

山东海阳一体化小型堆示范工程
环境影响报告书

(选址阶段)
(公示稿)

国电投核能有限公司

二〇二三年十月



山东海阳一体化小型堆示范工程

环境影响报告书

(选址阶段)

(公示稿)

山东核电有限公司

二〇二三年十月



目 录

第一章 概述

- 1.1 项目名称和建设性质
- 1.2 建设项目的规模和厂址总体规划
- 1.3 建设项目经费
- 1.4 建设目的
- 1.5 项目建设进度
- 1.6 环境影响报告书编制依据
- 1.7 评价标准
- 1.8 工程组成
- 1.9 环境保护设施
- 1.10 评价范围

第二章 厂址与环境

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

第三章 环境质量现状

- 3.1 辐射环境质量现状
- 3.2 非辐射环境质量现状

第四章 一体化小型堆

- 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 用水和散热系统
- 4.4 供汽、供热及供电系统
- 4.5 专设安全设施
- 4.6 放射性废物管理系统和源项
- 4.7 非放射性废物处理系统

4.8 放射性物质运输

第五章 施工建设过程的环境影响

5.1 土地利用

5.2 水的利用

5.3 施工影响的控制措施

第六章 正常运行的环境影响

6.1 散热系统的环境影响

6.2 正常运行的辐射影响

6.3 其他环境影响

第七章 事故工况的环境影响

7.1 选址假想事故

7.2 场内转运事故

7.3 其它事故

7.4 事故应急

第八章 流出物监测和环境监测

8.1 辐射监测

8.2 其他监测

8.3 监测设施

8.4 质量保证

第九章 利益代价分析

9.1 利益分析

9.2 代价分析

第十章 结论与承诺

10.1 项目概况

10.2 环境保护设施

10.3 放射性排放

10.4 辐射环境影响评价结论

10.5 非辐射环境影响评价结论

10.6 公众参与和调查结论

10.7 承诺

第一章 概述

1.1 项目名称和建设性质

本项目名称为“山东海阳一体化小型堆示范工程”。

本项目为新建项目，建设地点位于山东海阳核电厂内。

国电投核能有限公司及山东核电有限公司共同作为山东海阳一体化小型堆示范工程核设施营运单位，办理核设施安全许可申请工作，负责开展山东海阳一体化小型堆示范工程的选址、建造、运行及退役工作，并依据国家法律法规有关规定承担核安全全面责任。

国电投核能有限公司作为项目投资和产权所有者，为项目的建造、运营提供有效的资源保障，包括资金保障、监督和最终经济责任。山东核电有限公司受委托负责海阳小堆工程的项目建设和运营管理，承担安全建造和运行责任，双方共同致力于海阳小堆工程建造及运行业绩的提升。

1.2 建设项目的规模和厂址总体规划

本项目拟在山东海阳核电厂征地范围内建设1台一体化小型堆，热功率为200MWt，最大供汽能力为250t/h，以对外供应工业蒸汽为主，同时为海阳核电5、6号机组热法海淡提供热源，冬季作为海阳市供暖备用热源。

山东海阳核电厂址规划容量为6台百万千瓦级压水堆核电机组和1台一体化小型堆，并预留两台百万千瓦级压水堆核电机组扩建余地。海阳核电一期工程（1、2号机组）建设2台AP1000压水堆核电机组，现已投产；3、4号机组工程建设2台国产化CAP1000压水堆核电机组，目前正在施工建设；5、6号机组拟建设2台国产化CAP1000压水堆核电机，目前正在开展可研阶段工作。

在不影响山东海阳核电厂3~6号压水堆核电机组建设，并预留7、8号压水堆核电机组场地情况下，结合厂区的地形、工程地质、取排水等有关条件，本项目拟规划建设于海阳核电1、2号机组已建放射性废物处理设施区域南侧的场地上，位于厂区西南角。

具体建设规模和堆型选择最终以国家核准意见为准。

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，其中厂址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”的核能基地规划进行群堆管理，对厂区内所有机组与环境保护相关的设施统筹安排，包括：

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

1.3 建设项目经费

本项目环保投资占总投资费用的 3.4%。

1.4 建设目的

1) 本项目适应核能发展的需要。

当前小型反应堆是核能开发领域的热点之一，世界上很多核能国家均开发了具有各自特色的小型反应堆，堆型包括压水堆、重水堆、沸水堆、气冷堆、液态金属堆、熔盐堆等。其中，小型压水反应堆是目前最成熟、工程可实现性最高的堆型，也是国内外支持研发的重点，美国、俄罗斯、阿根廷、韩国、中国等国均大力推进研发及部署，印尼、沙特、泰国等国也纷纷制定各自的建设计划或发展意向。

小型堆是核能开发的热点领域，是推进核能技术发展的重要载体。开发多用途小型堆是拓展核能市场的重要举措。

2) 提升山东省作为核能综合利用基地的战略作用，助力山东省实现新旧动能转换。

受当前国内外经济大环境的影响，“十三五”期间经济发展速度变缓，全省经济的持续稳定发展，需要能源工业的稳步发展，山东省“十四五规划”建议山东新能源新材料强省建设实现重大突破，以核电、氢能、智能电网及储能等为支撑的新能源产业成为重要支柱产业，前沿新材料、关键战略材料、先进基础材料等产业竞争力显著增强，成为全国重要的新能源新材料基地。

2021 年 10 月 26 日，《国务院关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知》（国发[2021]23 号）正式发布，提出积极推动高温气冷堆、快堆、模块化小型堆、海上浮动堆等先进堆型示范工程，开展核能综合利用示范。2022 年 3 月 23 日，《国家发展改革委 国家能源局关于印发<“十四五”现代能源体系规划>的通知》（发改能源[2022]210 号）正式发布，提出开展核能综合利用示范，积极推动高

温气冷堆、快堆、模块化小型堆、海上浮动堆等先进堆型示范工程，推动核能在清洁供暖、工业供热、海水淡化等领域的综合利用。《山东省人民政府关于印发山东半岛城市群发展规划的通知》（鲁政发[2021]24号）中明确，积极安全有序发展核电，实施核能高效开发利用计划，打造胶东半岛千万千瓦级核电基地，开展海阳核能综合利用实践。在海阳厂址建设1台一体化小型堆，可以提升山东省作为核能综合利用基地的战略作用，助力山东省实现新旧动能转换，不仅能有效地缓解山东能源供求的结构性矛盾，推进能源供应结构多元化的进程，减少对煤炭等传统不可再生能源的依赖，而且能保障山东省的能源安全 and 经济安全，为地方和区域经济的可持续发展提供强大的动力。

烟台市是山东新旧动能转换综合试验区三个核心区之一，本项目是国家电力投资集团有限公司（以下简称“国家电投”）在烟台开展核能产业布局的重要工程，可以进一步提升烟台的战略创新能力。

3) 本项目可以示范先进技术，探索核能小堆供热技术研究和示范。

2021年4月6日，《山东省人民政府关于印发山东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要的通知》（鲁政发[2021]5号）正式发布，规划提出稳步有序推进海阳、荣成、招远等沿海核电基地建设，适时启动第四核电厂址开发，探索核能小堆供热技术研究和示范，打造核能强省。2021年8月9日，《山东省人民政府关于印发山东省能源发展“十四五”规划的通知》（鲁政发[2021]5号）正式发布，规划提出跟踪国内外陆上核能综合利用小堆、海上浮动堆技术研究和示范情况，开展先进成熟、经济可行的技术方案研究，结合煤炭消费减量替代和清洁供暖需要，在济南、淄博、潍坊、烟台、滨州等地稳妥开展核能小堆选址，适时启动示范工程建设。

本项目采用一体化技术，固有安全性高。一体化小型堆采用三个回路设计，中间回路压力高于一回路，避免异常情况下放射性向用户侧的泄漏；采用更为简化的安全系统，安全壳直接置于反应堆水池中，具备固有的安全壳冷却能力，实现无限时非能动安全；采用智能监测和诊断等先进技术，提前预判风险，确保运行安全；从设计上实际消除放射性释放。一体化小型堆取消主泵，实现全自然循环，可靠易维护，提升了运行可靠性，能够探索核能小堆供热技术研究和示范。

4) 本项目是推动山东海阳核电厂开展核能综合利用的重要举措。

《山东省能源局关于印发 2021 年全省能源工作指导意见的通知》（鲁能源办[2021]）1 号）指出“积极开展胶东半岛地区核能综合利用规划研究”。2019 年国家能源核能供热商用示范工程一期 70 万平方米项目投运，迈出了海阳核电核能综合利用的第一步，2021 年 11 月，国家电投“暖核一号”—国家能源核能供热商用示范工程二期 450 万平方米项目在山东海阳投运，海阳成为全国首个“零碳”供暖城市。同时海阳核电积极开展水热同传创新示范项目，首次实现了供热和供水的跨界组合，为同步解决城市清洁取暖和淡水需求等民生问题提供了现实可行的方案，是海阳核能综合利用的新突破。

最新的《山东省能源局关于印发 2023 年全省能源工作指导意见的通知》（鲁能源办[2023]）1 号）也指出“积极安全有序推进胶东半岛核电基地建设。在确保绝对安全的前提下，加快海阳、荣成、招远等核电厂址开发，……”“加快能源科技创新。全力推进先进核能技术和新型储能技术等创新平台建设”。

山东海阳核能供热的率先尝试和落地，迈出了我国核能综合利用的第一步，本项目是山东海阳核电核能综合利用基地进行核能清洁供汽、供热的重要举措，可以有效提高能源利用效率和资源利用率，为全国其他城市、地区开展核能综合利用提供示范与借鉴。

综上所述，一体化小型堆的建设符合我国在能源短缺地区大力发展清洁能源的方针政策。因此，本项目是优化能源结构、保障能源安全、促进经济持续健康发展的重大战略举措。本项目在积极安全有序发展核能、保护生态环境、减少环境污染、促进能源与经济社会的可持续发展、推动核能综合利用等方面，将发挥更加重要的作用，项目建设是必要的。

1.5 项目建设进度

本项目建设工期为 48 个月，机组的设计寿期为 60 年。

本项目实际开工时间以国家批准的开工建设时间为准。

1.6 环境影响报告书编制依据

1.6.1 厂址所在区域规划

1) 区域发展规划

本项目位于山东省海阳核电装备制造工业园区。山东省海阳核电装备制造工业园区 2010 年被认定为山东省“第一批新型工业化产业示范基地”，园区规划“以核电及新能源产业为主导、以高端装备制造业和临港工业为支撑、以服务业

为补充”的发展导向。作为山东省首个省级核电装备制造工业园区和海阳市“一体两翼”发展格局中的先进制造业一翼，园区承接山东半岛蓝色经济区和胶东半岛高端产业聚集区优惠政策辐射。本项目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”。可见本项目与山东省“十四五”规划相容。

2) 生态红线及三线一单符合性

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

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

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

烟台海阳东南部土壤保持生态保护红线区（SD-06-B2-16），面积为 13.47km²，位于厂址东北侧约 6km 处。

该规划没有对陆域生态红线管控做出具体要求。

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

—乳山口限制区（37-Xb15），位于厂址东侧约 8km 处；

—大乳山红石崖禁止区（37-Jb15），位于厂址东侧约 10km 处；

—大乳山杜家岛禁止区（37-Jb14），位于厂址东侧约 13km 处；

—乳山湾滨海湿地限制区（37-Xd07），位于厂址东侧约 10km 处；

—乳山湾限制区（37-Xb16），位于厂址东侧约 11km 处；

- 海阳万米海滩东禁止区（37-Jb16），位于厂址西侧约 15km；
- 马河港-东村河滨海旅游限制区（37-Xj18），位于厂址西侧约 15km。

该规划对各生态保护红线区的管控要求做出了规定，参见表 1.6-1。

此外，海阳市对海域和陆域生态保护红线优化核减后，形成 2021 年版生态保护红线。2021 年版生态保护红线划定面积为 299.02km²，其中：陆域生态红线 195.55km²，占陆地面积的 10%；海域生态红线 103.47km²，占海域面积的 5.7%。厂址附近海阳市域的生态红线与《山东省生态保护红线规划（2016-2020 年）》、《山东省黄海海洋生态红线划定方案（2016-2020 年）》一致，陆域生态红线距厂址最近距离约 2km，海域生态红线位于凤城街道附近。根据正在编写的《海阳市国土空间规划》的相关资料，厂址附近的生态红线同 2021 版的海域生态红线和陆域生态红线一致。

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

根据《关于印发烟台市环境管控单元生态环境准入清单的通知》（烟台市生态环境保护委员会办公室，2021 年 8 月 16 日），本项目位于海阳市核电装备制造产业园重点管控单元。本项目“三线一单”符合性对比参见表 1.6-2 和表 1.6-3，可见本项目符合当地“三线一单”管控要求。

3) 其他环保相关区划、规划

根据《山东省海洋功能区划（2011-2020）》，本项目邻近海域为“工业与城镇建设区”（海阳临港工业与城镇建设区，A3-29，海阳前山村至寨前村），该区域基本功能为工业与城镇用海，在基本功能未利用时兼容农渔业等功能。控制围填海规模，并接受围填海计划指标控制，保障河口行洪安全。该区域开发利用期执行海水水质不劣于三类标准，海洋沉积物质量、海洋生物质量不劣于二类标

准。该区域用海面积为 86.34km²，岸段长度为 40.16km。

根据《山东省近岸海域环境功能区划》（2016~2020 年），本项目邻近海域属于海阳临港工业与城镇建设区，属于三类功能区，同时在该区内设置排污口和混合区。

1.6.2 遵循的主要法规、标准和导则以及专题报告

1) 主要法规、条例

- 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月 1 日）；
- 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日）；
- 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日）；
- 《中华人民共和国核安全法》（2018 年 1 月 1 日）；
- 《中华人民共和国大气污染防治法》（2018 年 10 月 26 日）；
- 《中华人民共和国水污染防治法》（2018 年 1 月 1 日）；
- 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》（2021 年 12 月 24 日）；
- 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020 年 9 月 1 日）；
- 《中华人民共和国水土保持法》（2011 年 3 月 1 日）；
- 《中华人民共和国海洋环境保护法》（2017 年 11 月 5 日）；
- 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年 10 月 1 日，国务院令 第 682 号）；
- 《中华人民共和国土地管理法》（2019 年 8 月 26 日）；
- 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版，生态环境部令 第 16 号）；
- 《国家危险废物名录（2021 版）》（生态环境部令 第 15 号）；
- 《放射性废物安全监督管理规定》（HAF401，1997）；
- 《小型压水堆核动力厂安全审评原则（试行）》（国核安发[2016]1 号）；
- 《陆上小型压水堆核应急工作指导意见（试行）》（国核应急[2017]29 号）；
- 《山东省环境保护条例》（2018）；
- 《山东省大气污染防治条例》（2018）
- 《山东省水污染防治条例》（2018）；
- 《山东省实施<中华人民共和国固体废物污染环境防治法>办法》

(2018)；

- 《山东省海洋环境保护条例》（2018）；
- 《山东省核事故应急管理办法》（2012）；
- 《山东省扬尘污染防治管理办法》（山东省人民政府令第 311 号，2018.01.24）。

本项目参考的主要法规、条例有：

- 《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）。

2) 技术标准和导则

- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）；
- 《核设施流出物监测的一般规定》（GB11217-89）；
- 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）；
- 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）；
- 《环境核辐射监测规定》（GB12379-90）；
- 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；
- 《海水水质标准》（GB3097-1997）；
- 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
- 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）
- 《环境空气质量标准》（GB3095-2012，2018 年修改单）；
- 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）；
- 《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）；
- 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
- 《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）；
- 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001，环境保护部公告 2013 年第 36 号修改单）；
- 《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）；
- 《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）；

- 《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01-2019）；
- 《环境监测质量管理技术导则》（HJ630-2011）；
- 《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；
- 《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）；
- 《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018）；
- 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）；
- 《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022）；
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；
- 《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）；
- 《小型核动力厂非居住区和规划限制区划分技术规范》（T-BSRS 022-2020）。

本项目参考的主要标准导则有：

- 《核电厂厂址选择中的地震问题》（HAD101/01）；
- 《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02）；
- 《核电厂厂址选择及评价的人口分布问题》（HAD101/03）；
- 《核电厂厂址选择的外部人为事件》（HAD101/04）；
- 《核电厂厂址选择的放射性物质水力弥散问题》（HAD101/05）；
- 《核电厂厂址选择与水文地质的关系》（HAD101/06）；
- 《滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定》（HAD101/09）；
- 《核电厂厂址选择的极端气象现象》（HAD101/10）；
- 《核电厂设计基准热带气旋》（HAD101/11）；
- 《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）。

3) 专题报告

本项目业主单位非常重视环境保护工作，在海阳核电厂前期工程推进过程中及本项目可研阶段开展了相关专题工作，本报告主要依据以下专题成果编制：

- 苏州热工研究院有限公司，《山东海阳核电厂环境资料调查报告（小堆项目）》，2022年10月；
- 中国水利水电科学研究院，《山东海阳核电项目5、6号机组工程液态流

出物、余氯数模计算成果报告》，2021年12月；

— 中国水产科学研究院黄海水产研究所，《山东海阳核电项目5、6号机组工程厂址临近海域渔业资源及海域放射性本底调查专题报告》，2020年5月；

— 国家海洋局北海海洋工程勘察研究院，《山东海阳核电项目5、6号机组春、夏、秋、冬季海洋环境现状调查报告》，2020年5月；

— 中国辐射防护研究院，《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；

— 中国辐射防护研究院，《山东海阳核电项目5、6号机组陆生生态调查报告》，2020年5月；

— 青岛谱尼测试有限公司，《山东海阳核电厂2022年度环境质量监测报告》，2022年12月；

— 山东核电有限公司，《海阳核电厂环境与流出物监测年报（2022年）》，2023年3月。

表 1.6-1 厂址半径 15km 范围海域生态红线管控要求

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

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

表 1.6-2 生态红线、环境质量底线和资源利用上线的符合性

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

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

表 1.6-3 海阳市核电装备制造产业园的管控清单符合性

	要求	符合性	结论
空间布局约束	<p>1.禁止不符合园区的产业定位并且污染较为严重的行业。</p> <p>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。</p> <p>3.禁止国家、省、市规定禁止发展和淘汰的其他项目</p> <p>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。</p> <p>5.生态保护红线按照《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》要求管理。</p> <p>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。</p>	<p>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。</p> <p>本项目不占用陆域和海域的生态保护红线。</p>	符合
污染物排放管控	<p>1.工业集聚区内根据严格落实大气污染物达标排放、总量控制、环保设施“三同时”、在线监测、排污许可等环保制度。持续降低大气污染物排放总量。新、改、扩建项目二氧化硫、氮氧化物、VOCs 须实行区域减量替代。</p> <p>2.提升高耗水、高污染行业清洁化发展水平；对于超标的水环境控制单元，新建、改建、扩建涉水项目重点污染物实施减量替代；采取综合性的治理措施，强化污染物排放总量控制，大幅削减污染物排放量，保障河道生态基流，确保水体和重点支流水环境质量明显改善。</p>	<p>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、VOCs，各类污染物处理后达标排放。</p>	符合

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

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

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

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

表 1.6-5 工程附近近岸海域环境功能区划表

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

1.7 评价标准

1.7.1 放射性评价标准

1) 正常运行状态（包括预计运行事件）的剂量约束值

运行状态下的剂量约束值，遵循（1）《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的规定：任何厂址的所有核动力堆向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量，每年必须小于 0.25mSv 的剂量约束值；（2）《小型压水堆核动力厂安全审评原则（试行）》（国核安发[2016]1 号）的规定：预期运行事件用于小型压水堆核动力厂正常运行工况下的环境评价，向环境释放的放射性物质对公众个人（成人）造成的有效剂量约束值是 0.25mSv/厂·年。

根据海阳核电厂前期工程的环评报告，山东海阳核电厂 1~4 号机组向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量之和需小于 0.16mSv/a，5、6 号机组的向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量需小于 0.04mSv/a。

考虑到本项目特点及全厂规划，本项目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 0.01mSv/a。

2) 事故状态下的剂量控制值

对于事故环境影响评价的标准，参考《小型核动力厂非居住区和规划限制区划分技术规范》（T/BSRS022-2020）的规定：

（1）代表性设计基准事故，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：非居住区边界上公众个人（成人）在整个事故持续时间内（一般可取 30 天），通过各种可能的途径所接受的有效剂量应在 10mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 100mSv 以下。

（2）设计扩展工况/超设计基准事故，非居住区边界上个人（成人）在整个事故持续时间内通过各种可能的途径，所接受的有效剂量应在 10mSv 以下。

3) 液态流出物排放口的浓度

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

4) 海水中的放射性核素浓度

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

海水中的放射性核素浓度控制值为：

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

5) 年排放量控制值

《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011) 6.2 条规定了 3000MW 热功率反应堆的流出物年排放总量的控制值，并在 6.3 条指出“对于热功率大于或小于 3000MW 的反应堆，应根据其功率按照 6.2 条款规定适当调整”，6.4 条款的规定：“对于同一堆型的多堆厂址，所有机组的年总排放量应控制在 6.2 条款规定值的 4 倍以内。对于不同堆型的多堆厂址，所有机组的年总排放量控制值则由审管部门批准。”

本项目一体化小型堆以及海阳核电厂全厂各机组在正常运行工况下气载流出物和液态流出物的设计排放量见表 1.7-1。由表 1.7-1 可见，本项目单堆排放量及山东海阳核电厂全厂排放量均低于《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011) 的规定限值，满足国家标准要求。

1.7.2 与非放射性有关的环境影响评价标准

根据原烟台市环境保护局《关于海阳核电厂附近区域执行部分环境标准的复函》、原山东省环境保护厅《山东省环境保护厅关于海阳核电建设项目声环境影响评价执行标准的复函》以及原山东省环境保护局《关于同意调整山东海阳核电厂附近海域环境功能区划的复函》，项目建设期及运行期执行生态环境保护标准如下：

1) 环境空气质量

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

2) 大气污染物排放

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

3) 水环境质量

本项目邻近海域环境功能区类别为三类，执行三类海水水质标准。

4) 非放废水排放

生产废水排放执行《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）中的一级排放标准。标准指标为：pH：6~9；悬浮物：20mg/L；BOD₅：10mg/L；COD_{cr}：50mg/L；氨氮：5 mg/L；总氮：15mg/L；总磷：0.5mg/L；石油类：3 mg/L。

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

5) 声环境质量

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

6) 噪声排放

本项目施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011），昼间70dB（A）、夜间55dB（A）；运行期的厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的2类标准：昼间60dB（A）、夜间50dB（A）。

表 1.7-1 一体化小型堆及山东海阳核电厂全厂机组正常运行工况下的排放量（单位：Bq/a）

一体化小型堆排放量

项目 \ 设计值	气载流出物					液态流出物		
	惰性气体	碘	粒子 ($T_{1/2} \geq 8d$)	碳 14	氚	氚	碳 14	其余核素
一体化小型堆设计排放量	1.78E+13	7.56E+08	2.08E+08	2.99E+10	2.41E+11	4.58E+12	3.32E+09	7.74E+08
GB6249-2011 规定（单堆）*	4.00E+13	1.33E+09	3.33E+09	4.67E+10	1.00E+12	5.00E+12	1.00E+10	3.33E+09
设计排放量占 GB6249-2011 控制值的比例	44.50%	56.84%	6.25%	64.03%	24.10%	91.60%	33.20%	23.24%

*本项目热功率小于 3000MW，此处为根据实际功率的调整值。

海阳核电厂 1~6 号核电机组+1 台小型堆排放量

设计值 项目	气载流出物					液态流出物		
	惰性气体	碘	粒子 ($T_{1/2} \geq 8d$)	碳 14	氚	氚	碳 14	其余核素
全厂址设计排放量	7.66E+14	4.08E+10	7.09E+10	2.25E+12	1.85E+13	2.58E+14	2.49E+11	7.20E+10
GB6249-2011 规定（全厂）*	2.40E+15	8.00E+10	2.00E+11	2.80E+12	6.00E+13	3.00E+14	6.00E+11	2.00E+11
设计排放量占 GB6249-2011 控制值的比例	31.91%	50.95%	35.45%	80.35%	30.90%	85.86%	41.55%	35.99%

*此处为 GB6249 中 6.2 条款规定值的 4 倍。

1.8 工程组成

本项目主厂房区由主厂房、附属厂房、二回路服务厂房、三回路厂房、柴油发电机厂房、设备冷却水冷却装置等组成。厂区内其他的重要辅助设施包括厂址废物处理设施、非放射性废水处理厂房、生活污水处理设施、化学品库、应急指挥中心、环境监测站等，以上辅助设施全厂共用。海水淡化厂房及除盐水车间与5、6号机组共用，保卫中心与换热站与1、2号机组共用。

配套工程依托海阳核电厂内前期工程进行，进厂道路、应急道路、大件码头等均已建设完毕。

1.9 环境保护措施

为了尽可能减少本项目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（KPF）、放射性气体废物处理系统（KPL）、放射性固体废物处理系统（KPA）、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（KPF）用于控制、收集、处理、输送、贮存和处置正常运行及预期运行事件下产生的放射性废液，处理后的液态流出物放射性浓度水平和年排放总量符合国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定的限值。

放射性气体废物处理系统（KPL）的主要功能是接收、处理和排放放射性液体废物处理系统和化学和容积控制系统运行期间产生的含氢放射性气体，使气载流出物年排放总量低于《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定的限值。

放射性固体废物处理系统（KPA）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、水过滤器滤芯、放射性干废物等。

乏燃料贮存系统贮存于操作和贮存在反应堆换料时从堆芯卸出的乏燃料组件，设施包括乏燃料贮存水池和乏燃料贮存格架，乏燃料组件贮存在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（包括1~6号机组和一体化小型堆）。它作为核岛三废处理系统的补充，提供完整、适宜的手段来处理核岛产生但无法直接处理的放射性废液与放射性固体废

物，设施内处理达标的废液将送至厂区排放总管进行排放。经该设施处理后的废物均采用统一包装容器进行包装，并送往设施内的废物暂存库进行暂存。

本项目非放污染物的控制措施主要依托山东海阳核电厂内前期工程的环保子项进行。本项目产生的生活污水由核电厂已建生活污水处理设施处理达标后回用，运行期非放生产废水由核电厂前期工程的非放生产废水处理设施处理，运行期产生的危险废物主要在核电厂已建危废暂存库内存放，并由山东核电有限公司委托有资质单位处理。

本项目产生的非放射性固体生活垃圾按规定收集暂存并送到指定的垃圾场处理。

山东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，本项目应急纳入山东海阳核电厂场内、场外应急预案统一考虑。

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，本项目辐射监测和非放监测也依托山东海阳核电厂现有监测大纲开展。

采取上述环境保护措施后，本项目所产生的各类污染物均能得到有效的控制，满足环保要求。

1.10 评价范围

本次评价中，辐射环境影响评价的范围为以一体化小型堆为中心、半径 80km 范围内的区域，包括气载和液态流出物排放对 80km 范围内公众的辐射影响。

对于非放射性环境影响评价：

- 大气

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

- 海水

海水的评价范围覆盖本项目环境影响所及区域，重点考虑排水口附近海域及相关功能区的管理要求，以及环境敏感目标的环保要求。

- 噪声

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

- 生态环境

本次评价范围主要为永久占地和临时施工占地范围，并考虑附近生态红线区的保护要求。

第二章 厂址与环境

2.1 厂址地理位置

2.1.1 厂址位置

山东海阳一体化小型堆示范工程位于山东海阳核电厂内，位于厂区西南侧。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西端，东北有乳山湾，西南有海阳港，东部和南部面临广阔的黄海。厂址距海阳市直线距离约 18.6km（厂址 W 方位）；距烟台市直线距离约 85km（厂址 N 方位）；距威海市直线距离约 111km（厂址 NNE 方位）。

本项目规划建设 1 台一体化小型堆，本项目地理位置见图 2.1-1。

2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区

本项目拟在山东海阳核电厂厂区范围内建设 1 台一体化小型堆，本项目不涉及征地和搬迁工作。

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的要求，必须在核动力厂周围设置非居住区和规划限制区。本项目位于山东海阳核电厂厂区的西南侧，山东海阳核电厂厂址规划建设六台百万千瓦级压水堆核电机组和 1 台一体化小型堆，设立统一的非居住区边界和规划限制区边界。

根据《山东海阳核电厂一期工程环境影响报告书（运行阶段）》（报批稿）、《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）》（报批稿）及《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程环境影响报告书（选址阶段）》（送审稿），山东海阳核电厂以厂址征地陆域边界作为 1-6 号机组陆域非居住区边界、以反应堆为中心 800m 范围作为海域非居住区边界是适宜的。

根据《山东省人民政府关于设置海阳核电项目规划限制区的批复》（山东省人民政府[2008]193 号），确定山东海阳核电厂（以反应堆为中心）半径 5km 范围内为规划限制区。

根据《小型核动力厂非居住区和规划限制区划分技术规范》（T/BSRS022-2020），小型堆规划限制区应不小于 1km。

根据第七章事故后果计算结果，本项目的非居住区与规划限制区包络在山东

海阳核电厂 1-6 号机组原有非居住区与规划限制区范围内，因此采用山东海阳核电厂统一的非居住区和规划限制区边界，无需扩大。



图 2.1-1 山东海阳一体化小型堆示范工程厂址地理位置图

2.2 人口分布与饮食习惯

本节中的人口统计均以一体化小型堆为中心，常住人口的统计年份为 2020 年，流动人口统计年份为 2022 年。

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

本项目位于山东省海阳市核电装备制造工业园区内。厂址半径 5km 范围内共有常住人口 5296 人，平均人口密度为 315 人/km²，低于山东省同期平均人口密度（643 人/km²）和烟台市同期平均人口密度（512 人/km²）。

厂址半径 5km 范围内无 1 万人以上的乡镇。

2.2.1.1.2 流动人口

厂址半径 5km 范围内有海阳市核电装备制造工业园区的大辛家、外岛、张家庄、邵家庄、南庄 5 个村。截至 2022 年 8 月，厂址半径 5km 范围内共有流入人口 479 人，流入人口主要为务工人员；流出人口 2630 人。

此外，山东海阳核电厂各施工单位的现场施工人员共计有 5540 人。现场施工人员或居住在核电生活区、或租用核电厂附近村民的房屋，施工结束后将离开当地。

2.2.1.2 厂址半径 10km 范围内的人口情况

厂址半径 10km 范围内不存在 10 万人以上的城镇。厂址半径 10km 范围内公共设施有关情况如下，数据来自于当地相关部门提供的 2021 年数据。

2.2.1.2.1 学校

本项目半径 10km 范围内的学校主要分布于海阳市所辖的核电装备制造工业园区、留格庄镇和凤城街道。

厂址所在的核电装备制造工业园区有小学 1 所，幼儿园 2 所。

留格庄镇有中学 1 所，小学 1 所，幼儿园 3 所。

凤城街道有 1 所幼儿园位于厂址半径 10km 范围内。

2.2.1.2.2 医疗机构

厂址半径 10km 范围内只有 1 家卫生院，为留格庄中心卫生院及其分院。

2.2.1.2.3 养老院

厂址半径 10km 范围内有 2 家养老院，此外还有部分小规模在农村幸福院。

2.2.1.2.4 监狱

厂址半径 10km 范围内没有监狱分布。

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 114 个行政村,共 91102 人,平均人口密度为 345 人/km²。厂址半径 15km 范围内共有 28 个千人以上行政村。

厂址半径 15km 范围内无十万人以上城镇。

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,大多在当地的企業中打工,除了春节等假期返乡外,其他季节变化不大。凤城街道除了部分打工人员外,也有旅游度假人员(在当地可居留 2~3 个月(主要为 7 月、8 月和 9 月))。截至 2022 年 8 月,海阳市凤城街道流入人口为 9411 人,留格庄镇流入人口为 2066 人,核电装备制造工业园区流入人口为 4870 人。

厂址 W 方位 14~18km 处的海阳旅游度假区为全国首批国家级旅游度假区,2021 年海阳旅游度假区接待的海内外游客约 211 万人次,其中 5 月~10 月为游客高峰期,最大日游客量达 1.8 万人次。

厂址 NE 方位约 10.5km 处的海阳大秧歌·琵琶岛影视文化旅游基地 2021 年接待的海内外游客约 9142 人次,其中 5 月~10 月为游客高峰期,最大日游客量约 160 人次。

厂址 NE~ENE 方位约 13.0km 处的大乳山滨海旅游度假区为国家 AAAA 级旅游度假区,2021 年接待的海内外游客约 5.8 万人次,最大承载量约为 5 万人次,其中 5 月~10 月旺季期间旅游人数约 1000 人次/天。

表 2.2-7 给出了截至 2022 年 8 月厂址半径 15km 范围内的流入人口情况。

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、昆崙区、牟平区、福山区、海阳市、栖霞市、莱阳市,威海市所辖的乳山市、文登区、荣成市和青岛市所辖的莱西市、即墨区。

截至 2020 年底厂址半径 80km 范围内的常住人口数为 3525919 人。按厂址半径 80km 范围的陆域面积计算，平均人口密度 352 人/km²，远低于山东省同期平均人口密度 643 人/km²，低于烟台市同期平均人口密度 512 人/km²，低于威海市同期平均人口密度 502 人/km²。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。

2.2.2.2 厂址半径 80km 范围内的预期人口

本项目计划于 2028 年运行，设计寿期 60 年，因此需要运行首年及每隔 10 年即 2038 年、2048 年、2058 年、2068 年、2078 年和 2088 年厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布。

本报告在进行人口预测计算时，综合考虑项目周边未来城市发展及相关政策因素。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)

N₀~各子区域 2020 年度的人口数 (人)

α~预测采用的人口自然增长率 (‰)

T~预测年的时间间隔 (年)

根据上述预测模型及参数，小堆项目投运年（即 2028 年）厂址半径 80km 范围内的总人口数为 3708422 人。考虑到 2045 年之后人口为零增长，2045 年之后的人口 3886042 人。运行期每隔 10 年的人口为：2038 年 3837828 人，2048 年、2058 年、2068 年、2078 年、2088 年均为 3886042 人，参见表 2.2-13~表 2.2-15。

2.2.3 居民的年龄构成及饮食习惯和生活习性

2.2.3.1 居民的年龄构成

表 2.2-2 给出了烟台市、威海市和青岛市以及厂址所在海阳市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。厂址附近的农产品以粮食为主，兼有油料、蔬菜和水果，除部分外销外，主要由当地消费。

2.2.3.2.3 厂址半径 80km 范围内的居民饮食习惯

根据 2021 年山东省和烟台市统计年鉴以及 2021 年海阳市统计局提供的资料，厂址半径 80km 评价区范围内一般公众的年食物消费量参见表 2.2-3。

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

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

范围	总面积 (km ²)	陆域面积 (km ²)	陆域面积占总 面积的比例	人口 (人)	人口密度 (人/km ²)
5km	78.5	16.8	21.4%	5296	315
15km	706.5	263.9	37.3%	91102	345
80km	20106.2	10018.1	49.8%	3525919	352

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%
>17 岁	85.69%	86.28%	82.01%	87.65%	85.34%

表 2.2-3 评价区范围内居民 (成人) 个人年食物消费量

单位: kg/人·年

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

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。

本项目位于核电装备制造工业园区，厂址半径 10km 范围内主要涉及核电装备制造工业园区、留格庄镇以及凤城街道的小部分区域。

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

距厂址最近的基本农田位于厂址北侧约 2.7km。

2.3.1.1.2 农牧场

厂址半径 10km 范围内没有奶牛场。

2.3.1.1.3 文物保护单位

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

2.3.1.1.4 风景旅游区

厂址半径 15km 范围区域内风景旅游区及主要景点主要涉及海阳旅游度假区、海阳大秧歌·琵琶岛影视文化旅游基地和大乳山滨海旅游度假区。

1) 海阳旅游度假区

海阳旅游度假区位于厂址 W 方位约 14~18km 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。2015 年 10 月 9

日度假区晋级为全国首批国家级旅游度假区。2020年12月成功入围首批“山东省体育旅游示范基地”。

2021年海阳旅游度假区接待的海内外游客约211万人次，其中5月~10月为游客高峰期，最大日游客量达1.8万人次。

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，位于山东省海阳市留格庄镇桃源村琵琶岛区域，东临大乳山旅游度假区，西接海阳旅游度假区，位于厂址NE约10.5km处。基地目前占地33.3公顷，规划占地200公顷，是集影视拍摄、影视旅游、红色旅游、爱国教育、写生拍客、度假、休闲、观光为一体的大型综合性旅游区。

海阳大秧歌·琵琶岛影视文化旅游基地2021年接待的海内外游客约9142人次，其中5月~10月为游客高峰期，最大日游客量约160人次。

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NE~ENE方位约13.0km处，度假区总面积60km²，其中陆地面积23km²，海洋面积37km²，为国家AAAA级旅游景区。

大乳山滨海旅游度假区2021年接待的海内外游客约5.8万人次，最大承载量约为5万人次，其中5月~10月旺季期间旅游人数约1000人次/天。

4) 规划

(1) 海阳市旅游发展规划

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

根据规划，本项目厂址半径10km范围内主要涉及云端海岸集群景区；厂址半径15km范围内涉及运动海岸集群的部分区域。

云端海岸集群：包括东部山地海岸滨区域，包括桃源村、大秧歌影视基等所处范围。发展思路：依托菩萨顶、横山、南台顶一带稀有的近海山打造最震撼的云端观海体验，整合背山面海、原汁原味的胶东渔村桃源村、环岱庵村，大明小镇·虎头湾，竹岛、小青岛等海岛资源，整体以5A级景区标准打造。功能布局：民俗度假、运动休闲、自然观光、人文休闲。该集群位于厂址NE方位约10km处。

运动海岸集群：包括海阳旅游度假区和亚沙新城一带。发展思路：充分利用亚沙会

影响力，活化亚沙遗产，把运动概念延伸到城市、山地和田园，做强、做大运动品牌，打造海上运动基地、亚沙公园、国家度假区、连理岛、观海五山，共计五大休闲运动项目体系。功能布局：滨海运动、养生度假、山海休闲、亲子游乐。该集群位于厂址 W 方位约 14 km 处。

（2）乳山市旅游发展规划

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

厂址半径 15km 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规划如下：

大乳山国家级海洋公园，位于山东省乳山市，厂址 E~NE 方位约 9km 处，北起乳山湾，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 4838.68ha，其中海域面积 3450.20ha。根据大乳山国家级海洋公园海洋生态资源与海岛的分布特点及地方经济发展和旅游发展规划需要，将大乳山国家级海洋公园海域分成 3 个功能区，其中重点保护区 620.67ha，生态与资源恢复区 1951.30ha，适度利用区 2266.71ha。海域面积 3450.20ha，占海洋公园总面积的 71.3%。

2.3.1.1.5 自然保护区

厂址半径 15km 范围内有 1 处自然保护区，为烟台沿海防护林省级自然保护区，位于烟台市沿海区域，最近处位于厂址 NW 方位约 2.3km。

2020 年 1 月 19 日，烟台沿海防护林省级自然保护区总体规划经山东省自然资源厅批复（鲁自然资函〔2020〕82 号）。按照批复的总体规划，海阳市分布有该自然保护区的实验区，图 2.3-5 给出了厂址附近分布的烟台沿海防护林省级自然保护区。厂址距离烟台沿海防护林省级自然保护区规划区域约 2.3km。

2.3.1.1.6 生态红线

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

烟台海阳南部沿海防风固沙生态保护红线区（SD-06-B3-08），面积 2.29km²，位于

厂址 NW 方位约 2km 处。

烟台海阳东南部土壤保持生态保护红线区 (SD-06-B2-16)，面积为 13.47km²，位于厂址 NE 方位约 6km 处。

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

- 乳山口限制区 (37-Xb15)，位于厂址 E 方位约 8km 处；
- 大乳山红石崖禁止区 (37-Jb15)，位于厂址 NE 方位约 10km 处；
- 大乳山杜家岛禁止区 (37-Jb14)，位于厂址 E 方位约 13km 处；
- 乳山湾滨海湿地限制区 (37-Xd07)，位于厂址 NE 方位约 10km 处；
- 乳山湾限制区 (37-Xb16)，位于厂址 NE 方位约 11km 处；
- 海阳万米海滩东禁止区 (37-Jb16)，位于厂址 W 方位约 15km 处；
- 马河港-东村河滨海旅游限制区 (37-Xj18)，位于厂址 W 方位约 15km 处。

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

厂址地区的生态红线划定方案正在调整，但更新的生态红线方案尚未正式发布，厂址周围生态红线依旧参照《山东省生态保护红线规划 (2016-2020 年)》和《山东省黄海海洋生态红线划定方案 (2016-2020 年)》。经了解，《海阳市国土空间规划》处于编制阶段，该规划中厂址附近的生态红线同 2021 版的海域生态红线和陆域生态红线一致。

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》，海阳市陆域优先保护单元有 14 个，占国土面积的 43.28%；海阳市重点管控单元有 8 个，占国土面积的 17.49%；海阳市一般管控单元有 10 个，占国土面积的 39.23%。

根据《山东省“三线一单”管理暂行办法》，优先保护单元以生态环境保护为重点，维护生态安全格局，提升生态系统服务功能；重点管控单元以将各类开发建设活动限制在资源环境承载能力之内为核心，优化空间布局，提升资源利用效率，加强污染物排放控制和环境风险防控；一般管控单元以保持区域生态环境质量基本稳定为目标，严格落

实区域生态环境保护相关要求。

海阳市以全市环境管控单元为基础，从空间布局约束、污染物排放管控、环境风险防控、资源利用效率等方面明确相关要求，建立市级清单总体要求和环境管控单元生态环境准入清单。

表 2.3-1 给出了厂址所在半径 10km 范围涉及的各单元的生态环境准入清单。

本工程厂址处于海阳市核电装备制造产业园重点管控单元内，同时，本工程符合生态环境准入清单要求。

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) 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，多砂石河，源短流急，涨落急剧，冲刷力强，属季风雨源型河流，径流量受季节影响差异甚大，汛期径流量占全年径流量的 70% 以上，枯水季节，河床裸露，时有干涸。市域地表水系多为发源于招虎山山脉的中小河流，流经本市（含市内）流域面积大于 10km² 的河流有 38 条。其中，流域面积大于 50km² 的河流有 13 条，100km² 以上的河流 8 条。富水河、富水河北支汇流入莱阳境内的五龙河，清阳河、古现河流入牟平境内的大沽夹河、白沙河、纪疃河、东村河和留格河均直接流入黄海。正常降水年份，多数河流夏秋有水，冬夏干枯。海阳市境内有中型水库 4 座（里店水库、盘石水库、建新水库、南台水库），小型水库 124 座，总库容 1.5269 亿 m³；有塘坝 323 处，总容积 0.1203 亿 m³。

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 1.9km。留格河为独流入海河流，全长 31km，流域面积 332km²，河源位于海阳市盘石店镇仙人盆村，河口位于海阳市核电装备制造工业园区张家庄村，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。

(2) 居民用水

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。第二水厂位于距海阳市城区 15km 的留格河日照庄段（位于厂址 NNW 方位约 12km），水源为留格河拦蓄地表水。

海阳大辛家自来水有限公司位于窑头村西（厂址 NNW 方位约 6.3km），水源来自于望海水库下泄水。

海阳市偏远村庄无统一的给水设施，各村自备水源，通过给水管供给村民，同时乡村大部分住户以自采地下水作为补充水源。

乳山市海阳所镇镇区居民用水来自乳山市第三水厂，其水源地为龙角山水库（厂址 N 方位约 37km）和乳山河地下水库（厂址 NNE 方位约 20km）。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。

厂址半径 15km 范围内乳山市各村庄无统一的给水设施，各村自备水源，通过给水管供给村民，同时乡村大部分住户以自采地下水作为补充水源。

2) 厂址半径5km范围内居民用水状况

厂址半径 5km 范围内包括了部分村庄统一供水，部分村庄自行供水。一般村内各户人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。

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《海阳市水功能区划报告》（报批稿），水功能一级区分为保护区、保留区、开发利用区和缓冲区共四类；水功能二级区分饮用水源区、工业用水区、农业用水区、渔业用水区、景观娱乐用水区、过渡区、排污控制区共七类。海阳市共划分水功能区一级区 13 个，其中保留区 2 个，开发利用区 11 个，总区划河长 327.7km；在一级区开发利用区范围内划分水功能二级区 15 个，其中饮用水源区 6 个，农业用水区 9 个，总区划河长 295.7km；合计海阳市共划分水功能单元 17 个。

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

表 2.3-2 给出了厂址附近的地表水环境功能区划表。

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

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，一般村内各户人家建有小口径的地

下水井（即原来的压水井，现动力由水泵取代），深 3~4m，作为补充水源用于洗衣等。

2.3.2 陆生资源及生态概况

2.3.2.1 农牧业资源

2.3.2.1.1 主要农产品生产情况

厂址附近的农业生产以粮食为主，兼有油料、蔬菜和水果。粮食作物品种主要是小麦和玉米。油料作物主要是花生。蔬菜主要有油菜、芹菜、菠菜、生姜、大白菜、黄瓜、四季豆、豇豆、茄子、辣椒、西红柿、萝卜、韭菜等。水果品种较多，主要有苹果、梨、草莓、桃、樱桃、葡萄、草莓等，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。

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。厂址附近农作物生长期、储存期情况见表 2.3-3。

2.3.2.1.2 畜牧业生产情况

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。

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，海阳市主要的奶牛养殖场均位于东村街道（厂址 WNW 约 20km 处）。

表 2.3-4 给出了家畜和家禽生长期、饲养方式、饲料及消耗情况。

2.3.2.2 林业资源

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

烟台市主要森林植被类型有赤松林、黑松林、麻栎林、日本落叶松林、槲栎林、刺槐林、枫杨赤杨林、杨树林和竹林 9 个种类。灌丛植被有栎类、胡枝子、杜鹃灌丛、鹅耳枥灌丛、坚桦白檀灌丛、牛奶子灌丛、胡枝子灌丛、绣线菊灌丛、紫穗槐灌丛、怪柳

灌丛 9 个类型。全市现有植物资源 1349 种，其中木本和藤本植物 70 科 457 种，草本植物 120 科 742 种，栽培植物（不包括观赏植物）150 种。野生动物资源现有脊椎动物 434 种，其中哺乳动物 30 种，鸟类 287 种，爬行类 15 种，两栖类 8 种。

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

2.3.2.3 矿业资源

截至 2020 年底，海阳市境内已探明资源储量的矿种 12 种（包括亚种），各类矿床（点）30 余处，包括铁、铜、铅、锌、岩金、砂金、硫铁矿、石墨、滑石、水泥用大理岩、水泥粘土矿、饰面用花岗石、饰面用大理石、板石、建筑用花岗岩、建筑用砂、砖瓦用粘土等。

2.3.2.4 陆生生态系统概况

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

1) 植被概况

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

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

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

2) 陆域脊椎动物

(1) 两栖动物

厂址半径 10km 范围内实地调查时，只在厂址 NW 方位约 4.5~5km 处发现中华大蟾蜍 1 只，未发现国家一、二级重点保护动物和山东省重点保护动物。

(2) 爬行动物

厂址半径 10km 范围实地调查只在厂址 N 方位约 1.5km 处发现无蹼壁虎 1 种，未发

现国家一、二级重点保护动物和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 72 种，分隶于 14 目 31 科 54 属。种类最多的目是雀形目 15 科 18 种，其次是鸽形目有 4 科 16 种，雁形目 1 科 13 种，鹀形目 1 科 6 种，鸽形目和鹰形目各 1 科 4 种，鸬鹚目、鹁鹑形目、鹤形目都各有 1 科 2 种，其它各目均只有 1 科 1 种。

由保护级别来看，未观察到国家一级重点保护鸟类，国家二级重点保护鸟类 5 种，即黑翅鸢、赤腹鹰、日本松雀鹰、白尾鹞和红隼。山东省重点保护鸟类有环颈雉、凤头鸬鹚、赤膀鸭、针尾鸭、普通秋沙鸭、蛎鹬、普通鸬鹚、绿鹭、苍鹭、大白鹭、白鹭和黑枕黄鹂等 12 种。《濒危野生动植物种国际贸易公约》附录 II 物种有红隼、黑翅鸢和赤腹鹰 3 种，附录 III 物种有赤颈鸭、针尾鸭、琵嘴鸭、白眼潜鸭、大白鹭和白鹭等 6 种。

《中国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境协定》附录中的鸟类有凤头鸬鹚、大杜鵑、黑水鸡等 24 种，《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境协定》附录中的鸟类有金眶鸬鹚、黑尾塍鹬、泽鹬等 12 种。世界自然与自然保护联盟 (IUCN) 红色名录中的受胁物种有红头潜鸭 1 种，为易危级 (VU)，没有发现极危级 (CR) 和濒危级 (EN) 的受胁物种。

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

(4) 哺乳动物

厂址半径 10km 范围现场调查记录到东北刺猬 1 只 (位于厂址 NNW 方位约 1.5km 处)、黄鼬 1 只 (位于厂址 N 方位约 4.4km 处)，其中黄鼬为山东省重点保护动物。

3) 生态系统调查

调查区域的陆域生态系统主要包括草地生态系统、森林生态系统和农田生态系统。

草地生态系统的生产者主要是小飞蓬、翅果菊、罗布麻、砂引草、黄花草木樨、猪毛蒿、鸡眼草、白羊草、烟台补血草、月见草等草本植物，植食性昆虫、鼠类、草兔、鸟类等作为初级消费者通过摄食草地植物的茎叶或种子而获得能量，蛙、蜥蜴、蛇、黑翅鸢、红隼、白尾鹞、黄鼬等肉食性动物作为次级消费者通过猎食作为初级消费者的植食性昆虫、鼠类、鸟类等获得能量，同时黑翅鸢和红隼等猛禽还可以通过猎食肉食性的

蜥蜴、蛙和蛇等次级消费者而升级为三级消费者，最后草地上的这些生产者和各级消费者最终经过细菌、真菌等微生物的分解作用而复归自然。

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

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

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

4) 生态环境状况分级

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

2.3.3 渔业资源及生态概况

2019年5月~2019年12月,中国水产科学研究院黄海水产研究所开展了厂址邻近海域的渔业资源调查,并对渔业资源最新现状进行了评价。调查站点如图2.3-12a所示。

2019年5月~2019年12月,国家海洋局北海海洋工程勘察研究院开展了厂址邻近海域的水生生态调查,评价了厂址附近海域的最新水生生态状况,调查站点如图2.3-12b所示。

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

2.3.3.1 渔业资源现状及评价

2.3.3.1.1 捕捞现状

1) 主要渔港、渔场和渔汛

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

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

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

-春汛:3~6月为春汛期,春汛资源分布属向岸移动型;

-秋汛:9~11月为秋汛期,秋汛资源分布属向外移动型;一般秋汛大于春汛。

2) 捕捞品种和捕捞量

厂址评价区沿海的海洋捕捞以近海作业为主。捕捞品种主要包括,鱼类、甲壳类、头足类等。鱼类品种主要包括小黄鱼、梅童鱼、鲳鱼、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。

2.3.3.1.2 人工养殖现状

厂址所在海阳市近海海域滩涂广阔,潮滩多为沙、泥沙底质和部分岩礁。厂址半径15km范围内有滩涂养殖、池塘养殖、工厂化养殖和网箱养殖,其中池塘养殖和工厂化

养殖场所主要建在沿岸陆地上，滩涂养殖主要在沿岸潮间带区域，网箱养殖主要在大于15m水深海域。

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

2.3.3.2 水生生态状况

2.3.3.2.1 叶绿素 a 和初级生产力

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

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

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

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

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

2.3.3.2.2 浮游植物

春季，大面调查海域共获得浮游植物 29 种，优势种 4 种，浮游植物细胞密度平均值为 $29.64 \times 10^4\text{cells}/\text{m}^3$ 。

夏季，大面调查海域共获得浮游植物 2 门 35 种，优势种 8 种，浮游植物细胞密度平均值为 $45.63 \times 10^4\text{cells}/\text{m}^3$ 。

秋季，大面调查海域共获得浮游植物 2 门 55 种，优势种 5 种，浮游植物细胞密度平均值为 $73.68 \times 10^4\text{cells}/\text{m}^3$ 。

冬季，大面调查海域共获得浮游植物 2 门 29 种，优势种 4 种，浮游植物细胞密度平均值为 $7.64 \times 10^4\text{cells}/\text{m}^3$ 。

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

2.3.3.2.3 浮游动物

春季，大面调查共鉴定浮游动物 16 种，浮游幼体 4 类，鱼卵、仔鱼各 1 种，优势种 3 种。浮游动物湿重生物量均值为 $103.73\text{mg}/\text{m}^3$ ；个体密度均值为 $40.2\text{ind}/\text{m}^3$ 。

夏季，大面调查共鉴定浮游动物 36 种，浮游幼体 9 类，鱼卵、仔鱼各 1 种，优势种 4 种。浮游动物湿重生物量均值为 $76.86\text{mg}/\text{m}^3$ ；个体密度均值为 $104.9\text{ind}/\text{m}^3$ 。

秋季，大面调查共鉴定浮游动物 25 种，浮游幼体 6 类，优势种 6 种。浮游动物湿重生物量均值为 $228.15\text{mg}/\text{m}^3$ ，个体密度均值为 $65.5\text{ind}/\text{m}^3$ 。

冬季，大面调查共鉴定浮游动物 23 种，浮游幼体 7 类，优势种优势种 3 种。浮游动物湿重生物量均值为 $84.07\text{mg}/\text{m}^3$ ；个体密度均值为 $22.8\text{ind}/\text{m}^3$ 。

连续调查站中，夏季共采集鉴定浮游动物 28 种，幼虫幼体 9 类；秋季共采集鉴定浮游动物 29 种，幼虫幼体 8 类，仔鱼 1 种；冬季共采集鉴定浮游动物 28 种，幼虫幼体 3 类，仔鱼 1 种。连续观测站同一调查站位不同时间段调查浮游动物种类和数量的变化规律不明显。

2.3.3.2.4 底栖生物

春季，共发现大型底栖生物 45 种，优势种 2 种，调查未发现常见污损生物。底栖生物湿重生物量平均为 $25.58\text{g}/\text{m}^2$ ，栖息密度变化平均为 $116\text{ind}/\text{m}^2$ 。

夏季，共发现大型底栖生物 28 种，优势种 4 种，调查未发现常见污损生物。底栖生物湿重生物量平均为 $4.32\text{g}/\text{m}^2$ ；栖息密度平均为 $103\text{ind}/\text{m}^2$ 。

秋季，共发现大型底栖生物 90 种，优势种 6 种，发现常见污损生物 1 种。底栖生物湿重生物量平均为 $4.40\text{g}/\text{m}^2$ ；栖息密度平均为 $338\text{ind}/\text{m}^2$ ，26 站位发现数量较多的日本长尾虫致使本站底栖生物栖息密度明显高于其他调查站。

冬季，共发现大型底栖生物 80 种，优势种 4 种，调查发现常见污损生物 2 种。底栖生物湿重生物量平均为 $40.63\text{g}/\text{m}^2$ ，除去 57 号站外其他调查站生物量平均为 $13.65\text{g}/\text{m}^2$ ；栖息密度平均为 $370\text{ind}/\text{m}^2$ 。

四次调查底栖生物群落结构基本一致。

2.3.3.2.5 潮间带生物

春季，潮间带生物调查共鉴定潮间带生物 29 种，优势种 3 种，调查发现常见污损生物 4 种。潮间带所有调查断面生物量平均值为 $48.03\text{g}/\text{m}^2$ ，栖息密度平均值为 $202\text{ind}/\text{m}^2$ 。

夏季，潮间带生物调查共鉴定潮间带生物 37 种，优势种 4 种，调查发现常见污损

生物 5 种。潮间带所有调查断面生物量平均值为 $51.53\text{g}/\text{m}^2$ ；栖息密度平均值为 $91\text{ind.}/\text{m}^2$ 。

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

冬季，潮间带生物调查共鉴定潮间带生物 50 种，优势种 4 种，调查发现常见污损生物 4 种。潮间带所有调查断面生物量平均值为 $200.49\text{g}/\text{m}^2$ ；栖息密度平均值为 $168\text{ind.}/\text{m}^2$ 。

四次调查潮间带生物群落结构基本一致。

2.3.3.2.6 鱼卵仔稚鱼

春季使用水平网和垂直网调查，在 7 个调查站位中共采集到鱼卵 10 种。调查的 7 个站位中，有 6 个站位捕获到鱼卵和仔稚鱼出现，其中有 6 个站位有鱼卵出现，鱼卵出现频率为 85.71%，6 个站位采到仔稚鱼，出现频率为 85.71%。由空间分布看，春季鱼卵和仔稚鱼密度远岸水域大于近岸水域。

夏季使用水平网和垂直网调查共采集鱼卵 3151 粒，仔稚鱼 15 尾，隶属于 5 目 8 科 9 属。其中鱼卵共 9 种，仔稚鱼 4 种。水平网调查的 7 个站位中，全部有鱼卵出现，鱼卵出现频率为 100%，6 个站位采到仔稚鱼，出现频率为 85.71%。从空间分布上，鱼卵仔稚鱼主要分布在排水口东南侧海域，但靠近排水口区域的鱼卵仔稚鱼相对较少。

秋季使用水平网和垂直网调查，共采集到鱼卵 89 粒，仔稚鱼 3 尾。其中鱼卵 5 种，仔稚鱼 1 种。水平网调查的 7 个站位中，6 个站位有鱼卵出现，鱼卵出现频率为 85.71%，2 个站位采到仔稚鱼，出现频率为 28.57%。

冬季使用水平网和垂直网调查，共采集到鱼卵 2 粒（同一种），仔稚鱼 1 尾。冬季调查海域的鱼卵仔稚鱼分布非常少，水平网没有调查到鱼卵仔稚鱼。同秋季调查结果一样，垂直网调查的 7 个站位中，只有 2 个站位有鱼卵出现，鱼卵出现频率为 28.57%。

2.3.3.2.7 渔业动物

春季共捕获渔业动物 38 种，其中鱼类 21 种，占 55.26%；甲壳类 14 种，占 36.84%；头足类 3 种，占 0.80%。春季调查海域物种丰富度指数（D）范围为 1.23~3.22，平均值为 2.27，物种均匀性指数（ J' ）范围为 0.37~0.659，平均值为 0.50，物种多样性指数（ H' ）范围为 0.96~1.86，平均值为 1.37。

夏季航次共捕获渔业生物 52 种，其中鱼类 30 种，占 57.69%；甲壳类 19 种，占 36.54%；头足类 3 种，占 5.77%。夏季调查海域物种丰富度指数（D）范围为 1.82~3.76，平均值

为 2.59, 物种均匀性指数(J') 范围为 0.28~0.87, 平均值为 0.59, 物种多样性指数(H') 范围为 0.83~2.27, 平均值为 1.69。

秋季航次共捕获渔业生物 42 种, 其中鱼类 27 种, 占 64.28%; 甲壳类 12 种, 占 28.57%; 头足类 3 种, 占 7.15%。秋季调查海域物种丰富度指数 (D) 范围为 1.78~3.58, 平均值为 2.94, 物种均匀性指数(J') 范围为 0.24~0.76, 平均值为 0.6, 物种多样性指数(H') 范围为 0.77~2.18, 平均值为 1.69。

冬季航次共捕获渔业生物 42 种, 其中鱼类 22 种, 占 52.38%; 甲壳类 17 种, 占 40.48%; 头足类 3 种, 占 7.14%。冬季调查海域物种丰富度指数 (D) 范围为 2.57~4.01, 平均值为 3.36, 物种均匀性指数(J') 范围为 0.34~0.79, 平均值为 0.60, 物种多样性指数(H') 范围为 1.04~2.43, 平均值为 1.83。

2.3.3.2.8 重要水生生物的生活习性

1) 优势种的生活习性

调查区及附近海域洄游于近海的渔业种类约有 260 种, 较重要的经济鱼类和无脊椎动物近 80 种。其中主要底层鱼类约占总生物量的 56%, 主要中上层鱼类有约占总生物量的 22%。调查区沿海渔业资源以多种类为特征, 虽然存在优势种, 但其优势度不够明显, 渔业产量由较多个种类集合而成。

调查区地处暖温带, 近海鱼类种类具有较明显的暖温带特点, 因此, 渔业资源中暖温性种类占主要地位, 其次为暖水性种类。若按种类计, 在较重要的经济种类中暖温性种占 54%, 暖水性种占 35%, 冷温性种占 11.1%; 按重量计, 在主要的经济种类中暖温性种占 70%, 暖水性种占 20%, 冷温性种占 10%。

按栖息水层分, 主要生活在底层和近底层的有 37 种, 占 58.7%, 在中上层的有 26 种, 占 41.3%。

调查区近海水生生物基本属于两个生态类型:

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

洄游性资源: 多为暖温性及暖水性种类, 分布范围较大, 有明显的洄游路线, 少数种类作较长距离的洄游(如鲱鱼、鲑鱼等)。一般春季游向近岸 30 米以内水域进行生殖活动, 夏季分散索饵, 主要分布在 20~60 米水域。秋季随着水温下降, 则游向较深、较

暖的水域。冬季主要在黄海洼地及东海北部水深 60-80 米深水区越冬。这一类群数不如前一类多，但资源量较大，多为调查区的主要渔业种类。如鲅鱼、银鲳、鲳鱼、黄鲫、鳓鱼、小黄鱼、黄姑、鲈鱼。

2) 重要水生生物的洄游路线

调查区内主要鱼类的洄游移动按生态习性可分为三个类群：

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

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

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

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

2.3.4 工业、交通及其它相关设施

2.3.4.1 工业

2.3.4.1.1 工矿企业现状

1) 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企业 27 家，涉及水产品加工、羊毛衫加工、机械制造、电力生产、船舶制造等行业。

(1) 海阳核电装备制造工业园区

本项目位于山东省海阳核电装备制造工业园区内，该园区主要产业是核电及新能源、高端装备制造以及临港工业。

目前园区内有新能源产业项目 20 余个，其中中国核工业集团、国家电力投资集团、中国华能集团、中国电力建设集团等重点央企在园区建有十余个投资项目，包含了山东核电、中核控制、丰汇技术、中电华元、国核运行等一大批优秀的核电产业企业，逐步构建“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”的发展格局，初步形成了从核电建筑安装、设备制造到运营服务为一体的全链条产业体系，已成为知名的央企投资聚集区。

(2) 海阳市东方航天港产业新城

2020 年 4 月 22 日，海阳市东方航天港产业新城项目正式开工。该产业新城位于厂址 WNW~W 方位约 7.5km~15km 处，范围为：东起东风大道、西至疏港路，北起海翔路北（荣家庄-邵兴庄南）、南至海岸线，总用地面积 34.19km²，约占海阳城区的三分之一，总投资 230 亿元。

产业新城作为航天强国战略的重要支点区域，承担着探索军民融合发展新机制、创新型城市建设新模式、展现现代化滨海名城风范等重任。产业新城以“一港三区”为基本架构，形成“一心、二轴、三区、多组团”的产业新城空间格局，围绕“星、箭、船”核心能力建设，培育发展“一个中心、七大产业”。截至目前，东方航天港已完成三次海上火箭发射任务。

2021 年东方航天港产业新城累计签约项目 10 个；至 2022 年 4 月已共计引进 12 个航空航天相关项目，总投资超百亿元。涉及星箭研发制造、卫星数据应用、航天高端配套、航天航海装备、空天运输服及搭载服务、航天文化旅游、航天科技应用等领域。

(3) 凤城街道

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

(4) 留格庄镇

留格庄镇私营企业较为发达，留格庄镇工业企业以毛衫加工和石材加工为主。

(5) 海阳所镇

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

(6) 乳山寨镇

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

2) 厂址半径5km范围内工业企业现状

厂址半径5km范围主要涉及海阳核电装备制造工业园区，共计7家企业。

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

本项目位于核电装备制造工业园区内，园区西至东风大道（含海阳港），东至市界（含桃园风景旅游区），北至青威高速，南至海滨。园区的定位为：一是以山东核电为依托，打造核电研发、设计、人才培训和加工制造、运营服务为一体的核电产业体系；二是以港口为依托，打造海阳海洋装备制造、海洋生物化工、临港物流的临港产业体系，全力打造集核电设计、研发、制造、运营服务为一体的国内最重要的核电产业基地和全国知名的海洋装备制造业基地。

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

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

图2.3-15给出了核电装备制造工业园区的产业布局规划。

（2）海阳市产业规划

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

发展核电临港、电子信息、生物医药、汽车及零部件等新兴产业。依托海阳核电项目，加快核电及新能源产业研发设计、制造加工机运营服务基地建设；增强科研创新孵化能力，着眼于高端信息产品市场，推动新一代电子信息产业发展；集合海洋生物资源，发展生物制造、生物制剂产业，以新技术转化为重点，提高产业竞争力；积极发展汽车会展、汽车旅游等，推动汽车配套产业集聚；围绕工业生产和休闲旅游，重点发展生产服务业和会展商务。

规划市域产业形成“一带、双核、四组团、五大板块和多点”。

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

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

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

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

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

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

本项目处于规划中的滨海产业集聚带中的东部核电临港组团，该区域以核电装备制造业配套产业为主，结合凤城及留格庄镇，按照镇区一体的发展模式，打造山东核电产业基地，厂址所在区域的产业发展定位为核电配套产业区。

（3）东方航天港产业新城规划

东方航天港产业新城位于厂址 WNW~W 方位，其最近处距本项目厂址约 7.5km。根据《东方航天港产业新城总体规划（2020~2035 年）》（2021.11），东方航天港产业新城规划如下：

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

发展定位为：国际重要的商业航天产业基地，以海上航天发射为牵引的国家级空天信息产业新城，绿色生态智慧新城。

到 2025 年，航天港产业新城格局基本形成，海上发射服务港功能完善，形成固液兼容的常态化海上发射能力，东发射服务港初步运营；航天、空天核心产业逐渐完善；航天文旅产业规模化运营，初步形成航天、空天产业链闭合。

到 2035 年，基本建成绿色低碳、节约高效、开放创新、信息智能、宜居宜业、具有较强竞争力和影响力、人与自然和谐共生的高质量高水平航天产业新城：城市功能更加完善，现代化基础设施系统完备，优质公共服务体系形成；区域创新创业要素成效显著，高端高新产业引领发展，对外开放水平和区域影响力不断提高，城市治理能力和城市管理现代化全面实现。

东方航天港产业新城规划常住人口规模在 10 万人以内。

（4）乳山市产业规划

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

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

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

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

2.3.4.2 交通

2.3.4.2.1 陆上交通

1) 公路

(1) 现状

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

厂址半径15km范围内的公路有：

- G1813 威青高速海阳段（青岛-威海），位于厂址 N 方位，原为 S24，是荣乌高速公路（G18）联络线之一。起点位于威海市，经过文登、海阳，终点位于即墨区与青银高速公路相接。在海阳共设置六个高速出口，分别为：行村出口、辛安出口、海阳西出口、海阳出口、海阳东出口、留格庄出口，并于海阳东枢纽与烟海高速互通，海阳境内长度 52.3km。威青高速距厂址的最近距离 9.0km；
- S11 烟海高速（烟台-海阳），烟台市莱山区至海阳市留格庄镇的高速公路，位于厂址 NW 方位，全长 80.613km，海阳境内长度 15.8km，在海阳共设置两个高速出口：海阳东出口、海阳北出口，并于海阳东枢纽与威青高速互通。烟海高速距厂址的最近距离 10.6km；
- G228 海阳段（丁字湾大桥-桃源），该国道由原海翔路改为 G228，位于厂址 N 方位，距厂址的最近距离约 4.7km；
- S202 青石线（乳山-即墨），位于厂址 N 方位，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 W 方位，距厂址的最近距离 13.2km；
- S306 海莱线（海阳-莱阳）燕翅山-凤城段，位于厂址 W 方位，距厂址的最近距离 13.2km；
- X085 高凤线（高家-凤城）位于厂址 NW 方位，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，北接青威高速公路，南到海阳核电厂，全长 8.5km，为二级公路。路基宽度为 18.0m，路面宽度为 15.0m，双向四车道。2004 年 8 月通车；
- X092 滨海公路，为核电厂的应急道路，也称海核二路，全长约 10km，东西走向，东至核电厂，西连 X085 高凤线，通往凤城街道。该道路为双向四车道，于 2009 年 8 月通车。

厂址半径 5km 范围内涉及公路有 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。

(2) 规划

根据《海阳市域综合交通规划专题研究》(2020年7月),海阳市将加大交通建设步伐,构筑由高速铁路、高速公路、普通铁路、轻轨、港口、通用机场等组成的快速高效、内畅外通的海阳市“六横三纵二点”对外交通骨架。

- 六横:由北至南分别为青烟威荣高速铁路、蓝烟铁路、文莱高速公路、威青高速公路、莱荣高速铁路和青岛至海阳轻轨11号线。
- 三纵:由西至东分别为蓬海高速公路、疏港铁路、烟海高速公路。
- 二点:分别为海阳港、通用机场。

厂址半径15km范围内没有规划新建的公路。

2) 铁路

(1) 现状

厂址半径15km范围内无铁路通过。

厂址所在的海阳市现有铁路2条,分别为青烟威荣城际铁路和蓝烟铁路。这两条铁路均位于厂址半径30km范围外。

在建的莱荣高铁位于厂址半径15km范围内。莱荣高铁位于山东省胶东半岛东南部沿海地区,线路起自莱西北站,途经莱阳市、海阳市、乳山市、南海新区、文登区,止于青荣城际铁路荣成站。全线共设莱西北站、莱阳丁字湾站、海阳站、乳山南站、威海南海站、文登南站、荣成站7个车站,全线总长192.36km,其中海阳段长度为53.448km,建设标准为高速铁路,双线,电力牵引,速度目标值350km/h,计划于2024年建成。莱荣高铁最近处位于厂址NNW方位约9km处,紧邻威青高速南侧穿过。

(2) 规划

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

2.3.4.2.2 海上交通

1) 港口和码头

厂址半径15km范围内,较大的港口有烟台港海阳港区和威海港乳山港区。

(1) 海阳港区

海阳港区是以商为主、渔业为辅的综合性港口,为国家一类开放口岸。港区位于山东半岛南岸,行政区属海阳市凤城街道办事处。港口濒临黄海,东北为乳山口,西南为丁字河口。海阳港位于厂址W~WSW方位约13km处。

2020 年，海阳港港口货物吞吐量为 94.5 万 t，外贸吞吐量为 12 万 t。

a) 港口现状

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

海阳港区分为海阳港区西作业区和海阳港区东作业区。

- 海阳港区西作业区为海阳港老港区，建设主体为海阳港务有限公司，已建成的码头工程均位于西作业区。目前有生产线泊位 5 个。
- 海阳港区东作业区位于厂址 WSW 方位约 11.5km 处，计划建设 5 万 t 级通用泊位 2 个，计划建设 5 万 t 级进港航道 1 条，计划建设防波堤 8719m，防波堤一期工程（长 3.7km）已完成。

b) 港口规划

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

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

- 东部作业区为海阳港区未来重点发展的区域，为由北向南回填海域，并在离岸约 4.7km 处形成 2 个突堤型港口岸线及陆域，港池和突堤间隔布置，主要为招商引资港口建设区并满足临港产业区企业对码头泊位的需要。规划区内东部作业区将以散杂货装卸为主。
- 西部作业区在海阳港区一期工程（已经竣工）基础上向南延伸 1km 作为二期工程，规划形成 3 个 3 万 t 级通用泊位及 2 个 2 万 t 级液体化工泊位。在二期南端继续延伸 1.17km 作为三期工程，形成 4 个 5 万 t 级多用途泊位岸线。西部作业区规划期内主要承担腹地生产所需散杂货装卸及部分油品进出中转运输任务，并兼顾少量集装箱运输。

(2) 乳山港

a) 港口现状

乳山港位于山东半岛东南部，乳山市境内，在乳山河入海口的东岸，大乳山的对岸，码头南面有大乳山为屏障，西面有垛山共扼，港内掩护条件好。乳山港位于厂址 NE 方

位约 14.5km 处，为国家一类开放港口。目前，总通过能力 195 万 t，拥有 500t 级、1000t 级泊位个各 1 个，20000t 级通用泊位 2 个。

乳山港拥有万 t 级散杂货泊位，生产、生活辅助设施齐全，2020 年货物吞吐量为 396.04 万 t。港外运货种以矿建材料和农副加工产品为主，同时引进腹地经济发展所需的煤炭、木材、钢材、化肥、机械设备等物资。

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

b) 港口规划

根据《威海港总体规划》(2009 年)，威海港乳山口港区由乳山东作业区和大乳山作业区两部分组成。

根据《威海港乳山口港区总体规划修定环境影响报告书》(2019 年 12 月)，乳山口港区范围进行了调整。由于缩减了原规划乳山东作业区的填海区域，故新增旗杆石村东侧自然岸线 1.6km。

乳山口港区乳山东作业区从西向东划分为已建修造船工业区、海洋装备工业区、已建通用码头区、多用途码头区、滚装码头区、支持系统区、临港物流园区七个区域，规划布置多用途、滚装、通用等各类头泊位共 10 个。

大乳山作业区为远期规划，用作旅游用途，主要为游船和游艇码头区，未进行具体功能规划。

(3) 厂址半径 5km 范围内渔港码头

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

2) 航道及锚地

(1) 海阳港

a) 航道现状

海阳港区现有万 t 级进港航道，宽 100m，底高程为-7.7m，长约 4.4km。航道分两段，长度分别为 2.5km 及 1.9km，方位角分别为 180°~360°及 205°~25°。

b) 航道规划

规划西部作业区航道按 5 万 t 级散货船乘潮单向航行考虑，总长 10.3km。

规划东作业区航道按 5 万 t 级货船乘潮单向航行考虑，总长约 8.1km。

c) 锚地

海阳港区现有#1锚地，位于现有万t级航道的西侧，为5千t级以下船舶锚地。规划#2锚地为5千~5万t级船舶锚地，同时规划保留原烟台港总体规划批复的#3锚地。

(2) 乳山港

a) 航道及锚地现状

乳山港进港航道为天然航道，港口外道部分长约5.6km。

随着2万t散杂泊位的建成运营，乳山港于2010年4月开工建设2万t级单向航道。由于资金不足和纳泥区不够等问题停工，目前原有问题逐步解决，重启建设。

目前，乳山口湾外现有5000t级散杂货轮候潮待泊锚地（1#锚地），在进港航道西南侧，主要供5000t级以下散杂货船舶候潮、待泊、引检等用。

乳山港进出港航道距厂址最近约9.0km。锚地距厂址最近约9.0km。

b) 航道及锚地规划

(a) 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。

(b) 锚地

根据规划港区规模以及乳山湾内、外水域状况，综合考虑水深、底质、船舶进出便利以及风浪等因素，规划在湾外主航道东南侧设置2块面积各为5.8km²的5万t级及以下锚地（2#锚地、3#锚地）。其中，2#锚地主要功能为待泊、检疫，兼具应急、公益等功能；3#锚地主要功能为避风，兼具应急、公益等。锚地水深均为-16~-20m，与主航道距离约6km，距厂址超过15.0km。

2.3.4.2.3 机场及航空线

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。

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

2.3.4.4.1 外部人为事件调查范围及内容

1) 调查范围

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

- 火灾	1~2km
- 爆炸	5~10km
- 危险气云源	8~10km
- 航线及起落通道	4km
- 一般民航机场	10km

根据厂址周围环境及外部人为事件潜在危险源特点，初步确定外部人为事件调查范围：加油站等小规模危险源的调查范围为厂址半径 5km 区域；较大的危险源扩展到厂址半径 15km 区域；危险气云源等化学危险品的调查范围为厂址半径 15km 的区域；航线及起落通道的调查范围为厂址半径 4km 区域；一般民航机场的调查范围为厂址半径 10km。

2) 调查内容

(1) 外部人为事件潜在源特征

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

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

(2) 外部人为始发事件

上述潜在危险源可能产生下列影响的始发事件，包括：

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

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

2.3.4.4.2 潜在固定危险源

根据分析计算，厂址附近的油、气、危险品仓储设施和天然气输送管道的存在或运

行不会影响本项目的建设和安全运行。

2.3.4.4.3 潜在移动危险源

1) 公路运输

根据调查，厂址附近道路上近年来未发生过危险品运输事故。

根据计算，各类移动危险源不会对本项目的安全运行构成潜在威胁。

2) 铁路运输

厂址半径 15km 范围内没有铁路，因此不存在铁路危险品运输情况。

3) 海上航道运输

厂址附近海上航道主要有海阳港航道和乳山港航道，海阳港航道和乳山港海上航道近年来均没有油类等危险品运输，不会对本项目的安全运行构成潜在威胁。

2.3.4.4.4 飞机坠毁

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

表 2.3-1 厂址半径 10km 范围涉及的“三线一单”环境管控单元生态环境准入清单

环境管控单元名称	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
留格庄镇优先保护单元	<p>1.生态保护红线按照《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》要求管理。</p> <p>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。</p> <p>3.烟台沿海防护林省级自然保护区执行《中华人民共和国自然保护区条例》要求。</p> <p>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。</p>	<p>1.海水养殖与盐场需要控制生产规模，优化生产工艺，严格控制水体污染，禁止侵蚀滩涂湿地。</p> <p>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。</p> <p>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。鼓励新、改、扩建项目大气污染物实行区域减量替代，持续降低大气污染物排放总量。</p>	<p>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。</p>	<p>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。</p>
海阳市核电装备制造产业园重点管控单元	<p>1.禁止不符合园区的产业定位并且污染较为严重的行业。</p> <p>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。</p> <p>3.禁止国家、省、市规定禁止发展和淘汰的其他项目</p> <p>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、</p>	<p>1.工业集聚区内根据严格落实大气污染物达标排放、总量控制、环保设施“三同时”、在线监测、排污许可等环保制度。持续降低大气污染物排放总量。新、改、扩建项目二氧化硫、氮氧化物、VOCs 须实行区域减量替代。</p> <p>2.提升高耗水、高污染行业清洁化发展水平；对于超标的水环境控制单元，新建、改建、扩建涉水项目重点污染物实施减量替代；采取综合性的治理措施，强化污染物排放总量控制，</p>	<p>1.构建核电厂辐射环境现场监督监测体系和事故应急体系，组织制定和实施核事故应急预案及执行程序，完善部门应急协调处置联动机制，提高核电厂辐射环境监督监测和应急能力及辐射事故</p>	<p>1.入园企业必须采用清洁的工艺和技术，节能节水降耗要达到国内先进水平。</p> <p>2.高污染燃料禁燃区执行《海阳市高污染燃料禁</p>

环境管控单元名称	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>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。</p> <p>5.生态保护红线按照《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》要求管理。</p> <p>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。</p>	<p>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。</p>	<p>应急响应能力。</p> <p>2.园区及生产、使用、储存、运输环境风险物质的企业编制突发环境事件应急预案，并定期开展应急演练，对重大危险源每年进行一次应急演练。</p> <p>3.对于环境风险较大的控制单元，按照“预防为主、防治结合”的原则，加大环境监管力度，着力降低资源能源产业开发的环境风险。</p>	<p>《燃区管理办法》相关要求。</p> <p>3.全面实施节约用水集中行动，推进县域节水型社会达标建设。继续大力推广节水新技术、新工艺、新设备，鼓励节约用水、循环用水，提高水的重复利用率，开展公共机构节水型单位创建和节水宣传工作。</p>
留格镇重点管控单元	<p>1.生态保护红线按照《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》要求管理。</p> <p>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</p>	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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</p>	<p>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的环境风险。</p>	<p>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</p>

环境管控单元名称	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>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。</p> <p>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。</p> <p>5.提升高耗水、高污染行业清洁化发展水平；对于超标的水环境控制单元，新建、改建、扩建涉水项目重点污染物实施减量替代；采取综合性的治理措施，强化污染物排放总量控制，大幅削减污染物排放量，保障河道生态基流，确保水体和重点支流水环境质量明显改善。</p> <p>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。鼓励新、改、扩建项目大气污染物实行区域减量替代，持续降低大气污染物排放总量。</p>		<p>的重复利用率，开展公共机构节水型单位创建和节水宣传工作。</p> <p>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。</p>
凤城街道重点管控单元	<p>1.生态保护红线按照《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》要求管理。</p> <p>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。</p> <p>3.禁止在沿海陆域内新建不具备</p>	<p>1.加快完善企业污水处理厂及配套设施。</p> <p>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。</p> <p>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</p>	<p>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</p>	<p>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。</p>

环境管控单元名称	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>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。露天开采海滨砂矿山东省烟台市海阳市防止污染海洋环境。</p>	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。新、改、扩建项目二氧化硫、氮氧化物、VOCs 须实行区域减量替代。</p> <p>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。鼓励新、改、扩建项目大气污染物实行区域减量替代，持续降低大气污染物排放总量。</p> <p>8.提升高耗水、高污染行业清洁化发展水平；对于超标的水环境控制单元，新建、改建、扩建涉水项目重点污染物实施减量替代；采取综合性的治理措施，强化污染物排放总量控制，大幅削减污染物排放量，保障河道生态基流，确保水体和重点支流水环境质量明显改善。</p>	<p>应急预案，并定期开展应急演练，对重大危险源每年进行一次应急演练。</p> <p>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风险。</p>	

表 2.3-2 厂址附近地表水水环境功能区划表

类别	名称	河流	起始断面	终止断面	长度 (km)	水质标准
			名称	名称		
一级区	留格河海阳开发利用区	留格河	源头	入海口	31	见二级功能区
二级区	留格河海阳饮用水源区	留格河	源头	日照庄	19.2	III
	留格河海阳农业用水区	留格河	日照庄	入海口	11.8	V

表 2.3-3 农作物生长期及产品储存情况

品种	平均生长期 (天)	贮存期	销售
小麦	260	1~3 年	大部分自产自销,少量销往外省
玉米	110~135	1~2 年	
地瓜	140~180	4 个月~1 年	
花生	120~150	半年~1 年	
大豆	110~120	1~3 年	
大白菜	90	150 天	大部分销往北京、天津、大连、沈阳、青岛、烟台、威海等地。少量用于蔬菜加工出口。
冬菠菜	120~150	30~60 天	
春蔬菜	70	15~45 天	
韭菜	200	30 天	
芹菜	50	90 天	
甘蓝	60	70 天	
黄瓜	90~120	15~45 天	
苹果	90~170	6 个月	大部分销往外地,销往江苏、上海、安徽、浙江、湖北占外地销售 60%。少量加工。罐头出口美国、日本、西欧等地。果汁销往全国各地并出口日本等地。
梨	120~150	6 个月	
桃、杏	70~250	1 个月	
李、柿	50~80	3~7 天	
樱桃		2~3 天	
草莓		1~2 天	
葡萄		10~30 天	

表 2.3-4 家畜和家禽生长期、饲养方式、饲养种类及消耗

类别	饲养周期	饲养方式	主要饲料	饲料消耗
猪	180 天	圈养	全价饲料	4 斤/天
牛	365 天	圈养	精料、干草	8 公斤/天
			青贮料	15 公斤/天
羊	280 天	圈养	精料	0.3 公斤/天
			青贮料	1 公斤/天
肉鸡	40 天	圈养	全价饲料	200 克/天
畜禽从屠宰到消费间隔为 1 天，经冷库可长时间保存。				

2.4 气象

2.4.1 区域气候

2.4.1.1 概述

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

2.4.1.2 区域气候要素统计

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

根据海阳气象站自建站截至 2018 年的资料统计区域常规气象参数如下：

1) 气压

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

2) 气温

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

3) 水汽压

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

现在 1975 年 3 月 30 日和 1993 年 4 月 4 日。

4) 蒸发量

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

5) 相对湿度

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

6) 降水量

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

7) 风

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

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

2.4.2 设计基准气象参数

山东海阳一体化小型堆示范工程建于山东海阳核电厂厂址西南角，山东海阳核电厂在 1、2 号机组工程可研阶段曾开展极端气象专题研究，在 2006 年 4 月完成《山东海阳核电厂工程可行性研究极端气象现象和极端气象参数的分析确定综合报告》，为厂址确定极端气象事件与参数提供了依据。此后，分别于 2009 年、2013 年开展对常规气象、极端气象与工程气象参数的复核工作并出版相应计算分析报告。历次复核报告计算所得极端气象参数与原推荐结果相比，数值不

变或变化很小。基于合理偏保守原则，对于复核后“强度”不变或变弱的参数，维持原设计基准；对于复核后“强度”略有增强的参数，采用新参数作为设计基准。

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

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

1) 热带气旋

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

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

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

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

第三类是从冲绳岛到日本西部西进，进入厂址范围。

由第一类路径进入研究海域的热带气旋为最多，第二类路径为次，第三类路径最少。

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

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

2) 龙卷风

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

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

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

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

对厂址区域有发生时刻记录的 42 次龙卷风进行统计，龙卷风主要发生于午后至傍晚，13~17 时共发生 21 次，占 52.4%。

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

最大风速 V :	83m/s (F3)
------------	------------

最大旋转风速 V_m :	67m/s
最大旋转风速半径 R_m :	50m
最大平移速度 V_t :	16m/s
总压降 ΔP :	49.2hPa
最大压降速率:	15.9hPa/s

3) 极端温度

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

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

4) 极端风

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

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

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

5) 极端降雨

对海阳站 1967~2018 年的 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，分别采用耿贝尔、皮尔逊III型分布对降水资料进行拟合分析，取 2 种计算方法中保守值作为海阳站设计基准降雨。

根据厂址气象站与海阳站同期观测资料，建立两站降水资料相关关系（相关系数 0.97），厂址站日降水量约为海阳站的 1.1~1.2 倍，基于合理偏保守考虑，海阳站的计算结果扩大 1.2 倍作为厂址站的设计基准。厂址百年一遇 10min、1h、24h 设计基准降雨分别为 42.5mm、144.4mm、462.7mm；千年一遇 10min、1h、24h 设计基准降雨分别为 55.1mm、211.2mm、750.6mm。本次复核结果略小于原设计基准，因此推荐维持原设计基准降雨值，即厂址百年一遇 10min、1h、24h 设计基准降雨分别为 45.1mm、150.7mm、477.6mm；千年一遇 10min、1h、24h 设计基准降雨分别为 61.0mm、223.0mm、775.6mm。

6) 极端积雪

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

7) 雷暴

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

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

8) 冰雹

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

2.4.3 当地气象条件

当地气象条件根据厂址气象塔和地面气象站观测获得的一整年（2022 年 1 月~2022 年 12 月）观测资料进行描述。2021 年度厂址气象站气象数据联合获取

率 92.1%，满足核安全导则《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02）规定的不低于 90%的要求。

1) 气温

厂址地区年平均气温为 12.9°C，最低月平均气温为 0.1°C，出现在 1 月和 2 月；最高月平均气温为 25.6°C，出现在 7 月。极端最低气温-7.8°C，出现在 2 月；极端最高气温 33.3°C，出现在 8 月。

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

2) 气压

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

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

3) 相对湿度

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

4) 降水

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

5) 风速、风向

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

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

气象塔 10m 高度全年风向频率最高为 NNW 方位，风向频率 11.4%；30m 全年风向频率最高为 NW，风向频率 10.1%；80m 高度全年风向频率最高为 SW，风向频率 11.3%；100m 高度全年风向频率最高为 SSW，风向频率 10.3%。

2.4.4 大气稳定度

参考《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 and 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, 因此采用《核电厂厂址选择的大气弥散问题》(HAD101/02) 推荐的温度梯度-风速法计算厂址地区的大气稳定度。

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

2.4.5 联合频率

基于 2022 年逐时气象资料统计的厂址气象观测设施 10m 高度处不同风向

(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。

30m 高度风向(16个方位)、风速、稳定度的三维联合频率如表 2.4-3 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。

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

2.4.6.2 扩散参数值

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

在推荐扩散参数时,在 SF₆ 示踪试验、湍流观测和数值模拟三种方法拟合的 A、B、C、D 类扩散参数平均值作为厂址 A、B、C、D 类扩散参数推荐值的基础上,综合考虑湍流测量和数值模拟的 E、F 类结果进行类比外推,给出推荐的厂址最终扩散参数。计算得到的山东海阳厂址相关大气弥散因子如表 2.4-4 所示。

2.4.7 运行前的厂址气象观测

厂址气象观测系统已建立,包括气象梯度观测铁塔和厂址专用地面气象站,各个观测时段的气象观测联合数据获取率均达到《核电厂厂址选择的大气弥散问

题》(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2.4-5和表2.4-6。

2) 厂址专用地面气象站

地面气象站观测项目包括：气压、温度、湿度、雨量、总辐射、净辐射和地温。仪器的性能和采样情况见表2.4-6和表2.4-7。

由于本项目的选址位于山东海阳核电厂已建厂址气象观测系统(气象梯度观测铁塔和厂址专用地面气象站)区域，后续厂址气象观测系统将重新选址建设，观测内容和观测要求不变。

表 2.4-1 厂址 10m 三维联合频率 (%)

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

	≥6.0	0.72	0.30	0.30	0.32	0.50	0.37	0.71	0.48	0.91	2.18	0.76	0.46	0.72	1.81	1.13	1.22	12.87
E	静风	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≤1.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0~2.9	0.30	0.11	0.19	0.37	0.26	0.09	0.07	0.14	0.10	0.05	0.04	0.03	0.05	0.22	1.03	1.46	4.50
	3.0~4.9	0.00	0.00	0.01	0.04	0.07	0.01	0.01	0.01	0.07	0.10	0.07	0.04	0.00	0.01	0.17	0.12	0.75
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17
F	静风	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.04	0.01	0.03	0.18
	≤1.9	0.58	0.35	0.57	0.40	0.25	0.16	0.22	0.14	0.09	0.19	0.11	0.06	0.10	0.55	2.05	1.85	7.65
	2.0~2.9	0.01	0.01	0.00	0.05	0.00	0.03	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.31	0.37	0.88
	3.0~4.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 2.4-2 厂址 10m 四维联合频率 (%) (有降水)

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

	≥6.0	0.04	0.01	0.21	0.16	0.10	0.11	0.17	0.12	0.05	0.21	0.03	0.04	0.01	0.01	0.03	0.05	1.35
E	静风	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≤1.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0~2.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
	3.0~4.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	静风	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≤1.9	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04
	2.0~2.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.0~4.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 2.4-2 续 厂址 10m 四维联合频率 (%) (无降水)

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

	≥6.0	0.68	0.29	0.09	0.16	0.40	0.26	0.53	0.36	0.86	1.97	0.73	0.42	0.71	1.80	1.10	1.17	11.52
E	静风	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≤1.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0~2.9	0.30	0.11	0.19	0.37	0.26	0.09	0.07	0.14	0.10	0.05	0.04	0.03	0.05	0.21	1.03	1.46	4.49
	3.0~4.9	0.00	0.00	0.01	0.04	0.07	0.01	0.01	0.01	0.07	0.10	0.07	0.04	0.00	0.01	0.17	0.12	0.75
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17
F	静风	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.04	0.01	0.03	0.18
	≤1.9	0.57	0.35	0.57	0.40	0.24	0.16	0.22	0.14	0.09	0.19	0.11	0.06	0.10	0.55	2.03	1.85	7.61
	2.0~2.9	0.01	0.01	0.00	0.05	0.00	0.03	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.31	0.37	0.88
	3.0~4.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	≥6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 2.4-3 厂址 30m 三维联合频率 (%)

稳定度	风速 m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合计
A	静风	0	0	0	0.012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	≤1.9	0	0	0.012	0	0	0.025	0.012	0.012	0.037	0	0	0.012	0	0	0.012	0	0
	2.0~2.9	0	0	0	0.025	0.012	0.025	0.037	0.074	0.124	0.062	0	0	0	0	0.012	0	0
	3.0~4.9	0	0	0	0	0	0	0	0.012	0.05	0.012	0	0	0	0	0.012	0.012	0
	5.0~5.9	0	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
B	静风	0	0.012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	≤1.9	0.062	0.037	0.161	0.124	0.161	0.236	0.26	0.161	0.174	0.136	0.136	0.112	0.05	0.161	0.149	0.062	0.062
	2.0~2.9	0.05	0.112	0.062	0.161	0.136	0.099	0.198	0.31	0.434	0.174	0.161	0.087	0.025	0.124	0.136	0.074	0.05
	3.0~4.9	0.546	0.198	0.223	0.074	0.198	0.236	0.248	0.558	0.843	0.682	0.136	0.062	0.037	0.062	0.223	0.285	0.546
	5.0~5.9	0.136	0.012	0	0	0.037	0.012	0.012	0.025	0.149	0.062	0	0	0.012	0.012	0.025	0.112	0.136
	≥6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.037	0
C	静风	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	≤1.9	0.062	0.012	0.05	0.099	0.149	0.087	0.198	0.248	0.236	0.174	0.161	0.062	0.05	0.05	0.174	0.062	0.062
	2.0~2.9	0.174	0.211	0.285	0.112	0.211	0.335	0.496	0.496	0.409	0.285	0.322	0.112	0.037	0.099	0.335	0.136	0.174
	3.0~4.9	1.29	0.595	0.558	0.508	0.546	0.905	0.942	0.843	1.141	1.265	0.595	0.174	0.26	0.31	0.422	0.347	1.29
	5.0~5.9	0.657	0.112	0.087	0.074	0.161	0.05	0.112	0.099	0.335	0.335	0.112	0	0.149	0.05	0.186	0.211	0.657
	≥6.0	0.645	0.074	0.037	0.025	0.099	0.05	0.012	0.025	0.099	0.161	0.037	0.012	0.012	0.099	0.099	0.521	0.645
D	静风	0	0	0.012	0.012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.012	0	0
	≤1.9	0.347	0.434	0.298	0.298	0.248	0.36	0.298	0.31	0.236	0.211	0.273	0.099	0.112	0.335	0.781	0.31	0.347
	2.0~2.9	1.029	0.434	0.632	0.521	0.459	0.496	0.595	0.521	0.546	0.471	0.446	0.335	0.124	0.521	0.744	0.694	1.029
	3.0~4.9	1.562	0.459	0.558	0.818	1.141	0.806	0.992	1.004	1.426	1.984	1.364	0.967	0.843	1.277	1.587	1.426	1.562
	5.0~5.9	0.62	0.112	0.161	0.36	0.446	0.31	0.335	0.248	0.459	0.905	0.434	0.31	0.446	0.608	0.558	0.397	0.62

	≥6.0	1.178	0.248	0.459	0.471	0.422	0.372	0.88	0.595	1.277	2.629	0.967	0.595	0.769	1.91	1.327	1.314	1.178
E	静风	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	≤1.9	0.062	0.012	0.025	0.012	0.05	0.037	0.012	0	0.012	0	0.012	0.012	0	0.087	0.298	0.074	0.062
	2.0~2.9	0.198	0.087	0.136	0.174	0.273	0.05	0.025	0.087	0.025	0	0.025	0.037	0.087	0.372	0.682	0.384	0.198
	3.0~4.9	0.037	0.012	0.087	0.087	0.087	0.037	0.012	0.012	0.124	0.012	0.099	0.025	0.025	0.198	0.397	0.372	0.037
	5.0~5.9	0	0	0	0.012	0.012	0	0	0	0.05	0.062	0.05	0.012	0	0.012	0	0.012	0
	≥6.0	0	0	0	0	0	0	0	0.037	0.074	0.198	0.074	0.025	0	0	0.012	0	0
F	静风	0.074	0.112	0.012	0.025	0	0	0	0.012	0.012	0	0	0.025	0.012	0.012	0	0.05	0.074
	≤1.9	0.496	0.285	0.36	0.198	0.322	0.198	0.149	0.161	0.099	0.149	0.136	0.161	0.186	0.62	1.414	0.372	0.496
	2.0~2.9	0.136	0.05	0.174	0.099	0.074	0.074	0.05	0.062	0.062	0.05	0.05	0.062	0.198	0.595	0.409	0.36	0.136
	3.0~4.9	0.012	0	0	0	0.012	0	0.012	0	0.012	0	0.012	0.012	0.012	0.161	0.112	0.198	0.012
	5.0~5.9	0	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

表 2.4-4 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 2.4-5 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 2.4-6 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 2.4-7 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

编制本节内容所采用的主要专题成果清单见下表：

序号	专题报告名称	编制单位	完成时间
1	山东海阳核电厂工程可行性研究海洋水文专用站建站观测报告	青岛海洋大学	1998年4月
2	山东海阳核电厂工程可行性研究可能最大降雨和可能最大洪水对厂址的影响分析专题报告	中国水利水电科学院	1998年12月
3	山东海阳核电厂工程设计基准洪水位和设计低水位分析报告	中国海洋大学	2005年8月
4	山东海阳核电厂设计基准洪水位复核报告	中国海洋大学	2011年12月
5	山东海阳核电项目5、6号机组工程岸滩稳定性分析及泥沙冲淤变化数值试验专题报告	中国科学院海洋研究所	2020年3月
6	山东海阳核电项目3、4号机组排水明渠优化泥沙冲淤变化及岸滩稳定性分析数值计算专题报告	中国科学院海洋研究所	2021年5月
7	山东海阳核电项目5、6号机组工程冬季同步水文测验专题夏季同步水文测验分析专题报告	中国科学院海洋研究所	2020年8月
8	山东海阳核电项目5、6号机组工程冬季同步水文测验专题冬季同步水文测验分析专题报告	中国科学院海洋研究所	2019年8月
9	山东海阳核电项目5、6号机组可能最大降雨（PMP）复核专题成果报告	中国水利水电科学研究院	2019年12月

2.5.1 地表水

2.5.1.1 海洋水文

2.5.1.1.1 海域概况

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

鶉鸽岚西面沿岸是大片浅于 1m 的沙质浅滩，北至辛家港口门，南至鶉鸽岚西缘，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。草岛咀东面是深水区。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，半岛南侧已建取水明渠（1~6 号机组共用），半岛西侧水深较浅，西侧建设 1~4 号机组排水明渠，目前已建成，为了进一步提高 1~4 号核电机组的环境效益，考虑对其予以优化改造：南北堤向

SSW 向延伸。半岛周边，乳山河在琵琶口湾东北部入海；鸚鵡崗北側有留格河注入半島西側灣內。

本項目不涉及新建涉海工程，採用 5、6 號機組建設的熱法海水淡化設施作為淡水水源，海水淡化的廢水通過廢水排放管送至三期虹吸井排放。熱法海淡設施採用 2×7500t/d（312.5t/h）的 MED 裝置，2 台設備同時運行時系統最大出力為 688t/h。本項目液態流出物與 1~4 號機組溫排水一起通過 1~4 號機組的排水明渠排入受納海域。

2.5.1.1.2 潮汐

根據廠址海洋水文站一年（1997 年 3 月~1998 年 3 月）的潮汐資料，分析廠址周圍海區潮位特徵值如下：

潮汐性質：	0.37（正規半日潮）
海圖深度基準面：	-2.19m
最高高潮位：	2.85m
年平均高潮位：	1.39m
年平均低潮位：	-1.18m
年平均潮位：	0.04m
年最大潮差：	4.45m
年最小潮差：	0.96m
年平均潮差：	2.57m
年最高月平均海面：	0.27m
年最低月平均海面：	-0.12m
年平均漲潮歷時：	5 小時 51 分
年平均落潮歷時：	6 小時 33 分

依據廠址和乳山口站同期一年觀測資料及乳山口站多年潮汐資料推算得：

廠址多年平均海面：	-0.014m
廠址多年平均高潮位：	1.23m
廠址多年平均低潮位：	-1.16m
廠址多年平均潮差：	2.39m

2.5.1.1.3 海流

根據 2019 年 6 月 27 日~2019 年 7 月 4 日和 2019 年 12 月 7 日~2019 年 12 月 20 日廠址海域夏冬季多斷面全潮水文測驗資料分析，潮流基本特徵為：

(1) 潮流性质基本以规则半日潮流为主。

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

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

(4) 海流流速不大，夏季大潮各站垂线平均流速为 0.09~0.29m/s，中潮为 0.09~0.26m/s，小潮为 0.06~0.21m/s；冬季大潮各站垂线平均流速为 0.07~0.23m/s，中潮为 0.05~0.22m/s，小潮为 0.05~0.21m/s。夏季实测最大涨潮流速 0.67m/s，最大落潮流速 0.72m/s，各站垂线平均最大流速为 0.07~0.46m/s；冬季实测最大涨潮流速 0.62m/s，最大落潮流速 0.68m/s，各站垂线平均最大流速为 0.06~0.58m/s。

(5) 本海区潮流最大可能流速为 0.03~0.48m/s 之间，潮流质点最大可能运移的方向基本上为偏 W 向。各站位的余流在垂向分布上，由表层向底层逐渐减小。夏季多数站点余流量值介于 0.004~0.10m/s，冬季介于 0.002~0.16m/s。

2019 年观测结果与 2014 年观测结果基本一致，均符合当地水文一般特征。总体上看，无论是大潮、中潮还是小潮，潮流流速均表现为由近岸向远海逐渐增大的特点；潮流流向总体上偏东西向，主要以往复流为主，涨潮流偏西向，落潮流偏东向，存在涨潮流优势；从流速矢量的不同潮别比较来看，小、中潮较为接近，不存在显著的差异，大潮流矢量明显大于小、中潮，符合随月相变化的规律；最大垂线平均流速的量值，依大、中、小潮排列，具有良好的月相规律。两次观测的潮流垂线平均最大流速量级总体差异不大，见表 2.5-3 和 2.5-4。

2.5.1.1.4 波浪

1) 波型

工程海域最常见的波浪是风浪，年出现频率为 43.7%；其次是涌浪为主的混合浪，年出现频率为 21.3%，再次是涌浪，年出现频率为 17.9%，年出现次数最少的波型是风浪为主的混合浪，年出现频率为 4.5%。春、夏、秋三季出现频率最大的都为风浪，而冬季是涌浪的出现频率最大。各季最少出现的波型，在夏、秋、冬三季都是风浪为主的混合浪，而春季是风浪和涌浪相等的混合浪。

2) 常波向、强浪向

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

率为 15.2%。

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。夏季平均十分之一大波高为 0.47m，季海浪最大；春季十分之一大波波高的季平均值为 0.3m；秋、冬季平均波高值分别为 0.4m 和 0.37m。实测年最大波高发生在 1997 年 8 月 20 日 17 时，波向 ESE，十分之一大波波高（ $H_{1/10}$ ）为 3.0m，最大波高（ $H_{1\%}$ ）为 3.5m。工程海域年平均周期为 3.6s。

2.5.1.1.5 泥沙

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

2.5.1.1.6 海水温度、盐度

1) 海水水温

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

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

2) 盐度

根据厂址海洋水文站一年的盐度资料，工程海域年平均盐度为 31.93‰，其年变幅

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

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

2.5.1.1.7 海冰

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

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

2.5.1.1.8 海域岸线和滩槽的演变趋势

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

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

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

(3) 基岩岸滩稳定，两侧海湾湾顶的沙质海岸呈微淤，处于基本稳定状态；海阳核电工程建设、海阳港开发和渔港建设等人为因素是影响本区岸线变化的主要因素。

(4) 海滩整体保持稳定，排水明渠的修筑并未改变留格河口西侧自然沙滩形态和功能，河口附近存在一定的淤积，河口东侧至排水明渠防浪堤段有一定淤积，为河流来水来沙沉积、鹗鸽岚岬角阻挡形成动力减弱区等因素导致，排水明渠建设没有改变总体冲淤格局。

2.5.1.1.9 泥沙冲淤变化趋势

本项目不涉及新建涉海工程。海阳核电厂 1~6 号机组循环水系统和厂用水系统均采用以海水为水源的直流供水系统。1~6 号机组采用明渠取水，取水明渠一次建成，取水口设于厂区东南向-8.0m 等深线处。1~4 号机组从厂区西侧明渠排水，目前已建成，为了进一步提高 1~4 号核电机组的环境效益，对其予以优化改造：南北堤向 SSW 向延伸。5、6 号机组排水工程暂考虑离岸深排方案，排水口位于厂址正南向。目前，1~4 号机组的排水明渠优化改造方案的用海预审已取得批复。

根据《山东海阳核电项目 3、4 号机组工程岸滩稳定性分析及泥沙冲淤变化数模试验专题报告》(2021.5) 和《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程岸滩稳定性分析及泥沙冲淤变化数值试验专题报告》(2020.3)，如图 2.5-9，现状海域在大浪天气状况下，海阳港东港区防波堤东西两侧近岸水域淤积增强，范围有所增大，且有向近岸扩展的趋势，排水明渠堤坝西北侧波影区最大淤积强度约 0.02m。6 台机组运行时取水明渠平均淤厚为 2.2cm，最大淤厚为 7.3cm，总淤积量为 0.50 万 m³。海阳港远景规划建成后，极端天气 6 台机组运行时取水明渠平均淤厚为 2.0cm，最大淤厚为 7.0cm，总淤积量为 0.47 万 m³。

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

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

2.5.1.2 陆域水文

2.5.1.2.1 河流和水库

海阳市河流水系较发达，但均为中小河流，均属山东沿海诸小河水系，位于厂址半

径 15km 范围内的主要河流为留格河。

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

留格河上游有一座中型水库——盘石水库。盘石水库位于海阳市盘石乡龙头村北，距入海口 21.3km，控制面积 33km²，河长 10.3km。

留格河下游支流建有小型水库 3 座，分别为徽村水库，距入海口 13.5km；山口水库，距入海口 9.8km；望海水库，距入海口 8.5km。

2.5.1.2.2 淡水水源

本项目规划建设 1 台一体化小型堆，运行期最大淡水用水量约为 411m³/h，设计保证率为 97%。施工期高峰期单日常需水量约 1705m³/d，设计保证率为 90%。淡水供水系统的主要功能是为本工程提供除盐水、工业用水、生活用水、消防用水及施工用水等。

本项目采用 5、6 号机组建设的热法海水淡化设施作为淡水水源。

2.5.2 地下水

2.5.2.1 地下水类型及特征

拟建场地现已开挖整平，在厂区范围内无地表水体。

厂址区地下水类型主要为第四系孔隙潜水和基岩裂隙水，第四系孔隙水主要赋存于第四系填土层的孔隙中，基岩裂隙水主要赋存于岩体风化裂隙、爆破裂隙、构造裂隙中。

2.5.2.2 地下水补给、径流、排泄

场地内基岩裂隙水主要受大气降水补给，水位变化具有季节性和地段性差异，径流条件较差，主要以蒸发、地表径流、地下线状渗流的形式排泄，动态变化大，受降水影响明显。第四系孔隙水主要受大气降水补给，径流条件较好，富水性较好，主要以地下径流的形式排泄，动态变化大。总体来讲，厂区内地下水的补给来源主要是大气降水，以径流、蒸发的方式排泄。

2.5.2.3 地下水与海水的水力联系

厂址及所在半岛从近区域水文地质单元划分，属留格庄孔隙水区裂隙潜水。留格庄孔隙水区地形总体北高南低，地下水流向与地形基本一致，自北向南流入海中。由于厂址所在半岛与大陆的连接仅是几百米宽的狭长地带，地形上中间高两侧低，基岩埋藏较浅，为不透水层。上覆较薄的坡残积层为粉质粘土混砂砾石，透水性虽好，但常处于地下水位以上。因此根据地形、水文地质条件分析，厂址的地下水与近区域水文地质单元

没有水力联系，为独立的局部地下水水体。地下水位动态观测显示全厂区地下水与海水仅在临岸地段有微弱水力联系。

2.5.3 洪水

2.5.3.1 陆域洪水

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

2.5.3.2 设计基准洪水位

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

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

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

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

厂址不包括波浪影响的设计基准洪水位（10%超越概率天文潮+风暴潮水位+平均海平面上升）为 5.83m。

厂址海域波浪影响对厂址最不利的是可能最大台风浪，波浪的影响以可能最大台风浪作为设计基准波浪。厂址西侧海域包括波浪影响的设计基准洪水位为 8.05m。

结合厂区目前的总平面布置图，厂址防洪方案采用“干厂址”方案，即将厂坪标高定在包括波浪影响的设计基准洪水位（DBF）之上。核安全有关区域的主厂房的室外地

面设计标高确定为 8.40m，高于考虑波浪影响的设计基准洪水位（8.05m），确保了本项目的防洪安全，满足有关核安全法规的要求。

2.6 地形地貌

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

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

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

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

现厂区整个场地已整平，地面高程一般为 7.63~8.52m，场地平整、开阔。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

本项目位于山东海阳核电厂内。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（2022年）》的监测结果，编制完成以下内容。

3.1.1.1 调查内容及范围

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

1) 陆地 γ 辐射水平

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

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

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

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

2) 土壤

土壤样品范围为厂址半径20公里圆形区域，共设置12个采样点位。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，场外4个。调查内容及方案如下：

(1) 气溶胶

气溶胶样品的监测频率为 1 次/月。采集的样品主要用于 γ 谱及总放分析，总放样品采样体积约为 300-500m³。 γ 谱分析的样品采样体积为大约等于 10000m³。

(2) 空气中 ³H、¹⁴C、¹³¹I

空气 ³H 样品的监测频率为 1 次/月，采样持续时间为 1 天~1 周，使用冷凝法采样。

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 400m³。

(3) 降水

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

(4) 沉降物

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

4) 水体

调查内容如下：

(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 谱和 ³H。

(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。

(3) 地下水

地下水的采样点位分别为：厂区三口地下水监测井（P1、P2、P3）、厂外 2 个点位，采样频率为 1 次/半年，分析项目为 γ 谱、³H 和 ⁹⁰Sr。

控制区地下水样品的采样点位为厂区地下放射性管线周围布置的六口观测井（W1~W6），以及 093 门岗附近的对照点 W7 井，监测频率为 1 次/季，分析项目为 ³H，若发现样品 ³H 活度异常，则进行 γ 谱分析。

(4) 海水

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

5) 岸边沉积物、潮间带土、底泥

岸边沉积物样品采样点位与地表水相同，采样频次为 1 次/年，分析项目为 γ 谱和 ^{90}Sr 。

潮间带土的采样点位共 2 个，一个排水口区域，一个取水口区域。采样频次为 1 次/年，分析项目为 γ 谱和 ^{90}Sr 。

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

6) 生物

调查内容如下：

(1) 水生物

水生物主要采集海水生物。采样点位共 3 个（含 1 个对照点位）。采样种类包括：鲅鱼（海鱼）、蛤蜊（贝壳类）、爬虾（甲壳类）及章鱼（软体类），分析项目为 γ 谱和 ^{14}C ，采样频次为 1 次/年。

(2) 陆生植物

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

(3) 家畜、家禽

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

(4) 牛奶

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

(5) 指示生物

开展两类指示生物的采样分析，包括松针（陆地指示生物）和牡蛎（海洋指示生物）。采样点位共 3 个。采样频次为 1 次/年。指示生物的分析项目为 γ 谱、 ^{14}C 和 ^{90}Sr 。

3.1.1.2 监测方法

1) 取样方法

环境样品的采集严格按照相关标准及取样程序执行。

2) 测量分析方法

(1) 在线连续监测仪器测量分析方法

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

(2) 环境实验室样品测量方法

所有的监测项目均参考标准或国内同行做法编制了分析规程，并严格执行。

3.1.1.3 监测设施设备

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

3.1.1.3 调查结果及分析

1) 陆地 γ 辐射监测

(1) γ 辐射剂量率连续监测

2022 年各监测子站 γ 辐射剂量率总数据获取率为 99.57%，连续监测数据范围为 153.7~183.0nGy/h（未扣除宇宙射线响应），均属于本底水平。

(2) 瞬时 γ 辐射空气吸收剂量率

2022 年厂区及周围区域瞬时 γ 辐射空气吸收剂量率的范围在 46~115nGy/h，平均值为 80 nGy/h，均为环境本底水平。

(3) 累积剂量监测

2022 年热释光剂量片的回收率为 95.2%，环境 γ 辐射累积剂量率测量结果的范围在 55.0~120.0nGy/h 之间，平均值为 87.8nGy/h，均为环境本底水平。

2) 土壤

2022 年共分析了 12 个土壤样品，分析项目主要包括 ^{90}Sr 和 γ 谱。土壤 ^{90}Sr 活度浓度范围为 0.19~1.6Bq/kg·干；通过 γ 谱核素分析，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 658~968Bq/kg·干、19~55Bq/kg·干、46~90Bq/kg·干和 40~87Bq/kg·干，所有点位监测到人工核素 ^{137}Cs ，活度浓度范

围为 1.63~4.5Bq/kg 干, 其余关注 γ 谱核素活度浓度均小于探测下限。上述监测结果均为环境本底水平, 无异常。

3) 大气、沉降物

(1) 气溶胶

经对 2022 年气溶胶样品进行分析, 样品总 α 及总 β 测值范围分别为 $<0.3\sim 3.5\times 10^{-1}\text{mBq/m}^3$ 、 $1.6\sim 32.4\times 10^{-1}\text{mBq/m}^3$, 平均值分别为 $1.5\times 10^{-1}\text{mBq/m}^3$ 和 $10.6\times 10^{-1}\text{mBq/m}^3$; γ 谱测量中, 所有样品测出天然核素 ^7Be , 测值范围为 $0.21\sim 8.45\text{mBq/m}^3$, 部分样品测出 ^{40}K , 测出部分测值范围为 $0.10\sim 0.59\text{mBq/m}^3$, 其它人工核素未测出。上述监测结果均为环境本底水平, 无异常。

(2) 空气中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I

经对 2022 年环境监测子站空气样品进行分析, 样品中 ^3H 测值范围为 $<3.7\sim 25\text{mBq/m}^3$; ^{14}C 测值范围为 $35.1\sim 74.9\text{mBq/m}^3$; 所有样品均未测出 ^{131}I 。上述监测结果均为环境本底水平, 无异常。

(3) 沉降物

经对环境监测子站沉降物样品中总 β 、 γ 谱及 ^{90}Sr 监测, 样品中总 β 测值范围为 $0.15\sim 0.55\text{Bq/m}^2\cdot\text{d}$; ^{90}Sr 测值范围为 $<0.20\sim 1.07\text{mBq/m}^2\cdot\text{d}$; 所有样品均测出宇生核素 ^7Be , 测值范围分别为 $26\sim 234\times 10^{-2}\text{Bq/m}^2\cdot\text{d}$, 部分样品测出天然核素 ^{40}K , 测值范围为 $4\sim 21\times 10^{-2}\text{Bq/m}^2\cdot\text{d}$, 其余关注人工放射性核素活度浓度均低于探测下限, 上述监测结果均为环境本底水平, 无异常。

(4) 降水

经对环境监测子站降水样品中 γ 谱核素及 ^3H 分析, 样品中 ^3H 测值范围为 $<0.96\sim 2.7\text{Bq/L}$; 通过 γ 谱测量, 仅有部分样品测出天然核素 ^7Be , 测出样品的活度浓度范围为 $<0.05\sim 0.36\text{Bq/L}$, 上述监测结果均为环境本底水平, 无异常。

4) 水体

(1) 地表水

2022 年共分析了 6 个地表水样品, 测量项目主要包括 γ 谱及 ^3H 。样品中下半年盘石水库样品中 ^3H 活度浓度为 1.33Bq/L , 其他样品中 ^3H 活度浓度均小于探测限; γ 谱核素仅测出天然核素 ^{40}K , 活度浓度范围为 $<0.08\sim 0.26\text{Bq/L}$ 。上述监测结果均为环境本底水平, 无异常。

(2) 饮用水

2022年共分析了10个饮用水样品,各样品均进行总放、 ^3H 和 γ 谱核素分析。样品中总 α 、总 β 活度浓度分别为 $<0.022\sim 0.23\text{Bq/L}$ 、 $0.032\sim 0.49\text{Bq/L}$; ^3H 活度浓度均小于探测下限;经过 γ 谱测量分析,海阳市区点位下半年样品中测出 ^7Be ,活度浓度为 0.03Bq/L ,部分点位测出天然核素 ^{40}K ,活度浓度范围为 $<0.06\sim 0.19\text{Bq/L}$ 。上述监测结果均为环境本底水平,无异常。

(3) 地下水

2022年共分析了个10个地下水样品,分别进行了 ^3H 和 γ 谱核素分析,上半年5个样品同时还开展 ^{90}Sr 测量分析。样品中 ^3H 活度浓度范围为 $<1.1\sim 1.3\text{Bq/L}$; ^{90}Sr 活度浓度范围为 $0.67\sim 3.20\text{mBq/L}$; γ 谱测量部分点位测出天然核素 ^7Be 和 ^{40}K ,活度浓度范围分别为 $<0.02\sim 0.19\text{Bq/L}$ 和 $<0.06\sim 0.31\text{Bq/L}$,其余关注核素活度浓度均低于探测下限。上述监测结果均为环境本底水平,无异常。

2022年共分析了36个控制区地下水样品,主要进行 ^3H 分析。每月对W4井 ^3H 活度监测分析, ^3H 活度浓度范围为 $19.7\sim 42.7\text{Bq/L}$,结果无异常;其余6个控制区地下水井样品每季度取样分析,活度浓度范围为 $<0.96\sim 1.91\text{Bq/L}$,为环境本底水平,无异常。

另外,9、10月份对W4井水样品开展 γ 谱分析,10月份样品中测出 ^{40}K ,活度浓度为 0.16Bq/L ;其他核素活度浓度低于探测下限,监测结果与地下水放射性水平相当,无异常。

(4) 海水

2022年分析了16个海水样品,分别进行 ^3H 和 γ 谱核素,上半年8个海水样品同时开展了 ^{90}Sr 分析。样品中 ^{90}Sr 活度浓度范围为 $1.11\sim 4.95\text{mBq/L}$;一个点位下半年样品中测出 ^3H 活动浓度为 0.95Bq/L ,其余点位 ^3H 活动浓度低于探测下限; ^{137}Cs 活度浓度范围为 $0.44\sim 1.25\text{mBq/L}$,其余关注 γ 谱核素活度浓度均小于探测下限。上述监测结果均为环境本底水平,无异常。

5) 岸边沉积物、潮间带土、底泥

(1) 岸边沉积物

2022年共分析淡水沉积物样品3个,各样品均进行了 ^{90}Sr 和 γ 谱核素分析。所有样品中均测出核素 ^{90}Sr ,测量值为 $<0.19\sim 0.27\text{Bq/kg}$ 干;通过 γ 谱核素分析,所有样品均测出天然核素 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{238}U ,活度浓度分别为 $732\sim 837\text{Bq/kg}$ 干、 $20\sim 39\text{Bq/kg}$ 干、 $68\sim 94\text{Bq/kg}$ 干和 $42\sim 62\text{Bq/kg}$ 干,人工核素

^{137}Cs 活度浓度范围为 $<0.77\sim 1.85\text{Bq/kg}$ 干, 其余关注核素活度浓度均小于探测下限。上述监测结果均为环境本底水平, 无异常。

(2) 潮间带土

2022 年共分析潮间带土样品 3 个, 各样品均进行了 ^{90}Sr 和 γ 谱分析。2 个点位样品中测出核素 ^{90}Sr , 测量值范围为 $0.22\sim 0.27\text{Bq/kg}$ 干; 通过 γ 谱核素分析, 所有点位测出天然核素 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{238}U , 活度浓度分别为 $887\sim 911\text{Bq/kg}$ 干、 $14\sim 20\text{Bq/kg}$ 干、 $44\sim 62\text{Bq/kg}$ 干和 $39\sim 45\text{Bq/kg}$ 干, 所有样品测出人工放射性核素 ^{137}Cs , 活度浓度范围为 $2.19\sim 2.38\text{Bq/kg}$ 干, 其余关注核素活度浓度均小于探测下限。上述监测结果均为环境本底水平, 无异常。

(3) 底泥

2022 年共分析了 7 个底泥样品, 各样品均进行了 ^{90}Sr 和 γ 谱分析。其中部分点位测出 ^{90}Sr , 测出部分的活度浓度范围为 $0.16\sim 0.20\text{Bq/kg}$ 干; 通过 γ 谱核素分析, 测出天然核素 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{238}U , 活度浓度范围分别为 $784\sim 893\text{Bq/kg}$ 干、 $18\sim 32\text{Bq/kg}$ 干、 $47\sim 55\text{Bq/kg}$ 干和 $34\sim 56\text{Bq/kg}$ 干, 所有样品均测出人工放射性核素 ^{137}Cs , 活度浓度范围为 $1.45\sim 2.16\text{Bq/kg}$ 干, 其余关注核素活度浓度均小于探测下限。上述监测结果均为环境本底水平, 无异常。

6) 生物

(1) 陆生植物

2022 年共分析陆地植物样品共 6 类 17 个, 主要进行了 ^{14}C 和 γ 谱分析。

所有样品中均测出核素 ^{14}C , 活度浓度范围为 $4\sim 125.8\text{Bq/kg}$ 鲜; 通过 γ 谱核素分析, 部分样品测出天然核素 ^7Be , 测出的活度浓度范围为 $0.14\sim 58\text{Bq/kg}$ 鲜, 所有样品测出天然核素 ^{40}K , 活度浓度范围为 $31.7\sim 383\text{Bq/kg}$ 鲜, 部分样品还测出人工放射性核素 ^{137}Cs , 测出的活度浓度范围为 $0.005\sim 0.11\text{Bq/kg}$ 鲜, 其余关注 γ 谱核素活度均小于探测下限。上述监测结果均为环境本底水平, 无异常。

(2) 水生物

2022 年在电厂周围海域 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 谱分析。

1) 鱼类样品为鲮鱼, 共分析 3 个样品, 样品中 ^{14}C 测值范围为 $24.4\sim 30.6\text{Bq/kg}$ 鲜; 通过 γ 谱核素分析, 天然核素 ^{40}K 和人工放射性核素 ^{137}Cs 活度浓度范围分别为 $114\sim 143\text{Bq/kg}$ 鲜、 $0.12\sim 0.23\text{Bq/kg}$ 鲜, 其余关注放射性核

素活度均小于探测下限。

2) 软体类样品为章鱼, 共分析了 3 个样品, 样品中 ^{14}C 测值范围为 11.5~13.6Bq/kg 鲜; 通过 γ 谱核素分析, 样品中天然核素 ^{40}K 活度浓度范围为 20.06~22.74Bq/kg 鲜, 1 个样品测出 ^{137}Cs , 活度浓度为 0.008Bq/kg 鲜, 其余关注放射性核素活度均小于探测下限。

3) 甲壳类样品为爬虾, 共分析了 3 个样品, 样品中 ^{14}C 测值范围为 15.4~23.5Bq/kg 鲜; 通过 γ 谱核素分析, 样品天然核素 ^{40}K 和人工放射性核素 ^{137}Cs 活度浓度范围分别为 59~73.1Bq/kg 鲜、0.02~0.032Bq/kg 鲜, 其余关注放射性核素活度均小于探测下限。

4) 贝壳类样品为蛤蜊, 共分析了 3 个样品, 样品中 ^{14}C 测值范围为 14.1~19.1Bq/kg 鲜; 通过 γ 谱分析, 样品中天然核素 ^7Be 和 ^{40}K 活度浓度范围为 0.36~0.43Bq/kg 鲜、13.74~16.7Bq/kg 鲜, 2 个样品测出 ^{137}Cs , 活度浓度均为 0.006Bq/kg 鲜, 其余关注放射性核素活度均小于探测下限。

上述监测结果均为环境本底水平, 无异常。

(3) 家畜、家禽

2022 年分析了羊肉及鸡肉两个种类共 4 个样品, 进行了 ^{14}C 和 γ 谱分析, 均在凤城和大辛家点位采集。

所有样品中 ^{14}C 测值范围为 24.9~33.8Bq/kg 鲜; 通过 γ 谱核素分析, 所有样品均测出天然核素 ^{40}K , 活度浓度范围为 46.1~72.0Bq/kg 鲜, 鸡肉样品中测出 ^{137}Cs , 活度浓度范围为 0.011~0.014Bq/kg 鲜, 其余关注人工放射性核素活度均小于探测下限。上述监测结果均为环境本底水平, 无异常。

(4) 牛奶

2022 年分析了海阳市区的牛奶样品, 监测项目为 ^{14}C 和 ^{131}I 。其中, ^{131}I 未测出, ^{14}C 测量值为 12.7Bq/kg 鲜, 为环境本底水平, 无异常。

(5) 指示生物

2022 年分析了松针和牡蛎两个种类共 8 个指示生物样品, 进行了 ^{14}C 、 ^{90}Sr 和 γ 谱分析, 其中厂址附近牡蛎样品每季度采样进行 γ 核素分析。

松针样品 ^{14}C 、 ^{90}Sr 活度浓度范围分别为 50.0~57.3Bq/kg·鲜、0.12~0.29Bq/kg 鲜; 通过 γ 谱核素分析, 所有样品均测出天然核素 ^7Be 、 ^{40}K 和人工核素 ^{137}Cs , 活度浓度范围分别为 16.2~19.3Bq/kg 鲜、55.0~55.5Bq/kg 鲜和

0.02~0.022Bq/kg 鲜；其余关注人工放射性核素活度均小于探测下限。

牡蛎样品 ^{14}C 和 ^{90}Sr 活度浓度范围分别为 17.0~19.8Bq/kg·鲜、 $<0.005\sim 0.011\text{Bq/kg}$ 鲜；通过 γ 谱核素分析，所有样品均测出天然核素 ^{40}K ，活度浓度范围为 37.0~73Bq/kg 鲜，厂址附近第三季度牡蛎测出人工核素 ^{137}Cs ，测值为 0.013Bq/kg 鲜，其余关注人工放射性核素活度均小于探测下限。

指示生物的放射性水平无异常。

3.1.1.4 质量保证

1) 人员技术资格和培训

环境监测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。2022 年环境监测实验室 15 人，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。2022 年主要培训为：11 人完成岗位复训、2 人完成中级岗位授权培训、2 名新增人员完成岗位授权培训、1 名新增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 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、低本底总放测量仪及液体闪烁测量谱仪还定期进行本底或效率计数检验，并制作质控图，以保证仪器正常运行。

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

3) 取样、制样、测量过程中的质量控制

环境监测项目采样、制样、测量、分析、保存等过程均严格按照环境技术规程规定执行，过程中防止交叉污染，保证样品的代表性，并采用平行样、复测样、密码质控样等质控措施，保证检测数据准确可靠，2022 年的质控样品分析结果均满足环境监测质控要求。

4) 实验室内部质量检查及控制

海阳核电厂通过以下手段对环境监测进行过程控制及数据审查。

- a) 环境监测技术人员必须在取得相应的授权后才能开展监测工作。
- b) 监测数据需经过编制、校核、审查三级验证后方可上报。
- c) 遇到监测结果出现异常的情况，立即进行复查。
- d) 原始记录统一管理、归档存查。

5) 实验室间外部质量保证

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，2022 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、生态环境部辐射环境监测中心组织的能力考核。除生物中 ^{90}Sr 外，环境监测所有开展监测的项目均参加了能力验证/考核或外部比对。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 运行机组流出物排放情况

本项目位于海阳核电厂内，海阳核电厂一期工程 2 台机组已分别于 2018 年 10 月和 2019 年 1 月先后投入商运。

根据 2020 年、2021 年和 2022 年环境监测和流出物年报，海阳核电厂一期两台机组运行状态良好，核安全形势总体平稳，各系统设备性能良好，各项指标均满足设计文件要求。

根据一期工程 2 台机组最近三年（2020 年、2021 年、2022 年）的流出物排放情况统计，一期 2 台机组流出物排放量达标，每个季度的排放总量不超过所批准的年排放总量的二分之一，每个月的排放总量不超过所批准的年排放总量的五分之一，满足 GB6249-2011 的规定和 NNSA 的排放量要求。

3.1.3 辐射环境质量评价

通过分析， γ 辐射空气吸收剂量率、陆地环境介质（气溶胶、沉降物、空气、生物、土壤、水）放射性水平、海洋环境介质（海洋生物、底泥、海水）放射性水平以及指示生物（松针、牡蛎）放射性水平总体监测结果较本底调查未见显著差异，当地辐射水平无异常。通过对 2022 年 3 个点位牡蛎样品分析，且每季度开展牡蛎样品采集和 γ 能谱分析跟踪监测，2022 年牡蛎样品中未测出 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ，各核素的监测结果均为本底水平。

3.2 非辐射环境质量现状

本项目位于海阳核电厂内，海阳核电厂定期开展非放环境质量监测。

受山东核电有限公司委托，青岛谱尼测试有限公司承担了山东海阳核电厂 2022 年度环境质量监测工作，并编制完成了《山东海阳核电厂 2022 年度环境质量监测报告》。国家海洋局北海海洋工程勘察研究院于 2019 年对厂址周围地表水环境进行调查和监测工作，共进行了春、夏、秋、冬四季调查，编制了《山东海阳核电项目 5、6 号机组春、夏、秋、冬季海洋环境现状调查报告》。本节根据《山东海阳核电厂 2022 年度环境质量监测报告》以及《山东海阳核电项目 5、6 号机组春、夏、秋、冬季海洋环境现状调查报告》对工程所在区域目前的非辐射环境质量现状进行描述和评价。

3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

3.2.1.1 大气环境质量现状初步调查

本项目厂址半径 5km 范围内的环境空气保护目标主要有居民点、学校。

3.2.1.2 大气环境质量监测方案

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

3.2.1.3 大气环境质量监测结果

（1）2022 年第一季度

无组织排放废气监控点二氧化硫最大浓度为 0.021mg/m³，氮氧化物最大浓度为 0.087mg/m³，颗粒物最大浓度为 0.31mg/m³，均满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值要求（SO₂、NO_x 和上风向颗粒物限值要求分别为 0.5mg/m³，0.15mg/m³ 和 2.0mg/m³）。

两处环境敏感点环境空气中 SO₂、NO_x 小时值最大浓度分别为 15μg/m³、56μg/m³，日均值最大浓度分别为 14μg/m³、51μg/m³，均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准浓度限值要求。环境空气中 TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 日均值最大浓度为 145μg/m³、78μg/m³、45μg/m³，均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准浓度限值要求（TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 日均值二级限值要

求为 $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $75\mu\text{g}/\text{m}^3$)。

(2) 2022 年第二季度

无组织排放废气监控点二氧化硫最大浓度为 $0.023\text{mg}/\text{m}^3$ ，氮氧化物最大浓度为 $0.087\text{mg}/\text{m}^3$ ，颗粒物最大浓度为 $0.29\text{mg}/\text{m}^3$ ，均满足《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 中无组织排放监控浓度限值要求。

两处环境敏感点环境空气中 SO_2 、 NO_x 小时值最大浓度分别为 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $54\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，日均值最大浓度分别为 $12\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $47\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中二级标准浓度限值要求。环境空气中 TSP、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 日均值最大浓度为 $131\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $68\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $39\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级标准浓度限值要求。

(3) 2022 年第三季度

无组织排放废气监控点二氧化硫最大浓度为 $0.021\text{mg}/\text{m}^3$ ，氮氧化物最大浓度为 $0.041\text{mg}/\text{m}^3$ ，颗粒物最大浓度为 $0.41\text{mg}/\text{m}^3$ ，均满足《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 中无组织排放监控浓度限值要求。

两处环境敏感点环境空气中 SO_2 、 NO_x 小时值最大浓度分别为 $19\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $33\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，日均值最大浓度分别为 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $27\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中二级标准浓度限值要求。环境空气中 TSP、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 日均值最大浓度为 $139\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $73\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $51\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级标准浓度限值要求。

(4) 2022 年第四季度

无组织排放废气监控点二氧化硫最大浓度为 $0.021\text{mg}/\text{m}^3$ ，氮氧化物最大浓度为 $0.068\text{mg}/\text{m}^3$ ，颗粒物最大浓度为 $0.27\text{mg}/\text{m}^3$ ，均满足《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 中无组织排放监控浓度限值要求。

两处环境敏感点环境空气中 SO_2 、 NO_x 小时值最大浓度分别为 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，日均值最大浓度分别为 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中二级标准浓度限值要求。环境空气中 TSP、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 日均值最大浓度为 $113\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $67\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $38\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 二级标准浓度限值要求。

3.2.1.4 大气环境质量现状评述

2022 年 1-4 季度对场界无组织废气进行了 4 次季度监测，监测结果表明：无组织排放废气场界监控点二氧化硫、氮氧化物、颗粒物最大浓度均满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表 2 中无组织排放监控浓度限值要求。

2022 年 1-4 季度对两个村庄环境空气进行了 4 次季度监测，监测结果表明：监测期间，两个村庄监测点位环境空气中二氧化硫、氮氧化物、TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 浓度均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准浓度限值要求。

3.2.2 声环境质量现状调查与评价

3.2.2.1 声环境质量现状初步调查

本工程厂址半径 5km 范围内的声环境保护目标有居民点、学校等。

3.2.2.2 声环境质量监测方案

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

3.2.2.3 声环境质量监测结果

2022 年第一季度厂界 4 个监测点昼、夜噪声测定值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）中 2 类标准要求。环境敏感点 2 个监测点昼、夜噪声测定值均满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中 2 类标准的要求（昼间 60dB（A）、夜间 50dB（A））。

2022 年第二季度厂界 4 个监测点昼、夜噪声测定值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）中 2 类标准要求。环境敏感点 2 个监测点昼、夜噪声测定值均满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中 2 类标准的要求。

2022 年第三季度厂界 4 个监测点昼、夜噪声测定值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）中 2 类标准要求。环境敏感点 2 个监测点昼、夜噪声测定值均满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中 2 类标准的要求。

2022 年第四季度厂界 4 个监测点昼、夜噪声测定值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）中 2 类标准要求。环境敏感点 2 个监测点

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

通过监测结果可见,本项目厂界4个监测点昼、夜噪声四季度测定值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中2类标准(昼间60dB(A)、夜间50dB(A))的要求。环境敏感点2个监测点昼、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50dB(A))的要求。

3.2.2.4 声环境质量现状评述

上述分析可见,厂址附近区域的声环境质量较好,符合《声环境质量标准》(GB 3096-2008)2类标准要求。

3.2.3 水环境质量现状调查与评价

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

3.2.3.1 水环境质量监测方案

1) 调查范围

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

2) 调查项目

调查内容包括pH值、温度、盐度、溶解氧(DO)、悬浮物、化学需氧量(COD)、营养盐(硝酸盐氮(NO_3^- -N)、亚硝酸盐氮(NO_2^- -N)、铵盐(NH_4^+ -N)、磷酸盐(PO_4^{3-} -P)、硅酸盐(SiO_3^{2-} -Si))、挥发性酚、石油类、重金属(铜、铅、锌、镉、总铬、汞、砷)、余氯等共计21项要素。

3) 调查时间

2019年5月(春季)、2019年8月(夏季)、2019年10月(秋季)和2019

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

4) 采样方法

调查船只进入预定站位，使用 GPS 进行定位。

水质调查项目除石油类取表层水样外，其余项目的采集均按以下要求进行：

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

5) 分析方法和检出限

样品的分析严格按照《海洋监测规范》（GB17378-2007）进行。

6) 水质评价标准

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

3.2.3.2 水环境质量监测结果

1) 春季调查结果

对各站春季实测数据进行统计分析，所有站位调查因子均符合三类标准。

2) 夏季调查结果

对各站夏季实测数据进行统计分析，所有站位调查因子均符合三类标准。

3) 秋季调查结果

对各站秋季实测数据进行统计分析，按三类水质标准评价时，大面站无机氮的 57 号站和 58 号站表层超出三类标准（可能与陆域面源污染有关），其他站位均符合三类标准，所有站位均符合四类标准。

4) 冬季调查结果

对各站冬季实测数据进行统计分析，按三类水质标准评价时，大面站无机氮的 17 号站、24 号站超出三类标准（可能与陆域面源污染有关），其他站位均符合三类标准，所有站位均符合四类标准。

3.2.3.3 水环境质量评价结论

1) 春季水质评价结论

本次调查因子为水温、pH、盐度、DO、悬浮物、COD、石油类、活性磷酸盐、无机氮、挥发性酚、砷、铜、铅、锌、镉、汞、总铬等 17 项。通过评价结果可以看出，该海域各调查因子均符合三类标准。

2) 夏季水质评价结论

本次调查因子为水温、pH、盐度、DO、悬浮物、COD、石油类、活性磷酸盐、无机氮、挥发性酚、砷、铜、铅、锌、镉、汞、总铬、余氯等。通过评价结果可以看出，该海域各调查因子均符合三类标准。

3) 秋季水质评价结论

本次调查因子为水温、pH、盐度、DO、悬浮物、COD、石油类、活性磷酸盐、无机氮、挥发性酚、砷、铜、铅、锌、镉、汞、总铬等 17 项。根据监测结果，该海域除无机氮在个别站位超标外，其余各调查因子均符合三类标准。

4) 冬季水质评价结论

本次调查因子为水温、pH、盐度、DO、悬浮物、COD、石油类、活性磷酸盐、无机氮、挥发性酚、砷、铜、铅、锌、镉、汞、总铬、余氯等。根据监测结果，该海域除无机氮在个别站位超标外，其余各调查因子均符合三类标准。

5) 春、夏、秋、冬四季调查汇总

对春、夏、秋、冬四季水质调查结果进行汇总，各调查项目的浓度总体变化不大，除无机氮在部分季节个别站位出现超标现象外，其余调查项目均符合三类标准。

厂址邻近海域环境功能区类别为三类，根据监测结果，厂址临近海域水质基本满足三类海水水质标准。

3.2.4 电磁环境质量现状调查与评价

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

由监测结果可知：主变、500kV 开关站、220kV 辅助变周围的工频电场为 11.13~638.3V/m，工频磁场为 0.3492~4.707 μ T；500kV 架空线下周围的工频电场为 211.7~5688V/m，工频磁场为 1.302~8.601 μ T；200kV 辅助变地埋缆线上方的工频电场为 2.321~2.567V/m，工频磁场为 0.3484~0.3723 μ T。以上数值满足符合《电

磁环境控制限值》(GB8702-2014)中规定的限值要求(对于0.05kHz频率,公众曝露限值分别为4000V/m和100 μ T;架空输电线路下的耕地、园地、牧草地、畜禽饲养地、养殖水面、道路等场所,其频率50Hz的电场强度控制限值为10kV/m)。

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

3.2.5 环境质量现状监测质量保证

3.2.5.1 大气和噪声环境质量现状监测质量保证

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

- 1) 配备有资质的人员参与该项工作。
- 2) 对于采样和分析仪器,使用前进行检定并在有效期内使用。采样、样品保存和监测方法按照国家相关规定执行。
- 3) 对数据的记录、检查、复审、保存进行全过程控制。

3.2.5.2 地表水环境质量现状监测质量保证

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

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

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

- 3) 调查、监测、检测数据实行三级审核制度。
- 4) 采样、样品保存和监测方法按照国家相关规定执行。

5) 固定实验室、固定观测场的环境条件应根据实验室和观测场内的仪器设备调查(检验)工作的要求进行布置,配备各类所需能源,避免机械、电磁、热、化学等的交叉干扰和污染;在船舶等其他非固定实验室进行检测工作时,仪

器设备应远离船舶的排气、排污口；尽量安放在船舶的中部，以减少震动影响；仪器设备应不受船舶上雷达、电台等无线设备所产生的电磁干扰。

3.2.5.3 电磁环境质量现状监测质量保证

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

- 1) 在选定分析测量方法时，有国家标准的，一律采用国家标准，没有国家标准的选用行业标准，项目负责人及所有工作人员由有相关资质的人员承担。
- 2) 测量环境条件符合行业标准和仪器标准中规定的适用条件，即无雪、无雨、无雾、无冰雹。测量记录表应注明环境温度、相对湿度及天气状况。
- 3) 参与调查的仪器设备，按照量值溯源关系，定期经计量部门检定，保证检定/校准结果能够溯源到国家计量基准，检定合格后方可使用。
- 4) 专题报告完成编制后，需经过审核后签发和方生效。

第四章 一体化小型堆

4.1 厂区规划及平面布置

山东海阳核电厂址规划建设6台百万千万级压水堆核电机组和1台一体化小型堆机组，并留有扩建余地。山东海阳一期（即1、2号机组）工程2台AP1000核电机组已经投运，3、4号机组工程正在建设2台CAP1000压水堆核电机组。海阳一体化小堆示范工程项目是在已经批准的厂址范围内建设1台一体化小型堆，热功率为200MWt，最大供汽能力为250t/h，以对外供应工业蒸汽为主，同时为海阳核电5、6号机组热法海淡提供热源，冬季作为核能供热备用热源。

本项目（一体化小型堆）位于山东海阳核电厂整个厂区的西南侧，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，西南有凤城港，东部和南部面临广阔的黄海。

4.1.1 总平面布置原则

- 厂区总平面规划应满足工艺流程和运输的要求；
- 合理规划本工程的位置，尽量降低对已运行机组和施工机组的影响；
- 合理设置新增建、构筑物，充分利用已有的设施；
- 厂区室外场地设计标高应满足核安全要求；
- 主厂房群四周应留有足够的场地，以满足布置工程管线和施工需要；
- 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。

4.1.2 厂区总平面布置

根据海阳核电厂已建工程的现状，结合厂区的地形、工程地质、取排水等有关条件，本项目拟规划建设于海阳核电1、2号机组已建放射性废物处理设施区域南侧的场地上。

主厂房地基持力层主要为微风化页岩夹细砂岩及中薄层状细砂岩，附属厂房地基持力层主要为页岩。地基承载力特征值较高，能满足一体化小型堆建设要求。

主厂房区包括主厂房、附属厂房、二回路服务厂房、三回路厂房、柴油发电机厂房、设备冷却水冷却装置、抗震消防水池和泵房等子项。其中主厂房居中，附属厂房布置在主厂房的西北侧；二回路服务厂房布置在主厂房东北侧，三回路厂房布置在主厂房东侧，主厂房、附属厂房、二回路服务厂房、三回路厂房形成一个规整的矩形。抗震消防水池和泵房毗邻布置在主厂房南侧，柴油发电机厂房布置在附属厂房西侧。

综合考虑厂区防洪安全、地质条件和土石方工程等因素，厂区与核安全有关的区域的地面设计标高定为 8.40m，建构筑物室内地坪标高 8.70m；道路中心线标高为 8.18m。其他区域，场地地坪设计标高可定为 7.98~8.10m；建构筑物室内地坪标高 8.40m；道路中心线标高为 7.90m。

本项目放射性废物处理设施与山东海阳核电厂共用，位于本项目厂区北侧区域。固体废物运输由厂区道路运输至厂区北侧废物处理设施区，经过处理的固体废物可通过主厂房南侧的道路，再经西侧和西北侧海堤道路运输至厂外。

本项目拟采用海水淡化为小堆提供淡水补水水源，考虑海阳核电厂内现有海淡设施规模无法满足小堆的补水需求，同时为了丰富小堆应用场景，开展热法海淡示范，拟在海阳核电厂 5、6 号机组工程新建热法海淡子项，5、6 号机组工程新增海淡设计规模考虑本项目一体化小型堆及 5、6 号机组生产建设用水需求。海水淡化产生的浓盐水及掺凉海水正常工况为 2109~2803m³/h，最大工况为 2928~3891m³/h，拟采用一根 DN800 的管道自卤水场地排至厂区北侧 1~4 号核电机组循环水排水明渠内。

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

4.1.3 排放口布置

液态流出物以及非放生产废水经处理达标后排至 1、2 号机组已建虹吸井内，通过虹吸井内循环水排水稀释排至海阳核电 1、2 号机组工程西侧已建排水明渠（为 1~4 号机组温排水、非放生产废水排放口，1~6 号机组液态流出物排放口）。

生活污水经污水管道排至 1、2 号机组生活污水处理站，经处理后中水回用，用于厂前区绿化灌溉。

非放生产废水依托 3、4 号机组废水处理设施进行处理后达标排放，排入海阳核电 1、2 号机组工程西侧已建排水明渠。

气载流出物经处理后通过核岛烟囱（气载流出物排放口）排放至大气中。非放废气排放口位于柴油发电机厂房，仅在柴油发电机短暂运行期间产生少量废气。

厂区雨水通过雨水口排至地下雨水管，汇至厂区雨水排放口。

4.2 反应堆

4.2.1 概述

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台一体化小型堆核，一次规划，分期实施，并预留两台百万千瓦级核电机组扩建余地。本项目工程为山东海阳一体化小型堆示范工程，拟建设1台200MWt全自然循环一体化压水反应堆。

本项目一体化小型堆为单堆布置。基于机型选择原则和外部市场条件等因素，山东海阳一体化小型堆热功率为200MWt。反应堆的主要设计目标如下：

1) 最大供暖能力为200MWt（最大供热面积~400万平方米），最大供汽能力为~250t/h；

2) 设计寿命60年；

3) 换料周期24个月；

4) 应用全数字化仪表控制系统和先进主控室设计；

5) 非计划停堆次数<1次/年；

6) 安全目标：

(1) 堆芯最小偏离泡核沸腾比(DNBR)裕量>15%；

(2) 堆芯损伤频率(CDF)< 1×10^{-6} /堆年；

(3) 大量放射性物质释放频率(LRF)< 1×10^{-7} /堆年；

(4) 职业照射集体有效剂量<0.5人·Sv/堆年。

4.2.2 核岛

4.2.2.1 燃料组件性能的描述

燃料组件是堆芯的关键部件，它产生热能并将此热能传递给冷却剂。燃料组件的性能直接影响反应堆的安全性和经济性。

本项目采用的燃料组件由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、格架、导向管和仪表管组成。

4.2.2.2 反应堆冷却剂系统

本项目采用一体化反应堆冷却剂系统，无主管道和主冷却剂泵，一二回路换热组件、稳压器内置于反应堆压力容器内，反应堆冷却剂系统主要设备包括1台一二回路换热组件（缠绕管式）和1台稳压器，稳压器通过一体化反应堆压力容器上压腔与稳压器之间隔板上的波动孔相连。此外，系统还包括连接管段及运

行控制和专设驱动所需的阀门和仪表。反应堆冷却剂系统的所有设备均布置在安全壳内。一体化的主回路布置消除了压力容器外的主管道和大量的压力贯穿件，消除了大破口冷却剂丧失事故的可能性。相关管道的减少，也减少了发生小破口冷却剂丧失事故的可能性。

在运行期间，冷却剂在反应堆压力容器的堆芯和换热组件间自然循环。冷却剂在通过堆芯时被加热，通过冷热区域产生的密度差形成的自然循环将冷却剂从堆芯出口输送至一二回路换热组件区域。反应堆冷却剂经换热组件传热管管内中间隔离回路介质冷却，再由换热组件出口经下降通道和下腔室返回至堆芯并重复上述过程。一二回路换热组件为螺旋缠绕管式，二回路给水在缠绕管内经反应堆冷却剂加热后，将热量输送至三回路。

反应堆冷却剂压力边界作为防止反应堆内产生的放射性物质释放的屏障，在供热堆运行的全过程中具有高度的完整性。

稳压器是反应堆压力容器的一部分，通过波动孔与反应堆压力容器相连。电加热器安装在稳压器筒体并可根据维修或更换的要求拆卸。蒸汽由加热器加热产生或通过喷雾凝结以控制由于反应堆冷却剂热胀、冷缩而造成的压力变化。稳压器提供控制所需的压力、温度和液位信号。

4.2.2.3 中间隔离回路系统

中间隔离回路系统（JGS）设有 2 个环路，主要设备包括 2 台循环泵、2 台波动箱、一套电除盐装置净化设备及相关管道。

在功率运行期间，JGS 循环泵将二回路冷却水送入一二回路换热组件进口管（回水管侧），经一回路加热升温后，从一二回路换热组件出口管（供水管侧）流出，再送入供热环路。二回路冷却水通过供热站内的二三回路换热器设备包传递至用户，然后再返回到 JGS 循环泵入口。

JGS 为事故后二次侧非能动余热排出系统提供冷却通道。

JGS 运行压力高于反应堆冷却剂系统，防止一回路换热组件发生泄漏时放射性物质向中间隔离回路泄漏。

在二三回路换热器设备包出口总管上设有下泄管线，将下泄流送至水质净化装置，同时还设有取样、加药和补水管线，满足 JGS 对于水质和装量调节的要求。

4.2.2.4 反应堆辅助系统

1) 化学和容积控制系统

化学和容积控制系统 (KBS) 由各种热交换器、除盐床、过滤器、上充泵、硼酸循环泵、容积控制箱、化学物添加箱、硼酸混合器、硼酸贮存箱、硼酸制备箱和相关的阀门、管道和仪表组成。系统功能作为一个整体, 在反应堆正常运行期间满足控制反应堆冷却剂系统化学、纯度和装量的要求。

净化回路子系统包括再生热交换器、下泄孔板、下泄热交换器、除盐床、净化过滤器以及相关阀门、管道和仪表。再生热交换器和下泄孔板、下泄热交换器、除盐床和净化过滤器位于主厂房内。

补水子系统包括容控箱、上充泵、化学添加箱以及相关阀门、管道和仪表。其中容控箱、上充泵、化学添加箱均在主厂房, 经净化的反应堆冷却剂通过容控箱进入上充泵加压, 从泵出口管道穿过安全壳后接入再生热交换器壳侧入口, 经再生热交换器加热后注入反应堆压力容器。

启堆过程中, 上充泵从化学物添加箱吸入联氨补入反应堆冷却剂系统, 降低一回路溶解氧含量。功率运行期间, 使用低压氢气覆盖在容控箱中, 维持一回路氢浓度, 抑制水的辐照分解。

上充泵通过稳压器喷雾管上的接口向稳压器提供喷雾。上充泵将经过净化的反应堆冷却剂供至再生热交换器壳侧, 然后通过 JES 的喷雾管至稳压器。

2) 正常余热排出系统

正常余排系统 (JNA) 包括两台余热排出泵、两台余热排出热交换器以及相关阀门、管道和仪表。整个正常余排系统位于安全壳外, 与反应堆冷却剂系统直接相连。

在 JES 冷却的第一阶段, 通过二回路和三回路旁排来从 JES 带走热量。在反应堆冷却的第二阶段, 正常余排系统移出堆芯衰变热并降低 JES 温度, 最终将 JES 的温度降低到换料停堆温度。

停堆初期, JES 冷却速率是通过控制流经余热排出热交换器管侧的流量实现的, 并且通过控制正常余排热交换器旁路流量, 使得余热排出泵的流量恒定。

反应堆启动加热阶段, 余排泵将反应堆冷却剂从压力容器内换热组件下部吸管引出, 并送至启堆加热器由辅助蒸汽系统加热, 加热后返回压力容器顶盖的启动加热回水管, 注入压力容器。

3) 乏燃料池冷却系统

乏燃料池冷却系统（KFS）有两个机械系列，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，这样任意一个系列都可以独立地完成系统功能。KFS 一个系列持续冷却并净化乏燃料储存水池（SFP）时，另一个系列可以用于水的输送、水池净化、SFP 并行系列冷却或者为运行系列备用。

当 KFS 两个系列同时运行以冷却和净化 SFP 池水时，每个冷却系列（泵和热交换器）的设计流量是 50m³/h。泵从 SFP 公共入口母管吸水，出口连接到对应的热交换器。每台热交换器的下游有支管连接到 KFS 除盐床和过滤器。每个净化回路的设计都能提供 20 m³/h 的净化流量。

每台 KFS 除盐床的出口连接到一台过滤器，过滤器收集细颗粒物和树脂碎片。过滤器的出口连接到对应的 KFS 管道，然后连接到公共回流母管。

KFS 系统有一个倒水系列，每个系列包括一台泵以及相关的阀门、管道和仪表。用于换料前后反应堆水池、换料水池、换料水道和倒水水池之间水的输送。

4) 设备冷却水系统

设备冷却水系统（KAS）是一个闭式冷却系统，该系统将反应堆各类不同部件的热量转移至设备冷却水冷却装置。系统设置两个机械序列，每个序列包括一台 KAS 泵和一台设备冷却水冷却装置。波动箱连接在设备冷却水回水母管上。每台 KAS 泵将冷却水直接排往与之对应的那台设备冷却水冷却装置。两台泵出口设有桥管，可用于任意一台设备冷却水泵向两台设备冷却水冷却装置中的一台供水。

所有独立的被冷却设备都可就地隔离进行设备检修，而不会影响系统向其他设备供应冷却水。

KAS 仪表在系统所有运行工况下提供显示和控制功能。压力和流量仪表监测设备冷却水泵和设备冷却水冷却装置向各个用户提供合适而连续的冷却水流量。KAS 水装量的变化可通过监测波动箱液位变化来进行监控。

5) 一回路取样系统

一回路取样系统（KUS）从反应堆冷却剂系统以及相关辅助系统工艺流和安全壳大气中收集具有代表性的样品，并由运行人员进行分析。该取样过程可在正常运行或事故后运行期间完成。大部分部件和设备为两种运行模式所共用。

KUS 主要由主系统和相关辅助系统取样、安全壳大气取样两部分构成。

主系统和相关辅助系统取样有 4 个取样点，包括：反应堆冷却剂系统压力容器出口取样、化容系统除盐床上游、下游和容控箱气相取样。其中反应堆冷却剂系统压力容器出口取样为连续取样，其余为间歇取样。所有取样流最终会进入位于主厂房的在线监测装置及手动取样装置中，并由运行人员在手动取样装置内进行取样操作。

正常功率运行期间，取样源压力是 KUS 取样流的驱动力。在实际收集样品前必须用目标取样源流体清扫管道，以便减少前一次取样源流体残余所造成的污染。在正常运行期间连续取样的清扫液通过在线监测装置内的泵返回化容系统容控箱，其它取样点的清扫液返回放射性废液收集系统废液暂存箱。取样系统的在线监测及取样装置内设有在线仪表，包括在线氢表、在线氧表、在线离子色谱等。

4.3 用水和散热系统

本项目正常运行产生的热能转换为热蒸汽外送，因此不需要采用海水冷却方式排放余热，不涉及海水取水。

4.3.1 淡水用水

一体化小型堆全厂淡水用水分为除盐水用水、生产用水、生活用水、消防用水、绿化用水、洗车及道路浇洒用水等。运行期淡水用户主要包括人员、设备用生活水，设备冷却、厂房地面冲洗等生产水，核岛、常规岛用除盐水，运行期消防水以及各级水处理自用水量。

本项目拟采用5、6号机组建设的海水淡化设施作为淡水水源。山东海阳一体化小型堆示范工程全厂运行期用水分为除盐水、工业用水、生活用水、消防用水等。

运行期日最大用水量约为 $411\text{m}^3/\text{h}$ （ $9864\text{m}^3/\text{d}$ ），包括：除盐水最大用水量约 $303\text{m}^3/\text{h}$ ，其中常规岛除盐水 $260\text{m}^3/\text{h}$ ，核岛除盐水 $43\text{m}^3/\text{h}$ ，除盐水由除盐水厂提供；工业水最大用水量约 $56\text{m}^3/\text{h}$ ，其中核岛工业水 $25\text{m}^3/\text{h}$ ，常规岛工业水 $31\text{m}^3/\text{h}$ ；生活水最大用水量约 $2\text{m}^3/\text{h}$ ，其中核岛生活水 $1\text{m}^3/\text{h}$ ，常规岛生活水 $1\text{m}^3/\text{h}$ ；备用水量约 $50\text{m}^3/\text{h}$ 。工业水、生活水等淡水由海水淡化厂提供。

4.3.2 散热系统

本项目通过设冷水将余排热交换器、下泄热交换器、反应堆冷却剂疏水箱热交换器、取样热交换器和乏池热交换器等设备的热量带走，设冷水通过设备冷却水空冷装置（简称“空冷器”）进行冷却，利用空冷器将设冷水的热量传递至大气中。

空冷器布置在厂区内，反应堆西侧区域。

此外三回路设备冷却也采用空冷方式，三回路空冷旁排系统布置在反应堆东侧区域。

4.4 供汽、供热及供电系统

4.4.1 供汽、供热系统

本项目一体化小型堆热功率为 200MWt，最大供汽能力为 250t/h，用途以对外供应工业蒸汽为主，同时为海阳核电 5、6 号机组热法海淡提供热源，冬季作为海阳市核能供暖的备用热源。

4.4.1.1 工业供汽系统

根据工业蒸汽用户的蒸汽需求特性，本项目三回路蒸汽参数初步确定为 1.5MPa, 230℃，蒸汽流量为 130±30t/h 或 200t/h，另有 50t/h 蒸汽用于热法海淡。本项目通过二三回路换热系统将二回路热量转化为过热蒸汽。主要系统方案如下：

本项目配置一套二三回路换热系统，系统设计容量 200MW，最大供汽能力约 255t/h，蒸汽参数暂定为 1.5MPa/230℃。二三回路换热系统设置由 3×50%预热器、3×50%蒸发器、1 台汽包、1 台除氧器、3×50%过热器组成。3 台蒸发器并联共用 1 台汽包。后续将继续开展蒸发器的优化工作。系统流程如下：

(1) 热侧：蒸汽发生器系统的热侧为二回路高温水，依次经过过热器、蒸发器和预热器，最终从预热器出来的低温水回到二回路形成循环。

(2) 冷侧：三回路凝结水依次经过预热器、除氧器、汽包、蒸发器、汽包、过热器，产生 230℃ 过热蒸汽。

蒸汽管线自三回路厂房接出，采用 DN750 的双管制管道系统架空布置，沿厂区西侧向北敷设至厂界。

4.4.1.2 供热系统

由于海阳核电一期工程已建设供热首站，因此本项目无需新增供热首站系统。备用蒸汽管道自三回路厂房接出后，采用架空管道敷设至厂区内已有供热首站。

4.4.2 供电系统

本项目不发电，本节所述供电系统为外部向本项目供电情况，现阶段本项目拟采用的供电方案为：两回电源引自海阳核电厂内，主电源引自厂内 220kV 开关站，备用电源引自厂内 110kV 施工变电站。后续将进一步开展供电方案优化工作。

4.5 反应堆专设安全设施

专设安全设施系统由应急堆芯冷却系统、二次侧余热排出系统等组成，专设安全设施的运行不依赖于操纵员的动作。系统具有足够高的可靠性，提高了安全性。

4.5.1 应急堆芯冷却系统

应急堆芯冷却系统是抗震 I 类的安全有关系统，为设计基准事件提供足够的堆芯冷却。应急堆芯冷却系统主要由两个子系统组成：自动卸压子系统和再循环冷却子系统。

应急堆芯冷却系统采用非能动的设计理念，当发生 LOCA 事故后，反应堆压力容器（RPV）内的水蒸汽通过自动卸压子系统（简称 ADS 系统）排到安全壳，实现对堆芯的冷却。

再循环冷却子系统提供从安全壳向反应堆压力容器（RPV）再循环流道，再循环流道由反应堆再循环隔离阀（RRV）组成。正常运行期间，RRV 处于关闭状态，入口联通安全壳大气，出口与 RPV 直接相连；事故后，RRV 开启，自动卸压子系统为 RPV 提供自动卸压流道，以确保安全注射可以非能动地注入。

当发生 LOCA 事故后为堆芯提供持续冷却。从 RPV 丧失的冷却剂通过自动打开的 ADS 阀门或破口排出至安全壳，并将热量传至安全壳外，从而实现长期的堆芯冷却。

4.5.2 二次侧余热排出系统

二次侧余热排出系统（JNB）属于专设安全设施，是一个安全有关系统，能够在失水事故（LOCA）或非失水事故下正常余热排出功能失效时排出堆芯衰变热。

JNB 为自然循环式冷却系统，由位于反应堆水池的二次侧余热排出热交换器、循环回路通道以及相关的仪表、管道及阀门构成。

反应堆正常运行时，JNB 处于备用状态，二次侧余热排出热交换器压力与一二回路换热组件二次侧压力一致，二次侧余热排出热交换器与出口管线充满除盐水。一旦二次侧余热排出热交换器投入运行，其与一二回路换热组件的布置高度差以及温度差将产生驱动压头，形成自然循环，且循环方向与一二回路换热组件二次侧的原循环方向一致。堆芯热量通过一二回路换热组件传递给二次侧余热排出热交换器，并最终通过二次侧余热排出热交换器排至反应堆水池。

4.5.3 主控室应急可居留系统

主控制室应急可居留系统（KLE）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机组特定区域内的温度上升。

4.5.3.1 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小型堆部分区域的设备提供非能动冷却。
- 对不可预见的渗入主控制室边界的潜在污染空气进行非能动过滤，维持主控制室剂量低于允许水平。

4.5.3.2 系统组成

KLE 系统由应急空气储存罐和以及相关的阀门、管道、诱导器、过滤机组、风管和必要的仪表等组成，为主控制室通风、加压和空气过滤。系统与机组土建结构通过两种途径相互影响。首先，系统利用钢筋混凝土材料的围护结构以及带散热片顶板所提供的蓄热能力为电气部件和室内人员提供过热保护；其次，系统对于构成主控制室压力边界的围护结构有气密性要求。

4.5.3.3 工艺流程

系统包括四个送风储存罐模块，每个模块包括 8 个独立的送风罐体（共 32 个罐），储存罐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，四个模块的集管再连接至一个公用集气母管。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。

4.6 放射性废物系统和源项

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¹⁴C以及氚，而且反应堆冷却剂系统材料表面的腐蚀产物也被活化成为具有放射性的活化腐蚀产物。

4.6.1.1 堆芯放射性总量

计算一体化小型堆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及反应堆热功率的不确定性。

4.6.1.2 反应堆冷却剂源项

1) 裂变产物

对于设计基准源项，假设存在较大的燃料包壳破损率，该破损率在正常运行期间是预期会发生的。假设燃料包壳破损存在于能产生0.1%的堆芯功率输出的燃料棒中（也称之为0.1%燃料包壳破损率），并且破损燃料棒均匀分布在整个堆芯中。

设计基准反应堆冷却剂中裂变产物核素活度浓度的确定以堆芯总量为基础来计算设计基准反应堆冷却剂中裂变产物的活度浓度。

用于设计排放源项分析的反应堆冷却剂剂量等效¹³¹I活度浓度为1GBq/t，该源项保守考虑了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。用于现实排放源项分析的反应堆冷却剂剂量等效¹³¹I活度浓度为0.1GBq/t，该源项是在国内核电厂正常运行经验数据统计的基础上确定的。上述反应堆冷却剂源项通过对设计基准源项按照剂量等效¹³¹I活度浓度的比例调整得到。

2) 腐蚀产物

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

反应堆冷却剂中腐蚀产物活度浓度的确定以运行电厂的测量数据为基础，参考ANSI/ANS-18.1-2020中的分析方法进行计算。

对于活化腐蚀产物，在计算设计排放源项时，假设反应堆冷却剂中活化腐蚀产物的活度浓度与设计基准源项相同。在计算现实排放源项时，假设反应堆冷却剂中活化腐蚀产物的活度浓度为设计基准源项的二分之一。

3) 氚

反应堆冷却剂中主要的产氚途径如下：

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

在计算氚的排放源项时，考虑了如下的假设条件：

- 设计排放源项计算时，假设了通过燃料棒包壳的氚释放份额为 1%。计算现实排放源项时，假设为 0.5%；
- 主冷却剂中采用 LiOH 作为 pH 值控制剂，锂平均浓度为 3.0ppm，设计产生量计算时保守假设 ^7Li 的原子份额为 99.9%，Li-6 的原子份额为 0.1%；现实产生量计算时，假设 ^7Li 的原子份额为 99.96%，Li-6 的原子份额为 0.04%；
- 在计算氚的排放量时，液态氚的份额为氚总量的 95%，气态氚的份额为氚总量的 5%；
- 在计算设计排放源项时，假定电厂可利用因子为 1.0。计算现实排放源项时，假定电厂可利用因子为 0.93。

4) ^{14}C

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

计算时考虑了如下的假设条件：

- 在设计排放源项和现实排放源项计算时，假设主冷却剂中 ^{14}N 的浓度为 15ppm；
- 在计算 ^{14}C 的排放量时，在 ^{14}C 产生总量的基础上，进一步假设气态 ^{14}C 的份额为 ^{14}C 产生总量的 90%，液态 ^{14}C 的份额为 ^{14}C 产生总量的 10%；
- 在计算设计排放源项时，假定电厂可利用因子为 1.0；计算现实排放源项时，假定电厂可利用因子为 0.93。

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

本项目液态流出物主要来自主冷却剂调硼排水和主冷却剂的泄漏排放。

基于主冷却剂剂量等效 ^{131}I 活度浓度为 1.0GBq/t 时的废液源项，经废液处理系统处理并结合废液排放量，得出核岛槽式排放口处排放浓度为 597.2Bq/L，低于 GB6249-2011 中规定的 1000Bq/L 的控制值要求。考虑到反应堆实际的控制方式等，液态流出物设计排放源项计算时，保守假设核岛槽式排放口处的液态流出物排放浓度为 1000Bq/L，同时基于液态流出物产生量，反推得到核岛液态流出物的年排放量。

核岛槽式排放口液态流出物现实排放量计算时，基于主冷却剂剂量等效 ^{131}I 活度浓度为 0.1GBq/t 时的废液源项，以各类废液的产生量为基础，并考虑了废液处理系统对各类废液中不同核素的去污因子后得到。

单机组液态氙设计排放量为 4.58TBq/a，现实排放量为 3.88TBq/a。单机组液态 ^{14}C 设计排放量为 3.32GBq/a，现实排放量为 3.09GBq/a。

单台机组的液态流出物年设计排放量和现实排放量分别见表 4.6-1 和表 4.6-2。在表 4.6-3 给出了单台机组的液态流出物年排放量与 GB 6249-2011 中控制值的比较。可以看出，单台机组的液态流出物年排放量均能满足 GB 6249-2011 规定的排放量控制值要求。

4.6.2.2 放射性废液处理系统

放射性液体废物处理系统（KPF）设计用于控制、收集、处理、输送、储存和处置本项目正常运行期间和预期运行事件下所产生的放射性液体废物。

KPF 系统主要设备包括水箱、泵、离子交换床、过滤器、活性炭床等。KPF

系统主要接收下列 4 类放射性废液：

1) 反应堆冷却剂水平的含氢废液——由 JES 升温、硼浓度变化和 JES 回路疏水运行产生及取样废液。

2) 地面疏水和含较多颗粒杂质的废液——这部分废液通过主厂房地坑收集。

3) 洗手废液——这部分废液来自供热堆热（去污）水槽、淋浴器，通常放射性活度浓度很低。

4) 化学废液——这部分废液主要来自放化实验室，可能含有毒性、放射性或大量溶解性颗粒杂质。

各种废液经处理后监测排放，确保其放射性活度浓度不超过 GB6249-2011 的限值要求。

预计废液产生量和处理方案见表 4.6-4。

4.6.3 放射性废气管理系统及排放源项

4.6.3.1 气载流出物排放源项

气载流出物主要通过下列途径，向环境大气排放：

- 从反应堆冷却剂系统泄漏到安全壳大气中的放射性核素通过安全壳通风向环境的释放；
- 工艺流体泄漏的放射性核素通过主厂房向环境的释放；
- 气载放射性物质通过放射性废气处理系统的释放。

1) 安全壳

安全壳内的气载放射性主要来自安全壳内设备的泄漏液，由于安全壳内泄漏液的压力和温度相对较高，泄漏液将以一定的闪蒸份额变为蒸气后进入安全壳气空间，然后在抽真空排气阶段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。

计算过程中保守假设一周抽气一次，然后安全壳内全部经由通风过滤系统排放环境。

2) 主厂房

主厂房的气载放射性主要来自主厂房设备的泄漏液，由于主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主厂房气空间，然后通

过厂房通风系统进入环境中。分析时，保守假设一回路冷却剂泄漏到主厂房中的气载放射性核素没有衰变和沉积，经由通风过滤系统排放到环境。

3) 燃料操作区域

换料期间，换料通道将乏燃料水池、换料水池、堆芯水池等和反应堆压力容器连通，因此，主冷却剂水将与乏燃料池水、换料水池、堆芯水池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。

计算过程中不考虑核素在燃料操作区域气空间的滞留，从池水释放后直接通过通风系统排放环境，不考虑过滤去除作用。

4) 废气处理系统

在计算放射性废气处理系统的气载流出物排放量时，考虑了化学与容积控制系统下泄流和主冷却剂疏水箱中废液的脱气产生的废气。对于惰性气体，气水分配系数取为 1。根据主冷却剂源项，考虑了延迟床对氦和氙的延迟作用（氦和氙的延迟时间分别为 2 天和 35 天）后，计算得到废气处理系统处理后的气载流出物的排放量。

在计算气载流出物设计排放源项时，保守假定反应堆冷却剂中裂变产物的剂量等效 ^{131}I 活度浓度为 1GBq/t 。计算气载流出物现实排放源项时，假定反应堆冷却剂中裂变产物的剂量等效 ^{131}I 活度浓度为 0.1GBq/t 。

单机组气态氙设计排放量为 241GBq/a ，现实排放量为 204GBq/a 。单机组气态 ^{14}C 设计排放量为 29.9GBq/a ，现实排放量为 27.8GBq/a 。

单台机组的气载流出物年设计排放量和现实排放量分别见表 4.6-5 和表 4.6-6。在表 4.6-7 给出了单台机组的气载流出物年排放量与 GB 6249-2011 中控制值的比较。可以看出，单台机组的气载流出物年排放量均能满足 GB 6249-2011 规定的排放量控制值要求。

4.6.3.2 放射性气体废物处理系统

放射性气体废物处理系统（KPL）主要功能是接收、处理和排放放射性液体废物处理系统和化学和容积控制系统运行期间产生的含氢放射性气体。放射性气体废物处理系统通过活性炭延迟处理装置对放射性废气进行延迟衰变处理以达

到排放要求。

放射性气体废物处理系统（KPL）主要设备有气体冷却器、气水分离器、活性炭保护床、活性炭延迟床以及气体取样装置等。放射性气体废物处理系统接收的废气主要来源为 KPF 系统脱气塔、KPF 反应堆冷却剂疏水箱和流出液暂存箱 A/B 排气、化学和容积控制系统（KBS）容积控制箱排气。其中 KPF 脱气塔从排往 KPF 的 KBS 下泄流和反应堆冷却剂疏水箱排放液中分离出氢气和裂变气体。

接收的废气首先经过一台气体冷却器，由冷冻水系统冷却后，在气水分离器内去除气体冷却形成的湿气。气水分离器的疏水排往 KPF 脱气塔分离器。气水分离器设有液位仪表来控制气水分离器中疏水的排放，当液位过高时将关闭出口隔离阀以防止下游活性炭床受潮。随后，气体流经一台保护床以防止夹带的异常湿气影响下游延迟床，降低延迟床效率。保护床下游设有湿度监测仪表，当前端气体冷却器和气水分离器除湿能力不足（如冷冻水丧失）导致保护床内介质含湿量过高时，进行报警提醒。接着，在不同工况下气体流经两台或六台串联的延迟床（脱气塔排气工况时流经两台，RCDT 排气工况时流经六台），在延迟床内裂变气体被活性炭动态吸附。相对于氢或氮气载气流，放射性核素的输送被延迟。在延迟期间，裂变气体的衰变极大减小了系统排放口气体的放射性水平。活性炭床设有相应的进出温度仪表来探测炭床火灾，并配有氮气吹扫措施。

离开放射性气体废物处理系统的废气在排往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排放控制/隔离阀。排放控制/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。

系统设有在线式气体分析取样装置，可连续监测废气流的氢氧气体浓度。当废气中氧气高浓度报警时可联锁关停上游 KPF 脱气塔真空泵，同时对管路进行氮气吹扫。

由于介质中含有氢气，KPL 系统相关部件采用防爆设计，在活性炭床房间和 KPL 设备间设有氢气仪表，指示活性炭床房间和 KPL 设备间顶部的氢气浓度。

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（KPA）主要功能是收集和暂存正常运行以及预期运行事件下产生的废树脂（含活性炭）、水过滤器滤芯、放射性干废物等。废树脂贮存于废树脂接收槽内，水过滤器滤芯贮存于过滤器芯贮存区，放射性干废物贮存在专门房间内。

废树脂和水过滤器滤芯将通过HIC转运至SRTF中间贮存,干废物通过专用车辆运至SRTF中间处理,相关转运操作在外运区执行。

放射性固体废物处理系统主要设备有树脂输送泵、树脂混合泵、废树脂接收槽、树脂碎片过滤器和水过滤器滤芯更换装置等。KPA处理对象分为湿废物和干废物两类。湿废物包括:KBS、KPF和KFS产生的废树脂和水过滤器滤芯。干废物包括:运行和检修过程中可压实废物和不可压实废物等。

1) 废树脂

来自化学和容积控制系统(KBS)除盐床、乏燃料池冷却系统(KFS)除盐床、放射性液体废物处理系统(KPF)离子交换床和活性炭床运行产生的废树脂,通过水力输送至废树脂接收槽,经临时贮存一段时间后,转运至聚乙烯高完整性容器(HIC),废树脂装填完成并脱水后,聚乙烯HIC通过具有屏蔽功能的运输容器后运送往厂址废物处理设施(SRTF)进行中间贮存。

2) 水过滤器滤芯

来自KBS、KFS、KPF和放射性固体废物处理系统(KPA)过滤器运行产生的水过滤器滤芯,通过水过滤器滤芯更换装置取出并转运至滤芯贮存区临时贮存,临时贮存一段时间后,通过水过滤器滤芯更换装置取出并装填入聚乙烯HIC中,水过滤器滤芯装填完成后,聚乙烯HIC通过具有屏蔽功能的运输容器后运送至SRTF进行中间贮存。

3) 干废物

来自运行和维修产生的干废物,包含可压实和不可压实废物:可压实废物包括楼板覆盖膜、鞋套、防护帽、通风过滤器滤芯等,不可压实废物包括破损的工具和木制品等。干废物收集后先转运至干废物贮存间临时贮存,之后通过废物运输车辆送SRTF进行处理和中间贮存,其中:①可压实废物经分拣、预压、超压和灌浆处理,形成的320L钢桶废物包送往废物暂存库中间贮存(通风过滤器滤芯预期放射性活度浓度低于解控水平,送至SRTF暂存衰变后进行解控);②不可压实废物直接进行灌浆处理,形成的320L钢桶废物包送往废物暂存库进行中间贮存。

在SRTF中间贮存5年后,废物包装体(聚乙烯HIC和320L钢桶)将运往国家区域处置场进行最终处置。废物厂外运输过程遵照GB 11806《放射性物品安全运输规程》执行,保证转运工作人员的安全,并尽量避免核废物运输对公众的影响。

放射性固体废物预期年产生量见表4.6-8。

4.6.5 乏燃料贮存系统

乏燃料贮存系统用于操作和贮存在反应堆换料时从堆芯卸出的乏燃料组件。乏燃料组件贮存在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。贮存设施包括乏燃料贮存水池和乏燃料贮存格架。乏燃料贮存格架位于乏燃料贮存水池内，乏燃料贮存水池是池底和四壁衬有不锈钢板覆面的钢筋混凝土结构。池内充以换料水，池水水质由乏燃料池冷却净化系统保持。

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

反应堆正常运行期间，每次卸出乏燃料组件 16 组。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装卸料机上的最高工位上掉落时的冲击能量；应能承受装卸料机的最大提升载荷。此外还具有稳定、不会倾倒或意外晃动等结构性能。

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

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

（5）乏燃料贮存格架的材料与乏燃料贮存水池的环境条件相容。

（6）乏燃料贮存格架划分为附加要求非安全级（NC(S)），抗震 I 类设备。

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

（8）各贮存腔的周围设置有中子吸收材料，以保证满足贮存时对次临界的要求。

(9) 乏燃料贮存水池有足够的密封性，使冷却水泄漏保持在可接受的限值内。

(10) 在燃料贮存区域，通过对装卸料、燃料贮存和容器装载区域的合理布置、以及燃料装卸设备的可靠设计避免在燃料贮存区域发生重载跌落，并防止吊运设备的零部件掉入水池内。

从堆芯卸出的乏燃料组件运至乏燃料贮存水池并插入乏燃料贮存格架的贮腔内贮存并冷却。个别破损的组件存放入专门的破损组件贮腔内。

乏燃料贮存格架由不锈钢材料制造。支承结构为贮存格架的骨架，贮腔截面为方形，相邻的贮腔之间有中子吸收体材料。贮腔用于垂直存放乏燃料组件。

乏燃料水池设有池水冷却净化系统，以导出乏燃料组件的剩余释热及保证水池水温、水质、水位及放射性物质水平在规定的范围内。

乏燃料水池设有水位、水温监测系统及水池检漏系统，可随时监测水池水位、水温及水池密封情况。

乏燃料贮存区内还设置有辐射剂量监测点，保证操作人员的辐射安全。

4.6.6 厂址废物处理设施

厂址废物处理设施（Site Radwaste Treatment Facility，简称 SRTF）是一个集中式多机组共用的放射性废物处理设施，位于本项目厂区北侧。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。本项目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，形成了完整的废物处理工艺。

SRTF 主要包括四个部分，分别为：

(1) 移动式废液处理系统——处理来自于核岛的化学液体废物、0.25%燃料包壳破裂情况下的一回路冷却剂和蒸汽发生器管道破裂（SGTR）产生的液体废物。三个系统分别安装于一个标准运输（海陆）集装箱中，集装箱分别放置于拖车上，组成移动式废液处理车系统。

(2) 废树脂和废过滤器芯处理工艺——用于处理核岛产生的废树脂和废过滤器芯，在 NI 辅助厂房处，将废树脂和废过滤器芯装入中等交联度聚乙烯材质的高整体性容器（HIC）内，并对 HIC 内容物脱水。经脱水合格的 HIC 最终送至 SRTF 厂房内的 HIC 暂存库内暂存。

(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，每天分拣和压缩处理约 25 个 200L 金属桶装固体废物。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。经评估 SRTF 固体废物处理系统具备处理本项目以及 8 台核电机组废物的能力。

（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使用的衣物（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。

本项目采用海阳核电厂已建 SRTF 设施，海阳核电厂 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，已建成投产并通过评审，经评估 SRTF 暂存库容量具备处理本项目以及 8 台核电机组废物的能力。

4.6.7 废物最小化

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。

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：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，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。

- 对于日常维护和大修、以及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。

表 4.6-1 液态流出物年排放量（设计排放源项）

核素	排放量 (Bq/a)	核素	排放量 (Bq/a)
Cr-51	3.85E+06	Y-90	1.00E+03
Mn-54	1.44E+06	Y-91m	4.49E+02
Fe-55	2.95E+06	Y-91	3.70E+04
Fe-59	7.15E+05	Y-92	6.78E+02
Co-58	4.52E+07	Y-93	6.67E+02
Co-60	1.21E+06	Zr-95	4.56E+04
Zn-65	3.57E+05	Nb-95	4.03E+04
Ag-110m	3.12E+06	Mo-99	8.99E+06
Sb-124	6.31E+05	Tc-99m	7.57E+05
Br-83	1.57E+05	Ru-103	3.48E+04
Br-84	1.74E+04	Ru-106	1.67E+04
Br-85	1.79E+02	Rh-103m	8.41E+01
I-129	2.10E+01	Rh-106	2.88E-01
I-130	8.77E+04	Te-127m	2.50E+05
I-131	3.28E+08	Te-129m	6.78E+05
I-132	1.74E+06	Te-129	2.46E+03
I-133	6.53E+07	Te-131m	1.84E+05
I-134	4.19E+05	Te-131	1.10E+03
I-135	1.18E+07	Te-132	3.91E+06
Cs-134	7.59E+07	Te-134	4.16E+03
Cs-136	1.72E+07	Ba-137m	8.06E+07
Cs-137	1.17E+08	Ba-140	1.67E+05
Cs-138	3.91E+05	La-140	8.96E+03
Rb-88	8.30E+05	Ce-141	3.80E+04
Rb-89	3.30E+04	Ce-143	2.92E+03
Sr-89	2.82E+05	Ce-144	4.08E+04
Sr-90	2.84E+04	Pr-143	4.75E+04
Sr-91	9.72E+03	Pr-144	2.44E+01
Sr-92	6.07E+02	-	-
合计	7.74E+08		
氚	4.58E+12		
C-14	3.32E+09		

表 4.6-2 液态流出物年排放量（现实排放源项）

核素	排放量 (Bq/a)	核素	排放量 (Bq/a)
Cr-51	1.26E+06	Y-90	6.53E+01
Mn-54	4.72E+05	Y-91m	2.93E+01
Fe-55	9.66E+05	Y-91	2.41E+03
Fe-59	2.34E+05	Y-92	4.43E+01
Co-58	1.48E+07	Y-93	4.36E+01
Co-60	3.96E+05	Zr-95	2.98E+03
Zn-65	1.17E+05	Nb-95	2.63E+03
Ag-110m	1.02E+06	Mo-99	5.87E+05
Sb-124	2.06E+05	Tc-99m	4.94E+04
Br-83	5.60E+04	Ru-103	2.27E+03
Br-84	6.18E+03	Ru-106	1.09E+03
Br-85	6.37E+01	Rh-103m	5.49E+00
I-129	7.49E+00	Rh-106	1.09E+03
I-130	3.12E+04	Te-127m	1.64E+04
I-131	1.17E+08	Te-129m	4.43E+04
I-132	6.20E+05	Te-129	1.61E+02
I-133	2.33E+07	Te-131m	1.20E+04
I-134	1.49E+05	Te-131	7.19E+01
I-135	4.21E+06	Te-132	2.55E+05
Cs-134	1.81E+06	Te-134	2.72E+02
Cs-136	4.10E+05	Ba-137m	2.64E+06
Cs-137	2.79E+06	Ba-140	1.09E+04
Cs-138	9.33E+03	La-140	5.85E+02
Rb-88	1.98E+04	Ce-141	2.48E+03
Rb-89	7.88E+02	Ce-143	1.91E+02
Sr-89	1.84E+04	Ce-144	2.66E+03
Sr-90	1.86E+03	Pr-143	3.10E+03
Sr-91	6.35E+02	Pr-144	1.59E+00
Sr-92	3.96E+01	-	-
合计	1.73E+08		
氡	3.88E+12		
C-14	3.09E+09		

表 4.6-3 单堆液态流出物年设计排放量与 GB 6249-2011 中控制值的比较

核素	GB6249-2011 单堆排放量控制值* (Bq/a)	单堆设计排放量 (Bq/a)
液态		
氚	5.00E+12	4.58E+12
碳 14	1.00E+10	3.32E+09
其余核素	3.33E+09	7.74E+08

*此处为按照功率调整的值

表 4.6-4 预计废液产生量和处理方案

	贮存箱和废液源	预计输入流量	处理
1.	流出液暂存箱		过滤、离子交换、监测、排放
	化学和容积控制系统下泄流	260m ³ /年	
	安全壳真空冷凝（排至反应堆冷却剂疏水箱）	0.028m ³ /天	
	取样疏水	0.0274 m ³ /天	
2	废液暂存箱		过滤、离子交换、监测、排放
	乏燃料池泄漏	0.037 m ³ /天	
	设备和区域去污	0.008 m ³ /天	
	其他疏水	0.177 m ³ /天	
3	洗手废液		收集、监测、排放
	热淋浴水	0 m ³ /天	
	洗手水	0.0274 m ³ /天	
4	化学废液	0.0274 m ³ /天	收集、处理、监测、排放

表 4.6-5 气载流出物年排放量（设计排放源项）

核素	排放量 (Bq/a)				
	废气处理系统	安全壳	主厂房	燃料操作区域	合计
Kr-83m	1.27E+03	3.70E+07	1.12E+10	1.35E-07	1.12E+10
Kr-85m	2.71E+08	4.12E+08	5.10E+10	1.06E-01	5.17E+10
Kr-85	6.20E+12	1.46E+11	6.96E+11	4.94E+07	7.04E+12
Kr-87	1.13E+00	6.71E+07	2.93E+10	6.71E-19	2.93E+10
Kr-88	6.43E+06	4.52E+08	8.83E+10	2.32E-05	8.88E+10
Kr-89	1.10E-265	1.98E+05	2.09E+09	0.00E+00	2.09E+09
Xe-131m	9.96E+10	1.49E+10	8.67E+10	1.32E+06	2.01E+11
Xe-133m	1.52E+07	9.31E+09	1.10E+11	6.11E+05	1.20E+11
Xe-133	7.04E+11	1.11E+12	8.08E+12	7.96E+07	9.89E+12
Xe-135m	0.00E+00	5.40E+06	1.17E+10	9.45E-01	1.18E+10
Xe-135	6.11E-16	5.23E+09	3.17E+11	1.16E+04	3.23E+11
Xe-137	0.00E+00	4.87E+05	4.24E+09	0.00E+00	4.24E+09
Xe-138	0.00E+00	6.51E+06	1.54E+10	0.00E+00	1.54E+10
合计	7.00E+12	1.28E+12	9.50E+12	1.31E+08	1.78E+13

核素	排放量 (Bq/a)			
	安全壳	主厂房	燃料操作区域	合计
I-129	1.04E+01	1.24E+00	7.67E-01	1.24E+01
I-130	1.86E+05	2.09E+05	1.96E+01	3.95E+05
I-131	3.42E+08	5.43E+07	9.37E+06	4.06E+08
I-132	3.70E+06	2.23E+07	3.02E-01	2.60E+07
I-133	1.38E+08	9.25E+07	1.38E+05	2.31E+08
I-134	8.91E+05	1.41E+07	1.05E-30	1.50E+07
I-135	2.51E+07	5.30E+07	1.92E+01	7.81E+07
合计	5.10E+08	2.36E+08	9.51E+06	7.56E+08

表 4.6-5 放射性气态流出物年排放量（设计排放源项）（续）

核素	排放量 (Bq/a)			
	安全壳	主厂房	燃料操作区域	合计
Cr-51	1.08E+06	6.45E+04	2.50E+05	1.40E+06
Mn-54	2.95E+05	1.76E+04	1.03E+05	4.17E+05
Fe-55	5.91E+05	3.52E+04	2.14E+05	8.40E+05
Fe-59	1.77E+05	1.06E+04	4.81E+04	2.36E+05
Co-58	1.03E+07	6.16E+05	3.12E+06	1.41E+07
Co-60	2.41E+05	1.44E+04	8.78E+04	3.43E+05
Zn-65	7.39E+04	4.40E+03	2.55E+04	1.04E+05
Ag-110m	6.44E+05	3.84E+04	2.23E+05	9.06E+05
Sb-124	1.48E+05	8.79E+03	4.31E+04	2.00E+05
Br-83	1.62E+07	1.93E+06	1.42E-09	1.81E+07
Br-84	8.11E+06	9.66E+05	7.43E-55	9.08E+06
Br-85	9.16E+05	1.09E+05	0.00E+00	1.03E+06
Cs-134	4.08E+06	2.43E+05	1.48E+06	5.80E+06
Cs-136	1.81E+06	1.08E+05	2.80E+05	2.20E+06
Cs-137	6.19E+06	3.69E+05	2.29E+06	8.85E+06
Cs-138	1.86E+07	1.11E+06	1.15E-50	1.97E+07
Rb-88	7.42E+07	4.42E+06	8.69E-14	7.86E+07
Rb-89	3.46E+06	2.06E+05	6.75E-117	3.67E+06
Sr-89	6.81E+04	4.05E+03	1.91E+04	9.13E+04
Sr-90	5.64E+03	3.36E+02	2.08E+03	8.05E+03
Sr-91	9.97E+04	5.94E+03	8.92E-01	1.06E+05
Sr-92	2.21E+04	1.32E+03	5.94E-10	2.35E+04
Y-90	1.55E+03	9.20E+01	3.78E+02	2.02E+03
Y-91m	5.36E+04	3.19E+03	4.59E-02	5.68E+04
Y-91	8.70E+03	5.18E+02	2.53E+03	1.17E+04
Y-92	1.89E+04	1.13E+03	2.66E-07	2.01E+04
Y-93	6.48E+03	3.85E+02	9.02E-02	6.86E+03
Zr-95	1.06E+04	6.30E+02	3.13E+03	1.43E+04
Nb-95	1.06E+04	6.30E+02	2.67E+03	1.39E+04
Mo-99	1.35E+07	8.02E+05	3.24E+05	1.46E+07
Tc-99m	1.25E+07	7.42E+05	1.08E+00	1.32E+07
Ru-103	8.88E+03	5.28E+02	2.32E+03	1.17E+04
Ru-106	3.40E+03	2.03E+02	1.21E+03	4.81E+03
Rh-103m	8.89E+03	5.29E+02	9.86E+00	9.43E+03
Rh-106	3.40E+03	2.03E+02	3.62E-02	3.61E+03
Te-127m	5.45E+04	3.24E+03	1.76E+04	7.53E+04
Te-129m	1.80E+05	1.07E+04	4.48E+04	2.36E+05
Te-129	2.10E+05	1.25E+04	1.55E+02	2.22E+05

表 4.6-5 放射性气态流出物年排放量（设计排放源项）（续）

核素	排放量 (Bq/a)			
	安全壳	主厂房	燃料操作区域	合计
Te-131m	5.47E+05	3.26E+04	2.60E+03	5.83E+05
Te-131	2.61E+05	1.55E+04	7.99E+00	2.77E+05
Te-132	5.03E+06	2.99E+05	1.59E+05	5.49E+06
Te-134	5.90E+05	3.51E+04	3.24E-41	6.25E+05
Ba-137m	6.17E+06	3.67E+05	3.20E+02	6.53E+06
Ba-140	6.72E+04	4.00E+03	1.02E+04	8.13E+04
La-140	2.20E+04	1.31E+03	1.78E+02	2.35E+04
Ce-141	1.02E+04	6.06E+02	2.50E+03	1.33E+04
Ce-143	8.74E+03	5.21E+02	4.08E+01	9.31E+03
Ce-144	8.38E+03	4.99E+02	2.93E+03	1.18E+04
Pr-143	9.76E+03	5.81E+02	3.41E+03	1.38E+04
Pr-144	8.38E+03	4.99E+02	3.06E+00	8.88E+03
合计	1.87E+08	1.26E+07	8.76E+06	2.08E+08
氡	2.41E+11			
C-14	2.99E+10			

表 4.6-6 气载流出物年排放量（现实源项）

核素	排放量 (Bq/a)				
	废气处理系统	安全壳	主厂房	燃料操作区域	合计
Kr-83m	5.86E+01	3.69E+06	1.12E+09	1.35E-08	1.12E+09
Kr-85m	1.25E+07	4.11E+07	5.09E+09	1.06E-02	5.14E+09
Kr-85	2.86E+11	1.46E+10	6.94E+10	4.94E+06	3.70E+11
Kr-87	5.23E-02	6.70E+06	2.92E+09	6.71E-20	2.93E+09
Kr-88	2.97E+05	4.52E+07	8.82E+09	2.32E-06	8.86E+09
Kr-89	5.09E-267	1.97E+04	2.09E+08	0.00E+00	2.09E+08
Xe-131m	4.60E+09	1.49E+09	8.65E+09	1.32E+05	1.47E+10
Xe-133m	7.01E+05	9.30E+08	1.10E+10	6.11E+04	1.19E+10
Xe-133	3.25E+10	1.10E+11	8.06E+11	7.96E+06	9.49E+11
Xe-135m	0.00E+00	5.39E+05	1.17E+09	9.45E-02	1.17E+09
Xe-135	2.82E-17	5.22E+08	3.17E+10	1.16E+03	3.22E+10
Xe-137	0.00E+00	4.86E+04	4.24E+08	0.00E+00	4.24E+08
Xe-138	0.00E+00	6.50E+05	1.53E+09	0.00E+00	1.54E+09
合计	3.23E+11	1.28E+11	9.48E+11	1.31E+07	1.40E+12

核素	排放量 (Bq/a)			
	安全壳	主厂房	燃料操作区域	合计
I-129	1.04E+00	1.24E-01	7.66E-02	1.24E+00
I-130	1.86E+04	2.09E+04	1.95E+00	3.95E+04
I-131	3.42E+07	5.42E+06	9.35E+05	4.05E+07
I-132	3.69E+05	2.23E+06	3.02E-02	2.60E+06
I-133	1.38E+07	9.24E+06	1.38E+04	2.31E+07
I-134	8.89E+04	1.41E+06	1.05E-31	1.50E+06
I-135	2.51E+06	5.29E+06	1.92E+00	7.80E+06
合计	5.10E+07	2.36E+07	9.49E+05	7.55E+07

表 4.6-6 气载流出物年排放量（现实源项）（续）

核素	排放量 (Bq/a)			
	安全壳	主厂房	燃料操作区域	合计
Cr-51	5.42E+05	3.22E+04	1.25E+05	6.99E+05
Mn-54	1.48E+05	8.79E+03	5.17E+04	2.08E+05
Fe-55	2.95E+05	1.76E+04	1.07E+05	4.20E+05
Fe-59	8.86E+04	5.28E+03	2.40E+04	1.18E+05
Co-58	5.17E+06	3.08E+05	1.56E+06	7.04E+06
Co-60	1.21E+05	7.18E+03	4.39E+04	1.72E+05
Zn-65	3.69E+04	2.20E+03	1.28E+04	5.19E+04
Ag-110m	3.22E+05	1.92E+04	1.11E+05	4.53E+05
Sb-124	7.39E+04	4.40E+03	2.16E+04	9.98E+04
Br-83	1.62E+06	1.93E+05	1.42E-10	1.81E+06
Br-84	8.10E+05	9.64E+04	7.41E-56	9.07E+05
Br-85	9.15E+04	1.09E+04	0.00E+00	1.02E+05
Cs-134	4.07E+05	2.42E+04	1.48E+05	5.79E+05
Cs-136	1.81E+05	1.08E+04	2.80E+04	2.19E+05
Cs-137	6.18E+05	3.68E+04	2.28E+05	8.83E+05
Cs-138	1.85E+06	1.10E+05	1.15E-51	1.96E+06
Rb-88	7.40E+06	4.41E+05	8.69E-15	7.85E+06
Rb-89	3.45E+05	2.06E+04	6.74E-118	3.66E+05
Sr-89	6.80E+03	4.05E+02	1.91E+03	9.11E+03
Sr-90	5.63E+02	3.35E+01	2.07E+02	8.04E+02
Sr-91	9.96E+03	5.93E+02	8.91E-02	1.06E+04
Sr-92	2.21E+03	1.32E+02	5.93E-11	2.34E+03
Y-90	1.54E+02	9.19E+00	3.78E+01	2.01E+02
Y-91m	5.35E+03	3.18E+02	4.58E-03	5.67E+03
Y-91	8.68E+02	5.17E+01	2.53E+02	1.17E+03
Y-92	1.89E+03	1.13E+02	2.66E-08	2.00E+03
Y-93	6.47E+02	3.85E+01	9.00E-03	6.85E+02
Zr-95	1.06E+03	6.29E+01	3.13E+02	1.43E+03
Nb-95	1.06E+03	6.29E+01	2.67E+02	1.39E+03
Mo-99	1.34E+06	8.01E+04	3.24E+04	1.46E+06
Tc-99m	1.24E+06	7.40E+04	1.08E-01	1.32E+06
Ru-103	8.86E+02	5.28E+01	2.32E+02	1.17E+03
Ru-106	3.40E+02	2.02E+01	1.20E+02	4.80E+02
Rh-103m	8.87E+02	5.28E+01	9.85E-01	9.41E+02
Rh-106	3.40E+02	2.02E+01	1.20E+02	4.80E+02
Te-127m	5.44E+03	3.24E+02	1.76E+03	7.52E+03
Te-129m	1.80E+04	1.07E+03	4.47E+03	2.35E+04
Te-129	2.09E+04	1.25E+03	1.55E+01	2.22E+04

表 4.6-6 气载流出物年排放量（现实源项）（续）

核素	排放量 (Bq/a)			
	安全壳	主厂房	燃料操作区域	合计
Te-131m	5.46E+04	3.25E+03	2.60E+02	5.82E+04
Te-131	2.61E+04	1.55E+03	7.98E-01	2.76E+04
Te-132	5.02E+05	2.99E+04	1.59E+04	5.48E+05
Te-134	5.89E+04	3.51E+03	3.24E-42	6.24E+04
Ba-137m	6.15E+05	3.66E+04	3.19E+01	6.52E+05
Ba-140	6.70E+03	3.99E+02	1.01E+03	8.12E+03
La-140	2.19E+03	1.31E+02	1.78E+01	2.34E+03
Ce-141	1.02E+03	6.05E+01	2.50E+02	1.33E+03
Ce-143	8.73E+02	5.20E+01	4.07E+00	9.29E+02
Ce-144	8.37E+02	4.98E+01	2.93E+02	1.18E+03
Pr-143	9.75E+02	5.80E+01	3.41E+02	1.37E+03
Pr-144	8.37E+02	4.98E+01	3.06E-01	8.87E+02
合计	2.41E+07	1.58E+06	2.52E+06	2.82E+07
氡	2.04E+11			
C-14	2.78E+10			

表 4.6-7 单堆气载流出物年设计排放量与 GB 6249-2011 中控制值的比较

核素	GB6249-2011 单堆排放量控制值* (Bq/a)	单堆设计排放量 (Bq/a)
惰性气体	4.00E+13	1.78E+13
碘	1.33E+09	7.56E+08
粒子	3.33E+09	2.08E+08
氡	1.00E+12	2.41E+11
C-14	4.67E+10	2.99E+10

*此处为按照功率调整的值

表 4.6-8 放射性固体废物产生量及处理方式

	废物源	预期年产生量	处理
1.	废树脂/活性炭	2.84 m ³	废树脂接收槽临时贮存, 装入聚乙烯 HIC 并脱水后送 SRTF 进行中间贮存
	KBS 除盐床废树脂	0.66 m ³	
	KFS 除盐床废树脂	1.64 m ³	
	KPF 离子交换器废树脂	0.41 m ³	
	KPF 活性炭床活性炭	0.13 m ³	
2	水过滤器滤芯	0.06 m ³	水过滤器滤芯在滤芯贮存区临时贮存, 装入聚乙烯 HIC 后送 SRTF 进行中间贮存
	KBS 过滤器	0.01 m ³	
	KFS 过滤器	0.01 m ³	
	KPF 过滤器	0.03 m ³	
	KPA 过滤器	0.01 m ³	
3	干固体废物	50 m ³	收集后在干废物贮存间临时贮存, 送 SRTF 处理和中间贮存
	运行和维修产生的可压实废物	44 m ³	
	运行和维修产生的不可压实废物	6 m ³	

注：1、单个水过滤器滤芯体积约 0.010 m³；2、干废物预期产生量参考其他电厂历史运行数据进行估算。

4.7 非放射性废物处理系统

4.7.1 化学物质

本项目化学物质主要来自于除盐水系统、海水淡化系统以及随液态流出物排放的硼。

(1) 除盐水处理系统

本项目不建设除盐水处理车间，所需除盐水来自依托海阳核电5、6号机组除盐水车间。5、6号机组除盐水系统排放的含酸、碱废水在中和池就地中和处理至pH为6~9后，由虹吸井经循环水稀释后入海，不会对水环境产生影响。

(2) 海水淡化

本项目所用淡水均来自海阳核电5、6号机组海水淡化厂房，该子项的建设进度将与本项目匹配。本项目为海阳核电5、6号机组热法海淡提供热源。

5、6号机组海水淡化产生的浓盐水及掺凉海水将随5、6号机组循环水一同排放，排放盐度与海水中盐浓度基本相当，不会对周围海域环境产生不良影响。

(3) 硼酸的排放

本项目没有硼回收系统。由于调硼动作造成的化学和容积控制系统下泄流以及泄漏出的反应堆冷却剂中的硼进入放射性液体废物处理系统（KPF），并最终随液态流出物一起与循环水排水掺混后排放。

(4) 其他废水

本项目厂房冲洗水、设备排污水等非放废水计划由海阳核电厂内非放射性生产废水处理厂房进行收集处理，本项目不新建非放废水处理设施。

4.7.2 生活废物

本项目产生的生活废物主要包括生活垃圾和生活污水。

生活垃圾按规定收集暂存并由环卫部门转运。

本项目产生的生活污水由海阳核电厂内已建成的生活污水处理设施处理。海阳核电厂内共设有4处污水处理设施，其中一处设在仓库区设置地理式污水处理设备，实际日处理量为400m³/d，收集开关站及部分厂前区BOP污水、现场办公楼的污水及规划二、三期主厂区污水；一处在厂前区东面，办公楼、二座监理楼、餐厅及承包商办公楼及力能区所排放的生活污水由ED1（处理水量160m³/d）污水处理站处理；一处在厂前区西面设置地理式污水处理设备，收集并处理新建办公楼及一个施工区公厕的污水，实际日处理量为200m³/d；还有一处设于一期厂

房西侧 11 号排出口附近（处理水量 150 m³/d），收集并处理一期主厂区内污水。以上四处生活污水处理设施均已建成投运。

保守估计海阳核电厂一期、二期、三期工程生活污水产生量不超过 570 m³/d。本项目生活污水产生量不超过 24m³/d，海阳核电厂内生活污水处理设施的处理能力可以满足本项目要求。

4.7.3 其他废物

本项目运行期间产生的危险废物主要来自实验室、维修更换、库存过期等来源。

实验室：本项目不新建流出物和放化实验室、电离辐射剂量实验室、综合实验室等，拟使用海阳核电厂内已建实验室，实验室会产生实验废液和废试剂。

维修更换：本项目将定期对各类设施、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、废变压器油、废液压油、废铅酸蓄电池、废油漆桶及油漆沾染物、废离子交换树脂、废电路板、废防冻液等。

库存过期：主要为废粘合剂密封剂、废有机溶剂等过期报废化学品。

以上危险废物分类收集、存放，部分易燃、易爆废液存放在海阳核电厂已建化学品库的废液暂存柜内，其他危废存放在海阳核电厂已建危废暂存库内。该暂存库已按照 GB18597-2001 及修改单中的相关规定建成并投入使用。

4.8 放射性物质厂内运输

4.8.1 新燃料运输

4.8.1.1 新燃料运输容器

本工程的首炉和换料组件将由国核铀业发展有限责任公司(简称“国核铀业”)供货。国核铀业可委托中核包头核燃料元件股份有限公司或中核建中核燃料元件有限公司开展燃料组件制造活动。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》(原环境保护部令 第 11 号令)和《放射性物品安全运输规程》(GB 11806-2019)的规定。在正常运输工况和事故工况下(如火烧、跌落、水淹等),新燃料运输容器能够保证运输容器内燃料组件的结构完整性。新燃料运输容器能够保证在最佳慢化条件下, $k_{eff} < 0.95$ 。

新燃料运输容器可以装入若干组燃料组件。新燃料运输容器主要由外壳和内壳构成。外壳与内壳采用减振连接,能够有效地减小新燃料组件在运输过程所受到外力(如冲击和振动),使新燃料组件在运输过程中免受损伤。新燃料运输容器对新燃料组件起密封保护作用,防止运输过程中受外界物体碰撞等而造成损伤等新燃料运输容器能够保证新燃料组件在运输过程中处于干燥的气氛条件。

4.8.1.2 新燃料的厂外运输

新燃料组件和相关组件存放在专用的新燃料组件和相关组件运输容器内运输。运输容器起减震、防止受外界碰撞等保护作用。

新燃料组件采用专用运输车辆,通过全程公路的运输方式,从中核包头核燃料元件股份有限公司或中核建中核燃料元件有限公司运至本项目现场。

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新燃料接收区,用厂区桥吊吊运至新燃料运输容器停放区;然后吊走容器盖,将新燃料组件倾翻竖直,人员通过厂区桥吊及操作工具对燃料组件进行外观检查及控制棒插入试验等技术条件规定项目的检查,表明符合新燃料组件接收的技术条件要求后,将新燃料组件吊至新燃料贮存格架贮存。

新燃料贮存格架内的总贮存容量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。新燃料组件采用干法密集的贮存方式。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。反应堆换料之前，用新燃料吊车把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把新燃料组件降到乏燃料贮存水池底部，再用装卸料机把新燃料组件运入乏燃料贮存架内暂存，换料时通过装卸料机把新燃料组件转送到换料水池。

对于首炉新燃料的贮存，在新燃料到厂后，超过新燃料贮存区的贮存容量部分，则都暂时贮存在乏燃料贮存池中的乏燃料贮存格架内。

4.8.2 乏燃料的贮存及运输

4.8.2.1 乏燃料的厂内运输

乏燃料的厂内运输包括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装卸料机、厂区桥吊、乏燃料组件操作工具、容器相关吊具、运输车辆及其他容器装卸相关操作设备。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、检查等操作分别在容器装料池和容器清洗池内进行。容器装料池和容器清洗池为毗邻的两个水池，均位于乏燃料水池旁。

乏燃料组件通常贮存在乏燃料水池中，直到衰变热和放射性活度水平降低到允许外运的程度，方可进行外运。通过乏燃料运输容器装载乏燃料组件进行外运。

乏燃料运输容器装料操作的典型步骤如下：

- (1) 将装料池充满水，且装料池和乏燃料贮存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。卸掉容器顶盖，移走并安全存放。
- (3) 将乏燃料运输容器吊运至充满水的装料池中。
- (4) 装卸料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) 重复步骤(1)~(5)直至装满乏燃料运输容器，将运输容器顶盖重新安装到运输容器上。
- (7) 将乏燃料运输容器转移到清洗池，进行外表面冲洗、干燥、密封等处理措施，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。

(8) 将乏燃料运输容器装上专用的运输卡车并准备运输。载有乏燃料运输容器的运输卡车按选定的运输线路运送至专用码头或车站,按乏燃料运输规程进行交接、外运。

4.8.2.2 乏燃料的厂外运输

乏燃料厂外运输指乏燃料组件在乏燃料贮存水池内贮存达到一定要求后通过乏燃料运输容器运输至后处理厂。要保证外运时,乏燃料组件的衰变热降到可以不必再用池水进行冷却,组件中的中短寿命放射性核素的放射强度大大衰减而便于外运。

乏燃料运输容器主要用于乏燃料在核电厂内装料操作、乏燃料厂外运输以及乏燃料在后处理厂的卸料操作,同时保证在过程中的核与辐射安全(反应性控制、辐射防护、放射性物质包容以及乏燃料衰变热排出),并提供工艺流程操作所需要的相关功能。

从反应堆卸出的乏燃料组件在乏燃料水池中贮存一定的时间后,直到裂变产物的活性降低到满足转运的要求才可进行转运。乏燃料厂外运输的工艺流程起点在辅助厂房乏燃料贮存水池,终点为乏燃料后处理厂,通过专用运输卡车和乏燃料运输容器进行转运。在转运前,需要预先编制详细的操作、运输规程,包括对正常、异常、事故工况下的处置预案;对转运用到的设备、公用系统与场地进行检查和清理。在进行转运操作时,将乏燃料组件装载到乏燃料运输容器中,此容器的设计满足辐射防护要求和相关的安全运输规定。

乏燃料运输容器基本结构为合金钢锻件加中子屏蔽层,附件还包括减震器、运输托架和人员防护罩,适用于陆路或水路运输。《关于颁发 NAC-STC 型乏燃料运输容器设计批准书的通知》(国核安发[2003]88 号)中指出美国 NAC International 公司设计、西班牙 ENSA 公司制造的 NAC-STC 型乏燃料运输容器为运输我国 M310 型核电站乏燃料组件的运输容器,满足我国核安全法规和标准中有关 B(U) 型货包设计的基本要求。中核清原环境技术工程公司采用该运输容器已经承担过大亚湾的乏燃料运送,路线从深圳到地处西北地区甘肃 404 厂,全部采用公路运输。

外运可综合考虑采用合适的公路铁路海上联运方案将乏燃料运输容器运至国家规定的专用乏燃料后处理基地。关于运输容器及运输方案,设计单位针对 AP/CAP 系列乏燃料运输做了专题研究,正在相关课题中正在进行适用于三代非

能动机组的乏燃料贮运系统的研发，包括研发设计、关键材料研发和性能验证以及样机研制及试验，为后续的工程化应用奠定坚实的基础。

4.8.3 放射性固体废物的转运

4.8.3.1 放射性固体废物的场内转运

根据不同的放射性废物类型采取不同的运输方式：水过滤器滤芯、废树脂等放射性水平较高的工艺废物在核岛侧装入高完整性容器（HIC）中，HIC 装入具有屏蔽功能的运输容器后运送往厂址废物处理设施（SRTF）进行中间贮存；可压实和不可压实干废物、通风过滤器滤芯等放射性水平较低的固体废物等在核岛侧收集暂存后通过转运卡车转运至 SRTF 厂房进行处理和中间贮存。

4.8.3.2 放射性固体废物的厂外运输

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日）的要求：

- 国务院核设施主管部门会同国务院环境保护行政主管部门根据地质条件和放射性固体废物处置的需要，在环境影响评价的基础上编制放射性固体废物处置场所选址规划，报国务院批准后实施；
- 产生放射性固体废物的单位，应当按照国务院环境保护行政主管部门的规定，对其产生的放射性固体废物进行处理后，送交放射性固体废物处置单位处置，并承担处置费用。

本项目产生的放射性低、中放固体废物经处理、整备后，首先在 SRTF 废物暂存库内暂存，最终根据我国低、中放废物近地表处置场规划，转运至相应的处置设施进行集中处置。

低、中放固体废物的厂外运输和永久处置应保证运输人员和公众接受的照射控制在可合理做到的尽可能低的水平，厂外运输可通过铁路、公路等方式，并符合《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令 562 号）、《放射性物品运输安全许可管理办法》（原环境保护部第 11 号令）和《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）等规定。

第五章 施工建设过程对环境的影响

5.1 土地利用

本项目用地在山东海阳核电厂已征地范围内。

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，同意通过用地预审。

山东核电有限公司依据国家有关土地征用的法规、制度和程序，一次性办理了整个厂区的土地征用手续，土地证编号为海国用（2012）第321号。

山东海阳核电厂1、2号机组建设期间，建设单位基本完成全厂址场地平整工作，本项目建设工程量和建设期间产生的土石方量将大大减少。

5.1.1 工程用地概况

山东海阳核电厂址规划建设6台百万千万级压水堆核电机组和1台一体化小型堆机组，并留有扩建余地。山东海阳一期（即1、2号机组）工程2台AP1000核电机组已经投运，3、4号机组工程正在建设2台CAP1000压水堆核电机组。本项目是在已经批准的厂址范围内建设1台一体化小型堆，热功率为200MWt，最大供汽能力为250t/h，以对外供应工业蒸汽为主，同时为海阳核电5、6号机组热法海淡提供热源，冬季作为核能供热备用热源。

5.1.1.1 用地概况

山东海阳核电厂建设用地总面积约212.442公顷。其中包含厂区陆域用地面积约159.6145公顷，海域用地面积约52.8275公顷。

山东海阳核电厂主要进厂道路（海核一路）已通车，其用地面积约27.83公顷；第二进厂道路（海核二路）已通车，其用地面积约67.6公顷；供水工程临时用地28.98公顷。

本工程在海阳核电已征地范围内，位于海阳核电厂区西南角区域，用地面积约6.52公顷，其中厂区建设用地面积约5.69公顷，施工场地可利用面积约1公顷。

5.1.1.2 土石方平衡

本项目建构筑物开挖土石方量见表 5.1-1。

本项目余方考虑与海阳核电厂内现有余土和 5、6 号机组工程余土统筹处理。海阳核电厂 5、6 号机组工程已签订弃土消纳意向书，将全部由东方航天港（山东）发展集团有限公司外运并综合利用。

5.1.1.3 施工场地规划

本着方便施工、节约用地的原则，并吸收国内外施工管理经验，施工场地宜紧凑布置。因本项目用地紧张，在拟建区域内适当布置必要施工场地，并在主厂房区南侧布置吊装场地。施工场地初步规划如下：

在主厂房屋东南侧布置吊装场地，面积约 2198 平方米。拼装场地考虑设置于海阳 1、2 号机组南侧的重件道路上，或更远的大件码头上，拼装好后通过平板车运输至吊装场地。

在厂区西南侧区域考虑布置施工临建场地（含办公场地），此区域可用面积约 8300 平方米，考虑 UBE 子项和周边道路、围栏等后建，施工前期可利用场地面积共约 10000 平方米。

材料堆场在拟建设子项附近就近设置，其他场地根据承包商情况，可考虑和 3、4、5、6 号机组临建场地共用。

5.1.2 施工活动对环境的影响

5.1.2.1 大气环境的影响

本项目建设将永久占用土地，本项目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，还不足以影响本项目所在厂址边界以外的大气环境。

本项目土石方工程施工过程中，由于爆破、开挖、填充、临时道路的修建、渣土的堆放以及车辆运输会造成施工区域尘土飞扬，大气中粉尘含量增高。必须采取必要的防护措施，以减少粉尘的影响。施工过后，当地的大气环境质量将很快得以恢复。因此，施工过程中产生的粉尘对大气环境的影响是局部的和暂时的。

由于山东海阳核电厂 3、4 号机组刚刚开工建设，尚未形成施工期监测数据，因此以 1、2 号机组施工期监测结果作为参考。

山东海阳核电厂1、2号机组工程建设期间开展的施工期监测结果表明，厂区内无组织废气排放中SO₂、NO_x、TSP、PM₁₀等指标均符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值的要求，环境敏感点个别时段的PM₁₀和TSP日均值不符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012，2018年修订）的限值，PM₁₀和TSP的超标主要因天气形势影响产生了大范围污染，与核电厂施工的影响关联不显著。

本项目施工建设时，厂区内3、4号机组预计进入安装调试阶段，大气影响较小，5、6号机组处于施工土建阶段，因此需考虑5、6号机组的施工影响。

山东海阳核电厂1、2号机组工程建设期间基本完成全厂区的场地平整以及部分公用建构筑物的建设工作，本项目及5、6号机组的建设规模和建设工程量较1、2号机组而言均有很大减少，因此施工期大气环境影响程度与1、2号机组工程建设期间相比也有所减轻。通过协调本项目与5、6号机组施工进度、总结1、2号机组工程施工管理经验以及3、4号机组工程施工期各项环保措施的经验反馈和实践改进的基础上，落实各项环保措施，预计本项目施工期间厂区内无组织废气排放符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）无组织排放监控浓度限值要求，环境敏感点颗粒物、SO₂、NO_x浓度符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012，2018年修订）二级标准浓度限值要求。

5.1.2.2 水环境的影响

本项目取排水主要依托于海阳核电厂内已有取排水设施，不涉及海工施工。本项目施工期生产废水和生活污水均妥善处理，因此本项目建设期间对水环境的可能影响主要来自土石方和建筑材料的流失。

本项目施工期间，由于外界条件（如大风、降水等）的作用，容易造成开挖的土石方和堆放的建筑材料随风或水扩散，其中部分将落入附近的水体，会对当地水环境造成一定的影响，因此必须采取合理有效的预防措施，如加强对材料管理、设置围挡等，将上述影响降到最低程度。随着施工的结束，水环境质量将得到恢复。

5.1.2.3 噪声的影响

本项目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。

山东省环境监测中心站 2011 年四季度至 2013 年三季度开展的 1、2 号机组施工期噪声监测结果表明，山东海阳核电厂施工期厂界噪声符合《建筑施工场界噪声限值》（GB12523-1990）（2012 年 7 月前）以及《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）（2012 年 7 月后）建筑施工场界排放标准限值要求。

本项目施工建设时，厂区内 1、2 号机组已投运，根据《山东海阳核电厂 2021 年环境质量监测报告》中的监测结果（参见第三章），1、2 号机组运行时厂界噪声均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）中 2 类标准要求，昼间厂界噪声最大值为 50.2 dB(A)，夜间厂界噪声最大值为 44.6 dB(A)，可见机组运行时所产生的噪声量较小。

此外本项目施工建设时，厂区内 3、4 号机组预计将完成大部分土建工作，进入安装调试阶段，产生的噪声较小；同时 5、6 号机组也在施工中，因此需考虑 5、6 号机组施工的叠加影响。

考虑到本项目和 5、6 号机组场地平整、涉及的全厂共用子项均已在前期工程中建设完毕，通过合理安排施工进度，预计本项目和 5、6 号机组同时建设的噪声影响也不会高于 1、2 号机组施工期间噪声值，场界噪声的增加值预计不会超过 10dB（A）。

因此，通过总结 1、2 号机组和 3、4 号机组的施工管理经验以及优化施工方式（特别是合理安排本项目和 5、6 号机工程的施工进度），可以有效控制本项目施工期的噪声影响，噪声影响仅限于施工人员，场界噪声符合《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）建筑施工场界排放标准限值（昼间 70dB（A），夜间 55dB（A））要求。由于环境敏感点主要噪声来源为厂区施工车辆，本项目建设工程量少于 1、2 号机组工程建设量，预计施工车辆运输强度不会多于 1、2 号机组施工车辆运输强度，因此预计环境敏感点符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）2 类环境功能区标准限值要求，不会出现施工噪声扰民现象。

5.1.2.4 固体废物的影响

本项目施工阶段产生的工业固体废物主要为建筑类固体废物，主要分为弃土、废渣、废钢材、废木材、废塑料、废纸等 6 类，各类固体废物产生量均较小。

1) 弃土：本项目弃土外运并综合利用。

2) 废渣：由施工单位在其施工临建区内设立存放区、集中堆放，定期清理出厂区，运至当地固体废物贮存填埋场所进行处理。

3) 废钢材、废木材、废塑料、废纸等：具有一定的回收利用价值，由施工单位在其施工临建区内设立存放区、集中堆放，由废品回收单位进行回收处理。

4) 建筑垃圾：由施工单位在现场设置临时暂存场，定期委托有资质单位外运。

本项目施工阶段产生的危险废物包括废油（包括含油废水污水处理设施产生的浮油浮渣，HW08）、废油漆（HW12）、废显定影液（HW16）等，各类废物由施工方按危废管理要求收集暂存并委托有危险废物处理资质的专业单位处理。

本项目施工期间，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，收集后的生活垃圾及时清理，并就近运至生活垃圾处理场进行无害化处置。

5.1.2.5 生态环境的影响

山东海阳核电厂 1、2 号机组施工建设阶段已基本完成全厂区内的场地平整工作，本项目所在厂区内地表原有植被已被剥离，均为人造地表。因此本项目所在区域无特殊生态环境，项目施工对当地生态环境的影响是可以接受的。

5.1.2.6 水土流失

本项目施工建设过程将产生水土流失。本项目所在区域将有开挖和填筑裸露面产生，裸露面表层结构疏松，植被覆盖度较低，使区域内土壤抗侵蚀能力下降；同时，大量土石方的搬运和堆置，也将造成本工程施工区域及邻近受影响区域的局部水土流失加剧。本项目施工结束后，因施工引起水土流失的各项因素逐渐消失，地表扰动也基本停止，本项目施工区域及邻近受影响区域的水土流失将明显减少。

本项目水土流失的重点时段为工程施工期，同时植被恢复期也会有一定程度的水土流失。相关内容参见 5.3.6 节。山东海阳核电厂 1、2 号机组工程建设期间

基本完成全厂区的场地平整以及部分公用建构筑物的建设工作，本项目的建设工程量较 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。

本项目已委托中国水利水电科学研究院编制水土保持方案报告书，后续将按照审批后的水保方案开展水土保持工作。

5.1.2.7 社会环境的影响

本项目的建设将永久占用土地。厂址非居住区边界范围内无常住居民，原厂址附近的董家庄和冷家庄现都已搬迁，分别搬迁到厂址NNW方位约6.8km和7.6km处，本工程的建设对厂址周边区域的村民生活基本没有影响。

本项目建设期间需要大量的工程施工人员，大量外来施工人员将进驻施工现场，并在该地区居住和生活，这将增加该地区的消费能力，增加当地居民的就业机会，一定程度上将促进该地区经济的发展。与此同时对当地居民的物价指数可能会带来一定影响。

表 5.1-1 本工程土方工程量一览表（单位：万 m³）

土石方工程量			
其中	挖方（几何体积）	万 m ³	9.5
	松散后（松散系数 1.3）	万 m ³	12.35
	填方	万 m ³	0.6
	余方	万 m ³	11.75

5.2 水的利用

5.2.1 水的相关工程

本项目施工期淡水用水来自海阳核电厂前期机组的海淡设施，无需施工。施工期高峰单日用水量约为 1705m³/d。施工期搅拌站用水由海阳核电厂已建力能区水厂提供，其余施工用水由 5、6 号机组工程的海水淡化系统供应。

山东海阳核电厂的生活污水处理设施、取排水明渠、重件码头在海阳核电厂 1、2 号机组开工时一次建成并已投产，排水明渠的优化改造在 3、4 号机组施工期开展，本项目不涉及海工施工。

5.2.2 施工活动对水环境的影响评价

5.2.2.1 施工活动对水质环境的影响

本项目建设期间对水质的影响因素主要来自于施工期间土石方和建筑材料流失，施工生产废水和施工人员生活污水均得到妥善处理，处理方式如下：

本项目施工期间的生活污水主要来自于本项目工作人员和施工人员的生活用水。山东海阳核电厂内已建成4座埋地式污水处理站，污水处理能力分别是 400t/d、200t/d、160t/d、150t/d，均已投入运行。山东海阳核电厂厂区部分污水管网已完成建设并投用。本项目施工期间，将在本项目厂区建设污水管网并接入一期工程污水处理站，经污水处理站处理后可达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质标准》（GB/T 18920-2020）中的要求，进行绿化回用或抑尘浇洒；在本项目厂区污水管网建成前，生活污水将由施工承包商用车辆运输至厂外处理。

本项目施工期间的生产废水来自场地冲洗水、混凝土拌合水、砂石料及设备洗涤用水。施工废水产生量较小，含有一定量泥沙，采用临时施工废水沉淀池以去除施工废水的固体污染物，上清液回用。含油废水主要来自调试期间管道冲洗，由海阳核电厂内已建含油废水处理设施处理。

因此本项目施工期产生的污废水可以得到有效控制，不会对水环境产生不良影响。

5.2.2.2 对海洋生态环境的影响

本项目不涉及海工施工，施工期产生的各类污废水可以得到有效处理，不会对海洋生态环境产生不良影响。

5.3 施工影响的控制

5.3.1 大气污染的控制

本工程施工期间对大气污染的控制目标主要是减少扬尘和尾气的释放，相应的防治措施包括：

- 施工区和相关道路上散落的灰土应及时清扫，道路路面上经常洒水，保持路面湿润。
- 在环境敏感区域附近使用隔离板使施工区域与周围环境隔离。
- 开挖出的土方应尽可能及时运至填方地段充填，尽量减少土方的堆置时间。
- 渣土临时堆放场应加盖布条进行防护。
- 水泥等粉状建筑材料应妥善保管，不得露天随意存放。
- 对必须废弃的渣土，将严格按照地方法律法规及标准规范要求倾倒在指定的区域，渣土运输车辆将加盖防尘罩。
- 加强施工管理，合理调度运输车辆等。

5.3.2 水污染的控制

本项目施工期间对水污染防治措施主要有：

- 建造临时施工废水沉淀池，上清液回用。
- 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经海阳核电厂内已建生活污水处理站处理后回用。
- 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。调试期间管道冲洗产生的含油废水经海阳核电厂已运行的含油废水污水处理设施处理后达标排放。此外，在施工阶段发生油品泄漏事故时，会产生含油废水（冲洗水），这类含油废水同样经海阳核电厂已运行的含油废水污水处理设施处理后达标排放。
- 建设单位加强重件码头等现有岸上设施管理，监督停靠重件码头船舶污水排放。

5.3.3 固体废弃物的控制

本项目施工期间将产生施工人员生活垃圾、工业固体废物及危险废物，如果不合理处置也将对环境造成影响。

1) 生活垃圾

- 存放在桶类容器内，不随意抛弃垃圾。
- 用垃圾运输车运至市政指定地点处理。

2) 工业固体废物

- 弃土：在规划的土石方堆放场集中堆放开挖土石方和弃土，部分弃土用于场地回填；与有关单位签订弃土消纳意向书，对弃土综合利用。
- 废渣：由施工单位在其施工临建区内设立存放区、集中堆放，定期清理出厂区，运至当地固体废物贮存填埋场所处理。
- 废钢材、废木材、废塑料、废纸等：具有一定的回收利用价值，由施工单位在其施工临建区内设立存放区、集中堆放，由废品回收单位进行回收处理。
- 建筑垃圾：由施工单位自行运至当地固体废物贮存填埋场所处理，现场不设立集中的垃圾中转场地。

3) 危险废物

- 分类贮存，委托有资质单位处理。

5.3.4 噪声污染的控制

本工程施工期间可以通过以下措施来降低噪声水平或减少噪声对敏感点的影响：

- 使用低噪声的施工设备。
- 合理安排施工进度，施工期间加强对高噪声设备的管理，避免同时使用多个高噪声设备。
- 关注噪声敏感区域，采用距离衰减、建立声屏障等方式以降低施工噪声对公众的影响。
- 合理施工流程，禁止在夜间使用具有较高噪声影响的施工设备。

5.3.5 生态保护

本项目施工期间的场地开挖、车辆运输等会对陆生生态造成一定的不利影响，建设过程中将通过恢复植被、增设水土保持设施等措施减少对陆生生态的影响。

本项目不涉及海工施工，施工期各类污废水均采取有效处理措施，预计不会对海洋生态造成不良影响。

5.3.6 水土保持

本项目已委托中国水利水电科学研究院编制水土保持方案报告书，后续将按照审批后的水保方案开展水土保持工作。

5.3.6.1 水土流失现状

根据《全国水土保持规划（2015~2030）》，项目区不属于国家级水土流失重点预防区和重点治理区。根据《山东省水利厅关于发布省级水土流失重点预防区和重点治理区的通告》（鲁水保字〔2016〕1号），项目区属于山东省水土流失重点治理区，项目区不涉及崩塌、滑坡危险区和泥石流易发区。根据《烟台市水土保持规划（2017-2030年）》，由于山东省水土流失重点防治区划分已涵盖烟台市全部行政区域，烟台市不再重复划分市级水土流失重点防治区。

项目区属于以水力侵蚀为主的类型区——北方土石山区，项目区容许土壤流失量为 $200\text{t}/\text{km}^2\text{ a}$ 。

项目区土地类型以工业矿仓储用地为主，水土流失强度以微度为主，土壤侵蚀模数背景值约 $400\text{t}/\text{km}^2\text{ a}$ 。

5.3.6.2 水土流失的影响

1) 水土流失可能造成的影响

工程建设造成的水土流失主要表现在主厂房负挖、施工生产区的临时堆料及碾压、临时堆渣场堆渣等活动对地表扰动或再塑，使地表失去固土防冲的能力，造成水土流失。可能造成水土流失危害主要表现在以下三个方面。

（1）基础施工可能造成水土流失危害

主厂房负挖量较大，开挖石料等形成的开挖边坡，如不及时采取防治措施，可能局部有松动岩块及危石失稳滑塌，同时，工程产生的大量松散石料，堆置在工程区周边，如不采取临时拦挡、支护、排水等措施，在水力侵蚀和重力侵蚀的双重作用下，易造成堆体失稳和水土流失。

（2）工程弃渣对厂区的影响

弃渣根据主体工程设计，在临时堆渣场集中堆置，临时堆渣场在无防护措施条件下，经雨水击溅和坡面径流冲刷，加上本身的重力作用，会诱发水土流失，

对厂区及周边造成不利影响。

(3) 对周边海域的影响

厂区三面环海，工程施工期间，建构筑物基础开挖、回填以及石方临时堆置等施工活动，产生的水土流失，可能增加近海域局部水体浑浊度，含沙量增大，将对近海域局部水质产生负面影响。

山东海阳核电厂 1、2 号机组建设期间开展了水土保持监测，包括水土流失量监测、弃渣场监测、植物样地监测、水土流失危害监测和水土保持防治措施监测。《山东海阳核电厂一期工程水土保持监测报告（2012 年度）》表明，厂区内水土流失在可控状态下进行，水土流失因子（径流系数、侵蚀强度、水土流失量等）都在正常范围内，弃渣场及其他各分区检测数据表明水土流失量都在控制范围内；水土保持工程措施、植物措施、临时措施及时到位，各分区无新增水土流失面积，未造成水土流失危害，水土保持总体情况良好。本项目工程量小于 1、2 号机组，在施工时将充分吸取山东海阳核电厂 1、2 号机组水土保持工作的经验，预计本工程施工期水土保持情况总体好于 1、2 号机组工程。

5.3.6.3 水土保持效益分析

本项目水土保持方案实施后，形成综合防护体系，将有效地控制因本项目建设造成的新增水土流失，保护本工程项目区及周边的生态环境，恢复和重建因本项目建设而破坏的植被和水土保持设施，改善本工程建设区及周边地区的生产和生活环境，促进区域的和谐发展。

5.3.7 施工期环境监测

本项目将制定施工期环境监测计划，开展施工期间环境监测工作。运营单位通过开展施工期环境监测，掌握施工过程中的环境质量现状及变化，有效监督施工期各项生态环境保护措施的落实情况，及时准确地掌握环境质量和污染源动态和发现问题，以便进一步修正、改进生态环境保护措施，控制施工活动对周边环境的影响，使施工行为对周边环境的影响减低到最小，符合生态环境法律法规和标准规范要求，切实保护环境资源和环境质量，实现经济建设和生态环境的协调发展。

根据山东海阳核电厂 1、2 号机组施工期环境监测的经验反馈、参考山东海阳核电厂现行的非放射性环境质量监测方案并结合本工程特征和区域环境现状，

本项目施工期环境监测计划参见表 5.3-1，运营单位将委托专业环境监测机构开展施工期环境监测。

考虑到本项目施工期间，海阳核电 3、4 号机组处于安装调试阶段，5、6 号机组处于土建施工阶段，因此运营单位将统筹考虑本项目和正在施工的其他机组的施工期监测要求。

表 5.3-1 施工期环境监测计划

序号	监测内容	监测因子	监测频次	监测点位
1	生活污水	pH、色度、浊度、BOD ₅ 、氨氮、嗅、溶解氧、溶解性固体、阴离子表面活性剂、大肠埃希氏菌、总氯	pH、色度、浊度、嗅、溶解氧、总氯为 1 次/日，其余监测项目为 1 次/周	生活污水处理设施出口
2	施工废气、扬尘	NO ₂ 、SO ₂ 、TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5}	每季一次	厂界：同山东海阳核电厂现行厂界环境监测点位。 环境敏感点：2 个村庄各设置 1 个大气环境监测点位。
3	施工噪声	L _{eq} (A)	每季昼、夜间各一次	厂界：同山东海阳核电厂现行厂界环境监测点位。 环境敏感点：2 个村庄各设置 1 个声环境监测点位。
4	水土保持	按本项目水土保持监测方案开展。		

注：本工程不涉及海工施工，因此不要求开展海洋水质、沉积物、海洋生物监测。

第六章 正常运行的环境影响

6.1 散热系统及取水系统的环境影响

6.1.1 取水系统

本项目正常运行工况中产生的热能转换为蒸汽外送，无需利用海水冷却方式散热，不涉及海水取水。

本项目淡水用水分为除盐水用水、生产用水、生活用水、消防用水、绿化用水、洗车及道路浇洒用水等。本项目拟采用 5、6 号机组建设的海水淡化设施作为淡水水源，5、6 号机组海水淡化设施取水采用海阳核电厂全厂共用的取水明渠，该取水明渠已建成。可见本项目用水不会对当地的淡水资源利用造成影响，也不会对邻近海域流场造成影响。

6.1.2 散热系统

本项目正常运行工况中产生的热能转换为热蒸汽外送，因此不需要采用冷却水循环方式排放余热，不排放冷却水。

本项目通过设冷水将余排热交换器、下泄热交换器、反应堆冷却剂疏水箱热交换器、取样热交换器和乏池热交换器等设备的热量带走，设冷水通过设备冷却水空冷装置（简称“空冷器”）进行冷却，利用空冷器将设冷水的热量传递至大气中。空冷器布置在反应堆西侧区域，共 8 台风机，每台风机噪声值 80dB（A）。

此外三回路设置旁排空冷系统，空冷系统的噪声设计要求为：当所有风机转速 100%时，距离空冷平台 150m、地面上 1.5m 处噪声不大于 55dB（A），旁排空冷系统距离北侧厂界和居民点距离超过 1km，因此该系统对厂界及厂外噪声影响很小。

对于空冷器的噪声影响，将空冷器视为点源，保守仅考虑几何衰减，根据《环境影响评价技术导则声环境》（HJ 2.4-2021），衰减值为：

$$A_{\text{div}} = 20\lg(r/r_0)$$

其中： A_{div} 为几何发散引起的衰减，dB（A）； r 为预测点距声源的距离； r_0 为参考位置距声源的距离，此处为 1m。

本项目空冷器单台风机的噪声为距离风机 1m 处 80dB（A），8 台风机噪声源强为 89 dB（A），根据表 6.1-1 的计算结果，本项目 8 台空冷器经距离衰减后厂界噪声满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 2 类标准（昼间 60dB（A）、夜间 50dB（A））的要求。

本项目厂址三面环海，仅在厂址北侧有居民点分布。本项目距北侧厂界超过1km，厂界噪声经距离衰减后已远低于声环境现状水平，因此不会对厂址周围居民点声环境质量造成影响。

表 6.1-1 设备冷却水冷却装置噪声影响估算

方位	与厂界距离 (m)	厂界噪声 (dB(A))	备注
西侧	75	51.5	与厂界最近距离，该侧厂界外为海域
北侧	1050	28.6	该侧厂界外为居民点

6.2 正常运行的辐射影响

6.2.1 流出物排放源项

一体化小型堆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见 4.6 节的相关描述。

本报告在估算环境介质中的放射性核素浓度、公众的最大个人剂量和非人类生物的辐射剂量时，均采用流出物的设计排放源项；在分析关键人群组、关键核素、关键照射途径时，采用流出物的现实排放源项。

6.2.2 照射途径

6.2.2.1 气态途径

本项目在正常运行工况下，通过气态途径释放到大气中的放射性流出物在大气弥散过程中对公众造成辐射照射的途径如图 6.2-1 所示。在估算对周围公众造成的辐射剂量时考虑了如下的照射途径：

- 浸没于空气中受到的外照射；
- 由于干、湿沉降导致地面放射性沉积物引起的外照射；
- 吸入空气造成的内照射；
- 食入因干、湿沉降导致放射性沉积的粮食、蔬菜等食物造成的内照射；
- 食入由干、湿沉降导致放射性沉积的饲料所喂养的家畜肉、奶及其制品造成的内照射。

6.2.2.2 液态途径

本项目在正常运行工况下，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照的途径如图 6.2-2 所示。在估算对周围公众造成的辐射剂量时考虑了如下的照射途径：

- 食用由受纳水域生长的水产品（或水生生物）所致的内照射；
- 在受纳水域中游泳或划船等造成的直接外辐照；
- 岸边沉积的流出物对岸边活动公众所造成的外照射。

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。

气载流出物烟囱几何高度为 57m，主厂房高度为 52m，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。

6.2.3.2 液态途径

1) 水体扩散计算模式

(1) 模型方程

采用通用的水动力模型模拟液态流出物的稀释扩散过程，模型采用基于 Boussinesq 和垂向静水压力假定，采用三维曲线坐标系。

(2) 计算条件

流场定解条件：以岸边界为固定壁面，开边界采用潮位边界；采用静流条件起算。

温度场定解条件：岸边界和底部边界为绝热边界，开边界上为环境水温。自由表面为散热边界，采用超温散热模块计算；采用零温升（即环境水温）起算。

浓度场定解条件：开边界上浓度为零，采用零浓度起算。

(3) 模型参数选择

a) 糙率系数 n

n 值取 0.018~0.025 之间。

b) 粘滞系数及扩散系数

水平粘滞系数背景值取默认值 $\nu_{2D}=1$ ，水平扩散系数背景值取值与水深和平均流速关联，取值范围参考前期数模和物理模型试验结果进行率定。三维模型区域垂向扩散系数采用 $k-\epsilon$ 模型计算。

c) 核素衰减系数

不同核素半衰期如表 6.2-1 所示。

(4) 计算范围

液态流出物模拟范围沿岸线长约 300km，离岸约 130km，计算域面积约

36000km²。模型采用曲面四边形网格，最小网格尺度控制在 40m，最大网格尺度约 1000m，总网格数约 31000。

2) 液态途径剂量计算模式

液态途径剂量计算采用《滨海核电厂液态放射性流出物辐射环境影响评价技术规范》（NB/T 20199-2013）中的方法。

6.2.4 大气弥散和水体稀释

6.2.4.1 大气弥散

表 6.2-2~6.2-7 分别列出了本项目半径 80km 范围内各子区代表性放射性核素 ⁸⁵Kr、¹³³Xe、¹³¹I、¹³⁷Cs、³H 和 ¹⁴C 混合释放情况下年均长期大气弥散因子值。本项目半径 80km 范围因干、湿沉积所致的元素碘和粒子态核素年均沉积因子见表 6.2-8~表 6.2-9。

6.2.4.2 水体稀释

液态流出物在受纳水体中的稀释扩散，与受纳水体的水文气象条件、取排水构筑物的形式以及废水排放方式有密切关系。

本项液态流出物与海阳核电厂其他机组液态流出物共用排放口，随一期、二期温排水向西排放入海。因此对于液态流出物归一化相对浓度场，可以沿用海阳核电厂原有 1250MWe 机组的液态流出物数模成果。

根据中国水利水电科学研究院编制的《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程液态流出物、余氯数模计算成果报告》，夏季等相对浓度影响面积高于冬季，从分布形态上看，冬季半月潮与夏季半月潮相对浓度分布形态类似。表 6.2-10 给出了液态流出物等相对浓度影响区域面积。图 6.2-3~图 6.2-14 给出了 6 台 1250MWe 级核电机组冬夏季潮型不同半衰期的平均和最大等浓度线包络图。

6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度

6.2.5.1 大气中主要核素浓度

根据一体化小型堆正常运行工况下气载流出物的设计排放源项，表 6.2-11~6.2-16 分别列出了本项目运行时厂址半径 80km 范围内各子区代表性放射性核素 ⁸⁵Kr、¹³³Xe、¹³¹I、¹³⁷Cs、³H 和 ¹⁴C 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 NNE 方位 0~1km 处。

本项目位于海阳核电厂内，考虑海阳核电厂内 1~6 号机组，根据《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程环境影响报告书（选址阶段）》中的结果，保守得到所有机组所致厂址半径 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

一体化小型堆的核岛废液采用间歇性排放，单堆年排放量不超过 400m^3 ，预计最大排放速率为 $22\text{m}^3/\text{h}$ 。正常运行条件下，随海阳核电 1~4 号机组冷却水一同排放，海阳核电 1~4 号机组冬季冷却水（单堆）流量约为 $52\text{m}^3/\text{s}$ 。

根据本项目在正常运行工况下液态流出物设计排放源项，保守按照最大排放速率计算，本项目所致总排放口处各核素的浓度见表 6.2-23。由表 6.2-23 可见，总排放口处 5 种核素的排放浓度已低于《海水水质标准》（GB 3097-1997）中的限值，在排放入海后浓度将进一步降低。因此，本项目一体化小型堆所致海水中核素浓度将远低于《海水水质标准》（GB 3097-1997）中的限值，满足海水水质标准要求。

本项目位于海阳核电厂内，考虑海阳核电厂 1~6 号机组，总排放口处 5 种核素的年平均浓度见表 6.2-24，排放口浓度已低于《海水水质标准》（GB 3097-1997）中的限值。核素排放后经稀释扩散浓度将进一步降低，海水中核素浓度将远低于《海水水质标准》（GB 3097-1997）中的限值，因此厂址附近海域海水中的核素浓度能满足海水水质标准要求。

6.2.6 公众的最大个人剂量

6.2.6.1 气态途径

根据一体化小型堆在正常运行工况下气载放射性核素的设计排放源项、各种放射性核素的平均长期大气弥散因子、地面沉积因子、食物摄入量、剂量转换因子等数据，计算了本项目在正常运行工况下由气态途径对厂址周围居民可能造成的最大个人有效剂量。

根据气态途径剂量计算结果，本项目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 $2.00\text{E}-04\text{mSv/a}$ 、 $3.90\text{E}-04\text{mSv/a}$ 、 $2.21\text{E}-04\text{mSv/a}$ 、 $1.93\text{E}-04\text{mSv/a}$ 和 $1.75\text{E}-04\text{mSv/a}$ 。

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《滨海核电厂液态放射性流出物辐射环境影响评价技术规范》（NB/T 20199-2013）中推荐的计算模式。计算采用一体化小型堆液态途径设计排放源项，其中机组液态途径设计排放源项见第四章。

根据液态途径剂量计算结果，本项目一体化小型堆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 $5.13\text{E-}06\text{mSv/a}$ 、 $3.33\text{E-}05\text{mSv/a}$ 、 $3.30\text{E-}05\text{mSv/a}$ 、 $2.82\text{E-}05\text{mSv/a}$ 和 $2.94\text{E-}05\text{mSv/a}$ 。

6.2.6.3 剂量汇总

国家标准 GB6249-2011 规定：正常运行工况下，每座核电厂向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量，每年应小于 0.25mSv 。

本项目正常运行工况下剂量汇总见表 6.2-25。

由表 6.2-25 可知：本项目一体化小型堆在正常运行期间放射性物质所致的最大个人剂量为 $3.90\text{E-}04\text{mSv/a}$ 。

由于本项目位于海阳核电厂内，考虑核电厂 1~6 号机组影响，全厂址所致最大个人剂量汇总参见表 6.2-26。海阳核电厂内一体化小型堆和 1~6 号机组所致最大个人剂量为 $1.34\text{E-}02\text{mSv/a}$ ，为国家标准规定的 0.25mSv/a 的 5.4%。

6.2.7 对水生物的辐射影响

水生生物受到的辐射照射主要来自宇宙射线、天然放射性及核设施液态流出物，这些照射导致了水生生物的外照射剂量和内照射剂量。其中外照射剂量来源于水体照射和底泥照射；内照射剂量来源于生物直接摄入放射性核素并通过代谢过程在生物体内浓集。

2000 年 11 月~2003 年 10 月欧共体完成了 FASSET 计划，这个计划的目的是发展评价电离辐射生物和生态系统影响的方法和工具，以及支持防护辐射对环境有害效应的努力。计划分为 4 个方面：1) 环境计量学；2) 放射性核素在生态系统中的转移；3) 电离辐射生物效应；4) 建立评价的框架。欧共体在完成 FASSET 计划后，在 2004 年 3 月制定了一个 ERICA 计划，计划实施从 2004 年 1 月到 2007 年 2 月，计划分为 5 个方面：1) 提供评价工具；2) 提供生态危害评价危害特征方法学；3) 提供管理导则，支持电离辐射的环境保护；4) 在 5 个不同场址事例

研究情景中，应用和检验评价的方法学；5) 总的管理和计划进展评价。

基于欧洲模式的 ERICA 程序采用了危害商的定义，危害商的定义是剂量估算值与参考值的比值，具体公式如下：

$$RQ = \frac{\text{预测的生物剂量率}}{\text{认定安全的剂量率基准值}}$$

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。

根据国家海洋局北海海洋工程勘察研究院 2020 年编制的《山东海阳核电项目 5、6 号机组春、夏、秋、冬季海洋环境现状调查报告》，目前厂址周围海域调查到的海洋生物主要包括：浮游植物，浮游动物，底栖生物，潮间带生物以及鱼类。本次评价中，对底层鱼类、软体动物、甲壳类、中上层鱼类、浮游植物、环节动物的多毛类、脉管类植物、浮游动物进行了评价，另外也关注了鸟类的情况，评价生物类别基本涵盖了厂址附近主要水生生物和鸟类。

表 6.2-27~表 6.2-29 分别给出了本项目一体化小型堆正常运行时各核素对厂址邻近海域的水生生物和鸟类造成的外照射剂量率、内照射剂量率及总辐射剂量率。表 6.2-30 给出了本项目一体化小型堆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，本次评价保守的采用 ERICA 程序中默认的剂量率基准值：10 μ Gy/h。

由表 6.2-30 可知，本项目一体化小型堆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 6.85E-05，该值远小于 1。

根据《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程环境影响报告书（选址阶段）》中对 1~6 号机组的计算结果，表 6.2-31 给出了海阳核电厂全厂各机组所致的生物危害商，由表 6.2-31 可知，山东海阳核电厂一体化小型堆和 1~6 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 1.59E-02，该值远小于 1。因此可以认为，山东海阳核电厂内一体化小型堆和 1~6 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。

6.2.8 辐射影响评价

6.2.8.1 排放量和排放浓度评价

本报告第四章中给出了本项目一体化小型堆的气载流出物和液态流出物设计排放量与国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）中规定的

年排放量控制值比较。从表中可以看出，本项目一体化小型堆的气载和液态流出物的年排放量能满足标准要求。

根据前文 4.6.2.1 节的描述，本项目液态流出物除氚和碳 14 外其他放射性核素排放浓度不会超过 GB6249-2011 中的排放控制值 1000Bq/L。

本报告第一章表 1.7-1 中列出了海阳核电站内一体化小型堆和 1~6 号机组的气载和液态流出物的年排放量，全厂址各机组的排放总量满足国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）。

6.2.8.2 辐射剂量评价

1) 公众

国家标准 GB6249-2011 规定：正常运行工况下，任何厂址的所有核动力堆向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量，每年应小于 0.25mSv 的剂量约束值。

考虑当地居民的生活习惯，并采用偏保守的假设条件，本项目正常运行工况下最大个人剂量为 $3.90E-04\text{mSv/a}$ ，全厂总剂量为 $1.34E-02\text{mSv/a}$ ，可见本项目一体化小型堆以及海阳核电站全厂各机组正常运行期间所致最大个人的有效剂量均小于 0.25mSv。因此，本项目及海阳核电站全厂在正常运行期间所致公众最大剂量满足 GB6249-2011 的规定。

2) 非人类生物

本项目正常运行时液态流出物排放对受纳海域中水生生物造成的危害商为 $6.85E-05$ ，海阳核电站内一体化小型堆和 1~6 号机组正常运行时液态流出物排放对受纳海域中水生生物的危害商为 $1.59E-02$ ，本项目和 1~6 号机组正常运行工况下，液态流出物排放不会对受纳海域中的水生生物产生不良影响。

表 6.2-1 不同放射性核素衰变系数

半衰期	余氯 1.5h	8d	70d	250d	5a
λ_i (/s)	1.3×10^{-4}	1.0×10^{-6}	1.1×10^{-7}	3.2×10^{-8}	4.4×10^{-9}

表 6.2-2 厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子

核素： ^{85}Kr (s/m^3)

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	3.07E-07	2.29E-07	1.59E-07	9.65E-08	4.17E-08	1.46E-08	8.33E-09	5.75E-09	4.37E-09	3.52E-09	2.94E-09	2.52E-09
NNE	4.12E-07	2.61E-07	1.76E-07	1.05E-07	4.46E-08	1.54E-08	8.70E-09	6.00E-09	4.56E-09	3.66E-09	3.06E-09	2.62E-09
NE	1.93E-07	1.45E-07	1.07E-07	6.75E-08	3.02E-08	1.08E-08	6.09E-09	4.18E-09	3.16E-09	2.54E-09	2.11E-09	1.81E-09
ENE	1.09E-07	8.30E-08	6.36E-08	4.26E-08	2.06E-08	7.70E-09	4.22E-09	2.83E-09	2.10E-09	1.66E-09	1.37E-09	1.16E-09
E	1.25E-07	8.02E-08	6.01E-08	4.09E-08	2.04E-08	7.81E-09	4.20E-09	2.77E-09	2.04E-09	1.59E-09	1.30E-09	1.09E-09
ESE	2.42E-07	1.70E-07	1.41E-07	1.03E-07	5.45E-08	2.15E-08	1.13E-08	7.31E-09	5.28E-09	4.08E-09	3.29E-09	2.75E-09
SE	2.54E-07	2.24E-07	2.06E-07	1.60E-07	8.75E-08	3.53E-08	1.84E-08	1.19E-08	8.53E-09	6.56E-09	5.28E-09	4.39E-09
SSE	2.69E-07	1.84E-07	1.45E-07	1.01E-07	5.09E-08	1.96E-08	1.03E-08	6.75E-09	4.91E-09	3.82E-09	3.10E-09	2.60E-09
S	3.21E-07	2.30E-07	1.71E-07	1.15E-07	5.60E-08	2.11E-08	1.15E-08	7.65E-09	5.65E-09	4.44E-09	3.64E-09	3.08E-09
SSW	8.77E-08	8.44E-08	7.39E-08	5.62E-08	3.07E-08	1.23E-08	6.65E-09	4.39E-09	3.21E-09	2.51E-09	2.05E-09	1.72E-09
SW	1.07E-07	1.04E-07	8.75E-08	6.27E-08	3.22E-08	1.25E-08	6.80E-09	4.52E-09	3.34E-09	2.62E-09	2.15E-09	1.81E-09
WSW	1.20E-07	1.06E-07	8.57E-08	5.89E-08	2.88E-08	1.09E-08	5.99E-09	4.03E-09	3.00E-09	2.37E-09	1.95E-09	1.66E-09
W	1.55E-07	1.32E-07	1.05E-07	7.12E-08	3.43E-08	1.29E-08	7.03E-09	4.69E-09	3.47E-09	2.74E-09	2.25E-09	1.90E-09
WNW	1.35E-07	1.25E-07	9.71E-08	6.40E-08	3.00E-08	1.10E-08	6.19E-09	4.23E-09	3.19E-09	2.55E-09	2.12E-09	1.81E-09
NW	1.76E-07	1.56E-07	1.16E-07	7.38E-08	3.30E-08	1.19E-08	6.80E-09	4.70E-09	3.58E-09	2.88E-09	2.41E-09	2.07E-09
NNW	1.74E-07	1.58E-07	1.18E-07	7.54E-08	3.40E-08	1.25E-08	7.07E-09	4.87E-09	3.69E-09	2.96E-09	2.47E-09	2.11E-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 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	3.07E-07	2.29E-07	1.59E-07	9.60E-08	4.12E-08	1.43E-08	8.00E-09	5.45E-09	4.08E-09	3.23E-09	2.66E-09	2.25E-09
NNE	4.11E-07	2.61E-07	1.75E-07	1.04E-07	4.42E-08	1.51E-08	8.42E-09	5.73E-09	4.29E-09	3.41E-09	2.81E-09	2.38E-09
NE	1.93E-07	1.45E-07	1.07E-07	6.72E-08	2.98E-08	1.06E-08	5.85E-09	3.95E-09	2.94E-09	2.32E-09	1.90E-09	1.60E-09
ENE	1.09E-07	8.28E-08	6.34E-08	4.23E-08	2.03E-08	7.46E-09	4.01E-09	2.64E-09	1.92E-09	1.49E-09	1.21E-09	1.01E-09
E	1.25E-07	8.01E-08	6.00E-08	4.07E-08	2.01E-08	7.59E-09	4.01E-09	2.61E-09	1.88E-09	1.45E-09	1.16E-09	9.65E-10
ESE	2.42E-07	1.69E-07	1.40E-07	1.02E-07	5.37E-08	2.09E-08	1.08E-08	6.84E-09	4.86E-09	3.69E-09	2.93E-09	2.40E-09
SE	2.54E-07	2.23E-07	2.05E-07	1.59E-07	8.61E-08	3.42E-08	1.75E-08	1.10E-08	7.76E-09	5.85E-09	4.62E-09	3.76E-09
SSE	2.69E-07	1.84E-07	1.44E-07	1.00E-07	5.02E-08	1.90E-08	9.84E-09	6.31E-09	4.51E-09	3.45E-09	2.76E-09	2.27E-09
S	3.21E-07	2.29E-07	1.71E-07	1.14E-07	5.52E-08	2.05E-08	1.09E-08	7.13E-09	5.17E-09	4.00E-09	3.23E-09	2.69E-09
SSW	8.77E-08	8.42E-08	7.35E-08	5.57E-08	3.00E-08	1.17E-08	6.15E-09	3.95E-09	2.82E-09	2.15E-09	1.71E-09	1.41E-09
SW	1.07E-07	1.04E-07	8.71E-08	6.22E-08	3.17E-08	1.21E-08	6.45E-09	4.20E-09	3.04E-09	2.34E-09	1.88E-09	1.56E-09
WSW	1.20E-07	1.06E-07	8.54E-08	5.85E-08	2.84E-08	1.06E-08	5.67E-09	3.74E-09	2.73E-09	2.12E-09	1.71E-09	1.42E-09
W	1.55E-07	1.32E-07	1.05E-07	7.07E-08	3.38E-08	1.26E-08	6.71E-09	4.40E-09	3.20E-09	2.48E-09	2.00E-09	1.67E-09
WNW	1.35E-07	1.25E-07	9.68E-08	6.36E-08	2.96E-08	1.07E-08	5.90E-09	3.96E-09	2.93E-09	2.30E-09	1.88E-09	1.58E-09
NW	1.76E-07	1.56E-07	1.16E-07	7.34E-08	3.26E-08	1.16E-08	6.51E-09	4.43E-09	3.31E-09	2.62E-09	2.16E-09	1.82E-09
NNW	1.74E-07	1.57E-07	1.17E-07	7.49E-08	3.36E-08	1.21E-08	6.75E-09	4.57E-09	3.40E-09	2.69E-09	2.20E-09	1.85E-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 (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	2.91E-07	2.01E-07	1.35E-07	7.69E-08	3.10E-08	1.01E-08	5.02E-09	3.10E-09	2.08E-09	1.59E-09	1.23E-09	9.30E-10
NNE	3.91E-07	2.30E-07	1.49E-07	8.34E-08	3.33E-08	1.07E-08	5.31E-09	3.29E-09	2.21E-09	1.70E-09	1.32E-09	1.00E-09
NE	1.83E-07	1.27E-07	9.06E-08	5.38E-08	2.24E-08	7.43E-09	3.66E-09	2.24E-09	1.50E-09	1.14E-09	8.77E-10	6.60E-10
ENE	1.03E-07	7.29E-08	5.39E-08	3.39E-08	1.52E-08	5.25E-09	2.51E-09	1.50E-09	9.77E-10	7.30E-10	5.56E-10	4.13E-10
E	1.19E-07	7.06E-08	5.11E-08	3.27E-08	1.52E-08	5.40E-09	2.55E-09	1.51E-09	9.81E-10	7.31E-10	5.55E-10	4.12E-10
ESE	2.30E-07	1.49E-07	1.19E-07	8.21E-08	4.06E-08	1.49E-08	6.87E-09	3.99E-09	2.55E-09	1.88E-09	1.41E-09	1.04E-09
SE	2.41E-07	1.97E-07	1.75E-07	1.27E-07	6.51E-08	2.43E-08	1.11E-08	6.39E-09	4.06E-09	2.96E-09	2.21E-09	1.62E-09
SSE	2.55E-07	1.62E-07	1.23E-07	8.06E-08	3.80E-08	1.36E-08	6.31E-09	3.70E-09	2.39E-09	1.77E-09	1.34E-09	9.94E-10
S	3.05E-07	2.02E-07	1.45E-07	9.14E-08	4.18E-08	1.46E-08	6.97E-09	4.16E-09	2.73E-09	2.04E-09	1.56E-09	1.16E-09
SSW	8.33E-08	7.42E-08	6.27E-08	4.48E-08	2.28E-08	8.43E-09	3.98E-09	2.34E-09	1.51E-09	1.12E-09	8.48E-10	6.27E-10
SW	1.01E-07	9.16E-08	7.42E-08	5.00E-08	2.40E-08	8.64E-09	4.12E-09	2.45E-09	1.60E-09	1.20E-09	9.11E-10	6.78E-10
WSW	1.14E-07	9.34E-08	7.28E-08	4.70E-08	2.15E-08	7.53E-09	3.63E-09	2.19E-09	1.44E-09	1.09E-09	8.32E-10	6.22E-10
W	1.47E-07	1.16E-07	8.91E-08	5.68E-08	2.56E-08	8.94E-09	4.27E-09	2.55E-09	1.68E-09	1.26E-09	9.62E-10	7.18E-10
WNW	1.28E-07	1.10E-07	8.25E-08	5.11E-08	2.24E-08	7.63E-09	3.78E-09	2.32E-09	1.55E-09	1.18E-09	9.17E-10	6.92E-10
NW	1.67E-07	1.37E-07	9.88E-08	5.90E-08	2.46E-08	8.25E-09	4.15E-09	2.58E-09	1.74E-09	1.34E-09	1.05E-09	7.92E-10
NNW	1.65E-07	1.39E-07	1.00E-07	6.02E-08	2.54E-08	8.63E-09	4.31E-09	2.66E-09	1.79E-09	1.37E-09	1.06E-09	8.05E-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 (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	2.91E-07	2.01E-07	1.35E-07	7.69E-08	3.10E-08	1.01E-08	5.03E-09	3.11E-09	2.09E-09	1.60E-09	1.24E-09	9.38E-10
NNE	3.91E-07	2.30E-07	1.49E-07	8.35E-08	3.33E-08	1.07E-08	5.34E-09	3.31E-09	2.24E-09	1.72E-09	1.34E-09	1.02E-09
NE	1.83E-07	1.27E-07	9.06E-08	5.38E-08	2.25E-08	7.44E-09	3.67E-09	2.25E-09	1.50E-09	1.14E-09	8.81E-10	6.63E-10
ENE	1.03E-07	7.29E-08	5.39E-08	3.39E-08	1.52E-08	5.25E-09	2.51E-09	1.50E-09	9.78E-10	7.31E-10	5.57E-10	4.14E-10
E	1.19E-07	7.06E-08	5.11E-08	3.27E-08	1.52E-08	5.43E-09	2.57E-09	1.53E-09	9.96E-10	7.44E-10	5.67E-10	4.22E-10
ESE	2.30E-07	1.49E-07	1.19E-07	8.22E-08	4.07E-08	1.50E-08	6.94E-09	4.05E-09	2.60E-09	1.92E-09	1.45E-09	1.07E-09
SE	2.41E-07	1.97E-07	1.75E-07	1.28E-07	6.52E-08	2.44E-08	1.12E-08	6.46E-09	4.12E-09	3.02E-09	2.26E-09	1.66E-09
SSE	2.55E-07	1.62E-07	1.23E-07	8.07E-08	3.81E-08	1.37E-08	6.39E-09	3.76E-09	2.44E-09	1.82E-09	1.38E-09	1.03E-09
S	3.05E-07	2.02E-07	1.46E-07	9.15E-08	4.19E-08	1.47E-08	7.06E-09	4.23E-09	2.78E-09	2.09E-09	1.60E-09	1.20E-09
SSW	8.33E-08	7.42E-08	6.27E-08	4.49E-08	2.29E-08	8.51E-09	4.04E-09	2.39E-09	1.55E-09	1.16E-09	8.78E-10	6.52E-10
SW	1.01E-07	9.16E-08	7.43E-08	5.01E-08	2.41E-08	8.69E-09	4.16E-09	2.49E-09	1.63E-09	1.22E-09	9.35E-10	6.98E-10
WSW	1.14E-07	9.34E-08	7.28E-08	4.71E-08	2.15E-08	7.59E-09	3.68E-09	2.22E-09	1.47E-09	1.11E-09	8.56E-10	6.43E-10
W	1.47E-07	1.16E-07	8.92E-08	5.69E-08	2.56E-08	8.99E-09	4.31E-09	2.59E-09	1.70E-09	1.28E-09	9.84E-10	7.37E-10
WNW	1.28E-07	1.10E-07	8.26E-08	5.12E-08	2.25E-08	7.69E-09	3.83E-09	2.36E-09	1.59E-09	1.22E-09	9.46E-10	7.17E-10
NW	1.67E-07	1.37E-07	9.89E-08	5.90E-08	2.47E-08	8.30E-09	4.20E-09	2.62E-09	1.78E-09	1.37E-09	1.08E-09	8.19E-10
NNW	1.65E-07	1.39E-07	1.00E-07	6.03E-08	2.55E-08	8.69E-09	4.36E-09	2.70E-09	1.83E-09	1.40E-09	1.09E-09	8.31E-10

表 6.2-6 厂址半径 80km 范围内年均大气弥散因子

核素：氡 (s/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	3.07E-07	2.29E-07	1.59E-07	9.65E-08	4.17E-08	1.46E-08	8.33E-09	5.75E-09	4.37E-09	3.52E-09	2.94E-09	2.52E-09
NNE	4.12E-07	2.61E-07	1.76E-07	1.05E-07	4.46E-08	1.54E-08	8.70E-09	6.00E-09	4.56E-09	3.66E-09	3.06E-09	2.62E-09
NE	1.93E-07	1.45E-07	1.07E-07	6.75E-08	3.02E-08	1.08E-08	6.09E-09	4.18E-09	3.16E-09	2.54E-09	2.11E-09	1.81E-09
ENE	1.09E-07	8.30E-08	6.36E-08	4.26E-08	2.06E-08	7.70E-09	4.22E-09	2.83E-09	2.10E-09	1.66E-09	1.37E-09	1.16E-09
E	1.25E-07	8.02E-08	6.01E-08	4.09E-08	2.04E-08	7.81E-09	4.20E-09	2.77E-09	2.04E-09	1.59E-09	1.30E-09	1.09E-09
ESE	2.42E-07	1.70E-07	1.41E-07	1.03E-07	5.45E-08	2.15E-08	1.13E-08	7.31E-09	5.28E-09	4.08E-09	3.29E-09	2.75E-09
SE	2.54E-07	2.24E-07	2.06E-07	1.60E-07	8.75E-08	3.53E-08	1.84E-08	1.19E-08	8.53E-09	6.56E-09	5.28E-09	4.39E-09
SSE	2.69E-07	1.84E-07	1.45E-07	1.01E-07	5.09E-08	1.96E-08	1.03E-08	6.75E-09	4.91E-09	3.82E-09	3.10E-09	2.60E-09
S	3.21E-07	2.30E-07	1.71E-07	1.15E-07	5.60E-08	2.11E-08	1.15E-08	7.65E-09	5.65E-09	4.44E-09	3.64E-09	3.08E-09
SSW	8.77E-08	8.44E-08	7.39E-08	5.62E-08	3.07E-08	1.23E-08	6.65E-09	4.39E-09	3.21E-09	2.51E-09	2.05E-09	1.72E-09
SW	1.07E-07	1.04E-07	8.75E-08	6.27E-08	3.22E-08	1.25E-08	6.80E-09	4.52E-09	3.34E-09	2.62E-09	2.15E-09	1.81E-09
WSW	1.20E-07	1.06E-07	8.57E-08	5.89E-08	2.88E-08	1.09E-08	5.99E-09	4.03E-09	3.00E-09	2.37E-09	1.95E-09	1.66E-09
W	1.55E-07	1.32E-07	1.05E-07	7.12E-08	3.43E-08	1.29E-08	7.03E-09	4.69E-09	3.47E-09	2.74E-09	2.25E-09	1.90E-09
WNW	1.35E-07	1.25E-07	9.71E-08	6.40E-08	3.00E-08	1.10E-08	6.19E-09	4.23E-09	3.19E-09	2.55E-09	2.12E-09	1.81E-09
NW	1.76E-07	1.56E-07	1.16E-07	7.38E-08	3.30E-08	1.19E-08	6.80E-09	4.70E-09	3.58E-09	2.88E-09	2.41E-09	2.07E-09
NNW	1.74E-07	1.58E-07	1.18E-07	7.54E-08	3.40E-08	1.25E-08	7.07E-09	4.87E-09	3.69E-09	2.96E-09	2.47E-09	2.11E-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 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	3.07E-07	2.29E-07	1.59E-07	9.65E-08	4.17E-08	1.47E-08	8.33E-09	5.75E-09	4.37E-09	3.52E-09	2.94E-09	2.52E-09
NNE	4.12E-07	2.61E-07	1.76E-07	1.05E-07	4.46E-08	1.54E-08	8.70E-09	6.00E-09	4.56E-09	3.66E-09	3.06E-09	2.62E-09
NE	1.93E-07	1.45E-07	1.07E-07	6.75E-08	3.02E-08	1.08E-08	6.09E-09	4.18E-09	3.16E-09	2.54E-09	2.11E-09	1.81E-09
ENE	1.09E-07	8.30E-08	6.36E-08	4.26E-08	2.06E-08	7.70E-09	4.22E-09	2.83E-09	2.10E-09	1.66E-09	1.37E-09	1.16E-09
E	1.25E-07	8.02E-08	6.01E-08	4.09E-08	2.04E-08	7.81E-09	4.20E-09	2.77E-09	2.04E-09	1.59E-09	1.30E-09	1.09E-09
ESE	2.42E-07	1.70E-07	1.41E-07	1.03E-07	5.45E-08	2.15E-08	1.13E-08	7.31E-09	5.28E-09	4.08E-09	3.29E-09	2.75E-09
SE	2.54E-07	2.24E-07	2.06E-07	1.60E-07	8.75E-08	3.53E-08	1.84E-08	1.19E-08	8.53E-09	6.56E-09	5.28E-09	4.39E-09
SSE	2.69E-07	1.84E-07	1.45E-07	1.01E-07	5.09E-08	1.96E-08	1.03E-08	6.75E-09	4.91E-09	3.82E-09	3.10E-09	2.60E-09
S	3.21E-07	2.30E-07	1.71E-07	1.15E-07	5.60E-08	2.11E-08	1.15E-08	7.65E-09	5.65E-09	4.44E-09	3.64E-09	3.08E-09
SSW	8.77E-08	8.44E-08	7.39E-08	5.62E-08	3.07E-08	1.23E-08	6.65E-09	4.39E-09	3.21E-09	2.51E-09	2.05E-09	1.72E-09
SW	1.07E-07	1.04E-07	8.75E-08	6.27E-08	3.22E-08	1.25E-08	6.80E-09	4.52E-09	3.34E-09	2.62E-09	2.15E-09	1.81E-09
WSW	1.20E-07	1.06E-07	8.57E-08	5.89E-08	2.88E-08	1.09E-08	5.99E-09	4.03E-09	3.00E-09	2.37E-09	1.95E-09	1.66E-09
W	1.55E-07	1.32E-07	1.05E-07	7.12E-08	3.43E-08	1.29E-08	7.03E-09	4.69E-09	3.47E-09	2.74E-09	2.25E-09	1.90E-09
WNW	1.35E-07	1.25E-07	9.71E-08	6.40E-08	3.00E-08	1.10E-08	6.19E-09	4.23E-09	3.19E-09	2.55E-09	2.12E-09	1.81E-09
NW	1.76E-07	1.56E-07	1.16E-07	7.38E-08	3.30E-08	1.19E-08	6.80E-09	4.71E-09	3.58E-09	2.88E-09	2.41E-09	2.07E-09
NNW	1.74E-07	1.58E-07	1.18E-07	7.54E-08	3.40E-08	1.25E-08	7.07E-09	4.87E-09	3.69E-09	2.96E-09	2.47E-09	2.11E-09

表 6.2-8 厂址半径 80km 范围内年均沉积因子（干湿沉积所致）

元素碘 ($1/m^2$)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	3.46E-09	2.42E-09	1.67E-09	1.01E-09	4.42E-10	1.59E-10	9.10E-11	6.30E-11	4.80E-11	3.87E-11	3.24E-11	2.78E-11
NNE	4.68E-09	2.80E-09	1.87E-09	1.12E-09	4.83E-10	1.73E-10	9.83E-11	6.80E-11	5.18E-11	4.17E-11	3.49E-11	3.00E-11
NE	2.46E-09	1.63E-09	1.18E-09	7.42E-10	3.37E-10	1.26E-10	7.16E-11	4.94E-11	3.76E-11	3.02E-11	2.52E-11	2.16E-11
ENE	1.51E-09	9.72E-10	7.21E-10	4.79E-10	2.34E-10	9.12E-11	5.08E-11	3.44E-11	2.58E-11	2.05E-11	1.69E-11	1.44E-11
E	1.77E-09	9.75E-10	7.05E-10	4.74E-10	2.38E-10	9.53E-11	5.24E-11	3.51E-11	2.61E-11	2.06E-11	1.70E-11	1.44E-11
ESE	2.54E-09	1.74E-09	1.43E-09	1.04E-09	5.53E-10	2.19E-10	1.15E-10	7.48E-11	5.42E-11	4.19E-11	3.39E-11	2.83E-11
SE	2.71E-09	2.29E-09	2.10E-09	1.62E-09	8.86E-10	3.59E-10	1.88E-10	1.21E-10	8.72E-11	6.72E-11	5.41E-11	4.51E-11
SSE	2.97E-09	1.93E-09	1.51E-09	1.05E-09	5.28E-10	2.05E-10	1.09E-10	7.15E-11	5.23E-11	4.07E-11	3.32E-11	2.79E-11
S	4.61E-09	2.76E-09	1.99E-09	1.32E-09	6.53E-10	2.58E-10	1.43E-10	9.65E-11	7.20E-11	5.71E-11	4.72E-11	4.01E-11
SSW	1.54E-09	1.07E-09	8.72E-10	6.46E-10	3.51E-10	1.45E-10	7.98E-11	5.34E-11	3.95E-11	3.11E-11	2.56E-11	2.16E-11
SW	2.66E-09	1.57E-09	1.19E-09	8.26E-10	4.28E-10	1.78E-10	9.98E-11	6.79E-11	5.10E-11	4.07E-11	3.37E-11	2.87E-11
WSW	2.95E-09	1.64E-09	1.21E-09	8.07E-10	4.05E-10	1.67E-10	9.49E-11	6.52E-11	4.94E-11	3.96E-11	3.30E-11	2.82E-11
W	2.15E-09	1.52E-09	1.17E-09	7.86E-10	3.83E-10	1.49E-10	8.22E-11	5.54E-11	4.14E-11	3.28E-11	2.71E-11	2.30E-11
WNW	1.74E-09	1.38E-09	1.05E-09	6.89E-10	3.26E-10	1.23E-10	6.97E-11	4.79E-11	3.62E-11	2.90E-11	2.42E-11	2.07E-11
NW	2.57E-09	1.83E-09	1.33E-09	8.40E-10	3.84E-10	1.46E-10	8.41E-11	5.86E-11	4.48E-11	3.62E-11	3.03E-11	2.61E-11
NNW	1.87E-09	1.62E-09	1.20E-09	7.70E-10	3.49E-10	1.29E-10	7.33E-11	5.06E-11	3.84E-11	3.08E-11	2.57E-11	2.20E-11

表 6.2-9 厂址半径 80km 范围内年均沉积因子（干湿沉积所致）

粒子态核素 ($1/m^2$)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	8.87E-10	4.22E-10	2.75E-10	1.69E-10	8.03E-11	3.40E-11	1.99E-11	1.40E-11	1.08E-11	8.79E-12	7.40E-12	6.39E-12
NNE	1.26E-09	5.43E-10	3.44E-10	2.10E-10	1.01E-10	4.35E-11	2.56E-11	1.81E-11	1.39E-11	1.13E-11	9.55E-12	8.25E-12
NE	9.93E-10	4.12E-10	2.67E-10	1.68E-10	8.36E-11	3.75E-11	2.21E-11	1.56E-11	1.21E-11	9.81E-12	8.27E-12	7.14E-12
ENE	7.47E-10	2.96E-10	1.91E-10	1.22E-10	6.31E-11	2.90E-11	1.70E-11	1.20E-11	9.20E-12	7.47E-12	6.28E-12	5.41E-12
E	9.01E-10	3.39E-10	2.15E-10	1.38E-10	7.21E-11	3.37E-11	1.97E-11	1.39E-11	1.07E-11	8.64E-12	7.26E-12	6.26E-12
ESE	4.27E-10	2.31E-10	1.78E-10	1.26E-10	6.68E-11	2.77E-11	1.50E-11	9.95E-12	7.34E-12	5.76E-12	4.72E-12	3.98E-12
SE	5.07E-10	3.08E-10	2.57E-10	1.92E-10	1.04E-10	4.38E-11	2.35E-11	1.55E-11	1.14E-11	8.87E-12	7.23E-12	6.08E-12
SSE	6.96E-10	3.26E-10	2.30E-10	1.54E-10	7.94E-11	3.38E-11	1.89E-11	1.29E-11	9.65E-12	7.70E-12	6.38E-12	5.44E-12
S	2.42E-09	9.29E-10	5.91E-10	3.77E-10	1.96E-10	9.11E-11	5.35E-11	3.76E-11	2.90E-11	2.35E-11	1.98E-11	1.71E-11
SSW	1.09E-09	4.17E-10	2.73E-10	1.81E-10	9.71E-11	4.56E-11	2.66E-11	1.86E-11	1.43E-11	1.16E-11	9.72E-12	8.37E-12
SW	2.49E-09	8.99E-10	5.64E-10	3.61E-10	1.91E-10	9.20E-11	5.45E-11	3.86E-11	2.98E-11	2.43E-11	2.05E-11	1.77E-11
WSW	2.74E-09	9.80E-10	6.10E-10	3.86E-10	2.04E-10	9.82E-11	5.84E-11	4.15E-11	3.21E-11	2.62E-11	2.21E-11	1.91E-11
W	1.05E-09	4.31E-10	2.84E-10	1.83E-10	9.41E-11	4.28E-11	2.50E-11	1.75E-11	1.34E-11	1.09E-11	9.15E-12	7.88E-12
WNW	7.21E-10	3.20E-10	2.14E-10	1.37E-10	6.90E-11	3.05E-11	1.79E-11	1.26E-11	9.69E-12	7.87E-12	6.62E-12	5.71E-12
NW	1.39E-09	5.61E-10	3.59E-10	2.26E-10	1.14E-10	5.24E-11	3.11E-11	2.21E-11	1.71E-11	1.39E-11	1.18E-11	1.02E-11
NNW	3.71E-10	2.23E-10	1.57E-10	1.00E-10	4.72E-11	1.90E-11	1.10E-11	7.68E-12	5.88E-12	4.75E-12	3.98E-12	3.43E-12

表 6.2-10 现状岸线半月潮等相对浓度影响区域面积 (km²)

机组	潮型	半衰期	全潮最大等相对浓度影响面积					
			0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005
6 台	夏季半月潮	不衰变	51.44	215.2	429.3	1234	2391	3649
	冬季半月潮	不衰变	24.36	154.1	324.5	885.8	1840	3031
	潮型	半衰期	全潮平均等相对浓度影响面积					
			0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005
	夏季半月潮	不衰变	15.16	143.0	305.6	949.7	1876	2924
	冬季半月潮	不衰变	7.247	88.56	225.9	694.3	1501	2476

表 6.2-11 本项目一体化小型堆半径 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	6.85E-02	5.11E-02	3.55E-02	2.15E-02	9.30E-03	3.27E-03	1.86E-03	1.28E-03	9.76E-04	7.85E-04	6.56E-04	5.63E-04
NNE	9.19E-02	5.83E-02	3.92E-02	2.33E-02	9.95E-03	3.43E-03	1.94E-03	1.34E-03	1.02E-03	8.17E-04	6.82E-04	5.85E-04
NE	4.30E-02	3.23E-02	2.38E-02	1.51E-02	6.74E-03	2.42E-03	1.36E-03	9.33E-04	7.06E-04	5.66E-04	4.71E-04	4.03E-04
ENE	2.43E-02	1.85E-02	1.42E-02	9.50E-03	4.59E-03	1.72E-03	9.43E-04	6.32E-04	4.69E-04	3.70E-04	3.05E-04	2.58E-04
E	2.79E-02	1.79E-02	1.34E-02	9.14E-03	4.55E-03	1.74E-03	9.38E-04	6.19E-04	4.54E-04	3.55E-04	2.90E-04	2.44E-04
ESE	5.40E-02	3.79E-02	3.14E-02	2.30E-02	1.22E-02	4.80E-03	2.52E-03	1.63E-03	1.18E-03	9.10E-04	7.35E-04	6.13E-04
SE	5.66E-02	5.00E-02	4.60E-02	3.57E-02	1.95E-02	7.89E-03	4.11E-03	2.65E-03	1.90E-03	1.47E-03	1.18E-03	9.81E-04
SSE	6.00E-02	4.10E-02	3.23E-02	2.25E-02	1.14E-02	4.36E-03	2.31E-03	1.51E-03	1.10E-03	8.52E-04	6.91E-04	5.79E-04
S	7.17E-02	5.13E-02	3.82E-02	2.56E-02	1.25E-02	4.72E-03	2.56E-03	1.71E-03	1.26E-03	9.92E-04	8.13E-04	6.87E-04
SSW	1.96E-02	1.88E-02	1.65E-02	1.26E-02	6.84E-03	2.75E-03	1.48E-03	9.79E-04	7.17E-04	5.60E-04	4.57E-04	3.84E-04
SW	2.38E-02	2.33E-02	1.95E-02	1.40E-02	7.19E-03	2.79E-03	1.52E-03	1.01E-03	7.45E-04	5.85E-04	4.79E-04	4.04E-04
WSW	2.69E-02	2.37E-02	1.91E-02	1.31E-02	6.43E-03	2.44E-03	1.34E-03	8.99E-04	6.69E-04	5.29E-04	4.36E-04	3.70E-04
W	3.46E-02	2.95E-02	2.34E-02	1.59E-02	7.65E-03	2.88E-03	1.57E-03	1.05E-03	7.75E-04	6.11E-04	5.02E-04	4.25E-04
WNW	3.02E-02	2.79E-02	2.17E-02	1.43E-02	6.69E-03	2.46E-03	1.38E-03	9.44E-04	7.11E-04	5.68E-04	4.72E-04	4.03E-04
NW	3.93E-02	3.48E-02	2.60E-02	1.65E-02	7.36E-03	2.65E-03	1.52E-03	1.05E-03	7.99E-04	6.43E-04	5.38E-04	4.61E-04
NNW	3.88E-02	3.52E-02	2.63E-02	1.68E-02	7.60E-03	2.78E-03	1.58E-03	1.09E-03	8.24E-04	6.61E-04	5.51E-04	4.72E-04

表 6.2-12 本项目一体化小型堆半径 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	9.62E-02	7.17E-02	4.97E-02	3.01E-02	1.29E-02	4.48E-03	2.51E-03	1.71E-03	1.28E-03	1.01E-03	8.35E-04	7.06E-04
NNE	1.29E-01	8.18E-02	5.49E-02	3.26E-02	1.38E-02	4.73E-03	2.64E-03	1.80E-03	1.35E-03	1.07E-03	8.81E-04	7.46E-04
NE	6.04E-02	4.53E-02	3.34E-02	2.11E-02	9.36E-03	3.31E-03	1.83E-03	1.24E-03	9.23E-04	7.28E-04	5.97E-04	5.03E-04
ENE	3.41E-02	2.60E-02	1.99E-02	1.33E-02	6.35E-03	2.34E-03	1.26E-03	8.26E-04	6.03E-04	4.68E-04	3.79E-04	3.15E-04
E	3.92E-02	2.51E-02	1.88E-02	1.28E-02	6.31E-03	2.38E-03	1.26E-03	8.17E-04	5.90E-04	4.54E-04	3.65E-04	3.03E-04
ESE	7.58E-02	5.31E-02	4.39E-02	3.21E-02	1.68E-02	6.55E-03	3.37E-03	2.15E-03	1.52E-03	1.16E-03	9.19E-04	7.54E-04
SE	7.95E-02	7.00E-02	6.44E-02	4.98E-02	2.70E-02	1.07E-02	5.48E-03	3.45E-03	2.43E-03	1.83E-03	1.45E-03	1.18E-03
SSE	8.42E-02	5.75E-02	4.53E-02	3.15E-02	1.57E-02	5.95E-03	3.09E-03	1.98E-03	1.42E-03	1.08E-03	8.64E-04	7.13E-04
S	1.01E-01	7.19E-02	5.35E-02	3.57E-02	1.73E-02	6.42E-03	3.42E-03	2.23E-03	1.62E-03	1.26E-03	1.01E-03	8.43E-04
SSW	2.75E-02	2.64E-02	2.31E-02	1.75E-02	9.40E-03	3.68E-03	1.93E-03	1.24E-03	8.85E-04	6.75E-04	5.38E-04	4.42E-04
SW	3.35E-02	3.26E-02	2.73E-02	1.95E-02	9.95E-03	3.80E-03	2.02E-03	1.32E-03	9.54E-04	7.35E-04	5.91E-04	4.89E-04
WSW	3.77E-02	3.32E-02	2.68E-02	1.83E-02	8.89E-03	3.31E-03	1.78E-03	1.17E-03	8.55E-04	6.63E-04	5.36E-04	4.47E-04
W	4.86E-02	4.14E-02	3.28E-02	2.22E-02	1.06E-02	3.94E-03	2.10E-03	1.38E-03	1.00E-03	7.78E-04	6.28E-04	5.23E-04
WNW	4.24E-02	3.91E-02	3.04E-02	2.00E-02	9.27E-03	3.36E-03	1.85E-03	1.24E-03	9.20E-04	7.23E-04	5.90E-04	4.95E-04
NW	5.53E-02	4.88E-02	3.64E-02	2.30E-02	1.02E-02	3.63E-03	2.04E-03	1.39E-03	1.04E-03	8.23E-04	6.76E-04	5.71E-04
NNW	5.45E-02	4.93E-02	3.68E-02	2.35E-02	1.05E-02	3.80E-03	2.12E-03	1.43E-03	1.07E-03	8.42E-04	6.90E-04	5.81E-04

表 6.2-13 本项目一体化小型堆半径 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	3.75E-06	2.59E-06	1.74E-06	9.90E-07	3.99E-07	1.30E-07	6.46E-08	3.99E-08	2.68E-08	2.05E-08	1.59E-08	1.20E-08
NNE	5.03E-06	2.96E-06	1.92E-06	1.07E-06	4.28E-07	1.37E-07	6.83E-08	4.23E-08	2.85E-08	2.18E-08	1.70E-08	1.29E-08
NE	2.36E-06	1.64E-06	1.17E-06	6.93E-07	2.89E-07	9.57E-08	4.71E-08	2.89E-08	1.93E-08	1.46E-08	1.13E-08	8.49E-09
ENE	1.33E-06	9.39E-07	6.94E-07	4.36E-07	1.96E-07	6.76E-08	3.23E-08	1.92E-08	1.26E-08	9.40E-09	7.15E-09	5.31E-09
E	1.53E-06	9.08E-07	6.57E-07	4.20E-07	1.96E-07	6.95E-08	3.28E-08	1.94E-08	1.26E-08	9.41E-09	7.15E-09	5.31E-09
ESE	2.95E-06	1.92E-06	1.53E-06	1.06E-06	5.23E-07	1.91E-07	8.84E-08	5.13E-08	3.29E-08	2.42E-08	1.82E-08	1.34E-08
SE	3.10E-06	2.53E-06	2.25E-06	1.64E-06	8.38E-07	3.13E-07	1.43E-07	8.22E-08	5.22E-08	3.82E-08	2.85E-08	2.08E-08
SSE	3.29E-06	2.08E-06	1.58E-06	1.04E-06	4.89E-07	1.74E-07	8.12E-08	4.76E-08	3.07E-08	2.28E-08	1.73E-08	1.28E-08
S	3.93E-06	2.60E-06	1.87E-06	1.18E-06	5.38E-07	1.88E-07	8.98E-08	5.36E-08	3.51E-08	2.63E-08	2.01E-08	1.50E-08
SSW	1.07E-06	9.55E-07	8.07E-07	5.77E-07	2.93E-07	1.09E-07	5.12E-08	3.01E-08	1.95E-08	1.44E-08	1.09E-08	8.07E-09
SW	1.31E-06	1.18E-06	9.56E-07	6.44E-07	3.09E-07	1.11E-07	5.30E-08	3.16E-08	2.06E-08	1.54E-08	1.17E-08	8.72E-09
WSW	1.47E-06	1.20E-06	9.37E-07	6.05E-07	2.76E-07	9.70E-08	4.68E-08	2.81E-08	1.85E-08	1.40E-08	1.07E-08	8.01E-09
W	1.90E-06	1.50E-06	1.15E-06	7.31E-07	3.29E-07	1.15E-07	5.49E-08	3.29E-08	2.16E-08	1.62E-08	1.24E-08	9.24E-09
WNW	1.65E-06	1.41E-06	1.06E-06	6.58E-07	2.88E-07	9.83E-08	4.86E-08	2.99E-08	2.00E-08	1.52E-08	1.18E-08	8.91E-09
NW	2.16E-06	1.76E-06	1.27E-06	7.59E-07	3.17E-07	1.06E-07	5.35E-08	3.32E-08	2.25E-08	1.73E-08	1.35E-08	1.02E-08
NNW	2.12E-06	1.78E-06	1.29E-06	7.75E-07	3.27E-07	1.11E-07	5.55E-08	3.43E-08	2.30E-08	1.76E-08	1.37E-08	1.04E-08

表 6.2-14 本项目一体化小型堆半径 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	8.18E-08	5.65E-08	3.79E-08	2.16E-08	8.71E-09	2.83E-09	1.41E-09	8.73E-10	5.87E-10	4.49E-10	3.48E-10	2.63E-10
NNE	1.10E-07	6.45E-08	4.18E-08	2.34E-08	9.36E-09	3.00E-09	1.50E-09	9.29E-10	6.28E-10	4.82E-10	3.76E-10	2.86E-10
NE	5.14E-08	3.57E-08	2.54E-08	1.51E-08	6.30E-09	2.09E-09	1.03E-09	6.31E-10	4.21E-10	3.20E-10	2.47E-10	1.86E-10
ENE	2.90E-08	2.05E-08	1.51E-08	9.50E-09	4.27E-09	1.47E-09	7.05E-10	4.20E-10	2.75E-10	2.05E-10	1.56E-10	1.16E-10
E	3.33E-08	1.98E-08	1.43E-08	9.18E-09	4.28E-09	1.52E-09	7.22E-10	4.28E-10	2.79E-10	2.09E-10	1.59E-10	1.19E-10
ESE	6.44E-08	4.19E-08	3.35E-08	2.31E-08	1.14E-08	4.20E-09	1.95E-09	1.14E-09	7.30E-10	5.39E-10	4.07E-10	3.01E-10
SE	6.76E-08	5.52E-08	4.91E-08	3.58E-08	1.83E-08	6.86E-09	3.14E-09	1.81E-09	1.16E-09	8.47E-10	6.35E-10	4.66E-10
SSE	7.16E-08	4.54E-08	3.45E-08	2.27E-08	1.07E-08	3.83E-09	1.79E-09	1.06E-09	6.85E-10	5.11E-10	3.88E-10	2.89E-10
S	8.56E-08	5.67E-08	4.08E-08	2.57E-08	1.18E-08	4.13E-09	1.98E-09	1.19E-09	7.80E-10	5.87E-10	4.50E-10	3.37E-10
SSW	2.34E-08	2.08E-08	1.76E-08	1.26E-08	6.41E-09	2.39E-09	1.13E-09	6.71E-10	4.36E-10	3.24E-10	2.46E-10	1.83E-10
SW	2.85E-08	2.57E-08	2.08E-08	1.40E-08	6.76E-09	2.44E-09	1.17E-09	6.98E-10	4.57E-10	3.43E-10	2.62E-10	1.96E-10
WSW	3.21E-08	2.62E-08	2.04E-08	1.32E-08	6.04E-09	2.13E-09	1.03E-09	6.24E-10	4.13E-10	3.12E-10	2.40E-10	1.80E-10
W	4.14E-08	3.26E-08	2.50E-08	1.60E-08	7.19E-09	2.52E-09	1.21E-09	7.26E-10	4.78E-10	3.60E-10	2.76E-10	2.07E-10
WNW	3.60E-08	3.08E-08	2.32E-08	1.44E-08	6.30E-09	2.16E-09	1.07E-09	6.62E-10	4.45E-10	3.41E-10	2.65E-10	2.01E-10
NW	4.70E-08	3.85E-08	2.78E-08	1.66E-08	6.93E-09	2.33E-09	1.18E-09	7.36E-10	4.99E-10	3.85E-10	3.02E-10	2.30E-10
NNW	4.63E-08	3.89E-08	2.81E-08	1.69E-08	7.15E-09	2.44E-09	1.22E-09	7.59E-10	5.12E-10	3.94E-10	3.07E-10	2.33E-10

表 6.2-15 本项目一体化小型堆半径 80km 范围内年均活度浓度

核素：氚 (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	2.34E-03	1.75E-03	1.22E-03	7.38E-04	3.18E-04	1.12E-04	6.36E-05	4.39E-05	3.34E-05	2.69E-05	2.25E-05	1.93E-05
NNE	3.15E-03	2.00E-03	1.34E-03	7.99E-04	3.41E-04	1.18E-04	6.65E-05	4.58E-05	3.48E-05	2.80E-05	2.34E-05	2.00E-05
NE	1.47E-03	1.11E-03	8.16E-04	5.16E-04	2.31E-04	8.27E-05	4.66E-05	3.20E-05	2.42E-05	1.94E-05	1.61E-05	1.38E-05
ENE	8.31E-04	6.34E-04	4.86E-04	3.25E-04	1.57E-04	5.89E-05	3.23E-05	2.16E-05	1.61E-05	1.27E-05	1.04E-05	8.83E-06
E	9.55E-04	6.13E-04	4.60E-04	3.13E-04	1.56E-04	5.97E-05	3.21E-05	2.12E-05	1.56E-05	1.22E-05	9.93E-06	8.35E-06
ESE	1.85E-03	1.30E-03	1.07E-03	7.86E-04	4.16E-04	1.64E-04	8.63E-05	5.58E-05	4.04E-05	3.12E-05	2.52E-05	2.10E-05
SE	1.94E-03	1.71E-03	1.58E-03	1.22E-03	6.69E-04	2.70E-04	1.41E-04	9.06E-05	6.52E-05	5.02E-05	4.04E-05	3.36E-05
SSE	2.05E-03	1.40E-03	1.11E-03	7.72E-04	3.89E-04	1.49E-04	7.90E-05	5.16E-05	3.75E-05	2.92E-05	2.37E-05	1.98E-05
S	2.45E-03	1.76E-03	1.31E-03	8.76E-04	4.28E-04	1.62E-04	8.78E-05	5.84E-05	4.32E-05	3.39E-05	2.78E-05	2.35E-05
SSW	6.71E-04	6.45E-04	5.65E-04	4.30E-04	2.34E-04	9.41E-05	5.08E-05	3.35E-05	2.46E-05	1.92E-05	1.56E-05	1.31E-05
SW	8.15E-04	7.96E-04	6.69E-04	4.79E-04	2.46E-04	9.57E-05	5.20E-05	3.46E-05	2.55E-05	2.00E-05	1.64E-05	1.38E-05
WSW	9.20E-04	8.12E-04	6.55E-04	4.50E-04	2.20E-04	8.34E-05	4.58E-05	3.08E-05	2.29E-05	1.81E-05	1.49E-05	1.27E-05
W	1.19E-03	1.01E-03	8.02E-04	5.44E-04	2.62E-04	9.87E-05	5.37E-05	3.58E-05	2.65E-05	2.09E-05	1.72E-05	1.45E-05
WNW	1.03E-03	9.54E-04	7.42E-04	4.89E-04	2.29E-04	8.41E-05	4.73E-05	3.23E-05	2.43E-05	1.95E-05	1.62E-05	1.38E-05
NW	1.35E-03	1.19E-03	8.90E-04	5.64E-04	2.52E-04	9.08E-05	5.19E-05	3.59E-05	2.74E-05	2.20E-05	1.84E-05	1.58E-05
NNW	1.33E-03	1.20E-03	9.00E-04	5.76E-04	2.60E-04	9.51E-05	5.40E-05	3.72E-05	2.82E-05	2.26E-05	1.89E-05	1.61E-05

表 6.2-16 本项目一体化小型堆半径 80km 范围内年均活度浓度

核素： ^{14}C (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	2.91E-04	2.17E-04	1.51E-04	9.15E-05	3.95E-05	1.39E-05	7.89E-06	5.45E-06	4.15E-06	3.34E-06	2.79E-06	2.39E-06
NNE	3.90E-04	2.48E-04	1.66E-04	9.91E-05	4.23E-05	1.46E-05	8.25E-06	5.69E-06	4.32E-06	3.47E-06	2.90E-06	2.49E-06
NE	1.83E-04	1.37E-04	1.01E-04	6.40E-05	2.86E-05	1.03E-05	5.78E-06	3.96E-06	3.00E-06	2.40E-06	2.00E-06	1.71E-06
ENE	1.03E-04	7.86E-05	6.03E-05	4.03E-05	1.95E-05	7.30E-06	4.00E-06	2.68E-06	1.99E-06	1.57E-06	1.29E-06	1.10E-06
E	1.19E-04	7.61E-05	5.70E-05	3.88E-05	1.93E-05	7.41E-06	3.98E-06	2.63E-06	1.93E-06	1.51E-06	1.23E-06	1.04E-06
ESE	2.29E-04	1.61E-04	1.33E-04	9.76E-05	5.16E-05	2.04E-05	1.07E-05	6.93E-06	5.01E-06	3.87E-06	3.12E-06	2.60E-06
SE	2.40E-04	2.12E-04	1.95E-04	1.52E-04	8.29E-05	3.35E-05	1.75E-05	1.12E-05	8.09E-06	6.22E-06	5.01E-06	4.17E-06
SSE	2.55E-04	1.74E-04	1.37E-04	9.58E-05	4.83E-05	1.85E-05	9.80E-06	6.40E-06	4.65E-06	3.62E-06	2.94E-06	2.46E-06
S	3.04E-04	2.18E-04	1.62E-04	1.09E-04	5.31E-05	2.00E-05	1.09E-05	7.25E-06	5.35E-06	4.21E-06	3.45E-06	2.92E-06
SSW	8.32E-05	8.00E-05	7.00E-05	5.33E-05	2.91E-05	1.17E-05	6.30E-06	4.16E-06	3.05E-06	2.38E-06	1.94E-06	1.63E-06
SW	1.01E-04	9.88E-05	8.29E-05	5.94E-05	3.05E-05	1.19E-05	6.45E-06	4.29E-06	3.16E-06	2.48E-06	2.03E-06	1.72E-06
WSW	1.14E-04	1.01E-04	8.13E-05	5.58E-05	2.73E-05	1.03E-05	5.68E-06	3.82E-06	2.84E-06	2.25E-06	1.85E-06	1.57E-06
W	1.47E-04	1.25E-04	9.96E-05	6.75E-05	3.25E-05	1.22E-05	6.66E-06	4.45E-06	3.29E-06	2.60E-06	2.13E-06	1.80E-06
WNW	1.28E-04	1.18E-04	9.21E-05	6.07E-05	2.84E-05	1.04E-05	5.86E-06	4.01E-06	3.02E-06	2.41E-06	2.01E-06	1.71E-06
NW	1.67E-04	1.48E-04	1.10E-04	7.00E-05	3.13E-05	1.13E-05	6.44E-06	4.46E-06	3.39E-06	2.73E-06	2.28E-06	1.96E-06
NNW	1.65E-04	1.49E-04	1.12E-04	7.15E-05	3.23E-05	1.18E-05	6.70E-06	4.61E-06	3.50E-06	2.81E-06	2.34E-06	2.00E-06

表 6.2-17 全厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素： ^{85}Kr (Bq/m^3)

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	1.33E+00	6.99E-01	4.34E-01	2.41E-01	1.07E-01	4.79E-02	2.68E-02	1.84E-02	1.39E-02	1.12E-02	9.30E-03	7.96E-03
NNE	1.83E+00	8.62E-01	5.13E-01	2.78E-01	1.21E-01	5.42E-02	3.07E-02	2.12E-02	1.61E-02	1.30E-02	1.09E-02	9.35E-03
NE	2.11E+00	9.77E-01	5.94E-01	3.24E-01	1.33E-01	5.92E-02	3.31E-02	2.26E-02	1.71E-02	1.38E-02	1.15E-02	9.83E-03
ENE	7.49E-01	4.12E-01	2.75E-01	1.66E-01	7.49E-02	3.31E-02	1.81E-02	1.22E-02	9.15E-03	7.27E-03	6.02E-03	5.12E-03
E	8.63E-01	4.13E-01	2.86E-01	1.79E-01	8.16E-02	3.44E-02	1.80E-02	1.18E-02	8.60E-03	6.73E-03	5.48E-03	4.61E-03
ESE	1.31E+00	6.31E-01	4.33E-01	2.67E-01	1.18E-01	4.96E-02	2.59E-02	1.70E-02	1.25E-02	9.75E-03	7.97E-03	6.70E-03
SE	1.38E+00	7.22E-01	5.09E-01	3.19E-01	1.45E-01	6.14E-02	3.23E-02	2.13E-02	1.56E-02	1.22E-02	9.96E-03	8.39E-03
SSE	1.15E+00	5.93E-01	4.06E-01	2.51E-01	1.15E-01	5.01E-02	2.69E-02	1.80E-02	1.33E-02	1.05E-02	8.67E-03	7.35E-03
S	8.73E-01	4.51E-01	3.23E-01	2.08E-01	9.73E-02	4.06E-02	2.12E-02	1.38E-02	1.00E-02	7.82E-03	6.36E-03	5.35E-03
SSW	1.77E+00	8.21E-01	5.27E-01	3.09E-01	1.39E-01	6.13E-02	3.33E-02	2.24E-02	1.66E-02	1.32E-02	1.10E-02	9.27E-03
SW	8.36E-01	4.51E-01	3.02E-01	1.81E-01	8.40E-02	3.74E-02	2.05E-02	1.38E-02	1.04E-02	8.26E-03	6.84E-03	5.82E-03
WSW	6.02E-01	3.48E-01	2.51E-01	1.62E-01	7.70E-02	3.36E-02	1.80E-02	1.20E-02	8.89E-03	7.00E-03	5.76E-03	4.88E-03
W	6.15E-01	3.51E-01	2.43E-01	1.49E-01	6.86E-02	2.96E-02	1.59E-02	1.06E-02	7.84E-03	6.18E-03	5.09E-03	4.32E-03
WNW	7.55E-01	4.29E-01	2.79E-01	1.59E-01	7.00E-02	3.14E-02	1.76E-02	1.21E-02	9.18E-03	7.37E-03	6.15E-03	5.27E-03
NW	8.82E-01	5.06E-01	3.19E-01	1.77E-01	7.69E-02	3.49E-02	1.98E-02	1.38E-02	1.05E-02	8.49E-03	7.11E-03	6.11E-03
NNW	1.03E+00	5.67E-01	3.56E-01	1.99E-01	8.82E-02	3.99E-02	2.25E-02	1.55E-02	1.18E-02	9.48E-03	7.92E-03	6.79E-03

表 6.2-18 全厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素: ^{133}Xe (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	6.13E+00	3.16E+00	1.95E+00	1.07E+00	4.77E-01	2.12E-01	1.18E-01	7.93E-02	5.92E-02	4.68E-02	3.84E-02	3.25E-02
NNE	8.43E+00	3.92E+00	2.31E+00	1.24E+00	5.37E-01	2.43E-01	1.36E-01	9.22E-02	6.93E-02	5.51E-02	4.54E-02	3.84E-02
NE	9.94E+00	4.57E+00	2.75E+00	1.49E+00	6.07E-01	2.70E-01	1.49E-01	1.01E-01	7.57E-02	6.01E-02	4.96E-02	4.20E-02
ENE	3.50E+00	1.90E+00	1.27E+00	7.54E-01	3.37E-01	1.48E-01	7.96E-02	5.27E-02	3.88E-02	3.03E-02	2.47E-02	2.06E-02
E	4.03E+00	1.92E+00	1.32E+00	8.24E-01	3.70E-01	1.55E-01	8.00E-02	5.15E-02	3.71E-02	2.86E-02	2.30E-02	1.91E-02
ESE	6.09E+00	2.88E+00	1.96E+00	1.19E+00	5.17E-01	2.16E-01	1.11E-01	7.22E-02	5.22E-02	4.04E-02	3.25E-02	2.71E-02
SE	6.38E+00	3.28E+00	2.27E+00	1.40E+00	6.19E-01	2.61E-01	1.35E-01	8.76E-02	6.33E-02	4.89E-02	3.95E-02	3.29E-02
SSE	5.30E+00	2.70E+00	1.83E+00	1.12E+00	5.05E-01	2.19E-01	1.16E-01	7.62E-02	5.57E-02	4.34E-02	3.52E-02	2.94E-02
S	3.93E+00	1.98E+00	1.41E+00	9.01E-01	4.16E-01	1.72E-01	8.75E-02	5.57E-02	3.98E-02	3.05E-02	2.43E-02	2.01E-02
SSW	8.39E+00	3.86E+00	2.45E+00	1.43E+00	6.31E-01	2.76E-01	1.48E-01	9.77E-02	7.19E-02	5.63E-02	4.59E-02	3.85E-02
SW	3.91E+00	2.07E+00	1.37E+00	8.14E-01	3.72E-01	1.65E-01	8.86E-02	5.89E-02	4.35E-02	3.40E-02	2.78E-02	2.33E-02
WSW	2.79E+00	1.58E+00	1.13E+00	7.27E-01	3.41E-01	1.47E-01	7.75E-02	5.05E-02	3.67E-02	2.83E-02	2.28E-02	1.89E-02
W	2.82E+00	1.57E+00	1.08E+00	6.56E-01	2.99E-01	1.28E-01	6.76E-02	4.44E-02	3.24E-02	2.52E-02	2.04E-02	1.71E-02
WNW	3.51E+00	1.95E+00	1.25E+00	7.10E-01	3.08E-01	1.38E-01	7.65E-02	5.17E-02	3.87E-02	3.06E-02	2.52E-02	2.12E-02
NW	4.09E+00	2.30E+00	1.44E+00	7.83E-01	3.38E-01	1.54E-01	8.64E-02	5.91E-02	4.44E-02	3.53E-02	2.92E-02	2.47E-02
NNW	4.81E+00	2.59E+00	1.61E+00	8.90E-01	3.92E-01	1.77E-01	9.84E-02	6.68E-02	5.00E-02	3.96E-02	3.26E-02	2.76E-02

表 6.2-19 全厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素: ^{131}I (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	1.46E-04	7.02E-05	4.18E-05	2.17E-05	9.09E-06	3.80E-06	1.87E-06	1.16E-06	7.77E-07	5.96E-07	4.63E-07	3.51E-07
NNE	2.01E-04	8.68E-05	4.96E-05	2.52E-05	1.02E-05	4.29E-06	2.13E-06	1.31E-06	8.83E-07	6.76E-07	5.24E-07	3.96E-07
NE	2.35E-04	1.00E-04	5.85E-05	2.99E-05	1.15E-05	4.76E-06	2.33E-06	1.43E-06	9.59E-07	7.34E-07	5.68E-07	4.29E-07
ENE	8.30E-05	4.19E-05	2.70E-05	1.51E-05	6.39E-06	2.63E-06	1.25E-06	7.55E-07	4.99E-07	3.76E-07	2.88E-07	2.15E-07
E	9.55E-05	4.21E-05	2.82E-05	1.65E-05	7.00E-06	2.75E-06	1.26E-06	7.38E-07	4.78E-07	3.55E-07	2.69E-07	1.99E-07
ESE	1.45E-04	6.37E-05	4.20E-05	2.42E-05	9.89E-06	3.88E-06	1.79E-06	1.05E-06	6.85E-07	5.11E-07	3.90E-07	2.90E-07
SE	1.52E-04	7.26E-05	4.89E-05	2.84E-05	1.19E-05	4.71E-06	2.18E-06	1.29E-06	8.39E-07	6.27E-07	4.79E-07	3.57E-07
SSE	1.26E-04	5.97E-05	3.92E-05	2.26E-05	9.64E-06	3.91E-06	1.85E-06	1.11E-06	7.26E-07	5.46E-07	4.18E-07	3.13E-07
S	9.42E-05	4.43E-05	3.06E-05	1.85E-05	8.04E-06	3.13E-06	1.43E-06	8.33E-07	5.36E-07	3.98E-07	3.01E-07	2.23E-07
SSW	1.98E-04	8.47E-05	5.22E-05	2.86E-05	1.20E-05	4.92E-06	2.35E-06	1.42E-06	9.39E-07	7.10E-07	5.48E-07	4.12E-07
SW	9.28E-05	4.58E-05	2.94E-05	1.64E-05	7.09E-06	2.94E-06	1.41E-06	8.59E-07	5.70E-07	4.31E-07	3.33E-07	2.50E-07
WSW	6.62E-05	3.50E-05	2.43E-05	1.47E-05	6.52E-06	2.65E-06	1.25E-06	7.41E-07	4.85E-07	3.64E-07	2.78E-07	2.07E-07
W	6.72E-05	3.50E-05	2.34E-05	1.33E-05	5.72E-06	2.31E-06	1.08E-06	6.49E-07	4.27E-07	3.21E-07	2.46E-07	1.84E-07
WNW	8.35E-05	4.32E-05	2.70E-05	1.45E-05	5.90E-06	2.48E-06	1.23E-06	7.58E-07	5.11E-07	3.91E-07	3.05E-07	2.31E-07
NW	9.72E-05	5.09E-05	3.08E-05	1.59E-05	6.48E-06	2.76E-06	1.38E-06	8.65E-07	5.88E-07	4.53E-07	3.55E-07	2.69E-07
NNW	1.14E-04	5.73E-05	3.46E-05	1.81E-05	7.48E-06	3.16E-06	1.58E-06	9.76E-07	6.59E-07	5.07E-07	3.95E-07	2.99E-07

表 6.2-20 全厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素： ^{137}Cs (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	1.29E-04	6.15E-05	3.65E-05	1.89E-05	7.92E-06	3.35E-06	1.66E-06	1.03E-06	6.94E-07	5.33E-07	4.16E-07	3.16E-07
NNE	1.78E-04	7.62E-05	4.33E-05	2.19E-05	8.87E-06	3.77E-06	1.87E-06	1.16E-06	7.78E-07	5.95E-07	4.62E-07	3.49E-07
NE	2.11E-04	8.95E-05	5.20E-05	2.65E-05	1.01E-05	4.23E-06	2.08E-06	1.28E-06	8.56E-07	6.54E-07	5.08E-07	3.84E-07
ENE	7.42E-05	3.72E-05	2.39E-05	1.34E-05	5.62E-06	2.33E-06	1.11E-06	6.72E-07	4.44E-07	3.36E-07	2.58E-07	1.93E-07
E	8.54E-05	3.74E-05	2.50E-05	1.47E-05	6.19E-06	2.44E-06	1.12E-06	6.57E-07	4.26E-07	3.17E-07	2.41E-07	1.79E-07
ESE	1.29E-04	5.62E-05	3.68E-05	2.10E-05	8.53E-06	3.36E-06	1.55E-06	9.20E-07	6.01E-07	4.51E-07	3.44E-07	2.57E-07
SE	1.35E-04	6.38E-05	4.23E-05	2.44E-05	1.01E-05	4.02E-06	1.87E-06	1.11E-06	7.26E-07	5.46E-07	4.18E-07	3.12E-07
SSE	1.12E-04	5.23E-05	3.42E-05	1.96E-05	8.33E-06	3.40E-06	1.61E-06	9.68E-07	6.38E-07	4.81E-07	3.69E-07	2.76E-07
S	8.21E-05	3.80E-05	2.61E-05	1.57E-05	6.84E-06	2.69E-06	1.23E-06	7.20E-07	4.67E-07	3.47E-07	2.63E-07	1.96E-07
SSW	1.79E-04	7.60E-05	4.67E-05	2.55E-05	1.06E-05	4.39E-06	2.11E-06	1.28E-06	8.48E-07	6.44E-07	4.98E-07	3.76E-07
SW	8.31E-05	4.05E-05	2.58E-05	1.44E-05	6.18E-06	2.58E-06	1.25E-06	7.60E-07	5.05E-07	3.84E-07	2.97E-07	2.24E-07
WSW	5.88E-05	3.07E-05	2.12E-05	1.28E-05	5.69E-06	2.33E-06	1.10E-06	6.58E-07	4.31E-07	3.25E-07	2.49E-07	1.86E-07
W	5.93E-05	3.04E-05	2.01E-05	1.15E-05	4.91E-06	2.00E-06	9.45E-07	5.66E-07	3.73E-07	2.81E-07	2.16E-07	1.62E-07
WNW	7.42E-05	3.80E-05	2.35E-05	1.25E-05	5.11E-06	2.18E-06	1.08E-06	6.71E-07	4.53E-07	3.49E-07	2.73E-07	2.07E-07
NW	8.62E-05	4.46E-05	2.68E-05	1.38E-05	5.62E-06	2.42E-06	1.22E-06	7.68E-07	5.22E-07	4.05E-07	3.18E-07	2.43E-07
NNW	1.02E-04	5.04E-05	3.02E-05	1.57E-05	6.52E-06	2.79E-06	1.39E-06	8.69E-07	5.89E-07	4.54E-07	3.55E-07	2.71E-07

表 6.2-21 全厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素：氡 (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	1.91E-01	9.82E-02	6.04E-02	3.32E-02	1.49E-02	6.75E-03	3.78E-03	2.59E-03	1.96E-03	1.57E-03	1.31E-03	1.12E-03
NNE	2.63E-01	1.22E-01	7.18E-02	3.86E-02	1.68E-02	7.70E-03	4.36E-03	3.01E-03	2.29E-03	1.85E-03	1.55E-03	1.33E-03
NE	3.13E-01	1.43E-01	8.63E-02	4.68E-02	1.91E-02	8.61E-03	4.80E-03	3.29E-03	2.49E-03	2.00E-03	1.67E-03	1.43E-03
ENE	1.10E-01	5.95E-02	3.96E-02	2.37E-02	1.06E-02	4.76E-03	2.61E-03	1.76E-03	1.31E-03	1.05E-03	8.66E-04	7.37E-04
E	1.27E-01	5.99E-02	4.14E-02	2.58E-02	1.17E-02	4.96E-03	2.59E-03	1.69E-03	1.24E-03	9.65E-04	7.87E-04	6.62E-04
ESE	1.91E-01	8.98E-02	6.09E-02	3.70E-02	1.60E-02	6.79E-03	3.55E-03	2.33E-03	1.71E-03	1.34E-03	1.10E-03	9.24E-04
SE	2.00E-01	1.02E-01	7.02E-02	4.30E-02	1.90E-02	8.11E-03	4.27E-03	2.81E-03	2.07E-03	1.62E-03	1.33E-03	1.12E-03
SSE	1.66E-01	8.37E-02	5.66E-02	3.46E-02	1.57E-02	6.92E-03	3.73E-03	2.50E-03	1.85E-03	1.47E-03	1.21E-03	1.03E-03
S	1.21E-01	6.06E-02	4.32E-02	2.77E-02	1.29E-02	5.45E-03	2.82E-03	1.83E-03	1.33E-03	1.04E-03	8.41E-04	7.06E-04
SSW	2.65E-01	1.22E-01	7.74E-02	4.49E-02	2.00E-02	8.86E-03	4.82E-03	3.24E-03	2.41E-03	1.92E-03	1.58E-03	1.35E-03
SW	1.23E-01	6.49E-02	4.28E-02	2.53E-02	1.16E-02	5.24E-03	2.88E-03	1.95E-03	1.46E-03	1.16E-03	9.63E-04	8.21E-04
WSW	8.71E-02	4.91E-02	3.52E-02	2.26E-02	1.07E-02	4.73E-03	2.53E-03	1.68E-03	1.25E-03	9.81E-04	8.07E-04	6.83E-04
W	8.79E-02	4.87E-02	3.34E-02	2.02E-02	9.23E-03	4.04E-03	2.17E-03	1.44E-03	1.07E-03	8.44E-04	6.95E-04	5.90E-04
WNW	1.10E-01	6.08E-02	3.89E-02	2.20E-02	9.59E-03	4.38E-03	2.46E-03	1.69E-03	1.28E-03	1.03E-03	8.61E-04	7.38E-04
NW	1.28E-01	7.13E-02	4.44E-02	2.42E-02	1.05E-02	4.88E-03	2.78E-03	1.93E-03	1.47E-03	1.19E-03	9.96E-04	8.57E-04
NNW	1.51E-01	8.06E-02	5.00E-02	2.76E-02	1.22E-02	5.62E-03	3.17E-03	2.19E-03	1.66E-03	1.34E-03	1.12E-03	9.59E-04

表 6.2-22 全厂址半径 80km 范围内年均活度浓度

核素： ^{14}C (Bq/m^3)

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	2.31E-02	1.19E-02	7.31E-03	4.02E-03	1.80E-03	8.18E-04	4.57E-04	3.14E-04	2.37E-04	1.90E-04	1.59E-04	1.36E-04
NNE	3.19E-02	1.47E-02	8.70E-03	4.68E-03	2.03E-03	9.32E-04	5.28E-04	3.65E-04	2.78E-04	2.24E-04	1.87E-04	1.61E-04
NE	3.79E-02	1.73E-02	1.05E-02	5.67E-03	2.31E-03	1.04E-03	5.82E-04	3.99E-04	3.02E-04	2.42E-04	2.02E-04	1.73E-04
ENE	1.33E-02	7.21E-03	4.80E-03	2.86E-03	1.29E-03	5.77E-04	3.16E-04	2.13E-04	1.59E-04	1.27E-04	1.05E-04	8.93E-05
E	1.53E-02	7.25E-03	5.02E-03	3.13E-03	1.41E-03	6.01E-04	3.13E-04	2.05E-04	1.50E-04	1.17E-04	9.54E-05	8.02E-05
ESE	2.31E-02	1.09E-02	7.37E-03	4.49E-03	1.94E-03	8.22E-04	4.30E-04	2.82E-04	2.07E-04	1.62E-04	1.33E-04	1.12E-04
SE	2.42E-02	1.23E-02	8.50E-03	5.20E-03	2.30E-03	9.82E-04	5.17E-04	3.41E-04	2.51E-04	1.97E-04	1.61E-04	1.36E-04
SSE	2.01E-02	1.01E-02	6.86E-03	4.19E-03	1.90E-03	8.38E-04	4.52E-04	3.02E-04	2.25E-04	1.78E-04	1.46E-04	1.24E-04
S	1.47E-02	7.34E-03	5.23E-03	3.35E-03	1.56E-03	6.60E-04	3.41E-04	2.22E-04	1.61E-04	1.25E-04	1.02E-04	8.55E-05
SSW	3.21E-02	1.47E-02	9.37E-03	5.44E-03	2.42E-03	1.07E-03	5.83E-04	3.92E-04	2.92E-04	2.32E-04	1.92E-04	1.63E-04
SW	1.49E-02	7.86E-03	5.18E-03	3.07E-03	1.41E-03	6.35E-04	3.49E-04	2.36E-04	1.77E-04	1.41E-04	1.17E-04	9.94E-05
WSW	1.05E-02	5.95E-03	4.26E-03	2.74E-03	1.30E-03	5.73E-04	3.07E-04	2.04E-04	1.51E-04	1.19E-04	9.77E-05	8.27E-05
W	1.06E-02	5.90E-03	4.04E-03	2.45E-03	1.12E-03	4.89E-04	2.62E-04	1.75E-04	1.30E-04	1.02E-04	8.42E-05	7.14E-05
WNW	1.33E-02	7.36E-03	4.71E-03	2.67E-03	1.16E-03	5.31E-04	2.98E-04	2.05E-04	1.55E-04	1.25E-04	1.04E-04	8.93E-05
NW	1.55E-02	8.64E-03	5.37E-03	2.93E-03	1.28E-03	5.90E-04	3.37E-04	2.34E-04	1.78E-04	1.44E-04	1.21E-04	1.04E-04
NNW	1.83E-02	9.76E-03	6.06E-03	3.34E-03	1.48E-03	6.80E-04	3.84E-04	2.65E-04	2.01E-04	1.62E-04	1.35E-04	1.16E-04

表 6.2-23 本项目所致总排放口放射性核素浓度

放射性核素	I~IV类海域 浓度标准 (Bq/L)	单机组排放量 (Bq/a)	最大排放浓度 (Bq/L)	年均浓度 (Bq/L)
^{60}Co	0.03	1.21E+06	8.89E-05	1.84E-07
^{90}Sr	4	2.84E+04	2.09E-06	4.33E-09
^{106}Ru	0.2	1.67E+04	1.23E-06	2.55E-09
^{134}Cs	0.6	7.59E+07	5.57E-03	1.16E-05
^{137}Cs	0.7	1.17E+08	8.59E-03	1.78E-05

表 6.2-24 全厂址总排放口放射性核素浓度

放射性核素	I~IV类海域 浓度标准 (Bq/L)	本项目最大排 放浓度 (Bq/L)	1~6号机组最 大排放浓度 (Bq/L)	全厂总排放口 年均浓度 (Bq/L)
^{60}Co	0.03	8.89E-05	1.30E-03	1.39E-03
^{90}Sr	4	2.09E-06	3.34E-06	5.43E-06
^{106}Ru	0.2	1.23E-06	1.07E-06	2.30E-06
^{134}Cs	0.6	5.57E-03	4.84E-02	5.40E-02
^{137}Cs	0.7	8.59E-03	3.90E-02	4.76E-02

*取自《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程环境影响报告书（选址阶段）》。

表 6.2-25 本项目所致最大个人有效剂量汇总（设计排放源项）（mSv/a）

途径 \ 年龄组别		婴儿	儿童	青少年	成人	渔民
居民组	气态	1.95E-04	3.57E-04	1.88E-04	1.67E-04	1.46E-04
	液态	5.13E-06	3.33E-05	3.30E-05	2.61E-05	2.94E-05
	合计	2.00E-04	3.90E-04	2.21E-04	1.93E-04	1.75E-04

表 6.2-26 全厂所有机组所致最大个人有效剂量汇总（mSv/a）

剂量 \ 年龄组别		婴儿	儿童	青少年	成人	渔民
剂量	本项目	2.55E-04	3.90E-04	2.72E-04	2.37E-04	2.13E-04
	1~6 号机组*	6.64E-03	1.30E-02	1.01E-02	9.57E-03	9.85E-03
	合计	6.90E-03	1.34E-02	1.04E-02	9.81E-03	1.01E-02

*: 数值取自《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程环境影响报告书（选址阶段）》。

表 6.2-27 本项目水生生物外照射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)

水生生物 核素	底层鱼	软体动物	甲壳类	大型海藻	浅海鱼	浮游植物	多毛类	脉管类植物	浮游动物	鸟类
^{51}Cr	2.01E-06	2.14E-06	1.94E-06	2.16E-06	2.97E-11	3.38E-11	4.34E-06	2.14E-06	3.35E-11	1.41E-11
^{54}Mn	1.50E-06	1.59E-06	1.45E-06	1.60E-06	2.95E-10	3.28E-10	3.21E-06	1.58E-06	3.27E-10	1.42E-10
^{55}Fe	9.75E-11	4.05E-10	1.14E-10	3.03E-10	2.52E-14	6.28E-13	9.73E-10	3.49E-10	3.94E-13	9.62E-15
^{59}Fe	1.07E-06	1.12E-06	1.03E-06	1.14E-06	2.10E-10	2.38E-10	2.27E-06	1.12E-06	2.33E-10	1.01E-10
^{58}Co	4.39E-07	4.64E-07	4.23E-07	4.69E-07	1.08E-08	1.22E-08	9.27E-07	4.63E-07	1.20E-08	5.17E-09
^{60}Co	3.06E-08	3.21E-08	2.96E-08	3.24E-08	7.52E-10	8.33E-10	6.40E-08	3.20E-08	8.27E-10	3.62E-10
^{65}Zn	4.83E-06	5.09E-06	4.67E-06	5.12E-06	5.11E-11	5.66E-11	1.03E-05	5.07E-06	5.64E-11	2.46E-11
^{83}Br	2.51E-11	4.42E-11	2.20E-11	9.42E-11	4.58E-13	9.63E-12	1.30E-10	4.09E-11	3.79E-12	2.01E-13
^{84}Br	4.36E-10	4.83E-10	4.05E-10	5.33E-10	8.21E-12	1.38E-11	1.00E-09	4.74E-10	1.28E-11	3.91E-12
^{88}Rb	6.38E-08	8.51E-08	5.20E-08	1.05E-07	1.88E-10	5.95E-10	1.91E-07	8.05E-08	5.41E-10	8.48E-11
^{89}Rb	5.78E-09	6.28E-09	5.45E-09	6.95E-09	1.92E-11	3.23E-11	1.31E-08	6.21E-09	2.83E-11	9.16E-12
^{89}Sr	3.31E-11	6.15E-11	1.85E-11	1.67E-10	1.28E-12	3.75E-11	1.88E-10	5.52E-11	2.07E-11	4.80E-13
^{90}Sr	1.09E-11	1.69E-11	5.13E-12	4.06E-11	3.63E-13	7.13E-12	4.68E-11	1.51E-11	4.78E-12	1.33E-13
^{91}Sr	4.41E-11	4.87E-11	4.10E-11	5.74E-11	2.55E-12	5.53E-12	1.01E-10	4.80E-11	4.39E-12	1.21E-12
^{92}Sr	4.58E-12	5.12E-12	4.17E-12	5.92E-12	2.59E-13	5.05E-13	1.06E-11	5.01E-12	4.54E-13	1.23E-13
^{90}Y	1.15E-10	1.76E-10	5.36E-11	4.23E-10	1.25E-14	2.30E-13	5.03E-10	1.58E-10	1.63E-13	4.59E-15
^{91}Y	1.58E-09	2.77E-09	9.28E-10	7.22E-09	2.09E-13	5.14E-12	8.48E-09	2.50E-09	2.92E-12	8.10E-14
$^{91\text{m}}\text{Y}$	3.14E-10	3.46E-10	2.95E-10	4.04E-10	6.04E-14	1.29E-13	7.36E-10	3.42E-10	1.00E-13	2.86E-14
^{92}Y	4.02E-10	5.25E-10	3.00E-10	7.78E-10	6.39E-14	2.99E-13	1.24E-09	4.93E-10	2.54E-13	2.82E-14
^{93}Y	2.06E-10	2.74E-10	1.37E-10	4.88E-10	2.96E-14	2.15E-13	6.91E-10	2.54E-10	1.70E-13	1.26E-14
^{95}Zr	8.42E-08	8.90E-08	8.11E-08	9.00E-08	1.65E-11	1.88E-11	1.80E-07	8.87E-08	1.85E-11	7.92E-12
^{95}Nb	3.85E-08	4.06E-08	3.71E-08	4.10E-08	7.55E-12	8.44E-12	8.21E-08	4.05E-08	8.39E-12	3.62E-12
^{99}Mo	3.00E-06	3.33E-06	2.85E-06	3.83E-06	5.84E-10	1.34E-09	7.10E-06	3.30E-06	9.50E-10	2.77E-10
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	3.13E-09	3.37E-09	3.02E-09	3.39E-09	2.31E-11	2.65E-11	6.78E-09	3.35E-09	2.61E-11	1.10E-11

¹⁰³ Ru	9.03E-10	9.59E-10	8.68E-10	9.70E-10	4.21E-12	4.82E-12	1.94E-09	9.56E-10	4.73E-12	2.01E-12
¹⁰⁶ Ru	3.62E-10	4.73E-10	2.61E-10	7.41E-10	1.33E-12	6.99E-12	1.14E-09	4.43E-10	5.85E-12	5.81E-13
^{103m} Rh	1.29E-15	2.38E-15	1.00E-15	2.79E-15	1.09E-17	4.88E-17	5.55E-15	2.31E-15	3.64E-17	4.07E-18
¹⁰⁶ Rh	3.13E-15	4.09E-15	2.26E-15	6.40E-15	2.29E-17	1.21E-16	9.81E-15	3.83E-15	1.01E-16	1.00E-17
^{110m} Ag	1.08E-05	1.14E-05	1.04E-05	1.15E-05	2.12E-09	2.39E-09	2.30E-05	1.14E-05	2.36E-09	1.02E-09
¹²⁴ Sb	1.49E-06	1.58E-06	1.43E-06	1.63E-06	2.92E-10	3.68E-10	3.21E-06	1.57E-06	3.48E-10	1.40E-10
^{127m} Te	4.39E-10	6.71E-10	3.89E-10	1.05E-09	8.32E-13	9.25E-12	1.64E-09	6.40E-10	3.57E-12	3.56E-13
¹²⁹ Te	2.50E-11	3.27E-11	2.15E-11	5.50E-11	4.49E-14	3.24E-13	8.15E-11	3.13E-11	1.87E-13	2.04E-14
^{129m} Te	8.20E-09	1.06E-08	7.00E-09	1.74E-08	1.46E-11	9.65E-11	2.60E-08	1.02E-08	5.79E-11	6.64E-12
¹³¹ Te	1.16E-10	1.28E-10	1.09E-10	1.47E-10	2.23E-13	4.45E-13	2.69E-10	1.26E-10	3.58E-13	1.06E-13
¹²⁹ I	4.47E-08	4.75E-08	4.29E-08	4.90E-08	8.75E-11	1.11E-10	9.66E-08	4.73E-08	1.04E-10	4.18E-11
¹³² Te	1.23E-06	1.31E-06	1.18E-06	1.36E-06	2.40E-09	3.09E-09	2.67E-06	1.30E-06	2.88E-09	1.15E-09
¹³⁴ Te	1.82E-09	1.94E-09	1.75E-09	2.00E-09	3.56E-12	4.58E-12	3.94E-09	1.93E-09	4.26E-12	1.70E-12
¹²⁹ I	9.24E-17	1.21E-16	7.91E-17	1.26E-16	8.61E-17	1.60E-16	1.27E-16	1.19E-16	1.43E-16	3.57E-17
¹³⁰ I	4.68E-11	4.96E-11	4.50E-11	5.05E-11	4.59E-11	5.52E-11	5.03E-11	4.94E-11	5.24E-11	2.20E-11
¹³¹ I	3.12E-08	3.34E-08	3.00E-08	3.43E-08	3.06E-08	4.16E-08	3.39E-08	3.32E-08	3.62E-08	1.46E-08
¹³² I	9.96E-10	1.06E-09	9.55E-10	1.10E-09	9.74E-10	1.26E-09	1.08E-09	1.05E-09	1.17E-09	4.66E-10
¹³³ I	1.08E-08	1.18E-08	1.04E-08	1.26E-08	1.06E-08	1.77E-08	1.22E-08	1.17E-08	1.43E-08	5.03E-09
¹³⁴ I	2.76E-10	2.93E-10	2.65E-10	3.05E-10	2.70E-10	3.51E-10	2.99E-10	2.92E-10	3.26E-10	1.29E-10
¹³⁵ I	5.68E-09	6.04E-09	5.48E-09	6.25E-09	5.58E-09	7.59E-09	6.16E-09	6.01E-09	6.70E-09	2.68E-09
¹³⁴ Cs	2.08E-06	2.20E-06	2.00E-06	2.23E-06	2.89E-08	3.38E-08	4.42E-06	2.19E-06	3.26E-08	1.38E-08
¹³⁶ Cs	6.46E-07	6.82E-07	6.23E-07	6.89E-07	9.01E-09	1.02E-08	1.37E-06	6.80E-07	1.00E-08	4.32E-09
¹³⁷ Cs	1.16E-06	1.24E-06	1.12E-06	1.28E-06	1.62E-08	2.23E-08	2.52E-06	1.24E-06	1.95E-08	7.73E-09
¹³⁸ Cs	1.76E-08	1.90E-08	1.65E-08	2.10E-08	2.39E-10	3.76E-10	3.93E-08	1.88E-08	3.48E-10	1.14E-10
^{137m} Ba	3.20E-05	3.40E-05	3.07E-05	3.47E-05	1.18E-08	1.43E-08	6.91E-05	3.38E-05	1.36E-08	5.62E-09
¹⁴⁰ Ba	2.82E-07	3.00E-07	2.72E-07	3.13E-07	1.04E-10	1.41E-10	6.13E-07	2.98E-07	1.27E-10	4.99E-11
¹⁴⁰ La	2.11E-05	2.23E-05	2.03E-05	2.31E-05	5.18E-12	6.70E-12	4.55E-05	2.22E-05	6.18E-12	2.49E-12
¹⁴¹ Ce	3.57E-09	3.94E-09	3.43E-09	4.18E-09	7.04E-13	1.33E-12	8.06E-09	3.91E-09	9.36E-13	3.32E-13

^{143}Ce	1.06E-09	1.21E-09	9.94E-10	1.47E-09	2.04E-13	6.29E-13	2.65E-09	1.19E-09	3.91E-13	9.59E-14
^{144}Ce	1.04E-08	1.46E-08	6.06E-09	2.83E-08	1.35E-12	1.32E-11	3.82E-08	1.34E-08	1.03E-11	5.46E-13
^{143}Pr	3.16E-10	8.18E-10	2.44E-10	2.23E-09	5.39E-14	2.66E-12	2.83E-09	7.29E-10	9.82E-13	2.09E-14
^{144}Pr	5.63E-12	8.12E-12	3.08E-12	1.62E-11	6.94E-16	7.67E-15	2.16E-11	7.37E-12	6.00E-15	2.74E-16
^3H	1.77E-12	6.58E-12	2.13E-14	5.06E-09	2.39E-14	4.05E-10	6.56E-12	6.01E-12	4.67E-13	4.15E-13
^{14}C	2.83E-11	1.13E-10	3.37E-11	3.38E-10	3.69E-11	2.64E-09	1.13E-10	9.79E-11	6.76E-10	1.42E-11

表 6.2-28 本项目水生生物内照射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)

水生生物 核素	底层鱼	软体动物	甲壳类	大型海藻	浅海鱼	浮游植物	多毛类	脉管类植物	浮游动物	鸟类
^{51}Cr	1.56E-09	1.37E-08	8.35E-10	6.18E-08	1.61E-09	4.65E-08	1.33E-08	6.34E-08	6.24E-09	1.75E-08
^{54}Mn	2.22E-08	1.64E-07	2.36E-07	1.04E-07	2.58E-08	1.75E-08	3.80E-08	5.04E-07	1.46E-08	2.07E-07
^{55}Fe	3.43E-07	5.68E-06	5.71E-06	2.28E-07	3.43E-07	4.33E-06	5.67E-06	4.55E-06	7.73E-06	8.00E-06
^{59}Fe	1.23E-06	1.49E-05	2.40E-05	5.53E-07	1.33E-06	6.75E-06	1.38E-05	1.22E-05	1.54E-05	3.67E-05
^{58}Co	6.11E-06	3.35E-06	2.47E-06	1.51E-06	6.88E-06	1.04E-06	4.71E-06	1.79E-06	1.80E-06	7.75E-07
^{60}Co	5.24E-07	2.83E-07	2.13E-07	1.05E-07	5.92E-07	8.11E-08	4.00E-07	1.23E-07	1.53E-07	6.67E-08
^{65}Zn	1.41E-07	2.59E-07	2.17E-06	6.17E-09	1.61E-07	1.60E-08	6.88E-08	7.29E-09	1.71E-07	2.05E-07
^{83}Br	2.46E-13	4.97E-11	5.11E-11	4.66E-11	2.47E-13	1.10E-11	2.34E-11	2.42E-11	4.07E-11	5.12E-11
^{84}Br	8.40E-14	1.45E-11	1.92E-11	1.14E-11	9.02E-14	6.63E-13	6.32E-12	7.26E-12	4.56E-12	1.99E-11
^{88}Rb	3.28E-09	5.46E-09	7.40E-09	4.32E-09	3.53E-09	3.28E-10	4.84E-09	5.73E-09	1.25E-09	7.56E-09
^{89}Rb	1.17E-10	2.11E-10	2.59E-10	1.72E-10	1.23E-10	2.99E-11	1.95E-10	2.16E-10	9.80E-11	2.67E-10
^{89}Sr	6.21E-10	3.11E-09	3.58E-10	1.22E-09	6.32E-10	1.35E-09	1.16E-11	1.46E-09	7.00E-11	4.54E-09
^{90}Sr	1.84E-10	9.19E-10	1.09E-10	2.61E-10	1.91E-10	3.26E-10	3.39E-12	3.26E-10	1.79E-11	1.38E-09
^{91}Sr	7.80E-11	3.74E-10	4.65E-11	1.08E-10	8.08E-11	1.13E-10	1.37E-12	1.33E-10	7.68E-12	5.98E-10
^{92}Sr	5.98E-12	2.73E-11	3.70E-12	7.50E-12	6.38E-12	6.73E-12	9.74E-14	9.81E-12	3.81E-13	4.78E-11
^{90}Y	4.73E-13	1.79E-11	1.99E-11	1.79E-10	4.94E-13	2.64E-11	8.35E-11	2.35E-10	7.47E-12	1.00E-10
^{91}Y	1.45E-10	5.57E-09	5.94E-09	2.34E-08	1.48E-10	5.01E-09	2.64E-08	2.81E-08	3.20E-09	2.98E-08
$^{91\text{m}}\text{Y}$	1.97E-12	7.24E-11	8.26E-11	3.04E-10	2.03E-12	6.37E-11	3.40E-10	3.66E-10	4.10E-11	4.22E-10
^{92}Y	5.87E-12	2.10E-10	2.55E-10	7.98E-10	6.27E-12	8.08E-11	9.55E-10	1.08E-09	6.13E-11	1.29E-09
^{93}Y	4.76E-12	1.76E-10	2.04E-10	6.68E-10	5.03E-12	8.12E-11	8.12E-10	9.02E-10	6.07E-11	1.03E-09
^{95}Zr	2.06E-10	8.40E-09	6.38E-10	3.65E-09	2.23E-10	4.69E-08	7.78E-09	2.84E-09	3.02E-08	2.69E-10
^{95}Nb	5.47E-11	3.64E-10	8.12E-11	3.40E-10	6.09E-11	3.68E-10	3.23E-10	3.89E-10	6.26E-09	7.97E-10
^{99}Mo	1.05E-08	9.81E-09	1.08E-08	8.82E-09	1.06E-08	3.06E-09	9.39E-09	9.88E-09	6.96E-09	1.09E-08
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	5.64E-10	4.35E-08	1.36E-07	2.75E-07	5.88E-10	1.97E-11	8.68E-08	2.88E-07	4.40E-10	1.48E-07

¹⁰³ Ru	2.18E-11	1.10E-09	2.98E-10	1.11E-09	2.29E-11	1.51E-07	1.05E-09	1.17E-09	2.00E-08	1.60E-09
¹⁰⁶ Ru	1.38E-10	7.73E-09	1.84E-09	4.61E-09	1.47E-10	9.02E-08	7.05E-09	6.26E-09	5.07E-08	9.43E-09
^{103m} Rh	1.00E-14	1.99E-12	2.01E-12	1.98E-12	1.00E-14	1.93E-12	1.98E-12	1.99E-12	1.96E-12	2.01E-12
¹⁰⁶ Rh	1.13E-20	2.04E-18	2.43E-18	4.61E-18	1.20E-20	4.69E-19	1.86E-18	6.29E-18	6.11E-19	2.47E-18
^{110m} Ag	7.03E-07	4.38E-06	4.99E-06	1.62E-07	8.02E-07	2.43E-06	3.10E-06	2.01E-07	1.07E-06	7.78E-06
¹²⁴ Sb	1.34E-08	2.46E-08	9.22E-08	8.05E-09	1.43E-08	1.46E-08	5.98E-08	9.77E-09	3.27E-08	5.81E-07
^{127m} Te	2.13E-08	2.08E-08	2.14E-08	2.01E-07	2.13E-08	1.68E-07	2.05E-08	2.09E-07	1.86E-08	1.78E-07
¹²⁹ Te	3.61E-10	3.46E-10	3.68E-10	3.01E-09	3.66E-10	1.15E-09	3.30E-10	3.49E-09	2.24E-10	3.07E-09
^{129m} Te	5.97E-08	5.71E-08	6.09E-08	7.28E-07	6.06E-08	3.31E-07	5.47E-08	8.40E-07	3.77E-08	5.09E-07
¹³¹ Te	2.81E-10	2.58E-10	2.96E-10	2.20E-09	2.91E-10	9.02E-10	2.45E-10	2.62E-09	1.55E-10	2.51E-09
¹²⁹ I	3.50E-08	2.93E-08	3.85E-08	2.64E-07	3.68E-08	1.68E-07	2.76E-08	2.97E-07	2.07E-08	3.37E-07
¹³² Te	8.35E-08	6.80E-08	9.32E-08	1.49E-06	8.85E-08	7.19E-07	6.31E-08	1.74E-06	4.21E-08	8.20E-07
¹³⁴ Te	1.22E-09	9.88E-10	1.36E-09	8.55E-09	1.29E-09	3.64E-09	9.15E-10	1.01E-08	5.99E-10	1.20E-08
¹²⁹ I	1.87E-15	6.89E-15	1.92E-15	2.00E-12	1.90E-15	4.35E-13	6.80E-15	2.02E-12	1.41E-12	3.68E-16
¹³⁰ I	3.98E-11	1.15E-10	4.61E-11	3.01E-08	4.29E-11	2.56E-09	1.05E-10	3.45E-08	1.62E-08	9.46E-12
¹³¹ I	1.56E-08	5.41E-08	1.65E-08	3.18E-05	1.60E-08	4.29E-06	5.24E-08	3.37E-05	9.79E-06	3.23E-09
¹³² I	3.60E-12	1.12E-11	4.06E-12	8.25E-09	3.84E-12	4.59E-10	1.03E-11	9.97E-09	1.32E-09	8.16E-13
¹³³ I	1.11E-09	3.96E-09	1.16E-09	3.00E-06	1.14E-09	3.19E-07	3.80E-09	3.32E-06	6.33E-07	2.25E-10
¹³⁴ I	3.14E-10	9.80E-10	3.54E-10	2.39E-07	3.35E-10	1.17E-08	8.97E-10	2.93E-07	1.10E-07	7.10E-11
¹³⁵ I	9.52E-09	3.21E-08	1.02E-08	8.49E-06	9.88E-09	7.13E-07	3.03E-08	9.51E-06	4.87E-06	2.02E-09
¹³⁴ Cs	5.10E-07	2.82E-07	2.86E-07	4.77E-07	5.54E-07	2.33E-07	7.03E-07	9.89E-08	3.23E-07	3.66E-06
¹³⁶ Cs	3.98E-08	2.03E-08	2.31E-08	6.23E-08	4.39E-08	3.68E-08	4.97E-08	1.30E-08	2.23E-08	3.00E-07
¹³⁷ Cs	8.17E-07	5.53E-07	4.15E-07	9.34E-07	8.43E-07	4.81E-07	1.44E-06	1.87E-07	7.17E-07	5.05E-06
¹³⁸ Cs	1.17E-08	7.64E-09	6.20E-09	1.05E-08	1.26E-08	1.26E-09	1.89E-08	2.62E-09	4.08E-09	7.53E-08
^{137m} Ba	3.63E-12	1.55E-11	8.46E-12	7.73E-12	3.94E-12	7.91E-12	4.20E-14	9.53E-13	3.75E-12	3.06E-11
¹⁴⁰ Ba	3.55E-10	1.84E-09	7.60E-10	5.96E-10	3.70E-10	1.30E-09	5.30E-12	7.00E-11	5.46E-10	2.63E-09
¹⁴⁰ La	1.01E-09	8.22E-10	5.65E-10	1.85E-09	1.07E-09	4.16E-10	7.58E-10	2.21E-09	4.63E-10	1.18E-09
¹⁴¹ Ce	1.18E-10	2.07E-09	3.38E-09	2.83E-09	1.18E-10	8.75E-08	3.17E-09	2.22E-10	5.19E-09	2.21E-09

¹⁴³ Ce	7.41E-11	1.29E-09	2.14E-09	1.12E-09	7.49E-11	1.80E-08	1.92E-09	9.44E-11	2.62E-09	1.40E-09
¹⁴⁴ Ce	1.41E-09	2.42E-08	4.26E-08	1.91E-08	1.49E-09	1.63E-07	3.46E-08	1.92E-09	2.59E-08	2.78E-08
¹⁴³ Pr	1.01E-10	3.92E-09	4.04E-09	1.82E-08	1.01E-10	7.14E-09	1.90E-08	1.97E-08	3.10E-09	2.02E-08
¹⁴⁴ Pr	1.78E-13	6.64E-12	7.63E-12	2.51E-11	1.89E-13	2.92E-12	3.05E-11	3.39E-11	2.25E-12	3.85E-11
³ H	1.66E-05	1.66E-05	1.66E-05	1.67E-05	1.66E-05	1.67E-05	1.66E-05	1.67E-05	1.66E-05	1.66E-05
¹⁴ C	5.49E-04	4.56E-04	4.57E-04	3.63E-04	5.48E-04	2.41E-04	4.56E-04	3.65E-04	4.51E-04	7.77E-05

表 6.2-29 本项目水生生物总辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)

水生生物 核素	底层鱼	软体动物	甲壳类	大型海藻	浅海鱼	浮游植物	多毛类	脉管类植物	浮游动物	鸟类
^{51}Cr	2.01E-06	2.16E-06	1.94E-06	2.22E-06	1.64E-09	4.65E-08	4.35E-06	2.20E-06	6.27E-09	1.75E-08
^{54}Mn	1.53E-06	1.75E-06	1.69E-06	1.70E-06	2.61E-08	1.78E-08	3.24E-06	2.09E-06	1.49E-08	2.07E-07
^{55}Fe	3.43E-07	5.68E-06	5.71E-06	2.28E-07	3.43E-07	4.33E-06	5.67E-06	4.55E-06	7.73E-06	8.00E-06
^{59}Fe	2.30E-06	1.60E-05	2.51E-05	1.69E-06	1.33E-06	6.75E-06	1.61E-05	1.33E-05	1.54E-05	3.67E-05
^{58}Co	6.55E-06	3.82E-06	2.90E-06	1.98E-06	6.89E-06	1.05E-06	5.64E-06	2.25E-06	1.81E-06	7.80E-07
^{60}Co	5.54E-07	3.15E-07	2.42E-07	1.37E-07	5.92E-07	8.20E-08	4.64E-07	1.55E-07	1.54E-07	6.71E-08
^{65}Zn	4.97E-06	5.34E-06	6.84E-06	5.13E-06	1.61E-07	1.60E-08	1.03E-05	5.08E-06	1.71E-07	2.05E-07
^{83}Br	2.53E-11	9.40E-11	7.30E-11	1.41E-10	7.05E-13	2.06E-11	1.54E-10	6.51E-11	4.44E-11	5.14E-11
^{84}Br	4.36E-10	4.97E-10	4.25E-10	5.44E-10	8.30E-12	1.45E-11	1.01E-09	4.81E-10	1.73E-11	2.38E-11
^{88}Rb	6.71E-08	9.05E-08	5.94E-08	1.09E-07	3.72E-09	9.23E-10	1.96E-07	8.62E-08	1.79E-09	7.64E-09
^{89}Rb	5.90E-09	6.49E-09	5.71E-09	7.12E-09	1.43E-10	6.22E-11	1.33E-08	6.42E-09	1.26E-10	2.76E-10
^{89}Sr	6.54E-10	3.17E-09	3.77E-10	1.39E-09	6.33E-10	1.39E-09	1.99E-10	1.52E-09	9.07E-11	4.54E-09
^{90}Sr	1.95E-10	9.35E-10	1.14E-10	3.02E-10	1.91E-10	3.33E-10	5.01E-11	3.41E-10	2.27E-11	1.38E-09
^{91}Sr	1.22E-10	4.22E-10	8.75E-11	1.66E-10	8.34E-11	1.18E-10	1.02E-10	1.81E-10	1.21E-11	5.99E-10
^{92}Sr	1.06E-11	3.24E-11	7.86E-12	1.34E-11	6.64E-12	7.23E-12	1.07E-11	1.48E-11	8.35E-13	4.80E-11
^{90}Y	1.16E-10	1.94E-10	7.35E-11	6.02E-10	5.07E-13	2.66E-11	5.87E-10	3.93E-10	7.63E-12	1.00E-10
^{91}Y	1.73E-09	8.34E-09	6.87E-09	3.06E-08	1.48E-10	5.02E-09	3.49E-08	3.06E-08	3.20E-09	2.98E-08
$^{91\text{m}}\text{Y}$	3.16E-10	4.18E-10	3.77E-10	7.08E-10	2.09E-12	6.38E-11	1.08E-09	7.08E-10	4.11E-11	4.22E-10
^{92}Y	4.08E-10	7.35E-10	5.55E-10	1.58E-09	6.33E-12	8.11E-11	2.20E-09	1.58E-09	6.15E-11	1.29E-09
^{93}Y	2.10E-10	4.51E-10	3.40E-10	1.16E-09	5.06E-12	8.15E-11	1.50E-09	1.16E-09	6.09E-11	1.03E-09
^{95}Zr	8.44E-08	9.74E-08	8.18E-08	9.37E-08	2.39E-10	4.69E-08	1.88E-07	9.16E-08	3.03E-08	2.77E-10
^{95}Nb	3.85E-08	4.10E-08	3.71E-08	4.13E-08	6.84E-11	3.76E-10	8.24E-08	4.09E-08	6.26E-09	8.00E-10
^{99}Mo	3.01E-06	3.34E-06	2.86E-06	3.84E-06	1.12E-08	4.41E-09	7.11E-06	3.31E-06	7.91E-09	1.12E-08
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	3.70E-09	4.69E-08	1.39E-07	2.79E-07	6.12E-10	4.61E-11	9.36E-08	2.92E-07	4.66E-10	1.48E-07

¹⁰³ Ru	9.25E-10	2.06E-09	1.17E-09	2.08E-09	2.71E-11	1.51E-07	2.99E-09	2.13E-09	2.00E-08	1.61E-09
¹⁰⁶ Ru	5.00E-10	8.20E-09	2.10E-09	5.35E-09	1.49E-10	9.02E-08	8.19E-09	6.71E-09	5.07E-08	9.43E-09
^{103m} Rh	1.13E-14	1.99E-12	2.01E-12	1.98E-12	1.01E-14	1.93E-12	1.98E-12	1.99E-12	1.96E-12	2.01E-12
¹⁰⁶ Rh	3.13E-15	4.09E-15	2.26E-15	6.41E-15	2.29E-17	1.21E-16	9.81E-15	3.84E-15	1.01E-16	1.25E-17
^{110m} Ag	1.15E-05	1.58E-05	1.54E-05	1.17E-05	8.04E-07	2.43E-06	2.61E-05	1.16E-05	1.07E-06	7.78E-06
¹²⁴ Sb	1.50E-06	1.60E-06	1.53E-06	1.64E-06	1.46E-08	1.50E-08	3.27E-06	1.58E-06	3.30E-08	5.82E-07
^{127m} Te	2.17E-08	2.15E-08	2.18E-08	2.02E-07	2.13E-08	1.68E-07	2.22E-08	2.10E-07	1.86E-08	1.78E-07
¹²⁹ Te	3.86E-10	3.79E-10	3.90E-10	3.07E-09	3.66E-10	1.15E-09	4.12E-10	3.52E-09	2.24E-10	3.07E-09
^{129m} Te	6.79E-08	6.77E-08	6.79E-08	7.46E-07	6.06E-08	3.31E-07	8.07E-08	8.50E-07	3.77E-08	5.09E-07
¹³¹ Te	3.98E-10	3.86E-10	4.05E-10	2.35E-09	2.91E-10	9.02E-10	5.14E-10	2.74E-09	1.56E-10	2.51E-09
¹²⁹ I	7.97E-08	7.68E-08	8.14E-08	3.13E-07	3.68E-08	1.68E-07	1.24E-07	3.44E-07	2.08E-08	3.37E-07
¹³² Te	1.31E-06	1.38E-06	1.27E-06	2.84E-06	9.09E-08	7.22E-07	2.73E-06	3.04E-06	4.50E-08	8.21E-07
¹³⁴ Te	3.04E-09	2.92E-09	3.11E-09	1.06E-08	1.30E-09	3.64E-09	4.86E-09	1.20E-08	6.03E-10	1.20E-08
¹²⁹ I	1.97E-15	7.01E-15	2.00E-15	2.00E-12	1.98E-15	4.36E-13	6.93E-15	2.02E-12	1.41E-12	4.04E-16
¹³⁰ I	8.66E-11	1.65E-10	9.12E-11	3.01E-08	8.88E-11	2.61E-09	1.55E-10	3.45E-08	1.63E-08	3.14E-11
¹³¹ I	4.68E-08	8.75E-08	4.65E-08	3.18E-05	4.66E-08	4.33E-06	8.64E-08	3.38E-05	9.83E-06	1.78E-08
¹³² I	9.99E-10	1.07E-09	9.59E-10	9.34E-09	9.78E-10	1.72E-09	1.09E-09	1.10E-08	2.49E-09	4.67E-10
¹³³ I	1.20E-08	1.57E-08	1.15E-08	3.02E-06	1.17E-08	3.37E-07	1.60E-08	3.33E-06	6.47E-07	5.26E-09
¹³⁴ I	5.90E-10	1.27E-09	6.18E-10	2.40E-07	6.05E-10	1.20E-08	1.20E-09	2.93E-07	1.10E-07	2.00E-10
¹³⁵ I	1.52E-08	3.81E-08	1.57E-08	8.50E-06	1.55E-08	7.20E-07	3.65E-08	9.51E-06	4.87E-06	4.70E-09
¹³⁴ Cs	2.59E-06	2.48E-06	2.29E-06	2.70E-06	5.83E-07	2.67E-07	5.12E-06	2.29E-06	3.55E-07	3.68E-06
¹³⁶ Cs	6.86E-07	7.02E-07	6.46E-07	7.51E-07	5.29E-08	4.70E-08	1.42E-06	6.93E-07	3.24E-08	3.04E-07
¹³⁷ Cs	1.98E-06	1.79E-06	1.53E-06	2.22E-06	8.60E-07	5.03E-07	3.96E-06	1.42E-06	7.36E-07	5.06E-06
¹³⁸ Cs	2.93E-08	2.66E-08	2.27E-08	3.15E-08	1.28E-08	1.63E-09	5.82E-08	2.14E-08	4.42E-09	7.54E-08
^{137m} Ba	3.20E-05	3.40E-05	3.07E-05	3.47E-05	1.18E-08	1.44E-08	6.91E-05	3.38E-05	1.36E-08	5.65E-09
¹⁴⁰ Ba	2.83E-07	3.02E-07	2.73E-07	3.13E-07	4.74E-10	1.44E-09	6.13E-07	2.98E-07	6.73E-10	2.68E-09
¹⁴⁰ La	2.11E-05	2.23E-05	2.03E-05	2.31E-05	1.07E-09	4.22E-10	4.55E-05	2.22E-05	4.69E-10	1.19E-09
¹⁴¹ Ce	3.69E-09	6.01E-09	6.81E-09	7.01E-09	1.19E-10	8.75E-08	1.12E-08	4.13E-09	5.19E-09	2.21E-09

¹⁴³ Ce	1.13E-09	2.50E-09	3.13E-09	2.59E-09	7.51E-11	1.80E-08	4.56E-09	1.29E-09	2.62E-09	1.40E-09
¹⁴⁴ Ce	1.18E-08	3.88E-08	4.86E-08	4.74E-08	1.49E-09	1.63E-07	7.29E-08	1.53E-08	2.59E-08	2.78E-08
¹⁴³ Pr	4.17E-10	4.74E-09	4.28E-09	2.04E-08	1.01E-10	7.15E-09	2.19E-08	2.04E-08	3.10E-09	2.02E-08
¹⁴⁴ Pr	5.81E-12	1.48E-11	1.07E-11	4.13E-11	1.89E-13	2.93E-12	5.21E-11	4.13E-11	2.26E-12	3.85E-11
³ H	1.66E-05	1.66E-05	1.66E-05	1.67E-05	1.66E-05	1.67E-05	1.66E-05	1.67E-05	1.66E-05	1.66E-05
¹⁴ C	5.49E-04	4.56E-04	4.57E-04	3.63E-04	5.48E-04	2.41E-04	4.56E-04	3.65E-04	4.51E-04	7.77E-05

表 6.2-30 一体化小型堆所致水生生物危害商

水生生物名称	危害商
底层鱼类	6.60E-05
软体动物	5.92E-05
甲壳类	5.96E-05
大型海藻	5.22E-05
浅海鱼类	5.77E-05
浮游植物	2.81E-05
多毛类	6.85E-05
脉管类植物	5.41E-05
浮游动物	5.11E-05
鸟类	1.60E-05

表 6.2-31 全厂各机组水生生物危害商

水生生物名称	1~6 号机组危害商*	一体化小型堆危害商	全厂危害商
底层鱼类	8.58E-03	6.60E-05	8.65E-03
软体动物	8.69E-03	5.92E-05	8.75E-03
甲壳类	8.02E-03	5.96E-05	8.08E-03
大型海藻	8.86E-03	5.22E-05	8.91E-03
浅海鱼类	2.23E-03	5.77E-05	2.29E-03
浮游植物	9.92E-04	2.81E-05	1.02E-03
多毛类	1.58E-02	6.85E-05	1.59E-02
脉管类植物	8.45E-03	5.41E-05	8.50E-03
浮游动物	2.18E-03	5.11E-05	2.23E-03
鸟类	5.50E-04	1.60E-05	5.66E-04

*取自《山东海阳核电项目 5、6 号机组工程环境影响报告书（选址阶段）》。

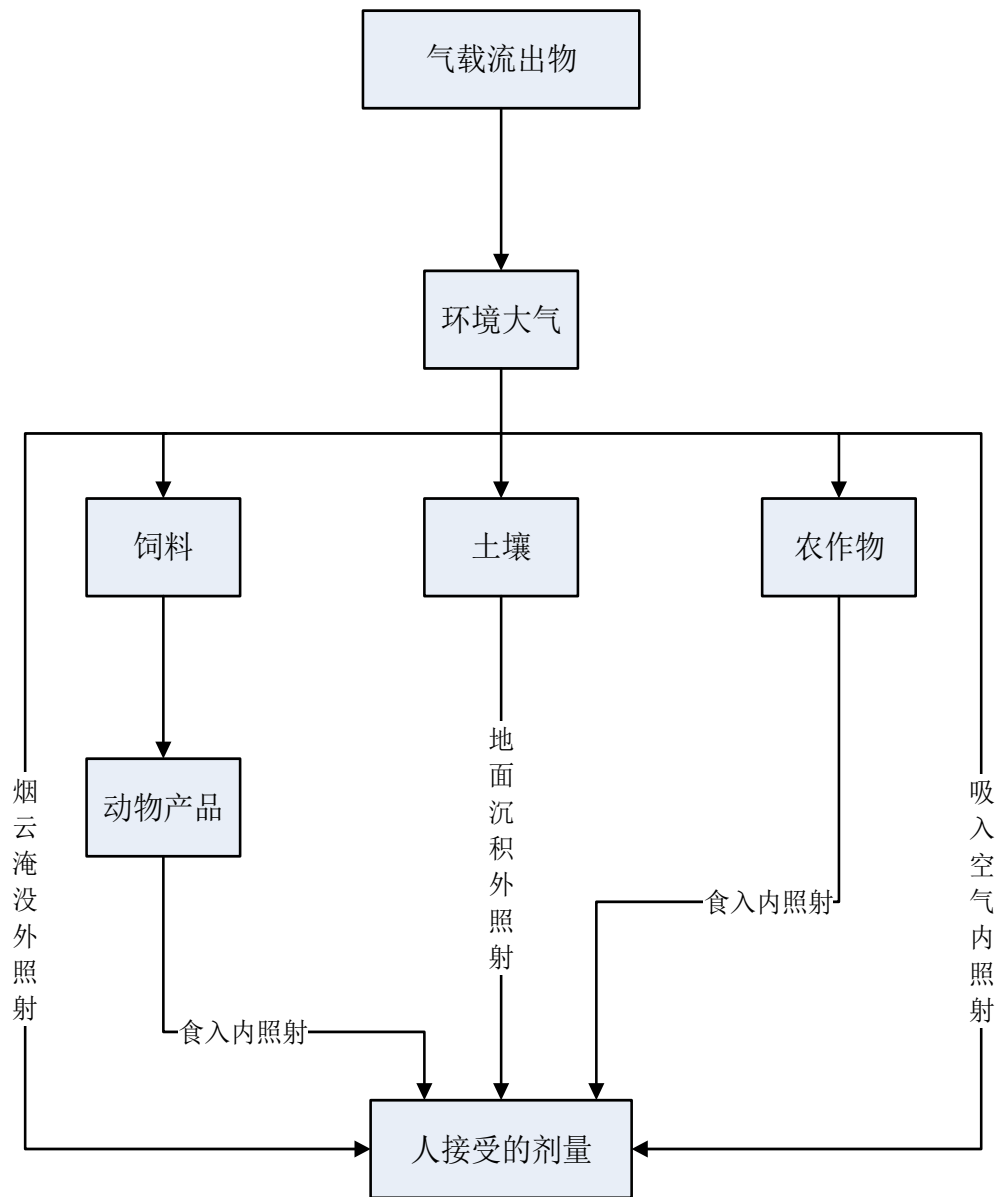


图 6.2-1 正常运行条件下气载流出物对人体的照射途径

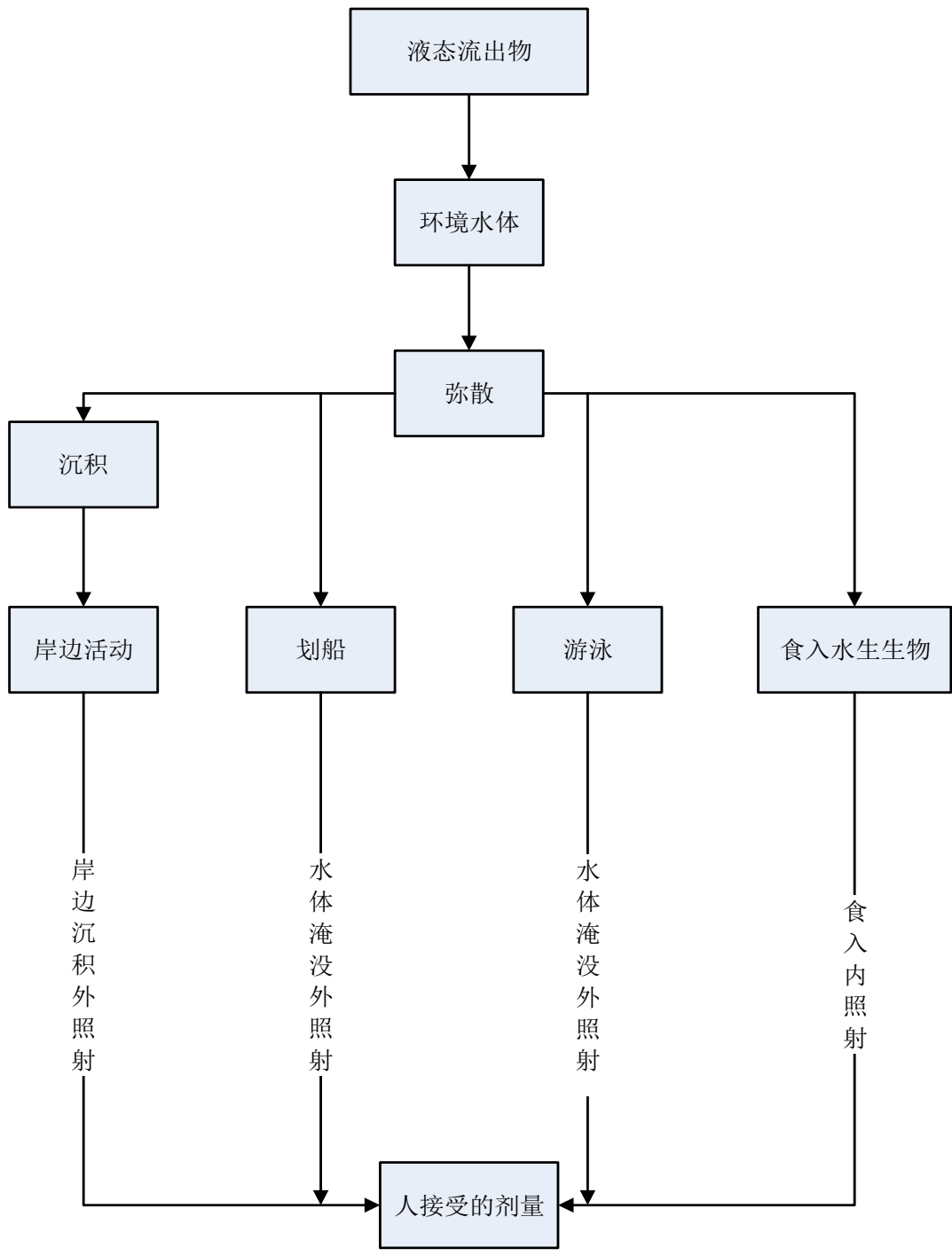
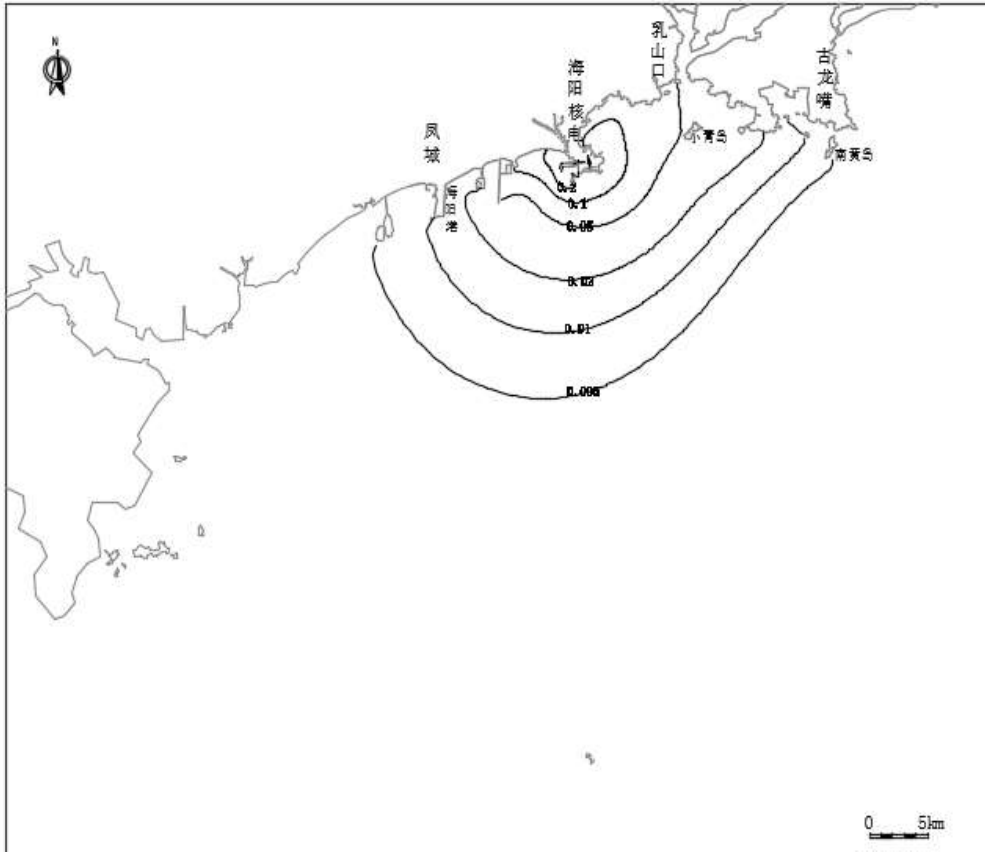
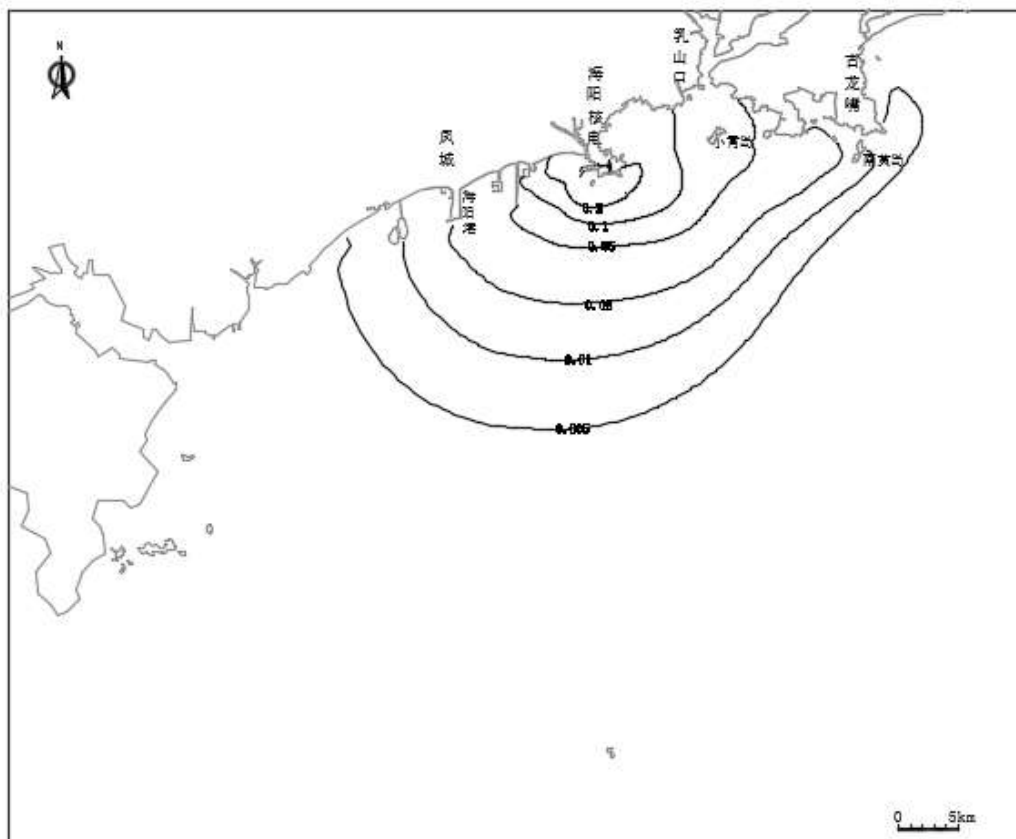


图 6.2-2 正常运行条件下液态流出物对人体的照射途径

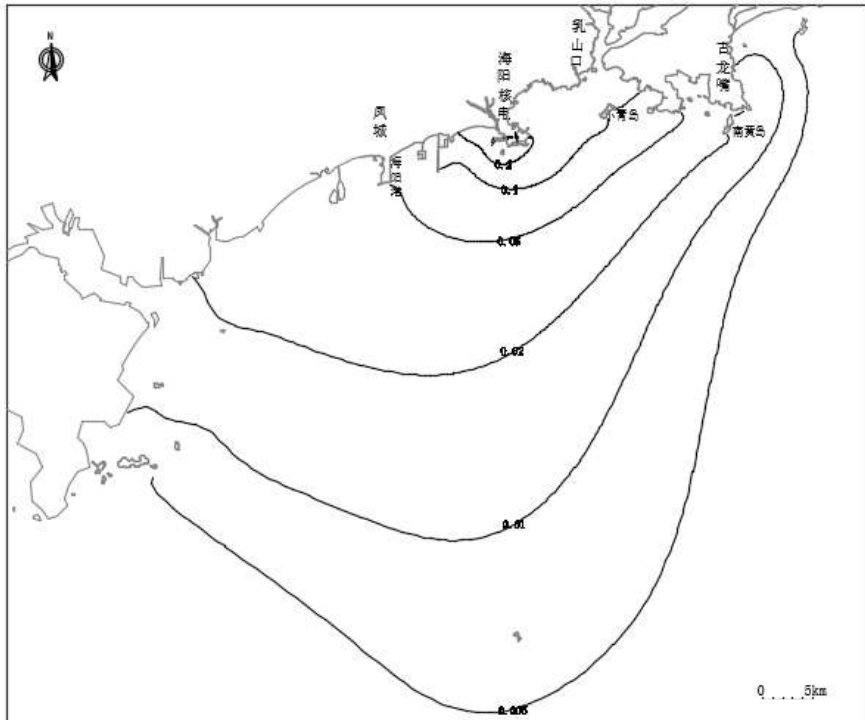


全潮平均

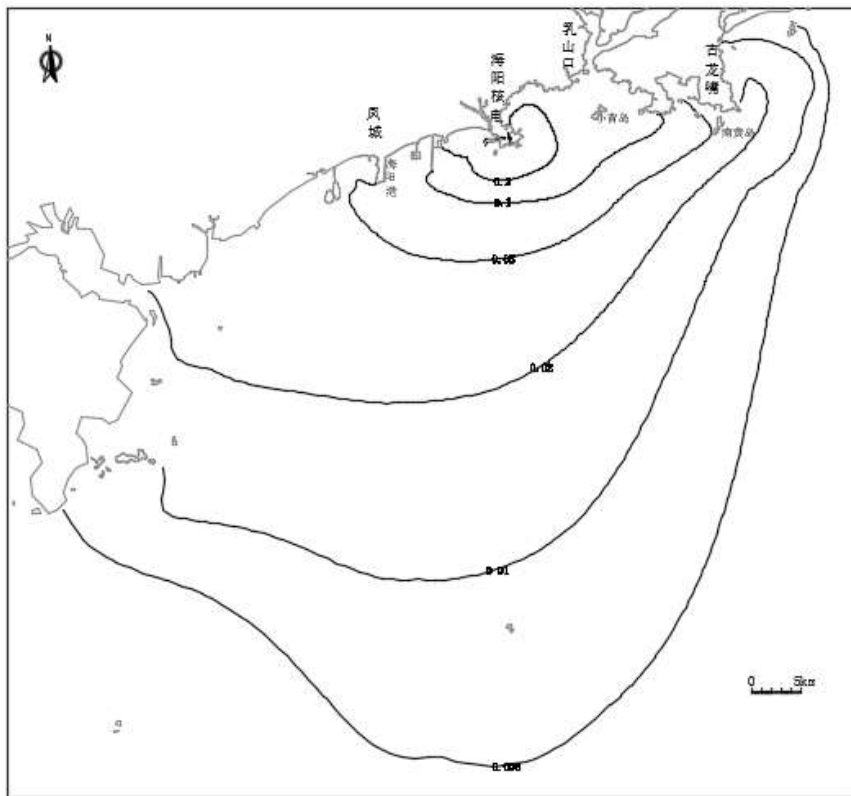


全潮最大

图 6.2-3 等浓度线包络图 (6×1250MWe 夏季典型半月潮半衰期 8d)

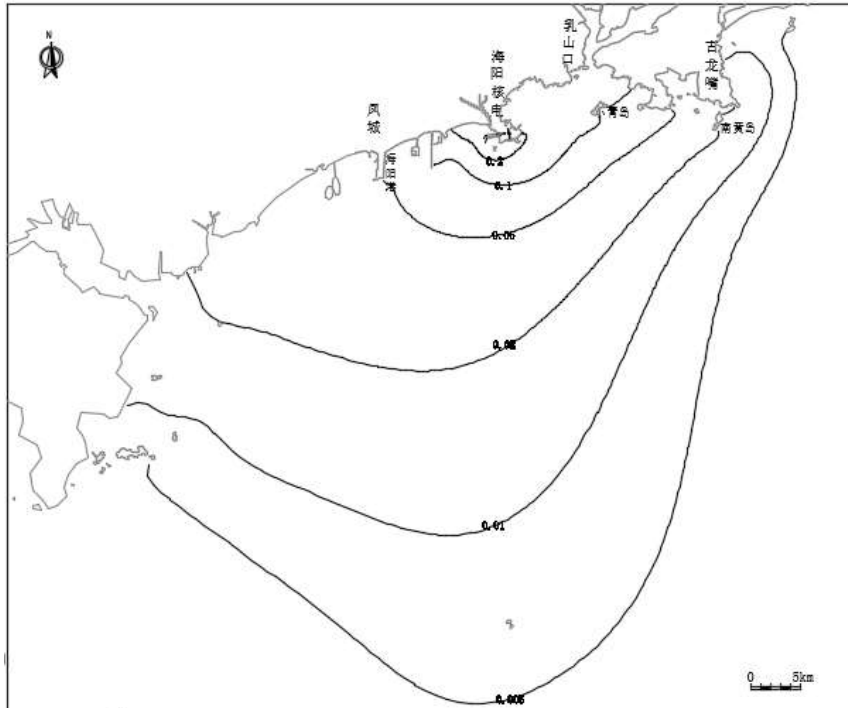


全潮平均

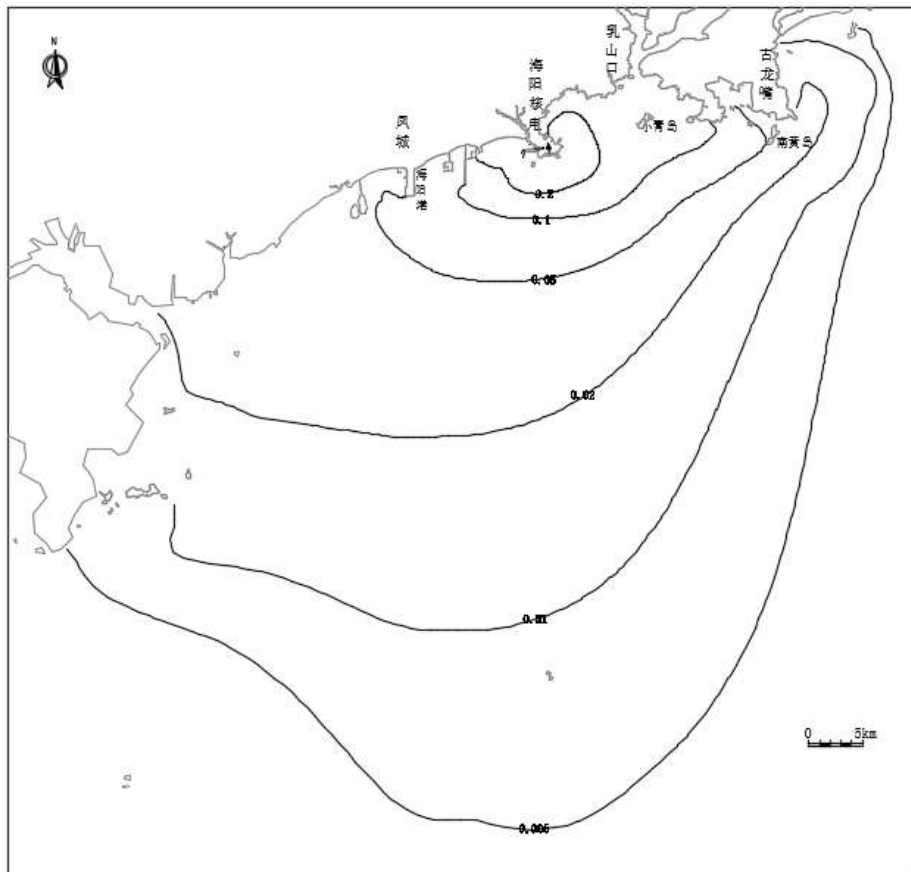


全潮最大

图 6.2-6 等浓度线包络图 (6×1250MWe 夏季典型半月潮半衰期 2.06a)

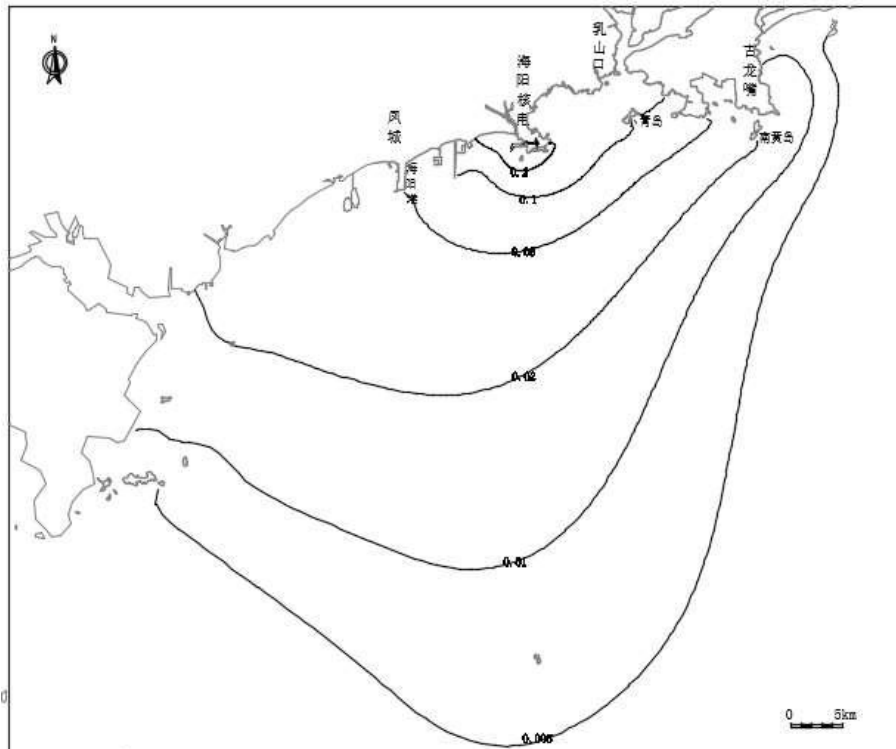


全潮平均

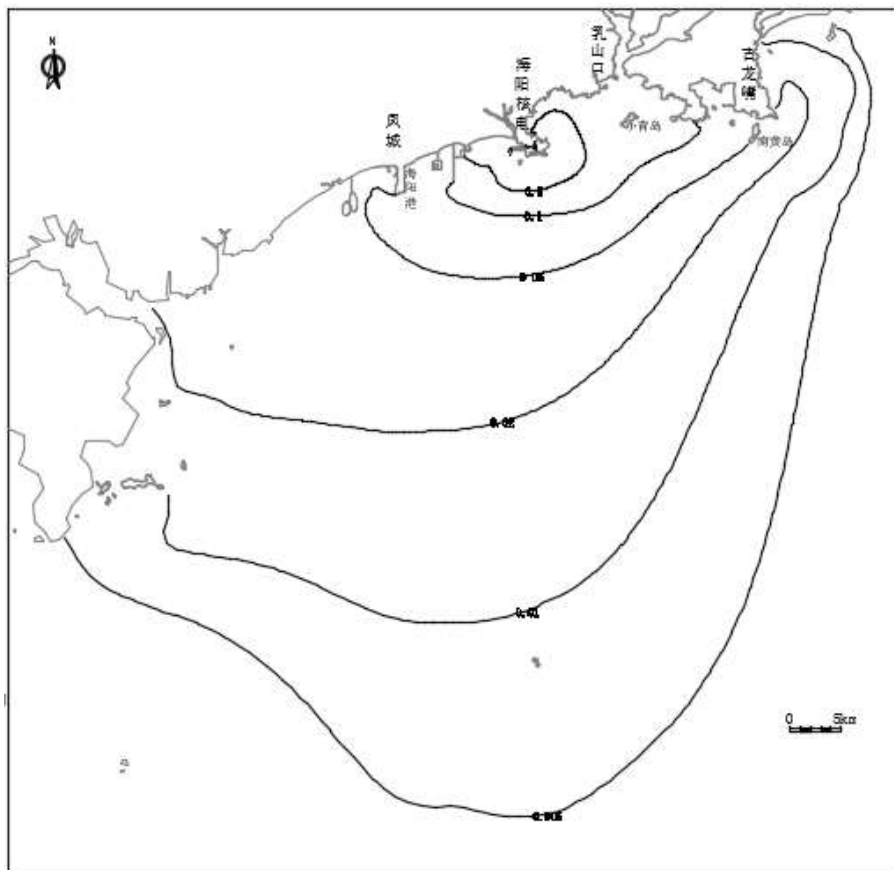


全潮最大

图 6.2-7 等浓度线包络图 (6×1250MWe 夏季典型半月潮半衰期 5.272a)

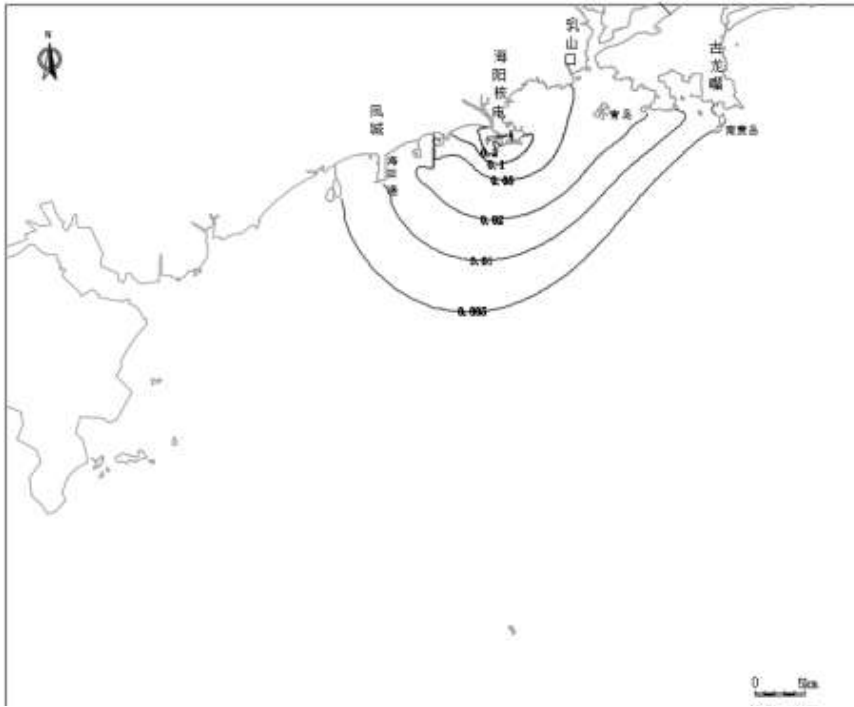


全潮平均

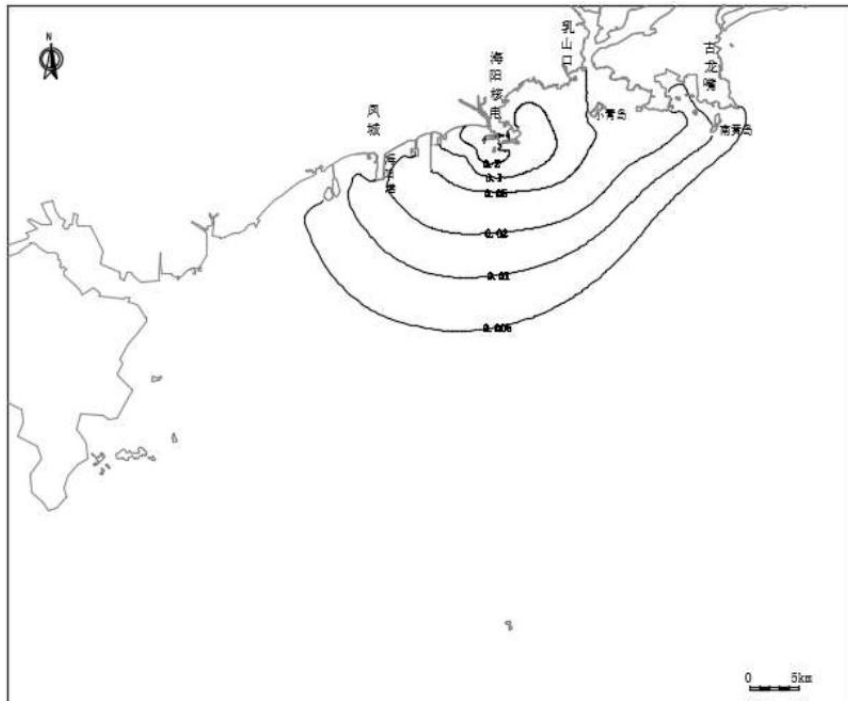


全潮最大

图 6.2-8 等浓度线包络图 (6×1250MWe 夏季典型半月潮不衰变)

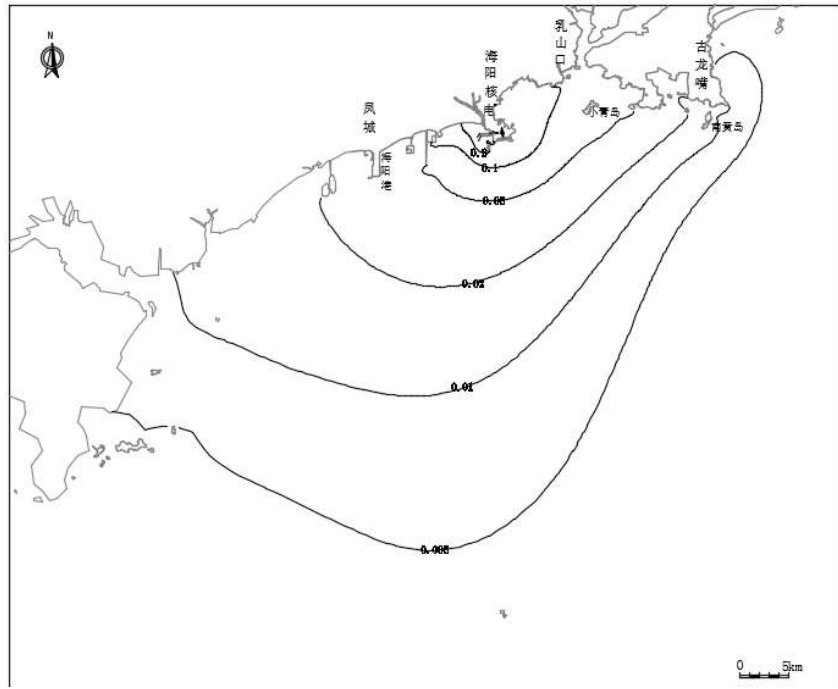


全潮平均

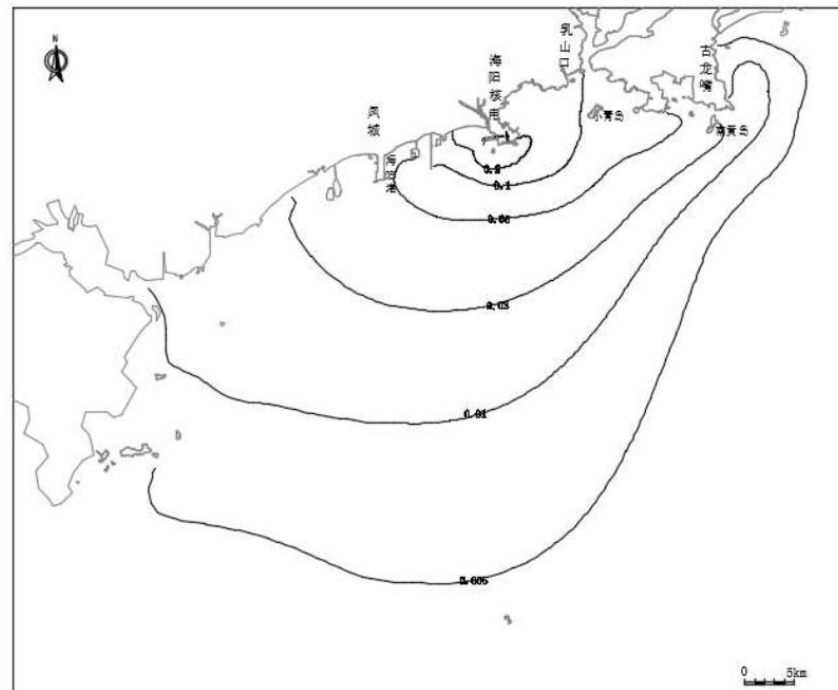


全潮最大

图 6.2-9 等浓度线包络图 (6×1250MWe 冬季典型半月潮半衰期 8d)

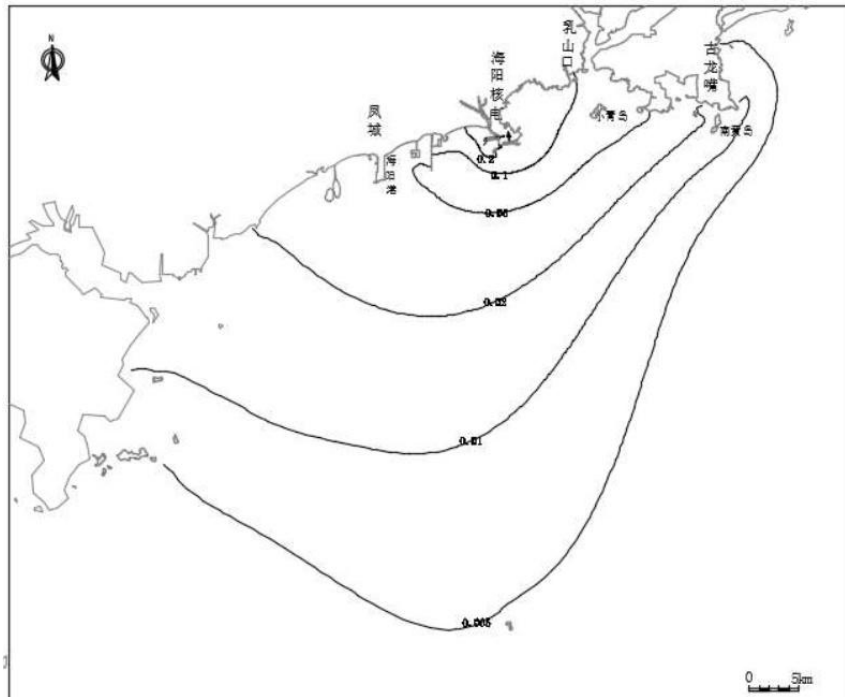


全潮平均

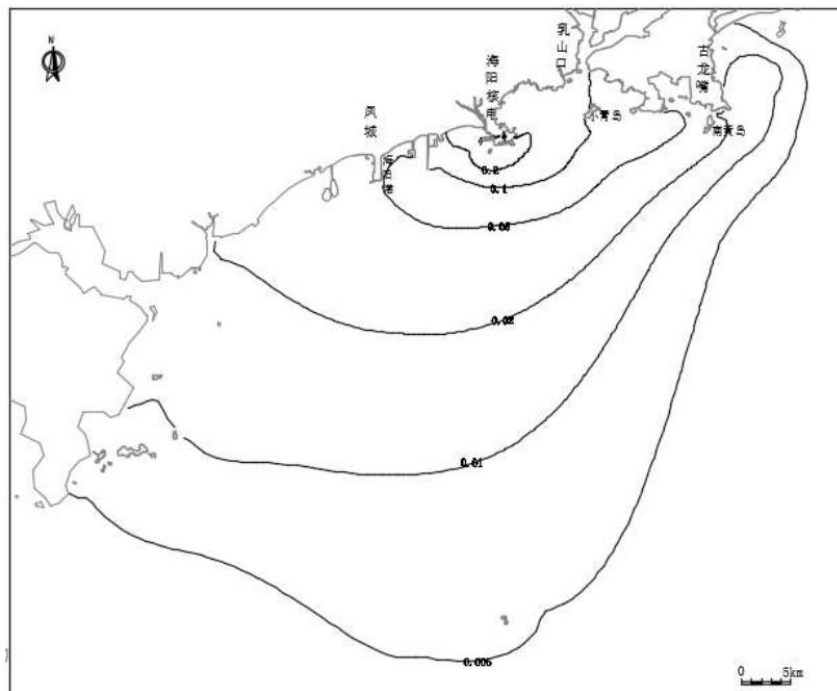


全潮最大

图 6.2-10 等浓度线包络图 (6×1250MWe 冬季典型半月潮半衰期 70.78d)

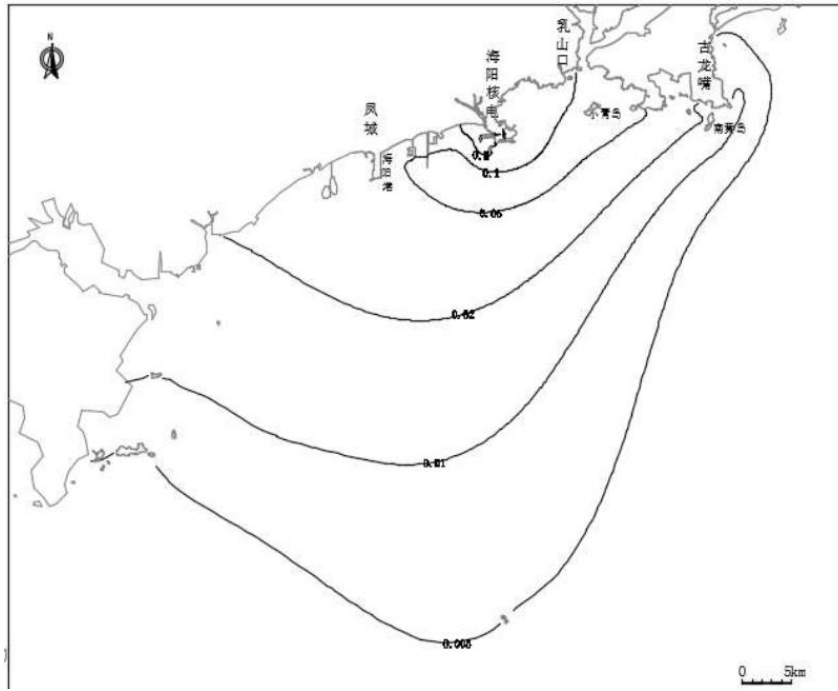


全潮平均

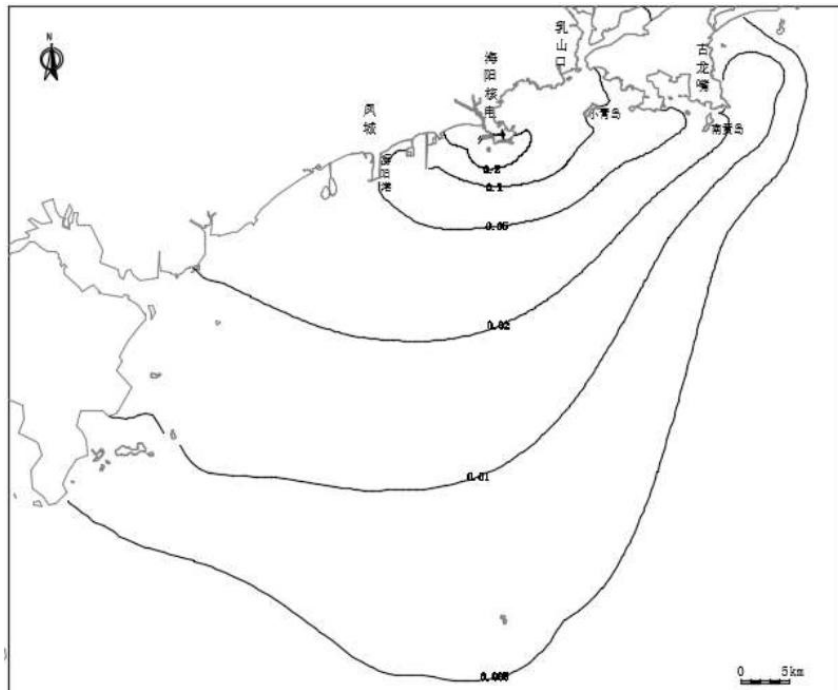


全潮最大

图 6.2-11 等浓度线包络图 (6×1250MWe 冬季典型半月潮半衰期 250d)

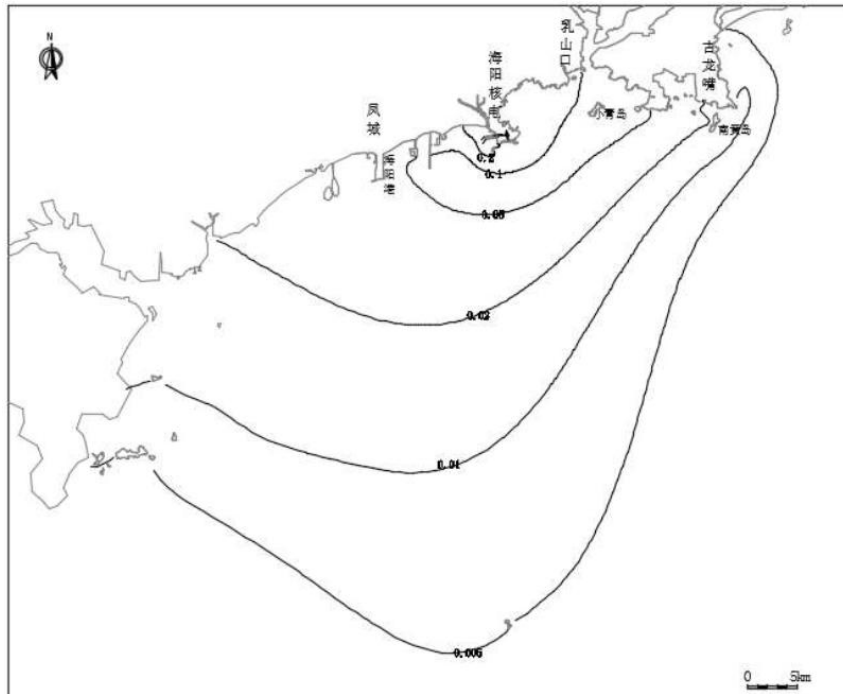


全潮平均

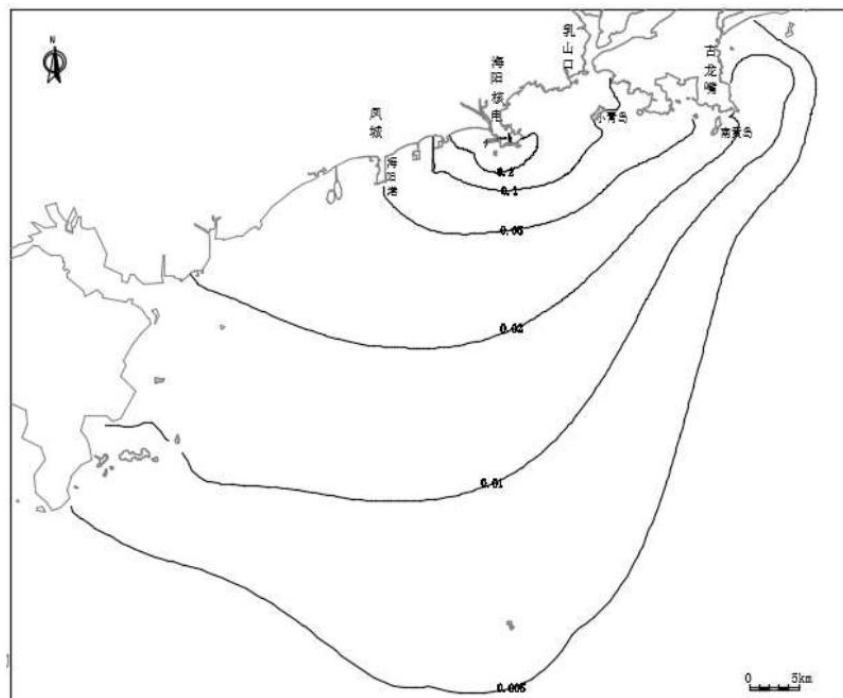


全潮最大

图 6.2-12 等浓度线包络图 (6×1250MWe 冬季典型半月潮半衰期 2.06a)

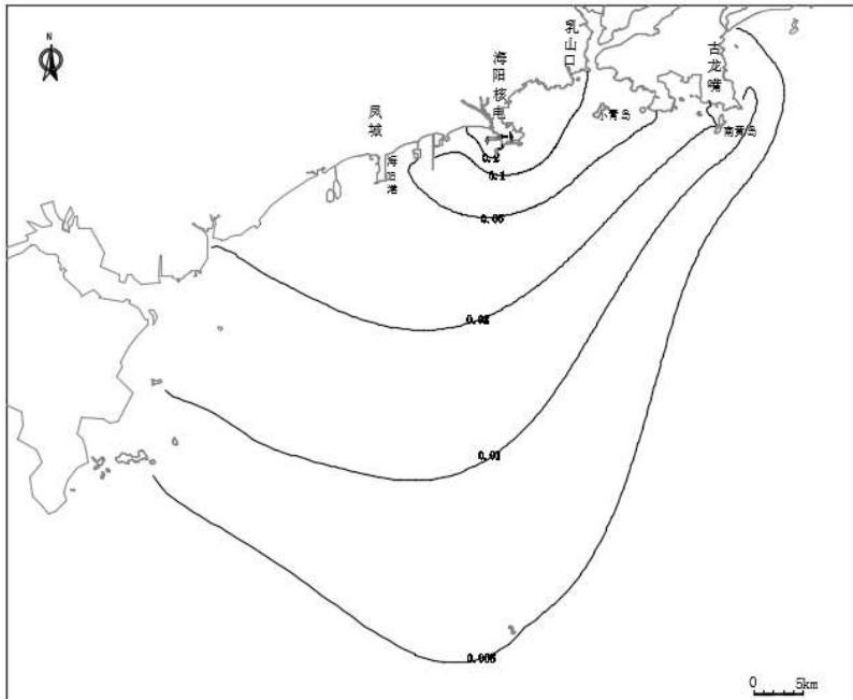


全潮平均

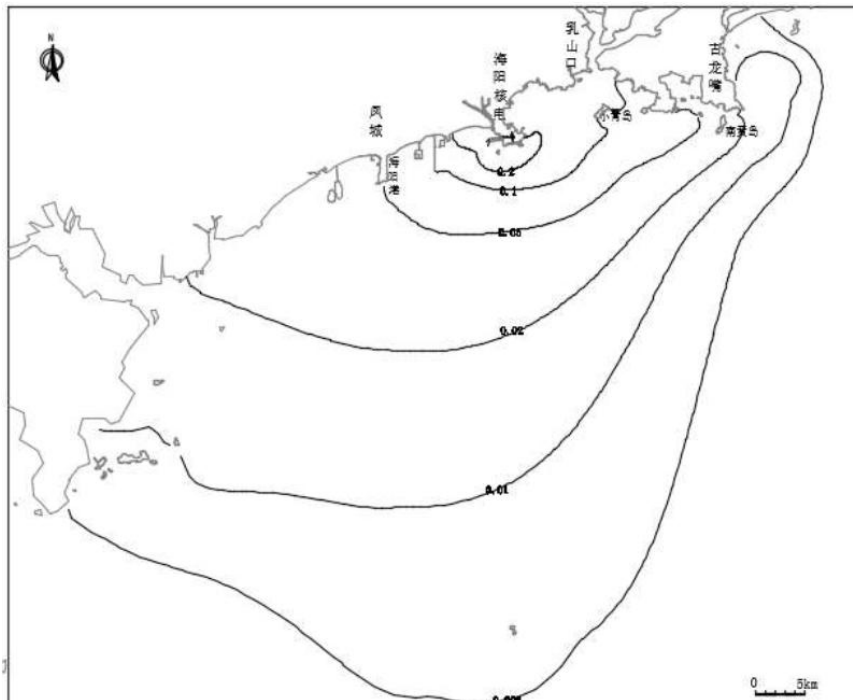


全潮最大

图 6.2-13 等浓度线包络图 (6×1250MWe 冬季典型半月潮半衰期 5.272a)



全潮平均



全潮最大

图 6.2-14 等浓度线包络图 (6×1250MWe 冬季典型半月潮不衰变)

6.3 其他环境影响

6.3.1 化学污染物的环境影响

本项目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相比对环境的影响是很小的。

本项目排放的化学物质来除盐水处理、海水淡化以及硼酸排放等工艺过程。

6.3.1.1 除盐过程产生的废水

本项目不建设除盐水处理车间，所需除盐水由海阳核电 5、6 号机组除盐水处理车间提供。5、6 号机组除盐水系统排放的含酸、碱废水在中和池就地中和处理至 pH 为 6~9 后，由虹吸井经循环水稀释后入海，不会对海水水质产生不良影响。除盐水系统的环境影响将在 5、6 号机组工程中进行详细论证。

6.3.1.2 海水淡化排放的废水

本项目所用淡水由海阳核电 5、6 号机组海水淡化厂房提供，本项目为 5、6 号机组热法海淡提供热源。

5、6 号机组海水淡化产生的浓盐水及掺凉海水将随海阳核电 5、6 号机组循环水一同排放，排放盐度与海水中盐浓度基本相当，不会对周围海域环境产生不良影响。海水淡化设施的环境影响将在海阳核电厂 5、6 号机组工程中进行详细论证。

6.3.1.3 硼酸排放

由于《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》(DB37/3416.5-2018)和《污水综合排放标准》(GB8978-1996)中均未对硼排放的浓度制定限值，因此本报告参考上海市地方标准《污水综合排放标准》(DB31/199-2018)，该标准规定总排放口的硼排放限值为 2ppm。

本项目产生的硼将与海阳核电 1~6 号机组产生的硼在同一排放口排放。海阳核电厂 1~6 号机组总排放口处硼的浓度最大约为 9.33×10^{-4} ppm，远小于海水本身含硼量 4~7ppm。本项目硼的排放量小于 CAP1000 机组，对硼的贡献有限，因此不会对厂址附近海域的水质产生影响。

6.3.1.4 其他废水

厂房冲洗水、设备排污水等废水预计由海阳核电厂内非放射性生产废水处理厂房进行收集处理，出水水质满足《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》(DB37/3416.5-2018)中的一级排放标准，不会对周围水环境造成影响。

6.3.2 其他污染物的环境影响

6.3.2.1 生活污水的环境影响

生活污水经海阳核电厂内已建生活污水处理设施收集处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T18920-2020)的标准后回用,生活污水处理后不会对厂址附近海域水质产生影响。

6.3.2.2 固体废物的环境影响

本项目生活垃圾定点收集由环卫部门统一清运。

危险废物包括实验室废液、废油、废树脂、废油漆、废蓄电池、报废防冻液等,各类危险废物按照危废特性进行分类收集、在海阳核电厂已建危废库中暂存后,委托具有相关资质的单位外运处理。

固体废物不会对周围环境产生不良影响。

6.3.2.3 噪声的环境影响

本项目主要噪声来自空冷系统,参见 6.1 节,此外其他噪声源为各类泵、阀、风机等。噪声的主要控制措施是从设备噪声源强度上进行控制,设计中尽量选用低噪声设备,从根本上减少噪声的产生。对某些无法从声源上实现噪声控制的高噪声设备,采取加设吸声、隔声、消声装置,从传播途径上进行控制。

通过采取以上措施并通过建筑隔声、距离衰减,厂界处噪声可以满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中的 2 类标准:昼间 60dB(A)、夜间 50dB(A)。厂区内办公楼等处的噪声水平也能够满足《声环境质量标准》(GB3096-2008)中的 2 类标准:昼间 60dB(A)、夜间 50dB(A)。

第七章 事故的环境影响和环境风险评价

7.1 放射性事故和后果评价

7.1.1 事故描述和事故源项

2016年,国家核安全局发布了《小型压水堆核动力厂安全审评原则(试行)》(国核安发[2016]1号),用于指导小型压水堆安全审评工作。针对事故源项,小堆审评原则规定必须对小型压水堆核动力厂的设计基准事故和超设计基准事故(设计扩展工况)的重要事件序列进行分析,以确定放射性物质的释放,并从中选取保守的和包络性的源项作为厂址选择的源项,用以评价安全目标是否被满足。

2020年,北京辐射安全研究会发布了团体标准《小型核动力厂非居住区和规划限制区划分技术规范》(T/BSRS022-2020)。

当前国家核安全局正在制定《小型核动力厂非居住区和规划限制区划分原则与要求》,该规定相关条款内容与前文引用的《小型核动力厂非居住区和规划限制区划分技术规范》(T/BSRS 022-2020)基本一致。该标准就选址事故作如下规定:

- 在小型核动力厂选址阶段进行事故环境影响分析和划定非居住区边界时,除考虑设计基准事故外,也应考虑设计扩展工况/超设计基准事故。
- 对于设计基准事故源项,应结合堆型特征,选取后果最严重的设计基准事故进行后果评价。在设计基准事故选取过程中,需要充分借鉴传统大型核动力厂关于设计基准事故的经验,并结合小型核动力厂的设计特征,经过合理筛选确定合理保守的设计基准事故。
- 小型核动力厂选址所考虑的设计扩展工况/超设计基准事故的重要事件序列,可采用概率论方法、确定论方法并结合工程判断选择。采用概率论方法确定设计扩展工况/超设计基准事故时,可将发生概率每堆年 10^{-7} 作为初步筛选值,采用机理源项法或者综合分析法确定事故源项。

因此本项目选址阶段事故环境影响评价采用包络性设计基准事故和设计扩展工况进行事故分析。

7.1.1.1 设计基准事故描述及事故源项

大型压水堆中通常考虑对7类设计基准事故进行源项分析,与传统大型压水堆不同,借鉴国际经验,小型堆需进一步从其堆型特征出发来确定合理的设计基

准事故源项。相比于大型压水堆，本堆型部分事故放射性后果可以忽略，如：

- 传热管破裂事故：由于中间隔离回路压力高于主回路，破口流量由中间隔离回路向主回路泄漏，且事故过程向环境排放的蒸汽量很少，相应的放射性释放量十分有限。
- 主泵卡转子事故：本堆型采用全自然循环，无主泵，因此无主泵卡转子事故。
- 中间隔离回路破裂事故：正常运行时，中间隔离回路压力高于主回路，事故发生前中间隔离回路初始存在的放射性很少，伴随管道破裂释放的放射性也十分有限。
- 弹棒事故：本堆型控制棒驱动机构考虑内置设计，消除了弹棒事故。

除了上述 4 个事故外，从失水事故、燃料操作事故、安全壳外载有反应堆冷却剂小管道破裂事故中，进一步识别出燃料操作事故具备包容性、保守性，选取该事故包容各类设计基准事故来进行源项分析。这是因为：

- 本项目采用一体化设计，没有主管道，消除了大破口及中破口，仅可能发生小破口失水事故。小破口失水事故可通过应急堆芯冷却系统冷却，热工分析表明均未出现堆芯裸露，并且包壳温度远低于验收准则。从设计基准事故角度，小破口失水事故的放射性释放较小。
- 安全壳外载有反应堆冷却剂小管道破裂事故通常划为稀有事故，事故期间仅少量冷却剂会释放，影响较小。

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，导致该组件的燃料棒包壳损坏，包壳间隙内的放射性释放出来。事故期间可释放的裂变产物活度与很多因素有关，如燃料组件的功率历史、停堆到换料操作时经过的衰变时间和核素的挥发特性等有关。

计算得到燃料操作事故期间释放到环境的源项见表 7.1-1。

7.1.1.2 设计扩展工况描述及事故源项

传统确定论设计基准事故的出发点是单一始发事件，对多重失效的考虑存在不足，我国新的核安全要求将这种多重失效纳入了设计扩展工况，也进行一些考虑。因此在选址阶段事故源项及后果分析中，也考虑了设计扩展工况的重要事件序列的后果。

本项目构建了一个全堆芯燃料包壳破损、安全壳完好的事故作为设计扩展工况源项的代表，计算得到该事故释放到环境的源项见表 7.1-2。

7.1.2 事故后果计算

7.1.2.1 事故大气弥散条件

1) 非居住区边界

根据《小型核动力厂非居住区和规划限制区划分技术规范》(T/BSRS022-2020)，“对于小型核动力厂，非居住区一般可与核设施的厂区边界范围一致，距反应堆一般不小于 100 米”。

山东海阳核电厂采用统一的非居住边界，陆域非居住区边界为厂址征地边界，本项目非居住区边界按厂址征地边界考虑。

非居住区边界大气扩散采用《核电厂主控室可居留性评价用大气弥散因子分析方法》(NB/T20531-2018)中的计算方式(个别方位角距离大于 500m，计算采用《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)中的大气弥散因子计算方式)。

厂址风向、风速、大气稳定度三维联合频率见第 2 章 2.4 节。采用上述模型计算 16 个标准方位的逐时大气弥散因子。然后，进行滑移平均处理来确定典型时间段内的平均值，并对其由大到小进行排序，从而截取 99.5% 概率水平的数值。最后，进一步处理成 0-2h、2-8h、8-24h、24-96h、96-720h。这样，对 16 个方位的某个给定距离，可得到 16 个 99.5% 概率水平的短期大气弥散因子，进一步保守取各方位的最大值用于分析，具体见表 7.1-3。

2) 规划限制区边界

根据《小型核动力厂非居住区和规划限制区划分技术规范》(T/BSRS022-2020)，小型堆的规划限制区的边界距反应堆的距离一般不小于 1km。本项目位于山东海阳核电厂内，一体化小型堆的规划限制区被山东海阳核电厂已批准的全厂址规划限制区所包络，为山东海阳核电厂各机组反应堆为中心半径 5km 区域。

规划限制区边界大气扩散采用《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)中的计算模型，其计算模式基于高斯烟羽模型，高斯烟羽模型用于在距离释放点 10km 范围内的大气弥散评估中有较好的符合性，厂址近区范围内的估算结果偏保守。

规划限制区边界的短期大气弥散因子及对应距离见表 7.1-4。

7.1.2.2 事故剂量

事故期间对公众产生辐射照射的主要途径包括：

- 浸没于放射性烟云中所受的外照射。
- 吸入放射性烟云中碘所受的内照射。
- 放射性烟云地面沉积所受的外照射。

公众可能受到的照射剂量与受照个人的年龄有关。对个人剂量评价，假定受照者是处在本项目厂址非居住区边界（此处为厂址边界）和规划限制区边界上的公众，个人剂量是释放核素通过上述途径所致剂量的总和。

7.1.3 事故后果评价

7.1.3.1 非居住区边界

1) 设计基准事故辐射后果评估

在事故整个持续期间（30 天），非居住区边界（即厂址边界）上任何个人所受的最大个人有效剂量为 1.30mSv（考虑 3 种照射途径，若仅考虑烟云外照射和吸入内照射途径，最大个人有效剂量为 0.90mSv），最大个人甲状腺剂量为 15.6mSv（仅吸入内照射途径对甲状腺剂量有贡献），均小于《小型核动力厂非居住区和规划限制区划分技术规范》（T/BSRS022-2020）提出的非居住区边界设计基准事故有效剂量 10mSv 和甲状腺剂量 100mSv 的限值要求。

2) 设计扩展工况辐射后果评估

在事故整个持续期间，非居住区边界（即厂址边界）上任何个人所受的最大个人有效剂量为 3.25mSv（考虑 3 种照射途径，若仅考虑烟云外照射和吸入内照射途径，最大个人有效剂量为 2.86mSv），小于《小型核动力厂非居住区和规划限制区划分技术规范》（T/BSRS022-2020）提出的非居住区边界设计扩展工况有效剂量 10mSv 的限值要求。

7.1.3.2 规划限制区边界

1) 设计基准事故辐射后果评估

在事故整个持续期间（30 天），厂址规划限制区边界上任何个人所受的最大个人有效剂量为 0.15mSv（考虑 3 种照射途径，若仅考虑烟云外照射和吸入内照射途径，最大个人有效剂量为 0.10mSv）。

2) 设计扩展工况辐射后果评估

在事故整个持续期间（30 天），厂址规划限制区边界上任何个人所受的最大个人有效剂量为 0.30mSv（考虑 3 种照射途径，若仅考虑烟云外照射和吸入内照射途径，最大个人有效剂量为 0.27mSv）。

7.1.3.3 事故后果评价结论

本项目非居住区边界按厂址征地边界、规划限制区按厂址半径 5km 考虑，由 7.1.3.1 节和 7.1.3.2 节事故后果评价结论可见，计算所得的设计基准事故和设计扩展工况辐射后果均小于标准限值要求。因此本项目非居住区边界及规划限制区边界的设置是合理的。

表 7.1-1 一体化小型堆燃料操作事故放射性释放量

单位: Bq

核素		向环境放射性释放量		
		0-2h	2-8h	8-24h
元素态	¹³⁰ I	3.83E+06	1.15E+07	3.06E+07
	¹³¹ I	6.94E+10	2.08E+11	5.55E+11
	¹³² I	3.71E+10	1.11E+11	2.96E+11
	¹³³ I	5.13E+09	1.54E+10	4.10E+10
	¹³⁵ I	4.65E+06	1.40E+07	3.73E+07
有机态	¹³⁰ I	2.89E+06	8.67E+06	2.31E+07
	¹³¹ I	5.24E+10	1.57E+11	4.19E+11
	¹³² I	2.80E+10	8.39E+10	2.24E+11
	¹³³ I	3.87E+09	1.16E+10	3.10E+10
	¹³⁵ I	3.51E+06	1.05E+07	2.81E+07
	^{85m} Kr	2.96E+06	8.88E+06	2.37E+07
	⁸⁵ Kr	1.13E+12	3.39E+12	9.05E+12
	⁸⁷ Kr	3.08E-10	9.25E-10	2.47E-09
	⁸⁸ Kr	1.46E+03	4.39E+03	1.17E+04
	^{131m} Xe	3.15E+11	9.45E+11	2.52E+12
	^{133m} Xe	8.23E+11	2.47E+12	6.58E+12
	¹³³ Xe	4.35E+13	1.30E+14	3.48E+14
	^{135m} Xe	3.82E+08	1.15E+09	3.06E+09
	¹³⁵ Xe	1.15E+11	3.44E+11	9.19E+11

表 7.1-2 一体化小型堆燃料破损事故放射性释放量

单位: Bq

核素		向环境放射性释放量				
		0-2h	2-8h	8-24h	24-96h	96-720h
元素态	¹³⁰ I	3.97E+08	4.85E+07	2.07E+07	1.41E+07	3.70E+05
	¹³¹ I	2.96E+10	4.11E+09	3.33E+09	1.28E+10	3.80E+10
	¹³² I	3.45E+10	2.44E+09	9.62E+07	0.00E+00	0.00E+00
	¹³³ I	5.96E+10	7.66E+09	4.33E+09	5.55E+09	5.55E+08
	¹³⁴ I	3.86E+10	1.07E+09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	¹³⁵ I	5.39E+10	5.85E+09	1.44E+09	3.33E+08	0.00E+00
有机态	¹³⁰ I	3.06E+07	8.51E+07	1.26E+08	8.49E+07	1.48E+06
	¹³¹ I	2.32E+09	7.88E+09	2.02E+10	7.74E+10	2.30E+11
	¹³² I	2.49E+09	3.02E+09	5.88E+08	3.70E+06	0.00E+00
	¹³³ I	4.62E+09	1.40E+10	2.61E+10	3.37E+10	3.33E+09
	¹³⁴ I	2.43E+09	8.05E+08	7.03E+06	0.00E+00	0.00E+00
	¹³⁵ I	4.09E+09	9.52E+09	8.82E+09	2.01E+09	0.00E+00
粒子态	¹³⁰ I	1.30E+10	7.70E+09	2.81E+08	3.70E+06	0.00E+00
	¹³¹ I	9.79E+11	6.66E+11	3.40E+10	3.70E+08	1.11E+09
	¹³² I	1.08E+12	3.54E+11	2.96E+09	0.00E+00	0.00E+00
	¹³³ I	1.96E+12	1.23E+12	5.22E+10	0.00E+00	3.70E+08
	¹³⁴ I	1.13E+12	1.32E+11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	¹³⁵ I	1.75E+12	9.14E+11	2.48E+10	0.00E+00	0.00E+00
^{85m} Kr	3.62E+11	7.07E+11	4.22E+11	3.85E+10	0.00E+00	
⁸⁵ Kr	2.93E+10	1.01E+11	2.68E+11	1.20E+12	1.01E+13	
⁸⁷ Kr	4.77E+11	2.88E+11	1.15E+10	0.00E+00	0.00E+00	
⁸⁸ Kr	8.71E+11	1.26E+12	3.71E+11	7.77E+09	0.00E+00	
^{131m} Xe	1.69E+10	5.77E+10	1.50E+11	6.04E+11	2.41E+12	
^{133m} Xe	9.79E+10	3.20E+11	7.40E+11	1.92E+12	1.20E+12	
¹³³ Xe	3.20E+12	1.08E+13	2.71E+13	9.59E+13	1.87E+14	
^{135m} Xe	7.47E+10	6.29E+08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
¹³⁵ Xe	1.19E+12	3.08E+12	3.74E+12	1.56E+12	7.40E+09	
¹³⁸ Xe	2.77E+11	1.55E+09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
⁸⁶ Rb	1.38E+09	9.45E+08	4.88E+07	7.40E+05	2.59E+06	
¹³⁴ Cs	2.00E+11	1.38E+11	7.22E+09	7.40E+07	7.40E+08	
¹³⁶ Cs	4.82E+10	3.29E+10	1.67E+09	3.70E+07	7.40E+07	
¹³⁷ Cs	2.09E+11	1.44E+11	7.51E+09	1.11E+08	7.40E+08	
¹³⁸ Cs	6.74E+11	3.07E+10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	

表 7.1-3 厂址非居住区边界短期大气弥散因子及对应距离

(各方位角 99.5% 概率水平的最大值)

单位: s/m^3

方位	非居住区边界(厂址边界)距离(m)	短期大气弥散因子				
		0-2h	2-8h	8-24h	24-96h	96-720h
S	233.	1.44E-04	1.26E-04	6.06E-05	3.10E-05	1.86E-05
SSW	250.	1.29E-04	7.75E-05	2.87E-05	1.59E-05	1.26E-05
SW	242.	1.31E-04	1.17E-04	3.75E-05	2.43E-05	6.58E-06
WSW	204.	1.88E-04	1.62E-04	5.91E-05	3.36E-05	1.31E-05
W	183.	2.26E-04	1.96E-04	7.76E-05	4.38E-05	2.32E-05
WNW	191.	2.07E-04	1.64E-04	6.45E-05	5.35E-05	3.49E-05
NW	235.	1.42E-04	1.18E-04	5.64E-05	3.44E-05	2.38E-05
NNW	394.	5.84E-05	4.79E-05	1.62E-05	8.19E-06	6.75E-06
N	1146.	4.70E-05	3.16E-05	2.59E-05	1.69E-05	9.12E-06
NNE	1354.	4.39E-05	2.84E-05	2.29E-05	1.42E-05	7.23E-06
NE	1143.	4.54E-05	2.93E-05	2.35E-05	1.47E-05	7.42E-06
ENE	2159.	1.68E-05	9.13E-06	6.72E-06	3.46E-06	1.33E-06
E	305.	9.01E-05	5.79E-05	2.08E-05	7.23E-06	7.93E-06
ESE	221.	1.58E-04	1.33E-04	6.48E-05	3.51E-05	3.34E-05
SE	194.	2.14E-04	1.86E-04	9.21E-05	7.55E-05	5.56E-05
SSE	199.	2.05E-04	1.72E-04	6.84E-05	4.44E-05	3.65E-05
最大值	/	2.26E-04	1.96E-04	9.21E-05	7.55E-05	5.56E-05

表 7.1-4 厂址规划限制区短期大气弥散因子及对应距离
(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	规划限制区边界距离 (km)	短期大气弥散因子 (s/m^3)			
		0-8h	8-24h	24-96h	96-720h
S	5	9.63E-06	6.58E-06	2.88E-06	8.77E-07
SSW	5	5.91E-06	4.00E-06	1.71E-06	5.06E-07
SW	5	9.21E-06	6.17E-06	2.59E-06	7.45E-07
WSW	5	7.31E-06	4.97E-06	2.15E-06	6.48E-07
W	5	5.41E-06	3.73E-06	1.66E-06	5.18E-07
WNW	5	4.13E-06	2.87E-06	1.31E-06	4.22E-07
NW	5	4.96E-06	3.43E-06	1.54E-06	4.88E-07
NNW	5	3.84E-06	2.69E-06	1.25E-06	4.13E-07
N	5	3.77E-06	2.69E-06	1.30E-06	4.55E-07
NNE	5	4.99E-06	3.52E-06	1.64E-06	5.49E-07
NE	5	3.63E-06	2.54E-06	1.17E-06	3.86E-07
ENE	5	2.67E-06	1.84E-06	8.18E-07	2.56E-07
E	5	3.06E-06	2.07E-06	8.82E-07	2.60E-07
ESE	5	9.09E-06	6.10E-06	2.57E-06	7.40E-07
SE	5	1.69E-05	1.19E-05	5.54E-06	1.85E-06
SSE	5	1.64E-05	1.16E-05	5.50E-06	1.88E-06
全厂址	/	1.25E-05	9.10E-06	4.56E-06	1.70E-06
最大值	/	1.69E-05	1.19E-05	5.54E-06	1.88E-06

7.2 场内运输事故

7.2.1 新燃料场内运输事故

本项目新燃料组件采用专用新燃料运输容器运输。对于新燃料的运输，建设单位将委托有资质的承运人承担，并开展新燃料运输容器的申请手续。

新燃料组件可以通过全程公路方式运输。根据运输技术要求和行业实践经验，在严格遵循国家标准的技术规范下运输燃料组件时，组件的抗震和密封性能可确保不对环境产生任何有害的影响。

新燃料运输容器的设计和制造同时满足我国《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的要求。设计时充分考虑了可能的事故工况，发生运输事故时，即使容器本身发生变形，燃料组件不会散落、不会产生临界反应，同时燃料棒密封性仍然保持完好。

总体而言，新燃料运输事故不会污染周围环境和危害人员健康，新燃料运输安全可靠。

7.2.2 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罐坠落事故。

乏燃料运输容器的安全可靠是实现安全运输的前提。乏燃料运输必须遵循《中华人民共和国核材料管制条例》（HAF501）、《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）、《放射性物质安全运输货包泄漏检验》（GB/T17230-1998）、《乏燃料运输容器技术条件》（EJ/T565-1991）、《核级容器制造质量保证》（EJ/T619-1991）等准则。应证实容器在承受正常运输条件下和运输中事故条件下，仍能符合密封性能与屏蔽性能的要求。

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。

乏燃料容器坠落事故主要发生在由厂区桥吊进行的燃料装卸过程中，由于乏燃料组件在装入乏燃料容器之前要在乏燃料水池中至少贮存5年，事故发生后放射性的释放极少，事故后果可以被燃料装卸事故的后果包络，其后果也是可以接受的。

7.2.3 固体废物场内运输事故

在放射性固体废物运输前及运输过程中，需要采取一系列安全措施，确保发生废物运输事故的概率足够低并且发生事故后能够及时响应。

山东海阳核电厂规定，在放射性固体废物运输前采取的主要安全措施有：(1) 办理废物运输相关工作许可证；(2) 选择在风力 6 级以下且晴朗的天气运输；(3) 运输前检查运输车辆车况，确保可用；(4) 检查路况，提前清理路上障碍物；(5) 工作人员（包括司机）接受辐射防护培训并取得授权等。

在运输过程中采取的主要安全措施有：(1) 按照规定路线运输，辐射防护人员全程跟踪；(2) 废物货包包装完好，摆放整齐、牢固，严禁途中打开放射性物品包装；(3) 运输车辆运输速度小于 5 公里/小时，运输车辆一般情况不允许中途停留；(4) 车辆悬挂辐射警示标志，开启警示灯；(5) 车辆外表面及驾驶员室剂量率满足相关要求等。

放射性固体废物场内运输可能发生的事故主要有运输车倾倒和抛锚事故。运输车为全密闭屏蔽设计，即使发生车辆倾倒事故也不会造成放射性污染扩散，如果发生车辆倾倒事故，经按照相关程序开展隔离、使用吊车扶正、辐射环境调查等活动。如果发生废物运输车辆抛锚事故，将派临时车辆将废物运输车辆托运至 SRTF 厂房内，对临时车辆进行放射性污染调查，如果存在污染则进行及时去污。

7.3 其他事故

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018)对本项目化学物质贮存和使用开展环境风险评价。

1) 本项目环境风险评价分级

本项目运行期间涉及如下危险化学品的贮存和使用:

(1) 核岛:使用的危险化学品涉及氢氧化锂、联氨、过氧化氢等,使用量较小。

(2) 二、三回路,除盐水处理系统:水质处理过程中涉及酸(如盐酸)、碱(如氢氧化钠)、消毒剂(如次氯酸钠)等的使用,水处理主要依托山东海阳核电厂内设施进行。

(3) 制氢站、柴油机房:氢气及柴油储罐。

本项目环境风险评价分级考虑如下:

(1) 本项目危险物质及工艺系统危险性(P):山东海阳核电厂 CAP1000 型机组危险物质及工艺系统危险性(P)为轻度危害(P4),本项目一体化小型堆包括热功率在内的各项参数均远小于 CAP1000 型机组,部分子项与核电机组共用,可以认为本项目危险物质及工艺系统危险性等级判断(P)为轻度危害(P4)。

(2) 本项目环境敏感程度(E)分级如下:

大气环境:厂址半径 5km 范围内总人口为 5296 人,人口总数小于 1 万人,因此本项目大气环境敏感程度为环境低度敏感区(E3)。

地表水环境:本项目邻近海域为海阳临港工业与城镇建设区,属于三类功能区,厂址邻近海域无自然保护区、重要湿地、重要水生生物的自然产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道等环境敏感目标,因此本项目地下水环境敏感程度为环境低度敏感区(E3)。

地下水环境:厂址周边无集中式饮用水水源准保护区及补给径流区、分散式饮用水水源地特殊地下水资源保护区及分区等环境敏感区,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 1E-04cm/s,因此本项目地下水环境敏感程度为环境低度敏感区(E3)。

因此,本项目环境敏感程度为环境低度敏感区(E3)。

综上所述,本项目环境风险潜势为 I 类,评价工作等级为简单分析。

2) 环境风险评价简单分析

厂址半径 1km 范围内无常住居民，厂址半径 5km 范围内人口总数小于 1 万人。厂址半径 5km 范围内无地表水、地下水环境敏感目标。

本项目使用的化学品主要为氢气、柴油、联氨、酸碱等，将采取适当的化学品泄漏风险防范措施，确保不出现氢气及柴油产生燃爆及火灾，也不出现前述化学品泄漏至大气环境或地下水环境的情况。

7.4 事故应急

7.4.1 核事故应急对策

为了快速有效地处理核事故中的问题，最大限度减少事故影响，在核事故期间时便于执行上述应急措施，在厂址所在地区要建立包括本项目所在山东海阳核电厂、当地政府所辖的生态环境、公安、卫生、消防等部门在内的各级应急组织，设立应急监测机构并配置相应的应急响应设施，按照国家“常备不懈，积极兼容，统一指挥，大力协同，保护公众，保护环境”的应急管理工作方针，进行统一的应急准备，在事故情况下实施统一的应急响应。

为了减少事故对公众的辐射影响，参考核安全导则《核动力厂营运单位的应急准备》(HAD002/01-2019)和《地方政府对核动力厂的应急准备》(HAD002/02)的要求，事故应急应包括：隐蔽、简单的呼吸道和体表防护、服用稳定性碘、撤离；避迁、控制食品和水、控制通道、地区去污和人员去污等措施。

7.4.2 应急计划区划分考虑

《小型压水堆核动力厂安全审评原则（试行）》（国核安发[2016]1号）提出：对于小型压水堆核动力厂，参照国际原子能机构在“核电厂设计安全规定（No.SSR-2/1 SAFETY OF NUCLEAR POWER PLANTS:DESIGN）”中的观点以及法国和德国等对下一代压水堆的安全要求，在设计上所要达到一个基本目标是：尽管管理当局仍然可以要求设置外部干预措施，然而在技术上对外部干预措施的需求可以是有限的，甚至是可免除的。小型压水堆核动力厂对于所有设计基准事故和超设计基准事故/设计扩展工况的重要事件序列，场外个人（成人）可能受到的有效剂量和甲状腺当量剂量分别低于隐蔽和碘防护的干预水平，在技术上应为实施场外应急简化甚至取消场外应急创造条件。

《陆上小型压水堆核应急工作指导意见（试行）》（国核应急[2017]29号）要求：“小型堆厂址往往接近城市周边，国家核安全监管部对小型堆提出了更高更严的安全目标，其安全审评原则提出‘在技术上达到对外部干预措施的需求可以是有限的，甚至是可免除的’（国际原子能机构No.SSR-2/1 SAFETY OF NUCLEAR POWER PLANT: DESIGN）要求。综合考虑技术审评原则、核事故非技术因素、对公众心理潜在影响、我国核应急管理实际等情况，经专家充分论证评估，借鉴国际经验，小型堆仍应坚持纵深防御原则，设置五道屏障，最后一道屏障是核应急准备与响应，目标是控制或减轻事故引起的放射性物质释放造成

的后果。”“小型堆应急计划区的划定应遵循《核电厂应急计划与准备准则 第1部分：应急计划区的划分》（GB/T17680.1-2008）规定的总体原则和一般方法，结合小型堆的技术特点、事故分析、综合因素等情况合理确定范围。”“小型堆应急计划区的范围推荐值不大于3公里，具体范围由营运单位经系统论证和科学测算后提出建议，按规定程序确定。地方人民政府依据确定的应急计划区范围，做好相应的场外应急准备。对于多堆厂址，可考虑建立一个统一的包络应急计划区。”

对本项目事故的事故后果评估表明，整个事故持续时间内山东海阳核电厂址非居住区边界公众个人（成人）受照有效剂量及甲状腺当量剂量符合《小型核动力厂非居住区和规划限制区划分技术规范》（T/BSRS022-2020）规定的剂量限值要求（设计基准事故：非居住区边界有效剂量限值10mSv、甲状腺剂量限值100mSv；设计扩展工况：非居住区边界有效剂量限值10mSv）。

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的紧急防护行动（隐蔽）的通用优化干预水平（可防止剂量）为10mSv。根据对本项目事故后果评估结果，整个事故持续时间内山东海阳核电厂址边界公众个人（成人）受照有效剂量小于通用优化干预水平（可防止剂量）。

上海核工程研究设计院股份有限公司编制了《山东海阳一体化小型堆示范工程厂址区域核应急方案》，从测算结果来看，本项目半径1km应急计划区初步测算结果可满足国家法规标准要求，以1km作为本项目应急计划区边界从技术上是可行的，该应急计划区包括本项目烟羽应急计划区（不分内外区）和食入应急计划区。

山东海阳核电厂实施全厂址统一应急，本项目一体化小型堆的应急计划区位于海阳核电厂原有应急计划区范围内。

7.4.3 实施应急预案的可行性

本项目因运行失误或事故导致核事故应急状态的可能性极小，但仍不能完全排除。因此在本项目选址阶段就应考虑妨碍或影响执行核应急预案的厂址因素。本项目所在山东海阳核电厂实施全厂址统一应急。根据《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）和已批准的3、4、5、6号机组工程厂址区域核应急方案，山东海阳核电厂应急计划区大小如下：

- 烟羽应急计划区为以山东海阳核电厂1~6号机组反应堆为中心，半径10

公里的范围（其中内区半径为 5 公里）；

- 食入应急计划区为以山东海阳核电厂 1~6 号机组反应堆为中心，半径 50 公里的范围。

7.4.3.1 人口及特殊人群

本项目厂址半径 1km 范围内无居民点。

厂址半径 5km 范围内共有常住人口 5296 人，厂址半径 5km 范围内无万人以上乡镇。

厂址半径 5km 范围内无敬老院和监狱。厂址半径 5km 范围内有 2 所幼儿园和 1 所小学。厂址半径 5km 范围内的大辛家社区卫生服务中心已划入留格庄中心卫生院管理。

海阳核电厂半径 5km 规划限制区无难以撤离的人群。

7.4.3.2 外部人为事件

厂址半径 15km 范围内规模以上企业有 27 家（含山东核电有限公司）。除山东核电有限公司外，厂址半径 5km 范围内规模较大的企业有 3 家。

根据 2.3.4.4 节评估结论，厂址半径 15km 范围内的油库、加油站、液化气公司和危险化学品公司、天然气管线以及公路运输危险源均不会对本项目的安全运行构成潜在危险。

厂址半径 10km 范围内没有民航机场，厂址半径 4km 范围内没有民用空中航线或起落通道。

7.4.3.3 交通

厂址半径 15km 范围内有国道 2 条、省道 4 条、县道 3 条。除海核一、二路外，距离厂址最近的公路为 G228 海阳段（海翔路），距离厂址最近距离为 4.7km。G1813 威青高速公路距离厂址最近距离为 9km。

厂址已设置 2 条不同方向的应急撤离路线，简述如下：

路线 1（进厂道路）：厂址（厂区北侧）→海核一路→S24 威青高速公路→向东撤离至安置点。

路线 2（应急道路）：厂址（厂区东侧）→海核二路→专家村→凤城街道→向北撤离至安置点。

7.4.3.4 通信、居住条件

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。

厂址半径 15km 范围内的居民住宅、学校、卫生院为砖瓦结构建筑物，对外照射有较好的屏蔽减弱能力，加之紧闭门窗并辅以简单的个人呼吸防护，对吸入内照射也有较好的防护效果，可尽可能地减少公众的受照剂量。

7.4.3.5 医疗后援

山东海阳核电厂针对核事故应急响应医疗急救做出了如下安排：核电厂场内配备医务室医生和护士、职业医疗助理，核电厂场外的海阳中医院和青岛 401 医院崂山分院分别作为常规和辐射医疗后援单位。

7.4.3.5 结论

综上所述，山东海阳核电厂实施全厂址统一应急，本项目将在前期工程核应急预案的基础上，结合项目实际情况对核应急预案进行进一步完善。

综上所述，本项目厂址在实施核事故场外应急预案方面不存在不可克服的困难。

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

山东海阳一体化小型堆示范工程的流出物监测包括营运单位的监测和地方政府的监督性监测。

营运单位对流出物中的放射性核素总量实施监测，用于定期向核安全监管部门报告监测结果，证明释放到环境中的放射性物质总量遵守国家规定的排放限值和一体化小型堆营运范围制定的管理目标值。

营运单位负责建设本厂址的辐射环境现场监督性监测系统，并移交给地方生态环境行政主管部门运行和管理。地方生态环境行政主管部门使用该系统对本厂址各机组流出物中的放射性水平实施监督性监测，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。

本节简要介绍本项目流出物监测与排放控制方案初步设想，详细的流出物监测与排放控制方案将在本项目后续阶段的环境影响报告书中给出。

8.1.1.1 监测目的

本项目 1 台一体化小型堆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

1) 气载流出物监测

本项目 1 台一体化小型堆产生的气载流出物由烟囱集中排放。气载流出物监测的内容包括：惰性气体、碘、气溶胶（ γ 能谱分析）、 ^3H 和 ^{14}C 。

在正常运行和事故工况下，烟囱排风辐射监测仪在覆盖正常和事故量程范围

内连续测量通过烟囱向外排放的气溶胶、碘和惰性气体的放射性活度浓度，当放射性活度浓度达到预置阈值时自动触发警报。该监测仪同时具备对气溶胶、碘和惰性气体、 ^{14}C 和 ^3H 的取样功能，样品定期送往流出物实验室进行测量分析。烟囱排风辐射监测仪的取样装置和取样管道的设计遵循《核电厂烟囱的气载放射性物质取样》（NB/T20374-2016）的要求，保证在一体化小型堆各种运行工况期间从烟囱获取的样品都具有代表性。

2) 液态流出物监测

按照《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的要求，本项目 1 台一体化小型堆产生的液态流出物采用槽式排放。排放前对废液贮存罐内的液态流出物进行充分混合并取样，送往山东海阳核电厂流出物实验室进行测量，测量项目包括：总 γ 、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 和 γ 能谱分析等。测量结果用于确定液态流出物的放射性活度浓度和活度总量，以判断是否满足排放要求。在液态流出物排放期间，由放射性液体辐射监测仪连续监测排放总管内的放射性活度浓度，当探测到高于预置阈值时，液体辐射监测仪会发出报警信号并自动终止液态流出物排放。

8.1.2 辐射环境监测

本项目运行期间环境监测范围、布点及监测项目主要根据《海阳核电厂环境监测大纲》（SDNG-GU-MEHH-3001）开展，并将结合山东海阳核电厂后续机组工程及本项目情况适当优化，初步方案如下：

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) 获取一体化小型堆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，作为评价一体化小型堆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

本项目根据《海阳核电厂环境监测大纲》（SDNG-GU-MEHH-3001）进行监测。环境 γ 辐射水平监测范围为山东海阳核电厂厂址半径 50km 范围内区域；其余项目监测范围取半径 20~30km，重点监测厂址周围 10km 范围；对海域的监测，

重点关注山东海阳核电厂排放口附近海域。

制订监测方案时，充分考虑了以下因素：

- 关键居民组的居住区域；
- 最大风频下风向厂区边界附近区域和烟羽照射区域；
- 监测点的选取和环境样品的采集充分保证监测区域和样品的代表性；
- 尽可能与环境本底调查布点一致；
- 在最小风频下风向受一体化小型堆排放影响最小的区域设采样和监测对照点；
- 陆生和海生生物生长周期、采样品种的代表性。

辐射环境监测的重点放在对关键人群组影响最大的环境介质和排放核素上。环境放射性监测由大气放射性监测、陆地放射性监测和海洋放射性监测三部分组成，监测项目以环境 γ 辐射、气溶胶、空气、沉降物、水、土壤、沉积物、陆生及水生生物为主。

1) 陆地 γ 辐射

(1) γ 辐射剂量率连续监测（自动监测系统）

海阳核电厂共有 9 个环境 γ 辐射监测子站，其中厂区 3 个，场外 6 个，所有子站均具备有线及无线两种数据传输模式。

(2) 瞬时 γ 辐射剂量率

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

(3) γ 辐射累积剂量测量

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

2) 大气和沉降

山东海阳核电厂共有 5 个环境 γ 辐射监测子站安装了气溶胶、氡、碳-14、沉降物及雨水采集装置，其中厂区 1 个，场外 4 个。

(1) 气溶胶

气溶胶样品的监测频率为 1 次/月，采样体积约为 10000m³。采集的样品主

要用于 γ 谱及总放分析。

(2) 空气中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I

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

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

空气 ^{131}I 样品的监测频率为 1 次/月，使用碘盒采样，主要用于空气中有机碘的分析。采样持续时间为 3 天，采样总体积约为 500m^3 。

(3) 雨水

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

(4) 沉降物

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

3) 水体

(1) 地表水

地表水采集三个点位样品，采样频率为 1 次/半年，分析项目为 γ 谱和 ^3H 。

(2) 饮用水

饮用水采集五个点位样品，采样频率为 1 次/半年，分析项目为总 α 、总 β 、 γ 谱和 ^3H 。

(3) 地下水（非控制区）

地下水的采样点位分别为：厂区三口地下水监测井（P1、P2、P3）、厂外两个监测点位，分析项目为 γ 谱、 ^3H 和 ^{90}Sr ，其中 γ 谱、 ^3H 采样频率为 1 次/半年， ^{90}Sr 采样频率为 1 次/年。

(4) 控制区地下水

海阳核电一期工程控制区地下水样品的采样点位为核电厂区地下放射性管线周围布置的六口观测井（W1~W6），以及 093 门岗附近的对照点 W7 井，监测频率为 1 次/季，分析项目为 ^3H ，若发现样品 ^3H 活度异常，则进行 γ 谱核素分析。本项目将参照一期工程的地下水监测方案，开展本项目控制区地下水布点监测。

(5) 海水

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

4) 土壤

土壤样品范围主要在厂址半径 20km 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 。

5) 岸边沉积物

岸边沉积物样品采样点位与地表水相同，采样频次为 1 次/年，分析项目与土壤相同。

6) 潮间带土

潮间带土的采样点位有 2 个分别为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。

7) 海底泥

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

8) 生物

(1) 水生物

水生物主要采集海水生物。采样点位有 3 处（含 1 处对照点）。采样种类包括：鲅鱼（海鱼）、蛤蜊（贝壳类）、爬虾（甲壳类）及章鱼（软体类），分析项目为 γ 谱和 ^{14}C ，采样频次为 1 次/年。

(2) 陆生植物

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

(3) 家畜、家禽

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

(4) 牛奶

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

(5) 指示生物

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

8.1.3 应急监测

一体化小型堆事故工况下的环境应急监测是环境监测的组成部分，它具有快速反应和机动灵活的能力，应急监测方案中考虑了如下要求：

- 在厂址半径 5~10km 范围内，环境辐射监测系统的固定式 γ 辐射监测子站应具备应急条件下进行连续监测和通信的能力，测量范围能满足应急监测需求，相关数据能通过有线和无线方式及时传输至山东海阳核电厂应急指挥中心等应急设施。
- 在发生核事故时，山东海阳核电厂的环境监测车和介质采样车在配置了便携式仪表和其它设备后，可参与应急监测和取样，快速判断放射性释放对环境造成的污染范围和污染程度。
- 环境实验室位于山东海阳核电厂厂外，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。

本项目的应急监测将依托山东海阳核电厂已有应急监测系统开展。

8.2 其它监测

8.2.1 热影响监测

本项目以对外供应工业蒸汽为主，同时开展热法海淡示范，冬季作为海阳市供暖备用热源。本项目正常运行期间不使用海水直流冷却，不排放温排水，因此无需开展热影响监测。

8.2.2 化学污染物和生活污水监测

8.2.2.1 生产废水排放监测

本项目不新建生产废水处理设施，生产废水将利用山东海阳核电厂内的生产废水处理设施处理。

山东海阳核电厂已对一期工程生产废水排放进行监测，监测项目包括：

1) 硼、油类、铁、亚硝酸盐、锂、镍、钠、阴离子洗涤剂，监测频度为1次/月；

2) 溶解氧、余氯、电导率、pH值、可溶性正磷酸盐、联氨、氨氮，监测频度为1次/周。

后续其他机组的生产废水排放监测也将参照一期工程开展。

8.2.2.2 生活污水监测

本项目生活污水将利用山东海阳核电厂内已建生活污水处理设施处理。海阳核电厂共有4套生活污水处理设施，分别位于仓库区、厂前区东面、厂前区西面和一期厂房西侧。山东海阳核电厂对生活污水处理后监测，监测达标后用于绿化。

山东海阳核电厂对生活污水处理设施出水进行监测。监测项目包括pH、色度、浊度、嗅、BOD₅、氨氮、溶解氧、溶解性固体、阴离子表面活性剂、大肠埃希氏菌、总氯。监测频度为：pH、色度、嗅、浊度、溶解氧和总氯为1次/日，其余监测项目为1次/周。

8.2.3 气象观测

海阳核电厂内已建有气象观测系统，包括1个约100m的气象铁塔、1个地面气象观测场和一个气象观测站工作室。气象观测系统的测量项目包括：

气象铁塔：10m、30m、80m和100m四个高度处的风向、风速、温度；

地面气象观测站：气压、空气温度和湿度、降水、地表温度、天空总辐射和净辐射。

气象观测站工作室放置气象数据接收系统、气象梯度仪主机和自动气象站主机。气象数据接收系统包括一台气象专用计算机、相应的应用软件、打印机和专用网络接口。气象数据接收系统接受来自气象梯度仪主机和自动气象站主机的所有数据，并对这些数据进行储存、处理、显示、制表和打印。

由于本项目的选址位于已建气象观测场和气象铁塔区域，后续气象观测系统将重新选址建设，观测内容不变。

8.2.4 水文观测

山东海阳核电厂的水文观测系统全厂共用。在山东海阳核电厂大件码头处建设验潮站一座，布置验潮站及温盐井，实时连续观测潮汐、海流、波浪、水温、海水盐度等海洋环境参数。

8.3 监测设施

8.3.1 流出物实验室

一体化小型堆流出物实验室与山东海阳核电厂现有流出物实验室初步考虑合用，流出物实验室位于流出物和放化实验室一层，包括放射性测量间 1、放射性测量间 2、放射性测量间 3、试剂及天平、样品预处理及化学分析间等，配备了实验家具、制样设备、放射性测量仪器等，可用于对一体化小型堆厂气态和液态流出物样品进行预处理、样品制备、 γ 核素分析、 α/β 放射性测量等，以确定排放的液态和气载流出物的放射性水平，并为编写一体化小型堆放射性物质排放的年度评价报告提供数据。

流出物实验室已在山东海阳核电厂前期工程中完成建设，一体化小型堆的新建不会增加待测样品的种类，也不会显著增加待测样品的数量，流出物实验室现有设计满足一体化小型堆新增情况下的样品分析需求。

8.3.2 环境监测设施

一体化小型堆环境监测系统与海阳核电厂现有系统初步考虑合用，环境监测设施设置了环境 γ 监测系统、环境实验室和环境监测网，配备放射性测量仪器、取样装置、制样设备、服务器、工作站等，用于连续监测小型化一体堆厂区及周围地区的环境 γ 剂量率，采集厂区及周围地区的环境样品等，通过对环境中 γ 辐射数据的实时监测和将采集的环境样品送环境实验室进行制样和测量，为评价核电厂对环境的影响和应急事故期间制定应急方案提供依据。

环境监测设施均已在山东海阳核电厂一期工程中建设完成，一体化小型堆的新建不会增加环境样品的种类，也不会显著增加待测环境样品的数量，环境监测站现有设计满足一体化小型堆新增情况下的环境样品分析需求。

8.3.3 监督性监测系统

一体化小型堆辐射环境现场监督性监测系统与海阳核电厂现有系统初步考虑合用，环境监测设施设置了监测子站、标准气象观测场、环境实验室、流出物实验室、监督性监测网、环境监测车、综合业务办公楼等，配备了实验家具、放射性测量仪器、取样装置、制样设备等，用于对一体化小型堆外围辐射环境和一体化小型堆流出物进行连续和抽样监测，以实现一体化小型堆的监督，从而保证一体化小型堆周围辐射环境的安全等。

辐射环境现场监督性监测设施已在山东海阳核电厂一期工程中建设完成，一

体化小型堆的新建不会增加环境样品的种类,也不会显著增加待测环境样品的数量,辐射环境现场监督性监测设施现有设计满足小堆新增情况下的环境样品分析需求。

8.4 质量保证

在本项目 1 台一体化小型堆正常运行情况下，需要对流出物和环境进行监测，以保障公众的安全，增加公众对核安全的信心，确保一体化小型堆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。

本项目流出物和环境监测与海阳核电厂现有系统考虑合用，因此流出和环境监测的质量保证也沿用海阳核电厂质保计划。

海阳核电厂现有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/T21-1998）
- 《气载放射性物质取样一般规定》（HJ/T22-1998）
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）
- 《水质采样样品的保存和管理技术规定》（HJ493-2009）
- 《水质采样技术指导》（HJ494-2009）
- 《水质采样方案设计技术规定》（HJ495-2009）

8.4.1 质量控制

1) 样品采集、运输和贮存的质量控制

样品采集、运输和贮存的质量控制的目的是保证采集具有代表性并保持放射性核素在分析前的原始浓度。为此应该准确地测量样品的质量、体积和流量，其误差一般控制在 $\pm 10\%$ 以内。为了确定采样的不确定度，应该定期采集平行的瞬时样品。各类常规样品应妥善保存，直至得出最终分析结论。

2) 分析测量中的质量控制

样品的预处理和分析测量方法应采用标准方法或经过鉴定和验证过的方法。操作人员应严格按操作程序操作，防止样品间的交叉污染。为了确定分析测量过程中产生的不确定度，应该分析测量质量控制样品。为了发现和确定环境实验室分析测量系统的不确定性，必须参加本地区和国家组织的实验室之间的分析比对，对存在的系统误差查明原因，并采取校正措施。分析测量装置的性能应定期送往

国家计量站进行检定、校准和检验。

3) 数据处理

每个样品从采集、预处理到分析测量、结果计算全过程中的每一步都应有清楚、详细和准确的记录。数据处理应采用标准方法,减少处理过程中产生的误差。对于偏离正常值的异常结果应及时向技术负责人报告,并在自己的职责范围内进行核查。监测数据的正式上报或使用,必须经有关技术负责人签发。

8.4.2 质量管理

1) 组织机构

建立合适的辐射监测机构并实施管理是流出物和环境监测质量保证的重要因素。对管理和实施质量计划的人员设置及其职责、权力应有明确规定。

2) 人员的资格和培训

辐射监测结果的准确性与操作人员的技术水平和经验有关,因此各类操作人员应有严格的资格要求,上岗前必须进行专业培训,取得有关技术操作资格后方可上岗。为保持和适应新技术发展的要求,对各类技术人员应进行反复的技术培训、考核和技能审评。

第九章 利益代价分析

9.1 利益分析

9.1.1 运行带来的直接利益

山东海阳一体化小型堆示范工程位于山东海阳核电厂整个厂区的西南侧，厂址位于山东省烟台市辖海阳市核电装备制造工业园区邵家庄村以南（冷家庄和董家庄原址），处于三面环海的岬角东端，东北有乳山湾，西南有凤城港，东部和南部面临广阔的黄海。本项目建设1台一体化小型堆，热功率为200MWt，最大供汽能力为250t/h，以对外供应工业蒸汽为主，同时开展热法海淡示范，冬季作为海阳市核能供暖的备用热源。

本项目按照年供汽量175万t。

9.1.2 建设和运行带来的间接利益

9.1.2.1 社会效益

1) 对社会发展的利益

本项目投产后，本项目员工的购房、生活消费等，都将促进当地房地产业、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。本项目员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。

2) 对关联产业的利益

本项目作为山东省内首个一体化小型堆示范项目，对关联产业的利益分析有待建成投产后进一步研究。现阶段可借鉴核电投资建设对相关产业形成的拉动效应，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、专业设备制造业等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，关联面较大的核能是拉动我国经济增长、促进经济结构优化与升级的重要驱动项目。

3) 对区域经济的利益

本项目能够有效推动和促进地方经济的发展，对地方财政收入的影响主要来

自于税收，项目投产后正常年份每年可为地方贡献200多万元的城市维护建设税及教育费附加，2000多万元的企业所得税。除此之外，项目还能够为地方创造大量就业机会，不仅在建设期需要大量不同层次的劳动力，而且运行期间也能够直接或间接的提供大量就业岗位。

9.1.2.2 环境效益

本项目给环境带来的间接效益主要来自于其替代燃煤锅炉供暖带来的减排效应，煤炭燃烧的主要污染物是CO₂、SO₂、NO_x以及烟尘等。本项目的建成可加快分散燃煤锅炉整治，大量减少当地冬季CO₂的排放量，助力蓝天保卫战。

9.2 代价分析

9.2.1 直接代价

本项目用于生态环境保护的费用包括建设期费用和运行期费用。建设期费用是指用于生态环境保护的基本建设投入，运行期费用是指用于生态环境保护管理、治理、生态恢复、环境修复和环保设施运行的费用。

建设期的环保投资包括环保设施投资和绿化投资两部分，其中环保设施投资包括厂区三废处理及环境保护工程、核岛三废处理、流出物监测系统、环境监测系统、环境整治、施工期环保投入等。本项目建设期的环保设施投资占项目总投资费用的3.4%。此外，本项目施工期间，为保证施工的安全、文明和环保，需投入一定的安全文明环保措施费，根据国家有关规定采取相应的保护措施。

9.2.2 间接代价

9.2.2.1 环境代价

为了达到保护生态环境和保护公众的目的，本项目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，以控制并确保一体化小型堆在正常运行期间和事故工况下向环境释放的放射性物质低于国家标准，对环境和公众的影响在可接受的范围内。本报告书的前述章节已对本项目的环境影响做出了详细的论证。

9.2.2.2 社会代价

本项目的建设和运行，不仅要解决本项目员工的饮食、居住、交通和子女受教育、就业等实际问题，而且还会给当地带来一些社会问题。

1) 交通运输问题

一体化小型堆建设所需的施工设备、器材和人员的运输会增加当地交通网的负担，亦可能增加交通事故的频率。建设期间的大型设备运输和运行期间的乏燃料及放射性废物的运输，因有特殊的要求，会给所经线路的交通带来一定的影响。但厂址所在区域交通条件良好，而且交通运输压力增加的影响是短期的，通过措施控制可以缓解。

2) 对当地民生和基础设施产生的影响

本项目的建设和运行，使厂址所在地区的人口数量有所增加，势必造成对医院、学校、商业等民生设施以及供排水等市政基础设施的需求增加，当地政府需增加对民生及基础设施的投入。

3) 对当地社会安全、稳定的影响

本项目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工数量增加，从而对当地社会秩序的安全和稳定造成一定程度的影响。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。

总之，本项目为一体化小型堆，建设规模远小于海阳核电厂前期工程，社会代价也远小于核电建设。

第十章 结论

10.1 项目概况

本项目为山东海阳一体化小型堆示范工程，拟建设1台一体化小型堆，热功率为200MWt，最大供汽能力为250t/h，以对外供应工业蒸汽为主，同时为海阳核电5、6号机组热法海淡提供热源，冬季作为海阳市供暖备用热源。

本项目建设地点位于山东海阳核电厂内。山东海阳核电厂址规划容量为6台百万千瓦级核电机组和1台一体化小型堆，并预留两台百万千瓦级核电机组扩建余地。

国电投核能有限公司及山东核电有限公司共同作为山东海阳一体化小型堆示范工程核设施营运单位，办理核设施安全许可申请工作，负责开展山东海阳一体化小型堆示范工程的选址、建造、运行及退役工作，并依据国家法律法规有关规定承担核安全全面责任。

本项目建设工期为48个月，机组的设计寿期为60年。本项目实际开工时间以国家批准的开工建设时间为准。

本项目所在厂址具备建设1台一体化小型堆的条件。

10.2 环境保护设施

对于放射性污染物，本项目配置有放射性液体废物处理系统（KPF）、放射性气体废物处理系统（KPL）、放射性固体废物处理系统（KPA）、乏燃料贮存系统、厂址废物处理设施（SRTF），其中SRTF为山东海阳核电厂全厂共用设施。

对于非放污染物，本项目主要依托山东海阳核电厂内前期工程进行。生活污水由核电厂已建生活污水处理设施处理达标后回用，非放生产废水由非放废水处理设施处理，危险废物主要在核电厂已建危废暂存库内存放，并由山东核电有限公司委托有资质单位处理。

山东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，本项目核应急准备和响应纳入核电厂核应急预案统一考虑。

山东海阳核电厂配备有流出物监测设施和环境监测设施，本项目辐射监测和非放监测依托山东海阳核电厂现行环境监测大纲开展。

通过以上环保措施，本项目所产生的各类污染物均能得到有效的控制，满足

环保要求。

10.3 放射性排放

本项目气载和液态流出物的年排放量满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）对单堆排放量的要求。

山东海阳核电厂全厂址所有反应堆（包括 1~6 号核发电机组和本项目 1 台一体化小型堆，下同）气载和液态流出物的年总排放量满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）对全厂址所有反应堆排放量的要求。

10.4 辐射环境影响评价结论

本项目以及山东海阳核电厂全厂址所有反应堆正常运行期间所致最大个人的有效剂量均满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定的剂量限值要求（0.25mSv）。因此，本项目正常运行期间对环境的辐射影响是可以接受的。

本项目以及海阳核电厂全厂址所有反应堆正常运行期间排放的液态流出物对受纳海域中的水生生物的影响较小。

本项目非居住区和规划限制区包络在山东海阳核电厂已有非居住区和规划限制区范围内。山东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，海上非居住区边界为距厂址 1~6 号核发电机组各反应堆中心 800m 所构成的包络线。同时山东省人民政府已确定山东海阳核电厂（以反应堆为中心）半径 5km 范围内为规划限制区。

在设计基准事故整个持续期间（30 天），非居住区边界（即厂址边界）上任何个人所受的最大个人有效剂量为 1.3mSv，最大个人甲状腺剂量为 15.6mSv；在设计扩展工况事故整个持续期间，非居住区边界（即厂址边界）上任何个人所受的最大个人有效剂量为 3.25mSv。以上剂量均满足《小型核动力厂非居住区和规划限制区划分技术规范》（T/BSRS022-2020）规定的剂量限值要求（设计基准事故：非居住区边界有效剂量限值 10mSv、甲状腺剂量限值 100mSv；设计扩展工况：非居住区边界有效剂量限值 10mSv）。

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。山东海阳核电厂实施全

厂址统一应急，本项目将在前期工程核应急预案的基础上，结合项目实际情况对核应急预案进行完善。

10.5 非辐射环境影响评价结论

10.5.1 施工期环境影响

本项目施工期的主要污染物为扬尘、施工废水、施工噪声、建筑垃圾等，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

本项目为供汽供热项目，不使用海水冷却，设冷水采用空冷方式冷却。空冷机组产生的噪声可以满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中2类标准（昼间60dB（A）、夜间50dB（A））的要求，不会对厂外声环境造成不良影响。

10.5.3 其他非放射性环境影响

本项目各类生产废水经山东海阳核电厂内非放生产废水处理设施处理，满足《流域水污染物综合排放标准 第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）中的一级排放标准后排放，不会对厂址附近海域水质产生不良影响。

生活污水经山东海阳核电厂内已建生活污水处理设施处理，达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）的控制标准后进行回用，不会对厂址附近海域水质产生不良影响。

本项目产生的各类固体废物均得到妥善处置，不会对周围环境产生不良影响。

本项目厂界噪声满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的2类标准。

10.5.4 “三线一单”符合性

本项目位于烟台海阳市核电装备制造产业园重点管控单元。根据《烟台市人民政府关于印发烟台市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（烟政发[2021]7号）以及《关于印发烟台市环境管控单元生态环境准入清单的通知》（烟台市生态环境保护委员会办公室，2021年8月16日），本项目符合当地“三线一单”管控要求。

本项目不占用生态红线区。本项目施工、运行期间不会对生态红线区造成不

良影响。

10.6 公众参与和调查结论

国电投核能有限公司和山东核电有限公司在环境影响评价报告书编制过程中按照《环境影响评价公众参与办法》的要求，通过公示公告、问卷调查和座谈会等方式开展了公众参与工作。公众参与期间，没有公众对本项目建设提出反对意见。

10.7 承诺

国电投核能有限公司和山东核电有限公司承诺：

- 1) 在本项目建设和运营过程中，按照环境影响报告书及核安全监管部门的要求，积极落实各项环保措施（特别是协调落实好全厂共用环保设施），做好“三同时”工作；
- 2) 积极开展设计优化工作，及时将设计改进落实到本项目中；
- 3) 积极开展核能知识科普宣传工作，实现核能发展与公众意识之间的和谐。