

海南昌江核电厂 3、4 号机组

环境影响报告书

(运行阶段)

华能海南昌江核电有限公司
二〇二四年七月



图册(文件)编号	
1418YEIRHYS02	
共 1 册 第 1 册	
版次: A	状态: CFC

海南昌江核电厂 3、4 号机组

工 程 号	1418
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	孙涛

H	L	Y	9	9	9	8	0	0	0	5	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

二〇二四年七月

编制单位和编制人员情况表

项目编号	8j4503		
建设项目名称	海南昌江核电厂3、4号机组（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）	华能海南昌江核电有限公司		
统一社会信用代码	91460000MA5TAJ5M0X		
法定代表人（签章）	潘风国		
主要负责人（签字）	帅月智		
直接负责的主管人员（签字）	马成文		
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	魏刚
2 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
薛娜	第七章	BH026661	薛娜
王欣	第三章 第八章	BH026929	王欣
魏刚	第一章 第九章 第十章	BH026932	魏刚
张敬辉	第四章	BH026938	张敬辉

高桂玲	第五章 第六章	BH026937	高桂玲
李京	第二章	BH026930	李京

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	2024-07	-	-	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 建设项目经费和环境保护设施投资
- 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
- 2.3 土地利用及资源概况
- 2.4 气象
- 2.5 水文
- 2.6 地形地貌

第三章 环境质量现状

- 3.1 辐射环境质量现状
- 3.2 非辐射环境质量现状

第四章 核电厂

- 4.1 厂区规划及平面布置
- 4.2 反应堆和蒸汽—电力转换系统
- 4.3 核电厂用水和散热系统
- 4.4 输电系统
- 4.5 专设安全设施

4.6 放射性废物系统和源项

4.7 非放射性废物处理系统

4.8 放射性物质厂内运输

第五章 核电厂施工建设过程的环境影响

5.1 土地利用

5.2 水的利用

5.3 施工影响的控制

第六章 核电厂运行的环境影响

6.1 散热系统的环境影响

6.2 正常运行的辐射影响

6.3 其他环境影响

6.4 初步退役计划

第七章 核电厂事故的环境影响和环境风险

7.1 核电厂放射性事故和后果评价

7.2 严重事故

7.3 厂内运输事故

7.4 其它事故

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

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 建设项目经费和环境保护设施投资

1.4 建设目的

1.4.1 适应电力负荷快速增长的需求

1.4.2 满足海南省环境保护要求

1.4.3 适应能源资源实际情况与能源战略

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

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批复意见的落实情况

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：海南昌江核电厂 3、4 号机组

项目建设和运营管理单位：华能海南昌江核电有限公司

1.1.2 建设性质

海南昌江核电厂 3、4 号机组为扩建项目，采用融合后的“华龙一号”百万千瓦级核电机组，由中核集团与华能集团共同出资建设，华能集团控股 51%，中核集团参股 49%。

1.2 建设项目的规模和厂址总体规划

海南昌江核电厂规划建设四台压水堆核电机组和 1 台模块化小型堆，一次规划，分期建设。

海南昌江核电厂 1、2 号机组为两台 650MW 压水堆核电机组，已经投入商运。

海南昌江核电厂 3、4 号机组规划建设两台融合后的“华龙一号”压水堆核电机组及其配套辅助设施，工程采用华龙一号融合技术方案，最大连续出力是 1196.7MWe，额定功率是 1206MWe。3、4 号机组紧邻 1、2 号机组布置，与 1、2 号机组属同一厂址，3、4 号机组工程将充分利用 1、2 号机组已有设施，尽量减少工程投资。

此外，在该厂址上还有在建的海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程。

1.3 建设项目经费和环境保护设施投资

海南昌江核电厂 3、4 号机组工程采用自主化三代百万千瓦级压水堆核电技术（“华龙一号”技术融合方案），建设两台百万千瓦核电机组。海南昌江核电厂 3、4 号机组工程项目直接和间接用于环境保护设施投资占项目计划总投资的 5.12%。

1.4 建设目的

1.4.1 适应电力负荷快速增长的需求

在 2018 年博鳌论坛期间，国家发布《中共中央国务院关于支持海南全面深化改革开放的指导意见》，为海南今后的发展指明了新的方向，注入了新的动力。海南电力负荷增长也将随之出现新的驱动力。根据电力需求预测，海南“十三五”及中长期阶段负荷仍将维持快速增长趋势，2020 年、2025 年、2030 年全社会最大负荷分别达到 650 万千瓦、981 万千瓦和 1356 万千瓦，“十三五”、“十四五”、“十五五”期间最大负荷年均增长率分别达到 9.3%、8.6%和 6.7%。考虑核准电源的条件下，2020 年海南电力缺口为 95 万千瓦，2025 年、2030 年电力缺口扩大至 488 万千瓦和 880 万千瓦；考虑核准电源以及“十三五”规划电源条件下，2016~2030 年海南电力供应均满足要求。根据电源建设进度安排，海南昌江核电两台百万千瓦级核电机组预计于“十四五”中后期投产，机组容量大，可较

大程度填补海南电力缺口。可见，本项目的建设适应海南电力负荷快速增长的需求。

1.4.2 满足海南省环境保护要求

海南省是我国第一个生态示范省，坚定不移实施生态立省战略、加大生态环境保护力度是海南重要发展道路。随着 2010 年 1 月《国务院关于推进海南国际旅游岛建设发展的若干意见》的发布，海南建设国际旅游岛上升为国家战略，海南省的环境保护的重要性进一步凸显。根据《中共海南省委关于进一步加强生态文明建设谱写美丽中国海南篇章的决定》，海南省将建设绿色能源岛，大力推行“去煤减油”，加快构建以清洁电力和天然气为主体、可再生能源为补充的清洁能源体系。海南后续将不再新增煤电，主要大力发展核电，合理发展气电，因地制宜发展新能源发电，促进电源多元化发展。

当前建设燃煤电厂已经达到比较高的环保标准，但仍存在一定的粉尘、SO₂、NO_x 等污染物排放；天然气以及液化天然气（LNG）是世界上公认的清洁能源，与煤电相比，天然气电厂污染物排放量更少，更加有利于保护自然环境，但气电同样存在部分 NO_x 和温室气体排放。而核电更为清洁，不排烟尘、SO₂、NO_x 等污染物。核电在减少污染物排放和温室气体排放、保护环境等方面有着显著的优势，可以满足海南在环保方面的高标准和严要求。

1.4.3 适应能源资源实际情况与能源战略

根据海南能源资源供需情况来看，海南省本地能源资源无法满足海南大规模发电需求，需要从岛外输入能源。从能源供应的角度考虑，海南昌江核电厂再建设两台百万千瓦级核电机组，可以进一步优化海南电源结构，并大大减少岛内煤炭增长需求（按发电利用小时数 7000 小时估算，海南昌江核电厂 3、4 号机组年发电量可节省标煤约 460 万吨）。海南适当发展核电符合国家的能源发展战略。

1.5 建设项目的进度

海南昌江核电厂 3 号机组于 2021 年 3 月 31 日开工浇筑第一罐混凝土，4 号机组于 2021 年 12 月 28 日开工浇筑第一罐混凝土，单台机组建设周期为 60 个月，计划分别在 2026 年 3 月 31 日和 2027 年 1 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）；
- 《中华人民共和国核安全法》（2018 年 1 月 1 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 年 10 月 1 日）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）中华人民共和国国务院令 698 号；
- 《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；
- 《核电厂核事故应急管理条例》（HAF 002-2011）；
- 《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）；
- 《生活垃圾焚烧污染控制标准》（DB46/484-2019）；
- 《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》（GB18597-2001）；
- 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）；

- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）；
- 《声环境质量标准》（GB 3096-2008）；
- 《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）；
- 《核设施流出物监测的一般规定》（GB11217-89）；
- 《压水堆核电厂设计基准事故源项分析准则》（NB/T 20444-2017RK）；
- 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）；
- 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；
- 《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安全标准》（GB12711-2018）；
- 《建筑设计防火规范》（GB50016-2014）（2018 年版）。

1.6.2 主要核安全法规和导则

- 《核电厂厂址选择安全规定》（HAF101-2023）；
- 《核动力厂设计安全规定》（HAF102-2011）；
- 《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）；
- 《核设施放射性废物最小化》（HAD401/08-2016）。

1.6.3 主要部颁规程、规定

- 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2020 年 11 月生态环境部令 第 16 号）；

- 《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 地面水环境》（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 地下水环境》（HJ 610-2016）；
- 《核电厂工程水文技术规范》（GB/T50663-2011）；
- 《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）；
- 《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）；
- 《海南省生态保护红线管理规定》（2016 年 9 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

根据《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。考虑本厂址已有工程以及规划机组情况，本工程运行状态下的公众辐射剂量约束值暂定为 0.08mSv/a。

根据 GB 6249-2011 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，C-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，C-14 为 1.5×10^{11} Bq/a，其余核素为 5.0×10^{10} Bq/a。

此外，6.4 条款规定：对于同一堆型的多堆厂址，所有机组的年排放量应控制在 6.2 条款规定的 4 倍以内。海南昌江核电厂五台核电机组（四台压水堆核电机组和一台模块式小型堆，含先进废物处理中心）的气液态流出物年排放控制值执行 6.4 条款规定。

根据 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按照 1000Bq/L 进行控制，满足上述规定。

（2）事故工况下剂量控制值

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）中规定，对于设计基准事故的潜在照射后果应符合下列要求：在发生一次稀有事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内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；在发生一次极限事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 0.1Sv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 1Sv 以下。

（3）海水水质标准相关要求

本工程执行《海水水质标准》（GB3097-1997）中对接纳海域中放射性核素的规定，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。

海南昌江核电厂 3、4 号两台机组拟定的排放量申请值如下：

气载流出物：

—— 惰性气体：1.05E+14 Bq/a;

—— 碘：1.10E+09 Bq/a;

—— 粒子（半衰期 \geq 8d）：1.68E+08 Bq/a;

—— 氚：8.71E+12 Bq/a;

—— C-14：6.92E+11 Bq/a。

液态流出物：

—— 氚：8.26E+13 Bq/a;

—— C-14：5.06E+10 Bq/a;

— 其余核素：1.30E+10 Bq/a。

1.7.2 非辐射环境影响评价标准

根据《海南省生态环境保护厅关于核定海南昌江核电厂3/4号机组环境影响评价非放执行标准的函》（琼环函〔2017〕302号）及《海南省生态环境厅关于核准海南昌江核电厂等离子体高温熔融设施环评非放执行标准的函》（琼环函〔2020〕339号），本工程非放射性评价标准如下：

1、环境标准

（1）环境空气

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

（2）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。

（3）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。

（4）电磁辐射标准

厂址电磁环境执行《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）。

2、排放标准

（1）大气排放标准

项目所在区域执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表2中标准限值。

昌江核电厂等离子体高温熔融设施非放大气执行《生活垃圾焚烧污染控制标准》（DB46/484-2019）。

（2）噪声排放标准

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；施工期间执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）。

（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；其他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。

1.8 工程组成

本工程规划建设两台融合华龙一号压水反应堆核电机组及其配套辅助设施。主体工程为核岛、常规岛和 BOP 工程，包括先进废物处理中心，具体详见本报告第四章。

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、常规岛含油污水处理、放射性机修及去污车间、厂区三废处理设施及环境保护工程、核岛辐射监测系统等，以及进行厂区绿化等。

1.10 评价范围

1.10.1 辐射环境影响评价范围

根据《核辐射环境质量评价一般规定》（GB11215-89），本次评价范围为以 3 号核岛反应堆厂房的反应堆为中心，半径 80km 的地域范围。为进行剂量估算，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 5km 范围。

（2）海洋环境

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。

（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评价范围为 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 3 月 31 日，生态环境部《关于海南昌江核电厂 3、4 号机组环境影响报告书（建造阶段）的批复》（环审〔2021〕21 号）要求在工程设计阶段及今后一个时期应重点做好的工作包括：

（一）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，加强施工场地环境管理，尽可能减小施工活动造成的环境影响。

（二）积极跟踪潜在人群集中居住区的人口管控执行情况，关注区内人口变动。

（三）进一步落实放射性固体废物处置方案，确保昌江核电厂放射性固体废物的安全处置。

1.11.2 建造阶段环境影响报告书批复意见的落实情况

以上批复意见的落实情况如下：

（一）华能海南昌江核电有限公司（以下简称 HCNPC）施工期间严格执行了相关环境影响评价标准，落实了噪声、施工废水、扬尘污染等防治措施和固体废物处理措施。制定了相关程序加强施工场地环境管理，尽可能减小施工活动造成的环境影响。HCNPC 已按照相关程序每月开展环保监督检查，按要求监督施工单位做好现场废水控制、扬尘控制、粉尘废气控制、噪声控制、危险化学品、固体废物及辐射污染控制，确保项目施工产生的环境影响满足环境影响报告书及法规要求。

（二）HCNPC 积极跟踪潜在人群集中居住区的人口管控执行情况，关注区内人

口变动。后续持续跟踪规划限制区内人口变动，对口政府进行控制，避免发生较大变化。

（三）本项目低放固体废物计划送至处置场进行处置，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》（GB 9132-2018）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。



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

海南昌江核电厂 3、4 号机组位于海南昌江核电厂厂址中部，东侧紧邻 1、2 号机组，西北侧为海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程。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，东南距三亚市约 150km，西南距东方市约 48km，东距儋州市约 71.9km；东南距昌江县城约 27km；东北距海头镇约 7.5km，西南距海尾镇约 9.6km。

2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区

（1）厂址边界

3、4 号机组征地边界与 1、2 号机组征地边界以及小堆示范工程征地边界一起构成了厂址的地产边界。

3、4 号机组征地边界包括 3、4 号机组厂区工程征地边界和 3、4 号机组配套用地征地边界，已获得昌江黎族自治县人民政府的最终批复。

3、4 号机组充分利用 1、2 号机组可利用的施工场地，并在 3、4 号机组西侧新增部分施工场地。

（2）非居住区和规划限制区

·非居住区

3、4 号机组非居住区半径（以反应堆为中心）为 500m。

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。

·规划限制区

3、4 号机组规划限制区边界为 5km。

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。

海南昌江核电厂厂址半径 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 5 个行政村的 13 个自然村，共有常住人口有七千余人。距离厂址最近的自然村是五联村的马地村，位于厂址 SSW 方位 1.1km 处，2022 年常住人口两百余人；人口最多的自然村为位于厂址 NE~ENE 方位 4.5km 处的南罗村，共有常住人口一千余人。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 2 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 30 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 9.3km 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 S~SSW 方位 1.1km 处的三联村，常住人口一千余人。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 15 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 9.4km，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 488 人，流入 715 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 367 人，流入 418 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。

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 SSW 方位距离 1.8km。

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 陆域范围内无省级以上自然保护区。

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 SSW 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 2.5km。

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 0.9km。

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 SW 方位，距离 1.2km。

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 1 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

厂址附近林地灌木林地、其他林地、竹林地、乔木林地。

境内矿产主要矿藏有铁、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。

调查区域苔藓植物分布类型，除了北温带分布、东亚和北美间断分布、温带亚洲分布、地中海区西亚至中亚分布 4 种类型未见外，其余的 11 种分布类型都有多寡程度不一的代表，调查区域苔藓植物主要以热带成分（包括泛热带分布、热带亚洲至热带美洲间断分布、旧世界热带分布、热带亚洲至热带大洋洲分布、热带亚洲成分）为主。

（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、白腹鹞、游隼、鸮、红隼，其中栗树鸭、褐耳鹰、黑翅鸢、白腹鹞、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、栗苇鹞等，其中白鹭、中白鹭、大白鹭、火斑鸠、蓝翡翠、八哥、池鹭、黑枕黄鹁、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

调查区域内共调查到腹足纲软体动物 3 目 8 科 11 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。

3 号机组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 3 号机组最近的湿地公园、种植区和饲养场等

厂址 3 号机组半径 10km 范围涉及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/m³，变化范围介于 0.20~3.42 mg/m³ 之间；底层叶绿素 *a* 含量的平均值为 0.89 mg/m³，变化范围介于 0.25~2.44 mg/m³ 之间。夏季调查海域初级生产力的平均值为 94.76 mgC/(m²·h)，变化范围在 47.00~180.95 mgC/(m²·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/m³，变化范围介于 0.65~1.91 mg/m³ 之间；底层叶绿素 *a* 含量的平均值为 0.99 mg/m³，变化范围介于 0.52~1.43 mg/m³ 之间。秋季调查海域初级生产力的平均值为 50.83 mgC/(m²·h)，变化范围在 18.40~84.53 mgC/(m²·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

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，核电站和牙螺田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，居龙咬齿牡蛎和核电站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核电站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

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），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），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。

2.3.4.1 工业设施

厂址半径 15km 范围涉及规模以上工业企业共 1 家，为海南儋州市海头糖业有限责任公司，位于儋州市海头镇红洋墟，现有职工人数 247 人，位于厂址 ENE 方向，距离厂址 14.5km。

厂址半径 15km 范围内有危险品贮存、使用企业共 8 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 S 方位约 2.6km；1 处原油储备库（海南省儋州市海头镇打锣岭国家石油储备基地），涉密单位，距离厂址 14.9km；民爆

物品使用企业 2 家，其中最近的是海南宏大合安爆破工程有限公司，距离厂址 14km，该器材库目前未启用。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 S 方位，距离 1.3km。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 0.7km。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 SW 方位 1.9km。

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 1.9km。

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。

本工程与海南核电厂 1、2 号机组位于同一厂址，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 2.7km。

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 SSW 方位约 11.3km。最近的省道为环岛旅游公路（S108），最近点位于厂址 S 方位约 1.3km。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 NW 方

位约 0.7km。

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 15.8km。

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 NW 方位 2.1km。最近的渔港为新港渔港，位于厂址 NNE 方位 5.9km。

目前厂址半径 15km 内涉及的港口码头航道规划为昌江黎族自治县交通运输局正在研究依托核电大件码头建设新能源创新产业港配套码头的可能性，处于研究阶段，后续需要业主关注并且分析其与厂址的相容性。

（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 14.7km，边缘距厂址 4.7km。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

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。各气象站的地理位置和基本状况见表 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 33.7m/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 1003.3hPa。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 $197.5\text{W}/\text{m}^2$ ，年平均净辐射量为 $100.6\text{W}/\text{m}^2$ 。总辐射量月平均值最大为 7 月份的 $251.3\text{W}/\text{m}^2$ ，月平均值最小为 12 月份的 $131.0\text{W}/\text{m}^2$ 。净辐射月平均值最大为 7 月份的 $139.3\text{W}/\text{m}^2$ ，月平均值最小为 12 月份的 $54.5\text{W}/\text{m}^2$ 。

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 70m 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 70m 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，之后再进行人工微量修整。

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

海南昌江核电厂 3、4 号机组工程紧邻 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

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 8.3km，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 m^3 ，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。本工程的淡水水源与海南昌江核电厂 1、2 号机组相同。根据《海南昌江核电厂 3、4 号机组水资源论证报告》，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

2.5.2.1 厂址附近范围水文地质

厂址附近范围西北部为北部湾海域；中部为冲、海积平原，为厂址附近范围内主要地貌单元；东南部为准平原化的丘陵，高程为 70~80m。

厂址附近范围出露地层较简单，包括中更新统（ Q_2 ），上更新统（ Q_3 ）和全新统（ Q_4 ），东南角分布有少量上元古界—奥陶系（ Pt_3-O ）及印支期花岗岩（ γ_4 ）。第四系发育广泛，中更新统—全新统均有较大面积分布，其成因以海相沉积为主，岩性主要为砂土、砾石等。上元古界—奥陶系（ Pt_3-O ）为非正式地层单位，为一套透辉石透闪石石英角岩和砾状透辉石透闪石石英角岩，厚度大于 1957.67m。

2.5.2.1.1 地下水类型

根据海南昌江核电厂一期工程水文地质资料，结合 3、4 号机组可行性研究阶段水文地质调查成果，厂址附近范围地下水依据富水性、水文地质条件、分布特征及地下水类型、含水介质的不同分为第四系孔隙水和基岩裂隙水。

1) 第四系孔隙水

第四系孔隙水主要分布于海积砂土、砾石层，冲洪积砂土、砾石层，坡洪积砾石层中，砂土、砾石层由于渗透性好，含水量受地势及降水影响较大，是厂址附近范围内主要的富水带，矿化度一般较低，水质较好，水质类型一般为 $Cl-HCO_3-Na\cdot Ca$ 型水。靠海地带的地下水有时接受海水的倒灌补给，矿化度一般较高，局部海潮影响地带为咸水，水质类型一般为 $Cl-Na$ 型水。

第四系孔隙水主要由大气降水、海水侧向补给和基岩裂隙水径流补给三种补给形式，主要有蒸发、径流、人工取水三种排泄方式。

2) 基岩裂隙水

基岩裂隙水为风化基岩裂隙水和构造裂隙水。风化基岩裂隙水赋存于全风化、强风化基岩中。全~强风化基岩中风化裂隙极发育，裂隙贯通性较好，可形成统一地下水位，风化基岩裂隙水含水层属潜水含水层，其埋深与岩体风化破碎程度有关，一般岩体破碎、风化深度大时，特别有岩脉侵入时，含水层厚度大。地下水位线基本与地形相似，水平透水性较均匀，垂直方向随深度增加而减弱。一般地势较高处水位埋深较深，低洼处水位埋深较浅。构造裂隙水赋存于基岩构造裂隙中，受构造裂隙发育影响，分布不均。地下水富水性一般较弱，水质类型与岩石的成份有密切的关系，一般为 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型。

大气降水是基岩裂隙水主要补给源，同时还受到第四系孔隙水垂直补给，局部受地表水体的垂向、侧向补给，排泄方式为：径流、蒸发、人工取水等几种方式。

2.5.2.1.2 水文地质单元

根据厂址附近范围地表分水岭及地下水补径排关系，对厂址附近范围内水文地质单元进行了划分，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为 A 水文地质单元。

A 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。第四系孔隙水接受大气降水为主，其次为含水层上游向下游的侧向补给，排泄方式主要为蒸发及含水层向下游径流，其次为向大海径流。地下水流向同地形倾斜方向一致，最终流入大海。基岩裂隙水补给来源为大气降水和第四系孔隙水补给，沿裂隙走向运移，在沟谷处侧向补给第四系孔隙水或直接排出地表，地下水径流速度、径流途径受地形、构造条件控制。排泄方式有蒸发及向冲沟、大海分散排泄。

A、B、C 水文地质单元均有相互独立补给、径流、排泄条件，A 水文地质单元与 B、C 水文地质单元水力联系微弱。

2.5.2.2 厂址水文地质特征

2.5.2.2.1 地下水赋存形式及类型

根据厂区地形地貌、含水介质、地下水成因及赋存条件，厂址区内地下水主要划分为第四系孔隙水和基岩裂隙水两大类。按照场地内地下水类型，对厂区地下水分布区域进行划分。

1) 第四系孔隙水

第四系孔隙水主要分布于海岸平原地貌单元中的海积砂层，含水层主要为细中砂、粗砂，富水性较好，水位埋深为 2.75~18.20m。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。

2) 基岩裂隙水

基岩裂隙水主要赋存于基岩的风化裂隙和构造裂隙中，按赋存形式可分为风化裂隙水和构造裂隙水。

风化裂隙水赋存于全~强风化基岩中，是厂址区主要地下水类型。由于全~强风化基岩节理裂隙发育，且贯通性较好，可形成统一的地下水位。风化裂隙水属潜水含水层，其埋深与岩体风化破碎程度有关，一般岩体破碎、风化深度大时，特别有岩脉侵入时，含水层厚度大。整体地下水位线与地形走势相一致，水平方向透水性较均匀，垂直方向透水性随深度增加而减弱。构造裂隙水主要赋存于中~微风化基岩构造裂隙中，其透水性与节理裂隙发育程度有关，构造裂隙多为剪性或压剪性节理，节理面较平直光滑，裂隙面有铁锰质浸染。总体上基岩裂隙水的富水性较差。

2.5.2.2.2 地下水的补、径、排条件

厂址区地下水总体流向是顺地势由高向低排泄。

第四系孔隙水主要受大气降水补给，排泄以蒸发和径流方式为主，少部分通过浅部裂隙补给基岩裂隙水。第四系孔隙水径流条件较好，径流方向基本受地形控制，最终向西北方向排入大海。

基岩裂隙水主要受大气降水补给，其次是第四系孔隙水的径流补给，降水入渗后主要经风化带网状裂隙顺地势径流，总体上自高向低处流动，最终向西北方向排入大海。此外，少部分基岩裂隙水在沟谷处侧向补给第四系孔隙水。

2.5.2.2.3 水文地质试验及地层渗透性

1) 压水试验

可行性研究阶段厂址水文地质调查和核岛区详勘在核岛区 4 个钻孔中进行了单管柱栓塞法压水试验，中等风化岩体透水率为 2.36Lu，属弱透水；微风化岩体透水率为 0.61Lu~1.98Lu，属微~弱透水。

2) 渗水试验

为了测定地表土层的渗透性，可行性研究阶段水文地质调查在厂址区共布置了 4 个试坑进行单环法渗水试验。从成果数据看，第四系松散层的渗透系数为 $2.15 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ~ $9.72 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ ，属中等透水。强风化黑云母花岗岩的渗透系数为 $3.67 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ，属中等透水。

3) 抽水试验

可行性研究阶段水文地质调查工作在厂址区范围内对 5 个钻孔(KK11、KK12、KK14、KK17 和 KK20) 进行了单孔稳定流抽水试验。总体上厂址区第四系松散层透水性较好，渗透系数 1.27m/d~2.83m/d，属中等透水。

2.5.2.2.4 水化学特征

根据可行性研究阶段水文地质调查工作水化学分析结果，厂址区地表水 pH 值为 7.1，总硬度 151.9mg/L，矿化度 451.9mg/L，呈中性，属微硬水；地下水 pH 值为 6.44~7.75，总硬度 124.3~188.8mg/L，矿化度 412.0~480.6mg/L，呈中性~弱碱性，属微硬水~硬水；海水呈中性，属极硬水。除海水为盐水外，地表水和地下水均为淡水。

2.5.2.2.5 水力联系

1) 地下水之间的水力联系

通过可行性研究阶段水文地质调查，并结合海南昌江核电厂一期工程水文地质调查资料分析，3、4 号厂址区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大气降水入渗补给。

2) 地下水与地表水的水力联系

厂址区及周边地表水主要是塘兴水库和人工虾塘。

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，水库水主要用于农田灌溉，水库库底标高高于厂坪设计标高，水库水入渗补给厂区地下水。

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 0.58km²，距离厂址边界最近距离约 470m，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，一般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。

3) 地下水与海水的水力联系

地下水顺地形坡降向大海方向径流排泄，在近海岸地段与海水相遇，形成混合水。由于第四系孔隙水水位大多高于潮水位，因此海水对地下水的影响小。由于海岸带的海积砂层透水性较好，如果工程施工过程中降水，造成地下水水位大幅下降，当地下水水位低于潮水位时，会引起海水入侵。

2.5.2.3 电厂建设对地下水的利用计划

厂址及附近地区无地下水水源地及集中开采区。厂址区地下水位主要受大气降水影响，年变幅较大，不具备工业开采价值。电厂建设没有利用地下水作为供水水源的计划。

厂址附近地区有一些小的民井，供饮用或养殖用，用水量小，对地下水影响较小。

2.5.2.4 电厂建设对地下水的可能影响

(1) 3、4 号机组主厂区位置开挖至厂坪设计标高后，第四系基本被挖除，地下水主要赋存在全~强风化基岩内，其他厂房地段第四纪砂层内有少量孔隙潜水，但由于第四纪砂层透水性好，且厂区地势较高，东南、东北及西北侧为排洪渠环绕，排洪渠大多已下切至基岩面，排泄条件较好，临近地区没有大的补给源，水位大幅上升的可能性较小。受地形影响，地下水总体由地势较高地区向地势低的地区渗流，丰水期通过排洪渠绕经主厂区东北侧再向西北方向流向大海。厂区场地平整开挖不会影响地下水渗流环境，不改变地下水的总体流向，也不会改变厂区地下水基本特征。

(2) 3、4 号机组核岛厂房基底主要为微风化岩体，其次为中等风化岩体。微风化岩体完整性为较完整~完整；中等风化岩体完整性为较破碎~较完整。中~微风化岩体透水率低，节理裂隙连通性差，且水量极少，核岛基底以下未见断层破碎带或节理密集带等导水通道。核岛基坑开挖后地下水贫乏。

(3) 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。

厂址区地下水下游方向没有居民，仅有零星临时性生产用小口径民井位于厂区西北方向人工养殖虾塘及养鸭场位置（J3、J4、J5、J6）。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 0.58km²，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。养鸭场位于厂区西北部，排洪渠与 1 号弃土场之间，可研勘察调查发现的 J4、J5、J6 即为养鸭场养殖用小口径民井。根据可研阶段水文地质调查成果，J3、J4、J5、J6 等 4 口临时性生产用民井位于厂区地下水流向下游方向，主要供生产养殖使用，用水量小，对地下水影响小。建议限制厂址周边特别是地下水流向下游方向民井开挖及地下水开采，并考虑将该区域已有民井废弃或搬离。

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。核岛地基岩体完整性好、裂隙连通性差，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》（HAD101/09-1990）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：	<u>0.18m</u>
设计基准洪水位：	6.60m

本工程厂坪标高定为 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 86 公里，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

厂址所在区域位于海南岛中部的琼中南隆起中低山地区，属滨海台地，海拔最高为 32m，地形平缓，地势东南部高，西北部低，向大海倾斜。依据地形特征及成因类型，厂址主要分为三个地貌单元，即海成地貌（包括海滩地貌、海岸平原地貌）、台地地貌和人工地貌，其中人工地貌为 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。

3、4 号机组场地在 1、2 号机组工程施工时已经部分开挖，4 号机组西南侧部分地段平整为两个平台以作为施工临建区，标高分别为 20.0m、25.0m，主厂区地段标高约为 10.5m~17.0m。核岛区北侧部分地段已开挖平整到厂坪标高。

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	海拔高度(m)	级别
东方	59838	8.0	基准站（气候观象台）
儋州	59845	168.8	基本站（一级站）
昌江	59847	98.9	一般站（二级站）
临高	59842	30.6	一般站（二级站）

表 2.4-2 厂址实测大气扩散参数

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

稳定度 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℃~+50℃	0.1℃	±0.1℃	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

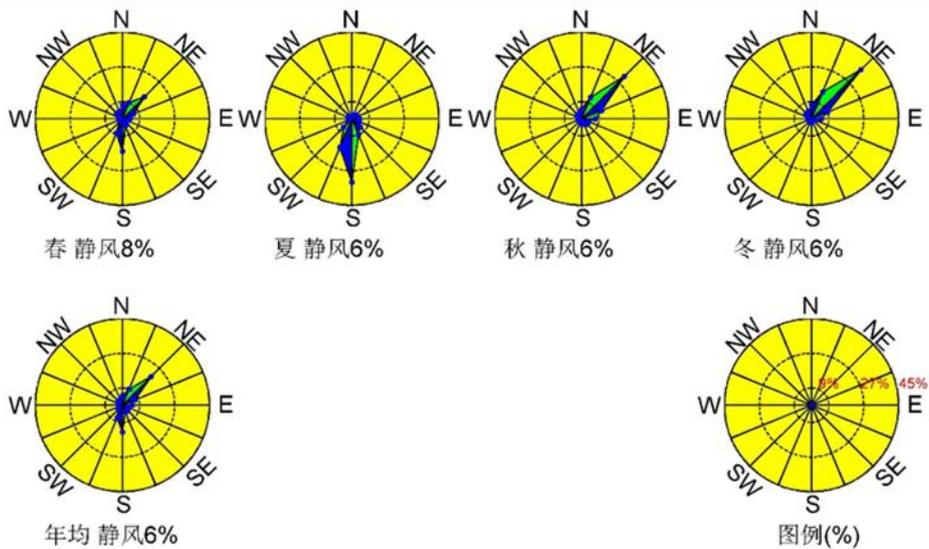
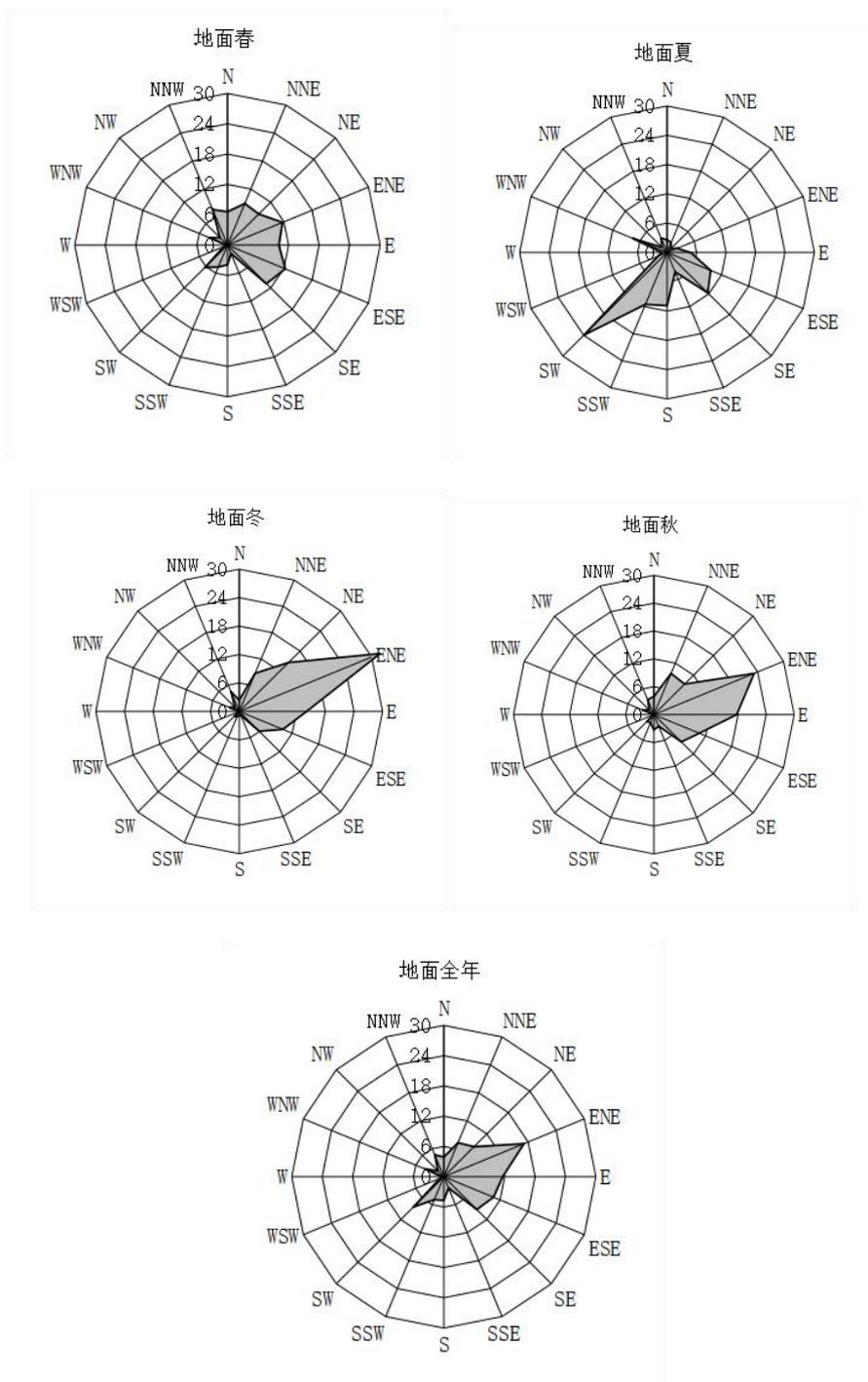
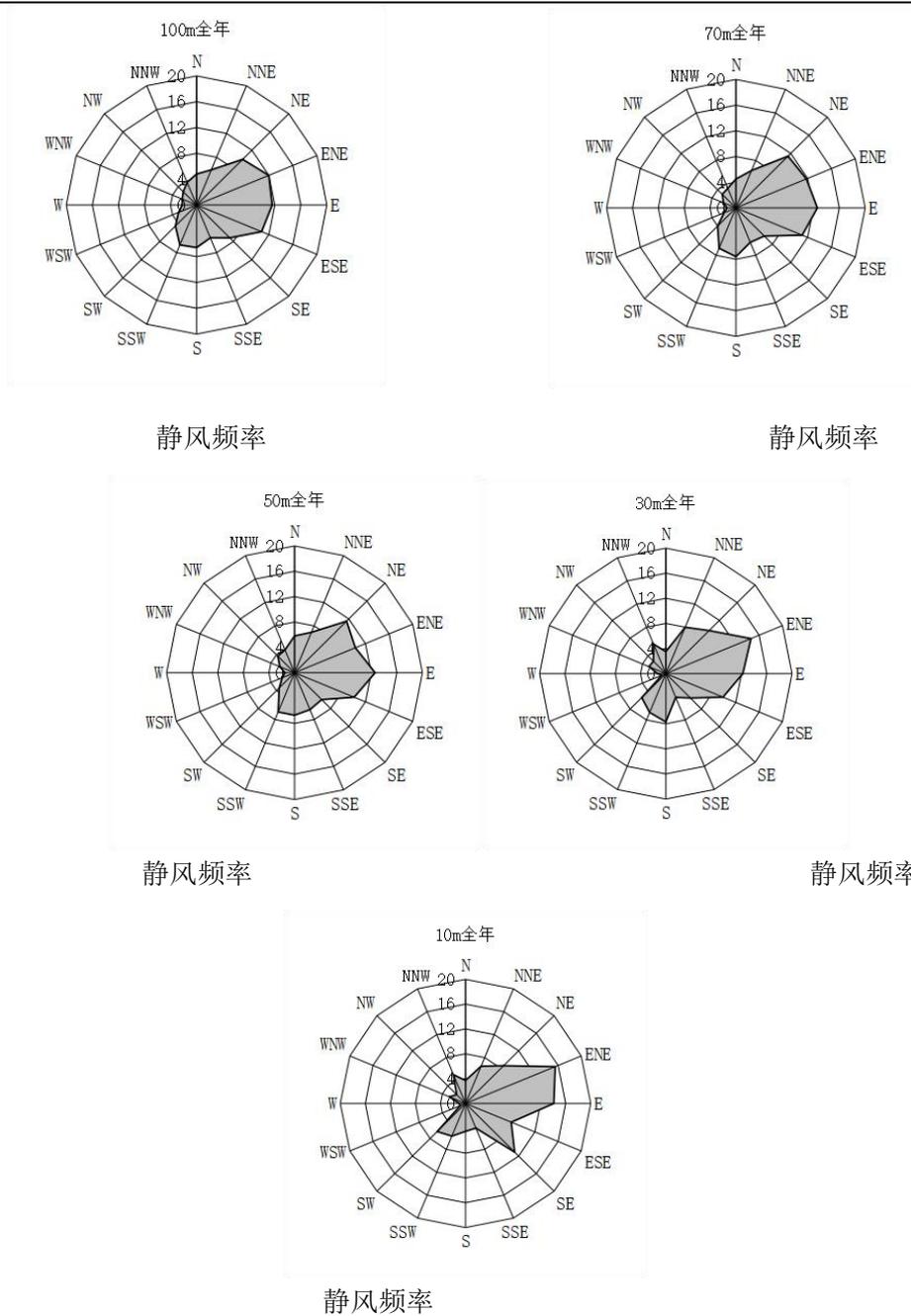


图 2.4-1 东方站各季和年的风玫瑰图



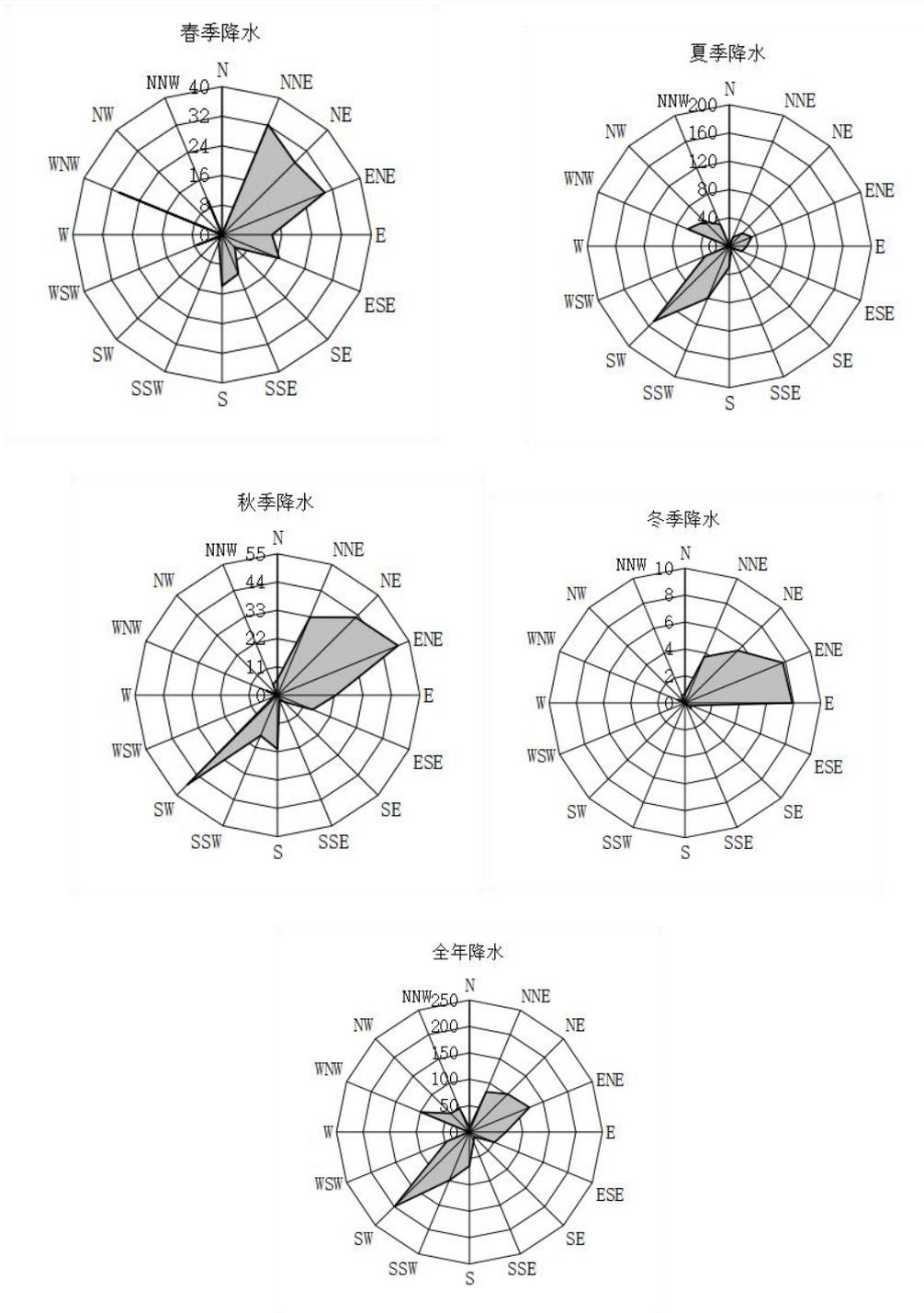
年静风频率
(单位:)

图 2.4-2 厂址地面站各季、年风向玫瑰图 (2022.3~2024.2)



(单位:)

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 2018 年海南昌江核电厂环境辐射监测方案

表 3.1-2 环境辐射监测项目、核素分析测量方法及探测限

表 3.1-3 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 海南昌江核电厂厂区内电磁辐射监测点设置情况

表 3.2-5 海南昌江核电厂开关站和第一跨监测点设置

表 3.2-6 海南昌江核电厂拟建主变压器监测点设置

表 3.2-7 海南昌江核电厂输电线路监测断面监测点设置

表 3.2-8 海南昌江核电厂厂区外敏感区监测点设置

表 3.2-9 海南昌江核电厂厂址区域通信基站监测点设置

表 3.2-10 海南昌江核电厂厂区内工频电场/工频磁场强度和射频综合场强监测结果

表 3.2-11 海南昌江核电厂厂区内地下输电廊道工频电场/工频磁场强度监测结果

表 3.2-12 海南昌江核电厂开关站和厂区内输电线路第一跨工频电场/工频磁场强度监测

结果

表 3.2-13 海南昌江核电厂主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果

表 3.2-14 海南昌江核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度和射频综合场强监测结果

表 3.2-15 海南昌江核电厂厂区外环境敏感区域工频电场/工频磁场强度和射频综合场强监测结果

表 3.2-16 海南昌江核电厂厂址区域通讯基站射频综合场强监测结果

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 参考的资料

《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) 环境贯穿辐射：贯穿辐射剂量率连续监测；TLD 累积剂量监测；瞬时贯穿辐射剂量率监测；
- (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贯穿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/(m²·月)；沉降灰中 ^{226}Ra 的测量范围为 <LLD~1.33 Bq/(m²·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 100m³，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 10000m³，超大流量气溶胶累计取样体积 13500m³。

^{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<LLD ~0.33mBq/m³；总 β 的测量范围为 0.074~3.80mBq/m³。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。地下水样品共设置 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 $1.54\pm 0.07\text{Bq/L}$ ， $1.46\pm 0.06\text{Bq/L}$ ，第二季度地下水检出 ^3H 活度为 $1.07\pm 0.05\text{Bq/L}$ ，第三季度地下水场检出 ^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： $<\text{LLD}\sim 4.19\text{mBq/L}$ ；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（1~5cm），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 ^{90}Sr 和 γ 谱分析。海底沉积物中 ^{226}Ra 的活度浓度范围为

8.08~43.15Bq/kg； ^{90}Sr 的活度浓度范围为 0.36~3.43Bq/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。

（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 ^{226}Ra 的活度浓度范围为 0.012~0.10Bq/kg；其余核素（包括 ^{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。

（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， ^{226}Ra 测量的活度浓度范围为 <LLD ~0.27 Bq/kg（鲜）；在大米、羊肉样品中检测出 ^{137}Cs ，大米中 ^{137}Cs 活度浓度范围为 <LLD~0.56Bq/kg，肉类样品中 ^{137}Cs 活度浓度范围为 <LLD~0.053Bq/kg；其余核素（包括 ^{134}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 、 ^{131}I 、 ^{106}Ru 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ）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 ^{226}Ra 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（ ^{134}Cs 、 ^{137}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。

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

3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

3.2.1.1 大气环境质量现状调查

本节有关资料和数据取自中国核电工程有限公司研发中心联合天津品凡检测科技有限公司于 2024 年 6 月完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址周围大气环境现状调查及评价报告》。

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厅关于核定海南昌江核电厂 3/4 号机组环境影响评价非放执行标准的函》（琼环函〔2017〕302 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。

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。

各监测点氯化氢均未检出，氯化氢小时浓度符合《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）附录 D 其他污染物空气质量浓度参考限值。

各监测点氟化物（F）的最大小时浓度为 0.9μg/m³，氟化物（F）小时浓度符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）附录 A 参考浓度限值。

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。

各监测点铅（Pb）各测点的七天日均值均未检出，因无日均值评价标准值，故暂不评价。

各监测点铅（二噁英类）各测点的最大日均值浓度为 0.0120pgTEQ/Nm³，因无日均值

评价标准值，故暂不评价。

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，二噁英和铅（Pb）两项污染物浓度处于较低水平，厂址区域大气环境质量较好。

3.2.1.2 质量保证

《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址周围大气环境现状调查及评价报告》引用的监测数据为天津品凡检测科技有限公司检验检测并出具的监测报告，天津品凡检测科技有限公司具有检验检测机构资质认定证书，证书编号：19021250040，且监测内容在天津品凡检测科技有限公司的检验检测的能力范围内。监测数据报告印有 CMA 计量认证公章。

3.2.2 声环境质量现状调查与评价

3.2.2.1 声环境质量现状调查

本节有关资料和数据取自中国核电工程有限公司研发中心联合天津品凡检测科技有限公司于 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》。

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）。

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。

（1）声环境保护目标

声环境保护目标布设 17 个监测点；居民点、学校等声环境保护目标监测点，包括居民点 14 个监测点，学校 3 个监测点。

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

网格噪声布设 43 个监测点。

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

交通噪声布设 6 个监测点。

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

厂区内噪声共布设 14 个噪声监测点，其中，4 个 3、4 号机组施工场界噪声监测点，4 个厂界噪声监测点，6 个厂区内声环境保护目标和噪声源监测点。

3、4 号机组施工场界噪声监测点第一天昼间噪声等效声级为 64.5~68.6dB (A)，第二天昼间噪声等效声级为 64.3~67.8dB (A)，符合《建筑施工厂界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011) 规定的昼间噪声标准限值 70dB (A) 的要求；第一天夜间噪声等效声级为 41.0~51.7dB (A)，第二天夜间噪声等效声级为 50.8~53.6dB (A)，符合《建筑施工厂界环境噪声排放标准》(GB 12523-2011) 规定的夜间噪声标准限值 55dB (A) 的要求。

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

海域噪声共布设 5 个噪声监测点。

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，各声功能区点位均满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）及《建筑施工作业环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）中的相关标准，厂址区域整体声环境质量较好。

3.2.2.2 质量保证

《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址周围环境噪声现状调查及评价报告》引用的监测数据为天津品凡检测科技有限公司检验检测并出具的监测报告，天津品凡检测科技有限公司具有检验检测机构资质认定证书，证书编号：19021250040，且监测内容在天津品凡检测科技有限公司的检验检测的能力范围内。监测数据报告印有 CMA 计量认证公章。

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($> 6.0 \text{ mg/L}$),其余站位溶解氧含量符合海水水质二类标准($\leq 6.0 \text{ mg/L}$, $> 5.0 \text{ mg/L}$)。秋季除 24 号站位底层溶解氧含量符合海水水质二类标准($\leq 6.0 \text{ mg/L}$, $> 5.0 \text{ mg/L}$)外,其余样品溶解氧含量均符合海水水质一类标准($> 6.0 \text{ mg/L}$)。

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($\leq 0.20 \text{ mg/L}$)。秋季除 38 号表层符合二类海水水质类标准($\leq 0.30 \text{ mg/L}$, $> 0.20 \text{ mg/L}$),其余样品均符合一类海水水质类标准($\leq 0.20 \text{ mg/L}$)。

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($\leq 0.015 \text{ mg/L}$)。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($\leq 0.030 \text{ mg/L}$, $> 0.015 \text{ mg/L}$),其余样品均符合海水水质一类标准($\leq 0.015 \text{ mg/L}$)。

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($\leq 0.020 \text{ mg/L}$)。

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 BOD_5 含量符合海水水质一类标准($\leq 1.0 \text{ mg/L}$),其余站位样品 BOD_5 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 BOD_5 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）
- 《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。

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。采用一维探头监测工频磁场时，探头位置在监测最大值的方向。

（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 日对海南昌江核电厂厂址周围电磁环境进行了现场调查。由表 3.2-10~16 可知，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 应急开关站，220kV 应急（昌核线）输电线路，220kV 应急（鹅核线）输电线路，220kV 出线（核李线）输电线路，220kV 出线（核成线）输电线路。厂址区域另有 12 个通讯基站。

3.2.4.7 监测点设置

1) 厂区监测点设置

本次监测根据厂区内电磁辐射源和敏感区分布情况设置监测点如下：

厂区共设置 18 个监测点，分别在海南昌江核电厂区边界（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、工频磁场强度和射频综合场强。监测点名称、编号见表 3.2-4。

2) 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。监测点名称、编号见表 3.2-4。

3) 开关站和第一跨监测点设置

海南昌江核电厂目前共有 3 个开关站。其中，有在建 500kV 出线开关站，已建 220kV 出线开关站和 220kV 应急开关站（全厂共用），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（核成线与核李线）输电线路和 220kV 应急（昌核线与鹅核线）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。在开关站和第一跨共设置 15 个监测点，编号 K1~K15。开关站及第一跨监测点设置情况见表 3.2-5。

3) 主变压器监测点设置

分别对海南昌江核电厂已建和在建的 5 个主变进行监测。其中，1、2 号机组主变已建成并运行，3、4 号机组主变与小堆主变正在建设中。

对于主变压器，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，设 11 个监测点，监测工频电场强度与工频磁场强度监测。厂区主变压器共设置 55 个监测点，监测点编号见表 3.2-6。

4) 输电线路监测点设置

本次共设 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：

(a) 垂直方向的监测断面点位设置

在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。

(b) 平行方向的监测断面点位设置

在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）或 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。

现场监测过程中对监测点进行逐一编号（P1-1~P1-28、P2-1~P2-28、P3-1~P3-28、P4-1~P4-28、P5-1~P5-28）。海南昌江核电厂输电线路监测断面设置情况见表 3.2-7 和图 3.2-9。

5) 厂区外环境敏感区和通信基站监测点设置

在厂区外环境敏感区设置监测点，其中 12 个居民点、3 所学校、养老院、1 个卫生院，2 个敏感区，共设置 18 个监测点，编号 1~18。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。监测点设置情况见表 3.2-8。

在厂区 12 个通信基站处设置监测点，编号 T1~T12，监测射频综合场强。监测点设置情况见表 3.2-9。

3.2.4.8 电磁辐射现状监测数据

海南昌江核电厂厂区内工频电场/工频磁场强度和射频综合场强监测结果见表 3.2-10；

海南昌江核电厂厂区内地下输电廊道工频电场/工频磁场强度监测结果见表 3.2-11；

海南昌江核电厂开关站和厂区内输电线路第一跨工频电场/工频磁场强度监测结果见表 3.2-12；

海南昌江核电厂主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果见表 3.2-13。

海南昌江核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场监测结果见表 3.2-14。

海南昌江核电厂厂区外环境敏感区域工频电场/工频磁场强度和射频综合场强监测结果见表 3.2-15。

海南昌江核电厂厂址区域通讯基站射频综合场强监测结果见表 3.2-16。

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 0.4W/m²（电场强度限值 12V/m）。

3.2.4.10 电磁辐射现状监测质量保证措施

本次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

1) 厂区内电磁辐射监测结果评价

厂区内共设置 18 个监测点，监测工频电场/工频磁场强度和射频综合场强，监测数据统计情况见表 3.2-10。

a) 工频电场/工频磁场强度监测数据分析

由监测数据可知，厂区监测点工频电场强度监测值范围在 0.04V/m~1.23V/m 之间。工频电场强度最大值出现在 N13#监测点（核工业南京仓库）监测点，其监测值为 1.23V/m。1、2 号机组厂址区域监测值稍高于其它区域点位监测值。所有监测点都远远小于 GB 8702-2014 中标准限值 4kV/m，符合标准要求。

工频磁场强度监测值在 0.0061 μ T~0.1362 μ T 之间，最大值出现在 N7#监测点（1、2 号机组中心），其监测值为 0.1362 μ T。所有监测点监测值均小于 GB 8702-2014 中标准限值 0.1mT（100 μ T），符合标准要求。

b) 射频综合场强监测数据分析

由监测数据可知，所有监测点监测值在 0.19V/m~1.92V/m 之间，最大值出现在 N15#监测点（宿舍楼移动通信基站），其监测值为 1.92 V/m，受其旁边通讯基站的影响。所有监测值均小于 GB 8702-2014 中规定的 12V/m 标准限值，符合标准要求。

2) 地下输电廊道电磁辐射监测结果评价

地下输电廊道共设置 9 个监测点，工频电场/工频磁场强度监测数据统计情况见表 3.2-11。

由监测数据可知，厂区监测点工频电场强度监测值范围在 0.10V/m~0.78V/m 之间。工频电场强度最大值出现在 L2#监测点（地下管廊道线路 2）监测点，其监测值为 0.78V/m。所有监测点监测数值均小于 GB 8702-2014 中标准限值 4kV/m，符合标准要求。

工频磁场强度监测值在 0.0059 μ T~1.6135 μ T 之间。工频磁场强度最大值出现在 L1#监测点（地下管廊道线路 2），其监测值为 1.6135 μ T。所有监测点监测数值均远小于 GB 8702-2014 中标准限值 0.1mT（100 μ T），符合标准要求。

3) 开关站和第一跨电磁辐射监测结果评价

海南昌江核电厂开关站和第一跨共设置 15 个监测点，工频电场/工频磁场强度监测数据统计情况见表 3.2-12。

由监测数据可知，所有监测点工频电场强度监测值范围在 0.21V/m~1541.1V/m 之间，最大值出现在 K6#监测点（220KV 出线开关站南侧），监测值为 1541.1V/m，该监测点处于出线输电线路下方，监测数值受输电线路影响偏大。所有监测点监测数值均小于 GB 8702-2014 中标准限值 4kV/m，符合标准要求。

工频磁场强度监测值在 0.0076 μ T~4.9247 μ T 之间，最大值出现在 K6#监测点（220kV

出线开关站南侧)，处于出线输电线路下方，其监测值为 $4.9247\mu\text{T}$ ，所有监测点监测数值均小于 GB 8702-2014 中标准限值 0.1mT ($100\mu\text{T}$)，符合标准要求。

4) 主变压器电磁辐射监测结果分析与评价

海南昌江核电厂已建和在建 5 个主变压器，每个主变压器设置 11 个监测点，共设置 55 个监测点。主变压器工频电场/工频磁场强度监测数据统计情况见表 3.2-13。

a) 1#主变压器监测数据分析

由监测数据可知，工频电场强度监测值在 $0.13\text{V/m}\sim 0.36\text{V/m}$ 之间，最大值出现在拟建 1#主变压器外 0m 处，其监测值为 0.36V/m ，然后随距离增加而降低。以上所有监测值都小于 GB 8702-2014 中 4kV/m 的标准限值。

工频磁场强度监测值在 $0.1693\mu\text{T}\sim 10.4166\mu\text{T}$ 之间，最大值出现在 1#主变压器外 0m 处，其监测值为 $10.4166\mu\text{T}$ ，然后随距离增加而降低。所有监测点监测数值均小于 0.1mT ($100\mu\text{T}$) 标准限值。

b) 2#主变压器监测数据分析

由监测数据可知，工频电场强度监测值在 $0.15\text{V/m}\sim 0.66\text{V/m}$ 之间，最大值出现在 2#主变压器外 0m 处，其监测值为 0.66V/m ，然后随距离增加而降低。所有监测点监测数值均小于 GB 8702-2014 中 4kV/m 的标准限值。

工频磁场强度监测值在 $0.1414\mu\text{T}\sim 7.7968\mu\text{T}$ 之间，最大值出现在 2#主变压器外 0m 处，其监测值为 $7.7968\mu\text{T}$ ，然后随距离增加而降低。所有监测点监测数值均小于 0.1mT ($100\mu\text{T}$) 标准限值。

c) 3#主变压器监测数据分析

由监测数据可知，工频电场强度监测值在 $0.10\text{V/m}\sim 0.11\text{V/m}$ 之间，最大值出现在 3#主变压器外 20m 、 25m 、 30m 、 35m 、 40m 处，其监测值为 0.11V/m ，各监测点监测值变化趋势不明显。以上所有监测点监测数值均小于 GB 8702-2014 中 4kV/m 的标准限值。

工频磁场强度监测值在 $0.0061\mu\text{T}\sim 0.0066\mu\text{T}$ 之间，最大值出现在 3#主变压器外 45m 、 50m 处，其监测值为 $0.0066\mu\text{T}$ ，各监测点监测值变化趋势不明显。所有监测点监测数值均小于 0.1mT ($100\mu\text{T}$) 标准限值。

d) 4#主变压器监测数据分析

由监测数据可知，工频电场强度监测值在 $0.10\text{V/m}\sim 0.12\text{V/m}$ 之间，最大值出现在 4#主变压器外 35m 处，其监测值为 0.12V/m ，各监测点监测值变化趋势不明显。所有监测点

监测数值均小于 GB 8702-2014 中 4kV/m 的标准限值。

工频磁场强度监测值在 0.0051 μ T~0.0068 μ T 之间，最大值出现在 4#主变压器外 35m 处，其监测值为 0.0068 μ T，各监测点监测值变化趋势不明显。所有监测点监测数值均小于 0.1mT（100 μ T）标准限值。

e) 小堆主变压器监测数据分析

由监测数据可知，工频电场强度监测值在 0.06V/m~0.13V/m 之间，最大值出现在小堆主变压器外 50m 处，其监测值为 0.13V/m，各监测点监测值变化趋势不明显，以上所有监测点监测数值均小于 GB 8702-2014 中 4kV/m 标准限值。

工频磁场强度监测值在 0.0051 μ T~0.0320 μ T 之间。最大值出现在小堆主变压器外 0m 处，其监测值为 0.032 μ T，各监测点监测值变化趋势不明显。所有监测点监测数值均小于 GB 8702-2014 中 0.1mT（100 μ T）标准限值。

5) 输电线路电磁辐射监测结果评价

对核电厂厂址区域 5 条输电线路共设 5 处监测断面进行监测，输电线路工频电场/工频磁场强度监测数据统计情况见表 3.2-14。

a) 拟建 500kV 出线输电线路（P1 监测断面）监测数据分析

由监测数据可知，拟建 500kV 出线输电线路垂直监测断面工频电场强度监测值在 0.36V/m~0.79V/m 之间。在东边相下 50m 处最大，其值为 0.79V/m，在西边相下 0m 处最小，其值为 0.36V/m，各监测点监测值变化趋势不明显。平行监测断面工频电场强度监测值在 0.62V/m~0.79V/m 之间。以上所有工频电场强度监测值均小于 4kV/m 的标准限值。

拟建 500kV 出线输电线路垂直监测断面工频磁场强度监测值在 0.1041 μ T~0.1476 μ T 之间。在西边相外 10m 处最大，其值为 0.1476 μ T，在西边相外 35m 处最小，其值为 0.1041 μ T，各监测点监测值变化趋势不明显。平行监测断面工频磁场强度监测值在 0.1345 μ T~0.1421 μ T 之间。所有工频磁场强度监测值均小于 0.1mT（100 μ T）的标准限值，符合要求。

b) 220kV 应急输电线路（昌核线）（P2 监测断面）监测数据分析

由监测数据可知，220kV 应急输电线路（昌核线）垂直监测断面工频电场强度监测值在 55.48V/m~487.58V/m 之间。在西边向下 0m 处最大，其值为 487.58V/m，然后随距离增加而降低，在东边向外 50m 处最小，其值为 55.48V/m。平行监测断面工频电场强度监测值在 251.43V/m~295.24V/m 之间。以上所有工频电场强度监测值均小于 4kV/m 的标准限

值。

220kV 应急输电线路（昌核线）垂直监测断面工频磁场强度监测值在 $0.0142\mu\text{T}\sim 0.0275\mu\text{T}$ 之间，在西边向下 0m 处最大，其值为 $0.0275\mu\text{T}$ ，然后随距离增加而降低，在东边向外 50m 处最小，其值为 $0.0142\mu\text{T}$ 。平行监测断面工频磁场强度监测值在 $0.0210\mu\text{T}\sim 0.0241\mu\text{T}$ 之间。所有工频磁场强度监测值均小于 0.1mT （ $100\mu\text{T}$ ）的标准限值，符合要求。

c) 220kV 应急输电线路（鹅核线）（P3 监测断面）监测数据分析

由监测数据可知，220KV 应急输电线路（鹅核线）垂直监测断面工频电场强度监测值在 $1.61\text{V/m}\sim 3.30\text{V/m}$ 之间。在西边向外 10m 处最大，其值为 3.30V/m ，在东边向外 15m 处最小，其值为 1.61V/m ，由于鹅核线未运行，所以各监测点监测值随距离的增加变化趋势不明显。平行监测断面工频电场强度监测值在 $1.63\text{V/m}\sim 2.48\text{V/m}$ 之间。以上所有工频电场强度监测值均小于 4kV/m 的标准限值。

220kV 应急输电线路（鹅核线）垂直监测断面工频磁场强度监测值在 $0.0364\mu\text{T}\sim 0.0482\mu\text{T}$ 之间，在东边向下 0m 处最大，其值为 $0.0482\mu\text{T}$ ，在东边向外 50m 处最小，其值为 $0.0364\mu\text{T}$ ，由于鹅核线未运行，所以各监测点监测值随距离的增加变化趋势不明显。平行监测断面工频磁场强度监测值在 $0.0437\mu\text{T}\sim 0.0456\mu\text{T}$ 之间。所有工频磁场强度监测值均小于 0.1mT （ $100\mu\text{T}$ ）的标准限值，符合要求。

d) 220kV 出线输电线路（核李线）（P4 监测断面）监测数据分析

由监测数据可知，220kV 核李线输电线路垂直监测断面工频电场强度监测值在 $3.65\text{V/m}\sim 574.43\text{V/m}$ 之间。在北边向下 0m 处最大，其值为 574.43V/m ，在南边向外 50m 处最小，其值为 3.65V/m ，其监测点监测值随着与输电线路垂直方向的距离增加而降低。平行监测断面工频电场强度监测值在 $233.71\text{V/m}\sim 262.67\text{V/m}$ 之间。以上所有工频电场强度监测值均小于 4kV/m 的标准限值。

220kV 核李线输电线路垂直监测断面工频磁场强度监测值在 $0.2064\mu\text{T}\sim 0.9726\mu\text{T}$ 之间，在北边向下 0m 处最大，其值为 $0.9726\mu\text{T}$ ，在南边向外 50m 处最小，其值为 $0.2064\mu\text{T}$ ，其监测点监测值随着与输电线路垂直方向的距离增加而降低。平行监测断面工频磁场强度监测值在 $0.5753\mu\text{T}\sim 0.6253\mu\text{T}$ 之间。所有工频磁场强度监测值均小于 0.1mT （ $100\mu\text{T}$ ）的标准限值，符合要求。

e) 220kV 出线输电线路（核成线）（P5 监测断面）监测数据分析

由监测数据可知，220kV 核成线输电线路垂直监测断面工频电场强度监测值在 61.75V/m~1243.0V/m 之间。在南边向下 0m 处最大，其值为 1243.0V/m，在北边向外 50m 处最小，其值为 61.75V/m，其监测点监测值随着与输电线路垂直方向的距离增加而降低。平行监测断面工频电场强度监测值在 733.27V/m~777.65V/m 之间。以上所有工频电场强度监测值均小于 4kV/m 的标准限值。

220KV 核成线输电线路垂直监测断面工频磁场强度监测值在 0.7443 μ T~2.1240 μ T 之间，在北边向下 0m 处最大，其值为 2.1240 μ T，在北边向外 50m 处最小，其值为 0.7443 μ T，其监测点监测值随着与输电线路垂直方向的距离增加而降低。平行监测断面工频磁场强度监测值在 1.6830 μ T~107258 μ T 之间。所有工频磁场强度监测值均小于 0.1mT（100 μ T）的标准限值，符合要求。

6) 厂区外环境敏感区和通信基站电磁辐射监测结果评价

在居民点、学校、养老院、卫生院和较大企事业单位等厂区外环境敏感区设置监测点，共设置 18 个监测点，工频电场强度、工频磁场强度和射频综合场强监测数据统计情况见表 3.2-15。

a) 工频电场/工频磁场强度监测数据分析

由表 3.2-15 监测数据可知，厂区外敏感区所有监测点工频电场强度监测值范围在 0.05V/m~4.30V/m 之间，最大值出现在 21#点（五联农贸市场），监测点受农贸市场用电输电线路影响，其监测值为 4.30V/m。以上所有监测值都远远小于标准限值 4kV/m，符合要求。

厂区外敏感区工频磁场强度监测值在 0.0056 μ T~0.0572 μ T 之间，最大值出现在 3#点（林好村篮球场），监测点受居民用电输电线路影响，其监测值为 0.0572 μ T。以上所有监测点监测值均小于标准限值 0.1mT（100 μ T），符合标准要求。

b) 射频综合场强监测数据分析

由监测数据可知，厂区外环境敏感区监测点监测值在 0.11V/m~1.67 V/m 之间。最大值为 21#监测点（五联农贸市场），其监测值为 1.67V/m，监测点监测值受里仁村联通通信基站影响。所有监测值均小于《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。

在厂区外 12 个通信基站处设置监测点，通信基站射频综合场强监测数据统计情况见表 3.2-16。通信基站监测点监测值在 0.41V/m~2.88 V/m 之间。最大值为 T4#监测点（调

试楼移动基站)，其监测值为 2.88V/m。所有监测值均小于《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、厂区外 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	^3H	月	EC4-1、三联村、环境实验室	3	
		^{14}C	^{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	^3H 、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
	陆地介质	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 ^3H 、 ^{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 ^3H 、 ^{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： ^{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 3.1-1（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
			13500m ³			3.69×10 ⁻⁷ Bq/m ³
		总 β	10000m ³	β 计数法	120min	1.08×10 ⁻⁶ Bq/m ³
			13500m 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
			13500m 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	环境贯穿辐射瞬时 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	水中氙的测定	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氙的测定	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	浓度限值		单位
		一级	二级	
NO ₂	日平均	80	80	μg/m ³
	小时平均	200	200	
NO _x	日平均	100	100	
	小时平均	250	250	
SO ₂	日平均	50	150	
	小时平均	150	500	
CO	日平均	4	4	mg/m ³
	小时平均	10	10	
PM _{2.5}	日平均	35	75	μg/m ³
PM ₁₀	日平均	50	150	
TSP	日平均	120	300	
O ₃	日最大 8 小时平均	100	160	
	小时平均	160	200	
氯化氢	日平均	15		
氟化物 (F)	日平均	7	7	
	小时平均	20	20	
铅 (Pb)	年平均	0.5	0.5	
	季平均	1	1	
二噁英	年平均	0.6		pgTEQ/m ³

注：氯化氢参照执行《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018)附录 D 其他污染物空气质量浓度参考限值，二噁英参考日本环境标准只有年平均的浓度限值，铅 (Pb)《环境空气质量标准》中只有年平均和季平均的浓度限值，暂不评价二噁英、铅 (Pb)。

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	
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 海南昌江核电厂厂区内电磁辐射监测点设置情况

编号	监测点名称	编号	监测点名称
N1	厂界东	N15	宿舍楼（移动通信基站）
N2	厂界南	N16	钢结构加工车间
N3	厂界西	N17	搅拌站
N4	厂界西北	N18	碎石场
N5	厂界北	L1	1、2 号地下管廊线路 1
N6	厂址中心	L2	1、2 号地下管廊线路 2
N7	1、2 号机组中心	L3	1、2 号地下管廊线路 3
N8	3、4 号机组中心	L4	3、4 号地下管廊线路 1
N9	业主办公楼	L5	3、4 号地下管廊线路 2
N10	海南核电应急指挥中心	L6	3、4 号地下管廊线路 3
N11	业主 BX 楼（通信基站）	L7	小堆地下管廊线路 1
N12	工程公司项目部办公楼	L8	小堆地下管廊线路 2
N13	核工业南京公司仓库	L9	小堆地下管廊线路 3
N14	宿舍楼（联通通信基站）	/	/

表 3.2-5 海南昌江核电厂开关站和第一跨监测点设置

开关站名称	监测点设置	编号
500kV 出线开关站	东、南、西、北拟建围墙外 5m 处监测工频电场、工频磁场强度和射频电场强度。	K1~K4
220kV 出线开关站		K5~K8
220kV 应急开关站		K9~K12
500kV 出线开关站与第一跨架空线中间	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	K13
220kV 出线开关站与第一跨架空线中间		K14
220kV 应急开关站与第一跨架空线中间		K15

表 3.2-6 海南昌江核电厂拟建主变压器监测点设置

监测点名称	1#主变压器	2#主变压器	3#主变压器	4#主变压器	小堆主变压器
监测点编号	A1~A11	B1~B11	C1~C11	D1~D11	E1~E11

表 3.2-7 海南昌江核电厂输电线路监测断面监测点设置

输电线路名称	监测点设置	编号
拟建 500kV 出线输电线路	垂直方向的监测断面在 0~50m 范围设点，两侧各设 11 个，共设 22 个监测点；平行监测断面与输电线路方向平行，按 10m 间隔设 3 个监测点，共 6 个监测点	P1-1~P1-28
220kV 应急输电线路（昌核线）		P2-1~P2-28
220kV 应急输电线路（鹅核线）		P3-1~P3-28
220kV 出线输电线路（核李线）		P4-1~P4-28
220kV 出线输电线路（核成线）		P5-1~P5-28

表 3.2-8 海南昌江核电厂厂区外敏感区监测点设置

编号	名称	距离 (km)	方位	编号	名称	距离 (km)	方位	编号	名称	距离 (km)	方位
1	马地村篮球场	1.3	SSW	7	五联新村篮球场	2.5	SSE	13	海联小学	1.9	SSE
2	塘兴新村村委会	2.4	S	8	南罗村村委会	4.7	NE	14	塘兴新村幼儿园	2.4	S
3	林好村篮球场	1.2	SE	9	双塘村篮球场	2.9	NE	15	华能生活区	1.5	NE
4	波兰村篮球场	1.9	SSE	10	梧高村村委会	3.5	WSW	16	南罗幼儿园	4.6	NE
5	永安村村委会	2.5	ESE	11	北方村篮球场	4.1	SW	17	南罗卫生院	4.9	NE
6	里仁村广场	2.2	S	12	甘塘村篮球场	4.8	SW	18	五联农贸市场	2.2	SSE

表 3.2-9 海南昌江核电厂厂址区域通信基站监测点设置

编号	名称	方位	距离 (km)	编号	名称	方位	距离 (km)
T1	厂界南通信基站	S	0.5	T7	林好村联通通信基站	SE	2.2
T2	中核五公司办公区联通基站	W	0.5	T8	林好村移动通信基站	SE	2.2
T3	中核五公司办公区移动基站	W	0.5	T9	里仁村联通通信基站	S	2.2
T4	调试楼移动基站	S	0.2	T10	塘兴新村移动通信基站	S	2.3
T5	500kV 出线开关站通信基站	S	0.2	T11	梧高村通信基站(移动联通共用)	WSW	3.4
T6	永安村通信基站	ESE	2.5	T12	五大村通信基站	SW	5.0

表 3.2-10 海南昌江核电厂厂区内工频电场/工频磁场强度和射频综合场强监测结果

测点编号	测点名称	测量时间	工频电场 (V/m)	工频磁场 (μ T)	射频综合场强 (V/m)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}$ C)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
N1	厂界东	2024.4.15 PM	0.75	0.0576	0.31	多云	99.8	36.7	43.5	北	1.4
N2	厂界南	2024.04.14 PM	0.04	0.0382	1.58	多云	99.8	37.2	43.2	北	1.7
N3	厂界西	2024.04.15PM	0.57	0.0227	1.32	多云	99.8	36.2	44.7	北	1.1
N4	厂界西北	2024.04.15PM	0.09	0.0679	0.88	多云	99.8	36.5	44.1	北	1.2
N5	厂界北	2024.04.15PM	0.15	0.0104	1.29	多云	99.8	36.8	43.8	北	1.3
N6	厂址中心	2024.04.15PM	0.11	0.0095	1.58	多云	99.8	36.9	43.6	北	1.1
N7	1、2 号机组中心	2024.04.14 AM	0.05	0.1362	0.19	多云	99.8	36.2	46.1	西北	1.5
N8	3、4 号机组中心	2024.04.13 AM	0.11	0.0061	0.54	多云	99.8	34.1	57.7	西北	1.5
N9	业主办公楼	2024.04.15PM	0.08	0.0069	0.47	多云	99.8	37.5	41.1	北	1.1
N10	应急指挥中心	2024.04.15PM	0.13	0.0125	0.57	多云	99.8	37.6	40.6	西北	1.1
N11	业主 BX 楼（通信基站）	2024.04.14 AM	0.14	0.0086	1.11	多云	99.8	36.7	45.7	北	1.4
N12	工程公司项目部办公楼	2024.04.14 PM	0.08	0.0102	1.19	多云	99.7	37.5	42.8	西北	1.6
N13	核工业南京公司仓库	2024.04.15AM	1.23	0.1055	0.52	多云	99.9	30.7	65.0	西	1.3
N14	宿舍楼（联通通信基站）	2024.04.15AM	0.10	0.0666	1.07	多云	99.9	30.3	65.3	西南	1.2
N15	宿舍楼（移动通信基站）	2024.04.15AM	0.26	0.0492	1.92	多云	99.9	30.2	65.4	西南	1.1

测点编号	测点名称	测量时间	工频电场 (V/m)	工频磁场 (μT)	射频综合场强 (V/m)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
N16	钢结构加工车间	2024.04.14 PM	0.20	0.0067	1.18	多云	99.8	37.1	43.1	西北	2.0
N17	搅拌站	2024.04.15PM	0.32	0.0256	0.76	多云	99.8	37.4	42.7	北	1.0
N18	碎石场	2024.04.15PM	0.68	0.0673	0.34	多云	99.8	37.1	42.3	西北	1.0

表 3.2-11 海南昌江核电厂厂区内地下输电廊道工频电场/工频磁场强度监测结果

测点编号	测点名称	测量时间	工频电场 (V/m)	工频磁场 (μT)	天气	大气压 kPa	温度($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
L1	1、2 号地下管廊道 线路 1	2024.04.14 AM	0.55	1.6135	多云	99.9	27.9	76.4	东北	1.6
L2	1、2 号地下管廊道 线路 2	2024.04.14 AM	0.78	0.5498	多云	99.9	28.1	76.2	东北	1.5
L3	1、2 号地下管廊道 线路 3	2024.04.14 AM	0.72	0.4795	多云	99.9	28.4	75.9	东	1.5
L4	3、4 号地下管廊道 线路 1	2024.04.13 AM	0.10	0.0060	多云	99.8	30.7	66.4	西北	1.7
L5	3、4 号地下管廊道 线路 2	2024.04.13 AM	0.11	0.0063	多云	99.8	31.4	66.0	西北	1.8
L6	3、4 号地下管廊道 线路 3	2024.04.13 AM	0.11	0.0059	多云	99.8	31.8	65.5	北	1.7
L7	小堆地下管廊道线 路 1	2024.04.14 PM	0.18	0.2039	多云	99.8	37.4	43.1	北	1.8
L8	小堆地下管廊道线 路 2	2024.04.14 PM	0.26	0.2156	多云	99.8	37.3	43.1	西北	1.7
L9	小堆地下管廊道线 路 3	2024.04.14 PM	0.33	0.2158	多云	99.8	37.5	43.0	北	1.5

表 3.2-12 海南昌江核电厂开关站和厂区内输电线路第一跨工频电场/工频磁场强度监测结果

测点编号	测点名称	测量时间	工频电场 (V/m)	工频磁场 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
K1	500kV 出线开关站东侧	2024.04.15 AM	0.48	0.0222	多云	99.9	35.6	57.2	西	1.1
K2	500kV 出线开关站南侧	2024.04.15 AM	0.34	0.0247	多云	99.9	35.7	57.1	西	1.2
K3	500kV 出线开关站西侧	2024.04.15 AM	0.21	0.0076	多云	99.9	35.9	56.9	西南	1.3
K4	500kV 出线开关站北侧	2024.04.15 AM	0.30	0.0079	多云	99.9	36.1	56.7	西南	1.3
K5	220kV 出线开关站东侧	2024.04.15 AM	256.00	2.3361	多云	99.9	33.4	62.5	西	1.1
K6	220kV 出线开关站南侧	2024.04.15 AM	1541.1	4.9247	多云	99.9	33.7	62.2	西南	1.2
K7	220kV 出线开关站西侧	2024.04.15 AM	301.31	0.2414	多云	99.9	33.9	61.7	西南	1.1
K8	220kV 出线开关站北侧	2024.04.15 AM	2.99	0.2657	多云	99.9	34.1	61.4	西	1.2
K9	220kV 应急开关站东侧	2024.04.15 AM	15.07	0.2608	多云	99.9	31.1	64.7	西	1.0
K10	220kV 应急开关站南侧	2024.04.15 AM	728.87	0.3087	多云	99.9	31.4	64.6	西	1.1
K11	220kV 应急开关站西侧	2024.04.15 AM	184.30	0.1330	多云	99.9	31.6	64.3	西南	1.2

测点编号	测点名称	测量时间	工频电场 (V/m)	工频磁场 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
K12	220kV 应急开关站北侧	2024.04.15 AM	2.03	0.2235	多云	99.9	31.9	64.1	西南	1.3
K13	500KV 出线架空线路第一跨	2024.04.15 AM	0.38	0.0196	多云	100.0	24.4	80.2	东	1.5
K14	220KV 出线架空线路第一跨	2024.04.15 AM	1517.8	3.3954	多云	99.9	34.5	60.7	西	1.3
K15	220KV 应急架空线路第一跨	2024.04.15 AM	499.16	0.2660	多云	99.9	32.1	63.8	西南	1.4

表 3.2-13 海南昌江核电厂主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
1#主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果										
A1	1#机组主变压器外北侧 0m	2024.04.14 AM	0.36	10.4166	多云	99.9	25.5	78.4	东	1.7
A2	1#机组主变压器外北侧 5m	2024.04.14 AM	0.33	4.3307	多云	99.9	25.7	78.2	东	1.6
A3	1#机组主变压器外北侧 10m	2024.04.14 AM	0.31	2.1328	多云	99.9	25.9	78.1	东	1.6
A4	1#机组主变压器外北侧 15m	2024.04.14 AM	0.31	0.8403	多云	99.9	26.1	77.9	东	1.5
A5	1#机组主变压器外北侧 20m	2024.04.14 AM	0.29	0.5813	多云	99.9	26.3	77.8	东北	1.4
A6	1#机组主变压器外北侧 25m	2024.04.14 AM	0.30	0.3719	多云	99.9	26.5	77.7	东北	1.7
A7	1#机组主变压器外北侧 30m	2024.04.14 AM	0.29	0.2669	多云	99.9	26.9	77.5	东北	1.5
A8	1#机组主变压器外北侧 35m	2024.04.14 AM	0.25	0.2233	多云	99.9	27.1	77.3	东	1.5
A9	1#机组主变压器外北侧 40m	2024.04.14 AM	0.23	0.1974	多云	99.9	27.2	77.2	东	1.7
A10	1#机组主变压器外北侧 45m	2024.04.14 AM	0.15	0.1746	多云	99.9	27.4	77.0	东	1.4
A11	1#机组主变压器外北侧 50m	2024.04.14 AM	0.13	0.1693	多云	99.9	27.6	76.8	东北	1.6
2#主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果										

测点编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
B1	2#机组主变压器外南侧 0m	2024.04.14 AM	0.66	7.7968	多云	99.9	33.1	48.8	西北	1.4
B2	2#机组主变压器外南侧 5m	2024.04.14 AM	0.65	3.2733	多云	99.9	33.4	48.6	西北	1.3
B3	2#机组主变压器外南侧 10m	2024.04.14 AM	0.59	2.5839	多云	99.9	33.6	48.4	西北	1.3
B4	2#机组主变压器外南侧 15m	2024.04.14 AM	0.56	2.1454	多云	99.9	33.9	48.1	西北	1.4
B5	2#机组主变压器外南侧 20m	2024.04.14 AM	0.51	1.0534	多云	99.9	34.1	47.8	西北	1.5
B6	2#机组主变压器外南侧 25m	2024.04.14 AM	0.44	0.6490	多云	99.9	34.3	47.5	西北	1.4
B7	2#机组主变压器外南侧 30m	2024.04.14 AM	0.45	0.3476	多云	99.9	34.5	47.4	西北	1.3
B8	2#机组主变压器外南侧 35m	2024.04.14 AM	0.36	0.2327	多云	99.9	34.7	47.1	西北	1.3
B9	2#机组主变压器外南侧 40m	2024.04.14 AM	0.29	0.1924	多云	99.9	35.2	46.8	北	1.4
B10	2#机组主变压器外南侧 45m	2024.04.14 AM	0.29	0.1616	多云	99.9	35.6	46.5	北	1.4
B11	2#机组主变压器外南侧 50m	2024.04.14 AM	0.15	0.1414	多云	99.9	35.8	46.3	西北	1.3
3#主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果										
C1	3#机组主变压器外东侧 0m	2024.04.13 AM	0.10	0.0064	多云	99.9	28.4	68.8	西北	1.4

测点编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
C2	3#机组主变压器外东侧 5m	2024.04.13 AM	0.10	0.0063	多云	99.9	28.6	68.8	西北	1.3
C3	3#机组主变压器外东侧 10m	2024.04.13 AM	0.10	0.0064	多云	99.9	28.6	68.7	西北	1.5
C4	3#机组主变压器外东侧 15m	2024.04.13 AM	0.10	0.0062	多云	99.9	28.9	68.5	西北	1.6
C5	3#机组主变压器外东侧 20m	2024.04.13 AM	0.11	0.0061	多云	99.9	28.9	68.3	西北	1.7
C6	3#机组主变压器外东侧 25m	2024.04.13 AM	0.11	0.0065	多云	99.9	29.3	68.3	北	1.6
C7	3#机组主变压器外东侧 30m	2024.04.13 AM	0.11	0.0063	多云	99.9	29.5	67.9	西北	1.6
C8	3#机组主变压器外东侧 35m	2024.04.13 AM	0.11	0.0062	多云	99.8	29.6	67.7	北	1.7
C9	3#机组主变压器外东侧 40m	2024.04.13 AM	0.11	0.0063	多云	99.8	29.9	67.5	西北	1.5
C10	3#机组主变压器外东侧 45m	2024.04.13 AM	0.10	0.0066	多云	99.8	30.1	67.4	西北	1.5
C11	3#机组主变压器外东侧 50m	2024.04.13 AM	0.10	0.0066	多云	99.8	30.5	67.1	北	1.3
4#主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果										
D1	4#机组主变压器外东侧 0m	2024.04.13 AM	0.10	0.0051	多云	99.8	32.2	60.1	西北	1.5
D2	4#机组主变压器外东侧 5m	2024.04.13 AM	0.11	0.0064	多云	99.8	32.4	59.8	西北	1.4

测点编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
D3	4#机组主变压器外东侧 10m	2024.04.13 AM	0.10	0.0062	多云	99.8	32.5	59.6	北	1.6
D4	4#机组主变压器外东侧 15m	2024.04.13 AM	0.10	0.0065	多云	99.8	32.6	59.4	北	1.6
D5	4#机组主变压器外东侧 20m	2024.04.13 AM	0.11	0.0066	多云	99.8	32.7	59.1	北	1.4
D6	4#机组主变压器外东侧 25m	2024.04.13 AM	0.10	0.0062	多云	99.8	32.9	58.8	北	1.3
D7	4#机组主变压器外东侧 30m	2024.04.13 AM	0.11	0.0064	多云	99.8	33.1	58.7	西北	1.5
D8	4#机组主变压器外东侧 35m	2024.04.13 AM	0.12	0.0068	多云	99.8	33.4	58.5	西北	1.6
D9	4#机组主变压器外东侧 40m	2024.04.13 AM	0.10	0.0060	多云	99.8	33.6	58.3	西北	1.4
D10	4#机组主变压器外东侧 45m	2024.04.13 AM	0.11	0.0063	多云	99.8	33.7	58.1	西北	1.3
D11	4#机组主变压器外东侧 50m	2024.04.13 AM	0.10	0.0063	多云	99.8	33.9	57.9	西北	1.4
小堆主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果										
E1	小堆主变压器外东侧 0m	2024.04.14 PM	0.07	0.0320	多云	99.8	36.1	44.5	北	2.1
E2	小堆主变压器外东侧 5m	2024.04.14 PM	0.06	0.0224	多云	99.8	36.2	44.4	北	2.2
E3	小堆主变压器外东侧 10m	2024.04.14 PM	0.08	0.0147	多云	99.8	36.3	44.3	北	2.3

测点编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
E4	小堆主变压器外东侧 15m	2024.04.14 PM	0.08	0.0092	多云	99.8	36.4	44.2	北	2.4
E5	小堆主变压器外东侧 20m	2024.04.14 PM	0.09	0.0074	多云	99.8	36.5	44.2	北	2.4
E6	小堆主变压器外东侧 25m	2024.04.14 PM	0.08	0.0058	多云	99.8	36.6	44.0	北	2.1
E7	小堆主变压器外东侧 30m	2024.04.14 PM	0.08	0.0056	多云	99.8	36.6	43.9	北	2.2
E8	小堆主变压器外东侧 35m	2024.04.14 PM	0.10	0.0051	多云	99.8	36.7	43.7	北	2.2
E9	小堆主变压器外东侧 40m	2024.04.14 PM	0.12	0.0052	多云	99.8	36.8	43.6	北	2.1
E10	小堆主变压器外东侧 45m	2024.04.14 PM	0.08	0.0079	多云	99.8	36.8	43.6	北	2.2
E11	小堆主变压器外东侧 50m	2024.04.14 PM	0.13	0.0108	多云	99.8	36.8	43.5	北	2.2

表 3.2-14 海南昌江核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度和射频综合场强监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
拟建 500kV 出线输电线路 (P1 监测断面) 垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测结果										
P1-1	拟建 500kV 出线输电线路东边 相外 0m	2024.04.15 AM	0.55	0.1265	多云	100.0	22.8	82.7	东	1.5
P1-2	拟建 500kV 出线输电线路东边 相外 5m	2024.04.15 AM	0.68	0.1476	多云	100.0	22.9	82.6	东	1.4
P1-3	拟建 500kV 出线输电线路东边 相外 10m	2024.04.15 AM	0.48	0.1440	多云	100.0	22.9	82.5	东	1.4
P1-4	拟建 500kV 出线输电线路东边 相外 15m	2024.04.15 AM	0.58	0.1378	多云	100.0	23.1	82.4	东	1.6
P1-5	拟建 500kV 出线输电线路东边 相外 20m	2024.04.15 AM	0.61	0.1354	多云	100.0	23.2	82.1	东	1.5
P1-6	拟建 500kV 出线输电线路东边 相外 25m	2024.04.15 AM	0.63	0.1237	多云	100.0	23.3	81.9	东	1.3
P1-7	拟建 500kV 出线输电线路东边 相外 30m	2024.04.15 AM	0.65	0.1053	多云	100.0	23.5	81.7	东	1.4
P1-8	拟建 500kV 出线输电线路东边 相外 35m	2024.04.15 AM	0.52	0.1044	多云	100.0	23.5	81.6	东	1.4
P1-9	拟建 500kV 出线输电线路东边 相外 40m	2024.04.15 AM	0.58	0.1277	多云	100.0	23.6	81.4	东	1.3
P1-10	拟建 500kV 出线输电线路东边 相外 45m	2024.04.15 AM	0.70	0.1397	多云	100.0	23.7	81.2	东	1.5
P1-11	拟建 500kV 出线输电线路东边 相外 50m	2024.04.15 AM	0.79	0.1424	多云	100.0	23.8	81.0	东	1.5

测点编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
P1-12	拟建 500kV 出线输电线路西边 相下 0m	2024.04.15 AM	0.36	0.1193	多云	100.0	24.4	78.8	东南	1.3
P1-13	拟建 500kV 出线输电线路西边 相外 5m	2024.04.15 AM	0.53	0.1273	多云	100.0	24.6	78.5	东南	1.2
P1-14	拟建 500kV 出线输电线路西边 相外 10m	2024.04.15 AM	0.55	0.1476	多云	100.0	24.7	78.4	东南	1.4
P1-15	拟建 500kV 出线输电线路西边 相外 15m	2024.04.15 AM	0.53	0.1438	多云	100.0	24.8	78.2	东南	1.3
P1-16	拟建 500kV 出线输电线路西边 相外 20m	2024.04.15 AM	0.61	0.1354	多云	100.0	25.0	78.1	东南	1.1
P1-17	拟建 500kV 出线输电线路西边 相外 25m	2024.04.15 AM	0.57	0.1374	多云	99.9	25.1	77.6	东	1.1
P1-18	拟建 500kV 出线输电线路西边 相外 30m	2024.04.15 AM	0.63	0.1051	多云	99.9	25.2	77.5	东	1.3
P1-19	拟建 500kV 出线输电线路西边 相外 35m	2024.04.15 AM	0.50	0.1041	多云	99.9	25.3	77.8	东南	1.1
P1-20	拟建 500kV 出线输电线路西边 相外 40m	2024.04.15 AM	0.70	0.1397	多云	99.9	25.3	77.4	东南	1.2
P1-21	拟建 500kV 出线输电线路西边 相外 45m	2024.04.15 AM	0.57	0.1277	多云	99.9	25.5	77.2	东	1.2
P1-22	拟建 500kV 出线输电线路西边 相外 50m	2024.04.15 AM	0.78	0.1418	多云	99.9	25.6	76.8	东	1.3
拟建 500kV 出线输电线路 (P1 监测断面) 平行监测断面工频电场/工频磁场强度监测结果										
P1-23	拟建 500kV 出线输电线路东边 相外 20m(1)	2024.04.15 AM	0.64	0.1349	多云	100.0	23.9	80.8	东	1.4

测点编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
P1-24	拟建 500kV 出线输电线路东边相外 20m(2)	2024.04.15 AM	0.68	0.1357	多云	100.0	24.1	80.6	东	1.3
P1-25	拟建 500kV 出线输电线路东边相外 20m(3)	2024.04.15 AM	0.62	0.1345	多云	100.0	24.2	80.4	东	1.4
P1-26	拟建 500kV 出线输电线路西边相外 20m(1)	2024.04.15 AM	0.79	0.1421	多云	99.9	25.7	76.7	东南	1.2
P1-27	拟建 500kV 出线输电线路西边相外 20m(2)	2024.04.15 AM	0.63	0.1384	多云	99.9	25.9	76.3	东南	1.1
P1-28	拟建 500kV 出线输电线路西边相外 20m(3)	2024.04.15 AM	0.71	0.1411	多云	99.9	26.2	76.0	东南	1.1
220kV 应急输电线路（昌核线）（P2 监测断面）垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测结果										
P2-1	220kV 应急输电线路（昌核线）东边相下 0m	2024.04.17 AM	484.82	0.0250	阴转多云	99.8	28.8	71.1	东北	1.4
P2-2	220kV 应急输电线路（昌核线）东边相外 5m	2024.04.17 AM	434.56	0.0234	阴转多云	99.8	28.9	71.0	东北	1.3
P2-3	220kV 应急输电线路（昌核线）东边相外 10m	2024.04.17 AM	361.66	0.0222	阴转多云	99.8	29.1	69.8	东北	1.4
P2-4	220kV 应急输电线路（昌核线）东边相外 15m	2024.04.17 AM	272.68	0.0215	阴转多云	99.8	29.1	69.7	东北	1.3
P2-5	220kV 应急输电线路（昌核线）东边相外 20m	2024.04.17 AM	206.84	0.0206	阴转多云	99.8	29.2	69.6	东北	1.2
P2-6	220kV 应急输电线路（昌核线）东边相外 25m	2024.04.17 AM	151.24	0.0193	阴转多云	99.8	29.3	69.4	东北	1.1
P2-7	220kV 应急输电线路（昌核线）东边相外 30m	2024.04.17 AM	108.24	0.0183	阴转多云	99.8	29.4	69.2	东北	1.2

测点编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
P2-8	220kV 应急输电线路（昌核线） 东边相外 35m	2024.04.17 AM	86.69	0.0172	阴转多云	99.8	29.5	69.0	东北	1.2
P2-9	220kV 应急输电线路（昌核线） 东边相外 40m	2024.04.17 AM	71.26	0.0162	阴转多云	99.8	29.7	68.7	东北	1.3
P2-10	220kV 应急输电线路（昌核线） 东边相外 45m	2024.04.17 AM	62.55	0.0152	阴转多云	99.8	29.8	68.5	东北	1.3
P2-11	220kV 应急输电线路（昌核线） 东边相外 50m	2024.04.17 AM	55.48	0.0142	阴转多云	99.8	29.9	68.5	东北	1.2
P2-12	220kV 应急输电线路（昌核线） 西边相下 0m	2024.04.17 AM	487.58	0.0275	阴转多云	99.8	30.9	66.9	东北	1.3
P2-13	220kV 应急输电线路（昌核线） 西边相外 5m	2024.04.17 AM	448.40	0.0266	阴转多云	99.8	31.1	66.8	东北	1.2
P2-14	220kV 应急输电线路（昌核线） 西边相外 10m	2024.04.17 AM	365.17	0.0256	阴转多云	99.8	31.2	66.7	东北	1.1
P2-15	220kV 应急输电线路（昌核线） 西边相外 15m	2024.04.17 AM	297.89	0.0246	阴转多云	99.8	31.3	65.9	东北	1.1
P2-16	220kV 应急输电线路（昌核线） 西边相外 20m	2024.04.17 AM	234.09	0.0232	阴转多云	99.8	31.4	65.6	东北	1.2
P2-17	220kV 应急输电线路（昌核线） 西边相外 25m	2024.04.17 AM	173.39	0.0216	阴转多云	99.8	31.5	65.4	东北	1.1
P2-18	220kV 应急输电线路（昌核线） 西边相外 30m	2024.04.17 AM	136.36	0.0204	阴转多云	99.8	31.6	65.3	东北	1.2
P2-19	220kV 应急输电线路（昌核线） 西边相外 35m	2024.04.17 AM	116.91	0.0205	阴转多云	99.8	31.7	65.1	东北	1.3

测点编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
P2-20	220kV 应急输电线路（昌核线） 西边相外 40m	2024.04.17 AM	92.65	0.0194	阴转多云	99.8	31.8	64.9	东北	1.2
P2-21	220kV 应急输电线路（昌核线） 西边相外 45m	2024.04.17 AM	75.48	0.0183	阴转多云	99.8	31.9	64.7	东北	1.1
P2-22	220kV 应急输电线路（昌核线） 西边相外 50m	2024.04.17 AM	59.30	0.0172	阴转多云	99.8	32.0	64.5	东北	1.2
220kV 应急输电线路（昌核线）（P2 监测断面）平行监测断面工频电场/工频磁场强度监测结果										
P2-23	220kV 应急输电线路（昌核线） 东边相外 15m(1)	2024.04.17 AM	260.82	0.0213	阴转多云	99.8	30.1	68.2	东北	1.1
P2-24	220kV 应急输电线路（昌核线） 东边相外 15m(2)	2024.04.17 AM	258.73	0.0211	阴转多云	99.8	30.2	67.9	东北	1.2
P2-25	220kV 应急输电线路（昌核线） 东边相外 15m(3)	2024.04.17 AM	251.43	0.0210	阴转多云	99.8	30.3	67.6	东北	1.3
P2-26	220kV 应急输电线路（昌核线） 西边相外 15m(1)	2024.04.17 AM	295.24	0.0241	阴转多云	99.8	32.1	64.3	东北	1.3
P2-27	220kV 应急输电线路（昌核线） 西边相外 15m(2)	2024.04.17 AM	290.91	0.0239	阴转多云	99.8	32.1	64.1	东北	1.2
P2-28	220kV 应急输电线路（昌核线） 西边相外 15m(3)	2024.04.17 AM	286.04	0.0239	阴转多云	99.8	32.2	63.8	东北	1.2
220kV 应急输电线路（鹅核线）（P3 监测断面）垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测结果										
P3-1	220kV 应急输电线路（鹅核线） 东边相下 0m	2024.04.17 AM	2.70	0.0482	阴转多云	99.7	32.6	48.3	东北	1.2
P3-2	220kV 应急输电线路（鹅核线） 东边相外 5m	2024.04.17 AM	2.45	0.0460	阴转多云	99.7	32.7	48.1	东北	1.3

测点编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
P3-3	220kV 应急输电线路（鹅核线） 东边相外 10m	2024.04.17 AM	2.40	0.0457	阴转多云	99.7	32.8	47.8	东北	1.2
P3-4	220kV 应急输电线路（鹅核线） 东边相外 15m	2024.04.17 AM	1.61	0.0436	阴转多云	99.7	32.9	47.6	东北	1.1
P3-5	220kV 应急输电线路（鹅核线） 东边相外 20m	2024.04.17 AM	1.67	0.0439	阴转多云	99.7	33.0	47.4	东北	1.1
P3-6	220kV 应急输电线路（鹅核线） 东边相外 25m	2024.04.17 AM	1.63	0.0436	阴转多云	99.7	33.1	47.1	东北	1.2
P3-7	220kV 应急输电线路（鹅核线） 东边相外 30m	2024.04.17 AM	1.65	0.0423	阴转多云	99.7	33.3	46.8	东北	1.1
P3-8	220kV 应急输电线路（鹅核线） 东边相外 35m	2024.04.17 AM	1.70	0.0404	阴转多云	99.7	33.3	46.6	东北	1.2
P3-9	220kV 应急输电线路（鹅核线） 东边相外 40m	2024.04.17 AM	1.76	0.0396	阴转多云	99.7	33.3	46.4	东北	1.3
P3-10	220kV 应急输电线路（鹅核线） 东边相外 45m	2024.04.17 AM	1.78	0.0392	阴转多云	99.7	33.4	46.3	东北	1.3
P3-11	220kV 应急输电线路（鹅核线） 东边相外 50m	2024.04.17 AM	1.71	0.0364	阴转多云	99.7	33.5	46.2	东北	1.2
P3-12	220kV 应急输电线路（鹅核线） 西边相下 0m	2024.04.17 AM	3.22	0.0464	阴转多云	99.7	33.8	45.4	东北	1.2
P3-13	220kV 应急输电线路（鹅核线） 西边相外 5m	2024.04.17 AM	3.09	0.0456	阴转多云	99.7	33.9	45.3	东北	1.3
P3-14	220kV 应急输电线路（鹅核线） 西边相外 10m	2024.04.17 AM	3.30	0.0470	阴转多云	99.7	33.9	45.3	东北	1.3

测点编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
P3-15	220kV 应急输电线路（鹅核线） 西边相外 15m	2024.04.17 AM	2.46	0.0452	阴转多云	99.7	34.1	45.1	东北	1.1
P3-16	220kV 应急输电线路（鹅核线） 西边相外 20m	2024.04.17 AM	2.62	0.0461	阴转多云	99.7	34.2	45.0	东北	1.1
P3-17	220kV 应急输电线路（鹅核线） 西边相外 25m	2024.04.17 AM	2.32	0.0442	阴转多云	99.7	34.3	44.8	东北	1.2
P3-18	220kV 应急输电线路（鹅核线） 西边相外 30m	2024.04.17 AM	2.17	0.0440	阴转多云	99.7	34.4	44.7	东北	1.1
P3-19	220kV 应急输电线路（鹅核线） 西边相外 35m	2024.04.17 AM	2.03	0.0417	阴转多云	99.7	34.5	44.5	东北	1.1
P3-20	220kV 应急输电线路（鹅核线） 西边相外 40m	2024.04.17 AM	2.07	0.0426	阴转多云	99.7	34.5	44.3	东北	1.2
P3-21	220kV 应急输电线路（鹅核线） 西边相外 45m	2024.04.17 AM	2.83	0.0415	阴转多云	99.7	34.6	44.2	东北	1.3
P3-22	220kV 应急输电线路（鹅核线） 西边相外 50m	2024.04.17 AM	2.44	0.0405	阴转多云	99.7	34.7	44.0	东北	1.2
220kV 应急输电线路（鹅核线）（P3 监测断面）平行监测断面工频电场/工频磁场强度监测结果										
P3-23	220kV 应急输电线路（鹅核线） 东边相外 15m(1)	2024.04.17 AM	1.63	0.0437	阴转多云	99.7	33.5	46.0	东北	1.2
P3-24	220kV 应急输电线路（鹅核线） 东边相外 15m(2)	2024.04.17 AM	1.63	0.0440	阴转多云	99.7	33.6	45.9	东北	1.1
P3-25	220kV 应急输电线路（鹅核线） 东边相外 15m(3)	2024.04.17 AM	1.63	0.0448	阴转多云	99.7	33.7	45.8	东北	1.2
P3-26	220kV 应急输电线路（鹅核线） 西边相外 15m(1)	2024.04.17 AM	2.42	0.0454	阴转多云	99.7	34.8	43.9	东北	1.4

测点编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
P3-27	220kV 应急输电线路（鹅核线） 西边相外 15m(2)	2024.04.17 AM	2.38	0.0448	阴转多云	99.7	34.9	43.7	东北	1.3
P3-28	220kV 应急输电线路（鹅核线） 西边相外 15m(3)	2024.04.17 AM	2.48	0.0456	阴转多云	99.7	34.9	43.5	东北	1.2
220kV 出线输电线路（核李线）（P4 监测断面）垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测结果										
P4-1	220kV 出线输电线路（核李线） 南边相下 0m	2024.04.17 PM	542.35	0.9414	阴转多云	99.6	35.7	40.2	南	1.7
P4-2	220kV 出线输电线路（核李线） 南边相外 5m	2024.04.17 PM	449.58	0.7981	阴转多云	99.6	35.8	40.1	南	1.8
P4-3	220kV 出线输电线路（核李线） 南边相外 10m	2024.04.17 PM	351.83	0.6826	阴转多云	99.6	35.9	39.9	南	1.8
P4-4	220kV 出线输电线路（核李线） 南边相外 15m	2024.04.17 PM	229.90	0.5725	阴转多云	99.6	36.0	39.8	南	1.7
P4-5	220kV 出线输电线路（核李线） 南边相外 20m	2024.04.17 PM	151.28	0.4784	阴转多云	99.6	36.6	39.7	南	1.9
P4-6	220kV 出线输电线路（核李线） 南边相外 25m	2024.04.17 PM	88.28	0.4102	阴转多云	99.6	36.1	39.5	南	1.7
P4-7	220kV 出线输电线路（核李线） 南边相外 30m	2024.04.17 PM	52.26	0.3454	阴转多云	99.6	36.2	39.4	南	1.8
P4-8	220kV 出线输电线路（核李线） 南边相外 35m	2024.04.17 PM	25.90	0.3047	阴转多云	99.6	36.3	39.2	南	1.7
P4-9	220kV 出线输电线路（核李线） 南边相外 40m	2024.04.17 PM	9.36	0.2658	阴转多云	99.6	36.4	39.0	南	1.9
P4-10	220kV 出线输电线路（核李线） 南边相外 45m	2024.04.17 PM	3.84	0.2335	阴转多云	99.6	36.4	38.9	南	1.8

测点 编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μ T)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}$ C)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
P4-11	220kV 出线输电线路（核李线） 南边相外 50m	2024.04.17 PM	3.65	0.2064	阴转多 云	99.6	36.5	38.8	南	1.7
P4-12	220kV 出线输电线路（核李线） 北边相下 0m	2024.04.17 PM	574.43	0.9726	阴转多 云	99.6	36.9	37.7	南	1.9
P4-13	220kV 出线输电线路（核李线） 北边相外 5m	2024.04.17 PM	471.50	0.8342	阴转多 云	99.6	36.9	37.6	南	1.8
P4-14	220kV 出线输电线路（核李线） 北边相外 10m	2024.04.17 PM	371.34	0.7183	阴转多 云	99.6	37.0	37.5	南	1.9
P4-15	220kV 出线输电线路（核李线） 北边相外 15m	2024.04.17 PM	250.95	0.6063	阴转多 云	99.6	37.1	37.3	南	2.0
P4-16	220kV 出线输电线路（核李线） 北边相外 20m	2024.04.17 PM	167.73	0.4924	阴转多 云	99.6	37.1	37.1	南	2.1
P4-17	220kV 出线输电线路（核李线） 北边相外 25m	2024.04.17 PM	97.46	0.4208	阴转多 云	99.6	37.2	36.8	南	2.1
P4-18	220kV 出线输电线路（核李线） 北边相外 30m	2024.04.17 PM	63.97	0.3784	阴转多 云	99.6	37.3	36.6	南	2.0
P4-19	220kV 出线输电线路（核李线） 北边相外 35m	2024.04.17 PM	30.64	0.3272	阴转多 云	99.6	37.3	36.5	南	1.9
P4-20	220kV 出线输电线路（核李线） 北边相外 40m	2024.04.17 PM	14.18	0.2841	阴转多 云	99.6	37.4	36.3	南	1.8
P4-21	220kV 出线输电线路（核李线） 北边相外 45m	2024.04.17 PM	6.03	0.2528	阴转多 云	99.6	37.4	36.1	南	1.7
P4-22	220kV 出线输电线路（核李线） 北边相外 50m	2024.04.17 PM	4.30	0.2429	阴转多 云	99.6	37.5	35.9	南	2.0
220kV 出线输电线路（核李线）（P4 监测断面）平行监测断面工频电场/工频磁场强度监测结果										

测点编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
P4-23	220kV 出线输电线路（核李线） 南边相外 15m(1)	2024.04.17 PM	242.83	0.5821	阴转多云	99.6	36.6	38.7	南	1.7
P4-24	220kV 出线输电线路（核李线） 南边相外 15m(2)	2024.04.17 PM	262.67	0.5773	阴转多云	99.6	36.6	38.5	南	1.8
P4-25	220kV 出线输电线路（核李线） 南边相外 15m(3)	2024.04.17 PM	233.71	0.5753	阴转多云	99.6	36.7	38.1	南	1.9
P4-26	220kV 出线输电线路（核李线） 北边相外 15m(1)	2024.04.17 PM	253.36	0.6124	阴转多云	99.6	37.5	35.8	南	2.1
P4-27	220kV 出线输电线路（核李线） 北边相外 15m(2)	2024.04.17 PM	256.65	0.6253	阴转多云	99.6	37.6	35.7	南	2.1
P4-28	220kV 出线输电线路（核李线） 北边相外 15m(3)	2024.04.17 PM	250.54	0.6051	阴转多云	99.6	37.7	35.5	南	1.9
220kV 出线输电线路（核成线）（P5 监测断面）垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测结果										
P5-1	220kV 出线输电线路（核成线） 南边相下 0m	2024.04.17 AM	1243.0	2.0634	阴转多云	99.8	26.1	74.8	东	1.5
P5-2	220kV 出线输电线路（核成线） 南边相外 5m	2024.04.17 AM	1090.1	1.9522	阴转多云	99.8	26.2	74.7	东	1.4
P5-3	220kV 出线输电线路（核成线） 南边相外 10m	2024.04.17 AM	859.28	1.8355	阴转多云	99.8	26.3	74.6	东	1.4
P5-4	220kV 出线输电线路（核成线） 南边相外 15m	2024.04.17 AM	734.97	1.7111	阴转多云	99.8	26.4	74.5	东	1.5
P5-5	220kV 出线输电线路（核成线） 南边相外 20m	2024.04.17 AM	580.05	1.5498	阴转多云	99.8	26.5	74.3	东	1.3
P5-6	220kV 出线输电线路（核成线） 南边相外 25m	2024.04.17 AM	474.08	1.4461	阴转多云	99.8	26.7	74.2	东	1.5

测点编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
P5-7	220kV 出线输电线路（核成线） 南边相外 30m	2024.04.17 AM	377.60	1.3136	阴转多云	99.8	26.9	74.1	东	1.3
P5-8	220kV 出线输电线路（核成线） 南边相外 35m	2024.04.17 AM	261.23	1.1668	阴转多云	99.8	27.0	73.9	东	1.4
P5-9	220kV 出线输电线路（核成线） 南边相外 40m	2024.04.17 AM	185.14	1.0448	阴转多云	99.8	27.2	73.7	东	1.5
P5-10	220kV 出线输电线路（核成线） 南边相外 45m	2024.04.17 AM	121.07	0.9238	阴转多云	99.8	27.4	73.6	东	1.4
P5-11	220kV 出线输电线路（核成线） 南边相外 50m	2024.04.17 AM	77.15	0.8181	阴转多云	99.8	27.5	73.5	东	1.5
P5-12	220kV 出线输电线路（核成线） 北边相下 0m	2024.04.17 AM	1205.8	2.1240	阴转多云	99.8	23.4	77.7	东	1.7
P5-13	220kV 出线输电线路（核成线） 北边相外 5m	2024.04.17 AM	1072.8	1.9951	阴转多云	99.8	23.6	77.6	东	1.6
P5-14	220kV 出线输电线路（核成线） 北边相外 10m	2024.04.17 AM	890.78	1.8609	阴转多云	99.8	23.7	77.5	东	1.5
P5-15	220kV 出线输电线路（核成线） 北边相外 15m	2024.04.17 AM	708.89	1.6898	阴转多云	99.8	23.7	77.4	东	1.5
P5-16	220kV 出线输电线路（核成线） 北边相外 20m	2024.04.17 AM	515.67	1.4794	阴转多云	99.8	23.9	77.4	东	1.6
P5-17	220kV 出线输电线路（核成线） 北边相外 25m	2024.04.17 AM	408.46	1.3711	阴转多云	99.8	24.1	77.3	东	1.7
P5-18	220kV 出线输电线路（核成线） 北边相外 30m	2024.04.17 AM	289.39	1.1996	阴转多云	99.8	24.3	76.9	东	1.7

测点编号	测点位置	监测时间	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
P5-19	220kV 出线输电线路（核成线） 北边相外 35m	2024.04.17 AM	188.55	1.0335	阴转多云	99.8	24.4	76.8	东	1.6
P5-20	220kV 出线输电线路（核成线） 北边相外 40m	2024.04.17 AM	118.78	0.8926	阴转多云	99.8	24.5	76.7	东	1.5
P5-21	220kV 出线输电线路（核成线） 北边相外 45m	2024.04.17 AM	87.31	0.7974	阴转多云	99.8	24.7	76.4	东	1.5
P5-22	220kV 出线输电线路（核成线） 北边相外 50m	2024.04.17 AM	61.75	0.7443	阴转多云	99.8	24.8	76.3	东	1.6
220kV 出线输电线路（核成线）（P5 监测断面）平行监测断面工频电场/工频磁场强度监测结果										
P5-23	220kV 出线输电线路（核成线） 南边相外 15m(1)	2024.04.17 AM	733.27	1.7133	阴转多云	99.8	27.7	73.3	东	1.6
P5-24	220kV 出线输电线路（核成线） 南边相外 15m(2)	2024.04.17 AM	750.56	1.7027	阴转多云	99.8	27.8	73.1	东	1.4
P5-25	220kV 出线输电线路（核成线） 南边相外 15m(3)	2024.04.17 AM	772.70	1.6830	阴转多云	99.8	28.0	73.1	东	1.5
P5-26	220kV 出线输电线路（核成线） 北边相外 15m(1)	2024.04.17 AM	748.62	1.7216	阴转多云	99.8	24.9	75.9	东	1.6
P5-27	220kV 出线输电线路（核成线） 北边相外 15m(2)	2024.04.17 AM	758.25	1.7093	阴转多云	99.8	25.1	75.7	东	1.5
P5-28	220kV 出线输电线路（核成线） 北边相外 15m(3)	2024.04.17 AM	777.65	1.7258	阴转多云	99.8	25.3	75.4	东	1.5

表 3.2-15 海南昌江核电厂厂区外环境敏感区域工频电场/工频磁场强度和射频综合场强监测结果

测点编号	测点名称	测量时间	工频电场 (V/m)	工频磁场 (μ T)	射频综合场强 (V/m)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}$ C)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
1	马地村篮球场	2024.04.16 AM	0.08	0.0064	0.14	阴转多云	100.0	33.5	58.8	东南	1.6
2	塘兴新村村委会	2024.04.18 AM	0.06	0.0065	0.56	阴转多云	99.8	27.3	80.1	东南	2.3
3	林好村篮球场	2024.04.16 AM	0.39	0.0572	0.13	阴转多云	100.0	30.4	63.2	东南	2.0
4	波兰村篮球场	2024.04.16 AM	0.36	0.0564	0.17	阴转多云	100.0	31.5	62.5	东	1.4
5	永安村村委会	2024.04.16 AM	0.57	0.0406	0.53	阴转多云	100.1	23.2	72.3	东北	1.3
6	里仁村广场	2024.04.16 AM	0.71	0.0088	0.52	阴转多云	100.0	34.4	57.4	东南	1.4
7	五联新村篮球场	2024.04.16 AM	0.37	0.0061	0.26	阴转多云	100.0	32.6	60.5	东南	1.7
8	南罗村村委会	2024.04.16 AM	0.05	0.0065	0.21	阴转多云	100.1	24.5	71.4	东	1.4
9	双塘村篮球场	2024.04.16 AM	0.58	0.0081	0.56	阴转多云	100.1	27.7	65.5	东北	1.8
10	梧高村村委会	2024.04.18 AM	0.07	0.0062	0.39	阴转多云	99.7	35.7	55.5	东南	2.4
11	北方村篮球场	2024.04.18 AM	0.19	0.0056	0.58	阴转多云	99.8	29.2	76.4	东南	3.1
12	甘塘村篮球场	2024.04.18 AM	0.13	0.0064	0.30	阴转多云	99.7	32.2	70.4	东南	2.8

测点编号	测点名称	测量时间	工频电场 (V/m)	工频磁场 (μ T)	射频综合场强 (V/m)	天气	大气压 kPa	温度 ($^{\circ}$ C)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
13	海联小学	2024.04.16 AM	1.19	0.0209	0.22	阴转 多云	100.0	32.2	61.7	东	1.5
14	塘兴新村幼儿园	2024.04.18 AM	0.38	0.0210	0.48	阴转 多云	99.8	28.2	78.4	东南	2.2
15	华能生活区	2024.04.15 PM	0.10	0.0110	0.25	多云	99.8	37.7	40.2	西北	1.2
16	南罗幼儿园	2024.04.16 AM	0.05	0.0064	0.11	阴转 多云	100.1	26.4	67.2	东	1.7
17	南罗村卫生院	2024.04.16 AM	0.05	0.0061	0.14	阴转 多云	100.1	25.2	70.5	东北	1.5
18	五联农贸市场	2024.04.18 AM	4.30	0.0332	1.67	阴转 多云	99.8	26.1	82.4	东南	2.4

表 3.2-16 海南昌江核电厂厂址区域通讯基站射频综合场强监测结果

测点编号	测点名称	测量时间	射频综合场强 (V/m)	天气	大气压 kPa	温度 (°C)	湿度 (%)	风向	风速 (m/s)
T1	厂界南通信基站	2024.04.14 PM	2.21	多云	99.7	37.6	43.3	西北	1.5
T2	中核五公司办公区联通基站	2024.04.14 PM	2.24	多云	99.7	37.6	43.5	北	1.4
T3	中核五公司办公区移动基站	2024.04.14 PM	2.73	多云	99.7	37.5	43.9	北	1.5
T4	调试楼移动基站	2024.04.14 PM	2.88	多云	99.7	37.7	44.6	西北	1.5
T5	500kV 出线开关站通信基站	2024.04.15 AM	2.49	多云	99.9	35.2	57.4	西	1.2
T6	永安村通信基站	2024.04.16 AM	0.61	阴转多云	100.0	24.1	71.7	东南	1.3
T7	林好村联通通信基站	2024.04.16 AM	1.13	阴转多云	100.0	31.7	62.9	东南	1.5
T8	林好村移动通信基站	2024.04.16 AM	0.84	阴转多云	100.0	32.2	62.7	东南	1.6
T9	里仁村联通通信基站	2024.04.16 AM	0.88	阴转多云	100.0	36.1	55.3	东	1.8
T10	塘兴新村移动通信基站	2024.04.18 AM	1.25	阴转多云	99.8	27.9	78.9	东南	2.3
T11	梧高村通信基站（移动联通共用）	2024.04.18 AM	0.41	阴转多云	99.7	36.1	53.2	东南	2.3
T12	五大村通信基站	2024.04.18 AM	0.73	阴转多云	99.7	34.4	56.3	东南	2.4

第四章 核电厂

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—电力转换系统

4.2.1 概述

4.2.2 核岛

4.2.3 常规岛

4.3 核电厂用水和散热系统

4.3.1 核电厂用水

4.3.2 核电厂散热系统

4.4 输电系统

4.4.1 电气主接线

4.4.2 开关站的选型和布置

4.4.3 与电力系统的连接

4.5 专设安全设施

4.5.1 安全壳系统

4.5.2 裂变产物去除和控制系统

4.6 放射性废物系统和源项

4.6.1 放射性源项

4.6.2 放射性废液处理系统及源项

4.6.3 放射性废气处理系统及源项

4.6.4 放射性固体废物处理系统

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 其他废物

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

表

表4.3-1 海水系统平均用水量

4.1 厂区规划及平面布置

4.1.1 厂区规划

4.1.1.1 总体规划原则

- 厂址规划 4 台压水堆核电机组及海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程（以下简称“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。
 - 充分利用地形条件，尽量减少土石方工程量。
 - 对外交通规划满足基地建造、运行和应急交通运输需要。
 - 全厂总体规划与厂址附近城镇区域发展规划相协调。
 - 满足海南昌江核电厂 3、4 号机组工程（以下简称“3、4 号机组”）施工建设的要求，并尽量减少施工对海南昌江核电厂 1、2 号机组工程（以下简称“1、2 号机组”）运行的影响。
- 3、4 号机组考虑与小堆示范工程子项共用建设。

4.1.1.2 规划容量

厂址原规划 4 台压水堆核电机组，统一规划，分期建设。1、2 号机组为两台 650MW 压水堆核电机组，位于厂址的东部，已商业运行；3、4 号机组位于 1、2 号机组的西侧（建北方向，下同），建设 2 台“华龙一号”核电机组及其配套辅助设施。在 3、4 号机组的西北侧建设小堆示范工程。

4.1.1.3 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、2 号机组厂坪设计标高，3、4 号机组厂坪设计标高定为 11.00m。

（2）主厂房位置

根据厂址地形特征、地基岩土层的适应性、冷却水取排水条件和电力出线条件等因素，将 3、4 号机组主厂房建筑群南北向布置在 1、2 号机组西侧，采用核岛朝北、常规岛朝南布置。

（3）取排水工程

3、4 号机组采用明渠取水，与 1、2 号机组共用已建成的取水明渠。3、4 号机组与小堆示范工程共用两条取水隧洞，连接取水明渠和联合泵房。

3、4 号机组采用“盾构隧洞+转换井+水下沉管”的方式排水，3、4 号机组海域排水管道位于 1、2 号机组沉管东侧，平行于 1、2 号机组沉管轴线布置。

3、4 号机组施工期和运行期所需的淡水主要由 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。

（4）电力出线

3、4 号机组建设一个 500kV 开关站，三回送出线，远景预留 1 回 500kV 出线。

（5）厂区工程

3、4 号机组厂区由主厂房区、冷却水设施区、配电装置区、辅助生产设施区、厂前建筑区组成，详见“4.1.2 厂区平面布置”章节。

（6）其它设施

3、4 号机组新建的其他设施主要包括培训中心（8EA）、技能培训中心（8EB）、室外停车场（8EH）观景平台（8EW）和厂址气象站。

利用 1、2 号机组已建的其他设施主要包括环境实验室（EC1）、环境 γ 辐射监测站（EC4）、应急指挥中心（EM）和排洪渠（OW）等。

（7）场地平整、边坡及截排洪设施

3、4 号机组与小堆示范工程场地平整一并考虑，将 1、2 号机组西侧预留用地（标高约 10.50~20.00m）和 1、2 号机组西侧部分现有施工场地（标高约 19.00~20.00m、25.00m）开挖至 10.70m。

场地平整后在 3、4 号机组厂区南侧和西侧形成 9~14m 的挖方边坡，在小堆示范工程厂区南侧和西侧形成 0~9m 的挖方边坡。在厂区挖方边坡坡底设置排洪沟，厂区内的汇水通过截、排洪构筑物的设置将雨水最终排入大海，确保核岛及核安全相关构筑物不受山洪威胁。

（8）施工场地

3、4 号机组充分利用 1、2 号机组可利用的施工场地，并在 3、4 号机组西侧新增部分施工场地。

3、4 号机组的施工用电、施工用水利用 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

1、2 号机组已建成的主要进厂道路、次要进厂道路、大件码头和大件运输道路，3、4 号机组可直接利用。

（10）厂址区域土地利用

非居住区范围以反应堆厂房为中心，半径为 500m。

规划限制区范围以反应堆厂房为中心，半径为 5km。

3、4 号机组征地范围包括 3、4 号机组厂区工程征地边界范围和 3、4 号机组配套用地征地边界范围。

（11）移民搬迁

3、4 号机组厂区征地范围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，本工程不涉及拆迁问题。

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。
- 满足“华龙一号”核电机组及其配套辅助设施在工艺流程上的要求。
- 核岛基础应坐落在埋深适宜、均匀稳定、承载力特征值满足要求的基岩上。
- 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，并使放射性和非放射性运输线路有效分离。
- 合理布置主厂房、循环冷却水设施和开关站之间的平面位置，使取排水管道及主变至开关站之间的电缆廊道短捷、顺畅。
- 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。
- 配套辅助设施的布置综合考虑生产工艺流程、地基条件、交通运输等各方面因素。
- 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

3、4 号机组建设 2 台“华龙一号”核电机组及其配套辅助设施。

4.1.2.3 平面布置

厂区分为主厂房区、冷却水设施区、配电装置区、辅助生产设施区及厂前建筑区等，结合厂址条件及厂址总体规划，确定厂区总平面布置。

（1）主厂房区

主厂房区主要包括核岛、常规岛及其附属设施等，采用核岛北向、常规岛南向并列布置。

（2）冷却水设施区

冷却水设施主要包括联合泵房（8PM）、制氮站（8PH）和虹吸井（8CC）等水工设施。

（3）配电装置区

配电装置区主要包括 500kV 开关站（8TB）、网控楼（8TC）、辅助变压器区域及公用中压配电间（8TG）以及 1、2 号机组已建的辅助开关站（TD）。

（4）辅助生产设施区

辅助生产设施分为放射性辅助生产设施和非放射性辅助生产设施。

a) 放射性辅助生产设施

3、4 号机组新建的放射性辅助生产设施主要包括放射性机修及去污车间（8AC）、核岛液态流出物排放厂房（8QA）、常规岛液态流出物排放厂房（8QB）、放射性废油暂存库（QR）、监督性流出物实验室（LB）、洗衣房（8LC）和先进废物处理中心（QD）。

利用 1、2 号机组已建的放射性辅助生产设施主要包括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）、特种车辆库（AS）和放射源库（YK）等。

b) 非放射性辅助生产设施区

主要包括水生产设施、水处理设施、仓库及三修、其它非放射性生产设施等。

（5）厂前建筑区

厂前建筑区包括综合生产办公楼（8BE）、调试检修楼（8BF）、食堂（8BC）和信息文档中心（8BD）。

（6）实物保护

根据核电厂实物保护的要求，厂区设置控制区、保护区、要害区三道实物保护围栏。

3、4 号机组厂区设置控制区大门（8UA）、保护区主出入口（8UE）、核岛主出入口（3/4UV）和保卫控制中心（8UG）。

3、4 号机组厂区设置 4 座货运出入口，其中 2 座为对外货运出入口、2 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

3、4 号机组厂区竖向设计采用台阶式布置，场地设计标高分别为 11.00m 和 25.00m。

厂区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

厂区可分为绿化区和非绿化区。

绿化区：保护区围栏外侧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。厂前区为绿化和美化的重点区域。

非绿化区：保护区围栏内不进行绿化。

4.1.2.7 环境保护相关设施的布置

3、4 号机组环境保护相关设施包括核岛厂房，放射性辅助生产设施、生活污水和生产废水处理设施、取水口及排水口、应急指挥中心、环境监测设施等。

（1）核岛厂房的布置

核岛厂房中与环境保护相关的设施主要是带放射性的厂房，包括反应堆厂房（3/4RX）、燃料厂房（3/4KA）、核辅助厂房（3/4NH）、核废物厂房（8QF）、人员通行厂房（3/4UR）和连接厂房（4VR）。3、4 号机组核岛厂房东向西向并列布置在厂区中部，地基条件良好。

（2）放射性辅助生产设施的布置

3、4 号机组新建的放射性辅助生产设施主要包括放射性机修及去污车间（8AC）、核岛液态流出物排放厂房（8QA）、常规岛液态流出物排放厂房（8QB）、放射性废油暂存库（QR）、监督性流出物实验室（LB）、洗衣房（8LC）和先进废物处理中心（QD），除先进废物处理中心（QD）布置在 1、2 号机组污水处理站（ED）北侧外，其余均集中布置在 3 号机组东侧和北侧。放射性厂房与非放射性厂房分区布置，布置在盛行风向的下风向，远离人流集中区域及人流集散地，尽量避免放射性废物运输与人流的相互影响。

利用 1、2 号机组已建的放射性辅助生产设施主要包括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）、特种车辆库（AS）和放射源库（YK），位于先进废物处理中心（QD）的西侧。

（3）生活污水和生产废水处理设施的布置

生活污水共用 1、2 号机组工程已建设的污水处理站，位于先进废物处理中心（QD）的南侧。

3、4 号机组新建一座非放射性含油废水集水池（8FS），布置在 4 号机组汽轮发电机厂房（4MX）西侧。非放射性含油废水经管网收集后在含油废水集水池暂存，通过废油车运输至 1、2 号机组已建的含油废水处理站进行处理，处理达标后排入室外雨水管网，最终排至大海。

其他非放射性生产废水通过生产废水系统管道经 3、4 号机组虹吸井排至厂址北部海域。

（4）取水口及排水口

3、4 号机组取水口位于厂区北部，采用明渠取水，与 1、2 号机组共用已建成的取水明渠。

3、4 号机组排水口位于厂区北部海域约-19.70m 水深处，采用“盾构隧洞+转换井+水下沉管”的方式排水，3、4 号机组海域排水管道位于 1、2 号机组沉管东侧，平行于 1、2 号机组沉管轴线布置。

（5）应急指挥中心的布置

应急指挥中心（EM）与 1、2 号机组共用，位于 3、4 号机组厂区的东北侧。

（6）环境监测设施的布置

3、4 号机组新建的环境监测设施有厂区地下水监测井（HE）、环境 γ 辐射监测站（HF）和监督性监测子站（HN）。厂区地下水监测井（HE）设置有 3 个，分别布置在 3 号核岛东侧和北侧、4 号核岛北侧；环境 γ 辐射监测站（HF）和监督性监测子站（HN）根据工艺布置要求以及环境保护相关要求布置在厂外。

环境实验室（EC1）与 1、2 号机组共用，位于厂外取水明渠的西南侧。

4.1.2.8 环境保护措施

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

- 在总体规划中合理规划子项设置规模，充分利用已建设施，减少工程量及投资，并减少工程建设对环境的影响。
- 厂区总平面布置中尽量紧凑布局，节约用地。
- 厂坪设计标高的确定，除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，减少对现状地貌的改变。

- 厂区内可绿化区域充分进行绿化，并采取多种绿化方式。凡可绿化的设施如边坡、挡土墙等，均进行绿化。
- 利用工程建设的时机，改善厂址区域的原始地貌，增加绿化，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

3、4 号机组排放口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

3、4 号机组气载流出物排放口设置有 3 个，分别为 3、4 号机组反应堆厂房烟囱和先进废物处理中心烟囱。

3、4 号机组反应堆厂房产生的废气经处理达标后，通过 3、4 号机组反应堆厂房烟囱排入大气。

先进废物处理中心烟囱设置在子项内。

（2）液态流出物排放口

3、4 号机组液态流出物排放口为 3、4 号机组排水口，位于厂址北侧海域排水沉管端部。低放废液通过地下管沟排至虹吸井，经排水隧道排至厂址北部海域。

（3）非放射性物质排放口

雨水排放口设 2 处，3 号机组东侧、南侧及 4 号机组核岛以南区域雨水经 1、2 号机组虹吸井排至厂址北部海域，其余区域雨水经 3、4 号机组虹吸井排至厂址北部海域。

生活污水处理站共用 1、2 号机组已建设施，位于 1、2 号机组放射性固体废物暂存库的东侧。厂区内生活污水处理达标后的排水全部用于回用。

非放射性含油废水经管网收集后在含油废水集水池暂存，通过废油车运输至 1、2 号机组已建的含油废水处理站进行处理，处理达标后排入室外雨水管网，最终排至大海。其他非放射性生产废水通过生产废水系统管道经 3、4 号机组虹吸井排至厂址北部海域。

4.2 反应堆和蒸汽—电力转换系统

4.2.1 概述

海南昌江核电厂 3、4 号机组是采用“华龙一号”融合技术方案的三代压水堆核电机组。该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。

反应堆堆芯由 177 组 AFA 3G 燃料组件及其相关组件组成。堆芯等效直径 3.23m，堆芯活性段高度 3.66m。为了展平功率分布，首循环按铀-235 富集度的不同分四区装载并使用固体可燃毒物钎；后续循环使用固体可燃毒物钎，并采用低泄漏的装载方式。堆芯燃料各区平均富集度将根据最终的堆芯燃料管理方案来确定。

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。海南昌江核电厂 3、4 号机组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：

——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。为此设置了两套独立的停堆系统——控制棒系统和硼酸控制系统。

——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，如应急硼注入系统、安全壳喷淋系统、快速卸压系统、蒸汽发生器辅助给水系统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补充措施与规程，以及减轻选定的严重事故后果的措施来达到。

——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。

4.2.2 核岛

4.2.2.1 堆芯部件

海南昌江核电厂 3、4 号机组反应堆由反应堆压力容器、堆芯、堆内构件、堆内测量装置、控制棒驱动机构等部件组成。其中堆芯由 177 组经过修改的 AFA 3G 燃料组件及其相关组件组成。堆芯等效直径 3.23m，堆芯活性段高度 3.66m。

4.2.2.1.1 燃料组件

AFA 3G 燃料组件由 17×17 排列的燃料棒和燃料组件骨架组成，组件骨架由 24 根导向管部件、1 根仪表管、11 个格架（2 个端部格架、6 个结构搅混格架及 3 个中间搅混格架）、上管座部件、下管座部件和相应的连接件组成。

反应堆运行期间，冷却剂从下管座进入燃料组件，与燃料棒进行热交换，带走堆芯热量，并从上管座流出燃料组件。

4.2.2.1.2 相关组件

AFA 3G 燃料相关组件包括控制棒组件、一次中子源组件、二次中子源组件和阻流塞组件。其中控制棒组件为可动式相关组件，其余为固定式相关组件。相关组件用于反应堆的启停堆、变更功率、改善功率分布等。

4.2.2.2 反应堆冷却剂系统

1) 系统功能

堆芯冷却和传热：在反应堆正常运行期间，反应堆冷却剂系统把堆芯核裂变产生的热量由冷却剂经蒸汽发生器传递给二回路的水，使其产生供汽轮机发电用的饱和蒸汽。

压力控制：在反应堆正常运行期间，通过稳压器控制冷却剂系统的压力，使其保持稳定。瞬态时，限制压力的变化范围，使其保持在允许的范围。一旦反应堆冷却剂系统的压力达到安全阀的整定值时，则通过稳压器的安全阀和卸压阀将蒸汽排放到卸压箱来防止反应堆冷却剂系统的超压。

慢化中子和控制反应性：除了控制棒之外，反应堆冷却剂还作为慢化剂和反射层以及硼酸的溶剂，为反应性的控制提供了另一种独立的控制手段。并且保持冷却剂温度变化速率，确保不发生不可控的反应性变化。

压力边界：反应堆冷却剂系统作为压力边界，可以包容反应堆冷却剂，限制放射性物质的释放，构成防止放射性物质释放的一道屏障。

2) 系统描述

反应堆冷却剂系统由并联到反应堆压力容器的三条相同的传热环路组成。每条环路包括一台蒸汽发生器和一台反应堆冷却剂泵。在反应堆冷却剂一条环路上设置一台稳压器，

用于反应堆冷却剂系统的压力控制。

反应堆冷却剂进入反应堆压力容器后，在堆芯吊兰和反应堆压力容器壁之间的环形流道中向下流动，至反应堆压力容器底部反向向上，通过堆芯达到出口，然后进入蒸汽发生器冷却，经反应堆冷却剂泵升压后再返回到反应堆压力容器。

稳压器通过波动管与一条主传热环路相连，波动管的布置与水平面有适当的夹角，减轻由于热分层效应引起的热应力和疲劳，防止波动管与稳压器之间连接的焊缝出现裂纹。

稳压器上部设有两条喷淋管线，此两条管线从两条主传热环路的冷段（反应堆冷却剂泵的出口）经总管接到稳压器的汽相空间。

在稳压器上设置有三条超压保护管线。在稳压器接管和到稳压器卸压箱的排放总管之间的每条管线上串联安装有两台先导式安全阀。第一台安全阀起超压保护作用，正常时关闭。第二台安全阀起隔离作用，正常时开启。在第一台安全阀因故障不“回座”时，第二台安全阀保证隔离。

为了在严重事故下执行快速卸压功能，在稳压器上部还设置有快速卸压管线，分为两个冗余的系列，每个系列的排量为 650t/h (为超压保护管线三组安全阀排量之和)。每个系列由一台电动闸阀和一台电动截止阀组成。两个系列都排放到稳压器安全阀的排放环管上，最终通过稳压器排放总管排到稳压器卸压箱。

反应堆冷却剂系统还包括反应堆压力容器高位排气系统，由正常排气和事故排气子系统两部分组成。事故排气子系统由两个冗余的并联系列组成，包括四个常关的电磁阀以及相连的管道、仪表等。

反应堆冷却剂系统的主要参数如下：

反应堆堆芯额定功率：	3180MWt
NSSS 额定热功率：	3190 MWt
环路数：	3
运行压力：	15.5 MPa（绝对压力）
每条环路流量：	
最佳估计	24680m ³ /h
热工设计	23500m ³ /h
机械设计	25670 m ³ /h
反应堆冷却剂温度：	
反应堆压力容器入口	291.2 °C

反应堆压力容器出口	328.8 °C
设计压力：	17.23 MPa（绝对压力）
设计温度：	343 °C

(稳压器设计温度 360 °C)

3) 主要设备

(1) 蒸汽发生器

蒸汽发生器用于生产饱和蒸汽。每台蒸汽发生器按满负荷运行时传递三分之一的反应堆热功率设计。蒸汽发生器的设计应能够在设计污垢系数及设计堵管量的条件下使电厂以额定的功率运行，蒸汽发生器出口处的压力达到 6.73MPa（绝对压力），蒸汽湿度不超过 0.1%。

本工程的蒸汽发生器为 ZH-65 型，是立式自然循环 U 形管式。蒸汽发生器由两大部分组成，即用于使给水加热产生饱和蒸汽的蒸发段部分和用于将所产生的汽水混合物进行分离的汽水分离段部分。

蒸发段是由倒 U 形布置的因科镍-690 制成的传热管构成。一回路冷却剂在传热管内流动，二回路水的蒸发在传热管的外侧进行。

汽水分离段由分离器和干燥器组成。离开管束后的汽水混合物首先进入旋风分离器，通过离心作用除去大部分水分，然后进入干燥器。经干燥器分离后的蒸汽湿度小于 0.1%。干燥后的蒸汽通过位于上封头中央的出口接管流出蒸汽发生器。

(2) 反应堆冷却剂泵

反应堆冷却剂泵用于驱动高温高压的反应堆冷却剂，补偿系统的压力降，保证冷却剂在反应堆冷却剂系统中的循环。

主要部件包括泵壳、叶轮、隔热屏、下部径向轴承、密封件及电动机。

主泵上配置飞轮，以增加主泵的转动惯量，使主泵在丧失电源时有足够的惰转时间，保证驱动主泵向堆芯提供冷却剂。反应堆冷却剂进口在泵壳的底部，出口在泵壳侧面。

(3) 稳压器

稳压器是一个立式、带有半球形顶部和底部封头的圆筒形容器，它的下部封头放置在圆筒形的裙座上。稳压器的主要功能是建立并维持压力，避免反应堆冷却剂在反应堆内沸腾。在正常运行时将反应堆冷却剂系统保持在恒定的压力下；在负荷瞬变时限制压力的变化。借助于加热和喷淋来控制水-汽平衡温度，从而保持所要求的冷却剂压力，将反应堆冷却剂系统的压力变化限制在一个允许的范围内，并防止其超压。

通过安全阀将稳压器内的蒸汽排放到卸压箱内，达到反应堆冷却剂系统的超压保护目

的。

此外，稳压器的快速卸压阀具备严重事故条件下的安全卸压能力，避免出现高压熔堆。

(4) 卸压箱

稳压器卸压箱的功能是接纳来自稳压器的安全阀和快速卸压阀、安全壳内的余热排出系统的安全阀或化学和容积控制系统所释放的蒸汽，以及反应堆压力容器事故排气系统排出的气体，这些蒸汽通过与卸压箱内的水的混合达到冷凝和冷却。

卸压箱是一个卧式、带有椭圆形封头的圆筒形容器。

箱内通常容纳水和以氮气为主的气体。采用氮气是为了保证箱内压力以及便于定期分析可能聚集的氢和氧的含量。

(5) 反应堆冷却剂管道

反应堆冷却剂管道应能承受反应堆冷却剂系统预计运行工况的压力和温度，管道材料应具有抗腐蚀性并和工作介质相容，保证冷却剂的正常输运。

反应堆冷却剂系统共有三条环路，每条环路由三段管道组成。根据流体流动的方向，它们分别是：

热 段：即反应堆压力容器与蒸汽发生器之间的管段；

过渡段：即蒸汽发生器与反应堆冷却剂泵之间的管段；

冷 段：即反应堆冷却剂泵与反应堆压力容器之间的管段。

稳压器波动管与反应堆冷却剂管道的一条热段相连接。

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、反应堆硼和水补给系统、余热排出系统、燃料装卸和贮存系统、设备冷却水系统、蒸汽发生器排污系统、核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，与反应堆硼和水补给系统一起能使反应堆停堆，并维持在热态次临界状态。该系统的主要设备（上充泵、除盐器和容积控制箱）布置在核辅助厂房内。

反应堆硼和水补给系统为化学和容积控制系统提供除盐除气水和硼酸溶液以及防止

压力边界材料产生腐蚀的化学药剂。

余热排出系统，在停堆后，当反应堆冷却剂温度和压力已降至不能通过蒸汽发生器排出热量时，排出反应堆冷却剂系统中的衰变热。

燃料装卸和贮存系统，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。燃料操作设备主要布置在反应堆厂房操作大厅和燃料厂房操作大厅，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（干贮存），或乏燃料贮存水池中（湿贮存）。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。

消防系统是为核电站可能发生火灾的场所提供灭火措施的系统。核电站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、水喷淋灭火系统、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。

4.2.2.4 严重事故预防与缓解设施系统

严重事故预防与缓解设施系统包括堆腔注水冷却系统、非能动安全壳热量导出系统、安全壳消氢系统和安全壳过滤排放系统。

4.2.2.4.1 堆腔注水冷却系统（CIS）

a) 系统功能

堆腔注水冷却系统在发生堆芯熔化的严重事故后，通过压力容器外冷却带走堆芯熔融物热量，降低反应堆压力容器外壁的温度，维持压力容器的完整性，实现压力容器内堆芯熔融物的滞留。

b) 系统概述

1) 能动子系统

能动注入子系统设置了并联的两个系列，每个系列配备了一台堆腔注水泵，先后从消防水池和内置换料水箱取水。消防水注入阶段，投入两台 CIS 泵从消防水池取水；再循环阶段，两台泵切换至内置换料水箱取水，实施长期循环注入。两台堆腔注水泵出口管线在经过安全壳隔离阀，贯穿安全壳后再合并为母管后注入堆腔。注水管道与保温层的底部相连，注入的冷却水通过 RPV 外壁与保温层内壁之间的流道向上流动，最终从保温层筒体上部的排放窗口流出，并返回到安全壳内置换料水箱。

2) 非能动子系统

系统的非能动部分设置在安全壳内，在安全壳内设置非能动堆腔注水箱，用于维持较长时期的堆腔注入流量。为保证非能动堆腔注水的可靠性，设置了四台并联的直流电动阀和两台逆止阀作为隔离部件，分为两列，每一列包括两台直流电动阀和一台逆止阀，其中两台直流电动阀一台常开，另一台常关。在经过上述阀门后，两根非能动堆腔注水支管线再次合并为一根母管贯穿到堆腔内部与压力容器保温层相连接。在发生严重事故后，系统投运方式为堆芯出口温度达到 650℃后，优先投入能动系列，对于类似 SBO 等事故进程发展缓慢的严重事故，也可采用非能动方式注入。非能动方式注入时，非能动堆腔注水箱中的水依靠重力通过能动系列注入管道注入反应堆压力容器与保温层之间的环形流道，并逐渐淹没反应堆压力容器下封头，实现“非能动”的冷却。

非能动子系统非能动堆腔注水箱内的水持续注入堆腔，能够补偿由于汽化而损失的冷却水量，从而满足对压力容器一定时间内蒸发冷却要求。

为了收集来自非能动安全壳热量导出系统换热器的冷凝水，堆腔注水冷却系统设置了 12 根接于换热器底部集液盘的管道，并最终汇合于一根母管流入非能动堆腔注水箱。收集总管上设置电动隔离阀，正常运行期间阀门处于关闭状态，防止在设计基准事故时，安全壳喷淋系统将启动，部分喷淋水将会被收集汇至非能动堆腔注水箱，影响系统取水水源。

4.2.2.4.2 非能动安全壳热量导出系统（PCS）

a) 系统功能

非能动安全壳热量导出系统用于在超设计基准等事故工况下安全壳的长期排热，包括与全厂断电和喷淋系统故障相关的事故。在电站发生超设计基准事故（包括严重事故）时，将安全壳压力和温度降低至可以接受的水平，保持安全壳完整性。

b) 系统概述

非能动安全壳热量导出系统考虑设置三个相互独立的系列。每个系列包括一台换热水箱、一个蒸汽排放装置以及两个换热系列（每个换热系列包括一组换热器、一台汽水分离器、一台常开的电动隔离阀、两个并联常关的电动阀）。换热器布置在安全壳内的圆周上；

换热水箱是钢筋混凝土结构不锈钢衬里的设备，布置在双层安全壳外壳的环形建筑物内。系统设计采用非能动设计理念，利用内置于安全壳内的换热器组，通过水蒸汽在换热器上的冷凝、混合气体与换热器之间的对流和辐射换热实现安全壳的冷却，通过换热器管内水的流动，连续不断地将安全壳内的热量带到安全壳外，在安全壳外设置换热水箱，利用水的温度差导致的密度差实现非能动安全壳热量排出。

蒸汽排放装置在系统备用时通过水封实现换热水箱与外界的隔离，防止安全壳换热水箱水质被壳外环境污染。电站正常运行和检修时，系统配置了循环水泵和加药措施防止安全壳外换热水箱微生物滋生和水质降低。

电站发生超设计基准事故时，安全壳内温度迅速上升。高温的蒸汽—空气或者蒸汽—氢气（或其他不凝结气体）的混合物冲刷非能动安全壳热量导出系统换热器表面。来自安全壳外换热水箱的低温水在换热器内升温、膨胀，沿着非能动安全壳热量导出系统上升管将安全壳内的热量导出至安全壳外换热水箱。安全壳内高温混合气体和换热水箱的温度差以及换热水箱和换热器的高度差是驱动非能动安全壳热量导出系统进行自然循环，带走壳内热量的驱动力。随着水箱温度不断升高，换热水箱温度达到对应压力下的饱和温度，排出部分蒸汽最终进入大气。

安全壳内压力高，安全壳喷淋系统不可用时，系统下降管上的安全壳电动隔离阀接受来自主控室的开启信号，非能动安全壳热量导出系统投入运行。

在循环回路系统出现破口时，如不采取隔离措施，安全壳内放射性物质由破口进入水箱，最终排至安全壳外大气。为了保证电站第三道安全屏障的完整性，防止放射性外泄，设置在安全壳外的电动阀组和电动阀根据壳外上升管辐射监测信号关闭阀门，实现安全壳隔离。

4.2.2.4.3 安全壳消氢系统（CHC）

a) 系统功能

安全壳消氢系统用于在设计基准事故和超设计基准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。

b) 系统概述

安全壳消氢系统由 33 台非能动催化氢复合器组成，不需任何监测和控制措施。

自动催化氢复合器在条件适合的情况下自动工作。其工作原理为：氢复合器的金属外壳可引导气流向上通过氢复合器，在壳体的下部装有一个插入很多平行的垂直催化剂板的框架，在这些催化剂板上涂满活性催化剂。含氢气体混和物在催化剂作用下发生氢—氧化

学反应，并释放出热量使复合器下部的的气体密度降低，进而加强了气体对流，以使大量的含氢气体进入与催化剂接触，以此来保证高效的消氢功能。

自动催化氢复合器设计成可在高温高压下工作，其设备本身强度能承受安全停堆地震，其内部的催化剂涂层是防水、耐热的，可以长时间保持有效。氢复合器内部框架的结构允许在役检查和试验时很容易地取出里面的催化剂板。

催化金属板的定期试验和再生在专用的装置里进行，该装置是一种简便的试验装置。

4.2.2.4.4 安全壳过滤排放系统（CFE）

a) 系统功能

核电站安全壳是防止放射性产物释放到环境中的最后一道屏障。在发生堆芯熔穿压力容器的严重事故时，由于堆芯熔融物与混凝土底板的反应而产生的不凝结气体不断增加，导致安全壳内的压力不断升高，最终可能会破坏安全壳的完整性，造成放射性物质的外泄。

安全壳过滤排放系统通过主动卸压使安全壳内的大气压力不超过其承载限值，从而确保安全壳的完整性。并且，通过本系统中的过滤装置对排放气体中的放射性物质进行过滤，以减少释放到环境中的放射性物质。

b) 系统概述

安全壳过滤排放系统只在严重事故下运行，在机组正常运行和设计基准事故下始终处于备用状态。

发生严重事故之后，为了保证安全壳的完整性，安全壳过滤排放系统在适当情况下通过手动方式投入运行，进行安全壳的卸压排气。

安全壳内气体经过安全壳隔离阀后进入文丘里水洗器。文丘里水洗器内装有一组文丘里喷管，喷管均被淹没在含有重量浓度为 0.5%NaOH 和 0.2%Na₂S₂O₃ 的化学溶液中，排出的气体以很高的流速通过文丘里喷管。而高速流动的气体在文丘里喷管的喉部产生吸力，使化学溶液进入喷管，而高速气流与化学溶液之间形成速度差，从而将气体中的大部分气溶胶去除，滞留在文丘里容器内。与此同时，进入文丘里喷管的液滴在喉管内部提供了很大的交换面积，与碘发生充分的化学反应，从而有效的吸附排放气体中的碘。另外，从气体在文丘里喷管内的机械运动来看，大部分的碘及气溶胶粒子在文丘里喷管内就已分离。

淹没文丘里喷管的化学溶液既起了第一道液滴分离的作用，又实现了气溶胶及碘的滞留。

气体穿过文丘里水洗器之后进入其下游的金属纤维过滤器进行下一步的过滤。经文丘里水洗器过滤后的气体中仍留有少量难滞留的气溶胶，同时还含有一些由于化学溶液表面的气泡破裂而产生的微小粒径的水滴（直径一般在 0.1μm 左右），这些都将通过金属纤维

过滤器进行过滤。金属纤维过滤器作为第二级滞留措施，能够保证整个系统在长期内的高滞留率及高效液滴分离性能。

由于大量的放射性物质（气溶胶及碘）滞留在文丘里水洗器的溶液中，积聚的放射性物质的衰变热将随着混合液的蒸发被导出文丘里水洗器。蒸汽继续经过金属纤维过滤器（液滴分离）由排放管通过烟囱排向大气。

4.2.2.4.5 二次侧非能动余热排出系统（PRS）

a) 系统功能

二次侧非能动余热排出系统的安全功能为：在发生全厂断电事故且辅助给水系统汽动泵系列失效工况下，系统投入运行，在不超过冷却剂压力边界设计条件的前提下，通过蒸发器导出堆芯余热及反应堆冷却剂系统各设备的储热，在 72 小时内将反应堆维持在安全状态。在完全丧失给水的工况下，PRS 系统投入运行，降低一回路的温度和压力。

b) 系统概述

每个环路的蒸汽发生器二次侧都设置一个非能动余热排出系列。每个系列包括一台应急余热排出冷却器和一个换热水箱以及必要的阀门、管道和仪表。

对于每个 PRS 系列，蒸汽管线通过安全壳外常开的电动隔离阀后连接应急余热排出冷却器的入口封头的接管嘴。

应急余热排出冷却器布置在换热水箱底部的冷凝器隔间。要求在整个机组运行期间（包括 PRS 投入运行期间），该冷却器都浸泡在水中，不允许裸露。冷凝水管道连接应急余热排出冷却器下封头接管嘴，并在管道上设置两台并联的电动隔离阀。凝水管出口的注入管线合并后通过贯穿件返回到安全壳内，冷凝水管道与蒸汽发生器的给水管道相连，并在管道上设置一台止回阀，以防止机组正常运行期间，蒸汽发生器给水通过凝水管道旁流。安全壳隔间外设置单条管线，通过辅助给水系统统一对三列 PRS 系统进行充水。充水管线在安全壳隔间内分为三个支路，每个支路对应一个 PRS 系列。PRS 系统安全壳内外分别排水，安全壳内排水至核岛疏水排气系统，安全壳外疏水排至非能动安全壳热量导出系统排水管线。

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

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 1198.1MW 的汽轮发电机组。汽轮机额定转速为 1500rpm，由一个高压缸和两个双流低压缸组成，它与 24kV、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、主给水系统、汽轮机回热抽汽系统、汽轮机旁路系统、启动给水系统和辅助给水系统等。

其中主蒸汽系统（非常规岛部分）、主给水系统（非常规岛部分）和辅助给水系统与核安全相关。

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、汽水分离再热器；

通向凝汽器和大气蒸汽旁路系统；

辅助蒸汽分配系统。

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，以减少对低压缸中长叶片的刷蚀，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。

主给水系统：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和在受控方式下排向大气。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。

辅助给水系统：辅助给水系统属于专设安全设施，在主给水系统和启动给水系统受损失或失效的情况下保证蒸汽发生器的给水。

在机组建造调试阶段，可以确认和保证排水没有放射性的情况下，二回路排水排至 WSS 系统；在机组运行及大小修放水可能含有放射性的情况下，排至 WQB。

汽轮发电机额定容量为 1340MVA，运行参数为 24kV、三相和 50Hz。发电机定子用水冷却，转子用氢冷却。采用静态励磁系统，励磁变压器高压侧从发电机出口离相封闭母线支接。

4.3 核电厂用水和散热系统

4.3.1 核电厂用水

核电厂用水主要分为海水用水和淡水用水。

4.3.1.1 海水用水

核电厂的海水用水系统主要包括：

—循环水系统

—重要厂用水系统等

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

海南昌江核电厂 3、4 号机组海水系统平均用水量详见表 4.3-1。

最大用水量：表 4.3-1 中除了重要厂用水的最大用水量为单台机组 8800m³/h，其他系统最大用水量与平均用水量相同。

北部湾取水条件好、水量充足可靠，可满足循环水系统、重要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

核电厂的淡水用水主要包括施工期间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。

海南昌江核电厂 3、4 号机组施工期间施工生产用水最大日用水量为 2215m³/d，施工人员生活用水最大日用水量为 1620m³/d，施工现场降尘和洗车用水量为 230m³/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 4500m³/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。

生产水系统主要为除盐水生产系统提供原水，并作为水泵轴密封水、锅炉降温水及空

调冷冻机组冷却水的补充水，以及作为消防补水的备用水源。

绿化、道路浇洒用水主要采用再生水，由中水系统提供。再生水水量不足时，由饮用水系统补足。

考虑管网漏损水量和未预见用水等，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 $6568\text{m}^3/\text{d}$ ，最大日用水量约为 $10707\text{m}^3/\text{d}$ 。

本工程正常运行设计耗水指标为 $0.032\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{GW}$ 。本工程工业用水的重复利用率约为 99.8%。

（2）供水水源

海南昌江核电厂 3、4 号机组施工期间和运行期间的淡水由 1、2 号机组已建的淡水厂提供，绿化、道路浇洒用水主要由中水系统提供。淡水厂的原水取自石碌水库。

根据《海南昌江核电项目 $2\times 650\text{MW}$ 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 $7310\text{m}^3/\text{d}$ ；两堆正常运行用水量约为 $5550\text{m}^3/\text{d}$ 。

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 $980\text{m}^3/\text{d}$ ，最大日用水量约为 $2050\text{m}^3/\text{d}$ 。

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 $19270\text{m}^3/\text{d}$ 。

已建海南昌江核电厂淡水厂的设计处理规模为 $16000\text{m}^3/\text{d}$ ，经核算最大处理能力可达 $17600\text{m}^3/\text{d}$ ，并对原淡水厂进行扩容设计，扩容设计规模 $3000\text{m}^3/\text{d}$ ，扩容后最大处理能力可达 $20600\text{m}^3/\text{d}$ ，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。

绿化、道路浇洒用水日用水量约为 $220\text{m}^3/\text{d}$ 。本工程正常运行期间新增生活污水产生量约为 $185\text{m}^3/\text{d}$ ，再生水产生量约为 $167\text{m}^3/\text{d}$ ，用于绿化、道路浇洒等用水的不足水量由饮用水系统补足。

上述淡水水源水量充沛，核电厂不会出现因淡水供应不足而引起电厂运行中断或启动应急系统的情况。

4.3.2 核电厂散热系统

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，循环水及重要厂用水均取自北部湾，海南昌江 3、4 号机组工程 2 台机组总冷却水量约为 $132\text{m}^3/\text{s}$ 。

参照 1、2 号机组工程，综合多种因素考虑，3、4 号机组取排水工程采用“差位式布置”的形式，取排水工程位于厂区的西北侧。

4.3.2.1 取水系统

3、4 号机组采用明渠取水，与 1、2 号机组工程共用已建成的取水明渠。明渠采用斜坡式防波堤结构，明渠底宽约 120m。1、2 号机组运行期间，为减小渠内波浪影响，有利于拦污网工程稳定运行，实施完成了海工优化工程，即在已建成取水明渠导流堤基础上，将明渠东导流堤向西弧向延长 569.96m。取水明渠口门宽 190m，底标高位于天然泥面标高-5.0~-9.0m 处，取水明渠长约 888m。3、4 号机组与小堆示范工程共用两条取水隧洞，连接取水明渠和联合泵房，洞径 $d=6.5\text{m}$ ，每条隧洞的长度约为 1650m，取水隧洞总长约 3300m。

4.3.2.2 排水系统

3、4 号机组采用“盾构隧洞+转换井+水下沉管”的方式排水，3、4 号机组海域排水管道位于 1、2 号机组沉管东侧，平行于 1、2 号机组沉管轴线布置，排水口位于海域约-19.7m 水深处。每台机组设置一条盾构隧洞，内径 6.9m，隧洞分别长约 1872.8m、1875.6m。盾构隧洞通过转换井与水下沉管衔接，沉管长约 3067.1m，双孔共壁，单孔过水断面尺寸为 $5.8\text{m}\times 5.8\text{m}$ 。

4.4 输电系统

4.4.1 电气主接线

昌江核电 3、4 号机组汽轮发电机的额定功率为 1206MW、 $\cos\varphi = 0.9$ 、发电机额定电压为 24kV，两台机组分别与三个单相升压变压器（主变）相连，以发电机—变压器组单元接线方式升压至 500kV 接入系统。

发电机与主变压器通过离相封闭母线相连，母线上设有发电机出口断路器，发电机出口断路器的额定短时耐受电流为 210kA。

500kV 配电装置选用 SF6 气体绝缘的全封闭组合电器（GIS），采用一个半断路器接线。

昌江核电厂 3、4 号机组建设一个 500kV 开关站，采用 GIS 设备，主接线考虑采用 3/2 接线方式，本期进出线考虑 5 回，两回机组进线，三回送出线，共 2 个完整串+1 个不完整串，交替布置。远景预留 1 回 500kV 出线，按增加 1 个不完整串预留位置。

昌江核电厂 1、2 号机组投产时，已由 220kV 昌江变电站引接 1 回 220kV 安全备用电源线。本工程昌江核电 3、4 号机组投产时，暂考虑从 220kV 鹅毛岭变再引入 1 回 220kV

安全备用电源线。电厂 1、2 号机组 220kV 安全备用电源辅助系统采用单母线接线，并预留了远期间隔扩建位置，本期工程由系统引接第 2 回安全备用电源线路后，考虑在一期工程基础上扩建为单母线分段接线。

厂外 220kV 备用电源经两台 220/10.5kV, 39MVA 厂用备用变压器（或称辅助变压器）降至 10.5kV，作为核电厂厂用电的备用电源。

4.4.2 开关站的选型和布置

昌江核电厂 3、4 号机组地处海边，所有电气设备都必须考虑盐雾腐蚀的影响，为提高电气设备供电的可靠性、安全性，500kV 与 220kV 开关站都是室内型，500kV 和 220kV 配电装置采用 SF6 气体绝缘组合电器（GIS）。

500kV 和 220kV 开关站位置在厂区的南部，出线向南。主变压器及其厂用备用变压器布置在汽轮机厂房附近。

4.4.3 与电力系统的连接

根据电力规划设计总院“海南昌江核电 3、4 号机组接入系统方案专题报告（系统一次、二次）评审意见”文件（电规电力【2021】345 号文）及南方电网有限公司“关于海南昌江核电 3、4 号机组接入系统方案的批复”文件（南方电网规划【2021】115 号文），海南环岛 500kV 电网主网架新建 500kV 海口东站、三亚站、西部站，本工程机组以 500kV 线路并网，电厂 500kV 出线规模 4 回，本期出线 3 回，2 回线路至新建的西部站，1 回线路至已建的福山变。电厂至福山站线路长度约 127km，导线截面为 4x630mm²；电厂至西部站线路长度约 20km，导线截面为 4x400mm²。

4.5 专设安全设施

4.5.1 安全壳系统

4.5.1.1 安全壳性能设计

安全壳是防止裂变产物释放的第三道屏障，在反应堆正常运行和发生重大事故时，安全壳是阻挡放射性物质释放到环境中去的最后一道核安全屏障。为工作人员和公众提供辐射防护，并可保护核岛免受外部人为事件影响。

安全壳结构设计成能承受设计基准事故引起的机械应力和热应力。设计基准事故是指反应堆冷却剂系统的管道瞬时双端断裂（LOCA），或者安全壳内二回路蒸汽管道断裂等事故。

安全壳在极限安全地震震动（SL-2）、普通飞机及商用大飞机坠落在火灾等外部事件造成的载荷下应保持其机械完整性。

安全壳设计要求能保护地下水，不使放射性核素或化学物质在事故工况下渗漏到地下

水中。

事故后最初几分钟内安全壳的压力和温度迅速上升到峰值。喷淋系统的投入使压力和温度下降，下降的速率使安全壳的热应力和压力都是可以接受的。

在设计基准事故的情况下，安全壳的设计压力取 0.52MPa（绝对）。

安全壳的主要设计参数如下：

- 安全壳的设计压力：0.52MPa(绝对)
 - 喷淋系统误动作引起的设计负压：-0.019MPa
 - 最小净容积：86000m³
 - 安全壳的设计泄漏率（最初 24 小时）：在设计温度和设计压力下为气体质量的 0.3%。
- 反应堆厂房采用双层安全壳。

内层安全壳是预应力混凝土结构，呈圆筒形，有一个半球形穹顶和一个平的筏形基础。壳体内表面衬以钢板用以防止泄漏。混凝土保护层覆盖了内层安全壳筏基之上的衬里部分。内层安全壳结构混凝土在正常工况和事故工况下提供生物屏蔽。

反应堆外层安全壳是普通钢筋混凝土结构，包括圆柱形筒体、外挂水箱、准球形穹顶和筏形基础。外层安全壳主要起屏蔽作用，保护内层安全壳及其内部结构，设计成能承受所有可能的荷载组合，包括正常荷载，飞机撞击荷载以及各种不利环境工况引起的荷载。内外层安全壳之间有 1.8m 净距的环形空间，并维持负压以收集任何从内层安全壳泄漏的物质，这种双层安全壳的设置当发生预想的事件或严重事故时，为避免出现环境辐射提供了有效的防护。

内层安全壳的主要尺寸如下：

- 内表面钢衬里厚度：6mm
- 筒壁厚度：1.30m
- 穹顶厚度：1.05m
- 穹顶内侧至底板（-8.200 处）的内高：76.73m
- 钢衬里包容的容积：约 118600m³
- 净容积：约 87000m³。

4.5.1.2 安全壳热量排出系统

安全壳热量排出系统用于在设计基准事故下限制安全壳的压力和温度，以保持安全壳的完整性，此项功能是由安全壳喷淋系统（CSP）实现的，即在发生引起安全壳压力和温度上升的事故后（失水事故或二回路管线破裂事故），安全壳喷淋系统（CSP）投入运行以降低安全壳内的压力和温度，从而减小安全壳的泄漏率；同时，在一回路管道破裂事故

情况下，也减少了安全壳内的气载裂变产物量（特别是碘），从而降低安全壳内气体的放射性水平，减轻安全壳外的放射性后果。

安全壳喷淋系统（CSP）由两个相同且相互独立的系列和一个公用的化学添加剂系统组成。

安全壳喷淋系统为实现其功能，向安全壳内喷淋混合有氢氧化钠的含硼水。

安全壳喷淋系统（CSP）的喷淋溶液是来自安全注入系统的内置换料水箱中冷的含硼水，在含硼水中混合有来自 CSP 001 BA 水箱的氢氧化钠溶液。

安全壳喷淋系统设计能迅速降低安全壳的压力和温度：在喷淋开始阶段，用至少一个喷淋系列提供额定值为 993m³/h 的流量，为了最大限度地导出安全壳内的热量，选取了适当的喷头喷淋的液滴直径，平均直径约为 0.27mm。

安全壳喷淋系统的两台喷淋泵提供的最小流量可排出安全壳大气中的热量，并满足安全壳应力强度的允许要求。

CSP 系统设计成可运行长达数月并且用于长期余热导出。

4.5.1.3 安全壳隔离系统

安全壳隔离系统在设计基准事故下，将安全壳贯穿件隔离阀关闭，以减少放射性物质对大气的释放。

本节涉及假想事故时用于隔离安全壳的贯穿件阀门。

(1) 设计基准

(a) 在 LOCA 时，安全壳隔离系统用于隔离与工程安全设施无关的安全壳贯穿管路，以减少放射性物质向大气的释放；

(b) 在主蒸汽管路破裂时，蒸汽管路隔离信号隔离蒸汽发生器，以防止反应堆冷却剂系统（RCS）过快降温，或安全壳超压；

(c) 在安全壳内发生燃料操作事故时，安全壳隔离系统隔离安全壳大气，以控制放射性物质向安全壳外侧大气的排放；

(d) 安全壳隔离系统设计满足单一故障准则；

(e) 安全壳隔离系统能够防御内部飞射物和管道甩击；

(f) 安全壳隔离系统的机械设备属安全 2 级，电气设备的安全级为 1E 级；

(g) 安全壳隔离系统设计成能够承受 LOCA 后环境条件；

(h) 安全壳隔离系统能承受至少与安全壳试验压力相等的外部压力；

(i) 安全壳隔离系统设计成在极限安全地震震动（SL-2）情况下仍能保持其功能，按抗震 1 类设计；

(j) 安全壳外侧的安全壳隔离阀尽可能安装在靠近安全壳处。

(2) 系统描述

(a) 若贯穿安全壳的管路属主回路的一部分，或者直接与安全壳内大气相通，或不足在安全壳内侧形成封闭系统的要求，应按下列方式之一设置隔离阀：

——安全壳内侧一个锁闭的隔离阀，安全壳外侧一个锁闭的隔离阀；

——安全壳内侧一个自动的隔离阀，安全壳外侧一个锁闭的隔离阀；

——安全壳内侧一个锁闭的隔离阀，安全壳外侧一个自动的隔离阀；

——安全壳内、外侧各一个自动隔离阀；

——对于事故后要求运行，而在安全壳内侧不可能操作的情况，在安全壳外侧设置两个自动隔离阀；

——在完全满足下列条件情况下，可在安全壳外侧设置一个自动隔离阀：

- 系统在安全壳外是封闭的；
- 系统能适应能动部件的单一故障；
- 系统属于工程安全设施；
- 安全壳贯穿件直至所含阀门之间的回路部分封闭在一个密封的包壳内。

(b) 对于贯穿安全壳但既不是主回路的一部分，也不直接与安全壳内的大气相通，并满足在安全壳内是封闭系统的各条管路，至少在安全壳外设置一个安全壳隔离阀。该阀可以是自动隔离阀、锁闭的隔离阀，或远距离手动操作的隔离阀。

(c) 对于在安全壳内和安全壳外都是封闭系统的某些仪表管线，不设安全壳隔离阀。

(d) 对于仅贯穿外层安全壳并与环形空间内大气连通的管线，仅在安全壳外设置一个锁关的手动隔离阀；对于其中出环形空间的管路，在环形空间保持负压的条件下，可以只在安全壳外设置一个止回阀。

(e) 对于仅贯穿外层安全壳并在环形空间内是封闭系统的管线，可以不设置隔离阀。

(3) 系统运行

安全壳隔离系统有隔离阀、执行机构、信号系统及动力供应系统组成。安全壳隔离分两个阶段启动：A 阶段和 B 阶段。

(a) 出现下列情况之一时，产生安全壳 A 阶段隔离：

(A) 稳压器低—低压力；

(B) 安全壳内高压（高压 2）；

(C) 蒸汽管路高流量，同时出现蒸汽管路低压力，或反应堆冷却剂低—低平均温度；

(D) 任一蒸汽管路低压力；

(E) 手动启动。

信号 (A) 和 (B) 表明发生了 LOCA 事故，自动启动相应安全壳隔离。

信号 (C) 和 (D) 表明发生了蒸汽管路断裂事故，信号 (C) 自动启动蒸汽管路的隔离。

A 阶段的隔离信号隔离那些专设安全设施 (ESF) 的运行所不需要的，且其隔离不会增加安全壳设备受损坏的可能性的贯穿安全壳的所有工艺管路，与 A 阶段隔离动作同时，应急柴油发动机启动，安全注入泵及支持系统投入运行。

(b) B 阶段隔离由安全壳内高压（高压 4）信号或手动启动。

B 阶段隔离信号隔离那些在 A 阶段没有隔离的，且专设安全设施 (ESF) 运行所不需要的贯穿安全壳的工艺管路。这些管路属于反应堆冷却剂泵冷却水供水管路。在 B 阶段隔离的同时，启动安全壳喷淋系统。

在接到下列信号之一时，启动蒸汽管路隔离：

- (A) 蒸汽管路高流量，同时出现蒸汽管路低压力，或反应堆冷却剂低—低平均温度；
- (B) 低—低蒸汽管路压力；
- (C) 安全壳内高压（高压 3）。

高放射性信号（燃料操作事故等）隔离下列管线：

- (A) 安全壳换气通风系统 (CSV)；
- (B) 安全壳大气监测系统 (CAM)：小风量清扫系统；
- (C) 核岛疏水排气系统：反应堆疏水、地板疏水、工艺疏水贯穿件。

每条管线上串联设置的安全壳自动隔离阀由不同的电源序列供电：所有气动隔离阀在失去非安全相关的仪表压缩空气系统后处于关闭状态。因此任何单一故障都不会妨碍系统执行隔离功能。

对于能从安全壳大气通往外界环境的管线，阀门的关闭时间小于 5s。其中对于安全壳换气通风系统隔离阀关闭时间为 3s，对于安全壳大气监测系统隔离阀关闭时间为 1s。

一些安全壳隔离阀可由反应堆保护系统 (RRP) 自动启动。

4.5.1.4 安全壳可燃气体控制

在设计基准事故下，安全壳消氢系统能够限制安全壳内的氢气浓度低于安全限值，以确保维持安全壳结构和密封的完整性。

(1) 氢的主要来源和采用的假设

当电厂发生 LOCA 事故时，氢气释入安全壳，其主要来源如下：

—— 堆芯和内置换料水箱中水的辐照分解；

- 锆—水反应（燃料包壳的锆合金受到事故期间冷却剂或蒸汽的侵蚀）；
- 安全壳中的金属（铝和锌）受到安全壳喷淋水中添加溶液的腐蚀；
- 反应堆冷却剂中的氢。

为此，电厂设置安全壳内可燃气体控制系统，以维持在设计基准事故时安全壳内大气的氢浓度低于 4% 体积浓度的最低可燃浓度极限。

(2) 设计基准

(a) 设计基准事故下的消氢准则

在设计基准事故工况下，安全壳消氢系统能够将安全壳内氢浓度维持在一个足够低的数值上（体积比小于 4.1%），以此预防安全壳内氢—氧混合气体燃烧、甚至发生爆炸的危险。

(b) 单一故障准则

安全壳消氢系统设计在应对设计基准事故时，满足单一故障准则的要求。系统设置 2 台非能动氢气复合器用于设计基准事故的消氢，考虑了单台氢复合器不可用时另外一台仍能满足要求。

2 台用于设计基准事故消氢的非能动氢气复合器在布置上距离尽可能远，防止设备同时失效。

(3) 系统描述

根据隔间内布置情况，安全壳消氢系统的非能动氢复合器独立的分布在安全壳内，与其它系统和设备无接口，不需要控制信号、电源、气源等。

非能动氢复合器主要由装置本体和催化板组成。装置本体主要部件有外壳体和催化床。外壳体是由角钢和钢板焊接而成的一个气流通道，壳体的前面板由螺钉固定，可以拆卸，方便检验和清洗。防护壳顶部封闭，气流出口采用侧向开口方式，实现了必要的防滴设计。催化床位于壳体底部，为可更换“抽屉式”结构，便于更换催化板，使得维护更加方便可靠。装置根据现场需要采用钢支撑、连接件、紧固件、膨胀螺栓或其他方式安装在所需的位置。整机受力构件采用焊接框架式结构，外敷设壳板，满足抗震要求。外壳体和催化床所用材质均选用奥氏体不锈钢材料。整套装置中未采用铸铁材料、铝及其合金，锌及其合金等禁用材料。使用的所有材料能够抵抗由介质或外部影响造成的腐蚀和磨损，且不受辐照的影响。

非能动氢气复合器的核心部件是催化板，催化板采用金属网板作为基材，TiO₂ 等组分作为活性组分载体，两种贵金属作为活性组分。两种贵金属组分对 H₂ 复合反应产生增强效应，提高了催化板低温启动性能。每一片催化板均具有永久唯一的编号，该编号方便催

化板在安装和在役检查时快速、正确的放置。

(4) 系统运行

(a) 电厂正常运行

电厂正常运行期间，不需要本系统运行。

(b) 电厂特殊稳态运行

电厂特殊稳态运行期间，不需要本系统运行。

(c) 电厂特殊瞬态运行

当发生设计基准事故时，通过本系统消氢。非能动氢复合器不需要任何电源、气源或控制，当事故后安全壳内氢气浓度达到非能动氢气复合器启动阈值时，氢复合器自动启动消氢，安全壳内氢气浓度达到非能动氢气复合器停止阈值时停止消氢。

4.5.1.5 安全壳整体强度试验和密封性试验

本工程采用双层安全壳，本节主要描述内层安全壳的强度试验和密封性试验。

(1) 试验的类型和目的

(a) 强度试验

在机组投入运行之前进行内层安全壳强度试验，以证明它能经受 LOCA 事故工况和主蒸汽管道断裂事故（MSLB）工况的能力。试验在冷态下进行，安全壳设计考虑 LOCA 时的最大环境温度为 145℃。

强度试验期间，内层安全壳内大气在环境温度下，加压到 0.483MPa（表压）的试验压力，等于内层安全壳设计压力 0.420MPa（表压）的 1.15 倍。

(b) 安全壳贯穿件的局部密封性试验

试验的目的是为了测量和就地探测安全壳贯穿件的泄漏。

局部密封性试验分为 B 类试验和 C 类试验，试验可以采用局部加压测量压降或直接测量泄漏流量的方法。

B 类试验涉及以下部分：

- 燃料运输通道盲板的密封件；
- 电气贯穿件外壳；
- 人员空气闸门的密封装置，包括贯穿件；
- 设备闸门的密封装置。

C 类试验涉及安全壳管道贯穿件上的所有隔离阀和止回阀，但那些在二回路水或蒸汽系统上的阀门以及那些只能在 A 类整体性密封试验中被检查的阀门除外。

(c) 内层安全壳整体密封性试验

试验目的是在内层安全壳建造完毕之后和反应堆装料之前测量内层安全壳的整体泄漏率。在安全壳设计压力 0.42MPa（表压）下进行整体密封性试验。

(2) 试验描述和验收准则

A. 内层安全壳整体密封性试验

(a) 试验前的条件

——安全壳安装了永久性的密封、隔离装置和贯穿件；

——完成了试验前的目视检查；

——一旦安装好永久隔离装置，则要进行 B 类或 C 类试验，以探测相应贯穿设备的泄漏率。

——此类试验涉及的系统和设备应尽可能处在假想 LOCA 条件下。

(b) 方法

利用“绝对法”测量泄漏率，即通过测量压力的变化来确定内层安全壳中干空气质量的相对变化。测量值按平均温度和湿度的波动进行修正。

(c) 仪表

采用的仪表如下：

——温度传感器

——湿度传感器

——压力传感器

(d) 试验步骤

试验开始时，在 0MPa（表压）下进行测量，以校核测量的有效性和估算仪表引起的误差。

在 0.1MPa（表压）下进行泄漏率探测试验，如果发现较大的泄漏，要对泄漏点进行修复，然后重新进行整体试验。

在 0.21MPa（表压）（0.5P）下进行一次完整的泄漏率测量，以得到粗略的泄漏值。

在 0.42MPa（表压），即内层安全壳设计压力（P）时，分两次间隔进行测量，两个时段各历时 24 小时，中间阶段压力达到 0.483MPa（表压）（1.15P）的试验压力（强度试验，仅在首次运行前进行）。

(e) 验收准则

如果满足下列准则，则试验满足要求：

$F_m + \Delta F_m < 0.160\% / 24 \text{ 小时}$ （试验条件下内层安全壳内气体质量）。

B. 安全壳贯穿件的局部泄漏率试验

(a) 概述

其泄漏率占内层安全壳整体泄漏率的一部分，需要检验和改善每个部件的密封性。

(b) 整体泄漏率在内层安全壳各部件的分配

局部试验期间安全壳屏障各部分的允许泄漏率取决于所用密封系统的类型（例如，密封件、焊接、阀门等），部件的功能，密封件的预计老化以及产生磨损的工况（尤其是人员闸门、密封圈和阀门的磨损）。

(c) B 类和 C 类局部密封试验的验收准则

——B 类试验的部件

这些部件的泄漏率必须低于下列数值，所有泄漏率都表示为内层安全壳整体允许泄漏率的百分数：

电气贯穿件：1%，对所有电气贯穿件的总泄漏率；

人员（应急）闸门：1%，对每个闸门；

设备闸门：1%；

燃料转运通道盲板法兰：1%；

——C 类试验的部件

C 类试验涉及安全壳管道贯穿件上的所有隔离阀和止回阀，但那些在二回路水或蒸汽系统上的阀门以及那些只能在 A 类整体密封试验中被检查的阀门除外。承受 C 类局部试验的所有隔离阀的总泄漏率：50%。

4.5.2 裂变产物去除和控制系统

在事故工况下，特别是一、二道实体屏障出现破损时，安全壳内将有大量气载放射性物质。安全壳喷淋系统为此提供了有效的抑制手段，将可能泄漏出安全壳的高活度液体收集后重新注回安全壳内，并由特定的通风系统对泄漏的气载放射性物质进行“动态密封”和过滤排放以维持一定的室内环境条件。

同时，核电厂设计中针对事故情况下裂变产物的释放设计了专门的系统和专门的空气过滤措施。

4.5.2.1 专设安全设施的过滤系统

(1) 主控制室空调系统（VCL）

(a) 设计基准

——提供一个温度适宜，空气质量好的环境，以保证工作人员舒适，健康和安全以及设备能有效运行和完好。

——在正常运行和应急工况期间保持控制室内的压力高于大气压，以防止室外空气渗

入。

VCL 系统中的一部分在应急工况期间是用来保证控制室的可居留性的，这一部分称为应急过滤系统。

（b）系统说明

应急过滤系统包括两条冗余设置由柴油机发电机组应急供电的容量为 100%过滤管路，回风与新风混合后经应急过滤管线过滤，通过主系统的空气处理机组处理后送入可居留区。每条过滤管路包括：一组预过滤器、一台电加热器、一组前置 HEPA 过滤器、一组碘吸附器、一组后置 HEPA 过滤器和一台送风机。

当放射性监测系统(IRM)探测室外空气被污染时，应急过滤系统就自动投入运行，去除控制室进气中裂变产物，维持控制室的可居留性。

VCL 系统设计考虑以下事故：

——厂外电源丧失

为了维持控制室的可居留性，正常空调机组和应急过滤通风机组由柴油发电机组作为备用电源。

——地震

应急过滤通风机组设计成能承受极限安全地震震动（SL-2）。

——功能丧失

VCL 系统的设计满足能动部件单一故障准则，保证 VCL 系统能够连续运行。两个应急过滤系列是同时运行的，因为风机是两台 100%冗余的，在一个系列丧失功能的情况下，则转换另一个系列履行其功能。

（c）应急过滤通风机组的功能

两台冗余设置的放射性监测器来监测引入新风的放射性浓度，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。

吸收剂是具有渗透 1%碘化钾（KI）的活性炭。

过滤除碘的去污因子设计值为 10^3 （甲基碘）。

（2）燃料厂房的通风系统（VFL）

（a）设计基准

VFL 系统的设计要能完成如下任务：

— 为设备的正常运行及工作人员进入维持一个适宜的环境温度；

— 维持厂房压力略低于大气压力（负压值约 0.5daPa，此值在系统调试时验证）以减少气载放射性物质的泄漏；

— 在机组正常运行期间，限制厂房内相对湿度（保证室内环境相对湿度控制在 70% 以内）以防止乏燃料水池大厅壁面结露；

— 在下列情况下，减少排风中的气载放射性物质向大气中排放：

- 燃料装卸事故；
- 铅容器操作事故；
- LOCA。

（b）系统说明

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，低流量排风与乏燃料水池大厅通风相连接。在 LOCA 情况时，低流量排风与-5.30m 以下房间的通风相连接。

为了在机组所有运行模式下，维持适当的环境，当任何一台风机或快速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，配有柴油机应急电源。

VFL 系统由控制室远距离控制。

（c）低流量排风子系统的功能

在燃料装卸事故或高放射性水平情况下，由放射性监测系统自动将系统从正常运行模式切换到低流量排风运行模式，也可在控制室或乏燃料水池大厅手动完成。

放射性气体在运行层与隔离阀之间的扩散和传递时间比隔离阀的驱动和快速关闭时间长。而且，在排到室外之前经过过滤（高效空气粒子过滤器和碘吸附器）的。这样，就不会有放射性气体失控释放到大气中的事件发生。

（3）安全壳环形空间通风系统（CAV）

（a）设计基准

安全壳环形空间是指由内层安全壳和外层安全壳所围和的空间。安全壳环形空间通风系统确保环形空间保持持续的负压状态，该负压状态能有效引导内、外部的泄漏都向该环形空间汇集，从而可以避免来自内层安全壳的泄漏（比如在发生失水事故时）直接进入环境。

（b）系统说明

系统用来满足维持环形空间负压以及用来过滤内层安全壳泄漏的部分，及其支持系统（比如供电等）的设计满足单一故障准则要求。在事故工况下，CAV系统的单列运行可以维持环形空间的负压状态以及环形空间内的净化效率。

全壳环形空间通风系统包括两个空气进口和3个100%容量的并联系列。其中2个系列用于事故后运行，每个系列包括两台隔离阀、一台电加热器、一台预过滤器、一台HEPA过滤器、一台碘吸附器、一台排风机、一台通风逆止阀；1个系列用于电站正常运行，包括上游的两个电动隔离阀和1个下游手动隔离阀、一台预过滤器、一台HEPA过滤器、一台排风机、一台通风逆止阀。

在电站正常运行期间，系统的正常运行系列运行，维持环形空间内的负压状态。当发生事故时，正常运行系列被隔离，用于事故运行的两个系列投入运行。系统的风机和加热器可由应急柴油机供电。

4.5.2.2 安全壳喷淋系统

4.5.1.2 节中已经描述了安全壳喷淋系统（CSP）。本节着重讨论该系统的化学添加剂子系统。

(1) 概述

安全壳喷淋系统（CSP）的一个重要功能是去除裂变产物。LOCA 事故后裂变产物弥散到安全壳大气中，需要通过喷淋液的水滴来吸附裂变产物，特别是放射性碘。喷淋液通过布置在安全壳穹顶下的大量喷头喷淋到安全壳内。使得喷淋液滴和安全壳大气之间有很大的接触表面积，从而使喷淋液具有足够的吸附裂变产物的能力。为了增强喷淋液对碘的吸收能力，在喷淋液中加入了氢氧化钠。

化学添加剂系统按安全 3 级和抗震 1 类设计。非能动设备，如化学添加箱，为两列共用；系统主要由两个容量为 100%的相同的且独立的管线组成。系统的设备有防灾害的保护措施。

(2) 系统设计

(a) 化学添加剂子系统

该子系统的设置是为了控制 pH 值，使 pH 值维持在 9.4 以内，一方面可以防止金属构件的腐蚀，另一方面控制由于金属与水反应及金属腐蚀产生的氢和氧的释放。为此，该系统提供了重量浓度为 30%的氢氧化钠溶液。溶液贮存箱的设计能保证防止添加剂出现沉积、化学反应和分解。

化学添加剂子系统利用泵和喷淋总管输送化学添加剂并将其喷淋到安全壳大气中。化学添加箱的氢氧化钠溶液被混入来自内置换料水箱（IRWST）的水中，并且由 CSP 泵送到 CSP 喷淋环管和喷头。

子系统包括：

—— 一台装有氢氧化钠溶液的贮存箱（化学添加箱 CSP 001 BA）；

—— 一台氢氧化钠搅拌泵，及化学添加剂子系统仪表和控制装置；

—— 两台喷射器（每个系列一台喷射器）用于吸入氢氧化钠并将其注射到喷淋水中，来自喷淋泵的加压水注入喷射器并使其工作。

(b) 设计参数

为了有效的和快速地排除碘，选定的全部设计参数为：

—— 喷淋水量很大：从 993m³/h 到 1986m³/h（一台或两台安全壳喷淋泵在运行）。

—— 液滴的尺寸非常小，平均直径：270×10⁻⁶m。

—— 降落高度约为 42m。

(c) 运行方式和给水源

a. 运行方式

安全壳喷淋系统的运行方式及条件参见 4.5.1.2 节。

化学添加剂子系统在安全壳喷淋系统（CSP）启动后 5 分钟自动启动并由化学试剂添加箱的低液位信号自动停止。

b. 给水源

喷淋开始时水来自内置换料水箱，其中添加了化学添加剂；

长期阶段喷淋水来自下列混合物：

—— 内置换料水箱的水；

—— 注入到喷淋水中的化学添加剂；

—— 溢入安全壳内的混有裂变产物以及放射性腐蚀产物的反应堆冷却剂；

—— 来自安注箱的水；

(d) 材料

与氢氧化钠溶液相接触的系统的所有部分都是奥氏体不锈钢制造的。

4.5.2.3 裂变产物控制系统

为了保持安全壳高度密封，在设计中采取了许多措施。安全壳墙体、衬焊接钢板、机械和电气贯穿件、隔离阀、人孔盖和气闸等都具有密封功能，可在事故时限制放射性物质向环境释放。

在失水事故和蒸汽管道双端断裂事故工况下，安全壳喷淋系统通过向安全壳内注入大量喷淋水，降低安全壳内、外压差，使安全壳大气中的裂变产物向厂外泄漏量减少，从而限制了厂外的放射性水平。

4.6 放射性废物系统和源项

4.6.1 放射性源项

核电厂放射性物质最根本的来源是反应堆燃料芯块内的链式裂变反应，裂变产生的放射性核素基本上都包容在燃料元件芯块与包壳之内，只有极少量的裂变产物会由于燃料元件破损而泄漏到反应堆冷却剂中，或者由极少量的燃料元件加工制造过程中的表面铀沾污而直接进入主冷却剂。同时裂变产生的中子使反应堆冷却剂自身以及腐蚀产物、控制棒、硼酸和其它材料受到激活而产生中子活化及活化腐蚀产物。这些裂变产物和活化及活化腐蚀产物是主冷却剂系统及相关系统的主要放射性来源。

4.6.2 放射性废液处理系统及源项

放射性废液系统用于控制、收集、处理、输送、贮存、监测和排放核电厂正常运行期间（包括发生预期运行事件时）产生的放射性废液。废液管理系统由下列系统组成：

- 硼回收系统（ZBR）；
- 废液处理系统（ZLT）；
- 核岛液态流出物排放系统（ZLD）；
- 放射性废水回收系统（WSR）；
- 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（RCV）；
- 反应堆换料水池及乏燃料水池冷却和处理系统（RFT）；
- 蒸汽发生器排污系统（TTB）；
- 常规岛废液收集系统（WLC）；
- 常规岛液态流出物排放系统（WQB）。

4.6.2.1 硼回收系统（ZBR）

硼回收系统（ZBR）对来自化学和容积控制系统（RCV）和核岛疏水排气系统（RVD）的含氢反应堆冷却剂，先利用过滤、除盐和除气装置进行净化处理。然后，利用蒸发装置进行硼水分离处理，制取补给水和 4%（重量百分比）的硼酸溶液返回反应堆硼和水补给系统（RBM），复用于反应堆。

在燃耗末期，本系统还可对来自 RCV 系统的含硼浓度低的反应堆冷却剂下泄流用离子交换工艺进行除硼处理。

（1）设计基准

ZBR 系统为单机组布置，位于核辅助厂房。系统由净化、水与硼分离和除硼三部分组成。

本系统设计成能处理反应堆在基本负荷运行、负荷跟踪运行（12-3-6-3，50%满功率）、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 RCV 系统的最大下泄流（31.4m³/h）。中间贮槽的容积可以满足本系统前、后两部分独立运行，从而不影响反应堆的运行状态。中间贮槽共三个，每个贮槽的有效容积为 350m³。

中间贮槽的容积能够容纳机组在燃料循环末期的两次冷停堆期间所产生的废液，即指：

- 冷停堆 6 小时；
- 温度升至反应堆零功率时的温度并保持反应堆零功率 1 小时；
- 返回冷停堆并保持此工况 6 小时；
- 升到满功率。

本系统蒸发部分将除气后的反应堆冷却剂分离为冷凝液和浓缩液，处理能力为 3.5m³/h。冷凝液含硼量低于 5ppm，经冷却后通常可作为反应堆补给水复用。当一回路氙的浓度高于控制值时，ZBR 冷凝液被送往 ZLD 系统监测、排放；浓缩液含硼量为 7000ppm，质量合格时可作为 4%硼酸溶液复用。

（2）系统描述

ZBR 系统由三部分组成：

- 净化部分：包括前贮槽、过滤器、除盐器和除气装置。
- 水和硼酸分离部分：包括中间贮槽、蒸发装置、冷凝液监测槽和浓缩液监测槽。
- 除硼部分：包括阴床除盐器、混床除盐器。

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贮存衰变。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）。

用蒸发器供料泵（005PO，006PO）将除气后的反应堆冷却剂从中间贮槽送至外加热式自然循环蒸发器（001EV、002EV）的循环管线内，通过蒸发分离操作，得到浓度约 4% 的硼酸溶液和冷凝液，经过冷却后分别收集在浓缩液监测槽（007BA，016BA）和冷凝液监测槽（005BA，006BA）内。经取样分析监测合格后，用浓缩液泵（014PO）和冷凝液泵（012PO，013PO）送到反应堆硼和水补给系统（RBM）的 4% 硼酸贮存槽和反应堆补给水箱内待复用。

如果冷凝液中硼含量偏高（ $> 5\text{ppm}$ ）时，则可以在未被污染的混床除盐器（006DE）进行除硼处理。

ZBR 系统的设备全部安装在核辅助厂房内。

（3）系统运行

1) 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。蒸发和除硼操作是由操作人员按需要间歇进行的。

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 RBM 系统的除盐水从前贮槽开始，逐渐往后充填过滤器、除盐器，直至检查液体中氧的含量低于 0.1ppm （ $100\mu\text{g/L}$ ）时才算合格。

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，通常在 0.12 至 0.32MPa （绝压）之间变化。前贮槽除了有压力与液位检测报警外，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。

前贮槽的正常液位控制在 $10\sim 32\text{m}^3$ 之间，以确保前贮槽在净化部分不能使用时，仍能贮存反应堆以最大排放速率（ $31.4\text{m}^3/\text{h}$ ）送来的冷却剂至少半小时的量。

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。蒸发操作前，要先用输送和混合泵 007PO 将中间贮槽中的料液连续搅动混合。然后，取样分析。

蒸发器手动启动，操作稳定后，改为自动运行。

蒸发产生的二次蒸汽经二次蒸汽冷凝器 003CS（004CS）冷凝后，再经冷凝液冷却器 003RF（004RF）冷却至 50°C ，进入冷凝液监测槽 005BA（006BA）。

在冷凝液监测槽中的冷凝液通过取样分析后有以下几种出路：

— 如果冷凝液的水质满足反应堆补给水要求，则由冷凝液泵 012PO（013PO）将其直接送到反应堆硼和水补给系统(RBM)作补给水使用；

— 如果冷凝液中硼含量略高，则将其送到未被污染的混床除盐器 006DE 进一步除硼后送 RBM 系统作补给水使用；

— 如果冷凝液不合格，需再处理时，则用冷凝液泵 013PO（012PO）打回中间贮槽，重新经蒸发处理；

— 为了维持反应堆冷却剂中合适的氚浓度，将含氚量高的冷凝液送到废液排放系统（ZLD）排放。

蒸发器中的浓缩液自动排出，经浓缩液冷却器 005RF（006RF）冷却后进入浓缩液监测槽 007BA（016BA）。

在浓缩液监测槽中的浓缩液经取样分析后有以下几种出路：

— 如果浓缩液合格，则用浓缩液泵 014PO 送到 RBM 系统作为补给硼酸用；

— 如果浓缩液不合格（硼含量远小于 7000ppm，但其他指标合格），则经浓缩液泵（014PO）返回到中间贮槽中去，重新用蒸发器处理；

— 如果浓缩液不合格，送到废液处理系统（ZLT）工艺排水缓冲槽待处理。

2) 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。

当 RHR 系统运行时，将 RCV 系统容控箱 RCV002BA 的进料液转送到本系统的前贮槽，经本系统的净化部分处理后，再送回到容控箱 RCV002BA。

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。

— 用蒸发器对除盐水分系统（WND）的除盐水除氧。

当 RBM 系统的水箱需补水时，可以用蒸发器对除盐水进行除氧，使其达到补给水要求。这是 ZBR 系统的一个特殊任务。此时，要求在蒸发器运行前，除盐水送入本系统的中间贮槽，蒸发后的二次蒸汽冷凝液送到 RBM 系统的补给水箱内。

— 对氧含量高的 RBM 系统补给水除氧。

这项操作也是本系统的一个特殊任务。其要求与上述相同，须在蒸发器运行前，将需除氧的补给水经由输送和混合泵 007PO 送入中间贮槽。然后，向选定的蒸发器供料。除氧后的冷凝液用冷凝液泵 013PO（或 012PO）送回 RBM 系统的补给水箱。

4.6.2.2 废液处理系统（ZLT）

废液处理系统收集、贮存和监测核电厂正常运行工况产生的含有放射性的废液，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，通过核岛液态流出物排放系统（ZLD）向环境排放。

（1）设计基准

废液处理系统的设计基准是确保核电厂放射性液态流出物的年排放量低于国家规定的限值，使公众和运行人员所受的辐射照射满足“可合理达到尽量低”的 ALARA 原则。

废液处理系统是按容纳和处理核电厂正常运行产生的最大预期废液量和最大预期放射性活度、并留有适当的裕量而进行设计的。

（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。按照废液的特性分别采用下述方法进行处理。

— 地面排水、服务排水放射性浓度低，悬浮固体含量高，用过滤方法处理，处理能力为 27.2m³/h。地面排水量约为 5000m³/a，服务排水量约为 1250m³/a。

— 工艺排水放射性浓度高，化学物质含量低，一般采用除盐工艺处理，处理能力为 8m³/h，去污因子为 10000~100000。工艺排水量约为 2250m³/a。

— 化学排水放射性浓度高，化学物质含量也高，用蒸发方法处理，处理能力为 3.5 t/h，去污因子为 1000，处理废液量约为 1500m³/a。

设计中考虑了各类废液与每一种处理系列之间的横向联接，以便根据废液水质情况选择合适的处理方法。

地面排水接收槽的容积为 3×50m³，化学排水接收槽的容积为 3×50m³，工艺排水接收槽的容积为 2×50m³，工艺排水缓冲槽 1×20 m³（单机组分别布置），化学排水缓冲槽 1×20 m³（单机组分别布置），监测槽的容积为 2×50m³。

1) 除盐工艺包括：

— 两个工艺排水接收槽 ZLT001/002BA。工艺排水在贮槽中混和、取样分析。

— 一台工艺排水泵（001PO），用于废液的混和搅拌、取样分析和输送。当废液需要除盐处理时，用其将废液送往除盐净化装置。当废液的放射性浓度低于排放管理限值时，也用其将废液送往过滤器 ZLT002/012FI 过滤后经 ZLD 系统监测、排放。

— 一台预过滤器 ZLT004FI。用于去除悬浮物质，以保证除盐器效率。

— 五台串联的除盐器 ZLT001/002/003/004/005DE。

— 一台树脂滞留过滤器 ZLT005FI。

经过处理后的废液进入监测槽 ZLT009/010BA。

2) 蒸发工艺包括：

— 三个化学排水接收槽 ZLT006/007/008BA，用于废液的收集、贮存、混和、取样分析和预处理。

— 一台化学排水泵 ZLT003PO，用于 ZLT006/007/008BA 槽内废液的混合搅拌、取样分析和输送。

— 化学中和站由酸、碱试剂槽和两台计量泵组成，用于调节接收槽中废液的 pH 值。

— 蒸发处理设备包括：蒸发器供料泵 ZLT005PO、蒸发器预过滤器 ZLT001FI、预热器 ZLT001EX，加热器 ZLT001RE、蒸发器 ZLT001EV、旋风式分离器 ZLT001ZE、泡罩塔 ZLT002ZE、蒸馏液冷凝器 ZLT001CS、蒸馏液冷却器 ZLT001RF、冷凝水冷却器 ZLT002RF 和冷凝水平衡槽 ZLT014BA。

蒸发浓缩液由浓缩液槽 ZLT020BA 收集。然后，用泵送至 ZST 系统浓缩液槽。

蒸馏液由两个监测槽（ZLT009/010BA）接收。

蒸发净化单元包括化学试剂注入装置，可调节蒸发器内废液 pH 值；当蒸发器处理易起泡的废液时，也可由本装置注入消泡剂。

蒸发净化单元和除盐净化单元设有集中和就地取样点，通过取样分析来监测废液的特性及处理效果。

对监测槽 ZLT009/010BA 中的废液进行取样分析。如果其放射性浓度和化学特性符合排放要求，则排往核岛液态流出物排放系统（ZLD）监测排放。否则，送至蒸发器重新处理。

3) 过滤工艺包括：

— 三台地面排水接收槽 ZLT003/004/005BA，用于地面排水和服务排水的收集、贮存、混和、取样分析及化学中和。

— 地面排水泵 ZLT002PO，用于废液的混和搅拌、取样分析和输送。

— 两台并联使用的过滤器 ZLT002/012FI。可以在不停止处理废液的情况下更换过滤器芯。

— 当地面排水接收槽内废液的放射性浓度高于排放管理限值时，可采用蒸发工艺处理，或由除盐单元处理。

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：

— ZLT 系统有手动控制和自动控制两种控制方式，操作人员可在 IAW 工作站监测系

统的运行。

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

— 根据取样分析结果，废液经过滤装置送往 ZLD 系统监测、排放；或由蒸发净化单元或除盐净化单元处理后送往 ZLD 系统监测、排放。

— 蒸发净化单元由手动启动，运行稳定后，即进入自动控制状态。

除盐器是手动启动的，运行稳定后，即进入自动控制状态。

4.6.2.3 核岛液态流出物排放系统（ZLD）

（1）设计基准

1) 核岛液态流出物排放系统逐槽收集下列来源的液态流出物，经混匀、取样分析、监测后有控制地排放。

①放射性液态流出物

— 硼回收系统（ZBR）：蒸发器产生的冷凝液。

— 废液处理系统（ZLT）：包括蒸馏液、经除盐器处理的液态流出物，经过滤器处理的液态流出物。

— 放射性废水回收系统（WSR）。

— 核岛疏水排气系统（RVD）排水。

— 核岛液态流出物排放系统（ZLD）地坑疏排水。

— 固体废物处理系统（ZST）的疏水。

②常规废水

— 蒸汽发生器排污系统（TTB）蒸汽发生器排污液。

2) 当因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）监测到液态流出物放射性浓度超过规定排放限值时，可暂存液态流出物。

3) 将超过排放限值的放射性液态流出物送往废液处理系统（ZLT）处理。

（2）系统描述

ZLD 系统设置三个 500m³ 的废液排放槽 ZLD001/002/003BA，排放槽置于滞留池内，滞留池的容量大于三个排放槽同时破裂溢出的全部流出物量。三个排放槽中一个用于接收液态流出物，一个用于液态流出物的混匀、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 ZLD001/002 /003PO，用于在取样、分析之前搅拌槽内液态流出物并排放或将液态流出物送往废液处理系统（ZLT）重新处理。

地坑泵 ZLD004/005PO 安装在地坑 ZLD001PS 内，地坑泵 ZLD007PO 安装在地坑 ZLD003PS 内。地坑泵将地坑内液态流出物送至排放槽。

三个排放槽有一根共用的排放管线及一根通往 ZLT 系统的管线。在排放管线上安装有一台辐射监测仪（IRM901MA）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。

贮槽的材料为碳钢内外涂涂料，其余设备及系统管道和阀门的材料均为不锈钢。

（3）系统运行

正常运行时，三个 ZLD 排放槽中的一个接收液态流出物，一个混合、取样分析和监测排放液态流出物，另一个备用。各系统来的液态流出物在排放槽内经充分混合使其成分均匀，取样分析后根据液态流出物放射性水平及环境稀释能力来确定液态流出物的排放流量。

排放管上的 IRM 监测系统对排放槽内液态流出物有辅助监测作用。

当排放槽液态流出物放射性浓度超过排放限值时，液态流出物被送回 ZLT 系统化学排水接收槽重新进行处理。

ZLD 系统和 WQB 系统相连，互为备用。当 ZLD 系统的排放槽不能接收废水时，WQB 的备用排放槽将用于接收核岛的液态流出物。

4.6.2.4 放射性废水回收系统（WSR）

（1）设计基准

本系统有选择地收集下列场所产生的放射性废液或可能带放射性的废液：

- 核岛厂房内卫生出入口产生的放射性废液，
- 核岛辅助设施（BOP）的放射性机修及去污车间（AC 厂房）产生的机械去污废液和化学去污废液，
- 核岛辅助设施（BOP）的洗衣房（LC 子项）产生的洗衣带放废水，
- 核岛辅助设施（BOP）的厂区实验楼（AL 厂房）产生的废液，
- 核岛辅助设施（BOP）的先进废物处理中心（QD 厂房）产生的废液。

收集的废液经贮存和取样分析后，废液被送往 ZLT 系统、ZLD 系统。

（2）系统描述

WSR 系统收集下列系统及场所的废液：

UR 厂房热淋浴间和热更衣间的地面排水靠重力收集于废水贮槽 3/4WSR001/002BA 中。3/4WSR001/002BA 内的废液经混匀和取样分析后，如果需要处理，将其经核岛疏水

排气系统（RVD）送到废液处理系统（ZLT）进行蒸发或过滤处理，如果放射性水平低于排放限值，则直接由泵 3/4WSR001/002PO 送往 ZLD 系统排放。

废水贮槽 3/4WSR001/002BA 房间内的地坑 3/4WSR003PS 收集的废液由地坑泵 3/4WSR008PO 送往 3/4WSR001/002BA。

WSR 系统 BOP 部分收集下列系统及场所的废液：

1) 放射性机修车间及去污车间排放废液

放射性机修及去污车间排放的化学去污废液靠重力流入化学去污水疏水箱 8WSR202BA，经过混匀和取样分析后，由化学去污水排水泵 8WSR202PO 送往 ZLT 系统的化学排水接收槽处理。

放射性机修及去污车间排放的机械去污废液靠重力流入机械去污水疏水箱 8WSR201BA，经过混匀和取样分析后，由机械去污水排水泵 8WSR201PO 送往 ZLT 系统地面排水接收槽处理或送往 ZLD 系统排放。

2) 洗衣房排放废液

洗衣房的洗衣带放废水通过重力流入洗衣废水槽（8WSR901/902BA）后经取样分析，放射性水平高于 900Bq/L，则用洗衣废水排水离心泵（8WSR901/902PO）送到 ZLT 处理；如果放射性水平低于排放限值，直接送到核岛废液排放系统（ZLD）排放。

3) 厂区实验楼排放废液

厂区实验楼（AL）一层热实验室区和流出物实验室经化验盆及地漏产生的低放废水，靠重力流入废水贮槽 8WSR203BA，当达到高液位时，由废液输送泵 8WSR203PO 送往 ZLT 系统处理；当地下一层的低放废液输送间的管道或设备发生泄漏时，低放废水可直接流入地下一层的地坑内，当地坑内液位达到高液位时，由地坑泵 8WSR302PO 经废液管沟将废水送往 ZLT 系统处理，地下一层集水坑设置有不锈钢敷面。

d) 先进废物处理中心排放废液

WSR 系统在先进废物处理中心（0QD）部分为全厂共用，收集下列系统及场所的废液：

先进废物处理中心（0QD）内产生的工艺排水，收集在工艺排水坑（0WSR702PS）内，地坑内设置有工艺排水地坑泵（0WSR702PO），用于将工艺排水坑内收集的工艺排水向核废物厂房（8QF）内的废液处理系统（ZLT）处理。

先进废物处理中心（0QD）内产生的地面排水，收集在地面排水坑（0WSR701PS）内，地坑内设置有地面排水地坑泵（0WSR701PO），用于将地面排水坑内收集的地面排水输

送至监测槽（0WSR701/702BA）贮存。

在酸碱试剂间和碱液配置间各设有地坑（0WSR705PS 和 0WSR704PS）收集排水，地坑内分别设置有排水地坑泵（0WSR706PO 和 0WSR705PO），用于将地坑内收集的地面排水输送至地面疏水坑（0WSR701PS）。

（3）系统运行

— 核岛部分

当废水贮槽 3/4WSR001/002BA 的液位达到高液位时，泵 3/4WSR001/002PO 自动启动。当槽中液位达到低液位时，泵 3/4WSR001/002PO 自动停运。每个贮槽均可就地取样，以测量废液的放射性浓度。

— BOP 部分

1) 放射性机修及去污车间排放的化学去污废液

化学去污水疏水箱 8WSR202BA 高液位报警信号通知操作人员水箱已充满。操作人员进行必要的处理后，根据取样分析结果，将废液送到 ZLT 系统的化学排水槽。出现低液位信号时，自动停泵。可以注入化学试剂调节废液的 pH 值，以防止沉淀物在回路中沉积。

2) 放射性机修及去污车间排放的机械去污废液

机械去污水疏水箱 8WSR201BA 高液位报警信号通知操作人员水箱已充满。操作人员可进行必要的处理，根据取样分析结果，将废液送往 ZLT 系统的地面排水槽或 ZLD 系统的贮槽。出现低液位信号时，自动停泵。

3) 洗衣房洗衣带放废水排水

洗衣废水槽（8WSR901/902BA）高液位报警信号连锁启动洗衣废水排水离心泵（8WSR901/902PO），操作人员根据取样分析结果（废液放射性水平大小值），将洗衣带放废液选择性的送到废液处理系统（ZLT）处理或者核岛液态流出物排放系统（ZLD）处理。出现低液位信号时，自动停泵。

4) 厂区实验楼排放废液

厂区实验楼（AL）一层热实验室区和流出物实验室经化验盆及地漏产生的低放废水，靠重力流入废水贮槽 8WSR203BA，当达到高液位时，废水贮槽 8WSR203BA 高液位报警信号连锁启动低放废水排水离心泵 8WSR203PO，将低放废液送往废液处理系统（ZLT）处理，出现低液位信号时，自动停泵。

当地下一层的低放废液输送间的管道或设备发生泄漏时，低放废水可直接流入地下一层的地坑内，当地坑内高液位报警信号连锁启动地坑泵 8WSR302PO，将废水送往废液处

理系统（ZLT）处理，出现低液位信号时，自动停泵。

5) 先进废物处理中心的工艺排水

先进废物处理中心（0QD）运行产生的工艺排水，收集在工艺排水坑（0WSR702PS）内，地坑内设置有工艺排水地坑泵（0WSR702PO），用于将工艺排水坑内收集的工艺排水排向 3、4 号机组核废物厂房（8QF）内的废液处理系统（ZLT）进行蒸发或除盐工艺处理。

6) 先进废物处理中心的地面排水

监测槽（0WSR701/702BA）主要收集来自先进废物处理中心运行产生的废水。每个贮槽达到高液位时泵自动进行排水，达到低液位后泵自动停止排水。

地坑 0WSR701PS/702PS/704PS/705PS 靠重力接收废水。当地坑达到高液位时，通过地坑泵自动进行排水，当地坑达到低液位时泵自动停运。

4.6.2.5 核岛疏水排气系统（RVD）

核岛疏水排气系统（RVD）除核废物厂房（QF）为两台机组共用，其余部分均为单堆布置。

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硼回收系统（ZBR）、废液处理系统（ZLT）和废气处理系统（ZGT）。在反应堆发生事故以后，将高放废液再注入反应堆厂房。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 系统分为六个独立的子系统：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、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：

- 从与安全有关设备间来的废水，要防止由于疏水管线回流而造成与安全有关设备

的淹没；

- 贯穿安全壳的疏水管线设置隔离阀；
- 非放射性疏水管道的设计和布置应保证不会掺入放射性污染的物质；
- 地坑泵有足够的容量，以防止在正常预期疏水期间地坑溢流；
- 采取预防措施在反应堆发生事故后使高放废液再注入反应堆厂房。

（2）系统描述

1) 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。

2) 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：

- 送至核辅助厂房工艺疏水坑（RVD002PS），再用泵输送到 ZLT 系统；
- 由 ZLT 系统直接收集；
- 在事故工况时，一旦接收到高放射性信号，即将收集在核辅助厂房工艺疏水坑（RVD002PS）和燃料厂房工艺疏水坑（RVD008PS、009PS、012PS、013PS、508PS、509PS、512PS、513PS）的高放废液再注入反应堆厂房。

3) 地面疏水子系统

该系统收集反应堆厂房、安全厂房、燃料厂房、核辅助厂房、电气厂房的地面疏水。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：

- 由集水箱、排水沟和疏排管道收集；
 - 用管道直接送至核辅助厂房地面疏水坑（RVD001PS）；
 - 废水排至各自厂房的地面疏水坑中，用泵输送到 ZLT 系统；
- 核岛放化实验室来的放射性废水，同样也送到地面疏水坑，再用泵输送到 ZLT 系统；
- 在事故工况时，一旦接收到高放射性信号，即将收集在核辅助厂房地面疏水坑（RVD001PS）和安全厂房地面疏水坑（RVD014PS、514PS）的高放射废液再注入反应堆厂房。

4) 化学疏水子系统

该系统收集核岛放化实验室、热机修车间的废水和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。

除反应堆厂房的地面疏水被直接送到 ZLT 化学排水接收槽（ZLT006BA、007BA、008BA），通常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。

5) 含氢废气子系统

该系统收集反应堆冷却剂系统、ZBR 系统除气塔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。

6) 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。

（3）系统运行

1) 反应堆冷却剂疏水子系统

该系统设计成间歇运行方式。它可在正常运行期间和预期瞬态期间保持连续运行。

反应堆厂房产生的反应堆冷却剂疏水被收集到反应堆冷却剂疏水箱（RVD001BA），并由两台并联安装的泵（RVD001PO 或 RVD002PO）输送。

2) 工艺疏水子系统

该系统设计成间歇运行方式。它可在正常运行期间和预期瞬态期间保持连续运行。

位置高于工艺疏水管安全壳贯穿件的系统和设备，工艺疏水靠重力收集到核辅助厂房的 ZLT 工艺排水缓冲槽。

在反应堆厂房标高在 -6.70m 以上的系统和设备，工艺疏水收集到工艺疏水箱（RVD003BA），再用泵（RVD014PO）将废液送到核辅助厂房工艺疏水坑（RVD002PS）。工艺疏水箱（RVD003BA）有溢流管，可使超过溢流管的废水排到安全壳疏水坑（RVD031PS）。

其它厂房的系统和设备疏水输送方式：

— 送到核辅助厂房工艺疏水坑（RVD002PS），再用泵（RVD023PO、RVD024PO）输送到 ZLT 系统。

— 靠重力直接送到 ZLT 系统。

3) 化学疏水子系统

本系统靠重力收集疏水，这些废水被送到化学疏水坑（RVD003PS），再用泵输送到 ZLT 化学排水接收槽。

4) 地面疏水子系统

该系统设计成间歇运行方式。它能在机组正常运行期间和各种预期瞬态期间保持连续运行。

反应堆厂房标高-3.40m 以上的地面疏水由重力收集到安全壳疏水坑（RVD011PS），疏水坑装有多个水位探测器，根据预先设定的高高和低低液位整定值来分别控制泵的启动和关闭（逻辑）。这些疏水由泵将其送至核辅助厂房的地面疏水坑（RVD001PS）。

机组的计算机同时记录从一个液位到另一个液位的切换、泵的启动次数和每次启动的运行时间，以便探测安全壳内的泄漏。在安全壳疏水坑的总管上装有容积式流量计，该流量计位于安全壳外，周期性地显示从安全壳内排出的水量。

反应堆厂房标高-6.70m 以上的地面疏水由重力收集到安全壳疏水坑（RVD031PS），这些疏水由泵将其送至核辅助厂房的地面疏水坑（RVD001PS）。

位于反应堆堆腔和安全壳疏水坑（RVD011PS）之间的阀门（RVD608VE），正常情况下是关闭的，以便检测在反应堆冷却剂系统正常压力运行期间是否有泄漏进到堆腔里。

燃料厂房和安全厂房中的地面疏水通过重力收集到各自厂房的疏水坑，再用泵送至 ZLT 系统地面排水接收槽（ZLT003、004、005BA）。

核辅助厂房地面疏水坑（RVD001PS）接收核辅助厂房的设备泄漏、疏水，及其它厂房地面疏水和房间地面疏水（一般情况下放射性水平低于排放标准），再用泵将疏水坑中废液输送到 ZLT 地面排水接收槽。

5) 含氢废气子系统

维持本系统压力略高于大气压，以防止空气渗入。

6) 含氧废气子系统

位于反应堆厂房的本系统，通过安全壳换气通风系统（CSV）的排风机使系统在运行时保持负压。

机组在停堆期间本系统主要用来收集反应堆冷却剂系统中的饱和湿气，这些气体经过疏水含氧废气罐（RVD002BA）被分离后，气体排入安全壳换气通风系统（CSV），废水排入 RVD 工艺疏水子系统。

核辅助厂房的含氧废气排至废气处理系统（ZGT），由 ZGT 的排风机保持负压。

4.6.2.6 化学和容积控制系统（RCV）

（1）设计基准

化学和容积控制系统（RCV）为反应堆冷却剂系统（RCS）提供以下服务：

- 反应堆冷却剂容积控制；
- 反应堆冷却剂化学控制：
 - 与硼和水补给系统（RBM）共同完成硼浓度的调节，从而控制反应性；
 - 控制气体的浓度；
 - 净化和过滤；
 - 含氧量和 pH 值的控制（与 RBM 系统一起）。
- 反应堆冷却剂泵密封水注入。

RCV 系统还提供以下服务：

- 为稳压器提供辅助喷淋；
- 稳压器满水时控制 RCS 压力；
- 为余热排出系统（RHR）的投运作准备；
- 为 RCS 系统充水、排水和进行水压试验。

（2）系统描述

RCV 系统由两个子系统组成：上充、下泄、密封水子系统和反应堆冷却剂净化和化学控制子系统。

1) 上充、下泄、密封水子系统

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反应堆冷却剂回路的冷段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，下泄流流到下泄孔板进行降压，再流到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。低压下泄流量调节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。

在经过过滤器过滤后，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在堆芯处由于水的辐射分解所产生的氧的浓度。

两台离心式上充泵中的两台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。另一路通过轴封水流量调节阀进入轴封水。它在泵轴承和密封之间进入泵体。并在此分为两股，一股冷却剂流（称作泄漏流）润滑泵轴，然后通过高压密封引漏离开泵体。反应堆冷却剂泵高压密封泄漏返回的冷却剂流通过密封水热交换器到上充泵吸入端。泄漏流的一小部分通过反应堆冷却剂密封低压密封引漏离开泵体并引入 RVD 疏排水系统。另一股冷却剂流入冷却泵的下部轴承，进入 RCS 系统。

2) 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。

(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，则通过用氮气置换容积控制箱中的氢气使反应堆冷却剂的氢含量降到 5mL/kg 以下，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。

4.6.2.7 反应堆换料水池及乏燃料水池冷却和处理系统（RFT）

(1) 设计基准

反应堆换料水池及乏燃料水池冷却和处理系统按下列准则进行设计。

反应堆换料水池及乏燃料水池冷却和处理系统的冷却回路要满足单一故障准则的要求。冷却水泵和热交换器的冗余度为 2×100%。冷却水泵由柴油发电机供给应急电源。反应堆换料水池及乏燃料水池冷却和处理系统冷却回路的安全等级为 3 级。

1) 乏燃料水池冷却回路

冷却回路取决于乏燃料水池中乏燃料组件的剩余功率，乏燃料水池剩余功率将根据换料工况和乏燃料组件贮存情况确定。

换料操作采用“全卸全装”的方式，即每次卸料时将堆芯的燃料组件全部卸入乏燃料水池。

在正常工况下，反应堆换料水池及乏燃料水池冷却和处理系统用一个冷却系列（一台泵和一台热交换器）冷却乏燃料水池水；在正常换料工况下，用两个冷却系列（两台泵和两台热交换器）冷却乏燃料水池水，并确保水池的水温不超过 50℃（按设备冷却水系统水温为 35℃考虑）。

热交换器的换热面积将根据正常运行工况确定。

2) 乏燃料水池过滤和除盐回路

最高温度：60℃；

处理能力：60m³/h；

过滤孔径：除盐装置前置过滤器过滤粒度为 5μm，除盐装置后过滤器过滤粒度为 25μm。

3) 反应堆换料水池过滤回路

处理能力为 100m³/h，过滤器的过滤粒度为 5μm。

（2）系统描述

1) 服务于乏燃料水池的设施

乏燃料水池分为 4 个部分：燃料转运舱、乏燃料水池、乏燃料容器装载井、乏燃料容器冲洗井。

— 冷却回路：水泵 001PO、002PO 抽送乏燃料水池的水流过热交换器 001RF、002RF，然后返回到乏燃料水池。

— 过滤和除盐回路

— 表面撇沫和过滤回路

— 充水回路

2) 服务于反应堆换料水池的设施

反应堆换料水池分成两个隔离室：反应堆换料水池和堆内构件存放区。

— 过滤回路

— 反应堆换料水池充水和排水

当反应堆换料水池需急速充水时，使用低压安注泵；缓慢充水则可用该系统的 002PO 水泵。

反应堆换料水池排水采用重力排水，直接排入内置换料水箱的方式，排水过程可根据池壁喷淋清洗的要求随时终止，并在池壁喷淋清洗之后恢复。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。

（3）系统运行

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。

系统正常运行：

— 乏燃料水池冷却、过滤和除盐回路

从乏燃料组件贮存在乏燃料水池起，冷却回路开始连续运行，水池的水温不高于 50℃。用一个冷却系列（一台泵和一台热交换器）冷却乏燃料水池。

冷却回路的流量为 450m³/h，由流量计监测。

水泵的工作流量为 510m³/h，其中 60m³/h 提供给过滤和除盐回路。

过滤和除盐回路连续运行，其处理流量 60m³/h 由流量计监测，手动调节阀根据过滤器和除盐装置的压降调节流量。

回路最高工作温度根据树脂要求定为 60℃。当温度高于 60℃时，温度控制器发出报警信号，要求隔离过滤和除盐回路。

根据乏燃料水池的水质情况，可以投运表面撇沫和过滤回路，其流量为 5m³/h。

— 反应堆换料水池和附属回路

在整个反应堆压力容器开盖和换料水池充水过程中，应通过余热排出系统、化学和容积控制系统和硼回收系统对反应堆冷却剂进行去污处理，但要防止降低换料水池操作时的硼浓度。裂变气体和溶解的氢则通过化学和容积系统的容积控制箱和硼回收系统的除气塔去除。

当反应堆压力容器封头打开，反应堆换料水池充水后，过滤回路投入连续运行，过滤水量为 100m³/h，由流量计监测。

余热排出系统保持反应堆换料水池的冷却剂最高温度为 60℃。

根据反应堆换料水池的水质情况，可以投运表面撇沫和过滤回路，其流量为 6m³/h。

4.6.2.8 蒸汽发生器排污系统（TTB）

（1）设计基准

1) 在正常运行时，TTB 系统水处理设计流量最高能达到 76.5t/h，三台蒸汽发生器的排污量是相同的，每台蒸汽发生器的最大排污量约为额定蒸汽流量的 1.2%（即 25.5t/h）。

2) 经排污系统处理后的排污水质指标应与二回路系统补给水的指标一致。

（2）系统描述

蒸汽发生器排污系统分为排污水收集、冷却、减压、处理、回收或排放五部分，主要由热交换器、减压和流量控制阀、过滤器、离子交换器以及相应的管道和阀门等组成。

每台蒸汽发生器的排污水是靠两个径向对称的支管段在管板上收集的，并在其中的一根支管上设置一根取样接管，供取样分析用。两根支管在安全壳内合并后穿过安全壳。在安全壳外的排污管上设置了一根供蒸汽发生器保养用的氮气接管，并在每一根排污管上安装了一个无泄漏的隔离阀和一个手动流量控制阀，操作人员可以根据二次侧水质的好坏通过此阀控制排污量的大小。在功率运行时，排污量在 10~76.5 t/h 之间变化。

三根排污管在安全壳外合并为一根排污母管，根据运行工况，可将排污水输向再生热交换器，或非再生热交换器。一般来说，在电厂正常运行时，为了回收其热量，排污水应由再生热交换器来冷却；而在热备用、热试验及与再生热交换器连接的设备或部件失效时，排污水才由非再生热交换器进行冷却。再生热交换器的冷却水为凝结水抽取系统来的凝结水，而非再生热交换器的冷却水则为设备冷却水。

排污水由热交换器冷却至与离子交换树脂相适应的温度（即 45~56°C 左右）之后，通过一个减压和流量控制阀，将热交换器下游的压力限制到 1.4MPa（表压）。

冷却和减压后，排污水被引至处理系列，即先通过一台过滤粒度为 5 μm 的过滤器，然后通过一条或两条并联的离子交换管路进行净化处理，每条管路均串联有一台阳离子交换器、一台混床离子交换器和一个手动流量调节阀。处理过的排污水再通过一台过滤粒度为 25 μm 的树脂捕集过滤器，清除掉水中破碎树脂。

处理后的排污水通过凝汽器真空保护装置送到凝汽器。

在反应堆冷却剂系统向二回路泄漏之后的一台或多台蒸汽发生器的疏水情况下，处理后的排污水不能返回到凝汽器，而排往液态流出物排放系统。

在特殊情况下，也允许排污水不经处理直接排放。有以下两种特殊情况：

- 处理设施失效；
- 凝汽器失效且排污水只有轻微放射性。

在处理设施失效的情况下，排污水要进行连续的放射性监测，然后再送到液态流出物

排放系统。

（3）系统运行

1) 正常运行

正常运行工况下，蒸汽发生器二次侧的排污是连续的，排污水经过再生热交换器冷却后，经过减压、除盐处理后进入冷凝器。排污流量控制在 10~76.5t/h 之间。不论系统排污流量有多大，系统两条除盐管线必须同时运行。

2) 特殊稳态运行

①使用非再生热交换器

在再生热交换器不可用或是冷凝器和凝结水泵不可用的情况下，排污水经过非再生热交换器冷却，一般排污流量限制在 37t/h。

②向常规岛液态流出物排放系统的排放

当向凝汽器的排污循环不可用时，排污将引向常规岛液态流出物排放系统的排放槽，进行分析后向环境排放，或者输送到废液处理系统待处理。

③特殊瞬态运行

— 蒸汽发生器的疏水

当热交换器或减压阀失效时，可用临时接管旁通失效设备进行疏水，也可利用重力疏水，还可经过安全壳隔离阀下游的支路进行疏水。

— 蒸汽发生器传热管断裂

当蒸汽发生器传热管断裂时，该蒸汽发生器必须切断给水供应，保持最大排污流量以便完全排空。

4.6.2.9 常规岛液态流出物排放系统（WQB）

（1）设计基准

本系统收集以下来源的液态流出物，经混匀、取样分析、监测后有控制地向环境排放：

— 常规岛废液收集系统（WLC）的液态流出物：冷凝器热阱的疏水、汽轮机厂房汽水回路的疏水和排气冷凝液、疏水回收池中收集的排水、冷凝液集水坑中收集的疏水。

— TTB 系统排放的液态流出物。

— 其它：如 WQB 泵房间（QB201）地坑内的废液。

— 在异常情况下，WQB 系统的贮槽在三个 ZLD 系统的排放槽充满时收集核岛排放的液态流出物。

当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，可暂存液态流出物；

将超过允许排放限值的液态流出物输送至废液处理系统（ZLT）处理。

（2）系统描述

本系统设置三个废液排放槽 WQB001/002/003BA，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 WQB001/002/003PO，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。

地坑泵 WQB004PO 安装在泵房地坑 WQB001PS 内。地坑泵 WQB005PO 安装在滞留池地坑 WQB002PS 内。地坑泵将地坑内的水输送至贮槽。

各排放槽有一根共用的排放管及一根通往 ZLT 的旁路管，在排放管上装有一台辐射监测仪（IRM902MA）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。

（3）系统运行

正常运行时，三个 WQB 贮槽中的一个接收废液，一个混合、取样分析和监测排放废液，另一个备用。废液在贮槽内经充分混合使其成分均匀，取样分析后根据废液放射性浓度及环境稀释能力确定废液的排放流量。

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。

当 WQB 系统的贮槽不能接收废水时，ZLD 的备用贮槽将用于接收常规岛的废液。

4.6.2.10 海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程放射性废液管理

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程产生的放射性废液通过废液管沟输送至本工程核废物厂房废液处理系统进行处理，或输送至本工程核岛液态流出物排放系统进行排放，需要废液处理系统处理的放射性废液及废液量为：

地面排水：1200m³/a；

工艺排水：450 m³/a；

化学排水：400m³/a；

除气后反应堆冷却剂：1350 m³/a；

地面排水通过废液管沟输送到地面排水接收槽 ZLT001/002BA，采用过滤工艺处理；

工艺排水通过废液管沟输送带工艺排水接收槽 ZLT003-005BA，采用除盐工艺处理；化学排水通过废液管沟输送到化学排水接收槽 ZLT006-008BA，采用蒸发工艺处理；除气后反应堆冷却剂通过废液管沟输送到工艺排水接收槽 ZLT001/002BA，采用除盐工艺处理。

4.6.2.11 放射性废液排放源项

放射性废液的排放量取决于：

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；

废液的运输、收集、滞留、处理期间的衰变。

液态放射性流出物排放源项分两种工况（现实和保守）考虑：现实工况假设整个循环中主冷却剂比活度都处于 0.1GBq/t I-131 当量下，其结果称为现实排放源项；保守工况假设整个循环主冷却剂比活度都处于 4.44GBq/t I-131 当量下，其结果称为保守排放源项。

液态放射性流出物的排放途径主要来自于硼回收系统、废液处理系统和二回路相关系统。

1) 硼回收系统

硼回收系统将主冷却剂除盐、蒸发后，蒸馏液进入硼水补给系统后等待复用，当需降低反应堆冷却剂中的氚浓度时，硼回收系统会将蒸馏液排往废液排放系统中，构成硼回收系统的排放。

2) 废液处理系统

废液处理系统中废液的化学性质和放射性因废液来源的不同而存在差异。根据废液的化学性质和放射性的不同，将废液分类为工艺排水、化学排水、地面排水和服务排水，正常处理方式如下：

工艺排水经除盐装置处理；

地面排水经过滤装置排放；

化学排水经蒸发装置处理；

服务排水一般不处理即排放。

3) 二回路相关系统

二回路中的放射性来源于蒸汽发生器内一次侧向二次侧泄漏。运行期间的汽轮机厂房疏水排放、换料或维修冷停堆期间蒸汽发生器内死水的排空，可能导致放射性物质进入环境。

现实工况下一台华龙一号机组除氙、C-14 外其他核素的排放量为 $1.06\text{E}+00\text{GBq/a}$ ，液态氙为 38.6TBq/a ，液态 C-14 为 10GBq/a ；保守工况下一台机组除氙、C-14 外其他核素的排放量为 $7.59\text{E}+00\text{GBq/a}$ ，液态氙为 43.6TBq/a ，液态 C-14 为 26.8GBq/a 。

4.6.3 放射性废气处理系统及源项

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，除辐照危害外还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，并将放射性气体进行贮存衰变，使放射性的气态排放保持在可接受的限值内。

（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 GB6249-2011《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/T22158-2021《核电厂防火设计规范》的要求；

ZGT 系统不执行安全功能，单一故障准则不适用。但废气处理系统的某些能动设备有冗余：

含氢废气子系统的废气压缩机按两台设置。最大排气量时两台同时运行，小排气量时一台运行；

含氧废气子系统设备（加热器，碘吸附器和排气风机）的生产能力为 $2 \times 100\%$ 。

ZGT 系统不执行核安全相关功能，但含氢废气子系统设计成屏障等级 B-SC3 级，因为该子系统的故障可能会导致正常贮存衰变的放射性气体的释放；

ZGT 系统通过调整衰变箱排气速率、安装氢气和氧气分析仪防范系统内潜在的氢氧混合爆炸危险。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。主要设备位于 NH 厂房内。

（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：

① 来自装有反应堆冷却剂的容器，即反应堆冷却剂系统（RCS）的稳压器卸压箱、化学和容积控制系统（RCV）的容积控制箱和核岛疏水排气系统（RVD）的反应堆冷却剂疏水箱。这类气体流量大，但每月只有一、两次。

② 来自硼回收系统（ZBR）的除气单元。这类气体流量小，约 $1.2\text{m}^3(\text{STP})/\text{h}$ ，但排气次数较多。

该类废气进入本系统后采用压缩、贮存衰变的方法降低废气的放射性浓度。贮存期满后进行分析，如符合要求即可将废气排至 NH 厂房的通风系统（VNA），经由 VNA 系统的主排风（空气）后排向烟囱。

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。

这类废气来自与大气相通的容器（并可能含有放射性气体）。

该类废气由核岛疏水排气系统（RVD）收集于含氧废气母管中，进入本系统后经碘吸附器进行除碘处理后排至通风系统（VNA），经由 VNA 系统的主排风（空气）后排向烟囱（不经贮存）。

（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，从而向含氢废气压缩机提供平稳的气流，并分离废气中夹带的冷凝水。

正常运行时，含氢废气压缩机（ZGT001/002CO）可以根据缓冲罐上的压力测量装置的设定值，进行自动操作（启动或停运）：

当缓冲罐压力上升达到 0.025MPa （表压）时，并且如果压缩机进气阀在开启位置，第一台含氢废气压缩机启动。

如果缓冲罐压力继续上升到 0.03MPa（表压）时，第二台含氢废气压缩机自动启动。

在含氢废气压缩机运行时，当缓冲罐内压力回落到 0.007MPa（表压）时，正在运行的压缩机停运。

压缩后的气体经由压缩气体冷却器（ZGT001/002RF）冷却后，送至衰变箱（ZGT002/003/004/005BA）。

衰变箱在进气、衰变贮存、排气时的阀门操作均由远传手动进行。

在向烟囱排放前，衰变箱内的废气要进行取样分析和在线监测，测其放射性浓度等与安全排放有关的参数。只有当两个串联的远传阀门已经被手动打开时，才能控制排放阀进行废气排放。

如果 VNA 系统碘吸附器出现故障，NH 厂房的烟囱放射性超过阈值，或者假如排放阀上游压力下降到 0.02MPa（表压）时，则气动控制排放阀（028VY 和 029VY）自动关闭停止排气。衰变箱内压力低于 0.02MPa（表压）时停止排放是为了防止外部空气进入衰变箱发生爆炸事故。

衰变箱与两套并联的排气管网相连，确保箱内废气在 4.5~97.5 个小时内以预定的流量排放到 NH 厂房 VNA 系统的碘吸附器入口管线上。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。

在衰变箱排放总管上还设有在线辐射监测仪表，当废气放射性活度浓度超过排放阈值时，发出报警信号，并联锁关闭排放阀 028/029VY，废气停止排放。

在基本负荷运行工况下，含氢废气在衰变箱内有 60 天的贮存期；在废气量大而放射性浓度低的负荷跟踪运行工况下，贮存期为 45 天。

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。当信号显示第一台风机停运后，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阀门维持；一旦风机停运，该阀就自动关闭。

含氧废气以及经由调节阀门引入的空气，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 系统的主排风稀释后，排向 NH 厂房的烟囱。

4.6.3.2 核岛厂房通风系统（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）。

——安全厂房：

- 安全厂房机械设备区通风系统（VMO）。

——核辅助厂房：

- 核辅助厂房通风系统（VNA）。

——放射性废物厂房：

- 核废物厂房通风系统（VRW）。

——反应堆厂房：

- 安全壳连续通风系统（CCV）；
- 安全壳空气净化系统（CUP）；
- 安全壳大气监测系统（CAM）；
- 安全壳换气通风系统（CSV）；
- 安全壳环形空间通风系统（CAV）。

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。

一些高度危险区的排风量计算依据如下：

——设有电气蓄电池的房间每小时换气次数为 12 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。

在厂外电源丧失时，所有与安全相关的能动部件（包括仪表）分别备有安全级的 AC 电源。

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

排风预过滤器设在高效过滤器（或 HEPA 过滤器）上游，用来收集气流中粗颗粒灰尘，以提高高效过滤器的使用寿命，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。单元过滤器安装在碳钢涂漆的框架上或密封过滤小室（或箱体）中。

e. 碘吸附器

碘吸附器用于不同的 HVAC 系统，用来吸附气流中气载放射性碘。这些碘吸附器吸附甲基碘的净化系数 ≥ 1000 。

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 核燃料厂房通风系统（VFL）

在正常运行期间，VFL 系统以“直流式”的全新风方式运行。

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，低流量排风与乏燃料水池大厅通风相连接。在 LOCA 情况时，低流量排风与-5.30m 以下房间的通风相连接。

在事故工况下，通过循环冷却机组对 RFT 泵所在房间进行冷却。

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，设有应急电源。

VFL 系统由控制室远距离控制。

正常排风子系统；

排风机组包括两台 100%容量并联的机组，每个机组包括：

- 二台预过滤器（过滤效率：85%）；
- 二台高效空气粒子过滤器（净化系数 ≥ 3000 ）；
- 二个阻塞补偿阀；
- 二台 100%容量并联的排风机，装有逆止阀；
- 一支通向烟囱的排气管，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。

低流量排风子系统

本机组与正常排风子系统的排风管道相连接，并接至烟囱。

本机组包括：

- 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 安全厂房机械设备区通风系统（VMO）

VMO 系统为“直流式”通风系统，为安全厂房机械设备区通风。

VMO 系统的设计是为了保持适当的环境条件，在设备维修和运行时保持泵的电机房对相邻房间处于正压。即：

- 防止放射性产物释放到电机房；
- 在 RSI 和 CSP 系统泵运行时，允许维修人员进入维修；
- 保持 REB 及 CIS 系统设备间的环境条件。

接到安注指令时，正常送、排风系统停运，低流量排风分系统启动，保证相应区域负压，防止放射性物质外泄。排风经碘过滤机组排至烟囱。

VMO 系统的组成如下：

- 两台并联连接的 50%容量的空气处理机组（过滤器、冷却盘管、送风机），配有

止回阀；

- 两台并联排风过滤器（预过滤器、高效空气粒子过滤器）；
- 两台并联连接的 50%容量的排风机，配有止回阀；
- 送、排风管道；
- 防火阀。
- 四台循环冷却机组（冷却盘管、送风机）。

事故情况下运行的低流量排风分系统：

- 两台管道电加热器；
- 一组 100%容量排风过滤器管线（高效空气粒子过滤器+碘吸附器）；
- 两台并联的 100%容量排风机。

③ 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，维持核辅助厂房放射性区域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；
 - 在厂房火灾的情况下，从核辅助厂房的电气房间排烟；
- 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：

- 四台并联的预过滤器（过滤效率：85%）；
- 四台并联的高效空气粒子空气过滤器（净化系数 ≥ 3000 ）；
- 四台 50%冗余设置的风机，并联连接，并配置逆止阀（二用二备）；
- 配有平衡阀、隔离阀和防火阀的排风管道；

——一组末端加热盘管和冷却盘管。

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%）；

——一台高效空气粒子空气过滤器（净化系数 ≥ 3000 ）；

——一台碘吸附器（对于甲基碘净化系数 ≥ 1000 ）；

——一台配有逆止阀的风机；

——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%）和高效空气粒子空气过滤器（净化系数 ≥ 3000 ）]；

——二台 100% 容量并联连接的风机，并配置逆止阀；

——从电气房间和阻火器来的排烟的管道。

4) 排风烟囱

排风烟囱固定在反应堆厂房上，烟囱的顶标高为 76.53m，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。

5) 特殊措施

在没有跟踪加热的输送硼酸的设备间安装了电加热器，以防止发生任何结晶的可能。

在固体废物处理系统（ZST）排风管出口处的预过滤器，是用来截留固体废物装桶系统运行时所产生的水泥粉尘。

④ 安全壳环形空间通风系统 CAV

除了冷停堆期间，CAV 系统是连续运行的。保证内外壳之间的空间（环行空间）的负压，保证来自内层安全壳内部的空气在排放前经过过滤，避免被污染的空气直接流向环境。

在事故后所有运行模式期间，为减少释放到周围环境中的放射性，用于事故工况的碘排风子系统，设计成在任一部件单一故障时，仍能保持其功能，并接有应急电源。

CAV 系统组成如下：

——带有隔离阀和防火阀的排风管；

- 一个正常排风子系统；
- 两个碘排风子系统；
- 一条气密性风管连接到核辅助厂房通风烟囱。

CAV 包括以下两个子系统：

1) 正常排风子系统由一台预过滤器（过滤效率：85%）、一台高效空气粒子过滤器（净化系数 ≥ 3000 ）和配有止回阀的排风机组成。

2) 两个碘排风子系统的组成均包括：

- 一台电加热器；
- 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（对于甲基碘净化系数 ≥ 1000 ）；
- 一台 100%容量并联的排风机，并配有止回阀。

⑤ 安全壳连续通风系统（CCV）

反应堆正常运行时，需要由 CCV 系统冷却安全壳设备。

除设有独立通风的堆坑和控制棒驱动机构的热负荷外（见 CPV 和 RRV 系统），CCV 系统所考虑热负荷主要来自反应堆厂房内的设备。为使混凝土内应力低于容许极限，混凝土的内外温差不得超过 40℃。在反应堆厂房内，CCV 系统作为一个再循环系统运行。

⑥ 安全壳空气净化系统（CUP）

安全壳空气净化系统的设计，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 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，空气吸自 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 系统由安装在 R346 房间内的净化机组和环形区内的两台循环风机组成。

CUP 净化系统组成如下：

- 一个手动平衡阀；
- 两个电动隔离阀；
- 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。

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。

⑦ 安全壳大气监测系统（CAM）

CAM 系统由以下四个子系统组成：

- 1) 混合和取样子系统设计成在 LOCA 后作为安全壳大气的循环系统运行。
- 2) 小扫气子系统是直流系统，在反应堆正常运行期间，它确保安全壳大气的净化，使排风经过高效空气粒子过滤器和碘吸附器的过滤。其功能为：
 - 降低安全壳内空气放射性水平；
 - 在反应堆启动和正常运行期间，根据安全壳内空气压力的变化，维持安全壳内外压差的最大值 60mbar。
 - 安全壳密封试验后，当相对压力低于 0.01MPa 时，进行安全壳排气。
- 3) 泄漏试验子系统使用压缩空气系统（WAS）的空气给安全壳加压。
- 4) 安全壳大气监测子系统。本系统能够完成下述功能：
 - 监测安全壳大气的温度和压力。
 - 用 IRM（辐射防护监测系统）辐射监测设备监测安全壳的空气放射性污染水平。

⑧ 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：

- 在冷停堆期间，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，以便在冷停堆期间尽可能快地允许工作人员持续进入。
- 机组停运期间，维持疏水含氧废气罐（RVD 002 BA）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。

⑧ 核废物厂房通风系统（VRW）

VRW 系统由正常送风子系统、正常排风子系统、碘排风子系统和排烟子系统组成。

（1）正常送风子系统

主要包括：

- 一个新风小室，并设有防雨百叶风口；
- 两台并联 100%容量的空调机组，每台空调机组包括一台预过滤器、一台高效过滤器、一台冷却盘管（由 WWC 系统提供冷冻水）和一台送风机；
- 一台循环冷却机组和几台末端电加热器；
- 设置有平衡阀、止回阀、隔离阀、防火阀以及送风口的送风管网。

（2）正常排风子系统

主要包括：

- 设置有平衡阀、防火阀以及过滤器的排风管网。
- 两台并联 100%容量的空调机组，每台空调机组包括一台预过滤器、一台高效空气粒子过滤器和一台排风机；
- 一个排风小室，通过风管（汇集 VRW 系统的碘排风和排烟）排至 VNA 系统的烟囱。

（3）碘排风子系统

有两个互为备用的系列，每一系列主要包括：

- 设置有平衡阀、防火阀的排风管网。
- 一台 100%容量的碘排风机；
- 一台电加热器；
- 一台碘吸附器；
- 一台高效空气粒子过滤器；
- 一台预过滤器；

碘排风总管。

（4）排烟系统

主要包括：

- 设置有排烟阀的排风管网。
- 两台并联的 100%容量的排烟风机；
- 一台高效空气粒子过滤器；
- 一台预过滤器；

· 屋顶排风管道，连接到 VRW 系统的排风总管。

4.6.3.3 放射性废气排放源项

气载放射性流出物主要来源于主冷却剂脱气（含氢废气）和各厂房的通风排放（含氧废气），具体为：

- 废气处理系统；
- 反应堆厂房通风；
- 辅助厂房通风；
- 燃料厂房通风；
- 二回路相关系统的排放。

气载放射性流出物排放源项也分现实排放源项和保守排放源项两种方法考虑，计算中使用主冷却剂比活度的假设与液态同。

现实工况下华龙一号单台机组的惰性气体排放量为 $9.75\text{E}+02\text{GBq/a}$ ，气载碘的排放量为 $1.12\text{E}-02\text{GBq/a}$ ，气载粒子的排放量为 $4.68\text{E}-02\text{GBq/a}$ ，气态氙的排放量为 $4.29\text{E}+03\text{GBq/a}$ ，气态 C-14 的排放量为 220GBq/a ；保守工况下一台机组的惰性气体排放量为 $5.85\text{E}+04\text{GBq/a}$ ，气载碘的排放量为 $5.76\text{E}-01\text{GBq/a}$ ，气载粒子的排放量为 $9.36\text{E}-02\text{GBq/a}$ ，气态氙的排放量为 $4.84\text{E}+03\text{GBq/a}$ ，气态 C-14 的排放量为 365GBq/a 。

4.6.4 放射性固体废物处理系统

放射性固体废物管理主要包括固体废物处理系统（ZST）、废物最小化以及废物最终处置三部分内容。

4.6.4.1 固体废物处理系统（ZST）

4.6.4.1.1 系统功能

固体废物管理系统的主要功能是收集、贮存、处理和整备核电厂在运行及检修时产生的放射性固体废物，使其达到适宜运输、贮存和处置的要求。

本系统处理下列几种类型的废物：

- 废树脂；
- 浓缩液；
- 废过滤器芯；
- 杂项干废物（受污染的工作服、纸、擦拭布、塑料和金属部件等）。

废树脂由下列系统的除盐器产生：化学和容积控制系统（RCV）、硼回收系统（ZBR）、蒸汽发生器排污系统（TTB）、反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统（RFT）和

废液处理系统（ZLT）。

浓缩液来自 ZLT 系统的蒸发器。

废过滤器芯来自核辅助厂房(NH)内 RCV、ZBR、RFT 和 TTB 系统和核废物厂房(QF)内 ZLT 系统的水过滤器。

控制区产生的杂项干废物由可压实废物（受污染的工作服、纸、擦拭布、塑料和金属部件等）和不可压实的金属部件组成，收集在塑料袋内。

4.6.4.1.2 设计基准

经固体废物处理系统收集、贮存、处理和整备核电厂在运行及检修时产生的放射性固体废物达到适宜运输、贮存和处置的要求。

固体废物处理系统设有屏蔽，使运行人员和公众所受的辐照剂量率不超过允许限值，并对各种放射性物质进行隔离、密封或包装，防止其泄漏到环境中。

4.6.4.1.3 系统描述

（1）系统组成

本项目固体废物管理系统包括固体废物处理系统（ZST 系统）、固体废物处理系统（TES 系统）以及先进废物处理中心主工艺系统（ZAT 系统）。

固体废物处理系统（ZST 系统）

本工程的 ZST 系统位于核辅助厂房（NH）内湿废物收集部分、核废物厂房（QF）内湿废物收集部分及先进废物处理中心（QD）内废滤芯运输车间部分。

NH 厂房内部分每台机组一套，用于收集和暂存 NH 厂房产生的废树脂和废过滤器芯。废树脂通过废树脂槽车送至 NX 厂房进行处理，废过滤器芯用屏蔽运输车送到 QD 厂房处理。

QF 厂房内部分两台机组共用，用于收集和暂存 QF 厂房产生的废树脂、浓缩液和废过滤器芯。废树脂和浓缩液分别通过废树脂和浓缩液槽车送至 1、2 号机组 NX 厂房进行处理，废过滤器芯用屏蔽运输车送到 QD 厂房处理。

固体废物处理系统（TES 系统）

本工程的 TES 系统位于海南昌江核电厂 1、2 号机组核辅助厂房（NX）改造部分。海南昌江核电厂 1、2 号机组湿废物处理部分、海南昌江核电厂 1、2 号机组废物处理辅助厂房（QS）和放射性固体废物暂存库（QT）内的 TES 系统不在本工程范围内，但是与本工程共用。海南昌江核电厂 1、2 号机组废物处理辅助厂房（QS）的 TES 系统仍具备分拣的功能，可对杂项干废物分拣为可熔融干废物、浸湿的可熔融干废物、不可熔融干废物三类。

浸湿的可熔融干废物先进行烘干，然后作为可熔融干废物处理；可熔融干废物送至先进废物处理中心（QD），不可熔融干废物送至放射性固体废物暂存库（QT）。

先进废物处理中心主工艺系统（ZAT 系统）

先进废物处理中心主工艺系统（ZAT）主要集中在先进废物处理中心（QD）内。新建先进废物处理中心（QD）与海南昌江核电厂 1、2 号机组和模块化小型堆示范工程共用；海南昌江核电厂 1、2 号机组核辅助厂房（NX）、废物处理辅助厂房（QS）和放射性固体废物暂存库（QT）与海南昌江核电厂 3、4 号机组和模块化小型堆示范工程共用，不再新建。

先进废物处理中心（QD）用于处理海南昌江核电厂全厂运行产生的杂项干废物以及 3、4 号机组和模块化小型堆示范工程产生的废过滤器芯。

本工程对海南昌江核电厂 1、2 号机组废物处理辅助厂房（QS）厂房的卫生出入口进行了改造，改建后的卫生出入口可满足 QS 子项与 QD 子项的人员进出需求，卫生出入口通过连廊与先进废物处理中心（QD）二层相连，运行人员可经此进入 QD 子项。

本工程不再新建 QT 厂房,而是与海南昌江核电厂 1、2 号机组的 QT 厂房共用。QT 厂房用于在送到处置场之前暂存 NX 厂房和 QD 厂房废物处理后产生的钢桶废物包，以及废通风过滤器芯和受到轻微污染的大尺寸废物等。

（2）废物处理工艺描述

废树脂收集在 NH 厂房的废树脂贮槽中，然后用屏蔽运输车转运至海南昌江核电厂 1、2 号机组核辅助厂房（NX）的废树脂接收槽中，随后与水泥和添加剂加入 400L 金属桶中混合均匀，以制成匀质的能滞留放射性物质的固化块，满足近地表处置要求；正常情况下 TTB 系统的废树脂仅受轻微放射性污染，在 NH 厂房直接装入容器桶。然后，送到 QD 贮存衰变，等待清洁解控。放射性水平异常的 TTB 废树脂收集在 NH 厂房的废树脂贮槽中，然后送到 1、2 号机组核辅助厂房（NX）进行水泥固化处理。

浓缩液收集到 QF 厂房的浓缩液接收槽中，然后用屏蔽运输车转运至海南昌江核电厂 1、2 号机组核辅助厂房（NX）的浓缩液槽中，随后与水泥和添加剂加入 400L 金属桶中混合均匀，以制成匀质的能滞留放射性物质的固化块。

放射性废过滤器芯装入 200L 钢桶内，然后用废滤芯运输车送至先进废物处理中心（QD）进行水泥固定；通风系统的废过滤器芯一般仅受轻微放射性污染，装入塑料袋送到固体废物暂存库进行贮存衰变，等待清洁解控。

杂项干废物用专用运输车运送到海南昌江核电厂 1、2 号机组的 QS 厂房，在分拣箱分

拣成可熔融干废物与不可熔融干废物，可熔融干废物通过运输车送至先进废物处理中心（QD），可熔融干废物在 QD 厂房内进行二次分拣后，采用等离子体高温熔融工艺进行处理，处理后的玻璃固化体装入 200L 钢桶内进行水泥固定处理，最终形成的 200L 钢桶废物包采用废物桶运输车送至放射性固体废物暂存库（QT）。不可熔融干废物装入 200L 钢桶后通过运输车送至放射性固体废物暂存库（QT）。

（3）固体废物暂存库（QT）

海南昌江核电厂 1、2 号机组的放射性固体废物暂存库（QT）与本工程共用，在系统上属于固体废物管理系统（TES 系统）。本工程不再赘述。

4.6.4.1.4 系统运行

（1）废树脂和浓缩液的处理

对于相关系统除盐床中的废树脂，用水力将除盐器中的废树脂输送至 NH 厂房的废树脂贮槽，再用废树脂运输车运送到 1、2 号机组 NX 厂房的废树脂接收槽。由 ZLT 系统产生的废树脂从除盐器冲排至 QF 厂房内的废树脂贮槽，再用废树脂运输车运送到 1、2 号机组 NX 厂房的废树脂接收槽。最后将废树脂接收槽内的废树脂通过管道输送到水泥固化装置进行水泥固化，处理后产生的钢桶废物包送到 QT 库暂存。

废液处理系统产生的浓缩液通过管道送至浓缩液接收槽内，再用浓缩液槽车送至 1、2 号机组 NX 厂房 TEU 系统浓缩液接收槽内经过再浓缩后输送至 TES 系统，随后通过管道输送至水泥固化装置进行水泥固化，处理后产生的钢桶废物包送到 QT 库暂存。

（2）废过滤器芯的处理

NH 厂房和 QF 厂房产生的废过滤器芯用废过滤器芯更换转运容器（铅容器）通过下降通道装入废过滤器芯屏蔽运输车上的 200L 钢桶中，然后用废过滤器芯屏蔽运输车送至先进废物处理中心（QD）的水泥固定装置处理。处理后产生的钢桶废物包送到 QT 库暂存。

（3）杂项干废物装桶

杂项干废物根据放射性水平的不同收集在不同颜色的塑料袋内，送到共用的 QS 厂房干废物处理部分进行初步分拣，可熔融干废物用废物桶运输车运至先进废物处理中心（QD）中采用等离子体高温熔融工艺进行处理，处理后的玻璃固化体装入 130L 的接收容器中，后吊入 200L 钢桶内进行水泥固定处理，最终形成的 200L 钢桶废物包采用废物桶运输车送至放射性固体废物暂存库（QT）。不可熔融干废物装入 200L 钢桶，用废物桶运输车送至放射性固体废物暂存库（QT）暂存。

（4）废物包暂存

废物暂存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。

4.6.4.1.5 放射性固体废物整备前后的活度水平

（1）浓缩液、废树脂和废过滤器芯的源项

浓缩液、废树脂和废活性炭源项计算依据的主冷却剂裂变产物源项分为（1）现实工况（2）设计工况。对于活化腐蚀产物，也考虑现实工况和设计工况两类，现实工况基于运行经验反馈数据的平均值，设计工况基于经验反馈数据的最大值。

经分析，在分析固体废物源项的过程中，现实工况对应的主冷却剂源项能够在一定的保守范围内，反映机组正常运行过程中的现实状态。因此，在分析固体废物源项的过程中，可以考虑用于固体废物现实源项的分析。

设计工况对应的主冷却剂源项能够在一定的范围内，包络机组运行过程中可能出现的各种预期运行事件。因此，在分析固体废物设计源项的过程中，可以考虑用于固体废物设计源项的分析，该设计源项可用于固体废物总量估算以及废物管理的辅助决策，而不用于辐射屏蔽设计。

结合现实源项和设计源项的考虑，对 ZBR、ZLT、RCV、RFT 和 TTB 系统产生的放射性废物采用现实源项和设计源项进行了分析和计算，确定了上述系统浓缩液、废树脂和废过滤器芯整备前后的活度水平。

（2）杂项干废物

核电厂内被放射性污染的杂项干废物包括受污染的工作服、纸、擦拭布、塑料和金属部件等，它们在产生地分类收集在塑料袋内后送到 QS 厂进行初步分拣。可熔融干废物采用等离子体高温熔融工艺处理后水泥固定，不可熔融干废物装入 200L 钢桶内进行暂存。

4.6.4.2 废物最小化

4.6.4.2.1 废物最小化原则

在核电厂设计、建造、运行和退役过程中，通过废物的源头控制、再循环与再利用、清洁解控、优化废物处理和强化管理等措施，经过代价利益分析，使最终放射性固体废物产生量（体积和活度）可合理达到尽量低。

核电厂废物最小化应以确保安全为前提，以废物处置为核心，通过技术和管理措施实现废物最小化，遵循源头控制优先、全过程管理、全员责任和持续优化的原则。

4.6.4.2.2 设计阶段的废物最小化

4.6.4.2.2.1 控制放射性废物产生的设计措施

— 对核岛内 16"以下管道法兰密封不采用含银垫片，从源头上减少 Ag-110m 对工艺系统和设备的污染及对排放废液剂量率的贡献。

— 使用较大离子交换容量的树脂以减少废树脂的产生量。

— 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。蒸汽发生器排污系统产生的废树脂一般仅受轻微放射性污染，装入容器桶中，送到 QD 的专门区域进行贮存衰变。若废树脂经衰变达到清洁解控水平后，进行清洁解控。

— 将干废物分为可熔融干废物与不可熔融干废物，可熔融干废物采用等离子体高温熔融工艺进行处理，不可熔融干废物装入 200L 钢桶内暂存。

— 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 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。

— 对符合豁免或清洁解控条件的废物及时申请豁免或解控。

— 加强防护用品重复使用管理，减少可压实废物的产生量。

— 尽量对放射性污染的工具、零件、防护用品等物品去污，回收利用。

4.6.4.2.2.2 废物处理工艺中实现废物最小化的措施

对于可熔融干废物，采用等离子体高温熔融工艺进行处理，减容比（即处理前废物体积与处理后废物包体积之比）达到 20。

4.6.4.3 废物最终处置

计划定期向放射性固体废物处置场运输废物包。放射性固体废物的运输起点为海南昌江核电厂的放射性废物暂存库（QT），运输终点为放射性固体废物处置场。放射性废物运输必须遵守国标 GB 11806-2019《放射性物品安全运输规程》和 GB 12711-2018《低、中水平放射性固体废物包安全标准》。待与处置场明确运输方式和论证运输路线的可行性后再进行废物包的转运处置。放射性废物的处置将遵守国家的放射性废物处置政策。

4.6.4.4 先进废物处理中心放射性排放源项

4.6.4.4.1 先进废物处理中心放射性废液排放源项

先进废物处理中心的等离子体高温热解熔融处理过程中，废物发生物理化学变化，产生多种不同形态的放射性核素载体，包括玻璃体、飞灰、废液、烟气，其放射性活度浓度各不相同。废水产生于烟气的中和洗涤吸收，正常工况下，放射性活度浓度很低。保守工况下等离子体高温熔融设施运行时产生的废碱液（盐溶液）产生速率为 137L/h，年产生废

液量为 324.53m³，现实工况下等离子体高温熔融设施运行时产生的废碱液（盐溶液）产生速率为 137L/h，年产生废液量为 246.93m³。

4.6.4.4.2 先进废物处理中心放射性废气排放源项

在等离子体高温热解熔融处理过程中，废物发生物理化学变化，产生多种不同形态的放射性核素载体，包括玻璃体、飞灰、废液、烟气，其放射性活度浓度各不相同。等离子体熔融装置产生的烟气通过热交换器、急冷塔、布袋除尘器、洗涤塔、组合高效过滤器（吸附、过滤）过滤处理。现实工况下等离子体热解熔融系统处理能力 50kg/h，气体排放 720m³/h，保守工况下等离子体热解熔融系统处理能力 50kg/h，气体排放 720m³/h。

4.6.4.4.3 先进废物处理中心非放射性大气污染物排放

等离子体高温熔融系统产生的烟气和其它灰质进入尾气处理系统，烟气经脱硝、冷却、急冷、除尘过滤、除酸、再热、除酸除雾、碳床高效组合过滤等工艺处理后，由 38m 高的烟囱排放。

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，包括燃料转运舱、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施、设备。

乏燃料贮存在乏燃料贮存水池中的乏燃料贮存格架中。乏燃料水池冷却和处理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，通过燃料转运通道由水下运至燃料转运舱，用人桥吊车吊运乏燃料组件并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。需要定量检查辐照燃料组件的破损程度时，采用离线啜吸检测装置进行检测。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。

燃料转运舱底部设有连接安全壳内换料水池的燃料转运通道。反应堆正常运行时转运通道是隔离的，只有换料时才打开。

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辐照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。

以上三个水池彼此相通，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》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。在设计中摒除了事故工况下置信部分水池中可溶硼的方法来保证临界安全，即在 I 区贮存格架装载最高预期富集度的新燃料组件，而 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 $k_{\text{eff}} \leq 0.95$ ；

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) 防止不属于提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、外部灾害的防护措施；

(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。

4.6.5.3 乏燃料水池的冷却和处理

乏燃料水池的冷却和处理系统用于保证对核电厂贮存乏燃料组件的水进行冷却、过滤和处理，并且在燃料装卸期间为反应堆换料水池、堆内构件存放池、乏燃料贮存水池以及燃料转运舱充水和排水提供所需的手段。

1) 系统的主要功能

排出在乏燃料水池中贮存的乏燃料组件发出的余热。

清除在换料水池和乏燃料贮存水池内的腐蚀产物、裂变产物和水中的悬浮颗粒。

当反应堆冷却剂系统打开，且余热排出系统完全失效时，反应堆换料水池及乏燃料贮存水池冷却和处理系统可作为余热排出系统的备用。这种备用同样允许对余热排出系统进行维修，而不降低装置的安全水平。

该系统可保持乏燃料贮存区域的恒定水位，确保对工作人员的生物屏蔽作用。

2) 系统的设计基准

该系统设有两台冷却泵，由柴油发电机组作为它们的应急电源。泵之间的切换或电源之间的切换均采用手动方式。

乏燃料贮存水池冷却系统的设计，在安全停堆地震引起的载荷下仍保持其功能。与之相关的其他区域的排水管道、隔离阀等可在同样条件下保持其密封性。

该系统对飞机坠落在内的飞射物、火灾和爆炸进行防护并能经受住水淹和冰冻的影响。

系统设计能对过滤器、离子交换器、泵和热交换器进行在役维修。

4.7 非放射性废物处理系统

4.7.1 化学污染物

为满足海南昌江核电厂3、4号机组的运行要求，需对核电厂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 核电厂主要化学药剂的使用

海南昌江核电厂3、4号机组使用化学药剂的主要环节有循环水处理系统、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。海南昌江核电厂3、4号机组与海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程共用一座除盐水生产厂房，该厂房位于海南昌江核电厂3、4号机组厂区内。海南昌江核电厂3、4号机组与海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程共用一座制氯站，该厂房位于海南昌江核电厂3、4号机组厂区内。

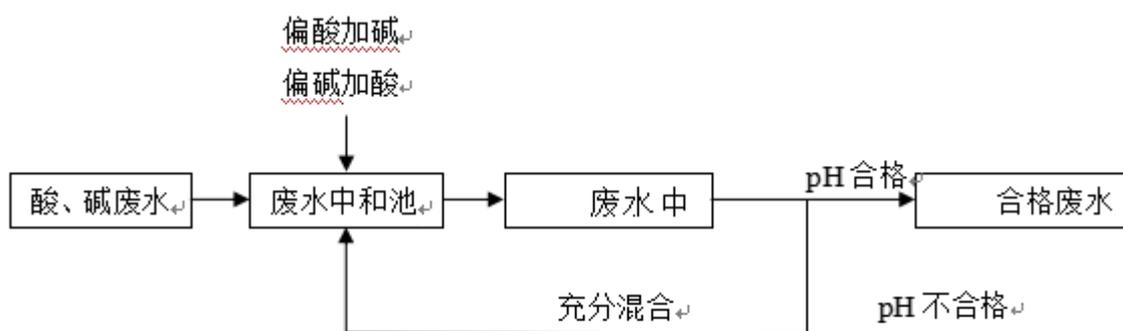
4.7.1.2 化学物质处理流程图

上述化学物质的处理，主要包含酸碱中和处理和三废系统化学物质处理。

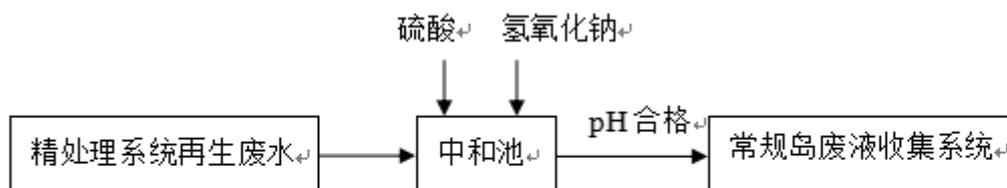
酸碱中和处理：酸、碱药液分别通过加碱和加酸进行中和处理，使pH值达到6~9排放。处理容量满足一次再生酸碱废水总量。

三废系统化学物质处理容量：满足海南昌江核电厂3、4号机组的三废排放需求。

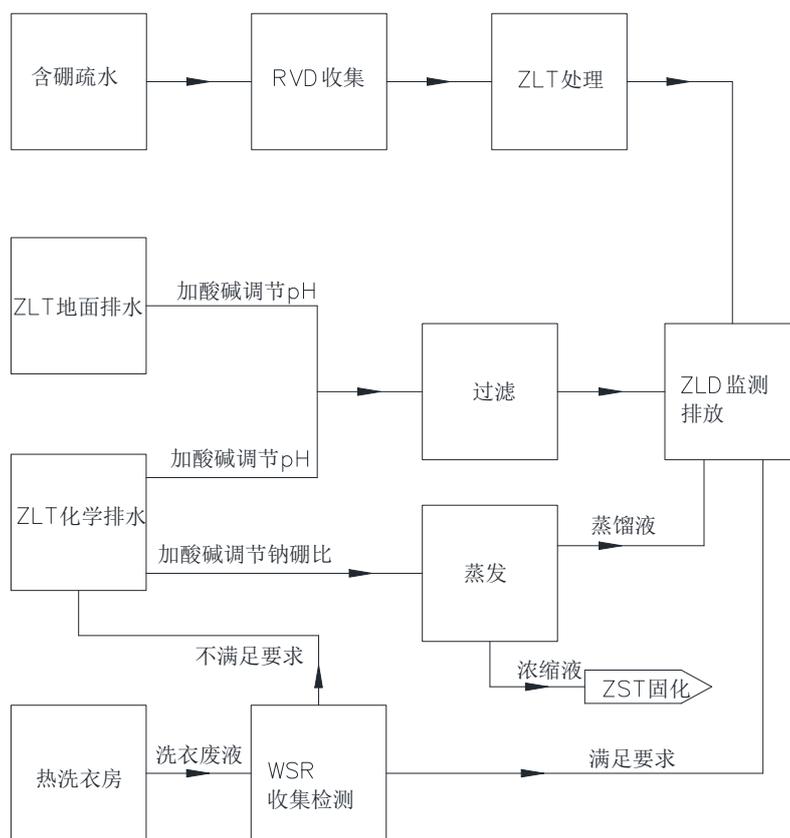
除盐水生产系统、循环水处理系统的酸碱中和处理流程图如下：



凝结水精处理酸碱废水处理简易流程图如下：



三废系统化学物质排放系统图如下：



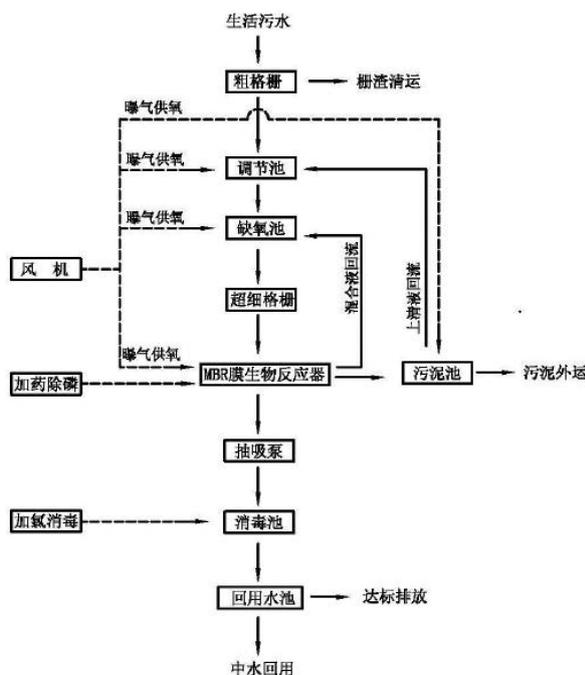
4.7.2 生活废物

海南昌江核电厂 3、4 号机组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 1.1 吨/天。

生活污水来自海南昌江核电厂 3、4 号机组主厂区的各个厂房、车间、实验室、办公楼等处卫生设备以及洗衣房等处的非放射性生活污水的排水，并通过相应污水管网汇集至 1、2 号机组工程西侧（AB 库附近）的污水处理站（子项号：ED1）。污水处理站收集的生活污水经处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）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，回用剩余水量排入厂区雨水管网，最终排入大海。ED1 污水处理站设计规模为 1050m³/d，其中，一期设计规模为 350m³/d，二期设计规模为 700m³/d。海南昌江核电厂 3、4 号机组正常运行时新增生活污水产生量为 185m³/d，大修和启动时增加 243m³/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，在含油废水集水池暂存，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，处理后其水质达到《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。

危险废物主要包括除盐水处理过程中废弃的离子交换树脂、非放射性含油废水处理站

经油水分离装置分离后的废油等。树脂使用寿命与进水水质、运行方式等有关。本工程由具有收集、贮存、处置危险废物资质的指定单位对废树脂等进行收集、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输容器的设计、制造能满足我国《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的要求。

运出核电站的放射性物质有两类，即乏燃料组件和放射性固体废物。

4.8.1 新燃料运输

4.8.1.1 燃料供应

本项目的燃料组件由中国原子能工业有限公司（CNEIC）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。

4.8.1.2 新燃料运输容器

新燃料组件特性：

·物理状态	固体
·主要成份	UO ₂

首循环 177 组燃料组件，平衡循环每次换料 72 组。

新燃料运输容器特性：

·货包类型	A（F）
-------	------

新燃料运输容器由上、下壳体组成的一个卧式圆柱形密封箱体。上、下壳体的连接用螺栓锁紧。上壳体设有吊装环、下壳体设有叉孔，以便于吊装容器。容器内设有一个减震框架，通过弹性垫块连接于下壳体座。减震框架上的支撑框架用于装载新燃料组件。支撑框架的顶梁上装有两个加速度测量装置，在壳体的端板上设有充气阀和安全阀各一个，每个容器可装运两组组件，两组组件间设有中子吸收板，容器内充以保护性气体，以避免污染。

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。

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，每台机组采用 36 台容器运输，每一年半运输一次，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，平衡循环每 18 个月平均换料 72 组燃料组件。按平衡换料数量考虑，如使用可装载 21 组组件的乏燃料运输容器，2 台机组用 3 台容器每年运 2 次方案可满足要求。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。乏燃料运输容器为不锈钢铅屏结构，已取得国家核安全局颁发的设计批准书和制造许可证，2022 年已完成 3 台容器产品供货，具备本工程使用的条件。

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

海南昌江核电厂 3、4 号机组运行期间产生的废树脂来自 RCV、ZBR、TTB、RFT 和 ZLT 系统的除盐器；浓缩液来自 ZLT 系统的蒸发器；废过滤器芯来自 NH 厂房和 QF 厂房内 RCV、ZBR、RFT、ZLT 和 TTB 系统的水过滤器。

NH 厂房产生的废树脂收集在 NH 厂房的废树脂贮槽中，QF 厂房产生的废树脂收集在 QF 厂房的废树脂贮槽中，NH 厂房和 QF 厂房的废树脂通过屏蔽运输车转运至海南 1、2 号机组 NX 厂房水泥固化处理，经封盖和剂量检测后送至暂存库进行暂存。正常情况下 TTB 系统的废树脂仅受轻微放射性污染，在 NH 厂房直接装入容器桶，然后送到先进废物处理中心（QD）贮存衰变，等待清洁解控。放射性水平异常的 TTB 废树脂收集在 NH 厂房的废树脂贮槽中，然后送到海南 1、2 号机组 NX 厂房进行处理。废树脂运输槽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。屏蔽运输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。

浓缩液收集在 QF 厂房的浓缩液贮槽中，需要处理时通过屏蔽运输车转运至海南 1、2 号机组 NX 厂房水泥固化处理，经封盖和剂量检测后送至暂存库进行暂存。浓缩液运输槽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，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。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、加热装置、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以及结晶。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。屏蔽运输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。

杂项干废物用专用运输车运送到 QD 厂房，经等离子体高温熔融技术处理后，产生的玻璃体装入 130L 的玻璃体接收容器内，然后将玻璃体接收容器装入 200L 钢桶进行水泥固定，水泥固定处理后产生的 200L 钢桶废物包根据表面剂量率，判断是否装入屏蔽容器。当废物包表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ ，直接通过专用运输车转运至 QT 暂存；当废物包表面剂量率 $> 2\text{mSv/h}$ ，装入屏蔽容器后通过专用运输车转运至 QT 库暂存。

海南昌江核电厂 3、4 号机组产生的放射性废物经处理后产生的废物包主要包括水泥固化的废树脂和浓缩液、水泥固定的废过滤器芯、以及等离子体高温熔融处理后水泥固定的玻璃体。厂外运输的是 400L 钢桶废物包和 200L 钢桶废物包。其中，表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 的废物包可直接通过转运车辆运输；对于表面剂量率 $> 2\text{mSv/h}$ 的废物桶，则外加屏蔽体后通过转运车辆运输。

计划定期向放射性废物处置场运输废物包。放射性固体废物的运输起点为海南昌江核电厂的放射性废物暂存库（QT），运输终点为放射性废物处置场。放射性固体废物的运输拟采用公路运输，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。放射性废物的处置将遵守国家的放射性废物处置政策。

在放射性固体废物运输过程中将严格遵守 GB11806-2019《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容器钢桶》的要求。水泥固化废物的性能满足 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》的要求，水泥固定体性能满足 EJ 1186-2005《放射性废物体和废物包的特性鉴定》的要求。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》的要求。

表 4.3-1 海水系统平均用水量

机组编号	凝汽器冷却用水 (m ³ /h)	辅助冷却用水 (m ³ /h)	重要厂用水 (m ³ /h)	海水制氯用水 (m ³ /h)	冲洗用水 (m ³ /h)	总水量 (m ³ /h)
1	228360	6000	3800	400	600	239160
2	228360	6000	3800	400	600	239160
合计	456720	12000	7600	800	1200	478320

第五章 核电厂施工建设过程的环境影响

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 施工活动对水体环境和水资源利用的影响

5.2.2 海域施工对水环境的影响

5.2.3 减轻施工过程对水环境影响的措施

5.3 施工影响的控制

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

表

表 5.1-1 施工期间危险废物的种类、产生量、运输、处理和处置情况

表 5.1-2 施工期间普通工业废物的种类、产生量、运输处理和处置情况

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。

5.1.2 施工建设占用土地情况

（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，为永久性占地，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，并在本工程西侧新增部分施工场地（临时占地）。

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，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

5.1.3.1 对地形地貌的影响

在工程建设期间，对原地形地貌按设计要求进行相应的改造，开挖部分山体，回填部分厂区，并在厂区和施工场地周边修筑填、挖方边坡、排洪沟等，通过必要的工程措施、植物措施和临时措施的防护，优化施工工序，可以有效防止水土流失，同时结合厂区绿化美化，施工场地使用完毕后还绿等措施，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

工程施工期需要对厂址场地进行平整，场平需剥离原有地表植被，土石方挖掘工作也将破坏原有生境条件，改变当地特别是土壤生物的种群及群落结构，若处理不当将会造成严重的水土流失，进而引起局部生态环境恶化。挖掘过程产生的部分废弃土石方还会占用部分土地，堆放过程中易受雨水冲刷造成水土流失和生态破坏。

本工程施工范围内没有珍稀保护物种、关键种等的分布。在建设施工过程中，建设单位有规划地对整个场区和场外道路实施绿化，建造全新的人文景观。预计本工程建设和运行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

施工过程中，由于负挖的爆破、开挖、填充、道路的修建、渣土的堆放以及车辆运输会使施工区域尘土飞扬、大气中粉尘含量增高。土石方施工完成后，当地的大气质量将很快得以恢复。因此，施工过程中粉尘对大气环境的影响是局部的和暂时的。

具体施工期对大气环境的影响情况详见 5.3.11 节施工期监测。

5.1.3.5 对声环境的影响

土石方工程施工期间，开挖爆破以及各类施工和运输机具所产生的噪声对厂址周围的声环境将产生一定的影响。但爆破施工是阶段性的，集中在施工初期，其影响时间短，爆破施工完毕，噪声也即消失。因此核电厂施工噪声对环境的影响是可以接受的。

具体施工期对声环境的影响情况详见 5.3.11 节施工期监测。

5.1.3.6 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。

本工程施工期部分施工临建区的生活污水汇集至海南昌江核电厂 1、2 号机组已建的生活区污水处理站进行处理。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 膜生物相结合的处理方式。设计日处理量 1000-1200 立方，目前日实际处理量在 300~400 立方之间。出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级排放标准的 A 标准后通过排污口排至排洪沟，近年来未出现超标排放现象。现已开展施工临建区生活污水处理站技术改造，改造后污水处理符合《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2020），将优先考虑达

标回用。部分施工临建区的生活污水由施工承包商处理达标后排放。

施工期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；酸洗钝化类生产废水回收外运处理；部分施工临建区产生的较为清洁的生产废水（如管道冲洗等）用于施工场地降尘、浇洒等。

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。

5.1.3.7 产生的固体废弃物对环境的影响

施工期间危险废物的种类、产生量、运输、处理和处置情况见表 5.1-1，施工期间普通工业废物的种类、产生量、运输处理和处置情况见表 5.1-2。

5.2 水的利用

5.2.1 施工活动对水体环境和水资源利用的影响

（1）施工期用水

核电厂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 5749-2022）。

（2）施工期用水量

海南昌江核电厂 3、4 号机组施工期间施工生产用水最大日用水量为 2215m³/d，施工人员生活用水最大日用水量为 1620m³/d，施工现场降尘和绿化等用水量为 230m³/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 4500m³/d。

（3）供水水源

海南昌江核电厂 3、4 号机组施工期间所需的淡水来自 1、2 号机组已建的淡水厂。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《海南昌江核电厂 3、4 号机组水资源论证报告》，本工程取水量对区域水资源可利用量影响很小；取水占石碌水库总需水量的比例小，不影响其他用户取用水条件。经可供水量调节计算结果，现状水平年增加本项目用水后，满足农业用水保证率 90%的要求。

“引大济石”及昌江县水系连通工程建设完成后，将有效解决昌江石碌水库灌区农业用水不足的问题，提高核电取水的可靠性，核电取水对其他用水户的影响将进一步减。

5.2.2 海域施工对水环境的影响

海域施工建设过程中对水环境的影响主要来自海域排水工程施工。海域工程施工对水环境的影响主要表现为悬浮泥沙对海洋水质环境和生态的影响。工程施工将引起海域悬浮泥砂颗粒物增加，水体透明度下降，削弱了水体的真光层厚度，对浮游植物的光合作用产生不利影响，导致局部海域内浮游植物生物量下降，引起初级生产力水平降低。施工期影响仅是短期影响，施工结束后，水体中的泥沙将在重力作用下以下沉为主，在施工停止一段时间后，绝大部分泥沙将沉降于海底，海水会很快变清。

5.2.3 减轻施工过程对水环境影响的措施

采取下列措施可减轻施工过程对水环境的影响：

（1）减少泥沙入海污染海洋环境影响的措施

- 1) 避免在雨季、台风及天文大潮等不利条件下进行施工。
- 2) 将施工期环保要求列入招投标内容。

（2）减轻施工过程对海域环境影响的环保措施

1) 施工过程中合理安排施工进度和选用施工器具，如在不影响施工进度情况下尽可能选用较小的抓斗，设置拦污屏等防护措施，尽量将悬沙影响和溢油风险降至最低。

2) 开工前应对所有的施工设备，尤其是泥舱的泥门进行严格检查，发现有可能泄漏污染物（包括船用油和开挖泥沙）的必须先修复后才能施工；在施工过程中应密切注意有无泄漏污染物的现象，如有发现，应立即采取措施。

（3）施工船舶及重件码头靠港船舶机舱含油污水处理措施

1) 施工船舶含油污水不能随意排放，对于未安装油水分离器的小型船舶，可考虑施工期在岸上增设油水分离和处理设施。

2) 施工船舶应加强管理，要经常检查机械设备性能完好情况，对跑、冒、滴、漏严重的船只严禁参加作业，以防止发生机油溢漏事故。

3) 严禁施工船舶向施工海域排放废油、残油等污染物；不得在施工区域清洗油舱和有污染物质的容器。

4) 根据 MARPOL73/78 公约，重件码头靠港船舶舱底油污水经自备油水分离器处理达 GB3552-2018《船舶水污染物排放控制标准》要求后到港外排放，禁止在港内排放。

5) 重件码头到港船舶未配备油水分离处理设施，或因故障未能正常运行的，应直接

交予有资质的含油污水接收处理船接收处理。

5.3 施工影响的控制

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（GB6722-2014）》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，控制震动速度和安全距离。
- 开挖出的土方应尽可能及时处理，避免水土流失。
- 雨季施工做好防护措施。

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

本工程施工期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；酸洗钝化类生产废水回收外运处理；部分施工临建区产生的较为清洁的生产废水（如管道冲洗等）用于施工场地降尘、浇洒等。

本工程施工期部分施工临建区的生活污水汇集至海南昌江核电厂 1、2 号机组已建的生活区污水处理站进行处理。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 膜生物相结合的处理方式。设计日处理量 1000-1200 立方，目前日实际处理量在 300~400 立方之间。出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级排放标准的 A 标准后通过排污口排至排洪沟，近年来未出现超标排放现象。现已开展施工临建区生活污水处理站技术改造，改造后污水处理符合《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2020），将优先考虑达标回用。部分与施工临建区的生活污水由施工承包商处理达标后排放。

本工程施工建设期间指定承包单位负责建筑垃圾和生活垃圾的收集、堆放和外运；采用定期机械和人工清理、平整和覆盖，避免对地下水、地表水产生影响；采用专用运输车辆（或外运车辆加盖篷布）及时外运，避免运输过程中的遗洒等。

5.3.6 非放射性物质的控制措施

对于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，必须要在现场处理的，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房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，必要时设置安全联锁、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《海南昌江核电厂3、4号机组水土保持方案报告书》，项目水土流失防治责任范围面积为107.45hm²。

5.3.9.2 水土保持措施

本工程划分为厂区、施工场地区和弃渣场区3个水土流失防治区，各区水土保持措施布置情况如下：

（1）厂区

施工过程中，场地四周布设临时排水沟，末端设沉沙池。施工后期，场地沿四周和道路两侧铺设雨水管网，厂区西侧和南侧边坡采取浆砌石框格植草防护，坡脚设混凝土排洪沟。厂区空地进行土地整治，绿化区域回覆表土，栽植乔灌草绿化。

（2）施工场地区

施工前，剥离表土，集中堆放，并采取临时拦挡、苫盖、排水和沉沙等临时防护措施。施工过程中，施工场地四周布设临时排水沟，末端设沉沙池，场地内边坡采取浆砌石框格植草防护，场地沿道路布设雨水管网。施工结束后，进行土地整治，栽植乔木和撒播草籽恢复植被。

（3）弃渣场区

弃渣前，沿弃渣场南侧、西侧和北侧布设浆砌石挡渣墙，挡渣墙外围布设浆砌石排水沟。堆渣分级堆放，在堆渣坡面和马道内沿布设浆砌石排水沟。堆渣达到设计标高后，堆渣坡面进行土地整治，栽植灌木和撒播草籽绿化，堆渣平台栽植乔灌草绿化。

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：

- 采用用水量少、耗水量低的施工工艺，降低用水量。
- 采用新型管材，推广节水器具。
- 提高水的重复利用率。
- 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

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 12 月~2023 年 12 月期间开展的 16 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 16 次监测无组织排放监测点共测得 1344 个 SO₂ 小时浓度值，有效数据 1344 个，其小时浓度范围在未检出~29μg/m³ 之间，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 16 次监测无组织排放监测点共测得 1344 个 NO_x 小时浓度值，有效数据 672 个，其小时浓度范围在 9~91μg/m³ 之间，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 16 次监测无组织排放监测点共测得 1344 个 TSP 小时浓度值，有效数据 672 个，其小时浓度范围在 $108\sim 395\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间，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” $1000\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的限值。

(4) 2019-2023 年 16 次环境空气监测点共测得 SO_2 有效数据 3136 个小时浓度值，784 个日均浓度值。其小时浓度范围在未检出 $\sim 21\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间；日均浓度范围在未检出 $\sim 15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间。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 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的限值。

(5) 2019-2023 年 16 次环境空气监测点共测得 NO_2 有效数据 3136 个小时浓度值，784 个日均浓度值。其小时浓度范围在 $7\sim 36\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间；日均浓度范围在 $6\sim 26\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间。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 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的限值。

(6) 2019-2023 年 16 次环境空气监测点共测得 NO_x 有效数据 3136 个小时浓度值，784 个日均浓度值。其小时浓度范围在 $10\sim 46\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间；日均浓度范围在 $12\sim 35\text{mg}/\text{m}^3$ 之间。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 $250\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的限值。

(7) 2019-2023 年 16 次环境空气监测点共测得 CO 有效数据 3136 个小时浓度值，784 个日均浓度值。其小时浓度范围在未检出 $\sim 1\text{mg}/\text{m}^3$ 之间；日均浓度范围在未检出 $\sim 0.6\text{mg}/\text{m}^3$ 之间。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 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $4\text{mg}/\text{m}^3$ 的限值。

(8) 2019-2023 年 16 次环境空气监测点共测得 PM_{10} 日均浓度值有效数据 784 个。其范围在 $18\sim 83\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间，满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）规定的二级标准 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的限值。

(9) 2019-2023 年 16 次环境空气监测点共测得 TSP 日均浓度值有效数据 784 个。其范围在 $40\sim 140\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间，满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）规定的二级标准 $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的限值。

(10) 2019-2023 年 16 次环境空气监测点共测得 $\text{PM}_{2.5}$ 日均浓度值有效数据 784 个。其范围在 $10\sim 50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）规定的二级标准 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 SO₂、NO₂、NO_x、CO、TSP、PM₁₀ 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，3、4 号机组施工期间，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12月~2023年12月期间开展的16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，在厂区内共设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。在厂址半径5km范围内的居民点布设13个监测点，交通道路布设3个监测点位，对其进行昼夜监测。

海南昌江核电厂3、4号机组施工场界及厂址区域内C1-C4及C9-C13噪声监测结果昼间等效声级范围在47.8~68.1dB（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39.6~54.4dB（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号机组厂界C5-C8噪声监测结果昼间等效声级范围在48.7~63.8dB（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40.1~54.3dB（A），均低于《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类标准的夜间限值55dB（A）。

厂区外敏感区噪声监测点位1~13噪声监测结果昼间等效声级范围在38.8~54.5dB（A），均低于《声环境质量标准》（GB3096-2008）1类标准的昼间限值55.0dB（A）；夜间等效声级范围在34.9~44.6dB（A），均低于《声环境质量标准》（GB3096-2008）1类标准的夜间限值55.0dB（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53.5~69.7dB（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43.3~54.9dB（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，3、4 号机组施工期间，厂址附近声环境质量状况良好。

5.3.11.3 海域环境

海域工程的施工会引起厂址附近局部海域环境发生暂时性变化，从而对该海域造成影响。为此，委托专业单位开展海域工程施工期海域环境监测分析及评价工作，以了解施工对厂址周围海域环境所造成的影响，验证施工期所采取的环保措施的有效性。监测计划自

海工工程施工开始至施工结束。最近一次的监测为 2024 年开始开展为期两年的监测。

（1）站位布设

海域施工集中在转换井、排水沉管以及沉管制造及转运的海域，根据海域环境及其地理特点、施工区域及前期监测方案，在施工海域及周围海域开展海水水质、沉积物、水生生物以及生物质量的监测（施工海域较为集中，周围海域较为稀疏），其中 HD01、HD02 站位位于转换井、转运平台，HD13 位于排水口，将 HD01、HD02、HD13 站位作为连续站进行监测。

海水水质 20 个站位，在施工期每年春、夏、秋、冬四季中具有代表性月份的大小潮进行海水水质监测。

沉积物质量在施工期的典型季节进行监测，布设 14 个站位，开展 4 个航次的监测；水生生物（包括鱼卵、仔鱼）及生物质量在施工期内典型季节进行监测，布设 14 个站位，开展了 4 个航次的监测分析。在工程附近区域布设 2 个潮间带生态监测断面，另加 1 个对照断面，开展了 4 个航次的监测。

（2）监测内容

1) 大面站海水水质

水温、色度、浊度、pH 值、盐度、溶解氧、化学需氧量、生化需氧量、余氯、无机氮（亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、氨氮）、非离子态氨、活性磷酸盐、活性硅酸盐、总悬浮物、挥发性酚、石油类、汞、镉、铅、铜、锌、六价铬、总铬、砷、硫化物、硼、阴离子表面活性剂等。

2) 海洋沉积物质量

pH 值、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、石油类、有机碳、硫化物、含水率、氧化还原电位和沉积物类型 14 项。

3) 海洋生物

大面站：叶绿素 a、浮游植物（网采和水采）、浮游动物（含鱼卵、仔鱼）、底栖生物（底泥和阿氏网）、微生物（大肠菌群、粪大肠菌群）、游泳动物和潮间带生物 6 项。

连续站：叶绿素、浮游植物（网采和水采）和浮游动物（含鱼卵、仔鱼）3 项。

4) 海洋生物质量

铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷和石油类 8 项。

表 5.1-1 施工期间危险废物的种类、产生量、运输、处理和处置情况

危险废物种类	产生量	废物存放地	处理方式	备注
废弃油漆桶	约 40000 个	危险废物存放区	有资质的第三方，统一回收处理	存储场地满足消防、文明施工等相关要求
酸洗钝化废液	约 30~50m ³	危险废物存放区	有资质的第三方，统一回收处理	存储前先进行酸碱中和处理，pH 值为中性后在危险废物存放区进行暂存

表 5.1-2 施工期间普通工业废物的种类、产生量、运输处理和处置情况

工业废物种类	产生量	废物存放地	处理方式	备注
水泥渣、水泥块	130000m ³	现场垃圾池	由第三方承包商定期清运至业主指定的垃圾消纳点	现场垃圾池按照标准化图册执行
废弃密目网		现场垃圾池	由第三方承包商定期清运至业主指定的垃圾消纳点	现场垃圾池按照标准化图册执行
装修材料废弃物		现场垃圾池	可回收利用的进行回收，不可回收利用的由第三方承包商定期清运至业主指定的垃圾消纳点	现场垃圾池按照标准化图册执行
木板、泡沫板等		现场垃圾池	可回收利用的进行回收，不可回收利用的由第三方承包商定期清运至业主指定的垃圾消纳点	现场垃圾池按照标准化图册执行

第六章 核电厂运行的环境影响

6.1 散热系统的环境影响

- 6.1.1 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 计算模式与参数
- 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 其他环境影响

- 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6.3-1 海南昌江核电厂与田湾核电站电磁辐射环境情况对比

表6.3.2 环境空气污染物基本项目浓度限值

表6.3-3 污染物排放限值

图

图6.2-1 气、液态放射性流出物对公众的照射途径

6.1 散热系统的环境影响

6.1.1 散热系统方案

海南昌江核电厂 3、4 号机组工程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，冷却水系统采用海水直流供水冷却方式，取自北部湾的海水。

3、4 号机组采用明渠取水，与 1、2 号机组工程共用已建成的取水明渠。明渠采用斜坡式防波堤结构，明渠底宽约 120m。1、2 号机组运行期间，为减小渠内波浪影响，有利于拦污网工程稳定运行，实施完成了海工优化工程，即在已建成取水明渠道流堤基础上，将明渠东导流堤向西弧向延长 569.96m。取水明渠口门宽 190m，底标高位于天然泥面标高-5.0~-9.0m 处，取水明渠长约 888m。3、4 号机组与小堆示范工程共用两条取水隧洞，连接取水明渠和联合泵房，洞径 $d=6.5\text{m}$ ，每条隧洞的长度约为 1650m，取水隧洞总长约 3300m。

参照 1、2 号机组工程，考虑采用近岸盾构隧洞+转换井+水下沉管的方案排水，3、4 号机组排水管道位于 1、2 号机组沉管东侧，平行于 1、2 号机组沉管轴线布置，排水口位于海域约-19.7m 水深处。

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。

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）本工程温排水模型试验结果

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 15.422km^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 ($3.186\text{km}^2+3.146\text{km}^2$)；夏季全潮最大温升不超过 0.77°C ，平均温升不超过 0.67°C ，冬季全潮最大温升不超过 0.99°C ，平均温升不超过 0.88°C 。

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，3、4 号机排水工程近岸段约 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，3、4 号机组工程温排水夏季典型潮 1°C 温升包络线和冬季典型潮 2°C 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，符合海域“三区三线”划定成果。

（4）与国土空间规划相符性分析

本工程温排水影响范围主要位于工业用海区，小部分进入增养殖用海区，符合昌江县国土空间规划海域使用详细规划的管控要求。

（5）与“三线一单”海域生态环境分区相符性分析

根据《海南省生态环境分区管控方案》，本项目温排水排放符合海南省生态环境分区管控方案相关要求。

（6）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。

（7）对海水养殖业的影响

本工程运营后温排水影响范围不涉及增加对海水养殖区的影响。

6.1.3.3 卷吸效应和机械损伤

（1）卷吸效应和机械损伤

3、4 号机组取水工程运行会对周围海域海洋生物产生一定的卷吸效应。一般取水产生的卷吸效应只对那些能通过取水系统滤网的鱼卵、仔鱼、仔虾、浮游生物及其它游泳类生物幼体产生伤害，但不会对整个北部湾的海洋生态环境造成大的影响。

（2）减小机械卷载效应措施

针对取水系统卷吸效应的影响，为减少生物损失，设计中考虑的主要措施包括控制取水流速和设置拦网设施。

控制取水流速是指通过对取水口门尺寸、型式的设置，控制过水断面，从而获得合理的取水流速，以达到减少对水生生物影响的目的。海南昌江核电厂 1~4 号机组+小堆机组共用取水明渠，平均潮位条件下，明渠口门处流速约为 0.19m/s，小于明渠口门附近天然

潮流流速，不至于使大量海生物随取水水流涌入明渠。

取水明渠内设置拦污网措施，可以起到一定的拦截水生生物的效果。海南昌江核电厂在取水明渠设置多道拦污网，形成层层拦截、纵深防御的拦截效果。

通过上述控制明渠设计流速及设置拦污网等设施，将核电厂运行对水生生物的损失影响降低最低。

6.2 正常运行的辐射影响

6.2.1 流出物排放源项

本工程（包括先进废物处理中心，下同）运行状态下，气载流出物主要通过高 76.5m 的烟囱排入大气（其中先进废物处理中心气载流出物通过高 38m 的自建烟囱排入大气），

本工程运行状态下，气载流出物设计排放源项与《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	3、4 号两台机组设计排放源项 (Bq/a)	先进废物处理中心设计源项 (Bq/a)	本工程总排放量设计值 (Bq/a)	2 台机组排放量控制值 (Bq/a)	比值
惰性气体	1.17E+14		1.17E+14	1.20E+15	9.75%
碘	1.52E+09	1.49E-01	1.52E+09	4.00E+10	3.81%
粒子 (T _{1/2} ≥8d)	1.87E+08	6.12E+02	1.87E+08	1.00E+11	0.19%
氙	9.68E+12		9.68E+12	3.00E+13	32.27%
碳-14	7.30E+11	4.46E+04	7.30E+11	1.40E+12	52.14%

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。

厂址 5 台机组（含先进废物处理中心，下同）运行状态下，气载流出物设计排放源项与《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）规定的厂址气载流出物年排放量控制值的比较如下：

核素类别	1、2 号机组年排放量设计值 (Bq/a)	本工程年排放量设计值 (Bq/a)	小型堆年排放量设计值 (Bq/a)	全厂址年排放量设计值 (Bq/a)	全厂址年排放量控制值 (Bq/a)	比值
惰性气体	1.90E+14	1.17E+14	6.79E+12	3.14E+14	2.40E+15	13.07%
碘	1.52E+09	1.52E+09	2.76E+08	3.32E+09	8.00E+10	4.15%
粒子 (T _{1/2} ≥8d)	1.67E+08	1.87E+08	2.73E+07	3.81E+08	2.00E+11	0.19%
氙	7.49E+12	9.68E+12	9.35E+11	1.81E+13	6.00E+13	30.18%

碳-14	4.75E+11	7.30E+11	6.71E+10	1.27E+12	2.80E+12	45.43%
------	----------	----------	----------	----------	----------	--------

各类核素的排放量均满足 GB 6249-2011 规定的厂址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，液态流出物设计排放源项与《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	3、4 号两台机组 设计排放源项 (Bq/a)	先进废物处理 中心设计源项 (Bq/a)	本工程总排放 量设计值 (Bq/a)	2 台机组排放 量控制值 (Bq/a)	比值
氚	8.72E+13		8.72E+13	1.50E+14	58.13%
碳-14	5.36E+10	4.45E+06	5.36E+10	3.00E+11	17.87%
其余核素	1.52E+10	1.58E+07	1.52E+10	1.00E+11	15.20%

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，并为后续工程留下余量。

厂址 5 台机组运行状态下，液态流出物设计排放源项与《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	1、2 号机组年 排放量设计 值 (Bq/a)	本工程年排 放量设计值 (Bq/a)	小型堆年排 放量设计值 (Bq/a)	全厂址年排 放量设计值 (Bq/a)	全厂址年排 放量控制值 (Bq/a)	比值
氚	7.47E+13	8.72E+13	8.42E+12	1.70E+14	3.00E+14	56.77%
碳-14	3.49E+10	5.36E+10	4.92E+09	9.34E+10	6.00E+11	15.57%
其余核素	3.83E+10	1.52E+10	3.06E+09	5.66E+10	2.00E+11	28.28%

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见图 6.2-1，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，对公众的照射途径见图 6.2-1，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 计算模式与参数

(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气载流出物在大气中迁移和弥散时，使用了本报告 2.4 节中给出的气象资料，结合核电厂已完成的大气扩散实验研究提供的扩散参数推荐的厂址

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。

（2）液态途径

计算了液态途径放射性流出物对厂址半径 80km 范围内公众造成的个人有效剂量。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）；Mn、Co、Sr、Cs、Ag、Fe 的分配系数取自中国辐射防护研究院于 2019 年 9 月完成的《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》，其余核素的 Kd 系数采用 IAEA 安全丛书 19 号报告的数据。

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 Cs-137 的年平均大气弥散因子在 $1.85\text{E-}10\text{ s/m}^3\sim 5.61\text{E-}07\text{ s/m}^3$ 之间，I-131 的年平均大气弥散因子在 $1.75\text{E-}10\text{ s/m}^3\sim 5.61\text{E-}07\text{ s/m}^3$ 之间，Kr-85 的年平均大气弥散因子在 $1.85\text{E-}10\text{ s/m}^3\sim 5.62\text{E-}07\text{ s/m}^3$ 之间，最大年平均大气弥散因子均出现在厂址 W 方位 0~1km 处。

厂址半径 80km 范围内 Cs-137 的年平均相对干沉积因子在 $2.77\text{E-}13\text{ m}^2\sim 8.42\text{E-}10\text{ m}^2$ 之间，I-131 年平均相对干沉积因子在 $1.75\text{E-}12\text{ m}^2\sim 5.61\text{E-}09\text{ m}^2$ 之间，最大年平均干沉积因子均出现在厂址 W 方位 0~1km 处。

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 $1.26\text{E-}13\text{ m}^2\sim 7.41\text{E-}11\text{ m}^2$ 之间，最大年平均相对湿沉积因子均出现在厂址 ENE 方位 0~1km 处。

（2）水体弥散

厂址排放口不同范围海域放射性核素的稀释因子取自中国水利水电科学研究院于 2019 年 5 月完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组液态流出物排放数值模拟补充研究报告》。

6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度

代表性放射性核素 H-3 和 C-14 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 $2.24\text{E-}01 \text{ Bq/m}^3$ 、 $4.46\text{E-}03 \text{ Bq/m}^3$ 。

本工程建成后与海南昌江核电厂 1、2 号机组以及小堆共同运行，5 台机组运行状态下，代表性放射性核素 H-3 和 C-14 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 $3.25\text{E-}01 \text{ Bq/m}^3$ 、 $6.08\text{E-}03 \text{ Bq/m}^3$ 。

海南昌江核电厂 3、4 号机组与小堆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，气态途径排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 $1.57\text{E-}07\text{Sv/a}$ 、 $1.69\text{E-}07\text{Sv/a}$ 、 $1.49\text{E-}07\text{Sv/a}$ 、 $1.31\text{E-}07\text{Sv/a}$ 。

（2）液态途径

本工程运行状态下，液态途径排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 $5.84\text{E-}07 \text{ Sv/a}$ 、 $7.83\text{E-}07 \text{ Sv/a}$ 、 $6.58\text{E-}07 \text{ Sv/a}$ 、 $4.70\text{E-}07 \text{ Sv/a}$ 。

（3）气液态综合

本工程运行状态下，气液态综合排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 $7.41\text{E-}07\text{Sv/a}$ 、 $9.52\text{E-}07\text{Sv/a}$ 、 $8.07\text{E-}07\text{Sv/a}$ 、 $6.01\text{E-}07\text{Sv/a}$ 。各年龄组中青少年组的剂量最大，为 $9.52\text{E-}07\text{Sv/a}$ ，约占个人剂量约束值（ 0.08mSv/a ）的 1.19%。

（4）五台机组

本工程建成后将与海南昌江核电厂 1、2 号机组以及小堆共同运行。五台机组运行状态下，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 $1.48\text{E-}06 \text{ Sv/a}$ 、 $1.95\text{E-}06 \text{ Sv/a}$ 、 $1.66\text{E-}06 \text{ Sv/a}$ 、 $1.40\text{E-}06 \text{ Sv/a}$ 。各年龄组中青少年组的剂量最大，为 $1.95\text{E-}06\text{Sv/a}$ ，约占个人剂量约束值（ 0.25mSv/a ）的 0.78%，其中气态途径剂量为 $3.84\text{E-}07\text{Sv/a}$ ，液态途径剂量为 $1.57\text{E-}06 \text{ Sv/a}$ 。

6.2.7 非人类生物的辐射剂量

本节主要估算海南昌江核电厂 3、4 号两台机组正常运行时，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核电厂 1、2、3、4 号四台机组和海南昌江多用途模块式小型堆示范工程一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“非人类生物”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）海南昌江核电厂 3、4 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，海南昌江核电厂 3、4 号两台机组正常运行时，0~80km 海域范围内不同介质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，厂址附近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，海南昌江核电厂 3、4 号两台机组正常运行时，厂址附近 0~80km 海域范围内水生生物是安全的。

（2）海南昌江核电厂 1、2、3、4 号四台机组和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，海南昌江核电厂 1、2、3、4 号四台机组和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，厂址附近海域范围内不同介质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，厂址附近海域范

围内各种水生生物所受的剂量率均小于 $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，海南昌江核电厂 1、2、3、4 号四台机组和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) 海南昌江核电厂 3、4 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，海南昌江核电厂 3、4 号两台机组正常运行时，厂址附近陆域范围内不同介质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远小于 $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，海南昌江核电厂 3、4 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。

(2) 海南昌江核电厂 1、2、3、4 号四台机组和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，海南昌江核电厂 1、2、3、4 号四台机组和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介质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远小于 $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，海南昌江核电厂 1、2、3、4 号四台机组和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。

6.2.8 关键人群组、关键核素、关键照射途径

采用现实排放源项分析关键居民组、关键核素和关键照射途径。本工程运行状态下，厂址半径 80km 范围内居民所受的集体剂量为 $5.79\text{E-}03$ 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 SSW 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 $2.72\text{E-}07$ Sv/a、 $3.73\text{E-}07$ Sv/a、 $3.11\text{E-}07$ Sv/a、 $2.44\text{E-}07$ 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，受到的最大个人有效剂量为 $3.73\text{E-}07$ Sv/a，其中气态途径剂量为 $4.61\text{E-}08$ Sv/a，液态途径剂量为 $3.27\text{E-}07$ Sv/a。

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 83.38%；其次为吸入内照射途径，约占气态途径总剂量的 10.53%。气态途径的主要核素为 C-14，它所致的剂量约占气态剂量的 74.72%；其它贡献较大的核素为 H-3，占气态途径总剂量的 18.92%。

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 99.88%。液态途径的主要核素为 C-14，它所致的剂量约占液态途径总剂量的 79.51%；其它贡献较大的核素为 Co-60，占液态途径总剂量的 12.71%。

气液态综合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 $3.26\text{E-}07\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 87.54%；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 10.30%。各核素中关键核素为 C-14，它所致的剂量为 $2.94\text{E-}07\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 78.88%；另外，Co-60 和 H-3 的剂量贡献也较大，分别占气液态总剂量的 11.27%和 3.03%。

本工程建成后将与海南昌江核电厂 1、2 号机组以及小堆一起运行。五台机组运行状态下，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 $3.83\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 、 $5.14\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 、 $4.27\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 、 $3.19\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 。最大个人有效剂量出现在厂址 SSW 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，因此五台机组运行状态下，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 $5.14\text{E-}07\text{ Sv/a}$ ，其中气态途径剂量为 $6.41\text{E-}08\text{ Sv/a}$ ，液态途径剂量为 $4.50\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 。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 $4.50\text{E-}07\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 87.46%；其次为食入农牧产品内照射途径，占气液态总剂量的 10.44%。各核素中关键核素为 C-14，它所致的剂量为 $4.28\text{E-}07\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 83.15%；另外，Co-60 的剂量贡献也较大，占气液态总剂量的 8.19%。

6.2.9 辐射影响评价

综合上述计算分析，本工程及厂址五台机组运行状态下，气态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，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 其他环境影响

6.3.1 化学污染物的环境影响

核电厂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：

- （1）给水处理和除盐处理；

(2) 凝结水精处理；

(3) 循环水处理系统。

6.3.1.1 给水处理和除盐处理

此类废水中的化学物质是给水处理过程产生的悬浮物和净化剂反应生成物以及除盐处理过程中树脂再生废水中的 NaCl。

为了满足海南昌江核电厂 3、4 号机组的运行需要，本工程给水处理环节——淡水厂投加聚合硫酸铁、聚丙烯酰胺、二氧化氯药剂。给水处理过程中所用的化学药品用量均是根据原水水量、悬浮物及浊度等条件按比例投加，并在处理环节中消耗殆尽。

聚合硫酸铁、聚丙烯酰胺反应生成物绝大部分存在于淡水厂的生产废水泥浆中，泥浆水经浓缩后进行脱水，脱水后的滤出液排入生活污水管网，最终进入污水处理构筑物处理。

除盐水生产系统树脂再生废水的 NaCl 排放浓度不大于 45mg/L，经中和处理后排入生产废水系统，最终排入附近海域。与海域内天然含盐量相比，核电厂除盐水生产系统排水中所增加的含盐量很低。《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中对含盐量没有限制，且含盐量也不是《海水水质标准》（GB3097-1997）中用于海水分类的项目指标。因此，不会影响附近海域的海水质量。

6.3.1.2 凝结水精处理

此类废水中的化学物质是精处理再生处理过程产生的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和 Na_2SO_4 。

为了满足海南昌江核电厂 3、4 号机组的运行需要，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。再生过程产生的废水排入废水中和池内，通过注入酸、碱及空气搅拌中和使废水 pH 值达到 6~9，然后通过排水泵送到常规岛废液收集系统。经处理，排入环境中的 Na_2SO_4 浓度不大于 1 mg/L，与海域内天然含盐量相比，所增加的含盐量很低，且《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中对含盐量没有限制；排入环境中的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 折算氨氮的排放浓度不大于 0.25 mg/L，满足《污水综合排放标准》中一级标准（不大于 15 mg/L）。

6.3.1.3 循环水处理系统

循环水处理系统对流经循环水冷却系统的海水作连续加氯处理，取水头部连续加药 1mg/L，联合泵房连续加药 1mg/L，当海生物大量繁殖时，配合取水头部冲击加药每天 2 次，每次 3mg/L，持续 1 小时。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。

冷却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。根据余氯数值模拟计算结果，余氯影响范围局限于排水口附近，不会对海洋生态环境造成影响。

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。非放射性含油废水在含油废水集水池暂存，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，处理后其水质达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中的一级标准，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。

本工程主厂区各子项的生活污水通过相应污水管网汇集至 1、2 号机组工程西侧的 ED1 污水处理站，生活污水经处理达到《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，回用剩余水量最终排入大海。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。本工程海水区域为三类功能区域，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

海南昌江核电厂 3、4 号机组正常运行时，噪声源对厂址周围声环境的影响采用

Cadna/A 程序进行预测。进行环境噪声预测时，所使用的工业噪声源一般按点声源处理。对构建筑物内的噪声源，需根据实际布置的门窗等透声面设置垂直面声源等效室内的点声源进行预测。将先进废物处理中心新增设备均作为点源处理。

1) 计算原理

采用 Cadna/A 程序进行预测，一般采用声源的倍频带声功率级、A 声功率级或靠近声源某一参考位置的倍频带声压级、A 声级来预测计算距声源不同距离的声级。

如已知声源的 A 声功率级，则预测点位置的 A 声级 $L_A(r)$ 可采用如下公式计算：

$$L_A(r) = L_{Aw} + D_C - (A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}) \quad (6.3-1)$$

式中： L_{Aw} ——声源的 A 声功率级，dB(A)；

D_C ——指向性指数，dB(A)；

A_{div} ——几何发散引起的衰减，dB(A)；

A_{atm} ——大气吸收引起的衰减，dB(A)；

A_{gr} ——地面效应引起的衰减，dB(A)；

A_{bar} ——声屏障引起的衰减，dB(A)；

A_{misc} ——其他多方面效应引起的衰减，dB(A)。

如第 i 个声源在预测点产生的 A 声级为 L_{Ai} ，在 T 时间内该声源工作时间为 t_i ，则拟建工程声源对预测点产生的贡献值 L_{eqg} 可采用如下公式计算：

$$L_{eqg} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N t_i 10^{0.1L_{Ai}} \right) \quad (6.3-2)$$

式中： t_i ——在 T 时间内 i 声源工作时间，s；

T ——用于计算等效声级的时间，s；

N ——声源个数。

2) 预测结果

经计算，海南昌江核电厂 3、4 号机组（含先进废物处理中心）正常运行后声源对各厂界的噪声贡献值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中规定 3 类标准限值，即昼间 65 dB(A) 和夜间 55 dB(A)。本工程运行对居民点噪声的影响可以忽略。

综上所述，海南昌江核电厂 3、4 号机组工程（含先进废物处理中心）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 电磁的环境影响

海南昌江核电厂在建500kV开关站，根据HJ 24-2020标准要求，可采用类比法和已运行的田湾1-4号机组共用的500kV开关站、5-8号机组共用的500kV开关站的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。

本工程500kV开关站与田湾核电站现有开关站比较内容见表6.3-1。

田湾核电厂厂址区域5km范围内电磁环境的主要评价结论如下：

工频电场/工频磁场：田湾核电厂厂区工频电场强度监测值在0.164V/m~1428.52V/m之间，工频磁场强度监测值在0.036 μ T~9.793 μ T之间；输电线路工频电场强度监测值范围在1.326V/m~2044.64V/m之间，工频磁场强度监测值在0.035 μ T~6.817 μ T之间；田湾核电厂厂区外环境敏感区工频电场强度监测值在0.118V/m~106.80V/m之间，工频磁场强度监测值在0.038 μ T~0.087 μ T之间。根据以往工程经验，机组正常运行时，开关站电场强度最大值一般出现在靠近输电线路边相外0-5m处，最大磁场强度一般在中相导线的正下方附近，然后随距离增加而降低。距离田湾核电站厂址最近的环境敏感点为位于厂址NNW方位约1.4km处的东崖屋村，此处工频电场监测值为0.371V/m，工频磁场监测值为0.043 μ T。所有工频电场/工频磁场强度监测值都分别小于标准限值4kV/m和0.1mT（100 μ T），符合标准要求。

距离海南昌江核电厂厂址中心点最近的居民点为位于厂址中心NNS方位约1.2km处的马地村，此处工频电场强度监测值为0.08V/m，工频磁场监测值为0.0064 μ T。此处的工频电场强度监测值小于田湾核电厂最近的环境敏感点工频电场强度监测值，工频磁场强度监测值略大于田湾核电厂最近的环境敏感点的工频磁场强度监测值。海南昌江核电厂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），符合标准要求。

由表 6.3-1 及以上分析可见，海南昌江核电厂厂址区域附近电磁辐射污染源要少于田湾核电站厂址区域。可以预见，海南昌江核电厂 3、4 号机组投运后 500kV 开关站对周围环境的电磁辐射影响也能够满足国家相关标准的要求。

6.3.2.4 非放大气污染物的环境影响

（1）评价标准

环境中 SO₂、NO_x、TSP、Pb、Cd、氟化物（F）、CO 执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）浓度限值，氯化氢执行《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）浓度标准，二噁英类参照执行日本环境厅中央环境审议会制定的环境标准。主要污染物环

境质量标准见表 6.3-2。

大气污染物排放执行《生活垃圾焚烧污染控制标准》（DB46/484-2019）表 1 相关要求，先进废物处理中心的燃烧容量为 50kg/h，大气污染物排放限值见表 6.3-3。

（2）评价等级与评价范围

采用 AERSCREEN 计算，烟气中污染物最大浓度占标率均大于 1%且小于 10%。

综上所述，按照《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）中评价等级分级判据以及评价范围确定的规定，本工程大气环境评价等级为二级，评价范围为厂址区域为中心的边长为 5km 的矩形区域范围，可不再进行进一步预测与评价，只对污染物排放量进行核算。

（3）正常运行的环境影响

烟囱出口污染物浓度均满足《生活垃圾焚烧污染控制标准》（DB46/484-2019）规定的标准限值。

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。本节主要对海南昌江核电厂 3、4 号机组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。

海南昌江核电厂 3、4 号机组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的衰变，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，针对海南昌江核电厂 3、4 号机组退役推荐选择立即拆除的退役策略。理由如下：

- 海南昌江核电厂 3、4 号机组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，可保证待海南昌江核电厂 3、4 号机组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，海南昌江核电厂 3、4 号机组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

海南昌江核电厂 3、4 号机组工程规划建设两台自主化三代百万千瓦级压水堆核电机组（融合华龙一号），两台机组一次性规划，依次建设，电站设计寿命 60 年。海南昌江核电厂 3、4 号机组的退役范围包括 3、4 号机组新建设施以及与 1、2 号机组共用的设施。

6.4.4.2 退役方案

海南昌江核电厂 3、4 号机组的退役，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（如蒸汽发生器、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

本厂址的环境本底辐射水平调查需要在首堆建造前完成，根据国家相关标准的要求，海南昌江核电厂 3、4 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

在海南昌江核电厂 3、4 号机组退役过程中，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。

海南昌江核电厂 3、4 号机组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 NT/B20048-2011《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，在本核电厂建造可行的前提下，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) 海南昌江核电厂 3、4 号机组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) 在核电厂安全关闭期，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。在核电厂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 6.3-1 海南昌江核电厂与田湾核电站电磁辐射环境情况对比

	海南昌江核电厂	田湾核电站
建设规模	海南1、2号机组2*650MW 海南3、4号机组2*1200 MW 海南小堆100MW	田湾1、2号机组2*1060 MW 田湾5、6号机组2*1000 MW 田湾7、8号机组2*1200MW
电压等级	500kV	500kV
厂区内电磁辐射源	1个在建500kV出线开关站、2个已建220kV开关站，5台主变压器	2个已建500kV开关站，1个已建220kV辅助开关站，6台已建主变压器
厂区外电磁辐射源	4条220kV输电线	3条500kV输电线，1条220 kV输电线，2条110 kV输电线

表 6.3.2 环境空气污染物基本项目浓度限值

污染物名称	平均时间	浓度限值		单位	
		一级	二级		
NO ₂	日平均	80	80	μg/m ³	
	小时平均	200	200		
NO _x	日平均	100	100		
	小时平均	250	250		
SO ₂	日平均	50	150		
	小时平均	150	500		
CO	日平均	4	4		mg/m ³
	小时平均	10	10		
PM _{2.5}	日平均	35	75	μg/m ³	
PM ₁₀	日平均	50	150		
TSP	日平均	120	300		
O ₃	日最大 8 小时平均	100	160		
	小时平均	160	200		
氯化氢	日平均	15			
氟化物 (F)	日平均	7	7		
	小时平均	20	20		
铅 (Pb)	年平均	0.5	0.5		
	季平均	1	1		
二噁英	年平均	0.6		pgTEQ/m ³	

注：氯化氢参照执行《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）附录 D 其他污染物空气质量浓度参考限值，二噁英参考日本环境标准只有年平均的浓度限值，铅（Pb）《环境空气质量标准》中只有年平均和季平均的浓度限值，暂不评价二噁英、铅（Pb）。

表 6.3-3 污染物排放限值

单位：（mg/m³），二噁英类除外

取值时间	SO ₂	烟尘	二噁英类	HCl	CO	NO _x	铅及其化合物 (以 Pb 计)	镉及其化合物 (以 Cd 计)	HF
24 小时 均值	20	8	0.05	8	30	120	0.3	0.03	1
1 小时 均值	30	10	TEQng/m ³	10	50	150			2

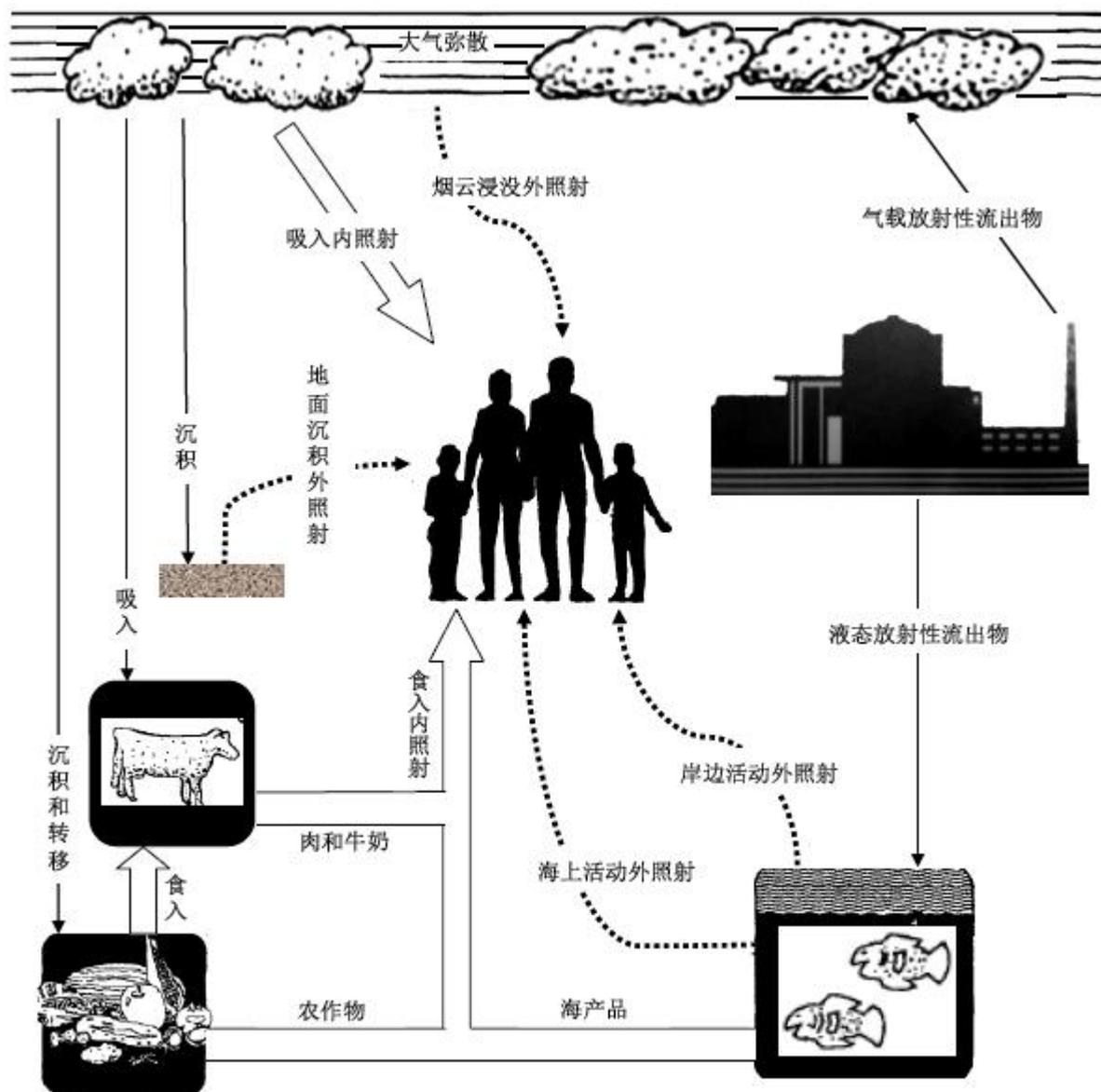


图 6.2-1 气、液态放射性流出物对公众的照射途径

第七章 核电厂事故的环境影响和环境风险

7.1 核电厂放射性事故和后果评价

7.1.1 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 制定核事故应急预案的主要依据

7.5.2 应急组织

7.5.3 与场外应急组织的接口

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

7.5.7 应急文件

7.1 核电厂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。海南昌江核电厂 3、4 号机组采用华龙一号机型，本章根据华龙一号机组设计基准事故源项，采用海南昌江核电厂厂址气象数据，计算各个事故对公众造成的潜在放射性后果，并评价各事故的剂量后果是否满足 GB 6249-2011 的要求。

海南昌江核电厂 3、4 号机组所考虑的主要设计基准事故如下：

- 失水事故
- 控制棒弹出事故
- 蒸汽发生器传热管破裂事故
- 卡轴事故
- 安全壳外含有一次侧冷却剂小管道破损事故
- 主蒸汽管道破裂事故
- 废气处理系统衰变箱破裂事故
- 化学容积控制系统容控箱破裂事故
- 燃料操作事故

根据《核动力厂环境辐射防护规定》GB6249-2011 的相关规定，将失水事故、控制棒弹出事故、燃料操作事故、主蒸汽管道破裂事故、卡轴事故、蒸汽发生器传热管破裂事故（事故前碘峰）按照极限事故进行评价；蒸汽发生器传热管破裂事故（事故触发碘峰）、安全壳外含有一次侧冷却剂的小管道破损事故、化学和容积控制系统容控箱破裂事故和废气处理系统衰变箱破裂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

一回路系统中等效直径大于 34.5cm 的破裂定义为大破口失水事故。

大破口失水事故通常可分为四个阶段：

- 喷放阶段，破裂开始到安注箱注射开始的阶段。
- 喷放结束/再灌水阶段，安注箱开始注射并持续直到堆芯底部开始淹没的过程。
- 早期再淹没阶段，直到安注箱注射结束。
- 晚后期再淹没阶段，直到堆芯完全骤冷和长期冷却建立。

大破口失水事故属于极限事故。

7.1.1.2 控制棒弹出事故

控制棒弹出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。

控制棒弹出事故属于极限事故。

7.1.1.3 蒸汽发生器传热管破裂事故

蒸汽发生器传热管断裂事故(SGTR)考虑一根传热管完全双端剪切断裂。假定事故出现在功率运行时，反应堆冷却剂被裂变产物污染的程度相当于具有有限数量破损燃料棒连续运行的情况。由于该事故使放射性冷却剂从 RCS 向二回路系统泄漏，导致二回路系统放射性增加。如果在发生该事故的同时又失去厂外电源或蒸汽向冷凝器的排放系统失效，则放射性活度将通过蒸汽发生器的安全阀和（或）大气释放阀向大气排放。

蒸汽发生器传热管破裂（事故触发碘尖峰）属于稀有事故，蒸汽发生器传热管破裂（事故前碘尖峰）属于极限事故。

7.1.1.4 卡轴事故

该假想事故假设反应堆冷却剂泵转子瞬间卡住，受影响反应堆冷却剂环路的流量快速降低，导致反应堆在流量低信号下触发紧急停堆。如果事故发生时反应堆正在功率运行状态，堆芯流量降低会导致冷却剂温度快速升高。这种温度升高可能使燃料棒发生 DNB，此时如果反应堆没有紧急停堆，就可能导致燃料损伤。

卡轴事故属于极限事故。

7.1.1.5 安全壳外含有一次侧冷却剂小管道破损事故

这类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。

安全壳外含有一次冷却剂的小管道破裂事故属于稀有事故。

7.1.1.6 主蒸汽管道破裂事故

蒸汽系统管道损坏最保守的假设是导致最快降温冷却的双端剪切断裂。

蒸汽系统管道破裂引起的蒸汽排放，最初将使蒸汽流量增加，而后在事故期间由于蒸汽压力下降，蒸汽流量减小。从一回路导出能量导致冷却剂的温度和压力下降。在存在负的慢化剂温度系数的情况下，降温导致正反应性引入。

如果假定在紧急停堆之后具有最大负反应性的 RCCA 卡在完全抽出的位置，则增加了堆芯临界并返回功率运行的可能性。通过安全注射系统注射硼酸使堆芯最终停堆。

主蒸汽管道破裂事故属于极限事故。

7.1.1.7 废气处理系统衰变箱破裂事故

废气处理系统(ZGT)的用途是从反应堆冷却剂中排除气体裂变产物，并处理和控制气体放射性流出物向厂址环境的释放。

处理废气使用了气体缓冲罐、过滤器和压缩机。在换料前反应堆先停堆，此时 ZGT 系统的废气总量最大。

考虑负荷跟踪运行情况下该事故的环境排放源项。

废气处理系统衰变箱破裂事故属于稀有事故。

7.1.1.8 化学容积控制系统容控箱破裂事故

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（RCV）罐破损。

在正常运行条件下，化学和容积控制系统 RCV 罐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。

容积控制罐如果完全破损，该罐中全部液体和气体就释放到罐所在的房间中，并且在操纵员隔断 RCV 下泄管线之前，还会有一定量的液体继续释放出来。

化学容积控制系统容控箱破裂事故属于稀有事故。

7.1.1.9 燃料操作事故

燃料操作事故是指一组乏燃料组件跌落在乏燃料水池内，导致经过辐照的这组乏燃料组件燃料棒包壳破损。

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。

燃料操作事故属于极限事故。

7.1.2 事故后果计算

7.1.2.1 事故大气弥散条件

采用海南昌江核电厂 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非居住区与规划限制区边界处的个人剂量。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。

考虑上述三种照射途径，分别计算非居住区边界处公众在各设计基准事故后 2h 内，以及规划限制区边界处公众在各设计基准事故持续期间受到的有效剂量以及甲状腺当量剂量。

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

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）中规定，对于设计基准事故的潜在照射后果应符合下列要求：

在发生一次稀有事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内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。

在发生一次极限事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 0.1Sv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 1Sv 以下。

对海南昌江核电厂 3、4 号机组的 9 类设计基准事故的潜在放射性后果进行了评价，结果表明事故对非居住区边界及规划限制区边界处的公众造成的有效剂量及甲状腺当量剂量均小于 GB 6249-2011 的相关剂量控制值，事故剂量后果满足国标的要求。

7.2 严重事故

7.2.1 事故描述

对于严重事故，华龙一号机组设计上考虑了完善的严重事故预防及缓解措施，可以防

止大量放射性向环境释放的严重事故发生。采用本工程现阶段的二级 PSA 分析成果，评价严重事故的放射性后果。

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。

利用海南昌江核电厂 2023 年的逐时气象监测数据，采用 NUREG/CR-4691 评价模式，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有效剂量的概率。

计算结果显示，二级 PSA 全事故谱概率加权后，2 天有效剂量超过 10mSv 的概率、7 天有效剂量超过 50mSv、1 个月和一年有效剂量超过 30mSv 的概率随着距离的增加而不断降低。

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。

华龙一号核电机组作为第三代核电厂，在设计上针对高压熔融物喷射、蒸汽爆炸、氢气燃烧或爆炸、堆芯熔融物与混凝土相互作用、安全壳晚期超压失效等造成安全壳失效的威胁均考虑了相应的缓解措施。

7.3 厂内运输事故

7.3.1 新燃料运输事故

本项目新燃料组件运输采用的新燃料运输容器，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燃料厂房的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

本项目运行期间产生的废树脂来自 RCV、ZBR、TTB、RFT 和 ZLT 系统的除盐器；浓缩液来自 ZLT 系统的蒸发器；废过滤器芯来自 NH 厂房和 QF 厂房内 RCV、ZBR、RFT、ZLT 和 TTB 系统的水过滤器。

NH 厂房产生的废树脂收集在 NH 厂房的废树脂贮槽中，QF 厂房产生的废树脂收集在 QF 厂房的废树脂贮槽中，NH 厂房和 QF 厂房的废树脂通过屏蔽运输车转运至海南 1、2 号机组 NX 厂房水泥固化处理，经封盖和剂量检测后送至暂存库进行暂存。正常情况下 TTB 系统的废树脂仅受轻微放射性污染，在 NH 厂房直接装入容器桶，然后送到先进废物处理中心（QD）贮存衰变，等待清洁解控。放射性水平异常的 TTB 废树脂收集在 NH 厂房的废树脂贮槽中，然后送到海南 1、2 号机组 NX 厂房进行处理。废树脂运输槽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。屏蔽运输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。

浓缩液收集在 QF 厂房的浓缩液贮槽中，需要处理时通过屏蔽运输车转运至海南 1、2 号机组 NX 厂房水泥固化处理，经封盖和剂量检测后送至暂存库进行暂存。浓缩液运输槽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，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。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、加热装置、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以及结晶。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。屏蔽运输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。

废过滤器芯用废过滤器芯屏蔽运输车转运至 QD，在 QD 水泥固定处理后产生的 200L 钢桶废物包转运至 QT 暂存。运输废物的屏蔽运输车装载废物后屏蔽容器外表面剂量率不超过 2mSv/h ，屏蔽容器的盖子能够锁死，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，保证运输过程中的安全。

杂项干废物用专用运输车运送到 QD 厂房，经等离子体高温熔融技术处理后，产生的玻璃体装入 130L 的玻璃体接收容器内，然后将玻璃体接收容器装入 200L 钢桶进行水泥固定，水泥固定处理后产生的 200L 钢桶废物包根据表面剂量率，判断是否装入屏蔽容器。当废物包表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ ，直接通过专用运输车转运至 QT 暂存；当废物包表面剂量率 $> 2\text{mSv/h}$ ，装入屏蔽容器后通过专用运输车转运至 QT 库暂存。

厂内运输道路有足够的宽度和平整度保证运输安全，运输过程中采取控制转运车辆行驶速度、道路通行管制等管控措施，降低放射性固体废物运输事故发生的概率和危害程度。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。

本项目运行过程中产生的低、中水平放射性固体废物，处理后形成废物包，在厂内贮存一定年限后，再运往放射性废物处置场。放射性固体废物的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。此外，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容器 钢桶》的要求。水泥固化废物体的性能满足 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》的要求，水泥固定体性能满足 EJ 1186-2005《放射性废物体和废物包的特性鉴定》的要求。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》的要求。即使在运输过程中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，也是易于收集的块状水泥固化物，故不会对环境造成污染。

7.4 其他事故

在本电站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清除一回路冷却剂中的氧。清除覆盖气体时，是将这些气体排入放射性废气处理系统的衰变箱内。废气处理系统中配备有氢氧监测器，氢气和氧气不会在系统中积聚到危险的数量，因而不会发生氢气爆炸事故。

海南昌江核电厂 3、4 号机组的防火设计严格执行有关的设计规范，例如《核动力厂设计安全规定》HAF102-2016；《核电厂防火》HAD102/11（1996）；《压水堆核电站防火设计和建造规则 RCC-I》（1997），贯彻以防为主，消防结合的方针。通过预防火灾、限制火灾蔓延、火灾探测以及通过自动的或由电站运行人员操作的灭火措施来实现防火的目的。尽量使用非易燃的建筑材料和设备，对易产生火灾的物品要选择好安全贮存的位置。在设计中要考虑限制火灾蔓延的措施和设施。

液体状态的酸碱溶液，用槽车运入电厂内，盛装在专用贮槽或贮罐内。对运输和装卸采取一些保护措施，确保不会发生溅落或溢出。贮槽或贮罐均采用耐腐蚀材料和保守的设计，保证它们不会发生破裂或泄漏。箱室有足够高的覆面，即使发生泄漏，泄漏液也能被收集，不会释放到环境中。因此酸碱溶液在运输、装卸和贮存期间，预期不会导致环境风险。

厂区内不会有危险数量的汽油贮存。应急柴油机房贮存有一定量的柴油，对此设计了安全防火系统，确保不会发生危及环境安全的火灾。

危险品仓库内仅贮有少量化学试剂，不贮存危险数量的酸碱溶液，不存在危及环境安全的化学物品泄漏事故的可能性。

7.5 事故应急

7.5.1 制定核事故应急预案的主要依据

我国核安全法规《核电厂核事故应急管理条例》（HAF002）要求电厂在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，迅速向场外提供保护居民安全与健康的建议。

海南昌江核电厂 3、4 号机组根据国家法律、法规的要求，编制《海南昌江核电厂 3、4 号机组场内核事故应急预案》。

7.5.2 应急组织

海南核电有限公司、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、维修等部分各自独立建立应急专业组，保卫消防、辐射监测、后勤保障等部分共同建立应急专业组（以下简称应急共建组）。

7.5.3 与场外应急组织的接口

华能海南昌江核电有限公司与海南核电有限公司成立基地协调委员会，下设环境应急协调组，定期组织召开沟通协调会，推进海南昌江核电基地的应急管理工作。核事故发生后，华能海南昌江核电有限公司和海南核电有限公司联合成立应急指挥部，负责对内、对外的信息发布、通告报告等，实现应急情况下统一指挥。不同营运单位之间机组控制、应急抢修支持由应急指挥部直接调配。协调保障、保卫消防、环境监测等专业组由海南核电有限公司和华能海南昌江核电有限公司联合组成，协同响应。

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，海南昌江核电基地应急指挥部将及时建立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、生态环境部华南核与辐射安全监督站、海南省核应急委、中国华能集团有限公司、华能核电开发有限公司等单位和部门的联系渠道，按照监管当局及行政主管部门的要求密切配合、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

根据国家有关法规要求，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，海南昌江核电厂 3、4 号机组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：出现可能危及核动力厂安全的某些特定工况或事件，表明核电厂

的安全水平处于不确定或可能有明显降低。

(2) 厂房应急：核动力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：核动力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

海南昌江核电厂 3、4 号机组配备了 3、4 号机组主控室、远程停堆站、应急指挥中心、后备应急指挥中心、技术支持中心、运行支持中心等应急设施以及医学救护设施设备、移动电源车库、应急监测及评价设施等相对独立的应急设施设备。

(1) 主控室

主控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。

海南昌江核电厂 3、4 号机组主控室可以实现双进风口技术并配置应急过滤系统，主控室系统的设计满足冗余性的要求和有关的安全标准，能承受安全停堆地震，同时具有良好的密封和通风性能，通风口安装有除碘吸附器，对放射性物质具有足够的过滤能力。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室内工作人员的受照剂量进行分析和计算，经评价主控室满足 HAD 002/01-2019 规定的可居留性准则。

(2) 远程停堆站

远程停堆站的作用是在主控室不可用的情况下，把反应堆带入热停堆状态，并保持反

应堆在该安全状态。如果需要，通过少量就地配合，使反应堆达到并维持在冷停堆状态。

远程停堆站的设计不考虑主控室不可用的同时还伴有其他事故，特别是不同时发生要求专设安全设施运行的事故。但考虑了厂外电源丧失和地震引发主控室火灾的情况。

（3）应急指挥中心（EM 楼）

应急指挥中心（EM 楼）为海南昌江核电基地专设应急响应设施，是核事故应急响应期间对厂址内机组进行统一指挥和协调工作的场所，其主要功能是为海南昌江核电基地应急响应期间的应急响应活动提供指挥场地和应急响应期间的生活保障，这些应急响应行动包括：

- 核事故情况下的环境应急监测；
- 与场外应急组织协调、联络；
- 向地方政府主管部门和国家核安全监督部门报告事故信息；
- 机组状态评价和运行、维修技术支持；
- 与场外技术支持单位的联系交流；
- 环境辐射和气象数据的获取和评价；
- 事故后果评价和防护行动建议；
- 防护行动的指挥和协调，包括集合、清点、服用碘片、撤离等；
- 抢修和抢险行动的组织 and 协调；
- 公众信息准备和发送；
- 保卫指挥、协调、交通控制。

分别针对 1、2 号机组和 3、4 号机组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。

（4）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。现场内应急指挥中心（EM 楼）因地震或其他原因导致 EM 楼厂房缺陷或设备故障，可能导致可居留性失效时，经相关应急专业组确认，指挥部批准，现场应急指挥中心人员后撤至后备应急指挥中心。

（5）运行支持中心

海南昌江核电厂 3、4 号机组运行支持中心设在 EM 楼（应急指挥中心）三层。运行支持中心的功能是在应急响应期间供执行设备检修、系统或设备损坏探查、堆芯损伤取样分析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。

（6）技术支持中心

海南昌江核电厂 3、4 号机组技术支持中心设在 EM 楼二楼，作为 3、4 号机组技术支持人员备用响应场所。技术支持中心是技术支持组的主要办公场所，主要功能是对主控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。

（7）医学救护设施

海南昌江核电基地医疗卫生所设有现场的医生和护士，以白天正常上班，晚上电话值班（紧急情况时拨打）的服务形式为员工提供医疗服务。

（8）移动电源车库

移动电源车库，主要功能是作为移动电源和移动泵等应急移动设备的存放场所。本设施为海南核电 1、2 号机组和 3、4 号机组共用。

（9）应急监测及评价设施

海南昌江核电厂 3、4 号机组配备了各种监测系统、设施，其中与场内核事故应急预案相关的主要有：环境实验室、厂房辐射监测系统、环境 γ 辐射及气象监测系统和地震仪表监测系统。

（10）保卫消防设施

3、4 号机组与 1、2 号机组共用保卫楼。保卫消防设施在应急时可实施区域控制、厂区交通管制、火灾监控和报警。

（11）应急道路

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。

7.5.6 应急计划区

根据《核电厂应急计划与准备准则—应急计划区的划分》（GB/T 17680.1-2008）等有关规定，并结合核电厂周围的具体环境特征。昌江核电基地应急计划区确定原则包括：

- 应急计划区是指在应急计划中确定的、计划在事故条件下采取应急防护措施的地区。事故状态下实施应急防护措施的地区，其大小、形状受事故释放特征和释放期间的气象条件的影响，实施防护措施的半径可能小于应急计划区的半径，而在另外一些极其罕见的情况下，可能会大于应急计划区的半径；

- 充分考虑海南昌江核电基地厂区周围的具体环境特征（如地形、行政区边界、人口分布、交通和通信等）、各种政治、经济、社会及公众心理等因素的影响和实施各种防

护措施的可能性及它们的风险、困难和代价。

- 根据不同堆型现阶段事故分析成果，分别开展相应机组应急计划区范围的测算，并依据法规标准的要求推荐全厂址统一的应急计划区范围。按照“统一应急、统一管理”的方针开展应急准备与响应工作。

- 在海南昌江核电基地周围建立烟羽和食入两个应急计划区：其中烟羽应急计划区又分为内区和外区。烟羽应急计划区是针对烟羽引起的照射途径（空气浸没外照射、烟云吸入内照射和地表沉积外照射），可采取的用于保护公众的防护措施有隐蔽、撤离和服用稳定性碘；食入应急计划区是针对食入照射途径（摄入污染的食品和水等），食品和饮水控制是可以采取的主要防护措施；

- 确定核电厂应急计划区时，既应考虑设计基准事故，也应考虑严重事故，计算事故通过烟羽照射途径使公众可能受到的预期剂量，并估计可能被污染的食品和饮用水的污染水平，将所得到的剂量数据和污染水平与《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）所规定的相应的通用优化干预水平或行动水平进行比较，确定应急计划区的范围大小，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。同时确保所确定的应急计划区的范围之外，事故可能导致的公众剂量和食品与饮用水的污染水平分别低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）所规定的相应的通用优化干预水平和行动水平。

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。海南昌江核电基地总的应急计划区为 1、2 号机组和 3、4 号机组应急计划区的包络范围。

海南昌江核电厂 1、2 号机组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。海南昌江核电厂 3、4 号机组，烟羽应急计划区分别为以 3、4 号机组为中心半径 10km 范围的包络，其中内区半径为 5km。

海南昌江核电厂 1、2 号机组确定的食入应急计划区为以 1 号机组为中心半径 50km 的区域；海南昌江核电厂 3、4 号机组食入应急计划区为以 3、4 号机组为中心半径 50km 范围的包络。

7.5.7 应急文件

基于华能海南昌江核电有限公司质量体系，建立了海南昌江核电厂 3、4 号机组应急文件体系。应急文件体系由场内核事故应急预案、应急管理程序、应急技术程序以及非核突发应急预案等。

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 气载放射性流出物连续监测道清单

表 8.1-2 放射性流出物分析大纲

表 8.1-3 放射性流出物分析大纲

表 8.1-4 液态放射性流出物在线监测方案

表 8.1-5 海南昌江核电基地正常运行期间环境辐射监测大纲

表 8.1-6 环境辐射监测各核素、方法汇总表

表 8.1-7 早期阶段监测方案

表 8.1-8 中期阶段监测方案

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厂界噪声测量

表 8.3-1 流出物实验室的房间面积和房间功能

表 8.3.2 流出物实验室监测仪器设备

表 8.3-3 流出物测量项目、取样测量方法、分析核素的种类及其探测限

表 8.3-4 监督性流出物实验室主要设备清单

表 8.3-5 环境辐射监测站主要设备配置表

表 8.3-6 环境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

海南昌江核电厂 3、4 号机组的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。

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标准和核电厂的实际情况制定。

8.1.1.1 监测依据

制定流出物监测方案的主要依据是：

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 11217-1989	《核设施流出物监测的一般规定》
GB 8999-2021	《电离辐射监测质量保证通用要求》
GB/T 7165.1-2005	《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 7165.2-2008	《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 7165.3-2008	《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 7165.4-2008	《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 7165.5-2008	《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第 5 部分：氡监测仪的特殊要求》
GB/T 12726.1-2013	《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 12726.2-2013	《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》
ANSI N13.1-2011	《核设施烟囱和管道释放气载放射性物质的取样和监测》

8.1.1.2 监测目的

运行期间流出物监测目的：

- 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

放控制值和核电站本身规定的排放管理目标值；

- 为判明核电厂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；
- 使公众确信核电厂的放射性物质排放确实受到严格的控制；
- 迅速发现有无计划外排放和事故排放，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；
- 给出报警和必要的执行动作，以控制不合理的排放，可为核电厂在事故期间的应急响应提供信息。

8.1.1.3 监测原则

昌江核电厂 3、4 号机组运行期间流出物监测方案的制定和监测系统的设计遵循的主要原则有：

- 满足国家标准法规及国家生态环境部在多堆厂址统一管理规定上的要求；
- 对于可能产生放射性排放的途径，应设置合理的监测手段。取样点的设置和取样系统的设计应确保监测结果能代表实际的排放；
- 对于槽式排放，进行取样分析；对于存在计划外释放可能性的排放途径，应进行连续监测且仪表有足够宽的量程；对于事故后监测功能的仪表需考虑冗余监测；
- 为便于评价监测结果，除对释放的放射性物质监测外，还监测其它与评价和估算有关的参数，如流出物的流量、温湿度及气象参数等；
- 根据国家标准规定的年排放控制值和浓度限值，制定合理的排放控制值和仪表的报警阈值；
- 流出物监测和取样系统的设计中将考虑地方环保部门的监督性检查和测量。

8.1.1.4 气载放射性流出物监测

（1）气载放射性流出物监测

昌江核电厂 3、4 号机组采用“华龙一号”核电技术，单堆布置，核岛反应堆厂房、燃料厂房、核辅助厂房、核废物厂房、人员通行厂房、安全厂房的放射性排风经过滤后汇总到核岛烟囱集中排放。昌江核电厂 3、4 号机组各设有一个排风烟囱，每个烟囱均设有气载放射性流出物连续监测和取样测量。

1) 气载放射性流出物连续监测

气载放射性流出物连续监测道包括烟囱排气低量程和高量程惰性气体 β 活度监测道（3/4IRM005MA、3/4IRM006MA、3/4IRM015MA、3/4IRM016MA），烟囱排气气溶胶活

度监测道（3/4IRM029MA、3/4IRM030MA），烟囱排气碘活度监测道（3/4IRM031MA、3/4IRM032MA），各监测道的详细信息见表 8.1-1。

A. 放射性惰性气体连续监测

烟囱放射性惰性气体监测分为正常情况放射性惰性气体监测和事故情况放射性惰性气体监测，低量程惰性气体监测的测量范围为 $3.7 \times 10^3 \sim 3.7 \times 10^9 \text{Bq/m}^3$ ，高量程监测范围为 $1.0 \times 10^6 \sim 3.7 \times 10^{15} \text{Bq/m}^3$ ，能满足核电厂正常排放和事故排放要求，而且高低量程互相重迭。低量程和高量程惰性气体 β 活度监测道按照事故后监测系统（PAMS）的要求进行设计，每个机组设置两列互为冗余的监测设备，安全级别为 F-SC2 级，抗震类别为 I 类，泵及控制设备的电源均由保护组重要电源系统提供。由低量程惰性气体 β 活度监测道给出的高阈值报警信号自动联锁关闭安全壳大气监测系统（CAM）隔离阀和废气处理系统（ZGT）排放阀。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，这些设计包括：

- 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；
- 采用应急电源供电；
- 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；
- 试验：对设备进行定期试验、校准。

B. 气溶胶连续监测

在烟囱设置气溶胶连续监测通道，气溶胶活度监测道的测量量程为 $1 \sim 3.7\text{E}+06 \text{Bq/m}^3$ ，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。

C. 放射性碘连续监测

在烟囱设置放射性碘连续监测通道，碘活度监测道的测量量程为 $3.7 \sim 3.7\text{E}+06 \text{Bq/m}^3$ ，对放射性碘水平进行连续监测，并设有显示、记录打印和报警功能。

2) 气载放射性流出物取样测量

在昌江 3、4 号机组烟囱气载流出物连续监测管路并行设置了取样装置。

气载放射性流出物取样点位、测量方法详见表 8.1-2~表 8.1-3。

3) 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/m³，当监测结果高于探测下限时，以监测结果参与计算；

V_k 表示该次取样周期内排放的废气的排放体积，m³；

$\eta_1、\eta_2、\eta_n$ 表示该类核素的取样采集效率。

8.1.1.5 液态放射性流出物监测

放射性废液主要来自放射性废物厂房液体放射性废物系统、汽轮机厂房废水系统排放以及汽轮机厂房厂用水系统排污等，废液经处理后分别汇总到核岛液态流出物排放系统及常规岛液态流出物排放系统的贮罐中作为液态放射性流出物集中排放。液态放射性流出物监测包括取样测量和排放时在线监测。液态放射性流出物排放前，将样品在现场实验室分析合格后才实施排放。

(1) 液态放射性流出物连续监测

昌江核电厂 3、4 号机组设有 QA/QB 废液排放厂房。QA 厂房主要收集、贮存核岛废液排放系统废液；QB 厂房主要收集、贮存常规岛废液排放系统废液。在 QA、QB 厂房各设置一套低放液体排放监测道（8IRM901MA、8IRM902MA），其功能是连续监测贮罐排放管道中的废液活度浓度，当排放废液活度浓度超过预定阈值时，给出报警信号，并自动启动隔离阀，停止废液排放。低放液体排放监测道是非安全级设备，无抗震要求。

(2) 液态放射性流出物取样测量

在 QA/QB 的废液排放前，工作人员必须对其进行取样分析，测量待排放废液中的放射性浓度，计算排放活度，确保其放射性浓度及排放活度不超过监管部门批准的限值。取样前将进行充分搅拌，确保取样的代表性；样品在实验室中采用高纯锗 γ 谱仪、低本底 α/β 计数器及低本底液体闪烁计数器等仪器进行测量和分析。液态放射性流出物取样点位、测量方法见表 8.1-2。

(3) 液态放射性流出物排放量计算方法

对于某类核素一年排放量计算方法如下：

$$A_{\text{年}} = \Sigma \{ (C_1 + C_2 + \dots + C_n + \dots) \times V_k \}$$

其中 $A_{\text{年}}$ 表示该年某类核素的排放量，Bq； Σ 表示一年内各次排放量求和； $C_1、C_2、C_n$ 表示某次排放废液中实验室取样分析测得某类某个核素的活度浓度，Bq/m³； V_k 表示该次排放的废液的排放体积，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。

液态流出物排放统计方法为 WQB/ZLD 待排放罐子排放前取样分析的各核素浓度乘上该罐子单次排放体积。数据统计周期内，如有发生异常排放，在计算排放量时需加上异常排放部分。此外，在机组大修或机组调停/小修（主蒸汽隔离阀关闭）期间，主蒸汽隔离阀关闭，二回路除 TTB 外的其它水体经取样分析合格后，经 WLC 非含油废水坑直接排往 WSS 系统；TTB 系统废液排往 ZLD 或 WQB 系统。

8.1.1.6 配合地方环保部门监督性监测

为了满足地方环保部门进行监督性监测，昌江核电厂 3、4 号机组建成后配合地方环保部门进行流出物监督性监测的主要措施有：

- 经常保持与地方环保部门联系，及时争取地方环保部门的监督与指导。
- 为地方环保部门建设流出物实验室；并将核电厂气载、液态流出物在线连续监测的数据实时同步传输至地方环保相关部门。
- 积极配合地方环保部门进行流出物监督性监测工作。
- 向地方环保部门及时提供流出物监测月报表；核电厂流出物监测及样品测量分析数据在需要时可随时供地方环保部门查询。
- 不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提求，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 8999-2021 《电离辐射监测质量保证通用要求》
- GB 6249-2011 《核电厂环境辐射防护规定》
- HJ 1157-2021 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》
- NB/T 20246-2013 《核电厂环境辐射监测规定》
- HJ 61-2021 《辐射环境质量监测技术规范》
- GB 3838-2002 《地表水环境质量标准》
- GB 8978-96 《污水综合排放标准》

- EJ 527-1990 《环境辐射监测中生物采样的基本规定》
- 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）》
- 环发[2012]16 号文件 《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]49 号文件 《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设具体要求（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，计划本工程运行期间的环境辐射监测大纲参见表 8.1-5。

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 2km 范围内的海域。

8.1.2.4 布点原则

依据相关法规标准及技术规范。

- 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。

- 对能够浓集放射性核素（如 ^{90}Sr ）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 、 ^{14}C ）进行重点监测。

- 土壤采样点设置在无水土流失的原野或田间；

- 气象塔的位置应适当地远离各种障碍物，使气象传感器的测量数据可充分代表厂址的大气弥散状况。位置尽量能与大气扩散试验站址一致，保持数据的可延续性；

- 充分利用运行前本底调查所获得的资料，并在满足环境评价需要的情况下，尽量做到环境监测最优化。

- 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：详见表 8.1-5。

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 8.1-6。

（1）实验室分析测量（对环境介质样品）

物理测量和分析：进行 α/β 放射性活度测量、 γ 能谱核素分析、 ^3H 和 ^{14}C 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 ^{90}Sr 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，进行连续监测和累积剂量测量；

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。

（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。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，并根据事故发生情况调整取样频度，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 km 的范围，其中内区为 5 km，外区为 5-10 km 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 km 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 km 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 km 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 km 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 km，根据放射性污染情况，监测半径可逐步扩大至 30 km；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 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。

8.1.3.6 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。

8.1.3.7 质量保证

应急监测应遵守实验室质量保证体系，应急监测仪器设备、计量器具需取得有效的计量溯源证明，仪器量程需满足应急监测要求，配置的核应急监测标。标准源与标准物质满足质保要求，各项应急监测需按照应急监测作业指导书执行，每年根据应急演练和培训计划，对人员进行培训、演练、能力验证与比对。

根据国内外最新法律法规、监管单位的要求、场外应急组织的要求等，监测内容可能会进行调整，具体应以电厂实际执行的应急辐射环境监测相关程序为准。

8.2 其他监测

8.2.1 热影响监测

海南昌江核电厂 3、4 号机组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厂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

海南昌江核电厂 3、4 号机组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，计划每年度对海南昌江核电厂 3、4 号机组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 220 kV 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 220 kv 出线围栏外 0、5、10、15...195、200 m,分别测量离地 1.5 m 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位于海南昌江核电厂 3、4 号机组厂区实验室一层，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。

流出物实验室包括热制备间(AL208)、计数测量间(AL212)、 γ 谱仪探头间 2(AL211)和放射源库(AL205)。见表 8.3-1。流出物实验室配备了流出物监测的仪器和设备，能够满足流出物监测的需求，详见表 8.3-2。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、测量核素、测量方法、测量周期和关键核素的探测限如表 8.3-3 所示。

根据国核安发[2020]44 号文件，依据目前在运行同类型机组，核电厂气态流出物放射性自行采样与监测项目有：Kr-85、Xe-133m、Xe-133、Xe-135、I-131、I-133、Cr-51、Mn-54、Co-58、Co-60、Fe-59、Sr-90、Ru-106、Sb-125、Cs-134、Cs-137、H-3、C-14。核电厂流出物放射性自行采样与监测项目有：I-131、I-133、Cs-134、Cs-137、Sr-90、Ru-106、Mn-54、Fe-59、Co-58、Co-60、Ag-110m、Sb-124、氡、C-14、Fe-55、Ni-63、Sr-89。符合国核安发[2020]44 号文件要求。

8.3.1.2 监督性流出物监测设施

随海南 3、4 号机组，在海南昌江核电厂内新建 1 个满足国家技术规范的监督性流出物实验室。监督性流出物实验室用于地方环保部门开展核电厂气载和液态流出物样品的监督性监测，测量结果为评价海南昌江核电厂的流出物排放达标情况提供依据。该监督性流出物实验室的主要放化测量仪器设备见表 8.3-4。

原厂区外 1、2 号机组的监督性流出物实验室作为核电厂事故情况下的应急备用实验室和核科普宣传场所使用。

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，小型堆科技示范工程新增 2 个监测站，设备配置见表 8.3-5。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 8.3-6。

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。目前在海南昌江核电厂 1、2 号机组厂区附近已建成 3 口监测井，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。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%。
- 为了确定分析测量的精密度，在 ^{90}Sr 样品分析测量时，采用平行样品分析测量；其余环境样品的平行样品至少为5%。
- 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资料。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刻度制度，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 气载放射性流出物连续监测道清单

监测道编号	监测道名称	测量范围	一级报警 阈值	二级报警 阈值	探测器类型	测量 对象	标定 核素
3/4IRM005MA	烟囱排气低量程惰性气体 β 活度监测道（A 列）	$3.7E+03 \sim 3.7E+09Bq/m^3$	$3.1E+05Bq/m^3$	$2.2E+06Bq/m^3$	半导体探测器	β	Cl-36
3/4IRM006MA	烟囱排气高量程惰性气体 β 活度监测道（A 列）	$1E+06 \sim 3.7E+15Bq/m^3$	$4.0E+08Bq/m^3$	$8.0E+09Bq/m^3$	电离室	β	Cs-137
3/4IRM015MA	烟囱排气低量程惰性气体 β 活度监测道（B 列）	$3.7E+03 \sim 3.7E+09Bq/m^3$	$3.1E+05Bq/m^3$	$2.2E+06Bq/m^3$	半导体探测器	β	Cl-36
3/4IRM016MA	烟囱排气高量程惰性气体 β 活度监测道（B 列）	$1E+06 \sim 3.7E+15Bq/m^3$	$4.0E+08Bq/m^3$	$8.0E+09Bq/m^3$	电离室	β	Cs-137
3/4IRM029MA	烟囱排气气溶胶活度监测道	$1 \sim 3.7E+06Bq/m^3$	$26Bq/m^3$	$184Bq/m^3$	半导体探测器	β	Tl-204 Pu-238
3/4IRM030MA	烟囱排气气溶胶活度监测道	$1 \sim 3.7E+06Bq/m^3$	$26Bq/m^3$	$184Bq/m^3$			
3/4IRM031MA	烟囱排气碘活度监测道	$3.7 \sim 3.7E+06Bq/m^3$	$10Bq/m^3$	$73Bq/m^3$	NaI（Tl）闪烁 体探测器	γ	Ba-133 Co-60
3/4IRM032MA	烟囱排气碘活度监测道	$3.7 \sim 3.7E+06Bq/m^3$	$10Bq/m^3$	$73Bq/m^3$			

表 8.1-2 放射性流出物分析大纲

种类	取样点	介质	方法
液态	ZLD (核岛液态流出物排放系统)	水	按实验室《pH 的测定与维护》执行
			按实验室《流出物中氚、碳-14 的测定》
			按实验室《流出物总 α 、总 β 的测定》执行
			按实验室《流出物 γ 核素的测定》执行
	ZLD 季度混合样	水	按实验室《流出物中铯-90 的测定》执行
	WQB (常规岛液态流出物排放系统)	水	按实验室《pH 的测定与维护》执行
			按实验室《流出物 γ 核素的测定》执行
WQB 季度混合样	水	按实验室《流出物中氚、碳-14 的测定》	
气态	ZGT (废气处理系统)	惰性气体	按实验室《流出物 γ 核素的测定》执行
		滤膜	按实验室《流出物 γ 核素的测定》执行
		单碘盒	按实验室《流出物 γ 核素的测定》执行
		氚	按实验室《流出物中氚、碳-14 的测定》
	CAM (安全壳大气监测系统)	惰性气体	按实验室《流出物 γ 核素的测定》执行

表 8.1-3 放射性流出物分析大纲

种类	取样点	介质	方法
气态	CAM (安全壳大气监测系统)	滤膜	按实验室《流出物 γ 核素的测定》执行
		单碘盒	按实验室《流出物 γ 核素的测定》执行
		氡	按实验室《流出物中氡、碳-14 的测定》
	连续排 放样品	惰性气体	按实验室《流出物 γ 核素的测定》执行
		滤膜	按实验室《流出物 γ 核素的测定》执行
		单碘盒	按实验室《流出物 γ 核素的测定》执行
		氡	按实验室《流出物中氡、碳-14 的测定》
		碱溶液	按实验室《流出物中氡、碳-14 的测定》
	烟囱季度滤膜混合样	滤膜	按实验室《流出物中锶-90 的测定》执行
	烟囱	气体	IRM005/006/015/016MA 连续测量

注：若分析大纲有修改，以实际为准。

表 8.1-4 液态放射性流出物在线监测方案

监测道 编号	监测道名称	测量范围	一级报警 阈值	二级报警 阈值	探测器 类型	测量 对象	标定 核素
8IRM9 01MA	核岛废液 γ 活 度监测道	$3.7 \times 10^3 \sim$ 3.7×10^8 Bq/m^3	$2.7\text{E}+6\text{Bq/m}^3$	$4.5\text{E}+6\text{Bq/m}^3$	NaI (TI) 闪 烁体探测器	γ	Cs-137
8IRM9 02MA	常规岛废液 γ 活度监测道		$2\text{E}+5\text{Bq/m}^3$	$4\text{E}+5\text{Bq/m}^3$			

表 8.1-5 海南昌江核电基地正常运行期间环境辐射监测大纲

序号	监测对象		监测分析项目	监测频度	布点数		
1	陆地环境 γ辐射	连续监测	空气吸收剂量率	连续	14		
		即时监测	空气吸收剂量率	季	32		
		累积剂量	累积剂量	季	32		
2	空气	水气氚（HTO） （累积）	^3H	月	4		
		水气氚（HTO） （连续）	^3H	周	1		
		空气碳	^{14}C	月	4		
		空气 ^{131}I	^{131}I	月	5		
		气溶胶	γ能谱分析（累积）		月	5	
			^{90}Sr （年度累积样）		年	5	
			γ能谱分析（连续）		周	1	
		沉降物	γ能谱分析		季	4	
			^{90}Sr （年度累积样）		年	4	
		降水	^3H	月	4		
		陆地介质	地表水	总β、 ^3H 和γ能谱		平水期/枯水期	5
				^{14}C		平水期/枯水期	2
			地表水沉积物	^{90}Sr 与γ能谱		年	5
				$^{239+240}\text{Pu}$		年	2
	饮用水		^3H 、总α、总β、γ能谱		平水期/枯水期	3	
			^{90}Sr 、 ^{14}C		平水期/枯水期	1	
	地下水		^3H 和γ能谱、 ^{14}C 和 ^{90}Sr		月 （抽测）	9	
			^3H 和γ能谱和 ^{90}Sr		平水期/枯水期	3	
			^{14}C		平水期/枯水期	1	
	表层土壤		^{90}Sr 、γ能谱分析		年	6	
			$^{239+240}\text{Pu}$		年	6	
	陆生生物		大米	氚（TFWT、OBT）、 ^{14}C 分析、γ能谱分析		年	2
		^{90}Sr			年	1	
		空心菜	氚（TFWT、OBT）、 ^{14}C 分析、γ能谱分析		年	2	
			^{90}Sr		年	1	
		豆角	氚（TFWT、OBT）、 ^{14}C 分析、γ能谱分析		年	2	
		香蕉	氚（TFWT、OBT）、 ^{14}C 分析、γ能谱分析		年	2	
	^{90}Sr			年	1		

序号	监测对象		监测分析项目	监测频度	布点数
3	海洋 介 质	西瓜	氡 (TFWT、OBT)、 ^{14}C 分析、 γ 能谱分析	年	2
		鸡肉 (禽类)	氡 (TFWT、OBT)、 ^{14}C 分析、 γ 能谱分析	年	2
			^{90}Sr	年	1
		羊肉 (畜类)	氡 (TFWT、OBT)、 ^{14}C 分析、 γ 能谱分析	年	2
			^{90}Sr	年	1
		指示生物 (仙人掌、木麻黄)	^3H (TFWT、OBT)、 ^{14}C 、 γ 核素	年	1
		海水	总 β 、 ^3H 、 ^{40}K	半年	10
			^{14}C 、 ^{90}Sr 及 γ 能谱分析	半年	1
		海洋沉积物	^{90}Sr 、 γ 能谱分析	年	10
			$^{239+240}\text{Pu}$	年	1
海洋植物 (麒麟菜)	^3H (TFWT、OBT)、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 γ 能谱 (包括 ^{131}I)	年	1		
海洋动物 (蛤, 指示生物)	^3H (TFWT、OBT)、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 γ 能谱 (包括 ^{131}I)	年	1		
甲壳类 (虾)	^3H (TFWT、OBT)、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 γ 能谱 (包括 ^{131}I)	年	1		
鱼类 (石斑鱼)	^3H (TFWT、OBT)、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 γ 能谱 (包括 ^{131}I)	年	1		
头足类 (鱿鱼)	^3H (TFWT、OBT)、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 γ 能谱 (包括 ^{131}I) γ 能谱分析	年	1		

表 8.1-6 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	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）	/	/	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）	/		20 μ Gy
		瞬时	环境 γ 辐射剂量率测量技术规范（HJ1157-2021）	/	/	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	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	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	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	1.0mBq/(m ² ·d)
4	空气	³ H	水中氚的分析方法（HJ1126-2020）	1-2.5L	1000min	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	0.1Bq/g·碳
		¹³¹ I	空气中碘-131 的取样与测定（GB/T 14584-1993）	100m ³	540min	2.0mBq/m ³
5	降水	³ H	水中氚的分析方法（HJ1126-2020）	1-2.5L	1000min	2.0Bq/L
6	土壤、地表水沉积物、海洋沉积物	⁹⁰ Sr	土壤中锶-90 的分析方法（EJ/T 1035-2011）	50g	600min	0.5Bq/kg
		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	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	1.5 \times 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	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	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	50mBq/L
		总 β	水质 总 β 放射性的测定 厚源法（HJ899-2017）		600min	30mBq/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	典型探测限
		^{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	1.0mBq/L
		^{14}C	加酸吹扫-Carbsorb 吸收-液体闪烁计数法	20L	1000min	2mBq/L
8	海水	^3H	水中氚的分析方法（HJ1126-2020）	1-2.5L	1000min	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	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）	1.0mBq/L
		总 β	水质 总 β 放射性的测定 厚源法（HJ899-2017）	2L	600min	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	1.0mBq/L
		^{14}C	加酸吹扫-Carbsorb 吸收-液体闪烁计数法	20L	1000min	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	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	0.1Bq/g(碳)
		^3H （TFWT）	生物中氚和碳-14 的分析方法管式燃烧法（HJ1324-2023）	叶菜：2kg	1000min	1.0Bq/kg(鲜)
		^3H （OBT）	生物中氚和碳-14 的分析方法管式燃烧法（HJ1324-2023）	叶菜：8kg	1000min	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	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 8.1-7 早期阶段监测方案

监测对象		监测分析项目	监测频度	取样要求
环境 γ 辐射水平（早期阶段监测重点）	连续监测	空气吸收剂量率	连续监测	根据实际情况适当调整
陆地介质	大气	γ 谱分析 (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等)	连续采样, 每天换样分析	根据实际情况适当调整
	沉降物	γ 谱分析 (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等)	采集每次沉降	根据实际情况适当调整
	土壤	γ 谱分析 (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等)	每天采集 1 次, 必要时分析	根据实际情况适当调整
	地表水	γ 谱分析 (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等)	每周采集, 必要时分析	根据实际情况适当调整
	沉积物	γ 谱分析 (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等)	每周采集, 必要时分析	根据实际情况适当调整
	木麻黄	γ 谱分析 (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等)	每周采集, 必要时分析	根据实际情况适当调整
海洋介质	海水	γ 谱分析 (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等)	每天采集和分析 1 次	根据实际情况适当调整
	石斑鱼	γ 谱分析 (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等)	每周采集, 必要时分析	根据实际情况适当调整
	麒麟菜	γ 谱分析 (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等)	每周采集, 必要时分析	根据实际情况适当调整

表 8.1-8 中期阶段监测方案

监测对象		监测分析项目	监测频度	取样要求
环境γ辐射水平	连续监测	空气吸收剂量率	连续监测	根据实际情况适当调整
陆地介质	大气	γ谱分析 (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等), ^{90}Sr ,	连续采样, 每天换样分析	根据实际情况适当调整
	沉降物	γ谱分析 (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等)	采集每次沉降, 分析每月混合样	根据实际情况适当调整
	土壤	γ谱分析(^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等), ^{90}Sr	每月采集一次	根据实际情况适当调整
	地表水	γ谱分析(^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等), ^{90}Sr ,	每周采集, 必要时分析	根据实际情况适当调整
	木麻黄	γ谱分析(^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs , 等), ^{90}Sr ,	每周采集, 必要时分析	根据实际情况适当调整
	沉积物	γ谱分析(^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等)	每周采集, 必要时分析	根据实际情况适当调整
海洋介质	海水	γ谱分析(^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等), ^{90}Sr	每月采样分析	根据实际情况适当调整
	海底泥	γ谱分析(^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等), ^{90}Sr	每月采样分析	根据实际情况适当调整
	甲壳类	γ谱分析(^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等), ^{90}Sr	每月采样分析	根据实际情况适当调整
	石斑鱼	γ谱分析(^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等)	每周采集, 必要时分析	根据实际情况适当调整
	麒麟菜	γ谱分析(^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs 等)	每周采集, 必要时分析	根据实际情况适当调整

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 流出物实验室的房间面积和房间功能

房间	功能	使用面积 m ²
热制备间	气液态流出物样品制样	~34
计数测量间	测量分析流出物的放射性水平	~27
γ 谱仪探头间 2	流出物γ谱放化测量	~13
放射源库	存放放射源	~6

表 8.3.2 流出物实验室监测仪器设备

序号	设备名称	主要技术特性	单位	数量
1	TOC 分析仪	量程：0.03ppb-50ppm； 精度：<1%RSD； 准确度：±2%； 取样方式：自动取样式断续取样； 样品压力：最大 250psi； 样品流速：30-300ml/min； 样品温度：1-95℃。	套	1
2	⁸⁵ Kr 分析前处理装置	用于气态流出物氪-85 样品的富集纯化及样品制样； 第一富集分离单元 活性炭冷阱：活性炭液氮低温吸附方式；控温范围：-196℃~300℃； 第二富集分离单元 活性炭柱冷阱：活性炭柱液氮低温吸附方式； 活性炭粒径：80~100 目；控温范围：-196℃~300℃； 色谱分离纯化单元 色谱分离系统：色谱柱尺寸：φ3mm×600mm，5A 分子筛，粒径 80~100 目。恒温箱：控温范围：室温~100℃；监控系统：检测器：TCD 检测器；功能：检测气体经色谱柱实现组分分离，依次出来的气体组分是 O ₂ (Ar)、N ₂ 、Kr 和 CH ₄ ，利用 TCD 检测器实时监控，确保色谱峰无明显偏移。	套	1
3	⁹⁰ Sr 分析前处理装置	1.HDEHP-kel-F 色层柱 10 个； 2.可拆卸式漏斗 10 个； 3.HDEHP-kel-F 色层粉(60~100 目) 2kg。	套	1
4	液闪计数器	能量范围：β能量范围为 0-2000 keV； 计数效率：H-3（0-18.6 keV）非淬灭样品≥58%；C-14（0-156 keV）非淬灭样品≥94%； 计数本底：H-3≤1 CPM（采用 10ml 水+10ml	套	1

		Ultima Gold LLT 闪烁液，塑料瓶)； 检测限：H-3 水样测量最小检测活度 ≤ 1 Bq/L； 品质因子 (E2/B)：标准计数模式：H-3 (1~18.6keV) ≥ 180 ；C-14 (4~156 keV) ≥ 360 超低水平计数模式：H-3 (1~12.5keV) ≥ 880 ； C-14 (14.5~97.5 keV) ≥ 3500 。		
5	低本底 α β 测定仪	功能：用于测量流出物样品中低水平总 α 、总 β 放射性活度； 探测器类型：流气式正比计数器； 通道数：每套 4 个； 探测器有效面积： $\geq 20\text{cm}^2$ ； 本底计数： α ： $\leq 0.1\text{cpm}$ ， β ： $\leq 1\text{cpm}$ 测量效率： α ： $\geq 40\%$ (241 Am)， β ： $\geq 50\%$ ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$)； 串道比： α 对 β ： $\leq 1\%$ ， β 对 α ：0%。	套	1
6	高纯锗 γ 谱仪	用于流出物样品的 γ 核素分析及总 γ 计数率测量； 探测器类型：P 型同轴型高纯锗探测器； 测量能量范围：50keV-10MeV ； 相对测量效率：60% ； 能量分辨率： < 2.1 keV (在 1.33MeV 处)； 峰-康比： $\geq 45:1$ (在 1.33MeV 处)； 通道数： ≥ 16384 道； 制冷方式：电冗余制冷； 配置低本底铅室，本底 $< 3\text{cps}$ 。	套	1
7	高纯锗 γ 谱仪	类型：P 型同轴型高纯锗探测器；测量能量范围：40keV-10MeV ；相对测量效率：60% ； 能量分辨率： $< 1.8\text{Kev}$ (在 1.33MeV 处)；能量分辨率：对 122 keV 峰 (Co-57)： $< 0.87\text{Kev}$ 对 1.33MeV 峰 (Co-60)： $\leq 1.8\text{keV}$ 峰-康比： $\geq 70:1$ (在 1.33MeV 处)；配置低本底铅室，本底 $< 3\text{cps}$ 。	套	1
8	NaI 总 γ 谱仪	探测器晶体类型及尺寸：NaI(Tl)晶体，3X3 英寸； 能量响应范围：25 keV – 3.5 MeV； 接口形式：14 针管座，直接与设备插拔连接； 能量分辨率： $\leq 7.5\%$ (对 CS-137 662keV 峰)； 配置低本底铅室，本底： $\leq 6\text{cps}$ 。	套	1

表 8.3-3 流出物测量项目、取样测量方法、分析核素的种类及其探测限

测量项目	测量周期	取样和测量方法	主要核素及其探测限（Bq/m ³ ） （典型值，随取样条件变化）	
烟囱 气态氚	7 天	鼓泡法（带催化氧化）收集氚水、液闪谱仪测量	H-3: 8.69E-01	
烟囱 气态 C-14	7 天	碱液吸收二氧化碳（带催化氧化）、液闪谱仪测量	C-14: 3.79E-01	
烟囱 惰性 气体	7 天	用 1L 不锈钢罐收集，压力为 0.5MPa、多道谱仪测量	Ar-41: 1.03E+01 Kr-85: 7.30E+03 Kr-88: 6.71E+01 Xe-133: 1.95E+02 Xe-135: 2.25E+0	
烟囱 气态碘	7 天	浸渍活性炭碘盒吸附、多道谱仪测量	I-131: 1.38E-04 I-133: 2.76E-04 CAM 探测限是上述值的 4 倍至 6 倍	
烟囱 气溶胶	7 天	滤纸吸附、多道谱仪测量	Co-58:1.46E-04 Sb-124:4.44E-04 Cs-137:2.45E-04 CAM 探测限是上述值的 4 倍至 6 倍	
液态氚	批次 排放前	直接取水样、液闪谱仪测量	H-3: 9.72E+03	
液态 C-14	批次 排放前	取水样 30ml 总碳分析仪制样、1mol/l 氢氧化钠溶液吸收，液闪谱仪测量	C-14: 2.83E+03	
液态γ核 素	批次 排放前	直接取水样、多道谱仪测量	Cr-51:1.63E+03 Co-58:5.45E+01 Co-60:8.67E+01 I-131:1.53E+02 I-133:8.94E+01 Fe-59: 1.26E+02	Cs-134:7.65E+01 Cs-137:6.25E+01 Sb-124:2.43E+02 Sb-125:4.50E+02 Mn-54:7.86E+01 Ag-110m:1.10E+0 2
核岛液态 流出物中 Sr-90	季度 混合样	取样方法: 直接取水样(液态流出物季度混合样); 测量方法: 参考《HJ 815-2016 水和生物样品灰中 Sr-90 的放射化学分析方法》或其他经过实验验证的分析方法, 如液闪计数法等。	Sr-90: 3.47	
总排口气	月度 混合样	液体闪烁计数法 (GB12375-1990 水中氚的分析方法)	H-3: 1.22E+03	

表 8.3-4 监督性流出物实验室主要设备清单

名称	主要性能参数	单位	数量
高纯锗 γ 谱仪	P 型高纯锗 γ 谱仪 相对效率 $\geq 60\%$ 能量范围：40keV-10MeV 能量分辨率：<2.0keV（在 1.33MeV 处）； 道数：16k 道或以上 低本底铅室，本底<1cps	套	1
高纯锗 γ 谱仪	N 型高纯锗 γ 谱仪 能量范围：3keV-10MeV 能量分辨率：<2.3keV（在 1.33MeV 处）； 相对效率 $\geq 60\%$ 道数：16k 道或以上 低本底铅室，本底<1cps	套	1
液闪计数仪	用于环境样品中低水平低能 β 放射性核素含量的定量测量； 环境温湿度：实验室环境 能量范围：2eV-2000keV 探测效率：对密封的充氮、无猝灭的有机样品中 $^3\text{H}\geq 60\%$ ， $^{14}\text{C}\geq 95\%$ 本底：本底计数率：H-3 ≤ 1 cpm（采用 10ml 水+10ml Ultima Gold LLT 闪烁液，塑料瓶）	套	1
低本底 $\alpha\beta$ 测定仪	功能：用于测量流出物样品中低水平总 α 、总 β 放射性活度 有效探测面积为 $\phi 50$ mm ； 探头个数不少于 4 个独立测量通道 本底计数： α ： ≤ 0.06 cpm（ $\phi 50$ mm） β ： ≤ 0.7 cpm（ $\phi 50$ mm）； 测量效率： α ： $\geq 37\%$ （ ^{241}Am 4 π 立体角） $\geq 42\%$ （ ^{210}Po 4 π 立体角） β ： $\geq 50\%$ （ ^{90}Sr ） $\geq 40\%$ （ ^{204}Tl ）； 效率稳定性：仪器连续通电 24 小时， $\alpha\leq 2\%$ ； $\beta\leq 3\%$ ； 屏蔽测量室：自带屏蔽室，采用 4π 屏蔽结构，厚度 ≥ 10 cm ；	套	2
Kr-85 分离纯化仪	液晶显示，直观显示制样进程，对进样体积进行自动修正； 通过 TCD 实时监测制样过程中样品气体分离状况； 探测限： ≤ 30 Bq/m ³ (3L 气体)； 制样时间： ≤ 4 h；稳定性：不超过 5%； 工作气体：氮气（纯度大于 99.999%）；制冷方式：液氮制冷。	套	1

表 8.3-5 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	√	√	√	√	√	√	√	√	√			√	√
通讯设备	√	√	√	√	√	√	√	√	√			√	√
防雷设备	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
数据采集及控制 设备	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
太阳能电池板	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
显示屏	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
备用电源	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

表 8.3-6 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



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

表

表 9.2-1 乏燃料后处理费及退役基金提取表

9.1 利益分析

9.1.1 运行带来的直接利益

海南昌江核电厂 3、4 号机组工程建设规模为两台三代百万千瓦级压水堆核电机组，设计寿命期为 60 年，经济评价期为 30 年。工程投产后，每年可向电网送电约 156.35 亿度。

海南昌江核电厂 3、4 号机组工程项目的建设，可发挥堆群优势，降低建设造价和营运费用，降低上网电价，增强核电的竞争性，做到以核养核，滚动发展。

9.1.2 建设和运行带来的间接利益

（1）社会效益

海南省位于中国最南端，属欠发达省份，经济基础薄弱，省内能源资源短缺，已经无法满足海南省大规模发电及中长期电力负荷增长的需求，因此海南昌江核电厂 3、4 号机组工程的建设可以更好地缓解海南省内主力电源不足的困难局面，促进该地区的发展。

海南省主要电源是火电机组，然而海南煤炭资源贫乏，需从外部调入，铁路运输和港口装卸很难满足要求，海南昌江核电厂 3、4 号机组工程的投产将有效地解决能源供求矛盾，减轻燃煤运输和环境影响的压力。

海南昌江核电厂 3、4 号机组工程的建设，不仅将有效地解决海南省的能源供求矛盾，还将推动当地的经济发展，提高人民的生活水平。核电厂项目投资大，建设周期长，可以有效促进当地金融等服务产业的发展；建设期间，项目的建设可提供几万人年的就业机会；运行期间，电厂各岗位就业人数总计为 800 人，直接或间接地解决了大量劳动力的就业问题。同时，优化能源结构、带动医疗卫生、零售业、建材、通讯等相关产业发展等。核电厂职工的教育文化水平较高，在融入当地的过程中也有利于促进整个社会发展水平的提高。

海南昌江核电厂 3、4 号机组工程的建设将充分利用现有资源，采用国内外成熟的核电设计、制造技术，自主创新，大力推进我国核电品牌自主化的进程，从而全面推动我国核电事业的发展，促进民族工业的振兴。

（2）环境效益

海南省是我国第一个生态示范省，坚定不移实施生态立省战略、加大生态环境保护力度是海南重要发展道路。海南建设国际旅游岛已上升为国家战略，因此海南省环境保护的重要性尤为突出。核电在减少污染物和温室气体排放、保护自然环境等方面有着显著的优势，可以满足海南在环保方面的高标准和严要求。

海南昌江核电厂 3、4 号机组工程两台百万千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约 600 万吨，有效减少了 CO₂、SO₂、NO_x、烟尘、灰渣等污染物排放，降低有害气体对环境的污染，缓解酸雨的发生。以本项目规模计算，每年可少排放 SO₂ 约 3750 吨，烟尘约 1570 吨，灰渣约 90 万吨（按 15% 计算）。

同时，火电厂释放的 CO₂ 是全球 CO₂ 重要来源，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。本项目以正常年份发电量 1677 万兆瓦时、减排因子 1.05 计算，每年可减排 CO₂ 为 1761 万吨，按 9.0 欧元/吨的单价计算，可产生环境效益约 122075 万元。因此，积极发展核电将是我国今后在满足电力需求的基础上，改善环境质量的一种有效措施。

9.2 代价分析

9.2.1 直接代价

（1）建设期环保设施投资

海南昌江核电厂 3、4 号机组工程报审版概算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、建设期贷款利息、铺底流动资金、建设期可抵扣增值税。

环保设施投资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费用。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等费用；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等费用；环境整治包括厂区绿化、边坡、截洪沟、排洪沟等费用；施工期环保投入包括施工期海洋生态监测、大气监测、噪声监测、电磁辐射监测等费用。

施工期间环保费用的建设投资占项目计划总资金约 5.12% 左右。

（2）运行期间环保费

海南昌江核电厂 3、4 号机组工程项目在运行期间，平均每年需要投入一定的资金，用来支付核燃料、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。

其中环保费用包括退役基金，乏燃料处理处置基金和中低放废物处理处置费。

① 退役基金

根据国家能源局 2011 年颁发的《核电厂建设项目经济评价方法》（NB/T 20048-2011）的有关规定，核电站的退役费用应以退役基金的形式计入商业运行后企业的总成本费用，

一般规定的退役基金的提取方法是以固定资产原值为基数，总额一般控制在固定资产原值的 10%。海南昌江核电厂 3、4 号机组工程项目的退役基金以固定资产原值为基数，提取比例为 10%。从计算期第一年开始提取，在计算期内，平均每年提取退役基金 13070 万元。

② 燃料处理处置基金

对于乏燃料后处理和放射性废物处置基金的提取数额，依据《核电站乏燃料处理处置基金征收使用管理暂行办法》财综[2010]58 号文，海南昌江核电厂 3、4 号机组工程项目的乏燃料后处理处置基金，从投产后第六年开始提取，按 0.026 元/kWh 计提。在计算期内，平均每年提取约 40651 万元。

③ 低放废物处理处置费

根据《核电厂建设项目经济评价方法》（NB/T 20048-2011）的相关规定，中低放废物处理处置费从投产后第一年开始提取，按 0.5 元/kWh 计提。在计算期内，平均每年提取约 820 万元。

海南昌江核电厂 3、4 号机组工程项目经济寿期内退役基金、乏燃料后处理处置基金及中低放废物处理处置费提取情况详见表 9.2-1。

9.2.2 间接代价

9.2.2.1 社会代价

海南昌江核电厂 3、4 号机组工程为扩建工程，厂区和生活区建设需占用大量土地，本期工程用地在一期工程中已征用，不需要新增征地，但需新增施工用租地。

按规定，在核电站外边界半径 5km 范围内为限制区，即在该地区内要限制人口机械增长、集中居民点建设和工矿企业及其它事业的发展。

海南昌江核电厂 3、4 号机组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。

华龙一号机组作为新一代的核电技术，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

核电站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。但是由于在核电站的施工过程中，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。

为了达到保护环境和保护公众的目的，海南昌江核电厂 3、4 号机组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核电厂 3、4 号机组的环境影响做出了详细的论证。

从以上分析可以得出结论：海南昌江核电厂 3、4 号机组工程是经济的、环保的。虽然前期资金投入较大，但对于资源相对匮乏，区域电力负荷增长快，而对环境保护要求高的地区，发展核电是解决能源和环保问题的有效手段，是调整能源结构、实现区域经济可持续发展的重要保证。海南昌江核电厂 3、4 号机组工程的建设不仅将给各股东方、国家和地方带来可观的经济效益，同时还将获得良好的社会效益和环境效益。

表 9.2-1 乏燃料后处理费及退役基金提取表

序号	项目名称	提取开始时间	经济寿期内提取年数	每年提取金额 (万元)	寿期内总计提取金额 (万元)
1	乏燃料处理处置基金	投产期第六年提取	25	40651	1016281
2	退役基金	投产期第一年提取	30	13070	392093
3	中低放废物处理处置费	投产期第一年提取	30	820	24597

第十章 结论与承诺

10.1 结论

- 10.1.1 核电厂工程
- 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 核电厂工程

海南昌江核电厂厂址位于海南省昌江县海尾镇原塘兴村，濒临北部湾。3、4 号机组工程位于海南昌江核电厂厂址内，东临 1、2 号机组工程。

海南昌江核电厂规划建设四台压水堆核电机组，一次规划，分期建设。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。海南昌江核电厂 3、4 号机组规划建设两台百万千瓦级压水堆核电机组及其配套辅助设施，机型选择融合华龙一号，紧邻 1、2 号机组布置，充分利用 1、2 号机组已有设施，尽量减少工程投资。在该厂址上目前还有在建的海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程。

海南昌江核电厂 3、4 号机组采用自主化三代百万千瓦级压水堆核电机组“融合华龙一号”。核电建设满足安全性、经济性、成熟性等要求。核电机组选择总体原则符合我国的实际情况，能充分利用我国的已有基础和条件；有利于提高核电的安全性和市场竞争力，降低造价，降低成本；有利于采用必要的经验证的先进技术，促进核电设计的自主化和核电设备制造的本地化。

“融合华龙一号”满足“三代”核电技术的指标要求。“融合华龙一号”方案吸取了近些年来国内外已有核电厂在安全方面的一些成功经验和福岛核电站事故的经验反馈，采用了成熟、可靠的技术和设备，在技术和工程上均是可行的。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）》以及《核安全与放射性污染防治“十三五”规划及 2025 年远景目标》的要求。

10.1.2 环境保护设施

10.1.2.1 放射性废物处理系统

放射性废液系统用于控制、收集、处理、输送、贮存、监测和排放核电厂正常运行期间（包括发生预期运行事件时）产生的放射性废液。废液管理系统由下列系统组成：硼回收系统（ZBR），废液处理系统（ZLT），核岛液态流出物排放系统（ZLD），放射性废水回收系统（WSR），核岛疏水排气系统（RVD）。

废气处理系统（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。

放射性固体废物管理主要包括固体废物处理系统（ZST）、废物最小化以及废物最终

处置三部分内容。

计划定期向放射性固体废物处置场运输废物包。放射性固体废物的运输起点为海南昌江核电厂的放射性废物暂存库（QT），运输终点为放射性固体废物处置场。放射性废物运输必须遵守国标 GB 11806-2019 《放射性物品安全运输规程》和 GB 12711-2018 《低、中水平放射性固体废物包安全标准》。待与处置场明确运输方式和论证运输路线的可行性后再进行废物包的转运处置。放射性废物的处置将遵守国家的放射性废物处置政策。

10.1.2.2 污水处理设施

本工程拟建设非放射性含油废水集水池。其中，主厂区各子项和部分施工临建区的生活污水通过相应污水管网汇集至1、2号机组已建的生活污水处理站，经处理达标后，用于道路浇洒和绿化等，回用剩余水量排入厂区雨水管网，最终排入大海。部分与厂区距离较远的施工临建区的生活污水由施工承包商处理达标后排放。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，在含油废水集水池暂存，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，处理后其水质达到《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。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。

10.1.2.3 辐射环境监测

海南昌江核电厂 1、2 号机组工程中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。3、4 号机组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。

10.1.2.4 先进废物处理中心

先进废物处理中心是处理核电厂技术废物的设施，满足废物最小化的要求。装置产生的烟气通过热交换器、急冷塔、布袋除尘器、洗涤塔、组合高效过滤器（吸附、过滤）处理达标后经烟囱排放。

10.1.3 放射性排放

厂址 5 台机组（含先进废物处理中心）共同运行状态下，各类气载和液态放射性流出物年设计排放量均能满足 GB6249-2011 中排放量控制值要求，槽式排放出口处的放射性流出物中除氙和碳-14 外其他放射性核素浓度可以满足 GB6249-2011 中对流出物排放浓度的控制要求。

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

采用设计排放源项估算公众的最大个人剂量，经计算，本工程运行状态下，气液态综合排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 $7.41\text{E-}07\text{Sv/a}$ 、 $9.52\text{E-}07\text{Sv/a}$ 、 $8.07\text{E-}07\text{Sv/a}$ 、 $6.01\text{E-}07\text{Sv/a}$ 。各年龄组中青少年组的剂量最大，为 $9.52\text{E-}07\text{Sv/a}$ ，约占个人剂量约束值（ 0.08mSv/a ）的 1.19%。全厂址运行状态下，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 $1.48\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $1.95\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $1.66\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $1.40\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 。各年龄组中青少年组的剂量最大，为 $1.95\text{E-}06\text{Sv/a}$ ，约占个人剂量约束值（ 0.25mSv/a ）的 0.78%。

采用现实排放源项分析关键居民组、关键核素和关键照射途径，经计算，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 SSW 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 $3.73\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 。关键途径为液态途径的食入海产品造成的内照射途径，约占气液态总剂量的 87.54%。各核素中关键核素为 C-14，约占气液态总剂量的 78.88%。全厂址运行状态下，最大个人有效剂量出现在厂址 SSW 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 $5.14\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 。关键途径为液态途径的食入海产品造成的内照射途径，约占气液态总剂量的 87.46%。各核素中关键核素为 C-14，约占气液态总剂量的 83.15%。

（2）对非人类物种的辐射影响

a.对水生生物的辐射影响

海南昌江核电厂 3、4 号两台机组正常运行液态放射性流出物对水生生物的辐射影响评估结果表明，从影响率的结果来看，本工程正常运行时，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 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 0~80km 海域范围内水生生物是安全的。

经计算，海南昌江核电厂 5 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。

b.对陆生生物的辐射影响

海南昌江核电厂 3、4 号两台机组正常运行气载放射性流出物对陆生生物的辐射影响

评估结果表明，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。

经计算，海南昌江核电厂 5 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。

10.4.1.2 事故工况下的辐射环境影响

对海南昌江核电厂 3、4 号机组的 9 类设计基准事故的潜在放射性后果进行了评价，结果表明事故对非居住区边界及规划限制区边界处的公众造成的有效剂量及甲状腺当量剂量均小于 GB 6249-2011 的相关剂量控制值，事故剂量后果满足国标的要求。

10.1.5 非放环境影响评价结论

10.1.5.1 施工建设过程对环境的影响

（1）社会环境影响

核电厂工程建设期间大量的工程施工人员进驻施工现场，对附近居民的日常生活产生轻微影响，同时由于大量施工人员在该地区较长时期的居住和生活，增加当地居民的就业机会和商机，可以增强该地区的消费能力，促进经济的发展。

（2）对大气环境的影响

施工过程中，由于负挖的爆破、开挖、填充、道路的修建、渣土的堆放以及车辆运输会使施工区域尘土飞扬、大气中粉尘含量增高。土石方施工完成后，当地的大气质量将很快得以恢复。因此，施工过程中粉尘对大气环境的影响是局部的和暂时的。

（3）对声环境的影响

土石方工程施工期间，开挖爆破以及各类施工和运输机具所产生的噪声对厂址周围的声环境将产生一定的影响。但爆破施工是阶段性的，集中在施工初期，其影响时间短，爆破施工完毕，噪声也即消失。因此核电厂施工噪声对环境的影响是可以接受的。

（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，回用剩余水量排入厂区雨水管网，最终排入大海。部分与厂区距

离较远的施工临建区的生活污水由施工承包商处理达标后排放。

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。本工程海水区域为三类功能区域，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）水土保持

本工程水土保持施工期间，将采取一系列措施进行水土保持防治，包括：工程措施：表土剥离、厂区边坡防护；植物措施：厂区绿化规划设计、厂区边坡植草；临时防护措施：厂区表土临时防护、厂区施工道路临时排水、临时堆土需用密目网遮盖。

通过以上措施，可有效防治施工期间的水土流失情况。为对水土保持措施进行控制和对实施效果进行验证，同时对施工期的水土流失情况进行评价和及时发现问题，本工程将开展全面的水土保持监测工作，以便提出相应的对策和采取行之有效的措施不断改进和完善，全面防治新增水土流失和改善生态环境。

（6）海域施工的影响

本工程的海域施工主要为取水明渠导流堤、护岸、排水导流堤和码头施工及海域回填和渠道清淤。工程所需土石方量较大、施工周期较长，会对水域环境造成一定影响。

可能的地基处理方法如爆破挤淤会有水下冲击波、爆炸震动和爆炸掀沙等问题。这些影响将对工程附近海域水体环境、海洋生物及养殖业和施工船舶等产生一定影响。

施工过程引起的入海悬浮泥沙是暂时和有限的。随着上述工程的结束，泥沙的沉降作用，水质将逐渐恢复，因此入海悬浮泥沙对海洋水质影响的时间是有限的。

本工程不存在直接占用珊瑚礁生境进行挖掘的相关工程，施工过程中通过设置防污帘等防护措施，有效减轻悬浮泥沙对近岸-6m 等深线内珊瑚礁分布区域的影响，随着施工点外移悬沙的影响也即消失。

此外，在整个建造期间，安排了大气、噪声、海洋生态环境等的施工期监测，发现问题，将及时解决，确保施工期间对环境的影响可以接受。

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，3、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）机械损伤和卷吸效应

本工程取水方式为厂址北侧海域设置取水明渠，通过取水隧洞取水，明渠内水流流速与天然潮流流速接近，预计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。设计中考虑的主要措施包括控制取水流速和设置拦网设施。

（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。

（4）生产废水和生活污水的影响

本工程非放射性含油废水在含油废水集水池暂存，通过废油车运输至含油废水处理站进行处理，处理后其水质达到《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，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，用于道路浇洒和绿化等，回用剩余水量排入厂区雨水管网，最终排入大海。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，采用 Cadna/A 程序进行预测计算，海南昌江核电厂 3、4 号机组（含先进废物处理中心）正常运行后声源对各厂界的噪声贡献值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中规定 3 类标准限值，即昼间 65 dB(A)和夜间 55 dB(A)。厂址附近最近居民点和厂址周围声环境质量影响满足相应标准要求。

（6）电磁辐射的影响

根据《环境影响评价技术导则 输变电》HJ 24-2020 标准要求，采用类比法和已运行的田湾 1-4 号机组共用的 500kV 开关站、5-8 号机组共用的 500kV 开关站的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。海南昌江核电厂厂址区域附近电磁辐射污染源要少于田湾核电站厂址区域，类比可知，海南昌江核电厂 3、4 号机组投运后 500kV 开关站对周围环境的电磁辐射影响也能够满足国家相关标准的要求。

（7）先进废物处理中心非放大气污染物的环境影响

先进废物处理中心正常运行时，烟囱排放各非放大气污染物浓度均满足《危险废物焚烧污染控制标准》（GB18484-2001）规定的标准限值，对评价范围内大气环境的影响可以满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准及其他相关参考标准的要求。

（8）固体废物的影响

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。

10.1.6 公众意见采纳情况总结

待公众参与内容完成后由业主单独提交。

10.2 承诺

本工程运行期间，营运单位华能海南昌江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。