

**华能山东石岛湾核电厂扩建一期工程  
环境影响报告书  
(选址阶段)**

**华能石岛湾核电开发有限公司**

**二〇二一年十二月**

## 目 录

### 第一章 概述

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

### 第二章 厂址与环境

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

### 第三章 环境质量现状

- 3.1 辐射环境质量现状
- 3.2 非辐射环境质量现状

### 第四章 核电厂

- 4.1 厂区规划及平面布置
- 4.2 反应堆和蒸汽-电力系统

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

## 第五章 核电厂施工建设过程的环境影响

- 5.1 土地利用
- 5.2 水的利用
- 5.3 施工影响控制

## 第六章 核电厂运行的环境影响

- 6.1 散热系统的环境影响
- 6.2 正常运行的辐射影响
- 6.3 其它环境影响

## 第七章 核电厂事故的环境影响和环境风险

- 7.1 核电厂放射性事故和后果评价
- 7.2 场内运输事故
- 7.3 其它事故
- 7.4 事故应急

## 第八章 流出物监测与环境监测

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

## 第九章 利益代价分析

### 9.1 利益分析

### 9.2 代价分析

## 第十章 结论与承诺

### 10.1 核电厂建设项目

### 10.2 环境保护设施

### 10.3 放射性排放

### 10.4 辐射环境影响评价结论

### 10.5 非辐射环境影响评价结论

### 10.6 公众参与和调查结论

### 10.7 建议

### 10.8 承诺

## 附录

附录 A 与华能山东石岛湾核电站扩建一期工程建设相关的文件

附录 B 厂址附近食物消费和生产情况

附录 C 与正常运行的辐射影响有关的计算模式

附录 D 核电厂事故计算模式

## 第一章 概述

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

## 1.1 建设项目名称和建设性质

### 1.1.1 建设项目名称

本项目核电厂名称为“华能山东石岛湾核电厂”，简称“石岛湾核电厂”，本项目名称为“华能山东石岛湾核电厂扩建一期工程”，简称“扩建一期工程”。

扩建一期工程由华能石岛湾核电开发有限公司负责建设和运营管理。

### 1.1.2 建设性质

华能山东石岛湾核电厂扩建一期工程为扩建工程。

本工程东北侧的华能山东石岛湾核电厂 1 台 200MWe 高温气冷堆核电示范工程已成功临界。本工程西南侧的国和一号示范工程 2 台机组正处于施工建设中。本工程拟采用华龙一号技术方案再建两台核电机组。

## 1.2 建设项目的规模和厂址总体规划

山东石岛湾核电厂址规划总容量为 1 台 200MWe 高温气冷堆机组+国和一号示范工程 2 台机组+4 台百万千瓦级大型压水堆机组。4 台百万千瓦级大型压水堆机组为扩建工程，本工程为扩建一期工程，建设 2 台机组，拟采用华龙一号技术方案。山东石岛湾核电厂址按规划容量建成后，整个厂址区将形成一址多堆的核电基地。

## 1.3 建设项目经费和环保设施投资

扩建一期工程由华能石岛湾核电开发有限公司负责建设和运营，负责筹措建设所需资金和债务偿还，负责债务的风险管理。

## 1.4 建设目的

### （1）符合国家能源发展的产业政策

随着我国国民经济的持续快速稳步发展，能源供应的安全和节能减排的压力越来越受到国家的重视。长期以来，我国煤炭消费占能源消费总量的比例一直较高，占能源消费的总量近七成，同时，由于石油消费的不断增长，我国作为一个石油净进口国，石油消费对外部的依赖越来越严重。未来相当长时期内，煤炭仍将是中国的主要能源，化石能源在中国能源结构中仍占主体地位。

在面临常规能源资源日益减少和环境保护日益受到公众关注的情况下，我国除了积极推进资源节约型和环境友好型社会建设外，寻找清洁环保的替代能源，是保障国民经济可持续发展的必然选择。通过发展核电，可避免过分依赖石油、煤炭、天然气等不可再生能源，实现能源供应多元化，提高能源的安全性。

2016年3月16日，十二届全国人大四次会议通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》中提出：“深入推进能源革命，着力推动能源生产利用方式变革，优化能源供给结构，提高能源利用效率，建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系，维护国家能源安全。以沿海核电带为重点，安全建设自主核电示范工程和项目。”

2016年11月7日，国家发改委、国家能源局正式发布《电力发展“十三五”规划（2016-2020年）》，规划中提出“重点任务（四）安全发展核电，推进沿海核电建设：坚持安全发展核电的原则，加大自主核电示范工程建设力度，着力打造核心竞争力，加快推进沿海核电项目建设。”并提到“十三五期间，全国核电投产约3000万千瓦、开工3000万千瓦以上，2020年装机达到5800万千瓦。”

2016年12月26日，国家能源局正式印发《能源发展“十三五”规划》，规划中提出“安全高效发展核电，在采用我国和国际最新核安全标准、确保万无一失的前提下，在沿海地区开工建设一批先进三代压水堆核电项目。”

2017年3月，国务院正式批复了《核安全与放射性污染防治“十三五”规划及2025年远景目标》，规划中提出“保持新建核电厂高安全水平。科学开展核电厂选址，做好厂址特性的安全评价，保护已选核电厂址，必要时开展厂址复核。汲取日本福岛核事故经验教训，修订《核动力厂设计安全规定》，将安全改进项纳入新建机组标准设计，提高机组设计安全水平。新建核电机组实现从设计上实际消除大量放射性物质释放。”扩建一期工程拟采用的华龙一号技术方案，安全水平满足核安全规划中的有关要求。

党的十九大提出到2035年基本实现社会主义现代化的阶段性宏伟目标，强调要构建清洁低碳安全高效的能源体系，这为新时代我国能源发展指明方向。核电具有清洁低碳安全高效等特点，相对传统火电以及风电、光伏等新能源均具有其比较优势，发展核电是我国构建清洁低碳安全高效能源体系的重要途径。

2018年2月26日，国家能源局印发《2018年能源工作指导意见》，提到“在充

分论证评估的基础上，开工建设一批沿海地区先进三代压水堆核电项目。”

2021年3月，十三届全国人大四次会议通过的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》指出：安全稳妥推动沿海核电建设，建设一批多能互补的清洁能源基地。建成华龙一号、国和一号、高温气冷堆示范工程，积极有序推进沿海三代核电建设。核电运行装机容量达到7000万千瓦。

2021年6月16日，国家能源局印发《关于山东省荣成市石岛湾核电厂扩建项目前期工作专家座谈会的会议纪要》，批准石岛湾核电厂扩建项目按照“华龙一号”（包络CAP1000）技术路线开展前期论证工作。

综上所述，本项目的建设符合国家当前的核电产业政策要求。

#### （2）满足山东省电力需求发展的需要

根据山东电网电力平衡计算，山东今后仍需大力发展电源建设，扩建一期工程建成后可为山东经济社会发展提供电力，也将带动相关产业的发展，促进山东沿海乃至全省的经济发展。

#### （3）满足山东省环境保护的要求

习近平总书记在十九大报告中指出，加快生态文明体制改革，建设美丽中国，把生态文明建设摆在了中国特色社会主义五位一体总体布局的战略位置。

目前，山东能源消费主要以煤炭消费为主，给环境保护带来很大压力。核电是清洁能源，对环境无污染，几乎不排放硫化物、碳化物、氮化物以及烟尘、灰渣等污染物，放射性物质的泄漏亦有严格控制。以本项目2台1200MW级核电机组替代相应容量的煤电机组，可减少燃烧约528.3万吨标准煤/年，减少二氧化碳排放约1384.1万吨/年，减少二氧化硫排放约4.5万吨/年，减少氮氧化物排放约3.9万吨/年。扩建一期工程的建设，实际上相当于减少了同等容量火电厂对环境的污染，可以有效改善环境质量，实现电力、经济与环境协调发展，具有显著的环境效益和社会效益。

#### （4）充分利用现有厂址资源，具有良好的经济效益

华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆示范工程已基本建成，国和一号示范工程正在建设；通过前期工程的建设，厂址现有的基础设施已基本完备，如交通、供水、供电、通信、生活等方面设施，本项目建设可充分利用，将有利于缩短工期、控制投资，提升本项目建设的经济性。

## 1.5 建设项目的进度

扩建一期工程单台机组总工期 64 个月，1 号机组计划于 2022 年 7 月浇灌第一罐混凝土，2027 年 11 月投入商业运行。2 号机组和 1 号机组开工间隔 10 个月。

## 1.6 环境影响报告书编制依据

### 1.6.1 相关规划

#### （1）发展规划

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

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

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

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

综上，扩建一期工程的建设符合区域发展规划。

## （2）海洋功能区划

2012年11月，国务院正式批复《山东省海洋功能区划(2011-2020)》，批复后的《山东省海洋功能区划》将宁津镇东墩村以东附近海域划定为荣成宁津工业与城镇建设用海区(面积12.88km<sup>2</sup>,代码A3-17)与荣成宁津保留区(面积14.65km<sup>2</sup>,代码A8-12),其中,A3-17区块海域的基本功能为工业和城镇用海,A8-12区块海域的基本功能需通过科学论证确定,未确定用途前保持现有海洋环境与水质标准。

## （3）近岸海域环境功能区划

2014年6月12日经山东省环境保护厅（鲁环发〔2014〕70号）批复调整厂址附近海域环境功能区划，将厂址附近A1—A4坐标点连线之内、面积3.51km<sup>2</sup>的海域，调整为混合区；厂址附近混合区外、B1-B6与岸线围成的面积36.91km<sup>2</sup>的海域，调整为三类环境功能区。2021年6月1日，山东省生态环境厅发函（鲁环函[2021]69号）明确了厂址附近海域的海水水质标准，同意A1-A4四点连线围成的混合区不设置水质管控目标，B1-B6六点连线围成的三类环境功能区执行三类海水水质标准。

## （4）三线一单

威海市人民政府2021年6月17日发布了“威海市“三线一单”生态环境分区管控方案”。厂址陆域位于一般管控单元，海域位于重点管控单元。威海市陆域一般管控单元主要涵盖陆域优先保护单元、重点管控单元以外的其他区域。该区域执行区域生态环境保护的基本要求，合理控制开发强度。海域重点管控单元主要涵盖工业或城镇建设用海区、港口区、倾废区、排污混合区、围填海区等开发利用强度较高的海域，以及水动力条件较差、水质超标、生态破坏较重和存在重大风险源的海域。该区域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。

### 1.6.2 相关管理文件

- 关于山东省荣成市石岛湾核电站扩建项目前期工作专家座谈会的会议纪要（国家能源局综合司，国能综纪核电[2021]4号）；
- 山东省生态环境厅关于明确石岛湾核电基地水质要求的函（山东省生态环境厅，鲁环函[2021]69号）；

- 关于华能石岛湾核电开发有限公司扩建工程环境影响评价执行标准的函（威海市生态环境局，2021年10月15日）；
- 荣成市人民政府关于同意设置压水堆扩建工程非居住区的批复（荣成市人民政府，荣政字[2021]60号）；
- 华能山东石岛湾核电有限公司高温气冷堆核电站示范工程施工生活区生活污水处理站排污登记回执，2020年6月16日。

### 1.6.3 法规、标准和导则

#### （1）主要法律法规、条例、部门规章和文件

- 中华人民共和国环境保护法（自2015年1月1日起修订施行）；
- 中华人民共和国核安全法（自2018年1月1日起施行）；
- 中华人民共和国海洋环境保护法（自2017年11月5日起修订施行）；
- 中华人民共和国放射性污染防治法（自2003年10月1日起施行）；
- 中华人民共和国环境影响评价法（自2018年12月29日起修订施行）；
- 中华人民共和国大气污染防治法（自2018年10月26日起修订施行）；
- 中华人民共和国水污染防治法（自2018年1月1日起修订施行）；
- 中华人民共和国环境噪声污染防治法（自2018年12月29日起修订施行）；
- 中华人民共和国固体废物污染环境防治法（自2020年9月1日起修订施行）；
- 中华人民共和国水土保持法（自2011年3月1日起修订施行）；
- 中华人民共和国海域使用管理法（自2002年1月1日起施行）；
- 中华人民共和国自然保护区条例（自2017年10月7日起修订施行）；
- 建设项目环境保护管理条例（自2017年10月1日起修订施行）；
- 中华人民共和国防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例（自2018年3月19日起修订施行）；
- 中华人民共和国防治陆源污染物污染损害海洋环境管理条例（自1990年8月1日起施行）；
- 放射性废物安全管理条例（自2012年3月1日起施行）；
- 危险化学品安全管理条例（自2013年12月7日起修订施行）；
- 海洋自然保护区管理办法（自1995年5月29日起施行）；

- 国家危险废物名录（自 2021 年 1 月 1 日起施行）；
- 近岸海域环境功能区管理办法（自 2010 年 12 月 22 日起修订施行）；
- 建设项目环境影响评价分类管理名录（自 2021 年 1 月 1 日起修订施行）；
- 核电站厂址选择安全规定（HAF101，自 1991 年 7 月 27 日起施行）；
- 核电站设计安全规定（HAF102，自 2016 年 10 月 26 日起修订施行）；
- 核电站核事故应急管理条例（HAF002，自 2011 年 1 月 8 日起修订施行）；
- 放射性物品运输安全监督管理办法（HAF702，自 2016 年 5 月 1 日起施行）；
- 放射性废物安全监督管理规定（HAF401，自 1997 年 1 月 25 日起施行）；
- 放射性固体废物贮存和处置许可管理办法（HAF402，自 2014 年 3 月 1 日起施行）；
- 环境影响评价公众参与办法（生态环境部令[2018]4 号，自 2019 年 1 月 1 日起施行）；
- 水污染防治行动计划（国发[2015]17 号）；
- 关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知（环发[2012]77 号）；
- 关于切实加强风险防范严格环境影响评价管理的通知（环发[2012]98 号）；
- 威海市“三线一单”生态环境分区管控方案（威海市人民政府，2021 年 6 月 17 日）；
- 山东省海洋功能区划(2011-2020)；
- 山东省近岸海域环境功能区划（2016-2020 年）（鲁政字[2016]109 号）等。

## （2）技术标准和导则

### 1) 辐射

- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）；
- 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）；
- 《核电站流出物放射性监测技术规范（试行）》（国核安发[2020]44 号）；
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；
- 《核设施流出物监测的一般规定》（GB11217-89）；
- 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；
- 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）；

- 《放射性废物分类》（HAD401/04-2017）；
- 《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01-2019）；
- 《核设施放射性废物处置前管理》（HAD401/12-2020）；
- 《环境影响评价技术导则 核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ 808-2016）等。

## 2) 大气

- 《区域性大气污染物综合排放标准》（DB37/2376-2019）；
- 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
- 《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）。

## 3) 水

- 《海水水质标准》（GB3097-1997）；
- 《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）；
- 《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）；
- 《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ 2.3-2018）；
- 《流域水污染物综合排放标准 第5部分：半岛流域》（DB37/3416.5-2018）。

## 4) 噪声

- 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
- 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
- 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2009）。

## 5) 电磁

- 《环境影响评价技术导则 输变电工程》（HJ24-2014）；
- 《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）。

## 6) 其他

- 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；
- 《环境监测质量管理技术导则》（HJ630-2011）；
- 《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2011）；
- 《近岸海域环境监测技术规范》（HJ442-2020）；
- 《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599-2020）；

- 《危险废物贮存控制标准》（GB18597-2001）及修改单；
- 《危险废物收集贮存运输技术规范》（HJ2025-2012）；
- 《危险化学品重大危险源辨识》（GB18218-2018）；
- 《危险货物物品名表》（GB12268-2012）；
- 《化学品分类和危险性公示 通则》（GB13690-2009）；
- 《危险货物分类和品名编号》（GB6944-2012）；
- 《山东省环境保护条例》（2019.1.1 修订实施）；
- 《山东省大气污染防治条例》（2018.11 修正）；
- 《山东省水污染防治条例》（2018.12.01 实施）；
- 《山东省环境噪声污染防治条例》（2018.01 修正）；
- 《山东省海洋环境保护条例》（2018.11 修正）；
- 《山东省辐射污染防治条例》（2014.5.1 实施）；
- 《山东省实施<中华人民共和国固体废物污染环境防治法>办法》（2018.01 修正）；
- 《山东省核事故应急管理办法》（2012 年 10 月 1 日施行）；
- 《核电站施工期环境监测技术规范》（DB37/T 3547-2019）等。

#### 1.6.4 相关技术文件

- 华能山东石岛湾核电站厂址邻近海域水生生态（含海洋环境放射性本底）调查总报告（自然资源部第三海洋研究所，2021 年 11 月）；
- 华能石岛湾核电站厂址邻近海域渔业资源调查专题成果报告（自然资源部第三海洋研究所，2021年11月）；
- 华能山东石岛湾核电站扩建工程海域四季同步水文测验专题分析报告（中国科学院海洋研究所，2021年11月）；
- 华能山东石岛湾核电站扩建工程陆生生态调查专题报告（中国辐射防护研究院，2021年9月）；
- 华能山东石岛湾核电站扩建工程环境资料调查专题（中核第四研究设计工程有限公司，2020年11月）；
- 华能山东石岛湾核电站扩建工程可行性研究阶段常规气象和极端气象复核专题

- 报告（国核电力规划设计研究院有限公司，2020年12月）；
- 石岛湾核电厂址电磁辐射本底补充调查报告（中国辐射防护研究院，2015年8月）；
  - 石岛湾核电厂址大气扩散模式研究总结报告（中国辐射防护研究院，2013年3月）；
  - 华能山东石岛湾核电厂温排水和液态流出物专题中间成果报告（中国水利水电科学研究院，2021年12月）；
  - 华能山东石岛湾核电厂扩建一期工程水资源论证报告书（送审稿）（中国水利水电科学研究院，2021年12月）；
  - 华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程首次装料前阶段环境辐射本底水平调查报告（中国辐射防护研究院，2016年7月）；
  - 华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程首次装料前阶段环境辐射本底水平调查质量保证总结报告（中国辐射防护研究院，2016年7月）等。

## 1.7 评价标准

### 1.7.1 辐射环境影响评价标准

#### （1）正常运行期间（包括预计运行事件）的剂量约束值

按《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）6.1款的规定，任何厂址的所有核动力堆向环境释放的放射性物质对公众个人造成的有效剂量，每年必须小于0.25mSv的剂量约束值。山东石岛湾核电厂址规划建设规模为1台200MWe高温气冷堆机组和6台百万千瓦级核电机组，本次环境影响评价确定华能山东石岛湾核电厂扩建一期工程两台机组向环境释放的放射性物质对公众所受的剂量约束值为0.08mSv/a。

#### （2）事故工况下的剂量控制值

按《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）5.9款的规定，在发生选址假想事故时，考虑保守大气弥散条件，非居住区边界上的任何个人在事故发生后的任意2h内通过烟云浸没外照射和吸入内照射途径所接受的有效剂量不得大于0.25Sv；规划限制区边界上的任何个人在事故的整个持续期间内（可取30d）通过上述两条照射途径所接受的有效剂量不得大于0.25Sv。在事故的整个持续期间内，厂址半径80km范围内公众群体通过上述两条照射途径接受的集体有效剂量应小于 $2 \times 10^4$ 人·Sv。

### （3）年排放量控制值

本项目采用的是轻水反应堆，机组额定热功率为3180MW。根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）6.2款和6.3款规定，每座反应堆气载和液态放射性流出物年排放量控制值为：

气载放射性流出物：

- 惰性气体： $6 \times 10^{14} \text{Bq/a}$ ；
- 碘： $2 \times 10^{10} \text{Bq/a}$ ；
- 粒子（半衰期 $\geq 8\text{d}$ ）： $5 \times 10^{10} \text{Bq/a}$ ；
- $^{14}\text{C}$ ： $7 \times 10^{11} \text{Bq/a}$ ；
- $^3\text{H}$ ： $1.5 \times 10^{13} \text{Bq/a}$ 。

液态放射性流出物：

- $^3\text{H}$ ： $7.5 \times 10^{13} \text{Bq/a}$ ；
- $^{14}\text{C}$ ： $1.5 \times 10^{11} \text{Bq/a}$ ；
- 其余核素： $5.0 \times 10^{10} \text{Bq/a}$ 。

本项目两座反应堆气载和液态放射性流出物年排放量控制值为：

气载放射性流出物：

- 惰性气体： $8 \times 10^{14} \text{Bq/a}$ ；
- 碘： $2.67 \times 10^{10} \text{Bq/a}$ ；
- 粒子（半衰期 $\geq 8\text{d}$ ）： $6.67 \times 10^{10} \text{Bq/a}$ ；
- $^{14}\text{C}$ ： $9.33 \times 10^{11} \text{Bq/a}$ ；
- $^3\text{H}$ ： $2 \times 10^{13} \text{Bq/a}$ 。

液态放射性流出物：

- $^3\text{H}$ ： $1 \times 10^{14} \text{Bq/a}$ ；
- $^{14}\text{C}$ ： $2 \times 10^{11} \text{Bq/a}$ ；
- 其余核素： $6.67 \times 10^{10} \text{Bq/a}$ 。

根据6.4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。

本工程为滨海厂址，槽式排放出口处的放射性流出物中除氚和碳14外其它放射性核素浓度不应超过 $1000 \text{Bq/L}$ 。

#### （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，华能山东石岛湾核电厂运行期间受纳水体中的放射性核素浓度控制值为：

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

### 1.7.2 非辐射环境影响评价的标准

根据“关于华能石岛湾核电开发有限公司扩建工程环境影响评价执行标准的函”（威海市生态环境局，2021年10月），确定非辐射环境影响评价的标准如下：

#### （1）环境质量标准

##### — 环境空气

环境空气执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的二级标准。

##### — 海水

海水按厂址附近近岸海域环境功能区划的要求，执行《海水水质标准》（GB3097-1997）的相关标准。对海水温升的要求：一、二类功能区人为造成的海水温升夏季不超过 $1^{\circ}\text{C}$ ，其它季节不超过 $2^{\circ}\text{C}$ ；三、四类功能区人为造成的海水温升不超过当时当地 $4^{\circ}\text{C}$ 。

2014年6月12日经山东省环境保护厅（鲁环发〔2014〕70号）批复调整厂址附近海域环境功能区划，将厂址附近A1—A4坐标点连线之内、面积 $3.51\text{km}^2$ 的海域，调整为混合区；厂址附近混合区外、B1-B6与岸线围成的面积 $36.91\text{km}^2$ 的海域，调整为三类环境功能区。调整后的厂址附近海域环境功能区划见图2.3-6。2021年6月1日，山东省生态环境厅发函（鲁环函〔2021〕69号）明确了厂址附近海域的海水水质标准，同意A1-A4四点连线围成的混合区不设置水质管控目标，B1-B6六点连线围成的三类环境功能区执行三类海水水质标准。

##### — 声

声环境质量评价执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的2类标准：昼间60dB

(A)，夜间 50dB (A)。敏感点执行《声环境质量标准》(GB3096-2008) 中的 1 类标准：昼间 55dB (A)，夜间 45dB (A)。

— 电磁环境

按照《电磁环境控制限值》(GB8702-2014) 的公众曝露控制限值 (50Hz)：电场强度：4kV/m，磁感应强度：0.1mT。

(2) 污染物排放标准

— 污水

施工期及运行期的生活污水处理后达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002) 中的一级 A 标准，如回用，中水还应执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920-2020)。运行期的生产废水排放执行《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》(DB37/3416.5-2018) 中的一级标准，如回用，中水还应执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920-2020)。

— 噪声

施工期间噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)；运行期间厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 中的 2 类标准；厂外敏感点声环境须满足《声环境质量标准》(GB3096-2008) 中 1 类声环境功能区限值。

— 大气污染物

施工期大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 中的无组织排放监控浓度限值。运行期执行《区域性大气污染物综合排放标准》(DB37/2376-2019)。

— 固体废物

一般工业固体废物的处置和贮存执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020)，危险废物执行《危险废物贮存控制标准》(GB18597-2001) 及修改单（环境保护部公告 2013 年第 36 号修改单）中的相关要求。

## 1.8 工程组成

本项目是扩建工程，相关辅助设施将充分使用前期工程建设的设施，包括重件码头、施工与辅助电源输变电工程、220kV 辅助电源变电站、500kV 开关站、淡水管道、

放射源库、进厂道路和应急道路、取排水工程等，本项目主要建设核电主体工程（核岛、常规岛、辅助厂房）、应急道路连接线和取排水工程改造。

## 1.9 环境保护措施

### （1）辐射影响防治措施分析

本项目采用华龙一号核电技术方案，核岛废物处理系统（放射性废气管理系统、放射性废液管理系统、放射性固体废物管理系统）设置在核岛的核辅助厂房、废物处理厂房与废物辅助厂房，能满足核电厂正常运行的基本需求。

放射性废液管理系统为电厂提供控制、收集、处理、输送、贮存及处置正常运行期间（包括预期运行事件）产生的放射性废液的能力，并将放射性废液的活度和化学浓度降低到可排放或电厂可重复利用的水平。放射性废液处理系统包括：冷却剂贮存和处理系统（TEP）、废液处理系统（TEU）、核岛废液排放系统（TER）、放射性污水回收系统（SRE）和核岛排气和疏水系统（RPE）等。TEU系统采用蒸发、过滤、除盐等较为成熟的处理工艺对放射性废液进行处理，实现处理出水浓度满足GB6249-2011的要求。

放射性废气管理系统用于收集、贮存并处理两座反应堆正常运行工况和预期运行事件时产生的放射性废气，处理后经监测符合国家标准后排入大气。放射性废气管理系统主要包括：废气处理系统（TEG）、空调、加热、冷却及通风系统和冷凝器真空系统（CVI）。放射性废气管理系统收集放射性气体，采用滞留床延时衰变的方式进行放射性废气的处理。

放射性固体废物管理系统用于收集、整备和临时暂存电厂正常运行、预期运行事件下产生的浓缩液、废树脂及废过滤器滤芯以及各种干废物。放射性固体废物处理包装完成后的固废容器运至BQT厂房中期暂存，BQT厂房满足扩建工程4台机组5年产生的固体废物中期贮存要求。

### （2）非辐射影响防治措施分析

#### 1）废水防治措施分析

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

工业废水主要为电厂工艺用水除盐时所产生的腐蚀抑制剂或化学活性添加剂（如

氢氧化钠、盐酸、次氯酸钠、联胺等）。

电厂工艺用水除盐时将用到的腐蚀抑制剂或化学活性添加剂（如硼酸、氢氧化锂、氢氧化钠、盐酸、次氯酸钠、联胺等），其中硼酸大部分随浓缩液进入固体废物，氢氧化锂基本不外排；部分氢氧化钠、盐酸和次氯酸钠在水中混合后可以发生氧化还原和中和反应生成无毒无害的无机盐类；联胺可分解为氮气及氢气排出。

生活污水处理站（BEW）主要处理核电厂厂区的生活污水，主体工艺采用“厌氧缺氧耗氧除磷（A2O）”，废水经处理后达标排放或回用。核电厂将定期监测污水处理站出水水质，发现不达标时及时处置。

非放射性含油废水进入非放射性含油废水处理站（BES），经过贮存、油水分离处理。分离出的油脂收集后装入油桶运送到厂外。分离出的水排入非放工业废水处理系统，非放工业废水处理系统处理后中水进行回收利用，回用到除盐水生产系统。

## 2) 噪声污染防治措施分析

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

## 3) 固体废弃物污染防治措施分析

- 一般工业固弃物：核电厂在正常运行过程中因设备的维修、零部件的损坏等会产生一定量的工业固废，有废木材、废钢铁、废电缆、废塑料、废金属、废电动机、废变压器和废空调等，将纳入全厂固废收集处理系统，委托专业废弃物公司对上述废物进行处置。
- 危险固废：本项目运行时将会产生废油漆、废油脂、废酸碱、废有机溶剂等危险固废，将其归类后，委托具有危险废弃物处置资质的公司对其处置。
- 生活垃圾及污泥：本项目运行时厂区工作人员产生的生活垃圾由专门部门清运处置、生活污水处理站产生的污泥，检测合格后回用或由专门部门清运处置。

## 1.10 评价范围

### (1) 辐射环境

辐射环境的评价范围是以扩建一期工程 1 号机组反应堆为中心，半径 80km 范围的区域，评价内容包括气载和液态放射性流出物对半径 80km 区域内公众的辐射影响。

## （2）非辐射环境

### 1）水环境

评价范围为接纳海域 1℃温升范围，重点考虑取排水口附近海域及相关功能区管理要求，以及环境敏感目标环保要求。

### 2）大气环境

由于核电站施工期废气为无组织排放，因此评价范围为施工厂界和有关敏感点。

### 3）声环境

声环境影响的评价范围为厂界外 1m 及敏感点。

### 4）生态环境

参照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2011），本项目生态环境评价范围以核电站永久占地和临时占地范围为主，并考虑附近自然保护区和生态敏感区。

### 5）电磁环境

参照《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ24-2020），本项目电磁环境影响评价范围以厂内输变电工程站界外 50m 以及输电走廊（场内部分）边导线两侧各 50m。

## 第二章 厂址与环境

### 2.1 厂址地理位置

### 2.2 人口分布与饮食习惯

### 2.3 土地利用及资源概况

### 2.4 气象

### 2.5 水文

### 2.6 地形地貌

## 2.1 厂址地理位置

### 2.1.1 厂址位置

### 2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区

表

表 2.1-1 扩建一期工程用地一览表

图

图 2.1-1 厂址地理位置示意图

图 2.1-2 厂址非居住区和征地红线示意图

图 2.1-3 厂址规划限制区外边界示意图

## 2.1 厂址地理位置

### 2.1.1 厂址位置

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

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程 1 号反应堆厂房中心坐标为 4094076.422，457987.400，2 号反应堆厂房中心坐标为 4093862.945，457843.408，厂址地理位置见图 2.1-1。

### 2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区

图 2.1-2 给出了厂址非居住区和征地红线示意图。扩建一期工程永久用地面积约 96.15hm<sup>2</sup>（其中厂区面积 49.41hm<sup>2</sup>），用地类型有农用地、建设用地和其他土地，用地分区概况见表 2.1-1。扩建一期工程拟申请用海 58.1858hm<sup>2</sup>，其中非透水构筑用海分别为：排水渠扩建南堤 1.7728hm<sup>2</sup>，排水渠扩建北堤 1.7888hm<sup>2</sup>。排水口用海 8.4974hm<sup>2</sup>，温排水用海 46.1268hm<sup>2</sup>。

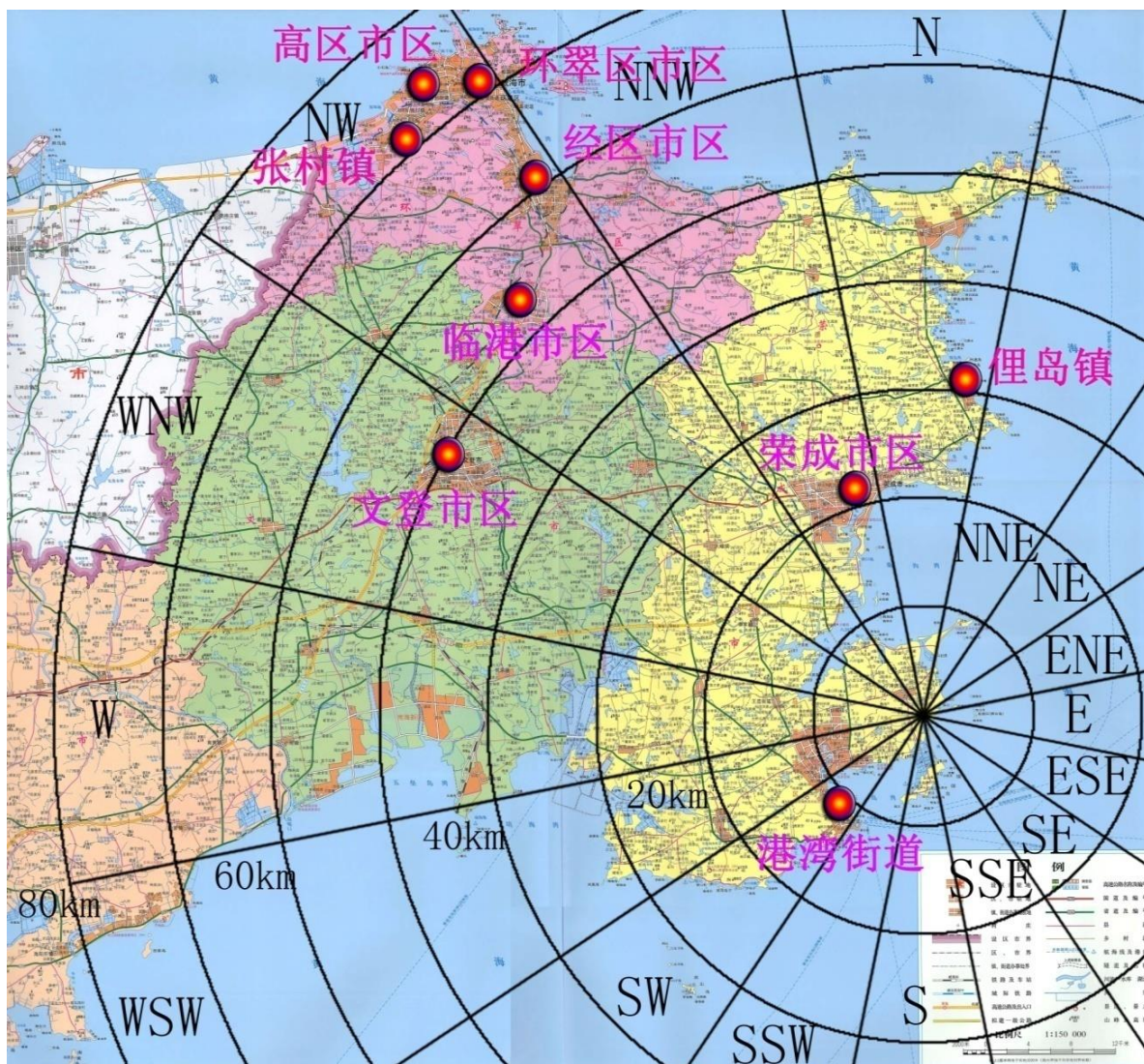
根据厂址周围环境特征，拟以反应堆为中心设置半径 500m 非居住区。根据评价，在发生选址假想事故时，考虑保守大气弥散条件，非居住区边界上的任何个人在事故发生后的任意 2h 内通过烟云浸没外照射和吸入内照射途径所接受的有效剂量不大于 0.25Sv，以反应堆为中心设置半径 500m 非居住区是合适的。荣成市人民政府已发函“荣成市人民政府关于同意设置压水堆扩建工程非居住区的批复（荣政字[2021]60号）”，同意以华能山东石岛湾核电站扩建工程反应堆为中心设置半径 500m 的非居住区，华能石岛湾核电开发有限公司对非居住区内超出征地范围的区域做好安全管理工作。

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的要求，在华能山东石岛湾核电站扩建一期工程厂址周围拟设置半径 5km 的规划限制区。根据评价，在发生选址假想事故时，规划限制区边界上的任何个人在事故的整个持续期间内（30d）通过烟云浸没外照射和吸入内照射途径所接受的有效剂量不大于 0.25Sv，设置半径 5km 的规划限制区是合适的。

图 2.1-3 给出了厂址规划限制区外边界示意图。

**表 2.1-1 扩建一期工程用地一览表**

序号	项目名称	永久用地 (hm <sup>2</sup> )	临时用地 (hm <sup>2</sup> )	备注
1	厂区	49.41	0	控制区围栏内(不含围栏区内约泵房前池、明渠用地)。
2	其他设施区	46.74	0	含厂区外边坡、防排洪设施、道路等。
3	施工准备区	0	54.5	暂估, 含 17.4hm <sup>2</sup> 道路及边坡
4	表土堆放区	0	6.40	
5	其他施工用地	0	34.3	
6	取土场	0	0	
7	弃土场	0	0	
---	合计	96.15	95.20	



华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
厂址地理位置示意图		
图 2.1-1	版次：	A

## 2.2 人口分布与饮食习惯

### 2.2.1 厂址半径 15km 范围内的人口分布

### 2.2.2 厂址半径 80km 范围内的人口分布

### 2.2.3 居民的年龄构成及饮食习惯和生活习性

### 2.2.4 参考资料

表

表 2.2-1 厂址半径 5km 范围内所有村庄及人口分布

表 2.2-2 厂址半径 5km 范围内的主要工业企业

表 2.2-3 厂址半径 5km 范围内的流动人口情况

表 2.2-4 厂址半径 10km 范围内学校分布情况

表 2.2-5 厂址半径 10km 范围内敬老院分布情况

表 2.2-6 厂址半径 10km 范围内的医院

表 2.2-7 厂址半径 15km 范围内千人以上居民点

表 2.2-8 厂址半径 15km 范围内流动人口分布

表 2.2-9 厂址半径 80km 范围内各子区现有人口分布（2018 年）

表 2.2-10 厂址半径 80km 范围内万人以上人口中心

表 2.2-11 2019 年~2089 年山东省人口自然增长率预测值

表 2.2-12 厂址半径 80km 范围内各区市 2014 年~2019 年实际人口自然增长率

表 2.2-13 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2027 年及以后）

表 2.2-14 80km 评价区内居民食物消费量

表 2.2-15 厂址附近 5km 范围居民平均消费食谱一览表

表 2.2-16 厂址附近 5km 范围居民生活习性

图

图 2.2-1 厂址半径 5km 范围内居民点分布示意图

图 2.2-2 厂址半径 15km 范围内主要居民点分布示意图

图 2.2-3 厂址半径 80km 范围内各子区人口分布图（2018 年）

图 2.2-4 厂址半径 80km 范围内万人以上人口中心分布图（2018 年）

## 2.2 人口分布与饮食习惯

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程环境影响评价区（厂址半径 80km 范围）内涉及威海市所辖的荣成市、文登区、环翠区、经济技术开发区、临港经济技术开发区、火炬高技术产业开发区、南海新区、乳山市和烟台市牟平区。

厂址半径 5km 范围自然村人口数据和厂址半径 5~20km 范围涉及行政村人口数据均来自荣成市公安局和统计局（2019 年户籍人口）；厂址半径 20~80km 范围涉及威海市街道和镇人口数据来自威海市公安局，涉及烟台市牟平区街道和镇人口数据来自 2019 年烟台统计年鉴。

人口统计按子区分别进行，以厂址为中心划分半径为 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 和 80km 的同心圆，辐向以罗盘方位为扇形区中心线，划分成 16 个方位，评价区共有 192 个子区。

### 2.2.1 厂址半径 15km 范围内的人口分布

#### 2.2.1.1 厂址半径 5km 范围内的人口分布现状

厂址半径 5km 范围涉及到宁津街道、东山街道、桃园街道共 41 个居民点或自然村。

厂址半径 5km 范围内的总人口为 16806 人，平均人口密度为 214 人/km<sup>2</sup>，陆域平均人口密度为 531 人/km<sup>2</sup>，低于同期山东省平均人口密度 636 人/km<sup>2</sup>，高于威海市平均人口密度 442 人/km<sup>2</sup>。

表 2.2-1 列出了厂址半径 5km 范围内各居民点的方位、距离和人口数。图 2.2-1 给出了厂址半径 5km 范围内各居民点的分布情况。厂址半径 5km 范围内没有万人以上的乡镇。

厂址半径 5km 范围内暂无规划工业企业。

#### 2.2.1.2 厂址半径 10km 范围内的公共设施

厂址半径 10km 范围内有中、小学和幼儿园共 8 所，共有教职工人数 378 人，学生人数 5188 人。其中中学 3 所，小学 1 所，幼儿园 4 所。宁津完小和明珠幼儿园是离厂址最近的学校。

厂址半径 10km 范围内已建敬老院有 4 所。

厂址半径 10km 范围内医院和卫生院共 2 所。

厂址半径 10km 范围内没有监狱，没有 10 万人以上的城镇。

### 2.2.1.3 厂址半径 15km 范围内的人口分布现状

厂址半径 15km 范围内涉及宁津街道、东山街道、桃园街道、斥山街道、王连街道、港湾街道、崂山街道和滕家镇。其中超过千人的居民点有 21 个，人口最多的居民点为位于厂址 SW 方位 13.8km 处的港湾街道中心，现有人口 38826 人，其次为位于厂址 WSW 方位 13.2km 处的斥山街道中心，现有人口 20967 人。

厂址半径 15km 范围内的总人口为 127668 人，平均人口密度为 181 人/km<sup>2</sup>，陆域平均人口密度为 663 人/km<sup>2</sup>，高于山东省同期平均人口密度。

表 2.2-7 列出了厂址半径 15km 范围内的千人以上居民点。

厂址半径 15km 范围内各居民点的分布情况见图 2.2-2。

厂址半径 15km 范围内流动人口涉及宁津街道、桃园街道、东山街道、斥山街道、港湾街道、王连街道、崂山街道和滕家镇。各街道（乡镇）的流入人口情况列于表 2.2-8，宁津街道流入人口最多，年总人数 12531 人，最高峰人数 8300 人。

## 2.2.2 厂址半径 80km 范围内的人口分布

### 2.2.2.1 厂址半径 80km 范围内的人口分布现状

厂址半径 80km 评价区范围内，截止 2018 年底的总人口数为 2193050 人，按厂址半径 80km 范围的陆域面积计算，评价区内的平均人口密度为 437 人/km<sup>2</sup>，低于山东省同期平均人口密度，也低于威海市同期平均人口密度。

厂址半径 80km 范围内的人口分布详见表 2.2-9 和图 2.2-3。

厂址半径 80km 范围基本在山东省威海市境内，其中城镇人口超过万人的人口中心有 10 个，城镇人口超过 10 万人的人口中心有 5 个。最大的人口中心是 NW-NNW 方位的威海市环翠区，距离厂址约 70km，现有城镇人口 262920 人，其次是厂址 WNW 方位约 51.5km 处的文登市市区，现有城镇人口 195388 人。

表 2.2-10 列出了厂址半径 80km 范围内人口超过万人的人口中心，各人口中心的分布情况见图 2.2-4。

### 2.2.2.2 厂址半径 80km 范围内的预期人口分布

扩建一期工程预计 2027 年建成发电，电厂设计寿期为 60 年。由此推算机组运行

第一年（2027年）以及寿期内每隔10年，即2037年、2047年、2057年、2067年、2077年和2087年厂址半径80km范围内各子区的预期人口分布。

人口预测以2018年底人口数据为基础，预测人口采用指数增长公式计算：

$$N = N_0 e^{rt}$$

式中： $N$ ：预期人口数（人）；

$N_0$ ：现有人口数（人）；

$r$ ：预期年平均人口增长率（‰）；

$t$ ： $N$ 与 $N_0$ 之间的时间间隔（年）。

根据上述的人口预测计算模式以及调查得到的人口预期增长率进行人口预测。预测结果表明：由于保守假设2025年之后的人口自然增长率为0，因此2027年本项目1号机组投产以及整个运行寿期内，厂址半径80km范围内的总人口数相同，为2222191人，各子区的人口分布情况详见表2.2-13。

## 2.2.3 居民的年龄构成及饮食习惯和生活习性

### 2.2.3.1 居民年龄构成

厂址半径80km范围内的居民年龄构成主要来自2010年荣成市人口普查资料。

### 2.2.3.2 居民饮食习惯和生活习性

专题单位采用2019年山东省统计年鉴给出厂址半径80km评价区食谱数据，具体见表2.2-14。专题单位于2019年开展了厂址居民食谱及生活习性调查工作，对厂址半径5km范围内的11个居民点（小河东、西钱家、东张家、周庄、南泊、东钱家、东墩、前王家、项家庄、洼里及吉屯）通过现场走访、发放调查表格的方式进行，收回共计450份有效调查问卷。厂址附近5km范围内的居民和渔民的食谱及生活习性数据建表2.2-15和表2.2-16。

厂址半径80km评价区范围内的广大农村居民，其消费的食物基本上是当地生产、当地消费，食物来自本子区，城镇居民的食物大部分由本子区和邻近子区供给，小部分来自较远子区或评价区以外地区。

厂址半径80km范围内各子区居民的食物消费品种及人均年消费量见附录B.1，附

录B.1也给出了厂址半径80km范围内各子区居民个人食物品种来自本子区和评价区的份额。

#### 2.2.4 参考资料

- [1] 华能山东石岛湾核电站扩建工程环境资料调查专题报告，中核第四研究设计工程有限公司，2020年11月。

- 2.3 土地利用及资源概况
  - 2.3.1 土地和水体的利用
    - 2.3.1.1 土地利用
    - 2.3.1.2 水体利用
  - 2.3.2 陆生资源及生态概况
    - 2.3.2.1 农业生产概况
    - 2.3.2.2 牧业生产概况
    - 2.3.2.3 林业资源和其它矿产资源
    - 2.3.2.4 陆生生态系统状况
    - 2.3.2.5 自然保护区和种质资源保护区保护对象
  - 2.3.3 水产资源及生态概况
    - 2.3.3.1 水产资源
    - 2.3.3.2 海洋生态
  - 2.3.4 工业、交通及其它相关设施
    - 2.3.4.1 工业
    - 2.3.4.2 交通
    - 2.3.4.3 危险源及外部人为事件评价结论
  - 2.3.5 参考资料

表

- 表 2.3-1 厂址半径 10km 范围内土地利用情况（2019 年）
- 表 2.3-2 厂址半径 10km 范围内陆域生态红线登记表
- 表 2.3-3 厂址半径 15km 范围内海洋生态红线登记表
- 表 2.3-4 厂址半径 15km 范围内各街道、镇农业生产情况（2019 年）

- 表 2.3-5 厂址半径 10km 范围内各方位最近菜田和农田（2019 年）
- 表 2.3-6 厂址半径 10km 范围内各方位最近养殖场（2019 年）
- 表 2.3-7 厂址半径 10km 范围植物和动物调查样线布设
- 表 2.3-8 厂址半径 15km 范围内各方位自然保护区和种质资源保护区（2019 年）
- 表 2.3-9 厂址半径 15km 范围内近 3 年海洋捕捞产品产量
- 表 2.3-10 厂址排水口半径 15km 主要海水养殖场情况（2019 年）
- 表 2.3-11 海域调查站经纬度及调查项目
- 表 2.3-12 厂址半径 15km 范围内规模以上企业
- 表 2.3-13 厂址半径 15km 范围内主要公路情况
- 表 2.3-14 厂址半径 15km 范围内锚地情况
- 表 2.3-15 厂址半径 15km 范围内航道情况
- 表 2.3-16 厂址半径 15km 范围内危险品生产、贮存企业分布情况
- 表 2.3-17 厂址半径 15km 范围内危险品运输情况

图

- 图 2.3-1 厂址半径 10km 范围内土地利用规划图
- 图 2.3-2 厂址半径 10km 范围内陆域生态红线
- 图 2.3-3 荣成八河港省级湿地公园保护区示意图
- 图 2.3-4 威海市环境管控单元分类图
- 图 2.3-5 厂址附近海洋功能区划
- 图 2.3-6 厂址附近近岸海域环境功能区划
- 图 2.3-7 厂址附近海洋生态红线
- 图 2.3-8 荣成楮岛周边水域藻类种质资源保护区示意图
- 图 2.3-9 厂址半径 10km 范围内植物调查样线
- 图 2.3-10 厂址半径 10km 范围内动物调查样线
- 图 2.3-11 厂址附近主要海水养殖场示意图
- 图 2.3-12 海洋生态调查站位图
- 图 2.3-13 厂址附近渔场分布

图 2.3-14 厂址附近产卵场分布

图 2.3-15 厂址附近索饵场分布

图 2.3-16 厂址附近洄游通道分布

图 2.3-17 荣成市城市总体规划

图 2.3-18 厂址附近港口分布

## 2.3 土地利用及资源概况

### 2.3.1 土地和水体的利用

#### 2.3.1.1 土地利用

##### （1）土地利用类型

厂址半径 10km 范围内土地利用现状情况见表 2.3-1。

厂址半径 10km 范围内土地利用规划见图 2.3-1，10km 范围内绝大部分土地规划为基本农田和城乡建设用地以及小部分坑塘水面，城乡建设规划用地主要集中在 W~SW 方位，W~WSW 有部分林地规划用地。

##### （2）陆域生态红线和自然保护区

依据《山东省生态红线保护规划（2016-2020）》，山东省省级以上自然保护区、风景名胜區、湿地公园、森林公园、地址公园以及世界文化自然遗产的全部区域纳入生态保护红线，重要水源保护地及城镇集中式饮水水源保护区的一、二级保护区全部纳入生态保护红线，其中，省级及以上自然保护区的核心区和缓冲区以及饮用水水源保护区的一级保护区纳入I类红线区，省级以上地质公园的地址遗迹保护区、省级及以上森林公园的保育区、省级及以上湿地公园的保育区等按法律法规要求需实施最严格管控制度的，原则上也纳入I类红线区。未纳入I类红线区的生态保护红线区为II类红线区。根据主导生态功能，生态保护红线区分属生物多样性维护、水源涵养、土壤保持、防风固沙 4 种生态功能类型。

厂址半径 10km 范围内涉及的山东省 I 类生态保护红线区位于荣成八河港省级湿地公园内，位于厂址 NW~W 方位，最近处距厂址约 9km。其余 II 类生态保护红线区大部分位于八河港省级湿地公园内，位于厂址 NW~W 方位，最近处距厂址约 7.5km。还有小部分 II 类生态红线位于 1#机组 W~WSW 方向 5km 处的山体保护区内（该生态红线区属于生物多样性维护生态保护红线区，严禁有损主导生态系统服务功能的开发建设项目）。陆域生态保护红线分布图见图 2.3-2，表 2.3-2 给出了陆域生态红线登记表。

##### 一 荣成八河港省级湿地公园

八河港湿地公园于 2012 年 12 月 31 日批准建立，位于荣成市市区南部，位于石岛湾核电站厂址 NW~W 方向，距厂址最近距离约为 9km。由整个八河水库库区及周边部分林地、湿地构成。规划园区南至店子村，北到小落村，东到水库大坝，西至王连庄村，地理坐标为东经 122°22'3"~122°26'28"，北纬 36°58'52"~37°3'05"，总面积 2474 公顷

(37110 亩)，其中湿地面积 1638 公顷，湿地率为 66.2%。图 2.3-3 为荣成八河港省级湿地公园保护区示意图。

八河港湿地公园以库塘湿地为主，河流和沼泽湿地为辅，其中库塘湿地 1531 公顷，河流湿地 16 公顷，沼泽湿地 91 公顷。

八河港湿地公园总体规划分为湿地保育区、恢复重建区、宣教展示区、合理利用区和管理服务区。

湿地保育区包括八河水库库区水域主体部分及王连河河口的芦苇、野大豆沼泽湿地地区，面积约为 1050 公顷，占公园总面积的 42.4%。以湿地资源和水资源保育为根本出发点，实行严格保护，促进水源保护与涵养，提升湿地生态系统的净化功能。

恢复重建区包括小落河与八河水库库区西北侧交汇处所夹的三角地及部分河滩地，面积约为 127 公顷，占公园总面积的 5.1%。对湿地消落带进行近自然型驳岸修复，因地制宜恢复湿地植被，种植芦竹、荷花，补种芦苇、香蒲，形成以净化水质为主要功能的人工湿地，营造良好的水禽栖息地。

科普宣教区位于八河水库库区南侧的部分水岸线区域，面积约为 321 公顷，占公园总面积的 13%。

合理利用区位于恢复重建区和湿地保育区之间，面积约为 949 公顷，占公园总面积的 38.4%。合理利用区主要开展生态旅游观光和农林渔业活动。

### （3）三线一单陆域环境管控单元

扩建一期工程陆域工程位于一般管控单元。威海市陆域一般管控单元主要涵盖陆域优先保护单元、重点管控单元以外的其他区域。该区域执行区域生态环境保护的基本要求，合理控制开发强度。图 2.3-4 给出了威海市环境管控单元分类图。

### （4）风景名胜区

#### 一 荣成市东楮岛村

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

村里海草房民居别具特色，2007 年 6 月 9 日，被国家建设部和国家文物局评为中国历史文化名村。2012 年，东楮岛村入选首批中国传统村落名录。2014 年，东楮岛同时获得山东省首批“乡村记忆示范村”和国家 4 部委授予的首批中国传统村落荣誉称号。

东楮岛位于厂址 NNE 方向，距离厂址最近距离 7.2km。

东楮岛发展规划包括与旅游投资有限公司合作，开发海草房唐乡项目，重新修缮海草房，打造高端乡村旅游品牌，再现历史休闲文化场景。打造海岸、沙滩、阳光、海水和岛屿有机结合的靓丽海洋景观。

#### 一 石岛旅游休闲度假区

石岛旅游休闲度假区（朝阳山景区）依山傍海，风光秀美，2012 年荣获山东省 AAA 级景区称号。

石岛旅游休闲度假区位于厂址 SW 方向，距离厂址最近距离 9.1km。

#### 一 石岛赤山国家 AAAA 级旅游景区

石岛赤山风景名胜区地处荣成市石岛港西北方，景区总面积 12.8 平方公里，山因石色发红而得名，东朝大海，西接槎山。景区山海相连，林木葱郁，流水潺潺，常年云雾缭绕。

石岛赤山国家 AAAA 级旅游景区距离厂址 14.6km，SW 方向。

赤山景区风光秀美，森林覆盖率达 95% 以上，气候冬暖夏凉，年平均气温 11.4℃。景区现有赤山法华院、大明圣境（赤山明神）、极乐菩萨界、荣成民俗馆、张保皋传记馆、赤山禅院等十大景观区，另有摩崖石刻、无字天碑、仰天大佛、坐佛石等系列景观，并与凤凰湖滨海旅游度假区、旅游码头、海水浴场、天后宫、花村、画村、渔村等连点成线，不仅容纳了佛、道、儒家文化的精髓，浓缩了山海风光的极致。

凤凰湖旅游度假区现为国家 AAA 级旅游度假区，是赤山大旅游圈的重要组成部分。位于厂址堆 WSW 方向，距离厂址最近距离 10.5km。

#### 一 甲子山庄

荣成市甲子山露营休闲基地规划总占地面积 1300 多亩，其中耕地面积 600 亩，林地面积 700 亩。甲子山露营休闲基地以茶叶、水果、粮食、蔬菜有机栽植及采摘园休闲观光、餐饮服务娱乐服务等于一体。

甲子山庄位于厂址 W 方向，距离厂址最近距离 6.1km。

#### 一 谷牧旧居

2014 年 9 月，位于荣成市石岛管理区宁津街道东墩村的谷牧旧居正式开放，谷牧旧居系清朝嘉庆年间所建的农村四合院式海草房，具有典型胶东传统民居建筑风格，打造红色教育基地，弘扬革命精神和传统文化，是威海市级爱国主义教育基地。位于

厂址 SW 方向，距离厂址 3km。

#### （5）文物古迹

##### 一 全国重点文物-留村石墓群

留村石墓群位于荣成市宁津街道办事处留村村西约 70 米的农田内，为程氏祖墓，始建于元代元统三年（即公元 1335 年）。现存墓群南北长 35 米，东西宽 23 米，共有十座石墓，其中七座保存较完好。留村石墓群的元代石墓形制较特殊，为研究宁津地区元代的葬俗、葬制提供了科学资料。2012 年留村石墓群入选国家第七批全国重点文物保护单位。2013 年 5 月份国家文化部正式发布。

石墓群位于厂址 WSW 方向，距离厂址最近距离 5.8km。

##### 一 省级保护文物-东楮岛海草房

宁津街道东楮岛村陆域面积 125 公顷，全村现有海草房 144 户，共计 630 间，百年历史以上的海草房有 83 户，共计 442 间，最古老的海草房距今已有三百多年的历史。

东楮岛位于厂址 NNE 方向，距离厂址最近距离 7.2km。

##### 一 省级保护文物-东墩海草房

东墩村现有保存比较完好的、有 200 年以上历史的海草房 30 多幢。

东墩海草房位于厂址 SW 方向，距离厂址最近距离为 2.6km。

### 2.3.1.2 水体利用

#### （1）水体利用情况

荣成市拥有 1 个大型水库—八和水库，位于厂址 WNW 方向，距离约 9.3km 处。八河水库水体功能为生活工业用水及防洪。厂址半径 15km 范围内没有居民生活饮用水取水口，其它中小水库水体功能均为防洪、灌溉。厂址半径 15km 范围内主要河流为小落河、王连河。

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

#### （2）海洋功能区划和环境功能区划

2012 年 11 月，国务院正式批复《山东省海洋功能区划(2011-2020)》，批复后的《山

《山东省海洋功能区划》将宁津镇东墩村以东附近海域划定为荣成宁津工业与城镇建设用海区（面积 12.88km<sup>2</sup>，代码 A3-17）与荣成宁津保留区（面积 14.65km<sup>2</sup>，代码 A8-12），其外侧为桑沟湾-镆铳岛农渔业区，代码为 A1-21。其中，A3-17 区块海域的基本功能为工业和城镇用海，开发利用期内执行不低于三类的海水水质标准；A8-12 区块海域的基本功能需通过科学论证确定，未确定用途前保持现有海洋环境与水质标准。

A8-12 范围分别为 122°31'12.36"至 122°31'30.49"、36°56'46.99"—36°59'46.76"和 122°33'30.44"—122°35'15.89"、36°56'42.75"—36°59'46.63"。厂址附近海洋功能区划图见图 2.3-5。

2014 年 6 月 12 日经山东省环境保护厅（鲁环发〔2014〕70 号）批复调整厂址附近海域环境功能区划，将厂址附近 A1—A4 坐标点连线之内、面积 3.51km<sup>2</sup> 的海域，调整为混合区；厂址附近混合区外、B1-B6 与岸线围成的面积 36.91km<sup>2</sup> 的海域，调整为三类环境功能区。调整后的厂址附近海域环境功能区划见图 2.3-6。2021 年 6 月 1 日，山东省生态环境厅发函（鲁环函〔2021〕69 号）明确了厂址附近海域的海水水质标准，同意 A1-A4 四点连线围成的混合区不设置水质管控目标，B1-B6 六点连线围成的三类环境功能区执行三类海水水质标准。

### （3）海洋生态红线

根据《山东省黄海海洋生态红线划定方案》（2016-2020）将各类红线区和自然岸线划分为禁止开发区、限制开发区和自然岸线。厂址半径 15km 范围内有 5 处限制开发区，分别为楮岛滨海旅游限制区（最近处位于厂址排水口 N 方位约 3km）、石岛南海村滨海游限制区（最近处位于厂址排水口 SW 方位约 3.5km）、楮岛藻类渔业海域限制区（最近处位于厂址排水口 N 方位约 9km）、黑石岛海岛限制区（最近处位于厂址排水口 SE 方位约 1km）、镆铳岛海岛限制区（最近处位于厂址排水口 SSW 方位约 3km）。图 2.3-7 和表 2.3-3 给出了上述海洋生态红线的具体信息。

### （4）三线一单海域环境管控单元

扩建一期工程海域工程位于重点管控单元。威海市海域重点管控单元主要涵盖工业或城镇建设用海区、港口区、倾废区、排污混合区、围填海区等开发利用强度较高的海域，以及水动力条件较差、水质超标、生态破坏较重和存在重大风险源的海域。该区域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。

图 2.3-4 给出了威海市环境管控单元分类图。

### （5）水产种质资源保护区

厂址半径 15km 范围内有一个国家级水产种质资源保护区-荣成楮岛周边水域藻类种质资源保护区。荣成楮岛周边水域藻类种质资源保护区于 2012 年成立，保护区位于桑沟湾南部，桑沟湾位于（37°01'-37°09'N，122°24'-122°35'E），北、西、南三面为陆地环境，湾口朝东，以楮岛头与兔子石南北对峙，为半封闭型海湾，南北口长达 11.5 公里，东西宽 7.5 公里，岸线全长 52 公里，湾内水面总面积约计 20 万亩。核心区面积为 205.44 公顷，占保护区总面积的 43.6%。实验区面积为 266.22 公顷，占保护区总面积的 56.4%。该保护区是离厂址最近的一个保护区，位于厂址 NNE 方向，距离 7.3km。保护区具体情况见图 2.3-8。

## 2.3.2 陆生资源及生态概况

### 2.3.2.1 农业生产状况

厂址附近的农业生产以粮食为主，兼有油料、蔬菜和薯类套复种，农业生产一年多收。

- 粮食作物品种主要是小麦、玉米、地瓜和大豆，少量的谷子、高粱、水稻、绿豆、碗豆和大麦等。
- 经济作物有瓜果及中药材。油料作物主要是花生和芝麻。
- 蔬菜主要有大白菜、萝卜、韭菜和菠菜等。
- 水果品种较多，主要有苹果、梨、桃、杏、柿、草莓、樱桃、葡萄等。

厂址半径 15km 范围内粮食作物的种植面积和产量分别为 93247 亩和 70666 吨；油料作物的种植面积和产量达到了 33589 亩和 54410 吨；蔬菜作物的种植面积和产量分别为 2341 亩和 3469 吨；水果种植面积和产量分别为 13831 亩和 58896 吨；除此之外厂址半径 15km 范围内还种植了其他作物，例如板栗、茶叶、大姜、地瓜、芋头等，种植面积和产量分别达到 13283 亩和 15356 吨。本范围内的农作物除苹果和大姜销往省外，其余全部为省内销售。厂址半径 15km 范围内 2019 年农业生产情况见表 2.3-4。

厂址半径 15km 范围内各方位最近菜田和农田见表 2.3-5。

### 2.3.2.2 牧业生产概况

厂址半径 5km 范围内共有 7 家规模养殖户和 60 家专业养殖户，还有部分养殖散户。

饲养家禽家畜的品种主要包括生猪、蛋鸡、蛋鸭和蛋鹅，还有少量肉牛和肉羊。根据统计结果，本范围内 2019 年生猪总存栏量达到 14590 头，生猪出栏量达到 15544 头；肉牛总存栏量仅有 25 头，出栏量仅有 15 头；肉羊总存栏量 121 头，出栏量 36 头；蛋鸡总存栏量达到 182000 只，年出栏量为 70600 只；蛋鸭出栏量为 7000 只，年出栏量为 5000 只。蛋鹅总存栏量为 17000 只，年出栏量 5500 只。

厂址半径 5~15km 范围内共有 17 家规模养殖户和 124 家专业养殖户，饲养家禽家畜的品种主要包括生猪、肉鸡和蛋鸡，还包含少量貂、狐、貉。根据统计结果，2019 年生猪总存栏量达到 22313 头，生猪出栏量达到 21925 头；蛋鸡总存栏量达到 348700 只，年出栏量为 92244 只；肉鸡总存栏量为 313516 只，年出栏量为 359800 只。貂、狐、貉的总存栏量为 12490 只，年出栏量达到了 42356 只。

猪饲料主要由玉米、小麦、高粱、麦麸、蚕蛹、菜饼、豆饼、矿物质微量元素等组成，来源为从本地饲料厂家购买，每头生猪平均每天饲料用量 2.5kg 左右；牛饲料主要由干草、秸秆以及其他农作物植株组成，来源为从饲料厂家购买，每头牛每年约消耗 10 吨饲料；鸡饲料主要由玉米、米糠、麸皮、红薯干、菜饼、豆饼、豆粕等粮食组成，来源为从饲料厂家购买，一只 20 周龄的鸡累计消耗 8kg 左右，一只成鸭每月消耗 7 斤左右饲料。

厂址半径 15km 范围内各方位最近养殖场见表 2.3-6。

### 2.3.2.3 林业资源和其它矿产资源

厂址半径 15km 范围内几乎没有天然林，基本为人造林。总林地面积约 1723hm<sup>2</sup>，其中国家级公益林 1092hm<sup>2</sup>，重点商品林 499hm<sup>2</sup>，一般商品林 132hm<sup>2</sup>，省级公益林 27hm<sup>2</sup>，市级公益林 88hm<sup>2</sup>。厂址半径 15km 范围涉及 7 处矿山，均为采石场。其中离厂址最近的矿位于厂址 NNW 方位约 2.8km，开采矿种为饰面用花岗岩，开采方式为露天开采。

### 2.3.2.4 陆生生态系统状况

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

季动物调查，2021年1月19日~21日进行冬季动物调查，2021年3月21~24日进行春季动物调查。

#### （1）陆生植物调查样线和样方的布设

在厂址半径0-5km范围布设6个调查样线，在厂址半径5-10km范围，布置4条样线。在现场调查中，根据生态环境的实际情况对陆生植物调查样线的具体位置进行确定，提供GPS信息，并做适当调整，以便调查结果反映最具代表性的生态系统类型。表2.3-7和图2.3-9给出了厂址半径10km范围陆生植物调查样线和样方的布设。

#### （2）野生动物样线和样点的布设

对厂址半径10km范围内的动物资源状况，根据陆生动物不同类群，选择样线和定点观察相结合的方法开展现场调查。在调查区域布设9条样线，样线涵盖了调查区域内的典型生境，包括林地、灌丛、草地、农田、居民区、海岸湿地、河流、水库、养殖塘等生态景观。表2.3-7和图2.3-10给出了厂址半径10km范围野生动物调查样线和样方的布设。

### 2.3.2.5 自然保护区和种质资源保护区保护对象

荣成八河港省级湿地公园主要保护对象为湿地和鸟类。园区共有植物41科150属257种，有大面积的芦苇、野大豆、香蒲等湿地植被群落及围库森林，为野生动物栖息繁衍提供了良好条件。据不完全统计，共有野生动物11纲28目58科218种，其中国家Ⅰ级重点保护动物4种，国家Ⅱ级重点保护动物16种，省重点保护动物17种。共有鸟类15目37科141种，其中国家Ⅰ级重点保护鸟类4种，分别是东方白鹳、黑鹳、白头鹤和中华沙秋鸭；国家Ⅱ级重点保护鸟类16种。

荣成楮岛藻类国家级水产种质资源保护区主要保护对象为大叶藻、石花菜、马尾藻。

厂址半径15km范围内各方位自然保护区和种质资源保护区见表2.3-8。

## 2.3.3 水产资源及生态概况

### 2.3.3.1 水产资源

#### （1）海产捕捞

厂址半径15km范围内海产品主要包括大花鱼、小花鱼、刀鱼、鲢鱼、鳙鱼、鲇鱼、青鱼等鱼类，还包括对虾、青蟹、梭子蟹等甲壳类，乌贼、鱿鱼、章鱼等头足类以及

海参、海蜇等。本范围内的海产品基本为省内销售，外销情况较少。厂址所在地区各品种近3年捕捞量见表2.3-9。

## （2）海产养殖

厂址半径15km范围内养殖的海产品包括鱼类、甲壳类、贝类、藻类以及海参，其中鱼类年养殖产量为22万吨，甲壳类2450吨，贝类14910吨，藻类730吨，海参1481吨。本范围内的海产品基本为省内销售，外销数量较少。海产养殖面积超过100hm<sup>2</sup>的主要企业有荣成市滨海城建开发有限公司、荣成汇英食品有限公司、荣成市鑫海投资有限公司、荣成泰明食品有限公司、山东好当家海洋发展股份有限公司、荣成市宁津安泰水产养殖场、荣成市宁津镇龙泉海水养殖场荣成林家流水产有限公司、荣成市宁津华洋水产养殖场等，其中养殖面积最大为荣成林家流水产有限公司的养殖场。

厂址附近海域主要养殖场见表2.3-10及图2.3-11。

### 2.3.3.2 海洋生态

建设单位委托自然资源部第三海洋研究所于2020年11月、2021年1月、2021年4月和2021年7月开展了厂址邻近海域水生生态调查秋季、冬季、春季、夏季航次调查工作。污损生物挂板于2020年11月~2021年10月进行。现场调查范围以核电厂排水口为放射中心，在周围半径约15km范围内的海域进行综合海洋生态和资源调查，按照近密远疏与全面覆盖的原则，布设6个调查断面，共计26个大面调查站，并在核电厂的排水口、北排水口和南排水口分别增设1个调查连续调查站位，潮间带底栖生物调查布设6条断面（同2016年调查断面）每个断面按高潮区1个站点、中潮区及低潮区各设2个站点。调查站位布设详见表2.3-11和图2.3-12。

### 2.3.4 工业、交通及其它相关设施

#### 2.3.4.1 工业

厂址半径15km范围大部分企业主要集中在石岛管理区的各街道办事处驻地附近。

##### 1) 工矿企业现状

厂址半径15km范围规模以上企业有64家，其中亿元以上企业有30家。见表2.3-12。

##### 2) 工业企业规划

根据《荣成市城市总体规划（2018-2035年）》（见图2.3-17），荣成市以蓝色产业

为主导，以先进制造业为支撑，以战略性新兴产业为引领，推动三次产业协调融合发展，加快构建具有持续创新能力和较强竞争力的现代产业体系。

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

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

新能源产业。重点推进以核电为主的新能源产业发展，同步培育核电关联服务产业，打造核电配套和衍生产业基地。

#### 2.3.4.2 交通

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

##### （1）陆上交通

厂址半径 15km 范围内主要涉及荣成市石岛管理区、崂山街道和滕家镇，主要由以南北向的国道 G228、省道 S203、S304 和东西向的 S201 省道构成的交通运输网络。厂址半径 15km 范围无铁路。

厂址半径 15km 范围内主要县级道路有 3 条，分别是 X034 县道，总里程 11.18km，路面为沥青混凝土路面，其中二级公路 5.618km，车道为四车道，三级公路 5.561km，车道为双车道；X042 县道，总里程 19.948km，均为二级公路，路面为沥青混凝土路面，宁津街道到东山路段为四车道，其它路段为双车道；X030 县道，在厂址半径 15km 范围内仅约 1km，通往沙窝，路面为沥青混凝土路面。

厂址半径 15km 范围内主要公路情况见表 2.3-13。

厂址 5km 半径范围内主要县级道路有 2 条；乡村道路有 2 条，均与县道相连，交通便利；村道 34 条。

高温堆示范工程已经完成主要进厂道路和施工兼货运进厂道路（应急道路）的建设。主要进厂道路在厂址西北方向与东山至楮岛的县级公路（马沙线 X042）引接，连接处位于宁津街道东北 500m 处，道路长度 1.8km，路面宽度 18m；施工兼货运进厂道路（应急道路）从厂址西南方向的宁镇引接，道路长度为 3.3km，宽度 18m。

厂址半径 15km 范围无铁路。2014 年底，青烟威荣城际高速铁路建成通车。荣成市高铁站距离厂址 21.3km，位于 NNW 方向。

根据威海市公路“十四五”发展规划，威海市规划养护、建设四条普通国道和四条普通省道，均不在厂址 15km 范围内。

## （2）海上交通

### 1）港口、码头和锚地

厂址半径 15km 范围内主要包括石岛西作业区，包括石岛新港和石岛港，主要以服务荣成市域的集装箱、对韩客货滚装和通用散杂货运输为主；是集客货、集装箱、散杂货冻品和船舶修理等功能于一体的现代化港口。图 2.3-18 给出了厂址附近港口分布。

荣成市石岛港务股份有限公司按照修订规划后使用泊位 8 个通用散杂货，荣成市石岛新港港务股份有限公司按照修订规划后使用泊位 10 个。此外，厂址半径 15km 范围内分布有 14 个渔港。

厂址半径 15km 范围内锚地主要有避风锚地、检疫锚地，主要为石岛新港服务，锚地无具体抗风级别，抗风能力主要与船只类型有关，现规划不新增锚地。表 2.3-14 给出了厂址半径 15km 范围内锚地情况。

### 2）海上航线

厂址附近海上航线主要位于石岛港区，具体信息见表 2.3-15。

## （3）机场及航空线

厂址半径 4km 范围内无民航航线。

距离厂址最近的机场为威海大水泊国际机场，位于文登市大水泊镇，距离厂址 35.8km，方位为 NW。可使用最大机型为 B757 同类及以下机型。2019 年，威海大水泊国际机场起降架次累计为 25694 架次，同比增长 23%。

### 2.3.4.3 危险源及外部人为事件评价结论

### 1) 固定危险源

厂址半径 15km 范围内危险品生产、贮存企业主要是加油站、油库和燃气公司，共 27 家。距厂址最近的企业是中国石油天然气股份有限公司山东威海荣成销售分公司宁津加油站，位于厂址 W 方位，距离厂址 2.23km。危险品生产贮存企业具体情况见表 2.3-16。厂址半径 15km 范围内天然气管线距离厂址最近距离是 2.7km，位于 W 方位。管线的规格参数：管径为 DN200，设计压力 0.8Mpa。

### 2) 移动危险源

目前存在 4 家危险品运输公司可能经过厂址 15km 范围内的道路，其中荣成市弘康运输有限公司为汽油、柴油和石油的专业运输公司，主要负责向各个加油站和码头运送成品油，该公司可能会经过宁镇路；荣成市呈祥气体有限公司、荣成市荣鑫气体公司及荣成市方正爆破公司若有业务需要，也会通过宁镇路。

厂址半径 15km 范围内，公路危险品运输情况见表 2.3-17。

目前厂址半径 15km 范围内无危险品运输码头，不存在危险品装卸货情况。目前厂址半径 15km 范围内无固定危险品运输路线，于石岛新港避风锚地可能停留油品货轮，厂址东部和南部海域可能有货轮经过，最近距厂址约 10km。近年厂址附近海域未发生危险品运输事故。

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

## 2.3.5 参考资料

- [1] 华能山东石岛湾核电站扩建工程环境资料调查专题报告，中核第四研究设计工程有限公司，2020 年 11 月；
- [2] 华能山东石岛湾核电站扩建工程陆生生态调查专题报告，中国辐射防护研究院，2021 年 9 月；
- [3] 华能山东石岛湾核电站厂址邻近海域水生生态(含海洋环境放射性本底)调查报告，自然资源部第三海洋研究所，2021 年 11 月；
- [4] 华能石岛湾核电站厂址邻近海域渔业资源调查专题报告，自然资源部第三海洋研究所，2021 年 11 月。

## 2.4 气象

### 2.4.1 区域气候

#### 2.4.1.1 气温

#### 2.4.1.2 气压

#### 2.4.1.3 相对湿度

#### 2.4.1.4 日照

#### 2.4.1.5 降水

#### 2.4.1.6 风

### 2.4.2 设计基准气象参数

#### 2.4.2.1 热带气旋

#### 2.4.2.2 龙卷风

#### 2.4.2.3 极端积雪

### 2.4.3 当地气象条件

#### 2.4.3.1 气温

#### 2.4.3.2 气压

#### 2.4.3.3 相对湿度

#### 2.4.3.4 降水量

#### 2.4.3.5 辐射

#### 2.4.3.6 风

#### 2.4.3.7 厂址地区大气边界层特征

### 2.4.4 大气稳定度

### 2.4.5 联合频率

### 2.4.6 混合层高度及扩散参数值

### 2.4.7 运行前的厂址气象观测

#### 2.4.8 参考资料

表

- 表2.4-1 厂址周边气象站信息及沿革
- 表2.4-2 石岛气象站累年气象特征值（1953-2019年）
- 表2.4-3 石岛气象站月、年风向频率（1953-2019年）
- 表2.4-4 厂址气象观测系统气象参数统计
- 表2.4-5 厂址各降水等级的降水量、降水小时数
- 表2.4-6 风杆10m、气象塔30m、80m、100m各层逐月及全年平均风速
- 表2.4-7 风杆10m、气象塔30m、80m、100m各层各月及全年风向频率
- 表2.4-8 各类稳定度分类结果
- 表2.4-9 厂址地区风向、风速、稳定度和降水联合频率
- 表2.4-10 扩建一期工程大气扩散参数
- 表2.4-11 厂址气象观测系统传感器性能指标

图

- 图2.4-1 厂址周边气象站和厂址的相对地理位置
- 图2.4-2 石岛气象站年平均风玫瑰图（1953-2019年）
- 图2.4-3 厂址气象观测系统位置示意图
- 图2.4-4 风杆10m、气象塔30m、80m、100m各层全年风向玫瑰图
- 图2.4-5 降水期间风杆10m风向玫瑰图
- 图2.4-6 扩建一期工程扩散参数（彩色）和P-G扩散参数（黑色）

## 2.4 气象

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

### （1）春季

春季( $10^{\circ}\text{C}\leq$ 候均温 $\leq 22^{\circ}\text{C}$ )，其特点是气温回升慢、天气多变、大风多、降水量少、低温。沿海地区比内陆地区春季持续时间长，气旋活动强烈，是全年大风最多的季节；春温低于秋温，干旱程度比同纬度华北地区轻。

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

### （2）夏季

夏季(候均温 $\geq 22^{\circ}\text{C}$ )，是四季中最短的季节。其特点是气温高、降水量大。月平均气温都在 $20^{\circ}\text{C}$ 以上，旺盛的夏季风从海洋上带来丰沛的降水，大部分地区降水在500mm以上，占全年的60%，是全年降水量最多的季节，也是最潮湿的季节。高温期与多雨期一致。

夏季主要受西太平洋副高和大陆热低压控制，经常受热带海洋气团影响。在单一热带海洋气团控制之下，常是天气晴朗、高温而潮湿。此时来自高纬度的冷空气仍经常南下，在变性极地气团与热带海洋气团之间形成冷锋。虽然影响山东的冷锋次数及

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

### （3）秋季

秋季( $10^{\circ}\text{C}\leq\text{候均温}\leq 22^{\circ}\text{C}$ )，其特点是秋温高于春温，9月上、中旬暖湿气团仍较活跃，带来较多降水，有时形成阴雨天气，影响秋收、秋晒；9月下旬冷空气从北部入侵，气温逐渐降低，降水减少，云量较少，晴天日数多。全市平均秋温比春温高 $4.6^{\circ}\text{C}$ ，秋温较高是海洋性气候的特征之一。

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

### （4）冬季

冬季(候均温 $\leq 10^{\circ}\text{C}$ )，是持续时间最长、温度最低、降水最少的季节。冬少严寒，以1月为代表，其月平均温度为 $-1.8^{\circ}\text{C}$ 。因受北部冷高压控制，多偏北大风，常出现有规则的天气变换，人们称之为“三寒四温”。

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

气，有时还有雨淞。当青藏高原上有较深的低槽移出，西南气流较强时，南方气旋也会北上影响山东，造成大风和雨雪天气。冬季，强大干冷的蒙古高压控制我国，它主宰着冷空气的活动。山东位于蒙古冷高压的东南部，盛行偏北风，气候寒冷而干燥。

#### 2.4.1 区域气候

厂址周边气象站位置和信息见图 2.4-1 和表 2.4-1。

厂址常规气象专题对离厂址距离较近的威海、成山头 and 石岛气象站累年气象观测数据进行了对比分析，通过分析确定的代表性气象站是石岛气象站。威海、成山头和石岛气象站情况如下：

- 威海市气象站建站于 1959 年，位于威海市南郊北竹岛东村滨海，N37°31′，E122°08′，海拔 14.2 米，1978 年 1 月 1 日迁站威海市南郊金线顶滨海，N37°29′，E122°08′，海拔 46.6 米。
- 成山头气象站建站于 1951 年，位于荣成市成山头滨海，N37°24′，E122°41′，海拔 47.5 米。
- 石岛气象站建站于 1953 年，位于荣成市石岛镇黄石坂滨海，N36°52′，E122°26′，海拔 21.9 米，2002 年 1 月 1 日迁站玉龙路 5 号，距原址 6000 米，方向为北，N36°55′，E122°26′，海拔 4.8 米。

厂址区域气候根据石岛气象站 1953~2019 年气象观测数据统计结果进行描述，表 2.4-2 给出了石岛气象站累年气象特征值（1953~2019 年）。

##### 2.4.1.1 气温

石岛气象站多年平均气温为 12℃，8 月份月平均气温最高，为 24.5℃；1 月份月平均气温最低，为 -0.9℃。极端最高气温为 36.8℃，出现在 7 月，极端最低气温 -14.6℃，出现在 1 月。

##### 2.4.1.2 气压

厂址区域全年气压变化明显，冬季高于夏季。

石岛气象站年平均海平面气压为 1014.3hPa，1 月份月平均气压最高，为 1023.7hPa；7 月份月平均气压最低，为 1002.4hPa。极端最高气压为 1044.5hPa，出现在 2 月，极端

最低气压为 977.6hPa，出现在 6 月。

### 2.4.1.3 相对湿度

厂址区域夏季相对湿度明显高于冬季。

石岛气象站相对湿度全年平均为 72%，7 月份月平均相对湿度最大，为 91%；1 月份月平均相对湿度最小，为 63%。最小相对湿度为 8%，在 2~4 月均有出现。

### 2.4.1.4 日照

厂址区域日照充足，一年中春、秋季日照时数最多，冬季较少。

石岛气象站年日照时数平均为 2510.6 小时，5 月份月平均日照时数最多，为 249.8 小时；7 月份月平均日照时数最少，为 165.5 小时。

### 2.4.1.5 降水

厂址区域降水较少，6~9 月雨水较为集中。

石岛气象站多年年平均降水量为 804.4mm，降水日数为 137 天。8 月份降水量最多，降为 189.2mm，1 月份降水量最少，为 11.7mm。7 月份降水日数最多，为 19.2 天，2 月降水日数最少，为 8.2 天。

### 2.4.1.6 风

表 2.4-3 给出了石岛气象站月、年风向频率，图 2.4-2 给出了石岛气象站年平均风玫瑰。分析图表可知，厂址区域季风特征明显，全年风向集中于偏西南方位和偏北方位。年最多风向为 N，风频为 13%，次多风向为 SW，风频为 12%，年静风频率为 7%。9 月至次年 2 月，偏北方位的风向占绝对主导地位，5 月至 7 月，偏西南方位的风向占绝对主导地位，西南风和偏北风交替的时间较短。

年平均风速 4.1m/s，3 月、4 月平均风速最大，为 4.7m/s，7 月平均风速最小，为 3.3m/s。最大风速为 28.3m/s，出现在 5 月。

## 2.4.2 设计基准气象参数

### 2.4.2.1 热带气旋

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

调查范围为以厂址为中心的 400km 半径的区域，从 1949 年到 2019 年 71 年间，对厂址区域产生影响的气旋共 89 个，强度达到台风的有 74 次，年平均 1.04 次，占热带气旋总数的 83.1%；达到强台风的 39 次，年平均 0.55 次，占热带气旋总数的 43.8%。

石岛湾核电站千年一遇的设计基准热带气旋的参数如下：

- 热带气旋中心最低气压  $P_0=925.5\text{hPa}$ ；
- 热带气旋外围气压  $P_\infty=1010\text{hPa}$ ；
- 热带气旋最大风速半径  $R=20\sim 25\text{km}$ ；
- 热带气旋登陆时的移速和移向分别为 7.5m/s 和  $300^\circ$ ；
- 厂址 10m 高度最大风速 48.8m/s。

#### 2.4.2.2 龙卷风

对以厂址为中心约 300km 为半径的所有气象站和区域范围收集了 1950 年到 2019 年的龙卷风数据，调查区域具体为：烟台、福山、牟平、莱阳、栖霞、莱州、龙口、招远、蓬莱、海阳、威海、荣成、成山头、石岛、文登、乳山、平度、莱西、胶州、即墨、青岛、崂山、胶南、高密、潍坊、诸城、昌邑、安丘等 28 个县市的气象局、三防办、编志办、民政局、档案馆、新闻媒体等。调查面积  $35633.95\text{km}^2$ 。70 年共收集了 136 个龙卷风样本实例。平均每年出现约 1.94 次，出现次数最多的年份 1966 年，达 10 次；2001 年出现 6 次；1998 年、2006 年、2012 年各出现 5 次；在 70 年中有 16 年未出现龙卷风。

龙卷风有明显的季节变化，夏季发生次数占全年发生次数的 69.6%，11~3 月从未发生。对厂址区域有发生时刻记录的 46 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 28 次，占 61%，其它时间发生 18 次，占 39%，因为龙卷风是一种小尺度天气现象，受下垫面影响非常明显，午后对流发展强盛，龙卷风容易发生。

龙卷风是一种小尺度天气现象，生命史很短，对厂址区域有持续时间记录的 21 次龙卷风进行统计，多数龙卷风仅能维持几分钟，持续时间在 30 分钟以下有 20 次，占 95.2%，在 30 分钟以上的很少，只有 1 次。

按照“ANSI/ANS-2.3.1983”设计基准龙卷风特征参数表，给出石岛湾核电站  $10^{-7}$  概率水平的设计基准龙卷风为 F3 级别，对应的设计参数：

- 最大设计风速 (m/s)：75.0；
- 最大旋转风速 (m/s)：60.48；
- 最大平移风速 (m/s)：14.52；
- 最大压降速率 (hPa/s)：13.73；
- 总压力降 (hPa)：47.3。

### 2.4.2.3 极端积雪

通过对威海、成山头 and 石岛气象站基本资料的分析，极端雪深以威海站的计算结果最大，冬季 48h 可能降水值则以石岛气象站最大。百年一遇极端积雪设计基准值为  $1.203\text{kN/m}^2$ ，千年一遇极端积雪设计基准值为  $1.795\text{kN/m}^2$ 。

### 2.4.3 当地气象条件

山东石岛湾核电站厂址气象观测系统包括气象梯度自动观测系统和厂址专用地面气象站，具体位置见图 2.4-3。

厂址气象观测站经过两次搬迁，现位于国和一号示范工程厂区外西北侧。观测站站址地形略有起伏，高程有所缓慢下降，周边多以树林、农田为主，站址周围基本无高大建筑物遮蔽，视野也相对开阔。

厂址专用地面气象站：观测的气象要素包括温度、湿度、气压、雨量、总辐射、净辐射和 10m 风杆风向、风速。

气象梯度自动观测系统：气象梯度自动观测共设五层（10m、30m、60m、80m 和 100m），各层观测风向、风速、温度。

本报告当地气象分析采用厂址 2020 年 9 月至 2021 年 8 月一整年气象观测数据。

表 2.4-4~表 2.4-7 给出厂址气象观测系统 2020 年 9 月~2021 年 8 月一整年的气象要素统计值。

#### 2.4.3.1 气温

##### (1) 地面气温

厂址地区年平均气温为 12.8℃，8 月平均气温最高，为 24.7℃，1 月平均气温最低，为-0.7℃。最高气温为 31.1℃，出现在 7 月，最低气温为-12.5℃，出现在 1 月。

#### （2）气象塔塔层气温

气象塔 10m 高度年平均气温 13.1℃，8 月平均气温最高，为 24.8℃，1 月平均气温最低，为-0.2℃。

气象塔 30m 高度年平均气温 13.1℃，8 月平均气温最高，为 24.7℃，1 月平均气温最低，为-0.1℃。

气象塔 80m 高度年平均气温 13℃，8 月平均气温最高，为 24.4℃，1 月平均气温最低，为-0.2℃。

气象塔 100m 高度年平均气温 13℃，8 月平均气温最高，为 24.4℃，1 月平均气温最低，为-0.2℃。

### 2.4.3.2 气压

厂址地区全年平均气压为 1014.4hPa，12 月份平均气压最高，为 1026.1hPa，8 月份平均气压最低，为 999hPa。最高气压 1036.8hPa，出现在 12 月，最低气压 961.6，出现在 8 月。

### 2.4.3.3 相对湿度

厂址地区全年平均相对湿度为 73.7%，全年月平均相对湿度在 63.3%至 91.1%之间波动。最小相对湿度 14.3%，出现在 4 月。

### 2.4.3.4 降水量

厂址地区年降水量为 871.3mm，年降水小时数 557h。年内各月降水分配不均，雨水主要集中在 4~9 月。表 2.4-5 给出了厂址各降水等级的降水量和降水小时数。

各风向降水量为：59.0mm（N）、44.1mm（NNE）、89.3mm（NE）、129.3mm（ENE）、91.7mm（E）、113.4mm（ESE）、86.1mm（SE）、33.4mm（SSE）、24.6mm（S）、23.8mm（SSW）、69.5mm（SW）、34.0mm（SWS）、18.6mm（W）、13.4mm（WNW）、4.0mm（NW）、30.9mm（NNW）、6.2mm（C）。

#### 2.4.3.5 辐射

厂址地区年均总辐射为  $347.4\text{W/m}^2$ ，5月总辐射最高，为  $432.7\text{W/m}^2$ ，12月总辐射最低，为  $204.9\text{W/m}^2$ 。

厂址地区年均净辐射为  $-44.6\text{W/m}^2$ ，2月净辐射最高，为  $-56.8\text{W/m}^2$ ，7月净辐射最低，为  $-23.3\text{W/m}^2$ 。

#### 2.4.3.6 风

由于气象塔 10m 高度风向缺测数据较多，因此 10m 高度风向、风速采用风杆观测。表 2.4-6 给出了风杆 10m 以及气象塔 30m、80m 和 100m 各层月平均风速值。表 2.4-7 给出了风杆 10m 以及气象塔 30m、80m 和 100m 各层各月及全年风向频率。图 2.4-4 给出了风杆 10m 以及气象塔 30m、80m 和 100m 各层全年风向玫瑰图。图 2.4-5 给出了降水期间风杆 10m 高度全年风玫瑰图。

- 10m、30m、80m 和 100m 高度静风频率分别为 2.1%、2.1%、0.2% 和 0.8%。
- 10m、30m、80m 和 100m 高度层主导风向分别为 NNW(10.5%)、SSW(11.3%)、SSW (12.2%)、SW (11.5%)；
- 10m、30m、80m 和 100m 高度层平均风速分别为 2.8m/s、3.8m/s、5.6m/s 和 5.9m/s。
- 厂址降水期主导风向为 SW，风频为 9.5%，静风频率为 0.9%。

#### 2.4.3.7 厂址地区大气边界层特征

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

近地面释放的污染物在大气中的扩散和输送主要受边界层和温度层结等气象条件影响，其中风、温廓线又在很大程度上影响边界层和湍流状态。为研究厂址地区大气边界层风温特征，北京大学科技开发部于 2007 年 08 月 21 日~2007 年 09 月 11 日在气象铁塔点、东山镇点和王连镇点进行了夏季大气测试；于 2007 年 12 月 11 日~2007

年 12 月 28 日在气象铁塔点进行了冬季大气测试。大气测试实验每天进行 8 次，分别是 02h, 05h, 08h, 11h, 14h, 17h, 20h, 23h。

通过该试验得到了厂址区域以下气象特征：

- (1) 厂址区域夏季主导风向为 NNE、NE，冬季主导风向为 NNW、WNW。夏季各高度层集中在偏东风（NE, ENE），但有少数西南风（SW）情况。冬季各高度层集中在 NNW、WNW 风向；
- (2) 夏季风速最大值集中出现在中午（11 时、14 时），最小值集中出现在夜间至凌晨。冬季近地面风速最大值多出现在上午，高空最大值则多出现在夜间。两季风速主要集中于 5.0~6.9m/s 风速段；
- (3) 大气边界层逆温特征为：（a）贴地逆温出现频率最大，1000~2000m 空中逆温次之，500~1000m 空中逆温最少；（b）冬季逆温层厚度和强度均大于夏季；（c）夏季逆温层通常出现于凌晨，而冬季逆温层则常出现于夜间；（d）冬季逆温层持续时间长于夏季；
- (4) 厂址区域热内边界层高度随路径距离的变化推荐为： $h = 5.1X^{0.5}$ ；
- (5) 厂址区域各类稳定度条件下混合层高度推荐值为：A-B 类 900m，C 类 350m，D 类 200m。

为了研究海上来流条件下的热内边界层特征，夏季的三个探空观测站的布站是以海边厂址向内陆方向依次选取东山镇、王连镇为观测站位，三站间距约 7~8 公里。

热内边界层研究的关键之一是确定边界层高度从海岸线向内陆的空间变化。该次观测共设有 3 个测点，总体向西边内陆一侧延伸，采用的处理方法是：对 3 个测点分别确定观测时刻的对流边界层高度及对应的气流登陆行程（或上风风程），然后将结果按上风风程进行统计，从而获得热内边界层高度随上风风程的变化关系。与此同时，结合近地面流动和反向轨迹分析方法判断单次探测资料代表的上风风程，以估算空气从海面进入陆地后到达观测点的行进距离。统计 3 个测站的资料获得当地热内边界层随深入陆地距离的变化，并归纳出经验关系。结果表明，当地热内边界层高度偏大，但变化趋势基本符合距离的 1/2 次方律，与前人的理论和实验结果一致。观测期间，在夏季偏南风且风力不大的天气条件下，易出现热内边界层，但其强度较弱。

#### 2.4.4 大气稳定度

分别采用温度梯度-风速分类法（利用气象塔 10m、80m 温度数据和风杆 10m 风速数据）、温度梯度分类法和改进的 Pasquill 分类法（根据辐射和风速数据判别稳定度）进行稳定度分类，其各类稳定度出现频率见表 2.4-8。从分类结果来看，温度梯度-风速和改进的 Pasquill 分类法较为接近，温度梯度法给出的不稳定类偏少，E 类偏多。

从稳定度分类方法原理来看，改进的 Pasquill 分类法综合考虑了热力湍流和机械湍流的作用，该方法通过太阳总辐射和夜间净辐射的大小来判断热力湍流的强弱。本厂址为滨海厂址，同时地形有起伏，厂址热力湍流情况不仅与太阳辐射有关，还受局地地形和海上来流造成的热力影响。因此，该方法对于本厂址热力湍流的影响因素的考虑不够全面。

温度梯度分类法仅仅考虑热力湍流对大气稳定度的影响，而没有考虑机械湍流的影响。在机械湍流起主导作用的对流不稳定天气条件下，温度梯度常常可能是中性和稳定条件下的温度递减率。因此，采用温度梯度法稳定度分类统计结果中 D 类及 E 类偏多，不稳定类偏少。

温度梯度-风速分类法综合考虑了热力湍流和机械湍流的作用，该方法通过温度梯度的大小来判断热力湍流的强弱，能够直接反应厂址地区的热力湍流情况。采用该方法判别的各类稳定度频率也较为合理，综合比较三种稳定度分类方法表明，温度梯度-风速分类法最适用于本厂址。

厂址地区各类稳定度所占比例分别为：A 类 6.2%，B 类 16.8%，C 类 10.9%，D 类 34.4%，E 类 7.0%，F 类 24.7%。

#### 2.4.5 联合频率

联合频率统计采用 2020 年 9 月至 2021 年 8 月一整年逐时 10m 风杆风向、风速，降水量和大气稳定度，上述数据的联合获取率为 94.7%，满足相关导则中获取率不低于 90% 的要求。按照《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02）导则要求，在联合频率统计中，风向分 16 个方位。将风速划分为 6 级，即：

- 风速小于 0.5m/s 按静风处理，作为第一级风速；
- 0.5~1.9m/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。

表 2.4-9 给出了厂址地区全年风向、风速、稳定性和降水的联合频率分布。

## 2.4.6 混合层高度及扩散参数值

### 2.4.6.1 混合层高度

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

### 2.4.6.2 扩散参数

石岛湾核电站址规划建设高温气冷堆示范工程和华能 4 台压水堆机组以及国核示范 2 台压水堆机组。为了解石岛湾核电站址大气扩散参数，开展了如下实验：（1）厂址气象观测铁塔 30m 和 100m 两个高度湍流特征量的测量和扩散参数的计算；（2）SF<sub>6</sub> 野外示踪扩散实验；（3）大气扩散数值模拟研究；（4）风洞试验；（5）CFD 数值模拟实验。其中实验（1）~（3）针对原始地形开展，实验（4）、（5）考虑了规划的厂区建筑物。各实验情况如下：

（1）厂址气象观测铁塔 30m 和 100m 两个高度湍流特征量的测量和扩散参数的计算

北京大学科技开发部于 2007 年 12 月~2008 年 01 月和 2007 年 08 月~09 月间分别于厂址气象铁塔 30m、100m 高度处进行了厂址湍流观测实验，共获得 1794 组数据，覆盖了厂址地区各类稳定度情况。

#### （2）SF<sub>6</sub> 野外示踪扩散实验

中国辐射防护研究院于 2007 年 08 月 22 日~08 月 31 日共进行了 15 次六氟化硫（SF<sub>6</sub>）野外示踪实验，最远采样 8.5km，释放高度为 65m。15 次实验中，D 类稳定度占 7 次，C 类稳定度占 6 次，B 类稳定度占 2 次。

#### （3）大气扩散数值模拟研究

北京大学科技开发部开展了大气扩散数值模拟研究，根据厂址气象塔、周边常规气象站以及自动气象站的观测资料，边界层上层风廓线资料使用青岛站的探空观测，用三维风场诊断模式和输送轨迹分析方法模拟了厂址周边中尺度范围（200km×200km）

和小尺度范围（40km×40km）典型月份、中小两个尺度的逐时三维边界层风场。计算中采用 2006 年 10 月和 2007 年 1、4、7 月，代表一年中的 4 个季节的情况。以地面 10m 层为代表计算厂址地区逐时排放污染物的输送轨道和到达位置，定性分析中尺度与小尺度输送规律和影响范围。在中小尺度风场模拟结果的基础上，利用北京大学自行研发的随机游走粒子-烟团模式（RPPM）对各种天气条件下的扩散规律进行了模拟研究。

#### （4）风洞试验

分别以华能压水堆 1 号、3 号机组和国核示范压水堆 2 号机组为中心，开展 NNE~SSW 风向、NW~SE 风向和 WSW~ENE 风向 6 个实验风向的流场、示踪和流动显示实验，模拟石岛湾核电厂址规划建筑群的扩散情况。

#### （5）CFD 数值模拟实验

以厂址地形和建筑物群为研究对象，应用计算流体力学通用软件 STAR-CD v3.2 模拟其流场、温度场和浓度场。研究的区域为 30km×30km 尺度范围，模型垂直方向自地面至 4000m，以下密上疏形式垂向不等距分为 30 层。分别以华能压水堆 1 号、3 号机组和国核示范压水堆 2 号机组为中心，分别进行了与风洞试验相吻合的 6 个风向，D 类天气条件下 16 个风向，以及 SSW 风向、D 类天气条件下，六类不同风速级的流场、浓度分布进行模拟。

#### （6）本报告采用的大气扩散参数

中国辐射防护研究院编制了《石岛湾核电厂址大气扩散模式研究总结报告》，对石岛湾核电厂址开展过的大气扩散实验获取的结果进行整理，推荐了适用于石岛湾核电厂扩建一期工程的大气扩散参数。本报告采用了该大气扩散参数，其推荐方法如下：

北京大学科技开发部于 2008 年 3 月主持完成了《华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电示范工程大气扩散试验研究报告》，根据实验（1）~（3）的分析结果综合推荐了扩散参数，称为“前期推荐扩散参数”。

实验（4）~（5）分别以华能压水堆 1 号、3 号机组和国核示范压水堆 2 号机组为中心开展。

前期大气扩散实验（实验（1）~（3））推荐扩散参数时未考虑厂区建筑物对扩散的影响，而风洞实验研究又受到模拟区域大小的限制，结合厂址实际扩散情况，扩散参数分段考虑，近距离采用修正后的风洞实验结果，远场采用前期大气扩散实验研究结果。

近距离扩散参数处理方法：考虑扩散参数近场与远场的衔接，将 100m 处风洞推荐扩散参数与 3km 处前期推荐扩散参数结果重新按照幂函数拟合，得出石岛湾核电站扩建一期工程近距离扩散参数。

石岛湾核电站扩建一期工程近距离扩散参数处理方法：将华能压水堆 1 号机组为中心近距离 100m 处风洞推荐扩散参数与 3km 处前期推荐扩散参数结果拟合，得出石岛湾核电站扩建一期工程近距离扩散参数。

远近场距离选定为 3km 的依据主要为：（1）考虑近场与远场扩散因子的衔接；（2）按照经验，10 倍于建筑物高度的下风距离处，建筑物对流场影响基本消失。

表 2.4-10 给出了石岛湾核电站扩建一期工程扩散参数，图 2.4-6 给出了相应的扩散参数和 P-G 扩散参数比较图。

#### 2.4.7 运行前的厂址气象观测

石岛湾核电站各期工程共用一套厂址气象观测系统，包括气象梯度自动观测系统和厂址专用地面气象站。2006 年 4 月底厂址气象观测系统正式建成并投入运行。气象梯度自动观测系统共设四层（10m、30m、65m 和 100m），分别测量厂址地面以上各个高度风向、风速、温度。厂址专用地面气象站观测项目有 10m 风向、风速、降雨量、气压、太阳总辐射、净辐射、温湿度和地表温度。

2009 年 4 月，厂址气象观测系统完成了重建工作，并于 2009 年 9 月交付使用。

由于该气象观测系统位置与国和一号示范工程厂区有冲突，2010 年 1 月 7 日，国核示范电站有限责任公司在北京主持召开了石岛湾厂址气象观测系统选址和搬迁方案咨询会，确定在国和一号示范工程厂区外西北侧新建气象观测系统，2013 年 5 月底完成了建设，并运行至今。

石岛湾核电站厂址气象观测系统包括气象梯度自动观测系统和厂址专用地面气象站，气象梯度自动观测系统为 102 米铁塔，在五个高度(10m、30m、60m、80m、100m)观测风向、风速和温度，观测设备均安装在可伸缩的横臂上，风传感器安装位置距塔体不小于 2 米，温度传感器不小于 1.5 米。

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

图 2.4-3 给出了厂址气象观测系统的历次搬迁站址位置。

表 2.4-11 给出了厂址气象观测系统设备传感器性能指标。

#### **2.4.8 参考资料**

- [1] 中国辐射防护研究院，石岛湾核电站址大气扩散模式研究总结报告，2013 年 3 月；
- [2] 北京大学科技开发部，华能山东石岛湾核电站高温气冷堆核电示范工程大气扩散试验研究报告，2008 年 3 月；
- [3] 国核电力规划设计研究院有限公司，华能山东石岛湾核电站扩建工程可行性研究阶段常规气象和极端气象复核专题报告，2020 年 12 月。

表 2.4-1 厂址周边气象站信息及沿革

站名	经纬度		拔海高度		气象站 类型	站点变动信息		
	纬度	经度	水银槽 (米)	观测场 (米)		建站 时间	迁站 次数	现址开始 工作时间
威海	37°28'	122°08'	64.8	65.4	基本站	1959/1/1	2	1994/1/1
成山头	37°24'	122°41'	46.4	47.7	基本站	1951/12/1	0	1951/12/1
石岛	36°55'	122°26'	5.7	4.8	基本站	1953/2/1	3	2002/1/1

表 2.4-2 石岛气象站累年气象特征值（1953-2019 年）

月份 项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
平均气压(hPa)	1023.7	1022.1	1018.5	1013.1	1008.6	1004.5	1002.4	1005.1	1011.5	1017.7	1021.2	1023.5	1014.3
最高气压(hPa)	1042.6	1044.5	1036.6	1030.5	1025.9	1019.6	1014.5	1016.9	1024.8	1034.8	1037.6	1041.3	1044.5
最低气压(hPa)	1002.8	991.8	995.6	986	990.3	977.6	980.4	984.2	991.7	1000	997.7	1001.8	977.6
平均气温(°C)	-0.9	0.2	4.2	9.9	15.4	19.5	23.1	24.5	21.2	15.9	8.9	2.2	12
极端最高气温(°C)	12	15.8	21.4	30.3	33.1	33.1	36.8	33.4	34	28.2	23.4	17.7	36.8
极端最低气温(°C)	-14.6	-12.9	-8	-3.3	4.1	10.3	14.8	13.9	7.2	-0.3	-7.6	-11.5	-14.6
降水量(mm)	11.7	13.2	22.6	50	57.8	89	184.2	189.2	100.9	41.7	30.1	14	799.6
降水日数(d)	11.1	8.2	8.4	9.9	11.6	13.9	19.2	15	10.3	8.5	9.6	11.3	137
相对湿度(%)	63	65	65	68	72	84	91	86	74	66	65	64	72
最小相对湿度(%)	9	8	8	8	9	17	23	28	15	14	13	14	8
日照时数(h)	196	191.7	228.6	230	249.8	212.8	165.5	210.8	225.4	227.9	186.9	185.2	2510.6
平均风速(m/s)	4.3	4.4	4.7	4.7	4.3	3.6	3.3	3.4	3.6	3.9	4.4	4.2	4.1
最大风速(m/s)	20.0	19.7	20.0	21.3	28.3	25.0	22.7	22.0	21.7	19.7	20.0	19.3	28.3

表 2.4-3 石岛气象站月、年风向频率（1953-2019 年）

单位：%

月份 风向	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
N	18	19	16	11	7	5	5	12	15	16	15	15	13
NNE	5	7	8	7	5	4	5	7	7	6	5	4	6
NE	2	3	4	4	4	4	4	7	6	4	3	2	4
ENE	1	1	2	2	2	2	3	3	3	2	1	1	2
E	1	1	1	2	2	3	3	4	3	2	1	1	2
ESE	1	1	1	2	2	2	3	3	2	1	1	1	2
SE	1	1	2	3	3	5	5	5	3	2	1	1	3
SSE	1	1	2	2	3	5	6	4	3	3	2	1	3
S	1	2	3	5	6	9	11	8	6	5	4	2	5
SSW	4	7	10	13	16	18	16	12	8	8	7	5	10
SW	5	9	14	19	21	21	19	11	7	7	7	5	12
WSW	6	5	6	6	7	4	3	3	3	5	6	6	5
W	9	5	3	3	3	2	1	1	3	5	9	11	5
WNW	10	6	3	3	3	2	1	1	3	6	8	12	5
NW	13	10	8	5	4	2	2	4	7	9	12	13	7
NNW	18	16	11	8	5	3	2	6	12	14	14	15	10
C	6	7	6	6	7	9	9	9	10	7	6	7	7

表 2.4-4（1/2） 厂址气象观测系统气象参数统计

气温(°C) 月份	10m 高度			30m 高度			80m 高度			100m 高度		
	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低
一月	-0.2	9.2	-12.2	-0.1	8.8	-12.4	-0.2	8.3	-12.9	-0.2	8.4	-13
二月	2.9	15.5	-7.2	2.9	15.1	-7.4	3	14.9	-7.8	3.1	14.9	-7.9
三月	6.4	14.2	-1.3	6.4	13.6	-1.4	6.4	13.2	-1.7	6.5	13.4	-1.8
四月	10.9	18.3	4.1	10.8	17.7	4.4	10.8	17	4.5	10.8	16.9	4.4
五月	16.4	23.7	10.4	16.3	23.1	10.3	16.2	22.6	9.8	16.3	22.7	9.6
六月	20.2	28.9	14.9	20	28.4	14.7	20	27.8	15.2	20.1	27.6	15.1
七月	23.9	30.5	19.8	23.7	29.9	19.6	23.6	29.2	19.4	23.7	28.9	19.3
八月	24.8	29.2	19.2	24.7	28.5	19.1	24.4	27.8	18.5	24.4	27.8	18.4
九月	21.9	27	15	22	26.5	15.3	21.7	25.8	15.7	21.6	25.6	15.9
十月	16.1	22.6	8.4	16.4	22.2	9.1	16.3	21.5	9.7	16.3	21.4	9.8
十一月	10.5	19.6	-0.2	10.6	19.1	-0.1	10.5	18.4	-0.4	10.4	18.2	-0.5
十二月	2.4	10	-6.2	2.5	9.6	-6.4	2.4	9.3	-6.8	2.3	9.2	-7
全年	13.1	30.5	-12.2	13.1	29.9	-12.4	13	29.2	-12.9	13	28.9	-13

表 2.4-4 (2/2) 厂址气象观测系统气象参数统计

时间 \ 参数	气压 (hPa)			相对湿度 (%)		降水		百叶箱温度 (°C)			总辐射 (W/m <sup>2</sup> )	净辐射 (W/m <sup>2</sup> )
	平均	最高	最低	平均	最低	降水量 (mm)	降水小时数 (h)	平均	最高	最低		
一月	1023.5	1033.1	1009.1	71.3	20.9	6.1	9	-0.7	9.6	-12.5	238.8	-53.0
二月	1020.4	1032.0	1002.2	69.2	26.1	4.9	13	2.5	15.8	-8.3	321.2	-56.8
三月	1018.5	1029.7	1000.0	69.0	17.4	36	32	6.2	15	-2.1	376.3	-49.5
四月	1017.7	1028.4	1006.6	66.0	14.3	204	100	10.8	19	1.6	408.4	-45.5
五月	1005.7	1011.4	996.1	73.9	22.2	68.1	66	16.3	24.5	10	432.7	-41.3
六月	1004.5	1012.6	995.8	86.2	29.4	82.6	85	20.3	29.2	14.6	407.0	-30.1
七月	1004.5	1012.3	992.5	91.1	58.2	197.6	89	24.1	31.1	19	390.9	-23.3
八月	999.0	1012.6	961.6	83.7	46.2	165.4	99	24.7	30	18.7	380.3	-35.0
九月	1010.6	1018.3	997.2	75.9	28.2	100.1	43	21.5	27.9	13.8	377.6	-50.3
十月	1019.7	1027.4	1009.6	63.3	25.5	1.4	6	15.2	23	7	329.7	-45.1
十一月	1024.0	1036.5	1000.0	66.5	20.5	5.1	15	9.7	19.9	-0.6	262.5	-49.0
十二月	1026.1	1036.8	1013.3	65.0	18.6	0	0	1.6	10.2	-6.4	204.9	-56.2
全年	1014.4	1036.8	961.6	73.7	14.3	871.3	557	12.8	31.1	-12.5	347.4	-44.6

表 2.4-5 厂址各降水等级的降水量、降水小时数

降水等级	降水 小时数	降水量 (mm)
$0.0 < r < 0.2$	187	18.7
$0.2 \leq r < 0.5$	132	35.7
$0.5 \leq r < 1.0$	75	48.7
$1.0 \leq r < 2.0$	45	64.1
$2.0 \leq r < 5.0$	75	246.4
$5.0 \leq r < 7.0$	17	96.1
$7.0 \leq r < 10.0$	12	104.9
$10.0 \leq r < 15.0$	5	60.8
$15.0 \leq r < 20.0$	4	71.2
$20.0 \leq r < 30.0$	4	91.9
$30.0 \leq r$	1	32.8

$r$  为小时降雨量 (mm/h)

表2.4-6 风杆10m、气象塔30m、80m、100m各层逐月及全年平均风速（m/s）

高度 月份	10m	30m	80m	100m
一月	3.2	3.9	6.4	6.7
二月	3.3	4.3	6.1	6.6
三月	3.1	4	5.5	5.7
四月	3.4	4.5	6.8	7.1
五月	2.9	4.3	5.8	6.4
六月	2.6	3.7	5.3	5.6
七月	2.1	3.1	5.2	5.5
八月	1.9	3	4.7	5.2
九月	2.5	3.7	5	5.2
十月	2.4	3.6	4.9	5.1
十一月	3.1	4.3	5.9	6.2
十二月	2.8	3.9	5.8	5.9
全年	2.8	3.8	5.6	5.9

表 2.4-7 (1/4) 风杆 10m、气象塔 30m、80m、100m 各层各月及全年风向频率 (%)

10m 高度

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	全年
N	11.2	8	8.9	4.3	4.4	2.9	2.8	6.7	7.1	10.2	11.5	7.7	7.2
NNE	7.9	11.2	9.1	8.5	3.1	1	2.6	7	5.4	5.2	3.8	6.2	5.9
NE	3.6	10.4	4.8	6.7	7.2	3.1	7	8.7	6.8	6.6	3.1	2.8	5.9
ENE	2.2	3.1	6	5.7	7.7	2.8	10.1	5	7.8	7	0.6	0.7	4.9
E	1.3	2.1	3.2	3.8	6.1	4.4	7	4.8	10	4	0.8	0.4	4
ESE	2	2.2	2.2	5.2	3.3	4	6.2	5	5.4	1	1.7	0.1	3.2
SE	1.6	1.5	2.3	4.4	5.2	4.3	11.6	8.9	3.2	0.9	2.6	0.3	3.9
SSE	3.1	1.5	3.2	2.5	3.5	9.2	8.2	4.8	2.5	1.5	2.2	0.7	3.6
S	3.5	3.4	4.8	3.9	6.3	12.4	12.5	6.3	3.3	2.1	4	0.9	5.4
SSW	3.8	7.9	7.9	9.8	8.6	17.1	12	8.1	7.9	3.7	5.7	0.9	7.8
SW	4.3	12.4	13.4	11.5	14.7	21.9	12.8	9.8	5.1	5.5	7.4	4	10.2
WSW	5.4	8.2	7.3	4.4	7.5	6.5	2.6	4.3	2.9	4.3	4.3	3	5
W	8.1	6.2	2.7	6.1	4.9	2.8	0.9	3.5	4.6	5.1	7.7	10.7	5.2
WNW	9.5	3.6	5.2	3.6	5.1	4.2	0.4	3.6	4.3	8.4	6.3	17.8	6
NW	15.3	5.8	5.8	6.4	5.8	1	0.5	4.7	7.2	16.4	15.8	25.4	9.1
NNW	15.1	9.2	9.8	11.5	6.1	1.4	1.3	6.7	10.6	16.7	21.2	17	10.5
C	2.2	3.3	3.1	1.6	0.7	1.1	1.6	2	5.7	1.2	1.2	1.4	2.1

表 2.4-7 (2/4) 风杆 10m、气象塔 30m、80m、100m 各层各月及全年风向频率 (%)

30m 高度

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	全年
N	8.5	13.7	10.9	6.2	3.7	1.7	1.9	7.8	4.4	8.1	6.8	7.7	6.8
NNE	5	9.7	7.4	7	5.2	2.4	2.6	5.1	5.7	5.1	2.5	4.4	5.1
NE	3	4.5	4.6	7.4	7.9	4.3	7	6.9	7.6	8.1	1.2	1.1	5.2
ENE	1.9	2.5	3.1	3.8	4.9	2.8	7.3	5.1	11.1	4.2	0.3	0.7	4
E	1.7	1.3	2.4	3.9	4.4	2.6	6.5	5.6	7.4	2.1	0.9	0	3.3
ESE	2.4	2.1	2.7	4.1	3.8	4.3	7	4.8	4.7	1	2.2	0.3	3.3
SE	3.1	2.1	2.7	3.6	3.8	4.7	10.2	6.7	3.3	1	1.8	0.4	3.7
SSE	3.6	1.8	3.6	3.8	4.2	11.2	14.2	6.2	3.7	0.4	2.6	0.6	4.8
S	3.4	3.7	5.2	5.4	6.6	16.5	11.3	7.1	5.3	2.2	5.5	1.1	6.2
SSW	4	14.7	14.9	13.8	16.4	24.4	13.8	9.1	8.2	6.3	8.2	3	11.3
SW	5.6	13.2	11.8	8.2	11.2	11.4	3.9	8.1	4.7	5.4	6.8	4.3	7.8
WSW	5.8	6.2	3.4	5.7	5.2	5.7	1.7	5	4.3	9.4	6.9	7.5	5.5
W	11.4	3.7	3.5	3.4	5.9	3.9	0.8	4	4.3	8.2	7.7	16.2	6.1
WNW	7.5	3.3	4.4	4.8	3.8	1.7	0.5	2.3	7.2	10.2	9.5	21.9	6.4
NW	14.1	8.3	11	10	7.3	1.1	0.5	5.2	10.4	17.8	22.2	18.8	10.5
NNW	12.4	8.2	7.7	8	5.4	1.1	1.2	7.5	7.2	10.3	14.8	10.7	7.8
C	6.5	0.7	0.7	0.8	0.2	0.1	9.5	3.4	0.3	0.1	0.2	1.3	2.1

表 2.4-7 (3/4) 风杆 10m、气象塔 30m、80m、100m 各层各月及全年风向频率 (%)

80m 高度

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	全年
N	6.5	13.1	12.4	6.7	1.2	1	1.3	5.9	2.5	7	6.3	5.7	5.8
NNE	4.2	8.9	6.5	5.4	3	3.3	1.9	1.7	4.4	8.1	2.5	4.4	4.5
NE	3.6	3	2.6	7.2	9.1	2.2	4.8	5.8	10.1	7.3	1.1	1	4.7
ENE	2.8	2.7	3	3.9	5.2	3.9	7.7	7.3	10.7	4.6	0.3	0.4	4.4
E	1.5	1.2	1.5	4.6	5.6	3.2	8.3	7.9	8.7	1.3	0.9	0.1	3.8
ESE	3.1	1.6	1.9	4.6	3.7	2.4	8.9	5.1	3.2	1	1.7	0.3	3.1
SE	3.5	2.2	2.3	5.4	2.8	4.7	17.3	8.2	2.9	1.5	3.5	0.9	4.7
SSE	3.6	2.1	4	4.8	3.7	11.5	13.8	8.5	5.4	0.6	3.1	0.9	5.3
S	3.8	2.4	6	6.9	7	18.7	14.4	7.9	7.4	2.1	4.8	0.6	6.9
SSW	4.7	17.4	20.6	10.5	15.7	25.7	12.5	10.3	7.4	8.5	9.2	3.6	12.2
SW	5.4	12.2	6	6.4	13.6	10.4	4.7	8.5	4.7	8.4	8.2	6.1	7.8
WSW	5.8	8.2	3.9	6.1	6.3	4.9	1.2	4.6	4.6	6.7	7.8	8.5	5.6
W	13.3	2.8	2.7	3.6	3.7	4.2	0.5	3.6	4.4	6.7	5.4	16.9	5.7
WNW	11.8	3.7	7.7	6.2	6.5	1.7	0.1	3.5	7.5	8.4	7.2	24	7.4
NW	12.9	8.2	8.5	9.5	8	1	1.3	4.2	7.6	14.6	20.2	14.6	9.1
NNW	13.4	10.3	10.6	8.2	4.9	1	1.1	6.9	7.8	12.7	17.8	11.9	8.8
C	0.1	0	0	0	0.3	0.3	0.1	0.3	0.6	0.3	0	0	0.2

表 2.4-7（4/4） 风杆 10m、气象塔 30m、80m、100m 各层各月及全年风向频率（%）

100m 高度

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	全年
N	8.9	8.8	10.6	9.7	4.7	1.5	1.5	8.9	7.1	10	12.6	9.9	7.8
NNE	5.6	13.2	11.8	5.7	3.8	2.6	1.7	6.9	4	7	3.1	3.8	5.8
NE	3.2	5.2	3.9	6.2	6.1	2.4	4.8	7.1	7.2	10.2	2.8	3.6	5.2
ENE	3.1	2.7	2.7	6.1	5.2	4.3	5.9	3.6	12.2	5.4	0.5	0.6	4.4
E	3.2	1.3	1.3	2.8	5.1	1.9	8.3	5.9	8.5	2.5	0.3	0.4	3.5
ESE	1.5	0.9	1.6	5.1	3.8	2.2	8.9	4.8	4.9	0.7	0.8	0.3	3
SE	3.1	2.7	2	4.6	4.4	4.3	13	7	2.5	1.5	2.6	0.3	4.1
SSE	4	2.2	3.2	4.3	3.1	8.3	15.1	7.7	4.2	1	3.7	1	4.9
S	3.6	1.5	3.8	2.8	4.2	14.2	13.7	6.7	5.4	0.6	2.9	0.4	5.1
SSW	3.2	7.7	12.9	10	13.3	25	11.8	13	9.3	5.2	8.5	1.6	10.2
SW	7.1	18.8	16.3	11.8	19.4	18.2	7.8	8.7	6.2	9.9	9.4	5.8	11.5
WSW	5.5	8.6	3.8	6.6	5.9	5.1	1.6	3.8	4.3	7	7.2	6.5	5.4
W	9.3	6.5	3.9	4.4	4.7	4.7	0.5	3.4	2.9	7	6.3	13.8	5.6
WNW	13.8	2.2	3.6	4.8	3.7	1.8	0	2.7	4.7	6.9	5.5	24.1	6.2
NW	9.8	6.2	9.4	8.2	6.8	2.1	1.1	4.6	7.9	10	14.5	16.1	8
NNW	14.7	10.9	8.1	6.9	5.8	0.4	0.9	5.2	6.7	13.9	18.6	11.8	8.6
C	0.3	0.4	1.1	0.2	0	0.8	3.2	0	1.9	1	0.8	0	0.8

表 2.4-8 各类稳定度分类结果

单位：%

稳定度 分类方法	A	B	C	D	E	F
$\Delta T-U$	6.2	16.8	10.9	34.4	7.0	24.7
改进的 Pasquill	0.9	14.1	12.2	38.0	6.9	27.9
$\Delta T$	6.7	8.4	4.3	29.2	36.1	15.3







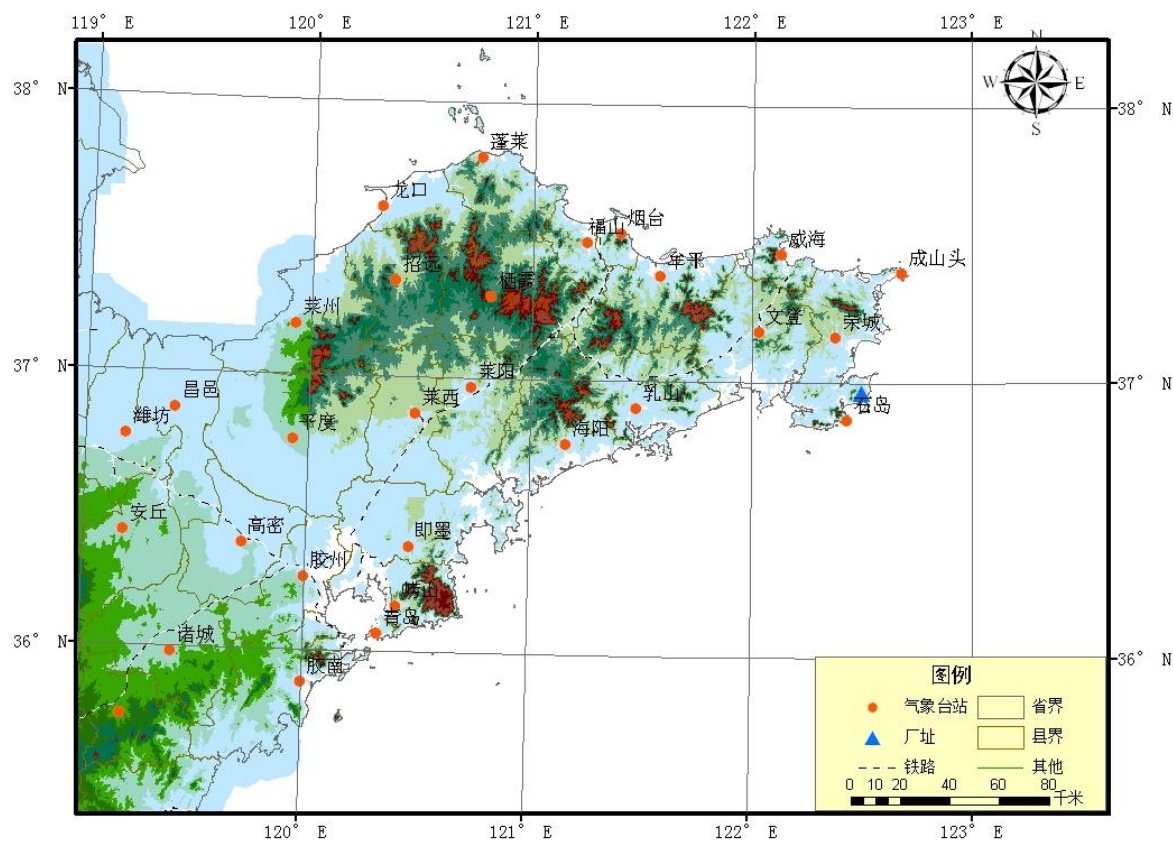
表 2.4-10 扩建一期工程大气扩散参数

	稳定度	水平扩散参数( $\sigma_y = a \cdot x^p$ )		垂直扩散参数( $\sigma_z = b \cdot x^q$ )	
		a	p	b	q
近场 (3km 以内)	A	1.050	0.777	2.343	0.623
	B	0.614	0.817	2.109	0.561
	C	0.410	0.840	2.954	0.446
	D	0.287	0.840	2.645	0.408
	E	0.236	0.819	2.432	0.366
	F	0.165	0.825	1.956	0.328
远场 (3km 以远)	A	0.300	0.933	0.143	0.972
	B	0.247	0.931	0.176	0.871
	C	0.218	0.919	0.197	0.784
	D	0.169	0.906	0.209	0.725
	E	0.115	0.909	0.140	0.723
	F	0.093	0.896	0.119	0.678

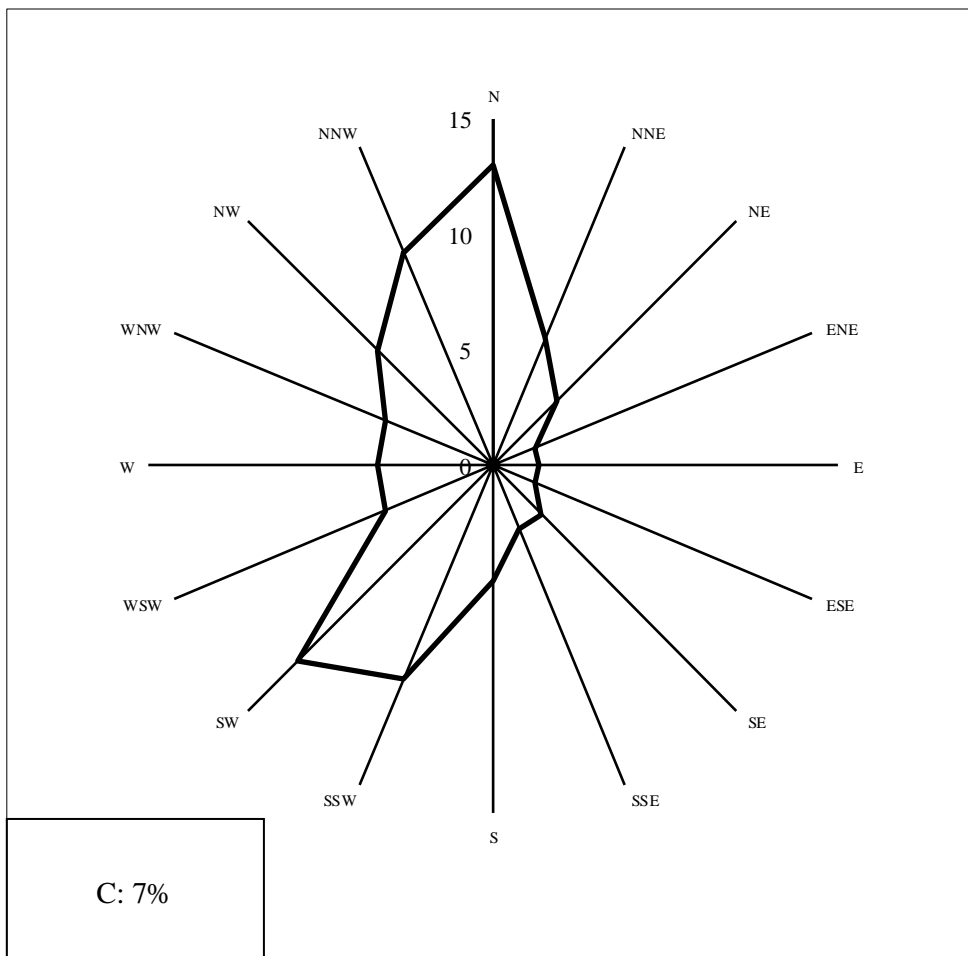
注：x 为下风向距离，单位 m。

**表 2.4-11 厂址气象观测系统传感器性能指标**

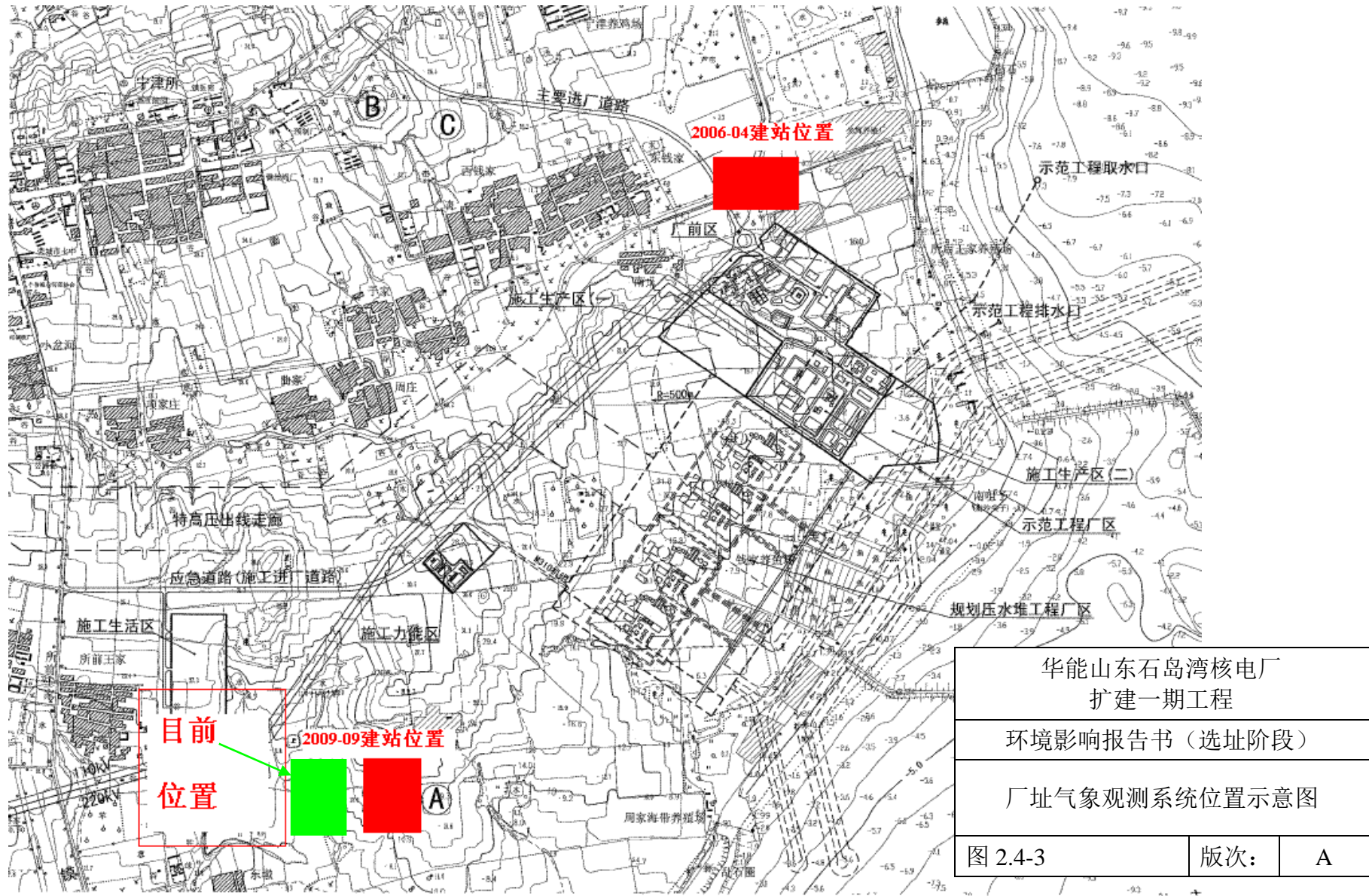
名称	单位	测量范围	准确度	分辨率
风速	m/s	0~49（启动 风速 0.4）	±0.12（当风速<10.1m/s 时） ±1.1%（当风速≥10.1m/s 时）	0.7998
风向	°	0~360	±4	0.5
温度	°C	-50~+80	±0.2（-50 到 50°C）	0.1
降雨量	mm	>0.1	±1%（小于 10mm/h） +0, -3%（10 到 20mm/h） +0, -3%（20 到 30mm/h）	0.1
气压	hPa	500~1100	±1.0（-20 到 45°C）	0.1
相对湿度	%	0~100%	±1.5%	1%

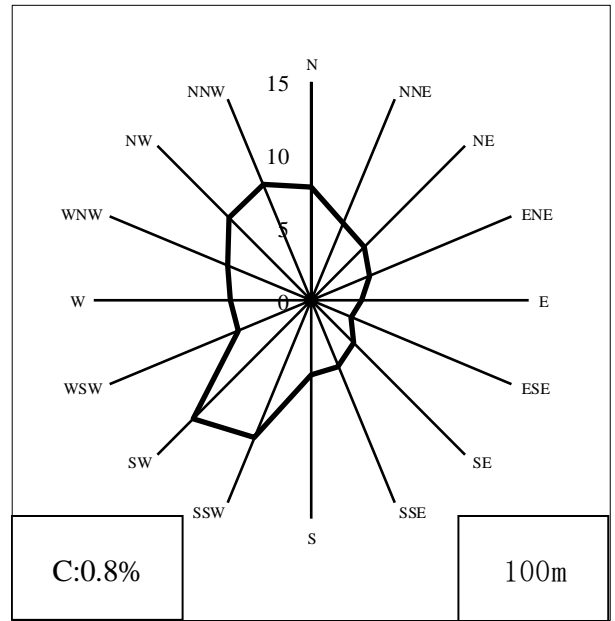
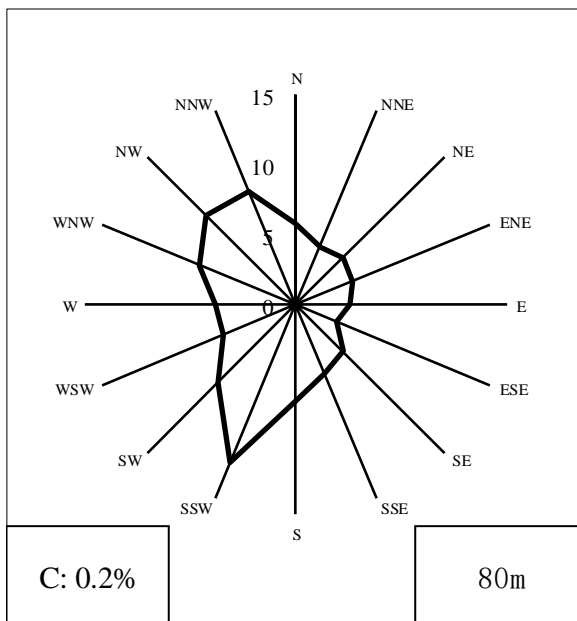
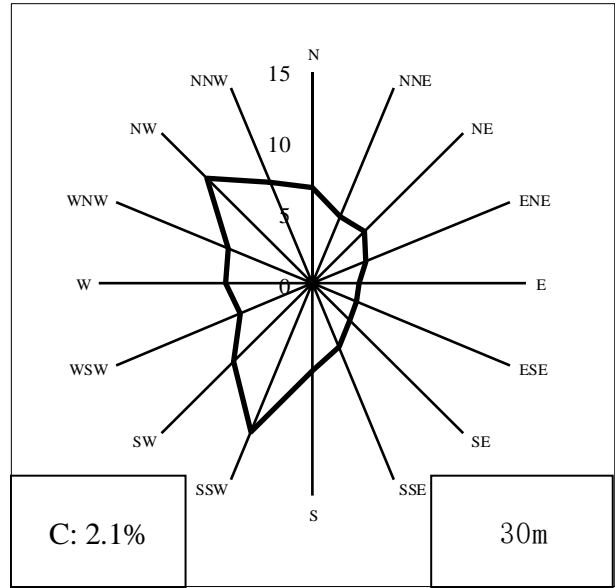
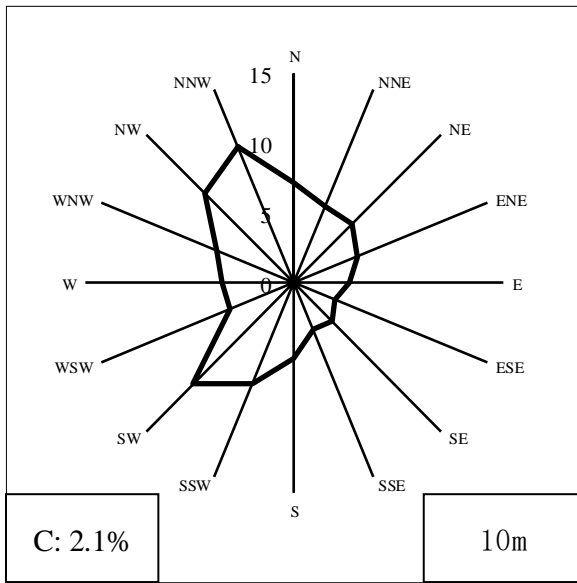


华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
厂址周边气象站和厂址的 相对地理位置		
图 2.4-1	版次：	A

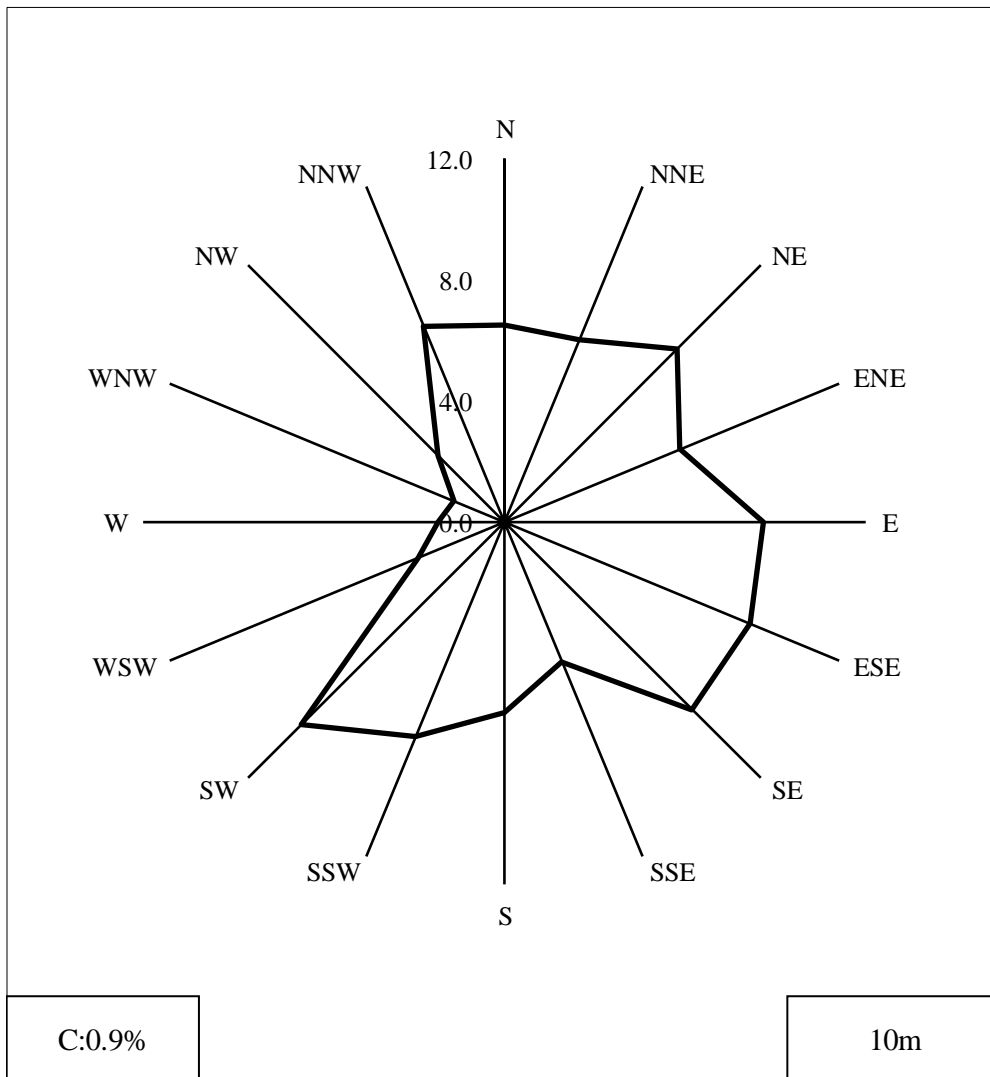


华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
石岛气象站年平均风玫瑰图 （1953-2019年）		
图 2.4-2	版次：	A

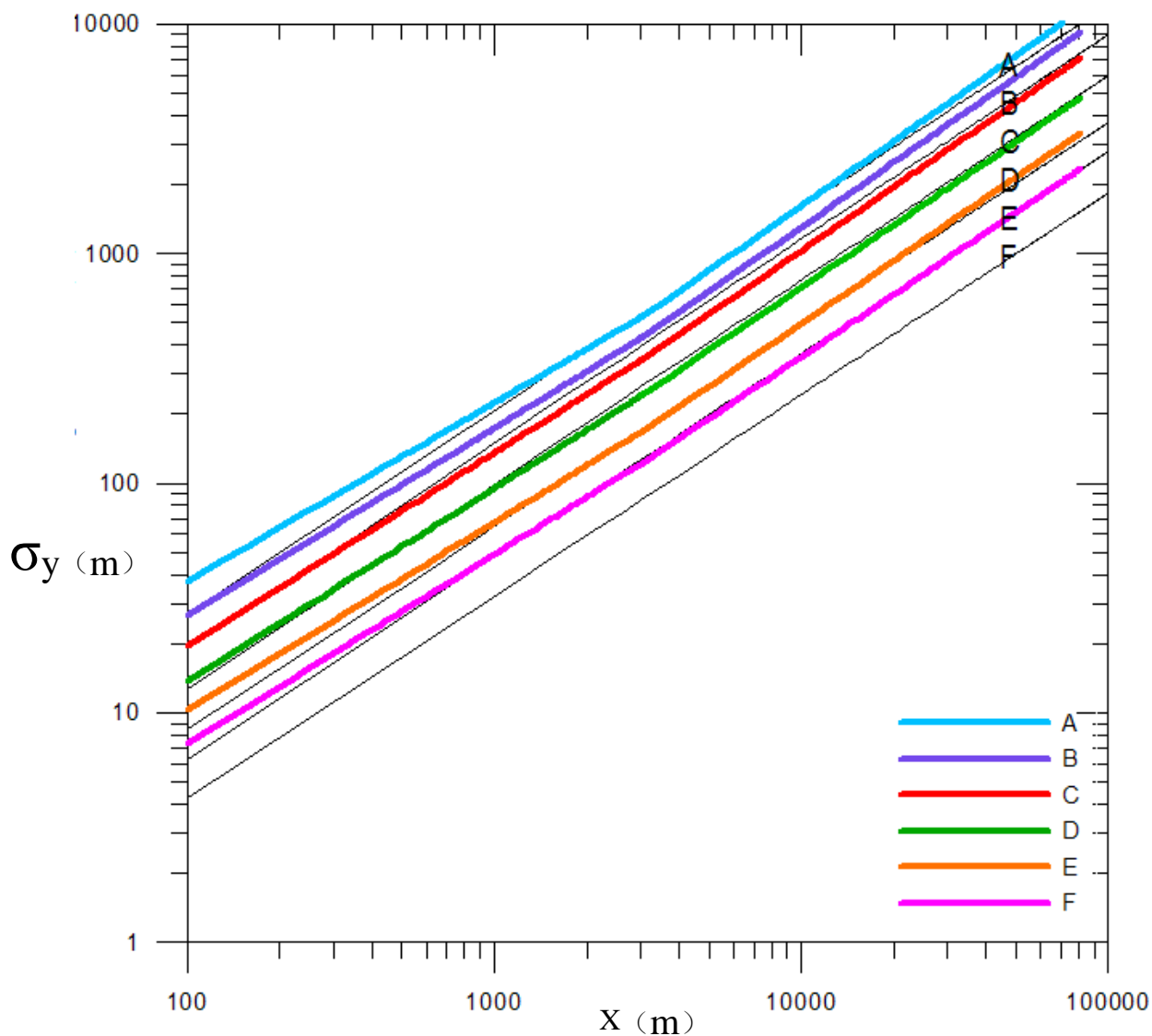




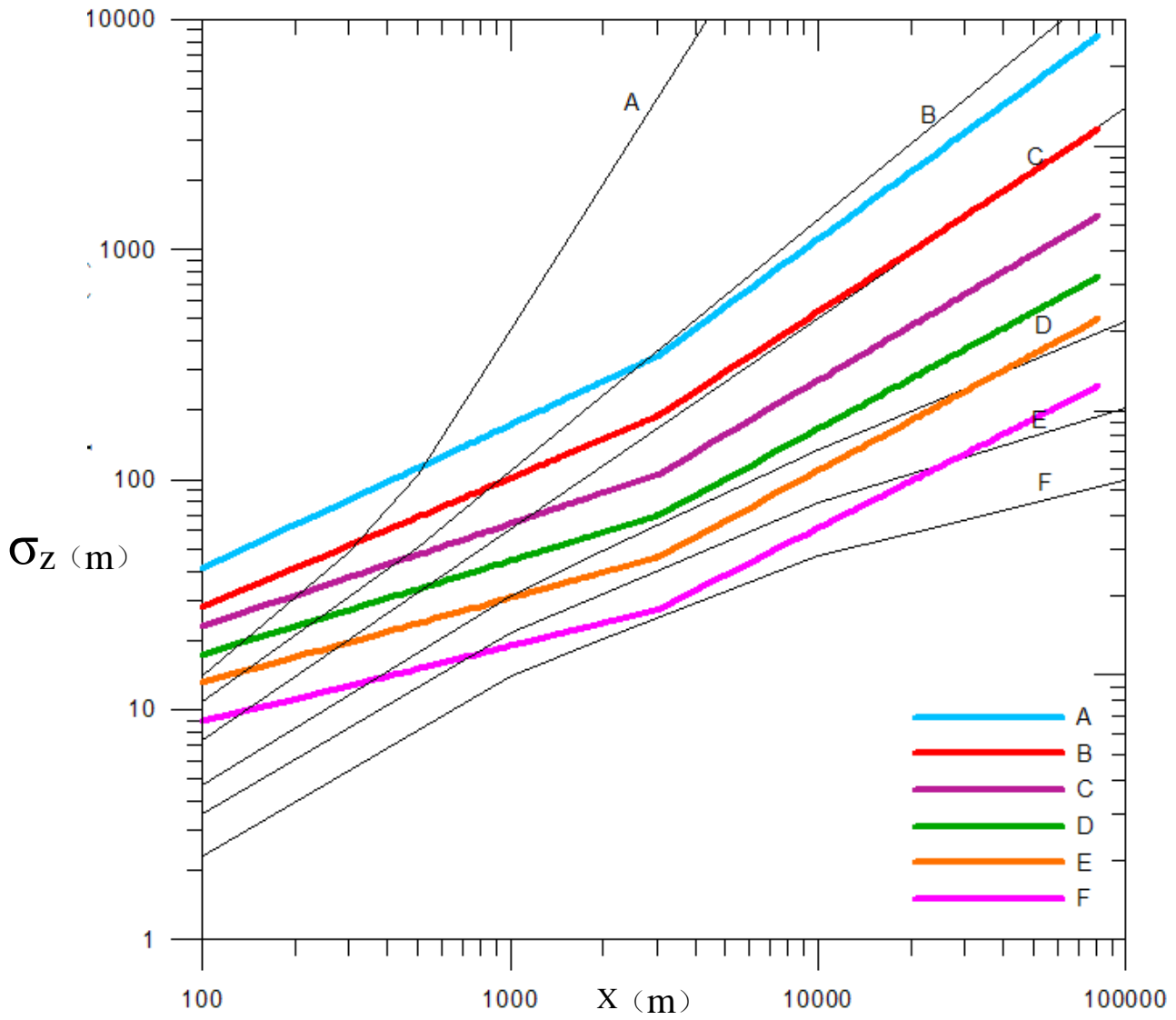
华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
风杆 10m、气象塔 30m、80m、100m 各层风向玫瑰图		
图 2.4-4	版次:	A



华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
降水期间风杆 10m 风玫瑰图		
图 2.4-5	版次：	A



华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
扩建一期工程扩散参数（彩色）与 P-G 扩散参数（黑色）		
图 2.4-6（1/2）	版次：	A



华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
扩建一期工程扩散参数（彩色）与 P-G 扩散参数（黑色）		
图 2.4-6（2/2）	版次：	A

## 2.5 水文

### 2.5.1 地表水

#### 2.5.1.1 陆地水文

#### 2.5.1.2 海洋水文

### 2.5.2 地下水

### 2.5.3 洪水

### 2.5.4 参考资料

#### 表

表 2.5-1 厂址半径 15km 范围内的河流概况

表 2.5-2 厂址半径 15km 范围内的水库概况

表 2.5-3 厂址潮汐特征要素表

表 2.5-4 各站实测涨、落潮流流速  $V$  (cm/s) 及流向 ( $^{\circ}$ )

表 2.5-5 各站实测垂向平均余流流速  $V$  (cm/s) 及流向 ( $^{\circ}$ )

表 2.5-6 厂址水文站温盐统计结果

表 2.5-7 厂址附近海域温度实测结果 ( $^{\circ}\text{C}$ )

表 2.5-8 厂址附近水井情况统计表

#### 图

图 2.5-1 厂址半径 15km 范围内河流分布示意图

图 2.5-2 厂址半径 15km 范围内水库分布示意图

图 2.5-3 海洋站及厂址海洋水文专用站位示意图

图 2.5-4 全潮水文观测站位示意图

图 2.5-5 夏季垂线平均海流矢量图

图 2.5-6 冬季垂线平均海流矢量图

图 2.5-7 夏季各站垂向平均余流矢量图

图 2.5-8 冬季各站垂向平均余流矢量图

图 2.5-9 工程海域测站温度变化过程及温度垂向变化图

图 2.5-10 工程海域盐度分布示意图

图 2.5-11 厂址所在海区的海岸线变化图

图 2.5-12 工程海域 2006-2021 年等深线变化对比

图 2.5-13 工程海域水下地形及水深变化特征

图 2.5-14 厂址 5km 范围内综合水文地质图

图 2.5-15 厂址区范围内综合水文地质图

图 2.5-16 地下水流向及水井分布示意图

图 2.5-17 厂址区范围内地下水水位分布图

## 2.5 水文

### 2.5.1 地表水

#### 2.5.1.1 陆地水文

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

##### （1）河流水系

荣成市河流均属于山东沿海诸河直流入海水系，属沿海边缘水系，多为季节性间歇河流，河流水系分散，流域面积小。河流受地形地貌的影响，河流特点为源短流急、涨落急剧，冲刷力强，属季风雨源型河流，径流量受季节影响差异大。境内共有独立入海的流域面积  $1\text{km}^2$  以上的河流 102 条，其中流域面积  $20\text{km}^2$  以上的有 10 条，包括沽河、小落河、王连河等。沽河流域面积  $208.8\text{km}^2$ ，干流长度  $30.7\text{km}$ ，其距厂址最近处为 NNW 方位约  $16.6\text{km}$ 。

##### （2）水利工程

厂址位于东墩村东北部，厂址半径  $15\text{km}$  范围内共有 19 座水库，其中有一座大型水库——八河水库，其余水库均为防洪灌溉用的中小型水库。

距厂址最近的为 WSW 方位约  $5.3\text{km}$  处的南夏家水库，是一座以防洪和农业灌溉为主的小型水库，总库容为  $114.46\text{万 m}^3$ 。

##### （3）淡水水源

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程施工期生产、生活用水由八河水库供水，在原有高温气冷堆取水管线取水，原有高温气冷堆取水管线已具备同时向扩建工程施工期间供水的能力，且预留有供水接口。本期工程建设单位已取得与荣成市水利局签订的《华能山东石岛湾核电站供水协议补充协议》（2020年9月），本项目施工期八河水库可供水  $210\text{万 m}^3/\text{a}$ 。

施工期生产、生活用水主要包括施工现场砂石料生产、混凝土搅拌、混凝土养护、绿化、道路浇洒、办公、消防等用水，生产生活用水最高日取水  $4000\text{m}^3/\text{d}$ 。本扩建工程运行期采用海水淡化供应生产生活用水。2 台机组生产用水年用水量约  $85.39 \times 10^4\text{m}^3/\text{a}$ （包含除盐水水量），2 台机组运行期生活用水年用水量约为  $14.95 \times 10^4\text{m}^3/\text{a}$ 。

### 2.5.1.2 海洋水文

厂址位于山东省荣成市宁津所街道办事处东南、石岛湾以北、桑沟湾以南的黑泥湾西北滨海区域，由海向陆约 100~200m，为侵蚀台地，地面高程约为 4~25m。厂址所在山东半岛附近有成山头 and 石岛两个国家海洋站。其中，成山头海洋站位于厂址北侧约 52km，观测要素包括潮位和波浪；石岛海洋站位于厂址西南侧约 13km，观测要素包括波浪和水温。厂址处海洋水文专用站（宁津站）于 2006 年~2007 年年期间开展了一年半的海洋水文观测工作，观测要素包括潮位、波浪、水温和盐度等。海洋站及厂址海洋水文专用站位见图 2.5-3。

本期工程与华能高温气冷堆项目、国和一号示范工程位于石岛湾厂址，厂址附近海域从 2006 年起开展了多次海域全潮水文观测工作。其中，国家海洋局第一海洋研究所于 2016 年期间在厂址附近海域开展了夏、冬两季的全潮海洋水文同步测验工作。在 2020 年 12 月和 2021 年 8 月期间，中国科学院海洋研究所开展了厂址附近海域的夏、冬季全潮水文观测工作，观测期间共设置潮位观测站点 2 个，水文观测站点 9 个，观测项目有水深、流速、流向、水温、盐度、悬沙等，观测站位见图 2.5-4。同时，本工程对厂址潮位等参数进行了复核计算，并开展了岸滩稳定性复核及泥沙冲淤数模专题研究等工作。本节将结合上述海洋水文专题进行相应描述，如无特殊说明，本节高程以 1985 国家高程为基准。

#### （1）海域地理

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

#### （2）潮汐

根据厂址海洋水文专用站 2006.3~2007.9 的逐时潮位分析资料，工程海域潮汐属不正规半日潮。厂址附近海域平均涨潮历时（6h20min）与平均落潮历时（6h03min）接近，平均涨潮历时略长，最高、最低和平均潮位分别为 1.44m（1985 国家高程，下同）、-2.01m 和 -0.036m，最大、最小和平均潮差分别为 2.33m、0.22m 和 1.28m。

### （3）海流

根据 2020~2021 年期间实测全潮水文测验专题，工程海域潮流类型为规则半日潮流，大部分海区潮流运动形式为往复流，涨潮流向总体为偏 SW 向，落潮流向为偏 NE 向。观测期间，海流流速大部分站的最大值出现在表层或 0.2H 层，流速基本上均自表至底逐渐减小，流向在垂直线上的分布比较一致。整体来看各站涨、落潮平均流速大潮期最大，中潮期次之，小潮期最小。各站涨（落）潮流速最小的时刻发生在高（低）潮附近时刻，流速最大的时刻发生在高（低）潮后 2~3h 左右。图 2.5-5 和图 2.5-6 给出了夏冬两季的全潮水文测验期间各站的垂向平均海流矢量图，表 2.5-4 给出各站表层的实测流速，表 2.5-5 和图 2.5-7~图 2.5-8 给出了各站余流流速流向特征。

根据 2020 年 12 月期间的冬季测流结果，实测海流平面分布各站均表现为较强的往复性流动，各站涨、落潮平均流速大潮最大、中潮次之、小潮最小；流速基本上均自表至底逐渐减小。各站具体流速特征如下：

### （4）波浪

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

根据厂址海洋水文专用站 2006.3~2007.9 月波浪观测统计资料，厂址海域强浪向为

### （5）海水水温和盐度

根据厂址海洋水文专用站 2006.3 ~2007.9 的水温和盐度观测统计资料，观测期间厂址海域的实测水温范围为 2.14~24.95℃，月均水温范围为 4.05~23.67℃；实测盐度范围为 28.47~31.92‰，月均盐度范围为 30.01~31.25‰。

### （6）海冰影响

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

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

### （7）泥沙和岸线稳定性

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

#### a) 泥沙

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

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

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

核电站址处于岬湾岸段，常年波浪不强，泥沙来源不充足，岸线常年稳定、已有工程两侧岸滩形态较为对称。以上特征均表明工程海岸的沿岸输沙强度较低，输沙量十分有限。

#### b) 岸线及地形演变

厂址附近地势平缓，近岸海域岛屿较多，沙嘴、沙坝较为发育，并有陡峭的海蚀崖，串珠式泻湖和陆连岛等。侵蚀海岸主要发育在岬角处，现状条件下，在工程区及镇镞岛附近，存在大量的围堰，靠近围堰是波浪较为集中的地方，岸滩略有侵蚀，厂址近岸海域海底坡度较平缓。工程海域岸线及海床演变分析基于以下资料：（a）2006~2021年卫星遥感影像；（b）1934年、1980年、2006年工程区附近水域海图；（c）2006年4月、2011年5月和2021年2月工程区附近水域水深测图。图2.5-11给出了厂址所在海区的海岸线及变化情况，图2.5-12给出了海域内的不同时期内的等深线变化，图2.5-13给出了海域水下地形及水深变化特征。

### 2.5.2 地下水

#### （1）水文地质单元划分

厂址5km范围内可分为三个水文地质单元，水文地质单元的界限以分水岭为界，三个水文地质单元地下水的流向基本与地形的起伏相近，由地势高处向地势低处流动。第I水文地质单元的地下水流向基本是向北或北东向，最终排泄到龙门水库或大海；第II水文地质单元的地下水流向基本向东或北东向，最终排泄到林家流水库或大海，第III水文地质单元的地下水流向为南或南东向，最后排泄入大海。厂址5km范围内综合水文地质见图2.5-14。

厂区内地势自西北向东南倾斜，地表呈缓坡状，东南侧为海域。厂区位于倾向海域的缓坡地带，地下水自西北向东南沿缓坡向流入大海，水文地质条件相对简单。厂址区全部位于第III水文地质单元内。第III水文地质单元地下水流向为南或东南，最终排泄入大海，水文地质条件相对简单。厂址区范围内综合水文地质图见图2.5-15。

#### （2）地下水类型及补给、迳流、排泄条件

地下水可分为第四系松散岩类孔隙水和基岩裂隙水两大类。

第四系松散岩类孔隙水包括冲洪积孔隙水、冲洪积或海积孔隙水与海水混合水，主要赋存于第四系冲洪积层、海积层、坡残积层等土层孔隙中，有统一的地下水位，

属孔隙潜水；基岩裂隙水包括侵入岩岩组裂隙水和变质岩岩组裂隙水，主要赋存于浅部岩体风化裂隙及构造裂隙中。

### （3）厂址 5km 范围内的地下水利用情况

核电厂运行期间所需淡水拟采用荣成市内的八河水库，无利用地下水计划。

厂址 5km 范围内无大规模开采地下水的计划。现有的地下水利用情况主要是，村民在自己院落内或自家农田内打简易水井，水壁一般采用石块砌，水井深度较小，水井单位涌水量一般小于  $100\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$ 。厂址附近范围的水井情况见表 2.5-8 图 2.5-13。

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

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

### 2.5.3 洪水

厂址属滨海厂址，厂址区域的荣成市河流属于沿海边缘水系，很不发达，多为季节性间歇河流，源短流急，流域面积较小。因此不考虑溪流和江河在厂址上引起洪水泛滥。为保证厂址安全，在厂址北、南两侧设置浆砌石护面截洪沟，分别从东北方向和西南方向排至大海。

扩建一期工程的场坪标高初定 10m，高于设计基准洪水位。

### 2.5.4 参考资料

[1] 中核第四研究设计工程有限公司，华能山东石岛湾核电厂扩建工程环境资料调查

- 专题报告，2020年11月。
- [2] 中科院海洋所，华能山东石岛湾核电站工程可行性研究海洋水文专用站观测专题报告，2007年11月。
- [3] 中国海洋大学，石岛湾核电站址水文参数补充计算分析报告，2013年6月。
- [4] 中国海洋大学，石岛湾核电站址水文参数复核研究，2016年9月。
- [5] 天津水运工程科学研究所，华能石岛湾核电站岸滩稳定性复核及泥沙冲淤变化数值模拟研究报告，2021年12月。
- [6] 中国科学院海洋研究所，华能山东石岛湾核电站扩建工程海域四季同步水文测验专题分析报告，2021年11月。
- [7] 国核电力规划设计研究院，石岛湾核电站址附近范围水文地质调查报告，2013年4月。
- [8] 国核电力规划设计研究院，华能山东石岛湾核电站扩建工程一期工程初步设计阶段岩土勘察报告，2011年11月。

## 2.6 地形地貌

图

图 2.6-1 厂址附近区域地形图

图 2.6-2 厂址附近区域地貌图

## 2.6 地形地貌

华能山东石岛湾核电站扩建工程地处胶东半岛的黄海之滨，厂址以北 3.2km 处为宁津街道办事处驻地——宁津所，厂址以南为盐田，西南及西面分别与东墩、所前王家相望，东部面向黄海。

厂址区位于荣成市宁津镇东面、石岛湾以北、桑沟湾以南的黑泥湾西北滨海区域，由海向陆约 100~200m 即为侵蚀台地，地面高程约为 4~25m。厂址区北侧为老炕石岬角，其东北离岸为黑石岛，南侧岬角为镆铳岛北端的黄土岗。

厂址区及邻近区域陆地地形以海拔 30~50m 的台地地貌为主体，向内陆过渡为剥蚀准平原，背靠大面积的低缓丘陵，最高海拔 267m。地势起伏较小，相对高度在 100m 左右，平均坡度在 10° 以下。山丘中谷地较开阔，多干谷；平原多为海积平原。缓丘多由剥蚀而成，地形坡度缓，沟谷切割微弱，没有明显的走向，土层较厚。沿海区陆地坡度较缓，平均坡度约为 1~3°。厂址区附近地势平缓，为海积平原。厂址所在区域海岸类型依成因属于稳定的湾岬相间的山地港湾海岸，依地貌形态为较稳定的湾岬相间的砂坝-泻湖海岸。沿岸海域岛屿较多，沙嘴、沙坝特别发育，并有陡峭的海蚀崖，串珠式泻湖和陆连岛等。本区的镆铳岛和楮岛两个巨大的连岛沙坝很大程度上影响该区海岸的沉积作用与地貌发育。侵蚀海岸主要发育在岬角处，由于沿岸坡度较陡，10m 等深线直逼海岸线，岬角的侵蚀物直落海底或被输移而在海湾堆积成袋状海滩。

调查区地貌按其成因可分为剥蚀地貌和堆积地貌、海岸地貌等。

### ——剥蚀地貌

调查区侵入岩主要为新元古代侵入岩，经过长期的风化、剥蚀，现今呈典型的滨海缓波状丘陵地形，具老年期地貌特征。残丘顶部堆积几十厘米的残坡积物，向坡底逐渐增厚至 1m 以上与海积层过渡。残丘海拔一般 10~40m，冲沟不发育，或呈宽缓的“V”型低洼地，剥蚀、堆积呈准平衡状态。

### ——堆积地貌

包括河床和漫滩地貌。主要分布于钱家庄南及以东地区，在地貌上处于残丘肩坡以下的低洼处，呈长条状与河床相一致。漫滩地貌处于河床两侧，因接近河口，所以地貌上既向河床微倾，又向河口微倾，倾角较小。目前河床多已被人工修筑边坡所限定，河流阶地多已被改造为农田。

### ——海岸地貌

海蚀地貌位于调查区东南部和东部，主要发育海蚀崖及小型海蚀陡坎。海蚀崖呈陡峻斜坡，高约 2~3m，坡角  $30^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ，局部近直立，其斜坡产状受基岩构造线控制及断裂构造控制，发育在东部钱家村东海岸。海蚀陡坎规模较小，为海浪冲蚀滨岸现代人工堆积形成，位于调查区东南角，人工堆积为素填土，厚约 1m，经高潮时海浪侵蚀形成陡坎。

海积地貌包括海积平原、海滩。海积平原主要分布于厂址区以东，属海积阶地，海拔 2~10m，地势平坦，向海面微倾斜，坡度  $1^{\circ}$  左右，表层多为粉砂土、砾质砂土，以下为淤泥，含较多贝壳，底部见残坡积层及全风化—强风化基岩，常有古滨岸堤、风力再造小沙丘等微地貌，多已被人工改造为农田。

#### ——海滩

主要分布于厂址区东、东南部，自小南村东海岸沿海岸线延伸出调查区，呈宽窄不一带状展布，坡面微向海面倾，近海常形成 1~3m 小斜坡，主要由粉砂、混砾砂、卵石（砾石）构成，海岸线较平直，无天然港湾。

厂址附近区域地形、地貌图详见图 2.6-1~图 2.6-2。

### 第三章 环境质量现状

#### 3.1 辐射环境质量现状

#### 3.2 非辐射环境质量现状

- 3.1 辐射环境质量现状
  - 3.1.1 辐射环境本底调查
    - 3.1.1.1 调查方案
    - 3.1.1.2 质量保证
    - 3.1.1.3 调查结果
    - 3.1.1.4 区域内核设施、核技术利用调查
  - 3.1.2 辐射环境质量评价
    - 3.1.2.1 本底调查结果评价
    - 3.1.2.3 运行前辐射环境现状评价
  - 3.1.3 参考资料

表

表3.1-1 首次装料前阶段环境辐射本底水平调查方案（2张）

表3.1-2 地表 $\gamma$ 辐射剂量率、累积剂量测量点位置（2张）

表3.1-3 气溶胶、沉降灰、空气中 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 采样点

表3.1-4 地表水（底泥）、地下水、饮用水、降水采样点

表3.1-5 陆生生物、水生生物样品采样点位置

表3.1-6 海水和海洋沉积物采样点

表3.1-7 海洋生物采样点位置

表3.1-8 采用的仪器及测量方法依据

表3.1-9 各类样品分析方法的探测下限

- 表3.1-10 项目主要仪器和设备检定情况表
- 表3.1-11 调查中使用的放射性标准物质
- 表3.1-12 平行样品测量结果统计
- 表3.1-13 地表 $\gamma$ 辐射剂量率测量结果（2张）
- 表3.1-14 累积剂量计算出的剂量率值
- 表3.1-15 累积剂量与剂量率值比较
- 表3.1-16 气溶胶测量结果（2张）
- 表3.1-17 沉降灰测量结果
- 表3.1-18 空气 $^3\text{H}$ 和 $^{14}\text{C}$ 测量结果
- 表3.1-19 地表水测量结果
- 表3.1-20 地下水测量结果
- 表3.1-21 饮用水测量结果
- 表3.1-22 降水测量结果
- 表3.1-23 底泥测量结果
- 表3.1-24 土壤样品测量结果
- 表3.1-25 陆生生物测量结果（3张）
- 表3.1-26 陆域水生生物样品测量结果
- 表3.1-27 海水样品测量结果（2张）
- 表3.1-28 海洋沉积物样品测量结果
- 表3.1-29 海洋生物样品测量结果（3张）
- 表3.1-30 厂址附近（附近5km左右）放射源、射线装置使用情况（2021年1月）
- 表3.1-31 本次调查剂量率与全国、山东省、烟台市剂量率水平对比
- 表3.1-32 本次调查土壤中天然放射性核素浓度水平与全国、山东省、烟台市水平对比
- 表3.1-33 各类环境介质中 $^3\text{H}$ 与 $^{14}\text{C}$ 活度浓度汇总对比
- 表3.1-34 各类环境介质中 $^{90}\text{Sr}$ 与 $^{137}\text{Cs}$ 活度浓度汇总对比

图

图 3.1-1 地表 $\gamma$ 辐射剂量率、累积剂量监测和土壤采样点图（5km 范围）

图 3.1-2 地表 $\gamma$ 辐射剂量率、累积剂量监测和土壤采样点图（5~20km 范围）

图 3.1-3 地表  $\gamma$  辐射剂量率、累积剂量监测和土壤采样点图（20~50km 范围）

图 3.1-4 气溶胶、沉降灰和空气中  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  采样布点图（20km 范围）

图 3.1-5 气溶胶、沉降灰和空气中  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  采样布点图（20~50km 范围）

图 3.1-6 地表水（底泥）、地下水、饮用水、降水布点图（20km 范围）

图 3.1-7 地表水（底泥）、降水采样布点图（20~50km 范围）

图 3.1-8 陆生生物、水生生物采样点示意图（20km 范围）

图 3.1-9 陆生生物样点示意图（20~50km 范围）

图 3.1-10 海水、海洋沉积物采样点示意图

图 3.1-11 海洋生物采样点示意图

图 3.1-12 地表  $\gamma$  辐射剂量率测量结果（已扣除宇宙射线成分）

图 3.1-13 累积剂量不同季度的均值（未扣除宇宙射线成分）

图 3.1-14 辐射剂量率连续监测结果（2014.7~2016.6）

图 3.1-15 辐射剂量率与雨量连续监测结果实例（2014.8、2015.2、2016.2）

### 3.1 辐射环境质量现状

#### 3.1.1 辐射环境本底调查

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程，厂址高温气冷堆已实现双堆临界，并计划于 2021 年底并网发电。针对厂址辐射环境现状，山东石岛湾核电有限公司委托中国辐射防护研究院承担了石岛湾高温气冷堆核电站示范工程运行前环境辐射本底调查工作，调查时段为 2014 年 4 月至 2016 年 6 月。本小节将主要描述该次调查的方案，并对监测结果进行评价。

##### 3.1.1.1 调查方案

###### 3.1.1.1.1 调查目的

运行前辐射环境本底调查获得核电站运行前的环境辐射和环境介质中重要放射性核素的水平及其变化范围，为核电站正常运行及事故情况下的环境辐射监测提供可供比较和解释的本底数据；为制定核电站运行后的环境辐射监测方案和程序提供参考依据。

###### 3.1.1.1.2 调查范围

本次调查范围的确定兼顾《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)、《核动力厂环境辐射防护规定》(GB 6249-2011)等标准规范要求，对于陆域环境，环境  $\gamma$  辐射水平的调查范围选择半径 50km，其余项目的调查范围选择半径 20~30km，重点调查核电站周围 10km；对于海域环境，主要在石岛湾海域采集海水样品、海洋生物样品和底泥样品，特别关注厂址附近海域的海产品养殖场，重点在核电站液态流出物总排放口附近，考虑半径 10km 范围内。

###### 3.1.1.1.3 布点原则

本次调查监测和采样的布点原则为：

- (1) 监测点位的布设在收集资料和现场踏勘的基础上提出。
- (2) 监测点位的布设具有很好的代表性，能够全面、客观、真实地反映调查范围

内的环境辐射本底水平。结合核电站周围的水文、气象、资源、人口分布以及该地区的生态环境特点近密远疏布点。对人口、道路、物产相对集中地区、养殖业地区、旅游或自然保护区及个别敏感地区和最大风频下风向相对加密布点。在核电站烟羽地面最大浓度处特别设置测量点。

（3）监测点位布点的选择除考虑国家标准规范要求、厂址周围环境特点及参考核电站的相关经验反馈外，还兼顾核电站后续运行期间环境监测的延续性，避免选择那些可能受规划中的建设项目影响或遭受破坏的采样点，确保测量和取样点至少必须有一部分可以满足延续到核电站后续运行期间监测和应急监测的要求。

（4）监测点位布点充分注意不同监测介质和项目的关系，气溶胶、沉降灰和降水同位布点，土壤采样与 $\gamma$ 辐射空气吸收剂量率同位布点，土壤与植物、海水与沉积物也尽量同位布点、同步采样。

（5）在厂址 50km 范围内进行陆地 $\gamma$ 辐射水平调查，原则上按 16 个方位角均匀布点，近密远疏，辐向分布，并在核电站所在地最大风频和人口稠密区等敏感区域相对加密布点，在最小风频下风向很少受核电站排放影响、且远离核电站的地方设置对照点。测点一般选择在居民区附近，尽量兼顾原野和道路。原野测点选择在距建筑物 30m 以外的开阔地带，道路测点选择在道路面中心线上，尽量远离建筑物。

#### 3.1.1.1.4 调查内容、点位和频次

本次调查所有项目的调查内容、点位、频次具体见表 3.1-1。

##### （1）陆地 $\gamma$ 辐射剂量率

###### — 瞬时监测

以核电站反应堆厂房为中心半径 1km、2km、5km、10km、20km、30km、50km 与 16 个方位角形成的扇形区域内布点。在人口稀少的山区适当减少测量点，在人口稠密的居民区和最大风频下风向适当增加测量点。在核电站厂外烟羽地面最大浓度处（核电施工生活区）特别设置测量点。

共设瞬时监测点 60 个，监测频次为 1 次/季。

###### — 累积剂量监测

以核电站反应堆厂房为中心半径 1km、2km、5km、10km、20km、30km 与 8 个方位角形成的扇形区域内布点。布点的原则和频次与瞬时监测相同。

共设累积剂量监测点 20 个，监测频次为 1 次/季。

#### — 连续监测

设 1 个连续监测点，位于厂外烟羽地面最大浓度处附近的核电施工生活区的楼顶（WSW 方位 2.34km），楼顶表面为混凝土。监测时段为 2014 年 7 月至 2016 年 3 月。

陆地  $\gamma$  辐射剂量率监测点位见图 3.1-1~图 3.1-3 及表 3.1-2。

### 3.1.1.2 质量保证

#### 3.1.1.2.1 组织机构

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

#### 3.1.1.2.2 野外测量的控制

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

$\gamma$  辐射剂量率监测仪器在实施野外监测工作之前，经计量部门校准，并出具证书。

#### 3.1.1.2.3 样品的采集、预处理与运输

本次调查按照承担单位的有关样品采集、预处理和运输的作业指导书进行，按照相关操作规范采集完成并做好标识的样品按照样品的特性进行适当的包装，在运输前填写样品清单，清点样品，并且检查包装是否符合要求，然后用集装箱车公路运输样品到实验室，样品送达实验室后，接样和送样人员清点样品，并在样品清单上签字，将样品有条理的放置在样品室的未检区，分析人员按规定领取样品，及时分析测量。

样品的装卸、储存和运输，需要进行以下控制：

- 样品、采样在装卸过程中轻拿轻放，防止样品破损和设备损坏；
- 采集到的样品需在现场暂时存放的明确标识后安全放置，以防损伤、变质和丢失；
- 水生动物样品采用冰块降温等措施以防止腐坏。

#### 3.1.1.2.4 设备的控制

##### （1）现场采样设备的控制

- 用于采样和分析的仪器设备，按照国家计量法的要求进行检定/校准后在有效

期内使用；

— 对多台同样的设备按仪器编号标识，防止混用；

— 仪器经长途运输到达现场后，工作人员首先查看仪器外形是否有损伤、变形，异常部位着重检查，以消除隐患。经外观确认正常后，通电检查，按照说明书上的技术要求操作，查看仪器是否工作正常；

— 现场仪器经运输后，使用前检验，确认其性能良好后使用，并做好记录；

— 仪器、采样器和样品容器经常维护，保持清洁，防止交叉污染；

— 仪器维修后重新检定合格后使用。

## （2）装置的检定

所有对分析测试结果的准确性和有效性有影响的计量器具或检测设备，均由计量部门或其授权单位进行校准或检定。表 3.1-10 列出使用的主要仪器和设备的检定情况。

## （3）标准物质

用于刻度放射性测量仪器的标准源，标准溶液和标准物质，均由 IAEA-AQCS 或中国计量科学研究院等计量部门提供。工作中使用的放射性标准物质见表 3.1-11。

## （4）放射性测量装置的性能检验

—  $\gamma$  谱仪

用于  $\gamma$  能谱刻度的点源系列包括  $^{241}\text{Am}$ 、 $^{133}\text{Ba}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{88}\text{Y}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{203}\text{Hg}$  和  $^{57}\text{Co}$ 。能量刻度曲线的非线性偏离小于 2%。进行探测效率的刻度时，将合适的标准放射性参考物质置于相应的样品盒中组成效率刻度源，在与测量样品相同的条件下，测量刻度源，绘制效率刻度曲线。

在每次开机后、关机前或仪器连续运行一个月以上时测量  $\gamma$  谱仪的本底、效率和稳定性（峰位），一般在仪器连续运行一周时测量以上参数并绘制质控图，以确保仪器工作在正常状态下。

—  $\alpha/\beta$  测量仪

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

— 液闪谱仪

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

### 3.1.1.2.5 化学试剂的控制

化学试剂的控制遵循以下原则：

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

### 3.1.1.2.6 实验室分析的质量控制

#### （1）盲样考核

掺标样品由质保人员提供，要求测量结果与参考值的相对偏差 $<15\%$ ，确保分析测量的准确性。在本次调查期间，调查单位开展了以下盲样考核：

- 2014 年度用掺标样品（水中氚）对实验室内液闪分析过程进行质量控制；
- 2015 年度用掺标样品（土壤和水中  $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$  等）对实验室内放化分析和  $\gamma$  谱测量过程进行质量控制；
- 2016 年度用掺标样品（奶粉中  $^{90}\text{Sr}$ ）对实验室内放化分析过程进行质量控制。结果表明，3 次盲样考核结果与参考值的相对偏差均处于控制范围内。

#### （2）样品比对

调查单位在 2014~2015 年间每年均参加了国际原子能机构组织的国际比对，通过比对对实验室的测量分析进行了质量控制。其中 2014 年比对内容包括 2 个水样品、1 个海藻样品、1 个沉积物样品和 1 个油田水样品，得到了比较满意的结果，2015 年比对内容包括 2 个水样品、1 个褐米样品和 2 个土壤样品，2 个泡沫聚苯乙烯样品、2 个气溶胶滤膜样品和 2 个土壤样品，比对得到了比较满意的结果。

#### （3）能力验证

2015 年 6 月调查单位参加了由北京中石国金国际实验室能力验证有限责任公司组织的水中  $^{90}\text{Sr}$  的能力验证活动，评价结论为满意。

#### （4）平行样

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

— 地表水平行样品有 4 个，给出了总  $\beta$  和 3 种核素的测量结果，共有 20 个测量结果，没有结果相对偏差大于 30%；

— 地下水平行样品有 4 个，给出了总  $\alpha$ 、总  $\beta$  和 2 种核素的测量结果，共有 15 个测量结果，其中相对偏差大于 30% 的有 1 个，占 6.67%；

— 饮水平行样品有 4 个，给出了总  $\alpha$ 、总  $\beta$  和 2 种核素的测量结果，共有 16 个测量结果，其中相对偏差大于 30% 的有 1 个，占 6.25%；

— 降水平行样品有 7 个，给出了 2 种核素的测量结果，共有 14 个测量结果，其中相对偏差大于 30% 的有 1 个，占 7.14%；

— 底泥平行样品有 2 个，给出了 5 种核素的测量结果，共有 10 个测量结果，没有结果相对偏差大于 30%；

— 土壤平行样品有 3 个，给出了 7 种核素的测量结果，共有 18 个测量结果，其中相对偏差大于 30% 的有 1 个，占 5.56%；

— 陆生生物平行样品有 12 个，给出了 5 种核素和灰鲜比的测量结果，共有 88 个测量结果，其中相对偏差大于 30% 的有 14 个，占 15.9%；

— 海水平行样品有 8 个，给出了 4 种核素的测量结果，共有 40 个测量结果，其中相对偏差大于 30% 的有 3 个，占 7.5%；

— 海洋沉积物平行样品有 4 个，给出了 6 种核素的测量结果，共有 23 个测量结果，没有结果相对偏差大于 30%；

— 海洋生物平行样品有 14 个，给出了 5 种核素和灰鲜比的测量结果，共有 120 个测量结果，其中相对偏差大于 30% 的有 14 个，占 11.7%；

总的平行样品个数为 62 个，给出 364 个测量结果，相对偏差大于 30% 的有 35 个结果，所占比例为 9.62%。部分结果相对偏差较大主要是由于环境辐射本底调查属于低水平测量，核素含量较低的原因导致的。

平行样结果统计见表 3.1-12。

### 3.1.1.4 区域内核设施、核技术利用调查

#### （1）核设施

在本底调查期间厂址 80km 范围内无其他在建核设施。

#### （2）核技术利用

2021 年月 1 月，收集厂址周围 5km 范围内的放射源、射线装置使用情况，见表 3.1-30。这些核技术应用项目运行时可能使非常局域的范围辐射环境受到影响，不代表厂址周围环境辐射本底水平。初步判定，厂址附近放射性源或射线装置未对本底调查结果造成影响。

### 3.1.2 辐射环境质量评价

#### 3.1.2.1 本底调查结果评价

##### 3.1.2.1.1 环境 $\gamma$ 辐射水平评价

本次调查获得的原野辐射剂量率（扣除宇宙射线响应）范围为 79.0~84.8nGy/h，平均值为  $82\pm 28$ nGy/h；道路辐射剂量率范围为 99.0~104nGy/h，平均值为  $102\pm 16$ nGy/h；

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

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

### 3.1.3 参考资料

[1] 中国辐射防护研究院，华能山东石岛湾核电站高温气冷堆核电站示范工程首次装料前阶段环境辐射本底调查报告（正式稿），2016 年 7 月；

[2] 中国辐射防护研究院，华能山东石岛湾核电站高温气冷堆核电站示范工程首次装料前阶段环境辐射本底调查质量保证总结报告（正式稿），2016 年 7 月；

[3] 沙连茂, 山本政儀, 小村和久, 上野馨, 中国几个地区土壤中  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  和  $^{137}\text{Cs}$  等放射性核素的测量, 环境科学, 1991, 12(6): p.58-63;

[4] 卜文庭, 郭秋菊, 我国环境土壤和地表水沉积物中 Pu 的分布特征研究, 辐射防护, 2013, 33(03): p144-150。

## 3.2 非辐射环境质量现状

### 3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

### 3.2.2 声环境质量现状调查与评价

### 3.2.3 受纳水体环境质量现状调查与评价

### 3.2.4 电磁环境质量现状调查与评价

### 3.2.5 质量保证及质量控制

### 3.2.6 参考资料

表

表 3.2-1 厂界无组织废气排放监测结果

表 3.2-2 环境空气敏感点监测结果

表 3.2-3 厂址边界及环境敏感点噪声现状监测结果

表 3.2-4 厂址附近海域海水水质监测站位位置

表 3.2-5 厂址边界及高温堆主厂房区的工频电场、工频磁场测量结果

表 3.2-6 变电站区和输电线路工频电场、工频磁场测量结果

表 3.2-7 厂内敏感点（办公楼和施工生活区）工频电场、工频磁场测量结果

表 3.2-8 厂内敏感点（力能区 35kV 变电站）工频电场、工频磁场测量结果

表 3.2-9 厂内敏感点（力能区高压线-斥王线核电支线）工频电场、工频磁场测量结果

表 3.2-10 厂内敏感点（国核 35kV 施工变电站）工频电场、工频磁场测量结果表

表 3.2-11 厂外敏感点工频电场、工频磁场测量结果

图

图 3.2-1 声环境监测点位示意图

图 3.2-2 海水水质调查布点示意图

图 3.2-3 厂址边界、主厂房区电磁辐射调查布点示意图

图 3.2-4 变电站区、输电线路电磁辐射调查布点示意图

图 3.2-5 厂区内部敏感点电磁环境调查布点示意图

图 3.2-6 厂外敏感点电磁环境调查布点示意图

## 3.2 非辐射环境质量现状

### 3.2.1 大气环境空气质量现状调查与评价

山东省环境监测中心站 2015 年承担了华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程施工期间环境质量监督性监测工作，以下内容结合 2015 年 5 月 19 日~2015 年 5 月 21 日、2015 年 12 月 1 日~2015 年 12 月 3 日的监测结果（省环监（委）字[2015]第 94 号）进行评价。

#### （1）厂界无组织废气排放

无组织废气排放监测时在厂界下风向布设三个点位，监测项目为颗粒物、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 小时值。每年监测二次，冬、夏季各一次；每次一天，4 次/天。使用的仪器为 AG204 电子天平（颗粒物）和 722 分光光度计（SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>）。采用的方法为重量法（颗粒物）、甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法（SO<sub>2</sub>）和盐酸萘乙二胺分光光度法（NO<sub>2</sub>）。

2015 年 5 月 23 日进行了厂界无组织废气排放的监测，监测期间天气晴，风向为西南。根据监测结果，厂区无组织排放废气中未检出 SO<sub>2</sub>，检出 NO<sub>x</sub> 最大浓度值为 0.025mg/m<sup>3</sup>，颗粒物最大浓度值为 0.136mg/m<sup>3</sup>，均符合《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的要求。

2015 年 12 月 4 日进行了厂界无组织废气排放的监测，监测期间天气阴转多云，风向为西北。根据监测结果，厂区无组织废气排放中 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 最大浓度分别为 0.018mg/m<sup>3</sup>、0.018mg/m<sup>3</sup>，均符合《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的要求。颗粒物的最大浓度 1.682mg/m<sup>3</sup>，超过《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的要求。

具体监测结果见表 3.2-1。可见，春季时厂界无组织废气排放中二氧化硫、氮氧化物、颗粒物浓度较低，满足标准限值要求；冬季时厂界无组织废气排放中颗粒物超过了相应标准限值的要求，可能与施工及当地冬季燃煤取暖有关。

#### （2）环境空气敏感点监测

本工程的环境空气敏感点为东钱家、西钱家、于家村，在各敏感点布置 1 个点，共 3 个点。监测项目为：TSP、PM<sub>10</sub> 日均值，SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 小时值、日均值。冬夏各监测 1 次，每次 3 天。使用的仪器为 AG204 电子天平（TSP、PM<sub>10</sub>）、722 分光光度计（SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>）和便携式红外分析器（CO）。采用的方法为重量法（TSP、PM<sub>10</sub>）、

甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法（SO<sub>2</sub>）、盐酸萘乙二胺分光光度法（NO<sub>2</sub>）、和非分散红外吸收法（CO）。

2015年5月监测结果表明：环境空气中主要污染物SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO小时值最大浓度值分别为0.029mg/m<sup>3</sup>、0.022mg/m<sup>3</sup>、1.1mg/m<sup>3</sup>，日均值最大浓度值分别为0.005mg/m<sup>3</sup>、0.010mg/m<sup>3</sup>、1.1mg/m<sup>3</sup>，均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准限值的要求；环境空气中TSP日均值最大浓度值为0.013mg/m<sup>3</sup>，PM<sub>10</sub>日均值最大浓度值为0.013mg/m<sup>3</sup>，均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准限值的要求。

2015年12月监测结果表明：环境空气中主要污染物SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO小时值最大浓度值分别为0.030mg/m<sup>3</sup>、0.034mg/m<sup>3</sup>、0.7mg/m<sup>3</sup>，日均值最大浓度值分别为未检出、0.016mg/m<sup>3</sup>、0.8mg/m<sup>3</sup>，均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准限值的要求；环境空气中TSP日均值最大浓度值为0.527mg/m<sup>3</sup>，PM<sub>10</sub>日均值最大浓度值为0.499mg/m<sup>3</sup>，均超过了《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准限值的要求。

监测结果详见表3.2-2。可见，春季时厂址周边环境空气质量良好；冬季时环境中TSP和PM<sub>10</sub>均超过了《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准限值的要求，可能施工及当地冬季燃煤取暖有关。

### 3.2.2 声环境质量现状调查与评价

山东省环境监测中心站2015年5月19日对厂址及附近环境敏感点的声环境质量现状进行了昼夜声环境的监测，监测项目为等效声级（Leq），采用的仪器为HS5660D型精密噪声频谱分析仪。

声环境质量现状监测布点原则和监测方法按照《声环境质量标准》（GB3096-2008）和《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中的要求进行，同时考虑到厂内总平面分布和部分配套设施的建设，监测点位主要布设在以下区域：

- 石岛湾核电站址东、南、西、北厂界外1m，共布设4个点；
- 厂外声环境敏感点：东钱家、西钱家、于家村各布设1个点，共3个点。

声环境质量现状监测点位分布见图3.2-1，监测结果见表3.2-3。

由表可见，厂界昼间噪声范围为(41.4~47.0)dB(A)，夜间噪声范围为(40.0~43.5)

dB（A），均满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中的噪声限值要求（昼间 70 分贝，夜间 55 分贝）。敏感点昼间噪声范围为（41.9~45.8）dB（A），夜间噪声范围为（39.8~41.3）dB（A），均满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 I 类标准要求（昼间 55dB（A），夜间 45dB（A））。

总体来看，厂址所在区域及附近敏感点的声环境质量良好。

### 3.2.3 受纳水体环境质量现状调查与评价

建设单位委托自然资源部第三海洋研究所于 2020 年 11 月、2021 年 1 月、2021 年 4 月和 2021 年 7 月在厂址附近海域进行了秋、冬、春和夏四航次的现场调查。现场调查范围以厂址二期工程排水口为圆心，在周围半径约 50km 范围内的海域进行海域生态调查。以核电厂排水口为放射中心，共设置 5 个断面，最外围调查弧半径约为 50km，共布设 26 个站位。

表 3.2-4 和图 3.2-2 给出了监测点位置。本节根据这四次的调查成果进行评价。

依照《海水水质标准》（GB3097-1997）、近岸海域环境功能区划，15km 范围部分站位位于工业与城镇用海区（5、6）和港口航运区（21）按第三类海水水质标准评价，另有部分站位位于农渔业区（1、2、3、7、9、10、14、15、22、23、24、27、45）按第二类海水水质标准进行评价，其余位于保留区（4、8、11、12、13、16、25、37、38、48）的站位均按照第一类海水水质标准进行评价。

本次海洋水质调查的项目有：pH、溶解氧（DO）、化学耗氧量（COD）、五日生化需氧量（BOD<sub>5</sub>）、悬浮物（SS）、活性磷酸盐、硫化物、挥发性酚、氰化物、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、石油类、硒、六价络铜、镉、铬、砷、铁、硼、钴、镍、汞、锰等。根据调查结果进行评价，分析如下：

**秋季：**对采用海水水质一类标准评价的站位，部分站位超过一类标准的水质参数有 COD、活性磷酸盐、铅，其他水质参数均未超过海水水质一类标准。对采用海水水质二类标准评价的站位，部分站位超过二类标准水质参数为活性磷酸盐；对采用海水水质三类标准评价的站位，部分站位超过三类标准水质参数为活性磷酸盐；采用海水水质四类标准评价时，有 3 个站位的活性磷酸盐含量超过海水水质四类标准。

**冬季：**对采用海水水质一类标准评价的站位，部分站位超过一类标准的水质参数有活性磷酸盐、铅、锌，其他水质参数均未超过海水水质一类标准。对采用海水水质

二类和三类标准评价的站位，所有站位均满足水质标准。

**春季：**对采用海水水质一类标准评价的站位，部分站位超过一类标准的水质参数有活性磷酸盐、铅，其他水质参数均未超过海水水质一类标准。对采用海水水质二类标准和三类标准评价的站位，全部指标满足水质标准。

**夏季：**对采用海水水质一类标准评价的站位，部分站位超过一类标准的水质参数为铅，对采用海水水质二类标准和三类标准评价的站位，全部参数含量均符合海水水质标准。

### 3.2.4 电磁环境质量现状调查与评价

中国辐射防护研究院 2015 年对厂址半径 5km 范围（及 5km 附近）的电磁环境质量进行了调查，对厂址区域的电磁环境质量进行了监测。对调查出来的厂址半径 5km 范围（及 5km 附近）的 4 个变电站，4 条高压线，38 个移动通讯基站和厂区边界、主厂房、在建变电站、输电线路布点进行了电磁环境监测，另外，对厂址出线方向的于家村、周庄村、曲家村、项家庄村等居民点及距离厂区较近的东钱家村、西钱家村、宁津街道等居民点的电磁环境质量进行了调查。同时，还对本工程的办公楼、力能区变电站、力能区高压线、国核施工变电站及核电施工生活区分别布设了测量点，调查其电磁环境质量现状。

厂址中心半径 5km（及 5km 附近）范围内共有变电站 3 个，高压线 3 条，移动通讯基站 38 个。其中不包括力能区 35kV 变电站、国核 35kV 施工变电站和 35kV 斥王线核电支线等核电厂相关设施。测量结果表明：

—— 已有变电站：宁津街道 35kV 变电站（3.21km，WNW）和华能楮岛风电场（5.09km，N），其工频电场、磁感应强度均满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中工频电场小于 4000V/m、磁感应强度小于 100 $\mu$ T 的限值要求。

—— 已有高压线：110kV 华石线（NNW，4.71km）、35kV 石宁线（W，4.09km）和 35kV 东风线（NNW，2.27km），其工频电场、工频磁场均满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中工频电场小于 4000V/m、磁感应强度小于 100 $\mu$ T 的限值要求。

—— 登记备案的 38 个通讯基站中，中国移动采用 GSM 网络，中国联通的基站采用 GSM 或 WCDMA 网络，中国电信采用 CDMA 或 WCDMA 网络。GSM 类型的网络发射频率为 934~954MHz、954~960MHz，CDMA 类型的网络发射频率为

870~880MHz, WCDMA 类型的网络发射频率为 2130~2145MHz。发射功率均为 20W。天线高度为 20m~50m。电场强度均满足《电磁环境控制限值》(GB8702-2014) 中发射频率对应的工频电场小于 12V/m 的限值要求。因此, 厂址周围不存在强电磁污染源。

此外, 根据 2018 年开展的新增 110kV 辅助电源线验收监测结果, 110kV 线路附近的东钱家测点工频电场强度 203.4V/m, 工频磁场强度 0.474 $\mu$ T。110kV 变电站间隔扩建测点处工频电场强度 378.7V/m, 工频磁场强度 0.615 $\mu$ T。均满足《电磁环境控制限值》(GB8702-2014) 中工频电场小于 4000V/m、磁感应强度小于 100 $\mu$ T 的限值要求。

#### 3.2.4.1 厂址边界及主厂房调查

在石岛湾核电厂址边界布设了 12 个点位, 在示范工程主厂房区布设 1 个点位。布设点位选择周围没有电线或用电设备的平坦开阔的地面进行测量, 测量点距离建筑物或树木的距离大于 5m。测量项目为工频电场和工频磁场。具体的测量点位见图 3.2-3。

检测结果表明: 石岛湾核电厂址边界 1#~12# 点工频电场测量结果为 0.369~0.669V/m, 测量最大值位于厂址边界 11# 点; 工频磁场测量结果为 0.055~0.096 $\mu$ T, 测量最大值位于厂址边界 1# 和 2# 点。示范工程主厂房区工频电场测量结果为 0.428V/m, 工频磁场测量结果为 0.084 $\mu$ T。可见, 厂区工频电场和工频磁场均满足《电磁环境控制限值》(GB8702-2014) 中工频电场小于 4000V/m、磁感应强度小于 100 $\mu$ T 的限值要求。表 3.2-5 给出了详细的测量结果。

#### 3.2.4.2 变电站区、输电线路调查

在工程在建变电站中心和变电站围墙外布设 2 个测量点, 在工程拟建输电线路投影区域布设 2 个测量点。布设点位选择周围没有电线或用电设备的平坦开阔的地面进行测量, 测量点距离建筑物或树木的距离大于 5m。变电站区、输电线路点位分别测量工频电场和工频磁场。具体的测量点位见图 3.2-4。

测量结果表明: 变电站区工频电场测量结果为 0.409~0.457V/m, 工频磁场测量结果为 0.079~0.081 $\mu$ T; 输电线路工频电场测量结果为 0.445~0.453V/m, 工频磁场测量结果为 0.078~0.085 $\mu$ T。可见, 工程在建变电站及拟建输电线路的工频电场和工频磁场均小于《电磁环境控制限值》(GB8702-2014) 中工频电场 4000V/m、磁感应强度 100 $\mu$ T 的限值要求。测量结果详见表 3.2-6。

### 3.2.4.3 厂内敏感点调查

在邻近工程的办公楼、力能区变电站、力能区高压线、国核施工变电站及核电施工生活区布设 5 个测量点位。测量项目包括工频电场和工频磁场。具体的测量点位见图 3.2-5。

布点方案：对于力能区变电站和国核施工变电站，在变电站和四周围墙外 5m 布点测量，点位布设在无进出线或者距离进出线地面投影不少于 20m 的围墙外且距离围墙 5m 的位置。选取四周测量值最大的方向为断面监测路径方向，在垂直于围墙的方向按 5m 间距顺序测量至距离围墙 50m 处，周围有进出线、高大建筑物、高大树木等不符合测量条件的点位舍弃。

对于力能区高压线，断面监测路径选择在以导线档距中央弧垂最低位置的横截面方向上，选择平坦开阔地面布点，监测点分布在边导线一侧，以边导线对地投影为起点，测量间距为 5m，顺序测量至距离边导线对地投影 50m 处，周围有其他电线、高大建筑物、高大树木等不符合测量条件的点位舍弃。

其他布设点位选择周围没有电线或用电设备的平坦开阔的地面进行测量，测量点距离建筑物或树木的距离大于 5m。

办公楼和核电施工生活区的工频电场、工频磁场的测量结果见表 3.2-7，力能区变电站、力能区高压线、国核施工变电站的测量结果见表 3.2-8~3.2-10。

- 办公楼和核电施工生活区：工频电场测量结果为 0.488~0.636V/m；工频磁场测量结果为 0.078~0.095 $\mu$ T。
- 力能区变电站：在力能区变电站周围工频电磁场的测量结果中，工频电场测量结果为 1.47~7.09V/m，最大值位于北围墙外 5m 处，测量值随着距离的增大而增大到一定距离时（围墙外 20m），开始减小；工频磁场的测量结果为 0.069~0.086 $\mu$ T，最大值出现在北围墙外 40m 处，其变化没有明显的规律。
- 力能区高压线（35kV 斥王线核电支线）：在工频电磁场的测量结果中，工频电场测量结果为 13.5~619V/m，最大值位于边导线下方 0m 处，测量值总体上表现出随着与边导线距离的增加而减小；工频磁场测量结果为 0.083~0.227 $\mu$ T，最大值位于边导线下方 0m 处，测量值表现出随着与边导线距离的增加而减小。

— 国核 35kV 施工变电站：在变电站工频电磁场的测量结果中，工频电场测量结果为 0.382~0.977V/m，最大值位于西北围墙外 5m 处，测量值随着距离的增大而减小；工频磁场测量结果为 0.062~0.080 $\mu$ T，最大值位于西北围墙外 5m 处。

检测结果表明：厂内各敏感点工频电磁场均满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中工频电场 4000V/m、磁感应强度 100 $\mu$ T 的限值要求。

#### 3.2.4.4 厂外敏感点调查

选取规模较大且距出线走廊较近的敏感点，监测点位布设于厂址出线方向的于家村、周庄村、曲家村、项家庄村等居民点及距离厂区较近的东钱家村、西钱家村、宁津街道等居民点。共监测 7 个点位。测量项目包括工频电场、工频磁场。布设点位选择周围没有电线或用电设备的平坦开阔的地面进行测量，测量点距离建筑物或树木的距离大于 5m。具体的测量点位见图 3.2-6。工频电场、工频磁场的测量结果见表 3.2-11。

厂外敏感点工频电场测量结果为 0.442~1.62V/m，工频磁场测量结果为 0.068~0.086 $\mu$ T，均满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中工频电场 4000V/m、磁感应强度 100 $\mu$ T 的限值要求。其中周庄村工频电场最大，为 1.62 V/m；曲家村工频磁场最大，为 0.086 $\mu$ T。

### 3.2.5 质量保证及质量控制

#### 3.2.5.1 大气环境质量现状调查

废气监测的质量保证按照国家环保局发布的《固定污染源监测质量保证与质量控制技术规范（试行）》（HJ/T 373-2007）和《大气污染物无组织排放监测技术导则》（HJ/T 55-2000）；环境空气监测质量保证按照《环境空气质量手工监测技术规范》（HJ/T194-2005）的要求与规定进行全过程质量控制。监测仪器经计量部门检验并在有效期内使用，监测人员持证上岗，监测数据经三级审核。

#### 3.2.5.2 声环境质量现状调查

噪声监测质量保证按照国家相关标准中噪声测量标准方法的有关规定进行：测量仪器和声校准器在检定规定的有效期限内使用；监测人员持证上岗；测量前后在测量

的环境中用声校准器校准测量仪器，示值偏差不得大于 0.5dB，否则，本次测量无效，重新校准测量仪器，重新进行监测；测量时传声器加防风罩；记录影响测量结果的噪声源。

### 3.2.5.3 受纳水体环境质量现状调查

样品采集及分析过程中的质量控制严格按《海洋监测规范》（GB17378-2007）、《海洋调查规范》（GB12763-2007）以及海域水生生态调查质量保证大纲执行。

按照核电项目水质生态环境调查中的质量控制方法和要求，每个航次按照不少于大面站总数 10%数量(6 个站)进行水质平行样测试。水质采用平行样测试来检验分析结果的精密度，采用内控标准物测试和加标测试来检查分析结果的准确度；生物体分析结果的质量控制采用内控标准物质测试来检验分析结果的准确度。通过以上措施进行调查工作质量控制，以保证调查结果符合质量要求。

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

(2)标准样品的测试结果应在给定保证值的范围内。

(3)每批平行样合格率在 90%以上，分析结果有效；合格率在 70%~90%时随机抽 30%的样品进行复查，复查结果与原结果总合格率达 90%以上时，结果有效；合格率在 50%~70%时，应复查 50%的样品，累计合格率达 90%以上时，结果有效；合格率小于 50%时，需重新取样分析；上报数据时，按平行双样结果的均值计算。

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

水质质量、生物质量、沉积物质量控制结果表明，水质要素、生物体和沉积物要素分析均符合质量控制要求。

### 3.2.5.4 电磁环境质量现状调查

中国辐射防护研究院在开展工作之前按照《核电厂环境影响报告书的内容和格式》（NEPA-RG1）、《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）、《环境影响评价技术导则输变

电工程》（HJ24-2014）、《辐射环境保护管理导则电磁辐射环境影响评价方法与标准》（HJ/T10.3-1996）等相关要求编写了质保大纲，从人员组织、文件、设计、物项、过程、记录、监查以及不符合项、纠正措施等多方面进行了质量控制，规定了调查监测中的质量保证措施，明确了有关人员的责权，对资源的配置和管理做出了规定，以确保调查监测结果能够满足合同要求。

### 3.2.6 参考资料

- [1] 华能山东石岛湾核电站厂址邻近海域水生生态(含海洋环境放射性本底)调查总报告，自然资源部第三海洋研究所，2021年10月；
- [2] 华能山东石岛湾核电站高温气冷堆核电站示范工程监测报告(省环监(委)字[2015]第94号)，山东省环境监测中心站，2016年4月26日；
- [3] 石岛湾核电站址电磁辐射本底补充调查报告，中国辐射防护研究院，2015年8月。

## 第五章 电厂建设期间的环境影响

### 5.1 土地利用

### 5.2 水的利用

### 5.3 施工影响控制

## 5.1 土地利用

### 5.1.1 陆域工程

#### 5.1.2 陆域施工活动对环境的影响

表

表 5.1-1 扩建一期工程永久用地类型和面积

表 5.1-2 各种施工机械在不同距离的预测值

图

图 5.1-1 扩建一期工程永久用地示意图

图 5.1-2 扩建一期工程临时用地示意图

图 5.1-3 华能山东石岛湾核电站景观示意图

图 5.1-4 本工程新建道路路线走向图

## 5.1 土地利用

### 5.1.1 陆域工程

#### 5.1.1.1 本工程概况

华能山东石岛湾核电站陆域工程的施工主要包括扩建工程厂区（含主厂房区、BOP区、厂前区）、厂外辅助设施区、现场服务区、施工准备区等。

#### 5.1.1.2 土地使用情况

图 5.1-1 给出了扩建一期工程永久用地示意图。华能山东石岛湾核电站扩建一期工程永久用地面积约 96.15hm<sup>2</sup>，各类型用地面积分别为：农用地 19.2982hm<sup>2</sup>，建设用地 70.5658hm<sup>2</sup>，其他土地 6.2838hm<sup>2</sup>，表 5.1-1 给出了各类型用地面积详情。

扩建一期工程不涉及搬迁，占用土地范围内没有工业、商业和公共娱乐设施，也没有名胜古迹和风景旅游区。

#### 5.1.1.3 土石方平衡

华能山东石岛湾核电站设计标高 10.0m，场地平整根据厂区总平面布置方案进行施工。

扩建一期工程场平回填量相对较少，不设取土场，多余渣土通过第三方综合利用解决。

### 5.1.2 陆域施工活动对环境的影响

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程陆域施工活动对环境的影响主要是工程负挖、土石方爆破、道路施工、汽车运输以及设备安装等造成的地面振动、噪声、粉尘、植被破坏和水土流失等生态方面的影响。

#### 5.1.2.1 振动的影响

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程在地基施工过程中的打桩、强夯、爆破和碾压等活动会对周围环境产生一定的振动影响。振动主要是由施工引起的地面振动在土

体中传播产生的，其频率和强度变化范围与振源特征、土体条件、周围建筑物结构特点、振源与人或建筑物的距离等因素有关。

高温气冷堆施工期间没有出现振动扰民和对居民建筑物破坏的现象，本项目与附近居民点的距离略远于高温气冷堆，预计振动对周围环境影响较小。

### 5.1.2.2 噪声的影响

扩建一期工程施工过程中，厂区内产生噪声的活动包括场地负挖，土石方爆破、道路平整、主厂房（核岛、常规岛）的建设和厂区辅助配套设施的建设，另外设备安装和汽车运输也会产生一定噪声。噪声源按无指向性点声源简化处理，点声源对外界环境的影响可用半自由声场点声源几何发散衰减公式计算，各种施工机械在不同距离的预测值见表 5.1-2。

现场施工机械设备如挖掘机、推土机、钻孔机等噪声值也较高，且在实际施工过程中，通常是多台机械设备同时作业，各台设备产生的噪声会互相叠加。同一地点同时作业的机械设备多为 2~6 台，一般不会超过 10 台，叠加后的噪声增值约 3~10dB。

施工机械作业时可视为点声源，距离加倍时噪声降低 6dB，如果考虑空气吸收，则附加衰减 0.5~1dB/100m。表 5.1-2 所示结果表明，昼间施工机械在距施工场地 100m 外可以达到标准限值；夜间噪声超标主要集中在 400m 以内。表中仅是部分施工机械满负荷运作时的辐射噪声，在施工现场，往往是多种施工机械共同作业的结果，因此达标距离要更大一些。施工单位在合理统筹安排高噪声设备工作时间同时尽量选用低噪声设备的情况下，预计本项目施工期噪声可以满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的要求。距本工程最近的居民点是 NNW 方位约 720m 处的东钱家村，通过点声源衰减计算公式预测，施工噪声对居民点的最大贡献值约 50dB（A），施工单位在合理统筹安排高噪声设备工作时间的情况下，施工噪声不会改变居民点所处《声环境质量标准》（GB3096-2008）1 类功能区的要求，对居民点影响很小。需要说明的是，建设过程中建筑材料及施工过程中产生的固体废物运输需要使用运输车辆，大型运输车辆具有高噪声的特点，往往对运输道路沿线声环境造成较大的影响，鸣笛、超载、超速等会加剧这类噪声影响。因此，对于施工车辆的交通噪声应通过合理安排进出路线、减少鸣笛等措施来减缓对沿线环境影响。

### 5.1.2.3 大气的影响

扩建一期工程施工期间的主要大气污染物包括扬尘、粉尘和汽车尾气，在这些污染物中，扬尘和粉尘对大气局部环境质量影响较为明显。施工产生的地面扬尘和粉尘主要来自于施工机械和运输车辆的行驶、爆破、土石方开挖和填筑、物料堆放以及施工建筑材料的搅拌等环节，TSP产生量与施工方式、车辆数量、道路路面状况以及天气情况相关。

由于施工现场车辆较多，特别是大型工程车和施工机械设备（挖掘机、铲土机等），在施工和运输过程中会产生一定量的汽车尾气，主要成分为CO、NO<sub>x</sub>和碳氢化合物。

爆破过程除产生大量粉尘外，还会产生一定量的烟气，烟气量与炸药种类、用量和操作方式等诸多因素有关。本项目爆破使用乳化炸药，主要污染物为NO<sub>x</sub>，炸药集中存放于仓库，每次使用前均向公安部门申报。

施工中采用了覆盖、定期洒水等措施减少扬尘的产生。有资料表明，在施工期内对车辆行驶的路面实施洒水抑尘，每天洒水4~5次，可使扬尘减少70%左右；对施工场地实施每天洒水4~5次进行抑尘，可有效地控制施工扬尘，并可将TSP污染距离缩小到20~50m范围。因此，在施工活动中，在采取覆盖、定期洒水等减少扬尘的措施后，施工粉尘及扬尘的影响可局限于施工场地周围，对大气环境影响范围有限。另外，由于部分粉尘的粒径和质量较大，也很快在空气中自然沉降，大规模扩散的粉尘量较小。施工结束后这部分大气污染源将不再存在，影响时段有限。

最近的居民点是位于厂址NNW方位约0.72km处的东钱家村，扬尘及尾气的影响范围主要局限于厂区，受影响的人群为厂区工作人员。施工期的大气污染源多为无组织排放，由于华能山东石岛湾核电站为滨海厂址，大气扩散条件较好，类比高温气冷堆2019年~2021年施工期各季环境空气监测结果，东钱家村的SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub>等指标均可满足GB3095-2012中的二类标准限值要求，厂界处的无组织废气（TSP、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、非甲烷总烃）均满足GB16297-1996中的无组织排放监控浓度限值。近三年厂区下风向无组织颗粒物浓度范围为0.301~0.357mg/m<sup>3</sup>，小于GB16297-1996要求的无组织排放监控浓度限值1.0mg/m<sup>3</sup>；无组织SO<sub>2</sub>浓度范围为0.007~0.020mg/m<sup>3</sup>，小于GB16297-1996要求的无组织排放监控浓度限值0.4mg/m<sup>3</sup>；无组织NO<sub>x</sub>浓度范围为0.024~0.044mg/m<sup>3</sup>，小于GB16297-1996要求的无组织排放监控浓度限值0.12mg/m<sup>3</sup>；无组织非甲烷总烃浓度范围为1.26~1.98mg/m<sup>3</sup>，小于GB16297-1996要求的无组织排

放监控浓度限值  $4\text{mg}/\text{m}^3$ 。

预计本项目施工期大气污染物对区域环境和敏感点的影响较小。

#### 5.1.2.4 厂区生态的影响

电厂在施工期需要对厂址场地进行平整，场平将去除原有植被，进行大量的土石方挖掘工作，完全改变当地局部生态环境。由于当地无特殊生态环境，不属于国家和地方自然保护区和生态红线区，施工范围内无国家濒危保护物种和特殊生境，电厂规划对整个厂区实施绿化，建造全新的人文景观。

图5.1-3给出了华能山东石岛湾核电站景观恢复示意图。

#### 5.1.2.5 使用化学物质对环境的影响

扩建一期工程施工阶段，各种设备和连接管道需要运输、贮存和现场安装，为避免盐雾锈蚀和表面氧化，将采用一些化学物质和缓蚀剂进行表面处理。这些化学物质和缓蚀剂包括磷酸三钠、硼酸钠、非卤素的有机溶剂和硫酸、磷酸、有机酸等。上述物质有些是有毒有害化学物品，因此，在施工时应要求设备承包商尽量提供已经处理过的建材和设备，确实需要在现场进行补充处理的，由施工单位按照制定的化学物品使用管理规定进行操作，对化学物品的使用量严格控制。由于设备和管道等均在厂内定点存放，并考虑防水防雨等不利影响，因此需后续处理过程较少，化学物质使用量不大。产生的危险固体废物按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）及修改单可得到安全妥善贮存，最后由生产厂商和危废单位回收处理。

#### 5.1.2.6 施工固体废物对环境的影响

扩建一期工程建设过程中，将产生一定量的生活垃圾和工业废弃物，其中油漆桶、探伤洗片废液，废油布、废油漆等部分工业废弃物属于危险固废，为此，电厂应制定严格的施工环境管理规定，对生活垃圾和施工垃圾制定相应的管理措施，对不同类别的施工垃圾和生活垃圾按不同要求进行处理。施工垃圾中不可回收利用的无毒无害废弃物运至指定的临时废弃物堆放场，可回收利用废弃物尽量回收再利用；有毒有害废弃物交由有资质的单位进行处理。

通过采取上述措施，使核电站施工产生的废弃物尽可能实现回收利用和分类处理，

以减轻对环境的影响。

#### **5.1.2.7 道路施工活动对环境的影响**

扩建一期工程进场道路和应急道路大部分路段已在前期工程中建成，本项目需建设应急道路连接线路 915m，路线走向见图 5.1-4。

本道路施工期两侧无居民，距离水体较远，总体上水污染、大气污染、噪声污染影响较小，施工区域较为平坦，土地开挖量不大，对生态和水土流失影响较小。

#### **5.1.2.8 施工活动对社会环境的影响**

电厂陆域征地包括林地、农用地和部分耕地等，被占用的土地将彻底失去生产能力，从而对厂址所在区域的农业经济造成了一定的影响。但由于征地范围内耕地面积比较少，因此，工程建设对原有社会经济的不利影响有限。

核电厂工程的建设期间需要大量的工程施工人员，大量的外来施工人员进驻施工现场，可能对附近居民的日常生活造成轻微的影响，但同时也可以增加当地居民的就业机会和商机，而大量施工人员在该地区较长时期的居住和生活，可以增强该地区的消费能力，促进经济的发展。

厂址离历史古迹、风景名胜区较远，施工活动对其产生影响较小。

## 5.2 水的利用

### 5.2.1 海域工程概况

### 5.2.2 海域施工活动对水环境及生态的影响

### 5.2.3 施工期供水及排水系统对水环境的影响

表

表 5.2-1 华能山东石岛湾核电站扩建一期工程申请用海一览表

图

图 5.2-1 本期工程宗海图

图 5.2-2 本期工程海工工程图

图 5.2-3 本期工程施工期悬浮泥沙模拟结果图

图 5.2-4 施工生活区污水站工艺流程图

## 5.2 水的利用

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程的水体利用相关工程包括：

- 海工工程：沿用高温气冷堆工程规划的取排水方案，全厂统一规划，分期实施。扩建一期工程与高温气冷堆工程取水共用北侧取水口及明渠，并延长新建本阶段取水明渠。全厂共用排水设施，扩建一期工程排水暗涵接入全厂共用的排水明渠，最终排向东侧海域。
- 施工用水设施：沿用高温气冷堆工程建成的淡水水源和管线，即厂址 WNW 方向约 10km 处的八河水库作为淡水水源，2 条 DN300 的 PE 管输送至施工净水厂。
- 水处理设施：电厂施工期主厂区、临建办公室及施工准备区的污水均采用一体化污水处理设备收集并处理生活污水。

### 5.2.1 海域工程概况

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程的取排水方案与华能山东石岛湾核电站高温气冷堆核电示范工程及国和一号示范工程统一规划，采用南北明渠分取、中间明渠合排布置方式，参见图 5.2-1。华能山东石岛湾核电站扩建工程与华能山东石岛湾核电站高温气冷堆核电示范工程共用北取水明渠，北取水明渠公共段在建中；国和一号示范工程的南取水明渠在建中；排水口相对养参池向东延伸 400m 作为取排水海工工程一期在建中，本期工程将在前期工程的基础上，将排水口位置向东延伸 200m。

### 5.2.2 海域施工活动对海水环境及生态的影响

海工工程海域施工建设过程中对水环境的影响主要来自排水明渠修筑以及海上施工船舶产生的生活污水和含油废水排放等。

海工工程会引起悬浮泥沙颗粒物增加，水体透明度下降，削弱了水体的真光层厚度，对浮游植物的光合作用产生不利影响，导致局部海域内浮游植物生物量下降，引起初级生产力水平降低。悬浮泥沙对浮游植物的负面影响将直接导致水体中溶解氧含量的减少，导致部分浮游动物窒息死亡，同时悬浮颗粒会粘附在生物体表，干扰其正常的生理功能，滤食性浮游生物会吞食适当粒径的颗粒物，造成内部消化系统的紊乱。悬浮颗粒物还会堵塞鱼类的鳃部，严重损害其滤水和呼吸功能。另外，悬浮物中有害

物质的二次污染也会对海水水质产生一定影响。

悬浮物扩散影响预测引用交通运输部天津水运工程科学研究所于 2013 年 11 月编制的《石岛湾核电站址海工工程施工期悬浮沙扩散补充数模专题报告》。根据施工工艺，取排水明渠堤身建设采用直接抛石，并配合局部挖泥方式。源强代表点按抓斗挖泥（连续源强）进行设置。抛石源强类比国家海洋局北海监测中心关于“青岛前湾三期工程”码头基床抛填石作业过程中的现场跟踪监测资料，按照 3.40kg/s 计算。针对施工期全过程，对悬浮泥沙扩散进行了模拟研究，得到悬沙扩散范围的包络图，如图 5.2-3 所示。模拟结果表明大于等于 10mg/L 的包络面积为 0.58km<sup>2</sup>，悬浮物影响区域主要集中在工程附近海域。施工引起的悬浮物影响主要限于连续施工期间，施工结束后数小时内（与源强、施工结束的時刻有关），人为增加的悬浮物浓度迅速扩散降低。此后，随着抛石作业的停止，泥沙扩散范围逐渐减小，至 20h 时，悬浮泥沙基本消散。

海域工程建设对海域生态环境的主要影响是底栖生物的直接损失和其他海洋生物的间接损失。调查表明，本项目建设造成损失的底栖生物和鱼类在当地的大多数海域中均有大量分布，工程建设及施工不会降低区域物种多样性，总体影响是短暂的，损失的生物群落可以在较短时间内重新建立。

施工船舶因维修和日常保养会在舱底形成部分含油废水，废水量虽然较小，但如进入海域，一部分附着在悬浮物上并随之沉降到海底，一部分溶于水中随水流扩散，而大部分则漂浮在水面上，影响厂址附近海域水质，并降低水体中光线的射入量，从而导致局部海域生态系统的紊乱和生物量的损失。船舶含油废水在施工期间铅封在底舱，定期送至岸上厂区废水处理设施统一处理。

### 5.2.3 施工期供水及排水系统对水环境的影响

#### 5.2.3.1 供水水源

扩建一期工程施工期用水包括施工生产用水、施工人员的生活用水和消防用水等。施工期用水由八河水库供水，在原有高温气冷堆取水管线取水，原有高温气冷堆取水管线已具备同时向扩建工程施工期间供水的能力，且预留有供水接口。新增净水厂一座，在原有预留接口基础上设置 2 根 DN300PE 取水管线，单根管线长度 300m。

根据水资源论证，扩建一期工程施工期连续 12 个月最大用水量为 100.23 万 m<sup>3</sup>/

年，最大月用水量为 11.39 万 m<sup>3</sup>/月，最大日用水量为 3742.9m<sup>3</sup>/d，保证率为 90%。

根据论证，本项目取水对区域水资源影响不明显，在供水协议规定范围内，不对其他用水户产生影响。

### 5.2.3.2 排水系统污染物排放

#### （1）生活污水

主厂区、临建办公室及施工准备区的污水不能直接排入大海，均采用一体化污水处理设备收集并处理生活污水；主厂区服务人数高峰为 7000 人，设置了一处一体化污水处理装置；施工准备区服务人数高峰为 1000 人，设置了一处一体化污水处理装置；临建办公区及其他区域考虑施工人员约为 2000 人，设置一处一体化污水处理装置。以解决整个建设期内施工生活污水的处理，污水总处理能力达到 500m<sup>3</sup>/d。

污水经处理后部分回用于绿化及道路洒水，回用水水质符合《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中的绿化用水标准。剩余部分排放，排放水质符合 DB37/3416.5-2018《流域水污染物综合排放标准 第 5 部分：半岛流域》的一级排放标准，排到施工排水沟进入大海。

施工生活区污水处理站采用 MBR 膜生物反应器处理工艺，该污水处理站工艺流程见图 5.2-4。施工生活区污水处理站主要负责处理施工生活区中居住的施工工人产生的生活污水，处理后的出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中的一级 A 标准后排放入海。

#### （2）含油废水

施工期的含油污水主要源于施工机械的跑冒滴漏和故障维修，产污点分散，废水不连续，很难准确估算产生量。根据大型机械设备预防维护保养制度，每台大型施工机械设备年维修保养过程产生的含油污水为 4400L，废油量为 6.4kg。

扩建一期工程施工区的含油废水由各承包商单独收集后外运处置。

5.3 施工影响的控制

5.3.1 减少陆域环境影响的措施

5.3.2 减少海洋环境影响的措施

5.3.3 施工期间的环境监测

## 5.3 施工影响的控制

### 5.3.1 减少陆域环境影响的措施

扩建一期工程在施工期间对陆域环境的影响主要是不同工程阶段和工程子项目建设期间对陆地生态、大气环境和声环境等方面的影响。工程中将采取相应的有效缓解措施，主要包括：

#### （1）大气环境

- 施工期间爆破、混凝土搅拌和载重车辆运输过程等引起粉尘和地面尘土飘散，为降低其对大气环境的影响，保护施工人员的身体健康，施工过程中采取了洒水抑尘、深孔爆破、硬化路面、控制车速和加盖苫布等方式来降低施工起尘量，有效改善了施工区域的大气环境；
- 施工过程产生一定量的临时弃土，临时弃土场对环境的影响主要是弃土在堆放过程产生的扬尘污染。为控制临时弃土场对大气环境的不利影响，采取在弃土倾倒和堆放过程中适量洒水抑尘，并避免同时进行大规模的弃土倾倒；
- 加强区域内的场地绿化，栽植能阻挡灰尘的高矮不等的乔木、灌木。

#### （2）声环境

- 使用低噪声施工设备，在高噪声源设备上加装消音、减震装置，经常对设备进行保养，维持设备处于良好的运转状态；
- 合理安排施工进度，避免在施工期间同步使用高噪声设备，严格控制夜间施工过程；
- 对于土石方爆破、场地负挖和设备安装带来的振动和噪声影响，采取深孔爆破方法，合理选择装药量，划定安全防护距离、装卸设备轻拿轻放和避免同时大规模爆破等方式，来控制噪声及振动影响的范围。
- 厂区绿化，选用灌木和草坪等对噪声吸收效果较好的植物构成绿化带，减轻对周围声环境的影响。

#### （3）生态环境

- 为控制临时弃土场的水土流失，通过工程措施、植物措施与预防保护措施来实施有效的控制。工程措施包括：弃土场“先挡后弃”，弃土堆放前在弃土场周围坡脚设砖砌挡坎，弃土结束后，对弃土顶面进行土地平整，为恢复创造条件；

弃土结束顶面平整后，在弃土顶面及马道周围修筑挡水土埂，保持水土。植物措施包括：在弃土场顶面采取乔、草结合的方式，种植当地优势物种。预防保护措施包括：弃土过程中，将清基表土与其他弃土分开堆放，表土集中堆于弃土场一角，用于弃后回铺。

- 为工程取土方便，在施工现场路边设置临时堆土场，为控制堆土场的水土流失，采取在堆土场周围坡脚设砖砌挡坎，同时覆盖密目网的方式，减少雨水和大风天气造成的不良生态影响。

#### （4）放射源及化学物品管理

- 施工期间主要用  $\gamma$  射线进行无损探伤检验，管理措施如下：
  - 1) 聘请有相应辐射安全许可证的专业公司开展；
  - 2) 根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等，制定电厂放射源的管理制度，包括操作规程、应急预案、监测计划等；
  - 3) 放射源存放在厂区内专用源库中，并设有专人看管和安保监控，放射源的进出库均需登记；
  - 4) 使用放射源的作业区范围内设置警示区和警戒线，防止有人误入控制区；
  - 5) 探伤操作人员佩戴个人剂量计和报警器，监控工作过程中个人所受辐射剂量。各探伤场地需配备一台辐射剂量率巡检仪，监控放射性工作场所的辐射水平。
  - 6) 放射源的退役由持证单位联系供源厂家回收处置。
- 核电厂建设施工阶段，将涉及多种化学物质的使用。在施工时，严格执行制定的化学物品管理使用规定，对化学物品的贮存和使用量严格控制，产生的危险废物由相关资质单位处理或由供应商回收处理。

### 5.3.2 减少海洋环境影响的措施

扩建一期工程在施工期间产生的悬浮泥沙、含油废水、生活污水、回填土方等将会对附近海洋环境产生影响。施工阶段为减少海洋环境影响采取的措施主要有：

- 对于岸边堆放的土方及建筑材料，加强场地管理，增加防护措施，以防止由于外界因素进入水体；
- 严禁施工船舶向施工海域排放废油、残油等污染物，船舶含油废水应实行铅封

- 管理并运回陆上油污水处理设施集中处理，废油脂交由相关资质单位回收；
- 厂区雨污分流，禁止生活污水乱排或未经处理直接排海，加强对厂区污水处理站的维护管理，定期监测出水口水质，确保污水达标排放；
  - 场地冲洗、混凝土搅拌等生产废水经沉淀池处理后，全部回用于场地洒水抑尘和绿化，不外排。

### 5.3.3 施工期间的环境监测

核电站的施工包括陆域工程和海域工程的建设，这些工程的施工建设会造成厂址附近局部陆域及海域环境质量受到影响，为掌握核电站建设施工期间对陆域及海域环境造成影响的程度，检验核电站施工期间采取的减缓环境影响措施的实施效果，促使施工单位采用更合理的工艺以最大限度降低工程建设对周边环境的不利影响，扩建一期工程将开展施工期间的陆域环境监测和海域环境监测。

#### 5.3.3.1 陆域环境监测方案

对扩建一期工程施工期间的环境空气、废气和噪声开展检测，每季度检测一次，每年检测四次。具体监测内容如下：

a、环境空气监测：布设空气监测点位包括厂址边界和环境敏感点。厂界监测项目为无组织排放颗粒物 TSP、非甲烷总烃、二氧化硫（SO<sub>2</sub>）和氮氧化物（NO<sub>x</sub>），敏感点监测项目包括总二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、二氧化氮（NO<sub>2</sub>）、臭氧（O<sub>3</sub>）、一氧化碳（CO）。每次监测 2 天，分别统计日均值和小时均值。

b、噪声监测：设置监测点包括场界和环境敏感点。测试项目为等效连续 A 声级（LeqA），每次监测 2 天，分昼间和夜间开展。

c、废水排放监测：在施工生活区污水处理站和对于主厂区、施工准备区、临建办公区及其他区域这三处一体化污水处理装置的出口各设置一个采样点，测试化学需氧量（COD<sub>cr</sub>）、五日生化需氧量（BOD<sub>5</sub>）、悬浮物（SS）、动植物油、阴离子表面活性剂、总氮、氨氮和总磷。设置污水在线监控系统，对污水中的 COD、瞬时流速进行实时监测。

### 5.3.3.2 海域环境监测方案

扩建一期工程对海洋环境产生影响的主要海工工程为排水口东延工程，建议海域环境监测方案如下：

#### I. 监测站位

在华能山东石岛湾核电站扩建一期工程所在海域自工程区内向工程区外呈扇形设置站点，包括水质测站、沉积物测站、生物测站。

#### II. 监测要素

##### ① 海水水质

监测项目：pH、DO、盐度、悬浮物（SS）、活性磷酸盐、无机氮、化学需氧量（COD）、石油类、铜、锌、镉、铅、铬、汞、砷。

##### ② 海底沉积物

监测项目：粒度、铜、铅、镉、锌、石油类、硫化物、有机碳。

##### ③ 海洋生态

监测项目：叶绿素a、浮游植物（水采、网采）、浮游动物（含鱼卵仔鱼，浮游动物使用浅 I 和浅 II 型网采集，鱼卵仔鱼使用水平拖网和垂直拖网进行采集）、底栖生物。

#### III. 监测频次

##### ① 水质监测

A: 铜、锌、镉、铅、石油类、悬浮物（SS）、无机氮、化学需氧量（COD）、DO

**本底监测：**施工前1个月进行大潮和小潮的本底监测。

**施工期监测：**施工期每周进行1次监测，工程块石抛填，施工过程中适当加密监测。

**后评估监测：**进行1次后评估监测，以后的跟踪监测视后评估监测结果而定。

B: pH、盐度、活性磷酸盐、铬、汞、砷

**本底监测：**施工前1个月进行大潮和小潮的本底监测。

**施工期监测：**在每个潮汐年的丰水期、平水期和枯水期进行大、小潮期的监测，施工过程原则上分别在2月、8月和10月的大潮和小潮进行监测。具体监测时间可根据施工时间进行调整。

**后评估监测：**施工结束后进行一次后评估监测。

##### ② 沉积物监测

**A: 铜、铅、镉、石油类**

**本底监测:** 在施工前进行1次本底监测。

**施工期监测:** 施工期每月监测一次，工程块石抛填施工过程中适当加密监测。

**后评估监测:** 施工结束后进行一次后评估监测。

**B: 粒度、锌、硫化物、有机碳**

**本底监测:** 在施工前进行1次本底监测。

**施工期监测:** 施工期原则上每年8月进行一次监测。具体监测时间可根据施工时间进行调整。

**后评估监测:** 施工结束后进行一次后评估监测。

**③ 海洋生态监测**

**本底监测:** 在施工前进行1次本底监测

**施工期监测:** 施工期每月监测一次，工程块石抛填施工过程中适当加密监测。

**后评估监测:** 施工结束后进行一次后评估监测。

## 第六章 核电厂运行的环境影响

### 6.1 散热系统的环境影响

### 6.2 正常运行的辐射影响

### 6.3 其它环境影响

## 6.1 散热系统的环境影响

### 6.1.1 散热系统方案

### 6.1.2 散热系统对水体的物理影响

#### 6.1.2.1 散热系统设施对水体的物理影响

#### 6.1.2.2 温排水对水体的物理影响

### 6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

#### 6.1.3.1 取排水工程对水生生物的影响

#### 6.1.3.2 温排水对水生生物的影响

### 6.1.4 参考文献

表

表 6.1-1 温排水数值模拟取水水温升结果

表 6.1-2 温排水数值模拟温升影响面积

图

图 6.1-1 厂址现有取排水方案

图 6.1-2 本工程取排水方案比选方案布置图

图 6.1-3 数值模拟范围及网格划分

图 6.1-4 数值模拟温升分布区域

图 6.1-5 厂址与近岸海域环境功能区划相对位置关系图

图 6.1-6 厂址与海洋生态红线相对位置关系图

## 6.1 散热系统的环境影响

厂址位于山东省威海市所辖荣成市石岛管理区宁津所街道办事处东南的海滨，东侧濒临黄海。厂址规划总容量为 1 台 200MWe 高温气冷堆机组+2 台国和一号机组+4 台百万千瓦级大型压水堆机组，本工程为在现有 1 台高温气冷堆机组和 2 台国和一号机组的基础上的扩建工程，一期工程规划建设 2 台融合华龙一号机组，其中本工程东北侧的华能石岛湾高温气冷堆核电示范工程已建成，西南侧的国和一号示范工程处于建设中。石岛湾厂址濒临黄海，厂址拟采用海水直流循环供水系统。

石岛湾核电厂址紧邻黄海，深水区离岸较近，海域取水条件较好；排水明渠离岸后水动力条件增强，扩散条件良好。在确定厂址规划高温气冷堆的基础上，整个石岛湾厂址对华能和国核示范的 7 台核电机组按直流冷却方案开展厂址整体规划、总平面布置和取排水方案相关的大量研究工作。为了尽可能减少取排水对近岸海域的影响，目前实施的取排水方案前期阶段经过了多年的反复论证和优化，现华能高温气冷堆和国核压水堆均已按直流循环方案开展建设。

根据厂址机组规划方案及取排水条件，石岛湾厂址采用南北两侧明渠取水、中间明渠离岸集中排水的取排水方案，厂址海工工程为整体规划、分批建设。

为满足厂址高温堆机组的建设及取排水通水节点要求，厂址高温堆取排水明渠 2016 年就开展了取排水构筑物陆域部分施工工作。目前，高温堆机组取水暗涵、排水渡槽（陆域段）均已完工，排水明渠施工已基本完工。

华能高温堆核电机组和扩建机组采用明渠在厂址东北面取水，取水口设于约 -8.0m 等深线处；国和一号示范工程 2 台国和一号机组采用明渠在厂址南面取水，取水口设于约 -8.0m 等深线处；厂址机组温排水共用一条排水明渠，拟从养殖池中间穿过于 -10.0m 等深线处排放。本工程（华能石岛湾扩建一期工程）取排水方案采用北取、中排方案，主要包括 2.7km 的北取水明渠和养参池外延 600m 排水明渠排放方案。

针对厂址取排水条件，本节根据厂址已开展的相关专题研究成果，并结合本项目散热系统运行方案，对本工程在现有 1 台高温堆机组和 2 台国和一号机组基础上扩建 2 台华龙机组的散热系统运行期间的取水和温排水对受纳海域的环境影响进行评价。

### 6.1.1 散热系统方案

高温气冷堆示范工程采用直流冷却供水系统，北、东、南三面濒临黄海，东南隔

镆铳岛与石岛湾毗邻，东北隔楮岛与桑沟湾毗邻，海域条件较好，电厂以海水作为冷却水源，将大部分余热通过海水排出。

### （1）取排水方案的比选及优化

#### a、厂址取排水方案及比选

石岛湾厂址早在 2008 年以前，就开展了高温气冷堆的取排水方案设计研究。随着石岛湾核电厂址的发展，厂址规划建设 1 台 200MWe 高温气冷堆机组+2 台国和一号机组+4 台大型压水堆机组，华能山东石岛湾核电有限公司对厂址取排水方案进行了研究和优化论证工作。由于厂址多机组采用统一的排水方案，且取排水方案分析建设实施，以下对厂址的取排水方案进行描述和分析。

2011 年，石岛湾厂址开展了温排水数模、物模等研究工作，针对厂址原规划方案（1×200MW+2×1400MW+4×1250MW）推荐了既可以减小温排水对取水水温升以及环境水体的影响程度，又使温排水远离岸边海珍品养殖区的取排水方案，即南、北两侧明渠取水，中间明渠离岸集中排水，南侧为国核压水堆示范电站取水口、北侧为华能高温堆与扩建压水堆取水口，两侧进水明渠渠底搞成均不高于-6.0m，长度分别为南 1.1km，北 2.6km，排水明渠自养参池外延 600m，出口前缘地形标高约-8m。

2013 年针对本厂址具有一址多堆、分期建设、不同装机组合对应不同海工布置方案的特点，进行了不同工况组合及其相应海工方案的温排水数模研究，其研究中机组规模为 1 台高温气冷堆+ 2 台国和一号装机容量，取排水方案为排水明渠自养参池外延约 400m，明渠出口前缘地形标高约-8.0m。

2015 年针对厂址规划容量变化，进一步开展了厂址规划容量（1 台高温气冷堆+ 2 台国和一号+4 台国和一号）的温排水数模研究，模拟的排水口设于养参池外 900m 处（约-11.5m 等深线）。

2016 年，厂址高温堆开展了取排水工程部分设施的施工建设。此后，厂址综合兼顾温排水环境影响、海岛保护、工程经济性、海洋功能区划等方面要求，进一步开展了温排水模拟研究和海工方案优化论证工作。最终，厂址考虑石岛湾高温堆及国和一号机组条件下，确定优选得出取排水方案为北分取明渠集中排水（外延 400m）的方案，即排水明渠长 2.3km 可满足要求。华能山东石岛湾核电厂扩建工程与华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电示范工程共用北取水明渠，北取水明渠公共段在建中；

国和一号示范工程的南取水明渠在建中；排水口相对养参池向东延伸 400m 作为取排水海工工程一期在建中，即排水口位置按 1 台 200MWe 高温气冷堆和 2 台国和一号核电机组的温排水确定。

厂址现阶段的取排水方案见图 6.1-1。

#### b、循环冷却方式比选论证

本项目作为已有高温堆和国和一号基础上的扩建工程，为进一步研究扩建工程散热系统方案，建设单位委托开展了扩建工程循环冷却方式比选与论证专题研究，对规划扩建机组的循环冷却系统开展工程可行性、技术成熟性和经济合理性等方面的比选论证，提出推荐的循环冷却方式初步方案。

根据对扩建规划容量条件下的循环冷却系统方案进行研究分析得出：

a) 直流供水方案机组出力大，系统简单可靠，便于维护，符合国家倡导的建设节约型社会要求；但直流供水方案取排水流量大，温排水影响范围大、对周围海洋环境影响大；同时可能受海生物堵塞风险，需做好冷源保障。

b) 二次循环方案机组出力相对较低，系统相对复杂，运行维护工作量大，冷却塔噪音大，其飘滴和雾羽对局部大气有不利影响；循环水排水量相对较小，温升影响范围相对较小，但在排水口近域仍会有一定范围的温升分布；

c) 厂址取排水明渠 2016 年已开始施工，取排水工程已一期已建。根据厂址取排水工程建设现状，二次循环方案是在直流循环方案的总体规划并已实施的基础上开展方案布置和比选，所以海水直流供水方案的经济性必然占优，而且经济优势异常明显，费用比海水二次循环方案显著减少。

d) 厂址紧邻黄海，深水区离岸较近，海域取水条件较好，排水明渠离岸后水动力条件增强，扩散条件良好，厂址（全厂 7 台机组规划）按直流冷却方案开展了大量研究工作，现实施的取排水方案前期阶段经过了多年的反复论证和优化，且高温堆和国和一号压水堆均已按直流循环方案开展建设。如果在取排水工程已实施的基础上改为二次循环冷却方式，将会造成巨大的经济损失和资源浪费。同时，取排水明渠按已建成考虑后，根据厂址现有布置条件，二次循环方案只能将四座高位冷却塔和循环水泵房布置于厂址西侧，由于场地条件和地面标高限制，冷却塔和循环水系统管道压力、冷却塔占地、道路规划等均存在困难，增加维护成本和管理难度。

因此，总体上说，经过技术经济比较，采用海水直流冷却方案在技术上可行，经

济上更优，因此本工程推荐采用海水直流供水方案。

c、本工程取排水方案的进一步优化

在前期已经确定取水南北侧分散明渠取水、北侧华能高温堆及扩建机组取水，本阶段在排水明渠的长度为高温堆暂定的自养参池外延约 400m 的基础上，进一步对不同长度和方位的明渠排放方案及暗涵排放进行模拟分析和研究比选。方案比选研究考虑如下：

- 第一阶段比选：明渠排水方案考虑现有养参池外延伸 400m 明渠中排，以及养参池外延伸 500m 和 600m 明渠中排；此外考虑在既有养参池外延 400m 明渠基础上将排水明渠往北偏转 45°，向东北延伸约 500m，使出流方向位于北侧礁石区以北（简称“北偏方案 A”）；以及向北偏移约 400m 后转向东排，排水位于北侧礁石区以南（简称“北偏方案 B”），不同方案见图 6.1-2a。
- 第二阶段比选：排水方案同时考虑了暗排方案。综合前期研究成果、工程现状、对正在建设的工程的影响以及施工难度等方面因素，扩建工程暗涵排放方案包括现有养参池外延 400m 后向东伸出 500m 处暗涵排放（方案 B）、养参池外延 400m 后向东偏北 15° 伸出 1200m 处暗涵排放（方案 C），以及排水明渠根部向东北方向延伸约 2.2km 处暗涵排放（方案 D），布置见图 6.1-2b。

根据数模研究比选分析：

采用二维数模结果对于不同明渠排放方案进行比选分析，600m 明渠中排和明渠东北排两种方案比较，养参池外延明渠进一步增强了挑流，涨潮时养参池南侧回流区加大，落潮时养参池北侧回流范围加大。600m 明渠中排受挑流作用，排水明渠口门前缘流速明显增大，北偏方案 A 和北偏方案 B 明渠延伸段与环境流流速方向不垂直，且明渠口门右侧靠近礁石区，明渠前缘挑流效果不如 600m 明渠中排方案。明渠中排方案，养参池外明渠延伸 400m 温升范围大于延伸 600m 温升范围；北偏方案 A 和北偏方案 B 的温升影响范围均大于 600m 明渠中排方案，且取水温升偏高。

采用三维数模进一步开展不同暗涵排放方式及与明渠排放的比选分析，暗涵方案 4℃温升范围小于明渠，暗涵方案 C 结果优于暗涵 B、D；600m 明渠方案 4℃和 1℃温升范围均较小，取水温升亦较小，优于 400m 明渠和明渠北偏方案。从减小海域环境影响，以及减小温排水对岸边养殖的影响角度，600m 明渠中排方案整体更优。

（2）取排水工程布置方案及参数

取、排水工程是循环冷却系统的必要工程部分，经过多次、反复论证，多种方案比选。根据厂址取排水工程总平面布置方案，石岛湾核电厂厂址（华能高温气冷堆核电机组示范工程、国核压水堆示范工程、扩建工程机组）取排水系统按规划容量统筹规划，分期实施。结合工程条件和厂区布置特点，厂址按南北分取中间合排方案考虑，其中北取为高温堆机组和规划百万千瓦级压水堆机组使用，南取为国和一号机组使用，对厂址海工工程为整体规划、分批建设。

目前，本扩建一期工程采用北取中排方案，排水明渠自养参池外延600m，现阶段采用的取排水方案设计如下（见图6.1-1）：

取水工程：北侧明渠取水，北侧为高温气冷堆机组取水口，取水明渠长 2.7km，其中北取东堤长 2137.2m、北取西堤长 969.8m，取水口设于约-8.0m 等深线处，取水明渠从口门至各机组进水前池底标高为-8.0m~-7.0m，底宽约 160m~80m。

排水工程：厂区东侧明渠排水，排水明渠长约 2.5km（至养参池外延约 600m），排水明渠底标高约-10.0~-5.0m，底宽约 50m~120m，排水口标高为-4.0m~-5.0m。

扩建一期工程 2 台机组正常运行过程中的余热通过海水直流循环方式排出，其夏季取排水流量设计值约为 59.47m<sup>3</sup>/s，取排水温升设计值为 8.49℃；冬季排水流量设计值约为 45.52m<sup>3</sup>/s，排水温升设计值为 10.95℃。

## 6.1.2 散热系统对水体的物理影响

石岛湾厂址前期在不同阶段已开展众多专题研究，整个厂址确定了南北两侧明渠取水、中间明渠离岸集中排水的取排水方案，本项目使用厂址规划的取排水工程中的北取水渠、排水渠两部分。针对本工程，建设单位开展了温排水数模专题研究，对现设计取排水方案下的影响进行了预测。目前，高温堆示范工程和国核国和一号已经开展建设，本节重点是针对本工程建设运行后，考虑现有华能石岛湾高温堆示范工程和国核示范工程共同运行条件下，散热系统运行产生的环境影响进行评价。

### 6.1.2.1 散热系统设施对水体的物理影响

厂址附近海域周边岸线类型主要为砂质岸线和基岩岸线，本项目取排水防波堤用海、取排水明渠需要占用部分岸线，并形成的人工岸线。厂址早期已开展了取排水影响论证专题，对取排水工程对海域水动力条件的影响研究工作。

根据前期已开展的数模专题研究表明，厂址取排水工程实施后，南北两侧取水明渠、排水明渠堤头外侧流速有所增大；厂址取排水工程建设未明显改变当地海域的整体潮流运动特征，对大范围流场的影响局限在楮岛至镆铘岛范围海域内。

由于高温堆示范工程和国核示范工程已经开展了北部取水工程和中间排水工程的建设，因此本工程是利用现有取排水工程并将排水明渠延伸后进行的循环冷却排放。根据本阶段岸滩及泥沙数模专题研究，针对本工程排水明渠向外海延伸后，排水明渠堤头的挑流作用略有增强，排水明渠堤头平均流速增幅在0.1m/s以内；黑石岛附近流速几乎无变化，最大流速变幅仅在0.04m/s左右；本次核电机组取排水方案实施后其影响主要集中在核电工程取排水明渠局部，将不会对大范围水域的潮流整体运动规律造成影响。

#### **6.1.2.2 温排水对水体的物理影响**

为了预测温排水对沿海海域造成的影响，中国水利水电科学研究院针对厂址规划容量、不同机组组合情况下的排水量进行了详细研究。根据本阶段中国水利水电科学研究院扩建工程的取排水温升影响开展了数值模拟专题研究，以下结合该专题成果对运行期间的温排水环境影响进行评价。

##### **6.1.2.2.1 数值模拟**

###### **(1) 数学模型及主要研究条件**

数学模型计算域大小主要由可能的扩散范围来确定，计算域的选择原则是尽量减小边界对扩散的影响，同时也应兼顾潮流模型的精度和计算量大小。因此在本项目的数值模型边界中，西起乳山口东至 50m 等深线附近，北起成山角南至 50m 等深线，南北方向沿岸线长约 160km，东边界离岸长约 50km，南边界离岸长约 90km，计算域面积约 14000km<sup>2</sup>。计算区域和网格布置见图 6.1-3。

数值模拟采用荷兰水工研究所研制的 Delft3D 模型开展模拟计算，改模型在海岸水动力、水质模拟等方面获得了较广泛的应用，国内较多核电厂采用该模型进行了温排水影响研究。

Delft3D 提供了贴体曲面四边形网格生成系统，可以较好的拟合复杂岸线，在垂向上使用网格系统。模型变量布置在交错网格上，数值离散采用有限差分格式，模型方程求解采用 ADI 方法。

数学模型以水深积分形式的浅水方程为基础，模型采用基于 Boussinesq 和垂向静水压力假定。由于 Delft3D 基于曲线坐标，其控制方程如下：

水深平均的连续方程：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d+\zeta)U\sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d+\zeta)V\sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} = (d+\zeta)Q \quad (1)$$

其中， $d$  为参考平面以下的水深值， $\zeta$  为自由表面高程(参考平面  $z=0$  以上的数值)， $t$  为时间， $\xi$  和  $\eta$  为曲线坐标系下水平方向的坐标， $G_{\xi\xi}$ 、 $G_{\eta\eta}$  为曲线坐标系转换为直角坐标系的转换系数； $U$ 、 $V$  分别为  $\xi$  和  $\eta$  方向的水深平均流速。 $Q$  表示源汇项，如取排水、降雨和蒸发等。

模型在水平方向  $\xi$  和  $\eta$  的动量方程表示如

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{U}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial U}{\partial \xi} + \frac{V}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial U}{\partial \eta} - \frac{V^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} + \frac{UV}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - fV = -\frac{1}{\rho_0\sqrt{G_{\xi\xi}}} P_\xi + F_\xi + M_\xi \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{U}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial V}{\partial \xi} + \frac{V}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial V}{\partial \eta} - \frac{U^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} + \frac{UV}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} + fU = -\frac{1}{\rho_0\sqrt{G_{\eta\eta}}} P_\eta + F_\eta + M_\eta \quad (3)$$

$f = 2\Omega \sin \phi$  为 Coriolis 参数， $\Omega$  为地球自转角速度， $\phi$  为纬度。 $F_\xi$  和  $F_\eta$  分别为  $\xi$  和  $\eta$  方向的紊动动量通量，反应雷诺应力； $P_\xi$  和  $P_\eta$  为  $\xi$  和  $\eta$  方向的水压力梯度； $M_\xi$  和  $M_\eta$  为  $\xi$  和  $\eta$  方向上动量的源汇项。在求解  $F_\xi$  和  $F_\eta$  时涉及到水平粘滞系数  $\nu_H$ ，其为水平方向未求解的亚格子水平紊动相关的紊动粘滞系数，Delft3D 中无模型求解此参数，可以通过 GUI 用户界面设置为全场恒定值或者随空间变化的值。

热输运方程：

$$\frac{\partial (d+\zeta)T}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \left\{ \frac{\partial [\sqrt{G_{\eta\eta}}(d+\zeta)UT]}{\partial \xi} + \frac{\partial [\sqrt{G_{\xi\xi}}(d+\zeta)VT]}{\partial \eta} \right\} = \frac{d+\zeta}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \left\{ \frac{\partial}{\partial \xi} \left[ D_H \frac{\sqrt{G_{\eta\eta}}}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial T}{\partial \xi} \right] + \frac{\partial}{\partial \eta} \left[ D_H \frac{\sqrt{G_{\xi\xi}}}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial T}{\partial \eta} \right] \right\} - \lambda_d (d+\zeta)T + S \quad (4)$$

式中  $T$  为水温（或物质浓度）， $D_H$  为水平扩散系数。 $\lambda_d$  为物质一阶衰减项，在模拟水温是不考虑； $S$  为源汇项。

模型计算过程中的采用 2020 年冬季和 2021 年夏季大、中、小潮分层流速、流向过程对三维数模进行验证，选取以下实测水文条件：2020 年冬季：2019 年 12 月 15 日~24 日大、中、小潮；2021 年夏季：2021 年 8 月 4 日~11 日大、中、小潮。

模型边界条件及参数：

(A)流场边界条件

①边界条件：水位开边界采用潮位边界，采用 TPXO 全球海潮模型给出开边界上的潮汐调和常数作为输入。

②初始条件：采用静流条件起算。

③底部摩擦项：对全水深平均的流动，床面剪切力采用二次摩擦定律：

$$\vec{\tau}_b = \frac{\rho_0 g \vec{U} |\vec{U}|}{C_{2D}^2} \quad (6)$$

式中  $U$  为水深平均水平向流速。 $\rho_0$  为水的密度， $C_{2D}$  为 Chezy 系数( $m^{1/2}/s$ )，可以直接赋值或者采用 Manning 公式：

$$C_{2D} = \sqrt[6]{H}/n \quad (7)$$

$H$  为总水深(m)， $n$  为 Manning 系数( $m^{-1/3}/s$ )。

④水面摩擦项：表面风应力表示为：

$$|\vec{\tau}_s| = \rho_a C_d U_{10}^2 \quad (8)$$

式中  $\rho_a$  为空气密度， $U_{10}$  为自由表面以上 10m 风速。 $C_d$  为风拖曳力系数，与  $U_{10}$  有关。

(B)温度场边界条件

①边界条件：岸边界和底部边界为绝热边界，开边界上为环境水温。自由表面为散热边界，采用超温散热模块计算：

$$Q_{tot} = -\lambda(T_s - T_{back}) \quad (9)$$

式中  $Q_{tot}$  为换热通量， $\lambda$  为热交换系数， $T_s$  为表层水温， $T_{back}$  为环境水温。 $\lambda$  的取值可等同于综合散热系数  $K_s$ 。

②初始条件：采用零温升(即环境水温)起算。

(C) 其他参数条件

①糙率系数及扩散系数

采用曼宁公式计算底部摩阻，夏季糙率系数  $n$  取值范围 0.018~0.028，冬季糙率系数  $n$  取值范围 0.018~0.04。

扩散系数与水深和流速关联，根据对模型中扩散系数取值分析，取定值常数和扩散系数取值与水深、流速关联的方式进行了不同扩散系数取值对计算结果影响的比较，结果表明扩散系数取值采用与水深、流速关联的方式在不同区域合理取值较合适，温排水主要影响区取值范围在 0.01~15m<sup>2</sup>/s 之间，模拟区域总体取值在 0.01~70m<sup>2</sup>/s 之间。

②表面综合散热系数

表面综合散热系数  $K_s$  采用《冷却水工程水力、热力模拟技术规程》（SL160-2012）中的公式。计算与前期数模综合散热系数取值相同，夏季取值  $K_s=47\text{W}/\text{m}^2\text{C}$ ，冬季取值  $K_s=28.5\text{W}/\text{m}^2\text{C}$ 。

模拟过程中，本扩建一期工程的夏季和冬季的取排水流量为 61.5m<sup>3</sup>/s，取排水温升设计值为 8.25℃；高温堆夏季和冬季的取排水流量为 9m<sup>3</sup>/s 和 6.8m<sup>3</sup>/s，取排水温升设计值为 9℃和 12℃，国和一号夏季和冬季的取排水流量为 83m<sup>3</sup>/s 和 50m<sup>3</sup>/s，取排水温升设计值为 7.4℃和 12.3℃。

## (2) 模型验证

根据采用 2020 年冬季和 2021 年夏季大、中、小潮分层流速、流向过程对数学模型进行验证。验证结果表明：

计算的潮位相位与实测吻合，潮位值除部分日期有一定系统性偏差（可能受增减水影响），整体与实测符合较好。计算的夏、冬季潮流流向与实测吻合良好，计算的流速值除个别外围站位部分潮次与实测有所偏差外，大部分站位、潮次与实测流速变化相位及流速值吻合较好，表明所采用的数学模型可以合理反映工程海域的水动力过程，可用于温度场模拟。

## (3) 温排水影响预测结果

根据模拟结果显示，工程采用排水明渠离岸排水的方式，一方面将温排水引至深水主潮区，使得温升区主要分布在深水区，另一方面明渠的挑流作用更加强了出口外

缘水域的流动，掺混作用随之加强，使明渠外温排水影响区面积较小。

模拟得出的温度场显示，明渠出口处温升分布偏向南侧，主要因为明渠出口附近地形比较复杂，较多潜礁和深潭，出口北侧水深较大流强，南侧水深相对较浅流缓。数模计算的夏、冬季气象条件下全潮最大 4℃温升范围未进入黑石岛保护区范围，取水温升总体较小。

数模结果表明，针对取水温升，夏季半月潮下的本工程取水口（北取水口）最大取水温升为 0.55℃，冬季半月潮下的最大取水温升为 0.56℃。

根据温升影响范围数模预测结果，温排水温升范围表层最大，底层最小，半月潮期间全潮最大温升范围大于单一大、中、小潮。对比表、中、底各层不同深度温升影响，总体表现为温升包络面积表层最大，底层最小。根据温升模拟结果，在厂址现已批复工况（1 台高温堆+2 台国和一号，400m 明渠中排）条件下，夏季半月潮条件下 4℃、3℃、2℃和 1℃温升面积最大分别为 0.13km<sup>2</sup>、0.35km<sup>2</sup>、1.53km<sup>2</sup>、9.89km<sup>2</sup>；冬季半月潮条件下 4℃、3℃、2℃和 1℃分别为 0.28km<sup>2</sup>、0.62km<sup>2</sup>、1.92km<sup>2</sup>、11.33km<sup>2</sup>。在本工程实施后，根据模拟结果，半月潮条件下，最大温升包络线面积为：4℃温升面积夏季最大为 0.29km<sup>2</sup>，冬季为 0.51km<sup>2</sup>；3℃温升面积夏季为 1.16km<sup>2</sup>，冬季为 1.63km<sup>2</sup>；2℃温升面积夏季为 4.77km<sup>2</sup>，冬季为 5.32km<sup>2</sup>；1℃温升面积夏季为 21.52km<sup>2</sup>，冬季为 20.76km<sup>2</sup>。

表 6.1-1~表 6.1-2 给出了三维数值模拟得到的机组正常运行期间，夏、冬两季的取水口温升和温升影响面积，图 6.1-4 给出了夏、冬两季最大温升分布。

综上所述，本工程海域潮流为较强的往复流，由于地形因素，近岸浅湾内水流较弱且多回流，温排水通过明渠穿过养参池排到主流区，迅速与环境水体掺混，有利于减小温排水的影响范围，温升主要是局限于排水口附近局部范围海域内。

### 6.1.2.2.3 温排水影响评价

根据山东省近岸海域环境功能区划（2016-2020 年），石岛湾核电厂址附近主要有荣成宁津工业与城镇建设区（SD173CIII）、荣成宁津留用备择区（SD174B II）、荣成黑泥湾工业与城镇建设区（SD175CIII）和石岛南海村滨海旅游娱乐区（SD176B II），以及桑沟湾-莫镛岛盐业养殖区（SD170B II）。其中，荣成宁津工业与城镇建设区执行三类水质。2021 年 6 月，山东省生态环境厅发布了关于明确石岛湾核电基地水质

要求的函（鲁环函[2021]69号），在由A1~A4四点连线围成的混合区不设置水质管控目标，在B1~B6六点连线围成的三类环境功能区执行三类海水水质标准。海水按环境功能区划的要求执行相应《海水水质标准》（GB3097-1997）。

图6.1-5给出了本工程与厂址近岸海域环境功能区划的关系。由图可知，本工程位于荣成宁津工业与城镇建设区（SD173CIII）内，根据温排水预测结果，本工程运行期间冬季2℃温升外包络区域和夏季1℃温升外包络区域大部分区域位于三类功能区内，夏季1℃温升外包络线在西北侧有小部分区域超过了三类功能区范围，核电站排放的温排水造成的温升影响尚不能完全满足相应功能区的水质温升管理要求。因此建议建设单位充分关注本工程排水方案可能温升影响与近岸海域环境功能区划的相符性关系。

根据《山东省黄海海洋生态红线划定方案（2016—2020年）》，本项目周边红线区包括楮岛藻类渔业海域限制区（37-Xe07）、楮岛滨海旅游限制区（37-Xj11）、黑石岛海岛限制区（37-Xf02）和镆鄞岛海岛限制区（37-Xf03），见报告2.3节。本项目经取排水工程温排水温升（夏季1℃、冬季2℃）将进入楮岛滨海旅游限制区（37-Xj11）、黑石岛海岛限制区（37-Xf02）等区域，见图6.1-6，其中，楮岛滨海旅游限制区（37-Xj11）环境保护要求为海水水质不劣于二类水质标准，黑石岛海岛限制区（37-Xf02）保护区周边海域环境杜绝可能影响本海域的各种污染，海水水质不劣于二标标准。因此建议建设单位充分关注并对厂址附近海域海洋生态红线进一步研究，分析论证对其可能影响。

### 6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

取排水系统主要包括取水头部、拦污栅、水泵、冷凝器和排水渠等部分。取排水系统各个部分对海洋生物可能产生的影响主要通过机械因素、热因素和化学因素实现。在所有这些影响因素中，最主要的是排水系统的热影响、以及取水系统的卷载效应的影响。

#### 6.1.3.1 取排水系统对水体水生生物的影响

取水系统对生物影响主要表现为取水的卷载效应，即水生物随电站抽取循环冷却水而进入冷却系统，并在其中受到热、压力等物理因素和氯化等化学因素综合影响而

死亡的现象。一般取水只对那些能通过取水系统滤网的鱼卵、仔鱼、仔虾、浮游生物及其它游泳类生物幼体产生明显的伤害。

由于取水明渠口门处设有拦污网，取水口进水窗设耐海水粗拦污栅，栅条间距为200mm，进口流速在0.3m/s以下，此流速条件下，游泳生物在拦污栅、旋转滤网处因卷载而发生机械损伤和堵塞滤网等现象较小，在取水过程中具有游泳能力的游泳动物，由于有防护网的阻隔，大部分游泳动物可以回避因机械卷载造成的死亡。

在取水过程中，随同取水进入冷却水系统的鱼卵、仔稚鱼产生伤害，在高压、高温以及杀生剂的作用下导致伤害或死亡，即使能够存活的极少部分鱼卵、仔稚鱼也受到不同程度的损伤，而不能正常生长发育。考虑到幼鱼个体范围较大，从几厘米到几十厘米不等，不同于个体大小的幼鱼均有一定的游泳能力和回避能力，而且取水口有保护屏障阻隔，具有游泳能力的游泳动物成体和幼体大部分可回避因机械损伤造成的死亡。

在卷载效应对渔业资源的损失中，主要是考虑对鱼卵、仔稚鱼和较小幼体造成的损失。电站运行期间取水系统产生的卷载效应可能会对浮游生物产生一定程度的损伤，尽管会使取水口附近小范围内的海洋生物有所减少，但由于其生殖周期较短、繁殖快，其损伤后的恢复也较快。因此，卷载效应造成的损伤预计对厂址海区的海洋生物总量及种群结构等的影响将是有限的。

### 6.1.3.2 温排水对水生生物的影响

电厂温排水对水生生态系统的影响是多方面的，如适度的水温升高可以增加水体中浮游生物种类和数量，使鱼类的产卵期提前等，但如果环境水体升温后超过海洋生物生长的适宜温度，将可能导致海洋生物的生长受到抑制或死亡。

#### （1）温排水对浮游生物的影响

浮游生物不但是某些鱼、虾、贝类的饵料生物，同时其数量的多少也决定海域海洋初级生产力的大小，从而影响渔业资源的潜在量。如果核电厂的温排水对浮游生物产生严重危害的话，其后果也会间接影响到本海域的渔业资源量。

根据相关资料，在生物量方面，环境水温较低时，水体升温能促进藻类生长，且藻类增长量服从强增温(增温 $\Delta T > 3^{\circ}\text{C}$ )>中增温(增温 $\Delta T = 3^{\circ}\text{C}$ )>弱增温(增温 $\Delta T < 3^{\circ}\text{C}$ )的规律。环境水温适中时，弱增温和中增温能促进藻类生长，强增温则抑制了藻类的

生长；环境水温较高时，水体升温会抑制藻类生长，且增温幅度越大，抑制效果越强。水温较高时，增温会使藻类种群数量锐减。一般在 20-35℃之间，藻类生物量随着温度升高而增加，35℃增长最快，但是到 40℃时生物量就会大为降低。当接纳水域温度升高时，浮游动物常由水体的上层移到下层，只有当底层水温也升至 27~28℃时，所有种类的数量才急剧下降。海水水温升至 30℃以上，又是强增温水域(即 $\Delta T > 3^\circ\text{C}$ )时，则大多数浮游动物停止繁殖，甚至死亡或种类灭绝。

温排水的热效应会改变局部海区的自然水温状况，浮游生物最易受到影响。冷却水作用的季节性明显，尤其在夏季其热效应的影响较大。由于在自然海区，水温是控制生物多样性的主要因素，在一定范围内，水温高，物种数多，水温低，物种数少。

多数浮游生物在水体温度不超过 35℃时，生长不会被抑制或造成死亡。根据厂址水温连续观测资料统计结果，厂址附近海域水温一般在 25℃以下、最高不超过 30℃，考虑到温排水的高温升区影响范围总体较小，因此温排水造成的海水升温后仍处于浮游生物的适温范围。

## （2）温排水对游泳动物的影响

由于温度变化对鱼类的各种生命活动过程有很大影响。在适温范围内，水温的升高会提高鱼类的摄食能力，促进其性成熟，生长加速；但在水温过高时，温排水也会对鱼类产生不利的影 响，包括：在强增温区、亚增温区会对鱼类洄游行为造成明显 逆反影响；会提早鱼类性腺发育成熟产卵，对鱼类生殖产生影 响；会使鱼类饵料生物发生变化，从而影响鱼类生长，可能引起种群结构的变动；可能增多寄生虫病的危害，增加对鱼类的致病影响。

根据厂址附近海域内的海洋生态调查可知，调查水域鱼类种类区系组成以暖水性和暖温性为主。暖温性鱼类适温性较广，因此，对游泳动物的影响主要是对沿岸性鱼类和冷温性鱼类的影响相对较大，而对于暖温性鱼类的影响相对较小。除夏季外，其他季节核电站温排水排入接纳海域后其水体温度仍在鱼类的适温范围内。此外，鱼类是变温动物，能感受到环境水温的微弱变化，并喜在适宜温度水域内活动，对超出适宜温度范围的高温或低温水体具有回避反应。

根据海洋生态调查结果，厂址周围海域鱼类洄游路线中，距厂址最近距离约为 5km，主要为黄渤海具有短距离洄游的冷温性、温水性或冷水性鱼类，夏季厂址周围海域甲壳类的重要种为口虾蛄等。厂址排水口 15km 范围内未发现保护性水生生物厂

址附近海域内，三场一通道距离厂址远，距离可在 30km 以上，因此初步估计温排水影响有限。

### （3）温排水对底栖生物的影响

温度变化对底栖动物的潜在影响主要包括底栖动物群落结构发生变化，动物组成、种类、数量等变化明显，底栖动物栖息地减少、生物多样性指数降低。但研究表明，只要温升不是过高，影响范围不是过大，不会造成很大危害；在夏季的强增温区内，底栖动物会减少，如果增温区仅限于表层，则对底栖动物无影响；季节不同，水温对底栖动物的影响有所差别；温升对底栖动物的种类组成和生物量没有明显的规律性影响。一般认为，温排水会造成底栖动物栖息场所的减少，其中夏末至中秋期间，影响最大。因为在夏末至中秋期间，自然水温很高，若再提高水温，动物的生长可能受到抑制或导致死亡。因此，在夏末至中秋季节，温升对底栖动物造成不利影响最大。

厂址海域主要底栖生物为软体动物、甲壳动物和多毛类。软体动物双壳类和多毛类主要是底埋性栖息类群，运动性低。软体动物中的腹足类如红螺，为底爬性生态习性，具备一定的爬行运动能力。厂址海域出现的底栖生物种类，均为暖温带生物种类，最适宜的海水温度为 14~25℃，在 28℃ 以下海水温度条件下，能正常生存。若核电厂排水口周围海域温升 4℃ 的话，海水温度将超过一些重要底栖生物正常生存温度的上限，对底栖生物可产生一定损害，同时海水的温升效应会使底栖生物的繁殖期提前。

核电厂附近海域中四季渔获的蟹类主要有三疣梭子蟹等。蟹类的适温范围多在 18~32℃ 之间，而大于 39℃ 将可能导致其死亡。春、秋、冬三季由于自然水体温度较低，电厂温排水引起排水口周围局部海域升温，仍将使底层海水保持在蟹类生物的适温范围内，温排水引起的温升不会对该区域内该类生物构成明显的影响。即使在夏季高温季节，电厂温排水对蟹类的影响也是有限的。总体来说，初步预计对海域内的底栖生物影响非常有限。

### （4）温排水对厂址附近海水养殖的影响

石岛湾核电厂厂址附近沿海区域海水养殖较发达，浅海养殖的规模相对滩涂养殖和港湾养殖较大，养殖方式多为筏式养殖。厂址附近接纳海域内的海水养殖分布状况详见本报告书 2.3 节。

根据温排水数模预测结果，温排水高温升区夏季温升包络面积有限，全潮最大 4℃ 温升包络面积最大不超过 0.51km<sup>2</sup>，夏季最大 1℃ 温升 21.52km<sup>2</sup>。因此，机组运行

期间可能会对周围水产养殖产生一定影响。为避免本工程运行后可能对周围水产养殖产生的不利影响，建设单位应做好与养殖户的利益协调，并对电厂运行期间海水水质、海洋生物的温升影响监测工作，了解掌握温排水可能产生的影响。

#### **（5）温排水对保护生物的影响**

本工程半径 5km 范围内无国家级水产种质资源保护区分布，最近的国家级水产种质资源保护区——荣成楮岛藻类国家级水产种质资源保护区位于厂址 NNE 方位约 7.3km 处。

根据温排水影响预测结果，机组正常运行后温排水的全潮最大 1℃温升外包络影响范围不涉及种质资源保护区。

#### **6.1.4 参考文献**

- [1] 华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程海域使用论证报告书（报批稿），华能山东石岛湾核电有限公司，2020 年 3 月。
- [2] 石岛湾核电厂址海工工程取排水方案论证报告，国核电力规划设计研究院，2014 年 11 月。
- [3] 国核电力规划设计研究院有限公司，华能山东石岛湾核电厂扩建工程循环冷却方式比选与论证专题报告，2020 年 10 月。
- [4] 石岛湾核电厂扩建工程温排水及液态流出物计算中间成果报告，中国水利水电科学研究院，2021 年 12 月。

- 6.2 正常运行的辐射影响
  - 6.2.1 流出物排放源项
  - 6.2.2 照射途径
  - 6.2.3 计算模式和参数
  - 6.2.4 大气弥散和水体稀释
  - 6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度
  - 6.2.6 公众最大个人剂量
  - 6.2.7 非人类生物的辐射剂量
  - 6.2.8 关键人群组、关键核素、关键照射途径
  - 6.2.9 辐射影响评价
  - 6.2.10 参考资料

表

- 表6.2-1 高温堆正常运行工况下放射性物质向环境的释放量
- 表6.2-2 国和一号示范工程CAP1400单台机组气液态流出物排放量
- 表6.2-3 放射性流出物的年排放量与GB6249-2011控制值比较
- 表6.2-4 长期大气弥散计算部分参数
- 表6.2-5 环境介质参数

- 表6.2-6 放射性核素特征参数
- 表6.2-7 气态途径辐射剂量计算相关参数
- 表6.2-8 液态照射途径辐射剂量计算参数
- 表6.2-9 海产品可食部份生物浓集因子Bp和悬浮物吸附分配因子Kd
- 表6.2-10 公众受照有效剂量转换因子
- 表6.2-11 母体吸入和摄入放射性核素对婴儿食入母乳后造成的内照射相应核素份额和有效剂量转换因子
- 表6.2-12 厂址长期大气弥散因子
- 表6.2-13 厂址长期地面干沉积因子
- 表6.2-14 厂址长期地面湿沉积因子
- 表6.2-15 受纳水体各海域放射性相对浓度
- 表6.2-16 气载放射性排放造成环境空气核素浓度
- 表6.2-17 液态放射性排放造成海域水体中的浓度
- 表6.2-18 气态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量
- 表6.2-19 液态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量
- 表6.2-20 气态和液态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量
- 表6.2-21 气态和液态途径对各子区公众个人（青少年）造成的有效剂量
- 表6.2-22 气态和液态途径对各子区公众个人（儿童）造成的年有效剂量
- 表6.2-23 气态和液态途径对各子区公众个人（婴儿）造成的年有效剂量
- 表6.2-24 气态和液态途径对对各子区公众集体造成的集体有效剂量
- 表6.2-25 海洋系统悬浮物Kd因子
- 表6.2-26 海洋生态系统各生物放射性核素浓集因子（Bp）
- 表6.2-27 陆生生态系统各生物放射性核素浓集因子（Bp）
- 表6.2-28 各放射性核素对海洋生物的内照射剂量率转换因子
- 表6.2-29 各放射性核素对海洋生物的外照射剂量率转换因子
- 表6.2-30 各放射性核素对陆生生物的空气浸没外照射剂量率转换因子
- 表6.2-31 各放射性核素对陆生生物的表面沉积外照射剂量率转换因子
- 表6.2-32 各放射性核素对陆生生物的中浸没外照射剂量率转换因子
- 表6.2-33 各放射性核素对陆生生物的内照射剂量率转换因子

- 表6.2-34 海洋生态系统各生物居留因子
- 表6.2-35 陆生生态系统各生物居留因子
- 表6.2-36 海洋生物受到的剂量率
- 表6.2-37 陆生生物受到的剂量率
- 表6.2-38 东钱家各职业人群受照辐射剂量比较
- 表6.2-39 放射性核素通过各种照射途径对关键居民组个人造成的有效剂量
- 表6.2-40 公众受照辐射剂量“三关键”计算分析结果

图

图6.2-1 气态照射途径

图6.2-2 液态照射途径

## 6.2 正常运行的辐射影响

石岛湾核电站扩建一期工程与国和一号示范工程（两台 CAP1400 机组）及高温气冷堆核电站示范工程位于同一厂区内，属一址多堆厂址，扩建一期工程采用华龙一号技术方案。本节将根据电厂的放射性流出物排放量，结合厂址周围环境特征和公众生活习性，分析和预测石岛湾核电站扩建一期工程运行后，扩建一期工程和厂址所有核设施（扩建一期工程两台机组+两台 CAP1400 机组+高温堆）放射性流出物排放对厂址周围环境以及公众造成的辐射影响。

### 6.2.1 流出物排放源项

石岛湾核电站扩建一期工程运行状态下，放射性流出物以气载和液态两种形态向环境释放，在周围大气环境和受纳水体中稀释扩散。本报告第四章 4.6 节给出了扩建一期工程运行状态下，气载和液态放射性流出物的年排放量。

表 6.2-1 给出了高温堆正常运行工况下放射性物质向环境的释放量。表 6.2-2 给出了 CAP1400 示范工程单台机组气液态流出物排放量。《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）要求核动力厂必须按每堆实施放射性流出物的年排放总量控制，对于同一堆型的多堆厂址，全厂所有机组的年总排放量应控制在单堆排放控制值的 4 倍以内。根据国家标准的要求，石岛湾核电站扩建一期工程和全厂址将严格按照国家标准的排放控制要求进行总量控制。表 6.2-3 给出了石岛湾核电站扩建一期工程以及厂址的各类放射性流出物年排放量与 GB6249-2011 相应总量控制值的比较结果。从表可以看出，各类放射性流出物的年排放量均能满足国家标准 GB6249-2011 的总量控制要求。

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）对核动力厂放射性流出物排放除规定了总量控制要求外，对于滨海厂址，还要求槽式排放口处的放射性流出物中除氚和 C-14 外其它放射性核素的浓度不超过 1000Bq/L。为此，石岛湾核电站扩建一期工程在 TER 系统排放口处设置取样监测和在线监测系统，当排放废液中除氚和 C-14 外其它放射性核素的浓度超过排放浓度控制值时，放射性废液将被重新返回到 TEU 系统进行再处理，满足要求后才允许排放。因此，电厂实际运行过程中的除氚和 C-14 外其它液态放射性核素排放可以满足国标中规定的 1000Bq/L 浓度控制要求。

气载放射性流出物中的  $^{14}\text{C}$  在环境介质中的转移过程具有特殊机理，通常只有以二氧化碳形式存在的  $^{14}\text{C}$  才能通过光合作用被植物吸收，并以食物的摄入形式进入食

物链，对摄入者造成内照射影响。根据 IAEA 421 号技术报告，欧洲和美国的压水堆核电站以二氧化碳形态向环境排放的  $^{14}\text{C}$  占  $^{14}\text{C}$  气载排放量的 5~25%，根据此研究结论，本节在评估气载  $^{14}\text{C}$  的排放所造成的环境辐射影响时，假定以二氧化碳形态排放的  $^{14}\text{C}$  占  $^{14}\text{C}$  气载排放量的 25%。

## 6.2.2 照射途径

### 6.2.2.1 气态途径

气载放射性流出物排放对厂址评价区内公众造成的辐射影响，考虑如下四种照射途径：

- 空气浸没外照射；
- 地面沉积物外照射；
- 吸入空气内照射；
- 食入陆生食品内照射。

公众食入陆生食品包括蔬菜、粮食、水果等作物产品，以及肉类、奶类等动物产品。图6.2-1给出了气载放射性流出物对公众造成辐射的途径。

### 6.2.2.2 液态途径

液态放射性流出物排放对厂址评价区内公众造成的辐射影响，考虑如下四种照射途径：

- 水体浸没外照射；
- 水上活动外照射；
- 岸边沉积物外照射；
- 食入海产品内照射。

公众食入海产品包括鱼类、甲壳类、软体类、藻类产品，图6.2-2给出了液态放射性流出物对公众造成辐射的途径。

### 6.2.2.3 其它途径

厂址周围区域不存在可能达到或超过上述途径的个人有效剂量10%的其它照射途径。

### 6.2.3 计算模式和参数

石岛湾核电站扩建一期工程运行状态下，气载和液态放射性流出物通过各照射途径对公众造成的剂量估算模式见附录C。相关的计算参数如下：

#### （1） 大气弥散

根据核安全导则HAD101/02推荐高斯直线烟羽扩散模型，采用厂址气象塔2020年9月到2021年8月一整年逐时观测的风向、风速和温度，以及地面气象站的逐时雨量等气象数据，计算厂址周围评价区域各子区的大气弥散因子和地面沉积因子。

石岛湾核电站各机组气载放射性流出物排放烟囱高度为70m，邻近建筑物高度为63.4m，由于排放高度低于邻近建筑物高度的2倍，根据核安全导则HAD101/02，石岛湾核电站扩建一期工程气载放射性流出物大气弥散计算按混合排放考虑。大气弥散计算还考虑了气载放射性流出物雨水冲洗、重力沉降、以及核素衰变等因素造成的烟羽损耗和地面沉积。表6.2-4给出了长期大气弥散计算部分参数。扩散参数采用本报告2.4节的推荐值。

#### （2） 水体稀释

本项目采用明渠取水，中间明渠离岸集中排水的方案，液态放射性流出物随循环冷却水一起排入厂址附近的海域。采用国际原子能机构IAEA 19号安全报告推荐的模型和参数，计算放射性核素迁移扩散过程中在海水悬浮物、沉积物中的浓度。

#### （3） 环境参数

根据环境调查分析，表6.2-5给出了厂址周围用于剂量计算中考虑的部分放射性物质传递介质参数（如介质含水率、食物从获取到消费的时间间隔等）；根据IAEA 19号安全报告，表6.2-6给出了放射性核素在食物链中转移的特征参数；表6.2-7给出了用于气态途径辐射剂量计算的相关参数。

根据IAEA 19号安全报告，表6.2-8给出了液态照射途径辐射剂量计算参数；表6.2-9给出了海鱼类、软体类、甲壳类以及藻类四类海产品可食部分的生物浓集因子和海水中悬浮物对元素的吸附分配 $K_d$ 因子，海鱼类和甲壳类海洋生物的浓集因子采用IAEA 19

号安全报告的推荐值，而对于IAEA 19号安全报告中未推荐的软体类和藻类生物浓集因子采用IAEA 57号安全报告的推荐值。

#### （4） 剂量转换因子

表6.2-10给出了公众受各照射途径造成辐射剂量的剂量转换因子，其中惰性气体空气浸没外照射剂量转换因子以及其它各类放射性核素的吸入和食入内照射剂量转换因子取自《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），除惰性气体外其它核素的空气浸没以及地面沉积外照射剂量转换因子取自IAEA 19号安全报告，水体浸没外照射剂量转换因子取自美国联邦导则12号报告。

#### （5） 婴儿食入母乳内照射剂量

参考ICRP 95号出版物，婴儿食入母乳后受到内照射剂量计算模式见附录C。表6.2-11给出了母体吸入和摄入放射性核素后，婴儿通过食入母乳而转移至婴儿体内的份额及对婴儿内照射的有效剂量转换因子。

#### （6） 食物消费和生活习惯

厂址半径80km范围内各子区陆上环境介质（如粮食、蔬菜等）的面积、产量，公众的食物消费量以及生活习惯因子见本报告书第二章及附录B。

### 6.2.4 大气弥散和水体稀释

表 6.2-12、表 6.2-13 和表 6.2-14 分别列出了石岛湾核电站厂址半径 80km 范围各子区部分放射性核素的长期大气弥散因子（ $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{131}\text{I}$ ）、长期地面干沉积因子（ $^{60}\text{Co}$ 、 $^{131}\text{I}$ ）和长期地面湿沉积因子（ $^{60}\text{Co}$ 、 $^{131}\text{I}$ ）。

本项目采用明渠取水，中间明渠离岸集中排水的方案。根据中国水利水电科学研究院关于接纳水体各海域中液态流出物的数值模拟研究，表 6.2-15 给出了厂址液态放射性排放接纳水体各海域相对浓度。

### 6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度

根据以上参数和模式，表 6.2-16 列出了石岛湾核电站厂址半径 80km 范围内各子区部分放射性核素的环境空气浓度（ $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{131}\text{I}$ ）。环境空气中放射性年平均浓度最大值位于 SSW 方位 0~1km 子区，核素  $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{131}\text{I}$  在该子区的年平均浓度分布为  $1.32 \times 10^1 \text{Bq/m}^3$ 、 $2.37 \times 10^{-5} \text{Bq/m}^3$ 、 $1.48 \times 10^{-5} \text{Bq/m}^3$ 。

表 6.2-17 给出了石岛湾核电站排水口周围不同半径海域水体中的各放射性核素的年平均浓度和排水口  $R < 0.2\text{km}$  海域的排放峰值浓度。受纳水体中放射性浓度最大值位于排放口  $R < 0.2\text{km}$  海域，核素  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  在该海域海水中的年平均浓度分别为  $1.32 \times 10^1 \text{Bq/L}$ 、 $2.80 \times 10^{-3} \text{Bq/L}$ 。

石岛湾核电站单台机组废液设计年排放量约为  $17500\text{m}^3$ ，排放速率不超过  $200\text{m}^3/\text{h}$ ，同时考虑国核CAP1400机组和高温堆的废液排放，结合废液与循环冷却水混合、废液入海后海域的稀释作用以及核素的取水回归，表6.2-17同时给出了石岛湾核电站厂址排放口附近 $R < 0.2\text{km}$ 海域排放时的峰值浓度。

《海水水质标准》（GB3097-1997）中规定了海水中部分放射性核素的浓度限值，其中与本项目液态放射性流出物排放相关的有  $^{60}\text{Co}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{134}\text{Cs}$  和  $^{137}\text{Cs}$  五个核素，其水质指标限值分别为  $0.03\text{Bq/L}$ 、 $4.0\text{Bq/L}$ 、 $0.2\text{Bq/L}$ 、 $0.6\text{Bq/L}$  和  $0.7\text{Bq/L}$ 。由表可以看出，五个核素在排放口  $0 \sim 1\text{km}$  海域峰值浓度分别为  $4.32 \times 10^{-4}\text{Bq/L}$ 、 $2.75 \times 10^{-6}\text{Bq/L}$ 、 $9.68 \times 10^{-3}\text{Bq/L}$ 、 $5.03 \times 10^{-3}\text{Bq/L}$  和  $7.85 \times 10^{-3}\text{Bq/L}$ ，均能满足《海水水质标准》（GB3097-1997）中相应的浓度限值要求。

## 6.2.6 公众最大个人剂量

### （1）公众（成人）个人剂量

表 6.2-18 和表 6.2-19 分别给出了石岛湾核电站扩建一期工程和厂址四台机组+高温堆运行状态下，气载和液态放射性流出物排放通过各种途径对厂址半径  $80\text{km}$  评价区内各子区一般公众个人（成人）造成的有效剂量，表 6.2-20 给出了各子区公众个人（成人）受到的总有效剂量。

从表可以看出，石岛湾核电站厂址四台机组+高温堆运行状态下，放射性流出物排放对于成人组公众个人造成最大有效剂量的居民点位于厂址 NNW 方位  $0 \sim 1\text{km}$  子区，厂址四台机组+高温堆对该子区成人组公众个人造成的年有效剂量为  $4.42 \times 10^{-6}\text{Sv}$ ，其中由气态和液态途径造成的年有效剂量分别为  $4.33 \times 10^{-6}\text{Sv}$  和  $9.20 \times 10^{-8}\text{Sv}$ ；其中扩建一期工程对该子区成人组公众个人造成的年有效剂量贡献为  $1.81 \times 10^{-6}\text{Sv}$ ，其中通过气态和液态途径造成的年有效剂量贡献分别为  $1.77 \times 10^{-6}\text{Sv}$  和  $4.33 \times 10^{-8}\text{Sv}$ 。

### （2）公众（青少年）个人剂量

表 6.2-21 给出了石岛湾核电站运行状态下，放射性流出物排放对厂址半径  $80\text{km}$

评价区内各子区青少年组公众个人造成的年有效剂量。

从表可以看出，石岛湾核电站厂址四台机组+高温堆运行状态下，放射性流出物排放对青少年组公众个人造成辐射剂量最大子区为位于厂址 NNW 方位 0~1km 子区，所造成的年有效剂量为  $4.02 \times 10^{-6} \text{Sv}$ ，其中扩建一期工程对该子区青少年组公众的年有效剂量贡献为  $1.61 \times 10^{-6} \text{Sv}$ 。

### （3）公众（儿童）个人剂量

表 6.2-22 给出了石岛湾核电站运行状态下，放射性流出物排放对厂址半径 80km 评价区内各子区儿童组公众个人造成的年有效剂量。

从表可以看出，石岛湾核电站厂址四台机组+高温堆运行状态下，放射性流出物排放对儿童组公众个人造成辐射剂量最大子区为位于厂址 NNW 方位 0~1km 子区，所造成的年有效剂量为  $3.08 \times 10^{-6} \text{Sv}$ ，其中扩建一期工程对该子区儿童组公众的年有效剂量贡献为  $1.34 \times 10^{-6} \text{Sv}$ 。

### （4）公众（婴儿）个人剂量

表 6.2-23 给出了石岛湾核电站运行状态下，放射性流出物排放对厂址半径 80km 评价区内各子区婴儿组公众个人造成的年有效剂量。

从表可以看出，石岛湾核电站厂址四台机组+高温堆运行状态下，放射性流出物排放对婴儿组公众个人造成辐射剂量最大子区为位于厂址 NNW 方位 0~1km 子区，所造成的年有效剂量为  $2.35 \times 10^{-6} \text{Sv}$ ，其中扩建一期工程对该子区婴儿组公众的年有效剂量贡献为  $1.11 \times 10^{-6} \text{Sv}$ 。

### （5）最大受照年龄组

对上述各年龄组公众个人的辐射剂量结果进行比较，石岛湾核电站扩建一期工程两台机组以及叠加厂址两台 CAP1400 机组+高温堆核电机组运行状态下，放射性流出物排放对厂址 NNW 方位 0~1km 子区内各年龄段一般公众个人造成的年有效剂量均大于其它各子区同年龄组公众的受照剂量。而对于厂址 NNW 方位 0~1km 子区内各年龄组公众，核电站放射性流出物排放造成的年受照有效剂量为成人组最大，青少年组次之，儿童组大于婴儿组，婴儿组最小。

因此，石岛湾核电站厂址四台机组+高温堆运行状态下，就一般公众的受照剂量而言，厂址 NNW 方位 0~1km 子区内的成人组公众个人受放射性流出物造成的年有效剂量最大，为该子区的最大受照年龄组，受到扩建一期工程和厂址四台机组+高温堆的年

有效剂量分别为  $1.63 \times 10^{-6} \text{Sv}$  和  $4.24 \times 10^{-6} \text{Sv}$ 。

#### （6）集体剂量

根据石岛湾核电站扩建一期工程两台机组厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布，表 6.2-24 给出了石岛湾核电站扩建一期工程两台机组运行当年，扩建一期工程以及厂址四台机组+高温堆放放射性流出物排放对厂址半径 80km 评价区范围内各子区公众群体造成的集体年有效剂量。

从表可以看出，扩建一期工程运行当年，两台机组放射性流出物排放对厂址半径 80km 评价区内公众群体造成的集体年有效剂量为  $8.18 \times 10^{-2} \text{人} \cdot \text{Sv/a}$ ，其中气态途径和液态途径分别为  $7.62 \times 10^{-2} \text{人} \cdot \text{Sv/a}$ 、 $5.64 \times 10^{-3} \text{人} \cdot \text{Sv/a}$ 。石岛湾核电站厂址四台机组+高温堆放放射性流出物排放对厂址半径 80km 评价区内公众群体造成的集体年有效剂量为  $4.81 \times 10^{-1} \text{人} \cdot \text{Sv/a}$ ，其中气态途径和液态途径分别为  $4.69 \times 10^{-1} \text{人} \cdot \text{Sv/a}$ 、 $1.25 \times 10^{-2} \text{人} \cdot \text{Sv/a}$ 。

### 6.2.7 非人类生物的辐射剂量

非人类生物生物受到的辐射照射主要来自宇宙射线、天然放射性核素以及核设施排放的气液态放射性流出物，由于生物种类的庞大和生存环境的广阔，目前国际上普遍使用一系列特征生物的概念，包括参考生物，参考动植物，代表物种，特征物种和受体等，对生物进行辐射影响评价。

国际放射防护委员会（ICRP）于 2008 年发布的第 108 号报告中提出了参考动植物（RAP）的概念，并将其定义为“参考动植物是一个假想的实体，具有特定动物或植物类别的假想的基本生物特征，用于描述不同科类生物分类上的共性，具有明确的解剖学、生理学和生命历史的属性，可用于将该种生物体的暴露与辐射剂量，以及剂量与产生效应相联系起来。”根据一系列的选择准则，ICRP 报告推荐了 16 种用于辐射影响评价的参考动植物。

欧盟在 2004-2007 年间开展的 ERICA 项目中选取参考生物的方式与 ICRP 报告稍有不同，它不根据分类学、解剖学、生理学以及生活史等特征选取特定物种，而是基于不同的环境特征中的典型生物类别。

ERICA 项目中采用的一系列水生和陆生生物在不同生境中的剂量学模型也为 ICRP 所采用，在辐射剂量率计算方法上，两者也都采用了 Ulanovsky 等人运用 Monte-Carlo 方法计算不同体形尺寸生物体对  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  辐射的吸收比例，再结合各核素

的辐射能量得出各种核素对于不同生物体辐射的剂量转换因子。

### 6.2.7.1 非人类生物的分类

ERICA 程序根据生物所在的栖息环境选择了不同的代表性生物作为参考生物，其中海洋生态系统的参考生物包括底栖鱼类、鸟类、甲壳类、大型藻类、哺乳动物、双壳软体类、浮游鱼类、浮游植物、多毛纲蠕虫、爬行动物、海葵珊瑚、导管植物和浮游动物 13 类。陆生生态系统的参考生物包括两栖动物、环节动物、腐食节肢动物、鸟类、飞行类昆虫、草本植物、苔藓植物、大型哺乳动物、小型掘洞哺乳动物、腹足纲软体动物、爬行动物、灌木植物、乔木 13 类。

根据厂址周边海洋生态调查结果，海洋参考生物选取底栖鱼类、甲壳类、藻类、软体类、浮游鱼类、浮游植物、浮游动物进行评价。

根据厂址周围的陆域生态，陆域代表性生物选取两栖动物、环节动物、腐食节肢动物、鸟类、飞行类昆虫、草本植物、苔藓植物、大型哺乳动物、小型掘洞哺乳动物、腹足纲软体动物、爬行动物、灌木植物、乔木 13 类进行评价。

各生物的剂量计算模式见附录 C。

### 6.2.7.2 参数选取

#### （1）悬浮物分配因子（Kd）

水生生态（核电周围海域）中悬浮物分配因子 Kd 值取自 IAEA 422 号报告，表 6.2-25 给出各核素的 Kd 因子。

#### （2）浓集因子（Bp）

参考 ERICA 程序和 IAEA 422 号报告的海洋参考生物的浓集因子，表 6.2-26 给出了海洋生态系统生物对各液态放射性核素的浓集因子。

参考 ERICA 程序和 IAEA 479 号报告的陆生参考生物的浓集因子，表 6.2-27 给出了陆域生态系统生物对各气载流出物核素的浓集因子。

#### （3）放射性核素对生物的辐射剂量转换因子

ERICA 程序提供了海洋生态系统中不同核素不同海洋生物在不同辐射类型下的照射剂量率转换因子和外照射剂量转换因子，按 ERICA 程序给出的不同辐射类型权重值，表 6.2-28 和 6.2-29 分别给出了各放射性核素对海洋生物的内照射和外照射辐射剂量转换因子。

ERICA 程序对陆生生态系统生物依据生物的生活习性将照射类型分为空气浸没外照射、土表沉积外照射、土中浸没外照射和内照射途径。表 6.2-30~6.2-33 分别给出了不同核素不同陆生生物通过这四种照射途径的剂量转换因子。其中惰性气体 Kr 和 Xe 采用 EA R&D128 出版物中的数据。

#### （4）各生物居留因子

根据各生物的生物习性并参考 ERICA 程序，表 6.2-34 和 6.2-35 分别给出了海洋生态系统和陆生生态系统各生物的居留因子。

### 6.2.7.3 非人类生物辐射影响

#### （1）水生生物辐射影响

表 6.2-36 给出了厂址周围海域生物受到石岛湾核电站厂址四台机组+高温堆与扩建一期工程液态流出物的剂量率。

由表可以看出，石岛湾核电站厂址四台机组+高温堆正常运行状态情况下，厂址周围海域生物受到的附加剂量率值最大的为浮游动物，为  $1.29E-01\mu\text{Gy/h}$ ，其中扩建一期工程造成的剂量率贡献为  $5.62E-02\mu\text{Gy/h}$ 。各类海洋生物受到的附加剂量率值均小于 ERICA 程序推荐的  $10\mu\text{Gy/h}$  剂量率筛选值，对核电站周围海域中的海洋生物总体上影响很小。

#### （2）陆生生物辐射影响

表 6.2-37 给出了厂址周围陆域生物受到石岛湾核电站厂址四台机组+高温堆与扩建一期工程气态流出物通过各种途径造成的剂量率。

由表可以看出，石岛湾核电站厂址四台机组+高温堆正常运行状态情况下，厂址周围陆域生物受到的附加剂量率值最大的为苔藓植物，为  $1.27E-02\mu\text{Gy/h}$ ，其中扩建一期工程造成的剂量率贡献为  $6.73E-04\mu\text{Gy/h}$ 。各类陆域生物受到的附加剂量率值均远小于 ERICA 程序推荐的  $10\mu\text{Gy/h}$  剂量率筛选值，对核电站周围陆域中的生物总体上影响很小。

### 6.2.8 关键人群组、关键核素、关键照射途径

石岛湾核电站扩建一期工程放射性流出物排放造成的辐射影响进行“三关键”分析时，根据一般公众的辐射剂量影响分析结果，初步考虑厂址最近的 NNW 方位 0.72km

的东钱家居民。

表 6.2-38 给出了上述各村职业人群通过各种途径，受高温气冷堆示范工程正常运行状态下的放射性流出物排放造成的辐射剂量值。从表可以看出，石岛湾核电站厂址四台机组+高温堆运行状态下，放射性流出物排放对厂址 NNW 方位 0.72km 的东钱家渔民造成的年有效剂量为  $3.49 \times 10^{-6} \text{Sv}$ ，大于其他人群的受照剂量。根据上述分析结果，将厂址 NNW 方位 0.72km 的东钱家渔民作为受辐射影响可能的关键人群组。

表 6.2-39 给出了石岛湾核电站厂址四台机组+高温堆正常运行状态下，放射性流出物通过各种途径对厂址 NNW 方位 0.72km 的东钱家渔民个人造成的辐射剂量贡献。从表可以看出：

- 石岛湾核电站厂址四台机组+高温堆运行状态下，放射性流出物排放对关键人群组个人造成的有效剂量为  $3.49 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ 。其中通过气态途径造成的剂量贡献为  $3.39 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ ，占个人总有效剂量的 97.02%；通过液态途径造成的剂量贡献为  $1.04 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，占个人总有效剂量的 2.98%。比较发现，气态途径对关键人群组个人造成的剂量贡献大于液态途径。
- 可能的关键照射途径为食入陆生食品内照射，对关键人群组个人造成的有效剂量为  $2.67 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ ，占个人总有效剂量的 76.35%。其它重要照射途径为地面沉积外照射和空气浸没外照射，对关键人群组个人造成的有效剂量分别为  $3.71 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ 、 $2.85 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，占个人总有效剂量分别为 10.63%、8.17%。
- 可能的关键核素为 C-14，对关键人群个人造成的有效剂量为  $2.05 \times 10^{-6} \text{Sv}$ ，占个人总有效剂量的 58.74%；其它重要核素为 Sr-90、Co-60，对关键人群组个人造成的有效剂量分别为  $3.78 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ 、 $3.51 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，分别占个人总有效剂量的 10.83%、10.06%。

表 6.2-40 给出了公众辐射剂量“三关键”分析结果。

### 6.2.9 辐射影响评价

石岛湾核电站扩建一期工程及厂址四台机组+高温堆各类放射性流出物的年排放量均能满足国家标准 GB6249-2011 相应的控制要求。核电站实际运行过程中，除氡和 C-14 外其它液态放射性核素的排放浓度可以实现 GB6249-2011 规定的 1000Bq/L 的浓度控制要求。

### （1）公众辐射影响评价

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）对于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/a 的剂量约束值。因此，本次评价确定石岛湾核电站厂址四台机组+高温堆正常运行向环境释放的放射性物质对公众中任何个人（成人）造成的年有效剂量约束值为 0.25mSv，同时，扩建一期工程向环境释放的放射性流出物每年对公众所造成剂量约束值不超过 0.08mSv。

对于一般公众最大受照年龄组（成人）个人，石岛湾核电站扩建一期工程运行状态下，放射性流出物排放造成的最大有效剂量为  $1.81 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ ，占本次评价年剂量约束值（0.08mSv/a）的 2.26%；厂址四台机组+高温堆正常运行状态下，放射性流出物排放造成的最大有效剂量为  $4.42 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ ，占 GB6249-2011 中年剂量约束值（0.25mSv/a）的 1.77%。

通过公众辐射剂量“三关键”分析，石岛湾核电站扩建一期工程运行状态下，在制定环境辐射监测方案时，需要关注的关键居民组为位于厂址 NNW 方位 0.72km 的东钱家渔民人群，需要关注的照射途径包括：食入陆生食品内照射途径、地面沉积外照射和空气浸没外照射途径，关键核素为 C-14，其它重要核素为 Sr-90、Co-60 等。

### （2）非人类物种辐射影响评价

石岛湾核电站厂址四台机组+高温堆运行状态下，液态放射性流出物排放对排放口附近海域生物造成的附加剂量率值最大的为浮游动物，为  $1.29 \text{E-}01 \mu\text{Gy/h}$ ，气载流出物对厂址周围陆域生物造成的附加剂量率值最大的为苔藓植物，为  $1.27 \text{E-}02 \mu\text{Gy/h}$ ，海域和陆域生物受到的剂量率均低于 ERICA 程序推荐的  $10 \mu\text{Gy/h}$  剂量率筛选值，因此，可以认为石岛湾核电站扩建一期工程运行状态下，放射性流出物排放不会对附近的非人类生物在种群上造成明显的损伤。

石岛湾核电站扩建一期工程运行状态下，就放射性流出物的排放控制和公众所受剂量而言，三废处理系统的预期处理效果可以满足国家标准的相应要求。而就放射性流出物排放造成的环境辐射影响而言，对非人类生物的辐射影响有限，是可以接受的。

### 6.2.10 参考资料

- [1] IAEA Safety Reports Series No.19, Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, 2001;
- [2] IAEA Safety Reports Series No.57, Generic models and parameters for assessing the environmental transfer of radionuclides from routine releases, 1982;
- [3] Federal guidance report No.12, External exposure to radionuclides in air, water, and soil, 1993;
- [4] IAEA Technical reports series No.422, Sediment distribution coefficients and concentration factors for Biota in the marine environment, 2004;
- [5] IAEA Technical reports series No.479, Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer to wildlife, 2014;
- [6] Projects: Simulation modeling: ERICA version 1.2. <https://erica-tool.com>;
- [7] The Environment Agency, Radiological impact assessment for terrestrial ecosystems version 2.0;
- [8] 广东核电站放射性释放环境影响计算机程序系统——CEIRA, 苏州热工研究院有限公司, 1992年;
- [9] 华能石岛湾核电扩建工程温排水及液态流出物数模计算中间成果报告, 中国水利水电科学研究院, 2021年12月;
- [10] 放射生态学转移参数手册, 原子能出版社, 李建国、商照荣等;
- [11] UNSCEAR. 1996. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1996 Report to the General Assembly, Fifty-first Session, Supplement No. 46 (A/51/46), Annex: “Effects of Radiation on the Environment”, United Nations Sales No. E96.IX.3 (1996);

### 6.3 其它环境影响

#### 6.3.1 化学污染物的环境影响

#### 6.3.2 其他污染物的环境影响

表

表 6.3-1 余氯全潮最大相对浓度影响范围

### 6.3 其它环境影响

石岛湾核电站扩建一期工程正常运行时，可能造成的环境影响除了前述温排水影响和辐射影响外，还包括循环冷却水中的化学物质、生活污水与含油废水、固体废物、海水淡化系统排放的浓盐水等非放射性的影响。核电站排放的化学物质主要来自于非放射性化学物质排放、污水处理系统的流出物排放以及海水连续加氯处理系统的余氯排放等工艺过程。

本节将对上述非放射性污染物对环境的可能影响进行分析和评价。

#### 6.3.1 化学污染物的环境影响

##### 6.3.1.1 余氯排放的影响

为保护核电站冷却系统不被水中附着生物堵塞，避免因其繁殖而导致的管道断面变小和流量降低，通常在循环冷却系统取水加入一定浓度的次氯化物。加氯处理虽然抑制了浮游生物在管道内的繁殖，但也造成电厂排放冷却水中含有一定量的余氯。

余氯对水生生物构成的影响，不仅来自于氯直接作用于水生生物，还包括氯可在水中与有机物形成一系列有机氯化物，对水生生物带来更大的损伤，甚至可能通过食物链对人体健康造成危害，因此需要关注余氯对受纳水体的环境影响。

余氯进入水体后可水解生成游离有效氯（ $\text{HClO}$  和  $\text{ClO}^-$ ），进而与水中的氨反应产生化合态有效氯（ $\text{NH}_2\text{Cl}$  和  $\text{NHCl}_2$ ）。游离态余氯毒性强于化合态余氯，但自然条件下游离态较化合态更容易衰减，实际情况中它们对水生生物的影响差别不大。水体化学性质、pH、温度以及外界光照，对余氯生物效应都有影响。较低的 pH 值和  $\text{NH}_3$  含量及较高的温度，都有利于余氯毒性增强；光照会引起余氯衰减，降低其生物毒性。

浮游植物受余氯损害较大。国内研究人员发现，0.2mg/L的氯可以直接杀死水中60~80%的藻类；0.1mg/L的氯会使浮游植物光合作用下降50%；当余氯被稀释到0.03mg/L以下时，水中初级生产力可完全恢复；25°C时余氯对咸水中浮游动物的96h半致死浓度（ $\text{LC}_{50}$ ）为0.062~0.267mg/L；鱼类受余氯影响也较大，余氯对平鲷等几种海水鱼类48h的 $\text{LC}_{50}$ 为0.18~0.19mg/L；白鲢、银蛙等10种鱼类对氯的回避相应浓度范围为0.04~0.41mg/L。有研究提出由48h的半致死浓度乘以安全因子0.5可确定余氯的安全浓度。目前国内尚没有对水体中余氯浓度的标准限值。

目前国内尚没有对水体中余氯浓度的标准限值。国外研究人员通过对包括水生植

物、水生无脊椎动物和鱼类在内的 120 多种水生生物的余氯毒性研究，证明当余氯浓度低于  $20\mu\text{g/L}$  时，不论作用多长时间，不会对海洋生物有毒性作用。美国 EPA 于 2006 年发布的水质基准中，针对氯对海洋生物影响制定的避免急性损伤的基准最大浓度和慢性损伤的基准连续浓度分别为  $13\mu\text{g/L}$  和  $7.5\mu\text{g/L}$ 。

核电站正常运行过程中，通常需要向循环冷却水中连续加入  $1\text{mg/L}$  的次氯化物以抑制海洋生物在管道内的繁殖。根据国内同类电厂的运行经验，估计石岛湾核电站扩建一期工程正常运行情况下，排水口处水中余氯浓度不高于  $0.15\text{mg/L}$ 。

根据中国水利水电科学研究院对石岛湾核电站址所有核设施（扩建一期工程两台机组+两台 CAP1400 机组+高温堆）的余氯模拟结果，表 6.3-1 给出了厂址排水口余氯全潮最大相对浓度影响范围。由表可以看出，厂址所有核设施正常运行时排放的余氯在附近海域全潮下稀释 10 倍的浓度（即相对浓度为 0.1，余氯绝对浓度值为  $15\mu\text{g/L}$ ）最大包络面积为  $0.28\text{km}^2$ 。

另外，考虑到光照引起的余氯衰减以及核电站附近海域较高的 pH 值（平均  $\text{pH}>8.0$ ）均会降低余氯毒性，因此，可估计核电站排放的余氯的影响区域仅在排水口附近有限的海域，对附近海域中海洋生物的影响范围很小。

### 6.3.1.2 非放射性化学物质排放的影响

为了保证核电站的正常运行，需要对电厂工艺用水进行除盐处理，通过加入一定数量的腐蚀抑制剂或化学活性添加剂（如氢氧化钠、盐酸、三氯化铁、次氯酸钠、联胺等），将淡水经絮凝、沉淀和离子交换除盐，以实现各系统用水的水质要求。除盐过程加入的化学添加剂，除一部分进入固体废物外，其余将随电厂温排水排入厂址附近海域。

硼酸和氢氧化锂作用于主回路系统用水，联氨和氨作用于二回路系统用水，其他物质作用于循环冷却水系统用水。主回路设有硼回收系统，对排出的硼酸大部分回收复用，其余部分则随浓缩液进入固体废物，仅少量部分随废液进入循环冷却水系统排放。在保守假设所使用硼酸全部直接进入循环冷却水系统，电厂排水口处硼元素增量也不足电厂附近海水中硼含量本底的 1%，对海水水质影响很小。在正常运行工况下，联胺可分解为氮气及氢气排出，对环境的影响甚微。化学物质随大量温排水排放到海洋，部分化学物质在水中混合后可以发生氧化还原和中和反应生成无毒无害的无机盐类。

总体而言，非放射性化学物质由于使用量较小，循环冷却水排放量大，经混合反应并稀释后不会对海水产生明显的影响。

### 6.3.2 其他污染物的影响

#### 6.3.2.1 生产废水排放的影响

核电站的生产废水主要为正常运行期间产生的少量含油废水，主要来自于机油零星泄漏和对机械设备的清洗。含油废水送入非放射性含油废水处理站（BES），经过贮存、油水分离处理，分离出的油脂收集后装入油桶运送到厂外；分离出的水排至厂外受纳水体，与大量的温排水混合后排放，因其排放量极少，预计不会对排放口周围海域造成影响。

#### 6.3.2.2 生活污水排放的影响

本扩建工程生活污水处理站处理本工程核岛、常规岛以及其它 BOP 厂房、办公室、值班室等场所的生活污水。生活污水处理站站包括地上部分和地下部分，地上部分包括中控室、楼梯间、加药间、污泥存放间、污泥脱水间、配电间和风机房；地下部分包括调节池、曝气沉砂池、厌氧池、缺氧池、好氧池、MBR 膜池、曝气生物滤池、消毒池、清水池、污泥池和地下泵房。沉淀池中的污泥经脱水浓缩制成泥饼后外运。污水站出水部分用于道路喷洒及绿化，剩余部分回收利用，因此预计不会对环境产生影响。

#### 6.3.2.3 非放射性固废对环境的影响

石岛湾核电站扩建一期工程在正常运行过程中因设备的维修、零部件的损坏等会产生一定量工业固废，其中一般工业固废有废木材、废钢铁、废电缆、废塑料、废金属、废电动机、废变压器和废空调等，危险固废包括废油漆、废化学品、废润滑油、废日光灯管和废油布等。固废将纳入全厂固废收集处理系统，委托专业废弃物公司将一般固体废物外运处置。危险废物将委托具有相关处理资质的公司进行外运处置。

运行期间产生的生活垃圾主要来源于厂区办公及员工生活区的垃圾。生活垃圾实行袋装分类收集，并委托当地环卫所定期收集处理，餐饮废弃物由专门机构上门清运。在落实固废收集和处置工作后，本工程非放射性固废对环境的影响较小。

#### 6.3.2.4 噪声对环境的影响

核电站运行噪声主要来自核岛厂房群和汽轮机厂房中高速运转和有高速流体流动的设备。核岛厂房群的噪声主要来自五个方面：

- 大量高温高压水泵及配套电动机在不停地高速运转；
- 柴油发电机组在热备用状态下的高速运转；
- 为大型空调和通风系统服务的电动鼓风机不停运转；
- 工艺过程的泄压释放系统的安全阀、管道和箱罐等，在执行排放或泄压功能时发出很强噪声；
- 电气系统的部分设备也会发出很强噪声，例如：为反应堆控制棒驱动机构供电的发电机组、开式变压器、逆变器等。

汽轮发电机厂房的噪声主要来自以下四个方面：

- 高速运转的汽轮发电机组、主给水泵、增压泵和凝结水泵等机械动力噪声；
- 电动机、变压器等电气设备的磁场交变运动产生的电磁噪声；
- 在甩负荷时，蒸汽排入冷凝器前减温减压器会发出较强的噪声；
- 设备运行中其安全阀或排汽阀事故排汽时，尤其是主蒸汽管道内蒸汽通过安全阀和泄压阀向大气排放时，会产生极强气体动力噪声，但发生概率非常低。

根据国内核电站相关资料，每台泵、风机、设备的噪声源强为 85~110dB（A）。类比国内同类电厂噪声预测影响范围，考虑到石岛湾核电站扩建一期工程最近居民点距离厂址较远，因此预计噪声对厂界和敏感点的声环境影响较小。

#### 6.3.2.5 电磁环境的影响

类比国内已建成运行的核电站厂区电磁环境监测结果，500kV 开关站及输电线路周围的工频电场和工频磁场均满足 GB8702-2014 中 4kV/m 和 0.1mT 的限值要求。

#### 6.3.2.6 海水淡化环境影响

石岛湾核电站扩建一期工程海水淡化系统中，混凝沉淀池的泥渣废水排至污泥浓缩池，然后污泥经过脱水后运出厂区由相关有资质单位处理；污泥浓缩池排出的清水、V 型砂滤池和超滤反洗水达标排放，海淡一级反渗透浓水经过能量交换后排至循环水

系统 BCC 井，经循环水排水稀释后排放，经混合后盐度增量有限，预计浓盐水排放不会对厂址附近海域环境造成明显影响。海淡二级反渗透浓水回流至超滤产水箱进行再利用。

**表 6.3-1 余氯全潮最大相对浓度影响范围**

潮型	等相对浓度影响面积(km <sup>2</sup> )						
	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005
夏季半月潮	0.00	0.03	0.28	1.20	4.44	8.38	13.3
冬季半月潮	0.00	0.01	0.05	0.31	1.55	3.89	7.60

## 第七章 核电站事故的环境影响和环境风险

### 7.1 核电站放射性事故和后果评价

### 7.2 场内运输事故

### 7.3 其它事故

### 7.4 事故应急

## 7.1 核电站放射性事故和后果评价

### 7.1.1 事故描述和事故源项

#### 7.1.1.1 事故描述

#### 7.1.1.2 事故源项

### 7.1.2 事故后果计算

#### 7.1.2.1 事故大气弥散因子

#### 7.1.2.2 事故剂量

### 7.1.3 事故后果评价

表

表 7.1-1 选址假想事故源项计算参数

表 7.1-2 选址假想事故源项

表 7.1-3 非居住区边界上大气弥散因子

表 7.1-4 规划限制区外边界上大气弥散因子

表 7.1-5 厂址半径 80km 范围内各时段事故大气弥散因子

表 7.1-6 剂量转换因子

表 7.1-7 非居住边界上公众个人有效剂量

表 7.1-8 规划限制区外边界上公众个人有效剂量

表 7.1-9 厂址半径 80km 范围内公众受到的集体有效剂量

表 7.1-10 公众个人剂量和集体剂量与国家标准的比较

## 7.1 核电站放射性事故和后果评价

根据我国国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的规定：核动力厂周围应设置非居住区和规划限制区。非居住区和规划限制区边界的确定应考虑选址假想事故的放射性后果。不要求非居住区是圆形，可以根据厂址的地形、地貌、气象、交通等具体条件确定，但非居住区边界离反应堆的距离不得小于 500m；规划限制区半径不得小于 5km。

核动力厂的选址假想事故仅适用于审批厂址阶段，作为确定厂址非居住区、规划限制区边界的依据。对于水冷反应堆，该事故一般应考虑全堆芯熔化，否则应进行充分有效的论证。本工程选址假想事故考虑全堆芯熔化的 LOCA 事故。

### 7.1.1 事故描述和事故源项

#### 7.1.1.1 事故描述

核电站选址假想事故是用于厂址适宜性评价的假想事故。对于华能山东石岛湾核电站扩建一期工程，选址源项的假想事故考虑伴有堆芯熔化的失水事故（LOCA），这种事故在核电站寿期内极不可能发生。放射性物质向环境的释放主要考虑以下途径：

一 本项目机组为双层安全壳设计，发生LOCA后，由于应急堆芯冷却系统失效引起的堆芯大规模熔化，一回路冷却剂及堆芯中的放射性核素进入内层安全壳大气中。安全壳保持完整，安全壳喷淋系统能有效运行。内层安全壳中的核素经由泄漏进入内外层安全壳之间的环廊以及周边厂房。当环廊、周边厂房为正压时，环廊、周边厂房中的核素直接泄漏至外界环境。当环廊、周边厂房处于负压环境时，环廊、周边厂房中的核素经由通风系统及过滤器释放到外界环境。

一 由于与安全壳内置换料水箱（IRWST）连接的安注管线有部分在安全壳外，因此需要考虑通过安全壳外安注管线潜在泄漏到环境的放射性释放。

#### 7.1.1.2 事故源项

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程拟采用华龙一号融合技术方案，事故源项计算分析中考虑功率等不确定性，对堆芯核素积存量额外考虑+2%的不确定性，计算包括以下步骤：

（1）事故后释放进入安全壳大气的放射性核素。堆芯及一回路向安全壳大气的放射性

释放分为三个阶段：

— 一回路释放阶段：一回路冷却剂中放射性核素，假设该部分核素在事故开始0s瞬间进入内层安全壳大气中，并与安全壳大气混合均匀；

— 包壳释放阶段：燃料芯块和包壳间隙内的放射性核素，假设该部分核素在事故后30s瞬间进入安全壳；

— 早期压力容器内释放阶段：由于燃料熔化，造成部分燃料芯块中的放射性物质向外释放，假设该部分核素在事故后0.5h瞬间进入安全壳。

保守考虑事故发生时刻，安全壳换气通风系统（EBA）小流量回路以最大流量运行，不考虑EBA过滤器对核素的去除效应，并假设内层安全壳通风一直保持至事故后20s。EBA隔离后，内层安全壳大气中的放射性核素通过泄漏进入环廊及周边厂房。保守假定事故后20s至24h期间内层安全壳泄漏率为0.3%/d，事故发生24h后安全壳泄漏率为0.15%/d。

（2）内层安全壳内放射性活度随时间的变化情况，进而计算由内层安全壳向内外层安全壳之间环廊释放的核素活度。根据环廊向安全壳外通风流量及过滤器去除效率计算环廊向安全壳外环境释放源项。

假设事故发生时刻环廊和周边厂房负压环境丧失，直到负压重新建立前，保守认为由内层安全壳泄漏到环廊或周边厂房的放射性核素，不经过通风过滤直接释放到环境。在环廊及周边厂房负压重新建立之后，由内层安全壳泄漏到环廊和周边厂房的放射性核素，经相应的通风系统过滤排放至外界环境。

（3）安全壳外安注管线泄漏到环境的放射性源项及安全壳旁通泄漏的放射性源项。

在分析安全壳外安注管线向安全壳外环境的释放时，保守认为事故期间，安全管线内流体活度与安全壳内置换料水箱（IRWST）内流体活度保持一致。

假设事故发生后20s，一回路冷却剂中除惰性气体外的全部核素瞬间进入IRWST水中。包壳释放阶段（事故后30s）与早期压力容器释放阶段（事故后30min），堆芯释放的除惰性气体外的全部核素瞬间进入IRWST水中。除核素自身衰变外，不考虑其他对活度的去除效应。

考虑安全壳外安注管线按照10L/h的泄漏率释放至环境中。通过安全壳外安注管线泄漏至外环境的部分流体闪蒸为水蒸气进入环境，此部分闪蒸流体中的放射性核素随之释放到大气中。

表7.1-1给出了选址假想事故源项计算参数，表7.1-2给出了选址假想事故源项。

## 7.1.2 事故后果计算

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程暂按机组半径 500m 作为非居住区边界，机组半径 5km 作为规划限制区边界。

### 7.1.2.1 事故大气弥散因子

事故后果计算中使用的小时大气弥散因子采用苏州热工研究院有限公司开发的改进版 CEIRA 程序系统计算。CEIRA 程序系统采用了高斯烟羽模式。事故短期大气弥散因子的计算模式详见附录 D。

本章采用厂址气象观测系统 2020 年 9 月至 2021 年 8 月一整年的逐时气象观测数据，以及厂址大气扩散参数计算事故期间各时段大气弥散因子。

#### （1）非居住区边界和规划限制区外边界上的事故大气弥散因子

厂址周围 16 个方位、99.5% 概率水平的高斯烟羽轴线浓度的小时大气弥散因子作为 0~2h 的事故大气弥散因子；各个方位年平均大气弥散因子为该方位按高斯烟羽模式的扇形区平均浓度公式计算的小时大气弥散因子的年平均值；对于持续时间长于 2h 的释放时段的事故大气弥散因子，则利用 2h 时段的事故大气弥散因子与年平均事故大气弥散因子之间的双对数内插的方法求得。

事故后果分析选择全厂址 95% 概率水平和各方位 99.5% 概率水平中较大的大气弥散因子。表 7.1-3 给出了事故发生后任意 2h 内拟定非居住边界上的事故大气弥散因子。表 7.1-4 给出了整个事故持续期间 30d 内规划限制区外边界上的事故大气弥散因子。

#### （2）用于事故集体剂量计算的大气弥散因子

对于用于事故集体剂量计算的各时段的大气弥散因子，首先采用高斯扇形平均公式计算厂址半径 80km 范围内 192 个子区、99.5% 概率水平下的小时大气弥散因子，作为 0~2h 的事故大气弥散因子，对于持续时间长于 2h 的释放时段的事故大气弥散因子，则利用 0~2h 时段事故大气弥散因子与年平均事故大气弥散因子之间的双对数内插的方法求得。表 7.1-5 给出了厂址事故期间集体剂量计算采用的小时大气弥散因子。

### 7.1.2.2 事故剂量

#### （1）事故剂量估算模式

在事故释放期间，考虑公众可能受到的辐射照射途径包括如下途径：

— 烟云浸没外照射；

— 空气吸入内照射；

计算模式详见附录D。

## （2）剂量转换因子

— 惰性气体

烟云浸没外照射剂量转换因子取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；

— 碘和碱金属

吸入内照射有效剂量转换因子主要取自国际辐射防护委员会（ICRP）71号出版物和GB18871-2002；烟云浸没外照射剂量转换因子主要取自国际原子能机构（IAEA）19号安全报告（2001）；

表7.1-6给出了计算中采用的剂量转换因子。

## （3）呼吸率

呼吸率取自美国核管理委员会管理导则RG1.183：

— 0~8h时间段： $Br=3.5\times 10^{-4}m^3/s$ ；

— 8~24h时间段： $Br=1.8\times 10^{-4}m^3/s$ ；

— 24~720h时间段： $Br=2.3\times 10^{-4}m^3/s$ 。

根据以上参数，计算非居住区边界和规划限制区外边界上的事故放射性剂量，可以得出：

— 事故后0~2h内，非居住区边界上公众个人（成人）最大有效剂量为 $7.72\times 10^{-2}Sv$ ；

— 事故后0~30d内，规划限制区边界上公众个人（成人）最大有效剂量为 $5.21\times 10^{-2}Sv$ 。

根据厂址半径80km范围内各子区计算得到的公众个人有效剂量以及运行首年的预期人口数据，计算了选址假想事故持续期间内对各子区内公众可能造成的集体有效剂量。表7.1-7给出了厂址半径80km范围内各子区公众在选址假想事故发生持续期间受到的集体有效剂量。从表中可以看出，选址假想事故发生期间30d内，厂址半径80km范围公众受到最大集体有效剂量为 $4.27\times 10^3人\cdot Sv$ 。

### 7.1.3 事故后果评价

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011），在发生选址假想事故时，考虑保守大气弥散条件，非居住区边界上的任何个人在事故发生后的任意 2h 内通过烟云浸没外照射和吸入内照射途径所接受的有效剂量不得大于 0.25Sv；规划限制区边界上的任何个人在事故的整个持续期间内（可取 30d）通过上述两条照射途径所接受的有效剂量不得大于 0.25Sv。在事故的整个持续期间内，厂址半径 80km 范围内公众群体通过上述两条照射途径接受的集体有效剂量应小于  $2 \times 10^4$  人·Sv。

表 7.1-8 给出了事故剂量与国家标准的比较。

#### （1）个人剂量

选址假想事故发生后 2h 内，拟定非居住区边界上的公众个人（成人）受照最大有效剂量为  $7.72 \times 10^{-2}$  Sv，占国家标准限值的 30.9%；事故持续时间 30d 内，规划限制区边界上的公众个人（成人）受照最大有效剂量为  $5.21 \times 10^{-2}$  Sv，占国家标准限值的 20.8%。

#### （2）集体剂量

选址假想事故发生持续期间 30d 内，厂址半径 80km 范围内公众群体所受到的最大集体有效剂量为  $4.27 \times 10^3$  人·Sv，占国家标准限值的 21.4%。

因此，基于选址假想事故的辐射影响评价结果分析，拟定非居住区边界、规划限制区边界能够满足核安全相关法规的要求。

7.2 场内运输事故

7.2.1 新燃料运输事故

7.2.2 乏燃料运输事故

7.2.3 固体废物运输事故

## 7.2 场内运输事故

### 7.2.1 新燃料运输事故

新燃料运输货包的设计和制造同时满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）、《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令 第 562 号）和交通运输部《放射性物品道路运输管理规定》的要求。

国内其它核电站燃料运输的经验表明，在严格遵循国家标准的技术规范下运输燃料组件时，组件的抗震和密封性能可确保不对环境产生任何有害的影响。

新燃料运输容器设计时应充分考虑可能的事故工况，即使发生运输事故，容器本身发生变形，燃料组件也不会产生临界反应，同时燃料棒包壳密封仍然保持完好，不会发生燃料散落。加上新燃料组件未经辐照，放射性水平很低。

总体而言，新燃料运输事故不会污染周围环境和危害人员健康，可达到安全可靠。

### 7.2.2 乏燃料运输事故

乏燃料运输容器的安全可靠是实现安全运输的前提。乏燃料运输容器满足《放射性物品运输安全管理条例》和《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的要求，同时容器具有承受正常运输条件下和运输中事故条件下的各种试验的能力，能够满足保持符合密封性能与屏蔽性能的要求，并确保临界安全。

除了运输容器本身具有高的安全性外，乏燃料的安全运输还依靠运输过程中的正确操作和严格管理。为此，容器的设计制造和运输的操作管理两个方面均将履行规定的审批程序。预期的乏燃料运输事故不会对周围环境和人员造成不可接受的后果。

### 7.2.3 固体废物运输事故

核电站运行产生的放射性固体物质（如废树脂、废过滤器芯子、技术废物等）将根据其性质进行分类，并按照《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》（GB12711-2018）的要求进行包装处理。废物包装容器外表面任意一点的表面剂量率不超过 2.0mSv/h，超过此限值者，采用外加屏蔽容器进行运输。废物桶从运输车辆上掉下来，最大限度只会造成废物桶的局部损坏，废物散落的可能性很小，即便散落少量废物，也可以采取措施收集，故不会对环境造成污染。

### 7.3 其它事故

#### 7.3.1 建设期间其它事故分析

#### 7.3.2 运行期间其它事故分析

## 7.3 其它事故

### 7.3.1 建设期间其它事故分析

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程已完成厂平工作，无需进行大规模爆破作业活动，施工建设期间的环境风险主要为化学品存储和使用风险、道路施工引起滑坡以及施工营地环境卫生问题导致施工人员的健康风险。

核电站可能需要采用一些化学物质和缓蚀剂进行表面处理，以避免设备及管道的盐雾锈蚀和表面氧化。这些化学物质和缓蚀剂主要包括磷酸三钠、硼酸钠、非卤素的有机溶剂和硫酸、磷酸、有机酸等，如保存管理不当，可能造成泄漏风险，对地表土壤及植被生态造成破坏。由于核电站设备和管道等均在厂内定点存放，并考虑防水防雨等不利影响，因此需后续处理过程较少，化学物质使用量不大。该部分危险废物按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）可以得到安全妥善贮存，产生的废物由生产厂商回收处理。在施工阶段，由于化学品泄漏造成的环境风险较小。

核电站施工周期较长，施工人数众多，施工期间大量人员涌入电厂区域及附近进行施工和居住，如环境卫生管理不到位，特别在夏季，容易使爆发流行性传染病的几率大大增加，一旦发生疫情，将对整个施工区内的人员健康造成极大威胁。在电厂施工期间，将积极做好施工营地及施工场所的卫生管理，做到垃圾日产日清，提供安全的饮食和饮用水，不会对人员的健康产生风险。若发现人员出现疫情特征，及时送往附近医院治疗，减少疫情大规模扩散的几率，保障施工人员的健康。

### 7.3.2 运行期间其它事故分析

#### 7.3.2.1 火灾、爆炸

##### （1）火灾防范

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程设计上将从建筑结构防火、电厂结构布局、电缆设计、走线、隔离、可燃物控制等方面考虑火灾防范。火灾的预防可以分为电厂设计上采取的措施和电厂运行管理上采取的措施。整个电厂的防火设计符合《核电站防火》（HAD102/11）等相关法规标准的要求，并且严格实施有关火灾危险作业的管理措施和管理规程，以使火灾发生的可能性减至最小。

## （2）氢爆防范

- 对与氢气相关的设备，严格遵照有关标准设计、制造、施工以及保证质量。
- 用氮气冲入储槽或有关的上部空间，以防止空气漏入，限制水中的氧浓度来防止空气与氢气形成混合爆炸物。
- 放射性气体废物系统废气保护床、延迟床设有氮气管，用于工作前设备的扫气和检修前的清扫。
- 安全壳内设置有氢气浓度监测系统，在设计基准事故后，由两台安全相关的非能动氢气复合器消除安全壳内的氢气，防止达到可燃下限。严重事故后，分布在安全壳内的点火器将引发氢气的燃烧，以保证安全壳的完整性。

## （3）腐蚀性事故防范

为防止人员直接与氨、联氨接触，采用机械化设施输送这些物质，在加药泵出口均装有安全释放阀，一旦超压，排出溶液可返回溶液箱或者废水池处理。此外，还增加了通风装置，将有害的气体排到室外。

为防止浓酸、浓碱造成的人员伤害，设计中将采取下列措施：

- 选择的设备、部件均对酸碱具有耐腐蚀性。
- 浓酸、浓碱的输送采用机械化设备。
- 剂量泵出口装有安全释放阀。
- 所有的储罐，剂量箱均有液位报警连锁装置。
- 在酸碱储存区域装有安全淋浴装置和洗眼器。
- 酸碱储存中的浓酸与空气不直接接触。

### 7.3.2.2 危险化学品事故

#### （1）事故描述

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程运行期间使用的化学物质主要用于：

- 反应堆冷却剂（加注硼酸及 LiOH）；
- 化学容积控制系统；
- 除盐水处理系统；
- 中央冷冻水系统；
- 循环水处理系统；

- 常规岛化学药剂注入系统；
- 防火系统和应急柴油机。

根据建设项目环境风险评价相关要求，风险评价首先要评价有害物质，确定项目中属于应该进行危险性评价的物质以及毒物危害程度的分级。核电站在运行中将使用一些毒性物质（如氨、联氨）和易燃物质（如柴油）等，这些物质在运输、使用、储存过程中均存在一定的事故风险隐患。

根据国内核电站运行经验，核电站运行期间危险化学品的预期贮存量，各存储单元化学品储量远低于《危险化学品重大危险源辨识》（GB18218-2018）的临界量，均不会构成重大危险源，电厂非放射性环境风险源不会对周围公众造成明显影响。

## （2）事故管控

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程将参考国内在运核电站的经验反馈，制定严格的危险化学品管控程序，明确电厂各部门在危险化学品安全管理中的职责，以切实降低电厂危险化学品在运输、装卸、贮存以及使用中可能的环境风险，具体包括：

### 1) 危险化学品运输和装卸

- 进入厂区的新增危险化学品需由相关部门技术审定；
- 运送进出厂区危险化学品应由交通部门认可的专业运输公司提供服务，危险化学品的运输工具应符合《汽车运输危险货物规则》中运输车辆的常规要求，并配备相应的应急设施；
- 危险化学品运输和装卸的人员需进行相关安全知识专项技能培训并授权；
- 运输和装卸时，针对不同的危险化学品采取不同的安全措施和劳动保护措施。

### 2) 危险化学品储存

- 一般情况下，危险化学品需要储存在专用仓库内保管。如确因工作需要储存在现场时，须经过审批，办理储存手续，并落实好许可证上的要求；
- 储存仓库必须符合安全、消防要求；安全设施必须完好；必须制定健全的库房安全管理制度，定期检查安全状况，建立相关检查记录；
- 危险化学品必须根据《危险物品名表》进行分类、分项存放；仓库管理单位必须建立安全操作、发放和回收制度，确保包装完好、标签清楚，配备相应的安全技术说明书供用户查阅；危险化学品仓库的管理人员、搬运人员必

须经过专项安全培训和授权才能上岗工作；

- 厂房管理方需对所辖范围内储存的危险化学品进行定期检查，督促存放人落实相关管理措施，保证存放的危险化学品不威胁厂房的安全。

### 3) 危险化学品使用

- 使用危险化学品或在相关系统上操作、取样、检修的工作人员，必须经过培训授权，了解相关化学品的特性及应急防护措施；
- 领取危险化学品时，以满足当天工作需要为准，限量领取；
- 对于易燃品的使用必须采取防火措施，远离热源和火源，防止发生火灾；
- 使用时，应根据危险化学品的种类、特性及工作情况采取相应隔离、清扫、通风、检测、防火、防爆、防毒等安全措施，并使用相应的安全防护用具。

## 7.4 事故应急

### 7.4.1 核事故应急对策

### 7.4.2 核电厂应急环境特征

### 7.4.3 应急响应可行性分析

## 7.4 事故应急

国务院颁布的《核电厂核事故应急管理条例》指出：“有关部门在进行核电厂选址和设计工作时，应当考虑核事故应急工作的要求”。在选址阶段，核安全法规《核电厂厂址选择安全规定》（HAF101）也要求：考虑到公众的潜在辐射后果和执行应急计划的能力，以及可能妨碍执行应急计划的任何外部事件的影响，必须在推荐厂址的周围建立外围地带。在核电厂开始建造前，必须确定在核电厂运行前外围地带不存在妨碍制定应急计划的根本问题。

### 7.4.1 核事故应急对策

核电厂运行失误或事故导致核事故应急状态的可能性极小，但仍不能完全排除。因此在核电厂选址阶段就应考虑妨碍或影响执行应急计划的因素。

为了减少事故时公众的辐射影响，根据核安全导则《核动力厂营运单位的应急准备》（HAD002/01）和《地方政府对核动力厂的应急准备》（HAD002/02）的要求，可能采取的应急措施包括：隐蔽、简单的呼吸道和体表防护、服用稳定性碘、撤离；搬迁、控制食品和水、控制通道、地区去污和人员去污等措施。

为了快速有效地处理核事故发生后的各种问题，最大限度减少事故影响，核电厂业主将与地方政府保持密切联系，积极协助地方政府成立必要的核应急组织，以利于建立切实可行的场外应急计划，并设立相应的核应急监测机构。

### 7.4.2 核电厂应急环境特征

#### （1）应急区域

核事故应急照射有两个基本途径：

- 烟羽照射，包括空气浸没外照射和烟云吸入内照射；
- 食入内照射，包括摄入受污染的食品和水等。

对于这两个基本途径，核电厂周围将建立应急计划区：

- 烟羽应急计划区；
- 食入应急计划区。

根据《核电厂应急计划与准备准则——应急计划区的划分》（GB/T17680.1-2008），对于压水堆核电厂，烟羽应急计划区在符合安全准则的前提下，一般应在以反应堆为

中心、半径 7km~10km 的范围内确定，烟羽应急计划区内区（即应做好采取应急撤离等紧急防护措施准备的区域）一般应在反应堆为中心、半径 3km~5km 的范围内确定；食入应急计划区在应急计划阶段根据应急计划与准备的事故辐射后果综合考虑。

根据《华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程场内核事故应急预案》（第 1 版-2021），目前 HTR-PM 应急计划区按国家标准下限设置（烟羽应急计划区内区 3 公里，烟羽应急计划区外区 7 公里，食入应急计划区 30 公里），在确定高温气冷堆核电站示范工程应急计划区（特别是烟羽应急计划区）的实际边界位置时，除了遵循相关的安全准则和区域范围要求外，还考虑了核电厂周围的具体环境特征（如地形、行政区划边界、人口分布、交通和通信等）社会经济状况和公众心理等因素，最终划定的应急计划区的实际边界符合实际。

华能山东石岛湾核电厂扩建一期工程后续将根据包容性原则，结合 HTR-PM 应急计划区现有设置情况，综合考虑应急计划区划分的范围。

## （2）人口分布

厂址半径 5km 范围涉及到宁津街道、东山街道共 41 个居民点或自然村，其中人口最多的居民点为宁津街道办事处东墩村，位于厂址 SW 方位 2.4km 处，现有人口 1508 人。离厂址最近的居民点是位于厂址 NNW 方位 720m 的东钱家村，现有人口 732 人。厂址半径 5km 范围内的总人口为 16806 人，平均人口密度为 214 人/km<sup>2</sup>，陆域平均人口密度为 531 人/km<sup>2</sup>，低于同期山东省平均人口密度 636 人/km<sup>2</sup>，高于威海市平均人口密度 442 人/km<sup>2</sup>。厂址半径 5km 范围内没有万人以上的乡镇。

厂址半径 10km 范围内无 10 万人以上居民点或行政村，总人口数为 48607 人，不足 5 万人。荣成市未来人口自然增长率较低，不会造成厂址半径 10km 范围出现超过 10 万人的城镇或居民点。

厂址半径 10km 范围内有中、小学和幼儿园共 8 所，共有教职工人数 378 人，学生人数 5188 人，离厂址最近的学校为荣成市宁津中心完小，位于厂址 WNW 方位 2.52km，有教职工人数 46 人，学生 718 人；已建敬老院有 4 所，现入住老人共 380 人，护理人员 114 人，规划最大容纳老人 2028 人；医院和卫生院共 2 所，共有医护人员 100 人，床位数 60 张。厂址半径 10km 范围内无监狱。

## （3）经济形态

厂址 5km 范围内现有的危险品存储设施不会威胁到核设施的安全。

就厂址外围地带的经济、工业、农业以及生态和环境特征而言，暂不存在妨碍在厂址外围地带建立应急计划区的外部事件。

#### （4）通讯网络

厂址所在的荣成市拥有移动网点 18 个，移动用户 46 万。厂址所在地及附近村镇的电信、移动、联通信号均已覆盖，基本可以满足应急通讯的需求。

#### （5）消防和公安

石岛湾核电厂专职消防队成立于 2013 年 12 月，由公司委托荣成市公安消防大队组建。配有水罐泡沫消防车、移动式消防水炮、风力灭火机、细水雾灭火装置、水驱动排烟机、遥控浮艇泵、液压破拆工具组、移动照明灯组等装备器材，涵盖了个人防护、灭火、侦检、警戒、破拆、救生、排烟照明等 7 大类 104 种装备，基本满足厂区内部各类突发事件的应急处置工作。

厂址半径 15km 范围内主要拥有 2 个消防救援站（除了石岛湾核电厂专职消防队的专职消防队），出勤警力总共为 38 人，执勤车辆为 6 辆，人员编制全部为政府专职人员。

#### （6）应急避难场所

石岛湾核电厂址半径 15km 范围内共有 10 个应急避难场所，最大的位于荣成市石岛新城区的荣成市第二中学，场地面积为 10.92 万 m<sup>2</sup>，最大容纳人数为 2.2 万人。

### 7.4.3 应急响应可行性分析

核电厂应急响应包括撤离、隐蔽和服稳定碘，本节初步分析烟羽应急计划区实施撤离、隐蔽和服稳定碘应急响应措施的可行性。

#### 7.4.3.1 应急撤离的可行性

根据《荣成市城市总体规划（2018-2035 年）》应急救援和疏散通道主要依托城市快速路及主、次干道建设，连接城市内应急避难场所、医疗机构及客运枢纽及城市对外交通干道。应急救援和疏散通道的有效宽度：救灾主干道不应低于 15m，疏散主通道不应低于 7m，疏散次通道不应低于 4m，一般疏散通道不应低于 3m。

场区外的应急撤离路线见图 7.4-1，通过这三条路线可撤离至荣成市内。

撤离路线一：场区→进厂道路→宁津街道→东山街道→荣成市（约 35km，42 分

钟）。

撤离路线二：场区→应急道路→X304→斥山街道→S203 省道→荣成市（约 60km，70min）。

撤离路线三：场区→应急道路→X304→石岛开发区→东山街道→荣成市（50km，60min）。

实际应急撤离过程中，可通过加强应急撤离的组织管理，按照实际通行情况合理分配场内人员的撤离路线，优化撤离时间。应急撤离时间预估如下：

- 1) 发出集合通知到所有人员都听到通知并开始行动的时间 T1：约 10min；
- 2) 所有人员到达应急集合点并上车完毕所需时间 T2：约 20min；
- 3) 车辆从启动到到达员工生活区的时间 T3：路线一约为 42min，路线二约为 80min，路线三约为 60min；
- 4) 总计时间 T：路线一约为 72min，路线二约为 100min，路线三约为 90min。考虑恶劣自然条件下的影响，保守估计厂区人员撤离时间应在 2 小时以内。

综上所述，虽然厂址半径 5km 范围内现有居民超过万人，但现有的交通条件可基本满足核事故应急撤离的要求，在核事故应急撤离方面不存在不可克服的困难。

#### 7.4.3.2 隐蔽和服稳定碘可行性

##### （1）隐蔽的可行性

###### 一 场内人员隐蔽

按照HAD002/01以及GB/T17680提出的应急设施设置的基本原则，即“核电厂营运单位应根据其应急响应的需要，并按照日常运行和应急响应积极兼容的原则设置应急设施和设备，但任何按照兼容原则设置的应急设施及其设备应是立即可以用于应急响应的或即时可转换用于应急响应的”，考虑到隐蔽的特点，初步考虑充分利用厂区内已有厂房作为紧急情况下的隐蔽场所，如办公楼、餐厅、宿舍以及会议中心等。

###### 一 场外公众隐蔽

石岛湾核电厂址半径10km范围内居民的住房多为砖石结构的海草房，海草房时间拥有百年历史，为保护海草房部分房顶采用不锈钢进行覆盖保护，在密闭门窗的条件下，具有一定的隐蔽条件。

对于一些不具备隐蔽条件的人群，建议相关部门为其提供公共设施作为隐蔽场所，

如医院、图书馆、剧院等，以保障在核电厂事故情况下能够顺利实施隐蔽措施。

## （2）服用碘的可行性

服用稳定碘又称碘防护或服碘，当事故已经或可能导致释放碘的放射性同位素的情况下，将含有非放射性碘的化合物（一般为碘化钾）作为一种防护药物分发给公众和应急人员服用，以降低甲状腺的受照剂量。服用稳定碘的通用优化干预水平是100mGy（指甲状腺的可防止的待积吸收剂量）。

碘片的准备、储存、发放和服用，都将由专门的部门负责，尤其是场外的服碘措施，会有政府力量保证，不会存在厂址特殊性的困难。

综上所述，从可能影响执行应急计划可行性的厂址因素分析，扩建一期工程制定和执行核事故应急预案没有难以克服的困难。

## 第八章 流出物监测与环境监测

### 8.1 辐射监测

### 8.2 其他监测

### 8.3 监测设施

### 8.4 质量保证

- 8.1 辐射监测
  - 8.1.1 流出物监测
    - 8.1.1.1 监测依据
    - 8.1.1.2 监测目的
    - 8.1.1.3 制定监测方案的原则
    - 8.1.1.4 气载放射性流出物监测
    - 8.1.1.5 液态放射性流出物监测
    - 8.1.1.6 流出物监督性监测
  - 8.1.2 辐射环境监测
    - 8.1.2.1 监测依据
    - 8.1.2.2 监测目的
    - 8.1.2.3 监测范围及布点
    - 8.1.2.4 监测方案
  - 8.1.3 应急监测
    - 8.1.3.1 应急监测方案
    - 8.1.3.2 应急监测设施及资源配置
    - 8.1.3.3 应急监测准备
    - 8.1.3.4 应急辐射监测人员的启动
    - 8.1.3.5 应急辐射监测人员的行动
    - 8.1.3.6 严重事故情况下应急监测的考虑

表

- 表 8.1-1 基地环境辐射监测大纲（2 张）
- 表 8.1-2 环境贯穿辐射累积及瞬时监测点位布置（2 张）
- 表 8.1-3 海水和海洋沉积物采样点
- 表 8.1-4 应急启动时各岗位的应急状态情况

图

图 8.1-1 环境介质采样点

图 8.1-2 固定点连续监测系统点位分布（2 张）

图 8.1-3 空气吸收剂量率监测与 TLD 监测点位分布（3 张）

图 8.1-4 海水及沉积物采样点位示意图

图 8.1-5 应急监测组织机构示意图

## 8.1 辐射监测

### 8.1.1 流出物监测

运行期间的流出物监测主要监测对象是核电站向环境排放的气载和液态放射性流出物。本小节主要描述华能山东石岛湾核电扩建一期工程流出物监测的设想。

#### 8.1.1.1 监测依据

放射性流出物监测的内容包括流出物的放射性浓度、排放总量和核素的种类等。运行期间流出物监测方案根据我国有关法规和工程的实际情况制定。制定流出物监测方案将依据和参考下列标准：

- 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）；
- 《核设施流出物监测的一般规定》（GB 11217-89）；
- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；
- 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；
- 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第 1 部分：一般要求》（GB/T 7165.1-2005）；
- 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第 2 部分：放射性气溶胶（包括超铀气溶胶）监测仪的特殊要求》（GB/T 7165.2-2008）；
- 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第 3 部分：放射性惰性气体监测仪的特殊要求》（GB/T 7165.3-2008）；
- 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第 4 部分：放射性碘监测仪的特殊要求》（GB/T 7165.4-2008）；
- 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第 5 部分：氡监测仪的特殊要求》（GB/T 7165.5-2008）；
- 《核电站安全重要仪表 事故及事故后辐射监测 第 1 部分：一般要求》（GB/T 12726.1-2013）；
- 《核电站安全重要仪表 事故及事故后辐射监测 第 2 部分：气态排出流及通风中放射性离线连续监测设备》（GB/T 12726.2-2013）；
- 《海水水质标准》（GB 3097-1997）；

- 《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设规范（试行）》（环发[2012]16号文件）；
- 《核设施烟囱和管道释放气载放射性物质的取样和监测》ANSI N13.1-2011；
- 《核电厂流出物放射性监测技术规范（试行）》（国核安发[2020]44号文件）。

#### 8.1.1.2 监测目的

运行期间流出物监测目的是：

- 监测释放到环境中的气载和液态放射性流出物的浓度，判断其是否符合国家批准的排放量控制值和营运单位规定的排放管理目标值；
- 为判明本工程的运行以及放射性废物的处理和装置的工作是否正常有效提供数据和资料；
- 为评价环境质量、估算公众受照剂量提供放射性测量数据和资料；
- 使公众确信本工程的放射性物质排放确实受到严格的控制；
- 迅速发现有无计划外排放和事故排放，鉴别其性质、种类及其程度，以便及时采取措施；
- 给出报警和必要的执行动作，以控制不合理的排放，可为本工程在事故期间的应急响应提供信息。

#### 8.1.1.3 制定监测方案的原则

制定本工程运行期间流出物监测方案和监测系统设计遵循的主要原则包括：

- 满足国家标准法规提出的流出物监测管理要求；
- 对于所有可能产生放射性排放的途径，均应设置合理的监测手段。取样点的设置和取样系统的设计应确保监测结果能代表实际的排放；
- 对于分批排放，排放前取样分析；
- 对于具有事故后监测功能的仪表需考虑冗余监测；
- 根据国家标准规定的年排放总量限值和排放浓度上限值，制定合理的排放量控制值和仪表的报警阈值；
- 流出物监测和取样系统的设计中将考虑地方环保部门的监督性检查和测量。

#### 8.1.1.4 气载放射性流出物监测

对核电站气载放射性流出物的排放监测和控制是防治环境污染措施的重要组成部分。本工程采用“华龙一号”三代核电技术，均为单堆布置，核岛反应堆厂房、燃料厂房、核辅助厂房、人员通行厂房、安全厂房等的放射性排放经过滤后汇总到核岛烟囱集中排放。本工程采用单机组布置方案，每个机组设有一个排风烟囱，常规岛放射性气体均送至核岛烟囱统一进行排放，因此，气载放射性流出物监测集中对核岛烟囱和常规岛通风排放管道中排放的气体进行监测，并对烟囱排气进行取样测量。

##### （1）气载放射性流出物连续监测

###### 1）放射性惰性气体连续监测

烟囱放射性惰性气体监测分为正常情况监测和事故情况监测。监测仪的量程满足核电站正常排放和事故排放监测要求，高低量程互相重叠一个量级。惰性气体连续监测设备属安全 1E 级设备，有显示、记录打印和报警功能。惰性气体连续监测仪需按照事故后监测系统（PAMS）的要求进行设计，这些要求包括：

- 系统设计为冗余监测，冗余设备之间进行实体隔离和电气隔离；
- 采用不间断电源供电；
- 对设备的输入输出信号进行信号保护；
- 对设备进行预先的质量鉴定，确保设备在事故后环境条件及地震条件下能保持正常运行；
- 对设备进行定期试验、校准。

###### 2）气溶胶连续监测

在烟囱设置气溶胶连续监测通道，对气溶胶的放射性水平进行连续监测，并设有显示、记录打印和报警功能。

###### 3）放射性碘连续监测

在烟囱设置放射性碘连续监测通道，对放射性碘水平进行连续监测，并设有显示、记录打印和报警功能。

##### （2）气载放射性流出物取样测量

在烟囱气载流出物连续监测管路并行设置了取样装置，用于对气载流出物进行取样，所取样品送至厂区实验室进行测量和分析，拟取样和监测内容包括：惰性气体、气溶胶、碘、 $^3\text{H}$  及  $^{14}\text{C}$ 。惰性气体为定期取样，气溶胶、碘、 $^3\text{H}$  及  $^{14}\text{C}$  均为连续取样。

### （3）取样代表性

对于气载流出物，将主要从以下几方面考虑取样代表性：

- 取样位置应位于烟囱内的一定高度处，确保取样气体已充分混合；
- 烟囱取样头的结构进行特殊设计，保证取得有代表性的气体流出物样品；
- 取样管道全部采用特殊的内抛光管；
- 合理选择取样管道的直径和流量，尽量减少取样管道的长度和弯头个数，取样头到气溶胶取样器之间避免使用阀门、扩大管、减压器等部件，必须使用的阀门选择直通型，以尽可能减少气溶胶和碘粒子在管路中的沉积。

#### 8.1.1.5 液态放射性流出物监测

放射性废液主要来自废液处理系统、放射性废水回收系统、蒸汽发生器排污系统蒸汽发生器排污液、常规岛废液收集系统等等，废液经处理后分别汇总到核岛液态流出物排放系统及常规岛液态流出物排放系统的贮罐中作为液态放射性流出物集中排放。液体放射性流出物监测包括排放前的取样测量和排放过程中的在线监测。

##### （1）液态放射性流出物取样测量

本工程拟设置核岛液态流出物排放厂房和常规岛液态流出物排放厂房。核岛液态流出物排放厂房主要收集、贮存核岛液态流出物排放系统废液；常规岛液态流出物排放厂房主要收集、贮存常规岛液态流出物排放系统废液。在废液排放前，工作人员必须对其进行取样分析，测量待排放废液中的放射性浓度，计算排放活度，确保其放射性浓度及排放活度不超过运行管理限值。取样前将进行充分搅拌，确保取样的代表性；样品在实验室中采用高纯锗 $\gamma$ 谱仪、低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 计数器及低本底液体闪烁计数器等仪器进行测量和分析。液态放射性流出物样品的分析项目包括 $\gamma$ 谱分析、 $^3\text{H}$ 、碳-14等活度浓度测量。

##### （2）液态放射性流出物连续监测

在液态流出物排放厂房各设置一套低放液体排放监测道，其功能是连续监测贮罐排放管道中的废液浓度，以验证实验室所分析的排放前贮罐中的样品浓度，同时监视已分析过的废液贮罐废液是否在排放。当排放废液活度浓度超过预定阈值时，给出报警信号，并自动启动隔离阀，停止废液排放。

### （3）取样代表性

每个排放系统设有三个排放槽，一个用于接收液态流出物，另一个混匀、取样和排放液态流出物，第三个备用。液态流出物在就地取样前，需要进行如下操作：关闭泵出口排放阀，启动泵对排放槽进行全流量循环，以使所取的样品均匀，具有代表性。

#### 8.1.1.6 流出物监督性监测

为了满足地方环保部门进行监督性监测，本工程将采取一系列措施，以满足地方环保部门进行流出物监督性监测。这些措施主要包括：

- 流出物在线监测数据传输至环保部门指定地点；
- 经常保持与地方环保部门联系，接受地方环保部门的监督与指导；
- 积极配合地方环保部门进行流出物监督性监测工作，并为地方环保部门定期取样提供方便。

#### 8.1.2 辐射环境监测

##### 8.1.2.1 监测依据

目前，石岛湾核电基地已建立了一套能够覆盖整个厂址区域的环境监测设施，并且制定了详细的辐射环境监测大纲，按照监测大纲进行日常的环境监测。本工程建成后将对环境监测大纲进行适应性修改，以实现对整个厂址环境进行统一监测。运行期间环境监测依据的主要标准规范有：

- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；
- 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）；
- 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；
- 《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）；
- 《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）；
- 《环境  $\gamma$  辐射剂量率技术规范》（HJ 1157-2021）；
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；
- 《环境辐射监测中生物采样的基本规定》（EJ527-90）；
- 《福岛核事故后核电站改进行动通用技术要求（试行）》（国核安发[2012]98 号

文）。

- 《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设规范（试行）》（环发[2012]16号文件）

### 8.1.2.2 监测目的

运行期间环境监测的目的为：

- 通过监测核电厂周围海水、地表水、地下水、大气、土壤、沉积物、陆生及水生动、植物等介质中的放射性活度，评估电厂的运行对海洋环境、大气环境和陆地环境的影响；
- 评估与验证电厂放射性流出物排放控制的有效性；
- 评估由于电厂放射性排放使公众实际或可能受到的辐射影响；
- 监测和评估电厂周围环境放射性水平的变化趋势；
- 对电厂流出物在环境中的传输和扩散情况进行评估；
- 鉴别由其他来源引起的污染；
- 对发现的异常情况进行分析，通过监测、评估数据及信息的反馈，改进电厂排放控制，保证核电环境保护的持续改进。

### 8.1.2.3 监测范围及布点

依据《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)的要求，“核电厂在进行常规环境辐射监测时，应与运行前的辐射环境本底调查工作相衔接，充分利用运行前环境调查所获得的资料。

基地环境 $\gamma$ 辐射水平的调查范围半径一般取50km，陆地其余项目的调查范围半径一般取20~30km，重点监测核电站周围10km范围。海洋取样半径为10km，重点在2km以内。

环境监测布点综合考虑：关键人群居住地区，最大风频下风向区域，与本底调查中取样点、样品种类等的一致性，周边海域水域潮汐特点，取样点地理位置的特点，核电厂放射性流出物的排放方式及特点，采样品种的代表性，陆生及水生生物的生长周期，电厂排放渠的具体条件等。

### 8.1.2.4 监测方案

基地运行期间的辐射环境监测项目包括大气放射性监测、陆地放射性监测和海洋

放射性监测三部分组成，监测对象包括环境  $\gamma$  辐射、空气、水、土壤、沉积物、陆生及水生动、植物。现有监测方案基本满足基地辐射环境监测需求。

现有辐射环境监测项目具体见表 8.1-1，采样布点图见图 8.1-1。

### （1）环境 $\gamma$ 辐射

$\gamma$  辐射固定点连续监测：基地现已设置 8 个固定监测点，其中厂内 3 个，厂外 5 个，分别是核岛北部、核岛西部、厂前区、东钱家、宁津、东墩村、镆铳岛、荣成生活区。固定监测点除用于环境  $\gamma$  辐射剂量率连续监测外，同时兼容气溶胶、气碘、空气中  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  以及沉降物、雨水等环境样品的取样。扩建工程拟增加 2 个监测站点。点位分布见图 8.1-2。

$\gamma$  辐射剂量率瞬时监测：野外就地测量的对象是开阔的路面与田野，按  $22.5^\circ$  方位角，近密远疏原则布点，同时兼顾地理、地形、居民分布、交通、土地利用等因素。总监测点位数 63 个，监测周期：每季。监测点位见图 8.1-3。

$\gamma$  辐射累积剂量测量：采用热释光剂量计，放置在有代表性的不受附近建筑物影响的空旷地区，点位布设及点位数同就地测量，总监测点位数 20 个，监测周期：季。监测点位见图 8.1-1。

瞬时监测与累积监测点位分布情况见表 8.1-2。

### （2）空气及沉降物

大气监测包括空气中  $^{131}\text{I}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  的测量，气溶胶中总  $\alpha$ 、总  $\beta$  及  $\gamma$  核素的测量，沉降物中、总  $\beta$ 、 $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$  的测量。布点考虑厂区边界，最大浓度落点及 10km 范围居民区。

空气中  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  取样点位有 5 个，为宁津九中、东钱家、东墩村、镆铳岛、荣成生活区；沉降灰、气溶胶、空气中  $^{131}\text{I}$  取样点位有 6 个，为核岛北部、核岛西部、东钱家、宁津九中、镆铳岛、荣成生活区。气溶胶、气碘取样频度为 1 次/月；沉降灰取样为 1 次/季；空气中  $^3\text{H}$  和  $^{14}\text{C}$  取样频度为 1 次/月。

气溶胶： $\gamma$  核素、总  $\alpha$ 、总  $\beta$ ，频度 1 次/月；

沉降灰： $\gamma$  核素、总  $\beta$ 、 $^{90}\text{Sr}$ ，频度 1 次/季；

空气： $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{131}\text{I}$ ，频度 1 次/月。

### （3）陆地水和底泥

陆地水包括降水、地表水、饮用水和地下水，其中降水、地表水、地下水测量项

目为 $^3\text{H}$ 、 $\gamma$ 核素，饮用水的测量项目为总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 、 $^3\text{H}$ 、 $\gamma$ 核素。点位及频度分别为：

降水：核岛北部、核岛西部、厂前区、东钱家、宁津九中、镆铳岛、荣成生活区，频度为降雨期每季度1次。

地表水：南夏家水库、八河水库、后龙河水库，频度为1次/半年（考虑丰水期和枯水期）。

饮用水：东钱家村、后海崖，频度为1次/季度。

地下水：在厂区外设东钱家村、后海崖，在机组所在的厂区内水文地质单元上下游共设置2~3个监测点（具体论证实施工作拟在机组装料后开展），频度为1次/半年。

底泥的采样点为南夏家水库、八河水库、后龙河水库，测量项目为 $\gamma$ 核素、 $^{90}\text{Sr}$ ，频度为1次/年。

#### （4）土壤

土壤监测项目包括 $^{90}\text{Sr}$ 及 $\gamma$ 核素，频度为1次/年，取样点设置所东张家村、宁津街道、东墩村、后海崖村、东楮岛村、东南海村、东山街道、斥山街道、寻山街道、大疃镇、成山镇、马栏耩村。

#### （5）陆生生物

粮食作物：小麦、玉米。小麦设置1个采样点，位于东山街道龙山前村。玉米设置3个采样点，分别位于宁津街道于家村、东山街道谭村林家村和对照点成山镇。小麦监测项目包括 $\gamma$ 核素、 $^{14}\text{C}$ ，玉米样品监测项目为 $\gamma$ 核素、 $^{14}\text{C}$ ，收获季节取样，频度为1次/年。此外，对东山街道龙山前村和王家庄村的小麦样品增加 $^3\text{H}$ 的监测。

蔬菜作物：白菜、豆角。白菜设置2个采样点，分别位于东山街道谭村林家村和宁津街道马栏耩村。白菜在东山街道谭村林家村采集平行样品。豆角设置1个采样点，位于宁津街道于家村。监测项目包括 $\gamma$ 核素，收获季节取样，频度为1次/年。此外，对东山街道谭村林家村和宁津街道马栏耩村两个点位的白菜样品增加 $^3\text{H}$ 的监测。

水果类：苹果，选取2个取样点，分别为宁津街道和崂山街道宁家村。监测项目包括 $\gamma$ 核素、 $^{14}\text{C}$ ，收获季节取样，频度为1次/年。

肉类：猪肉、鸡肉。猪肉设置1个采样点，位于宁津街道市场；鸡肉设置1个采样点，位于宁津街道于家村。监测项目包括 $\gamma$ 核素（猪肉样品增加 $^{14}\text{C}$ ），频度为1次/年。

牛奶：选取1个取样点，为崖西奶牛场，监测项目包括 $^{131}\text{I}$ ，频度为1次/年。

淡水鱼：选取鲢鱼，采样点均设置在八河水库。监测项目包括  $\gamma$  核素，频度为 1 次/年。

#### （6）海洋生物

海洋生物采样点选在厂址排放口附近海域及厂址附近渔民养殖场和放养场，采集鱼类、贝类、甲壳类和藻类，优先采集近海养殖的海洋生物。频度为 1 次/年，分析项目为  $\gamma$  核素，此外对马鲛鱼和海带样品增加监测  $^{14}\text{C}$ ，对海带样品增加监测  $^3\text{H}$ 。

鱼类：鱼类采集马鲛鱼，在弘运码头附近海域和东楮岛渔港附近海域采集；

贝类：贝类采集紫贻贝、花蛤。紫贻贝在弘运码头附近海域的养殖场采集，花蛤在宁津街道林家流村附近海域养殖场采集；

甲壳类：甲壳类采集虾，在弘运码头附近海域养殖场和宁津街道止马滩村附近养殖场采集；

藻类：藻类采集海带。海带分别在宁津街道东楮岛村附近海域养殖场和宁津街道宁津养殖二场附近海域养殖场采集。

#### （7）海水及海洋沉积物

设置 7 个取样点，分析项目有  $^3\text{H}$  和  $\gamma$  谱，监测频度为 1 次/半年。

海洋沉积物与海水取样点重合。分析项目有  $^{90}\text{Sr}$  和  $\gamma$  核素，监测频度为 1 次/年。

潮间带设置 2 个采样点，分析项目为  $^{90}\text{Sr}$  和  $\gamma$  核素，监测频度为 1 次/年。

海水与海洋沉积物监测点位见表 8.1-3 和图 8.1-4。

#### （8）指示生物

陆地指示生物：松针，选取 2 个取样点，分别为宁津街道马栏耩林场、施工生活区，监测项目包括  $\gamma$  核素、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^3\text{H}$ ，频度为 1 次/年。

海洋指示生物：牡蛎，选取 1 个取样点，位于弘运码头附近海域，监测项目包括  $\gamma$  核素、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ ，频度为 1 次/年。此外，选取弘运码头附近海域和俚岛附近海域牡蛎样品开展  $^3\text{H}$  的监测，频度为 1 次/年。

### 8.1.3 应急监测

目前石岛湾核电基地已制定了应急监测方案。在本工程运行前将针对本工程建设的情况进行必要的优化。本小节介绍现有应急监测方案的主要内容。

### 8.1.3.1 应急监测方案

#### （1）监测内容

##### 1) 场区监测

场区监测主要监测内容为：

a) 近地表上部  $\gamma$  剂量率（连续测量和即时测量）；

— 场区 3 个固定监测站连续测量

— 便携式仪表即时测量

b) 地表  $\alpha$ 、 $\beta$  污染水平；

c) 空气中放射性污染水平。

##### 2) 外环境监测

在事故早期，应急组织进行场外应急辐射监测的范围重点是厂址周围半径 3km 之内的地域。出于与场外应急组织的监测结果进行对照、或为了追踪烟羽、或为了支援场外监测的需要，可视情况适当扩大监测范围，但监测半径一般不超过 7km。

主要监测内容为：

a) 近地表上部  $\gamma$  剂量率：8 个固定监测站连续测量、便携式仪表即时测量。

b) 地表  $\alpha$ 、 $\beta$  污染水平；

c) 空气中放射性污染浓度（主要测放射性气溶胶和碘）；

d) 热释光剂量计（TLD）测量累积剂量；

e) 车载移动  $\gamma$  谱仪分析测量核素组成（视可能和需要）；

f) 海水中放射性污染物浓度（视可能和需要）。

### 8.1.3.2 应急监测设施及资源配备

#### （1）监测队伍

在安全防护组（GSP）组长领导下，由 GSP 辐射防护助理、环境监测助理、场区巡测小分队、外环境巡测小分队及环境监测站人员组成。一般情况下，场区巡测小分队一个，共 3 人（含 1 名司机），队员由辐射防护与环境应急部辐射防护科辐射防护人员担当，车辆和司机由行政保卫组派遣。外环境巡测小分队一个，每队 4 人（含 1 名司机），队员由辐射防护与环境应急部环境监测科环境监测人员担当。

应急监测组织机构示意图见图 8.1-5。

## （2）监测设施

### 1）环境 $\gamma$ 辐射连续监测系统

KRS 系统由 8 个固定监测站组成。该系统对电站周围 10km 范围大气环境中的  $\gamma$  辐射进行连续监测。

### 2）应急环境监测车系统

应急环境辐射监测车系统由应急环境监测车和应急环境辐射监测网络系统组成，主要担负事故期间场区周界及电站周围环境辐射巡测任务，及时地确定电站下风向放射性烟羽扩散的剂量率分布情况。监测车主要配置有： $\gamma$  辐射剂量率仪、气溶胶和碘取样装置、便携式  $\gamma$  谱仪、GPS 卫星定位仪、无线通讯设备、车载供电设备以及防护用品。

### 8.1.3.3 应急监测的准备

为及时有效地进行巡测，必须按下述要求在巡测出发前完成必要的快速准备工作。

#### （1）对巡测小分队出发前的指令

已启动的 GSP 组长，应根据已获知的有关事故和环境状况的信息，对场区和场外环境监测人员发布简短指示。指示主要内容应包括：

1）事故的简略情况；

2）事故的可能辐射后果，如根据风向推测的烟羽走向，监测中可能遇到的照射水平和污染水平等；

3）职责分工（包括场区及外环境巡测小分队的数目及其负责人，与参加监测行动的其它组织之间的配合和协调等）和任务要求（包括具体的巡测路线、可能需要增加的特殊取样和监测任务）

4）巡测开始时间。

#### （2）巡测小分队出发前的快速检查

厂区和外环境巡测小分队在出发前必须按要求对主要设备和物资检查清单作一次快速检查并必要记录。检查和记录内容包括：

1）所有仪器设备是否到位和切实可用；

2）记录测量仪器的本底读数；

3）电子个人直读剂量计读数清零，检查报警阈设置；

4) 指令中需要完成的某些特殊监测或取样所需的设备；

5) 检查是否携带足够数量的碘片。

### (3) 出发地点及车辆

场区巡测小分队的出发地点为应急指挥中心，巡测车辆由行政保卫组根据安全防护组的要求派遣（一般在厂房应急的时候就要到应急指挥中心门口待命），并由经过辐射防护和应急专项培训的司机驾驶；环境监测小分队的巡测出发地点亦为应急指挥中心，巡测车辆为环境应急监测车，必要时还需一台取样车。

#### 8.1.3.4 应急辐射监测人员的启动

当收到进入应急状态手机短信，或听到进入应急状态的广播通知或警笛报警时，当时在现场的当周 ON-CALL 的安全防护组成员，必须在接到应急通知或警报后 15 分钟之内启动到岗；如果当时不在现场，必须在接到应急通知或警报后 60 分钟之内启动到岗。具体要求见表 8.1-4。

#### 8.1.3.5 应急辐射监测人员的行动

##### (1) 事故早期应急监测

事故早期的主要任务是尽可能多地获得烟羽特征（输运方向、高度、放射性水平以及随时间和空间的变化）。主要监测项目包括  $\gamma$  剂量率监测、空气取样监测、固定点取样以及巡测等。

##### 1) 环境 $\gamma$ 辐射剂量计的实时自动监测

在应急响应期间，固定站环境  $\gamma$  辐射剂量计自动监测并实时地获取、储存整个应急响应期间的环境  $\gamma$  辐射剂量率。应急指挥中心的环境监测助理密切关注各固定点的  $\gamma$  辐射剂量率监测数据及其变化趋势，适时或定时（一般应每 30 分钟提交一次）将其整理打印出来，提交应急指挥部。当发现  $\gamma$  剂量率达到或超过相应水平时，应立即向 GSP 组长报告并提供准确的数据表格和分析结果。

##### 2) 固定站采集样品和 TLD 的应急辐射监测

对于固定站样品（气溶胶累积样品、气载碘累积样品、大气沉降灰物累积样品）的采集和 TLD 的取放，环境监测小分队一般应在持续释放结束后及时取回样品和 TLD 送环境监测站测量。在取回样品和 TLD 的同时应立即安放新的样品盒和 TLD。

### 3) 应急巡测

#### — 场区巡测

考虑主导风向、人员分布等因素，选取 6 个厂内巡测点。

巡测内容主要为环境  $\gamma$  剂量率和地表  $\alpha$ 、 $\beta$  污染水平。事故时将根据气象条件进行监测。

场区巡测一般应在场区应急状态时实施，但也可能在厂房应急时就对受到影响的厂房附近开展巡测；具体启动时间由安全防护组组长或辐射防护助理根据实际情况下达。

#### — 环境巡测

场外巡测一般应在场区应急状态时实施，具体启动时间由环境监测助理下达。

一共有 4 条陆上巡测路线。实际巡测时，应考虑地形、交通、气象、常规监测点等因素，选择 4 条路线中处在下风向一侧的一条或两条作为巡测路线，然后视情况按指令变更巡测路线。

巡测内容主要为环境  $\gamma$  剂量率和地表放射性物质污染水平。这两项巡测在半径 3 公里范围内一般应在巡测路线上每 500 米作为一个测点，在半径 3-7 公里范围内应在巡测路线上每 1000 米作为一个测点。在巡测路线上与半径 3 公里和半径 5 公里的交点处，一般应采集空气样品。在所测得的环境  $\gamma$  剂量率比天然本底水平高 5 倍以上的情況下，同时需进行就地  $\gamma$  谱仪测量。

整个外环境巡测期间，巡测小分队除了完成上述监测任务外，还要依据环境监测助理的指令，采集指定测点的土壤、水或其它环境样品。

环境巡测小分队要把测量每个点的数据实时地向环境监测助理汇报，由环境监测助理分析所测的数据并向安全防护组组长汇报环境辐射情况。

### 4) 环境监测站监测人员的任务

环境监测站人员在应急辐射监测中承担多种任务。环境监测站既是实验分析和巡测支持中心，又是固定监测站监测信息分析与保存的中心。环境监测站人员在应急响应期间的主要任务有：

- 根据指令要求，为派出巡测小分队提供技术支援和咨询；
- 做好所有环境介质样品和 TLD 的实验室分析和测量；
- 按规定进行样品的保存。

## 5) 海上监测

若事故电站下风向是海上，需要开展海上监测时，实施应急监测任务。在进行海上监测前，监测人员应从个人防护用品、取样装置、便携式仪器等方面做好准备。

监测范围：以厂址排水口为中心半径 1km、3km、5km 与 6 个方位角行成的扇形海域范围内选点。

监测内容：在无液态途径释放时，主要监测海域空气  $\gamma$  剂量率水平，必要时进行海水取样。一旦有废液释放，则需要对海域海水进行取样，必要时需取海底泥、海生物等样品。

### (2) 事故中、后期监测

#### 1) 事故中期环境监测

事故中期主要对地面沉积外照射、吸入再悬浮核素内照射和食入被污染饮水的内照射等重要照射途径的监测。监测项目主要包括：

- 空气介质放射性活度，取气溶胶、沉降物及空气放射性碘同位素、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  样品，分析包括  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{133}\text{I}$  及其它  $\gamma$  核素活度；
- 地面沉积引起的辐射剂量率和地表污染水平，测量就地  $\gamma$  剂量率和 TLD 累积剂量；便携式  $\gamma$  谱仪就地测量，分析地表沉积的  $\gamma$  核素活度、计算  $\gamma$  剂量率；取陆地表层土样，分析  $\gamma$  核素和  $^{90}\text{Sr}$  核素单位面积沉积量；
- 水体（饮用水）的污染水平，分析  $^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$  核素活度浓度。

事故中期的监测范围主要是烟羽所致地面沉降的区域，同时应向食入应急计划区（30km）扩展。

#### 2) 事故后期环境监测

事故后期重点是对食入危害途径的监测，主要监测项目包括外照射剂量、表面污染水平、空气污染、其它环境介质中放射性测量，重点关注  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  等长寿命核素，即：

中期监测中规定的监测项目：

- 粮食作物、蔬菜、水果及其它农作物，分析  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、放射性碘、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$  核素含量；
- 与食物链有关的陆地和水生动物，分析  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、放射性碘、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$  核素含量；
- 水体（饮用水、海水）及其底泥，分析  $^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$  核素含量，水样还包括  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$

核素分析。

事故后期监测范围包括中期监测涉及的全部范围，至少半径 50 公里的区域。

#### **8.1.3.6 严重事故情况下应急监测的考虑**

在严重事故情况下，电厂可能丧失部分或全部应急监测能力，此时需要采取以下措施。

##### **（1）其它核电站的应急监测支援**

华能山东石岛湾核电站与周围其它核电站签订了应急支援协议，协议内容包括人员支持、监测车辆支持、监测设备和物资支持、样品分析支持，并可根据华能山东石岛湾核电站的支援请求提供相应支援，以保证华能山东石岛湾核电站能够完成相应的应急监测任务。

##### **（2）请求场外监测支援**

当后果评价或测量结果表明需要请求场外航测、海上或陆上监测支援时，由安全防护组长向应急总指挥提出建议。经应急总指挥批准，按规定渠道提请支援。

表 8.1-1（1/2） 基地环境辐射监测大纲

（一） 陆地环境

项目	监测对象	监测种类及核素	取样或测量频度	取样或测量点分布	采样点数	
陆地环境 $\gamma$ 辐射	剂量率	$\gamma$ 辐射	连续	核岛北部、核岛西部、厂前区、东钱家、宁津、东墩村、镉镎岛、荣成生活区各 1 点	8	
		$\gamma$ 辐射	季	按 22.5° 方位角布点，近密远疏。见表 8.1-2。	63	
	累积剂量	$\gamma$ 辐射	季	原则上同	20	
陆地介质	空气	气溶胶	总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 、 $\gamma$ 核素	月	核岛北部、核岛西部、东钱家、宁津、镉镎岛、荣成生活区各 1 点	6
		沉降灰	总 $\beta$ 、 $\gamma$ 核素、 $^{90}\text{Sr}$	季		
		$^{131}\text{I}$	$^{131}\text{I}$	月		
		$^3\text{H}$	$^3\text{H}$	月	东钱家、宁津、东墩村、镉镎岛、荣成生活区	5
		$^{14}\text{C}$	$^{14}\text{C}$	月		
	水	地表水	$^3\text{H}$ 、 $\gamma$ 核素	半年	南夏家水库、八河水库、后龙河水库	3
		地下水	$^3\text{H}$ 、 $\gamma$ 核素	半年	东钱家村、后海崖、厂区内 2~3 个点	4~5
		饮用水	总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 、 $^3\text{H}$ 、 $\gamma$ 核素	季	东钱家村、后海崖	2
		降水	$^3\text{H}$ 、 $\gamma$ 核素	季	核岛北部、核岛西部、厂前区、东钱家、东墩村、镉镎岛、荣成生活区各 1 点	6
	底泥	$\gamma$ 核素、 $^{90}\text{Sr}$	年	南夏家水库、八河水库、后龙河水库	3	
	土壤	$\gamma$ 核素、 $^{90}\text{Sr}$	年	所东张家村、宁津街道、东墩村、后海崖村、东楮岛村、东南海村、东山街道、斥山街道、寻山街道、大疃镇、成山镇*、马栏耩村	12	
	陆生生物	小麦	$\gamma$ 核素、 $^{14}\text{C}$	年	东山街道龙山前村	1
			$^3\text{H}$	年	东山街道龙山前村、王家庄村	2
		玉米	$\gamma$ 核素、 $^{14}\text{C}$	年	宁津街道于家村、东山街道谭村林家村、成山镇*	3
		白菜	$\gamma$ 核素、 $^3\text{H}$	年	东山街道谭村林家村、宁津街道马栏耩村	2
		豆角	$\gamma$ 核素	年	宁津街道于家村	1
		苹果	$\gamma$ 核素、 $^{14}\text{C}$	年	宁津街道、崂山街道宁家村	2
		牛奶	$^{131}\text{I}$	年	崖西奶牛场	1
		猪肉	$\gamma$ 核素、 $^{14}\text{C}$	年	宁津街道市场	1
鸡肉		$\gamma$ 核素	年	宁津街道于家村	1	
鲢鱼	$\gamma$ 核素	年	八河水库	1		

注：\*对照点，位于厂址 N 方位 45.1km

表 8.1-1（2/2） 基地环境辐射监测大纲

（二）海洋环境及指示生物

项目	监测对象	监测种类及核素	取样或测量频度	取样或测量点分布	采样点数	
海洋 介质	海水	$^3\text{H}$ 、 $\gamma$ 核素	半年	见表 8.1-7	7	
	沉积物	$\gamma$ 核素、 $^{90}\text{Sr}$	年		7	
	潮间带土	$\gamma$ 核素、 $^{90}\text{Sr}$	年		2	
	生物 样品	马鲛鱼	$\gamma$ 核素、 $^{14}\text{C}$	年	弘运码头、东楮岛渔港附近海域	2
		紫贻贝	$\gamma$ 核素	年	弘运码头附近海域	1
		蚬子	$\gamma$ 核素	年	宁津街道林家流村附近海域	1
		虾	$\gamma$ 核素	年	弘运码头、宁津街道止马滩村附近海域	2
		海带	$\gamma$ 核素、 $^{14}\text{C}$ 、 $^3\text{H}$	年	宁津街道东楮岛村、宁津街道宁津养殖二场附近海域	2
指示 生物	松针	$\gamma$ 核素、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^3\text{H}$	年	宁津街道马栏耩林场、施工生活区	2	
	牡蛎	$\gamma$ 核素、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{90}\text{Sr}$	年	弘运码头附近海域	1	
		$^3\text{H}$	年	弘运码头附近海域、俚岛附近海域	2	

表 8.1-2（1/2） 环境贯穿辐射累积及瞬时监测点位布置

序号	点位名称	方位	距离 (km)	纬度(N)	经度 (E)	测量项目
1	厂址边界	NNW	0.537	36°59'01.6"	122°31'43.4"	瞬时剂量、 TLD
2	东钱家村	NW	0.80	36°59'04.2"	122°31'28.3"	瞬时剂量、 TLD
3	晨兴育苗厂	N	1.10	36°59'50.5"	122°32'31.2"	测剂量率
4	压水堆厂区	SSW	0.76	36°58'49.9"	122°32'8.4"	测剂量率
5	压水堆厂界	SW	0.55	36°59'1.1"	122°32'9.0"	测剂量率
6	西钱家村	WNW	1.43	36°59'00.2"	122°30'55.1"	测剂量率
7	周庄村	W	1.57	36°58'46.3"	122°30'46.6"	测剂量率
8	所东张家村	NW	2.10	36°59'40.8"	122°31'01.2"	瞬时剂量、 TLD
9	止马滩村	NNW	2.25	36°59'53.6"	122°31'19.5"	瞬时剂量
10	烟羽地面最大 浓度处	WSW	2.34	36°58'15.3"	122°30'22.9"	瞬时剂量、 TLD
11	宁津街道	WNW	2.64	36°59'17.0"	122°30'10.6"	瞬时剂量、 TLD
12	小岔河村	W	2.73	36°58'47.2"	122°29'59.6"	瞬时剂量
13	所前王家村	WSW	2.90	36°58'07.4"	122°30'02.6"	瞬时剂量
14	所后卢家村	NW	3.10	36°59'51.6"	122°30'16.4"	瞬时剂量
15	东墩村	SW	3.31	36°57'33.6"	122°30'10.3"	瞬时剂量、 TLD
16	马栏耩村	N	3.45	37°00'36.5"	122°31'55.2"	瞬时剂量、 TLD
17	宁津养殖二场	SSW	3.47	36°57'02.0"	122°30'53.9"	瞬时剂量
18	后店子村	NNW	3.81	37°00'31.8"	122°30'33.0"	瞬时剂量
19	耩后杨家村	NW	3.86	37°00'27.9"	122°30'21.5"	瞬时剂量
20	鞠家村	W	4.25	36°58'56.1"	122°28'58.6"	瞬时剂量
21	南港头村	SW	4.58	36°56'57.4"	122°29'42.6"	瞬时剂量
22	林家流村	NNW	5.02	37°01'19.4"	122°30'46.9"	瞬时剂量
23	黄山养殖场	N	5.96	37°01'54.4"	122°32'34.4"	瞬时剂量
24	东南海村	SW	6.60	36°56'12.1"	122°28'43.5"	瞬时剂量、 TLD
25	后海崖村	S	6.69	36°55'09.4"	122°31'27.8"	瞬时剂量、 TLD
26	东楮岛村	NNE	7.27	37°02'15.6"	122°34'01.1"	瞬时剂量、 TLD
27	东山街道	W	7.70	36°58'43.7"	122°26'38.3"	瞬时剂量、 TLD
28	八河姚家村	NW	8.31	37°01'37.6"	122°27'32.2"	瞬时剂量、 TLD
29	吕家庄村	S	8.37	36°54'18.9"	122°30'47.0"	瞬时剂量
30	八里王家村	WNW	8.48	36°59'54.5"	122°26'17.6"	瞬时剂量

表 8.1-2（2/2） 环境贯穿辐射累积及瞬时监测点位布置

序号	点位名称	方位	距离 (km)	纬度(N)	经度 (E)	测量项目
31	岛西庄村	SSW	8.88	36°54'09.6"	122°30'07.8"	瞬时剂量
32	桃园街道	WSW	9.57	36°55'55.7"	122°26'25.5"	瞬时剂量
33	罗家庄村	NW	13.1	37°03'27.1"	122°25'14.3"	瞬时剂量
34	斥山街道	WSW	13.4	36°55'25.3"	122°23'49.6"	瞬时剂量、 TLD
35	王连街道	W	14.2	36°58'18.2"	122°22'15.0"	瞬时剂量、 TLD
36	港湾街道	SW	15.4	36°52'35.0"	122°24'52.3"	瞬时剂量
37	崂山街道	NW	15.8	37°05'31.3"	122°25'20.9"	瞬时剂量、 TLD
38	海崖村	NNW	18.4	37°07'38.4"	122°26'17.0"	瞬时剂量
39	滕家镇	WNW	18.7	37°03'53.2"	122°20'56.3"	瞬时剂量
40	玄镇村	SW	19.2	36°52'19.9"	122°21'41.2"	瞬时剂量
41	卢家村	N	20.0	37°09'30.9"	122°32'04.4"	瞬时剂量、 TLD
42	荣成市	N	20.5	37°09'36.1"	122°29'24.1"	瞬时剂量
43	寻山街道	N	21.7	37°10'26.6"	122°31'36.0"	瞬时剂量、 TLD
44	上庄镇	W	22.2	36°59'38.9"	122°16'55.5"	瞬时剂量
45	朱口村	SW	22.8	36°50'22.3"	122°20'32.6"	瞬时剂量
46	人和镇	WSW	23.2	36°53'50.0"	122°17'25.0"	瞬时剂量、 TLD
47	大疃镇	NW	24.4	37°07'08.2"	122°19'10.0"	瞬时剂量、 TLD
48	城西街道	NNW	25.3	37°10'32.6"	122°23'15.2"	瞬时剂量
49	瓦屋石村	NNE	26.2	37°12'19.2"	122°36'48.0"	瞬时剂量、 TLD
50	虎山镇	W	26.4	36°57'16.5"	122°14'08.2"	瞬时剂量
51	靳家店子村	WNW	28.1	37°02'33.8"	122°13'29.6"	瞬时剂量
52	夏庄镇	NNW	29.0	37°13'51.6"	122°26'46.5"	瞬时剂量
53	俚岛镇	N	29.8	37°14'40.1"	122°34'25.9"	瞬时剂量
54	荫子镇	NNW	30.1	37°12'21.8"	122°20'46.2"	瞬时剂量
55	沙窝岛村	WSW	32.9	36°51'27.4"	122°11'38.2"	瞬时剂量
56	崖西镇	NNW	33.3	37°15'01.7"	122°22'25.6"	瞬时剂量
57	大水泊镇	NW	35.2	37°11'45.7"	122°14'31.2"	瞬时剂量
58	侯家镇	W	39.7	37°01'19.3"	122°05'15.9"	瞬时剂量
59	张家产镇	WNW	40.5	37°05'54.9"	122°05'59.0"	瞬时剂量
60	埠柳镇	NNW	41.2	37°20'21.0"	122°25'17.2"	瞬时剂量
61	文登市	WNW	44.8	37°10'48.3"	122°05'36.7"	瞬时剂量
62	成山镇	N	45.1	37°23'02.4"	122°32'42.8"	瞬时剂量
63	龙须岛村	NNE	48.0	37°23'32.5"	122°40'59.8"	瞬时剂量

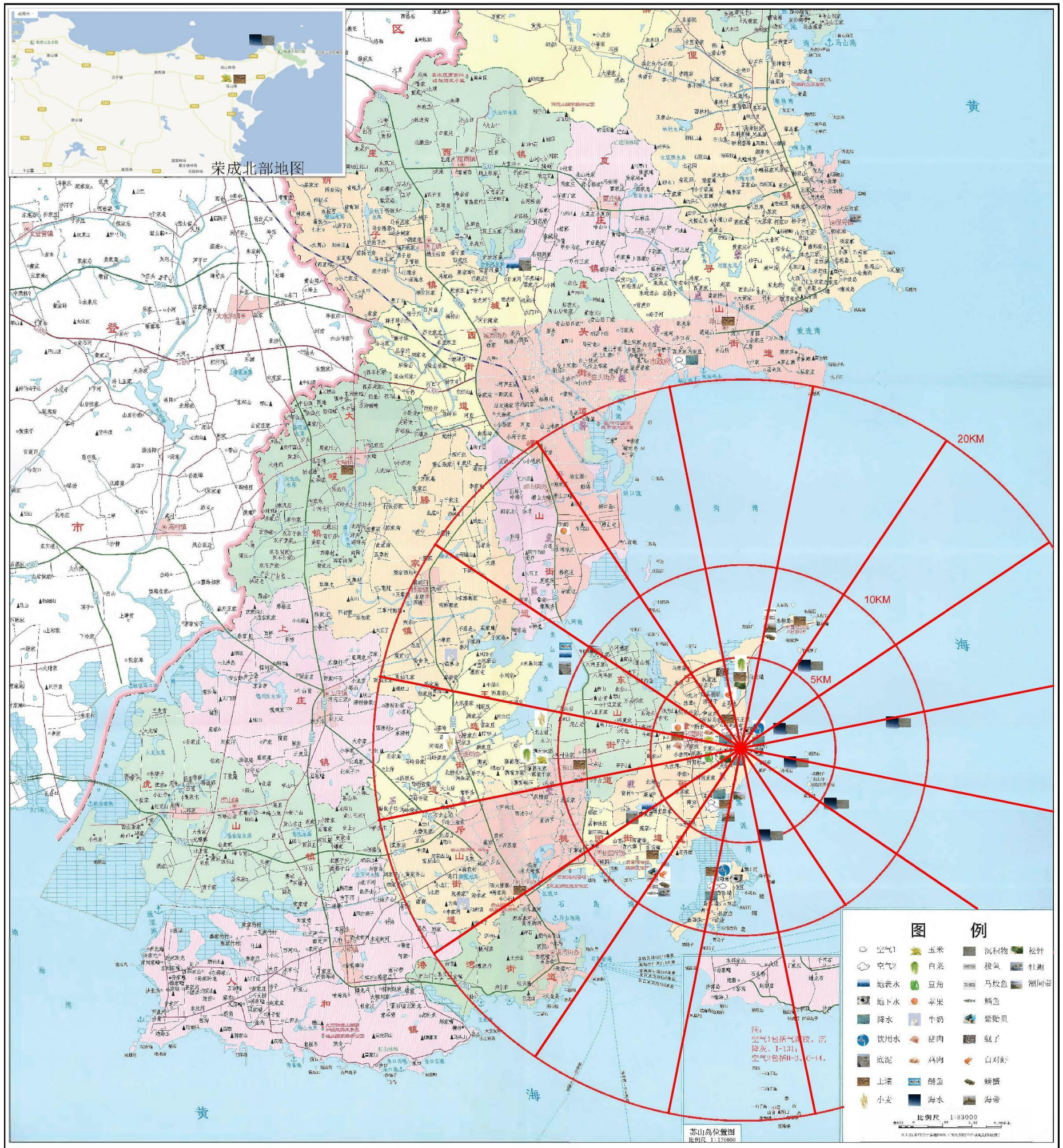
表 8.1-3 海水和海洋沉积物采样点

序号	方位	距离	纬度(N)	经度 (E)	备注
1	NNW	1.77	36°59'12.4"	122°32'40.6"	基地取水口，取海水和沉积物
2	/	/	36°58'27.1"	122°33'24.4"	基地排水口，取海水和沉积物
3	NNE	4.78	37°00'59.5"	122°33'57.3"	取海水和沉积物
4	SSW	4.68	36°56'04.4"	122°32'21.6"	取海水和沉积物
5	ENE	7.42	36°59'56.7"	122°38'03.2"	取海水和沉积物
6	SE	4.23	36°56'46.0"	122°35'19.8"	取海水和沉积物
7	N	50	37°25'23.5"	122°35'21.4"	成山镇（对照点），取海水和沉积物
8	WSW	4.01	36°57'2.1"	122°31'12.6"	东墩村东，取潮间带
9	WNW	10.55	37°14'16.8"	122°26'35.0"	崮山环境监测站东，取潮间带

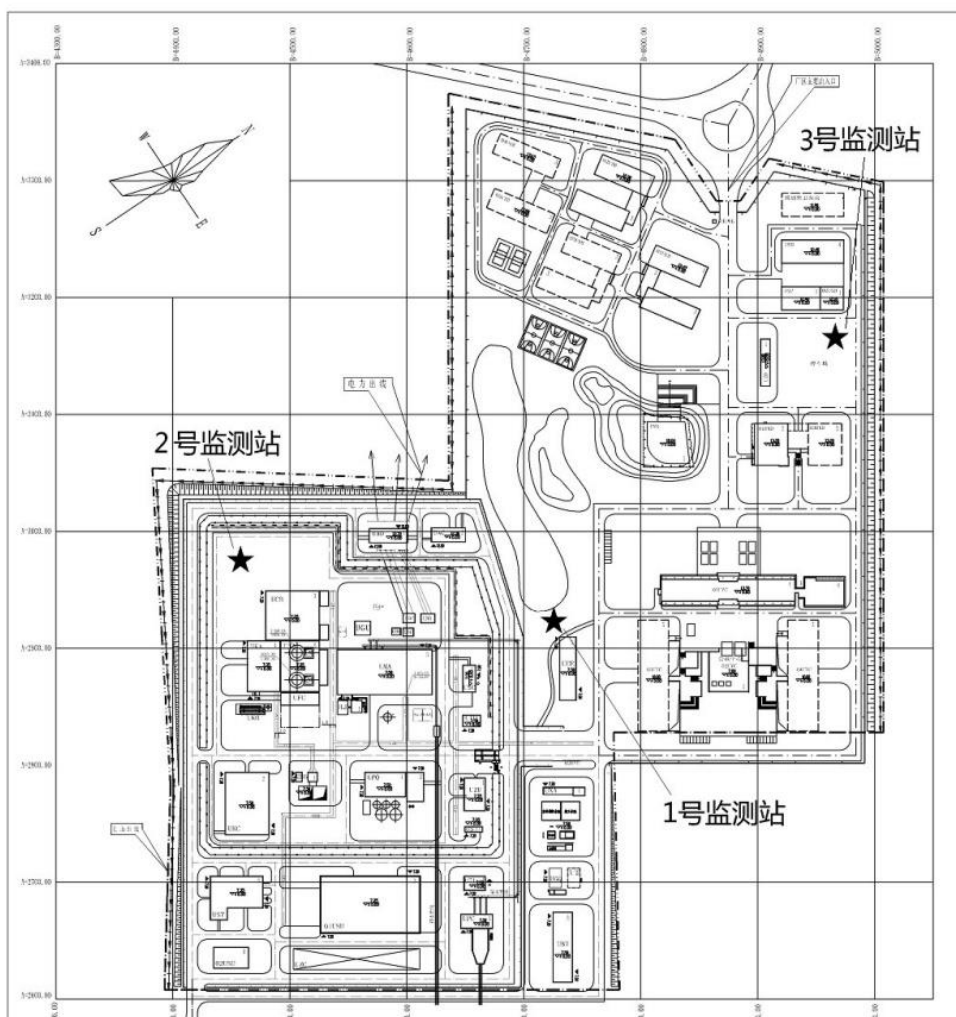
注：方位距离为相对于排水口的方位距离。

表 8.1-4 应急启动时各岗位的应急状态情况

应急岗位	应急待命及以上应急状态	
	启动状态	到岗地点
安全防护组（GSP）辐射防护 助理	启动	应急指挥中心
GSP环境监测助理	启动	应急指挥中心
场区巡测小分队	启动	应急指挥中心
外环境巡测小分队	启动	环境监测站



华能山东石岛湾核电站扩建一期工程  
环境影响报告书（选址阶段）  
环境介质采样点  
图 8.1-1 版次： A



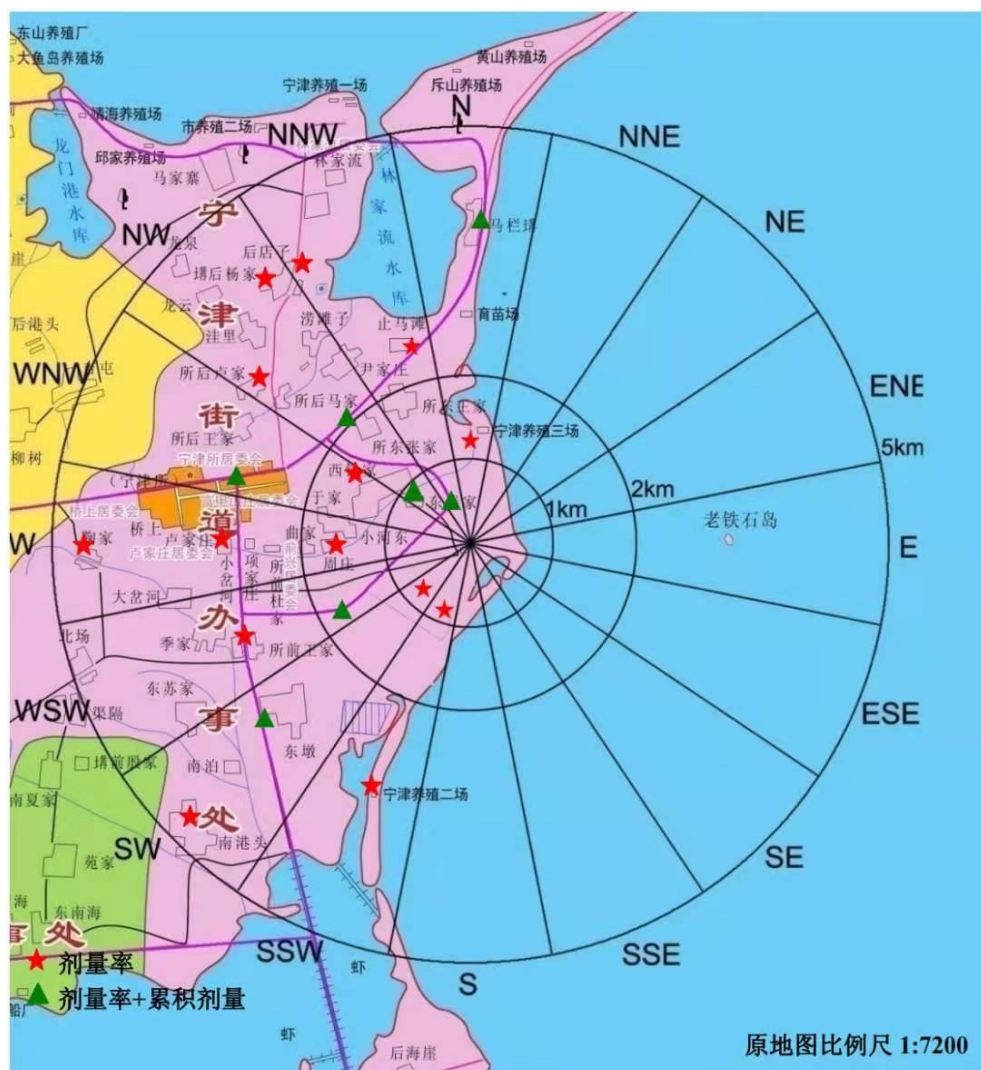
厂内环境自动监测站

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
固定点连续监测系统点位分布		
图 8.1-2（1/2）	版次：	A

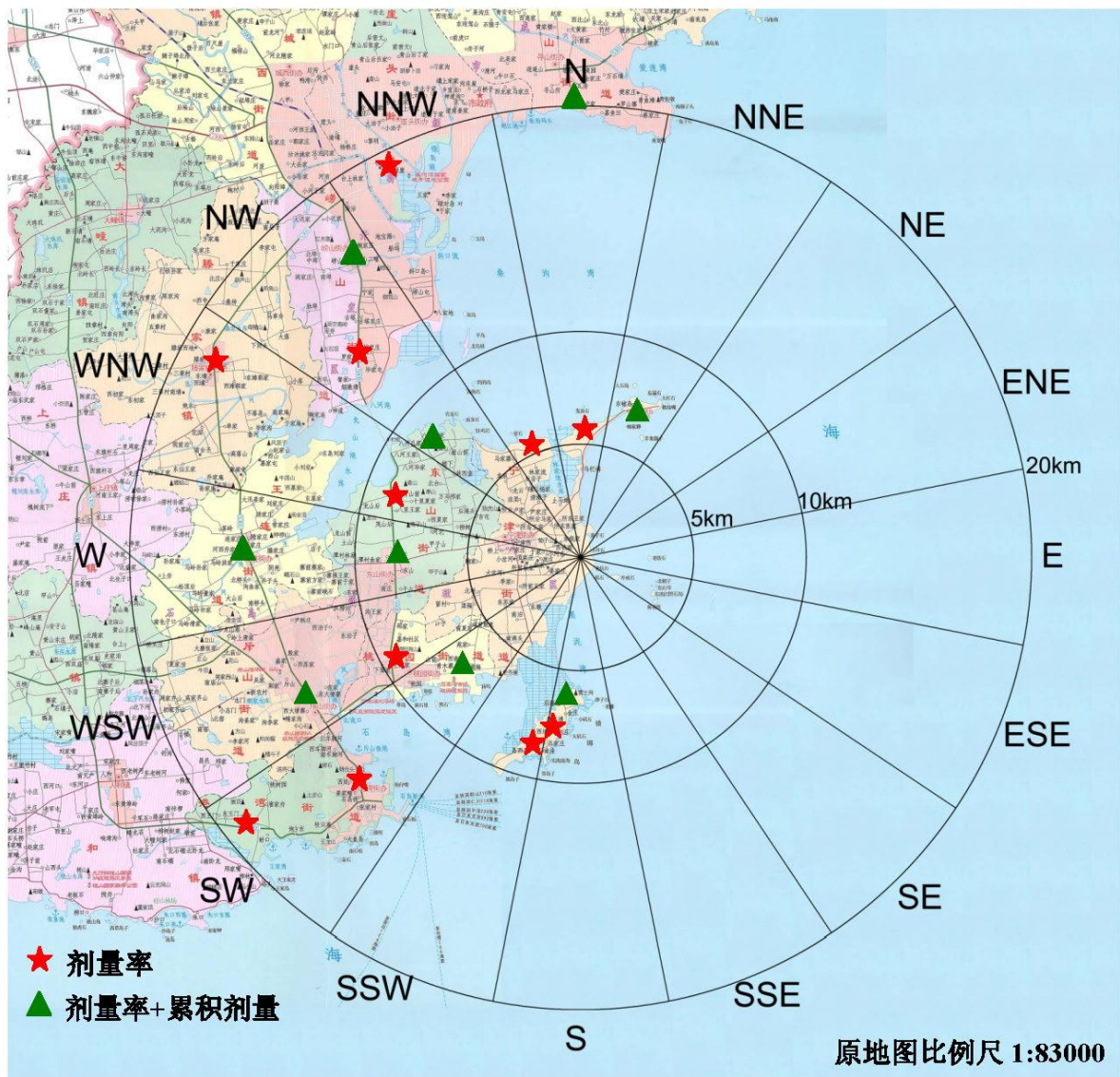


厂外环境自动监测站

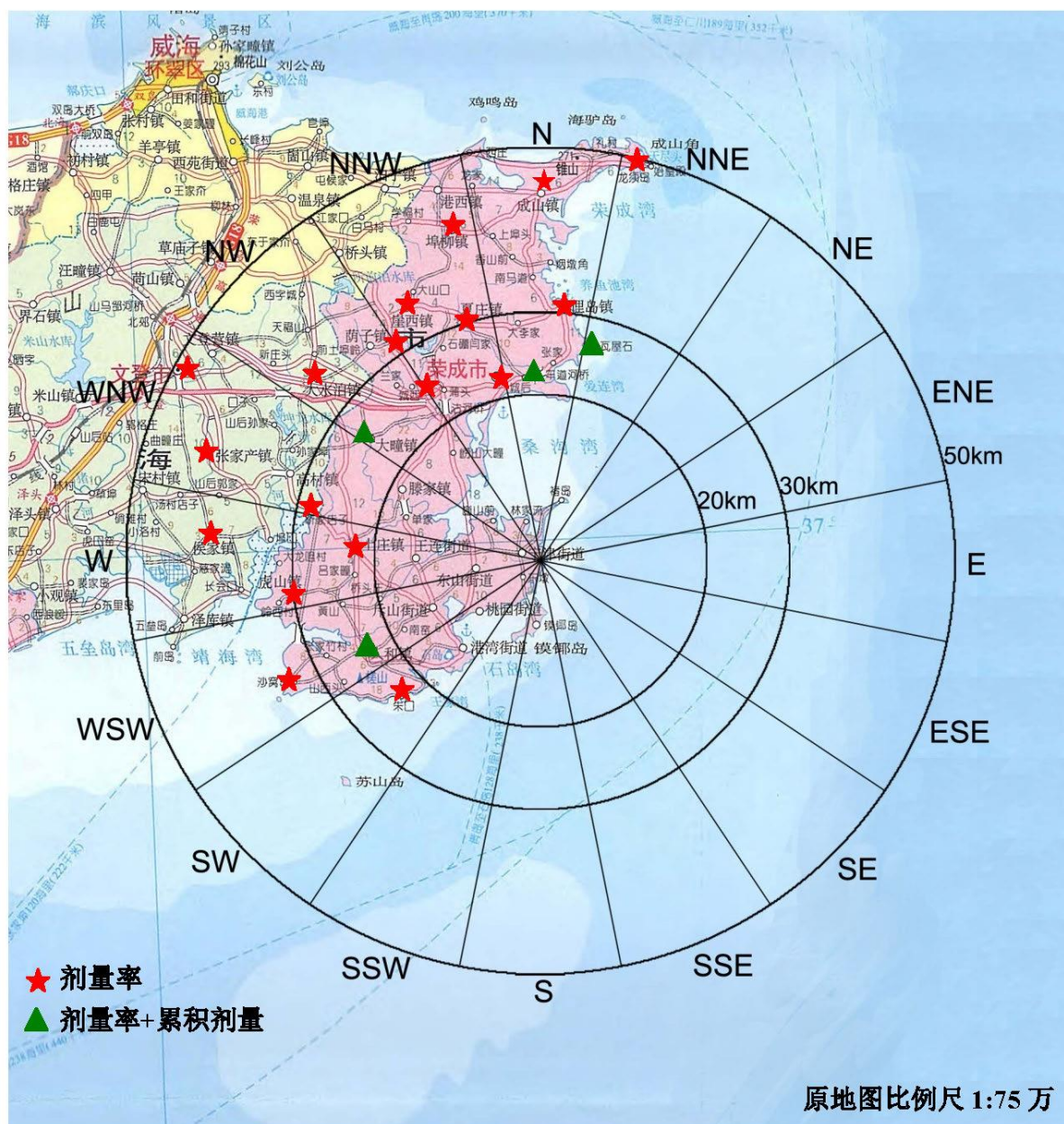
华能山东石岛湾核电站扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
固定点连续监测系统点位分布		
图 8.1-2（2/2）	版次：	A



华能山东石岛湾核电站扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
空气吸收剂量率监测与TLD监测点位分布（5km）		
图 8.1-3（1/3）	版次：	A



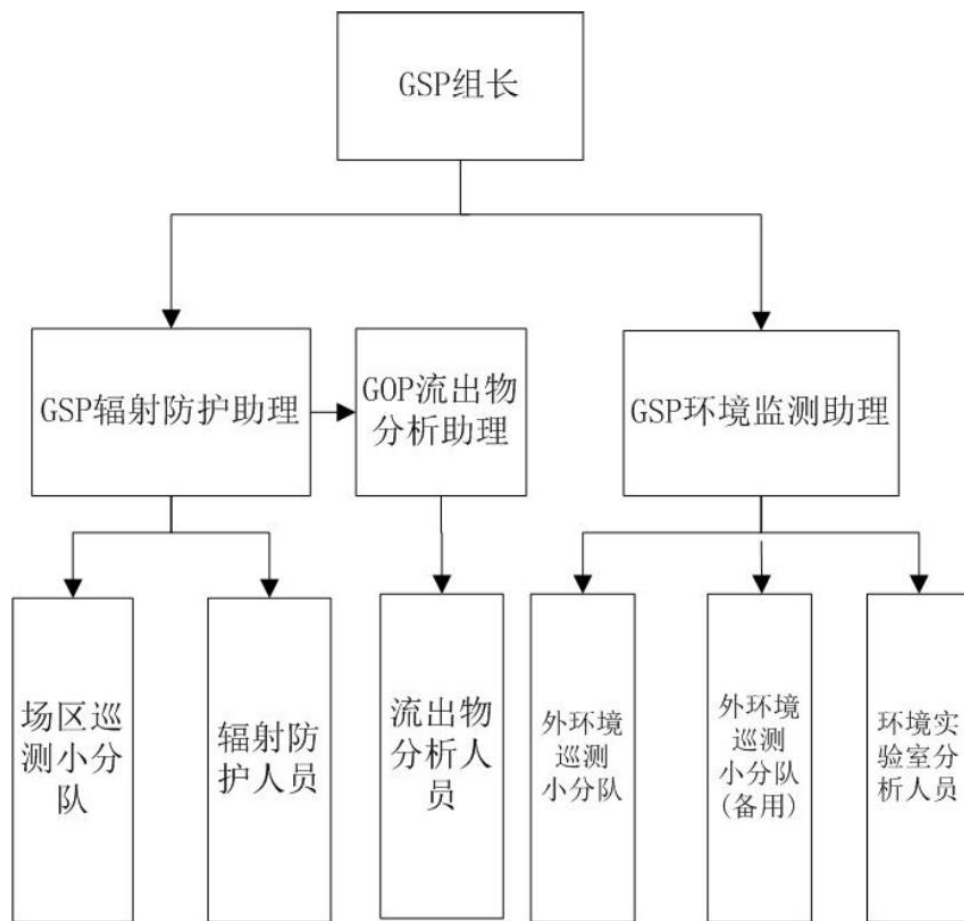
华能山东石岛湾核电站扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
空气吸收剂量率监测与 TLD 监测点 位分布（5~20km）		
图 8.1-3（2/3）	版次：	A



华能山东石岛湾核电站扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
空气吸收剂量率监测与 TLD 监测点 位分布（20~50km）		
图 8.1-3（3/3）	版次：	A



华能山东石岛湾核电站扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
海水及沉积物采样点位示意图		
图 8.1-4	版次：	A



华能山东石岛湾核电站扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
应急监测组织机构示意图		
图 8.1-5	版次：	A

- 8.2 其他监测
  - 8.2.1 热影响监测
  - 8.2.2 化学污染物和生活污水监测
  - 8.2.3 气象观测
  - 8.2.4 水文观测
  - 8.2.5 生态监测
  - 8.2.6 噪声监测
  - 8.2.7 电磁环境监测

表 8.2-1 生产废水来源、排放成分及监测和排放指标

## 8.2 其他监测

### 8.2.1 热影响监测

本工程运行期间在海水热影响监测方面将开展下述监测工作：

（1）在电站取水口及排放口定期开展海水温度监测，监测频度与该处其它非放监测项目相同。

（2）本工程运行后将结合厂址其他机组建设情况适时开展遥感或大面测量，以监测核电厂温排水热污染影响。

### 8.2.2 化学污染物和生活污水监测

#### （1）排放口化学污染物监测

核电厂化学污染物的监测主要针对受纳水体进行，监测项目及点位、频次为：

- 在取水口和排水口分别设点，监测项目为：油类、铁、硫酸盐、镍、钠、阴离子洗涤剂，监测频次为每季；
- 在取水口和排水口设点，监测项目为：溶解氧、六价铬、总铬、余氯、电导率、pH 值、联氨、氨氮，监测频次为每双周；

#### （2）生活污水监测

生活污水管道系统独立于工业废水和雨水管道系统，污水经管网收集到厂前区生活污水处理站进行处理。生活污水不外排，执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）中城市绿化标准。

### 8.2.3 气象观测

目前基地已建成了气象观测系统，包括厂址西南 1.6km 处的百米气象塔以及固定式连续监测系统设置的地面气象观测站。

本工程运行期间，气象铁塔进行 10m、30m、60m、80m 和 100m 观测，分别测量厂址地面以上各个高度风向、风速、温度等气象参数；地面气象站自动观测项目有风向、风速、降雨量、气压、太阳总辐射、净辐射、温湿度和地表温度。气象观测系统主要性能参数见表 2.4-10。

固定式连续监测系统所有 8 个环境  $\gamma$  辐射监测站址上设置了 10m 高度的风向和风

速测量及雨量测量项目。

#### 8.2.4 水文观测

本工程运行阶段，核电厂将结合厂址其他机组建设情况适时将对接纳水体定期进行水文观测，海洋水文观测的内容、方法和布点将参照《海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测》（GB/T 12763.2-2007）进行。

#### 8.2.5 生态监测

本工程运行期间将委托海洋部门进行接纳水体生态监测，其监测频度将结合厂址其他机组建设情况统一考虑，监测布点、监测方法和数据分析方法按《海洋调查规范 第9部分：海洋生态调查指南》（GB/T 12763.9-2007）进行。

#### 8.2.6 噪声监测

运行期间厂界噪声监测布点和监测方法按《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）的要求进行监测。

监测项目：厂界噪声和第三点噪声，监测声级（ $Leq$ ）、昼夜等效声级（ $Ld$ 、 $Ln$ 、 $Ldn$ ）、累积百分声级（ $L10$ 、 $L50$ 、 $L90$ ）；

监测点位：厂界布设4个点，此外在敏感点东钱家、西钱家、于家村各布置1个点位；

监测频次：每季度监测一次，每次监测两天，厂界噪声和敏感点噪声每天昼间、夜间各监测1次。

#### 8.2.7 电磁环境监测

本工程运行期间，将按照《交流输变电工程电磁环境监测方法（试行）》（HJ681-2013）的要求开展电磁辐射环境监测，主要在主厂房区、变电站区、厂区边界、附近居民敏感点、变电站间隔扩建侧和线路沿线选取布点，监测项目为工频电场强度和磁感应强度，监测频次为每年。

### 8.3 监测设施

#### 8.3.1 流出物实验室

#### 8.3.2 环境监测设施

#### 8.3.3 监督性监测系统

表

表 8.3-1 固定自动环境监测站点位设置

表 8.3-2 环境监测系统仪器设备配置

表 8.3-3 环境监测车设备性能参数

表 8.3-4 介质采样车设备性能参数

表 8.3-5 环境实验室分析设备性能参数

图

图 8.3-1 环境实验室相对于核电厂的方位和距离

图 8.3-2 环境实验室平面布置图

图 8.3-3 环境实验室设备家具功能布局图

## 8.3 监测设施

### 8.3.1 流出物实验室

流出物实验室用于核电站气态和液态流出物样品的预处理、样品制备、 $\gamma$  能谱分析、总  $\alpha/\beta$  放射性测量和核素分析，以确定排放的液态和气载流出物的放射性水平，保证向环境的受控排放，并为编写核电站放射性物质排放的年度评价报告提供数据。

本工程将新建流出物实验室，满足本工程流出物监测的要求。具体设计将在后续阶段的环境影响报告书中给出。

### 8.3.2 环境监测设施

#### 8.3.2.1 核电站环境监测系统

##### （1）点位分布

目前，基地已建设核电站环境监测系统，包括厂区周围的 8 个连续监测站以及相应的服务器，其中 3 个位于厂区内，5 个位于厂区外。现有监测站点布置基本满足基地辐射环境监测需求。

各监测站的分布见图 8.1-2。点位方位及各站设立的项目见表 8.3-1。

##### （2）仪器配置

###### 1) 监测站

1 号监测站（01UCJ）：位于紧邻双围墙的东北角外、主导风向下风向。设备配置包括： $\gamma$  探头及二次仪表、气溶胶及碘取样装置、雨水/大气沉降灰收集器、雨量计、有线传输装置、无线传输装置、电源（含正常供电电源和蓄电池备用电源）。

2 号监测站（02UCJ）：位于双围墙的西向拐角处（距离反应堆最近的厂区边界处）。设备配置与 01UCJ 相同。

3 号监测站（03UCJ）：位于厂前区东北角边界处。仪器配置包括： $\gamma$  探头及二次仪表、有线传输装置、无线传输装置、电源（含正常供电电源和蓄电池备用电源）。

4 号监测站（04UCJ）：位于东钱家。仪器配置在 01UCJ 上增加了  $^3\text{H}$  采样器、 $^{14}\text{C}$  采样器。

5 号监测站（05UCJ）：位于宁津。仪器配置同 04UCJ。

6号监测站（06UCJ）：位于东墩村。仪器配置在03UCJ基础上增加了 $^3\text{H}$ 采样器、 $^{14}\text{C}$ 采样器。

7号监测站（07UCJ）：位于镆铳岛。仪器配置同04UCJ。

8号监测站（08UCJ）：位于荣成生活区内。仪器配置同04UCJ。

## 2) 主服务器系统

主服务器系统设置于电厂应急指挥中心。主要对下列数据信息进行显示、查询、打印、存档管理以及环境监测实时数据网的传送等：环境 $\gamma$ 自动监测数据信息；气象监测数据信息；环境监测车所监测的数据信息。

主服务器系统由以下设备组成：环境 $\gamma$ 辐射监测数据中央计算机；端口交换机；网络隔离装置；监测数据工作站；环境监测实时数据服务器；光电转换器；无线传输装置；有线传输装置；打印机；电源（含不间断电源）等。

## 3) 辅助服务器系统

辅助服务器系统设置于环境实验室。电站正常运行时，环境 $\gamma$ 辐射监测数据与实时收集的核电站地区气象要素数据一起由主服务器系统传至环境监测实时数据网，进行集中处理、贮存、显示、网络传输、查询和网上发布，并定期上传至上级部门和地方环保部门。

辅助服务器系统由以下设备组成：环境监测实时数据服务器；端口交换机；投影设备；打印机；电源（含不间断电源）；防火墙等。

### (3) 设备参数

#### 1) $\gamma$ 探头

- 探头类型：双GM计数管；
- 测量范围：10nGy/h~10Gy/h；
- 能量范围：50keV~3MeV；
- 基本测量误差： $\pm 15\%$ （ $^{137}\text{Cs}$ ）。

#### 2) 气溶胶取样装置

- 采样流量： $\geq 1\text{m}^3/\text{min}$ ，可显示瞬时流量和累积流量；
- 过滤效率： $\geq 99\%$ 。

#### 3) 碘采样器

- 采样流量范围：60~230LPM，可调，可显示瞬时流量和累积流量；

— 吸附效率：对元素碘 $\geq 99\%$ ；对甲基碘 $\geq 95\%$ （湿度 $\leq 80\%$ ，温度 $\leq 30^{\circ}\text{C}$ ）。

4) 雨水/大气沉降灰收集器

- 雨水收集桶面积： $0.28\text{m}^2$ ；
- 沉降灰收集桶面积： $0.28\text{m}^2$ ；
- 顶盖切换时间： $< 60\text{s}$ ；
- 雨感器灵敏度： $0.2\text{mm/h}$ ；
- 顶盖可根据是否降雨自动切换。

5)  $^3\text{H}$  采样器

- 取样流量： $10\text{LPH}\sim 50\text{LPH}$ ；
- 捕获效率： $\geq 95\%$ ；
- 配置冷却装置，减少取样介质的流失；
- 带催化功能，用于捕获空气中除 HTO 外的  $^3\text{H}$ 。

6)  $^{14}\text{C}$  采样器

- 取样流量： $10\text{LPH}\sim 50\text{LPH}$ ；
- 捕获效率：对  $\text{CO}_2$  形态的  $^{14}\text{C}\geq 99\%$ ；对 CO 和有机碳形态的  $^{14}\text{C}\geq 96\%$ ；
- 配置冷却装置，减少取样介质的流失；
- 带催化功能，用于捕获空气中除  $\text{CO}_2$  外的  $^{14}\text{C}$ 。

核电站环境系统监测与采样设备配置见表 8.3-2。

### 8.3.2.2 环境监测车

目前基地已配置了 1 辆监测车和 2 辆介质采样车。

(1) 环境监测车

环境监测车的配置及功能如下：

1) 设备组成及结构

环境监测车设备由环境监测车车体、车载  $\gamma$  辐射监测仪、便携式  $\text{LaBr}_3$  多道  $\gamma$  谱仪、便携式  $\gamma$  剂量率仪、便携式表面  $\alpha/\beta$  污染测量仪、便携式气溶胶和碘取样装置、便携式气象观测设备、车载计算机（含车载电子地图）以及 GPS 导航系统、车载通信装置、供电设备、工作人员防护装备、应急医药箱以及消防用品等组成。

2) 主要功能

在核电站正常运行情况下，环境监测车主要用于对厂区及周围区域内的环境  $\gamma$  辐射水平进行巡测，对环境介质样品的总  $\alpha$ 、总  $\beta$ 、总  $\gamma$  放射性活度进行测量以及进行  $\gamma$  核素分析，对各种被测对象的  $\alpha$ 、 $\beta$  表面污染进行测量等。在核电站发生事故的情况下，环境监测车用作快速应急监测。

环境监测车的测量数据可以通过车载计算机进行处理，然后通过车载通信装置传输至基地以及华能山东石岛湾核电站的环境监测系统相关通信接口。

### 3) 主要设备参数

监测车的主要设备参数见表 8.3-3。

## (2) 介质采样车

核电站将配置两台介质采样车，包括大体积介质采样车和小体积介质采样车。大体积介质采样车主要进行液体介质以及大体积固体新鲜样品的采集和运输。小体积介质采样车主要用于小体积环境样品的采集和运输，也可进行热释光元件（TLD）的布设及回收，在核电站发生事故时，可以配置便携式仪表和其他设备参与统一的应急行动。

介质采样车的主要设备参数见表 8.3-4。

## 8.3.2.3 环境实验室

### (1) 位置

目前基地已建设了环境实验室，统一用于基地辐射环境监测。基地现有监测站设计基本满足本工程运行期间辐射环境监测要求。

环境实验室位于厂址 NW 方位约 9.5km，方位和距离见图 8.3-1，其选址避开了主导风向（SSW）的下风向，位于烟羽应急计划区的边界处。

### (2) 功能

环境实验室内的实验室主要功能为：

- 通过介质采样车对核厂所在区域的空气、陆生生物、水生生物、食物、土壤、水、沉降灰以及核电站的进排水等环境样品进行采样；
- 配置烘箱、电炉、马弗炉等设备，对采集的环境样品进行预处理和样品制备（干燥、碳化和灰化等）；
- 配置高纯锗  $\gamma$  谱仪、低本底  $\alpha\beta$  测量仪、低本底液闪计数器等仪器设备，对

环境样品进行放射性物理测量；

- 配置各种仪器、化学试剂等对环境样品进行放射性化学分析；
- 配置原子吸收光谱仪、分光光度计等设备对环境样品进行非放射性测量；
- 在环境监测中央站内设置一台环境监测网的远距离显示和打印终端，用于对环境监测网服务器（位于厂区应急指挥中心）中的气象和环境数据进行显示、打印和储存。

### （3）功能布局及设计

环境监测站主要设置各种实验室，主要有留样间、 $\gamma$  谱测量室、液闪测量室、总  $\alpha\beta$  测量室、UPS 室、气瓶间、便携式仪表和防护用品存放室、热释光测量室、源室、样品预处理室、化学实验室、天平室、加标实验室、非放测量室、H-3 实验室、C-14 实验室等。

环境实验室的功能布局见图 8.3-2。

### （4）家具设备配置

监测站的家具设备主要包括分析实验台、仪器台、通风柜、通风罩、天平台、柜子、实验桌等。其设备、家具配置及功能布局图见图 8.3-3。

### （5）仪器设备配备性能参数

环境实验室仪器设备配置及参数详见表 8.3-5。

## 8.3.3 监督性监测系统

根据 2012 年 2 月 13 日环境保护部和国家能源局联合下发的《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设规范（试行）》（环发[2012]16 号文），规定“核电厂营运单位负责核电厂辐射环境现场监督性监测系统的建设，且必须与主体工程同时投入试运行，其资金纳入核电厂成本预算”。

石岛湾核电厂址辐射环境现场监督性监测系统按厂址共用规划，由上海核工程研究设计院有限公司设计，华能山东石岛湾核电厂负责选址、采购和建设，满足基地的所有机组运行监督性监测要求。该系统于 2014 年 2 月完成选址，于 2015 年 9 月取得设计方案的批复，于 2016 年 4 月完成施工图设计，于 2019 年 9 月竣工。系统已于 2020 年 12 月完成预验收。

监督性监测系统由核电厂外围辐射环境监测系统和流出物监测系统两部分组成。

核电站外围辐射环境监测系统包括监测子站和前沿站。流出物监测系统包括流出物在线监测系统和流出物实验室。

### 8.3.3.1 监督性辐射环境监测系统

#### （1）监测子站

监测子站配置辐射监测设备、气象测量设备、采样设备等，用于连续实时地监督核电站周围环境中的辐射水平和变化趋势。当核电站发生事故时，监测子站的测量数据可以为后果评价以及场外应急决策提供信息。

基地共设 14 个子站，包括华能石岛湾核电辐射环境监测系统 8 个子站和国核示范电站辐射环境监测系统 6 个子站，前者共有 3 个厂内站，5 个厂外站，厂内 3 个分别位于核岛北部、核岛西部、厂前区；厂外 5 个分别位于东钱家（WNW）、宁津镇（W）、东墩村（SW）、镆铳岛（S）、荣成生活区（N）；后者共设置 6 个监测子站，其中厂内 3 个，厂外 3 个。厂内 3 个分别位于 SRTF、综合楼、氢气升压站；厂外 3 个分别位于国核厂区大门（SW）、南泊（SW）、渠隔（WSW）。

#### （2）前沿站

前沿站位于荣成市王店镇，位于石岛湾核电站 W 方位，距离石岛湾核电站 14.3km。前沿站场址占地约 17 亩，场址内设施包括前沿站实验室、流出物实验室、车库、门卫、消防水池及泵房、监测子站、标准气象观测场等。

### 8.3.3.2 流出物监测系统

流出物监测系统由流出物在线监测系统和流出物实验室构成，实现对核电站释放到环境中放射性气态、液态放射性物质进行连续在线监测和抽样监测的功能。

#### （1）流出物在线监测系统

流出物在线监测系统共用核电站自行实施的流出物在线连续监测仪表，再通过核电站的核数据链服务器与独立配置的数据传输设备，将监测仪表的测量数据传输至位于前沿站的数据汇总中心。

#### （2）流出物实验室

流出物实验室用于对核电站释放到环境中的放射性气态、液态排放物进行抽样监测，并承担事故时的应急样品的分析。流出物实验室与前沿站共址，按独立设计、分

散布局的原则建设。

流出物实验室为地上二层的钢筋混凝土框架结构建筑，长 32.8m，宽 19m，高 8.7m，占地 623.2m<sup>2</sup>，总建筑面积为 1246.4m<sup>2</sup>。实验室一层设置：放射性废物存放室、核素测量室、样品储藏室等；二层设计：化学实验室、样品前处理室等。

表 8.3-1 固定自动环境监测站点位设置

监测站 设备名称	厂内环境 $\gamma$ 辐射监测站			厂外环境 $\gamma$ 辐射监测站				
	1号 核岛北侧 N, 0.1km	2号 核岛西测 W, 0km	3号 厂前区 NNE, 0.3km	4号 东钱家 NW, 0.8km	5号 宁津 WNW, 2.64km	6号 东墩村 SW, 3.31km	7号 镆铳岛 S, 7.7km	8号 荣成 生活区 N, 20.5km
环境 $\gamma$ 辐射探头	√	√	√	√	√	√	√	√
雨量传感器	√	√		√	√	√	√	√
无线传输装置	√	√ <sup>d</sup>	√	√	√	√	√	√
雨水/沉降灰收集器	√	√		√	√		√	√
气溶胶取样器	√	√		√	√		√	√
碘取样器	√	√		√	√		√	√
风速、风向仪	√	√	√	√	√	√	√	√
<sup>3</sup> H 采样器				√	√	√	√	√
<sup>14</sup> C 采样器				√	√	√	√	√

表 8.3-2 环境监测系统仪器设备配置

序号	名称	规格型号	单位	数量
主服务器	环境 $\gamma$ 辐射数据中央计算机	ACP-4320	台	1
	环境监测数据工作站	ACP-4320	台	1
	气象数据工作站	ACP-4320	台	1
	环境监测中央服务器 1	NF5240M3	台	1
	计算机机柜	M-9029SD	套	1
	中央通控制柜	M-9003SD	套	1
	工业以太网交换机	EKI-7626C	套	1
	光电转换器	EKI-2541S	套	7
	有线防雷装置	RJ45-E100/4S	套	1
	电源防雷装置	AMI-80	套	1
	A3 彩色喷墨打印机	HP officejet 7110	台	1
	A4 激光打印	HP laser jet P1108	台	1
辅助服务器	环境监测数据工作站	ACP-4320	台	1
	环境监测中央服务器 2	NF5240M3	台	1
	工业以太网交换机	EKI-7626C	套	1
	有线防雷装置	RJ45-E100/4S	套	1
	电源防雷装置	AMI-80	套	1
	小卫士 UPS	YTA2000LCD	台	1
	投影仪	PT-UX333C	台	1
	A3 彩色喷墨打印机	HP officejet 7612	台	1
A4 激光打印机	HP officejet Pro M202N	台	1	
监测子站	环境 $\gamma$ 辐射探头	M-5007YJ	套	8
	就地处理箱（含就地显示）	M-9026YJ	套	8
	雨量传感器	SL3-1	套	7
	数据采集器	DT60	套	8
	风速风向仪（含风杆）	EL15-1/EL15-2	套	8
	无线传输装置	H7920	套	8
	数字信号合成器	M-9004YJ（NISE2100）	套	8
	光电转换器	EKI-2541S	套	3
	气溶胶/碘取样器（含流量计）	CF1001	套	6
	雨水/沉降灰收集器	ZJC-III	套	6
	有线防雷装置	RJ45-E100/4S	套	8
	无线防雷装置	ST50SMA	套	8
	电源防雷装置	AMI-80	套	8
	电源控制箱	M-9027YJ	套	8
	备电电池（72 小时自持）	GFM-300	套	8
	环境 $\gamma$ 监测站控制柜	M-9002SD	套	8
	$\gamma$ 探测器固定支架	M-9012YJ	套	8

表 8.3-3 环境监测车设备数据表

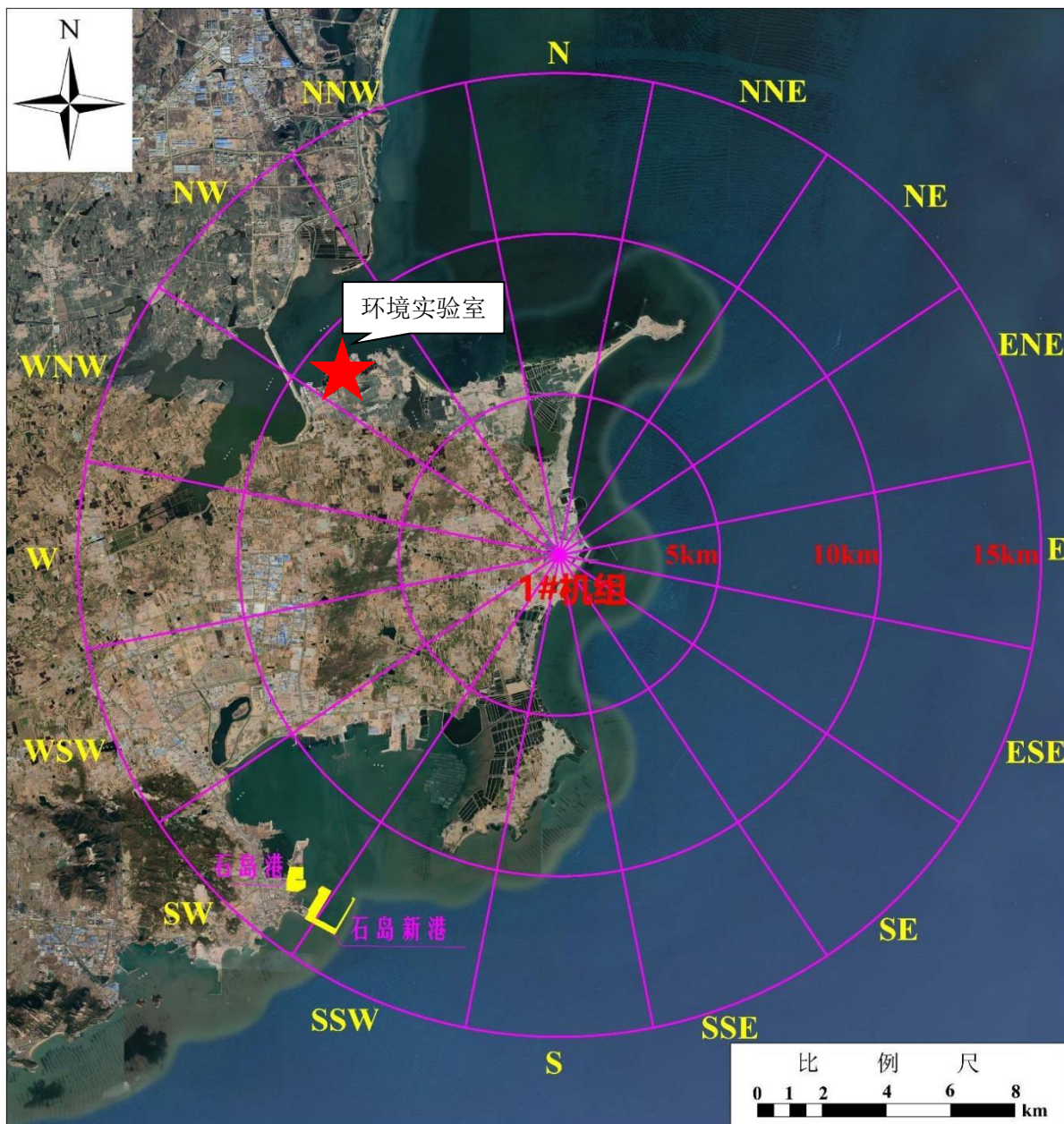
序号	设备名称	数量	技术要求
1	车载 $\gamma$ 辐射监测仪	1 台	能量范围：50keV~10MeV 测量范围： $1 \times 10^{-8}$ Sv/h~10 Sv/h 参考能量：661.6 keV（Cs-137） 探测器工作温度：-25°C~+50°C
2	便携式多道 $\gamma$ 谱仪	1 台	晶体尺寸： $\Phi 2'' \times 2''$ 能量响应：50keV~3MeV 能量分辨率： $\leq 2.3$ keV（Co-60,1.33 MeV） ADC 道数：不低于 1024 道 能量非线性：不大于 1%
3	便携式 $\gamma$ 剂量率	1 台	能量范围：50keV~3MeV 测量范围： $1 \times 10^{-8}$ Sv/h~10Sv/h 相对固有偏差： $\pm 15\%$ （低于 $10^{-4}$ Sv/h）； $\pm 10\%$ （高于 $10^{-4}$ Sv/h）
4	便携式表面 $\alpha/\beta$ 污染测量仪	1 台	探测限： $\alpha < 0.04$ Bq/cm <sup>2</sup> $\beta < 0.4$ Bq/cm <sup>2</sup> 探测效率： $\alpha > 20\%$ （Pu-239, Am-241） $\beta > 40\%$ （Sr-90~Y-90, Cl-36） 探测窗面积： $> 100$ cm <sup>2</sup> （探测窗可更换） 测量范围： $\alpha$ ：0~5000cps； $\beta$ ：0~50000cps；
5	便携式气溶胶和碘取样装置	2 台	最大取样流量：300L/min 气溶胶滤纸尺寸： $\phi 2''$ 气溶胶过滤效率： $\geq 97\%$ 活性炭盒尺寸： $\phi 2.25'' \times 1''$ 碘吸附效率：元素碘： $\geq 99\%$ 甲基碘： $\geq 95\%$ （35°C，相对湿度 70%）
6	便携式气象观测设备	1 套	风速传感器： 测量范围：0~40m/s 准确度： $\pm 0.5$ m/s（风速 $< 3$ m/s 时） $\pm 10\%$ （风速 $> 3$ m/s 时） 起动风速：0.5m/s 分辨率：0.1m/s 风向传感器： 测量范围：0°~360° 分辨率：2.8° 准确度： $\pm 5^\circ$ （风速 $> 0.5$ m/s 时） 起动风速：0.5m/s
7	车载计算机（含车载地图）及 GPS 导航系统	1 台	
8	车载通信装置	1 套	
9	供电设备	1 套	
10	工作人员防护装备	10 套	包括辐射防护服、防护工作鞋、防护眼镜、防护手套和防护口罩等。
11	应急医药箱	1 个	
12	消防用品	1 套	

表 8.3-4 介质采样车设备数据表

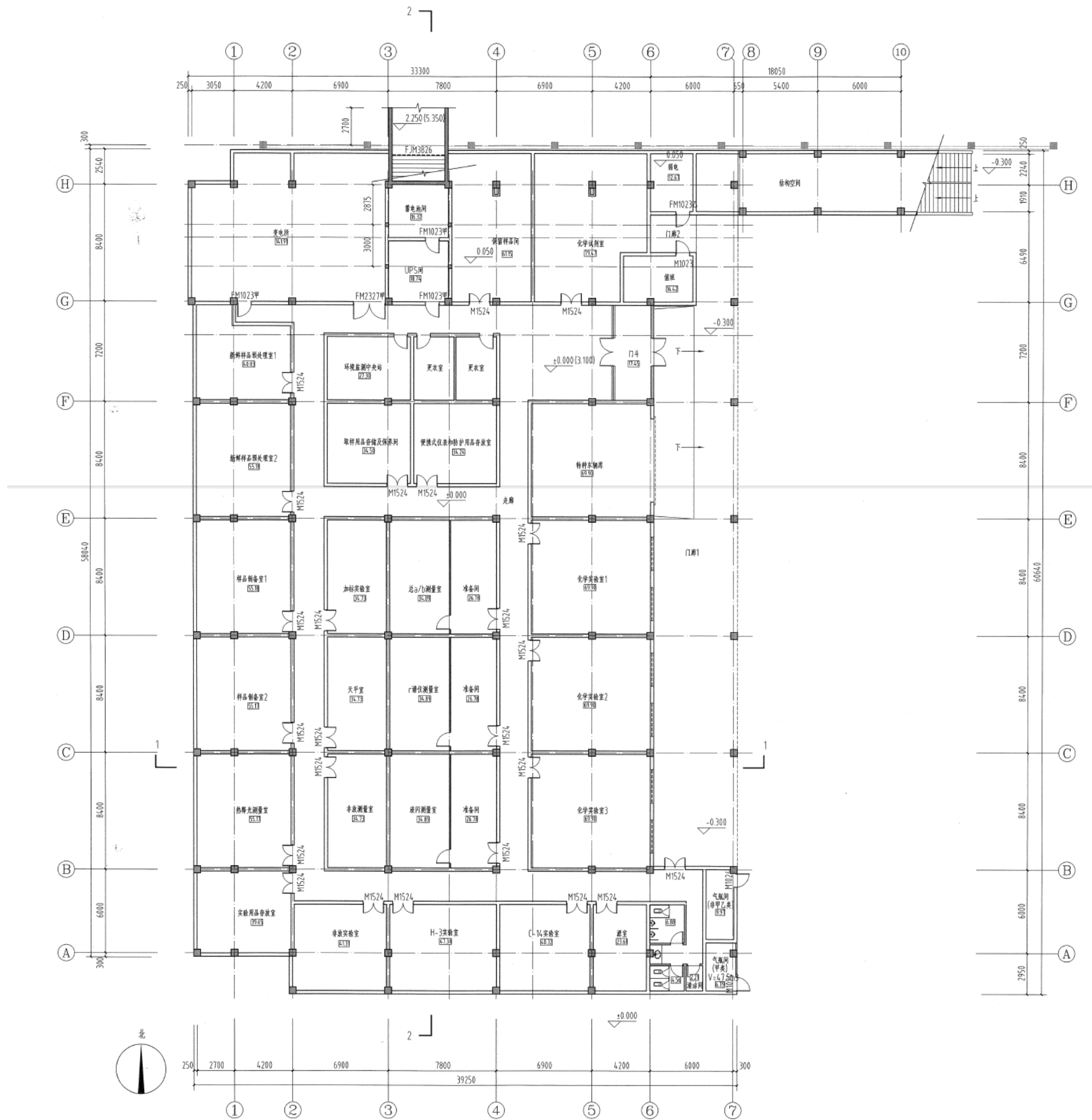
序号	设备名称	数量	技术要求
1	大体积介质采样车	1 辆	
2	小体积介质采样车	1 辆	
3	便携式发电机	2 台	输出电压：220V AC，50Hz 额定输出功率：2.8KVA 最大输出功率：3.1KVA 连续工作时间：12 小时
4	工作人员防护设备	5 套	包括辐射防护服、防护工作鞋、防护眼镜、防护手套和防护口罩等。
5	消防用品	2 套	
6	应急医药箱	2 个	

表 8.3-5 环境实验室分析设备数据表

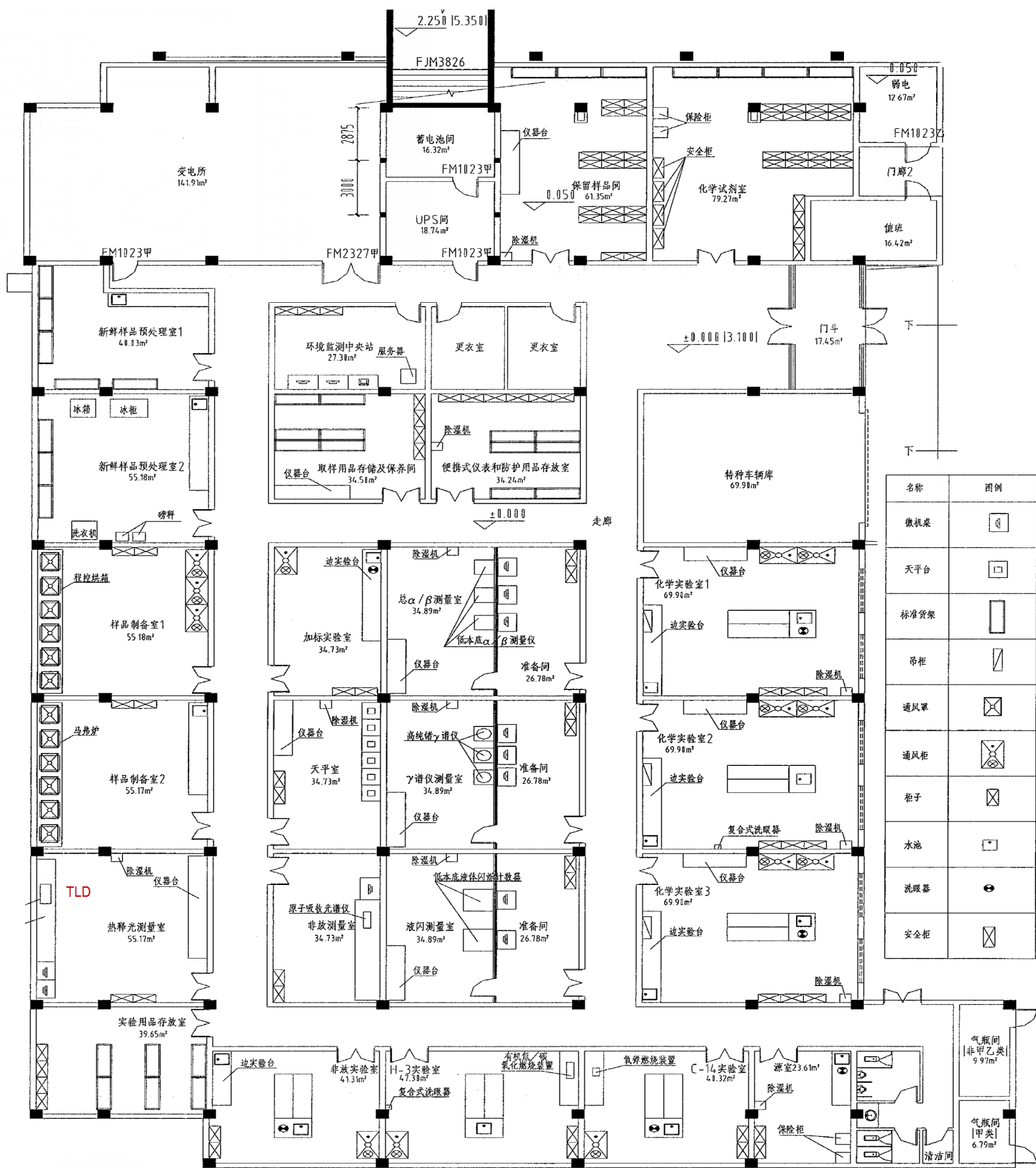
序号	设备名称	数量	技术参数
1	N 型高纯锗 $\gamma$ 谱仪	2 台	N 型同轴型高纯锗探测器 测量能量范围：5keV~3MeV 相对测量效率：40% 能量分辨率：<2keV（在 1.33MeV 处） 峰-康比：≥59:1（在 1.33MeV 处） 通道数：≥16384 道 制冷方式：液氮制冷
2	P 型高纯锗 $\gamma$ 谱仪	1 台	P 型同轴型高纯锗探测器 测量能量范围：50keV~10MeV 相对测量效率：60% 能量分辨率：<1.95keV（在 1.33MeV 处） 峰-康比：≥70:1（在 1.33MeV 处） 通道数：≥16384 道 制冷方式：液氮制冷
3	热释光剂量测量系统	1 套	能量范围：X、 $\gamma$ 射线：10keV~6MeV $\beta$ 射线：80keV~3MeV
4	低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 测量仪	3 台	探测器类型：流气式正比计数管 探测器通道数：8 个 探测器有效直径： $\phi$ 60mm 本底计数： $\alpha$ :≤0.05cpm $\beta$ :≤1cpm 测量效率： $\alpha$ :≥37%（Am-241） $\beta$ :≥54%（Sr-90/Y-90） 串道比： $\alpha$ 射线对 $\beta$ 道：≤1% $\beta$ 射线对 $\alpha$ 道：0%
5	低本底液体闪烁计数器	2 台	能量范围：0~2MeV 本底计数：H-3≤1cpm； C-14≤0.5cpm 测量效率：H-3≥60% C-14≥95%
6	高压电离室型 $\gamma$ 剂量率仪	1 台	能量响应：50keV~3MeV 测量范围：3×10 <sup>-8</sup> Gy/h~0.1Gy/h
7	便携式 $\gamma$ 剂量率仪	5 台	能量响应：50keV~3MeV 测量范围：1×10 <sup>-2</sup> $\mu$ Gy/h~1×10 <sup>4</sup> Gy/h（3 台） 1×10 <sup>-1</sup> $\mu$ Sv/h~1×10 <sup>7</sup> $\mu$ Sv/h（2 台）
8	便携式表面 $\alpha/\beta$ 污染测量仪	5 台	探测效率： $\alpha$ :>30%（Pu-239） $\beta$ :>40%（Sr-90/Y-90）
9	原子吸收光谱仪	1 台	波长范围：190nm~900nm
10	紫外可见分光光度计	1 台	波长范围：190nm~900nm
11	PH/电导率测量仪	2 台	测量环境液体样品的 PH 值/电导率
12	电子 PH 计	6 台	测量范围：-2.000 到 19.999
13	便携式溶解氧测量仪	1 台	测量范围：0~90.0mg/L
14	便携式余氯测定仪	1 台	测量范围：0.00~9.99mg/L(余氯) 解析度：0.01mg/L
15	BOD 自动测定仪	1 台	包括 BOD 生物培养箱和 BOD 计
16	COD 自动测定仪	1 台	分光光度计：灯源：钨灯；波长范围：420nm~610nm COD 消解器：可编程的温度范围：37~165°C



华能山东石岛湾核电站扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
环境实验室相对于核电站的方位和距离		
图 8.3-1	版次：	A



华能山东石岛湾核电站扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
环境实验室平面布置图（一层）		
图 8.3-2	版次:	A



名称	图例
微波炉	
天平台	
标准货架	
吊柜	
通风罩	
通风柜	
柜子	
水池	
洗眼器	
安全柜	

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程  
环境影响报告书（选址阶段）  
环境实验室设备家具功能布局图  
图 8.3-3 版次： A

8.4 质量保证

8.4.1 环境监测质量保证

8.4.2 流出物监测质量保证

## 8.4 质量保证

为了保证本工程环境监测和流出物监测设备的可靠性，确保监测数据的精确性、可比性，依据国家有关标准，运营单位制订了环境与流出物监测质量保证程序。本节主要描述运行期间环境与流出物监测质量保证的主要内容。

### 8.4.1 环境监测质量保证

#### （1）样品采集、前处理、保存和管理的质量保存措施

- 环境样品的选择必须具有代表性，环境样品前处理方法须规范；
- 环境样品前处理中严格采取以下措施，防止交叉污染：
  - 定期用稀硝酸浸泡取样塑料桶；
  - 使用过的瓷蒸发皿必须清洗，且在马弗炉中加热至 650°C（保温 2 小时）；
  - 每批样品烘干完成后，对烘箱内部进行清洁。
- 在样品制备和分析测量的操作过程中，应注意防止样品之间的交叉污染；
- 土壤、生物灰、海底泥、沉积物等  $\gamma$  谱样品测量完毕后须存放至样品保留间，对于核电站运行前环境本底调查的样品应保存到该核电站退役后十年；
- 对需要保存的常规样品按年度清理、归类入库、记录存档，每年对保存样品的状态进行一次检查。

#### （2）实验室分析测量的质量控制

- 检定或标定所采用的标准源、标准参考物质应能溯源到国家标准；
- 按计量法规要求对环境监测仪器进行定期检定，并做好记录；
- 按环境保护科相应的技术规程进行测量分析和数据处理，任何操作人员不得擅自修改常规采用的方法和程序。

#### （3）测量仪器的性能检验

- 每年对  $\gamma$  谱、低本底  $\alpha/\beta$  测量仪、液闪谱仪进行检验，确定设备的本底的计数率是否满足泊松分布的  $\chi^2$  检验；
- 为检验测量仪器的长期稳定性，低本底  $\alpha/\beta$  测量仪、液闪谱仪、 $\gamma$  谱仪等仪器每月对仪器本底和效率进行稳定性性能检验，检验内容见相关仪器操作规程；
- $\gamma$  谱仪、低本底  $\alpha/\beta$  测量仪、液闪谱仪等仪器本底和效率应有相应质控图（正常工作条件下获得 20 个测量值以上），仪器定期检验时，如超过质控图的质控

范围，应查明原因，采取措施，如对仪器行检修、调整，重新绘制质控图；

- 每月对原子吸收分光光度计、紫外可见光分光光度计进行性能检验，检验内容见相关仪器操作规程；
- $\gamma$  谱仪每半年应进行一次标准参考物质的分析；
- 更换（维修）仪器主要部件后需再进行刻度后方可使用。

#### （4）环境样品平行样分析

- $\gamma$  谱核素分析环境样品（生物、表层土、海洋沉积物）时取 10% 样品作平行样分析；
- 液闪谱仪分析环境样品时取 10% 样品作平行样分析；
- $^{90}\text{Sr}$  和  $^{131}\text{I}$  放化分析（生物、土壤、沉积物和海水）100% 作平行样分析。

#### （5）环境样品复检

- $\gamma$  谱核素分析环境样品（生物、表层土、海洋沉积物、海水等样品）复检率 $\geq 15\%$ 。

#### （6）数据的记录、处理和管理要求

- 每个样品从采样、预处理、分析测量到结果计算，其全过程中的每一步都应按规程规定有清楚、详细、准确的记录；
- 质量控制记录包括分析仪器刻度记录、维修记录、标准源（参考物质）、实验室之间及内部测量的对比情况；
- 对于偏离正常值的异常结果，应及时向技术负责人报告，分析原因、进行核查；
- 数据处理及管理，按《环境监测数据处理原则》要求进行。

#### （7）实验室比对

- 实验室应积极参加国内外组织的实验室之间的比对，以发现在本实验室内难以发现的误差或问题；原则上实验室的所有测量项目每三年至少参加一次比对；
- 加强与地方环保部门间的技术交流，并不定期开展比对工作；
- 不定期外部送检部分环境样品；
- 不定期组织实验室内部比对工作；
- 不定期发放环境样品（盲样），对工作人员进行考核。

### 8.4.2 流出物监测质量保证

#### （1）流出物排放取样及样品测量质量控制

对电厂所有流出物排放的取样和测量，应严格按相应程序规定执行。包括：

- 取回样品应及时测量，测量前，首先确认仪器处于可用状态；
- 对液态流出物样品测量，应先制备氡样、后测 pH 值和总  $\gamma$  或  $\gamma$  谱测量。
- 样品测量完毕后并检查数据无误，应及时处理，废液样品倒入指定放射性水池，禁止倒入非放射性水池。
- 测量所使用的样品盒不用在不同系统中混用，避免交叉污染，并定期监测是否收到污染。
- 各系统进行  $\gamma$  谱测量的样品应保留最近的样品，作为保留样品以备复查。

### （2）实验室环境质量控制

- 进入流出物实验室控制区工作，应遵守辐射防护相关规定，配戴个人剂量计，穿白大褂、戴白色细纱手套，制样时戴乳胶手套。
- 放射性样品送到实验室后，应在控制区实验室进行样品拆包、制备等，禁止在非控制区实验室对放射性样品进行拆包和制备。
- 实验室内应有足够的通风以防止样品污染。
- 平时工作应注意保持实验室环境整洁干净，保持实验室台面的清洁，做完试验及时清理台面和处理塑料瓶、吸管等。
- 仪器使用的电源电压应稳定，重要仪器要配置不间断电源，或从不间断电源系统引电。

### （3）监测设备质量控制

- 对  $\gamma$  谱仪、液闪谱仪、 $\alpha/\beta$  测量仪等大型仪器须建立仪器档案。
- 检定与标定：仪器仪表的标定与检定按照程序要求，进行强制检定或内部标定。下次进行检定或标定的日期需在仪器检定或标定有效期内，如超过有效期，则需对此期间测量数据的有效性进行评估。仪器标定应按照相应仪器操作规程执行，仪器的检定按照检定规程执行。当仪器部件维修后，需做好仪器维修与维护纪录，对于影响仪器性能的部件维修（如探头等）和导致重要参数更改（如高压等）的维护需要重新检定或标定。计量用的玻璃仪器等必须经过计量检定合格后方能作为计量器具使用。
- 性能试验：在仪器检定或标定的有效期内，为确保仪器状态未发生较大变化和持续跟踪仪器的状态，应定期对仪器的性能参数（如本底、探测效率、能量分

辨率等)进行定期性能试验,并对性能试验结果和仪器状态作出评价。用正常工作状态下的上述性能检验数据,对 $\gamma$ 谱仪、低本底 $\alpha/\beta$ 测量仪、液闪谱仪等仪器的本底、效率值( $\geq 12$ 个数据)等做仪器质控图,若仪器本底、效率等超过质控图的质控范围( $X \pm 3\sigma$ ),应查明原因,及时采取措施,确保测量仪器处于正常的工作状态。

#### (4) 外部质量控制

流出物监测的外部质量控制措施主要有:

- 尽可能参加国内外机构组织的实验室之间比对。
- 加强信息交流,关注国内外有关监测标准、规范、方法和理论概念的变化,及时使用国家和行业新的监测标准和规定。
- 加强与山东省核与辐射安全监测中心等环保部门之间的技术交流。
- 不定期地与山东省核与辐射安全监测中心流出物实验室进行样品比对。
- 采购权威机构研制的标准参考物质。
- 实验室计量器具定期由国家计量部门或其授权的计量站检定,保证量值溯源的可靠性。

## 第九章 利益代价分析

### 9.1 利益分析

### 9.2 代价分析

## 9.1 利益分析

### 9.1.1 运行带来的直接利益

### 9.1.2 建设和运行带来的间接利益

#### 9.1.2.1 对周边环境的利益

#### 9.1.2.2 对关联产业的利益

#### 9.1.2.3 对区域经济的利益

#### 9.1.2.4 对社会发展的利益

## 9.1 利益分析

### 9.1.1 运行带来的直接利益

华能山东石岛湾核电厂扩建一期工程拟采用华龙一号技术方案。单台机组额定功率为 1220 兆瓦，装机总容量 2440 兆瓦，正常年份 2 台机组的年上网电量可达 1557 万兆瓦时。建成发电后，平均每年向国家和地方直接上缴的增值税、城市维护建设税及附加、所得税约 10 亿元。机组的设计寿命为 60 年，在其整个商业运行寿期内，将取得显著的经济效益。

### 9.1.2 建设和运行带来的间接利益

#### 9.1.2.1 对周边环境的利益

核电给环境带来的间接效益主要来自于其替代燃煤发电带来的减排效应，煤炭燃烧的主要污染物是 CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 以及烟尘等。本项目的建成可有效替代燃煤机组，大量减少 CO<sub>2</sub> 排放量。

本项目投产后正常年份可实现 CO<sub>2</sub> 减排约 1400 万吨，CO<sub>2</sub> 减排效益参考近期国内 CO<sub>2</sub> 排放权交易价格，取 50 元/吨，正常年份内 CO<sub>2</sub> 减排可实现经济效益约 7 亿元。

#### 9.1.2.2 对关联产业的利益

核电投资建设对相当多产业形成了直接和间接拉动。根据测算，1 元的核电建设投资，对关联产业的拉动作用如下：一是对 42 个行业门类中的 37 个行业产出的拉动作用超过 0.01 元；二是对通用、专用设备制造业等 14 个行业产出的拉动作用超过 0.1 元。

#### 9.1.2.3 对区域经济的利益

核电项目能够推动和促进地方经济的发展，核电站对地方财政收入的影响主要来自于税收，包括营业税、城市维护建设税及教育费附加等，项目投产后可为地方贡献每年 1 亿左右的销售税金，以及几亿元的所得税。除此之外，核电项目能够为地方创造大量的就业机会，不仅在建设期需要大量的不同层次的劳动力，而且运行期间也能直接或间接的提供大量的就业岗位。

#### **9.1.2.4 对社会发展的利益**

扩建一期工程投产后，核电厂职工的货币购房和生活消费等，将促进当地的房地产业、零售业、通讯、教育、医疗卫生及其他市政设施和社会福利事业的发展，繁荣当地经济。核电厂职工受教育水平和文化水平较高，在融入地方的过程中，也会产生积极的影响，带动整个社会发展水平的提高。

## 9.2 代价分析

### 9.2.1 直接代价

#### 9.2.1.1 电厂建设的经济代价

#### 9.2.1.2 电厂运行的经济代价

### 9.2.2 间接代价

## 9.2 代价分析

### 9.2.1 直接代价

#### 9.2.1.1 电厂建设的经济代价

本项目是扩建工程，将共用大量厂区前期工程建设的设施，因此本项目的建设经济代价相对较小。

#### 9.2.1.2 电厂运行的经济代价

扩建一期工程并网投入商业运行后，运行期间的经济代价包括：基本折旧费、摊销费、核燃料费、大修理费、运行维护费、核后处理费、退役基金、财务费用和管理费用等。

### 9.2.2 间接代价

扩建一期工程的建设和运行，不仅要解决电厂职工的饮食、居住、交通和子女受教育、就业等实际问题，而且还会给当地带来一系列急待解决的社会问题。

#### — 交通运输问题

核电厂的运输包括施工期间设备、大型设备、建筑材料的运输；运行期间的换料、乏燃料、固体废物运输；正常的人员进出等，其运输量非常大，不可避免增加当地的运输负担。

为解决电厂建设和运行期间的运输问题，核电厂采取以水运为主，陆运为辅的运输方式。

#### — 电厂建设对当地市政建设设施产生的影响

扩建一期工程的建设和运行，使厂址所在地区的人口数量有所增加，这势必造成医疗、学校、商业和基础设施如道路、供排水等市政工程和生活服务设施的紧张局面，加重了当地政府的负担。

#### — 对当地社会安全、稳定的影响

核电厂建设期间将不可避免地带动当地第三产业的发展，同时也会引起当地人口数量的增加，从而影响当地的社会秩序、安全和稳定。为使当地有一个安定的生活环境和经济持续发展的社会环境，当地政府须增加治安、社会服务等方面的投入。

#### — 对当地环境产生的影响

本项目建成运行后，会向环境释放放射性物质。为了控制并确保核电厂在正常运行和事故期间向环境释放的放射性物质低于国家标准，从而保障电厂工作人员和周围居民的安全，核电厂设置了各种放射性废物净化和处理系统、剂量监测系统、屏蔽防护及应急设施等。

本项目建成运行后，在发生放射性泄漏事故的情况下，会有一些量的气载放射性流出物排放，对周围环境产生影响。气载放射性流出物对核电厂周围环境产生辐射影响，并通过污染空气浸没外照射、地面沉积放射性外照射、吸入污染空气内照射和食入污染陆生动植物产品内照射对厂址周围公众产生一定的剂量影响。根据本报告对选址假想事故的评价结果，发生选址假想事故时气载放射性流出物对周围公众产生的影响很小，满足国家有关标准。

本项目运行产生的中、低放固体废物和乏燃料作为核废料，将均按照国家规定进行严格的处置。中、低放固体废物在废物暂存库内贮存一定时间后送往中、低放固体废物处置厂进行处置。乏燃料一般经过冷却，包装后送入乏燃料暂存系统暂存，暂存达到国家有关标准要求的年限后，送往乏燃料处置厂处置。

本项目运行期间造成的海洋生物损失主要来自于取水系统卷载效应和温排水扩散持续性影响所致。对渔业资源造成的损失主要包括机械碰撞、温升、余氯的毒性作用等，一般对那些通过电厂进水系统滤网装置的水生生物产生明显的伤害。核电厂冷凝系统需用大量的海水作冷却，冷却后的温水排放在附近海域中扩散，引起排水口附近水温升高，将对海洋生物产生影响。

为了控制并确保核电厂在正常运行和事故期间向环境释放的放射性物质低于国家标准，从而保障电厂工作人员和周围居民的安全，核电厂设置了各种放射性废物净化和处理系统、剂量监测系统、屏蔽防护及应急设施等。在核电厂发生放射性泄漏事故时，营运单位将及时启动应急预案，确保核电厂对周围环境的影响尽可能降低到最小。

为达到保护环境及人身安全的目的，核电厂必须对放射性三废进行严格的治理。因此，核电厂专门设置了废液、废气和固体废物处理和贮存设施、以及放射性流出物监测、环境监测和事故应急设施，尽可能降低放射性废物对公众的照射。

- 一 环境监测：核电厂设置环境监测系统，对电厂运行期间的环境状况进行监测，同时为检验放射性废物处理系统是否满足要求提供对照测量，电厂环境监测设施包括：辐射监测设备、数据采集及试验仪表、气象数据采集设施和环境放射

性监测设备等。

- 流出物监测：核电站设置流出物监测系统，对电厂运行期间的气载和液态流出物进行监测，用于测量流出物中放射性物质的种类和数量，为判断核电站放射性排放是否满足国家标准限值或运行限值提供依据。
- 应急设施：核电站除考虑正常运行情况下的环境保护和人身安全外，还考虑了在事故状态下人员的紧急疏散和医疗措施。

## 第十章 结论与承诺

### 10.1 核电厂建设项目

### 10.2 环境保护设施

### 10.3 放射性排放

### 10.4 辐射环境影响评价结论

### 10.5 非辐射环境影响评价结论

### 10.6 公众参与和调查结论

### 10.7 建议

### 10.8 承诺

## 10.1 核电厂建设项目

山东石岛湾核电站址位于山东省威海市所辖荣成市石岛管理区宁津街道办事处东南。山东石岛湾核电站址规划总容量为1台200MWe高温气冷堆机组+国和一号示范工程2台机组+华能山东石岛湾核电站扩建工程4台百万千瓦级大型压水堆机组。本工程为华能山东石岛湾核电站扩建一期工程，建设2台机组，拟采用华龙一号技术方案。华能山东石岛湾核电开发有限公司负责核电站的建设和运营管理。

## 10.2 环境保护设施

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程采用华龙一号技术方案，根据设计资料：

（1）每台机组设置一套废气处理系统（TEG），采用滞留床延时衰变的方式进行放射性废气的处理。

（2）在烟囱排放管线上设置了对废气的净化和控制装置。放射性气载流出物在排入环境前，将通过高效颗粒过滤器和碘吸附器进行净化。同时，在排放管线上设置了监测通道和相关的取样通道，在监测通道上将分别设置两级排放报警阈值，以保证对放射性气载流出物排放的有效控制。

（3）每台机组设置一套冷却剂贮存和处理系统（TEP）。该系统通过脱气、蒸发、除盐等净化设施，保持了对反应堆冷却剂良好的去污能力。

（4）每两台机组共用一套废液处理系统（TEU）。实现了对放射性废液的分类收集和处理。TEU采用过滤、蒸发和除盐等较为成熟的处理工艺对放射性废液进行处理，以确保处理后排放的液态流出物浓度和总量满足国家有关标准的要求。

（5）核岛废液排放系统（TER）和常规岛废液排放系统（SEL），各自分别设计有废液贮存罐。废液采用槽式排放的方式，经取样分析合格后才予以排放。

（6）采用较为成熟的水泥固化工艺和分拣压缩打包工艺对固体废物进行处理。BQT厂房满足扩建工程4台机组5年产生的固体废物中期贮存要求。

（7）为了加强对核电站运行后辐射环境的监测，核电站依据厂址周围的环境特征设计建成统一的厂区环境辐射与气象监测系统（KRS）。

总体而言，华能山东石岛湾核电站扩建一期工程环境保护设施的设计性能可以满足环境保护的要求。

### 10.3 放射性排放

国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）要求核动力厂必须按每堆实施放射性流出物的年排放总量控制，对于同一堆型的多堆厂址，全厂所有机组的年总排放量应控制在单堆排放控制值的4倍以内。根据国家标准的要求，华能山东石岛湾核电站扩建一期工程将严格按照国家标准的排放控制要求进行总量控制。将华能山东石岛湾核电站扩建一期工程单台机组以及厂址各类放射性流出物年排放量与GB6249-2011相应总量控制值进行比较，结果表明各类放射性流出物的年排放量均能满足国家标准GB6249-2011的总量控制要求。

国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）对核动力厂放射性流出物排放除规定了总量控制要求外，对于滨海厂址，还要求槽式排放口处的放射性流出物中除氚和C-14外其它放射性核素的浓度不超过1000Bq/L。

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程的废液处理系统采用成熟处理工艺，选用成熟模块化的设备，处理后的废液能达到系统设计目标要求的排放浓度1000Bq/L。此外，在液态排放口处设置取样监测和在线监测系统，当排放废液中除氚和C-14外其它放射性核素的浓度超过排放浓度控制值时，放射性废液将被重新返回到系统进行再处理，满足要求后才允许排放。因此，电厂实际运行过程中的除氚和C-14外其它液态放射性核素排放可以满足国标中规定的1000Bq/L浓度控制要求。

### 10.4 辐射环境影响评价结论

#### （1）正常运行期间的辐射环境影响

根据正常运行工况下（包括预期运行事件）设计排放量，核电站运行造成的环境和公众辐射剂量的结果分析表明：

- 石岛湾核电站厂址四台机组+高温堆运行状态下，放射性流出物排放对于成人组公众个人造成最大有效剂量的居民点位于厂址 NNW 方位 0~1km 子区，厂址四台机组+高温堆对该子区成人组公众个人造成的年有效剂量为  $4.24 \times 10^{-6} \text{Sv}$ ，其中由气态和液态途径造成的年有效剂量分别为  $4.14 \times 10^{-6} \text{Sv}$  和  $9.31 \times 10^{-8} \text{Sv}$ ；其中扩建一期工程对该子区成人组公众个人造成的年有效剂量贡献为  $1.63 \times 10^{-6} \text{Sv}$ ，其中通过气态和液态途径造成的年有效剂量贡献分别为  $1.58 \times 10^{-6} \text{Sv}$  和  $4.42 \times 10^{-8} \text{Sv}$ 。

- 关键人群组为位于厂址最近的 NNW 方位 0.72km 的东钱家居民。关键照射途径为食入陆生食品内照射，其它重要照射途径为地面沉积外照射和空气浸没外照射。关键核素为  $^{14}\text{C}$ ，其它重要核素为  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 。
- 全厂正常运行状态下，放射性流出物排放对厂址附近非人类物种造成的辐射剂量率低于 ERICA 程序推荐的  $10\mu\text{Gy/h}$  剂量率筛选值，因此，可以认为全厂运行状态下，放射性流出物排放不会对厂址附近的非人类物种在种群上造成明显的损伤。
- 液态放射性排放造成核素  $^{60}\text{Co}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{134}\text{Cs}$  和  $^{137}\text{Cs}$  在排放口处海域峰值浓度分别  $4.11\times 10^{-4}\text{Bq/L}$ 、 $2.61\times 10^{-6}\text{Bq/L}$ 、 $9.19\times 10^{-3}\text{Bq/L}$ 、 $4.78\times 10^{-3}\text{Bq/L}$  和  $7.45\times 10^{-3}\text{Bq/L}$ ，均满足《海水水质标准》（GB3097-1997）中相应的浓度限值要求。

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程运行状态下，就放射性流出物的排放控制和公众所受剂量而言，可以满足国家标准的相应要求。就放射性流出物排放造成的环境辐射影响而言，对非人类物种的辐射影响有限，是可以接受的。

### （2）事故工况下的辐射环境影响

- 选址假想事故发生后 2h 内，拟设非居住区边界上（500m）的公众个人（成人）受照最大有效剂量为  $7.72\times 10^{-2}\text{Sv}$ ，占国家标准限值的 30.9%；
- 选址假想事故发生后 30d 内，规划限制区外边界上的公众个人（成人）受照最大有效剂量为  $5.21\times 10^{-2}\text{Sv}$ ，占国家标准限值的 20.8%。
- 选址假想事故发生持续期间 30d 内，厂址半径 80km 范围内公众群体所受到的集体有效剂量为  $4.27\times 10^3$  人·Sv，占国家标准限值的 21.4%。

从选址假想事故的辐射影响评价结果分析，在华能山东石岛湾核电站厂址扩建两台华龙一号压水堆核电机组是可行的。

### （3）实施应急计划的可行性

扩建一期工程半径 5km 范围内有 41 个居民点或自然村，共有人口 16806 人。厂址半径 5km 范围内没有大、中型医院、监狱、大型工厂和养老院，也没有大的学校。因此，厂址半径 5km 范围内没有难以撤离的人群。厂址半径 10km 范围内无 10 万以上居民点或行政村，总人口数为 48607 人，不足 5 万人。荣成市未来人口自然增长率较低，不会造成厂址半径 10km 范围出现超过 10 万人的城镇或居民点。

厂址周围交通网络较为发达，厂区与外围交通联系便捷，厂址周围具有良好的应急撤离、疏散和运输条件。无线通讯网络已覆盖厂址区域，不存在应急通讯的困难。从环境风险的角度，扩建一期工程的建设和运营是可以接受的。

## 10.5 非辐射环境影响评价结论

### （1）施工期环境影响

扩建一期工程建设期间对周围环境的影响主要是：土石方工程开挖、运输以及其他活动造成的陆域和海洋生态的影响、水土流失的影响、噪声的影响、地表水环境的影响、大气环境的影响，以及施工固体废弃物对环境的影响。施工活动给环境带来的影响是局部的、短期的，并随着工程竣工而消失，施工活动对环境的影响较小。

### （2）运行期间环境影响

#### 一 散热系统运行的影响

根据扩建一期工程温排水数模结果，本工程运行期间冬季 2℃温升外包络区域和夏季 1℃温升外包络区域大部分区域位于三类环境功能区内，夏季 1℃温升外包络线在西北侧有小部分区域超过了三类环境功能区范围，核电厂排放的温排水造成的温升影响不能完全满足相应近岸海域环境功能区的水质温升管理要求。

本工程运行期间温排水温升（夏季 1℃、冬季 2℃）将进入楮岛滨海旅游限制区（37-Xj11）、黑石岛海岛限制区（37-Xf02）等区域，楮岛滨海旅游限制区（37-Xj11）环境保护要求为海水水质不劣于二类水质标准，核电厂排放的温排水造成的温升影响不能完全满足相应海洋生态红线的水质温升管理要求。

根据温排水影响预测结果，本工程运行期间温排水的全潮最大 1℃温升外包络影响范围不涉及种质资源保护区。

#### 一 其他非辐射影响

扩建一期工程投产运行后对环境的其它影响主要包括，电厂向海域排放的化学物质、海水加氯处理的余氯、排放的非放射性污水以及暂时贮存的固废，噪声和电磁对环境造成的影响。

余氯对海洋生物的安全浓度影响范围仅限于电厂排水口附近的局部海域，光照引起的余氯衰减以及核电厂附近海域较高的 pH 值均会降低余氯毒性，实际情况中，机

组排放水中余氯对附近海域中海洋生物的影响有限。核电站非放射性生产废水经处理后回用，不会对周围海域造成影响。

生活污水处理后执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中的一级 A 标准，如回用，中水还应执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）。生活污水不会对附近海洋环境造成明显的影响。扩建一期工程海水淡化系统排放的浓盐水经混合后盐度增量有限，预计浓盐水排放不会对厂址附近海域环境造成明显影响。

核电站在正常运行过程中因设备的维修、零部件的损坏等会产生一定量工业固废，核电站内人员会产生生活垃圾，在落实固废收集和处置工作后，本工程的非放射性固废对环境的影响较小。

机组运行期间的噪声主要来自汽轮机厂房、循环水泵房、空气压缩机房等厂房内的汽轮机、发电机、循环水泵、送风机及引风机等设备的运转以及变压器区域的主变压器运行，类比国内同类电厂噪声预测影响范围，考虑到扩建一期工程最近居民点距离厂址较远，预计噪声对厂界和敏感点的声环境影响较小。

类比国内已建成运行的核电站厂区电磁环境监测结果，500kV 开关站及输电线路周围的工频电场和工频磁场均满足 GB8702-2014 中 4kV/m 和 0.1mT 的限值要求。

## 10.7 建议

（1）本工程所处厂址为一址多堆厂址，建议本工程业主与同厂址其他业主做好“四统一”的协调工作。

（2）建议考虑与同厂址的高温气冷堆设置统一的放射性废物贮存设施。

（3）本工程运行期间的温排水可能会对周围水产养殖产生一定影响。为避免本工程运行后可能对周围水产养殖产生的不利影响，建设单位应做好与养殖户的利益协调，并对电厂运行期间海水水质、海洋生物的温升影响监测工作，了解掌握温排水可能产生的影响。

## 10.8 承诺

（1）建设单位将继续开展工作，协调本工程与近岸海域环境功能区划和生态红线的相符性。

（2）建设单位将总结前期工程的建设经验，借鉴国内在役核电厂的良好经验，在前期工程建设的基础上，制定合理的施工方案，做好本项目施工期环境影响的控制。