

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

二〇二二年六月

打印编号：1644997125000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	f8hyvx		
建设项目名称	华能山东石岛湾核电厂扩建一期工程（选址阶段）		
建设项目类别	55--167核动力厂（核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等）；反应堆（研究堆、实验堆、临界装置等）；核燃料生产、加工、贮存、后处理设施；放射性污染治理项目		
环境影响评价文件类型	报告书		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	华能石岛湾核电开发有限公司		
统一社会信用代码	91371082696855604K		
法定代表人（签章）	张涛		
主要负责人（签字）	张涛		
直接负责的主管人员（签字）	胡守印		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	苏州热工研究院有限公司		
统一社会信用代码	913205084669547113		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
张晓峰	08353243507320035	BH011870	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
陶乃贵	6.2、6.3	BH022957	
殷煜皓	第七章	BH010111	
黄彦君	第三章、第八章	BH032238	
黄义超	第四章	BH016729	

徐月平	2.5、6.1	BH016833	徐月平
游春华	2.1、2.2、2.3、2.4、2.6、第五章、第九章	BH011459	游春华
张晓峰	第一章、第十章	BH011870	张晓峰

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，华能石岛湾核电开发有限公司由华能核电开发有限公司、国家核电技术有限公司、华能国际电力开发公司和华能国际电力股份有限公司出资组建。

1.1.2 建设性质

华能山东石岛湾核电厂扩建一期工程为扩建工程，位于石岛湾核电基地。本工程东北侧的华能山东石岛湾核电厂 1 台 200MWe 高温气冷堆示范工程已投入商业运行。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。本项目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

山东石岛湾核电基地规划总容量为 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厂扩建 4 台百万千瓦级压水堆机组工程。本工程为华能山东石岛湾核电厂扩建 4 台百万千瓦级压水堆机组工程的一期工程，建设 2 台机组，拟采用华龙一号技术方案，以中广核广东太平岭核电厂一期工程为参考技术方案。山东石岛湾核电基地按规划容量建成后，整个厂址区将形成一址多堆的核电基地。

石岛湾核电基地涉及不同的电厂业主和机型，建设单位将和基地其他业主沟通协商统一的放射性流出物排放申请方案。各期工程分别开展流出物监测。

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

参与。

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

监督性监测方面，石岛湾核电厂址辐射环境现场监督性监测系统按满足石岛湾厂址高温气冷堆、CAP1400示范工程以及扩建工程共用需求规划，由华能山东石岛湾核电有限公司和国核示范电站有限责任公司共同出资建设。石岛湾核电厂址辐射环境现场监督性监测系统已于2020年12月完成预验收，现已移交至山东省核与辐射安全监测中心进行运行和管理。

为有效促进石岛湾厂址统一应急工作的开展，华能山东石岛湾核电有限公司已制定统一应急方案，基地各业主之间签订了《石岛湾厂址统一应急工作框架协议》。

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

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

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

综上，扩建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 12.88km²,代码 A3-17)与荣成宁津保留区(面积 14.65km²,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3.51km²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36.91km²的海域，调整为三类环境功能区。

《山东省近岸海域环境功能区划（2016-2020）》中，厂址附近海域为二类 and 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月发布了《威海市“三线一单”生态环境分区管控方案》，该方案介绍了“三线一单”的总体情况。

1) 本项目厂址所处区域的陆域重点管控单元的具体管控要求

根据《威海市“三线一单”生态环境分区管控方案》，厂址附近（10km范围内）无陆域重点管控单元。

2) 本项目厂址所处区域的海域重点管控单元的具体管控要求

“威海市环境管控单元分类图”厂址海工取排水工程位于“海域重点管控单元”。

根据《威海市“三线一单”生态环境分区管控方案》，近岸海域重点管控区包括现有和规划的工业或城镇建设用海区、港口区、排污混合区、围填海区等开发利用强度较高海域，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，应依法淘汰沿海地区污染物排放不达标或超过总量控制要求的产能；在超过水质目标要求、封闭性较强的海域，实行新（改、扩）建项目主要污染物排放总量减量置换；严格执行国家和地方污染物排放标准，强化工业企业总氮和总磷等污染物负荷削减；严格控制含有机物和营养物质的工业废水、生活污水向海湾、半封闭海及其他自净能力较差的海域排放；在生态敏感脆弱区、赤潮灾害高发区、严重污染区等海域，依法禁止投饵式海水养殖。本项目符合《威海市“三线一单”生态环境分区管控方案》。

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）；
- 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）；
- 荣成市人民政府关于设置压水堆扩建工程规划限制区的请示（荣成市人民政府，荣政请字[2021]18号）；
- 关于《荣成市人民政府关于设置压水堆扩建工程规划限制区的请示》办理情况的报告（威海市发展和改革委员会，2021年12月20日）；
- 威海市行政审批服务局关于华能山东石岛湾核电站扩建工程建设项目用地预审和选址意见的初审意见（威海市行政审批服务局，威审服投[2021]25号）；
- 关于华能石岛湾核电开发有限公司扩建工程环境影响评价执行标准的函（威海市生态环境局，2021年10月15日）；
- 华能山东石岛湾核电有限公司高温气冷堆核电站示范工程施工生活区生活污水处理站排污登记回执，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）；
- 核电厂厂址选择安全规定（HAF101，自 1991 年 7 月 27 日起施行）；
- 核电厂设计安全规定（HAF102，自 2016 年 10 月 26 日起修订施行）；
- 核电厂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）；
- 威海市“十四五”生态环境保护规划（威海市人民政府，2021 年 12 月 2 日）；

- 山东省海洋功能区划(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）；
- 《核电厂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）；
- 《核电厂施工期环境监测技术规范》（DB37/T 3547-2019）等。

1.6.4 相关技术文件

- 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）；
- 石岛湾核电站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）；
- 石岛湾核电站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站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站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0.07mSv/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 2×10^4 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： 6×10^{14} Bq/a；
- 碘： 2×10^{10} Bq/a；
- 粒子（半衰期 ≥ 8 d）： 5×10^{10} Bq/a；
- ^{14}C ： 7×10^{11} Bq/a；
- ^3H ： 1.5×10^{13} Bq/a。

液态放射性流出物：

- ^3H ： 7.5×10^{13} Bq/a；
- ^{14}C ： 1.5×10^{11} Bq/a；
- 其余核素： 5.0×10^{10} 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。由于石岛湾核电基地共规划建设6台百万千瓦级轻水堆机组，本期工程建设2台机组，按比例本期工程两座反应堆气载和液态放射性流出物年排放量

控制值暂定为6.4款规定的4/3倍，即：

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}C ： $9.33 \times 10^{11} \text{Bq/a}$ ；
- ^3H ： $2 \times 10^{13} \text{Bq/a}$ 。

液态放射性流出物：

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

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 1000Bq/L 。

（4）海水中的放射性核素浓度

根据《海水水质标准》（GB3097-1997）的要求，华能山东石岛湾核电站运行期间接纳水体中的放射性核素浓度控制值为：

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

1.7.2 非辐射环境影响评价的标准

根据“关于华能石岛湾核电开发有限公司扩建工程环境影响评价执行标准的函”（威海市生态环境局，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℃，其它季节不超过 2℃；三、四类功能区人为造成的海水温升不超过当时当地 4℃。

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 3.51km² 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 36.91km² 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。

— 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，厂区拟征地范围外的施工建设项目主要包括施工准备区和表土堆放区。

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。放射性废液管理系统包括：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、联氨等）。

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、次氯酸钠、联氨等），将淡水经絮凝、沉淀和离子交换除盐，以实现各系统用水的水质要求。除盐过程加入的化学添加剂，除一部分进入固体废物外，其余将随电厂温排水排入厂址附近海域。从估算结果可以预计不会对排放口附近海域环境及海洋生物造成不利影响。

生活污水处理站（BEW）主要处理核电站厂区的生活污水，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。核电站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

评价范围为受纳海域 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

由于核电厂施工期废气为无组织排放，因此评价范围为施工厂界和有关敏感点。

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厂永久占地和临时占地范围为主，并考虑附近自然保护区和生态敏感区。

5) 电磁环境

参照《环境影响评价技术导则 输变电》（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

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厂址地理位置见图 2.1-1。扩建一期工程主厂房布置在高温气冷堆示范工程西南侧，1、2 号机组平行布置，高温气冷示范工程核岛位于扩建工程 1 号机组核岛 NE 方位，最小净距约 221.3m。国和一号示范工程核岛位于扩建工程 2 号机组核岛 SW 方位，最小净距约 998.1m。

2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区

扩建一期工程永久用地面积约 96.15hm²（其中厂区面积 49.41hm²），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 58.1858hm²，其中非透水构筑用海分别为：排水渠扩建南堤 1.7728hm²，排水渠扩建北堤 1.7888hm²。排水口用海 8.4974hm²，温排水用海 46.1268hm²。

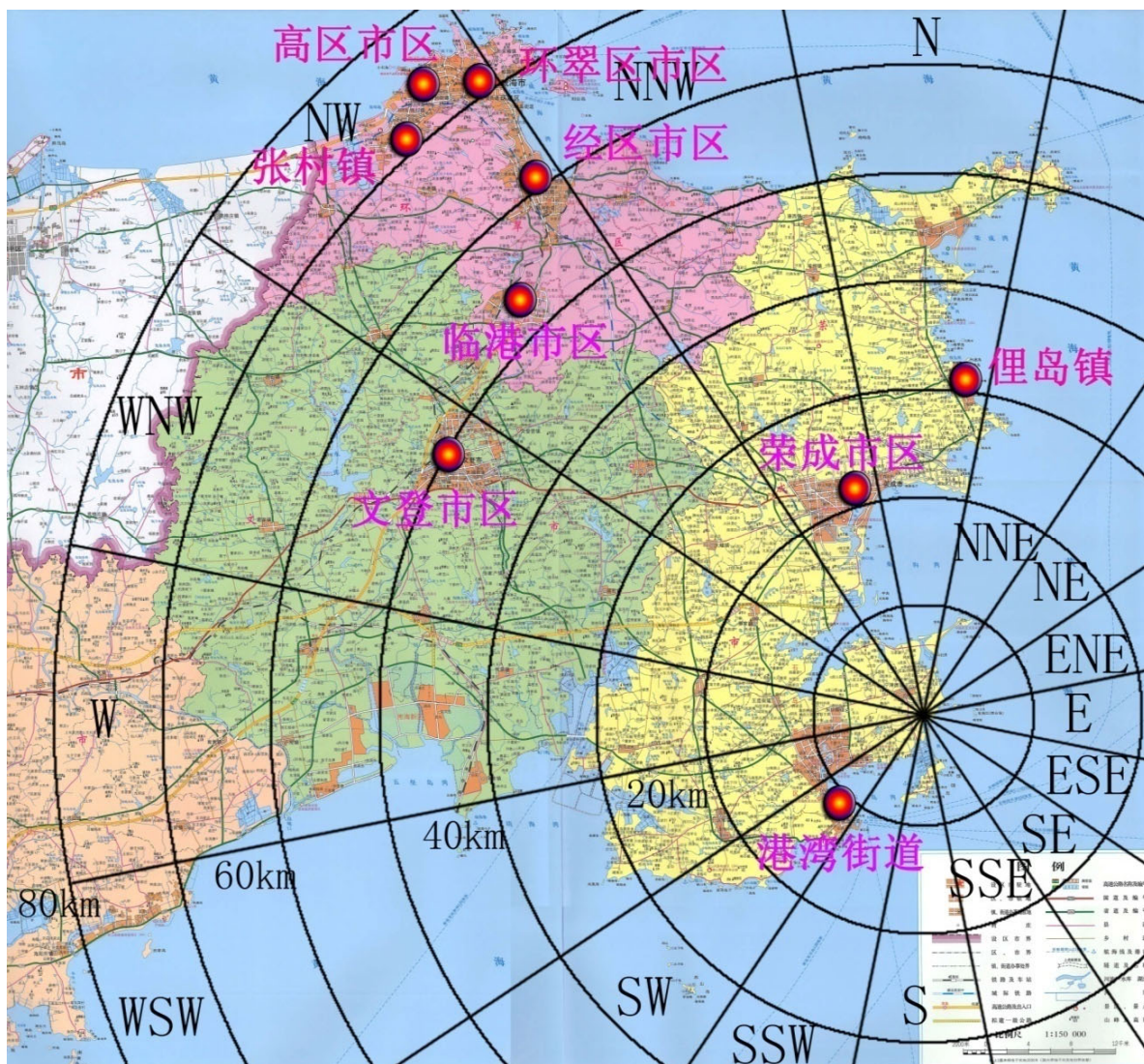
根据厂址周围环境特征，拟以反应堆为中心设置半径 500m 非居住区。根据评价，选址假想事故发生后 2h 内，扩建一期工程拟定非居住区边界上的公众个人（成人）受照最大有效剂量为 7.72×10^{-2} Sv，占《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）限值的 30.9%，扩建一期工程拟定非居住区边界设置是合理的。荣成市人民政府已发函“荣成市人民政府关于同意设置压水堆扩建工程非居住区的批复（荣政字[2021]60号）”，同意以华能山东石岛湾核电站扩建工程反应堆为中心设置半径 500m 的非居住区，华能石岛湾核电开发有限公司对非居住区内超出征地范围的区域做好安全管理工作。

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，事故持续时间 30d 内，扩建一期拟设置的 5km 规划限制区边界上的公众个人（成人）受照最大有效剂量为 5.21×10^{-2} Sv，占《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）限值的 20.8%。扩建

一期工程规划限制区设置是合理的。

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 ²)	临时用地 (hm ²)	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 ² 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：	B

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 15km 范围内千人以上居民点

表 2.2-2 厂址半径 80km 范围内各子区现有人口分布（2018 年）

表 2.2-3 厂址半径 80km 范围内万人以上人口中心

图

图 2.2-1 厂址半径 15km 范围内主要居民点分布示意图

图 2.2-2 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，统计口径为户籍人口。

人口统计按子区分别进行，以扩建一期工程 1 号机组反应堆划分半径为 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。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/km²，陆域平均人口密度为 531 人/km²，低于同期山东省平均人口密度 636 人/km²，高于威海市平均人口密度 442 人/km²。

厂址半径 5km 范围内没有万人以上的乡镇。

扩建一期工程非居住区范围内无常住居民，距离最近的住宅位于厂址 NNW 方位 720m 的东钱家村，现有人口 732 人。扩建一期工程非居住区范围内涉及到高温气冷堆厂区及临建办公区的工作人员约 701 人。

厂址半径 5km 范围内暂无规划工业企业。厂址半径 5km 范围内流动人口主要为核电厂施工人员，其次为养殖打工人员以及经商人员。厂址半径 5km 范围内现无景点；规划的旅游景点：渔家风情样板片区，位于东墩、东苏家和渠隔，位于厂址 WSW 方向 3.2km，3A 级。

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，均位于厂址 WNW 方向，距离 2.5km。

厂址半径 10km 范围内已建敬老院有 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。离厂址最近的敬老院为宁津敬老院和荣成市官道老年公寓，位于厂址 SW 方向，距离 2.6km。

厂址半径 10km 范围内医院和卫生院共 2 所，共有医护人员 100 人，床位数 60 张。离厂址最近的卫生院为宁津卫生院，位于厂址 WNW 方向，距离 2.8km。

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。居民点（行政村或社区）总数为 157 个，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。最近行政村为东钱家村，位于厂址 NNW 方位 720m，人口为 732 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/km²，陆域平均人口密度为 663 人/km²，高于山东省同期平均人口密度。

表 2.2-1 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 2.2-1。

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。

厂址半径 15km 范围内的现有旅游风景区：赤山风景区，位于厂址 SW 方位约 14.5km，4A 级，年接待一百多万人次。东楮岛风景区，位于厂址 NNE 方位约 7.5km，3A 级，年接待三十多万人次。甲子山庄，位于厂址 W 方位约 6.1km，3A 级，年接待十多万人次。

厂址半径 15km 范围内规划的风景区：国核核电科普馆，位于国核示范崮山核电基

地，位于厂址 WNW 方位约 9.2km，3A 级；渔家风情样板片区，位于东墩、东苏家和渠隔，位于厂址 WSW 方位约 3.2km，3A 级。

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/km²，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 2.2-2。

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 处的文登区，现有城镇人口 195388 人。距厂址最近的人口中心为位于厂址 SW 方位 12.4km 的荣成市港湾街道中心，有人口 38826 人。

表 2.2-3 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 2.2-2。

2.2.2.2 厂址半径 80km 范围内的预期人口分布

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

专题单位采用国家人口计生委编制的中国人口预测系统（CPPS，China Population Prediction System）预测人口增长率。

预测中，保守假设 2025 年之后的人口自然增长率为 0。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。人口预测方法如下：

厂址半径 80km 范围内全部为山东省范围，因此对山东省预测人口增长率作为厂址人口预测参数。在预测时，主要参考了由国务院人口普查办公室 2014 年出版的《迈向小康社会的中国人口》（山东卷）、第六次人口普查成果《山东省 2010 年人口普查资料》、

《山东省统计年鉴（2019年）》等资料，用以提供基础人口数据。采用国家人口计生委编制的中国人口预测系统（CPPS, China Population Prediction System）预测人口增长率，CPPS共设置分年龄分性别人口数、分年龄分性别死亡率、育龄妇女分年龄生育率、人口平均预期寿命、总和生育率和出生性别比等6个参数。人口基准数据来源于2010年第六次人口普查。其他主要参数有：人口平均预期寿命：从2011年男74.35岁、女79.36岁等差增长到2089年男95岁、女100岁。总和生育率：从2011年1.4等差增长到2013年1.8,再等差增长到2015年2.0,之后趋于稳定。出生性别比：从2011年123.28等差降到2020年112,从2020年112等差降到2030年107,之后趋于稳定。

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。

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范围主要位于威海市内，根据威海市统计局提供的威海市第七次人口普查数据，厂址半径80km范围居民的年龄构成为：

小于1岁	占	0.56%
1~7岁	占	5.92%
8~17岁	占	7.24%
17岁以上	占	86.28%

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。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。

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。

表 2.2-1 厂址半径 15km 范围内千人以上居民点

所属街道	人口中心	位置		人口数	备注
		方位	距离 (km)		
宁津街道	马家寨村	NNW	5.4	1097	由马家寨村组成
	东墩村	SW	2.4	1508	由东墩村组成
	宁津街道中心	WNW	3.0	3201	由宁津所村、富甲社区和宁津其他城镇人口组成
	南港头村	SW	4.2	1314	由南港头村组成
	岛西庄村	SSW	8.4	1634	由岛西庄村和南洼村组成
东山街道	柳树村	WNW	5.1	1056	由柳树村组成
	东山街道中心	W	7.3	1215	由东山村和周边城镇人口组成
	石头河村	W	8.1	1291	由石头河村组成
桃园街道	于家河村	WSW	8.1	2011	由于家河村、朋上村、河东村、河东原家村组成
	下谭家村	WSW	9.4	2705	由下谭家村和周边城镇人口组成
	桃园街道中心	SW	7.8	4965	由山前村、青木寨村、西南海村、西南海小区、东南海村和周边城镇人口组成
港湾街道	港湾街道中心	SW	13.8	38826	由北车脚河村、南车脚河村、西车脚河村、北沟村、西岚村、姜家疃村、石岛街、张家小区和港湾的其他城镇人口组成
斥山街道	斥山街道中心	WSW	13.2	20967	由斥山村、殷家村、西苏家村、盛家村、吴家村、郭家村、西寨村、东寨村、范家村和斥山其他城镇人口组成
	尹各庄村	W-WSW	12.4	2464	由尹各庄村组成
王连街道	沟曲家村	W	14.0	1253	由沟曲家村及北桥头村组成
	南桥头村	W	13.7	1456	由南桥头村组成
	王连街道中心	W	14.6	1524	王家庄村、隋家庄村及王连其他城镇人口组成
崂山街道	崂山屯	NNW	13.8	1670	由崂山屯组成
	古塔村	NW	14.2	1134	由古塔村组成
	宁家村	NW	14.6	1474	由宁家村组成
滕家镇	小落村	NW-WNW	14.8	1501	由小落村组成

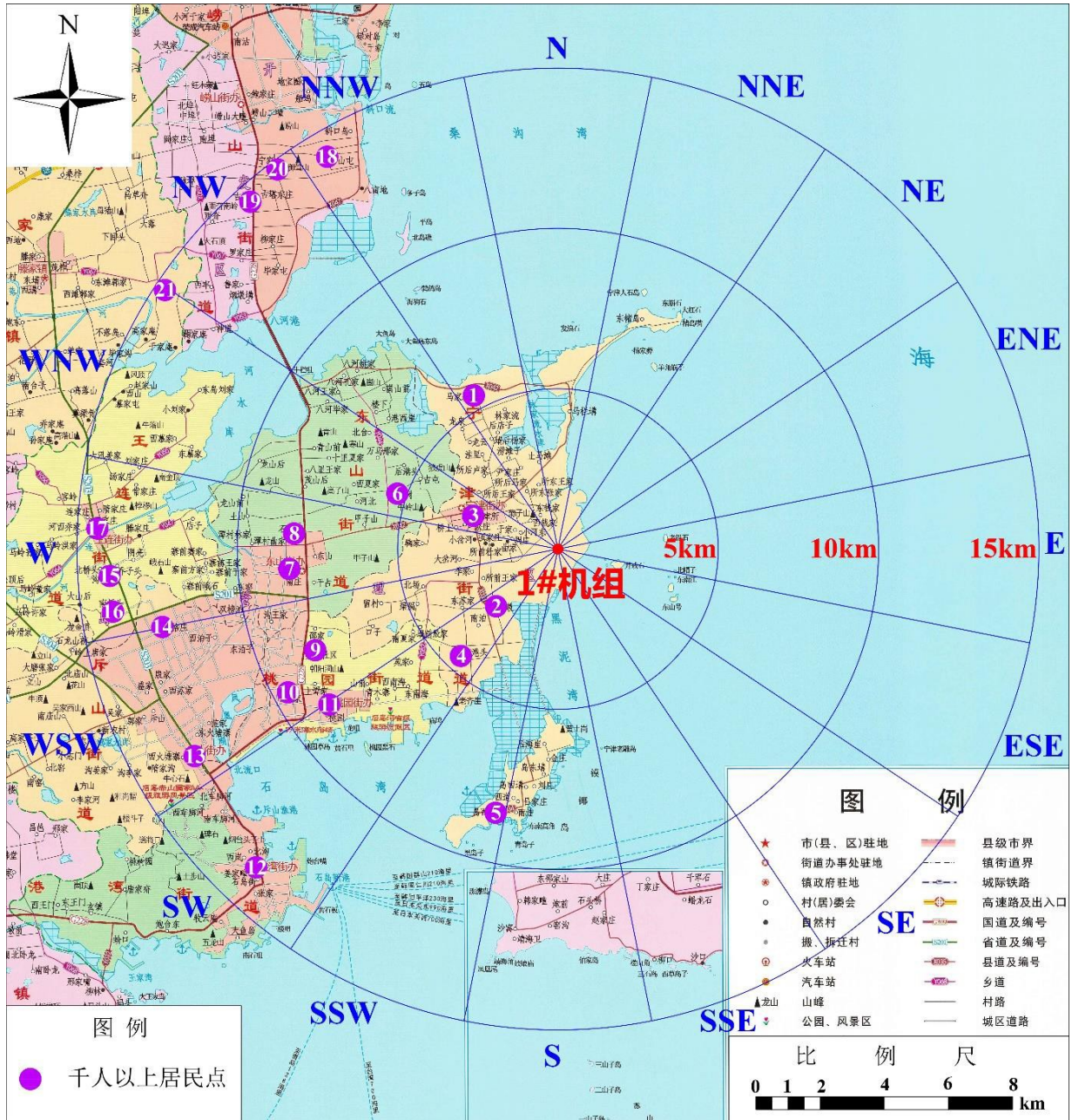
表 2.2-2 厂址半径 80km 范围内各子区现有人口分布（2018 年）

单位：人

距离 km 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	合计
N	0	0	107	535	0	0	37671	20980	38742	0	0	0	98035
NNE	0	0	0	0	428	0	4854	0	3657	0	0	0	8939
NE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	2838	0	0	0	0	0	0	0	2838
SSW	0	0	0	0	1378	0	0	0	0	0	0	0	1378
SW	0	0	1508	1529	5406	54016	7686	0	0	0	0	0	70145
WSW	0	0	758	1319	7693	34541	50121	11563	0	0	0	12368	118363
W	0	407	468	661	5895	18202	33356	21793	27100	54284	54982	71032	288180
WNW	0	556	1306	2658	5020	16921	21617	47964	181782	102050	69936	37701	487511
NW	0	543	381	1037	2046	16813	22961	32318	34224	108953	84150	210499	513925
NNW	124	608	965	1336	1097	8059	145894	25906	68819	70870	223759	56299	603736
合计	124	2114	5493	9075	31801	148552	324160	160524	354324	336157	432827	387899	2193050

表 2.2-3 厂址半径 80km 范围内万人以上人口中心

所属县（市）	人口中心	方位	距离(km)	人口数 (人)	备注
荣成市	荣成市市区	NNW	22.1	104296	由城西街道、崖头街道组成
	港湾街道中心	SW	12.4	38826	由北车脚河村、南车脚河村、西车脚河村、北沟村、西岚村、姜家疃村、石岛街、张家小区和港湾的其他城镇人口组成
	俚岛镇	NNW	18.9	13700	镇政府驻地主要包括峨石山、东烟墩、俚岛、后疃、大庄许家等相对集中点
	斥山街道中心	WSW	13.18	20967	由斥山村、殷家村、西苏家村、盛家村、吴家村、郭家村、西寨村、东寨村、范家村和斥山其他城镇人口组成
文登区	文登区	WNW	51.5	195388	由天福街道、龙山街道和环山街道组成
威海市高新技术产业开发区	高区市区	NW	75.2	179752	由田和街道、怡园街道组成
威海市经济技术开发区	经区市区	NW	62.2	113326	由皇冠街道、凤林街道和西苑街道组成
威海市临港区	临港区市区	NW	52.3	14500	由草庙子镇组成
威海市环翠区	环翠区市区	NW~NNW	70	262920	由温泉镇、嵩山街道、竹岛街道、环翠楼街道、鲸园街道、孙家疃街道组成
	张村镇	NW	72	17500	由镇政府驻地组成



华能山东石岛湾核电站
扩建一期工程

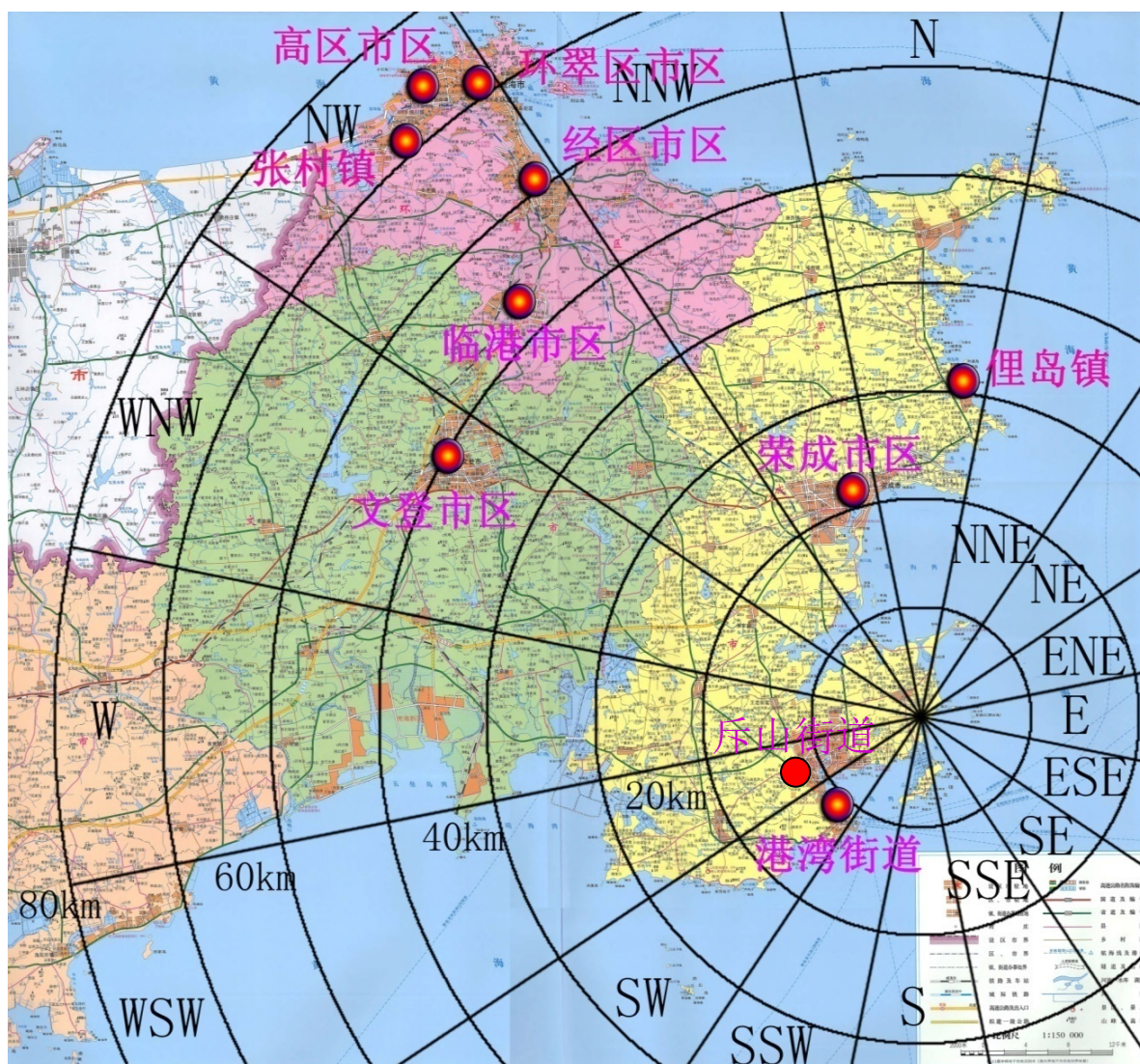
环境影响报告书（选址阶段）

厂址半径 15km 范围内
主要居民点分布示意图

图 2.2-1

版次:

B



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）		
厂址半径 80km 范围内万人以上 人口中心分布图（2018 年）		
图 2.2-2	版次：	B

- 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 海域调查站经纬度及调查项目

图

图 2.3-1 厂址半径 10km 范围内植物调查样线

图 2.3-2 厂址半径 10km 范围内动物调查样线

图 2.3-3 海洋生态调查站位图

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。

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程建设用地 96.1478hm²。

（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）。

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。

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。

（3）三线一单陆域环境管控单元

根据《威海市“三线一单”生态环境分区管控方案》，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。

（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。东楮岛位于厂址 NNE 方向，距离厂址最近距离 7.2km。

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，石岛赤山国家 AAAA 级旅游景区距离厂址 14.6km，SW 方向。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

荣成市甲子山庄位于厂址 W 方向，距离厂址最近距离 6.1km。

一 谷牧旧居

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）。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—八河水库，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，小落河距离厂址最近处位于厂址 WNW 方位 14.6km，王连河距离厂址最近处位于厂址 W 方位 12.3km。

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

本工程用海总面积为 80.7379hm^2 ，其中，非透水构筑用海分别为：排水渠扩建南堤 1.7728hm^2 ，排水渠扩建北堤 1.7886hm^2 。排水口用海 8.4975hm^2 ，温排水用海 68.6790hm^2 。

（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^2 ，代码 A3-17）与荣成宁津保留区（面积 14.65km^2 ，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 $122^\circ31'12.36''$ 至 $122^\circ31'30.49''$ 、 $36^\circ56'46.99''$ — $36^\circ59'46.76''$ 和 $122^\circ33'30.44''$ — $122^\circ35'15.89''$ 、 $36^\circ56'42.75''$ — $36^\circ59'46.63''$ 。

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^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 36.91km^2 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。

（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）、镆钁岛海岛限制区（最近处位于厂址排水口SSW方位约3km）。

（4）三线一单海域环境管控单元

“威海市环境管控单元分类图”厂址海工取排水工程位于“海域重点管控单元”。

根据《威海市“三线一单”生态环境分区管控方案》，近岸海域重点管控区包括现有和规划的工业或城镇建设用海区、港口区、排污混合区、围填海区等开发利用强度较高海域，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，应依法淘汰沿海地区污染物排放不达标或超过总量控制要求的产能；在超过水质目标要求、封闭性较强的海域，实行新（改、扩）建项目主要污染物排放总量减量置换；严格执行国家和地方污染物排放标准，强化工业企业总氮和总磷等污染物负荷削减；严格控制含有机物和营养物质的工业废水、生活污水向海湾、半封闭海及其他自净能力较差的海域排放；在生态敏感脆弱区、赤潮灾害高发区、严重污染区等海域，依法禁止投饵式海水养殖。

（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，最近边界位于本工程排水口的N

方位约 7km。

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。

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。

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。

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，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，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。

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，基本为人工林。总林地面积约 1723hm²，其中国家级公益林 1092hm²，重点商品林 499hm²，一般商品林 132hm²，省级公益林 27hm²，市级公益林 88hm²。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。图 2.3-1 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。图 2.3-2 给出了厂址半径 10km 范围野生动物调查样线和样方的布设。

（3）生态环境综合分析评价

根据厂址附近环境调查的结果，采用《生态环境状况评价技术规范》（HJ192-2015）对石岛湾核电厂址半径 10km 范围内生态环境现状进行了综合评价。评价指标包括生物丰度指数、植被覆盖指数、水网密度指数、土地胁迫指数和污染负荷指数和环境限制指数，在各项指标计算结果的基础上，给出生态环境状况分级结果。评价结果表明，评价区生态环境状况指数为 EI=50.03，级别为一般，植被覆盖度中等。

2.3.2.5 自然保护区和种质资源保护区保护对象

荣成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。

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、鲈鱼、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。

（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 100hm² 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。

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，并在核电站的排水口、北排水口和南排水口分别加设 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 2.3-1 和图 2.3-3。

秋季（15km）调查海域整体表现为核电站东部较远岸海域的初级生产力相对较高，而周边近岸海域相对较低，与叶绿素 *a* 的平面分布并不一致。

冬季（15km）调查海域整体表现为核电站东部海域的初级生产力相对较高，而南部海域相对较低，与叶绿素 *a* 的平面分布较为一致。

春季（15km）调查海域核电站东面远岸海域的站位初级生产力较高，而核电站周边较近岸海域的站位初级生产力普遍较低，与叶绿素 *a* 的平面分布较为一致。

夏季（15km）调查海域核电站正东较远岸海域站位的初级生产力较高，而核电站周边较近岸海域的站位的初级生产力普遍较低，与叶绿素 *a* 的平面分布并不一致。

秋季共记录赤潮生物 20 种，含硅藻 17 种，甲藻 2 种，蓝藻 1 种。优势种主要有奇异棍形藻、尖刺拟菱形藻、具槽直链藻、布氏双尾藻。赤潮生物平均丰度为 $5.03 \times 10^5 \text{cells/m}^3$ 。硅藻平均丰度为 $3.45 \times 10^5 \text{cells/m}^3$ ，占 68.6%；甲藻平均丰度为 $1.50 \times 10^5 \text{cells/m}^3$ ，占 29.8%。物种丰度最大值为奇异棍形藻，出现在 6 号站，数值为 $1.23 \times 10^6 \text{cells/m}^3$ 。

冬季共记录赤潮生物 20 种，含硅藻 16 种，甲藻 3 种，金藻 1 种。优势种主要有具槽直链藻、虹彩圆筛藻、尖刺拟菱形藻、辐射圆筛藻、威利圆筛藻。赤潮生物平均丰度为 $2.91 \times 10^5 \text{cells/m}^3$ 。硅藻平均丰度为 $2.07 \times 10^5 \text{cells/m}^3$ ，占 71.1%；甲藻平均丰度为 $0.54 \times 10^5 \text{cells/m}^3$ ，占 18.6%。物种丰度最大值为具槽直链藻，出现在 6 号站，数值为 $1.48 \times 10^5 \text{cells/m}^3$ 。

春季共记录赤潮生物 19 种，含硅藻 13 种，甲藻 1 种，金藻 1 种。优势种主要有具槽直链藻、骨条藻、虹彩圆筛藻、布氏双尾藻、辐射圆筛藻、尖刺拟菱形藻。赤潮生物平均丰度为 $5.57 \times 10^5 \text{cells/m}^3$ 。硅藻平均丰度为 $1.41 \times 10^5 \text{cells/m}^3$ ，占 99.8%；甲藻平均丰度为 $0.16 \times 10^5 \text{cells/m}^3$ ，占 0.12%。物种丰度最大值为具槽直链藻，出现在 6 号站，数值为 $8.77 \times 10^5 \text{cells/m}^3$ 。

夏季共记录赤潮生物 18 种，含硅藻 15 种，甲藻 3 种。优势种主要有旋链角毛藻、

具槽直链藻、夜光藻、尖刺拟菱形藻、菱形海线藻。赤潮生物平均丰度为 $1.55 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ 。硅藻平均丰度为 $1.76 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ ，占 93.2%；甲藻平均丰度为 $0.59 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ ，占 6.8%。物种丰度最大值为旋链角毛藻，出现在 24 号站，数值为 $2.23 \times 10^5 \text{cells/m}^3$ 。

监测海区浮游动物种类丰富度均值为 3.81，均匀度指数(J)均值为 0.61，多样性指数(H')均值为 2.45。

综合 4 个季度的数据，根据本海区潮间带生物的数量分布及出现频率，该海域的优势种和主要种是：

秋季：大泵钩虾、硬爪始根钩虾、粒结节滨螺、东方小藤壶、长牡蛎、矮拟帽贝、孔石莼、双管阔沙蚕、毛日藻钩虾、短滨螺、尖锥虫、施氏玻璃钩虾、索沙蚕、企氏外圆柱水虱、独毛虫、菲律宾蛤仔、阿曼吉虫和光背团水虱。

冬季：大竹蛏、大泵钩虾、企氏外圆柱水虱、刺指尾钩虾、粒结节滨螺、东方小藤壶、长牡蛎、小珊瑚藻、石花菜、裙带菜、短滨螺、尖锥虫、伪才女虫、异白樱蛤、鼻稚虫、阿曼吉虫、小头虫、三叶针尾涟虫、菲律宾蛤仔、凸壳肌蛤和光背团水虱。

春季：尖锥虫、阿曼吉虫、粒结节滨螺、短滨螺、矮拟帽贝、菲律宾蛤仔、长牡蛎、大泵钩虾、硬爪始根钩虾、东方小藤壶、砂海螂、企氏外圆柱水虱、光背团水虱和小珊瑚藻。

夏季：大泵钩虾、硬爪始根钩虾、粒结节滨螺、东方小藤壶、长牡蛎、鸡毛菜、矮拟帽贝、孔石莼、短滨螺、尖锥虫、索沙蚕、日本外浪漂水虱、阿曼吉虫肉球近方蟹、凸壳肌蛤、菲律宾蛤仔、著名团水虱、腹沟虫和同掌华眼钩虾。

4 个季度共有的优势种有：大泵钩虾、粒结节滨螺、东方小藤壶、长牡蛎、短滨螺、尖锥虫、菲律宾蛤仔和阿曼吉虫。

经实地勘察与调研，厂址 5km 范围内没有大型的重污染工厂、企业以及排污河流，附近主要污染源为船厂、港口及水产加工厂。

本次调查在厂址排水口 15km 范围内未发现保护性水生生物。

2.3.4 工业、交通及其它相关设施

2.3.4.1 工业

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

1) 工矿企业现状

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

2) 工业企业规划

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

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

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

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

2.3.4.2 交通

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

(1) 陆上交通

厂址半径 15km 范围内主要涉及荣成市石岛管理区、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 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。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。

2）海上航线

厂址附近海上航线主要位于石岛港区。

（3）机场及航空线

厂址半径 4km 范围内无民航航线和起落通道通过。

2.3.4.3 危险源及外部人为事件评价结论

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

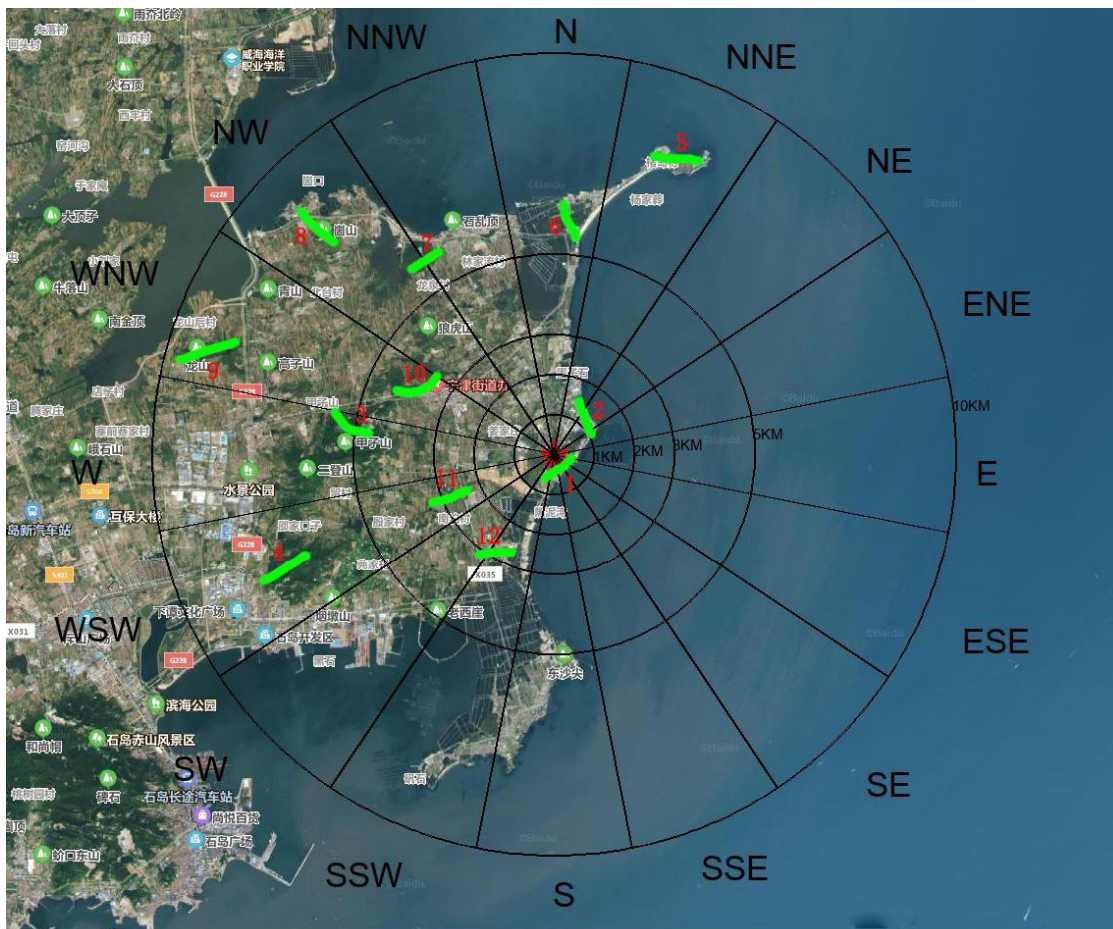
- [1] 华能山东石岛湾核电站扩建工程环境资料调查专题报告，中核第四研究设计工程有限公司，2020年11月；
- [2] 华能山东石岛湾核电站扩建工程陆生生态调查专题报告，中国辐射防护研究院，2021年9月；
- [3] 华能山东石岛湾核电站厂址邻近海域水生生态(含海洋环境放射性本底)调查报告，自然资源部第三海洋研究所，2021年11月；
- [4] 华能石岛湾核电站厂址邻近海域渔业资源调查专题报告，自然资源部第三海洋研究所，2021年11月；
- [5] 华能山东石岛湾核电站扩建一期工程海域使用论证报告书（报批稿），国核电力规划设计研究院有限公司，2022年5月。

表 2.3-1（1/2） 海域调查站经纬度及调查项目

站位	东经（E）	北纬（N）	调查内容	距排水口距离 （km）	相对排 水口方 位
1	122°33'00"	37°01'30"	水质	5.69	N
2	122°35'00"	37°01'30"	水质、沉积物、生态、放射性	6.21	NE
3	122°37'00"	37°01'30"	水质	7.81	NE
4	122°40'00"	37°01'30"	水质、沉积物、生态、放射性	11.22	NE
5	122°33'00"	36°58'30"	水质	0.52	W
6	122°35'00"	36°58'30"	水质、沉积物、生态、放射性	2.39	E
7	122°37'00"	36°58'30"	水质	5.31	E
8	122°40'00"	36°58'30"	水质、沉积物、生态、放射性	9.67	E
9	122°33'00"	36°55'30"	水质、沉积物、生态、放射性	5.66	S
10	122°35'00"	36°55'30"	水质	6.11	SE
11	122°37'00"	36°55'30"	水质	7.73	SE
12	122°40'00"	36°55'30"	水质、沉积物、生态、放射性	11.20	SE
13	122°36'00"	36°53'00"	水质	13.66	SE
14	122°29'58"	36°52'07"	水质、沉积物、生态、放射性	12.85	SW
15	122°32'52"	36°52'59"	水质、沉积物、生态、放射性	10.22	S
16	122°42'15"	37°01'24"	水质	14.13	NE
21	122°26'51"	36°53'26"	水质、沉积物、生态、放射性	13.31	SW
22	122°28'25"	36°55'01"	水质	9.74	SW
23	122°31'15"	37°04'06"	水质	11.21	NW
24	122°34'36"	37°04'18"	水质、沉积物、生态、放射性	11.25	NE
25	122°42'44"	36°58'28"	水质、生态	13.90	E
27	122°38'10"	37°03'59"	水质、沉积物、生态、放射性	12.71	NE
37	122°34'01"	36°50'47"	水质	14.05	SE
38	122°40'04"	36°52'56"	水质	14.12	SE
45	122°28'37"	37°03'51"	水质、沉积物、生态、放射性	12.25	NW
48	122°42'08"	36°55'27"	水质、沉积物、生态、放射性	14.22	SE
排水口	122°33' 21"	36°58' 08"	水质、生态连续站	-	-
北取水口	122°32' 38"	36°59' 16"	水质、生态连续站	-	-
南取水口	122°31' 47"	36°57' 14"	水质、生态连续站	-	-

表 2.3-1 (2/2) 海域调查站经纬度及调查项目

站位	东经 (E)	北纬 (N)	调查内容
A	122°31'14.02"	36°58'04.01"	潮间带断面
B	122°31'59.99"	36°59'44.02"	潮间带断面
C	122°31'13.01"	36°54'28.01"	潮间带断面
D	122°32'44.02"	37°01'57.00"	潮间带断面
E	122°27'46.01"	37°06'08.00"	潮间带断面
F	122°25'13.00"	36°52'00.00"	潮间带断面



图例

1

样线及编号

★ 厂址中心

比例尺 

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）		
厂址半径 10km 范围内植物调查样线		
图 2.3-1	版次：	B

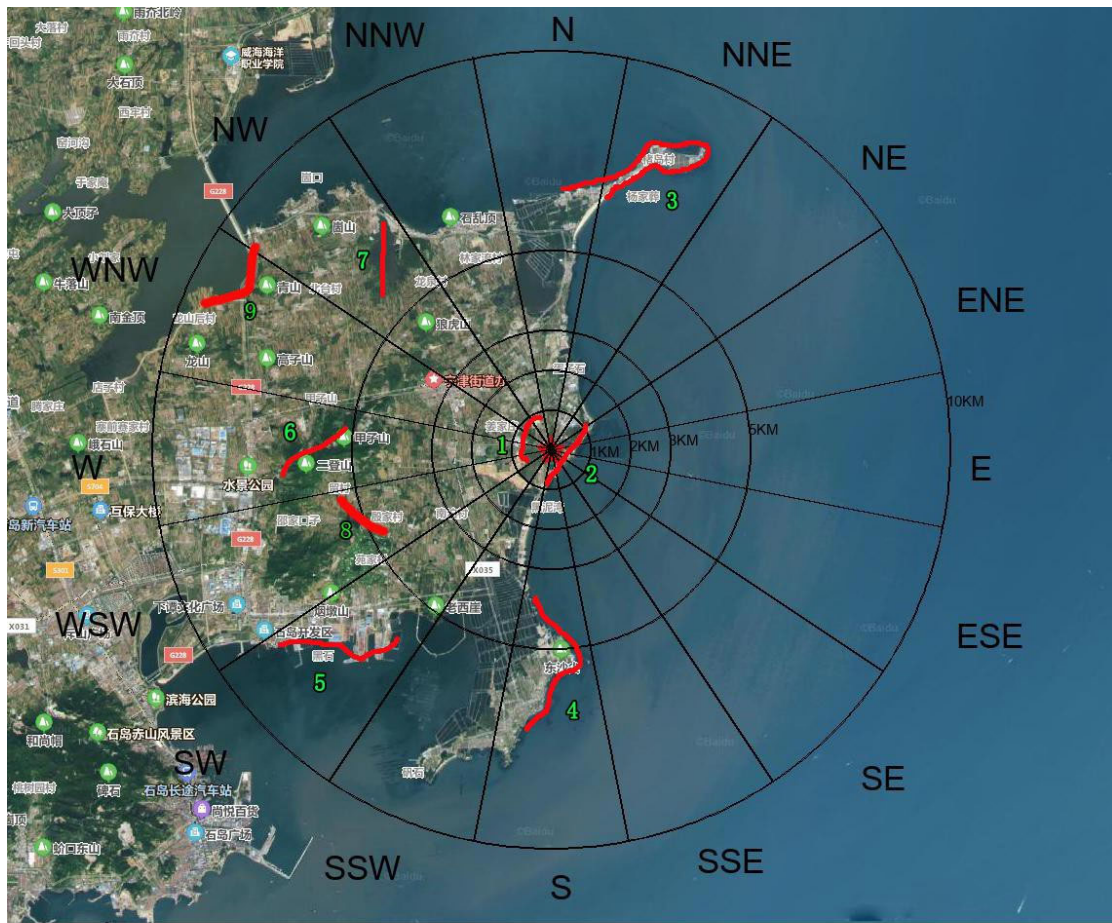
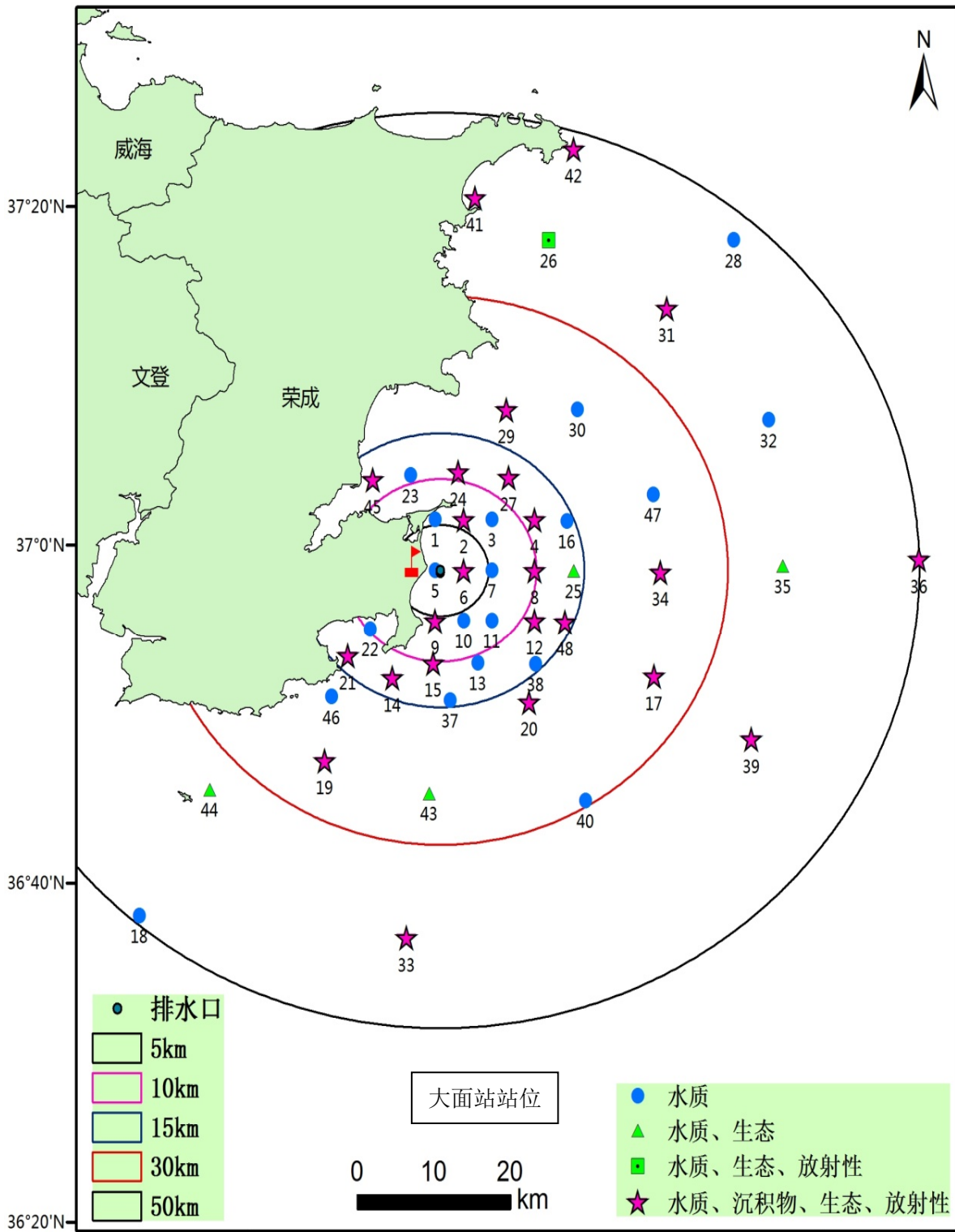


图
例

1 样线及编号 ★ 厂址中心 比例尺 2公里

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）		
厂址半径 10km 范围内动物调查样线		
图 2.3-2	版次：	B



华能山东石岛湾核电站
扩建一期工程

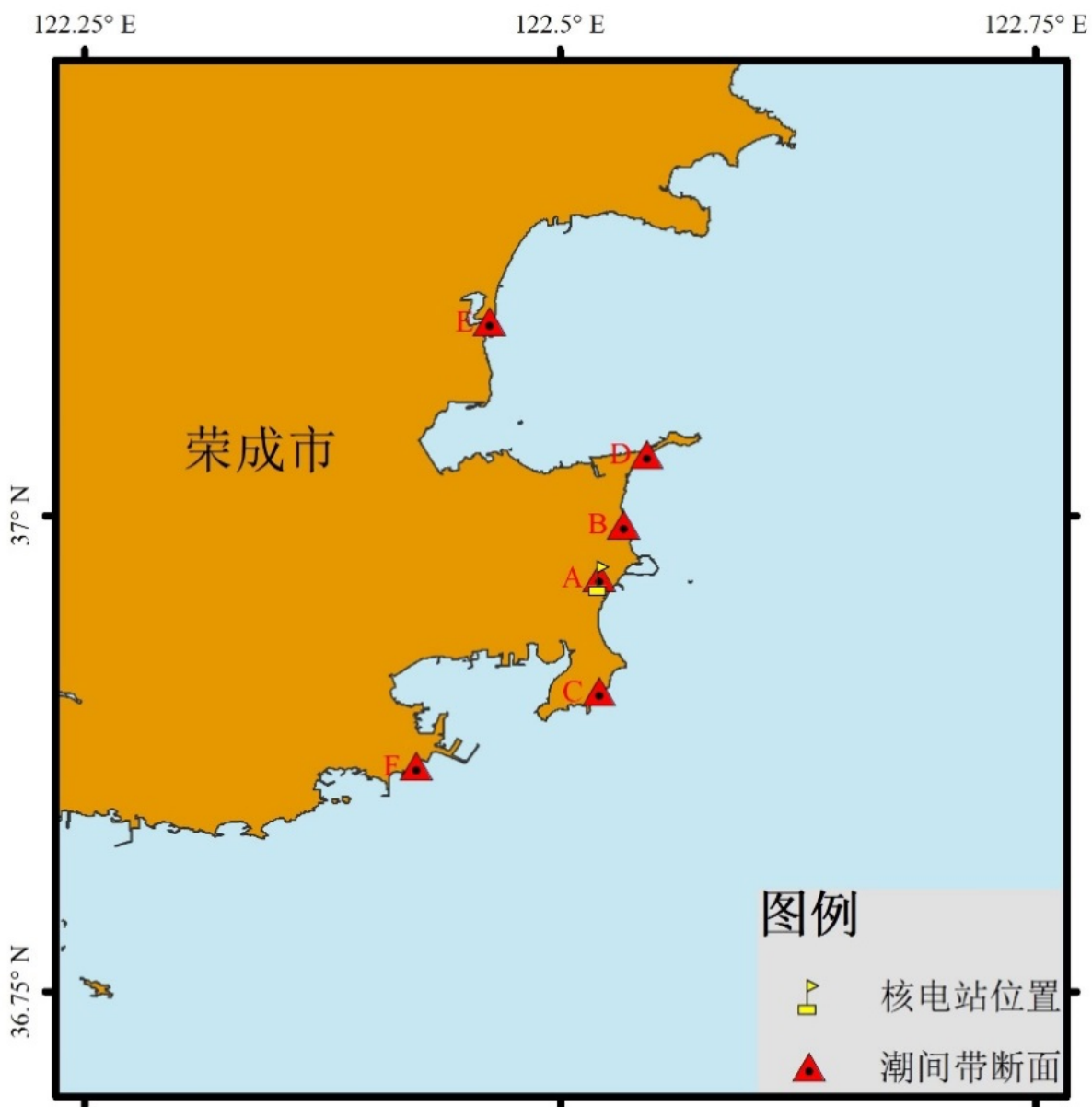
环境影响报告书（选址阶段）

海洋生态调查站位图

图 2.3-3（1/2）

版次：

B



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）		
海洋生态调查站位图		
图 2.3-3（2/2）	版次：	B

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

图

图2.4-1 厂址周边气象站和厂址的相对地理位置

2.4 气象

山东石岛湾核电站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°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℃，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℃。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。

2.4.2 设计基准气象参数

2.4.2.1 热带气旋

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

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

2.4.2.2 龙卷风

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 35633.95km²。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。

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。

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。

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。

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。

2.4.3.5 辐射

厂址地区年均总辐射为 347.4W/m²，5 月总辐射最高，为 432.7W/m²，12 月总辐射最低，为 204.9W/m²。

厂址地区年均净辐射为-44.6W/m²，2 月净辐射最高，为-56.8W/m²，7 月净辐射最低，为-23.3W/m²。

2.4.3.6 风

- 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；

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

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。

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。

2.4.6.2 扩散参数

中国辐射防护研究院编制了《石岛湾核电站厂址大气扩散模式研究总结报告》，对石岛湾核电站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站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。

2.4.7 运行前的厂址气象观测

石岛湾核电站厂址气象观测系统包括气象梯度自动观测系统和厂址专用地面气象站，气象梯度自动观测系统为 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。

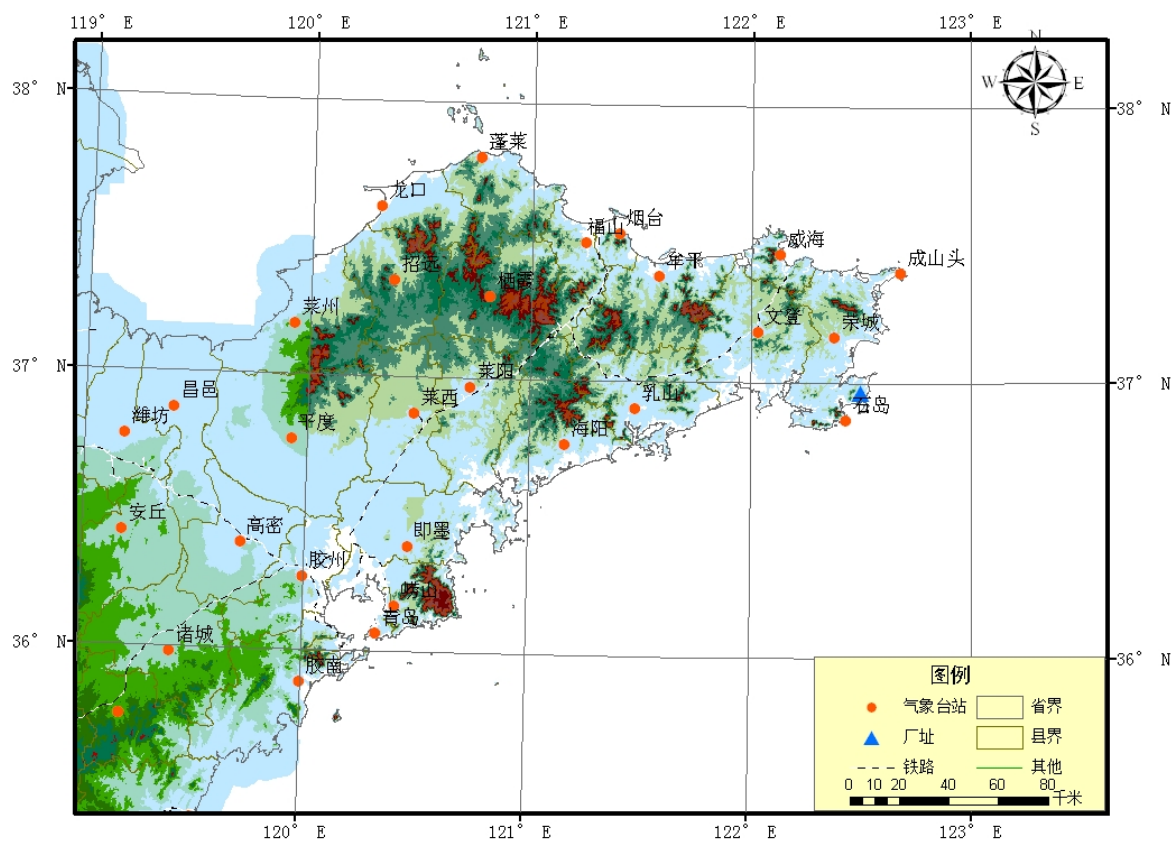
厂址专用地面气象站气象观测要素主要有温度、湿度、气压、雨量、总辐射、净辐射，以及 1 座 10m 风杆测量风向、风速。

2.4.8 参考资料

- [1] 中国辐射防护研究院，石岛湾核电站厂址大气扩散模式研究总结报告，2013 年 3 月；
- [2] 北京大学科技开发部，华能山东石岛湾核电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

站名	气象站类型
威海	基本站
成山头	基本站
石岛	基本站



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）		
厂址周边气象站和厂址的 相对地理位置		
图 2.4-1	版次：	B

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

2.5 水文

2.5.1 地表水

2.5.1.1 陆地水文

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

（1）河流水系

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

厂址 15km 范围内的流域面积大于 20km^2 的河流有小落河和王连河。小落河是荣成市第一大河，位于荣成市中部，干流长 25km ，流域面积 161.7km^2 ，该河发源于大疃镇的邹山山脉，流经大疃、上庄、滕家三镇，在滕家镇套河村东入八河水库，担负着整个流域的防洪、排涝任务。王连河起于虎山镇龙庙山南，流经虎山镇桥头庄、黄山王家、台上三个行政村，王连街道马岭滑家、马岭许家、北桥头、河西乔家、王家庄、隋家庄、沟曲家、常家庄八个行政村，汇入八河水库，河流全长 9.8km ，流域面积 42.20km^2 。距厂址较近的河流为WSW方位约 3.4km 处的东墩河，其流域面积为 8.8km^2 ，干流长度 4.7km ；河流现状利用情况以工业用水和农田灌溉为主。

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

（2）水利工程

厂址位于东墩村东北部，厂址半径 15km 范围内共有20座水库，其中有一座大型水库——八河水库，其余水库均为防洪灌溉用的中小型水库。

八河水库坐落于小落河、王连河下游入海口处，是全市范围内最大的水库，位于厂址WNW方位约 9.2km 处，水库总库容为 1.04亿 m^3 ，是一座以工业供水和防洪为

主的大型水库。水库控制流域面积 256km^2 ，水库大坝坝长 2380.0m ，坝顶高程 4.5m ，最大坝高 8.55m ，正常蓄水位 6.1m ，溢洪闸分别位于大坝南、北两侧，两闸最大泄量为 $1908.0\text{m}^3/\text{s}$ 。

距厂址较近的为 WSW 方位约 5.3km 处的南夏家水库，是一座以防洪和农业灌溉为主的小型水库，总库容为 114.46万 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。

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 $100\sim 200\text{m}$ ，为侵蚀台地，地面高程约为 $4\sim 25\text{m}$ 。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。

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。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

根据厂址与石岛站和成山头站同期潮汐观测资料相关性分析可知，厂址与石岛站潮位相关系数达 0.9663，与成山头站潮位变化相关性较差，相关系数仅 0.7530，石岛站与厂址的潮位相关关系较好。根据石岛和成山头站至 2020 年 12 月底的潮位资料进行综合分析。

在石岛湾核电码头站的潮位整体特征变化不大，平均潮位的变化并不明显，潮差的变化也不明显，而楮岛码头站也有类似的特征。

（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。

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。

（4）波浪

厂址位于楮岛至镆铳岛海岸段，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。

（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‰。

根据石岛海洋站和厂址海洋水文专用站同步水温观测资料，二者温度趋势基本一致，且相关性较好（相关系数大于 0.98）。

（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。除少数受大风影响支配外，主要是随潮流方向运动。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，石岛核电厂址处于岬湾岸段，常年波浪不强，泥沙来源不充足，岸线常年稳定、已有工程两侧岸滩形态较为对称。以上特征均表明工程海岸的沿岸输沙强度较低，输沙量十分有限。

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，在工程区及镆铳岛附近，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

总的来看，工程海域属岬湾沙质海岸，岸外有岛礁掩护，自然状态下岸滩长期保持基本稳定格局；2011 年之后，工程区附近除工程区北侧区域受施工影响而出现局部淤积外，海床地形仍然总体保持稳定状态。

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。

厂区内地势自西北向东南倾斜，地表呈缓坡状，东南侧为海域。厂区位于倾向海

域的缓坡地带，地下水自西北向东南沿缓坡向流入大海，水文地质条件相对简单。厂址区全部位于第III水文地质单元内。第III水文地质单元地下水流向为南或东南，最终排泄入大海，水文地质条件相对简单。

（2）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。

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

（3）厂址 5km 范围内的地下水利用情况

核电站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 $100\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$ 。

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。

高温气冷堆工程厂区场坪标高定为 7.2m。扩建一期工程对海洪的防护是按照《滨海核电站厂址设计基准洪水的确定》（HAD101/09）进行设计的。该导则要求在所有时间内确保安全停堆、堆芯冷却和放射性物质的抑制，其中包括防止以后可能发生外部洪水给核设施所带来的不利影响。

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站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 10 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 厂址区域现状地形地貌图

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。

扩建一期工程场地位于高温气冷堆示范工程的西南侧，原地形总体呈西北高东南低之势，向大海缓倾。根据已有勘察成果，厂址区原始地貌可分为 3 个地貌单元，分别为剥蚀残丘地貌、海积平原地貌及人工开挖回填地貌，另外还发育一些微地貌（水塘及水池等），现状地形地貌见图 2.6-1。

——剥蚀残丘地貌（I）

表现为低丘缓坡，地形起伏较小，地面标高一般为 9.50m~30.00m，自西北向东南地形逐渐降低，地形坡度小于 10°，表层多被第四系残坡积土层覆盖，下伏基岩主要为花岗片麻岩变质岩体及少量侵入岩岩脉，现地表多为林地。

——海积平原地貌（II）

分布于拟建场地东南部靠近海岸一带，呈近北东向带状展布，地面标高一般小于 3.0m，地势平坦，向海面微倾，坡度 1°左右，表层多为粉砂、粉细砂，含较多贝壳，现为海岸滩地。

——人工开挖回填地貌（III）

分布于拟建场地 1#、2#机组主厂区西侧及南侧，为厂址区内的主要地貌单元，该区原地貌类型大部分属剥蚀残丘地貌，南侧部分属于海积平原地貌。回填区主要由块石、砂性土、黏性土等堆积形成。人工开挖回填地貌现地面标高约 2.50m~15.80m。

——微地貌

拟建场地微地貌主要为水塘及水池，零星分布于测区，位于核岛区的水塘水深 2.0m~3.0m，塘底标高 7.0m~8.0m，塘底大部分为强~中等风化岩体；位于 BOP 区的水塘水深约 1.5m~2.0m，塘底标高 4.5m~5.0m，池塘底部多为填土；位于场地东部原海域部分回填形成的水塘（该位置未布置建筑物）水深约 10.0m，塘底标高约-7.50m，池塘底部多为填土；位于剥蚀残丘地貌的塘底标高 19.00m~23.50m，池塘底部多为基岩直接出露，水深 1.0m~2.0m。

拟建场地在 2009 年前后按照 7.20m 的标高进行了整平，后续约在 2014 年前后又将大部分场地按标高 10.00m 进行了整平，现阶段扩建场地大部分地段地面标高在

5.80m~10.50m 范围内，北侧主厂区边坡坡顶处地面标高 15.50m~18.00m，西南侧靠近海域地段地面标高约 2.50m，1#、2#机组主厂区位置地面标高 8.3m~14.9m 左右。



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）		
厂址区域现状地形地貌图		
图 2.6-1	版次：	B

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
 - 3.1.2.2 厂址首台机组运行前辐射环境现状评价
 - 3.1.3 参考资料

表

表3.1-1 厂址首台机组运行前环境辐射本底水平调查方案（2张）

表3.1-2 地表 γ 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 ^3H 、 ^{14}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 γ 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 ^3H 和 ^{14}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 ^3H 与 ^{14}C 活度浓度汇总对比
- 表3.1-34 各类环境介质中 ^{90}Sr 与 ^{137}Cs 活度浓度汇总对比

图

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

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

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

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

图 3.1-5 气溶胶、沉降灰和空气中 ^3H 、 ^{14}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 γ 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厂厂址高温气冷堆已实现双堆临界。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。针对国核压水堆示范工程运行放射性本底调查已委托中国辐射防护研究院开展，调查工作预计至2023年6月完成报告。本小节将主要描述2014年6月至2016年6月的调查方案，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

针对本厂址首台机组运行前辐射环境本底，已开展了连续两年的调查工作，其目的为：获得核电厂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，为核电厂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；为制定核电厂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

厂址首台机组运行前辐射本底调查的范围，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 γ 辐射水平的调查范围选择半径50km，其余项目的调查范围选择半径20~30km，重点调查核电厂周围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，重点在核电厂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

本厂址首台机组运行前辐射本底调查的布点原则为：

- （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) 监测点位布设的选择除考虑国家标准规范要求、厂址周围环境特点及参考核电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) 监测点位布设充分注意不同监测介质和项目的关系，气溶胶、沉降灰和降水同位布点，土壤采样与 γ 辐射空气吸收剂量率同位布点，土壤与植物、海水与沉积物也尽量同位布点、同步采样。

(5) 在厂址 50km 范围内进行陆地 γ 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

厂址首台机组运行辐射本底调查的内容、点位、频次具体见表 3.1-1。

(1) 陆地 γ 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 γ 辐射剂量率监测点位见图 3.1-1~图 3.1-3 及表 3.1-2。

（2）空气介质中放射性水平

— 气溶胶、沉降灰

调查范围为厂址半径 30km 区域，气溶胶和沉降灰的采样点相同，共选取 7 个采样点，分别在厂区边界设置 1 个采样点（厂区办公楼），烟羽地面最大浓度处设置 1 个采样点（施工生活区），最大风频下风向的居民区设置 1 个采样点（东楮岛村），次最大风频下风向的居民区设置 1 个采样点（后海崖村），厂址半径 30km 范围内居民点设置 2 个采样点（宁津街道、荣成市），成山镇设置 1 个采样点，将其作为对照点。监测频次为 1 次/季。

采样点位见图 3.1-4~图 3.1-5 及表 3.1-3。

（3）陆地水中放射性水平

— 地表水

地表水调查范围为厂址半径 20km 区域，共设置 4 个采样点，分别为厂址附近的南夏家水库、八河水库、林家流水库和后龙河水库。将后龙河水库作为对照点。在八河水库采集平行样品。监测频次为 1 次/半年。采样点位见图 3.1-6~图 3.1-7。

— 地下水、饮用水

地下水调查范围为厂址半径 20km 区域，共设置 3 个采样点，由于石岛街道（港湾街道）城区内无法找到地下水井，因此将采样点改为石岛管理区的斥山街道，3 个采样点分别为厂址附近的地下水（东钱家村）、石岛街道地下水（斥山街道）、宁津街道地下水。监测频次为 1 次/半年。

饮用水调查范围为厂址半径 20km 区域，共设置 3 个采样点，分别为东钱家村水、石岛街道（斥山街道）、宁津街道。监测频次为 1 次/季，周期为 2 年。采样点位见图 3.1-6~图 3.1-7。

— 降水

降水调查范围为厂址半径 20km 区域，共选取 5 个采样点，分别在厂区边界（厂区办公楼），烟羽地面最大浓度处（施工生活区），最大风频下风向的居民区（东楮岛村），厂址半径 20km 范围内居民点（宁津街道），成山镇（对照点）设点。监测频次为 1 次/季。

采样点位见图 3.1-6~图 3.1-7 及表 3.1-4。

（4）陆地水底泥中放射性水平

陆地水底泥调查范围为厂址半径 20km 区域，采样点与地表水采样点重合。监测频次为 1 次/年。采样点位见图 3.1-6~图 3.1-7。

（5）土壤中放射性水平

土壤调查范围为厂址半径 30km 区域，在半径 2km、5km、10km、20km、30km 与 8 个方位角形成的扇形区域内布点，土壤采样点与累积剂量测量点、地表 γ 辐射剂量率测量点重合。共选取 12 个采样点。采样点兼顾农田、山区、丘陵等不同类型的土壤。将成山镇作为对照点。监测频次为 1 次/年，监测周期为 2 年。土壤采样点见图 3.1-1~图 3.1-3 和表 3.1-2。

（6）陆生生物

陆生生物的调查范围为厂址半径 30km 范围。

— 粮食作物：粮食作物选取小麦和玉米，监测频次为 1 次/年，周期为 2 年。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。

— 蔬菜作物：蔬菜作物选取白菜和豆角，监测频次为 1 次/年，监测周期为 2 年。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。豆角设置 1 个采样点，位于宁津街道于家村。

— 水果类：水果类选取苹果，监测频次为 1 次/年，监测周期为 2 年。苹果设置 2 个采样点，分别为宁津街道和崂山街道宁家村。

— 奶类：奶类选取牛奶，监测频次为 1 次/半年，监测周期为 2 年。牛奶设置 2 个采样点，分别为腾家镇高落山村每日农牧有限公司和斥山街道沟姜家村沟姜奶牛场。

— 肉类：肉类选取猪肉和鸡肉，监测频次为 1 次/半年，监测周期为 2 年。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。

— 松针：松针样品，监测频次为1次/半年，监测周期为2年。设置2个采样点，分别为宁津街道马栏构林场和宁津街道大岔河村村口。

具体采样点图3.1-8~图3.1-9和表3.1-5。

（8）海水中放射性水平

海水以厂址排水口为中心半径1km、5km、10km与N、NE、ENE、SE、SSW等近似5条辐射线形成的扇形海域内布设采样点。海水共布设13个采样点。具体点位见图3.1-10和表3.1-6。

（9）海洋沉积物中放射性水平

海洋沉积物与海水采样点重合，共布设13个采样点。具体点位见图3.1-10。

（10）海洋生物中放射性水平

海洋生物采样点选在厂址排放口附近海域及厂址附近渔民养殖场和放养场，采集鱼类、贝类、甲壳类、软体类和藻类，优先采集近海养殖的海洋生物。

— 鱼类：鱼类采集马鲛鱼（当地称“鲅鱼”）和梭鱼。马鲛鱼分别在弘运码头附近海域和东楮岛渔港附近海域采集，梭鱼在弘运码头附近海域采集。

— 贝类：贝类采集紫贻贝（当地称“海虹”）、花蛤（当地称“蚬子”）和牡蛎（当地称“海蛎子”）。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，牡蛎在弘运码头附近海域的养殖场采集。

— 甲壳类：甲壳类采集白对虾和螃蟹。白对虾分别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，螃蟹分别在弘运码头附近海域和东楮岛渔港附近海域采集。

— 软体类：软体类采集海参。海参在宁津街道岛西庄村海参养殖场采集。

— 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。

海洋生物采样点位见图3.1-11和表3.1-7。

3.1.1.1.5 现场测量与样品采集

（1）地表 γ 辐射剂量率和累积剂量监测

— 地表 γ 辐射剂量率：共60个点，其中30个道路监测点位，包括14个沥青路、12个水泥路、1个地砖地面和3个大理石地面；30个原野监测点，包括9个草地、15

个田地、3 个土地、2 个沙土地、1 个田间沙土路地表。测量点距附近高大建筑物的距离大于 30m，测量时仪器的有效中心离地面 1 米高。

— 累积剂量：现场放置地点尽量选择能代表总的被测环境，共布设了 20 个点位，均布设在树上，同一地点与地表 γ 辐射剂量率点位重合。布设时间在每季度第一个月，在同一点位布设下一季度的样品时，回收上个季度的样品。在放置期间由于各种原因有少量样品丢失，平均回收率为 91.9%。

— 连续监测：布设了 1 个点位，位于核电施工生活区某楼顶，混凝土地表。测量时仪器的有效中心离楼顶表面约 1m 高，连续监测，连续测量时间为 2014 年 7 月至 2016 年 3 月。

（2）空气介质采样

— 气溶胶：空气中气溶胶样品的采集采用青岛崂山电子仪器总厂生产的 KC-1000 型大流量采样器，滤膜采用玻璃纤维滤膜，其规格为 20cm×25cm，先检查有无漏光现象，将完好无损的滤膜称重后记录滤膜重量。每个采样点每季采样时间为 7~8 天，瞬时流量设为 1.00m³/min 左右，采样结束后填写采样记录表，将采集完成的滤膜对折后装入档案袋内，并在档案袋上注明样品编号和采样体积等信息，以便样品交接。

— 沉降灰：沉降灰采样接收装置系由不锈钢板制成的正方形采样槽，接收面积为 0.25m²，槽壁高 30cm，采样槽放置在楼顶或固定于使灰槽上边缘距地 1.5m 的支架上。在收集槽内加注一定量的蒸馏水，采用湿法采样。在沉降灰收集期间，对每个采样点要定期观察一次沉降灰的收集情况。每个采样点采样时间为 1 个季度的累积混合样。采样结束后，将收集槽内水与沉降灰的混合物小心转入干净的塑料桶内，用蒸馏水冲洗槽壁三次，冲洗液合并到塑料桶内。如果收集物的体积太大，吸去上清液至体积小于 2L，盛于 2.5L 的塑料桶内，加盖拧紧，运回实验室供分析使用。沉降灰样品的取样频度为 1 次/季，大部分样品现场放置时间在 90 天左右。

— 空气中 ³H：用空气采样泵，经粒子过滤器、2 个串联的硅胶吸附瓶，每个串联的硅胶吸附瓶装约 500g 硅胶，以 5~10L/min 的流量抽取 24h 空气样品，使被抽取的空气样品中所含水份被吸附瓶内的干燥剂完全捕集，使用变色硅胶保证采样期间硅胶吸水不达到饱和。取样气体流量由转子流量计指示与调节，累积流量由累积流量计给出指示。取样完成后，将已吸附水份的硅胶吸附瓶取下，密封保存，拿回实验室进行高温真空解吸，然后对冷凝水称重、蒸馏、制样，液闪测量。每个样品的采样体积一

般大于 10m^3 。

空气中 ^{14}C ：用抽气泵抽取一定体积的空气，使空气中的 CO_2 完全被碱液吸收捕集。使溶液中的 CO_2 转化为 CaCO_3 沉淀，用乳化闪烁液的固体悬浮物测量技术直接测定 CaCO_3 粉末中 ^{14}C 的活度浓度，估算出空气中 ^{14}C 的活度浓度。该取样系统由下列部件构成：转子流量计与调节器，分别装有 0.5MNaOH 溶液的多孔鼓泡器吸收瓶，空气采样泵及其连接件。采样在建筑物外距离地面 1m 以上的高度进行，使总的累积取样空气体积一般约为 $3\sim 5\text{m}^3$ 。

（3）陆地水采样

水样品包括地表水、地下水、饮用水和降水，其中地表水的 4 个采样点均为水库水，地下水采集的都是井水（其中一个为山泉井水，均为民用井），饮用水采集的都是自来水。

地表水用塑料桶直接采集表层水；地下水和饮用水从出水口直接接取至塑料桶中；降水采样接收装置系由不锈钢板制成的正方形采样槽，接收面积为 0.25m^2 ，槽壁高 30cm ，采样槽固定在角钢制成的框架上，采样槽上边缘距地 1.5m 。采样槽底部留有出水口，保证降水及时自动流入 100L 塑料桶中。饮用水和降水采样频度为 1 次/季，地表水和地下水为 1 次/半年。

对于 γ 谱测量和放化分析，地表水、地下水和饮用水每次每个样品采集 50L 左右，在现场进行酸化处理后，运回实验室。降水样品过滤后加酸，3 个月的降水样品混合均匀后取 50L 作为 1 个样品；对于分析 ^3H 的样品采集 2.5L ，对于分析 ^{14}C 的样品采集约 75L ，对分析 ^{131}I 的样品采集约 50L （马林杯测量采集 2.5L ），在现场不做任何处理（不加酸），采集好样品后直接运回实验室。

在实验室内对于分析 ^3H 的样品采用电解浓集的方法进行处理，用液闪测量。

对于供 γ 谱分析用的水，采用加热蒸发浓缩的方法，将样品浓集到 200mL 后，用 HpGe γ 谱仪测量。 γ 谱测量完成后，将浓集后的水样采用如下方法处理后供 ^{90}Sr 分析用：在浓集后的水样中加入 1.00mL 浓度为 50mg/mL 的锶载体溶液和 2.00mL 浓度为 20mg/mL 的钇载体溶液。充分搅拌后，用氨水调节溶液的 pH 至 $8\sim 9$ ，加入适量氯化氨，搅拌到固体溶解后，再加入碳酸铵，使钙完全沉淀，搅拌 1 小时。如沉淀量太少，可适当加入 Ca $100\sim 300\text{mg}$ ，静置 2 天。用虹吸法吸去上清液，过滤残渣，将碳酸钙溶解后，用氨水调节 pH 值至 1.0 ，通过色层柱，使钇与锶、钙、铯等低价离子分离。再以 1.5mol/L

硝酸淋洗色层柱，清除钷以外的其它被吸附的离子，并以6mol/L硝酸解析钷，实现钷的快速测定，水样中⁹⁰Sr的活度浓度根据其子体钷-90的活度浓度来推算。

（4）底泥样品采集

底泥样品用长柄铁锹伸入水库底部挖取，将采集到的底泥剔除明显的石子、草根等杂物后装入聚乙烯塑料袋内，再装入布袋内，写明样品名称、编号和采样时间等信息。运回实验室后进行如下处理：a.剔除草根等杂物，样品量取2~3kg；b.将样品倒在托盘中晾干；c.在干燥箱中经105°C烘干；d.用粉碎机将样品进行粉碎，粉碎过的样品过筛（60~80目），充分混合均匀后装入Φ75mm×50mm的聚乙烯塑料盒中，称重；e.用胶带密封样品，放置3~4周后进行γ谱测量；其余样品放置在干燥器内，供放化分析。采样频度为1次/年。

（5）土壤样品采集

土壤的采样工具为小铁铲，采样前用自来水冲洗干净，采样容器为聚乙烯塑料袋，再装入布袋内，采样点位与对应的辐射场测量点位重合。在比较开阔的未耕区，面积在10m×10m范围内，去除采样点表层土后，按五点法（四角和中心）在土壤表层下1cm~5cm处采集样品，混合成原始样品。土壤样品进实验室后，进行如下预处理：a.剔除杂草、碎石等异物，样品量取2~3kg；b.将样品倒在托盘中晾干；c.在干燥箱中经105°C烘干；d.用粉碎机将样品进行粉碎，粉碎过的样品过筛（60~80目），充分混合均匀后装入Φ75mm×50mm的聚乙烯塑料盒中，称重；e.用胶带密封样品，放置3~4周后进行γ谱测量；其余样品放置在干燥器内，供放化分析。

土壤样品采样频度为1次/年，采集的土壤主要为田埂地头不被耕种的表层土壤、草地和树林等受人类活动影响较小的区域的土壤和不发生水土流失的田间土壤等，每个样品的采样量一般大于3kg。在东墩村和马栏耩村采集平行样品。

（6）陆生生物采样

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

蔬菜作物：采集当地种植面积较大的白菜和豆角，白菜和豆角均为到当地农户的田地中直接采集、购买，并对菜地进行了GPS定位记录。采集到的蔬菜在现场晒干后运回实验室处理。

水果：采集当地种植较多的苹果，在苹果园直接采集、购买，并在果园进行了GPS

定位记录。采集到的样品直接运回实验室处理。

奶类：采集当地奶牛场生产的牛奶，牛奶样品在奶牛场直接购买，采集后的样品经冷冻后，运回实验室处理。

肉类：采集当地食用量较多的猪肉和鸡肉，猪肉是在市场购买当地饲养的猪肉，鸡肉是收购附近居民喂养的鸡，现场宰杀后冷冻，运回实验室，采集到的鸡肉是去毛和内脏，带有骨头的鸡肉。

松针：松针直接在松树上采集，选择高4m以下，树干直径小于10cm的年轻树，并且未经过人工修枝，只采集二年生叶，在多棵松树上采集。采集到的样品直接运回实验室处理。

样品运回实验室后，用于 γ 谱和放化分析的样品，首先去除非可食部分（松针除外），猪肉、鸡肉在烘箱中烤熟后去骨，蔬菜、松针洗净后晒干，水果直接取可食部分；之后将可食部份进行炭化、灰化处理。生物样品的炭化、灰化处理：将样品放入锅内，加热使之充分炭化，炭化过程中防止出现明火，然后将炭化完成的样品转移至马弗炉内，在450℃条件下灰化，直至灰化完全，呈现灰白疏松状，无炭粒。冷却后称重。

用于自由水氘（TFWT）、有机氘（OBT）分析的样品，直接在冻干机-55℃冷冻脱水，将水分取出，蒸馏纯化后供液闪分析TFWT使用；被冻干的样品，氧化燃烧，使样品中OBT转化为水，收集的水蒸馏纯化后，供液闪分析。

用于 ^{14}C 分析的样品，运回实验室后处理方法为：称取一定量鲜样，放入冻干机中，在-55℃冷冻脱水。将脱水后的干样碾碎，封存。放入氧弹燃烧装置的样品杯中引爆，收集二氧化碳，供液闪分析。

供 ^{131}I 分析使用的牛奶样品在加入适量的硫酸锌和碳酸钾溶液后缓慢加热烘干，称干重，移入马福炉内，于450℃灰化，直至灰化完全，冷却称灰重，计算灰鲜（干）比，装入磨口瓶中保存。

（7）水生生物

淡水鱼：淡水鱼样品是委托当地渔民到采样水库养殖场捕捞购买，将采集到的鱼类样品直接冷冻装入泡沫箱内，运回实验室处理。样品运回实验室后，首先去除非可食部分，鱼类样品在烘箱中烤熟后去骨（刺）只取鱼肉，之后将可食部份进行炭化、灰化处理。生物样品的炭化、灰化及用于TFWT、OBT和 ^{14}C 分析样品的处理方法同陆

生生物。

（8）海水

租用当地渔民的渔船采集海水，用潜水泵抽取表层海水，水泵进水口在水面下 3m 左右，采集到的海水清澈透明无杂质。用于 γ 谱分析和放化分析的海水采集完成并现场酸化（ $\text{pH}<2$ ）后，运回实验室进一步处理。用于 ^3H 和 ^{14}C 分析的样品，不酸化，直接运回实验室处理。

（9）海洋沉积物

海洋沉积物样品的采集是租用当地渔民的渔船采集，沉积物用改进的船锚采集器勾取，采集到的沉积物混有少量的碎裂贝壳，剔除明显的杂质后，装入聚乙烯塑料袋，再装入布袋内，运回实验室后进行如下处理：a.剔除贝壳等杂物，样品量取 2~3kg；b.将样品倒在托盘中晾干；c.在干燥箱中经 105°C 烘干；d.用粉碎机将样品进行粉碎，粉碎过的样品过筛（60~80 目），充分混合均匀后装入 $\Phi 75\text{mm}\times 50\text{mm}$ 的聚乙烯塑料盒中，称重；e.用胶带密封样品，放置 3~4 周后进行 γ 谱测量；其余样品放置在干燥器内，供放化分析。

（10）海洋生物

海洋生物采样点选在厂址排放口附近海域及厂址附近渔民养殖场和放养场，采集鱼类、贝类、甲壳类、软体类和藻类，优先采集近海养殖的海洋生物。样品进入实验室后，用于 γ 谱和放化分析的样品，鱼类样品去鳞、鳍后在烘箱中烤熟后去骨（刺）只取鱼肉，贝类样品、甲壳类样品蒸熟后，去壳取可食部分，软体类样品去除内脏取可食部分，藻类样品清洗干净后晾干。之后将可食部份进行炭化、灰化处理。生物样品的炭化、灰化及用于 TFWT、OBT 和 ^{14}C 分析样品的处理方法同陆生生物。

3.1.1.1.6 测量仪器和方法

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

（1）主要环境介质 γ 核素活度浓度分析

本次调查共使用 3 套高纯锗 γ 谱仪，分别为：ORTEC 50%（N 型）、CANBERRA 30%（P 型）、CANBERRA 35%（P 型）。样品预处理后装入样品盒内密封待测，样品测量时间一般为 80000s。样品中核素活度的计算公式如下：

$$A = \frac{N}{T \cdot f \cdot \varepsilon}$$

其中： A ，样品中核素的活度，Bq； N ，测量到的该核素在能量 E 处净峰面积； T ，样品的测量活时间，s； f ，能量为 E 的 γ 射线的发射率； $\varepsilon(E)$ ，能量 E 的全能峰效率。

(2) 主要环境介质中总 α 、总 β 分析

— 气溶胶中总 α 、总 β 分析

采样后的玻璃纤维滤膜在干燥器中干燥恒重后，将纤维滤膜放在橡胶垫上，用 $\Phi 75\text{mm}$ 的不锈钢切样刀取样并称重；将样品源放在仪器测量盘上，在低本底 α 、 β 放射性测量仪的总 α 、总 β 计数道上测量样品 α 、 β 计数。按下式分别计算气溶胶样品中总 α 、总 β 放射性浓度：

$$A = \frac{N_c - N_b}{60 \cdot E \cdot V \cdot V_x}$$

式中： A ，气溶胶样品中总 α /总 β 的浓度，Bq/ m^3 ； V_x ，样品占总采样量的比例； E ，仪器对一定厚度 α 标准源或 β 标准源的探测效率，%； N_c ，样品源的计数率，cpm； N_b ，仪器的本底计数率，cpm； V ，转换成标准大气压下的采集气溶胶样品的总体积， m^3 。

— 沉降灰中总 β 分析

将采集的沉降灰样品转入烧杯内，用小火加热蒸发浓缩，转入已称重的坩埚内继续蒸发至干，炭化后于马福炉中 350°C 灼烧，冷却后称总灰重；灰份全部转移至研钵内，研细并确保混合均匀，用称量盘准确称取 0.2g 样品灰，铺样，红外灯下烤干；在 LB770 十路 α/β 测量仪测量。按下式计算沉降灰样品中总 β 放射性浓度：

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

式中： C ，沉降灰中总 β 放射性浓度，Bq/ m^2 天； E ，仪器对 β 的探测效率，%； W_t ，浓缩后残渣的总重量，mg； W_x ，样品源的重量，mg； N_x ，样品源的计数率，cpm； N_0 ，仪器的本底计数率，cpm； SS ，采样盘的面积， m^2 ； d ，采样天数，天。

— 水中总 α 、总 β 分析

取一定量水样于烧杯中，加入一定量的浓硫酸，置于电热板上缓慢加热，蒸发浓缩至，将样品转入已称重的坩埚中；将坩埚置于红外灯下将样品烤干，转入马福炉 350°C 灼烧 1h，置于干燥器中冷却至室温并称重；样品全部转入研钵内，研细并确保均匀，

准确称取 0.2g 于样品盘中，铺样，红外灯下烤干；在 LB770 十路 α 、 β 测量仪上测量。按下式计算水样品中总 α 、 β 放射性浓度：

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

式中： C ，水中总 α 或总 β 放射性浓度，Bq/L； E ，仪器对 α 或 β 的探测效率，%； W_t ，浓缩后残渣的总重量，g； W_x ，样品源的重量，g； N_x ，样品源的计数率，cpm； N_0 ，仪器的本底计数率，cpm； V ，制样所用样品溶液体积，L。

（3）主要环境介质中 ^{90}Sr 活度浓度分析

— 气溶胶中 ^{90}Sr 的测量

1) 将玻璃纤维滤膜样品剪成小碎块，在 450℃ 下灼烧 2h。加入 1mL 锶载体和 1mL 钇载体溶液。

2) 用 30~50mL 1:1 盐酸加热浸取两次。经离心或过滤后，浸取液用盐酸洗涤不溶物和容器。离心或过滤，洗涤液并入浸取液中。弃去残渣。

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

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

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

6) 在滤液中加入铋的载体，用氨水调节溶液的 pH=1.0。加入液体硫化钠做硫化铋沉淀，过滤，滤液以 2mL/min 的流速通过色层柱，记下从开始过柱到过柱完毕的中间时刻，做为锶、钇分离的时刻 t_1 。

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

8) 沉淀在垫有已称重滤纸的可拆卸式漏斗中抽吸过滤，依次用 0.5% 草酸溶液、水和无水乙醇各 10mL 洗涤沉淀。将沉淀连同滤纸固定在测量盘上，在低本底 β 计数器

上进行β计数。记下测量的中间时刻 t_2 。

9) 沉淀在 45~50℃干燥，称至恒重，按草酸铀 $Y_2(C_2O_4)_3 \cdot 9H_2O$ 的分子式计算铀的化学回收率。

按下式计算气溶胶中铯-90 的浓度：

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

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

— 沉降灰中 ^{90}Sr 的测量

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

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

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

4) 用 6.0mol/L 的硝酸溶解沉淀，溶解液收集于 100mL 玻璃烧杯中，体积控制在 30mL 左右。加入铯的载体，用氨水调节溶液的 pH=1.0。加入液体硫化钠做硫化铯沉淀，过滤，滤液可直接上柱。以下部分同“气溶胶中 ^{90}Sr 的测量”中的 6)~9)。

5) 按下式计算沉降灰中 ^{90}Sr 放射性活度浓度：

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

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

— 水中 ^{90}Sr 的测量

1) 地表水、地下水样品：将样品加热浓缩至 200mL 左右，过滤，定容 200mL 供 γ 谱分析后，取全量或一定量样品于 2L 烧杯中，加入 1.00mL 锶载体溶液和 1.00mL 钇载体溶液。搅拌均匀，调节溶液的 pH=7 左右，加入碳酸钠，用氨水调节溶液的 pH=9 左右，过滤或离心分离，沉淀用适量酸溶解，滤去不溶物。以下接 3)；

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

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

4) 用 30mL 0.1mol/L 硝酸和 40mL 1.5mol/L 硝酸洗涤色层柱，弃去流出液，再用 30mL 6.0mol/L 硝酸解吸钇，解吸液收集于烧杯中；

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

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

7) 沉淀在 45~50℃干燥，称至恒重，按草酸钇 $\text{Y}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 的分子式计算化学回收率。

按下式计算锶-90 的浓度：

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

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

— 土壤、底泥、沉积物中 ^{90}Sr 的测量

1) 称取 50g 土壤（或底泥、沉积物）样品放入烧杯中，加入锶载体和钇载体和钇

载体溶液，加入 6.0mol/L 盐酸溶液，加热煮沸 1h，冷却、离心，上清液收集再用 1.0mol/L 盐酸溶液洗涤残渣，将上清液和洗涤液合并（浸取液），弃去残渣；

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

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

4) 坩埚冷却后，将残渣转入烧杯中，先用少量硝酸溶液湿润残渣，再用浓硝酸将其完全溶解，然后加入 1mL H₂O₂ 脱色，将其在砂浴上加热，得到透明无色溶液；

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

6) 轻轻摇动溶液并滴加 0.5mL 硫化钠溶液，生成黑色的硫化铋沉淀。离心或、过滤。收集的溶液加热至微沸，冷却后用水稀释；

7) 浸取液以 0.6~0.8mL/min 的流速通过 HDEHP—kel-F 色层柱，记下从开始过柱到过柱完毕的中间时间，作为铈-90-铋-90 分离时间 t₁；用 50mL 1.0mol/L 盐酸溶液和 40mL 1.3mol/L 硝酸溶液以相同的流速洗涤柱子；

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

9) 沉淀转移到铺有已称重定量滤纸的可拆卸式漏斗中，抽吸过滤，依次用草酸溶液、无水乙醇各 5mL 洗涤沉淀；将其固定在测量盘上，烘干、测量，记下从开始测量到测量完毕的中间时间，作为测量时间 t₂；

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

11) 按下式计算试样中铈-90 的含量：

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

式中：A，样品中铈-90 的放射性浓度，Bq/g；N，样品源的净计数率，cpm；60，将 dpm 变为 Bq 的转换系数；Y_Y，铋的化学回收率；W，称取样品量，g；E_f，铋-90 的探测效率；e^{-λ(t₂-t₁)}，铋-90 的衰变因子。t₁ 为铈铋分离的时刻 h，t₂ 为铋-90 测量进

行到一半的时刻 h , $\lambda=0.693/T$, T 为铯-90 的半衰期, 64.2h。

— 生物灰中 ^{90}Sr 的测量方法

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

11) 结果计算

快速法测定铯-90 时计算试样中铯-90 的含量:

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

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

(4) 主要环境介质中 ^3H 活度浓度分析

— 空气中 ^3H 分析测定

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

空气中 ^3H 的放射性浓度公式为：

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

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

— 水中 HTO 的分析测定

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

计算水中 ^3H 的放射性浓度公式为：

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

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

— 生物中 TFWT 的分析测定

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

生物中 TFWT 的活度浓度公式为：

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

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

— 生物中 OBT 的分析测定

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

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

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

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

（5）生物样品中 OBT 活度浓度的计算公式如下：

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

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

（5）主要环境介质中 ¹⁴C 活度浓度分析

— 空气中 ¹⁴C 的分析测定

将 2 个吸收瓶中的吸收碱液倒入烧杯中，对每个吸收瓶分别加入 10mL 蒸馏水进行清洗，并将清洗液一并倒入烧杯中；在烧杯内的吸收碱液中加入 20%的 NH₄Cl 溶液；

c.用滴定管缓慢滴加饱和 CaCl₂ 溶液，使 CaCO₃ 沉淀完全析出；抽吸过滤。弃去上清液，用蒸馏水和乙醇反复洗涤 CaCO₃ 沉淀物 3 次，以消除 Ca(OH)₂ 可能产生的影响；将滤纸上纯净的 CaCO₃ 沉淀放入烘箱内，在 100℃下烘干，取出冷却到室温后用天平称重，记录生成 CaCO₃ 的重量；将烘干称重后的 CaCO₃ 用研钵研磨成粉状，保存在干燥器中备用。从制备的 CaCO₃ 粉末中用天平称取 4g 放入 20mL 计数瓶中，加入 6mL 水摇匀，再加入 12mL 甲苯-TritonX-100 闪烁液，加盖密封。

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

空气中 ¹⁴C 的放射性浓度计算公式如下：

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

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

— 水中 ¹⁴C 的分析测定

环境水体的预处理方法：通过鼓泡法浓集水中的 CO₂。该装置由水罐、水泵、流量计、吸收瓶、氮气高压气瓶组成。每次测量时所用样品量为 50L。用水泵一次性将样品水通过进水口抽入到水罐中，从进水口加 H₃PO₄ 200mL，关闭阀门。用氮气将水中的 CO₂ 吹出，氮气通过过滤器，使之成细小的气泡吹出。氮气流速为 2min/L，被氮气赶出的 CO₂ 气体用 3 级串接的吸收瓶吸收，每个吸收瓶中装有 2mol/L NaOH 溶液 150mL。当捕集完成后，把 NaOH 溶液混倒入烧杯中，调节 pH 值为 10，加入饱和 CaCl₂

溶液使溶液中的 CO_3^{2-} 完全沉淀，过滤并洗涤沉淀，于 110℃ 下干燥至恒重，冷却至室温，称重，计算含碳率。

将得到的碳酸盐沉淀装入 CO_2 释放吸收装置中，加入 150mL 水；在液闪瓶中加入 10mL CARBO SORB E 吸收液吸收释放出来的 CO_2 ，吸收前对液闪瓶准确称重，检查装置气密性后，开始滴加 1:1 H_3PO_4 溶液，控制释放速度，直到液闪瓶中的气泡鼓出非常缓慢，停止吸收。再次对液闪瓶准确称重，计算 CO_2 的吸收量；在吸收了 CO_2 的液闪瓶中加入 10mL PERMAFLUOR E+ 闪烁液，混合均匀，避光 2h。

用液闪谱仪计数，样品中 ^{14}C 的活度计算公式如下：

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

式中： A ，样品中放射性浓度，Bq/L； E ， ^{14}C 的计数效率； n ，样品的计数率， min^{-1} ； n_0 ，本底计数率， min^{-1} ； Y ，回收率； m ，合成碳酸盐的质量，g； m_1 ，测量碳酸盐的质量，g； V ，水样的体积，L； K ，回收率。

— 生物中 ^{14}C 的分析测定

称取一定量鲜样，放入冻干机中，在 -55℃ 冷冻脱水。将脱水后的干样碾碎，封存；把 5g 干样放入氧弹燃烧装置的样品杯中，样品上端有一段镍丝，装置底部装有 50mL 的水，首先抽真空，通入 0.8Mpa 氧气，引爆，压力上升，样品中的碳氧化为 CO_2 ， CO_2 传输到两个串联的 3.75L 的不锈钢储气瓶中。缓慢释放储气瓶中的气体，用两级串接的装有 NaOH 溶液的鼓泡器吸收 CO_2 ；把 NaOH 溶液倒入烧杯中，调节 pH 值为 10，加入饱和 CaCl_2 溶液使溶液中的 CO_3^{2-} 完全沉淀，过滤并洗涤沉淀，于 110℃ 下干燥至恒重，冷却至室温，称重，计算含碳率；将得到的碳酸盐沉淀装入 CO_2 释放吸收装置中，加入 150mL 水；在液闪瓶中加入 10mL CARBO SORB E 吸收液吸收释放出来的 CO_2 ，吸收前对液闪瓶准确称重，检查装置气密性后，开始滴加 1:1 H_3PO_4 溶液，控制释放速度，直到液闪瓶中的气泡鼓出非常缓慢，停止吸收。再次对液闪瓶准确称重，计算 CO_2 的吸收量；在吸收了 CO_2 的液闪瓶中加入 10mL PERMAFLUOR E+ 闪烁液，混合均匀，避光 2h。

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

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

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

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

方法步骤为：

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

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

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

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

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

6) 将镀片置于低本底 α 谱仪上测量；

7) 试样中钷的放射性活度按下式计算：

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

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

3.1.1.1.7 探测下限及数据处理

(1) 探测下限

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

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

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

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

1) 土壤样品中 γ 核素

根据下式计算：

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

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

2) 生物样品与水样品中 γ 核素

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

3) 气溶胶样品中 γ 核素

探测下限根据下式计算：

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

式中： N_b ，测量时间为 t 时的本底计数； ε ， γ ，探测效率； η ，分支比； t ，测量时间，s； V ，气溶胶样品的采样体积， m^3 。

4) 沉降物样品中 γ 核素

探测下限根据下式计算：

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

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

5) 水中 ^3H

探测下限按下式计算：

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

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

6) 空气中 ^3H

探测下限按下式计算：

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

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

7) 生物中 TFWT

探测下限按下式计算：

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

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

8) 生物中 OBT

探测下限按下式计算：

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

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

9) 空气中 ^{14}C

探测下限按下式计算：

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

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

10) 水中 ^{14}C

探测下限按下式计算：

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

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

11) 生物中 ^{14}C

探测下限按下式计算：

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

式中： n_b ，测量时间为 t 时的本底计数，cpm； E ，探测效率，%； Y ，回收率，%；

t ，测量时间，min； m ，生成 CaCO_3 的质量，g； m_1 ，测量 CaCO_3 的质量，g； M ，生物样品的干重，kg。

12) 放化分析（包括总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 等）方法

探测下限的计算公式为：

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

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

(2) 数据处理与表示

单次放射性测量结果后面所附标准偏差仅代表放射性测量的单倍计数统计误差。

所有调查结果的平均值均为等权的算术平均值。

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

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

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

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

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

如果样品的部分测量结果低于探测限，则该部分结果按探测限的一半参与平均。如果全部结果均低于探测限，则不给出均值。

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。

γ 辐射剂量率监测仪器在实施野外监测工作之前，经计量部门校准，并出具证书。

3.1.1.2.3 样品的采集、预处理与运输

本次调查按照承担单位的有关样品采集、预处理和运输的作业指导书进行，按照相关操作规范采集完成并做好标识的样品按照样品的特性进行适当的包装，在运输前填写样品清单，清点样品，并且检查包装是否符合要求，然后用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

— γ 谱仪

用于 γ 能谱刻度的点源系列包括 ^{241}Am 、 ^{133}Ba 、 ^{137}Cs 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 、 ^{88}Y 、 ^{22}Na 、 ^{203}Hg 和 ^{57}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 γ 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。

— α/β 测量仪

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

— 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（水中氡）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 γ 核素、 ^{90}Sr 等）对实验室内放化分析和 γ 谱测量过程进行质量控制；

— 2016 年度用掺标样品（奶粉中 ^{90}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}Sr 的能力验证活动，评价结论为满意。

（4）平行样

为了对项目中样品的采集、预处理及分析测量的全部过程进行有效的质量控制，在项目的实施过程中，分别对地表水、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 β 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 α 、总 β 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 α 、总 β 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。

3.1.1.3 调查结果

3.1.1.3.1 地表 γ 辐射剂量率和累积剂量

(1) 地表 γ 辐射剂量率（瞬时测量）

瞬时测量共 60 个点位，两年均值为 $92 \pm 24 \text{ nGy/h}$ ，平均最低值在成山镇（ $46.9 \pm 3.8 \text{ nGy/h}$ ，土地地表）；最高值在所东张家村（ $155 \pm 4 \text{ nGy/h}$ ，田地地表）；60 个点位结果各季度平均为 $89.5 \sim 94.6 \text{ nGy/h}$ ，各季度无明显差别。

30 个道路测量点位中，两年结果平均最低值在虎山镇（ $64.2 \pm 3.1 \text{ nGy/h}$ ）；最高值在崖西镇（ $128 \pm 4 \text{ nGy/h}$ ）；30 个点位结果均值为 $102 \pm 16 \text{ nGy/h}$ ，各季度平均为 $99.0 \sim 104 \text{ nGy/h}$ 。

30 个原野测量点位中，两年结果平均最低值在成山镇（ $46.9 \pm 3.8 \text{ nGy/h}$ ）；最高值在所东张家村（ $155 \pm 4 \text{ nGy/h}$ ）；30 个点位结果均值为 $82 \pm 28 \text{ nGy/h}$ ，各季度平均为

79.0~84.8nGy/h。

地表 γ 辐射剂量率测量结果具体见表 3.1-13 和图 3.1-12。

（2）累积测量

累积剂量共布设了20个点位，平均回收率为91.9%。累积剂量的布设点位与该点位的剂量率测量点位重合。从累积剂量换算出的剂量率结果可以看出：所有测点累积剂量平均获得的剂量率范围为71.3~127nGy/h，平均值为 97 ± 16 nGy/h；各测量点位均值最低值在崂山街道（ 71 ± 12 nGy/h），最高值在所东张家村（ 127 ± 13 nGy/h）。两年内各季度间无明显差别。累积剂量测量结果具体见表3.1-14和图3.1-13。

（3）累积测量与瞬时测量的对比

对累积测量与瞬时测量值进行了对比，结果见表3.1-15。TLD测量结果与原野辐射剂量率测量结果相比，部分点位存在一定差异，TLD测量结果低于瞬时测量剂量率，有以下原因：

1) 瞬时测量剂量率得到的是辐射场在测量时的瞬时值，而辐射场的剂量率值是不不断的涨落变化，TLD 得到的是一个季度的累积量除以时间之后得到的平均值；

2) 瞬时测量剂量率场测量时，选取的测量点位一般是在比较平坦开阔的地方，而TLD 布点需要将其绑在树枝上；

3) 瞬时测量剂量率测量使用的高气压电离室，累积剂量测量使用的 TLD 且未扣除宇响，两种仪器对于宇宙射线的响应不同；

4) 当地的地质构造特点。

（3）连续测量

连续测量使用 RSS-131 型环境辐射监测仪。仪器每 1 小时给出一个计数，连续监测，降雨量的数据同为每小时一个结果。2014 年 7 月至 2016 年 6 月间剂量率连续测量结果具体见图 3.1-14。需要说明，在 2014 年 9 月前后剂量率显示突然降低，原因是监测点位位于 WSW 方位 2.34km 的最大浓度处（施工生活区楼房楼顶），在该时段有施工队进行房顶修补作业，在房顶铺设了一层水泥浆，造成剂量率监测结果的突然变化。

剂量率的变化与降雨量的变化规律非常一致，即降雨是导致剂量率变化的重要因素。作为实例，图 3.1-15 给出了 201 年 8 月、2015 年 2 月、2016 年 2 月剂量率与降雨量连续监测结果。可以看到，在降雨时地表相应的剂量率消息将显著升高，最大可达

到 50%。

（4）宇宙射线测量

对瞬时测量的剂量率监测设备（中国原子能科学研究院生产的 YB-II 型环境辐射剂量率仪（高气压电离室）），于 2015 年 4 月和 2015 年 10 月在八河水库进行了宇宙射线响应测量，测量点处水深大于 3m，距岸边距离大于 300m，测量使用的船只为玻璃钢材质的快艇。宇宙射线测量结果分别为 $36.5 \pm 1.5 \text{ nGy/h}$ 和 $37.8 \pm 3.8 \text{ nGy/h}$ ，均值为 $37.2 \pm 0.9 \text{ nGy/h}$ 。八河水库位于厂址西北约 10km，为大(二)型水库。

3.1.1.3.2 空气介质中放射性水平

（1）气溶胶

气溶胶样品的分析项目包括每个季度一次的总 α 、总 β 、 ^7Be 、 ^{54}Mn 、 ^{90}Sr 、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 分析。测量结果具体见表 3.1-16。

γ 谱分析测量结果中，除 ^7Be 外，其余核素 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{54}Mn 、 ^{131}I 结果基本均低于探测限（仅荣成市测点 2015 年 10 月 ^{137}Cs 给出探测限附近的结果）。其中， ^7Be 的活度浓度范围为 $3.94 \sim 10.4 \text{ mBq/m}^3$ ，均值为 $6.89 \pm 1.76 \text{ mBq/m}^3$ 。

总 α 的活度浓度范围为 $0.20 \sim 1.33 \text{ mBq/m}^3$ ，均值为 $0.64 \pm 0.27 \text{ mBq/m}^3$ ；

总 β 的活度浓度范围为 $1.27 \sim 3.96 \text{ mBq/m}^3$ ，均值为 $2.15 \pm 0.57 \text{ mBq/m}^3$ ；

^{90}Sr 的活度浓度范围为 $0.26 \sim 5.67 \mu\text{Bq/m}^3$ ，均值为 $2.07 \pm 1.14 \mu\text{Bq/m}^3$ 。

（2）沉降灰

沉降灰样品的分析项目包括每个季度一次的总 β 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 分析。测量结果具体见表 3.1-17。

γ 谱分析测量结果中， ^{134}Cs 结果均低于探测限， ^{137}Cs 结果大部分低于探测限，范围为 $< 2.7 \sim 6.3 \text{ mBq}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

总 β 的活度浓度范围为 $0.17 \sim 1.76 \text{ Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，均值为 $0.69 \pm 0.36 \text{ Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ；

^{90}Sr 的活度浓度范围为 $1.00 \sim 16.3 \text{ mBq}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，均值为 $4.6 \pm 2.9 \text{ mBq}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

（3）空气中 ^3H 、 ^{14}C

空气中 ^3H 、 ^{14}C 共设置 5 个采样点。监测频次为 1 次/季。测量结果见表 3.1-18。

^3H 的活度浓度范围为 $1.10 \sim 16.7 \text{ mBq/m}^3$ ($0.45 \sim 1.26 \text{ B/L(水)}$)，均值为 $7.3 \pm 4.2 \text{ mBq/m}^3$ ($0.81 \pm 0.24 \text{ Bq/L(水)}$)；

^{14}C 的活度浓度范围为 $20.2 \sim 30.4 \text{ mBq/m}^3$ ($0.15 \sim 0.19 \text{ Bq/gC}$)，均值为

$26.1 \pm 2.4 \text{mBq/m}^3$ ($0.17 \pm 0.01 \text{Bq/gC}$)。

3.1.1.3.3 陆地水中放射性水平

(1) 地表水

地表水监测项目为总 β 、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 γ 核素 (^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs)，共 4 个监测点位。测量结果具体见表 3.1-19。

其中， γ 谱测量结果 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{131}I 测量结果均低于探测限。

总 β 测量结果活度浓度范围 $0.14 \sim 9.53 \text{Bq/L}$ ，两年均值为 $1.1 \pm 2.3 \text{Bq/L}$ ，其中需要关注林家流水库监测结果，最高值出现在 2015 年 10 月的林家流水库，监测结果普遍比其他点位结果要高，最大达到 9.53Bq/L ，与林家流水库可能发生的海水入侵有关（该水库位于厂址以北约 4km 处，为临海型咸水水库，在水库北侧有水产养殖，水库东侧最窄处仅 200 余米，北侧为坝址，水库的位置和地理条件使之可能存在海水入侵的条件）；

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 $3.33 \sim 16.8 \text{mBq/L}$ ，均值为 $9.1 \pm 3.0 \text{mBq/L}$ ；

^3H 测量结果活度浓度范围 $0.30 \sim 1.15 \text{Bq/L}$ ，均值为 $0.70 \pm 0.24 \text{Bq/L}$ ；

^{14}C 测量结果活度浓度范围 $2.49 \sim 6.46 \text{mBq/L}$ ($0.15 \sim 0.25 \text{Bq/gC}$)，均值为 $4.7 \pm 1.0 \text{mBq/L}$ ($0.20 \pm 0.02 \text{Bq/gC}$)。

(2) 地下水

地下水监测项目为总 α 、总 β 、 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 。监测频次为 1 次/半年。测量结果具体见表 3.1-20。

其中， γ 谱测量结果 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 测量结果均低于探测限；总 α 测量结果活度浓度范围 $< \text{LLD} \sim 0.30 \text{Bq/L}$ ，两年均值为 $0.093 \pm 0.086 \text{Bq/L}$ ；

总 β 测量结果活度浓度范围 $0.052 \sim 6.50 \text{Bq/L}$ ，平均值为 $0.9 \pm 1.7 \text{Bq/L}$ ，最低值出现在 2015 年 4 月的石岛街道，最高值出现在 2015 年 10 月的厂址附近，在该点处两年均值为 $0.9 \pm 1.7 \text{Bq/L}$ ，最大值达到 $6.5 \pm 0.08 \text{Bq/L}$ ，可能与点位附近海水入侵有关（监测点位于宁津街道东钱家村，为距离厂址最近的居民点，取样点位于厂址 NW 方位 1.06km 处。所在点位的东钱家村地处一个面积较小的水文地质单位，下部主要为砂、砾石、碎石等，分选性差，地下水属孔隙潜水）；

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 6.26~12.1mBq/L，均值为 $8.4\pm 1.5\text{mBq/L}$ ；

^3H 测量结果活度浓度范围0.20~0.91Bq/L，均值为 $0.45\pm 0.17\text{Bq/L}$ 。

（3）饮用水

饮用水监测项目为总 α 、总 β 、 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 。监测频次为 1 次/季。测量结果具体见表 3.1-21。

其中， γ 谱测量结果 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 测量结果均低于探测限；

总 α 测量结果活度浓度范围 $<\text{LLD}$ ~0.13Bq/L，均值为 $0.055\pm 0.032\text{Bq/L}$ ；总 β 测量结果活度浓度范围 0.065~0.34Bq/L，均值为 $0.158\pm 0.071\text{Bq/L}$ ；

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 1.92~14.7mBq/L，均值为 $7.1\pm 2.9\text{mBq/L}$ ；

^3H 测量结果活度浓度范围 0.32~0.84Bq/L，均值为 $0.55\pm 0.14\text{Bq/L}$ 。

（4）降水

降水监测项目为 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 。监测频次为 1 次/季。测量结果具体见表 3.1-22。其中， γ 谱测量结果 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 测量结果均低于探测限。

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 2.69~23.2mBq/L，均值为 $10.1\pm 4.3\text{mBq/L}$ ；

^3H 测量结果活度浓度范围 0.38~0.85Bq/L，均值为 $0.61\pm 0.12\text{Bq/L}$ 。

3.1.1.3.4 土壤与沉积物中放射性水平

（1）地表水底泥

底泥样品的分析项目包括测量 ^{40}K 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U 。监测频次为 1 次/年。测量结果具体见表 3.1-23。

γ 谱分析测量结果中，天然放射性核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 均给出了测量结果，人工核素 ^{137}Cs 在部分样品中高于探测限，其余核素 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{134}Cs 测量结果均低于探测限，其中：

^{238}U 测量结果活度浓度范围为 8.87~93.6Bq/kg，均值为 $33\pm 34\text{Bq/kg}$ ；

^{226}Ra 测量结果活度浓度范围为6.70~77.1Bq/kg，均值为 $27\pm 28\text{Bq/kg}$ ；

^{232}Th 测量结果活度浓度范围为 11.6~184Bq/kg，均值为 $63\pm 70\text{Bq/kg}$ ；

^{40}K 测量结果活度浓度范围为 $653\sim 2.14\times 10^3\text{Bq/kg}$ ，均值为 $(1.00\pm 0.58)\times 10^3\text{Bq/kg}$ ；

^{137}Cs 测量结果活度浓度范围为 $<0.33\sim 4.03\text{Bq/kg}$ ；

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围为1.28~4.00Bq/kg，均值为 $2.24\pm 0.97\text{Bq/kg}$ 。

（2）土壤

土壤样品的分析项目包括 ^{40}K 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U ，其中选取所东张家村、东墩村采样点进行 $^{239+240}\text{Pu}$ 分析，监测频次为 1 次/年。测量结果具体见表 3.1.-24。

γ 谱分析测量结果中， ^{238}U 的活度浓度范围为 $<\text{LLD}\sim 76.8\text{Bq/kg}$ ，均值为 $31\pm 16\text{Bq/kg}$ ；

^{226}Ra 的活度浓度范围为 $6.75\sim 76.7\text{Bq/kg}$ ，均值为 $28\pm 14\text{Bq/kg}$ ；

^{232}Th 的活度浓度范围为 $10.2\sim 173\text{Bq/kg}$ ，均值为 $48\pm 33\text{Bq/kg}$ ；

^{40}K 的活度浓度范围为 $509\sim 1.49\times 10^3\text{Bq/kg}$ ，均值为 $(9.2\pm 2.7)\times 10^2\text{Bq/kg}$ ；

^{137}Cs 的活度浓度范围为 $<\text{LLD}\sim 3.06\text{Bq/kg}$ ，均值为 $1.60\pm 0.79\text{Bq/kg}$ 。

^{90}Sr 的活度浓度范围为 $0.65\sim 3.50\text{Bq/kg}$ ，均值为 $1.74\pm 0.81\text{Bq/kg}$ ；

$^{239+240}\text{Pu}$ 的活度浓度范围为 $0.058\sim 0.13\text{Bq/kg}$ ，均值为 $0.094\pm 0.031\text{Bq/kg}$ 。

3.1.1.3.5 陆生生物中放射性水平

陆地生物样品共 5 类 9 种 54 个样品，包括粮食类（小麦、玉米）、蔬菜类（豆角、白菜）、水果类（苹果）、奶类（牛奶）、肉类（鸡肉和猪肉）和松针。

陆生生物（除牛奶外）的监测项目为 TFWT、OBT、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 。牛奶的监测项目为 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{131}I 。所有给出结果均为可食鲜重（干重）的结果。测量结果见表 3.1-25。

（1）小麦（2 个样品）

γ 核素：只有一个样品检出 ^{137}Cs ，结果为 $0.058\pm 0.007\text{Bq/kg}$ 干，其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限；

^{90}Sr ：范围为 $0.2\sim 0.42\text{Bq/kg}$ 干；

^3H ：其中 TFWT 未测，OBT 范围为 $0.67\sim 0.74\text{Bq/kg}$ 干（ $1.43\sim 1.54\text{Bq/L}$ （水））；

^{14}C ：范围为 $71.2\sim 95.2\text{Bq/kg}$ 干（ $0.17\sim 0.28\text{Bq/gC}$ ）。

（2）玉米（8 个样品）

γ 核素： ^{137}Cs 结果范围为 $0.018\sim 0.099\text{Bq/kg}$ 干，其他所有人工 γ 核素结果均低于探测限；

^{90}Sr ：范围为 $0.026\sim 0.51\text{Bq/kg}$ 干；

^3H ：其中 TFWT 未测，OBT 范围为 $0.74\sim 1.14\text{Bq/kg}$ 干（ $1.64\sim 2.19\text{Bq/L}$ （水））；

^{14}C : 范围为 68~80Bq/kg 干 (0.15~0.24Bq/gC)。

(3) 豆角 (2 个样品)

γ 核素: 所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限;

^{90}Sr : 范围为 0.10~0.24Bq/kg 鲜;

^3H : 其中 TFWT 范围为 0.71~0.83Bq/kg 鲜(0.83~0.88Bq/L(水)), OBT 均为 0.23Bq/kg 鲜 (2.52~3.95Bq/L(水));

^{14}C : 范围为 5.8~8.4Bq/kg 鲜 (0.16~0.18Bq/gC)。

(4) 白菜 (6 个样品)

γ 核素: 除 ^{137}Cs 外 (范围为 <0.012~0.030Bq/kg 鲜), 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限;

^{90}Sr : 范围为 0.076~0.25Bq/kg 鲜;

^3H : 其中 TFWT 范围为 0.44~0.88Bq/kg 鲜 (0.48~0.96Bq/L(水)), OBT 范围为 0.05~0.08Bq/kg 鲜 (1.64~3.29Bq/L(水));

^{14}C : 范围为 3.39~5.66Bq/kg 鲜 (0.17~0.26Bq/gC)。

(5) 苹果 (6 个样品)

γ 核素: 除 ^{137}Cs 有一个样品检出外 (结果为 0.0058Bq/kg 鲜, 在探测限附近), 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限;

^{90}Sr : 范围为 0.01~0.08Bq/kg 鲜;

^3H : 其中 TFWT 范围为 0.31~0.61Bq/kg 鲜 (0.37~0.73Bq/L(水)), OBT 范围为 0.29~0.44Bq/kg 鲜 (3.29~4.82Bq/L(水));

^{14}C : 范围为 8.37~12.0Bq/kg 鲜 (0.14~0.20Bq/gC)。

(6) 牛奶 (10 个样品)

γ 核素: ^{137}Cs 监测结果范围为 0.0105~0.019Bq/kg 鲜 (其中有三个样品结果低于探测下限);

^{90}Sr : 范围为 0.04~0.27Bq/kg 鲜;

^{14}C : 范围为 8.55~13.2Bq/kg 鲜 (0.16~0.25Bq/gC)。

(7) 猪肉 (6 个样品)

γ 核素: 除 ^{137}Cs 外 (范围为 0.06~0.084Bq/kg 鲜), 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限;

^{90}Sr : 范围为 0.017~0.22Bq/kg 鲜;

^3H : 其中 TFWT 范围为 0.23~0.56Bq/kg 鲜 (0.35~0.79Bq/L(水)), OBT 范围为 0.28~0.59Bq/kg 鲜 (1.97~3.95Bq/L(水));

^{14}C : 范围为 16.4~32.2Bq/kg 鲜 (0.15~0.25Bq/gC)。

(8) 鸡肉 (4 个样品)

γ 核素: 除 ^{137}Cs 外 (范围为 <0.0091~0.032Bq/kg 鲜), 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限;

^{90}Sr : 范围为 0.038~0.46Bq/kg 鲜;

^3H : 其中 TFWT 范围为 0.37~0.52Bq/kg 鲜 (0.55~0.75Bq/L(水)), OBT 范围为 0.41~0.71Bq/kg 鲜 (2.08~3.51Bq/L(水));

^{14}C : 范围为 20.3~26.3Bq/kg 鲜 (0.15~0.21Bq/gC)。

(9) 松针 (10 个样品)

γ 核素: 除 ^{137}Cs 外 (范围为 0.023~0.44Bq/kg 鲜), 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限;

^{90}Sr : 范围为 0.11~6.52Bq/kg 鲜;

^3H : 其中 TFWT 未测, OBT 范围为 0.65~1.99Bq/kg 鲜 (1.54~3.95Bq/L(水));

^{14}C : 范围为 69.2~94.0Bq/kg 鲜 (0.16~0.23Bq/gC)。

3.1.1.3.6 陆域水生生物中放射性水平

水生生物采集了淡水鱼类, 分别采集了鲤鱼样品和鲢鱼样品, 每年各采集了 1 个样品, 监测项目为 TFWT、OBT、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 。采样频次为 1 次/年。具体结果见表 3.1-26。

γ 谱分析结果中, 鲢鱼中 ^{137}Cs 的一个测量结果高于探测限 (0.015Bq/kg 鲜), ^{134}Cs 测量结果均低于探测限。

^{90}Sr : 范围为 0.053~0.093Bq/kg 鲜, 均值为 0.076 ± 0.018 Bq/kg 鲜;

TFWT: 范围为 0.67~0.81Bq/kg 鲜 (0.92~1.03Bq/L(水)), 均值为 0.74 ± 0.06 Bq/kg 鲜 (0.98 ± 0.06 Bq/L(水));

OBT: 范围为 0.23~0.45Bq/kg 鲜 (0.23~0.45Bq/L(水)), 均值为 0.36 ± 0.09 Bq/kg 鲜 (1.64~3.84Bq/L(水));

^{14}C : 范围为 14.1~21.6Bq/kg 鲜 (0.16~0.18Bq/gC), 均值为 $17.0\pm 3.2\text{Bq/kg}$ 鲜 ($0.17\pm 0.01\text{Bq/gC}$)。

3.1.1.3.7 海水中放射性水平

海水共布设 13 个采样点, 测量项目包括 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 。监测频次为 1 次/半年。共采集了 60 个样品, 其中包括在取水口和排水口每次各采集了一个平行样品。具体结果见表 3.1-27。

γ 谱分析结果中, 所有样品都给出了 ^{137}Cs 的测量结果, 其它核素 (包括 ^{134}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$) 测量结果均低于探测限。

^{137}Cs 测量结果活度浓度范围 1.18~2.86mBq/L, 均值为 $1.67\pm 0.34\text{mBq/L}$ 。

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 1.10~2.80mBq/L, 均值为 $1.98\pm 0.39\text{mBq/L}$;

^3H 测量结果活度浓度范围 0.19~1.05Bq/L, 均值为 $0.44\pm 0.21\text{Bq/L}$;

^{14}C 测量结果活度浓度范围 3.47~6.47mBq/L ($0.15\sim 0.25\text{Bq/gC}$), 均值为 $5.07\pm 0.76\text{mBq/L}$ ($0.21\pm 0.03\text{Bq/gC}$)。

3.1.1.3.8 海洋沉积物中放射性水平

海洋沉积物与海水采样点重合, 测量项目包括 ^{40}K 、 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U , 其中选取海水 5# 采样点进行 $^{239+240}\text{Pu}$ 分析。具体结果见表 3.1-28。

γ 谱分析结果中, 天然放射性核素 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 都给出了测量结果; 人工核素 ^{137}Cs 大部分测量结果高于探测限, 其它核素 (包括 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$) 测量结果均低于探测限。其中:

^{238}U : 范围为 11.1~32.6Bq/kg, 均值为 $20.5\pm 6.0\text{Bq/kg}$;

^{226}Ra : 范围为 10.4~24.3Bq/kg, 均值为 $18.0\pm 3.9\text{Bq/kg}$;

^{232}Th : 范围为 15.7~37.1Bq/kg, 均值为 $27.9\pm 5.5\text{Bq/kg}$;

^{40}K : 范围为 447~772Bq/kg, 均值为 $651\pm 80\text{Bq/kg}$;

^{137}Cs : 范围为: $<0.34\sim 1.75\text{Bq/kg}$, 均值为 $0.82\pm 0.41\text{Bq/kg}$ 。

^{90}Sr : 范围为 0.85~2.83Bq/kg, 均值为 $1.53\pm 0.59\text{Bq/kg}$;

$^{239+240}\text{Pu}$: 在沉积物 5# 采样点测量结果活度浓度范围 $0.072\sim 0.081\text{Bq/kg}$, 均值为

0.077±0.006Bq/kg。

3.1.1.3.9 海洋生物中放射性水平

海洋生物样品共 5 类 9 种 60 个样品，包括海洋鱼类（马鲛鱼和梭鱼）、贝类（紫贻贝、花蛤、牡蛎）、甲壳类（白对虾、螃蟹）、软体类（海参）和藻类（海洋）。

（1）马鲛鱼（12 个样品）

γ 核素：除 ^{137}Cs 外（范围为 0.063~0.12Bq/kg 鲜），其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限；

^{90}Sr ：范围为 0.058~0.64Bq/kg 鲜；

^3H ：TFWT 范围为 0.20~0.90Bq/kg 鲜(0.33~0.88Bq/L)，OBT 范围为 0.34~0.74Bq/kg 鲜（1.75~3.29Bq/L(水)）；

^{14}C ：范围为 20.9~38.8Bq/kg 鲜（0.16~0.23Bq/gC）。

（2）梭鱼（4 个样品）

γ 核素：除 ^{137}Cs 外（范围为 0.030~0.147Bq/kg 鲜），其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限；

^{90}Sr ：范围为 0.020~0.18Bq/kg 鲜；

^3H ：其中 TFWT 范围为 0.29~0.53Bq/kg 鲜（0.55~0.66Bq/L(水)），OBT 范围为 0.26~0.58Bq/kg 鲜（1.64~3.62Bq/L(水)）；

^{14}C ：范围为 14.7~26.1Bq/kg 鲜（0.17~0.21Bq/gC）。

（3）紫贻贝（8 个样品）

γ 核素：除 ^{137}Cs 外（范围为<LLD~0.051Bq/kg 鲜），其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限；

^{90}Sr ：范围为 0.19~1.12Bq/kg 鲜；

^3H ：其中 TFWT 范围为 0.18~0.75Bq/kg 鲜（0.26~0.94Bq/L(水)），OBT 范围为 0.11~0.24Bq/kg 鲜（1.54~2.41Bq/L(水)）；

^{14}C ：范围为 6.02~20.6Bq/kg 鲜（0.15~0.22Bq/gC）。

（4）花蛤（4 个样品）

γ 核素：除 ^{137}Cs 外（范围为 0.0083~0.046Bq/kg 鲜），其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限；

^{90}Sr : 范围为 0.15~1.07Bq/kg 鲜;

^3H : 其中 TFWT 范围为 0.41~0.74Bq/kg 鲜 (0.44~0.77Bq/L(水)), OBT 范围为 0.15~0.43Bq/kg 鲜 (1.97~2.52Bq/L(水));

^{14}C : 范围为 8.93~19.2Bq/kg 鲜 (0.16~0.22Bq/gC)。

(5) 牡蛎 (4 个样品)

γ 核素: 除 ^{137}Cs 外 (范围为<LLD~0.017Bq/kg 鲜), 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限;

^{90}Sr : 范围为 0.20~0.42Bq/kg 鲜;

^3H : 其中 TFWT 范围为 0.17~0.81Bq/kg 鲜 (0.40~0.94Bq/L(水)), OBT 范围为 0.12~0.27Bq/kg 鲜 (1.54~2.74Bq/L(水));

^{14}C : 范围为 12.1~15.6Bq/kg 鲜 (0.15~0.23Bq/gC)。

(6) 对虾 (12 个样品)

γ 核素: 除 ^{137}Cs 外 (范围为<LLD~0.037Bq/kg 鲜), 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限;

^{90}Sr : 范围为 0.051~0.30Bq/kg 鲜;

^3H : 其中 TFWT 范围为 0.29~0.83Bq/kg 鲜 (0.39~0.99Bq/L(水)), OBT 范围为 0.18~0.53Bq/kg 鲜 (1.54~2.52Bq/L(水));

^{14}C : 范围为 12.0~25.8Bq/kg 鲜 (0.14~0.21Bq/gC)。

(7) 螃蟹 (8 个样品)

γ 核素: 除 ^{137}Cs 外 (范围为<LLD~0.032Bq/kg 鲜), 其他所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限;

^{90}Sr : 范围为 0.045~1.07Bq/kg 鲜;

^3H : 其中 TFWT 范围为 0.29~0.46Bq/kg 鲜 (0.37~0.58Bq/L(水)), OBT 范围为 0.13~0.43Bq/kg 鲜 (1.54~2.41Bq/L(水));

^{14}C : 范围为 12.0~19.2Bq/kg 鲜 (0.15~0.22Bq/gC)。

(9) 海参 (2 个样品)

γ 核素: 所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限;

^{90}Sr : 范围为 0.10~1.07Bq/kg 干;

^3H : 其中 TFWT 范围为 0.15~0.59Bq/kg 鲜 (0.20~0.77Bq/L(水)), OBT 范围为

0.12~0.43Bq/kg 鲜（2.19~2.52Bq/L(水)）；

^{14}C ：范围为 5.94~19.Bq/kg 鲜（0.18~0.22Bq/gC）。

（10）海带（6 个样品）

γ 核素：所有人工 γ 核素监测结果均低于探测限；

^{90}Sr ：范围为 1.58~2.93Bq/kg；

^3H ：其中 TFWT 范围为 1.05~1.16Bq/kg 鲜（1.02~1.32Bq/L(水)），OBT 范围为 0.07~0.10Bq/kg 干（2.74~3.51Bq/L(水)）；

^{14}C ：范围为 3.12~7.28Bq/kg 鲜（0.16~0.24Bq/gC）。

3.1.1.4 区域内核设施、核技术利用调查

（1）核设施

厂址周围 80km 范围内有在建 1 台 200MW 高温气冷堆示范工程和 2 台国和一号压水堆机组，其中高温气冷堆示范工程于 2021 年 12 月 20 日实现首次并网发电；国和一号机组目前处于建设安装期，计划 2023 年首台机组投运。

（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 γ 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 $82\pm 28\text{nGy/h}$ ；道路辐射剂量率范围为 99.0~104nGy/h，平均值为 $102\pm 16\text{nGy/h}$ ；

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。

3.1.2.1.2 环境土壤中天然放射性核素水平评价

本次调查对土壤中的天然放射性核素活度浓度水平进行了调查，共设12个点位。各天然放射性核素活度浓度范围分别为： ^{238}U ，<9.9~76.8Bq/kg； ^{226}Ra ，6.75~76.7Bq/kg； ^{232}Th ，10.2~173Bq/kg； ^{40}K ，509~ 1.49×10^3 Bq/kg。

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

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

3.1.2.1.3 各类环境介质中 ^3H 与 ^{14}C 的评价

本次调查中对各类环境介质进行了 ^3H 的监测，包括大气、降水、地表水、饮用水、地下水、海水及各类生物中的TFWT和OBT。以Bq/L为单位进行汇总，结果见表3.1-32。可以看到，尽管每类样品中各个监测数据统计范围较大，例如对海水样品，最大达1.05Bq/L，最小仅0.19Bq/L，但其平均值仍显示一定的统计规律，即陆地水中 ^3H 浓度大于海洋水中 ^3H （大气水（汽）>地表水>降水>饮用水>地下水>海水）、OBT浓度水平为TFWT浓度水平的2~4倍，其中陆地生物中OBT为TFWT的4.02倍，淡水鱼中OBT为TFWT的2.65倍，海洋生物中的OBT为TFWT的3.4倍。各类水中 ^3H 监测结果统计涨落较大，可能与分析方法、环境中的涨落等因素有关。

本次调查还得到了大气、地表水、海水、陆地生、淡水鱼和海洋生物中 ^{14}C (OBC)的活度浓度水平，整体上，各类介质中的 ^{14}C 活度浓度范围为0.17~0.21Bq/gC，与全球大气平衡的 ^{14}C 活度浓度水平相当。

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

本次调查中各类环境介质中 ^3H 与 ^{14}C 活度浓度水平的对比见表 3.1-33。

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

^{137}Cs 和 ^{90}Sr 历来是核电站本底调查地关注的人工放射性核素，处于痕量水平，常在一般辐射环境监测中监测到。其中， ^{90}Sr 在本次调查的所有样品中均检出，包括各类海洋生物和陆生生物，而 ^{137}Cs 仅在大部分土壤、沉积物、海水中检出。 ^{90}Sr 在各类环境介质中的浓度水平整体上要高于 ^{137}Cs 。不考虑统计平均均低于探测限的情况，在各类环境介质中 $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 的比值范围处于 1.02~10.02 之间。

统计本次调查中各类环境介质中 ^{137}Cs 与 ^{90}Sr 活度浓度对比情况，见表 3.1-34。

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

本次调查对土壤和海洋沉积物中的 $^{239+240}\text{Pu}$ 进行了分析。其中土壤选择 2 个点位进行了监测，其范围为 0.058~0.13Bq/kg，平均值为 $0.094\pm 0.031\text{Bq/kg}$ ；海洋沉积物选择了 1 个点进行分析，范围为 0.072~0.081Bq/kg，平均值为 $0.077\pm 0.006\text{Bq/kg}$ 。此结果处于沙连茂等人报道的我国几个地区环境土壤中 $^{239+240}\text{Pu}$ 的活度浓度范围内（0.04~0.23Bq/kg）；与卜文庭和郭秋菊报道的我国环境土壤和地表水沉积物监测结果处于相近水平（北京 $0.363\pm 0.152\text{Bq/kg}$ 、集宁 $0.237\pm 0.014\text{Bq/kg}$ 、青州 $0.013\pm 0.001\text{Bq/kg}$ 、兰州 $0.023\pm 0.003\text{Bq/kg}$ 、襄樊 $0.358\pm 0.021\text{Bq/kg}$ 、0.380±0.016Bq/kg 及华北地区 0.4Bq/kg）。

3.1.2.2 厂址首台机组运行前辐射环境现状评价

厂址首台机组运行前的辐射环境本底调查于 2014 年 4 月至 2016 年 6 月间完成，为期两年。对调查报告的数据进行了分析表明，厂址周围的 γ 辐射剂量率本底处于正常水平，未见厂址周围存在可能的高本底地区；调查的各类环境介质包括空气、土壤与沉积物、各类水、生物等，其放射性水平均处于正常范围，检测到放射性核素主要以天然放射性核素及少数人工放射性核素；其中人工放射性核素主要包括 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs ， ^3H 与 ^{14}C 主要由自然界产生，同时由早期核试验及全球核燃料循环产生

并随着时间而衰减；而 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 主要由早期大气核试验通过大气沉降产生，目前处于痕量水平。本次调查还监测了部分土壤和海洋沉积物的 $^{239+240}\text{Pu}$ ，结果表明，其活度浓度处于正常水平。

3.1.3 参考资料

- [1] 中国辐射防护研究院，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}Am 和 ^{137}Cs 等放射性核素的测量，环境科学，1991，12(6): p.58-63；
- [4] 卜文庭，郭秋菊，我国环境土壤和地表水沉积物中 Pu 的分布特征研究，辐射防护，2013，33(03): p144-150。

表 3.1-1（1/2）厂址首台机组运行前环境辐射本底水平调查方案

（一）陆地介质

调查对象		监测项目	监测频度	调查范围	采样点数	样品总数	
陆地环境 辐射	剂量率	陆地 γ 辐射剂量率	1 次/季	50km	60	480	
		辐射剂量率连续测量	连续	50km	1	/	
	累积剂量	累积剂量（TLD）	1 次/季	30km	20	160	
陆地 介质	空气	气溶胶	总 α 、总 β 、 ^7Be 、 ^{54}Mn 、 ^{90}Sr 、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs	1 次/季	30km	7	56
		沉降灰	总 β 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr	1 次/季	30km	7	56
		^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I	^3H	1 次/季	30km	5	80
	水	地表水	总 β 、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 γ 核素（ ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs ）	1 次/半年	20km	4	20
		地下水	总 α 、总 β 、 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs	1 次/半年	20km	3	16
		饮用水		1 次/季	20km	3	28
		降水	^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs	1 次/季	20km	5	48
	底泥		^{40}K 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U	1 次/年	20km	4	10
	土壤		^{40}K 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U	1 次/年	30km	10	22
			^{40}K 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U 、 $^{239+240}\text{Pu}$			2	5
	陆生 生物	粮食类（小麦、玉米）	TFWT、OBT、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs	1 次/年	30km	3	8
		蔬菜（白菜、豆角）	TFWT、OBT、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs	1 次/年	30km	3	8
		水果（苹果）	TFWT、OBT、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs	1 次/年	30km	2	6
		牛奶	^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{131}I	1 次/半年	30km	2	10
肉类（猪肉、鸡肉）		TFWT、OBT、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs	1 次/半年	30km	2	10	
松针			1 次/半年	30km	2	10	
淡水鱼（鲤鱼、鲢鱼）			1 次/年	30km	1	4	
合计						1187	

表 3.1-1（2/2）厂址首台机组运行前环境辐射本底水平调查方案

（二）海洋介质

调查对象		监测项目	监测频度	调查范围	采样点数	样品总数	
海洋介质	海水	^3H 、 ^{14}C 、 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs	1次/半年	10km	13	60	
	沉积物	^{40}K 、 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U	1次/年	10km	12	28	
		^{40}K 、 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{238}U 、 $^{239+240}\text{Pu}$			1	2	
	生物样品	鱼类（梭鱼、马鲛鱼）	TFWT、OBT、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs	1次/半年	厂址附近海域	3	16
		贝类（紫贻贝、蚬子、牡蛎）		1次/半年		3	16
		甲壳类（白对虾、螃蟹）		1次/半年		2	20
		软体类（海参）		1次/年		1	2
		藻类（海带）		1次/年		2	6

表 3.1-2（1/2） 地表 γ 辐射剂量率、累积剂量测量点位置

序号	点位名称	方位	距离(km)	海拔(m)	纬度(N)	经度(E)	测量项目	地表描述
1	厂址边界	NNW	0.54	15	36°59'01.6"	122°31'43.4"	γ 、TLD	草地
2	东钱家村	NW	0.80	9	36°59'04.2"	122°31'28.3"	γ 、TLD	田地
3	西钱家村	WNW	1.43	20	36°59'00.2"	122°30'55.1"	γ	土地（田地）
4	周庄村	W	1.57	11	36°58'46.3"	122°30'46.6"	γ	水泥地面
5	所东张家村	NW	2.10	18	36°59'40.8"	122°31'01.2"	γ 、TLD、土壤	田地
6	止马滩村	NNW	2.25	11	36°59'53.6"	122°31'19.5"	γ	沥青路
7	烟羽地面最大浓度处	WSW	2.34	27	36°58'15.3"	122°30'22.9"	γ 、TLD	土地（杂草地）
8	宁津街道	WNW	2.64	45	36°59'17.0"	122°30'10.6"	γ 、TLD、土壤	田地
9	小岔河村	W	2.73	27	36°58'47.2"	122°29'59.6"	γ	沥青路面
10	所前王家村	WSW	2.90	25	36°58'07.4"	122°30'02.6"	γ	草地
11	所后卢家村	NW	3.10	13	36°59'51.6"	122°30'16.4"	γ	水泥路面
12	东墩村	SW	3.31	11	36°57'33.6"	122°30'10.3"	γ 、TLD、土壤	草地
13	马栏耩村	N	3.45	5	37°00'36.5"	122°31'55.2"	γ 、TLD、土壤	田地
14	宁津养殖二场	SSW	3.47	3	36°57'02.0"	122°30'53.9"	γ	沙土地
15	后店子村	NNW	3.81	1	37°00'31.8"	122°30'33.0"	γ	水泥地面
16	耩后杨家村	NW	3.86	6	37°00'27.9"	122°30'21.5"	γ	水泥地面
17	鞠家村	W	4.25	64	36°58'56.1"	122°28'58.6"	γ	田地
18	南港头村	SW	4.58	25	36°56'57.4"	122°29'42.6"	γ	水泥路、沥青路面
19	林家流村	NNW	5.02	15	37°01'19.4"	122°30'46.9"	γ	沥青路面
20	黄山养殖场	N	5.96	2	37°01'54.4"	122°32'34.4"	γ	沥青路面、碎石路面
21	东南海村	SW	6.60	16	36°56'12.1"	122°28'43.5"	γ 、TLD、土壤	荒草地
22	后海崖村	S	6.69	13	36°55'09.4"	122°31'27.8"	γ 、TLD、土壤	田地
23	东楮岛村	NNE	7.27	11	37°02'15.6"	122°34'01.1"	γ 、TLD、土壤	沙石杂草地
24	东山街道	W	7.70	41	36°58'43.7"	122°26'38.3"	γ 、TLD、土壤	田地（2016.7起因施工地表变化）
25	八河姚家村	NW	8.31	7	37°01'37.6"	122°27'32.2"	γ 、TLD	沥青路面
26	吕家庄村	S	8.37	15	36°54'18.9"	122°30'47.0"	γ	田地
27	八里王家村	WNW	8.48	10	36°59'54.5"	122°26'17.6"	γ	草地
28	岛西庄村	SSW	8.88	14	36°54'09.6"	122°30'07.8"	γ	田地
29	桃园街道	WSW	9.57	22	36°55'55.7"	122°26'25.5"	γ	沥青路面
30	罗家庄村	NW	13.1	41	37°03'27.1"	122°25'14.3"	γ	水泥路面

表 3.1-2 (2/2) 地表 γ 辐射剂量率、累积剂量测量点位置

序号	点位名称	方位	距离 (km)	海拔 (m)	纬度(N)	经度 (E)	测量项目	地表描述
31	斥山街道	WSW	13.4	24	36°55'25.3"	122°23'49.6"	γ 、TLD、土壤	沙土地面
32	王连街道	W	14.2	12	36°58'18.2"	122°22'15.0"	γ 、TLD	土地
33	港湾街道	SW	15.4	34	36°52'35.0"	122°24'52.3"	γ	水泥地面
34	崂山街道	NW	15.8	16	37°05'31.3"	122°25'20.9"	γ 、TLD	土地
35	海崖村	NNW	18.4	8	37°07'38.4"	122°26'17.0"	γ	沥青路面
36	滕家镇	WNW	18.7	31	37°03'53.2"	122°20'56.3"	γ	沥青路
37	玄镇村	SW	19.2	8	36°52'19.9"	122°21'41.2"	γ	田地
38	卢家村	N	20.0	4	37°09'30.9"	122°32'04.4"	γ 、TLD	水泥路、土石路地面
39	荣成市	N	20.5	12	37°09'36.1"	122°29'24.1"	γ	大理石地面
40	寻山街道	N	21.7	22	37°10'26.6"	122°31'36.0"	γ 、TLD、土壤	田地
41	上庄镇	W	22.2	29	36°59'38.9"	122°16'55.5"	γ	田地
42	朱口村	SW	22.8	8	36°50'22.3"	122°20'32.6"	γ	水泥地面
43	人和镇	WSW	23.2	14	36°53'50.0"	122°17'25.0"	γ 、TLD	草地
44	大疃镇	NW	24.4	73	37°07'08.2"	122°19'10.0"	γ 、TLD、土壤	田间沙土路
45	城西街道	NNW	25.3	48	37°10'32.6"	122°23'15.2"	γ	大理石地面
46	瓦屋石村	NNE	26.2	17	37°12'19.2"	122°36'48.0"	γ 、TLD	沥青路面
47	虎山镇	W	26.4	46	36°57'16.5"	122°14'08.2"	γ	地砖地面
48	靳家店子村	WNW	28.1	15	37°02'33.8"	122°13'29.6"	γ	田地
49	夏庄镇	NNW	29.0	42	37°13'51.6"	122°26'46.5"	γ	沥青路
50	俚岛镇	N	29.8	1	37°14'40.1"	122°34'25.9"	γ	大理石地面
51	荫子镇	NNW	30.1	100	37°12'21.8"	122°20'46.2"	γ	水泥路面
52	沙窝岛村	WSW	32.9	12	36°51'27.4"	122°11'38.2"	γ	水泥路面
53	崖西镇	NNW	33.3	80	37°15'01.7"	122°22'25.6"	γ	沥青路
54	大水泊镇	NW	35.2	55	37°11'45.7"	122°14'31.2"	γ	田地
55	侯家镇	W	39.7	33	37°01'19.3"	122°05'15.9"	γ	水泥路面
56	张家产镇	WNW	40.5	34	37°05'54.9"	122°05'59.0"	γ	沥青路面
57	埠柳镇	NNW	41.2	31	37°20'21.0"	122°25'17.2"	γ	沥青路
58	文登市	WNW	44.8	55	37°10'48.3"	122°05'36.7"	γ	草地
59	成山镇	N	45.1	17	37°23'02.4"	122°32'42.8"	γ 、土壤（对照点）	土地
60	龙须岛村	NNE	48.0	1	37°23'32.5"	122°40'59.8"	γ	水泥路面

表 3.1-3 气溶胶、沉降灰、空气中 ³H、¹⁴C 采样点

序号	采样点	方位	距离 (km)	纬度(N)	经度 (E)	监测项目	备注
1	厂区边界 (厂区办公楼)	ENE	0.41	36°58'49.4"	122°32'05.4"	气溶胶、沉降灰、 空气中 ³ H、 ¹⁴ C	/
2	最大落地浓度处 (施工生活区)	WSW	2.34	36°58'17.4"	122°30'21.5"	气溶胶、沉降灰、 空气中 ³ H、 ¹⁴ C	/
3	宁津街道	WNW	3.14	36°59'05.4"	122°29'45.3"	气溶胶、沉降灰、 空气中 ³ H、 ¹⁴ C	/
4	后海崖村	S	6.56	36°55'13.2"	122°31'34.1"	气溶胶、沉降灰	次最大风 频下风向
5	东楮岛村	NNE	7.25	37°02'21.2"	122°33'44.2"	气溶胶、沉降灰、 空气中 ³ H、 ¹⁴ C	最大风频 下风向
6	荣成市	N	20.5	37°09'36.2"	122°29'23.8"	气溶胶、沉降灰	/
7	成山镇	N	45.1	37°23'02.9"	122°32'42.8"	气溶胶、沉降灰、 空气中 ³ H、 ¹⁴ C	对照点

表 3.1-4 地表水（底泥）、地下水、饮用水、降水采样点

监测项目	采样点	方位	距离(km)	纬度(N)	经度(E)	备注
地表水	南夏家水库	WSW	5.86	36°57'18.7"	122°28'18.6"	底泥
	八河水库	NW	11.7	37°02'25.3"	122°25'23.7"	底泥
	林家流水库	N	4.67	37°01'13.5"	122°31'14.5"	底泥
	后龙河水库	NNW	28.5	37°12'48.9"	122°24'09.1"	底泥、对照点
地下水	厂址附近 (东钱家村)	NW	1.06	36°59'04.2"	122°31'14.3"	/
	石岛街道	WSW	14.2	36°54'57.9"	122°23'28.9"	/
	宁津街道	WNW	3.17	36°59'07.7"	122°29'44.9"	/
饮用水	东钱家村	NW	1.06	36°59'04.2"	122°31'14.3"	/
	石岛街道	SW	13.7	36°54'31.8"	122°24'16.2"	/
	宁津街道	W	3.18	36°58'58.9"	122°29'42.4"	/
降水	厂区边界 (厂区办公楼)	ENE	0.405	36°58'49.4"	122°32'05.4"	/
	烟羽地面最大浓度处 (施工生活区)	WSW	2.34	36°58'17.4"	122°30'21.5"	/
	东楮岛村	NNE	7.25	37°02'21.2"	122°33'44.2"	最大风频下风向
	宁津街道	WNW	3.14	36°59'05.4"	122°29'45.3"	/
	成山镇	N	45.1	37°23'02.9"	122°32'42.8"	对照点

表 3.1-5 陆生生物、水生生物样品采样点位置

名称	采样点位	方位	距离 (km)	纬度(N)	经度 (E)	备注
小麦	东山街道龙山前村	WNW	10.3	36°59'52.4"	122°25'03.1"	/
玉米	宁津街道于家村	WNW	1.48	36°58'57.4"	122°30'52.1"	平行样品
玉米	东山街道谭村林家村	W	11.1	36°58'48.4"	122°24'21.3"	/
玉米	成山镇	N	45.1	37°23'02.9"	122°32'42.8"	对照点
白菜	东山街道谭村林家村	W	10.1	36°58'37.6"	122°25'01.3"	平行样品
白菜	宁津街道马栏耩村	N	3.46	37°00'36.9"	122°31'50.5"	/
豆角	宁津街道于家村	WNW	1.60	36°58'55.9"	122°30'46.6"	/
苹果	宁津街道	WNW	3.50	36°59'22.9"	122°29'36.5"	平行样品
苹果	崂山街道宁家村	NNW	15.2	37°05'22.1"	122°25'49.8"	/
牛奶	腾家镇高落山村	WNW	16.9	37°01'11.0"	122°20'48.3"	/
牛奶	斥山街道沟姜家村	WSW	16.2	36°55'17.7"	122°21'48.4"	平行样品
猪肉	宁津街道市场	WNW	3.17	36°59'07.7"	122°29'44.9"	平行样品
鸡肉	宁津街道于家村	WNW	1.60	36°58'55.9"	122°30'46.6"	/
松针	宁津街道马栏耩林场	N	4.56	37°01'12.3"	122°31'58.9"	平行样品
松针	宁津街道大岔河村村口	W	2.65	36°58'32.1"	122°30'03.7"	/
鲤鱼	东山街道八河水库	WNW	12.4	37°02'08.2"	122°24'35.8"	/
鲢鱼	东山街道八河水库	WNW	12.4	37°02'08.2"	122°24'35.8"	/

表 3.1-6 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"	取水口
2	/	/	36°58'27.1"	122°33'24.4"	排水口
3	NNE	4.78	37°00'59.5"	122°33'57.3"	/
4	NE	4.53	37°00'07.1"	122°35'38.3"	/
5	E	4.10	36°58'21.5"	122°36'10.1"	/
6	SE	4.23	36°56'46.0"	122°35'19.8"	/
7	SSW	4.68	36°56'04.4"	122°32'21.6"	/
8	SSW	8.72	36°53'46.6"	122°32'48.5"	/
9	S	6.66	36°54'58.3"	122°34'31.2"	/
10	ESE	6.44	36°57'15.6"	122°37'29.2"	/
11	ENE	7.42	36°59'56.7"	122°38'03.2"	/
12	NNE	6.90	37°01'49.0"	122°35'23.2"	/
13	N	9.48	37°03'33.4"	122°33'40.0"	/

注：方位距离为相对于排水口的方位距离。

表 3.1-7 海洋生物采样点位置

样品名称	当地名称	采样地点	方位	距离(km)	纬度(N)	经度 (E)
马鲛鱼	鲅鱼	弘运码头	SW	7.46	36°55'44.0"	122°28'30.2"
马鲛鱼	鲅鱼	东楮岛渔港	NNE	6.89	37°02'17.4"	122°33'14.2"
梭鱼	梭鱼	弘运码头	SW	7.46	36°55'44.0"	122°28'30.2"
紫贻贝	海虹	弘运码头	SW	7.46	36°55'44.0"	122°28'30.2"
花蛤	蚬子	林家流村	N	4.67	37°01'13.5"	122°31'14.5"
牡蛎	海蛎子	弘运码头	SW	7.46	36°55'44.0"	122°28'30.2"
白对虾	白对虾	弘运码头	SW	7.46	36°55'44.0"	122°28'30.2"
白对虾	白对虾	止马滩村	N	2.70	37°00'10.7"	122°31'28.9"
螃蟹	螃蟹	弘运码头	SW	7.46	36°55'44.0"	122°28'30.2"
螃蟹	螃蟹	东楮岛渔港	NNE	6.89	37°02'17.4"	122°33'14.2"
海参	海参	岛西庄村	SSW	7.40	36°54'53.7"	122°30'32.6"
海带	海带	东楮岛村	NNE	6.89	37°02'17.4"	122°33'14.2"
海带	海带	宁津养殖二场	SSW	3.47	36°57'02.0"	122°30'53.9"

表 3.1-8 采用的仪器及测量方法依据

序号	监测项目	仪器设备	测量方法依据
1	地表 γ 辐射剂量率	YB-II 型环境辐射剂量率仪 RSS-131 环境水平辐射剂量率仪	GB/T 14583-1993 《环境地表原野贯穿辐射剂量率测定规范》； GB12379-1990 《环境核辐射监测规定》；
2	累积剂量	RGD-3 型热释光剂量仪	GBZ207-2008 《外照射个人剂量系统性能检验规范》； GB/T 10264-2014 《个人和环境监测用热释光剂量测量系统》
3	总 α	LB770 低本底 α/β 测量仪	HJ/T61-2001 《辐射环境监测技术规范》； EJ/T1075-1998 《水中总 α 放射性浓度的测定 厚源法》
4	总 β	LB770 低本底 α/β 测量仪	HJ/T61-2001 《辐射环境监测技术规范》； EJ/T 900-1994 《水中总 β 放射性测定 蒸发法》
5	^3H	Tri-carb3170TR/SL 低水平液闪	GB 12375-1990 《水中氚的分析方法》； GB14883.2-1994 《食品中放射性物质检验 氢-3 的测定》
6	^{14}C	Tri-carb3170TR/SL 低水平液闪	EJ/T1008-1996 《空气中 ^{14}C 的取样与测定方法》
7	生物灰 ^{90}Sr	LB770 低本底 α/β 测量仪	GB 11222.1-1989 《生物样品灰中锶-90 放射化学分析方法 二—(2-乙基己基)磷酸萃取色层法》
8	水中 ^{90}Sr	LB770 低本底 α/β 测量仪	GB 6766-1986 《水中锶-90 放射化学分析方法 二—(2-乙基己基)磷酸萃取色层法》
9	土壤、沉积物 ^{90}Sr	LB770 低本底 α/β 测量仪	EJ/T 1035-2011 《土壤中锶-90 的分析方法》
10	水中 γ 核素	GC3519HPGe γ 谱仪 GR3019HPGe γ 谱仪 GMX-50S 反康 γ 谱仪	GB/T 16140-1995 《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》； GB/T11713-2015 《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》
11	土壤、沉积物、气溶胶、沉降灰 γ 核素	GC3519HPGe γ 谱仪 GR3019HPGe γ 谱仪 GMX-50S 反康 γ 谱仪	GB/T 11743-2013 《土壤中放射性核素 γ 能谱测定》； GB/T 16145-1995 《用半导体 γ 谱仪分析低比活度放射性样品的标准方法》
12	生物灰 γ 核素	GC3519HPGe γ 谱仪 GR3019HPGe γ 谱仪 GMX-50S 反康 γ 谱仪	GB/T 16145-1995 《生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》； GB/T11713-2015 《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》
13	土壤、沉积物中 $^{239+240}\text{Pu}$	低本底 α 能谱测量仪	GB11219-1989 《土壤中钚的测定》； GB/T16141-1995 《放射性核素的 α 能谱分析方法》

表 3.1-9 各类样品分析方法的探测下限

分析项目	环境介质	样品用量	测量时间(min)	探测下限
¹³⁷ Cs	气溶胶	10389m ³	80000s	6.7×10 ⁻⁶ Bq/m ³
¹³⁴ Cs				5.8×10 ⁻⁶ Bq/m ³
⁵⁴ Mn				5.8×10 ⁻⁶ Bq/m ³
¹³⁷ Cs	沉降灰	0.796m ² ·月	74000s	3.07×10 ⁻³ Bq/m ² ·d
¹³⁴ Cs				2.47×10 ⁻³ Bq/m ² ·d
¹³⁷ Cs	水	50L	80000s	1.6×10 ⁻³ Bq/L
¹³⁴ Cs				1.4×10 ⁻³ Bq/L
⁵⁴ Mn				1.5×10 ⁻³ Bq/L
⁵⁸ Co				1.3×10 ⁻³ Bq/L
⁶⁰ Co				1.7×10 ⁻³ Bq/L
^{110m} Ag				1.4×10 ⁻³ Bq/L
¹³⁷ Cs	土壤、底泥、海洋沉积物	300g	80000s	0.26Bq/kg
¹³⁴ Cs				0.24Bq/kg
⁵⁸ Co				0.22Bq/kg
⁶⁰ Co				0.24Bq/kg
²³⁸ U				14Bq/kg
²³² Th				1.1Bq/kg
²²⁶ Ra				0.69Bq/kg
⁴⁰ K				4.5Bq/kg
¹³⁷ Cs	生物	61.3g 灰	80000s	2.1Bq/kg 灰
¹³⁴ Cs				1.1Bq/kg 灰
总α	气溶胶	1000m ³	475	1.0×10 ⁻⁴ Bq/m ³
	水	3L	160	2.9×10 ⁻² Bq/L
总β	气溶胶	1000m ³	475	9.7×10 ⁻⁵ Bq/m ³
	沉降灰	0.75m ² ·月	300	1.4Bq/m ² ·月
	水	3L	160	6.0×10 ⁻² Bq/L
⁹⁰ Sr	气溶胶	10000m ³	700	6.2×10 ⁻⁶ Bq/m ³
	沉降灰	0.75 m ² ·月	250	3.4×10 ⁻² Bq/m ² ·月
	生物灰	20g	600	1.0Bq/kg 灰
	土壤、底泥、沉	30g	800	3.4×10 ⁻¹ Bq/kg
	水	50L	500	1.7×10 ⁻⁴ Bq/L
³ H	水（电解）	250mL	1000	1.8×10 ⁻¹ Bq/L
³ H	水（直接）	8mL	1000	1.66Bq/L
HTO	空气	10m ³	1000	8.0×10 ⁻³ Bq/m ³
OBT	生物	280g 鲜	1000	6.8×10 ⁻² Bq/kg 鲜
¹⁴ C	空气	3m ³	1000	4.25×10 ⁻³ Bq/m ³
	水	50L	1000	0.20×10 ⁻³ Bq/L
	生物	4g 干样	1000	4.95Bq/kg 干样
	/	4gCaCO ₃ 生成的 CO ₂	1000	0.02Bq/gC
¹³¹ I	气溶胶	10000m ³	1000	6.4×10 ⁻⁶ Bq/m ³
	牛奶	15L	1000	1.3×10 ⁻² Bq/L
	淡水	50L	1000	0.29×10 ⁻³ Bq/L
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	土壤、底泥	50g	1000	0.01Bq/kg

表 3.1-10 项目主要仪器和设备检定情况表

序号	仪器设备名称	型号规格	最近检定日期	检定证书号	检定周期
1	HPGe γ 谱仪	GC3519	2014.08.15	GFJGJL1005140001002	3 年
2	HPGe γ 谱仪	GR3019	2014.08.15	GFJGJL1005140001001	3 年
3	反康 γ 谱仪	GMX-50S	2014.08.15	GFJGJL1005140001003	3 年
4	α/β 低本底测量仪	FJ-2600	2015.06.10	校字第[2015]-D006	2 年
5	α/β 测量仪	LB770	2015.06.10	校字第[2015]-D005	2 年
6	低水平液闪谱仪	Tri-carb3170TR/SL	2014.06.19	GFJGJL1005140000524	2 年
7	环境 γ 辐射监测仪	YB-III	2016.03.02	校字第[2016]-R022	1 年
8	分析天平	MS104S	2016.04.08	(2016)天字 11 号	1 年

表 3.1-11 调查中使用的放射性标准物质

序号	名称	来源	证书号/编号	用途
1	^{241}Am , ^{40}K 粉末标准源	中国计量院	Fspa2000-12072	总 α 、总 β 测量
2	点源系列	英国 AMERSHAM	QCRI	γ 谱仪刻度
3	土壤放射性参考物质	美国 EML	QAP-9803	γ 谱测量
4	土壤放射性参考物质	美国 RESL	MAPEPEP-99-S6	γ 谱测量
5	沉积物放射性参考物质	IAEA	IAEA-384	γ 谱测量
6	放射性水溶液参考物质	美国 RESL	MAPEPEP-97-W5	γ 谱测量

表 3.1-12 平行样品测量结果统计

样品名称	平行样品个数	测量结果个数	相对偏差大于 30%的个数	相对偏差大于 30%的比例(%)
地表水	4	20	0	0
地下水	4	15	1	6.67
饮用水	4	16	1	6.25
降水	7	14	1	7.14
底泥	2	10	0	0
土壤	3	18	1	5.56
陆生生物	12	88	14	15.9
海水	8	40	3	7.5
海洋沉积物	4	23	0	0
海洋生物	14	120	14	11.7
合计	62	364	35	9.62

注：平行样相对标准偏差计算公式：

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

表 3.1-13（1/2）地表 γ 辐射剂量率测量结果

单位：nGy/h

点位名称	2014Q2	2014Q3	2014Q4	2015Q1	2015Q2	2015Q3	2015Q4	2016Q1	范围值	均值	环境
厂址边界	76.1±3.1	73.0±2.0	72.5±1.8	68.6±2.3	75.3±3.2	73.4±1.6	74.1±3.3	76.8±1.9	68.6~76.8	73.7±2.6	原野
东钱家村	87.2±2.8	88.8±4.6	83.4±4.0	78.5±4.6	89.0±3.7	87.3±2.2	91.5±3.0	93.5±2.2	78.5~93.5	87.4±4.7	原野
西钱家村	120±5	121±3	119±3	121±1	121±4	116±3	130±2	120±3	116~130	121±4	原野
周庄村	107±2	110±3	110±2	112±5	113±3	113±3	110±2	113±4	107~113	111±2	道路
所东张家村	148±3	160±4	156±2	150±1	158±4	158±2	156±5	157±3	148~160	155±4	原野
止马滩村	114±4	114±4	118±3	114±5	118±4	113±3	120±3	118±2	113~120	116±3	道路
烟羽地面最大浓度处	82.5±2.5	88.4±1.6	83.6±1.5	81.6±1.5	86.4±4.3	86.4±3.0	91.4±4.7	87.4±4.6	81.6~91.4	86.0±3.3	原野
宁津街道	115±5	114±2	106±4	108±2	115±3	112±3	113±4	112±2	106~115	112±3	原野
小岔河村	104±2	106±3	96.1±3.3	106±4	107±2	105±4	114±3	114±3	96.1~114	107±6	道路
所前王家村	118±3	118±3	115±4	107±3	114±3	118±4	119±3	115±3	107~119	116±4	原野
所后卢家村	105±4	106±3	109±2	103±4	107±4	101±4	109±3	113±4	101~113	107±4	道路
东墩村	96.4±4.1	96.8±2.8	93.6±3.6	93.8±3.2	97.0±3.1	91.7±3.5	96.9±3.3	99.9±1.8	91.7~99.9	95.8±2.6	原野
马栏藕村	62.5±2.7	58.4±3.9	57.2±2.5	59.5±1.4	63.5±1.9	58.8±1.3	60.2±2.2	58.1±2.9	57.2~63.5	59.8±2.2	原野
宁津养殖二场	55.3±2.8	63.8±3.3	65.0±3.0	64.6±2.1	61.6±1.9	55.7±2.3	67.3±1.7	81.7±3.4	55.3~81.7	64.4±8.2	原野
后店子村	95.3±3.7	101±4	94.6±4.0	102±2	103±2	98.6±4.0	102±2	96.6±3.9	94.6~103	99.1±3.3	道路
藕后杨家村	96.5±2.5	92.7±4.5	93.3±3.4	92.1±1.5	95.4±1.9	93.5±3.3	92.8±2.9	97.0±4.5	92.1~97.0	94.2±1.9	道路
鞠家村	124±2	128±4	122±4	125±3	128±4	126±3	132±4	131±4	122~132	127±3	原野
南港头村	95.0±3.0	90.3±2.4	90.0±2.1	91.0±3.9	91.2±4.3	87.8±2.5	98.5±4.7	95.7±3.3	87.8~98.5	92.4±3.6	道路
林家流村	117±5	119±2	114±3	113±5	120±3	115±5	123±3	121±3	113~123	118±4	道路
黄山养殖场	76.5±3.3	84.8±3.4	88.0±1.7	86.6±0.9	89.7±2.0	82.3±3.9	87.8±1.6	89.4±2.8	76.5~89.7	85.6±4.4	道路
东南海村	69.0±1.8	65.9±2.8	63.5±2.2	68.9±2.4	64.8±2.8	69.6±3.0	70.2±4.3	69.9±3.2	63.5~70.2	67.7±2.6	原野
后海崖村	60.2±2.1	57.5±3.4	55.3±1.3	56.9±2.3	59.2±2.6	60.8±3.0	58.6±2.1	61.0±1.6	55.3~61.0	58.7±2.0	原野
东楮岛村	62.3±3.4	59.6±2.4	58.2±1.7	60.2±4.9	61.0±4.8	62.2±2.1	58.8±5.1	62.9±1.5	58.2~62.9	60.7±1.7	原野
东山街道	110±3	107±4	108±2	103±3	113±2	154±5	118±2	117±4	103~154	116±16	原野
八河姚家村	110±4	114±4	113±3	108±2	116±3	112±4	111±3	117±4	108~117	113±3	道路
吕家庄村	61.1±2.3	60.8±3.2	59.5±2.3	58.2±1.3	62.0±4.6	66.6±4.3	60.5±1.9	62.9±2.0	58.2~66.6	61.5±2.5	原野
八里王家村	94.5±2.4	95.5±2.8	93.8±4.7	89.6±4.9	101±5	92.5±3.8	99.6±2.9	103±3	89.6~103	96.2±4.6	原野
岛西庄村	56.0±4.1	51.2±1.9	54.9±3.6	54.1±1.1	57.0±1.7	57.5±3.9	59.6±3.0	61.1±2.7	51.2~61.1	56.4±3.1	原野
桃园街道	120±3	129±3	123±5	120±4	127±4	128±4	121±3	126±4	120~129	124±4	道路
罗家庄村	86.0±3.0	79.5±4.3	84.2±3.0	81.7±5.0	88.2±2.3	85.0±2.3	87.5±1.7	90.4±3.1	79.5~90.4	85.3±3.5	道路
斥山街道	90.3±2.8	98.5±1.7	95.3±3.4	87.6±3.0	96.0±3.2	96.8±3.4	102±3	95.0±1.7	87.6~102	95.2±4.5	原野
王连街道	56.8±2.7	63.0±3.0	61.9±2.7	60.3±2.0	64.3±2.6	63.5±2.8	66.2±2.2	63.9±3.2	56.8~66.2	62.5±2.9	原野
港湾街道	98.4±3.1	102±2	107±2	101±3	107±2	98.5±3.2	108±3	105±3	98.4~108	103±4	道路

表 3.1-13 (2/2) 地表 γ 辐射剂量率测量结果

单位：nGy/h

点位名称	2014Q2	2014Q3	2014Q4	2015Q1	2015Q2	2015Q3	2015Q4	2016Q1	范围值	均值	环境
崂山街道	55.0±2.5	55.7±3.8	57.8±1.7	57.5±3.9	51.4±2.9	65.3±3.1	46.5±2.6	62.1±3.9	46.5~65.3	56.4±5.9	原野
海崖村	102±3	102±5	98.0±2.5	105±1	108±2	110±3	108±3	105±3	98.0~110	105±4	道路
滕家镇	87.1±4.7	88.5±2.4	83.1±2.5	83.5±3.9	94.1±4.0	89.5±4.1	88.6±3.6	96.5±2.8	83.1~96.5	88.9±4.7	道路
玄镇村	104±2	106±3	102±3	104±4	107±4	106±2	112±2	106±4	102~112	106±3	原野
卢家村	79.7±3.7	82.4±3.6	76.7±3.1	79.9±2.6	80.6±3.1	77.0±3.4	84.3±3.3	79.8±2.8	76.7~84.3	80.1±2.5	道路
荣成市	100±2.3	101±2	97.2±4.8	100±3	104±3	106±2	104±4	107±3	97.2~107	102±3	道路
寻山街道	59.2±3.5	56.2±1.7	57.6±3.3	65.8±5.2	57.7±2.0	57.5±2.2	60.7±1.3	61.5±2.7	56.2~65.8	59.5±3.1	原野
上庄镇	50.3±2.5	55.2±2.6	49.9±3.1	46.5±3.2	51.5±3.8	48.2±2.5	54.5±1.9	53.5±4.1	46.5~55.2	51.2±3.1	原野
朱口村	108±4	103±4	96.2±3.7	101±2	98.8±3.5	104±4	104±3	104±1	96.2~108	102±4	道路
人和镇	89.2±2.1	96.7±4.0	98.0±4.3	94.8±3.2	98.5±3.6	91.8±3.7	101±3	94.4±3.6	89.2~101	95.6±3.8	原野
大疃镇	54.5±2.6	56.9±4.5	53.8±1.5	52.9±1.8	59.1±2.8	49.6±1.1	58.8±4.7	57.4±3.9	49.6~59.1	55.4±3.3	原野
城西街道	91.2±3.3	90.8±1.7	87.1±2.5	87.1±2.8	91.0±4.4	90.3±2.8	93.3±3.8	97.3±1.2	87.1~97.3	91.0±3.3	道路
瓦屋石村	103±5	103±2	99.9±4.2	101±6	105±2	105±3	107±4	105±4	99.9~107	104±2	道路
虎山镇	65.1±1.8	62.8±1.3	62.9±1.8	66.6±4.3	63.3±3.8	58.3±2.4	68.3±4.1	66.0±4.3	58.3~68.3	64.2±3.1	道路
靳家店子村	59.3±2.1	58.6±3.7	56.4±3.1	58.4±2.7	58.2±4.7	57.1±2.4	66.2±1.7	58.0±3.3	56.4~66.2	59.0±3.0	原野
夏庄镇	128±5	124±3	125±3	124±3	132±3	128±4	127±3	127±2	124~132	127±3	道路
俚岛镇	108±2	109±4	108±3	110±3	114±4	119±3	106±2	114±3	106~119	111±4	道路
荫子镇	113±5	112±3	111±5	107±2	113±3	113±4	120±4	117±3	107~120	113±4	道路
沙窝岛村	114±2	117±4	111±3	110±2	112±2	109±2	110±3	109±3	109~117	112±3	道路
崖西镇	129±3	129±4	129±5	127±3	132±5	121±4	125±5	132±3	121~132	128±4	道路
大水泊镇	98.4±3.3	101±3	101±3	93.2±3.1	96.5±2.7	102±5	103±2	106±4	93.2~106	100±4	原野
侯家镇	79.1±2.1	82.4±2.7	76.2±4.9	82.0±2.4	78.6±1.8	76.9±1.8	84.7±2.9	86.2±4.8	76.2~86.2	80.8±3.6	道路
张家产镇	76.0±2.5	71.5±2.4	70.3±4.1	71.8±1.2	71.7±3.0	71.4±5.1	78.3±2.7	80.4±1.8	70.3~80.4	73.9±3.8	道路
埠柳镇	100±4	96.0±3.2	94.9±4.0	98.8±2.7	105±3	98.0±2.9	96.3±4.1	95.1±2.7	94.9~105	98.0±3.3	道路
文登市	60.5±3.0	59.3±2.6	61.1±2.3	57.3±2.4	60.1±3.0	57.2±2.5	64.1±2.4	60.2±3.5	57.2~64.1	60.0±2.2	原野
成山镇	45.2±2.7	46.8±2.8	43.1±1.7	44.6±2.4	47.6±1.4	49.7±3.0	43.5±3.6	54.7±2.6	43.1~54.7	46.9±3.8	原野
龙须岛村	112±3	111±5	107±3	111±2	117±3	116±2	111±5	114±2	107~117	112±3	道路
范围值	45.2~148	46.8~160	43.1~156	44.6~150	47.6~158	48.2~158	43.5~156	53.5~157	/	46.9~155	原野
均值	91±24	92±25	90±24	89±24	93±25	92±26	94±25	95±24	/	92±24	原野

*：表中数据已扣除宇宙射线成分

表 3.1-14 累积剂量计算出的剂量率值

点位名称	TLD 计算出的剂量率值 (nGy/h) *									范围值	均值
	2014Q2	2014Q3	2014Q4	2015Q1	2015Q2	2015Q3	2015Q4	2016Q1			
厂址边界	87.7±1.9	94.3±2.1	83.3±1.8	71.7±1.6	81.3±1.8	106±2	100±2	94.3±2.1	71.7~106	90±11	
东钱家村	110±2	118±3	120±3	99.4±2.2	108±3	134±3	126±3	98.1±2.2	98.1~134	114±13	
所东张家村	123±3	141±3	130±3	100±2	123±3	133±3	142±3	121±3	100~142	127±13	
烟羽地面最大浓度处	95.4±2.1	101±2	96.2±2.1	85.3±1.9	96.8±2.1	111±2	111±2	85.8±1.9	85.3~111	97.8±9.8	
宁津街道	109±2	142±3	123±3	94.9±2.1	108±2	133±3	126±3	101±2	94.9~142	117±16	
东墩村	96.6±2.1	104±2	107±2	88.1±1.9	97.0±2.1	/	122±3	89.5±2.0	88.1~122	101±12	
马栏耩村	97.6±2.1	93.6±2.1	/	76.4±1.7	/	105±2	114±3	78.0±1.7	76.4~114	94±15	
东南海村	83.9±1.8	91.2±2.0	87.4±1.9	66.5±1.5	/	99.3±2.0	/	89.2±2.0	66.5~99.3	86.3±11	
后海崖村	82.5±1.8	84.6±1.9	83.7±1.8	62.6±1.4	74.0±1.8	91.8±2.0	96.3±1.9	71.2±1.6	62.6~96.3	81±11	
东楮岛村	82.7±1.8	71.6±1.6	86.3±1.9	61.5±1.4	71.6±1.6	85.5±1.9	86.9±1.9	57.3±1.3	57.3~86.9	75±12	
东山街道	122±3	123±3	122±3	108±2	116±3	131±3	140±3	115±3	108~140	122±10	
八河姚家	110±2	110±2	109±2	78.6±1.7	101±2	114±3	121±3	92.8±2.0	78.6~121	105±13	
斥山街道	113±3	108±2	114±3	105±2	106±2	122±3	122±3	99.2±2.2	99.2~122	111±8	
王连街道	83.3±1.8	/	/	75.4±1.7	79.7±1.8	104±2	102±2	72.6±1.6	72.6~104	86±14	
崂山街道	70.7±1.6	80.1±1.8	73.2±1.6	55.9±1.2	63.9±1.3	84.9±1.9	87.1±1.9	54.6±1.2	54.6~87.1	71±12	
卢家村	85.9±1.9	85.3±1.9	88.8±2.0	/	86.9±1.9	102±2	107±2	87.3±1.9	85.3~107	91.9±8.8	
寻山街道	96.5±2.1	/	104±2	98.0±2.2	101±2	126±3	119±3	85.6±1.9	85.6~126	104±14	
人和镇	105±2	95.0±2.1	102±2	76.4±1.7	93.0±2.0	114±3	115±3	88.8±2.0	76.4~115	98.7±13	
大疃镇	80.9±1.8	73.3±1.6	77.4±1.8	61.6±1.4	71.3±1.6	91.7±2.0	95.6±2.1	66.5±1.5	61.6~95.6	77±12	
瓦屋石村	/	99.2±2.2	91.5±2.3	/	/	105±2	/	81.0±1.8	81.0~105	94±10	
范围值	70.7~123	71.6~142	73.2~130	55.9~108	63.9~123	84.9~134	86.9~142	54.6~121	/	71.3~127	
均值	97±15	101±20	100±17	81±17	93±17	110±16	113±16	86±17	/	97±16	

*: 表中数据未扣除宇宙射线成分。

表 3.1-15 累积剂量与剂量率值比较

点位名称	TLD 计算出的剂量率值 (nGy/h) /剂量率值 (nGy/h) *									
	2014Q2	2014Q3	2014Q4	2015Q1	2015Q2	2015Q3	2015Q4	2016Q1	范围值	均值
厂址边界	0.776	0.857	0.757	0.676	0.726	0.955	0.901	0.827	0.676~0.955	0.809±0.093
东钱家村	0.887	0.937	0.992	0.857	0.857	1.072	0.977	0.749	0.749~1.072	0.916±0.100
所东张家	0.665	0.716	0.674	0.535	0.631	0.682	0.732	0.624	0.535~0.732	0.657±0.062
烟羽地面最大浓度处	0.795	0.802	0.795	0.717	0.781	0.895	0.860	0.686	0.686~0.895	0.791±0.068
宁津街道	0.717	0.940	0.860	0.654	0.711	0.893	0.834	0.673	0.654~0.940	0.785±0.109
东墩村	0.721	0.776	0.817	0.673	0.724	/	0.910	0.653	0.653~0.910	0.753±0.089
马栏藕村	0.979	0.979	/	0.790	/	1.094	1.170	0.818	0.790~1.170	0.972±0.149
东南海村	0.792	0.885	0.865	0.627	/	0.928	/	0.834	0.627~0.928	0.822±0.106
后海崖村	0.847	0.893	0.905	0.665	0.768	0.937	1.005	0.725	0.665~1.005	0.843±0.115
东楮岛村	0.831	0.740	0.905	0.631	0.729	0.860	0.905	0.573	0.573~0.905	0.772±0.125
东山街道	0.830	0.854	0.841	0.771	0.768	0.682	0.903	0.747	0.682~0.903	0.800±0.070
八河姚家	0.748	0.728	0.727	0.542	0.660	0.765	0.818	0.603	0.542~0.818	0.699±0.091
斥山街道	0.883	0.794	0.864	0.840	0.797	0.910	0.871	0.752	0.752~0.910	0.839±0.053
王连街道	0.886	/	/	0.773	0.781	1.030	0.990	0.719	0.719~1.030	0.863±0.127
崂山街道	0.767	0.862	0.771	0.590	0.721	0.832	1.041	0.550	0.550~1.041	0.767±0.155
卢家村	0.734	0.711	0.779	/	0.736	0.895	0.884	0.746	0.711~0.895	0.784±0.075
寻山街道	1.001	/	1.097	0.951	1.064	1.331	1.216	0.867	0.867~1.331	1.075±0.158
人和镇	0.833	0.709	0.756	0.579	0.684	0.884	0.833	0.673	0.579~0.884	0.744±0.102
大疃镇	0.882	0.779	0.851	0.684	0.740	1.056	0.996	0.703	0.684~1.056	0.836±0.136
瓦屋石村	/	0.709	0.668	/	/	0.739	/	0.570	0.570~0.739	0.672±0.074
范围值	0.665~1.001	0.709~0.979	0.668~1.097	0.535~0.951	0.631~1.064	0.682~1.331	0.732~1.211	0.550~0.867	/	0.657~1.075
均值	0.820±0.088	0.815±0.089	0.829±0.106	0.698±0.114	0.758±0.091	0.918±0.151	0.936±0.121	0.705±0.090	/	0.810±0.098

*：表中数据未扣除宇宙射线成分。

表 3.1-16（1/2） 气溶胶测量结果

采样时间	点位名称	⁷ Be		总 α	总 β	⁹⁰ Sr	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁴ Mn	¹³¹ I
		mBq/m ³	修正日期	mBq/m ³		μBq/m ³				
2014.04	厂区边界	7.92±0.07	2014.04.20	0.74±0.03	2.15±0.03	0.79±0.47	<5.8	<6.0	<7.3	<7.3
2014.07		5.56±0.06	2014.07.08	0.24±0.01	1.99±0.03	2.44±0.29	<7.5	<7.8	<7.3	<7.2
2014.10		8.10±0.10	2014.10.18	0.50±0.02	1.54±0.03	1.04±0.29	<7.2	<7.7	<7.3	<7.0
2015.01		5.40±0.05	2015.01.10	0.82±0.02	2.99±0.03	1.27±0.19	<7.2	<7.5	<6.8	<6.6
2015.04		9.09±0.08	2015.04.13	0.97±0.02	2.46±0.02	2.75±0.30	<8.3	<8.9	<8.0	<8.2
2015.07		3.94±0.05	2015.07.14	0.28±0.02	1.27±0.03	0.77±0.27	<7.6	<8.3	<7.6	<7.1
2015.10		8.03±0.07	2015.10.19	0.94±0.03	2.23±0.04	1.76±0.22	<8.8	<8.9	<8.8	<8.5
2016.01		6.21±0.06	2016.01.12	0.51±0.02	1.82±0.03	2.45±0.24	<8.0	<8.5	<8.0	<7.9
2014.04		最大落地浓度处	8.37±0.07	2014.04.20	0.74±0.02	2.44±0.03	1.57±0.48	<7.2	<7.7	<7.2
2014.07	5.73±0.06		2014.07.08	0.37±0.02	2.11±0.03	5.67±0.34	<7.7	<7.9	<7.6	<7.6
2014.10	8.05±0.09		2014.10.18	0.47±0.02	1.68±0.03	1.76±0.24	<7.0	<7.5	<7.0	<6.9
2015.01	4.69±0.05		2015.01.10	0.62±0.02	3.27±0.03	0.83±0.19	<6.8	<7.0	<6.9	<6.8
2015.04	7.81±0.07		2015.04.13	0.50±0.01	1.69±0.02	2.11±0.29	<7.8	<8.5	<7.8	<8.0
2015.07	4.99±0.06		2015.07.15	0.39±0.02	1.77±0.03	1.07±0.30	<8.9	<9.3	<9.0	<8.5
2015.10	8.23±0.07		2015.10.19	0.87±0.02	2.22±0.03	1.63±0.19	<8.7	<9.2	<8.9	<8.4
2016.01	6.05±0.07		2016.01.12	0.52±0.02	1.90±0.05	2.27±0.32	<9.2	<9.4	<9.0	<8.6
2014.04	宁津街道		8.84±0.08	2014.04.20	0.68±0.02	2.17±0.02	0.95±0.38	<7.7	<7.9	<7.5
2014.07		5.09±0.06	2014.07.08	0.29±0.01	1.77±0.02	2.37±0.25	<7.5	<5.8	<7.3	<7.2
2014.10		9.12±0.10	2014.10.18	0.78±0.02	2.46±0.04	2.25±0.23	<8.0	<8.2	<8.0	<7.3
2015.01		5.67±0.06	2015.01.10	0.97±0.03	3.96±0.05	0.91±0.19	<7.2	<7.6	<7.1	<6.8
2015.04		10.1±0.1	2015.04.13	0.95±0.03	2.32±0.04	3.17±0.25	<8.6	<5.7	<8.1	<8.4
2015.07		4.72±0.06	2015.07.14	0.31±0.02	1.53±0.03	2.13±0.25	<8.0	<8.0	<7.9	<7.4
2015.10		8.64±0.08	2015.10.19	0.67±0.02	1.75±0.04	3.78±0.28	<10	<11	<10	<10
2016.01		5.25±0.07	2016.01.12	0.53±0.02	1.66±0.04	4.62±0.25	<9.8	<11	<10	<9.7
2014.04		后海崖村	8.00±0.08	2014.04.20	0.86±0.03	2.48±0.04	1.08±0.46	<8.7	<9.4	<8.8
2014.07	5.17±0.06		2014.07.08	0.27±0.02	1.97±0.04	2.44±0.30	<8.1	<8.8	<8.4	<7.9
2014.10	7.46±0.09		2014.10.18	0.46±0.02	1.87±0.03	0.66±0.27	<7.3	<7.8	<7.4	<7.2
2015.01	5.57±0.06		2015.01.10	0.78±0.02	2.39±0.04	1.54±0.21	<7.9	<8.2	<7.5	<7.6
2015.04	10.4±0.1		2015.04.13	0.85±0.02	2.65±0.03	1.97±0.28	<8.4	<10.4	<8.1	<8.4
2015.07	4.48±0.05		2015.07.14	0.32±0.02	1.48±0.03	0.76±0.26	<7.8	<8.2	<8.0	<7.8
2015.10	9.58±0.08		2015.10.19	0.93±0.02	2.34±0.04	3.23±0.25	<8.7	<9.0	<8.6	<8.7
2016.01	6.67±0.07		2016.01.12	0.54±0.02	2.06±0.04	1.55±0.24	<8.1	<8.4	<8.3	<8.0

（下接表 3.1-16 2/2）

表 3.1-16 (2/2) 气溶胶测量结果

采样时间	点位名称	⁷ Be		总 α	总 β	⁹⁰ Sr	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁴ Mn	¹³¹ I
		mBq/m ³	修正日期	mBq/m ³		μBq/m ³				
2014.04	东楮岛村	7.03±0.07	2014.04.20	0.63±0.02	2.36±0.03	1.20±0.46	<8.3	<8.7	<8.1	<7.9
2014.07		4.98±0.06	2014.07.08	0.20±0.01	1.97±0.03	3.16±0.38	<8.0	<8.6	<8.1	<8.1
2014.10		6.89±0.10	2014.10.18	0.44±0.02	1.71±0.03	1.37±0.21	<8.1	<8.3	<8.0	<7.8
2015.01		5.55±0.07	2015.01.11	1.19±0.02	3.91±0.04	1.84±0.26	<8.4	<8.7	<8.4	<8.2
2015.04		8.92±0.08	2015.04.13	0.84±0.02	2.15±0.02	1.84±0.29	<8.2	<8.6	<8.3	<8.3
2015.07		4.09±0.05	2015.07.14	0.28±0.02	1.41±0.03	1.37±0.26	<7.6	<7.9	<7.7	<7.3
2015.10		8.22±0.08	2015.10.19	1.11±0.03	2.97±0.05	2.36±0.20	<8.5	<8.7	<8.5	<8.2
2016.01		6.74±0.07	2016.01.12	0.57±0.02	2.31±0.04	3.52±0.19	<8.1	<8.4	<8.4	<8.0
2014.04		荣成市	7.61±0.07	2014.04.20	0.78±0.03	2.20±0.03	1.76±0.25	<7.6	<7.7	<7.6
2014.07	5.36±0.06		2014.07.08	0.36±0.01	1.50±0.02	3.59±0.43	<7.8	<8.2	<7.9	<7.9
2014.10	7.49±0.10		2014.10.18	0.43±0.01	1.49±0.03	0.26±0.21	<7.2	<8.1	<7.6	<7.1
2015.01	5.47±0.06		2015.01.10	0.96±0.02	2.88±0.02	1.21±0.22	<7.1	<7.4	<7.2	<6.9
2015.04	9.86±0.09		2015.04.13	0.82±0.02	2.05±0.03	2.32±0.31	<8.7	<9.2	<8.4	<8.4
2015.07	4.83±0.06		2015.07.14	0.42±0.02	1.87±0.04	2.34±0.33	<8.7	<9.1	<8.4	<8.1
2015.10	8.76±0.08		2015.10.19	1.33±0.03	2.91±0.04	2.92±0.25	<9.7	12.6±3.0	<9.7	<9.7
2016.01	6.15±0.06		2016.01.12	0.57±0.02	1.87±0.04	5.60±0.30	<7.7	<8.4	<7.8	<7.7
2014.04	成山镇		8.03±0.08	2014.04.20	0.82±0.02	2.65±0.03	3.06±0.24	<8.4	<8.6	<8.4
2014.07		5.88±0.07	2014.07.08	0.32±0.01	2.06±0.03	2.64±0.21	<8.1	<8.4	<8.2	<7.6
2014.10		7.83±0.10	2014.10.18	0.66±0.02	1.85±0.03	1.61±0.25	<7.2	<7.6	<7.5	<7.0
2015.01		5.54±0.06	2015.01.10	0.80±0.02	2.70±0.03	0.95±0.16	<7.1	<7.5	<7.0	<6.6
2015.04		10.0±0.1	2015.04.13	0.97±0.02	2.06±0.03	2.87±0.34	<8.9	<9.4	<9.1	<8.7
2015.07		4.00±0.05	2015.07.14	0.26±0.02	1.29±0.03	1.51±0.25	<7.3	<8.0	<7.4	<7.1
2015.10		7.60±0.07	2015.10.19	0.93±0.03	2.01±0.04	1.05±0.36	<8.2	<8.5	<8.0	<7.9
2016.01		6.19±0.06	2016.01.12	0.47±0.02	1.90±0.04	1.91±0.27	<7.8	<8.2	<8.0	<7.6
范围值		3.94~10.4	/	0.20~1.33	1.27~3.96	0.26~5.67	/	/	/	/
均值	6.89±1.76	/	0.64±0.27	2.15±0.57	2.07±1.14	/	/	/	/	

注：统计范围和均值包括表 3.1-16 (1/2)。

表 3.1-17 沉降灰测量结果

采样时间	点位名称	总 β	⁹⁰ Sr	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	采样时间	点位名称	总 β	⁹⁰ Sr	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs
		Bq/m ² ·d	mBq/m ² ·d					Bq/m ² ·d	mBq/m ² ·d		
2014.04~2014.07	厂区边界	0.91±0.02	16.3±0.4	<3.7	<3.8	2014.04~2014.07	东楮岛村	丢失	丢失	丢失	丢失
2014.07~2014.10		0.67±0.01	5.06±0.17	<3.2	<3.3	2014.07~2014.10		0.30±0.01	2.10±0.13	<3.2	<3.2
2014.10~2015.01		0.53±0.01	5.46±0.20	<3.6	<3.8	2014.10~2015.01		0.17±0.01	1.76±0.16	<3.4	<3.6
2015.01~2015.04		0.79±0.01	6.62±0.16	<3.5	<3.7	2015.01~2015.04		0.51±0.01	4.78±0.14	<3.5	<3.7
2015.04~2015.07		1.76±0.03	1.85±0.13	<3.8	4.5±1.3	2015.04~2015.07		0.75±0.01	2.35±0.13	<3.4	<3.9
2015.07~2015.10		0.50±0.01	2.22±0.18	<3.1	3.7±1.0	2015.07~2015.10		0.84±0.02	2.18±0.13	<3.1	<3.3
2015.10~2016.01		0.24±0.01	5.78±0.17	<3.9	<4.0	2015.10~2016.01		0.34±0.01	3.49±0.17	<3.8	<3.9
2016.01~2016.03		0.61±0.01	3.78±0.27	<4.9	<5.2	2016.01~2016.03		0.35±0.01	3.01±0.33	<5.1	<5.1
2014.04~2014.07	最大落地浓度处	1.66±0.04	2.97±0.23	<3.9	<4.2	2014.04~2014.07	荣成市	0.69±0.01	4.03±0.19	<3.6	<3.8
2014.07~2014.10		0.65±0.02	4.18±0.17	<3.3	<3.7	2014.07~2014.10		1.24±0.02	2.27±0.14	<3.6	<3.7
2014.10~2015.01		0.69±0.01	4.68±0.24	<3.8	<4.1	2014.10~2015.01		1.44±0.02	2.46±0.19	<3.8	<3.9
2015.01~2015.04		1.30±0.02	5.51±0.15	<3.4	<3.0	2015.01~2015.04		0.67±0.01	4.46±0.14	<3.5	<2.7
2015.04~2015.07		0.91±0.02	2.27±0.13	<3.5	<3.8	2015.04~2015.07		1.38±0.02	4.12±0.14	<3.7	4.5±1.2
2015.07~2015.10		0.42±0.01	2.89±0.14	<3.1	4.0±1.0	2015.07~2015.10		0.24±0.01	1.58±0.12	<3.0	<3.0
2015.10~2016.01		0.21±0.01	3.84±0.16	<3.8	<3.8	2015.10~2016.01		0.44±0.01	9.47±0.23	<3.9	<3.8
2016.01~2016.03		1.03±0.02	8.38±0.21	<5.1	<5.1	2016.01~2016.03		0.27±0.01	1.74±0.23	<4.8	<4.8
2014.04~2014.07	宁津街道	0.81±0.02	6.26±0.18	<3.6	<3.8	2014.04~2014.07	成山镇	0.70±0.01	6.06±0.20	<3.5	<3.7
2014.07~2014.10		0.58±0.01	5.98±0.15	<3.3	<3.4	2014.07~2014.10		0.63±0.01	5.04±0.16	<3.4	<3.5
2014.10~2015.01		0.46±0.01	7.14±0.19	<3.5	<3.7	2014.10~2015.01		0.55±0.01	4.65±0.18	<3.6	<3.8
2015.01~2015.04		0.81±0.01	3.59±0.14	<3.4	<3.0	2015.01~2015.04		0.76±0.01	5.60±0.17	<3.5	<2.7
2015.04~2015.07		0.85±0.01	1.00±0.12	<3.4	<3.6	2015.04~2015.07		0.42±0.01	3.10±0.14	<3.3	3.3±0.9
2015.07~2015.10		0.27±0.01	2.87±0.11	<3.1	<3.2	2015.07~2015.10		0.54±0.01	5.08±0.16	<3.2	<3.2
2015.10~2016.01		0.46±0.01	1.40±0.12	<3.7	<3.9	2015.10~2016.01		0.27±0.01	4.78±0.20	<3.6	<3.9
2016.01~2016.03		0.44±0.01	3.66±0.31	<4.9	<5.0	2016.01~2016.03		0.57±0.01	5.46±0.45	<4.8	6.3±1.5
2014.04~2014.07	后海崖村	0.86±0.02	6.71±0.19	<3.6	<3.9	范围值	0.17~1.76	1.00~16.3	/	/	
2014.07~2014.10		0.70±0.02	10.4±0.3	<3.3	<3.4	均值	0.69±0.36	4.6±2.9	/	/	
2014.10~2015.01		0.83±0.01	13.7±0.3	<3.6	<3.8						
2015.01~2015.04		1.32±0.02	4.11±0.16	<3.4	<3.8						
2015.04~2015.07		0.89±0.02	2.92±0.14	<3.8	<3.8						
2015.07~2015.10		0.51±0.01	5.96±0.14	<3.2	<3.3						
2015.10~2016.01		0.32±0.01	2.71±0.40	<3.7	<4.0						
2016.01~2016.03		0.82±0.01	4.14±0.24	<5.0	<5.2						

表 3.1-18 空气 ^3H 和 ^{14}C 测量结果

采样时间	采样点	^3H (mBq/m ³)	^3H (Bq/L)	^{14}C (mBq/m ³)	^{14}C (Bq/gC)
2014.04	厂区边界	8.2±2.2	1.03±0.27	26.4±1.6	0.17±0.01
2014.07		11.9±2.0	0.87±0.15	30.4±1.6	0.19±0.01
2014.10		3.92±0.93	0.61±0.14	26.8±1.6	0.17±0.01
2015.01		1.30±0.22	0.50±0.09	25.5±1.6	0.16±0.01
2015.04		8.9±1.3	0.95±0.26	30.4±1.6	0.19±0.01
2015.07		10.8±1.4	1.11±0.26	28.2±1.7	0.18±0.01
2015.10		5.2±1.4	0.52±0.14	27.8±1.6	0.18±0.01
2016.01		1.91±0.38	0.70±0.25	27.9±1.6	0.18±0.01
2014.04	最大落地浓度处	8.3±2.3	0.99±0.27	27.1±1.6	0.17±0.01
2014.07		15.0±2.2	1.01±0.15	29.7±1.6	0.19±0.01
2014.10		4.5±1.5	0.80±0.26	24.1±1.6	0.15±0.01
2015.01		1.10±0.19	0.51±0.09	25.9±1.6	0.17±0.01
2015.04		9.5±1.3	1.07±0.26	27.8±1.6	0.18±0.01
2015.07		13.7±2.2	1.00±0.15	22.7±1.6	0.15±0.01
2015.10		8.2±1.7	0.72±0.15	24.0±1.6	0.15±0.01
2016.01		2.09±0.40	0.74±0.26	24.4±1.6	0.16±0.01
2014.04	宁津街道	8.5±1.9	1.24±0.27	24.8±1.6	0.16±0.01
2014.07		16.7±2.5	0.99±0.15	27.9±1.6	0.18±0.01
2014.10		4.9±1.4	0.52±0.14	24.4±1.6	0.16±0.01
2015.01		1.64±0.28	0.45±0.08	28.1±1.6	0.18±0.01
2015.04		10.2±1.4	1.03±0.26	25.0±1.6	0.16±0.01
2015.07		9.7±1.8	0.79±0.15	26.5±1.7	0.17±0.01
2015.10		6.6±1.7	0.57±0.14	24.5±1.6	0.16±0.01
2016.01		2.27±0.36	0.91±0.26	21.0±1.5	0.15±0.01
2014.04	东楮岛村	9.6±1.2	1.21±0.15	27.2±1.6	0.17±0.01
2014.07		12.9±2.3	0.81±0.15	28.5±1.6	0.18±0.01
2014.10		4.0±1.2	0.60±0.18	27.5±1.6	0.18±0.01
2015.01		1.62±0.28	0.54±0.09	22.8±1.6	0.15±0.01
2015.04		8.4±1.0	1.26±0.15	26.2±1.6	0.17±0.01
2015.07		11.2±1.6	1.05±0.15	20.2±1.6	0.15±0.01
2015.10		8.8±1.7	0.76±0.15	22.8±1.6	0.15±0.01
2016.01		2.50±0.57	0.62±0.26	23.7±1.6	0.15±0.01
2014.04	成山镇	8.3±1.8	1.24±0.27	25.9±1.6	0.17±0.01
2014.07		12.1±2.2	0.80±0.15	28.1±1.6	0.18±0.01
2014.10		4.8±1.3	0.54±0.14	24.8±1.6	0.16±0.01
2015.01		1.64±0.28	0.48±0.08	30.1±1.6	0.19±0.01
2015.04		8.7±1.3	0.99±0.26	26.2±1.6	0.17±0.01
2015.07		12.0±2.0	0.87±0.15	29.2±1.6	0.19±0.01
2015.10		8.0±1.7	0.67±0.14	25.7±1.6	0.16±0.01
2016.01		2.20±0.62	0.50±0.26	25.1±1.6	0.16±0.01
范围值		1.10~16.7	0.45~1.26	20.2~30.4	0.15~0.19
平均值		7.3±4.2	0.81±0.24	26.1±2.4	0.17±0.01

表 3.1-19 地表水测量结果

采样时间	采样地点	总 β	⁹⁰ Sr	³ H	¹⁴ C		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn	^{110m} Ag	¹³¹ I**
		Bq/L	mBq/L	Bq/L	mBq/L	Bq/gC	mBq/L						
2014.04	南夏家水库	0.18±0.01	5.58±0.09	0.84±0.08	4.69±0.29	0.18±0.01	<1.9	<1.9	<1.6	<2.0	<1.8	<2.5	<94
2014.10	南夏家水库	0.26±0.01	3.33±0.08	0.52±0.08	4.68±0.26	0.19±0.01	<2.1	<2.2	<1.8	<2.2	<1.9	<2.5	<1.0
2015.04	南夏家水库	0.15±0.01	12.0±0.2	0.68±0.08	5.96±0.29	0.23±0.01	<2.0	<2.0	<1.6	<1.8	<1.9	<2.5	<0.75
2015.10	南夏家水库	0.20±0.01	7.96±0.10	0.74±0.08	4.57±0.24	0.20±0.01	<2.9	<3.4	<3.1	<3.2	<3.3	<4.5	<94
2014.04	八河水库-1	0.34±0.02	8.81±0.13	0.96±0.08	3.89±0.23	0.19±0.01	<2.1	<1.8	<1.9	<2.4	<1.9	<2.7	<90
2014.04	八河水库-2	0.38±0.02	8.98±0.14	1.01±0.09	3.92±0.23	0.19±0.01	<2.2	<2.2	<1.8	<2.4	<1.9	<2.8	<93
2014.10	八河水库-1	0.32±0.01	12.9±0.2	0.52±0.08	4.47±0.26	0.19±0.01	<2.3	<2.2	<1.9	<2.5	<2.0	<2.9	<1.1
2014.10	八河水库-2	0.29±0.01	11.1±0.2	0.55±0.08	4.64±0.27	0.18±0.01	<2.2	<2.1	<1.8	<2.3	<1.8	<2.7	<1.1
2015.04	八河水库-1	0.23±0.01	7.84±0.14	0.87±0.08	5.81±0.26	0.25±0.01	<1.9	<1.9	<1.7	<1.6	<2.1	<2.6	<0.79
2015.04	八河水库-2	0.28±0.01	7.27±0.12	0.68±0.08	4.74±0.27	0.21±0.01	<1.8	<1.9	<1.6	<1.7	<2.0	<2.4	<0.73
2015.10	八河水库-1	0.36±0.01	7.99±0.14	0.83±0.08	5.23±0.25	0.23±0.01	<3.1	<3.8	<3.2	<3.7	<3.8	<5.1	<93
2015.10	八河水库-2	0.40±0.01	7.58±0.10	0.74±0.08	4.69±0.26	0.19±0.01	<3.0	<3.7	<3.2	<3.4	<3.8	<5.0	<90
2014.04	林家流水库	1.45±0.07	7.47±0.52	1.15±0.09	5.14±0.29	0.20±0.01	<3.8	<3.4	<3.4	<4.1	<3.5	<4.9	<90
2014.10	林家流水库*	1.21±0.04	7.78±0.12	0.40±0.08	6.46±0.34	0.21±0.01	<3.3	<3.5	<3.6	<13	<3.7	<5.4	<1.1
2015.04	林家流水库	9.53±0.49	12.0±0.2	0.34±0.08	5.70±0.29	0.22±0.01	<2.5	<2.6	<2.8	<2.9	<9.9	<4.1	<0.72
2015.10	林家流水库	5.19±0.19	16.8±0.2	0.30±0.08	4.67±0.28	0.18±0.01	<2.7	<3.4	<3.3	<3.5	<11	<5.2	<92
2014.04	后龙河水库	0.14±0.01	7.88±0.12	1.07±0.09	2.49±0.18	0.15±0.01	<2.0	<1.8	<1.7	<2.2	<1.8	<2.7	<95
2014.10	后龙河水库	0.25±0.01	11.9±0.2	0.44±0.08	2.67±0.17	0.17±0.01	<2.1	<2.3	<1.9	<2.3	<2.1	<2.6	<1.1
2015.04	后龙河水库	0.19±0.01	9.45±0.13	0.63±0.08	3.58±0.18	0.24±0.01	<2.0	<2.1	<1.9	<1.9	<1.9	<2.6	<0.80
2015.10	后龙河水库	0.15±0.01	6.78±0.11	0.69±0.08	5.86±0.31	0.20±0.01	<3.0	<3.6	<3.2	<3.4	<3.5	<4.8	<92
	范围值	0.14~9.53	3.33~16.8	0.30~1.15	2.49~6.46	0.15~0.25	/	/	/	/	/	/	/
	平均值	1.1±2.3	9.1±3.0	0.70±0.24	4.7±1.0	0.20±0.02	/	/	/	/	/	/	/

注：*：林家流水库 2014 年 10 月采集样品按照淡水浓缩处理，结晶量较大，将其装入马琳杯测量。**：2014 年 4 月采集的样品测量 ¹³¹I 时将样品装入马琳杯直接伽马谱测量。2014 年 10 月、2015 年 4 月采集的样品测量 ¹³¹I 时使用先化学沉淀后装入 Φ75*25mm 的样品盒伽马谱测量。2015 年 10 月采集的样品测量 ¹³¹I 时按照中期评审专家意见，将样品装入马琳杯直接伽马谱测量。因此，探测限不同。

表 3.1-20 地下水测量结果

采样时间	采样地点	总 α (Bq/L)	总 β (Bq/L)	Sr-90 (mBq/L)	H-3 (Bq/L)	Cs-134 (mBq/L)	Cs-137 (mBq/L)
2014.04	厂址附近	0.30±0.06	1.30±0.03	6.26±0.10	0.56±0.08	<2.3	<2.4
2014.10	厂址附近	0.068±0.029	3.11±0.03	7.93±0.10	0.65±0.08	<2.6	<2.6
2015.04	厂址附近	0.094±0.027	1.88±0.03	11.0±0.2	0.40±0.08	<2.3	<2.4
2015.10	厂址附近	0.26±0.11	6.50±0.08	9.13±0.12	0.30±0.08	<3.4	<4.0
2014.04	石岛街道	0.066±0.010	0.058±0.003	12.1±0.2	0.29±0.08	<2.0	<2.0
2014.10	石岛街道	<0.026	0.10±0.01	6.91±0.10	0.91±0.08	<2.0	<2.0
2015.04	石岛街道	0.026±0.007	0.052±0.003	8.42±0.16	0.35±0.08	<1.8	<1.8
2015.10	石岛街道	0.014±0.007	0.089±0.003	8.16±0.15	0.20±0.08	<2.8	<3.5
2014.04	宁津街道-1	0.16±0.03	0.088±0.006	9.23±0.13	0.39±0.08	<2.1	<2.1
2014.04	宁津街道-2	0.18±0.03	0.13±0.01	7.61±0.13	0.30±0.08	<2.1	<2.1
2014.10	宁津街道-1	0.069±0.020	0.12±0.01	9.29±0.11	0.54±0.08	<2.1	<2.1
2014.10	宁津街道-2	0.057±0.018	0.11±0.01	8.15±0.10	0.51±0.08	<1.9	<2.0
2015.04	宁津街道-1	0.067±0.021	0.070±0.006	7.21±0.12	0.48±0.08	<1.9	<1.8
2015.04	宁津街道-2	0.055±0.020	0.075±0.007	6.65±0.12	0.45±0.08	<1.9	<2.0
2015.10	宁津街道-1	<0.041	0.14±0.01	8.69±0.16	0.49±0.08	<3.0	<3.5
2015.10	宁津街道-2	0.037±0.017	0.12±0.01	8.21±0.10	0.40±0.08	<2.9	<3.4
范围值		<LLD~0.30	0.052~6.50	6.26~12.1	0.20~0.91	/	/
均值		0.093±0.086	0.9±1.7	8.4±1.5	0.45±0.17	/	/

表 3.1-21 饮用水测量结果

采样时间	采样地点	总 α (Bq/L)	总 β (Bq/L)	^{90}Sr (mBq/L)	^3H (Bq/L)	^{134}Cs (mBq/L)	^{137}Cs (mBq/L)
2014.04	东钱家村	0.11±0.02	0.078±0.005	2.96±0.09	0.50±0.08	<2.1	<2.2
2014.07	东钱家村	<0.065	0.10±0.01	7.10±0.12	0.55±0.08	<1.8	<1.8
2014.10	东钱家村	0.069±0.027	0.22±0.01	6.73±0.09	0.65±0.08	<1.9	<1.9
2015.01	东钱家村	0.047±0.014	0.08±0.01	3.96±0.08	0.44±0.08	<2.9	<3.3
2015.04	东钱家村	<0.064	0.10±0.01	1.92±0.09	0.55±0.08	<2.7	<3.2
2015.07	东钱家村	0.094±0.035	0.26±0.02	11.3±0.2	0.84±0.08	<1.8	<1.8
2015.10	东钱家村	<0.13	0.11±0.02	6.36±0.09	0.80±0.08	<2.0	<1.7
2016.01	东钱家村	0.042±0.012	0.12±0.01	3.02±0.07	0.52±0.08	<2.1	<2.1
2014.04	石岛街道	0.13±0.02	0.15±0.01	12.0±0.2	0.40±0.08	<2.1	<2.0
2014.07	石岛街道	<0.028	0.20±0.01	14.7±0.2	0.82±0.08	<1.8	<1.8
2014.10	石岛街道	0.064±0.010	0.21±0.01	6.92±0.11	0.44±0.08	<1.8	<1.8
2015.01	石岛街道	0.045±0.016	0.18±0.01	8.09±0.10	0.61±0.08	<2.9	<3.6
2015.04	石岛街道	0.015±0.009	0.17±0.01	12.1±0.2	0.54±0.08	<2.8	<3.3
2015.07	石岛街道	0.048±0.019	0.34±0.01	9.74±0.15	0.56±0.08	<1.9	<1.9
2015.10	石岛街道	<0.059	0.10±0.01	4.68±0.10	0.67±0.08	<2.1	<1.8
2016.01	石岛街道	0.038±0.007	0.20±0.01	7.47±0.11	0.83±0.08	<2.0	<1.8
2014.04	宁津街道-1	0.059±0.009	0.094±0.003	6.87±0.12	0.66±0.08	<2.1	<2.0
2014.04	宁津街道-2	0.044±0.009	0.10±0.01	6.36±0.11	0.46±0.08	<2.1	<2.0
2014.07	宁津街道-1	0.034±0.012	0.12±0.01	6.40±0.12	0.52±0.08	<2.0	<1.9
2014.07	宁津街道-2	0.042±0.012	0.16±0.01	6.92±0.12	0.48±0.08	<2.0	<1.8
2014.10	宁津街道-1	0.11±0.02	0.16±0.01	6.75±0.12	0.48±0.08	<2.0	<1.9
2014.10	宁津街道-2	0.084±0.014	0.14±0.01	5.45±0.09	0.44±0.08	<1.7	<1.8
2015.01	宁津街道-1	0.10±0.03	0.27±0.01	5.92±0.10	0.32±0.08	<1.9	<1.9
2015.01	宁津街道-2	0.083±0.019	0.22±0.01	6.36±0.10	0.40±0.08	<2.9	<3.4
2015.04	宁津街道	0.013±0.008	0.077±0.003	5.38±0.12	0.39±0.08	<3.0	<3.6
2015.07	宁津街道	0.043±0.017	0.27±0.01	8.74±0.12	0.57±0.08	<1.8	<1.8
2015.10	宁津街道	<0.038	0.12±0.01	7.17±0.10	0.50±0.08	<2.1	<2.2
2016.01	宁津街道	0.043±0.009	0.065±0.004	6.63±0.10	0.48±0.08	<1.8	<1.8
范围值		<LLD~0.13	0.065~0.34	1.92~14.7	0.32~0.84	/	/
均值		0.055±0.032	0.158±0.071	7.1±2.9	0.55±0.14	/	/

表 3.1-22 降水测量结果

单位：除 ^3H 为 Bq/L 外，其他均为 mBq/L

采样时间	采样地点	^{90}Sr	^3H	^{134}Cs	^{137}Cs	采样时间	采样地点	^{90}Sr	^3H	^{134}Cs	^{137}Cs
2014.04~2014.07	厂区边界	14.1±0.2	0.54±0.08	<1.8	<1.8	2014.04~2014.07	宁津街道 -2	11.9±0.2	0.63±0.08	<1.9	<1.9
2014.07~2014.10		9.81±0.12	0.57±0.08	<1.8	<1.8	2014.07~2014.10		10.2±0.2	0.41±0.08	<1.9	<1.8
2014.10~2015.01		23.2±0.3	0.58±0.08	<3.5	<3.5	2014.10~2015.01		8.26±0.16	0.54±0.08	<3.5	<3.6
2015.01~2015.04		10.0±0.2	0.61±0.08	<2.3	<3.5	2015.01~2015.04		15.5±0.2	0.73±0.08	<2.6	<3.3
2015.04~2015.07		6.17±0.10	0.48±0.08	<2.9	<3.4	2015.04~2015.07		4.07±0.10	0.45±0.08	<3.2	<3.7
2015.07~2015.10		15.1±0.2	0.58±0.08	<2.9	<3.4	2015.07~2015.10		7.98±0.11	0.73±0.08	<3.0	<3.3
2015.10~2016.01		6.35±0.16	0.68±0.08	<3.9	<4.0	2015.10~2016.01		11.1±0.2	0.79±0.08	<3.6	<3.6
2016.01~2016.03		3.50±0.11	0.73±0.08	<1.8	<1.9	2016.01~2016.03		10.9±0.2	0.85±0.08	<1.8	<1.8
2014.04~2014.07		最大落地 浓度处	13.4±0.2	0.85±0.08	<1.8	<1.7		2014.04~2014.07	东楮岛村	11.1±0.1	0.38±0.08
2014.07~2014.10	5.49±0.09		0.61±0.08	<1.7	<1.8	2014.07~2014.10	12.9±0.2	0.51±0.08		<1.7	<1.7
2014.10~2015.01	15.7±0.2		0.52±0.08	<3.5	<3.4	2014.10~2015.01	11.5±0.3	0.58±0.08		<3.3	<3.3
2015.01~2015.04	5.98±0.10		0.68±0.08	<2.4	<3.5	2015.01~2015.04	5.06±0.09	0.77±0.08		<2.5	<3.3
2015.04~2015.07	13.9±0.2		0.44±0.08	<3.1	<3.6	2015.04~2015.07	11.8±0.2	0.63±0.08		<2.8	<3.2
2015.07~2015.10	13.0±0.2		0.44±0.08	<3.2	<3.9	2015.07~2015.10	10.5±0.2	0.55±0.08		<3.0	<3.5
2015.10~2016.01	2.69±0.13		0.78±0.08	<3.7	<3.8	2015.10~2016.01	3.32±0.19	0.60±0.08		<3.7	<3.7
2016.01~2016.03	6.05±0.18		0.69±0.08	<1.9	<1.9	2016.01~2016.03	11.1±0.2	0.56±0.08		<1.8	<1.8
2014.04~2014.07	宁津街道- 1		18.1±0.2	0.67±0.08	<1.9	<1.9	2014.04~2014.07	成山镇		10.8±0.2	0.68±0.08
2014.07~2014.10		8.38±0.11	0.55±0.08	<1.8	<1.9	2014.07~2014.10	11.7±0.2		0.49±0.08	<2.0	<1.9
2015.01~2015.04		12.7±0.2	0.65±0.08	<2.3	<3.5	2015.01~2015.04	12.3±0.2		0.43±0.08	<3.6	<3.4
2015.04~2015.07		4.00±0.10	0.60±0.08	<3.0	<3.4	2015.04~2015.07	8.02±0.11		0.50±0.08	<2.6	<3.5
2015.07~2015.10		8.56±0.13	0.63±0.08	<3.0	<3.6	2015.07~2015.10	7.11±0.12		0.77±0.08	<2.9	<3.4
2015.10~2016.01		9.73±0.18	0.67±0.08	<3.5	<3.6	2015.10~2016.01	7.24±0.14		0.58±0.08	<3.1	<3.7
2016.01~2016.03		12.9±0.2	0.79±0.08	<1.9	<2.0	2016.01~2016.03	16.4±0.4		0.65±0.08	<4.2	<4.2

表 3.1-23 底泥测量结果

单位：Bq/kg

采样时间	采样地点	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	¹³⁴ Cs	^{110m} Ag
2014.04	南夏家水库	68.4±4.2	45.3±0.6	132±2	(2.06±0.01)×10 ³	<0.58	4.00±0.14	<0.48	<0.68	<0.54	<0.64
2015.04	南夏家水库	24.9±1.8	24.3±0.6	65.8±1.3	(2.14±0.01)×10 ³	<0.94	2.95±0.12	<0.85	<1.3	<0.71	<1.2
2014.04	八河水库-1	9.4±1.4	9.47±0.28	16.1±0.5	795±5	<0.34	1.98±0.10	<0.29	<0.50	<0.28	<0.42
2014.04	八河水库-2	9.8±1.1	9.81±0.27	15.6±0.6	801±5	<0.33	1.74±0.12	<0.30	<0.51	<0.28	<0.40
2015.04	八河水库-1	10.6±0.6	9.45±0.35	16.2±0.7	738±7	<0.66	1.58±0.12	<0.63	<0.89	<0.51	<0.85
2015.04	八河水库-2	12.1±0.7	7.85±0.29	16.7±0.7	753±7	<0.68	1.83±0.17	<0.62	<0.89	<0.52	<0.86
2014.04	林家流水库	8.9±1.3	6.70±0.24	11.6±0.5	674±5	0.71±0.13	1.45±0.12	<0.29	<0.49	<0.29	<0.42
2015.04	林家流水库	12.4±0.8	7.48±0.28	12.4±0.6	658±7	0.73±0.21	1.86±0.10	<0.60	<0.85	<0.50	<0.83
2014.04	后龙河水库	93.6±5.8	74.9±0.9	184±2	653±6	4.03±0.29	3.72±0.14	<0.56	<0.72	<0.60	<0.75
2015.04	后龙河水库	82.8±3.8	77.1±1.0	164±2	693±8	1.98±0.25	1.28±0.12	<1.0	<1.2	<0.95	<1.4
范围值		8.87~93.6	6.70~77.1	11.6~184	653~2.14×10 ³	<LLD~4.03	1.28~4.00	/	/	/	/
均值		33±34	27±28	63±70	(1.00±0.58)×10 ³	0.9±1.2	2.24±0.97	/	/	/	/

表 3.1-24 土壤样品测量结果

单位：Bq/kg

采样时间	采样点	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	¹³⁴ Cs
2014.04	所东张家村	66.5±3.1	50.1±1.0	115±2	(1.28±0.01)×10 ³	2.17±0.27	3.50±0.13	0.069±0.008	<0.99
2015.04		76.8±3.8	76.7±0.9	173±2	(1.07±0.01)×10 ³	3.06±0.38	1.61±0.13	0.058±0.006	<1.0
2014.04	宁津街道	43.6±2.1	35.6±0.7	62.3±1.4	(1.18±0.01)×10 ³	<0.72	1.61±0.13	/	<0.84
2015.04		33.8±1.8	34.3±0.6	56.4±1.2	(1.36±0.01)×10 ³	1.43±0.29	1.82±0.13	/	<0.84
2014.04	东墩村	33.0±1.5	31.5±0.7	50.1±1.2	993±9	2.65±0.23	2.21±0.13	0.12±0.02	<0.79
2014.04		31.0±1.4	30.5±0.7	45.6±1.2	978±9	2.87±0.20	2.24±0.14	0.13±0.02	<0.74
2015.04		47.9±2.3	30.5±0.7	58.1±1.4	(1.15±0.01)×10 ³	1.07±0.20	1.35±0.12	0.094±0.008	<0.79
2014.04	后海崖村	32.1±1.4	17.0±0.6	26.1±1.0	804±9	1.92±0.21	1.95±0.10	/	<0.80
2015.04		29.5±1.6	23.2±0.5	30.8±1.0	772±7	1.23±0.17	2.63±0.11	/	<0.64
2014.04	东楮岛村	32.7±1.5	22.6±0.5	33.6±1.1	789±9	1.85±0.22	1.71±0.11	/	<0.75
2015.04		30.8±1.8	25.1±0.6	39.2±1.1	817±8	1.42±0.27	0.65±0.11	/	<0.74
2014.04	东南海村	31.1±1.5	29.1±0.6	42.4±1.2	773±9	1.32±0.21	1.90±0.10	/	<0.81
2015.04		25.6±1.4	28.2±0.6	38.6±1.1	770±7	0.95±0.27	1.29±0.12	/	<0.68
2014.04	东山街道	48.8±2.4	40.5±0.9	66.9±2.1	(1.40±0.01)×10 ³	2.38±0.25	3.25±0.11	/	<0.87
2015.04		36.8±2.2	43.7±0.8	75.3±1.4	(1.19±0.01)×10 ³	1.67±0.22	1.51±0.10	/	<0.83
2014.04	斥山街道	32.6±1.6	25.4±0.6	38.6±1.2	(1.49±0.01)×10 ³	1.03±0.21	3.44±0.12	/	<0.79
2015.04		31.0±1.6	27.5±0.6	45.5±1.0	(1.22±0.01)×10 ³	1.32±0.25	1.13±0.11	/	<0.53
2014.04	寻山街道	24.8±1.2	18.3±0.5	26.9±1.0	637±8	0.63±0.13	2.42±0.11	/	<0.71
2015.04		28.5±1.5	24.7±0.6	48.0±1.1	897±8	<0.84	0.74±0.11	/	<0.54
2014.04	大疃镇	18.3±1.0	17.9±0.5	30.9±1.0	509±7	1.22±0.18	2.45±0.11	/	<0.67
2015.04		16.9±1.0	16.2±0.4	23.6±0.8	567±6	3.01±0.24	1.43±0.11	/	<0.43
2014.04	成山镇	11.1±0.6	8.42±0.30	10.9±0.6	723±7	1.95±0.16	0.85±0.10	/	<0.57
2015.04		<9.9	6.75±0.32	10.2±0.6	710±6	2.51±0.20	0.76±0.12	/	<0.41
2014.04	马栏耩村-1	15.5±1.0	25.0±0.5	45.0±1.1	735±6	1.18±0.19	1.31±0.09	/	<0.72
2015.04		18.2±1.1	20.7±0.5	32.5±1.0	675±7	1.84±0.22	0.96±0.12	/	<0.48
2014.04	马栏耩村-2	22.7±1.4	19.6±0.6	41.9±1.1	717±7	<0.74	1.13±0.11	/	<0.69
2015.04		19.4±1.2	22.2±0.5	31.1±0.9	674±6	1.32±0.20	1.09±0.15	/	<0.48
范围值		<9.9~76.8	6.75~76.7	10.2~173	509~1.49×10 ³	<0.72~3.06	0.65~3.50	0.058~0.13	/
均值		31±16	28±14	48±33	(9.2±2.7)×10 ²	1.60±0.79	1.74±0.81	0.094±0.031	/

表 3.1-25 (1/3) 陆生生物测量结果

样品名称	采样点位	采样时间	灰鲜比	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁴ Cs	¹³¹ I	FWTW		OBT		¹⁴ C	
				Bq/kg 鲜				Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/gC	
小麦	东山街道龙山前村	2014.10	1.78×10 ⁻²	<0.028	0.42±0.01	<0.026	/	/	/	0.74±0.28	1.54±0.68	95.2±3.9	0.28±0.01
		2015.10	1.70×10 ⁻²	0.058±0.007	0.20±0.01	<0.025	/	/	/	0.67±0.31	1.43±0.65	71.2±4.4	0.17±0.01
	范围		<0.028~0.058	0.20~0.42	/				0.67~0.74	1.43~1.54	71.2~95.2	0.17~0.28	
玉米	宁津街道于家村	2014.10	1.10×10 ⁻²	0.049±0.006	0.040±0.002	<0.015	/	/	/	0.76±0.27	1.64±0.69	76.4±3.8	0.22±0.01
		2014.10	1.12×10 ⁻²	0.047±0.004	0.048±0.002	<0.015	/	/	/	0.91±0.33	2.19±0.69	83.2±3.8	0.24±0.01
		2015.10	1.12×10 ⁻²	0.018±0.005	0.072±0.003	<0.014	/	/	/	1.14±0.35	2.19±0.67	77.6±4.6	0.18±0.01
		2015.10	1.15×10 ⁻²	0.020±0.004	0.11±0.01	<0.014	/	/	/	0.93±0.33	1.86±0.66	68.0±4.5	0.16±0.01
	东山街道谭村林家村	2014.10	1.54×10 ⁻²	0.030±0.005	0.38±0.01	<0.018	/	/	/	0.74±0.31	1.86±0.68	73.6±3.4	0.24±0.01
		2015.10	1.88×10 ⁻²	0.099±0.009	0.51±0.01	<0.021	/	/	/	0.88±0.35	1.64±0.66	68.1±4.1	0.18±0.01
	成山镇	2014.10	1.14×10 ⁻²	0.030±0.005	0.026±0.002	<0.014	/	/	/	0.85±0.32	1.97±0.69	80.0±3.8	0.23±0.01
		2015.10	1.68×10 ⁻²	0.034±0.007	0.076±0.004	<0.020	/	/	/	0.98±0.33	1.97±0.67	57.0±4.0	0.15±0.01
	范围		0.018~0.099	0.026~0.51	/	/	/	/	0.74~1.14	1.64~2.19	68~80	0.15~0.24	
豆角	宁津街道于家村	2014.07	6.25×10 ⁻³	<0.011	0.10±0.01	<0.011	/	0.83±0.12	0.88±0.14	0.23±0.05	2.52±0.70	8.40±0.64	0.16±0.01
		2015.07	7.21×10 ⁻³	<0.014	0.24±0.01	<0.012	/	0.71±0.12	0.83±0.14	0.23±0.04	3.95±0.73	5.80±0.35	0.18±0.01
	范围		/	0.10~0.24	/	/	0.71~0.83	0.83~0.88	0.23	2.52~3.95	5.8~8.4	0.16~0.18	
白菜	东山街道谭村林家村	2014.10	8.76×10 ⁻³	0.016±0.003	0.24±0.01	<0.010	/	0.62±0.13	0.68±0.14	0.05±0.02	1.64±0.69	4.70±0.23	0.23±0.01
		2014.10	8.81×10 ⁻³	0.015±0.004	0.25±0.01	<0.010	/	0.45±0.12	0.50±0.14	0.06±0.02	1.97±0.69	5.66±0.25	0.26±0.01
		2015.10	1.04×10 ⁻²	<0.012	0.13±0.01	<0.012	/	0.75±0.12	0.88±0.14	0.08±0.02	2.30±0.67	4.72±0.30	0.17±0.01
		2015.10	1.06×10 ⁻²	<0.013	0.076±0.002	<0.012	/	0.69±0.12	0.79±0.14	0.07±0.02	1.97±0.67	4.38±0.27	0.18±0.01
	宁津街道马栏耩村	2014.10	5.59×10 ⁻³	0.030±0.003	0.13±0.01	<0.0078	/	0.44±0.12	0.48±0.14	0.08±0.02	2.19±0.69	4.17±0.21	0.22±0.01
		2015.10	9.39×10 ⁻³	0.025±0.004	0.14±0.01	<0.0098	/	0.88±0.13	0.96±0.14	0.08±0.02	3.29±0.68	3.39±0.22	0.17±0.01
	范围		<0.012~0.030	0.076~0.25	/	/	0.44~0.88	0.48~0.96	0.05~0.08	1.64~3.29	3.39~5.66	0.17~0.26	

注：小麦、玉米、松针由于含水量低，未给出 TFWT 的测量结果。小麦、玉米中 ¹³⁷Cs、⁹⁰Sr、¹³⁴Cs、OBT、C-14 的测量结果单位为(Bq/kg 干重)，

表 3.1-25 (2/3) 陆生生物测量结果

样品名称	采样点位	采样时间	灰鲜比	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁴ Cs	¹³¹ I	FWTW		OBT		¹⁴ C	
				Bq/kg 鲜				Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/gC	
苹果	宁津街道	2014.10	3.32×10 ⁻³	<0.0052	0.010±0.001	<0.0047	/	0.33±0.10	0.46±0.14	0.30±0.05	3.29±0.71	12.0±0.7	0.20±0.01
		2014.10	3.44×10 ⁻³	<0.0052	0.014±0.001	<0.0047	/	0.31±0.11	0.37±0.13	0.44±0.06	4.17±0.72	11.6±0.7	0.19±0.01
		2015.10	3.09×10 ⁻³	0.0058±0.0013	0.018±0.003	<0.0048	/	0.61±0.11	0.73±0.14	0.32±0.05	4.28±0.72	8.75±0.58	0.16±0.01
		2015.10	3.18×10 ⁻³	<0.0044	0.033±0.001	<0.0050	/	0.54±0.11	0.65±0.14	0.36±0.05	4.82±0.73	8.37±0.56	0.16±0.01
	崂山街道宁家村	2014.10	6.19×10 ⁻³	<0.0080	0.080±0.002	<0.0075	/	0.43±0.11	0.55±0.14	0.31±0.05	4.39±0.72	9.92±0.58	0.19±0.01
		2015.10	4.15×10 ⁻³	<0.0068	0.024±0.001	<0.0064	/	0.51±0.11	0.63±0.14	0.29±0.05	3.84±0.71	8.57±0.63	0.14±0.01
	范围			/	0.01~0.08	/	/	0.31~0.61	0.37~0.73	0.29~0.44	3.29~4.82	8.37~12.0	0.14~0.20
牛奶	腾家镇高落山村	2014.04	8.89×10 ⁻³	0.018±0.004	0.029±0.002	<0.012	<0.011	/	/	/	/	8.14±0.44	0.20±0.01
		2014.10	8.96×10 ⁻³	0.014±0.003	0.034±0.002	<0.0082	<0.0073	/	/	/	/	9.66±0.47	0.23±0.01
		2015.04	1.36×10 ⁻²	0.019±0.003	0.14±0.01	<0.015	<0.014	/	/	/	/	13.2±0.8	0.18±0.01
		2014.10	8.96×10 ⁻³	0.014±0.003	0.034±0.002	<0.0082	<0.0073	/	/	/	/	9.66±0.47	0.23±0.01
		2015.04	1.36×10 ⁻²	0.019±0.003	0.14±0.01	<0.015	<0.014	/	/	/	/	13.2±0.8	0.18±0.01
		2015.10	9.01×10 ⁻³	0.015±0.006	0.032±0.003	<0.013	<0.014	/	/	/	/	12.7±0.8	0.18±0.01
	斥山街道沟姜家村	2014.04	6.45×10 ⁻³	<0.012	0.048±0.002	<0.011	<0.010	/	/	/	/	8.79±0.41	0.23±0.01
		2014.04	6.43×10 ⁻³	<0.012	0.040±0.001	<0.011	<0.010	/	/	/	/	8.55±0.40	0.23±0.01
		2014.10	8.32×10 ⁻³	0.0081±0.0032	0.091±0.003	<0.0078	<0.0073	/	/	/	/	9.63±0.44	0.25±0.01
		2014.10	8.87×10 ⁻³	0.0093±0.0030	0.072±0.002	<0.0082	<0.0078	/	/	/	/	10.0±0.4	0.25±0.01
		2015.04	1.55×10 ⁻²	<0.014	0.27±0.01	<0.014	<0.012	/	/	/	/	13.2±0.9	0.16±0.01
	范围			/	0.040~0.27	/	/	/	/	/	/	8.55~13.2	0.16~0.25

表 3.1-25 (3/3) 陆生生物测量结果

样品名称	采样点位	采样时间	灰鲜比	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁴ Cs	¹³¹ I	FWTW		OBT		¹⁴ C		
				Bq/kg 鲜					Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/gC	
猪肉	宁津街道市场	2014.04	1.18×10 ⁻²	0.060±0.006	0.017±0.002	<0.015	/	0.55±0.10	0.66±0.14	0.28±0.10	1.97±0.68	19.5±1.3	0.18±0.01	
		2014.04	1.17×10 ⁻²	0.072±0.007	0.026±0.002	<0.015	/	0.41±0.10	0.48±0.14	0.33±0.10	2.19±0.68	20.9±1.5	0.17±0.01	
		2014.10	1.56×10 ⁻²	0.084±0.008	0.075±0.003	<0.018	/	0.23±0.09	0.35±0.13	0.56±0.10	2.30±0.69	22.7±1.1	0.23±0.01	
		2014.10	1.59×10 ⁻²	0.077±0.007	0.085±0.004	<0.018	/	0.51±0.10	0.75±0.14	0.34±0.10	2.19±0.69	32.2±1.5	0.25±0.01	
		2015.04	1.54×10 ⁻²	0.067±0.023	0.22±0.01	<0.018	/	0.56±0.16	0.79±0.14	0.59±0.11	3.95±0.70	16.4±1.2	0.15±0.01	
		2015.10	1.50×10 ⁻²	0.071±0.007	0.072±0.004	<0.018	/	0.53±0.10	0.73±0.14	0.54±0.10	3.84±0.70	20.1±1.3	0.17±0.01	
	范围			0.06~0.084	0.017~0.22	/	/	0.23~0.56	0.35~0.79	0.28~0.59	1.97~3.95	16.4~32.2	0.15~0.25	
鸡肉	宁津街道于家村	2014.04	1.48×10 ⁻²	0.032±0.006	0.049±0.003	<0.019	/	0.48±0.10	0.55±0.14	0.38±0.10	2.08±0.69	18.8±1.3	0.18±0.01	
		2014.10	1.07×10 ⁻²	0.019±0.004	0.46±0.01	<0.010	/	0.37±0.09	0.55±0.14	0.43±0.12	2.52±0.70	26.3±1.4	0.21±0.01	
		2015.04	8.34×10 ⁻³	<0.0096	0.063±0.002	<0.0086	/	0.52±0.10	0.75±0.14	0.71±0.14	3.51±0.70	26.0±1.5	0.19±0.01	
		2015.10	8.29×10 ⁻³	<0.0091	0.038±0.004	<0.0085	/	0.48±0.10	0.69±0.14	0.41±0.11	2.96±0.69	20.3±1.4	0.15±0.01	
	范围		/	0.038~0.46	/	/	0.37~0.52	0.55~0.75	0.41~0.71	2.08~3.51	20.3~26.3	0.15~0.21		
松针	宁津街道马栏 藕林场	2014.04	1.93×10 ⁻²	0.062±0.008	0.76±0.01	<0.031	/	/	/	0.90±0.29	2.08±0.69	62.2±4.6	0.16±0.01	
		2014.04	1.47×10 ⁻²	0.044±0.006	0.98±0.01	<0.023	/	/	/	0.75±0.27	1.86±0.68	75.3±4.9	0.18±0.01	
		2014.10	1.06×10 ⁻²	0.329±0.008	2.32±0.02	<0.015	/	/	/	0.72±0.35	1.54±0.68	94.0±4.5	0.23±0.01	
		2014.10	1.03×10 ⁻²	0.310±0.008	2.74±0.02	<0.014	/	/	/	0.65±0.34	1.64±0.69	77.9±3.9	0.23±0.01	
		2015.04	1.49×10 ⁻²	0.209±0.007	6.52±0.04	<0.015	/	/	/	1.99±0.35	3.95±0.70	78.9±5.1	0.17±0.01	
		2015.10	1.04×10 ⁻²	0.44±0.01	0.11±0.01	<0.014	/	/	/	1.31±0.35	2.96±0.69	74.2±4.8	0.16±0.01	
	宁津街道大岔 河村村口	2014.04	1.44×10 ⁻²	0.031±0.007	0.13±0.01	<0.024	/	/	/	1.06±0.23	1.97±0.69	69.2±5.0	0.17±0.01	
		2014.10	1.29×10 ⁻²	0.028±0.005	0.93±0.01	<0.017	/	/	/	0.80±0.34	1.86±0.69	86.5±4.4	0.22±0.01	
		2015.04	1.67×10 ⁻²	0.023±0.005	8.97±0.05	<0.018	/	/	/	1.70±0.36	3.29±0.69	78.0±5.1	0.17±0.01	
		2015.10	1.46×10 ⁻²	0.025±0.006	0.40±0.01	<0.018	/	/	/	1.40±0.33	3.40±0.46	84.1±5.0	0.18±0.01	
		范围			0.023~0.44	0.11~6.52	/	/	/	/	0.65~1.99	1.54~3.95	69.2~94.0	0.16~0.23

注：松针中 OBT、C-14 的测量结果单位为(Bq/kg 干重)。

表 3.1-26 陆域水生生物样品测量结果

样品名称	采样时间	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	⁹⁰ Sr	TFWT		OBT		¹⁴ C		灰鲜比
		Bq/kg 干				Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/gC	
鲤鱼	2014.04	<0.013	<0.013	0.053±0.002	0.67±0.09	0.92±0.14	0.37±0.11	1.64±0.69	21.6±1.5	0.18±0.01	1.08×10 ⁻²
鲤鱼	2015.04	<0.019	<0.017	0.070±0.002	0.81±0.11	1.03±0.14	0.45±0.08	3.84±0.70	14.1±0.9	0.17±0.01	1.48×10 ⁻²
鲢鱼	2014.04	0.015±0.004	<0.013	0.086±0.003	0.76±0.11	0.92±0.14	0.40±0.09	2.41±0.70	15.8±1.2	0.16±0.01	1.01×10 ⁻²
鲢鱼	2015.04	<0.013	<0.013	0.093±0.003	0.73±0.10	1.03±0.14	0.23±0.06	2.52±0.68	16.3±1.0	0.18±0.01	1.23×10 ⁻²
范围值		<0.013~0.015	/	0.053~0.093	0.67~0.81	0.92~1.03	0.23~0.45	1.64~3.84	14.1~21.6	0.16~0.18	/
均值		0.009±0.004	/	0.076±0.018	0.74±0.06	0.98±0.06	0.36±0.09	2.60±0.91	17.0±3.2	0.17±0.01	/

采样地点：东山街八河水库。

表 3.1-27 (1/2) 海水样品测量结果

采样时间	采样点	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn	^{110m} Ag	⁹⁰ Sr	³ H	¹⁴ C	
		mBq/L							Bq/L	mBq/L	Bq/gC
2014.04	取水口-1	1.83±0.31	<0.92	<0.84	<1.1	<0.97	<1.3	2.30±0.08	0.51±0.08	3.98±0.26	0.16±0.01
2014.10		1.71±0.34	<0.92	<0.88	<1.0	<1.0	<1.3	1.69±0.08	0.37±0.08	4.89±0.28	0.19±0.01
2015.04		1.37±0.29	<0.93	<0.86	<0.95	<0.97	<1.4	2.43±0.14	0.60±0.08	6.18±0.29	0.24±0.01
2015.10		1.68±0.29	<0.78	<0.92	<1.0	<0.94	<1.4	1.84±0.11	0.54±0.08	4.53±0.24	0.20±0.01
2014.04	取水口-2	2.00±0.30	<0.88	<0.87	<1.0	<0.95	<1.4	2.28±0.09	0.43±0.08	3.47±0.25	0.15±0.01
2014.10		2.22±0.31	<1.0	<1.0	<1.2	<1.1	<1.5	1.72±0.14	0.24±0.08	5.28±0.28	0.20±0.01
2015.04		1.18±0.32	<0.93	<0.86	<0.98	<0.92	<1.3	2.80±0.12	0.44±0.08	5.26±0.29	0.20±0.01
2015.10		1.84±0.32	<0.87	<0.94	<1.0	<1.0	<1.4	2.07±0.11	0.52±0.08	5.55±0.27	0.23±0.01
2014.04	排水口-1	2.15±0.31	<0.87	<0.90	<1.2	<0.98	<1.3	2.24±0.08	0.45±0.08	3.68±0.24	0.16±0.01
2014.10		1.41±0.29	<1.1	<1.0	<1.2	<1.1	<1.5	2.08±0.10	0.27±0.08	5.32±0.29	0.20±0.01
2015.04		1.61±0.31	<0.87	<0.83	<0.97	<0.90	<1.4	1.70±0.11	0.45±0.08	6.47±0.30	0.24±0.01
2015.10		1.59±0.27	<0.88	<0.84	<0.96	<0.96	<1.3	1.78±0.12	0.41±0.08	5.35±0.29	0.20±0.01
2014.04	排水口-2	1.86±0.27	<0.91	<0.83	<1.1	<0.94	<1.4	1.86±0.11	0.30±0.08	4.14±0.26	0.18±0.01
2014.10		1.87±0.31	<0.87	<0.83	<1.1	<0.93	<1.3	2.05±0.09	0.30±0.08	5.06±0.27	0.17±0.01
2015.04		1.27±0.32	<0.92	<0.91	<1.0	<0.97	<1.4	2.03±0.13	0.57±0.08	5.76±0.29	0.21±0.01
2015.10		1.55±0.23	<0.88	<0.83	<0.99	<0.91	<1.3	1.55±0.13	0.55±0.08	6.20±0.29	0.23±0.01
2014.04	海水3#点	1.63±0.32	<0.93	<0.92	<1.1	<0.98	<1.4	2.62±0.08	0.40±0.08	3.66±0.25	0.16±0.01
2014.10		2.51±0.31	<0.88	<0.82	<1.1	<0.94	<1.3	1.99±0.06	0.29±0.08	4.41±0.25	0.19±0.01
2015.04		1.42±0.33	<0.89	<0.88	<1.1	<0.97	<1.4	2.09±0.13	0.44±0.08	5.85±0.28	0.23±0.01
2015.10		1.88±0.31	<1.0	<1.0	<1.2	<1.1	<1.5	2.33±0.16	0.30±0.08	5.45±0.27	0.22±0.01
2014.04	海水4#点	1.73±0.28	<0.90	<0.82	<1.1	<0.98	<1.5	1.98±0.07	0.62±0.08	3.87±0.26	0.16±0.01
2014.10		1.52±0.32	<0.85	<0.86	<1.0	<0.88	<1.3	2.56±0.09	0.37±0.08	4.75±0.27	0.19±0.01
2015.04		1.23±0.27	<0.90	<0.81	<0.96	<0.96	<1.4	2.62±0.13	0.48±0.08	5.95±0.30	0.22±0.01
2015.10		1.81±0.32	<0.87	<0.89	<0.99	<0.92	<1.3	2.35±0.17	0.28±0.08	5.24±0.26	0.22±0.01
2014.04	海水5#点	2.06±0.26	<0.87	<0.87	<1.1	<0.96	<1.3	2.42±0.10	0.73±0.08	4.17±0.25	0.18±0.01
2014.10		1.71±0.32	<0.88	<0.84	<0.99	<0.92	<1.3	2.25±0.10	0.38±0.08	4.88±0.25	0.22±0.01
2015.04		1.72±0.31	<0.85	<0.83	<0.90	<0.90	<1.3	1.77±0.11	0.24±0.08	6.08±0.30	0.23±0.01
2015.10		1.64±0.29	<0.85	<0.80	<0.95	<0.86	<1.3	1.76±0.08	0.20±0.08	5.97±0.28	0.24±0.01
2014.04	海水6#点	1.32±0.27	<0.95	<0.90	<1.1	<0.99	<1.4	1.86±0.11	0.67±0.08	4.59±0.26	0.20±0.01
2014.10		2.86±0.32	<0.91	<0.87	<1.1	<0.97	<1.4	1.53±0.07	0.33±0.08	5.03±0.27	0.20±0.01
2015.04		1.77±0.32	<0.89	<0.87	<0.95	<0.93	<1.4	1.18±0.10	0.26±0.08	6.36±0.29	0.24±0.01
2015.10		1.79±0.33	<0.90	<0.85	<0.99	<0.95	<1.3	1.74±0.14	0.19±0.08	5.99±0.27	0.24±0.01

表 3.1-27 (2/2) 海水样品测量结果

采样时间	采样点	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn	^{110m} Ag	⁹⁰ Sr	³ H	¹⁴ C	
		mBq/L							Bq/L	mBq/L	Bq/gC
2014.04	海水 7#点	1.51±0.27	<0.90	<0.87	<1.1	<0.96	<1.4	2.32±0.08	0.72±0.08	4.17±0.23	0.20±0.01
2014.10		1.91±0.35	<0.91	<0.88	<1.1	<0.97	<1.4	2.39±0.08	0.19±0.07	3.88±0.21	0.20±0.01
2015.04		1.57±0.28	<0.85	<0.82	<0.91	<0.91	<1.2	1.89±0.08	0.24±0.08	5.32±0.29	0.20±0.01
2015.10		1.21±0.26	<0.87	<0.85	<0.94	<0.87	<1.3	2.72±0.09	0.40±0.08	5.88±0.28	0.23±0.01
2014.04	海水 8#点	2.12±0.38	<0.92	<0.87	<1.1	<0.91	<1.4	1.66±0.08	0.85±0.08	4.36±0.26	0.18±0.01
2014.10		2.28±0.30	<0.89	<0.84	<1.0	<0.91	<1.4	1.13±0.06	0.19±0.07	5.16±0.28	0.20±0.01
2015.04		1.18±0.29	<0.78	<0.88	<1.0	<0.94	<1.3	1.56±0.09	0.41±0.08	5.55±0.26	0.24±0.01
2015.10		1.66±0.34	<0.94	<0.85	<0.96	<0.98	<1.3	1.10±0.05	0.46±0.08	5.47±0.24	0.25±0.01
2014.04	海水 9#点	2.04±0.39	<0.97	<0.91	<1.1	<1.0	<1.5	2.30±0.08	1.05±0.09	4.17±0.26	0.18±0.01
2014.10		1.68±0.33	<0.93	<0.89	<1.1	<0.93	<1.4	1.58±0.07	0.37±0.08	5.01±0.26	0.21±0.01
2015.04		1.34±0.28	<0.70	<0.87	<1.0	<0.90	<1.3	2.10±0.08	0.23±0.08	5.19±0.24	0.24±0.01
2015.10		1.65±0.31	<0.86	<0.84	<0.97	<0.90	<1.3	1.84±0.07	0.42±0.08	4.89±0.27	0.20±0.01
2014.04	海水 10#点	1.27±0.34	<0.92	<0.89	<1.1	<0.99	<1.4	1.96±0.07	1.05±0.09	4.36±0.27	0.18±0.01
2014.10		2.01±0.32	<0.90	<0.86	<1.1	<0.92	<1.2	1.52±0.07	0.32±0.08	5.42±0.27	0.22±0.01
2015.04		1.41±0.26	<0.76	<0.86	<1.0	<0.93	<1.4	1.73±0.10	0.35±0.08	5.94±0.29	0.23±0.01
2015.10		1.56±0.35	<0.93	<0.90	<1.1	<1.0	<1.6	1.92±0.07	0.42±0.08	5.51±0.27	0.22±0.01
2014.04	海水 11#点	1.38±0.23	<0.90	<0.82	<1.1	<0.92	<1.3	2.44±0.09	0.99±0.08	4.01±0.26	0.17±0.01
2014.10		1.78±0.29	<0.87	<0.93	<1.1	<0.93	<1.4	1.46±0.07	0.33±0.08	4.55±0.27	0.18±0.01
2015.04		1.38±0.30	<0.75	<0.84	<0.94	<0.93	<1.3	2.03±0.10	0.38±0.08	5.63±0.25	0.25±0.01
2015.10		1.53±0.32	<0.83	<0.89	<0.94	<0.90	<1.4	2.32±0.08	0.25±0.08	5.06±0.25	0.22±0.01
2014.04	海水 12#点	1.76±0.36	<0.86	<0.86	<1.1	<0.87	<1.4	1.80±0.09	0.85±0.08	4.92±0.26	0.21±0.01
2014.10		1.83±0.31	<0.83	<0.77	<1.1	<0.90	<1.3	1.95±0.07	0.26±0.08	5.31±0.28	0.20±0.01
2015.04		1.46±0.31	<0.78	<0.86	<1.1	<0.93	<1.4	1.32±0.08	0.35±0.08	5.25±0.28	0.21±0.01
2015.10		1.24±0.31	<1.1	<1.0	<1.2	<1.1	<1.6	2.39±0.08	0.27±0.08	5.50±0.25	0.24±0.01
2014.04	海水 13#点	1.84±0.33	<0.91	<0.88	<1.0	<0.93	<1.4	1.80±0.10	0.61±0.08	3.85±0.23	0.18±0.01
2014.10		1.44±0.30	<0.85	<0.81	<1.0	<0.87	<1.3	1.84±0.07	0.22±0.08	4.86±0.27	0.20±0.01
2015.04		1.21±0.29	<0.74	<0.82	<1.1	<0.91	<1.3	2.39±0.10	0.37±0.08	5.97±0.30	0.22±0.01
2015.10		1.37±0.35	<0.98	<0.92	<1.1	<1.0	<1.5	1.59±0.06	0.47±0.08	5.37±0.24	0.25±0.01
范围值		1.18~2.86	1.10~2.80	/	/	/	/	/	0.19~1.05	3.47~6.47	0.15~0.25
均值		1.67±0.34	1.98±0.39	/	/	/	/	/	0.44±0.21	5.07±0.76	0.21±0.03

表 3.1-28 海洋沉积物样品测量结果

单位：Bq/kg

采样时间	采样点	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁵⁴ Mn	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	¹³⁴ Cs
2014.04	取水口 1	23.9±1.2	18.6±0.4	26.3±0.9	666±7	0.56±0.16	1.06±0.11	<0.73	<0.68	<0.93	<0.91	<0.62
2015.10		13.1±0.9	11.1±0.4	18.1±0.9	451±6	1.02±0.24	1.06±0.07	<0.70	<0.67	<0.88	<0.93	<0.60
2014.04	排水口 1	15.5±1.8	15.6±0.4	26.4±0.7	597±5	0.56±0.14	1.44±0.09	<0.33	<0.32	<0.50	<0.44	<0.32
2015.10		22.8±1.3	21.6±0.6	35.0±1.2	719±8	1.18±0.20	0.93±0.11	<0.90	<0.83	<1.1	<1.1	<0.77
2014.04	取水口 2	25.9±1.2	18.9±0.4	27.6±0.9	672±7	0.63±0.16	1.32±0.10	<0.73	<0.70	<0.93	<0.93	<0.63
2015.10		11.1±0.8	12.0±0.4	20.3±0.8	447±5	<0.67	0.94±0.11	<0.62	<0.58	<0.76	<0.81	<0.54
2014.04	排水口 2	18.4±1.9	16.4±0.4	26.9±0.7	604±5	0.67±0.14	1.48±0.10	<0.34	<0.32	<0.50	<0.44	<0.33
2015.10		27.6±1.4	23.6±0.6	35.5±1.2	700±8	1.51±0.20	1.06±0.10	<0.93	<0.82	<1.1	<1.1	<0.76
2014.04	3#点	23.0±1.2	19.3±0.5	32.0±0.9	691±7	1.00±0.17	1.59±0.11	<0.73	<0.70	<0.94	<0.94	<0.66
2015.10		19.2±1.4	22.6±0.6	34.7±1.1	679±7	1.57±0.23	1.89±0.08	<0.81	<0.72	<0.97	<1.0	<0.69
2014.04	4#点	11.1±1.9	10.6±0.3	18.6±0.6	523±4	<0.34	1.78±0.08	<0.28	<0.28	<0.44	<0.38	<0.28
2015.10		16.8±1.1	18.3±0.5	29.8±1.0	600±6	0.78±0.17	2.07±0.08	<0.70	<0.62	<0.82	<0.87	<0.61
2014.04	5#点*	25.0±1.3	22.0±0.5	37.1±1.0	707±8	0.74±0.23	2.83±0.13	<0.81	<0.75	<1.0	<1.0	<0.61
2015.10		19.2±1.3	19.5±0.5	26.4±1.0	604±7	0.69±0.18	2.67±0.10	<0.79	<0.73	<0.96	<0.97	<0.69
2014.04	6#点	27.5±2.4	18.6±0.4	27.1±0.7	654±5	0.87±0.14	1.77±0.08	<0.35	<0.35	<0.53	<0.45	<0.33
2015.10		31.6±1.9	24.3±0.7	33.4±1.2	735±8	1.75±0.20	1.45±0.09	<0.97	<0.90	<1.2	<1.2	<0.83
2014.04	7#点	15.9±0.8	13.8±0.4	22.4±0.8	660±7	0.57±0.12	2.50±0.12	<0.70	<0.64	<0.88	<0.92	<0.60
2015.10		28.2±1.9	22.2±0.6	32.7±1.1	708±7	1.68±0.27	2.67±0.10	<0.80	<0.74	<0.97	<1.0	<0.69
2014.04	8#点	17.8±0.9	17.1±0.4	26.6±0.8	674±7	0.74±0.13	0.97±0.11	<0.84	<0.69	<0.97	<0.94	<0.63
2015.10		12.1±0.9	16.7±0.4	23.9±0.9	665±7	0.58±0.16	0.88±0.10	<0.66	<0.62	<0.84	<0.85	<0.58
2014.04	9#点	17.1±2.0	16.2±0.3	26.6±0.7	719±5	0.36±0.11	1.81±0.10	<0.32	<0.30	<0.50	<0.41	<0.30
2015.10		13.5±0.9	10.4±0.4	15.7±0.7	772±7	<0.63	1.29±0.09	<0.63	<0.61	<0.83	<0.81	<0.53
2014.04	10#点	28.3±1.0	18.5±0.4	30.9±0.7	649±5	0.84±0.40	1.32±0.07	<0.59	<0.54	<0.70	<0.74	<0.45
2015.10		16.5±1.0	14.1±0.4	22.0±0.9	665±7	0.84±0.20	1.01±0.13	<0.67	<0.61	<0.84	<0.84	<0.58
2014.04	11#点	32.6±2.7	22.2±0.4	35.6±0.8	670±6	1.24±0.15	1.28±0.08	<0.41	<0.39	<0.58	<0.51	<0.39
2015.10		22.6±1.3	22.4±0.6	30.6±1.1	639±7	1.05±0.21	0.85±0.08	<0.84	<0.77	<1.03	<1.1	<0.73
2014.04	12#点	18.5±0.5	17.7±0.4	30.0±0.7	749±5	0.45±0.10	0.95±0.11	<0.35	<0.32	<0.53	<0.44	<0.32
2015.10		17.2±1.0	16.7±0.5	26.4±0.9	536±6	<0.61	1.04±0.10	<0.71	<0.66	<0.85	<0.88	<0.60
2014.04	13#点	22.0±2.1	17.4±0.4	28.5±0.7	747±5	0.70±0.11	2.21±0.10	<0.35	<0.33	<0.52	<0.46	<0.33
2015.10		20.7±1.4	20.7±0.6	29.0±1.0	642±7	0.78±0.20	1.76±0.08	<0.85	<0.78	<0.98	<1.0	<0.72
范围值		11.1~32.6	10.4~24.3	15.7~37.1	447~772	<LLD~1.75	0.85~2.83	/	/	/	/	/
均值		20.5±6.0	18.0±3.9	27.9±5.5	651±80	0.82±0.41	1.53±0.59	/	/	/	/	/

注：*在 5#点同步分析了 ²³⁹²⁴⁰Pu，结果分别为 0.072±0.008Bq/kg 和 0.081±0.008Bq/kg。

表 3.1-29 (1/3) 海洋生物样品测量结果

样品名称	采样点位	采样时间	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	TFWT		OBT		¹⁴ C		¹³⁴ Cs	^{110m} Ag	灰鲜比
			Bq/kg 干		Bq/kg 鲜	Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/gC	Bq/kg 鲜		
马鲛鱼	弘运码头	2014.04	0.089±0.008	0.15±0.01	0.81±0.09	0.88±0.14	0.34±0.13	1.75±0.67	20.9±1.6	0.16±0.01	<0.023	<0.035	1.97×10 ⁻²
		2014.04	0.076±0.007	0.12±0.01	0.90±0.10	0.79±0.14	0.38±0.12	2.19±0.68	24.2±1.7	0.18±0.01	<0.020	<0.033	1.75×10 ⁻²
		2014.10	0.072±0.006	0.12±0.01	0.42±0.09	0.61±0.14	0.47±0.11	2.19±0.69	25.1±1.5	0.18±0.01	<0.017	<0.026	1.54×10 ⁻²
		2014.10	0.063±0.006	0.14±0.01	0.43±0.10	0.61±0.14	0.48±0.11	2.74±0.70	31.0±1.5	0.23±0.01	<0.017	<0.026	1.52×10 ⁻²
		2015.04	0.063±0.005	0.63±0.01	0.36±0.09	0.55±0.14	0.52±0.13	2.74±0.69	31.4±1.8	0.20±0.01	<0.015	<0.023	1.42×10 ⁻²
		2015.04	0.069±0.005	0.37±0.01	0.32±0.09	0.50±0.14	0.74±0.16	3.29±0.69	29.1±1.7	0.20±0.01	<0.016	<0.024	1.48×10 ⁻²
		2015.10	0.11±0.01	0.058±0.006	0.40±0.09	0.60±0.14	0.35±0.10	2.30±0.64	21.5±1.3	0.17±0.01	<0.022	<0.039	2.26×10 ⁻²
	2015.10	0.12±0.01	0.061±0.004	0.35±0.09	0.52±0.14	0.35±0.10	2.19±0.64	24.6±1.4	0.19±0.01	<0.024	<0.039	2.26×10 ⁻²	
	东楮岛渔港	2014.04	0.081±0.009	0.12±0.01	0.80±0.10	0.77±0.14	0.34±0.12	1.97±0.68	25.0±1.6	0.19±0.01	<0.021	<0.033	1.85×10 ⁻²
		2014.10	0.098±0.009	0.64±0.01	0.20±0.08	0.35±0.13	0.63±0.14	2.52±0.70	38.8±2.0	0.22±0.01	<0.021	<0.033	1.87×10 ⁻²
2015.04		0.067±0.005	0.17±0.01	0.21±0.09	0.33±0.13	0.61±0.14	2.96±0.69	24.9±1.7	0.16±0.01	<0.019	<0.028	1.69×10 ⁻²	
2015.10		0.12±0.01	0.10±0.01	0.56±0.10	0.83±0.14	0.52±0.11	3.07±0.65	27.2±1.6	0.19±0.01	<0.021	<0.032	2.08×10 ⁻²	
梭鱼	弘运码头	2014.04	0.15±0.01	0.020±0.002	0.53±0.10	0.66±0.14	0.26±0.10	1.64±0.69	19.0±1.3	0.18±0.01	0.044±0.006	<0.028	1.33×10 ⁻²
		2014.10	0.045±0.006	0.18±0.01	0.40±0.10	0.55±0.14	0.58±0.11	2.41±0.70	26.1±1.4	0.21±0.01	<0.017	<0.025	1.84×10 ⁻²
		2015.04	0.030±0.006	0.076±0.003	0.53±0.11	0.64±0.14	0.42±0.08	3.62±0.70	14.7±1.2	0.17±0.01	<0.016	<0.024	1.32×10 ⁻²
		2015.10	0.036±0.004	0.039±0.004	0.29±0.10	0.60±0.14	0.41±0.10	2.52±0.65	25.5±1.3	0.21±0.01	<0.012	<0.019	1.18×10 ⁻²

注:Cs-137、Sr-90 测量结果海带为干重结果 (Bq/kg(干重)), 对应为灰干比。求 Cs-137、Sr-90 及灰鲜比范围值和均值时未包括海带结果。

表 3.1-29 (2/3) 海洋生物样品测量结果

样品名称	采样点位	采样时间	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	TFWT		OBT		¹⁴ C		¹³⁴ Cs	^{110m} Ag	灰鲜比	
			Bq/kg 鲜		Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/gC	Bq/kg 鲜				
紫贻贝	弘运码头	2014.04	0.042±0.011	0.93±0.02	0.30±0.09	0.33±0.14	0.18±0.09	1.54±0.68	20.6±1.4	0.18±0.01	<0.046	<0.063	4.27×10 ⁻²	
		2014.04	0.05±0.01	0.77±0.01	0.35±0.10	0.39±0.14	0.24±0.10	1.64±0.69	17.5±1.3	0.16±0.01	<0.042	<0.056	3.96×10 ⁻²	
		2014.10	<0.032	0.99±0.01	0.18±0.09	0.26±0.13	0.16±0.05	1.64±0.69	13.3±0.8	0.19±0.01	<0.031	<0.040	2.76×10 ⁻²	
		2014.10	<0.036	1.12±0.02	0.25±0.10	0.35±0.13	0.24±0.06	1.97±0.69	15.8±0.8	0.22±0.01	<0.033	<0.045	3.00×10 ⁻²	
		2015.04	0.035±0.010	0.33±0.01	0.65±0.10	0.94±0.14	0.12±0.04	1.86±0.67	8.12±0.56	0.16±0.01	<0.033	<0.046	3.75×10 ⁻²	
		2015.04	<0.040	0.42±0.01	0.75±0.13	0.83±0.14	0.14±0.04	2.08±0.68	7.88±0.53	0.17±0.01	<0.037	<0.049	3.89×10 ⁻²	
		2015.10	0.051±0.012	0.19±0.02	0.46±0.11	0.58±0.14	0.13±0.04	2.41±0.66	6.02±0.43	0.15±0.01	<0.029	<0.044	3.02×10 ⁻²	
		2015.10	0.027±0.006	0.25±0.02	0.33±0.11	0.42±0.13	0.11±0.04	1.97±0.66	6.83±0.47	0.16±0.01	<0.028	<0.040	3.05×10 ⁻²	
牡蛎		2014.04	0.017±0.004	0.29±0.01	0.17±0.03	0.75±0.14	0.22±0.07	1.64±0.69	12.1±0.8	0.18±0.01	<0.014	<0.022	1.31×10 ⁻²	
		2014.10	<0.014	0.42±0.01	0.37±0.10	0.50±0.14	0.12±0.06	1.54±0.68	15.6±0.8	0.23±0.01	<0.013	<0.019	1.40×10 ⁻²	
		2015.04	<0.013	0.20±0.01	0.81±0.12	0.94±0.14	0.23±0.06	2.63±0.68	14.2±0.8	0.20±0.01	<0.012	<0.016	1.46×10 ⁻²	
		2015.10	<0.015	0.21±0.01	0.26±0.09	0.40±0.13	0.27±0.07	2.74±0.69	13.1±0.9	0.15±0.01	<0.015	<0.023	1.61×10 ⁻²	
白对虾	弘运码头	2014.05	0.037±0.007	0.091±0.003	0.65±0.11	0.75±0.14	0.53±0.08	1.64±0.69	12.2±1.0	0.16±0.01	<0.022	<0.032	1.84×10 ⁻²	
		2014.05	0.032±0.006	0.12±0.01	0.83±0.11	0.99±0.15	0.38±0.08	1.97±0.69	12.0±1.0	0.14±0.01	<0.021	<0.031	1.77×10 ⁻²	
		2014.10	<0.019	0.066±0.003	0.29±0.10	0.39±0.14	0.20±0.10	1.64±0.69	15.5±1.0	0.17±0.01	<0.018	<0.029	1.60×10 ⁻²	
		2014.10	<0.020	0.076±0.003	0.29±0.10	0.39±0.14	0.20±0.09	1.64±0.69	17.1±1.0	0.19±0.01	<0.019	<0.030	1.71×10 ⁻²	
		2015.04	0.033±0.009	0.13±0.01	0.57±0.11	0.75±0.14	0.24±0.09	1.75±0.67	21.8±1.1	0.21±0.01	<0.021	<0.033	1.94×10 ⁻²	
		2015.04	0.024±0.007	0.15±0.01	0.42±0.10	0.55±0.14	0.35±0.10	2.52±0.68	19.9±1.1	0.20±0.01	<0.022	<0.034	1.99×10 ⁻²	
		2015.10	<0.015	0.071±0.005	0.65±0.10	0.88±0.14	0.24±0.08	1.97±0.66	14.9±1.1	0.14±0.01	<0.016	<0.024	1.38×10 ⁻²	
		2015.10	<0.016	0.051±0.005	0.59±0.10	0.79±0.14	0.28±0.09	2.19±0.66	17.9±1.1	0.17±0.01	<0.015	<0.024	1.34×10 ⁻²	
		止马滩村	2014.05	0.031±0.008	0.30±0.01	0.78±0.11	0.92±0.14	0.25±0.09	1.54±0.68	12.3±1.0	0.14±0.01	<0.020	<0.030	1.74×10 ⁻²
	2014.10		<0.018	0.24±0.01	0.36±0.10	0.50±0.14	0.18±0.10	1.54±0.68	20.9±1.2	0.20±0.01	<0.017	<0.027	1.65×10 ⁻²	
2015.04	<0.019		0.15±0.01	0.36±0.08	0.59±0.14	0.35±0.11	2.08±0.68	25.8±1.4	0.21±0.01	<0.020	<0.033	1.85×10 ⁻²		
		2015.10	<0.013	0.062±0.006	0.70±0.11	0.94±0.15	0.25±0.08	2.08±0.66	14.7±0.9	0.18±0.01	<0.014	<0.023	1.28×10 ⁻²	

表 3.1-29 (3/3) 海洋生物样品测量结果

样品名称	采样点位	采样时间	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	TFWT		OBT		¹⁴ C		¹³⁴ Cs	^{110m} Ag	灰鲜比
			Bq/kg 鲜		Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/L	Bq/kg 鲜	Bq/gC	Bq/kg 鲜			
螃蟹	弘运码头	2014.05	0.021±0.007	0.40±0.01	0.64±0.11	0.72±0.14	0.20±0.07	1.97±0.69	12.0±1.0	0.15±0.01	<0.021	<0.031	2.07×10 ⁻²
		2014.10	<0.031	0.15±0.01	0.29±0.10	0.37±0.13	0.67±0.06	1.97±0.69	15.8±0.8	0.22±0.01	<0.030	<0.045	2.63×10 ⁻²
		2015.04	0.032±0.010	0.37±0.01	0.30±0.10	0.39±0.14	0.31±0.09	2.41±0.68	16.0±0.8	0.23±0.01	<0.033	<0.048	3.55×10 ⁻²
		2015.10	<0.027	0.092±0.013	0.60±0.10	0.83±0.14	0.22±0.06	2.30±0.66	12.8±0.8	0.17±0.01	<0.027	<0.037	2.47×10 ⁻²
	东楮岛渔港	2014.05	0.024±0.007	0.045±0.004	0.45±0.11	0.48±0.14	0.13±0.07	1.54±0.68	13.4±1.0	0.16±0.01	<0.022	<0.032	2.18×10 ⁻²
		2014.10	<0.030	0.18±0.01	0.35±0.09	0.50±0.14	0.18±0.06	1.64±0.69	16.2±0.9	0.21±0.01	<0.028	<0.041	2.69×10 ⁻²
		2015.04	0.032±0.007	0.35±0.01	0.39±0.10	0.55±0.14	0.42±0.09	3.18±0.69	17.7±0.9	0.21±0.01	<0.035	<0.049	3.84×10 ⁻²
		2015.10	<0.029	0.38±0.01	0.56±0.10	0.77±0.14	0.20±0.05	2.41±0.65	12.5±0.8	0.16±0.01	<0.027	<0.039	2.50×10 ⁻²
花蛤	林家流村	2014.04	0.027±0.006	0.31±0.01	0.44±0.09	0.55±0.14	0.28±0.08	1.97±0.69	12.8±1.0	0.16±0.01	<0.022	<0.030	2.28×10 ⁻²
		2014.10	0.046±0.011	1.07±0.02	0.41±0.11	0.44±0.14	0.43±0.05	2.19±0.69	19.2±1.0	0.22±0.01	<0.032	<0.043	3.33×10 ⁻²
		2015.04	0.033±0.011	0.61±0.01	0.59±0.11	0.77±0.14	0.22±0.06	2.52±0.68	14.5±0.8	0.20±0.01	<0.030	<0.041	3.06×10 ⁻²
		2015.10	0.0083±0.0023	0.15±0.01	0.74±0.12	0.69±0.14	0.15±0.04	2.08±0.63	8.93±0.56	0.17±0.01	<0.0074	<0.010	8.20×10 ⁻³
海参	岛西庄村	2014.04	<0.010	0.10±0.01	0.15±0.10	0.20±0.13	0.28±0.07	2.19±0.69	14.5±0.9	0.18±0.01	<0.012	<0.016	1.25×10 ⁻²
		2015.04	<0.013	0.26±0.01	0.38±0.12	0.44±0.14	0.12±0.03	2.63±0.68	5.94±0.31	0.21±0.01	<0.012	<0.016	1.29×10 ⁻²
海带	东楮岛村	2014.04	<0.28	2.93±0.04	1.12±0.12	1.32±0.15	0.07±0.03	3.29±0.71	5.49±0.35	0.17±0.01	<0.26	<0.39	1.70×10 ⁻¹
		2014.04	<0.30	2.84±0.04	1.06±0.12	1.25±0.15	0.07±0.03	2.74±0.70	5.09±0.31	0.18±0.01	<0.27	<0.40	1.74×10 ⁻¹
		2015.04	<0.28	2.03±0.04	1.05±0.13	1.16±0.15	0.09±0.02	2.96±0.69	3.12±0.21	0.16±0.01	<0.27	<0.39	1.64×10 ⁻¹
		2015.04	<0.27	1.76±0.04	1.07±0.13	1.21±0.15	0.10±0.02	3.51±0.71	3.54±0.20	0.21±0.01	<0.25	<0.37	1.54×10 ⁻¹
	宁津养殖二场	2014.04	<0.31	1.58±0.04	1.15±0.12	1.02±0.12	0.08±0.03	3.51±0.71	7.28±0.33	0.24±0.01	<0.28	<0.42	1.78×10 ⁻¹
		2015.04	<0.29	2.50±0.04	1.16±0.13	1.32±0.15	0.09±0.02	3.40±0.71	3.74±0.19	0.19±0.01	<0.27	<0.40	1.68×10 ⁻¹

注:Cs-137、Sr-90 测量结果海带为干重结果 (Bq/kg(干重)), 对应为灰干比。求 Cs-137、Sr-90 及灰鲜比范围值和均值时未包括海带结果。

表 3.1-30 厂址附近（附近 5km 左右）放射源、射线装置使用情况（2021 年 1 月）

使用单位	所在地	射线装置/放射源名称	类别	用途	状况	相对厂址位置	
						方位	距离(km)
华能山东石岛湾核电有限公司	核电厂区	U-235 放射源共 33 枚	IV类放射源	核测	在用	/	/
		放射源共 24 枚（如 22 枚 Cs-137、1 枚 Sr-90 和 1 枚 Am-241/Be）	V类放射源	校检	在用	/	/
中核 23 公司高温堆项目部	核电厂区	工业 X 射线探伤机 2 台	II类射线装置	工业探伤	在用	/	/
中核 23 公司国核示范项目	核电厂区	Ir-192 放射源 1 枚	II类放射源	工业探伤	在用	SW	1.9
		工业 X 射线探伤机	II类射线装置		在用	SW	1.9
荣成市石岛管理区宁津卫生院	荣成市宁津街道	医用 X 射线诊断机 2 台	III类射线装置	医疗诊断	在用	WNW	2.4
荣成市石岛管理区东山卫生院	荣成市东山街道	医用 X 射线诊断机 1 台	III类射线装置	医疗诊断	在用	W	8.1

表 3.1-31 本次调查剂量率与全国、山东省、烟台市剂量率水平对比

单位：nGy/h

对比内容	原野			道路		
	范围	平均值	标准偏差	范围	平均值	标准偏差
本次调查	79.0~84.8	82	28	99.0~104	102	16
烟台市	21.4~120.5	58.4	16.6	19.1~201.1	64.9	23.9
山东省	16.9~162.6	56.5	12.6	10.3~201.1	51.7	18.2
全国	2.4~340.8	62.8	31.2	3.0~399.1	61.8	21.5

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

对比内容		本次调查			烟台市			山东省			全国		
		范围	平均值	标准偏差	范围	平均值	标准偏差	范围	平均值	标准偏差	范围	平均值	标准偏差
土壤 (Bq/kg)	²³⁸ U	<9.9~76.8	31	16	17.2~61.6	28.4	9.3	15.7~90.1	33.6	8.2	1.8~520.0	39.5	34.4
	²²⁵ Ra	6.75~76.7	28	14	16.2~46.1	28.5	8.1	9.8~50.0	30.3	7.3	2.4~425.8	36.5	22.0
	²³² Th	10.2~173	48	33	20.8~70.4	39.2	14.8	20.7~202	45.2	11.5	1.0~437.8	49.1	27.6
	⁴⁰ K	509~1490	920	270	118.4~1870	805.8	243.7	391.7~1870	671.0	135.2	11.5~2185.2	580.0	202.0

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

(一) ^3H

环境介质	样品数量	点位数	范围 (Bq/L)	平均值 (Bq/L)	标准偏差 (Bq/L)	备注
大气	40	5	0.45~1.26	0.81	0.24	
降水	47	5	0.38~0.85	0.61	0.12	
地表水	20	4	0.30~1.15	0.70	0.24	
地下水	16	3	0.20~0.91	0.45	0.17	
饮用水	28	3	0.32~0.84	0.55	0.14	
海水	68	15	0.19~1.05	0.44	0.21	
陆地生物 TFWT	24	/	0.35~0.96	0.65	0.16	包括 5 类生物样
陆地生物 OBT	54	/	1.43~4.82	2.61	0.95	包括 9 类生物样
淡水鱼 TFWT	4	1	0.92~1.03	0.98	0.06	包括 2 种淡水鱼
淡水鱼 OBT	4	1	1.64~3.84	2.60	0.91	
海洋生物 TFWT	38	/	0.20~1.32	0.67	0.27	包括 9 类生物
海洋生物 OBT	38	/	1.54~3.62	2.28	0.58	

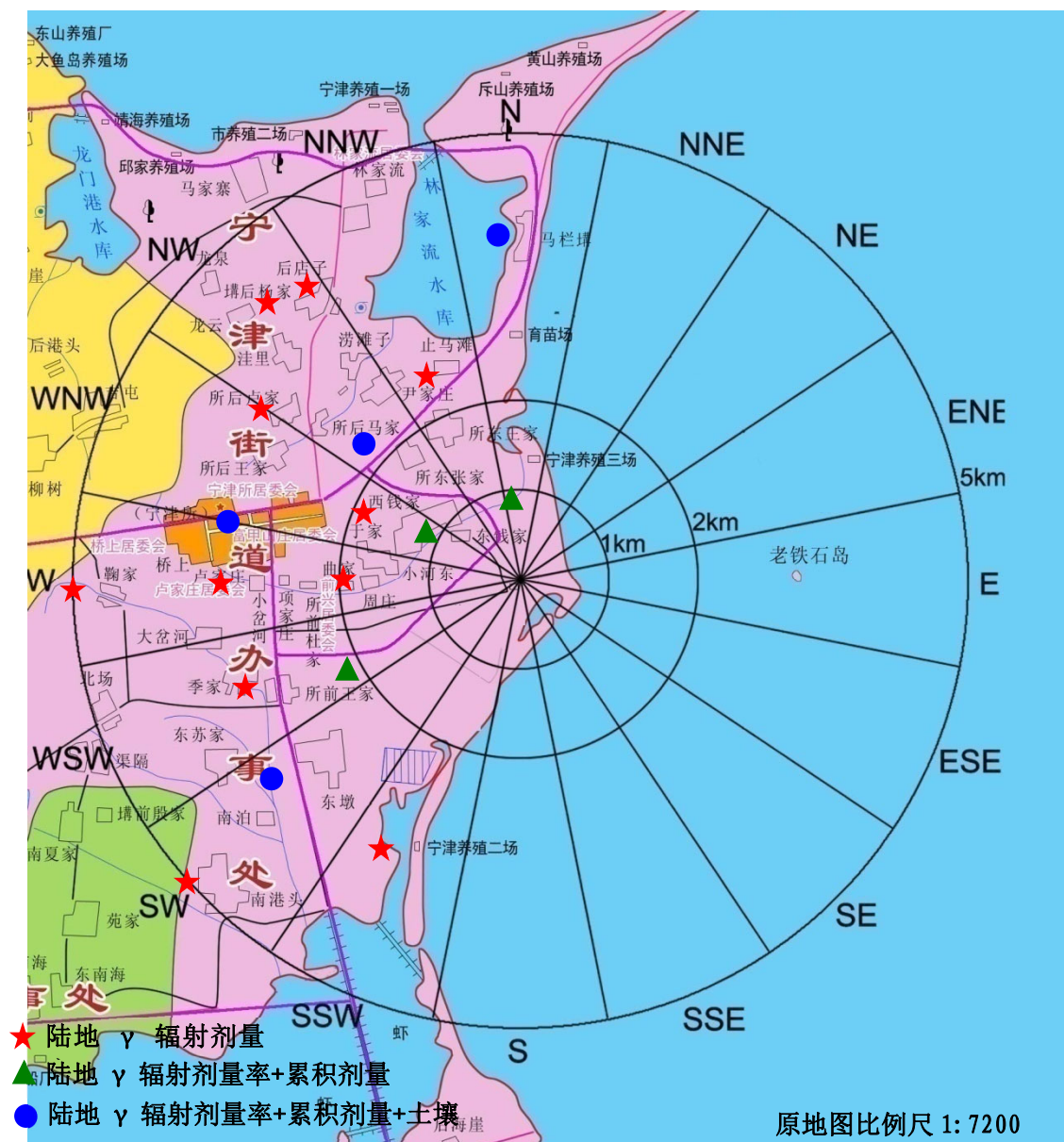
(二) ^{14}C

环境介质	样品数量	点位数	范围 (Bq/gC)	平均值 (Bq/gC)	标准偏差 (Bq/gC)	备注
大气	40	5	0.15~0.19	0.17	0.01	
地表水	20	4	0.15~0.25	0.20	0.02	
海水	68	15	0.15~0.25	0.21	0.03	
陆地生物 OBC	54	/	0.14~0.28	0.19	0.03	包括 9 类生物样
淡水鱼 OBC	4	1	0.16~0.18	0.17	0.01	包括两类淡水鱼
海洋生物 OBC	38	/	0.14~0.24	0.19	0.03	包括 9 类生物

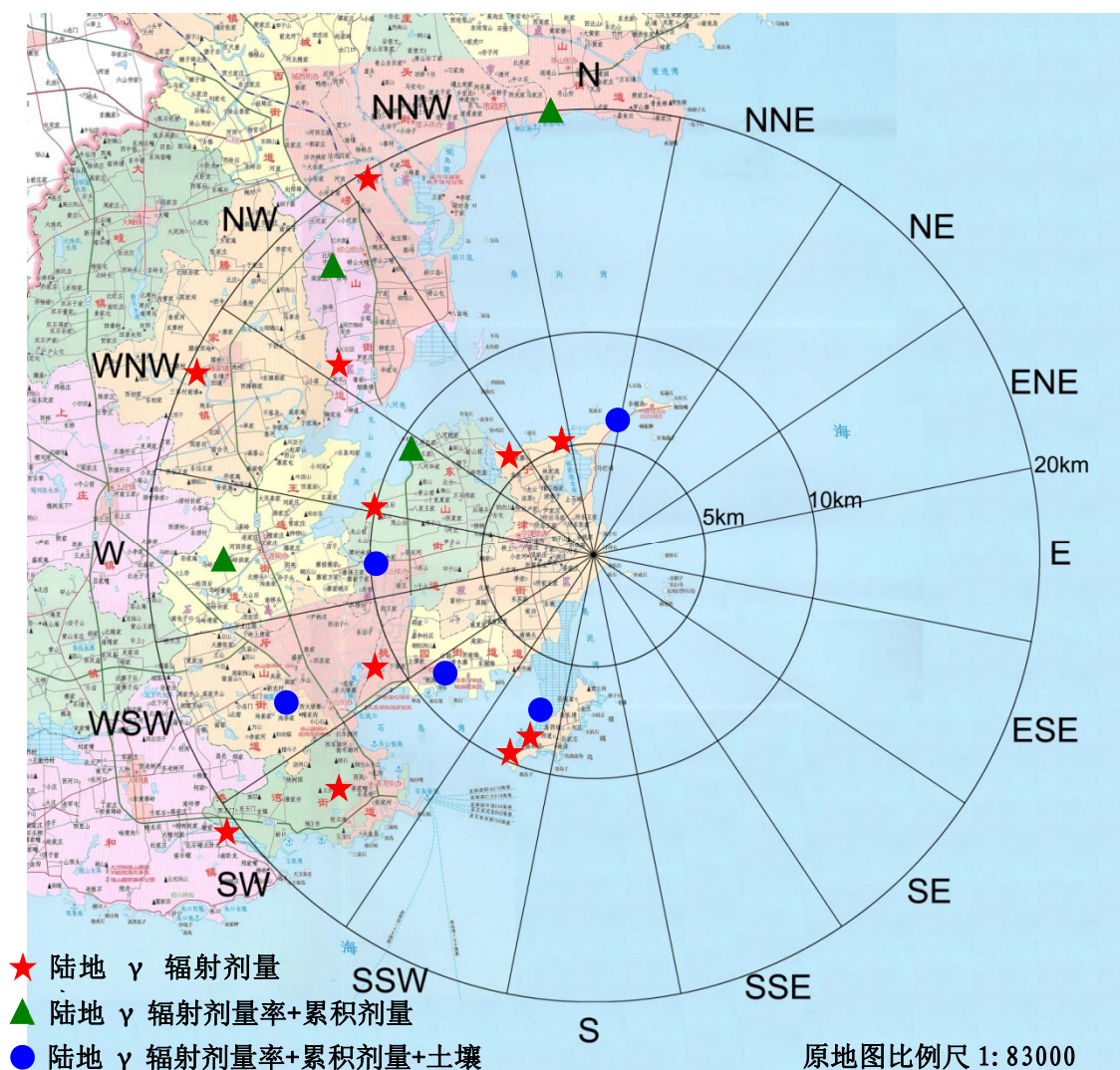
表 3.1-34 各类环境介质中 ⁹⁰Sr 与 ¹³⁷Cs 活度浓度汇总对比

环境介质	单位	样品数量	点位数量	⁹⁰ Sr			¹³⁷ Cs			Sr/Cs 比	备注 ¹⁾
				范围	平均值	标准偏差	范围	平均值	标准偏差		
气溶胶	μBq/m ³	56	7	0.26~5.67	2.07	1.14	<5.7~12.6	/	/	/	¹³⁷ Cs 有一个大于探测限的数据即 12.6
沉降灰	mBq/m ² ·d	40	5	1.00~16.3	4.6	2.9	<2.7~6.3	/	/	/	¹³⁷ Cs 有 5 个样品检出
降水	mBq/L	47	5	2.69~23.2	10.1	4.3	/	/	/	/	¹³⁷ Cs 均未检出
地表水	mBq/L	20	4	3.33~16.8	9.1	3.0	/	/	/	/	¹³⁷ Cs 均未检出
地下水	mBq/L	16	3	6.26~12.1	8.4	1.5	/	/	/	/	¹³⁷ Cs 均未检出
饮用水	mBq/L	28	3	1.92~14.7	7.1	2.9	/	/	/	/	¹³⁷ Cs 均未检出
淡水底泥	Bq/kg	10	4	1.28~4.00	2.24	0.97	<0.33~4.03	0.9	1.2	2.49	¹³⁷ Cs 有 4 个样品未检出
土壤	Bq/kg	27	12	0.65~3.50	1.74	0.81	<0.72~3.06	1.60	0.79	1.09	¹³⁷ Cs 有 3 个样品未检出
陆地生物 ²⁾	Bq/kg 鲜	54	/	0.010~8.97	0.5	1.5	<0.0044~0.44	0.049	0.085	10.20	¹³⁷ Cs 有 14 个样品未检出
淡水鱼	Bq/kg 鲜	4	1	0.053~0.093	0.076	0.018	<0.019	0.009	0.004	8.44	¹³⁷ Cs 有一个样品高出探测限
海水	mBq/L	68	15	1.10~2.80	1.98	0.39	1.18~2.86	1.67	0.34	1.19	
海洋沉积物	Bq/kg	30	15	0.85~2.83	1.53	0.59	<0.34~1.75	0.82	0.41	1.87	¹³⁷ Cs 有 4 个样品未检出
海洋生物	Bq/kg 鲜	38	/	0.02~1.12	0.28	0.27	<0.01~0.147	0.039	0.034	7.18	¹³⁷ Cs 有 25 个样品未检出

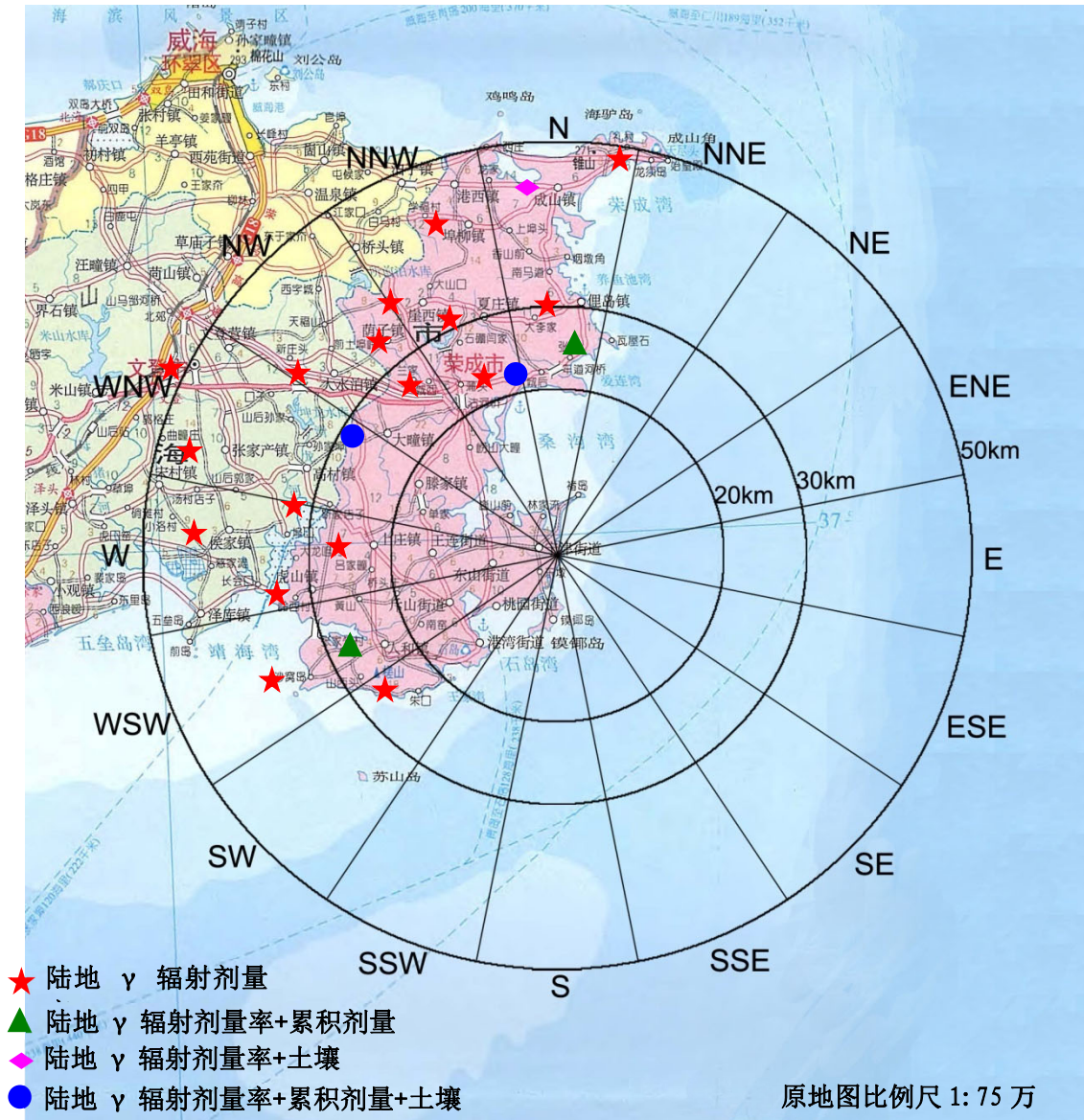
注：1) 对低于探测限的数据取其一半参与平均。2) 由于各类生物中含水率（即干鲜比）相差较大，导致数据差异较大。



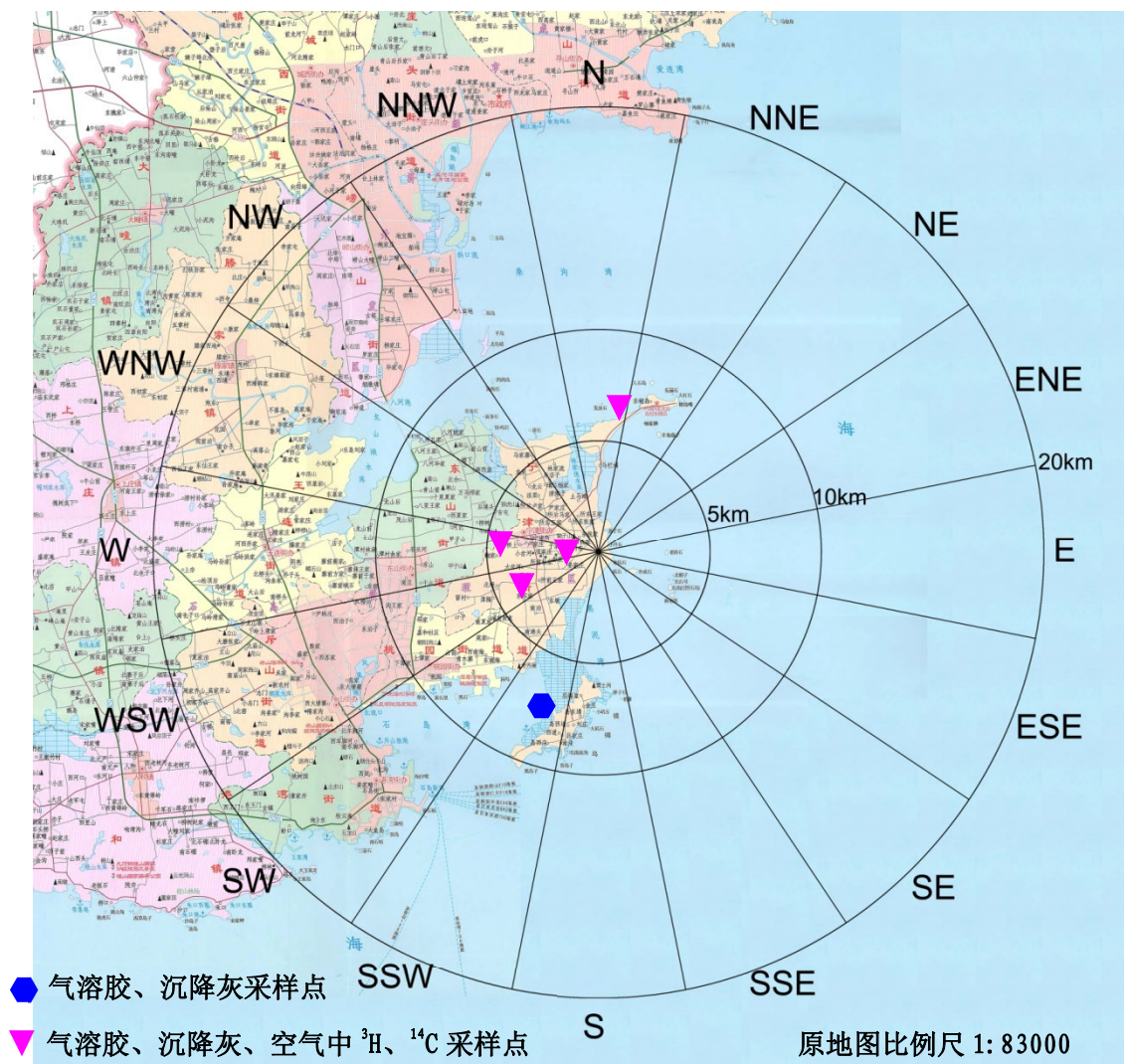
华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
地表 γ 辐射剂量率、累积剂量监测和 土壤采样点图（5km 范围）		
图 3.1-1	版次：	B



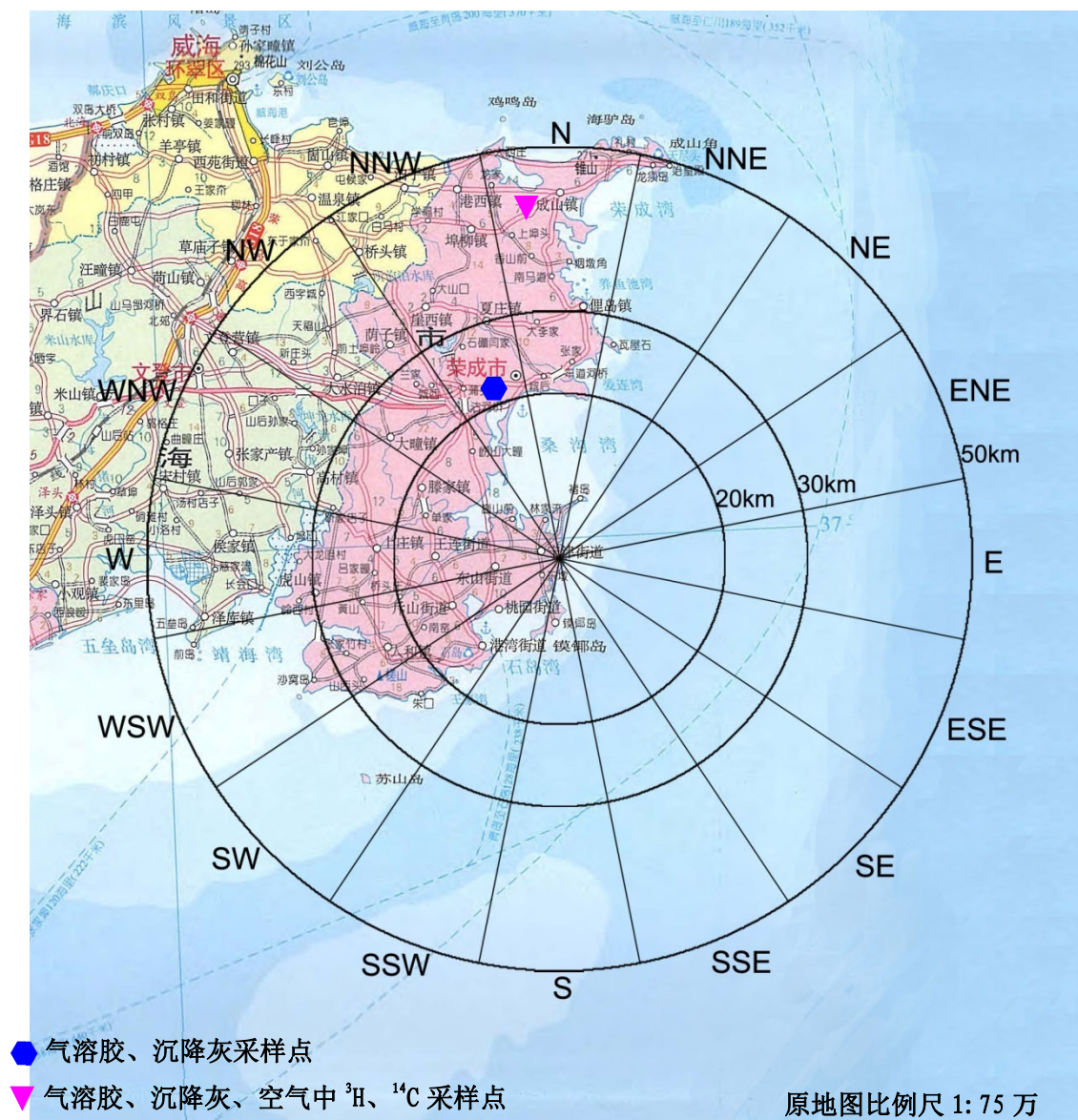
华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
地表 γ 辐射剂量率、累积剂量监测和 土壤采样点图（5~20km 范围）		
图 3.1-2	版次：	B



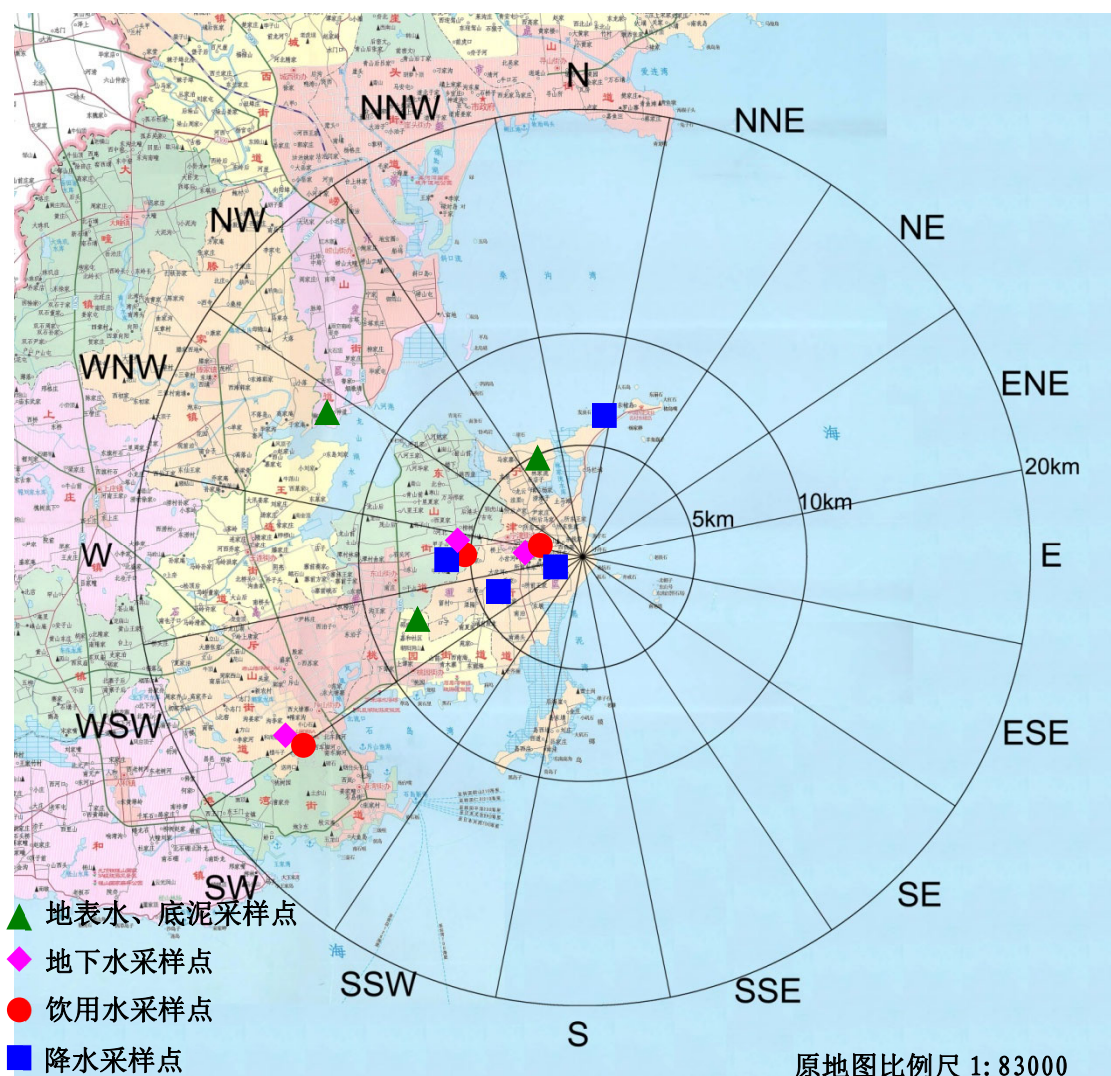
华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
地表 γ 辐射剂量率、累积剂量监测和 土壤采样点图（20~50km 范围）		
图 3.1-3	版次：	B



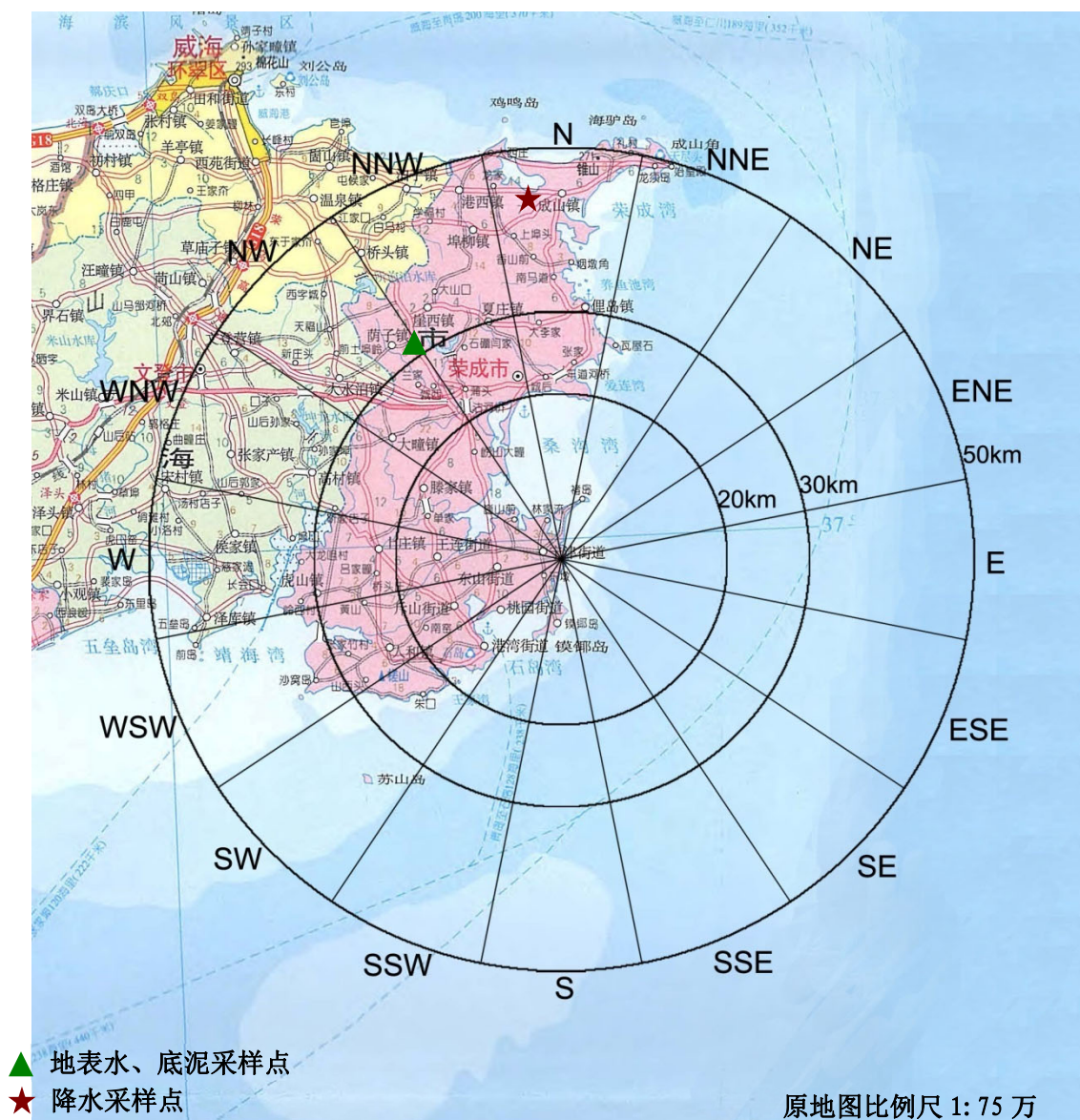
华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
气溶胶、沉降灰和空气中 ^3H 、 ^{14}C 采 样布点图（20km 范围）		
图 3.1-4	版次：	B



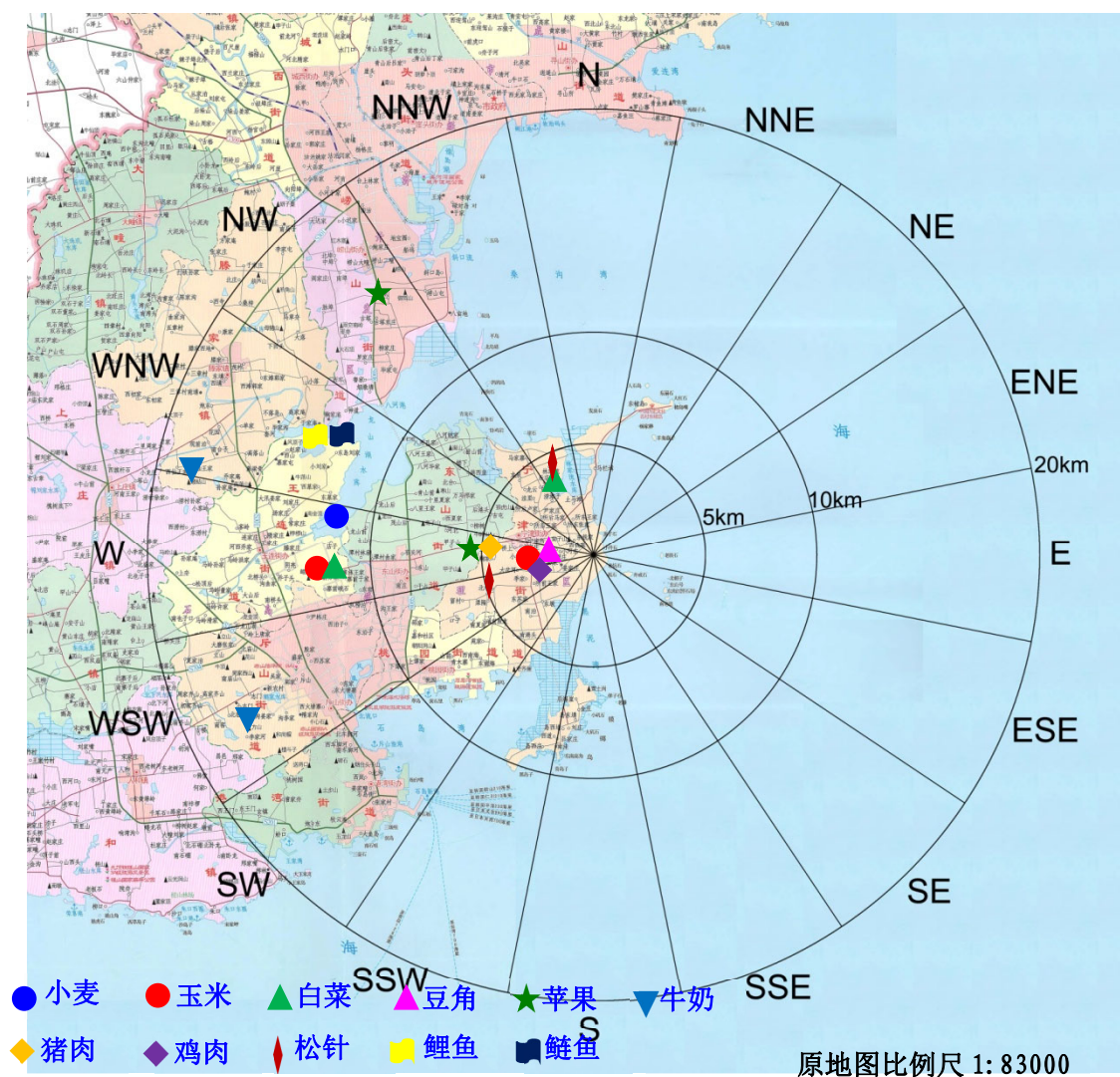
华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
气溶胶、沉降灰和空气中 ^3H 、 ^{14}C 采 样布点图（20~50km 范围）		
图 3.1-5	版次：	B



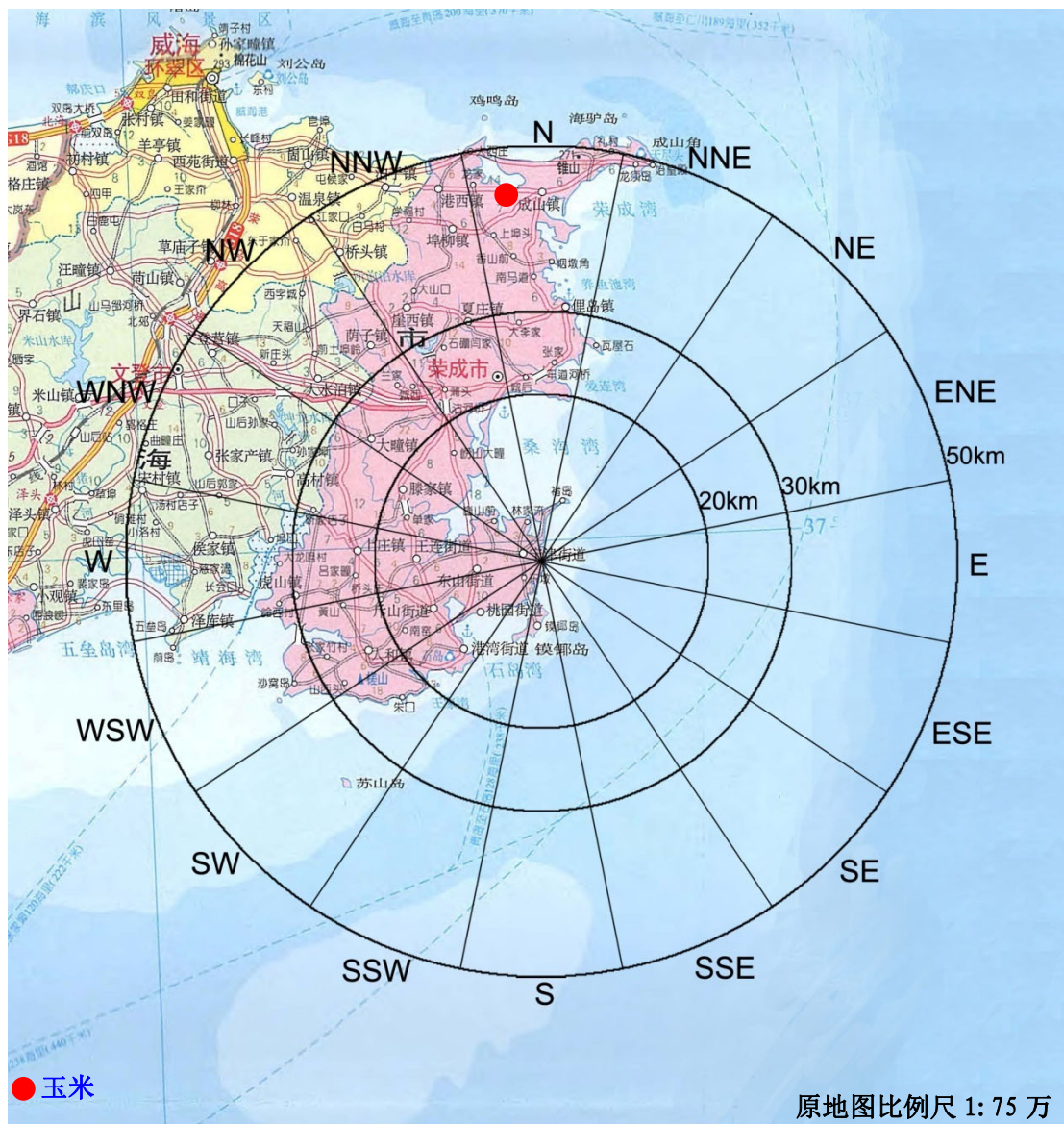
华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
地表水（底泥）、地下水、饮用水、 降水布点图（20km 范围）		
图 3.1-6	版次：	B



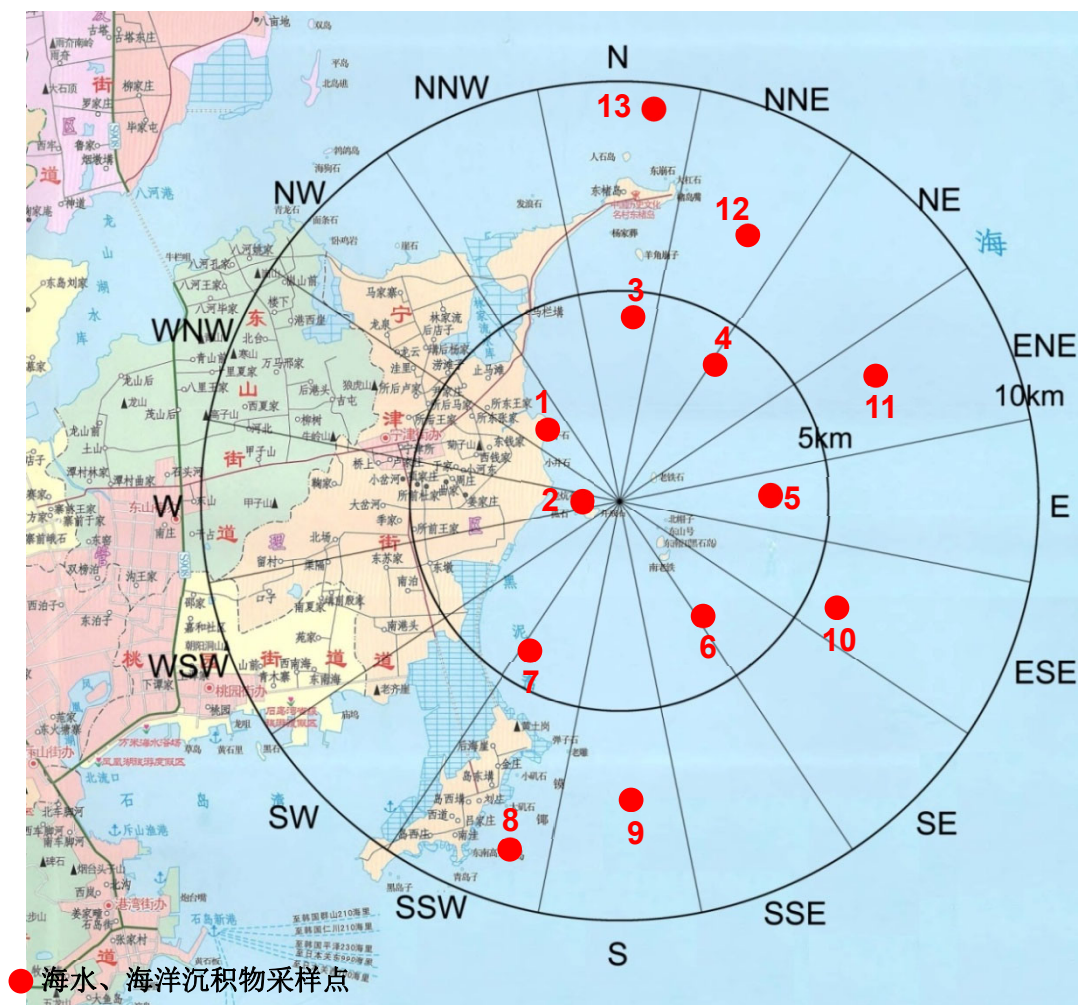
华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
地表水（底泥）、降水采样布点图 （20~50km 范围）		
图 3.1-7	版次：	B



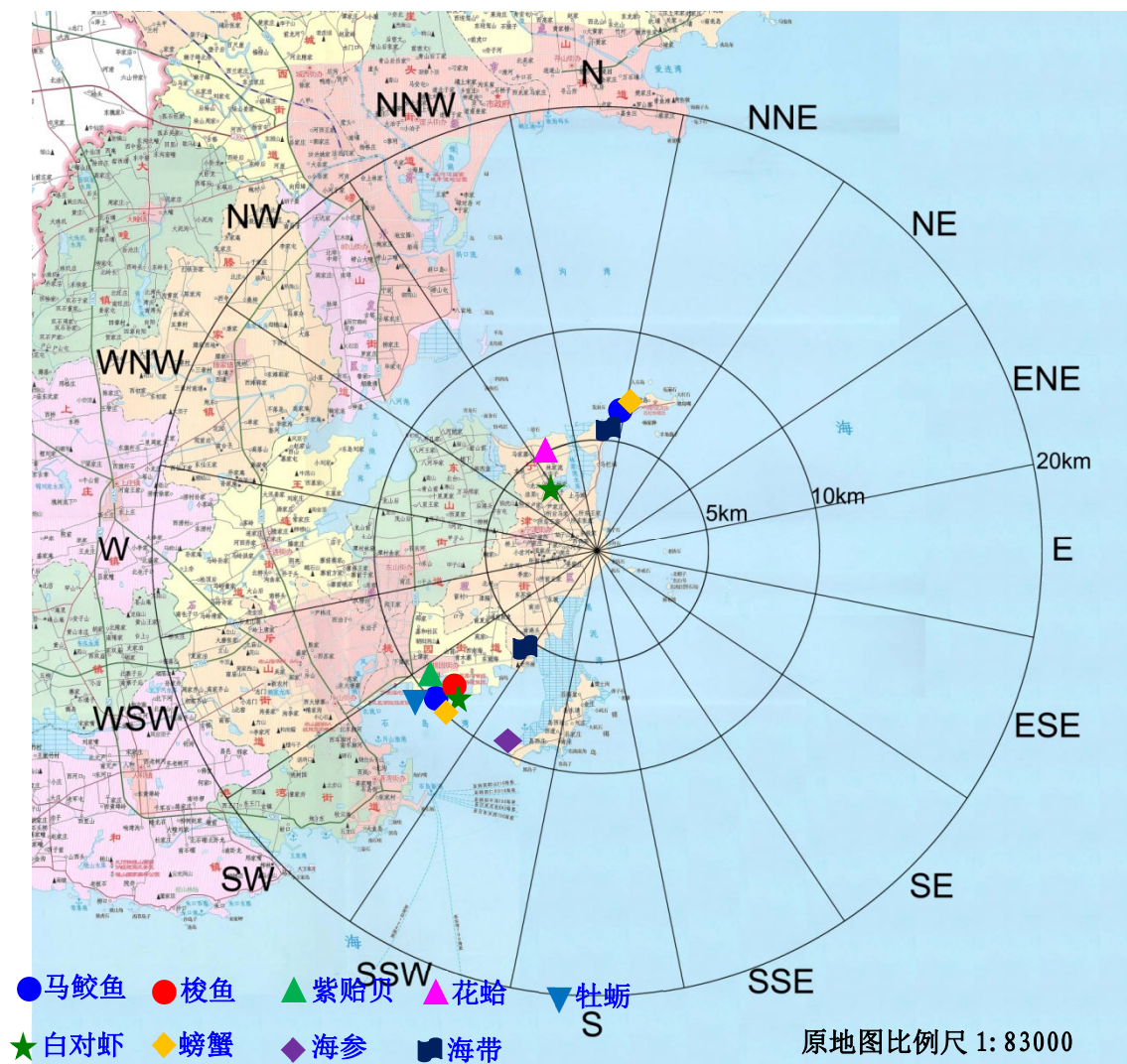
华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
陆生生物、水生生物采样点示意图 （20km 范围）		
图 3.1-8	版次：	B



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）		
陆生生物样点示意图（20~50km 范 围）		
图 3.1-9	版次：	B

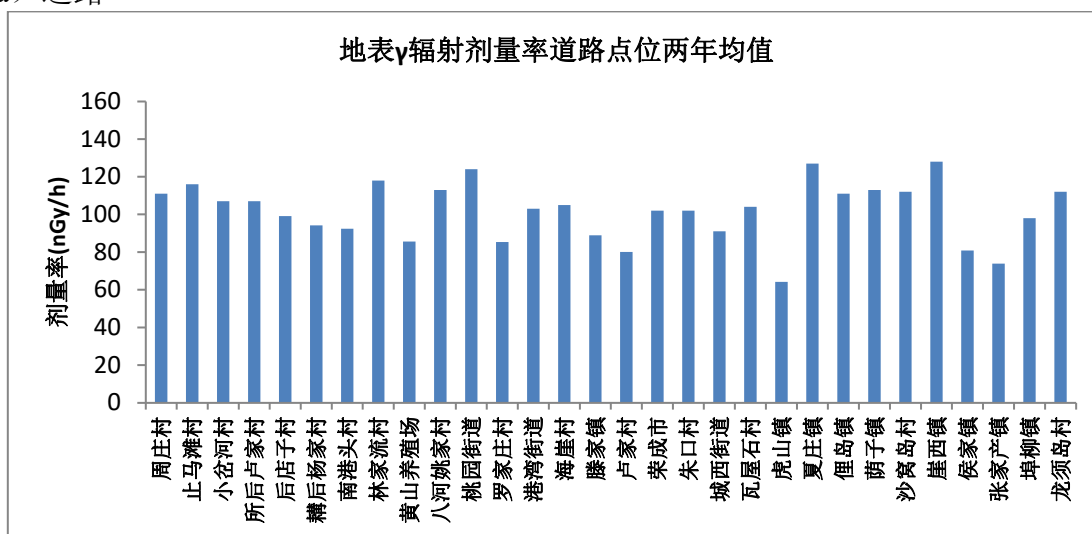


华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
海水、海洋沉积物采样点示意图		
图 3.1-10	版次：	B

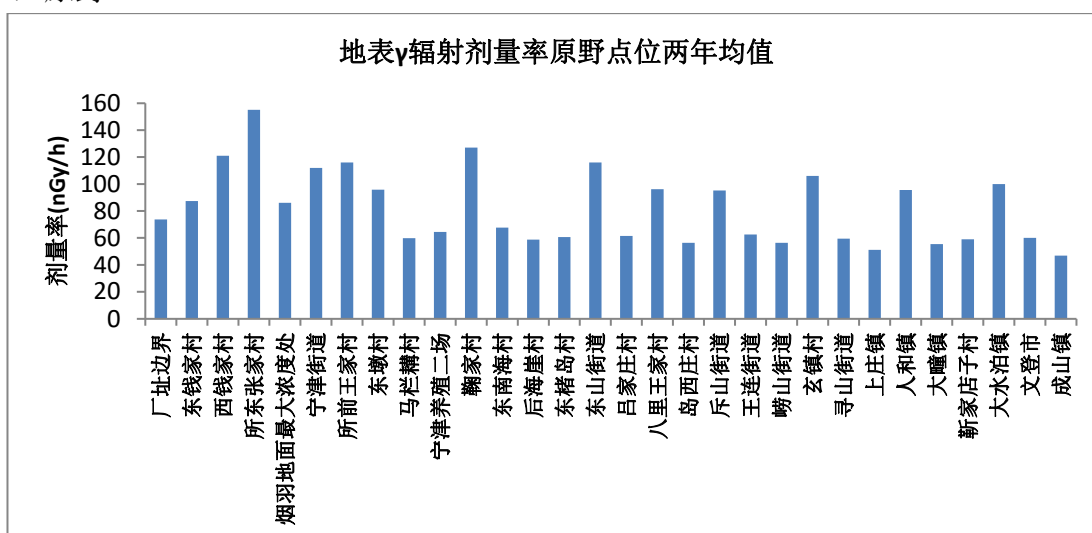


华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
海洋生物采样点示意图		
图 3.1-11	版次：	B

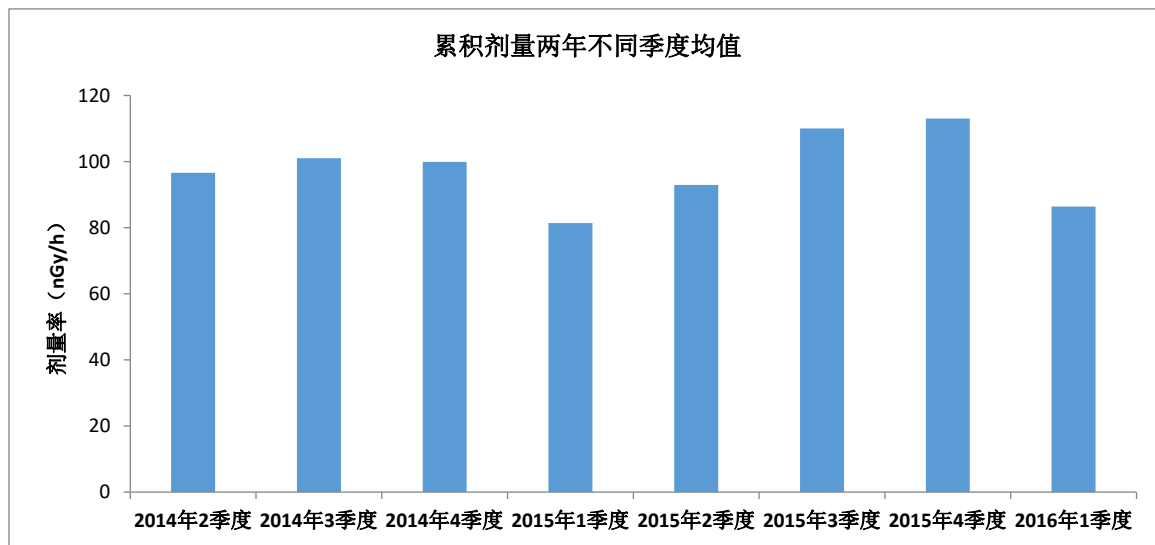
(a) 道路



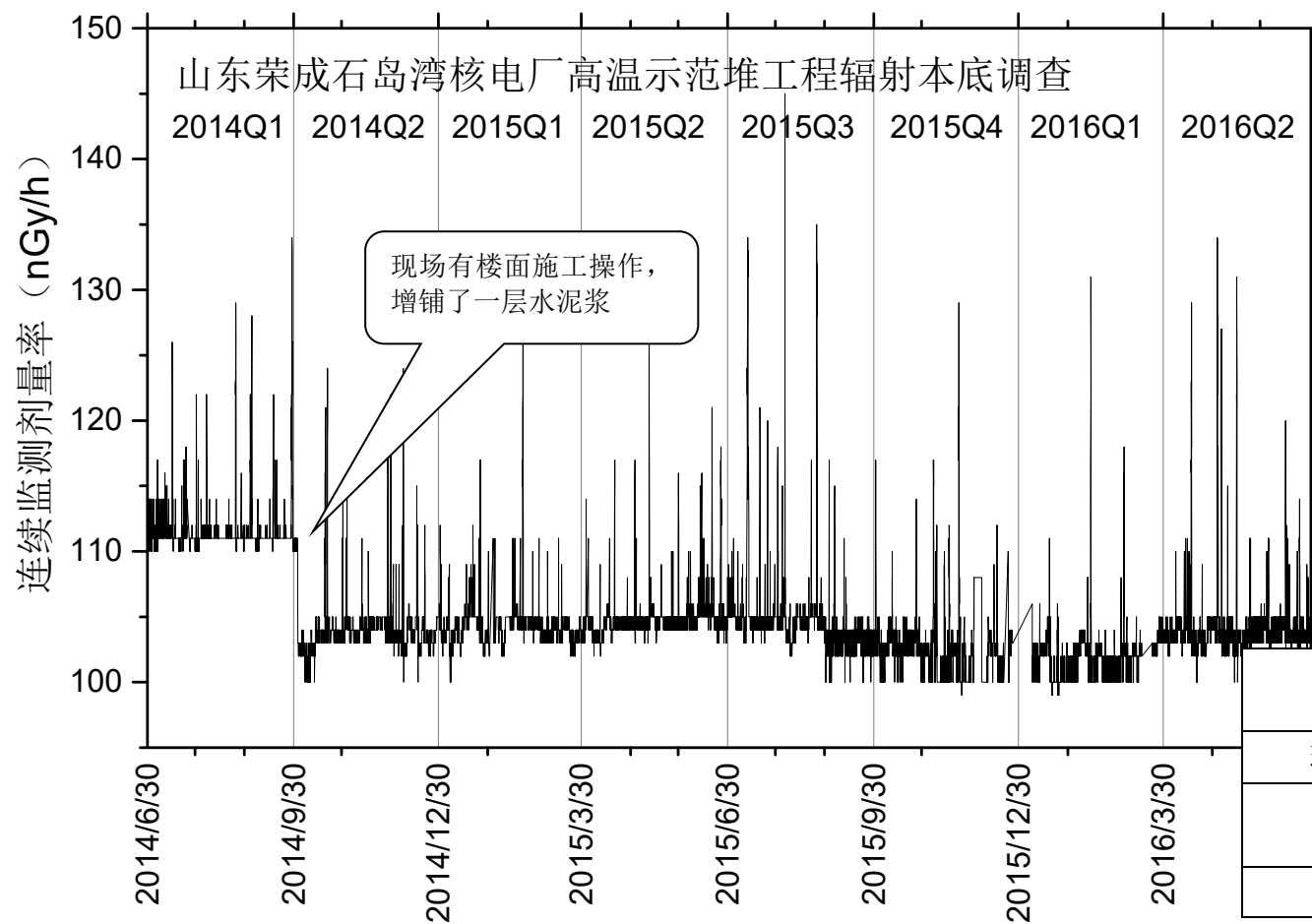
(b) 原野

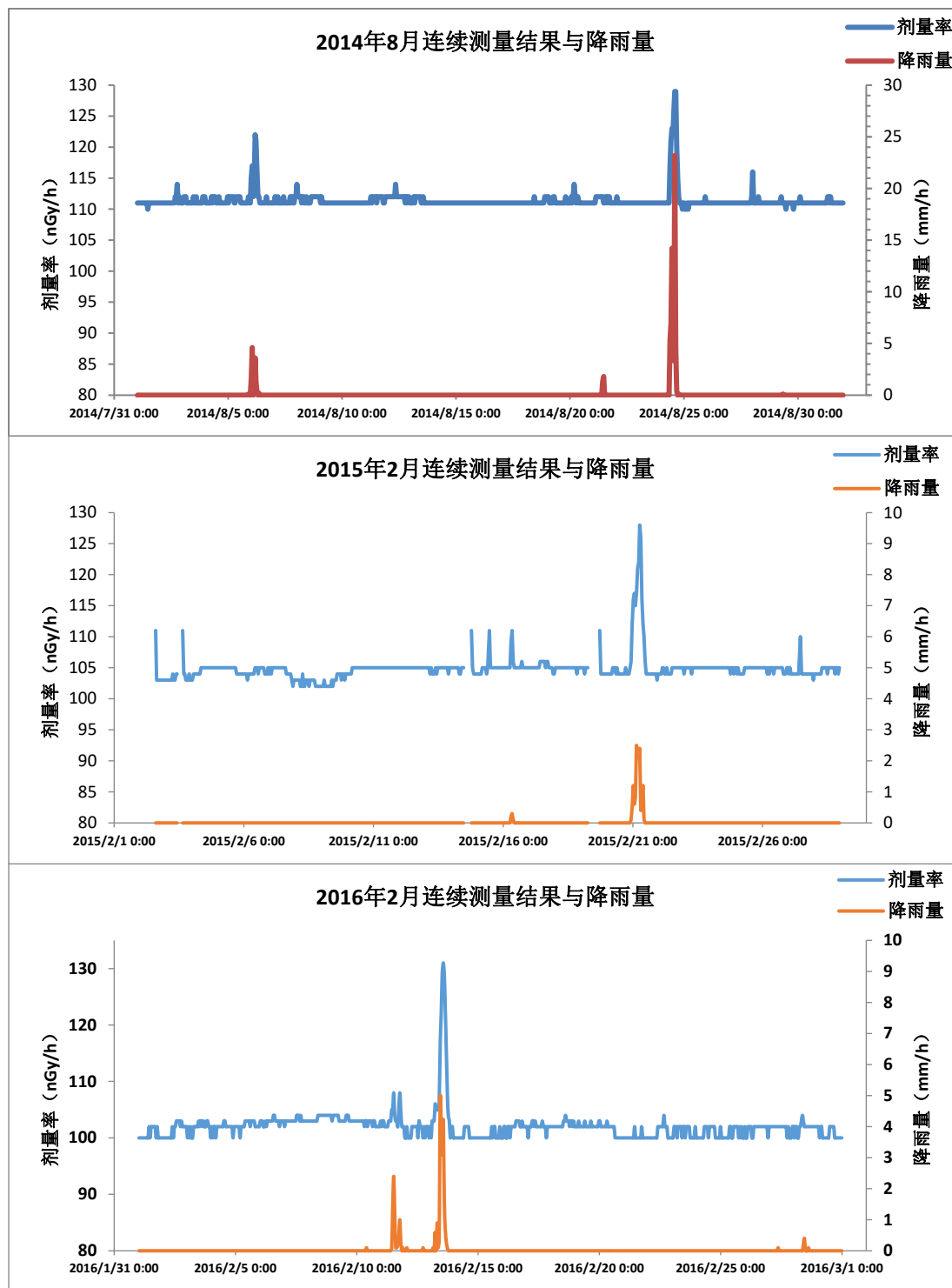


华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
地表 γ 辐射剂量率测量结果（已扣除宇宙射线成分）		
图 3.1-12	版次：	B



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）		
累积剂量不同季度的均值（未扣除宇宙射线成分）		
图 3.1-13	版次：	B





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

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 2021 年第 1 季度大气环境空气质量现状调查结果

表 3.2-2 2021 年第一季度厂址边界及环境敏感点噪声现状监测结果

表 3.2-3 厂址附近海域海水水质监测站位位置

表 3.2-4 厂址周围的工频电场、工频磁场测量结果（2 张）

图

图 3.2-1 大气环境监测点位示意图

图 3.2-2 声环境监测点位示意图

图 3.2-3 海水水质调查布点示意图

图 3.2-4 厂址周围电磁辐射调查布点示意图（3 张）

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

2021年，华能山东石岛湾核电有限公司委托山东同济测试科技股份有限公司（CMA资质证书号2015150536U）开展了厂址周围大气环境质量，对2021年度第一季度的数据进行评价。对厂界（设4个点位）监测因子包括非甲烷总烃、颗粒物、SO₂、NO_x小时平均值，对周围环境敏感点（东钱家村、西钱家村、于家村）的监测因子包括SO₂、NO₂、O₃、CO小时平均值和日均值。监测布点图见图3.2-1，监测数据见表3.2-1。

监测结果表明，厂区下风向无组织颗粒物浓度为0.207mg/m³，小于《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）要求的无组织排放监控浓度限值1.0mg/m³；无组织SO₂浓度为0.014mg/m³，小于《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）要求的无组织排放监控浓度限值0.4mg/m³；无组织NO_x浓度为0.021mg/m³，小于《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）要求的无组织排放监控浓度限值0.12mg/m³；无组织非甲烷总烃浓度为0.49mg/m³，小于《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）要求的无组织排放监控浓度限值4mg/m³。

厂址周边三个敏感点（东钱家村、西钱家村、于家村）SO₂、NO₂、O₃、CO的小时值范围分别为0.014~0.016mg/m³、0.014~0.018mg/m³、0.079~0.094mg/m³、0.589~0.625mg/m³，SO₂、NO₂、O₃、TSP、PM₁₀、PM_{2.5}的日均值范围分别为0.015mg/m³、0.013~0.019mg/m³、0.084~0.098mg/m³、0.167~0.173mg/m³、0.048~0.049mg/m³、0.029~0.030mg/m³，均可满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的二级标准限值要求。

3.2.2 声环境质量现状调查与评价

2021年，华能山东石岛湾核电有限公司委托山东同济测试科技股份有限公司（CMA证书编号2015150536U）开展了厂址周围噪声监测，对2021年度第一季度的数据进行评价。监测布点图见图3.2-2，监测数据见表3.2-2。

监测结果表明，场界昼间、夜间噪声分别为52.7dB（A）、41.2dB（A），满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中昼间不超过70dB（A），夜间不超

过 55dB（A）的限值要求。三敏感点昼间、夜间噪声范围分别为 50.6~51.4dB（A）、39.5~40.5dB（A），均可满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 1 类功能区昼间不超过 55dB（A）、夜间不超过 45dB（A）的限值要求。

3.2.3 受纳水体环境质量现状调查与评价

建设单位委托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 3.2-3 和图 3.2-3 给出了监测点位置。本节根据这四次的调查成果进行评价。

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（BOD₅）、悬浮物（SS）、活性磷酸盐、硫化物、挥发性酚、氰化物、铜、铅、锌、隔、铬、汞、砷、石油类、硒、六价络铜、镉、铬、砷、铁、硼、钴、锌、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

2021年7月~8月，上海核工程研究设计院有限公司委托浙江国辐环保科技有限公司（CMA证书编号171112050484）开展了国核压水堆示范工程电磁环境本底调查工作。监测对象包括华能开关站、国核示范工程厂区内、厂区外已建和在建输电线路环境敏感点开展了电磁辐射环境质量调查。

华能高温气冷堆示范工程所属的高温气冷堆已基本完成建设，配套的220kV开关站已建设完成，调查时段处于调试阶段。开关站位于国核压水堆示范工程1号反应堆东北1.5km处。在开关站周围布设4个点位。监测布点图及监测结果见图3.2-4和表3.2-4。结果表明，华能开关站周围工频电场强度范围为76.47~271.7V/m，工频磁场强度范围为0.060~0.479 μ 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 μ T的限值要求。

调查阶段，国核压水堆示范工程配套建设220kV/500kV开关站正在建设中，厂区内220kV输电线路正在建设，500kV输电线路还未开工建设，厂区内有110kV施工变电站，厂区外已有110kV工核线、220kV湾馍线、220kV湾石II线输电线路运行。

在示范工程厂区内布设18个点位，监测点位见图3.2-5，监测结果见表3.2-5。结果表明，示范工程厂区内工频电场强度范围为0.489~16.33V/m，工频磁场强度范围为0.032~0.173 μ T；厂区外110kV工核线周围工频电场强度范围为28.63~549V/m，工频磁场强度范围为0.057~0.154 μ T；厂区外220kV湾馍线周围工频电场强度范围为157.4~267.8V/m，工频磁场强度范围为0.046~0.082 μ T；厂区外220kV湾石II线周围工频电场强度范围为10.22~434.4V/m，工频磁场强度范围为0.036~0.07 μ T；厂区外拟建500kV输出线周围工频电场强度范围为0.322~1.179V/m，工频磁场强度范围为0.041~0.053 μ T；厂区外拟建220kV输出线周围工频电场强度范围为15.1~45.01V/m，工频磁场强度范围为0.043~0.459 μ T；所有监测点位监测结果均满足《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 μ T 的限值要求。

3.2.5 质量保证及质量控制

3.2.5.1 大气环境质量现状调查

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

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

水质质量、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

浙江国辐环保科技有限公司具备浙江省质量技术监督局颁发的 CMA 认证证书，在资质认定允许范围内开展本项目监测工作。在项目现场工作开展前编制了项目工作大纲及质保大纲并经专家审评。

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

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

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

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

3.2.6 参考资料

- [1] 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] 国核压水堆示范工程电磁环境本底调查专题报告，浙江国辐环保科技有限公司，2021年11月。

表 3.2-1 2021 年第 1 季度大气环境空气质量现状调查结果

（一）环境敏感点大气环境空气质量监测结果

监测项目	小时值				日均值					
	SO ₂	NO ₂	O ₃	CO	SO ₂	NO ₂	O ₃	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
东钱家村	0.016	0.014	0.091	0.625	0.015	0.013	0.095	0.17	0.048	0.029
西钱家村	0.014	0.017	0.079	0.589	0.015	0.016	0.084	0.167	0.048	0.03
于家村	0.016	0.018	0.094	0.61	0.015	0.019	0.098	0.173	0.049	0.029
评价标准	≤0.5	≤0.2	≤0.2	≤10	≤0.15	≤0.08	≤0.16	≤0.30	≤0.15	≤0.075

（二）厂界大气环境空气质量监测结果

监测项目	厂址上风向				厂址下风向			
	TSP	SO ₂	NO _x	非甲烷总烃	TSP	SO ₂	NO _x	非甲烷总烃
监测结果	0.207	0.014	0.021	0.49	0.267	0.015	0.019	0.48
评价标准	≤1.0	≤0.4	≤0.12	≤4.0	≤1.0	≤0.4	≤0.12	≤4.0

表 3.2-2 2021 年第一季度厂址边界及环境敏感点噪声现状监测结果

单位：dB(A)

监测项目	施工场界		东钱家村		西钱家村		于家村	
	昼间	夜间	昼间	夜间	昼间	夜间	昼间	夜间
监测结果	52.7	41.2	50.6	39.5	51.2	40	51.4	40.5
评价标准	70	55	55	45	55	45	55	45

表 3.2-3 厂址附近海域海水水质监测站位位置（15km 范围内）

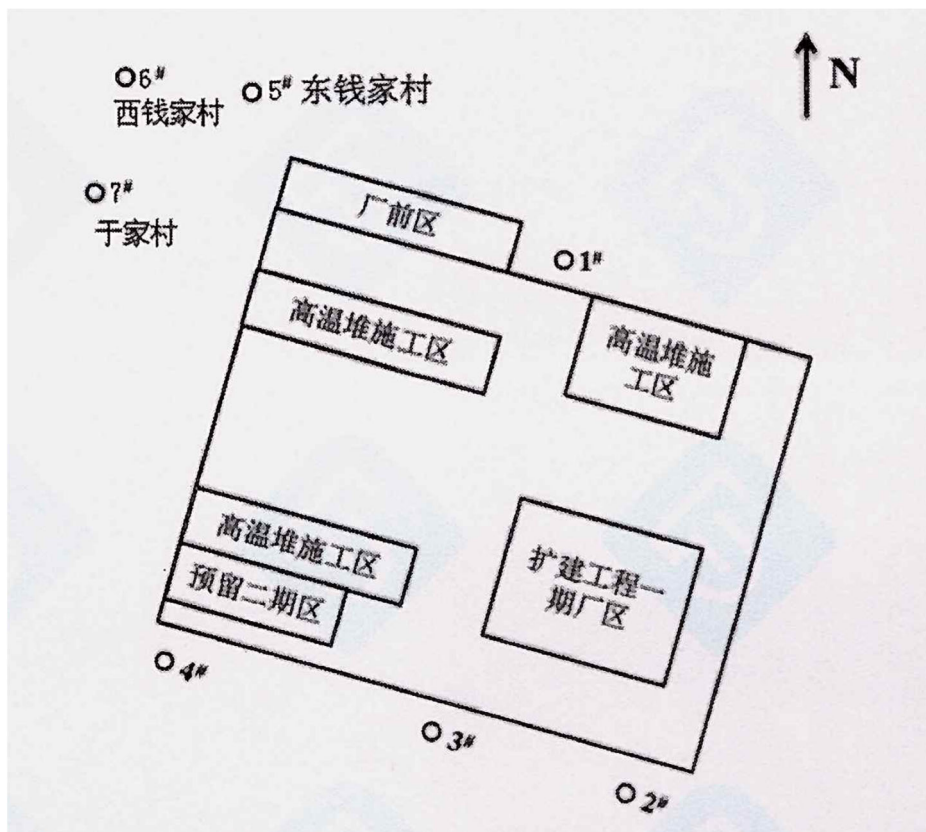
序号	站号	经度(°E)	纬度(°N)	序号	站号	经度(°E)	纬度(°N)
1	1	122°33'00"	37°01'30"	14	14	122°29'58"	36°52'07"
2	2	122°35'00"	37°01'30"	15	15	122°32'52"	36°52'59"
3	3	122°37'00"	37°01'30"	16	16	122°42'15"	37°01'24"
4	4	122°40'00"	37°01'30"	17	21	122°26'51"	36°53'26"
5	5	122°33'00"	36°58'30"	18	22	122°28'25"	36°55'01"
6	6	122°35'00"	36°58'30"	19	23	122°31'15"	37°04'06"
7	7	122°37'00"	36°58'30"	20	24	122°34'36"	37°04'18"
8	8	122°40'00"	36°58'30"	21	25	122°42'44"	36°58'28"
9	9	122°33'00"	36°55'30"	22	27	122°38'10"	37°03'59"
10	10	122°35'00"	36°55'30"	23	37	122°34'01"	36°50'47"
11	11	122°37'00"	36°55'30"	24	38	122°40'04"	36°52'56"
12	12	122°40'00"	36°55'30"	25	45	122°28'37"	37°03'51"
13	13	122°36'00"	36°53'00"	26	48	122°42'08"	36°55'27"

表 3.2-4 (1/2) 厂址周围工频电场、工频磁场测量结果

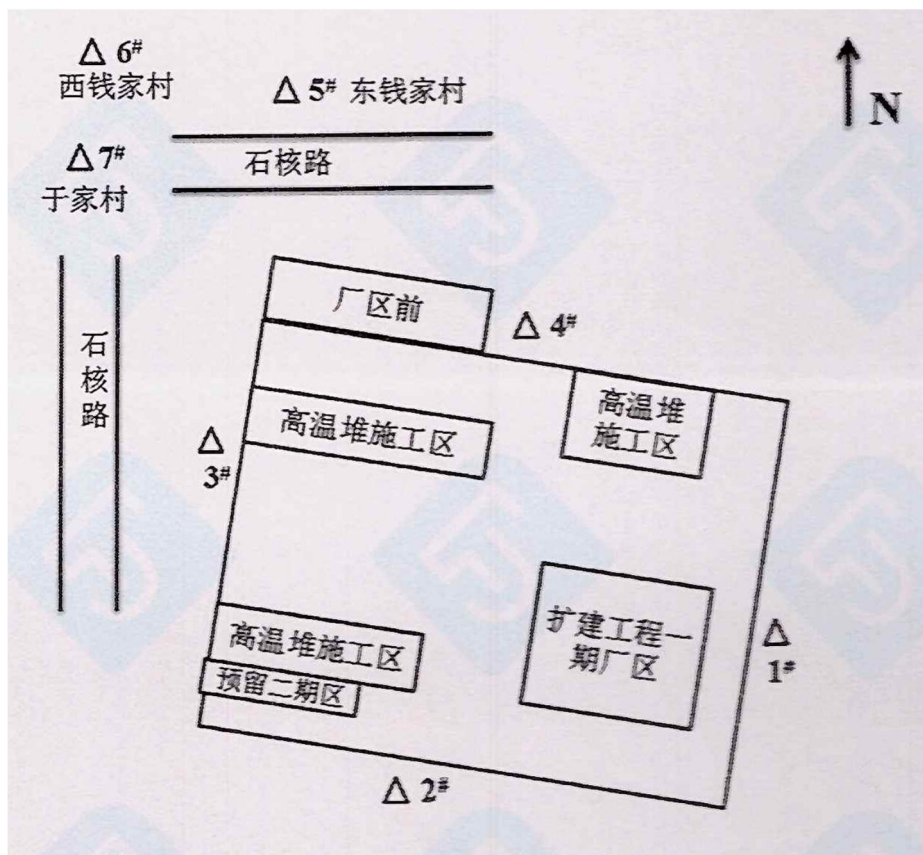
项目名称	监测时间	天气状况	序号	点位描述	工频电场强度(V/m)	磁感应强度(μT)
华能开关站（试运行）	2021 年 7 月 31 日	晴、25~28°C、65~70%	◇1	华能开关站北侧空地	207.8	0.104
			◇2	华能开关站东侧空地	77.3	0.06
			◇3	华能开关站南侧空地	271.7	0.479
			◇4	华能开关站西侧空地	76.47	0.128
国核压水堆示范工程厂区（在建）	2021 年 7 月 31 日	晴、25~28°C、65~70%	◆1	国核压水堆示范工程 1 号堆南侧空地	16.33	0.082
			◆2	国核压水堆示范工程 1 号堆东侧空地	1.221	0.042
			◆3	国核压水堆示范工程 1 号堆与 2 号堆之间道路	1.395	0.043
			◆4	国核压水堆示范工程 2 号堆东侧	0.994	0.051
			◆5	国核压水堆示范工程 2 号堆北侧	1.785	0.038
			◆6	国核压水堆示范工程 2 号堆西侧	1.281	0.039
			◆7	国核压水堆示范工程 1 号堆西侧	1.344	0.032
			◆8	国核压水堆示范工程办公楼前侧	0.991	0.04
			◆9	国核压水堆示范工程施工变南侧	1.563	0.173
			◆10	国核压水堆示范工程施工变西侧	1.014	0.059
			◆11	国核压水堆示范工程施工变北侧	5.43	0.078
			◆12	国核压水堆示范工程施工变东侧	1.028	0.058
			◆13	国核压水堆示范工程厂区西北侧空地	0.567	0.038
			◆14	国核压水堆示范工程开关站东侧	0.583	0.037
			◆15	国核压水堆示范工程开关站北侧	0.904	0.036
			◆16	国核压水堆示范工程开关站西侧	0.743	0.038
			◆17	国核压水堆示范工程开关站南侧	0.744	0.034
			◆18	国核压水堆示范工程厂区入口处	0.489	0.036
110kV 工核线（已运行）	2021 年 8 月 2 日	晴、27~30°C、51~55%	△1	曲家村生活区	36.46	0.084
			△2	临时工棚	549	0.154
			△3	养殖场 24#-25#号塔	28.76	0.072
			△4（断面）	中心线下 0m	126.9	0.095
				边导线下 0m	140.8	0.088
				边导线下 5m	158.7	0.093
				边导线下 10m	163.6	0.093
				边导线下 15m	149.2	0.092
				边导线下 20m	121.2	0.096
				边导线下 25m	91.77	0.085
				边导线下 30m	71.46	0.07
				边导线下 35m	53.6	0.061
				边导线下 40m	40.99	0.061
				边导线下 45m	32.73	0.057
边导线下 50m	28.63	0.057				

表 3.2-4 (2/2) 厂址周围工频电场、工频磁场测量结果

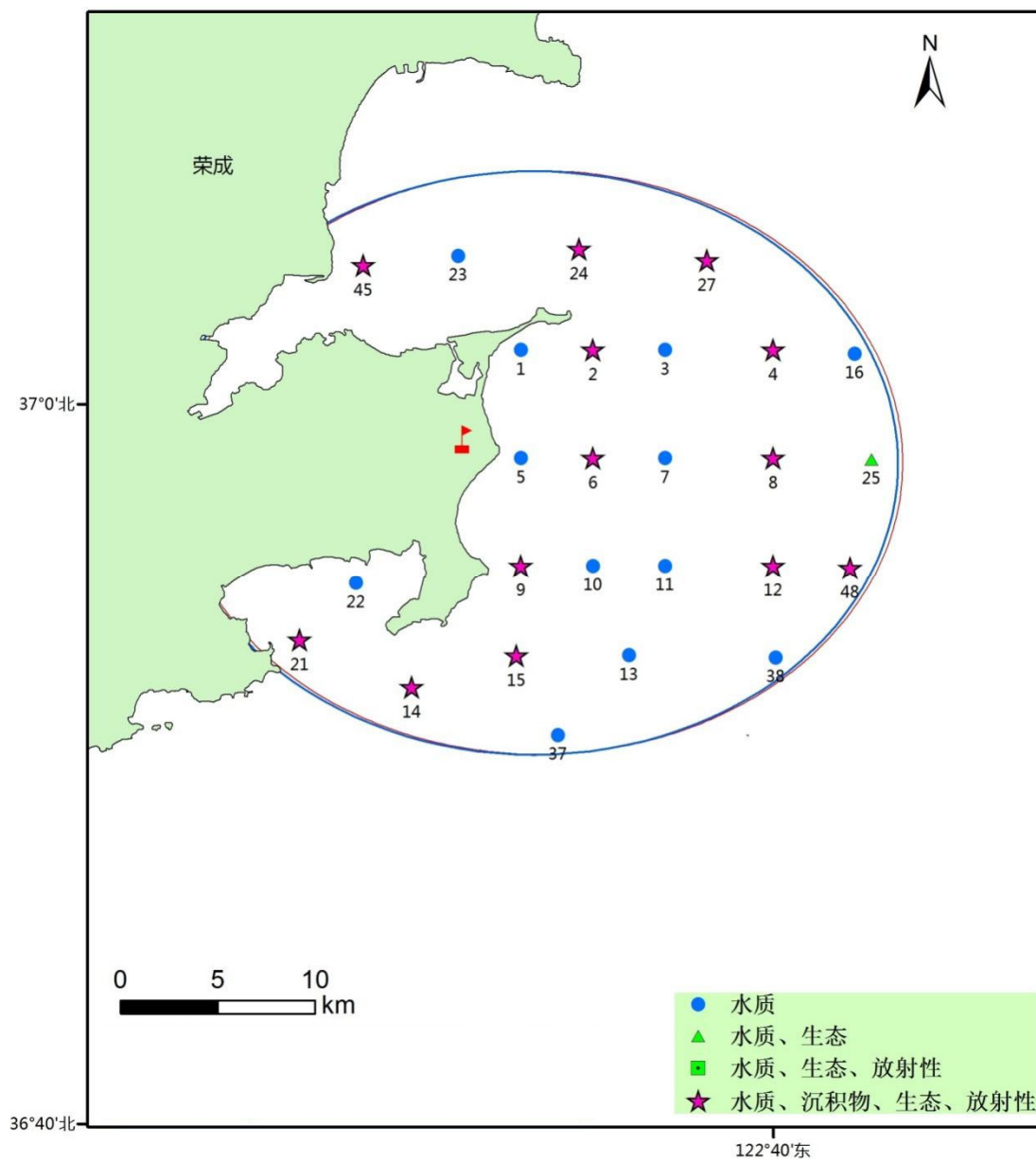
项目名称	监测时间	天气状况	序号	点位描述	工频电场强度(V/m)	磁感应强度(μT)
220kV 湾 馍线（已 运行）	2021 年 8 月 2 日	晴、27~ 30℃、 51~55%	△5	钱海水产厂南侧房子旁空地	182.5	0.082
			△6	海带加工厂	177.1	0.046
			△7	养殖场 8#-9#塔	157.4	0.057
			△8	一层民房 11-12#塔	267.8	0.064
			△9	一层民房 12-13#塔	217	0.081
220kV 湾 石Ⅱ线 （已运 行）	2021 年 8 月 2 日	晴、27~ 30℃、 51~55%	△10	季家村西侧居民房	319.5	0.036
			△11	鑫源农家院	15.1	0.043
			△12	一层尖顶房	10.22	0.039
			△13(断 面)	中心线下 0m	339.3	0.064
				边导线下 0m	399.9	0.064
				边导线下 5m	274.6	0.064
				边导线下 10m	434.4	0.053
				边导线下 15m	288.8	0.055
				边导线下 20m	176.9	0.07
				边导线下 25m	157.9	0.052
				边导线下 30m	134.6	0.046
				边导线下 35m	97.22	0.052
				边导线下 40m	56.98	0.047
				边导线下 45m	31.85	0.037
边导线下 50m	30.36	0.047				
拟建 500kV 输 出线路 （在建）	2021 年 8 月 2 日	晴、27~ 30℃、 51~55%	△14	大岔河村西北侧居民房	0.601	0.041
			△15	龙腾貂场门口	0.322	0.053
			△16	北场村一层民房	1.179	0.047
拟建 220kV 线 路	2021 年 8 月 2 日	晴、27~ 30℃、 51~55%	△17	鑫源农家院一层民房	15.1	0.043
			△18	一层民房	45.01	0.459



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）		
大气环境监测点位示意图		
图 3.2-1	版次：	B



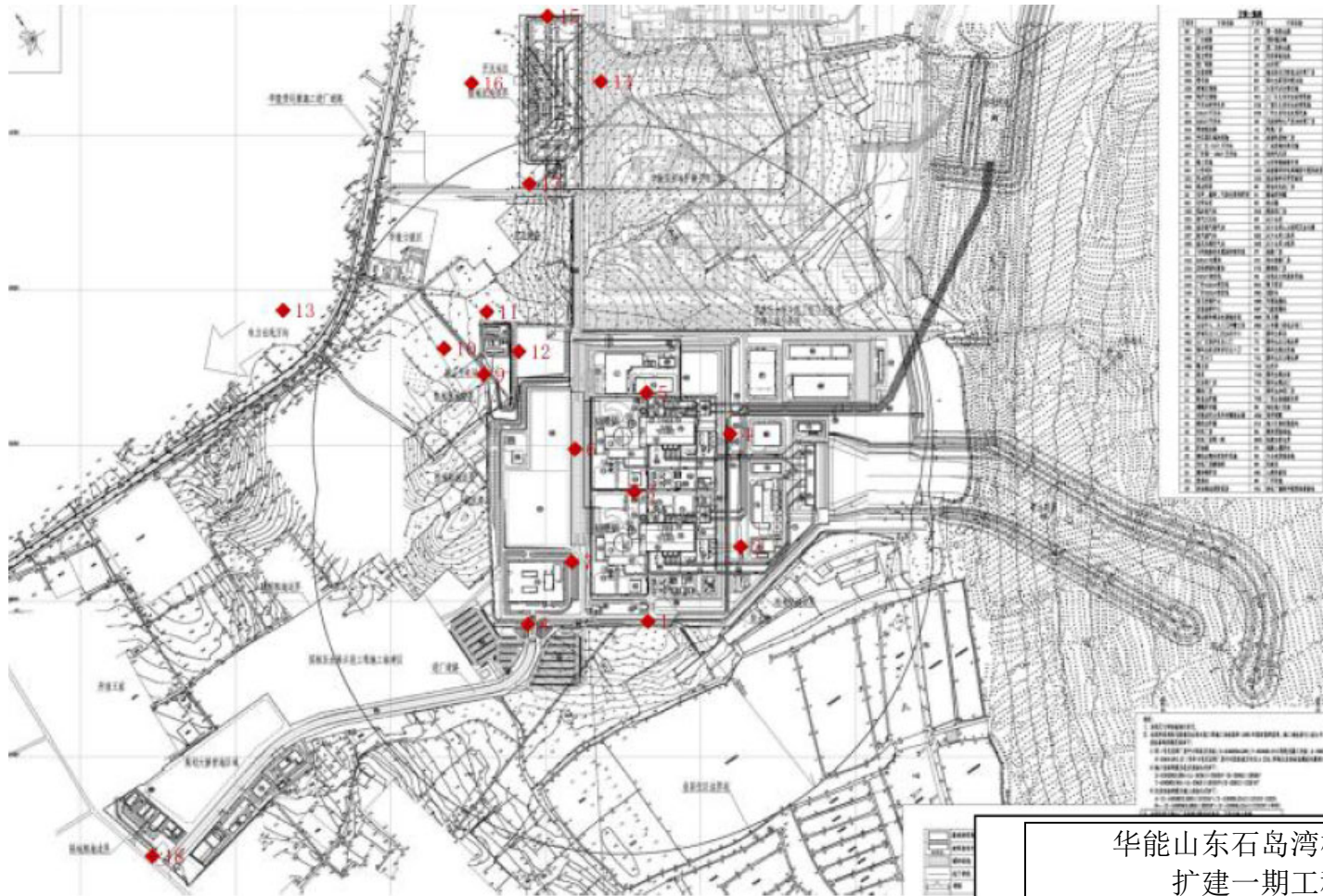
华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
声环境监测点位示意图		
图 3.2-2	版次:	B



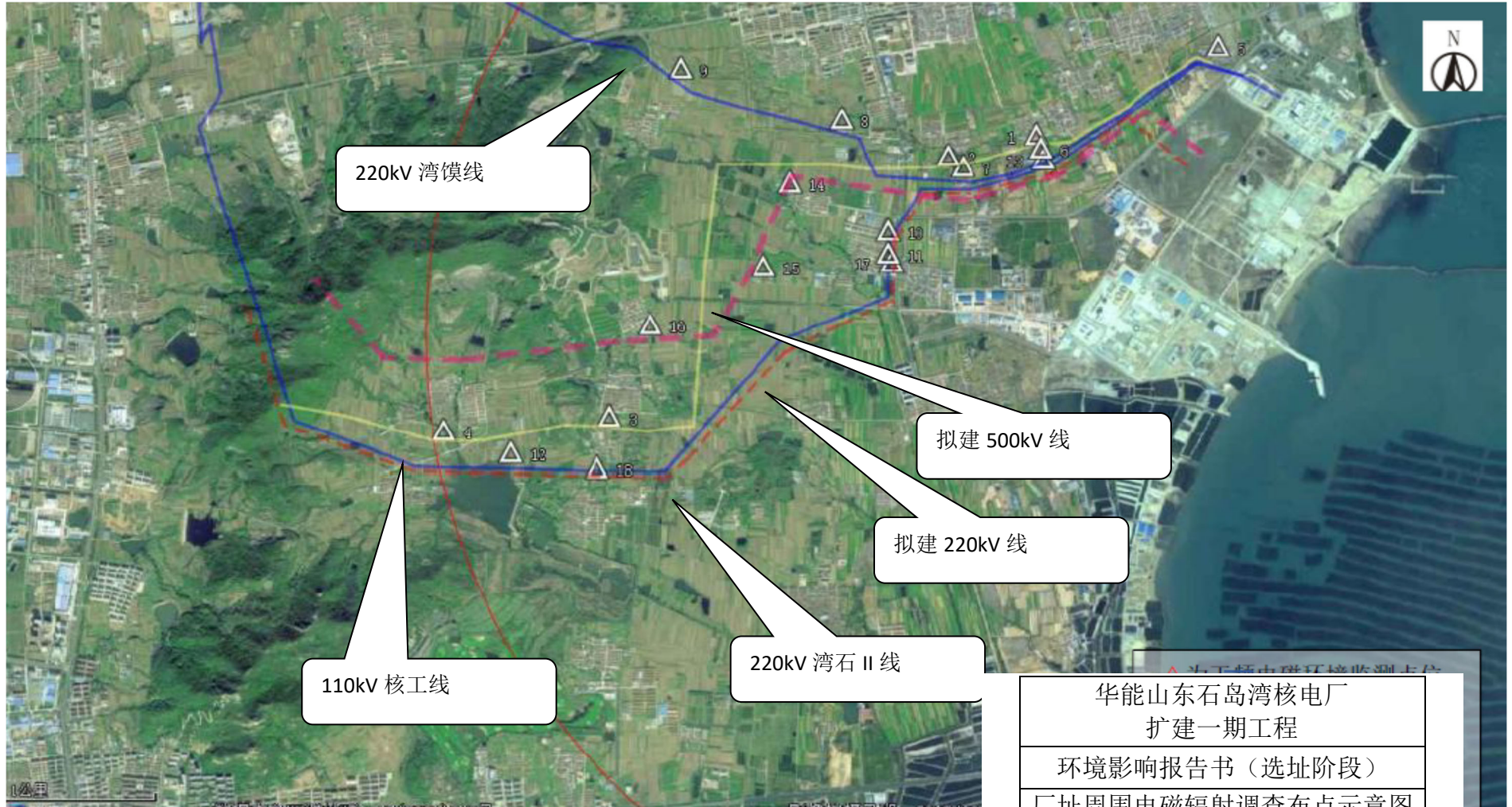
华能山东石岛湾核电站 扩建一期工程		
环境影响报告书（选址阶段）		
海水水质调查布点示意图		
图 3.2-3	版次：	B



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）		
厂址周围电磁辐射调查布点示意图 --华能开关站		
图 3.2-4（1/3）	版次：	B



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）
 厂址周围电磁辐射调查布点示意图
 --厂区内
 图 3.2-4（2/3） 版次： B



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）		
厂址周围电磁辐射调查布点示意图 --厂区外线路		
图 3.2-4（3/3）	版次：	B

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—电力转换系统

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

4.1 厂区规划及平面布置

4.1.1 厂区规划

4.1.2 厂区总平面布置

4.1.3 排放口布置

4.1 厂区规划及平面布置

华能山东石岛湾核电厂扩建工程与高温气冷堆核电示范工程、国核压水堆示范工程同属石岛湾厂址。扩建工程东北侧的华能山东石岛湾核电厂 1×200MW 高温气冷堆示范工程已成功临界，正式开启带核功率运行。扩建工程西南侧的国和一号示范工程正处于施工建设中。华能山东石岛湾核电厂扩建工程分两期建设 4 台百万千瓦级压水堆核电机组，一次规划，分期接续建设，其中扩建工程一期采用华龙一号技术方案。

4.1.1 厂区总体规划

厂址总体规划是厂区总平面布置的优先环节，主要是对核电厂各设施、功能区进行协调布置、统筹安排，为合理确定厂区总平面布置提供外部条件。

总体规划布置一般需遵循以下原则：

- 华能山东石岛湾核电厂扩建工程分两期建设 4 台百万千瓦级压水堆核电机组，一次规划，分期接续建设，一期工程建设 2 台机组。
- 遵从国家和地方有关城市规划、土地利用规划、海洋功能区划及现行的国家法规和标准，与地方经济发展战略相适应，与当地城市发展相协调。
- 尽量符合现场总体规划，并充分利用现场条件，规划布局尽量减少后期施工对前期生产运行的影响。
- 妥善处理好核电与环境、建设与运行、临时与永久、厂内与厂外等各方面的关系。
- 核岛厂房等与核安全相关的厂房和设施，应布置在埋深适宜、承载力满足要求的均匀、稳定的地基上。
- 以核电厂厂区布局为中心，功能分区明确，辅助配套设施齐全，满足工艺流程及生产、生活的需要；满足物料运输流向及消防、安全的需要。
- 坚持节约用地、合理用地及节省投资的原则。
- 近、远期相结合，统筹规划，分期实施，永久建筑与生产临建相结合，根据要求做好施工场地的规划。

a) 分区规划

根据生产工艺流程特点，结合现场实际情况，全厂主要分为高温气冷堆示范工程厂区、国和一号示范工程厂区、扩建工程厂区、开关站区、施工准备区（施工临建区、

施工办公区、施工生活区)、厂外辅助设施及现场服务区。

1) 扩建工程厂区

扩建工程厂区的核心部分包含有主厂房区（核岛和常规岛）、BOP区等，其它各区均服务于该区。扩建工程4台机组主厂房由东北至西南依次排列在离海岸线约700米的缓坡地带，与高温气冷堆工程相邻的2台机组为扩建一期工程。

2) 厂外辅助设施区及现场服务区

厂外辅助设施区主要是为电厂服务的相关配套项目，包括应急指挥中心、消防站、武警营房、综合办公楼、展示中心等。大部分规划位于高温气冷堆厂区以北，靠近进厂公路，同时根据扩建工程需要新建部分厂外辅助设施，如模拟机培训中心、技能培训中心等。

现场服务区的主要功能是满足职工的现场生活和各类活动，主要包括运行宿舍以及食堂、室内活动中心、室外活动设施等公共设施。高温气冷堆示范工程现场服务区位于厂区东北侧，与厂外辅助设施区紧邻、交错布置，扩建工程可共用其部分设施，同时根据实际需要在厂区东北侧新建部分值班宿舍、餐厅及室外活动场地。

3) 开关站区

扩建工程与国和一号示范工程采用电力联合送出方案，共用一个开关站。开关站位于扩建工程西北侧，独立成区布置，当前正在建设中。

4) 施工准备区

本着方便施工、节省投资、缩短工期、节约用地的原则，施工场地宜前后期衔接，并按照滚动方式考虑。开关站北侧的场地紧邻扩建工程，虽是施工准备区的优选位置，扩建工程本着不占基本农田的原则，施工临建区规划于高温气冷堆示范工程厂区北侧、西北侧及扩建工程西侧的场地。

b) 工程规划

1) 淡水水源规划

本扩建工程拟在厂区规划建设海水淡化设施供应本扩建工程4台机组生产用淡水。

2) 取排水规划

石岛湾厂址海工工程按照1×200MW高温气冷堆工程气冷机组+扩建工程

4×1200MW 压水堆机组+2×国和一号压水堆核电机组总容量设计，分期实施。厂址取排水工程采用南北取水、中间排水的明取明排方式。其中，扩建工程与高温气冷堆工程取水共用北侧取水口及明渠，国和一号示范工程独自建设南取水明渠，核电厂址的排水共用中排的排水明渠。北取水明渠公共段及南取水明渠在建中，排水口相对养参池向东延伸 400m 作为高温气冷堆工程和国和一号示范工程的排水工程。扩建一期工程将延长新建本期段排水明渠，排水口相对养参池向东延伸 600m 作为厂址规划容量下的排水工程，将在扩建一期工程阶段实施。

3) 出线规划

根据石岛湾核电厂址本期及后期规划的核电机组的建设时序及出线规划，扩建工程与国和一号示范项目采用电力联合送出方案。电厂终期 500kV 出线按 6 回线路考虑。

4) 防排洪规划

厂区南北位于高温气冷堆核电示范工程和国和一号示范工程之间，东侧临海，西侧与陆域相接，西侧陆域小流域洪水可能进入厂区构成对厂区的危害。综合考虑厂址已建排水设施，沿厂址的南、西、北侧规划截排洪设施，将厂址附近汇水面积内的洪水分别通过扩建工程厂区东北、东南两侧排入大海。

5) 交通运输规划

根据核电厂对交通运输的要求和厂址的自然条件，本期工程的交通运输采用以水运和公路联运为主的运输方式。施工安装期间大型设备和少量进口设备采用水运，建筑材料及人员交通以公路运输为主。

目前石岛湾核电厂址已经建成完善的对外交通通道。主要进厂公路从厂址北侧向西北接入东山至楮岛的县级公路，全长约 1.8km，为四车道公路；次要进厂公路（应急道路）从厂址北侧向西接入县道 X034，并与主要进厂公路连通，开关站西侧新建约 915m 应急道路连接厂区与次要进厂道路；大件设备均可用 5000 吨级船舶运至石岛湾核电厂大件设备运输码头，再转陆运通过现场道路进入厂区的安装场地。

4.1.2 厂区总平面布置

4.1.2.1 厂区总平面布置

厂区总平面布置原则：

- 总平面布置与总体规划相协调一致，满足规划容量的要求；

- 核岛厂房等与核安全相关的厂房和设施，应布置在埋深适宜、承载力满足要求的均匀、稳定的地基上；
- 工艺流程合理，功能分区明确，交通运输便捷；
- 确定合理的通道宽度，满足管网布置、生产运行管理和施工安装要求；
- 合理利用厂址地形、地质条件，减少土石方工程量；
- 合理确定厂坪标高，降低运行费用；
- 节约用地。

4.1.2.2 工程子项目

核岛主厂房采用单堆布置，包括反应堆厂房（BRX）、安全厂房（BSA、BSB、BSC）、燃料厂房（BFX）、核辅助厂房（BNX）和应急柴油发电机厂房（BDA、BDB、BDC）、SBO 柴油发电机厂房（BDU）。

4.1.3 排放口布置

本工程产生的放射性废气经处理、监测达到排放规定后，主要通过各自位于辅助厂房顶部的烟囱排入环境。华龙一号机组采用单堆布置，机组烟囱的设计高度为 70m。

放射性废液经过放射性废液系统处理后采用槽式排放，贮存在贮存槽中的放射性废液经处理、监测达到排放标准后，与电厂的温排水混合后最终排入大海。

核电厂各厂房、实验室、办公楼等设施内的卫生设备排水，以及洗衣房、食堂等生活设施的排水等，由生活污水管网收集，排入污水处理站，通过生物处理工艺进行集中处理，达到相关的排放标准后，部分回用于厂区绿化、道路浇洒等，其余从单独的排水口排入相关海域。

各操作区存在被碳氢化合物污染的水，这类废水汇集到专门的管网后进入含油废水处理系统；含潜在放射性含油废水送往潜在放射性含油废水处理站（BER），处理分离出的油脂收集后装入油桶运送到厂外，分离出的水送入 BQB 厂房；不含放射性的含油废水，进入非放射性含油废水处理站（BES），处理分离出的油脂收集后装入油桶运送到厂外；分离出的水排入非放工业废水系统。

设置非放工业废水处理系统，针对核电厂正常生产过程中的淡水类非放射性废水进行收集、处理后达标回用或排放，以实现“雨污分流”。

4.2 反应堆和蒸汽—电力转换系统

4.2.1 概述

4.2.2 核岛

4.2.3 常规岛

4.2 反应堆和蒸汽—电力转换系统

4.2.1 概述

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程拟建两台华龙一号核电机组，每台机组由核岛、常规岛和电厂配套设备组成，部分设施按全厂共用原则设置。

每台华龙一号机组核蒸汽供应系统（NSSS）的额定功率为 3190MWt，堆芯额定功率 3180MWt。反应堆堆芯装有 177 个全 M5 AFA 3G 燃料组件，冷态时堆芯等效直径为 3.23m，活性段高度为 365.76cm，平均线功率密度为 181.2W/cm。铀装载量 80.91t。反应堆冷却剂系统（RCP）由三个环路组成，运行压力约为 15.5MPa。

本工程采用 18 个月换料方式，电厂设计寿命为 60 年。

华龙一号充分借鉴融合了三代核电技术的先进设计理念和我国现有压水堆核电站设计、建造、调试、运行的经验，以及近年来核岛发展及研究领域的成果，满足我国最新核安全法规要求和国际、国内最先进的标准要求，同时参考国际先进轻水堆核电站用户要求（URD 和 EUR），满足三代核电技术的指标要求，满足“采用国际最高安全标准”要求。此外，华龙一号采用经过验证的技术，并充分利用我国目前成熟的装备制造体系，具有技术成熟性和完全自主的知识产权，采用能动与非能动技术相结合的技术，满足全面参与国内和国际核电市场的竞争要求。

4.2.2 核岛

4.2.2.1 核岛主厂房布置

核岛主厂房采用单堆布置，包括反应堆厂房（BRX）、安全厂房（BSA、BSB、BSC）、燃料厂房（BFX）、核辅助厂房（BNX）和应急柴油发电机厂房（BDA、BDB、BDC）、SBO 柴油发电机厂房（BDU）。

4.2.2.2 堆芯设计

4.2.2.2.1 堆芯描述

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程反应堆堆芯额定功率为 3180MWt，一回路工

作压力为 15.5MPa，堆芯等效直径为 323cm，活性段高度为 365.76cm。

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程的堆芯设计采用首循环年度换料、平衡循环 18 个月换料燃料管理策略。

4.2.2.2.2 燃料组件和燃料棒

本工程机组堆芯燃料组件选用全 M5 AFA3G 燃料组件，由 17×17 排列的燃料棒和燃料组件骨架组成。其中燃料棒由包壳管及装在其中的低富集度烧结圆柱形 UO_2 或 $UO_2-Gd_2O_3$ 芯块及螺旋弹簧组成，并在管的端部装上端塞，进行密封焊接。燃料组件骨架由 24 根导向管、1 根仪表管、1 个上管座部件、1 个下管座部件、8 个结构格架、3 个跨间搅混格架和连接件构成。

4.2.2.2.3 其他组件

本工程堆芯内的其他相关组件包括控制棒组件、中子源组件和阻流塞组件。此外还包括由多块不锈钢平板拼接而成的直角多边形筒体，形成堆芯外部轮廊的堆芯围板，反应堆内用于盛放堆芯的带法兰不锈钢圆筒的堆芯吊篮，和位于反应堆压力容器底部的堆内中子探测器的导向管内的堆内中子通量探测器和热电偶等堆芯测量装置等。

4.2.2.3 反应堆冷却剂系统

华龙一号反应堆冷却剂系统（RCP）由并联到反应堆压力容器的三条相同的传热环路组成，执行三大基本安全功能：反应性控制、堆芯热量导出、放射性物质包容。主要设备包括：

- 反应堆压力容器；
- 反应堆冷却剂泵；
- 蒸汽发生器包容冷却剂的部分；
- 稳压器以及与其相连接到一条反应堆冷却剂环路热段的波动管线；
- 安全和自动卸压系统阀；
- 反应堆堆顶排放阀；
- 以上主要部件相连的管道和附件；
- 与辅助和支持系统相连接的管道、附件和阀门。

4.2.2.4 核辅助系统

核辅助系统保证反应堆和一回路的正常启动、运行与停堆。核辅助系统包括：化学和容积控制系统（RCV）、反应堆硼和水补给系统（REA）、反应堆水池和燃料水池冷却和处理系统（PTR）、蒸汽发生器排污系统（APG）、核取样系统（REN）、冷链系统等。

4.2.3 常规岛

4.2.3.1 常规岛主厂房布置

常规岛主厂房包括汽轮发电机厂房与毗屋。汽轮发电机厂房内主要安装有汽轮机、发电机、励磁机、汽水分离再热器、凝汽器、凝结水泵、低压加热器、除氧器、电动给水泵组、凝结水精处理设备、高压加热器、化学取样设备、暖通设备、电气开关柜、蓄电池组以及其它辅助设备；毗屋内设有凝结水精处理间、润滑油传送间等。

4.2.3.2 蒸汽—电力转换系统

蒸汽—电力转换系统由核岛蒸汽供应系统供汽，驱动额定输出功率约 1220MWe 的汽轮发电机组。蒸汽电力转换系统包括主蒸汽系统及疏水系统、汽水分离再热器系统、凝结水系统、汽机回热抽汽系统、汽机旁路系统、主给水系统和其它辅助系统。

4.2.3.3 汽轮机发电机组

（1）汽轮机

汽轮机为三缸四排汽，全周进汽，串联布置，转速为 1500rpm，每台汽轮机组配有四组高压主汽调节联合阀。每组联合阀体上有 1 个主汽门和 1 个调节汽门。蒸汽通过这 4 套主汽门和调节汽门进入高压缸。主汽门的主要作用是在紧急条件下切断通往高压缸的蒸汽，其支撑结构不受汽机的影响。调节汽门的主要功能是根据控制系统的要求调节进入汽机的蒸汽量。经由主汽门的蒸汽，通过调节汽门后进入到高压缸膨胀做功。

高压缸上有两级抽汽分别至 7 号和 6 号高压加热器加热给水。高压缸排汽通过高

压排汽管输送到位于机组两侧的汽水分离再热器中进行汽水分离和再加热，其中一部分排汽被送往除氧器对给水进行除氧和加热，还有一部分排汽被送往厂内供热和厂外供热子项作为加热汽源。经过汽水分离和两级再热后的蒸汽进入中压缸继续膨胀做功，之后再进入低压缸做功。

中压缸上有 2 级抽汽分别被引出至 4 号、3 号低压加热器；低压缸上有 2 级抽汽分别被引出至 2 号和 1 号低压加热器。蒸汽在低压缸膨胀做功后排入凝汽器，最终凝结成水。

（2）发电机

本工程采用的发电机为三相、旋转磁场、圆柱形转子、水平放置同步发电机，1500rpm，4 极，额定功率 1220MWe，额定电压 24kV（或 27kV），自并励静态励磁。

发电机冷却方式为水-氢-氢冷却，即定子绕组、引线、引出线等为水内冷，转子绕组为氢内冷，定子铁芯及其它构件为氢冷。冷风由发电机风扇通过通风孔和通风沟打入转子和铁芯背部通风道。气体冷却器水平安装在发电机机座顶部的冷却器罩内，氢气通过冷却器的翅片管内的冷却水冷却。

发电机定子机座由一个钢板焊接结构的气密圆柱形外壳组成，内部在径向和轴向两个方向上用筋板加固，以提供一个刚性结构。定子铁芯由高质量硅钢片组成。定子绕组由双层、半个绕组构成，并在嵌入定子铁芯槽中后端部被连接起来，形成一个完整的绕组。

氢冷发电机配有密封油系统，用来防止氢气通过轴通透部分泄漏出发电机，同时又防止空气进入到发电机内。密封油系统分为空侧密封油系统和氢侧密封油系统。空侧密封油由 2 台互为备用的交流密封油泵或应急直流密封油泵提供。

定子冷却水系统设计用以维持定子线圈的合适温升，保持冷却水导电率在足够低的水平。在发电机额定输出功率的条件下，供给定子线圈的冷却水保持在一个额定的流量，流量的大小和冷却水的导电率由控制系统检测和控制。

4.2.3.4 凝汽器

凝汽器为单背压、单流程的表面式热交换器。凝汽器的壳体布置在汽轮机厂房运转层的下方，每台凝汽器壳体喉部均安装有复合低压加热器。凝汽器装有用于热井水位控制和取样的管道。凝汽器冷却管采用钛管。每个壳体均设置 2 个凝结水出口，通

过支管汇集到凝结水母管，然后进入凝结水泵。

凝汽器不仅接收并冷凝满负荷运行时的汽轮机排汽，还需接收二回路热力循环系统中的各个设备及热力管道的排汽和疏水，以及厂内供热和厂外供热子项的疏水。这些流体通过凝汽器被循环水冷却，热量由循环水带入大海，不凝结气体由凝汽器真空系统抽出。凝汽器的设计容量除能够满足低压缸排汽之外，还能够接收 85%满负荷主蒸汽流量的旁路蒸汽。

4.3 核电厂用水和散热系统

4.3.1 核电厂用水

4.3.1.1 核电厂用水来源

4.3.1.2 核电厂用水系统

4.3.2 核电厂散热系统

4.3 核电厂用水和散热系统

4.3.1 核电厂用水

4.3.1.1 核电厂用水来源

淡水水源主要有水厂供水及海水淡化两部分。

华能山东石岛湾核电厂扩建一期工程施工期生产、生活用水由八河水库供水。八河水库位于荣成市城区以南 14km，小落河、王连河下游入海口处，2019 年水库增容工程竣工验收，总库容 10434 万 m³，八河水库是一座以向城市供水和灌溉为主，结合防洪、灌溉、养鱼等综合利用的大型水库。根据本工程建设单位于 2020 年 9 月与荣成市水利局签订的《华能山东石岛湾核电厂供用水协议补充协议》，在本项目施工期，八河水库可供水 210 万 m³/年。本工程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。

本扩建工程运行期采用海水淡化供应生产生活用水。

4.3.1.2 核电厂用水系统

核岛冷却链系统包括设备冷却水系统（RRI）和重要厂用水系统（SEC），其功能是将核岛用户的热量移出到最终热阱。

（1）与热交换相关的系统主要有：

一 重要厂用水系统（SEC）

重要厂用水系统（SEC）是一个开式系统，从大海吸取冷却水，冷却设备冷却水系统（RRI）的 RRI/SEC 换热器，再将冷却 RRI/SEC 换热器后的热水排至大海，执行其将 RRI 系统收集的热负荷输送至最终热阱——大海的安全功能。SEC 系统由三列独立的安全系列组成。

一 设备冷却水系统（RRI）

设备冷却水系统（RRI）是一个闭式回路的冷却水系统，通过重要厂用水系统（SEC）与最终热阱相连，导出核岛安全和非安全相关系统及设备的热量。RRI 由 3 个冷却系列组成，每个系列由相互独立的 SEC 为其提供冷却。RRI 系统作为核岛一回路和环境之间的一道屏障，能够防止放射性物质泄漏到环境，同时也可以防止未经处理的海水

进入安全壳或反应堆系统中。

（2）与供水相关的系统主要有：

— 饮用水系统（SEP）：SEP 饮用水系统的任务是供应生产生活用水，并将其分配至核电站的各个建筑物。

（3）与冷却水循环相关的系统主要有：

— 循环水过滤系统（CFI）：确保常规岛的循环水系统及重要厂用水系统（SEC）的过滤功能，并阻止海生物和污物经由海水夹带进入联合泵站和各冷却系统。循环水过滤系统（CFI）位于联合泵房（BPW）。

— 循环水处理系统（CTE）：向循环水过滤系统（CFI）、循环水系统（CRF）和重要厂用水系统（SEC）供应活性氯化物溶液，以尽量减少微生物、藻类和贝类的繁殖。

— 循环水系统（CRF）：提供海水作为汽机凝汽器的冷却水，以排出运行期间乏汽的热量。该系统也向常规岛的闭路冷却水系统（SRI）的热交换器提供冷却水。

（4）海水淡化系统

海水淡化系统（SWD）的功能是将海水进行淡化处理后，向除盐水生产系统（SDA）、工业水系统（SEI）供应符合质量要求的淡水。

海水淡化系统的海水取水泵布置在BPX泵房，其余设备集中布置在海水淡化厂房（BHW）。海水淡化厂房紧邻除盐水生产车间/除盐水贮存罐（BYA/BYB），两者为联合建筑。预处理设施、污泥处理设施以及各类水箱、水池等布置在室外，细砂过滤器、反渗透装置、各类水泵等布置在厂房内。

4.3.2 核电站散热系统

4.3.2.1 取排水系统

华能山东石岛湾核电站扩建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核压水堆示范工程统一规划，采用南北明渠分取、中间明渠合排布置方式。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；国核压水堆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已建设完成，

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程将延长新建本期段排水明渠，排水口相对养参池向东延伸 600m 作为厂址规划容量下的排水工程，将在华能山东石岛湾核电站扩建一期工程阶段实施。

（1）取水系统

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，北取水明渠共分三期建设，在建一期满足高温堆机组的取水条件，二期满足扩建工程 1 号、2 号华龙一号机组的取水条件。

（2）排水系统

厂区东侧明渠排水，排水明渠长约 2.5km（至养参池外延约 600m）。

4.3.2.2 循环水系统

本期工程建设 2 台华龙一号核电机组，电厂海水直流供水系统分别向循环冷却水系统(CRF)、重要厂用水系统(SEC)、辅助冷却水系统(SEN)、循环水处理系统(CTE)、海水淡化系统(SWD)以及循环水过滤系统(CFI)提供冷却和生产用海水。

循环水系统组成如下：

- 取水明渠；
- 明渠拦污设施；
- 联合泵房，包括循环水泵、重要厂用水泵、消防泵及过滤设备鼓网等；
- 循环水压力进水管等；
- 凝汽器；
- 循环水压力排水管沟；
- 虹吸井；
- 排水暗涵及排水明渠；
- 排水口。

主要工艺流程如下：

黄海→取水明渠→明渠拦污设施→泵房前池→粗格栅→钢闸门/加氯框→细格栅/清污机→旋转滤网→循环水泵→循环水压力进水管→二次滤网→凝汽器→循环水压力排水管沟→虹吸井→排水暗涵→排水明渠→厂区东侧排水口。

4.4 输电系统

4.4 输电系统

根据《华能石岛湾核电厂扩建工程输电规划》的推荐方案，考虑华能石岛湾核电工程 4 台机组连续建成投产，石岛湾核电厂址出线 6 回。

华能石岛湾核电厂 220kV 辅助电源建设 2 回进线，石岛湾核电厂址 220kV 辅助电源远景考虑以 2 回 220kV 线路接入系统。随着华能石岛湾 4 台核电机组的建设，本期新建至高温气冷堆 1 回 220kV 线路，进一步提高核电厂址备用电源的可靠性。

4.5 专设安全设施

4.5.1 安全壳及安全壳系统

4.5.2 安全注入系统（RIS）

4.5.3 应急硼化系统（RBS）

4.5.4 应急给水系统（ASG）

4.5.5 蒸汽大气排放系统（VDA）

4.5.6 二次侧非能动余热排出系统（ASP）

4.5.7 额外冷却系统（ECS）

4.5.8 可居留性系统

4.5 专设安全设施

根据华能山东石岛湾核电厂扩建一期工程运行期间事件/事故的预期发生频率，可以将核电机组的设计基准工况分为如下四类：

- DBC-1：正常运行瞬态；
- DBC-2：预期运行事件；
- DBC-3：稀有事故；
- DBC-4：极限事故。

除设计基准事故外，设计上还考虑了两类设计扩展工况（DEC），分别为 DEC-A 类事故和 DEC-B 类事故。其中，DEC-A 类为 DBC 工况未涵盖的、但为满足概率安全目标或放射性后果必须加以考虑的多重失效复杂事故；DEC-B 类为严重事故。

华能山东石岛湾核电厂扩建一期工程的专设安全设施主要包括：安全注入系统（RIS）、应急硼化系统（RBS）、应急给水系统（ASG）、二次侧非能动余热排出系统（ASP）、冷链系统（设备冷却水系统（RRI）/重要厂用水系统（SEC）/额外冷却系统（ECS）、安全壳及相关系统等几个系统组成。专设安全设施的设计目标为：在发生 DBC 和 DEC-A 后，确保核电厂状态实现反应性控制、堆芯衰变热排出、向环境释放的放射性物质满足限值要求。

4.5.1 安全壳及安全壳系统

安全壳及安全壳系统的范围包括密封的双层安全壳构筑物及其延伸部分，以及为了维持安全壳的完整性和密封性并实现其功能设置的子系统和设施，这些系统及设施应包含：

- 双层安全壳构筑物及其延伸部分；
- 安全壳隔离设施；
- 能量控制设施；
- 环境条件保障和控制设施；
- 放射性核素控制设施；
- 可燃气体控制设施；
- 安全壳内仪表显示及控制设施；
- 安全壳试验及检查设施。

安全壳是核电站的第三道独立屏障，华能山东石岛湾核电站扩建一期工程的安全壳采用双层安全壳。内层安全壳是预应力混凝土结构并带有一定厚度的钢衬里，包容整个反应堆冷却剂系统、安全壳厂房内换料水池、部分主蒸汽系统和部分主给水系统等，主要用于密封和承压；外层安全壳是钢筋混凝土结构，主要用于防御外部自然事件和人为事件；内外层安全壳之间的环廊维持在负压状态，收集来自内层安全壳所有可能的泄漏，经过滤后通过烟囱排放到环境中。安全壳及安全壳系统应具备的功能如下：

- 在正常运行和事故工况下的放射性物质包容；
- 在正常运行和事故工况下的辐射屏蔽；
- 内层安全壳内的能量管理；
- 内外部灾害的防护；
- 安全壳及安全壳系统的运行维护。

4.5.2 安全注入系统（RIS）

安全注入系统（RIS）的主要功能是事故后向反应堆应急注水以补偿水装量的丧失或淹没堆芯，将热量从反应堆导出，此外，RIS 系统还执行正常停堆和事故工况下余热排出的功能。

1) 安全功能

— 反应性控制

在设计基准事故（DBC-3~DBC-4）、复杂事故序列（DEC-A）情况下，RIS 系统运行在安注模式下，将安全壳内置换料水箱（IRWST）和安注箱内的含硼水注入到反应堆冷却剂系统（RCP）内，以控制堆芯的反应性。

— 余热排出

在丧失冷却剂事故下（小破口失水事故（SB-LOCA）到双端剪切断裂失水事故（2A-LOCA）、蒸汽发生器传热管破裂（SGTR））将水注入到反应堆内，防止堆芯裸露，限制燃料包壳温度的峰值。另外，如果破口发生在冷段，低压安注（LHSI）通过冷、热段同时注入，防止硼在堆芯燃料上结晶导致的传热恶化。

在余热排出（RHR）运行模式下，如果发生 RCP 系统误疏水或 SB-LOCA 事故（DBC-4），为确保 RCP 的水位，由中压安注（MHSI）泵补偿破口或泄漏丧失的 RCP

容积，满足 LHSI 泵在 RHR 模式下的运行条件。

在 DBC 或 DEC-A 事故工况下，通过 RHR 运行模式或事故长期运行模式，将堆芯衰变热排出，使机组进入安全停堆状态或最终状态。

在安全壳内发生中破口失水事故（IB-LOCA）及以上的破口事故时，RIS 系统通过 LHSI 泵和余热排出换热器的运行，对注入 RCP 系统的含硼水和 IRWST 内的流体进行冷却，带走 IRWST 和安全壳内的热量。

失水事故（LOCA）工况下，过滤进入 IRWST 内的碎片，确保 RIS 泵（MHSI 泵和 LHSI 泵）和安全壳热量导出系统（EHR）泵的正常运行。

在非 LOCA 的事故下，例如主蒸汽管道断裂（DBC-4），通过安注补偿由于 RCP 冷却导致的冷却剂收缩，直到安全停堆状态。

— 放射性包容

在 IB-LOCA 及以上的破口事故下，LHSI 泵下游的换热器对注入堆芯的含硼水进行冷却，并通过冷、热段同时注入的方式限制破口处产生的蒸汽，保证安全壳的完整性。

IRWST 作为安全壳内的热阱，吸收安全壳大气内的热量，限制安全壳压力和温度的升高，保护安全壳不超压。

MHSI 的注入压力低于主蒸汽系统（VVP）安全阀的设定压力，防止在 SGTR 事故下 VVP 安全阀被打开，导致放射性物质大量向大气释放。

在发生失水事故（LOCA）后，RIS 系统调节事故后安全壳内长期水源的 pH 值，从而有利于安全壳内放射性核素（碘）的滞留。

2) 运行功能

在 RHR 冷却正常停堆模式（NS/RIS-RHR）下，RIS 系统在 RHR 模式下运行，带走堆芯衰变热并降低冷却剂的温度。

在装、卸燃料和维修操作时，RIS 系统在 RHR 模式下运行，保持 RCP 冷却剂的温度，维持一回路在冷停堆状态。

当 RCP 内的压力低于化学与容积控制系统（RCV）下泄管线运行要求时，通过 RIS 的管线完成低压下泄，并将冷却后的冷却剂输送至 RCV 系统进行净化。

电厂正常运行工况下，当中性除盐水分配系统（SED）或反应堆硼和水补给系统（REA）对 IRWST 进行硼水补给（弥补水的蒸发或泄漏）或 IRWST 温度升高时，通

过 LHSI 泵下游的切向和径向小流量管线搅混 IRWST，通过换热器冷却 IRWST，以均匀 IRWST 内的硼浓度和温度。。

RCV 容控箱不可用情况下，IRWST 可以作为 RCV 的后备水源。

在冷停堆期间，将安注箱降压后与一回路连接，保证主泵在低压状态下的运行条件，防止主泵损坏。

在正常运行期间，通过安注箱的持续加压，防止发生反应堆冷却剂压力边界（RCPB）隔离阀间的死管段现象。

4.5.3 应急硼化系统（RBS）

应急硼化系统（RBS）是一个安全系统，在事故工况下对一回路进行硼化，用于补偿由于堆芯冷却和氙毒减少引入的正反应性。在发生设计基准工况（DBC-2 到 DBC-4）或设计扩展工况（DEC-A）中，当机组达到可控状态后由操作员手动投入 RBS 系统，使得一回路可以进一步降温、降压，直到堆芯到达安全停堆状态。在发生由控制棒故障引起的未能紧急停堆的预期瞬态（ATWS）时，RBS 系统自动投入运行，保证堆芯处于次临界状态。

4.5.4 应急给水系统（ASG）

1) 安全功能

应急给水系统（ASG）执行以下三个基本安全功能。

- 反应性控制

当发生主蒸汽管线破裂（MSLB）事故，通过隔离受影响蒸汽发生器的应急给水管线（ASG 系统管道），防止过量给水注入蒸汽发生器导致堆芯过冷，维持堆芯处于次临界的可控状态。

- 余热排出

ASG 系统必须确保在 DBC-2、DBC-3、DBC-4 工况下向完好的蒸汽发生器提供应急给水，通过蒸汽发生器导出 RCP 系统的堆芯衰变热和显热，直至 RIS 系统以余热排出（RHR）模式运行。

在 DEC-A 事故时（例如 SBO 或 TLOCC），ASG 系统向蒸汽发生器提供应急给水，通过蒸汽发生器导出 RCP 系统的堆芯衰变热和显热，将机组带入到最终状态。

- 放射性包容

在 SGTR 等一、二次侧连通的事故工况下，隔离受影响蒸汽发生器的应急给水管线（ASG 系统管道），防止放射性物质不可控地向环境释放，实现放射性物质的包容。

在安全壳内 FLB 或 MSLB 事故工况下，隔离受影响蒸汽发生器的应急给水管线（ASG 系统管道），降低通过破口向安全壳内喷放的高温、高压流体的流量，防止安全壳的压力和温度持续上升，避免第三道屏障完整性失效。

2) 运行功能

在机组正常停堆期间，向蒸汽发生器注水，并同时向核岛化学加药系统（SIH）提供的化学药剂注入蒸汽发生器内完成湿保养操作。

在机组正常启动期间，完成蒸汽发生器初次充水。在启动和停堆给水系统（AAD）投用之前，对蒸汽发生器进行必要的补水，维持正常水位。

4.5.5 蒸汽大气排放系统（VDA）

蒸汽大气排放系统（VDA）的系统功能有安全功能和运行功能。

1) 安全功能

- 反应性控制

在蒸汽流量过度增加的事故工况中，VDA 的隔离作为一回路过冷保护的一部分，参与执行反应性控制。

- 余热排出

发生 DBC-2/3/4 及 DEC-A 类事故时，VDA 能够通过向大气排放蒸汽来排出余热。

- 放射性物质包容

在 DBC-2/3/4 和 DEC-A 事件中，通过 VDA 的开启来参与防止蒸汽发生器超压。

此外，在中压快速冷却结束后，通过提高 VDA 开启设定值，将放射性包容在受影响的蒸汽发生器之内，从而限制受影响 SG 向安全壳外的放射性释放。

最后，在严重事故情况下，VDA 必须参与安全壳的隔离。

2) 运行功能

VDA 不参与机组正常运行，但在以下工况需要 VDA 开启：

- 在某些试验工况或瞬态（GCT 不可用时的厂用电负荷运行、汽机跳闸等）期间，将蒸汽发生器的热量传输至大气；

- 在机组正常停运过程中，当 GCT 不可用时，可以用 VDA 来排出余热，直至达到 RIS 系统以 RHR 模式运行的接入条件；
- 对蒸汽发生器进行超压保护；
- 在机组正常启动过程中，当 RIS 系统退出 RHR 运行模式后，如果 GCT 不可用，可由 VDA 系统来控制一回路温度。

4.5.6 二次侧非能动余热排出系统（ASP）

二次侧非能动余热排出系统（ASP）主要用于设计扩展工况，应对的工况为需要应急给水系统（ASG）投运以排出一回路热量且 ASG 失效的事故工况，在这些工况中 ASP 能够持续排出一回路热量。这些工况主要包括：

- 丧失全部给水（状态 A）；
- SBO 叠加 SBO 柴油机失效；
- 其他需要 ASG 启动的事故叠加 ASG 失效。

此外，ASP 还可在所有需要通过 ASG 和蒸汽大气排放系统（VDA）进行排热的设计扩展工况的长期阶段为 ASG 提供水源，在反应堆水池和燃料水池冷却和处理系统（PTR）冷却回路机械系统完全失效的设计扩展工况的长期阶段为乏燃料水池补水。

在蒸汽发生器传热管破裂（SGTR）工况下，作为蒸汽发生器（SG）压力边界范围的 ASP 设备参与 SG 隔离功能。

在严重事故工况下，通过隔离自身，参与隔离安全壳外二次侧系统。

4.5.7 额外冷却系统（ECS）

额外冷却系统（ECS）执行如下余热排出安全功能：在部分 DEC-A 工况（完全丧失冷链（TLOCC）、全厂断电（SBO））和严重事故工况（DEC-B）下，通过冷却安全壳热量导出系统（EHR）的换热器导出堆芯及安全壳内余热；通过冷却反应堆水池和燃料水池冷却和处理系统（PTR）的换热器来移出燃料厂房乏燃料水池的衰变热。

ECS 设置了中间冷却回路，通过中间波动箱维持回路压力，保证该回路运行压力始终高于 EHR 系统和 PTR 系统，从而确保放射性物质的包容。

ECS 系统为一列配置，包括：

- a) 终端冷却回路：由一台终端循环泵、一台终端过滤器、一套机械通风冷却塔、

集水池、补给水池、以及相关的管道、阀门和管部件组成；

b) 中间冷却回路：由一台中间循环泵、一台中间换热器、一个中间波动箱以及相关的管道、阀门和管部件组成。

电厂正常运行期间，ECS 系统处于备用状态；事故工况下，由操作员手动启动，为 EHR 及 PTR 系统 A 列提供冷却，导出堆芯及乏池热负荷。

4.5.8 可居留性系统

控制室可居留性系统主要的设计功能是为可居留区域提供一个安全的环境，使操作人员在此环境中，能在电厂正常运行期间保持核反应堆和辅助系统在受控之下，在异常情况期间能使这些系统安全停堆，以保护公众和电厂工作人员的健康和安全。

该系统必须保证控制室在正常工况下的可居留性，在设计基准事故、严重事故和外部事件发生时及事故后的居留期得以延长，并保证在控制室或其他可选停堆站控制反应堆的操作不受影响。可居留性系统包括辐射屏蔽、冗余设置的新鲜空气供应和调节系统、防火排烟、人员的防护设备、应急照明、通讯、生活保障及救生设施。

- 4.6 放射性废物管理系统和源项
 - 4.6.1 放射性源项
 - 4.6.2 放射性废液管理系统及排放源项
 - 4.6.3 放射性废气管理系统及排放源项
 - 4.6.4 放射性固体废物管理系统及废物量
 - 4.6.5 乏燃料暂存系统

4.6 放射性废物管理系统和源项

放射性废物管理系统主要包括放射性废液管理系统、放射性废气管理系统和放射性固体废物管理系统。

本节描述华能山东石岛湾核电站扩建一期工程的放射性废物管理系统和放射性源项，包括堆芯积存量、一回路和二回路的放射性活度，放射性液体、气体和固体废物处理系统，气载和液体放射性流出物的排放量及固体放射性废物的产生量。

放射性排放量主要取决于：

- 一回路冷却剂的放射性活度；
- 处理系统的设计处理能力及运行效能。

4.6.1 放射性源项

核电站放射性物质最根本的来源是反应堆燃料芯块内的链式裂变反应，正常运行工况下裂变产生的放射性裂变产物基本上都包容在燃料元件的包壳内，只有极少量的裂变产物通过包壳缺陷泄漏到一回路冷却剂中；同时裂变产生的中子使一回路冷却剂、控制棒、硼酸和其它结构材料受到激活而产生中子活化产物。这些裂变产物和活化产物形成反应堆冷却剂中的放射性源。它们通过冷却剂的净化、蒸汽发生器传热管束的泄漏等过程造成对核辅助系统和二回路的污染。

4.6.2 放射性废液管理系统及排放源项

放射性废液管理系统指具有控制、收集、处理、输送、贮存及排放放射性废液能力的系统，主要包括：

- 冷却剂贮存和处理系统（TEP）；
- 废液处理系统（TEU）；
- 核岛废液排放系统（TER）；
- 放射性废水回收系统（SRE）；
- 核岛排气和疏水系统（RPE）。

除此之外，其它已被污染或可能被污染的液体也由下列系统处理或收集：

- 化学和容积控制系统（RCV）；
- 反应堆换料水池和乏燃料水池冷却系统（PTR）；

- 蒸汽发生器排污系统（APG）；
- 常规岛废液排放系统（SEL）。

4.6.3 放射性废气系统及排放源项

放射性废气系统收集、贮存反应堆正常运行工况和预计运行事件时产生的放射性废气，处理后经监测符合国家标准的相关要求后排入大气。处理的废气包括含空气废气和含氢废气：

- 对放射性含氢废气进行控制、收集、运输、贮存、衰变和监测，直至达到允许向环境排放的水平时进行可控排放；
- 对放射性含空气废气进行控制、收集、运输和处理，直至达到允许向环境排放的水平时进行可控排放。

放射性废气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）。

4.6.4 放射性固体废物管理系统及废物量

核电厂放射性废物管理主要由固体废物处理系统（TES）实现，TES 系统为核电厂运行和维修时所产生的湿废物和干废物在处置前提供收集、处理、整备和暂存的管理。放射性固体废物包最终送往放射性废物处置场进行永久处置。

固体废物处理系统（TES）为核电厂运行和维修时所产生的放射性湿废物和干废物在处置前提供收集、处理、整备及暂存。TES 系统处理以下几种废物：

- a) 干废物（包括废纸、抹布、塑料、金属等）
- b) 湿废物
 - 废离子交换树脂（简称“废树脂”）
 - 废过滤器芯（简称“废滤芯”）
 - 浓缩液

TES 系统按不同的功能主要分为三部分：

第一部分为湿废物处理，包括湿废物的收集、转运、处理、整备等管理。湿废物处理相关的设备位于核辅助厂房（BNX）和放射性废物处理厂房（BWX），其中核辅助厂房为单机组布置。

第二部分为干废物处理，包括干废物的收集、转运、处理、整备等管理。干废物处理相关的设备位于废物辅助厂房（BQS）。

最后一部分为废物包暂存，包括各类废物包的引入、暂存及引出等管理。废物包暂存于废物暂存库（BQT）。

4.6.5 乏燃料暂存系统

乏燃料贮存系统的主要功能是对从反应堆中卸出的乏燃料组件，在运往后处理厂之前进行贮存和冷却。

4.7 非放射性废物处理系统

4.7.1 化学污染物

4.7.2 生活废物

4.7.3 其他废物

图

图 4.7-1 生活污水处理站（BEW）原则性流程图

4.7 非放射性废物处理系统

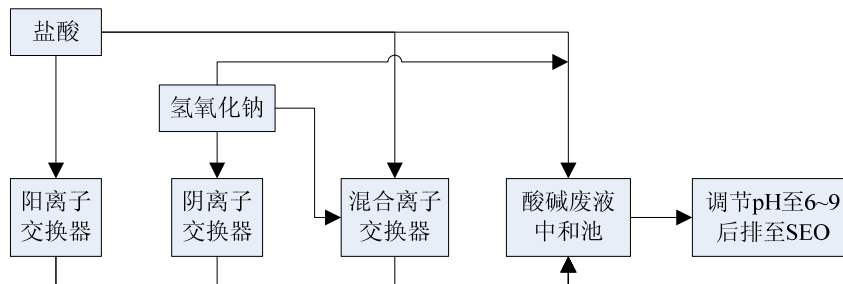
4.7.1 化学污染物

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程生产过程中需要使用一定量的化学品。这些化学品包括：硼酸、盐酸、硝酸、氢氧化钠、氢氧化钾、氢氧化锂、氨水、水合联氨、次氯酸钠、六氟化硫、氢气、液氮、二氧化碳、轻柴油、润滑油等。此外在检修过程中使用的材料、取样化验和实验室分析药剂还将使用氧气、乙炔、氮气、氩气、氦气等化学品。上述化学品中，大宗的化学物质排放主要来自以下系统：

- 化学水处理系统（SDA）；
- 凝结水精处理系统(ATE)；
- 循环水处理车间（CTE）；
- 常规岛化学加药系统（SIR）；
- 海水淡化系统（SWD）。

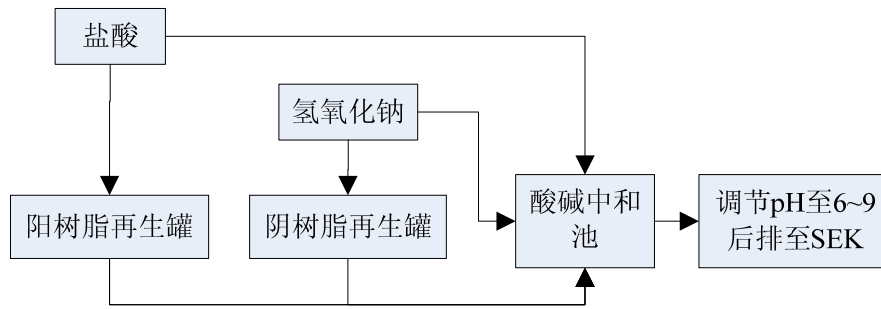
（1）化学水处理系统

化学水处理系统产生的废水主要来自离子交换树脂酸碱再生产生的酸碱废液。树脂再生废液排入酸碱中和池，再通过加酸或者加碱进行中和，调节 pH 值至 6~9 后至 SEO 排放。该系统化学物质使用及排放简图如下：



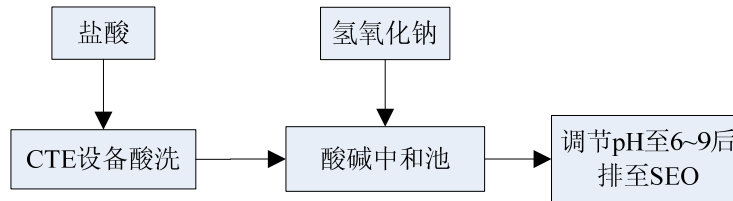
（2）凝结水精处理系统

凝结水精处理系统用于净化核电站二回路系统凝结水。系统内设有前置阳床和混床，运行一段时间后阴阳离子需要再生，再生需要使用酸（如盐酸）、碱（如NaOH），再生废水排至中和池，再生废水中和处理也需要投入一定量的酸碱。该系统化学物质使用及排放简图如下：



（3）循环水处理车间

为满足核电站运行的要求，循环水处理车间对循环冷却水连续加入次氯酸钠处理（电解氯化钠溶液）。电解设备运行一段时间需要酸（如盐酸）洗，产生酸洗废液收集至中和池，用碱（如NaOH）进行中和调节pH6~9后至SEO排放。该系统化学物质使用及排放简图如下：



（4）常规岛化学加药系统

常规岛化学加药系统，将化学添加剂注入二回路系统，用以控制二回路系统中水的化学工况，使蒸汽发生器在正常运行和停机保养中的腐蚀和固体沉积物减少至最小。在凝结水精处理混床出水和给水中实施加氨、加联氨处理。此外，磷酸三钠作为腐蚀抑制剂注入常规岛闭式冷却水系统中调节pH为9左右。

（5）海水淡化系统

海水淡化系统(SWD)的功能是将海水进行淡化处理后，向除盐水生产系统(SDA)、工业水系统(SEI)供应符合质量要求的淡水。

海水淡化系统拟采用反渗透法海水淡化方案，具体流程为：

海淡取水泵→混凝沉淀池→V型砂滤池→清水池→清水泵→超滤装置→超滤产水箱→一级反渗透提升泵→一级反渗透装置→一级淡水箱→二级反渗透提升泵→二级反渗透装置→二级淡水箱、工业水箱。

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；污泥浓缩池排出的清水、V型砂滤池和细砂过滤器反洗水达标排放，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，海淡水二级反渗透浓水回流至细砂过滤器产水箱进行再利用。

4.7.2 生活废物

本扩建工程产生的与放射性有关的固体生活废物均按放射性废物做专门处理，非放射性垃圾按生活垃圾处理规定收集处理。在核电厂非控制区及厂外附属、辅助区产生的非放射性固体生活垃圾应按规定收集暂存并送到指定的垃圾场处理。

本扩建工程生活污水处理站处理本工程核岛、常规岛以及其它BOP厂房、办公室、值班室等场所的生活污水，由生活污水管网收集，排入污水处理站，通过生物处理工艺进行集中处理，达到相关的排放标准后，部分回用于厂区绿化、道路浇洒等，其余从单独的排水口排入相关海域。生活污水处理站火灾危险性分类为戊类，建筑耐火等级为二级。

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。

本扩建工程生活污水处理站（BEW）原则性流程图见4.7-1。

4.7.3 其他废物

4.7.3.1 工业固废和危险固废

核电厂在正常运行过程中因设备的维修、零部件的损坏等会产生一定量工业固废，其中一般工业固废有废木材、废钢铁、废电缆、废塑料、废金属、废电动机、废变压器和废空调等，危险固废包括废油漆、废化学品、废润滑油、废日光灯管和废油布等。类比已运行核电站的年固废产生量，预计本工程正常运行期间的工业固废年产生总量约为80t，其中一般工业固废约为60t，危险固废约为20t。

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。

4.7.3.2 工业废水处理系统

（1）潜在放射性含油废水处理站（BER）

含有潜在放射性的污水，不含油部分直接送往 BQB 厂房；含油部分，送往潜在放射性含油废水处理站（BER）。两台机组建一座 BER 处理站，BER 厂房设置 4 台油水分离器，总处理能力为 50m³/h。

处理工艺流程如下：

含油废水→调节池（隔油池）→油水分离器→中间水池→BQB 厂房
 ↓
 污油池→外运

（2）非放射性含油废水处理站（BES）

不含放射性的含油废水，汇集到专门的管网内，进入非放射性含油废水处理站（BES），经过贮存、油水分离处理。分离出的油脂收集后装入油桶运送到厂外；分离出的水排入非放工业废水系统。本期工程两台机组建设一座 BES 处理站，BES 厂房设置两套油水分离器，每套油水分离器处理量为 5m³/h，总处理能力为 10m³/h。

处理工艺流程如下：

含油废水→调节池（隔油池）→油水分离器→中间水池→排入非放工业废水系统
 ↓
 污油池→外运

（3）非放工业废水处理系统（BST）

非放工业废水处理系统主要对核电站正常生产过程中的淡水类废水进行收集处理后达标回用或排放。根据本工程废水情况，进入非放工业废水处理系统的废水主要分为经常性废水和非经常性废水，具体情况如下：

a) 经常性废水

定期排水，酸碱再生废水，单次排放量 300m³，约 72h 排放一次。

b) 非经常性废水

主要包括：闭式冷却水系统、热水系统、辅助锅炉房排水、通风系统（NI/BOP）、综合廊道排水、取样系统以及 SIR 系统排水、二回路检修排水及二回路冲洗水（系统排放口设置检测，经检测，无放射性）、储存加氨调节的碱性水水箱检修排水（SER 水箱、二次侧非能动余热排出系统 ASP 水箱(补 SED 水)、应急给水系统 ASG 水箱）。机组大修期间排水，系统主要考虑最大单次排水量，主要为：二回路检修排水最大排水量约为

2000m³，二回路启动冲洗排水最大排水量约为 4000~9000m³。

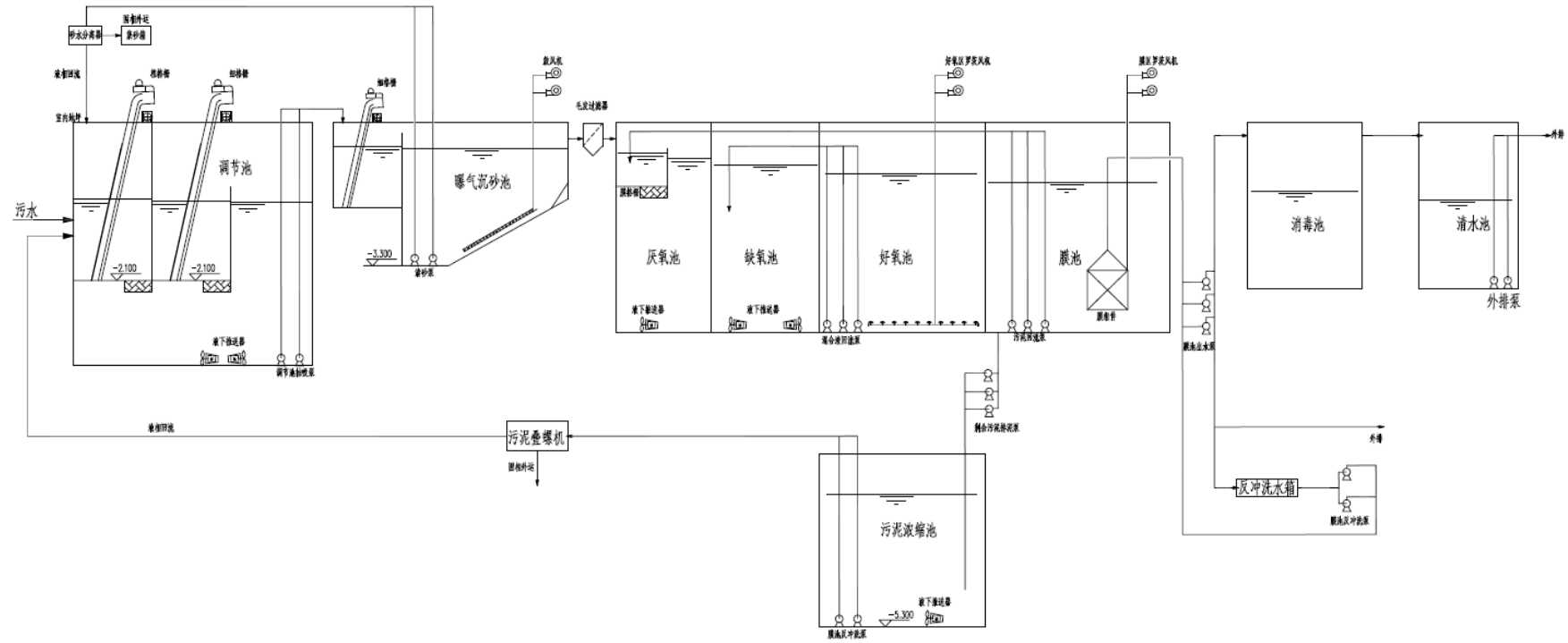
本期工程非放工业废水处理系统处理后中水进行回收利用，回用到除盐水生产系统，水质需满足阳床进水要求（海水淡化二级出水）。

非放工业废水处理系统（中水回用）主要工艺流程为：

废水收集池→混凝澄清过滤→超滤装置→反渗透装置→浓水外排至 CC 井。



回用至除盐水生产系统



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）		
生活污水处理站（BEW）原则性流程图		
图 4.7-1	版次：	B

4.8 放射性物质厂内运输

4.8.1 新燃料运输

4.8.2 乏燃料组件运输

4.8.3 放射性固体废物运输

4.8 放射性物质厂内运输

运进核电站的放射性物质有中子源和未经辐照的新燃料组件。中子源有一次源组件和二次源组件。新燃料组件和中子源运输容器的设计、制造应能满足我国《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）的要求。

运出核电站的放射性物质有两类，即乏燃料组件和放射性固体废物。

本节简要叙述新燃料、乏燃料和放射性固体废物的运输。

4.8.1 新燃料运输

新燃料组件的运输由新燃料供应商负责。新燃料组件如由中核建中核燃料元件有限公司（CJNF）生产，可采用铁路、公路运输方式运抵燃料厂房。

新燃料运输容器是由中国核电工程有限公司设计的 CNFC-3G 型新燃料运输容器。运输容器的设计和制造满足《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令 562 号）和《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）的要求。

装有新燃料组件的新燃料运输容器，用专门的运输车运至核电站，开进燃料厂房的 PMC 运输间内，用辅助吊车将新燃料运输容器吊起，通过燃料吊装孔吊至燃料厂房操作大厅以上，再运至新燃料接收间就位；打开新燃料运输容器盖，用辅助吊车和新燃料组件抓具将新燃料组件从容器中取出；进行新燃料组件外观检查，检查合格后，用辅助吊车和新燃料组件抓具将新燃料组件运至新燃料贮存格架中检查并贮存。

4.8.2 乏燃料组件运输

乏燃料的厂内运输包括乏燃料装入乏燃料运输容器，至厂外运输前的全过程。

乏燃料的厂内运输由辅助厂房吊车、燃料抓取机、容器专用运输卡车及相应的操作工具完成。乏燃料组件装在专用的密封乏燃料运输容器中外运。乏燃料装入运输容器的操作以及容器的清洗、检查在装料池和清洗池内进行。装料池和清洗池为两个毗邻的水池，均位于辅助厂房内乏燃料存储水池旁侧。它们均为内衬不锈钢板覆面的钢筋混凝土结构，与乏燃料存储水池连成整体结构。其中装料池与存储水池相通，并由水闸门隔开。

乏燃料组件通常存储在乏燃料存储水池中，直到裂变产物的活性降低到允许运输的程度。然后，将乏燃料组件装入到乏燃料运输容器中。

乏燃料的厂外运输拟委托国内有资质的公司进行。乏燃料厂外运输遵循《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令第 562 号）和《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）的要求，按选定的并经国家核安全局批准的运输线路，使用经国家核安全局批准的车辆，将乏燃料运至国家指定的乏燃料处理厂。

4.8.3 放射性固体废物运输

4.8.3.1 厂内转运

放射性固体废物的厂内转运将根据合理可行尽量低的原则，使用恰当的包装和保护，使厂区人员所受照射保持最低。

4.8.3.2 厂外运输

本期工程的放射性废物的厂外运输物为400L钢桶和混凝土高完整性容器废物包。放射性固体废物包的厂外运输是将废物暂存库（BQT）内暂存的放射性固体废物包运送到放射性废物处置场进行处置。放射性固体废物的厂外运输方案将考虑运输过程中可能发生的事故，并准备具体的应急措施，使其对环境的可能影响减至最低。

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 各种施工机械在不同距离的预测值

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

华能山东石岛湾核电站扩建一期工程永久用地面积约 96.15hm²，各类型用地面积分别为：农用地 19.2982hm²，建设用地 70.5658hm²，其他土地 6.2838hm²。

扩建一期工程临时用地规划于高温气冷堆示范工程厂区北侧、西北侧及扩建一期工程西侧的场地。施工力能及砂石场、搅拌站位于扩建一期工程厂区与国和一号厂区相接区域的西北侧，占地约 12.5hm²，留有施工水、电等力能扩建用地。施工生活区位于国和一号工程西北侧，占地约 10.3hm²，可满足本工程需求。临建办公区位于高温气冷堆工程西北侧，占地约 7.5hm²，可结合工程实际需求建设办公设施。主要的施工临建区及表土堆放区位于高温气冷堆工程厂区北侧（约 43.5hm²），同时在方便设备运输、贮存的基础上，兼顾扩建二期工程的分期建设、连续建设的可能，在扩建二期工程场地内规划约 4hm²的堆场。

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。工程共需开挖土石方 68.89 万 m³，填筑土石方 62.86 万 m³。考虑土石方调整、负挖工程、海工工程弃土后，约有 285.76 万 m³ 多余渣土。

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，厂区内和施工准备区产生噪声的活动包括场地负挖，土石方爆破、道路平整、主厂房（核岛、常规岛）的建设和厂区辅助配套设施的建设，另外设备安装和汽车运输也会产生一定噪声。表土堆放区的汽车运输也会产生一定噪声。噪声源按无指向性点声源简化处理，点声源对外界环境的影响可用半自由声场点声源几何发散衰减公式计算，各种施工机械在不同距离的预测值见表 5.1-1。

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

施工机械作业时可视为点声源，距离加倍时噪声降低 6dB，如果考虑空气吸收，则附加衰减 0.5~1dB/100m。表 5.1-1 所示结果表明，昼间施工机械在距施工场地 100m 外可以达到标准限值；夜间噪声超标主要集中在 400m 以内。表中仅是部分施工机械满负荷运作时的辐射噪声，在施工现场，往往是多种施工机械共同作业的结果，因此达标距离要更大一些。施工单位在合理布置高噪声设备使用位置、统筹安排高噪声设备工作时间同时尽量选用低噪声设备的情况下，预计本项目施工期噪声可以满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的要求。距本工程最近的居民点是

东钱家村，距厂区最近距离为 720m，距施工准备区的距离约 300m~1100m。距表土堆放区最近的居民点是止马滩村，距离约 500m。通过点声源衰减计算公式预测，施工噪声对东钱家村的最大贡献值约 50dB（A），对止马滩村的最大贡献值约 46dB（A），施工单位在合理统筹安排高噪声设备工作时间和使用位置的情况下，施工噪声不会改变居民点所处《声环境质量标准》（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。

考虑施工期在东钱家村和止马滩村布设噪声监测点，根据监测结果采取适当的防护措施，尽量减小施工噪声对东钱家村的影响。

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_x 和碳氢化合物。

爆破过程除产生大量粉尘外，还会产生一定量的烟气，烟气量与炸药种类、用量和操作方式等诸多因素有关。本项目爆破使用乳化炸药，主要污染物为 NO_x，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。

东钱家村距厂区和施工准备区最近，位于厂区 NNW 方位约 0.72km 和施工准备区 W 方位约 300m~1100m。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 SO₂、NO₂、CO、O₃ 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、SO₂、NO_x、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/m³，小于 GB16297-1996 要求的无组织排放监控浓度限值 1.0mg/m³；无组织 SO₂ 浓度范围为 0.007~0.020mg/m³，小于 GB16297-1996 要求的无组织排放监控浓度限值 0.4mg/m³；无组织 NO_x 浓度范围为 0.024~0.044mg/m³，小于 GB16297-1996 要求的无组织排放监控浓度限值 0.12mg/m³；无组织非甲烷总烃浓度范围为 1.26~1.98mg/m³，小于 GB16297-1996 要求的无组织排放监控浓度限值 4mg/m³。

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。考虑施工期在东钱家村和止马滩村布设环境空气监测点，根据监测结果采取适当的防护措施，尽量减小施工的影响。

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。

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，使核电厂施工产生的废弃物尽可能实现回收利用和分类处理，以减轻对环境的影响。

5.1.2.7 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。

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。

表 5.1-1 各种施工机械在不同距离的预测值

单位：dB（A）

施工设备 \ 距离	5m	10m	20m	40m	60m	80m	100m	200m	300m	400m	500m
推土机	86	80.0	74.0	67.9	64.4	61.9	60.0	54.0	50.4	47.9	46.0
挖掘机	86	80.0	74.0	67.9	64.4	61.9	60.0	54.0	50.4	47.9	46.0
装载机	93	87.0	81.0	74.9	71.4	68.9	67.0	61.0	57.4	54.9	53.0
打桩机	91	85.0	79.0	73.0	69.4	66.9	65.0	59.0	55.5	53.0	51.0
重型运输车	86	80.0	74.0	67.9	64.4	61.9	60.0	54.0	50.4	47.9	46.0
混凝土输送泵	92	86.0	80.0	73.9	70.4	67.9	66.0	60.0	56.4	53.9	52.0
振捣棒	84	78.0	72.0	65.9	62.4	59.9	58.0	52.0	48.4	45.9	44.0
电锯	91.0	85.0	79.0	73.0	69.4	66.9	65.0	59.0	55.5	53.0	51.0
吊车、升降机	75	69.0	63.0	56.9	53.4	50.9	49.0	43.0	39.4	36.9	35.0
切割机	93	87.0	81.0	74.9	71.4	68.9	67.0	61.0	57.4	54.9	53.0

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

图

图 5.2-1 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，并延长新建本标段取水明渠。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。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。

本工程用海总面积为 80.7379hm²，其中，非透水构筑物用海分别为：排水渠扩建南堤 1.7728hm²，排水渠扩建北堤 1.7886hm²。排水口用海 8.4975hm²，温排水用海 68.6790hm²。

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。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，模拟结果表明大于等于 10mg/L 的包络面积为 0.58km²，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、施工结束的时刻有关），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 m³/年，最大月用水量为 11.39 万 m³/月，最大日用水量为 3742.9m³/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 500m³/d。按照用水定额 50L/人.d，总用水量约 500m³/d。污水采用生活用水量的 90%，为 450m³/d，污水总处理能力超过污水产生量。

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。绿化及道路喷洒用水量约 325m³/d，剩余部分排放，排放水质符合《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中的一级 A 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，该污水站工艺流程见图 5.2-1。施工生活区污水处理站主要负责处理施工生活区中居住的施工工人产生的生活污水，处理后的出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中的一级 A 标准后排放入海。

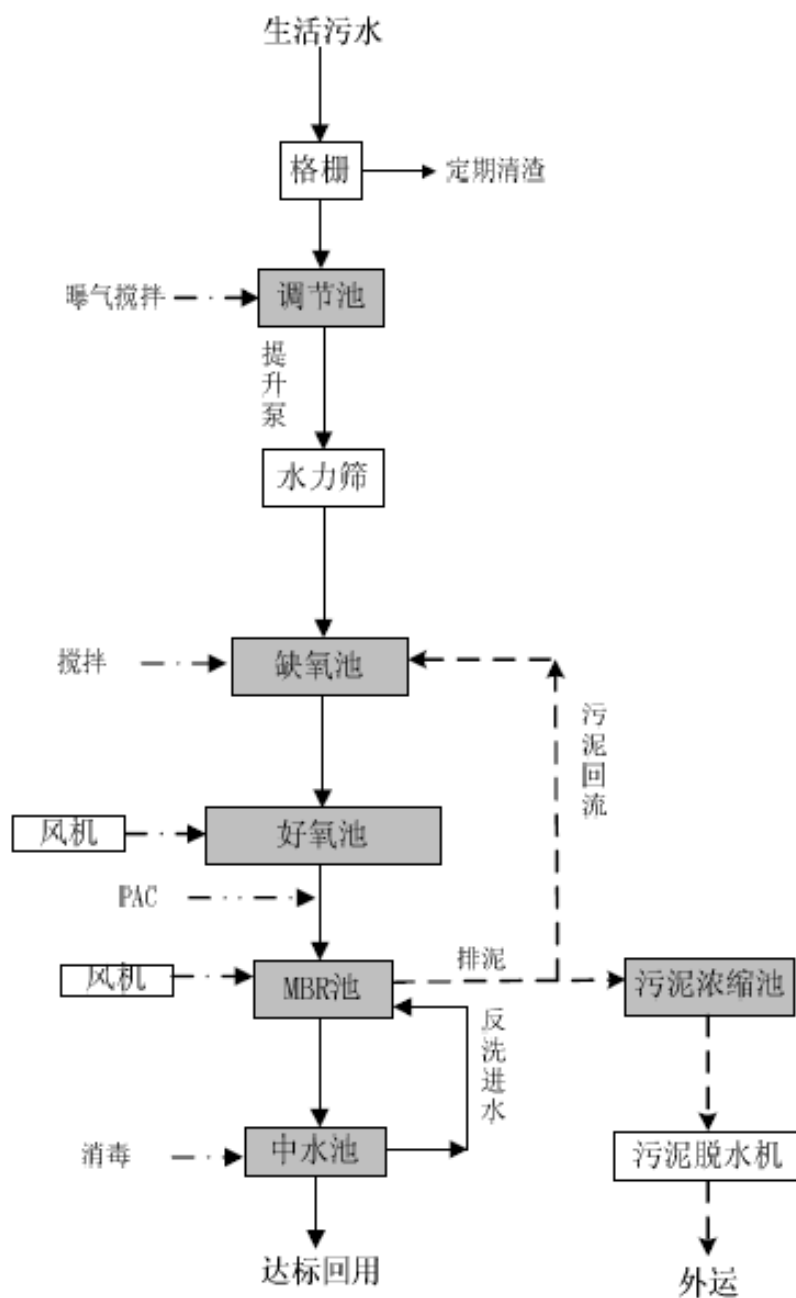
（2）含油废水

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。

（3）其它废水

施工期其它生产废水将全部回用，不外排。



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）		
施工生活区污水站工艺流程图		
图 5.2-1	版次：	B

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 γ 射线进行无损探伤检验，管理措施如下：
 - 1) 聘请有相应辐射安全许可证的专业公司开展；
 - 2) 根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等，制定电厂放射源的管理制度，包括操作规程、应急预案、监测计划等；
 - 3) 放射源存放在厂区内专用源库中，并设有专人看管和安保监控，放射源的进出库均需登记；
 - 4) 使用放射源的作业区范围内设置警示区和警戒线，防止有人误入控制区；
 - 5) 探伤操作人员佩戴个人剂量计和报警器，监控工作过程中个人所受辐射剂量。各探伤场地需配备一台辐射剂量率巡检仪，监控放射性工作场所的辐射水平。
 - 6) 放射源的退役由持证单位联系供源厂家回收处置。
- 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 TSP、非甲烷总烃、二氧化硫（SO₂）和氮氧化物（NO_x）。监测点位为扩建工程厂界上风向布设一个参照点，厂界下风向设三个点。监测频次为每季度一次。

敏感点监测项目包括 TSP、PM_{2.5}、PM₁₀ 等项目 24 小时均值，二氧化硫（SO₂）、二氧化氮（NO₂）、一氧化碳（CO）、臭氧等项目小时值、24 小时均值。监测点位为东钱家、西钱家、止马滩村各布设一个点位，监测频次为每季度一次。

b、噪声监测：设置监测点包括厂界和环境敏感点。厂界噪声和敏感点噪声均监测等效声级（Leq）、昼夜等效声级（Ld、Ln、Ldn）、累积百分声级（L10、L50、L90）。监测点位包括厂界布设四个点，敏感点东钱家、西钱家、止马滩村各布一个点。监测频次为每季监测一次。

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_{cr}）、五日生化需氧量（BOD₅）、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 温排水模拟取水水温升结果

表 6.1-2 温排水温升影响综合结果

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

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，两侧进水明渠渠底高程均不高于-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南北分取明渠集中排水（外延 400m）的方案，即排水明渠长 2.3km 可满足要求。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。

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 明渠中排方案是相对合理的。

(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，石岛湾核电站厂址（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 $59.47\text{m}^3/\text{s}$ ，取排水温升设计值为 8.49°C ；冬季排水流量设计值约为 $45.52\text{m}^3/\text{s}$ ，排水温升设计值为 10.95°C 。

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。

根据前期已开展的数模专题研究表明，厂址取排水工程实施后，南北两侧取水明渠、排水明渠堤头外侧流速有所增大；厂址取排水工程建设未明显改变当地海域的整

体潮流运动特征，对大范围流场的影响局限在楮岛至镆鵁岛范围海域内。

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。由于周边海岛岛基为基岩，其周围岛基的侵蚀速率在 10^{-4} 量级，本区领海基线海岛及其它海岛岛基及砾石滩均为稳定状况，不会因工程建设引起的局部动力条件改变而导致岛基侵蚀速率改变。

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。本阶段建设单位委托中国水利水电科学研究院针对扩建工程的取排水温升影响开展了专题研究，包括《华能石岛湾核电厂扩建一期工程温排水数模复核计算报告》、《华能山东石岛湾核电厂温排水模拟研究综合分析报告》等。以下结合本工程已开展的温排水数模三维复核计算及数模物模研究综合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14000km²。

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

模型在水平方向 ξ 和 η 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， Ω 为地球自转角速度， ϕ 为纬度。 F_ξ 和 F_η 分别为 ξ 和 η 方向的紊动动量通量，反应雷诺应力； P_ξ 和 P_η 为 ξ 和 η 方向的水压力梯度； M_ξ 和 M_η 为 ξ 和 η 方向上动量的源汇项。在求解 F_ξ 和 F_η 时涉及到水平粘滞系数 ν_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。 λ_q 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。 ρ_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 ρ_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， λ 为热交换系数， T_s 为表层水温， T_{back} 为环境水温。 λ 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 0.01~15m²/s 之间，模拟区域总体取值在 0.01~70m²/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 59.47 m³/s 和 45.52m³/s，取排水温升设计值为 8.49°C 和 10.95°C；高温堆夏季和冬季的取排水流量为 9m³/s 和 6.8m³/s，取排水温升设计值为 9°C 和 12°C，国和一号夏季和冬季的取排水流量为 83m³/s 和 50m³/s，取排水温升设计值为 7.4°C 和 12.3°C。

(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。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 0.29km²，冬季为 0.51km²；3℃温升面积夏季为 1.16km²，冬季为 1.63km²；2℃温升面积夏季为 4.77km²，冬季为 5.32km²；1℃温升面积夏季为 21.52km²，冬季为 20.76km²。

此外，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 0.13km²、0.35km²、1.53km²、9.89km²；冬季半月潮条件下 4℃、3℃、2℃和 1℃分别为 0.28km²、0.62km²、1.92km²、11.33km²。因此，本扩建一期工程实施后，厂址附近海域温排水 4℃、3℃、2℃和 1℃温升面积增量预计分别为：

- 夏季：0.16km²、0.81 km²、3.24 km²、11.63 km²；
- 冬季：0.23 km²、1.01 km²、3.4 km²、9.43 km²。

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。

综上可知，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。

6.1.2.2.2 物模试验

物理模型试验依据相关规程、规范，模型设计以重力相似为主，兼顾浮力相似等其它相似准则要求。物模试验考虑温排水主影响区的水力热力特性、水工构筑物，以

及几何变态率、水深条件以及整体流态特征、模拟精度等原则和要求开展，模型开边界走向尽量与主流线垂直或平行。

依据上述原则并结合场地条件，最终选择物理模型几何比尺为：水平比尺 $L_r=350$ 、垂向比尺 $H_r=125$ ，模型几何变态率为 2.8，属于小变态模型。模拟以排水点为中心约 $20\text{km}\times 10\text{km}$ 海域，总面积约 200km^2 ，北起楮岛，南至镆铳岛。模型采用控制开边界流量过程模拟潮流、同步监测潮位的潮控系统，模拟区域周边水域开边界分 21 个通道模拟潮流的进出。

温排水物理模型试验控制条件如下：

(1)控制潮型：冬、夏季大、中、小潮。

(2)核电厂装机组条件：①高温气冷堆核电机组+2 台 CAP1400 核电机组、②高温气冷堆核电机组+2 台 CAP1400 核电机组+2 台华龙一号机组、③高温气冷堆核电机组+2 台 CAP1400 核电机组+4 台华龙一号机组。

物理模型采用 2020 年冬季和 2021 年夏季实测大、中、小潮的潮位和多个测流站的潮流资料率定。物模试验模拟海域包含 9 个原型测流点。模型开边界条件由数模计算提供，各种潮型下模型验证结果如下：

a) 冬、夏季实测大、中、小潮潮位模拟值与实测值对比表明，模拟潮位与实测潮位吻合良好，两者最大偏差的模型值不超过 1mm，高平潮与低平潮的出现时刻相同。

b) 各测站流速、流向模型与原体对比结果显示：各测点特别是主流区测点模型与原型流速、流向随潮变化过程基本一致。

6.1.2.2.3 温排水影响预测结果

(1) 温排水数模结果

根据数模结果显示，工程采用排水明渠离岸排水的方式，一方面将温排水引至深水主潮区，使得温升区主要分布在深水区，另一方面明渠的挑流作用更加强了出口外缘水域的流动，掺混作用随之加强，使明渠外温排水影响区面积较小。

模拟得出的温度场显示，明渠出口处温升分布偏向南侧，主要因为明渠出口附近地形比较复杂，较多潜礁和深潭，出口北侧水深较大流强，南侧水深相对较浅流缓。

据三维数模计算结果表明：

a)温排水温升影响区范围呈现表层最大、底层最小的基本特征，全潮最大温升范围半月潮大于单一大、中、小潮，全潮平均温升范围小潮最大；

b)冬季半月潮全潮 4°C 温升区包络面积大于夏季半月潮，冬季半月潮全潮最大 1°C 温升区包络面积中、底层大于夏季半月潮，表层与夏季半月潮接近；

c)扩建2台华龙一号机组，温升影响区范围较之现有实施工程（1台高温堆+2台CAP1400）明显增大，取水口取水温升有所增加。

数模结果表明，针对取水温升，夏季的本工程取水口（北取水口）最大取水温升为 0.6°C ，冬季的最大取水温升为 0.59°C 。针对温升影响面积，半月潮条件下，最大温升包络线面积为： 4°C 温升面积夏季最大为 0.88km^2 ，冬季为 1.50km^2 ； 3°C 温升面积夏季为 2.53km^2 ，冬季为 3.14km^2 ； 2°C 温升面积夏季为 7.74km^2 ，冬季为 7.75km^2 ； 1°C 温升面积夏季为 23.51km^2 ，冬季为 21.38km^2 。

（2）温排水物模结果

根据物模试验结果显示：

a)工程海域主潮流区（老铁石至黑石岛以东海域）呈东北—西南走向的往复流，电厂温排水随着涨落潮流输移扩散，高温升分布形态呈现明显的顺岸带状分布特征，主要输移方向与主潮流方向基本一致。

b)不同装机容量运行工况下，温排水温升影响范围随着装机容量（冷却水量）的增加而增大。

c)不同潮型工况下，小潮潮流较弱，取水温升相对较大，中潮次之，大潮最小。

d)受潮流对温排水掺混及输移能力强弱等的影响，不同潮型工况下，温排水高温升影响区(1°C 以上)包络面积的分布规律基本为：大潮最小、中潮次之、小潮最大。

物模试验结果表明，针对取水温升，夏季的本工程取水口（北取水口）最大取水温升为 0.8°C ，冬季半月潮下的最大取水温升为 0.9°C ，见表6.1-2。针对温升影响面积，各典型潮条件下，最大温升包络线面积为： 4°C 温升面积夏季最大为 1.40km^2 ，冬季为 1.69km^2 ； 3°C 温升面积夏季为 3.97km^2 ，冬季为 4.42km^2 ； 2°C 温升面积夏季为 9.36km^2 ，冬季为 9.49km^2 ； 1°C 温升面积夏季为 15.23km^2 ，冬季为 16.82km^2 。

（3）温排水综合分析预测结果

物理模型能够较为准确地模拟取、排水口近区水域的三维水力、热力特性，可以较好地预测排口近区温升场（表层及垂向温升分布）。物理模型能较好模拟出流动量，

但受变态影响物理模型表层温升结果可能会有所偏大。温排水影响区温度分层现象随着环境流的增强以及与排水出口距离的增大而逐渐减弱，在远区沿垂向均化后，物理模型与数学模型的模拟结果差异缩小。

对物模试验与数模计算结果对比及综合分析显示：

（1）同样装机容量下，两种研究手段得到的工程海域流场、温度场特性相近，相应温升等值线包络面积以及取水温升随不同潮型的变化规律基本一致。

（2）对应工况，物理模型试验取水温升值基本接近或略高于数模计算结果。

（3）排水口近区高温升影响区（如：4.0℃温升区）面积物模试验结果大于数模计算结果，远区低温升影响区（如：1.0℃温升区）面积物模试验结果小于数模计算结果，各工况组合物模与三维数模温升等值线包络面积交叉区域基本在 1.0℃~2.0℃ 之间，1.0℃温升影响区面积物模试验与数模计算结果相近。

综合分析，针对本项目扩建工程来说，在本项目运行工况条件下，排水明渠出流均匀、平顺性明显改善，相应数模计算与物模试验结果间的差异显著减小。针对本工程，与此相应的温排水模拟研究成果取用原则考虑如下：

① 排口近区高温升区（如：4.0℃温升）影响范围：基于偏保守原则，可采用物理模型试验（物模大、中、小潮叠加）结果。与此同时，基于已有模型变态效应影响认识（高温升区面积偏大），同时考虑到三维数模可更好反映半月潮条件下环境水体的热量累积效应等影响，也可采用三维数模结果。

② 排口远区中、低温升区（如：夏季 1℃温升和冬季 2℃温升）影响范围建议采用三维数模结果。

依据上述原则，本工程温排水影响高温升区采用物模结果，低温升区采用数模结果。针对取水温升：物理模型试验可更好地直接反映取水进流条件，相应取水温升模拟结果更符合工程实际。故此，各工况组合下电厂取水温升宜采用物模试验结果。

因此，根据温升影响范围预测的综合结果，在本工程实施后，最大温升包络线面积为：4℃温升面积最大为 1.71km²（夏、冬季潮叠加）；冬季 2℃温升面积为 7.75km²；夏季 1℃温升面积为 23.51km²。

此外，根据温排水温升综合模拟结果，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，夏冬 4℃、冬季 2℃和夏季 1℃温升面积最大分别

为 1.18km²、4.81km²、12.58km²，因此，本扩建一期工程实施后，厂址附近海域温排水相应温升面积增量预计分别为：0.53km²、2.94km²、10.93km²。

6.1.2.2.4 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-莫镞岛盐业养殖区（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）。厂址附近近岸海域环境功能区划详见 2.3 节。

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鲁环函[2021]69 号所批复的三类功能区内，夏季 1℃温升外包络线在西北侧有小部分区域超过了该三类功能区范围，同时，温排水 4℃温升影响范围超过了所批复的混合区范围，核电厂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。

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）和镞岛海岛限制区（37-Xf03），见报告 2.3 节。本项目经取排水工程温排水夏季 1℃温升影响范围将进入楮岛滨海旅游限制区（37-Xj11）和黑石岛海岛限制区（37-Xf02）区域，4℃温升影响范围进入黑石岛海岛限制区（37-Xf02）。黑石岛海岛限制区（37-Xf02）生态保护重点目标是领海基点、海岛自然生态系统，其禁止在领海基点保护范围内实施炸礁、围填海、填海连岛、采挖海砂和工程建设等可能造成自然地形和地貌改变的用海活动，楮岛滨海旅游限制区（37-Xj11）禁止实施可能改变或影响滨海旅游的开发建设活动，禁止围填海，禁止占用岸线、沙滩和沿海防护林工程建设。同时，针对两区环境保护要求，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。本项目温排水温升对红线区内的水质产生温升影响，但水质温升不会造成该限制区内自然地形和地貌改变，未产生该限制区禁止的用海活动，但不满足其相应的水质管控要求。

此外，本项目位于规划中的城市化发展区，项目建设不占用自然岸线，不占用海岛。目前，威海及荣成市国土空间规划方案已基本编制完成，本项目用海需求已纳入当地国土空间规划，当地国土空间规划方案已逐级上报至山东省主管部门。

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、仔稚鱼也因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 $20\text{-}35^{\circ}\text{C}$ 之间，藻类生物量随着温度升高而增加， 35°C 增长最快，但是到 40°C 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 $27\text{-}28^{\circ}\text{C}$ 时，所有种类的数量才急剧下降。海水水温升至 30°C 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°C 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°C 以下、最高不超过 30°C ，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。厂址附近受纳海域内的海水养殖分布状况详见本报告书 2.3 节。

根据温排水数模预测结果，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 0.51km²，夏季最大 1℃ 温升 21.52km²。因此，机组运行期间可能会对周围水产养殖产生一定影响。目前，建设单位已按照 1℃ 最大影响范围与当地政府签订了补偿框架协议。同时，针对工程用海区域的利益协调，荣成市人民政府已出具关于做好石岛湾核电基地项目建设保障的函，协助建设单位做好利益相关者的协调工作。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排水口 N 方位约 7km 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，华能山东石岛湾核电有限公司，2022年5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；
- [5] 华能石岛湾核电厂扩建一期工程温排水数模复核计算报告，中国水利水电科学研究院，2022年4月；
- [6] 华能山东石岛湾核电厂温排水模拟研究综合分析报告，中国水利水电科学研究院，2022年5月。

表 6.1-1 温排水模拟取水升温结果

数模计算取水升温结果

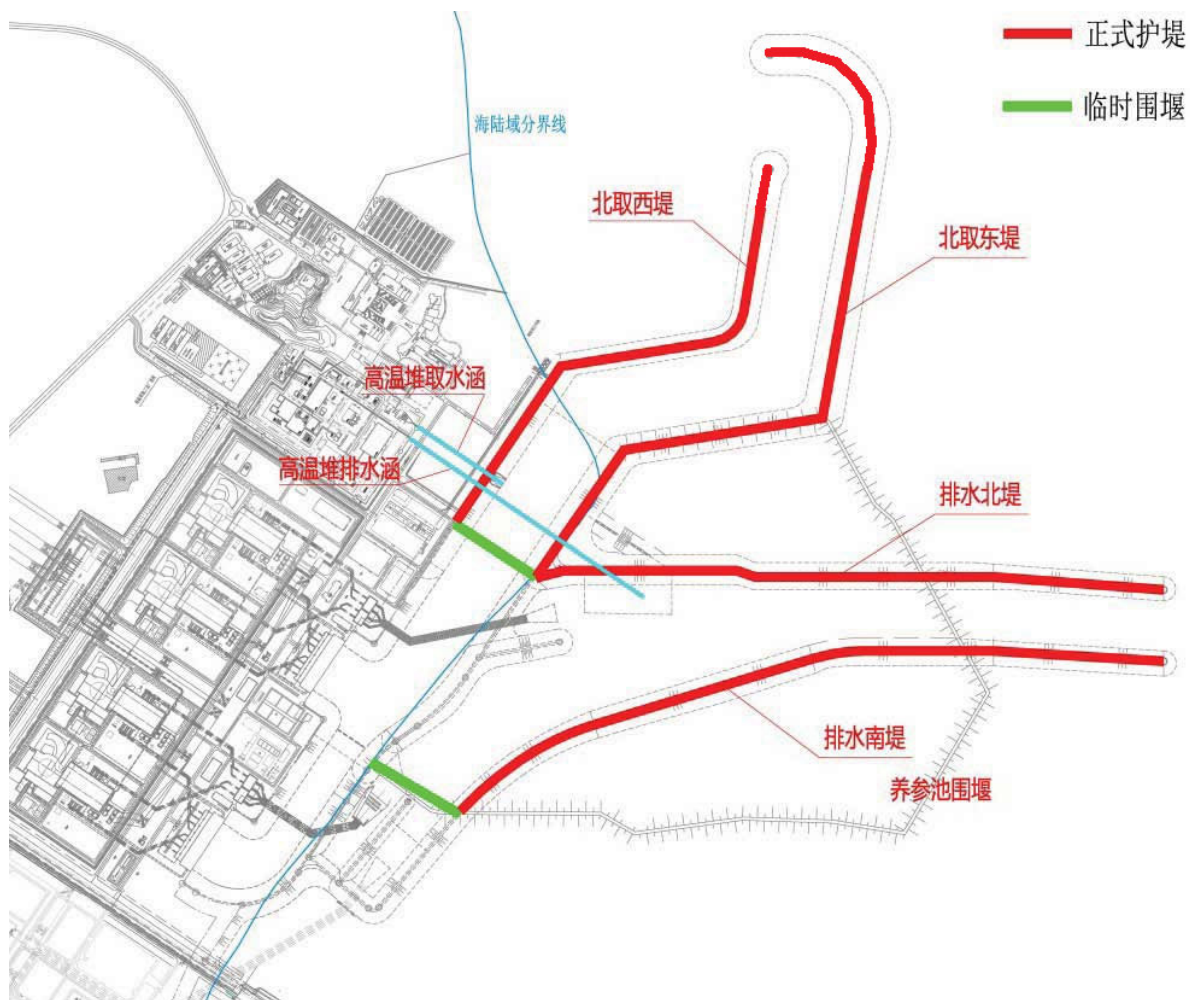
装机容量	潮型	北取水口		南取水口	
		最大	平均	最大	平均
1 台高温堆+2 台 国和一号+2 台华 龙一号	夏季小潮	0.56	0.53	0.64	0.53
	夏季中潮	0.59	0.55	0.76	0.61
	夏季大潮	0.49	0.45	0.78	0.66
	夏季半月潮	0.60	0.49	0.80	0.60
	冬季小潮	0.47	0.42	0.41	0.39
	冬季中潮	0.35	0.31	0.50	0.47
	冬季大潮	0.36	0.32	0.62	0.56
	冬季半月潮	0.59	0.40	0.63	0.49

物模试验取水升温结果

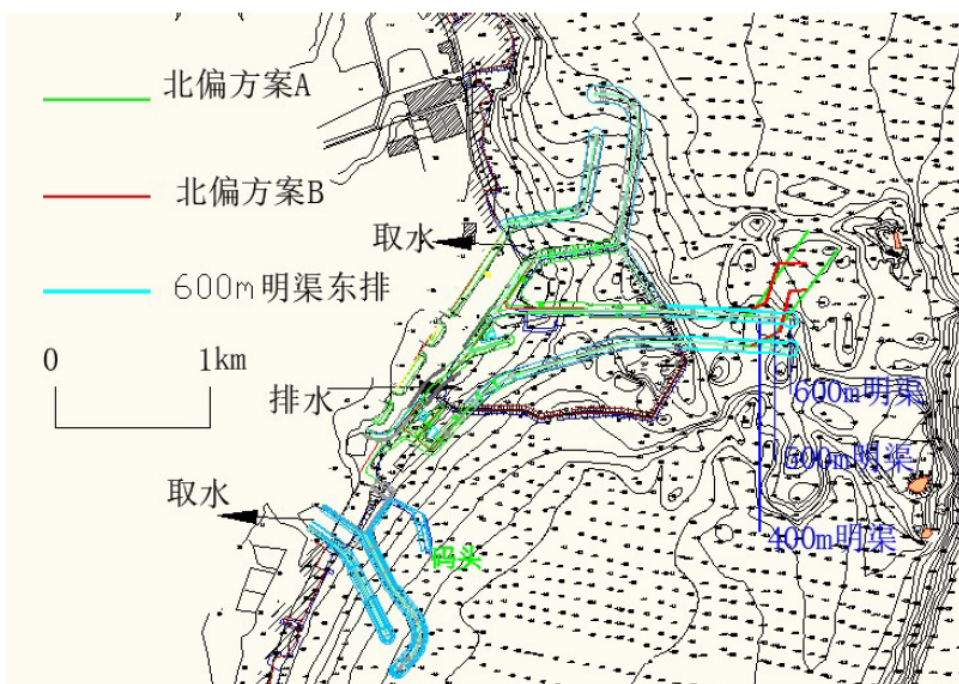
装机容量	潮型	北取水口		南取水口	
		最大	平均	最大	平均
1 台高温堆+2 台 国和一号+2 台华 龙一号	夏季小潮	0.8	0.5	0.8	0.5
	夏季中潮	0.7	0.5	0.7	0.5
	夏季大潮	0.7	0.5	0.7	0.4
	冬季小潮	0.9	0.6	0.9	0.6
	冬季中潮	0.8	0.5	0.8	0.5
	冬季大潮	0.7	0.5	0.7	0.5

表 6.1-2 温排水温升影响综合结果

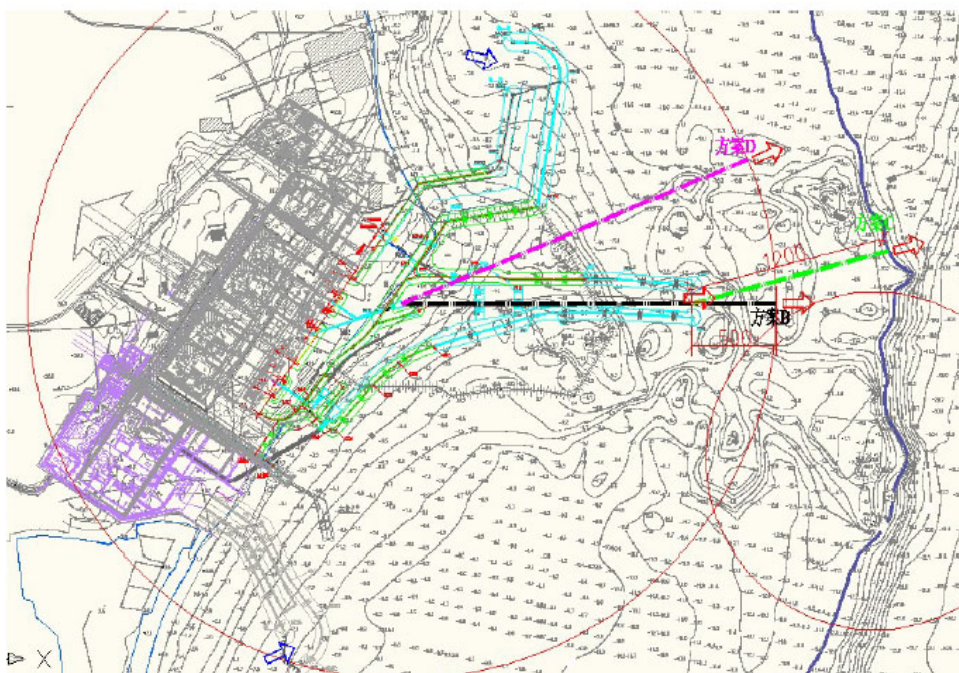
装机组 组合	温升	潮型	模型	包络 面积 (km ²)	备注
1 台高温堆 +2 台 CAP1400 +2 台华龙一号	4℃	夏季潮	物理模型	1.40	大、中、小潮叠加
		冬季潮	物理模型	1.69	大、中、小潮叠加
		总包络	物理模型	1.71	夏、冬季潮叠加
	2℃	冬季潮	三维数模	7.75	半月潮
	1℃	夏季潮	三维数模	23.51	半月潮



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）		
厂址现有取排水方案		
图 6.1-1	版次：	B



a) 明渠排放方案布置图



b) 暗涵排放方案布置图

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）		
本工程取排水比选方案布置图		
图 6.1-2	版次：	B

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 放射性流出物的年排放量与GB6249-2011控制值比较

表6.2-2 东钱家各职业人群受照辐射剂量比较

表6.2-3 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6.2-4 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（两台国和一号机组）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+两台国和一号机组+高温堆）放射性流出物排放对厂址周围环境以及公众造成的辐射影响。

6.2.1 流出物排放源项

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。

《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 6.2-1 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}C 在环境介质中的转移过程具有特殊机理，通常只有以二氧化碳形式存在的 ^{14}C 才能通过光合作用被植物吸收，并以食物的摄入形式进入食物链，对摄入者造成内照射影响。根据 IAEA 421 号技术报告，欧洲和美国的压水堆核

电站以二氧化碳形态向环境排放的 ^{14}C 占 ^{14}C 气载排放量的 5~25%，根据此研究结论，本节在评估气载 ^{14}C 的排放所造成的环境辐射影响时，假定以二氧化碳形态排放的 ^{14}C 占 ^{14}C 气载排放量的 25%。

6.2.2 照射途径

6.2.2.1 气态途径

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

- 空气浸没外照射；
- 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。

6.2.4 大气弥散和水体稀释

报告计算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}Kr 、 ^{60}Co 、 ^{131}I ）、长期地面干沉积因子（ ^{60}Co 、 ^{131}I ）和长期地面湿沉积因子（ ^{60}Co 、 ^{131}I ）。

本项目采用明渠取水，中间明渠离岸集中排水的方案。中国水利水电科学研究院对厂址高温堆+2台CAP1400机组+本工程两台华龙机组工况下排水明渠延伸600m方案的液态流出物排放进入海域进行了模拟，模型采用荷兰水工研究所研制的Delft3D模型。采用潮位边界，采用TPXO全球海潮模型给出开边界上的潮汐调和常数作为输入，初始条件采用静流条件起算。根据该专题的模拟结果，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

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}Kr 、 ^{60}Co 、 ^{131}I 在该子区的年平均浓度分布为 $1.32\times 10^1\text{Bq/m}^3$ 、 $2.37\times 10^{-5}\text{Bq/m}^3$ 、 $1.48\times 10^{-5}\text{Bq/m}^3$ 。

受纳水体中放射性浓度最大值位于排放口 R<0.2km 海域，核素 ^3H 、 ^{14}C 在该海域海水中的年平均浓度分别为 $1.32\times 10^1\text{Bq/L}$ 、 $2.80\times 10^{-3}\text{Bq/L}$ 。

石岛湾核电厂单台机组废液设计年排放量约为 17500m^3 ，排放速率不超过 $200\text{m}^3/\text{h}$ ，同时考虑国核国和一号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。

《海水水质标准》（GB3097-1997）中规定了海水中部分放射性核素的浓度限值，其中与本项目液态放射性流出物排放相关的有 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 ^{106}Ru 、 ^{134}Cs 和 ^{137}Cs 五个核素，其水质指标限值分别为 0.03Bq/L 、 4.0Bq/L 、 0.2Bq/L 、 0.6Bq/L 和 0.7Bq/L 。由表可以看出，五个核素在排放口 0~1km 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

石岛湾核电厂厂址四台机组+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 $4.42\times 10^{-6}\text{Sv}$ ，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

石岛湾核电厂厂址四台机组+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

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

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国和一号机组+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，为该区子的最大受照年龄组，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

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

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

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

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

ERICA 项目中采用的一系列水生和陆生生物在不同生境中的剂量学模型也为 ICRP 所采用，在辐射剂量率计算方法上，两者也都采用了 Ulanovsky 等人运用 Monte-Carlo 方法计算不同体形尺寸生物体对 α 、 β 、 γ 辐射的吸收比例，再结合各核素的辐射能量得出各种核素对于不同生物体辐射的剂量转换因子。

6.2.7.1 非人类生物的分类

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

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

根据厂址周围的陆域生态，陆域代表性生物选取两栖动物、环节动物、腐食节肢动物、鸟类、飞行类昆虫、草本植物、苔藓植物、大型哺乳动物、小型掘洞哺乳动物、

腹足纲软体动物、爬行动物、灌木植物、乔木 13 类进行评价。

6.2.7.2 非人类生物辐射影响

（1）水生生物辐射影响

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 $1.29\text{E-}01\mu\text{Gy/h}$ ，其中扩建一期工程造成的剂量率贡献为 $5.62\text{E-}02\mu\text{Gy/h}$ 。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

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 $1.27\text{E-}02\mu\text{Gy/h}$ ，其中扩建一期工程造成的剂量率贡献为 $6.73\text{E-}04\mu\text{Gy/h}$ 。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 6.2-2 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 6.2-3 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 6.2-4 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 0.07mSv 。

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（ 0.07mSv/a ）的 2.59%；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] 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;
- [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);

表 6.2-1 放射性流出物的年排放量与 GB6249-2011 控制值比较

单位：Bq/a

扩建 一期 工程 单堆 机组	气载 放射性 流出物	气载流出物	GB6249-2011 单堆控制值	设计排放量	占控制值的百分比
		³ H	1.50E+13	5.34E+12	35.60%
		¹⁴ C	7.00E+11	4.53E+11	64.71%
		惰性气体	6.00E+14	8.14E+13	13.57%
		碘	2.00E+10	2.82E+08	1.41%
		粒子 ($T_{1/2} \geq 8d$)	5.00E+10	3.14E+07	0.06%
	液态 放射性 流出物	液态流出物	GB6249-2011 单堆控制值	设计排放量	占控制值的百分比
		³ H	7.50E+13	4.81E+13	64.13%
		¹⁴ C	1.50E+11	1.89E+10	12.60%
		其余核素	5.00E+10	5.53E+09	11.06%
扩建 一期 工程 两台 机组	气载 放射性 流出物	气载流出物	双堆控制值	设计排放量	占控制值的百分比
		³ H	2.00E+13	1.07E+13	53.40%
		¹⁴ C	9.33E+11	9.06E+11	97.07%
		惰性气体	8.00E+14	1.63E+14	20.35%
		碘	2.67E+10	5.64E+08	2.12%
		粒子 ($T_{1/2} \geq 8d$)	6.67E+10	6.28E+07	0.09%
	液态 放射性 流出物	液态流出物	双堆控制值	设计排放量	占控制值的百分比
		³ H	1.00E+14	9.62E+13	96.20%
		¹⁴ C	2.00E+11	3.78E+10	18.90%
		其余核素	6.67E+10	1.11E+10	16.59%
厂址 四台 机组+ 高温 堆	气载 放射性 流出物	气载流出物	GB6249-2011 厂址控制值	厂址排放量 设计值	占控制值的百分比
		³ H	6.00E+13	2.71E+13	45.20%
		¹⁴ C	2.80E+12	2.09E+12	74.71%
		惰性气体	2.40E+15	6.55E+14	27.28%
		碘	8.00E+10	9.81E+09	12.27%
		粒子 ($T_{1/2} \geq 8d$)	2.00E+11	3.57E+09	1.78%
	液态 放射性 流出物	液态流出物	GB6249 厂址控制值	厂址排放量 设计值	占控制值的百分比
		³ H	3.00E+14	2.03E+14	67.60%
		¹⁴ C	6.00E+11	4.32E+10	7.20%
		其余核素	2.00E+11	2.88E+10	14.42%

表 6.2-2 东钱家各职业人群受照辐射剂量比较

单位：Sv/a

居民来源 照射途径		城镇居民	农民	渔民
		气态	空气浸没外照射	2.85E-07
地面沉积外照射	3.71E-07		3.71E-07	3.71E-07
吸入空气内照射	6.54E-08		6.54E-08	6.54E-08
陆生食品内照射	2.56E-06		2.66E-06	2.67E-06
气态途径剂量合计		3.28E-06	3.38E-06	3.39E-06
液态	岸边沉积外照射	7.90E-09	7.90E-09	3.01E-08
	水上活动外照射	1.29E-12	1.29E-12	6.22E-11
	水产品食入内照射	4.00E-08	3.32E-08	7.40E-08
液态途径剂量合计		4.79E-08	4.11E-08	1.04E-07
总剂量		3.33E-06	3.42E-06	3.49E-06

表6.2-3（1/4） 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（Sv/a）
（NNW方位720m，东钱家渔民）

序号	核素	气态途径								液态途径						合计	
		空气浸没		地面沉积		吸入空气		食入陆生食品		岸边沉积		水上活动		食入海产品			
		剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数
1	H-3	—	—	—	—	6.30E-08	1.81	7.45E-08	2.13	—	—	—	—	2.31E-09	0.07	1.40E-07	4.01
2	C-14	—	—	—	—	—	—	2.03E-06	58.17	6.32E-13	0.00	1.47E-19	0.00	2.71E-08	0.78	2.05E-06	58.74
3	Ar-41	1.95E-07	5.59	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.95E-07	5.59
4	Kr-83m	1.56E-15	0.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.56E-15	0.00
5	Kr-85	2.87E-08	0.82	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.87E-08	0.82
6	Kr-85m	7.95E-10	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.95E-10	0.02
7	Kr-87	2.39E-09	0.07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.39E-09	0.07
8	Kr-88	1.25E-08	0.36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.25E-08	0.36
9	Xe-131m	1.98E-08	0.57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.98E-08	0.57
10	Xe-133	3.42E-09	0.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.42E-09	0.10
11	Xe-133m	3.48E-09	0.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.48E-09	0.10
12	Xe-135	1.14E-08	0.33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.14E-08	0.33
13	Xe-135m	1.69E-09	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.69E-09	0.05
14	Xe-137	2.91E-12	0.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.91E-12	0.00
15	Xe-138	5.30E-09	0.15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.30E-09	0.15
16	Na-24	—	—	—	—	—	—	—	—	1.24E-15	0.00	8.60E-12	0.00	1.20E-14	0.00	8.61E-12	0.00
17	Cr-51	2.20E-14	0.00	3.82E-12	0.00	1.64E-13	0.00	9.74E-13	0.00	4.10E-11	0.00	1.64E-13	0.00	4.93E-11	0.00	9.54E-11	0.00
18	Mn-54	4.16E-13	0.00	7.96E-10	0.02	5.40E-12	0.00	3.51E-10	0.01	3.19E-09	0.09	5.78E-13	0.00	3.83E-10	0.01	4.73E-09	0.14
19	Fe-55	—	—	—	—	1.58E-16	0.00	7.74E-14	0.00	—	—	—	—	1.20E-10	0.00	1.20E-10	0.00
20	Fe-59	1.12E-13	0.00	2.90E-11	0.00	2.45E-12	0.00	1.19E-11	0.00	2.69E-10	0.01	7.15E-13	0.00	7.16E-10	0.02	1.03E-09	0.03
21	Co-57	1.08E-15	0.00	1.83E-12	0.00	3.77E-14	0.00	6.99E-13	0.00	—	—	—	—	—	—	2.57E-12	0.00
22	Co-58	2.57E-11	0.00	1.11E-08	0.32	3.08E-10	0.01	2.68E-09	0.08	3.78E-09	0.11	3.04E-12	0.00	3.70E-10	0.01	1.83E-08	0.52
23	Co-60	2.60E-11	0.00	2.85E-07	8.17	7.28E-10	0.02	4.75E-08	1.36	1.68E-08	0.48	5.26E-13	0.00	8.84E-10	0.03	3.51E-07	10.06
24	Ni-63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.45E-15	0.00	2.45E-15	0.00

表6.2-3 (2/4) 各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 (Sv/a)
(NNW方位720m, 东钱家渔民)

序号	核素	气态途径								液态途径						合计	
		空气浸没		地面沉积		吸入空气		食入陆生食品		岸边沉积		水上活动		食入海产品			
		剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数
25	Zn-65	—	—	—	—	—	—	—	—	8.83E-11	0.00	8.34E-14	0.00	2.97E-09	0.09	3.06E-09	0.09
26	Br-84	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.11E-14	0.00	3.31E-29	0.00	5.11E-14	0.00
27	Rb-88	1.06E-10	0.00	9.23E-11	0.00	1.80E-11	0.00	6.88E-41	0.00	—	—	2.29E-13	0.00	5.03E-42	0.00	2.17E-10	0.01
28	Sr-89	3.14E-14	0.00	7.52E-11	0.00	1.53E-10	0.00	1.22E-09	0.03	6.75E-14	0.00	1.01E-16	0.00	8.77E-14	0.00	1.45E-09	0.04
29	Sr-90	2.78E-15	0.00	3.08E-09	0.09	3.61E-10	0.01	3.75E-07	10.74	5.46E-14	0.00	2.38E-20	0.00	9.74E-14	0.00	3.78E-07	10.83
30	Sr-91	1.42E-16	0.00	4.21E-16	0.00	5.43E-16	0.00	1.24E-17	0.00	1.94E-15	0.00	1.91E-14	0.00	1.45E-15	0.00	2.36E-14	0.00
31	Sr-92	6.41E-16	0.00	5.12E-16	0.00	7.06E-16	0.00	6.80E-20	0.00	3.36E-17	0.00	1.24E-15	0.00	3.89E-19	0.00	3.13E-15	0.00
32	Y-90	3.35E-22	0.00	4.57E-20	0.00	2.02E-19	0.00	1.25E-19	0.00	1.62E-15	0.00	7.00E-19	0.00	2.12E-14	0.00	2.28E-14	0.00
33	Y-91	3.67E-21	0.00	9.77E-18	0.00	1.46E-17	0.00	8.11E-17	0.00	8.02E-13	0.00	3.46E-17	0.00	8.08E-13	0.00	1.61E-12	0.00
34	Y-91m	—	—	—	—	—	—	—	—	7.91E-15	0.00	8.57E-15	0.00	1.70E-23	0.00	1.65E-14	0.00
35	Y-93	—	—	—	—	—	—	—	—	1.22E-13	0.00	1.16E-14	0.00	1.37E-12	0.00	1.51E-12	0.00
36	Zr-95	8.23E-13	0.00	6.87E-10	0.02	4.01E-11	0.00	1.14E-10	0.00	3.79E-10	0.01	1.20E-13	0.00	1.61E-11	0.00	1.24E-09	0.04
37	Nb-95	2.24E-12	0.00	4.80E-10	0.01	3.14E-11	0.00	8.66E-11	0.00	7.80E-11	0.00	9.93E-14	0.00	3.45E-12	0.00	6.82E-10	0.02
38	Mo-99	1.59E-16	0.00	3.80E-15	0.00	3.96E-15	0.00	9.13E-16	0.00	7.19E-12	0.00	1.48E-13	0.00	2.50E-12	0.00	9.85E-12	0.00
39	Tc-99m	2.79E-18	0.00	5.46E-18	0.00	3.12E-18	0.00	1.85E-20	0.00	7.87E-16	0.00	1.16E-13	0.00	1.19E-13	0.00	2.36E-13	0.00
40	Ru-103	4.30E-14	0.00	1.07E-11	0.00	1.61E-12	0.00	4.17E-12	0.00	4.52E-12	0.00	1.38E-12	0.00	2.10E-10	0.01	2.33E-10	0.01
41	Ru-106	2.10E-14	0.00	7.25E-11	0.00	1.83E-11	0.00	1.58E-10	0.00	2.03E-10	0.01	7.16E-12	0.00	2.68E-08	0.77	2.73E-08	0.78
42	Rh-103m	—	—	—	—	—	—	—	—	1.06E-17	0.00	5.26E-16	0.00	1.04E-20	0.00	5.37E-16	0.00
43	Rh-106	—	—	—	—	—	—	—	—	2.07E-16	0.00	7.37E-12	0.00	—	—	7.37E-12	0.00
44	Ag-110	—	—	—	—	—	—	—	—	1.89E-19	0.00	2.30E-15	0.00	—	—	2.30E-15	0.00

表6.2-3 (3/4) 各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 (Sv/a)
(NNW方位720m, 东钱家渔民)

序号	核素	气态途径								液态途径						合计	
		空气浸没		地面沉积		吸入空气		食入陆生食品		岸边沉积		水上活动		食入海产品			
		剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数
45	Ag-110m	2.07E-14	0.00	6.60E-11	0.00	4.11E-13	0.00	9.43E-12	0.00	1.10E-10	0.00	1.70E-12	0.00	7.73E-09	0.22	7.92E-09	0.23
46	Sb-122	1.09E-16	0.00	2.29E-15	0.00	1.82E-15	0.00	1.00E-15	0.00	3.35E-15	0.00	4.66E-15	0.00	4.13E-13	0.00	4.26E-13	0.00
47	Sb-124	6.32E-16	0.00	2.78E-13	0.00	1.56E-14	0.00	1.03E-13	0.00	4.63E-12	0.00	3.03E-13	0.00	1.20E-11	0.00	1.73E-11	0.00
48	Sb-125	2.96E-14	0.00	1.97E-10	0.01	2.45E-12	0.00	2.16E-11	0.00	—	—	—	—	—	—	2.21E-10	0.01
49	Te-129	—	—	—	—	—	—	—	—	9.62E-17	0.00	7.03E-15	0.00	1.87E-18	0.00	7.13E-15	0.00
50	Te-129m	—	—	—	—	—	—	—	—	3.89E-14	0.00	2.98E-14	0.00	8.63E-11	0.00	8.64E-11	0.00
51	Te-131	3.19E-16	0.00	4.59E-17	0.00	1.56E-16	0.00	9.66E-36	0.00	6.41E-17	0.00	1.41E-14	0.00	5.94E-30	0.00	1.46E-14	0.00
52	Te-131m	1.33E-17	0.00	1.24E-16	0.00	5.62E-17	0.00	1.61E-17	0.00	5.92E-14	0.00	1.64E-13	0.00	5.08E-11	0.00	5.11E-11	0.00
53	Te-132	7.07E-18	0.00	2.09E-15	0.00	4.80E-16	0.00	4.28E-16	0.00	6.33E-13	0.00	6.24E-14	0.00	3.64E-10	0.01	3.64E-10	0.01
54	Te-134	1.01E-15	0.00	2.38E-16	0.00	5.56E-16	0.00	2.49E-28	0.00	7.39E-18	0.00	9.59E-16	0.00	2.05E-24	0.00	2.77E-15	0.00
55	I-131	1.83E-12	0.00	1.28E-09	0.04	8.51E-11	0.00	7.84E-09	0.22	5.94E-14	0.00	1.35E-12	0.00	7.68E-10	0.02	9.98E-09	0.29
56	I-132	8.33E-12	0.00	7.21E-11	0.00	2.85E-12	0.00	1.15E-15	0.00	1.00E-15	0.00	1.95E-12	0.00	1.90E-15	0.00	8.52E-11	0.00
57	I-133	2.70E-11	0.00	2.05E-09	0.06	1.76E-10	0.01	1.03E-09	0.03	5.30E-15	0.00	1.08E-12	0.00	3.66E-11	0.00	3.31E-09	0.09
58	I-134	7.99E-12	0.00	2.62E-11	0.00	1.15E-12	0.00	1.08E-21	0.00	1.63E-16	0.00	8.41E-13	0.00	2.09E-21	0.00	3.62E-11	0.00
59	I-135	8.09E-12	0.00	1.85E-10	0.01	8.36E-12	0.00	1.55E-12	0.00	2.97E-15	0.00	2.15E-12	0.00	1.04E-12	0.00	2.06E-10	0.01
60	Cs-134	4.17E-12	0.00	1.71E-08	0.49	1.77E-10	0.01	4.04E-08	1.16	1.97E-09	0.06	3.31E-12	0.00	8.32E-10	0.02	6.05E-08	1.73
61	Cs-136	2.18E-13	0.00	1.72E-11	0.00	1.80E-12	0.00	3.85E-12	0.00	2.10E-11	0.00	2.08E-12	0.00	1.59E-11	0.00	6.20E-11	0.00
62	Cs-137	2.36E-12	0.00	4.85E-08	1.39	2.95E-10	0.01	8.91E-08	2.55	1.26E-09	0.04	1.44E-13	0.00	8.51E-10	0.02	1.40E-07	4.01
63	Cs-138	5.11E-11	0.00	1.51E-11	0.00	6.16E-12	0.00	3.96E-27	0.00	3.84E-16	0.00	2.46E-14	0.00	1.92E-28	0.00	7.24E-11	0.00
64	Ba-137m	—	—	—	—	—	—	—	—	4.66E-15	0.00	2.06E-12	0.00	—	—	2.06E-12	0.00

表 6.2-3（4/4） 各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（Sv/a）
（NNW方位720m，东钱家渔民）

序号	核素	气态途径								液态途径						合计	
		空气浸没		地面沉积		吸入空气		食入陆生食品		岸边沉积		水上活动		食入海产品			
		剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数
65	Ba-140	8.46E-14	0.00	6.90E-12	0.00	1.79E-11	0.00	1.12E-11	0.00	1.30E-11	0.00	7.81E-13	0.00	7.47E-11	0.00	1.25E-10	0.00
66	La-140	2.05E-18	0.00	2.41E-17	0.00	6.85E-18	0.00	2.29E-18	0.00	5.26E-10	0.02	1.35E-11	0.00	5.92E-10	0.02	1.13E-09	0.03
67	Ce-141	3.45E-15	0.00	7.45E-13	0.00	1.12E-12	0.00	1.58E-12	0.00	4.07E-12	0.00	4.60E-15	0.00	3.35E-12	0.00	1.09E-11	0.00
68	Ce-143	1.04E-17	0.00	1.17E-16	0.00	2.14E-16	0.00	4.47E-17	0.00	2.30E-12	0.00	6.23E-14	0.00	1.17E-11	0.00	1.40E-11	0.00
69	Ce-144	2.56E-20	0.00	1.42E-16	0.00	9.36E-17	0.00	5.14E-16	0.00	1.32E-09	0.04	1.81E-14	0.00	6.61E-10	0.02	1.98E-09	0.06
70	Pr-143	4.43E-22	0.00	7.63E-20	0.00	1.65E-17	0.00	1.50E-17	0.00	2.18E-14	0.00	3.38E-17	0.00	5.08E-12	0.00	5.10E-12	0.00
71	Pr-144	2.19E-20	0.00	2.17E-21	0.00	7.17E-20	0.00	—	—	1.75E-14	0.00	5.88E-14	0.00	2.86E-37	0.00	7.64E-14	0.00
72	W-187	—	—	—	—	—	—	—	—	6.62E-13	0.00	7.38E-14	0.00	1.47E-13	0.00	8.84E-13	0.00
73	Np-239	—	—	—	—	—	—	—	—	1.47E-13	0.00	4.70E-14	0.00	7.10E-12	0.00	7.30E-12	0.00
合计		2.85E-07	8.17	3.71E-07	10.63	6.54E-08	1.87	2.67E-06	76.35	3.01E-08	0.86	6.22E-11	0.00	7.40E-08	2.12	3.49E-06	100.0
3.39E-06Sv/a，占总有效剂量的 97.02%										1.04E-07Sv/a，占总有效剂量的 2.98%							

百分数指占总剂量的百分比

表 6.2-4 公众受照射剂量“三关键”计算分析结果

a) 关键组居民及其受照剂量

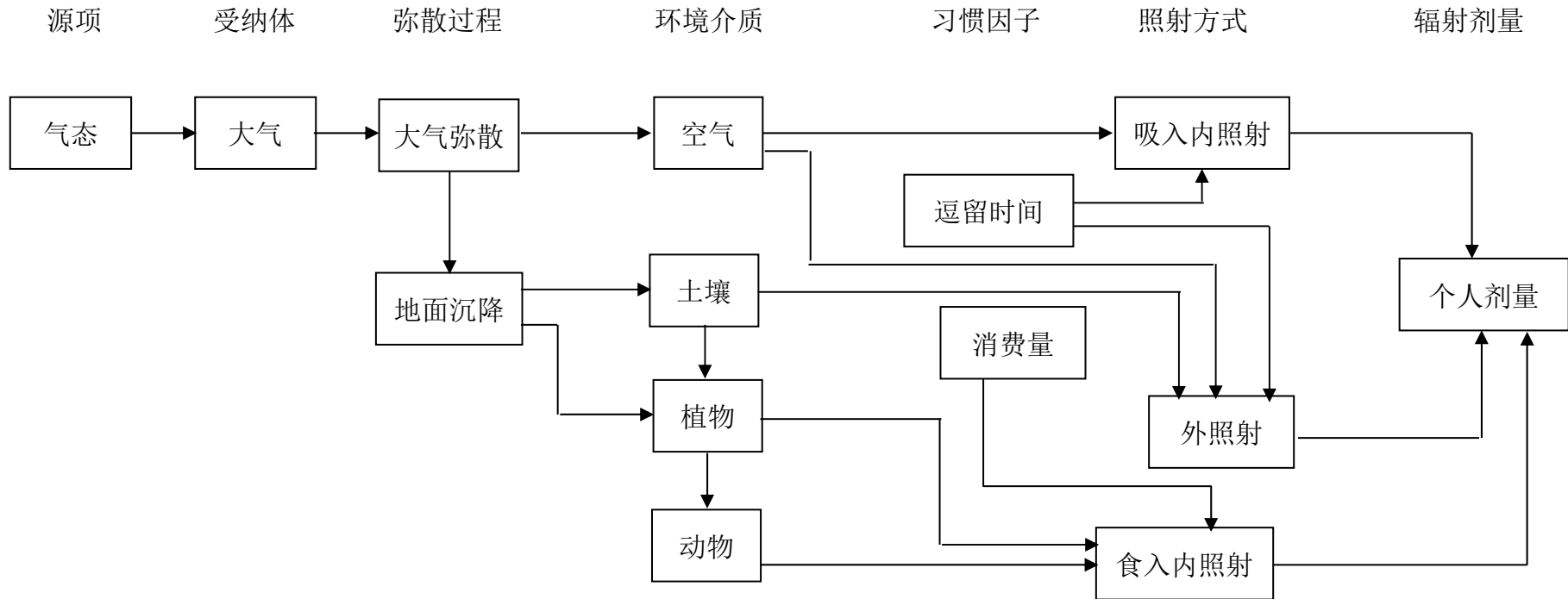
方位	距离 (km)	群体	有效剂量—H _E (Sv/a)
NNW	0.72	东钱家渔民	3.49E-06

b) 关键照射途径和重要照射途径

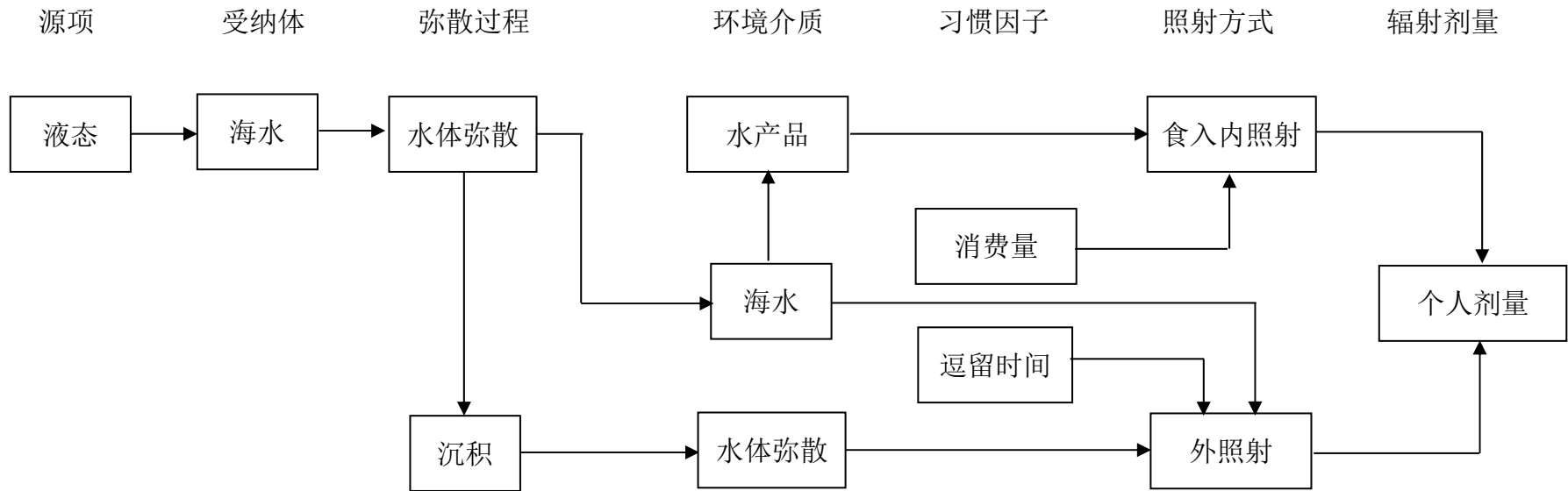
名称		有效剂量 (Sv/a)	占 H _E 的份额 (%)
关键照射途径	食入陆生食品内照射	2.67E-06	76.35
重要照射途径	地面沉积外照射	3.71E-07	10.63
	空气浸没外照射	2.85E-07	8.17

c) 关键核素和重要核素

名称		剂量贡献 (Sv/a)	占 H _E 的份额 (%)	主要照射途径及占 H _E 的份额 (%)
关键核素	C-14	2.05E-06	58.74	食入陆生食品内照射：58.17
重要核素	Sr-90	3.78E-07	10.83	食入陆生食品内照射：10.74
	Co-60	3.51E-07	10.06	地面沉积外照射：8.17



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）		
气态照射途径		
图 6.2-1	版次	B



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）		
液态照射途径		
图 6.2-2	版次	B

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

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（ HClO 和 ClO^- ），进而与水中的氨反应产生化合态有效氯（ NH_2Cl 和 NHCl_2 ）。游离态余氯毒性强于化合态余氯，但自然条件下游离态较化合态更容易衰减，实际情况中它们对水生生物的影响差别不大。水体化学性质、pH、温度以及外界光照，对余氯生物效应都有影响。较低的 pH 值和 NH_3 含量及较高的温度，都有利于余氯毒性增强；光照会引起余氯衰减，降低其生物毒性。

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

目前国内尚没有对水体中余氯浓度的标准限值。国外研究人员通过对包括水生植

物、水生无脊椎动物和鱼类在内的 120 多种水生生物的余氯毒性研究，证明当余氯浓度低于 $20\mu\text{g/L}$ 时，不论作用多长时间，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 1mg/L 的次氯化物以抑制海洋生物在管道内的繁殖。石岛湾核电站扩建一期工程正常运行情况下，运行中控制循环水出口余氯量在 $0.1\sim 0.3\text{mg/L}$ 。

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+两台国和一号机组+高温堆）的余氯模拟结果可以看出，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 20 倍的浓度（即相对浓度为 0.05，余氯浓度 $15\mu\text{g/L}$ ）最大包络面积为 1.20km^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、次氯酸钠、联氨等），将淡水经絮凝、沉淀和离子交换除盐，以实现各系统用水的水质要求。除盐过程加入的化学添加剂，除一部分进入固体废物外，其余将随电厂温排水排入厂址附近海域。

根据报告书4.7节给出的核电站化学物质使用情况，石岛湾核电站扩建一期工程在正常运行期间排入受纳水体的主要的化学物质可能包括氯化物、无机氮等。

- 氯化物（ Cl^- ）：氯化物本身的毒性很低，在低浓度条件下可被水生植物作营养物质。核电站排放氯化物经冷却水完全混合后浓度为 0.27mg/L ，按盐度计算公式该氯化物产生盐度约为 0.50mg/L ，远低于厂址附近海水天然盐度约 30%（ 30000mg/L ）左右，因此不会对周围海洋生物产生明显影响。
- 无机氮（N）是水生植物生长所必需的元素，也是造成海洋赤潮的重要物质。GB3097-1997中三类海水标准限值为 0.40mg/L 。本工程排放的无机氮经冷却水完全混合后浓度约 0.19mg/L ，预计造成的排放口浓度增量在其正常涨落范围

内。

从以上估算结果可以看出，由于核电厂运行中使用的化学物质相对较少，核电厂运行在排放口中产生的浓度增量或远低于国内外的其他标准限值，或在环境中的本底背景值正常涨落范围内，因此预计不会对排放口附近海域环境及海洋生物造成不利影响。

6.3.2 其他污染物的影响

6.3.2.1 生产废水排放的影响

石岛湾核电厂扩建一期工程正常运行时，含有潜在放射性的污水，不含油部分直接送往 BQB 厂房；含油部分，送往潜在放射性含油废水处理站（BER）。

不含放射性的含油废水，汇集到专门的管网内，进入非放射性含油废水处理站（BES），经过贮存、油水分离处理。分离出的油脂收集后装入油桶运送到厂外；分离出的水排入非放工业废水系统。

非放工业废水处理系统主要对核电站正常生产过程中的淡水类废水进行收集处理后达标回用或排放。本期工程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，水质需满足阳床进水要求（海水淡化二级出水）。浓水外排至 CC 井，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。分离出的水排至 CC 井与大量的温排水混合后，因其排放量极少，预计不会对排放口周围海域造成影响。

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，执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020），剩余部分排放执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中的一级 A 标准，预计对环境产生影响较小。

6.3.2.3 非放射性固废对环境的影响

石岛湾核电厂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

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

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

根据国内核电厂相关资料，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，考虑到石岛湾核电厂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厂厂区电磁环境监测结果，500kV 开关站及输电线路周围的工频电场和工频磁场均满足 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

石岛湾核电厂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。

第七章 核电厂事故的环境影响和环境风险

7.1 核电厂放射性事故和后果评价

7.2 场内运输事故

7.3 其它事故

7.4 事故应急

7.1 核电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 厂址半径 80km 范围内公众受到的集体有效剂量

表 7.1-2 公众个人剂量和集体剂量与国家标准的比较

7.1 核电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

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：

— 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。

— 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。

7.1.2 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。

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。

(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。

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；

(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）；

（3）呼吸率

呼吸率取自美国核管理委员会管理导则RG1.183：

- 0~8h时间段： $Br=3.5 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ ；
- 8~24h时间段： $Br=1.8 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ ；
- 24~720h时间段： $Br=2.3 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ 。

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

- 事故后0~2h内，非居住区边界上公众个人（成人）最大有效剂量为 $7.72 \times 10^{-2} \text{Sv}$ ；
- 事故后0~30d内，规划限制区边界上公众个人（成人）最大有效剂量为 $5.21 \times 10^{-2} \text{Sv}$ 。

根据厂址半径80km范围内各子区计算得到的公众个人有效剂量以及运行首年的预期人口数据，计算了选址假想事故持续期间内对各子区内公众可能造成的集体有效剂量。表7.1-1给出了厂址半径80km范围内各子区公众在选址假想事故发生持续期间受到的集体有效剂量。从表中可以看出，选址假想事故发生期间30d内，厂址半径80km范围公众受到最大集体有效剂量为 $4.27 \times 10^3 \text{人} \cdot \text{Sv}$ 。

7.1.3 事故后果评价

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（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 $2 \times 10^4 \text{人} \cdot \text{Sv}$ 。

表7.1-2给出了事故剂量与国家标准的比较。

（1）个人剂量

选址假想事故发生后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 $7.72 \times 10^{-2} \text{Sv}$ ，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 $5.21 \times 10^{-2} \text{Sv}$, 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 $4.27 \times 10^3 \text{人} \cdot \text{Sv}$, 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。

表 7.1-1 整个事故期间厂址半径 80km 范围内公众受到的集体有效剂量

单位：人·Sv

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	合计
N	—	—	6.16E+00	1.81E+01	—	—	9.36E+01	3.12E+01	3.90E+01	—	—	—	1.88E+02
NNE	—	—	—	—	8.12E+00	—	1.58E+01	—	4.82E+00	—	—	—	2.87E+01
NE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ENE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ESE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	6.54E+01	—	—	—	—	—	—	—	6.54E+01
SSW	—	—	—	—	2.90E+01	—	—	—	—	—	—	—	2.90E+01
SW	—	—	1.09E+02	6.54E+01	9.93E+01	3.67E+02	2.43E+01	—	—	—	—	—	6.65E+02
WSW	—	—	4.88E+01	5.00E+01	1.25E+02	2.08E+02	1.41E+02	1.94E+01	—	—	—	6.34E+00	5.99E+02
W	—	3.66E+01	2.71E+01	2.26E+01	8.63E+01	9.86E+01	8.41E+01	3.29E+01	2.77E+01	4.07E+01	3.17E+01	3.28E+01	5.21E+02
WNW	—	4.73E+01	7.19E+01	8.64E+01	7.03E+01	8.78E+01	5.23E+01	6.94E+01	1.78E+02	7.34E+01	3.87E+01	1.67E+01	7.92E+02
NW	—	4.16E+01	1.80E+01	2.85E+01	2.38E+01	7.20E+01	4.57E+01	3.84E+01	2.76E+01	6.42E+01	3.82E+01	7.63E+01	4.74E+02
NNW	3.17E+01	5.27E+01	5.41E+01	4.43E+01	1.57E+01	4.27E+01	3.60E+02	3.82E+01	6.89E+01	5.20E+01	1.26E+02	2.54E+01	9.12E+02
合计	3.17E+01	1.78E+02	3.35E+02	3.15E+02	5.23E+02	8.76E+02	8.17E+02	2.30E+02	3.46E+02	2.30E+02	2.35E+02	1.58E+02	4.27E+03

表 7.1-2 事故公众个人剂量和集体剂量与国家标准的比较

项 目	剂量结果	GB6249-2011 事故剂量限值	占限值比 例
事故后任意 2 小时内非居住区边界（500m） 个人受照的最大有效剂量（Sv）	7.72×10^{-2}	0.25	30.9%
整个事故持续期间内规划限制区边界（5km） 个人受照的最大有效剂量（Sv）	5.21×10^{-2}	0.25	20.8%
整个事故持续期间内厂址半径 80km 范围内公 众个人受照的集体有效剂量（人.Sv）	4.27×10^3	2×10^4	21.4%

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。

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

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

总体而言，新燃料运输事故不会污染周围环境和危害人员健康，可达到安全可靠。

7.2.2 乏燃料运输事故

乏燃料运输容器的安全可靠是实现安全运输的前提。乏燃料运输容器满足《放射性物品运输安全管理条例》和《放射性物品安全运输规程》（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

核电厂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。核电厂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。

根据国内核电厂运行经验，核电厂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厂扩建一期工程将参考国内在运核电厂的经验反馈，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；避迁、控制食品和水、控制通道、地区去污和人员去污等措施。

为了快速有效地处理核事故发生后的各种问题，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络性原则，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。

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。

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

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、 ^3H 及 ^{14}C 。惰性气体为定期取样，气溶胶、碘、 ^3H 及 ^{14}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 γ 谱仪、低本底 α 、 β 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 γ 谱分析、 ^3H 、 ^{14}C 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 γ 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、陆生及水生动物、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 γ 辐射水平的调查范围半径一般取20km，陆地其余项目的调查范围半径一般取10km。

环境监测布点综合考虑：关键人群居住地区，最大风频下风向区域，与本底调查中取样点、样品种类等的一致性，周边海域水域潮汐特点，取样点地理位置的特点，核电厂放射性流出物的排放方式及特点，采样品种的代表性，陆生及水生生物的生长周期，电厂排放渠的具体条件等。

8.1.2.4 监测方案

基地运行期间的辐射环境监测项目包括大气放射性监测、陆地放射性监测和海洋放射性监测三部分组成，监测对象包括环境 γ 辐射、空气、水、土壤、沉积物、陆生

及水生动、植物。现有监测方案基本满足基地辐射环境监测需求。

（1）环境 γ 辐射

γ 辐射固定点连续监测：基地监测点包括华能山东石岛湾核电辐射环境监测系统监测站和国核示范电站辐射环境监测系统。前者现已设置 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。后者包括 6 个站点，其中厂内 3 个，厂外 3 个，分别是 SRTF、综合楼、氢气加压站，厂外站分别位于国核厂区大门、南泊、渠隔。固定监测点除用于环境 γ 辐射剂量率连续监测外，同时兼容气溶胶、气碘、空气中 ^3H 、 ^{14}C 以及沉降物、雨水等环境样品的取样。扩建工程拟增加 2 个监测站点。点位分布见图 8.1-2。

γ 辐射剂量率瞬时监测：野外就地测量的对象是开阔的路面与田野，按 22.5° 方位角，近密远疏原则布点，同时兼顾地理、地形、居民分布、交通、土地利用等因素。总监测点位数 63 个，监测周期：每季。

γ 辐射累积剂量测量：采用热释光剂量计，放置在有代表性的不受附近建筑物影响的空旷地区，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。

（2）空气及沉降物

大气监测包括空气中 ^{131}I 、 ^3H 、 ^{14}C 的测量，气溶胶中总 α 、总 β 及 γ 核素的测量，沉降物中、总 β 、 γ 核素、 ^{90}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 ^3H 、 ^{14}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}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 ^3H 和 ^{14}C 取样频度为 1 次/月。

气溶胶： γ 核素、总 α 、总 β ，频度 1 次/月；

沉降灰： γ 核素、总 β 、 ^{90}Sr ，频度 1 次/季；

空气： ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}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 ^3H 、 γ 核素，饮用水的测量项目为总 α 、总 β 、 ^3H 、 γ 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（针对本扩建工程，拟另行设置，具体布点方案拟在后续阶段给出），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 γ 核素、 ^{90}Sr ，频度为 1 次/年。

（4）土壤

土壤监测项目包括 ^{90}Sr 及 γ 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 γ 核素、 ^{14}C ，玉米样品监测项目为 γ 核素、 ^{14}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 ^3H 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 γ 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 ^3H 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 γ 核素、 ^{14}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 γ 核素（猪肉样品增加 ^{14}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}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 γ 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 γ 核素，此外对马鲛鱼和海带样品增加监测 ^{14}C ，对海带样品增加监测 ^3H 。

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 ^3H 和 γ 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}Sr 和 γ 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}Sr 和 γ 核素，监测频度为1次/年。

（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 γ 核素、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^3H ，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 γ 核素、 ^{14}C 、 ^{90}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 ^3H 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 γ 剂量率（连续测量和即时测量）；

— 场区固定监测站连续测量

— 便携式仪表即时测量

b) 地表 α 、 β 污染水平；

c) 空气中放射性污染水平。

2) 外环境监测

在事故早期，主要监测内容为：

a) 近地表上部 γ 剂量率：固定监测站连续测量、便携式仪表即时测量。

b) 地表 α 、 β 污染水平；

c) 空气中放射性污染浓度（主要测放射性气溶胶和碘）；

d) 热释光剂量计（TLD）测量累积剂量；

e) 车载移动 γ 谱仪分析测量核素组成（视可能和需要）；

f) 海水中放射性污染物浓度（视可能和需要）。

8.1.3.2 应急监测设施及资源配备

(1) 监测队伍

在安全防护组（GSP）组长领导下，由 GSP 辐射防护助理、环境监测助理、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），队员由环境监测人员担当。

(2) 监测设施

1) 环境 γ 辐射连续监测系统

系统由固定监测站组成。该系统对电站周围大气环境中的 γ 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： γ 辐射剂量率仪、气溶胶和碘

取样装置、便携式 γ 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 and 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。

8.1.3.5 应急辐射监测人员的行动

（1）事故早期应急监测

事故早期的主要任务是尽可能多地获得烟羽特征（输运方向、高度、放射性水平以及随时间和空间的变化）。主要监测项目包括 γ 剂量率监测、空气取样监测、固定点取样以及巡测等。

1) 环境 γ 辐射剂量计的实时自动监测

在应急响应期间，固定站环境 γ 辐射剂量计自动监测并实时地获取、储存整个应急响应期间的环境 γ 辐射剂量率。应急指挥中心的环境监测助理密切关注各固定点的 γ 辐射剂量率监测数据及其变化趋势，适时或定时（一般应每 30 分钟提交一次）将其整理打印出来，提交应急指挥部。当发现 γ 剂量率达到或超过相应水平时，应立即向 GSP 组长报告并提供准确的数据表格和分析结果。

2) 固定站采集样品和 TLD 的应急辐射监测

对于固定站样品（气溶胶累积样品、气载碘累积样品、大气沉降灰物累积样品）的采集和 TLD 的取放，环境监测小分队一般应在持续释放结束后及时取回样品和 TLD 送环境监测站测量。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。

巡测内容主要为巡测内容主要为环境 γ 剂量率和地表放射性物质污染水平。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 γ 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 γ 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 γ 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 γ 剂量率水平，必要时进行海水取样。一旦有废液释放，则需要对海域海水进行取样，必要时需取海底泥、海生物等样品。

(2) 事故中、后期监测

1) 事故中期环境监测

事故中期主要对地面沉积外照射、吸入再悬浮核素内照射和食入被污染饮水的内照射等重要照射途径的监测。监测项目主要包括：

- 空气介质放射性活度，取气溶胶、沉降物及空气放射性碘同位素、 ^3H 、 ^{14}C 样品，分析包括 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{131}I 、 ^{133}I 及其它 γ 核素活度；
- 地面沉积引起的辐射剂量率和地表污染水平，测量就地 γ 剂量率和 TLD 累积剂量；便携式 γ 谱仪就地测量，分析地表沉积的 γ 核素活度、计算 γ 剂量率；取陆地表层土样，分析 γ 核素和 ^{90}Sr 核素单位面积沉积量；
- 水体（饮用水）的污染水平，分析 ^{90}Sr 、 γ 核素活度浓度。

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}Sr 、 ^{137}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 ^3H 、 ^{14}C 、放射性碘、 ^{90}Sr 、 γ 核素含量；
- 与食物链有关的陆地和水生动物，分析 ^3H 、 ^{14}C 、放射性碘、 ^{90}Sr 、 γ 核素含量；
- 水体（饮用水、海水）及其底泥，分析 ^{90}Sr 、 γ 核素含量，水样还包括 ^3H 、 ^{14}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) 其它核电厂的应急监测支援

华能山东石岛湾核电站与周围其它核电厂签订了应急支援协议，协议内容包括人员支持、监测车辆支持、监测设备和物资支持、样品分析支持，并可根据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。

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 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，以监测核电站温排水热污染影响。

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

核电站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，经处理合格后外排或回用。生活污水处理站出水设置了在线监测设备，能够监测 pH、水温、COD 等主要水质指标。

8.3 监测设施

8.3.1 流出物实验室

8.3.2 环境监测设施

8.3.3 监督性监测系统

8.3 监测设施

8.3.1 流出物实验室

流出物实验室用于核电站气态和液态流出物样品的预处理、样品制备、 γ 能谱分析、总 α/β 放射性测量和核素分析，以确定排放的液态和气载流出物的放射性水平，保证向环境的受控排放，并为编写核电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，包括厂区周围连续监测站以及相应的服务器。现有监测站点布置基本满足基地辐射环境监测需求。

（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： γ 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： γ 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 ^3H 采样器、 ^{14}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 ^3H 采样器、 ^{14}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 γ 自动监测数据信息；气象监测数据信息；环境监测车所监测的数据信息。

主服务器系统由以下设备组成：环境 γ 辐射监测数据中央计算机；端口交换机；网络隔离装置；监测数据工作站；环境监测实时数据服务器；光电转换器；无线传输装置；有线传输装置；打印机；电源（含不间断电源）等。

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 γ 辐射监测数据与实时收集的核电站地区气象要素数据一起由主服务器系统传至环境监测实时数据网，进行集中处理、贮存、显示、网络传输、查询和网上发布，并定期上传至上级部门和地方环保部门。

辅助服务器系统由以下设备组成：环境监测实时数据服务器；端口交换机；投影设备；打印机；电源（含不间断电源）；防火墙等。

(3) 设备参数

1) γ 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}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：0.28m²；
- 沉降灰收集桶面积：0.28m²；
- 顶盖切换时间：<60s；
- 雨感器灵敏度：0.2mm/h；
- 顶盖可根据是否降雨自动切换。

5) ³H 采样器

- 取样流量：10LPH~50LPH；
- 捕获效率：≥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 ³H。

6) ¹⁴C 采样器

- 取样流量：10LPH~50LPH；
- 捕获效率：对 CO₂ 形态的 ¹⁴C≥99%；对 CO 和有机碳形态的 ¹⁴C≥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 CO₂ 外的 ¹⁴C。

8.3.2.2 环境监测车

目前基地已配置了 1 辆监测车和 2 辆介质采样车。

(1) 环境监测车

环境监测车的配置及功能如下：

1) 设备组成及结构

环境监测车设备由环境监测车车体、车载 γ 辐射监测仪、便携式 LaBr₃ 多道 γ 谱仪、便携式 γ 剂量率仪、便携式表面 α/β 污染测量仪、便携式气溶胶和碘取样装置、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 γ 辐射水平进行巡测，对环境介质样品的总 α 、总 β 、总 γ 放射性活度进行测量以及进行 γ 核素分析，对各种被测对象的 α 、 β 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厂的环境监测系统相关通信接口。

（2）介质采样车

核电厂将配置两台介质采样车，包括大体积介质采样车和小体积介质采样车。大体积介质采样车主要进行液体介质以及大体积固体新鲜样品的采集和运输。小体积介质采样车主要用于小体积环境样品的采集和运输，也可进行热释光元件（TLD）的布设及回收，在核电厂发生事故时，可以配置便携式仪表和其他设备参与统一的应急行动。

8.3.2.3 环境实验室

（1）位置

目前基地已建设了环境实验室，统一用于基地辐射环境监测。基地现有监测站设计基本满足本工程运行期间辐射环境监测要求。

环境实验室位于厂址 NW 方位约 9.5km，其选址避开了主导风向（SSW）的下风向，位于烟羽应急计划区的边界处。

（2）功能

环境实验室内的实验室主要功能为：

- 通过介质采样车对核厂所在区域的空气、陆生生物、水生生物、食物、土壤、水、沉降灰以及核电厂的进排水等环境样品进行采样；
- 配置烘箱、电炉、马弗炉等设备，对采集的环境样品进行预处理和样品制备（干燥、碳化和灰化等）；
- 配置高纯锗 γ 谱仪、低本底 $\alpha\beta$ 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、 γ 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。

（4）家具设备配置

监测站的家具设备主要包括分析实验台、仪器台、通风柜、通风罩、天平台、柜子、实验桌等。

8.3.3 监督性监测系统

石岛湾核电厂址辐射环境现场监督性监测系统由核电厂外围辐射环境监测系统和流出物监测系统两部分组成。核电厂外围辐射环境监测系统包括监测子站和前沿站。流出物监测系统包括流出物在线监测系统和流出物实验室。监督性监测系统按满足石岛湾厂址高温气冷堆、国和一号示范工程以及后续压水堆扩建工程共用需求规划建设，监督性监测系统在设计中充分考虑了厂址核电项目发展需要，预留后续扩建工程的相关接口。流出物在线监测系统拟共用核电厂自行实施的流出物在线连续监测仪表，再通过电厂的信息系统与独立配置的流出物在线监测数据服务器和数据传输设备，将监测仪表的测量数据传输至位于前沿站的数据汇总中心和环境保护部现场监督单位。

目前，监督性监测系统已完成建设和调试，于 2020 年 12 月完成预验收监督性监测系统已移交给山东省核与辐射安全监测中心进行运行和管理，试运行期已满一年。后续将由山东省核与辐射安全监测中心统筹考虑。

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厂周围环境中的辐射水平和变化趋势。当核电厂发生事故时，监测子站的测量数据可以为后果评价以及场外应急决策提供信息。

基地共设 12 个子站，包括场区边界子站（MS1）、东钱家村（MS2）、马兰耩村（MS3）、宁津街道办（MS4）、东墩村（MS5）、吕家庄（MS6）、核电厂施工生活区（MS7）、楮岛村（MS8）、东山街道办（MS9）、林家流（MS10）、耩后杨家（MS11）、前沿站

（MS12）。

（2）前沿站

前沿站位于荣成市王店镇，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 623.2m²，总建筑面积为 1246.4m²。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。

8.4 质量保证

8.4.1 环境监测质量保证

8.4.2 流出物监测质量保证

8.4 质量保证

为了保证本工程环境监测和流出物监测设备的可靠性，确保监测数据的精确性、可比性，依据国家有关标准，运营单位制订了环境与流出物监测质量保证程序。本节主要描述运行期间环境与流出物监测质量保证的主要内容。

8.4.1 环境监测质量保证

（1）组织机构

石岛湾核电基地的辐射环境监测实施统一管理，具体由基地的环境监测站实施。环境监测站人员由国核示范化学环保处人员、华能石核辐射防护与环境应急部人员、中国原子能院业务支持人员组成。环境监测站的管理由国核示范牵头负责，华能石核协助参与，日常运维由双方共同参与。环境监测站组织机构人员具体包括管理人员、技术负责人、质量负责人、监测人员、质量监督员、样品管理员、设备管理员等，各层级人员职责明晰。环境监测站工作授权分为工作两级：一级工作授权(授权期限为2年)和二级工作授权(授权期限为3年)。

一级工作授权范围：取得一级工作授权后，可独立开展授权范围内的项目分析工作和设备使用操作；

二级工作授权范围：取得二级工作授权后，除从事对应一级授权相应工作外，可对对应一级授权工作进行观察、指导，开展对相关分析规程的维护；对监测项目的质量控制、数据审核及异常原因分析等。

（2）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 γ 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至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。

(3) 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。

(4) 测量仪器的性能检验

- 每年对 γ 谱、低本底 α/β 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 χ^2 检验；
- 为检验测量仪器的长期稳定性，低本底 α/β 测量仪、液闪谱仪、 γ 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；
- γ 谱仪、低本底 α/β 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；
- γ 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。

(5) 环境样品平行样分析

- γ 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}Sr 和 ^{131}I 放化分析（生物、土壤、沉积物和海水）100% 作平行样分析。

(6) 环境样品复检

- γ 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 $\geq 15\%$ 。

(7) 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。

（8）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 γ 或 γ 谱测量。
- 样品测量完毕后并检查数据无误，应及时处理，废液样品倒入指定放射性水池，禁止倒入非放射性水池。
- 测量所使用的样品盒不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 γ 谱测量的样品应保留最近的样品，作为保留样品以备复查。

（2）实验室环境质量控制

- 进入流出物实验室控制区工作，应遵守辐射防护相关规定，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 γ 谱仪、液闪谱仪、 α/β 测量仪等大型仪器须建立仪器档案。
- 检定与标定：仪器仪表的标定与检定按照程序要求，进行强制检定或内部标定。下次进行检定或标定的日期需在仪器检定或标定有效期内，如超过有效期，则需对此期间测量数据的有效性进行评估。仪器标定应按照相应仪器操作规程执行，仪器的检定按照检定规程执行。当仪器部件维修后，需做好仪器维修与维护纪录，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可作为计量器具使用。
- 性能试验：在仪器检定或标定的有效期内，为确保仪器状态未发生较大变化和持续跟踪仪器的状态，应定期对仪器的性能参数（如本底、探测效率、能量分辨率等）进行定期性能试验，并对性能试验结果和仪器状态作出评价。用正常工作状态下的上述性能检验数据，对 γ 谱仪、低本底 α/β 测量仪、液闪谱仪等仪器的本底、效率值（ ≥ 12 个数据）等做仪器质控图，若仪器本底、效率等超过质控图的质控范围（ $X \pm 3\sigma$ ），应查明原因，及时采取措施，确保测量仪器处于正常的工作状态。

（4）外部质量控制

流出物监测的外部质量控制措施主要有：

- 尽可能参加国内外机构组织的实验室之间比对。
- 加强信息交流，关注国内外有关监测标准、规范、方法和理论概念的变化，及时使用国家和行业新的监测标准和规定。
- 加强与山东省核与辐射安全监测中心等环保部门之间的技术交流。
- 不定期地与山东省核与辐射安全监测中心流出物实验室进行样品比对。
- 采购权威机构研制的标准参考物质。
- 实验室计量器具定期由国家计量部门或其授权的计量站检定，保证量值溯源的可靠性。

第九章 利益代价分析

9.1 利益分析

9.2 代价分析

9.1 利益分析

9.1.1 运行带来的直接利益

9.1.2 建设和运行带来的间接利益

9.1.2.1 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 CO₂、SO₂、NO_x 以及烟尘等。本项目的建成可有效替代燃煤机组，大量减少 CO₂ 排放量。

本项目投产后正常年份可实现 CO₂ 减排约 1400 万吨，CO₂ 减排效益参考近期国内 CO₂ 排放权交易价格，取 50 元/吨，正常年份内 CO₂ 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。核电生产运营也对相关产业产生较强的拉动，1 元的核电产出将拉动主要行业的产出增长为：石油加工、炼焦及核燃料业 0.11 元，农业 0.10 元，化学工业 0.08 元，金融保险业 0.08 元。据测算，扩建一期工程正常运营年份，可以带动数亿元左右的相关产业的发展。由此可见，关联面较大的核电是拉动我国经济增长、促进经济结构优化与升级的难得的驱动项目。

9.1.2.3 对区域经济的利益

核电项目能够推动和促进地方经济的发展，核电站对地方财政收入的影响主要来自于税收，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

10.7 建议

10.8 承诺

10.1 核电厂建设项目

山东石岛湾核电基地位于山东省威海市所辖荣成市石岛管理区宁津街道办事处东南。山东石岛湾核电基地规划总容量为1台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厂扩建工程4台百万千瓦级压水堆机组。本工程为华能山东石岛湾核电厂扩建4台百万千瓦级压水堆机组工程的一期工程，建设2台机组，拟采用华龙一号技术方案。华能石岛湾核电开发有限公司负责核电厂的建设和运营管理。

本工程的建设与国家及区域发展规划相符，厂址周围不存在影响核电厂建设和运行的不可克服的颠覆性因素。在事故情况下对周围公众的辐射影响满足国家相关标准的要求，核电厂拟设的非居住区边界和规划限制区边界是可行的，核电厂正常运行期间的放射性物质排放对公众和周围环境的影响满足国家相关法规和要求。公众参与和调查表明厂址周围大多数的公众能理解和支持本工程的建设，从而为核电厂的建设营造了和谐的社会氛围。

总体上，就核电厂对环境的影响以及环境对核电厂的影响而言，在山东石岛湾核电基地扩建本工程是可行的。

10.2 环境保护设施

华能山东石岛湾核电厂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设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氙和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，当排放废液中除氙和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氙和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 $4.42 \times 10^{-6} \text{Sv}$ ，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 $4.33 \times 10^{-8} \text{Sv}$ 。
- 关键人群组为位于厂址最近的 NNW 方位 0.72km 的东钱家渔民。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}C ，其它重要核素为 ^{90}Sr 、 ^{60}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}Co 、 ^{90}Sr 、 ^{106}Ru 、 ^{134}Cs 和 ^{137}Cs 在排放口处海域峰值浓度分别 $4.32 \times 10^{-4} \text{Bq/L}$ 、 $2.75 \times 10^{-6} \text{Bq/L}$ 、 $9.68 \times 10^{-3} \text{Bq/L}$ 、 $5.03 \times 10^{-3} \text{Bq/L}$ 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 $4.27 \times 10^3 \text{人} \cdot \text{Sv}$ ，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：土石方工程负挖、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鲁环函[2021]69 号所批复的三类功能区内，夏季 1℃温升外包络线在西北侧有小部分区域超过了该三类功能区范围，同时，温排水 4℃温升影响范围超过了所批复的混合区范围，核电厂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。

本工程运行期间温排水温升夏季 1℃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，4℃温升影响范围进入黑石岛海岛限制区（37-Xf02），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。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，初步预测本工程运行期间温排水造成的海水温升对浮游生物、游泳动物和底栖生物影响有限。本工程运行期间温排水的全潮最大 1℃温升外包络影响范围不涉及种质资源保护区。

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。核电厂非放工业废水处理系统处理后中水回用到除盐水生产系统，排放的浓水量较小，与循环冷却水混合稀释后不会对周围海域造成明显影响。

生活污水处理后部分用于道路喷洒及绿化，执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2020），剩余部分排放执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中的一级 A 标准。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。

核电厂在正常运行过程中因设备的维修、零部件的损坏等会产生一定量工业固废，核电厂内人员会产生生活垃圾，在落实固废收集和处置工作后，本工程的非放射性固废对环境影响较小。

机组运行期间的噪声主要来自汽轮机厂房、循环水泵房、空气压缩机房等厂房内的汽轮机、发电机、循环水泵、送风机及引风机等设备的运转以及变压器区域的主变压器运行，类比国内同类电厂噪声预测影响范围，考虑到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厂厂区电磁环境监测结果，500kV 开关站及输电线路周围的工频电场和工频磁场均满足 GB8702-2014 中 4kV/m 和 0.1mT 的限值要求。

10.6 公众参与和调查结论

华能山东石岛湾核电开发有限公司（“建设单位”）于 2021 年 11 月 25 日~12 月 23 日开展了扩建一期工程选址阶段环境影响评价首次信息公开工作。在建设项目环境影响报告书征求意见稿形成后，建设单位于 2021 年 12 月 24 日~2022 年 1 月 7 日完成了项目选址环评报告书征求意见稿及其他相关信息公开（第二次信息公开），信息公开期间在核电厂 15km 范围内的街道办、村委张贴公告信息。建设单位于 2022 年 2 月 7 日~2022 年 2 月 18 日完成了项目选址环评报告书报批前全本信息公开（第三次信息公开）。

建设单位于 2021 年 12 月至 2022 年 1 月开展了问卷调查，共发放团体问卷 16 份，个人问卷 620 份，回收有效团体问卷 16 份，有效个人问卷 577 份。建设单位于 2022 年 1 月 17 日组织召开了公众座谈会，在座谈会召开 10 日前，将座谈会的时间、地点、主要议题等事项通知参会代表，并在核电厂 15km 范围内的街道办、村委张贴座谈会公告信息。

首次信息公开期间共收到 1 名公众和 4 家海水养殖企业反馈的公众意见表，内容主要为担忧核电厂辐射环境影响以及工程建设和运行对海水养殖的影响。第二次和第三次信息公开征求意见期间，无公众和团队查阅纸质版报告，也未收到公众提出意见。

问卷调查中，团体公众参与调查问卷的结果：有 56.25%的被调查单位表示本项目建设十分有必要，43.75%的被调查单位表示有必要。87.5%的被调查单位支持项目建设，12.5%的被调查单位无所谓，被调查单位中没有反对项目建设的。个人公众参与调查问卷的结果：对本工程建设的态度支持的（150 人，26%）或有条件支持（115 人，19.93%），2.6%的公众（15 人）反对本工程的建设，其他公众无所谓。公众反对对本项目的建设的理由主要为：核电厂对环境的影响和对核电安全性的恐惧。比如：核电辐射大，污染大，对居民身体产生健康影响，有严重安全隐患，会发生核事故等。

座谈会由建设单位主持，荣成市发改局、宁津街道办代表，石岛湾厂址周边九个村庄居民代表，附近医院、学校、渔业公司、施工单位代表等相关人员共 34 人参加了座谈会。座谈会上，与会代表均表示支持扩建工程建设。

通过公众参与和调查了解到，公众要求建设单位严格按国家有关法律、法规要求，坚决执行建设项目“三同时”原则，从严治理环境，在施工期和运行期采取相应的污染防治措施及生态环境保护措施，并做好环境风险防护及应急措施，通过采取有效可

行的措施降低核电厂建设对环境的影响。环评报告中采纳公众提出的建议，对本工程环境保护设施性能和实施应急计划的可行性进行了分析，评价了本工程施工和运行期间的辐射和非辐射环境影响，对本工程建设和运行需要关注的重点给出了建议。

10.7 建议

（1）建议建设单位积极跟踪厂址周围近岸海域环境功能区划、海洋生态环境保护规划和生态红线等的最新情况，关注温排水与其的相符性。

（2）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，前期公众参与调查结果也反映出公众存在的疑虑。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，建议建设单位做好与养殖户的利益协调，并做好电厂运行期间海水温升影响监测，充分界定温排水产生的实际影响程度。

10.8 承诺

（1）本工程所处山东石岛湾核电基地为一址多堆厂址，涉及多家不同核电运营业主。本项目建设单位将与厂址其他业主积极沟通，协调做好流出物排放管理、环境监测、核应急等方面统一管理工作。

（2）建设单位将总结借鉴前期工程和国内同类项目建设经验，合理制定陆域和海工施工方案，落实相关施工环境管理措施，开展相应的施工期环境监测，实现对项目施工环境影响的有效控制。