

宽能谱超高通量试验堆项目
环境影响报告书
（选址阶段）
（送审公示稿）

清 华 大 学

二〇二五年十二月

编制单位和编制人员情况表

项目编号	2b6s6b		
建设项目名称	宽能谱超高通量试验堆项目		
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）	清华大学		
统一社会信用代码	12100000400000624D		
法定代表人（签章）	李路明		
主要负责人（签字）	曾嵘		
直接负责的主管人员（签字）	石磊		
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
游春华	2015035320350000003509320449	BH011459	游春华
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
鲍昕杰	2.2	BH011464	鲍昕杰
徐天寒	6.2	BH062605	徐天寒
于家欢	第七章	BH035476	于家欢
田新珊	2.3	BH011463	田新珊

游春华	第一章、2.1、2.4、2.5、2.6、第三章、第四章、第五章、6.1、6.3、第八章、第九章	BH011459	游春华
-----	---	----------	-----

目 录

第一章 概述

- 1.1 建设项目名称和建设性质
- 1.2 建设项目的规模和总体规划
- 1.3 建设项目经费
- 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 反应堆

- 4.1 厂区规划及平面布置
- 4.2 反应堆工程概况

- 4.3 实验系统
- 4.4 用水和散热系统
- 4.5 送排风系统
- 4.6 供电系统
- 4.7 放射性废物处理系统和源项
- 4.8 非放射性废物处理系统
- 4.9 放射性物质厂内运输

第五章 反应堆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 反应堆运行的环境影响

- 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 反应堆事故的环境影响

- 7.1 放射性事故和后果评价
- 7.2 场内运输事故
- 7.3 其他事故
- 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 其他监测
- 8.3 监测设施
- 8.4 质量保证

第九章 利益代价分析

9.1 利益分析

9.2 代价分析

第十章 结论与承诺

10.1 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 承诺

第一章 概述

1.1 建设项目名称和建设性质

1.2 建设项目的规模和总体规划

1.3 建设项目经费

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

本项目名称为“宽能谱超高通量试验堆项目”。

本项目由清华大学核能与新能源技术研究院负责建设和运营管理。

1.1.2 建设性质

本项目为新建工程，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。

1.2 建设项目的规模和总体规划

本项目新建一座宽能谱超高通量试验堆（简称 THFR），为池壳式堆，该堆设计功率 80MWt，堆芯设计寿命为 60 年。

本厂址规划建设于清华大学（荣成）先进核能技术科研基地。清华大学（荣成）先进核能技术科研基地规划建设核反应堆区、涉核实验区、一般实验区、工作保障区、产学研孵化区、办公教学区、生活区及生活保障区。

本项目主要建设反应堆及主工艺系统、辐照试验设施、工艺配套系统、辅助厂房等建筑物，可分为核反应堆和工作保障区两类规划区域。

1.3 建设项目经费

本项目建设所需资金拟申请国家财政预算内专项资金部分主要用于反应堆工程设备费；其它建设内容所需资金，来源于项目依托单位（法人单位）、共建单位筹措，以及地方政府的相关配套支持。

1.4 建设目的

高通量堆是重要的辐照资源平台，是开展核燃料和材料辐照考验、放射性同位素生产和中子学研究等的必不可少的技术手段，在先进核能技术、中子学研究等领域发挥着不可或缺的作用。

建设宽能谱超高通量试验堆，对进一步优化我国高通量堆资源配置、开创国内辐照资源利用新局面、促进我国核能和中子学研究的发展发挥了重要的支撑作用，对解

决核燃料及核材料辐照考验、稀缺特殊核素生产、中子学研究等国家战略需求具有重要的意义，其技术溢出也将显著促进经济社会发展，依托该设施逐步形成在国际上有重要影响的核能和中子学科技创新中心。

（1）支撑国家先进堆开发、先进燃料及材料研发

能源是攸关国家安全和发展的重点领域。我国已连续多年成为世界上最大的能源生产国和消费国。在“碳达峰、碳中和”目标、生态文明建设和“六稳六保”等总体要求下，我国能源发展面临保安全、转方式、调结构、补短板等严峻挑战，对科技创新的需求比以往任何阶段都更为迫切。

福島事故后，全球核能由建设整体进入稳妥审慎发展阶段，但核能技术创新的步伐并未减缓。美、俄、法等核电强国，凭借长期技术积累，瞄准更安全、更高效、更经济等未来核能发展方向，不断加大研发投入和政策支持，在三代和新一代核反应堆、模块化小型堆、核能供热等多元应用、先进核燃料及循环、在役机组延寿和智慧运维等方面开展了大量技术研发和试验示范工作，以更安全、更高效、更经济为主要特征的新一代核能技术及其多元化应用，成为全球核能科技创新的主要方向。

我国现有的高通量堆在中子通量水平、辐照能力、辐照资源规模和利用率等方面与国际先进水平之前存在一定的差距。为了进一步推动先进核能技术的发展，有必要建设具有更高辐照技术参数的核燃料和材料辐照试验平台。

满足我国核燃料及核材料辐照考验的战略需求，深入开展核燃料和材料辐照效应、行为机理研究和性能研究，进行前沿技术攻关，解决新型核燃料及核材料研发中的关键技术难题，研究高温、强辐照、深燃耗、强腐蚀、液态金属冷却等复杂服役条件对核燃料和材料性能的影响机制，建立与先进核能系统核燃料和材料辐照试验技术指标相匹配的辐照试验能力，探索进一步提高核燃料及核材料抗辐照、耐高温、耐腐蚀性能的措施和途径，进一步推动先进核燃料及核材料技术发展。

发展核能是保障我国经济社会可持续发展的战略选择。对材料辐照效应的研究及新堆型结构特别是燃料元件在实际工况下的预先考验，是我国核动力工程发展的关键。为加速材料辐照试验及相关研究的进程，以及满足高中子通量和足够实验孔道来进行燃料和材料辐照样品的考验需求，建设具有高综合性能的宽能谱超高通量试验堆已成为当前核工业和国防工业发展的迫切需求。建设宽能谱超高通量试验堆，可满足我国核燃料及材料辐照考验的战略需求，进一步优化高通量堆辐照资源配置，缓解我国辐

照资源短缺局面，推动能源、科技创新等领域的重大战略部署，推动解决一批关键核心技术，形成国际领先的先进核能技术创新中心。

（2）满足我国民用战略稀缺核素生产需求

中子几乎可以与所有原子核发生反应生成新的元素或同位素，尤其是 1eV 能量以下热中子的反应概率更大。元素周期表中一些近年来新发现的新元素或者同位素，中子辐照在里面起到了关键的作用，如 2014 年发现的 117 号元素 Ts，合成该元素所需的镅-249，全世界只有美国橡树岭国家实验室的高通量反应堆能够生成。

高通量反应堆能提供比普通核电站反应堆中子通量高几倍到几十倍的中子源，可完成很多普通反应堆无法完成的工作，特别是中子通量在 $10^{15}\text{n/cm}^2\cdot\text{s}$ 以上的高通量堆，在生产新型核素方面具有普通反应堆无法相比的巨大优势。以 Cf-252 为例，该核素在高通量堆内主要通过辐照 PuO 或 CmO 靶件进行生产。Cf-252 转换链具有链条长、损耗率大、成品率低等特点，从靶核 Pu-242、Cm-244 或 Cm-246 出发需发生多级(n, γ) 反应才能获得，并且转换链上 Cm-245 等核素具有较大的裂变截面，导致 Cf-252 的成品率极低。Cf-252 产量及其辐照生产特性强烈依赖于高通量反应堆的中子通量水平。研究表明，中子通量相差一倍，Cf-252 的生成率可相差 100-1000 倍以上，只有在中子通量达到 $10^{15}\text{n/cm}^2\cdot\text{s}$ 以上的高通量反应堆才具备生产 Cf-252 的能力。

Cf-252、Pu-238 等稀缺特殊核素在医疗、航天、工业等领域具有重要应用。目前，我国大部分战略稀缺核素均依赖进口。为了彻底解决我国在稀缺特殊核素及医用同位素生产领域严重受制于人的局面，自主建设具有更高水平、更优异辐照性能的高通量试验堆，是稳定、批量化获得 Cf-252 及高比活度医用同位素的重要途径。

开展 Cf-252、Pu-238 等稀缺特殊核素转换特性研究，建设稀缺特殊核素辐照装置试验和配套设施，具备稀缺特殊核素生产能力，研究中子通量水平、中子能谱、靶件结构等对核素产量的影响，掌握稀缺特殊核素辐照生产技术和工艺流程，对推动核技术产业应用创新，支撑核能、航天等战略关键领域的发展，助力“健康中国”战略实施等均具有重要意义。

（3）打造综合性国家科学平台

中子的独特性质使其在揭示物质从微观、介观至宏观尺度的结构和动力学行为方面发挥着不可替代的重要作用。当今各发达国家依托高通量试验堆已开展中子散射、在线中子活化分析、中子照相、用硼中子俘获治疗癌症（BNCT）等的长期研究并逐

步向产业化布局。

现有高通量堆大多建有水平或倾斜中子散射孔道、中子束流管及中子谱仪等实验设施，为开展中子科学研究提供了有效支撑。我国的 CARR、CMRR 上均建设有中子散射等实验装置，致力于打造为综合性的中子学研究平台。然而，我国依托高通量堆的中子学研究在实验技术水平、仪器种类、应用领域、开放共享等方面，仍与国际先进水平之间存在一定的差异。为了进一步提升我国中子学研究的水平和能力，有必要建设更高水平的中子学实验研究平台、提高开放共享程度，努力实现我国在中子科学领域的跨越式发展。

依托宽能谱超高通量试验堆的高通量中子源，同步开展中子散射、在线中子活化分析、中子照相、BNCT 等研究，建设具有国际影响力的中子科学研究中心，实现开放共享，为国内外用户提供优质的中子散射、中子成像和活化分析等技术服务，深入开展物理、化学、材料、地质、宇宙科学、生物、环境科学、考古学、医学等领域的基础研究和应用基础研究以及前沿技术研究，提升核科学创新能力，为人类了解物质结构、探索自然界基本规律作出重大贡献，推动我国粒子物理、凝聚态物理、材料科学、生命科学等领域部分前沿方向的科研水平进入国际先进行列，取得丰硕的知识创新和科学研究成果产出，有力带动我国中子散射应用和关键技术的重大发展，打造综合性国家科学平台，增强国家综合实力，同时也可孵化未来新兴产业，实现产学研深度融合。

（4）培养核工业高端专业人才

1964 年，清华大学有关专业师生建成了自行设计的屏蔽试验反应堆，完成了动力堆屏蔽实验，获 1978 年全国科学大会奖。屏蔽试验反应堆是我国第一座自行研究、设计、调试建成的核反应堆，长期以来也是我国高等教育系统唯一用于人才培养和实习的试验堆。反应堆建成后，不仅成为清华大学反应堆相关专业师生的实习基地，还承担了西安交通大学、哈尔滨工程大学等高校核专业师生大量实习和实践任务，为我国核工业培养了大量人才。目前，屏蔽试验堆已退役，我国高等教育系统已没有专门承担人才培养任务的试验堆。

宽能谱超高通量试验堆建成后将成为我国高等教育系统唯一的专用试验堆，依托该设施，吸引大批高水平国内外人才开展科学研究和科技合作，建设核科学技术专业

人才培养平台，培养高端专门技术人才，推动核研院建设“世界一流核学科”、推动清华大学建设“世界一流大学”、推动人才强国战略的实施。

依托宽能谱超高通量试验堆建设开放共享的国际合作交流平台，形成国际性的核科技研究中心和交流平台，实现高度开放共享，吸引大批国内外用户，与国内外各大高校、科研机构积极深入开展核燃料材料、中子科学研究等方面的合作交流，充分发挥重大科技基础设施的平台作用。

在宽能谱超高通量试验堆项目工程建设过程中，通过与设备制造企业和相关科研机构合作，掌握超高通量堆建造领域的核心技术，研发关键设备，带动和提升国内相关企业研发设计能力、加工制造水平，从而全面提升我国自主设计开发新型研究堆的能力，包括科研、设计、建造、运行维护的人才队伍建设和培养。通过工程建设和后续的科学研究的培养，培养一大批核能和中子学领域的优秀青年科技工作者，为未来核能开发、核安全及核技术应用、中子科学研究持续提供理论、方法、技术和人才支撑。

（5）支持核电“走出去”战略

为支持我国核电“走出去”战略，我国和世界各国将在核电领域开展全方位合作：为核电欠发达国家培养专业技术人才；与先进国家合作开展新型堆的开发。目前国内、外民用新型核能研发蓬勃发展，而可供民用的辐照资源紧缺，项目还可为国外用户提供材料辐照等核技术服务。

本项目的建成，将作为开放共享的国际合作交流平台，吸引国外专业技术人才到我国开展技术交流，为国外用户提供材料辐照服务，有利于增强我国核电行业在国际舞台上的影响力，打造核能行业的人类命运共同体。

（6）创造显著的经济和社会效益

宽能谱超高通量试验堆的建造并不以盈利为目标，但是基于目前的市场现状，可预见能够实现很好的经济效益。目前国际上和国内对于高通量堆的使用需求巨大，有关新材料的辐照，核医学以及核农学的应用，某些重要核素的生产制备，以及一些高科技研究项目对于辐照的需求都非常旺盛。目前国内几个正在运行的高通量辐照堆也都处于供不应求的状态，并且由于目前国内高通量堆的设计参数普遍不高，在某些领域的应用还难以满足实际需求，例如钷核素的生产能力很低，限制了国防能力的建设；还不具备生产铀的能力，导致铀粉严重依赖进口，属于我国可能被“卡脖子”的材料类型。因此在未来相当长的一段时期内，在宽能谱超高通量试验堆上开展应用和研究

的市场需求很大，其建造既能满足市场的需求，同时也可以带来相当可观的经济效益。

宽能谱超高通量试验堆的设计和建设不仅为相关领域科技发展水平的提升做出贡献，还将在科技创新平台的建设和运行体制方面提供积极探索。目前国内科技领域存在大型科技平台与市场需求对接不够，导致科技平台的利用率不高，而大量的社会需求得不到满足的问题。本项目的实施可望能够创新探索大型科技平台的运行以及开放模式，依托高校或科研院所，提升科研平台与市场需求的对接水平，建立更高效的运行和保障机制，使得国家先进的科技平台能够获得更高效的利用，同时为整个领域科技水平的提升做出贡献。并在此基础上，积极探索以国家的实际需求为导向，开展国家大型试验平台和试验基地建设的新模式探索。这些体制创新将成为国家科技领域的体制改革的积极尝试，并为其他领域的改革提供借鉴。

建设宽能谱超高通量试验堆，支撑国家先进核能系统研发、新型核燃料和材料研制、医用和工业用放射性同位素生产以及中子学研究，带动能源、材料、医疗、航空航天、农业、无损检测等相关产业发展，催生一批新技术、新产品，成为促进战略性新兴产业的科技创新驱动力，为国民经济和社会发展提供科技支撑。

在核燃料和材料辐照试验方面，打造先进核燃料及核材料研发试验平台，满足核燃料和材料研发的辐照试验关键需求，可大幅降低核燃料和材料辐照实验费用，打破国外技术、价格垄断，从而降低先进核能系统研发成本、缩短研发周期。

依托宽能谱超高通量试验堆，建立 Cf-252、Pu-238 等稀缺特殊核素辐照生产能力，突破生产稀缺特殊核素的技术瓶颈，打破国外技术、资源和价格垄断，实现稀缺特殊核素的自主稳定供应，降低辐照资源配套服务成本，降低核能、深空探测等高新技术领域的研发成本。

医用同位素在心血管疾病、恶性肿瘤和神经退行性疾病等严重威胁人类健康的重大疾病中发挥着不可替代的重要作用。目前，全球使用医用同位素的医院超过 15000 家，每年接受核医学诊疗超过 5000 万例。依托宽能谱超高通量试验堆，实现堆照医用同位素及药物的国产化，可大幅降低 Mo-99、Lu-177、Sr-89 等重要医用同位素的生产成本和物流成本，并打破医用同位素进口价格垄断，降低核医学诊疗费用，显著降低国家和患者的治疗负担，发挥显著的经济和社会效益，助推“健康中国”建设。未来，通过进一步培养医疗机构优先使用国产产品的习惯，逐步扩大市场规模需求，整合国内相关资源，形成堆照医用同位素的常态化和规模化供应，优化堆照医用同位素的生

产、供应、使用等全产业链流程，最终降低堆照同位素生产的综合成本，提升堆照医用同位素在国内供应市场的竞争性和稳定性。

在中子散射、中子成像等中子学研究领域，进一步扩展先进中子散射技术在能源、材料、医疗、工业、农业、无损检测等领域的推广和应用，为相关学科领域发展提供支撑，降低中子学相关技术服务成本。

1.5 建设项目的进度

本项目初步计划于 2027 年 6 月实现 FCD，2029 年底建成。

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

2021 年 12 月 29 日，清华大学将《清华大学荣成先进核能技术科研基地项目建议书》上报教育部。2022 年 1 月 18 日，先进核能技术科研基地项目列入 2022 年山东省重大准备类项目清单，省政府将给予土地指标等政策扶持。2022 年 3 月 3 日，教育部批复“清华大学荣成先进核能技术科研基地”项目，批复函发至山东省政府。

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。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）》将厂址周边区域规划为核电配套产业园。

（2）国土空间规划

《荣成市国土空间总体规划（2021—2035 年）》已于 2025 年 4 月 25 日发布。清华大学（荣成）先进核能技术科研基地列为重点建设项目。

根据厂址所在区域的“三区三线”划分，本项目厂址位于城镇开发区边界内；本项目海工工程位于荣成宁津工矿通信用海区（代码 3-4），本项目总体符合“三区三线”相关管控要求。

（3）近岸海域环境功能区划

2022 年 8 月 23 日经山东省生态环境厅（鲁环函〔2022〕88 号）批复调整厂址附近海域环境功能区划，调整后 A1~A4 四点连线围成的区域为混合区，不设水质管控目标。B1~B4 四点连线围成的区域为三类环境功能区，执行第三类海水水质标准。

（4）生态环境分区管控方案和生态保护红线

威海市生态环境局 2024 年 4 月发布了《关于发布 2023 年生态环境分区管控动态更新成果的通知》，根据该成果：

1）本项目厂址所处区域的陆域环境管控单元

厂址陆域所处的环境管控单元名称为宁津街道（一般管控单元），本项目施工期和运行期陆域环境影响符合环境管控单元要求。

2）本项目厂址所处区域的海域环境管控单元

本项目海工位于荣成宁津工矿通信用海区，为重点管控单元。本项目环境影响与该环境管控单元的管控要求总体相符。

根据国土空间规划和生态环境分区管控方案，本项目附近陆域生态保护红线主要为荣成市胶东丘陵生物多样性维护保护红线。本项目的建设和运行不会影响上述生态保护红线。本项目海工工程附近海洋生态保护红线主要为镆鵁岛重要滩涂及浅海水域生态保护红线，最近处位于本项目排水口南侧约 1.4km 处。本项目海工工程附近最近的海洋生态控制区为位于排水口东北侧约 3km 处的宁津海洋生态控制区，本项目用海符合上述海洋生态保护红线和海洋生态控制区的管控要求。

1.6.2 相关管理文件

- 山东省生态环境厅关于调整华能山东石岛湾核电厂址近岸海域环境功能区划的函（山东省生态环境厅，鲁环函〔2022〕88 号）；
- 国家发展改革委关于宽能谱超高通量试验堆国家重大科技基础设施可行性研究报告的批复（发改高技〔2025〕1445 号）。

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 2024 年 1 月 1 日起施行）；
- 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（2018 年 12 月 29 日修正）；
- 中华人民共和国大气污染防治法（2018 年 10 月 26 日修正）；
- 中华人民共和国水污染防治法（自 2018 年 1 月 1 日起施行）；
- 中华人民共和国噪声污染防治法（自 2022 年 6 月 5 日起施行）；
- 中华人民共和国固体废物污染环境防治法（自 2020 年 9 月 1 日起施行）；
- 中华人民共和国水土保持法（自 2011 年 3 月 1 日起施行）；
- 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（2017 年 10 月 7 日修订）；
- 建设项目环境保护管理条例（自 2017 年 10 月 1 日起施行）；
- 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（2018 年 3 月 19 日修订）；
- 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（2025 年版）（自 2025 年 1 月 1 日起施行）；
- 近岸海域环境功能区管理办法（2010 年 12 月 22 日修正）；
- 建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）（自 2021 年 1 月 1 日起施行）；
- 放射性废物安全监督管理规定（HAF401，自 1997 年 11 月 5 日起施行）；
- 研究堆厂址选择（HAF J0005，自 1992 年 4 月 6 日起施行）；
- 研究堆设计安全规定（HAF201，自 1995 年 10 月 1 日起施行）；
- 研究堆运行安全规定（HAF202，自 1995 年 10 月 1 日起施行）；
- 核动力厂、研究堆、核燃料循环设施安全许可程序规定（生态环境部令第 8 号，自 2019 年 10 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）；

- 关于印发《生态环境分区管控管理暂行规定》的通知（环环评〔2024〕41号，2024年7月6日）；
- 关于印发《入海排污口监督管理办法（试行）》的通知（环海洋〔2024〕72号，2024年10月2日）；
- 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（2020年11月修正）；
- 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）；
- 山东省固体废物污染环境防治条例（2023年1月1日施行）；
- 山东省核事故应急管理办法（2012年10月1日施行）；
- 山东省“十四五”核与辐射安全监管规划（山东省生态环境厅，2021年12月15日）；
- 荣成市国土空间总体规划（2021—2035年）（荣成市人民政府，2025年3月）；
- 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）；
- 关于发布2023年生态环境分区管控动态更新成果的通知（威海市生态环境委员会办公室，2024年4月29日）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》（GB 18871-2002）；
- 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；
- 《核设施流出物监测的一般规定》（GB 11217-89）；
- 《放射性废物管理规定》（GB 14500-2002）；
- 《低、中水平放射性固体废物包安全标准》（GB 12711-2018）；
- 《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）；
- 《放射性废物分类》（2018年1月1日起施行）；

- 《核设施放射性废物处置前管理》（HAD 401/12-2020）；
- 《研究堆营运单位的应急准备和应急响应》（HAD 002/06-2019）；
- 《核设施环境保护管理导则 研究堆环境影响报告书的格式与内容》（HJ/T 5.1-1993）；
- 《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

- 《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）；
- 《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）；
- 《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018）。

3) 水

- 《海水水质标准》（GB3097-1997）；
- 《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ 2.3-2018）。

4) 噪声

- 《声环境质量标准》（GB 3096-2008）；
- 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）；
- 《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025）；
- 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ 2.4-2021）。

5) 其他

- 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；
- 《环境监测质量管理技术导则》（HJ 630-2011）；
- 《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022）；
- 《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）；
- 《入河入海排污口监督管理技术指南 入海排污口设置论证技术导则》（HJ 1406-2024）；
- 《近岸海域环境监测技术规范》（HJ 442-2020）；
- 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）；
- 《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）；
- 《危险废物收集贮存运输技术规范》（HJ 2025-2012）；

- 《危险化学品重大危险源辨识》（GB 18218-2018）；
- 《危险货物品名表》（GB 12268-2025）；
- 《危险货物分类和品名编号》（GB 6944-2025）等。

1.6.4 相关技术文件

由于本项目距华能山东石岛湾核电厂较近（距高温气冷堆示范工程约 4.1km，距华能山东石岛湾核电厂扩建工程 1 号机组约 3.8km），本项目将参考华能山东石岛湾核电厂的相关专题成果，本报告依据的主要相关技术文件有：

- 宽能谱超高通量试验堆项目可行性研究报告（中国中元国际工程有限公司，2023 年 1 月）；
- THFR 可研阶段放射性源项分析报告（清华大学核能与新能源技术研究院，2023 年 8 月）；
- 华能山东石岛湾核电厂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厂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厂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厂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）；
- 华能山东石岛湾核电厂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）；
- 国核压水堆示范工程运行前放射性环境本底调查专题报告（B 版）（中国辐射防护研究院，2023 年 6 月）；
- 国核压水堆示范工程运行前放射性环境本底调查专题质量保证报告（B 版）（中国辐射防护研究院，2023 年 6 月）；
- 石岛湾核电厂址大气扩散模式研究总结报告（中国辐射防护研究院，2013 年 3

月）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

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对剂量限值及剂量约束值的规定，“对于一项实践中的任一特定的源，其剂量约束和潜在照射危险约束应不大于审管部门对这类源规定或认可的值，并不大于可能导致超过剂量限值和潜在照射危险限值的值”，本项目的剂量约束值暂按 0.01mSv/a 考虑。

（2）事故工况下的剂量控制值

本项目为研究堆，选址假想事故工况下，事故期间厂区边界个人通过烟云浸没外照射、吸入内照射和地面沉积外照射途径所接受的有效剂量小于 10mSv。

（3）年排放量控制值

本项目产生的低放废液经处理达标后，经液转气排放，即液态途径没有向环境排放的放射性物质。本项目气载流出物年排放量控制值暂按排放量设计值考虑，见表 1.7-1。

1.7.2 非辐射环境影响评价的标准

根据厂址附近的环境特征，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℃。

— 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）。声环境保护目标执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 1 类标准：昼间 55dB（A），夜间 45dB（A）。

（2）污染物排放标准

— 污水

施工期及运行期的生活污水排入市政污水管道。施工期的生产废水全部回用，不外排。运行期的生产废水排入市政污水管道。

— 噪声

施工期间噪声执行《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）；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；厂外声环境保护目标执行《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。

— 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《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）中的相关要求。

1.8 工程组成

本项目是新建工程，工程建设的设施主要包括反应堆及相关系统、辅助支持系统、辐照研究平台，取排水工程。

本项目将充分利用区域配套公用设施，包括供水管线，市政道路，供电线路、污水管道。

1.9 环境保护措施

（1）辐射影响防治措施分析

宽能谱超高通量试验堆为池壳式堆，设计有放射性废气处理系统、放射性废液处理系统以及放射性固体废物处理系统，还设置了放射性流出物监测及环境监测系统，确保流出物达标排放，严格控制对环境的影响。

本项目设计的乏燃料池与乏燃料储存格架，可以满足 30 年乏燃料的存储需求。同时，考虑到未来乏燃料外运的可能性（如延长反应堆服役年限、开展乏燃料的相关研究等），设计并建设了乏燃料外运的设施与工具。

（2）非辐射影响防治措施分析

1）废水防治措施分析

本项目生活污水将排入市政污水管道。

生产废水主要来源包括辅助系统及其它相关系统。例如，辅助系统中用于通风空调系统冷却的冷冻水系统会产生一定量的非放废水，除盐水生产系统在生产去离子水的过程中会产生一定量的非放废水，气体系统在制备压缩空气和氮气过程中产生的非放废水。本项目的非放生产废水排入市政污水管道。

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。
- 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

- 一般工业废弃物：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，将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：本项目运行时厂区工作人员产生的生活垃圾委托地方环卫部门清运处置。

1.10 评价范围

（1）辐射环境

辐射环境的评价范围是以反应堆为中心，半径 50km 范围的区域，评价内容为放射性流出物对半径 50km 区域内公众的辐射影响。

（2）非辐射环境

1) 水环境

本项目海工工程施工及运行期影响较小，评价范围重点考虑取、排口管线两侧及口门附近。

2) 大气环境

由于项目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 200m 及声环境保护目标。

4) 生态环境

参照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022），本项目生态环境评价范围以项目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。

表 1.7-1 本项目气载流出物年排放量控制值

核素	排放量控制值（Bq/a）
总惰性气体	2.24E+14
总气载碘	1.70E+09
粒子（半衰期 $\geq 8d$ ）	4.36E+08
C-14	3.07E+11
H-3	1.26E+13

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 厂区边界和非居住区

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

宽能谱超高通量试验堆项目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，紧邻石岛湾核电基地。华能山东湾核电厂高温气冷堆核电站示范工程位于本项目 NNE 方位约 4.1km，华能山东石岛湾核电厂扩建工程 1 号机组位于本项目 NNE 方位约 3.8km，国和 1 号示范工程位于本项目 N 方位约 2.5km。本项目以北 4.6km 处为宁津街道办事处机关驻地——宁津所，厂址西面与南港头相望，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厂址约 105km。

宽能谱超高通量试验堆项目厂址地理位置见图 2.1-1。

2.1.2 厂区边界和非居住区

本项目拟设 200m 非居住区，非居住区位于清华大学（荣成）先进核能技术科研基地内。根据选址假想事故评价结果，选址假想事故的持续期间（30d），非居住区边界处任何个人所受的最大个人有效剂量为 2.96mSv，上述剂量能够满足规定的事故个人有效剂量限值（10mSv）要求。



宽能谱超高通量试验堆项目 环境影响报告书（选址阶段）		
厂址地理位置示意图		
图 2.1-1	版次：	A

2.2 人口分布与饮食习惯

2.2.1 厂址半径 15km 范围内的人口分布

2.2.2 厂址半径 50km 范围内的人口分布

2.2.3 居民的年龄构成、饮食习惯和生活习性

2.2.4 参考资料

图

图 2.2-1 厂址半径 50km 范围内万人以上人口中心分布图

2.2 人口分布与饮食习惯

宽能谱超高通量试验堆项目厂址半径 50km 范围内涉及威海市所辖的荣成市、文登区、经济技术开发区。

厂址半径 50km 范围内人口统计口径为截至 2021 年户籍人口。人口统计按子区分别进行，以反应堆为中心划分半径为 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50km 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 144 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、桃园街道共 40 个居民点。离厂址最近的居民点是位于厂址 NW 方位 1.5km 的南泊村。

厂址半径 5km 范围内没有万人以上的乡镇。

厂址半径 5km 范围内暂无规划工业企业。厂址半径 5km 范围内流入人口主要为核电施工人员，其次为养殖务工人员以及经商人员，核电施工人员主要为年初 2 月份左右赴荣，次年 1 月份左右返乡；养殖务工人员来荣务工时间集中在每年 5 月~8 月；经商人员一般在街道常年居住，春节等假期返乡或不返乡。

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。厂址半径 10km 范围内有敬老院有 4 所。厂址半径 10km 范围内医院和卫生院共 2 所。厂址半径 10km 范围内没有监狱。

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。

厂址半径 15km 范围内共有行政村或社区总数为 167 个，其中超过千人的人口中心有 21 个。

2.2.2 厂址半径 50km 范围内的人口分布

2.2.2.1 厂址半径 50km 范围内的人口分布现状

厂址半径 50km 评价区范围内人口密度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 50km 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 8 个（见图 2.2-1），城镇人口超过 10 万人的人口中心有 2 个。最大的人口中心是 WNW 方位约 50km 的威海市文登区，其次是厂址 NNW 方位约 24km 处的荣成市市区。距厂址最近的万人以上人口中心为位于厂址 W~WSW 方位约 10km 的斥山街道中心。

2.2.2.2 厂址半径 50km 范围内的预期人口分布

根据《核设施环境保护管理导则 研究堆环境影响报告书的格式与内容》（HJ/T 5.1-1993）的要求，预测本项目投运及寿期内（每隔十年）周围区域的人口数量。

本项目计划于 2030 年投入运行。目前，评价范围内已发布的人口中长期规划资料有《山东省人口发展中长期规划（2021-2030 年）》，根据该规划，规划 2021—2025 年年均人口自然增长率在 3‰左右，2026—2030 年年均人口自然增长率在 2‰左右。保守假设 2030 年之后的人口自然增长率为 0。

本项目预计 2030 年运行，设计寿期为 60 年。由此推算机组运行第一年（2030 年）以及寿期内每隔 10 年，即 2040 年、2050 年、2060 年、2070 年、2080 年和 2090 年厂址半径 50km 范围内各子区的预期人口分布。

人口预测以 2021 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 2030 年之后的人口自然增长率为 0，因此 2030 年本项目投产以及整个运行寿期内，厂址半径 50km 范围内的总人口数相同，为 1016480 人。

2.2.3 居民的年龄构成、饮食习惯和生活习性

2.2.3.1 居民年龄构成

厂址半径 50km 范围主要位于威海市内，年龄构成来自威海市统计局提供的威海市第七次人口普查数据。

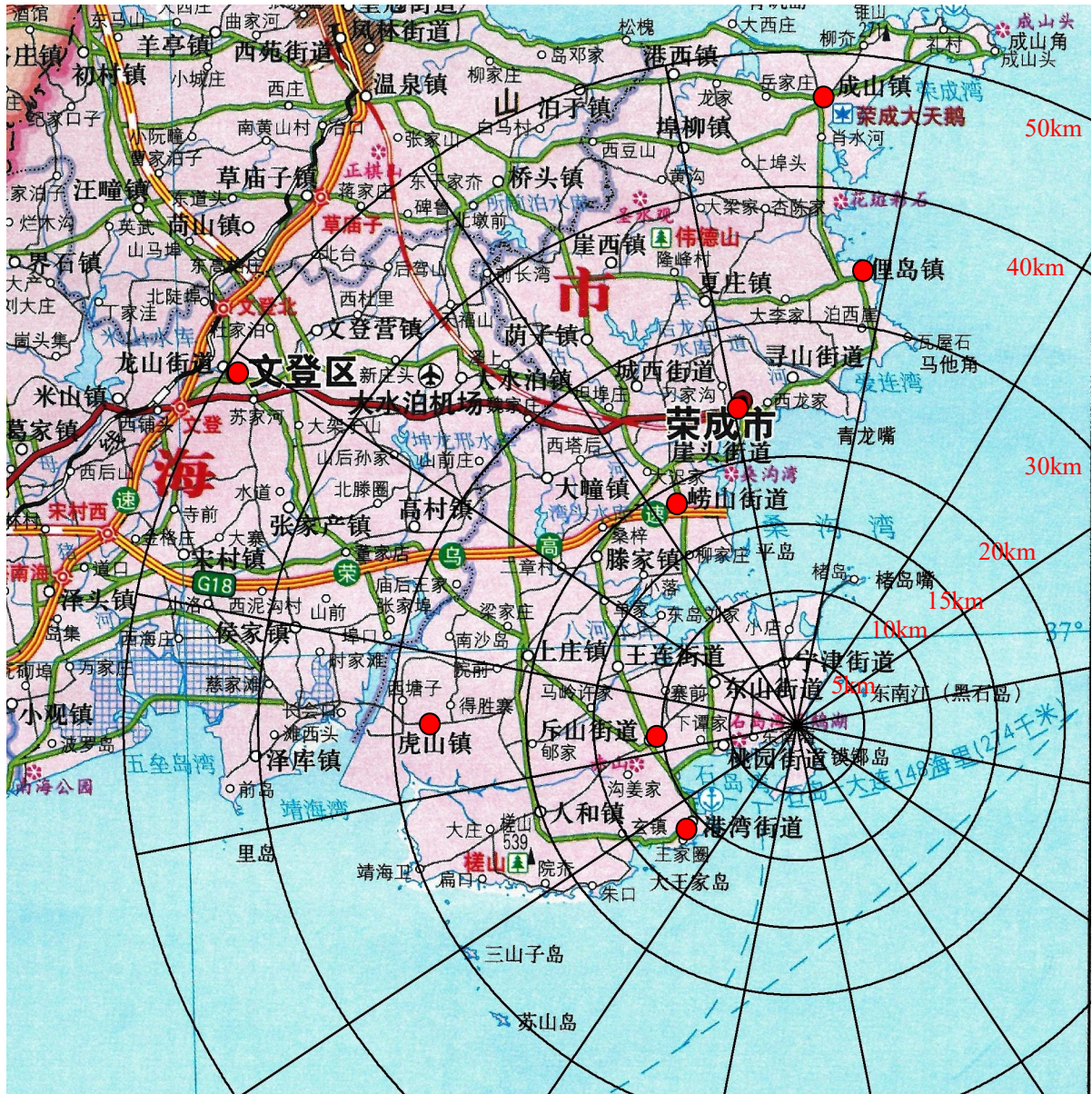
厂址半径 5km 范围内的年龄构成来自荣成市统计局提供的 5km 范围内各年龄段人口数。

2.2.3.2 居民饮食习惯和生活习性

根据山东省统计年鉴给出厂址半径 50km 评价区食谱数据。

由于本项目与华能山东石岛湾核电厂扩建工程 1 号机组距离约 3.8km，厂址半径 5km 范围生活饮食习惯接近。故本报告参考中核第四研究设计工程有限公司在 2020 年 11 月开展的华能山东石岛湾核电厂扩建工程附近居民食谱及生活习性调查工作相关内容，该专题对石岛湾厂址半径 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 50km 评价区范围内的农村居民，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。



宽能谱超高通量试验堆项目

环境影响报告书（选址阶段）

厂址半径 50km 范围内万人以上
人口中心分布图

图 2.2-1

版次:

A

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 林业资源和其他矿产资源

2.3.2.4 陆生生态系统状况

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

表

表 2.3-1 植物和动物调查样线布设情况

表 2.3-2 海域调查站经纬度及调查项目

图

图 2.3-1 植物调查样线分布图

图 2.3-2 动物调查样线分布图

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）土地利用类型和国土空间规划

荣成市地处山东半岛最东端，北、东、南三面濒临黄海。

厂址处于城镇开发区边界内，符合国土空间规划。

（2）生态环境分区管控方案环境管控单元和陆域生态保护红线

根据威海市生态环境分区管控方案（2023 年），厂址陆域所处的环境管控单元名称为宁津街道，本项目建设和运行均满足宁津街道环境管控单元管控要求、陆域生态空间管控要求。

厂址陆域半径 10km 范围涉及的生态红线统称为荣成市胶东丘陵生物多样性维护保护红线，保护对象主要为山体和林业资源。生态保护红线原则上按禁止开发区域的要求进行管理。遵循生态优先、严格管控、奖惩并重的原则，严禁不符合主体功能定位的各类开发活动，严禁任意改变用途，严格禁止任何单位和个人擅自占用和改变用地性质，鼓励按照规划开展维护、修复和提升生态功能的的活动。根据主导生态功能定位，实施差别化管理，生态保护红线要保证生态功能的系统性和完整性。距厂址最近的生态红线位于厂址 W~NW 方位约 4.5km 处，本项目不涉及该管控区，符合该管控区的要求。

（3）风景名胜区

— 石岛赤山风景名胜区

石岛赤山风景名胜区地处荣成市石岛港西北方，厂址 WSW 方位约 10.5km。

— 荣成市东楮岛旅游风景区

东楮岛旅游风景区位于荣成市东南最东端的一个狭长半岛上（宁津街道东楮岛村），厂址 NNE 方向，距离厂址最近距离 11.2km。

— 石岛旅游休闲度假区

石岛旅游休闲度假区（朝阳山景区）位于厂址 W 方向，距离厂址最近距离约 4km。

— 甲子山庄

甲子山庄位于厂址 NW 方向，距离厂址最近距离约 5km。

— 国家电投新能源科技馆

国家电投新能源科技馆位于荣成市东山街道滨海生态路北八河水库东崮山基地，厂址 NW 方向约 10.9km。

— 谷牧旧居

谷牧旧居系清朝嘉庆年间所建的农村四合院式海草房，位于厂址 NNW 方位约 1.8km。

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，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~NW 方位，最近处距厂址约 10km，是一座以城市供水和农业灌溉为主的大型水库。除此之外，厂址半径 15km 范围内没有其他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 范围内主要河流为王连河。王连河距离厂址最近处位于厂址 W~WNW 方位，最近处距厂址约 12.7km。

（2）国土空间规划、生态环境分区管控方案海域环境管控单元和环境功能区划

本项目海工工程位于荣成宁津工矿通信用海区。

本项目海工工程主要为海底管道，工程量较小，基本不改变海域自然属性，海工工程距离领海基点较远，对领海基点没有影响。海工工程对海洋水文动力环境不产生明显影响。本项目可能产生小范围的温排水影响，综合分析，本项目海工工程总体符合国土空间规划要求。

根据 2022 年 8 月 23 日山东省生态环境厅批复调整海域环境功能区划的文件（鲁环函〔2022〕88 号），厂址东侧邻近海域为石岛核电工业用海，为三类环境功能区及混合区，其中三类环境功能区执行第三类海水水质标准。本项目温排水满足第三类海水水质标准。

根据收集的威海市生态环境分区管控方案中管控单元分布及管控要求，本项目海工位于荣成宁津工矿通信用海区，为重点管控单元。本项目与该环境管控单元的管控要求总体相符。

（3）海洋生态保护红线和海洋生态控制区

根据威海市生态环境分区管控方案（2023 年），其中离海工工程最近的生态红线为

镆铳岛重要滩涂及浅海水域生态保护红线，最近处位于本项目排水口南侧约 1.4km 处。本项目符合上述管控要求。

本项目排水口东北侧约 3km 处为宁津海洋生态控制区，本项目海工工程在建设期和运行期的影响均符合上述管控要求。

根据《荣成市国土空间规划（2021—2035 年）》，厂址附近的无居民海岛：老铁石、北帽子、东山号岛、黑石岛、东南江均列为生态保护类海岛。本项目海工工程距上述无居民海岛最近距离约 3.5km，本项目海工工程在建设期和运行期对上述无居民海岛均无影响。

（4）水产种质资源保护区

厂址半径 15km 范围内有 2 个国家级水产种质资源保护区，分别为荣成楮岛周边水域藻类种质资源保护区和桑沟湾国家级水产种质资源保护区。

2.3.2 陆生资源及生态概况

2.3.2.1 农业生产状况

厂址周围土地类型以旱地为主，农作物有一年一作和二年三作、一年二作，其中以二年三作为主。粮食作物品种主要是小麦、玉米，少量的谷子、高粱、水稻、绿豆、豌豆和大麦等。油料作物主要是花生。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、葡萄、樱桃、桃、杏、柿等，其中以苹果为主，远销至北京、上海、江苏、湖北、广东等地。除此之外，还种植了其他作物，例如板栗、茶叶、大姜、地瓜、芋头等。

厂址半径 10km 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 10km 范围内的畜禽养殖主要以猪、鸡、鸭、狐、貂为主。

当地猪饲料主要由玉米、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 林业资源和其他矿产资源

荣成市位于山东半岛东部，林业包括公益林和商品林。

截至 2021 年末荣成市已经发现矿种 37 种（含亚矿种）。

2.3.2.4 陆生生态系统状况

厂址及周边陆生生态系统引用华能石岛湾核电厂厂址陆生生态调查专题报告中的相关内容。

植物和夏季动物调查于 2020 年 7 月 12 日~17 日开展，秋季动物调查于 2020 年 10 月 22 日~24 日进行，冬季动物调查于 2021 年 1 月 19 日~21 日进行，春季动物调查于 2021 年 3 月 21~24 日进行。

（1）陆生植物调查样线和样方的布设

调查时共布置 12 条样线，表 2.3-1 和图 2.3-1 给出了陆生植物调查样线和样方的布设情况。可以看到，除了 5 号调查样线距厂址约 11km，其他各调查样线处于厂址半径 10km 范围内。

（2）野生动物样线和样点的布设

对厂址附近的动物资源状况，根据陆生动物不同类群，选择样线和定点观察相结合的方法开展现场调查。在调查区域布设 9 条样线，样线涵盖了调查区域内的典型生境，包括林地、灌丛、草地、农田、居民区、海岸湿地、河流、水库、养殖塘等生态景观。表 2.3-1 和图 2.3-2 给出了野生动物调查样线和样方的布设情况。可以看到，除了 3 号调查样线部分处于厂址半径 10km 之外，其他各调查样线基本处于厂址半径 10km 范围内。

（3）植被概况

根据实地踏勘和调查统计的结果，植物调查有维管束植物 49 科 123 属 156 种（含变种及种下等级）。调查区是植物物种多样性较为丰富的区域，且被子植物在调查区植物区系占主要地位。

调查区主要群落类型有：落叶阔叶林、暖性针叶林、落叶阔叶灌丛、暖热性疏灌草丛和草本沼泽等。

调查区分布的乔木层主要以黑松、槐、杨树等为主，灌木层种类较为复杂，且多为多优势种的群落，包括胡枝子、兴安胡枝子、紫穗槐等植物。其中胡枝子是调查区分布最广的群系类型，大都生长在低丘地段和一些坡度较缓、土层较厚的沟谷，体现

为胡枝子-长冬草群系。灌草丛主要为原生植被受到破坏或干扰逆向演替形成，广泛分布于林缘、缓坡地带。草本层以艾等植物为主要优势种，以翅果菊、柯孟披碱草等为亚优势种其他还包括小蓬草、碱蓬、月见草、猪毛蒿、砂引草等植物。层间植物包括圆叶牵牛、鹅绒藤、荻等植物。

通过对调查区的踏察及植被群落的样方调查，调查区域的森林植被，面积最大，生物量最高的植物群落主要是人工种植的杨树，其建群种只有一个，为单优势种或单优势种群落，林下的灌木层、草本层的优势种常为单优势种或多优势种。灌木层优势种的种类有紫穗槐、兴安胡枝子、单叶蔓荆、圆叶鼠李，草本层的优势种有艾、芦苇、柯孟披碱草、翅果菊、小蓬草、猪毛蒿，藤本植物有鹅绒藤、圆叶牵牛、荻、茅莓，生长于濒海山坡及海岛的落叶阔叶灌丛，是以月见草组成多优势种群落。

根据《国家重点保护野生植物名录》，本次调查，发现有国家Ⅱ级重点保护野生植物 1 种，为野大豆（*Glycine soja*）。

（4）动物概况

一 两栖动物

调查区内，通过样线法实地调查，共记录两栖动物 1 目 4 科 4 属 4 种。其中夏季记录两栖动物 1 目 3 科 3 属 3 种；秋季只记录 1 目 1 科 1 属 1 种；冬季调查时两栖动物处于休眠期，未记录到两栖动物；春季调查时两栖动物尚未出眠，也未记录到两栖动物。

一 爬行动物

调查区内只在夏季常青园西寺样线的墓地稀疏草丛中发现 1 条虎斑颈槽蛇，在西寺附近山坡路边发现 1 条丽斑麻蜥。在一墓地稀疏草丛中发现 1 条游蛇科的虎斑颈槽蛇。冬季和春季现场调查未记录到爬行动物。

一 鸟类

调查区经过夏、秋、冬、春四季现场调查，共记录鸟类 14 目 39 科 124 种。

调查记录的 124 种鸟类中，翘鼻麻鸭、黑尾鸥、西伯利亚银鸥、麻雀、骨顶鸡和绿头鸭为调查区域的优势种。红头潜鸭、斑嘴鸭、赤膀鸭、红嘴鸥、喜鹊、家燕、白头鹎、普通鸬鹚、金翅雀等鸟类为常见种。游隼、黑鸢、牛头伯劳、普通翠鸟、长耳鸮、针尾鸭等为偶见种。

一 哺乳动物

调查区调查共记录哺乳动物 3 目 4 科 4 属 4 种，其中记录数量最多、分布最广的是兔形目兔科的草兔；食虫目猬科的东北刺猬和啮齿目鼠科的褐家鼠各记录活体 1 只。麝鼯为山东省重点保护动物。

（5）重要生境与重要生物群落的建群种和优势种

落叶阔叶林群落乔木层的建群种和优势种均为杨树；灌木层的建群种为兴安胡枝子；草本层的建群种为荻。

暖性针叶林群落乔木层的建群种和优势种均为黑松。

落叶阔叶灌丛群落灌木层的建群种和优势种均为紫穗槐、圆叶鼠李；草本层优势种为砂引草。

藤本群落的建群种为鹅绒藤，优势种为鹅绒藤、圆叶牵牛、茅莓。

灌草丛群落草本层的建群种为艾，优势种为月见草。

（6）特有种

调查区内的特有植物记录只有银杏 1 种。

调查区内无中国特有动物物种。

（7）珍稀濒危物种

现场调查未发现国家 I 级重点保护植物，发现国家 II 级重点保护植物 1 种，为野大豆。

（8）重要经济物种

调查区内分布的 156 种维管植物中，多数都具有一定的经济价值，但各种野生资源植物资源量均较小，呈零散分布，开发的经济价值不大，对植物资源的开发利用也尚处在初级阶段。该地区主要资源植物有木材与纤维资源、果蔬资源、粮食及淀粉植物资源、药用植物资源、花卉及绿化植物资源等 6 大类。

调查区域分布的两栖动物中的昆嵛林蛙和大蟾蜍，爬行动物中的蝮蛇、龟和鳖，哺乳动物中的草兔和黄鼬等作为药用、滋补、毛皮动物等具有重要的经济价值。

（9）生态环境综合分析评价

根据调查的结果，采用《生态环境状况评价技术规范》（HJ 192-2015）对调查区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。

2.3.3 水产资源及生态概况

2.3.3.1 水产资源

厂址所在的威海浅海和潮间带有丰富的生物资源，其近海区域海水营养盐类丰富，是多种鱼虾贝藻繁殖生长的良好场所，已发现的浅海和滩涂生物 394 种。

（1）海产捕捞

在厂址周围的渔场有石岛渔场和烟威渔场，其中主要的是石岛渔场。

厂址半径 15km 范围内主要涉及崂山街道和石岛管理区，2021 年崂山街道近海捕捞主要包括大花鱼、小花鱼、刀鱼、鲢鱼、鳙鱼、鲑鱼、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。海产品基本为省内销售，外销情况较少。

（2）海产养殖

养殖方式包括筏式养殖、吊笼养殖、池塘养殖、室内工厂化养殖、普通网箱养殖、深水网箱养殖、底播等。养殖种类齐全。

厂址半径 15km 范围内主要涉及崂山街道和石岛管理区，养殖的海产品包括鱼类、甲壳类、贝类、藻类以及海参。海产品基本为省内销售，外销数量较少。

2.3.3.2 海洋生态

华能石岛湾核电厂厂址邻近海域水生生态调查秋季、冬季、春季、夏季航次调查时间分别为 2020 年 11 月、2021 年 1 月、2021 年 4 月和 2021 年 7 月。污损生物挂板于 2020 年 11 月~2021 年 10 月进行。现场调查范围布设 6 个调查断面，共计 26 个大面调查站，并加设 3 个连续调查站位，潮间带底栖生物调查布设 6 条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 2.3-2。

秋季调查海域表层叶绿素 a 浓度整体表现为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。冬季调查海域表层叶绿素 a 浓度整体表现为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。春季调查海域表层叶绿素 a 浓度东面远岸海域的站位初级生产力较高，而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。夏季调查海域表层叶绿素 *a* 浓度东部较远岸海域站位的初级生产力较高，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。

水采浮游植物秋季航次调查所获水采样品，经初步鉴定共有水采浮游植物 48 种。其中硅藻 46 种，甲藻 2 种。冬季航次调查所获水采样品，经初步鉴定共有水采浮游植物 42 种。其中硅藻 41 种，甲藻 1 种。春季航次调查所获水采样品，经初步鉴定共有水采浮游植物 42 种。其中硅藻 40 种，甲藻 1 种，金藻 1 种。夏季航次调查所获水采样品，经初步鉴定共有水采浮游植物 54 种。其中硅藻 49 种，甲藻 5 种。

网采浮游植物秋季共记录网采浮游植物 3 门 21 属 40 种，其中硅藻 16 属 35 种，甲藻 4 属 4 种，蓝藻 1 属 1 种。冬季共记录网采浮游植物 3 门 20 属 33 种，其中硅藻 17 属 29 种，甲藻 2 属 3 种，金藻 1 属 1 种。春季共记录网采浮游植物 3 门 20 属 29 种，其中硅藻 18 属 27 种，甲藻 1 属 1 种，金藻 1 属 1 种。夏季共记录网采浮游植物 2 门 14 属 26 种，其中硅藻 11 属 22 种，甲藻 3 属 4 种。

秋季共记录赤潮生物 20 种，含硅藻 17 种，甲藻 2 种，蓝藻 1 种。冬季共记录赤潮生物 20 种，含硅藻 16 种，甲藻 3 种，金藻 1 种。春季共记录赤潮生物 19 种，含硅藻 13 种，甲藻 1 种，金藻 1 种。夏季共记录赤潮生物 18 种，含硅藻 15 种，甲藻 3 种。

浮游动物秋季调查中，共记录鉴定到种的浮游动物 35 种（含 sp.），鉴定到科（钩虾科）的 1 种，另记录部分浮游生物幼体 11 个属，在种类组成上以桡足类最为优势，共记录到 14 种；其次是水母类，共记录到 11 种；毛颚类共记录到 5 种；其余各类群如：被囊类、磷虾类、栉水母、端足类，所占比例较低；此外记录阶段性浮游生物 7 个类群。冬季调查中，调查海域内共记录鉴定到种的浮游动物 22 种（含 sp.），鉴定到科（钩虾科）的 1 种，另记录部分浮游生物幼体 5 个属，在种类组成上以桡足类最为优势，共记录到 12 种；其次是水母类，共记录到 4 种；其余各类群如：被囊类、磷虾类、糠虾类和毛颚类所占比例较低；此外记录阶段性浮游生物 6 个类群。春季调查中，调查区共记录鉴定到种的浮游动物 17 种，在种类组成上以桡足类（11 种）最为优势，其次是毛颚类和端足类（2 种），其它类均为 1 种，此外记录浮游幼虫 5 类。夏季调查中共记录鉴定到种的浮游动物 35 种，在种类组成上以桡足类（14 种）最为优势，其次是水母类（8 种），毛颚类 3 种，其它类为 1 到 3 种不等，此外记录浮游幼虫 16 类。

秋季调查垂直拖网鱼卵和仔稚鱼均未出现。水平拖网共出现鱼卵 1 种，仔稚鱼 2 种（含未定种），其中数量较高的种类是日本鯉仔稚鱼。冬季调查垂直拖网鱼卵未采到，

仅出现 2 种仔稚鱼，水平拖网共记录鱼类浮游生物 7 种（含未定种），其中数量较高的种类方氏云鲷仔稚鱼。春季调查垂直拖网和水平拖网鱼卵均未采到。共出现仔稚鱼 5 科 5 属 7 种（含未定种），垂直拖网出现 2 种，主要种类为玉筋鱼。夏季垂直拖网记录鱼卵和仔稚鱼各 1 种和 2 种。水平拖网共记录鱼卵 7 种、仔稚鱼 5 种。主要种类是日本鳀鱼的卵、仔稚鱼。

秋季调查共获大型底栖生物 87 种，其中多毛类 39 种，甲壳类 24 种，软体动物 10 种，棘皮动物和其他动物分别出现 6 种和 8 种。冬季调查共获底栖生物 84 种，其中多毛类 36 种，甲壳类 20 种，软体动物 13 种，棘皮动物和其他动物分别有 5 种和 10 种。春季调查共获底栖生物 79 种，其中环节动物 30 种，节肢动物 22 种，软体动物 18 种，棘皮动物和其他动物分别有 5 种和 4 种。夏季调查共获底栖生物 123 种，其中环节动物 53 种，节肢动物 38 种，软体动物 19 种，棘皮动物和其他动物分别有 6 种和 7 种。

根据物种数量及其出现频率，调查海域大型底栖动物 4 个季节大型底栖生物共有优势种有独毛虫（*Tharyx* sp.）、寡节甘吻沙蚕（*Glycinde gurjanovae*）、日本强鳞虫（*Sthenolepis japonica*）、轮双眼钩虾（*Ampelisca cyclops*）、多齿全刺沙蚕（*Nectoneanthes multignatha*）和拟特须虫（*Paralacydonia paradoxa*）等，优势种季节变化明显，优势度差异较大。

秋季调查共采获潮间带生物 107 种，分属 10 门。其中岩相潮间带生物 45 种，包括环节动物 12 种，节肢动物 14 种，软体动物 8 种，藻类 6 种和其他动物 5 种；软相潮间带生物 80 种，包括环节动物 28 种，节肢动物 32 种，软体动物 15 种，藻类 3 种和其他动物 2 种。

冬季调查共采获潮间带生物 69 种，分属 7 门。其中岩相潮间带生物 28 种，包括环节动物 12 种，节肢动物 4 种，软体动物 9 种和藻类 3 种。软相潮间带生物 48 种，包括环节动物 22 种，节肢动物 14 种，软体动物 9 种，棘皮动物 1 种和其他动物 2 种。

春季调查共采获潮间带生物 81 种，分属 6 门 54 科。其中岩相潮间带生物 30 种，包括环节动物 10 种，节肢动物 8 种，软体动物 9 种和藻类 3 种；软相潮间带生物 58 种，包括环节动物 22 种，节肢动物 18 种，软体动物 12 种，藻类 5 种和纽形动物 1 种。

夏季调查共采获潮间带生物 103 种，分属 7 门 74 科。其中岩相潮间带生物 33 种，包括环节动物 10 种，节肢动物 8 种，软体动物 9 种和藻类 6 种；软相潮间带生物 83 种，包括环节动物 33 种，节肢动物 33 种，软体动物 14 种藻类 2 种和刺胞动物 1 种。

秋季表层全部站位中粪大肠菌检出的站只有 D9 和 D15 号站。数量分别是 50 个/L 和 250 个/L。底层检出站位只有一个站 D25。数量是 50 个/L。秋季从粪大肠菌结果可以看出, 15km 近似等距线上的调查站整体水质良好。冬季航次处于 15km 近似等距线上的调查站位有 14 个站。表层全部站位中粪肠菌检出的站有 6 个。冬季的水质状况劣于秋季。春季在 15km 近似等距线上的调查站位粪大肠菌群丰度均不高, 有些站未检出。指示春季的水质受污染的情况明显改善。夏季表层处于 15km 近似等距线上的调查站位粪大肠菌数量有的站没有检出, 但整个航次数最多的站 D25 站也处于其中。且数量为 550 个/L。指示处此条断面各个站受到污染的情况十分不同。夏季底层站位处于 15km 近似等距线上站位数量都较低, 表底层差距明显。

秋季航次 15km 范围内站位共有游泳动物 49 种, 其中鱼类 30 种, 虾类 6 种, 蟹类 7 种, 虾蛄类 1 种, 头足类 5 种。冬季航次 15km 范围内站位所获样品, 经初步鉴定共有游泳动物 18 种, 其中鱼类 7 种, 虾类 4 种, 蟹类 4 种, 虾蛄类 1 种, 头足类 2 种。春季航次 15km 范围内站位共有游泳动物 32 种, 其中鱼类 21 种, 虾类 5 种, 蟹类 2 种, 虾蛄类 1 种, 头足类 3 种。夏季航次 15km 范围内站位共有游泳动物 30 种, 其中鱼类 21 种, 虾类 5 种, 蟹类 1 种, 虾蛄类 1 种, 头足类 2 种。

2020 年 11 月~2021 年 10 月附近海域 (122°32'44.016"E, 37°19'30"N) 进行了污损生物周年挂板试验。表层月板主要以藻类和端足类为优势种, 表层季板主要以端足类和藻类为附着优势种, 底层季板主要以端足类和水螅虫为附着优势种。12 月~5 月半年板表层主要以海带等藻类为附着优势种, 底层以水螅虫和端足类为优势种。

本次调查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

1) 工矿企业现状

本项目厂址半径 15km 范围内区域涉及宁津街道、东山街道、桃园街道、港湾街道、斥山街道、王连街道、崂山街道, 除了崂山街道外, 其他街道均为石岛管理区管辖。石岛管理区现状工业主要分布在石岛工业园, 另在老城区、斥山街道、玄镇组团零散分布有部分工业。近年来, 石岛管理区实施“港口兴区”战略, 取得了明显成效, 工业经济主导作用日益凸显, 现已形成造船、食品加工、机械制造、塑料制品、化工、

电子、建材等主导产业。2021 年，厂址半径 15km 范围共涉及 70 家规模以上工业企业。

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。

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 范围内的石岛港与韩国仁川、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和崂山街道，主要由以南北向的国道 G228、省道 S203、S304 和东西向的 S201 省道，以及 X034、X042、X030 等县道和乡镇道路构成的交通运输网络。

厂址半径 15km 范围无铁路，也没有规划建设铁路。

(2) 海上交通

1) 港口、码头和锚地

——港口

厂址半径 15km 范围内的为石岛港区。

——渔港

厂址半径 5km 范围内分布 2 个渔港。

——锚地

厂址半径 15km 范围内锚地主要有避风锚地、检疫锚地，主要为石岛港区服务。

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 范围内没有民航航线。

2.3.4.3 危险源

1) 固定危险源

厂址半径 15km 范围内危险品生产、贮存企业主要是加油站和燃气公司。

2) 移动危险源

目前存在 4 家危险品运输公司可能经过厂址 15km 范围内的道路。目前厂址半径 15km 范围内无危险品运输码头，不存在危险品装卸货情况。目前厂址半径 15km 范围内无固定危险品运输航运路线，石岛港区避风锚地可能停留油品货轮，厂址东部和南部海域可能有货轮经过，最近距厂址约 13km。近年厂址附近海域未发生危险品运输事故。

表 2.3-1 植物和动物调查样线布设情况

样线号		方位	距厂址中心距离（km）	样线描述
植物调查	1	NNE	2	植被
	2	NNE	4	植被
	3	NW	6	甲子山，山地植被
	4	W	6.5	朝阳洞山，山地植被
	5	NNE	11	东褚岛，滨海植被
	6	N~NNE	8.8	林家流水库，林地
	7	NNW	8.5	龙门港水库，林地
	8	NNW	10	崮山，山地植被
	9	NW	9	龙山，山地植被
	10	NNW	5	山地植被
	11	NW	3	农田植被
	12	S	0.1	滨海植被
动物调查	1	N	2.2	滨海植被
	2	NNE	2	滨海植被
	3	N~NNE	9	东褚岛，滨海滩涂
	4	SSW~S	1.5	滨海滩涂
	5	SSW	3.5	港口
	6	WNW	6	甲子山，山地
	7	NNW	8	龙门港水库
	8	WNW	3.6	农田
	9	NW	9.5	滨海滩涂

表 2.3-2（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
1	122°33'00"	37°01'30"	水质
2	122°35'00"	37°01'30"	水质、沉积物、生态、放射性
3	122°37'00"	37°01'30"	水质
4	122°40'00"	37°01'30"	水质、沉积物、生态、放射性
5	122°33'00"	36°58'30"	水质
6	122°35'00"	36°58'30"	水质、沉积物、生态、放射性
7	122°37'00"	36°58'30"	水质
8	122°40'00"	36°58'30"	水质、沉积物、生态、放射性
9	122°33'00"	36°55'30"	水质、沉积物、生态、放射性
10	122°35'00"	36°55'30"	水质
11	122°37'00"	36°55'30"	水质
12	122°40'00"	36°55'30"	水质、沉积物、生态、放射性
13	122°36'00"	36°53'00"	水质
14	122°29'58"	36°52'07"	水质、沉积物、生态、放射性
15	122°32'52"	36°52'59"	水质、沉积物、生态、放射性
16	122°42'15"	37°01'24"	水质
21	122°26'51"	36°53'26"	水质、沉积物、生态、放射性
22	122°28'25"	36°55'01"	水质
23	122°31'15"	37°04'06"	水质
24	122°34'36"	37°04'18"	水质、沉积物、生态、放射性
25	122°42'44"	36°58'28"	水质、生态
27	122°38'10"	37°03'59"	水质、沉积物、生态、放射性
37	122°34'01"	36°50'47"	水质
38	122°40'04"	36°52'56"	水质
45	122°28'37"	37°03'51"	水质、沉积物、生态、放射性
48	122°42'08"	36°55'27"	水质、沉积物、生态、放射性
石岛湾核电厂排水口	122°33' 21"	36°58' 08"	水质、生态连续站
石岛湾核电厂北取水口	122°32' 38"	36°59' 16"	水质、生态连续站
石岛湾核电厂南取水口	122°31' 47"	36°57' 14"	水质、生态连续站

表 2.3-2（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



宽能谱超高通量试验堆项目		
环境影响报告书（选址阶段）		
植物调查样线分布图		
图 2.3-1	版次：	A



宽能谱超高通量试验堆项目		
环境影响报告书（选址阶段）		
动物调查样线分布图		
图 2.3-2	版次：	A

2.4 气象

2.4.1 区域气候

2.4.2 设计基准气象参数

2.4.2.1 常规气象

2.4.2.2 极端气象现象

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

2.4.4 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

2.4.6.1 混合层高度

2.4.6.2 扩散参数

2.4.6.3 厂址地区大气边界层特征

2.4.7 运行前的厂址气象观测

2.4.8 参考资料

表

表2.4-1 厂址周边气象站信息及沿革

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

宽能谱超高通量试验堆项目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，位于华能山东石岛湾核电厂厂址气象观测系统 S 方位约 2.4km，本项目气象章节采用华能山东石岛湾核电厂相关气象专题以及厂址气象观测系统数据进行分析描述。

2.4.1 区域气候

宽能谱超高通量试验堆项目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($10^{\circ}\text{C} \leq \text{候均温} \leq 22^{\circ}\text{C}$)，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℃ 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。

2.4.2 设计基准气象参数

厂址周边气象站位置和信息见图 2.4-1 和表 2.4-1。

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

石岛气象站多年平均气温为 12.1℃，8 月份月平均气温最高，1 月份月平均气温最低。厂址区域全年气压变化明显，冬季高于夏季。石岛气象站年平均海平面气压为 1014.5hPa，1 月份月平均气压最高，7 月份月平均气压最低。厂址区域夏季相对湿度明显高于冬季。石岛气象站相对湿度全年平均为 72%，7 月份月平均相对湿度最大，1 月份月平均相对湿度最小。厂址区域日照充足，一年中春、秋季日照时数最多，冬季较少。厂址区域降水较少，6~9 月雨水较为集中。

厂址区域季风特征明显，全年风向集中于偏西南方位和偏北方位。9 月至次年 2 月，偏北方位的风向占绝对主导地位，5 月至 7 月，偏西南方位的风向占绝对主导地位，西南风和偏北风交替的时间较短。3 月、4 月平均风速最大，7 月平均风速最小。

2.4.2.1 极端气象现象

极端气象参数采用距厂址最近的华能山东石岛湾核电厂相关成果。

2.4.2.1.1 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。

2.4.2.1.2 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 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。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。

2.4.3 当地气象条件

本项目厂址距离华能山东石岛湾核电厂较近，当地气象分析采用华能山东石岛湾核电厂址 2022 年 7 月至 2023 年 6 月一整年气象观测数据，数据的联合获取率为 96.5%。

厂址地区年平均气温为 12.4℃，7 月平均气温最高，1 月、12 月平均气温最低。气象塔 10m 高度年平均气温 12.9℃，7 月平均气温最高，12 月平均气温最低。气象塔 30m 高度年平均气温 12.9℃，7 月、8 月平均气温最高，12 月平均气温最低。气象塔 80m 高度年平均气温 12.8℃，7 月、8 月平均气温最高，12 月平均气温最低。气象塔 100m 高度年平均气温 12.7℃，7 月平均气温最高，12 月平均气温最低。

厂址地区全年平均气压为 1016.1hPa，12 月份平均气压最高，7 月份平均气压最低。

厂址地区全年平均相对湿度为 73%，全年月平均相对湿度在 62%至 87%之间波动。

厂址地区年降水量为 942.4mm，年降水小时数 458h。年内各月降水分配不均，雨

水主要集中在 6~10 月。

厂址地区 6 月总辐射最高，11 月总辐射最低。厂址地区 12 月夜间净辐射最高，7 月夜间净辐射最低。

- 10m 风杆和气象塔 10m、30m、80m 和 100m 高度静风频率分别为 0.7%、1.0%、0.2%、0.1%和 0.1%。
- 10m 风杆和气象塔 10m、30m、80m 和 100m 高度层主导风向分别为 SW（13.4%）、NW（11.1%）、SSW（12.6%）、SW（14.1%）、SSW（13.3%）；
- 10m 风杆和气象塔 10m、30m、80m 和 100m 高度层平均风速分别为 2.8m/s、2.6m、3.9m/s、5.4m/s 和 5.9m/s。
- 厂址降水期主导风向为 NE，风频为 17.7%，静风频率为 0.9%。

风杆 10m 高度和气象塔 10m 高度的风速、风向基本一致，10m 高度风速和风向采用获取率更高的 10m 风杆观测值。

2.4.4 大气稳定度

综合比较分析表明，温度梯度-风速分类法最适用于本厂址。

2.4.5 联合频率

联合频率统计采用华能山东石岛湾核电厂 2022 年 7 月至 2023 年 6 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 96.5%，满足相关导则中获取率不低于 90%的要求。

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 日分别进行了华能山东石岛湾核电厂厂址地区冬夏两季的大气测试实验。本项目厂址与华能山东石岛湾核电厂址距离较近，本项目采用该实验结果。

2.4.6.2 扩散参数

本项目厂址与华能山东石岛湾核电厂址距离较近，且项目周围地势平坦，无高大

建筑物，因此大气扩散参数采用 2008 年《华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电示范工程大气扩散试验研究报告》综合推荐的结果。该大气扩散参数综合了 SF₆ 示踪试验、数值模拟与湍流观测三种方法，给出了厂址区域原始地形条件下的大气扩散参数。

2.4.6.3 厂址地区大气边界层特征

北京大学于 2007 年开展了华能山东石岛湾核电厂大气边界层特征的观测与分析，为了研究海上来流条件下的热内边界层特征，夏季（2007 年 08 月 21 日~2007 年 09 月 11 日）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 7~8km。

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。总体上，厂址所处区域的热内边界层对大气扩散无明显影响。

2.4.7 运行前的厂址气象观测

鉴于本项目距离华能山东石岛湾核电厂厂址气象观测系统约 2.5km，可考虑采用华能山东石岛湾核电厂厂址气象观测系统为本项目提供气象数据。

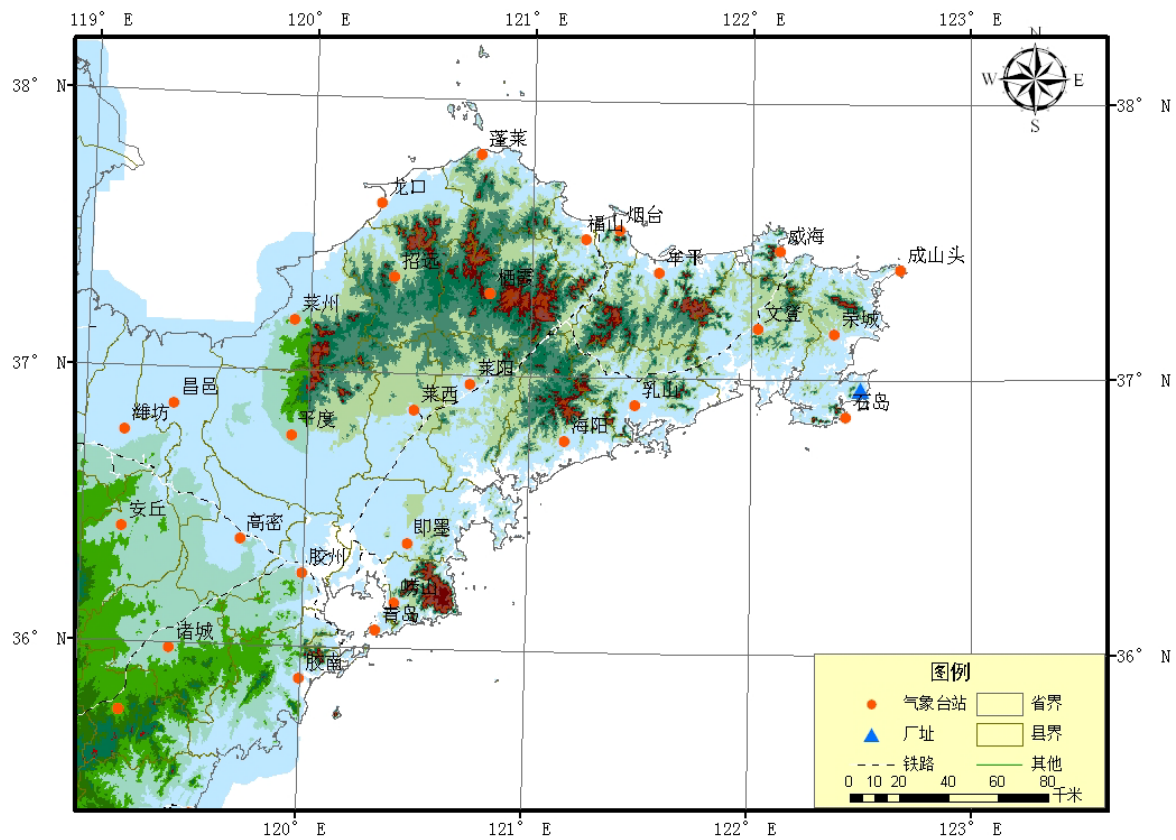
建议在本项目厂址建设 10m 风杆，对 10m 高度风向、风速进行逐时连续观测。

2.4.8 参考资料

- [1] 北京大学，华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电示范工程大气扩散试验研究报告，2008 年 3 月；
- [2] 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可行性研究阶段常规气象和极端气象复核专题报告，2020 年 12 月。

表 2.4-1 厂址周边气象站信息及沿革

站名	经纬度		拔海高度		气象站 类型	站点变动信息		
	纬度	经度	水银槽 (米)	观测场 (米)		建站 时间	迁站 次数	现址开始 工作时间
威海	37°28'	122°08'	64.8	65.4	基本站	1959/1/1	4	1994/1/1
成山头	37°24'	122°41'	46.4	47.7	基准站	1951/12/1	2	1978/12/1
石岛	36°55'	122°26'	5.7	4.8	一般站	1953/2/1	8	2009/1/1



宽能谱超高通量试验堆项目		
环境影响报告书（选址阶段）		
厂址周边气象站和厂址的相对地理位置		
图 2.4-1	版次：	A

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。

（2）水利工程

厂址半径 15km 范围内有一座大型水库——八河水库。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，最近处位于厂址 NW 方位约 10km 处，是一座以工业供水和防洪为主的大型水库。

（3）淡水水源

本项目施工期和运行期的生产、生活用水由八河水库供水，取水管线由市政配套建设。

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。厂址所在的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 55km ，石岛海洋站位于厂址西南侧约 10km 。华能石岛湾核电厂址处海洋水文专用站（宁津站）于 2006 年~2007 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，该站距本项目厂址较近，可代表厂址水文特征。

本项目与华能石岛湾核电厂距离仅数公里，上述厂址附近海域从 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，华能石岛湾核电厂扩建工程对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。本节将根据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

本项目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

根据石岛湾核电厂址海洋水文专用站 2006.3~2007.9 的逐时潮位分析资料，工程海域潮汐属不正规半日潮。

根据 2020 年 12 月-2021 年 10 月期间华能石岛湾核电厂海域全潮水文观测期间的 4 季潮位观测结果，本工程海区的潮型属于不正规半日潮类型。与 2016 年期间历史资料相比，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。

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。

根据 2021 年 8 月期间夏季全潮观测结果，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

厂址位于褚岛至镆铘岛海岸段，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

根据石岛海洋站和华能石岛湾核电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），结合石岛海洋站 1981~2015 年水温观测资料进行统计分析，厂址处极端最高水温为 27.31℃，月均水温不超过 23.03℃（9 月）。

总体来说，海域内呈现出近岸盐度高、远岸盐度低的分布趋势；垂向分布上，工程海域的盐度垂向变化很小。

综合分析各层盐度随季节变化规律可知，海域内表中底层盐度自春季开始逐渐降低，夏秋季盐度较小，冬季盐度明显升高。与历史同期调查资料相比较，海域内盐度变化不大。

（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输运，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（镆陂岛和楮岛）是含沙量最大的区域，近岸处工程区海域含沙量整体较低。

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。

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，在工程区及镆陂岛附近，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。

2.5.2 地下水

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

本项目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。

厂址周围无大规模开采地下水的计划。

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。

本项目场坪标高 7.2m，高于附近华能石岛湾核电厂址的设计基准洪水位。

2.5.4 参考资料

- [1] 中核第四研究设计工程有限公司，华能石岛湾核电厂扩建工程环境资料调查专题报告，2020 年 11 月。
- [2] 中科院海洋所，华能石岛湾核电厂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，石岛湾核电厂址水文参数补充计算分析报告，2013 年 6 月。
- [4] 中国海洋大学，石岛湾核电厂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，华能石岛湾核电厂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，华能石岛湾核电厂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，石岛湾核电厂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，华能石岛湾核电厂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

2.6 地形地貌

宽能谱高通量试验堆项目地处胶东半岛的黄海之滨。厂址区域总体地形平坦，现状主要为耕地、虾池、水渠和绿地等。

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 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 辐射环境现状评价

3.1.3 参考资料

3.1 辐射环境质量现状

本项目辐射环境质量现状采用厂址附近国核压水堆示范工程运行前放射性环境本底调查专题报告（B版）成果进行描述。该调查以国核压水堆示范工程1号机组反应堆厂房为中心，国核压水堆示范工程1号机组反应堆厂房位于本项目反应堆厂房N方位约2.5km处。

3.1.1 辐射环境本底调查

调查工作于2021年4月开展，于2022年12月完成了全部的现场采样工作。

3.1.1.1 调查方案

3.1.1.1.1 调查范围

本次调查的范围为：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20km~30km，监测的环境介质包括土壤、空气（气溶胶、沉降物、降水、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I ）、非受纳水体（饮用水、地下水、地表水、地表水沉积物、水生生物）、陆生生物（植物、动物、牛（羊）奶）、受纳水体（海水、沉积物、海洋生物）等。

3.1.1.1.2 调查内容、点位和频次

（1）陆地 γ 辐射剂量率

— 陆地 γ 辐射/贯穿辐射水平

本次调查地表 γ 辐射剂量率共布设了80个点位，其中2km范围内有4个点位，2km~5km范围内有25个点位，5km~10km范围内有17个点位，10km~20km范围内有14个点位，20km~30km范围内有8个点位，30km~50km范围内有11个点位。累积剂量共布设了50个测量点位，同一地点与原野贯穿辐射剂量率点位重合，其中2km范围内有4个点位，2km~5km范围内有18个点位，5km~10km范围内有10个点位，10km~20km范围内有9个点位，20km~30km范围内有5个点位，30km~50km范围内有2个点位。剂量率和累积剂量的监测频次为1次/季。

— 连续监测

设2个原野贯穿辐射剂量率连续监测点，监测点选取在烟羽地面最大浓度处附近

的国核厂址边界楼顶以及东钱家村的居民楼顶，楼顶表面为混凝土。监测频率为连续监测，监测时间为2021年4月~2022年12月，共21个月。

（2）空气介质中放射性水平

共布设5个采样点，分别在东钱家村，国核厂址边界，宁津街道，镇鄞岛，成山镇（对照点）。监测频次为1次/季。

（3）陆地水中放射性水平

— 地表水

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、郭家水库和后龙河水库。将后龙河水库作为对照点。在八河水库采集平行样品。

— 地下水、饮用水

地下水设置6个采样点，饮用水设置5个采样点。监测频次为1次/半年。

（4）水生生物

厂址周围水库均为人工开挖水库，底面和侧面使用混凝土进行了硬化，没有水生植物生长，选择在离厂址较远的后龙河水库采集水草样品，同时在八河水库采集白鲢鱼样品。监测频次为1次/年。

（5）土壤中放射性水平

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25个采样点。考虑到后港头村的 γ 辐射空气吸收剂量率水平较高，在最后一个季度中补充采集了该点位的土壤样品。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。

（6）陆生生物

粮食作物：粮食作物选取小麦和玉米，监测频次为1次/年。小麦设置2个采样点，分别位于东墩村和龙山前村。玉米设置2个采样点，分别位于于家村和东钱家村。

蔬菜：蔬菜作物选取白菜、豆角和葱，监测频次为1次/年。白菜设置1个采样点，位于卢家庄村。豆角设置1个采样点，位于于家村。葱设置1个采样点，位于东钱家村。

水果：水果类选取苹果，监测频次为1次/年。苹果设置2个采样点，分别为宁津街道和宁家村。

奶：奶类选取牛奶，监测频次为1次/半年。分别在大瞳镇和腾家镇的养殖场进

行了采集。

肉类：肉类选取猪肉和鸡肉，监测频次为 1 次/年。猪肉设置 1 个采样点，位于南港头村；鸡肉设置 1 个采样点，位于宁津街道于家村。

松针：监测频次为 1 次/半年。设置 1 个采样点，位于大岔河村村口。

花生：监测频次为 1 次/年。设置 1 个采样点，位于南泊村。

（7）海水中放射性水平

共布设 15 个采样点，对其中距核电排水口较近的 11 个点位补充监测 ^{14}C 和 ^{90}Sr 。

（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，并在核电排水口南北两侧渔民活动区各 1 个采样点，共 17 个采样点。对其中距排水口较近的 13 个点位补充监测 $^{239+240}\text{Pu}$ 。

（9）海洋生物中放射性水平

海洋生物采样点选在核电排水口附近海域及厂址附近渔民养殖场和放养场，采集浮游生物（鱼类）、底栖生物（贝类、甲壳类、海参类）、海藻类和附着生物（牡蛎、紫贻贝），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”）、梭鱼和白姑鱼。马鲛鱼在东楮岛渔港附近海域采集，白姑鱼在弘运码头附近海域采集；梭鱼在排水口东侧海域采集；

贝类：贝类采集扇贝。扇贝在林家流村附近海域养殖场采集；

甲壳类：甲壳类采集白对虾。白对虾在止马滩村附近养殖场采集；

海参：在宁津街道岛西庄村海参养殖场采集；

海藻类：海藻类采集海带。分别在核电排水口东侧海域和宁津养殖二场附近海域养殖场采集；

附着生物：采集牡蛎（当地称“海蛎子”）和紫贻贝（当地称“海虹”），牡蛎在弘运码头和东楮岛附近海域的养殖场采集，紫贻贝在核电排水口东侧海域进行捕捞。

3.1.1.1.3 测量仪器和方法

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或经权威专家认可的方法。

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，然后用厢式货车公路运输样品到实验室，样品送达实验室后，接样人员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。

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，以保证检测量值具有溯源性。

（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。

（4）放射性测量装置的性能检验

γ 谱仪：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）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。

α 谱仪：在每次开机后、关机前或仪器连续运行一个月以上时测量 α 谱仪的本底、效率和能量（峰位）并绘制质控图，以确保仪器工作在正常状态下。

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，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）样品比对

实验室在 2021 年度和 2022 年度均参加了国际原子能机构组织的国际比对 IAEA-TEL-2021-04 和 IAEA-TEL-2022-02，通过比对对实验室的测量分析进行了质量控制。

（2）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、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。

3.1.1.3 区域内核设施、核技术利用调查

（1）核设施

厂址 30km 范围内除石岛湾核电基地外无其它核设施和铀、钍矿设施。

（2）核技术利用

截至 2022 年月 5 月，厂址半径 15km 范围内无 NORM 设施和同位素生产企业。

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 53.1nGy/h~127nGy/h，平均值为 89.9 ± 19.9 nGy/h；道路辐射剂量率范围为 59.4nGy/h~110nGy/h，平均值为 91.4 ± 13.9 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 16.9nGy/h~162.6nGy/h，道路辐射剂量率为 10.3nGy/h~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 21.4nGy/h~120.5nGy/h，道路是 19.1nGy/h~201.1nGy/h，本次调查结果在其范围内。

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 25 个点位。各天然放射性核素活度浓度范围分别为： ^{238}U ，12.7Bq/kg~99.1Bq/kg； ^{226}Ra ，9.28Bq/kg~97.9Bq/kg； ^{232}Th ，14.5Bq/kg~223Bq/kg； ^{40}K ，632Bq/kg~1560Bq/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 15.7Bq/kg~90.1Bq/kg、9.8Bq/kg~50.0Bq/kg、20.7Bq/kg~202Bq/kg、391.7Bq/kg~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 17.2Bq/kg~61.6Bq/kg、16.2Bq/kg~46.1Bq/kg、20.8Bq/kg~70.4Bq/kg、118.4Bq/kg~1870Bq/kg，整体上本次调查结果与烟台市、山东省平均水平相当。

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，各类样品中 ^3H 的监测结果均处于正常水平。

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 0.12Bq/g 碳~0.32Bq/g 碳，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。

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 历来是核电厂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 在部分土壤、沉积物、海水等样品中检出。 ^{90}Sr 在各类环境介质中的浓度水平整体上要高于 ^{137}Cs 。

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。其中土壤监测结果范围为 0.011Bq/kg~0.13Bq/kg，平均值为 $0.060\pm 0.029\text{Bq/kg}$ ；海洋沉积物监测结果范围为 0.013Bq/kg~0.13Bq/kg，平均值为 $0.070\pm 0.033\text{Bq/kg}$ 。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（0.04Bq/kg~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±0.003Bq/kg、襄樊 0.358±0.021Bq/kg、0.380±0.016Bq/kg 及华北地区 0.4Bq/kg)。

3.1.2.2 辐射环境现状评价

根据辐射环境现状调查报告的数据分析表明，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，国核压水堆示范工程运行前放射性环境本底调查专题报告（B版），2023年6月；
- [2] 中国辐射防护研究院，国核压水堆示范工程运行前放射性环境本底调查专题质量保证报告（B版），2023年6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。

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 质量保证及质量控制

3.2.5 参考资料

3.2 非辐射环境质量现状

本项目处于选址阶段，未开展环境质量现状调查专题。距本项目较近的华能石岛湾核电厂开展了相关调查，本阶段采用华能石岛湾核电厂开展的调查报告进行描述。

3.2.1 大气环境空气质量现状调查与评价

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 211520341589）开展了 2023 年度 4 个季度的大气环境空气质量监测，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： SO_2 、 NO_2 、 O_3 、CO 小时平均值， SO_2 、 NO_2 、CO、TSP、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 日均值， O_3 日最大 8 小时平均值。

三个敏感点（东钱家村、西钱家村、于家村）各监测因子的监测结果均可满足《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

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 211520341589）开展了 2023 年度 4 个季度的声环境质量监测，声环境保护目标监测点位分别位于东钱家村、西钱家村和于家村。

监测结果表明，三个声环境保护目标昼间、夜间噪声范围分别为 52.2dB(A)、44dB(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

华能石岛湾核电有限公司委托自然资源部第三海洋研究所于 2020 年 11 月、2021 年 1 月、2021 年 4 月和 2021 年 7 月在厂址附近海域进行了秋、冬、春和夏四航次的现场调查。现场调查范围以石岛湾核电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。

依照《海水水质标准》（GB3097-1997）、近岸海域环境功能区划，石岛湾核电厂址 15km 范围部分站位位于：

二类环境功能区：1，2，3，4，7，8，9，10，11，12，13，14，15，16，22，23，

24, 25, 27, 37, 38, 45, 48;

三类环境功能区：6；

21 号点位于四类环境功能区，执行 3 类海水水质标准；

混合区：5。

本次海洋水质调查的项目有：pH、悬浮物、溶解氧、化学需氧量、总氮、铵盐、硝酸盐、亚硝酸盐、总磷、磷酸盐、活性硅酸盐、氰化物、硫化物、氟化物、挥发性酚、石油类、汞、镉、铅、铜、总铬、六价铬、锌、锰、砷、多环芳烃、多氯联苯、硼、铁、硒、余氯，共计 31 个要素。

根据各站位的近岸海域环境功能区划水质保护目标，超标站位信息如下：

秋季：11、12、21、22 号站位表层活性磷酸盐超标，其余指标均不超标；

冬季：所有站位指标均不超标；

春季：4、11 号站位底层活性磷酸盐超标，其余指标均不超标；

夏季：所有站位指标均不超标。

3.2.4 质量保证及质量控制

3.2.4.1 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 194-2017）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。

3.2.4.2 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。

3.2.4.3 受纳水体环境质量现状调查

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

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

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

(2)标准样品的测试结果应在给定保证值的范围内。

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

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

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

3.2.5 参考资料

[1] 华能山东石岛湾核电厂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。

第四章 反应堆

4.1 厂区规划及平面布置

4.2 反应堆工程概况

4.3 辐照试验系统

4.4 用水和散热系统

4.5 送排风系统

4.6 供电系统

4.7 放射性废物处理系统和源项

4.8 非放射性废物处理系统

4.9 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 厂区平面布置

4.1.3 排放口布置

图

图 4.1-1 宽能谱超高通量试验堆项目厂区效果示意图

4.1 厂区规划及平面布置

本项目位于清华大学（荣成）先进核能技术科研基地用地范围内东北角。该基地位于山东省威海荣成市石岛管理区东侧，朝阳东路北侧，宁镇路东侧地块，东临黄海、南部与镇岛接壤。科研基地规划建设核反应堆区、涉核实验区、一般实验区、工作保障区、产学研孵化区、办公教学区、生活区及生活保障区。

4.1.1 厂区规划

根据建筑各子项功能、工艺布置要求，对厂区总平面内各建、构筑物以及设施进行协调布置、统筹安排，使生产运行、交通运输等方面达到一个经济、便捷的状态，合理确定厂区总平面布置。

- 1) 厂区总平面布置与总体规划相协调一致；
- 2) 按照核设施、常规工业设施及普通民用设施三种建设标准，开展总平面布置工作；
- 3) 核岛主厂房布置在埋深适宜、承载力满足要求、均匀稳定的基岩上，其它构筑物可采用非岩石地基；
- 4) 工艺流程合理，功能分区明确，交通运输便捷；
- 5) 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；
- 6) 合理利用厂址地形、地质条件，确定厂坪标高，减少并尽量平衡土石方工程量；
- 7) 采用合并布置、多层布置、压缩通道等方式压缩厂区占地面积，节约、集约用地；
- 8) 因地制宜，充分利用场地条件开展平面布置，尽量不占农用地、灌溉明渠等设施。

4.1.2 厂区平面布置

4.1.2.1 厂区总平面布置

本项目主入口设置于场地南侧，辅助出入口位于场地西侧，2个出入口均与清华大学（荣成）先进核能技术科研基地项目园区内部道路直接相通。

整个厂区按照保卫目标的安全等级进行实物保护区域设置，依次分为三个区域：控制区、保护区、要害区。控制区包括所有需要实物保护系统保护的区域或建筑物。

保护区位于控制区内，主要包括核岛厂房区内所有与实验堆运行相关的设施。要害区位于保护区内，主要包括反应堆厂房、核辅助厂房、电气厂房、乏燃料厂房、应急柴油发电机房、保卫控制中心等。控制区及保护区结合保护保卫需求各设置入口闸门建筑一栋，控制区入口闸门设置于用地南侧，保护区闸门设置于该区东侧，另于保护区反应堆东北侧设置一栋实物保护保卫控制中心。

反应堆厂房由于受地质条件限制尽量布置在厂区西侧靠北位置，核辅助厂房与反应堆厂房紧邻，乏燃料厂房、热室、电气厂房等按工艺需求围绕核岛布置。综合实验设施大楼靠近基地主入口，结合主入口广场布置于厂前区。其他辅助设施，包括海水系统泵房、配套综合库房、三修综合厂房、放射性废物综合处理厂房、热机修厂房布置于厂区北侧，实务保护保卫控制中心位于保护区出入口附近。海水系统泵房临近海边，位于厂区东北侧，辅助功能区南侧为预留用地。

整个厂区的核心为核岛厂房区，包括反应堆厂房、核辅助厂房、乏燃料厂房、电气厂房、应急柴油发电机房、核岛附属厂房、实物保护保卫控制中心及保护区主出入口。围绕核岛厂房区最重要的子项反应堆厂房，充分考虑地形条件、地质条件适宜性等因素，同时考虑到工艺流程及相关试验设施布置，将核辅助厂房及核岛附属厂房布置在反应堆厂房西侧，电气厂房布置在反应堆厂房东侧；两座柴油发电机厂房布置在电气厂房东侧，紧贴电气厂房；将乏燃料厂房布置在反应堆厂房北侧。为满足防护管理要求，该区在基地内设有完整连续的控制区围栏和保护区围栏实体屏障，围栏为双层可视围墙并装备相应的技术防范设施。通过实物保护保卫控制中心中实物保护技防系统，实现集中统一的管理控制功能，有效地确保厂内投入运行的重要核设施和厂内核材料的安全。

辅助生产厂房区位于基地东侧、南侧，包括控制区主出入口、海水系统泵房、热机修厂房、放射性废物综合处理厂房、配套综合库房、三修综合厂房、35kV 变电站及1#变电所（高压总配）、综合实验设施大楼。上述辅助生产工艺子项布置时考虑工艺流程等有序布置，以缩减反应堆区面积，优化核心区布局，降低造价，同时避免对核心反应堆区的干扰。综合实验设施大楼内结合实验及工艺流程需求，内设物质实验楼、环境监测及放化实验室及应急指挥中心等功能。

项目总平布置规划方案充分考虑不同级别防护区的分区关系，建筑的消防、卫生间距，避免相互干扰。

4.1.2.2 竖向布置

场地竖向布置设计原则：结合自然地形，建筑特点，考虑管线敷设、雨水排除、环境保护、院区景观等因素，合理确定竖向布置方式。

1) 竖向布置方式

考虑到场地自然条件及厂区占地面积，阶梯式布置对平衡土石方量的优势不明显，为便于后续厂区内部道路及管线布置并结合“基地”内部规划标高，初定厂区竖向采用平坡式布置。

2) 反应堆厂房标高确定

主厂房建筑群位置的选定是按照核安全法规《核动力厂厂址评价安全规定》（HAF101）、《核动力厂设计安全规定》（HAF102）等有关要求，根据厂址地形特征，地下岩土的适宜性，与厂外道路的衔接，回填高度等要求，确定场坪标高。

本项目参考石岛湾高温气冷堆示范工程厂址（位于本项目 NNE 方位约 4.1km）相关资料，核岛区域室外地坪标高暂定为 7.2m。

4.1.2.3 厂区道路设计

厂区运行期间的运输包括：燃料运输、固体废物运输、小型设备运输以及职工上下班交通运输等。

针对本项目定员人数及运输特点，结合厂区的总平面布置，厂内道路采用“棋盘”环状式道路布置，地块内外围设有车行环路，地块内部设有人行通道。设计时人行流线从地块入口处直接进入地块的内部道路，车流从地块进口处沿着地块外围道路行驶，运货货车通过厂区外围车行环道停靠在各个子项货运入口处。路面结构采用水泥混凝土路面设计，道路类型为城市型道路，道路宽度 7m，转弯半径 9m。车间引道依厂房大门宽度而定。

根据运输要求，道路分为重型道路和轻型道路两种，厂内进厂主路和主厂房周围的道路均采用重型道路铺设，其它道路采用轻型道路铺设。

4.1.2.4 周界设计

1) 控制区周界及出入口设施

在场区红线内 1m 位置新建一道单层围栏作为控制区周界，长度约 1500m。围栏垂直部分高度 2.5m，围栏上部加装长 0.7m 呈 45 度向外倾斜的斜刺。控制区周界内侧不小于 1.5m 范围内设置混凝土硬化地面，硬化地面内侧设置不小于 4m 宽的控制区巡

逻通道。

控制区主出入口位于控制区周界南侧偏西位置，新建一层建筑物，建筑面积为700m²。控制区西侧设置1个车辆运输通道，运输通道为平开栅栏门。

2) 保护区周界及出入口设施

在控制区周界以内不小于6m位置新建双层围栏作为保护区周界，长度约1550m（按单层围栏长度计算）。双道围栏之间隔离带宽约6m，隔离带内为混凝土硬化。围栏垂直部分高度2.5m，围栏上部加装长0.7m呈45度向外倾斜的斜刺。保护区周界内侧4m范围内设置混凝土硬化地面，硬化地面内侧设置7m宽保护区巡逻通道兼厂区道路。

保护区主出入口位于保护区周界南侧偏东位置，新建一层建筑物，建筑面积为305m²。保护区西侧设置一个车辆运输通道，运输通道为双通道平开栅栏门。

4.1.2.5 厂区绿化

本项目建成后将进行厂区绿化，图4.1-1给出了厂区效果图。

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，主要通过位于辅助厂房顶部的烟囱排入环境，烟囱的设计高度为40m。

放射性废液经过放射性废液系统处理后采用液转气排放。非放射性的废水排入园配套污水管网。

厂区排水采用有组织排水。厂区内地表水通过地面坡度汇流到厂区的道路，并通过道路坡度将雨水汇集到路边雨水口，经雨水管网将全厂区地表水统一排放至“基地”雨水管网，最终排放至“基地”外侧市政雨水管网。



宽能谱超高通量试验堆项目		
环境影响报告书（选址阶段）		
宽能谱超高通量试验堆项目厂区效果示意图		
图 4.1-1	版次：	A

4.2 反应堆工程概况

4.2.1 概述

4.2.2 燃料

4.2.3 安全系统

4.2 反应堆工程概况

4.2.1 概述

反应堆及相关系统主要包括核岛主设备和核岛主工艺系统两部分。

核岛主设备是构成反应堆堆本体的主要设备，包括燃料组件、压力容器、堆内构件、控制鼓及驱动系统。

THFR 采用弧板状燃料元件，该型燃料组件采用成熟的轧制工艺制备平板燃料元件，然后通过辊弯成型的方式得到弧形燃料板。结构稳定、辐照性能优良的弧板状组件结合整堆芯换料方案，使高通量堆芯可以承受更高的冷却剂流速和较深的燃耗，利于反应堆的安全性和经济性。

THFR 采用旋转型控制鼓作为功率控制部件，担负着反应堆的启动、停闭和功率调节功能。控制鼓驱动系统采用电机带动控制鼓旋转，蓄能部件带动控制鼓快速复位的原理，该系统适应特殊的水下辐照环境。本项目具有消除了弹棒事故隐患、安装和检修方便、固有安全性、旋转精度高、无泄漏旋转静密封等优点。

核岛主工艺系统主要由反应堆冷却剂系统、燃料装卸与贮存系统、反应堆冷却剂净化和容积控制系统（化容系统）、临界安全系统、池边检查系统和专设安全设施组成。其中，专设安全设施用于缓解事故后果，由非能动堆芯余热排出系统、重要厂用水系统、安注系统和注硼系统组成。

4.2.2 燃料

THFR 中子通量高，因而燃料元件释热率大。为了将热量从元件中导出，除了提高冷却剂流速外，还需要采用换热面积较大的弧板状燃料元件。

堆芯燃料组件采用弧板状燃料元件，是由弧形燃料板、侧板、内外筒板、上下定位梳块、下管座等零部件组成，燃料板通过滚压镶嵌在侧板内，上下定位梳块安装在燃料板上下两端的无燃料区的中间位置，与侧板一起保证冷却剂流道的宽度，下管座与侧板通过铆钉连接，支承于燃料吊篮的底部。

4.2.3 安全系统

4.2.3.1 非能动余热排出系统

非能动堆芯余热排出系统用于在丧失全部电力供应的情况下，提供堆芯衰变热载出的途径，该系统可将堆芯衰变热传递至反应堆水池中。非能动堆芯余热排出系统依

靠自然循环等非能动机理为堆芯衰变热提供可靠的载热途径。反应堆水池中的水作为本系统的热阱。

同时，非能动堆芯余热排出系统与反应堆冷却剂系统直接相连，也作为反应堆一回路压力边界的一部分。

4.2.3.2 重要厂用水系统

重要厂用水系统用于事故停堆初期及非能动余排不投入或停止使用的事故阶段，将堆芯应急冷却系统热量导出，通过空冷塔散至大气，大气为该系统最终热阱。

在事故工况下，重要厂用水系统是不依赖非安全级海水系统将堆芯衰变热导出的重要途经，对反应堆安全起着举足轻重的作用。在全场断电初期，重要厂用水系统依赖应急电源供电，主要包括应急泵、机械冷却塔及相关阀门。在全场断电事故非能动余排系统停止运行阶段，且尚未丧失场外电源事故中，重要厂用水系统由厂外电源进行供电。

重要厂用水系统设置两套各具有 100%载热能力的独立环路，分别与二回路两个环路相连。每个环路由一台安全级机械通风冷却塔、两台 100%流量的应急循环泵、管道、阀门、管件以及相关仪器仪表组成。对于每台机械通风冷却塔，其集水池分别通过补水回路与补水池相连，每条补水回路同样包含补水泵、管道、阀门、管件以及相关仪器仪表。在事故工况初期，应急泵、补水泵均需由应急电源供电。

重要厂用水系统的出入口管道上均设置电动隔离阀，在需要将该系统与二回路系统隔离时，可关闭隔离阀。出入口电动隔离阀均采用并联设置，一用一备，单一故障发生时，防止因隔离阀无法开启造成重要厂用水系统无法投入运行。重要厂用水系统管路高点设置排气和相关阀门，在其低点设置排水管线和阀门。

冷却塔进出口管路上设置了温度和压力测点，下游管道设置了流量测点，应急循环泵设置了压差测点。

4.2.3.3 安注系统

安注系统的功能是在反应堆冷却剂系统发生失水事故时，能通过安注箱向反应堆冷却剂系统补水，以确保破口处始终被水淹没，防止空气从破口处进入一回路。

反应堆冷却剂系统发生破口后，该系统压力会较快地下降。如果破口位于干燥地

坑中，当压力降到接近常压时，空气有可能会从破口处进入一回路，造成传热恶化，危及反应堆安全。因此，安注系统在发生破口后向反应堆冷却剂系统补水，补充的水量足以将破口所在的干燥地坑淹没到一定水位，确保破口一直处于淹没状态，以保证空气不会经由破口处进入一回路。

安注系统设置了 5 个安注回路，分别与反应堆主冷却剂系统的 5 个环路连接。每个安注回路由一台安注箱、与反应堆冷却剂系统相连的管道、阀门、管件以及相关仪器仪表组成。

在安注箱上还设置了注水、排水、充气、排气等管线和相关阀门，并设置了液位、温度和压力测点。安注箱通过安注管线与反应堆冷却剂系统的环路（主泵前）相连接，并设置了隔离阀和止回阀。安注管线上设置了流量测点。

4.2.3.4 注硼系统

注硼系统作为第二停堆系统，其功能是当发生 ATWS 事故且控制鼓不能正常执行停堆功能时，将含硼溶液注入堆芯，中止链式反应，使反应堆停堆。

注硼系统由一台注硼罐、一台膨胀水箱、两台注硼泵、与反应堆冷却剂系统相连的管道、阀门、管件以及相关仪器仪表组成。

注硼罐通过注硼管线与反应堆压力容器上的注硼管嘴相连。注硼罐还通过回水管线与反应堆压力容器上的注硼回水管嘴相连。注硼管线上设置两台（一用一备）注硼泵以及相应的阀门，并设置了流量测点。膨胀水箱通过波动管与注硼罐连接，并设置了温度、压力和液位测点。膨胀水箱内留存气体空间，充入与主回路压力一致的氮气。

备用：正常情况下，注硼系统处于备用状态，注硼罐内装满八硼酸钠溶液。注硼管线、回水管线与反应堆压力容器之间的隔离阀处于关闭状态，膨胀水箱内氮气压力与主回路正常压力一致。两台注硼泵也处于备用状态。

投运：当接收到注硼信号后，首先打开注硼回水管线上的隔离阀，连通主回路和注硼罐，之后打开注硼管线上的隔离阀，开启一台注硼泵，开始注硼。

停运：待达到额定循环时间后，停运注硼泵，依次关闭注硼管线和注硼回水管线上的隔离阀。

4.2.3.5 安全壳隔离系统

安全壳隔离系统的主要功能是在事故情况下将穿过安全壳边界的流体管道隔离，以尽量减小向环境释放放射性产物的可能性。

在反应堆正常运行时，核岛冷冻水系统、二回路冷却水系统、安全壳连续通风系统、安全壳空气净化系统、安全壳换气通风系统、控制鼓驱动机构房间通风系统、CAM安全壳大气监测系统、反应堆水池冷却净化系统、反应堆冷却剂净化和容积控制系统等系统的贯穿安全壳的管道的隔离阀是开启的。气体系统、取样系统和核疏水系统的安全壳穿管隔离阀是常闭的。安全壳隔离系统的隔离阀接到隔离信号后在 10 秒内自动关闭。

4.3 辐照试验系统

4.3.1 仪表化辐照系统

4.3.2 高温高压水考验回路

4.3.3 跑兔系统

4.3 辐照试验系统

宽能谱超高通量试验堆（THFR）的主要功能定位为核燃料组件性能考验、材料辐照试验、同位素生产和中子散射/成像等。辐照试验系统是宽能谱超高通量试验堆开展核燃料和材料辐照考验的主要系统。辐照试验系统包含仪表化辐照系统、高温高压水考验回路、跑兔系统。

仪表化辐照系统可用于对材料展开惰性气体温度条件下的辐照考验，以验证材料在特定辐照损伤条件下的力学与物理性能，该系统试验温度 300°C-600°C，可同时监控 12 套堆内试验段。高压水考验回路可用于模拟压水堆工况对燃料小组件进行高温高压环境的堆内辐照考验，以验证燃料组件在预期燃耗下的设计可行性与制造可靠性，该系统试验压力 15.5MPa，冷却剂温度 340°C。跑兔系统利用气体压差在管道中传输样品，可用于开展中子活化分析、生产高比活度短寿命周期的放射性核素、小型辐照试样的堆内考验等相关研究，样品试验温度不超过 60°C、样品传输最大速度 10m/s。

4.3.1 仪表化辐照系统

仪表化辐照系统可进行辐照试验温度、压力、流量、中子注量率、受试件形变等关键试验参数在线测量，远传至辐照系统主控室进行监控、连锁；可通过远程、就地和自动控制等方式实现对主工艺设备的控制，实现辐照试验各参数的调控。仪表化辐照系统可通过 PLC 编程实现对辐照试验温度的自动调节，便于试验温度的精准控制和实时记录。

仪表化辐照系统由气体调节系统、电功率调节系统、测控系统、电气系统、堆外试验系统组成。

为了验证仪表化辐照系统的精度和可靠性，堆外试验系统可以在堆外进行温度试验，在辐照装置内验证气体调节系统、电功率调节系统、测控系统的设计参数和性能，完成试验前的堆外试验验证。

4.3.2 高温高压水考验回路

高温高压水考验回路可模拟压水堆工况，对燃料小组件进行高温高压环境的堆内辐照考验，以验证燃料组件在预期燃耗下的设计可行性与制造可靠性。该系统试验压力 15.5MPa，冷却剂温度 340°C。

高温高压水考验回路由主冷却系统、二次冷却水系统、三回路系统、安全注射系统、辅助系统及配套的仪控、电气系统组成。

主冷却系统是一个强制循环的密闭回路，由主泵出来的压力水流经考验装置，再经并联设置的三台主热交换器(简称主热)及旁通管道，最后回到主泵吸入口，完成了一个循环。该系统的作用是将考验组件所产生的热量带出来，并通过主热传递给二次冷却水，维持考验组件要求的进出口温度和所需要的冷却剂流量；同时，维持回路的压力平衡并执行超压保护保护功能。

二次冷却水系统是将主热、主泵、净化系统辅助热交换器、破探系统辅助热交换器等设备一次侧热量导出并传递至三回路的闭式循环。

三回路系统的功能是作为回路最终热阱，将二次水系统热量进行排放。通过三回路换热器一次侧与各换热器二次侧形成闭回路，对二次水系统形成闭环，避免各换热器二次侧管道破裂时，回路系统放射性一次水扩散。三回路与一回路不发生直接接触，可有效避免海水对一回路系统的腐蚀。

安全注射系统由高压安注系统、中压安注系统和低压安注系统组成。安全注射系统的功能是在回路系统出现失水事故工况下，向考验装置提供应急冷却水，使考验组件被淹没，导出余热，防止其烧毁，保证宽能谱超高通量试验堆的安全。

辅助系统功能包括主冷却系统水质的取样和调节、燃料元件完整性监测、回路补水、主回路清洗、压力管完整性监测等。

4.3.3 跑兔系统

跑兔系统是气动传输系统的一种，传输的样品由样品盒装载，利用气体压差在管道中进行传输。该系统通常由气动传输回路部分和计算机控制部分组成，气动传输回路部分通常由空气压缩机，运输管道，管道换向器等组成，利用空气压缩机抽取压缩空气为动力在密闭的管道中对物体进行气动传输；而计算机控制部分负责开关和换向器等设备的控制，使气动传输系统能够快速精确的传输物体。

跑兔系统不仅可以完成高热中子通量水平的中子活化分析，也可以利用较高的热中子和快中子通量生产高比活度的短寿命核素。跑兔系统需实现如下功能：

（1）中子活化分析

跑兔系统能够利用气体压缩机的动力将中子活化分析试样传输到反应堆内指定位

置完成辐照，并且能够在辐照后将样品快速传输到指定位置完成活化分析。

（2）生产高比活度短寿命周期的放射性核素

跑兔系统可以将放射性核素生产原料传输到堆内指定位置进行辐照，并且在反应堆运行期间不受影响地将辐照完成的样品传输到堆外指定位置进行存放。

（3）小型辐照试样的堆内考验

跑兔系统能够将小型辐照试样快速传输到堆内指定位置进行辐照，完成辐照试样的考验任务，并将完成辐照的小型试样送到堆外指定位置进行存放和后处理操作。

4.4 用水和散热系统

4.4.1 供排水系统

4.4.1.1 供水

4.4.1.2 排水

4.4.2 散热系统

4.4 用水和散热系统

4.4.1 供排水系统

4.4.1.1 供水

根据《荣成核能利用国际创新示范园修建性详细规划》，规划近期水源来自八河水厂，规划范围用水由朝阳东路和宁馍路现状给水管线供给。规划远期水源来自海水淡化项目，由规划新建供水管网供水。

水源为市政自来水，朝阳东路和宁馍路敷设有现状给水管线，水源来自现状八河水厂。

整个园区用水拟由朝阳东路和宁馍路现状给水管线供给。结合近远期水源规划，沿园区主干路宁馍路、纬一路、经一路，经三路、朝阳东路敷设主干管道，形成主干环状管网。

— 中水

中水水源为市政中水，主干管网布置成环状。

本项目从园区北侧道路和东侧道路分别引入一根中水管（引入口位置设总水表进行计量），并在红线范围内设置环状管网，供给本工程冲厕、绿化、道路浇洒及消防用水（第二水源）等，绿化灌溉采用微灌系统，提高水的利用率。

4.4.1.2 排水

— 生产和生活污水

无毒无害的生产废水和生活污水（经化粪池处理后）排入市政污水管道，污水管道采用重力流排放。沿园区内部主干路敷设污水管道，排入宁馍路东侧污水主干管内。

高温废水经降温至 40℃ 以下后排至室外管网。

有粪便污水排出的建筑分别在室外就近设置 1 座钢筋混凝土化粪池。

— 雨水

厂区排水采用有组织排水。厂区内部地表水通过地面坡度汇流到厂区的道路，并通过道路坡度将雨水汇集到路边雨水口，经雨水管网将全厂区地表水统一排放至“基地”雨水管网，最终排放至“基地”外侧市政雨水管网。

4.4.2 散热系统

4.4.2.1 取排水系统

目前本项目设计了两套取排水系统方案。

①方案一

方案一采用暗取暗排方案。取水工程全长 1020m，取水管线从厂区水泵房出发后垂直岸边及等深线布置，取水口位于厂址东侧-6.6m 水深处（国家 85 高程），满足 DBL 水位下取水要求。取水工程设置 1 条管道，内径 1.7m，流速约 1.36m/s，一条管道设 2 根立管，立管内径 1.3m，一个立管对应一个圆柱形取水头部，直径 2m，高 1m，侧面进水，窗口流速约 0.32m/s。窗口顶高程在 DBL 水位以下 0.5m，底高程在海床标高以上 1m。

排水工程全长 2900m，参考石岛湾核电，排水口暂定在厂址东南侧-10.0m 水深处（国家 85 高程）。排水工程设置 1 条管道，内径 1.7m，排水头部设 1 根立管，立管内径 1.3m，一个立管对应一个圆柱形排水头部，直径 2m，高 1m，侧面排水，窗口流速约 0.64m/s。窗口顶高程在平均低潮位以下 0.5m，底高程在海床标高以上 1m。

取排水口距离约 1.8km。本工程排水口与石岛湾南取水明渠口门距离约 2.8km。

②方案二

由于本工程温排水量较小（约 $2.73\text{m}^3/\text{s}$ ），且排水口距离取水口较远（约 1.8km），因此排水口对取水温升影响较小。方案二为了减少开挖量，考虑取排水工程并行布置，共用一个开挖基槽。

方案二采用暗取暗排方案。取水工程全长 1300m，取水管线从厂区水泵房出发后先沿厂外一经路平行布置至排水管线后，再转弯平行于排水管线布置，取水口位于厂址东南侧-6.6m 水深处（国家 85 高程），满足 DBL 水位下取水要求。取水工程设置 1 条管道，内径 1.7m，流速约 1.36m/s，一条管道设 2 根立管，立管内径 1.3m，一个立管对应一个圆柱形取水头部，直径 2m，高 1m，侧面进水，窗口流速约 0.32m/s。

排水工程与方案一相同。

取排水口距离约 1.8km。本工程排水口与石岛湾南取水明渠口门距离约 2.8km。

4.4.2.2 输热系统

输热系统包括二回路冷却水系统、海水系统、核岛冷冻水系统。

— 二回路冷却水系统

二回路冷却水系统是设置在反应堆相关系统设备和海水之间的一个闭合环路。二回路冷却水系统的主要功能是：

- 1) 为反应堆相关系统提供冷却，最主要的换热用户为一回路主换热器。
- 2) 经过海水系统冷却的热交换器将热负荷传递至海水；
- 3) 在反应堆相关系统回路和海水之间形成屏障，防止放射性流体不可控制地释放到海水中。

二回路冷却水系统由两列独立闭合的冷却水循环管路构成。每列都具有其独立的控制系统和保障系统。

每列二回路冷却水都是由二回路冷却水泵对工艺设备提供冷却水，经过用户被加热后进入二回路冷却水热交换器，被海水所冷却，最终返回到二回路冷却水泵。

二回路冷却水系统运行两个系列，每个系列为一回路的两台换热器及所有的公共用户提供换热。每个系列的换热能力为 50%。

— 海水系统

THFR 工程采用海水直流冷却方式，海水系统是经过处理的海水为介质的开式循环系统，整个设施的最终热阱，主要功能是为二回路系统提供冷却水。在反应堆正常功率运行模式下，海水系统把从二回路冷却水系统传来的热量输送到最终热阱——海水中。通过向海水中投加 NaClO 溶液和设置贝类捕集器等措施来保证限制二回路冷却水系统热交换器内有机物污垢的生成。

海水系统取水参考高温气冷堆采用重力式暗沟取水方式，取水头部的海底标高按 99%设计低潮位考虑，水泵从进水流道吸水，出水通过贝类捕集器后输送到换热器，加热后的水从换热器通过排水管排至虹吸井、排水暗渠、排水口，最终排入大海。海水系统具体组成如下：

海水系统分为海水过滤和供水两部分。过滤部分设置一条进水渠道从海水取水，由两套带加氯装置的粗格栅、两套闸门、两套细格栅及清污机、一台配有三速电机的鼓形滤网、一套鼓网反冲洗装置、一套次氯酸钠加药设备组成。

供水部分主要有立式离心泵、贝类捕集器、相关阀门、管道管件以及仪器仪表组成，设置 A/B 两列供水管线，每列正常运行时可提供二回路冷却水系统一台换热器所需的全部水量。每列分为两个支路，每条支路有四台 50%容量的立式离心泵，正常运

行时两台运行两台备用。

供水部分还设置了一条小支路供水管线，停堆时给二回路冷却水系统中乏池提供冷却水，由两台 100%容量的立式离心泵（一用一备）、相关阀门、管道管件以及仪器仪表组成。A/B 两列贝类捕集器上游设置连通管线，确保停堆后小流量泵可切换冷却任意换热器。

— 核岛冷冻水系统

本系统设计用于为反应堆厂房、电气厂房各部分通风系统提供冷源，并用于防止其它部件的过热，诸如敏感元件、电气设备以及支撑反应堆压力容器的混凝土。本系统不是与核安全有关的系统，只有安全壳贯穿件定为与核安全有关的部件。

核岛冷冻水系统是一个闭式的冷冻水回路，它的功能是将核岛通风系统冷却盘管所回收的热量通过冷水机组传送给二回路冷却水系统。

冷水机组的蒸发器提供冷冻水，并回收冷冻水回水中的热量。该热量经冷水机组的冷凝器传送给二回路冷却系统。

4.5 送排风系统

4.5.1 核岛及附属厂房通风系统

4.5.2 主控室空调系统

4.5.3 核辅助厂房通风系统

4.5.4 其它厂房通风系统

4.5 送排风系统

根据服务区域和功能的不同，通风系统包括核岛及附属厂房通风系统、主控室通风系统、核辅助厂房通风系统、其它厂房通风系统。

4.5.1 核岛及附属厂房通风系统

核岛及附属厂房通风系统包括安全壳大气监测系统（CAM）、安全壳连续通风系统（CCV）、安全壳换气通风系统（CSV）、安全壳空气净化系统（CUP）和控制鼓驱动通风系统（RRV）。

4.5.2 主控室空调系统

主控室空调系统服务于主控室可居留区域，主控室可居留区包括主控室、技术支持中心、计算机房、值长室、隔离办公室、生活区、卫生间、更衣室等相关房间。

要求及作用：

— 保持房间内的温度和湿度在所规定的限值内，以满足设备运行和人员长期停留的要求；

— 保证最小的新风量；

— 维持主控室可居留区内压力略高于出入口区域的压力（事故工况下要求该压力不低于 30Pa）；

— 当发生事故从而导致大量放射性污染物释放时，新风和回风经过净化后送入主控室、技术支持中心及相关房间来维持可居留性。

4.5.3 核辅助厂房通风系统

核辅助厂房通风系统执行下列功能：

— 正常运行期间，核辅助厂房通风系统用于保持厂房的室内温度在设备运行和人员健康及安全所规定的范围内；

— 按辐射防护分区，限制房间中的气溶胶放射性水平，以便人员进入；

— 控制空气从潜在低污染区流向潜在高污染区，然后向室外排放；

— 保持厂房微负压，以减少电厂在各种运行工况下由厂房泄露的放射性气溶胶；

— 反应堆冷停堆期间，核辅助厂房通风系统用于保证安全壳换气通风系统所需的

风量和过滤要求；

- 发生火灾时，排除核辅助厂房电气间的烟气。

4.5.4 其它厂房通风系统

4.5.4.1 放射性废物综合处理厂房通风系统（VRW）

VRW 系统执行下列功能：

- 1) 正常运行期间，保持本厂房的室内温度在设备运行和人员健康及安全所规定的范围内；
- 2) 按辐射防护分区，限制房间中的气溶胶放射性水平，以便人员进入；
- 3) 控制空气从潜在低污染区流向潜在高污染区，然后向室外排放；
- 4) 保持厂房内的压力略低于大气压力，以减少在各种运行工况下由厂房泄露的放射性气溶胶，减少向环境释放的放射性污染物的浓度。

4.5.4.2 乏燃料厂房通风系统（VFL）

VFL 系统执行下列功能：

- 维持设备完成一般功能所需要的环境温度和人员进入区所需要的适当的环境温度；
- 维持乏燃料贮存水池大厅和接收水池大厅负压 10-20Pa；
- 在事故情况下，把排风的放射性降低到居民可接受及允许排放水平

4.5.4.3 热洗衣房通风系统（VHL）

VHL 系统执行下列功能：

- 保持设备正常运行所需要的环境温度；
- 保持人员进入所允许的环境条件；

4.5.4.4 蓄电池室通风系统（UBE）

UBE 系统执行下列功能：

- 蓄电池室通风系统是正常和可靠蓄电池室的送/排风系统，保持正常和可靠蓄电池室房间合适的温度要求，保证正常和可靠蓄电池室的换气次数，防止氢

气积聚；

- 维持环境条件在人员和设备可接受的范围内。

4.5.4.5 卫生卡通风系统（KLT）

卫生卡通风系统用于男、女热更衣室、污衣收集间和放射性废液收集间等房间的冷却通风，排除房间内设备运行产生的热量和被污染的空气，保证适当的环境温度和换气次数，并对排风进行过滤。卫生卡出口通道循环冷却系统用于满足人员对房间温度的要求，对卫生卡出口通道进行循环冷却。

4.5.4.6 应急柴油发电机厂房通风系统（VDS）

VDS 系统执行下列功能：

- 排出柴油机系统以及电气设备产生的热量，包含柴油发电机本身和通风系统独立的冷却系统；
- 维持环境条件在人员和设备可接受的范围内。

4.5.4.7 热机修厂房通风系统（VAC）

VAC 系统执行下列功能：

- 正常运行期间，保持热机修厂房的室内温度在设备运行和人员健康及安全所规定的范围内；
- 按辐射防护分区，限制房间中的气溶胶放射性水平，以便人员进入；
- 排除热机修厂房各个房间的热量和保证房间内温度要求。

4.5.4.8 电气厂房通风空调系统

电气厂房通风空调系统主要功能是为应急蓄电池室、仪控间、远程停堆站、DCS 机柜间、低压交流可靠配电间、可靠 DC-UPS 配电间、气体加热配电间、主泵配电间、电缆间、管道间、电缆通道等房间进行空气调节，排除房间内的热量，维持房间温度，保证房间内一定的换气次数，满足房间内设备的运行条件。

4.6 供电系统

4.6 供电系统

4.6.1 厂外电力系统

本项目建设于山东省威海市荣成市清华大学核能与新能源技术研究院荣成基地。基地建设两座高压变电站（单独开展环评）将两路独立的外电源接入本基地。

高压变电站除了为本项目的中压开关站供电外还承担为本基地其他建筑物供电的任务。两座变电站设置了专门的变压器为本项目提供外电源转换，并各预留一台变压器的位置为本项目二期的扩建提供未来建造空间。

每个变电站设置了 1 台 110kV 高压变压器为本项目一期供电。两个变电站的变压器分列运行，在 10kV 侧进行投切操作。单台变压器的容量均能满足本项目一期全部用电负荷供电需求。

4.6.2 正常厂用电系统

厂用电系统分为正常厂用电系统和应急电力系统两个子系统。厂用电系统是从厂外电力系统的输电线路到电气负荷之间进行配电和联接的系统。本项目中大部分非安全重要负荷直接接至正常厂用电系统，而安全重要负荷则通过应急电力系统相连接正常厂用电系统。

4.6.3 备用电力系统

本项目备用电力系统是当来自电网的正常电源不可用时，为供应电能而投入使用的包括其辅助设备和能量储存装置在内的电力系统，包括备用柴油发电机组和备用母线。

正常电源失去后，备用柴油发电机组在要求的时间内启动，为备用母线上允许一定时间供电中断的安全负荷以及安全相关负荷供电。

4.6.4 应急电力系统

本项目的应急电力系统是反应堆安全系统的组成部分，包括产生、变换电力和将电力进行分配所必需的设备。

应急电力系统是安全级系统。设备包括蓄电池组、交流不间断电源、交/直流配电设备等组成。应急电力系统正常运行时的供电电源来自备用母线。备用母线上接有

一路来自公用母线的正常电源。备用母线上还接有备用柴油发电机组作为正常电源失去以后的备用电源。

当备用母线上来自公用母线的正常电源丧失时，备用母线上连接的备用柴油发电机组还可以为应急电力系统的不间断电源装置提供备用电源。

4.7 放射性废物处理系统和源项

4.7.1 放射性源项

4.7.2 放射性废液处理系统

4.7.3 放射性废气处理系统

4.7.4 放射性固体废物处理系统及废物量

4.7.5 乏燃料暂存系统

4.7 放射性废物处理系统和源项

放射性废物处理系统主要包括放射性废液处理系统、放射性废气处理系统和放射性固体废物系统。

4.7.1 放射性源项

4.7.1.1 堆芯放射性总活度

利用 KORIGEN 程序计算堆芯放射性总量。

4.7.1.2 主回路水中及容积补偿器气空间中放射性核素的浓度

THFR 采用“池壳式”堆，反应堆堆芯及堆内构件位于压力容器内，压力容器位于反应堆水池底部，具有良好的安全性。反应堆压力容器、反应堆水池等位于安全壳内，进一步确保反应堆的安全。该堆采用轻水作为冷却剂，强迫循环冷却方式，冷却剂从上向下流动冷却堆芯。

THFR 主冷却剂系统由正常冷却回路、应急冷却回路组成。正常冷却回路由五个互相独立的环路组成（其中一个环路备用），每个环路承担 25% 的总热功率，分别由一台反应堆冷却剂泵、一台主换热器、一台五环路共用的容积补偿器、阀门和相应的管道及仪表组成。

主冷却剂自上而下流经堆芯，被堆芯燃料组件加热后的热水，向下流到下腔室。在下腔室中，冷却剂从反应堆压力容器出口流出后，从堆出口母管分别流到换热器，流经换热器后经主循环泵再汇聚到堆入口母管，最终回到反应堆压力容器入口。

反应堆冷却剂净化和容积控制系统（简称化容系统）是 THFR 重要的核辅助系统之一，具有除气、净化、补水及下泄等功能。化容系统在反应堆运行期间连续部分地抽取反应堆冷却剂进行除气、净化处理。反应堆冷却剂进入除气器，以除去反应堆冷却剂中含有的氢和溶解性废气。经过除气器后，反应堆冷却剂进入净化泵，进入阳离子交换床及阴离子交换床。冷却剂在离子交换床中除去可溶性离子杂质，并滤掉不可溶性杂质，以保证反应堆冷却剂工作在反应堆允许的水质标准内。然后，被净化后的反应堆冷却剂流体经过滤器流至反应堆冷却剂贮存水箱。反应堆冷却剂贮存水箱内水可在加压泵作用下沿回水管线返回至反应堆冷却剂系统。为平稳一回路的压力波动，并避免事故时系统压力突然下降，在堆入口母管上设置一台容积补偿器，其上部 1/3

的空间充以净化的压缩氮气。

化容系统净化回路主要由两台净化泵、两台阳离子交换床（一用一备）、两台阴离子交换床（一用一备）、一台过滤器以及相应的管道、阀门和测量仪表组成。净化回路运行时，启动一台净化泵，反应堆冷却剂从除气器进入净化泵，进入阳离子交换床及阴离子交换床。反应堆冷却剂贮存水箱内水可在加压泵作用下沿回水管线返回至反应堆冷却剂系统。

本项目的反应堆主冷却剂系统为密闭的带压回路，同时主要布置在反应堆水池内，与池水实体隔离。

反应堆正常运行工况下一回路水中放射性的主要来源有：

- （1）水及杂质元素的活化。
- （2）反应堆结构材料及回路材料腐蚀产物的活化。
- （3）燃料元件包壳破损，裂变产物从裂缝中逸出，进入一回路水中，成为一回路水中裂变产物的重要来源；
- （4）燃料元件在制造过程中表面的铀污染，在运行时产生的裂变产物会由裂变时核反冲进入一回路，成为一回路水中裂变产物的另一来源。

反应堆运行过程中，前述各种来源（产生项）的放射性核素进入一回路水中后，通过衰变、吸收中子后的转化、从水中逸入容积补偿器上部气空间、主回路水的净化、泄漏、气空间的泄漏等途径使核素不断地被去除掉，产生和去除将形成一个动态平衡。

4.7.1.3 正常运行工况下气载放射性物质向环境的释放

本项目反应堆正常运行工况下气载放射性物质向环境释放，主要来自如下几个方面：

- （1）取样监测系统定期取样监测排放；
- （2）容积补偿器上部气空间中带放射性的气体泄漏排放；
- （3）主回路水的泄漏排放；
- （4）反应堆堆舱中空气的活化；
- （5）压力容器定期开盖排放（废气处理系统的排放）；
- （6）低放废水处理后的液转气排放。

除上述反应堆正常运行工况下产生的放射性废气之外，反应堆的预计运行事件、

维修以及辐照实验可能产生的废气，也应计入到年排放量申请限值中。

因此，高通量堆总的气载流出物年排放量计算包括正常运行工况下释放量，预计运行事件产生的释放量，维修时产生的释放量，以及辐照实验产生的释放量。其中，维修时产生的释放量按照反应堆运行工况年释放量的 10%测算，辐照实验产生的年释放量难以精确估算，目前取为与反应堆正常运行工况年释放量相同。

4.7.1.4 正常运行工况下液态放射性物质向环境的释放

本项目反应堆放射性废水的主要来源是主回路和主回路水处理系统设备的泄漏水、放射性设备检修时的排放水、放射性厂房地面和设备的冲洗水、以及实验室等的排放水。被放射性污染了的工作服作固体废物处理，不进行清洗。热洗衣房产生的服务排水依靠重力经过过滤器的粗过滤后输送到监测槽中，依据取样分析结果，如果需要处理，将其送到废液处理系统进行蒸发或过滤处理；如果放射性水平低于限值，则进行复用。

本项目确定处理后废水的排放管理目标为 370Bq/L。若处理后的废水不满足排放要求，则需返回废水处理系统进一步处理，直至达到排放标准。经处理达标后的废水尽可能进行复用，作为反应堆主回路的补充水以及设备清洗和检修清洗用水。仅有部份不平衡水量才需要排放。

暂定本项目反应堆产生的低放废水经处理达标后，经液转气排放，即液态途径没有向环境排放的放射性物质。向外排水为非放射性废水（达到环境本底水平的）预留。

4.7.2 放射性废液处理系统

放射性废液处理系统用于贮存、监测和处理控制区产生的放射性废液。这类废液来源包括：

- 1) 由核疏水系统收集的各类废液（包括反应堆冷却剂系统中不能用的废液）；
- 2) 固体废物处理系统需再处理的废液等。

根据废液的放射性浓度和化学物质含量分类收集、分别处理，方法如下：

1) 工艺排水为化学杂质含量低的放射性废液，化学排水的化学杂质含量及放射性浓度均较高，总量很少，统一用蒸发工艺处理。采用外热式自然循环型蒸发器，设备去污性能好。

2) 地面排水和服务排水的放射性浓度较低，含悬浮固体和纤维物质等，可采用过滤工艺进行处理。

放射性废液处理系统组成包括工艺排水、化学排水、地面排水的处理系统和蒸发冷凝低浓度放射性废液处理及达标废液吹干系统。

放射性废液处理系统设备布置在放射性废物综合处理厂房内。电加热器、蒸发器、净化器、冷凝器位置逐步升高，便于蒸汽流通。

a. 放射性废液处理系统的正常运行由运行人员手动选择处理方式，运行人员监督运行，蒸发和过滤净化装置是自动运行的。

b. 特殊稳态运行：

在蒸发器长期不能使用、反应堆冷却剂回路中氙浓度过高情况下，废液处理系统脱气后的反应堆冷却剂排放至本系统工艺接收槽。

当废液排放系统贮槽和本系统监测槽内废液的放射性浓度高于排放允许限值时，可将废液送至本系统化学排水接收槽进行蒸发处理。

4.7.2.1 工艺排水、化学排水、地面排水的处理系统

工艺排水、化学排水分别被接收在工艺排水接收槽、化学排水接收槽内，调节 PH，混合均匀后，经蒸发装置的预过滤器去除悬浮颗粒后，进入蒸发装置中进行蒸发处理。蒸发装置由加热器、蒸发器、净化器、蒸馏液泵、蒸馏液冷却器等设备组成。

处理易起泡废液时，可将消泡剂注入蒸发器。

浓缩液送废固处理系统待固化处理。

蒸出的水蒸气经检测达到排放标准的由压缩空气夹带送入烟囱排放，检测不能达到排放标准的蒸出水蒸气经过冷凝器和冷却器后进入储槽内，送蒸发冷凝低浓度放射性废液处理及达标废液吹干系统处理。

地面排水收集在地面排水接收槽内，放射性水平很低。经混合均匀、取样分析后，确认废液的放射性水平可以直接排放时，废液经过滤处理后送排放系统待排放。

如有需要，地面排水可送往蒸发装置进行蒸发处理；化学排水和工艺排水的放射性浓度低于排放管理限值时，可经过滤器处理后送排放系统待排放。

4.7.2.2 蒸发冷凝低浓度放射性废液处理及达标废液吹干系统

蒸发冷凝液放射性已经很低，经过滤器、混床除盐器和树脂滞留过滤器除盐净化后，送至监测槽内监测，达标后，进入达标废液吹干装置。

达标废液首先收集在监测槽内，经加料泵加压，进入吹干筒。吹干筒设有液位计，根据测量液位变化情况，自动调节液位调节阀的开度，使液位保持在相对稳定的位置上；吹干筒设有夹套，夹套内设有电加热管，用于为吹干筒内废液加热，为避免废液温度过高蒸发过快夹带液滴现象发生，废液温度建议低于 60℃。空气由鼓风机加压，经电加热器加热（<60℃）后吹入吹干筒的气相空间，吹干筒内液体自然扩散进入气相空间，被吹入的空气带走，从吹干筒的上部排出进入烟囱排放。提高废液温度和吹空气的速度，都可以提高吹干速度。

4.7.3 放射性废气处理系统

放射性废气处理系统用于贮存、监测和处理控制区产生的放射性废气。废气主要由核岛和放射性废物综合处理厂房的放射性废气收集系统收集后输送到本系统。这类废气来自装有反应堆冷却剂的容器，即：反应堆冷却剂系统的稳压器泄压箱，化学和容积控制系统的容积控制箱和核疏水系统的反应堆冷却剂疏水箱。这类废气含有惰性气体（Xe、Kr）和氮气。放射性废气处理系统采用压缩储存衰变的方法降低废气的放射性浓度。贮存期满后进行分析，如符合要求即可将废气排至核辅助厂房的通风系统，由通风系统的空气稀释后排至烟囱。这类气体的危害主要是辐照。

放射性废气处理系统的建设目标是解决在系统正常运行工况和预期运行事件中产生的放射性废气的辐射问题。保证气体排放的剂量保持在可接受的范围内，避免对环境和生物产生危害。

放射性废气处理系统的主要功能是对放射性废气贮存衰变，使气体的排放剂量保持在可接受的范围内。因此该系统的技术指标是贮存衰变的贮存周期，相对应的就是衰变罐的容量。放射性气体主要组份是氮气、饱和水蒸气及放射性气体。

4.7.4 放射性固体废物处理系统及废物量

固体废物处理系统（废固）用于收集和处理机组产生的放射性的湿废物（废树脂、废活性炭和废过滤器芯）、浓缩液和干废物，将固体废物暂存，并允许进行可能的放射性衰变，用压实机压实能压缩的固体废物，然后用混凝土容器或金属桶将废物包装。

固体废物处理系统不属于与安全有关的系统，但该系统设有屏蔽，可使运行人员和公众所受到的辐照剂量不超过允许限值。另外，对各种放射性固体废物实施固化和包装，防止了放射性物质对环境的泄露。

固体废物处理系统在设计上贯彻废物最小化原则，废树脂和废活性炭用锥形干燥器烘干后装入 200L 钢桶，随后用屏蔽运输车转运至暂存库装入混凝土高完整性容器（HIC）暂存（每个 HIC 可以装一个 200L 废物桶）；废过滤器芯装入 200L 钢桶进行水泥固定，随后用屏蔽运输车转运至暂存库暂存。可压实干废物进行分拣、干燥（必要时）、剪切（必要时）、初级压实、超级压实和水泥固定处理；不可压实废物直接进行水泥固定；干废物处理后形成 200L 钢桶废物包，用专用运输车转运到暂存库暂存。在放射性废物的产生、预处理、处理、整备的全过程中体现了 ALARA 法则和放射性废物最小化有原则。

4.7.5 乏燃料暂存系统

乏燃料组件存放在乏燃料储存池的储存格架上。水池中设有净化冷却系统，使池水保持清洁；并带走组件的剩余衰变热。当前设计的乏燃料池与乏燃料储存格架，可以满足30年设计年限内乏燃料的存储需求。同时，考虑到未来乏燃料外运的可能性（如延长反应堆服役年限、开展乏燃料的相关研究等），设计并建设了乏燃料外运的设施与工具，并确定了相应的工艺流程。

4.8 非放射性废物处理系统

4.8.1 化学污染物

4.8.2 生活废物

4.8.3 其他废物

4.8 非放射性废物处理系统

4.8.1 化学污染物

本项目涉及的主要化学品有氮气、氩气、乙炔、氧气、柴油、氯化钠、氯化氢、氢氧化钠、亚硫酸氢钠、分散剂、酚羟基、磺酸基团、氨、联氨、煤油、汽油、工业酒精、丙酮。

4.8.2 生活废物

本项目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。生活垃圾应按规定收集暂存并送到指定的垃圾场处理。

本项目产生的非放射性生活污水排入市政污水管道。污水管道采用重力流排放。沿园区内部主干路敷设污水管道，排入宁馍路东侧污水主干管内。

4.8.3 其他废物

4.8.3.1 工业固废和危险废物

本项目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，危险废物包括废油漆、废化学品、废润滑油、废日光灯管、废油布、高浓度酸碱废液、有机废液和重金属废液等。

一般工业固废将委托专业废弃物公司外运处置。危险废物将委托具有相关处理资质的公司进行外运处置。

4.8.3.2 工业废水

非放生产废水的来源包括辅助系统及其它相关系统。例如，辅助系统中用于通风空调系统冷却的冷冻水系统会产生一定量的非放废水，除盐水生产系统在生产去离子水的过程中会产生一定量的非放废水，气体系统在制备压缩空气和氮气过程中产生的非放废水。本项目的非放生产废水排入市政污水管道。

4.9 放射性物质厂内运输

4.9.1 新燃料运输

4.9.2 乏燃料组件运输

4.9.3 辐照样品运输

4.9.4 放射性固体废物运输

4.9 放射性物质厂内运输

放射性物质厂内运输包括新燃料、乏燃料组件、辐照样品、辐照后设备组件/实验装置和放射性固体废物的运输。

4.9.1 新燃料运输

由 202 厂通过专门的运输车将装有新燃料组件的新燃料运输容器运至项目现场。由项目的转运车辆分批次将装有新燃料的运输容器转移至核辅助厂房（新燃料车间）。在新燃料车间内通过吊车将新燃料运输容器吊起，放置在新燃料拆箱处。

利用新燃料车间吊车打开新燃料运输容器盖，将新燃料组件从容器中取出，对燃料组件进行验收检查。不合格的组件及时检修或退回组件制造厂；验收合格的燃料组件放置在新燃料贮存格架上贮存，采用干式垂直存放。

4.9.2 乏燃料组件运输

乏燃料组件在厂区内运输流程主要步骤如下：

a) 乏燃料组件通过燃料装卸系统从反应堆卸出后先存放在反应堆大厅内乏燃料贮存池的贮存架上 6 到 12 个月；

b) 通过水下运输小车经水闸门和传输转运通道运送至乏燃料厂房内乏燃料贮存池的乏燃料贮存装置上长期贮存；

c) 乏燃料贮存池中设有净化冷却系统，通过过滤、净化和冷却设备使池水保持清洁，并带走乏燃料组件的剩余衰变热；

d) 当前设计的乏燃料贮存池与乏燃料贮存装置数量，可以满足总体对设计年限内乏燃料组件的存储需求。

考虑到未来乏燃料组件外运的可能性（如开展乏燃料的相关研究、乏燃料外运处置等），设计了乏燃料外运的设施与工具，并确定了相应的工艺流程。乏燃料组件存储在乏燃料贮存池的时间需要达到存储设计期限，裂变产物的放射性活度应低于设计限值，方可通过具有屏蔽功能的乏燃料运输容器将乏燃料组件外运。对应的外运工艺流程主要步骤如下：

a) 载有空乏燃料运输容器的专用车辆在运输车辆装载区就位；

b) 通过乏燃料厂房吊车将乏燃料运输容器转运至清洗井（准备井）内；

- c) 对运输容器进行冲洗及检查，通过乏燃料厂房容器装卸设备卸下运输容器密封盖；
- d) 通过乏燃料厂房容器吊车将运输容器转运至装载井内，装载井充水，水位达到乏燃料贮存池的水位要求时停止供水，水下照明装置应处于工作状态；
- e) 通过乏燃料厂房容器装卸设备卸下运输容器屏蔽盖，并打开装载井水闸门；
- f) 通过乏燃料厂房内的转运设备将贮存在乏燃料贮存装置上的乏燃料组件提取，经水闸门转运至装载井内，并放置在乏燃料运输容器中；在上述过程中，要保持乏燃料组件的上方至少有 3m 的屏蔽水层；
- g) 重复上述操作直至完成乏燃料运输容器的装载；
- h) 装载完毕后，关闭装载井水闸门，通过乏燃料厂房容器装卸设备重新装上运输容器屏蔽盖；装载井排水，并通过乏燃料厂房容器吊车将运输容器运回清洗井；
- i) 通过乏燃料厂房容器装卸设备重新装上运输容器密封盖，并对运输容器进行冲洗、烘干和检查；
- j) 通过乏燃料厂房容器吊车将乏燃料运输容器运送至运输车辆装载区的容器运输车上，准备发送。

4.9.3 辐照样品运输

辐照样品包括材料辐照样品、燃料辐照样品和同位素辐照样品等，它们放置在辐照容器罐（简称“辐照罐”）中。辐照罐由辐照工艺系统从反应堆卸出后，有以下两种转运流程：

（1）湿转运：

- a) 通过燃料装卸系统将卸出的辐照罐放置在水下运输小车的辐照罐固定装置上；
- b) 通过水下运输小车，经水闸门和传输转运通道将辐照罐运送至乏燃料厂房内乏燃料贮存水池，并将辐照罐运输至水池内的辐照后实验装置贮存区的格架（辐照后物品贮存格架）上暂存或长期贮存；
- c) 如有需要，可以通过乏燃料厂房转运设备提取贮存在辐照后物品贮存格架上的辐照罐，经过通向热室的转运水道将辐照罐运送至贮存冷却和转运操作小

型热室底部；通过贮存冷却和转运操作小型热室的转运设备将辐照罐由底部转运孔道提取至小型热室，并通过机械手将辐照样品从辐照罐中取出；通过贮存冷却和转运操作小型热室底部转运孔道和乏燃料厂房转运设备将可重复利用的辐照罐运回至乏燃料贮存池的辐照后物品贮存格架上贮存；

- d) 载有空同位素运输容器（运输铅罐）的专用车辆在运输车辆装载区就位；
- e) 通过乏燃料厂房容器吊车将同位素运输容器（运输铅罐）转运至清洗井内，并对同位素运输容器（运输铅罐）进行冲洗及检查；
- f) 通过乏燃料厂房轨道车将同位素运输容器（运输铅罐）转移至贮存冷却和转运操作小型热室后区运输容器接口；
- g) 通过乏燃料厂房容器装卸设备卸下同位素运输容器（运输铅罐）密封盖和屏蔽盖，将运输容器（运输铅罐）连接至贮存冷却和转运操作小型热室后区运输容器接口；可以通过贮存冷却和转运操作小型热室转运孔道将材料或燃料辐照样品运送至研究热室开展相关的操作工作，可以通过热室后区运输容器接口将操作后的辐照样品转移至同位素运输容器（运输铅罐）内；
- h) 重复上述操作直至完成同位素运输容器（运输铅罐）的装载；
- i) 装载完毕后，通过乏燃料厂房容器装卸设备重新装上同位素运输容器（运输铅罐）屏蔽盖和密封盖；
- j) 通过乏燃料厂房轨道车将同位素运输容器（运输铅罐）运回清洗井，并对运输容器（运输铅罐）进行冲洗、烘干和检查；
- k) 通过乏燃料厂房容器吊车将同位素运输容器（运输铅罐）运送至运输车辆装载区的容器运输车上，准备发送。

（2）干转运（适用于具有短衰变周期的同位素生产靶件等辐照物品）：

- a) 通过燃料装卸系统将卸出的辐照罐放置在干式运输小车的辐照罐固定装置上；
- b) 通过专用转运工具对辐照罐进行准确定位，对其进行抓取、提离，然后将辐照罐转移至转运容器（辐照罐转运容器）中，采用干式转运的方式，由贯穿反应堆大厅和乏燃料厂房的干转运通道，将辐照样品转入乏燃料厂房；
- c) 可以按需求将辐照样品转移到乏燃料厂房内的同位素干式接收间贮存；

- d) 对于需要转运操作（材料或燃料辐照样品运送至研究热室开展相关的操作工作）的同位素辐照样品，可以通过辐照罐转运设备经干式转运通道，将辐照样品转运至贮存冷却和转运操作小型热室的干式接口，随后进入小型热室开展相关的操作；随后通过上一节中湿转运步骤(d)-(k)，将其转移至同位素运输容器（运输铅罐）中，并运送至运输车辆装载区的容器运输车上，准备发送。
- e) 对于在转运容器内需要直接外运的同位素辐照样品，可以直接将其运送至运输车辆装载区的容器运输车上，准备发送。

4.9.4 辐照后设备组件/实验装置运输

辐照后设备组件/实验装置会根据研究目的、实验条件和设施的设计而有所不同，一般来说，在辐照实验结束后，如有需要对放置在反应堆内的辐照后设备组件/实验装置进行出堆转运，对应的工艺流程主要步骤如下：

- a) 通过装卸设备将辐照后设备组件/实验装置从反应堆卸出后先存放在反应堆大厅内乏燃料贮存池的贮存装置上暂存；
- b) 通过水下运输小车，经水闸门和传输转运通道将辐照后设备组件/实验装置运送至乏燃料厂房内乏燃料贮存水池的辐照后实验装置贮存区贮存装置上暂存或长期贮存；
- c) 如有需要，可以通过乏燃料厂房转运设备提取贮存在贮存架上的辐照后设备组件/实验装置，经过通向热室转运水道将辐照后设备组件/实验装置运送至贮存冷却和转运操作小型热室底部；通过贮存冷却和转运操作小型热室的转运设备将辐照后设备组件/实验装置由底部转运孔道提取至小型热室（被运输物品应满足小型热室底部转运孔道的尺寸限制），并通过机械手对辐照后设备组件/实验装置进行操作和调节；
- d) 如有需要，可以通过贮存冷却和转运操作小型热室转运孔道将辐照后设备组件和辐照后实验装置中的受试件运送至热室内开展相关的测试、分析和研究工作；
- e) 如需外运或运送至厂内机修间，可以参照 4.9.3 节 辐照样品运输方式组织外运，但在外运中应使用恰当的包装和防护，使操作人员所受辐射照射保持在

合理可达到的尽量低水平。

4.9.4 放射性固体废物运输

放射性固体废物的厂内转运将根据 ALARA 的原则，使用恰当的包装和防护，使厂区人员所受辐射照射保持在合理可达到的尽量低水平。可以通过放射性固体废物转运设备将放射性固体废物放入放射性固体废物运输容器（运输铅罐）中，经冲洗、烘干和检查后进行出厂外运。

第五章 反应堆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

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

图

图 5.1-1 宽能谱超高通量试验堆项目景观示意图

5.1 土地利用

5.1.1 陆域工程

根据国土空间规划，本项目全部位于城镇开发边界范围内。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。

5.1.2 陆域施工活动对环境的影响

宽能谱超高通量试验堆项目陆域施工活动对环境的影响主要是工程负挖、道路施工、汽车运输以及设备安装等造成的噪声、粉尘、植被破坏和水土流失等方面的影响。

5.1.2.1 噪声的影响

本项目施工过程中，厂区内和施工准备区产生噪声的活动包括场地负挖，道路平整、主厂房的建设和厂区辅助配套设施的建设，另外设备安装和汽车运输也会产生一定噪声。噪声源按无指向性点声源简化处理，点声源对外界环境的影响可用半自由声场点声源几何发散衰减公式计算。施工阶段的主要噪声污染源及其噪声级见表 5.1-1。

工程爆破为突发噪声，持续时间较短但强度较高，根据同类爆破现场，浅孔爆破时产生的瞬时噪声最高可达 130dB（A），深孔爆破时一般为 120dB（A）。钻孔作业的凿岩机、运输岩土的装载机和挖掘机、推土机等重型机械设备工作时的噪声值也较高，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。

根据上述公式，并考虑空气吸收附加衰减 0.5dB/100m，各主要噪声源等效声级影响范围见表 5.1-2。除爆破施工外，昼间各主要噪声源在距施工场地 100m 外可达到《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）中场界 70dB（A）的标准，爆破产生的瞬时噪声在 700m 处可以达到标准；夜间除爆破施工外，各主要噪声源约在 500m 外可以达到 GB12523-2025 中场界 55dB（A）的标准。声敏感建筑物集中区域不进行夜间施工，高噪声施工设备和工艺不在夜间进行，以减缓对声环境保护目标的影响。在施工过程中优先使用低噪声施工设备和施工工艺，加强进出场运输车辆管理。

距离厂址最近的居民点为 NW 方位 1.5km 的南泊村。施工噪声通过距离衰减和地

形隔离后，预计施工不会出现噪声扰民的现象。

5.1.2.2 大气的影响

本项目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、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。

在施工活动中，严格落实山东省扬尘污染防治管理办法，采取遮盖、围挡、密闭、喷洒、冲洗、绿化等防尘措施，施工工地内车行道路采取硬化等降尘措施，裸露地面铺设礁渣、细石或者其他功能相当的材料，或者采取覆盖防尘布或者防尘网等措施，保持施工场所和周围环境的清洁。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，在采取上述减少扬尘的措施后，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。

5.1.2.3 厂区生态的影响

本项目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。本项目将采取水土保持措施，并规划对整个厂区实施绿化，建造全新的人文景观，因此本项目对当地局部生态环境的影响是可以接受的。

图5.1-1给出了宽能谱超高通量试验堆项目景观恢复示意图。

5.1.2.4 使用化学物质对环境的影响

本项目施工阶段，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》（GB18597-2023）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。

5.1.2.5 施工固体废物对环境的影响

本项目建设过程中，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，建设单位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。

5.1.2.6 施工活动对社会环境的影响

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。

本项目工程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 施工阶段的主要噪声污染源及噪声级

施工期	主要声源	噪声级 dB（A）
负挖	爆破	>120
土石方	挖掘机、推土机、平地机、装载机、压路机、打桩机和摊铺机	76~105
底板和结构	混凝土输送泵、振捣机、电锯、电焊机	90~100
内部装修	电钻、电锤、手工钻、无齿锯	100~110
外部装修	升降机、吊车	65~75
交通运输	轻型载重卡车、混凝土罐车、大型载重车	75~95

表 5.1-2 各主要噪声源影响范围

单位：dB（A）

序号	噪声源名称	预测点距离（m）									GB12523-2025	
		1	5	10	50	100	200	500	1000	1500	昼间	夜间
1	爆破	130	116	110	96	90	83	74	65	59	70	55
2	土石方	105	91	85	71	65	58	49	40	34		
3	底板和结构	100	86	80	66	60	53	44	35	29		
4	内部装修	110	96	90	76	70	63	54	45	39		
5	外部装修	75	61	55	41	35	28	19	10	4		
6	交通运输	95	81	75	61	55	48	39	30	24		



宽能谱高通量试验堆项目		
环境影响报告书（选址阶段）		
宽能谱高通量试验堆项目景观示意图		
图 5.1-1	版次：	A

5.2 水的利用

5.2.1 海域工程概况

5.2.2 海域施工活动对海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

5.2 水的利用

宽能谱超高通量试验堆项目的水体利用相关工程包括：

- 海工工程：本项目新建取排水设施连接东侧海域。
- 施工用水设施：八河水库作为淡水水源。
- 水处理设施：施工期生活污水排入市政管网。

5.2.1 海域工程概况

本项目拟采用海水直流冷却方式，目前初步设计有两种方案。

方案一：

取水工程全长 1020m，取水管线从厂区水泵房出发后垂直岸边及等深线布置，取水口位于厂址东侧-6.6m 水深处（国家 85 高程），满足 DBL 水位下取水要求。取水工程设置 1 条管道，内径 1.7m，流速约 1.36m/s，一条管道设 2 根立管，立管内径 1.3m，一个立管对应一个圆柱形取水头部，直径 2m，高 1m，侧面进水，窗口流速约 0.32m/s。窗口顶高程在 DBL 水位以下 0.5m，底高程在海床标高以上 1m。

排水工程全长 2900m，参考石岛湾核电，排水口暂定在厂址东南侧-10.0m 水深处（国家 85 高程）。排水工程设置 1 条管道，内径 1.7m，排水头部设 1 根立管，立管内径 1.3m，一个立管对应一个圆柱形排水头部，直径 2m，高 1m，侧面排水，窗口流速约 0.64m/s。窗口顶高程在平均低潮位以下 0.5m，底高程在海床标高以上 1m。

取排水口距离约 1.8km。本工程排水口与石岛湾南取水明渠口门距离约 2.8km。

方案二：

由于本工程温排水量较小（约 2.73m³/s），且排水口距离取水口较远（约 1.8km），因此排水口对取水温升影响较小。方案二为了减少开挖量，考虑取排水工程并行布置，共用一个开挖基槽。

取水工程全长 1300m，取水管线从厂区水泵房出发后先沿厂外一经路平行布置至排水管线后，再转弯平行于排水管线布置，取水口位于厂址东南侧-6.6m 水深处（国家 85 高程），满足 DBL 水位下取水要求。取水工程设置 1 条管道，内径 1.7m，流速约 1.36m/s，一条管道设 2 根立管，立管内径 1.3m，一个立管对应一个圆柱形取水头部，直径 2m，高 1m，侧面进水，窗口流速约 0.32m/s。

排水工程与方案一相同。

取排水口距离约 1.8km。本工程排水口与石岛湾南取水明渠口门距离约 2.8km。

两种方案均设计在取水头部构筑物周边设置 4 座桩基墩台和一圈拦污网，拦截海生物的入侵，同时拦污网和墩台还能起到防撞、缓冲的作用，避免周边船舶误入工程海域破坏取水构筑物。拦污设施主要由墩台、主钢缆、网片、网坠、绞车、钢支架与滑轮、定位锚块等组成。

本项目循环冷却水量小，根据水工艺条件，取排水管管径为 1.7m。管径小，施工方法不适宜矿山隧洞法和盾构隧洞法。又因为工程区域基岩上覆盖层较薄，因此长距离顶管隧洞法造价显著高于开挖埋管法。本项目取排水管径小，开挖和回填工程量小，又因为开挖埋管法受地层影响小，综上所述，现阶段本项目拟采用开挖埋管法。管材拟采用 HDPE 管。

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取排水工程修建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。悬浮物影响区域主要集中在工程附近海域。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。总体上，施工引起的悬浮泥沙影响是局部的、短期的，并随着工程竣工而消失，对环境的影响较小。

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。本项目为暗取暗排，当海工工程建设完成后，可以为底栖生物提供新的生境。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少量含油废水，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收集后送至岸上处理，不得向海域排放，不会对水质环境产生影响。

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

本项目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。施工期用水为市政供水，水源为八河水库供水。

5.2.3.2 排水系统污染物排放

（1）生活污水

本项目生活污水排入市政管网。

（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。本项目施工区的含油废水由承包商处置。

（3）其它废水

施工期其它生产废水将全部回用，不外排。

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

本项目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

- 施工期间混凝土搅拌和载重车辆运输等过程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、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；
- 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。
- 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

本项目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

本项目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，为掌握本项目建设施工期间对陆域及海域环境造成影响的程度，检验本项目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，本项目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

对本项目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。初步建议监测内容如下：

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）等项目小时值。监测点位为本项目施工区上风向布设一个参照点，下风向厂界设三个点。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。监测点位为较近的村庄（南港头村、南泊村、东墩村），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声环境保护目标。厂界噪声和声环境保护目标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）。监测点位包括主厂区厂界布设四个点，声环境保护目标布 3 个点（南港头村、南泊村、东墩村）。监测频次为每季监测一次。

5.3.3.2 海域环境监测方案

本项目对海洋环境产生影响的主要海工工程为取排水管线基槽开挖和回填，以及取、排水头部工程，初步建议海域环境监测方案如下：

I.监测站位

在宽能谱超高通量试验堆项目取排水管线两侧以及取、排水头部周围设置站点，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）、底栖生物。

III. 监测频次

① 水质监测

监测项目：铜、锌、镉、铅、石油类、悬浮物（SS）、无机氮、化学需氧量（COD）、DO、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：在施工期的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。

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。

② 沉积物监测

监测项目：铜、铅、镉、石油类、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：在施工过程中每年开展一次。

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：在施工期的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。

后评估监测：施工结束后进行一次后评估监测。

第六章 反应堆运行的环境影响

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

6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

表

表 6.1-1 本项目海洋生态影响程度分级表

6.1 散热系统的环境影响

宽能谱超高通量试验堆项目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，本项目拟采用海水直流循环冷却方式。目前本项目设计了两套取排水方案，均为暗取暗排的方式，有助于温排水的垂直掺混，降低温升影响范围。

6.1.1 散热系统方案

目前本项目设计了两套取排水方案。

方案一：

方案一采用暗取暗排方案。取水工程全长 1020m，取水管线从厂区水泵房出发后垂直岸边及等深线布置，取水口位于厂址东侧-6.6m 水深处（国家 85 高程），满足 DBL 水位下取水要求。取水工程设置 1 条管道，内径 1.7m，流速约 1.36m/s，一条管道设 2 根立管，立管内径 1.3m，一个立管对应一个圆柱形取水头部，直径 2m，高 1m，侧面进水，窗口流速约 0.32m/s。窗口顶高程在 DBL 水位以下 0.5m，底高程在海床标高以上 1m。

排水工程全长 2900m，参考石岛湾核电，排水口暂定在厂址东南侧-10.0m 水深处（国家 85 高程）。排水工程设置 1 条管道，内径 1.7m，排水头部设 1 根立管，立管内径 1.3m，一个立管对应一个圆柱形排水头部，直径 2m，高 1m，侧面排水，窗口流速约 0.64m/s。窗口顶高程在平均低潮位以下 0.5m，底高程在海床标高以上 1m。

取排水口距离约 1.8km。本工程排水口与石岛湾南取水明渠口门距离约 2.8km。

方案二：

方案二为了减少开挖量，考虑取排水工程并行布置，共用一个开挖基槽。

方案二采用暗取暗排方案。取水工程全长 1300m，取水管线从厂区水泵房出发后先沿厂外一经路平行布置至排水管线后，再转弯平行于排水管线布置，取水口位于厂址东南侧-6.6m 水深处（国家 85 高程），满足 DBL 水位下取水要求。取水工程设置 1 条管道，内径 1.7m，流速约 1.36m/s，一条管道设 2 根立管，立管内径 1.3m，一个立管对应一个圆柱形取水头部，直径 2m，高 1m，侧面进水，窗口流速约 0.32m/s。

排水工程与方案一相同。

取排水口距离约 1.8km。本工程排水口与石岛湾南取水明渠口门距离约 2.8km。

取排水方案比较：

两个方案的排水工程相同，运行期环境影响相同。方案二的取水工程与排水工程共线，相对而言施工期对环境的扰动更少。从减少环境影响的角度而言方案二略优。本项目的取排水温升为 7.3°C ，循环水流量为 $3.42\text{m}^3/\text{s}$ 。

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

本项目取水量较小，取水窗口流速约 0.32m/s ，对大范围流场几乎无影响。取排水方案为暗取暗排，占用岸线少。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，不会因取排水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

6.1.2.2.1 温升影响

本项目委托中国水利水电科学研究院开展了温排水影响的初步计算，计数值模拟采用荷兰水工研究所研制的Delft3D模型，模型中选用工程海域代表性潮型计算，选取本工程海域冬、夏季实测潮（大、中、小潮）作为典型潮，并以此大、中、小潮的连续半月潮进行（冬季半月潮，2020年12月11日8:00～12月26日8:00；夏季半月潮，2021年8月4日8:00～8月19日8:00）分析计算。模型使用的资料和参数与山东石岛湾核电站扩建二期工程的温排水数值模拟一致。模拟结果表明，本项目运行后，对石岛湾核电基地（1台高温堆+2台国和一号+4台华龙一号）温排水影响范围的改变总体较小。其中 4°C 温升范围基本无影响，冬季 2°C 温升范围增加 0.27km^2 ，夏季 2°C 温升范围增加 0.07km^2 ，冬季 1°C 温升范围增加 1.07km^2 ，夏季 1°C 温升范围增加 0.5km^2 。 4°C 温升范围位于混合区内，夏季 1°C 温升和冬季 2°C 温升范围位于近岸海域环境功能区划的三类环境功能区内。

6.1.2.2.2 温排水影响评价

由于本项目运行对海域温升影响较小，采用石岛湾核电基地（1台高温堆+2台国和一号+4台华龙一号）的温升模拟结果进行评价。

（2）与国土空间规划和生态环境分区管控方案的关系

根据威海市生态环境分区管控方案（2023年）中管控单元分布及管控要求，本项

目海工位于荣成宁津工矿通信用海区（编码HY37100020010），为重点管控单元，空间布局约束要求：1.1基本功能为工矿通信功能，基本功能未利用时兼容渔业等功能。严控围填海规模，保障核电用海需要。严格控制温排水影响范围，避免对周边养殖用海产生不利影响。工矿通信功能启用前，需协调好已有合法养殖活动。污染物排放管控要求：2.1禁止向海域排放油类、酸液、碱液、剧毒废液和高、中水平放射性废水。严格限制向海域排放低水平放射性废水；确需排放，必须严格执行国家辐射防护规定。环境风险防控要求：3.1加强海洋环境影响跟踪监测，密切关注海洋环境变化。3.2强化对核电站附近海域的环境监管，确保企业严格落实环境保护要求。资源开发效率要求：4.1科学布局占用海岸带的建设项目，合理控制建设项目规模，提高利用效率。4.2允许适度改变海域自然属性，领海基点及周围海域禁止开发。本项目与该环境管控单元的管控要求总体相符。

根据《荣成市国土空间规划（2021—2035年）》，本项目海工工程位于荣成宁津工矿通信用海区。1℃温升区位于荣成宁津工矿通信用海区内。

根据规划中的表 12 海洋功能分区登记表，荣成宁津工矿通信用海区的空间用途准入：基本功能为工矿通信功能，基本功能未利用时兼容渔业等功能。严控围填海规模，保障核电用海需要。严格控制温排水影响范围，避免对周边养殖用海产生不利影响。工矿通信功能启用前，需协调好已有合法养殖活动。开发利用方式：允许适度改变海域自然属性，领海基点及周围海域禁止开发。海域保护修复：优化海岸景观设计，按国家相关要求清除核电周围及温排水海域养殖。生态保护重点目标：海洋水文动力环境。

本项目海工工程主要为海底管道，工程量较小，基本不改变海域自然属性，海工工程距离领海基点较远，对领海基点没有影响。海工工程对海洋水文动力环境不产生明显影响。本项目温排水对石岛湾核电基地温排水影响范围造成的变化较小。综上分析，本项目总体符合国土空间规划要求。

（3）与生态保护红线、海洋生态控制区、无居民海岛的关系

根据国土空间规划和生态环境分区管控方案，本项目附近生态保护红线、海洋生态控制区、无居民海岛主要有：

- 一 离海工工程最近的生态红线为镆铎岛重要滩涂及浅海水域生态保护红线，最近处位于本项目排水口南侧约 1.2km 处。空间布局约束要求为：生态保护红线内，自

然保护地核心保护区原则上禁止人为活动，其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动。本项目符合上述管控要求。本项目排水口距生态红线保护区较远，本项目 1°C 温升范围不会进入附近的生态红线。

- 本项目排水口东北侧约 3km 处为宁津海洋生态控制区，其空间布局约束要求为：
 - 1.1 保护领海基点海岛，禁止在领海基点保护范围内从事建设活动以及其他可能改变该区域地形、地貌的活动。污染物排放管控要求为：2.1 海水水质不设水温管控目标，其余因子不劣于三类标准；海洋沉积物质量和海洋生物质量均不劣于二类标准。环境风险防控要求为：3.1 禁止炸礁、围填海、填海连岛、采挖海砂等可能造成海岛生态系统破坏及自然地形、地貌改变的活动。资源开发效率要求为：4.1 严格限制海洋开发建设活动。严格限制改变海域自然属性。允许温排水对海域自然属性影响较小的用海方式。本项目运行期的影响均符合上述管控要求。
- 厂址附近的无居民海岛：老铁石、北帽子、东山号岛、黑石岛、东南江均列为生态保护类海岛。本项目海工工程距上述无居民海岛最近距离约 3.5km，本项目运行期对上述无居民海岛均无影响。

6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

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

6.1.3.1 取排水系统对水体水生生物的影响

取水系统对生物影响主要表现为取水的卷载及卷塞，即水生物随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。

卷塞是冷却水进入冷却系统时被拦截在滤网等装置上导致的生物伤害或死亡的物理现象，其与取水口位置、取水口流速、过网流速有关。由于取水明渠口门处通常设有拦污网，取水口进水窗设耐海水粗栏污栅，游泳生物在拦污栅、旋转滤网处因卷塞

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塞造成的死亡。

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而产生卷载，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。

在取水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卷载损失。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，本项目取水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

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。当受纳水域温度升高时，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℃ 时，生长不会被抑制或造成死亡。根据厂址水温连续观测资料统计结果，厂址附近海域水温一般在 25℃ 以下、最高不超过 30℃，考虑到温排水的高温升区影响范围很小，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，其他季节温排水排入受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。

（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。

厂址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。本项目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，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

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。

本项目温排水对石岛湾核电基地温排水影响范围造成的变化较小。石岛湾核电基地将按照与当地政府已签订的补偿框架协议协调解决。

（5）温排水对保护生物的影响

本项目半径 10km 范围内无国家级水产种质资源保护区分布，不涉及种质资源保护区。

（6）温排水对海洋生态影响程度分级

根据上述分析，结合 HJ1409-2025 附录 F 海洋生态影响程度划分表，给出了本项目海洋生态影响程度分级表及划定依据，见表 6.1-1。本项目运行对场址附近海域生物多样性影响是较有限的，经分析，本项目对厂址附近海域生态敏感区、生物资源、重要物种和特殊生境的影响程度为弱。

（7）减少散热系统对海洋生物影响的措施

基于取排水方案的比选论证，采用优化比选后的散热系统减小温排水影响，可有效改善海洋生态环境。

表 6.1-1 本项目海洋生态影响程度分级表

影响要素	影响程度	判定依据
生态敏感区	弱	工程未占用、损害或阻隔海洋生态敏感区，施工期和运营期对周边的海洋生态红线产生影响很小。
生物资源	弱	本工程附近海域没有重要水生生物“三场一通道”，工程施工和运营期间温排水会对工程海域的生物资源造成轻微损害，生产能力略受损害。
重要物种	弱	工程施工和运营期间温排水会导致生物数量和种群规模略有减小，工程占用和温排水高温升区会间接干扰重要物种生境，使其活动空间略有受限。
特殊生境	弱	本工程附近特殊生境距离场址较远。本工程海工施工无明显影响，运营期温排水对特殊生境无明显不利影响。

6.2 正常运行的辐射影响

6.2.1 照射途径

6.2.2 释放源项

6.2.3 计算模式

6.2.4 辐射剂量计算

6.2.5 辐射影响评价

表

表6.2-1 厂址长期大气弥散因子

表6.2-2 厂址长期地面干沉积因子

表6.2-3 厂址长期地面湿沉积因子

表6.2-4 高通量堆对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量

表6.2-5 高通量堆对各子区公众个人（青少年）造成的有效剂量

表6.2-6 高通量堆对各子区公众个人（儿童）造成的有效剂量

表6.2-7 高通量堆对各子区公众个人（婴儿）造成的有效剂量

表6.2-8 高通量堆造成各子区公众集体有效剂量

表6.2-9 各放射性核素通过各途径对关键人群组造成的有效剂量

图

图6.2-1 气态照射途径

6.2 正常运行的环境影响

6.2.1 照射途径

本项目评价子区按照 0~1km、1~2km、2~3km、3~5km、5~10km、10~20km、20~30km、30~40km、40~50km 九个距离 16 个方位进行划分。

本项目中高通量堆在运行过程中会释放部分惰性气体、放射性粒子等，通过烟囱释放入环境；本项目反应堆产生的低放废水经处理达标后，经液转气排放，即液态途径没有向环境排放的放射性物质。因此，对公众的辐射环境影响评价主要考虑气载放射性物质排放的影响，计算中主要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。

图 6.2-1 给出了气载放射性流出物排放对场址周围公众造成辐射的途径示意图。

6.2.2 释放源项

采用高通量堆向环境排放的年度放射性源项。

6.2.3 计算模式

6.2.3.1 大气弥散和地面沉积

根据核安全导则 HAD101/02 推荐高斯直线烟羽扩散模型，采用石岛湾场址气象塔 2022 年 7 月到 2023 年 6 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，计算场址区域的长期大气弥散因子和地面沉积因子，本项目烟囱释放高度为 40m，烟囱内径 1.9m，周围最高建筑物为 35m，排风速率保守取 0m/s，因此排放模式为地面排放模式。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。

本项目厂址均位于山东省威海市荣成市，本次评价选取的气象参证站为石岛湾核电站厂址气象观测系统。本阶段采用石岛湾核电站厂址气象观测系统 2022 年 7 月到 2023 年 6 月一个整年的逐时气象观测数据估算厂址的长期大气弥散因子以及长期地面沉积

因子。

根据上述模型和气象数据，表 6.2-1、表 6.2-2 和表 6.2-3 分别列出了厂址半径 80km 范围各子区部分放射性核素的长期大气弥散因子（ ^{14}C 、 ^3H 、 ^{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 ）。

6.2.3.2 剂量计算模式

正常运行状态下，气载放射性流出物通过空气浸没外照射、地面沉积外照射、吸入空气内照射、食入陆生食品内照射等照射途径对公众造成辐射剂量。

6.2.4 辐射剂量计算

6.2.4.1 公众个人剂量与集体剂量

根据以上剂量计算模式和参数，表 6.2-4~表 6.2-8 给出了本项目气载放射性流出物排放造成场址半径 50km 范围内各子区中各年龄段（成人、青少年、儿童、婴儿）公众个人造成的辐射剂量估算结果和集体剂量估算结果。

从表中可以看出，本项目气载放射性流出物排放对各年龄段公众造成的受照剂量最大的子区均为 SSE 方位 2~3km 子区，分别对该子区成人、青少年、儿童和婴儿组公众个人造成的剂量为 $4.24 \times 10^{-7}\text{Sv/a}$ 、 $4.08 \times 10^{-7}\text{Sv/a}$ 、 $3.19 \times 10^{-7}\text{Sv/a}$ 和 $2.76 \times 10^{-7}\text{Sv/a}$ ，其中成人组公众为最大受照年龄组。本项目气载放射性流出物排放对周边公众造成的集体剂量为 $1.40\text{E-02 人} \cdot \text{Sv/年}$ 。

6.2.4.2 三关键分析

通过上述分析，本项目正常运行气载放射性流出物释放对场址 SSE 方位 2~3km 子区后海崖渔民的成人组公众造成的年受照剂量最大，为 $4.31 \times 10^{-7}\text{Sv/a}$ ，同时考虑到场址附近在气载放射性物质辐射途径上未发现其他特殊生活习性，因此，将场址 SSE 方位 2~3km 子区后海崖渔民的成人组公众作为受辐射影响可能的关键人群组。表 6.2-9 给出了各放射性核素通过各途径对关键人群组（SSE 方位 2~3km 子区后海崖的成人组公众）造成的有效剂量。

由表可以看出：

— 可能的关键照射途径为食入陆生食品内照射途径，对关键人群组个人造成的

有效剂量为 $3.34 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，占个人总有效剂量的 77.51%，其他重要照射途径为吸入空气内照射途径，对关键人群组个人造成的有效剂量为 $5.34 \times 10^{-8} \text{Sv/a}$ ，占个人总有效剂量的 12.38%；

- 可能的关键核素为 ^{14}C ，对关键人群组个人造成的有效剂量为 $3.08 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，占个人总有效剂量的 71.46%，其他重要核素有 ^3H 和 ^{88}Kr ，对关键人群组造成的有效剂量分别为 $7.73 \times 10^{-8} \text{Sv/a}$ 和 $2.19 \times 10^{-8} \text{Sv/a}$ ，分别占个人总有效剂量的 17.91%和 5.08%；
- 关键人群组个人受到的有效剂量为 $4.31 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，占本项目剂量约束值（0.01mSv）的 4.31%，满足剂量约束的要求。

6.2.5 辐射影响评价

通过上述计算和分析，本项目正常运行状态下，气载放射性流出物排放造成公众最大有效剂量为 $4.24 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，为位于场址 SSE 方位 2~3km 子区的成人组一般公众，占本项目剂量约束值（0.01mSv）的 4.24%，满足剂量约束的要求。

同时，该人群也是可能的关键居民组，需要关注的关键照射途径为食入陆生食品内照射途径，其他重要照射途径为地面沉积外照射途径。需要关注的关键核素为 ^{14}C ，其他重要核素有 ^3H 和 ^{88}Kr 。

表 6.2-1 (1/5)

厂址长期大气弥散因子 (^{14}C)单位: s/m^3

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50
N	3.82E-06	1.35E-06	6.27E-07	3.20E-07	1.35E-07	5.32E-08	2.74E-08	1.79E-08	1.31E-08
NNE	3.24E-06	1.10E-06	4.95E-07	2.47E-07	1.01E-07	3.97E-08	2.09E-08	1.40E-08	1.04E-08
NE	5.77E-06	2.00E-06	9.02E-07	4.52E-07	1.86E-07	7.28E-08	3.80E-08	2.52E-08	1.86E-08
ENE	3.51E-06	1.26E-06	5.86E-07	3.00E-07	1.26E-07	4.94E-08	2.53E-08	1.65E-08	1.21E-08
E	6.01E-06	2.19E-06	1.04E-06	5.36E-07	2.27E-07	8.93E-08	4.53E-08	2.94E-08	2.13E-08
ESE	4.75E-06	1.73E-06	8.12E-07	4.19E-07	1.77E-07	6.94E-08	3.54E-08	2.30E-08	1.67E-08
SE	7.50E-06	2.71E-06	1.27E-06	6.50E-07	2.73E-07	1.07E-07	5.45E-08	3.54E-08	2.57E-08
SSE	7.16E-06	2.59E-06	1.21E-06	6.23E-07	2.62E-07	1.03E-07	5.25E-08	3.41E-08	2.48E-08
S	6.95E-06	2.50E-06	1.17E-06	5.98E-07	2.51E-07	9.88E-08	5.06E-08	3.31E-08	2.41E-08
SSW	4.30E-06	1.52E-06	7.00E-07	3.56E-07	1.48E-07	5.82E-08	3.01E-08	1.98E-08	1.46E-08
SW	3.72E-06	1.28E-06	5.78E-07	2.90E-07	1.20E-07	4.70E-08	2.46E-08	1.64E-08	1.21E-08
WSW	2.17E-06	7.35E-07	3.31E-07	1.66E-07	6.84E-08	2.70E-08	1.43E-08	9.55E-09	7.10E-09
W	1.90E-06	6.56E-07	2.99E-07	1.51E-07	6.31E-08	2.49E-08	1.30E-08	8.62E-09	6.37E-09
WNW	1.61E-06	5.52E-07	2.50E-07	1.26E-07	5.23E-08	2.06E-08	1.08E-08	7.19E-09	5.32E-09
NW	1.82E-06	6.05E-07	2.68E-07	1.33E-07	5.42E-08	2.13E-08	1.14E-08	7.69E-09	5.75E-09
NNW	1.42E-06	4.84E-07	2.19E-07	1.10E-07	4.59E-08	1.82E-08	9.52E-09	6.35E-09	4.70E-09

表 6.2-1 (2/5)

厂址长期大气弥散因子 (^3H)单位: s/m^3

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50
N	3.82E-06	1.35E-06	6.27E-07	3.20E-07	1.35E-07	5.32E-08	2.74E-08	1.79E-08	1.31E-08
NNE	3.24E-06	1.10E-06	4.95E-07	2.47E-07	1.01E-07	3.97E-08	2.09E-08	1.40E-08	1.04E-08
NE	5.77E-06	2.00E-06	9.02E-07	4.52E-07	1.86E-07	7.28E-08	3.80E-08	2.52E-08	1.86E-08
ENE	3.51E-06	1.26E-06	5.86E-07	3.00E-07	1.26E-07	4.94E-08	2.53E-08	1.65E-08	1.21E-08
E	6.01E-06	2.19E-06	1.04E-06	5.36E-07	2.27E-07	8.93E-08	4.53E-08	2.94E-08	2.13E-08
ESE	4.75E-06	1.73E-06	8.12E-07	4.19E-07	1.77E-07	6.94E-08	3.54E-08	2.30E-08	1.67E-08
SE	7.50E-06	2.71E-06	1.27E-06	6.50E-07	2.73E-07	1.07E-07	5.45E-08	3.54E-08	2.57E-08
SSE	7.16E-06	2.59E-06	1.21E-06	6.23E-07	2.62E-07	1.03E-07	5.25E-08	3.41E-08	2.48E-08
S	6.95E-06	2.50E-06	1.17E-06	5.98E-07	2.51E-07	9.88E-08	5.06E-08	3.31E-08	2.41E-08
SSW	4.30E-06	1.52E-06	7.00E-07	3.56E-07	1.48E-07	5.82E-08	3.01E-08	1.98E-08	1.46E-08
SW	3.72E-06	1.28E-06	5.78E-07	2.90E-07	1.20E-07	4.69E-08	2.46E-08	1.64E-08	1.21E-08
WSW	2.17E-06	7.35E-07	3.31E-07	1.66E-07	6.84E-08	2.70E-08	1.43E-08	9.55E-09	7.10E-09
W	1.90E-06	6.56E-07	2.99E-07	1.51E-07	6.31E-08	2.49E-08	1.30E-08	8.62E-09	6.37E-09
WNW	1.61E-06	5.52E-07	2.50E-07	1.26E-07	5.23E-08	2.06E-08	1.08E-08	7.19E-09	5.32E-09
NW	1.82E-06	6.05E-07	2.68E-07	1.33E-07	5.42E-08	2.13E-08	1.14E-08	7.69E-09	5.75E-09
NNW	1.42E-06	4.84E-07	2.19E-07	1.10E-07	4.59E-08	1.82E-08	9.52E-09	6.35E-09	4.70E-09

表 6.2-1 (3/5)

厂址长期大气弥散因子 (^{85}Kr)单位: s/m^3

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50
N	3.82E-06	1.35E-06	6.27E-07	3.20E-07	1.35E-07	5.32E-08	2.74E-08	1.79E-08	1.31E-08
NNE	3.24E-06	1.10E-06	4.95E-07	2.47E-07	1.01E-07	3.97E-08	2.09E-08	1.40E-08	1.04E-08
NE	5.77E-06	2.00E-06	9.02E-07	4.52E-07	1.86E-07	7.28E-08	3.80E-08	2.52E-08	1.86E-08
ENE	3.51E-06	1.26E-06	5.86E-07	3.00E-07	1.26E-07	4.94E-08	2.53E-08	1.65E-08	1.21E-08
E	6.01E-06	2.19E-06	1.04E-06	5.36E-07	2.27E-07	8.93E-08	4.53E-08	2.94E-08	2.13E-08
ESE	4.75E-06	1.73E-06	8.12E-07	4.19E-07	1.77E-07	6.94E-08	3.54E-08	2.30E-08	1.67E-08
SE	7.50E-06	2.71E-06	1.27E-06	6.50E-07	2.73E-07	1.07E-07	5.45E-08	3.54E-08	2.57E-08
SSE	7.16E-06	2.59E-06	1.21E-06	6.23E-07	2.62E-07	1.03E-07	5.25E-08	3.41E-08	2.48E-08
S	6.95E-06	2.50E-06	1.17E-06	5.98E-07	2.51E-07	9.88E-08	5.06E-08	3.31E-08	2.41E-08
SSW	4.30E-06	1.52E-06	7.00E-07	3.56E-07	1.48E-07	5.82E-08	3.01E-08	1.98E-08	1.46E-08
SW	3.72E-06	1.28E-06	5.78E-07	2.90E-07	1.20E-07	4.69E-08	2.46E-08	1.64E-08	1.21E-08
WSW	2.17E-06	7.35E-07	3.31E-07	1.66E-07	6.84E-08	2.70E-08	1.43E-08	9.55E-09	7.10E-09
W	1.90E-06	6.56E-07	2.99E-07	1.51E-07	6.31E-08	2.49E-08	1.30E-08	8.62E-09	6.37E-09
WNW	1.61E-06	5.52E-07	2.50E-07	1.26E-07	5.23E-08	2.06E-08	1.08E-08	7.19E-09	5.32E-09
NW	1.82E-06	6.05E-07	2.68E-07	1.33E-07	5.42E-08	2.13E-08	1.14E-08	7.69E-09	5.75E-09
NNW	1.42E-06	4.84E-07	2.19E-07	1.10E-07	4.59E-08	1.81E-08	9.52E-09	6.35E-09	4.70E-09

表 6.2-1 (4/5)

厂址长期大气弥散因子 (^{60}Co)单位: s/m^3

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50
N	3.63E-06	1.21E-06	5.23E-07	2.47E-07	9.07E-08	2.89E-08	1.19E-08	6.63E-09	4.27E-09
NNE	3.12E-06	1.02E-06	4.32E-07	2.03E-07	7.54E-08	2.54E-08	1.17E-08	7.16E-09	4.99E-09
NE	5.57E-06	1.84E-06	7.93E-07	3.75E-07	1.40E-07	4.72E-08	2.15E-08	1.30E-08	8.96E-09
ENE	3.36E-06	1.14E-06	5.00E-07	2.39E-07	8.86E-08	2.85E-08	1.19E-08	6.71E-09	4.34E-09
E	5.72E-06	1.97E-06	8.74E-07	4.20E-07	1.56E-07	4.94E-08	1.98E-08	1.06E-08	6.54E-09
ESE	4.51E-06	1.54E-06	6.79E-07	3.24E-07	1.20E-07	3.79E-08	1.53E-08	8.31E-09	5.21E-09
SE	7.19E-06	2.47E-06	1.09E-06	5.24E-07	1.96E-07	6.35E-08	2.65E-08	1.48E-08	9.41E-09
SSE	6.85E-06	2.35E-06	1.04E-06	4.99E-07	1.86E-07	6.04E-08	2.52E-08	1.40E-08	8.98E-09
S	6.60E-06	2.25E-06	9.86E-07	4.72E-07	1.76E-07	5.67E-08	2.36E-08	1.32E-08	8.44E-09
SSW	4.09E-06	1.37E-06	5.93E-07	2.81E-07	1.04E-07	3.37E-08	1.44E-08	8.29E-09	5.48E-09
SW	3.51E-06	1.13E-06	4.79E-07	2.23E-07	8.11E-08	2.63E-08	1.15E-08	6.78E-09	4.57E-09
WSW	2.03E-06	6.42E-07	2.68E-07	1.24E-07	4.48E-08	1.44E-08	6.22E-09	3.64E-09	2.45E-09
W	1.76E-06	5.65E-07	2.37E-07	1.09E-07	3.92E-08	1.22E-08	5.09E-09	2.88E-09	1.89E-09
WNW	1.52E-06	4.88E-07	2.06E-07	9.52E-08	3.42E-08	1.09E-08	4.66E-09	2.72E-09	1.83E-09
NW	1.74E-06	5.46E-07	2.27E-07	1.05E-07	3.85E-08	1.29E-08	5.98E-09	3.69E-09	2.59E-09
NNW	1.36E-06	4.39E-07	1.87E-07	8.81E-08	3.26E-08	1.09E-08	4.85E-09	2.91E-09	1.99E-09

表 6.2-1 (5/5)

厂址长期大气弥散因子 (^{131}I)单位: s/m^3

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50
N	1.96E-06	3.55E-07	8.78E-08	2.83E-08	7.51E-09	2.28E-09	1.10E-09	7.17E-10	5.25E-10
NNE	2.06E-06	4.54E-07	1.37E-07	4.99E-08	1.43E-08	4.19E-09	1.92E-09	1.20E-09	8.53E-10
NE	3.69E-06	8.37E-07	2.54E-07	9.17E-08	2.54E-08	7.04E-09	3.10E-09	1.90E-09	1.33E-09
ENE	1.94E-06	3.85E-07	1.01E-07	3.29E-08	8.08E-09	2.01E-09	8.42E-10	5.06E-10	3.48E-10
E	3.07E-06	5.62E-07	1.31E-07	3.77E-08	7.86E-09	1.64E-09	6.30E-10	3.67E-10	2.49E-10
ESE	2.40E-06	4.43E-07	1.07E-07	3.28E-08	7.44E-09	1.70E-09	6.78E-10	4.00E-10	2.72E-10
SE	4.16E-06	8.39E-07	2.22E-07	7.18E-08	1.69E-08	3.81E-09	1.47E-09	8.59E-10	5.84E-10
SSE	3.93E-06	7.87E-07	2.07E-07	6.59E-08	1.54E-08	3.50E-09	1.39E-09	8.24E-10	5.64E-10
S	3.77E-06	7.38E-07	1.90E-07	6.01E-08	1.44E-08	3.56E-09	1.52E-09	9.24E-10	6.43E-10
SSW	2.43E-06	4.91E-07	1.33E-07	4.46E-08	1.15E-08	3.11E-09	1.38E-09	8.57E-10	6.04E-10
SW	2.16E-06	4.41E-07	1.24E-07	4.28E-08	1.17E-08	3.38E-09	1.57E-09	1.00E-09	7.22E-10
WSW	1.20E-06	2.21E-07	5.66E-08	1.88E-08	5.25E-09	1.74E-09	8.83E-10	5.88E-10	4.37E-10
W	9.57E-07	1.69E-07	4.16E-08	1.35E-08	3.62E-09	1.14E-09	5.65E-10	3.74E-10	2.77E-10
WNW	8.39E-07	1.56E-07	4.17E-08	1.45E-08	4.18E-09	1.33E-09	6.52E-10	4.25E-10	3.12E-10
NW	1.13E-06	2.31E-07	6.59E-08	2.33E-08	6.65E-09	2.05E-09	9.79E-10	6.30E-10	4.59E-10
NNW	8.18E-07	1.60E-07	4.35E-08	1.50E-08	4.26E-09	1.36E-09	6.73E-10	4.41E-10	3.25E-10

表 6.2-2 (1/2)

厂址长期地面干沉积因子 (^{60}Co)单位: $1/\text{m}^2$

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50
N	7.26E-09	2.42E-09	1.05E-09	4.95E-10	1.81E-10	5.77E-11	2.38E-11	1.33E-11	8.54E-12
NNE	6.25E-09	2.03E-09	8.65E-10	4.06E-10	1.51E-10	5.08E-11	2.34E-11	1.43E-11	9.97E-12
NE	1.11E-08	3.69E-09	1.59E-09	7.50E-10	2.80E-10	9.43E-11	4.30E-11	2.60E-11	1.79E-11
ENE	6.72E-09	2.28E-09	9.99E-10	4.77E-10	1.77E-10	5.70E-11	2.39E-11	1.34E-11	8.68E-12
E	1.14E-08	3.94E-09	1.75E-09	8.40E-10	3.12E-10	9.89E-11	3.96E-11	2.12E-11	1.31E-11
ESE	9.02E-09	3.09E-09	1.36E-09	6.49E-10	2.40E-10	7.57E-11	3.06E-11	1.66E-11	1.04E-11
SE	1.44E-08	4.93E-09	2.18E-09	1.05E-09	3.92E-10	1.27E-10	5.30E-11	2.95E-11	1.88E-11
SSE	1.37E-08	4.69E-09	2.07E-09	9.97E-10	3.73E-10	1.21E-10	5.03E-11	2.81E-11	1.80E-11
S	1.32E-08	4.49E-09	1.97E-09	9.45E-10	3.52E-10	1.13E-10	4.72E-11	2.63E-11	1.69E-11
SSW	8.18E-09	2.73E-09	1.19E-09	5.63E-10	2.08E-10	6.74E-11	2.88E-11	1.66E-11	1.10E-11
SW	7.02E-09	2.27E-09	9.59E-10	4.46E-10	1.62E-10	5.26E-11	2.30E-11	1.36E-11	9.15E-12
WSW	4.06E-09	1.28E-09	5.37E-10	2.48E-10	8.97E-11	2.88E-11	1.24E-11	7.29E-12	4.90E-12
W	3.53E-09	1.13E-09	4.74E-10	2.19E-10	7.83E-11	2.45E-11	1.02E-11	5.76E-12	3.78E-12
WNW	3.05E-09	9.76E-10	4.11E-10	1.90E-10	6.85E-11	2.17E-11	9.31E-12	5.44E-12	3.66E-12
NW	3.48E-09	1.09E-09	4.55E-10	2.11E-10	7.70E-11	2.58E-11	1.20E-11	7.39E-12	5.17E-12
NNW	2.72E-09	8.77E-10	3.74E-10	1.76E-10	6.53E-11	2.17E-11	9.70E-12	5.81E-12	3.98E-12

表 6.2-2 (2/2)

厂址长期地面干沉积因子 (^{131}I)单位: $1/\text{m}^2$

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50
N	6.27E-08	1.14E-08	2.81E-09	9.05E-10	2.40E-10	7.30E-11	3.53E-11	2.30E-11	1.68E-11
NNE	6.58E-08	1.45E-08	4.39E-09	1.60E-09	4.57E-10	1.34E-10	6.15E-11	3.85E-11	2.73E-11
NE	1.18E-07	2.68E-08	8.12E-09	2.94E-09	8.14E-10	2.25E-10	9.91E-11	6.08E-11	4.25E-11
ENE	6.20E-08	1.23E-08	3.24E-09	1.05E-09	2.58E-10	6.43E-11	2.70E-11	1.62E-11	1.11E-11
E	9.83E-08	1.80E-08	4.18E-09	1.21E-09	2.51E-10	5.26E-11	2.02E-11	1.17E-11	7.96E-12
ESE	7.68E-08	1.42E-08	3.44E-09	1.05E-09	2.38E-10	5.43E-11	2.17E-11	1.28E-11	8.70E-12
SE	1.33E-07	2.68E-08	7.11E-09	2.30E-09	5.42E-10	1.22E-10	4.71E-11	2.75E-11	1.87E-11
SSE	1.26E-07	2.52E-08	6.61E-09	2.11E-09	4.92E-10	1.12E-10	4.46E-11	2.64E-11	1.80E-11
S	1.21E-07	2.36E-08	6.07E-09	1.92E-09	4.61E-10	1.14E-10	4.86E-11	2.96E-11	2.06E-11
SSW	7.76E-08	1.57E-08	4.27E-09	1.43E-09	3.69E-10	9.95E-11	4.43E-11	2.74E-11	1.93E-11
SW	6.90E-08	1.41E-08	3.95E-09	1.37E-09	3.73E-10	1.08E-10	5.03E-11	3.20E-11	2.31E-11
WSW	3.83E-08	7.09E-09	1.81E-09	6.01E-10	1.68E-10	5.56E-11	2.83E-11	1.88E-11	1.40E-11
W	3.06E-08	5.40E-09	1.33E-09	4.31E-10	1.16E-10	3.63E-11	1.81E-11	1.20E-11	8.87E-12
WNW	2.69E-08	4.98E-09	1.33E-09	4.64E-10	1.34E-10	4.27E-11	2.09E-11	1.36E-11	9.98E-12
NW	3.61E-08	7.41E-09	2.11E-09	7.46E-10	2.13E-10	6.55E-11	3.13E-11	2.02E-11	1.47E-11
NNW	2.62E-08	5.11E-09	1.39E-09	4.80E-10	1.36E-10	4.35E-11	2.15E-11	1.41E-11	1.04E-11

表 6.2-3 (1/2)

厂址长期地面湿沉积因子 (^{60}Co)单位: $1/\text{m}^2$

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50
N	7.60E-10	3.80E-10	2.28E-10	1.42E-10	7.60E-11	3.80E-11	2.28E-11	1.63E-11	1.27E-11
NNE	6.81E-10	3.40E-10	2.04E-10	1.28E-10	6.81E-11	3.40E-11	2.04E-11	1.46E-11	1.13E-11
NE	9.14E-10	4.57E-10	2.74E-10	1.71E-10	9.14E-11	4.57E-11	2.74E-11	1.96E-11	1.52E-11
ENE	4.06E-10	2.03E-10	1.22E-10	7.61E-11	4.06E-11	2.03E-11	1.22E-11	8.69E-12	6.76E-12
E	1.11E-09	5.53E-10	3.32E-10	2.07E-10	1.11E-10	5.53E-11	3.32E-11	2.37E-11	1.84E-11
ESE	2.97E-10	1.49E-10	8.92E-11	5.58E-11	2.97E-11	1.49E-11	8.92E-12	6.37E-12	4.96E-12
SE	8.95E-11	4.47E-11	2.68E-11	1.68E-11	8.95E-12	4.47E-12	2.68E-12	1.92E-12	1.49E-12
SSE	6.27E-10	3.14E-10	1.88E-10	1.18E-10	6.27E-11	3.14E-11	1.88E-11	1.34E-11	1.05E-11
S	3.03E-09	1.52E-09	9.10E-10	5.69E-10	3.03E-10	1.52E-10	9.10E-11	6.50E-11	5.06E-11
SSW	2.16E-09	1.08E-09	6.48E-10	4.05E-10	2.16E-10	1.08E-10	6.48E-11	4.63E-11	3.60E-11
SW	7.89E-09	3.94E-09	2.37E-09	1.48E-09	7.89E-10	3.94E-10	2.37E-10	1.69E-10	1.31E-10
WSW	4.84E-09	2.42E-09	1.45E-09	9.07E-10	4.84E-10	2.42E-10	1.45E-10	1.04E-10	8.06E-11
W	2.92E-09	1.46E-09	8.77E-10	5.48E-10	2.92E-10	1.46E-10	8.77E-11	6.27E-11	4.87E-11
WNW	9.35E-10	4.68E-10	2.81E-10	1.75E-10	9.35E-11	4.68E-11	2.81E-11	2.00E-11	1.56E-11
NW	2.82E-09	1.41E-09	8.46E-10	5.29E-10	2.82E-10	1.41E-10	8.46E-11	6.05E-11	4.70E-11
NNW	4.88E-10	2.44E-10	1.46E-10	9.15E-11	4.88E-11	2.44E-11	1.46E-11	1.05E-11	8.13E-12

表 6.2-3 (2/2)

厂址长期地面湿沉积因子 (^{131}I)单位: $1/\text{m}^2$

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50
N	5.22E-10	2.61E-10	1.57E-10	9.79E-11	5.22E-11	2.61E-11	1.57E-11	1.12E-11	8.71E-12
NNE	4.68E-10	2.34E-10	1.40E-10	8.78E-11	4.68E-11	2.34E-11	1.40E-11	1.00E-11	7.80E-12
NE	6.28E-10	3.14E-10	1.88E-10	1.18E-10	6.28E-11	3.14E-11	1.88E-11	1.35E-11	1.05E-11
ENE	2.79E-10	1.39E-10	8.37E-11	5.23E-11	2.79E-11	1.39E-11	8.37E-12	5.98E-12	4.65E-12
E	7.60E-10	3.80E-10	2.28E-10	1.43E-10	7.60E-11	3.80E-11	2.28E-11	1.63E-11	1.27E-11
ESE	2.05E-10	1.02E-10	6.14E-11	3.83E-11	2.05E-11	1.02E-11	6.14E-12	4.38E-12	3.41E-12
SE	6.15E-11	3.08E-11	1.85E-11	1.15E-11	6.15E-12	3.08E-12	1.85E-12	1.32E-12	1.03E-12
SSE	4.31E-10	2.16E-10	1.29E-10	8.09E-11	4.31E-11	2.16E-11	1.29E-11	9.24E-12	7.19E-12
S	2.09E-09	1.04E-09	6.26E-10	3.91E-10	2.09E-10	1.04E-10	6.26E-11	4.47E-11	3.48E-11
SSW	1.48E-09	7.42E-10	4.45E-10	2.78E-10	1.48E-10	7.42E-11	4.45E-11	3.18E-11	2.47E-11
SW	5.42E-09	2.71E-09	1.63E-09	1.02E-09	5.42E-10	2.71E-10	1.63E-10	1.16E-10	9.04E-11
WSW	3.33E-09	1.66E-09	9.98E-10	6.24E-10	3.33E-10	1.66E-10	9.98E-11	7.13E-11	5.54E-11
W	2.01E-09	1.01E-09	6.03E-10	3.77E-10	2.01E-10	1.01E-10	6.03E-11	4.31E-11	3.35E-11
WNW	6.43E-10	3.21E-10	1.93E-10	1.21E-10	6.43E-11	3.21E-11	1.93E-11	1.38E-11	1.07E-11
NW	1.94E-09	9.70E-10	5.82E-10	3.64E-10	1.94E-10	9.70E-11	5.82E-11	4.16E-11	3.23E-11
NNW	3.35E-10	1.68E-10	1.01E-10	6.29E-11	3.35E-11	1.68E-11	1.01E-11	7.19E-12	5.59E-12

表 6.2-4 高通量堆对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量

单位：Sv/a

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50
N	——	——	——	1.05E-07	4.55E-08	——	1.13E-08	7.62E-09	5.63E-09
NNE	——	——	——	——	5.53E-08	2.57E-08	1.51E-08	9.99E-09	——
NE	——	——	——	——	——	——	——	——	——
ENE	——	——	——	——	——	——	——	——	——
E	——	——	——	——	——	——	——	——	——
ESE	——	——	——	——	——	——	——	——	——
SE	——	——	——	——	——	——	——	——	——
SSE	——	——	4.24E-07	1.22E-07	——	——	——	——	——
S	——	——	——	1.69E-07	——	——	——	——	——
SSW	——	——	——	——	——	——	——	——	——
SW	——	——	——	——	——	1.69E-08	1.70E-08	——	——
WSW	——	——	——	1.10E-07	2.30E-08	2.45E-08	1.30E-08	——	——
W	——	4.04E-07	——	9.46E-08	4.08E-08	2.15E-08	1.10E-08	7.63E-09	5.64E-09
WNW	——	——	——	9.36E-08	5.49E-08	2.20E-08	1.12E-08	7.59E-09	5.41E-09
NW	——	3.50E-07	2.16E-07	1.08E-07	5.58E-08	2.21E-08	1.16E-08	9.43E-09	5.78E-09
NNW	——	——	——	——	4.73E-08	1.86E-08	9.69E-09	7.75E-09	4.94E-09

表 6.2-5 高通量堆对各子区公众个人（青少年）造成的有效剂量

单位：Sv/a

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50
N	——	——	——	9.90E-08	4.30E-08	——	1.11E-08	7.53E-09	5.55E-09
NNE	——	——	——	——	5.14E-08	2.54E-08	1.50E-08	9.94E-09	——
NE	——	——	——	——	——	——	——	——	——
ENE	——	——	——	——	——	——	——	——	——
E	——	——	——	——	——	——	——	——	——
ESE	——	——	——	——	——	——	——	——	——
SE	——	——	——	——	——	——	——	——	——
SSE	——	——	4.08E-07	1.53E-07	——	——	——	——	——
S	——	——	——	1.73E-07	——	——	——	——	——
SSW	——	——	——	——	——	——	——	——	——
SW	——	——	——	——	——	1.77E-08	1.69E-08	——	——
WSW	——	——	——	1.02E-07	2.48E-08	2.43E-08	1.30E-08	——	——
W	——	3.72E-07	——	8.71E-08	4.51E-08	2.14E-08	1.09E-08	7.54E-09	5.59E-09
WNW	——	——	——	8.60E-08	5.41E-08	2.19E-08	1.11E-08	7.50E-09	5.33E-09
NW	——	3.92E-07	2.11E-07	1.05E-07	5.49E-08	2.20E-08	1.15E-08	7.82E-09	5.70E-09
NNW	——	——	——	——	5.33E-08	1.69E-08	1.03E-08	7.23E-09	5.21E-09

表 6.2-6 高通量堆对各子区公众个人（儿童）造成的有效剂量

单位：Sv/a

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50
N	——	——	——	7.53E-08	3.81E-08	——	9.49E-09	6.40E-09	4.73E-09
NNE	——	——	——	——	4.48E-08	2.33E-08	1.27E-08	8.40E-09	——
NE	——	——	——	——	——	——	——	——	——
ENE	——	——	——	——	——	——	——	——	——
E	——	——	——	——	——	——	——	——	——
ESE	——	——	——	——	——	——	——	——	——
SE	——	——	——	——	——	——	——	——	——
SSE	——	——	3.19E-07	1.26E-07	——	——	——	——	——
S	——	——	——	1.24E-07	——	——	——	——	——
SSW	——	——	——	——	——	——	——	——	——
SW	——	——	——	——	——	1.65E-08	1.43E-08	——	——
WSW	——	——	——	7.40E-08	2.31E-08	2.06E-08	1.10E-08	——	——
W	——	2.64E-07	——	6.21E-08	4.20E-08	1.81E-08	9.26E-09	6.52E-09	4.83E-09
WNW	——	——	——	6.13E-08	4.55E-08	1.86E-08	9.43E-09	6.48E-09	4.64E-09
NW	——	2.79E-07	1.71E-07	8.55E-08	4.60E-08	1.86E-08	9.76E-09	6.74E-09	4.95E-09
NNW	——	——	——	——	4.47E-08	1.50E-08	8.75E-09	6.13E-09	4.64E-09

表 6.2-7 高通量堆对各子区公众个人（婴儿）造成的有效剂量

单位：Sv/a

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50
N	——	——	——	6.81E-08	2.73E-08	——	6.58E-09	4.54E-09	3.48E-09
NNE	——	——	——	——	3.14E-08	1.46E-08	8.41E-09	5.70E-09	——
NE	——	——	——	——	——	——	——	——	——
ENE	——	——	——	——	——	——	——	——	——
E	——	——	——	——	——	——	——	——	——
ESE	——	——	——	——	——	——	——	——	——
SE	——	——	——	——	——	——	——	——	——
SSE	——	——	2.76E-07	1.01E-07	——	——	——	——	——
S	——	——	——	1.13E-07	——	——	——	——	——
SSW	——	——	——	——	——	——	——	——	——
SW	——	——	——	——	——	1.33E-08	9.37E-09	——	——
WSW	——	——	——	6.95E-08	2.11E-08	1.36E-08	7.32E-09	——	——
W	——	2.50E-07	——	5.77E-08	2.62E-08	1.20E-08	6.36E-09	6.20E-09	4.58E-09
WNW	——	——	——	5.73E-08	2.99E-08	1.23E-08	6.39E-09	6.15E-09	4.02E-09
NW	——	2.46E-07	1.42E-07	6.95E-08	3.02E-08	1.22E-08	6.60E-09	6.79E-09	4.59E-09
NNW	——	——	——	——	2.77E-08	1.10E-08	5.93E-09	4.37E-09	3.45E-09

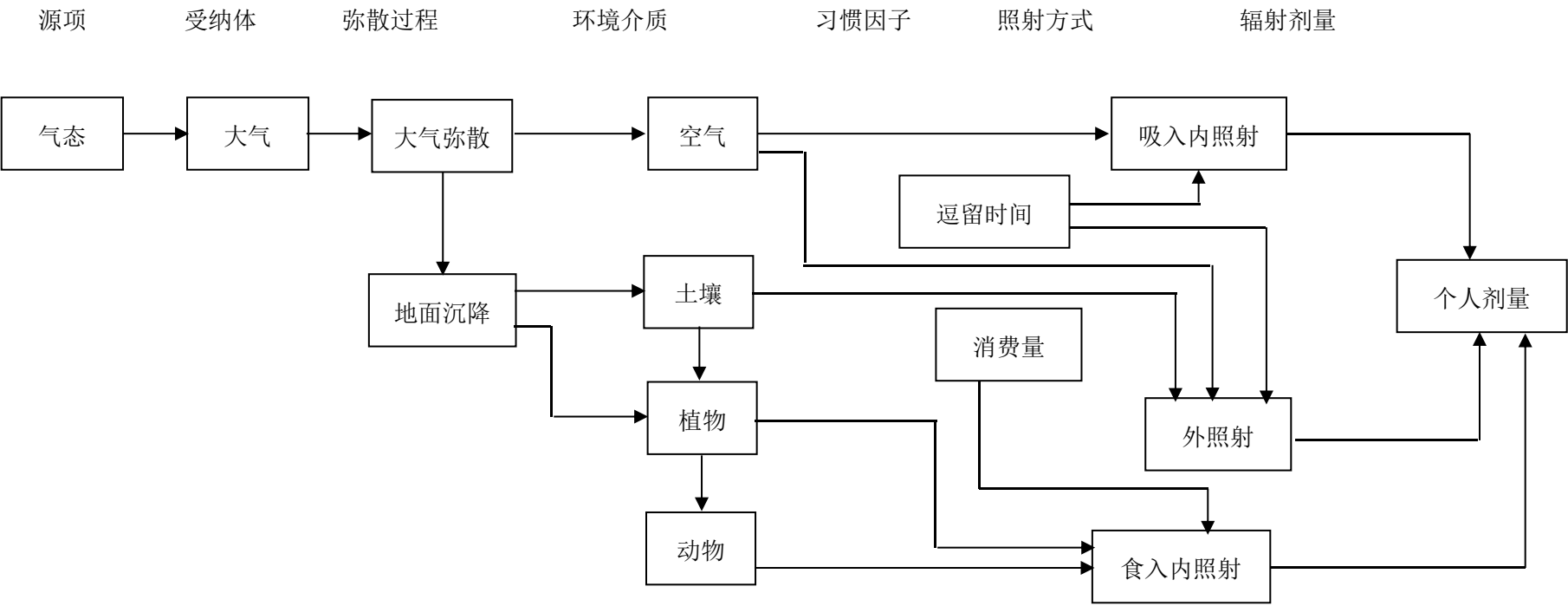
表 6.2-8 高通量堆造成各子区公众集体有效剂量

单位：人·Sv/a

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	合计
N	——	——	——	2.30E-04	1.83E-04	——	5.07E-04	2.43E-04	3.12E-04	1.48E-03
NNE	——	——	——	——	3.01E-05	1.12E-05	4.06E-06	7.02E-06	——	5.24E-05
NE	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——
ENE	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——
E	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——
ESE	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——
SE	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——
SSE	——	——	1.35E-04	1.29E-04	——	——	——	——	——	2.64E-04
S	——	——	——	4.80E-04	——	——	——	——	——	4.80E-04
SSW	——	——	——	——	——	——	——	——	——	——
SW	——	——	——	——	——	7.87E-04	1.55E-05	——	——	8.03E-04
WSW	——	——	——	2.00E-04	4.70E-05	9.96E-04	4.61E-04	——	——	1.70E-03
W	——	5.24E-04	——	1.29E-04	3.89E-04	7.25E-04	2.67E-04	1.61E-04	6.29E-05	2.26E-03
WNW	——	——	——	2.17E-04	4.23E-04	2.97E-04	1.99E-04	2.95E-04	8.46E-04	2.28E-03
NW	——	7.39E-05	8.16E-05	7.17E-05	2.93E-04	4.81E-04	2.43E-04	3.14E-04	2.38E-04	1.80E-03
NNW	——	——	——	——	1.02E-04	2.00E-04	1.46E-04	2.12E-03	2.77E-04	2.85E-03
合计	——	5.98E-04	2.16E-04	1.46E-03	1.47E-03	3.50E-03	1.84E-03	3.14E-03	1.74E-03	1.40E-02

表 6.2-9 各放射性核素通过各途径对关键人群组造成的有效剂量 单位：Sv/a

核素	空气浸没	地面沉积	空气吸入	食入陆生食品	合计	占比%
H-3	0.00E+00	0.00E+00	5.33E-08	2.39E-08	7.73E-08	17.91
C-14	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.08E-07	3.08E-07	71.46
Ar-41	1.54E-16	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.54E-16	0
Kr-83m	2.81E-13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.81E-13	0
Kr-85	7.88E-11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.88E-11	0.02
Kr-85m	6.44E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.44E-09	1.49
Kr-87	1.41E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.41E-08	3.28
Kr-88	2.19E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.19E-08	5.08
Cr-51	3.48E-13	6.34E-11	2.60E-12	1.24E-11	7.88E-11	0.02
Mn-54	1.72E-14	3.47E-11	2.24E-13	1.46E-11	4.96E-11	0.01
Fe-55	0.00E+00	0.00E+00	2.64E-13	9.82E-11	9.84E-11	0.02
Fe-59	1.95E-13	5.28E-11	4.26E-12	1.68E-11	7.41E-11	0.02
Co-58	2.00E-13	9.08E-11	2.39E-12	1.76E-11	1.11E-10	0.03
Co-60	7.91E-15	9.12E-11	2.22E-13	1.43E-11	1.06E-10	0.02
Ni-63	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
Sr-89	1.71E-18	4.32E-15	8.37E-15	6.08E-14	7.35E-14	0
Sr-90	3.14E-21	3.66E-15	4.09E-16	4.45E-13	4.49E-13	0
Zr-95	1.18E-16	1.03E-13	5.74E-15	1.36E-14	1.23E-13	0
I-131	6.30E-13	4.34E-10	2.92E-11	1.93E-09	2.40E-09	0.56
I-132	3.17E-12	2.57E-11	1.09E-12	2.98E-16	3.00E-11	0.01
I-133	1.90E-12	1.45E-10	1.24E-11	5.29E-11	2.13E-10	0.05
I-134	4.48E-12	1.38E-11	6.47E-13	4.13E-22	1.89E-11	0
合计	4.26E-08	1.04E-09	5.34E-08	3.34E-07	4.31E-07	/
占比%	9.87	0.24	12.38	77.51	100.0	/



宽能谱超高通量试验堆项目		
环境影响报告书（选址阶段）		
气态照射途径		
图 6.2-1	版次	A

6.3 其它环境影响

6.3.1 化学污染物的环境影响

6.3.2 其它污染物的环境影响

6.3 其它环境影响

宽能谱超高通量试验堆项目正常运行时，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、生活污水与生产废水、固体废物等非放射性的影响。本项目排放的化学物质主要来自于非放射性化学物质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

为保护本项目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，也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 $7.5\mu\text{g/L}$ 。

本项目正常运行过程中，通常需要向循环冷却水中连续加入次氯化物以抑制海洋生物在管道内的繁殖。宽能谱超高通量试验堆项目正常运行情况下，运行中控制循环水出口余氯量在合理范围。另外，考虑到本项目排水量小且光照引起的余氯衰减会降低余氯毒性，因此，可估计本项目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程度和范围很小。

6.3.2 其它污染物的环境影响

6.3.2.1 生产废水排放的影响

宽能谱超高通量试验堆项目正常运行时，生产废水主要来源包括辅助系统及其它相关系统。例如，辅助系统中用于通风空调系统冷却的冷冻水系统会产生一定量的非放废水，除盐水生产系统在生产去离子水的过程中会产生一定量的非放废水，气体系统在制备压缩空气和氮气过程中产生的非放废水。本项目的非放生产废水排入市政污水管道。

6.3.2.2 生活污水排放的影响

本项目生活污水排入科研基地配套的市政管网。

6.3.2.3 非放射性固废对环境的影响

宽能谱超高通量试验堆项目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。固废将收集暂存，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，本项目非放射性固废对环境影响较小。

6.3.2.4 噪声对环境的影响

本项目运行噪声主要来自核岛厂房群和机械通风冷却塔。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噪声；
- 电气系统的部分设备也会发出噪声，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。

根据国内相关资料，每台泵、风机、设备的噪声源强为 85~110dB（A）。经过厂房屏蔽和距离衰减后，预计噪声对厂界和厂界外声环境保护目标的声环境影响较小。

运行期噪声影响主要来自机械通风冷却塔，从预测结果来看，厂界处的噪声贡献值低于 30dB(A)，满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的 2 类标准，也不会对厂界外声环境保护目标声环境质量产生影响。

6.3.2.5 电磁环境的影响

本项目建设于清华大学（荣成）先进核能技术科研基地科技园区。基地建设两座 110kV 高压变电站将两路独立的外电源接入本基地。高压变电站除了为本项目的中压开关站供电外还承担为本基地其它建筑物供电的任务。两座变电站设置了专门的变压器为本项目提供外电源转换。上述高压变电站将另行开展环评。

第七章 反应堆事故的环境影响

7.1 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 事故情景

7.1.1.3 事故源项

7.1.2 事故后果计算

7.1.2.1 事故大气弥散条件

7.1.2.2 事故剂量计算

7.1.3 事故后果评价

7.2 场内运输事故

7.3 其他事故

7.4 事故应急

表

表 7.1-1 事故期间非居住区边界处的大气弥散因子

表 7.1-2 选址假想事故剂量计算结果

7.1 放射性事故和后果评价

本项目热功率为 80MW，在将来的运行过程中可能发生的主要事故为主回路管道失水、隔离阀失效和燃料元件损毁事故。本节将对运行期间可能发生的事故进行评价。

7.1.1 事故描述和事故源项

本项目选取的选址假想事故为主回路管道失水事故叠加隔离阀失效再叠加三片燃料损毁。

7.1.2 事故后果计算

7.1.2.1 事故大气弥散条件

事故后果计算中假设事故工况下放射性以地面源方式释入环境，使用高斯烟流轴浓度公式，采用苏州热工研究院有限公司开发的改进版 CEIRA 程序系统计算小时大气弥散因子。计算中考虑建筑物尾流效应。

表 7.1-1 给出了非居住区边界的大气弥散因子。

7.1.2.2 事故剂量计算

选址假想事故期间考虑公众可能受到的辐射照射途径有烟云浸没外照射、空气吸入内照射和地面沉积外照射三条途径，各种途径的剂量计算模式如下：

考虑公众可能受到的辐射照射途径有烟云浸没外照射、空气吸入内照射和地面沉积外照射三条途径，各种途径的剂量计算模式如下：

采用华能山东石岛湾核电厂址2022年7月至2023年6月一整年气象观测数据。大气扩散参数采用《华能山东石岛湾核电厂高温气冷堆核电示范工程大气扩散试验研究报告》综合推荐的结果，详见报告书2.4节。

7.1.3 事故后果评价

选址假想事故工况下，事故期间非居住区边界个人通过烟云浸没外照射、吸入内照射和地面沉积外照射途径所接受的有效剂量小于 10mSv。

THFR 选址假想事故发生后，非居住区边界的个人最大受照剂量结果与选址假想事故后果所致个人有效剂量限值的比较情况如表 7.1-2 所示。由表 7.1-2 可见：THFR

选址假想事故的持续期间（30d），非居住区边界处任何个人所受的最大个人有效剂量为 2.96mSv。上述剂量能满足规定的事故个人有效剂量限值（10mSv）要求。

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》（GB 11806-2019）、《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令 第 562 号）和交通运输相关规定的要求。

参考国内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《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）、《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令 第 562 号）和交通运输相关规定的要求。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

本项目运行产生的放射性固体物质（如废树脂、废过滤器芯子等）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安全标准》（GB 12711-2018）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 其他事故

本项目涉及的危险化学品主要有盐酸、硝酸、氢氧化钠、氢氧化锂、过氧化氢、氢气、氨水、联氨、次氯酸钠、氢氧化钾和氮（压缩的或液化的）。本项目的建设单位将合理设计化学品的储存位置、包装形式、储存量等相关参数，制定严格的管理程序，尽量降低事故发生概率和事故危害。通过设计源头的预防控制以及后端管理措施，预计本项目的危险品不会对周围公众造成危害。

7.4 事故应急

厂址半径 5km 范围内没有 1 万人以上的居民点，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。厂址半径 10km 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。厂址半径 15km 范围内现有的危险品存储设施不会威胁到核设施的安全。

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。无线通信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，本项目的建设是可以接受的。

表 7.1-1 事故期间非居住区边界处的大气弥散因子 (s/m³)

方位	0-2h	2-8h	8-24h	1-4d	4-30d
N	2.40E-03	1.36E-03	8.20E-04	3.78E-04	1.24E-04
NNE	1.67E-03	9.64E-04	5.91E-04	2.79E-04	9.52E-05
NE	2.10E-03	1.27E-03	8.11E-04	4.07E-04	1.51E-04
ENE	1.99E-03	1.14E-03	6.95E-04	3.25E-04	1.09E-04
E	2.44E-03	1.47E-03	9.30E-04	4.63E-04	1.70E-04
ESE	2.39E-03	1.39E-03	8.61E-04	4.12E-04	1.43E-04
SE	2.50E-03	1.53E-03	9.94E-04	5.11E-04	1.96E-04
SSE	2.50E-03	1.53E-03	9.86E-04	5.03E-04	1.91E-04
S	2.41E-03	1.48E-03	9.52E-04	4.86E-04	1.85E-04
SSW	2.06E-03	1.20E-03	7.47E-04	3.59E-04	1.25E-04
SW	1.88E-03	1.09E-03	6.73E-04	3.20E-04	1.10E-04
WSW	1.40E-03	7.88E-04	4.73E-04	2.16E-04	7.03E-05
W	1.25E-03	7.02E-04	4.21E-04	1.92E-04	6.20E-05
WNW	8.42E-04	4.89E-04	3.01E-04	1.43E-04	4.90E-05
NW	8.94E-04	5.22E-04	3.23E-04	1.55E-04	5.37E-05
NNW	8.61E-04	4.91E-04	2.97E-04	1.38E-04	4.57E-05
最大值	2.50E-03	1.53E-03	9.94E-04	5.11E-04	1.96E-04

表 7.1-2 选址假想事故剂量计算结果

项目	剂量结果	选址假想事故个人有效剂量限值	比例（%）
事故期间（30d）非居住区边界最大个人有效剂量	2.96mSv	10mSv	29.6%

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

本项目产生的放射性废液先收集排入废水处理系统的废水贮存罐内，定期处理，处理达标后的废水或复用，或转成气态排放到烟囱（液转气），不存在液态流出物向厂外环境的排放。因此，本项目仅设置气载放射性流出物监测系统。本小节主要描述流出物监测的设想。

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。

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；

- 为判明本项目的运行以及放射性废物的处理和控制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；
- 使公众确信本项目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，可为本项目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

制定本项目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。

8.1.1.4 放射性流出物监测

（1）设计基准

系统目的：监测烟囱气载放射性流出物的排放量，防止放射性的排放瞬时值和总量超过规定的限值，防止公众受到过度的照射。

系统的主要设计基准如下：

- ①对正常运行期间烟囱的放射性释放进行监测；
- ② 提供中止放射性流出物排放或自动启动应急排风系统或启动其它安全措施的动作参考；
- ③根据反应堆设计准则，放射性流出物监测系统的仪表均属非安全级；
- ④辐射监测仪表的设计、制造与安装应满足相应级别的各项技术要求。
- ⑤放射性流出物监测系统应满足以下要求：惰性气体测量应有较宽的量程以满足正常与事故工况的要求；流出物碘和气溶胶的取样也应满足正常与事故条件的要求；流出物取样管的设计宜符合 ANSI/HPS N13.1--2011 标准的要求。

放射性流出物监测系统及设备均为非安全级。但设置了两套互为冗余的在线监测设备。同时，设置一套取样设备，包括：氚取样器、C-14 取样器、气溶胶取样器、碘取样器和惰性气体取样器。

不论是正常运行条件，还是事故期间，全部气载流出物均由本项目排放烟囱排入环境，因此，对排放烟囱内气载放射性浓度和排气量的监测即为本项目气载放射性流出物排放总量监测。

（2）系统描述

本系统中的监测设备和报警为操作员判断工况提供参考依据，也可考虑触发某些中止或启动的连锁动作。

气载放射性流出物监测系统的监测设备包括：PING 监测仪 2 套，高量程惰性气体监测仪 2 套，气溶胶、碘、惰性气体取样设备。

PING 监测仪用于对取样气体中的气溶胶、碘、惰性气体的活度浓度进行在线式连续监测，它属于非安全级设备，抗震 I 类。

高量程惰性气体监测仪用于事故后监测，它具有较高的量程，同时它的量程下限覆盖 PING 监测设备中惰性气体监测仪的量程上限至少 1 个量级，它也属于非安全级设备，抗震 I 类。

气溶胶、碘、惰性气体取样设备用于进行气溶胶、碘、惰性气体的取样，它属于非安全级（NS 级）设备。对气溶胶、碘、惰性气体进行定期取样监测，取样周期暂定为 1 次/周。

此外，PING 监测仪和高量程惰性气体监测仪应具有与远程计算机进行数据通信的接口。

每一路辐射探测器的输出被送到二次仪表（就地处理箱），就地处理箱给出测量结果显示。其结果同时以数字信号方式送入 DCS 系统，当排放的放射性物质的活度浓度或总活度超过预定值时，给出报警信号。

辐射监测仪表有三类报警信号，其中之一是给出探测器、电源或电路故障信号，另外两类报警信号是当放射性浓度达到设定的报警阈时给出的信号：当超过一级报警（调查报警）阈时，在仪器面板上和控制室辐射与剂量监测屏上给出黄色报警闪光；当放射性水平超过二级报警（干预报警）阈值，在仪器面板和控制室辐射与剂量监测屏上，给出红色报警闪光，同时给出音响报警信号。闪光的频率及音频取决于放射性

水平。

为了使放射性流出物监测系统获取有代表性的气溶胶浓度测量样品，在烟囱中应按 ANSI/HPS N13.1-2011 标准的要求设置取样装置并设置适当的取样流量。辐射监测仪器技术指标的选择则是根据设施、系统实际情况而定。

8.1.2 辐射环境监测

本项目运行期间的环境监测包括正常运行时的环境辐射监测和事故时的应急辐射监测。本节介绍项目运行期间环境监测的初步方案设想，详细的环境监测方案将在后续阶段的环境影响评价中给出。

8.1.2.1 监测依据

本项目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）；
- 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）；
- 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（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》（EJ 527-90）。

8.1.2.2 监测目的

本项目运行期间的环境辐射监测主要是针对厂址周围的辐射水平和环境介质中的放射性活度浓度进行监测，其监测方案的制定与实施将充分参考运行前本底调查所获得的监测经验以及厂址最新的环境特征。监测目的是：

- 测定环境介质中放射性核素浓度或辐射水平的变化；
- 评价营运单位执行环境标准和运行控制限值的实施情况；
- 评价核设施对放射性物质包容和排放控制的有效性；
- 为评价环境辐射安全和估算公众剂量提供依据；
- 鉴别由其它来源引起的污染；
- 为发现未知的照射途径和确定放射性核素在环境中的传输模型提供依据；
- 为应急监测提供预警信息。

8.1.2.3 监测范围及布点原则

环境 γ 辐射水平的调查范围半径取 10km。环境介质调查半径 10km 范围，重点为

半径 5km 范围。

运行期间监测布点原则主要包括：

- 关键居民组居住区域；
- 常年主导风向下风向厂区边界附近居民点以及敏感区域；
- 年平均最大剂量点及浓度点；
- 尽可能与本底调查时的监测布点一致。

8.1.2.4 监测项目和内容

监测项目包括环境介质监测和环境 γ 辐射监测。

（1）环境 γ 辐射水平的监测

— 环境 γ 剂量率连续监测

设立厂区大气 γ 剂量率实时连续监测网络，实时、连续、自动监测正常运行时放射性烟羽在环境大气中产生的 γ 剂量率。监测站点布设时将考虑关键居民组的位置、厂址边界、常年主导风向下风向人口密集居民点、本底调查以及敏感地区等因素。环境 γ 剂量率连续监测的点位布设与监测设备与应急监测相兼容。

— 瞬时 γ 剂量率测量

参考本底调查的结果，确定 γ 剂量率瞬时测量点位或路线，采用便携式 γ 剂量率仪或监测车巡测厂区周围原野、道路以及室内环境的 γ 剂量率水平。

— 累积剂量测量

在厂区周围布设若干累积剂量计，定时采集并测读，得到环境大气中累积 γ 剂量水平。布设的点位可与连续监测和瞬时监测的点位重合，作为 γ 剂量率监测的补充。

（2）环境介质放射性监测

环境介质采样、分析和测量方法大体上与运行前的环境本底监测相同。监测的主要环境介质是大气（气溶胶、沉降灰、空气中 ^3H 、 ^{14}C 、碘等）、水（地表水、地下水、饮用水、降水）、土壤、动植物（特别是指示生物）。对环境介质的监测，一般包含了取样、制样、测量、分析等过程。在进行实际点位布设时，可根据本底调查的监测经验以及厂址周围环境变化，按照最优化原则，对点位进行调整。此外，随着运行期间环境监测数据的累积，将对本底调查时所确定的指示生物作进一步鉴别和分析，以最终确定对放射性污染具有指示意义的生物。

（3）气象观测

鉴于本项目距离华能山东石岛湾核电厂厂址气象观测系统约 2.5km，可考虑采用华能山东石岛湾核电厂厂址气象观测系统为本项目提供气象数据。

建议在本项目厂址建设 10m 风杆，对 10m 高度风向、风速进行逐时连续观测。

（4）监测方案

参照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，制定环境监测方案，包括点位布设、监测项目和监测频次，具体方案将在后续阶段环境影响报告书中给出。

8.1.3 应急监测

本项目在运行期间将制定必要的应急监测方案或实施程序，用于测量核事故时放射性释放对环境造成的污染范围和污染程度，为应急决策提供数据支持。应急监测具备以下能力：

- 用于应急监测的环境 γ 辐射连续监测系统具备厂址半径 5~10km 范围内事故条件下的连续监测的能力，以适应应急监测的要求；
- 设置必要的环境监测机构，配备应急响应时使用的测量仪表、环境监测车和取样车以及相应的取样和分析器材等，具备快速监测和响应的能力。

8.2 其他监测

8.2.1 热影响监测

在本项目运行前，根据最终冷却方案及温升影响程度和范围，确定运行期间的热影响监测。

8.2.2 化学污染物和生活污水监测

本项目的非放生产废水和生活污水处理后排入市政污水管道，相关监测根据接管要求开展。

8.3 监测设施

本项目设置流出物监测实验室和环境监测实验室。流出物监测实验室用于分析本项目放射性流出物样品，气载流出物样品一般包括惰性气体、碘、气溶胶、氡和碳-14等。环境实验室则是用于分析厂区及厂区周围取得的环境样品，重点包括气溶胶、地表水与地下水、土壤、农产品、牛奶、水生生物与沉积物等，环境样品的放射性水平一般是很低的。

环境辐射监测系统包括气象站、环境辐射监测站、中央站、环境监测车和应急移动组网监测设备，为全厂共用。该系统可由应急指挥中心配置和统一管理。中央站也可设置在环境实验室楼内，以便由环境辐射监测专业人员进行数据分析。

气象站测量、采集、记录和发送现场风速、风向、温度和湿度等气象数据，用于计算、评价气态放射性物质排放对该地环境的影响；事故情况下，提供实时气象参数以便制定和执行应急措施。

环境辐射监测站连续记录厂区周围环境 γ 辐射数据，获取气溶胶、碘和雨水样品，测量环境 γ 辐射监测站降雨量，当 γ 辐射剂量率超过阈值时产生报警。

环境监测车在正常运行期间，作为移动式环境辐射监测站，定期地对厂区周围环境 γ 辐射进行巡测。在事故应急状态下，监测车作为应急辐射监测系统，可快速前往厂区周边，测量所经过地区环境 γ 辐射水平。

8.4 质量保证

为保证本项目流出物和环境监测设备的可靠性，确保流出物和环境监测数据的准确性，将依据国家有关标准，制订流出物与环境监测质量保证程序，确保测量结果的可信性、有效性和可比性。本节主要描述运行期间流出物与环境监测质量保证的设想。

8.4.1 质量管理

质量保证体系是流出物和环境监测工作管理水平的集中表现，它对组织机构、人员素质、工作环境、测试方法以及各种管理制度等可能影响监测质量的活动进行严格和有效的控制。

8.4.1.1 组织机构

成立组织机构的目的在于：通过对流出物与环境监测以及排放的监督和管理，及时发现异常并采取措施，确保排放符合国家法规要求；执行有效的管理措施，减少废液产生量、排放量，减少对环境的影响；通过对环境工作的监督与管理，确保本项目各种废物处理、排放设施的可靠运行及环保机构的正常运作，达到保护环境的目的。

8.4.1.2 人员的资格与培训

监测结果准确度与工作人员的工作经验、专业知识和技术水平有关，所有参加取样、监测、数据统计和审核的人员均应按规程要求，参加相应的理论和实践培训，经授权后上岗。从事放射性环境监测的人员，需掌握辐射防护基础知识和放射性环境监测技术，熟悉有关环境保护和环境监测的法规和标准。同时，相关部门应不定期地组织测量、分析人员就放射性测量仪器、测量原理及测量方法展开探讨和研究，以提高对测量仪器的了解和样品测量、分析水平。

8.4.1.3 数据审查制度

为了检查质量保证的执行情况，确保监测结果的准确性，必须对监测数据进行有计划的检查。检查应该由在被检查方面没有直接职务的有资格的人员来进行，检查人员应对检查结果写出书面报告，并经过对检查工作负责的管理单位复审。对存在的问题应该采取进一步的措施，包括再次核查等。

8.4.2 质量控制

为了保证流出物和环境监测工作的质量，质保工作必须从样品采集、运输、处理、

测量、分析、保存等环节，以及文件控制、量值溯源、制订质保大纲、样品比对等方面展开。

8.4.2.1 内部质量控制

（1）样品采集、运输和贮存的质量控制

样品采集、运输和贮存的质量控制的目的是保证采集具有代表性并保持放射性核素在分析前的原始浓度。为此应该准确地测量样品的质量、体积或流量。为了确定采样的不确定度，应该定期采集平行样品。采集的各类常规样品应妥善保存，直至得出最终分析结论。

（2）分析测量中的质量控制

样品的预处理和分析测量方法应采用标准方法或经过鉴定和验证过的方法。操作人员应严格按操作程序操作，防止样品间的交叉污染。为了确定分析测量过程中产生的不确定度，应该分析质量控制样品。

为了发现和确定环境实验室分析测量系统的不确定性，有必要参加本地区和国家组织的实验室之间的分析比对，对存在的系统误差应查明原因，并采取校正措施。用于分析测量装置，应对其性能定期进行检定、校准和检验，测量过程使用的标准源应定期进行标定。

（3）数据处理

每个样品从采集、预处理、分析测量到结果计算全过程中的每一步都应有清楚、详细和准确的记录。数据处理应采用标准方法，减少处理过程中产生的误差。对于偏离正常值的异常结果应及时向技术负责人报告，并在自己的职责范围内进行核查。监测数据的正式上报或使用，必须经有关技术负责人签发。

8.4.2.2 外部质量控制

实验室外部质量控制的主要措施有：

（1）比对

为验证实验室监测设备的可靠性，确保监测数据的精确性、可比性，实验室应积极的与国内外权威机构进行实验室间比对。

（2）量值溯源

用于刻度放射性测量仪器的标准源、标准溶液或标准物质，均由权威计量部门提供，为测量的量值可溯源到国家基准提供有力的保证。

（3）测量仪器定期检定

所有对分析测试结果的准确性和有效性有影响的计量或检定设备，均由计量部门或其授权单位进行校准或检定，以保证所进行的检测有溯源性。

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 对区域经济的利益

9.1.2.2 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

建设宽能谱超高通量试验堆项目，对进一步优化我国高通量堆资源配置、开创国内辐照资源利用新局面、促进我国核能和中子学研究的发展发挥了重要的支撑作用，对解决核燃料及核材料辐照考验、稀缺特殊核素生产、中子学研究等国家战略需求具有重要的意义，其技术溢出也将显著促进经济社会发展，逐步形成依托该设施逐步形成在国际上有重要影响的核能和中子学科技创新中心。

目前国际上和国内对于高通量堆的使用需求巨大，有关新材料的辐照，核医学以及核农学的应用，某些重要核素的生产制备，以及一些高科技研究项目对于辐照的需求都非常旺盛。宽能谱超高通量试验堆的建造并不以盈利为目标，但是基于目前的市场现状，可预见能够实现很好的经济效益。

9.1.2 建设和运行带来的间接利益

9.1.2.1 对区域经济的利益

宽能谱超高通量试验堆项目初步投资估算数十亿元，能够推动和促进地方经济的发展。除此之外，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就业岗位。

9.1.2.2 对社会发展的利益

项目投产后，职工的生活消费等，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。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 项目建设经济代价

9.2.1.2 项目运行的经济代价

9.2.2 间接代价

9.2 代价分析

9.2.1 直接代价

9.2.1.1 项目建设经济代价

本项目是科研工程，建设经济代价相对较小。

9.2.1.2 项目运行的经济代价

运行期间的经济代价包括：基本折旧费、摊销费、核燃料费、运行维护费、财务费用和管理费用等。

9.2.2 间接代价

— 交通运输问题

运输包括施工期间设备、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，不可避免增加当地的运输负担。

— 项目建设对当地市政建设设施产生的影响

本项目的建设和运行，使厂址所在地区的人口数量有所增加，可能造成医疗、学校、商业和基础设施如供排水等市政工程和生活服务设施的负担。

— 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，从而保障工作人员和周围居民的安全，本项目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，会有一定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满足国家有关标准。

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。本项目海水冷却水取水量不大，通过设置进水系统滤网装置，对水生生物产生的伤害较小。本项目冷却后的温水排放在附近海域中扩散，由于本项目功率较低，引起附近水温升高有限，对海洋生物产生影响较小。

第十章 结论与承诺

10.1 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 承诺

10.1 建设项目

本项目名称为“宽能谱超高通量试验堆项目”。本项目由清华大学核能与新能源技术研究院负责建设和运营管理。宽能谱超高通量试验堆项目为新建工程，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。宽能谱超高通量试验堆为池壳式堆，该堆设计功率80MWt，堆芯设计寿命为60年。本厂址规划建设于清华大学（荣成）先进核能技术科研基地。

本工程的建设与国家和区域发展规划总体相符，厂址周围不存在影响本项目建设 and 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相关标准的要求，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相关法规和标准的要求。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。

总体上，就本项目对环境的影响以及环境对本项目的影响而言，建设本项目是可行的。

10.2 环境保护设施

（1）辐射影响防治措施分析

宽能谱超高通量试验堆为池壳式堆，设计有放射性废气处理系统、放射性废液处理系统以及放射性固体废物处理系统，还设置了放射性流出物监测及环境监测系统，确保流出物达标排放，严格控制对环境的影响。

本项目设计的乏燃料池与乏燃料储存格架，可以满足30年乏燃料的存储需求。同时，考虑到未来乏燃料外运的可能性（如延长反应堆服役年限、开展乏燃料的相关研究等），设计并建设了乏燃料外运的设施与工具。

（2）非辐射影响防治措施分析

本项目生活污水将排入市政污水管道。

生产废水主要来源包括辅助系统及其它相关系统。例如，辅助系统中用于通风空调系统冷却的冷冻水系统会产生一定量的非放废水，除盐水生产系统在生产去离子水的过程中会产生一定量的非放废水，气体系统在制备压缩空气和氮气过程中产生的非放废水。本项目的非放生产废水排入市政污水管道。

通过合理的总平面布置，采取减震、隔噪等工程措施处理，降低噪声的影响。

本项目产生的固废和危废将委托专业公司处理。

10.3 放射性排放

本项目产生的低放废液经处理达标后，经液转气排放，即液态途径没有向环境排放的放射性物质。本项目气载流出物年排放量控制值暂按排放量设计值考虑。

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

本项目正常运行状态下，气载放射性流出物排放造成公众最大有效剂量为 $4.24 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，为位于厂址 SSE 方位 2~3km 子区的成人组一般公众，占本项目剂量约束值（ 0.01mSv ）的 4.24%，满足剂量约束的要求。

本项目关键人群组位于厂址 SSE 方位 2~3km 子区的渔民，年受照剂量为 $4.31 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ 。可能的关键照射途径为食入陆生食品内照射途径，其他重要照射途径为吸入空气内照射途径。可能的关键核素为 ^{14}C ，其他重要核素有 ^3H 和 ^{88}Kr 。

（2）事故工况下的辐射环境影响

选址假想事故的持续期间（30d），通过烟云浸没外照射、吸入内照射和地面沉积外照射途径，非居住区边界处任何个人所受的最大个人有效剂量为 2.96mSv 。上述剂量能满足事故个人有效剂量限值（ 10mSv ）要求。

从选址假想事故的辐射影响评价结果分析，建设本项目是可行的。

（3）实施应急计划的可行性

厂址半径 5km 范围内没有 1 万人以上的居民点，没有难以撤离的人群。厂址半径 10km 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。厂址半径 15km 范围内现有的危险品存储设施不会威胁到核设施的安全。

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。无线通信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，本项目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

本项目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，施工活动对环境的影响较小。

（2）运行期间环境影响

— 散热系统运行的影响

总体上本项目的取、排水流量和散热量较小，散热系统不会对周围海域生态环境造成明显影响。

根据分析，本项目总体符合近岸海域环境功能区、国土空间规划和生态环境分区管控方案要求。本项目与海域生态保护红线、海洋生态控制区、无居民海岛的管控要求相符。

— 其他非辐射影响

本项目投产运行后对环境的其它影响主要包括，海水加氯处理的余氯、暂时贮存的固废，噪声对环境造成的影响。

本项目循环冷却水量较小，相应的余氯影响范围较小，光照引起的余氯衰减以及附近海域较高的 pH 值均会降低余氯毒性，预计不会对周围海域造成明显影响。

本项目生产废水、生活污水排入市政污水管道，不会对附近海洋环境造成影响。

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，厂内人员会产生生活垃圾，在落实固废收集和处置工作后，本项目的非放射性固废对环境的影响较小。本项目运行过程中将贮存和使用危险化学品，通过在设计源头的预防控制以及后端管理措施，预计本项目的危险品不会对周围公众造成危害。

机组运行期间的噪声主要来自循环水泵房、空气压缩机和机械冷却塔等设备的运转，上述声源经过厂房隔声和距离衰减后，预计噪声对厂界和声环境保护目标的声环境影响较小。

10.6 公众参与和调查结论

本项目已开展了三次信息公开工作，未收到公众意见。

10.7 承诺

（1）建设单位将总结借鉴国内同类项目以及附近工程的建设经验，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。

（2）建设单位将依法办理用海手续，确保符合近岸海域环境功能区划、国土空间规划和生态环境分区管控方案的管控要求。

（3）建设单位将做好环保设施和监测设施设计。

（4）建设单位将推动区域环保配套公用设施（如市政污水管道）及时可用，确保本项目满足环保要求。