

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程

环境影响报告书

(运行阶段)



中核海南核电有限公司/海南核电有限公司

二〇二四年八月

密级：

图册(文件)编号	
15251EIRHYS01	
共 1 册 第 1 册	
版次：A	状态：CFC

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程

工 程 号	1525
子项号或系统号	
子项或系统名称	
设计阶段	施工图设计
工 种	综 合
图册(文件)名称	环境影响报告书 (运行阶段)
图册(文件)序号	—
批 准	林涛

H	X	1	9	9	9	8	0	0	0	1	B	2	2	B	0	2	G	N
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

本文件产权属中国核电工程有限公司(CNPE)所有, 未经书面许可, 不得以任何方式复制、传播、发表和外传。

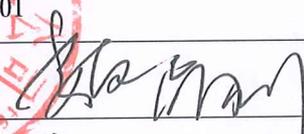
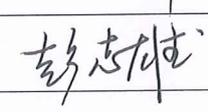
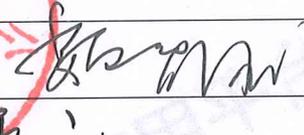
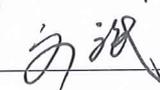
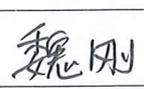
中国核电工程有限公司

工程设计综合甲级资质证书：A111003049

二〇二四年八月



编制单位和编制人员情况表

项目编号	g486qr		
建设项目名称	海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程 (运行阶段)		
建设项目类别	55--167核动力厂 (核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等); 反应堆 (研究堆、实验堆、临界装置等); 核燃料生产、加工、贮存、后处理设施; 放射性污染治理项目		
环境影响评价文件类型	报告书		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	中核海南核电有限公司		
统一社会信用代码	91469031MA5TDN1Y01		
法定代表人 (签章)	魏智刚 		
主要负责人 (签字)	李振云 		
直接负责的主管人员 (签字)	彭志雄 		
单位名称 (盖章)	海南核电有限公司		
统一社会信用代码	91460000681168510A		
法定代表人 (签章)	魏智刚 		
主要负责人 (签字)	李振云 		
直接负责的主管人员 (签字)	刘斌 		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	中国核电工程有限公司		
统一社会信用代码	911100001000027329		
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
魏刚	07351143507110542	BH026932	
2. 主要编制人员			

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
魏刚	第一章、第九章、第十章	BH026932	魏刚
李京	第二章	BH026930	李京
王欣	第三章、第八章	BH026929	王欣
张敬辉	第四章	BH026938	张敬辉
薛娜	第七章	BH026661	薛娜
高桂玲	第五章、第六章	BH026937	高桂玲

姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
魏刚	0001041 (核安全资格证编号); ZHJC202304008 (登记证编号)	BH026932	魏刚

文件修改记录

版本	日期	章节	页码	修改范围及依据
A	2024-08	-	-	首次出版

总 目 录

第一章 概述

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

第二章 厂址与环境

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

第三章 环境质量现状

- 3.1 辐射环境质量现状
- 3.2 非辐射环境质量现状

第四章 示范工程

- 4.1 厂区规划及平面布置
- 4.2 反应堆和蒸汽 — 电力系统
- 4.3 示范工程用水和散热系统
- 4.4 输电系统
- 4.5 专设安全设施
- 4.6 放射性废物系统和源项
- 4.7 非放射性废物处理系统
- 4.8 放射性物质厂内运输

第五章 示范工程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 示范工程运行的环境影响

- 6.1 散热系统运行的影响
- 6.2 正常运行的辐射影响
- 6.3 其它环境影响
- 6.4 初步退役计划

第七章 示范工程事故的环境影响和环境风险

- 7.1 示范工程放射性事故和后果评价
- 7.2 严重事故
- 7.3 厂内运输事故
- 7.4 其他事故
- 7.5 事故应急

第八章 流出物监测与环境监测

- 8.1 辐射监测
- 8.2 其他监测
- 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
- 9.3 结论

第十章 结论与承诺

- 10.1 结论
- 10.2 承诺

第一章 概述

1.1 建设项目名称和建设性质

1.1.1 核电厂名称

1.1.2 建设性质

1.2 建设项目的规模和厂址总体规划

1.3 建设项目经费和环保设施投资

1.4 建设目的

1.4.1 发展模块式小型堆的意义

1.4.2 本工程建设的必要性

1.5 建设项目的进度

1.6 环境影响报告书编制依据

1.6.1 主要国家法令及国家标准

1.6.2 主要核安全法规和导则

1.6.3 主要部颁规程、规定及地方法规规章

1.7 评价标准

1.7.1 辐射环境影响评价标准

1.7.2 非辐射环境影响评价标准

1.8 工程组成

1.9 环境保护措施

1.10 评价范围

1.10.1 辐射环境影响评价范围

1.10.2 非辐射环境影响评价范围

1.11 环境影响报告书批复的落实情况

1.11.1 建造阶段环境影响报告书的批复意见

1.11.2 建造阶段环境影响报告书的批复意见落实情况

图

图 1.10-1 厂址半径 80km 范围评价子区划分示意图

1.1 建设项目名称和建设性质

1.1.1 核电厂名称

核电厂名称：海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程

项目建设和运营单位：中核海南核电有限公司、海南核电有限公司

1.1.2 建设性质

本工程为新建项目，中核海南核电有限公司作为投资主体，由中国核能电力股份有限公司全资。本工程的工程建设和运维管理委托海南核电有限公司负责。

1.2 建设项目的规模和厂址总体规划

本工程建设一台 ACP100 核电机组及其配套辅助设施，规划容量 125MW。

本工程位于海南昌江核电厂厂址内西北侧。海南昌江核电厂规划建设四台压水堆核电机组和一台模块式小型堆，一次规划，分期建设。其中，海南昌江核电厂 1、2 号机组为两台 650MW 压水堆核电机组，已分别于 2015 年 12 月 25 日和 2016 年 8 月 12 日商业运行；厂址同时建设两台融合后的华龙一号核电机组。

为减少工程投资，本工程辅助生产设施尽可能利用海南昌江核电厂已有设施。

本工程的设计寿期为 60 年。

1.3 建设项目经费和环保设施投资

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程堆型采用具有自主知识产权的满足三代核能系统指标的十万千瓦级压水堆核电机组（ACP100）。本项目环保投资占项目计划总投资约 3.90%，主要是环保设施投资，其中包括废物处理处置系统、流出物监测和环境监测系统、环境整治以及施工期环保投入等。

1.4 建设目的

1.4.1 发展模块式小型堆的意义

（1）模块式小型反应堆作为一种安全、经济的核电新堆型，是国际原子能机构（IAEA）鼓励发展和利用的一个核能开发新方向，核电发达国家都在积极研发。我国积极开发模块式小型反应堆可与世界先进核电技术水平保持同步，占据核能开发的制高点，促进核能技术发展。

（2）模块式小型堆具有高度的安全性、良好的经济性、功率规模的灵活性和特殊厂址的适应性，能够满足中小型电网的供电、城市供热、工业供热等各种领域应用的需求，是大型核电机组无法取代的。模块式小型反应堆是能源发展的必要和补充，我国地域辽阔，资源分布和能源需求不均衡。沿海及经济发达地区一次资源缺乏但对能源需求很大，特别

是沿海发达地区淡水资源已经影响了经济与社会的发展；我国北方地区冬季供暖及石化、制药等产业生产需要大量的热源；模块式小型堆发电容量小，可以很好地适应大型电网末端或规模较小的电网，并可作为将来我国考虑推广分布式电源的一个可靠选项。因此，模块式小型堆的建设具有很好的市场适应能力，可以满足不同区域、用户的新的能源形式，是促进区域经济发展的良好能源保障。

（3）模块式小型反应堆作为替代燃煤热电站的潜在技术选择，具有广阔的市场空间。它的应用推广可以大大缓解我国一次能源紧缺、空气污染严重、交通运力紧张等问题，对我国经济可持续发展具有重要意义。

（4）发展模块式小型反应堆，可以带动核工业产业链整体发展，带动我国装备制造等行业的发展，对开拓国际小型核电市场具有积极意义。

（5）积极发展模块式小型反应堆，可以促进军民技术融合，提升我国舰船核动力技术水平，同时还可以解决偏远海岛等的能源问题，从而加强国防实力。

（6）通过本工程的建设，积极探索核能综合利用，实现电水冷等联供功能，支撑国家海洋开发战略，并满足海南省能源清洁发展需要。通过本工程的运营，验证设计、制造、建造和运行技术，进行商业化的推广，从而使我国成为世界上为数不多的掌握和拥有先进小型堆技术能力的国家，扩大我国核能应用的领域和范围，提升国家的创新能力和核心竞争力，实现模块式小型堆“走出去”的目标，积极响应国家提出的“一带一路”发展战略。

1.4.2 本工程建设必要性

（1）符合国家能源政策

本工程充分体现了国家能源政策所提倡的“安全、高效、低碳”的发展方向。示范工程及其后续项目将有利于改善我国的能源结构，提高能源利用效率，提升能源安全利用水平，完全符合国家能源政策。

（2）有利于提升我国在国际小型堆研发竞争中的地位

世界各国都在积极开展小型反应堆的研发工作，并不断取得阶段性成果。美国、俄罗斯、韩国、日本、法国和阿根廷等国在小型堆研究开发方面展开了激烈的竞争，相继提出自己的技术方案和研发计划。我国若能尽早开始建设小型堆示范工程，对于提升我国在小型堆领域的国际地位具有重要的战略意义。

（3）工程建设是实现中核集团战略目标的重要途径

在分析国内外核能应用发展趋势的基础上，中核集团充分发挥自身的技术优势，开拓新的市场空间，寻求新的经济增长点，制定了差异化发展战略。在重点发展大型核电机组

的同时，开展模块式小型堆的技术开发，并通过示范应用逐步推向产业化，在小型堆的应用领域抢占先机。中核集团在十二五期间加速开发多用途模块式小型压水堆，并于2010年6月正式批准将模块式小型压水堆开发作为集团重点科技专项。示范工程建设是实现中核集团战略目标的重要途径。

（4）工程建设是小型堆商业应用和产业化的前提

模块式小型堆利用现有压水堆许多成熟的设备和系统的技术，同时采用了一系列更先进的设计、制造、建造和运行技术，例如，一体化的反应堆、内置直流蒸汽发生器、模块的工厂制造和现场组装、完全非能动的安全设施，以及相应的检修运行问题、设备运行的可靠性和安全性问题等，都必须通过示范工程的验证才能进入商业运行和推广应用。此外，通过模块式小型堆的批量化建设，并进行商业化的设计和改造，能够有效降低造价，获得良好的经济性。因此，示范工程的建设是模块式小型堆市场推广应用和产业化发展的必要手段和措施。

（5）提升自主化能力推动产业发展

模块式小型堆将作为我国核能应用领域的重要补充，建设小型堆示范工程，将有利于形成我国商用模块式小型堆自主设计、自主制造、自主建设和自主运营的能力，掌握自主知识产权，带动我国核能相关产业群的高水平发展，并使我国小型压水堆的技术应用达到国际领先水平，对于开拓国际小型堆市场实现国家“走出去”的战略目标具有重大意义。

（6）对海南省经济和国防发展提供支撑

海南省是一个能源资源缺乏的省份，为建立安全、可靠、稳定、经济的能源保障体系，必须采取能源供应多元化战略，发展核电是实现海南能源供应多元化的重要途径，是实现能源供应可持续发展的需要。增加核电项目比重，可改善海南省以火电为主的电源结构，可缓解煤炭供应和运输压力，减少煤电的大气污染物排放，有利于环境保护。

海南省为海岛地区，电网规模、容量较小，适合发展以模块式小型核发电机组为代表的小型发电机组，以减少电网调峰压力和对电网的冲击影响。通过示范工程的建设，将有效支撑海南国民经济的快速发展，增加地方政府财政收入，改善当地基础设施，增加当地居民就业，提高人民生活水平，为实现海南省提出的打造国际旅游岛的发展目标提供能源支持和保障。

同时，海南省濒临我国南海地区，通过示范工程建设，可以使海南成为模块式小型堆在中国南海广泛的海岛区域推广分布式电源的发展基地，成为先进核能应用的典范，有效提升海南经济发展的含金量。目前，我国正在规划和部署南海开发的国家战略，海南省以

其天然的地理优势，加上示范工程建设的技术积累，必定会成为南海开发的桥头堡，在国防建设和国家能源安全方面发挥重要作用。

1.5 建设项目的进度

本工程于 2021 年 7 月 13 日开工浇筑第一罐混凝土，建设周期为 58 个月，计划 2026 年 5 月 31 日建成投产。

1.6 环境影响报告书编制依据

1.6.1 主要国家法令及国家标准

- 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月 1 日）；
- 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日）；
- 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日）；
- 《中华人民共和国核安全法》（2018 年 1 月 1 日）；
- 《中华人民共和国海洋环境保护法》（2024 年 1 月 1 日）；
- 《中华人民共和国大气污染防治法》（2018 年 10 月 26 日）；
- 《中华人民共和国水污染防治法》（2018 年 1 月 1 日）；
- 《中华人民共和国噪声污染防治法》（2022 年 6 月 5 日）；
- 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020 年 9 月 1 日）；
- 《中华人民共和国水法》（2016 年 7 月 2 日）；
- 《中华人民共和国水土保持法》（2011 年 3 月 1 日修订后实施）；
- 《中华人民共和国水土保持法实施条例》（2011 年 1 月 8 日修订）；
- 《中华人民共和国消防法》（2021 年 4 月 29 日）；
- 《中华人民共和国土地管理法》（2020 年 1 月 1 日）；
- 《中华人民共和国突发事件应对法》（2007 年 11 月 1 日）；
- 《建设项目环境保护管理条例》（2017）中华人民共和国国务院令 682 号；
- 《中华人民共和国防治海岸工程建设项目污染损害与海洋环境管理条例》（2018 年 3 月 19 日）；
- 《放射性物品运输安全管理条例》（2010 年 1 月 1 日）中华人民共和国国务院令 562 号；
- 《放射性废物安全管理条例》（2012 年 3 月 1 日）中华人民共和国国务院令 612 号；
- 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年 3 月 2 日）；

- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）；
- 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
- 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；
- 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）；
- 《海水水质标准》（GB3097-1997）；
- 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；
- 《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）；
- 《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）；
- 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）；
- 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）；
- 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
- 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
- 《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）；
- 《核辐射环境质量评价一般规定》（GB 11215-89）；
- 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB 8999-2021）
- 《核设施流出物监测的一般规定》（GB11217-89）；
- 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）；
- 《低、中水平放射性废物固化体性能要求 水泥固化体》（GB14569.1-2011）；
- 《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》（GB12711-2018）；
- 《建筑设计防火规范》（GB50016-2014）（2018年版）；
- 《压水堆核电厂设计基准事故源项分析准则》（NB/T 20444-2017RK）。

1.6.2 主要核安全法规和导则

- 《核电厂核事故应急管理条例》（HAF002-2011）；
- 《核动力厂厂址评价安全规定》（HAF101-2023）；
- 《核动力厂设计安全规定》（HAF102-2016）；
- 《核电厂厂址选择中的地震问题》（HAD101/01-1994）；
- 《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02-1987）；
- 《核电厂厂址选择及评价的人口分布问题》（HAD101/03-1987）；

- 《核电厂厂址选择的外部人为事件》（HAD101/04-1989）；
- 《核电厂厂址选择中的放射性物质水力弥散问题》（HAD101/05-1991）；
- 《核电厂厂址选择与水文地质的关系》（HAD101/06-1991）；
- 《核电厂厂址查勘》（HAD101/07-1989）；
- 《滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定》（HAD101/09-1990）；
- 《核电厂厂址选择的极端气象事件》（HAD101/10-1991）；
- 《核电厂设计基准热带气旋》（HAD101/11-1991）；
- 《核电厂的地基安全问题》（HAD101/12-1990）；
- 《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01-2019）；
- 《核动力厂防火与防爆设计》（HAD102/11-2019）；
- 《核动力厂燃料装卸和贮存系统设计》（HAD102/15-2021）；
- 《核电厂放射性排出流和废物管理》（HAD401/01-1990）；
- 《核设施放射性废物最小化》（HAD401/08-2016）。

1.6.3 主要部颁规程、规定及地方法规规章

- 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版）；
- 《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；
- 《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）；
- 《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018）；
- 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）；
- 《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022）；
- 《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ24-2020）；
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；
- 《环境影响评价技术导则 核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ808-2016）；
- 《固体废物处理处置工程技术导则》（HJ 2035-2013）；
- 《小型压水堆核动力厂安全审评原则（试行）》（参照执行）；
- 《海南省环境保护条例》（2017年11月修订）；
- 《海南省海洋环境保护规定》（2008年10月）；
- 《海南省大气污染防治条例》（2018年12月修订）；
- 《海南省水污染防治条例》（2018年1月）；
- 《海南省珊瑚礁和砗磲保护规定》（2017年1月）。

1.7 评价标准

1.7.1 辐射环境影响评价标准

（1）运行状态下剂量约束值和排放量、排放浓度控制值

参照《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）中 6.1 条款的规定：“任何厂址的所有核动力堆向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量，每年必须小于 0.25mSv 的剂量约束值。”，以 0.25mSv/a 作为公众个人剂量约束值。与《小型压水堆核动力厂安全审评原则(试行)》中“预计运行事件用于小型压水堆核动力厂正常运行工况下的环境评价，向环境释放的放射性物质对公众个人（成人）造成的有效剂量约束值是 0.25mSv/电厂·年”一致。考虑已运行机组和本厂址后续规划，本工程 1 台模块式小型堆的剂量约束值拟定为 0.01mSv/a。

参照 GB6249-2011 中 6.2 条款的规定：核动力厂必须按每堆实施放射性流出物年排放总量的控制，对于 3000MW 热功率的反应堆，其控制值如下：

气载流出物中的惰性气体为 6×10^{14} Bq/a，碘为 2×10^{10} Bq/a，粒子（半衰期 ≥ 8 d）为 5×10^{10} Bq/a，碳 14 为 7×10^{11} Bq/a，氚为 1.5×10^{13} Bq/a；

液态流出物中氚为 7.5×10^{13} Bq/a，碳 14 为 1.5×10^{11} Bq/a，其余核素为 5.0×10^{10} Bq/a。

GB6249-2011 的 6.3 节要求：对于热功率大于或小于 3000MW 的反应堆，应根据其功率按照以上排放量控制值进行调整。

参照 GB6249-2011，本工程 1 台模块式小型堆排放量的控制值（按功率折算）如下：

- 惰性气体：7.70E+13 Bq/a；
- 碘：2.57E+09 Bq/a；
- 粒子（半衰期 ≥ 8 d）：6.42E+09 Bq/a；
- 氚：1.93E+12 Bq/a；
- C-14：8.98E+10 Bq/a。

液态放射性流出物：

- 氚：9.63E+12 Bq/a；
- C-14：1.93E+10 Bq/a；
- 其余核素：6.42E+09 Bq/a。

参照 GB6249-2011 中 6.8 条款的规定：对于滨海厂址，槽式排放出口处的放射性流出物中除氚和碳 14 外其他放射性核素浓度不应超过 1000Bq/L。本工程放射性液态流出物槽式排放出口处浓度执行 6.8 条款规定。

（2）事故工况下剂量控制值

根据《小型压水堆核动力厂安全审评原则(试行)》，对于小型压水堆核动力厂的稀有事故和极限事故，其个人剂量限值分别确定为：在每发生一次稀有事故时，场址边界上公众个人（成人）在整个事故持续时间内（一般可取 30 天）可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 50mSv 以下；在每发生一次极限事故时，场址边界上公众个人（成人）在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 10mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 100mSv 以下。

（3）运行状态下海水水质要求

本工程循环冷却水入海排放口执行《海水水质标准》（GB3097-1997）中对放射性核素的规定，即：

- Co-60: 0.03 Bq/L;
- Sr-90: 4 Bq/L;
- Ru-106: 0.2 Bq/L;
- Cs-134: 0.6 Bq/L;
- Cs-137: 0.7 Bq/L。

（4）运行后的排放量申请值

根据《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)的规定，放射性排放量设计目标值不超过条款 6.2、6.3 和 6.4 所确定的年排放控制值。营运单位定期申请的放射性流出物排放量不得高于放射性排放量设计目标值，并经审管部门批准后实施。

海南昌江多用途模块式小堆科技示范工程拟定的排放量申请值如下：

气载放射性流出物：

- 惰性气体: 6.11E+12Bq/a;
- 碘: 2.48E+08 Bq/a;
- 粒子（半衰期 $\geq 8d$ ）: 2.46E+07 Bq/a;
- 氚: 9.35E+11 Bq/a;
- C-14: 6.71E+10Bq/a。

液态放射性流出物：

- 氚: 8.42E+12 Bq/a;
- C-14: 4.92E+09 Bq/a;
- 其余核素: 2.75E+09 Bq/a。

1.7.2 非辐射环境影响评价标准

本工程环境影响评价的非放射性污染物评价标准依据《海南省生态环境保护厅关于核定海南昌江小堆示范工程环境影响评价非放执行标准的函》（海南省生态环境保护厅，琼环函[2017]1209号），具体标准如下：

（1）环境空气质量标准和大气污染物排放标准

项目区域环境空气质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准。

大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表2中标准限值。

（2）近岸海域环境功能区划和执行的海水水质标准

根据《海南省人民政府关于划定海南昌江核电项目附近近岸海域环境功能区的批复》（琼府函[2009]151号）和《海南省人民政府办公厅关于同意调整昌江黎族自治县局部近岸海域环境功能区划的复函》（琼府函[2019]432号），厂址近岸海域环境功能区划“昌江核电码头区”（HN095DIII）水质执行标准为按三类海水水质控制，“昌江核电温排水混合区”（HN012W）边界水质执行标准为按二类海水水质控制（水温除外），“昌江核电工业用水区”（HN068C II）除水温外水质执行标准为按二类海水水质控制，水温执行三类海水水质标准。

（3）污水排放标准

施工期、运行期生活污水污染物执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》

（GB18918-2002）中的一级A标准；其它非放射性生产废水排放执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中的一级标准。

（4）噪声标准

声环境质量标准：厂界环境噪声执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）3类标准，居民所在区域执行1类功能区标准，交通噪声执行4a类标准。

噪声排放标准：建筑施工噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中3类标准。

（5）电磁辐射标准

a) 根据《电磁环境控制限值》（GB8702-2014），50Hz频率下，环境中工频电场强度的公众暴露控制限值为4kV/m，工频磁感应强度的公众暴露控制限值为0.1mT。

b) 根据《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）的要求，对于30MHz-3000MHz的频率范围，该标准的公众暴露控制限值为：环境射频综合场强等效平面波功率密度在任意连续6分钟内的平均值应小于0.4 W/m²（电场强度限值12V/m）。

1.8 工程组成

本工程新建的主体工程包括：反应堆厂房、电气厂房、辅助厂房、燃料厂房、汽轮机厂房等，示范工程的 BOP 子项与海南昌江核电厂 1~4 号机组共用，具体见本报告第四章。

1.9 环境保护措施

本工程拟采取的环境保护措施包括设置核岛通风系统、核岛废物处理和排放系统、三废处理设施及环境保护工程、流出物监测和环境监测系统、边坡及截排洪沟等。

1.10 评价范围

1.10.1 辐射环境影响评价范围

根据《核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ808-2016）及《核辐射环境质量评价一般规定》（GB11215-89），评价范围为以示范工程的反应堆为中心，半径 80km 的范围。将此区域分别以 1、2、3、5、10、20、30、40、50、60、70、80km 为半径画 12 个同心圆，与圆心角为 22.5° 的 16 个方位相交划分扇形区，共 192 个评价子区，见图 1.10-1。

1.10.2 非辐射环境影响评价范围

（1）大气环境

根据《核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ808-2016）及《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018）的相关要求，本次大气环境影响评价范围为厂界及厂外 5km 范围。

（2）海洋环境

本工程与海南昌江核电厂 3、4 号机组共用海域取排水工程。根据《海洋工程环境影响评价技术导则》（GB/T 19485-2014）的相关要求，兼顾本工程的海南昌江核电厂 3、4 号机组评价范围为以核电厂址为中心向周边辐射扩展 50km 范围内的海域，示范工程不再单独考虑。

（3）声环境

根据《核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ808-2016）及《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ 2.4-2021）的相关要求，本次声环境影响评价的范围为厂界及厂外 5km 范围。

（4）电磁辐射

根据《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ24-2020）及《电磁环境控制限值》

（GB8702-2014），同时结合本项目开关站和输电线路情况，本项目评价范围如下：

工频电场强度、工频磁场强度：以开关站为中心，半径0.5km的圆形区域以及电力出线送电走廊两侧50m带状区域。

射频综合场强：调查范围为核电厂厂址周围5km范围内环境敏感区域。

（5）生态环境

根据《环境影响评价技术导则 核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ808-2016），陆生生态环境的现状调查评价范围为厂址半径10km，水生生态的现状调查评价范围为以排水口为中心，向海延伸15km范围。

施工期海域生态环境评价范围覆盖工程施工环境影响所及区域，具体根据施工期海域监测范围确定。

1.11 环境影响报告书批复的落实情况

1.11.1 建造阶段环境影响报告书的批复意见

2021年7月1日，生态环境部《关于海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程环境影响报告书（建造阶段）的批复》（环审[2021]54号）要求在工程建造阶段及今后一个时期应重点做好的工作如下：

（1）严格执行施工期间的环境影响评价标准，落实噪声、施工废水、扬尘污染等防治措施和固体废物处理措施，加强施工场地管理，尽可能减小施工活动可能造成的环境影响。

（2）落实海南核电基地与本项目相关共建和共用设施的建设和改造工作。

（3）落实放射性固体废物处置方案，推动放射性固体废物的最终处置工作。

1.11.2 建造阶段环境影响报告书的批复意见落实情况

以上批复意见的落实情况如下：

（1）施工期间，项目建设单位和总包单位严格执行经海南省生态环境保护厅确认的非放射性污染物排放执行标准，现场施工承包商制定了相应的施工环境管理程序、规定，包括防尘降噪措施、生产生活污水收集处理后排放、裸露区域覆盖、固体废弃物收集处理等，可以保证施工期间对环境的影响可接受。同时，工程施工前会制定施工期管理制度并在施工过程中严格执行，本报告第五章给出了施工期间采取的环境监测方案，并在施工期间严格落实。

（2）本项目与海南昌江核电厂1~4号共建和共用子项清单及建设和改造工作情况详见第四章。

（3）本项目低放固体废物计划送至龙和处置场进行处置，该处置场低放废物处置单元2022年下半年已获得运行许可证。海南核电计划自2033年起，每隔13年低水平放射性废物固化体贮存量达到500m³后开展一批次低水平放射性废物外运处置。本项目产生的低放固体废物货包满足《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》（GB9132-2018）和《低、中水平放射性固体废物货包安全标准》（GB 12711-2018）相关要求，符合龙和处置场废物接收准则。



图 1.10-1 厂址半径 80km 范围评价子区划分示意图

第二章 厂址与环境

2.1 厂址地理位置

2.1.1 厂址位置

2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区

2.2 人口分布与饮食习惯

2.2.1 厂址半径 15km 范围内的人口分布

2.2.2 厂址半径 80km 范围内的人口分布

2.3 土地利用及资源概况

2.3.1 土地和水体的利用

2.3.2 陆生资源及生态概况

2.3.3 水产资源及水生态概况

2.3.4 工业、交通及其它相关设施

2.4 气象

2.4.1 区域气候

2.4.2 设计基准气象参数

2.4.3 当地气象条件

2.4.4 大气稳定度

2.4.5 联合频率

2.4.6 混合层高度及扩散参数值

2.4.7 运行前的厂址气象观测

2.5 水文

2.5.1 地表水

2.5.2 地下水

2.5.3 洪水

2.6 地形地貌

表

表 2.4-1 厂址附近的气象站基本信息

表 2.4-2 厂址实测大气扩散参数

表 2.4-3 铁塔气象观测要素技术指标一览表

表 2.4-4 地面观测气象要素技术指标一览表

图

图 2.4-1 东方站各季和年的风玫瑰

图 2.4-2 厂址地面站各季、年风向玫瑰图（2022.3~2024.2）

图 2.4-3 塔层各高度年风玫瑰图（2022.3~2024.2）

图 2.4-4 厂址地面站降水量玫瑰图（2022.3~2024.2）

2.1 厂址地理位置

2.1.1 厂址位置

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程位于海南昌江核电厂西北部，东侧紧邻海南昌江核电厂 1~4 号机组。海南昌江核电厂厂址位于海南省昌江县海尾镇原塘兴村，西北侧濒临北部湾。

厂址东北距海口市约 160km（直线距离，下同），东距儋州市约 71km，东南距三亚市和昌江黎族自治县分别约 145km、26km，西南距东方市约 47km；东北距海头镇约 7.5km，西南距海尾镇约 9.3km。

2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区

（1）厂址边界

海南昌江核电厂原规划建设 4 台压水堆核电机组，统一规划，分期建设。目前，1、2 号机组已投入商运，3、4 号机组正在建设 2 台“华龙一号”核电机组及配套辅助设施。在 3、4 号机组西北侧建设海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程。

本工程征地边界与 1、2 号机组工程征地边界以及 3、4 号机组工程征地边界一起构成了厂址的地产边界。

本工程征地边界包括厂区工程征地边界和配套用地征地边界两部分。厂区工程征地边界东侧为 3、4 号机组厂区工程征地边界，南侧和西侧为施工场地，北侧靠近排洪渠，征地面积 11.2476hm²；配套用地征地边界位于 1、2 号机组厂区工程征地边界东南侧，征地面积 9.4259hm²。本工程总征地面积 20.6735hm²，已获得昌江黎族自治县人民政府的最终批复。

本工程充分利用 1、2 号机组可利用的施工场地并在本工程厂区西南侧新增部分施工场地，新增施工场地与 3、4 号机组工程统筹考虑，总施工场地面积 45.0413hm²，其中本工程施工场地面积约占 10.00hm²。

（2）非居住区和规划限制区

• 非居住区

昌江黎族自治县人民政府昌府函[2019]106 号《昌江黎族自治县人民政府关于同意设置海南昌江小堆示范工程项目非居住区的函》中明确了“同意在海南昌江小堆示范工程新厂址上设置非居住区，非居住区的半径（以反应堆为中心）500m。”故本工程非居住区范围以反应堆厂房为中心，采用半径 500m 范围。

为了贯彻节约集约用地的国策，非居住区范围内只征用核电厂建设用地，与核电厂运

行无关的活动不能任意在核电厂征地边界范围内进行。核电厂征地边界范围内由建设单位进行管理；核电厂征地边界范围外、非居住区范围内的土地，所有权属于地方政府，由建设单位与地方政府就管辖权进行协商确定，控制非居住区范围内一切与核电厂生产运行无关的活动。

- 规划限制区

考虑到本工程与海南昌江核电厂属同一厂址，海南昌江核电厂 1、2 号机组已建成运行，设置了半径 5km 范围规划限制区，因此本工程拟定规划限制区与厂址现有规划限制区相同，半径为 5km。

《海南省人民政府办公厅关于同意在海南昌江核电厂址周围设置限制区的复函》（琼府办函〔2009〕98 号）及《海南省人民政府办公厅关于在海南昌江核电厂址周围设置限制区的补充意见》（琼府办函〔2009〕198 号）同意在海南昌江核电厂址设置以反应堆为中心、半径 5km 的规划限制区。

昌江县政府办文编号[2017]14345 号《关于海南昌江小堆示范工程直接利用海南昌江核电厂 1、2 号机组现有规划限制区的请示》中明确了“昌江县政府拟同意海南昌江小堆示范工程直接利用海南昌江核电厂 1、2 号机组现有规划限制区，不再另行划分，现来文报省人民政府审批。省规划委意见：无意见。省生态环保厅意见：无意见。”

昌江县政府办公室关于在海南昌江核电厂厂址周围设置规划限制区的通知（昌府办函〔2020〕16 号）中指出，“经省政府批准，县政府决定以海南昌江核电厂各反应堆为中心，半径 5km 的包络线作为昌江核电厂厂址规划限制区边界，设置为规划限制区。禁止在规划限制区内建设可能威胁核设施安全的易燃、易爆、腐蚀性物品的生产、贮存设施以及人口密集场所”。

2.2 人口分布与饮食习惯

本节内容依据中核第四研究设计工程有限公司于 2024 年 4 月完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址周围人口和人口分布及食谱调查和统计报告》进行编制。

厂址半径 80km 范围内共涉及昌江黎族自治县、儋州市、东方市、白沙黎族自治县、临高县、五指山市、乐东黎族自治县。厂址半径 5km 范围内人口分布通过现场实地踏勘，获得当地政府提供的人口资料。厂址半径 5~15km 范围内人口分布通过现场实地踏勘，获得公安局、镇政府提供的人口资料。厂址半径 15~80km 范围人口分布通过走访评价范围内各省、市（县）的相关部门（计生、公安、统计等）获得相关资料。

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

厂址半径 5km 范围内涉及海尾镇 4 个行政村的 13 个自然村，共有常住人口约 6 千余人。距离厂址最近的自然村是五联村的马地村，位于 SSE~S 方位约 1.04km，2022 年常住人口约 2 百人；人口最多的自然村是三联村的塘兴村，2022 年常住人口约一千余人，位于厂址 SSE 方向约 2.52km。厂址半径 5km 范围内没有万人以上的人口中心。

厂址半径 5km 范围内分布有 1 所幼儿园和 1 所小学，没有规模以上工矿企业，没有驻军、监狱、敬老院和医院。

2.2.1.2 厂址半径 15km 范围内的重要居民点

厂址半径 15km 范围涉及昌江县海尾镇、十月田镇，儋州市海头镇 3 个乡镇的 31 个行政村、社区或林场，人口最多的行政村为位于厂址 WSW 方位 8.73km 处的海尾社区，共有常住人口近六千人；最近的行政村为位于厂址 SSE~S 方位 1.04km 处的三联村，常住人口约一千余人。厂址半径 10km 范围内没有十万人以上的城镇或者人口中心。

厂址半径 10km 内分布有 14 所学校（幼儿园），医院 3 家，1 所敬老院，厂址半径 10km 范围内无监狱。

根据《昌江黎族自治县国土空间总体规划（2021-2035 年）》，昌江县将推进以人为核心的新型城镇化，发挥中心城区带动作用，推进建设用地高效集约布局，构建高质量发展的城镇空间，形成“中心城区-重点镇-一般镇-特色社区”梯次明显、功能互补、结构合理的四级城镇体系结构。根据规划，涉及厂址半径 10km 范围内的城镇为海尾镇，距离厂址 8.8km，规划全镇人口数为 3~4 万人。

2.2.1.3 流动人口

厂址半径 15km 范围内的流动人口零星分布在各个行政村，涉及的流动人口主要为长期在省内或省外经商、务工的流动人口，共计流出约 500 人，流入约 700 人。

厂址半径 5km 范围内的流动人口在各个自然村均有分布，涉及的流动人口主要为长期在省内或省外经商、务工的流动人口，共计流出约 360 人，流入约 400 人。

2.2.2 厂址半径 80km 范围内的人口分布

2.2.2.1 厂址半径 80km 范围内的人口分布

厂址半径 80km 范围内 2022 年末常住人口约 183 万人，厂址半径 80km 范围内的平均人口密度低于海南省同期人口密度。

2.2.2.2 厂址半径 80km 范围内的人口中心和城镇

厂址半径 80km 范围涉及海南省昌江黎族自治县、儋州市、东方市、白沙黎族自治县、

临高县、五指山市、乐东黎族自治县，共计 7 个地级市、省直辖县、县级市县区在内的共 41 个镇、9 个乡、1 个经济开发区、1 个林场、10 个农场。

厂址半径 80km 范围内无百万人以上的大城市，有两个十万人以上的城镇，即东方市八所镇（市政府所在地）和儋州市那大镇（市政府所在地），分别位于厂址 SSW 方位 47.9km 和 E 方位 71.8km，2022 年底常住人口数分别为 23.1 万人和 34.8 万人。

2.3 土地利用及资源概况

本节内容参考由中核第四研究设计工程有限公司于 2024 年 4 月完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址周围环境及其外部人为事件调查和统计报告》编制。报告中以海南核电厂 3 号机组为调查中心，其中厂址半径 15km 内的环境数据是以示范工程核岛为调查中心，两个调查中心相距 700m。

2.3.1 土地和水体的利用

厂址半径 10km 范围主要涉及昌江黎族自治县海尾镇、十月田镇，还涉及儋州市海头镇部分区域。土地利用类型以林地和耕地为主，园地也较多，厂区范围土地利用类型为工业用地。

厂址半径 10km 范围土地利用规划以乡村发展区、农田保护区和生态保护区为主，海域规划以工矿通信用海区和渔业用海区为主。而具体到厂区范围，规划为乡村发展区。

厂址半径 5km 范围分布有 4 处矿产资源，距离最近的为昌江县南罗矿床，矿种为玻璃用砂，状态为停采，位于厂址 S 方位距离 1.9km。

厂址半径 10km 陆域范围内无省级以上风景游览区。厂址半径 10km 陆域范围内无自然保护区。

厂址半径 10km 陆域范围内有名胜古迹 17 处，包括 4 处市、县级文物保护单位，其余 13 处尚未核定为保护单位。最近的马地村敬字亭位于厂址 S 方位，距离 1.1km。

厂址半径 10km 陆域范围内有 1 处重要湿地：昌江海尾国家湿地公园（试点），湿地公园规划范围最近处位于厂址 WSW 方向，距离 2.0km。

厂址半径 50km 范围内共有水库 34 座，其中，昌江县 17 座，儋州市 8 座，东方市 4 座，白沙县 5 座。其中大型水库 1 座，中型水库 6 座，小（一）型水库 17 座，小（二）型水库 10 座。

厂址半径 15km 范围内无湖泊。厂址半径 15km 范围共有 5 座水库，包括中型水库 1 座（红洋水库），和小（一）型水库 2 座，小（二）型水库 2 座。距离示范工程最近的为红地岭水库，位于厂址的 S 方位，距离厂址 5.5km。

厂址半径 15km 范围共有河流 23 条，其中省级河流 1 条（珠碧江），市级河流 1 条（山鸡江），距离厂址最近的为里仁沟，位于厂址 ENE~S 方位，距离 1.0km。

厂址半径 15km 范围内共有地下水型饮水工程（水井）43 处，基本覆盖了全部行政村，水井类型分为松散型孔隙潜水和基岩裂隙水两种，开采量最大为 13.87 万 m³/a。距离厂址最近的为马地村饮水工程，位于厂址的 WSW 方位，距离 0.8km。

根据《昌江黎族自治县国土空间总体规划(2021-2035 年)》，规划将昌江县划分为“北部-沿海”供水片区、七叉供水片区及王下供水片区，规划建设村镇供水中心水厂一座、取水泵房 2 座、新建原水输水管道 10.057km、村镇集中供水中心水厂 1 座等。至 2035 年，城乡供水普及率达 100%，城镇和建制镇自来水水质合格率 100%，全县建成 11 座给水厂，总供水能力达到 16.4 万 m³/d。

2.3.2 陆生资源及生态概况

本节依据中核第四研究设计工程有限公司于 2024 年 4 月完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址周围环境及其外部人为事件调查和统计报告》和 2023 年 11 月完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址附近陆域生态环境现状调查及分析评价成果报告》编制。

2.3.2.1 农业生产情况

厂址附近粮食作物主要是水稻、薯类和豆类，水稻 1 年 3 季；经济作物有油料作物、甘蔗、槟榔、药材和橡胶；水果种类很多，以菠萝、香蕉、菠萝蜜、芒果等居多。该区域农业较为发达，粮食、果蔬和经济作物种植规模较大，生产的水果，瓜类以销往省外为主，粮食蔬菜类以供应省内为主。

2.3.2.2 畜牧业情况

厂址附近牛、羊的养殖方式有放养和圈养相结合；饮用水一般有河水、自来水；饲料品种有粗饲料（苜蓿等）和袋装饲料；屠宰后的肉主要为本地销售，其余的在邻县流动。

2.3.2.3 林业资源与自然资源情况

厂址附近林地包括灌木林地、其他林地、竹林地、乔木林地。

境内矿主要矿藏有铁、铜、钴、铅、金、石灰岩、石英砂、花岗岩等。

2.3.2.4 陆生生态系统状况

根据中核第四研究设计工程有限公司于 2023 年 11 月完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址附近陆域生态环境现状调查及分析评价成果报告》，调查时间为 2023 年 7 月和 2023 年 10 月。

2.3.2.4.1 陆生植物调查与分析

（1）苔藓植物

通过资料查阅得到本项目调查区苔藓植物物种组成，统计科属种数目。本项目调查区共有 14 科 25 属 33 种。调查区苔藓植物数量较多的是细鳞苔科，其中细鳞苔科有 6 属 8 种。调查区内的苔藓植物均为常见种，绝大多数种类对环境具有较强的适应能力，科属分布较广，集中度较低。

（2）维管植物

据实地调查、调查及参考有关文献资料，经过整理统计，调查区内分布有维管束植物 108 科 422 属 711 种（含种下等级及变种），现场调查到的植物有 394 种。其中蕨类植物 12 科 15 属 22 种，裸子植物 2 科 2 属 2 种，被子植物 94 科 405 属 687 种。

本次现场调查和资料收集发现国家二级重点保护野生植物 2 种火焰兰、水蕨，均位于昌江海尾国家湿地公园（试点）中。调查区域内有海南省级重点保护野生植物 6 种：半枫荷、榄李、桐花树（蜡烛果）、卤蕨、海南美登木、长花龙血树。

2.3.2.4.2 陆生脊椎动物调查与分析

（1）鸟类

结合调查区域 2016 年调查的种类和本次调查的结果，统计获得调查样线区域的整体鸟类有 17 目 40 科 98 种，其中现场调查到的鸟类有 55 种。

本项目调查区内分布有国家二级重点保护鸟类 21 种，分别为栗树鸭、褐耳鹰、松雀鹰、黑翅鸢、紫水鸡、水雉、褐翅鸦鹃、小鸦鹃、领角鸮、黄嘴角鸮、鹰鸮、白胸翡翠、黑喉噪鹛、凤头蜂鹰、黑耳鸢、栗喉蜂虎、雀鹰、白腹鸮、游隼、鸮、红隼，其中栗树鸭、褐耳鹰、黑翅鸢、白腹鸮、凤头蜂鹰、水雉、褐翅鸦鹃、白胸翡翠、栗喉蜂虎和红隼共 10 种为现场调查所见，其余为资料调查；海南省重点保护鸟类 37 种，分别为白鹭、中白鹭、大白鹭、栗苇鸨等，其中白鹭、中白鹭、大白鹭、火斑鸠、蓝翡翠、八哥、池鹭、黑枕黄鹂、蒙古沙鸨、青脚鹬等 23 种为现场调查所见，其余为资料调查。

（2）哺乳动物

调查区域的哺乳动物种类有 5 目 10 科 15 种，现场调查到 7 种。

根据资料调查，发现调查范围内有国家二级重点保护哺乳动物豹猫活动的相关记录；根据昌江海尾湿地的调查资料，2022 年，在对昌江海尾湿地的调查中发现豹猫。

（3）两栖动物

调查区域共记录有调查区域的两栖动物 1 目 5 科 13 种。

根据调查资料，调查区域分布有海南省级重点保护动物华南雨蛙 1 种。

（4）爬行动物

根据调查资料，调查区域共记录爬行动物种类 1 目 9 科 31 种。根据资料调查到的爬行动物中，有国家二级重点保护野生动物 2 种：蜡皮蜥、海南睑虎；海南省级重点保护野生动物 5 种：斑飞蜥、滑鼠蛇、舟山眼镜蛇、银环蛇、福建竹叶青。

（5）腹足纲软体动物

腹调查区域内共调查到腹足纲软体动物 3 目 8 科 11 种，其中 2 种入侵物种，分别为福寿螺和褐云玛瑙螺，其余 9 种均为海南土著种，并且海南小囊螺为海南特有种。所调查到的 11 个物种，无珍惜濒危保护种类。

（6）环节动物

调查区共调查到环节动物 1 纲 1 目 2 科 8 种。

（7）食腐类节肢动物

调查区共记录食腐类动物 5 纲 8 目 16 科 75 种。

（8）飞行类昆虫动物

调查区域内共记录到 9 目 93 科 678 种。评价区域内国家二级重点保护昆虫 1 种，为金裳凤蝶；海南省省级重点保护昆虫 2 种，包括玄麝凤蝶、黑眼蝶。

2.3.2.4.3 生态敏感区

2.3.2.4.3.1 海南昌江海尾国家湿地公园（试点）

海南昌江海尾国家湿地公园是海南为数不多的内陆沼泽湿地之一，区域内保存有完好的沼泽湿地资源，在沼泽湿地中，发育了海南比较典型的香蒲沼泽和卡开芦沼泽。沼泽边的沙丘灌木林不仅在植物组成成分上还是在群落结构上，都具有较强的典型性。该公园目前并非正式的国家公园。

2.3.2.4.3.2 陆域生态保护红线和生态环境分区管控单元

（1）陆域生态保护红线

根据昌江黎族自治县、儋州市自然资源和规划局提供的最新资料，厂址范围内不涉及生态保护红线。厂址半径 10km 范围内涉及 6 处生态保护红线，昌江黎族自治县 4 处，儋州市 2 处，包括 3 处海岸带红线、1 处海岸带水土保持红线、海尾湿地公园红线和观音角海洋生态保护红线。

（2）陆域生态环境分区管控单元

厂址半径 10km 范围内涉及昌江黎族自治县和儋州市海头镇的部分区域，根据海南省生态环境厅发布的《海南省市县生态环境分区管控动态更新技术方案（2024 版）》，目前

“三线一单”成果在“海南省生态环境分区管控信息平台”动态更新。根据 2024 年 4 月最新的查询结果，范围内涉及重点管控单元 5 处，优先保护单元 12 处。

示范工程位于昌江黎族自治县水环境农业污染重点管控单元。

2.3.2.5 距离示范工程最近的湿地公园、种植区和饲养场等

示范工程半径 10km 范围最近的湿地公园为昌江海尾国家湿地公园（试点），最近的种植区位于 SSW 方位，最近的饲养场位于 WSW 方位。

2.3.3 水产资源及水生态概况

本节编制依据为自然资源部第三海洋研究所 2024 年 3 月完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址邻近海域生态环境现状调查中期成果报告》（调查时间为夏季（2023 年 8 月）和秋季（2023 年 10 月））和三亚珊瑚礁生态研究所 2024 年 6 月完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址邻近海域珊瑚礁调查及评价报告》。

2.3.3.1 厂址附近海域海洋沉积物质量

本次沉积物质量调查表明，调查海区沉积物硫化物、有机碳、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷和石油类含量均符合海洋沉积物质量一类标准。

2.3.3.2 厂址邻近海域中的海洋生物

厂址半径 15km 范围内海域生态情况如下：

（1）叶绿素 *a* 和初级生产力

夏季调查海域表层叶绿素 *a* 含量的平均值为 1.06 mg/m^3 ，变化范围介于 $0.20 \sim 3.42 \text{ mg/m}^3$ 之间；底层叶绿素 *a* 含量的平均值为 0.89 mg/m^3 ，变化范围介于 $0.25 \sim 2.44 \text{ mg/m}^3$ 之间。夏季调查海域初级生产力的平均值为 $94.76 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，变化范围在 $47.00 \sim 180.95 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 之间。

秋季调查海域表层叶绿素 *a* 含量的平均值为 1.25 mg/m^3 ，变化范围介于 $0.65 \sim 1.91 \text{ mg/m}^3$ 之间；底层叶绿素 *a* 含量的平均值为 0.99 mg/m^3 ，变化范围介于 $0.52 \sim 1.43 \text{ mg/m}^3$ 之间。秋季调查海域初级生产力的平均值为 $50.83 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，变化范围在 $18.40 \sim 84.53 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 之间。

（2）浮游植物和赤潮生物

①浮游植物

夏季航次共有水采浮游植物 43 种。其中硅藻 34 种，甲藻 7 种。

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 79 种。

②赤潮生物

2023年10月秋季共记录赤潮生物65种，含硅藻43种，甲藻20种，蓝藻和金藻各1种。

（3）浮游动物

夏季航次厂址15km范围的各测站共记录鉴定到种的浮游动物74种，以桡足类为最优势，共计鉴定到43种。

秋季航次厂址15km范围的各测站共记录鉴定到种的浮游动物90种，以桡足类为最优势，共计鉴定到41种。

（4）大型底栖生物

夏季核电厂址15km范围采泥调查共鉴定大型底栖生物9门120种，按物种数多寡依次为环节动物62种，节肢动物30种，软体动物14种，棘皮动物和其他动物各7种。

秋季核电厂址15km范围采泥调查共鉴定大型底栖生物7门86种，按物种数多寡依次为环节动物46种，节肢动物19种，软体动物10种，其他动物6种和棘皮动物5种。

（5）潮间带生物

夏季，调查海域4条潮间带断面所获生物样品共鉴定有4门62种，物种组成以环节动物、软体动物和节肢动物为主要类群。

秋季，调查海域4条潮间带断面所获生物样品共鉴定有4门59种，物种组成仍以环节动物、软体动物和节肢动物为主要类群。

（6）鱼类浮游生物

夏季调查结果表明，15km范围内海区垂直拖网共出现鱼类浮游生物7种，鱼卵和仔稚鱼各为7种。夏季水平拖网共记录鱼类浮游生物24种，鱼卵为18种、仔稚鱼9种。

秋季调查结果表明，15km范围内海区垂直拖网共出现鱼类浮游生物12种，鱼卵和仔稚鱼分别为7种和8种。秋季水平拖网共记录鱼类浮游生物22种，鱼卵和仔稚鱼各为13种。

（7）游泳动物

夏季调查所获样品经鉴定共有游泳动物78种，其中鱼类59种，虾类5种，蟹类8种，虾蛄类3种，头足类3种。

秋季调查所获样品经鉴定共有游泳动物64种，其中鱼类44种，虾类8种，蟹类6种，虾蛄类2种，头足类4种。

2.3.3.3 生物质量

（1）铜

夏季调查海区新港小文蛤铜含量符合海洋生物质量一类标准，居龙棘刺牡蛎的铜含量符合海洋生物质量二类标准，掌牡蛎的铜含量符合海洋生物质量三类标准。

秋季调查海区新港文蛤铜含量符合海洋生物质量一类标准，居龙咬齿牡蛎的铜含量符合海洋生物质量二类标准，牙螺田棘刺牡蛎的铜含量符合海洋生物质量三类标准，棘刺牡蛎的铜含量超出海洋生物质量三类标准。

（2）铅

夏季调查海区新港小文蛤的铅含量均符合海洋生物质量一类标准，掌牡蛎的铅含量均符合海洋生物质量二类标准，居龙棘刺牡蛎的铅含量符合海洋生物质量三类标准。

秋季调查海区新港文蛤和居龙咬齿牡蛎的铅含量均符合海洋生物质量一类标准，棘刺牡蛎的铅含量均符合海洋生物质量二类标准。

（3）锌

夏季调查海区牡蛎的锌含量均符合海洋生物质量三类标准，新港小文蛤的锌含量均符合海洋生物质量一类标准。

秋季调查海区牡蛎的锌含量均符合海洋生物质量三类标准，新港文蛤的锌含量均符合海洋生物质量一类标准。

（4）镉

夏季调查海区新港小文蛤的镉含量符合海洋生物质量一类标准，调查海区牡蛎的镉含量符合海洋生物质量二类标准。

秋季调查海区新港文蛤和牙螺田棘刺牡蛎的镉含量符合海洋生物质量一类标准，居龙咬齿牡蛎和棘刺牡蛎的镉含量符合海洋生物质量二类标准。

（5）铬

夏季调查海区所有双壳贝类的铬含量均符合海洋生物质量一类标准。

秋季调查海区新港文蛤和棘刺牡蛎铬含量均符合海洋生物质量二类标准，其余双壳贝类的铬含量均符合海洋生物质量一类标准。

（6）汞

夏秋两季双壳贝类的汞含量均符合海洋生物质量一类标准。

（7）砷

夏秋两季双壳贝类的砷含量均符合海洋生物质量二类标准。

（8）石油烃

夏秋两季双壳贝类的石油烃含量均符合海洋生物质量一类标准。

2.3.3.4 厂址邻近海域珊瑚礁

本节依据三亚珊瑚礁生态研究所 2024 年 6 月完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址邻近海域珊瑚礁调查及评价报告》进行编制。

核电厂附近海域造礁石珊瑚共有 12 科 19 属 41 种。调查海域的造礁石珊瑚在科级阶元中蜂巢珊瑚科种类最多，包括 5 属 16 种；在属级阶元中，角蜂巢珊瑚属的种类最多，包括 6 种；种类组成中，常见种类有斯氏角孔珊瑚、丛生盔型珊瑚、五边角蜂巢珊瑚、团块滨珊瑚等。

核电厂附近海域调查站位珊瑚鱼类有 5 科 7 属 14 种，经济鱼类较少，以雀鲷科为主，分别为蓝纹高身雀鲷、菲律宾雀鲷、五带豆娘鱼、霓虹雀鲷、孟加拉豆娘鱼。

核电厂附近沿岸海域的大型藻类大多为喇叭藻、马尾藻。

2.3.3.5 工程周围环境敏感目标

2.3.3.5.1 海洋保护区及保护性水生生物

核电厂址周边有以下自然保护地：海南东方黑脸琵鹭省级自然保护区、新英湾红树林省级自然保护区、海南昌江海尾国家湿地公园、海南昌江棋子湾国家级海洋公园。调查海区重要保护性水生生物种有蓝圆鲹、金色小沙丁鱼、白蝶贝和二长棘鲷。

2.3.3.5.2 三场一通道

海南昌江核电厂所处海区为南海亚热带海区，游泳生物种类繁多，但群体均不大，产卵场、育幼场、索饵场比较分散。农业部发布了第 189 号《中国海洋渔业水域图》（第一批），划定了几种主要经济种类的产卵场和育幼场。

（1）南海中上层鱼类产卵场

根据农业部公告第 189 号《中国海洋渔业水域图》（第一批），“南海中上层鱼类产卵场”，距离昌江核电厂最近的为该产卵场中的“蓝圆鲹北部湾产卵场”。

（2）南海底层、近底层鱼类产卵场

根据农业部公告第 189 号《中国海洋渔业水域图》（第一批），“南海底层、近底层鱼类产卵场”，距离昌江核电厂最近的为“二长棘鲷产卵场”、“绯鲤类产卵场”、“长尾大眼鲷产卵场”和“短尾鳍大眼鲷产卵场”。

（3）南海北部幼鱼繁育场保护区

该保护区位于南海北部及北部湾沿岸 40 米等深线、17 个基点连线以内海域，保护期为 1~12 月。

（4）蓝圆鲹和金色小沙丁鱼幼鱼保护区

位于海南省临高县临高角至东方八所港 20 米水深以内的北部湾海域，保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日。

2.3.3.6 渔业生产与海水养殖

根据渔业生产数据统计，本海域主要经济鱼类有：金线鱼、带鱼、蓝圆鲹、白姑鱼、刺鲳和二长棘鲷等，主要经济甲壳类有：须赤虾、刀额新对虾、短沟对虾、矛形梭子蟹、远洋梭子蟹和虾蛄类等，主要经济头足类有：中国枪乌贼和火枪乌贼等。

昌江黎族自治县的海尾镇和儋州市海头镇从岸线范围看，南至海尾镇沙鱼塘村，北至海头镇洋家北村。尾镇海洋产业以海洋捕捞为主，海水养殖站渔业经济总产值的20%左右。海水养殖以模式分，有池塘养殖、深水网箱养殖及底播养殖。按养殖品种有鱼类养殖、虾蟹类养殖、贝类养殖和藻类养殖。海头镇海洋产业亦以海洋捕捞为主，海水养殖模式及主养品种与海尾镇相似，海头镇还有较多虾类苗种培育场。

2.3.3.7 海域生态保护红线和生态环境分区管控单元

（1）海域生态保护红线

核电厂址半径80公里范围位于海域生态保护红线核心保护区有东方市的东方琵鹭保护区核心区，儋州市的磷枪石岛珊瑚礁省级自然保护区和新英湾红树林保护区核心区，临高县的白蝶贝保护区核心区。昌江核电厂排水口落在生态保护红线外。

（2）海域生态环境分区管控单元

核电厂址半径 80 公里范围位于优先保护区的单元有临高县的白蝶贝保护区，儋州市的新英湾红树林保护区核心区、磷枪石岛珊瑚礁省级自然保护区，昌江的棋子湾国家级海洋公园，东方市的东方琵鹭保护区等。重点管控单元有洋浦开发区西侧的港口航运区、海头镇的近岸海域、海尾镇新港近岸等。昌江核电厂排水口位于重点管控单元内。

2.3.4 工业、交通及其它相关设施

本节内容依据中核第四研究设计工程有限公司于 2024 年 4 月完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址周围环境及其外部人为事件调查和统计报告》进行编制。报告中以海南核电 3 号机组为调查中心，其中厂址半径 15km 内的环境数据是以示范工程核岛为调查中心，两个调查中心相距 700m。

2.3.4.1 工业设施

厂址半径 15km 范围内没有规模以上的工业企业。

厂址半径 15km 范围内有危险品贮存、使用企业共 6 家，其中加油站 5 家，最近的为昌江康城实业有限公司（海尾金地加油站），位于厂址 SSE 方位约 2.7km。民爆物品使用

企业 1 家，为临时库房。加油站运输的汽柴油，最大单次运输量均为 20t，运输路线涉及全县范围，距离最近的危险品运输路线为 S108，最近点位于厂址 SSW 方位，距离 1.2km。海南宏大合安爆破工程有限公司临时民爆器材库位于沙田村，为昌江核电厂 3、4 号机组陆域隧道工程提供炸药、雷管，该器材库目前未启用，不涉及炸药雷管运输。

厂址半径 15km 范围内主要涉及 LNG/LPG 场站现状及规划。现状场站 2 座，分别为核电 LNG 直供气化站和海头 LPG 瓶组气化站，最近的为核电 LNG 直供气化站，位于厂址 ENE 方位 1.2km。规划场站 3 座，最近的为核电关联及新材料产业先导区 LNG 气化站，位于厂址 SSW 方位 1.7km。

厂址 15km 内涉及中压和低压天然气管线的规划，管线管径为 DN90—DN250，中压管线压力在 0.2—0.4MPa，低压管线压力小于 0.01MPa，材质为钢管或铸铁管温度均为常温。最近的中压管道位于厂址 SSW 方位约 1.3km。

厂址半径 15km 范围内涉及的工业发展规划为海南（昌江）清洁能源高新技术产业园，规划区将作为核电关联产业区的先导区，将凭借紧邻核电站的区位优势，优先重点发展核电关联产业、清洁能源、智慧储能、节能环保、新型材料、高端制造等产业。海南（昌江）清洁能源高新技术产业园核电关联及新材料产业先导区位于厂址的 WSW~S 方位、最近距离 1.1km。按照《海南（昌江）清洁能源高新技术产业园核电关联及新材料产业先导区控制性详细规划》（2021 年 12 月），该先导区未规划危险品仓库，规划有气化站以及中压管网。

本工程与海南 1、2 号机组位于同一厂址，海南 1、2 号机组已运行并划定了规划限制区，周围新建的工业企业及相关规划需要与核电厂具有相容性。

根据计算，上述危险源及其运输车辆均不会对核电厂安全构成潜在危险。

2.3.4.2 交通

（1）公路

厂址半径 15km 范围内涉及西环高铁 1 条快速铁路，为环岛高铁的一部分，仅承担客运业务，设计时速 250km，位于厂址 SE 方向约 3.1km。

厂址半径 15km 范围内有不涉及高速公路。厂址半径 15km 范围内涉及 1 条国道、4 条省道、2 条县道和 14 条乡道。G361 陵昌线（棋子湾大道），最近点位于厂址 SW 方位约 11.0km。最近的省道为环岛旅游公路（S108），最近点位于厂址 SSW 方位约 1.2km。最近的乡道为 YR03469026（梧高村—新港居委会，厂址北门的主干道）位于厂址 NNW 方位约 0.3km。

厂址半径 15km 范围陆上交通规划情况主要根据《昌江黎族自治县“十四五”综合交通运输规划》，厂址半径 15km 范围内暂时没有重大交通设施的具体新建规划，以原有交通设施的改扩建和维护为主。

（2）海运

厂址半径 15km 半径范围内暂无固定的航线，最近的航路为海南环岛航路兵马角至八所段，位于厂址 NW 方位 15.3km。

厂址半径 15km 范围内仅有海南昌江核电厂大件码头，有渔港 4 座。海南昌江核电厂大件码头位于厂址 NNW 方位 1.8km。最近的渔港为新港渔港，位于厂址 NNW 方位 6.3km。

（3）空运

厂址半径 4km 范围内没有起落航道或其他航线，厂址半径 10km 范围内没有机场。最近的空中航线为 A202，航线中心线最近点位于厂址 SE 方位 15.0km，边缘距厂址 5.0km。根据核安全导则 HAD101/04-1989 的规定，厂址 16km 范围内没有年起落大于 193d² 的机场，厂址 16km 范围外没有年起落大于 386d² 的机场。可不考虑飞机坠毁对厂址安全的影响。厂址半径 16km 内不涉及机场规划，厂址半径 4km 内不涉及空中航线规划。

2.4 气象

本节报告编制参考的研究专题如下：

1) 《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址区域常规气象和极端气象调查资料统计分析报告》，北京中气辉光科技有限公司，2024 年 4 月；

2) 《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址气象观测统计分析成果报告（2022.3~2024.2）》，中国辐射防护研究院，2024 年 3 月；

3) 《海南昌江核电厂厂址大气扩散试验研究》，北京大学，2009 年 9 月。

2.4.1 区域气候

海南岛地处北热带，整体属于北热带海洋季风型气候。厂址位于琼西中部沿海，由于地处海南中南部高大山体的背风坡，下沉作用致当地雨日和雨量较琼中、琼东地区偏少。按照海南气候区划厂址大致位于半湿润和半干旱气候区的交界。当地大致 3 月中旬入夏，11 月下旬入秋，夏季长度可达 250~260d，余者是季节相连的秋春两季，约 110d 左右。这里无寒潮现象，也很少有冷空气强降温。

厂址的区域气候既受低纬度环流的制约，又受中高纬度大气环流边缘的影响。副热带西风、热带东风、赤道西风三种基本风系的交替出现和影响，构成海南各季气候的基本格局。

冬季我国大陆直到南海北缘为深厚、强盛的东亚大槽控制。与此高空环流场对应的海平面气压场表现为蒙古一带的庞大冷高压和阿留申群岛的低气压，于是形成东亚地区的东北季风。海南居于冬季风的南缘，盛行东北风，天气变化主要由北方南下的冷空气所决定。不过强弩之末的冷空气，已很难给海南造成强降温。

夏季整个西风带明显北移，西太平洋副热带高压随之加强北抬，它的平均脊线可达N25~30°，赤道辐合带随之北移，盛夏时大致位于N10~15°。地面气压场配置表现为印度为热低压区，西太平洋为高压区，东亚进入夏季风时期，盛行东南风或西南风。随夏半年的到来，低纬热带天气系统进入活跃鼎盛期。这时琼西沿海常见的天气类型有三种：第一种是副热带高压控制下的晴热少雨天气，第二种是台风等热带天气系统影响时的狂风暴雨天气，第三种是辐合区控制时的不稳定性雷雨天气。

对琼西沿海区域有影响的主要天气系统包括：（1）西风带天气系统，如北支西风槽、西南低涡、冷锋、华南静止锋等；（2）副热带天气系统，如南支西风槽、西太平洋副热带高压、南海高压等；（3）热带天气系统，如台风、热带辐合带、东风波、南海季风低压、热带云团等。

作为常规气象、极端气象参数资料收集的厂址周边气象站主要有东方、儋州、昌江和临高四个气象站。各气象站的基本情况见表 2.4-1。

根据厂址周边东方、儋州、昌江和临高四个气象站自建站~2023 年的气象要素统计资料，厂址区域年平均气温为 23.7℃~25.1℃，极端最高气温为 41.5℃（昌江站，2023.5.6），极端最低气温为 0.4℃（儋州站，1955.1.11）；年平均气压为 992.0hPa~1010.0hPa，极端最高气压为 1033.4hPa（东方站，2016.1.25），极端最低气压为 954.3hPa（儋州站，1991.8.16）；年平均相对湿度为 76.0%~84.0%；年平均日照时数为 1995.4h~2608.3h；年平均降水量为 987.0mm~1871.7mm，一日最大降水量为 644.6mm（昌江站，2001.8.30）；年平均风速为 2.1m/s~4.2m/s，最大风速为 34.0m/s（东方站，1992.6.29），极大风速为 39.3m/s（东方站，2005.9.27）；年平均蒸发量为 1662.5mm~2426.9mm。

2.4.2 设计基准气象参数

2.4.2.1 常规气象

根据东方气象站 1953~2023 年共 71 年的气象要素统计结果，对其气象要素统计值分析如下：

1) 风向、风速

东方站年平均风速 4.2m/s，各月的平均风速都较大，年变化呈双峰双谷型，其中 6 月

份的平均风速最大，为 4.9m/s，9 月风速最小，为 3.3m/s。最大风速为 34.0m/s（1992.6.29），出现在 9204 台风影响期间。1994 年 9 月份开始有极大风速的直接观测以来，极大风速达 39.3m/s（2005.9.27），出现在 0518 号台风（达维）从东方出海的时候。

东方站累年各季的风向频率见图 2.4-1。可见，秋冬季盛行东北风，夏季盛行南风，春季两种风向交替出现。全年最多风向为 NE，年频率 21.0%，其次为 S，年频率 14.0%。累年静风频率为 6.0%，若仅以 2004 年单轨观测后的定时资料统计，静风频率（ $\leq 0.5\text{m/s}$ ）为 3.0%。

2) 气温

东方站年平均气温为 25.1℃，最热月 6 月的平均气温为 29.6℃，最冷月 1 月的平均气温为 18.9℃。极端最高气温为 38.8℃（1958.4.23），极端最低气温为 1.4℃（1955.1.12）。

3) 相对湿度和水汽压

东方站的累年各月平均相对湿度变化在 75~82%之间，年平均为 79%，年最小相对湿度为 20%。其中 5、6 月份因气温较高而使得相对湿度较低，而 2 月和 9 月份相对较高，相对湿度的年变程表现为双峰型。

东方站年平均水汽压为 25.6hPa，月平均值最小出现在 1 月份，为 17.8hPa，最大出现在 8 月份，为 31.4hPa。

4) 降水

东方站年平均降水日数为 84.9d，年平均降水量为 987.0mm。月平均降水量最大出现在 8 月份，为 231.9mm，最小出现在 1 月份，仅 8.0mm。历年记录中一日最大降水量为 423.1mm，出现在 1996 年 9 月 21 日 9618 号台风期间。东方站年降水量最多的年份为 2018 年，降水量为 1537.2mm；最少年份出现在 1969 年，降水量仅有 275.4mm。

5) 气压

东方站年平均气压为 1010.0 hPa，12 月份平均气压最高，为 1016.8 hPa，7 月份最低，为 1003.3 hPa。极端最高气压为 1033.4hPa（2016.1.25），极端最低气压为 973.1hPa（1992.6.28）。

6) 云量

东方站年平均总云量和低云量分别为 6.9 和 3.0 成。月平均总云量 8 月份最多，为 8.4 成，11 月份最少，为 5.7 成。月平均低云量 2 月份最多，为 4.5 成，5、6、7 月份最少，为 2.1 成。

7) 日照

东方站年平均日照时数为 2608.3h。月平均日照时数最多出现在 5 月，为 277.0h，最少月份是 2 月，为 158.6h。

8) 蒸发

东方站多年平均蒸发量为 2289.6mm。月平均蒸发量最多出现在 5 月，为 268.2mm，最少月份为 2 月，只有 123.3mm。

2.4.2.2 极端气象

(1) 热带气旋

以厂址为中心半径 400km 区域作为厂址热带气旋的调查范围，收集该区域内 1949~2023 年共 75 年的热带气旋资料，得到对厂址区域有影响的热带气旋共有 449 例，平均每年 6.0 例，其中，含强热带风暴及以上强度的有 281 例。采用耿贝尔函数进行极值拟合，得到厂址区域 10m 高度处百年一遇热带气旋最大风速为 47.2m/s，对应的极大风速为 66.1m/s。

(2) 极端风速

收集东方、儋州、昌江和临高四个气象站自建站~2023 年的极端风资料，采用耿贝尔函数进行极值拟合，并考虑各参证站的实测极值，最终确定厂址 10m 高度处百年一遇实测极端风最大风速为 38.7m/s，对应的极大风速 54.2m/s。

综合热带气旋和实测极端风统计结果，本工程与核安全有关的抗震 I 类构筑物设计基准风速为 66.1m/s（3s 阵风）。

(3) 龙卷风

龙卷风的调查年限为 1960~2023 年共 64 年。调查区域包括海南本岛及广东的湛江和茂名两市，合计总面积 5.79 万平方公里。共获得龙卷风样本 262 例，按照核安全导则（HAD101/10，1991）推荐的富士达分类法，经评定划分后得到调查区域内共有 27 个龙卷风达到 F2 级，101 个样本达到 F1 级，F0 级共有 134 个样本。

以 10^{-7} /年作为设计基准龙卷风的概率水平，得到厂址区域龙卷风设计基准风速为 72.0m/s。

按照简单的压降模型，计算得到设计基准龙卷风风速及压降特性如下：

设计基准龙卷风	F3 级
最大龙卷风风速	72.0 m/s
平移速度	13.9m/s
最大旋转风速	58.1m/s

最大气压降	38.8hPa
压降率	10.8hPa/s

（4）极端气温

收集东方、儋州、昌江和临高四个气象站自建站~2023年的极端气温资料，采用耿贝尔函数进行极值拟合，并考虑各参证站的实测极值，最终确定厂址区域百年一遇极端最高气温为43.0℃，百年一遇极端最低气温为-0.8℃。

2.4.3 当地气象条件

以下根据厂址气象站2022年3月至2024年2月两整年的现场气象要素观测统计结果，分析厂址当地气象条件。

1) 风向、风速

观测期间厂址地面年平均风速为2.8m/s。其中12月份平均风速最高，为3.7m/s；9月份平均风速最低，为2.3m/s。年静风（ $\leq 0.5\text{m/s}$ ）频率为0.6%。观测期间厂址地面最大风速为9.1m/s（2022.4.1），极大风速为17.0m/s（2023.7.17）。

观测期间厂址地面年最多风向和次多风向分别为ENE（17.1%）和E（11.6%）。图2.4-2给出了观测期间厂址地面各季和年风频分布特征。全年期间WSW来流时年平均风速最高，达到4.1m/s，其次是NE来流，为4.0m/s，最低为SE和SSE来流的1.2m/s。

观测期间塔层各高度（10m、30m、50m、70m和100m）的年平均风速分别为2.8m/s、3.6m/s、4.3m/s、4.8m/s和5.3m/s。其中各高度月平均风速均以12月份最高，分别为3.8m/s、4.9m/s、5.8m/s、6.5m/s和7.2m/s；月平均风速最低值在3月、4月或9月均可能出现，分别为2.4m/s、3.1m/s、3.6m/s、4.1m/s和4.5m/s。塔层各高度的年静风频率分别为0.3%、0.2%、0.2%、0.2%和0.1%。

观测期间塔层各高度（10m、30m、50m、70m和100m）的最大风速分别为9.1m/s、11.8m/s、14.1m/s、15.1m/s和16.8m/s，除30m和50m高度出现在2023年11月16日外，其他高度均出现在2022年4月1日；极大风速分别为17.1m/s、19.2m/s、21.3m/s、22.1m/s和24.7m/s，除10m高度出现在2023年11月16日外，其他高度均出现在2023年7月17日。

观测期间塔层各高度（10m、30m、50m、70m和100m）的年最多风向分别为ENE（15.5%）、ENE（14.6%）、E（12.6%）、E（12.6%）和ENE（12.0%），年次多风向分别为E（14.1%）、E（12.2%）、NE（11.5%）、ENE（11.8%）和E（11.6%）。图2.4-3给出了观测期间塔层各高度年风频分布特征。

2) 气温

观测期间厂址地面站和塔层各高度（10m、30m、50m、70m 和 100m）年平均气温分别为 25.1℃、25.2℃、24.9℃、25.0℃、24.7℃和 24.6℃，月平均气温最高值均出现在 6 月份，分别为 30.3℃、30.2℃、29.9℃、29.9℃、29.7℃和 29.6℃，月平均气温最低值均出现在 1 月份，分别为 18.5℃、18.6℃、18.2℃、18.4℃、18.2℃和 18.1℃。

观测期间厂址地面站出现的最高气温为 40.3℃，出现在 2023 年 5 月 6 日；最低气温为 7.1℃，出现在 2023 年 1 月 30 日。塔层各高度（10m、30m、50m、70m 和 100m）的最高气温均出现在 2023 年 5 月 6 日，分别为 39.4℃、38.7℃、38.4℃、37.8℃和 37.5℃；最低气温除 10m 和 30m 高度出现在 2023 年 1 月 30 日外，其他高度均出现在 1 月 24 日，分别为 7.8℃、9.1℃、10.2℃、10.0℃和 9.7℃。

观测期间铁塔 10~30m、10~50m、10~70m 和 10~100m 出现逆温的时次频率在 11.7%~23.0%之间，10~100m 出现逆温的频率最高，10~30m 的频率最低；各层强逆温的出现频率分别为 2.4%、3.0%、1.9%和 0.8%。可见，厂址区域出现强逆温的频率较小，绝大部分为弱逆温。

3) 相对湿度和水汽压

观测期间厂址年平均相对湿度为 79.7%，9 月的平均相对湿度最高，为 83.3%，6 月平均相对湿度最低，为 71.5%。观测期间出现的最小相对湿度为 32.3%，出现在 2022 年 12 月 19 日。

观测期间厂址年平均水汽压为 25.7hPa，7 月份平均水汽压最高，为 31.3hPa；1 月份平均水汽压最低，为 17.7hPa。观测期间出现的最高水汽压为 37.1hPa，出现在 2023 年 8 月 28 日；最低水汽压为 7.2hPa，出现在 2022 年 12 月 18 日。

4) 降水

观测期间地面站年平均降水时数为 430h，年平均降水量为 1074.2mm。月平均降水量最大值为 8 月份的 298.3mm，月平均降水量最小值为 2 月份的 4.1mm。单日降水量最大值为 194.2mm，出现在 2022 年 8 月 10 日。

图 2.4-4 给出了观测期间各风向下平均降水量。观测期间单风向降水量最大值为 199.6mm（SW），单风向降水量最小值为 1.6mm（W）。

5) 气压

观测期间厂址年平均气压为 1009.7hPa，1 月份平均气压最高，为 1017.3hPa；8 月份平均气压最低，为 1003.1hPa。观测期间出现的最高气压为 1028.9hPa，出现在 2022 年 12

月 22 日；最低气压为 993.1hPa，出现在 2022 年 7 月 2 日。

6) 辐射

观测期间厂址年平均总辐射量为 197.5W/m²，年平均净辐射量为 100.6W/m²。总辐射量月平均值最大为 7 月份的 251.3W/m²，月平均值最小为 12 月份的 131.0W/m²。净辐射月平均值最大为 7 月份的 139.3W/m²，月平均值最小为 12 月份的 54.5W/m²。

2.4.4 大气稳定度

根据厂址 2022 年 3 月~2024 年 2 月两整年的实测气象资料，采用 $\Delta T/U$ 法进行大气稳定度分类，该方法利用铁塔 100m 和 10m 高度处的温度差以及铁塔 10m 高度的风速确定大气稳定度。结果表明观测期间中性 D 类为 22.1%，不稳定 A~C 类分别为 5.6%、28.5%、19.2%，稳定 E、F 类分别为 1.2%和 23.3%。

2.4.5 联合频率

根据 2022 年 3 月~2024 年 2 月厂址气象铁塔 10m 和 30m 高度的风向、风速和地面气象站的降水量观测结果，以及采用 $\Delta T/U$ 法得到的稳定度分类，统计计算得到厂址 10m 高度风向、风速、稳定度三维联合频率和 30m 高度的风向、风速、稳定度、雨况四维联合频率。

2.4.6 混合层高度及扩散参数值

2.4.6.1 混合层高度

北京大学于 2009 年 2 月 10 日~3 月 4 日（以下简称冬季，气象塔位置、老村和打显三个实验站）和 2009 年 5 月 31 日~6 月 22 日（以下简称夏季，气象铁塔位置一个实验站）分别在厂址开展了大气边界层探测。根据冬、夏两季大气边界层实验得到的不同稳定度类型的混合层高度的观测值，以及这些混合层高度特征值的大小范围，剔除不合理的观测值后计算混合层高度的平均值，根据大气边界层越不稳定混合层发展越旺盛的一般概念，综合理论和经验合理性分析后得到厂址不同稳定度下混合层高度值如下：

A-B 稳定度	1040m
C 类稳定度	750m
D 类稳定度	480m

2.4.6.2 扩散参数值

为研究厂址的大气扩散特征，开展了现场示踪实验、湍流观测和大气扩散数值模拟。其中，湍流观测结果与示踪实验和数值模拟结果有所差别，主要由于湍流观测结果反映了局地相对较小范围的影响，不能反映拉格朗日扩散过程和路径上气流的时空变化造成的扩

散作用，同时湍流资料处理中还倾向于把较大尺度的扰动成分滤除，因此，由当地单点湍流观测资料导出的扩散参数不能反映导致示踪实验结果偏大的扩散因子。示踪实验和数值模拟结果能够反映当地沿岸局地环流对侧向扩散的影响。稳定条件下，由于缺乏示踪实验观测结果，而湍流观测和补充数值模拟的结果都显示扩散参数略大于 P-G 曲线，因而稳定条件下水平扩散参数的确定主要以数值模拟结果为依据，并参照湍流观测的近处结果。在各条扩散曲线的确定过程中的具体做法是，先判断示踪实验、数值模拟和湍流观测 3 种方法结果的合理性，判断结果的取舍，然后取不同方法结果的几何平均，之后再人工微量修整。

对于垂直扩散参数，三种方法获得的结果具有较好的可比性，湍流观测结果在不稳定一侧略偏低。考虑到垂直湍流观测反映的较小尺度的湍流特征对当地扩散有较好的代表性，同时数值模拟的结果也与湍流观测的较为接近，D 类稳定度条件下的垂直扩散参数采用湍流观测结果，不稳定条件下的垂直扩散参数取示踪实验结果与湍流观测结果的几何平均，稳定条件下则参考补充数值模拟情况对湍流观测结果进行修正。

综上所述，最终确定厂址区域的大气扩散参数见表 2.4-2。

2.4.7 运行前的厂址气象观测

为了观测用于评价电厂正常运行期间和事故工况下气载放射性物质的弥散特征所需要的各种气象参数，在厂址现场应设立气象塔自动观测系统以及地面气象站，以开展气象观测工作。气象观测系统运行前的各气象要素数据联合获取率均应保证在 90%以上。

由于原厂址气象站受周围海岸防护林的存在，低层气象观测的风速、风向受到了一定的影响。因此，2020 年在本厂址建设了新的厂址气象站，同年 12 月新厂址气象站正式开始观测。

目前，厂址地面气象站进行气温、湿度、气压、风速、风向、降水量、总辐射和净辐射、蒸发的实时测量，并可计算出气象要素平均量、阶段时间内的极值、露点温度、水汽压、湿球温度等。气象铁塔高 102m，在 10m、30m、50m、70m 和 100m 高度处架设了 5 层风速、风向和气温传感器，开展塔层风、温观测。表 2.4-3 和表 2.4-4 给出了气象铁塔和地面观测传感器的技术指标。

2022 年 3 月~2024 年 2 月观测期间厂址气象观测系统（地面站和气象铁塔）各气象要素的数据联合获取率为 99.3%，满足导则要求。

2.5 水文

示范工程紧邻 1、2 号机组工程，属同一厂址，本节内容主要参考的专题报告有《海

南昌江核电厂 1、2 号机组工程水文复核计算报告》（2015.03）、《海南昌江核电厂 3、4 号机组工程海域海洋水文观测及分析专题报告》（2017.05）等。本节如无特别说明，高程系统均采用 1985 国家高程。

2.5.1 地表水

2.5.1.1 海洋水文

（1）概况描述

厂址位于海南省昌江县海尾镇原塘兴村，濒临北部湾。

厂址位于海南岛中部的琼中南隆起中低山地区，塘兴水库北侧的山脊上，属滨海台地，自然地面高程约为 9.3~30.4m，地形平缓。整体地势呈西南-东北走向，向大海倾斜。

北部湾是雷州半岛、海南岛和广西壮族自治区及越南之间的海湾，面积接近 13 万平方公里，比渤海面积略大。平均水深 42m，最深达 100m。有南流江、红河、珠碧江等注入，由于沿岸河流不多，带入海湾中的泥沙较少。根据 1964~2011 年期间（取排水工程建设前）水深图对比，厂址附近海尾~海头之间的海岸线走向和位置总体保持稳定，仅局部略有侵蚀；2011~2016 年期间（取排水工程建设后），厂址附近海尾~海头之间的海岸线走向和位置总体保持稳定，仅厂址及海湾渔港附近岸线有所变化，为工程建设引起；总的来看，核电工程建设并没有改变海尾~海头之间岸线总体稳定的格局，其影响是局部的。

2008 年 7 月~2009 年 6 月在工程海域进行了为期一年的水文站连续观测，同时借助附近海域的长期海洋观测站（东方站）的同步观测资料与厂址站海洋水文观测资料进行相关，拓延海洋水文资料序列。厂址周边唯一且最近的长期观测站是东方站，位于东方市的八所港，地理位置为 19°06'N，108°37'E。该站建立于 1956 年，主要观测项目有气象、温盐及潮汐、波浪等，距离厂址约 50km。

在 2008 年水文观测的基础上重新对昌江核电厂海域进行夏季（2016 年 7 月 20 日~07 月 26 日）、冬季（2017 年 1 月 1~7 日）有代表性的多断面大、中、小潮的同步水文测验工作，测验项目包含水深、海流、悬沙含沙量、悬沙颗粒分析、盐度、水温、海面简易气象（主要包括风速、风向）。

（2）潮汐

潮汐分析资料主要采用东方海洋站 1955 年 10 月~2014 年 12 月的长期观测资料和厂址站 2008 年 7 月~2009 年 6 月的观测资料。

厂址海域为规则日潮，每个潮汐日有一次高潮和一次低潮。厂址平均潮差为 1.69m，最大潮差 4.19m；平均高潮位和平均低潮位分别为 1.80m 和 0.11m。

对厂址站和东方站的同期资料进行调和与分析，利用东方站 19 年资料（1989~2007）分析的调和常数对厂址站调和常数进行订正，得到厂址处的主要分潮的潮汐调和常数，从而推算厂址的最高天文潮位为 2.97m，最低天文潮位为-1.41m；10%超越概率天文高潮位 2.71m，10%超越概率天文低潮位-1.18m。

（3）潮流

2016 年~2017 年夏、冬季期间在厂址海域共布设 12 个点进行同步水文测验，根据海南昌江核电厂址冬、夏季全潮水文测验资料，工程海域的海流具有以下特征：

1) 潮流类型

潮流按其性质可分为规则的半日潮流和不规则的半日潮流、规则的全日潮流和不规则的全日潮流，工程海域各站垂线平均的 F 值在 2.08~4.12 之间，平均为 3.24，表明本海域潮流类型基本属不规则全日潮流性质。

2) 潮流运动形式

潮流运动形式可依主要分潮流 K1 的椭圆率 $|K|$ 予以判定。工程海区各站各层的 K1 分潮的 K 值绝对值一般小于 0.2，表现为较为明显的往复流。

3) 涨、落潮历时

夏季观测期间平均涨潮历时在 09 时 16 分~11 时 03 分之间。平均落潮历时在 09 时 30 分~11 时 53 分之间。冬季观测期间平均涨潮历时在 11 时 09 分~12 时 16 分之间。平均落潮历时在 10 时 50 分~11 时 53 分之间。

4) 余流

余流是从实测潮流中分离出周期性的潮流之后的剩余部分。它主要由大气环流、气象因素和地形因素引起。调查海域的风是表层余流的主要因子，夏、冬季观测期间各站位的表层余流方向与风向有较好的对应关系；而近底层余流则表现为较为明显的补偿流性质。

（4）增、减水

1) 概率论法

采用厂址站和东方站的增减水相关关系，拓延了厂址站历年风暴增减水序列，计算了其 P-III 分布和 GUMBEL 分布，两种分布结果基本一致。但从适线拟合情况和对大值符合度上分析，P-III 分布结果较为合理，同时结果也较为保守。本着合理偏保守的原则采用 P-III 分布结果作为厂址增减水重现期结果，得到厂址工程海域千年一遇增水值为 1.37m，千年一遇减水值为-1.37m；百年一遇增水值为 1.03m，百年一遇减水值为-1.06m。

2) 确定论法

确定论法计算厂址可能最大风暴潮增减水采用三重嵌套网格风暴潮数值模型。对进入或影响海南昌江核电厂址附近海域有代表性的台风风暴潮过程进行了模拟计算，计算结果表明，所建立的风暴潮模型能够满足计算海南昌江核电厂厂址处可能最大风暴潮增、减水的要求。

本着合理偏保守原则，确定可能最大热带气旋 PMTC 参数为：

P_{∞} 取 1008hPa；

P_0 取 898.0hPa、考虑填塞影响 P_0 取 903.0hPa；

台风最大风速半径为 40km；

台风移速、移向：以 40km/h 移速沿 30°移向（NNE）移动的台风能引起昌江厂址可能最大台风增水（PMSS）；以 25km/h 移速沿 260°移向（WSW）移动的台风能引起昌江厂址可能最大台风减水（-PMSS）。

经计算海南昌江核电厂址的可能最大台增水（PMSS）由 40km/h 移速沿 30°移向距厂址以西 0.5R（R 为最大风速半径）的那条路径引起，可能最大台风增水为 3.71m；而经计算海南昌江核电厂址的可能最大台减水（-PMSS）由 25km/h 移速沿 260°移向距厂址以南 1.0 R 的那条路径引，可能最大台风减水为 2.06m。

（5）假潮

假潮是叠加在潮汐上的一种较短周期的震动，经常发生在沿岸的海湾中，其成因主要为“气压波强迫作用”、“大气压力扰动和风向、风速突变”、“自由波共振”、“港湾地理环境”等，当外力周期与海湾的固有振动周期一致时，则激发假潮。

依据东方海洋站于 2002~2014 年 5min 间隔的潮位观测资料，提取其中的假潮信息，研究表明：厂址海域的假潮振幅较小，最大年极值假潮为 21cm，最大振幅 23cm，周期为 35~100min。基于东方海洋站年极值假潮序列，计算其 GUMBEL 分布得到厂址海域假潮重现期分布结果，本着合理偏保守的原则，推荐昌江厂址海域可能最大假潮为 0.35m。

（6）海啸

海啸是海洋中迅速传播的一种长周期重力波，当其传播到近岸时可形成惊涛骇浪，造成严重的灾害损失。海啸亦称海吼，按其成因，海啸可分为 3 种类型，即地震海啸、火山海啸和滑坡海啸。发生较多的是地震海啸，它是一种由地表断裂、海底隆起或下沉导致的海底突然错位引起的近海或大洋的波浪，或者波浪系统。地震海啸的形成要具备三个条件：1）地震要发生在海底且地壳需大范围的急剧垂直升降；2）地震强度需在 6.5 级以上且震源深度小于 50km；3）地震发生海区的海水需达到足够深度，一般要在 1000m 以上。

对厂址海域所处的北部湾海域其现代构造运动以水平剪切应力场作用下的走滑运动为主，且地形变化单调而平坦，这样的构造活动和地形不易产生大面积的地壳垂直升降。因此，不具备地震海啸形成的第一个条件，至于海底火山爆发和山崩这两个因素对该海域都不存在。另外，厂址海域所处的台湾海峡海域，平均水深不足 200m，距发生地震海啸要求水深在 1000m 以上的条件相差甚远。从以上分析看出，厂址海域不具备地震海啸发生的条件，不可能发生地震海啸。

根据核安全局对我国沿海核电站地震海啸风险论证结果，基于中国地震局提供的潜在地震海啸源数据，可能引起海南沿海潜在的地震源主要为马尼拉海沟的 6 个子断层及其 2 个断层组合，采用数值模式方法计算了这些组合引起的地震海啸值。该计算不考虑我国近海能够产生局地海啸的源地，只考虑能够产生类似日本 0311 巨大地震海啸的源地，如马尼拉海沟。这个海沟是亚欧板块与太平洋板块的交界处，是典型的地震潜没带，与日本本州东部的海沟类似，能够产生较大的海啸。计算结果表明，对于昌江厂址，断层 RM4+5+6 产生的海啸波对其影响最大，最大波幅为 0.26m。

昌江厂址位于北部湾海域，北部湾北面和西面为陆地，东面是雷州半岛与海南岛，仅有狭窄的琼州海峡与南海北部相通，南面有广阔的陆架海，其外又有西沙群岛为屏障。这样外海海啸波经过的时候，其能量会迅速衰减。因此，外海海啸波不易传入北部湾，更难传入工程海域。基于榆林港观测到的振幅 0.78m 的海啸波的观测结果和榆林港面向外海，昌江厂址在其北面，受外海传入海啸影响应较小的推断，确定厂址可能最大地震海啸波高不超过 0.8m。因此，推荐昌江厂址可能最大海啸值为 0.8m。

（7）海平面上升

利用东方站海平面长期监测资料和其它信息，综合分析了厂址海域海平面变化状况，指出厂址海域海平面将持续上升，但幅度不大，不会出现异常变化状况。利用谱分析方法计算了海平面显著周期，与天文潮和太阳黑子出现的周期等进行比较与分析，并利用海平面上升预测模型，预测了工程海域未来 20~100 年海平面变化值。海南昌江核电厂址海域海平面上升速率为 0.22cm/a，厂址 80 年运行期间海平面将上升 0.18m。

（8）波浪

根据厂址站 2008 年 7 月~2009 年 6 月实测波浪资料可知，工程海域偏北向波浪的出现频率较高，共占 64.5%，其中 N、NNE、NNW 向分别为 29.8%、26.4%和 8.3%；W~NW 向次之，为 33.1%，其中 W 与 WNW 向分别为 16.7%和 9.8%。常浪向为 N~NE 和 W 向，强浪向为 N 和 NNW 向。观测到的 H1/10 最大波高 4.37m，波向为 N，相应周期为 5.0s，

出现日期为 2009 年 3 月 14 日。厂址海域秋季波浪最强、冬春季次之、夏季最弱，常浪向为 NNE~NNW 与 W 向；大浪多出现于秋冬季，强浪向为 N、NNW 和 NNE 向。

（9）泥沙

工程海域位于海南岛西北部临海沿岸，没有大的河流入海，沙源有限。

（10）海水温度

核电厂址海域东方海洋站 1960~2014 年水温观测资料，并结合厂址海域 2008 年 7 月~2009 年 6 月实测水温资料，建立厂址和参照站东方站的海水温度相关关系，计算厂址海域夏季表层水温累积频率 1% 和 10% 的水温值分别为 30.8℃ 和 30.3℃。东方海洋站多年夏季（6~8 月）表层海水平均温度为 30.0℃，多年冬季（12 月~翌年 2 月）表层海水平均温度为 21.2℃。

（11）海水盐度

夏季调查期间，各站大、中、小潮实测海水平均盐度分别为 31.84‰、31.84‰、31.75‰。冬季调查期间，各站大、中、小潮实测海水平均盐度分别为 32.22‰、32.58‰、32.91‰。夏、冬季各站海水盐度受潮汐潮流的影响，涨潮时，盐度升高，落潮时，盐度降低。在高平潮时盐度达到相对高值，低平潮时盐度值达到相对低值。

夏、冬季盐度水平分布总体特征为：由外海向近岸、由西南向东北逐渐降低。夏、冬季观测期间，海水盐度的垂向分布规律为：近表层平均盐度值最低，近底层最高，有自表层向底层递增，夏季表底层盐度差值大于冬季。

（12）海冰

本海区终年水温较高，不存在冰情影响问题。

（13）赤潮

海南海域赤潮发生次数不多。据《海南省海洋环境状况公报》（海南省海洋与渔业厅出版），2005 年近岸海域发生两次赤潮，分别出现在文昌高隆湾与海口湾，面积最大 0.3km²，最长持续时间为 3 天。2006 年海南海域赤潮发生次数为 7 次。其中海口 2 次、三亚 3 次、文昌一次、陵水一次；三亚海域的赤潮面积最大一次为 2006 年 7 月红沙港海域发生放射角毛藻赤潮，面积约 6km²，厂址海域无有关赤潮报道。

2.5.1.2 陆地水文

（1）水文描述

厂址位于海南省昌江县海尾镇新港村西南面 2km 处的海滨，濒临北部湾。距离厂址最近的河流主要有昌化江、珠碧江及山鸡江。

厂址半径 15km 地表水主要是珠碧江和南罗河。珠碧江发源于海南白沙黎族自治县中部的南高岭，流向西北，进入儋州市海头镇注入北部湾。珠碧江全长 98.48km，流域面积 1292km²，属粤桂琼沿海诸河水系。南罗河位于海尾镇，流经长田村、南罗村等。

厂址半径 15km 范围内共有 5 座水库，分别是红地岭水库、东边水库、大芬水库、打显水库、红洋水库。距厂址中心最近的是红地岭水库，距离是 5.5km，位于厂址 S 方位。其次是东边水库，距厂址中心 7.7km，方位是 SW。

（2）核电厂淡水水源

海南昌江核电厂 1、2 号机组淡水水源取自石碌水库。石碌水库总库容 1.29 亿 m³，是一座以灌溉为主，结合供水、发电、防洪、养鱼等综合利用的大型水利工程。根据《海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程水资源论证报告》，石碌水库水源方案在现状、规划水平年满足生活、工业用水保证率 97% 的要求，满足本工程用水的要求。

2.5.2 地下水

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程紧临海南昌江核电厂厂址西北侧，濒临北部湾，反应堆中心距离海岸约 1km。

2.5.2.1 厂址附近范围地下水

厂址附近范围内地下水依据富水性、分布特征及地下水类型、含水介质的不同分为松散堆积层孔隙水、基岩裂隙水。

（1）地下水赋存条件及分布规律

a) 第四系孔隙水

含水层组主要为海积砂类土层，为孔隙潜水。含水层组主要为细中砂、粗砂，富水性中等，单井出水量一般为 20~260m³/d，含水层渗透性较好，渗透系数一般为 25~35m/d，地下水位埋深一般较浅。含水层径流条件较好，是区内主要的富水带，矿化度一般较低，水质较好。

b) 基岩裂隙水

基岩裂隙水为黑云母花岗岩、石英闪长岩等风化基岩裂隙水和构造裂隙水，主要分布于丘陵区。风化基岩裂隙水赋存于全风化、强风化基岩中，基岩节理裂隙发育，裂隙贯通性较好，与上覆第四系孔隙水可形成统一地下水位，地下水位随地形起伏变化。构造裂隙水主要赋存于中等风化和微风化基岩中，透水性弱，富水性差。

（2）地下水的补给、径流、排泄

第四系孔隙水主要接受大气降水补给，由地势高处向地势低处径流，最终汇入大海。

地下水排泄方式主要有蒸发、下渗补给下部基岩裂隙水、向海洋排泄等。

基岩裂隙水补给来源为大气降水和松散堆积层孔隙水下渗补给，基岩裂隙水接受补给后，以脉状、支脉状分布于张开的裂隙中，沿裂隙走向运移，在沟谷处侧向补给到第四系孔隙水中或直接排出地表，地下水径流速度、途径受地形、构造条件控制。

（3）地下水化学特征

第四系孔隙水矿化度一般较低，水质较好，水质类型一般为 Cl-Na 型或 Cl·HCO₃-Na·Ca 型水。靠海地带的地下水与海水混合形成过渡带，矿化度一般较高，局部受海潮影响地带为咸水，水质类型一般为 Cl-Na 型水。

基岩裂隙水水质一般较好，水质类型与岩石的成份有密切的关系，一般为 HCO₃-Na 型。

（4）水文地质单元划分

厂址附近范围地下水均为潜水，可大致分为 3 个水文地质单元，厂址所在水文地质单元与周围水文地质单元水力联系微弱。厂址位于该水文地质单元的南部，距离海岸约 1km。

该水文地质单元地下水类型主要为第四系孔隙水、基岩裂隙水，主要接受大气降水补给，地下水受地形控制，由地势高处向地势低处流动，整体由内陆向大海流动。

（5）地下水取水点调查

厂址及附近地区无大型厂矿，无地下水水源地及集中开采区。

厂址附近地区取水点为小的民井，部分民井已废弃。民井主要用于临时养殖及居民生活饮用，井深小，取水量小，大部分民井分布于厂区地下水流动方向的上游，仅有 4 口位于厂区地下水流动的下游方向排洪渠北岸。

2.5.2.2 厂址地下水

（1）地下水类型

厂区地下水分两大类，即第四系孔隙水和基岩裂隙水。

a) 第四系孔隙水

第四系孔隙水主要分布于台地地貌单元的海积砂层中，含水层为海积中砂层及砾砂层，富水性好。地下水水位埋深在 2.51m~5.90m 之间，水位标高在+8.15m~+10.60m 之间。根据钻孔抽水试验结果，含水层渗透系数为 5.79~11.47m/d，属中等~强透水。

b) 基岩裂隙水

基岩裂隙水为风化基岩裂隙水和构造裂隙水。因基岩的风化层厚度、风化强度及节理裂隙发育的不均匀而表现出赋存的不均匀性。从节理裂隙发育特征来看，基岩裂隙水以风

化裂隙水为主。风化基岩裂隙水赋存于强风化基岩中，由于强风化基岩广泛发育，风化裂隙贯通性较好，可形成统一地下水位。风化裂隙水厚度与岩体风化破碎程度有关，一般岩体破碎、风化深度大时，特别有岩脉侵入处，含水层厚度大。中等~微风化岩体受节理裂隙发育影响，可形成局部的构造裂隙水，但不形成统一的含水层及地下水位，且富水性较差。根据钻孔抽水试验结果，强风化岩体的渗透系数为 $2.31 \times 10^{-5} \text{ cm/s} \sim 3.36 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ ，属弱透水层。根据钻孔压水试验，微风化岩体的渗透系数为 $0.35 \sim 0.96 \text{ Lu}$ ，属微透水。

（2）地下水补给、径流、排泄条件

厂区内第四系孔隙水主要接受大气降水补给，少部分为基岩裂隙水通过浅部裂隙的侧向补给。地下水径流受地形控制，总体上自高向低处流动，即自厂区向排洪渠方向流动，最终排入大海，排泄方式主要为蒸发和径流。

基岩裂隙水主要受上部第四系孔隙水垂向补给，地下水径流受地形控制，总体上自高向低处流动，即自厂区向排洪渠方向流动，最终排入大海，排泄方式主要为径流。

（3）地下水水化学类型

根据厂区周边已有勘察成果，地下水为淡水，水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型水，pH 值为 $8.15 \sim 8.29$ ，总硬度 $42.71 \sim 48.15 \text{ mg/L}$ ，矿化度 $190.89 \sim 281.01 \text{ mg/L}$ 。

（4）水力联系

a) 地下水之间的水力联系

根据已有资料，厂址周边地下水由地势较高地区向地势较低地区渗流，最终排入大海。第四系孔隙水主要接受大气降水的补给，其次是地表水入渗补给和基岩裂隙水的侧向径流补给，最终排入大海。基岩裂隙水主要接受上覆第四系孔隙水入渗补给，最终排入大海。

b) 地下水与地表水的水力联系

厂址周边地表水主要是塘兴水库、人工虾塘和排洪渠。

对于水库，水量一般受季节影响，雨季时水量较大，旱季水量明显减少或干涸。水库水顺排洪渠由西北方向排入大海。据调查，水库底高于厂坪设计标高，水库与厂址被海南昌江核电厂 25m 平台隔断，无水力联系。

人工养殖虾塘分布于厂区东北部和西北部（1 号弃土场东西两侧），总面积约 0.58 km^2 ，距离厂址边界最近距离约 470 m ，由几十个规模大小相似的虾池组成，主要通过抽取海水进行海产养殖。虾塘底部已做防渗处理，不会与地下水产生水力联系，若防渗措施受到破坏，根据水位调查结果，虾塘周边地下水位低于虾塘底标高，虾塘水将下渗补给地下水。

排洪渠位于厂址北侧，距最近的建（构）筑物距离约为 180 m ，地下水总体流向为自

南向北流动，但是会表现出季节性的差异。丰水季节时排洪渠内水位高，排洪渠补给周边地下水；枯水季节时排洪渠内水位低甚至无水，地下水自排洪渠底部向大海径流。

厂址区无贯通厂区内外的断裂构造所形成的含水通道。

2.5.2.3 示范工程对地下水的利用计划

示范工程没有利用地下水的计划。

2.5.2.4 示范工程对地下水的可能影响

厂址及附近地区无大型厂矿，无地下水水源地及集中开采区。地下水位主要受降水影响，含水层厚度薄，且位于海边，开采易引起海水入侵，不具备大量开采价值。

根据已有资料，厂区水文地质条件简单，厂区内的地下水由地势较高地区向地势较低地区渗流，最终排泄入海。厂址区场地平整后，不会改变地下水的总体流向。仅有4口生产用小口径民井位于厂区西北方向虾塘及临时养鸭场位置，处于厂区地下水流向的下游，这四口民井供生活或养殖临时使用，用水量小。在电厂正常运行工况下，对民井地下水无影响；在事故工况下，若有放射性核素进入地下水中，因民井主要用于养殖，且用水量小，可废弃。

综上所述，厂址区地下水总体流向受地形控制，并最终向大海排泄。厂址没有导水通道。核电厂建造和运行期间，不会影响厂址周围居民的生活用水。

2.5.3 洪水

2.5.3.1 海洋洪水

（1）历史洪水

2007年11月2日在海头镇新港村进行历史最高洪水位调查，在当地渔政部门陪同下调访了多位老村（渔）民，了解到1996年18号台风期间当地发生最高洪水位。

1996年18号台风“达维”于9月20日08时在广东徐闻登陆后进入北部湾，台风风速基本维持在30m/s，9月21日14时，东方海洋站实测最大风速32.0m/s，风向西南。在村民的指引下，采用水准仪从新港码头高程点引测到厂址洪水位点，洪水位高程为3.91m。另根据调查资料，东方站最高潮位出现在6403号台风影响时（1964年7月2日20时），最高水位为2.89m。

（2）洪水影响

核电厂厂址对海洪的防护是按照《滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定》（HAD101/09）进行考虑的。海南昌江核电厂址的设计基准洪水位的组合（不考虑波浪影响）如下：

10%超越概率天文高潮：2.71m

可能最大台风增水： 3.71m

海平面上升： 0.18m

设计基准洪水位： 6.60m

示范工程厂坪标高定为 11.00m，高于不考虑波浪影响的设计基准洪水位。波浪的作用通过天然地形屏障防护，确保在设计基准洪水位及相应台风浪作用下不会对核岛的安全产生影响。

2.5.3.2 陆地洪水

（1）厂区暴雨洪水

厂址的厂区雨水排水，按千年一遇降雨量设计，可能最大降雨 PMP 进行校核，并根据《福岛核事故后核电厂改进行动通用技术要求（试行）》，保证设计基准洪水位叠加千年一遇降雨工况下核安全相关厂房的防洪安全。

（2）山洪的防护

海南昌江核电厂址位于海南岛中部的琼中南隆起中低山地区，塘兴水库北侧的山脊上，属滨海台地，自然地面高程约为 9.3~30.4m，地形平缓。整体地势呈西南-东北走向，向大海倾斜。

塘兴水库在 PMF 工况下的洪水（可包络溃坝洪水量）、厂区外围集水区域 PMP 工况汇水以及厂区内 PMP 工况雨水汇水等组合事件，通过厂区外围排洪渠排入下游原塘兴水库泄洪通道，最终排入大海。排洪渠改道疏浚工程实施后，排洪渠大件桥上游断面对应的 PMF 水位为 10.58m，低于厂坪标高 11.0m，故可保证厂址的防洪安全。

（3）溃坝洪水对厂区的影响

本工程厂址与珠碧江之间存在较高地势，呈连续分布，最低点高程尚有 12m（靠近岸边区域），可以对珠碧江洪水起到阻隔作用。除塘兴水库外，厂区流域范围内无大的水库，不存在水库溃坝洪水而影响厂址的安全问题。

塘兴水库在 PMF 工况下的洪水（可包络溃坝洪水量）、厂区外围集水区域 PMP 工况汇水以及厂区内 PMP 工况雨水汇水等组合事件，通过厂区外围排洪渠排入下游原塘兴水库泄洪通道，最终排入大海。排洪渠改道疏浚工程实施后，排洪渠大件桥上游断面对应的 PMF 水位为 10.58m，低于厂坪标高 11.0m，故可保证厂址的防洪安全。

（4）溪流与江河洪水的防护

厂址位于珠碧江流域，距珠碧江约 4km。珠碧江干流全长 86km，流域面积 1101km²，发源于海南白沙县中部的南高岭，流经西北部进入儋州市境海头镇注入北部湾。鉴于厂址

区域的地形及水系分布情况，厂址和珠碧江之间的地形起到阻隔作用，陆域径流对其不构成威胁。

2.6 地形地貌

厂址区主要为台地地貌，仅东侧局部地段为人工地貌（主要为1、2号机组工程建设后形成的建（构）筑物、道路及人工边坡等）。场地内地面标高约9.40m~19.00m（1985国家高程基准），整体地势东南部高，西北部低，地势平坦，坡度 2° ~ 5° 。

目前，本工程已完成厂区场地平整工作，核岛、常规岛和部分BOP子项正在进行现场施工。

表 2.4-1 厂址附近的气象站基本信息

站名	区站号	纬度	经度	高度(m)	级别	与厂址相对位置
东方	59838	19°06'	108°37'	8.0	基准站（气候观象台）	西南，48.0km
儋州	59845	19°31'	109°35'	168.8	基本站（一级站）	东，71.9km
昌江	59847	19°16'	109°03'	98.9	一般站（二级站）	东南，29.0km
临高	59842	19°54'	109°41'	30.6	一般站（二级站）	东北，100.0km

表 2.4-2 厂址实测大气扩散参数

$$(\sigma_y = ax^b, \sigma_z = cx^d)$$

稳定性 系数	A	B	C	D	E	F
a	1.188	0.811	0.514	0.326	0.200	0.124
b	0.900	0.886	0.883	0.883	0.880	0.880
c	0.353	0.301	0.238	0.218	0.202	0.199
d	0.934	0.888	0.86	0.808	0.747	0.672

表 2.4-3 铁塔气象观测要素技术指标一览表

测量要素	测量范围	分辨率	准确度	平均时间	自动采样速率
风向	0°~360°	2.5°	±3°	3s	1次/s
风速	0.3~60m/s	0.05m/s	(0.3+0.03v)m/s 基准站	1min 2min 10min	
气温	-50°C~+50°C	0.1°C	±0.1°C	1min	

表 2.4-4 地面观测气象要素技术指标一览表

测量要素	测量范围	分辨率	准确度	平均时间	自动采样速率
气温	-40℃~+85℃	0.1℃	±0.1℃	1min	6次/min
相对湿度	0~100%	1.5%	4% (≤80%) 8% (>80%)	1min	6次/min
气压	600~1100hPa	0.1hPa	±0.3~1.5hPa	1min	6次/min
风向	0°~360°	2.5°	±3°	3s	1次/s
风速	0.3~60m/s	0.05m/s	(0.3+0.03v)m/s 基准站	1min 2min 10min	
降水量	雨强 0~4mm/min	0.1mm	2% (≤25mm) 3% (≤50mm)	累计	1次/min
总辐射	0~2000W/m ²	1W/m ²	5%	1min	6次/min
净辐射	-2000~2000 W/m ²	1W/m ²	15%~20%	1min	6次/min
蒸发	0-100mm	0.1mm	水面蒸发量为 3000ml 时： ≤±0.3mm 或者 ≤±0.1mm	1min	1次/min

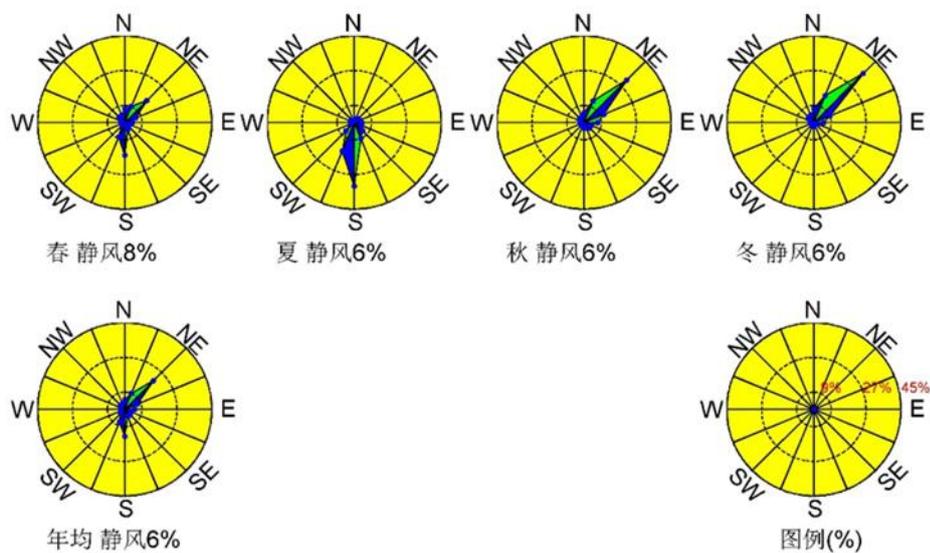
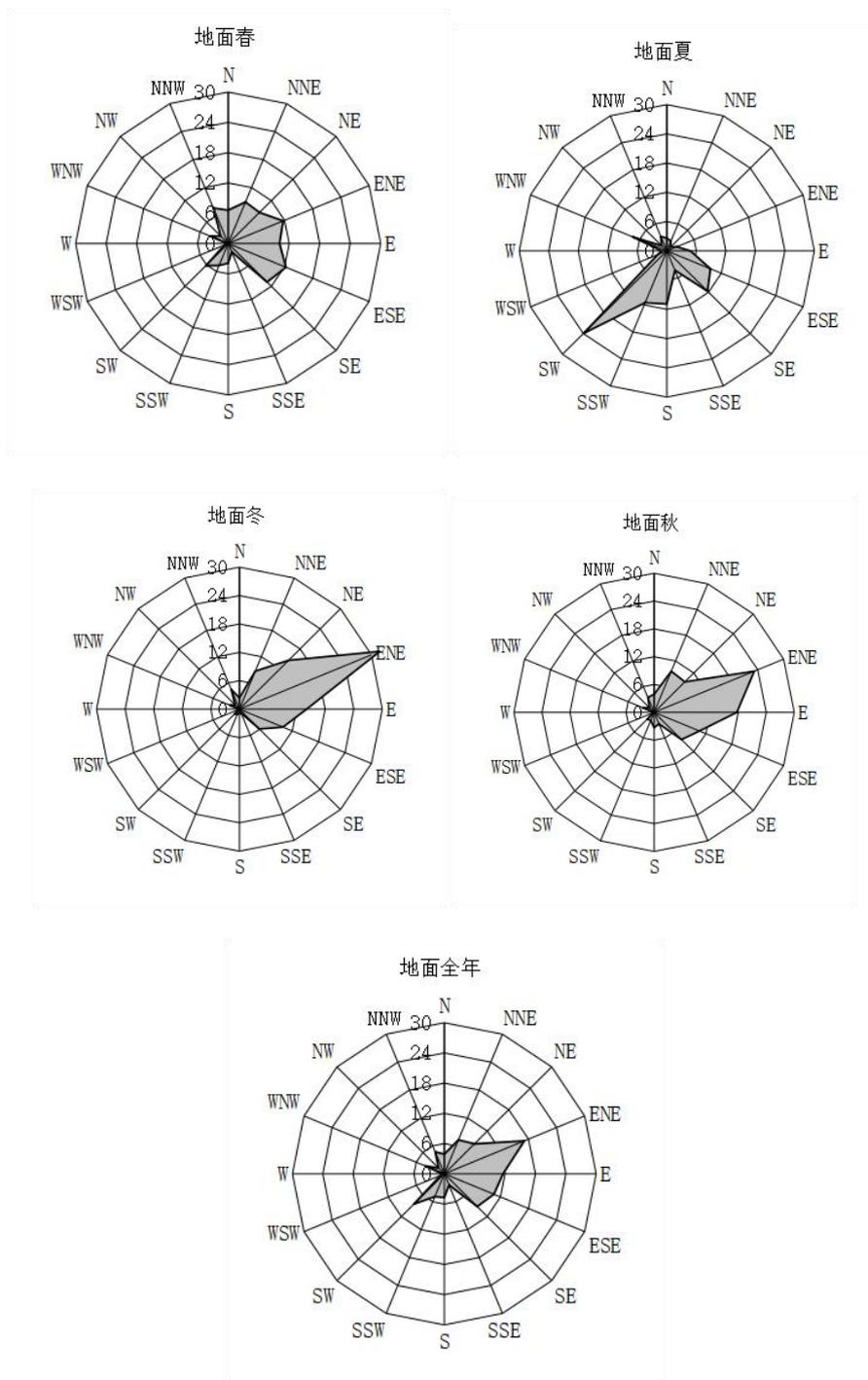


图 2.4-1 东方站各季和年的风玫瑰



年静风频率 0.6%
(单位：%)

图 2.4-2 厂址地面站各季、年风向玫瑰图（2022.3~2024.2）

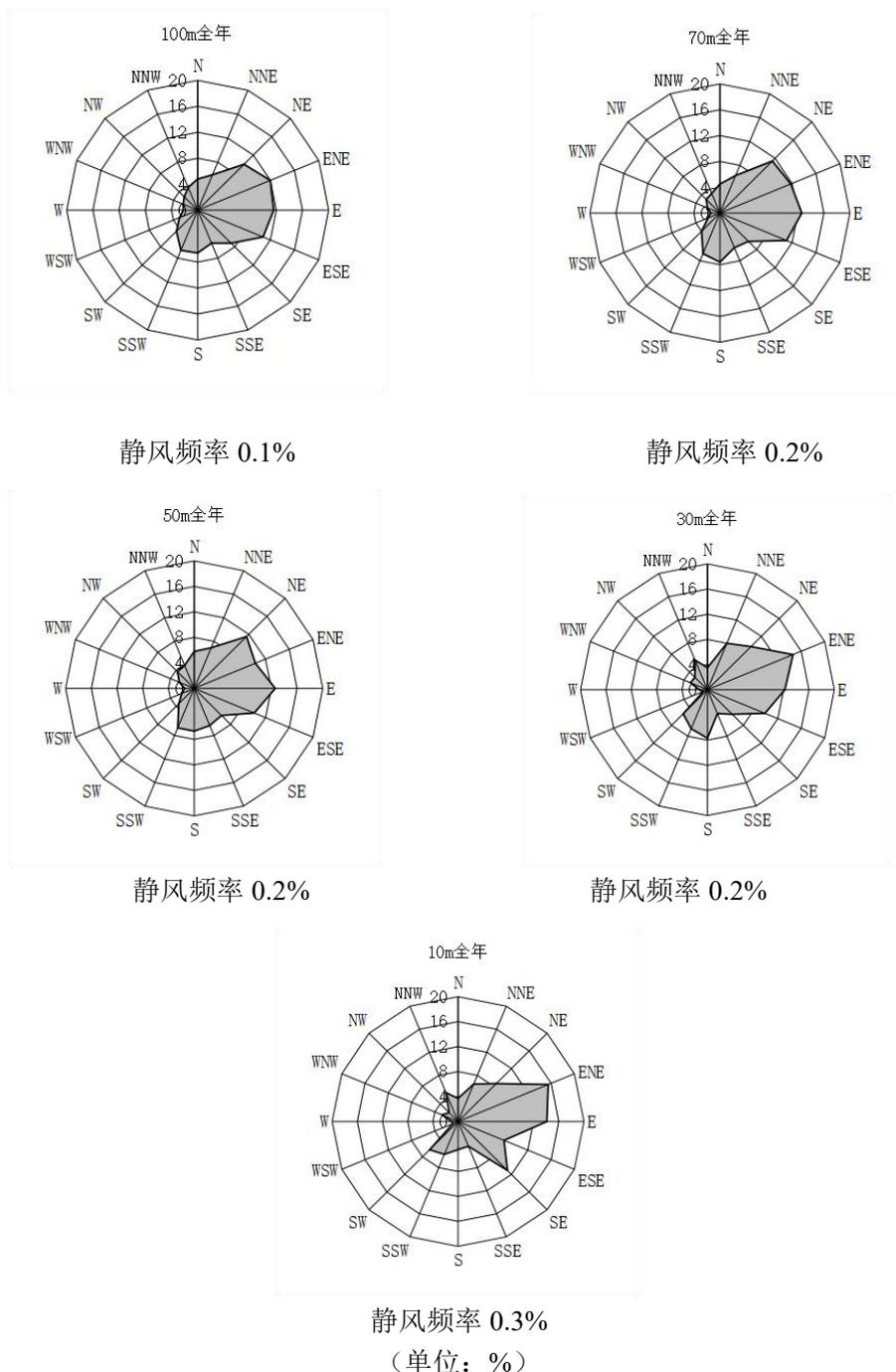
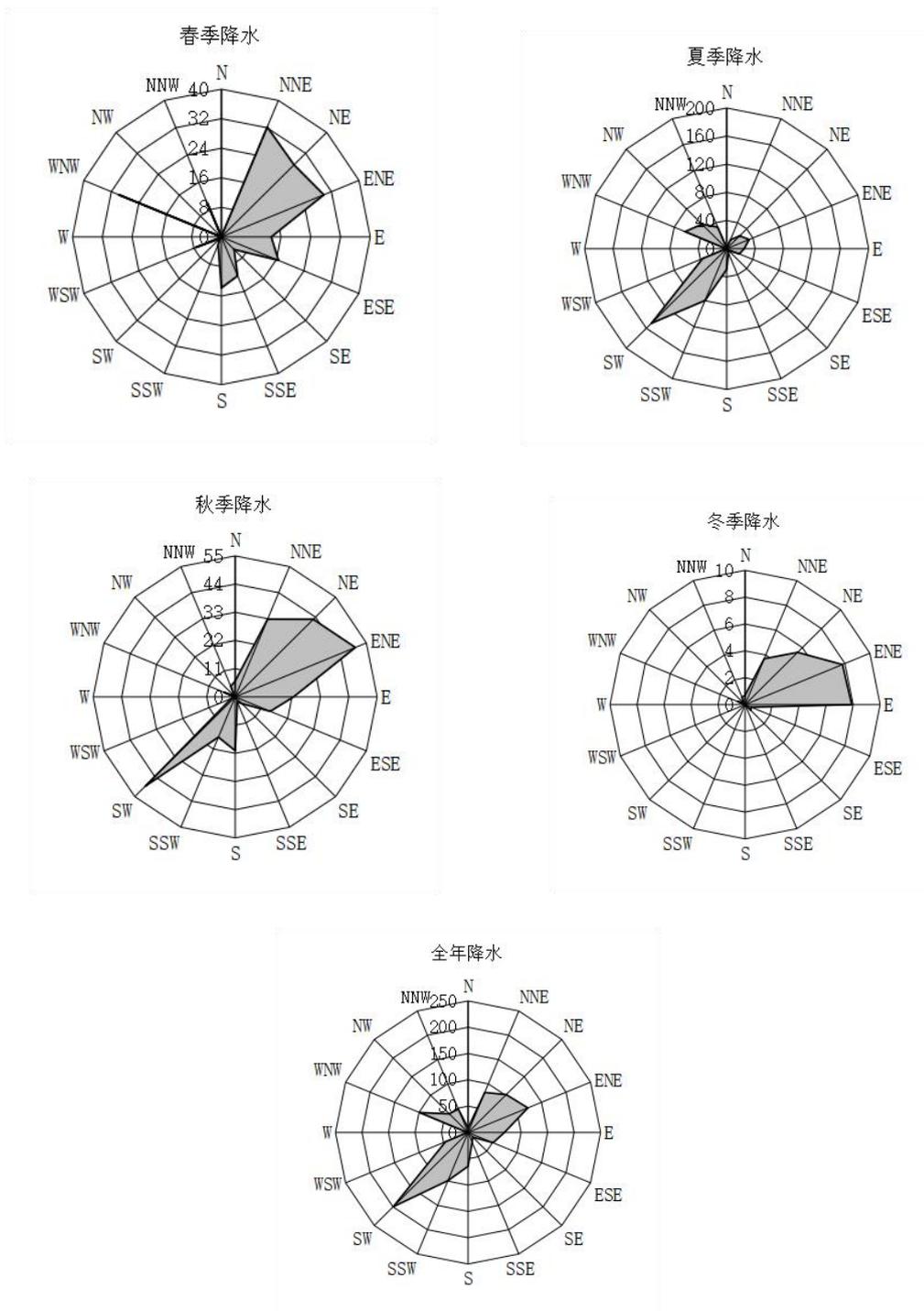


图 2.4-3 塔层各高度年风玫瑰图（2022.3~2024.2）



单位：mm

图 2.4-4 厂址地面站降水量玫瑰图（2022.3~2024.2）

第三章 环境质量现状

3.1 辐射环境质量现状

3.1.1 辐射环境现状概况

3.1.2 辐射环境质量评价

3.2 非辐射环境质量现状

3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

3.2.2 声环境质量现状调查与评价

3.2.3 受纳水体环境质量现状调查与评价

3.2.4 电磁环境现状调查与评价

表

表 3.1-1（1/2） 2018 年海南昌江核电厂环境辐射监测方案

表 3.1-1（2/2） 2018 年海南昌江核电厂环境辐射监测方案

表 3.1-2（1/2） 环境辐射监测项目、核素分析测量方法及探测限

表 3.1-2（2/2） 环境辐射监测项目、核素分析测量方法及探测限

表 3.1-3（1/2） 海南昌江核电厂环境监测相关操作程序的制定情况

表 3.1-3（2/2） 海南昌江核电厂环境监测相关操作程序的制定情况

表 3.1-4 2018 年海南昌江核电厂环境监测人员培训和考核情况

表 3.1-5 海南昌江核电厂环境实验室主要仪器设备检定校准情况

表 3.1-6 用于刻度放射性测量仪器的标准物质

表 3.1-7 2018 年实验室比对项目及结果

表 3.2-1 环境空气污染物基本项目浓度限值

表 3.2-2 声环境质量标准（GB3096-2008）

表 3.2-3 监测仪器一览表

表 3.2-4 厂区监测值统计情况

表 3.2-5 输电线路监测值统计情况

表 3.2-6 厂区外环境敏感区和通信基站监测值统计情况

3.1 辐射环境质量现状

3.1.1 辐射环境现状概况

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程与海南昌江核电厂同属于一个厂址。海南昌江核电厂已经建立了一套监测厂址周围环境的设施与设备，在首台机组运行前已根据国家相关规范和标准制定了详细的环境监测大纲，对核电站周围环境 γ 辐射水平及环境介质中的放射性水平进行监测和测量，并定期上报国家和地方环境保护主管部门。

海南昌江核电厂 1 号机组于 2015 年 11 月 7 日首次并网成功，2 号机组于 2016 年 6 月 20 日首次并网成功，环境与气象监测系统及环境实验室同时投入使用，根据环境监测大纲获取厂区周围环境辐射监测数据。本报告采用《海南昌江核电厂环境辐射监测年报（2018 年）》中的监测数据，并对数据进行了对比及分析，以说明本工程厂址周围环境辐射现状情况。

3.1.1.1 参照的资料

《海南昌江核电厂 1、2 号机组申请装料许可证阶段环境放射性本底调查报告》

《海南昌江核电厂 1、2 号机组环境影响报告书（运行阶段）》

《海南昌江核电厂环境辐射监测年报（2018 年）》

3.1.1.2 环境监测方案

2018 年海南昌江核电厂环境辐射监测方案见表 3.1-1，其中，陆地最远监测范围为 50km，重点监测 10km 以内环境介质；海洋监测范围为 10km，重点监测 2km 范围以内环境介质。陆域对照点中和镇距离厂区约 56km。环境辐射监测主要内容如下：

- （1） 环境 γ 辐射：贯穿辐射剂量率连续监测；TLD 累积剂量监测；空气吸收剂量率即时监测；
- （2） 大气和沉降物：气溶胶、沉降物、降水，空气；
- （3） 土壤/底泥样品：陆地表层土、海洋沉积物、水库底泥；
- （4） 陆生生物：大米、空心菜、豆角、香蕉、西瓜、羊肉；
- （5） 海洋生物：麒麟菜、对虾、石斑鱼、鱿鱼；
- （6） 水体：地表水、地下水、饮用水、海水；
- （7） 指示生物：仙人掌、木麻黄、蛤；

海南昌江核电厂环境监测项目的布点原则主要是根据厂址与周围环境的主要特征以及昌江核电厂周围地区人口分布、居民食物结构等调查资料，并参考当地气象资料，最终确定布点方案。

3.1.1.3 测量仪器、测量方法及探测下限

海南昌江核电厂环境辐射监测工作中所采用的分析测量方法，均按照国家有关的规定、标准制定。具体测量方法、样品用量、测量时间和探测限等见表 3.1-2。

3.1.1.4 核设施及核技术利用等情况

(1) 海南昌江核电厂目前已运行 2 台 65 万千瓦压水堆核电机组，其中 1 号机组已于 2015 年 11 月 7 日首次并网发电，2 号机组已于 2016 年 6 月 20 日首次并网发电。两机组均处于正常运行状态，各项生产运行指标正常，辐射安全总体受控，个人剂量和集体剂量未超出预期目标，未发生放射源丢失或被盗事故，未发生工作人员超剂量照射事故，放射性流出物排放和固体废物产生均得到有效控制。

(2) 本工程半径 30km 范围内目前无铀、钍矿设施；不存在伴生放射性矿的开发利用情况。

(3) 海南昌江核电厂目前持有 237 枚放射源和 1 台 X 射线安检仪。按照放射源的类别划分：II 类源 1 枚，III 类源 4 枚，IV 类源 10 枚，V 类源 81 枚，豁免源 141 枚。按照放射源的密封程度划分：密封源 184 枚，非密封源 53 枚。

(4) 机组大修期间，在役检查承包商使用 II 类放射源用于机组射线探伤，数量 3-6 枚。

(5) 半径 5km 范围内目前无 I 类放射源。

3.1.1.5 监测结果

(1) 环境 γ 辐射剂量率

A. 固定监测点连续监测

海南昌江核电厂在以厂址为中心，半径 10km 范围内共建设了 9 个固定式 γ 剂量率连续监测点。9 个固定监测点环境 γ 辐射剂量率月均值范围为 120nGy/h~182nGy/h。

B. 便携式仪表 γ 剂量率就地测量

在开阔的路面和田野选取了 52 个点位进行环境 γ 剂量率测量。环境 γ 辐射剂量率季度均值范围为 48nGy/h~178nGy/h。

(2) 累积剂量

累积剂量测量共布设点位 43 个，布设点位与对应的环境 γ 辐射剂量率瞬时测量点位重合。

43 个点位测量值换算剂量率的范围为 60.8nGy/h~161.0nGy/h。

（3）空气

A. ^3H 、 ^{14}C 和沉降物

^3H 、 ^{14}C 和沉降物设置了 3 个采样点。 ^3H 和 ^{14}C 的监测频次为 1 次/月，沉降物的监测频次为 1 次/季。

^3H 样品采集：由 H3R7000 采样器采集空气中冷凝水，运回实验室进行分析。 ^{14}C 样品采集：采用装有 NaOH 溶液的鼓泡器对使空气中的 CO_2 进行吸收捕集，溶液用塑料瓶保存后运回实验室。沉降物样品采集：采集设备为不锈钢收集器，采用湿法采样。

^3H 测量结果均小于探测限； ^{14}C 测量结果范围为 115.4~205.3mBq/g·碳；沉降灰中总 β 的测量范围为 0.70~7.55Bq/（ $\text{m}^2\cdot\text{月}$ ）；沉降灰中 ^{226}Ra 的测量范围为 < MDC~1.33 Bq/（ $\text{m}^2\cdot\text{月}$ ），其余分析核素（ ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{131}I 、 ^{54}Mn 、 ^{106}Ru ）均低于探测限。

B. 碘和气溶胶

碘和气溶胶设置了 4 个采样点，分别采用大流量气溶胶取样器和超大流量气溶胶取样器。

碘样品采集：使用装有滤纸的 CF-1000BRL ^{131}I 取样器进行取样，使用了 HIQ 生产的 TC-45 碘盒及 FP2063-102 玻璃纤维滤纸，采样量为 100 m^3 ，取完样后样品尽快运回实验室进行分析。气溶胶样品采集分为两种方式：一种为使用 HVF-4204AFC/230 大流量空气采样器采集气溶胶总 α 和总 β 样，采集频度为 1 次/月；另一种为使用超大流量气溶胶采样器采集核素分析样，采集频度为 1 次/季。大流量气溶胶累计取样体积为 10000 m^3 ，超大流量气溶胶累计取样体积 13500 m^3 。

^{131}I 测量结果均小于探测限。气溶胶测量中总 α 、总 β 在所有点位均给出了测量结果，在各月的统计结果中，总 α 的测量范围为 <MDC ~0.33mBq/ m^3 ；总 β 的测量范围为 0.074~3.80mBq/ m^3 。气溶胶中其余测量核素（ ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 、 ^{131}I 、 ^{106}Ru 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{226}Ra ）的测量结果均小于探测限。

（4）陆地水体

海南昌江核电厂的陆地水体样品分为降水、地表水、饮用水和地下水四种。降水样品共设置 3 个采样点，地表水样品共设置 5 个采样点，饮用水样品设置 3 个采样点。地下水样品设置 5 个采样点。

水体分析项目为 γ 谱分析以及 ^3H 。降水、饮用水、地表水、地下水厂外 1 号、地下水

厂外 2 号中的 γ 核素（ ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{131}I 、 ^{106}Ru 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{54}Mn ）及 ^3H 的测量结果均小于探测限。第一季度地下水场内 2、3 号点位检出 ^3H 活度分别为 $1.54\pm 0.07\text{Bq/L}$ 、 $1.46\pm 0.06\text{Bq/L}$ ，第二季度地下水场内 2 号点位检出 ^3H 活度为 $1.07\pm 0.05\text{Bq/L}$ ，第三季度地下水场内 2、3 号点位检出 ^3H 活度分别为 $5.12\pm 0.25\text{Bq/L}$ 、 $1.29\pm 0.06\text{Bq/L}$ ，第四季度地下水场内 2、3 号点位检出 ^3H 活度 $4.29\pm 0.21\text{Bq/L}$ 、 $1.07\pm 0.05\text{Bq/L}$ ，其余测量核素（ ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{131}I 、 ^{106}Ru 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{54}Mn ）测量结果均小于探测限。

（5）海水

海水样品共设置了 9 个采样点。

海水样品的分析项目为 γ 谱分析以及 ^3H 。海水半年样品中部分点位给出了 ^{226}Ra 的测量结果， ^{226}Ra 的活度浓度范围为： $<\text{MDC}\sim 4.19\text{mBq/L}$ ；其余测量核素（ ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 、 ^{131}I 、 ^{106}Ru 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^3H ）的测量结果均小于探测限。海水月度样品中，12 月的取、排水口均检出 ^3H ，其余测量核素（ ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 、 ^{131}I 、 ^{106}Ru 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ）的测量结果均小于探测限。

（6）土壤和底泥

陆地表层土壤样品共设置了 6 个采样点。底泥样品共设置了 3 个采样点。测量项目为 ^{90}Sr 放化分析和 γ 谱分析。

土壤采样时使用 ST-99027 土壤采集器，采用梅花五点法采集，条件不具备时用蛇型布样采集。每点采 $10\times 10\text{cm}^2$ 的表层土样（ $1\sim 5\text{cm}$ ），每个样品的采样量一般为 5kg。底泥采集时使用抓斗式底泥取样器，将采集到的底泥剔除明显的石子、草根等杂物后装入聚乙烯塑料袋内，每个样品的采样量一般为 5kg。

土壤样品中， ^{226}Ra 的活度浓度范围为 $9.64\sim 80.42\text{Bq/kg}$ ； ^{90}Sr 的活度浓度范围为 $0.48\sim 1.14\text{Bq/kg}$ ；其余核素（ ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{131}I 、 ^{54}Mn 、 ^{106}Ru 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ）测量结果均小于探测限。底泥样品中， ^{226}Ra 活度浓度范围为 $46.91\sim 150.50\text{Bq/kg}$ ； ^{90}Sr 的活度浓度范围为 $0.66\sim 1.18\text{Bq/kg}$ ；其余核素（ ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{131}I 、 ^{54}Mn 、 ^{106}Ru 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ）测量结果均小于探测限。

（7）海洋沉积物

海洋沉积物样品共设置了 7 个采样点。海洋沉积物采集时使用抓斗式底泥取样器，将采集到的沉积物剔除明显的石子、草根等杂物后装入聚乙烯塑料袋内，每个样品的采样量一般为 5kg。

海洋沉积物样品测量项目为⁹⁰Sr和 γ 谱分析。海底沉积物中²²⁶Ra的活度浓度范围为8.08~43.15Bq/kg；⁹⁰Sr的活度浓度范围为0.36~3.43Bq/kg；其余核素（¹³⁷Cs、¹³⁴Cs、⁵⁸Co、⁶⁰Co、¹³¹I、⁵⁴Mn、¹⁰⁶Ru、^{110m}Ag）测量结果均小于探测限。

（8）海洋生物

海洋生物样品共采集了包括石斑鱼、鱿鱼、虾共6个样品，采样时，生物采集可食用部分。选择可食部分的原则是符合大多数人的食用习惯和取样处理方便。对于每个样品，石斑鱼采样量一般为20kg鲜样，鱿鱼采样量一般为32kg鲜样，虾采样量一般为16kg。

海洋生物样品中，石斑鱼²²⁶Ra的活度浓度范围为0.012~0.10Bq/kg；其余核素（包括¹³⁴Cs、⁵⁸Co、⁶⁰Co、¹³¹I、⁵⁴Mn、¹⁰⁶Ru、^{110m}Ag）测量结果均小于探测限。

（9）陆生生物

陆生生物样品共采集了包括大米、空心菜、豆角、香蕉、西瓜、肉类6类介质共19个样品，其中：

采样时，粮食、水果和蔬菜类采集可食用部分。选择可食部分的原则是符合大多数人的食用习惯和取样处理方便。对于每个样品，大米采样量一般为25kg，空心菜采样量一般为26kg鲜样，豆角采样量一般为18kg鲜样，香蕉采样量一般为15kg鲜样，西瓜采样量一般为55kg鲜样，肉类采样量一般为12kg鲜样。

陆生生物样品中，²²⁶Ra测量的活度浓度范围为<MDC~0.27 Bq/kg（鲜）；在大米、羊肉样品中检测出¹³⁷Cs，大米中¹³⁷Cs活度浓度范围为<MDC~0.56Bq/kg，肉类样品中¹³⁷Cs活度浓度范围为<MDC~0.053Bq/kg；其余核素（包括¹³⁴Cs、⁵⁸Co、⁵⁴Mn、⁶⁰Co、¹³¹I、¹⁰⁶Ru、^{110m}Ag）测量结果均小于探测限。

（10）指示生物

指示生物样品包括仙人掌、木麻黄和蛤3种。指示生物样品中，仙人掌、木麻黄和蛤中²²⁶Ra的活度浓度范围分别为0.38~1.74Bq/kg、0.24~0.36Bq/kg、0.093~0.22Bq/kg均处于本底水平；其余测量核素（¹³⁴Cs、¹³⁷Cs、⁵⁸Co、⁵⁴Mn、⁶⁰Co、¹³¹I、¹⁰⁶Ru、^{110m}Ag）的测量结果均小于探测限。

3.1.1.6 质量保证措施

为了对监测过程进行全面控制，以保证调查结果的代表性、准确性和可靠性，海南昌江核电厂在环境辐射监测工作过程中制定了相应的质量保证措施，包括：

（1）质保程序的制定和执行

根据《环境监测大纲》的要求制定了相应的采样、处理、分析和测量的操作规程和管理程序，共计 43 项，具体见表 3.1-3。此外，还会根据监测工作中的实际情况，对这些操作规程和管理程序进行修改和升版。

（2）组织机构及人员培训考核

海南昌江核电厂的环境管理科设置相关岗位，分别承担着技术和行政管理、实验室取样制样、测量分析及数据处理上报的职责。环境管理科现有员工 18 人，其中正式员工 9 人，外聘人员 9 人。其中，研高 1 人，高工 1 人，工程师 6 人。所有实验室人员均参加岗前培训，获得上岗证书。在工作中，加强环境监测相关人员的技术交流，定期开展理论和实操技能培训和考核；参与各级环保监督部门、计量检定部门、国内同行电厂实验室、国内外辐射监测仪器生产厂商技术交流，委托专业实验室对监测、分析人员进行基础理论和实际操作技能培训。通过技术交流、培训和考核，大大提高了人员监测、分析水平。2018 年完成的培训和考核情况见表 3.1-4。

（3）样品的采集和保存

开展采样工作时，工作人员严格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，在运输前认真填写样品清单，清点样品，并且检查包装是否符合要求，然后运输样品到实验室，样品送达实验室后，接样人员和送样人员清点样品，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。

（4）仪器设备的控制

在仪器每次开机后、关机前或连续运行一段时间后测量本底、效率和稳定性（峰位），测量以上参数并绘制质控图，以确保仪器工作在正常状态下。

- 现场采样设备的控制：现场使用的仪器运输到达现场后，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。确认其性能良好后才使用。

- 测量装置的检定：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，均由相应资质计量部门或其授权单位进行校准或检定，以保证检测测量值具有溯源性。主要的计量单位有 5114 国防科技工业电离辐射二级计量站、401 国防科技工业电离辐射一级计量站和深圳计量院。表 3.1-5 列出了实验室主要仪器和设备的检定情况。

- 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，保证可溯源性。表 3.1-6 列出了用于

放射性测量仪器刻度的标准物质。

（5）化学试剂、装卸、储存和运输的控制

- 使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。
- 实验室使用的试剂溶液和蒸馏水贴上标签，试剂溶液的标签写明名称、浓度、配置日期等信息。
- 样品、采样及测量仪器设备在装卸过程中轻拿轻放，防止样品破损和设备损坏。
- 采集到的样品需在现场暂时存放的明确标识后安全放置，以防损伤、变质和丢失。
- 现场采样、测量仪器设备使用后及时放入包装箱或符合规定的地点。
- 仪器、采样器和样品容器经常维护，保持清洁，防止交叉污染。

（6）测量过程质量控制

- 对所有低本底仪器进行效率刻度及本底统计检验控制，并按时对仪器设备进行检定以确保仪器处于正常的工作状态。
- 定期采用检验源检查仪器效率的变化。
- 按照《环境监测岗位培训大纲》，开展了数据处理、仪器操作等岗位培训，目前取样、制样及分析人员均取得相应资质证书。
- 通过进行海南昌江核电厂1号机组装料前方法验证工作，并同中辐院、中核运行、福清核电厂等同行进行技术交流，初步掌握及建立了监测方法。

2018年海南昌江核电厂环境实验室参加环保部组织全国辐射环境监测质量考核以及苏州热工院组织的实验室间比对，参加的项目以及结果请见表3.1-7。

3.1.2 辐射环境质量评价

依据2018年海南昌江核电厂辐射环境监测结果，对比2013年中国辐射防护研究院完成的海南昌江核电厂1、2号机组运行前本底调查结果，分析评价厂址周围的辐射环境质量。对比分析可知，2018年海南昌江核电厂周围环境中辐射水平未出现明显异常，总体情况与运行前水平相当。

3.2 非辐射环境质量现状

在本节中给出厂址区域目前的非辐射环境质量现状，包括大气环境、声环境、受纳水体环境及电磁环境等内容。

3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

（1）执行标准和评价依据

——《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018）；

——《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）。

根据《海南省生态环境保护关于核定海南昌江小堆示范工程环境影响评价非放执行准的函》琼环函（2017）1209号，项目区域环境空气质量执行《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）二级标准，规定的标准限值见表 3.2-1。

（2）监测结果

各监测点 SO₂ 的最大小时浓度为 16μg/m³，最大日均浓度为 12μg/m³，SO₂ 小时浓度和日均浓度均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的二级标准限值。

各监测点 NO₂ 的最大小时浓度为 19μg/m³，最大日均浓度为 15μg/m³，NO₂ 小时浓度和日均浓度均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的二级标准限值。

各监测点 NO_x 的最大小时浓度为 26μg/m³，最大日均浓度为 19μg/m³，NO_x 小时浓度和日均浓度均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的二级标准限值。

各监测点 CO 的最大小时浓度为 0.6mg/m³，最大日均值浓度为 0.5mg/m³，CO 小时浓度和日均浓度均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准限值。

各监测点 O₃ 的最大小时浓度为 99μg/m³，最大 8 小时平均浓度为 92μg/m³，O₃ 小时浓度和日均浓度均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准限值。

各监测点 TSP 各测点的最大日均值浓度为 139μg/m³，符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准限值。

各监测点 PM₁₀ 各测点的最大日均值浓度为 77μg/m³，满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准限值。

各监测点 PM_{2.5} 各测点的最大日均值浓度为 55μg/m³，满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准限值。

综上所述，本次现状监测各污染物 1 小时平均质量浓度和 24 小时平均质量浓度均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的二级标准，厂址区域大气环境质量较好。

3.2.2 声环境质量现状调查与评价

（1）执行标准和评价依据

——《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ 2.4-2021）；

——《声环境质量标准》（GB 3096-2008）。

根据《海南省生态环境保护关于核定海南昌江小堆示范工程环境影响评价非放执行准

的函》琼环函（2017）1209号，声环境厂界环境噪声执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中3类标准，居民所在区域执行1类标准，交通噪声执行4a类标准。《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的标准限值见表3.2-2。

（2）监测结果

1）声环境保护目标

声环境保护目标噪声监测点，第一天昼间噪声等效声级为50.0~54.2dB（A），第二天昼间噪声等效声级为49.3~54.6dB（A），符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的1类声环境功能区昼间噪声标准限值55dB（A）的要求；第一天夜间噪声等效声级为38.6~44.0dB（A），第二天夜间噪声等效声级为39.5~43.6dB（A），符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的1类声环境功能区夜间噪声标准限值45dB（A）的要求。

2）网格噪声

网格噪声监测点第一天昼间噪声等效声级为48.9~54.9dB（A），第二天昼间噪声等效声级为47.3~54.0dB（A），符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的1类声环境功能区昼间噪声标准限值55dB（A）的要求；第一天夜间噪声等效声级为37.4~44.8dB（A），第二天夜间噪声等效声级为37.5~43.9dB（A），符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的1类声环境功能区夜间噪声标准限值45dB（A）的要求。

3）交通噪声

交通噪声监测点第一天昼间噪声等效声级为60.2~67.8dB（A），第二天昼间噪声等效声级为59.7~67.8dB（A），符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的4a类声环境功能区昼间噪声标准限值70dB（A）的要求；第一天夜间噪声等效声级为48.6~53.2dB（A），第二天夜间噪声等效声级为49.7~54.0dB（A），符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的4a类声环境功能区夜间噪声标准限值55dB（A）的要求。

4）厂区内噪声

小堆场界噪声监测点第一天昼间噪声等效声级为63.7~67.4dB（A），第二天昼间噪声等效声级为63.7~65.8dB（A），高于《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的3类声环境功能区昼间噪声标准限值65dB（A）的要求；第一天夜间噪声等效声级为50.3~54.4dB（A），第二天夜间噪声等效声级为50.1~52.8dB（A），符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的3类声环境功能区夜间噪声标准限值55dB（A）的要求。原因分析，小堆场内仍有部分施工活动，且监测点临近场内道路，车辆较多，可以满足《建筑施工厂界环境噪声排

放标准》（GB12523-2011）规定的昼间和夜间噪声标准 70dB（A）和 55dB（A）的限值要求。

厂界噪声监测点第一天昼间噪声等效声级为 61.4~63.9dB（A），第二天昼间噪声等效声级为 60.5~62.8dB（A），符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的 3 类声环境功能区昼间噪声标准限值 65dB（A）的要求；第一天夜间噪声等效声级为 51.3~53.6dB（A），第二天夜间噪声等效声级为 50.6~53.6dB（A），符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的 3 类声环境功能区夜间噪声标准限值 55dB（A）的要求。

厂区内声环境保护目标和噪声源噪声监测点第一天昼间噪声等效声级为 61.2~64.2dB（A），第二天昼间噪声等效声级为 60.7~64.3dB（A），能够满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的 3 类声环境功能区昼间噪声标准限值 65dB（A）的要求；第一天夜间噪声等效声级为 44.3~53.1dB（A），第二天夜间噪声等效声级为 51.3~53.2dB（A），能够满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的 3 类声环境功能区夜间噪声标准限值 55dB（A）的要求。

5) 海域噪声

海域噪声监测点第一天昼间噪声等效声级为 60.4~63.0dB（A），第二天昼间噪声等效声级为 61.9~63.8dB（A），能够满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的 3 类声环境功能区昼间噪声标准限值 65dB（A）的要求；第一天夜间噪声等效声级为 49.2~54.0dB（A），第二天夜间噪声等效声级为 50.4~53.4dB（A），能够满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的 3 类声环境功能区夜间噪声标准限值 55dB（A）的要求。

综上所述，除小堆场界昼间监测结果略高于《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的 3 类标准，其余各声功能区点位均满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中的相关标准，厂址区域整体声环境质量较好。

3.2.3 受纳水体环境质量现状调查与评价

3.2.3.1 海水水质现状调查

为了解厂址附近海域的海洋环境状况，自然资源部第三海洋研究所于 2023 年 8 月（夏季）和 2023 年 10 月（秋季）开展了厂址附近海域生态环境调查工作，并于 2024 年 3 月完成《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址邻近海域生态环境现状调查中期成果报告》。

（1）调查范围及站位设置

本工程海域生态环境调查在调查范围内共布设 48 个水质调查站位，在取排水口各设

置 1 个定点连续站。

（2）调查项目

水文要素：水温、水深、盐度、电导率、水色、透明度、浊度。

化学要素：pH、总碱度、溶解氧、化学需氧量、五日生化需氧量、挥发酚、无机氮（硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐）、非离子态氨、活性磷酸盐、活性硅酸盐、硫化物、氯化物、氰化物、氟化物、石油类、阴离子表面活性剂、总氮、总磷、悬浮物、硼、重金属（汞、铜、铅、锌、镉、总铬、镍）、砷、硒、余氯等。

其中连续站调查内容为水温、水深、盐度、电导率、水色、透明度、浊度、pH、悬浮物、溶解氧、化学需氧量、硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、活性磷酸盐、活性硅酸盐、余氯等。

（3）实验和分析方法

样品采集、保存和分析方法分别按《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）、《海洋监测规范》（GB 17378.4-2007）海水分析分册和《近岸海域环境监测规范》（HJ 442-2020）中规定的有关方法进行。

3.2.3.2 海水质量评价

根据厂址邻近海域 2023 年 8 月（夏季）、2023 年 10 月（秋季）调查成果，工程海域海水水质现状评价结论如下：

pH：夏秋两季所有站位 pH 均达到一类、二类海水水质标准（7.80~8.50，同时不超出该海域正常变动范围 0.2 pH 单位）。

溶解氧：夏季表层 79.2%，中层 91.3%，底层 72.1% 站位的溶解氧含量符合海水水质一类标准(>6.0mg/L)，其余站位溶解氧含量符合海水水质二类标准(≤6.0mg/L，>5.0mg/L)。秋季除 24 号站位底层溶解氧含量符合海水水质二类标准(≤6.0mg/L，>5.0mg/L)外，其余样品溶解氧含量均符合海水水质一类标准(>6.0mg/L)。

无机氮：夏季所有站位无机氮含量符合一类海水水质类标准 (≤0.20mg/L)。秋季除 38 号表层符合二类海水水质类标准 (>0.20mg/L，≤0.30mg/L)，其余样品均符合一类海水水质类标准 (≤0.20mg/L)。

活性磷酸盐：夏季所有站位的活性磷酸盐含量均符合海水水质一类标准(≤0.015mg/L)。秋季除 20 号表层活性磷酸盐含量符合海水水质二、三类标准(>0.015mg/L，≤0.030mg/L)，其余样品均符合海水水质一类标准(≤0.015 mg/L)。

非离子态氨：夏秋两季所有站位非离子态氨含量均符合海水水质标准(≤0.020 mg/L)。

化学需氧量：夏秋两季所有样品 COD 含量均符合海水水质一类标准($\leq 2.0\text{mg/L}$)。

生化需氧量：夏季表层 87.5%，中层 91.3%，底层 95.3%的站位 BOD₅ 含量符合海水水质一类标准($\leq 1.0\text{mg/L}$)，其余站位样品 BOD₅ 含量符合海水水质二类标准($> 1.0\text{mg/L}$, $\leq 3.0\text{mg/L}$)。秋季所有站位 BOD₅ 含量符合海水水质一类标准($\leq 1.0\text{mg/L}$)。

石油类：夏秋两季调查站位的石油类含量均符合海水水质一、二类标准($\leq 50\mu\text{g/L}$)。

铜：调查数据表明，夏秋两季所有站位的铜含量均符合海水水质一类标准($\leq 5.0\mu\text{g/L}$)。

铅：夏季所有站位铅含量符合海水水质一类标准($\leq 1.0\mu\text{g/L}$)。秋季表层 16.7%的站位，中层 16%的站位以及底层 28.9%的站位符合海水水质二类标准($> 1.0\mu\text{g/L}$, $\leq 5.0\mu\text{g/L}$)，其余样品铅含量均符合海水水质一类标准($\leq 1.0\mu\text{g/L}$)。

锌：夏秋两季全部调查站位的锌含量均符合海水水质一类标准($\leq 20\mu\text{g/L}$)。

镉：夏秋两季全部调查站位的镉含量均符合海水水质一类标准($\leq 1\mu\text{g/L}$)。

总铬：夏秋两季全部调查站位的总铬含量均符合海水水质一类标准($\leq 50\mu\text{g/L}$)。

汞：夏季除 40 号站底层汞含量符合海水水质二、三类标准($> 0.05\mu\text{g/L}$, $\leq 0.2\mu\text{g/L}$)外，其余站位汞含量均符合海水水质一类标准($\leq 0.05\mu\text{g/L}$)。秋季所有站位汞含量均符合海水水质一类标准($\leq 0.05\mu\text{g/L}$)。

砷：夏秋两季全部调查站位的砷含量均符合海水水质一类标准($\leq 20\mu\text{g/L}$)。

镍：夏秋两季全部调查站位的镍含量均符合海水水质一类标准($\leq 5\mu\text{g/L}$)。

硒：调查数据表明，夏秋两季全部调查站位的硒含量均符合海水水质一类标准($\leq 10\mu\text{g/L}$)。

硫化物：夏秋两季全部调查站位的硫化物含量均符合海水水质一类标准($\leq 20\mu\text{g/L}$)。

氰化物：夏秋两季调查站位的氰化物含量均符合海水水质一类标准($\leq 0.005\text{mg/L}$)。

挥发性酚：夏秋两季表层的挥发性酚含量均符合海水水质一、二类标准($\leq 5\mu\text{g/L}$)。

阴离子洗涤剂：夏秋两季调查海区样品的 LAS 含量均符合海水水质一类标准($\leq 0.03\text{mg/L}$)。

根据海南省近岸海域环境功能区划，本次调查涉及的环境功能区共三类，共有 1 个站执行海水水质一类标准，7 个站执行海水水质二类标准，1 个站执行海水水质三类标准。

根据调查海域近岸海域环境功能区划，夏秋两季海水水质中 pH、溶解氧、化学需氧量、生化需氧量、无机氮、活性磷酸盐、非离子态氨、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、硒、镍、石油类、硫化物、氰化物、挥发酚和阴离子洗涤剂的单因子指数评价结果均小于 1，

夏秋两季水质符合近岸海域环境功能区划要求。

3.2.4 电磁环境现状调查与评价

3.2.4.1 调查依据标准规范

- 《中华人民共和国环境保护法》（2015年1月）
- 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年12月29日修订）
- 《建设项目环境保护管理条例》（2017年修订，2017年10月1日施行）
- 《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）
- 《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）
- 《辐射环境保护管理导则 电磁辐射环境影响评价方法与标准》（HJ/T 10.3-1996）
- 《辐射环境保护管理导则 电磁辐射监测仪器和方法》（HJ/T 10.2-1996）
- 《高压交流架空送电线路、变电站工频电场和磁场测量方法》（DL/T 988-2005）
- 《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020）
- 《交流输变电工程电磁环境监测方法》（HJ 681-2013）
- 《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）

3.2.4.2 调查内容及范围

（1）工频电场、工频磁场强度：以本工程拟建开关站为中心的半径0.5km的环形区域以及电力出线送电走廊两侧50m带状区域；

（2）射频综合场强：调查范围为本工程厂址周围 5km 范围内环境敏感区域。

3.2.4.3 监测方法

依据相应监测标准进行现场监测，具体监测方法及要求如下：

（1）工频电场/工频磁场强度

• 依据《交流输变电工程电磁环境监测方法》（HJ 681-2013），监测点选择在地势平坦、远离树木且没有其他电力线路、通信线路及广播线路的空地上。

• 监测仪器的探头架设在地面（或立足平面）上方 1.5m 高度处。每个测点上分别测量工频电场与工频磁场强度。

• 监测工频电场时，监测人员与监测仪器探头的距离不小于 2.5m。监测仪器探头与固定物体的距离不小于 1m。

• 监测工频磁场时，监测探头用一个小的电介质手柄支撑，并由监测人员手持。

（2）射频综合场强

- 根据《辐射环境保护管理导则 电磁辐射监测仪器和方法》（HJ/T10.2-1996），每个测点使用非选频式辐射测量仪，分别测量离地 1.7m 的射频综合场强。

- 现场测量过程中，上述所有测点记录当时的天气情况（晴、雨、雪等）、环境温度、相对湿度、测量时间、风向、风速和大气压。每个测点均拍摄照片，用于反映各测点的原貌，同时用 GPS 进行卫星定位以确定其准确位置。

3.2.4.4 监测仪器

本次监测仪器见表 3.2-3。

3.2.4.5 监测时间及天气

2024 年 4 月 13 日~4 月 18 日对本项目厂址周围电磁环境进行了现场调查，监测期间气象条件符合监测规范及仪器使用要求。

3.2.4.6 电磁辐射源调查

厂址半径 5km 范围内现有电磁辐射源有 1、2 号机组主变，1、2 号机组 220kV 出线开关站，220kV 出线输电线路，220kV 应急输电线路，220kV 应急开关站。厂区外主要电磁辐射源是移动、联通、电信等通讯基站。

3.2.4.7 监测点设置

a) 厂区监测点设置

厂区共设置 18 个监测点，分别在每个厂区边界（东、南、西、北、西北）各设 1 个监测点，在厂区内设置 13 个监测点，编号 N1~N18。每个监测点分别监测工频电场强度、工频磁场强度和射频综合场强。

b) 地下输电廊道监测点设置

在地下输电廊道地表面设置 9 个监测点，编号 L1~L9，每个监测点分别监测工频电场、工频磁场强度。

c) 开关站和第一跨监测点设置

海南昌江核电厂目前有在建 500kV 出线开关站，已建 220kV 出线开关站和 220kV 应急开关站，在每个开关站东、南、西、北边界外 5m 处监测工频电场、工频磁场强度和射频综合场强。在 500kV 出线、220kV 出线输电线路和 220kV 应急输电线路第一跨以导线档距中央弧垂最低位置地面投影处监测工频电场、工频磁场强度。

d) 主变压器监测点设置

海南昌江核电厂有已建和在建的 5 个主变压器，对每个主变压器，选择以主变围墙为起点，在远离进出线一侧设监测点，按 5m 间距，在 0~50m 范围设点，共设 11 个监测点，

监测工频电场强度与工频磁场强度监测。

e) 输电线路监测点设置

本项目共设 5 处监测断面（编号 P1~P5），断面设置情况如下：

P1 为拟建 500kV 出线输电线路监测断面，P2 为 220kV 应急输电线路（昌核线）监测断面，P3 为 220kV 应急输电线路（鹅核线）监测断面，P4 为 220kV 出线输电线路（核李线）监测断面，P5 为 220kV 出线输电线路（核成线）监测断面。分别在各输电线路垂直方向和平行方向设置监测断面，每个监测断面上监测点设置如下：

- 垂直方向的监测断面点位设置

在拟建输电线路边相导线外设双侧垂直监测断面，以边相导线对地面投影点为起点，与输电线路方向垂直。按 5m 间距，在 0~50m 范围设点，两侧各设 11 个，共设 22 个监测点，监测工频电场强度、工频磁场强度。

- 平行方向的监测断面点位设置

在拟建输电线路边相导线外设双侧平行监测断面，监测路径选在边相导线对地面投影点外 15m（220kV）、20m（500kV）处，与输电线路方向平行，在此路径上按 10m 间隔设 3 个监测点，共 6 个监测点，监测工频电场强度、工频磁场强度。

f) 厂区外环境敏感区和通信基站监测点设置

在海南昌江核电厂区外敏感区布点原则按照居民点、学校、卫生院设置监测点，共设置 21 个监测点，编号 1~21。每个监测点分别监测工频电场强度、工频磁场强度和射频综合场强。

厂区外布设 12 个通信基站监测点，具体点位数量根据现场情况确定，编号 T1~T12，监测射频综合场强。

3.2.4.8 电磁辐射现状监测数据

厂区监测值统计情况见表 3.2-4。

厂区输电线路监测值统计情况见表 3.2-5。

厂区外环境敏感区和通信基站监测值统计情况见表 3.2-6。

3.2.4.9 电磁辐射现状评价标准

(1) 工频电场强度、工频磁场强度

根据《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014），50Hz 频率下，环境中工频电场强度的公众暴露控制限值为 4kV/m，工频磁感应强度的公众暴露控制限值为 0.1mT。

(2) 射频综合场强

厂址区域电磁辐射采用《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）的要求，对于30MHz-3000MHz的频率范围，该标准的公众曝露控制限值为：环境射频综合场强等效平面波功率密度在任意连续6分钟内的方均根值应小于 $0.4\text{W}/\text{m}^2$ （电场强度限值 $12\text{V}/\text{m}$ ）。

3.2.4.10 电磁辐射现状监测质量保证措施

电磁辐射现状调查及评价采取的主要质量措施有：

- （1）监测方法采用国家和行业标准，监测人员经考核并持有资格证上岗。
- （2）质保人员进行现场数据采集同步跟踪和同步记录，确保监测数据的有效性。
- （3）根据质量保证大纲及监测规范的要求，监测仪器经由相应资质的计量检定部门检定合格，并处于有效期内。每次监测前后，都检查仪器的工作状态，确保仪器处于良好的工作状态。
- （4）保存反映各监测点原貌的文字及图片等资料。
- （5）提交的项目成果应符合技术任务书的要求。

3.2.4.11 电磁辐射现状监测结果评价

a) 厂区内电磁辐射监测结果评价

1) 工频电场/工频磁场强度

厂区内所有监测点工频电场强度监测值范围 $0.04\text{V}/\text{m}\sim 1.23\text{V}/\text{m}$ 之间，工频磁场强度监测值在 $0.0061\mu\text{T}\sim 0.1362\mu\text{T}$ 之间，分别小于《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）中标准限值 $4\text{kV}/\text{m}$ 和 0.1mT （ $100\mu\text{T}$ ），符合要求。

2) 射频综合场强

厂区内所有监测点射频综合场强监测值在 $0.19\text{V}/\text{m}\sim 1.92\text{V}/\text{m}$ 之间。所有监测值都小于《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）中规定的 $12\text{V}/\text{m}$ 标准限值。

b) 地下输电廊道电磁辐射监测结果评价

厂区内地下输电廊道监测点工频电场强度监测值范围 $0.10\text{V}/\text{m}\sim 0.78\text{V}/\text{m}$ 之间，工频磁场强度监测值在 $0.0059\mu\text{T}\sim 1.6135\mu\text{T}$ 之间，分别小于《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）中标准限值 $4\text{kV}/\text{m}$ 和 0.1mT （ $100\mu\text{T}$ ），符合要求。

c) 开关站和第一跨电磁辐射监测结果评价

在海南昌江核电厂500kV出线开关站、220kV出线开关站、220kV应急开关站、在500kV出线、220kV应急开关站和220kV应急输电线路第一跨以导线档距中央弧垂最低位置地面投影处设置监测点，开关站所有监测点工频电场强度监测值范围 $0.21\text{V}/\text{m}\sim 1517.8\text{V}/\text{m}$ 之间，工频磁场强度监测值在 $0.0076\mu\text{T}\sim 4.9247\mu\text{T}$ 之间，分别小于《电

磁环境控制限值》（GB 8702-2014）中标准限值 4kV/m 和 0.1mT（100 μ T），符合要求。

d) 主变压器监测结果分析与评价

所有主变监测点工频电场强度监测值范围 0.06V/m~0.36V/m 之间，工频磁场强度监测值在 0.0051 μ T~10.4166 μ T 之间，分别小于《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）中标准限值 4kV/m 和 0.1mT（100 μ T），符合要求。

e) 输电线路电磁辐射监测结果评价

所有输电线路监测点工频电场强度监测值范围 0.36V/m~1243.0V/m 之间，工频磁场强度监测值在 0.0142 μ T~2.1240 μ T 之间，分别小于《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）中标准限值 4kV/m 和 0.1mT（100 μ T），符合要求。

f) 厂区外环境敏感区和通信基站电磁辐射监测结果评价

1) 工频电场/工频磁场强度监测结果

厂区外环境敏感区监测点工频电场强度监测值在 0.05V/m~4.30V/m 之间，所有监测值都小于标准限值 4kV/m，符合要求；工频磁场强度监测值在 0.0056 μ T~0.0572 μ T 之间，小于标准限值 0.1mT（100 μ T），符合要求。

2) 射频综合场强

环境敏感区所有监测点监测值在 0.11 V/m~1.67V/m 之间。所有监测值都小于《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）中的 12V/m 标准限值，符合标准要求。

通信基站监测点监测值在 0.41V/m~2.88V/m 之间。所有监测值都小于《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）中的 12V/m 标准限值，符合标准要求。

表 3.1-1（1/2） 2018 年海南昌江核电厂环境辐射监测方案

序号	监测对象		监测项目	监测频度	监测范围	布点数	
1	陆地环境γ辐射	连续监测	空气吸收剂量率	连续	厂区内 4 个、厂外 5 个	9	
		即时监测	空气吸收剂量率	季	按 22.5°方位角布点近密远疏	52	
		累积剂量	累积剂量	季	同上	43	
2	空气	氚	³ H	月	EC4-1、三联村、环境实验室	3	
		碳-14	¹⁴ C	月	同上	3	
		碘	¹³¹ I	半月	EC4-1、三联村、环境实验室、海尾镇	4	
		气溶胶	总α、总β	月	同上	4	
			γ谱分析（测出 ¹³⁷ Cs，进行 ⁹⁰ Sr 分析）	季	同上	4	
		沉降物	总α、总β谱分析 γ谱分析（测出 ¹³⁷ Cs，进行 ⁹⁰ Sr 分析）	季	EC4-1、三联村、环境实验室	3	
		水	降水	³ H、γ谱分析 （测出 ¹³⁷ Cs，进行 ⁹⁰ Sr 分析）	季	EC4-1、三联村、海尾镇	3
			地表水		半年	塘兴水库、东边水库、湿地公园、红田农场、春江水库	5
			饮用水		季	乌烈、海尾、中和	3
			地下水		季	厂内 1、2、3 号，场外 1、2 号	5
	底泥	⁹⁰ Sr、γ谱分析	年	塘兴水库、东边水库、春江水库	3		
	土壤	⁹⁰ Sr、γ谱分析	年	南罗村、鸡地村、甘塘村、海尾镇、才地村、中和	6		
	陆生生物	大米	γ谱分析 （测出 ¹³⁷ Cs，进行 ⁹⁰ Sr 分析）	半年	马地村、梧高、南岭村、海尾、南罗、中和	6	
			生物中的 ³ H、 ¹⁴ C	年	海尾、中和	2	
		空心菜	γ谱分析 （测出 ¹³⁷ Cs，进行 ⁹⁰ Sr 分析）	半年	马地村、里仁或三联、海尾、南罗、中和	5	
		豆角	γ谱分析 （测出 ¹³⁷ Cs，进行 ⁹⁰ Sr 分析）	半年	柯来存、中和	2	
		水果	γ谱分析 （测出 ¹³⁷ Cs，进行 ⁹⁰ Sr 分析）	年	海尾、中和（香蕉、西瓜）	2	
		肉类	γ谱分析 （测出 ¹³⁷ Cs，进行 ⁹⁰ Sr 分析）	年	海尾、南罗、中和（羊肉）	3	
			生物中的 ³ H、 ¹⁴ C	年	海尾、中和（羊肉）	2	
	指示生物	γ谱分析 （测出 ¹³⁷ Cs，进行 ⁹⁰ Sr 分析）	年	气象站、海尾、鸡地村（仙人掌和木麻黄）	3		

注：γ谱分析的核素包括：¹³⁷Cs、⁶⁰Co、⁵⁸Co、¹³⁴Cs、¹³¹I、^{110m}Ag、⁵⁴Mn、¹⁰⁶Ru、²²⁶Ra 以及在γ谱仪上有明显特征峰的其他核素。

表 3.1-1（2/2） 2018 年海南昌江核电厂环境辐射监测方案

序号	监测对象		监测项目	监测频度	监测范围	布点数
3	海洋介质	海水	γ 谱分析、 ^3H	半年	以排放口为中心，设置 7 个采样点	7
			γ 谱分析、 ^3H	月	取水口、排水口	2
		海洋沉积物	^{90}Sr 、 γ 谱分析	年	同海水	7
		藻类	γ 谱分析	年	海尾镇（麒麟菜）	1
		贝类	γ 谱分析	年	海尾镇（蛤）、新港、琼海	3
		甲壳类	γ 谱分析	年	4 号门岗外养虾厂（虾）	1
		鱼类	γ 谱分析	年	海尾镇（石斑鱼）、新港（石斑鱼）、琼海	3
		头足类	γ 谱分析	年	新港、琼海（鱿鱼）	2
		指示生物	总 β 、 γ 谱分析	年	蛤	1

注： γ 谱分析的核素包括： ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{58}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{131}I 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{54}Mn 、 ^{106}Ru 、 ^{226}Ra 以及在 γ 谱仪上有明显特征峰的其他核素。

表 3.1-2（1/2） 环境辐射监测项目、核素分析测量方法及探测限

序号	调查对象	分析项目	样品用量	分析方法（参考标准）	测量时间	探测限
1	气溶胶	总 α	10000m ³	α 计数法	120min	4.99×10 ⁻⁷ Bq/m ³
			13500 m ³			3.69×10 ⁻⁷ Bq/m ³
		总 β	10000m ³	β 计数法	120min	1.08×10 ⁻⁶ Bq/m ³
			13500 m ³			8.02×10 ⁻⁷ Bq/m ³
		γ 核素	10000m ³	γ 能谱分析法	80000s	3.75×10 ⁻⁶ Bq/m ³
			13500 m ³			3.11×10 ⁻⁶ Bq/m ³
2	沉降物	γ 核素	0.24m ²	γ 能谱分析法	80000s	0.24Bq/m ² ·月
		总 β	0.21g	β 计数法（EJ/T900-1994 水中总 β 放射性测定蒸发法）	120min	0.052Bq/m ² ·月
3	空气	³ H	8ml	液体闪烁计数法（GB 12375-1990 水中氚的分析方法）	1000min	10.0mBq/ m ³
		¹⁴ C	4g	液体闪烁计数法（EJ/T 1008-1996 空气中 ¹⁴ C的取样与测定方法）	500min	0.04Bq/g·碳
		¹³¹ I	100m ³	γ 能谱分析法（GB/T 14584-1993 空气中碘-131的取样与测定）	540min	6.55×10 ⁻⁴ Bq/m ³
4	土壤、底泥、海洋沉积物	⁹⁰ Sr	100g	二-(2-乙基己基)磷酸酯萃取色层法（EJ/T 1035-2011 土壤中锶—90的分析方法）	120min	0.21Bq/kg
		γ 核素	120g	γ 能谱分析法（GB 11743-2013 土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法）	80000s	0.84Bq/kg（干）

注：① γ 多道谱仪的探测限为¹³⁷Cs（661.6KeV）的探测限。

②分析 α/β （除³H、¹⁴C）射线的仪器为 Canberra LB4122WX；分析 γ 核素的仪器为 GC6020（P 型），BE3830（宽能）；测量³H、¹⁴C 的仪器为 PE Quantulus1220。

表 3.1-2 (2/2) 环境辐射监测项目、核素分析测量方法及探测限

序号	调查对象	分析项目	样品用量	分析方法（参考标准）	测量时间	探测限
5	地表水、海水、地下水、饮用水、降水	^3H	8mL	液体闪烁计数法（GB 12375-1990 水中氚的分析方法）	1000min	0.91Bq/L
		^{137}Cs	60L	二氧化锰吸附- γ 能谱分析法（GB/T 16140-2018 水中放射性核素的 γ 能谱分析方法）	960min	8.3×10^{-4} Bq/L
		γ 核素	60L	二氧化锰吸附- γ 能谱分析法（GB/T 16140-2018 水中放射性核素的 γ 能谱分析方法）	80000s	1.24×10^{-3} Bq/L
6	生物灰	^{90}Sr	10g	离子交换法（GB 11222.2-1989 生物样品灰中锶-90 的放射化学分析方法 离子交换法）	120min	0.071Bq/kg 鲜样
		γ 核素	90g	γ 能谱分析法（GB/T 16145-1995 生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法）	80000s	5.1×10^{-2} Bq/kg 灰
7	植物灰	γ 核素	50g	γ 能谱分析法 GB/T 16145-1995 生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法）	80000s	3.3×10^{-2} Bq/kg 灰

注：① γ 多道谱仪的探测限为 ^{137}Cs （661.6KeV）的探测限。

②分析 α/β （除 ^3H 、 ^{14}C ）射线的仪器为 Canberra LB4122WX；分析 γ 核素的仪器为 GC6020（P 型），BE3830（宽能）；测量 ^3H 、 ^{14}C 的仪器为 PE Quantulus1220。

表 3.1-3（1/2） 海南昌江核电厂环境监测相关操作程序的制定情况

序号	编码	程 序 名 称	责任部门	生效时间	程序状态
1	HN-GD-EM-EI-001	环境监测大纲	环境管理科	2015/5/29	第 2 版已发布
2	HN-GD-EM-EP-003	气象观测大纲	环境管理科	2015/5/29	第 2 版已发布
3	HN-GD-EM-EP-002	应急环境监测大纲	环境管理科	2013/12/31	第 1 版已发布
4	HN-TS-EM-EP-001	环境管理技术规范	环境管理科	2014/4/15	第 1 版已发布
5	HN-TS-EM-EP-002	环境监测放射性数 据处理	环境管理科	2014/4/15	第 1 版已发布
6	HN-TS-EM-EI-003	环境监测质量保证 细则	环境管理科	2015/5/29	第 1 版已发布
7	HN-W-EI-0-XHP-X QY-001	海水及海底泥采样 规程	环境管理科	2013/12/25	第 1 版已发布
8	HN-W-EI-0-XHP-X QY-002	空气中 C-14 的取样 与测定	环境管理科	2015/4/28	第 1 版已升版 小版
9	HN-W-EI-0-XHP-X QY-003	空气样品中 H-3 的 采集与测定	环境管理科	2015/4/28	第 1 版已升版 小版
10	HN-W-EI-0-XHP-X QY-004	生物样品前处理及 制样规程	环境管理科	2013/12/25	第 1 版已发布
11	HN-W-EI-0-XHP-X QY-005	土壤样品采集及处 理规程	环境管理科	2013/12/25	第 1 版已发布
12	HN-W-EI-0-XHP-XC L-001	环境 γ 累积剂量测量 规程	环境管理科	2015/4/20	第 1 版已升版 小版
13	HN-W-EI-0-XHP-XC L-002	MnO ₂ 捕集水中 γ 核 素测定	环境管理科	2015/5/19	第 1 版已升版 小版
14	HN-W-EI-0-XHP-XC L-003	环境 γ 辐射瞬时测 量	环境管理科	2015/4/20	第 2 版已发布
15	HN-W-EI-0-XHP-XC L-004	生物样品中 Sr-90 的 分析规程	环境管理科	2015/4/28	第 2 版已发布
16	HN-W-EI-0-XHP-XC L-005	水中 Sr-90 的分析	环境管理科	2015/5/11	第 1 版已升版 小版
17	HN-W-EI-0-XHP-XC L-006	气溶胶、沉降物中 Sr-90 的测定	环境管理科	2015/4/28	第 2 版已发布
18	HN-W-EI-0-XHP-XC L-007	土壤中 Sr-90 的测定	环境管理科	2013/12/31	第 1 版已发布

表 3.1-3 (2/2) 海南昌江核电厂环境监测相关操作程序的制定情况

序号	编码	程序名称	责任部门	生效时间	程序状态
19	HN-W-EI-0-XHP-X CL-008	沉降物及水中总β放射性测量	环境管理科	2013/12/31	第1版已发布
20	HN-W-EI-0-XHP-X CL-009	气溶胶总α、总β放射性测量规程	环境管理科	2013/12/31	第1版已发布
21	HN-W-EI-0-XHP-X CL-010	水中 Cs-137 的测定	环境管理科	2013/12/31	第1版已发布
22	HN-W-EI-0-XHP-X CL-011	生物样品中 Cs-137 的测定	环境管理科	2013/12/31	第1版已发布
23	HN-W-EI-0-XHP-X CL-012	气溶胶、沉降物中 Cs-137 的测定	环境管理科	2013/12/31	第1版已发布
24	HN-W-EI-0-XHP-X CL-013	取、排水口海水常规化学分析	环境管理科	2015/4/28	第2版已发布
25	HN-W-EI-0-XHP-X CL-014	水中氚的测定	环境管理科	2015/4/28	第2版已发布
26	HN-W-EI-0-XHP-X CL-015	生物样品中组织自由氚的测定	环境管理科	2015/4/28	第2版已发布
27	HN-W-EI-0-XHP-X CL-016	水中 C-14 的测定	环境管理科	2015/4/28	第2版已发布
28	HN-W-EI-0-XHP-X CL-017	生物样品中 C-14 的测定	环境管理科	2015/4/28	第2版已发布
29	HN-W-EI-0-XHP-X CL-018	空气中 I-131 监测规程	环境管理科	2013/12/31	第1版已发布
30	HN-W-EI-0-XHP-X CL-019	蔬菜、甲状腺中 I-131 的测定	环境管理科	2013/12/31	第1版已发布
31	HN-W-EI-0-KRS-X CZ-001	环境γ辐射连续监测系统操作	环境管理科	2013/12/31	第1版已发布
32	HN-W-EI-0-XHP-X CZ-002	紫外可见分光光度计操作规程	环境管理科	2015/4/28	第2版已发布
33	HN-W-EI-0-XHP-X CZ-003	γ谱仪系统操作规程	环境管理科	2015/4/28	第2版已发布
34	HN-W-EI-0-XHP-X CZ-004	总α、总β测量仪操作规程	环境管理科	2015/4/20	第1版已升版小版
35	HN-W-EI-0-XHP-X CZ-005	液体闪烁谱仪操作规程	环境管理科	2015/4/20	第1版已升版小版
36	HN-W-EI-0-XHP-X CZ-006	原子吸收光谱仪操作规程	环境管理科	2015/4/28	第2版已发布
37	HN-W-EI-0-KRS-X CZ-007	气象观测系统操作规程	环境管理科	2015/6/15	第3版已发布
38	HN-W-EI-0-XHP-X CZ-008	放射性流出物所致剂量估算程序操作规程	环境管理科	2015/5/11	第1版已发布小版
39	HN-W-EI-0-XHP-X CZ-009	GEM-MX7080P4-83 高纯锗γ谱仪系统	环境管理科	2014/12/16	第1版已发布
40	HN-W-EI-0-XHP-X CZ-010	LB6008 低本底α、β测量仪	环境管理科	2015/5/7	第1版已升版小版
41	HN-W-EI-0-XHP-X CZ-011	XH-6925 低本底液体闪烁计数器	环境管理科	2015/1/14	第1版已发布
42	HN-W-EI-0-KRS-X YX-001	KRS 系统的运行	环境管理科	2013/12/31	第1版已发布
43	HN-W-EI-0-KRS-X YX-002	环境监测用车运行维护规程	环境管理科	2014/12/16	第1版已发布

表 3.1-4 2018 年海南昌江核电厂环境监测人员培训和考核情况

序号	培训、考核项目	人数	培训、考核时间	成绩	备注
1	流出物监测与管理培训	4	2018.8	合格	厂内
2	辐射安全与防护复证培训	6	2018.9	合格	厂外
3	测量不确定度评定与能力验证	1	2018.3	合格	厂外
4	化学品管理人员取证培训	10	2018.5	合格	厂外

表 3.1-5 海南昌江核电厂环境实验室主要仪器设备检定校准情况

序号	仪器设备名称	型号规格	最近检定日期	检定证书号	检定周期
1	高纯锗 γ 谱仪	BE3830	2016.4.20	164702155	2年
2	高纯锗 γ 谱仪	GC6020	2016.4.20	164702153	2年
3	高纯锗 γ 谱仪	GC6020	2016.4.20	164702150	2年
4	低本底 $\alpha\beta$ 测量仪	LB4200	2016.4.25	164702149	2年
5	低本底 $\alpha\beta$ 测量仪	LB4200	2016.4.25	164702148	2年
6	低本底液体闪烁计数器	Quantulus1220	2016.4.6	164702151	2年
7	低本底液体闪烁计数器	Quantulus1220	2017.8.16	174708162	2年
8	环境 γ 辐射测量仪	FH40G-L10+FHZ672 E-10	2017.5.26	174702394	1年
9	环境 γ 辐射测量仪	FH40G-L10+FHZ672 E-10	2017.9.26	2017/H21-20-125216300 4	1年
10	环境 γ 辐射测量仪	FH40G-L10+FHZ672 E-10	2017.9.26	2017/H21-20-125216300 5	1年
11	电子精密天平	MS603S	2017.8.14	174010871	1年
12	电子精密天平	MS603S	2017.8.14	174010870	1年

表 3.1-6 用于刻度放射性测量仪器的标准物质

序号	名称	来源	证书号/编号	用途
1	Ba-133/Cs-137 碘盒	中国原子能科学研究院	15HH4R4022	γ 谱刻度
2	动物灰混合源	中国原子能科学研究院	15HH4R4018	γ 谱刻度
3	滤纸标准物质	中国原子能科学研究院	15HH4R4020	γ 谱刻度
4	植物灰标准物质	中国原子能科学研究院	15HH4R4007	γ 谱刻度
5	模拟土壤标准物质	中国原子能科学研究院	15HH4R4005	γ 谱刻度
6	K-40 标准粉末源	中国原子能科学研究院	15K44R2001	总 β 测量
7	二氧化锰标准物质	中国原子能科学研究院	15HH4R4013	γ 谱刻度
8	水体标准物质	中国原子能科学研究院	15HH4R4016	γ 谱刻度
9	沉降灰标准物质	中国原子能科学研究院	15HH4R4011	γ 谱刻度
10	河底底泥混合源	中国原子能科学研究院	15HH4R4009	γ 谱刻度
11	C-14 标准粉末源	中国原子能科学研究院	15C44B0156	液闪测量
12	H-3 标准溶液	中国原子能科学研究院	15H34B3001	液闪测量
13	Cs-137 标准溶液	中国原子能科学研究院	15CS4R3011	Cs-137 效率 刻度
14	Sr-90/Y-90 标准溶液	中国原子能科学研究院	15SR4B3002	环境中 Sr-90 效率刻度
15	Am-241 标准粉末源	中国原子能科学研究院	15AM4R2002	总 α 测量
16	Co-60 平面电镀源	中国原子能科学研究院	14CO4R2016	γ 谱刻度
17	Cs-137 平面电镀源	中国原子能科学研究院	14CS4R2018	γ 谱刻度
18	Eu-152 平面电镀源	中国原子能科学研究院	14EU4R2005	γ 谱刻度
19	Am-241 平面电镀源	中国原子能科学研究院	14AM4R2024	低本底 α 刻 度
20	Sr-90/Y-90 平面 电镀源	中国原子能科学研究院	14SR4B2018	低本底 β 刻 度

表 3.1-7 2018 年实验室比对项目及结果

比对项目	组织方	参考值	报告值	结果
气溶胶中 Co-60	环保部辐射环境监测技 术中心	135.8 Bq/L	145 Bq/L	合格
气溶胶中 Cs-134	环保部辐射环境监测技 术中心	539.2Bq/L	504 Bq/L	合格
土壤中 K-40	苏州热工院	714 Bq/kg	789 Bq/kg	满意
土壤中 Th-232	苏州热工院	66.1 Bq/kg	59.9 Bq/kg	满意
土壤中 Ra-226	苏州热工院	33.2 Bq/kg	31.3 Bq/kg	满意
土壤中 U-238	苏州热工院	36.8 Bq/kg	31.0 Bq/kg	满意
水中 H-3	苏州热工院	7.80 Bq/L	6.57 Bq/L	满意
γ 辐射剂量率	苏州热工院	室内：144nSv/h 道路：110nSv/h 原野：95 nSv/h	室内： 166.3nSv/h 道路： 125.1nSv/h 原野：94.6 nSv/h	满意

表 3.2-1 环境空气污染物基本项目浓度限值

污染物名称	平均时间	二级浓度限值	单位
NO ₂	日平均	80	μg/m ³
	小时平均	200	
NO _x	日平均	100	
	小时平均	250	
SO ₂	日平均	150	
	小时平均	500	
CO	日平均	4	mg/m ³
	小时平均	10	
PM _{2.5}	日平均	75	μg/m ³
PM ₁₀	日平均	150	
TSP	日平均	300	
O ₃	日最大 8 小时平均	160	
	小时平均	200	

表 3.2-2 声环境质量标准（GB3096-2008）

类别		昼间	夜间	单位
声环境功能区类别				
0 类		50	40	dB (A)
1 类		55	45	
2 类		60	50	
3 类		65	55	
4 类	4a 类	70	55	
	4b 类	70	60	

注：0类声环境功能区：指康复疗养区等特别需要安静的区域。

1类声环境功能区：指以居民住宅、医疗卫生、文化教育、科研设计、行政办公为主要功能，需要保持安静的区域。

2类声环境功能区：指以商业金融、集市贸易为主要功能，或者居住、商业、工业混杂，需要维护住宅安静的区域。

3类声环境功能区：指以工业生产、仓储物流为主要功能，需要防止工业噪声对区域环境产生严重影响的区域。

4类声环境功能区：指交通干线两侧一定距离之内，需要防止交通噪声对区域环境产生严重影响的区域，包括4a类和4b类两种类型。4a类为高速公路、一级公路、二级公路、城市快速路、城市主干路、城市次干路、城市轨道交通（地面段）、内河航道两侧区域；4b类为铁路干线两侧区域。

表 3.2-3 监测仪器一览表

仪器名称	工频电场/磁场强度测量仪	电磁场强测量仪
型号	LF-04 SEM-600	RF06 SEM-600
频率范围	1Hz~400kHz	100kHz~6GHz
分辨率	1mV/m, 0.01nT	0.01V/m
灵敏度	5mV/m, 1nT	0.1V/m
计量标定标号	24J02X001595	24J02X001522
有效期	2025年3月3日	2025年3月3日

表 3.2-4 厂区监测值统计情况

监测点位置	监测因子	监测值范围	最大值	评价标准
厂区	工频电场 (V/m)	0.04~1.23	1.23	4000
	工频磁场 (μ T)	0.0061~0.1362	0.1362	100
	射频综合场强 (V/m)	0.19~1.92	1.92	12
地下输电廊道	工频电场 (V/m)	0.10~0.78	0.78	4000
	工频磁场 (μ T)	0.0059~1.6135	1.6135	100
开关站 (变电站) 及第一跨	工频电场 (V/m)	0.21~1517.8	1517.8	4000
	工频磁场 (μ T)	0.0076~4.9247	4.9247	100
主变压器	工频电场 (V/m)	0.06~0.36	0.36	4000
	工频磁场 (μ T)	0.0051~10.4166	10.4166	100

表 3.2-5 输电线路监测值统计情况

监测点位置	监测因子	监测值范围	最大值	评价标准
500kV 出线输电线路 (P1 监测断面)	工频电场 (V/m)	垂直监测断面: 0.36~0.79	0.79	4000
		平行监测断面: 0.62~0.79	0.79	
	工频磁场(μT)	垂直监测断面: 0.1041~0.1476	0.1476	100
		平行监测断面: 0.1345~0.1421	0.1421	
220kV 昌核线输电线路(P2 监测断面)	工频电场 (V/m)	垂直监测断面: 55.48~487.58	487.58	4000
		平行监测断面: 251.43~295.24	295.24	
	工频磁场(μT)	垂直监测断面: 0.0142~0.0275	0.0275	100
		平行监测断面: 0.0210~0.0241	0.0241	
220kV 鹅核线输电线路(P3 监测断面)	工频电场 (V/m)	垂直监测断面: 1.61~3.30	3.30	4000
		平行监测断面: 1.63~2.48	2.48	
	工频磁场(μT)	垂直监测断面: 0.0364~0.0482	0.0482	100
		平行监测断面: 0.0437~0.0456	0.0456	
220kV 核李线输电线路(P4 监测断面)	工频电场 (V/m)	垂直监测断面: 3.65~574.43	574.43	4000
		平行监测断面: 233.71~262.67	262.67	
	工频磁场(μT)	垂直监测断面: 0.2064~0.9726	0.9726	100
		平行监测断面: 0.5753~0.6253	0.6253	
220kV 核成线输电线路(P5 监测断面)	工频电场 (V/m)	垂直监测断面: 61.75~1243.0	1243.0	4000
		平行监测断面: 733.27~777.65	777.65	
	工频磁场(μT)	垂直监测断面: 0.7443~2.1240	2.1240	100
		平行监测断面: 1.6830~1.7258	1.7258	

表 3.2-6 厂区外环境敏感区和通信基站监测值统计情况

监测点位置	监测因子	监测值范围	最大值	评价标准
厂区外监测点	工频电场 (V/m)	0.05~4.30	4.30	4000
	工频磁场 (μT)	0.0056~0.0572	0.0572	100
	射频综合场强 (V/m)	0.11~1.67	1.67	12
通信基站	射频综合场强 (V/m)	0.41~2.88	2.88	12

第四章 示范工程

4.1 厂区规划及平面布置

4.1.1 厂区规划

4.1.2 厂区总平面布置

4.1.3 排放口布置

4.2 反应堆和蒸汽—电力系统

4.2.1 概述

4.2.2 核岛

4.2.3 常规岛

4.3 示范工程用水和散热系统

4.3.1 示范工程用水

4.3.2 示范工程散热系统

4.4 输电系统

4.4.1 电气主接线

4.4.2 220kV 主、辅电源配电装置

4.4.3 与电力系统的连接

4.5 专设安全设施

4.5.1 概述

4.5.2 非能动堆芯冷却系统

4.5.3 非能动余热排出系统

4.5.4 自动卸压系统

4.5.5 非能动安全壳空气冷却系统

4.5.6 安全壳氢气控制系统

4.5.7 安全壳和安全壳隔离系统

4.5.8 主控室应急可居留系统

4.6 放射性废物系统和源项

4.6.1 放射性源项

4.6.2 放射性废液管理系统及排放源项

4.6.3 放射性废气管理系统及排放源项

4.6.4 放射性固体废物处理系统及废物量

4.6.5 乏燃料贮存系统

4.7 非放射性废物处理系统

4.7.1 化学污染物

4.7.2 生活废物

4.7.3 其它废物

4.8 放射性物质厂内运输

4.8.1 新燃料运输

4.8.2 乏燃料运输

4.8.3 放射性固体废物的运输

4.1 厂区规划及平面布置

4.1.1 厂区规划

4.1.1.1 规划容量

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程建设 1 台 125MW 多用途模块式小型堆核电机组，位于海南昌江核电厂西北侧，东侧紧邻海南昌江核电厂 1~4 号机组。海南昌江核电厂 1、2 号机组（以下简称“1、2 号机组”）为两台 650MW 压水堆核电机组，已商业运行；海南昌江核电厂 3、4 号机组（以下简称“3、4 号机组”）建设两台百万千瓦级“华龙一号”核电机组。

4.1.1.2 总体规划原则

- 厂址规划 4 台压水堆核电机组及小堆示范工程，统一规划，分期建设。
- 在满足核安全要求的前提下，合理确定核安全重要建、构筑物的室外散水标高（以下简称“厂坪设计标高”）。
- 主厂房建筑群和承载力要求较高的设施尽量布置在埋深适宜、均匀完整、承载力满足要求的地基上。
- 冷却水取、排水系统和电力出线满足工艺流程，力求线路短捷、顺畅。
- 结合非居住区用地，合理规划用地范围，节约用地。
- 结合地形、地质条件，尽量减少土石方开挖、回填量，降低工程投资。
- 对外交通规划应满足工程建造、运行和应急期间的运输需求。
- 小堆示范工程的建设尽量减少对 1、2 号机组运行的影响。
- 辅助生产设施尽可能利用 1、2 号机组已有设施，并考虑与 3、4 号机组共建部分辅助生产设施，减少工程投资。

4.1.1.3 厂址总体规划

（1）厂坪设计标高

结合防洪要求、地基条件、土石方工程、景观效果等因素，参考 1~4 号机组厂坪设计标高，跟其保持一致，本工程厂坪设计标高定为 11.00m。塘兴水库下泄 PMF 洪水、海域洪水及相应台风浪作用均不会影响到厂址防洪安全。

（2）主厂房建筑群位置的确定

根据地基条件、冷却水取排水条件、电力出线条件及地形条件，确定核岛西向、常规岛东向布置。

（3）取排水工程

• 取水工程

本工程采用海水直流冷却方式，海水取自北部湾，水量充足可靠。本工程与海南昌江核电厂 1~4 号机组共用已建成的取水明渠，与 3、4 号机组共用 2 条取水隧洞。

本工程淡水用水由 1、2 号机组已建的淡水厂提供。淡水厂的原水取自石碌水库。

• 排水工程

本工程与 3、4 号机组共用排水工程，采用“盾构隧洞+转换井+水下沉管”的方式排水，排水口位于海域约-19.7m 水深处。

（4）电力出线

本工程新增单回 220kV 电缆出线，接至 1、2 号机组 220kV 主开关站，利用 1、2 号机组 220kV 现有线路送出。

（5）厂区工程

本工程充分利用 1、2 号机组已建辅助生产设施，并考虑与 3、4 号机组共建部分辅助生产设施，厂区工程详见“厂区总平面布置”章节。

（6）其他设施

本工程充分利用 1、2 号机组已经建成的厂址相关设施，如信息文档中心（BD）、培训及展览中心（EA）、应急指挥中心（EM）、环境实验室（EC1）、保卫楼（UF）和消防站（FA）等；厂址气象站（VF）与 3、4 号机组共用；环境 γ 辐射监测站（MG）和武警营房（EN）考虑新建，其中武警营房位于 1、2 号机组武警营房（EY）的东南侧。

（7）场地平整、边坡及截排洪设施

本工程厂区的厂坪设计标高为 11.00m，与海南昌江核电厂 1~4 号机组保持一致。场地平整在 3、4 号机组工程建设时统一完成，厂区场地平整标高为 10.70m。

场地平整后在本工程厂区南侧形成 9m 高的挖方边坡，在厂区西南侧形成 3.5~5.5m 高的挖方边坡。在厂区西北侧和北侧设置挡土墙，挡土墙最大高度约为 2.5m。

场地平整后在本工程厂区南侧和西侧边坡坡底设置排洪沟。本工程位于厂址的西北侧，厂区东南、南及西侧地势较高，构成了防洪屏障；厂区北侧、东北侧、西北侧及厂区内的汇水通过截、排洪构筑物的设置将雨水排入大海，确保核岛及核安全相关构筑物不受山洪威胁。

（8）施工场地

本工程充分利用 1、2 号机组可利用的施工场地并在本工程厂区西南侧新增部分施工

场地。

本工程西南侧新增施工场地与 3、4 号机组新增施工场地统筹考虑。

本工程的施工用电、施工用水考虑利用 1、2 号机组已建的施工变电站和淡水厂，布置在核电厂的西南侧、次要进厂道路的东侧。

（9）对外交通运输设施

本工程充分利用 1、2 号机组已建成的主要进厂道路、次要进厂道路、大件运输道路及大件码头。

（10）厂址区域土地利用

非居住区范围以反应堆厂房为中心，半径 500m 范围。

规划限制区与厂址现有规划限制区相同，半径为 5km。

本工程征地边界包括厂区工程征地边界和配套用地征地边界两部分。

（11）移民搬迁

本工程厂区用地及非居住区范围内的各项设施在 1、2 号机组建设时均已完成了搬迁和补偿。因此，本工程无拆迁问题。

4.1.2 厂区总平面布置

4.1.2.1 总平面布置原则

- 厂区总平面布置应与厂址总体规划相协调。
- 核岛应布置在埋深适宜、均匀稳定、承载力满足要求的地基上。
- 满足机组运行及辅助生产设施的工艺流程要求。
- 避免汽轮机飞射物危及核安全相关的建、构筑物。
- 功能分区明确，合理划分放射区和非放射区，交通运输组织流畅。
- 合理安排主厂房、循环水设施及开关站的位置，使循环冷却水供排水管道及主变至开关站的电缆廊道短捷、顺畅。
- 通道满足运输、防火、卫生、安全、实物保护、管网布置及施工安装等要求。
- 满足分期建设的要求，避免后期施工对前期运行的影响。

4.1.2.2 建设规模及项目组成

本工程建设 1 台多用途模块式小型堆核电机组，规划容量 125MW，配套辅助设施尽可能利用 1、2 号机组已有设施，并考虑与 3、4 号机组共建部分辅助生产设施，减少工程投资。

4.1.2.3 总平面布置

本工程厂区主要包括主厂房及少量辅助生产设施。冷却水设施、配电装置设施、大部分辅助生产设施及厂前建筑区等设施与 1~4 号机组共用。

（1）主厂房区

主厂房主要包括核岛、常规岛及其附属设施等，采用核岛西向、常规岛东向布置。

（2）冷却水设施

冷却水设施与 3、4 号机组共建，主要包括联合泵房（8PM）、制氯站（8PH）以及虹吸井（8CC）等水工设施。

（3）配电装置设施

配电装置设施利用 1、2 号机组已建设施，包括主开关站（TB）、网控楼（TC）和辅助开关站（TD）。本工程通过主电源电缆沟（1GQ）、辅助电源电缆沟（1GR）分别与 1、2 号机组主开关站、辅助开关站连接，规划电力出线方向为南向。

（4）辅助生产设施

辅助生产设施尽量考虑利用 1、2 号机组已建设施，并考虑与 3、4 号机组共建部分辅助生产设施。利用 1、2 号机组已建设施主要有：放射性辅助生产设施如放射性机修及去污车间（AC）、放射性固体废物处理辅助厂房（QS）、放射性固体废物暂存库（QT）和厂区实验楼（AL）等和非放射性辅助生产设施如辅助锅炉房（VA）、机加工车间（AA）、电仪修车间（AF）和新燃料组件运输中转贮存场地（FX）等。与 3、4 号机组共建辅助生产设施主要有：除盐水厂房、储罐及公用配电站（8YA）、综合仓库（8AE）、运行支持仓库（8AQ）及非放射性含油废水集水池（8FS）等。

示范工程新建辅助生产设施有：常规岛液态流出物排放厂房（1WL）、压空氮气站（1AM）、氢气供应站（1AT）、除氧除盐水系统设备间（1YE）等。

（5）厂前建筑区

厂前建筑区利用 1、2 号机组已建设施，布置在厂区东北侧，靠近主要进厂道路，方便管理及交通联系。

（6）实物保护及出入口

根据核电厂实物保护的要求，厂区设置控制区围栏、保护区围栏、要害区围栏三道实物保护围栏，控制区围栏和保护区围栏与 1~4 号机组实物保护围栏构成一个完整的实体屏障。

本工程新建小堆出入口（1SC）和要害区大门（1SV）。

本工程厂区设置 2 座货运出入口，其中 1 座为对外货运出入口、1 座为对内货运出入口。

控制区、保护区和要害区围栏出入口处设置监控系统和值勤哨位，进出人员、车辆必须持有专用证件和磁卡。

4.1.2.4 竖向布置

厂区竖向采用平坡式布置，厂坪设计标高为 11.00m。

厂区内地表水采用有组织的排放方式，场地雨水排入道路，通过雨水口进入雨水系统排出厂外。

4.1.2.5 厂内交通运输

为满足厂内、外交通运输及厂内各建筑物之间货流及人流交通运输的需求，厂区设主干道、次干道、车间引道及人行道。

上述各级道路除满足生产运输要求外，部分道路还兼作消防道路。

4.1.2.6 绿化与美化

本工程实物保护围栏范围外的场地可以栽种行道树、花木及加铺草坪等，以改善环境，充分运用和发挥绿化功能，为核电厂职工提供良好的工作环境。

本工程实物保护围栏范围内的场地均不进行绿化。

4.1.2.7 环境保护相关设施的布置

本工程新建环境保护相关设施主要包括核岛厂房、厂区地下水监测井（MW）和环境 γ 辐射监测站（MG）。核岛厂房集中布置在厂区西侧，位于常年最小风频的上风侧，远离人流集中区域及厂区出入口。厂区地下水监测井（MW）和环境 γ 辐射监测站（MG）根据工艺布置要求以及环境保护相关要求布置在厂区周围。

本工程放射性辅助生产设施利用 1、2 号机组已建设施以及共用 3、4 号机组新建设施。利用 1、2 号机组已建设施包括放射性机修及去污车间（AC）、放射性固体废物处理辅助厂房（QS）、放射性固体废物暂存库（QT）、特种车库（AS）和放射源库（YK）等；共用 3、4 号机组新建设施包括核岛液态流出物排放厂房（8QA）、先进废物处理中心（QD）、核废物厂房（8QD）和放射性废油暂存库（QR）等。

污水处理站（ED）和应急指挥中心（EM）共用 1、2 号机组已建设施。

4.1.2.8 环境保护措施

在本工程建设中，充分考虑环境保护要求，改善原有地形地貌，创造优美的小区环境。具体实施措施主要有以下几方面：

- 在厂址总体规划及厂区总平面布置中，配套辅助设施尽可能利用 1、2 号机组已有设施，并考虑与 3、4 号机组共建部分辅助生产设施，减少工程投资同时减少工程建设对环境的影响。

- 在厂区总平面布置中、尤其保护区（非绿化区）内各设施的布置上，尽量紧凑布局，节约用地。

- 在厂坪设计标高的确定中，重点考虑厂址设计基准洪水位、总平面布置要求、建筑物基础埋置深度等因素外，同时将土石方工程量作为最重要的因素之一，充分予以考虑，尽量减少土石方开挖、回填范围和数量，并尽量减少对现状地貌的改变。

- 充分利用厂区内可绿化区域进行绿化。

- 利用本工程建设时机，改善厂址区域的原始地貌，减少水土流失，增强防洪排涝能力，改善小区域气候。

- 施工场地及其周围防护用地采用临时租地，施工结束后还绿并归还当地政府。

4.1.3 排放口布置

本工程排放口主要包括气载流出物排放口、液态流出物排放口和非放射性物质排放口。

（1）气载流出物排放口

反应堆厂房产生的放射性废气经处理达标后，通过气载流出物排放口（烟囱）排入大气。

（2）液态流出物排放口

本工程与 3、4 号机组共用排水工程，液态流出物在 3、4 号机组进行集中处理，本工程无单独新建的液态流出物排放口。

（3）非放射性物质排放口

本工程生活污水共用 1、2 号机组已建生活污水处理站。雨水和生产废水通过 1、2 号机组和 3、4 号机组室外管网排至虹吸井，经闸门井最终排至大海。

4.2 反应堆和蒸汽—电力系统

4.2.1 概述

示范工程核电机组由包括核反应堆及其核辅助设施的核岛、包括汽轮发电机及其辅

助设施的常规岛和 BOP 组成。

ACP100 反应堆采用一体化压水型反应堆，反应堆模块内布置有 57 组燃料组件，20 组控制棒组件，20 组控制棒驱动机构，16 组直流蒸汽发生器，4 台小型全密封主泵，10 组堆芯中子及温度探测器组件，4 组水位测量组件。

由于核能的风险与电离辐射有关，因此总的核安全目标是在核电厂中建立并保持对放射性危害的有效防御，以保护人员、社会和环境免受危害。安全设计原理的最重要部分是纵深防御概念，它贯彻于安全有关的全部活动中，包括与组织、人员行为或设计有关的方面，以保证这些活动均置于重叠措施的防御之下，即使有一种故障发生，它将由适当的措施探测、补偿或纠正。海南小堆的设计在贯彻纵深防御概念时采用了一系列多层次的防御，用以防止事故并在未能防止事故时保证提供适当的保护，在 ACP100 的设计中将贯彻如下五个层次的纵深防御措施：

第一层次防御的目的是防止偏离正常运行及防止系统失效。这一层次要求按照恰当的质量水平和工程实践，例如多重性、独立性及多样性的应用，正确并保守地设计、建造、维修和运行核电厂。所有构筑物、系统和部件都要根据其安全功能及重要程度进行安全分级，针对不同级别采用不同的规范标准和抗震要求，以及不同的质量保证措施。在第一层次防御中还包括了按经过实践考验的规程进行核电站的在役检查、维护和试验。设计中也考虑了进行这些活动时的可达性和必要的装备和工具。

第二层次防御的目的是检测和纠正偏离正常运行状态，以防止预计运行事件升级为事故工况。这一层次中最重要的是设置了保护系统，以保证安全相关的重要参数的偏离达到设定的阈值时停闭反应堆，使电站处于安全状态。为此 ACP100 设置了独立的反应性控制系统——控制棒系统。

第三层次防御是必须提供附加的设备和规程以控制由某些预计运行事件的升级引起的事故工况的后果。为此，设置了一系列反应堆专设安全设施，如非能动堆芯冷却系统、自动卸压系统、非能动余热排出系统等以及它们的支持系统，这些专设安全设施在事故工况时自动投入运行以控制事故产生的后果。

第四层次防御的目的是针对设计基准可能已被超过的严重事故，以保证放射性的释放保持在尽可能低的水平。这一层次最重要的目的是保护包容功能。除了事故管理规程之外，还可以由防止事故进展的措施与规程，以及减轻选定的严重事故后果的措施来达到。为此设置了严重事故下氢气控制系统、非能动安全壳热量导出系统、安全壳过滤排

放系统等。

第五层次即最后层次防御的目的是减轻可能由事故工况引起潜在的放射性物质释放造成的放射性后果。在设计中，要求有适当装备的应急控制中心并编制厂内和厂外应急响应计划。

纵深防御概念的第二种应用是设置多重实体屏障，防止放射性物质外逸。这些屏障包括燃料包壳、反应堆冷却剂系统压力边界和安全壳。设计将保证每一道屏障的有效性，并为之提供保护措施。

4.2.2 核岛

4.2.2.1 堆芯部件

模块式小型堆为一体化压水型反应堆，反应堆结构主要由反应堆压力容器、反应堆压力容器保温层、燃料组件及相关组件、控制棒驱动机构、堆内构件、直流蒸汽发生器、反应堆冷却剂泵（简称主泵）、反应堆压力容器支承、堆内测量密封结构和集成式堆顶结构等组成。

反应堆冷却剂由主泵驱动，从压力容器主泵接管流出后向下进入反应堆下降环腔。冷却剂流至压力容器下腔室后，折向向上流动，流经流量分配罩、堆芯下板后进入堆芯，带走堆核燃料裂变反应产生的热量。从堆芯流出的冷却剂，再经由堆芯上板进入压紧组件内，然后继续向上流动，进入压紧筒组件内，并通过压紧筒组件筒体上的开孔进入直流蒸汽发生器环腔，在与二次侧水进行热交换后，经直流蒸汽发生器下端吊篮支承台上的开孔进入主泵接管，形成完整的回路。

4.2.2.2 反应堆冷却剂系统

(1) 系统功能

1) 反应堆传热

反应堆冷却剂系统（RCS）的主要功能是将热量从反应堆堆芯传送到直流蒸汽发生器，然后由它传递给二回路系统。

2) 中子慢化剂

RCS系统内的反应堆冷却剂作为中子慢化剂，使中子速度降低到热中子的范围。

3) 反应性控制

硼酸溶解于反应堆冷却剂，在反应性控制中用于补偿氙气瞬态效应和燃耗。

4) 反应堆冷却剂压力控制

反应堆冷却剂压力由稳压器控制，以防止不利于传热的偏离泡核沸腾（DNB）。

5) 安全功能

在燃料包壳破损事故时，RCS 系统作为防止放射性产物泄露的边界。

(2) 系统描述

反应堆冷却剂系统由一体化反应堆压力容器、4 台反应堆冷却剂泵、16 台直流蒸汽发生器、稳压器及相应的管道和仪表组成。16 台直流蒸汽发生器布置在反应堆压力容器内，4 台主泵布置安装在反应堆压力容器主泵接管上。反应堆冷却剂在压力容器和主泵内循环。反应堆冷却剂在堆芯加热后，进入直流蒸汽发生器进口环腔，向下流入直流蒸汽发生器传热管束的一次侧，将热量传递给二次侧给水，产生过热蒸汽供二回路使用。被冷却的反应堆冷却剂被主泵驱动进入堆芯，从下向上再次加热后离开堆芯形成闭式循环。

4.2.2.3 主要辅助系统

反应堆辅助系统主要包括：化学和容积控制系统、正常余热排出系统、燃料操作与贮存系统、设备冷却水系统、一回路取样系统和其他辅助系统（消防系统、通风系统等）。

反应堆辅助系统确保下列功能：

- 反应堆冷却剂容积控制和化学控制；
- 反应堆停堆和启动时排除余热；
- 反应堆换料期间燃料组件的装卸。

化学和容积控制系统，担负正常运行期间反应堆冷却剂系统的容积、化学和反应性的控制。事故（小破口、弹棒和卡棒等）时，保持反应堆冷却剂系统的水装载量，能使反应堆停堆，并维持在热态次临界状态。该系统的主要设备（上充泵、除盐器和容控箱等）布置在核辅助厂房内。

正常余热排出系统（RHR）的主要功能是电厂停堆期间，在经直流蒸汽发生器初步冷却和降压后，从堆芯和反应堆冷却剂系统（RCS）排出热量。

- 将反应堆冷却剂温度降至冷停堆值；

通过排出反应堆冷却剂热量，将反应堆冷却剂的温度从 180℃ 降至 60℃。

- 维持 RCS 系统的冷停堆温度；

在达到冷停堆工况时，RHR 系统能将反应堆冷却剂温度维持在冷停堆工况，并可满足换料和维修操作所需要的持续时间。

- 维持冷却剂通过堆芯的强制循环；

在反应堆停堆和启动期间，当主泵全部停运或主泵不可用时，余热排出泵能使反应

堆冷却剂通过 RCS 系统和堆芯进行循环。

燃料操作与贮存系统，用于新燃料组件的接收、燃料组件的更换、贮存和装卸运输。由于换料期间，从反应堆中卸出的乏燃料具有很强的放射性，要求在水下运输和贮存，这样既能看清操作又能有足够的辐射防护。燃料操作及贮存设备主要布置在反应堆厂房和燃料厂房，反应堆厂房和燃料厂房之间通过燃料转运通道连通或者隔离。乏燃料组件通过装卸料机从堆芯内卸出，通过燃料转运通道由水下运至燃料转运舱，用人桥吊车将乏燃料组件吊运至乏燃料贮存架内。经过一定的衰变时间，将乏燃料组件从贮存水池中取出，装入乏燃料运输容器，运往后处理厂。接收的新燃料组件贮存在新燃料贮存架内（干式贮存），或乏燃料贮存水池中（湿式贮存）。通过燃料转运通道将新燃料组件送入反应堆厂房，向堆芯装料。

消防系统是为示范工程可能发生火灾的场所提供灭火措施的系统。示范工程设计对可能发生的火灾隐患，采取了层层设防，一旦发生火灾，启用预先设置的各种行之有效的灭火设施灭火，使火灾危害降到最低限度。核岛厂房内的消防系统包括：核岛消防系统（含反应堆厂房、核辅助厂房、核废物厂房和核燃料厂房）、电气厂房消防系统（含电气厂房和运行服务厂房）、柴油发电机厂房消防系统、安全厂房消防系统及移动式 and 便携式消防设备。BOP 各厂房包括泵站、除盐水处理站、办公楼、制氯站、辅助锅炉房、车间和食堂等，不存在较大的火灾危险，在厂房内均设置消火栓和手提式灭火器。常规岛消防系统，能通过自动水喷雾灭火系统、水喷水灭火系统、气体灭火系统以及消火栓和手提式灭火器，对常规岛内的一切火灾危险提供防护。

4.2.3 常规岛

常规岛主要包括汽轮机厂房及其厂房内的系统设备。

蒸汽-电力转换系统接收来自核蒸汽供应系统的蒸汽，通过汽轮发电机组将热能转换成电能。每台机组包括一台额定输出功率为 125MWe 的汽轮发电机组。汽轮机由一个 3000rpm 的高压缸和一个双流低压缸组成，它与 13.8kV、三相、50Hz 的交流发电机直接相连。

蒸汽-电力转换系统主要包括主蒸汽系统、汽水分离再热器系统、凝结水系统、给水流量控制系统、汽轮机回热抽汽系统、汽轮机旁路系统等。

其中主蒸汽系统、给水流量控制系统与核安全相关。

主蒸汽系统用于将蒸汽由蒸汽发生器输送到下列设备和系统：

- 主汽轮机及其辅助设备包括汽轮机轴封系统、凝汽器和汽水分离再热器；

- 通向凝汽器的蒸汽旁路系统；
- 辅助蒸汽分配系统。

启停过程（功率为0%~20%P_n）中，蒸汽发生器产生的不满足使用要求的热水、汽水混合物、排入汽水分离器，汽水分离器出口蒸汽通过旁路系统排入凝汽器，出口疏水经减压后送入凝汽器。

汽水分离再热器系统：汽水分离器可除去汽轮机高压缸高湿度的蒸汽中的水分，然后再经过再热器加热，使蒸汽在流入低压缸之前温度提高，以减少对低压缸叶片的刷蚀，并使低压缸的出力增大，从而提高了汽轮发电机组的热效率。

凝结水系统：凝结水系统位于汽轮机本体和低压给水加热器之间，具有接受汽轮机及其旁路出口排汽，并将排汽冷凝成水，以及对凝结水进行除气和过滤净化处理等功能。

给水流量控制系统：用于从低压给水加热器至蒸汽发生器给水入口进行除氧、升压、加热和调节。

汽轮机旁路系统：该系统用于特殊情况下，使主蒸汽不经过汽轮机，而由旁路经过减压装置后排入凝汽器。从而使反应堆在汽轮机负荷突然发生大的瞬变时，可以继续运行，它使反应堆可以不依赖汽轮发电机组而独立运行。

汽轮发电机额定容量为151MVA，运行参数为13.8kV、三相和50Hz。发电机为空气冷却。励磁系统采用自并励静止励磁，电源取自机端，先经励磁变压器，再经可控硅整流装置整流后通过滑环和电刷输入到发电机转子励磁绕组的励磁方式。励磁系统包括励磁变压器和励磁柜。

4.3 示范工程用水和散热系统

4.3.1 示范工程用水

示范工程用水主要分为海水用水和淡水用水。

4.3.1.1 海水用水

示范工程的海水用水系统主要包括：

- 循环水系统；
- 厂用水系统等。

海水取自北部湾，作为核电厂循环水、厂用水等的水源，其取水条件好、水量充足可靠，可满足循环水、厂用水等的用水需求。

北部湾取水条件好、水量充足可靠，可满足循环水系统、厂用水系统及其他海水用水系统的取水需求，不会出现冷却水供应不足而引起电厂运行中断或启动应急系统的情

况。

4.3.1.2 淡水用水

示范工程的淡水用水主要包括施工期间的生产用水、人员生活用水、消防用水和施工现场的降尘、洗车用水等，以及运行期间生产用水、生活用水、消防用水、道路浇洒、洗车及绿化用水等。

（1）淡水用水量

1) 施工期间用水量

施工期间的淡水用水主要由施工生产用水和施工人员的生活用水组成。施工生产用水主要包括混凝土骨料清洗、生产、浇注、养护、冲洗机具、石料加工场冲洗和降尘、砌砖等施工用水。

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程施工期间施工生产用水最大日用水量为 $1140\text{m}^3/\text{d}$ ，施工人员生活用水最大日用水量为 $540\text{m}^3/\text{d}$ ，施工现场降尘和洗车用水量为 $156\text{m}^3/\text{d}$ 。考虑管网漏损水量和未预见用水等，施工期间最大日用水量约为 $2050\text{m}^3/\text{d}$ 。

2) 运行期间用水量

运行期间的淡水供水系统主要包括饮用水系统、生产水系统和在中水系统。

饮用水系统主要供给运行期人员的生活用水、采用生活水水质的生产用水、消防补充水、浇洒用水（再生水不足部分）等。采用生活水水质的生产用水包括核岛、常规岛及其他BOP子项的生产用水，并作为水泵轴密封水的备用水源。

运行期间除盐水用水由海南昌江核电厂3、4号机组的核岛除盐水分配系统提供。

生产水系统为水泵轴密封水及空调冷冻机组冷却水提供补充水，并作为消防补水的备用水源。

道路浇洒、洗车等用水主要采用再生水。

考虑管网漏损水量和未预见用水等，示范工程运行期正常运行日用水量约为 $980\text{m}^3/\text{d}$ ，启动工况最大日用水量约为 $2050\text{m}^3/\text{d}$ 。

本工程正常运行设计耗水指标为 $0.091\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{GW}$ 。本工程工业水重复利用率约为99.4%。

（2）供水水源

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程施工期间淡水用水由海南昌江核电厂1、2号机组已建的淡水厂提供；运行期间除盐水用水由海南昌江核电厂3、4号机组核岛除盐

水分配系统提供，人员生活用水和生产用水等由海南昌江核电厂1、2号机组已建的淡水厂提供，浇洒、洗车等用水采用再生水，由海南昌江核电厂1、2号机组已建的生活污水处理站提供。淡水厂的原水取自石碌水库。

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程运行期正常运行日用水量约为980m³/d，最大日用水量约为2050m³/d。

根据《海南昌江核电项目2×650MW机组工程水资源论证报告书》，海南昌江核电厂1、2号机组运行期最大日用水量出现在一堆运行、一堆冷启动工况，设计用水量约为7310m³/d；两堆正常运行用水量约为5550m³/d。

根据《海南昌江核电厂3、4号机组水资源论证报告书》，海南昌江核电厂3、4号机组运行期正常运行日用水量约为6568m³/d，最大日用水量约为10707m³/d。

鉴于海南昌江核电厂1、2号机组、3、4号机组和海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程的最大日用水量不会在同一天出现，来自海南昌江核电厂淡水厂的淡水最大日用水量约为17237m³/d。

已建海南昌江核电厂淡水厂的设计处理规模为16000m³/d，经核算最大处理能力可达17600m³/d，并对原淡水厂进行了扩容设计，扩容设计规模3000m³/d，扩容后最大处理能力可达20600m³/d，能够满足海南昌江核电厂1~4号机组和海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程运行期淡水用水要求。

道路浇洒、洗车用水日用水量约为20m³/d。本工程正常运行期间新增生活污水产生量约为65m³/d，再生水产生量约为58m³/d，可满足道路浇洒、洗车等用水需求。

上述淡水水源水量充沛，不会出现因淡水供应不足而引起示范工程运行中断或启动应急系统的情况。

4.3.2 示范工程散热系统

厂址位于海头港西南侧海岸，濒临北部湾，海域水深条件较好，-8m等深线距离0m等深线约400m。本工程采用海水直流冷却方式，取水量约为9.2m³/s。

本工程与海南昌江核电厂1~4号机组共用取水明渠，与海南昌江核电厂3、4号机组共用取水隧洞、排水隧洞和排水沉管，无新建取排水工程。

4.4 输电系统

4.4.1 电气主接线

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程规划建设一台自主化十万千瓦级

ACP100 机组，立足首堆的开发和建设。汽轮发电机组的额定发电容量按照 1 台 125MW 级机组考虑，发电机额定电压 13.8kV。机组以发电机—双卷变压器组单元接线升压至 220kV 接入系统，发电机与主变压器之间装设发电机出口断路器。主变高压侧设置户外型 GIS 设备，包括断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器、避雷器等设备。根据南方电网公司发布的《关于海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程接入系统报告的批复》(办发[2018]91 号)，本工程新增单回 220kV 出线，接至昌江核电 1、2 号机组 220kV 主开关站，利用昌江核电 1、2 号机组 220kV 现有线路送出。本工程新增单回 220kV 电缆出线，接至昌江核电 1、2 号机组 220kV 主开关站。不再单独设置主开关站。新建电缆线路长度约 2km，导线截面 630mm²。

根据海南电网公司《关于同意昌江核电小型堆科技示范工程辅助电源接入系统方案的函》(海南电网函[2020]1 号)，小堆辅助电源以 1 台 25MVA (海南电网函(2022)62 号) 辅助变压器接入现有昌江核电辅助变电站 220kV#1 母线，通过已有昌江核电 1、2 号机组 220kV 辅助开关站送至昌江变电站的 220kV 线路 (240mm²) 接入电网。本工程以单回 220kV 电缆线路接入昌江核电 1、2 号机组辅助开关站，电缆线路路径长约 1.7km。不再单独设置辅助开关站。在辅变高压侧设置断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器、避雷器等相关配套设备。

辅助电源在厂用主电源丧失时，作为示范工程厂外备用电源，容量按高压厂用变压器的全容量备用考虑。在主厂用电源失去时，向厂用负荷供电。

4.4.2 220kV 主、辅电源配电装置

220kV 主、辅电源配电装置采用 SF₆ 气体绝缘组合电器 (GIS)，户外布置。

昌江核电 1、2 号机组已有的主开关站、辅助开关站 220kV 配电装置位置位于厂区的南侧，出线向南。本工程主变压器连同 220kV 配电装置、辅助变压器连同 220kV 配电装置位于厂区的北侧在汽轮机厂房附近。

4.4.3 与电力系统的连接

根据《海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程接入系统专题报告 (系统一次部分)》推荐方案，本工程考虑如下接入系统方案：本工程新增单回 220kV 出线，接至昌江核电 1、2 号机组 220kV 主开关站，利用昌江核电 1、2 号机组 220kV 现有线路送出。新建电缆线路长度约 2km，导线截面为 630mm²。

4.5 专设安全设施

4.5.1 概述

专设安全设施主要包括非能动堆芯冷却系统、非能动余热排出系统、自动卸压系统、非能动安全壳空气冷却系统、安全壳氢气控制系统、安全壳和安全壳隔离系统、主控室应急可居留系统。

4.5.2 非能动堆芯冷却系统

4.5.2.1 系统功能

非能动堆芯冷却系统的主要功能是在假定的设计基准事故发生后提供应急堆芯冷却。为了实现这个主要的功能，非能动堆芯冷却系统设计实现如下安全相关功能：

- 反应堆冷却剂系统应急补给和硼化

在非 LOCA 事故下，当化学和容积系统的正常补水不可用或不足的情况下，非能动堆芯冷却系统（PXS）向堆芯提供应急补水和应急硼化。

- 安全注入

在 LOCA 事故下，PXS 为反应堆冷却剂系统提供非能动安全注入以确保足够的堆芯冷却。

- 事故后 pH 值控制

在事故后长期淹没情况下，PXS 向淹没安全壳的水中添加化学药品，降低安全壳内安全相关设备腐蚀。

- 防止烧穿压力容器底部

在严重事故下，PXS 可以将压力容器下部外表面淹没并导出热量，防止损坏的堆芯烧穿压力容器底部。

4.5.2.2 系统描述

非能动堆芯冷却系统属于抗震 I 类安全相关系统。它由两个堆芯补水箱、两个安注箱、一个安全壳内置换料水箱、若干个 pH 值调整篮和相关的管道、阀门、仪表及其他相关设备组成。

对于各种事件，不包括冷却剂丧失，当正常补给系统不可用或不足时，堆芯补水箱向反应堆冷却剂系统提供补给和硼化。有两个堆芯补水箱布置在安全壳内稍高于反应堆冷却剂环路位置。在正常运行期间，堆芯补水箱完全充满冷的硼水。当发生一根蒸汽管线破裂时，堆芯补水箱有足够的硼化能力以提供充分的停堆裕度确保安全停堆。在发生包括稳压器波动管双端断裂的 LOCA 时，非能动堆芯冷却系统能通过安注箱提供大流量注射，迅速充满反应堆压力容器下腔室和下降管以及部分再淹没堆芯。在安注箱排空后，

堆芯补水水箱完成堆芯再淹没。接下来是安全壳内置换料水箱的注射和再循环提供长期冷却。

通过使用在篮筐内装有的颗粒状磷酸三钠作为 pH 值的调节剂，控制安全壳内事故后地坑水的 pH 值。篮筐布置要低于事故后最小淹没水位，确保水淹没篮筐时，非能动添加化学物质。此外，篮筐还布置在高于地面一定高度的位置，从而减小安全壳内水溢出溶解磷酸三钠的可能性。

4.5.3 非能动余热排出系统

4.5.3.1 系统功能

对于假想的非 LOCA 事件，即通过蒸汽发生器排出堆芯衰变热的能力丧失时，非能动余热排出系统（PRS）设计成能执行下列功能：

- 非能动余热排出热交换器非能动投入运行以提供反应堆冷却剂系统冷却并防止水通过稳压器安全阀释放。
- 非能动余热排出热交换器在非能动安全壳空气冷却系统的协助下，在闭式环路运行模式时可以排出衰变热。
- 在蒸汽发生器传热管破裂事件中，非能动余热排出热交换器排出堆芯衰变热并且降低反应堆冷却剂系统的温度和压力。

4.5.3.2 系统描述

对于假想的非 LOCA 事件，通过非能动余热排出热交换器排出应急堆芯衰变热。

非能动余热排出热交换器和堆芯有较大位差，从而保证 PRS 系统的自然循环能力。在反应堆冷却剂泵运行时，PRS 系统可以以强迫循环方式运行。

4.5.4 自动卸压系统

4.5.4.1 系统功能

在电厂启停期间，排出稳压器蒸汽空间中的不可凝气体，执行反应堆冷却剂系统（RCS）的除气操作。

在发生假想的设计基准事故时，自动卸压系统（RDP）使反应堆冷却剂系统（RCS）降压，以便非能动堆芯冷却系统（PXS）将水顺利注入堆芯提供应急冷却，防止高压熔堆。

4.5.4.2 系统描述

自动卸压采用 3 级卸压方式，每级（1 级、2 级、3 级）均设置有两列。其中，第 1

级和第 2 级卸压管线并联组成两组（1 组、2 组），这两组的进口母管分别接在稳压器顶部 2 台安全阀的接管上，并与稳压器汽腔相连；每组的共同排出管经过喷洒器进入内置换料水箱。第 3 级卸压管线再分为 3A、3B 两级，均设置有两列，3A 和 3B 并联组成两组（3A 组、3B 组），分别接在稳压器波动管上和反应堆压力容器正常余排接管上，卸压时直接向安全壳内大气排放。

自动卸压阀门开启的控制系统，具有适当的多样性和冗余性水平以减少阀门的误开。在每个排放通道上设置串联的一对阀门，以减少自动卸压阀门误排放的可能。第 3 级阀门是联锁的，以便使它们在反应堆冷却剂系统压力已充分地下降后才能打开。

在发生冷却剂丧失事故期间，阀门按照一定的顺序和时间延迟打开，实现反应堆冷却剂系统的可控和有序降压。

4.5.5 非能动安全壳空气冷却系统

4.5.5.1 系统功能

非能动安全壳空气冷却系统（PAS）用于在设计基准工况和设计扩展工况后排出安全壳内大气的热量，降低安全壳的温度和压力，保证安全壳的完整性。通过降低安全壳大气和外部环境的压差，减小安全壳内裂变产物向环境泄漏的驱动力，限制事故后放射性物质向环境释放。

4.5.5.2 系统描述

采用非能动设计理念，利用钢制安全壳壳体作为一个传热表面，安全壳内表面受蒸汽冷凝、蒸汽及壳内大气的对流及辐射等影响而被加热，然后通过导热将热量传递至钢壳体，受热的钢壳外表面通过自然循环的冷空气以对流、辐射及热传导的方式进行冷却。来自环境的空气通过空气入口流道进入，流经空气流道，沿安全壳容器外壁上升，最终通过一个高位排气口返回环境。

空气入口设置在周边厂房外侧，冷却空气从入口处进入，经底部空气廊道后混合，并进入两壳环廊，直接利用两壳环廊作为空气流道，流经钢壳表面后，从顶部空气出口流出至环境。由于受周边厂房及设备的限制，尽量均匀地设置了四条空气廊道和入口。为保护通风廊道免受“异物侵入”，在通风进出口处设置钢格栅。

当事故下安全壳内温度上升时，导致两壳环廊空气温度高于环境大气温度，于是在密度差的作用下，环境空气会从入口流进，经底部廊道并混合后，进入两壳环廊，流经钢壳外表面，不断带走安全壳内热量，最终带入环境大气。

本系统在非能动空冷系统设计基础上，设计了壳外喷淋以提供可人为干预的安全壳降温措施，壳外喷淋功能为非安全相关，考虑到喷淋环管失效可能影响安全壳，壳外喷淋设计为抗震 I 类。从核岛消防系统壳外管网取水，通过布置在空气出口下方的两组喷淋环管均匀淋洒在钢制安全壳穹顶外壁面。该设施用于强化事故后安全壳高压高温状态的缓解，事故后由运行人员根据安全壳内环境状态决定是否启动，以更加迅速的降低安全壳内压力和温度，改善壳内环境状态。

4.5.6 安全壳氢气控制系统

4.5.6.1 系统功能

安全壳氢气控制系统用于在设计基准事故工况下和严重事故工况下将安全壳大气中的氢浓度减少到安全限值以下，从而在设计基准事故下避免氢气燃烧和严重事故工况下避免发生由于氢气爆炸而导致的第三道屏障—安全壳的失效。

4.5.6.2 系统描述

在安全壳内氢气浓度达到氢复合器启动条件时，非能动氢复合器会自动启动复合氢气。

安全壳氢气控制系统在设计基准事故下避免氢气燃烧，该功能与安全相关。

该系统在严重事故时还可以限制安全壳内的氢气浓度低于安全限值，避免安全壳失效。该功能对于保障第三道屏障的完整性具有重要作用。

安全壳氢气控制系统由多台完全独立的非能动催化氢复合器组成，即在安全壳隔室内根据氢气的产生和聚积情况布设一定数量的非能动催化氢复合器，用于在设计基准事故和严重事故工况，分别限制安全壳内的氢气浓度在燃烧和爆炸限值以下。

安全壳氢气控制系统同时应对设计基准事故和严重事故消氢，系统采用的非能动催化氢复合器，其中部分同时用于设计基准事故工况和严重事故工况消氢，其他则仅用于严重事故工况消氢。

安全壳氢气控制系统系统是相对独立的系统，与其它系统没有接口，不需要控制信号、电源、气源等。当安全壳内的氢浓度达到一定数值时，氢复合器自动工作，将安全壳内的氢浓度控制在安全范围之内。

4.5.7 安全壳和安全壳隔离系统

4.5.7.1 系统功能

安全壳系统执行以下与安全相关的功能：

- 1) 在运行状态和事故工况下包容放射性物质；
- 2) 在运行状态和事故工况下屏蔽辐射；
- 3) 在事故工况下与其它系统一同降低安全壳内大气的压力和导出热量；
- 4) 保护反应堆使其免受外部自然事件和人为事件的影响。

安全壳系统还可执行以下非安全相关的功能：

- 1) 安全壳的内部设计使得空气可以自由循环，从而使安全壳内环境条件均匀统一；
- 2) 应具备对安全壳进行泄漏率试验的手段；

安全壳的设计为换料以及维修操作提供足够空间。

安全壳隔离系统的主要功能是需要时提供安全壳隔离从而在要求维持安全壳边界完整性的同时允许正常或应急的流体通道穿过安全壳边界。这防止或限制了由假想事故产生的裂变产物的泄漏。安全壳隔离设施设计成穿过一次安全壳边界的流体管线在发生事故时能被隔离。这使得释放到环境中的放射性最小。

4.5.7.2 系统描述

安全壳系统主要由钢制安全壳组成，钢制安全壳上布置着 2 个大的闸门，分别是人员设备闸门和应急闸门。除了 2 个大的闸门外，钢制安全壳上还布置着很多贯穿件，包括：电气贯穿件、机械贯穿件和燃料转运通道贯穿件，贯穿件通过内嵌板与钢制安全壳连接。钢制安全壳用于承受 LOCA 事故和二回路蒸汽管道破裂下的内压，并限制 LOCA 事故下放射性产物向安全壳外泄漏。

安全壳隔离系统由隔离安全壳的管道、阀门和执行机构组成。

4.5.8 主控室应急可居留系统

4.5.8.1 系统功能

可居留性系统的设计是保证主控室在正常工况下的可居留性，并保证在事故时及事故后的居留期得以延长。可居留性系统包括辐射屏蔽、冗余设置的新鲜空气供应系统、防火、人员的防护设备、应急照明、公用及卫生设施。

4.5.8.2 系统描述

主控室可居留区包括主控室、办公室、技术支持中心、计算机室，卫生设施、走廊、厨房等房间；假想事故（放射性阈值高报）发生后由主控室空调系统（VCL）服务整个区域，放射性阈值高高报情况下由主控室应急可居留系统（MEH）为主控室、值长室直接送新风并提供加压、冷却、和净化功能。

- 1) 主控室空调系统（VCL）在电厂正常运行及假想事故（放射性阈值高报）情况下

服务于主控室可居留区的各个房间。

该系统功能是：

- 保持主控室、计算机房的室温在 20℃到 25℃之间；
- 保持走廊的气温在 18℃到 26℃之间；
- 保持其他房间室温在 18℃到 28℃之间；
- 保持各房间相对湿度在 40%到 60%之间，走廊的最高相对湿度 70%；
- 当发生 LOCA 或导致放射性产物扩散到环境中的其它种类事故时，应限制污染空气从室外进到主控室(通过应急过滤系统的新风流量的限值为 900m³/h)。

VCL 系统包括两部分：主管路、应急过滤管路。

— 主管路

包括两条冗余设置由柴油发电机组供电的容量为 100%过滤管路。每台机组内均设置一组预过滤器、一组高效过滤器、一台加热器、一台冷却盘管及一台风机。主系统采用一次回风系统。

— 应急过滤管路：

包括两条冗余设置由柴油发电机组供电的容量为 100%过滤管路，每条过滤管路包括：一台预过滤器、一台电加热器、一台 HEPA 过滤器、一台碘吸附器、一台 HEPA 过滤器和一台送风机。

两台冗余设置的放射性监测器来监测引入新风放射性浓度，当浓度超标时通风系统由正常通风管路切换到应急过滤管路。

2) 主控室应急可居留系统 (MEH) 在严重事故 (放射性阈值高高报) 条件下以非能动方式运行，一次性动作的阀门除外。其动力取自压缩空气储罐内空气，可实现主控室在事故工况下的可居留 (72h) 功能，主要包括通风、加压、冷却、和净化功能。

MEH 系统包含以下主要设备：

- 1 套压空储罐，用于事故后向主控室提供应急加压和可供呼吸的空气，同时作为喷射器的动力源；
- 1 套过滤器组件，包括：前置 HEPA 过滤器、碘吸附器、后置 HEPA 过滤器；
- 1 台喷射器，用于引射主控室内空气通过过滤器组件循环净化；
- 1 套蓄冷换热设备，包含蓄冷水箱和热管换热组件；
- 1 套压缩空气供气管网，包含供气管道、消声器、及相关阀门等；

4.5.8.2.1 正常运行

在空气不受污染的运行条件下，正常新风口供给恒定的新风量 2400m³/h，并保持主控室可居留区的压力略高于区域外的压力。

主控室空调系统（除应急过滤管路外）是连续运行的，并且处于自动控制状态之下。

4.5.8.2.2 应急工况

在应急工况下，放射性监测系统（IRM）探测室外空气被污染（放射性阈值高报）时，系统自动由正常通风管路切换到应急过滤管路（同时设置了两条应急过滤管线，互为备用），净化后的新风量约为 900m³/h，厨房和卫生间的排风机切换至低速运行状态，空调机组仍保持连续运行。

当失去所有 AC 电源或放射性监测系统（IRM）探测室外空气被污染（放射性阈值高高报）时，MEH 系统将自动启动送风管线电磁隔离阀进行送风。MEH 系统也可以手动启动。

4.6 放射性废物系统和源项

4.6.1 放射性源项

核电厂运行产生的放射性物质主要来源于反应堆燃料芯块内的裂变反应，裂变反应产生的裂变产物绝大部分都被包容在燃料元件包壳内，只有极少量的裂变产物由于燃料元件包壳破损而泄漏到反应堆一回路冷却剂中。同时裂变反应所产生的中子会使反应堆冷却剂自身以及腐蚀产物、控制棒、硼酸和其它材料发生活化而产生生活化腐蚀产物。

反应堆冷却剂中的放射性活度很大程度上取决于燃料包壳的缺陷特征，以及裂变产物从燃料包壳间渗透入冷却剂的现象。

这些裂变产物和中子活化腐蚀产物通过冷却剂的净化、蒸汽发生器传热管束的泄漏等过程造成对二回路系统的污染。

4.6.2 放射性废液管理系统及排放源项

废液管理系统用于控制、收集、输送和贮存示范工程正常运行期间（包括发生预期运行事件时）产生的放射性废液。将收集后的废液输送至海南昌江 3、4 号机组共用废液处理系统进行处理、贮存、监测和排放。本项目废液管理系统由下列系统组成：

- 反应堆冷却剂净化系统（ZBR）；
- 废液处理系统（ZLT）；
- 核岛疏水排气系统（RVD）。

其它已被污染或可能被污染的废液由下列系统收集、处理或排放：

- 化学和容积控制系统（RVC）；
- 乏燃料水池冷却系统（RFT）；
- 常规岛液态流出物排放系统（WQB）。

4.6.2.1 反应堆冷却剂净化系统（ZBR）

反应堆冷却剂净化系统（ZBR）对来自反应堆冷却剂系统（RCS）和核岛疏水排气系统（RVD）的含氢反应堆冷却剂，利用过滤、除盐和除气装置进行净化处理。在燃耗末期，本系统还可用阴床除盐器对来自 RVC 系统下泄来的反应堆冷却剂进行除硼。

（1）设计基准

ZBR 系统为单机组设置。

本系统设计成能处理反应堆在基本负荷运行及各种运行瞬态时排放的含氢反应堆冷却剂。

本系统的前贮槽和净化部分可接收和处理来自 RVC 系统的最大下泄流。

中间贮槽的容积可以满足本系统与下游隔离，能够独立运行，从而不影响反应堆的运行状态。

（2）系统描述

反应堆排出的含氢反应堆冷却剂由两个前贮槽（001BA 或 008BA）接收。然后，用前贮槽泵（001PO、002PO）经除盐预过滤器（001FI）、阳床除盐器（001DE）、混床除盐器（003DE）、树脂滞留过滤器（003FI）净化后，进入除气塔（001DZ）进行脱气。去除了裂变气体、氢气和氮气的反应堆冷却剂由除气塔疏水泵（003PO、004PO）输送，经再生热交换器（001EX）与除气塔液体冷却器（001RF）冷却后进入中间贮槽（002BA、003BA 或 004BA）暂时贮存。

从除气塔排出的二次蒸汽经排气冷凝器（001CS）冷凝、冷却后，废气通过核岛疏水排气系统（RVD）送到废气处理系统（ZGT）的含氢废气子系统进行活性炭滞留衰变。冷凝液返回除气塔。

三个中间贮槽（002BA 或 003BA、004BA）共用一台输送和混合泵（007PO）。

ZBR 系统的设备全部安装在核辅助厂房内。

（3）系统运行

a) 正常运行

前贮槽、除盐器和除气塔的操作都是自动连续进行的。每个前贮槽在使用前，首先用氮气吹扫以降低气相中氧气的浓度。然后，再用 WDD 系统的除盐除氧水从前贮槽开

前贮槽 001BA（008BA）覆盖着一定数量的氮气。在正常操作状况下，不排出气体，气体覆盖层压力随液位变化而变化。前贮槽除了有压力与液位监测报警外，槽顶气相与槽底液相管路上均设有安全阀可以保护贮槽。

前贮槽 001BA（008BA）的液位与压力检测系统自动控制除气塔 001DZ 的启动和停运。

当一个中间贮槽被注满时，则手动关闭该槽的进料阀，打开另一个中间贮槽的进料阀。中间贮槽内的液体通过废液处理系统(ZLT)的管道送往海南昌江 3、4 号机组，作工艺废液处理。

b) 特殊运行

— 在打开反应堆压力容器前，利用除气塔对反应堆冷却剂进行除气。

这个工艺过程除了能减少反应堆开盖前的操作时间以外还可以增加净化效率。

4.6.2.2 废液处理系统（ZLT）

废液处理系统（ZLT）用于收集、贮存并输送核电厂运行期间产生的放射性废液。示范工程产生的放射性废液将分类输送至海南昌江 3、4 号机组废液处理系统（ZLT），根据要求对各类废液进行处理，处理过的废液经监测合格后，向环境排放。

（1）设计基准

废液处理系统是按容纳和处理示范工程正常运行产生的最大预期废液量和最大预期放射性活度、并留有适当裕量而进行设计的。

所有贮槽均布置在相应的设备间内，设备间设计成可滞留贮槽泄漏或破损时流出的放射性废液。

（2）系统描述

放射性废液根据放射性浓度和化学成分由 RVD 系统分类收集。然后，送至 ZLT 系统贮槽分别贮存后输送至海南昌江 3、4 号机组的废液处理系统（ZLT）进行分类处理。

a) 接收工艺排水

— 两台工艺排水接收槽。工艺排水在贮槽中收集、贮存、混和和取样分析；

— 一台工艺排水泵，用于废液的混合搅拌和输送。必要时，可对废液进行取样分析；

— 废液通过管道输送至海南昌江 3、4 号机组 ZLT 系统工艺排水接收槽后进行进一步的处理。

b) 接收化学排水

— 两台化学排水接收槽，用于废液的收集、贮存、混和和取样分析；

— 一台化学排水泵，用于槽内废液的混合搅拌和输送。必要时，可对废液进行取样分析；

— 废液通过管道输送至海南昌江 3、4 号机组 ZLT 系统化学排水接收槽后进行进一步的处理。

c) 接收地面排水

— 两台地面排水接收槽，用于地面排水的收集、贮存、混和和取样分析；

— 地面排水泵，用于废液的混合搅拌和输送。必要时，可对废液进行取样分析；

— 废液通过管道输送至海南昌江 3、4 号机组 ZLT 系统化学排水接收槽后进行进一步的处理。

与废液接触的设备的材料均为不锈钢，有较好的耐腐蚀性。

(3) 系统运行

ZLT 系统总的运行原则如下：

— 操作人员可在控制室监测系统的运行；

— 每类废液的接收槽（包括工艺排水接收槽、化学排水接收槽和地面排水接收槽）应保持有一个槽处于可接收废液的状态。接收槽充满后，需对槽内废液进行搅拌和取样；

— 废液输送至海南昌江 3、4 号机组废液处理系统进行进一步处理。

4.6.2.3 核岛疏水排气系统（RVD）

核岛疏水排气系统（RVD）为单堆设置。

本系统收集核岛内产生的所有放射性废液和废气，它们来自：

— 机组正常运行；

— 换料停堆、维修停堆各阶段及随后的启动；

— 设备维修及维修前设备排水；

— 正常泄漏和事故泄漏；

— 各种瞬态。

根据废物的特性（可复用或不可复用的废液、含氢或含氧废气）以及收集后的处理方式，这些废物将分别由各自的管网输送到核辅助厂房的反应堆冷却剂净化系统（ZBR）、废液处理系统（ZLT）和废气处理系统（ZGT）。RVD 系统不直接履行安全功能（安全壳贯穿件除外）。但它起到限制放射性废物释放到环境中去，从而保护环境的作用。

(1) 设计基准

根据所收集的放射性物质的种类不同，RVD 系统分为七个独立的子系统：反应堆冷却剂疏水子系统、工艺疏水子系统、地面疏水子系统、化学疏水子系统、淋浴废水子系统、含氢废气子系统、含氧废气子系统。

RVD 系统采用的设计基准如下：

一来自核安全相关的设备间的疏水，设计成能够防止由于输水管道的回流而淹没与核安全相关的设备；

一贯穿安全壳的疏水管线设置隔离阀；

一非放射性疏水管道的设计和布置应保证其不被放射性污染；

一地坑泵的设计应有足够的流量，以防止在预期的正常疏水期间疏水坑的溢流；

（2）系统描述

a) 反应堆冷却剂疏水子系统

该系统收集含氢的反应堆冷却剂疏水和回路的泄漏。同时还收集当硼酸浓度发生变化时排出的反应堆冷却剂。这些废液被送至 ZBR 系统处理。

b) 工艺疏水子系统

该系统收集含氧的反应堆冷却剂疏水和泄漏以及树脂冲洗水。这些疏水通常是化学成分含量低的放射性废液。对这些废液的收集和输送方法是：

一由 ZLT 系统直接收集；

一收集在各厂房内的工艺疏水坑中，再用泵输送至工艺疏水坑（RVD 002PS）；

一送至核辅助厂房工艺疏水坑（RVD 002PS），再用泵输送到 ZLT 系统。

c) 地面疏水子系统

该系统收集反应堆厂房、燃料厂房、核辅助厂房的地面疏水。这些疏水是化学成分含量不定的低放射性废水。这些废水按下述方法进行收集和输送：

一由集水箱、排水沟和疏排管道收集；

一用管道直接送至核辅助厂房地面疏水坑（RVD001PS），再用泵输送至 ZLT 系统；

一废水排至各自厂房的地面疏水坑中，用泵输送到 ZLT 系统；

d) 化学疏水子系统

该系统收集来自处理含有放射性化学物质系统的疏水。这些疏水通常是含有高化学成份的放射性废水。

一化学疏水被送至核辅助厂房的化学疏水坑（RVD003PS），再由泵输送到 ZLT 化学排水接收槽；

—由 ZLT 系统直接收集。

e) 淋浴废水子系统

该系统收集人员通行厂房的淋浴废水。这些废水是放射性水平很低的低放射废水，通过地漏收集并输送至废液贮槽中，如取样分析结果满足排放要求再通过泵输送到海南昌江 3、4 号机组核岛液态流出物排放系统（ZLD 系统），不满足排放要求时送至本工程 ZLT 系统。

f) 含氢废气子系统

该系统收集反应堆冷却剂系统(RCS)、ZBR 系统除气塔、化学和容积控制系统(RVC)运行中产生的含氢废气及用氮气吹扫各种箱体的覆盖层所产生的含氢废气。这些废气被送到 ZGT 含氢废气子系统进行处理。

g) 含氧废气子系统

该系统收集反应堆在启动、冷停堆时设备排气及常压贮槽、手套箱等排气，这些废气被送到 ZGT 含氧废气子系统进行处理。

4.6.2.4 化学和容积控制系统（RVC）

(1) 设计基准

化学和容积控制系统的设计用以实现下列主要功能：

— 净化

保持反应堆冷却剂的洁净度，并使其放射性水平在允许限值内。

— 反应堆冷却剂系统装量控制和补给

化学和容积控制系统将通过混合补水的方式，向一回路补充一定硼浓度的含硼水来维持反应堆冷却剂系统所要求的冷却剂装量；电站正常运行期间维持稳压器程控液位。

— 化学补偿和化学控制

控制反应堆冷却剂中的硼浓度以适应电站启动、补偿燃料燃耗和停堆等运行工况的需求，并且通过维持适当的氢氧化锂浓度来控制反应堆冷却剂的 pH 值。

— 氧控制

每次停堆后的启堆前使冷却剂中氧浓度达到一个合适的值，电站运行期间维持反应堆冷却剂中适当的氢浓度来控制冷却剂中的氧的浓度。

— 反应堆冷却剂系统的充水和水压试验

为反应堆冷却剂系统提供充水和水压试验的手段。化学和容积控制系统不承担反应堆冷却剂系统在初始启动前和非常规大修后进行的水压试验，但系统提供临时水压试验

泵的接口。

— 辅助设备硼化补水

为需要反应堆级硼化水的一回路系统提供补给水。

— 稳压器辅助喷淋

为稳压器提供辅助喷淋以满足降压目的。

其他功能：

— 保持一回路压力边界的完整性；

— 在收到稳压器水位高信号时自动隔离补水管线，防止稳压器满溢；

— 在停堆工况下收到稳压器水位低信号时自动隔离下泄管线，维持一回路水装量；

— 当反应堆冷却剂系统发生微小泄漏时，向反应堆冷却剂系统提供堆芯冷却用水和维持稳压器水位；

— 在所有预计运行事件期间，能硼化反应堆冷却剂到正常安全停堆时的硼浓度状态。

（2）系统描述

RVC 系统由两个子系统组成：上充、下泄、反应堆冷却剂净化和化学控制子系统以及硼补给子系统。

a) 上充、下泄子系统

化学和容积控制系统的上充和下泄功能用于保持反应堆冷却剂系统稳压器中的水位，从而在电厂所有的运行阶段内保持适当的反应堆冷却剂的容量。

反应堆冷却剂的下泄流从一回路排到化学和容积控制系统中，在流过再生热交换器的壳侧时将流经管侧的上充流加热。然后，下泄流流过下泄孔板进行降压，再流过下泄热交换器的管侧，其温度进一步降低。在下泄热交换器的下游，通过低压下泄阀使下泄流的压力进一步降低。低压下泄阀的功能是保持其上游的压力，以防在下泄孔板的下游发生闪蒸。

下泄流流过两台混床除盐装置中的一台进行净化，去除离子态腐蚀产物和多数裂变产物。在需要降低反应堆冷却剂中的铯和过量的锂时，可以再流过阳床除盐装置。

下泄流流过反应堆冷却剂的过滤器并从容积控制箱顶部的一条喷淋接管进入容积控制箱。氢气连续不断地供给容积控制箱，以扫除容控箱气相空间的裂变气体和控制堆芯处由于水的辐射分解所产生的氧的浓度。

两台上充泵从容积控制箱吸水并将被冷却、净化过的反应堆冷却剂返回到反应堆冷

却剂系统。正常工况下上充流由一台上充泵输送，这股上充流被分成两路：一路经再生热交换器的管侧被注入到反应堆冷却剂系统，另一路旁通返回泵入口。

b) 反应堆冷却剂净化和化学控制子系统

化学和容积控制系统与反应堆硼和水补给系统共同完成对反应堆冷却剂中硼浓度的控制，以补偿因温度变化、燃耗和氙毒变化所引起的反应性的慢变化。

去除反应堆冷却剂中的腐蚀产物和裂变产物，以便将反应堆冷却剂中的杂质含量及放射性水平控制在允许的范围内。

控制反应堆冷却剂的 pH 值、氧含量和其它溶解气体的浓度。

c) 硼补给子系统

硼补给子系统实现以下主要功能：

- 为系统制备一定浓度硼酸溶液并贮存在硼酸储存箱中；
- 通过控制反应堆冷却剂系统 (RCS) 硼酸浓度来控制反应堆反应性的慢变化；
- 提供除盐除氧水和硼酸溶液，以补偿由于瞬态冷却引起的反应堆冷却剂体积收缩 (补给溶液的浓度依据反应堆冷却剂的浓度而定)；
- 为反应堆冷却剂系统制备并注入以下两种化学试剂：
 - 控制氧含量的联氨溶液；
 - 控制 pH 值的氢氧化锂溶液。

(3) 系统运行

在反应堆启动时，化学和容积控制系统可为反应堆冷却剂系统充水、加压及排气。在充水和排气操作完成后，即可建立化容控制系统的上充和下泄流量。在反应堆启动和冷却剂系统升温时，利用余热排出系统和化容系统的低压下泄管线控制反应堆冷却剂的压力。

在正常运行期间，通过上充、下泄维持主回路化学容积条件。

在停堆过程中，在堆芯冷却期间，由于冷却剂的收缩要求增加上充流量进行补偿。同期，将硼浓度提高到冷停堆的数值。在达到冷停堆状态之前，如果必须打开反应堆压力容器，则通过调整容控箱中的氢气溶解度使反应堆冷却剂的氢含量降低到所要求，定期将容积控制箱的气体排到废气处理系统，释放出溶解的氢气。在电厂停堆时，如果要进行换料或维修操作，可利用化容系统的除盐装置净化放射性离子并采用扫气去除裂变气体，从而降低反应堆冷却剂的放射性水平。

4.6.2.5 乏燃料水池冷却系统（RFT）

（1）设计基准

乏燃料水池冷却系统（RFT）对乏燃料水池和反应堆换料水池执行如下功能：

- 使乏燃料保持在次临界状态；
- 保证工作人员的生物防护：
 - 使乏燃料水池和反应堆换料水池维持一定厚度的水层；
 - 去除反应堆换料池水和乏燃料池中存在的腐蚀产物、裂变产物和悬浮颗粒。
- 冷却：
 - 排出贮存在乏燃料水池中乏燃料组件释放出的余热；
 - 当堆芯乏燃料全部卸入乏燃料水池后，RHR 系统可作为 RFT 系统的备用。
- 按下述要求控制水位：
 - 在乏燃料水池内贮存燃料元件时，要维持乏燃料水池的水位，不能排空；
 - 对乏燃料容器装载井和燃料转运舱充水和排水；
 - 在每次反应堆换料期间为反应堆换料水池充水、排水；
 - 在水闸门关闭后，为堆内构件贮存池充水和排空。

适用的设计和安全准则按下述准则：

a) 热交换器的换热面积是根据乏燃料水池释放出的最大剩余功率来确定的。

使用一台泵和一台热交换器带走这些热量的情况下，WCC 温度为 35°C，乏燃料水池温度被限制到 50°C。

b) 从内置换料水箱取水注入乏燃料水池。

c) 乏燃料池水净化回路的设计保证每日连续对整个乏燃料水池和燃料转运舱的水进行过滤和除盐。

d) RFT 系统设计，正常贮存工况及组件转运吊装过程中，组件上方的屏蔽水层要保持一定的厚度，以保证工作人员的生物防护。

e) 乏燃料水池冷却回路的设备和连接管路的设计应在安全停堆地震（SSE）产生的荷载下保持其完整性。

f) 其它水池的排水管路从水池接口至第一个隔离阀之间的管段（包括隔离阀）都设计成能在上述 SSE 荷载下保持无泄漏。

（2）系统描述

RFT 系统包括下列各项：

— 乏燃料水池的冷却和净化回路，配备有：

- 两台 100%容量的冷却水泵；
- 两台 100%容量的热交换器；
- 每个支路上各包含有一套过滤—除盐装置。

— 乏燃料水池有一套水池表面过滤和撇沫装置，与上述冷却水泵相连。

（3）系统运行

➤ 乏燃料水池的运行

a) 乏燃料水池的冷却和净化

— 本子系统通常是连续运行的：

在 RFT 正常运行期间，用 RFT001PO/002PO 从乏燃料水池将水抽出，通过热交换器 RFT001RF/002RF 进行冷却后，将水排回水池。

— 在冷却回路热交换器的下游，由布置在管线上的过滤器和除盐装置保证池水净化；

— 如果乏燃料池水温度超过 60°C，则隔离过滤器/除盐器回路；

— 乏燃料水池的撇沫过滤回路由操作人员根据水表面杂质存在的情况间断启动。

b) 乏燃料水池的补水

正常运行工况时，通过以下方法进行水补给：

— 通过除盐水分配系统进行除盐水补给；

— 化学和容积控制系统进行含硼水补给。

事故运行工况时，通过以下方法进行水补给：

— 通过消防水系统的消防水进行补水；

— 来自燃料厂房外的应急补给水管线接口进行补水；

— 装载井的非能动补水。

➤ 反应堆换料水池的运行

a) 反应堆换料水池水的过滤除盐

用 RFT001PO/002PO 泵从水池底部取水并循环，流经除盐器（RFT001DE/002DE）和过滤器（RFT001FI/002FI）后，由顶部返回水池。

b) 反应堆换料水池充水和排水

反应堆换料水池充水之前，必须将水池排水管上的隔离阀关闭。内置换料水箱可进

行重力充水，待水位持平后通过冷却泵系列进行充水。

反应堆换料水池可进行重力排水至内置换料水箱，待水位持平后通过冷却泵系列进行排水。反应堆换料水池排空后，必须将水池排水管上的隔离阀切换至开启。

c) 反应堆换料水池壁的冲洗

在反应堆换料水池的排水期间，池壁要用除盐水冲洗。由 WDW 除盐水通过软管连接到池壁附近提供清洁水，一个位于反应堆换料水池顶部，另一个位于反应堆堆内构件上部。这种配置能够避免人为因素对去污的干扰，从而减少了积累剂量。

乏燃料贮存水池通常是充满水的。在换料时，反应堆换料水池和燃料转运舱需充满水。当反应堆压力容器进行检查时，反应堆换料水池也需充满水。反应堆堆内构件存放区单独充水时，可用水闸门与反应堆换料水池隔离。

4.6.2.6 常规岛液态流出物排放系统（WQB）

（1）设计基准

常规岛废液排放系统（WQB）具有下列功能：

- 对常规岛的液态流出物进行收集、混匀、取样分析、监测后有控制地排放；
- 当环境稀释能力不足而要求延迟排放、或当取样分析或辐射监测系统（IRM）监测到液态流出物的放射性浓度超过允许排放限值时，可暂存流出；
- 将超过允许排放限值的液态流出物输送至 3、4 号机组废液处理系统（ZLT）处理；
- 监测并记录液态流出物的放射性浓度、流量和累计排放量。

（2）系统描述

本工程常规岛废液排放系统设置三个 150m³ 废液排放槽，排放槽置于滞留池内，滞留池的容量大于三个排放槽同时溢出量。三个排放槽中一个用于接收液态流出物，一个用于废液的混匀、取样分析和监测排放，另一个用于备用。

每个排放槽配有一台排放泵，用于在取样和分析之前搅拌槽内液态流出物，也用于废液排放或将废液送回废液处理系统（ZLT）重新处理。

各排放槽有一根共用的排放管，在排放管上装有一台辐射监测装置（IRM）和受 IRM 控制的自动隔离阀、一个手动隔离阀、一个流量调节阀、一个止回阀及一个累计流量计。

排放管上的 IRM 监测系统对贮槽废液有辅助监测作用，如果排放废液的放射性浓度超过预定值，监测系统会发出警报并自动关闭隔离阀。

贮槽废液放射性浓度超过排放限值，废液被送回 ZLT 系统化学排水槽作再处理。

4.6.2.7 放射性废液排放源项

在反应堆正常运行期间放射性废液的排放量主要取决于：主回路冷却剂中的放射性浓度、与液体放射性释放有关的电厂设备性能，特别是泄漏率和净化工序的去污因子等、液态放射性流出物相关系统的运行参数，例如年处理量、排污量、贮存时间等。

液态放射性流出物的主要来自于反应堆冷却剂净化系统(ZBR)、废液处理系统(ZLT)和二回路相关系统。

现实工况下除 H-3、C-14 外其它核素的排放量为 $2.72E-01$ GBq/a，液态 H-3 为 $8.26E+03$ GBq/a，液态 C-14 为 $4.32E+00$ GBq/a，核岛液态流出物中除 H-3 和 C-14 外的放射性核素排放浓度约为 51Bq/L，常规岛由于排放水量较大，其排放浓度将会更低；保守工况下除 H-3、C-14 外其他核素的排放量为 $3.06E+00$ GBq/a，液态 H-3 为 $8.42E+03$ GBq/a，液态 C-14 为 $4.92E+00$ GBq/a，核岛液态流出物中除 H-3 和 C-14 外的放射性核素排放浓度约为 573Bq/L，常规岛由于排放水量较大，其排放浓度将会更低。

4.6.3 放射性废气管理系统及排放源项

放射性废气处理系统为单机组设置，用于收集和处理反应堆正常运行工况和预计运行事件时产生的放射性废气，处理后经监测符合国家标准及核电厂管理规范要求后排入大气。

放射性废气处理系统主要包括：

- 废气处理系统（ZGT）；
- 厂房通风系统（HVAC）；
- 主冷凝器真空系统（TTV）。

本节主要介绍废气处理系统（ZGT）及厂房通风系统（HVAC）。

4.6.3.1 废气处理系统（ZGT）

（1）系统功能

废气处理系统（ZGT）的功能是对示范工程产生的放射性惰性气体、卤素和空气中的悬浮粒子进行收集和处理，以便将预期的放射性废气年释放量、核电站工作人员在控制区和非控制区内的受照剂量降低到“可合理达到尽量低”的水平。

ZGT 系统不直接履行安全功能。但由于 ZGT 系统处理的废气带有放射性，尤其是含氢放射性废气，除辐照危害外并存在爆炸和引起火灾的危险性，故在进行 ZGT 系统的设计时，考虑了防止该气体向环境泄漏、安全防火、防爆和通风排气等问题，并将放射性

（2）设计基准

废气处理系统（ZGT）的设计基准如下：

— ZGT 系统提供足够的处理能力，使气态流出物中的放射性排放低于国家标准 GB 6249-2011《核电厂环境辐射防护规定》中规定的限值；

— ZGT 系统是按照中华人民共和国核安全法规中的有关规定进行设计，并且满足了国家标准 GB/T 22158-2021《核电站防火设计规范》的要求；

— ZGT 系统要能在主要设备停运检修（单一故障）期间和产生过多废气量期间提供足够的处理能力，所以主要能动设备都考虑冗余：含氢废气子系统的压缩机的容量为 $2\times 100\%$ ；含氧废气子系统的电加热器、碘过滤器和风机的容量为 $2\times 100\%$ ；

— ZGT 系统不执行核安全相关功能，但含氢废气子系统设计为安全相关级，因为该子系统的故障可能会导致放射性气体的释放；

— 整个含氢废气子系统都保持正压，并且整个子系统和每个主要设备都有严格的密封措施，以防止空气渗入形成爆炸性的混合气体；

— ZGT 系统为单机组设置。

（3）系统组成

ZGT 系统由含氢废气子系统和含氧废气子系统两个独立的子系统组成。

a) 含氢废气子系统

含氢废气主要是由氢气、氮气、衰变过程中产生的放射性惰性气体（例如 Xe, Kr）和碘等组成。

这类废气有如下两个来源：

— 硼回收系统(ZBR)除气塔对反应堆冷却剂脱除的气体。这部分气体流量小(约 $1.2\text{ Nm}^3/\text{h}$)，但除气次数较多；

— 容控箱、含氢反应堆冷却剂疏水箱等设备因箱内液位变化或需要更换覆盖气体而进行吹扫的气体，这部分气体的瞬态排气流量大。

含氢放射性废气由核岛疏水排气系统（RVD）收集，并将气体导入缓冲罐 001BA 的入口管道。缓冲罐内的气体再由出口管引至两台并联（一用一备）的废气压缩机（001CO 和 002CO）的入口管。

含氢废气经压缩机压缩后，通过压缩气体冷却器（001/002RF）以降低气体温度，压缩机和冷却器所用冷冻水由核岛冷冻水系统（WNC）提供，供冷管线设置手动调节阀和

流量仪表，以确保供冷负荷。

经压缩和冷却后的含氢废气进入气水分离器去湿后，先进入保护床，其功能是防止延迟床受到废气中夹带的水分或化学污染物的损害。然后，气体进入两台串联的延迟床，裂变气体由活性炭动态吸附，相对载气（氢气或氮气）延迟流出，能显著降低废气的放射性水平。

经延迟床处理后的废气经减压站后经在线放射性监测，低于放射性排放报警阈值，则排至通风系统。放射性监测仪表与排放隔离阀联锁，放射性高报警通知运行人员，通过取样柜对活性炭床出口取样分析；当放射性高高报警，则联锁关闭 ZGT 含氢废气子系统排放阀 ZGT020VY，并联锁停运压缩机。排放隔离阀还会在通风系统流量低时自动关闭，防止氢气在通风排气管内积聚。

系统设置了取样柜，内置两台取样泵（一用一备）、一个氢分析仪和两个氧分析仪，能够对系统入口管线在线连续监测氢气、氧气浓度，以及对活性炭保护床、延迟床的出口手动取样。

ZGT 系统运行期间，两台延迟床串联运行。系统稳态运行期间，对氦和氙的滞留时间分别不低于 4 天和 60 天，瞬态运行即上游以大排气流量进入 ZGT 系统期间，本系统对氦和氙的滞留时间分别不低于 2 天和 30 天。

b) 含氧废气子系统

含氧废气主要由空气、少量放射性碘及其同位素组成。

这类废气来自容器的排气（并可能含有放射性气体）。

相关的 RVD 总管与两台并联的排气风机（ZGT 001ZV 和 ZGT 002ZV）的吸入端相连接。在进气管上设有一个止回式风阀，根据需要可进行调节，以便使总管维持在恒定的负压值。

在碘吸附器和风机的上游的总管上设置了两台串联的电加热器，用来降低含氧废气中的相对湿度，使其达到适合于碘吸附器工作的要求（相对湿度 40%）。在电加热器之后，废气总管连接两条并联的、互为备用的管线，每条管线上均设有一台碘吸附器和一台排气风机。经碘吸附器处理后的废气由排气风机排入一根与 VNA 系统相连的共用排气总管，废气经 VNA 系统排往烟囱。

（4）系统运行

a) 含氢废气子系统

含氢废气子系统运行前用氮气吹扫净化。

含氢废气由 RVD 系统收集至缓冲罐（ZGT001BA）。缓冲罐可对无规律的来气（不同压力和流量）进行稳定，从而向压缩机（ZGT001/002CO）提供平稳的气流，并分离废气中夹带的冷凝水。

正常运行时，压缩机（ZGT001/002CO）可以根据缓冲罐上的压力值，进行自动启动或停运。

由压缩机排出的气体分别由压缩气体冷却器（ZGT001/002RF）冷却除湿，并且经气水分离器（ZGT001CN）去除气体中夹带的水滴。

随后废气进入保护床（ZGT001ZE）除去残余的水分和化学污染物，以保护下游延迟床的效率。

最后废气进入两台串联的延迟床（ZGT002/003ZE），对放射性惰性气体 Kr、Xe 进行滞留衰变。

ZGT 系统设有一台在线取样柜（ZGT001ED），其中设有一台氢分析仪和两台氧分析仪，连续监测系统的氢浓度和氧浓度。当系统内的氧浓度达到高高报警值时，则触发报警，同时自动联锁关闭系统进气阀和打开氮气供应阀进行吹扫。

排放总管上安装了测量废气排放流量和累积流量的流量计，以及测量废气放射性活度浓度的辐射监测仪表。

排放管线上设有隔离阀，在排放废气的放射性活度浓度高于设定值或者通风系统的流量较低时，联锁关闭该排气隔离阀，停止废气的排放。

当 VNA 系统碘吸附器出现故障，JH 厂房的烟囱放射性超过阈值，则自动停止含氢废气排放。

ZGT 含氢废气子系统为间歇运行。ZGT 系统停运期间，在排放管线的隔离阀入口处有小流量的氮气注入，以维持 ZGT 系统处于正压，防止空气进入本系统。

ZGT 系统在运行前和检修前都利用氮气进行吹扫，分别去除系统残留的氧气和去除放射性废气。并在系统维修前后，利用氮气进行吹扫，除去残余的氧气。

b) 含氧废气子系统

正常运行时，一台电加热器，一台碘吸附器和一台排气风机串联投入运行。当第一台风机停运后，第二台风机即自动启动（包括与之相关的电加热器和碘吸附器）。

含氧废气干管内的负压由止回式调节风门维持；一旦风机停运，该阀就自动关闭。

含氧废气以及经由调节风门引入的空气，可经电加热器加热，用以降低气体的相对湿度，以保护碘吸附器中活性炭的活性。

经过碘吸附器处理后的含氧废气，经 VNA 系统的主排风排向 JH 厂房的烟囱。

4.6.3.2 厂房通风系统（HVAC）

（1）设计目的

通风系统对每个可能被污染的厂房进行采暖、通风与空调，以提供一个适宜的温度和良好的室内环境，确保人员的安全、健康、舒适以及设备的有效运行。

主要的通风系统如下：

— 核燃料厂房：

- 核燃料厂房通风系统（VFL）

— 核辅助厂房：

- 核辅助厂房通风系统（VNA）

— 反应堆厂房：

- 安全壳连续通风系统（CCV）

- 安全壳净化系统（CUP）

- 安全壳换气通风系统（CSV）

通风设计中所用的最小换气次数是由以下受控区的类别确定的：

- 高污染的房间每小时换气次数为 4 次；
- 轻微污染的房间每小时换气次数为 2 次；
- 极轻微污染的房间每小时换气次数为 1 次；
- 非污染房间每小时换气次数为 0.5 次。

（2）总的设计特性

在污染区内，空气要排出之前，正常的气流路线是从低潜在污染区依次流向高潜在污染区。

每个厂房的通风系统，敷设排风管路时，应使排风口尽可能远离新风进风口。

从潜在放射性污染区域排放的空气不能进行再循环。

没有污染的空气可以从屋顶或墙上的通风口排至室外大气中。

所有可能来自污染区的空气，在排放之前要进行监测，并通过烟囱排放至室外环境中。

有抗震要求的设备部件采取特殊措施，如支吊架、基座等。设备安装符合空间的可达性、运行和维修计划的要求。

每个通风系统使用的各种部件组合的说明如下：

a. 进风预过滤器

为送风气流中的大气除尘设置了预过滤器。这些过滤器的效率较低，但至少为 85%。

b. 排风预过滤器

排风预过滤器设在 HEPA 过滤器上游，用来收集气流中粗颗粒灰尘，以提高 HEPA 过滤器的使用寿命，这些过滤器效率至少为 85%。

c. 高效过滤器

高效过滤器用来捕集气流中的细小颗粒灰尘。其效率至少为 95%。

d. 高效空气粒子过滤器（HEPA）

高效空气粒子过滤器用来捕集气流中超细小的颗粒灰尘。这些过滤器净化系数至少为 3000。

过滤器是一次性的，由标准尺寸的单元构成。除非另有说明，过滤器介质使用玻璃纤维材料。单元过滤器放在金属框架上或放在密封过滤小室（或箱体）中。

e. 碘过滤器（碘吸附器）

碘过滤器用于不同的 HVAC 系统，用来吸附气流中气载放射性碘。这些过滤器吸附分子碘的净化系数至少为 5000。

碘吸附器采用的是 III 型碘吸附器，吸附介质是含 1%KI 的活性炭。

主要通风系统如下：

①核燃料厂房的通风系统（VFL）

在正常运行期间，VFL 系统以“直流式”的全新风系统运行。

在事故情况下，VFL 系统以低流量碘排风过滤系统运行。在燃料装卸事故时，低流量排风子系统启动运行。

为了在机组所有运行模式下，维持适当的环境，当任一风机或自动隔离阀出现单一能动故障时，系统的设计都能保持其功能。事故工况下使用的低流量排风子系统，设有备用电源。

VFL 系统由控制室远距离控制。

正常排风子系统，包括：

一支通向烟囱的公共排气管网，配有二个冗余设置的快速关闭隔离阀，在事故时把系统与室外隔离。

两个 100%容量并联的排风机组，每个机组包括：

—1 台预过滤器（过滤效率：85%）；

- 1 台高效空气粒子过滤器（净化系数 >3000 ）；
- 1 个调节阀；
- 1 台 100%容量的排风机，装有止回阀。

低流量排风子系统：

系统排风排至电厂烟囱，包括：

- 两台 100%容量的电加热器；
- 一个密闭调节阀；
- 一组高效空气粒子过滤器；
- 一台碘吸附器；
- 两台 100%容量的风机，配有止回阀。

②核辅助厂房通风系统（VNA）

VNA 系统为直流式通风系统，连续运行，设计成能完成如下任务：

- 反应堆正常运行期间，维持核辅助厂房的室内温度在规定的范围内，以满足设备运行或工作人员的健康要求；
- 按辐射防护分级，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；
- 减少释放到大气环境中的放射性污染物的浓度；
- 当机组运行时，维持厂房内的压力略低于大气压力，以控制厂房中的放射性气溶胶泄漏最少，并保证通过烟囱排放；

- 当冷停堆时，确保安全壳换气通风系统（CSV）所需要的风量及过滤要求；
- 在核辅助厂房电气房间设置有排烟子系统；

房间的空气流量是根据设备和照明的散热量或用最少的换气次数计算而得。

VNA 系统由送风机组、无碘污染房间的排风机组（称“正常排风”）、潜在碘污染房间的排风机组（称“碘排风”）、排烟环路、送风管道和排风管道及烟囱组成。

1) 正常排风机组

正常排风机组由以下部件组成：

- 三台并联的预过滤器（过滤效率：85%）；
- 三台并联的高效空气粒子过滤器（净化系数 >3000 ）；
- 三台 50%冗余设置的风机，并联连接，并配置止回阀（二用一备）；
- 配有平衡阀、隔离阀和防火阀的排风管道。

2) 碘排风机组

二套容量为 100% 的冗余机组，并联连接，每个机组的组成如下：

- 二台电加热器；
- 一台预过滤器（过滤效率：85%）；
- 一台高效空气粒子过滤器（净化系数 > 3000）；
- 一台碘吸附器（净化系数 > 5000）；
- 一台配有止回阀的风机；
- 带有平衡阀、隔离阀和防火阀的排风管道。

当排除不含碘的气体时，可由旁通管跨越碘吸附器运行。

3) 排烟环路

排烟环路的组成：

- 过滤器机组【预过滤器（过滤效率：85%）和高效空气粒子过滤器（净化系数 > 3000）】；
- 二台 100% 容量并联连接的风机，并配置止回阀；
- 相关排烟管道。

4) 排风烟囱

排风烟囱固定在反应堆厂房上，烟囱的顶标高高出反应堆厂房 3m。

在烟囱中设有一个监测放射性气体和记录废气排放水平的系统。

③安全壳连续通风系统（CCV）

反应堆正常运行时，需要由 CCV 系统冷却安全壳内相关设备。

CCV 系统所考虑热负荷主要来自反应堆厂房内的设备（包含堆坑和控制棒驱动机构的热负荷）。在反应堆厂房内，CCV 系统作为一个再循环系统运行。

④安全壳净化系统（CUP）

安全壳净化系统的设计，考虑了反应堆厂房内部发生放射性污染时，要减少空气中放射性污染浓度，以便工作人员在一定时间范围内有可能进入。

CUP 是一个内循环系统，取用 CCV 系统的部分空气，经高效空气粒子过滤器和碘吸附器进行净化来确保其功能。为了防止 CUP 高效空气粒子过滤器过早阻塞，空气取自 CCV 送风干管，使其能利用安全壳连续通风系统（CCV）的预过滤器。只有在污染情况下，工作人员进入安全壳之前或进入期间才启动 CUP 系统。为维修人员提供保证安全工作的条件。

CUP 系统从控制室手动操作。

CUP 系统由空气净化机组和两台循环风机组成。

CUP 净化系统组成如下：

- 一个手动平衡阀；
- 一个电动隔离阀；
- 一台电加热器；
- 一台高效空气粒子过滤器；
- 一台碘吸附器；
- 两个防火阀（安装在碘吸附器上下游）；
- 两个并联的手动隔离阀；
- 两台并联设置容量为 100%冗余配置的风机；
- 两个并联的止回阀；
- 一个电动隔离阀。

两台并联设置容量为 100%冗余配置的风机。每台风机后装有止回阀，风机前装有隔离阀。当 CUP 系统运行时，两台风机中一台运行，一台备用。

⑤安全壳换气通风系统（CSV）

每个机组的反应堆厂房中，CSV 系统设计成：

- 冷停堆期间
 - 为在反应堆厂房内工作的维修人员提供能承受的环境温度；
 - 减少反应堆厂房中裂变气体产物的浓度，以便尽可能快地允许工作人员持续进入；
 - 维持疏水含氧废气罐（RVD 002BA）处在轻微负压状态下。

CSV 系统是按直流通风系统的运行模式来完成上述功能的。从反应堆厂房排出的空气经过核辅助厂房通风系统（VNA）排至烟囱后向大气排放。

— 反应堆正常运行期间

对反应堆厂房内进行小流量清洗并使排气经过 HEPA 过滤器、碘吸附器过滤后通过电厂烟囱排放。

4.6.3.3 放射性废气排放源项

运行状态下气载流出物排放源项涉及的系统主要包括反应堆厂房通风系统、废气处理系统、和辅助厂房通风系统、核燃料厂房通风系统以及二回路相关系统。

现实工况下的惰性气体排放量为 $2.58E+02\text{GBq/a}$ ，气载碘的排放量为 $2.16E-02\text{GBq/a}$ ，

气载粒子的排放量为 $1.39\text{E}-02\text{GBq/a}$ ，气态 H-3 的排放量为 $9.17\text{E}+02\text{GBq/a}$ ，气态 C-14 的排放量为 $5.90\text{E}+01\text{GBq/a}$ ；保守工况下的惰性气体排放量为 $6.79\text{E}+03\text{GBq/a}$ ，气载碘的排放量为 $2.76\text{E}-01\text{GBq/a}$ ，气载粒子的排放量为 $2.73\text{E}-02\text{GBq/a}$ ，气态 H-3 的排放量为 $9.35\text{E}+02\text{GBq/a}$ ，气态 C-14 的排放量为 $6.71\text{E}+01\text{GBq/a}$ 。

4.6.4 放射性固体废物处理系统及废物量

固体废物处理系统（ZST），是为示范工程运行和维修时所产生的放射性固体废物在处置之前提供收集、暂存和运输功能而设计的。

ZST 系统由湿废物收集、转运部分和干废物收集、转运部分组成。湿废物收集、转运部分和干废物收集、转运部分位于核辅助厂房（JH），主要包括废树脂贮槽、过滤器芯更换转运容器。示范工程运行产生的杂项干废物和废过滤器芯运输至海南昌江核电厂 3、4 号机组先进废物处理中心（0QD）进行处理。示范工程运行产生的废树脂经收集后采用废树脂屏蔽运输车运输至海南昌江核电厂 1、2 号机组的核辅助（NX）厂房处理。示范工程运行产生的放射性废物经处理后产生的废物包运往 1、2 号机组的放射性废物暂存库（QT）进行暂存，本工程不再单独设置 QT 库。

4.6.4.1 设计基准

固体废物处理系统（ZST）的设计基准如下：

— ZST 系统无安全功能，属非核安全级 NC（S）。

— ZST 系统负责收集和运输 3 种废物：废离子交换树脂、废过滤器芯和杂项干废物。废物按其性质进行处理：

— 湿固体废物主要为废树脂，经收集后采用废树脂屏蔽运输车运输到海南昌江 1、2 号机组的核辅助（NX）厂房，在 400L 钢桶中进行水泥固化。

— 废过滤器芯从过滤器室取出装入更换转运容器，将废过滤器芯通过下降通道吊至 200L 标准钢桶内，在 0QD 投运前临时存放在 QT 厂房，0QD 投运后，再运至 0QD 水泥固定处理，废过滤器芯 200L 桶通过 3、4 号机组的废过滤器芯屏蔽运输车转运。

— 可熔融的杂项干废物装 200L 钢桶暂存在 QT 厂房进行衰变，后续在 0QD 厂房使用等离子熔融工艺处理，处理后玻璃体在 200L 钢桶水泥固定形成废物包。不可熔融杂项干废物装 200L 桶送至 0QD 水泥固定处理，或装 200L 桶暂存，后续外运处置。

— 为了减少操作人员所受辐射照射，ZST 系统在就地控制室进行监测和控制。

— 常压贮槽考虑了足够的排气和溢流能力，以防贮槽出现超压或负压。废树脂贮槽

的设备间设有滞留堰，以防止贮槽破损时废物外流。

废物包暂存：

— 固体废物处理后产生的废物包送到海南昌江核电厂 1、2 号机组的 QT 库暂存。

QT 库的废物贮存区包括“贮存室”、“废物桶贮存区”和极低放废物贮存部分。“贮存室”用于贮存表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ 的 200L 或 400L 废物桶；“废物桶贮存区”，用于贮存表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 的 200L 或 400L 废物钢桶；极低放废物贮存部分用于贮存 轻微污染的大尺寸废物和通风废过滤器芯。

— 贮存的放射性废物贮存一定年限后（不超过 5 年），转运到低放固体废物处置场进行处置。

— 极低放废物贮存部分中符合《极低水平放射性废物的填埋处置》GB/T 28178-2011 规定的送规定地点填埋处置。

4.6.4.2 系统组成

4.6.4.2.1 系统功能

固体废物处理系统（ZST）的功能是收集、贮存、转运和暂存示范工程产生的放射性固体废物。

固体废物处理系统不属于与安全有关的系统。本系统设备和装置设有必要的屏蔽防护，使运行人员和公众所受的辐照剂量率不超过允许限值。各类放射性废物在核辅助厂房中进行封装，防止泄漏，以便于装卸、贮存和运输。

4.6.4.2.2 系统组成

ZST 系统由湿废物收集部分和湿废物处理部分（共用 1、2 号机组和 3、4 号机组设施）、干废物处理部分（共用 1、2 号机组和 3、4 号机组设施）及放射性固体废物暂存库（共用 1、2 号机组设施）组成。湿废物收集部分和湿废物处理部分位于核辅助厂房（JH），主要包括废树脂贮槽和过滤器芯更换转运容器。

（1）废树脂贮槽

——一个废树脂贮槽（ZST002BA），从 RVC、RFT 和 ZBR 系统的除盐器卸出的废树脂经顶部的管道进入贮槽。

——贮槽内的废树脂可以通过喷射器（ZST001EJ）或重力来排出。

——废树脂排放管与废树脂屏蔽运输车相连，将废树脂和水的混合物输送到废树脂槽车上的废树脂储罐中。

（2）过滤器芯子更换转运容器 ZST001DM

过滤器芯子更换转运容器的定位板就位后，从除盐器 / 过滤器大厅的混凝土隔间的顶部吊出废过滤器芯子。更换转运容器的屏蔽用铅来实现。

湿固体废物主要为废树脂，经收集后采用废树脂屏蔽运输车运输到海南昌江 1、2 号机组的核辅助（NX）厂房，在 400L 钢桶中进行水泥固化。

废过滤器芯从过滤器室取出装入更换转运容器，将废过滤器芯通过下降通道吊至 200L 标准钢桶内，在 0QD 投运前临时存放在 QT 厂房，0QD 投运后，再运至 0QD 水泥固定处理，废过滤器芯 200L 桶通过 3、4 号机组的废过滤器芯屏蔽运输车转运。

可熔融的杂项干废物装 200L 钢桶暂存在 QT 厂房进行衰变，后续在 0QD 厂房使用等离子熔融工艺处理，处理后玻璃体在 200L 钢桶水泥固定形成废物包。不可熔融杂项干废物装 200L 桶送至 0QD 水泥固定处理，或装 200L 桶暂存，后续外运处置。

处理后形成的低、中放 200L 和 400L 钢桶废物包，在运往厂外进行最终处置之前，先在海南昌江 1、2 号机组的 QT 库暂存。

从小堆示范工程控制区运出的通风废过滤器芯、受轻微污染的设备和装有待解控杂项干废物的 200L 和 400L 钢桶先在 QT 库暂存，贮存衰变一定年限后进行检测和申请清洁解控。

4.6.4.3 系统描述

4.6.4.3.1 湿废物收集部分

ZST 系统在核辅助厂房内有一个废树脂贮槽（ZST002BA），接收和暂存从 RVC、ZBR 和 ZLT 系统来的废树脂。废树脂贮槽内的废树脂经暂存衰变一段时间后，由废树脂屏蔽运输槽车送到 1、2 号机组 NX 厂房水泥固化装置进行处理。

过滤器芯更换转运容器用于远距离更换和转运废过滤器芯。废过滤器芯从过滤器室的上部取出，装入 200L 钢桶，通过废过滤器芯运输设备将其运至海南昌江核电先进废物处理中心（0QD）厂房进行水泥固定处理。

4.6.4.3.2 湿废物处理部分

1、2 号机组 NX 厂房设有水泥固化装置用于处理废树脂。

a) 废树脂处理

废树脂贮槽内的废树脂排入装桶站的废树脂计量装置，经计量后的废树脂先与石灰混合进行预处理，再与水泥、添加剂和水用混合器混合均匀，最终固化在 400L 钢桶中。

4.6.4.3.3 干废物处理部分

本工程产生的杂项干废物运往海南昌江核电厂 3、4 号机组的 0QD 厂房进行处理。0QD 厂房设有等离子熔融装置，用于对可熔融杂项干废物进行等离子熔融理。可熔融的杂项干废物装 200L 钢桶暂存在 QT 厂房进行衰变，后续在 0QD 厂房使用等离子熔融工艺处理，处理后玻璃体在 200L 钢桶水泥固定形成废物包。不可熔融杂项干废物装 200L 桶送至 0QD 水泥固定处理，或装 200L 桶暂存，后续外运处置。处理后产生的 200L 钢桶废物包送到海南昌江核电厂 1、2 号机组的 QT 库暂存。

4.6.4.3.4 放射性固体废物暂存库

小堆示范工程不再单独设置放射性固体废物暂存库，经 ZST 系统处理后产生的废物包运往海南昌江核电厂 1、2 号机组的 QT 库进行暂存。这些废物包贮存一定年限后（不超过 5 年），转运到低水平放射性固体废物处置场进行处置。此外废物库还设有专门的贮存区域，用于贮存待清洁解控的废物，主要有废通风废过滤器芯和受轻微污染的设备等。

QT 库主体为单层，分为贮存区、人员工作区和辅助设施区共三部分，贮存区分为“废物桶贮存区”和“贮存室”。“废物桶贮存区”，用于贮存表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 的 200L、400L 废物钢桶及轻微污染设备。“贮存室”用于贮存表面剂量率 $> 2\text{mSv/h}$ 的水泥固化废物钢桶，贮存室由混凝土墙分隔的贮存单元组成。每个贮存单元能够容纳 4 个垂直码放的 400L 金属桶，上方覆有防护盖板。放射性固体废物暂存库内设有一台双梁远距离数控起重机，用于吊运废物桶。0QD 产生的大于 2mSv/h 的 200L 钢桶考虑存放在 QT 库 400L 钢桶贮存室内。

4.6.4.3.5 设计特点

ZST 系统所有操作均为手动或就地远距离控制操作，并在电视监视下进行，远距离控制的顺序都有相应的连锁。所有与废树脂接触的设备用不锈钢制造。

放射性固体废物处理系统厂房的设备布置使得操作人员受到的照射减至最少，设计特点如下：

- 低活度设备的分组布置，使操作人员进入检查和维修时所受剂量减至最少；
- 废物桶的装卸和贮存均在带屏蔽的固体废物区内进行；
- 从过滤器隔间取出过滤器芯子是用带屏蔽的转运容器进行的；
- 厂房布置提供了放射性固体废物处理系统在控制室进行遥控操作。

4.6.4.4 系统运行

(1) 废树脂的处理

ZST 系统在 JH 厂房设有一个废树脂贮槽，用于接收和暂存从 RVC、RFT 和 ZBR 系统来的废树脂。废树脂贮槽内废树脂通过 3、4 号机组的树脂运输车运输到海南昌江 1、2 号 NX 厂房废树脂贮槽内，需要固化时，再经固化线的废树脂计量罐计量后被送入 400L 钢桶中，与水泥和添加剂混合均匀后形成固化体，经封盖、剂量检测和养护产出 400L 桶水泥固化体废物包。处理后产生的 400L 钢桶废物包送到海南昌江核电厂 1、2 号机组的 QT 库暂存。

(2) 废过滤器芯的处理

废过滤器芯是用衬铅的过滤器芯更换转运容器来拆卸的，拆卸后通过下降通道装入 400L 钢桶（钢桶内设有对中装置），使用屏蔽运输车送至 3、4 号机组 0QD 厂房进行水泥固定处理，为确保水泥浆分布均匀，可以将容器放在振动台上振动几分钟。处理后产生的 200L 钢桶废物包送到海南昌江核电厂 1、2 号机组的 QT 库暂存。

(3) 杂项干废物装桶

可熔融的杂项干废物，0QD 投运前，装 200L 钢桶暂存在 QT 厂房，0QD 投运后，运往 0QD 厂房使用等离子熔融工艺处理，处理后玻璃体在 200L 钢桶水泥固定形成废物包。不可熔融杂项干废物装 200L 桶送至 0QD 水泥固定处理。或装 200L 桶暂存，后续外运处置。处理后产生的 200L 钢桶废物包送到海南昌江核电厂 1、2 号机组的 QT 库暂存。

(4) 废物包暂存

海南昌江核电厂 1、2 号机组的 QT 库设有检测装置用于检测入库废物包表面剂量率、核素组成、重量和表面污染，然后，对废物进行分区存放。

4.6.4.5 废物最小化

本工程在废物最小化方面主要通过源头控制、合理分类收集处理来实现，拟采取以下主要措施：

(1) 源头控制

— 使用较大离子交换容量的树脂以减少废树脂的产生量。

(2) 合理分类

— 废树脂按放射性水平分类收集，较高放射性水平的废树脂在废树脂贮槽中储存衰变一段时间后再进行水泥固化；

— 将杂项干废物进行分类处理。可熔融的杂项干废物，0QD 投运前，装 200L 钢桶

暂存在 QT 厂房，0QD 投运后，运往 0QD 厂房使用等离子熔融工艺处理，处理后玻璃体在 200L 钢桶水泥固定形成废物包。不可熔融杂项干废物装 200L 桶送至 0QD 水泥固定处理，或装 200L 桶暂存，后续外运处置；

— 通风系统的废过滤器芯表面剂量率水平很低，大部分核素是短寿命的，送到海南昌江核电厂 1、2 号机组 QT 库的专门区域进行贮存衰变；

— 表面剂量率很低的大尺寸废物暂时不作为放射性废物处理，将其放在海南昌江核电厂 1、2 号机组 QT 库的专门区域进行贮存衰变，并在贮存一定年限后进行去污和清洁解控。

4.6.4.6 废物最终处置

废物包从海南昌江核电厂 1、2 号机组的 QT 库送到规划中的低放废物区域处置场处置，放射性废物厂外运输应遵守《放射性物品安全运输规程》GB11806-2019。极低放废物送到满足《极低水平放射性废物的填埋处置》GB/T28178-2011 的规定的极低放废物处置场填埋处置。

4.6.4.7 放射性固体废物源项

1) 废树脂

废树脂来源于下列系统的除盐器：

- 化学和容积控制系统（RVC）；
- 反应堆冷却剂净化系统（ZBR）；
- 乏燃料水池冷却系统（RFT）。

2) 废过滤器芯子

电站内各系统的过滤器用来保持水质以及去除放射性裂变、腐蚀产物和溶液中的悬浮颗粒。

装有这些过滤器的系统主要有：

- 乏燃料水池冷却系统（RFT）；
- 化学和容积控制系统（RVC）；
- 反应堆冷却剂净化系统（ZBR）。

4) 杂项干废物

小堆示范工程内的其他被放射性污染的杂项干废物（受污染的工作服、纸、擦拭布、塑料和金属部件等），它们在产生地分类收集后送到海南昌江核电厂 3、4 号机组的 0QD

厂房进行等离子熔融处理或装桶水泥固定。

4.6.5 乏燃料贮存系统

乏燃料贮存系统是用于暂时贮存和转运乏燃料组件的系统，包括乏燃料贮存水池、乏燃料贮存格架、容器装载井、容器准备井以及乏燃料水池冷却和处理系统等设备、设施。乏燃料组件采用湿法贮存方式，贮存容量不小于核电站 18 年正常运行所卸出的乏燃料组件加上一个完整堆芯的事故强迫卸料之和。

乏燃料贮存在乏燃料贮存水池的乏燃料贮存格架中。乏燃料水池冷却和处理系统及燃料厂房通风系统为乏燃料的贮存和转运提供安全环境。

4.6.5.1 系统描述

乏燃料组件从堆芯内卸出，由水下运至乏燃料贮存水池，垂直存放在水下的乏燃料贮存格架中。破损的燃料组件装入破损燃料组件贮存小室内存放。当乏燃料组件贮存一定时间需要外运时，将组件装入乏燃料运输容器，经过清洗，检查乏燃料容器的表面辐射水平和污染水平满足运输标准规定后，可运往乏燃料后处理厂。

乏燃料贮存水池侧壁是混凝土屏蔽墙，使水池周围相邻区域的辐射水平满足相应辐射区域的设计标准。

在乏燃料贮存水池内设有乏燃料贮存格架，分为两个区。I 区用于装载新燃料组件、破损燃料组件、未达到规定燃耗限值的乏燃料组件和紧急卸料时全堆芯的燃料组件。II 区用于贮存由堆芯卸出的达到规定燃耗限值的乏燃料组件。

乏燃料贮存水池的内壁衬有不锈钢覆面，并设有引漏管，用以监测覆面有否渗漏。

在正常情况下乏燃料贮存水池充满含硼水，以保证乏燃料贮存水池内燃料组件的冷却和水面以上的辐射水平满足设计要求。在池底不设任何排水管道，防止池水流失。

在乏燃料贮存水池的另一侧是容器装载井，在此进行乏燃料组件装入运输容器的操作。

水池之间的混凝土隔墙上有密闭的水闸门，平时是关闭的，使用时才打开。靠近容器装载井的另一侧还设有一个乏燃料运输容器准备井，用作乏燃料运输容器的准备工作。

4.6.5.2 设计准则

乏燃料贮存设计按 HAD102/15《核动力厂燃料装卸和贮存系统设计》（2021 年 12 月 17 日）相关章节的要求进行，保证乏燃料组件在贮存中各方面的安全，主要设计准则如下：

- （1）乏燃料组件贮存的物理布置，必须满足燃料组件安全贮存的次临界要求。必须

保证：无论电站正常运行和预期运行故障期间，或者是在特定设计基准事故期间或以后，乏燃料组件的贮存均应满足规定的次临界状态。在 I 区贮存格架装载最大预期反应性的新燃料组件，II 区格架装载达到规定燃耗限值的乏燃料组件，假定被纯水淹没的情况下，有效增殖系数 $k_{eff} \leq 0.95$ ；

- (2) 乏燃料贮存水池及格架的设计，应能承受燃料组件和工具掉落的冲击；
- (3) 防止不属于起升机构部件的重物在贮存的燃料上方移动；
- (4) 贮存区不得是通往其它操作区出入通道的一部分，贮存区应有足够的容量，未经批准不得进行任何操作；
- (5) 贮存区必须提供足够的操作空间和安放设备及工具的空间；
- (6) 必须提供贮存破损燃料组件的设施；
- (7) 贮存区必须具有适当的密封性，使池内含硼水泄漏的后果保持在可接受的限值内；
- (8) 应在足够深的水下操作辐照燃料组件，以确保足够的生物保护；
- (9) 乏燃料贮存格架的材料应与环境相容，应排除由于运行引起环境条件变化而造成几何尺寸变化，应考虑运行工况和事故工况引起的全部载荷；
- (10) 乏燃料贮存格架的设计，应具有足够的稳定性，不会倾倒，并具有防止意外移动的措施；
- (11) 乏燃料贮存格架的设计，应便于燃料组件的插入和取出，并具有保护燃料不受损伤的措施；
- (12) 乏燃料贮存格架的设计，应使得乏燃料贮存水池中的冷却水能够自由循环；
- (13) 乏燃料贮存区应具有承受内部、外部危险的防护措施；
- (14) 乏燃料贮存水池的设计，能够保证在有乏燃料组件贮存时水池充满水，而且可以自然循环、净化，以冷却乏燃料组件；
- (15) 在乏燃料贮存区域及相关的乏燃料组件装卸区域设有辐射水平监测系统，以保证工作人员的辐射安全；
- (16) 在乏燃料贮存水池中设有多道水位监测装置和温度测量设备，防止池水意外排空，其监测信号送到控制室。乏燃料贮存水池监测满足《核电厂改进通用技术要求》的规定。

4.7 非放射性废物处理系统

4.7.1 化学污染物

为满足海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程的运行要求，需对示范工程有关系统的水作某些化学处理，即在系统中加入一定数量的杀菌剂、腐蚀抑制剂或化学添加剂、再生剂等，以保证相关工艺系统的正常运行，这些化学物质的最终产物也将随着排水排入到环境中去。

4.7.1.1 示范工程主要化学药剂的使用

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程使用化学药剂的主要环节有循环水系统、淡水处理系统、除盐水生产系统、凝结水精处理系统、二回路、闭式冷却水系统、硼酸的回收和排放等环节。

本工程与海南昌江 3、4 号机组共用一座除盐水生产厂房和一座制氯站，除盐水生产厂房和制氯站均布置在海南昌江 3、4 号机组厂区内，本示范工程用除盐水取自海南昌江 3、4 号机组的除盐水生产厂房，本示范工程用次氯酸钠取自位于海南昌江 3、4 号机组厂区内的循环水处理系统。本示范工程与海南昌江 3、4 号机组共用的除盐水生产厂房的原水取自海南昌江 1、2 号机组已建成的淡水厂。

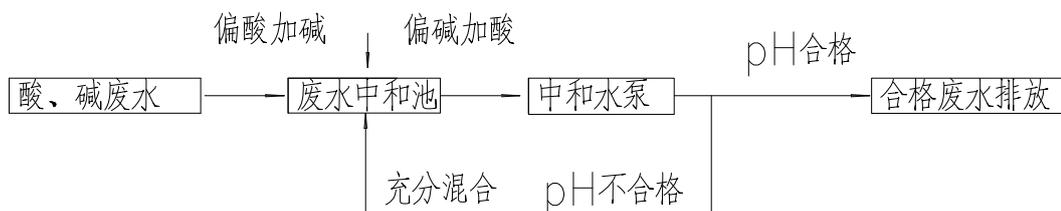
4.7.1.2 化学物质处理流程图

上述化学物质的处理，主要包含酸碱中和处理。

酸碱中和处理：酸、碱药液分别通过加碱和加酸进行中和处理，使 pH 值达到 6~9 排放。处理容量满足一次再生酸碱废水总量。

凝结水精处理系统处理容量约为 36 t/d。

除盐水生产系统、循环水处理系统的酸碱中和处理流程图如下：



凝结水精处理酸碱废水处理简易流程图如下：



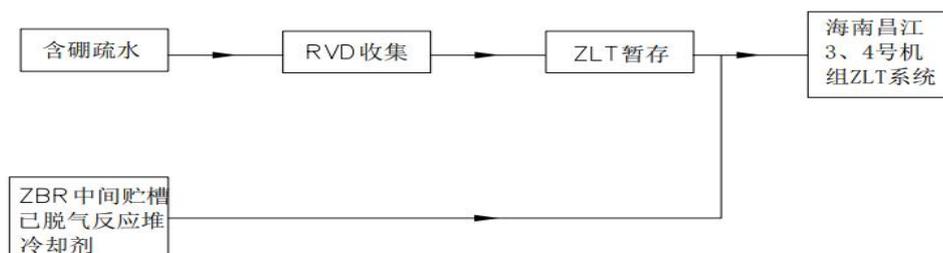
放射性废物处理系统涉及的非放化学性物质为硼酸。硼酸主要来源有 RVC 系统的下泄含氢反应堆冷却剂和其他系统的含硼疏水。

RVC 系统的下泄含氢反应堆冷却剂在 ZBR 系统除气后如不返回 RVC 系统则暂存于

ZBR 中间贮槽中，并经由本工程 ZLT 系统送往海南昌江 3、4 号机组的 ZLT 系统进一步处理。

含硼疏水由 RVD 收集后暂存于本工程 ZLT 系统。本工程的 ZLT 系统不进行含硼废液的处理，而是将其送往海南昌江 3、4 号机组废液处理系统进行处理。

综上所述，本工程不涉及硼酸向环境的直接排放。



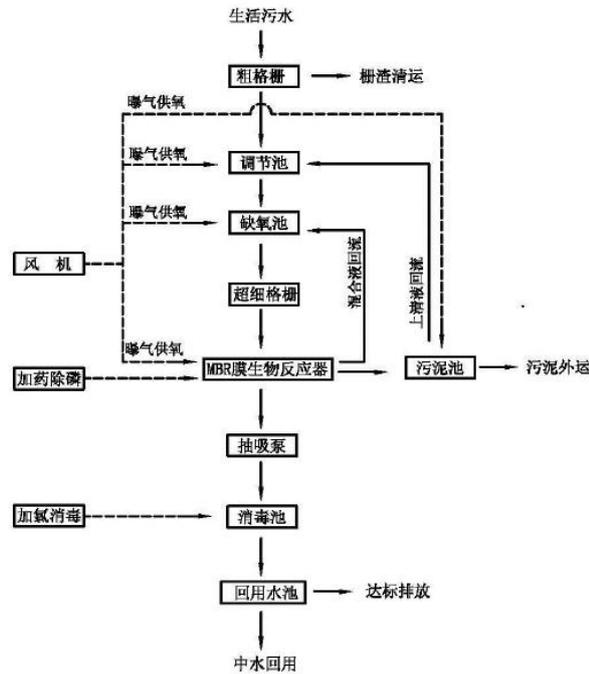
非放射性化学物质处理及排放的工艺流程简图

4.7.2 生活废物

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程产生的生活废物包括核电站非控制区产生的非放射性固体生活垃圾、生活污水。

非放射性固体生活垃圾按生活垃圾处理规定收集暂存并送到指定的垃圾消纳场处理。本工程运行期间新增生活垃圾产生量约为 0.4 吨/天。

生活污水来自海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程主厂区和厂前区的各个厂房、车间、实验室、办公楼等处卫生设备的非放射性生活污水的排水，并通过相应污水管网汇集至海南昌江核电厂 1、2 号机组已建的生活污水处理站。生活污水处理站收集的生活污水经生化处理和深度处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中城市绿化标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级 A 标准后，用于绿化、道路浇洒等，回用剩余水量排入大海。生活污水处理站改造后的总设计规模为 1050m³/d（一期 350m³/d，二期 700m³/d）。海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程正常运行时新增生活污水产生量为 65m³/d，大修和启动时增加 130m³/d。生活污水处理站主要工艺流程图如下：



4.7.3 其它废物

本工程运行期产生的其他废物主要为非放射性含油废水、废油、固体废物等。

本工程通过室外管网收集汽机厂房、主变压器和降压变压器平台等子项的非放射性含油废水，汇集至海南昌江核电厂 3、4 号机组拟建的含油废水集水池，通过废油车运输至海南昌江核电厂 1、2 号机组已建的含油废水处理站进行处理。非放射性含油废水经过油水分离设施处理，其水质达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中的一级标准，排入室外雨水管网，最终排至大海；分离出来的污油在污油池内贮存，定期通过污油泵输送至污油车运走。海南昌江核电厂 1、2 号机组非放射性含油废水处理工艺设备总处理能力为 10m³/h，每套设备设计处理能力为 5m³/h。

本工程运行期产生的固体废物主要包括危险废物和一般工业废物。一般工业废物主要为淡水处理和生活污水处理过程中产生的污泥，污泥产生量与原水水质和药剂添加量有关。淡水厂内设置污泥浓缩池和污泥脱水机等设备，对污泥进行减量化处理后，定期外运处理。危险废物包括废弃的离子交换树脂、废油漆、废化学品、废润滑油、废日光灯管、废油布等。本工程由具有收集、贮存、处置危险废物资质的指定单位对危险废物等进行收集、贮存和处置。

4.8 放射性物质厂内运输

运进核电站的放射性物质有中子源和未经辐照的新燃料组件。新燃料组件和中子源

运出核电站的放射性物质有两类，即乏燃料组件和放射性固体废物。

4.8.1 新燃料运输

本项目的燃料组件由中国核燃料有限公司供应。新燃料运输容器采用陆路运输方式由燃料组件制造厂运至本项目的燃料厂房。

新燃料运输容器的设计和制造能够满足我国《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）的要求。在运输事故条件下，新燃料运输容器能够保证运输容器内燃料的完整性，且能够保证临界安全。

新燃料组件及其运输容器的抗震和密封性能能在正常运输条件下确保运输的安全，对环境不会产生任何有害影响。新燃料运输容器在设计中考虑，即使发生运输事故使容器本身发生变形，也不会发生临界事故，同时燃料棒包壳仍能保证芯块不漏失，不会发生燃料芯块散落的情况，能够保证临界安全。

燃料组件供货数量，以及备用组件的数量，在业主和供货方的燃料供货合同中规定，新燃料平均年发运次数至少应满足平衡换料循环的要求。每台新燃料容器可装载 2 组新燃料组件，本项目采用 12 台容器运输，每两年运输一次，可满足要求。

4.8.2 乏燃料运输

从核电站卸下的乏燃料在乏燃料贮存水池暂存若干年后，将乏燃料运至后处理厂的中间贮存水池作后处理前的暂存。其它与燃料组件相关的控制棒组件、中子源组件等，由于需要更新的机率很小，一般不需要做经常性的运输，需要换下来的可以存放在乏燃料贮存水池内，在反应堆退役时作为废弃物运走。

本项目的乏燃料组件在乏燃料贮存水池尚未贮满之前运出，运输量如下：按 24 个月换料，每次更换 24 组燃料组件。若采用 2 台大容量容器，每两年运 1 次方案，完全能满足要求。乏燃料运输容器的设计和制造应满足 GB 11806-2019《放射性物品安全运输规程》的要求。

乏燃料运输的运输起点为本项目燃料厂房，运输终点为规划选址论证中的乏燃料后处理厂。本工程乏燃料运输可采用公铁海联运的运输方式，本工程燃料厂房至核电站自备码头间考虑采用公路运输方式进行短途接驳，再由核电站自备码头公海换装后，由专用运输船实施海运。专用运输船到达中转码头，进行海公换装；通过公路短驳方式运输至铁路专用线完成公铁换装、专用线运输，最终运至规划的乏燃料后处理厂。具体运输容器类型、运输方案及路线，需要在国家相关主管部门批准，且乏燃料运输中的海运、

铁路及公路运输积累成熟经验后，由承运部门确定。

4.8.3 放射性固体废物的运输

小堆示范工程运行期间核岛厂产生的废树脂在核辅助厂房内废树脂贮槽内暂存衰变一段时间后，通过 3、4 号机组的废树脂运输车送到 1、2 号机组 NX 厂房水泥固化装置与水泥配料混合均匀装入 400L 钢桶固化。核岛产生的废过滤器芯通过 3、4 号机组的废过滤器芯运输车送到 3、4 号机组 0QD 厂房水泥固定装置进行水泥固定，处理后产生的 200L 钢桶废物包由专用运输车送往海南昌江核电厂 1、2 号机组的放射性固体废物暂存库（QT）暂存，其中，表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ 的废物桶装入屏蔽运输容器运往 QT 库。

将杂项干废物分类收集，由专用运输车送往海南昌江核电厂 3、4 号机组的 0QD 厂房进行处理。表面剂量率大于 2mSv/h 的可熔融的杂项干废物装 200L 钢桶暂存在 QT 厂房进行衰变，后续在 0QD 厂房使用等离子熔融工艺处理，处理后玻璃体在 200L 钢桶水泥固定形成废物包；小于 2mSv/h 的可熔融的杂项干废物，0QD 投运前，装 200L 钢桶暂存在 QT 厂房，0QD 投运后，运往 0QD 厂房使用等离子熔融工艺处理，处理后玻璃体在 200L 钢桶水泥固定形成废物包。不可熔融杂项干废物装 200L 桶送至 0QD 水泥固定处理，或装 200L 桶暂存，后续外运处置。

小堆示范工程控制区内更换的工作服、鞋、手套等收集后采用专门的运输车运往海南昌江核电厂 1、2 号机组的 AN 厂房的热洗衣房进行洗涤。

小堆示范工程到海南昌江核电厂 1、2 号机组的放射性物品的运输路线为厂外运输，将会有公众人员通行，路长大概为 600m。用于进行厂内外运输的屏蔽运输容器和废物运输车辆设有必要的屏蔽防护，杂项干废物和放射性污染的衣物采用封闭的厢式货车进行运输，车厢设有钢敷面，封闭货车运输能够防止运输过程中放射性废物泄漏、遗失和跌落，可以保证放射性废物的运输的安全。

在海南昌江核电厂 1、2 号机组的 QT 库内暂存的已处理废物在贮存一定年限后（国家标准规定不超过 5 年），需要通过厂外运输送至放射性废物处置场进行最终处置。这些废物包在进行处置外运时，如果废物包或外包装的表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ ，可不需外加屏蔽措施通过专用车辆运输；如果该表面剂量率 $> 2\text{mSv/h}$ ，则需外加屏蔽措施用专用车辆运输。

运输放射物品的车辆设置放射性警示标牌，为了使运输更加安全，放射性物品的运输可以避免公路行驶的高峰期，同时严格控制车速，也可在运输期间进行临时管制措施。

在放射性固体废物运输过程中将严格遵守 GB 11806-2019《放射性物品安全运输规程》中的有关要求。废物桶的设计和制造满足 EJ 1042-2014《低、中水平放射性固体废物包

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程环境影响报告书（运行阶段） 第四章 版次：A

装容器 钢桶》的要求。水泥固定废物体性能满足 EJ 1186-2005《放射性废物体和废物包的特性鉴定》。废物包性能满足 GB 12711-2018《低、中水平放射性固体废物包安全标准》、GB 41930—2022《低水平放射性废物包特性鉴定—水泥固化体》和 GB 9132-2018《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》的要求。

第五章 示范工程施工建设过程对环境的影响

5.1 土地利用

5.1.1 施工建设对土地利用的影响

5.1.2 施工建设占用土地的情况

5.1.3 施工活动对自然环境的影响

5.2 水的利用

5.2.1 施工活动对水资源利用的影响

5.2.2 海域施工对水环境的影响

5.3 施工影响控制

5.3.1 土石方开挖工程的控制措施

5.3.2 施工扬尘的控制措施

5.3.3 施工噪声的控制措施

5.3.4 场地回填的控制措施

5.3.5 建筑垃圾及污水的控制措施

5.3.6 非放射性物质的控制措施

5.3.7 放射源的管理措施

5.3.8 设计地形地貌的改造措施

5.3.9 水土保持措施

5.3.10 施工期的节水措施

5.3.11 施工期监测

5.1 土地利用

5.1.1 施工建设对土地利用的影响

本工程施工建设对土地利用的影响主要为土石方的开挖与回填。

本工程场地平整在 3、4 号机组工程建设时统一完成，厂区的厂坪设计标高为 11.00m，厂区的场地平整标高为 10.70m。场地平整后在厂区南侧形成 9m 高的挖方边坡，长约 270m；在厂区西南侧形成 3.5~5.5m 高的挖方边坡，长约 130m；在厂区西北侧和北侧设置挡土墙，挡土墙最大高度约为 2.5m；在厂区南侧和西侧边坡坡底设置排洪沟，采用矩形断面，沟宽为 2.5m。

5.1.2 施工建设占用土地的情况

（1）占用土地情况

本工程征地边界包括厂区工程征地边界和配套用地征地边界两部分，为永久性占地。厂区工程征地边界东侧为 3、4 号机组厂区工程征地边界，南侧和西侧为施工场地，北侧靠近排洪渠，征地面积 11.2476hm²；配套用地征地边界位于 1、2 号机组厂区工程征地边界东南侧，征地面积 9.4259hm²。本工程总征地面积 20.6735hm²，已获得昌江黎族自治县人民政府的最终批复。

本工程充分利用 1、2 号机组可利用的施工场地并在本工程厂区西南侧新增部分施工场地（临时占地），施工场地与 3、4 号机组工程统筹考虑，本工程施工场地面积约占 10.00hm²。

厂址区占用土地的类别为建设用地和林用地，未占用耕地。

（2）土地利用合理性分析

本工程与海南昌江核电厂属同一厂址，位于 1、2 号机组厂址 5km 规划限制区范围内，与昌江黎族自治县国土空间规划和厂址总体规划相协调。

本工程尽可能利用 1、2 号机组已建设施以及与 3、4 号机组共建部分设施，减少子项设置，有效减少土地的占用，节约用地。

本工程厂区总平面布置，尽量减少通道宽度，紧凑布置，节约用地且降低建设投资和后期运行费用。单体设计采取联合厂房或多层建筑、地下管线采用综合管廊、竖向设计采用平坡设计等措施，节约用地。

施工场地充分利用 1、2 号机组可利用的施工场地，从而减少新增租地用地，节约用地。

5.1.3 施工活动对自然环境的影响

施工活动对自然环境的影响，主要包括对地形地貌、水土流失、生态、大气环境、声环境、水环境等可能造成的影响，以及产生的固体废弃物对环境的影响。

5.1.3.1 对地形地貌的影响

本工程场地平整在 3、4 号机组工程建设时统一完成，厂区的厂坪设计标高为 11.00m，厂区的场地平整标高为 10.70m。本工程对地形地貌的影响主要是厂区建、构筑物的负挖施工，由于负挖施工仅涉及厂区部分范围，因此对地形地貌改造的影响是局部的。

5.1.3.2 水土流失

水土流失主要发生在施工期间，由于施工产生开挖和填筑裸露面，裸露面表层结构疏松，植被覆盖度较低，使区域内土壤抗侵蚀能力下降，导致土壤失去了原有的固土防风能力，从而造成水土流失。同时，土石方的搬运和堆置也会导致一定程度的水土流失。

工程施工结束后，因施工引起水土流失的各项因素逐渐消失，地表扰动也基本停止，施工区域的水土流失将明显减少。通过有效的工程措施、植被种植、临时防护等措施，可有效缓解施工建设期间的水土流失现象。

5.1.3.3 对生态环境的影响

工程施工对厂址场地进行了平整，场平需剥离原有地表植被，土石方挖掘工作改变了当地特别是土壤生物的种群及群落结构。挖掘过程产生的部分废弃土石方占用部分土地，堆放过程中易受雨水冲刷造成水土流失和生态破坏。

在建设施工过程中，根据现场施工情况采取了相应生态保护措施，工程建成后，厂区内会进行绿化，厂区外的临时施工用地也采取相应的恢复措施，本工程建设对当地局部生态环境的影响是可以接受的。

5.1.3.4 对大气环境的影响

在工程施工过程中，由于爆破、开挖、填充、道路的修建、渣土的堆放以及车辆运输会造成施工区域尘土飞扬，大气中粉尘含量增高。施工期间采取有效的防治措施可减少扬尘的释放。在施工建设期间，安排进行了施工期大气的环境监测工作，一旦发现超标，及时通知施工方进行整改，尽可能降低施工对大气环境的影响。

5.1.3.5 对声环境的影响

施工期间，开挖爆破以及各类施工和运输机具产生的噪声对厂址周围的声环境将产生一定的影响，施工期间采用了相应的措施降低噪声水平或减少噪声对敏感点的影响。在施工建设期间，安排进行了施工期噪声监测工作，一旦发现超标，及时通知施工方进行整改，尽可能降低施工噪声对环境的影响。

5.1.3.6 对水环境的影响

本工程施工期间施工生产用水主要用于消耗和重复利用。混凝土搅拌站区域的生产废水回收至沉淀池，经污水处理设备处理后回用于冲洗罐车，罐车冲洗水部分消耗、部分回收至沉淀池继续处理再利用。

陆域施工活动对水环境的影响主要来自施工人员生活污水的排放。

本工程部分施工临建区的生活污水通过相应污水管网汇集至海南昌江核电厂 1、2 号机组已建的生活污水处理站，经生化处理和深度处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）中城市绿化标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准后，用于施工场地降尘和绿化等。部分施工临建区的生活污水排入临建区污水处理站处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准。生活临建区污水处理站位于厂区东南角，主要用于处理宿舍及食堂污水，污水处理采用 A/O 生化处理和 MBR 膜生物处理相结合的处理方式，设计日处理量 1000~1200 立方。生活污水处理后，全部用于绿化、道路浇洒等。上述生活污水处理站均已建成运营并委托海南国为亿科环境有限公司进行定期监测。监测项目包括 COD_{Cr}、BOD₅、石油类、动植物油、氨氮、总氮、磷酸盐、pH、悬浮物、阴离子表面活性剂、粪大肠菌群、色度。监测频率为每季度监测一次。

因此，施工期生活污水和生产废水全部回用不外排，陆域施工活动对水环境的影响极小，是可以接受的。

5.1.3.7 固体废弃物的影响

施工期间，现场会产生一定数量的固体废弃物，主要是建筑垃圾和生活垃圾。施工期间现场废物垃圾的处置主要是制定相应的管理规定，并严格执行；如从源头控制，使废物垃圾产生的数量最小化；规划专用堆放场地，集中储存并做好防护措施，严禁乱倒乱卸，对建筑垃圾和弃渣的收集、堆放、处理规范化，避免对地下水、地表水产生影响；采用专用运输车辆及时外运，避免运输过程中的遗撒等。因此，固体废弃物对环境的影响是局部的和暂时的。

施工期产生的固体生活垃圾按生活垃圾处理规定收集暂存并送到指定的垃圾消纳场处理。

5.2 水的利用

5.2.1 施工活动对水资源利用的影响

（1）施工期用水

本工程施工期用水主要为淡水，主要包括施工生产用水和施工生活用水。施工生产用水供给混凝土骨料清洗、生产、浇注、养护、冲洗机具、石料加工场冲洗和降尘、砌砖等施工用水。施工生活用水供给施工人员生活用水，其水质符合《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2020）。

（2）施工期用水量

本工程施工期间施工生产用水最大日用水量为 1140m³/d，施工人员生活用水最大日用水量为 540m³/d，施工现场降尘和洗车用水量为 156m³/d。考虑管网漏损水量和未预见用水等，施工期间最大日用水量约为 2050m³/d。

（3）供水水源

本工程施工期间所需的淡水来自海南昌江核电厂已建的淡水厂。淡水厂的原水取自石碌水库。

（4）施工期用水对周围水用户的影响

根据《海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程水资源论证报告》（报批稿），本工程取水对区域水资源可利用量影响小，符合区域水资源配置要求，对生态环境影响轻微，与水功能区水质目标不存在矛盾，对石碌水库水功能区纳污能力影响不大，不影响其他用户取用水条件。

5.2.2 海域施工对水环境的影响

本工程与海南昌江核电厂 3、4 号机组共用取排水工程，无新建海工构筑物，不涉及海域施工，不存在海域施工对水环境的影响问题。

5.3 施工影响控制

5.3.1 土石方开挖工程的控制措施

- 土石方爆破应严格遵守《爆破安全规程》（GB 6722-2014）的相关规定。
- 石方爆破需根据工程要求、地质条件、工程量大小和施工机械等合理选用爆破方法。
- 合理选择最大装药量，控制振动速度和安全距离。

5.3.2 施工扬尘的控制措施

- 施工区和相关道路上散落的灰土及时清扫，道路路面上经常洒水，保持路面湿润；
- 严格控制行车速度；
- 改善道路路面；
- 尽量减少土方的临时堆置时间；
- 渣土临时堆放场应加盖布条进行防护；

- 水泥等粉状建筑材料应妥善保管，不得露天随意存放；
- 加强施工管理，合理调度运输车辆等；
- 在施工过程中对易引起飞尘的操作如钻机打孔，采用干式或湿式除尘方法，以减少粉尘。

5.3.3 施工噪声的控制措施

为尽量减少对附近居民的影响，应总结前期施工降噪经验，用于本期工程施工建设中；应严格遵守土石方爆破《爆破安全规程（GB6722-2014）》的相关规定。施工期间将采取以下措施，确保将施工噪声控制在相关规定的限度内：

- 石方爆破需根据工程要求、地质条件、工程量大小和施工机械等合理选用爆破方法；
- 合理选择最大装药量，控制震动速度和安全距离；
- 控制土石方爆破范围；
- 尽可能使用低噪声的施工设备；
- 合理安排施工进度，加强在施工期间对高噪声设备的管理，避免高噪声设备的同步使用；
- 对于可能造成声环境敏感点影响的工程，在夜间尽量不施工，或夜间施工禁止使用重型机械；
- 复杂环境条件下，噪声控制由安全评估确定。

施工噪声的控制应满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011），并按照GB12523-2011 进行建筑施工场地边界线处的等效声级测量。

5.3.4 场地回填的控制措施

- 场地回填时剥离清除的杂物，要集中堆放并及时运往厂外指定弃置点。
- 临时堆放场地做临时挡护。
- 剥离的用于绿化的表土集中堆放，在土堆周边外坡脚做临时挡护及雨排设施，其他裸露面采用撒播草籽等临时植物防护。
- 分层回填并及时碾压。
- 回填时避开扬尘、雨水等不良气象条件。

5.3.5 建筑垃圾及污水的控制措施

施工期间建筑垃圾制定《建筑垃圾与非建筑垃圾处理、运输、处理细则》工作程序，并严格执行；规划专用堆放场地，集中储存并做好防护措施，严禁乱倒乱卸，对建筑垃圾和弃渣的收集、堆放、处理规范化；采用专用运输车辆及时外运，避免运输过程中的遗撒

等。施工期生活垃圾按照《海南昌江核电厂 3、4 号机组加小堆垃圾处理规划方案》的规定执行，由海南建设安装有限公司统一收集后运输至海尾垃圾转运站，后由垃圾转运站负责将垃圾转运到东方市八所镇广大焚烧厂集中处理。

本工程施工期间施工生产用水主要用于消耗和重复利用。混凝土搅拌站区域的生产废水回收至沉淀池，经污水处理设备处理后回用于冲洗罐车，罐车冲洗水部分消耗、部分回收至沉淀池继续处理再利用。

本工程施工期间部分施工临建区的生活污水通过相应污水管网汇集至海南昌江核电厂 1、2 号机组已建的生活污水处理站，经生化处理和深度处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）中城市绿化标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准后，用于施工场地降尘和绿化等。海南昌江核电厂 1、2 号机组生活污水处理站改造的总设计规模为 1050m³/d（一期 350m³/d，二期 700m³/d）。生活污水处理站主要工艺详见 4.7.2 节。部分施工临建区的生活污水排入生活临建区污水处理站处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准。生活临建区污水处理站位于厂区东南角，主要用于处理宿舍及食堂污水，污水处理采用 A/O 生化处理和 MBR 膜生物处理相结合的处理方式，设计日处理量 1000~1200 立方。生活污水处理后，全部用于绿化、道路浇洒等。目前生活临建区的污水处理站由海南核电委托申亿进行日常运营及维护管理，每季度进行 1 次定期监测，监测指标主要包括 pH、COD_{Cr}、BOD₅、悬浮物、动植物油、石油类、阴离子表面活性剂、总氮、氨氮、磷酸盐、色度、粪大肠菌群等。

5.3.6 非放射性物质的控制措施

- 对需进行表面处理的设备、管道、钢材等，要求设备承包商在出厂前进行处理；
- 必须在现场处理的，由施工单位严格执行化学物品使用管理规定，对其使用量严格控制。

5.3.7 放射源的管理措施

运行期间主要用 γ 射线进行无损探伤检验及焊缝检查，依据国家颁布的《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，制订放射源管理制度。管理措施主要涉及到使用、贮存和处理几个方面，具体内容如下：

（1）放射源的使用

对于使用放射源的工作人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核，考核不合格的人员不得上岗。

运行期间使用放射源的主要危害是外照射，因此在操作中必须充分利用时间、距离和屏蔽防护。装卸放射源时，尽量使用长柄钳等远距离操作器械，操作时间要准确、迅速，必要时可提前进行模拟练习。现场透照布置时，尽可能让射线辐射窗口远离工作人员。本项目运行期间从事放射工作的人员要穿戴必要的射线防护用品，如铅胶围裙、铅胶手套、铅玻璃眼镜等。用于处理放射性同位素与射线装置的工具均为专用，不得挪作他用。

调试或测试放射探伤装置在专门的射线探伤室或空旷的地方进行；射线工作区域用围栏圈出非安全区，并派专人监查。

根据射线的辐射范围，划出一定范围的警戒区域，并设置电离辐射标志和中文警示说明，必要时须有专人负责警戒，以防无关人员进入辐射现场。放射源使用完毕后，及时清点回收。

探伤作业前发布探伤通知，将探伤信息（包括探伤作业地点、警戒范围、时间等）告知各参建单位，避免发生误照射。在探伤作业过程中，对作业前现场公告、拉警戒带隔离、请主控广播、携带剂量率仪表、利用实体隔离、挂射线探伤警示牌、作业前清场、佩戴个人剂量计等辐射安全要求进行检查。

佩带监测个人或环境射线辐射剂量仪器，对辐射场所进行监测，防止意外照射及监测个人所受辐射剂量。组织从事或拟从事放射工作人员进行一年一次的体检，并建立相关的健康档案；凡在放射事故中有受到超剂量辐射嫌疑的人员，要及时组织接受特别体检，确认伤害程度。

为防止因放射源使用不当、安全防护措施不到位而造成工作人员和周围公众的高剂量误照射，在发生该种辐射事故时，及时启动事故应急预案，控制事故可能造成的危害并按事故报告制度进行报告和处理。

（2）放射源的贮存

在放射性同位素与射线装置出入源库时，要办理出入库手续并登记、检查，做到账物相符。放射性同位素与射线装置存放在专用库内，库内有防火、防盗、防泄漏的安全防护措施，专人负责看管。放射性同位素与射线装置专用库不得存放易燃、易爆和腐蚀性物品。

运输采用符合防护及安全需求的防护容器及车辆，对货包进行表面污染及辐射水平测量。并安排专人押运，防止放射源丢失及意外事故。

放射源存放在安全的防护容器中，并贮存在专门的库、室、柜内。对其表面污染及辐射水平进行测量与监控。进入库房的放射性同位素与射线装置本身先要闭锁，放射性同位素与射线装置不得在库外存放过夜或较长时间库外存放。

放射源存放在安全的房间或源库内，专设屏蔽厂房进行贮存，并对其防护墙根据最大辐照量进行计算，使工作人员和公众不会受到超限值的照射。

放射性同位素与射线装置专用库的周围设置围栏标记和警告牌，必要时设置安全连锁、报警装置或者工作信号。对放射源贮存容器设置明显的放射性标识和中文警示说明。

（3）放射源的处理

本项目产生的废源按采购合同约定的方式，优先考虑由供货方回收。

5.3.8 设计地形地貌的改造措施

- 严格按照设计要求进行施工。
- 选择合理的施工时间，尽量避免雨季施工。雨季施工应做好防护措施，对新开挖面采用土工布或塑料布等进行覆盖，防止雨水冲刷。
- 基础开挖的土石方要集中堆放，并及时回填于需要的地点或指定场地，避免水土流失。
- 厂区地下设施较多，施工时要合理安排施工顺序，遵循由深而浅、统筹考虑的原则，临近地下设施尽量同槽一次开挖，同时应确保基坑边坡的稳定。
- 施工结束后，施工场地及厂区可绿化的区域应充分进行绿化，不能绿化的区域应进行硬化或铺设碎石，避免地面裸露。

5.3.9 水土保持措施

5.3.9.1 水土流失防治责任范围

根据水利部批复的《海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程水土保持方案报告书》，项目水土流失防治责任范围面积为 28.25hm²，本工程水土保持分区分为厂区、施工场地区、弃渣场区 3 个水土流失防治区。

5.3.9.2 水土保持措施

本工程在厂区布设表土剥离及回覆、排洪沟、雨水管道、景观绿化、临时排水、沉沙池、苫盖。施工场地区布设综合护坡工程、表土剥离及回覆、土地整治、植被恢复、临时排水、沉沙池。弃渣场区布设表土回覆、挡土墙、土地整治、排水沟、栽植灌木、撒播草籽、临时拦挡、临时苫盖。

5.3.9.3 水土保持措施实施情况

截止 2024 年 3 月，本工程厂区土方工程全部完工，开挖土方均弃于弃渣场。

5.3.10 施工期的节水措施

施工期节水措施主要是淡水的节水措施，如下：

- (1) 采用用水量少、耗水量低的施工工艺，降低用水量；
- (2) 采用新型管材，推广节水器具；
- (3) 提高水的重复利用率；
- (4) 加强节水管理，对用水量加以控制和计量。

5.3.11 施工期监测工作

5.3.11.1 大气环境

本小节依据中国核电工程有限公司 2019 年 8 月~2023 年 12 月期间开展的 17 次施工期大气环境监测结果编制。本轮监测，设置大气环境监测点 8 个。

(1) 2019-2023 年 17 次监测无组织排放监测点 SO₂ 最大小时浓度为 29μg/m³。均满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中“表 2 新污染源大气污染物排放限值”400μg/m³ 的限值。

(2) 2019-2023 年 17 次监测无组织排放监测点 NO_x 最大小时浓度为 88μg/m³。均满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中“表 2 新污染源大气污染物排放限值”120μg/m³ 的限值。

(3) 2019-2023 年 17 次监测无组织排放监测点 TSP 最大小时浓度为 287μg/m³。均满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中“表 2 新污染源大气污染物排放限值”1000μg/m³ 的限值。

(4) 2019-2023 年 17 次环境空气监测点共测得 SO₂ 最大小时浓度为 26μg/m³；最大日均浓度为 25μg/m³。所有小时浓度和日均浓度均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）规定的二级浓度 500μg/m³ 和 150μg/m³ 的限值。

(5) 2019-2023 年 17 次环境空气监测点共测得 NO₂ 最大小时浓度为 50μg/m³；最大日均浓度为 43μg/m³。所有小时浓度和日均浓度均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）规定的二级浓度 200μg/m³ 和 80μg/m³ 的限值。

(6) 2019-2023 年 17 次环境空气监测点共测得 NO_x 最大小时浓度为 88μg/m³；最大日均浓度为 66μg/m³。所有小时浓度和日均浓度均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）规定的二级浓度 250μg/m³ 和 100μg/m³ 的限值。

(7) 2019-2023 年 17 次环境空气监测点共测得 CO 最大小时浓度为 3.5mg/m³ 之间；最大日均浓度为 2.6mg/m³。所有小时浓度和日均浓度均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）规定的二级浓度 10mg/m³ 和 4mg/m³ 的限值。

(8) 2019-2023 年 17 次环境空气监测点共测得 PM_{10} 最大日均浓度为 $93\mu g/m^3$ ，满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 规定的二级标准 $150\mu g/m^3$ 的限值。

(9) 2019-2023 年 17 次环境空气监测点共测得 TSP 最大日均浓度为 $122\mu g/m^3$ ，满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 规定的二级标准 $300\mu g/m^3$ 的限值。

(10) 2019-2023 年 17 次环境空气监测点共测得 $PM_{2.5}$ 最大日均浓度为 $50\mu g/m^3$ ，满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 规定的二级标准 $150\mu g/m^3$ 的限值。

根据调查的结果及数据分析可以看出：无组织排放源监测点的 SO_2 、 NO_x 和颗粒物浓度均满足《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 中的“表 2 新污染源大气污染物排放限值”要求。

环境空气监测点的 SO_2 、 NO_2 、 NO_x 、CO、TSP、 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度符合《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中二级标准限值要求。

综上所述，海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程机组施工期间，厂址附近大气环境质量状况较好。

5.3.11.2 声环境

本小节依据中国核电工程有限公司2019年8月~2023年12月期间开展的17次施工期噪声监测结果编制。本项目根据施工活动状况等情况，在施工场界、厂区内的明显噪声源处共设13个监测点，其中施工场界噪声监测点4个，核电厂厂界噪声监测点4个，厂址区域内噪声监测点5个。

海南昌江核电厂3、4号机组施工场界及厂区内C1-C4及C9-C13噪声监测结果昼间等效声级范围在45.2~67.5dB(A)，均低于《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011) 标准的昼间限值70.0dB(A)；夜间等效声级范围在39.0~54.4dB(A)，均低于《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011) 标准的夜间限值55.0dB(A)。

海南昌江核电厂1、2号机组运行厂界C5-C8噪声监测结果昼间等效声级范围在48.7~63.3dB(A)，均低于《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 3类标准的昼间限值65dB(A)；夜间等效声级范围在41.3~54.6dB(A)，均低于《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 3类标准的夜间限值55dB(A)。

厂区外敏感区噪声监测点位1~12噪声监测结果昼间等效声级范围在40.7~54.5dB(A)，均低于《声环境质量标准》(GB3096-2008) 2类标准的昼间限值60.0dB(A)；夜间等效声级范围在35.0~44.9dB(A)，均低于《声环境质量标准》(GB3096-2008) 2类标准的夜间限值50.0dB(A)。

公路噪声监测点位J1~J3噪声监测结果昼间等效声级范围在48.6~68.0dB(A)，低于《声环境质量标准》(GB3096-2008) 4a类标准的昼间限值70.0dB(A)；夜间等效声级范围在43.2~54.1dB(A)，低于《声环境质量标准》(GB3096-2008) 4a类标准的夜间限值55.0dB(A)。

综上所述，海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程机组施工期间，厂址附近声环境质量状况良好。

第六章 示范工程运行的环境影响

6.1 散热系统运行的影响

- 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

6.2 正常运行的辐射影响

- 6.2.1 流出物排放源项
- 6.2.2 照射途径
- 6.2.3 计算模式与评价模式
- 6.2.4 大气弥散和水体弥散
- 6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度
- 6.2.6 公众的最大个人剂量
- 6.2.7 非人类生物的辐射剂量
- 6.2.8 关键人群组、关键核素、关键照射途径
- 6.2.9 辐射影响评价

6.3 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

6.4 初步退役计划

- 6.4.1 概述
- 6.4.2 退役策略选择
- 6.4.3 退役计划的制定
- 6.4.4 退役方案简述
- 6.4.5 便于退役的考虑
- 6.4.6 运行阶段的设计、运行资料的收集和管理
- 6.4.7 退役费用的考虑
- 6.4.8 退役管理设想
- 6.4.9 结论

表

表 6.2-1（1/3） 厂址半径 80km 评价区内各子区年均大气弥散因子（Cs-137）

表 6.2-1（2/3） 厂址半径 80km 评价区内各子区年均大气弥散因子（I-131）

表 6.2-1（3/3） 厂址半径 80km 评价区内各子区年均大气弥散因子（Kr-85）

表 6.2-2（1/2） 厂址半径 80km 评价区内各子区相对干沉积因子（Cs-137）

表 6.2-2（2/2） 厂址半径 80km 评价区内各子区相对干沉积因子（I-131）

表 6.2-3（1/2） 厂址半径 80km 评价区内各子区相对湿沉积因子（Cs-137）

表 6.2-3（2/2） 厂址半径 80km 评价区内各子区相对湿沉积因子（I-131）

表 6.2-4（1/3） 本工程运行状态下厂址半径 80km 范围内各子区空气中的年均放射性活度浓度分布情况表（Cs-137）

表 6.2-4（2/3） 本工程运行状态下厂址半径 80km 范围内各子区空气中的年均放射性活度浓度分布情况表（I-131）

表 6.2-4（3/3） 本工程运行状态下厂址半径 80km 范围内各子区空气中的年均放射性活度浓度分布情况表（Kr-85）

表 6.2-5（1/3） 本工程与 1、2 号机组运行状态下厂址半径 80km 范围内各子区空气中的年均放射性活度浓度分布情况表（Cs-137）

表 6.2-5（2/3） 本工程与 1、2 号机组运行状态下厂址半径 80km 范围内各子区空气中的年均放射性活度浓度分布情况表（I-131）

表 6.2-5（3/3） 本工程与 1、2 号机组运行状态下厂址半径 80km 范围内各子区空气中的年均放射性活度浓度分布情况表（Kr-85）

表 6.3-1 开关站及第一跨、主变压器的监测值统计情况

表 6.3-2 输电线路监测值统计情况

6.1 散热系统运行的影响

6.1.1 散热系统方案

本工程采用海水直流冷却方式，取水量约为 $9.2\text{m}^3/\text{s}$ 。本工程与海南昌江核电厂 1~4 号机组共用取水明渠，与海南昌江核电厂 3、4 号机组共用取水隧洞、排水隧洞和排水沉管，无新建取排水构筑物。

6.1.2 散热系统对水体的物理影响

6.1.2.1 工程前后潮流场变化与岸滩、底床冲淤变化

海南昌江核电厂取排水工程实施后，取水明渠及排水口附近局部流场发生一定的变化，但这种变化的范围有限，仅限于工程附近局部水域。总体来看，工程海域海床多年来总体处于侵蚀的状态，但不同水深处的侵蚀幅度不均衡。其中，2m 等深线处侵蚀幅度最小，5m 等深线的侵蚀幅度其次，而其他水深处的侵蚀幅度较大。工程附近海域岸线处于基本稳定状态。

本工程无单独新建海域的取排水工程，岸滩、地床冲淤变化及海床整体稳定性分析与上述结论一致。

6.1.2.2 温排水对环境的影响分析

（1）海南昌江核电厂 1、2 号机组温排水对水环境的影响

工程近岸-6m等深线以浅海域存在天然的珊瑚礁，对温排水的排放有限制要求，制约电厂的排水工程。1、2号机组取排水流量为 $81.6\text{m}^3/\text{s}$ 。在取排水工程方案（岸边明渠取水、离岸2.26km暗管排水）布置、2台机组工况条件下，数模及物模的取水温升都较低，最大取水温升 $\leq 0.8^\circ\text{C}$ ，平均取水温升 $\leq 0.5^\circ\text{C}$ ；夏冬季的大、中、小潮型，水面温升的分布呈南北向带状， $\geq 3^\circ\text{C}$ 的水面温升包络面积 $< 0.01\text{km}^2$ ， $\geq 2^\circ\text{C}$ 的水面温升包络面积为 $0.43\text{ km}^2\sim 0.78\text{km}^2$ ， $\geq 1^\circ\text{C}$ 的水面温升包络面积为 $2.49\text{ km}^2\sim 8.50\text{km}^2$ 。

（2）海南昌江核电厂 1~4 号机组+本工程温排水对水环境的影响

按照 1、2 号机组冷却水量 $81.6\text{m}^3/\text{s}$ ，3、4 号机组冷却水量 $132\text{m}^3/\text{s}$ ，小堆机组冷却水量 $9.2\text{ m}^3/\text{s}$ ，取排水温升均为 8°C 考虑。1、2 号机组单独排放，3、4 号机组+小堆共用排水口条件下，根据温排水模型试验结果，1~4 号机组+小堆共同运行时：夏季 1°C 全潮最大温升影响面积不超过 15.422 km^2 （ $10.448\text{ km}^2+4.974\text{km}^2$ ）；冬季 2°C 全潮最大温升影响面积不超过 6.332km^2 （ $3.186\text{ km}^2+3.146\text{ km}^2$ ）。

6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

6.1.3.1 生态环境调查

厂址邻近海域海洋生物及其生态环境调查结果见 2.3.3 节内容。

6.1.3.2 温排水对海洋生态的影响

（1）对保护区的影响

本项目为滨海厂址，滨临北部湾，工程附近海域潮流基本呈往复流，冬、夏季的最大流速为0.97m/s和1.13m/s，为电厂的温排水提供了较好的稀释扩散条件。

厂区附近-6m以浅水域为珊瑚礁生长发育地带，本工程与3、4号机组共用的排水工程近岸段约770m长度为盾构隧洞，工程实施不占用珊瑚礁分布区域；根据温排水试验研究结果，本工程与1~4号机组工程温排水夏季典型潮1℃温升包络线和冬季典型潮2℃温升影响包络范围均未进入-6m等深线海域，对珊瑚礁不会产生影响。工程区域距离西南侧的马蓉-海尾珊瑚礁海洋保护区边界约10km，距离较远，不会对保护区产生影响。

（2）与近岸海域环境功能区划符合性分析

根据《海南省人民政府办公厅关于同意调整昌江黎族自治县局部近岸海域环境功能区划的复函》（琼府办函[2019]432号），厂址的温排水环境影响符合近岸海域环境功能区划相关要求。

（3）海域生态红线符合性分析

根据最新发布的“三区三线”，本工程温排水影响范围不涉及海洋保护红线，符合“三区三线”划定成果。

（4）对海洋生态环境的影响

在表层水中，温度是影响鱼类分布重要的环境因子。热排放进入受纳水体后，会改变鱼类等水生生物在水体中的正常分布，引起群落结构的变化。不同增温区对鱼类的影响也不同，特别是夏季增温对某些鱼类分布的影响比较明显。而在其他季节，特别是冬季，增温对某些暖水性鱼类可能会表现出有利的影响，一定范围内种群数量随水温升高而提高，并且鱼类种类的迁入增多、迁出减少，其个体数量也增加。

研究表明，热排放对邻近水域鱼类的产卵活动产生一定的影响，而对仔鱼的生存及分布影响不大。鱼类一般避开温升1.0℃以上水域而趋于在热排放的边缘区域（温升1.0℃）产卵。

综上所述，在夏季，工程引起排放口附近温升4℃的范围内浮游生物、鱼类的种类及渔获量会受到明显影响，排放口温升4℃以外海域，由于温升均小于4℃，对海洋生物影响可明显减少。在夏季以外的季节，特别是冬季，温排水在一定程度上可能会促进某些暖水性浮游生物、鱼类和甲壳类种群的生长和繁殖。

6.1.3.3 卷吸效应和机械损伤

（1）卷吸效应和机械损伤

本工程取水方式为与海南昌江 1~4 号机组共用取水明渠，由于本工程循环水量相对很小，其对明渠内水流流速几乎没有影响。取水明渠内设计流速与天然潮流流速接近，运行期间对浮游生物、鱼卵仔鱼等能进入取水系统的生物造成损失的影响有限，不会造成整个区域海洋生态的变化。

（2）减小机械卷载效应措施

本工程取水方式为与海南昌江 1~4 号机组共用取水明渠，由于本工程循环水量相对很小，其对明渠内水流流速几乎没有影响。取水明渠内设计流速与天然潮流流速接近，且取水明渠内设置多道拦污网，能有效阻止海生物进入取水隧洞。运行期间对浮游生物、鱼卵仔鱼等能进入取水系统的生物造成损失的影响有限，不会造成整个区域海洋生态的变化。卷吸效应对该海域海洋生态的影响很小。

6.2 正常运行的辐射影响

6.2.1 流出物排放源项

本节主要评价多用途模块式小型堆（本工程）单独运行时对环境的辐射影响，及本工程与海南昌江核电厂 1、2 号机组同时运行时对环境的辐射影响，由于在建的海南昌江核电厂 3、4 号机组投产年份在本工程之后，因此不纳入本次评价对象。

（1）气载流出物排放源项

本工程运行状态下，气载流出物主要通过高约 42m 的烟囱排入大气。在进行最大个人剂量计算时采用排放申请值，分析关键居民组、关键核素和关键照射途径时采用现实源项（本工程）和实际运行监测值（1、2 号机组）。

本工程运行状态下，气载流出物排放源项与《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）规定的气载流出物年排放量控制值的比较如下：

核素类别	本工程设计排放源项 Bq/a	标准控制值 (按热功率折算) Bq/a	比值
惰性气体	6.79E+12	7.70E+13	8.82%
碘	2.76E+08	2.57E+09	10.74%
粒子 ($T_{1/2} \geq 8d$)	2.73E+07	6.42E+09	0.43%
氡	9.35E+11	1.93E+12	48.45%
碳-14	6.71E+10	8.98E+10	74.72%

各类核素的排放量均满足 GB 6249-2011 规定的年排放量控制值要求。

核电站运行状态下的气载流出物中，C-14 主要以碳氢化合物和 CO₂ 两种形态排放。以碳氢化合物形态排放的 C-14，是造成 C-14 全球影响的主要因素。要计算它的全球效应是一个较为复杂的过程，现阶段没有适宜的计算模型和参数，无法得到真正有现实意义的

结果。UNSCEAR（1982）中指出，C-14 气态途径排放的化学形态中，20%以 CO₂ 形态排放，80%以 CH₄ 和 C₂H₆ 形态排放；IAEA421 号报告（2004 年）中提出，欧洲和美国的压水堆核电站以 CO₂ 形态排放的 C-14 仅占 5~25%。因此，本报告中 C-14 对公众造成的辐射影响只考虑以 CO₂ 形态排放造成的剂量影响，其排放量为整个 C-14 气态途径排放量的 25%。

（2）液态流出物排放源项

本工程运行状态下，液态流出物排放源项与《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）规定的液态流出物年排放量控制值的比较如下：

核素类别	本工程排放源项设计值 Bq/a	标准控制值 (按热功率折算) Bq/a	比值
氚	8.42E+12	9.63E+12	87.44%
碳-14	4.92E+09	1.93E+10	25.49%
其余核素	3.06E+09	6.42E+09	47.66%

各类核素的排放量均满足 GB 6249-2011 规定的年排放量控制值要求。

6.2.2 照射途径

6.2.2.1 气态途径

本工程运行状态下，气载流出物排放到环境后对公众的照射途径可归纳为：空气浸没外照射、地面沉积外照射、吸入空气内照射和食入农牧产品内照射。

6.2.2.2 液态途径

本工程运行状态下，液态放射性流出物与循环冷却水混合后排入北部湾，在其稀释和扩散的过程中，对公众的照射途径可归纳为：食入海产品内照射，岸边沉积外照射，在海域中游泳、划船和从事水上作业时受到的外照射。

本工程为滨海厂址，海水不作为农业灌溉和人畜饮用水，因此对饮用水和灌溉的照射途径不予考虑。

6.2.2.3 其他途径

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

6.2.3 计算模式与评价模式

（1）气态途径

本工程气载流出物在大气中迁移和扩散及其对公众的辐射剂量的计算采用的是核环境影响评价程序包的正常气态流出物评价模块。该程序的正常气态流出物评价模块已于 2007 年通过国家环保总局的验收，可以用来计算核设施运行状态下排放的气载流出物对

环境的影响。

该程序可以进行大气弥散计算以及剂量估算。在大气弥散计算中考虑了风摆效应、静风的分配、大气稳定度、混合层高度、建筑物尾流以及不同地形特征的修正；同时还根据排放口的特征对排放源类型进行了分类考虑，包括高架排放、地面排放、混合排放以及面源排放；该程序可以计算出评价区内各子区的大气弥散因子和核素浓度。在剂量估算中，该程序可以进行多源排放的剂量估算，对放射性核素衰变及地表沉积、清除和转移进行了考虑，并根据食谱、生活习性以及剂量转换因子的不同对各年龄组进行分别考虑，计算了空气浸没外照射、地面沉积外照射、吸入空气内照射和农产品与动物产品食入内照射四种途径的辐射剂量。

在使用核环境影响程序包计算本工程气载流出物在大气中迁移和弥散时，使用了 30m 高度风向、风速、稳定度、降水四维联合频率，结合核电厂已完成的大气扩散实验研究推荐的厂址扩散参数。在计算运行状态下气载流出物对公众的辐射剂量中，所使用的参数如下：剂量估算中所使用的惰性气体空气浸没外照射剂量转换因子取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），其余核素的空气浸没外照射剂量转换因子和地表沉积外照射剂量转换因子（包括空气中和水中）取自美国联邦导则 12 号报告（1993）《空气、水和土壤中核素导致的外照射》，食入和吸入内照射剂量转换因子分别取自 GB18871-2002 中的表 B6、表 B7 和表 B9；各核素的转移系数和浓集因子取自 IAEA 安全丛书 19 号报告；居民食谱和生活习性数据取自本报告第 2.2、2.3 节，人口分布数据取自本报告第 2.2 节。

（2）液态途径

在计算运行状态下液态流出物对公众的辐射剂量中，所使用的参数如下：食入有效剂量转换因子采用 GB 18871-2002 中的数据；地表沉积和水中浸没剂量转化因子取自美国联邦导则 12 号报告（1993）；核素的 Kd 系数采用 IAEA 安全丛书 19 号报告的数据，其中 Mn、Co、Sr、Cs、Ag、Fe 的 Kd 系数取自中国辐射防护研究院 2019 年编制完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址接纳海域泥沙对放射性核素吸附特性及累积效应研究总结报告》。

6.2.4 大气弥散和水体弥散

（1）大气弥散

厂址地处琼西中部沿海，面朝北部湾，大气弥散条件较好。厂址半径 80km 范围内各子区年平均大气弥散因子和相对干沉积因子的计算结果见表 6.2-1 和表 6.2-2，相对湿沉积因子的计算结果见表 6.2-3。

由表 6.2-1 可知，厂址半径 80km 范围内 Cs-137 的年平均大气弥散因子在 $7.07\text{E-}11 \text{ s/m}^3 \sim 9.91\text{E-}07 \text{ s/m}^3$ 之间，I-131 的年平均大气弥散因子在 $6.73\text{E-}11 \text{ s/m}^3 \sim 9.91\text{E-}07 \text{ s/m}^3$ 之间，Kr-85 的年平均大气弥散因子在 $7.48\text{E-}11 \text{ s/m}^3 \sim 9.91\text{E-}07 \text{ s/m}^3$ 之间，最大年平均大气弥散因子均出现在厂址 WSW 方位 0~1km 处。

由表 6.2-2 可知，厂址半径 80km 范围内 Cs-137 的年平均相对干沉积因子在 $1.06\text{E-}13 \text{ m}^{-2} \sim 1.49\text{E-}09 \text{ m}^{-2}$ 之间，I-131 年平均相对干沉积因子在 $6.73\text{E-}13 \text{ m}^{-2} \sim 9.91\text{E-}09 \text{ m}^{-2}$ 之间，最大年平均干沉积因子均出现在厂址 WSW 方位 0~1km 处。

由表 6.2-3 可知，厂址半径 80km 范围内 Cs-137 和 I-131 的年平均相对湿沉积因子在 $8.67\text{E-}14 \text{ m}^{-2} \sim 1.10\text{E-}10 \text{ m}^{-2}$ 之间，最大年平均相对湿沉积因子均出现在厂址 SSE 方位 0~1km 处。

（2）水体弥散

中国水利水电科学研究院于 2019 年 5 月完成了《海南昌江核电厂 3、4 号机组液态流出物排放补充数值模拟报告》，本工程循环冷却水与 3、4 号机组循环冷却水排放管线共线排放，1、2 号两台机组共用另一条暗涵排放。根据研究成果报告，选取最不利潮型下距离厂址不同距离海域的液态流出物平均相对浓度作为稀释因子。

6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度

气载流出物中的放射性核素经大气弥散作用后，在厂址半径 80km 范围内各子区空气中的年均放射性活度浓度分布情况见表 6.2-4。由表 6.2-4 可知，代表性放射性核素 Cs-137、I-131 和 Kr-85 年均放射性活度浓度的最大值均出现在厂址 WSW 方位 0~1km 处，分别为 $1.37\text{E-}07 \text{ Bq/m}^3$ 、 $3.65\text{E-}06 \text{ Bq/m}^3$ 和 $6.54\text{E-}03 \text{ Bq/m}^3$ 。

本工程建成后与海南昌江核电厂 1、2 号机组一起运行，三台机组运行状态下，厂址半径 80km 范围内各子区空气中的年均放射性活度浓度分布情况见表 6.2-5。由表 6.2-5 可知，代表性放射性核素 Cs-137、I-131 和 Kr-85 年均放射性活度浓度的最大值均出现在厂址 ESE 方位 0~1km 处，分别为 $5.11\text{E-}07 \text{ Bq/m}^3$ 、 $1.22\text{E-}05 \text{ Bq/m}^3$ 、 $3.84\text{E-}02 \text{ Bq/m}^3$ 。

本工程运行状态下，液态流出物将直接排往海南 3、4 号废液处理系统处理后与 3、4 号机组采用间歇排放方式共同排放，并与循环冷却水混合后排入受纳海域。本工程与海南昌江核电厂 3、4 号机组液态流出物共用一条暗涵排放，1、2 号两台机组共用另一条暗涵排放，两条排放暗涵排放口相距约 1.6km，即使在不考虑海水稀释作用的情况下，按照两条循环冷却水排放暗涵中的核素加权平均后与本底值叠加后也满足 GB3097-1997 中的相应要求。

6.2.6 公众的最大个人剂量

（1）气态途径

本工程运行状态下，气态途径释放的放射性物质对各年龄组（成人、青少年、儿童、婴儿）公众造成的最大个人有效剂量分别为 $8.12\text{E-}09\text{ Sv/a}$ 、 $9.15\text{E-}09\text{ Sv/a}$ 、 $6.27\text{E-}09\text{ Sv/a}$ 、 $5.48\text{E-}09\text{ Sv/a}$ 。

（2）液态途径

本工程运行状态下，液态途径释放的放射性物质对各年龄组（成人、青少年、儿童、婴儿）公众造成的最大个人有效剂量分别为 $6.57\text{E-}08\text{ Sv/a}$ 、 $7.42\text{E-}08\text{ Sv/a}$ 、 $6.13\text{E-}08\text{ Sv/a}$ 、 $4.72\text{E-}08\text{ Sv/a}$ 。

（3）气液态综合

本工程运行状态下，气液态途径释放的放射性物质对各年龄组（成人、青少年、儿童、婴儿）公众造成的最大个人有效剂量分别为 $7.39\text{E-}08\text{ Sv/a}$ 、 $8.34\text{E-}08\text{ Sv/a}$ 、 $6.76\text{E-}08\text{ Sv/a}$ 、 $5.27\text{E-}08\text{ Sv/a}$ 。各年龄组中青少年组的剂量最大，为 $8.34\text{E-}08\text{ Sv/a}$ ，约占个人剂量约束值（ 0.01mSv/a ）的0.83%，其中气态途径剂量为 $9.15\text{E-}09\text{ Sv/a}$ ，液态途径剂量为 $7.42\text{E-}08\text{ Sv/a}$ 。

（3）三台机组

本工程建成后与海南昌江核电厂1、2号三台机组共同运行状态下，气液态途径综合释放的放射性物质对各年龄组（成人、青少年、儿童、婴儿）公众造成的最大个人有效剂量分别为 $1.75\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $1.68\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $1.46\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $1.29\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 。各年龄组中成人组的剂量最大，为 $1.75\text{E-}06\text{ Sv/a}$ ，约占个人剂量约束值（ 0.07mSv/a ，其中小堆剂量约束值为 0.01mSv/a ，1、2号机组剂量约束值为 0.06mSv/a ）的2.5%，其中气态途径剂量为 $5.94\text{E-}07\text{ Sv/a}$ ，液态途径剂量为 $1.15\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 。

6.2.7 非人类生物的辐射剂量

本节主要估算海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程一台机组正常运行时，由于气、液态放射性流出物的排放，所致周围环境介质中生物的辐射剂量水平，同时还计算了海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程一台机组和海南昌江核电厂1、2号两台机组正常运行时对生物的辐射影响。

6.2.7.1 生物的辐射效应

对水生生物而言，辐射效应主要来自外照射和内照射。其中外照射主要分为水体照射和底泥照射，内照射主要来自于生物体的食入照射。

对陆生生物而言，辐射效应主要来自外照射和内照射。其中外照射主要分为空气照射和地面沉积外照射，内照射主要来自于生物体的食入照射。

6.2.7.2 评价模式

厂址周围环境介质中生物所受的辐射剂量采用 ERICA 程序计算。

6.2.7.3 参考生物的分类

参考生物的定义和选用是建立“非人类物种”辐射剂量评估模型的基础。ERICA 程序根据生物所在的栖息环境选择了不同的代表性生物作为参考生物。

6.2.7.4 参数选取

由生物的剂量率限值（ERICA 推荐所有生物的筛选值为 $10\mu\text{Gy/h}$ ）反推出各核素在环境介质中对不同生物体的浓度限值即为环境介质浓度限值，该参数与核素、介质、生物种类有关，是一般筛选方法的技术基础。

6.2.7.5 水生生物辐射影响的估算

（1）海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程一台机组正常运行时水生生物辐射影响的估算

从影响率的结果来看，海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程一台机组正常运行时，0~80km 海域范围内不同媒介中放射性核素对不同水生生物的影响率均在 10^{-3} 数量级以下；从剂量率的估算来看，0~80km 海域范围内各种水生生物所受的剂量率均小于 $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程一台机组正常运行时，厂址附近 0~80km 海域范围内水生生物是安全的。

（2）海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程一台机组和海南昌江核电厂 1、2 号两台机组正常运行时水生生物辐射影响的估算

从影响率的结果来看，海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程一台机组与海南昌江核电厂 1、2 号机组正常运行时，0~80km 海域范围内不同媒介中放射性核素对不同水生生物的影响率均在 10^{-2} 数量级以下；从剂量率的估算来看，0~80km 海域范围内各种水生生物所受的剂量率均小于 $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程一台机组与海南昌江核电厂 1、2 号机组正常运行时，厂址附近 0~80km 海域范围内水生生物是安全的。

6.2.7.6 陆生生物辐射影响的估算

（1）海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程一台机组正常运行时陆生生物辐射影响的估算

从影响率的结果来看，海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程一台机组正常运行

时，厂址附近陆域范围内不同媒介中放射性核素对不同陆生生物的影响率均在 10^{-4} 数量级以下；从剂量率的估算来看，厂址附近陆域范围内各种陆生生物所受的剂量率均小于 $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程一台机组正常运行时，厂址附近陆域范围内陆生生物是安全的。

(2) 海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程一台机组和海南昌江核电厂 1、2 号两台机组正常运行时陆生生物辐射影响的估算

从影响率的结果来看，海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程一台机组和海南昌江核电厂 1、2 号两台机组正常运行时，厂址附近陆域范围内不同媒介中放射性核素对不同陆生生物的影响率均在 10^{-3} 数量级以下；从剂量率的估算来看，厂址附近陆域范围内各种陆生生物所受的剂量率均小于 $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程一台机组和海南昌江核电厂 1、2 号两台机组正常运行时，厂址附近陆域范围内陆生生物是安全的。

6.2.8 关键人群组、关键核素、关键照射途径

本工程运行状态下采用现实排放源项计算周围的关键人群组、关键核素和关键照射途径。厂址半径 80km 范围内居民所受的集体剂量为 $1.02\text{E-}03$ 人 $\cdot\text{Sv/a}$ 。

厂址半径 80km 范围内成人组、青少年组、儿童组、婴儿组最大个人有效剂量出现在厂址 SSE 方位 1~2km 处，此处居住的是马地村的村民。各年龄组（成人、青少年、儿童、婴儿）的最大个人有效剂量分别为 $5.47\text{E-}08$ Sv/a、 $6.51\text{E-}08$ Sv/a、 $5.32\text{E-}08$ Sv/a、 $3.47\text{E-}08$ Sv/a。在各年龄组中，青少年组的剂量最大，因此关键居民组为马地村的青少年组。

气态途径的主要途径为食入农产品和动物产品造成的内照射途径，约占气态途径总剂量的 84.95%；其次为吸入内照射，约占气态途径总剂量的 9.31%。气态途径的主要核素为 C-14，它所造成的剂量约占气态剂量的 77.07%；其它贡献较大的核素为 H-3，占气态途径总剂量的 16.68%。

液态途径的主要途径为食入海产品造成的内照射途径，约占液态途径总剂量的 98.73%；其次为岸边沉积外照射途径，约占液态途径总剂量的 1.27%。液态途径的主要核素为 C-14，它所造成的剂量约占液态途径总剂量的 92.52%。

关键途径为液态途径的食入海产品造成的内照射途径，所造成的剂量为 $5.94\text{E-}08$ Sv/a，约占气液态总剂量的 91.16%；其次为气态途径的食入农产品和动物产品的内照射途径，占气液态总剂量的 6.52%。各核素中关键核素为 C-14，它所造成的剂量为 $5.95\text{E-}08$ Sv/a，约占气液态总剂量的 91.33%。

本示范工程建成后与海南昌江核电厂 1、2 号三台机组共同运行状态下，最大个人有效剂量出现在厂址 SSE 方位 1~2km 处，此处居住的是马地村的村民。各年龄组中青少年组的剂量最大，为 $2.29\text{E-}07\text{Sv/a}$ ，其中气态途径剂量为 $2.25\text{E-}08\text{Sv/a}$ ，液态途径剂量为 $2.06\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 。因此三台机组运行状态下，关键居民组为马地村的青少年组。关键途径为液态途径的食入海产品造成的内照射途径，其所致的剂量为 $2.02\text{E-}07\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 88.21%；其次为食入农牧产品造成的内照射途径，占气液态总剂量的 8.36%。各核素中关键核素为 C-14，它所致的剂量为 $2.01\text{E-}07\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 87.80%。

6.2.9 辐射影响评价

综合上述计算分析，本工程单独运行、本工程与 1、2 号三台机组共同运行状态下，气载和液态途径排放总量、液态途径排放的放射性核素的浓度以及公众最大个人有效剂量均满足相应国标要求。

本工程单独运行、本工程与 1、2 号三台机组共同运行状态下，厂址附近 0~80km 范围内水生生物和陆生生物所受辐射剂量率均小于 ERICA 推荐的筛选值（ $10\mu\text{Gy/h}$ ）。

6.3 其它环境影响

6.3.1 化学污染物的环境影响

示范工程运行对环境的其它影响主要是化学物质向海域的排放，以及由此造成的海水水质变化对海洋生物的影响。

本工程排放的化学物质主要来自下列工艺过程产生的废水：

- 给水处理和除盐处理；
- 凝结水精处理；
- 循环水处理系统。

6.3.1.1 给水处理和除盐处理

为了满足海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程的运行需要，本工程淡水处理环节—海南昌江核电厂淡水厂投加聚合硫酸铁、聚丙烯酰胺、二氧化氯等药剂。淡水处理过程中所用化学药品的用量均是根据原水水量、悬浮物及浊度等条件按比例投加的，并在处理环节中消耗殆尽。净化剂反应生成物绝大部分存在于淡水厂的生产废水泥浆中。含有悬浮物和净化剂反应生成物的泥浆水经浓缩后进行脱水，形成固体物质不排入水体，污泥脱水后的滤出液排入室外雨水管网，最终排入大海。滤出液中的化学物质以游离氯为主，且浓度小于淡水厂饮用水出水标准，因此不会影响附近海域的海水质量。

示范工程和海南昌江 3、4 号机组共用一座除盐水生产厂房，除盐水生产厂房的原水取自海南昌江 1、2 号机组已建成的淡水厂。除盐水生产系统和淡水处理系统产生的废水

不会影响附近海域的海水质量，其中除盐水生产系统产生的废水对环境的影响分析已在海南昌江 3、4 号机组的环境影响报告书中作详细描述，而淡水处理系统产生的废水对环境的影响分析已在海南昌江 1、2 号机组的环境影响报告书中详细阐述，在此不再赘述相关内容。

6.3.1.2 凝结水精处理

本工程精处理再生处理过程中投加 H_2SO_4 和 $NaOH$ ，用于阳树脂和阴树脂的再生。再生产生的废水排入废水中和池内，系统设有加酸、加碱装置，通过废水泵的搅拌中和作用使 $pH=6\sim 9$ ，然后通过废水泵送到常规岛废液排放系统，并最终排放至虹吸井。再生废水中的主要物质是 $(NH_4)_2SO_4$ 和 Na_2SO_4 。其中对环境产生影响的是 $(NH_4)_2SO_4$ ，排放浓度小于 $5mg/L$ 。氨氮排放满足《污水综合排放标准》中一级标准，允许排入《海水水质标准》（GB3097-1997）中海水二类功能区域。因此，不会影响附近海域的海水质量。

6.3.1.3 循环水处理系统

循环水处理系统对流经循环水系统的海水作连续加氯处理，即在取水设施处采取连续加入浓度达到 $1mg/L$ 的次氯酸钠溶液。这个浓度可以防止海洋生物在整个循环水系统的管道内和排放口繁殖，以避免因其繁殖而导致的整个系统的管道断面缩小、阻力增加和流量的降低。

加入循环冷却水中的游离态氯衰减得很快，主要是与水中的氨、有机物和微生物等还原性物质作用而消耗。化合态余氯为氯氨（氨氮、有机胺、氯化合而成），如一氯胺（ NH_2Cl ）、二氯胺（ $NHCl_2$ ）等。化合态余氯氧化能力低，在海水中比较持久稳定，但它的生物毒性远小于游离态氯。另一主要的因素是残余氯在海区中的稀释与扩散，冷却水排入海域后，随着潮汐和海流的运动，冷却水不断与海区中大量的海水进行混合，在这个过程中，残余氯亦得到稀释，不断扩散到海区中去，并进一步得到消耗。循环水系统中加入的次氯酸钠在冷却水中迅速地消耗，至排放口时，余氯浓度很低。

排入环境后受海洋潮汐的作用以及余氯本身的降解作用，水体中余氯的浓度迅速降低。

余氯在环境水体中衰减很快，在水中的输移、分布主要依靠潮流的挟带，并非累积所致。根据余氯数值模拟计算结果，小堆和 1~4 号机组运行工况下，余氯排放的影响仅限于排水口附近的局部海域，不会对厂址周围海洋生态环境造成不良影响。

6.3.2 其它污染物的环境影响

6.3.2.1 生产废水和生活污水的影响

本工程其它生产废水主要为汽机厂房、主变压器和降压变压器平台等子项的非放射性

含油废水。本项目非放射性含油废水收集至 3、4 号机组拟建的含油废水集水池，通过废油车运输至海南昌江核电厂 1、2 号机组已建的含油废水处理站进行处理。非放射性含油废水经过油水分离设施处理，其水质达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中的一级标准，排入室外雨水管网，最终排至大海；分离出来的污油在污油池内贮存，定期通过污油泵输送至污油车运走。

本工程主厂区和厂前区各子项的生活污水通过相应污水管网汇集至海南昌江核电厂 1、2 号机组已建的生活污水处理站，生活污水经生化处理和深度处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中城市绿化标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级 A 标准后，用于绿化、道路浇洒等，回用剩余水量排入大海。生活污水处理的排放物除总有机物外，不会导致任何有毒化学物质进入受纳水体环境中。

满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级标准的生活污水和满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中一级标准的生产废水均允许排入《海水水质标准》（GB3097-1997）中海水二类功能区域。本工程海水区域为二类功能区域（水温除外），满足排放条件。同时，生活污水处理站处理后的再生水尽可能回用，仅回用剩余部分溢流排放，因此，生产废水和生活污水排放不会对附近海域的海水质量造成明显影响，是可以接受的。

6.3.2.2 噪声的影响

根据 Cadna/A 程序进行噪声的预测计算，示范工程正常运行后，对马地村的噪声贡献值为 5.2dB(A)。根据 2024 年 6 月完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址周围噪声现状调查及评价报告》，监测期间，马地村的昼间和夜间等效连续 A 声级分别为 52.3~53.8dB(A) 和 43~43.3dB(A)。工程对居民点的噪声贡献值远小于噪声本底值，叠加本底后，昼夜间噪声范围分别为 52.3~53.8dB(A) 和 43~43.3dB(A)，本工程运行对居民点噪声的影响可以忽略，且满足声环境质量 1 类标准。

示范工程正常运行后，东厂界所受影响较大，工程的贡献值为 49.2dB(A)；其次是北厂界，工程的贡献值为 48.2 dB(A)；工程对南厂界和西厂界的噪声影响较小，分别为 44.4dB(A)和 24.2dB(A)。因此本项目正常运行的噪声排放满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3 类标准。

综上所述，本工程运行后，对厂址周围声环境质量影响满足标准要求。

6.3.2.3 电磁辐射的影响

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程现有已建220kV开关站，根据HJ 24-2020标准要求，采用类比法和已运行的华能霞浦的220kV开关站电磁辐射强度和分布的实际测量，对本工程建成后电磁环境影响进行预测。

根据《华能霞浦核电项目压水堆一期工程厂址区域电磁辐射本底测量和现状评价报告》（2024年1月）数据可知，运行后的华能霞浦厂址区域的220kV开关站及220kV输电线路工频电磁、工频磁场强度均满足国家相关标准的要求。

华能霞浦核电项目压水堆一期工程开关站及第一跨以及主变压器的所有监测点工频电场强度监测值范围0.9508V/m~2157V/m之间，工频磁场强度监测值在0.0082 μ T~5.955 μ T之间，分别小于《电磁环境控制标准》（GB 8702-2014）中标准限值4kV/m和0.1mT（100 μ T），符合要求。

华能霞浦核电项目压水堆一期工程输电线路所有监测点工频电场强度监测值范围4.82~1841V/m之间，工频磁场强度监测值在0.0102~0.8151 μ T之间，分别小于《电磁环境控制标准》（GB 8702-2014）中标准限值4kV/m和0.1mT（100 μ T），符合要求。

海南昌江核电厂厂址区域现有电磁辐射源有5个主变、3个开关站以及第一跨、5条输电线路第一跨和厂址区域的通讯基站。监测结果见表6.3-1和表6.3-2。

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程开关站及第一跨、主变压器和的所有监测点工频电场强度监测值范围0.06V/m~1517.8V/m之间，工频磁场强度监测值在0.0051 μ T~10.4166 μ T之间，分别小于《电磁环境控制标准》（GB 8702-2014）中标准限值4kV/m和0.1mT（100 μ T），符合要求。

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程输电线路所有监测点工频电场强度监测值范围0.36V/m~1243.0V/m之间，工频磁场强度监测值在0.0142 μ T~2.1240 μ T之间，分别小于《电磁环境控制标准》（GB 8702-2014）中标准限值4kV/m和0.1mT（100 μ T），符合要求。

由表6.3-1和表6.3-2可知，海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程建成投运后220kV开关站及220V输电线路对周围环境的电磁辐射影响能够满足国家相关标准的要求。

6.3.2.4 固体废弃物的影响

本工程运行期产生的固体废物主要为固体生活垃圾、污泥和废弃的离子交换树脂等。固体生活垃圾按生活垃圾处理规定收集暂存并送到指定的垃圾消纳场处理。设置污泥浓缩

池和污泥脱水机等设备，对污泥进行减量化处理后，定期外运处理。除盐水生产过程中废弃的离子交换树脂等，树脂使用寿命与进水水质、运行方式等有关。经除盐水生产工艺用过的离子交换树脂不含有游离液体或有害物质，一般按照工业垃圾固体废物进行处理。

本工程运行期产生的各类危险废物集中分类暂存后，委托有资质的单位对危险废物进行外运处理。

因此，运行期间产生的固体废物不会对附近区域的环境质量造成明显影响，是可以接受的。

6.4 初步退役计划

6.4.1 概述

对核电厂来说，退役是继选址、设计、建造、试运行和运行之后的最后一个阶段。它是一个包括源项调查、去污、厂内设备和系统的拆除、建筑物和结构的拆毁及对产生的废物进行处理、整备、处置等操作的过程。所有这些活动均要考虑操作人员和普通公众的健康和安全要求，也要考虑对环境产生的任何影响。目前越来越多的核电厂退役研究和经验表明，必须在设计、建造和运行阶段就对将来核电厂的退役进行充分考虑。选择合适的退役策略，尽可能在厂址选择、材料选择、系统和设备设计、厂房布局、设备布置等方面考虑退役因素，可以有效减少退役期间工作人员和公众的受照剂量，将退役对环境的影响和废物产生量降至可合理达到的尽量低，尽可能降低将来退役施工的难度和费用。本节主要对示范工程将来退役时的策略选择和阶段划分、退役计划的制定提出了初步设想，阐述了在设计阶段应考虑的有关因素和要求，并在退役费用和管理方面提出了考虑和设想。

6.4.2 退役策略选择

目前国际原子能机构推荐的退役策略分为两种：立即拆除和延迟拆除。

- 1) 立即拆除是将被放射性污染的设备、结构和设施的污染部分移除或者去污至允许设施开放用于无限制使用或者由监管机构进行有限制使用水平的策略。在这种情况下，退役执行活动在运行停止后的短时间内就开始进行。这个策略隐含指出退役项目应该立即完成，包括将设施中的所有放射性材料移除至另一个新的或者已经存在的有资质的设施中进行长期贮存或者处置。
- 2) 延迟拆除是将设施被放射性污染的部分处理或者放置在一定条件下一段足够的时间，直到可以进行后续的去污和/或拆除等操作，从而最终达到允许设施开放用于无限制使用或者由监管机构进行有限制使用的策略。

立即拆除策略要求在核电站停止运行后的短时间内就开始进行退役，在这种情况下，核电站内部分区域的放射性水平较高，要求采用更为先进的技术并对工作人员提供更为严格的保护以降低工作人员所将受到的辐射照射；延迟拆除也许会减少退役所产生的放射性废物的量，并减少对现场人员的辐射照射，但有可能因延迟拆除导致出现系统包容性恶化、档案资料散失、人员流失及长期监督维护需要高额费用支撑等缺陷。

上述两种策略各有利弊，具体选择何种策略需要充分考虑核电站所在国家有关退役的法规政策、放射性废物管理能力、从事退役的工作人员、退役费用估算和筹资方式、其他机组的影响、退役技术发展及其对安全及环境的影响等方面的因素，满足核电站所在国家的放射性废物管理和核能发展战略要求。

示范工程在设计中充分考虑了各退役策略的退役方案的需求，使得对拆除技术和辐射防护水平要求相对较高的立即拆除策略的实现成为可能。如果采取延迟拆除的策略，需要注意在封存期间保证足够的监护措施，确保设施安全。而封存之后的拆除由于放射性在一定程度上衰变，可能会带来拆除技术上的简化。

综合比较各策略并考虑到国际上退役领域的发展趋势以及退役拆除技术的水平，针对示范工程退役推荐选择立即拆除的退役策略。理由如下：

- 示范工程的部分废物处理系统经过整治可在退役中继续使用。同时沿用昌江 1、2 号机组退役时建设的废物处理设施，使退役工作具备处理整备放射性废物的能力，可保证退役过程中产生的气态、液态及固态放射性废物都可得到良好安全的管理。
- 在本核电厂设计中，选择了便于去污的材料，在设备布置中采取了限制系统污染及污染扩散的措施，便于设备拆除及拆除阶段人员进出的措施等，可方便退役工作的开展。
- 核电厂在设计阶段考虑了很多先进的设计理念，采用了各种辐射源项控制技术，可保证退役时工作人员和公众的受照剂量保持在可合理达到的尽量低水平，实现辐射防护最优化的目标。且实行立即拆除策略可最大程度实现工作人员的平稳过渡并避免人才及资料流失等情况的发生。
- 我国已有乏燃料基金支持乏燃料外运及后处理等相关工作；根据国家政策，核电厂退役经费在各核电厂商业运行期内提取，从而保证退役所需资金充足。
- 通过已完成的核设施退役工程，我国积累了大量的核设施退役经验，可保证待示范工程退役时有可利用的技术及设备满足立即拆除的要求。

综合上述分析，在具备废物管理能力，存在便于退役开展的设计考虑，保护工作人员，

国家政策支持及充足的资金保证，退役技术的不断发展等方面可以证明，示范工程退役选择立即拆除的退役策略是合适的。

6.4.3 退役计划的制定

退役最终目标的实现取决于周密和有组织的计划。国家核安全监管部门要求新建核设施要制定退役计划。计划的内容、范围和详细程度应根据设施的复杂性和潜在危害的不同进行调整。核电厂退役计划分三个阶段制定和提交，即：初始计划、中期计划和最终计划。三个阶段计划的内容应逐步深入、完善、细化和优化。其中安全分析和环境影响评价是退役计划安全实施的关键。

6.4.3.1 初始退役计划

初始计划的制定要考虑以下几方面的问题：退役可行性的一般分析；退役涉及到的安全问题的基本考虑；退役实施对环境影响方面的考虑；退役费用及筹资方式；明确退役期间需使用的现有设施、系统和设备。

6.4.3.2 中期退役计划

核电厂运行期间需要对初始退役计划进行定期审核、更新和细化，以制定中期退役计划（若发生重大事故时应立即制定）。需要更新和细化的内容包括：国家有关退役政策和法规的变化；退役技术的发展；退役实施时可能发生的异常事件；对影响退役计划的系统和结构的重大修改；退役费用的估算及落实情况。

6.4.3.3 最终退役计划

核电厂安全关闭前要提交详细的最终退役计划，作为关闭申请和退役申请的支持性文件，其内容深度应符合国家核安全监管部门的相关规定。

6.4.4 退役方案简述

6.4.4.1 退役范围

示范工程采用一体化压水堆 ACP100 技术方案，规划建设一台自主化十万千瓦级 ACP100 核电机组，电站设计寿命 60 年。

本项目具体退役范围包括本工程新建的放射性设施。

6.4.4.2 退役方案

示范工程的退役，考虑需要经历停运过渡——厂房内放射性物项拆除——建（构）筑物去污、拆毁——场址清理等几个主要步骤，下面对退役方案简要介绍如下：

在停运过渡阶段进行必要的系统倒空、系统串洗等工作，有效降低待拆除物项的放射性水平。

退役拆除阶段，按照退役方案中确定的退役顺序，对存在放射性的厂房内物项进行拆除。拆除时对于放射性水平较高的部件（如反应堆压力容器、堆内构件、直流蒸汽发生器、等）采取远距离遥控或水下解体的拆除方式；对于大型设备（如稳压器、主泵等），可将其移至新建废物处理设施进行解体，尽量选择冷切割工具，当冷切割不能满足切割要求时，辅以热切割方式，并在热切割工位旁设置移动式通风装置，为了减少人员辐照剂量或降低工作人员劳动强度，可选择使用机器人或自动切割设备进行切割拆除等操作；对于轻微污染的设备，经必要的擦拭去污后进行拆除，经检测达到解控标准后暂存，经审管部门认可后解控；对于电缆及其架桥等物项，经表面擦拭去污后，送至新建废物处理设施进行剥离等处理，达到解控标准的可解控。

当厂房内物项全部拆除完毕后，对建（构）筑物墙、地面的放射性进行调查，根据调查结果制定相应的去污方案。最后对整个厂房建（构）筑物进行表面去污，直至解控。

最后，当厂房全部去污完毕后，进行场址清理工作，对场址内污染地面的土壤进行分类收集。根据退役目标对建（构）筑物进行拆毁，并对污染土壤进行清理直至达到退役目标值。

6.4.4.2 退役方案

示范工程的退役，考虑需要经历停运过渡——厂房内放射性物项拆除——建（构）筑物去污、拆毁——场址清理等几个主要步骤，下面对退役方案简要介绍如下：

在停运过渡阶段进行必要的系统倒空、系统串洗等工作，有效降低待拆除物项的放射性水平。

退役拆除阶段，按照退役方案中确定的退役顺序，对存在放射性的厂房内物项进行拆除。拆除时对于放射性水平较高的部件（如反应堆压力容器、堆内构件、直流蒸汽发生器、等）采取远距离遥控或水下解体的拆除方式；对于大型设备（如稳压器、主泵等），可将其移至新建废物处理设施进行解体，尽量选择冷切割工具，当冷切割不能满足切割要求时，辅以热切割方式，并在热切割工位旁设置移动式通风装置，为了减少人员辐照剂量或降低工作人员劳动强度，可选择使用机器人或自动切割设备进行切割拆除等操作；对于轻微污染的设备，经必要的擦拭去污后进行拆除，经检测达到解控标准后暂存，经审管部门认可后解控；对于电缆及其架桥等物项，经表面擦拭去污后，送至新建废物处理设施进行剥离等处理，达到解控标准的可解控。

当厂房内物项全部拆除完毕后，对建（构）筑物墙、地面的放射性进行调查，根据调

查结果制定相应的去污方案。最后对整个厂房建（构）筑物进行表面去污，直至解控。

最后，当厂房全部去污完毕后，进行场址清理工作，对场址内污染地面的土壤进行分类收集。根据退役目标对建（构）筑物进行拆毁，并对污染土壤进行清理直至达到退役目标值。

6.4.4.3 环境本底辐射水平调查

示范工程建造前，已建有首堆昌江 1、2 号机组，本厂址的环境本底辐射水平调查需要在首堆建造前完成。而根据国家相关标准的要求，昌江 1、2 号机组首次装料前，必须完成环境本底辐射水平调查，至少应获得最近两年的调查数据。本底调查包括环境 γ 辐射、陆地环境介质监测和海洋介质监测。环境 γ 辐射的监测范围为以反应堆厂房为中心，半径 50km 范围内，其余陆地环境介质的监测项目一般取 20~30km，海洋介质的监测范围为排放口为中心，半径 10km 范围内。主要监测内容为：

- （1）厂址周围存在的辐射或放射源应用情况；
- （2）两年本底调查的环境放射性监测项目，主要包括以下几类：
 - 环境 γ 辐射： γ 辐射剂量率瞬时定点测量； γ 辐射累积剂量测量。
 - 陆地介质：大气及沉降物、土壤和底泥以及陆生生物
 - 海洋介质：海水、海洋沉积物、海洋生物
- （3） ^{14}C 本底调查的项目，主要包括以下几类：
 - 陆域介质：水、生物
 - 海洋介质：海水、生物

6.4.4.4 退役废物管理

在示范工程退役过程中，应根据《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011）、《放射性废物分类》（公告 2017 年第 65 号）等废物管理相关标准的规定对各类废物进行分类，并进行相关的处理处置工作。

（1）放射性固体废物

对退役过程中产生的高放废物进行包装和暂存采取深地质处置方式处置；中放废物送废物处理设施进行检测、处理、整备，最终送中等深度处置场处置，处置深度通常为地下几十到几百米；低放废物可以在具有工程屏障的近地表处置设施中处置；极低放废物根据其材质及放射性水平分别进行收集和包装，送至新建废物处理设施进行处理，经检测进行解控或送至极低放填埋场填埋。

（2）放射性液体废物

系统倒空、系统串洗过程中产生的放射性废液，用原废液处理系统进行处理。

设备离线去污产生的废液，通过去污设施内配建的废液处理系统进行处理。

退役过程中工作人员产生的洗澡水等放射性水平较低的废液，利用原有系统进行收集、处理及最终排放；当原有系统拆除后，利用新建的废物处理设施的相关系统进行收集、处理和排放。

（3）放射性气载废物

退役过程中，放射性气载废物产生于使用热切割工具的拆除过程和对厂房建（构）筑物进行表面剥离去污的过程以及厂房的维护排风过程。

在进行热切割时，在切割工位旁设置移动式通风装置，对产生的放射性粉尘及气溶胶进行过滤，过滤后的气体进入厂房排风系统；表面剥离机与高效工业吸尘器配套使用，过滤后的气体也将进入厂房排风系统。气流进入厂房排风系统后通过厂房的排风装置过滤后排放。

退役过程中厂房的通排风利用厂房原有的通风系统。

6.4.5 便于退役的考虑

目前越来越多的核电厂退役研究和经验表明，必须在设计、建造和运行阶段就对将来核电厂的退役进行充分考虑。尽可能在场址选择、总图布置、材料选择、系统设备布置等方面考虑利于退役的因素，以有效减少退役期间工作人员和公众的受照剂量，从退役废物产生源头进行控制，贯彻废物最小化原则，有效减少退役施工难度和费用。

示范工程在最初设计时考虑了将来退役的便利性，并遵循以下原则：

- 1) 任何为方便退役所采取的设计措施，都应符合现有国家法规和标准的要求。
- 2) 方便退役的措施应遵循放射性废物最小化的原则。
- 3) 对材料选择、系统和设备、厂房布局和设备布置的设计，应方便去污、拆除，方便退役操作、设备的转移。
- 4) 为核电厂退役而考虑的措施，应避免与设施安全可靠运行及维护等主要目的相互抵触。
- 5) 必要时进行利益代价分析，确保方便退役措施的合理性。

6.4.6 运行阶段的设计、运行资料的收集和管理

需要提供的基本文件包括：核电厂设计、竣工文件，所要求的运行文件以及一些其他的相关文件。完整的文件资料可以确保退役工作效率并减少退役期间出现的意外情况。

在核电厂运行的几十年期间，因核电厂的变更和改进，这些文件与核电厂的真实状况

的吻合性有所降低。为避免在退役和拆卸作业中出现麻烦，应该避免这种情况。相对应的措施包括：

- 从设计和竣工文件中转化的机组基准文件应该随时更新；
- 应确保在核电厂寿期内这些文件的可用性。必须采取措施防止数据丢失（例如，保存副本）；
- 应记录可能对未来有影响的非常规事件（如，有关污染物溢出或泄漏的信息）。

需要采取措施来确保可以储存和查阅的退役所需的文件，主要包括：

- 与运行相关的图纸和图表，包括：机械和电气图、电缆敷设图、管道等轴图、布置图、贯穿件图、部件详细资料、钢筋图、组装专用工具图和所有设备以及反应堆装置的图纸；
- 对于选择性操作，允许使用和修改设备和建（构）筑物的其他文件（例如吊装机械的设计，专用工具，地板，承载结构，制造和设备规格书，土工技术试验结果）；
- 照片和录像（有字幕、日期和注释），有利于说明设备的组装和安装，土方工程和埋入地下的部分结构的施工，部件吊装方法，道路规划，同时关注那些将承受高放射性和污染的部件；
- 数量清单：混凝土量、钢筋吨数、电缆长度等验收文件，施工中使用的材料样本，这些样本可用来检查杂质，受辐照材料的强度数据、耐腐蚀能力等，同时也能够用来区分初始放射性和由于反应堆运行导致增加的放射性，特别是对于施工中采用的有初始人工放射性的材料；
- 保留反应堆施工材料（钢材，混凝土等）的样本和标本；
- 所有运行事件的记录及其评价，以及对原设备所做的所有改造的记录；
- 所有能够追踪放射性清洁和放射性数量的文件（方位图、涂片检测、各种取样等等）。
- 厂址放射性生态参考调查（陆地和海洋环境）也有益于形成最终退役报告。

6.4.7 退役费用的考虑

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》第 27 条的规定，核设施的退役费用和放射性废物处置费用应当预提，并列入投资概算或生产成本。根据 NB/T20048-2011《核电厂建设项目经济评价方法》，本工程退役基金按固定资产原值的 10% 计提，从投产后第一年开始平均提取。

6.4.8 退役管理设想

运行阶段应及时完善更新退役计划，特别是有重大变化时应有相关部门负责完成此项工作。

安全关闭期是从设施运行到退役主要拆除活动实施之间的一个重要阶段，该阶段从运行阶段末期启动。

这一阶段的任务主要是尽量完成需要类似运行期操作的系统作业，如全系统在线去污（如果需要），还应将运行期间堆放的废物收集做妥善处理整备，另外应对设施系统的放射性盘存量进行调查。

退役期主要活动是将设施内所有放射性物项进行拆卸、解体、包装、处理以使所有设施内不再存有不符退役终态要求的放射性物项，并且最终进行建（构）筑物拆毁和厂址清理，使厂址最终无限制开放。

6.4.9 结论

通过上述分析，得出如下结论：

- 1) 核电厂退役策略选择受多种因素影响，在本工程建造可行的前提下，从目前的国家政策、费用来源、废物出路以及退役技术方面来看，建议将来采用立即拆除策略。
- 2) 示范工程在设计阶段已考虑方便退役工作的多项措施，将来运行阶段也应继续对退役工作进行充分考虑。
- 3) 在示范工程安全关闭期，建议指定有关责任部门负责考虑、实施退役的前期工作。

核电厂退役将涉及国家政策、法规、经济和科学技术条件等问题。在示范工程运行寿期末采用的退役策略和退役方案，将根据技术经济的发展情况，在专门的退役阶段的可行性研究和环境影响评价工作中再行确定并分阶段实施。

表 6.2-1（1/3） 厂址半径 80km 评价区内各子区年均大气弥散因子（Cs-137）

单位：s/m³

距离 km 方位	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
N	3.77E-07	1.87E-07	1.47E-07	9.73E-08	4.79E-08	1.79E-08	8.07E-09	4.23E-09	2.63E-09	1.94E-09	1.58E-09	1.32E-09
NNE	4.03E-07	1.45E-07	9.09E-08	5.38E-08	2.64E-08	1.02E-08	4.70E-09	2.57E-09	1.65E-09	1.23E-09	9.93E-10	8.23E-10
NE	3.39E-07	9.80E-08	5.41E-08	3.03E-08	1.48E-08	5.76E-09	2.70E-09	1.51E-09	9.91E-10	7.41E-10	5.95E-10	4.91E-10
ENE	5.19E-08	1.24E-08	6.62E-09	4.12E-09	2.14E-09	8.32E-10	3.86E-10	2.20E-10	1.45E-10	1.08E-10	8.60E-11	7.07E-11
E	9.72E-08	1.98E-08	8.44E-09	4.68E-09	2.44E-09	9.99E-10	4.93E-10	2.94E-10	2.03E-10	1.56E-10	1.27E-10	1.07E-10
ESE	2.47E-07	5.31E-08	2.21E-08	1.10E-08	5.44E-09	2.28E-09	1.16E-09	7.01E-10	4.86E-10	3.73E-10	3.02E-10	2.51E-10
SE	2.38E-07	4.63E-08	1.99E-08	1.03E-08	5.21E-09	2.19E-09	1.11E-09	6.79E-10	4.73E-10	3.62E-10	2.92E-10	2.42E-10
SSE	4.42E-07	7.75E-08	2.85E-08	1.29E-08	6.43E-09	2.88E-09	1.55E-09	1.01E-09	7.29E-10	5.68E-10	4.62E-10	3.86E-10
S	2.95E-07	5.13E-08	1.82E-08	8.21E-09	4.16E-09	1.87E-09	1.01E-09	6.61E-10	4.81E-10	3.76E-10	3.06E-10	2.56E-10
SSW	6.00E-07	1.26E-07	4.72E-08	1.88E-08	9.07E-09	4.04E-09	2.16E-09	1.40E-09	1.01E-09	7.81E-10	6.33E-10	5.27E-10
SW	6.68E-07	1.69E-07	7.49E-08	3.25E-08	1.55E-08	6.51E-09	3.31E-09	2.02E-09	1.41E-09	1.08E-09	8.76E-10	7.29E-10
WSW	9.91E-07	2.68E-07	1.23E-07	5.49E-08	2.58E-08	1.06E-08	5.37E-09	3.25E-09	2.25E-09	1.72E-09	1.40E-09	1.16E-09
W	7.77E-07	2.78E-07	1.63E-07	8.91E-08	4.18E-08	1.62E-08	7.71E-09	4.33E-09	2.84E-09	2.13E-09	1.73E-09	1.44E-09
WNW	4.09E-07	2.54E-07	2.24E-07	1.55E-07	7.61E-08	2.82E-08	1.25E-08	6.44E-09	3.92E-09	2.87E-09	2.34E-09	1.95E-09
NW	1.68E-07	1.46E-07	1.47E-07	1.07E-07	5.28E-08	1.95E-08	8.60E-09	4.36E-09	2.63E-09	1.93E-09	1.58E-09	1.33E-09
NNW	1.34E-07	1.08E-07	1.08E-07	7.98E-08	3.97E-08	1.47E-08	6.46E-09	3.28E-09	1.98E-09	1.45E-09	1.19E-09	1.00E-09

表 6.2-1（2/3） 厂址半径 80km 评价区内各子区年均大气弥散因子（I-131）

单位：s/m³

方位 \ 距离 km	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
N	3.76E-07	1.87E-07	1.47E-07	9.71E-08	4.77E-08	1.78E-08	7.95E-09	4.15E-09	2.57E-09	1.89E-09	1.53E-09	1.27E-09
NNE	4.03E-07	1.44E-07	9.08E-08	5.37E-08	2.62E-08	1.01E-08	4.63E-09	2.52E-09	1.61E-09	1.20E-09	9.62E-10	7.94E-10
NE	3.39E-07	9.80E-08	5.41E-08	3.02E-08	1.47E-08	5.71E-09	2.67E-09	1.49E-09	9.70E-10	7.22E-10	5.78E-10	4.75E-10
ENE	5.19E-08	1.24E-08	6.60E-09	4.10E-09	2.12E-09	8.18E-10	3.77E-10	2.13E-10	1.40E-10	1.04E-10	8.22E-11	6.73E-11
E	9.72E-08	1.98E-08	8.42E-09	4.66E-09	2.43E-09	9.88E-10	4.84E-10	2.88E-10	1.98E-10	1.51E-10	1.23E-10	1.03E-10
ESE	2.47E-07	5.31E-08	2.21E-08	1.09E-08	5.42E-09	2.27E-09	1.14E-09	6.90E-10	4.76E-10	3.64E-10	2.94E-10	2.43E-10
SE	2.38E-07	4.63E-08	1.98E-08	1.03E-08	5.18E-09	2.17E-09	1.09E-09	6.65E-10	4.62E-10	3.52E-10	2.83E-10	2.34E-10
SSE	4.42E-07	7.75E-08	2.85E-08	1.29E-08	6.40E-09	2.86E-09	1.54E-09	9.93E-10	7.17E-10	5.56E-10	4.51E-10	3.75E-10
S	2.95E-07	5.12E-08	1.82E-08	8.19E-09	4.14E-09	1.85E-09	9.99E-10	6.50E-10	4.72E-10	3.67E-10	2.99E-10	2.49E-10
SSW	6.00E-07	1.26E-07	4.71E-08	1.88E-08	9.04E-09	4.01E-09	2.14E-09	1.38E-09	9.90E-10	7.66E-10	6.20E-10	5.14E-10
SW	6.68E-07	1.69E-07	7.48E-08	3.24E-08	1.54E-08	6.46E-09	3.27E-09	1.99E-09	1.39E-09	1.06E-09	8.57E-10	7.11E-10
WSW	9.91E-07	2.68E-07	1.23E-07	5.48E-08	2.57E-08	1.06E-08	5.32E-09	3.21E-09	2.22E-09	1.69E-09	1.37E-09	1.14E-09
W	7.77E-07	2.78E-07	1.62E-07	8.89E-08	4.16E-08	1.61E-08	7.62E-09	4.27E-09	2.79E-09	2.09E-09	1.69E-09	1.40E-09
WNW	4.08E-07	2.54E-07	2.24E-07	1.55E-07	7.58E-08	2.80E-08	1.23E-08	6.30E-09	3.82E-09	2.78E-09	2.26E-09	1.88E-09
NW	1.68E-07	1.46E-07	1.46E-07	1.07E-07	5.26E-08	1.93E-08	8.48E-09	4.27E-09	2.56E-09	1.87E-09	1.52E-09	1.28E-09
NNW	1.34E-07	1.08E-07	1.08E-07	7.96E-08	3.95E-08	1.45E-08	6.36E-09	3.21E-09	1.92E-09	1.40E-09	1.14E-09	9.57E-10

表 6.2-1 (3/3) 厂址半径 80km 评价区内各子区年均大气弥散因子 (Kr-85)

单位：s/m³

距离 km 方位	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
N	3.77E-07	1.87E-07	1.47E-07	9.76E-08	4.82E-08	1.82E-08	8.23E-09	4.36E-09	2.72E-09	2.02E-09	1.66E-09	1.39E-09
NNE	4.03E-07	1.45E-07	9.11E-08	5.41E-08	2.66E-08	1.03E-08	4.84E-09	2.68E-09	1.73E-09	1.30E-09	1.06E-09	8.86E-10
NE	3.39E-07	9.82E-08	5.44E-08	3.05E-08	1.50E-08	5.95E-09	2.84E-09	1.62E-09	1.07E-09	8.11E-10	6.60E-10	5.52E-10
ENE	5.19E-08	1.24E-08	6.63E-09	4.14E-09	2.16E-09	8.47E-10	3.97E-10	2.27E-10	1.51E-10	1.13E-10	9.06E-11	7.48E-11
E	9.72E-08	1.98E-08	8.44E-09	4.68E-09	2.45E-09	1.00E-09	4.93E-10	2.95E-10	2.03E-10	1.56E-10	1.28E-10	1.07E-10
ESE	2.47E-07	5.32E-08	2.22E-08	1.10E-08	5.48E-09	2.32E-09	1.18E-09	7.24E-10	5.06E-10	3.91E-10	3.19E-10	2.67E-10
SE	2.38E-07	4.64E-08	1.99E-08	1.03E-08	5.25E-09	2.22E-09	1.13E-09	6.96E-10	4.87E-10	3.74E-10	3.03E-10	2.53E-10
SSE	4.42E-07	7.76E-08	2.86E-08	1.29E-08	6.45E-09	2.90E-09	1.57E-09	1.02E-09	7.44E-10	5.81E-10	4.75E-10	3.98E-10
S	2.95E-07	5.13E-08	1.82E-08	8.21E-09	4.16E-09	1.87E-09	1.01E-09	6.64E-10	4.84E-10	3.78E-10	3.08E-10	2.58E-10
SSW	6.00E-07	1.26E-07	4.72E-08	1.89E-08	9.13E-09	4.09E-09	2.20E-09	1.43E-09	1.04E-09	8.07E-10	6.58E-10	5.50E-10
SW	6.68E-07	1.69E-07	7.50E-08	3.26E-08	1.56E-08	6.60E-09	3.38E-09	2.08E-09	1.46E-09	1.12E-09	9.16E-10	7.66E-10
WSW	9.91E-07	2.68E-07	1.23E-07	5.51E-08	2.60E-08	1.08E-08	5.50E-09	3.36E-09	2.34E-09	1.80E-09	1.47E-09	1.23E-09
W	7.78E-07	2.78E-07	1.63E-07	8.93E-08	4.20E-08	1.64E-08	7.83E-09	4.43E-09	2.92E-09	2.20E-09	1.80E-09	1.51E-09
WNW	4.09E-07	2.54E-07	2.24E-07	1.56E-07	7.65E-08	2.85E-08	1.27E-08	6.59E-09	4.04E-09	2.97E-09	2.44E-09	2.05E-09
NW	1.68E-07	1.46E-07	1.47E-07	1.07E-07	5.29E-08	1.96E-08	8.65E-09	4.40E-09	2.65E-09	1.95E-09	1.60E-09	1.35E-09
NNW	1.34E-07	1.08E-07	1.09E-07	7.99E-08	3.98E-08	1.47E-08	6.51E-09	3.32E-09	2.01E-09	1.48E-09	1.21E-09	1.02E-09

表 6.2-2 (1/2) 厂址半径 80km 评价区内各子区相对干沉积因子 (Cs-137)

单位：m²

方位 \ 距离 km	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
N	5.65E-10	2.81E-10	2.20E-10	1.46E-10	7.18E-11	2.69E-11	1.21E-11	6.35E-12	3.95E-12	2.91E-12	2.37E-12	1.98E-12
NNE	6.05E-10	2.17E-10	1.36E-10	8.07E-11	3.96E-11	1.52E-11	7.05E-12	3.86E-12	2.48E-12	1.85E-12	1.49E-12	1.23E-12
NE	5.08E-10	1.47E-10	8.12E-11	4.54E-11	2.22E-11	8.64E-12	4.06E-12	2.27E-12	1.49E-12	1.11E-12	8.93E-13	7.37E-13
ENE	7.78E-11	1.86E-11	9.93E-12	6.19E-12	3.21E-12	1.25E-12	5.79E-13	3.29E-13	2.18E-13	1.62E-13	1.29E-13	1.06E-13
E	1.46E-10	2.98E-11	1.27E-11	7.01E-12	3.67E-12	1.50E-12	7.39E-13	4.42E-13	3.04E-13	2.34E-13	1.91E-13	1.60E-13
ESE	3.70E-10	7.97E-11	3.32E-11	1.65E-11	8.16E-12	3.43E-12	1.73E-12	1.05E-12	7.29E-13	5.59E-13	4.53E-13	3.77E-13
SE	3.58E-10	6.95E-11	2.98E-11	1.55E-11	7.82E-12	3.29E-12	1.66E-12	1.02E-12	7.10E-13	5.43E-13	4.38E-13	3.63E-13
SSE	6.63E-10	1.16E-10	4.28E-11	1.94E-11	9.64E-12	4.32E-12	2.33E-12	1.51E-12	1.09E-12	8.52E-13	6.94E-13	5.79E-13
S	4.42E-10	7.69E-11	2.74E-11	1.23E-11	6.24E-12	2.80E-12	1.52E-12	9.91E-13	7.21E-13	5.64E-13	4.59E-13	3.84E-13
SSW	9.00E-10	1.89E-10	7.07E-11	2.82E-11	1.36E-11	6.06E-12	3.25E-12	2.09E-12	1.51E-12	1.17E-12	9.50E-13	7.91E-13
SW	1.00E-09	2.53E-10	1.12E-10	4.88E-11	2.32E-11	9.76E-12	4.96E-12	3.03E-12	2.11E-12	1.62E-12	1.31E-12	1.09E-12
WSW	1.49E-09	4.02E-10	1.84E-10	8.23E-11	3.86E-11	1.60E-11	8.06E-12	4.88E-12	3.38E-12	2.59E-12	2.10E-12	1.74E-12
W	1.17E-09	4.17E-10	2.44E-10	1.34E-10	6.27E-11	2.43E-11	1.16E-11	6.50E-12	4.26E-12	3.20E-12	2.60E-12	2.17E-12
WNW	6.13E-10	3.81E-10	3.36E-10	2.33E-10	1.14E-10	4.23E-11	1.88E-11	9.65E-12	5.88E-12	4.31E-12	3.51E-12	2.93E-12
NW	2.52E-10	2.19E-10	2.20E-10	1.61E-10	7.92E-11	2.92E-11	1.29E-11	6.54E-12	3.94E-12	2.89E-12	2.37E-12	2.00E-12
NNW	2.01E-10	1.62E-10	1.63E-10	1.20E-10	5.95E-11	2.20E-11	9.69E-12	4.92E-12	2.97E-12	2.18E-12	1.78E-12	1.50E-12

表 6.2-2（2/2） 厂址半径 80km 评价区内各子区相对干沉积因子（I-131）

单位：m⁻²

距离 km 方位	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
N	3.76E-09	1.87E-09	1.47E-09	9.71E-10	4.77E-10	1.78E-10	7.95E-11	4.15E-11	2.57E-11	1.89E-11	1.53E-11	1.27E-11
NNE	4.03E-09	1.44E-09	9.08E-10	5.37E-10	2.62E-10	1.01E-10	4.63E-11	2.52E-11	1.61E-11	1.20E-11	9.62E-12	7.94E-12
NE	3.39E-09	9.80E-10	5.41E-10	3.02E-10	1.47E-10	5.71E-11	2.67E-11	1.49E-11	9.70E-12	7.22E-12	5.78E-12	4.75E-12
ENE	5.19E-10	1.24E-10	6.60E-11	4.10E-11	2.12E-11	8.18E-12	3.77E-12	2.13E-12	1.40E-12	1.04E-12	8.22E-13	6.73E-13
E	9.72E-10	1.98E-10	8.42E-11	4.66E-11	2.43E-11	9.88E-12	4.84E-12	2.88E-12	1.98E-12	1.51E-12	1.23E-12	1.03E-12
ESE	2.47E-09	5.31E-10	2.21E-10	1.09E-10	5.42E-11	2.27E-11	1.14E-11	6.90E-12	4.76E-12	3.64E-12	2.94E-12	2.43E-12
SE	2.38E-09	4.63E-10	1.98E-10	1.03E-10	5.18E-11	2.17E-11	1.09E-11	6.65E-12	4.62E-12	3.52E-12	2.83E-12	2.34E-12
SSE	4.42E-09	7.75E-10	2.85E-10	1.29E-10	6.40E-11	2.86E-11	1.54E-11	9.93E-12	7.17E-12	5.56E-12	4.51E-12	3.75E-12
S	2.95E-09	5.12E-10	1.82E-10	8.19E-11	4.14E-11	1.85E-11	9.99E-12	6.50E-12	4.72E-12	3.67E-12	2.99E-12	2.49E-12
SSW	6.00E-09	1.26E-09	4.71E-10	1.88E-10	9.04E-11	4.01E-11	2.14E-11	1.38E-11	9.90E-12	7.66E-12	6.20E-12	5.14E-12
SW	6.68E-09	1.69E-09	7.48E-10	3.24E-10	1.54E-10	6.46E-11	3.27E-11	1.99E-11	1.39E-11	1.06E-11	8.57E-12	7.11E-12
WSW	9.91E-09	2.68E-09	1.23E-09	5.48E-10	2.57E-10	1.06E-10	5.32E-11	3.21E-11	2.22E-11	1.69E-11	1.37E-11	1.14E-11
W	7.77E-09	2.78E-09	1.62E-09	8.89E-10	4.16E-10	1.61E-10	7.62E-11	4.27E-11	2.79E-11	2.09E-11	1.69E-11	1.40E-11
WNW	4.08E-09	2.54E-09	2.24E-09	1.55E-09	7.58E-10	2.80E-10	1.23E-10	6.30E-11	3.82E-11	2.78E-11	2.26E-11	1.88E-11
NW	1.68E-09	1.46E-09	1.46E-09	1.07E-09	5.26E-10	1.93E-10	8.48E-11	4.27E-11	2.56E-11	1.87E-11	1.52E-11	1.28E-11
NNW	1.34E-09	1.08E-09	1.08E-09	7.96E-10	3.95E-10	1.45E-10	6.36E-11	3.21E-11	1.92E-11	1.40E-11	1.14E-11	9.57E-12

表 6.2-3 (1/2) 厂址半径 80km 评价区内各子区相对湿沉积因子 (Cs-137)

单位：m⁻²

距离 km 方位	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
N	1.51E-11	5.02E-12	3.01E-12	1.88E-12	1.00E-12	5.02E-13	3.01E-13	2.15E-13	1.67E-13	1.37E-13	1.16E-13	1.00E-13
NNE	6.13E-11	2.04E-11	1.23E-11	7.67E-12	4.09E-12	2.04E-12	1.23E-12	8.76E-13	6.81E-13	5.58E-13	4.72E-13	4.09E-13
NE	8.27E-11	2.76E-11	1.65E-11	1.03E-11	5.51E-12	2.76E-12	1.65E-12	1.18E-12	9.19E-13	7.52E-13	6.36E-13	5.51E-13
ENE	4.56E-11	1.52E-11	9.12E-12	5.70E-12	3.04E-12	1.52E-12	9.12E-13	6.52E-13	5.07E-13	4.15E-13	3.51E-13	3.04E-13
E	5.32E-11	1.77E-11	1.06E-11	6.65E-12	3.55E-12	1.77E-12	1.06E-12	7.60E-13	5.91E-13	4.83E-13	4.09E-13	3.55E-13
ESE	6.13E-11	2.04E-11	1.23E-11	7.66E-12	4.09E-12	2.04E-12	1.23E-12	8.76E-13	6.81E-13	5.57E-13	4.72E-13	4.09E-13
SE	1.30E-11	4.34E-12	2.60E-12	1.63E-12	8.67E-13	4.34E-13	2.60E-13	1.86E-13	1.45E-13	1.18E-13	1.00E-13	8.67E-14
SSE	1.10E-10	3.68E-11	2.21E-11	1.38E-11	7.35E-12	3.68E-12	2.21E-12	1.58E-12	1.23E-12	1.00E-12	8.48E-13	7.35E-13
S	2.84E-11	9.46E-12	5.67E-12	3.55E-12	1.89E-12	9.46E-13	5.67E-13	4.05E-13	3.15E-13	2.58E-13	2.18E-13	1.89E-13
SSW	7.70E-11	2.57E-11	1.54E-11	9.63E-12	5.14E-12	2.57E-12	1.54E-12	1.10E-12	8.56E-13	7.00E-13	5.93E-13	5.14E-13
SW	9.56E-11	3.19E-11	1.91E-11	1.19E-11	6.37E-12	3.19E-12	1.91E-12	1.37E-12	1.06E-12	8.69E-13	7.35E-13	6.37E-13
WSW	2.19E-11	7.29E-12	4.38E-12	2.74E-12	1.46E-12	7.29E-13	4.38E-13	3.13E-13	2.43E-13	1.99E-13	1.68E-13	1.46E-13
W	4.55E-11	1.52E-11	9.10E-12	5.69E-12	3.03E-12	1.52E-12	9.10E-13	6.50E-13	5.06E-13	4.14E-13	3.50E-13	3.03E-13
WNW	3.31E-11	1.10E-11	6.61E-12	4.13E-12	2.20E-12	1.10E-12	6.61E-13	4.72E-13	3.67E-13	3.01E-13	2.54E-13	2.20E-13
NW	3.60E-11	1.20E-11	7.20E-12	4.50E-12	2.40E-12	1.20E-12	7.20E-13	5.14E-13	4.00E-13	3.27E-13	2.77E-13	2.40E-13
NNW	3.71E-11	1.24E-11	7.41E-12	4.63E-12	2.47E-12	1.24E-12	7.41E-13	5.30E-13	4.12E-13	3.37E-13	2.85E-13	2.47E-13

表 6.2-3 (2/2) 厂址半径 80km 评价区内各子区相对湿沉积因子 (I-131)

单位：m⁻²

距离 km 方位	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
N	1.51E-11	5.02E-12	3.01E-12	1.88E-12	1.00E-12	5.02E-13	3.01E-13	2.15E-13	1.67E-13	1.37E-13	1.16E-13	1.00E-13
NNE	6.13E-11	2.04E-11	1.23E-11	7.67E-12	4.09E-12	2.04E-12	1.23E-12	8.76E-13	6.81E-13	5.58E-13	4.72E-13	4.09E-13
NE	8.27E-11	2.76E-11	1.65E-11	1.03E-11	5.51E-12	2.76E-12	1.65E-12	1.18E-12	9.19E-13	7.52E-13	6.36E-13	5.51E-13
ENE	4.56E-11	1.52E-11	9.12E-12	5.70E-12	3.04E-12	1.52E-12	9.12E-13	6.52E-13	5.07E-13	4.15E-13	3.51E-13	3.04E-13
E	5.32E-11	1.77E-11	1.06E-11	6.65E-12	3.55E-12	1.77E-12	1.06E-12	7.60E-13	5.91E-13	4.83E-13	4.09E-13	3.55E-13
ESE	6.13E-11	2.04E-11	1.23E-11	7.66E-12	4.09E-12	2.04E-12	1.23E-12	8.76E-13	6.81E-13	5.57E-13	4.72E-13	4.09E-13
SE	1.30E-11	4.34E-12	2.60E-12	1.63E-12	8.67E-13	4.34E-13	2.60E-13	1.86E-13	1.45E-13	1.18E-13	1.00E-13	8.67E-14
SSE	1.10E-10	3.68E-11	2.21E-11	1.38E-11	7.35E-12	3.68E-12	2.21E-12	1.58E-12	1.23E-12	1.00E-12	8.48E-13	7.35E-13
S	2.84E-11	9.46E-12	5.67E-12	3.55E-12	1.89E-12	9.46E-13	5.67E-13	4.05E-13	3.15E-13	2.58E-13	2.18E-13	1.89E-13
SSW	7.70E-11	2.57E-11	1.54E-11	9.63E-12	5.14E-12	2.57E-12	1.54E-12	1.10E-12	8.56E-13	7.00E-13	5.93E-13	5.14E-13
SW	9.56E-11	3.19E-11	1.91E-11	1.19E-11	6.37E-12	3.19E-12	1.91E-12	1.37E-12	1.06E-12	8.69E-13	7.35E-13	6.37E-13
WSW	2.19E-11	7.29E-12	4.38E-12	2.74E-12	1.46E-12	7.29E-13	4.38E-13	3.13E-13	2.43E-13	1.99E-13	1.68E-13	1.46E-13
W	4.55E-11	1.52E-11	9.10E-12	5.69E-12	3.03E-12	1.52E-12	9.10E-13	6.50E-13	5.06E-13	4.14E-13	3.50E-13	3.03E-13
WNW	3.31E-11	1.10E-11	6.61E-12	4.13E-12	2.20E-12	1.10E-12	6.61E-13	4.72E-13	3.67E-13	3.01E-13	2.54E-13	2.20E-13
NW	3.60E-11	1.20E-11	7.20E-12	4.50E-12	2.40E-12	1.20E-12	7.20E-13	5.14E-13	4.00E-13	3.27E-13	2.77E-13	2.40E-13
NNW	3.71E-11	1.24E-11	7.41E-12	4.63E-12	2.47E-12	1.24E-12	7.41E-13	5.30E-13	4.12E-13	3.37E-13	2.85E-13	2.47E-13

表 6.2-4（1/3） 本工程运行状态下厂址半径 80km 范围内各子区空气中的年均放射性活度浓度分布情况表（Cs-137）

单位：Bq/m³

距离 km 方位	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	5.22E-08	2.60E-08	2.04E-08	1.35E-08	6.64E-09	2.49E-09	1.12E-09	5.87E-10	3.65E-10	2.69E-10	2.19E-10	1.83E-10
NNE	5.59E-08	2.00E-08	1.26E-08	7.47E-09	3.66E-09	1.41E-09	6.52E-10	3.57E-10	2.29E-10	1.71E-10	1.38E-10	1.14E-10
NE	4.70E-08	1.36E-08	7.51E-09	4.20E-09	2.05E-09	7.99E-10	3.75E-10	2.10E-10	1.37E-10	1.03E-10	8.26E-11	6.81E-11
ENE	7.19E-09	1.72E-09	9.18E-10	5.72E-10	2.97E-10	1.15E-10	5.36E-11	3.05E-11	2.01E-11	1.50E-11	1.19E-11	9.81E-12
E	1.35E-08	2.75E-09	1.17E-09	6.49E-10	3.39E-10	1.39E-10	6.83E-11	4.08E-11	2.81E-11	2.16E-11	1.77E-11	1.48E-11
ESE	3.42E-08	7.37E-09	3.07E-09	1.52E-09	7.55E-10	3.17E-10	1.60E-10	9.73E-11	6.74E-11	5.17E-11	4.19E-11	3.48E-11
SE	3.31E-08	6.43E-09	2.76E-09	1.43E-09	7.23E-10	3.04E-10	1.54E-10	9.42E-11	6.57E-11	5.02E-11	4.05E-11	3.36E-11
SSE	6.13E-08	1.08E-08	3.96E-09	1.79E-09	8.92E-10	3.99E-10	2.16E-10	1.40E-10	1.01E-10	7.88E-11	6.41E-11	5.35E-11
S	4.09E-08	7.11E-09	2.53E-09	1.14E-09	5.77E-10	2.59E-10	1.40E-10	9.17E-11	6.67E-11	5.21E-11	4.25E-11	3.56E-11
SSW	8.32E-08	1.74E-08	6.54E-09	2.61E-09	1.26E-09	5.60E-10	3.00E-10	1.94E-10	1.40E-10	1.08E-10	8.79E-11	7.31E-11
SW	9.27E-08	2.34E-08	1.04E-08	4.51E-09	2.15E-09	9.03E-10	4.59E-10	2.81E-10	1.95E-10	1.50E-10	1.22E-10	1.01E-10
WSW	1.37E-07	3.72E-08	1.70E-08	7.61E-09	3.57E-09	1.48E-09	7.45E-10	4.51E-10	3.12E-10	2.39E-10	1.94E-10	1.61E-10
W	1.08E-07	3.85E-08	2.25E-08	1.24E-08	5.80E-09	2.25E-09	1.07E-09	6.01E-10	3.94E-10	2.96E-10	2.40E-10	2.00E-10
WNW	5.67E-08	3.52E-08	3.11E-08	2.16E-08	1.06E-08	3.91E-09	1.74E-09	8.93E-10	5.44E-10	3.98E-10	3.24E-10	2.71E-10
NW	2.33E-08	2.02E-08	2.04E-08	1.48E-08	7.33E-09	2.70E-09	1.19E-09	6.05E-10	3.65E-10	2.67E-10	2.19E-10	1.85E-10
NNW	1.86E-08	1.49E-08	1.50E-08	1.11E-08	5.51E-09	2.03E-09	8.96E-10	4.55E-10	2.74E-10	2.01E-10	1.65E-10	1.39E-10

表 6.2-4 (2/3) 本工程运行状态下厂址半径 80km 范围内各子区空气中的年均放射性活度浓度分布情况表 (I-131)

单位：Bq/m³

方位 \ 距离 km	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	1.39E-06	6.89E-07	5.40E-07	3.57E-07	1.76E-07	6.55E-08	2.93E-08	1.53E-08	9.45E-09	6.94E-09	5.62E-09	4.67E-09
NNE	1.48E-06	5.32E-07	3.34E-07	1.98E-07	9.66E-08	3.71E-08	1.71E-08	9.28E-09	5.94E-09	4.41E-09	3.54E-09	2.92E-09
NE	1.25E-06	3.61E-07	1.99E-07	1.11E-07	5.42E-08	2.10E-08	9.82E-09	5.47E-09	3.57E-09	2.66E-09	2.13E-09	1.75E-09
ENE	1.91E-07	4.56E-08	2.43E-08	1.51E-08	7.81E-09	3.01E-09	1.39E-09	7.83E-10	5.14E-10	3.81E-10	3.03E-10	2.48E-10
E	3.58E-07	7.31E-08	3.10E-08	1.72E-08	8.94E-09	3.64E-09	1.78E-09	1.06E-09	7.28E-10	5.58E-10	4.54E-10	3.80E-10
ESE	9.08E-07	1.96E-07	8.14E-08	4.03E-08	2.00E-08	8.35E-09	4.20E-09	2.54E-09	1.75E-09	1.34E-09	1.08E-09	8.96E-10
SE	8.78E-07	1.71E-07	7.30E-08	3.79E-08	1.91E-08	7.98E-09	4.01E-09	2.45E-09	1.70E-09	1.30E-09	1.04E-09	8.61E-10
SSE	1.63E-06	2.85E-07	1.05E-07	4.74E-08	2.36E-08	1.05E-08	5.66E-09	3.66E-09	2.64E-09	2.05E-09	1.66E-09	1.38E-09
S	1.09E-06	1.89E-07	6.71E-08	3.01E-08	1.52E-08	6.83E-09	3.68E-09	2.39E-09	1.74E-09	1.35E-09	1.10E-09	9.17E-10
SSW	2.21E-06	4.63E-07	1.73E-07	6.91E-08	3.33E-08	1.48E-08	7.89E-09	5.07E-09	3.65E-09	2.82E-09	2.28E-09	1.89E-09
SW	2.46E-06	6.21E-07	2.75E-07	1.19E-07	5.69E-08	2.38E-08	1.21E-08	7.35E-09	5.10E-09	3.90E-09	3.16E-09	2.62E-09
WSW	3.65E-06	9.86E-07	4.52E-07	2.02E-07	9.45E-08	3.89E-08	1.96E-08	1.18E-08	8.17E-09	6.23E-09	5.04E-09	4.18E-09
W	2.86E-06	1.02E-06	5.98E-07	3.27E-07	1.53E-07	5.93E-08	2.81E-08	1.57E-08	1.03E-08	7.68E-09	6.22E-09	5.16E-09
WNW	1.50E-06	9.34E-07	8.23E-07	5.71E-07	2.79E-07	1.03E-07	4.55E-08	2.32E-08	1.41E-08	1.03E-08	8.31E-09	6.91E-09
NW	6.19E-07	5.36E-07	5.39E-07	3.93E-07	1.94E-07	7.12E-08	3.12E-08	1.57E-08	9.43E-09	6.87E-09	5.61E-09	4.70E-09
NNW	4.93E-07	3.96E-07	3.99E-07	2.93E-07	1.45E-07	5.35E-08	2.34E-08	1.18E-08	7.09E-09	5.17E-09	4.21E-09	3.52E-09

表 6.2-4（3/3） 本工程运行状态下厂址半径 80km 范围内各子区空气中的年均放射性活度浓度分布情况表（Kr-85）

单位：Bq/m³

距离 km 方位	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	2.49E-03	1.24E-03	9.71E-04	6.45E-04	3.18E-04	1.20E-04	5.44E-05	2.88E-05	1.80E-05	1.34E-05	1.09E-05	9.19E-06
NNE	2.66E-03	9.55E-04	6.02E-04	3.57E-04	1.76E-04	6.83E-05	3.20E-05	1.77E-05	1.14E-05	8.59E-06	7.00E-06	5.85E-06
NE	2.24E-03	6.49E-04	3.59E-04	2.02E-04	9.93E-05	3.93E-05	1.88E-05	1.07E-05	7.07E-06	5.35E-06	4.36E-06	3.65E-06
ENE	3.43E-04	8.19E-05	4.38E-05	2.74E-05	1.43E-05	5.59E-06	2.62E-06	1.50E-06	9.98E-07	7.47E-07	5.98E-07	4.94E-07
E	6.42E-04	1.31E-04	5.57E-05	3.09E-05	1.61E-05	6.60E-06	3.26E-06	1.95E-06	1.34E-06	1.03E-06	8.43E-07	7.08E-07
ESE	1.63E-03	3.51E-04	1.47E-04	7.27E-05	3.62E-05	1.53E-05	7.82E-06	4.78E-06	3.34E-06	2.58E-06	2.11E-06	1.77E-06
SE	1.57E-03	3.06E-04	1.31E-04	6.83E-05	3.46E-05	1.46E-05	7.45E-06	4.59E-06	3.22E-06	2.47E-06	2.00E-06	1.67E-06
SSE	2.92E-03	5.12E-04	1.89E-04	8.54E-05	4.26E-05	1.92E-05	1.04E-05	6.76E-06	4.91E-06	3.84E-06	3.14E-06	2.63E-06
S	1.95E-03	3.39E-04	1.20E-04	5.42E-05	2.75E-05	1.24E-05	6.70E-06	4.38E-06	3.19E-06	2.50E-06	2.04E-06	1.71E-06
SSW	3.96E-03	8.31E-04	3.12E-04	1.25E-04	6.03E-05	2.70E-05	1.45E-05	9.44E-06	6.84E-06	5.33E-06	4.34E-06	3.63E-06
SW	4.41E-03	1.12E-03	4.95E-04	2.16E-04	1.03E-04	4.36E-05	2.23E-05	1.37E-05	9.61E-06	7.42E-06	6.05E-06	5.06E-06
WSW	6.54E-03	1.77E-03	8.12E-04	3.64E-04	1.71E-04	7.14E-05	3.63E-05	2.22E-05	1.54E-05	1.19E-05	9.69E-06	8.11E-06
W	5.13E-03	1.84E-03	1.07E-03	5.90E-04	2.77E-04	1.08E-04	5.17E-05	2.93E-05	1.93E-05	1.45E-05	1.19E-05	9.96E-06
WNW	2.70E-03	1.68E-03	1.48E-03	1.03E-03	5.05E-04	1.88E-04	8.41E-05	4.35E-05	2.67E-05	1.96E-05	1.61E-05	1.35E-05
NW	1.11E-03	9.63E-04	9.69E-04	7.07E-04	3.49E-04	1.29E-04	5.71E-05	2.90E-05	1.75E-05	1.29E-05	1.06E-05	8.93E-06
NNW	8.85E-04	7.12E-04	7.17E-04	5.28E-04	2.63E-04	9.73E-05	4.30E-05	2.19E-05	1.33E-05	9.75E-06	8.01E-06	6.76E-06

表 6.2-5 (1/3) 本工程与 1、2 号机组运行状态下厂址半径 80km 范围内各子区空气中的年均放射性活度浓度分布情况表 (Cs-137)

单位：Bq/m³

方位 \ 距离 km	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	1.92E-07	7.71E-08	5.84E-08	4.98E-08	3.67E-08	1.56E-08	7.41E-09	4.34E-09	2.89E-09	2.09E-09	1.60E-09	1.27E-09
NNE	2.12E-07	6.00E-08	7.81E-08	5.86E-08	2.17E-08	9.28E-09	4.48E-09	2.67E-09	1.80E-09	1.32E-09	1.02E-09	8.14E-10
NE	2.30E-07	1.37E-07	6.92E-08	3.95E-08	1.30E-08	5.49E-09	2.66E-09	1.60E-09	1.08E-09	7.98E-10	6.18E-10	4.95E-10
ENE	2.24E-07	1.89E-07	5.80E-08	3.37E-09	1.85E-09	8.05E-10	3.86E-10	2.30E-10	1.56E-10	1.15E-10	8.95E-11	7.20E-11
E	4.19E-07	6.86E-08	1.63E-08	4.89E-09	2.21E-09	9.79E-10	4.92E-10	3.07E-10	2.16E-10	1.64E-10	1.31E-10	1.07E-10
ESE	5.11E-07	2.11E-07	3.32E-08	1.22E-08	5.26E-09	2.27E-09	1.16E-09	7.35E-10	5.19E-10	3.93E-10	3.11E-10	2.54E-10
SE	4.11E-07	7.58E-08	4.00E-08	1.48E-08	4.89E-09	2.16E-09	1.11E-09	7.04E-10	4.99E-10	3.79E-10	3.00E-10	2.46E-10
SSE	3.61E-07	1.04E-07	2.10E-08	8.81E-09	6.30E-09	2.85E-09	1.55E-09	1.03E-09	7.51E-10	5.82E-10	4.70E-10	3.90E-10
S	2.83E-07	9.36E-08	3.28E-08	1.52E-08	3.82E-09	1.80E-09	9.94E-10	6.63E-10	4.88E-10	3.80E-10	3.09E-10	2.57E-10
SSW	2.95E-07	8.49E-08	4.27E-08	2.27E-08	8.02E-09	3.79E-09	2.10E-09	1.39E-09	1.02E-09	7.90E-10	6.37E-10	5.28E-10
SW	2.89E-07	1.16E-07	6.46E-08	2.30E-08	1.24E-08	5.78E-09	3.10E-09	2.00E-09	1.43E-09	1.10E-09	8.76E-10	7.19E-10
WSW	3.08E-07	1.24E-07	6.67E-08	3.71E-08	2.00E-08	9.26E-09	4.94E-09	3.18E-09	2.27E-09	1.74E-09	1.38E-09	1.14E-09
W	2.74E-07	1.30E-07	8.54E-08	5.53E-08	3.05E-08	1.35E-08	6.86E-09	4.24E-09	2.93E-09	2.19E-09	1.71E-09	1.38E-09
WNW	2.26E-07	1.26E-07	1.12E-07	8.89E-08	5.23E-08	2.27E-08	1.09E-08	6.37E-09	4.22E-09	3.05E-09	2.33E-09	1.84E-09
NW	1.40E-07	1.10E-07	1.02E-07	6.12E-08	3.67E-08	1.58E-08	7.50E-09	4.36E-09	2.87E-09	2.07E-09	1.58E-09	1.25E-09
NNW	1.40E-07	6.55E-08	6.69E-08	5.87E-08	2.85E-08	1.22E-08	5.74E-09	3.32E-09	2.18E-09	1.57E-09	1.20E-09	9.45E-10

表 6.2-5 (2/3) 本工程与 1、2 号机组运行状态下厂址半径 80km 范围内各子区空气中的年均放射性活度浓度分布情况表 (I-131)

单位：Bq/m³

距离 km 方位	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	4.70E-06	1.90E-06	1.44E-06	1.21E-06	8.82E-07	3.73E-07	1.76E-07	1.02E-07	6.77E-08	4.88E-08	3.73E-08	2.95E-08
NNE	5.19E-06	1.48E-06	1.88E-06	1.40E-06	5.22E-07	2.21E-07	1.06E-07	6.30E-08	4.23E-08	3.09E-08	2.37E-08	1.89E-08
NE	5.59E-06	3.28E-06	1.65E-06	9.42E-07	3.13E-07	1.31E-07	6.30E-08	3.76E-08	2.55E-08	1.87E-08	1.44E-08	1.15E-08
ENE	5.30E-06	4.47E-06	1.37E-06	8.10E-08	4.43E-08	1.91E-08	9.06E-09	5.37E-09	3.63E-09	2.66E-09	2.06E-09	1.65E-09
E	9.92E-06	1.63E-06	3.89E-07	1.17E-07	5.29E-08	2.33E-08	1.16E-08	7.23E-09	5.07E-09	3.83E-09	3.04E-09	2.50E-09
ESE	1.22E-05	4.99E-06	7.91E-07	2.93E-07	1.26E-07	5.42E-08	2.76E-08	1.74E-08	1.22E-08	9.22E-09	7.28E-09	5.93E-09
SE	9.81E-06	1.81E-06	9.51E-07	3.54E-07	1.17E-07	5.13E-08	2.63E-08	1.66E-08	1.17E-08	8.84E-09	6.99E-09	5.70E-09
SSE	8.71E-06	2.47E-06	5.06E-07	2.13E-07	1.51E-07	6.80E-08	3.69E-08	2.43E-08	1.77E-08	1.37E-08	1.10E-08	9.11E-09
S	6.81E-06	2.23E-06	7.82E-07	3.62E-07	9.15E-08	4.29E-08	2.36E-08	1.57E-08	1.15E-08	8.94E-09	7.23E-09	6.01E-09
SSW	7.23E-06	2.06E-06	1.03E-06	5.41E-07	1.92E-07	9.06E-08	4.99E-08	3.30E-08	2.41E-08	1.86E-08	1.50E-08	1.24E-08
SW	7.12E-06	2.81E-06	1.55E-06	5.56E-07	2.98E-07	1.38E-07	7.37E-08	4.74E-08	3.39E-08	2.59E-08	2.06E-08	1.69E-08
WSW	7.71E-06	3.04E-06	1.62E-06	8.96E-07	4.81E-07	2.21E-07	1.18E-07	7.55E-08	5.38E-08	4.10E-08	3.26E-08	2.67E-08
W	6.83E-06	3.18E-06	2.08E-06	1.34E-06	7.34E-07	3.23E-07	1.63E-07	1.00E-07	6.92E-08	5.14E-08	4.02E-08	3.24E-08
WNW	5.54E-06	3.08E-06	2.75E-06	2.16E-06	1.26E-06	5.42E-07	2.59E-07	1.50E-07	9.89E-08	7.10E-08	5.41E-08	4.26E-08
NW	3.39E-06	2.66E-06	2.48E-06	1.49E-06	8.85E-07	3.77E-07	1.78E-07	1.03E-07	6.73E-08	4.82E-08	3.66E-08	2.89E-08
NNW	3.37E-06	1.59E-06	1.62E-06	1.42E-06	6.85E-07	2.91E-07	1.36E-07	7.82E-08	5.11E-08	3.65E-08	2.77E-08	2.18E-08

表 6.2-5 (3/3) 本工程与 1、2 号机组运行状态下厂址半径 80km 范围内各子区空气中的年均放射性活度浓度分布情况表 (Kr-85)

单位：Bq/m³

距离 km 方位	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N	1.30E-02	5.11E-03	3.87E-03	3.43E-03	2.65E-03	1.14E-03	5.49E-04	3.26E-04	2.19E-04	1.59E-04	1.22E-04	9.74E-05
NNE	1.45E-02	4.00E-03	5.64E-03	4.31E-03	1.58E-03	6.85E-04	3.35E-04	2.02E-04	1.38E-04	1.02E-04	7.91E-05	6.35E-05
NE	1.62E-02	1.02E-02	5.12E-03	2.93E-03	9.58E-04	4.11E-04	2.02E-04	1.24E-04	8.54E-05	6.35E-05	4.97E-05	4.02E-05
ENE	1.70E-02	1.45E-02	4.46E-03	2.43E-04	1.35E-04	5.96E-05	2.89E-05	1.74E-05	1.19E-05	8.83E-06	6.88E-06	5.55E-06
E	3.19E-02	5.22E-03	1.22E-03	3.58E-04	1.60E-04	7.16E-05	3.60E-05	2.26E-05	1.59E-05	1.21E-05	9.59E-06	7.88E-06
ESE	3.84E-02	1.60E-02	2.47E-03	9.01E-04	3.86E-04	1.68E-04	8.69E-05	5.54E-05	3.95E-05	3.01E-05	2.40E-05	1.97E-05
SE	3.07E-02	5.66E-03	3.01E-03	1.10E-03	3.58E-04	1.59E-04	8.25E-05	5.27E-05	3.75E-05	2.86E-05	2.28E-05	1.87E-05
SSE	2.60E-02	7.67E-03	1.50E-03	6.27E-04	4.61E-04	2.10E-04	1.15E-04	7.63E-05	5.60E-05	4.36E-05	3.53E-05	2.93E-05
S	2.06E-02	7.02E-03	2.46E-03	1.14E-03	2.78E-04	1.32E-04	7.29E-05	4.87E-05	3.59E-05	2.80E-05	2.27E-05	1.89E-05
SSW	2.01E-02	6.03E-03	3.11E-03	1.68E-03	5.85E-04	2.79E-04	1.56E-04	1.04E-04	7.65E-05	5.96E-05	4.83E-05	4.02E-05
SW	1.92E-02	8.25E-03	4.68E-03	1.65E-03	9.01E-04	4.25E-04	2.30E-04	1.50E-04	1.08E-04	8.32E-05	6.67E-05	5.50E-05
WSW	1.93E-02	8.45E-03	4.64E-03	2.64E-03	1.45E-03	6.80E-04	3.67E-04	2.39E-04	1.72E-04	1.32E-04	1.06E-04	8.72E-05
W	1.75E-02	8.81E-03	5.90E-03	3.90E-03	2.19E-03	9.85E-04	5.06E-04	3.16E-04	2.20E-04	1.65E-04	1.30E-04	1.05E-04
WNW	1.54E-02	8.52E-03	7.71E-03	6.22E-03	3.74E-03	1.65E-03	8.01E-04	4.75E-04	3.18E-04	2.31E-04	1.77E-04	1.40E-04
NW	9.90E-03	7.80E-03	7.27E-03	4.27E-03	2.62E-03	1.14E-03	5.47E-04	3.21E-04	2.13E-04	1.53E-04	1.17E-04	9.22E-05
NNW	1.01E-02	4.55E-03	4.68E-03	4.19E-03	2.04E-03	8.83E-04	4.20E-04	2.45E-04	1.62E-04	1.17E-04	8.91E-05	7.03E-05

表 6.3-1 开关站及第一跨、主变压器的监测值统计情况

监测点位置	监测因子	监测值范围	最大值	评价标准
开关站（变电站）及 第一跨	工频电场（V/m）	0.21~1517.8	1517.8	4000
	工频磁场（ μT ）	0.0076~4.9247	4.9247	100
主变压器	工频电场（V/m）	0.06~0.36	0.36	4000
	工频磁场（ μT ）	0.0051~10.4166	10.4166	100

表 6.3-2 输电线路监测值统计情况

监测点位置	监测因子	监测值范围	最大值	评价标准
500kV 出线输电线路 (P1 监测断面)	工频电场（V/m）	垂直监测断面：0.36~0.79	0.79	4000
		平行监测断面：0.62~0.79	0.79	
	工频磁场（ μT ）	垂直监测断面：0.0193~0.1476	1.4851	100
		平行监测断面：0.1345~0.1421	0.1421	
220kV 昌核线输电线路 (P2 监测断面)	工频电场（V/m）	垂直监测断面：55.48~487.58	487.58	4000
		平行监测断面：251.43~295.24	295.24	
	工频磁场（ μT ）	垂直监测断面：0.0142~0.0275	0.0275	100
		平行监测断面：0.0210~0.0241	0.0241	
220kV 鹅核线输电线路 (P3 监测断面)	工频电场（V/m）	垂直监测断面：1.71~3.22	3.22	4000
		平行监测断面：1.63~2.48	2.48	
	工频磁场（ μT ）	垂直监测断面：0.0364~0.0482	0.0482	100
		平行监测断面：0.0437~0.0456	0.0456	
220kV 核李线输电线路 (P4 监测断面)	工频电场（V/m）	垂直监测断面：3.65~574.43	574.43	4000
		平行监测断面：233.71~262.67	262.67	
	工频磁场（ μT ）	垂直监测断面：0.2064~0.9726	0.9726	100
		平行监测断面：0.5753~0.6253	0.6253	
220kV 核成线输电线路 (P5 监测断面)	工频电场（V/m）	垂直监测断面：61.75~1243.0	1243.0	4000
		平行监测断面：733.27~777.65	777.65	
	工频磁场（ μT ）	垂直监测断面：0.7443~2.1240	2.1240	100
		平行监测断面：1.6830~1.7258	1.7258	

第七章 示范工程事故的环境影响和环境风险

7.1 示范工程放射性事故和后果评价

7.1.1 事故描述

7.1.2 事故后果计算

7.1.3 事故后果评价

7.2 严重事故

7.2.1 事故描述

7.2.2 事故后果

7.2.3 严重事故预防和缓解方案

7.3 厂内运输事故

7.3.1 新燃料运输事故

7.3.2 乏燃料运输事故

7.3.3 放射性固体废物运输事故

7.4 其他事故

7.5 事故应急

7.5.1 制定应急计划的主要依据

7.5.2 应急组织

7.5.3 与场外应急组织接口

7.5.4 应急状态分级

7.5.5 应急设施设备

7.5.6 应急计划区

7.1 示范工程放射性事故和后果评价

根据《核动力厂环境辐射防护规定》GB 6249-2011 中事故工况下的辐射防护要求，需要对核电厂设计基准事故的潜在照射后果进行评价。本章根据海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程典型设计基准事故源项，采用 2022 年 3 月到 2024 年 2 月厂址气象观测数据，计算各个事故对公众造成的潜在放射性后果，评价设计基准事故剂量后果是否满足相关法规标准的要求。

示范工程考虑的设计基准事故有：

- 失水事故；
- 弹棒事故；
- 燃料装卸事故；
- 主蒸汽管道破裂事故；
- 蒸汽发生器传热管破裂事故；
- 蒸汽发生器传热管破裂叠加一个主蒸汽安全阀卡开事故；
- 安全壳外含有一回路冷却剂的小管道破裂事故；
- 容控箱破损事故。

其中，弹棒事故、燃料装卸事故、主蒸汽管道破裂事故、蒸汽发生器传热管破裂加一个主蒸汽安全阀卡开事故按照极限事故进行评价；失水事故、蒸汽发生器传热管破裂事故、安全壳外载有一回路冷却剂的小管道破裂事故、容控箱破损事故按照稀有事故进行评价。

7.1.1 事故描述

7.1.1.1 失水事故

反应堆冷却剂系统压力边界管道发生破损的事故定义为失水事故（LOCA）。

当发生失水事故后，反应堆冷却剂系统的冷却剂向安全壳喷放，这使得事故前和事故期间因燃料元件包壳破损而从破损燃料元件释放到反应堆冷却剂的裂变产物核素随反应堆冷却剂释放到安全壳大气，释放到安全壳大气的裂变产物核素通过安全壳大气的泄漏进一步释放至环境。

失水事故属于稀有事故。

7.1.1.2 弹棒事故

弹棒事故是由于控制棒驱动机构耐压壳机械损坏，导致控制棒组件和驱动轴弹出堆芯外。这种机械损坏将导致正反应性的快速引入和堆芯不利的功率分布畸变。事故中可能引起局部的燃料棒损坏。

弹棒事故属于极限事故。

7.1.1.3 燃料装卸事故

燃料装卸期间发生的事故可能有以下几类：

- 反应堆水池内燃料组件坠落；
- 乏燃料池内燃料组件坠落；
- 乏燃料容器在燃料厂房外坠落；
- 乏燃料容器在燃料厂房内坠落。

如果一个燃料组件坠落在反应堆水池内，由于安全壳换气通风系统的自动关闭和装卸料停堆期间为了确保反应堆厂房的密封所采取的预防措施，使得反应堆厂房外的受照剂量可以忽略不计。在运行人员向反应堆厂房外撤离期间，人员闸门打开，事实上，没有空气从反应堆厂房通过气闸向核辅助厂房的转移，而气闸在撤离完毕后关上。尽管对燃料装卸运行有很多管理控制和实际限制，但研究的事故仍是一个乏燃料组件坠落入乏燃料池中，并引起该组件内所有的燃料棒包壳都破裂。

燃料装卸事故属于极限事故。

7.1.1.4 主蒸汽管道破裂事故

主蒸汽系统管道损坏最保守的假设是主蒸汽管道双端剪切断裂，这是引起一回路最大程度冷却的工况。

从破口喷放的蒸汽导致事故初期蒸汽流量增加，之后随着蒸汽压力的下降，破口蒸汽流量逐渐减小。蒸汽发生器二次侧排热的增加导致反应堆冷却剂温度和压力下降，由于慢化剂的负反馈效应，反应堆内会引入正反应性。若停堆后具有最大负反应性的一组控制棒卡在完全抽出的位置，则事故过程中反应堆很可能重返临界。

主蒸汽管道破裂事故属于极限事故。

7.1.1.5 蒸汽发生器传热管破裂事故

蒸汽发生器传热管破裂事故是指一根蒸汽发生器传热管发生完全双端剪切断裂事故。

假设事故发生时核电厂处于功率运行，反应堆冷却剂含有对应技术规格书规定所允许的有限数量的燃料棒破损情况下连续运行产生的裂变产物。由于带有放射性的冷却剂由破口流入二次侧，这将导致二回路系统放射性增加。

蒸汽发生器传热管破裂事故属于稀有事故。

7.1.1.6 蒸汽发生器传热管破裂叠加一个主蒸汽安全阀卡开事故

蒸汽发生器传热管破裂叠加安全阀卡开事故的发生基于下列假设：

- 在一次侧向二次侧泄漏量减小到零之前，破损蒸汽发生器及其后蒸汽管道满水，该蒸汽发生器对应蒸汽母管上的安全阀存在过水而失效的可能。

— 假设该安全阀过水而失效，并处于完全卡开状态。

假设事故发生时核电厂处于功率运行，反应堆冷却剂含有对应技术规格书规定所允许的有限数量的燃料棒破损情况下连续运行产生的裂变产物。由于带有放射性的冷却剂由破口流入二次侧，这将导致二回路系统放射性增加。如果在事故期间核电厂丧失厂外电源，放射性将通过蒸汽发生器（SG）安全阀排至大气中。

蒸汽发生器传热管破裂叠加一个主蒸汽安全阀卡开事故属于极限事故。

7.1.1.7 安全壳外含有一回路冷却剂的小管道破裂事故

安全壳外含有一回路冷却剂的小管道破裂事故是同反应堆冷却剂系统相连接并贯穿安全壳的小管道（例如取样管）破裂引起的。这类小截面管道破裂引起的冷却剂排放流量可以由一台上充泵来补充，稳压器内维持运行水位，允许操作员实施正常停堆。排放物所含放射性核素浓度与一次冷却剂的相同。

安全壳外含有一回路冷却剂的小管道破裂事故属于稀有事故。

7.1.1.8 容控箱破损事故

某些液体罐也装有放射性气体。这些罐破损也会使气体向环境释放。这类事故中的设计基准事故是化学和容积控制系统（RVC）容控箱破损。

在正常运行条件下，化学和容积控制系统 RVC 容控箱内贮存的放射性活度，尤其是气态活度是最大的放射性活度。

容控箱如果完全破损，其中全部液体和气体将释放到箱体所在房间中，并且在操纵员隔断 RVC 下泄管线之前，还会有一定量的液体继续释放出来。

容控箱破损事故属于稀有事故。

7.1.2 事故后果计算

7.1.2.1 事故大气弥散条件

采用小堆示范工程 2022.3~2024.2 风向、风速、大气稳定度三维联合频率，考虑厂址实测大气扩散参数计算短期大气弥散因子。计算全厂址概率水平为 95% 以及各方位概率水平为 99.5% 的高斯烟羽轴线浓度的小时大气弥散因子，取各方位的最大值与全厂址 95% 概率水平的值比较，取其中较大值作为 0~2 小时保守的大气弥散因子；取全厂址 50% 概率水平的小时大气弥散因子作为 0~2 小时现实的大气弥散因子。对于释放持续时间长于 2 小时的大气弥散因子，则利用小时大气弥散因子与年均大气弥散因子，采用双对数内插的方法求得。

7.1.2.2 事故剂量

对各类设计基准事故分别计算了场址边界（非居住区边界 500m）处的个人剂量。照

射途径考虑了事故期间起主要作用的三个途径：

- 放射性烟云浸没外照射；
- 沉积在地面的放射性物质外照射；
- 从烟云中吸入放射性物质内照射。

外照射剂量转换因子取自 GB18871-2002 和美国联邦导则第 12 号报告中的推荐值。吸入内照射剂量转换因子取自于 GB18871-2002，甲状腺内照射剂量转换因子取自于 ICRP71 号报告；对于 ICRP71 号报告缺少的核素的甲状腺剂量转换因子，则取用美国联邦导则 11 号报告中的推荐值。

7.1.3 事故后果评价

《小型压水堆核动力厂安全审评原则(试行)》规定：对于小型压水堆核动力厂的稀有事故和极限事故，其个人剂量限值分别确定为：

在每发生一次稀有事故时，场址边界上公众个人（成人）在整个事故持续时间内（一般可取 30 天）可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 50mSv 以下；

在每发生一次极限事故时，场址边界上公众个人（成人）在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 10mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 100mSv 以下。

对 7.1 节 8 类设计基准事故的潜在放射性后果进行了评价，结果表明整个事故持续时间（30d）内，场址边界（非居住区边界 500m）处公众受到的有效剂量及甲状腺当量剂量均小于《小型压水堆核动力厂安全审评原则(试行)》的相关剂量控制值，事故剂量后果满足要求。

7.2 严重事故

7.2.1 事故描述

对于严重事故，海南昌江多用途模块式小型堆设计上考虑了完善的严重事故预防及缓解措施，切实地降低了堆芯熔化概率和安全壳失效风险，可以防止大量放射性向环境释放的严重事故发生。

根据本工程内部事件二级 PSA 释放类源项及频率进行严重事故后果计算。

7.2.2 事故后果

采用 NUREG/CR-4691 推荐的事故后果评价模式计算严重事故造成的放射性后果。NUREG/CR-4691 模拟了放射性物质释放入大气的严重事故的场外后果。NUREG/CR-4691 提出的评价模式可以估算公众剂量，健康效应以及环境污染的经济代价和损失。

利用厂址 2023 年逐时气象监测数据，根据《小型压水堆核动力厂安全审评原则（试行）》的有关要求，选取 10mSv 作为剂量限值，采用 NUREG/CR-4691 评价模式，结合大气弥散因子的概率水平，计算二级 PSA 全事故谱 2 天、7 天、1 个月和 1 年内不同距离处超越指定剂量限值的概率，结果表明，二级 PSA 全事故谱概率加权后，在距离反应堆中心 500m 处，2 天有效剂量超过 10mSv、7 天有效剂量超过 10mSv、1 个月有效剂量超过 10mSv 和 1 年有效剂量超过 10mSv 的概率均小于 30%。

7.2.3 严重事故预防和缓解方案

根据《核动力厂设计安全规定》（HAF102-2016）中的要求，核电厂在设计中除了设计基准事故外，还必须考虑核动力厂在设计扩展工况包括严重事故中的行为。HAF102-2016 要求增设附加的用于设计扩展工况的安全设施，或扩展安全系统的能力，来预防严重事故的发生或减轻严重事故的后果，或保持安全壳的完整性。必须保证核动力厂能进入可控状态并维持安全壳功能，控制和减轻事故后果，从而能实际消除导致早期放射性释放或大量放射性释放的核动力厂状态发生的可能性。

海南昌江多用途模块式小型堆采用“一体化”的反应堆设计技术和“非能动”的安全系统，通过设置非能动堆芯冷却系统、非能动余热排出系统、自动卸压系统、安全壳消氢系统、非能动安全壳空气冷却系统等增强了核电厂应对比设计基准事故更严重的或包含多重故障的事故的承受能力，避免出现不可接受的放射性后果，设计上实现了实际消除早期或大量放射性释放的可能性。

7.3 厂内运输事故

7.3.1 新燃料运输事故

本项目选用的新燃料组件运输采用新燃料运输容器，容器的设计和制造满足我国 GB 11806-2019《放射性物品安全运输规程》的要求。

新燃料组件及其运输容器的减震和密封性能能在正常运输条件下确保运输的安全，对环境不会产生任何有害影响。运输容器在设计中考虑，即使发生运输事故使容器本身发生变形，也不会发生临界事故，同时燃料棒包壳仍能保证芯块不漏失，不会发生燃料芯块散落的情况。此外新燃料组件未经辐照，放射性水平很低。所以，新燃料运输事故不会对周围环境和人员造成危害和污染。

7.3.2 乏燃料运输事故

反应堆换料卸出的乏燃料组件在乏燃料贮存水池中暂存，在水池尚未达到贮存量限值之前运往乏燃料后处理厂。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 GB 11806-2019《放射性物品安全运输规程》的要求，容器具有承受正常运输条件下和运输中事故条件下各项试验的能力，能够满足密封性能与屏蔽性能的要求，并能确保临界安全。

除了运输容器本身具有高的安全性以外，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。从 2003 年开始，我国进行了多次大亚湾乏燃料运输工作，大亚湾乏燃料安全运输经验表明，我国在乏燃料运输的组织管理、方案设计和实施、运输工具配置及安全保障措施等方面的能力完全可以保证乏燃料运输的安全。因此，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。

7.3.3 放射性固体废物运输事故

在核电厂运行期间核岛厂房产生的废树脂在核辅助厂房内暂存衰变一段时间后，使用 3、4 号机组的废树脂运输车运输到 1、2 号机组 NX 厂房，在该厂房的水泥固化装置进行固化处理。

核岛产生的废过滤器芯使用 3、4 号机组的过滤器芯屏蔽运输车运送到 3、4 号机组 0QD 厂房进行水泥固定处理。

杂项干废物运送到海南昌江核电厂 3、4 号机组的 0QD 厂房进行等离子熔融或水泥固定处理。处理前的废物采用专用车辆运输，防止运输过程中发生放射性物质泄漏。

废树脂运输车与厂房内管道通过双球阀结构的干式快速接头连接，确保软管和快速接头无泄漏。在装载时，废树脂运输槽车和接口箱在厂房控制区内，即使发生泄漏，放射性

物质收集在控制区，不会污染非控制区和厂房外的空间。废树脂运输槽车的屏蔽运输容器由内箱体和外箱体构成，外箱体包括屏蔽加强的保护框架、接口箱和控制系统，内箱体由屏蔽箱和屏蔽箱内的奥氏体不锈钢的双层容器组成，双层容器配有搅拌装置、液位仪表和泄漏探测系统，防止运输过程中发生放射性物质泄漏。废树脂运输槽车将在厂内专门路线运输，并设置警告标识，其他人员未经允许不得靠近，从管理上确保废物运输安全。

废树脂运输车与过滤器芯屏蔽运输车均设有屏蔽运输容器，屏蔽容器设计标准为在装有额定容量废物时表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ ，从而能够有效控制工作人员在废物接收和运输时受到的剂量。司机室后设有屏蔽，屏蔽厚度标准为司机室内剂量率不超过 $10\mu\text{Sv/h}$ ，从而能够有效控制工作人员在废物接收和运输时受到的剂量。

处理后产生的废物包通过专用车辆运往海南昌江核电厂 1、2 号机组的放射性固体废物暂存库（QT）暂存。这些废物包贮存一定年限后（不超过 5 年），转运到低水平放射性固体废物处置场进行处置。

在进行以上运输时，道路有足够的宽度和平整度保证运输安全；并采取控制转运车辆行驶速度、道路通行管制等管控措施，降低厂内转运事故发生的可能性。放射性废物运输车辆司机上岗前经过驾驶训练和培训，在运输过程中严格限速行驶，并设置警告标识，其他人员未经允许不得靠近，从管理上确保废物运输安全。

处理后的废物包运输拟采用公路运输，而公路运输的经验表明，事故发生率以及预计事故次数都是很低的，在运输过程中将严格遵守 GB 11806-2019《放射性物品安全运输规程》中的有关要求。废物桶的设计和制造满足 EJ 1042-2014《低、中水平放射性固体废物包装容器 钢桶》；水泥固定废物体性能满足 EJ 1186-2005《放射性废物体和废物包的特性鉴定》；水泥固化体性能满足 GB 14569.1-2011《低、中水平放射性废物固化体性能要求 水泥固化体》；废物包性能满足 GB 12711-2018《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》。运输过程中即使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，防止对环境造成污染。

7.4 其他事故

本示范工程中其它事故不会或极少可能导致放射性物质向环境释放，但可能产生其它一些影响环境的后果（例如化学物质爆炸、火灾、化学物品泄漏）。设计中已对这类事故给予充分的注意，采取了切实的保护措施，可以把事故发生的可能性和对环境的可能影响减至最小。

厂区内贮存的化学物品中除了氢气以外，都不是直接易爆的化学物。氢气和氮气是一起作为覆盖气体用于除去一回路冷却剂中的氧。排出覆盖气体时，是将这些气体排入废气处理系统中由活性炭滞留衰变处理。废气处理系统中设有在线氢氧分析仪，氢气和氧气不会在系统中积聚到危险的爆炸限值，因而不会发生氢氧混合爆炸事故。

为保证示范工程安全重要物项的分隔，防止执行同一安全功能的核安全相关系统和设备产生共模失效，对核岛相关厂房进行防火空间划分，以隔离潜在的火灾，使火灾的蔓延风险以及随之产生的腐蚀性气体、灭火剂、烟气和放射性污染造成的危害降低到最小。

针对非放化学品的环境风险，按照《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）的相关要求，根据示范工程涉及的危险物质及工艺系统危险性和环境敏感程度确定本项目的环境风险潜势为I，仅需要开展简单分析。本项目仅涉及危险物质的使用与贮存，针对危险化学品的物理化学性质，在其使用过程中均采取相应的防护措施。

7.5 事故应急

7.5.1 制定应急计划的主要依据

我国核安全法规《核电厂核事故应急管理条例》（HAF002）要求在核电厂选址和设计阶段考虑核事故应急工作，新建核电厂必须在其场内和场外核事故应急预案审查批准后方可装料，《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01-2019）则对核电厂营运单位制定事故应急预案提出了相应的要求。

核事故应急的目的是在核电厂发生放射性物质可能向环境大量释放的事故时，使事故迅速得到控制，以防止或减少放射性物质向环境的释放，并采取防护行动保护电厂内所有人员的安全，迅速向厂外提供保护居民安全与健康的建议。

海南昌江核电厂根据国家法律、法规的要求，编制《海南昌江核电厂场内核事故应急预案》。

7.5.2 应急组织

海南昌江核电厂根据国家法规要求，成立昌江核电基地场内统一应急组织体系，确定与外部应急组织的信息报送渠道和应急支援方案。

海南核电有限公司与华能海南昌江核电有限公司联合成立核应急组织，涉及机组运行控制、应急抢修等部分各自独立建立应急专业组，安全保卫与消防、辐射防护与监测、协调保障等部分共同建立应急专业组。

7.5.3 与场外应急组织接口

根据国家核事故应急管理条例，我国核事故应急管理工作实行国家、地方、营运单位三级管理体系。核事故应急期间，核电厂应急指挥部将及时与国家核事故应急协调委员会（国家核事故应急办公室）、国家能源局、国家核安全局、生态环境部华东核与辐射安全监督站、海南省核应急委、中国核工业集团有限公司、中国核能电力股份有限公司等单位 and 部门建立联系渠道，通报应急情况，并密切配合，协调一致地实施应急响应行动，必要时请求场外支援。

7.5.4 应急状态分级

应急等级是指按照国家有关安全法规，对核电厂偏离正常运行工况的事件或事故，按其所造成的放射性后果的严重程度以及所采取的相应的应急响应行动进行分类、分级的类别或级别。根据我国有关法规，参照国外核事故分级的技术标准，按照每一种核事故的特征、性质、规模、后果及严重程度，昌江核电厂将应急状态依次分为应急待命、厂房应急、场区应急和场外应急四类。

（1）应急待命：出现可能危及核电厂安全的某些特定工况或事件，表明核电厂安全

水平处于不确定或可能有明显降低；

（2）厂房应急：核电厂的安全水平有实际的或潜在的大的降低，但事件的后果仅限于厂房或场区的局部区域，不会对场外产生威胁；

（3）场区应急：核电厂的工程安全设施可能严重失效，安全水平发生重大降低，事故后果扩大到整个场区，除了场区边界附近，场外放射性照射水平不会超过紧急防护行动干预水平，早期的信息和评价表明场外尚不必采取防护措施；

（4）场外应急：发生或可能发生放射性物质的大量释放，事故后果超越场区边界，导致场外的放射性照射水平超过紧急防护行动干预水平，以至于有必要采取场外防护措施。

7.5.5 应急设施设备

示范工程将与海南昌江核电厂 1、2 号机组共用应急指挥中心、技术支持中心、运行支持中心、移动应急电源、保卫楼、消防站、环境实验室等应急设施。同时，根据国家有关核应急法规的要求，遵循积极兼容的原则，示范工程还将新建部分应急响应设施，如主控室、远程停堆站、监测和评价系统、应急通信系统、保卫消防设施、厂区连接道路等。

（1）主控制室

主控制室是核电厂正常和事故工况下实施机组运行控制的中心，也是应急响应期间运行控制组的工作场所，其应急响应期间的主要功能为：

对反应堆运行状态进行集中控制和监测，显示并提供安全参数；

在应急初始阶段应急指挥部启动到位之前可作为应急指挥的中心，并发出早期应急警报；

在应急的各个阶段，对机组实施运行控制，分析和诊断事故状态，提出应急状态分级建议，保证安全状态的重新恢复或尽可能减少事故后果。

根据《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01-2019）中要求：在设定的持续应急响应期间内（一般为 30d），工作人员接受的有效剂量不大于 50mSv，甲状腺当量剂量不大于 500mSv，且可居留性的评价和审查不应局限于设计基准事故，应考虑严重事故的影响。

选取最终安全分析报告第十五章的设计基准事故和第十九章的设计扩展工况对主控制室内工作人员的受照剂量进行分析和计算，经评价主控制室满足 HAD 002/01-2019 规定的可居留性准则。

（2）远程停堆站

远程停堆站的设计符合人类工效学原则。切换至远程停堆站控制后，将闭锁主控制室发出的命令（主控制室中主安全盘上的停堆命令除外），并在主控制室和远程停堆站内触

发报警。小堆远程停堆站房间内装有电话，可以与外界通信。可以利用一个选择开关将通信从主控室切换到远程停堆站。

（3）技术支持中心

技术支持中心为技术支持组的主要办公场所，主要功能是对主控制室的工作人员提供技术支持以缓解事故后果，是获取核动力厂参数、信息和制定严重事故对策的工作场所。

（4）应急指挥中心

应急指挥中心是应急响应期间全面指挥和协调场内一切应急响应行动的场所，其主要功能包括应急指挥、应急通讯、事故评价、通报核事故信息等，同时具备技术支持中心和运行支持中心的功能。

分别针对 1、2 号机组和小堆示范工程项目事故后应急指挥中心人员的受照剂量进行分析，计算表明代表性严重事故后，应急指挥中心内人员在事故后 30 天内受到的总有效剂量小于 50mSv，甲状腺当量剂量小于 500mSv，满足 HAD002/01-2019 规定的可居留性要求。

（5）后备应急指挥中心

后备应急指挥中心与海南省核应急中心前沿站应急指挥室兼容，位置处于 10km 烟羽应急计划区范围之外，作为应急指挥中心不可用时的备用指挥中心。

（6）运行支持中心

运行支持中心位于 EM 楼可居留区域内。运行支持中心是在应急响应期间供执行设备检修、系统或设备损坏探查和其他执行纠正行动任务的人员以及有关人员集合与等待指派具体任务的场所。

（7）职业医疗中心

职业医疗服务中心位于海南昌江核电厂区内，全年 24 小时配备有医生和护士，主要职能是负责现场医学应急演习、准备与响应。

（8）保卫消防设施

保卫消防设施在应急时可实施区域控制、人员清点、厂区交通管制、火灾监控和报警。

（9）监测及评价设施

应急监测与评价设施主要包括：环境实验室、环境 γ 辐射监测及气象监测系统、应急监测子系统、应急环境监测车辆。

（10）应急撤离道路

厂区周围主要有两条厂外道路即进厂道路和备用应急疏散道路，作为专用应急道路。此外，利用厂址附近现存的县道作为应急撤离的备用道路，在专用应急道路交通状况发生

异常时，保证人员安全撤离。

（11）淋浴与去污设施

核岛卫生出入口内，除有一般淋浴设备外，还有人体体表放射性核素污染专业去污清洗间，可供应急状态下出入核岛厂房且体表受到明显污染的人员去污使用。

核岛卫生出入口的去污清洗间，配置有头面部专业去污装置，手部污染去污设施及躯干和体表污染去污装置，配备去污用品物资柜和足够使用的专业体表去污剂及物品。

核岛卫生出入口的去污清洗间由辐射防护值班人员上锁管理，职业卫生管理人员定期对去污清洗间及其物资设施进行定期巡检，确保设施、物资可用。

7.5.6 应急计划区

核电厂应急计划区范围的测算需要满足《核电厂应急计划与准备准则 第1部分：应急计划区的划分》GB/T 17680.1-2008的相关要求：

（1）既应考虑设计基准事故，也应考虑严重事故，以使在所确定的应急计划区内所做的应急准备能应对严重程度不同的事故后果。

（2）对于发生概率极小的事故，在确定核电厂应急计划时可以不予考虑，以免使所确定的应急计划区的范围过大而带来不合理的经济负担。

（3）在确定应急计划区范围时，根据核电厂的设计，所考虑的最严重的事故的放射性后果不超过发生确定性健康效应剂量阈值；并考虑选用能代表各种设计基准事故和大多数严重事故序列的事故，计算其后果并与通用干预水平的数值相比较。

依据GB/T 17680.1-2008，烟羽应急计划区的划分准则为：

（1）在烟羽应急计划区之外，对于各种设计基准事故的预期剂量不超过GB18871所规定的通用优化干预水平。其中，烟羽应急计划区内区预期剂量应小于撤离的通用优化干预水平，外区预期剂量应小于隐蔽和碘防护的通用优化干预水平。

（2）在烟羽应急计划区之外，大多数严重事故序列的预期的剂量不超过GB18871所规定的通用优化干预水平。即内区预期剂量应小于撤离的通用优化干预水平，外区预期剂量应小于隐蔽和碘防护的通用优化干预水平。

（3）在烟羽应急计划区之外，所考虑的后果最严重的严重事故序列使公众个人可能受到的最大预期剂量不应超过GB18871所规定的任何情况下预期均应进行干预的剂量水平。

为指导做好陆上小型压水堆核应急各项准备工作，国家核事故应急办公室于2017年10月发布了《陆上小型压水堆核应急工作指导意见（试行）》。该意见提出：小型堆应急计划区的划定应遵循《核电厂应急计划与准备准则 第1部分：应急计划区的划分》（GB/T

17680.1-2008）规定的总体原则和一般方法，结合小型堆的技术特点、事故分析、综合因素等情况合理确定范围。其中，严重事故谱应合理考虑事故发生的截断概率，可暂取 10^{-7} 至 10^{-8} /(堆·年)作为应急计划区划分的事例序列概率截断值。综合考虑各种因素，小型堆应急计划区的范围推荐值不大于3km。

根据小堆示范工程项目事故放射性后果，应急计划区半径可推荐为3km，满足《陆上小型压水堆核应急工作指导意见（试行）》关于应急计划区范围的要求。

对于多堆厂址，GB/T 17680.1-2008要求应确立一个统一的应急计划区，其边界可以是各机组应急计划区边界的包络线。海南昌江核电厂1、2号机组已运行，其确定的烟羽应急计划区范围为以1号机组为中心半径10km的区域，其中内区半径为5km。该区域能够包络小堆示范工程项目应急计划区范围。

第八章 流出物监测与环境监测

8.1 辐射监测

8.1.1 流出物监测

8.1.2 辐射环境监测

8.1.3 应急监测

8.2 其他监测

8.2.1 热影响监测

8.2.2 化学污染物和生活污水监测

8.2.3 气象观测

8.2.4 水文观测

8.2.5 生态监测

8.2.6 噪声监测

8.2.7 电磁监测

8.3 监测设施

8.3.1 流出物实验室

8.3.2 环境监测设施

8.4 质量保证

8.4.1 质量管理

8.4.2 质量控制

表

表 8.1-1 环境辐射监测各核素、方法汇总表

表 8.1-2 前沿站主要设备配置表

表 8.2-1 海南昌江核电厂运行期间非放监测项目方法

表 8.2-2 铁塔气象观测要素技术指标一览表

表 8.2-3 地面观测气象要素技术指标一览表

表 8.2-4 海南昌江核电厂运行期间噪声测量

表 8.3-1 0AL 实验室与 3、4 号机组和 1 台小堆共用需增加仪器及放置位置

表 8.3-2 环境辐射监测站主要设备配置表

表 8.3-3 环境实验室主要设备配置表

表 8.3-4 后备实验室主要设备配置表

图

图 8.2-1 新建厂址气象站地理位置示意图

8.1 辐射监测

8.1.1 流出物监测

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程运行期间流出物监测包括放射性流出物监测和非放射性流出物监测。其中，气载和液态放射性流出物是造成环境污染和居民受照剂量的主要源项，因此在流出物监测中对气载和液态放射性流出物进行重点监测。

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程设置有电厂辐射监测系统（IRM 系统），对液态流出物的排放管道上的低放液体和烟囱气载流出物进行在线监测；利用流出物实验室对气载流出物及液态流出物的取样样品进行测量。

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依据和参考了下列标准：

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）

《核设施流出物监测的一般规定》（GB 11217-89）

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

《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）

《核电厂安全重要仪表 事故及事故后辐射监测 第 1 部分：一般要求》（GB/T 12726.1-2013）

《核电厂安全重要仪表 事故及事故后辐射监测 第 2 部分：气态排出流及通风中放射性离线连续监测设备》（GB/T 12726.2-2013）

《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设规范（试行）》（环发[2012]16 号文件）

《核设施烟囱和管道释放气载放射性物质的取样和监测》（ANSI N13.1-2011）

《核电厂流出物放射性监测技术规范（试行）》（国核安发[2020] 44 号文件）

8.1.1.1 监测目的

运行期间流出物监测目的：

(1) 监测释放到环境中的气载和液态放射性流出物的浓度，判断其是否符合国家批准的排放量控制值和营运单位规定的排放管理目标值；

(2) 为判明本工程的运行以及放射性废物的处理和装置的工作是否正常有效提供数据和资料；

(3) 迅速发现计划外排放和事故排放，为鉴别排放性质、种类及其程度提供监测数据，以便及时采取措施；

(4) 给出报警和必要的执行动作，以控制不合理的排放，可为本工程在事故期间的应急响应提供信息。

8.1.1.2 制定监测方案的原则

制定本工程运行期间流出物监测方案和监测系统设计遵循的主要原则包括：

(1) 满足国家标准法规提出的流出物监测管理要求；

(2) 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；

(3) 对于分批排放，排放前取样分析；

(4) 对于具有事故后监测功能的仪表需考虑冗余监测；

(5) 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；

(6) 流出物监测和取样系统的设计中将考虑地方环保部门的监督性检查和测量。

8.1.1.3 气载放射性流出物监测

对本工程气载放射性流出物的排放监测和控制是防治环境污染措施的重要组成部分。本工程正常运行期间排放的气载流出物主要来自废气处理系统、反应堆厂房通风、核辅助厂房通风、核燃料厂房通风以及二回路相关系统的排放，通过烟囱排入大气。监测方式分为在线连续监测和取样分析两种。

(1) 烟囱在线连续监测

1) 放射性惰性气体连续监测

烟囱放射性惰性气体监测分为高活度浓度放射性惰性气体监测（1IRM006MA、1IRM016MA）两个通道和低活度浓度放射性惰性气体监测（1IRM005MA、1IRM015MA）两个通道，它们是事故后监测通道，属安全 1E 级设备，两个通道互为冗余，有显示、记录和报警功能。惰性气体连续监测仪需按照事故后监测系统（PAMS）的要求进行设计，这些要求包括：

- 系统设计为冗余监测，冗余设备之间进行实体隔离和电气隔离；
- 采用不间断电源供电；
- 对设备的输入输出信号进行信号保护；
- 对设备进行预先的质量鉴定，确保设备在事故后环境条件及地震条件下能保持正常运行；
- 对设备进行定期试验、校准。

2) 气溶胶连续监测

在烟囱设置气溶胶连续监测通道，对气溶胶的放射性水平进行连续监测，并设有显示、记录打印和报警功能。

3) 放射性碘连续监测

在烟囱设置放射性碘连续监测通道，对放射性碘水平进行连续监测，并设有显示、记录打印和报警功能。

(2) 取样测量

在烟囱气载流出物连续监测管路并行设置了取样装置，用于对气载流出物进行取样，所取样品送至厂区实验室进行测量和分析，拟取样和监测内容包括：惰性气体、气溶胶、碘、H-3 及 C-14。惰性气体取样方式为瞬时取样，气溶胶、碘、H-3 及 C-14 均为连续取样。

(3) 取样代表性

对于气载流出物，将主要从以下几方面考虑取样代表性：

- 烟囱流出物取样点位置的选择符合取样代表性原则，根据标准要求，通过流体分析软件建模分析，选取有代表性的取样位置，并进行试验验证符合标准规定的要求；
- 烟囱取样头的结构进行特殊设计，保证取得有代表性的气体流出物样品；在海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程中，烟囱取样头采用带护套的单嘴取样头进行烟囱流出物采样；
- 合理选择取样管道的直径和流量，尽量减少取样管道的长度和弯头个数，取样头到气溶胶取样器之间避免使用阀门、扩大管、减压器等部件，必须使用的阀门选择直通型，以尽可能减少气溶胶和碘在管路中的沉积。

(4) 气载放射性流出物排放量计算方法

$$A_{\text{年}} = \sum \{ (C_1/\eta_1 + C_2/\eta_2 + \dots + C_n/\eta_n + \dots) \times V_k \}$$

其中：

- $A_{\text{年}}$ 表示该年某类核素的排放量， Bq ；
- Σ 表示一年内各次排放量求和；
- C_1 、 C_2 、 C_n 表示某次排放废气中实验室取样分析测得某类某个核素的活度浓度， Bq/m^3 ，当监测结果高于探测下限时，以监测结果参与计算；当监测结果低于探测下限时，以探测下限的二分之一参与计算。；
- V_k 表示该次取样周期内排放的废气的排放体积， m^3 ；
- η_1 、 η_2 、 η_n 表示该类核素的取样采集效率，以对排放量统计进行修正。

气溶胶、气氡、气态 C-14、放射性碘为烟囱连续取样，排放量为实验室分析浓度乘上取样周期内烟囱排放气体总体积。烟囱惰性气体为单次取样，烟囱排放量为实验室分析浓度乘上取样周期内烟囱排放气体总体积。

8.1.1.4 液态放射性流出物监测

本工程的放射性废液来源包括核岛和常规岛。核岛的放射性废液送至海南昌江核电厂 3、4 号机组进行处理，在 3、4 号机组设置有核岛放射性废液连续在线监测和取样监测，以满足排放监测要求。常规岛的放射性废液在常规岛液态流出物排放系统（WQB）进行收集、贮存、处理。液体放射性流出物监测包括排放前的取样测量和排放过程中的在线监测。

（1）排放前的取样测量

在 WQB 废液罐中废液排放前，需从排放罐中采集样品送至厂区实验楼的仪器测量间进行测量，并分析其是否达到排放要求。

废液排放系统设置了三个排放槽。一个用于接收废液，另一个对废液进行混合、取样分析和排放，第三个备用。排放前废液在槽内充分混合使其成分均匀，从而保证取样具有代表性。

（2）排放过程中的在线监测

当对常规岛的 WQB 贮罐废液的取样分析结果低于排放管理限值时，则可排放已测定的贮罐中的废液。排放时，还需采用低放液体活度监测仪进行连续监测，当液体活度监测仪设备故障或所测放射性活度超过设定阈值时，监测仪给出信号触发相应废液排放管路中的隔离阀关闭并发出报警。

本工程共设置 1 台低放液体活度监测仪，用于监测常规岛贮罐排放废液的放射性活度浓度，核岛的废液排放是通过海南 3、4 机组的核岛废液排放厂房进行排放。常规岛监测道编号为 IRM902MA。

（3）液态放射性流出物排放量计算方法

液态流出物分为氚、C-14 和 γ 核素三类。对于某类核素一年排放量计算方法如下：

$$A_{\text{年}} = \sum \{ (C_1 + C_2 + \dots + C_n + \dots) \times V_k \}$$

其中：

- $A_{\text{年}}$ 表示该年某类核素的排放量，Bq；
- \sum 表示一年内各次排放量求和；
- C_1 、 C_2 、 C_n 表示某次排放废液中实验室取样分析测得某类某个核素的活度浓度，Bq/m³。当监测结果高于探测下限时，以监测结果参与计算；当监测结果低于探测下限时，以探测下限的二分之一参与计算；
- V_k 表示该次排放的废液的排放体积，m³。

8.1.1.5 地方环保部门监督性监测

本工程将采取一系列措施，配合地方环保部门监督性监测，主要包括：

- （1）本工程的气载和液态流出物在线监测的数据传输至环保部门指定地点；
- （2）经常保持与地方环保部门联系，接受地方环保部门的监督与指导；
- （3）积极配合地方环保部门进行流出物监督性监测工作，并为地方环保部门定期取样提供方便，包括：可根据需要向地方环保部门提供烟囱气溶胶及放射性碘的取样样品；提供烟囱中 ¹⁴C 和 ³H 样品给地方环保部门进行测量；从排放废液罐中提取废液样品时，同时为地方环保部门提取平行样品；
- （4）向地方环保部门及时提供流出物监测月报表；
- （5）定期进行监测结果的比对和监测技术的交流。

8.1.2 辐射环境监测

根据我国的有关标准及规定的要求，在海南昌江核电厂需建设环境监设施以满足本核电站运行后环境监测的要求。在海南昌江核电厂1、2号机组建设中，已建设了一套适用于海南昌江核电厂的环境辐射与气象监测系统及相关设施，以保证海南昌江核电厂内各机组正常运行下的常规环境监测以及事故情况下的环境应急监测，在本节中描述海南昌江核电厂已建设的环境监测设施以及本工程增加的环境监测设施。

运行期间环境监测依据的主要标准规范有：

GB 18871-2002	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》
GB 6249-2011	《核动力厂环境辐射防护规定》
GB 8999-2021	《电离辐射监测质量保证通用要求》

HJ 61-2021

《辐射环境监测技术规范》

HJ 1157-2021

《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》

国核安发[2012]98号文

《福岛核事故后核电厂改进行动通用技术要求（试行）》

8.1.2.1 监测目的

运行期间环境监测的目的是：

（1）测定环境介质中核素浓度及大气中 γ 辐射水平的变化，以评估本工程排放的放射性物质对周围环境的影响情况；

（2）及时发现环境介质中放射性活度的变化，并查找原因，以便采取预防措施；

（3）监测海洋环境介质是否符合国家环保标准；

（4）事故应急响应期间执行应急监测。

8.1.2.2 监测大纲

海南昌江核电基地已制定了详细的辐射环境监测大纲，按照监测大纲进行日常的环境监测。本工程建成后将对环境监测大纲进行适应性修改，以实现对整个厂址环境进行统一监测，将补充增加水中及生物 C-14、水中 Sr-90 的测量，陆地环境 γ 辐射剂量率连续监测点位将增加 2 个，场内地下水监测点位将增加 3 个。

8.1.2.3 监测范围

根据国家有关法规，运行期间进行环境辐射监测的范围如下：

- 环境 γ 辐射水平监测范围为以海南昌江核电厂为中心，半径约 20km 范围内，其余陆地环境放射性监测的项目监测范围以海南昌江核电厂为中心，半径约 10km 范围内。
- 海洋环境放射性监测以核电厂排水口为中心半径 10km 范围内，重点监测核电厂排放口 2km 范围内的海域。

8.1.2.4 布点原则

为了使采样和监测点的选取具有充分的代表性，在进行环境监测采样和监测点的布设中主要考虑的原则有：

- 环境 γ 辐射监测点及气态放射性物质取样点重点布置在主导风向的下风向、厂区边界附近区域。
- 考虑海南昌江核电厂厂址区域附近地区的地形等条件及废液排放方式及特点、潮汐规律；海上取样点主要设在总排放口及其附近海域；土壤采样点设置在无水土流失的原野或田间。
- 重点关注“三关键”的监测，针对关键居民组、关键照射途径、关键核素进行重点布点监测。

- 对能够浓集放射性核素（如⁹⁰Sr）的指示性介质（如贝类）进行测量；相关介质至少每年取样分析一次。通过对指示生物的分析，以便及时发现环境介质中放射性含量的微小变化。

- 根据近密远疏的原则布点：对附近居民主要食用、饮用且来源于当地的环境介质重点取样监测；对核电厂排放量较大放射性核素（如³H、¹⁴C）进行重点监测。

- 相关监测点及介质品种尽可能与本底调查一致，以便进行运行前后的对照分析；同时根据环境监测的经验反馈、监测技术进步及厂址周围可能的环境变化进行调整。

- 固定式环境监测子站的设置与地方监督性监测子站设置位置互补，考虑人口分布、风向、供电通信条件后，基本保证在核电厂周围16个方位的陆域都设有一个自动监测站。

- 为区分核电厂的辐射来源与其他的辐射来源，设置部分对照点。

8.1.2.5 监测项目

本工程运行期间主要进行以下项目的监测工作：

（1）气象参数测量

风速、风向、空气温度、相对湿度、降雨量、大气压、天空总辐射、净辐射。

（2）环境 γ 辐射水平监测

大气中环境 γ 辐射水平的连续监测；

累积剂量监测；

非连续监测的瞬时剂量率。

（3）环境介质放射性核素浓度监测

8.1.2.6 测量方法

根据监测任务和样品的种类采取以下不同的测量方法，监测方法及探测下限详见表8.1-1。

（1）实验室分析测量（对环境介质样品）

物理测量和分析：使用低本底 α/β 测量仪、低本底液体闪烁测量装置、低本底 γ 谱仪等仪表进行 α/β 放射性活度测量、 γ 能谱核素分析、³H和¹⁴C放射性活度测量。

放射化学测量分析：放射化学测量分析的方法按照国家标准规定进行，主要对环境介质中的⁹⁰Sr等核素进行测量分析。

（2）固定式环境 γ 辐射监测和流动的辐射监测

设置环境 γ 辐射监测站，进行连续监测；

在环境中定点布设 TLD 元件，并在实验室中用热释光剂量测量仪进行累积剂量测量；

设置环境监测车/应急监测车进行本工程周边环境 γ 辐射监测，车上设有车载 γ 剂量率监测仪、便携式 γ 谱仪、便携式 γ 剂量率监测仪等设备。

（3）气象观测

在气象铁塔及地面设置风速、风向、空气温度、相对湿度、降雨量、大气压、天空总辐射、净辐射等气象要素传感器用来连续观测厂区的局部气象状况。

8.1.2.7 地方环保部门的监督性监测

海南昌江核电基地已为海南省地方环保部门建设了监督性监测前沿站和 10 个监督性监测子站，目前处于正常运行状态，将依托 3、4 号机组新增 5 个监督性监测子站。其中，前沿站位于昌江县石碌镇环城东路，主要设备配置见表 8.1-2。

本工程将主要从以下几个方面保证对监督性监测的支持：

（1）为地方环保部门现场监测提供方便，包括人员出入支持、人员配合、水电及监测场地的支持等；

（2）开展实验室之间的检测结果比对活动，增强交流和了解。

8.1.3 应急监测

8.1.3.1 监测目的

海南昌江核电厂应急环境辐射监测目的是，在核电厂事故应急状态下，为了解和掌握环境辐射水平和放射性污染情况。在核电厂发生事故时，环境/应急监测车将携带便携式仪表对厂址区域的环境 γ 辐射水平进行快速测量，如有必要，环境介质采样车将对空气、土壤、地面水、陆地生物以及电厂排放口及周围海域海水等环境介质取样，并根据事故发展情况调整取样频度，送至环境实验室中进行测量分析，以确定污染区域和污染水平，为评价事故性质、源项大小以及应采取的防护措施提供依据。

8.1.3.2 监测范围

海南昌江核电厂应急计划区具体范围：烟羽应急计划区，以发生事故的核反应堆为圆心 10 公里的范围，其中内区为 5 公里，外区为 5-10 公里的环形区域；食入应急计划区，以发生事故的核反应堆为圆心 10-50 公里的环形区域。

事故早期应急环境监测对象主要是放射性烟羽，巡测范围基本限定在烟羽应急计划区，巡测的重点是烟羽应急计划区的 5 公里内区。事故中期的监测范围包括整个食入应急计划区，并可能拓展到半径 50 公里范围。

事故后期监测范围包括中期监测涉及的全部范围，将可能达到至少半径 50 公里的区域，取样点位同常规环境监测，见海南昌江核电厂《环境监测大纲》。

如发生海洋放射性污染，在早期阶段，海上重点监测范围为 5 公里，根据放射性污染情况，监测半径可逐步扩大至 30 公里；中、后期阶段的监测范围考虑扩展至可能受污染的更远海域。

因台风等恶劣天气及其他自然灾害引起的应急状态，应根据天气情况和安全状况评估，在确保人身安全的前提下开展环境巡测工作。海南昌江核电厂将依据现场核事故放射性物质释放情况、气象条件、核事故后果预测评价结果及与场外应急组织沟通协调的结果等进行综合考量，合理布置辐射环境监测力量，在实际应急监测过程中对应急监测范围进行调整。

8.1.3.3 监测内容

● 早期阶段监测方案

应急监测早期优先实施针对 OIL 的监测，采用固定式 γ 辐射连续自动测量的方式，固定式自动站发生故障或方位距离无法满足监测要求时，应布设投放式自动装置或采用车载巡测。早期阶段监测还应关注大气放射性水平。沉降物、土壤和生物等按要求采样，必要时进行分析。

● 中期阶段的监测方案

事故中期应急监测的重点在于对地面沉积的评价，测量项目包括地面沉积引起的辐射剂量率、地表污染水平以及植物、土壤和水体（饮用水）的污染水平。

● 后期阶段的监测方案

事故后期由于长时间的烟羽扩散和放射性核素的沉降，发生事故的核反应堆周边环境趋于稳定，监测方案可逐步恢复至常规监测。

8.1.3.4 监测路线

依据事故后果及场外环境剂量水平，应急指挥中心根据环境监测结果，研究讨论出在事故气象条件下相对较优 1-2 条撤离路线，并开展巡测工作。

为了迅速和有效地实时应急监测，海南昌江核电厂在事故条件下已事先确定 3 条监测路线，监测路线的确定主要考虑到以下几点：

- 为事故后果评价提供参考；
- 为制定具体的撤离路线提供参考。

8.1.3.5 监测设备内容

参与应急环境监测的监测设施和设备主要包括：

- 固定式环境监测子站：监测设备具有足够宽的量程，目前设置维持 7 天以上的备

用电池，具备应急条件下进行连续监测的能力。数据传输方式采用有线及无线两种模式，两种模式互为备用。

- 应急监测子系统：目前电厂配备有 5 套移动式 γ 辐射监测设备及相应数据接收处理单元。根据事故影响的范围，为了对部分重点位置加强监测，或在环境 γ 辐射固定监测站不可用的情况下，将移动式 γ 剂量率监测设备放至指定地点进行环境 γ 剂量率的连续监测，监测数据通过无线方式传输至 EM 楼中央站。
- 应急监测车辆与便携式取样/巡测设备：监测车辆包括一辆环境监测车和一辆应急监测车以及一辆介质采样车。可以快速给出环境 γ 辐射水平、表面污染、空气中主要放射性核素等。数据传输方式采用无线传输。便携式取样/巡测设备主要包括 γ 剂量率仪、 α/β 表面污染仪、风向风速仪等，在应急情况下将便携式仪表搬上监测车辆用于快速取样与测量。
- 气象站：气象参数为事故应急期间的应急决策提供数据支持。气象参数主要来自气象铁塔、地面气象观测站以及地方气象部门的预警信息。
- 环境实验室：环境实验室在事故期间仍具备对环境介质的放射性测量能力，在事故期间参与应急响应。为了保证在事故情况下的应急监测能力，在海南昌江核电基地环境实验室不可用的情况下，可使用后备实验室。后备实验室建设于海南省监督性监测系统前沿站内，距离海南昌江核电基地约 30km，建筑面积约 170m²。

8.1.3.6 样品采集、处理和管理

- 采样原则

早期样品快速采样、防止交叉污染；用 γ 辐射水平或表面污染水平进行样品辐射水平筛查。

- 处理原则

早期阶段监测中，对采集的样品不作水洗、烘干、灰化、蒸发和浓缩等前处理，直接封装测量。中、后期阶段监测中，按核素种类、活度水平选择处理方法。

8.1.3.7 样品管理

样品取样、流转、分析、保留等需记录完整的样品信息，测量后的样品需在设立的应急样品保留室进行留存，需注意防止样品交叉污染，不同活度样品应分区储存。

8.2 其他监测

8.2.1 热影响监测

示范工程将梳理相关标准规范等要求，参考同行电厂做法，开展运行机组温排水监测，

采用卫星遥感技术，辅助开展海面航空遥感测量或海面实测等方式，调查核电厂温排水排放对附近海域热环境的影响状况。在运行期间每 5-8 年开展一次场址附近海域温排水监测活动。

8.2.2 化学污染物和生活污水监测

为评估排水中非放射性化学物质对附近水环境的潜在影响，海南昌江核电定期对取、排水口的水质进行监测（取水口为对照点），主要监测项目包括硼、油类、阴离子洗涤剂、溶解氧、电导率、pH 值等，具体监测项目及频次以海南昌江核电实际执行的监测程序为准。

海南昌江核电厂制定了《非放污水管理》程序，规定了厂区的生活污水排放执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）的一级 A 标准和非放射性生产废水满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中的一级标准，按照程序的要求对厂区的非放污水进行管理。生活污水出水监测方案详见表 8.2-1。

8.2.3 气象观测

由于原厂址气象站受周围海岸防护林的存在，低层气象观测的风速、风向受到了一定的影响。因此，2020 年在本厂址建设了新的厂址气象站，位置见图 8.2-1。同年 12 月新厂址气象站正式开始观测。

目前，厂址地面气象站进行气温、湿度、气压、风速、风向、降水量、总辐射和净辐射、蒸发的实时测量，并可计算出气象要素平均量、阶段时间内的极值、露点温度、水汽压、湿球温度等。气象铁塔高 102m，在 10m、30m、50m、70m 和 100m 高度处架设了 5 层风速、风向和气温传感器，开展塔层风、温观测。表 8.2-2 和表 8.2-3 给出了气象铁塔和地面观测传感器的技术指标。

2022 年 3 月~2024 年 2 月观测期间厂址气象观测系统（地面站和气象铁塔）各气象要素的数据联合获取率为 99.3%，满足导则要求。

8.2.4 水文观测

在厂址大件码头处设置有一个水文站，主要功能是对潮位、水温、盐度等水文要素进行长期连续自动监测，由海南省海洋部门负责运行管理。

8.2.5 生态监测

示范工程将参考同行业和国内同类电站的做法，跟踪标准规范等相关要求，逐步开展监测方案的制定等工作，每 5 年开展一次海洋环境、海洋堵塞物调查活动并更新风险月历。

8.2.6 噪声监测

本工程运行期间，计划每年度对示范工程厂界及离核电厂最近的居民敏感点开展一次

噪声监测。监测详情见表 8.2-4。

8.2.7 电磁监测

电磁辐射监测对象为海南昌江核电厂 220kV 开关站，监测内容包括线路周边工频电场、工频磁场强度；核电厂 220kV 出线围栏外 0、5、10、15...195、200m，分别测量离地 1.5m 处的电场强度垂直分量、磁场强度垂直分量和水平分量，每年监测 1 次。

8.3 监测设施

8.3.1 流出物实验室

8.3.1.1 电厂流出物实验室

流出物实验室用于监测核电厂气载和液态流出物的样品，以确定被排放气载和液态流出物的放射性水平，保证向环境的受控排放。本工程流出物实验室与海南昌江核电厂 1、2 号机组共用一个流出物实验室，通过增加部分设备的手段，以满足本工程测量需求。实验室处于辐射防护控制区，人员进出需要通过卫生出入口进行管理。

本工程气载放射性流出物和液态放射性流出物的实验室分析项目包括：烟囱气态氙、烟囱气态 C-14、烟囱惰性气体、烟囱气态碘、烟囱气溶胶；另外，对于核岛液态氙、核岛液态 C-14、核岛液态 γ 核素、核岛液态流出物中 Sr-90，Ru-106 以及总排口气，示范工程只收集核岛废液，后续传输到 3、4 号机组，由 3、4 号机组分析检测和排放。

现有流出物实验室改造方案如下：

通过增加部分使用频率高、分析任务重要的分析测量仪器的数量，能够满足昌江 1、2 号机组和 1 台小堆工程共用 OAL 流出物实验室的要求。配套增加仪器放置工位并重新对调整和新增仪器放置工位进行给排水、常规电、UPS 电源、气、暖通、通信设施、实验台尺寸等配套技术改造。共用仪器和新增仪器列表见表 8.3-1。

8.3.1.2 监督性流出物监测设施

厂区外的监督性流出物实验室与海南 1、2 号机组共用，监督性流出物实验室主要用于核电厂液态和气载流出物样品的分析，测量结果为环境保护部门监督评价海南昌江核电厂的流出物排放达标情况提供依据。监督性流出物实验室配置有低本底物理测量设备、通用化学分析设备及辅助设施。

8.3.2 环境监测设施

海南昌江核电基地已建成了一套环境监测系统及设施，基本覆盖整个厂址区域的环境监测需求。本工程将在已有的环境监测系统及设施基础上进行调整和补充以满足整个基地的环境监测需求。

8.3.2.1 环境辐射与气象监测系统

海南昌江核电基地已建设一套环境辐射与气象监测系统，用于连续监测厂区及周围环境地区的环境 γ 辐射水平，采集厂区及周围地区的环境介质样品并送往环境实验室分析测量，连续监测厂址区域的气象要素，为环境评价和应急决策提供气象数据，为评价本工程对环境的影响以及事故应急期间应急方案制定提供监测数据支持。

（1）气象站

海南昌江核电基地已建成气象站，对厂址所在区域的各气象要素进行实时监测、记录，主要的设施包括气象观测塔和地面气象站，所配置主要设备有气象传感器、数据采集器、数据处理传输装置等；

测量参数包括：风速、风向、空气温度、相对湿度、降雨量、大气压、天空总辐射、天空净辐射。

（2）固定式环境 γ 辐射监测站（简称“固定监测站”）

依托海南昌江核电 1、2 号机组已在厂区内建设 4 个固定监测站、在厂区外 10km 范围内建设 5 个固定监测站，本工程新增 2 个监测站，3、4 号机组工程新增 2 个监测站，设备配置见表 8.3-2。监测站用于正常运行期间及应急期间的环境 γ 辐射剂量率的连续监测，运行期间的部分环境介质取样。

固定监测站的设备配备包括 γ 辐射探测器、取样装置、数据传输装置等。测量参数包括大气中环境 γ 辐射水平的连续监测、气溶胶采样、H-3、C-14 和 I-131 采样、雨水/沉降灰采样，厂外的监测站还设置有风速、风向、雨量测量传感器。

（3）环境监测车/应急监测车/环境介质采样车

海南核电基地已设置 1 辆环境监测车、1 辆应急监测车及 1 辆环境介质采样车。车辆放置在环境实验室的专用车库中。定期对厂区周围环境 γ 辐射水平进行巡测，同时在事故应急时参与应急监测。

监测车辆的设备配备包括：车载 γ 辐射监测仪、车载自动气象监测仪、便携式多道 γ 谱仪、便携式 α/β 表面污染测量仪、便携式气溶胶、碘取样器等若干便携式仪表及设备，还配置有车载数据通信和数据管理设备等；测量项目包括：正常运行情况下电厂周围环境 γ 辐射水平进行巡测（瞬时测量）。事故应急期间的环境 γ 辐射水平巡测、表面污染测量及气溶胶/碘取样。

环境介质采样车按照程序定期从厂址周围环境进行各类环境介质的采集、运输。采样车上主要配置有专用采样工具及包装袋、容器等。

（4）移动式 γ 辐射监测系统

海南昌江核电基地已设置有一套移动式环境 γ 辐射监测子系统，可连续测量环境 γ 剂量率和 γ 能谱。该系统配置 NaI 谱仪探测器，在事故期间且固定式环境 γ 辐射监测站不可用的情况下，快速投放至指定地点，作为环境 γ 辐射水平监测的补充手段。

（5）中央数据处理站

中央数据处理站设置在应急指挥中心内，主要进行环境 γ 辐射和气象数据的接收、处理、存储，并将环境实验室内各测量室得到的测量数据统一集中管理。中央数据处理站主要设备有包括环境 γ 辐射和气象数据的接收处理装置、数据处理计算机、中央数据服务器、操作工作站等。

8.3.2.2 环境实验室

海南昌江核电基地已建成环境实验室，目前处于正常运行状态。环境实验室用于对从厂区周围环境采集回来的环境介质样品进行处理、测量和分析，并在事故期间参与应急环境监测。实验室测量的项目包括 γ 谱分析、总 α 、总 β 、H-3、C-14、Sr-90、累积剂量测量分析等。

环境实验室建筑面积 2325 m²，设置低本底物理测量房间、样品预处理及制备房间、化学制样及分析房间及其他辅助房间，并主要配置以下几类设备：

- 放射性分析测量仪器：低本底 α/β 测量仪、低本底液体闪烁计数器、高纯锗 γ 谱仪和累积剂量测量设备等；
- 制样设备：马福炉、烘箱、电子天平等；
- 实验室家具：通风柜、实验台等。

环境实验室主要设备配置见表 8.3-3。

8.3.2.3 后备环境实验室

后备环境实验室设在海南省地方环保系统前沿站内。在该站内将设置专属核电厂使用的测量场所及设备，定期进行维护。在核电厂环境实验室主楼不可用的情况下，可将样品送至后备实验室进行测量分析。后备实验室包括样品处理、化学制样、放射性测量等房间，具有样品预处理、制样、测量分析功能。

后备实验室配备的设备见表 8.3-4，主要包括：

- 放射性测量系统：低本底 γ 谱仪系统、液体闪烁体计数器系统、低本底 α/β 测量系统等仪器设备等；
- 样品处理设备：马弗炉、烘箱、电阻炉等；

- 化学制样分析仪表：过滤真空泵、离心机、恒温水浴锅、电子天平等；
- 实验室家具：通风柜、实验室分析边台等。

8.3.2.4 厂区地下水监测井

为监测本工程运行期间对地下水的影响情况，核电基地设置了地下水监测井，用于对厂区附近地下水进行取样，样品送至环境实验室进行测量分析，本工程新增3口监测井。

8.3.2.5 监督性前沿站和监测子站

监督性前沿站位于昌江县石碌镇，与监督性流出物实验室处于同一小区。前沿站建筑面积约2582.7m²，为地上三层，配备有低本底物理测量设备、通用化学分析设备及辅助设施，可完成环境样品的采样、制样、低本底测量等功能。

8.4 质量保证

8.4.1 质量管理

8.4.1.1 组织机构

- 编制组织管理程序，明文规定管理和实施质量保证计划的组织机构、人员设置及其职责、权力等级；
- 建立统一的环境监测组织机构，对海南昌江核电厂的环境监测进行统一管理。

8.4.1.2 人员资格和培训

监测结果的精密度和准确度与工作人员的经验、知识和技术水平有关，因此，制定了下列措施：

- 从事环境监测的人员必须具有大专以上的文化程度以及核电厂环境监测专业知识、技术水平和工作能力；
- 从事环境监测的所有人员均需接受上岗前培训，熟悉有关采样、样品处理、分析测量、仪器设备运维以及数据处理和评价，经考核并取得相应的授权后方可独立上岗。

为了保持从事环境监测人员的技术熟练程度，根据相应情况组织培训、考核、以及定期的技能评审。

8.4.2 质量控制

8.4.2.1 样品采集、运输和贮存中的质量控制

样品采集、运输和贮存中的质量控制目的在于采集到具有代表性的样品，并保持放射性核素在样品处理之前的原始浓度。为达到此目的，采取了以下质量控制措施：

- 制定各类环境介质的采样计划，包括选择合适的采样地点和位置，选择合理的采样时间、采样频率和采样方式，以保证采集到具有代表性的样品；

- 根据各类环境介质的特点，严格遵守各类环境介质的采样、包装、运输和贮存的技术标准及操作程序，详细准确地填写采样、前处理、交接、分析测量和贮存记录。各种记录均有责任者签名；
- 准确地测定样品的质量、体积或流量，其误差一般控制在10%以内；
- 操作样品时具有防止交叉污染的措施；
- 采样时的样品数量包括分析样品总数5%~10%的质量控制样品及分析样品总数的20%的保留样品；
- 可保存的各类常规样品（包括分析剩余样品、非破坏性分析样品和备检样品）部分保存十年，并附有可靠的标签和专门的记录。强沾污样品及有特殊情况的样品将保存到作出结论后再处理。

8.4.2.2 样品处理、分析测量中的质量控制

样品处理、分析测量中的质量控制措施包括：

- 样品的预处理和分析测量均采用标准的方法，或者经过鉴定和验证过的方法。并有完备的书面程序。任何操作人员均不得擅自修改常规采用的方法或程序。在对样品的处理中采取有效措施以防止核素损失和使样品受到污染。准确地配制载体和标准溶液、注意检查载体和标准溶液的质量。严格制备供放射性测量的样品；
- 在分析测量的操作过程中注意防止样品之间的交叉污染；
- 为了确定分析测量过程中的不确定度，在需要时采取相应的校正措施。分析测量的质量控制样品约占样品数的5%~10%；
- 分析测量掺标样品或标准参考物质，以确定分析测量的准确度。分析测量时，采用与相应的待测样品相同的操作程序和修正已定的系统误差；
- 分析测量空白样品，以发现和量度样品在预处理、分析测量过程中的沾污，并提供适当扣除本底的数据。空白样品与待测样品同时进行预处理和化学分析；
- 为了发现和确定实验室分析测量所产生的系统不确定度，验证环境监测设备和方法的可靠性，确保环境监测数据的精确性和可比性，参加国家和环境监测系统主管部门组织的实验室之间分析测量的比对及国际比对；
- 环境监测设备严格执行定期检定和校准制度，所有放射性测量仪器，均按照检定周期定期检定。刻度所用标准源和标准物质，可追溯至国家计量标准或国际计量标准。新的或经过维修的环境监测设备，在使用前必须进行性能的调试、检定和校准。

8.4.2.3 数据处理中的质量控制

数据处理中的质量控制包括：

- 每个样品从采样、预处理到分析测量、结果计算过程中的每一步都有清楚、详细、准确的记录，并由责任者签字。原始记录和环境监测结果将永久保存；
- 保留详细、准确的质量控制记录。包括所有采样和分析测量仪器的性能检定、校准、检验和维修情况；质量控制样品分析和实验室间的比对情况；标准计量器具、标准源、标准参考物质的使用情况和掺标样品、载体和标准溶液的配制情况；计算机程序验证情况等。将有关质量控制文件长期保存；
- 数据统计学处理。包括数据可靠性分析；数据分布检验等。数据处理尽量采用标准方法，减少处理过程中产生的误差。对数据处理、计算结果进行严格审核，审核人在审核报告上签字；对于异常结果，计算者和审核者应及时查明原因，若属于分析测量差错或其它过失应该及时采取纠正或补救措施；
- 对于偏离正常值的异常结果，及时向技术负责人报告，并在自己的职责范围内进行核查；
- 环境监测报告中所采用的值、单位和符号等均符合国家颁布的标准；
- 对不符合质量保证要求的监测结果，必须进行审查、评价，并确定是否使用或废弃或采取补救办法。

表 8.1-1 环境辐射监测各核素、方法汇总表

序号	调查对象	分析项目	分析方法（参考标准）	样品量	测量时间	测量设备	典型探测限
1	空气吸收剂量率(γ 辐射)	连续瞬时	辐射环境空气自动监测站运行技术规范（HJ1009-2019）	/	/	高气压电离室	10nGy/h
		累积	个人和环境监测用热释光剂量测量系统（GB/T 10264-2014）	/		RGD6B 热释光读出仪	20 μ Gy
		瞬时	环境 γ 辐射剂量率测量技术规范（HJ1157-2021）	/	/	便携式 X- γ 剂量率仪	10nGy/h
2	气溶胶	γ 能谱	环境空气 气溶胶中 γ 放射性核素的测定 滤膜压片 γ 能谱法（HJ1149-2021）	10000m ³	80000s	GC6020（P型），BE3830（宽能）	1.4 μ Bq/m ³
		⁹⁰ Sr	水和生物样品灰中锶 90 的放射化学分析方法（HJ815-2016）	10000m ³	600min	LB4200 低本底流气式正比计数器	2.0 μ Bq/m ³
3	沉降物	γ 能谱	环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法（GB/T16145-2022）	20m ² ·d	80000s	GC6020（P型），BE3830（宽能）	3.0(¹³⁷ Cs)mBq/(m ² ·d)
		⁹⁰ Sr	水和生物样品灰中锶 90 的放射化学分析方法（HJ815-2016）	20m ² ·d	600min	LB4200 低本底流气式正比计数器	1.0mBq/(m ² ·d)
4	空气	³ H	水中氚的分析方法（HJ1126-2020）	1-2.5L	1000min	Quantulus 1220 低本底液闪谱仪	25mBq/ m ³
		¹⁴ C	空气中 ¹⁴ C 的取样与测定方法（EJ/T 1008-1996）	3m ³ （2g）	1000min	Quantulus 1220 低本底液闪谱仪	0.1Bq/g·碳
		¹³¹ I	空气中碘-131 的取样与测定（GB/T 14584-1993）	100m ³	540min	GC6020（P型），BE3830（宽能）	2.0mBq/m ³
5	降水	³ H	水中氚的分析方法（HJ1126-2020）	1-2.5L	1000min	Quantulus 1220 低本底液闪谱仪	2.0Bq/L
6	土壤、地表水沉积物、	⁹⁰ Sr	土壤中锶-90 的分析方法（EJ/T 1035-2011）	50g	600min	LB4200 低本底流气式正比计数器	0.5Bq/kg

序号	调查对象	分析项目	分析方法（参考标准）	样品量	测量时间	测量设备	典型探测限
	海洋沉积物	γ能谱	环境及生物样品中放射性核素的γ能谱分析方法（GB/T16145-2022）	300g（干）	80000s	GC6020（P型），BE3830（宽能）	1.0Bq/kg （ ¹³⁷ Cs） （干）
		²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	水和土壤样品中钚的放射化学分析方法（HJ 814-2016）	30g	24h	α谱仪（外委测量）	1.5×10 ⁻² mBq/g
7	地表水、地下水、饮用水、	³ H	水中氚的分析方法（HJ1126-2020）	1-2.5L	1000min	Quantulus 1220 低本底液闪谱仪	2.0Bq/L
		γ能谱	环境及生物样品中放射性核素的γ能谱分析方法（GB/T16145-2022）	30L	80000s	GC6020（P型），BE3830（宽能）	3.0mBq/L(¹³⁷ Cs)
		总α	水质 总α放射性的测定 厚源法（HJ 898-2017）	2-5L	600min	LB4200 低本底流气式正比计数器	50mBq/L
		总β	水质 总β放射性的测定 厚源法（HJ899-2017）		600min	LB4200 低本底流气式正比计数器	30mBq/L
		⁹⁰ Sr	水和生物样品灰中锶 90 的放射化学分析方法（HJ815-2016）	10L	600min	LB4200 低本底流气式正比计数器	1.0mBq/L
		¹⁴ C	加酸吹扫-Carbsorb 吸收-液体闪烁计数法	20L	1000min	Quantulus 1220 低本底液闪谱仪	2mBq/L
8	海水	³ H	水中氚的分析方法（HJ1126-2020）	1-2.5L	1000min	Quantulus 1220 低本底液闪谱仪	2.0Bq/L
		γ能谱	环境及生物样品中放射性核素的γ能谱分析方法（GB/T16145-2022）	30L	80000s	GC6020（P型），BE3830（宽能）	3.0mBq/L(¹³⁷ Cs)
		⁴⁰ K	水中钾-40的分析方法（GB/T 11338-1989）	500ml	1min（火焰法）	原子吸收分光光度计	1.0mBq/L

序号	调查对象	分析项目	分析方法（参考标准）	样品量	测量时间	测量设备	典型探测限
		总β	水质 总β放射性的测定 厚源法（HJ899-2017）	2L	600min	LB4200 低本底流气式正比计数器	0.8Bq/L
		⁹⁰ Sr	水和生物样品灰中锶 90 的放射化学分析方法（HJ815-2016）	10L	600min	LB4200 低本底流气式正比计数器	1.0mBq/L
		¹⁴ C	加酸吹扫-Carbsorb 吸收-液体闪烁计数法	20L	1000min	Quantulus 1220 低本底液闪谱仪	2mBq/L
9	生物灰	⁹⁰ Sr	水和生物样品灰中锶 90 的放射化学分析方法（HJ815-2016）	10g(灰)	600min	LB4200 低本底流气式正比计数器	1mBq/kg (灰)
		¹⁴ C	生物中氚和碳-14 的分析方法管式燃烧法（HJ1324-2023）	2g（灰）	1000min	Quantulus 1220 低本底液闪谱仪	0.1Bq/g (碳)
		³ H（TFWT）	生物中氚和碳-14 的分析方法管式燃烧法（HJ1324-2023）	叶菜：2kg	1000min	Quantulus 1220 低本底液闪谱仪	1.0Bq/kg (鲜)
		³ H（OBT）	生物中氚和碳-14 的分析方法管式燃烧法（HJ1324-2023）	叶菜：8kg	1000min	Quantulus 1220 低本底液闪谱仪	0.5Bq/kg (鲜)
		γ能谱	环境及生物样品中放射性核素的γ能谱分析方法（GB/T16145-2022）	20kg（鲜）	80000s	GC6020（P型），BE3830（宽能）	10mBq/kg (鲜) (¹³⁷ Cs)

注：表中样品量及典型探测限值参考 HJ61-2021 表 15《辐射环境监测常用仪器、样品量和典型探测下限》。

表 8.1-2 前沿站主要设备配置表

序号	设备材料名称	型号规格及主要技术特性	单位	数量
1	高纯锗 γ 谱仪	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 测量能量范围：50keV~10MeV ◆ 相对测量效率：60% ◆ 能量分辨率：$\leq 2.1\text{keV}$(在 1.33MeV 处) ◆ 道数：8192 道或以上 ◆ 温度系数：$\leq 35\text{ppM}/^\circ\text{C}$ 	套	1
2	低本底 α/β 测量仪	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 流气式正比计数器 ◆ 有效探测面积为$\Phi 50\text{mm}$ ◆ 探头个数：不少于 8 个测量通道 ◆ 由铅屏蔽体围成，铅室内衬不锈钢 ◆ 反符合效率$\geq 99.9\%$ 	套	2
3	液体闪烁计数器	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 测量对象：β射线 ◆ 能量范围：0~2MeV ◆ 探测效率：对密封的充过氮的有机样品 H-3：>60% C-14：>95% 	套	1
4	热释光剂量测量系统	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 加热盘尺寸与热释光探测器形状匹配 ◆ 自动/手动选择加热方式和升温程序 ◆ 自动选择/手动输入剂量计编号 ◆ 自动显示当前测量值 	套	1
5	原子吸收光谱仪	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 波长范围：190~900nm ◆ 石墨炉温度范围：室温~2600$^\circ\text{C}$ 	套	1

表 8.2-1 海南昌江核电厂运行期间非放监测项目方法

监测项目	分析方法	方法依据
pH 值	玻璃电极法	GB/T5750.4-2023
电导率	便携式电导率仪法	《海水监测分析方法》
溶解氧	碘量法	GB/T7489-1987
六价铬	二苯碳酰二肼分光光度法	GB7467-1987
总铬	高锰酸钾氧化—二苯碳酰二肼分光光度法	GB7466-1987
余氯	N,N-二乙基-1,4-苯二胺现场测定法	HJ586-2010
正磷酸盐	磷钼蓝分光光度法	GB17378.4-2007
联氨	对二甲氨基苯甲醛分光光度法	GB/T5750.8-2023
硼	姜黄素分光光度法	HJ/T49-1999
石油类	紫外分光光度法	HJ970-2018
铁	邻菲罗啉分光光度法	HJ/T345-2007
硫酸盐	重量法	GB/T11899-1989
锂、镍、钠	原子吸收分光光度法	GB/T20975.9-2020、 GB/T11912-1989、 GB/T11904-1989
阴离子表面活性剂 (LAS)	亚甲蓝分光光度法	GB7494-1987
氨氮	纳氏试剂分光光度法	HJ535-2009
色度	稀释倍数法	GB11903-1989
悬浮物	水质悬浮物的测定重量法	GB/T11901-1989
五日生化需氧量 (BOD ₅)	稀释与接种法	HJ505-2009
化学需氧量(COD)	重铬酸盐法	HJ828-2017
总磷（以 P 计）	钼酸铵分光光度法	GB11893-1989
总氮	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法	HJ636-2012
悬浮物	重量法	GB11901-1989
动植物油	红外分光光度法	HJ637-2018
粪大肠菌群	多管发酵法	HJ347.2-2018

表 8.2-2 铁塔气象观测要素技术指标一览表

测量要素	测量范围	分辨率	准确度	平均时间	自动采样速率
风向	0°~360°	2.5°	±3°	3s	1 次/s
风速	0.3~60m/s	0.05m/s	(0.3+0.03v)m/s 基准站	1min 2min 10min	
气温	-50℃~+50℃	0.1℃	±0.1℃	1min	

表 8.2-3 地面观测气象要素技术指标一览表

测量要素	测量范围	分辨率	准确度	平均时间	自动采样速率
气温	-40℃~+85℃	0.1℃	±0.1℃	1min	6 次/min
相对湿度	0~100%	1.5%	4% (≤80%) 8% (>80%)	1min	6 次/min
气压	600~1100hPa	0.1hPa	±0.3~1.5hPa	1min	6 次/min
风向	0°~360°	2.5°	±3°	3s	1 次/s
风速	0.3~60m/s	0.05m/s	(0.3+0.03v)m/s 基准站	1min 2min 10min	
降水量	雨强 0~4mm/min	0.1mm	2% (≤25mm) 3% (≤50mm)	累计	1 次/min
总辐射	0~2000W/m ²	1W/m ²	5%	1min	6 次/min
净辐射	-2000~2000 W/m ²	1W/m ²	15%~20%	1min	6 次/min
蒸发	0-100mm	0.1mm	水面蒸发量为 3000ml 时： ≤±0.3mm 或者 ≤±0.1mm	1min	1 次/min

表 8.2-4 海南昌江核电厂运行期间噪声测量

序号	监测点位	点位坐标	监测内容	监测频次
1	临建区污水处理站西南角	N19—27140.55" E108—541 18.77"	噪声	1次/年(需分别在昼间、夜间两个时段测量,夜间有频发、偶发噪声影响时同时测量最大声级)
2	淡水厂围墙附近	N19—27118.85" E108—541 0.98"		
3	1号门卫附近	N19—27116.65" E108—531 56.56"		
4	4号门卫附近	N19—27151.96" E108—531 4.54"		
5	临建区东南角	N19—27131.95" E108—541 17.07"		
6	5号门卫附近	N19—2810.72" E108—541 3.50"		
7	好当家虾场	N19—2815.22" E108—531 39.72"		
8	子鸡地村	N19—27125.50" E108—531 28.18"		
9	马地村	N19—2711.99" E108—531 28.97"		
10	波兰村边	N19—26441.61. E108—544 12.58.		

表 8.3-1 0AL 实验室 1、2 号机组和 1 台小堆共用需增加仪器及放置位置

	分析仪器	考虑 1、2 号机组+1 台小堆 分析任务需增加仪器（台）	初步考虑放置位置
1	高纯锗谱仪	1	215 房间,原 224 探头间放置空间不够, 需新增工位
2	碘化钠谱仪	1	215 房间
3	低本底 α/β 测 量仪	1	215 房间

表 8.3-2 环境辐射监测站主要设备配置表

监测站 设备名称	EC4-1	EC4-2	EC4-3	EC4-4	EC4-5	EC4-6	EC4-7	EC4-8	EC4-9	小堆新 增 EC4-10	小堆新 增 EC4-11	3.4 号机 组新增 EC4-12	3.4 号机 组新增 EC4-13
γ剂量率监测仪	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
超大流量气溶胶取样器	√				√					√	√		
大流量气溶胶取样器						√	√					√	
碘取样器	√				√	√	√					√	
³ H 取样器	√				√	√						√	
¹⁴ C 取样器	√				√	√						√	
雨水/沉降灰收集器	√				√	√						√	
风速传感器					√	√	√	√	√			√	√
风向传感器					√	√	√	√	√			√	√
雨量计	√	√	√	√	√	√	√	√	√			√	√

表 8.3-3 环境实验室主要设备配置表

序号	设备名称	主要技术特性	单位	数量
1	P 型高纯锗谱仪	测量能量范围：50keV~10MeV 相对测量效率：60% 能量分辨率： $\leq 2.1\text{keV}$ （在 1.33MeV 处）	套	2
2	宽能型高纯锗谱仪	测量能量范围：5keV~3MeV 相对测量效率：40% 能量分辨率： $\leq 2.1\text{keV}$ （在 1.33MeV 处）	套	1
3	低本底 α/β 测量仪	探测面积探头个数：不少于 8 个测量通道 本底计数： α ： $\leq 0.05\text{cpm}$ （ $\phi 50\text{mm}$ ） β ：1cpm（ $\phi 50\text{mm}$ ） 测量效率： α ： $\geq 37\%$ （ ^{241}Am 4m 立体角）； β ： $\geq 45\%$ （ $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ）；	套	3
4	液体闪烁计数器	光电倍增管：低本底材料、发光效率高 测量对象： β 射线 能量范围：0~2MeV 探测效率：对密封的充过氮的有机样品 ^3H ： $>60\%$ ^{14}C ： $>95\%$	套	2
5	热释光剂量计读数器	加热盘尺寸与热释光探测器形状匹配 热释光剂量探测元件 LiF (Mg, Cu, P)	套	2
6	微量铀分析仪	检测下限： $\leq 0.02\text{ng/ml}$ （三倍标准偏差） 量程：0-20ng/ml	套	1
7	原子吸收光谱仪	波长范围：190~900nm 石墨炉温度范围：室温~2600℃	套	1

表 8.3-4 后备实验室主要设备配置表

序号	设备材料名称	厂家	数量	量程
1	高纯锗 γ 谱仪	ORTEC	1 套	5keV~3MeV
2	低本底 α/β 测量仪	262 厂	1 套	α ： $\leq 0.05\text{cpm}$ （ $\phi 50\text{mm}$ ） β ：1cpm（ $\phi 50\text{mm}$ ）
3	液体闪烁计数器	262 厂	1 套	0~2MeV



图 8.2-1 新建厂址气象站地理位置示意图

第九章 利益代价分析

9.1 利益分析

9.1.1 运行带来的直接利益

9.1.2 建设和运行带来的间接利益

9.2 代价分析

9.2.1 直接代价

9.2.2 间接代价

9.3 结论

9.1 利益分析

9.1.1 运行带来的直接利益

示范工程规划建设一台 ACP100 核电机组及其配套辅助设施，规划容量 125MW，反应堆热功率为 385MWt。设计寿命期为 60 年，经济评价期为 30 年。

据财务分析结果，工程投产后在 30 年经济评价期内资本金内部收益率为 9%，项目全部投资财务内部收益率(税前)为 7.36%，投资各方财务内部收益率为 5.22%，有相对较好的经济效益。

9.1.2 建设和运行带来的间接利益

模块式小型反应堆作为一种安全、经济的核电新堆型，是国际原子能机构（IAEA）鼓励发展和利用的一个核能开发新方向，核电发达国家都在积极研发。我国积极开发模块式小型反应堆可以与世界先进核电技术水平保持同步，占据核能开发的制高点，促进核能技术发展。

模块式小型堆具有高度的安全性、功率规模的灵活性和特殊厂址的适应性，能够满足中小型电网的供电、城市供热、工业供热和海水淡化等各种领域应用的需求，是大型核电机组无法取代的，是能源发展的必要和补充。

通过海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程项目建设，验证设计、制造、建造和运行技术，进行商业化的推广，从而使我国成为世界上为数不多的掌握和拥有先进小型堆技术能力的国家，扩大我国核能应用的领域和范围，提升国家的创新能力和核心竞争力，实现模块式小型堆“走出去”的目标，积极响应国家提出的“一带一路”发展战略。

海南省为海岛地区，电网规模、容量较小，适合发展以模块式小型核电机组为代表的小型发电机组，以减少电网调峰压力和对电网的冲击影响。通过示范工程的建设，将有效支撑海南国民经济的快速发展，增加地方政府财政收入，改善当地基础设施，增加当地居民就业，提高人民生活水平，为实现海南省提出的打造国际旅游岛的发展目标提供能源支持和保障。

同时，海南省濒临我国南海地区，通过示范工程建设，可以使海南成为模块式小型堆在中国南海广泛的海岛区域推广分布式电源的发展基地，成为先进核能应用的典范，有效提升海南经济发展的含金量。目前，我国正在规划和部署南海开发的国家战略，海南省以其天然的地理优势，加上示范工程建设的技术积累，必定会成为南海开发的桥头堡，在国防建设和国家能源安全方面发挥重要作用。

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程建设期间可提供近万人年的就业机会；

运行期间，电厂各岗位就业人数总计为 100 人。

据财务分析结果，工程投产约 15 年后可全部偿还人民币（无外币）的贷款本息。

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程建设的建设将进一步有利于当地的交通、通讯、建材、教育及其他市政设施和福利事业的发展，对加快海南省的经济发展具有重要意义。

海南省是一个能源资源缺乏的省份，为建立安全、可靠、稳定、经济的能源保障体系，必须采取能源供应多元化战略，发展核电是实现海南能源供应多元化的重要途径，是实现能源供应可持续发展的需要。增加核电项目比重，可改善海南省以火电为主的电源结构，可缓解煤炭供应和运输压力，减少煤电的大气污染物排放，有利于环境保护，完全符合国家能源政策。

核电厂一台十万千瓦级核电机组的环境间接效益主要来自于其替代燃煤发电带来的减排效应，核电机组每年可使电网减少燃煤，有效减少 CO₂、SO₂、NO_x、烟尘、灰渣等污染物，降低有害气体对环境的污染，缓解酸雨的发生。根据测算，125MW 核电发电机组替代相应容量超低排放煤电机组后，可以减少 SO₂ 年排放量约 129t、NO_x 年排放量约 185t、CO₂ 年排放量约 95×10⁴t。建设核电厂有利于海南省大气环境质量的改善及社会经济的可持续发展。

同时，燃煤火电厂是全球 CO₂ 释放的重要来源之一，而 CO₂ 作为一种对全球气候变化起负面作用的温室气体，其减排问题已成为国际气候公约谈判的争论焦点。在“碳达峰、碳中和”的双碳背景下，积极发展核电将是今后我国在满足电力需求的基础上改善环境质量的有效措施。

9.2 代价分析

9.2.1 直接代价

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程项目计划总资金包括建筑工程费、设备购置费、安装工程费等工程费用和建设单位管理费、设计和技术服务费、联合试运转费等工程其他费用以及预备费、建设期财务费用、铺底流动资金、建设期可抵扣的增值税等费用。

本工程建设期环保投资主要是环保设施投资，其中包括废物处理处置系统、流出物监测和环境监测系统、环境整治以及施工期环保投入等。其中废物处理处置系统包括核岛废物处理和排放系统、三废处理设施及环境保护系统费用；流出物监测和环境监测系统包括厂房辐射监测系统、控制区出入监测系统及安全壳泄漏监测系统等监测系统费用；环境整治包括边坡及截排洪沟等费用；施工期环保投入包括 HSE 环境保护费以及施工期大气环境和噪声监测、海域环境监测及爆破震动监测等。

本工程在运行期间每年需要投入一定的资金，用于支付核燃料、运行维护、大修和设备更换、燃料后处理、退役基金、放射性废物处置基金等费用，包括核燃料费、折旧费、摊销费、大修理费、乏燃料处理处置费、退役基金、其他费用和财务费用等。其中，环保相关费用主要包括乏燃料后处理费、中低放废物处理处置费和退役基金。

乏燃料后处理从投产后第六年开始提取。

中低放废物处理处置费依据相关规定，从投产后第一年开始提取。

退役基金依据有关规定，从计算期第一年开始提取，总额以发电工程固定资产原值为基数，提取比例为10%。

9.2.2 间接代价

9.2.2.1 社会代价

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程项目为新建工程，厂区、生活区需要长期征用大量的土地。

示范工程的运输包括施工期间设备、大型设备、建筑材料的运输，生产期间的换料、乏燃料、固体废物运输，以及正常的人员进出运输等，其运输量非常大，不可避免的增加当地的运输负担。但是由于核电站在施工过程中，严格按照国家有关规定进行操作和管理，制定了满足环保要求的施工方案和施工组织设计，并采取了相应的防护措施，所以对周围环境造成的影响是很有限的。

虽然模块式小型堆科技示范工程作为一种高新能源技术，其固有安全性较高，又坐落于海南昌江核电厂工程附近，但仍需要针对其安全性和环保性对涉及切身利益的公众进行充分的宣贯，消除公众担忧甚至恐惧的心理，增强公众对核电项目建设与发展的接受与理解，有利于核电项目的顺利进行和营造更为和谐的核电发展环境。

9.2.2.2 环境代价

示范工程施工期间对环境的影响主要表现在噪声、扬尘和放射源的使用、生活污水和生产废水以及施工建设对自然景观造成一定程度的破坏等方面。为了达到保护环境和保护公众的目的，海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程设置了各种放射性废物净化和处理系统、环境监测和流出物监测系统、屏蔽防护体系以及应急设施等，以控制并确保核电厂在正常运行期间和事故工况下向环境释放的放射性物质低于国家标准，对环境和公众的影响在可接受的范围内。同时本报告书的前面章节已对海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程的环境影响做出了详细的论证。

9.3 结论

从以上分析可以得出：海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程是先进的、环保的。

一方面通过海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程项目建设，验证设计、制造、建造和运行技术，进行商业化的推广，从而使我国成为世界上为数不多的掌握和拥有先进小型堆技术能力的国家，扩大我国核能应用的领域和范围，为核能的多用途利用打下坚实的基础；另一方面，积极响应国家提出的“一带一路”发展战略，对于开拓国际小型堆市场实现国家“走出去”的战略目标具有重大意义；本工程的建设对推动地方经济发展具有重要意义，创造的工作岗位和就业机会十分明显，能够带动当地建筑行业的繁荣，与此同时，如果争取合理的上网电价，还将给地方带来可观的税收收入，综上，经济效益和环境效益十分明显。

第十章 结论与承诺

10.1 结论

10.1.1 示范工程建设项目

10.1.2 环境保护设施

10.1.3 放射性排放

10.1.4 辐射环境影响评价结论

10.1.5 非辐射环境影响评价结论

10.1.6 公众意见采纳情况总结

10.2 承诺

10.1 结论

10.1.1 示范工程建设项目

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程由海南核电有限公司负责建设和运营管理。

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程位于海南省昌江县海尾镇原塘兴村，濒临北部湾。厂址东北距海口市约 160km（直线距离，下同），东距儋州市约 71km，东南距三亚市和昌江黎族自治县分别约 145km、26km，西南距东方市约 47km；东北距海头镇约 7.5km，西南距海尾镇约 9.3km。

本工程位于海南昌江核电厂厂址内西北侧。本工程拟建设一台 ACP100 核电机组及其配套辅助设施，规划容量 125MW。海南昌江核电厂规划建设四台压水堆核电机组和一台模块式小型堆，一次规划，分期建设。其中，海南昌江核电厂 1、2 号机组为两台 650MW 压水堆核电机组，已分别于 2015 年 12 月 25 日和 2016 年 8 月 12 日商业运行；厂址同时建设两台融合后的华龙一号核电机组。为减少工程投资，本工程辅助生产设施尽可能利用海南昌江核电厂已有设施。

本工程采用一种革新型一体化小型压水堆，在成熟核电和核动力技术基础上，充分吸收福岛核事故的经验反馈，考虑完善的严重事故预防与缓解措施，安全性达到三代核能系统技术水平。其采用的“一体化”反应堆设计和“非能动”的安全系统，可实现更高的安全性、更短的建造周期、更好的经济性和应用的灵活性，可满足能源市场的不同需求。设计方案满足国家核安全局发布的《福岛核事故后核电厂改进行动通用技术要求（试行）》的要求。

本工程于 2021 年 7 月 13 日开工浇筑第一罐混凝土，建设周期为 58 个月，计划于 2026 年 5 月 31 日建成投产。

10.1.2 环境保护设施

（1）放射性废物管理系统

本工程放射性废物管理系统包括核岛疏水排气系统（RVD）、废液处理系统（ZLT）、废气处理系统（ZGT）和固体废物处理系统（ZST）等。RVD 收集核岛内产生的所有放射性废液和废气，根据废物的特性（废液、含氢或含氧废气）以及收集后的处理方式，这些废物将分别由各自的管网输送到核辅助厂房的反应堆冷却剂净化系统（ZBR）、废液处理系统（ZLT）和废气处理系统（ZGT）。ZLT 用于收集、贮存并输送示范工程产生的放射性废液，分类输送至海南昌江 3、4 号机组废液处理系统（ZLT），根据要求对各类废液进行处理，处理过的废液经监测合格后，向环境排放。ZGT 的功能是对核电厂产生的放射性惰性气体、卤素和空气中的悬浮粒子进行收集和处理，以便将预期的放射性废气年排放量、

核电站工作人员在控制区和非控制区内的受照剂量降低到“可合理达到尽量低”的水平。ZST的功能是收集、贮存、转运和暂存示范工程产生的放射性固体废物，根据废物的不同类型和性质分别送到海南昌江核电厂1、2号机组和3、4号机组进行处理。

（2）污水处理设施

非放射性固体生活垃圾按生活垃圾处理规定收集暂存并送到指定的垃圾消纳场处理。

本工程主厂区和厂前区各子项的生活污水通过相应污水管网汇集至海南昌江核电厂1、2号机组已建的生活污水处理站，生活污水经生化处理和深度处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中城市绿化标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级A标准后，用于绿化、道路浇洒等，回用剩余水量排入大海。

非放射性含油废水经过油水分离设施处理，其水质达到《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）中的一级标准，排入大海；分离出来的污油在污油池内贮存，定期通过污油泵输送至污油车运走。

（3）流出物监测与环境辐射监测

为保证核电厂各系统运行的有效性，保护环境、公众和职业人员安全，海南昌江核电厂将设置完整而全面的流出物监测系统和能够覆盖整个厂址区域的环境辐射与气象监测系统，并且制订运行期间流出物和环境监测方案以及应急监测方案。

10.1.3 放射性排放

经分析，本工程1台模块式小型堆年放射性排放量满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）中压水堆每堆放射性流出物年排放量控制值按热功率折算后的值。槽式排放出口处的放射性流出物中除氙和C-14外其他放射性核素排放浓度满足GB6249-2011中不应超过1000Bq/L的要求。

10.1.4 辐射环境影响评价结论

10.1.4.1 运行状态下的辐射环境影响

（1）对公众的辐射影响

本工程1台模块式小型堆运行状态下，气液态途径释放的放射性物质对各年龄组（成人、青少年、儿童、婴儿）公众造成的最大个人有效剂量分别为7.39E-08 Sv/a、8.34E-08 Sv/a、6.76E-08 Sv/a、5.27E-08 Sv/a。各年龄组中青少年组的剂量最大，为8.34E-08 Sv/a，约占个人剂量约束值（0.01mSv/a）的0.83%。

采用现实排放源项计算周围的关键人群组、关键核素和关键照射途径。厂址半径80km范围内成人组、青少年组、儿童组、婴儿组最大个人有效剂量出现在厂址SSE方位1~2km

处，此处居住的是马地村的村民，关键居民组为马地村的青少年组，受到的最大个人有效剂量为 $6.51E-08\text{Sv/a}$ 。关键途径为液态途径的食入海产品造成的内照射途径，其所致的剂量为 $5.94E-08\text{Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 91.16%；其次为气态途径的食入农产品和动物产品的内照射途径，占气液态总剂量的 6.52%。各核素中关键核素为 C-14，它所致的剂量为 $5.95E-08\text{Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 91.33%。

本工程建成后与海南昌江核电厂 1、2 号机组共同运行状态下，气液态途径综合释放的放射性物质对各年龄组（成人、青少年、儿童、婴儿）公众造成的最大个人有效剂量分别为 $1.75E-06\text{Sv/a}$ 、 $1.68E-06\text{Sv/a}$ 、 $1.46E-06\text{Sv/a}$ 、 $1.29E-06\text{Sv/a}$ 。各年龄组中成人年组的剂量最大，为 $1.75E-06\text{Sv/a}$ ，约占个人剂量约束值 0.07mSv/a （其中小堆剂量约束值为 0.01mSv/a ，1、2 号机组剂量约束值为 0.06mSv/a ）的 2.5%。

采用现实排放源项计算周围的关键人群组、关键核素和关键照射途径。本工程建成后与海南昌江核电厂 1、2 号机组共同运行状态下，最大个人有效剂量出现在厂址 SSE 方位 $1\sim 2\text{km}$ 处，此处居住的是马地村的村民。各年龄组中青少年组的剂量最大，为 $2.29E-07\text{Sv/a}$ ，其中气态途径剂量为 $2.25E-08\text{Sv/a}$ ，液态途径剂量为 $2.06E-07\text{Sv/a}$ 。因此三台机组运行状态下，关键居民组为马地村的青少年组。关键途径为液态途径的食入海产品造成的内照射途径，其所致的剂量为 $2.02E-07\text{Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 88.21%；其次为食入农牧产品造成的内照射途径，占气液态总剂量的 8.36%。各核素中关键核素为 C-14，它所致的剂量为 $2.01E-07\text{Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 87.80%。

（2）对生物的辐射影响

a.对水生生物的辐射影响

1) 示范工程一台机组正常运行时

从影响率的结果来看，本工程正常运行时， $0\sim 80\text{km}$ 海域范围内不同媒介中放射性核素对不同水生生物的影响率均在 10^{-3} 数量级以下；从剂量率的估算来看， $0\sim 80\text{km}$ 海域范围内各种水生生物所受的剂量率均小于 ERICA 推荐的筛选值（ $10\mu\text{Gy/h}$ ）。因此，本工程正常运行时，厂址附近 $0\sim 80\text{km}$ 海域范围内水生生物是安全的。

2) 示范工程一台机组和海南昌江核电厂 1、2 号两台机组正常运行时

从影响率的结果来看，示范工程一台机组与海南昌江核电厂 1、2 号机组正常运行时， $0\sim 80\text{km}$ 海域范围内不同媒介中放射性核素对不同水生生物的影响率均在 10^{-2} 数量级以下；从剂量率的估算来看， $0\sim 80\text{km}$ 海域范围内各种水生生物所受的剂量率均小于 $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，示范工程一台机组与海南昌江核电厂 1、2 号机组正常运行时，厂址附近 $0\sim 80\text{km}$ 海域范围内水生生物是安全的。

b.对陆生生物的辐射影响

1) 示范工程一台机组正常运行时

从影响率的结果来看，本工程正常运行时，厂址附近陆域范围内不同媒介中放射性核素对不同陆生生物的影响率均在 10^{-4} 数量级以下；从剂量率的估算来看，厂址附近陆域范围内各种陆生生物所受的剂量率均小于 ERICA 推荐的筛选值 ($10\mu\text{Gy/h}$)。因此，本工程正常运行时，厂址附近陆域范围内陆生生物是安全的。

2) 示范工程一台机组和海南昌江核电厂 1、2 号两台机组正常运行时

从影响率的结果来看，示范工程一台机组和海南昌江核电厂 1、2 号两台机组正常运行时，厂址附近陆域范围内不同媒介中放射性核素对不同陆生生物的影响率均在 10^{-3} 数量级以下；从剂量率的估算来看，厂址附近陆域范围内各种陆生生物所受的剂量率均小于 $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，示范工程一台机组和海南昌江核电厂 1、2 号两台机组正常运行时，厂址附近陆域范围内陆生生物是安全的。

10.1.4.2 事故工况下的辐射环境影响

根据 ACP100 机组设计基准事故的源项，采用海南昌江核电厂厂址气象数据对各个事故对公众造成的潜在放射性后果进行计算，计算结果表明，当采用现实或保守大气弥散因子时，示范工程设计基准事故在整个事故持续期间内对距反应堆中心 500m 处公众造成的潜在放射性后果均满足《小型压水堆核动力厂安全审评原则(试行)》的要求，从设计基准事故后果的角度，示范工程非居住区边界设置为 500m 是适宜的。

10.1.5 非辐射环境影响评价结论

10.1.5.1 施工建设过程对环境的影响

(1) 水土流失

由于施工产生开挖和填筑裸露面，裸露面表层结构疏松，植被覆盖度较低，使区域内土壤抗侵蚀能力下降，导致土壤失去了原有的固土防风能力，从而造成水土流失。同时，土石方的搬运和堆置也会导致一定程度的水土流失。

工程施工结束后，因施工引起水土流失的各项因素逐渐消失，地表扰动也基本停止，施工区域的水土流失将明显减少。通过有效的工程措施、植被种植、临时防护等措施，可有效缓解施工建设期间的水土流失现象。

(2) 对大气环境的影响

在工程施工过程中，由于爆破、开挖、填充、道路的修建、渣土的堆放以及车辆运输会造成施工区域尘土飞扬，大气中粉尘含量增高。施工期间采取有效的防治措施可减少扬尘的释放。在施工建设期间，安排进行了施工期大气的环境监测工作，一旦发现超标，及

时通知施工方进行整改，尽可能降低施工对大气环境的影响。

根据中国核电工程有限公司 2019 年 8 月~2023 年 12 月期间开展的 17 次施工期大气环境监测结果，无组织排放源监测点和环境空气监测点的各监测因子浓度均满足相应标准要求。

（3）对声环境的影响

施工期间，开挖爆破以及各类施工和运输机具产生的噪声对厂址周围的声环境将产生一定的影响，施工期间采用了相应的措施降低噪声水平或减少噪声对敏感点的影响。在施工建设期间，安排进行了施工期噪声监测工作，一旦发现超标，及时通知施工方进行整改，尽可能降低施工噪声对环境的影响。

根据中国核电工程有限公司 2019 年 8 月~2023 年 12 月期间开展的 17 次施工期噪声监测结果，示范工程机组施工期间，厂址附近声环境质量状况良好，施工场界、厂外环境敏感点及公路噪声均满足相应标准要求。

（4）对水环境的影响

陆域施工活动对水环境的影响主要来自施工人员生活污水的排放。

本工程部分施工临建区的生活污水通过相应污水管网汇集至已建的生活污水处理站，经生化处理和深度处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）中城市绿化标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准后，用于施工场地降尘和绿化等。室外管线未完工前，部分施工临建区的生活污水排入临建区污水处理站处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）中城市绿化标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准。

满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级标准的生活污水均允许排入《海水水质标准》（GB 3097-1997）中海水二类功能区域。本工程海水区域为二类功能区域（水温除外），满足排放条件。因此，陆域施工活动对水环境的影响很小，是局部的、暂时的，是可以接受的。

（5）固体废弃物的影响

施工期间，现场会产生一定数量的固体废弃物，主要是建筑垃圾和生活垃圾。施工期间建筑垃圾制定《建筑垃圾与非建筑垃圾管理、运输、处理细则》工作程序，并严格执行；规划专用堆放场地，集中储存并做好防护措施，严禁乱倒乱卸，对建筑垃圾和弃渣的收集、堆放、处理规范化；采用专用运输车辆及时外运，避免运输过程中的遗撒等。施工期生活垃圾按照《海南昌江核电厂 3、4 号机组加小堆垃圾处理规划方案》的规定执行，由海南建设安装有限公司统一收集后运输至海尾垃圾转运站，后由垃圾转运站负责将垃圾转运到中国核电工程有限公司

东方市八所镇广大焚烧厂集中处理。故其影响是暂时性的，在有效的管理下其影响是可接受的。

（6）对生态环境的影响

工程施工对厂址场地进行了平整，场平需剥离原有地表植被，土石方挖掘工作改变了当地特别是土壤生物的种群及群落结构。挖掘过程产生的部分废弃土石方占用部分土地，堆放过程中易受雨水冲刷造成水土流失和生态破坏。

在建设施工过程中，根据现场施工情况采取了相应生态保护措施，工程建成后，厂区内会进行绿化，厂区外的临时施工用地也采取相应的恢复措施，本工程建设对当地局部生态环境的影响是可以接受的。

（7）对社会环境的影响

厂址附近无历史古迹和风景名胜区。本工程用地均为建设用地，不涉及居民搬迁，因此本工程的建设不存在拆迁的问题，不会对当地居民造成不利影响。本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。

10.1.5.2 运行期间对环境的影响

（1）温排水的环境影响

本项目为滨海厂址，滨临北部湾，工程附近海域潮流基本呈往复流，为电厂的温排水提供了较好的稀释扩散条件。

本工程实施不占用珊瑚礁分布区域；根据温排水试验研究结果，本工程与1~4号机组工程温排水夏季典型潮1℃温升包络线和冬季典型潮2℃温升影响包络范围均未进入-6m等深线海域，对珊瑚礁不会产生影晌。工程区域距离西南侧的马蓉-海尾珊瑚礁海洋保护区边界约10km，距离较远，不会对保护区产生影晌。

（2）机械损伤和卷吸效应

示范工程取水方式为与海南昌江1~4号机组共用取水明渠，由于示范工程循环水量相对很小，其对明渠内水流流速几乎没有影晌。取水明渠内设计流速与天然潮流流速接近，且取水明渠内设置多道拦污网，能有效阻止海生物进入取水隧洞。运行期间对浮游生物、鱼卵仔鱼等能进入取水系统的生物造成损失的影响有限，不会造成整个区域海洋生态的变化。卷吸效应对该海域海洋生态的影响很小。

（3）化学污染物的环境影响

给水处理过程中所用化学药品在处理环节中消耗殆尽。净化剂反应生成物绝大部分存

在于淡水厂的生产废水泥浆中。含有悬浮物和净化剂反应生成物的泥浆水经浓缩后进行脱水，形成固体物质不排入水体，污泥脱水后的滤出液排入室外雨水管网，最终排入大海。滤出液中的化学物质以游离氯为主，且浓度小于淡水厂饮用水出水标准，因此不会影响附近海域的海水质量。

示范工程和海南昌江 3、4 号机组共用一座除盐水生产厂房，除盐水生产厂房的原水取自海南昌江 1、2 号机组已建成的淡水厂。除盐水生产系统和淡水处理系统产生的废水不会影响附近海域的海水质量。

精处理再生产产生的废水排入废水中和池内，系统设有加酸、加碱装置，通过泵的搅拌中和作用使 $\text{pH}=6\sim 9$ ，然后通过废水泵送到常规岛废液收集系统，经监测合格后排入环境，排入环境中的 Na_2SO_4 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 浓度较低，不会影响附近海域的海水质量。

加入循环冷却水中的游离态氯衰减得很快，主要是与水中的氨、有机物和微生物等还原性物质作用而消耗。化合态余氯（氯氨、一氯胺、二氯胺等）氧化能力低，在海水中比较持久稳定，但它的生物毒性远小于游离态氯。另一主要的因素是残余氯在海区中的稀释与扩散，冷却水排入海域后，随着潮汐和海流的运动，不断扩散到海区中去，并进一步得到消耗。余氯在环境水体中衰减很快，在水中的输移、分布主要依靠潮流的挟带，并非累积所致。余氯浓度场主要在排水口附近，影响范围较小。

（4）生产废水和生活污水的影响

本工程非放射性含油废水经过油水分离处理，其水质达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中的一级标准，排入室外雨水管网，最终排至大海；分离出来的污油在污油池内贮存，定期通过污油泵输送至污油车运走。

本工程主厂区和厂前区各子项的生活污水通过相应污水管网汇集至生活污水处理站，生活污水经生化处理和深度处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中城市绿化标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级 A 标准后，用于绿化、道路浇洒等，回用剩余水量排入大海。生活污水处理的排放物除总有机物外，不会导致任何有毒化学物质进入受纳水体环境中。

满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级标准的生活污水和满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中一级标准的生产废水均允许排入《海水水质标准》（GB3097-1997）中海水二类功能区域。本工程海水区域为二类功能区域（水温除外），满足排放条件。同时，生活污水处理站处理后的再生水尽可能回用，仅回用剩余部分溢流排放，因此，生产废水和生活污水排放不会对附近海域的海水质量造成明显影响，是可以接受的。

（5）噪声的影响

本工程正常运行后，预计东厂界所受影响较大，其次是北厂界；工程对南厂界和西厂界的噪声影响较小。本项目正常运行的噪声排放满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类标准。经计算，示范工程正常运行后，对马地村的噪声贡献值叠加本底后，可以满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中1类标准。

（6）电磁辐射的影响

本工程内所有电磁辐射监测点位的工频电场/工频磁场强度均小于《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）中标准限值 4kV/m/0.1mT（100 μ T），且所有电磁辐射监测点位的射频综合场强小于 12V/m 的标准限值，符合标准要求。

（7）固体废物的影响

本工程运行期间产生的固体废物主要包括固体生活垃圾、一般工业废物和危险废物。固体生活垃圾按生活垃圾处理规定收集暂存并送到指定的垃圾消纳场处理。一般工业废物主要为淡水处理和生活污水处理过程中产生的污泥，对污泥进行减量化处理后，定期外运处理。危险废物由具有收集、贮存、处置危险物资质的指定单位对危险废物进行收集、贮存和处置。固体废物进行分类收集、贮存和处理后，定期外运处理或处置，在有效的管理下其影响是可接受的。

综上所述，从厂址的自然条件和社会条件分析，可以满足本工程建设的要求。本工程施工建设过程对环境的影响、工程运行的环境影响、事故的环境影响以及环境对电厂的可能影响均满足我国有关法规、标准的要求，非放射性污染排放不会对环境造成明显的影响。从核电厂建设和运行对环境的影响角度分析，本工程的建造、设计满足环境保护的要求。

10.1.6 公众意见采纳情况总结

本项目在开展公众参与期间未收到公众提出的与项目环境影响评价相关的意见和建议。

10.2 承诺

本工程运行期间，营运单位海南核电有限公司将确保环保设施安全有效地运行，严格进行流出物监测和环境监测。