵吸水口。经SWS泵提升后的海水经过滤器进入CCS热交换器以排出核岛部件的热量。升温后的海水排入循环水系统排水渠道，最终排入大海。

厂用水系统设备及管部件等材质的选取应与介质条件相适应，同时为了控制水中有机污垢的形成，将向系统中投加次氯酸钠溶液，药剂的投加由循环水加药系统控制。

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。本期工程接入系统方案为：接入一期 500kV 配电装置，利用一期建成的 6 回 500kV 线路接入系统，分别为至莱阳 2 回、大泽 2 回、神山 2 回。

电厂二期工程投产后，电厂维持一期 6 回 500kV 出线，不新增 500kV 出线。其中任意 2 回线路停运，电厂还有 4 回送出线路，可满足电厂安全供电要求。500kV 送出线路采用 $4\times\text{LGJ-630}$ 导线，主接线采用双母线分段接线。

本期主变进线采用 GIL，通过地下管廊接入 500kV 开关站。

500kV 断路器保护按断路器单元配置，每台断路器配置一面断路器保护屏。根据主接线的情况，本期工程站内共需配置 3 面 500kV 断路器保护屏。每段 500kV 双母线配置两套微机型母线差动保护，母线保护含失灵保护。一期工程配有四面母线保护屏，本期工程扩建需 2 套，共组两面屏。

4.4.2 辅助备用电源

220kV 电源是机组的备用电源，在机组正常启动和停机过程中作为优先电源（500kV 电源）的后备电源。当失去优先电源时，厂用负荷切换到备用电源（220kV 电源）。在机组正常运行时，如中压母线失去厂用进线电源，则由备用电源（220kV 电源）通过高压备用变压器（RAT，以下简称辅助变）向厂用负荷供电。在机组检修时，220kV 电源可作为检修电源。

海阳核电厂备用电源采用 220kV 线路供电，一期 1 回 220kV 线路，由 220kV 盛竹变电站接入，厂内 220kV 主接线一期为双母线接线。二期 220kV 备用电源在一期的基础上再增加 1 回，接至观星 220kV 变电站，采用 LGJ-400 导线，厂内 220kV 主接线为双母线接线。

辅助变至 220kV 开关站进线由于受厂区场地限制，采用 220kV 高压交联电缆沿地下电缆沟敷设。

220kV 出线的两套主保护均配置分相电流差动主保护，配置完整的相间、接地及零序后备保护，配置相应的重合闸及相应的分相操作箱。220kV 出线保护通道考虑分相电流差动保护一采用专用光纤芯方式，主保护二采用复用通信光端机 2M 接口方式。

4.4.3 开关站

海阳核电厂内 500kV 开关、220kV 开关站和网控通信楼已在一期工程时一次建成。

4.5 专设安全设施

4.5.1 概述

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。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。系统的主要功能包括：

- 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。

- RCS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、2台安注箱、2台堆芯补水箱、一个IRWST、2台鼓泡器、5台pH调节篮、3台IRWST滤网、2台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）的主要功能包括：

- 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。
- 提供一个安全级乏燃料池补水源。
- 为保护和安全监测系统（PMS）提供安全壳压力信号。

4.5.3.2 系统组成

PCS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、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（PCCAWST）、再循环回路（包括两台再循环泵、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、辐射和物质传递（水蒸发）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。来自环境的空气通过一个“常开”流道进入，沿安全壳外壁上升，最终通过一个高位排气口返回环境。安全壳壳体由位于安全壳上方、与屏蔽厂房结构为一体的PCCWST利用重力排水洒湿。PCCWST重力排水由安全壳高2压力或安全壳高温信号自动触发，冷却水流量满足至少在3天内不需要操纵员干预的要求。PCS利用了钢制安全壳、环绕安全壳的混凝土屏蔽厂房，以及安全壳与屏蔽厂房之间的空气导流板结构即空气流道。

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。3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）执行的主要功能包括：

- 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：安全壳系统在事故中隔离贯穿安全壳边界的工艺管道，以降低放射性物质向环境的释放。
- 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。
- 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

系统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（VES）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母管。公用集气母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（VBS）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 放射性废物管理系统和源项

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，并给出了液体和气态流出物的释放量、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

采用 ORIGEN 程序计算得到了本项目平衡循环寿期末的堆芯放射性积存量，并考虑了燃料管理方案变化的包络性及反应堆热功率测量的不确定性。

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堆芯中。

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 ORIGEN 程序计算得到的与时间相关的堆芯积存量为基础。

用于设计排放源项分析的反应堆冷却剂剂量等效 I-131 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。

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，并根据 NUREG-0017 中描述的方法计算得到。只要所考虑的核电厂的系统流程和系统内核素的去除途径与参考核电厂相同或相似，就可以将参考核电厂各主要流体内核素的活度浓度调整为所考虑的核电厂的相应数值。

对参考电厂核素活度浓度的调整是通过调整因子实现的，即将参考电厂的已有数值，乘以调整因子即得出待算电厂的相应数值。调整因子为平衡状态时待算电厂和参考电厂核素活度浓度的比值。

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，根据实验室相关数据，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) 氡

一回路冷却剂中主要的产氡途径如下：

- 燃料裂变（三元裂变）产生的氡通过燃料包壳扩散或燃料包壳破损处泄漏进入一回路冷却剂中；
- 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氡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；
- 次级源棒产生的氡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氡的主要来源。

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

以设计基准反应堆冷却剂中核素的活度浓度等为基础计算得到的设计基准蒸汽发生器二次侧水和蒸汽中放射性核素的活度浓度。

在计算用于设计排放源项分析的二回路源项时，参考运行电厂经验反馈，假定二回路总的活度浓度水平为20Bq/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，电厂取样分析人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（GB6249-2025）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控制值，则将监测箱内的废液返回至废液暂存箱，进行再处理。同时，排放管线设有辐射监测仪表，达到报警值时排放管线隔离阀自动关闭，中止废液系统排放，防止系统误排放。通过上述措施可以确保运行过程中液态流出物的排放浓度不会超过 GB6249-2025 中的排放控制值 1000Bq/L（氚和碳 14 除外）。

本报告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，核岛槽式排放口处排放浓度低于 GB6249-2025 中规定的 1000Bq/L 的控制值要求。在计算核岛液态流出物设计排放源项时，以各类废液的设计产生量为基础，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。

核岛液态流出物现实排放量计算时，以各类废液的现实产生量为基础，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，假定二回路排污流的排放份额为 10%，活度水平为 20Bq/L。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，设计排放源项计算时，洗衣废液的排放浓度保守取为 100Bq/L，现实排放源项分析时，洗衣废液排放浓度取 20Bq/L，同时参考了 NUREG-0017 中参考电厂运行经验数据的核素谱。对于 SRTF 冷凝液，单机组每年产生的废液量为 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。

在表 4.6-1 给出了单台机组的液态流出物年排放量与 GB 6249-2025 中控制值的比较。可以看出，单台机组的液态流出物年排放量均能满足 GB 6249-2025 规定的排放量控制值要求。

本工程液态流出物的排放方式为槽式排放。

槽式排放口处液态流出物中氚的平均排放浓度为 4.21E+06Bq/L，满足 GB 6249-2025 中规定的槽式排放口处液态流出物中氚的活度浓度不应超过 3.0E+07Bq/L 的限值要求。

槽式排放口处液态流出物中 C-14 的平均排放浓度为 2.45E+03Bq/L，满足 GB 6249-2025 中规定的槽式排放口处液态流出物中 C-14 的活度浓度不应超过 3.0E+03Bq/L 的限值要求。

GB 6249-2025 规范性附录 D 给出了液态流出物中除氚和 C-14 外的其他核素活度浓度推荐值。同时附录 D 备注中指出，“不同放射性核素之间的浓度推荐值可根据其衰变能量比值进行适当调整，但除氚和碳 14 外其他核素总活度浓度

不应超过 1000 Bq/L”。

定义 $\delta = \frac{\sum A_{cal}^i \times E_{dec}^i}{\sum A_D^i \times E_{dec}^i}$ ，当 $\delta < 1.0$ 时，表明各核素活度浓度理论分析值可以满足附录 D 要求。计算得到 $\delta \approx 0.55 < 1.0$ ，本工程槽式排放口处液态流出物中其他核素的活度浓度满足附录 D 的要求。

4.6.2.2 放射性废液管理系统

1) 系统概述

放射性废液管理系统主要包含放射性液体废物处理系统（WLS）和液态流出物贮罐系统（LES）。

放射性液体废物处理系统（WLS）设计用于控制、收集、处理、输送和贮存正常运行及预期运行事件下产生的放射性废液，并可控制地向环境排放。

液态流出物贮罐系统（LES）设计用于接收和贮存来自核岛和厂址废物处理设施（SRTF）的废液，并对废液进行混匀、取样和监测排放。

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/废液高效处理装置），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。

LES 不执行安全有关功能。该系统的非安全有关功能为：

- 接收和暂存核岛侧经处理后的放射性废液（除氚和碳-14之外的核素浓度均满足排放要求）和来自厂址废物处理设施（SRTF）满足达标排放的废液，并对其混合均匀。
- 将混匀后取样结果满足GB6249-2025排放限值要求的液态流出物进行槽式排放。

3) 废液来源

WLS 放射性废液分成四类：

- 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 CVS 下泄的 RCS 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。

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、废液高效处理装置等。

LES 的主要部件包括 3 台液态流出物贮罐和 3 台离心泵。

- 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；
- 3 台液态流出物贮罐泵，用于液态流出物的循环和排放。

- 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，辅助真空泵分离气水，将气体送入放射性气体废物处理系统中；
- 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；
- 3 台液态流出物贮罐，立式圆筒形贮罐。

● 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。

● 移动式加药装置

- 1 套，包括加药箱、加药泵以及相应的加药管路等部件。

● 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 台可串联的离子交换床，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。

- 废液高效处理装置

- 1 套，包括膜组件、泵以及相应的管路等部件。

5) 系统运行

- 反应堆冷却剂流出液

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，脱气后的废液送往 **WLS** 流出液暂存箱。一台脱气塔排放泵将脱气后的废液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 2 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化学絮凝处理装置、深床过滤器、离子交换床、废液高效处理装置。当电厂发生如 0.25%燃料元件包壳破损（0.25%FD）等特殊事件时，**WLS** 系统可额外投入 2 台离子交换床运行，以满足处理要求。

经化学絮凝、深床和离子交换处理后的废液送入监测箱，根据监测箱取样检测结果，选择利用废液高效处理装置进一步处理，或直接送往 **LES**。废液高效处理装置采用膜工艺，位于放射性废物厂房，废液高效处理装置的产水送往 **LES** 监测排放，浓水则返回 **WLS** 废液暂存箱。

LES 设有 3 台贮罐，具有足够的储存容量，可接收容纳来自核岛 **WLS** 和 **SRTF** 处理后的废液。这些废液中除氚和碳-14 之外，其余核素浓度均满足 GB6249-2025 排放要求。通常待排放的废液在贮罐内暂存，通过离心泵循环均匀，并进行取样。取样结果显示满足 GB6249-2025 排放限值要求，则对液态流出物进行槽式排放。

本工程新建 LES 的主要目的是为槽式排放口的氚和 ^{14}C 提供展平能力。在 LES 建成前（机组第一循环）：（1）氚的产生量较低，通过电厂合理的管控可满足 GB6249-2025 排放要求；（2）液态 ^{14}C 通过离子交换床（原用于应对 0.25% 燃料包壳破损）装填活性炭等介质进行处理，可满足 GB6249-2025 排放要求。

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，并向操纵员发出高放射性报警，要求采取纠正措施后恢复排放。

在 RCS 脱气期间，流出液暂存箱泵将液体排至 CVS 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。CVS 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 CVS 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，再通过深床和 3 台离子交换床处理后，进入监测箱。对监测箱内的废液进行取样，根据取样检测结果，选择利用废液高效处理装置进一步处理，或直接送往 LES 监测排放。

● 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 2 台洗手废液箱内。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设备进行处理。

● 蒸汽发生器排污

正常运行工况下，蒸汽发生器排污流不送往 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流出现放射性高报时，排污流则需送往 WLS 系统。在该工况下，废液暂存箱用于接收排污水。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。蒸汽发生器排污系统描述参见 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 气态流出物排放源项

气态流出物主要通过下列途径，向环境大气排放：

➤ 因安全壳中空气活化，以及从反应堆冷却剂系统泄漏到安全壳和辅助厂房大气中的 Ar-41 通过通风向环境的释放；

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

➤ 工艺流体泄漏的放射性核素通过辅助厂房向环境的释放；

➤ 燃料操作区域的通风导致的放射性核素的释放；

➤ 放射性核素通过放射性废气处理系统的释放；

➤ 通过二回路系统的释放。

在计算气态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，考虑其冷却剂源项为设计基准源项的一半。

对于废气处理系统，则基于年脱气产生量考虑相应的 Kr 和 Xe 的延迟衰变时间，即可计算得到惰性气体的年排放量。

对于 Ar-41 的排放量分析，一方面考虑安全壳内空气活化产生的 Ar-41 通过安全壳通风向环境释放，另一方面考虑反应堆冷却剂中溶解的 Ar 气活化后随冷却剂系统泄漏至安全壳和辅助厂房，并通过通风向环境的释放。

通过以上各途径的气态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氩的延迟作用后，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态

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。

在表 4.6-2 中给出了单台机组的气态流出物年设计排放量与 GB 6249-2025 中规定的年排放量控制值的比较。可以看出，单台机组的气态流出物年设计排放量均能满足 GB 6249-2025 规定的排放量控制值要求。

4.6.3.2 系统概述及组成

在反应堆运行期间，燃料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以及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。

4.6.3.2.1 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。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) 废气来源

WGS 接收工艺系统运行期间产生的含氢气体和放射性气体。WGS 输入如下：

- RCS调硼时的下泄流。含有少量放射性气体的含氢气体进入WGS。
- RCS脱气时的下泄流。含有少量放射性气体的含氢气体进入WGS。
- 维持反应堆冷却剂疏水箱液位。间歇产生含有少量放射性气体的氢气和氮气。
- 反应堆冷却剂疏水箱排气。

3) 部件描述

WGS 是一个直流常温活性炭延迟处理系统，包括 1 台气体冷却器、1 台气水分离器、1 台活性炭保护床、2 台活性炭延迟床、1 套气体取样装置等。

- 气体冷却器

气体冷却器将废气充分冷却，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或化学污染物受到损害。正常运行时，活性炭保护床可增加氙和氪的延迟处理时间。

- 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

配置 2 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 为间歇运行。没有废气进入 WGS 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 处于正压，防止废气流量低时空气进入系统。

WGS 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 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。此外，出口隔离阀在系统低压力整定值时关闭，维持 WGS 系统正压。

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 性能逐渐下降。

WGS 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。

4.6.3.2.2 供热、通风与空调系统

本工程供热、通风与空调系统（HVAC）的功能是：

- 对每个可能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和完整性；
- 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；
- 对相关系统的排风进行过滤和除碘处理，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从天花板或者从排气口直接排入大气；对于可能污染区域的全部通风气体经过监测后，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 147000m³/h。

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

1) 放射性控制区通风系统

放射性控制区通风系统（VAS）服务于辅助厂房的燃料操作区域以及辅助/附属厂房中除 VHS 系统服务区域以外放射性控制区。

（1）系统功能

VAS 不执行安全相关的功能，它的非安全相关功能为：

- 提供通风以维持余热排出泵房和 CVS 泵房在其设计温度范围之内；
- 提供通风以维持厂房的气载放射性处于电厂人员的安全水平之内；
- 维持区域内总的空气气流的方向从低放射性污染区流向高放射性污染区；
- 维持每个厂房区域处于轻微负压，以防止气载放射性不受控制的释放至

大气或邻近的清洁电厂区域中；

- 当在排风管道中出现高气载放射性或探测到厂房相对环境高压或低压时，通过关闭排风和排风管道隔离阀，自动将异常区域与外部环境隔离，并启动安全壳空气过滤系统（VFS）。

（2）系统描述

VAS 包括两个子系统：辅助/附属厂房通风子系统和燃料操作区通风子系统。

a) 辅助/附属厂房通风子系统

辅助/附属厂房通风子系统服务于放射性控制的设备、管道和阀门房间以及邻近的通道、楼梯区域。该系统包括 $2 \times 50\%$ 容量的送风空气处理机组（总风量约为 $56200\text{m}^3/\text{h}$ ）、送风和排风管路系统、隔离阀门、空气分布器、排风风机、自动控制器和附件。送风空气处理机组位于附属厂房的空气处理机组设备房间。每套送风空气处理机组包括一台低效过滤器组、一台高效过滤器组、一个热水加热盘管、一个冷冻水冷却盘管和一台送风风机。设置 $2 \times 50\%$ 容量的排风风机，设计风量可维持放射性控制区轻微负压。风管系统布置便于送风气流从低放射性区域流向高放射性区域。此外排风系统接收放射性废液疏水系统（WRS）地坑的排风，以维持疏水地坑轻微负压，从而防止潜在放射性污染的空气泄漏至周围环境。排风管道留有与流出液贮存箱的接口，以防止流出液贮存箱内气载放射性或氢气的积累。排风通过排风机直接排至电厂烟囱。

本子系统的送风管和排风管均设置隔离阀，当探测到排风的高气载放射性浓度或厂房相对环境高、低压时，自动关闭送、排风管上的隔离阀，并切换至安全壳空气过滤系统（VFS）。此时，VFS 系统承担排风除碘，减小放射性泄漏，并维持厂房的轻微负压。

b) 燃料操作区通风子系统

燃料操作区通风子系统服务于燃料操作区、轨道车平台、过滤器贮存区、树脂输送泵/阀门间、废树脂箱间、废物处置容器区域、固体废物系统（废树脂）阀/管道区。燃料操作区通风子系统包括 $2 \times 50\%$ 容量送风空气处理机组（总风量约为 $17900\text{m}^3/\text{h}$ ）、送风和排风管路系统、隔离阀、空气分布器、排风机、自动控制器和附件。送风空气处理机组位于附属厂房的空气处理设备房间。空气处理机组通过管道系统将空气分配至辅助厂房的燃料操作区和轨道车隔间/过滤器贮存

区。设置 $2 \times 50\%$ 容量的排风机，设计风量可维持厂房轻微负压。风管系统布置便于送风气流从低放射性区域流向高放射性区域。排风通过排风机直接排至电厂烟囱。

本子系统的送风管和排风管均设置隔离阀，当探测到排风的高气载放射性浓度或厂房相对环境高、低压时，自动关闭送、排风管上的隔离阀，并切换至安全壳空气过滤系统（VFS）。此时，VFS 系统承担排风除碘，减小放射性泄漏，并维持厂房的轻微负压。

（3）系统运行

电厂正常运行期间，每个子系统的两台送风空气处理机组和两台排风风机都连续运行，以直流模式对所服务的区域提供通风。调节送风流量使得服务区相对于周围环境保持负压状态。排出的空气不经过过滤并直接向电厂烟囱排放，同时对排放至厂区的气载放射性浓度进行监测。

电厂异常运行期间，当辅助/附属厂房或燃料操作区的排风中探测到高气载放射性时，对应子系统的送风和排风管道隔离阀会自动关闭，将相应区域与外部环境隔离。启动安全壳空气过滤系统（VFS），以维持该隔离区相对于外部环境及邻近未受影响的电厂区间轻微负压，进而限制气载放射性物质未经过滤的泄漏。当辅助/附属厂房或燃料操作区的正常通风被破坏，造成厂房相对于室外环境高压或低压时，送风管上和排风管上的隔离阀自动关闭，此时通过 VFS 系统维持隔离区相对室外轻微负压，直至燃料操作区通风子系统重新正常运行。

2) 安全壳空气过滤系统

安全壳空气过滤系统（VFS）为安全壳、燃料装运区域和辅助及附属厂房的其他放射性控制区提供服务，热机修车间和保健物理区域除外。除安全壳隔离以保持安全壳的完整性以及安全壳真空卸压功能之外没有其他安全相关功能。

（1）系统功能

VFS 执行以下非安全相关的功能：

- 测量、显示和记录电厂排气烟囱排放至大气的放射性物质的浓度，并提供主控制室报警和指示；
- 在电厂正常运行期间，间歇供应外部新风以清洗安全壳大气；在电厂热停堆或冷停堆工况下，向安全壳提供连续的气流；
- 过滤燃料装运区、辅助/燃料厂房的放射性控制区排风，以维持这些区

域相对于邻近的区域有轻微的负压差。

(2) 系统描述

VFS 包括 $2 \times 100\%$ 容量的送风空气处理机组和排风过滤机组，分为两个序列。

VFS 送风空气处理机组送风至安全壳，由 VCS 的再循环机组分配净化后的空气。排风过滤机组位于附属厂房的放射性控制区。排风过滤机组的 HEPA 过滤器和活性炭吸附器净化来自安全壳、燃料装卸区、辅助和附属厂房的排风。排风过滤机组下游设有一个气体放射性监测器，它在探测到异常气体释放时发出报警。电厂烟囱处设有向环境的气体、粒子和碘的释放的监测装置。

(3) 系统运行

电厂正常运行期间，由主控制室运行人员定期运行本系统，净化安全壳内空气以降低气载放射性水平或维持安全壳内压力在正常运行范围内。过滤后的安全壳排风经电厂烟囱排至大气。在单个送风和排风子系统运行期间，如运行序列失效，运行人员可手动启动备用的送风和排风机组。

在电厂停堆前和停堆期间，VFS 系统的一个或两个序列运行，以便在人员进入前除去气载放射性。当安全壳内环境温度低时，送风由电厂热水加热系统提供热水。排风过滤机组内的电加热器用来控制进入过滤机组的排风相对湿度不高于 70%。当两个序列一起运行时，本系统提供约等于 0.21 次换气次数的最大通风量。

本系统为非安全有关系统，假定在设计基准事故时或之后不运行。但如果排风机可运行，可用来过滤和排风至电厂烟囱。在这此情况下，VFS 电厂放射性监测器必须对大气排放进行监测。

燃料操作区，辅助厂房的放射性控制区和附属/辅助区的排风气载放射性由 VAS 系统的放射性探测器持续监测。高放射性信号自动隔离受影响区域的正常通风系统，并启动 VFS 系统的排风过滤机组，以减轻未过滤空气的排放。

排风过滤机组的活性炭吸附器段设置水淹没灭火系统，在活性炭发生火灾时提供灭火措施。

当电厂在冬季失去厂外电源，安全壳内出现高真空度，VFS 系统位于安全壳内侧的安全壳真空卸压隔离阀自动打开，同时位于安全壳外侧的安全壳真空卸压止回阀自动打开，缓解安全壳内真空度，保护安全壳。

3) 放射性废物厂房通风空调系统

放射性废物厂房通风空调系统（VRS）服务于放射性废物厂房。它包括清洁的电气/机械设备房间和潜在被污染的排风机房、废物贮存间、废液监测箱间、移动设施区以及卡车运输区。

（1）系统功能

本系统没有安全相关的功能，其执行的非安全相关功能主要包括：

- 向工作区域提供经处理的空气，使环境温度满足区域内设备和工作人员的需要；
- 确保空气的流动方向是从清洁区域向有潜在污染的区域，使空气污染减到最小；
- 收集从有潜在污染设备的排出气体；
- 气体排放到环境中前，监测其放射性剂量；
- 保持放射性废物厂房相对于环境为负压，防止未经监测的气体释放到环境中。

（2）系统描述

本系统为直流式通风系统，包括两个完整的子系统：送风系统和排风系统。这两个系统共同运行维持服务区域的温度，使厂房对周围大气保持负压。

送风系统包括 2×50%容量的直膨式空气处理机组、一个送风分配系统、控制仪表及附件。两台空气处理机组通过独立室外新风口引入 100% 的新风，在风机出风口处合并成一个共用的送风系统，由主风管上的支管通过风量调节送入各服务区域。

排风系统包括 2×50%容量维持厂房负压的离心风机、一个排风集合系统、控制仪表及附件。排风机通过共用风管接至厂房烟囱，辐射监测器记录排风机出口处的放射性剂量浓度，当浓度超标时在主控制室报警。

（3）系统运行

VRS 系统在电厂 60 年服务期里连续运行，只有当通风空调设备需维修时才会停止运行。

在正常运行工况下，二台空气处理机组和二台排风机连续运行维持废物厂房内的温度。送风机进口处的送风量通过压差控制器自动调节风机变频装置，保持厂房负压。

空气处理机组的送风温度是由机组自带的控制器进行调节，冷却控制器调节空气处理机组冷冻水进口阀门，加热控制器调节空气处理机组热水盘管迎风旁通阀。

检测通过空气处理机组过滤器的压力降，当任何压力降升至预先设置的需更换过滤器的设定值时，会有相对应的报警。为替换过滤器，有关的送风风机和排风风机停止运行，并通过密闭阀从风管系统中隔离出来。在替换过滤器时，送风和排风系统各运行 50% 容量，在这种运行模式下，卡车通道门不能打开，并且需要调整厂房工艺运行以达到可接受的厂房温度。

维持一般的室内温度通常不需运行移动设施区和卡车运输区中的单元式热水加热器，只有当卡车通道门打开时通过就地运行加热器。

单元式热水加热器通过就地温感器控制维持室内最低温度。

4) 核岛保健物理和热机修车间通风空调系统

核岛保健物理和热机修车间通风空调系统（VHS）系统服务于保健物理区和工具间，保证人员舒适性和设备正常运行所需的环境条件。

（1）系统功能

系统具体功能如下：

- 提供处理过的空气，维持室内所要求的温湿度条件。
- 保证气流从干净区域流向有潜在污染危险的区域。
- 监测排风放射性。
- 维持保健物理区和热机修车间相对于室外轻微负压。
- 提供直流式通风。

（2）系统描述

VHS 系统是直流式系统，包括一套送风子系统和一套排风子系统。送排风系统相互连锁运行。

送风子系统包括 2×100% 容量空气处理机组、一套送风管系统、相应的自控系统以及各种附件。

排风子系统包括 2×100% 容量的排风机、一套排风管系统、相应的自控系统以及各种附件。

（3）系统运行

VHS 系统在电厂 60 年服务期里连续运行，只有当通风空调设备需维修时才

会停止运行。

空气处理机组通过风管系统将处理过的新风送至保健物理区和热机修车间。保健物理区的墙上装有温度控制器，通过控制冷冻水阀门或迎风旁通阀来调节保健物理区内的温度。冬季时，通过风管内的电蒸汽加湿器来维持房间相对湿度 $\geq 35\%$ 。夏季时，通过送风总管电加热盘管维持房间相对湿度 $\leq 75\%$ 。

通过压差控制器自动控制送风量，维持所服务的房间相对于室外大气负压，保证气流从附属厂房内干净区域流向保健物理区、从安全壳出入口通道流向热机修车间。位于保健物理区的压差传感器将信号送至送风机变频驱动装置，保证保健物理区相对于室外大气轻微负压。另外一个压差传感器位于热机修车间。该传感器将信号送至位于热机修车间送风管上的调节阀，调节风阀保证热机修车间相对于室外大气轻微负压。

排风子系统排风机通过排风管将排风排至厂房烟囱。在 VHS 系统排风干管上装有放射性粒子监测器。该监测器与辐射监测系统（RMS）有接口，能够对放射性物质的扩散进行记录并在主控制室报警。

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、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。本系统布置在辅助厂房和放射性废物厂房内。SRTF的描述参见第4.6.6节，废物最小化的描述参见第4.6.7节。

4.6.4.1 系统功能

WSS 系统的主要功能包括：

- 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；
- 收集电厂废通风过滤器滤芯；
- 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；
- 为设置在辅助厂房有轨车平台和放射性废物厂房移动式设备提供场地和辅助服务；
- 将废树脂接收槽内废液送回WLS进行处理后监测排放；
- 提供核岛与厂址废物处理设施之间的接口。

4.6.4.2 废物产生量

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）；
- 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：

- WLS深床、离子交换树脂及水过滤器滤芯，考虑在年最大废液产生量下运行产生的废物量；
- 除WLS外，其余包含离子交换树脂床和水过滤器滤芯的系统，在0.25%燃料包壳破损率下运行产生的废固量；
- 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；
- 预期可压实废物废物量增加约50%，不可压实废物、混合固体废物量增加约100%；
- 一回路向二回路系统泄漏时，更换受污染的凝结水精处理系统和蒸汽发生器排污系统的树脂和膜。

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。

在排气口和溢流口设置树脂截留滤网避免废树脂的意外排放。

- 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 HIC 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。

4.6.4.4 系统运行

- 废树脂的装运

废树脂装运主要包含以下几个工况：（1）废树脂接收；（2）废树脂混合；（3）废树脂装填。

- （1）废树脂接收

WSS 设置 2 个废树脂接收槽用于接收和临时贮存各离子交换树脂床产生的废树脂，以废树脂接收槽 A 为例进行说明（废树脂接收槽 B 接收树脂可通过远程切换废树脂接收槽树脂流入口气动阀实现）如下：①废树脂接收槽 A 废树脂装填物位记录情况，确认废树脂接收槽 A 是否具有足够容量接收该批次树脂浆液；（废树脂接收槽装填物位在废树脂接收完成后，通过树脂混合泵将废树脂接收槽内液位降至树脂物位高度以下后记录确定槽内物位高度。）②除盐水将上游系统产生的废树脂冲排进入废树脂接收槽 A，直至废树脂接收槽入口管道上窥视镜闭路电视监视画面中连续几分钟未观察到冲排流体中不包含树脂，则表示废树

脂接收槽已完成废树脂接收且输送管道已完成冲洗；③若接收过程中，废树脂接收槽 A 液位过高，则启动树脂输送泵将余液转运至废树脂接收槽 B 或者经过树脂碎片过滤器过滤后排放至 WLS 废液暂存箱。

（2）废树脂混合

废树脂混合以废树脂接收槽 A 为例进行说明（废树脂接收槽 B 混合可通过远程切换相应树脂混合泵吸入口和返回口气动阀实现）如下：①废树脂混合的主要目的是将废树脂接收槽内的废树脂进行充分的混合搅动，保证废树脂处于混合或流化状态，便于后续的再循环取样或者装填；②将废树脂接收槽 A 相应树脂混合泵吸入口和返回口气动阀打开，启动树脂混合泵，废树脂接收槽 A 内废液经树脂混合泵吸入口（设置树脂截留滤网拦截树脂）、树脂混合泵和废树脂接收槽 A 内喷射器返回废树脂接收槽 A，通过喷射器的喷射对废树脂接收槽 A 的树脂进行有效混合；③同时，通过切换树脂混合泵吸入口气动阀，可将废树脂接收槽 B 内废液经树脂混合泵和废树脂接收槽 A 内喷射器进入废树脂接收槽 A，以利用废树脂接收槽 B 废液对废树脂接收槽 A 内树脂进行混合；④此外，还可采用除盐水和压缩空气对废树脂接收槽 A 内树脂进行混合，该工况需要操作人员就地打开通道上的常关手动阀门。

（3）废树脂装填

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。装填步骤如下：①在树脂混合工况时，废树脂接收槽通过树脂截留滤网向外疏水。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 HIC 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。②开启 HIC 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。③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便携式操作工具（MH60）及废过滤器滤芯屏蔽桶

(MR40)用于 CVS、SFS、WLS 和 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。放射性(水)过滤器滤芯转运至厂址废物处理设施(SRTF)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 SRTF 处理。

- 干废物的处理操作

1) 较高放射性干废物通常暂存在放射性废物厂房屏蔽隔间内,以尽可能长时间地衰变。

2) 较低放射性干废物暂存在放射性废物厂房临时搭建的棚中,根据存放情况有放废工作人员进行分拣,将其中可燃、不可燃、可压、不可压物品分拣出来分别存放,以便在厂址废物处理设施中分类处理。可复用的如细纱手套、防护服另行收集。

3) 待解控废物一般是指含有少量放射性的通风过滤器、防护用品等。根据实际运行及废物特性,可将该类废物打包送至外运废物暂存设施,待其衰变一段时间后达到清洁解控标准,经审管部门批准后直接处理。

4) 其他放射性控制区内非表面污染区的废物,收集在废物袋或容器内,然后输送至放射性废物厂房临时贮存区。通常,这些废物通过辐射仪表检测确定为非放射性废物后,作为工业废物进行处理。

此外,根据国内核电厂可燃废物外运焚烧的良好实践,干废物也可根据可燃废物和不可燃废物进行分类收集,可燃废物转运至外运废物暂存设施打包暂存并外运焚烧,不可燃废物分为可压实和不可压实废物转运至厂址废物处理设施内进一步处理和中间贮存。

4.6.5 乏燃料贮存系统

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

乏燃料贮存格架的临界设计遵循 HAD102-15《核动力厂燃料装卸和贮存系统设计》有关要求。乏燃料贮存格架由 I 区格架、II 区格架以及破损燃料组件贮

腔组成。I 区贮存格架可以贮存最大设计基准富集度的燃料组件，II 区贮存格架可以贮存满足燃耗要求的乏燃料组件。

反应堆正常运行期间，每次平衡换料卸出乏燃料组件 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水池的环境条件相容。
- 6) 乏燃料贮存格架为非安全级，设备分级为 D 级，抗震分类为 I 类。
- 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，以保证燃料贮存时满足次临界要求。
- 9) 乏燃料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。

乏燃料水池还设有水位、水温监测系统和水池检漏系统，可随时监测水池的水位、水温和水池密封情况。

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，详见 4.6.3.2.2 节相关描述。

乏燃料贮存区域还设置有辐照剂量监测点，以保证操作人员的辐射安全。

乏燃料贮存区产生的气态流出物释放量参见 4.6.3 节气态流出物源项的相关内容。

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共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 为全厂共用设施，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无法直接处理的放射性废水；采用 HIC（高完整性容器）处理放射性废树脂及废水过滤器芯；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（均为水过滤器芯）。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）装入交联高密度聚乙烯高完整性容器（HIC）

内进行脱水。将废水过滤器芯充分沥干后装入 HIC。将脱水合格的 HIC 和装有干燥废水过滤器芯的 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、超压后压饼装入 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，海阳一期工程已通过审评并建成投产，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，为共用设施，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）转入高完整性容器（HIC）并进行脱水，将废水过滤器芯沥干后装入 HIC，满足废物体内游离水体积含量 $<1\%$ ，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 HIC 屏蔽容器运输车转入 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（其中 WLS、SFS 树脂可从旁路直接输送至 FDS 系统）。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接近设定值时，停运树脂输送泵，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，经贮存衰变及自然干燥一定时间后，进行 HIC 废滤芯装料操作，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。废滤芯装料完成后，远程用封盖工具对 HIC 进行封盖操作，用专用工具或吊车对 HIC 屏蔽容器运输车进行封盖操作。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5900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3、4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可压缩固体废物,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《低、中水平放射性固体废物包安全标准》(GB12711-2018)、《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》(GB9132-2018)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,为共用设施。

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，为全厂共用，满足 3、4 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，为全厂共用，满足 3、4 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。湿废物烘干设备每批次能烘干处理 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。

湿废物烘干系统一期工程已建成投产，为全厂共用，满足 3、4 号机组需求。

4.6.6.2 废物产生情况

整备后 HIC 废物包的活度水平为 $1.4\text{E}+9\text{Bq/kg}$ ；320L 桶废物包的活度水平为 $2.7\text{E}+5\text{Bq/kg}$ 。

单机组整备后的废物年预期产生量为 40.21m^3 ，单机组整备后的废物年最大产生量为 93.56m^3 。

4.6.7 废物最小化及放射性固废最终处置方案

4.6.7.1 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 $\leq 50\text{m}^3/\text{a}$ ，本项目单机组废物产生量为 $40.21\text{m}^3/\text{a}$ ，可以满足此目标。

4.6.7.2 放射性固废初步去向

根据海阳核电放射性固体废物处置规划，海阳核电厂拟定的低放固体废物处置去向如下：

- (1) 聚乙烯 HIC 废物包送至甘肃龙和处置场进行近地表处置；
- (2) 320L 钢桶废物包送至甘肃龙和处置场进行近地表处置；
- (3) 可燃废物拟外运至有资质的单位进行焚烧处理处置；
- (4) 极低放废物送至甘肃金塔极低放填埋场进行近地表填埋处置。

表 4.6-1 单机组液态年设计排放量与控制值的比较

核素	GB 6249-2025 中规定的单 机组排放量控制值(Bq/a)	单机组排放量计算值 (Bq/a)
除氚和 C-14 外的 其余核素	9.00E+09	5.82E+09
氚	7.50E+13	4.51E+13
C-14	1.50E+11	2.63E+10

表 4.6-2 单机组气态流出物年设计排放量与控制值的比较

核素	GB 6249-2025 中规定的单机 组排放量控制值 (Bq/a)	单机组排放量计算值 (Bq/a)
惰性气体	1.00E+14	6.70E+13
碘	3.00E+09	1.45E+09
粒子 (半衰期≥8d)	9.00E+09	3.36E+09
氚	1.50E+13	5.01E+12
C-14	7.00E+11	3.94E+11

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3、4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（DTS）

除盐水处理系统对水源来水进行处理，除去水中的离子性杂质，为机组提供除盐水。本工程除盐水处理系统在一期工程除盐水厂房预留位置扩建，水源采用本期工程海水淡化系统产水。根据机组用水需求，本期工程除盐水处理设备容量在一期基础上扩建 $2\times 120\text{m}^3/\text{h}$ ，系统流程如下：

淡化水→反渗透系统→淡水箱(一期设备)→阳离子交换器→阴离子交换器→混合离子交换器→除盐水箱(一期设备)。

本期DTS新增设备主要有：反渗透系统(包括保安过滤器、高压泵、反渗透装置)、阳离子交换器、阴离子交换器、混合离子交换器、除盐水泵、自用除盐水泵、淡水泵、阻垢剂加药装置。除淡水箱、除盐水箱外，再生用酸碱计量及储存设备、反渗透酸洗设备、废水中和处理及排放设备也采用一期原有设备。

系统阳树脂采用盐酸再生，阴树脂采用高纯氢氧化钠再生，树脂再生时排出的酸碱废水、反渗透装置清洗后的酸碱废水排入一期原有废水中和池，经酸、碱中和处理，1-4号机组除盐水废水pH值达到排放标准6-9后排至虹吸井，随循环水排入大海。系统产生的反渗透浓水输送至海水淡化系统回收利用。

2) 凝结水精处理系统（CPS）

凝结水精处理系统能够在机组启动、热备用、安全停堆、冷停堆和功率运行期间二回路水化学异常时，有效去除凝结水系统中的溶解物质和悬浮杂质，提高给水和蒸汽品质，从而达到蒸汽发生器安全运行和延长其使用寿命的目的。

本工程为每台机组设置全流量凝结水精处理装置一套，采用旁流连接方式，处理100%的凝结水。系统流程为：凝结水泵→前置阳床→高速混床→后置过滤

器→升压泵→凝结水系统。

每台机的凝结水精处理系统设置2套完整的体外再生装置，一套用于前置阳床，另一套用于高速混床。前置阳床再生系统，包括阳床树脂再生兼储存罐和再生计量系统。高速混床再生系统暂按高塔分离法设计，包括树脂分离塔、混床阳树脂再生兼储存罐、混床阴树脂再生罐、热水罐、废水树脂捕捉器及再生计量系统等。

其中阳树脂用盐酸再生，阴树脂采用高纯氢氧化钠再生。

再生废液中包含酸、碱和氨氮，再生废液排入就近设置的废水中和池，经酸、碱中和，pH达到排放标准后排至非放射性生产废水二类污染物处理系统或非放射性生产废水处理系统。

3) 循环水加药系统及海生物防治加药系统

循环水加药系统的主要功能是向循环水系统和厂用水系统加入电解海水产生的次氯酸钠，以抑制菌类、藻类、贻贝等海洋生物的生长，保证系统的换热效率。

系统容量按满足以下加药量设计：连续加药量为1mg/L；设计定期冲击加药量为3~4mg/L，定期冲击加药每天3次，每次约30min。实际运行过程中可根据实际情况调整，满足凝气器冷却水出口余氯量为0.1~0.5mg/L的要求。

系统设置有效氯产量为155kg/h电解海水制氯装置4套，4×80m³次氯酸钠储存罐。

系统流程为：制氯原水提升泵来海水（布置在循环水泵房）→一级自清洗过滤器→海水升压泵→二级自清洗过滤器→电解海水制氯装置→次氯酸钠储罐→加药泵→各加药点。

循环水加药系统的废水主要为电解槽的酸洗废水，酸洗废水收集至废水收集池，在废水收集池就地中和后输送至非放废水处理系统（WWS）。

海生物防治加药系统为循环水加药系统的备用系统，可投加氧化型药剂或非氧化型药剂。根据所投加的药剂特性设定投加时间，可实现系统自动控制加药，也可手动控制加药，系统为间歇性运行。在循环水加药系统正常运行时，该系统处于待命模式，当循环水加药系统停用时，该系统投用。

主要的工艺流程为：药剂储罐→日用罐→加药装置→海水混合稀释→各加药点。

4) 常规岛化学药剂供给系统

常规岛化学药剂供给系统将所需的化学药品注入凝结水、给水、闭式水系统，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。

常规岛化学药剂供给系统包括加氨装置1套，用于给水、凝结水和湿保养期间的加药；加联氨装置1套，用于给水、凝结水、闭式水及湿保养期间的加药。

每台机设置一套两箱四泵氨水加药装置，分析纯氨水溶液（5%）通过氨水计量泵加到各系统中。

每台机设置一套两箱六泵联氨加药装置，稀联氨溶液（2%）通过联氨计量泵加入到各系统中。

系统内排放的废液主要为设备检修时的排污水和冲洗水，水量极少，通过排水沟排入就近的精处理废水池，再排入非放射性生产废水二类污染物处理系统。

5) 海水淡化

海水淡化系统工艺参见4.3.1节。

海水淡化系统的排水主要为预处理系统排水和浓盐水。

预处理排水主要为澄清池排泥水、V型滤池反洗排水，本期工程配置一套污泥脱水系统，澄清池产生的含泥废水经污泥脱水系统处理后，泥饼由有资质单位外运处理，清水回收至絮凝沉淀池入口，V型滤池反洗排水收集后输送絮凝沉淀池入口回收利用，反渗透浓水随循环水排入大海。海淡浓水的浓缩倍数约为1.67。预处理废水排放量为152t/h，浓盐水排放量1050t/h。

6) 硼酸的排放

本工程含硼废液的排放主要包括化学和容积控制系统（CVS）调硼动作、燃料运输通道排水及运行期间放射性液体废物处理系统（WLS）排水，单机组年排放量约为2吨硼，即11.44吨硼酸（ H_3BO_3 ），且不考虑非计划停堆及调峰。

7) 非放射性生产废水处理系统

本工程按2台机组设计了非放射性生产废水处理系统，设置了1座非放射性生产废水槽式排放厂房，内设3座1100m³接收排放监测水箱；设置了1座含油非放射性生产废水处理厂房，内设1座766m³含油废水调节池、4台12.5 m³/h油水分离器等，废油排入储油池临时储存。含油非放射性生产废水处理厂房内设有加药间，用于放置酸碱中和加药计量泵及循环水排水口用消泡剂加药装置。含油非放射性生产废水处理厂房外设有酸碱储存设备及废水中和池。

主厂房含油废水池废水、变压器事故油池废水、燃油贮存罐区废水以及核岛非放射性废水排至含油废水调节池，经由提升泵输送至油水分离装置处理后，经在线监测合格后，合格水送入接收排放监测水箱，油进入储油池贮存；汽轮机厂房热水池排水，二类污染物处理系统无法接收时的CPS废水排入接收排放监测水箱；BDS排污系统排放的放射性检测合格的废水，以及接收排放监测水箱pH超标时的废水输送至非放射性生产废水酸碱中和系统，经酸、碱中和处理，pH满足排放要求后，排入接收排放监测水箱，对水箱内废水混匀处理后，进行监测，当水质达到排放标准后排入循环水排虹吸井。对于接收排放监测水箱的放射性指标，需进行人工取样和在线监测，对于pH、COD、氨氮、总氮和总磷则进行在线分析。

二类污染物处理系统描述见下节。

8) 非放射性生产废水二类污染物处理系统

非放射性生产废水二类污染物处理系统用于收集和处理全厂非放射性生产废水中二类污染物超标的废水。废水排至废水收集箱，经折点加氯处理，废水中的二类污染物满足排放要求后接入非放射性生产废水系统进行监测排放。

系统设计按全厂共用考虑，设计容量满足6台机组非放射性生产废水的处理能力。系统设置2×1500m³的废水储存水箱，系统设备处理容量按2×60t/h考虑，选择2台300m³的氧化反应箱。

系统设计流程如下：

废水收集箱→废水输送泵→氧化反应箱（加酸、碱、NaClO、CaCl₂）→反应箱排水泵→1~6 号机组 WWS 系统监测水箱

氧化反应箱设有再循环管路，再循环管路上设有可旁流处理的双介质过滤器，可对废水进行过滤处理。

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附属、辅助区产生的生活垃圾应按规定收集暂存并委托有资质单位外运处置。

海阳核电厂保守估计全厂生活污水产生量不超过 570 m³/d。海阳核电已建四处生活污水处理设施均采用缺氧好氧 A/O 生物接触氧化污水处理工艺。其中一

处为仓储区 400t 生活污水处理站，日处理能力为 400m³/d，收集开关站及部分厂前区 BOP 污水、以及二、三期主厂区污水；一处为力能区 160t 生活污水处理站，处理水量 160m³/d，收集办公楼、二座监理楼、餐厅及承包商办公楼及力能区排放的生活污水；一处为海淡区 200 t 生活污水处理站，在厂前区西面，实际日处理量为 200m³/d，主要收集并处理办公楼的污水；还有一处为主厂区 150t 生活污水处理站，设于一期厂房西侧附近，处理水量 150 m³/d，收集并处理一期主厂区内污水。目前海阳核电厂周边配套的生活污水市政管网已具备投运条件，部分生活污水经厂内生活污水处理设施处理后通过市政管网送至市政污水处理厂。部分生活污水经厂内生活污水处理设施处理达标后进行绿化回用。

考虑到厂内 4 处生活污水处理设施临近使用年限，海阳核电厂将新建一处生活污水处理设施用于全厂生活污水的处理，设计处理能力 1500t/d（包络大修期间和后续机组施工期生活污水处理需求）。生活污水处理后优先纳管排入送至市政污水处理厂，并根据绿化用水需要保留绿化用水回用功能。

4.7.3 其他废物

1) 危险废物

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。预计危险废物年产生量不超过 130t。

实验室：环境监测实验室、化学实验室等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、凝结水精处理系统废离子交换树脂、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，主要存放在危废暂存库内。该暂存库满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）中的相关要求并已投入使用。少量易燃、易爆废液存放在化学品库的废液暂存柜内。

2) 工业固体废物

本工程产生的工业固体废物主要为水处理过程中产生的污泥、除盐水处理系统产生的离子交换树脂、加氯车间产生的废积盐以及生产活动中产生的废塑料、

废木材等废物。预计工业固体废物年产生量约为 700~1000t。

污泥主要为水处理厂、海水淡化和生活污水处理设施等水处理过程中产生的污泥。污泥及污泥浓缩后的泥饼作为工业固体废物委托有资质单位外运处理。

除盐水处理过程中使用的离子交换树脂,除盐水系统中设置了树脂再生装置,更换的树脂优先考虑再生,无法再生的,按照工业固体废物委托有资质单位处理。

废塑料、废木材等按照工业固体废物委托有资质单位处理。

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
除盐水处理系统（DTS）	31% 盐酸	150t	200t	酸碱废水	在中和池就地中和处理 pH=6~9	泵排放、间断	pH=6~9	排至虹吸井，随循环水排入大海	/
	32% 氢氧化钠	162t	216t						
凝结水精处理系统（CPS）	31% 盐酸	428	5136t	酸碱废水	均收集在精处理中和池进行中和处理至 pH=6~9, 中和处理后排至非放射性生产废水二类污染物处理系统	/	/	/	/
	32% 氢氧化钠	468	5616t						
常规岛化学药剂供给系统（CFS）	25%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（WIS）	31% 盐酸	15t	15t	酸性废水	在中和池就地中和处理 pH=6~9, 排至非放射性生产废水处理系统（WWS）废水中和池。	/	/	/	/
	1.6g/L 次氯	/	次氯酸	加入循环	在循环水中反	连续	排放口余氯小于	随循环水	排放口

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
	酸钠		钠溶液： 约 $3 \times 10^6 \text{m}^3$	水系统， 随海水排 放	应，杀菌灭藻后， 余 氯 小 于 0.5mg/L		0.5mg/L	排入大海	余 氯 小 于 0.5mg/L
	32% 氢 氧 化 钠	15t	15t	/	用于酸性废水中 和处理	/	/	/	/
海水淡化系统（WDS）	8% 凝 聚 剂 （聚合铝或 聚合铁）	1920t	1920t	进入污泥 脱 水 系 统，随污 泥外运	污泥脱水处理	车辆外运	/	污泥外运 至有资质 的固体废 物处理单 位	/
	助 凝 剂 （PAM）	25t	25t						
	1.6g/L 次 氯 酸钠	12000t	12000t						
	还原剂	62t	62t	随浓水排 放	无需处理	连续	浓水含盐量增加小 于 10mg/L	排至虹吸 井，随循 环水排入 大海	
	阻垢剂（无磷 阻垢剂）	39t	39t	随浓水排 放	无需处理	连续	浓水含盐量增加小 于 5mg/L	排至虹吸 井，随循 环水排入 大海	
	氢氧化钠	120t	120t	产品水	调节产水 pH \geq 7， 无需处理	连续	/	随生产废 水排放	
	缓蚀剂	9t	9t	在工业水 系统	无需处理	连续	/	随生产废 水排放	

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
非放射性生产废水中和处理系统（WWS）	31% 盐酸	26t	26t	酸碱性废水	在中和池就地中和处理 pH=6~9	泵排放、间断	pH=6~9	排至非放射性生产废水处理系统，然后排入虹吸井，随循环水排入大海	/
	32% 氢氧化钠	8t	8t						
	消泡剂	169t	338t	加入循环水系统，随海水排放	/	连续	/	随循环水排入大海	导致循环水排盐量增加小于 0.1mg/L
非放射性生产废水二类污染物处理系统（WWS）	31% 盐酸	20t	20t	二类污染物废水	折点加氯处理，氨氮≤5mg/L	泵排放、间断	主要为 NaCl，总含盐量通常情况下小于 10000 mg/L	排至非放射性生产废水处理系统，然后排入虹吸井，随循环水排入大海	低于循环水排盐量
	32% 氢氧化钠	20t	20t						
	10% 次氯酸钠	1110t	9000t						

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。
3. 消泡剂在实际运行中根据不同季节不同工况加药量可调, 考虑到不同品牌的消泡剂其用量不同, 此处为预估值。

4.8 放射性物质厂内运输

运进核电厂的放射性物品有初级中子源和未经辐照的新燃料组件。为了安全运输初级中子源，应根据《密封放射源一般要求和分级》（GB 4075-2009）对密封中子源的试样进行试验，每项试验后应按《密封放射源的泄漏检验方法》（GB/T 15849-1995）的规定对试样进行泄漏试验。新燃料组件和中子源运输容器的设计、制造应能满足我国《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）的要求。

运出核电厂的放射性物品有两类，即乏燃料组件和放射性固体废物。

本节叙述上述放射性物品的厂内运输。

4.8.1 新燃料的厂内转运

本工程的首炉和换料组件将由中核包头核燃料元件股份有限公司制造生产，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，2019 年、2021 年两次修订）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 新燃料的厂外运输

本工程单台机组首循环所需新燃料组件数为 157 组，单个燃料组件中铀装

量约为 541kgU/组件，首循环两台机组共 314 组组件，总铀装量约为 170 吨。后续循环单台机组所需新燃料组件数为 64 组，两台机组共 128 组，总铀装量约 69 吨。

组件换料周期为 18 个月。新燃料平均年发运次数至少应满足后续循环换料的要求，每台机组每循环运输一次，可满足要求。单燃料组件最大活度为 $1.2\text{E}+08\text{Bq/kgU}$ ，首循环 314 组最大运输量对应的总活度为 $2.1\text{E}+13\text{Bq/a}$ 。

由中核包头核燃料元件股份有限公司制造的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现场。海阳核电项目 1、2 号机组采用全程公路方式运输燃料组件，已有成熟经验，海阳核电项目 3、4 号机组可采用相同的运输方案。

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内，根据程序进行检查确认、开箱等操作，最终将新燃料组件吊运并贮存在新燃料贮存格架中。

新燃料贮存格架的贮存容量或能力应能保证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。

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 乏燃料的运输

乏燃料的厂内运输包括从乏燃料组件装入乏燃料运输容器至厂外运输前的全过程。相关的操作工具和设备包括乏燃料运输容器吊车、燃料抓取机、乏燃料组件操作工具、容器专用运输卡车等。乏燃料组件装入专用的乏燃料运输容器中外运，对容器进行装载的操作以及容器的清洗、检查等操作分别在装料池和清洗池内进行。装料池和清洗池为毗邻的两个水池，均位于辅助厂房内乏燃料水池旁。

乏燃料组件通常贮存在乏燃料水池中，直到裂变产物的活性降低到允许外运的程度。然后，将乏燃料组件装入到乏燃料运输容器中。

乏燃料组件在装入乏燃料运输容器的过程中，以及之前在水池内贮存和转移的过程中，其顶部均保持有足够的屏蔽水层。在装入乏燃料运输容器后，通过特殊设计的容器实现乏燃料组件的辐射屏蔽。因此，乏燃料组件厂内运输过程中的辐射影响是严格控制的，满足合理、可行、尽量低的原则。

乏燃料运输容器装料操作的典型步骤如下：

- 1) 装料池已经充满了水，且装料池和乏燃料水池之间的水闸门已经打开。
- 2) 将乏燃料运输容器运到清洗池，用去离子水洗净。卸掉容器外盖，给容器充水排气。
- 3) 将乏燃料运输容器吊运至充满水的装料池中，先在中转平台换钩再下放到装料池底部，卸掉容器内盖。
- 4) 连接乏燃料组件操作工具的燃料抓取机定位在待外运的乏燃料组件上方。
- 5) 提起燃料组件，经水闸门转运至装料池，将其装进已经就位的乏燃料运输容器内。在燃料组件转运的过程中，需保持燃料组件活性区顶部有足够的屏蔽水层。
- 6) 重复上述两步步骤直至装满乏燃料运输容器，将运输容器内盖重新安装到运输容器上。
- 7) 将乏燃料运输容器转移到清洗池，进行内盖密封，充气排水、干燥、充氦气和外表面冲洗等处理措施，安装外盖并确认容器表面剂量率满足限值后，才能将容器提升出清洗池。

根据现有设计方案，3、4 号机组乏燃料至少需在乏燃料水池内贮存 8 年以上，在此期间无需外运。后续建设单位将结合运行实际情况，进一步确定乏燃料贮存或外运方案。

4.8.3 放射性固体废物的厂内转运

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，湿技术废物运输前装入 200L 钢桶，废油装入专用油桶或装入塑料桶并外加塑料袋包装，不可压缩废物根据体积选择装入钢桶或塑料袋包装，剂量率水平超过 2mSv/h 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。

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，之后外运处置，处置去向参见 4.6.7.2 节。每年放射性固废的外运数量根据放射性废物实际产生、暂存情况及运输计划确定。

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 核电厂施工建设过程的环境影响

5.1 土地利用

山东海阳核电厂用地采用一次全部征用的方案，在 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大幅减少。

5.1.1 工程用地概况

5.1.1.1 项目用地方案

山东海阳核电厂的用地采用一次全部征用的方案。2005 年 9 月 21 日，山东核电有限公司通过原海阳市国土资源局向原山东省烟台市国土资源局、原山东省国土资源局以及原国土资源部上报了山东海阳核电厂建设用地预审申请。原国土资源部以《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，项目用地已列入当地土地利用总体规划，同意用地预审。

山东海阳核电厂 1、2 号机组工程核准后，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，土地证编号是海国用（2012）第 321 号。

本工程是规划容量内的扩建工程，未新增厂区建设用地。根据山东核电有限公司实际办理的土地证，山东海阳核电厂厂区共计征用土地约 211.17ha。

按照集约化的用地原则，本工程在厂区用地范围内新建的功能区包括主厂房区（含核岛和常规岛）、循环水泵房区和海水淡化区，其余的大多数设施包括放射性废物处理设施、配电装置、维修设施与仓库设施、厂前建筑等均与 1、2 号机组工程共用，即利用 1、2 号机组工程已有的设施。本工程在厂区用地范围内的建设用地面积为 71.32ha，在厂区用地范围内新建功能区的用地面积约 21.15ha。

山东海阳核电厂已建成 2 条厂外道路，分别为海核一路（作为进厂道路）和海核二路（作为应急道路）。

5.1.1.2 土石方平衡

山东海阳核电厂已按 6 台机组建设用地完成场地平整，场地平整标高为 7.87~8.07 米，本工程核岛、常规岛均已完成负挖，核岛、常规岛、循环水泵房及主要管沟等负挖土石方总量约为 176.22 万立方米，回填工程量为 135.48 万立方

米,余方 64.12 万立方米已外运综合利用。排水明渠改造导流堤填料需石方约 21.7 万立方米需外购。

5.1.1.3 施工场地规划

本期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 4 号机组场地东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。在本期机组主厂房区的南侧布置了大件运输通道、全厂共用的模块拼装场地、安全壳模块拼装场地、SC 拼装场地及其堆场,全厂共用重件道路供大件设备和大型模块运输。同时本工程施工期间 5、6 号机组的主厂区域可作为堆场使用。

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。通过施工区及相关道路及时清扫洒水、渣土临时堆放场加盖篷布防护、尽可能减少土方堆置时间、加强建筑材料保管、合理调度运输车辆等必要的防护措施,以减少粉尘的影响。

此外,本工程施工期间喷涂工艺会产生一定的 VOCs,喷砂工艺会产生一定的粉尘,切割焊接工艺会产生烟尘。其中,VOCs 来源于油漆及涂料等化工产品,使用时会自然挥发、扩散。

针对喷涂产生的 VOCs,本工程已设置喷涂车间,相关工艺主要集中于喷涂车间开展,车间每年油漆使用量约 10t/年,参考《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》中油性漆产污系数为 486kg/t,则预计挥发性气体产生量约 4.86t/年,喷涂车间设置 15m 高的排气筒、排风管道等废气收集装置,配备漆雾过滤层、蜂窝活性炭箱等实现对 VOCs 的处理;针对喷砂工艺产生的粉尘,相关工艺主要

集中在喷砂车间（与喷涂车间位于同一车间的不同房间内）开展，通过布袋除尘的方式实现对粉尘的处理；针对切割焊接工艺产生的烟尘，采用优化的焊接工艺结合使用焊接烟尘净化器以实现烟尘的净化。

上述施工过程中产生的污染物对大气环境的影响是局部的和暂时的。施工过后，当地的大气环境质量将很快得以恢复

本工程建设期间开展了施工期环境监测。本工程于2022年7月FCD，截至2024年底，共完成了3年的环境监测。环境空气监测方案如下：

- 厂界监测

监测项目：TSP、SO₂、NO_x日均值。

监测点位：厂界上风向布设一个参照点，下风向布设三个监控点。

监测频次：一年4次，每季节各1次；每次1天，4次/天。

- 敏感点监测

监测项目：TSP、PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO_x日均值；SO₂、NO_x时均值。

监测点位：附近村庄。

监测频次：一年4次，每次1天。

监测结果表明，厂区边界处的无组织废气SO₂、NO_x、TSP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，环境敏感点的SO₂、NO_x、TSP、PM_{2.5}和PM₁₀日均值以及SO₂、NO_x小时均值均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012，2018年修订），二级标准浓度限值要求。

综上所述，本工程施工期间厂区无组织废气排放符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996，2000年修订）无组织排放监控浓度限值要求，环境敏感点空气质量符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012，2018年修订）二级标准浓度限值要求。

针对喷涂车间VOCs排放情况，于2024年7月在喷涂车间排气筒处针对VOCs、苯、甲苯、二甲苯的浓度、排放速率开展了3次监测。结果表明通过上述处理设施处理后排放的废气满足《挥发性有机物排放标准 第5部分：表面涂装行业》（DB37/2801.5-2018）中污染物有组织排放控制要求。

截至2024年底，本工程土建施工已大部分完成，后续工程量较少，因此预计后续施工期间产生的大气污染物仍会满足相关标准浓度限值要求。随着施工结束，大气环境质量将得到恢复。

5.1.2.2 水环境的影响

本工程建设期间对水环境的污染主要来自于施工期间土石方和建筑材料的流失以及生产废水和施工人员生活污水排放。

1) 土石方和建筑材料的流失

本工程施工期间，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，造成局部海域海水含沙量和浊度的增加。为避免上述施工活动对水环境的影响，本工程施工期通过采取加强材料管理、设置围挡及加盖篷布等措施，确保本工程施工期间不会对周边地表水体产生影响。

2) 生活污水

本工程施工期间，1、2号机组已投运，厂内生活污水主要为本期工程施工人员如厕冲洗水、洗涤废水以及1、2号机组运行人员产生的生活污水。

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。本工程自2022年开始施工至2024年上半年期间厂内产生的生活污水（包含厂内所有运行人员以及施工人员产生的污水）大部分通过管网输送至已建成的污水处理站处理，仅少部分通过移动厕所收集清掏外运处理，在2022年至2023年期间，处理符合《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）要求后回用；由于2024年污水处理站接入城镇污水管网，因此自2024年后大部分生活污水符合《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）要求后通过已建成的市政管网纳管排放，少部分回用。自工程开工至2024年底，厂内污水处理站共处理生活污水总量约19.52万吨，其中回用量约16.01万吨，纳管排放量约3.51万吨。

自2024年下半年始，由于上述生活污水处理站临近寿期，因此施工现场人员产生的生活污水（包含其中的污泥）改由通过吸污车从施工现场厕所定期清掏收集后委托专业单位外运处理，截至2025年6月，共外运的生活污水总量约19000m³。

针对厂内已建的 4 处生活污水处理站，山东海阳核电厂计划建设处理能力为 1500t/d 的生活污水处理设施予以替代，建成后用于对全厂运行人员和后续工程施工人员的生活污水进行处理。

3) 施工废水

本工程施工期间的施工废水来自混凝土搅拌水以及混凝土养护水。这部分施工废水产生量较少，均通过砂石分离机处理，分离出的固体污染物作为固废收集统一外运处理，分离出的水均回收利用，不外排。

4) 调试废水

安装调试期于 2025 年开始，正在开展中，产生的调试废水主要分为非加药废水与加药废水：

非加药废水主要包括核岛五大系统及闭式循环系统冲洗水、核岛流道试验废水、二回路冷态联合冲洗废水、设备检修需排放的未加药废水等，总排放量共计约 246000m³，最大排水流量产生在二回路冷态冲洗期间，约 200m³/h。如检测合格则直接排放，若检测不合格（主要污染因子为悬浮物）则通过静态沉淀、过滤等方法处理合格后排海，若检测到油类超标则通过接入 WWS 系统处理达标后排海。

加药废水主要包括：热试期间 WLS 系统排放总管累计的废水、WSS 系统废树脂卸载除水、RCS 系统主泵保养及一回路水压试验废水、由 WLS 系统方向切换至 TDS 系统流道验证试验废水（BDS）、SGS 系统本体冲洗与 SG 二次侧水压试验废水、CCS 系统相关试验及湿保养加药工作产生的废水、CDS/FWS 热态联合冲洗与热试期间水质调整产生的废水、APS 系统冲洗试验产生的废水、CPS 系统树脂装填与热试期间树脂再生产生的废水。

上述加药废水总排放量共计约 130000m³，最大排水流量发生在二回路热态冲洗废水期间，约 200m³/h。

加药废水污染因子主要包含 pH、氨氮、悬浮物等，将通过采购的临时二类污染物处理系统处理，针对 pH、氨氮、悬浮物污染因子，分别进行酸/碱中和、芬顿反应、沉淀处理，排放前取样检测是否满足《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2025）中的一级排放标准，检测合格后排海，检测不合格则返回重新处理。

二类污染物处理设施最大处理能力为 $60\text{m}^3/\text{h}$ ，若调试期废水排放流量超过系统处理能力，则通过安排计划、错峰处理等方式确保实现调试期加药废水的全部处理。

因此，施工期间产生的水土和材料流失、生活污水、施工废水、调试废水的排放在采取上述合理有效的预防、处理措施后，其产生的环境影响范围有限。随着施工的结束，水环境质量将得到恢复。

针对本工程厂内污水处理站（处理范围涵盖施工人员产生的生活污水）开展了污水监测，污水监测点位、监测项目及监测频次详见表 5.1-1。

根据监测结果本工程施工期间产生的生活污水经污水处理站处理后的 pH 值、色（度）、嗅、浊度、溶解性总固体、溶解氧、生化需氧量（ BOD_5 ）、氨氮（ $\text{NH}_3\text{-N}$ ）、阴离子表面活性剂、总余氯、大肠埃希氏菌等项目均满足《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）中城市绿化标准限值要求。

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。

土石方工程施工期间的开挖爆破、各类施工机具作业、车辆的运输等所产生的噪声对厂址周围的声环境影响属于暂时性影响，且影响范围有限。施工期噪声影响将在施工完成后不复存在。

本工程建设期间开展了施工期环境噪声监测，自工程开工至 2024 年底，已完成 3 次施工期环境噪声监测。环境噪声监测方案如下：

监测点位：厂界布设 4 个点，敏感点临近村庄各布设 1 个点位。

监测频次：一年 4 次，每次监测 1 天，24h 连续监测。

监测项目： L_d 、 L_n 。

监测结果表明，厂界的昼、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 3 类标准要求，环境敏感点的昼、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。

截至 2024 年底，本工程土建施工已大部分完成，后续工程量较少，因此预计后续施工期间产生的噪声仍会满足相关标准要求。

5.1.2.4 固体废物的影响

本工程施工阶段产生的固体废物主要为工业固体废物、建筑垃圾、生活垃圾以及危险废物。

1) 工业固体废物

工业固体废物主要包括废钢材、废木材、废塑料、废纸等，由施工单位设立存放区、集中堆放，并委托专业单位外运处理。自工程开工截至 2025 年 6 月，本工程施工期间可再生类废物的产生量约 6800 吨，已全部外运处理。

2) 建筑垃圾

建筑垃圾主要为工程渣土、工程泥浆以及工程垃圾。

— 工程渣土：主要为地基开挖产生的弃土，产生的土石方量约为 64.12 万 m^3 ，通过地方政府平台进行拍卖处置，实现弃土的外运综合利用。

— 工程垃圾：主要包括砂石场产生的污泥以及施工过程产生的废弃混凝土砌块等，其中，砂石场产生的污泥晒干后在施工单位设立的废泥仓集中存放，废弃混凝土砌块等由施工单位设立存放区、集中堆放，并委托专业单位外运处理。自工程开工至 2025 年 6 月，本工程施工期间工程垃圾产生量约 97000 吨，已全部外运处理。

— 工程泥浆：主要为排水明渠改造工程开挖产生的泥浆，通过办理倾倒许可证（编号：2023100066E）委托专业单位远海倾倒至石岛湾外远海临时性海洋倾倒区，最大倾倒量约 32000 m^3 。

3) 生活垃圾

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，委托劳务公司运至专业处理单位进行无害化处置。自工程开工至 2025 年 6 月，本工程施工期间产生量约 2000 吨，已全部外运处理。

4) 危险废物

本工程已设置 6 处危险废物暂存点，分别位于临建四区东侧、临建四区物资

部堆场、临建五区东北角、临建五区办公区、SC 拼装场地西侧以及砂石厂蓄水间旁，施工期间产生的各类危险废物由施工方按危废管理要求收集暂存至上述危险废物暂存库内并委托有危险废物处理资质的专业单位定期外运处理。危废暂存期间，由承包商安排有相应资质和能力的专职人员对危险废物进行管理，相关人员必须接受专项授权培训并取得对应资质或授权，建立了完整的危险废物暂存与处置台账并及时更新，台账更新内容包含危险废物名称、数量、产生时间、处置时间等信息。危废暂存点为全封闭式，具备防风、防雨、防晒及防渗漏功能，暂存点地面刷环氧地坪并在危废下方放置防漏托盘，暂存点内产生的废气采用活性炭吸附净化，出入口处均设置了消防和应急物资，暂存点钥匙由专人管理，满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）的要求。

自工程开工至 2025 年 6 月，本工程施工期间产生的危险废物种类、产生量及处置量主要为：废油漆及桶产生约 139 吨、已外运处置约 138 吨，废定影/显影废液产生约 2.5 吨、已外运处置约 2.3 吨，废矿物油及包装物产生约 11.4 吨、已外运处置约 10.5 吨，含醚废物产生约 1.9 吨、已外运处置约 1.8 吨，废酸液产生约 0.26 吨、已外运处置约 0.25 吨，废机油产生约 3.2 吨、已全部外运处置，其他危险废物产生约 1.62 吨、已外运处置约 1.6 吨。

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。本工程施工建设主要涉及 3、4 号机组核岛、常规岛、海水泵房等主要厂房负挖施工，上述施工将完全改变本工程区域的局部生态环境。由于本工程所在区域无特殊生态环境，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。比较本工程施工前后的生态环境变化，本工程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。主要表现在主要厂房基础负挖、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。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。

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，因此施工期水土流失影响程度小于 1、2 号机组工程建设期间，具体分析参见 5.3.6 节。

5.1.2.7 对社会环境的影响

本工程的建设永久占用土地。厂址非居住区边界范围内无常住居民，原厂址处村庄现都已搬迁，皆搬迁至厂址半径 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。

5.1.2.8 对历史古迹、考古场地、风景名胜的影响

本工程施工范围及临近区域不涉及历史古迹、考古场地和风景名胜。

表 5.1-1 生活污水监测方案

序号	监测点位	监测项目	监测频次
1	厂区力能区 160 t 生活污水处理站总排口	pH、色度、嗅、浊度、溶解性总固体、生化需氧量（BOD ₅ ）、氨氮、阴离子表面活性剂、溶解氧、总余氯、大肠埃希氏菌	1 次/季度
2	厂区仓储区 400 t 生活污水处理站总排口		
3	厂区海淡区 200 t 生活污水处理站总排口		
4	厂区主厂区 150t 生活污水处理站总排口		

5.2 水的利用

5.2.1 水的相关工程

5.2.1.1 淡水取水工程

本工程施工期用水主要包括施工生产用水、施工生活用水。本工程施工期间，截止 2024 年，施工生产用水各年用水量分别约为 2.74 万 m^3 （2022 年）、13.21 万 m^3 （2023 年）、7.94 万 m^3 （2024 年），施工生活用水各年用水量分别约为 15.47 万 m^3 （2022 年）、27.39 万 m^3 （2023 年）、22.17 万 m^3 （2024 年），上述施工用水均由一期工程已建供水设施提供。

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。

建设单位计划对现有排水明渠进行优化改造，在原有排水明渠的基础上，排水明渠南北堤同步向 SSW 方向延伸，北堤延长约 553.72m，南堤延长约 537.385m。

主要施工工艺为：排水明渠南、北导堤均采用常规的抛石斜坡堤结构，由于堤顶宽度较窄，导堤施工主要以水上作业为主。堤心石采用水上驳船机械抛填的形式进行，由于抛石施工在外海作业，施工时先将原堤头端部的扭王字块体用方驳吊机吊至原堤身斜坡处堆叠放置，漏出下部块石垫层后，再沿堤轴线方向连接抛填，进行分段抛成潜堤，而后集中力量将上部的堤心石尽快形成，两侧的块石垫层应跟进进行，水面以下抛石由潜水配合理坡，上部块石由人工和方驳机械抛理。

本工程的明渠改造工程于 2023 年 7 月开工，并于 2024 年 11 月完工，共计开挖淤泥约 32000 m^3 ，产生的污泥通过办理倾倒许可证（编号：2023100066E）委托专业单位远海倾倒至石岛湾外远海临时性海洋倾倒区。

5.2.2 施工活动对水环境的影响评价

5.2.2.1 淡水取水对其他水用户的影响

本工程的淡水取水由已建供水设施提供，不会对当地的其他水用户产生影响。

5.2.2.2 施工活动对水质环境的影响

1) 本工程排水工程施工活动对水质的影响分析

本工程涉及排水明渠改造施工活动，施工期对海洋环境的影响的主要来自于：

①排水明渠改造施工，产生的主要污染物有抛石和基槽挖泥产生的悬浮泥沙、施

工船舶产生的油污水；②土石方和建筑材料流失；③生产废水和施工人员生活污水排放。

对于入海悬浮泥沙对水质的影响，根据国家海洋局北海海洋工程勘察研究院编制的《施工期悬浮泥沙及溢油数模计算成果报告》，本工程施工期间产生的悬浮泥沙主要由抛石产生，抛石产生的悬浮泥沙源强为 3.8kg/s，泥沙发生点位于工程占用海域。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 325.7hm²，超三类水质标准面积最大为 66.4hm²，超四类水质标准面积最大为 17.3hm²。搅动产生 10mg/L 浓度悬浮泥沙最大可能扩散距离约为 1.7km。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 1.7km 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区。厂址距最近的海洋生态红线区距离较远（约 8km），不会对海阳生态红线产生影响。随着施工的结束，悬浮泥沙污染会很快消失。

根据《海阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，本工程施工海域为工矿通信用海区。本工程排水明渠改造施工期间产生的 10mg/L 浓度悬浮泥沙最大扩散范围全部位于工矿通信用区内，不涉及周边生态保护红线，且相对周边海域生态保护红线距离较远，因此不会对周边的生态保护红线产生影响。

5.2.2.3 施工活动对海洋生态环境的影响

本工程排水明渠改造施工期间产生的悬沙扩散以及明渠改造对涉及海域部分的占用可能会对海洋生态环境产生一定影响。根据《山东海阳核电项目 3、4 号机组工程海域使用论证报告书》（2021 年 4 月），上述施工产生的悬浮泥沙影响导致海洋生物资源的损失率及受损量关系见表 5.2-2。预计明渠改造对涉及海域部分的占用造成的海域底栖生物损失量约 1.22t；预计悬沙扩散影响造成浮游植物细胞丰度损失为 1.01×10^{12} cells，造成的浮游动物湿重生物量损失为 0.27t，造成底栖生物湿重生物量损失为 4.22t。造成的鱼卵、仔稚鱼损失量分别为 9.88×10^6 粒和 5.94×10^6 尾，造成的鱼类、虾类、蟹类和头足类幼体损失量分别为 2355 尾、1425 尾、407 尾、496 尾，造成的鱼类、虾类、蟹类和头足类成体损失量分别为 40.416kg、18.095kg、10.630kg、6.246kg。

悬浮泥沙造成的损失是一次性的海洋资源损失，结合表 5.2-2 可知，仅悬浮泥沙浓度超过《海水水质标准》第二类水质限值 4 倍以上的区域造成的海洋生物损失率较大，而上述的影响面积较小，仅有 1.012km²，随着施工的结束，悬浮泥

沙污染会很快消失,可知悬浮泥沙造成的海洋生物损失不会对施工海域海洋生物数量产生明显影响,因此不会对海洋生物多样性产生影响。

明渠改造的用海方式为构筑物,改变了海域的自然属性,涉及区域内的底栖生物将不复存在,但其占用海域面积很小,不会对底栖生物数量造成明显影响,因此也不会对海洋生物多样性产生影响。

建设单位将开展生态保护修复工作,针对损失的海洋生物资源进行增殖放流活动,弥补其损失。

本工程海工施工海域周边的三场一通道均距厂址较远(最近产卵场距厂址30km以上,索饵场距厂址60km以上,越冬场和洄游通道距厂址30km以上),远超出海工工程产生的悬浮泥沙的影响范围,因此海工工程不会对周边的三场一通道产生影响。

距离厂址最近的水产种质资源保护区为乳山湾国家级水产种质资源保护区和千里岩岛海域国家级水产种质资源保护区,均距厂址15km以上,距离较远,远超出海工工程产生的悬浮泥沙的影响范围,因此海工工程不会对周边的水产种质资源保护区产生影响。

距离厂址最近的海域生态保护红线为威海乳山滨海湿地重要滩涂及浅海水域生态保护红线,最近位于厂址E方位约10.5km处。由5.2.2.2节可知,因施工爆破、抛石产生的10mg/L浓度悬浮泥沙最大扩散范围不涉及生态保护红线,且距离生态红线距离较远,因此海工工程不会对周边的生态保护红线产生影响。

厂址周边不涉及珊瑚礁、红树林、海藻场等特殊生境。

综上所述,本工程排水明渠改造引起的生态环境影响是局部的,且这种不良影响是暂时的,当施工结束后,这种影响也将随之消失。

5.2.2.4 对周边港口、航运的影响

本工程排水明渠改造施工不涉及爆破作业,因此不会影响周边港口、航运的正常运行。

5.2.2.5 对防洪堤坝、景观的影响

厂址临近区域无防洪堤,海工工程产生的悬浮泥沙扩散影响范围较小,也不会对厂址周边的景观产生影响。

5.2.3 施工期海洋环境监测

5.2.3.1 海洋环境监测方案

1) 监测项目

(1) 海洋水环境质量监测项目包括：水温、盐度、透明度、pH、悬浮物、化学需氧量、生化需氧量、溶解氧、无机氮（硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐）、活性磷酸盐、活性硅酸盐、石油类、总汞、铜、铅、锌、镉、铬、砷、硒、镍、挥发性酚、余氯等共计 25 项。

(2) 海洋沉积物质量监测项目包括：粒度、有机碳、pH、硫化物、石油类、大肠杆菌群、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷等共计 13 项。

(3) 海洋生物质量监测项目包括：铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、石油烃等共计 8 项。

(4) 海洋生态：叶绿素 a 和初级生产力、浮游植物、浮游动物、鱼类浮游生物、大型底栖生物、潮间带生物。

2) 监测站位

海洋水环境质量监测共布设监测站位 25 站，海洋沉积物质量监测共布设监测站位 15 站（沉积物质量站位从海水水质监测站位中选取），海洋生物质量监测共布设监测站位 19 站（监测站位从海水水质监测站位中选取，与海洋生物生态站位相同）。

3) 监测时间

在海工工程施工期间共开展了 3 个航次的海洋环境跟踪监测：2023 年秋季（10 月-11 月）、2024 年春季（4 月-5 月）、2024 年秋季（10 月-11 月）。

5.2.3.2 海洋环境监测结果

山东海阳核电厂委托自然资源部第三海洋研究所开展本工程施工期的海洋环境质量跟踪监测。

1) 海水水质

2023 年秋季：根据《海水水质标准》（GB3097-1997），结合近岸海域环境功能区划的质量标准，海水水质 25 个监测站位中，pH、化学需氧量、生化需氧量、溶解氧、石油类、总汞、铜、铅、锌、镉、铬、砷、硒、镍、挥发性酚等均符合功能区标准要求；位于水质保护三类功能区块的 12 号站活性磷酸盐超标，位于水质保护二类功能区块的 18 号站无机氮和活性磷酸盐超标，上述超标站位分别位于厂址排水口 NNE 方位 4.5km 处以及 NE 方位 13.0km 处；上述超标站点均远离本工程排水明渠，可知本工程海工工程施工不是导致超标的原因，其超标

原因与监测站周边的工农业排放、径流输入、养殖尾水排放等有关。

2024 年春季：根据《海水水质标准》（GB3097-1997），结合近岸海域环境功能区划的质量标准，25 个监测站位中，pH、溶解氧、化学需氧量、生化需氧量、无机氮、活性磷酸盐、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、镍、硒、石油类、挥发性酚等参数均符合要求。各点位水质均满足环境功能区水质要求。

2024 年秋季：根据《海水水质标准》（GB3097-1997），结合近岸海域环境功能区划的质量标准，25 个海水水质监测站位中的 pH、溶解氧、化学需氧量、生化需氧量、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、镍、硒、石油类、挥发性酚等参数均符合监测海域所在环境功能区水质要求；无机氮和活性磷酸盐含量存在一定程度不满足环境功能区划要求的现象：在留格庄河入海口附近海域的 22 号、23 号、11 号站以及查海域东部的乳山口内的 17 号站无机氮和活性磷酸盐含量超过环境功能区水质不劣于三类的要求，在调查海域东部乳山口附近的 18 号、19 号以及调查海域东南部的 20 号站无机氮和活性磷酸盐含量超过环境功能区不劣于二类的要求。其超标的原因主要与降雨和养殖有关：一是在临近调查期及调查期间出现强降雨过程，降雨会将周围地区的农田、城市排放养分通过径流携带入海导致营养盐含量增加；二是调查海域周边的留格庄河入海口附近、乳山口内存在大量的养殖区，饵料投放或养殖尾水排放也会导致入海营养盐增加。

2) 沉积物

2023 年秋季：根据《海洋沉积物质量》（GB18668-2008），表层沉积物中的有机碳、硫化物、石油类、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、大肠菌群等要素均符合海洋沉积物质量一类标准。

2024 年春季：根据《海洋沉积物质量》（GB18668-2008），表层沉积物中的有机碳、硫化物、石油类、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、大肠菌群等要素均符合海洋沉积物质量一类标准。

2024 年秋季：根据《海洋沉积物质量》（GB18668-2008），表层沉积物中的有机碳、硫化物、石油类、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、大肠菌群等要素均符合海洋沉积物质量一类标准。

3) 海洋生物质量

2023 年秋季：共采集海洋生物 5 类 14 种；其中，包括鲈鱼、带鱼、短吻红舌鲷、小黄鱼、赤鼻棱鲷等 5 种鱼类生物，周氏新对虾、刀额新对虾、三疣梭子

蟹、日本蟳等 4 种甲壳类生物，长蛸等 1 种软体动物，长竹蛏 1 种贝类生物。

监测结果表明：

根据《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》和《第二次全国海洋污染基线调查报告》所规定的污染物限量标准，采集鱼类、甲壳类、软体动物体内铜、铅、锌、镉、汞、石油烃等污染物残留均符合相关污染物限量标准。

根据《海洋生物质量标准》（GB18421-2001），采集的长竹蛏体内铜、锌、镉、铬、汞和石油烃含量均符合海洋生物质量一类标准，而其体内铅和砷含量则符合海洋生物质量二类标准。

2024 年春季：调查海域共采集海洋生物 5 类 18 种：包括绿鳍马面鲀、小黄鱼、短吻红舌鲷、镰鲷、青奇头鲷 5 种鱼类；中国明对虾、仿对虾、口虾蛄蟹 4 种甲壳类；长蛸、玉螺 2 种软体类；紫贻贝、长竹蛏、文蛤 3 种双壳贝类。

监测结果表明：

根据《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》和《第二次全国海洋污染基线调查报告》所规定的污染物限量标准，采集鱼类、甲壳类、软体动物体内铜、铅、锌、镉、汞、石油烃等污染物残留均符合相关污染物限量标准。

根据《海洋生物质量标准》（GB18421-2001），采集的长竹蛏体内铜、锌、镉、铬、汞和石油烃含量均符合海洋生物质量一类标准，而其体内铅和砷含量则符合海洋生物质量二类标准。

采集的紫贻贝体内的铜、锌、铬、汞和石油烃含量均符合海洋生物质量一类标准，而其体内铅、镉、砷含量则符合海洋生物质量二类标准；采集的长竹蛏体内的铜、锌、镉、汞和石油烃含量均符合海洋生物质量一类标准，而其体内铅、铬、砷含量则符合海洋生物质量二类标准；采集的文蛤体内的铜、铅、锌、镉、铬、汞和石油烃含量均符合海洋生物质量一类标准，而其体内砷含量则符合海洋生物质量二类标准。

2024 年秋季：调查海域共采集海洋生物 4 类 16 种；包括白姑鱼、带鱼、黑鳃舌鲷、蓝点马鲛、小黄鱼、银鲳、长蛇鲻和鲻等 8 种鱼类，口虾蛄、日本鲧、三疣梭子蟹、周氏新对虾等 4 种甲壳类，浒苔等 1 种藻类和等边浅蛤、四角蛤蜊、长竹蛏等 3 种双壳贝类。

监测结果表明：

根据《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》和《第二次全国海洋污染

基线调查报告》所规定的污染物限量标准，2024 年秋季采集的鱼类、甲壳类内铜、铅、锌、镉、汞、石油烃等污染物残留均符合相关污染物限量标准。

根据《海洋生物质量标准》（GB18421-2001），采集到的四角蛤蜊、等边浅蛤和长竹蛏中的铜、锌、铬、汞和石油烃含量均符合海洋生物质量一类标准；四角蛤蜊中的铅、等边浅蛤中的镉和砷，以及长竹蛏中的铅和砷含量则符合海洋生物质量二类标准。

4) 海洋生态

(1) 2023 年秋季

叶绿素 *a* 和初级生产力: 调查海域表层叶绿素 *a* 浓度的平均值为 $2.43\text{mg}/\text{m}^3$ ，变化范围介于 $0.86\sim 8.57\text{mg}/\text{m}^3$ 之间；底层叶绿素 *a* 浓度的平均值为 $2.24\text{mg}/\text{m}^3$ ，低于表层，变化范围介于 $0.53\sim 8.41\text{mg}/\text{m}^3$ 之间；调查海域初级生产力的平均值为 $19.25\text{mgC}/(\text{m}^2\text{ h})$ ，变化范围在 $6.65\sim 35.35\text{mgC}/(\text{m}^2\text{ h})$ 之间。

浮游植物: 调查海域浮游植物出现 103 种（硅藻 91 种，甲藻 10 种，金藻 1 种，裸藻 1 种），表层平均丰度为 $717.49\times 10^2\text{cells}/\text{dm}^3$ ，范围介于 $55.50\times 10^2\text{cells}/\text{dm}^3\sim 2164.50\times 10^2\text{cells}/\text{dm}^3$ 之间，底层平均丰度为 $471.58\times 10^2\text{cells}/\text{dm}^3$ ，范围介于 $43.00\times 10^2\text{cells}/\text{dm}^3\sim 2218.50\times 10^2\text{cells}/\text{dm}^3$ 之间，调查海域表层浮游植物丰度高于底层，总平均丰度为 $594.5\times 10^2\text{cells}/\text{dm}^3$ 。表、底层浮游植物丰富度分别为 1.63 和 1.68，均匀度分别为 0.71 和 0.76，多样性指数分别为 2.98 和 3.14。

浮游动物: 调查海域出现 35 种（桡足类为主），湿重生物量变化范围为 $22.50\sim 442.73\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均值为 $82.55\text{mg}/\text{m}^3$ ，浮游动物总个体数的均值为 $41.63\text{ind.}/\text{m}^3$ ，以桡足类为最优势类群，占总个体数的 58.97%，各站位总个体数介于 $4.99\sim 122.13\text{ind.}/\text{m}^3$ 之间。浮游动物的丰富度均值为 3.40，均匀度指数均值为 0.78，多样性指数均值为 2.79。

鱼类浮游生物: 调查海域垂直拖网未采集到鱼类浮游生物，水平拖网共出现鱼类浮游生物 5 种，其中鱼卵 1 种，仔稚鱼为 5 种，鱼卵和仔稚鱼平均个体数分别为 $0.3\text{ind.}/100\text{m}^3$ 和 $0.2\text{ind.}/100\text{m}^3$ 。分布上，水平拖网鱼卵（ $0\sim 2.1\text{ind.}/100\text{m}^3$ ）以测区的南部远岸水域密度较高。仔稚鱼（ $0\sim 2.1\text{ind.}/100\text{m}^3$ ）测区北部近岸水域较高。

大型底栖生物: 调查海域出现 155 种（环节动物最多，节肢动物和软体动物

次之），平均总栖息密度为 245ind./m^2 ，范围介于 $15\text{ind./m}^2\sim945\text{ind./m}^2$ 之间，平均总生物量为 56.67g/m^2 ，范围介于 $2.65\text{g/m}^2\sim394.45\text{g/m}^2$ 之间。大型底栖生物丰富度指数均值为 2.570，均匀度指数均值为 0.828，多样性指数范围均值为 3.063。

潮间带生物：调查海域出现 55 种（节肢、软体动物为主），平均生物量为 80.80g/m^2 ，平均栖息密度为 338ind./m^2 。潮间带生物丰富度指数平均值为 4.52，均匀度指数平均值为 0.53，多样性指数平均值为 2.44。

（2）2024 年春季

叶绿素 *a* 和初级生产力：调查海域表层叶绿素 *a* 浓度的平均值为 0.25mg/m^3 ，变化范围介于 $0.06\sim0.69\text{mg/m}^3$ 之间；底层叶绿素 *a* 浓度的平均值为 0.23mg/m^3 ，低于表层，变化范围介于 $0.11\sim0.45\text{mg/m}^3$ 之间；调查海域初级生产力的平均值为 $8.25\text{mgC}/(\text{m}^2\text{ h})$ ，变化范围在 $1.33\sim57.80\text{mgC}/(\text{m}^2\text{ h})$ 之间。

浮游植物：调查海域浮游植物出现 82 种（硅藻 67 种，甲藻 12 种，金藻 1 种，蓝藻 1 种，定鞭藻 1 种），表层平均丰度为 $483.61\times10^2\text{cells/dm}^3$ ，范围介于 $16.00\times10^2\text{cells/dm}^3\sim6130.00\times10^2\text{cells/dm}^3$ 之间，底层平均丰度为 $160.64\times10^2\text{cells/dm}^3$ ，范围介于 $8.00\times10^2\text{cells/dm}^3\sim1442.00\times10^2\text{cells/dm}^3$ 之间，调查海域表层浮游植物丰度高于底层，总平均丰度为 $341.1\times10^2\text{cells/dm}^3$ 。表、底层浮游植物丰富度分别为 1.24 和 1.33，均匀度分别为 0.58 和 0.73，多样性指数分别为 2.03 和 2.62。

浮游动物：调查海域出现 18 种（桡足类为主），湿重生物量变化范围为 $39.64\sim1054.14\text{mg/m}^3$ ，平均值为 411.24mg/m^3 ，浮游动物总个体数的均值为 144.48ind./m^3 ，以桡足类为最优势类群，占总个体数的 58.97%，各站位总个体数介于 $11.66\sim375.00\text{ind./m}^3$ 之间。浮游动物的丰富度均值为 1.97，均匀度指数均值为 0.59，多样性指数均值为 1.88。

鱼类浮游生物：调查海域垂直拖网未采集到鱼类浮游生物，水平拖网共出现鱼类浮游生物 6 种，其中鱼卵 1 种，仔稚鱼为 6 种，鱼卵和仔稚鱼平均个体数分别为 0.9ind./100m^3 和 1.0ind./100m^3 。分布上，水平拖网鱼卵（ $0\sim12.5\text{ind./100m}^3$ ）以调查区东北部湾内水域密度最高。仔稚鱼（ $0\sim12.5\text{ind./100m}^3$ ）密集区位于调查区中北部湾内水域。

大型底栖生物：调查海域出现 154 种（环节动物最多，节肢动物和软体动物次之），平均总栖息密度为 294ind./m^2 ，范围介于 $45\text{ind./m}^2\sim2095\text{ind./m}^2$ 之间，

平均总生物量为 36.03g/m^2 ，范围介于 $4.05\text{g/m}^2\sim 172.60\text{g/m}^2$ 之间。大型底栖生物丰富度指数均值 2.458，均匀度指数均值为 0.844，物种多样性指数均值为 3.147。

潮间带生物：调查海域出现 57 种（环节、软体动物为主），平均生物量为 58.75g/m^2 ，平均栖息密度为 406ind./m^2 。潮间带生物丰富度指数平均值为 5.21，均匀度指数平均值为 0.47，多样性指数平均值为 2.06。

（3）2024 年秋季

叶绿素 *a* 和初级生产力：调查海域表层叶绿素 *a* 浓度的平均值为 1.31mg/m^3 ，变化范围介于 $0.17\sim 6.05\text{mg/m}^3$ 之间；底层叶绿素 *a* 浓度的平均值为 1.28mg/m^3 ，略低于表层，变化范围介于 $0.41\sim 6.10\text{mg/m}^3$ 之间；调查海域初级生产力的平均值为 $18.54\text{mgC}/(\text{m}^2\text{ h})$ ，变化范围在 $0.95\sim 101.85\text{mgC}/(\text{m}^2\text{ h})$ 之间。

浮游植物：调查海域浮游植物出现 106 种（硅藻 90 种，甲藻 7 种，绿藻 6 种，金藻 1 种，蓝藻 1 种，裸藻 1 种），表层平均丰度为 $617.97\times 10^2\text{cells/dm}^3$ ，范围介于 $28.00\times 10^2\text{cells/dm}^3\sim 1854.00\times 10^2\text{cells/dm}^3$ 之间，底层平均丰度为 $425.00\times 10^2\text{cells/dm}^3$ ，范围介于 $38.00\times 10^2\text{cells/dm}^3\sim 1716.00\times 10^2\text{cells/dm}^3$ 之间，调查海域表层浮游植物丰度高于底层，总平均丰度为 $521.5\times 10^2\text{cells/dm}^3$ 。表、底层浮游植物丰富度分别为 1.37 和 1.67，均匀度分别为 0.60 和 0.63，多样性指数分别为 2.34 和 2.59。

浮游动物：调查海域出现 33 种（桡足类为主），湿重生物量变化范围为 $2.50\sim 175.94\text{mg/m}^3$ ，平均值为 40.39mg/m^3 ，浮游动物总个体数的均值为 36.34ind./m^3 ，以桡足类为最优势类群，占总个体数的 68.29%，各站位总个体数介于 $1.66\sim 172.73\text{ind./m}^3$ 之间。浮游动物丰富度均值为 2.78，均匀度指数均值为 0.78，多样性指数均值为 2.33。

鱼类浮游生物：调查海域垂直拖网未采集到鱼类浮游生物，水平拖网共出现鱼类浮游生物 6 种，其中鱼卵 2 种，仔稚鱼为 5 种，鱼卵和仔稚鱼平均个体数分别为 1.8ind./100m^3 和 0.7ind./100m^3 。分布上，水平拖网鱼卵（ $0\sim 10.9\text{ind./100m}^3$ ）密集区位于调查区中北部近岸水域。仔稚鱼（ $0\sim 8.4\text{ind./100m}^3$ ）以调查区中南部远岸水域数量最高。

大型底栖生物：调查海域出现 131 种（环节动物最多，节肢动物和软体动物次之），平均总栖息密度为 208ind./m^2 ，范围介于 $35\text{ind./m}^2\sim 455\text{ind./m}^2$ 之间，平均总生物量为 19.29g/m^2 ，范围介于 $0.25\text{g/m}^2\sim 287.05\text{g/m}^2$ 之间。大型底栖生物丰

富度指数均值为 2.31，均匀度指数均值为 0.82，多样性指数均值为 2.94。

潮间带生物：调查海域出现 41 种（节肢、环节动物为主），平均生物量为 $25.31\text{g}/\text{m}^2$ ，平均栖息密度为 $104\text{ind.}/\text{m}^2$ 。潮间带生物丰富度指数平均值为 3.94，均匀度指数平均值为 0.67，物种多样性指数平均值为 2.80。

5) 施工期前与施工期间海洋生态对比

施工期厂址附近海域海洋生物调查结果与既往调查结果的比较见表 5.2-3。由表 5.2-3 可见，与本工程排水明渠改造开展建设前相比，除浮游植物由于采集方式不同（施工前为拖网，施工期间为水采与网采结合）导致存在一定差异外，叶绿素 a 及初级生产力、浮游动物、大型底栖生物、潮间带生物的变化均较小。

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 (hm ²)
>10	325.7
>20	163.6
>50	101.2
>100	66.4
>150	17.3

表 5.2-2 施工期悬浮泥沙造成的海洋生物损失量

悬浮泥沙超标倍数 B_i	超标面积 (km ²)	鱼卵	仔稚鱼	游泳动物（幼体）				游泳动物（成体）				浮游动物	浮游植物	底栖生物
				鱼类	虾类	蟹类	头足类	鱼类	虾类	蟹类	头足类	/	/	/
各类生物损失率 ($B_i \leq 1$)	1.621	5	5	5	5	5	5	1	1	1	1	5	5	1
各类生物损失率 ($1 < B_i \leq 4$)	0.624	10	10	10	10	10	10	5	5	5	5	10	10	5
各类生物损失率 ($4 < B_i \leq 9$)	0.348	30	30	20	20	20	20	15	15	15	15	30	30	15
各类生物损失率 ($B_i \geq 9$)	0.664	50	50	30	30	30	30	20	20	20	20	50	50	20
生物资源密度	——	0.34 ind/m ³	0.21 ind/m ³	5712.00 ind/km ²	3457.25 ind/km ²	987.50 ind/km ²	1202.00 ind/km ²	173.90 kg/km ²	77.86 kg/km ²	45.74 kg/km ²	26.88 kg/km ²	94.78 mg/m ³	347200.00 cells/m ³	18.15 g/m ²
持续性受损量	——	987919	594346	2355	1425	407	496	40.416	18.095	10.630	6.246	0.27	1.01×10 ¹²	4218.242
		粒	尾	尾	尾	尾	尾	kg	kg	kg	kg	t	cells	kg

注： B_i 为悬浮泥沙浓度超过二类《海水水质标准》的倍数，平均水深取 5m。

表 5.2-3 施工期海洋生态调查结果与施工前调查结果对比表

调查项目 \ 调查时间		2019 年（海工施工前）		2023 年（海工施工期间）	2024 年（海工施工期间）	
		春季	秋季	秋季	春季	秋季
叶绿素 a 及初级生产力	表层平均浓度 mg/m ³	0.79	1.24	2.43	0.25	1.31
	表层浓度范围 mg/m ³	0.44~2.04	0.44~3.63	0.86~8.57	0.06~0.69	0.17~6.05
	底层平均浓度 mg/m ³	0.77	1.19	2.24	0.23	1.28
	底层浓度范围 mg/m ³	0.44~1.42	0.44~2.51	0.53~8.41	0.11~0.45	0.41~6.10
	平均浓度 mgC/(m ² ·h)	22.41	26.18	19.25	8.25	18.54
	浓度范围 mgC/(m ² ·h)	8.14~47.18	5.37~70.51	6.65~35.35	1.33~57.80	0.95~101.85
浮游植物	平均丰度 cells/dm ³	26.66×10 ¹	64.84×10 ¹	59.45×10 ³	34.11×10 ³	52.15×10 ³
	种类组成	硅藻 22 种，甲藻 6 种，金藻 1 种	硅藻 67 种，甲藻 10 种，金藻 1 种	硅藻 91 种，甲藻 10 种，金藻 1 种，裸藻 1 种	硅藻 67 种，甲藻 12 种，金藻 1 种，蓝藻 1 种，定鞭藻 1 种	硅藻 90 种，甲藻 7 种，绿藻 6 种，金藻 1 种，蓝藻 1 种，裸藻 1 种
浮游动物	总个体数均值 ind./m ³	41.2	41.6	41.63	144.48	36.36
	湿重生物量均值 mg/m ³	79.72	143.09	82.55	411.24	40.39

	种类数	18	43	35	18	33
大型底 栖生物	平均栖息密度 ind./m ²	162	267	245	294	208
	平均生物量 g/m ²	19.6	5.65	56.67	36.03	19.29
	种类多样性指 数	3.11	3.17	3.063	3.147	2.94
	种类丰富度指 数	1.31	1.46	2.570	2.458	2.31
	物种均匀度指 数	0.95	0.91	0.828	0.844	0.82
	种类数	93	119	155	154	131
潮间带 生物	平均生物量 g/m ²	48.03	53.03	80.80	58.75	25.31
	平均栖息密度 ind./m ²	202	100	338	406	104
	种类数	29	56	55	57	41

注：2019 年为山东海阳核电厂 1、2 号机组投运且 3、4 号机组未施工期间，2023 年、2024 年为山东海阳核电厂 3、4 号机组海工施工期间。

5.3 施工影响控制

5.3.1 大气污染的控制

5.3.1.1 控制措施

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。
- 开挖出的土方应尽可能及时运至填方地段充填，尽量减少土方堆置时间。
- 渣土临时堆放场应加盖篷布进行防护。
- 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。

5.3.1.2 措施执行

（1）施工区和相关道路上定期开展清扫与洒水工作，保持路面湿润。

（2）尽可能减少开挖出的土方堆放时长，所有临时堆土均采用密目网及时进行覆盖，以防止扬尘。

（3）为防止土石方运输过程中产生扬尘，厂内所有运土的临时主干路均采用砼进行了硬化，部分由于施工制约的道路一般采用碎石进行硬化，同时日常设专业单位每天对道路清扫及洒水降尘，定期对砼路面进行全面冲洗，以减少扬尘。对不具备硬化条件且土石方运输量较大的道路，设置临时洗车池，对出厂车辆进行全面冲洗，以减少对路面的污染。

（4）所有水泥等易产生扬尘的细状材料，均要求放入临时仓库内，不得露天堆放。

（5）施工期间废弃的渣土均专业单位外运处理。

（6）所有运输车辆均采用篷布进行覆盖。

（7）加强施工管理与车辆调度管理，尽可能减少环境污染。

5.3.2 水污染的控制

5.3.2.1 控制措施

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：

- 设置处理设施，施工废水经处理去除固体污染物后回用。
- 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通过污水处理站处理达标后部分纳管排放、部分回用并结合委托专业单位外运处理，不外排。
- 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由各施工单位收集后自行运出厂区交由专业单位处理。
- 重件码头用于运输大件设备，运输量少，船舶停靠时间短，产生废水主要包括：到港船舶舱底油污水、船舶生活污水、装卸机械冲洗水、机修间油污水及码头人员生活污水。其产生的少量生活污水不在码头排放。含油污水含油废水量少，经船舶自带的油水分离器处理达标后排放，不会对周边海水环境产生影响。建设单位将加强施工期环境管理，监督停靠码头船只的污水排放情况。

5.3.2.2 措施执行

（1）2024 年前，本工程施工现场产生的生活污水主要通过污水处理站处理达标后回用或纳管排放；2024 年后，施工现场产生的生活污水（包含其中的污泥）通过吸污车定期清掏收集并委托专业单位统一处理。

（2）搅拌站配置有砂石分离设备，混凝土搅拌水以及混凝土养护水等生产废水通过砂石分离设备分理出固体污染物后回用，不外排。

（3）委托定期对厂区排污口进行取样化验，出具检测报告。

（4）海工施工期间，所有施工船舶必须持有有效的防污证书，配备生活污水处理装置、垃圾收集设施并正常使用，加强船舶、机械设备日常维护保养，严防跑冒滴漏。

（5）海工施工期间，所有生活垃圾和船舶废弃物严禁排海，与海事部门沟通并与有资质的单位签订废弃物处理协议。

（6）海工施工的船舶禁止倾倒含油废水，由各施工单位收集后自行运出厂区交由专业单位处理，并加强对产生的废水的管理，确保各类废水去向符合环保要求。

5.3.3 固体废弃物的控制

5.3.3.1 控制措施

本工程施工期间将产生施工人员生活垃圾、工业固体废物、建筑垃圾及危险废物，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。
- 委托专业处理单位外运无害化处置。

2) 工业固体废物

- 主要为可再生类废物，设立存放区、集中堆放，并委托专业单位外运处理。

3) 建筑垃圾

- 工程渣土：主要为地基开挖产生的弃土，通过地方政府平台进行拍卖处置。
- 工程垃圾：建设过程中产生的弃料，由施工单位设立存放区、集中堆放，并委托专业单位外运处理。
- 工程泥浆：主要为排水明渠改造工程开挖产生的泥浆，通过办理倾倒许可证委托专业单位倾倒至指定倾倒区。

4) 危险废物

- 贮存于危废暂存点，委托有资质单位处理。

5.3.3.2 措施执行

- 生活垃圾：设置垃圾箱，分类收集生活垃圾，委托劳务公司运至专业处理单位进行无害化处置。自工程开工至 2025 年 6 月，本工程施工期间产生量约 2000 吨，已全部外运处理。
- 工业固体废物：主要为可再生类废物，由施工单位设立存放区、集中堆放，并委托专业单位外运处理，自工程开工至 2025 年 6 月，产生量约 6800 吨，已全部外运处理。
- 工程渣土：通过地方政府平台进行拍卖处置，实现弃土的外运综合利用。
- 工程垃圾：主要包括砂石场产生的污泥以及施工过程产生的废弃混凝土砌块等。其中，砂石场产生的污泥经泥水分离后在施工单位设立的废泥仓集中存放，废弃混凝土砌块等由施工单位设立存放区、集中堆放，并

委托专业单位外运处理。自工程开工至 2025 年 6 月，本工程施工期间工程垃圾产生量约 97000 吨，已全部外运处理。

- 工程泥浆：主要为排水明渠改造工程开挖产生的泥浆。通过办理倾倒许可证（编号：2023100066E）委托专业单位远海倾倒至石岛湾外远海临时性海洋倾倒区，最大倾倒量约 32000m³。

5.3.4 噪声污染的控制

5.3.4.1 控制措施

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。

5.3.4.2 措施执行

使用低噪音、低振动的机具，采取隔音与隔振措施，避免或减少施工噪音和振动。现场噪音排放不得超过国家标准《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的规定，定期开展监测。

5.3.5 生态保护

5.3.5.1 控制措施

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。

本工程排水明渠改造施工期间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。

5.3.5.2 措施执行

编制完成《山东海阳核电厂 3、4 号机组水土保持方案报告书》并通过评审，施工单位在组织领导、技术力量和资金来源等方面制定切实可行的方案，实施保证措施，并在施工期间严格按照相关方案实施。具体见 5.3.6 节。

针对施工海域定期开展海洋环境监测，合理设置施工方式与进度，确保排水明渠改造施工对海洋环境的影响是可接受的。

5.3.6 水土保持

5.3.6.1 控制措施

- 结合工程实际和项目区水土流失现状，因地制宜、因害设防、总体设计、全面布局、科学配置。项目区地处半湿润区，采用以植物措施、土地整治与工程措施相结合的防治措施。
- 尽量减少对原地貌和植被的破坏面积，弃土（石、渣）集中分类堆放。
- 项目建设中注重生态环境保护，充分重视项目施工过程中造成的人为扰动区及所产生的废弃物，设计临时性水土保持措施，尽量减少新增水土流失。
- 注重吸收当地水土保持的成功经验，积极借鉴本项目 1、2 号机组水土保持工程的经验。
- 树立人与自然和谐相处的理念，尊重自然规律，注重与周边景观相协调。
- 工程措施、植物措施、临时措施合理配置、统筹兼顾，形成综合防护体系。
- 工程措施选用的石料尽量选用基坑开挖的弃石，做到技术上可靠、经济上合理。
- 植物措施尽量选用适合当地的品种，并考虑美化效果。同时结合核电实际，厂区内绿化以植草为主。
- 防治措施布设与主体工程密切配合，相互协调，形成整体。

5.3.6.2 水土保持监测

本工程的水土保持现场工作依据北京北林丽景生态环境规划设计院有限公司编制的《山东海阳核电厂 3、4 号水土保持方案报告书》开展。

水土保持监测时段从施工准备期开始到设计水平年结束，根据项目建设过程中水土流失的实际情况，水土保持监测划分为施工期（含施工准备期）和设计水平年两个时段进行监测。监测总时段从施工准备期开始到设计水平年结束。

本工程水土保持监测工作由北京华夏山川生态环境科技有限公司，于每个季度开展监测工作并编制《生产建设项目水土保持监测季度报告表》，截至 2025 年第一季度，总体评价均为水保措施比较到位。

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

1) 取水方案

本项目 1~4 号机组从厂区南侧海域明渠取水，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，取水明渠总长度约 1500m。取水明渠在一期工程已按 1~6 号机组容量统一规划建成。

2) 排水方案

本项目 1-4 号机组排水方案为西侧明渠排水，本期工程实施排水明渠改造。在一期工程已建排水明渠基础上南北堤同步向 SSW 方向延伸，北堤延长约 550m，南堤延长约 530m。目前排水明渠改造已完成。

6.1.2 散热系统对水体的物理影响

6.1.2.1 散热系统设施对水体的物理影响

专题单位于 2025 年 5 月完成了《海阳核电 5、6 号机组工程岸滩稳定性分析及泥沙冲淤数值模拟专题报告》，该专题也对 3、4 号机组运行后的影响进行了分析，得到本工程对厂址附近及排放口附近海域的潮流特征和泥沙冲淤的影响如下：

1) 潮流特征

本工程运行后，排水明渠内在大潮期涨急时刻约为 0.33m/s，落急时刻约为 0.73m/s；在小潮期涨急时刻约为 0.38m/s，落急时刻约为 0.53m/s。在大潮期落憩时刻由于水位较低，排水明渠内流速最大可达 1.18m/s，在排水口门外侧由于水体开阔，排水水流流速迅速衰减，但高流速区范围较两台机组时略微增大。取水明渠内流速在整个潮周期内相对稳定，约为 0.25m/s；在大潮期落憩时刻取水明渠内流速最大可达 0.37m/s，取水口门处最大可达 0.46m/s。

2) 泥沙冲淤

本工程运行后，取水明渠内平均淤厚为 5.4cm/a，最大淤厚为 8.0cm/a，年淤积量为 1.25 万 m³；排水明渠口门处也会产生一定的淤积作用，最大淤积强度为 6.5cm/a。

6.1.2.2 温排水对水体的物理影响

为掌握本工程 3、4 号机组运行后温排水对受纳海域水体的影响，本工程前期已开展了 1、2 号机组运行后的温排水原型观测以及 1~4 号机组温排水数学模

型和物理模型专题研究。针对海阳港东防波堤、水文观测资料等的最新情况，建设单位委托中国水利水电科学研究院重新开展 1~4 号机组工程温排水三维数模计算。本节基于以上最新模拟成果，阐述本工程对水体的物理影响。本项目温排水影响三维数值模拟采用 Delft3D 模型，模拟规划岸线（海阳港东防波堤 8.7km）下海阳核电厂 1~4 号机组的温升影响范围。

6.1.2.2.1 三维数学模型概况

○ 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。

○ 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：底摩擦采用曼宁计算。依据 2024 年冬季夏季全潮水文测验进行率定，曼宁糙率系数取值范围基本 0.012~0.02 之间。

粘性系数：依据全潮水文测验资料对多个潮流点流速流向进行率定，水平粘性系数背景值 $\nu_H^{back} = 1.0m^2/s$ ，垂向紊动粘性系数背景值 $\nu_V^{back} = 1 \times 10^{-4}m^2/s$ 。

扩散系数：Delft3D 三维模型中，广义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 号机组温排水原型观测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 $0.1\sim 110\text{m}^2/\text{s}$ 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。模拟域内最小取值限制为 $0.1\text{m}^2/\text{s}$ ，主要位于近岸浅水地带；模拟域外海开边界的粗网格区域，取值最大约为 $110\text{m}^2/\text{s}$ 左右。

表面散热系数：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 $K_s=45\text{Wm}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ，冬季 $K_s=23\text{Wm}^{-2}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 。

计算范围及网格：温排水模拟范围顺岸线方向长约 140km，离岸方向宽约 70km，计算域面积约 9800km^2 。其中，留格河上游模拟至海翔路橡胶坝所处位置，模拟河道长度 2.5km。模型采用曲面四边形网格，最小尺寸约为 $20\times 20\text{m}$ ，模拟区域网格总数约为 582000，垂向上分为 8 层。

6.1.2.2.2 温升模拟结果及影响评价

1) 温升数模结果

核电厂址西侧海阳港东防波堤按规划 8.7km 考虑。考虑 1~4 号机组排水情况，模拟时所用排水量及排水温升参见表 6.1-1。

海阳港防波堤规划长度条件下 1~4 号机组的取水温升特征值为：夏季最大为 1.0°C ，冬季最大为 1.6°C 。具体参见表 6.1-2。

各潮型全潮最大、全潮平均 4°C 、 3°C 、 2°C 、 1°C 和 0.5°C 温升影响面积分别见表 6.1-3，冬夏季各潮型垂向投影 4°C 温升最大包络范围、夏季各潮型 1°C 温升最大包络范围、冬季各潮型 2°C 温升最大包络范围参见表 6.1-4。由表可见，所有潮型包络条件下：

冬夏两季 4°C 温升最大包络面积为 7.13 km^2 ；

冬季 2°C 最大温升包络面积为 20.68km^2 ；

夏季 1°C 最大温升包络面积为 50.07 km^2 。

2) 温升影响评价

(1) 与近岸海域环境功能区划、国土空间规划的相符性

2024 年 8 月 2 日，山东省生态环境厅发布《山东省生态环境厅关于调整山东海阳核电厂近岸海域环境功能区划的函》（鲁环函〔2024〕102 号），厂址邻近海域三类区的范围为 87.05km^2 ，西侧混合区面积 8.205km^2 ，南侧混合区面积

0.117km²。

2025 年 7 月 30 日，山东省生态环境厅发布“关于征求《山东省近岸海域环境功能区划（2026-2035 年）（征求意见稿）的函》（鲁环便函〔2025〕1119 号），根据征求意见稿，三类区范围略有扩大（增加到 92.091km²），西侧混合区扩大到 12.206 km²，南侧混合区增加到 0.646km²，本报告对照最新的征求意见稿内容开展评价。

数值模拟温升包络面积与三类区面积、混合区面积对比见表 6.1-5。

根据表 6.1-5，本项目 4℃温升区位于拟调整的混合区范围内。

近岸海域功能区划调整后，厂址临近的近海海域环境功能区划三类区与国土空间规划中的工矿通信用海区完全重合。

根据表 6.1-5，冬季 2℃位于工矿通信用海区（执行三类标准）范围内，夏季 1℃温升位于工矿通信用海区（执行三类标准）和交通运输用海区（海阳港四类功能区，水质执行三~四类标准）范围内，均未进入渔业用海区（执行二类标准），与国土空间规划及近岸海域环境功能区划相容。

厂址临近海域有部分海洋牧场进入三类区范围内。《山东省生态环境厅关于调整山东海阳核电厂近岸海域环境功能区划的函》中要求“其中与国家级海洋牧场示范区交叉范围除温升执行三类功能区海水水质标准外，其他水质指标执行二类功能区海水水质标准。”1~4 号机组 1℃温升范围未进入海洋牧场。

（2）与三线一单的相符性

海阳核电厂 1~4 号机组 1℃温升区不进入海洋生态红线，不会对海洋生态红线造成影响。

海阳核电厂 1~4 号机组 1℃温升位于海阳临港工矿通信用海区重点管控单元（HY37060020003）范围内，对于该管控单元的管控要求及相符性分析如下：

— 空间布局约束：1.1 除省级重点工程项目外，严格限制高耗能、高污染和资源消耗型工业项目用海。减少对海洋水动力环境、岸滩及海底地形地貌的影响，防止海岸侵蚀。禁止在海洋保护区、侵蚀岸段、防护林带毗邻海域开采海砂等固体矿产资源，防止海砂开采破坏重要水产种质资源产卵场、索饵场和越冬场。

相符性分析：本项目为省级重点工程，属于清洁能源项目，本项目温排水的排放符合空间布局要求。

— 污染物排放管控：2.1 加强环境治理及动态监测，严格实行污水达标排放。

实行陆源污染物入海总量控制，进行减排防治。优化围填海海岸景观设计，按要求开展围填海项目生态保护修复工作。

相符性分析：本项目 1℃温升位于三类区范围内，4℃温升位于混合区范围内，符合区划要求，满足污染物排放管控要求。山东核电有限公司拟将厂区和留格河之间岸段的海核二路以南区域进行岸滩修复，提升砂质岸线比例和植被比例，提高岸线的生态效果和景观效果。目前已完成方案设计，待当地政府统一实施。

—环境风险防控：3.1 新建石化等危险化学品项目应远离人口密集的城镇；严格执行海洋油气勘探、开采中的环境管理要求，防范海上溢油等海洋环境突发污染事件。

相符性分析：本项目不属于危险化学品项目，温排水的排放与环境风险防控要求不冲突。

—资源开发效率要求：4.1 合理控制规模，提高海域空间资源的整体使用效能。

相符性分析：海阳核电厂一次规划分期实施，规模合理，温排水的排放符合资源开发效率要求。

由此可见，本项目温排水满足海阳临港工矿通信用海区重点管控单元的管控要求。

6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

6.1.3.1 取水工程对水生生物的影响

本工程取水工程沿用一期工程方案，影响与前期工程较为相似。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取水口临近海域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。

卷吸对鱼卵、仔鱼的生物资源损失量计算见 6.1.3.3 节。

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。

4) 降低或减少不利影响所采取的工程措施

海阳核电厂 1~4 号机组通过明渠取水，取水明渠在口门处设置弧形导流堤来增加缓冲，南堤避开主浪向，降低水生生物进入明渠的可能性。

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游泳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，冬季温升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

根据第二章的水文资料，工程海域年平均水温为 14.3℃。8 月平均水温最高，为 27.5℃，1 月平均水温最低，为 2.5℃。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，海水受温排水影响再增温 4℃ 可达到 30℃ 以上，可能超过部分浮游生物最适生长的温度范围。温排水的影响主要集中在排水口附近区域，本项目 1~4 号机组冬夏两季各潮型 $>4^{\circ}\text{C}$ 的范围为 7.13km²，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，其中夏末至中秋期间的影响最大。核电厂附近海域夏季海水最高平均温度为 27℃ 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(夏季不同潮型下底层 4℃以上温升面积为 0.5~0.75km²),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(表层水温可能会超过 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。

4) 对国家级海洋牧场示范区的影响

根据调查,海洋牧场的养殖种类主要为牡蛎、海虹和海参。

(1) 牡蛎和海虹属于贝类,贝类的生长有明显的季节性,一年之中有两个快速生长期,一般为 5-7 月(水温 15℃~25℃)和 9-11 月(水温 25℃~15℃)。贝类的适温范围较广泛,多数适温的上限可达 30℃,当超过适宜温度时,贝类的生长会受到一定的限制,但是不会引起死亡。

核电厂附近海域夏季 8 月为最高海水温度,为 27℃左右,根据数值模拟结果,本项目 1~4 号机组温排水夏季 1℃温升不会进入海洋牧场范围,对海洋牧场的温升影响有限。因此本项目温排水不会影响贝类养殖。

(2) 海参生存的水温范围为-1.5℃~30℃,水温低于 3℃时海参摄食量减少,处于半休眠状态;水温 10℃~15℃时海参摄食量最大;水温达到 17℃~19℃时海参摄食量又大大下降,水温超过 20℃时海参进入夏眠(海参个体大小不同,进入夏眠期的水温明显不同,大规格个体达到 17℃时就夏眠,而当年的参苗一般不夏眠且水温超过 20℃时仍旧照常生长),水温超过 28℃时海参生命活动便不正常。

山东半岛海域海参的夏眠期自 5 月上旬至 10 月下旬,海参由大至小逐渐进入夏眠期,其余时间皆为海参良好的生长期。

核电厂附近海域夏季 8 月为最高海水温度,其平均温度为 27℃左右,根据数值模拟结果,本项目 1~4 号机组温排水夏季 1℃温升不会进入海洋牧场范围,核电厂温排水所致海洋牧场海域温升不超过海参正常生存温度的上限,对海洋牧场的温升影响有限。因此本项目温排水不会影响海洋牧场中海参正常生存。

6.1.3.3 海洋生物资源损失量预测

依照《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T 9110-2007) 计算取排水引起的海洋生物资源损失量, 结果如下:

每年温排水造成浮游植物细胞丰度损失为 8.9×10^{13} cells/a, 造成的浮游动物总湿重生物量损失分别约为 94.21t/a, 造成的鱼卵、仔鱼损失量分别约为 8.73×10^7 粒/a 和 7.93×10^7 尾/a, 造成的鱼类、虾类、蟹类和头足类幼体损失分别为 100593 尾/a、55755 尾/a、25508 尾/a、2382 尾/a, 造成的鱼类、虾类、蟹类和头足类成体损失分别为 3055kg/a、1709kg/a、1052kg/a、186kg/a。

取水卷吸对鱼卵和仔稚鱼造成的损失分别为 3.3×10^8 粒/a 和 2.0×10^8 尾/a。

针对以上生物损失, 建设单位将对项目所在海域进行增殖放流, 以弥补其损失。

6.1.3.4 海洋生态影响分析

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ1409-2025) 附录 F, 对本工程对海洋生态影响程度进行判定。经分析, 本工程对厂址附近海域生态敏感区、生物资源、重要物种的影响程度为弱, 对特殊生境的影响为无 (参见表 6.1-6), 因此本工程对海洋生态的影响是可接受的。

表 6.1-1 数值模拟采用的循环水流量及取排水温差

装机规模	热季		冷季	
	冷却水量 (m ³ /s)	排水温升 (°C)	冷却水量 (m ³ /s)	排水温升 (°C)
一期工程 2×AP1000+本期 工程 2×CAP1000	4×67	8.1	4×52	10.8

表 6.1-2 规划岸线下取水温升模拟结果

潮型	4 台机组	
	取水温升最大值	取水温升平均值
夏季大潮	1.0	0.8
夏季中潮	0.9	0.7
夏季小潮	0.7	0.6
夏季半月潮	1.0	0.7
冬季大潮	1.4	1.1
冬季中潮	1.3	1.1
冬季小潮	1.5	1.1
冬季半月潮	1.6	1.1

表 6.1-3 规划岸线下 4 台机组排水温升包络面积（单位：km²）

1) 全潮最大温升面积

潮型			4℃	3℃	2℃	1℃	0.5℃
夏季	典型大潮	表层	2.57	5.88	13.64	41.88	91.71
		中层	0.89	1.86	4.51	22.85	83.12
		底层	0.70	1.50	2.97	16.07	74.49
		垂向投影包络	2.57	5.89	13.67	41.9	92.25
	典型中潮	表层	2.56	6.05	15.34	43.32	81.91
		中层	0.74	1.77	5.04	22.18	70.67
		底层	0.55	1.26	2.90	14.93	58.35
		垂向投影包络	2.56	6.06	15.34	43.35	82.16
	典型小潮	表层	2.55	6.25	15.20	38.12	71.85
		中层	0.62	1.30	4.48	19.25	59.56
		底层	0.50	0.68	2.11	13.29	48.06
		垂向投影包络	2.55	6.25	15.2	38.14	71.99
	半月潮	表层	3.07	7.56	18.33	50.06	114.40
		中层	1.00	2.09	6.35	28.85	103.60
		底层	0.75	1.59	3.58	22.13	97.31
		垂向投影包络	3.07	7.57	18.37	50.07	115.2
冬季	典型大潮	表层	4.96	7.86	12.56	55.78	130.5
		中层	2.28	4.84	9.43	53.86	130.3
		底层	1.97	3.83	7.30	53	129.8
		垂向投影包络	4.96	7.86	12.58	56.13	131
	典型中潮	表层	4.97	7.48	11.44	46.63	139.2
		中层	2.09	4.18	8.09	44.38	138.8
		底层	1.77	2.98	5.77	42.65	138.3
		垂向投影包络	4.97	7.48	11.44	46.91	139.6
	典型小潮	表层	4.68	7.86	13.41	39.68	113.9
		中层	1.86	3.31	8.16	36.79	113.5
		底层	1.36	2.06	5.13	34.8	112.4
		垂向投影包络	4.69	7.86	13.42	39.84	114.9
	半月潮	表层	7.06	11.48	20.68	62.89	158.6
		中层	2.89	6.33	13.97	61.06	158.1
		底层	2.22	4.48	9.63	59.78	157.7
		垂向投影包络	7.07	11.49	20.68	63.19	158.9

注：表格中影响面积包含排水明渠面积，下同。

2) 全潮平均温升包络面积

潮型			4℃	3℃	2℃	1℃	0.5℃
夏季	典型大潮	表层	0.76	1.18	2.37	12.50	54.98
		中层	0.50	0.55	0.93	7.28	46.22
		底层	0.46	0.49	0.59	5.74	41.97
		垂向投影包络	0.76	1.18	2.38	12.59	55.65
	典型中潮	表层	0.89	1.45	3.47	19.64	53.41
		中层	0.49	0.55	1.24	10.73	43.18
		底层	0.46	0.48	0.71	8.08	36.45
		垂向投影包络	0.89	1.45	3.48	19.72	53.92
	典型小潮	表层	1.07	1.91	4.84	22.66	50.92
		中层	0.49	0.54	1.36	11.75	39.65
		底层	0.46	0.48	0.90	8.49	30.90
		垂向投影包络	1.07	1.91	4.87	22.73	51.02
	半月潮	表层	0.80	1.27	2.61	13.27	53.56
		中层	0.49	0.55	0.89	7.39	44.74
		底层	0.46	0.48	0.55	5.66	40.26
		垂向投影包络	0.80	1.27	2.62	13.33	54.57
冬季	典型大潮	表层	1.04	1.85	5.53	24.92	88.79
		中层	0.62	1.11	4.48	24.5	88.69
		底层	0.52	0.87	3.98	24.02	88.51
		垂向投影包络	1.04	1.87	5.57	25.61	89.55
	典型中潮	表层	0.98	1.67	4.63	15.64	84.01
		中层	0.57	0.89	3.41	14.16	83.63
		底层	0.50	0.63	2.90	12.97	83.33
		垂向投影包络	0.98	1.68	4.66	15.86	84.78
	典型小潮	表层	1.33	2.44	5.78	21.38	86.47
		中层	0.62	1.37	3.62	19.1	85.3
		底层	0.50	1.05	2.77	17.27	84.26
		垂向投影包络	1.33	2.44	5.80	21.57	87.14
	半月潮	表层	1.26	2.36	6.20	23.07	85.88
		中层	0.62	1.33	4.24	21.08	85.54
		底层	0.51	1.01	3.44	19.57	84.58
		垂向投影包络	1.26	2.37	6.22	23.18	86.84

表 6.1-4 温排水 4℃、夏季 1℃与冬季 2℃包络面积统计（单位：km²）

项目	最大包络面积	包络潮型
总 4℃包络	7.13	夏、冬季典型潮及半月潮
冬季 2℃包络	20.68	冬季典型潮及半月潮
夏季 1℃包络	50.07	夏季典型潮及半月潮

表 6.1-5 温升范围与混合区/三类区面积对比

项目	面积（km ² ）
4℃最大包络面积	7.13
征求意见稿中混合区面积	12.206
冬季 2℃包络	20.68
夏季 1℃包络	50.07
征求意见稿中三类区面积	92.091

表 6.1-6 本工程海洋生态影响程度分级表

影响要素	影响程度	判定依据
生态敏感区	弱	本工程距生态保护红线、自然保护区等生态敏感区较远，工程未占用、损害或阻隔海洋生态敏感区。 4℃温升不贴岸、不涉及留格河和国家级海洋牧场。
生物资源	弱	本工程附近海域无重要水生生物“三场一通道”。 本工程施工期和运行期会对工程海域的生物资源造成轻微损害，生产能力略受损害。
重要物种	弱	本工程附近海域无珍惜濒危动植物。 本工程施工期和运行期温排水会导致海工施工区 and 高温升区生物数量和种群规模略有减小，工程占用和温排水高温升区会间接干扰重要物种生境，使其活动空间略有受限。
特殊生境	无	本工程附近海域未发现红树林、珊瑚礁、海草床、海藻场等特殊生境。

6.2 正常运行的辐射影响

6.2.1 流出物排放源项

本工程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、源项的计算方法及相关输入参数可见 4.6 节的相关描述。1、2 号机组的流出物排放量采用优化申请值，1、2 号机组现实排放源项取自《海阳核电厂 1、2 号机组环境影响报告书（运行阶段）》。

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，均采用流出物的排放申请值（即设计排放源项）；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气态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。气态流出物排放至大气中进入环境，在环境中经由不同的照射途径，最终到达人体，照射途径分为内照射和外照射。

1) 气态流出物排放至大气中后，人员吸入含放射性核素的空气造成的内照射。

2) 气态流出物排放至大气中后，放射性核素因干、湿沉降导致在农作物中积累，人食入含放射性核素的粮食、蔬菜等食物造成的内照射。

3) 气态流出物排放至大气中后，放射性核素因干、湿沉降导致在饲料作物中积累，并通过饲料进入家禽家畜体内，人员食入由含放射性核素的肉、奶及其制品造成的内照射。

4) 气态流出物排放至大气中后，人员浸没于含放射性核素的空气中受到的烟云淹没外照射。

5) 气态流出物排放至大气中后，放射性核素由于干、湿沉降导致地面沉积，人员在该区域内活动受到的地面沉积外照射。

在估算对周围公众造成的辐射剂量时考虑了以上照射途径。

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。液态流

出物排放至水体中经弥散进入环境，在环境中经由不同的照射途径，最终到达人体，照射途径分为内照射和外照射。

1) 内照射途径主要为食物链。液态流出物排入受纳水体，放射性核素在水体中稀释扩散，被水生生物摄取后在体内蓄积，人在食入受纳水体中生活的水生生物后，对人体组织和器官造成的内照射。

2) 液态流出物排入受纳水体，人在含放射性核素的受纳水体中游泳、划船造成外照射。

3) 液态流出物排入受纳水体后，部分放射性核素在岸边沉积，对岸边活动人员所造成外照射。

在估算对周围公众造成的辐射剂量时考虑了以上照射途径。

本项目受纳水体为黄海，不向河流湖泊等淡水排放液态流出物。液态流出物排放对附近居民的饮用水、农田灌溉用水、畜牧养殖用水等无影响，所以在液态流出物对公众照射途径中不考虑饮用水的内照射，动物产品（肉、奶等）的内照射，食入用水灌溉的作物（蔬菜、粮食、水果等）的内照射三种照射途径。

6.2.2.3 其他途径

本项目排放方式仅为：1、通过液态流出物排放口排放液态流出物，2、通过烟囱排放气态流出物，无其他排放途径，因此不考虑其他照射途径。

6.2.3 计算模式与参数

6.2.3.1 气态途径

1) 弥散因子计算模式

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 2.4 节。

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 2.4 节。

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 69.8m，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。

2) 气态流出物剂量模式

本工程 2 台核发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。

6.2.3.2 液态途径

1) 水体扩散计算模式

采用 DELFT3D 模型开展液态流出物的二维数模计算。

计算潮型包括夏季半月潮和冬季半月潮, 计算工况及条件与温排水模拟相同, 计算 1~4 号机组西侧排放口的归一化浓度。

不同核素半衰期如表 6.2-1 所示。

2) 液态途径剂量计算模式

液态途径剂量计算采用《滨海核电厂液态流出物辐射环境影响评价技术规范》(NB/T20199-2013) 推荐的计算模式。

6.2.4 大气弥散和水体稀释

6.2.4.1 大气弥散

表 6.2-2~6.2-6 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 6.2-7~表 6.2-8。

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流出物的排放方式有密切关系。

本工程 3、4 号机组液态流出物与本工程温排水一同通过西侧明渠排放。厂区的循环水排水沟均布置在厂区的北侧。厂区循环水排水沟出厂区护堤后即设置喇叭形排水口, 排水口出口接底宽为 150m 的排水明渠, 在排水明渠两侧布置排水导流堤, 向西延伸约 750m, 该部分已于 1、2 号机组工程建成。为降低排水工程对生态环境的影响, 本期工程将排水明渠道流堤继续向西南深水区方向延伸, 其中北堤向 SSW 方向延伸 550m, 南堤向 SSW 方向延伸 530m。

根据本阶段对液态流出物的最新模拟结果, 表 6.2-10 给出了 1~4 号机组运行工况下液态流出物在排放口周围不同稀释倍数的影响面积。

在计算一期、二期工程最大个人剂量时, 稀释因子保守取 0.2, 稀释倍数为

5 倍。计算集体剂量时，稀释因子保守取 0.05，稀释倍数为 20 倍。

6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度

6.2.5.1 大气中主要核素浓度

根据 CAP1000 核电机组在正常运行工况下气态放射性核素的排放申请值，表 6.2-11~6.2-16 分别列出了本工程 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 SSW 方位 0~1km 处。

本工程为扩建项目，考虑前期机组的影响，海阳核电厂 1~4 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

本工程液态流出物随冷却水通过西侧明渠排放，采用间歇性排放方式，保守考虑每年排放约 50 个小时，保守假设 1、2 号机组与本工程同时排放，冬季冷却水（单堆）流量约为 $52\text{m}^3/\text{s}$ 。

保守计算液态流出物排放时的浓度，考虑 4 台机组排放+4 台冷却水稀释（工况一），以及 4 台机组排放+3 台冷却水稀释（工况二，即 1 台机组大修工况）两种工况。

根据 1~4 号机组在正常运行工况下液态放射性核素的排放申请值，本工程 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，工况一和工况二 1~4 号机组排放口处 5 种核素的排放浓度均低于《海水水质标准》（GB 3097-1997）中的限值。因此，1~4 号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。

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排放申请值、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、剂量转换因子等数据，计算了本工程 3、4 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。

气态流出物中的 ^{14}C 只有以二氧化碳形式存在的 ^{14}C 才能通过光合作用被植

物吸收，并通过食物链对摄入者造成内照射影响。根据 IAEA 421 号报告，压水堆核电站以二氧化碳形态向环境排放的 ^{14}C 占 ^{14}C 总排放量的 5~25%，根据此研究结论，本节在评估气载 ^{14}C 的排放所造成的环境辐射影响时，假定以二氧化碳形态排放的 ^{14}C 占总排放量的 25%。

根据气态途径剂量计算结果（表 6.2-24），本工程 3、4 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 $8.31\text{E-}04\text{mSv/a}$ 、 $1.77\text{E-}03\text{mSv/a}$ 、 $1.20\text{E-}03\text{mSv/a}$ 、 $1.22\text{E-}03\text{mSv/a}$ 和 $1.23\text{E-}03\text{mSv/a}$ 。

海阳核电厂 1~4 号机组由气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 $1.57\text{E-}03\text{mSv/a}$ 、 $3.40\text{E-}03\text{mSv/a}$ 、 $2.23\text{E-}03\text{mSv/a}$ 、 $2.23\text{E-}03\text{mSv/a}$ 和 $2.24\text{E-}03\text{mSv/a}$ 。

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《滨海核电厂液态流出物辐射环境影响评价技术规范》（NB/T20199-2013）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）、和美国联邦导则 12 号报告《空气、水和土壤中核素导致的外照射》和国际原子能机构 BSS 的推荐值。计算采用 2 台 CAP1000 核电机组的液态途径排放申请值，其中单台机组液态途径排放申请值（即设计排放源项）见第四章。

根据液态途径剂量计算结果（表 6.2-24），本工程 3、4 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 $4.66\text{E-}04\text{mSv/a}$ 、 $1.17\text{E-}03\text{mSv/a}$ 、 $7.54\text{E-}04\text{mSv/a}$ 、 $8.58\text{E-}04\text{mSv/a}$ 和 $9.01\text{E-}04\text{mSv/a}$ 。

海阳核电厂 1~4 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 $9.13\text{E-}04\text{mSv/a}$ 、 $2.41\text{E-}03\text{mSv/a}$ 、 $1.62\text{E-}03\text{mSv/a}$ 、 $1.83\text{E-}03\text{mSv/a}$ 和 $2.01\text{E-}03\text{mSv/a}$ 。

6.2.6.3 剂量汇总

国家标准 GB6249-2025 规定：任何场址的所有核动力堆向环境释放的放射性核素对公众中任何个人造成的有效剂量，每年不得超过 0.25mSv 。

本工程正常运行工况下剂量汇总见表 6.2-25。

由表 6.2-25 可知：本工程 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位于 NW 方位 1km 处，其受照总有效剂量为 2.94E-

03mSv/a, 为国家标准规定的 0.25mSv/a 的 1.18%, 占本工程管理目标值 0.08mSv/a 的 3.67%。

本工程由气态途径和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 1.30E-03mSv/a、2.94E-03mSv/a、1.96E-03mSv/a、2.08E-03mSv/a 和 2.13E-03mSv/a。

由于本工程位于海阳核电厂内, 考虑前期核电厂 1、2 号机组影响, 全厂址所致最大个人剂量汇总参见表 6.2-30。海阳核电厂 1~4 号机组由气态途径和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 2.49E-03mSv/a、5.81E-03mSv/a、3.86E-03mSv/a、4.06E-03mSv/a 和 4.24E-03mSv/a。海阳核电厂 1~4 号机组所致最大个人剂量为 5.81E-03 mSv/a, 为国家标准规定的 0.25mSv/a 的 2.32%。

6.2.7 对非人类生物的辐射影响

6.2.7.1 对水生生物的辐射影响

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。

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(水鸟)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 6.2-26 给出了山东海阳核电厂 3、4 号核电机组正常运行时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, 本次评价保守采用默认的剂量率基准值: 10 μ Gy/h。

由表 6.2-26 可知, 山东海阳核电厂 3、4 号核电机组正常运行时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 $5.63\text{E-}04$, 该值远小于 1。

表 6.2-27 给出了海阳核电厂 1~4 号机组所致的生物危害商, 由表 6.2-27 可知, 山东海阳核电厂 1~4 号核电机组正常运行时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 $1.52\text{E-}03$, 该值远小于 1。因此可以认为, 山东海阳核电厂 1~4 号核电机组正常运行工况下, 液态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。

6.2.7.2 对陆生生物的辐射影响

目前核电厂周围区域调查到的陆生生物主要包括蕨类植物、裸子植物、被子植物、两栖动物、爬行动物、鸟类和小型哺乳动物。本次评价中, 对鸟类、两栖类、环节动物、节肢动物、昆虫、牧草、苔藓、哺乳动物、软体动物、爬行动物、灌木和乔木进行了评价, 评价生物类别涵盖了厂址附近主要陆生生物。

经评价计算, 本工程正常运行时对陆生生物造成的危害商见表 6.2-28。本工程正常运行时对陆生生物造成的危害商最大为鸟类, 其值为 $1.40\text{E-}03$, 远小于 1, 因此, 可以认为, 本工程正常运行不会对厂址周边陆生生物产生影响。

表 6.2-29 给出了海阳核电厂 1~4 号机组所致的陆生生物危害商, 由表 6.2-29 可知, 山东海阳核电厂 1~4 号核电机组正常运行时对厂址附近陆生生物造成的危害商最大为 $2.90\text{E-}03$, 该值远小于 1。因此可以认为, 山东海阳核电厂 1~4 号核电机组正常运行工况下, 气态流出物排放不会对厂址附近陆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

本报告第四章给出了本工程 2 台机组的气态流出物和液态流出物排放申请值与国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2025)中规定的年排放量控制值的比较。从表中可以看出, 本工程 3、4 号机组的气态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, 本工程液态流出物中核素的槽式排放口浓度满足 GB6249-2025 正文和附录 D 的要求。

本报告 1.7 节中列出了海阳核电厂 1~4 号机组的气态和液体流出物的年排放

量,1~4 号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》(GB6249-2025)。

6.2.8.2 辐射剂量评价

1) 公众

国家标准 GB6249-2025 规定：任何场址的所有核动力堆向环境释放的放射性核素对公众中任何个人造成的有效剂量，每年不得超过 0.25mSv。本工程 3、4 号机组的管理目标值为 0.08mSv/a。

考虑当地居民的生活习惯，并采用偏保守的假设条件，本工程 3、4 号机组正常运行期间所致最大个人的有效剂量（2.94E-03mSv）小于 0.08mSv，1~4 号机组正常运行期间所致最大个人的有效剂量（5.81E-03mSv）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 GB6249-2025 的规定。

2) 非人类生物

3、4 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最大为 5.63E-04，海阳核电厂 1~4 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最大为 1.52E-03；3、4 号机组正常运行时对陆生生物造成的危害商最大为 1.40E-03，1~4 号机组正常运行时对厂址附近陆生生物造成的危害商最大为 2.90E-03。

3、4 号机组和 1~4 号机组正常运行工况下，气液态流出物排放不会对非人类生物产生不良影响。

表 6.2-1 不同半衰期放射性核素的衰变系数

半衰期	8d	70d	250d	5a
λ_i (/s)	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	4.18E-07	2.48E-07	1.64E-07	9.76E-08	4.48E-08	2.04E-08	1.14E-08	7.76E-09	5.87E-09	4.70E-09	3.91E-09	3.35E-09
NNE	3.98E-07	2.08E-07	1.37E-07	8.15E-08	3.60E-08	1.62E-08	8.93E-09	6.07E-09	4.57E-09	3.65E-09	3.03E-09	2.59E-09
NE	3.23E-07	1.69E-07	1.15E-07	7.02E-08	3.08E-08	1.36E-08	7.42E-09	4.99E-09	3.73E-09	2.96E-09	2.45E-09	2.08E-09
ENE	1.09E-07	7.78E-08	6.04E-08	4.06E-08	1.94E-08	8.57E-09	4.61E-09	3.07E-09	2.28E-09	1.80E-09	1.48E-09	1.26E-09
E	1.78E-07	9.67E-08	7.30E-08	4.88E-08	2.27E-08	9.66E-09	5.00E-09	3.25E-09	2.36E-09	1.83E-09	1.49E-09	1.25E-09
ESE	3.26E-07	1.58E-07	1.09E-07	6.68E-08	2.82E-08	1.19E-08	6.18E-09	4.05E-09	2.96E-09	2.32E-09	1.90E-09	1.60E-09
SE	3.22E-07	1.57E-07	1.08E-07	6.63E-08	2.85E-08	1.21E-08	6.31E-09	4.14E-09	3.03E-09	2.38E-09	1.94E-09	1.64E-09
SSE	3.13E-07	1.46E-07	9.92E-08	6.06E-08	2.57E-08	1.09E-08	5.69E-09	3.74E-09	2.74E-09	2.15E-09	1.75E-09	1.48E-09
S	2.60E-07	1.34E-07	9.45E-08	6.00E-08	2.64E-08	1.13E-08	5.94E-09	3.91E-09	2.87E-09	2.25E-09	1.85E-09	1.56E-09
SSW	5.23E-07	2.51E-07	1.61E-07	9.29E-08	3.90E-08	1.73E-08	9.48E-09	6.41E-09	4.81E-09	3.83E-09	3.18E-09	2.71E-09
SW	1.76E-07	1.01E-07	7.52E-08	4.89E-08	2.25E-08	9.81E-09	5.20E-09	3.43E-09	2.52E-09	1.98E-09	1.62E-09	1.37E-09
WSW	1.18E-07	7.43E-08	5.77E-08	3.91E-08	1.86E-08	8.13E-09	4.30E-09	2.83E-09	2.08E-09	1.63E-09	1.33E-09	1.13E-09
W	1.56E-07	9.41E-08	6.78E-08	4.34E-08	1.97E-08	8.81E-09	4.82E-09	3.25E-09	2.43E-09	1.93E-09	1.60E-09	1.36E-09
WNW	1.66E-07	1.05E-07	7.39E-08	4.59E-08	2.10E-08	9.34E-09	5.09E-09	3.43E-09	2.56E-09	2.03E-09	1.68E-09	1.43E-09
NW	2.25E-07	1.49E-07	1.02E-07	6.22E-08	2.87E-08	1.31E-08	7.29E-09	4.98E-09	3.76E-09	3.01E-09	2.51E-09	2.15E-09
NNW	1.57E-07	1.38E-07	9.78E-08	6.07E-08	2.91E-08	1.35E-08	7.63E-09	5.27E-09	4.00E-09	3.22E-09	2.69E-09	2.31E-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	4.18E-07	2.47E-07	1.63E-07	9.68E-08	4.40E-08	1.97E-08	1.07E-08	7.19E-09	5.32E-09	4.18E-09	3.41E-09	2.86E-09
NNE	3.98E-07	2.08E-07	1.37E-07	8.09E-08	3.54E-08	1.57E-08	8.49E-09	5.67E-09	4.18E-09	3.28E-09	2.68E-09	2.25E-09
NE	3.23E-07	1.68E-07	1.14E-07	6.97E-08	3.03E-08	1.32E-08	7.06E-09	4.66E-09	3.42E-09	2.67E-09	2.17E-09	1.82E-09
ENE	1.08E-07	7.76E-08	6.01E-08	4.02E-08	1.90E-08	8.25E-09	4.33E-09	2.82E-09	2.04E-09	1.57E-09	1.27E-09	1.05E-09
E	1.78E-07	9.65E-08	7.27E-08	4.84E-08	2.24E-08	9.34E-09	4.73E-09	3.01E-09	2.14E-09	1.63E-09	1.30E-09	1.07E-09
ESE	3.26E-07	1.57E-07	1.08E-07	6.64E-08	2.79E-08	1.16E-08	5.93E-09	3.83E-09	2.76E-09	2.13E-09	1.72E-09	1.43E-09
SE	3.22E-07	1.57E-07	1.07E-07	6.59E-08	2.81E-08	1.18E-08	6.06E-09	3.91E-09	2.83E-09	2.18E-09	1.76E-09	1.46E-09
SSE	3.13E-07	1.46E-07	9.89E-08	6.03E-08	2.54E-08	1.06E-08	5.47E-09	3.54E-09	2.56E-09	1.98E-09	1.60E-09	1.33E-09
S	2.60E-07	1.33E-07	9.42E-08	5.96E-08	2.60E-08	1.10E-08	5.67E-09	3.67E-09	2.65E-09	2.04E-09	1.64E-09	1.37E-09
SSW	5.23E-07	2.51E-07	1.60E-07	9.24E-08	3.86E-08	1.69E-08	9.11E-09	6.08E-09	4.50E-09	3.53E-09	2.89E-09	2.43E-09
SW	1.76E-07	1.01E-07	7.48E-08	4.85E-08	2.21E-08	9.50E-09	4.93E-09	3.19E-09	2.30E-09	1.78E-09	1.43E-09	1.19E-09
WSW	1.18E-07	7.41E-08	5.74E-08	3.88E-08	1.83E-08	7.83E-09	4.04E-09	2.60E-09	1.87E-09	1.43E-09	1.15E-09	9.45E-10
W	1.56E-07	9.39E-08	6.75E-08	4.30E-08	1.93E-08	8.51E-09	4.55E-09	3.00E-09	2.20E-09	1.71E-09	1.39E-09	1.16E-09
WNW	1.66E-07	1.04E-07	7.36E-08	4.55E-08	2.06E-08	9.00E-09	4.79E-09	3.16E-09	2.31E-09	1.80E-09	1.46E-09	1.22E-09
NW	2.25E-07	1.48E-07	1.02E-07	6.16E-08	2.82E-08	1.26E-08	6.86E-09	4.58E-09	3.39E-09	2.65E-09	2.16E-09	1.81E-09
NNW	1.57E-07	1.37E-07	9.72E-08	6.01E-08	2.85E-08	1.30E-08	7.16E-09	4.82E-09	3.57E-09	2.80E-09	2.29E-09	1.92E-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	3.97E-07	2.18E-07	1.39E-07	7.77E-08	3.33E-08	1.40E-08	6.84E-09	4.18E-09	2.79E-09	2.12E-09	1.64E-09	1.23E-09
NNE	3.78E-07	1.83E-07	1.16E-07	6.49E-08	2.67E-08	1.11E-08	5.37E-09	3.26E-09	2.16E-09	1.64E-09	1.26E-09	9.49E-10
NE	3.07E-07	1.48E-07	9.74E-08	5.59E-08	2.29E-08	9.35E-09	4.45E-09	2.67E-09	1.76E-09	1.33E-09	1.02E-09	7.60E-10
ENE	1.03E-07	6.83E-08	5.11E-08	3.23E-08	1.43E-08	5.83E-09	2.73E-09	1.61E-09	1.05E-09	7.82E-10	5.93E-10	4.39E-10
E	1.69E-07	8.50E-08	6.19E-08	3.88E-08	1.69E-08	6.60E-09	2.98E-09	1.72E-09	1.10E-09	8.11E-10	6.10E-10	4.49E-10
ESE	3.10E-07	1.39E-07	9.22E-08	5.32E-08	2.10E-08	8.13E-09	3.71E-09	2.17E-09	1.40E-09	1.04E-09	7.88E-10	5.84E-10
SE	3.06E-07	1.38E-07	9.14E-08	5.28E-08	2.12E-08	8.29E-09	3.80E-09	2.23E-09	1.44E-09	1.07E-09	8.15E-10	6.04E-10
SSE	2.97E-07	1.29E-07	8.42E-08	4.83E-08	1.91E-08	7.50E-09	3.45E-09	2.03E-09	1.32E-09	9.81E-10	7.46E-10	5.55E-10
S	2.47E-07	1.17E-07	8.02E-08	4.78E-08	1.97E-08	7.80E-09	3.61E-09	2.13E-09	1.39E-09	1.04E-09	7.90E-10	5.88E-10
SSW	4.97E-07	2.21E-07	1.36E-07	7.41E-08	2.91E-08	1.20E-08	5.78E-09	3.51E-09	2.34E-09	1.78E-09	1.38E-09	1.04E-09
SW	1.67E-07	8.89E-08	6.38E-08	3.90E-08	1.68E-08	6.80E-09	3.17E-09	1.88E-09	1.23E-09	9.18E-10	7.01E-10	5.23E-10
WSW	1.12E-07	6.53E-08	4.89E-08	3.12E-08	1.39E-08	5.62E-09	2.61E-09	1.54E-09	1.00E-09	7.47E-10	5.68E-10	4.23E-10
W	1.48E-07	8.27E-08	5.75E-08	3.46E-08	1.47E-08	6.10E-09	2.94E-09	1.78E-09	1.18E-09	8.93E-10	6.88E-10	5.18E-10
WNW	1.58E-07	9.19E-08	6.27E-08	3.66E-08	1.56E-08	6.46E-09	3.09E-09	1.87E-09	1.24E-09	9.36E-10	7.21E-10	5.42E-10
NW	2.13E-07	1.31E-07	8.65E-08	4.96E-08	2.13E-08	9.00E-09	4.39E-09	2.68E-09	1.79E-09	1.36E-09	1.05E-09	7.92E-10
NNW	1.49E-07	1.21E-07	8.29E-08	4.83E-08	2.16E-08	9.27E-09	4.59E-09	2.83E-09	1.89E-09	1.45E-09	1.12E-09	8.44E-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	3.97E-07	2.18E-07	1.39E-07	7.78E-08	3.34E-08	1.41E-08	6.90E-09	4.23E-09	2.83E-09	2.16E-09	1.67E-09	1.26E-09
NNE	3.78E-07	1.83E-07	1.16E-07	6.50E-08	2.68E-08	1.12E-08	5.40E-09	3.28E-09	2.18E-09	1.66E-09	1.28E-09	9.63E-10
NE	3.07E-07	1.48E-07	9.74E-08	5.59E-08	2.29E-08	9.37E-09	4.47E-09	2.69E-09	1.77E-09	1.34E-09	1.03E-09	7.68E-10
ENE	1.03E-07	6.83E-08	5.11E-08	3.23E-08	1.43E-08	5.84E-09	2.73E-09	1.62E-09	1.05E-09	7.85E-10	5.96E-10	4.42E-10
E	1.69E-07	8.50E-08	6.19E-08	3.88E-08	1.69E-08	6.62E-09	2.99E-09	1.73E-09	1.11E-09	8.17E-10	6.15E-10	4.53E-10
ESE	3.10E-07	1.39E-07	9.22E-08	5.32E-08	2.10E-08	8.14E-09	3.71E-09	2.17E-09	1.40E-09	1.04E-09	7.89E-10	5.85E-10
SE	3.06E-07	1.38E-07	9.14E-08	5.28E-08	2.12E-08	8.30E-09	3.81E-09	2.23E-09	1.45E-09	1.08E-09	8.19E-10	6.08E-10
SSE	2.97E-07	1.29E-07	8.42E-08	4.84E-08	1.92E-08	7.53E-09	3.46E-09	2.04E-09	1.33E-09	9.90E-10	7.55E-10	5.62E-10
S	2.47E-07	1.17E-07	8.03E-08	4.79E-08	1.97E-08	7.85E-09	3.64E-09	2.16E-09	1.41E-09	1.06E-09	8.08E-10	6.04E-10
SSW	4.97E-07	2.21E-07	1.36E-07	7.42E-08	2.92E-08	1.21E-08	5.83E-09	3.55E-09	2.37E-09	1.81E-09	1.40E-09	1.06E-09
SW	1.67E-07	8.90E-08	6.39E-08	3.91E-08	1.69E-08	6.86E-09	3.21E-09	1.91E-09	1.25E-09	9.44E-10	7.24E-10	5.43E-10
WSW	1.12E-07	6.54E-08	4.90E-08	3.13E-08	1.40E-08	5.67E-09	2.65E-09	1.57E-09	1.03E-09	7.70E-10	5.90E-10	4.41E-10
W	1.48E-07	8.28E-08	5.76E-08	3.47E-08	1.47E-08	6.16E-09	2.98E-09	1.81E-09	1.21E-09	9.22E-10	7.15E-10	5.40E-10
WNW	1.58E-07	9.20E-08	6.28E-08	3.67E-08	1.57E-08	6.52E-09	3.14E-09	1.90E-09	1.27E-09	9.64E-10	7.46E-10	5.63E-10
NW	2.13E-07	1.31E-07	8.66E-08	4.96E-08	2.14E-08	9.06E-09	4.44E-09	2.72E-09	1.82E-09	1.39E-09	1.08E-09	8.16E-10
NNW	1.49E-07	1.21E-07	8.30E-08	4.84E-08	2.17E-08	9.33E-09	4.64E-09	2.87E-09	1.93E-09	1.48E-09	1.15E-09	8.70E-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	4.18E-07	2.48E-07	1.64E-07	9.76E-08	4.48E-08	2.04E-08	1.14E-08	7.76E-09	5.87E-09	4.70E-09	3.91E-09	3.35E-09
NNE	3.98E-07	2.08E-07	1.37E-07	8.15E-08	3.60E-08	1.62E-08	8.93E-09	6.07E-09	4.57E-09	3.65E-09	3.03E-09	2.59E-09
NE	3.23E-07	1.69E-07	1.15E-07	7.02E-08	3.08E-08	1.36E-08	7.42E-09	4.99E-09	3.73E-09	2.96E-09	2.45E-09	2.08E-09
ENE	1.09E-07	7.78E-08	6.04E-08	4.06E-08	1.94E-08	8.57E-09	4.61E-09	3.07E-09	2.28E-09	1.80E-09	1.48E-09	1.26E-09
E	1.78E-07	9.67E-08	7.30E-08	4.88E-08	2.27E-08	9.66E-09	5.00E-09	3.25E-09	2.36E-09	1.83E-09	1.49E-09	1.25E-09
ESE	3.26E-07	1.58E-07	1.09E-07	6.68E-08	2.82E-08	1.19E-08	6.18E-09	4.05E-09	2.96E-09	2.32E-09	1.90E-09	1.60E-09
SE	3.22E-07	1.57E-07	1.08E-07	6.63E-08	2.85E-08	1.21E-08	6.31E-09	4.14E-09	3.03E-09	2.38E-09	1.94E-09	1.64E-09
SSE	3.13E-07	1.46E-07	9.92E-08	6.06E-08	2.57E-08	1.09E-08	5.69E-09	3.74E-09	2.74E-09	2.15E-09	1.75E-09	1.48E-09
S	2.60E-07	1.34E-07	9.45E-08	6.00E-08	2.64E-08	1.13E-08	5.94E-09	3.91E-09	2.87E-09	2.25E-09	1.85E-09	1.56E-09
SSW	5.23E-07	2.51E-07	1.61E-07	9.29E-08	3.90E-08	1.73E-08	9.48E-09	6.41E-09	4.81E-09	3.83E-09	3.18E-09	2.71E-09
SW	1.76E-07	1.01E-07	7.52E-08	4.89E-08	2.25E-08	9.81E-09	5.20E-09	3.43E-09	2.52E-09	1.98E-09	1.62E-09	1.37E-09
WSW	1.18E-07	7.43E-08	5.77E-08	3.91E-08	1.86E-08	8.13E-09	4.30E-09	2.83E-09	2.08E-09	1.63E-09	1.33E-09	1.13E-09
W	1.56E-07	9.41E-08	6.78E-08	4.34E-08	1.97E-08	8.81E-09	4.82E-09	3.25E-09	2.43E-09	1.93E-09	1.60E-09	1.36E-09
WNW	1.66E-07	1.05E-07	7.39E-08	4.59E-08	2.10E-08	9.34E-09	5.09E-09	3.43E-09	2.56E-09	2.03E-09	1.68E-09	1.43E-09
NW	2.25E-07	1.49E-07	1.02E-07	6.22E-08	2.87E-08	1.31E-08	7.29E-09	4.98E-09	3.76E-09	3.01E-09	2.51E-09	2.15E-09
NNW	1.57E-07	1.38E-07	9.78E-08	6.07E-08	2.91E-08	1.35E-08	7.63E-09	5.27E-09	4.00E-09	3.22E-09	2.69E-09	2.31E-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	4.18E-07	2.48E-07	1.64E-07	9.76E-08	4.48E-08	2.04E-08	1.14E-08	7.76E-09	5.87E-09	4.70E-09	3.91E-09	3.35E-09
NNE	3.98E-07	2.08E-07	1.37E-07	8.15E-08	3.60E-08	1.62E-08	8.93E-09	6.07E-09	4.57E-09	3.65E-09	3.03E-09	2.59E-09
NE	3.23E-07	1.69E-07	1.15E-07	7.02E-08	3.08E-08	1.36E-08	7.42E-09	4.99E-09	3.73E-09	2.96E-09	2.45E-09	2.08E-09
ENE	1.09E-07	7.78E-08	6.04E-08	4.06E-08	1.94E-08	8.57E-09	4.61E-09	3.07E-09	2.28E-09	1.80E-09	1.48E-09	1.26E-09
E	1.78E-07	9.67E-08	7.30E-08	4.88E-08	2.27E-08	9.66E-09	5.00E-09	3.25E-09	2.36E-09	1.83E-09	1.49E-09	1.25E-09
ESE	3.26E-07	1.58E-07	1.09E-07	6.68E-08	2.82E-08	1.19E-08	6.18E-09	4.05E-09	2.96E-09	2.32E-09	1.90E-09	1.60E-09
SE	3.22E-07	1.57E-07	1.08E-07	6.63E-08	2.85E-08	1.21E-08	6.31E-09	4.14E-09	3.03E-09	2.38E-09	1.94E-09	1.64E-09
SSE	3.13E-07	1.46E-07	9.92E-08	6.06E-08	2.57E-08	1.09E-08	5.69E-09	3.74E-09	2.74E-09	2.15E-09	1.76E-09	1.48E-09
S	2.60E-07	1.34E-07	9.45E-08	6.00E-08	2.64E-08	1.13E-08	5.94E-09	3.91E-09	2.87E-09	2.25E-09	1.85E-09	1.56E-09
SSW	5.23E-07	2.51E-07	1.61E-07	9.29E-08	3.90E-08	1.73E-08	9.48E-09	6.41E-09	4.81E-09	3.83E-09	3.18E-09	2.71E-09
SW	1.76E-07	1.01E-07	7.52E-08	4.89E-08	2.25E-08	9.81E-09	5.20E-09	3.43E-09	2.52E-09	1.98E-09	1.62E-09	1.37E-09
WSW	1.18E-07	7.43E-08	5.77E-08	3.91E-08	1.86E-08	8.13E-09	4.30E-09	2.83E-09	2.08E-09	1.63E-09	1.33E-09	1.13E-09
W	1.56E-07	9.41E-08	6.78E-08	4.34E-08	1.97E-08	8.81E-09	4.82E-09	3.25E-09	2.43E-09	1.93E-09	1.60E-09	1.36E-09
WNW	1.66E-07	1.05E-07	7.39E-08	4.59E-08	2.10E-08	9.34E-09	5.09E-09	3.43E-09	2.56E-09	2.03E-09	1.68E-09	1.43E-09
NW	2.25E-07	1.49E-07	1.02E-07	6.22E-08	2.87E-08	1.31E-08	7.29E-09	4.98E-09	3.76E-09	3.01E-09	2.51E-09	2.15E-09
NNW	1.57E-07	1.38E-07	9.78E-08	6.07E-08	2.91E-08	1.35E-08	7.63E-09	5.27E-09	4.00E-09	3.22E-09	2.69E-09	2.31E-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（ $1/\text{m}^2$ ）

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	4.91E-09	2.72E-09	1.79E-09	1.07E-09	4.96E-10	2.28E-10	1.28E-10	8.80E-11	6.67E-11	5.36E-11	4.47E-11	3.83E-11
NNE	4.62E-09	2.29E-09	1.50E-09	8.95E-10	4.02E-10	1.83E-10	1.02E-10	6.99E-11	5.28E-11	4.23E-11	3.52E-11	3.01E-11
NE	3.41E-09	1.75E-09	1.18E-09	7.24E-10	3.20E-10	1.42E-10	7.78E-11	5.25E-11	3.93E-11	3.12E-11	2.59E-11	2.20E-11
ENE	1.45E-09	8.99E-10	6.76E-10	4.52E-10	2.18E-10	9.78E-11	5.34E-11	3.59E-11	2.68E-11	2.13E-11	1.76E-11	1.50E-11
E	1.92E-09	1.01E-09	7.58E-10	5.05E-10	2.36E-10	1.01E-10	5.27E-11	3.44E-11	2.51E-11	1.96E-11	1.60E-11	1.34E-11
ESE	3.56E-09	1.68E-09	1.15E-09	7.05E-10	3.02E-10	1.29E-10	6.78E-11	4.47E-11	3.30E-11	2.59E-11	2.13E-11	1.80E-11
SE	4.14E-09	1.88E-09	1.26E-09	7.78E-10	3.46E-10	1.51E-10	8.15E-11	5.45E-11	4.06E-11	3.21E-11	2.65E-11	2.25E-11
SSE	4.12E-09	1.80E-09	1.19E-09	7.30E-10	3.23E-10	1.42E-10	7.68E-11	5.16E-11	3.84E-11	3.05E-11	2.52E-11	2.14E-11
S	3.76E-09	1.72E-09	1.18E-09	7.45E-10	3.41E-10	1.52E-10	8.26E-11	5.57E-11	4.16E-11	3.31E-11	2.74E-11	2.33E-11
SSW	6.82E-09	3.04E-09	1.92E-09	1.13E-09	4.96E-10	2.26E-10	1.27E-10	8.69E-11	6.58E-11	5.28E-11	4.41E-11	3.77E-11
SW	3.63E-09	1.64E-09	1.13E-09	7.23E-10	3.50E-10	1.61E-10	8.95E-11	6.11E-11	4.61E-11	3.69E-11	3.07E-11	2.62E-11
WSW	3.43E-09	1.49E-09	1.03E-09	6.72E-10	3.36E-10	1.56E-10	8.80E-11	6.04E-11	4.58E-11	3.67E-11	3.06E-11	2.62E-11
W	3.60E-09	1.62E-09	1.09E-09	6.88E-10	3.32E-10	1.56E-10	8.89E-11	6.16E-11	4.69E-11	3.78E-11	3.17E-11	2.72E-11
WNW	4.14E-09	1.87E-09	1.23E-09	7.68E-10	3.75E-10	1.76E-10	1.00E-10	6.96E-11	5.31E-11	4.28E-11	3.58E-11	3.08E-11
NW	4.33E-09	2.18E-09	1.44E-09	8.83E-10	4.26E-10	2.00E-10	1.15E-10	7.96E-11	6.08E-11	4.91E-11	4.11E-11	3.53E-11
NNW	3.07E-09	1.88E-09	1.28E-09	7.94E-10	3.91E-10	1.85E-10	1.06E-10	7.41E-11	5.67E-11	4.58E-11	3.84E-11	3.31E-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/m²）

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	1.51E-09	6.12E-10	3.82E-10	2.34E-10	1.18E-10	5.67E-11	3.32E-11	2.34E-11	1.80E-11	1.46E-11	1.23E-11	1.06E-11
NNE	1.36E-09	5.28E-10	3.29E-10	2.01E-10	9.99E-11	4.82E-11	2.81E-11	1.98E-11	1.52E-11	1.24E-11	1.04E-11	8.98E-12
NE	5.93E-10	2.59E-10	1.69E-10	1.04E-10	4.88E-11	2.27E-11	1.28E-11	8.85E-12	6.73E-12	5.42E-12	4.53E-12	3.89E-12
ENE	6.54E-10	2.60E-10	1.70E-10	1.09E-10	5.57E-11	2.68E-11	1.55E-11	1.09E-11	8.34E-12	6.76E-12	5.68E-12	4.90E-12
E	3.83E-10	1.65E-10	1.14E-10	7.43E-11	3.64E-11	1.65E-11	9.09E-12	6.17E-12	4.63E-12	3.69E-12	3.07E-12	2.62E-12
ESE	7.73E-10	3.07E-10	1.98E-10	1.23E-10	5.80E-11	2.68E-11	1.51E-11	1.04E-11	7.93E-12	6.38E-12	5.33E-12	4.58E-12
SE	1.70E-09	6.16E-10	3.83E-10	2.39E-10	1.20E-10	5.80E-11	3.39E-11	2.38E-11	1.84E-11	1.49E-11	1.25E-11	1.08E-11
SSE	1.80E-09	6.43E-10	3.97E-10	2.47E-10	1.25E-10	6.06E-11	3.55E-11	2.50E-11	1.93E-11	1.57E-11	1.32E-11	1.14E-11
S	2.00E-09	7.14E-10	4.43E-10	2.78E-10	1.43E-10	6.94E-11	4.08E-11	2.88E-11	2.22E-11	1.81E-11	1.53E-11	1.32E-11
SSW	2.91E-09	1.05E-09	6.39E-10	3.92E-10	1.98E-10	9.69E-11	5.73E-11	4.06E-11	3.14E-11	2.56E-11	2.16E-11	1.86E-11
SW	2.99E-09	1.04E-09	6.38E-10	4.01E-10	2.10E-10	1.04E-10	6.15E-11	4.36E-11	3.38E-11	2.76E-11	2.33E-11	2.01E-11
WSW	3.49E-09	1.20E-09	7.32E-10	4.61E-10	2.44E-10	1.21E-10	7.18E-11	5.10E-11	3.96E-11	3.23E-11	2.73E-11	2.36E-11
W	3.21E-09	1.11E-09	6.79E-10	4.25E-10	2.23E-10	1.11E-10	6.59E-11	4.69E-11	3.64E-11	2.97E-11	2.51E-11	2.17E-11
WNW	3.88E-09	1.34E-09	8.16E-10	5.10E-10	2.68E-10	1.33E-10	7.93E-11	5.64E-11	4.38E-11	3.58E-11	3.02E-11	2.62E-11
NW	3.35E-09	1.19E-09	7.27E-10	4.53E-10	2.37E-10	1.17E-10	6.98E-11	4.96E-11	3.85E-11	3.14E-11	2.66E-11	2.30E-11
NNW	2.40E-09	8.87E-10	5.47E-10	3.41E-10	1.79E-10	8.84E-11	5.26E-11	3.74E-11	2.90E-11	2.36E-11	2.00E-11	1.73E-11

表 6.2-10 规划岸线 1~4 号机组排放口等相对浓度影响区域面积 (km²)

a) 全潮最大

潮型	物质	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	¹³¹ I	21.11	81.48	197.8	421	665	1073
	⁵⁸ Co	32.34	151.1	345.8	912.4	1600	2474
	^{110m} Ag	34.52	178.6	371.8	1080	1778	2738
	¹³⁴ Cs	35.15	182.5	382.4	1116	1836	2820
	⁶⁰ Co	35.3	183.6	384.3	1123	1855	2852
	不衰变	35.48	184.4	386.8	1131	1864	2870
冬季半月潮	¹³¹ I	10.68	50.08	132.6	357.9	568	880.6
	⁵⁸ Co	18.23	92.59	281.3	714.1	1395	2278
	^{110m} Ag	19.4	99.83	304.9	846.1	1574	2562
	¹³⁴ Cs	19.76	102.1	311	888.4	1626	2652
	⁶⁰ Co	19.89	103	312.8	908.6	1644	2682
	不衰变	19.97	103.4	314.5	932.8	1654	2691

注：表格中影响面积包含排水明渠面积，下同。

b) 全潮平均

潮型	物质	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	¹³¹ I	4.104	40.64	103.5	224.6	466.2	820.4
	⁵⁸ Co	6.311	82.68	186.3	639.5	1276	1967
	^{110m} Ag	6.708	106	192.6	826.3	1418	2164
	¹³⁴ Cs	6.874	109.3	194.3	857.9	1454	2218
	⁶⁰ Co	6.903	109.9	194.9	867.2	1461	2237
	不衰变	6.917	110.2	195.2	873.3	1472	2250
冬季半月潮	¹³¹ I	3.45	15.91	72.65	199.9	362.1	680.4
	⁵⁸ Co	4.763	48.84	164.4	493.9	1119	1772
	^{110m} Ag	5.002	52.75	170.9	623.9	1254	1984
	¹³⁴ Cs	5.066	53.86	172.9	665.6	1296	2046
	⁶⁰ Co	5.081	54.31	173.6	678.5	1306	2070
	不衰变	5.093	54.54	174	694.7	1319	2080

表 6.2-11 本工程 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	2.78E-01	1.65E-01	1.09E-01	6.50E-02	2.98E-02	1.36E-02	7.56E-03	5.17E-03	3.91E-03	3.13E-03	2.61E-03	2.23E-03
NNE	2.65E-01	1.38E-01	9.14E-02	5.43E-02	2.40E-02	1.08E-02	5.95E-03	4.04E-03	3.04E-03	2.43E-03	2.02E-03	1.72E-03
NE	2.15E-01	1.12E-01	7.64E-02	4.67E-02	2.05E-02	9.08E-03	4.94E-03	3.32E-03	2.48E-03	1.97E-03	1.63E-03	1.39E-03
ENE	7.23E-02	5.18E-02	4.02E-02	2.70E-02	1.29E-02	5.70E-03	3.07E-03	2.05E-03	1.52E-03	1.20E-03	9.87E-04	8.37E-04
E	1.19E-01	6.44E-02	4.86E-02	3.25E-02	1.51E-02	6.43E-03	3.33E-03	2.16E-03	1.57E-03	1.22E-03	9.93E-04	8.33E-04
ESE	2.17E-01	1.05E-01	7.24E-02	4.45E-02	1.88E-02	7.90E-03	4.12E-03	2.70E-03	1.97E-03	1.54E-03	1.26E-03	1.06E-03
SE	2.15E-01	1.04E-01	7.18E-02	4.41E-02	1.90E-02	8.02E-03	4.20E-03	2.76E-03	2.02E-03	1.58E-03	1.29E-03	1.09E-03
SSE	2.08E-01	9.75E-02	6.61E-02	4.04E-02	1.71E-02	7.25E-03	3.79E-03	2.49E-03	1.82E-03	1.43E-03	1.17E-03	9.85E-04
S	1.73E-01	8.89E-02	6.29E-02	3.99E-02	1.76E-02	7.51E-03	3.95E-03	2.60E-03	1.91E-03	1.50E-03	1.23E-03	1.04E-03
SSW	3.48E-01	1.67E-01	1.07E-01	6.19E-02	2.60E-02	1.15E-02	6.31E-03	4.27E-03	3.20E-03	2.55E-03	2.12E-03	1.81E-03
SW	1.17E-01	6.73E-02	5.00E-02	3.25E-02	1.50E-02	6.53E-03	3.46E-03	2.28E-03	1.68E-03	1.32E-03	1.08E-03	9.12E-04
WSW	7.86E-02	4.95E-02	3.84E-02	2.61E-02	1.24E-02	5.41E-03	2.86E-03	1.88E-03	1.38E-03	1.09E-03	8.88E-04	7.49E-04
W	1.04E-01	6.26E-02	4.51E-02	2.89E-02	1.31E-02	5.87E-03	3.21E-03	2.16E-03	1.62E-03	1.29E-03	1.06E-03	9.06E-04
WNW	1.11E-01	6.96E-02	4.92E-02	3.05E-02	1.40E-02	6.22E-03	3.39E-03	2.28E-03	1.70E-03	1.35E-03	1.12E-03	9.53E-04
NW	1.50E-01	9.89E-02	6.79E-02	4.14E-02	1.91E-02	8.71E-03	4.86E-03	3.32E-03	2.51E-03	2.01E-03	1.67E-03	1.43E-03
NNW	1.05E-01	9.18E-02	6.51E-02	4.04E-02	1.94E-02	8.99E-03	5.08E-03	3.51E-03	2.66E-03	2.14E-03	1.79E-03	1.54E-03

表 6.2-12 本工程 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	1.33E+00	7.87E-01	5.20E-01	3.08E-01	1.40E-01	6.27E-02	3.42E-02	2.29E-02	1.69E-02	1.33E-02	1.08E-02	9.10E-03
NNE	1.27E+00	6.61E-01	4.35E-01	2.58E-01	1.13E-01	4.99E-02	2.70E-02	1.80E-02	1.33E-02	1.04E-02	8.53E-03	7.16E-03
NE	1.03E+00	5.36E-01	3.64E-01	2.22E-01	9.65E-02	4.21E-02	2.25E-02	1.48E-02	1.09E-02	8.50E-03	6.91E-03	5.78E-03
ENE	3.45E-01	2.47E-01	1.91E-01	1.28E-01	6.05E-02	2.63E-02	1.38E-02	8.97E-03	6.49E-03	5.01E-03	4.03E-03	3.34E-03
E	5.67E-01	3.07E-01	2.31E-01	1.54E-01	7.12E-02	2.97E-02	1.51E-02	9.58E-03	6.82E-03	5.20E-03	4.15E-03	3.41E-03
ESE	1.04E+00	5.01E-01	3.45E-01	2.11E-01	8.87E-02	3.68E-02	1.89E-02	1.22E-02	8.79E-03	6.78E-03	5.46E-03	4.54E-03
SE	1.03E+00	4.99E-01	3.42E-01	2.10E-01	8.96E-02	3.74E-02	1.93E-02	1.25E-02	9.00E-03	6.95E-03	5.60E-03	4.66E-03
SSE	9.95E-01	4.65E-01	3.15E-01	1.92E-01	8.08E-02	3.38E-02	1.74E-02	1.13E-02	8.15E-03	6.29E-03	5.08E-03	4.23E-03
S	8.28E-01	4.24E-01	3.00E-01	1.90E-01	8.28E-02	3.49E-02	1.81E-02	1.17E-02	8.43E-03	6.50E-03	5.23E-03	4.35E-03
SSW	1.66E+00	7.98E-01	5.10E-01	2.94E-01	1.23E-01	5.38E-02	2.90E-02	1.94E-02	1.43E-02	1.12E-02	9.20E-03	7.74E-03
SW	5.59E-01	3.21E-01	2.38E-01	1.54E-01	7.05E-02	3.02E-02	1.57E-02	1.02E-02	7.34E-03	5.65E-03	4.55E-03	3.78E-03
WSW	3.76E-01	2.36E-01	1.83E-01	1.23E-01	5.82E-02	2.49E-02	1.29E-02	8.27E-03	5.94E-03	4.55E-03	3.65E-03	3.01E-03
W	4.97E-01	2.99E-01	2.15E-01	1.37E-01	6.15E-02	2.71E-02	1.45E-02	9.56E-03	7.00E-03	5.45E-03	4.42E-03	3.69E-03
WNW	5.29E-01	3.32E-01	2.34E-01	1.45E-01	6.55E-02	2.87E-02	1.53E-02	1.01E-02	7.36E-03	5.73E-03	4.64E-03	3.88E-03
NW	7.15E-01	4.72E-01	3.23E-01	1.96E-01	8.96E-02	4.01E-02	2.18E-02	1.46E-02	1.08E-02	8.45E-03	6.88E-03	5.77E-03
NNW	5.00E-01	4.37E-01	3.09E-01	1.91E-01	9.08E-02	4.13E-02	2.28E-02	1.53E-02	1.14E-02	8.93E-03	7.28E-03	6.10E-03

表 6.2-13 本工程 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	6.44E-06	3.53E-06	2.26E-06	1.26E-06	5.40E-07	2.27E-07	1.11E-07	6.78E-08	4.52E-08	3.44E-08	2.66E-08	2.00E-08
NNE	6.13E-06	2.97E-06	1.89E-06	1.05E-06	4.34E-07	1.80E-07	8.72E-08	5.29E-08	3.51E-08	2.66E-08	2.05E-08	1.54E-08
NE	4.98E-06	2.41E-06	1.58E-06	9.07E-07	3.71E-07	1.52E-07	7.22E-08	4.34E-08	2.86E-08	2.15E-08	1.65E-08	1.23E-08
ENE	1.67E-06	1.11E-06	8.30E-07	5.24E-07	2.32E-07	9.47E-08	4.43E-08	2.62E-08	1.70E-08	1.27E-08	9.62E-09	7.13E-09
E	2.75E-06	1.38E-06	1.00E-06	6.30E-07	2.74E-07	1.07E-07	4.84E-08	2.80E-08	1.79E-08	1.32E-08	9.90E-09	7.28E-09
ESE	5.02E-06	2.25E-06	1.50E-06	8.63E-07	3.40E-07	1.32E-07	6.02E-08	3.52E-08	2.27E-08	1.69E-08	1.28E-08	9.48E-09
SE	4.97E-06	2.24E-06	1.48E-06	8.58E-07	3.44E-07	1.35E-07	6.17E-08	3.62E-08	2.34E-08	1.74E-08	1.32E-08	9.81E-09
SSE	4.82E-06	2.09E-06	1.37E-06	7.84E-07	3.11E-07	1.22E-07	5.60E-08	3.29E-08	2.13E-08	1.59E-08	1.21E-08	9.01E-09
S	4.01E-06	1.91E-06	1.30E-06	7.77E-07	3.19E-07	1.27E-07	5.86E-08	3.46E-08	2.25E-08	1.68E-08	1.28E-08	9.55E-09
SSW	8.07E-06	3.59E-06	2.21E-06	1.20E-06	4.73E-07	1.95E-07	9.39E-08	5.70E-08	3.80E-08	2.89E-08	2.23E-08	1.68E-08
SW	2.71E-06	1.44E-06	1.04E-06	6.33E-07	2.73E-07	1.10E-07	5.15E-08	3.05E-08	1.99E-08	1.49E-08	1.14E-08	8.49E-09
WSW	1.82E-06	1.06E-06	7.94E-07	5.06E-07	2.25E-07	9.12E-08	4.23E-08	2.50E-08	1.62E-08	1.21E-08	9.23E-09	6.86E-09
W	2.41E-06	1.34E-06	9.34E-07	5.62E-07	2.38E-07	9.91E-08	4.77E-08	2.88E-08	1.91E-08	1.45E-08	1.12E-08	8.41E-09
WNW	2.57E-06	1.49E-06	1.02E-06	5.94E-07	2.54E-07	1.05E-07	5.02E-08	3.03E-08	2.01E-08	1.52E-08	1.17E-08	8.79E-09
NW	3.46E-06	2.12E-06	1.40E-06	8.04E-07	3.46E-07	1.46E-07	7.13E-08	4.36E-08	2.91E-08	2.21E-08	1.71E-08	1.29E-08
NNW	2.43E-06	1.97E-06	1.35E-06	7.84E-07	3.51E-07	1.51E-07	7.45E-08	4.59E-08	3.07E-08	2.35E-08	1.82E-08	1.37E-08

表 6.2-14 本工程 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	1.39E-05	7.61E-06	4.87E-06	2.72E-06	1.17E-06	4.92E-07	2.41E-07	1.48E-07	9.88E-08	7.54E-08	5.84E-08	4.41E-08
NNE	1.32E-05	6.39E-06	4.07E-06	2.27E-06	9.35E-07	3.90E-07	1.89E-07	1.15E-07	7.63E-08	5.80E-08	4.47E-08	3.37E-08
NE	1.07E-05	5.18E-06	3.40E-06	1.95E-06	8.00E-07	3.28E-07	1.56E-07	9.38E-08	6.19E-08	4.67E-08	3.59E-08	2.68E-08
ENE	3.60E-06	2.39E-06	1.79E-06	1.13E-06	5.01E-07	2.04E-07	9.55E-08	5.65E-08	3.68E-08	2.74E-08	2.08E-08	1.54E-08
E	5.92E-06	2.97E-06	2.16E-06	1.36E-06	5.90E-07	2.31E-07	1.05E-07	6.05E-08	3.87E-08	2.85E-08	2.15E-08	1.58E-08
ESE	1.08E-05	4.84E-06	3.22E-06	1.86E-06	7.32E-07	2.84E-07	1.30E-07	7.58E-08	4.90E-08	3.64E-08	2.76E-08	2.04E-08
SE	1.07E-05	4.82E-06	3.19E-06	1.85E-06	7.40E-07	2.90E-07	1.33E-07	7.81E-08	5.06E-08	3.77E-08	2.86E-08	2.12E-08
SSE	1.04E-05	4.50E-06	2.94E-06	1.69E-06	6.70E-07	2.63E-07	1.21E-07	7.13E-08	4.63E-08	3.46E-08	2.64E-08	1.96E-08
S	8.65E-06	4.10E-06	2.80E-06	1.67E-06	6.89E-07	2.74E-07	1.27E-07	7.54E-08	4.92E-08	3.69E-08	2.82E-08	2.11E-08
SSW	1.74E-05	7.72E-06	4.77E-06	2.59E-06	1.02E-06	4.21E-07	2.04E-07	1.24E-07	8.29E-08	6.32E-08	4.90E-08	3.70E-08
SW	5.84E-06	3.11E-06	2.23E-06	1.36E-06	5.90E-07	2.40E-07	1.12E-07	6.68E-08	4.38E-08	3.30E-08	2.53E-08	1.90E-08
WSW	3.92E-06	2.28E-06	1.71E-06	1.09E-06	4.87E-07	1.98E-07	9.25E-08	5.48E-08	3.59E-08	2.69E-08	2.06E-08	1.54E-08
W	5.19E-06	2.89E-06	2.01E-06	1.21E-06	5.15E-07	2.15E-07	1.04E-07	6.34E-08	4.22E-08	3.22E-08	2.50E-08	1.89E-08
WNW	5.53E-06	3.21E-06	2.19E-06	1.28E-06	5.49E-07	2.28E-07	1.10E-07	6.65E-08	4.43E-08	3.37E-08	2.61E-08	1.97E-08
NW	7.46E-06	4.56E-06	3.03E-06	1.73E-06	7.48E-07	3.17E-07	1.55E-07	9.52E-08	6.37E-08	4.87E-08	3.77E-08	2.85E-08
NNW	5.22E-06	4.24E-06	2.90E-06	1.69E-06	7.58E-07	3.26E-07	1.62E-07	1.00E-07	6.75E-08	5.17E-08	4.02E-08	3.04E-08

表 6.2-15 本工程 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	1.33E-01	7.87E-02	5.22E-02	3.10E-02	1.42E-02	6.47E-03	3.61E-03	2.47E-03	1.86E-03	1.49E-03	1.24E-03	1.06E-03
NNE	1.26E-01	6.61E-02	4.36E-02	2.59E-02	1.14E-02	5.14E-03	2.84E-03	1.93E-03	1.45E-03	1.16E-03	9.62E-04	8.22E-04
NE	1.03E-01	5.36E-02	3.65E-02	2.23E-02	9.78E-03	4.33E-03	2.36E-03	1.59E-03	1.18E-03	9.40E-04	7.78E-04	6.62E-04
ENE	3.45E-02	2.47E-02	1.92E-02	1.29E-02	6.15E-03	2.72E-03	1.46E-03	9.76E-04	7.24E-04	5.72E-04	4.71E-04	3.99E-04
E	5.67E-02	3.07E-02	2.32E-02	1.55E-02	7.22E-03	3.07E-03	1.59E-03	1.03E-03	7.50E-04	5.83E-04	4.74E-04	3.97E-04
ESE	1.04E-01	5.01E-02	3.45E-02	2.12E-02	8.97E-03	3.77E-03	1.96E-03	1.29E-03	9.42E-04	7.37E-04	6.02E-04	5.07E-04
SE	1.02E-01	4.98E-02	3.43E-02	2.11E-02	9.05E-03	3.83E-03	2.00E-03	1.31E-03	9.64E-04	7.55E-04	6.17E-04	5.20E-04
SSE	9.94E-02	4.65E-02	3.15E-02	1.93E-02	8.17E-03	3.46E-03	1.81E-03	1.19E-03	8.70E-04	6.82E-04	5.57E-04	4.70E-04
S	8.27E-02	4.24E-02	3.00E-02	1.91E-02	8.38E-03	3.58E-03	1.89E-03	1.24E-03	9.13E-04	7.16E-04	5.87E-04	4.95E-04
SSW	1.66E-01	7.98E-02	5.10E-02	2.95E-02	1.24E-02	5.50E-03	3.01E-03	2.04E-03	1.53E-03	1.22E-03	1.01E-03	8.61E-04
SW	5.59E-02	3.21E-02	2.39E-02	1.55E-02	7.16E-03	3.12E-03	1.65E-03	1.09E-03	8.01E-04	6.29E-04	5.15E-04	4.35E-04
WSW	3.75E-02	2.36E-02	1.83E-02	1.24E-02	5.92E-03	2.58E-03	1.37E-03	8.99E-04	6.61E-04	5.18E-04	4.24E-04	3.57E-04
W	4.96E-02	2.99E-02	2.15E-02	1.38E-02	6.24E-03	2.80E-03	1.53E-03	1.03E-03	7.72E-04	6.14E-04	5.08E-04	4.32E-04
WNW	5.28E-02	3.32E-02	2.35E-02	1.46E-02	6.66E-03	2.97E-03	1.62E-03	1.09E-03	8.13E-04	6.46E-04	5.34E-04	4.55E-04
NW	7.14E-02	4.72E-02	3.24E-02	1.98E-02	9.12E-03	4.16E-03	2.32E-03	1.58E-03	1.20E-03	9.57E-04	7.97E-04	6.82E-04
NNW	5.00E-02	4.38E-02	3.11E-02	1.93E-02	9.24E-03	4.29E-03	2.43E-03	1.67E-03	1.27E-03	1.02E-03	8.54E-04	7.33E-04

表 6.2-16 本工程 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	1.04E-02	6.19E-03	4.10E-03	2.44E-03	1.12E-03	5.09E-04	2.84E-04	1.94E-04	1.47E-04	1.17E-04	9.78E-05	8.37E-05
NNE	9.94E-03	5.19E-03	3.43E-03	2.04E-03	8.99E-04	4.04E-04	2.23E-04	1.52E-04	1.14E-04	9.11E-05	7.57E-05	6.46E-05
NE	8.06E-03	4.21E-03	2.87E-03	1.75E-03	7.69E-04	3.41E-04	1.85E-04	1.25E-04	9.31E-05	7.40E-05	6.12E-05	5.20E-05
ENE	2.71E-03	1.94E-03	1.51E-03	1.01E-03	4.84E-04	2.14E-04	1.15E-04	7.68E-05	5.69E-05	4.50E-05	3.71E-05	3.14E-05
E	4.46E-03	2.42E-03	1.82E-03	1.22E-03	5.68E-04	2.41E-04	1.25E-04	8.11E-05	5.89E-05	4.58E-05	3.73E-05	3.13E-05
ESE	8.14E-03	3.94E-03	2.72E-03	1.67E-03	7.05E-04	2.96E-04	1.54E-04	1.01E-04	7.41E-05	5.79E-05	4.74E-05	3.99E-05
SE	8.05E-03	3.92E-03	2.69E-03	1.66E-03	7.12E-04	3.01E-04	1.58E-04	1.03E-04	7.58E-05	5.94E-05	4.86E-05	4.10E-05
SSE	7.81E-03	3.66E-03	2.48E-03	1.51E-03	6.42E-04	2.72E-04	1.42E-04	9.33E-05	6.84E-05	5.36E-05	4.39E-05	3.70E-05
S	6.50E-03	3.34E-03	2.36E-03	1.50E-03	6.59E-04	2.82E-04	1.48E-04	9.77E-05	7.18E-05	5.63E-05	4.61E-05	3.89E-05
SSW	1.31E-02	6.28E-03	4.01E-03	2.32E-03	9.75E-04	4.32E-04	2.37E-04	1.60E-04	1.20E-04	9.58E-05	7.94E-05	6.78E-05
SW	4.39E-03	2.53E-03	1.88E-03	1.22E-03	5.63E-04	2.45E-04	1.30E-04	8.57E-05	6.30E-05	4.94E-05	4.05E-05	3.42E-05
WSW	2.95E-03	1.86E-03	1.44E-03	9.78E-04	4.66E-04	2.03E-04	1.07E-04	7.07E-05	5.19E-05	4.07E-05	3.33E-05	2.81E-05
W	3.90E-03	2.35E-03	1.69E-03	1.08E-03	4.91E-04	2.20E-04	1.20E-04	8.12E-05	6.07E-05	4.83E-05	3.99E-05	3.40E-05
WNW	4.16E-03	2.61E-03	1.85E-03	1.15E-03	5.24E-04	2.33E-04	1.27E-04	8.56E-05	6.39E-05	5.08E-05	4.20E-05	3.58E-05
NW	5.61E-03	3.71E-03	2.55E-03	1.55E-03	7.17E-04	3.27E-04	1.82E-04	1.25E-04	9.40E-05	7.53E-05	6.27E-05	5.36E-05
NNW	3.93E-03	3.44E-03	2.44E-03	1.52E-03	7.27E-04	3.37E-04	1.91E-04	1.32E-04	1.00E-04	8.04E-05	6.72E-05	5.77E-05

表 6.2-17 1~4 号机组半径 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	5.88E-01	3.49E-01	2.31E-01	1.37E-01	6.30E-02	2.87E-02	1.60E-02	1.09E-02	8.26E-03	6.61E-03	5.51E-03	4.71E-03
NNE	5.60E-01	2.93E-01	1.93E-01	1.15E-01	5.06E-02	2.28E-02	1.26E-02	8.55E-03	6.43E-03	5.13E-03	4.26E-03	3.64E-03
NE	4.54E-01	2.37E-01	1.62E-01	9.88E-02	4.33E-02	1.92E-02	1.04E-02	7.03E-03	5.25E-03	4.17E-03	3.45E-03	2.93E-03
ENE	1.53E-01	1.09E-01	8.50E-02	5.72E-02	2.73E-02	1.21E-02	6.49E-03	4.33E-03	3.21E-03	2.53E-03	2.09E-03	1.77E-03
E	2.51E-01	1.36E-01	1.03E-01	6.87E-02	3.20E-02	1.36E-02	7.04E-03	4.57E-03	3.32E-03	2.58E-03	2.10E-03	1.76E-03
ESE	4.59E-01	2.22E-01	1.53E-01	9.40E-02	3.97E-02	1.67E-02	8.71E-03	5.70E-03	4.17E-03	3.26E-03	2.67E-03	2.25E-03
SE	4.54E-01	2.21E-01	1.52E-01	9.33E-02	4.01E-02	1.70E-02	8.88E-03	5.83E-03	4.27E-03	3.35E-03	2.74E-03	2.31E-03
SSE	4.40E-01	2.06E-01	1.40E-01	8.53E-02	3.62E-02	1.53E-02	8.02E-03	5.26E-03	3.86E-03	3.02E-03	2.47E-03	2.08E-03
S	3.66E-01	1.88E-01	1.33E-01	8.44E-02	3.72E-02	1.59E-02	8.36E-03	5.50E-03	4.04E-03	3.17E-03	2.60E-03	2.19E-03
SSW	7.36E-01	3.54E-01	2.26E-01	1.31E-01	5.49E-02	2.44E-02	1.33E-02	9.03E-03	6.77E-03	5.40E-03	4.48E-03	3.82E-03
SW	2.48E-01	1.42E-01	1.06E-01	6.88E-02	3.17E-02	1.38E-02	7.32E-03	4.83E-03	3.55E-03	2.79E-03	2.28E-03	1.93E-03
WSW	1.66E-01	1.05E-01	8.12E-02	5.51E-02	2.62E-02	1.14E-02	6.05E-03	3.98E-03	2.93E-03	2.29E-03	1.88E-03	1.58E-03
W	2.20E-01	1.32E-01	9.54E-02	6.10E-02	2.77E-02	1.24E-02	6.78E-03	4.57E-03	3.42E-03	2.72E-03	2.25E-03	1.92E-03
WNW	2.34E-01	1.47E-01	1.04E-01	6.46E-02	2.95E-02	1.32E-02	7.16E-03	4.82E-03	3.60E-03	2.86E-03	2.37E-03	2.01E-03
NW	3.16E-01	2.09E-01	1.44E-01	8.76E-02	4.04E-02	1.84E-02	1.03E-02	7.02E-03	5.30E-03	4.24E-03	3.53E-03	3.02E-03
NNW	2.21E-01	1.94E-01	1.38E-01	8.54E-02	4.09E-02	1.90E-02	1.07E-02	7.41E-03	5.63E-03	4.53E-03	3.79E-03	3.25E-03

表 6.2-18 1~4 号半径 80km 范围内年均活度浓度

核素: ^{133}Xe (Bq/m³)

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	2.67E+00	1.58E+00	1.05E+00	6.19E-01	2.82E-01	1.26E-01	6.87E-02	4.60E-02	3.40E-02	2.67E-02	2.18E-02	1.83E-02
NNE	2.54E+00	1.33E+00	8.74E-01	5.18E-01	2.27E-01	1.00E-01	5.43E-02	3.63E-02	2.68E-02	2.10E-02	1.71E-02	1.44E-02
NE	2.06E+00	1.08E+00	7.32E-01	4.46E-01	1.94E-01	8.47E-02	4.52E-02	2.98E-02	2.19E-02	1.71E-02	1.39E-02	1.16E-02
ENE	6.94E-01	4.96E-01	3.84E-01	2.57E-01	1.22E-01	5.28E-02	2.77E-02	1.80E-02	1.31E-02	1.01E-02	8.10E-03	6.71E-03
E	1.14E+00	6.18E-01	4.65E-01	3.10E-01	1.43E-01	5.98E-02	3.03E-02	1.92E-02	1.37E-02	1.04E-02	8.34E-03	6.86E-03
ESE	2.08E+00	1.01E+00	6.94E-01	4.25E-01	1.78E-01	7.40E-02	3.80E-02	2.45E-02	1.77E-02	1.36E-02	1.10E-02	9.13E-03
SE	2.06E+00	1.00E+00	6.87E-01	4.22E-01	1.80E-01	7.53E-02	3.88E-02	2.50E-02	1.81E-02	1.40E-02	1.13E-02	9.36E-03
SSE	2.00E+00	9.36E-01	6.33E-01	3.86E-01	1.62E-01	6.79E-02	3.50E-02	2.26E-02	1.64E-02	1.27E-02	1.02E-02	8.50E-03
S	1.67E+00	8.52E-01	6.03E-01	3.81E-01	1.67E-01	7.02E-02	3.63E-02	2.35E-02	1.69E-02	1.31E-02	1.05E-02	8.73E-03
SSW	3.35E+00	1.60E+00	1.02E+00	5.91E-01	2.47E-01	1.08E-01	5.83E-02	3.89E-02	2.88E-02	2.26E-02	1.85E-02	1.56E-02
SW	1.12E+00	6.46E-01	4.79E-01	3.10E-01	1.42E-01	6.08E-02	3.15E-02	2.04E-02	1.47E-02	1.14E-02	9.15E-03	7.60E-03
WSW	7.55E-01	4.74E-01	3.67E-01	2.48E-01	1.17E-01	5.01E-02	2.58E-02	1.66E-02	1.19E-02	9.15E-03	7.33E-03	6.05E-03
W	9.99E-01	6.01E-01	4.32E-01	2.75E-01	1.24E-01	5.44E-02	2.91E-02	1.92E-02	1.41E-02	1.10E-02	8.88E-03	7.41E-03
WNW	1.06E+00	6.67E-01	4.71E-01	2.91E-01	1.32E-01	5.76E-02	3.07E-02	2.02E-02	1.48E-02	1.15E-02	9.34E-03	7.79E-03
NW	1.44E+00	9.48E-01	6.50E-01	3.94E-01	1.80E-01	8.06E-02	4.39E-02	2.93E-02	2.17E-02	1.70E-02	1.38E-02	1.16E-02
NNW	1.01E+00	8.79E-01	6.22E-01	3.84E-01	1.82E-01	8.31E-02	4.58E-02	3.08E-02	2.29E-02	1.79E-02	1.46E-02	1.23E-02

表 6.2-19 1~4 号机组半径 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	1.88E-05	1.03E-05	6.61E-06	3.69E-06	1.58E-06	6.65E-07	3.25E-07	1.98E-07	1.32E-07	1.01E-07	7.78E-08	5.86E-08
NNE	1.79E-05	8.68E-06	5.52E-06	3.08E-06	1.27E-06	5.28E-07	2.55E-07	1.55E-07	1.03E-07	7.79E-08	6.00E-08	4.51E-08
NE	1.46E-05	7.04E-06	4.62E-06	2.65E-06	1.09E-06	4.44E-07	2.11E-07	1.27E-07	8.36E-08	6.30E-08	4.83E-08	3.61E-08
ENE	4.89E-06	3.24E-06	2.43E-06	1.53E-06	6.80E-07	2.77E-07	1.30E-07	7.66E-08	4.98E-08	3.71E-08	2.82E-08	2.08E-08
E	8.04E-06	4.04E-06	2.94E-06	1.84E-06	8.00E-07	3.14E-07	1.42E-07	8.18E-08	5.23E-08	3.85E-08	2.90E-08	2.13E-08
ESE	1.47E-05	6.58E-06	4.38E-06	2.53E-06	9.95E-07	3.86E-07	1.76E-07	1.03E-07	6.65E-08	4.94E-08	3.74E-08	2.77E-08
SE	1.45E-05	6.55E-06	4.34E-06	2.51E-06	1.01E-06	3.94E-07	1.81E-07	1.06E-07	6.85E-08	5.10E-08	3.87E-08	2.87E-08
SSE	1.41E-05	6.11E-06	4.00E-06	2.30E-06	9.09E-07	3.56E-07	1.64E-07	9.62E-08	6.25E-08	4.66E-08	3.55E-08	2.64E-08
S	1.17E-05	5.58E-06	3.81E-06	2.27E-06	9.34E-07	3.71E-07	1.71E-07	1.01E-07	6.59E-08	4.93E-08	3.75E-08	2.79E-08
SSW	2.36E-05	1.05E-05	6.47E-06	3.52E-06	1.38E-06	5.70E-07	2.75E-07	1.67E-07	1.11E-07	8.45E-08	6.53E-08	4.93E-08
SW	7.93E-06	4.22E-06	3.03E-06	1.85E-06	7.98E-07	3.23E-07	1.51E-07	8.92E-08	5.82E-08	4.36E-08	3.33E-08	2.49E-08
WSW	5.33E-06	3.10E-06	2.32E-06	1.48E-06	6.59E-07	2.67E-07	1.24E-07	7.31E-08	4.75E-08	3.55E-08	2.70E-08	2.01E-08
W	7.05E-06	3.93E-06	2.73E-06	1.64E-06	6.96E-07	2.90E-07	1.39E-07	8.44E-08	5.60E-08	4.24E-08	3.27E-08	2.46E-08
WNW	7.51E-06	4.36E-06	2.98E-06	1.74E-06	7.42E-07	3.07E-07	1.47E-07	8.86E-08	5.87E-08	4.45E-08	3.42E-08	2.57E-08
NW	1.01E-05	6.20E-06	4.11E-06	2.35E-06	1.01E-06	4.27E-07	2.09E-07	1.27E-07	8.50E-08	6.47E-08	5.00E-08	3.76E-08
NNW	7.10E-06	5.75E-06	3.94E-06	2.29E-06	1.03E-06	4.40E-07	2.18E-07	1.34E-07	9.00E-08	6.87E-08	5.32E-08	4.01E-08

表 6.2-20 1~4 号机组半径 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	2.44E-05	1.34E-05	8.55E-06	4.78E-06	2.05E-06	8.64E-07	4.23E-07	2.59E-07	1.74E-07	1.33E-07	1.03E-07	7.75E-08
NNE	2.32E-05	1.12E-05	7.15E-06	3.99E-06	1.64E-06	6.85E-07	3.31E-07	2.02E-07	1.34E-07	1.02E-07	7.86E-08	5.91E-08
NE	1.88E-05	9.10E-06	5.98E-06	3.43E-06	1.40E-06	5.75E-07	2.74E-07	1.65E-07	1.09E-07	8.20E-08	6.30E-08	4.71E-08
ENE	6.33E-06	4.19E-06	3.14E-06	1.98E-06	8.80E-07	3.58E-07	1.68E-07	9.93E-08	6.46E-08	4.82E-08	3.66E-08	2.71E-08
E	1.04E-05	5.22E-06	3.80E-06	2.38E-06	1.04E-06	4.06E-07	1.84E-07	1.06E-07	6.80E-08	5.01E-08	3.77E-08	2.78E-08
ESE	1.90E-05	8.50E-06	5.66E-06	3.26E-06	1.29E-06	4.99E-07	2.28E-07	1.33E-07	8.61E-08	6.39E-08	4.84E-08	3.59E-08
SE	1.88E-05	8.47E-06	5.61E-06	3.24E-06	1.30E-06	5.10E-07	2.34E-07	1.37E-07	8.89E-08	6.62E-08	5.03E-08	3.73E-08
SSE	1.83E-05	7.91E-06	5.17E-06	2.97E-06	1.18E-06	4.62E-07	2.13E-07	1.25E-07	8.14E-08	6.08E-08	4.63E-08	3.45E-08
S	1.52E-05	7.21E-06	4.93E-06	2.94E-06	1.21E-06	4.82E-07	2.24E-07	1.32E-07	8.65E-08	6.49E-08	4.96E-08	3.71E-08
SSW	3.05E-05	1.36E-05	8.37E-06	4.56E-06	1.79E-06	7.40E-07	3.58E-07	2.18E-07	1.46E-07	1.11E-07	8.61E-08	6.51E-08
SW	1.03E-05	5.46E-06	3.92E-06	2.40E-06	1.04E-06	4.21E-07	1.97E-07	1.17E-07	7.70E-08	5.80E-08	4.45E-08	3.33E-08
WSW	6.89E-06	4.01E-06	3.01E-06	1.92E-06	8.56E-07	3.48E-07	1.62E-07	9.63E-08	6.30E-08	4.73E-08	3.62E-08	2.71E-08
W	9.12E-06	5.08E-06	3.54E-06	2.13E-06	9.04E-07	3.78E-07	1.83E-07	1.11E-07	7.42E-08	5.66E-08	4.39E-08	3.32E-08
WNW	9.71E-06	5.65E-06	3.85E-06	2.25E-06	9.64E-07	4.00E-07	1.93E-07	1.17E-07	7.78E-08	5.92E-08	4.58E-08	3.46E-08
NW	1.31E-05	8.02E-06	5.32E-06	3.05E-06	1.31E-06	5.56E-07	2.73E-07	1.67E-07	1.12E-07	8.55E-08	6.63E-08	5.01E-08
NNW	9.18E-06	7.44E-06	5.09E-06	2.97E-06	1.33E-06	5.73E-07	2.85E-07	1.76E-07	1.19E-07	9.09E-08	7.06E-08	5.34E-08

表 6.2-21 1~4 号机组半径 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	2.58E-01	1.53E-01	1.01E-01	6.03E-02	2.76E-02	1.26E-02	7.01E-03	4.80E-03	3.62E-03	2.90E-03	2.42E-03	2.07E-03
NNE	2.46E-01	1.28E-01	8.47E-02	5.03E-02	2.22E-02	9.99E-03	5.52E-03	3.75E-03	2.82E-03	2.25E-03	1.87E-03	1.60E-03
NE	1.99E-01	1.04E-01	7.09E-02	4.33E-02	1.90E-02	8.42E-03	4.58E-03	3.08E-03	2.30E-03	1.83E-03	1.51E-03	1.29E-03
ENE	6.70E-02	4.80E-02	3.73E-02	2.51E-02	1.20E-02	5.29E-03	2.85E-03	1.90E-03	1.41E-03	1.11E-03	9.15E-04	7.76E-04
E	1.10E-01	5.97E-02	4.51E-02	3.01E-02	1.40E-02	5.97E-03	3.09E-03	2.00E-03	1.46E-03	1.13E-03	9.21E-04	7.73E-04
ESE	2.01E-01	9.74E-02	6.71E-02	4.12E-02	1.74E-02	7.33E-03	3.82E-03	2.50E-03	1.83E-03	1.43E-03	1.17E-03	9.86E-04
SE	1.99E-01	9.69E-02	6.66E-02	4.10E-02	1.76E-02	7.44E-03	3.90E-03	2.56E-03	1.87E-03	1.47E-03	1.20E-03	1.01E-03
SSE	1.93E-01	9.04E-02	6.13E-02	3.74E-02	1.59E-02	6.72E-03	3.52E-03	2.31E-03	1.69E-03	1.32E-03	1.08E-03	9.14E-04
S	1.61E-01	8.25E-02	5.84E-02	3.70E-02	1.63E-02	6.97E-03	3.67E-03	2.41E-03	1.77E-03	1.39E-03	1.14E-03	9.62E-04
SSW	3.23E-01	1.55E-01	9.92E-02	5.74E-02	2.41E-02	1.07E-02	5.85E-03	3.96E-03	2.97E-03	2.37E-03	1.96E-03	1.67E-03
SW	1.09E-01	6.25E-02	4.64E-02	3.02E-02	1.39E-02	6.06E-03	3.21E-03	2.12E-03	1.56E-03	1.22E-03	1.00E-03	8.46E-04
WSW	7.30E-02	4.59E-02	3.56E-02	2.42E-02	1.15E-02	5.02E-03	2.66E-03	1.75E-03	1.28E-03	1.01E-03	8.24E-04	6.95E-04
W	9.65E-02	5.81E-02	4.19E-02	2.68E-02	1.21E-02	5.44E-03	2.98E-03	2.01E-03	1.50E-03	1.19E-03	9.87E-04	8.41E-04
WNW	1.03E-01	6.46E-02	4.57E-02	2.83E-02	1.30E-02	5.77E-03	3.14E-03	2.12E-03	1.58E-03	1.26E-03	1.04E-03	8.84E-04
NW	1.39E-01	9.17E-02	6.30E-02	3.84E-02	1.77E-02	8.08E-03	4.50E-03	3.08E-03	2.32E-03	1.86E-03	1.55E-03	1.32E-03
NNW	9.72E-02	8.51E-02	6.04E-02	3.75E-02	1.80E-02	8.34E-03	4.72E-03	3.25E-03	2.47E-03	1.99E-03	1.66E-03	1.43E-03

表 6.2-22 1~4 号机组半径 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	1.89E-02	1.12E-02	7.44E-03	4.42E-03	2.03E-03	9.22E-04	5.14E-04	3.52E-04	2.66E-04	2.13E-04	1.77E-04	1.52E-04
NNE	1.80E-02	9.41E-03	6.21E-03	3.69E-03	1.63E-03	7.33E-04	4.05E-04	2.75E-04	2.07E-04	1.65E-04	1.37E-04	1.17E-04
NE	1.46E-02	7.63E-03	5.20E-03	3.18E-03	1.39E-03	6.17E-04	3.36E-04	2.26E-04	1.69E-04	1.34E-04	1.11E-04	9.43E-05
ENE	4.91E-03	3.52E-03	2.73E-03	1.84E-03	8.77E-04	3.88E-04	2.09E-04	1.39E-04	1.03E-04	8.16E-05	6.72E-05	5.69E-05
E	8.07E-03	4.38E-03	3.31E-03	2.21E-03	1.03E-03	4.37E-04	2.26E-04	1.47E-04	1.07E-04	8.30E-05	6.75E-05	5.66E-05
ESE	1.48E-02	7.14E-03	4.92E-03	3.02E-03	1.28E-03	5.37E-04	2.80E-04	1.83E-04	1.34E-04	1.05E-04	8.58E-05	7.23E-05
SE	1.46E-02	7.10E-03	4.88E-03	3.00E-03	1.29E-03	5.46E-04	2.86E-04	1.87E-04	1.37E-04	1.08E-04	8.80E-05	7.42E-05
SSE	1.42E-02	6.63E-03	4.49E-03	2.74E-03	1.16E-03	4.93E-04	2.58E-04	1.69E-04	1.24E-04	9.71E-05	7.95E-05	6.70E-05
S	1.18E-02	6.05E-03	4.28E-03	2.72E-03	1.19E-03	5.11E-04	2.69E-04	1.77E-04	1.30E-04	1.02E-04	8.36E-05	7.05E-05
SSW	2.37E-02	1.14E-02	7.27E-03	4.21E-03	1.77E-03	7.83E-04	4.29E-04	2.90E-04	2.18E-04	1.74E-04	1.44E-04	1.23E-04
SW	7.96E-03	4.58E-03	3.40E-03	2.21E-03	1.02E-03	4.44E-04	2.35E-04	1.55E-04	1.14E-04	8.96E-05	7.34E-05	6.20E-05
WSW	5.35E-03	3.36E-03	2.61E-03	1.77E-03	8.44E-04	3.68E-04	1.95E-04	1.28E-04	9.41E-05	7.38E-05	6.04E-05	5.09E-05
W	7.07E-03	4.26E-03	3.07E-03	1.96E-03	8.90E-04	3.99E-04	2.18E-04	1.47E-04	1.10E-04	8.74E-05	7.24E-05	6.16E-05
WNW	7.53E-03	4.73E-03	3.35E-03	2.08E-03	9.50E-04	4.23E-04	2.30E-04	1.55E-04	1.16E-04	9.21E-05	7.61E-05	6.48E-05
NW	1.02E-02	6.72E-03	4.62E-03	2.82E-03	1.30E-03	5.92E-04	3.30E-04	2.26E-04	1.70E-04	1.36E-04	1.14E-04	9.71E-05
NNW	7.12E-03	6.24E-03	4.43E-03	2.75E-03	1.32E-03	6.11E-04	3.46E-04	2.38E-04	1.81E-04	1.46E-04	1.22E-04	1.05E-04

表 6.2-23 西侧明渠排放口（1~4 号机组）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 号机组排放量 (Bq/a)	3、4 号机组排放量 (Bq/a)	工况一浓度 (Bq/L)	工况二浓度 (Bq/L)
^{60}Co	0.03	5.30E+07	1.06E+08	4.25E-03	5.66E-03
^{90}Sr	4	1.31E+05	1.50E+05	7.51E-06	1.00E-05
^{106}Ru	0.2	1.40E+04	4.22E+04	1.50E-06	2.00E-06
^{134}Cs	0.6	1.97E+09	2.98E+09	1.32E-01	1.76E-01
^{137}Cs	0.7	1.53E+09	2.44E+09	1.06E-01	1.41E-01

表 6.2-24 3、4 号机组所致最大个人有效剂量汇总（排放申请值）（mSv/a）

年龄组别 居民组		婴儿	儿童	青少年	成人	渔民
村庄一	气态	8.31E-04	1.77E-03	1.20E-03	1.22E-03	1.23E-03
	液态	4.66E-04	1.17E-03	7.54E-04	8.58E-04	9.01E-04
	合计	1.30E-03	2.94E-03	1.96E-03	2.08E-03	2.13E-03
村庄二	气态	6.81E-04	1.47E-03	9.88E-04	1.00E-03	9.98E-04
	液态	4.66E-04	1.17E-03	7.54E-04	8.68E-04	9.01E-04
	合计	1.15E-03	2.64E-03	1.74E-03	1.87E-03	1.90E-03

表 6.2-25 厂址 1~4 号机组所致最大个人有效剂量汇总（mSv/a）

年龄组别 居民组		婴儿	儿童	青少年	成人	渔民
村庄一	1、2 号机组	1.19E-03	2.87E-03	1.90E-03	1.98E-03	2.11E-03
	3、4 号机组	1.30E-03	2.94E-03	1.96E-03	2.08E-03	2.13E-03
	合计	2.49E-03	5.81E-03	3.86E-03	4.06E-03	4.24E-03
村庄二	1、2 号机组	1.08E-03	2.67E-03	1.76E-03	1.86E-03	1.96E-03
	3、4 号机组	1.15E-03	2.64E-03	1.74E-03	1.87E-03	1.90E-03
	合计	2.23E-03	5.31E-03	3.50E-03	3.73E-03	3.86E-03

表 6.2-26 3、4 号机组水生生物危害商

水生生物名称	危害商
底层鱼类	5.00E-04
软体动物	4.59E-04
甲壳类	4.58E-04
大型海藻	3.85E-04
浅海鱼类	4.06E-04
浮游植物	2.06E-04
多毛类	5.63E-04
脉管类植物	3.95E-04
浮游动物	3.54E-04
鸟类	1.27E-04

表 6.2-27 1~4 号机组水生生物危害商

水生生物名称	1、2 号机组危害商	3、4 号机组危害商	1~4 号机组危害商
底层鱼类	9.30E-04	5.00E-04	1.43E-03
软体动物	8.11E-04	4.59E-04	1.27E-03
甲壳类	8.12E-04	4.58E-04	1.27E-03
大型海藻	6.95E-04	3.85E-04	1.08E-03
浅海鱼类	7.94E-04	4.06E-04	1.20E-03
浮游植物	3.77E-04	2.06E-04	5.83E-04
多毛类	9.57E-04	5.63E-04	1.52E-03
脉管类植物	6.95E-04	3.95E-04	1.09E-03
浮游动物	6.76E-04	3.54E-04	1.03E-03
鸟类	1.70E-04	1.27E-04	2.97E-04

表 6.2-28 3、4 号机组陆生生物类群危害商

生物	危害商
鸟类	1.40E-03
两栖类	1.32E-03
环节动物	1.09E-04
节肢动物	1.24E-03
飞行昆虫	1.32E-03
牧草	1.35E-04
苔藓	1.29E-03
大型哺乳类	8.95E-04
小型哺乳类	1.33E-03
软体动物	1.24E-03
爬行动物	1.28E-03
灌木	1.42E-04
树	1.57E-04

表 6.2-29 全厂 1~4 号机组陆生生物危害商

生物	1、2 号机组 危害商	3、4 号机组危害商	1~4 号机组危害商
鸟类	1.50E-03	1.40E-03	2.90E-03
两栖类	1.41E-03	1.32E-03	2.73E-03
环节动物	9.30E-05	1.09E-04	2.02E-04
节肢动物	1.34E-03	1.24E-03	2.58E-03
飞行昆虫	1.42E-03	1.32E-03	2.74E-03
牧草	1.14E-04	1.35E-04	2.50E-04
苔藓	1.38E-03	1.29E-03	2.68E-03
大型哺乳类	9.21E-04	8.95E-04	1.82E-03
小型哺乳类	1.41E-03	1.33E-03	2.73E-03
软体动物	1.34E-03	1.24E-03	2.58E-03
爬行动物	1.36E-03	1.28E-03	2.63E-03
灌木	1.20E-04	1.42E-04	2.63E-04
树	1.33E-04	1.57E-04	2.90E-04

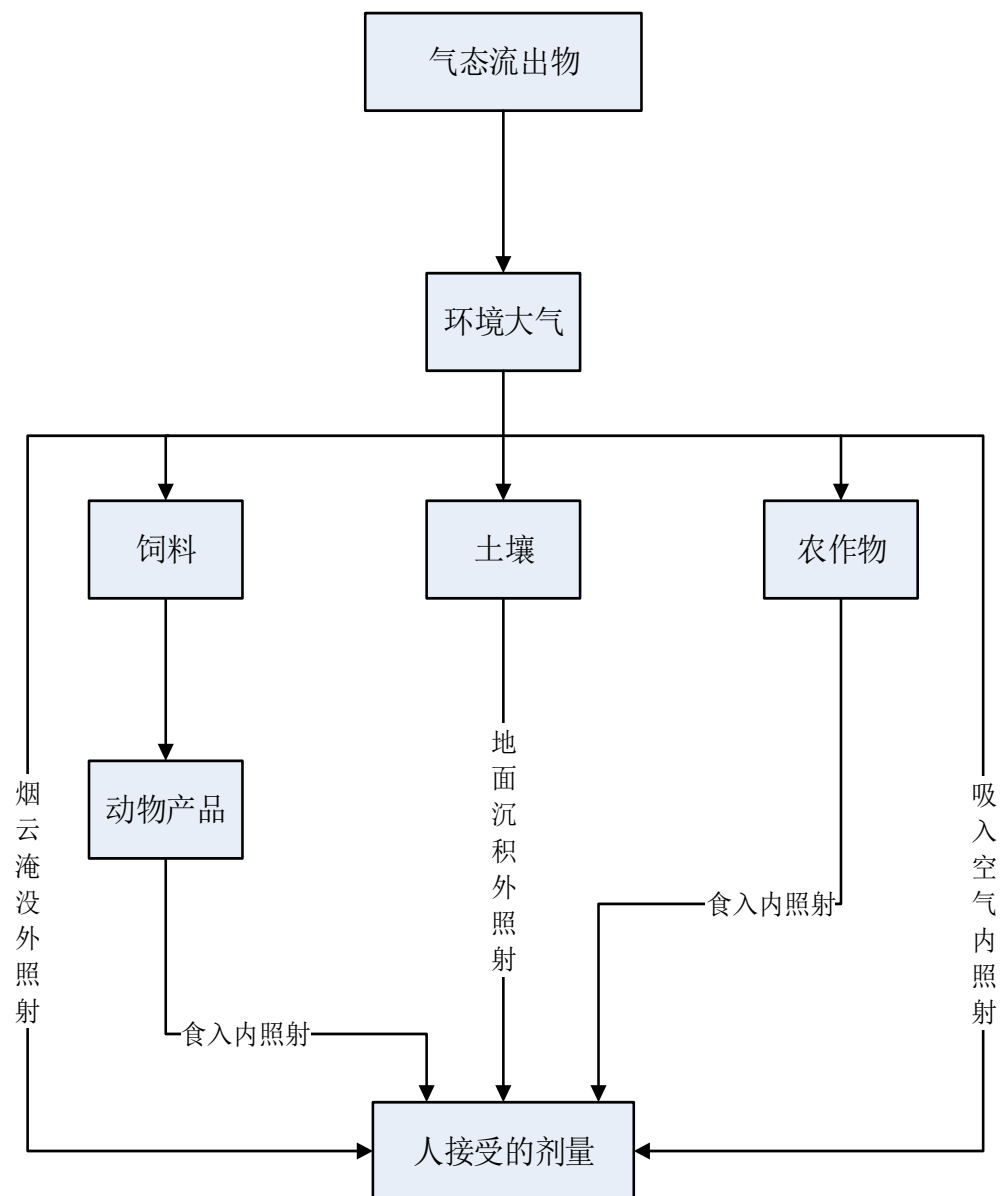


图 6.2-1 正常运行气态流出物对人体的照射途径

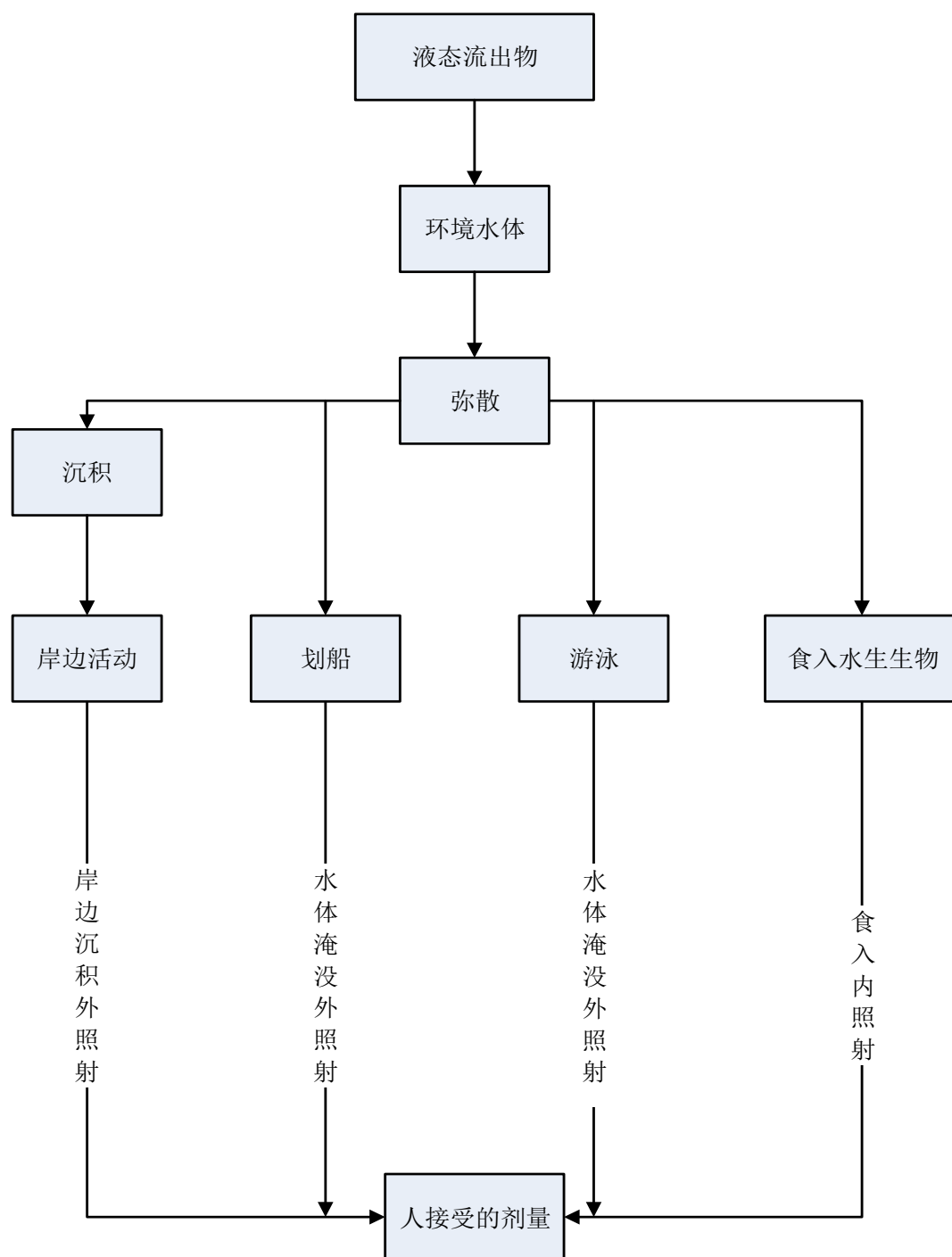


图 6.2-2 正常运行液态流出物对人体的照射途径

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。生产废水中化学污染物均呈现排放口处浓度最高、随距离增加浓度逐渐降低的规律。

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 除盐水系统产生的废水

此系统产生的废水主要为酸碱性废水。1~4 号机组的酸碱性废水在中和池内中和处理，使 pH 值达到 6~9，之后经虹吸井与循环水一同排海，不会对海水质量产生不良影响。

6.3.1.2 凝结水精处理系统产生的废水

此系统产生的废水主要为酸碱性废水，其废水就地中和处理，将 pH 值调至 6~9 后，排入二类污染物处理系统，处理后输送至非放射性生产废水处理系统监测后，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不良影响。

酸碱性废水中还包含氨氮，氨氮的处理见后文 6.3.1.7 节。

6.3.1.3 化学药剂供给系统排放的废水

常规岛化学化学药剂供给系统排放的废水为含 NH_3 或 N_2H_4 的废水，其废水排至凝结水精处理系统的废水池，之后进入二类污染物处理系统(参见 6.3.1.7 节)处理，经非放射性生产废水处理系统监测后排放，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中和池处理至 pH 值 6~9 后，排至非放射性废水处理系统监测后排放。

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。本工程以 0.5mg/L 作为余氯排放的管理目标值。此外本工程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。

余氯计算采用与液态流出物同样的计算模式和计算假定(参见 6.2.3.2),主要计算参数也基本相同,只有半衰期不同(余氯为 1.5h)。

根据最新的余氯模拟成果,海阳核电厂 1~4 号机组机组排放的余氯其 10 倍稀释因子全潮最大的对应面积如下:

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。

夏季：1~4 号机组 2.008 km²；冬季：1~4 号机组 1.289km²。

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。1~4 号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参见表 6.3-1。由图表可见，山东海阳核电厂 1~4 号机组余氯排放的影响仅局限于排水口附近的局部海域，预计排放口处余氯的增量处于海水背景浓度范围内，不会厂址附近海洋生态环境造成不良影响。

海生物防治加药系统为循环水加药系统的备用系统，可投加氧化型药剂或非氧化型药剂。加氧化性主要考虑使用次氯酸钠，所致的余氯影响与循环水加药系统相同；非氧化性药剂主要考虑使用 M432 等环境友好药剂，在进入水体后可迅速降解，不会对水环境造成不良影响。

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预处理系统排水和反渗透浓盐水。

预处理排水主要为澄清池排泥水、V 型滤池反洗排水，本期工程配置一套污泥脱水系统，澄清池产生的含泥废水经污泥脱水系统处理后，泥饼委托有资质单位外运处置，清水回收至絮凝沉淀池入口，V 型滤池反洗排水收集后输送絮凝沉淀池入口回收利用，反渗透浓盐水随循环水排入大海。

本工程海淡系统的浓缩倍数约为 1.67，浓盐水排放量为 1050t/h，浓盐水中不含酸、碱，通过废水收集池收集后，由废水输送泵提升排至虹吸井与冷却水混合后排放。厂址海域冬季盐度在 29‰~31.98‰之间、夏季盐度在 30.30‰~31.44‰之间，浓盐水与冷却水混合后的盐度影响小于海域盐度的自然波动范围，混合后盐浓度与海水基本相当，不会对厂址附近海域水体质量产生影响。

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》(DB37/3416.5-2025)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 进行评价。

本工程的硼随液态流出物分批排放，在与冷却水混合后排入大海。考虑液态流出物最大排放流量，保守考虑液态流出物年排放时间约为 50 小时，同时考虑一期工程 2 台机组，保守假设 4 台机组的硼同时排放（硼排放量为 0.16t/h），考虑冬季冷却水量约 52m³/s，液态流出物流量与冷却水流量相比可忽略不计。

考虑 2 台机组冷却水流量，排放口处硼浓度为 0.21mg/L。

保守起见进一步考虑 1 台机组大修的情况（即 3 台冷却水流量）时，排放口硼浓度为 0.28mg/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。厂址附近海水中硼浓度约为 2~4 mg/L，本工程排水中硼浓度也低于海水本底水平。

因此本工程硼排放不会对厂址附近海域的水质产生影响。

6.3.1.7 二类污染物的处理

厂内设置非放射性生产废水二类污染物处理系统用于收集和处理全厂非放射性生产废水中含二类污染物（主要为氨氮）的废水，主要为凝结水精处理系统排水和常规岛化学药剂供给系统排水。废水排至废水收集箱，经折点加氯处理，设计出水标准为氨氮 $\leq 5\text{mg/L}$ ，满足《流域水污染物综合排放标准第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2025）一级标准的要求。

6.3.2 其他污染物的环境影响

6.3.2.1 其他污水的环境影响

生产废水的处理及排放情况参见 6.3.1 节。此外本工程非放射性生产废水处理系统内还设置了含油非放射性生产废水处理系统，用于处理汽轮机厂房内的地面和设备排水、辅助厂房非放射性地坑排水、柴油机厂房地坑排水等含油废水，处理后的废油排入储油池临时储存，并按照危险废物进行管理。含油废水处理出水含油量 $\leq 3\text{mg/L}$ ，满足《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》（DB 37/3416.5-2025）一级标准。

对于生活污水，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。生活污水处理后主要纳管排入城镇污水处理厂，少量生活污水处理后达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）的标准回用，不向附近海域排放。

后续海阳核电厂内将建设 1 座处理能力 1500t/h 的生活污水处理设施，取代现有 4 座埋地式污水处理站，用于处理全厂产生的生活污水。新的生活污水设施投用后，生活污水处理后优先纳管排入城镇污水处理厂，并保留绿化回用功能，绿化用水按照《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）的标准回用，不向附近海域排放。

因此本工程生活污水不会对厂址附近海域水质产生影响。

6.3.2.2 其他废气的环境影响

本工程运行期间排放大气污染物主要为备用柴油发电机、辅助柴油发电机、保卫控制中心柴油发电机、应急指挥中心柴油发电机运行排放的二氧化硫和颗粒物。

柴油发电机仅在定期试验中运行。其中备用柴油发电机组每季度运行试验约 1 小时，每 18 个月保护功能试验约 8 小时；辅助柴油发电机组每月空载试验约 5~10 分钟，每季度运行试验约 1 小时；保卫控制中心柴油发电机每月空载试验约 5~10 分钟，每 12 个月带载试验约 1 小时；应急指挥中心柴油发电机每月空载试验约 5~10 分钟，每 6 个月满载试验约 1 小时。

因此可见各柴油发电机的排放时间短，污染物排放极小，预计不会对周围大气环境造成不良影响。

6.3.2.3 固体废物的环境影响

生活垃圾定点收集由有资质单位统一清运。

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、废试剂、过期报废化学药品、废蓄电池、常规岛凝结水精处理的废树脂等等，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内。危险废物暂存后，委托地方专业危废处理单位有偿处理。预计本项目危险废物年产生量约为 130t/年。

本工程产生的工业固体废物主要为水处理过程中产生的污泥、除盐水处理系统产生的离子交换树脂、加氯车间产生的废积盐以及生产活动中产生的废塑料、废木材等。预计本工程一般工业废物的年产生量约为 700~1000t/年。

污泥主要为水处理厂、海水淡化和生活污水处理设施等水处理过程中产生的污泥。污泥及污泥浓缩后的泥饼作为工业固体废物委托有资质单位外运处理。

除盐水处理过程中使用的离子交换树脂，该系统设置了树脂再生装置，更换的树脂优先考虑再生，无法再生的，按照一般工业固体废物委托有资质单位进行处理。

废塑料、废木材等暂存后按照一般工业固体废物委托有资质单位处理。

固体废物不会对周围环境产生不良影响。

6.3.2.4 噪声的环境影响

本工程主要噪声源包括：1) 各类泵、阀、风机、汽轮机、发电机等设备运

行噪声；2）介质在管道、阀门内高速流动产生的噪声。

对于噪声的控制，主要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。对仪表室、控制室的门窗做隔声、消声处理，降低声压级。汽水管道设计时做到合理布置，流道顺畅，对于易产生振动的疏水管道及再循环管道等，在管道设计时注意管道及阀门的布置，尽量减少二相流动的管道长度，管线布置力求短捷，并考虑防振措施，合理选择各支吊架形式并合理布置。所有调节阀、减压阀均选择低噪音阀门，降低气流和振动噪声。通过采取上述措施并通过建筑隔声、距离衰减后，噪声影响会进一步降低。

第三章中给出了 2024 年噪声现状监测结果：厂界噪声昼间最大值 57 dB(A)、夜间最大值 47 dB (A)，居民点昼间最大值 54 dB (A)，夜间最大值 46 dB (A)，该监测结果对应工况为一期运行+3、4 号机组施工。预计本期工程运行所致厂界噪声不会超过施工期，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 3 类标准：昼间 65dB (A)、夜间 55dB (A)。居民点声环境满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 2 类标准：昼间 60dB (A)、夜间 50dB (A)。

6.3.2.5 电磁的环境影响

本工程 2 台机组两回主变进线接入一期 500kV 配电装置，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，根据最新的监测结果（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 1354V/m，工频磁场最大值为 7.066 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，公众曝露限值分别为 4000V/m 和 100 μ T）；500kV 架空线下周围的工频电场最大值为 8855V/m，工频磁场最大值为 8.254 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，本工程电磁影响可以满足 GB8702-2014 的限值。

表 6.3-1 1~4 号机组的余氯包络面积 (km²)

潮型	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	0.900	2.008	3.926	7.224	12.75	22.69
冬季半月潮	0.627	1.289	2.689	5.35	8.069	14.66
潮型	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	0.500	0.739	1.334	2.639	4.132	6.588
冬季半月潮	0.454	0.554	0.895	1.933	3.09	4.779

6.4 初步退役计划

核电厂的退役是指为解除核电厂的部分或全部监管控制而采取的行政和技术行动。其中，核电厂退役的重点是反应堆装置的退役，其退役受多方面的制约，其中包括政治、经济、科学技术和政策法规等的影响。

本工程辐射环境水平现状调查见第三章 3.1 节描述。在退役开始前将对辐射环境水平现状（包括建筑材料中的天然放射性水平）再次进行调查。

6.4.1 退役策略

国际原子能机构（IAEA）在技术报告 IAEA-GSR-6《设施退役》中提出了适用于核电厂退役的两种退役策略，即立即拆除和延缓拆除。

1) 立即拆除

当采用立即拆除策略时，一般在核电厂永久停堆之后便立即开始着手实施一系列的退役活动。本策略目标是在设定的较短时间内，便可将厂址内特定放射性水平（一般指放射性解控值）以上的所有带有放射性的物质全部移除，以实现所属厂址或设施的安全解控或无需任何核安全监管限制下的再利用。

采用立即拆除策略可以最大限度地利用现有的人力资源及核电厂的技术知识储备实施去污、拆除和解体等作业。但是这个策略选项无法实现放射性源的显著衰减，同时要求退役核电厂的废物及乏燃料管理设施可用。另外，由于没有缓冲期，退役资金也必须充足或得到充分保证。

2) 延缓拆除

延缓拆除策略，也称安全关闭或安全贮存，采用这个策略意味着永久停堆后的核电机组完成最终处置的时间将会延后。一般采用此策略的核电厂从永久停堆到最终完成去污、拆除、解体并实现解控最长可达 50 年。为实现如此长时间内的安全关闭（或贮存），系统中所有的滞留液体都需及时排空、运行阶段收集和累积的废物也都必须移除。

这个策略的好处是可以使待退役核电厂的大部分放射性源有效地衰减，可以减少退役实施过程中达到辐射防护目标所需的资源，同时有利于保障作业人员的安全；另外，延缓拆除策略也可以降低对退役资金筹集的时间压力，这对拥有多个运行核电厂的业主而言尤其明显。但对于单堆电厂若采用此策略，应注意具有以下缺点：

- 在安全停闭期间，核电厂现有资质人员及待退役核电厂相关的技术和知

识储备大幅度流失；

- 为降低长时间内核电厂整体风险水平，核电厂在进入长期安全停闭之前移除厂内的乏燃料；
- 需要在安全停闭期间建立起核电厂的监测和维护保养，并维持实体保卫。

因此，目前国际上采用此策略的核电厂主要为所在国的放射性废物管理战略尚未建立或健全、支持退役活动所需的资金尚有欠缺、或待退役核电机组所在厂址为多堆厂址。

退役策略的选择需考虑许多因素，包括但不限于：国家政策和法规、国内退役技术情况、厂址地理位置和未来使用用途、公众接受能力、退役资金、环境危害等。虽然 IAEA 推荐核电厂退役实施立即拆除的策略，但近期国际上退役的核电厂约有 50% 选择了延缓拆除策略。在我国有合适的最终废物处置场址或中间废物暂存设施来处理并处置放射性废物以及退役资金充足的条件下，本项目核电厂应实施立即拆除的退役策略。

山东海阳核电项目规划的六台机组分三期建设。本期工程为二期工程，鉴于各期工程投运间隔相差 4~5 年时间，考虑待三期工程的两台机组寿期结束后，全厂 6 台机组同步开展退役活动。厂址规划情况若有变化，本工程两台机组的退役计划将根据实际情况进一步优化。

6.4.2 退役技术研究

6.4.2.1 安全停闭

核电厂的安全停闭阶段开始于反应堆运行的最后阶段，持续时间较长，有时甚至需要数年，其目的是使设施处于安全、稳定的状态，消除或减少危害，防止放射性扩散，尽可能减少废物量。

本工程安全停闭工作内容主要包括：

1) 移除乏燃料

将乏燃料组件转运出堆芯及乏燃料贮存水池，确保移除厂房内的主要放射源（被活化的设备除外），以便后续退役活动的开展。乏燃料组件通过专用乏燃料运输容器外运，乏燃料组件可直接运往专门的暂存设施或场所、或送至乏燃料后处理厂（如有）进行处置。

2) 初步源项调查

退役活动实施前进行，包括对厂区放射性水平进行调查和评估，掌握核电厂

中的放射性物质的量、主要核素种类、存在类型和主要位置分布。主要包括：

- 对核电厂有关系统、部件等的辐射水平、放射性活度及放射性污染水平等进行调查并进行源项估算；
- 对厂区和厂房内 γ 辐射水平及放射性气体和气溶胶水平进行调查；
- 对核材料操作区域、放射性废物处理区域和放射性废物暂存库进行放射性水平调查。

确定退役活动的实施边界、放射性量、放射性污染分布和放射性热点位置、废物存积情况（废物类型、数量、放射性水平）、易裂变物质的数量和存在位置、反应堆和水池中存有的乏燃料以及建筑物污染水平、厂址土壤和地下水污染情况，为制订退役方案、估算退役费用、做好辐射防护和应急准备提供依据。

3) 系统去污及净化处理

系统去污主要是利用现有的系统及设备对一回路系统进行去污。在系统去污之前，应对所利用的系统及设备的可用性进行充分评估，如有不足之处，则需进行适当的系统改造，以便系统性去污可以顺利实施。国际上诸多退役实践证明这种方法可以大大减少一回路主系统及设备中的放射性，有利于退役过程的辐射防护。

系统净化处理主要是对核电厂内剩余的放射性废液（如主系统内的反应堆冷却剂、乏燃料水池水等）及部分去污废液进行处理。该类废液的处理尽量采用核岛或厂址废物处理设施（SRTF）中已有的废物处理系统。

4) 技术研发

开展有针对目的性的研发使核电厂去污、拆除工作失败和危险的风险降低，并减轻环境影响，研发工作主要包括：

- 开发去污效果好、产生二次废物量少的去污技术；
- 开发被污染设备/设施的解体切割技术与工具；
- 减少拆除期间人员受照剂量的防护措施；
- 废物回收利用的技术实施方案。

5) 新建或改建废物处理设施

如果核岛三废处理系统和 SRTF 不能满足退役阶段的废物处理实际情况及要求，则需结合退役方案综合全厂址考虑，在安全停闭期新建或改建用于退役废物处理、去污和暂存的设施。

6) 确定适当的安全及实物保护措施

在安全停闭期，由于放射性材料等依然存在核电厂内，根据《核设施实物保护》（HAD501/02-2018）中的分级规定，退役初期的核电厂依然属于“实施一级实物保护的核设施”，按要求原有的实物保护系统应当基本保持不变，继续维持运行。

6.4.2.2 退役活动

1) 退役原则

（1）辐射防护原则：辐射防护原则包括实践的正当性、防护的最优化、个人剂量和危险限值。核电厂退役活动实施应符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的相关要求。

（2）基本安全原则：遵循 IAEA 提出的适用于所有设施和活动以及设施或辐射源寿期中的所有阶段（包括规划、选址、设计、制造、建设、调试和运行以及退役）的 10 条基本安全原则，包括安全责任、政府职责、对安全的领导和管理、设施和活动的合理性、防护的最优化、限制对个人造成的危害、保护当代和后代、防止事故、应急准备和响应、采取防护行动减少现有的或未受监管控制的辐射危险。

（3）放射性废物管理基本原则：遵循 IAEA 提出的 9 条放射性废物管理基本原则，包括保护人类健康、保护环境、超越国界的保护、保护后代、不对后代造成负担、纳入国家法律框架、控制放射性废物的产生、兼顾放射性废物产生和管理阶段间的相依性、设施安全。

（4）退役废物最小化原则：保持放射性废物的产生可能或实际最小；放射性废物产生的放射性的扩散最小化；尽可能再循环和再利用现有和潜在废物流中的有价值的成分；通过应用适当的技术使产生的废物量最小化。

2) 退役总体方案

为保证核电厂退役工程顺利实施和验收，需制定退役总体方案。制定退役总体方案时应考虑如下问题：

- 退役策略和阶段目标；
- 依据的法律、法规和标准；
- 核电厂运行历史、现状及周围环境状况；
- 设计图纸、维修和改造情况；

- 现有设备条件的可利用情况；
- 放射性和非放射性物质的特性（包括类别、数量和状态）；
- 去污、拆除、环境政治技术的可得性和优化选择；
- 废物的处理、整备、贮存、运输条件和处置条件；
- 检测分析技术和设备；
- 管理组织机构的建立和职责分工；
- 建筑物和场地使用情况；
- 费用估算和筹资方式；
- 公众反应和态度。

核电厂退役拆除顺序如下：

- 将乏燃料组件从堆芯及乏燃料贮存水池运出；
- 利用现有的系统及设备对一回路系统进行系统去污；
- 改造辅助厂房燃料操作区域，使其转变为一个可用于暂存、去污、处理退役设备的场所；
- 移除、拆解放射性沾污的大设备/部件；
- 移除、拆解反应堆堆内构件及压力容器；
- 切割并移除安全壳内及辅助厂房燃料操作区域内的混凝土结构；
- 拆除钢制安全壳和屏蔽厂房；
- 拆除辅助厂房；
- 拆除临时设置的废物处理设施和建筑；
- 最终将厂址恢复原貌。

3) 源项调查

核电厂源项调查方法一般可分为现场测量和实验室测量两类。现场测量主要是根据核设施的运行史及现状，根据源项调查目的和目标，对现场表面污染分布、剂量率水平及污染热点进行直接测量，对不同区域放射性气溶胶浓度取样检测。实验室测量主要用于退役核设施现场直接取样，在实验室中进行工业规模（如200L废物桶或其他包装件）或实验室规模（空气、土壤、混凝土、金属碎屑等样品）的分析测量。在实际调查过程中，往往将几类技术结合起来，以达到较好的测量效果，结合源项理论计算分析，提供合理、可信的源项数据。

4) 去污方法和技术的选择

核电厂退役去污对象多数为强固定性污染,但在退役过程中形成的新污染也可能是附着性污染或弱固定污染。一般来说,退役去污宜采用强去污法,亦即腐蚀性去污法,但也需要考虑防止槽罐和管道内产生沉积物、结构材料腐蚀穿孔、结构材料腐蚀变薄渗漏等问题。

去污工艺技术有多种,理想的去污工艺应有最大的去污因子、最小的二次废物、最少的人员受照和环境影响小以及低廉的成本。总体而言,系统、管路去污宜选用化学法、机械法;设备部件的去污宜选用化学法、电化学法、超声波法、溶胶、凝胶法、机械法;池、槽、箱室和建筑物墙壁的去污宜选用高压水喷射、磨料喷射、可剥离膜法;混凝土的去污宜选用机械法。具体选用何种退役去污方法应根据安全性、经济性和可实现性进行优选。

(1) 放射性沾污的设备/部件的去污

放射性沾污的设备/部件拆除并切割后,部分仅表面沾污的部分需进行去污才能进行外运。对于易清洗的表面,可在现场进行冲洗。对于不易清洗的表面,应用屏蔽容器转运至去污和热检修车间进行去污处理。

去污和热检修车间中可以对设备/部件进行去污的方式包括:高压水冲洗去污、超声波去污、干冰去污等。去污方式的选择应考虑需清洗部件的材料、尺寸、放射性等因素。必要时对单个部件采用多种去污手段进行清洗。

(2) 混凝土的去污

对于有钢面板的混凝土结构,去污工作比较简单,可以去除油漆,或者是对将钢面板进行去污工作。

对于没有保护而又可能遭到污染的混凝土结构,有必要移除混凝土的受污染部分。可行的机械技术手段有冲击破碎、机械钻孔、刮削以及高压喷水器等。激光技术目前正处于研究阶段。

5) 拆除步骤和工艺的选择

核电厂大型设备的退役方案包括:

(1) 整体吊运

将反应堆压力容器、蒸汽发生器、热交换器等设备在卸出乏燃料和冷却剂、切断外部管路、封堵管口之后整体吊出,送到合适的拆卸场地或厂房进行拆卸解体,或者直接送处置场进行整体存放或掩埋处置。

整体吊运方案的设备拆卸费用较低,退役工期也较短,但是运输成本很高,

放射性废物体积大，且后续解体也需要资金投入。

（2）现场切割

在现场将受到放射性污染的设备切割分解为较小的部件，根据放射性水平进行分类。中等放射性水平的部分进行打包和稳定性处理后，送到暂存设施或直接送到处置场进行暂存或掩埋处置。低放射性水平的部分可通过熔炼等退役废物处理技术回收利用。

现场切割方案产生的放射性废物较少，有利于资源回收利用，废物运输方便、成本低。现场采用机器人或水下切割的技术也将使下工作人员受到的照射大大降低。

综合以上因素，本工程退役过程中的关键设备主要采用现场切割方案。

目前已退役的核设施中采用过的切割方法有很多种，主要分为冷切割和热切割两大类。

冷切割如机械切割、高压水射流切割、磨料射流切割等。机械切割工具很多，如弓锯、液压剪、手持锯、金刚石圆盘锯、金刚石丝锯、金刚石砂轮切割机、直条式锯片往复切割机、旋转切割机、冲击切割机、冲击切割机、墙壁开槽机、万能切割机、环切机等，多为常规成熟技术和设备。

热切割如氧炔焰切割、电弧切割、微波切割、等离子体弧切割、聚能爆炸切割、热反应切割、激光切割等。氧炔焰切割的切割速度慢；电弧切割的切割速度较快，常用；等离子弧切割能力强、速度快，可切割多种金属材料和大尺寸的板材、罐、桶和箱体。氧炔焰适宜切割碳钢，不宜用来切割铸铁、不锈钢和非铁金属物件。等离子弧切割速度快，切口粗糙，但对退役使用影响不大。

冷切割优点是烟尘和气溶胶污染少，操作简单，工具易得，投资小。缺点是速度慢，操作人员劳动强度大，会产生较多的固体微粒废物。热切割的优点是切割速度快，可切割厚件物体便于远距离操作。缺点是温度高，有较多的气溶胶和烟尘物释出，可能需要配置额外通风、过滤系统和防护用具。热切割的切口粗糙，不便于焊接和封口，而冷切割切口比较平整，便于焊接和封口。

放射性沾污的大设备/部件的切割，国际上采用最多的切割解体方法有等离子弧切割、射流切割和水下切割。

等离子弧切割速度快，而且易于操作，既可手工操作，又可远距离控制。可在空气中使用，也可在水下使用。缺点是只适用于导电材料，耗能高，产生烟尘、

气溶胶较多，易造成污染扩散，排气要求设净化过滤。

射流切割为中速切割，适用于所有材料。关键问题是射流切割产生较多二次废物。国外经验认为金刚砂磨料射流切割是反应堆压力容器首选切割技术。磨料射流切割需要专门设计过滤器除去切屑和金刚砂磨料。金刚砂一般不循环使用。

水下切割包括水下机械切割、水下热切割、水下爆炸切割（线性聚能切割）等。水下切割优点有：降低受照剂量；控制切割温度；抑制气溶胶扩散。但水下切割可能出现透明度变差，需要通过有效的水过滤工艺来保持水质、除去切屑和保证良好的能见度。

切割解体方案的选择，应考虑：

- 所选用的设备技术的安全性和可靠性，首选成熟的技术；
- 设备、条件、检测 and 技术的易满足性；
- 产生二次废物量，如气溶胶污染扩散危害；
- 工作人员受照剂量，应考虑作业时间，包括准备工作时间和维修设备时间等；
- 对相邻区域、系统的不利影响；
- 对废物管理，如包装、搬运和运输要求；
- 工业卫生和职业安全；
- 对培训和评价的要求等。

针对反应堆压力容器筒体、封头、顶盖、蒸汽发生器外壳等大型部件，应主要采用射流切割和水下切割方式；换热管应主要采用剪切方式；其余部件根据结构、材料、放射性等因素选用合适的切割技术。

6) 场址清污

根据场址调查的结果和监管机构规定的厂址开放标准，确定场址开放前所需要做的清污工作。清污的目标是在对工作人员、公众和环境的优化辐射防护下，实现场址从审管控制下开放。清污应先制定计划，确定适当目标或终点，规定工作人员和公众剂量限值和剂量约束值，研发适当的清污技术和监测仪表等。清污活动应该按照顺序进行，通常为：

- 场址调查，包括残留放射性物质的特性和污染水平；
- 利用所有获得的有重要影响的资料评价场址；
- 鉴别和评价清污方案；

- 确定清污目标和终点，选择最佳清污方案；
- 确定检测和验收方案。

7) 辐射监测要求

退役活动进行过程中应对工作场所的 γ 辐射水平、气载放射性水平、设备部件表面剂量率和表面污染水平以及退役作业人员的个人剂量进行监测。在作业场所，可根据工艺需要随时进行取样，必要时进行核素分析。在完成退役施工作业时，对作业对象进行放射性特性调查，如 γ 剂量率测量、表面污染测量和放射性活度浓度测量，以判断施工作业是否达到预定目标值，并对退役活动进行监督。除此之外，在整个退役过程中应连续进行环境监测，对厂区周围地区的环境 γ 剂量率、大气、生物、土壤、水和沉降灰等环境样品进行分析测量。

6.4.3 废物管理措施

6.4.3.1 废物管理原则

退役废物管理是整个退役的重要活动，废物管理的成本是整个退役成本的重要部分，所以退役要高度重视废物最小化和废物优化管理。废物管理过程中，需要关注与贯彻如下原则：

- 废物最小化，严格控制气载和液体废物的非受控排放。减少流出物排放，降低对公众与环境的影响；
- 废物分类，从源头做好分类工作，防止交叉污染；
- 废物包装到位，尽量同时满足贮存、运输和处置的要求，避免重复包装；
- 退役前需要解决废物的贮存/处置场所；
- 尽可能利用原有的退役处理和贮存设施，进行处理和临时贮存；
- 分类收集处理废物，尤其是可待解控废物，以减少最终需处置的废物量；
- 重视非放危险物品，如含石棉、汞等危险废物；
- 重视工作人员的培训和安全文化修养。

6.4.3.2 退役废物量评估

退役产生的物料和放射性废物有三种处理途径：

- 清洁解控允许无限制使用；
- 授权在核设施内部使用；
- 作为放射性废物贮存和处置。

本工程退役废物的估算需要结合活化源项理论分析，计算和评估反应堆压力

容器在退役时的活化源项数据，以评估退役废物的放射性水平和数量。目前，本工程参考美国核管会（NRC）《参考压水堆核电厂退役修正分析报告》（NUREG/CR5884）中的统计法，通过初步分析污染范围，估算出退役期间产生的废物量，具体步骤如下：

（1）确定核电厂运行寿期内，被污染的区域以及主要的建构筑物、系统及部件；

（2）统计主要建构筑物所处区域、材料、尺寸等数据以及主要系统、部件的位置、材料、尺寸等数据；

（3）分析退役阶段可能产生的二次废物量；

（4）确定计算假设，如不同部位的废物类型、混凝土的剥离厚度；

（5）计算退役阶段可能产生的废物量。

6.4.3.3 废物处理设施的准备

1) 退役废物的产生

核电厂退役过程将产生各类放射性废物，主要是在以下活动中产生：

- 去污活动；
- 设备的切割和解体、构筑物拆除活动；
- 污染厂区（地面与土壤）和水体清污活动。

2) 废物类型及处理手段

退役废物的类型主要包括气载放射性废物、液体放射性废物和固体放射性废物。气载放射性废物主要产生于切割、去污和清洗过程产生的气溶胶和污染烟尘。液体放射性废物主要产生于去污和切割过程，特别是采用水力喷射去污或切割。退役产生的放射性固体废物种类最多，如污染的废钢铁、废电缆、工具、滤芯、建筑废物、劳保用品等。该类废物具有数量大、污染程度低、体积大、且可能含有化学毒性物质等特点。因此，在废物处理过程中，应做好合理的分类和包装，减少二次废物量。详细的废物类型及预期处理方式参见表 6.4-1。

3) 废物处理及暂存设施

在核电厂正常运行期间，核岛产生的放射性废物由核岛三废处理系统，包括放射性液体废物处理系统（WLS）、放射性气体废物处理系统（WGS）及放射性固体废物处理系统（WSS），以及厂址废物处理设施（SRTF）共同进行处理。SRTF 提供完整、适宜的手段来处理核岛产生但无法直接处理的各类废物，SRTF 包括

废物处理厂房、废物暂存库、洗衣房。

此外，全厂还设有去污和热检修车间，用于核电厂正常运行及检修期间设备和部件的去污和检修。

在全厂址统一考虑退役时，可根据上述子项的运行容量和运行条件，执行部分退役期间所需的废物处理及设备和部件的去污功能。可根据 SRTF 的废物暂存库的贮存裕量，为包装后的特定退役废物提供一定的贮存空间。若上述子项不满足退役阶段的废物处理实际情况及要求，则需结合退役方案综合全厂址考虑，新增专门用于退役废物处理、去污和暂存的设施。

核岛三废处理系统以及厂址废物处理设施（SRTF）描述见第四章 4.6 节。

6.4.4 退役经费安排

足够的退役资金是完成核电厂退役的重要前提。对退役费用有直接影响的因素包括堆型、退役策略的选择和废物处置方案等等。因此，退役费用不仅因各国的处理方法不同，根据不同厂址之间由于不同的堆型、厂址条件等因素也会有所不同。

国际上现在使用三个宽泛的类别来估计退役费用：

- 1) 直接与退役活动有关的项目，如源项调查、拆卸、去污、运输和处置工作等费用；
- 2) 与完成退役期限有关的项目，如退役项目的工程管理、质量监督、安全保障、许可证申请等费用；
- 3) 特殊项目，如为退役服务的特殊设备采购等。

资金筹措办法因国而异，也有多种方案，其中较常用的一种筹集资金方法是通过从消费者支付的电费中提取一定的百分数而逐步筹集资金以便退役使用，我国也采用了类似的方案。

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》，核设施的退役费用和放射性废物处置费用应当预提，列入投资概算或生产成本。我国在《国家核电发展专题规划（2005-2020 年）》中规定：核电厂从投入商业运行开始时，即可在核电厂发电成本中强制提取、积累核电厂退役处理费用，在中央财政设立核电厂退役专项基金账户，在各核电厂商业运行期内提取。

目前国内所有核电机组从未完成或正在进行退役，因此核电机组退役过程中产生的费用明细和额度估算存在一定难度。在国家出台关于核电厂年退役基金提

取标准规范之前，暂参照国家能源局发布的《核电厂建设项目经济评价方法》（NB/T 20048-2011）的相关规定进行计算。根据《核电厂建设项目经济评价方法》（NB/T 20048-2011）的相关描述，我国在核电厂建设前期决策过程中，对退役资金是通过计提退役基金来考虑的。标准中对退役基金定义为核电厂运行寿命结束后，对电厂采取拆除或封闭等措施准备的资金，计入发电成本，由用户最终承担。退役基金的总额为核电厂建设工程固定资产原值的 10%，从核电厂投产后第一年开始平均提取。计算公式如下：

年退役基金=核电厂建设工程固定资产原值×年退役基金提取率

退役基金=年退役基金×评价期=核电厂建设工程固定资产原值×退役基金提取率

计算结果见第九章。

6.4.5 知识管理与记录保存

国际上众多核电厂退役的良好实践及经验教训表明，建立针对退役目标核电厂的一整套完备且及时更新的技术文件体系是极其重要的。一般而言，由各国核安全监管机构通过法律、法规或导则标准的形式提出具体要求，从核电厂选址阶段开始、设计、建造、安装、调试、运行、维护、直至永久停堆并实施退役之前，必须建立起有关电厂的所有资料、数据、信息及其变更或改进情况。

上述这些对成功实施核电厂安全退役至关重要的文件体系，主要包括：

- 1) 核电厂初步退役计划以及在其基础之上形成的、运行期间定期更新升版的计划及相关支持性文件；
- 2) 核电厂初始状态相关的各类文件，如：厂址相关文件、环境放射性本底文件、设备采购文件、建造相关文件、电厂调试文件等；
- 3) 核电厂运行期间产生的、有关待退役电厂运行状态的历史记录文件，如：运行记录、系统设备改造、更新或替换的相关文件、运行期间环境监测文件、运行期间的废物管理文件、运行期间各类事件及事故情况的记录、运行期间污染情况的记录等各种文件；
- 4) 最重要的是，在整个核电厂服务寿期内，核电厂营运单位必须建立起完备的组织机构、规章制度及质量保证体系，持续性地针对上述这些重要文件体系进行及时的更新和维护，以确保决定真正实施退役时所制定的最终退役计划是适当、完备及可行的，而据此实施的整个核电厂退役活动的安全性也都是有保证的。

表 6.4-1 退役废物类型及预期处理方式

废物分类	废物来源	废物类型	处理手段
气载废物	切割、去污和清污	气溶胶和污染烟尘	通风系统过滤处理
	反应堆冷却剂脱气	工艺废气	通过核岛放射性气体废物处理系统处理
液体废物	一回路系统疏水	含硼废液	1) 监测排放; 2) 移动式处理设备; 3) 利用现有处理设施 (如 SRTF (厂址废物处理设施) 可用) 或新建合适的处理设施处理后达标排放。
	设备/地面疏水	设备/地面疏水	
	去污和切割产生的废液	去污废液	
固体废物	主设备、辅助设备、泵、阀及拆除工具等	废设备	1) 现场或热车间去污后切割解体或解控; 2) 降级后送处置。
	切割管道	金属废物	1) 现场或热车间去污后切割解体或解控; 2) 降级后送处置。
	拆除电线	废电缆	铜芯回收利用; 护套和绝缘材料作为可压实废物处理;
	拆除厂房产生的混凝土和钢筋混凝土	建筑废物	1) 达到解控水平, 送至填埋场填埋; 2) 具有再利用价值的, 由授权工厂加工回收。
	通风系统更换滤芯	通风过滤器	1) 解控; 2) 未达到解控水平, 可将滤芯转运至 SRTF 压实打包后处置。
	人防劳保	可压废物 (劳保用品)	1) 解控; 2) 送至 SRTF 洗衣房清洗去污后解控; 3) 未达到解控水平, 则运输至 SRTF 压实打包后处置。

第七章 核电厂事故的环境影响和环境风险

7.1 核电厂放射性事故和后果评价

7.1.1 事故描述和事故源项

7.1.1.1 事故描述

7.1.1.1.1 事故分类

根据国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2025)的要求：按可能导致环境危害程度和发生概率的大小，将核动力厂的事故工况分为设计基准事故和严重事故，其中设计基准事故包括稀有事故和极限事故。

本阶段核动力厂事故工况的环境影响评价采用设计基准事故。

1) 稀有事故

在核电厂运行寿期内发生频率很低事故（预计为 10^{-4} ~ 10^{-2} /堆年），这类事故可能导致少量燃料棒损坏，但单一的稀有事故不会导致反应堆冷却剂系统或安全壳屏障丧失功能。

2) 极限事故

在核电厂运行寿期内发生频率极低的事故（预计为 10^{-6} ~ 10^{-4} /堆年），这类事故的后果包含了大量放射性物质释放的可能性，但单一的极限事故不会造成应对事故所需的系统（包括应急堆芯冷却系统和安全壳）丧失功能。

7.1.1.1.2 事故选取

依据本工程最终安全分析报告及《压水堆核电厂设计基准事故源项分析准则》(NB/T 20444-2017RK)，对 7 类共 10 种具有代表性的、放射性后果为所属类型中最严重的设计基准事故进行分析，确定与不同释放时间相对应的放射性释放量，用来计算对本工程周边区域公众所致剂量。

对 7 类事故分类如下所示：

事故	事故类别
安全壳外主蒸汽管道破裂事故（MSLB）-事故并发碘尖峰	极限事故
安全壳外主蒸汽管道破裂事故-事故前碘尖峰	极限事故
主泵卡转子/断轴事故-启动给水不可用	极限事故
主泵卡转子/断轴事故-启动给水可用	极限事故
弹棒事故	极限事故

蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）-事故并发碘尖峰	稀有事故
蒸汽发生器传热管破裂事故-事故前碘尖峰	极限事故
安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道破裂事故	稀有事故
燃料操作事故	极限事故
设计基准失水事故（DBA LOCA）	极限事故

7.1.1.1.3 事故分析保守性说明

在对核电厂进行的事故分析中，为了使结果具有代表性和包容性，在分析中作一定的假设，使结果处于合理保守的程度。主要包括以下四个方面：

1) 失去厂外电源

这个假设对本项目事故分析中的影响包括：二回路蒸汽旁排至冷凝器的导热失效，为了导出堆芯余热保证堆芯的完整性，此时蒸汽直接排向大气环境，放射性就混合于蒸汽释放，保守地考虑事故放射性后果。

2) 最大价值棒卡在堆外

此时停堆系统引入的负反应性最小，使停堆深度最小，从反应性的角度使事故放射性后果更加保守。

3) 仅考虑安全级设备的缓解作用

本项目为了提高整个核电厂的经济性，很多系统设计为非安全级，如：正常余热排出系统（RNS）、柴油机供电系统、二回路辅助给水系统（本项目对应为启动给水系统（SFW Startup Feed Water））。事故分析中均保守假设这些系统在事故后失效。如果这些系统的投入反而会导致事故剂量的增加，则要分别进行计算。如主泵卡转子/断轴事故，当 SFW 可用时，蒸汽发生器传热管不裸露，则不发生一回路的泄漏液在 SG 内的闪蒸，但事故将持续更长的时间，可能使最终的剂量结果比 SFW 不可用时更大，所以要对两种情况均进行分析。

4) 假设极限的单一故障

事故后，考虑某些系统设备失效，但只选择可能导致放射性后果最严重的设备失效，而不是所有设备均失效。如 SGTR 事故，事故后放射性通过二回路蒸汽管线的阀门释放，并假设其打开后失效（卡开不能回位），此时放射性释放将持续。当二回路压力继续降到一定程度，另外一种类型的隔离阀将在低压信号下隔离该释放管线，从而终止释放。

7.1.1.2 事故源项

7.1.1.2.1 堆芯源项及冷却剂源项

1) 堆芯源项

采用堆芯核素放射性积存量作为堆芯源项，热功率在 3400MWt 的基础上考虑了功率测量 1%的不确定性，增加到 3434MWt。

2) 一回路及二回路源项

事故发生时，认为反应堆已经运行足够长的时间，一回路冷却剂源项已经达到核电厂允许的最大值。

对于二回路的源项：保守地假定事故时二回路中核素的活度浓度为一回路的 1%。

7.1.1.2.2 分析中的假设与说明

1) 放射性物质形态分类

本项目事故分析时，假设放射性物质释放出来后以气体和气溶胶等形态存在。对于碘核素，进一步分为三类：

粒子碘 (Particulate)	95%
元素碘 (Elemental)	4.85%
有机碘 (Organic)	0.15%

核素形态的划分，主要是考虑到其在迁移及释放过程中的去除机制不同。对以气体形态存在的放射性物质，如惰性气体，释放后就直接进入安全壳或外环境。对于粒子碘、碱金属和其他放射性核素假设均以气溶胶形式存在，在空气中由于各种沉积机制被去除。对于有机碘假设不能被去除，元素碘则会由沉积去除。

2) 碘尖峰释放

堆芯内的燃料棒存在一定的破损，当运行出现瞬态时，由于堆芯功率、一回路的压力、温度等的变化，造成破损燃料棒中的放射性在短时间内向冷却剂的释放增加，使冷却剂中碘等同位素的活度浓度大幅增加。

在事故分析中考虑以下两种情况：

- 事故并发 (accident-initiated) 碘尖峰释放

这种情况认为，事故发生时出现瞬态，使碘尖峰释放与事故同时发生。

- 事故前 (pre-accident) 碘尖峰释放

考虑事故前碘尖峰时，认为在事故发生之前一回路已经发生了瞬态，使得一回路内碘同位素的浓度达到了技术规格书中规定的 $9.60\text{E}+02\text{GBq/t}$ 剂量等效 I-131。

3) 放射性的自然去除 (natural removal)

除了衰变外,放射性核素在迁移过程中还存在其它形式的损耗。本项目在设计中,采用了“非能动”的先进理念。通过自然的力量来减轻事故后的后果,对放射性进行自然去除。本项目主要的非能动设计之一即为“非能动安全壳冷却系统(PCS)”。PCS 主要由钢安全壳和屏蔽厂房顶部的冷却水箱构成。事故后,如果安全壳出现高温高压,会触发该系统的投入。此时水箱的水就会通过重力作用流到钢安全壳的外表面,对钢安全壳起到冷却作用,以散热的方式带走事故后从堆芯释放到安全壳内的能量。而钢安全壳里面,由于事故后,大量高温冷却剂释放到安全壳大气内产生带有放射性的蒸汽。当这些高温蒸汽遇到温度较低的钢安全壳时,就会冷凝并顺着内壁流下,先回到地坑,再回到堆芯,最终形成安全壳内的自然循环。与采用混凝土安全壳的传统核电厂相比,这些设计的效果使得安全壳内的换热效率提高,从而加剧了事故后安全壳内流体的流动性,除了可以高效地导出热量外,还增强了对安全壳大气中放射性的去除效果。

对以气溶胶形态(粒子碘、碱金属和其它裂变产物)存在的放射性核素来说,主要有三种去除方式:

- 重力沉降 (Gravitational sedimentation)

此去除机制主要是在重力的作用下,悬浮在安全壳大气中的气溶胶沉降在相关设备或构筑物的表面。

- 扩散泳 (Diffusiophoresis)

此机制主要是由于气溶胶载体-气体中的蒸汽在墙壁表面上凝结而引起的。蒸汽在墙壁表面的凝结导致了墙壁附近的蒸汽浓度减低,从而形成了一个离墙壁越远浓度越大的蒸汽浓度梯度。因为浓度梯度的存在及蒸汽凝结的持续,导致气溶胶向墙壁表面流动,当气溶胶接触到墙壁时被吸附到墙壁表面上,从而对安全壳内的气溶胶起到了去除的作用。

- 热泳 (Thermophoresis)

此机制是由于堆芯附近的温度高,而钢安全壳温度相对较低,在这样一个存在温度梯度的场内,气溶胶就会发生自然的定向运动,最终也是在钢安全壳内壁附着,随冷凝流回到地坑液相中。

综合考虑气溶胶的自然去除机制后,计算得到事故开始后 24 小时内的去除系数。

4) 闪蒸 (flashing) 现象与分配系数

事故分析中假设一回路冷却剂通过破口泄漏到压力温度较低的环境时, 就会发生闪蒸, 液相中的放射性在汽化时释放到气相中, 形成气载放射性。此时保守假设释放到气相中的放射性份额与液相汽化的份额相同, 称之为“闪蒸份额 (flash fraction)”。

根据泄漏液的泄漏率和闪蒸份额, 就可计算出闪蒸到气相的放射性物质的释放率。泄漏液闪蒸后剩余的液相将与泄漏进入的液相混合, 然后通过蒸发继续释放放射性。

低于饱和温度的液体蒸发比闪蒸轻微得多, 此时液相中的放射性核素向气相的转移速率也慢得多。此时放射性活度存在一个分配效应: 气相与液相中有一个稳定的核素浓度之比 (分配系数)。事故分析中, 根据液相的活度浓度和热工水力分析得到的蒸汽释放量, 就可以求出释放到气相或环境的放射性总量。分析中选取的分配系数的具体数值见各事故的参数表。

7.1.1.2.3 计算模型简述

根据核电厂设计基准事故后放射性释放过程的特点, 将其物理模型简化如下:

将放射性迁移中每个有明显边界的系统或设备看作一个“体元”, 这个“体元”可以表示为体积或质量。放射性物质在这些“体元”之间可以相互转移, 对转移过程中的任意一个“体元”, 及对任意核素有如下平衡方程:

$$\text{活度变化量} = \text{增加量} - \text{减少量}$$

$$\text{活度变化率} = (\text{释放率} + \text{流入率}) - (\text{流出率} + \text{衰变率} + \text{去除率})$$

对事故中所有涉及到放射性转移的“体元”均采用上述方法, 求解得到每个“体元”内任意核素的活度浓度随时间的变化。

对于向环境释放的总量, 可对所有向环境释放放射性的“体元”进行积分, 再求和, 可得到任意时段内向环境的释放总量。

对一般的典型事故来说体元可以包括: 堆芯、安全壳、一回路系统、二回路系统及其他设备。

7.1.1.2.4 事故进程及源项分析

1) 安全壳外主蒸汽管道破裂事故 (MSLB)

主蒸汽管道大破口是“一次侧热输出增加”这类事故中最严重的反应堆冷却剂降温瞬态, 计算时选择最极限的安全壳外主蒸汽管道双端断裂事故。

主蒸汽管道破裂引起的蒸汽释放，起初引起蒸汽流量快速增加，而后，随着蒸汽压力下降，蒸汽流量逐渐减小。一次侧排出热量过多导致反应堆冷却剂系统降温降压。由于存在负的慢化剂温度系数，反应堆冷却剂降温将向堆芯引入正的反应性。分析时假设反应堆初始状态为热态无负荷状态并且不考虑衰变热的影响，这是因为衰变热可缓解反应堆冷却剂降温过程，从而降低了堆芯重返功率的可能性。

分析表明主蒸汽管道破裂事故满足堆芯偏离泡核沸腾设计准则的要求。根据该准则，主蒸汽管道破裂后，堆芯偏离泡核沸腾和包壳穿孔并非不可接受。但分析表明，主蒸汽管道破裂后，在假设一束具有最大反应性价值的控制棒组件卡在完全抽出位置的工况下，堆芯没有发生偏离泡核沸腾。反应堆最终将由非能动堆芯冷却系统带至停堆。

事故后的放射性释放分析假设破损回路的蒸汽发生器通过破口处在短时间内喷放蒸干，该回路碘和碱金属全部释到环境中；热工分析表明完好回路蒸汽发生器的传热管不会裸露，该回路部分碘和碱金属以蒸发形式释放到环境中。同时，考虑事故期间从一回路按技术规格书中蒸汽发生器假想的设计泄漏率，泄漏到二回路的碱金属、碘（分别计算事故前碘尖峰和事故并发碘尖峰两种情况）及惰性气体。

本事故以下几种释放途径：

- 假设破损回路蒸汽发生器中的二回路冷却剂以蒸汽形式从破口释放出去，冷却剂中所有碘和碱金属全部释放出去；
- 虽然完好蒸汽发生器不会蒸干，但放射性后果分析中仍保守的假设二回路冷却剂中所有碘和碱金属在 72h 内全部释放出去；
- 假设泄漏到破损回路蒸汽发生器的反应堆冷却剂，不考虑汽水分配效应及在蒸汽发生器内的沉积，全部直接排放到环境；
- 鉴于事故中完好回路 SG 传热管处于淹没状态，完好回路 SG 中水层对泄漏到二次侧的反应堆冷却剂中非气态放射性物质有一定的滞留作用，假设泄漏到该回路的碘和碱金属需要考虑汽水分配后释放到环境中（汽水分配系数分别取 0.01 及 0.003），惰性气体不需考虑汽水分配作用。

考虑放射性物质在事故过程中的衰变，一旦释放到环境后，不再考虑衰变。

2) 主泵卡转子/断轴事故

主泵卡转子/断轴事故是“反应堆冷却剂系统流量下降”这类事故中产生最严重放射性释放的事故，可以包络其他此类型事故造成的放射性后果。

该事故假设一台（一共四台）反应堆冷却剂泵转轴瞬时卡死。受影响环路的冷却剂流量迅速减小，将由冷却剂低流量停堆信号触发反应堆停堆。

随着反应堆停堆，储存于燃料棒中的热量持续传给冷却剂，这将导致冷却剂温度上升、体积膨胀。同时，故障环路蒸汽发生器传热管壳侧的传热量减少。

反应堆堆芯内冷却剂的快速膨胀以及蒸汽发生器传热量减少，将导致冷却剂的波动流量进入稳压器、整个反应堆冷却剂系统压力升高。波动流量进入稳压器压缩了蒸汽空间，将依次触动稳压器自动喷淋系统，并使得稳压器安全阀开启。基于保守考虑，分析中不考虑稳压器喷淋的降压效应。

热工水力分析结果显示，在瞬态期间，反应堆冷却剂系统的峰值压力小于使应力超过 ASME 第III篇中故障条件下应力限值的压力，燃料包壳表面最高温度远低于 1482.2℃。表明事故中没有燃料棒损坏，所以燃料棒包壳间隙中的放射性不会释放到反应堆冷却剂中。但放射性分析中保守假定有 10%的燃料棒损坏。反应堆冷却剂活度考虑为事故前碘尖峰释放模式。

本事故释放到环境中的放射性包括：

- 二回路初始的碘和碱金属；
- 技术规格书中规定的蒸汽发生器的设计泄漏率，从一回路泄漏到二回路的碱金属、碘及惰性气体；
- 从破损燃料棒间隙中释放到反应堆冷却剂中的碱金属、碘及惰性气体，最终通过泄漏到二回路释放。

该事故释放到环境的主要放射性核素为碘、碱金属和惰性气体。另外，考虑到破损燃料棒的间隙份额可能在高于堆芯平均水平，因此，源项还需考虑乘以径向功率峰因子。

事故放射性释放中有两个途径：

- 二回路中初始的放射性随蒸汽排放而释放；
- 假设泄漏到蒸汽发生器的反应堆冷却剂与二回路冷却剂混合，来自反应堆冷却剂的放射性与二回路冷却剂混合。蒸汽释放时，冷却剂中的部分放射性碘和碱金属被排放出去，所释放的放射性份额取决于蒸汽发生器假定的闪蒸因子和分配系数。进入二回路的放射性惰性气体均释放到环境。这些

释放持续到蒸汽排放结束为止。

考虑放射性核素在事故过程中的衰变，一旦释放到环境后衰变不再考虑。

主泵卡转子/断轴事故源项分析中，分别考虑了启动给水可用与启动给水不可用 2 种基本工况，2 种工况蒸汽释放量以及蒸汽释放持续时间有所不同。

3) 弹棒事故

弹棒事故定义为一个控制棒机构承压壳套机械损坏导致一束 RCCA 及其驱动杆弹出堆芯。这种机械损坏的后果是在堆芯快速引入正反应性并且产生不利的堆芯功率分布，可能导致局部燃料棒损坏。

弹棒事故中燃料棒热工瞬态可能会导致 DNB 发生和有限的燃料损坏。控制棒组件弹出可能损害堆芯的长期冷却能力，或者可能会导致堆芯压力边界的损坏。在这些后果出现之前，该事故瞬态将会由燃料温度升高引起的多普勒效应等予以缓解，并由中子注量率信号引发的反应堆停堆终止。

核电厂采取多种措施防止弹棒事故的发生或限制事故发生后的后果。这些措施包括控制棒机构承压壳套合理而保守的机械设计以及在装配过程中完整的质量控制程序。堆芯核设计方面，则尽量减小弹出控制棒的价值，并且使高功率工况下插入堆芯的控制棒数目最少。

通过大量的堆芯物理、热工水力分析结果表明，最不利工况下，发生燃料棒破损的份额将小于 10%，分析中保守认为最大发热点在发生弹棒前后重合。但预期发生弹棒事故不会导致燃料芯块发生熔化。放射性后果分析中仍然保守假设 0.25% 的燃料发生熔化，燃料棒破损的份额也保守取 10%。

弹棒事故导致释放的重要放射性核素有碘同位素、碱金属及惰性气体。与部分堆芯损坏释放的裂变产物相比，初始反应堆冷却剂活度是次要的。反应堆冷却剂活度考虑为事故前碘尖峰释放模式。具体的初始源项包括：

- 二回路初始的碘和碱金属；
- 按技术规格书中规定的蒸汽发生器的设计泄漏率，从一回路泄漏到二回路的碱金属、碘及惰性气体；
- 从破损燃料棒间隙中释放到一回路冷却剂中的碱金属、碘及惰性气体，最终通过泄漏到二回路释放。

释放途径：

- 一回路的放射性先从压力容器顶盖破口处释放到安全壳内，然后通过安全

壳再泄漏到外环境；

- 来自一回路的放射性通过蒸汽发生器泄漏到二回路，与二回路的初始放射性混合后，再通过蒸汽管道的安全阀或者动力卸压阀释放到环境。

4) 蒸汽发生器传热管破裂事故 (SGTR)

蒸汽发生器传热管破裂事故属于“反应堆冷却剂系统装量减少”事故中放射性后果最为严重的两个事故之一（另一个是 LOCA 事故）。事故分析中，假设一根传热管完全断裂。事故发生时处于功率运行，反应堆冷却剂含有的放射性物质处于在技术规格书规定允许的有限数量的燃料棒破损情况下连续运行时的最大平衡浓度。由于带有放射性的冷却剂经由破口流入蒸汽发生器的二次侧，这将导致二回路系统放射性增加。如果在事故期间核电厂丧失厂外电源或者冷凝器蒸汽旁排失效，放射性将通过蒸汽发生器动力卸压阀或安全阀排至大气中。这种情况将导致最大的放射性释放。

在事故分析中，假设发生单根传热管完全断裂是保守的，因为蒸汽发生器传热管的材料是一种耐腐蚀的高韧性金属。蒸汽发生器传热管更加可能的破损模式是一个或多个小裂缝。在核电厂运行期间，二次侧的放射性是连续监测的，这样的泄漏引起的放射性积累不允许超过技术规格书规定的限值。

本工程设计为 SGTR 事故提供了自动保护措施。自动保护措施包括反应堆停堆、非能动余热排出系统 (PRHR) 热交换器投入、启动堆芯补水箱 (CMT)、关闭稳压器电加热器以及由蒸汽发生器 (SG) 高-3 水位信号或 SG 高水位与反应堆停堆 (P-4) 相符隔离化学和容积控制系统 (CVS) 和启动给水流量。这些保护措施可实现反应堆冷却剂系统 (RCS) 自动降温降压，以终止破口流量和向大气的蒸汽释放，并将 RCS 长期保持在稳定状态下。这些保护系统还可防止 SG 发生满溢以使厂外放射性剂量保持在设计基准事故所允许的限值范围内。

事故发生后通过一系列报警信号，操纵员可以很容易判断 SGTR 事故的发生，识别并隔离破损蒸汽发生器，并完成要求的恢复操作以稳定核电厂和终止一次侧向二次侧的破口流量。恢复规程必须在一定时间范围内完成，以便在破损蒸汽发生器发生满溢之前终止向二次侧的破口流量。核电厂为操纵员执行这些功能提供了足够的指示和控制。SGTR 事故后操纵员的这些操作进一步的缓解了事故的后果，使得预期的结果小于保守分析的情况。

最终，堆芯的剩余热量由非能动堆芯冷却系统导出，使得主系统压力最终将

会降至破损 SG 二次侧压力。破口流量将终止，并且系统将稳定在安全状态，向环境排放的蒸汽也将停止。

SGTR 事故释放的主要放射性核素为惰性气体、气载的碱金属和碘，它们作为事故后的放射性释放到环境中。具体的源项包括：

- 事故过程中通过受损蒸汽发生器破口和完好蒸汽发生器正常泄漏到二回路的一回路源项，包括碘（分别计算事故前碘尖峰和事故并发碘尖峰两种情况）、碱金属和惰性气体；
- 二回路初始的源项，主要是碱金属和碘。

只要存在通向环境的出口，泄漏进入完好蒸汽发生器和通过破口进入破损蒸汽发生器反应堆冷却剂里的放射性惰性气体立即向环境释放。碘和碱金属的释放模式一共有三种：

- 完好环路的蒸发释放，考虑碘和碱金属的分配效应；
- 通过破损环路反应堆冷却剂的闪蒸释放，不考虑覆盖水层的水洗作用（保守假设破口位于传热管顶部）；
- 破损环路的蒸发释放，考虑闪蒸释放后余下的碘和碱金属的蒸发时的分配效应。

这些放射性最终都通过二回路的安全阀或者动力卸压阀释放到环境，释放持续到蒸汽排放结束为止。在释放到环境之前考虑放射性核素的衰变。一旦释放到环境中，则不考虑放射性核素的衰变。

5) 安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道破裂事故

安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道包括反应堆冷却剂系统取样管和从化学容积控制系统至放射性液体废物处理系统（WLS）的排放管。这些管道仅周期性使用。安全壳外没有含有反应堆冷却剂的仪表管道。

当因硼稀释运行产生过多的一次侧冷却剂时，化学和容积控制系统的净化流量将排至安全壳外的核岛放射性液体废物处理系统（WLS）。在排出安全壳之前，流体将经过化学和容积控制系统热的交换器和除盐床。因此，排至安全壳外时，流体温度低于 60℃，而且已经经过化容混床净化。这些假想的管道破口流量受到化学和容积控制系统净化流量的限制。由于流体温度低，而且经过除盐处理后碘的放射性活度降低，因此，对该事件不作分析。假想的取样管破裂事故是较不利的事故工况。

安全壳内、外的取样管道隔离阀只有在取样时才开启。假设取样管破口发生在安全壳外隔离阀和取样盘之间。因为隔离阀只在取样时打开，所以核电厂人员可根据丧失取样流量，判定出现破口。此外，取样管道破口也会导致放射性释放，从而导致区域和空气辐射监测器报警。丧失冷却剂将会使稳压器水位降低，需要对反应堆冷却剂系统进行补水。根据取样管破口指示，操纵员将会采取操作措施，隔离破口。

根据伯努利方程和取样管内外的压力差和流体的密度，计算出管道内流速。再根据管径得到管道内的流量，并将该流量保守作为液体取样管线的破口流量。

事故后释放到环境中具有重要影响的放射性核素是碘、惰性气体和碱金属。分析假设反应堆在连续运行的条件下，反应堆冷却剂中的碘含量达到技术规格书所允许的最高水平。另外，事故时并发碘尖峰。反应堆冷却剂中惰性气体浓度达到平衡运行限值对应的值。反应堆冷却剂中的碱金属活度浓度达到设计基准的燃料破损水平（0.25%）对应的值。

假设从破口处释放的反应堆冷却剂为高温高压，则大部分流体将闪蒸为蒸汽，液体中的碘就变成气载碘。

尽管预期大部分的气载碘和气载碱金属将沉积在周围建筑物的表面，但假设碘、惰性气体和碱金属毫无损失地直接释放到环境。释放到环境后不再考虑放射性核素的衰变。

6) 燃料操作事故

燃料操作事故是在换料期间装卸核燃料组件时，发生组件跌落，导致燃料棒损坏，包壳间隙内的放射性释放出来。

假想的燃料操作事故可发生在安全壳内或辅助厂房的燃料操作区域。事故定义为一个乏燃料组件跌落，保守认为组件中所有燃料棒包壳破损，燃料和包壳间隙中的放射性释放出来。

事故发生时，可能释放出的裂变产物总量与很多因素有关，如燃料组件的功率历史、停堆到换料操作时经过的衰变时间和核素的挥发特性等。换料时，所有的组件操作都在安全壳内进行，为了使事故具有包容性，保守假定发生事故的组件中的所有燃料棒曾以最大燃料功率因子运行，即最大功率组件。根据技术规格书中的规定，燃料操作事故前裂变产物经历的衰变时间至少为 48h。

在功率运行过程中，燃料芯块中产生的一部分裂变产物会扩散到燃料棒和包

壳的间隙中。间隙中裂变产物的份额由核素的扩散速率和其放射性衰变率共同决定。发生燃料操作事故时，间隙中的气体和挥发性放射核素直接释放出来，主要关注的放射性核素是惰性气体（Kr 和 Xe）与碘。本事故分析中，间隙份额与《压水堆核电厂设计基准事故源项分析准则》（NB/T 20444-2017RK）相一致。

与《压水堆核电厂设计基准事故源项分析准则》（NB/T 20444-2017RK）相一致，从破损燃料棒释放的碘的形态假设为：95%为粒子碘（碘化铯），4.85%为元素碘，0.15%为有机碘。碘化铯是非挥发性的，溶于水中，不容易变成气载形态。假定碘化铯溶于低 pH 值的水中就立即转变成元素碘。分析中假设所有的碘化铯释放到池水后，立即转化为元素碘，并且将其当作初始元素碘一样处理。这时碘的形态变为：99.85%的元素碘和 0.15%的有机碘。

本事故放射性的释放途径假设为：

在水下释放出的放射性首先会受到至少 7m 深的水层的过滤。水层过滤对惰性气体和有机碘都不起作用，但对于元素碘有显著的去作用。与《压水堆核电厂设计基准事故源项分析准则》（NB/T 20444-2017RK）相一致，假设碘的水洗去除因子为 200。

从水层释放出来的放射性，假设在 2h 内直接释放到环境，而不考虑其它任何对碘的去作用。

如果燃料操作事故是在安全壳内发生，一旦探测到高放射性出现，安全壳净化管线就会立即隔离，终止放射性的释放。分析时保守认为该管线隔离失效，放射性继续释放，并且进一步忽略净化管线的过滤器对气态碘的去作用。

对于发生在乏燃料水池的燃料操作事故，此时认为从乏燃料水池释放出的放射性物质直接通过厂房排风系统排向环境，而不考虑在厂房内滞留或延迟。

由于燃料操作中有许多的管理控制措施和设备操作限制，燃料操作事故的发生的可能性是很低的。分析中使用的参数和假设也是非常保守的：比如间隙份额取值较大；忽略了放射性物质在包壳内壁的附着作用；碘化铯向元素碘的转化也是瞬间完成；认为有机碘初始就存在于间隙内；操作的第一个组件就发生事故等。

7) 设计基准 LOCA 事故

设计基准 LOCA 是反应堆冷却剂系统压力边界管道发生破损的事故。对于本分析，定义为总的破口横截面积大于或等于 0.09m^2 的破口。

热工分析表明在设计基准 LOCA 事故中堆芯能保持完整性，不会出现熔化。

根据《压水堆核电厂设计基准事故源项分析准则》(NB/T 20444-2017RK), 该事故放射性释放分为反应堆冷却剂系统中的放射性的初始释放和堆芯间隙释放两个阶段:

- 反应堆冷却剂放射性初始释放

假设反应堆冷却剂的活度达到技术规格书中的限值。本项目为“先漏后破(Leak-before-break)”型的核电厂, 假设反应堆冷却剂向安全壳喷放 10min, 且在这 10min 内流量为常数。这段时间内释放到安全壳的放射性主要为一回路冷却剂中的碘、碱金属和惰性气体。

- 堆芯间隙释放

堆芯间隙释放, 假设发生在反应堆冷却剂释放结束后(事故后 10min), 持续 30min。如《压水堆核电厂设计基准事故源项分析准则》(NB/T 20444-2017RK)所述, 间隙释放的放射性分三组核素: 惰性气体、碘和碱金属(铯、铷), 释放到安全壳大气的各类放射性核素份额均为 0.05。

碘的形态与《压水堆核电厂设计基准事故源项分析准则》(NB/T 20444-2017RK)的模型一致。模型中, 碘的各形态中以非挥发性的碘化铯为主, 附带少量元素碘。此外模型中还假设元素碘和安全壳内的有机物反应生成有机碘化合物。

如果事故后的冷却溶液的 pH 值小于 6, 部分碘化铯将转化成元素碘形态。非能动堆芯冷却系统会向事故后冷却溶液中加入足够的磷酸三钠, 维持事故后地坑溶液的 pH 值大于等于 7。

不考虑能动系统对安全壳内大气中放射性的去除。在安全壳内部, 放射性元素碘和气溶胶考虑自然去除作用。元素碘通过表面沉积去除。气溶胶的去除方式有重力沉降、扩散泳(蒸汽冷凝驱动的沉积)、热泳(传热引起的沉积)等。有机碘假设不能去除。

事故后所有的放射性将释放到安全壳内, 通过安全壳这个唯一的途径释放到外环境。安全壳释放包括两种方式: 安全壳净化管线泄漏和安全壳正常泄漏。事故开始到安全壳隔离之前, 假设安全壳净化管线在运行, 放射性的释放将持续到净化管线阀门关闭。不考虑净化管线的过滤作用。事故发生后 24h 内的安全壳泄漏率为设计泄漏率, 此后的泄漏率为设计泄漏率的一半。

7.1.2 事故后果计算

7.1.2.1 事故大气弥散条件

计算方法采用《核电厂事故工况气载放射性物质释放辐射环境影响评价技术规范》(NB/T20182-2012)推荐的模式,该模式适用于大多数地形较为开阔平坦的厂址。

计算释放点下风向不同距离处的逐时大气弥散因子(χ/Q)值,把算得的每个方位某给定距离处的所有逐时(χ/Q)值由大到小顺序排列,则可截取相应于某累积概率水平的 χ/Q 值。对16个方位的某个给定距离,可得到16个相应于某概率水平的小时短期大气弥散因子。取其最大者,用于短期释放(持续时间在1小时以内)的后果评价。

对持续时间长于1小时的事故释放,按事故过程划分不同的时间段。各时间段的短期大气弥散因子,可由小时短期大气弥散因子与年均弥散因子对数线性内插求取。

对于设计基准事故先逐一计算非居住区边界和规划限制区边界处每个方位的大气弥散因子,选择全厂址95%概率水平和各方位99.5%概率水平中较大的大气弥散因子(保守值)以及全厂址50%概率水平的大气弥散因子(现实值)两组大气弥散因子进行个人剂量评价。

表7.1-1和表7.1-2分别给出了厂址非居住区边界(0~2h)和规划限制区边界(30d)上事故大气弥散因子。

7.1.2.2 事故剂量

核电厂事故放射性释放造成的剂量后果估算主要考虑事故期间起主要作用的三个照射途径:

- 烟云浸没外照射;
- 烟云吸入内照射;
- 地面沉积外照射。

采用《核电厂事故工况气载放射性物质释放辐射环境影响评价技术规范》(NB/T20182-2012)推荐的剂量计算模式,该模式适用于核电厂选址、建造和运行等阶段事故工况下的辐射环境影响评价。具体如下:

放射性后果分析的目的是确定由设计基准事故造成的总有效剂量。总有效剂量包括吸入气载放射性物质造成的待积有效剂量(也就是体内各种器官长期的剂量累积)和浸没在放射性烟羽中造成的有效剂量,以及地面沉积所造成的有效剂量。

7.1.3 事故后果评价

山东海阳核电厂采用厂址陆域征地边界作为厂址陆域非居住区边界、以 1-6 号反应堆为中心半径 800m 的包络范围作为海域非居住区边界。规划限制区范围为以 1-6 号反应堆中心半径 5km 的包络范围。针对山东海阳核电厂非居住区边界和规划限制区外边界上公众进行事故放射性后果计算。

对于事故环境影响评价的标准,《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2025)规定:

核动力厂事故工况的环境影响评价可采用设计基准事故,在设计中应采取针对性措施,使设计基准事故的潜在照射后果符合下列要求:

— 在发生一次稀有事故时,非居住区边界上公众在事故后任意 2h 内以及规划限制区外边界上公众在事故的整个持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下,甲状腺当量剂量应控制在 50mSv 以下。

— 在发生一次极限事故时,非居住区边界上公众在事故后任意 2h 内以及规划限制区外边界上公众在事故的整个持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 100mSv 以下,甲状腺当量剂量应控制在 1000mSv 以下。

表 7.1-3 给出了按照偏保守和偏现实大气弥散因子计算的设计基准事故后果与国家标准的比较。在本项目稀有事故发生后任意 2h 内,厂址非居住区边界处任何个人所受的最大有效剂量为 $1.97\text{E}+00\text{mSv}$,甲状腺当量剂量为 $3.02\text{E}+01\text{mSv}$;规划限制区边界上公众在事故整个持续期间受到的有效剂量为 $3.52\text{E}-01\text{mSv}$,甲状腺当量剂量为 $4.21\text{E}+00\text{mSv}$ 。在本项目极限事故发生后任意 2h 内,厂址非居住区边界处任何个人所受的最大有效剂量为 $3.48\text{E}+01\text{mSv}$,甲状腺当量剂量为 $3.95\text{E}+02\text{mSv}$;规划限制区边界上公众在事故整个持续期间受到的有效剂量为 $3.00\text{E}+00\text{mSv}$,甲状腺当量剂量为 $2.93\text{E}+01\text{mSv}$ 。以上剂量能够满足《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2025)规定的稀有事故个人有效剂量(5mSv)和甲状腺剂量(50mSv)、极限事故个人有效剂量(100mSv)和甲状腺剂量(1000mSv)的要求。

从各类设计基准事故的放射性后果分析可以看出,本工程安全设施的设计性能可靠,厂址周围各类边界的设置是合理的,核电厂设计基准事故导致的环境放射性后果满足《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2025)的相应要求。

表 7.1-1 厂址非居住区边界 0-2 小时短期大气弥散因子
(各方位角 99.5%和全厂址 95%概率水平的最大值)

单位: s/m^3

方位	距离 (m)	弥散因子 0-2h
S	800.	1.98E-04
SSW	800.	1.48E-04
SW	800.	1.11E-04
WSW	800.	1.14E-04
W	800.	9.98E-05
WNW	800.	9.60E-05
NW	800.	9.73E-05
NNW	800.	9.89E-05
N	900.	8.72E-05
NNE	1000.	6.30E-05
NE	800.	7.12E-05
ENE	800.	5.81E-05
E	800.	6.29E-05
ESE	800.	1.07E-04
SE	800.	2.06E-04
SSE	800.	2.20E-04
全厂址	--	1.62E-04
最大值	--	2.20E-04

注: 最大 2h 释放时段对应的事故后果计算, 采用 0-2h 大气弥散因子进行计算。

表 7.1-2 厂址规划限制区边界 30 天内短期大气弥散因子
(各方位角 99.5%和全厂址 95%概率水平的最大值)

单位: s/m^3

方位	距离	弥散因子				
		0-2h	0-8h	8-24h	24-96h	96-720h
S	5000	3.06E-05	1.44E-05	9.85E-06	4.34E-06	1.34E-06
SSW	5000	2.32E-05	1.08E-05	7.34E-06	3.19E-06	9.63E-07
SW	5000	1.60E-05	7.22E-06	4.85E-06	2.05E-06	5.94E-07
WSW	5000	1.57E-05	7.26E-06	4.93E-06	2.13E-06	6.39E-07
W	5000	1.19E-05	5.64E-06	3.89E-06	1.73E-06	5.43E-07
WNW	5000	1.23E-05	5.74E-06	3.92E-06	1.72E-06	5.23E-07
NW	5000	1.22E-05	5.78E-06	3.98E-06	1.77E-06	5.56E-07
NNW	5000	1.27E-05	5.98E-06	4.09E-06	1.80E-06	5.53E-07
N	5000	1.27E-05	6.31E-06	4.44E-06	2.07E-06	6.93E-07
NNE	5000	1.01E-05	5.02E-06	3.55E-06	1.67E-06	5.66E-07
NE	5000	7.65E-06	3.81E-06	2.69E-06	1.26E-06	4.26E-07
ENE	5000	5.81E-06	2.69E-06	1.83E-06	7.95E-07	2.40E-07
E	5000	5.40E-06	2.56E-06	1.76E-06	7.80E-07	2.43E-07
ESE	5000	1.33E-05	6.20E-06	4.24E-06	1.86E-06	5.70E-07
SE	5000	2.95E-05	1.42E-05	9.88E-06	4.47E-06	1.43E-06
SSE	5000	3.33E-05	1.61E-05	1.12E-05	5.08E-06	1.64E-06
全厂址	--	2.45E-05	1.24E-05	8.87E-06	4.26E-06	1.49E-06
最大值	--	3.33E-05	1.61E-05	1.12E-05	5.08E-06	1.64E-06

注: 最大 2h 释放时段对应的事故后果计算, 采用 0-2h 大气弥散因子进行计算。

表 7.1-3 (a) 事故后果与国家标准的比较 (保守值)

事故	事故类别	非居住区边界				规划限制区边界 (5km)			
		有效剂量 (mSv)		甲状腺当量剂量 (mSv)		有效剂量 (mSv)		甲状腺当量剂量 (mSv)	
		最大剂量	限值占比 (%)	最大剂量	限值占比 (%)	最大剂量	限值占比 (%)	最大剂量	限值占比 (%)
MSLB 事故-事故并发碘尖峰	极限事故	9.30E-01	0.93	1.65E+01	1.65	8.33E-01	0.83	1.10E+01	1.10
MSLB 事故-事故前碘尖峰	极限事故	2.77E-01	0.28	2.81E+00	0.28	1.03E-01	0.10	1.14E+00	0.11
主泵卡转子事故-启动给水不可用	极限事故	1.91E+00	1.91	2.68E+01	2.68	1.74E-01	0.17	2.02E+00	0.20
主泵卡转子事故-启动给水可用	极限事故	3.46E+00	3.46	5.56E+01	5.56	8.08E-01	0.81	9.82E+00	0.98
弹棒事故	极限事故	1.07E+01	10.66	1.08E+02	10.77	3.00E+00	3.00	2.49E+01	2.49
SGTR 事故-事故并发碘尖峰	稀有事故	1.97E+00	39.40	2.85E+01	56.91	3.52E-01	7.05	4.21E+00	8.43
SGTR 事故-事故前碘尖峰	极限事故	4.62E+00	4.62	7.67E+01	7.67	4.97E-01	0.50	6.48E+00	0.65
安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道破裂事故	稀有事故	1.92E+00	38.35	3.02E+01	60.33	1.83E-01	3.65	2.27E+00	4.55
燃料操作事故	极限事故	3.48E+01	34.80	3.95E+02	39.46	2.83E+00	2.83	2.93E+01	2.93
DBA LOCA 事故	极限事故	1.29E+01	12.92	1.35E+02	13.46	1.73E+00	1.73	1.57E+01	1.57

注：依据全厂址 95% 概率水平和各方位 99.5% 概率水平中较大的大气弥散因子计算。

表 7.1-3 (b) 事故后果与国家标准的比较 (现实值)

事故	事故类别	非居住区边界				规划限制区边界 (5km)			
		有效剂量 (mSv)		甲状腺当量剂量 (mSv)		有效剂量 (mSv)		甲状腺当量剂量 (mSv)	
		最大剂量	限值占比 (%)	最大剂量	限值占比 (%)	最大剂量	限值占比 (%)	最大剂量	限值占比 (%)
MSLB 事故-事故并发碘尖峰	极限事故	2.11E-01	0.21	3.75E+00	0.38	2.04E-01	0.20	2.70E+00	0.27
MSLB 事故-事故前碘尖峰	极限事故	6.30E-02	0.06	6.38E-01	0.06	2.41E-02	0.02	2.71E-01	0.03
主泵卡转子事故-启动给水不可用	极限事故	4.33E-01	0.43	6.09E+00	0.61	3.28E-02	0.03	3.80E-01	0.04
主泵卡转子事故-启动给水可用	极限事故	7.86E-01	0.79	1.26E+01	1.26	1.52E-01	0.15	1.85E+00	0.18
弹棒事故	极限事故	2.42E+00	2.42	2.45E+01	2.45	5.92E-01	0.59	4.88E+00	0.49
SGTR 事故-事故并发碘尖峰	稀有事故	4.48E-01	8.95	6.47E+00	12.93	7.13E-02	1.43	8.56E-01	1.71
SGTR 事故-事故前碘尖峰	极限事故	1.05E+00	1.05	1.74E+01	1.74	9.53E-02	0.10	1.24E+00	0.12
安全壳外载有反应堆冷却剂的小管道破裂事故	稀有事故	4.36E-01	8.72	6.86E+00	13.71	5.33E-02	0.69	4.28E-01	0.86
燃料操作事故	极限事故	7.91E+00	7.91	8.97E+01	8.97	5.33E-01	0.53	5.52E+00	0.55
DBA LOCA 事故	极限事故	2.94E+00	2.94	3.06E+01	3.06	3.30E-01	0.33	3.03E+00	0.30

注：依据全厂址 50% 概率水平的大气弥散因子计算。

7.2 严重事故

7.2.1 事故描述

超设计基准事故中的某些概率很低的核动力厂状态,可能由安全系统多重故障而引起,并导致堆芯明显恶化,它们可能危及多层或所有用于防止放射性物质释放的屏障的完整性。这些事件序列被称之为严重事故。对压水堆核电厂,尽管严重事故的发生概率极低,但是一旦发生,将会导致堆芯损伤,如果不采取相应的缓解措施,不仅会导致反应堆压力容器失效,还可能导致安全壳失效,引起放射性物质不可控地向环境大量释放,后果极其严重。因此,需要采用充分可靠的措施来防止设计基准事故发展为严重事故,并设置相关的措施在严重事故发生后缓解事故的后果。

严重事故发生后,烟羽中的放射性气体和气溶胶会随着风向在大气中输运。输运过程中,放射性物质会对人体产生辐射影响。为全面评价潜在的事故造成的厂外剂量风险,针对每一类别的释放,均选取了一个代表性源项,作为该释放类别的包络值。根据安全壳的行为,共确定 6 类典型的释放类别,概述如下:

- **IC:** 事故中安全壳始终保持完整,放射性物质环境释放量由安全壳设计基准泄漏率造成。
- **BP:** 裂变产物通过旁通安全壳的二回路系统和其他连接系统,从反应堆冷却剂系统释放到环境中。安全壳在堆芯开始损伤之前失效。
- **CI:** 裂变产物通过那些失效的用于隔离安全壳与环境之间渗透的系统和阀门释放。安全壳在堆芯开始损伤之前失效。
- **CFE:** 裂变产物通过失效安全壳释放,安全壳失效由发生在堆芯开始损伤之后,堆芯再就位之前的严重事故现象造成的。这些现象包括:氢气爆炸,氢气扩散火焰,蒸汽爆炸,以及压力容器失效。
- **CFI:** 裂变产物通过失效安全壳释放,安全壳失效由发生在堆芯移位之后,24 小时之内的严重事故现象造成的。这些现象包括:氢气爆炸和氢气爆燃。
- **CFL:** 裂变产物通过失效安全壳释放,安全壳失效由在 24 小时后发生的一些严重事故现象造成的。这些严重事故现象包括:安全壳散热失效(非能动安全壳冷却系统失效)。

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的适于紧急防护措施的通用优化干预水平：隐蔽为 10mSv（2 天）、撤离为 50mSv（7 天）、临时避迁为 30mSv（1 个月）、永久再定居为 1Sv（1 年）。

7.2.2 事故后果

严重事故发生后，烟羽中的放射性气体和气溶胶会随着风向在大气中输运。输运过程中，放射性物质会对人体产生辐射影响。为全面评价潜在的事故造成的厂外剂量风险，针对每一类别的释放，均选取了一个代表性源项，作为该释放类别的包络值。

厂址不同距离处的通用优化干预水平超越概率和厂址半径 80km 范围内公众集体剂量风险值计算均采用基于概率论方法的严重事故后果评价方法。评价计算包括大气扩散模拟、事故早期剂量评估。

大气扩散模拟中主要考虑天气条件的分类取样、释放量的计算、烟羽抬升高度的计算、烟羽长度的计算、烟羽扩散和输运计算、核素浓度计算。

早期剂量评估主要考虑 3 种途径：1）烟羽中放射性物质的直接外照射（烟云浸没外照射）；2）吸入烟羽中放射性物质造成的照射（烟云吸入内照射）；3）放射性物质沉积在地面上的照射（地面沉积外照射）。

中长期剂量评估主要考虑 3 种途径：1）地面沉积外照射；2）再悬浮吸入内照射；3）污染食物和水的摄入内照射。

严重事故评估计算如下：

1) 大气扩散

大气弥散因子计算基于概率论的严重事故评价模型采用气象序列抽样得到厂址典型气象序列，通过分段烟羽模型计算不同气象序列中的核素迁移与扩散。

气象序列抽样中单个气象序列的长度为 120 小时，抽样方法为结构化的蒙特卡罗取样法，即按照选取条件对全年的天气序列进行分类，再从每一个类别中随机抽取一定数量的天气序列分别作为一次大气输运和扩散计算的输入，天气序列的分类和抽取是按照序列的起始时刻进行标记的，一年的气象文件包含 8760 小时的数据，也就是存在 8760 个天气序列的起始时刻。

核素在大气环境中的扩散采用高斯烟羽扩散模型，其基本假设核素浓度在侧风向与垂向均满足高斯分布，同时将地面和逆温层作为全反射边界处理，得到烟羽中心线空气浓度和中心线以下地面空气浓度。

2) 早期剂量计算

早期剂量计算考虑烟云浸没外照射、烟云吸入内照射以及地面沉积外照射三种途径。

3) 中长期剂量计算相关数据

中长期剂量计算考虑地面沉积外照射、再悬浮吸入内照射以及污染食物和水的摄入内照射三种途径。

《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/T 17680.1-2008) 规定对于压水堆核电厂，在满足安全准则的前提下，其烟羽应急计划区的区域范围，一般应考虑反应堆热功率的大小，在以反应堆为中心、半径 7km~10km 的范围内确定；烟羽应急计划区内区的范围，一般应考虑反应堆热功率的大小，在以反应堆为中心、半径 3km~5km 的范围内确定。

山东海阳核电厂实施全厂统一应急，根据山东省核应急委员会发布的《关于山东海阳核电厂应急计划区范围有关问题的通知》(鲁核应办〔2012〕12 号) 及国家核应急协调委员会批准的山东省核电厂核事故应急预案，山东海阳核电厂烟羽应急计划区为以 1 号机组反应堆为中心半径 10 公里的范围，其中烟羽应急计划区内区半径为 5 公里，外区半径为 10 公里；食入应急计划区为以 1 号机组反应堆为中心，半径 50 公里的范围。

此外，考虑到山东海阳核电厂属于多堆厂址，根据《山东海阳核电厂 3、4 号机组厂址区域核应急方案》，考虑到 1-4 号机组应确定一个统一的应急计划区，确定 1-4 号机组烟羽应急计划区范围采用 1-4 号机组的包络线，即以 1-4 号机组反应堆为中心半径 10km 的范围包络区域，其中内区半径为 5km，外区半径为 10km，由于 1、2 号机组工程食入应急计划区范围为 50km，1-4 号机组的距离对于其影响较小，所以 1-4 号机组食入应急计划区范围与一期工程的食入应急计划区范围一致，即以 1 号机组反应堆为中心半径 50km 范围。

结合本厂址气象条件、地形特征及人口分布特征，计算距反应堆 3~10km 各距离段，各类严重事故加权综合的个人有效剂量超越通用优化干预水平概率结果见表 7.2-1。

此外，计算得到本工程严重事故工况下，由裂变产物释放（堆芯损伤开始后初始 72h）造成厂址半径 80km 范围内预期人口最大年公众集体剂量总风险为 $3.59\text{E-}04$ 人 Sv/堆年，各释放类别详细数据见表 7.2-2。

7.2.3 严重事故预防和缓解方案

本工程采用先进非能动型压水堆核电厂设计，其系统和设备采用先进、成熟和保守的设计，满足我国法律法规和 IAEA、美国 URD 的要求，根据 PSA 分析结果，其发生堆芯损伤的概率比美国 URD 的要求低得多。另外，在设计上充分考虑了严重事故相关的预防和缓解措施，其目标是缓解严重事故后果，尽可能保持安全壳完整，防止放射性物质向环境的大量释放。

主要的严重事故预防和缓解措施包括：

- 预防界面 LOCA——界面系统采用全压设计
- 预防保护和安全监测系统（PMS）共因失效及未能实现反应堆紧急停堆的预期瞬态（ATWS）——设置多样化驱动系统
- 事故下堆芯应急冷却——采用非能动堆芯冷却系统设计
- 事故下安全壳热量移出——设计非能动安全壳冷却系统
- 防止高压熔堆——设计非能动余热排出系统和自动卸压系统
- 缓解事故下产生的氢气——设置安全壳内氢气控制系统
- 防止反应堆压力容器失效——采取熔融物堆内滞留策略，采用事故下淹没堆腔设计并考虑堆腔淹没系统功能，使得在事故下反应堆压力容器淹没在冷却水中，从而使堆芯熔融物保持在反应堆压力容器内
- 防止堆外严重事故条件下安全壳失效——采用合理的堆腔设计，使其能够承受堆外严重事故现象产生的载荷

此外，本工程还通过对人因、应急运行规程、核电厂场内核事故应急预案、可能的高级别严重事故响应、堆芯损伤后投入操作的利弊和严重事故进程及时间表的综合考虑，建立严重事故管理导则，可在严重事故下为操纵员提供技术指导。其内容主要包括如下三个部分：（1）主控室严重事故管理导则；（2）技术支持中心严重事故管理导则；（3）技术支持中心严重挑战响应导则。

下面对严重事故下的主要预防和缓解措施进行简单评价：

1) 界面系统采用全压设计

界面系统 LOCA（ISLOCA）是指反应堆冷却剂系统（RCS）压力边界在与一个低压系统的交界面处发生泄漏，RCS 冷却剂将会进入到低压系统。低压的界面系统不能承受 RCS 的高压力，在其边界（安全壳外）发生破口，从而将会导致反应堆冷却剂直接向环境的释放。由于冷却剂直接释放至安全壳外而大量流

失，从而可能直接导致堆芯损伤。

对本工程而言，最重要的 ISLOCA 途径为正常余热排出系统（RNS）入口管和出口管。

RNS 管道设计为极限破裂强度不小于 RCS 的运行压力，并且位于安全壳外的 RNS 设备设计符合抗震 I 类的要求。对于 RNS 暴露在正常的反应堆冷却剂系统压力事件中，RNS 管道发生破裂的概率极低。

2) 设置多样化驱动系统

本工程设置了多样化驱动系统（DAS）来提供必要的仪控功能，以减少与 PMS 相关的共因失效所带来的风险。DAS 主要有以下三项功能：

- 在核电厂参数超出整定值的情况下，提供多样、备用、自动的驱动信号以使反应堆停堆，并启动选定系列的专设安全设施；
- 为反应堆停堆和选定的专设安全设施的启动提供一个多样、备用的独立手动启动能力；
- 为选定的核电厂参数提供专门独立的指示。

上述功能的目的是：

- 缓解 ATWS 的后果；
- 降低概率安全评价（PSA）中由于 PMS 的共因失效导致的堆芯熔化和安全壳超压事故概率。

3) 采用非能动堆芯冷却系统设计

本工程非能动堆芯冷却系统（PXS）包括一个非能动余热排出热交换器、两个堆芯补水箱、两个安注箱和一个 IRWST。另外的 PXS 设备还包括 IRWST 滤网、IRWST 重力注射管线、安全壳再循环管线和事故后 pH 值调节篮等。非能动堆芯冷却系统可以在事故下为堆芯提供非能动的堆芯冷却，并可提供反应堆冷却剂系统的应急补水和硼化。PXS 可以完成如下功能：

- 应急堆芯余热排出

在设计基准瞬态、事故或丧失正常余热排出系统时，非能动余热排出系统可提供应急堆芯冷却功能。在功率运行 RCS 条件及停堆状态下，只要 RCS 压力边界维持完整，其热移出功能均可用。从长期而言，非能动余热排出系统可将 RCS 冷却至安全停堆状态。

- 反应堆冷却剂系统应急补水和硼化

在事故下，当化学和容积控制系统（CVS）的正常补水不可用或不足时，为 RCS 提供补水和硼化。

- 安全注射

对各种破口尺寸直至主管道双端断裂破口 LOCA 事故提供非能动安全注射，从而为堆芯提供充分的冷却。

- 安全壳 pH 值控制

在事故发生后，通过添加化学物质调节安全壳内的 pH 值，以支持安全壳内高剂量放射性物质的包容，并防止在长期淹没过程中安全壳设备的应力腐蚀。

4) 非能动安全壳热量移出

本工程安全壳由非能动安全壳冷却系统进行冷却，能够将热量通过钢安全壳直接传至大气环境。在事故工况下，安全壳外的冷却水依靠蒸发带走热量，为安全壳提供长期冷却并限制安全壳压力。当发生概率极低的非能动安全壳冷却系统冷却水丧失事故时，通过环形空间的空气自然对流也能持续为安全壳提供重要的冷却，减缓安全壳升压速度，在较长时间内防止安全壳超压。

在接收到自动触发或手动打开信号后，非能动安全壳冷却系统阀门将打开，并依靠从顶部喷淋水的自然蒸发带走热量，通过设置导流板使得流道内气体流量较大，可以有效带走热量。阀门采用并联设计并采用不同型号，防止发生共因失效，此外，还可以通过消防水源或消防车为该系统提供水源。因此，该系统热移出能力足够并且可靠性高。

5) 防止高压熔堆

本工程在设计上考虑了防止高压熔堆的措施。这些措施主要包括非能动余热排出系统和自动卸压系统。非能动余热排出系统可以可靠地导出反应堆余热，自动卸压系统可以保证系统成功卸压。

非能动余热排出系统主要依靠重力自然循环形成冷却剂流动环路，将存有大量水源的内置换料水箱作为热阱。整个系统除阀门外没有能动部件，阀门采用并联设计，由安全级电源供电。通过合理设置换热器排管数量和优化流道设计，非能动余热排出系统热移出能力足够并高度可靠。

自动卸压系统采用双列设计，各级阀门尺寸不完全相同，在丧失交流电的情况下依靠蓄电池传递信号或触动阀门即可运行。通过设置合理的时间延迟和阀门打开顺序，自动卸压系统能够快速、有效地将系统压力降低至安全壳压力附近。

6) 安全壳内氢气控制

本工程由安全壳内氢气控制系统控制氢气，该系统包括氢气浓度监测器、非能动氢气复合器和氢气点火器。氢气控制系统执行如下监测和控制安全壳内氢气浓度的功能：

- 氢气浓度监测—分布在安全壳内的氢气监测器可以为操纵员提供安全壳内氢气浓度的连续指示。该监测功能可使操纵员能够监测并启动事故后的缓解措施，包括启动氢气点火器。
- 非能动氢气复合器—在设计基准事故下，氢气复合器将自动使安全壳内的整体氢气浓度维持在较低水平。对严重事故，非能动氢气复合器协助氢气点火器降低安全壳内的整体氢气浓度。
- 氢气点火器—分布在安全壳内的氢气点火器通过对局部燃烧相对较低浓度的氢气，防止氢气浓度达到可能的爆炸限值。

本工程反应堆冷却剂系统的自动卸压系统第 4 级阀门开启可以防止大量的氢气释放至内置换料水箱和非能动堆芯冷却系统隔间。ADS 第 4 级阀门出口位于环路隔间，而环路隔间与安全壳壳体相互隔开，并且通过安全壳内自然循环提供稳定的氧气源。在环路隔间内，氢气以扩散火焰方式燃烧，不会危及安全壳的完整性。如果自动卸压系统第 4 级阀门失效，本工程在内置换料水箱处设计了排气口，以缓解安全壳壁附近的扩散火焰。

本工程设计由于没有能直接导致氢气爆炸的足够能量，因此燃爆转变(DDT)是唯一可能导致安全壳内发生氢气爆炸的原因。在严重事故后，当安全壳内任一区域的氢浓度达到最低可燃浓度限值不久后，安全壳氢气控制系统的氢点火器启动以促进氢气的燃烧，从而防止安全壳内氢浓度达到燃爆转变限值。

氢气控制系统在没有外电源的情况下依靠蓄电池以及非能动部件仍然可以正常运行，因而，通过合理的氢气点火器和氢气复合器布置，氢气控制系统可有效地降低安全壳内氢气浓度。

7) 防止反应堆压力容器失效

通过反应堆压力容器外水冷实现堆芯熔融物堆内滞留是本工程严重事故关键缓解措施。在假想的严重事故期间，利用内置换料水箱的水淹没反应堆堆腔，并使反应堆压力容器浸于水中，这一严重事故管理策略可有效地防止压力容器失效。利用水冷却压力容器外表面，可防止反应堆下封头内的堆芯熔融物使压力容

器失效和向安全壳迁移。通过将堆芯熔融物滞留在压力容器内，可限制发生某些与安全壳完整性相关且具有很大大不确定性的压力容器外的严重事故现象（如：压力容器外蒸汽爆炸、堆芯熔融物—混凝土反应等），以保持安全壳的完整性。

本工程在设计上具有如下改善反应堆压力容器外的冷却特性，以实现熔融物堆内滞留：

- 设置了可靠的多级反应堆冷却剂系统卸压系统，可保证在系统卸压后压力容器壁面将承受较小的应力；
- 反应堆压力容器下封头未设置贯穿件，除了压力容器壁面自身的蠕变失效外，不会发生与容器贯穿件相关的失效；
- 来自内置换料水箱的水可淹没反应堆堆腔，使反应堆容器浸没至高于反应堆冷却剂环路；
- 反应堆压力容器外保温层设计为水和蒸汽的流动提供了一个流道，在该流道内水大量汽化并从顶部出口喷出，在流道内形成很大的流量。

熔融物堆内滞留策略完全是非能动的，通过设计保证压力容器外壁面热流密度低于临界热流密度，可以保证熔融物堆内滞留的成功。

8) 防止堆外严重事故条件下安全壳失效

本工程熔融物堆内滞留策略的有效性极高，但为了提供更高的安全性评价，仍假设会发生堆外严重事故。对本工程构成较大威胁的堆外严重事故现象主要包括堆外蒸汽爆炸和熔融物—混凝土相互作用。由于本工程采用非能动堆芯冷却系统设计，使得严重事故期间堆腔内肯定存在一定量的水。通过合理设计堆腔结构，使得堆腔可以承受蒸汽爆炸产生的瞬间高压载荷。在熔融物和混凝土相互作用过程中，水的存在可以减缓熔融物侵蚀速度，在相当长时间内保持安全壳底板不被熔穿，最终熔融物非常可能被冷却并终止对混凝土的侵蚀。

由于采用非能动设计，以上各个系统都可以在丧失常规电源的情况下正常工作，保证严重事故缓解措施的有效性，因此，本工程严重事故缓解措施合理可行，各个系统互不干扰且高度可信，裕量充分，在假想的严重事故期间能有效保证不会发生大量放射性物质向环境的释放。

表 7.2-1 个人有效剂量当量高于参考剂量的条件概率

剂量 (Sv) 距离 (km)	2 天隐蔽 (10mSv)	7 天撤离 (50mSv)	1 月临时避迁 (30mSv)	1 年永久再定居 (1.00Sv)
3	7.54%	7.54%	7.54%	4.49%
4	7.54%	7.49%	7.54%	4.10%
5	7.54%	7.47%	7.54%	3.68%
6	7.54%	7.38%	7.54%	3.04%
7	7.54%	7.26%	7.52%	2.65%
8	7.54%	7.07%	7.52%	2.38%
9	7.54%	6.19%	7.52%	2.32%
10	7.54%	5.69%	7.49%	2.12%

表 7.2-2 厂址半径 0~80km 范围内集体剂量风险（持续照射 72h）

释放类别	释放频率 (1/堆年)	平均剂量 (人 Sv)	风险 (人 Sv/堆年)	占总剂量风险的百分比
CFI	5.36E-09	2.14E+03	1.15E-05	3.20%
CFE	4.13E-09	1.85E+04	7.64E-05	21.30%
IC	1.40E-07	2.75E+00	3.85E-07	0.11%
BP	1.88E-09	1.41E+05	2.65E-04	73.89%
CI	3.96E-11	1.35E+05	5.35E-06	1.49%
CFL	2.04E-12	3.11E+04	6.34E-08	0.02%
总风险			3.59E-04	100.00%

7.3 场内运输事故

7.3.1 新燃料场内运输事故

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山东海阳核电厂现场，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》（GB11806-2019）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，运输容器及新燃料组件的性能可以确保新燃料不对环境产生任何有害的影响。

新燃料运输容器设计时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。

综上，新燃料运输事故不会污染周围环境和危害人员健康。

7.3.2 乏燃料场内运输事故

乏燃料的厂内运输事故包括可能的燃料装卸事故和乏燃料运输容器坠落事故。

乏燃料运输容器的安全可靠是实现安全运输的前提。乏燃料组件运输必须遵守《中华人民共和国核材料管制条例》（HAF501-1987）、《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，2009年）、《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）、《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乏吊吊运运输容器的过程中，由于乏燃料组件在装入乏燃料运输容器之前要在乏燃料水池中至少贮存8年，事故发生后放射性的释放极少，事故后果可以被燃料装卸事故的后果包络，其后果也是可以接受的。

7.3.3 放射性固体废物场内转运事故

本工程运行产生的放射性干废物和混合固体废物，先在放射性废物厂房进行妥善包装和暂存，之后根据废物转运计划适时装入专用废物运输车，沿厂内运输固定路线转运至SRTF进行后续处理和整备。产生的放射性湿废物在辅助厂房完成HIC装料脱水后，将HIC装入屏蔽容器运输车（CASK车），沿厂内运输固定路线转运至SRTF进行暂存。

完成整备的放射性固体废物在SRTF废物暂存库经一段时间暂存后，最终将送出厂外运至国家指定的低、中放废物处置场进行处置。

经验表明，厂内转运事故发生率以及预计事故次数都是极低的。另外，废物包装和运输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）、《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）等标准的要求，即使厂内转运过程中发生事故，废物也不会从运输容器中扩散造成环境污染。

7.4 其它事故

山东海阳核电厂运行期间使用的化学品物料中涉及易燃易爆及有毒的物料，在使用这些物料时存在爆炸、火灾以及危险品泄漏等风险。针对上述风险开展分析评价如下：

7.4.1 化学品环境风险评价

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）对山东海阳核电厂化学物质贮存和使用开展环境风险评价。

1) 核电厂环境风险评价分级

参考山东海阳核电厂 1、2 号机组化学品贮存情况作为山东海阳核电厂 2 台机组运行期的化学品贮存情况。

本工程危险物质及工艺系统危险性（P）分级如下：

保守取各类化学品在不同贮存地点中的最大贮存量作为最大存在总量，并按照 1-4 号机组预估对应的最大贮存量。经分析，危险物质最大存在总量与其临界量比值（Q）计算结果为 41.94。

本工程为其他行业，行业及生产工艺（M）取值为 5。

因此，本工程危险物质及工艺系统危险性等级判断（P）为轻度危害（P4）。

本工程环境敏感程度（E）分级如下：

厂址半径 5km 范围内人口总数小于 1 万人，厂址半径 500m 范围内无常住居民，因此本工程大气环境敏感程度为环境低度敏感区（E3）。

本工程不位于地表水和地下水环境敏感区，但部分化学品贮存场所不满足“包气带岩土分布连续稳定，岩土层单层厚度不小于 0.5m，渗透系数不大于 $1\text{E-}04\text{cm/s}$ ”要求。因此本工程地下水环境敏感程度为环境中度敏感区（E2）。

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018），本工程大气环境风险潜势为 I 类，评价工作等级为简单分析；地下水环境风险潜势为 II 类，评价工作等级为三级评价。

2) 核电厂环境风险评价

厂址半径 1km 范围内无常住居民。目前，厂址半径 3km 范围内有 2 个自然村，半径 5km 范围内有 6 个自然村。厂址半径 5km 范围有一处自然保护区，为烟台沿海防护林省级自然保护区，最近处位于厂址 WNW 方位约 2.3km。

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）要求，参照《环境

影响评价技术导则 地下水环境》(HJ610-2016)进行风险预测及分析。由于《环境影响评价技术导则 地下水环境》(HJ610-2016)未对核电厂进行项目分类,参照“其他能源发电”、“海水淡化、其他水处理和利用”分类为IV类,此外厂址附近无集中式饮用水水源准保护区及补给径流区、分散式饮用水水源地特殊地下水资源保护区及分区等环境敏感区,因此参照《环境影响评价技术导则 地下水环境》(HJ610-2016)无需开展地下水评价。

山东海阳核电厂使用的化学品主要包括盐酸、氢氧化钠、氨水、联氨、氢气及柴油等,均在厂房或储罐内贮存。核电厂采取了一系列化学品泄漏风险防范措施,确保不出现盐酸、氢氧化钠、氨水、联氨等化学品泄漏至环境情况,并设置防渗地面及泄漏应急处置设施,确保泄漏后不会扩散至周边地表水和地下水,有毒气体(主要为氨气)不会大量飘散至室外;设置防火及防爆措施防止氢气、柴油泄漏发生火灾爆炸。因此,在做好相关管控防护措施后,本工程危险化学品储存设施的环境风险可接受。

7.4.2 化学物质容器破裂、泄漏或爆炸

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》(GB 18218-2018)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。

对联氨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：氢氧化钠、盐酸、联氨等。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。

在做好相关管控防护措施后，本工程危险化学品储存设施的环境风险很小。

7.4.3 氢气爆炸

本工程正常运行期间，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，并通过连续加氢或批量加氢，将反应堆冷却剂内的氢含量控制在限值范围内。位于高压氢气储气站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注入反应堆冷却剂系统。发生事故时，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) 选址假想事故时,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) 严重事故时,66台分散布置在安全壳内各个隔间的点火器将在安全壳内达到最低可燃浓度限值后不久引发氢气燃烧,防止发生较高氢浓度时的事故性氢气燃烧,保证氢气燃烧期间能维持安全壳的完整性,并保证在燃烧期间或燃烧后安全有关设备能持续运行。

7.4.4 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 3 小时的隔墙和楼板与其它房间隔开。

4) 通风防火设计

核岛厂房通风系统的风管穿越防火屏障时设置防火阀。在空气温度达到 73.9°C (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。

7.5 事故应急

国务院颁布的《核电厂核事故应急管理条例》(HAF002-2011)要求新建核电厂必须在其场内和场外核事故应急计划审查批准后方可装料,《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》(HAD002/01-2019)要求运行阶段营运单位应制定应急预案,并作为运行申请材料之一于首次装料前与最终安全分析报告一并报国务院核安全监督管理部门审查。在首次装料前,核动力厂营运单位应完成应急准备工作,并进行装料前场内综合应急演练。

核事故应急的目的是在核电厂发生放射性物质可能向环境大量释放的事故时,使事故迅速得到控制,以防止或减少放射性物质向环境的释放,并采取防护行动保护核电厂内所有人员的安全,迅速向厂外提供保护居民安全与健康的建议。

核电厂应急计划的制定和实施应遵循“常备不懈、积极兼容、统一指挥、大力协同、保护公众、保护环境”的方针,本阶段对应急计划区、应急状态、应急设施、核事故应急对策及实施应急计划的可行性给出详细论述。

山东海阳核电厂将执行统一的应急计划,设置统一的应急计划区。

山东核电有限公司根据国家《核电厂核事故应急管理条例》(HAF002-2011)、《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》(HAD002/01-2019)的有关规定,制定了《海阳核电厂 1-2 号机组场内核事故应急预案》(第 1 版-2020),并于 2020 年 7 月获得国家核安全局的批复。山东海阳核电厂 3、4 号机组的核事故应急预案将基于 1、2 号机组场内核应急预案结合实际情况制定与完善,目前正在编制中。

7.5.1 应急计划区

应急计划区为在事故时能及时有效地采取保护公众的防护行动,事先在核电厂周围建立的、制定有应急计划并作好应急准备的区域。我国目前将应急计划区分为两类:针对烟羽照射途径的烟羽应急计划区和针对食入照射途径的食入应急计划区。

烟羽应急计划区为针对烟羽照射途径(烟云浸没外照射、烟云吸入内照射和地面沉积外照射)而建立的应急计划区,这种应急计划区又可分为内、外两区,在内区预防性撤离的安排,在外区做好采取隐蔽、服碘、撤离防护行动的准备。

食入应急计划区为针对食入照射途径(食入被污染食品和水造成的内照射)而建立的应急计划区,该区域内需做好食物和饮用水的管控工作。一般情况下允

许根据事故释放后所进行的监测与取样分析来确定实施此类应急响应的范围，在应急计划阶段考虑食入应急计划区的范围和安排有关应急措施时应充分考虑这些因素。

根据山东省核事故应急协调委员会发布的《关于山东海阳核电厂应急计划区范围有关问题的通知》（鲁核应办〔2012〕12 号），山东海阳核电厂的烟羽应急计划区为以 1 号机组反应堆为中心半径 10km 的范围，其中烟羽应急计划区内区半径为 5 公里，外区半径为 10 公里；食入应急计划区为以 1 号机组反应堆为中心，半径 50km 的范围。

考虑到山东海阳核电厂属于多堆厂址，1-4 号机组应确定一个统一的应急计划区，所以 1-4 号机组烟羽应急计划区范围采用 1-4 号机组的包络线，即以 1-4 号机组反应堆为中心半径 10km 的范围包络区域，其中内区半径为 5km，外区半径为 10km，由于 1、2 号机组工程食入应急计划区范围为 50km，1-4 号机组的距离对于其影响较小，所以 1-4 号机组食入应急计划区范围与一期工程的食入应急计划区范围一致，即以 1 号机组反应堆为中心半径 50km 范围。

7.5.2 应急状态

根据《核电厂核事故应急管理条例》（HAF002-2011）的规定，山东海阳核电厂的应急状态分为四级：

- 应急待命
- 厂房应急
- 场区应急
- 场外应急

1) 应急待命

应急待命的特征是一些事件正在进展或已经发生，核电厂安全水平潜在下降，或对设施的保安威胁已经发生。除非进一步的安全系统降级发生，否则预期不会出现需要采取场外响应或监测的放射性物质释放。

核电厂安全水平可能下降主要是指超出了核电厂技术规格书中规定的运行限制条件，在这种情况下允许在规定的时间内变更运行模式。核电厂安全水平的可能下降还应包括一些重要事件的征兆（它们可能涉及一道裂变产物屏障泄漏、厂外电源丧失、发生可感地震等）。

确定进入应急待命状态的目的是：使核电厂运行人员和应急组织有关人员启

动或处于待命状态，保证必要的初始应急响应行动得以顺利实施，使事件或事故处理、信息传递和决策过程等有条不紊地纳入应急体系中去。

2) 厂房应急

厂房应急的特征是事件正在进展或已经发生，核电厂安全水平实际上或潜在的实质下降，或为包含因敌对行动而可能威胁现场人员生命的风险或损坏现场设备的保安事件。如有释放，预计其只相当于通用优化干预水平的很小部分。厂房应急时，事故的辐射后果或可能的辐射后果仅限于核电厂某些厂房内部或核电厂局部区域。

确定进入厂房应急状态的目的是：使场内应急组织全面或大部分启动，使场内应急响应人员能够保证迅速有效地做出响应，并按规定向场外有关应急组织提供和报告事件或事故的信息。

3) 场区应急

场区应急的特征是事件正在进展或已经发生，导致保护公众所需的核电厂功能实际上或可能大的失效，或以下导致蓄意损坏或恶意行为的敌对行动：（1）针对现场人员或可能导致保护公众所需设备失效；或（2）阻碍有效接近保护公众所需设备。如有释放，预计场区边界以外照射水平不会超过通用优化干预水平。

确定进入场区应急的目的是：使场内应急组织保证及时派出环境监测人员进行环境监测；对场内非应急响应人员采取必要的防护行动；使场内应急组织按规定通过场外应急组织向公众提供必要且正确的信息；使场外应急组织保证得以及时启动。

4) 场外应急

场外应急的特征是事件正在进展或已经发生，导致大量堆芯实际上或即将降级或熔化，并伴随安全壳完整性潜在丧失，或导致设施实体控制实际上丧失的敌对行动。预计释放可能导致场区边界及以外照射水平超过通用优化干预水平。

确定场外应急状态以核电厂重要安全系统功能为依据，同时用事故后果评价作为技术支持。

确定进入场外应急状态的目的是：及时建议并启动因为保护公众所预先确定的防护行动；持续评价核电厂的事故状态和环境监测数据，按实际或可能的放射性释放量补充或修改公众防护行动建议；与场外应急组织协调或配合场外应急响应；按规定通过场外应急组织向公众提供必要且正确的信息。

7.5.3 应急组织

7.5.3.1 应急响应组织机构

山东海阳核电厂应急响应组织由应急指挥部及其领导下的运行控制一组、运行控制二组、技术支持组、运行支持组、安全防护组、后勤支持组和工程协调组等 6 个应急专业组组成。

本着积极兼容和厂址统一规划的原则，山东海阳核电厂建立统一的应急组织机构，山东海阳核电厂应急响应组织机构详见图 7.5-1，该应急组织机构可统一指挥场内应急响应组织开展应急响应行动。

1) 应急指挥部

应急指挥部是山东海阳核电厂应急响应时的指挥核心，全面负责应急决策和指挥应急响应行动，以及与国家、地方及行业主管部门和其它应急组织的联络和协调。

应急指挥部主要由应急总指挥、生产副总指挥、工程副总指挥、生产指挥助理 1/2、应急助理、技术秘书、秘书、话务员、公众信息助理、公众信息协调员组成。

应急指挥部各主要成员职责如下：

(1) 应急总指挥

- 对应急响应工作负有全面责任；
- 确认应急待命、厂房应急、场区应急和场外应急的应急状态的分级；
- 批准进入和终止应急待命、厂房应急和场区应急；
- 组织、指挥场内应急响应；
- 协调场内、外应急响应；
- 批准向场外应急组织、有关部门和集团公司的应急通告和报告；
- 按有关规定，批准需向场外有关应急组织提供的公众信息通告文稿和新闻稿；
- 批准现场非应急人员的集合、清点、撤离和服用稳定碘片等场内应急防护行动；
- 批准向场外应急组织提出的进入场外应急状态和采取公众应急防护行动的建议；
- 批准大于职业照射的最大单一年份剂量限值的 2 倍的应急照射（全身有

效剂量 100mSv);

- 组织对预期全身有效剂量超过 500mSv 可能导致确定性效应的应急响应行动进行正当性分析, 并审批正当性分析表;
- 作为严重事故策略的决策者, 批准需执行的严重事故的策略;
- 作为大范围损伤缓解策略的决策者, 批准需执行的大范围损伤缓解策略;
- 批准极其紧急情况下的应急抢修方案;
- 做出有关核事故处置的重大决策而不需要外部授权, 包括诸如在极端事故情况确保安全壳完整性所进行的安全壳排气, 或为防止堆芯严重损坏所采取的直接向反应堆注入海水等可能导致反应堆报废或提前退役的行动;
- 在应急设施丧失可居留性或功能情况下, 批准该应急设施内应急人员的转移申请;
- 批准应急人员增调申请;
- 批准向场外的应急支援申请, 并请求国家、地方及行业主管部门应急组织和军队提供援助;
- 批准偏离场内核事故应急预案、应急相关程序或规程的事项。

(2) 生产副总指挥

- 向应急总指挥报告职责内的工作;
- 协助应急总指挥做出重大决策, 包括应急状态分级、严重事故策略、大范围损伤缓解策略、应急防护行动、应急抢修、应急照射控制等;
- 组织实施安全防护组、后勤支持组的应急响应行动, 审查这两个组提交的应急报告、支援申请、场外应急防护行动建议等向场外发送的文件;
- 审查向场外发送的公众信息文稿、新闻通稿;
- 协助应急总指挥与场外应急组织和相关单位进行沟通协调;
- 批准预期有效剂量在职业照射最大单一年份剂量限值 1 倍与 2 倍之间的应急照射 (全身有效剂量 50~100mSv), 审查预期有效剂量大于职业照射最大单一年份剂量限值 2 倍的应急照射 (全身有效剂量 100mSv);
- 对预期全身有效剂量超过 500mSv 可能导致确定性效应的应急响应行动, 审查其正当性分析, 并在正当性分析表中填写审查意见;
- 协助应急总指挥组织实施现场非应急人员的集合、清点、撤离等场内应

急防护行动；

- 组织相关专业组人员成立失踪人员搜寻队对失踪人员进行搜寻；
- 组织实施现场非工程领域承包商人员的集合、清点、撤离等场内应急防护行动。

（3）生产指挥助理 1/生产指挥助理 2

- 向应急总指挥报告职责内的工作；
- 协助应急总指挥做出重大决策，包括应急状态分级、严重事故策略、大范围损伤缓解策略、应急防护行动、应急抢修、应急照射控制等；
- 审查向场外发送的公众信息文稿、新闻通稿；
- 组织开展机组状态诊断与预测、堆芯损伤评价、严重事故管理策略制定、大范围损伤缓解策略制定等应急技术工作；
- 组织实施运行控制组、技术支持组、运行支持组的应急响应行动，并审查这三个组提交的应急通告、报告、支援申请、抢修方案。

（4）工程副总指挥

- 向应急总指挥报告职责内的工作；
- 组织实施工程协调组的应急响应行动；
- 就现场工程承包商相关重大问题向应急总指挥请示和报告；
- 组织实施现场工程领域承包商人员的集合、清点、撤离等场内应急防护行动。

（5）应急助理

- 协助应急总指挥、生产副总指挥和生产指挥助理开展工作；
- 在应急指挥部启动后，编制应急指挥部启动的通知，并组织通知场内外应急组织；
- 在应急指挥部启动后，负责进行电话通告并跟踪传真通告的完成情况；
- 负责编制建议进入场外应急状态的申请，跟踪建议终止场外应急状态申请的发送及回复情况；
- 负责应急指挥部应急物资（如个人剂量计、碘片等）的配发并进行登记；
- 负责组织落实应急指挥室应急决策支持系统及视频会议系统的切换；
- 负责组织启动应急指挥中心通风过滤系统、生活水系统等确保应急指挥中心可居留性的相关系统；

- 配合行政助理开展应急期间应急食品的发放。

(6) 技术秘书

- 协助应急总指挥、生产副总指挥、生产指挥助理开展工作；
- 协助应急助理完成电话通告和传真通告；
- 负责组织落实应急指挥部下达的场内相关通知，通知方式包括广播、警笛报警、广播车、传真、短信等；
- 在应急响应期间，负责在大事记系统、白板上梳理和记录应急设备抢修等关键应急响应行动的开展情况；
- 负责生产计划处直接管理的承包商的核应急响应的联络协调工作；
- 按照应急指挥部的指令，确认下一班应急人员，并组织发送启动相关通知。

(7) 公众信息助理及公众信息协调员

- 收集公众、社会的反映，以便开展适当的沟通；
- 收集公众与媒体的舆论，向应急指挥部提出控制谣传和流言的措施建议；
- 及时了解事故信息，组织准备公众信息文稿及新闻稿等有关资料，并根据要求向场外有关应急组织/单位提供；
- 根据有关政府部门授权，组织做好新闻发布会的准备工作；
- 负责与场外有关单位到场人员的接口并提供其所需资料。

(8) 秘书

协助应急指挥部其他岗位进行文件的传递、打印、复印、扫描、收发场内外的传真、对收发文件进行登记、收集及整理等文书工作。

(9) 话务员

负责发出应急短信、广播通知及警笛报警通知。

2) 运行控制一组/二组

运行控制一组/二组在事故情况下承担事故机组和非事故机组运行控制的任
务，主要职责如下：

- 初步评定应急状态，提出应急状态分级的建议；
- 在应急指挥部启动前，组织话务员发送应急组织启动通知，并向场外应急组织进行电话、传真通告；
- 负责编制应急传真通告、应急报告（事故机组工况及参数）和建议终止

场外应急的申请；

- 执行事故处理规程，控制和缓解事故，恢复和维持事故机组的安全状态，减轻事故的后果和影响；
- 向应急指挥部和其他专业组提供事故机组事故工况的数据；
- 值班核安全工程师负责组织核安全监督相关活动；
- 组织当值运行人员履行其各自厂房内的灭火和急救的初始响应行动；
- 必要时组织进行化学分析和流出物取样分析，以提供燃料及堆芯损伤评估和事故释放源项估计所需化学和流出物分析数据；
- 保持与电网调度之间的联系，确保电厂与电网的安全；
- 在应急总指挥及其替代人未启动就位前，组长临时履行应急总指挥的职责；
- 负责运行一处、运行二处直接管理的承包商的核应急响应的联络协调工作。

运行控制一组/二组由组长、当班值长、当班副值长、隔离经理、值班核安全工程师、主控室操纵员、现场操作员、化学值及运行辅助值班员组成。

3) 技术支持组

技术支持组主要承担应急状态下对主控室和其他系统运行人员的技术支持任务，主要职责如下：

- 对事故机组状态进行诊断，对控制和缓解事故的措施提供技术支持；
- 对事故机组燃料及堆芯损伤评价提供技术支持，并利用专业软件进行堆芯损伤评价；
- 对事故机组的设备和系统状态诊断提供技术支持，对紧急维修和变通运行方案提出建议；
- 组织严重事故管理相关活动，并组织实施技术支持中心的严重事故管理导则；
- 对非事故机组确保安全运行提供技术支持；
- 向应急总指挥推荐应急抢修或纠正行动的优先顺序；
- 提供机械维修、电气维修、仪控维修相关的技术支持；
- 负责系统设备处、技术支持处直接管理的承包商的核应急响应的联络协调工作。

技术支持组由组长、数名事故分析助理组成。

4) 运行支持组

运行支持组在应急响应期间承担机组设备和系统机、电、仪故障的维修与抢修，保障工业计算机网络系统畅通，通信联络保障等任务，主要职责如下：

- 机组设备和系统机、电、仪故障的维修和抢修；
- 保障工业计算机网络系统畅通；
- 保障通信系统畅通；
- 负责提供移动设备保障；
- 负责生产交通运输保障（移动柴油泵和移动柴油发电机、场内物资运输车辆、应急值班车、环境辐射监测车、场内巡测车、救护车等）；
- 协调撤离车辆调度；
- 负责组织抢险和抗灾行动；
- 按照生产副总指挥的要求，实施失踪人员搜寻；
- 负责机械维修处、电气维修处、仪控维修处、维修支持处直接管理的承包商的核应急响应的联络协调工作。

运行支持组由组长、各相关专业助理以及维修人员和值班司机组成。

另外，运行支持组下设应急移动设备专项组，组长由当周值班的机械助理、电气助理、仪控助理轮流担任，负责启动相应应急移动设备。专项组下设机械操作组、电气操作组、仪控操作组、运行操作组和驾驶员组，分别由机械维修、电气维修、仪控维修、值班司机当周应急值班人员兼任。

5) 安全保卫组

安全防护组承担应急期间辐射安全及防护、工业安全、消防、保卫及出入控制等任务。主要职责如下：

- 负责监督和检查电厂内人员的辐射安全，为现场应急响应提供辐射防护支持，并组织实施应急照射控制；
- 组织并实施场区和场外环境辐射监测，及场外辐射调查、取样、分析和评价；
- 负责进行场外辐射后果评价，以及提出场内、外应急防护行动建议；
- 组织实施医疗急救，对沾污人员进行放射性监测与去污；
- 负责监督和检查电厂内人员的工业安全，对应急抢修活动的工业安全进

行监督，包括工业安全风险分析、安全保护措施是否到位等；

- 负责组织实施防火与灭火行动，提供消防技术支持；
- 负责电厂保卫和出入控制、场内交通和治安管制，以及安保事件应对；
- 参与抢险抗灾行动，并按照生产副总指挥的要求实施失踪人员搜寻；
- 组织利用广播车沿场内主要道路向场内人员发出应急通知；
- 负责安全防护处、化学环保处直接管理的承包商的核应急响应的联络协调工作。

安全防护组主要由组长、辐射防护助理、后果评价助理、环境监测助理、职业医疗助理、工业安全助理、消防助理、保卫助理及辐射防护人员、环境监测人员、辐射防护技术人员、厂区医务室当值人员、保安、武警、专职消防队等组成

6) 后勤保障组

后勤支持组承担应急期间后勤、人员集合清点、物资供应、信息系统维护等任务。主要职责如下：

- 提供物资供应保障；
- 提供生活后勤保障；
- 负责组织非应急人员的集合、清点和撤离；
- 负责办公系统软硬件的维护和维修；
- 负责综合管理处（董事会办公室、党委办公室）、商务合同处、数字化中心（信息文档处）直接管理的承包商的核应急响应的联络协调工作。

后勤支持组由组长、行政助理、物资采购助理、物资供应助理、信息助理组成。

7) 工程协调组

工程协调组承担应急期间核应急响应与处置以及与承包商应急响应的联络协调工作。主要职责是：

- 负责组织核应急响应与处置；
- 负责承包商的核应急响应联络协调工作；
- 为现场工程承包商人员的集合、清点、撤离等场内应急防护行动的实施提供必要的支持。

工程协调组由组织、工程协调助理组成。

7.5.3.2 应急响应组织主要岗位当担人选

应急响应组织的主要岗位及其当人选见表 7.5-1。

7.5.3.3 待命值班制度

为了在核电厂发生突发事件/事故时，为保证应急响应组织能及时启动，海阳核电厂按“常备不懈”的原则建立了应急待命值班制度（ON-CALL 制度），按此制度，每周从应急岗位的应急岗位授权人中确定相应应急岗位的当周应急值班人员，要求这些待命值班人员在当周任何时间内（包括非工作时间）均处于随时可以启动到岗的状态。

当周应急值班人员应保持通讯工具畅通，值班期间禁止饮酒，规定所有应急 ON-CALL 人员只能在海阳市范围待命。所有应急待命值班人员在接到应急启动通知后，应在 1 小时内启动到岗。

当周应急待命值班人员到岗后，应第一时间联系该岗位的担当者，如果该岗位的担当者能够到岗，则该岗位的担当者到岗后，先行到岗的应急待命值班人员成为其助理或准备作为下一班待命人员。

7.5.3.4 与场外应急组织及有关部门和 units 的关系

根据《核电厂核事故应急管理条例》（HAF002-2011）的规定，我国核事故应急管理工作实行国家、地方、营运单位三级管理体系。核应急期间，海阳核电厂应急指挥部有责任和义务及时向国家核事故应急协调委员会（具体工作与国家核应急办接口）、国家核安全局、国家能源局、华东核与辐射安全监督站、山东省核应急指挥部（具体工作与山东省核应急办接口）、国家电力投资集团有限公司等部门和单位的应急机构（组织）通报和报告，并密切予以配合，协调一致地实施应急响应行动。必要时，海阳核电厂应急指挥部可请求和获得场外支援。山东海阳核电厂与场外应急接口关系详见图7.5-2。

山东海阳核电厂与各场外组织和单位的具体工作接口如下：

（1）国家核事故应急协调委员会（具体工作与国家核事故应急办公室接口）

国家核事故应急协调委员会由国务院和中国人民解放军的各有关部门的领导组成，统一协调全国的核事故应急准备和响应工作，日常管理工作由设在工业和信息化部所属国防科工局的国家核应急办负责。应急响应期间，海阳核电厂将按要求向其进行应急通告和报告，必要时向其请求应急支援。

（2）国家核安全局及华东核与辐射安全监督站

国家核安全局负责对全国民用核设施的核安全实施监督。华东核与辐射安全

监督站是国家核安全局驻华东地区的直属执法监督机构，对华东地区民用核设施的安全实施监督。在核事故应急情况下，海阳核电厂应急指挥部根据相关法规和要求与其核应急技术支持中心以及华东核与辐射安全监督站建立报告联系，通报事故情况和应急信息，将事故机组参数通过专用网络（失效时，通过传真）传送至其核应急技术支持中心以及华东核与辐射安全监督站，接受其监督和按法规要求采取的干预行动。

（3）国家能源局

国家能源局是民用核设施上级主管部门，在核事故应急情况下，海阳核电厂应急指挥部根据相关法规和要求与其建立报告联系，通报事故情况和应急信息。

（4）山东省核应急指挥部（具体工作与山东省核应急办接口）

山东省核应急指挥部负责统一领导和协调山东省内的场外核事故应急预案的准备以及响应，下设辐射环境监测、气象、治安保卫、去污洗消、交通运输、隐蔽撤离与安置、医疗防护、通信保障、电力保障、地震监测、公众沟通与信息、综合协调等相关专业，由省政府下属相关部门、军队和国企等组成，由山东省分管副省长任协调委主任，应急期间作为省核应急总指挥。其日常办事机构为山东省核事故应急办公室，设在山东省国防科工办。山东省核应急指挥部的响应地点在位于济南市的山东省核应急指挥中心。

海阳市核应急中心设在海阳市凤城街道，日常期间负责对核应急预案和实施程序、核应急组织、核应急设施和设备进行管理以及组织核应急培训、演习和公众宣传等应急准备工作。应急响应期间，海阳市核应急中心作为山东省核应急前沿指挥部，负责执行省核应急协调委的命令，及时启动应急预案，指挥本市各核应急专业组，与省核应急各专业组密切配合，实施应急响应行动。

在核事故应急状态下，海阳核电厂应急指挥部将向山东省核应急指挥部通报事故情况和应急信息，在事故严重恶化，放射性可能或已经影响核电厂以外区域时，提出进入场外应急并采取场外应急防护措施的建议，必要时通过其请求地方和军队提供支援。

（5）国家电力投资集团有限公司

国家电力投资集团有限公司作为海阳核电厂的上级单位，日常情况下，领导协调海阳核电厂的核应急准备工作；应急响应期间，按照《国家电力投资集团有限公司核应急预案》、《国家电力投资集团有限公司核电厂核事故应急支援方案》

调配应急资源和力量提供应急支援。

在核应急状态下，海阳核电厂应急指挥部及时向国家电力投资集团有限公司报告事故情况和应急信息。

（6）协议单位

为确保应急期间能够及时有效地获取应急物资、人力、技术等支援，山东海阳核电厂与场外有关单位会部门签订了气象、消防、医疗等支援协议。

7.5.4 应急设施

应急设施设备为在核电厂进入应急状态后应急人员需要使用的工具和停留的空间，在设计阶段根据应急功能和应急岗位的设置数量来考虑留有接口、足够的空间以及可居留性，确保施工建设的顺利实施和装料运行后应急功能的实现。

7.5.4.1 共用应急设施

目前山东海阳核电厂1、2号机组已投产商运，为满足应急状态下的响应行动要求，山东海阳核电厂已对场内应急设施的设置做了设计考虑。全厂共用应急设施包括应急指挥中心、备用应急指挥中心、环境监测站、公众信息中心、应急监测设施等，均按照国家法规和标准要求完成建设，目前已全部投入使用。此外，应急通讯设施、医疗及消防设施部分共用。

这些设施的主要情况如下：

1) 应急指挥中心

应急指挥中心是在应急响应期间指挥场内应急响应和与场外协调应急响应行动的场所。应急指挥中心内的场内应急组织在其中主要实现以下功能：

- 统一指挥核电厂内部各应急专业组和应急人员的响应行动；
- 保持核电厂与国家和地方政府有关部门、行业主管部门、国家电力投资集团有限公司以及场外应急组织之间的通信联系，接收和传送有关信息，协调场内外应急响应行动；
- 根据事故工况和事故释放源项，进行辐射后果评价，提出场外公众防护行动建议。

应急指挥中心位于1号机组北侧490m处，为两层建筑，总建筑面积约1845m²，其结构按照民用Ⅷ度设防抗震进行设计。一层主要有柴油发电机室、日用油箱间、空调机房、低压配电室、蓄电池室、调酸室、UPS间、应急待命室、应急物资室、盘柜控制室、卫生出入口、备用医务室、测量清洁间、淋浴间、干净更衣室、供

水设备间、餐厅、应急食品存放间、休息室等，其中柴油发电机室、蓄电池室和UPS间可确保正常电源丧失后重要应急设备和通风系统的供电；二层设有应急指挥室、安全防护室、工程协调和后勤支持室、运行支持室、国家核安全局办公室（华东核与辐射监督站办公室）、计算机室、通讯设备间、传真复印室、资料室、话务室、广播室、配电间等。

应急指挥中心内用于应急决策的主要系统包括：核应急决策支持系统（包括关键信息显示、堆芯损伤评价、核事故场外辐射后果评价等功能）及厂区环境辐射与气象监测系统等。核应急决策支持系统为应急指挥人员提供包括机组参数、环境监测、气象数据、事故后果评价、堆芯损伤评价等信息，以便协助应急指挥人员快速而正确地决策。该系统在应急指挥中心应急指挥室配备若干台终端，在安全防护室配备若干台终端，其他各功能间每个应急组至少配备1台终端；除此之外，主控室、技术支持中心（含运行支持中心）、保卫控制中心、备用应急指挥中心也配有系统终端。

应急指挥中心外墙及屋顶对来自室外的 γ 射线有一定的屏蔽能力；通风系统设置高效过滤器和碘过滤器，对进入室内的空气进行过滤，且室内保持正压，可减弱事故情况下外部污染空气进入室内对人员造成照射；应急指挥中心出入口采用屏蔽门防止室外空气直接进入；应急指挥中心生活水系统设置有独立的生活水箱，可至少满足100人7天的生活用水，系统还预留了外部水源补水接口；应急指挥中心还储存有可至少满足100人7天的应急食品和饮用水，另外还设置有休息室、餐厅和应急食品存放间等辅助生活设施；在假想严重事故（堆芯熔化的LOCA事故）情况下，预期在30天的应急响应期间楼内人员接受到的个人有效剂量小于50mSv；应急指挥中心内UPS系统能提供核应急决策支持系统、通讯系统以及其它重要系统1个小时的供电。应急指挥中心柴油发电机能够提供通风系统、生活水系统、核应急决策支持系统、通讯系统等重要设备7天的应急供电。

2) 环境监测站和备用应急指挥中心

环境监测站位于烟羽应急计划区之外的核电专家村，环境监测站配备了必要的环境监测设施、设备和人员，目前已投入使用。另外还设有备用应急指挥中心，在现场应急指挥中心的可居留性丧失或可能丧失以及应急响应人员无法到达应急指挥中心的情况下才需启动备用应急指挥中心。

备用应急指挥中心设在距离1号机组直线距离约8.3km的核电专家村环境监

测楼，长13.4m，宽7.8m，面积近105m²。在现场应急指挥中心的可居留性丧失或可能丧失以及应急响应人员无法到达应急指挥中心的情况下才需启动备用应急指挥中心。备用应急指挥中心设置有核应急决策支持系统终端，通过光纤与电厂应急指挥中心互相连接，通过获取的电厂相关参数，可以进行应急辅助决策判断、堆芯损伤评价、事故后果评价、防护行动建议等。还配有若干台传真机（具备打印和复印功能）、投影仪和适当数量的应急电话等。

3) 公众信息中心

公众信息中心位于距离1号机组直线距离约8.3km的核电专家村的环境监测楼内，用于应急状态下接纳媒体和公众，以便根据国家核应急办或山东省核应急办的要求按规定向新闻媒体和公众提供有关应急态势和公众防护行动的信息，对公众和新闻媒体的信息需求做出响应，以及澄清失真的传闻。

4) 应急监测评价设施

核电厂的应急监测评价系统在核电厂应急响应期间，负责监测、诊断和预测电厂事故状态；监测电厂运行状态和事故状态下的气态或液态放射性物质释放；监测事故状态下核电厂厂房内有关场所、场区和场区附近的辐射水平和放射性污染水平；监测厂址气象参数；预期和估算事故的场外辐射后果。

山东海阳核电厂可用于事故工况评价的主要系统有堆芯监测系统、特殊监测系统、事故后监测系统、辐射监测系统、环境监测系统、堆芯损伤评价系统、事故后果评价系统。

5) 应急通信设施

应急通信的基本任务是：保障山东海阳核电厂应急指挥部与场外应急组织之间的通信联络和数据信息的传输；保障山东海阳核电厂应急指挥部和各应急响应组之间，以及各应急响应组之间以及各响应组内部响应人员之间的通信联络和数据信息的传输；保障山东海阳核电厂的应急通知和应急警报的发布；记录山东海阳核电厂场内应急组织与场外应急组织之间以及核电厂内部各应急响应组之间的重要通话内容。

应急通信的基本要求是：

快速反应：及时、准确无误地传送和接收核电厂各机组工况参数，环境监测与环境评价结果，以及应急响应的其他各种信息；系统可靠：通过良好的设计、维护和管理，确保应急通信系统的安全可靠以及相关设施的完好性，保证应急通

信系统随时处于可用状态；抗干扰且覆盖范围广：确保处在厂内和厂外承担应急响应工作的人员之间可靠的通讯，通信系统在任何环境噪声区域保持有效性；多重保障：应急通信的设计满足冗余性、多样性和多重保障的要求。通讯系统的各子系统具有相互独立性，任何一个子系统的故障不会影响其它子系统的性能。若主系统失效，必须有一套备用的通讯系统是可用的。必要时可通过山东省核应急指挥部请求提供应急通信支援。

山东海阳核电厂有无线电话系统、呼叫通话系统、声力电话系统、自动电话系统、应急自动电话系统、警报系统、广播系统及电力调度电话系统等通信方式。

6) 医疗急救及消防设施

山东海阳核电厂在厂内设有医疗救护站，其主要功能为：抢救危急伤员、对污染人员的简单洗消、对一般轻伤员的处置、迅速将需要外送的伤员安全地送往场外医院。该救护站除备有一般医疗急救设备外，还配有简单的污染检查仪，简单的洗消设备和应急救护车。此外，场外的海阳市中医院和解放军第971医院崂山医疗区分别作为山东海阳核电厂的常规和辐射医疗后援单位。

消防设施是核电厂非常重要的一个安全设施，其设计、施工以及定期的性能试验等都将严格按照《核电厂防火与防爆设计》（HAD102/11-2019）执行。山东海阳核电厂设置了一个企业专职消防队负责核电厂的消防工作，并配置一定数量的消防车以及专用空气呼吸器等消防器材。核电厂内主要的消防设备有：防火区、防火屏障、消防给水系统、消火栓。

山东海阳核电厂依据《城市消防站建设标准》建设了消防站，并配备消防车以及抢险救援器材和个人防护装备等资源。消防站为一栋二层框架结构，一层为消防车车库、二层为办公和住宿区域，主要为消防专职人员提供值勤、训练、住宿等场所。

7.5.4.2 山东海阳核电厂 3、4 号机组独立设置的应急设施

山东海阳核电厂3、4号机组均独立设计了主控室、远方停堆工作站、技术支持中心、运行支持中心，这些设施的主要情况如下：

1) 主控室

主控制室是重要的兼设设施，其设计满足可居留性的要求。是本工程在正常和事故工况下实施反应堆运行控制的关键场所，也是本工程应急响应期间运行控制一组/二组的主要工作场所。设置必要的仪表、控制、显示设备和通信系统。

主要实现以下功能：

- 集中控制、监测、分析和诊断机组的运行和事故状态，保证安全运行、维持安全状态或缓解事故后果；
- 在应急指挥中心启动之前，履行应急通知、通告、报告、应急指挥等功能。

每台机组设置有一个主控室，主控室位于辅助厂房地面二层，长13.5m，宽11m，总面积近150m²。主控室由主控制区、安全控制区、辅助控制区、机组值长/通信区等组成。

主控室设计和可视人机界面系统均采用标准仪控平台——OvationDCS和CommonQ。

主控室主要系统设备包括：大屏幕信息显示系统、反应堆操纵员控制台（6台双平板显示屏 Ovation 操作员工作站）、高级反应堆操纵员控制台（2台双平板显示屏Ovation 操作员工作站）、主专用安全屏（PDSP）、次专用安全屏（SDSP）、多样化驱动系统控制屏、辅助控制屏、值长办公室（1台双平板显示屏 Ovation 操作员工作站）、核应急决策支持系统终端。

主控制区（MCA）系统设备主要包括：反应堆操纵员工作站、高级反应堆操纵员工作站、主专用安全屏、次专用安全屏、多样化驱动系统（DAS）和大屏幕信息系统（WPIS）。

主控室所在的辅助厂房为整体钢筋混凝土结构，其外墙结构具有防飞射物性能；主控室按照抗震Ⅰ类设计，能够抵御设计基准地震和设计基准龙卷风的影响；同时具有良好的密封和通风性能，核岛非放射性通风系统（VBS）及主控室应急可居留系统（VES）为主控室人员提供可呼吸清洁空气；对假想的严重事故（堆芯熔化的LOCA事故），预计事故发生后30天内的个人剂量不超过50mSv。

除此之外，主控室还备有一定数量的呼吸器等防护用品。其中呼吸器类型为自给式便携呼吸装置（SCBA），数量为11套。每套 SCBA均自带一个压缩空气瓶，11个气瓶储存的呼吸级空气总量足够6名成年人使用1个小时。所有SCBA均为标准化的工业产品，每套装置的容量应满足单人不低于33分钟的呼吸需求。

2) 远程停堆室

远程停堆室是独立于主控室的关键控制场所。当主控室人员因主控室内火灾、烟雾等导致不得不撤离主控室时，操纵员在这里实现如下控制机组的功能：

- 可靠地控制反应堆的停堆过程直到其进入安全停堆状态，并确保反应堆余热的导出；
- 触发安全系统并监视其工作过程；
- 获取机组和反应堆状态的重要安全信息等。

每台机组设有一个远程停堆室，位于辅助厂房地面一层，长8.5m，宽3.5m，总面积近30m²。远程停堆室位于主控室楼下，主控室人员可通过室内楼梯到达远程停堆室。

远程停堆室设置一台远距离停堆工作站，采用与主控室一样的双平板显示屏Ovation操作员工作站（非安全级）。

远程停堆室所在的辅助厂房为整体钢筋混凝土结构，其外墙结构具有防飞射物性能；远程停堆室按照抗震Ⅰ类设计，能够抵御设计基准地震和设计基准龙卷风的影响；其通风系统不带过滤，所以不具备严重事故情况下放射性的可居留性。

3) 技术支持中心（含运行支持中心）

技术支持中心是在应急响应期间供电厂技术支持组和运行支持组等成员工作的场所，应具备足够的获取机组状态参数及其他应急相关信息的手段，以便进行事故分析，制定事故对策。主要实现以下功能：

- 对已经发生或可能发生的事故工况（包括严重事故）的分析、预测和诊断提供技术支持和指导，并利用堆芯损伤评价系统进行堆芯损伤评价；
- 对缓解事故或使机组或核电厂恢复到安全状态可采取的控制措施提供建议；
- 与主控室、应急指挥中心进行信息交流，提供技术支持。

技术支持中心（含运行支持中心）也是运行支持组的启动和集中地点，该组主要工作包括确认系统设备运行状态、确定抢修方案、评估抢修风险、制定安全防护措施、组织协调抢修工作等。

每台机组设有一个技术支持中心（含运行支持中心），位于附属厂房地面二层，长15.3m，宽17m，总面积近260m²。技术支持中心（含运行支持中心）配备有两台双平板显示屏Ovation操作员工作站，该操作站除无控制功能外其他功能与主控室相同。另外，技术支持中心（含运行支持中心）配备有核应急决策支持系统终端。

技术支持中心（含运行支持中心）所在附属厂房的区域按照抗震Ⅱ类设计，

同时具有良好的密封和通风性能，核岛非放射性通风系统（VBS）为技术支持中心（含运行支持中心）内的人员提供可呼吸清洁空气。对于伴有堆芯融化的LOCA事故，若VBS一直保持可用且事故未触发VES投用，则预计事故发生后30天内的个人剂量不超过50mSv。

应急情况下技术支持组和运行支持组的到岗地点为事故机组的技术支持中心（含运行支持中心），当发生的事件或事故仅涉及核电厂公用部分，或因自然灾害和保安事件等涉及两个机组的事件引发应急，或当四个机组同时发生引发应急的事件或事故时，则指定1号机组的技术支持中心（含运行支持中心）为应到岗的事故机组的技术支持中心（含运行支持中心），若事故机组的技术支持中心（含运行支持中心）功能丧失或可居留性丧失则到岗地点为应急指挥中心。

技术支持组和运行支持组在事故机组的技术支持中心（含运行支持中心）丧失功能或丧失可居留性的情况下需转移，具体条件如下：

- 技术支持中心（含运行支持中心）通风系统不可用。
- 技术支持中心失电。
- 技术支持中心（含运行支持中心）丧失所有正常通讯手段。
- 技术支持中心（含运行支持中心）因辐射超过限值（剂量率超过 0.2mSv/h 时，则认为该设施丧失可居留性）而丧失可居留性。

技术支持组转移至应急指挥中心后的具体位置在二层的应急指挥室（200房间），运行支持组转移至应急指挥中心后的具体位置在二层的运行支持室（201房间），运行支持组执行层人员在一层的应急待命室（109/110房间）。在应急指挥中心为技术支持组和运行支持组均配置了多台核应急决策支持系统终端，可以通过核应急决策支持系统终端获取所需机组参数，以保证其顺利开展工作。

7.5.5 核事故应急对策

7.5.5.1 场内非应急人员防护行动

场内人员防护行动分为场内应急人员（即承担应急响应任务的人员）的防护行动和场内非应急人员（即不承担应急响应任务的人员）的防护行动。

场内应急人员的防护行动，实际上是对承担应急响应工作的人员采取防护措施，包括保护这些人员人身安全的安全措施。在应急响应过程中，除了应急响应人员本身严格履行核电厂有关安全防护的规定和程序进行自我保护外，安全防护组有必要对承担特殊应急响应任务（如高辐射或高污染水平场所中的阀门操作、

设备维修、样品取样和失踪人员的搜寻，以及长时间实施厂区出入及通道控制等）的应急人员进行辐射防护监督和指导。

场内非应急人员的防护行动通常是涉及人数较多的统一行动（注意：在厂房应急状态下，非应急人员的防护行动可能只涉及少数人员），而且相当数量的非应急人员可能是未接受专门辐射防护技能培训的非职业受照人员。场内非应急人员的防护行动必须在电厂应急组织的安排下，有组织地实施。

1) 场内非应急人员防护行动的种类：

- 撤离事故场所；
- 暂时隐蔽在场区建筑物内；
- 服用碘片；
- 撤离场区；
- 辐射监测和去污；
- 个人简易防护措施。

另外，为避免增加受事故影响的非应急人员，实施出入通道控制亦是有效的防护行动。

2) 场区内非应急人员防护行动的确定

基于山东海阳核电厂的设计安全特性，场内非应急人员的防护行动一般按下述原则确定：

- 应急待命状态下，对场内所有非应急人员不必采取防护行动，但应要求他们回到各自的办公室或工作岗位；
- 在厂房应急状态下，与事故处理无关的所有人员必须立即按要求撤离受事故影响的场所或区域（注意：如果受事故影响场所或区域仅为某一厂房内的局部区域，有关人员只需离开该区域，而不必撤出该厂房），并由工作负责人在安全地点进行集合清点，如发现失踪人员应立即向当班值长或本处领导报告，并由其向应急指挥部报告。受影响人员应按照应急广播通知的要求实施应急响应；
- 在场区应急状态或场外应急状态下，场区所有非应急人员尽快关闭（非工艺厂房）门窗和通风，按照指令到就近应急集合点集合，进行人员清点，根据指令服用碘片，并在作为集合点的建筑物内暂时隐蔽，完成集合清点后，按照指令尽快有序撤离。场内非应急人员撤离的指令，由应急总指挥

批准。场内非应急人员撤离到场区以外后，其后的应急防护行动由场外应急组织负责，电厂应急指挥部应与场外应急组织积极沟通落实，场内撤离人员应按照场外应急组织安排，一般应首先撤离至场外应急洗消点进行污染监测，必要时进行去污，之后到场外安置点统一安置。

场内非应急人员的场内防护行动指令，一般应由应急总指挥批准并指令执行。场内非应急人员撤离到场区以外后，其后的应急防护行动由场外应急组织根据《山东省海阳核电厂场外应急预案》实施。

3) 场区非应急人员防护行动的实施

(1) 应急集合点的安排

应急集合点的安排列于表7.5-2。

在1#至7#应急集合点设有清点机，可以通过刷厂前区工作证确认相应人员被清点，后勤支持组能够根据各集合点清点到的人员、人工清点到的人员以及进入控制区现场的人员确定一份初步的失踪人员名单。8#至10#应急集合点由各单位开展人工清点。

(2) 集合与清点

在厂房应急状态或发生火灾情况下，在事发场所内的非应急响应人员或不被指令参与灭火的人员，应按有关安全规定离开事发场所并撤到附近的安全区域内，或者按机组值长或工作负责人的指令撤到事发场所附近的指定安全区域内。对已撤到安全区域的人员，由工作负责人进行人数清点，如发现失踪人员需向当班值长报告，由其向应急指挥部报告，并由运行支持组进行搜寻，相关人员给予协助。

在场区应急和场外应急情况下，在听到应急广播通知和警报后，场区内所有非应急工作人员应立即到就近的应急集合点集合，并进行人员清点。后勤支持组对场区非应急人员的集合和清点负责总体组织实施。

对于1#至7#应急集合点，接到集合清点通知后，各处指定本处的集合清点负责人，督促本处非应急人员、外来参观人员和外来协助工作的人员立即到就近集合点集合，并在清点系统终端上刷卡/脸记录，组织本处人员按照该集合点负责人的要求在指定位置集合。若出现本处非应急员工、外来参观人员和外来协助工作的人员当天未带员工卡或其他不能刷卡/脸的情况，则本处集合清点负责人汇总不能刷卡/脸的人员信息，提交该集合点负责人。由后勤支持组组长组织相关人员在集合清点系统的辅助下，汇总所有集合点的清点结果。

对于8#至10#应急集合点，接到集合清点通知后，各承包商按照各自的应急预案组织实施集合清点和撤离。

（3）失踪人员的搜寻

在场区应急和场外应急状态下，后勤支持组汇总了所有集合点的人员清点结果之后，结合控制区的出入刷卡信息，即可确定失踪人员名单，并由生产副总指挥组织对失踪人员进行搜寻。一般情况下，场区内工艺厂房内失踪人员的搜寻由运行支持组负责实施，场区非工艺厂房内和场区室外失踪人员的搜寻由安全防护组负责，其他专业组予以协助和配合；火灾、有毒或窒息性气体情况下的搜救，由安全防护组消防队员提供专业搜救支持；涉及保安事件的搜救，安全防护组保安和警卫提供安保支持；进入高辐射和高污染区以及高危险区进行搜寻，须由安全防护组予以监护；承包商单位失踪人员的搜寻，由承包商自行负责，承包商归口管理处提供必要的支持。

（4）暂时隐蔽在场区建筑物内

所有到达指定集合点的非应急响应人员，在未获知指挥部的撤离场区指令前，必须在作为集合点的建筑物内隐蔽（注意要远离通风口）。整个隐蔽期间，未经集合点负责人许可不准离开集合点，且应分处或单位集合在一起。

（5）碘片的贮存与发放

碘片的贮存与更新由电厂专业处室负责。碘片存放在各核应急集合点以及主控室、应急指挥中心、备用应急指挥中心、技术支持中心（含运行支持中心）、等主要应急设施内以及保卫控制中心和消防站等。在进入场区应急和场外应急情况下，由安全防护组向应急指挥部提出向非应急人员和应急人员发放碘片和服用碘片时间的建议，经应急指挥部批准后予以发放和服用。

（6）场内非应急人员撤离

在进入场区应急或场外应急情况下，场区非应急人员的撤离由后勤支持组负责总体组织实施。

● 车辆调配

进入场外应急状态以后，由运行支持组根据需撤离人数确定所需要的车辆，并进行车辆调配。车辆来源包括电厂车辆和承包商车辆。撤离人员时，车辆直达人员集合点供人员乘车。各承包商人员的撤离用车辆则由承包商自行解决。

● 撤离路线

山东海阳核电厂主要有一条进厂道路和一条应急道路，分别为海核一路和海核二路。并利用进厂道路与应急道路设置了两条撤离路线。

(7) 出入通道控制

在进入应急状态后，由安全防护组组织实施电厂的出入通道控制。出入通道的相关设施主要包括电厂出入通道控制系统、闭路电视监控系统和专用保安通信系统等。安全防护组有关人员在保卫控制中心负责出入通道监控，当保卫控制中心丧失可居留性时，安全防护组有关成员将撤离到应急指挥中心，其中设有一台电厂实体保卫系统的显示终端，从该终端可获取保卫系统的完整信息。

应急状态下厂区出入通道的控制应遵循如下原则：

- 根据应急状态等级在电厂厂区设置不同的控制区域，实施分区控制；
- 按工作人员承担的工作和应急响应任务，通过分类授权控制人员进入，既要控制与应急响应行动无关的人员进入设定的控制区域，又要保证应急响应人员和物资能够进入响应区域；
- 对承担有应急响应任务的车辆发放“应急通行证”，控制无关车辆的进入。

(8) 污染监测

当车辆离开场区时，由应急指挥部安排辐射防护专业人员对出入场区人员、车辆等进行污染监测并与场外进行及时沟通。

7.5.5.2 场外人员防护行动

1) 实施撤离的应急组织和职责分工

实施撤离措施由省核应急指挥部作出决策，总指挥下达命令，省各核应急专业组进行指导和组织保障，市隐蔽撤离组组织执行，市各核应急行动组进行协调和组织保障，镇/街道、园区具体组织实施。

2) 场外公众撤离路线：

场外公众分为陆上与海上两种撤离路线。

3) 撤离运输车辆

撤离公众所需的客运车辆由市交通保障组负责征集和调用。运力不足时，组织二次运送或申请省核应急指挥部组织应急支援。在海阳市运力不能满足撤离需要时，由省交通保障组紧急调用周边市车辆实施快速支援。

4) 撤离公众的检测与去污

采取预防性撤离时，人员和车辆可不必检测，按指定路线直接驶往安置点。其它情况下，撤离公众、车辆必须沿指定路线先到流动洗消站检测或去污（洗消）处理后驶往安置区。由洗消站对受污染人员、车辆进行去污洗消处理。受污染人员和车辆就地或沿指定路线开往洗消站进行去污洗消处理；受污染人员去污洗消为并再次检测无污染后，随无污染车辆沿指定路线驶往安置区。

放射性烟羽释放后，从封锁区驶出的所有车辆开展检测，有污染时洗消达标后放行。

5) 场外安置点

根据《山东省海阳核电厂场外核应急预案》，场外人员安置由省应急管理厅牵头，核设施所在地政府、省公安厅、省交通运输厅、省自然资源厅、省商务厅等组成省隐蔽撤离与安置组。主要职责为：掌握应急计划区内人口分布情况，通知居民实施隐蔽，确定撤离路线和安置场所，制订隐蔽、撤离、安置实施细则。应急响应时，负责对紧急撤离居民的安置工作，并保障日常生活物资的供应；应急终止后，做好撤离居民的返回善后工作。

7.5.6 实施核应急预案的可行性

《山东海阳核电厂 3、4 号机组厂址区域核应急方案》已于 2021 年 11 月通过国家核事故应急办公室审查（国核应办〔2021〕27 号），《山东省海阳核电厂场外核应急预案》以及《海阳核电厂 1-2 号机组场内核事故应急预案》均已正式实施。

按照我国核安全法规《核动力厂厂址评价安全规定》（HAF101-2023）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，来评价执行核应急预案的可行性：

- 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。

本工程应急可行性的主要结论如下：

7.5.6.1 人口分布

厂址半径5km范围内共有6个自然村，有常住人口6310人，人口密度为376人/km²。

厂址半径5km范围内无养老院、监狱分布，有小学1所，幼儿园2所，幼儿园共有学生125人（没有住校生），教职员工22人；小学共有学生282人（没有住校生），教职员工22人；厂址半径5km范围内涉及1家医疗机构，有医护人员4人，实有床位数15张。厂址半径5km范围内涉及7家企业，共有员工数124人。

厂址半径5km范围内无万人以上人口集中地区

厂址半径10km范围内共有常住人口34798人，无10万人以上城镇。

该区域范围内居民点、特殊人群分布比较集中，有利于人员的集合、清点，也有利于车辆到达设置在道路上的指定集合点实施人员撤离。

厂址半径50km范围内共有人口1100303人，预期人口最大年为2047年，对应预期人数为1120428人。

7.5.6.2 外部危险源

厂址半径10km范围内共有4家加油站、1家液化气储配点，距离厂址最近的天然气管线位于厂址NNW方位约4km，距离厂址最近的危险品运输路线位于厂址N方位1.3km。上述危险源均不影响核电厂运行安全。

7.5.6.3 交通和通信

厂址所在海阳市交通发达，核电一路和核电二路作为应急道路，两条不同方向的应急撤离路线均不在常年主导风向的下风向位置，风向特征对于核电厂应急准备及实施较为有利。厂址附近的海阳港可提供良好的海上运输通道，厂址周围具有良好的应急撤离、疏散和运输条件。

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。

7.5.6.4 医疗后援

山东海阳核电厂场内已配备医务室医生和护士、职业医疗助理，场外的海阳市中医院和解放军第971医院崂山医疗区分别作为常规和辐射医疗后援单位，并已签订协议，具体见7.5.4.1节。

7.5.6.5 放射性核素释放敏感的农业活动

厂址附近不涉及放射性核素释放敏感的农业活动。

7.5.6.6 外部自然事件

山东海阳核电厂已针对应急撤离中可能构成潜在危害的外部自然事件进行了考虑，不存在应急撤离执行的不可克服的困难。

综上所述，山东海阳核电厂在实施核应急预案方面没有不可克服的困难。

表 7.5-1 山东海阳核电厂应急响应组织的主要岗位及其担当人选

应急岗位	担当人	替代人
应急指挥部		
应急总指挥	董事长	总经理，分管或协管生产、安全的领导，并具备 10 年以上核电厂生产相关管理经验
生产副总指挥	分管运行一处的公司领导	总工程师、安全总监、总经理助理、副总工程师，生产相关处室处长或有 SRO 资格或经历的副处长
工程副总指挥	分管工程处的公司领导	总经理助理、副总工程师、工程处处长、副处长、主任工程师、处长助理、科长
生产指挥助理 1/2	运行处一处处长/运行处二处处长	运行一处/运行处二处副处长、主任工程师、处长助理、不倒班的值长、具有 SRO 资格或经历的相关科科长、副科长，及生产处室具有 SRO 资格或经历的人员
应急助理	安全防护处应急管理科科长	安全防护处分管应急工作的处室领导、主任工程师、处长助理、应急管理专业人员
技术秘书	生产计划处日常计划科科长	生产计划处日常计划、生产支持、生产准备、移交接产、维修管理专业人员
秘书		数字化中心（信息文档处）文档专业人员
公众信息助理	党群工作处（工会办公室）处长	党群工作处（工会办公室）副处长、主任工程师、处长助理，宣传专业人员
公众信息协调员		核安全执照处处长、副处长、主任工程师、处长助理，执照申请、经验反馈专业人员
话务员		当班话务员
运行控制一组（GOP1）/运行控制二组（GOP2）		

组长		单台机组事故时，事故运行控制组组长由事故机组当班值长担任。非事故运行控制组组长由 1 号机组或 3 号机组当班值长担任。 当 1-4 号机组同时事故时，分别由 1 号机组、3 号机组当班值长分别担任运行控制一组、运行控制二组组长。
当班值长		机组值长
值班核安全工程师		值班或倒班的核安全工程师
当班副值长		机组副值长
隔离经理/STA		隔离经理
主控室操纵员		主控室操纵员
现场操作员		现场操作员
化学值人员		化学值班人员
运行辅助值班员		运行辅助值班员
技术支持组		
组长	技术支持处处长	系统设备处处长、技术支持处和系统设备处副处长、主任工程师、处长助理，技术支持处燃料科、系统设备处工艺系统科、机械设备科、电气科、仪控科科长、副科长、高级主管
事故分析助理（机组状态诊断与预测）		不值班的核安全工程师、模拟机教员、运行一处、运行二处人员
事故分析助理（堆芯损伤评价）		技术支持处燃料专业人员
事故分析助理（工艺）		系统设备处工艺系统、机械设备专业人员
事故分析助理（电仪）		系统设备处电气、仪控专业人员
安全防护组		
组长	安全防护处处长	化学环保处处长、安全防护处和化学环保处副处长、主任工程师、处长助理，安全防护处各科科长、副科长
辐射防护助理		安全防护处辐射防护专业人员
环境监测助理		化学环保处环境监测、环保监督专业人员

后果评价助理		安全防护处辐射防护专业人员
职业医疗助理		安全防护处职业健康专业人员、职业医疗工作经历的技术人员、从事职业医疗工作的技术支持人员
工业安全助理		安全防护处工业安全专业人员
消防助理		安全防护处消防专业人员
保卫助理		安全防护处保卫专业人员
环境监测人员		化学环保处环境监测、环保监督专业人员
辐射防护人员		安全防护处辐射防护专业人员
辐射防护技术人员		机组辐射防护值班员
厂区医务室当值人员		医务室当值人员
专职消防队		专职消防队员
保安人员		保安
武警战士		驻场武警
运行支持组		
组长	机械维修处处长	机械维修处副处长、主任工程师、处长助理，电气维修处、仪控维修处、维修支持处处长、副处长、主任工程师、处长助理
机械助理		机械维修处副处长、主任工程师、处长助理及各科科长、副科长及主管工程师
电气助理		电气维修处副处长、主任工程师、处长助理及各科科长、副科长及主管工程师
仪控助理		仪控维修处副处长、主任工程师、处长助理及各科科长、副科长及主管工程师
维修支持助理		维修支持处副处长、主任工程师、处长助理及现场服务科、环境工程科、土建科科长、副科长及主管工程师
通讯助理		维修支持处通讯专业人员
机械维修人员	主机组	机械维修处主机维修专业人员
	辅机组	机械维修处辅机维修专业人员
	管阀组	机械维修处管阀维修专业人员
	容器组	机械维修处容器维修专业人员

电气维修人员	高压工程师		电气维修处高压维修专业人员
	低压工程师		电气维修处低压维修专业人员
	维保工程师		电气维修处继保专业人员
仪控维修人员	保护维修组		仪控维修处保护维修专业人员
	控制维修组		仪控维修处控制维修专业人员
	仪控专用维修组		仪控维修处仪控专用维修专业人员
维修支持人员	现场服务组		维修支持处现场服务专业人员
	环境工程组		维修支持处环境工程专业人员
	土建组		维修支持处土建专业人员
通讯维修人员			维修支持处通讯专业人员
司机			车队
移动设备专项组			
组长			机械助理、电气助理、仪控助理轮流兼任
机械操作组组长			机械维修人员兼任
电气操作组组长			电气维修人员兼任
仪控操作组组长			仪控维修人员兼任
运行操作组组长			现场操作员
驾驶员组组长			值班司机
后勤支持组			
组长		综合管理处（董事会办公室、党委办公室）处长	商务合同处、系统设备处、数字化中心（信息文档处）处长、综合管理处（董事会办公室、党委办公室）、商务合同处、系统设备处、数字化中心（信息文档处）副处长、处长助理、主任工程师及相关科科长或副科长、高级主管
行政助理			综合管理处（董事会办公室、党委办公室）行政事务专业人员
物资采购助理			商务合同处物资合同专业人员
物资供应助理			系统设备处物资管理专业人员
信息助理			数字化中心（信息文档处）信息专业人员

工程协调组		
组长	工程处处长	工程处副处长、处长助理、主任工程师以及相关科科长、副科长、高级主管
工程协调助理		工程处人员

注：

- （1）只有应急总指挥的替代人有替代顺序
- （2）未设置担当人的应急岗位，应急情况下由该岗位 ON-CALL 或当班人员履行应急职责；
- （3）多机组事故应急响应时，如果 ON-CALL 人员不能满足响应要求，各专业组组长可向应急指挥部申请人员增调，选择替代人员参与应急响应，经应急总指挥批准后由各专业组负责落实。

表 7.5-2 山东海阳核电厂场区的应急集合点安排

集合点 编号	应急集合点位置	主要针对的人群	集合点负责人
1#	SRTF 办公区	适用于 SRTF 内及其附近的所有人员	化学环保处负责人
2#	运行和维修技术支持大楼室内	适用于运行和维修技术支持大楼内及其附近的所有人员	仪控维修处负责人
3#	维修办公楼室内	适用于维修办公楼内及其附近的所有人员	机械维修处负责人
4#	综合办公楼室内	适用于综合办公楼内及其附近的所有人员	综合管理处负责人
5#	建设期办公楼 A 楼室内	适用于建设期办公楼 A 楼内及其附近的所有人员	安全防护处负责人
6#	承包商食堂室内	适用于承包商食堂内及其附近的所有人员	工程处负责人
7#	培训中心及档案（百人报告厅）室内	适用于培训中心及档案馆内及其附近的所有人员	培训处负责人
8#	中核混凝土办公楼室内	适用于中核混凝土办公楼内及其附近的所有人员	中核混凝土公司负责人
9#	中核二四办公楼室内	适用于中核二四办公楼内及其附近的所有人员	中核二四公司负责人
10#	中核五办公楼室内	适用于中核五办公楼内及其附近的所有人员	中核五公司负责人

注：核应急集合点将随着工程建设实际情况适时调整。

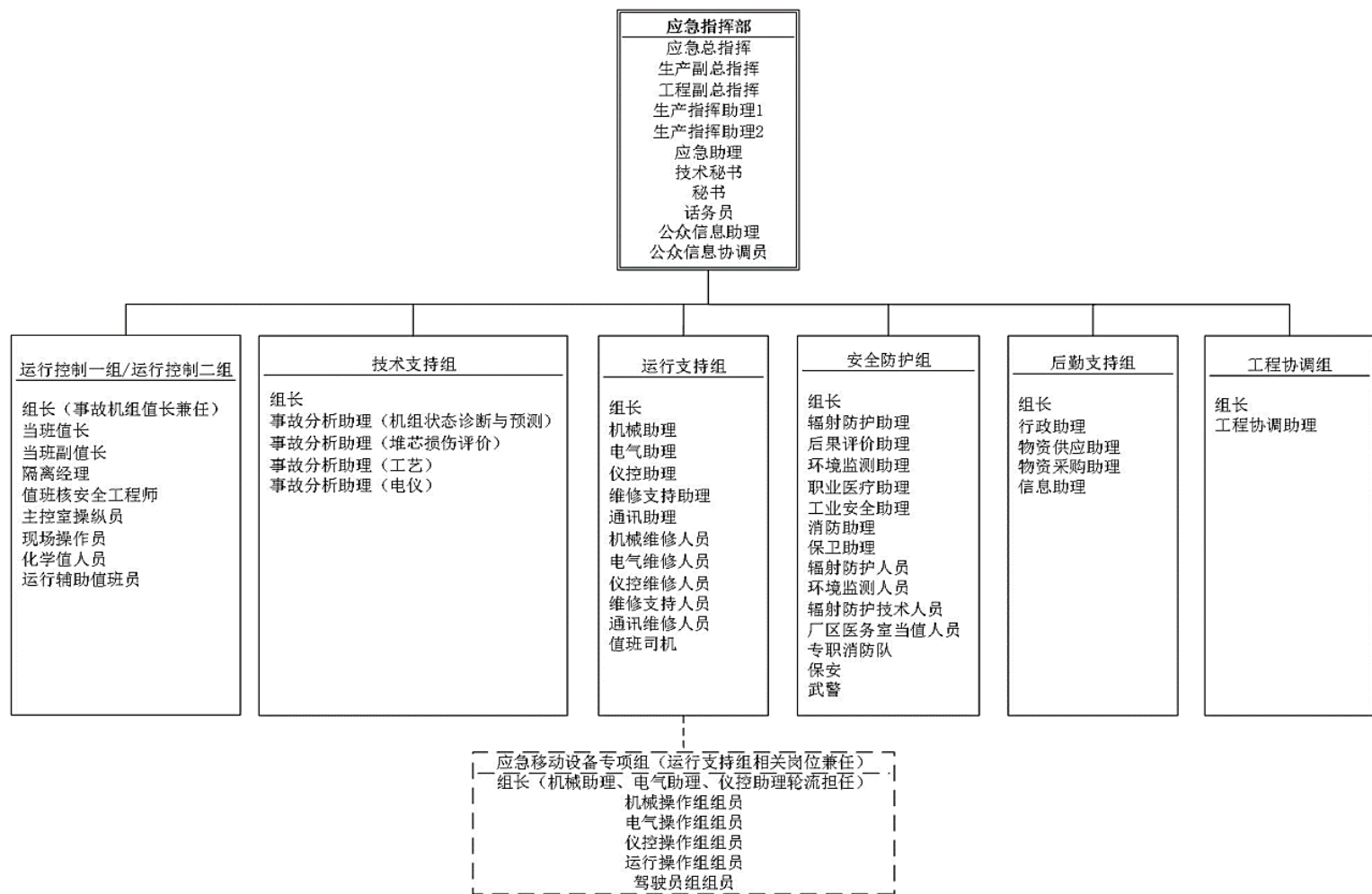


图 7.5-1 山东海阳核电厂应急响应组织机构及岗位组成图

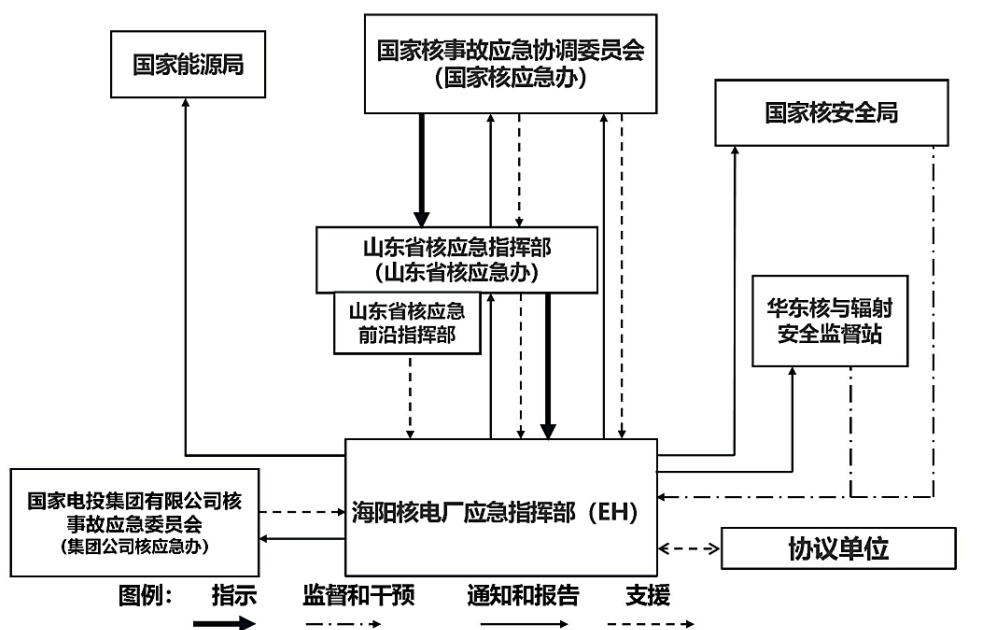


图 7.5-2 山东海阳核电厂应急响应组织与场外应急组织的接口关系图

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 3、4 号机组工程的流出物监测包括核电厂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。

山东海阳核电项目一期工程已建设完成本厂址的辐射环境现场监督性监测系统，并移交给山东省生态环境保护行政主管部门运行和管理。地方政府使用该系统对本厂址机组流出物中的放射性水平实施监督性监测，核电厂营运单位为该系统中流出物的连续监测和定期取样提供支持，同时为配合山东省生态环境保护行政主管部门监督性监测工作也做出如下安排：1）按照监督性监测的需要采集液态流出物等分样，规范标注样品信息，以备监督性监测抽测；2）实施有效的外部质量控制活动，加强与山东省环保部门监督性监测机构间的技术交流，每年开展比对工作，当监测结果出现不一致时，应及时开展原因分析、问题排查，形成闭环管理。

8.1.1.1 监测目的

山东海阳核电项目 3、4 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：

- 测量流出物中放射性物质的种类和数量，为判断流出物排放是否遵守管理限值或运行限值提供依据。
- 为评价环境质量、估算公众受照射剂量提供源项数据。
- 为判断三废处理系统和排放系统工作是否正常提供依据。
- 迅速发现和鉴别非计划排放的性质和规模。
- 给出是否启动报警系统的信息。

8.1.1.2 监测内容

山东海阳核电项目 3、4 号机组工程的流出物监测主要包括气态流出物监测

和液态流出物监测。电厂可根据实际监测情况对监测大纲进行优化。

1) 气态流出物监测

● 电厂烟囱辐射监测仪

电厂烟囱是电厂向周围环境释放放射性物质的主要设计通道。电厂烟囱正常量程辐射监测仪 VFS-JS-01 和电厂烟囱事故量程辐射监测仪 VFS-JS-02 分别在正常和事故量程范围内,对电厂烟囱中的放射性活度浓度进行连续测量。电厂烟囱辐射监测仪还用作事故后监测仪,变量定义为 C 类 2 级 (C2) 和 E 类 2 级 (E2),满足 RG 1.97 和 NUREG-0737 的要求。

电厂烟囱正常量程辐射监测仪 (VFS-JS-01) 的气溶胶探测器采用 β 灵敏探测器,主要测量核素为 ^{90}Sr , ^{137}Cs , 测量范围 $3.7\times 10^{-2}\text{Bq/m}^3\sim 3.7\times 10^3\text{Bq/m}^3$; 碘探测器采用 γ 灵敏探测器,主要测量核素为 ^{131}I , 测量范围 $3.7\times 10^1\text{Bq/m}^3\sim 3.7\times 10^4\text{Bq/m}^3$; 惰性气体探测器采用 β 灵敏探测器,主要测量核素为 ^{85}Kr 、 ^{133}Xe , 测量范围 $3.7\times 10^3\text{Bq/m}^3\sim 3.7\times 10^8\text{Bq/m}^3$ 。电厂烟囱事故量程辐射监测仪 (VFS-JS-02) 采用 β/γ 灵敏探测器,主要测量核素为 ^{85}Kr 、 ^{133}Xe , 事故量程惰性气体测量范围为 $3.7\times 10^6\text{Bq/m}^3\sim 3.7\times 10^{15}\text{Bq/m}^3$ 。

电厂烟囱辐射监测仪还具有气溶胶、碘和惰性气体的手动取样功能。

电厂烟囱辐射监测仪接收电厂烟囱流出物流量传感器 (VFS-JE-FE105) 的模拟信号,并计算标准状态下的放射性气体活度浓度、释放量和流量。这些模拟信号还可用来计算在操纵员选定的时间段内的总取样流量和总排放量。

当探测到的放射性活度浓度超过报警阈值时,辐射监测仪提供就地报警,该报警信号还送往主控制室。

当电厂烟囱正常量程辐射监测探测到的放射性活度浓度超过正常量程范围时,正常量程的气溶胶、碘和惰性气体探测器将自动旁路。样品中的一小部分将通过旁路绕过正常量程探测器,进入事故量程气溶胶和碘过滤器以及惰性气体探测器进行测量。这样不仅可以防止正常量程探测器的损坏,还可以在放射性水平降低后重新使用正常量程探测器来测量正常量程探测器范围内的放射性活度浓度。

此外,电厂烟囱辐射监测通道还设置取样回路组合装置 (VFS-JY-108),用于对气溶胶、碘、惰性气体、氡和碳-14 连续取样,样品定期送至实验室进行测量和分析。取样回路组合装置通过独立的取样装置 (VFS-JE-PB002) 从烟囱中获

取样品，并通过返回管返回烟囱。取样位置的选取、取样嘴以及取样管道的设计满足《核电厂烟囱的气载放射性物质取样》（NB/T20374-2016）的要求，且应保证在电厂各种运行工况期间从烟囱获取的样品都具有代表性。取样回路组合装置内包含两路独立、并行的取样支路，每路包含一组气溶胶和碘取样器和一个惰性气体取样接头，正常运行期间，两路取样支路同时运行。在返回管上，还设置了一组氙和碳-14 连续取样装置。在返回管上，RMS 还设置了两组氙和碳-14 取样装置。为了提升通道可靠性，取样回路组合装置包含两台互为备用的取样泵。

事故量程辐射监测仪（VFS-JS-02）设置了两条并行固定的过滤器和气体手动取样连接器，用于收集样品中高放射性活度浓度的气溶胶和碘。

事故量程辐射监测仪每条取样回路的气溶胶、碘过滤器和气体手动取样连接器的安装、设计及制造应易于拆卸，以便送现场实验室分析。

电厂烟囱辐射监测仪示意图见图 8.1-1。

● 凝汽器抽真空系统辐射监测仪

凝汽器抽真空系统辐射监测仪（CMS-JS-01）连续测量凝汽器抽真空系统（CMS）通风排放管道中的放射性活度浓度。放射性物质的存在，表明蒸汽发生器管道泄漏导致一次侧向二次侧泄漏。该监测仪还用作事故后监测仪，变量定义为 C 类 2 级（C2）和 E 类 2 级（E2），满足 RG 1.97 的要求。当探测到的放射性活度浓度超过报警阈值时，辐射监测仪提供就地报警，该报警信号还送往主控制室。

凝汽器抽真空系统辐射监测仪采用一个 β 灵敏探测器和一个 γ 灵敏探测器，主要测量核素为 ^{85}Kr 、 ^{133}Xe ，测量范围分别为 $3.7\times 10^4\text{Bq/m}^3 \sim 3.7\times 10^{10}\text{Bq/m}^3$ 和 $3.7\times 10^9\text{Bq/m}^3 \sim 3.7\times 10^{15}\text{Bq/m}^3$ 。

凝汽器抽真空系统辐射监测仪属于管内/管旁辐射监测仪，示意图见图 8.1-2、图 8.1-3。

● 主蒸汽管道惰性气体辐射监测仪

主蒸汽管道惰性气体辐射监测仪（SGS-JS-26A 和 SGS-JS-27A）连续测量两条主蒸汽管道中放射性物质活度浓度。主蒸汽管道中存在的放射性物质来自于蒸汽发生器内一次侧向二次侧的泄漏。

主蒸汽管道惰性气体辐射监测仪安装在蒸汽管道附近。探测器的布置便于其灵敏体积暴露在来自被测主蒸汽管道的辐射场中，并屏蔽掉另一个主蒸汽管道的辐射。

主蒸汽管道惰性气体辐射监测仪满足 RG 1.97 关于测量“从蒸汽发生器安全阀或大气释放阀释放的惰性气体”和 RG 1.97 规定的 C2 和 E2 类变量的要求。

当放射性物质活度浓度超过预置阈值时，主蒸汽管道辐射监测仪将在主控制室内产生报警。如果蒸汽发生器安全阀或大气释放阀打开，那么主蒸汽管道辐射监测仪的放射性活度浓度数据可以用来计算向环境释放的放射性。

主蒸汽管道惰性气体辐射监测仪采用 γ 灵敏探测器，主要测量核素为 ^{85}Kr 、 ^{133}Xe ，测量范围为 $3.7\times 10^9\text{Bq/m}^3\sim 3.7\times 10^{13}\text{Bq/m}^3$ 。

主蒸汽管道辐射监测仪属于管旁辐射监测仪，示意图见图 8.1-3。

● BOP 气态流出物排放监测

本工程厂址废物处理设施（SRTF）、去污和热检修车间为全厂共用子项，已在山东海阳核电项目一期工程中建造并投用。

2) 液态放射性流出物监测

● 放射性液体废物排放（厂区废液大贮罐）辐射监测仪

放射性液体废物排放（厂区废液大贮罐）辐射监测仪（LES-JS-119）连续监测厂区液态流出物贮罐系统（LES）贮罐的液态流出物排放总管中的液态流出物放射性活度浓度。这些液体经过充分混合并在释放前取样分析，分析结果满足排放标准后进行排放，以便确认排放的放射性物质的活度浓度和总量都在允许的范围内。当放射性活度浓度超过预置阈值或仪表故障时，监测仪将发出报警信号和停止排放联锁信号，阻止流出物排放。

放射性液体废物排放（厂区废液大贮罐）辐射监测仪设置在液态流出物贮罐厂房（516 子项）中，根据目前计划，516 子项将在本项目第一个燃料循环结束前建成投用，本设备随 516 子项一起投入使用。516 子项投用前，本项目核岛液态流出物通过放射性液体废物排放辐射监测仪（WLS-JS-229）进行排放监测。

放射性液体废物排放（厂区废液大贮罐）辐射监测仪采用 $\text{NaI(Tl)}\gamma$ 灵敏探测器，主要测量核素为 ^{137}Cs ，测量范围 $3.7\times 10^3\text{Bq/m}^3\sim 3.7\times 10^8\text{Bq/m}^3$ 。

放射性液体废物排放（厂区废液大贮罐）辐射监测仪属于管旁辐射监测仪，示意图见图 8.1-3。

- 放射性液体废物排放辐射监测仪

放射性液体废物排放辐射监测仪（WLS-JS-229）连续测量从放射性液体废物处理系统核岛废液监测箱向环境排放的液体中放射性活度浓度。这些液体经过充分混合并在取样后排放。在排放前必须就地取样分析，以便确认其排放物的放射性活度浓度和排放总量都在允许的范围内。当放射性活度浓度超过预置阈值或仪表故障时，监测仪将发出报警信号和停止排放联锁信号，阻止流出物排放。

516 子项投用后，本项目核岛液态流出物通过放射性液体废物排放（厂区废液大贮罐）辐射监测仪（LES-JS-119）进行排放监测，本监测仪不再执行液态流出物排放监测功能。

液体放射性废物排放辐射监测仪采用 NaI(Tl) γ 灵敏探测器，测量范围 $3.7\times 10^3\text{Bq/m}^3\sim 3.7\times 10^8\text{Bq/m}^3$ 。

液体放射性废物排放辐射监测仪属于管旁辐射监测仪，示意图见图 8.1-3。

- 常规岛生产废水排放辐射监测仪

常规岛生产废水排放辐射监测仪（WWS-JS-23）在排放期间连续测量二回路接收排放监测水箱排放总管中的放射性物质活度浓度。当放射性活度浓度超过预置阈值或仪表故障时，监测仪将发出报警信号和停止排放联锁信号，阻止流出物排放。

常规岛生产废水排放辐射监测仪采用 γ 灵敏探测器，主要测量核素为 ^{137}Cs ，测量范围 $3.7\times 10^3\text{Bq/m}^3\sim 3.7\times 10^8\text{Bq/m}^3$ 。

常规岛生产废水排放辐射监测仪属于管旁辐射监测仪，示意图见图 8.1-3。

- BOP 液态流出物排放辐射监测仪

本工程厂址废物处理设施（SRTF）中放射性疏水和洗衣房废水、去污热车间中液态流出物也都采用槽式监测排放。这些子项均为全厂共用子项，已在山东海阳核电项目一期工程中建造并投运。

低放水辐射监测仪采用 γ 灵敏探测器，主要测量核素为 ^{137}Cs ，测量范围 $3.7\times 10^3\text{Bq/m}^3\sim 3.7\times 10^8\text{Bq/m}^3$ 。

516 子项投用后，本项目厂址废物处理设施（SRTF）、去污热车间液态流出物通过放射性液体废物排放（厂区废液大贮罐）辐射监测仪（LES-JS-119）进行排放监测，本监测仪不再执行液态流出物排放监测功能。

8.1.1.3 监测取样代表性

对于气态流出物监测，本项目核岛烟囱气态流出物取样系统设计同三门核电项目 3 号机组保持一致，由于三门核电项目 3 号机组已按照 NB/T 20374 的要求开展气态流出物取样代表性设计验证，本项目不再重复开展。后续如设计方案发生变化，本项目将依据标准要求重新开展试验。

对于液态流出物监测，槽式排放前对废液贮存罐内的液态流出物进行充分混合，然后再取样，使得样品具有代表性。

8.1.2 辐射环境监测

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) 获取核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《环境监测大纲》，海阳核电厂环境 γ 辐射剂量率水平调查范围为厂址半径 30km 范围内区域。除对照点外，其余项目调查范围取半径 20~30km，重点监测核电厂周围 10km 范围，对海域的调查，重点关注核电厂排水口附近海域。

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；
- 液态流出物排放方式及特点、潮汐规律；
- 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 辐射空气吸收剂量率连续监测（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，厂外 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 辐射空气吸收剂量率

在以核电厂为中心的 30km 范围内的道路、原野选取 49 个监测点，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，厂外 4 个。

(1) 气溶胶

气溶胶样品的监测频率为 1 次/月（个别点位为 1 次/周），采样体积约为 10000m³。采集的样品主要用于 γ 谱分析。

(2) 空气中 ³H、¹⁴C、¹³¹I

空气 ³H 样品的监测频率为 1 次/月（个别点位为 1 次/周），采样持续时间为 1 天~1 周不等。

空气 ¹⁴C 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 5m³。

空气 ¹³¹I 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 300m³。

空气样品采用冷凝法采样，冬季使用硅胶吸附法采样。

(3) 雨水

降水样品的监测频率为 1 次/月，月度累积样品取 500mL，进行 ³H 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 γ 谱和 ^{90}Sr 测量。

3) 水体

(1) 地表水

地表水采集三个点位样品，采样频率为 1 次/半年，分析项目为 γ 谱、总 β 和 ^3H ，个别点位加测 ^{14}C 。

(2) 饮用水

饮用水采集五个点位样品，采样频率为 1 次/半年，分析项目为总 α 、总 β 、 γ 谱和 ^3H ，部分点位加测 ^{14}C 和 ^{90}Sr 。

(3) 地下水

地下水的采样点位分别为：厂区控制区外三口地下水监测井（P1、P2、P3）、厂外三个采样点，分析项目为 γ 谱、 ^3H 、 ^{14}C （部分点位）和 ^{90}Sr ，厂外点位采样频率为 1 次/半年，厂内点位采样频率为 1 次/月（抽测）。

(4) 控制区地下水

本期及一期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九口观测井（W1、W2、W3、XW2、W5、W6、WS1、WS2、WS3），以及 093 门岗附近的对照点 W7 井，监测频率为 1 次/月（抽测），分析项目为 γ 谱、 ^3H 、 ^{14}C （部分点位）和 ^{90}Sr 。本期工程新增监测井（WS1、WS2、WS3）情况参见 8.3.2.5 节。

(5) 海水

海水选择取排水口附近海域的 8 个点位及对照点进行取样分析，分析项目为 γ 谱、总 β 、 ^{40}K 、 ^3H 和 ^{90}Sr ，有 3 个点位加测 ^{14}C ，采样频率为 1 次/半年。

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。采样频次为 1 次/年，分析项目为 γ 谱和 ^{90}Sr ，有 6 个点位加测 $^{239+240}\text{Pu}$ 。

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，分析项目为 γ 谱和 ^{90}Sr ，部分点位加测 $^{239+240}\text{Pu}$ 。

6) 潮间带土

潮间带土设置 3 个采样点位。采样频次为 1 次/年，分析项目与土壤相同。

7) 海底泥

底泥样品采样点位共 8 个，采样频次为 1 次/年，分析项目为 γ 谱和 ^{90}Sr ，3 个点位加测 $^{239+240}\text{Pu}$ 。

8) 生物

(1) 水生物

水生物主要采集海水生物。采样点位共 3 个。采样种类包括：鲎鱼（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、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 和 ^3H ，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 ^3H ，部分品种、点位加测 ^{90}Sr 和 ^{14}C 。

(3) 家畜、家禽

家畜和家禽的采样点位有 3 处，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、 ^3H 和 ^{14}C ，大辛家点位加测 ^{90}Sr 。

(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/季，分析项目为 ^{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）。松针采样点位有 2 处，牡蛎采样点位有 3 处。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 ，牡蛎加测 ^3H 。

8.1.3 应急监测

事故条件下的环境监测的任务是对放射性物质事故释放的大小、核素组成进行监测，为评价事故的性质和源项提供数据；对环境 γ 剂量率和空气、土壤、蔬

菜、食品和水源的污染水平进行监测，确定污染区域和水平，为采取防护措施提供依据。

根据《海阳核电厂 1-2 号机组场内核事故应急预案》（SDNP-GE-ER-001），海阳核电厂场外环境应急辐射监测在事故早期的重点是厂址周围 5 公里左右的范围，必要时可扩大到 10 公里，并事先规划好监测路线，便于为烟羽应急计划区内未采取防护行动的区域提供早期应急防护行动决策所需的环境辐射水平输入；在事故中后期，监测范围将根据需要覆盖食入应急计划区。应急时的实际监测路线，将根据具体情况来选定。

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，正常运行情况下用于环境监测的设施与设备全部可用于应急环境监测，它具有快速反应和机动灵活的能力，应急监测方案中考虑了如下要求：

- 在厂址半径 5~10km 范围内，环境监测系统的大气 γ 辐射监测站应具备应急条件下进行连续监测和通信的能力，测量范围能满足应急监测需求，相关数据能通过有线和无线方式及时传输至核电厂应急指挥中心等应急设施。
- 海阳核电厂装备有 1 辆环境监测车和 2 辆环境介质采样车。前者由大功率高顶中巴改造而成，在正常运行情况下主要用于电厂周围环境 γ 辐射水平瞬时测量、环境介质取样等。在应急情况下，用于场外 γ 辐射水平监测、地表污染水平巡测等应急监测任务。监测车装配有车载通讯装置，用于环境监测车与环境 γ 监测计算机之间的数据通讯。
- 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。

事故情况下，海阳核电厂将根据实际风向和放射性物质扩散情况对附近的海域进行放射性监测。

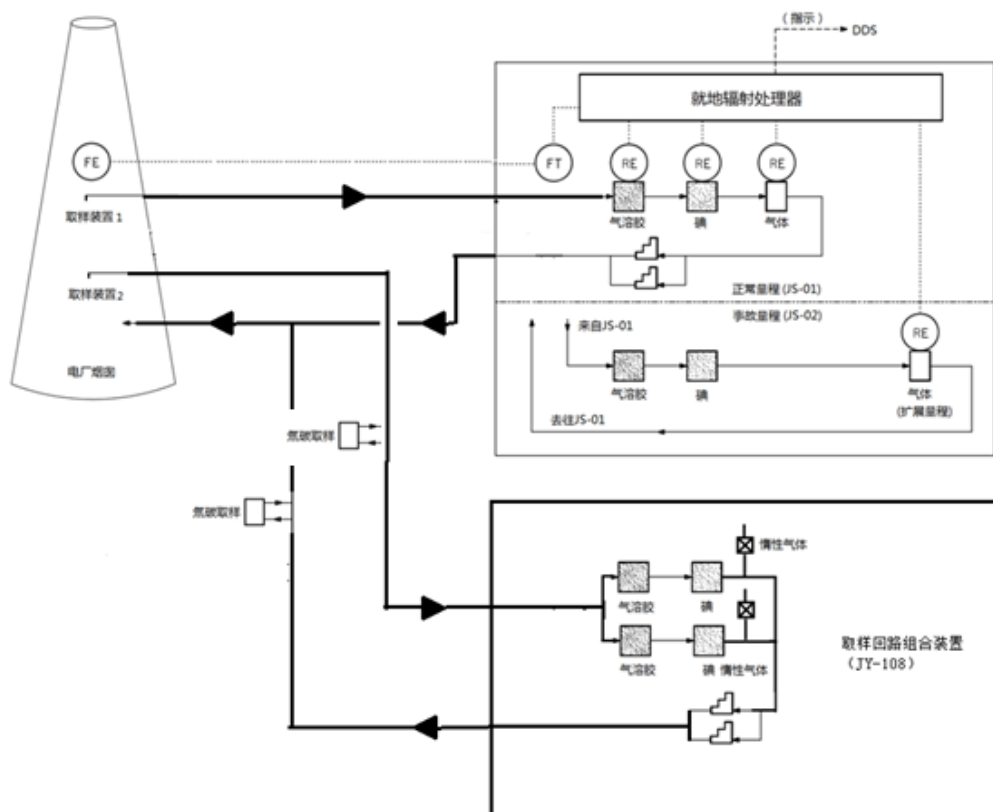


图 8.1-1 核电厂烟囱辐射监测仪示意图

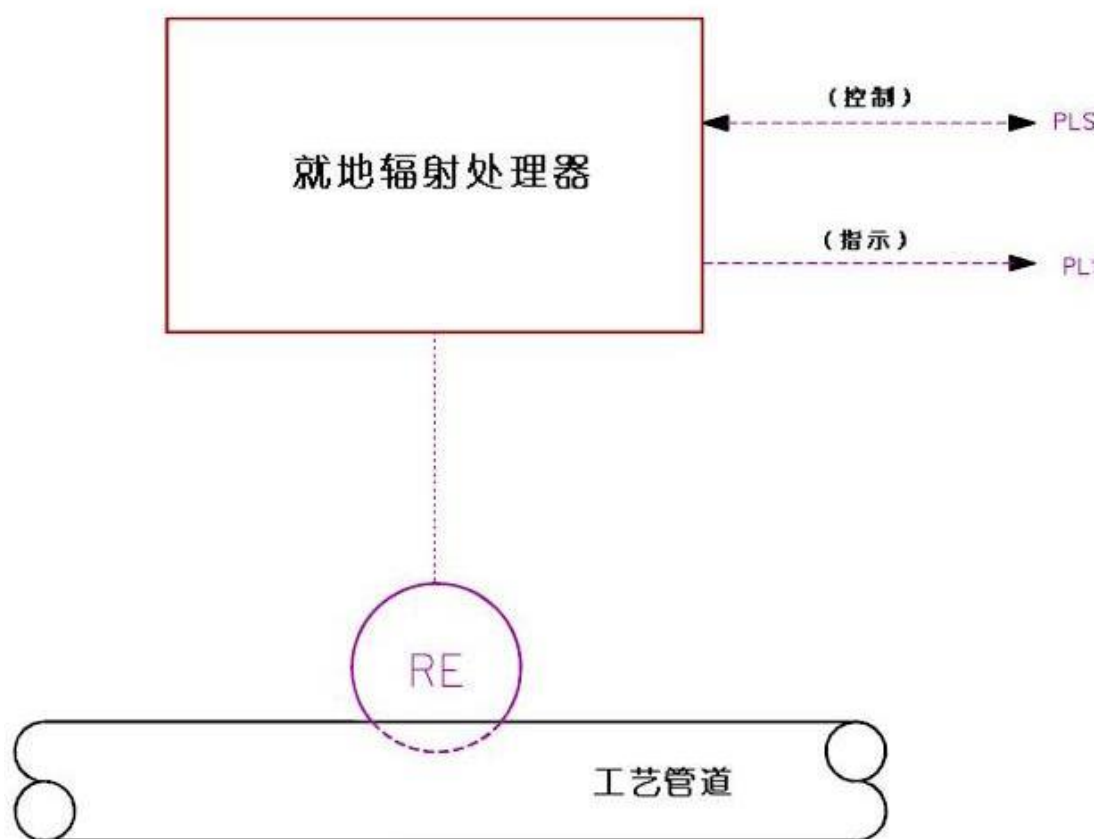


图 8.1-2 管内辐射监测仪示意图

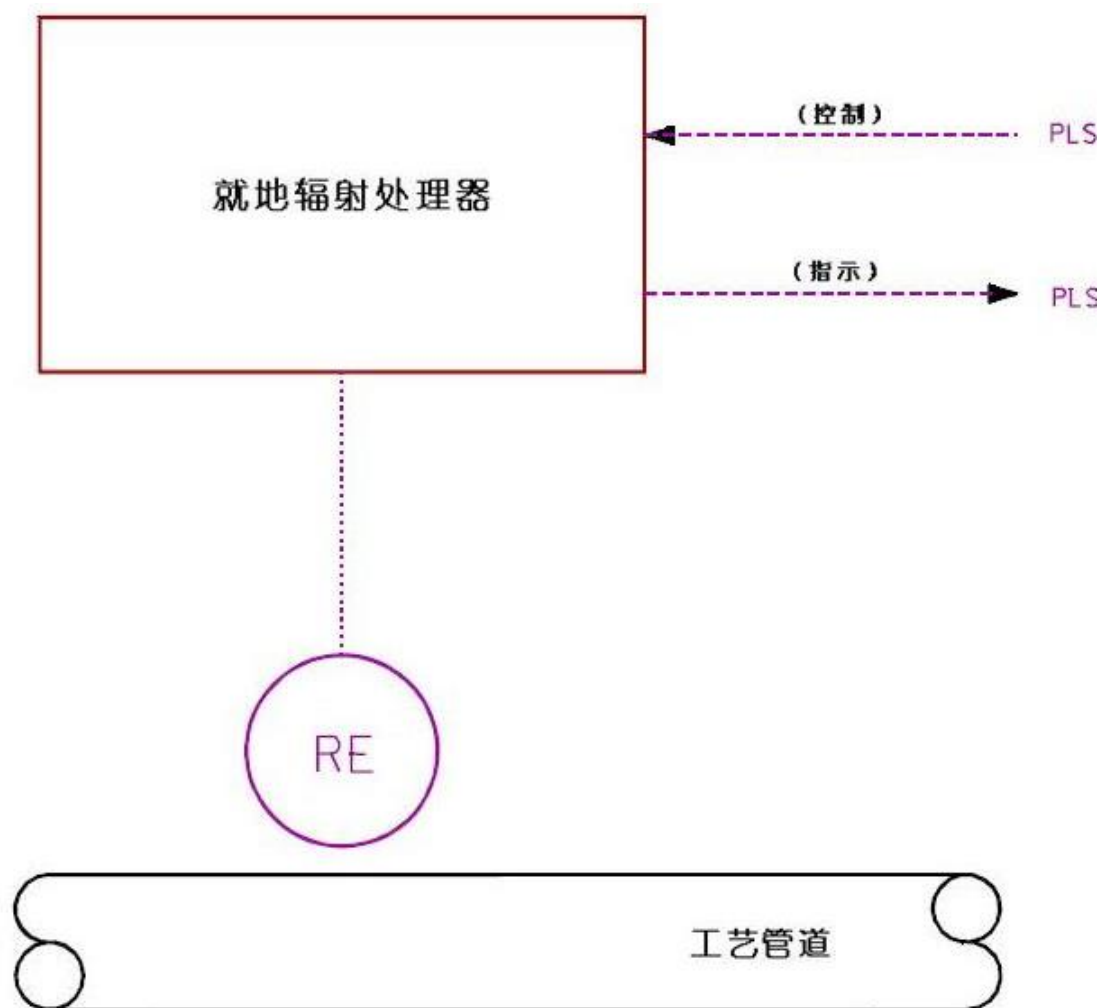


图 8.1-3 管旁辐射监测仪示意图

8.2 其它监测

8.2.1 热影响监测

山东海阳核电厂3、4号机组将在运行期间开展温排水监测，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。

本工程将依据HJ1037的要求在运行期间至少开展一次（夏季大、中、小）大范围 and 全潮程的水温测量。

8.2.2 化学污染物和生活污水监测

本工程主要对海阳核电厂排放的非放射性废水开展常规监测。非放射性废水监测包括水质理化参数、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

循环水监测点位为电厂循环水取、排水口，监测项目包括：硼、石油类、铁、亚硝酸盐、锂、镍、钠、阴离子洗涤剂、溶解氧、余氯、电导率、pH值、联氨、氨氮，监测频度为1次/季。

非放生产废水处理设施厂房的监测项目有：pH、COD、石油类、氨氮、总氮、总磷。其中在含油废水处理设施出口处进行石油类在线监测；在非放生产废水处理设施出口处进行pH、COD、氨氮、总氮、总磷在线监测。

生产废水排放执行《流域水污染物综合排放标准 第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2025），具体要求执行鲁环函〔2024〕57号《山东省生态环境厅关于山东海阳核电项目非放射性环评执行标准的复函》。

8.2.2.2 生活污水监测

海阳核电厂现有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进行监测。

在生活污水处理设施排出口设置为生活污水监测点。

回用部分执行《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，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。纳管部分执行《污水排入城镇下水道水质标准》

(GB/T31962-2015)，监测项目包括COD、氨氮、总氮和总磷，监测频度1次/季。

考虑到以上4处生活污水设施即将达到使用年限，海阳核电厂将建设一处全厂统一的生活污水处理设施，监测内容和执行标准同现有设施，现有设施除调节池等汇集、传输生活污水等少量设施外，其他设施在新设施投运后停用。

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：

- 气象铁塔上 10m、30m、80m 和 100m 四个高度处的风向、风速、温度；
- 地面气象观测站的气压、空气温度和湿度、降水、地表温度、天空总辐射和净辐射；

上述传感器的主要技术指标见表8.2-1。

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。

根据本工程上一阶段审评遗留问题，气象观测将增加地面站风速、风向观测，根据 5、6 号机组选址阶段审评遗留问题，气象观测将使用融雪型雨量计，以上改造计划于 2026 年 3 月份完成。

8.2.4 水文观测

山东核电与自然资源部北海预报减灾中心在山东海阳核电厂东侧大件码头处共建验潮站一座，布置验潮井及温盐井，实时连续观测潮位、水温、盐度等海洋环境参数。

8.2.5 生态监测

8.2.5.1 监测范围与点位

监测范围为本工程厂址附近海域，布点应符合近密远疏的原则。

8.2.5.2 监测项目

水质评价标准依据《海水水质标准》（GB3097-1997）。监测项目：pH、水温、溶解氧、化学需氧量、总无机氮、活性磷酸盐、粪大肠菌群、汞、镉、铅、铜、锌等。

沉积物评价标准依据《海洋沉积物质量标准》（GB18668-2002）。监测项目包括有机碳、硫化物、石油类、汞、镉、铅、锌、铜、铬、砷。

海洋生物监测项目包括底栖生物、潮间带生物、叶绿素a、浮游动物、浮游植物。

海水水质、海洋沉积物和海洋生物监测的监测频率为：每隔5年调查一次，调查时间为一年，进行春、秋两个季节的调查。

8.2.6 噪声监测

本工程运行期间将开展厂界噪声监测，并在厂址附近的环境敏感点布设噪声监测点位。

8.2.6.1 监测范围与点位

厂区边界、周边环境敏感点。

8.2.6.2 监测项目

监测项目为昼间、夜间 L_{eq} 。

本工程运行期间，厂界环境噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类标准。

对于环境敏感点，监测结果评价标准为《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的2类标准，监测项目和频率同厂界噪声。

8.2.6.3 监测频度

监测频次为1次/季度。厂界噪声测量时间分为昼间（06:00~22:00）和夜间（22:00~次日06:00）。

8.2.7 电磁环境监测

本工程运行期间将开展工频电磁场监测。

8.2.7.1 监测范围与点位

- 1) 厂区边界靠近升压站等电器设备最近距离处布点；
- 2) 出线走廊下垂直于出线走廊方向一定距离处间隔布点；
- 3) 在周边环境敏感点临近出线走廊处布点。

8.2.7.2 监测项目

工频电场强度、工频磁感应强度。

8.2.7.3 监测频度

本工程投产后开展一次监测，后续如开关站、输出线路有变化时再监测一次。

表 8.2-1 气象观测系统气象传感器参数

序号	仪表位号	测量参数	主要技术要求	备注
1	HYG-MES-JE-XE001	温度	-30℃~+50℃	气象铁塔 100m 高度
2	HYG-MES-JE-XE002	风速风向	风速: 0 m/s~ 60m/s 风向: 0°~360°	气象铁塔 100m 高度
3	HYG-MES-JE-XE003	温度	-30℃~+50℃	气象铁塔 80m 高度
4	HYG-MES-JE-XE004	风速风向	风速: 0 m/s~ 60m/s 风向: 0°~360°	气象铁塔 80m 高度
5	HYG-MES-JE-XE005	温度	-30℃~+50℃	气象铁塔 30m 高度
6	HYG-MES-JE-XE006	风速风向	风速: 0 m/s~ 60m/s 风向: 0°~360°	气象铁塔 30m 高度
7	HYG-MES-JE-XE007	温度	-30℃~+50℃	气象铁塔 10m 高度
8	HYG-MES-JE-XE008	风速风向	风速: 0 m/s~ 60m/s 风向: 0°~360°	厂区 10m 气象桅杆
9	HYG-MES-JE-XE009	气压	500 hPa ~ 1100 hPa	自动气象 站主机内
10	HYG-MES-JE-XE010	温湿度	-30℃~+50℃ 湿度: 0~100%	地面气象 观测场 1.5m
11	HYG-MES-JE-XE011	雨量	0~4 mm/min	地面气象 观测场 0.7m
12	HYG-MES-JE-XE012	总辐射	0~2 kW/m ²	地面气象 观测场 1.5m
13	HYG-MES-JE-XE013	净辐射	-0.2~1.4 kW/m ²	地面气象 观测场 1.5m
14	HYG-MES-JE-XE014	地表温度	-50℃~+80℃	地面气象 观测场 0m

8.3 监测设施

8.3.1 流出物实验室

流出物实验室用于核电厂液态和气态流出物样品的预处理、样品制备、 γ 能谱分析、总 α/β 放射性测量和核素分析，以确定排放的液态和气态流出物的放射性水平，保证环境不受污染，并为编写核电厂流出物监测年度报告提供数据。

流出物实验室为全厂共用（设备分期采购），设计考虑全厂 6 台机组流出物样品的制样和检测，目前已建成。流出物实验室位于主厂区三废处理区，处于流出物和放化实验室子项（533 子项）的一层，有放射性测量间 1、放射性测量间 2、放射性测量间 3、样品预处理及化学分析间等房间，总面积约 240 平方米。

8.3.2 环境监测设施

山东海阳核电项目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一期工程中建设完成，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

海阳核电厂的 9 个大气 γ 辐射监测站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安全防护室内）。

（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安全防护室内，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（3#机组和 4#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（3#机组和 4#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 9 公里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 2200 m²，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，定期上报相关生态环境保护行政主管部门。

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安全防护室。

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、3 号机组和 4 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

地下水监测井布置范围是厂址区地下水可能受影响的区域。

地下水监测井点布设主要考虑厂区地下水分布特征、含水层性质、地下水径流排泄特征以及核电厂地下水污染影响的可能范围，主要布设在核电厂厂区内环

境敏感点及厂区内地下水可能的污染源地点，监测井点的层位以可能受影响含水层为主。

本项目周边现有地下水监测井包括厂区控制区外三口地下水监测井(P1、P2、P3)，厂外三处采样点，采样频率为1次/半年，分析项目为 γ 谱、 ^3H 和 ^{90}Sr ，个别厂外测点还监测 ^{14}C 。

山东海阳核电项目3、4号机组的地下水样品采样点参照一期工程进行设置，主要布设在厂区内地下水可能的污染影响范围。根据厂址区水文地质条件、厂区总平面布置方案以及地下水监测目的，本工程共布置3个地下水监测井。各监测井点的布置依据为：

(1) 考虑到核电厂运行后厂区地下水同期本底对比要求，海阳3、4号机组厂区东北侧（距离3号机组约900m）设置对照点监测井WT4。该井处于地下水流向的上游区，地下水应不受海阳各机组主厂房、循环水排水管等可能污染源的影响。

(2) 根据前期成果，地下水位呈现中间高，南北两侧低的状态，结合厂区总平面布置方案，考虑在主厂房区西侧和北侧下游布置监测井WS1~WS3。

厂区内地下水监测井待具备施工条件后陆续完成。

8.3.3 监督性监测系统

山东海阳核电项目一期工程已建设完成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”）。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，全厂共用，见图8.3-1。

8.3.3.1 外围辐射环境监督性监测系统

外围辐射环境监督性监测系统由监督性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) 监督性监测子站

监督性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，监督性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经济开发区，

位于 3 号机组 W 方位 18.8km 处。前沿站是核电厂周围样品前采集和测量分析的前沿工作场所，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 流出物监督性监测系统

流出物监督性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的气态、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。

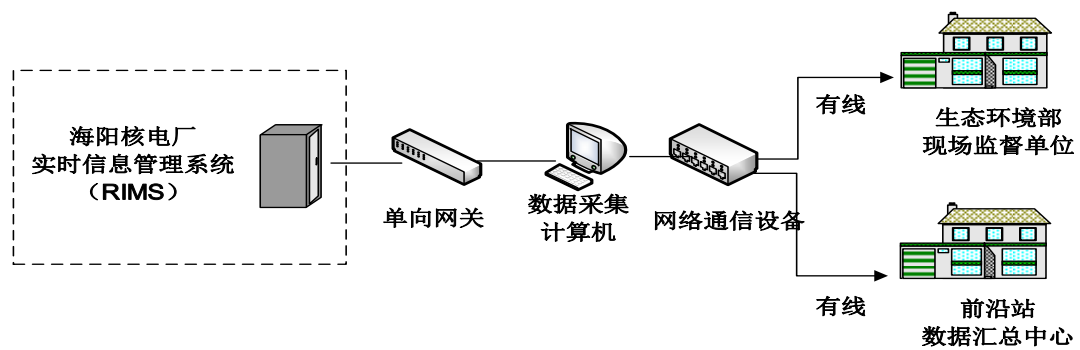
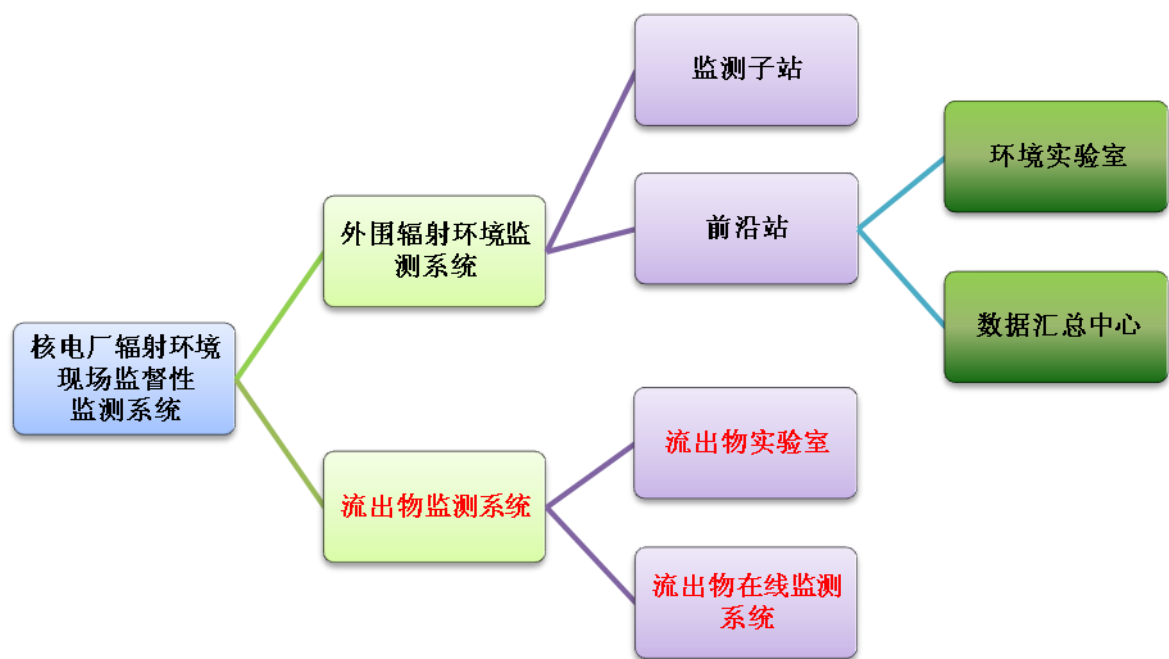
流出物在线监测系统配置了数据通信计算机、网络通信设备和单向网关，布置于海阳核电厂应急指挥中心内。

流出物在线监测系统流程图见图 8.3-2。

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，按照独立设计、分散布局、分区布置的原则建设并已投入使用。



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）

山东核电有限公司根据《电离辐射监测质量保证通用要求》、《核动力厂环境辐射防护规定》、《核电厂流出物放射性监测技术规范》等要求，制定了《流出物监测大纲》（SDNG-GU-MHH-001）、《流出物管理》（SDNP-OR-GC-EP-101）、《环境监测大纲》（SDNG-GU-MEHH-3001）等流出物和环境监测相关规程以及一系列操作规程。

本工程运行后的流出物监测和环境监测质量保证将纳入整体的保证体系中。

8.4.1 质量控制

为保证监测数据的准确、可靠，电厂依据《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）及其它相关国家标准，建立了包括人员培训、样品采集和处理、仪器刻度和检验、样品测量分析和数据处理等一系列管理和技术程序，并制定年度环境监测工作计划以及质量控制计划，确保环境监测全过程质量控制。

质量控制措施包括：

工作人员培训与授权：对工作人员开展环境监测相关程序的培训，所有分析人员必须在取得岗位授权后方可开展工作。建立健全培训管理体系，加强监测技

能培训，严格质量考核机制，确保监测人员专业技术水平持续符合要求。

环境监测仪器的可靠性及检定校准：制定仪器检定计划，对所有影响分析测试结果的准确性和有效性的设备进行校准或检定，以保证所进行的检测量有溯源性。日常定期开展性能检验，验证仪器的状态。计量器具的检定、校准及核查，以满足HJ 61相应技术要求。

取样、分析、测量过程的质量控制：建立质量控制程序体系，所有分析操作均严格执行程序；编制质量控制计划，按计划开展样品的复测及平行样分析，实验室平行样分析数量及结果相对偏差，严格按照质量控制要求执行。规范操作流程，采取措施防止样品间交叉污染。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。

内部质量审查与控制：制定内部质量审查与控制措施，确保监测数据的准确性。

实验室间外部比对、能力验证等：积极参加同行实验室组织的比对、实验室能力验证、考核等工作，原则上每年参与次数不少于1次。

样品采集、分析测量、结果计算、质量控制、仪器状态等全过程，均留存清楚、详细、准确的记录，建立可追溯体系。

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。

8.4.2 质量保证工作

1) 人员的资格和培训

环境监测实验室人员必须在取得相应的授权后才能开展监测工作。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。环境监测实验室人员均具有大专以上学历，检测人员均为化学或和辐射相关专业人员。主要培训内容为：岗位复训、岗位授权培训、检测项目授权培训等。

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。

3) 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。

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

山东海阳核电厂址规划容量为6台百万千瓦级核电机组，一次规划，分期实施。一期工程建设2台AP1000压水堆核电机组；本工程为山东海阳核电项目3、4号机组工程，规划建设2台CAP1000压水堆核电机组；5、6号机组工程拟建设2台CAP1000压水堆核电机组。

山东海阳核电项目3、4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162.5亿千瓦时。

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3、4号机组工程单机组建设工期为56个月，3、4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，本工程建设期期间需要业主单位、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，故本工程建设期间能创造大量的就业机会。

山东海阳核电项目已建成的道路、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3、4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增值税、城市维护建设税及教育费附加等。工程投产后可为地方贡献年均 4.92 亿左右的销售税金，以及年均 3.45 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。本工程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。本工程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 800 克/kWh 考虑，本工程投产后正常年份可实现 CO_2 减排 1300 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 1.95 亿元。

9.2 代价分析

9.2.1 直接代价

9.2.1.1 电厂建设的经济代价

电厂建设的经济代价为工程建设投资。

9.2.1.2 电厂运行的经济代价

本工程并网投入商业运行后，运行期间的经济代价包括：基本折旧费、摊销费、核燃料费、大修理费、运行维护费、核后处理费、退役基金、财务费用和管

理费用等。运行期间的经济代价体现为平均发电成本。

9.2.1.3 电厂建设和运行的环境保护代价

本工程建设期和运行的环境保护代价体现为建设期环保投资和运行期环保投资。其中建设期环保投资包括废物处理处置系统、流出物监测系统、环境监测系统、环境整治、施工期环保投入和厂区绿化投资等；运行期的环保费用包括乏燃料处理处置基金、中低放废物处理处置费、退役基金等。

本工程建设期主要环境保护设施及相关投资占总资金比例为1.16%。

9.2.2 间接代价

9.2.2.1 社会代价

本工程的建设和运行，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，短期内会给当地的原有基础设施带来一定的压力。

（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，海阳核电厂一期工程已经修建了专门的进场道路和应急道路——海核一路和海核二路，本期对进厂及应急道路进行建设期维修，并扩宽海核一路。

（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、商业等设施的紧张局面。本工程淡水来自海水淡化，不会增加当地淡水供应负担。

（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。

（4）对规划限制区的影响

海阳核电厂已设置统一的规划限制区,针对可能对规划限制区内发展的限制,建设单位除配合当地政府做好扶植工作外,还会在第三产业开发和运作上给予一定的照顾。本工程为扩建项目,对已有规划限制区内的发展不会造成额外的影响。

9.2.2.2 环境代价

为了达到保护环境 and 保护公众的目的,山东海阳核电项目 3、4 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。

本工程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,在采取水土保持等防护措施后,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以改善生态环境。另一方面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。

海阳核电厂已按照规划容量完成厂址征地和场地平整工作,厂区范围内无野生动物栖息地,并开展人工绿化,不会对野生动植物造成影响。

根据第六章分析,本项目 1~4 号机组流出物以及温排水排放不会对当地生态环境产生明显不良影响,根据国内外核电厂运行经验,预计流出物以及温排水排放也不会引起长期生态问题。

本工程不会对局地气候产生影响。

本工程排水方案经过比选论证,统筹考虑技术、经济以及环境保护要求,最终得到项目最优排放方案,其他环保设施的设置也为论证后的方案,暂无替代方案,各项费用已计入环保费用中。

9.3 结论

从经济层面来看,本工程经济效益良好,能给各投资方带来稳定的收益。

从环境层面来看,本工程建设期环境直接代价即环保设施及有关措施投资。项目投产后,正常年份可实现 CO₂ 减排 1300 万吨/年。由于项目设计寿命长达 60 年,可见本工程的环境效益远大于环境代价。

从社会层面来看,本工程会对当地现有的交通运输、市政设施等带来一定压

力。但同时本工程建成投产后，每年贡献增值税、所得税。此外本工程建设及运营期能为当地提供众多就业岗位，促进相关产业发展及区域经济发展，进而促进当地的社会发展。可见，本工程社会效益远大于社会代价。

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。该工程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 核电厂建设项目

本项目名称为“山东海阳核电项目3、4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园区，距海阳市市区直线距离约22km（厂址WNW方位）；距烟台市市区直线距离约93km（厂址N方位）；距威海市市区直线距离约110km（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。一期工程已投产2台AP1000压水堆核电机组，本期工程为3、4号机组工程，建设2台国产化CAP1000压水堆核电机组，建造阶段环评已获得批复（环审〔2022〕87号），目前处于施工建设阶段。

3、4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）。机组的设计寿期为60年。3号机组于2022年7月浇灌第一罐混凝土（FCD），预计于2027年3月投产。4号机组预计于2028年1月投产。

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2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

本工程配置有放射性液体废物处理系统（WLS）、液态流出物贮罐系统（LES）、放射性气体废物处理系统（WGS）、放射性固体废物处理系统（WSS）、乏燃料贮存系统、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、生产废水处理设施、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。

海阳核电厂实施全厂址统一应急，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。

10.3 放射性排放

海阳核电厂3、4号机组气态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》（GB6249-2025）对单堆排放量的要求，槽式排放口处放射性核素浓度满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）的相关要求。

海阳核电厂 1~4 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》（GB6249-2025）对全厂排放总量的要求，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，海阳核电厂 3、4 号机组所致最大个人的有效剂量为 $2.94\text{E-}03\text{mSv/a}$ ，1~4 号机组正常运行期间所致最大个人的有效剂量为 $5.81\text{E-}03\text{mSv/a}$ ，满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）规定的剂量限值 0.25mSv 。因此，本工程在正常运行期间，对环境的辐射影响是可以接受的。

海阳核电厂 3、4 号机组以及 1~4 号机组正常运行工况下，流出物排放对厂址周边水生生物和陆生生物的影响较小。

海阳核电厂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（以各反应堆为中心）半径 5km 范围内为规划限制区。

在稀有事故发生后任意 2h 内，厂址非居住区边界处任何个人所受的最大有效剂量为 $1.97\text{E+}00\text{mSv}$ ，甲状腺当量剂量为 $3.02\text{E+}01\text{mSv}$ ；规划限制区边界上公众在事故整个持续期间受到的有效剂量为 $3.52\text{E-}01\text{mSv}$ ，甲状腺当量剂量为 $4.21\text{E+}00\text{mSv}$ 。在极限事故发生后任意 2h 内，厂址非居住区边界处任何个人所受的最大有效剂量为 $3.48\text{E+}01\text{mSv}$ ，甲状腺当量剂量为 $3.95\text{E+}02\text{mSv}$ ；规划限制区边界上公众在事故整个持续期间受到的有效剂量为 $3.00\text{E+}00\text{mSv}$ ，甲状腺当量剂量为 $2.93\text{E+}01\text{mSv}$ 。以上剂量能够满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）规定的稀有事故个人有效剂量（ 5mSv ）和甲状腺剂量（ 50mSv ）、极限事故个人有效剂量（ 100mSv ）和甲状腺剂量（ 1000mSv ）的要求。

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，一期工程场内核应急方案已通过国家核安全局审查，3、4 号机组厂址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、VOCs、施工噪声、调试废水、建筑垃圾、危险废物、海域施工悬沙等，通过采取环境保护措施、开展环境管理和施工期环境监测，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，1~4号机组正常运行时：夏季温排水1℃温升最大面积是50.07km²，冬季2℃最大温升包络面积为20.68km²；冬夏两季4℃温升最大包络面积为：7.13km²。4℃温升与夏季1℃与冬季2℃均未影响到海域生态红线，未进入近岸海域环境功能区划二类区，也未超出国土空间规划中的工矿通信用海区和交通运输用海区的范围，不进入渔业用海区。

本项目温排水影响范围与当地国土空间规划和拟调整的近岸海域环境功能区划相容。

根据分析，本项目对海洋生态的影响是可接受的。

10.5.3 其他非放射性环境影响

本工程各类非放生产废水经处理后满足《流域水污染物综合排放标准 第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2025）一级标准后达标排放。

本工程柴油发电机仅在试验时短暂运行，污染物排放量极小，不会对周围大气环境造成不良影响。

生活污水经生活污水处理设施处理后，优先纳管排至城镇污水处理厂，并保留绿化用水回用功能，不会对厂址附近海域水质产生不良影响。

本工程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。厂界噪声满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的3类标准；厂址周围居民点噪声满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的2类标准。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

本工程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2023年生态环境分区管控动态更新成果，本工程符合当地“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、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新的法规标准要求，及时将设计改进落实到本工程中；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。