

海南昌江核电厂 3、4 号机组

环境影响报告书

(建造阶段)

海南核电有限公司
二〇二〇年四月

密级:

图册(文件)编号	
1418YEIRHYC01	
共 1 册	第 1 册
版次: B	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 初步设计

工 种 综合

图册(文件)名称 环境影响报告书
(建造阶段)

图册(文件)序号 _____

批 准 

H	L	Y	0	0	5	1	0	0	0	1	B	2	2	B	0	2	G	N
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

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

中国核电工程有限公司

工程设计综合甲级资质证书: A111003049

二〇二〇年四月



编制单位和编制人员情况表

建设项目名称	海南昌江核电厂3、4号机组		
环境影响评价文件类型	环境影响报告书（建造阶段）		
一、建设单位情况			
建设单位（签章）	海南核电有限公司 		
法定代表人或主要负责人（签字）	魏国良 		
主管人员及联系电话	何鹏 (0898-26925592) 		
二、编制单位情况			
主持编制单位名称（签章）	中国核电工程有限公司 		
社会信用代码	911100001000027329		
法定代表人（签字）	杨朝东 		
三、编制人员情况			
编制主持人及联系电话	郑伟 010-88023627		
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书编号	签字	
郑伟	0001050（环评资格证编号）， A105303111（登记证编号）		
	0000547（核安全资格证编号）， ZNPPC45-1903（登记证编号）		
2. 主要编制人员			
姓名	职业资格证书编号	主要编写内容	签字
郑伟	0001050（环评资格证编号）， A105303111（登记证编号）	第一章和第十章	
毛亚蔚 李京	0004411（环评资格证编号）， A105303011（登记证编号）； 0006864（环评资格证编号）， A105304811（登记证编号）	第二章和第六章	
王欣	0006857（环评资格证编号）， A105305011（登记证编号）	第三章和第八章	

张敬辉	00017650 (环评资格证编号), A105302511 (登记证编号)	第四章	张敬辉
高桂玲	0004412 (环评资格证编号), A105302911 (登记证编号)	第五章	高桂玲
薛娜	00019558 (环评资格证编号), A105303311 (登记证编号)	第七章	薛娜
朱好	2017035110352013110715000928 (环评资格证编号), A105304711 (登记证编号)	第九章	朱好
四、参与编制单位和人员情况			
无			

MODIFICATION

文件修改记录

REV	DATE	CHAPTER	PAGE	MODIFICATION
版本	日期	章节	页码	修改范围及依据
A	2019.12	-	-	首次出版
B	2020.4	-	-	增加了先进废物处理中心等相关内容

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、地形地貌
- 2.2 人口分布与饮食习惯
- 2.3 土地利用及资源概况
- 2.4 气象
- 2.5 水文
- 2.6 地形地貌

第三章 环境质量现状

- 3.1 辐射环境质量现状
- 3.2 非辐射环境质量现状

第四章 核电厂

- 4.1 全厂总体规划及厂区总平面布置
- 4.2 反应堆和蒸汽-电力系统
- 4.3 核电厂用水和散热系统
- 4.4 输电系统
- 4.5 专设安全设施

- 4.6 放射性废物系统和源项
- 4.7 非放射性废物处理系统
- 4.8 放射性物质运输
- 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 其它环境影响
 - 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 核电厂工程
 - 10.2 环境保护设施
 - 10.3 放射性排放

- 10.4 辐射环境影响评价结论
- 10.5 非放环境影响评价结论
- 10.6 公众意见采纳情况总结
- 10.7 承诺

附件

- 附件 1：关于海南昌江核电厂初步可行性研究报告的审查意见（电规发电[2008]296 号）
- 附件 2：关于海南昌江核电厂初步可行性研究补充审查意见（电规发电（2015）1391）
- 附件 3：对海南昌江核电厂可行性研究阶段地震安全性评价报告的批复
（中震安评[2008]143 号）
- 附件 4：关于海南昌江核电项目压覆矿产资源的复函（2009 年 1 月）
- 附件 5：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）
- 附件 6：关于同意调整白蝶贝省级自然保护区范围的批复（琼府函[2012]52 号）
- 附件 7：昌江黎族自治县人民政府办公室关于在海南昌江核电厂厂址周围设置规划限制区的通知（昌府办委[2020]16 号）
- 附件 8：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）
- 附件 9：珠江委关于海南昌江核电厂 3、4 号机组项目取水许可申请准予水行政许可决定书（珠水许可[2018]26 号）
- 附件 10：自然资源部办公厅关于海南昌江核电厂 3、4 号机组项目用海预审意见的函（自然资办函[2020]466 号）
- 附件 11：关于海南昌江核电厂 3、4 号机组环境影响报告书（选址阶段）的批复（环审[2020]5 号）
- 附件 12：海南省人民政府办公厅关于同意在海南昌江核电厂 3 号和 4 号机组周围设置规划限制区的复函（琼府办委[2019]439 号）

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 依据的外委专题报告

1.6.2 主要国家法令及国家标准

1.6.3 主要核安全法规和导则

1.6.4 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 选址阶段环境影响报告书的批复意见

1.11.2 选址阶段环境影响报告书批复意见的落实情况

表

表 1.7-1 厂址五台机组运行状态下的放射性流出物年排放量

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

项目建设和运营单位：海南核电有限公司

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，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，机组电功率1200MW_e，额定热功率3190MW_t。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 建设项目的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，参考设计项目为福清5、6号机组。

资金筹措主要包括资本金和国内金融机构贷款两部分。项目资本金由各股东方按出资协议中确定的股份比例自行筹措；除资本金投入外，本项目其他资金拟采用国内政策性银行和（或）商业银行贷款解决。

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的费用约占项目计划总投资的2.39%。

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，习近平总书记在大会主旨演讲中提出支持海南全岛建设自由贸易试验区、建设自由贸易港等重大决策，随后国家发布《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

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4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和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号机组计划于2020年11月30日开工浇筑第一罐混凝土，单台机组建设周期为60个月，两台机组开工日期间隔10个月，计划分别在2025年11月30日

和2026年9月30日建成投产。

1.6 环境影响报告书编制依据

1.6.1 依据的外委专题报告

本工程为扩建工程，本阶段环境影响评价工作充分利用了海南昌江核电厂1、2号机组部分外委专题成果以及3、4号机组选址阶段开展的最新外委专题成果，并补充开展了6项针对本阶段的相关专题研究。

1.6.2 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》（2017年11月5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）；
- 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》（2018年12月29日）；
- 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020年4月29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》（2004年8月28日）；
- 《中华人民共和国突发事件应对法》（2007年11月1日）；
- 《建设项目环境保护管理条例》（2017）中华人民共和国国务院令682号；
- 《中华人民共和国防治海岸工程建设项目污染损害与海洋环境管理条例》（2018年）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；
- 《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）；
- 《核电厂核事故应急管理条例》（国务院[1993]124号令）；
- 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
- 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；

- 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）；
- 《海水水质标准》（GB3097-1997）；
- 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；
- 《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）；
- 《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、处置场污染控制标准》（GB18599-2001）；
- 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）；
- 《危险废物焚烧污染控制标准》（GB18484-2001）；
- 《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）；
- 《环境核辐射监测规定》（GB12379-90）；
- 《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》（GB11216-89）；
- 《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装安全标准》（GB12711-1991）；
- 《建筑设计防火规范》（GB50016-2014）。

1.6.3 主要核安全法规和导则

- 《核电厂厂址选择安全规定》（HAF101）；
- 《核动力厂设计安全规定》（HAF102）；
- 《核电厂厂址选择中的地震问题》（HAD101/01）；
- 《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02）；
- 《核电厂厂址选择及评价的人口分布问题》（HAD101/03）；
- 《核电厂厂址选择的外部人为事件》（HAD101/04）；
- 《核电厂厂址选择中的放射性物质水力弥散问题》（HAD101/05）；
- 《核电厂厂址选择与水文地质的关系》（HAD101/06）；
- 《核电厂厂址查勘》（HAD101/07）；

- 《滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定》（HAD101/09）；
- 《核电厂厂址选择的极端气象事件》（HAD101/10）；
- 《核电厂设计基准热带气旋》（HAD101/11）；
- 《核电厂的地基安全问题》（HAD101/12）；
- 《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01）；
- 《核电厂防火》（HAD102/11）；
- 《核动力厂燃料装卸和贮存系统设计》（HAD102/15）；
- 《核设施放射性废物最小化》（HAD401/08-2016）。

1.6.4 主要部颁规程、规定

- 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2018年4月生态环境部令 第1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》（HJ2.4-2009）；
- 《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2011）；
- 《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，氡子（半衰期 ≥ 8 d）为 5×10^{10} Bq/a，碳 14 为 7×10^{11} Bq/a，氚为 1.5×10^{13} Bq/a；液态流出物中氚为 7.5×10^{13} Bq/a，碳 14 为 1.5×10^{11} Bq/a，其余核素为 5.0×10^{10} Bq/a。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。

本厂址五台机组运行状态下的放射性流出物年排放量以及与厂址控制值的比较见表 1.7-1。

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执行 6.8 条款的规定。

（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）运行状态下海水水质要求

本工程执行《海水水质标准》（GB3097-1997）中对受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。

1.7.2 非辐射环境影响评价标准

（1）执行的环境空气质量标准和大气污染物排放标准

厂址地区环境空气质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准。

大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表2中的无组织排

放监控浓度限值，分别为SO₂：0.40mg/m³；NO_x：0.12mg/m³；颗粒物：1.0mg/m³。

先进废物处理中心参照执行《危险废物焚烧污染控制标准》（GB18484-2001）表3。

（2）海洋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），在海南昌江核电项目附近的海尾近岸海域（原为“预留区”）新划出温排水混合区，海域面积24.5566hm²，不执行海水水质标准；在温排水混合区外围新划出工业用水区，属第三类环境功能区，海域面积878.8662hm²，按二类海水水质控制（水温除外）；为海南昌江核电项目港口码头区，属第四类环境功能区，海域面积34.0651hm²，按三类海水水质控制。

（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。

（4）噪声标准

厂界环境噪声执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）3类功能区标准，居民所在区域执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中1类功能区标准，交通干线（包括进厂道路、应急道路及X701县道）经过的区域执行4a类标准。

厂界噪声排放执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的3类标准。

施工期间采用《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）。

（5）电磁辐射标准

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

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

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。

本工程新建的配套工程主要是厂外辅助电源220千伏线路工程，环评相关工作正

在开展中。

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，以及进行厂区绿化等。

（1）辐射影响防治措施

放射性废物管理系统包括核岛疏水排气系统（RVD）、废液处理系统（ZLT）、废气处理系统（ZGT）和固体废物处理系统（ZST）。它们分别用以收集、处理、监测、暂存或排放核电厂运行过程中产生的放射性液体、气体和固体废物。

核岛疏水排气系统（RVD）分成反应堆冷却剂疏水子系统、工艺疏水子系统、化学疏水子系统、地面疏水子系统、含氢废气子系统、含氧废气子系统，共6个独立的子系统，每个子系统收集不同种类的放射性废物。这些子系统根据废物的特性，通过各自的独立管网将废物分别输送到核辅助厂房内的硼回收系统（ZBR）、废气处理系统（ZGT）和废液处理系统（ZLT）进行处理。

废液处理系统（ZLT）的功能为收集和处理的核电厂运行过程中产生的放射性废液（即地面排水、化学排水和工艺排水），并把放射性浓度和化学含量降低到可向外界环境排放的水平。根据需要，废液可经过滤、蒸发和絮凝注入及活性炭吸附与离子交换处理。处理后对液态流出物进行监测并排放，将超标废液返回蒸发处理。

废气处理系统（ZGT）的功能为处理反应堆正常运行期间和预计运行事件情况下产生的含氢放射性废气和含氧放射性废气。含氢废气采用压缩贮存衰变的方法降低废气的放射性浓度。衰变处理后，废气经在线连续监测排至核辅助厂房通风系统（VNA）。含氧废气经过碘过滤器除碘后由排气风机排至通风系统，经通风系统的排气进行稀释以后排向烟囱。

固体废物处理系统（ZST）的功能是收集、贮存、转运、处理和暂存核电厂产生的放射性固体废物。ZST系统根据废物的不同类型和性质对其分别进行处理：

— 在核电厂运行期间核岛厂房产生的废树脂和浓缩液在核辅助厂房内各自的贮槽内暂存衰变一段时间后，送到水泥固化装置与水泥干混料混合均匀装入400L钢桶固化。

— 核岛产生的外表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ 的废过滤器芯送到水泥固定装置进行水泥固定。

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。

（2）非放射性影响防治措施

①污水处理设施

本工程生活污水处理站与海南昌江核电厂1、2号机组共用、拟新建非放射性含油废水集水池。

本工程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。生活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。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。1、2号机组生活污水处理站原设计规模900m³/d，计划2020年改造后设计规模达到1050m³/d。

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。

②噪声污染防治措施

本工程通过合理布置总平面，使重点噪声源尽量布置在厂区中部，并充分利用其他辅助建筑物进行屏蔽。

发电机、汽轮机、水泵、空压机等设备在招标过程中提出设备噪声水平要求，并布置在室内、对设备基础采取减震处理、必要时加装消声器。厂房四周墙体选用隔声较好的结构，必要时采用吸声材料，使厂房的建筑物结构将起到一定的隔声效果。从而使厂区边界处噪声满足国家标准要求。

③固体废物污染防治措施

a.一般工业固废

正常运行过程中因设备的维修、零部件的损坏等会产生一定量的工业固体废物，有废木材、废钢铁、废电缆、废塑料、废金属、废电动机、废变压器和废空调等，将纳入全厂固废收集处理系统，委托专业单位对上述废物进行处置。

b.危险废物

运行时，将会产生废油漆、废化学品、废润滑油、废日光灯管和废油布等危险固体废物，将其归类后，委托具有危险废弃物处置资质的单位对其处置。

c.生活垃圾及污泥

非放射性固体废物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。淡水厂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。

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），本次评价范围为以核岛烟囱为中心，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《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）以及《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018），本次大气环境影响评价范围以项目厂址为中心区域，边长5km的矩形区域。

（2）水环境

水环境的影响评价范围将参照《环境影响评价技术导则 地面水环境》（HJ2.3-2018）、《海洋工程环境影响评价技术导则》（GBT 19485-2014）的相关要求，同时参考本工程温排水专题的研究范围确定。

（3）声环境

根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ 2.4-2009）以及厂址周围敏感点的分布情况，本次声环境影响评价的范围为厂界外1m及厂外5km范围内主要敏感点。

（4）电磁辐射

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输电走廊两侧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。

1.11 环境影响报告书批复的落实情况

1.11.1 选址阶段环境影响报告书的批复意见

2020年1月12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(选址阶段)的批复》（环审[2020]5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：

（1）严格落实相关环境保护措施和环境监测方案，进一步优化取排水工程方案，

并在施工期间采取有效管控措施，尽量减少施工对珊瑚及其生活环境产生不利影响。

(2) 采取积极有效措施，明确本工程低放固体废物的去向。

(3) 积极做好公众宣传和公众参与工作，配合地方政府维护良好的社会环境。

1.11.2 选址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：

(1) 关于“严格落实相关环境保护措施和环境监测方案，进一步优化取排水工程方案，并在施工期间采取有效管控措施，尽量减少施工对珊瑚及其生活环境产生不利影响。”

在工程设计阶段及今后一个时期，将严格落实相关环境保护措施和环境监测方案。目前已将海域排水工程原沉管方案优化为近岸隧洞+转换井+沉管的工程方案，隧洞始发井位于陆域，隧洞入海段不需设置施工围堰，故不会对珊瑚礁分布区域造成直接占用；近岸隧洞段与水下沉管通过设置转换井连接，转换井以深海域无珊瑚礁分布，故工程建设不会对工程海域生态环境造成较大影响。后续还将进一步优化海域排水工程施工方案，采用设置防污帘、加强监测等有效管控措施，尽量减少海域施工对珊瑚及其生活环境产生不利影响。

(2) 关于“采取积极有效措施，明确本工程低放固体废物的去向。”

海南项目低放固体废物采取外运处置方案，2019年10月8日中核核能电力股份有限公司与中核环保签订了《中国核电放射性废物运输处置服务采购框架协议》，根据协议内容，中核核电下属各电厂低放可燃废物的运输，处理及处置委托中核环保相关成员单位承担。此外，中核环保后续将进一步推动放射性废物（包括所有低放固体废物管理）一体化服务。

(3) 关于“积极做好公众宣传和公众参与工作，配合地方政府维护良好的社会环境。”

海南昌江核电厂已按照《环境影响评价公众参与办法》的要求，在海南昌江核电厂3、4号机组项目选址阶段环境影响报告书编制阶段，组织开展了公众参与工作（包括三次公示、一次公众座谈会），在选址阶段的环境影响报告书中充分采纳了公众提出的与环境影响相关的合理意见，对未采纳的意见按要求进行了说明，并按照规定编制了选址阶段的公众参与说明。目前海南昌江核电厂已经启动了建造阶段的环境公众参与活动，并按照规定完成了在网站、报纸以及周边乡镇的公示，后续还将依法依规开展各项公众参与活动，并积极配合地方政府维护良好的社会环境。

表 1.7-1 厂址运行状态下的放射性流出物年排放量

单位：Bq/a

类别	项目	1、2号机组 年排放量 设计值	3、4号机组 年排放量 设计值	先进废物处 理中心年并 放设计值	小型堆年排 放量设计值	厂址年排放 量设计值	全厂址年排 量控制值	厂址年排放 量占厂址控 制值的份额
气载放射性 流出物	惰性气体	1.90E+14	1.17E+14		7.37E+12	3.14E+14	2.40E+15	13.07%
	碘	1.52E+09	1.92E+09	3.08E+01	2.63E+08	3.71E+09	8.00E+10	4.63%
	粒子 ($T_{1/2} \geq 8d$)	1.67E+08	1.87E+08	9.60E+08	2.83E+07	1.34E+09	2.00E+11	0.67%
	氚	7.47E+12	9.20E+12		9.01E+11	1.76E+13	6.00E+13	29.29%
	C-14	4.75E+11	7.32E+11	4.62E+08	6.78E+10	1.28E+12	2.80E+12	45.55%
液态放射性 流出物	氚	7.47E+13	9.20E+13		9.01E+12	1.76E+14	3.00E+14	58.57%
	C-14	3.49E+10	5.38E+10		4.36E+09	9.31E+10	6.00E+11	15.51%
	其余核素	3.83E+10	1.30E+10	9.81E+06	2.62E+09	5.39E+10	2.00E+11	26.95%



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、地形地貌

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

表2.4-2 厂址实测大气扩散参数

表2.4-3 厂址气象观测系统各仪器技术指标一览表

图

图2.4-1 东方站各季和年的风玫瑰

图2.4-2 厂址地面冬季、午风向玫瑰图（2018.9-2019.8）

图2.4-3 塔层各高度年风玫瑰图（2018.9-2019.8）

图2.4-4 厂址地面站降水玫瑰图（2018.9-2019.8）

2.1 厂址地理位置、地形地貌

2.1.1 厂址位置

海南昌江核电厂厂址位于海南省昌江县海尾镇塘兴村，濒临北部湾。3、4号机组工程位于昌江核电厂厂址内，东侧紧临1、2号机组工程，西北侧规划建设海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程。厂址东北距海口市约160km（直线距离，下同），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；东距双塘村约2.9km；东北距南罗村约4.7km。

2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区

2.1.2.1 厂址边界

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，统一规划，分期建设。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；3、4号机组规划建设两台百万千瓦级压水堆核电机组。

1、2号机组厂区已核准用地58.4126hm²（昌国用（2012）第0005号）；排洪渠已核准用地10.1740hm²（昌国用（2013）第0095号）。

本工程拟征地面积约57.71hm²，主要包括厂区内工程用地和其他设施用地。厂区内工程用地位于1、2号机组西侧，用地面积50.08hm²；其他设施用地包括行政办公、培训宣教、安全保障、停车场区、现场服务区、排洪渠及防洪设施、排水闸门井，除排水闸门井外其他设施均位于厂区东侧，排水闸门井位于厂区外北侧，其他设施总用地面积7.63hm²，其中行政办公、培训宣教、安全保障、停车场区用地面积2.90hm²，现场服务区用地面积3.80hm²，排洪渠及防洪设施用地面积0.60hm²，排水闸门井用地面积0.33hm²。

海南省自然资源和规划厅琼自然资函【2019】2169号《海南省自然资源和规划厅关于海南昌江核电厂3、4号机组项目建设用地预审意见的函》同意通过用地预审。该项目拟用地总面积57.7189公顷（其中耕地15.9105公顷，未涉及占用永久基本农田）。

本工程与小堆示范工程统筹考虑施工用地。施工用地包括1、2号机组现有施工用地以及新增施工用地，其中新增施工用地面积约53.38hm²（含小堆示范工程施工用地面积约10.00hm²）。

海南昌江核电厂厂址边界为征地边界之和，征地边界根据工程建设需求并结合地形

地貌进行确定。

2.1.2.2 非居住区和规划限制区

1) 非居住区

本工程依据《核电厂选址假想事故源项分析准则》（NB/T 20470-2017RK），采用设计基准大破口失水事故（DBALOCA）作为选址假想事故，评价事故造成的放射性后果。经计算，选址假想事故发生后，厂址拟定非居住区边界处（500m）的任何个人任意2h内所接受的最大有效剂量为 $8.05E-03Sv$ ，为GB 6249-2011中剂量控制值的3.22%，满足国标要求。因此，从事故后果的角度，本工程设置半径为500m的非居住边界是适宜的。

为了贯彻节约集约用地的国策，非居住区范围内只征用核电厂建设用地，与核电厂运行无关的活动不能任意在核电厂征地边界范围内进行。核电厂建设用地范围内由业主管理；核电厂建设征地范围外、非居住区范围内的土地，所有权属于地方政府，由业主对该区域行使有效控制的管辖权。

2) 规划限制区

推荐本工程规划限制区边界为5km。

《海南省人民政府办公厅关于同意在海南昌江核电厂3号和4号机组周围设置规划限制区的复函》（琼府办函[2019]439号）、《昌江黎族自治县人民政府办公室关于在海南昌江核电厂厂址周围设置规划限制区的通知》（昌府办函[2020]16号）同意以海南昌江核电厂各反应堆为中心，半径5km的包络线作为昌江核电厂厂址规划限制区边界。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

本节根据中国辐射防护研究院于2017年3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专题报告》进行编制。

海南昌江核电厂厂址半径80km范围涉及海南省昌江县、儋州市、洋浦区、白沙县、东方市、乐东县、临高县、五指山市8个县（市、区）的72个镇（乡、农场）。人口调查的资料和数据来源于：厂址半径5km范围内走访海尾镇人民政府和行政村村委会进行实地调查，厂址半径5~15km范围内的镇政府、农场提供的2015年的统计资料，厂址半径15~80km范围选用了有关市、县和开发区2015年有关统计资料和2015年统计年

鉴等，厂址半径 5km 范围内、厂址半径 15km 范围内给出的人口数量统计的是户籍人口。

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 范围内涉及三联、五联、南罗、五人和长山等 5 个行政村下属的 13 个自然村，总人口数为七千余人。厂址所在三联行政村由两个自然村组成，分别是塘兴新村（由原来的塘兴村和子鸡地村合并而成）和马地，2015 年底总人口 1824 人。其中，塘兴新村位于厂址 S 方位 2.3km，人口 1683 人；马地村位于厂址 SSW 方位 1.3km，人口 186 人。距离厂址最近的自然村是五联村的林好村，位于厂址的 SE 方向，距离 1.2km，人口 420 人。除上述的三个自然村外其他自然村距离厂址 1.9km 以外。厂址半径 5km 范围内没有万人以上的乡镇。

2.2.1.2 厂址半径 15km 范围内的重要居民点

厂址半径 15km 范围涉及昌江县的海尾镇、十月田镇、红林农场以及儋州市的海头镇，共计 3 个乡镇 1 个农场的 28 个行政村，10 个大队。距离厂址最近的行政村是海尾镇的三联村，位于厂址 S 方位 2.3km，2015 年末总人口数为 1824 人；人口最多的行政村是海尾镇的海农村，2015 年末总人口数为 5335 人，位于厂址 WSW 方位约 9.4km。厂址半径 10km 范围内没有十万人以上的城镇。

根据《昌江黎族自治县城乡总体规划（2010-2030）》和《儋州市城市总体规划（2015-2030 年）》，厂址半径 15km 范围涉及的海尾镇、十月田镇和海头镇规划人口分别为 1 万人、0.5 万人和 1~5 万人，分别位于厂址 WSW 方位 9.6km、SSE 方位 15.5km 和 NE 方位 7.5km。

2.2.1.3 流动人口

厂址半径 15km 范围涉及了海尾镇、海头镇、十月田镇、和红林农场 4 个乡镇（农场）。其中，长期流动人口包括流出人口（长期外出务工和上学等人员）和流入人口（外来长期居住的务工等人员，例如常年从事养殖业、种植等），短期流动人口指季节性外来务工的人员，主要从事水果种植、收获等。由于昌江核电 1、2 号机组已投入运营，核电现场有为其提供服务的合同单位人员，这部分外来工作人员中，一部分为长期工作人员（工作时间在半年以上）有 500 人左右，400 多人住在核电现场的临建区内，其余人员住在昌江县城（石碌镇），这部分人有班车接送；另外是短期工作人员（现场工作 1-2 个月），大修期间最多时可达 2000 人左右。这些外来工作人员分别统计到长

期和短期流动人口中。总体来看常年外出务工人员多于外来人员；海尾镇长期流入人口高于流出人口是因为流入人口包括了核电的外来工作人员；常住外来人员主要从事海水养殖和水果种植等。季节性流动人口主要是每年的7~12月份和来年的1~3月份前来种、收甘蔗和西瓜、菠萝等经济作物的务工人员；旅游人口是指来湿地公园体验游玩和少量的周边城镇节假日自驾游人员。

厂址半径5km范围涉及三联、五联、南罗、长山和五大共5个行政村。总体来看短期流出的人员较多，其中三联流动人口包括了核电的外来工作人员（长期500人，短期2000人），厂址半径5km范围没有旅游人员。季节性流动人口多是每年的1~3月份和7~12月份前来种、收甘蔗和西瓜的人员。

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范围涉及海南省昌江县、儋州市、洋浦区、白沙县、东方市、乐东县、临高县、五指山市8个县（市、区）的72个镇（乡、农场）。厂址半径80km范围内2015年底有人口199余万人，厂址半径80km范围内平均人口密度小于海南省平均人口密度。

2.2.2.2 厂址半径80km区域内的人口中心和城镇

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SW方位48km和E方位71.9km，2015年底人口数分别为十六万余人和十五万余人。

厂址半径10km范围内没有十万人以上的城镇。

2.3 土地利用及资源概况

2.3.1 土地和水体的利用

本节内容参考由中国辐射防护研究院于2017年3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专题报告》编制。

海南昌江核电厂厂址半径15km范围内主要涉及昌江黎族自治县、儋州市，土地总面积58104.36公顷，其中农用地总面积50387.07公顷，占土地总面积的86.7%；建设用地3450.89公顷，占土地总面积的5.9%；未利用地4266.4公顷，占土地总面积的7.3%。

厂址半径5km范围内主要涉及昌江黎族自治县海尾镇下辖的5个行政村，分别为三联、五联、南罗、长山、五大，土地总面积8169.65公顷。其中，农用地总面积6542.41

公顷，占土地总面积的 80.1%；建设用地 1475.38 公顷，占土地总面积的 18.1%；未利用地 151.86 公顷，占土地总面积的 1.8%

厂址半径 5km 范围内没有压覆重要的矿产资源。

厂址半径 15km 范围内无自然保护区。

厂址半径 15km 范围内无省级以上历史古迹和风景游览区。厂址半径 15km 范围内有县级以上文物古迹 3 处，分别为海尾十三村农民抗捐起事旧址、才地抗日战场旧址、卢王大公墓均为县级文物古迹，其中距离厂址最近的古迹是海尾十三村农民抗捐起事旧址，位于 SW 方位 2.5km。

厂址半径 15km 范围内无县级、省级以上风景游览区

厂址半径 5km 范围村庄的居民生活饮用主要使用家庭地下水井，取水方式主要是电泵取水，井深 5~20 米。而且田间地头零星有地下水井，用于灌溉。厂址半径 5km 范围村庄的灌溉用水主要使用地表水，包括河流、水井、田间水，灌溉方式主要是电泵取水。田间地头零星有地下水井，用于灌溉。厂址 5km 范围内的水井，均为行政村内，基本每户一口井，水井均位于地下水上游，厂址运行不会对居民取水造成影响。

2.3.2 陆生资源及生态概况

本节内容依据中国辐射防护研究院于 2017 年 3 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专题报告》和中核第四研究设计工程有限公司于 2017 年 4 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调查及分析评价报告》编制。

2.3.2.1 农业生产情况

厂址半径 80km 范围内，主要种植的农作物有粮食作物、油料、蔬菜、水果、茶叶等。其中粮食作物主要是水稻、番薯和大豆，水稻一年 2 季；油料有花生、芝麻；主要的经济作物是甘蔗，此外还有橡胶；水果种类很多，都是具有地域特征的热带水果，有龙眼、芒果、柑橘、香蕉、菠萝、荔枝。此外还种植有少量的其他热带作物包括咖啡、槟榔、胡椒、香茅等。

2.3.2.2 畜牧业情况

厂址半径 80km 范围内家畜主要品种是猪、牛、羊，其中牛包括黄牛和水牛，羊主要是山羊，家禽主要是鸡、鸭、鹅，此外还养殖有少量的兔和鸽子等。

厂址半径 50km 范围内无奶牛养殖。

2.3.2.3 林业资源与自然资源情况

厂址半径 15km 范围内涉及海尾镇、十月田镇和海头镇，均有林地分布。厂址半径 5km 范围内涉及的三联村、五联村、南罗村、五大村均有林地分布。

厂址半径 5km 范围内矿藏主要有石英砂等，主要分布在五大行政村。

2.3.2.4 陆生生态系统状况

2.3.2.4.1 植物

评价区域内共有维管束植物 103 科 653 种，以被子植物占绝对优势，有 90 科 627 种，占总种数的 96.2%，并以双子叶植物为主，共 78 科 507 种，占被子植物的 80.9%。该区域的植被由自然植被与人工植被组成，自然植被主要有河口、感潮河段周边的次生红树林、次生雨林、河岸植被、次生灌丛、湿地、草地等组成；人工植被主要由人工防护林（梭树、木麻黄）、橡胶林、果园和农田作物等组成。

根据《海南省省级重点保护野生植物名录》，厂址半径 10km 范围内共有 3 个省级重点保护种，包括卤蕨、椴李和长梗肖槿。根据《海南省古树名木保护管理规定》，古树名木主要有酸豆、小叶榕、垂叶榕、高山榕、木棉等。

2.3.2.4.2 动物

（1）两栖动物

调查区域共记录两栖类 1 目 7 科 13 种，占海南两栖动物种数的 28.9%，全部属于海南土著种，包括黑斑蟾蜍、泽蛙、沼蛙、花姬蛙等。

（2）爬行动物

调查区共记录爬行类 1 目 2 亚目 9 科 31 种，占海南岛爬行动物种数的 27.0%，全部属于海南土著爬行动物物种，其中斑飞蜥、蜡皮蜥、海南睑虎、滑鼠蛇、舟山眼镜蛇、银环蛇等 6 种为海南省级重点保护爬行动物，海南睑虎为特有爬行动物种。

（3）鸟类

调查区共记录鸟类 16 目 38 科 89 种，占海南鸟类的 22.3%，非雀形目鸟类 57 种，占 64.0%，雀形目鸟类 32 种、占 36.0%，全部属于海南本地土著种。调查区共有国家 II 级重点保护鸟类鸮、松雀鹰、雀鹰、凤头蜂鹰等 14 种，海南省重点保护鸟类白鹭、大白鹭、池鹭、牛背鹭等 38 种，重点保护鸟类占调查区鸟类种类的比例为 58.4%。

（4）哺乳动物

调查区共记录哺乳类 6 目 10 科 15 种，占海南陆生兽类种类的 19.7%，全部属于海

南本地土著物种。棕果蝠、树鼯、豹猫、隐纹花松鼠和赤腹松鼠为海南省省级重点保护哺乳类动物。

（5）食腐类节肢动物

调查区域共记录食腐类动物 4 纲 12 目 71 种，分别为甲壳纲、唇足纲、倍足纲和昆虫纲，其中甲壳纲 2 种，唇足纲和倍足纲均为 3 种，昆虫纲最多，有 63 种，占了所调查食腐类动物种数的 88.7%。调查到的 71 种食腐类动物均为海南的土著种，均不属于珍稀濒危保护物种。

（6）昆虫

共记录到 9 目 99 科 693 种（含 63 种腐食性昆虫）。

在调查区域中调查所获得 9 个目昆虫中，鳞翅目种类最多，为 24 科 296 种，其次为鞘翅目 23 科 117 种，最少的为螳螂目 3 科 5 种。其中国家 II 级保护动物 1 种，海南省省级重点保护动物 2 种，国家 II 级保护动物为金裳凤蝶；海南省省级重点保护动物为玄麝凤蝶、和黑眼蝶。

（7）腹足纲软体动物

调查区域内共调查到 7 科 10 种，其中海南小囊螺为海南特有种，无珍稀濒危保护种类。

（8）环节动物

调查区域内共调查到环节动物 1 纲 1 目 2 科 7 种，均为当地土著种，其中海南特有种 4 种，没有重点保护的珍稀濒危物种。

2.3.2.5 距反应堆最近的种植区、养殖场和自然保护区等

厂址半径 15km 范围内没有自然保护区，相对厂址最近的种植区和养殖区位于厂址 SE 方位 1.2km 的林好村。

2.3.3 水产资源与水生态概况

本节内容依据中国水产科学研究院东海水产研究所于 2018 年 2 月完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组厂址附近海域海洋生态环境现状调查及评价技术报告》和国家海洋局第三海洋研究所于 2018 年 2 月完成的《海南昌江核电厂 3、4 号机组邻近海域珊瑚礁生态调查与评价报告》编制。

2.3.3.1 厂址附近海域海水水质

厂址近海域海水水质情况见 3.2.3 节。

2.3.3.2 厂址附近海域海洋沉积物质量

浅海沉积物质量调查样品采集自2016年11月秋季航次。本次调查采集了31个站位的沉积物样品，进行了重金属（铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷）、石油类、有机碳、硫化物、氧化还原电位和沉积物类型等14个要素的分析测试。所有测量站位重金属均符合《海洋沉积物质量》一类标准。

2.3.3.3 厂址邻近水域中的海洋生物

本节中描述的各类海洋生物为厂址排水口半径15km范围内的统计数据。

（1）微生物

2016年11月、2017年2月、2017年5月所有调查站位各水层粪大肠菌群含量均符合《海水水质标准》第一类标准；2017年8月除表层（28#）超《海水水质标准》第一类外（超标率为3.45%），中、底层粪大肠菌群含量均符合《海水水质标准》第一类标准。

（2）叶绿素a和初级生产力

2017年2月叶绿素a均值最高，表层叶绿素a平均含量为 $2.28\text{mg}/\text{m}^3$ ；底层叶绿素a平均含量为 $1.71\text{mg}/\text{m}^3$ ，2016年11月叶绿素a均值最低，表层叶绿素a含量平均含量为 $0.47\text{mg}/\text{m}^3$ ；底层叶绿素a平均含量为 $0.64\text{mg}/\text{m}^3$ 。除2017年2月外，表层叶绿素a均值都低于同期底层叶绿素a含量均值；表层叶绿素a季节变化幅度高于底层。

全年调查排水口表层叶绿素a含量年均值为 $1.44\text{mg}/\text{m}^3$ 。排水口底层叶绿素a含量年均值为 $1.36\text{mg}/\text{m}^3$ 。全年调查取水口表层叶绿素a含量年均值为 $1.77\text{mg}/\text{m}^3$ 。

大面站2016年11月叶绿素a含量较低（低于 $100\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ），其他各季节初级生产力均值都在 $250\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 以上。

连续站排水口全年调查海区初级生产力分布范围为 $23.75\sim 560.44\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，年均值为 $338.15\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。取水口全年调查海区初级生产力分布范围为 $49.98\sim 673.61\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，年均值为 $333.66\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。

（3）浮游植物

四次调查共鉴定到浮游动物4门132种。其中，蓝藻2属3种，硅藻43属111种，金藻1属1种，甲藻7属17种，硅藻在各门类中占据绝对优势。

主要生态类型包括河口性生态类群：代表种有具槽直链藻等，调查海域出现较少，细胞丰度较低；近海低盐性类群：代表种为菱形海线藻等，种类多，细胞丰度高；外海高盐性生态类群：代表种有并基角毛藻等，是本海域群落结构组成中的最重要类群之一，但种类数及其细胞丰度低于近海低盐性类群。

（4）浮游动物

四次调查共鉴定浮游动物 7 门 15 大类 156 种（不包括浮游动物幼体 13 种，含未定种）。2016 年 11 月至 2017 年 8 月各次调查分别鉴定到浮游动物 7 门 15 大类 90 种、7 门 14 大类 72 种、6 门 9 大类 60 种、7 门 9 大类 50 种和 7 门 13 大类 47 种。

浮游动物生态类群可分为如下 3 种生态类型：近岸种，又可细分为近岸低盐种和近岸暖水种；广温广盐和；高温高盐种。

（5）鱼卵仔鱼

调查共采集到 33 个不同分类阶元的鱼卵种类、35 个不同分类阶元的仔稚鱼种类。

（6）游泳动物

调查海域共鉴定出 17 目 74 科 226 种游泳动物。其中，鱼类最多（158 种）；其余依次为虾类（29 种）和蟹类（22 种）；口足类（虾蛄）和头足类较少，分别为 11 种和 6 种。

（7）潮间带底栖生物

2016 年 11 月至 2017 年 8 月，4 次潮间带调查共鉴定到底栖生物 3 门 54 种，其中，环节动物 21 种，软体动物种类最多（29 种），节肢动物 4 种。

（8）潮下带底栖生物

2016 年 11 月至 2017 年 8 月 4 次调查在潮下带底泥样品中共鉴定底栖生物 4 门 32 种。其中，多毛类种类最多（16 种），占总种数 50.0%；软体动物 9 种，占总种数 28.1%；棘皮动物 6 种，占总种数 18.8%；纽形动物 1 种，分占总种数 3.1%。

（9）污损生物

共鉴定出 30 种污损生物，甲壳动物和环节动物各 8 种，软体动物、腔肠动物和藻类各 3 种，尾索动物、海绵动物和纽形动物各 1 种。表层挂板共鉴定出污损生物 19 种，底层挂板共鉴定出污损生物 24 种。

各种类中，以网纹藤壶对附着密度和湿重的贡献率最大。表层挂板优势种为网纹藤壶，底层挂板优势种为网纹藤壶和华美盘管虫。

2.3.3.4 生物质量

《海洋生物质量》（GB 18421-2001）仅适用于双壳类贝类，目前国家尚未颁布规范的海洋甲壳类、鱼类和其他贝类（如蠕类）生物质量评价标准，本报告对甲壳类和鱼类体内重金属含量采用《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中的“海洋生物质量评价

标准（甲壳类、鱼类）”进行评价，对甲壳类和鱼类体内石油烃含量采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》中的“海洋生物质量评价标准”进行评价，贝类采用《海洋生物质量》一类标准进行评价。

2016年11月和2017年5月调查结果显示，生物石油烃残留量相对较低，全部符合《海洋生物质量》第一类标准和其他相关标准。

2016年11月调查鱼类和甲壳类生物样品中重金属含量全部符合相关标准；贝类样品中铜和汞符合《海洋生物质量》第一类和其他相关标准，贝类样品中锌、铅、镉、铬和砷均有部分样品超过《海洋生物质量》第一类标准，其中双壳类（斧文蛤）铅、铬和砷超第一类标准，符合《海洋生物质量》第二类。

2017年5月鱼类样品中铜、锌、铅、镉、汞和砷全部符合《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》的要求，少量样品铬含量超过《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中要求；甲壳类样品中铜、锌、铅、镉、汞和砷全部符合《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》的要求，少量样品铬含量超过《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中要求；贝类样品中铜、锌、铬、汞和砷全部符合《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》或《海洋生物质量》的要求，少量样品（毛蚶）铅含量超过《海洋生物质量》第一类，部分贝类样品镉含量超过《海洋生物质量》第一类，符合《海洋生物质量》第二类。

2.3.3.5 珊瑚礁

经潜水摸边确定，珊瑚主要分布在6m以浅的水深区域，沿海岸线呈带状分布，分布不连续，为沙质底质所分割。在调查的11个站位中，有5个站位有珊瑚分布，覆盖率最低为1.4%，最高为10%。该海域沙质底质较多，造成珊瑚的不连续分布。

通过本次实地调查，并结合历史调查报告资料，初步确定调查海域内腔肠动物门珊瑚虫纲共出现造礁石珊瑚10科15属29种，本次调查发现7科11属13种。科级组成中，蜂巢珊瑚科以及滨珊瑚科等为优势类群。属级组成中，蜂巢珊瑚属、角蜂巢珊瑚属等为优势类群；种类组成中，丛生盔形珊瑚、澄黄滨珊瑚、秘密角蜂巢珊瑚等为优势种。

2.3.3.6 渔业资源和海洋捕捞

本海域渔场有“北部湾北部渔场”和“北部湾南部及海南岛西南部渔场”。

根据渔业生产数据统计，本区主要经济鱼类有金线鱼、带鱼、蓝圆鲹、白姑鱼、刺鲳、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、虾蛄类等，主要经济头足类有中国枪乌贼、火枪乌贼等。

2.3.3.7 养殖业

昌江县沿海属滨海平原沙滩地带，海岸类型多样，底质多为固定沙土和半固定沙土，其次为泥沙质、珊瑚礁质，水域广阔，海域面积 11133 公顷，浅海滩涂面积 4893 公顷。儋州市港湾丰富，有新英湾、白马井港等港湾 8 个，0-5m 浅海 5993 公顷，0-10m 浅海 15147 公顷。浅海海底地形变化不大，坡度平缓，有珊瑚礁分布，底质为泥、砂泥、砂和岩礁。滩涂底质以泥沙和砂为主，海水养殖条件优越。海水养殖种类多样：鱼类有石斑鱼、鲷鱼、鲷鱼、鲈鱼、遮目鱼等；虾类有南美白对虾、斑节对虾、日本对虾、墨吉对虾、龙虾等；蟹类有锯缘青蟹、三疣梭子蟹；贝类有珠母贝、白蝶贝、扇贝、文蛤、鲍鱼、蚝、蚶等；藻类有江蓠、马尾藻、麒麟菜等。

2.3.3.8 保护区及保护性水生物

厂址半径 80km 范围内有 3 个省级海洋保护区和 1 个市级海洋保护区，3 个省级海洋保护区分别为临高县白蝶贝海洋保护区、马蓉-海尾珊瑚礁海洋保护区、东方黑脸琵鹭海洋保护区，市级海洋保护区为新英湾红树林海洋保护区。

海区主要保护性水生生物有蓝园鲷、金色小沙丁鱼、白蝶贝、二长棘鲷、珊瑚。

2.3.4 工业、交通及其它相关设施

本节内容参考由中国辐射防护研究院于 2017 年 3 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专题报告》编制。

2.3.4.1 工业设施

厂址半径 15km 范围内仅有 1 家规模以上工业企业—海头镇的海糖公司（糖业有限公司），现有职工人数 393 人，职工家属总人数 850 人，位于厂址 ENE 方向，距离厂址 14.2km。

厂址半径 5km 范围内没有规模以上的工业企业，只有规模以下的 1 个石英砂厂，即海南昌江石英砂有限公司，位于厂址 NE 方位 4.7km，主要业务是开采石英砂，不做深加工，规模稍小，目前处于停产状态。

厂址半径 15km 范围内没有工业园区和经济技术开发区。

厂址半径 15km 范围内没有油库和易燃易爆的化学品仓库，仅有一个个体液化气有限公司和 5 座加油站。5 座加油站中有 2 个加油站属于中石化，另外 3 个为个体经营，贮量不大。液化气、汽油、柴油使用槽罐车运往海尾镇、海头镇各液化气站和加油站，

运输路线相对厂址最近距离为 2.5km，液化气单次最大运输量 10 吨，汽油、柴油单次最大运输量 20 吨。根据分析和计算，这些加油站、液化气站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 范围内有一条省道（邦核线），5 条县道（乌新线、十南线、新海线、雅海线、林海线），48 条乡村道路，厂址通过进厂道路与县道乌新线（海尾镇—新港段）相连。实现了村村通，道路状况很好。

厂址所在区域以海南环线高速 G98（海口—三亚）、海榆西线国道 G225（海口—三亚）、省道什邦线 S310（什运—军营）为主体，连接区内各市、县，各乡镇之间都有县道，甚至省道相通，交通比较方便。

厂址所在区域铁路两条，西环高铁和海南铁路西环线。其中西环高铁是双线一级电气化客货共线铁路，位于厂址 SE 方位 2.6km；海南铁路西环线位于厂址 SE 方位约 23km。两条铁路均不涉及易燃易爆危险品运输，故而不会对核电厂安全构成潜在危险。

依据《昌江黎族自治县“多规合一”（2015-2030 年）初步成果》，全面融入省域交通体系，以“综合交通、智慧交通、绿色交通、平安交通”发展为统领，着力完善公路交通基础设施网络，与铁路、海上航运等运输方式共同打造一个安全、便捷、高效、绿色的现代综合交通运输体系。

（2）海运

厂址半径 15km 范围有 3 个渔港，分别是昌江新港渔港、昌江海尾渔港、儋州海头渔港，分别位于厂址 NNE 方位 6.2km、WSW 方位 9.6km 和 WSW 方位 7.0km。

厂址半径 15km 范围内没有重要海上航线。

上述港口和码头均不涉及易燃易爆危险品贮存和运输，厂址附近海上航线距离厂址 21km 以远，故而不会对核电厂安全构成潜在危险。

（3）空运

厂址半径 80km 范围内有东方直升机场和儋州西庆农业机场两个机场。

东方直升机场位于东方市八所镇剪半园，距厂址最近距离约 43.0km，位于厂址 SSW 方位，因净空问题已暂停运行。中信海直新建东方机场距离厂址约 37km。西庆农业机场位于儋州市西庆农场，距厂址约 58.0km，位于厂址 E 方位。

东方机场和西庆机场均在厂址安全筛选距离之外。

根据中国民用航空中南地区空中交通管理局海南分局的《民航海南空管分局关于请支持海南昌江核电项目环境和外部人为事件调查工作的复函》（民航海南空局函[2016]63号），厂址半径16km范围内有1条航线A202航路通过，厂址相对A202航路中心线空中投影线距离约15.6km。

厂址半径16km范围内没有机场，厂址半径4km范围内没有起落航道或其他航线，可不考虑飞机坠毁对厂址安全的影响。

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250~260天，余者是季节相连的秋春两季，约110天左右。这里无寒流现象，也很少有冷空气强降温。为了简化气象描述，经常依照夏季风和冬季风的主导性和气象要素特征把3月中~11月中称为夏半年，其他月、旬称为冬半年。

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多年气象要素统计资料，厂址区域年平均气温为 23.6~25.0℃，极端最高气温为 40.5℃（昌江站，2016.4.17），极端最低气温为 0.4℃（儋州站，1955.1.11）；年平均气压为 992.0~1010.0hPa；年平均相对湿度为 75~84%；年平均风速为 1.7~4.3m/s，最大风速为 33.7 m/s，极大风速为 39.3 m/s；年平均日照时数为 2076.4~2613.2h；年平均降雨量为 981.7~2116.6mm；一日最大降水量为 644.6mm（昌江）；年平均蒸发量为 1786.6~2502.8mm。当地的主要气象灾害是台风、暴雨和干旱。台风的大风影响轻于琼东沿海。

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 1953~2018 年 66 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

年平均风速为 4.2m/s，最大风速为 33.7m/s 出现在 1992 年 6 月 29 日 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，极大风速最大达 39.3m/s，出现在 2005 年 9 月 27 日 0518 号台风（达维）从东方出海的时候。

东方站累年与各季的风向频率见图 2.4-1。可见，全年最多风向为 NE，年频率为 21.1%，其次为 S，年频率为 14.0%。累年静风频率为 4.3%，仅以 2004 年单轨观测后的定时资料统计，年静风频率（ $\leq 0.5\text{m/s}$ ）为 1.3%。

2) 气温

年平均气温为 25.0℃，极端最高气温为 38.8℃，出现在 1958 年 4 月 23 日；极端最低气温为 1.4℃，出现在 1955 年 1 月 12 日。

3) 湿度

年平均相对湿度为 79%，年最小相对湿度为 20%，年平均水汽压为 25.4hPa。

4) 降雨

年平均降雨量为 981.7mm，历年记录中一日最大降雨量为 423.1 mm，出现在 1996 年 9 月 21 日 9618 号台风期间。年降雨最多的年份是 1980 年，降雨量为 1528.8 mm；最少年份出现在 1969 年，降雨量仅有 275.4 mm。

5) 气压

年平均气压为 1010.0 hPa。

6) 云量

年平均总云量和低云量分别为 7.0 和 3.0 成。

7) 日照

年平均日照时数为 2613.2h。历年月最多日照时数为 339.5h，出现在 1977 年 5 月，月最少日照时数为 53.1h，出现在 1983 年 2 月。

8) 蒸发

年平均蒸发量为 2502.8 mm。

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 1949~2019 年共 71 年的热带气旋资料，采用耿贝尔函数进行极值拟合，得到厂址热带气旋设计基准为：百年一遇热带气旋最低中心气压为 900.2hPa，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台站的资料。为了避免观测方法（平均时长等）不一致引起的不确定性，东方和儋州数据从采用 EL 型风向风速自记的 1971 年开始，昌江和临高从 1980 年开始，收集的资料均截至 2018 年。采用耿贝尔函数做极值拟合，得到厂址 10m 高度处百年一遇实测极端风最大风速为 38.7m/s，对应的百年一遇极大风速为 54.2m/s。综合热带气旋和极端风计算结果，本工程与核安全有关的抗震 I 类建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 1960~2018 年共 59 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 243 例，按照核安全导

则（HADI01/10）推荐的富士达分类法，得到调查区域内共有 23 个龙卷风达到 F2 级，96 个样本达到 F1 级，F0 级共有 124 个样本。

以 10^{-7} /年作为设计基准龙卷风的概率水平，得到厂址龙卷风设计基准风速为 72.0m/s。由于雷州半岛的龙卷风强于海南岛，特别是厂址附近属于龙卷风少发、强度又低的地段，因而 72.0m/s 的设计基准具有较高的保守性。

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

极端最高和极端最低气温设计基准评价的年极端值取自东方、儋州、昌江和临高四个气象站。东方气象站始建于 1952 年，1962 年站址从离海岸约 5km 处搬到现今的海滨。由于海陆差别，前期极端最高气温数值和规律与 1963 年后完全不同，因而东方只取 1963 年以来的数据，儋州也与其取齐，昌江和临高从建站次年起。采用耿贝尔函数进行拟合，得到厂址极端气温设计基准为：厂址百年一遇极端最高气温为 42.9℃，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 2018 年 9 月~2019 年 8 月一整年的厂址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

观测期间厂址地面站年平均风速为 2.2m/s，全年静风频率为 0.5%。观测期间出现的最大风速为 12.8m/s，极大风速为 18.6m/s，均出现在 8 月 2 日。

观测期间厂址地面最多风向和次多风向分别为 SSW（13.3%）和 N（10.7%），图 2.4-2 给出了观测期间厂址地面冬季和年风玫瑰图。

观测期间塔层各高度（10m、30m、50m、70m 和 100m）的年平均风速分别为 2.2m/s、3.8m/s、4.6m/s、5.1m/s 和 5.5m/s，年静风频率分别为 1.1%、0.3%、0.2%、0.3%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 13.1 m/s、19.4m/s、21.1m/s、23.3m/s 和 23.8m/s，除 10m 高度出现在 4 月份外，其他高度均出现在 8 月份；极大风速分别为 17.5m/s、22.5m/s、24.6m/s、24.6m/s 和 24.0m/s，除 100m 高度出现在 8 月份外，其他高度均出现在 7 月份。

观测期间塔层各高度（10m、30m、50m、70m 和 100m）的最多风向分别为 SE(12.7%)、ESE(13.1%)、NNE(11.0%)、ESE(11.0%)和 ENE(11.4%)，次多风向分别为 N(10.6%)、NNE (10.4%)、ESE (10.9%)、ENE (10.9%) 和 E (10.8%)。图 2.4-3 给出了观测期间塔层不同高度各季和年的风玫瑰图。可见，厂址地区以偏东风为主导风向，不同高度处的 NNE~SE 方位风向频率年平均总计均为 50.0%左右。

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 26.3℃、26.2℃、26.0℃、25.9℃、25.8℃和 25.6℃。

观测期间厂址地面站出现的最高气温为 40.8℃，出现在 6 月 22 日；最低气温为 12.2℃，出现在 12 月 30 日。塔层各高度（10m、30m、50m、70m 和 100m）的最高气温均出现在 6 月 22 日，分别为 39.3℃、38.6℃、38.1℃、37.6℃和 37.1℃；最低气温均出现在 1 月 1 日，分别为 12.6℃、12.4℃、12.2℃、12.0℃和 11.7℃。

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 23.02%~26.58%之间，10~50m 的逆温频率最高，10~30m 的逆温频率最低；各层强逆温的出现频率分别为 4.15%、3.70%、2.64%和 1.07%。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) 湿度

观测期间厂址年平均相对湿度为 80.0%，最小相对湿度为 33.0%。

4) 降水

观测期间地面站年降水时数为 301h，年降雨量为 891.6mm。单日降雨量最大值为 123.0mm，出现在 8 月 10 日。

图 2.4-4 给出了观测期间各风向降水量。观测期间单风向降雨量最大值为 139.9mm (ENE)，单风向降雨量最小值为 12.6mm (NE)。

5) 气压

观测期间厂址年平均气压为 1009.2hPa，出现的最高气压为 1026.1hPa，最低气压为

990.5hPa。

6) 辐射

观测期间厂址总辐射量为 6102.0MJ/m²，净辐射量为 2046.0MJ/m²。

2.4.4 大气稳定度

根据厂址 2018 年 9 月~2019 年 8 月一整年的实测气象资料，采用 AT/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 26.83%，不稳定 A~C 类分别为 13.29%、25.09%、10.88%，稳定 E、F 类分别为 0.72% 和 23.19%。

2.4.5 联合频率

根据 2018 年 9 月~2019 年 8 月厂址气象铁塔 10m 和 70m 高度的风向、风速和地面气象站的雨量观测结果，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。

厂址地面气象站和气象铁塔建成于 2008 年 11 月，同年 12 月 1 日正式开始观测。

厂址地面气象站进行气温、湿度、气压、风速、风向、降雨量、总辐射和净辐射的实时测量，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、日照、干湿球温度等。气象铁塔高 102m，在 10m、30m、50m、70m 和 100m 高度处架设了 5 层风速、风向和温度传感器，开展塔层风、温观测。

厂址气象站从 2015 年起更换了全部观测设备和传感器，所有的传感器和数据采集与传输系统均采用国产设备。表 2.4-3 给出了更换的厂址气象观测系统各仪器的技术指标。所有地面观测要素和塔层观测要素均接入数据自动采集系统。数据采集系统更换为由天津气象仪器厂生产的 DZZ6 型数据采集和处理系统。

2018.9~2019.8 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 97.5%，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85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。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_{90} 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。海啸亦称海嘞，按其成因，海啸可分为3种类型，即地震海啸、火山海啸和滑坡海啸。发生较多的是地震海啸，它是一种由地表断裂、海底隆起或下沉导致的海底突然错位引起的近海或大洋的波浪，或者波浪系统。地震海啸的形成要具备三个条件：1）地震要发生在海底且地壳需大范围的急剧垂直升降；2）地震强度需在6.5级以上且震源深度小于50km；3）地震发生海区的海水需达到足够深度，一般要在1000m以上。

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

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

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

（7）海平面上升

利用东方站海平面长期监测资料和其它信息，综合分析了厂址海域海平面变化状况，

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

（8）波浪

根据厂址站2008年7月~2009年6月实测波浪资料可知，工程海域偏北向波浪的出现频率较高，共占64.5%，其中N、NNE、NNW向分别为29.8%、26.4%和8.3%；W~NW向次之，为33.1%，其中W与WNW向分别为16.7%和9.8%。常浪向为N~NE和W向，强浪向为N和NNW向。观测到的H1/10最大波高4.37m，波向为N，相应周期为5.0s，出现日期为2009年3月14日。厂址海域秋季波浪最强、冬春季次之、夏季最弱，常浪向为NNE~NNW与W向；大浪多出现于秋冬季，强浪向为N、NNW和NNE向。

（9）泥沙

工程海域位于海南岛西北部临海沿岸，没有大的河流入海，沙源有限。

（10）海水温度

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

（11）海水盐度

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

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

（12）海冰

本海区终年水温较高，不存在冰情影响问题。

（13）赤潮

海南海域赤潮发生次数不多。据《海南省海洋环境状况公报》（海南省海洋与渔业厅出版），2005年近岸海域发生两次赤潮，分别出现在文昌高隆湾与海口湾，面积最大 0.3km^2 ，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 6km^2 ，厂址海域无有关赤潮报道。

2.5.1.2 陆地水文

（1）水文描述

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

厂址半径 15km 地表水主要是珠碧江和南罗河。珠碧江发源于海南白沙黎族自治县中部的南高岭，流向西北，进入儋州市海头镇注入北部湾。珠碧江干流全长 86km ，流域面积 1101km^2 ，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 5.6km ，位于厂址SSW方位。其次是东边水库，距厂址中心 8.8km ，方位是WSW。

（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 $1.29\text{亿}\text{m}^3$ ，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 $\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$ 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。

2.5.2.2 厂址水文地质特征

2.5.2.2.1 地下水赋存形式及类型

根据厂址地形地貌、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。

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 $\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$ 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，其透水性与其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压水试验成果显示，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 $0.61\text{Lu}\sim 1.98\text{Lu}$ ，属微~弱透水。

2) 渗水试验

可行性研究阶段水文地质调查渗水试验成果显示，第四系松散层的渗透系数为 $2.15\times 10^{-3}\text{cm/s}\sim 9.72\times 10^{-3}\text{cm/s}$ ，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抽水试验成果显示，厂址区第四系松散层透水性较好，渗透系数 $1.27\text{m/d}\sim 2.83\text{m/d}$ ，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，厂址区地下水 pH 值为 $6.44\sim 7.75$ ，总硬度 $124.3\sim 188.8\text{mg/L}$ ，矿化度 $412.0\sim 480.6\text{mg/L}$ ，呈中性~弱碱性，属微硬水~硬水，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。

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。

(3) 厂址附近没有大的供水水源地，电厂建设不存在对供水水源的影响问题。

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。电厂建设不存在对供水水源的影响问题

2.5.3 洪水

2.5.3.1 海洋洪水

(1) 历史洪水

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

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

(2) 洪水影响

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

10%超越概率天文高潮：	2.71m
可能最大台风增水：	3.71m
<u>海平面上升：</u>	<u>0.18m</u>
设计基准洪水位：	6.60m

海南昌江核电厂3、4号机组工程厂坪标高定为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 工况下的洪水流量（可包络溃坝洪水量）通过海南昌江核电厂厂区外围的防、排洪工程排出。防、排洪工程的设计标准为按照 PMF 设计，自塘兴水库溢洪道开始，沿海南昌江核电厂厂区外围边界自南侧~东南侧~东侧~东北侧的排洪沟排入北侧的原有塘兴水库泄洪通道，经开挖整修后的天然通道将洪水排至海南昌江核电厂厂区西北侧的天然排洪通道，最终排入大海。

(3) 溃坝洪水对厂区的影响

经调查厂区流域范围内无大的水库，不存在由于地震可能引起水库溃坝而影响厂址的安全问题。

(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，陆域径流对其构不成威胁。

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的山脊上，属滨海台地。本工程厂区区域地貌为台地地貌、海成地貌和人工地貌，另外零星发育一些微地貌。拟建场地上部为第四系，包括填土层、海积层及残积层，下伏燕山晚期的侵入岩，以黑云母花岗岩、石英闪长岩为主，零星分布有花岗斑岩岩脉。

厂址区在 1、2 号机组建设时进行了场地平整，厂区自然地面高程约为 9~25m（1985 国家高程基准，下同），预留 3、4 号厂区用地高程约为 9~19m，新增 3、4 号厂区用地为 1、2 号机组施工临建场地，高程约为 19~25m。

表 2.4-1 厂址附近的气象站

站名	区站号	纬度	经度	高度(m)	级别	与厂址相对位置
东方	59838	19°06'	108°37'	8.0	基准站（气候观象台）	西南，51km
儋州	59845	19°31'	109°35'	168.8	基本站（一级站）	东，70km
昌江	59847	19°16'	109°03'	98.9	一般站（二级站）	东南，29km
临高	59842	19°54'	109°41'	30.6	一般站（二级站）	东北，100km

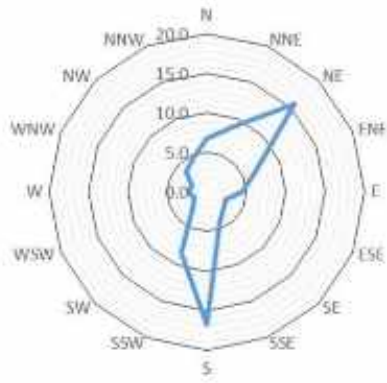
表 2.4-2 厂址实测大气扩散参数

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

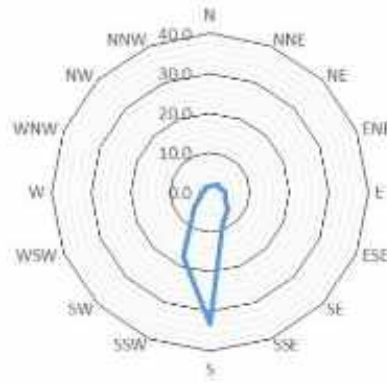
稳定性 系数	A	B	C	D	E	F
a	1.188	0.811	0.514	0.326	0.200	0.124
b	0.900	0.886	0.883	0.883	0.880	0.880
c	0.353	0.301	0.238	0.218	0.202	0.199
d	0.934	0.888	0.86	0.808	0.747	0.672

表 2.4-3 厂址气象观测系统各仪器技术指标一览表

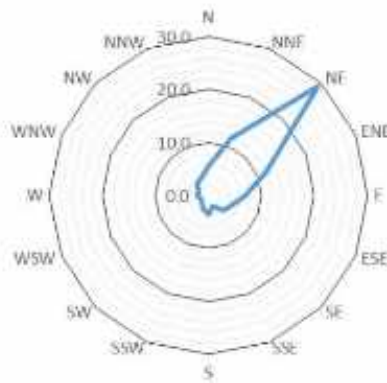
名称	型号	单位	测量范围	准确度	分辨率	灵敏度
风速	EL15-1A	m/s	0.3~60m/s	1) ± 0.3 m/s ($v \leq 10$ m/s) 2) $\pm (0.03v)$ m/s ($v > 10$ m/s) (v 为实际风速)	0.05m/s	启动风速为 0.3m/s
风向	EL15-1	$^{\circ}$	$0^{\circ} \sim 360^{\circ}$		$\pm 2.5^{\circ}$	启动风速为 0.5m/s
温度	WZP-1	$^{\circ}\text{C}$	$-50^{\circ}\text{C} \sim -80^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	0.01°C	
总辐射	TBQ-2T	W/m^2	0~1400	(年变化量) $< 2\%$		$7-14\mu\text{v}/\text{W}/\text{m}^2$
净辐射	TBB-1	W/m^2		(年变化量) $< 2\%$		$10\mu\text{v}/\text{W}/\text{m}^2$
湿度	DWHC3	%	0~100%RH	$\pm 1.5\%$ ($23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) $\pm 2\%$ ($-10^{\circ}\text{C} \sim -50^{\circ}\text{C}$) $\pm 3\%$ ($-30^{\circ}\text{C} \sim -70^{\circ}\text{C}$)		< 15 s



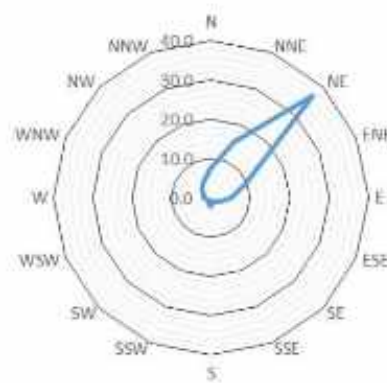
春季，静风 5.5%



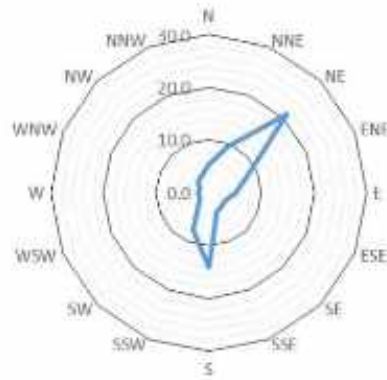
夏季，静风 3.8%



秋季，静风 3.8%



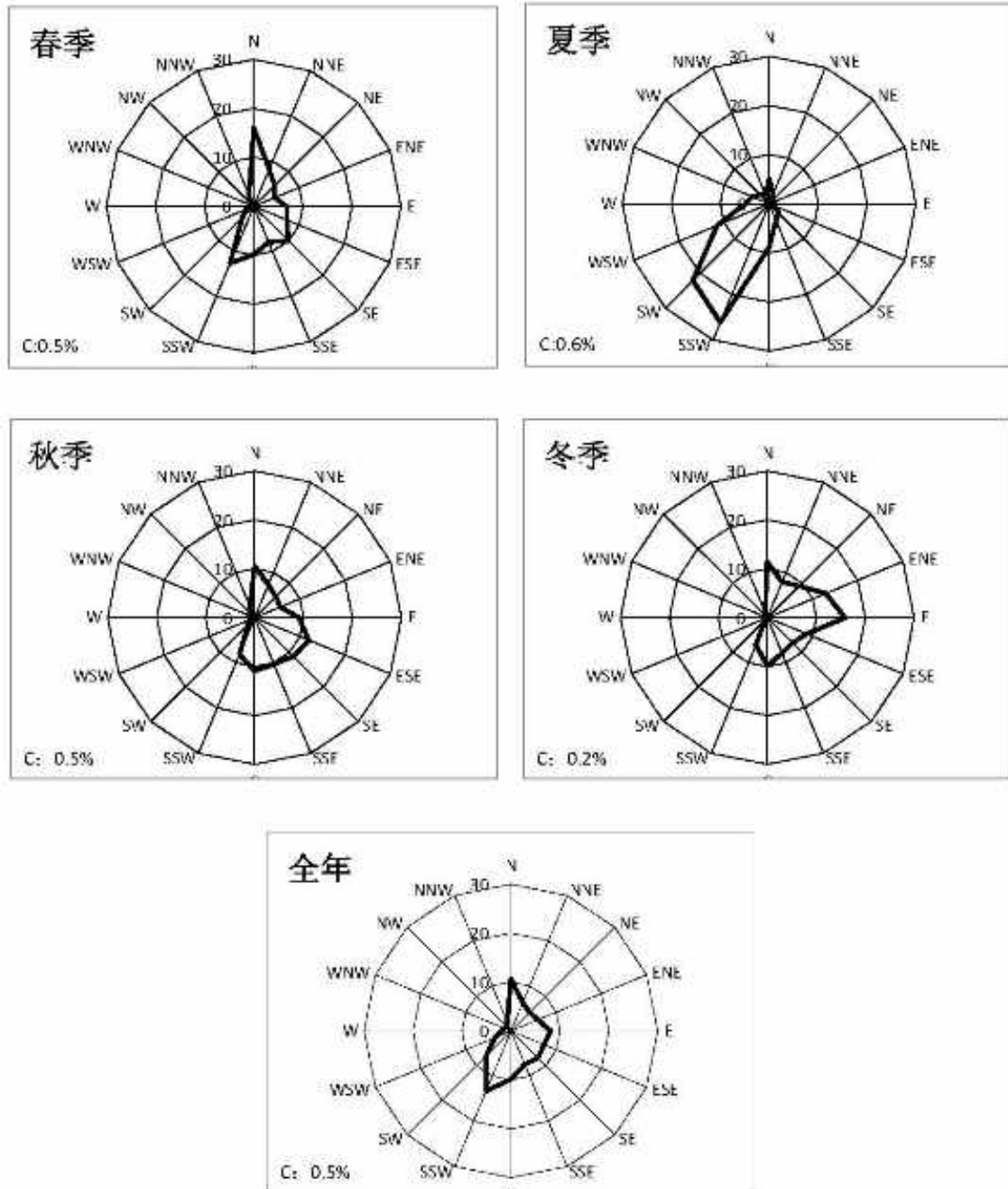
冬季，静风 4.0%



累年，静风 4.3%

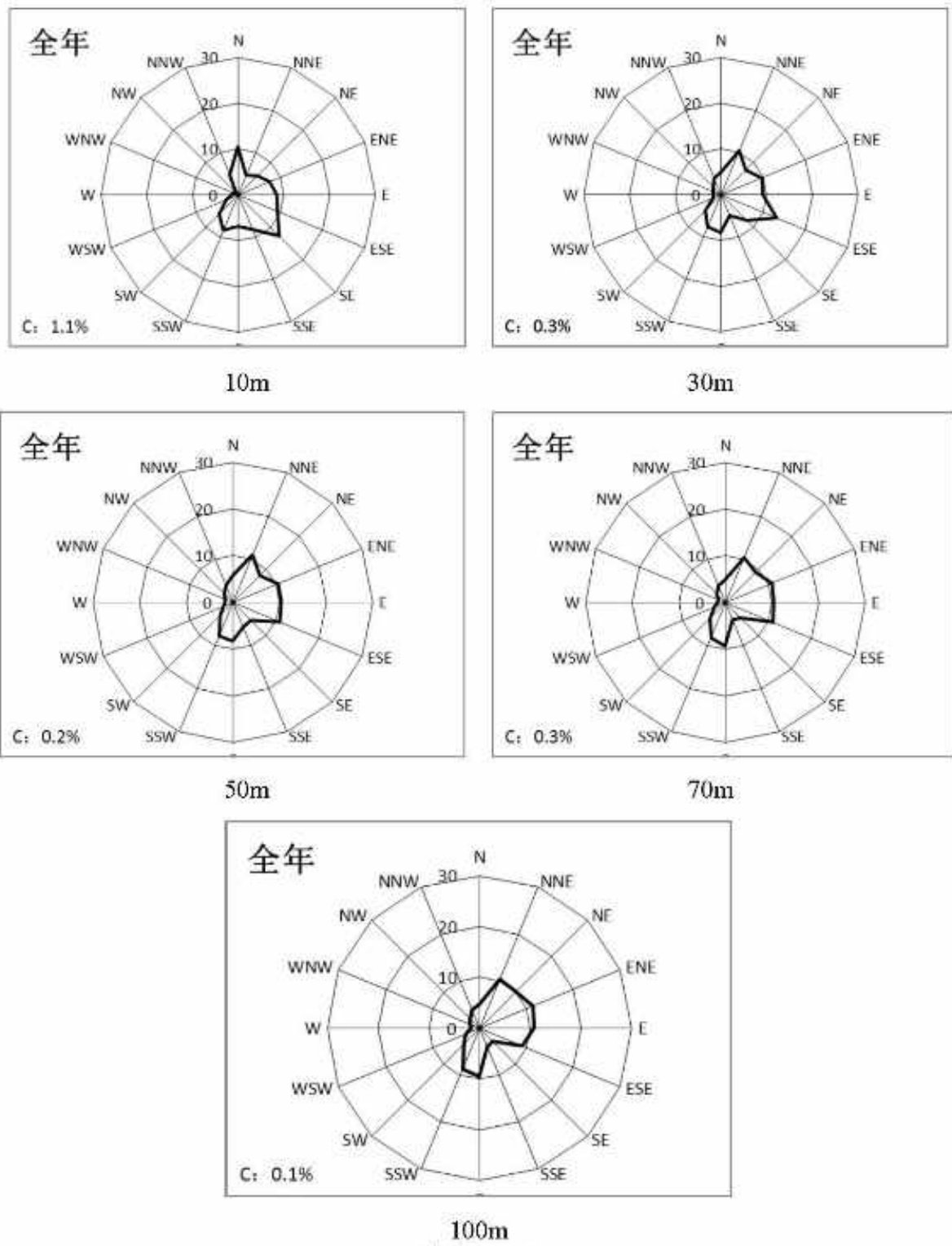
（单位：%）

图 2.4-1 东方站各季和年的风玫瑰



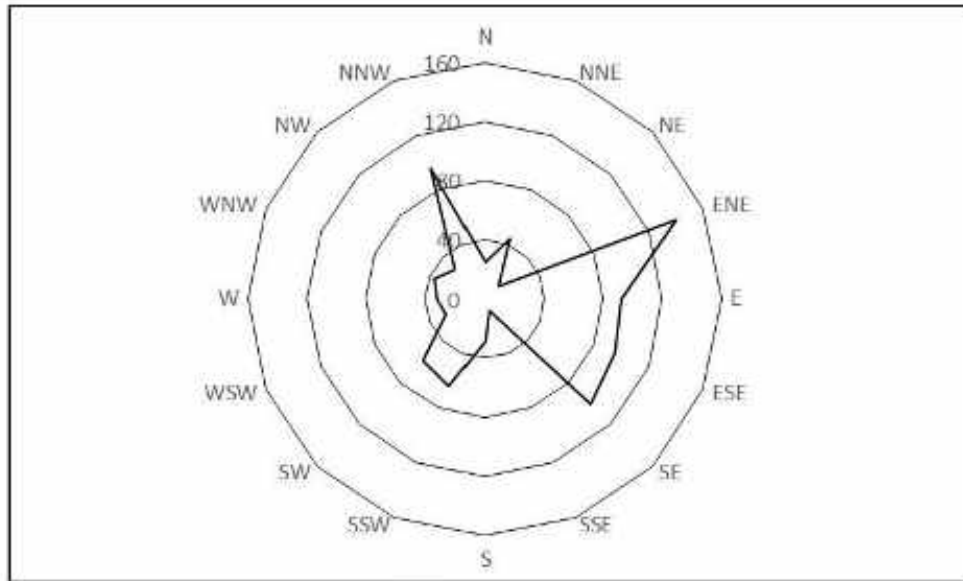
(单位：%)

图 2.4-2 厂址地面各季、年风向玫瑰图 (2018.9-2019.8)



(单位：%)

图 2.4-3 塔层各高度年风玫瑰图（2018.9~2019.8）



(单位：mm)

图 2.4.4 厂址地面站降水玫瑰图（2018.9~2019.8）

第三章 环境质量现状

3.1 辐射环境质量现状

3.1.1 辐射环境质量现状调查

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 监测仪器一览表

表 3.2-2 海南昌江核电厂厂区电磁辐射监测点设置情况

表 3.2-3 海南昌江核电厂开关站监测点设置情况

表 3.2-4 海南昌江核电厂主变压器监测点编号一览表

表 3.2-5 海南昌江核电厂外监测点设置情况

表 3.2-6 海南昌江核电厂厂区工频电场/工频磁场强度现状监测结果

表 3.2-7 海南昌江核电厂厂区射频综合场强现状监测结果

表 3.2-8 海南昌江核电厂厂区内开关站工频电场/工频磁场强度现状监测结果

表 3.2-9 海南昌江核电厂主变压器工频电场/工频磁场强度现状监测结果

表 3.2-10 海南昌江核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度现状监测结果

表 3.2-11 海南昌江核电厂厂区外环境敏感区工频电场/工频磁场强度现状监测结果

表 3.2-12 海南昌江核电厂厂外环境敏感区射频综合场强现状监测结果

表 3.2-13 厂区内监测值统计情况

表 3.2-14 输电线路监测值统计情况

表 3.2-15 厂外环境敏感区监测值统计情况

图

图 3.2-1 厂址邻近海域水质调查站位图

图 3.2-2 厂区内内通讯基站位置示意图

图 3.2-3 厂区外 5km 范围内通讯基站位置示意图

图 3.2-4 海南昌江核电厂厂区内电磁辐射监测点分布情况

图 3.2-5 海南昌江核电厂开关站和主变压器监测点设置示意图

图 3.2-6 海南昌江核电厂输电线路监测断面设置示意图

图 3.2-7 海南昌江核电厂外监测点设置示意图

3.1 辐射环境质量现状

3.1.1 辐射环境质量现状调查

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

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

3.1.1.1 参照的标准规范和资料

（1）标准规范：

- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）
- 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）
- 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-93）
- 《电离辐射监测质量保证一般规定》（GB8999-88）
- 《环境核辐射监测规定》（GB 12379-90）
- 《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》（GB 11216-89）
- 《核辐射环境质量评价一般规定》（GB11215-89）
- 《个人和环境监测用热释光剂量测量系统》（GB/T 10264-2014）
- 《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（GB/T 11743-2013）
- 《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（GB/T16140-2018）

（2）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，均为国家标准或经鉴定与验证过的方法。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。

(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，52个监测点的环境 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：用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溶液的鼓泡器对仗空气中的 CO_2 进行吸收捕集，溶液用塑料瓶保存后运回实验室。沉降物样品采集：采集设备为不锈钢收集器，采用湿法采样。

^3H 测量结果均小于探测限； ^{14}C 测量结果范围为115.4~205.3mBq/g·碳；沉降灰中总 β 的测量范围为0.70~7.55Bq/($\text{m}^2\cdot\text{月}$)；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， ^{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/ m^3 ；总 β 的测量范围为0.074~3.80mBq/ m^3 。气溶胶中其余测量核素（ ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 、 ^{131}I 、 ^{106}Ru 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ）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。

(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。

(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，天然核素 ^{226}Ra 的活度浓度范围为 9.64~80.42Bq/kg； ^{90}Sr 的活度浓度范围为 0.48~1.14Bq/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， ^{90}Sr 的活度浓度范围为 0.66~1.18Bq/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，分别为 H1-H7 点位。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， ^{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，其中，石斑鱼布设 3 个点位，鱿鱼布设 2 个点位，虾布设 1 个点位。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，测量核素（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：

大米：布设6个采样点，空心菜：布设5个采样点，豆角：布设2个采样点，香蕉：布设2个采样点，西瓜：布设2个采样点，肉类：布设3个采样点。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，测量核素（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。仙人掌和木麻黄布设了3个采样点位，蛤共布设3个点位。本次分析项目为 γ 谱分析（若检出 ^{137}Cs ，再做 ^{90}Sr 放化分析）。采样时，仙人掌和木麻黄直接采集。对于每个样品，仙人掌采样量一般为1.7kg 干样，木麻黄采样量一般为2.2kg 干样，蛤采样量一般为13kg 鲜蛤肉。

指示生物样品中，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查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生态环境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内比对，参加的项目以及结果请见表3.1-7。

3.1.2 辐射环境质量评价

- 依据2018年海南昌江核电厂辐射环境监测结果，对比2013年中国辐射防护研究院完成的海南昌江核电厂1、2号机组运行前本底调查结果，分析评价厂址周围的辐射环境质量。对比分析可知，海南昌江核电厂周围环境 γ 辐射水平和环境介质放射性核素活度浓度仍处于环境本底水平，未发现明显异常，海南昌江核电厂1~2号机组的运行未对本地区环境 γ 辐射水平和环境介质放射性核素活度浓度产生明显影响。

3.2 非辐射环境质量现状

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

3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

本节有关资料和数据取自中国核电工程有限公司和北京华测北方检测技术有限公司于2016年10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》。

监测期属秋季。

3.2.1.1 大气环境质量现状调查

(1) 执行标准和评价依据

《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018)；

《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)及其修改单。

厂址属于二类环境空气功能区，执行《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)中二级标准。

(2) 大气环境质量监测数据的处理

大气环境质量现状监测数据需进行统计分析，分别计算出极值（最大值、最小值）、日均值及平均值。

(3) 大气环境质量监测的技术条件

TSP、PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO、NO_x的采样方法和频次根据《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中的规定开展。

监测项目的监测及分析方法按《环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》(GB/T15432-1995)、《环境空气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的测定 重量法》(HJ618-2011)、《环境空气 二氧化硫的测定 甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法》(HJ482-2009)、《环境空气 氮氧化物(一氧化氮和二氧化氮)的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法》(HJ479-2009)、《环境空气 一氧化碳的测定 非分散红外法》(GB9801-88)。

3.2.1.2 大气环境质量现状评价

本次环境大气现状监测期间，评价区域5km范围内的TSP、PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO、NO_x的浓度均满足《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中二级标准限值要求。

3.2.1.3 质量保证

质量保证的主要工作包括如下方面：

(1) 监测人员持证上岗。

(2) 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。

(3) 严格按照《环境空气质量标准》(GB3095-2012)的规定进行监测和分析评价。

(4) 每次都由三人监测、现场记录和复核，确保监测结果的准确可靠。

(5) 实行严格的文件化管理，监测工作有章可依，保存完整的质量记录，做到有据可查。

(6) 每天做一组各污染物小时均值空白样进行对比。

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和北京华测北方检测技术有限公司于2016年11月完成的《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》。

监测期属秋季，当地主导风向为NNE，地面平均风速为2.8m/s。监测期间，海南昌江核电厂1、2号机组同时正常运行。

(1) 执行标准和评价依据

《环境影响评价技术导则 声环境》(HJ2.4-2009)；

《声环境质量标准》(GB 3096-2008)。

(2) 噪声测量数据的处理

环境噪声采用等效连续A声级(L_{eq})评价，等效连续声级的数学表示：

$$L_{eq} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1L_{A(t)}} dt \right)$$

式中， L_{eq} —在T段时间内的等效连续A声级，dB(A)；

$L_{A(t)}$ —t时刻的瞬时A声级，dB(A)；

T—连续取样的总时间，min。

由于噪声测量实际上是采取等间隔取样的，所以等效A声级又可以按下列公式计算：

$$L_{eq} = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i} \right)$$

式中， L_i —第*i*次读取的A声级，dB(A)；

n—取样总数。

(3) 噪声测量的技术条件

监测点选在居住或工作建筑物外，离任一建筑物的距离不小于1m。监测时噪声分析仪置于三脚架上，传声器距地面的垂直距离1.5m，并加风罩，周围无反射体。时间计权置于“快”响应，采样时间间隔不大于1s。

监测仪器为AWA6228型多功能噪声分析仪，其性能符合《声级计的电、声性能及测试方法》(GB3785)；校准仪器为AWA6221A0456型声校准器。监测仪器和声校准器均按

有关检定规程进行了定期检定，并保证在监测期间监测仪器和声校准器处于检定有效期内。

噪声监测在无雨、无雪、无雷电的天气条件下进行，风速大于1.0m/s时加防风罩，超过5.0m/s时，停止测量。

陆域噪声分别在昼间和夜间进行监测，连续监测两天。昼间监测时段为6:00~22:00，夜间监测时段为22:00~次日6:00。

对于陆域监测点，每个测点监测10min；海域监测点，每个测点监测20min；交通噪声测点设在公路边20m处，每个测点监测30min，交通噪声还要记录每小时的机动车流量。

对于三个定点监测点，进行24小时连续监测，连续监测一天。

3.2.2.2 声环境质量现状评价

海南昌江核电厂3、4号机组厂址边界噪声监测点昼、夜间噪声等效声级均符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的3类声环境功能区噪声标准限值；陆域山地监测点昼、夜间噪声等效声级均符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的1类声环境功能区噪声标准限值；除南罗村以外，其它陆域噪声敏感点监测点昼、夜间噪声等效声级均符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的1类声环境功能区噪声标准限值；交通监测点昼、夜间噪声等效声级均符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的4a类声环境功能区噪声标准限值。定点噪声南罗村监测点夜间噪声等效声级在35.5~48.1dB（A）之间，超出《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），在该定点监测点附近，居民夜间有跳广场舞的习惯，活动人数及车辆均较多，广场舞曲的声音及居民夜间生活产生的噪声，是夜间噪声等效声级超标的主要原因。

3.2.2.3 质量保证

质量保证的主要工作包括如下方面：

- （1）监测人员持证上岗。
- （2）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。
- （3）严格按照《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的规定进行监测和分析评价。
- （4）每次都由三人监测、现场记录和复核，确保监测结果的准确可靠。
- （5）实行严格的文件化管理，监测工作有章可依，保存完整的质量记录，做到有据可查。

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

2016年11月-2017年8月期间委托中国水产科学研究院东海水产研究所开展了本工程邻近海域生态环境调查及分析评价专题。

(1) 调查时间、范围及站位设置

调查时间计划自2016年底开始，进行四个季度代表月的现场取样，其中海水水质采集大面站位48个，在取排水口各设置1个定点连续站。水质调查站位示意图见图3.2-1。

(2) 调查项目

水文参数共57项：水温、盐度、水深、电导率、水色、透明度及浊度。

大面站：pH、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、挥发酚、五日生化需氧量(BOD₅)、无机氮(硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐)、非离子态氨、活性磷酸盐、硅酸盐、硫化物、氯化物、悬浮物、总有机碳、石油类、阴离子表面活性剂、总磷、总氮、金属(铜、铅、锌、镉、砷、汞、总铬、锰、银)、硒、硼、氰化物和余氯，共32项。

定点连续站：悬浮物、溶解氧、化学耗氧量、无机氮(硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐)、活性磷酸盐、硅酸盐和余氯等，共7项。

(3) 实验和分析方法

样品采集、保存和分析方法分别按GB/T12763-2007《海洋调查规范》、GB17378.4-2007《海洋监测规范》海水分析分册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2016年11月、2017年2月、2017年5月(大潮、小潮)和2017年8月共5个航次的调查成果综合分析得到海水水质现状评价结论如下：

(1) pH、硒、油、镉、铬、砷、非离子氨、溶解氧、氰化物、阴离子表面活性剂、挥发性酚和硫化物含量在历次调查中均符合《海水水质标准》第一类和近岸海域环境功能区划要求。

(2) 化学需氧量和生化需氧量含量基本符合《海水水质标准》第一类，连续站各测站含量均符合近岸海域环境功能区划要求。铜、锌、铅、汞含量基本符合《海水水质标准》第一类。

(3) 无机氮含量各航次大面站和连续站无机氮含量基本符合《海水水质标准》第一类和近岸海域环境功能区划要求。

(4) 活性磷酸盐各测站含量大部分符合《海水水质标准》第一类，全部符合《海水

水质标准》第二类，各航次大面站和连续站活性磷酸盐含量基本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年修订）
- 《核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ 808-2016）
- 《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 输变电工程》（HJ 24-2014）
- 《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

• 工频电场、工频磁场强度：以本工程核电厂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；

• 射频综合场强：调查范围为本工程核电厂厂址周围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），监测仪器的探头架设在地面（或立足平面）上方1.5m高度处，每个测点位置上分别测量工频电场与工频磁场强度。

（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/T 10.2-1996），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

本次监测使用的仪器见表 3.2-1。

3.2.4.5 电磁辐射源调查

根据技术任务书的要求，在厂址半径 5km 范围调查现有及在建的电磁辐射源种类、数量等，并对电磁辐射源进行监测，分析其辐射特征，判断其对核电厂厂址区域电磁辐射现状的贡献。

根据现场踏勘资料，厂址区域现有电磁辐射源有 1、2 号机组主变，110kV 倒送电主变，1、2 号机组 220kV 出线开关站，110kV 倒送电开关站，和 6 个通讯基站。其中，通讯基站厂区内 3 个，厂区外 5km 范围内 3 个。

通讯基站具体位置见图 3.2-2 和图 3.2-3。

3.2.4.6 监测点设置

a) 厂区监测点设置

本次监测根据规划厂区环境情况监测点设置如下：

本次调查工作共设置 17 个监测点，分别在每个厂区边界（东、南、西、北、西北）各设 1 个监测点，在厂区内设置 12 个监测点，编号 1~17[#]。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。

监测点名称、编号、见表 3.2-2 和图 3.2-4。

b) 开关站监测点设置

海南昌江核电厂现有 2 个开关站，在每个开关站东、南、西、北围墙外 5m 处监测工频电场和工频磁场强度，编号 10~22[#]。

开关站监测点设置情况见表 3.2-3 和图 3.2-5。

c) 主变压器监测点设置

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，共设 11 个监测点，监测工频电场强度与工频磁场强度监测。

本次调查工作预计对 1、2 号机组主变、拟建 3、4 号机组主变、110kV 倒送电主变与拟建多用途小堆主变进行监测，监测点设置编号情况见表 3.2-4 和图 3.2-5。

d) 输电线路监测点设置

本次调查工作共设 5 处监测断面（编号 P1~P5），且分别在各拟建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：

（1）垂直方向的监测断面点位设置

在输中线路边相外设双侧垂直监测断面，以边相地面投影点为起点，与输中线路方向垂直。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。

(2) 平行方向的监测断面点位设置

在输中线路边相外设双侧平行监测断面，监测路径选在边相地面投影点外20m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。

现场监测过程中根据实际情况（如地形限制等）对监测点数量进行调整，并逐一编号（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图3.2-6。

e) 厂外环境敏感区监测点设置

在海南昌江核电厂区外设置17个监测点，编号26~42[#]，分别监测工频电场强度、工频磁场强度、射频综合场强。

厂区外环境敏感区监测点设置情况见表3.2-5和图3.2-7。

3.2.4.7 电磁辐射现状监测数据

海南昌江核电厂厂区工频电场/工频磁场强度监测结果见表3.2-6。

海南昌江核电厂厂外环境敏感区射频综合场强监测结果见表3.2-7。

海南昌江核电厂厂区内开关站工频电场/工频磁场强度监测结果见表3.2-8。

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3.2-9。

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3.2-10。

海南昌江核电厂厂外环境敏感区工频电场/工频磁场强度监测结果见表3.2-11。

海南昌江核电厂厂外环境敏感区射频综合场强监测结果见表3.2-12。

3.2.4.8 电磁辐射现状评价标准

a) 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。

b) 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，该标准的公众暴露控制限值为：环境射频综合场强等效平面波功率密度在任意连续6分钟内的平均值应小于0.4W/m²（电场强度限值12V/m）。

3.2.4.9 电磁辐射现状监测质量保证措施

本次调查及评价工作严格按照《海南昌江核电厂3、4号机组厂址区域中微辐射本底测量及现状评价质量保证大纲》，采取的主要质量保证措施有：

(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) 监测人员按操作规程操作仪器，并做好相应的数据记录。

3.2.4.10 电磁辐射现状监测结果评价

a) 厂区内电磁辐射监测结果评价

厂区内电磁辐射监测结果见表 3.2-13，厂区内所有监测点工频电场强度监测值范围在 0.136V/m~29.48V/m 之间，工频磁场强度监测值在 0.032 μ T~5.341 μ T 之间，分别小于《电磁环境控制标准》(GB 8702-2014) 中标准限值 4kV/m 和 0.1mT (100 μ T)，符合要求。

厂区内所有监测点射频综合场强监测值在 0.14V/m ~1.80V/m 之间。所有监测值都小于《电磁环境控制标准》(GB 8702-2014) 中规定的 12V/m 标准限值。

b) 输电线路电磁辐射监测结果评价

输电线路电磁辐射监测结果见表 3.2-14，输电线路所有监测点工频电场强度监测值范围在 0.101V/m~1034V/m 之间，工频磁场强度监测值在 0.031 μ T~3.652 μ T 之间，分别小于《电磁环境控制标准》(GB 8702-2014) 中标准限值 4kV/m 和 0.1mT (100 μ T)，符合要求。

c) 厂区外环境敏感区监测结果评价

厂区外环境敏感区监测结果见表 3.2-15，厂区外环境敏感区工频电场强度监测值在 0.134V/m~1.615V/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 0.032 μ T~0.062 μ T 之间，小于标准限值 0.1mT (100 μ T)，符合要求。

所有监测点监测值在 0.17 V/m ~0.99V/m 之间，最大值为 42#监测点（五联新村通讯基站），其监测值为 0.99V/m。所有监测值都小于《电磁环境控制标准》(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	氦	^3H	月	EC4-1、三联村、环境实验室	3	
		碳-14	^{14}C	月	同上	3	
		碘	^{131}I	半月	EC4-1、三联村、环境实验室、海尾镇	4	
		气溶胶	总 α、总 β	月	同上	4	
			γ 谱分析（测出 ^{137}Cs ，进行 ^{90}Sr 分析）	季	同上	4	
		沉降物	总 α、总 β 谱分析 γ 谱分析（测出 ^{137}Cs ，进行 ^{90}Sr 分析）	季	EC4-1、三联村、环境实验室	3	
		水	降水	^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	马烈、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	
		水旱	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 、 ^{56}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{131}I 、 ^{110m}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, 见图 3.1-10	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 (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 、 ^{56}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{131}I 、 ^{110m}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 $\times 10^{-7}$ Bq/m ³
			13500 m ³			3.69 $\times 10^{-7}$ Bq/m ³
		总 β	10000m ³	β 计数法	120min	1.08 $\times 10^{-6}$ Bq/m ³
			13500 m ³			8.02 $\times 10^{-7}$ Bq/m ³
		γ 核素	10000m ³	γ 能谱分析法	80000s	3.75 $\times 10^{-6}$ Bq/m ³
			13500 m ³			3.11 $\times 10^{-6}$ 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 $\times 10^{-4}$ 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（下）

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-FM-EP-002	环境监测放射性数据 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 组则	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	水中氚的测定	环境管理科	2015/4/28	第2版已发布
26	HN-W-EI-0-XHP-X CL-015	生物样品中组织自由氚的测定	环境管理科	2015/4/28	第2版已发布
27	HN-W-EI-0-XHP-X CL-016	水中C-14的测定	环境管理科	2015/4/28	第2版已发布
28	HN-W-EI-0-XHP-X CL-017	生物样品中C-14的测定	环境管理科	2015/4/28	第2版已发布
29	HN-W-EI-0-XHP-X CL-018	空气中I-131监测规程	环境管理科	2013/12/31	第1版已发布
30	HN-W-EI-0-XHP-X CL-019	蔬菜、甲状腺中I-131的测定	环境管理科	2013/12/31	第1版已发布
31	HN-W-EI-0-KRS-X CZ-001	环境γ辐射连续监测系统操作	环境管理科	2013/12/31	第1版已发布
32	HN-W-EI-0-XHP-X CZ-002	紫外可见分光光度计操作规程	环境管理科	2015/4/28	第2版已发布
33	HN-W-EI-0-XHP-X CZ-003	γ谱仪系统操作规程	环境管理科	2015/4/28	第2版已发布
34	HN-W-EI-0-XHP-X CZ-004	总α、总β测量仪操作规程	环境管理科	2015/4/20	第1版已升版小版
35	HN-W-EI-0-XHP-X CZ-005	液体闪烁谱仪操作规程	环境管理科	2015/4/20	第1版已升版小版
36	HN-W-EI-0-XHP-X CZ-006	原子吸收光谱仪操作规程	环境管理科	2015/4/28	第2版已发布
37	HN-W-EI-0-KRS-X CZ-007	气象观测系统操作规程	环境管理科	2015/6/15	第3版已发布
38	HN-W-EI-0-XHP-X CZ-008	放射性流出物所致剂量估算程序操作规程	环境管理科	2015/5/11	第1版已发布小版
39	HN-W-EI-0-XHP-X CZ-009	GBM-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	热释光剂量仪	RGD-3B	2019年1月14日	194702845	1年
2	热释光剂量仪	RGD-3B	2019年7月2日	2019H21-20-1888320001	1年
3	高纯锗 γ 谱仪系统	BE3830/GC6020	2019年4月17日	194702848	1年
4	高纯锗 γ 谱仪系统	BE3830/GC6020	2019年4月17日	194702852	2年
5	高纯锗 γ 谱仪系统	BE3830/GC6020	2019年4月17日	194702851	2年
6	低本底 $\alpha\beta$ 测量仪	LB4200	2019年5月14日	194702846	1年
7	低本底 $\alpha\beta$ 测量仪	LB4200	2019年5月14日	194702847	1年
8	低本底液体闪烁计数器	Quantulus1220	2019年4月17日	194702850	2年
9	低本底液体闪烁计数器	Quantulus1220	2019年4月17日	194702849	2年
10	电子分析天平2	ML204/02	2019年4月16日	194006245	1年
11	电子分析天平2	ML204/02	2019年4月16日	194006246	1年
12	电子分析天平1	XS205Du	2019年4月16日	194006238	1年
13	环境 γ 辐射测量仪	FH40G-L10-FHZ672E-10	2019年4月17日	194701349	1年
14	环境 γ 辐射测量仪	FH40G-L10-FHZ672E-10	2019年4月17日	194701350	1年
15	环境 γ 辐射测量仪	FH40G-L10-FHZ672E-10	2019年4月17日	194701351	1年
16	表面污染检测仪	FH40G-L10/FHZ742	2019年4月17日	194701354	1年
17	表面污染检测仪	FH40G-L10/FHZ742	2019年4月22日	194701487	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 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	PMM8053A (EHP50C)	PMM8053A (EP330)
频率响应	5Hz~100kHz	100kHz~3GHz
分辨率	0.001V/m, 1nT	0.01V/m
测量灵敏度	0.01V/m, 1nT	0.3V/m
计量标定标号	XDdj2016-0802	XDdj2016-0868
有效期	2017年3月14日	2017年3月20日

表 3.2-2 海南昌江核电厂厂区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
1	厂界东	2	厂界南
3	厂界西	4	厂界北
5	厂界西北	6	厂址中心
7	1、2号机组中心	8	3、4号机组中心
9	业主办公楼	10	业主调修楼（工程公司办公楼）
11	广东火电工程总公司海南常规岛项目部	12	中核二二公司器材仓库
13	钢结构加工车间	14	拟建小准
15	海南核电应急指挥中心（电信4G通讯基站）	16	移动通讯基站（宿舍楼）
17	联通通讯基站（宿舍楼）	/	/

表 3.2-3 海南昌江核电厂开关站监测点设置情况

开关站名称	监测点设置	编号
110kV 倒送电开关站	东、南、西、北围墙外 5m 处监测 工频电场和工频磁场强度。	18~21
220kV 出线开关站		22~25

表 3.2-4 海南昌江核电厂主变压器监测点编号一览表

监测点名称	1#主变压器	2#主变压器	拟建 3#主变压器	拟建 4#主变压器	拟建小堆主变压器	110kV 倒送电主变压器
监测点编号	A1~A11	B1~B11	C1~C11	D1~D11	E1~E11	F1~F11

表 3.2-5 海南昌江核电厂外监测点设置情况

编号	名称	编号	名称	编号	名称
26	马地村	32	五联新村	38	垵塘村
27	塘兴新村	33	南罗村	39	沙地
28	林好村	34	双塘村	40	梧高村通讯基站
29	波兰村	35	长田村	41	甘塘村通讯基站
30	永安村	36	梧高村	42	五联新村通讯基站
31	里仁村	37	北方村	/	/

表 3.2-6 (1/2) 海南昌江核电厂厂区工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μ T)
1	厂界东	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.358	0.053
2	厂界南	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.371	0.047
3	厂界西	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.364	0.036
4	厂界北	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.208	0.041
5	厂界西北	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.215	0.045
6	厂址中心	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.303	0.047
7	1、2号机组中心	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.6	0.374	0.143
8	3、4号机组中心	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.321	0.050
9	业主办公楼	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.268	0.042
10	业主调修楼 (工程公司办公楼)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.199	0.044

表 3.2-6 (2/2) 海南昌江核电厂厂区工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μ T)
11	广东火电工程总公司 海南常规岛项目部	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.363	0.044
12	中核二二公司 器材仓库	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.205	0.040
13	钢结构加工车间	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.371	0.047
14	拟建小堆	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.243	0.046
15	海南核电应急指挥中心(电信 4G 通讯基站)	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.205	0.040
16	移动通讯基站 (宿舍楼)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.358	0.061
17	联通通讯基站 (宿舍楼)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.148	0.063

表 3.2-7 (1/2) 海南昌江核电厂厂区射频综合场强现状监测结果

测点编号	测点名称	测量时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	射频电场强度 (V/m)
1	厂界东	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.28
2	厂界南	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.23
3	厂界西	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.29
4	厂界北	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.61
5	厂界西北	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.26
6	厂址中心	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.61
7	1、2号机组中心	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.6	0.28
8	3、4号机组中心	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.53
9	业主办公楼	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	1.77
10	业主调修楼 (工程公司办公楼)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.52

表 3.2-7 (2/2) 海南昌江核电厂厂区射频综合场强现状监测结果

测点编号	测点名称	测量时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	射频电场强度 (V/m)
11	广东火电工程总公司海南常规岛项目部	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.52
12	中核二二公司器材仓库	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.59
13	钢结构加工车间	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.32
14	拟建小堆	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.14
15	海南核电应急指挥中心 (电信 4G 通讯基站)	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	1.80
16	移动通讯基站(宿舍楼)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.90
17	联通通讯基站(宿舍楼)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.80

表 3.2-8 海南昌江核电厂厂区内开关站工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速m/s	大气压kPa	工频电场强度(V/m)	工频磁感应强度(μT)
18	110kV 倒送电开关站东边界	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	12.80	0.136
19	110kV 倒送电开关站南边界	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	12.46	0.189
20	110kV 倒送电开关站西边界	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	10.82	0.107
21	110kV 倒送电开关站北边界	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	9.689	0.106
22	220kV 出线开关站东边界	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	19.97	0.227
23	220kV 出线开关站南边界	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	23.63	0.305
24	220kV 出线开关站西边界	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	29.48	0.340
25	220kV 出线开关站北边界	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	19.01	0.199

表 3.2-9 (1/4) 海南昌江核电厂主变压器工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度 ℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)
1#主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果										
A1	1#主变压器外 0m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.644	5.341
A2	1#主变压器外 5m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.640	3.075
A3	1#主变压器外 10m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.585	1.993
A4	1#主变压器外 15m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.506	1.148
A5	1#主变压器外 20m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.489	0.700
A6	1#主变压器外 25m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.461	0.539
A7	1#主变压器外 30m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.442	0.400
A8	1#主变压器外 35m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.356	0.293
A9	1#主变压器外 40m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.344	0.195
A10	1#主变压器外 45m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.307	0.143
A11	1#主变压器外 50m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.276	0.138
2#主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果										
B1	2#主变压器外 0m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.749	4.803
B2	2#主变压器外 5m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.672	2.687
B3	2#主变压器外 10m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.598	2.040
B4	2#主变压器外 15m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.523	0.811
B5	2#主变压器外 20m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.473	0.376

表 3.2-9 (2/4) 海南昌江核电厂主变压器工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度 ℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场程度 (V/m)	工频磁感应程度 (μ T)
2#主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果										
B6	2#主变压器外 25m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.453	0.298
B7	2#主变压器外 30m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.431	0.290
B8	2#主变压器外 35m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.402	0.282
B9	2#主变压器外 40m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.378	0.243
B10	2#主变压器外 45m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.282	0.168
B11	2#主变压器外 50m	2016.09.20AM	晴	31.4	72.4	北	0.5	100.0	0.248	0.122
拟建 3#主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果										
C1	拟建 3#主变压器外 0m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.239	0.043
C2	拟建 3#主变压器外 5m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.206	0.045
C3	拟建 3#主变压器外 10m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.201	0.039
C4	拟建 3#主变压器外 15m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.182	0.042
C5	拟建 3#主变压器外 20m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.195	0.036
C6	拟建 3#主变压器外 25m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.208	0.041
C7	拟建 3#主变压器外 30m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.176	0.035
C8	拟建 3#主变压器外 35m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.192	0.040
C9	拟建 3#主变压器外 40m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.210	0.043
C10	拟建 3#主变压器外 45m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.185	0.038
C11	拟建 3#主变压器外 50m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.196	0.035

表 3.2-9 (3/4) 海南昌江核电厂主变压器工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度 ℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场程度 (V/m)	工频磁感应程度 (μ T)
拟建 4#主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果										
D1	拟建 4#主变压器外 0m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.185	0.039
D2	拟建 4#主变压器外 5m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.201	0.041
D3	拟建 4#主变压器外 10m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.196	0.035
D4	拟建 4#主变压器外 15m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.212	0.032
D5	拟建 4#主变压器外 20m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.206	0.040
D6	拟建 4#主变压器外 25m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.187	0.036
D7	拟建 4#主变压器外 30m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.192	0.037
D8	拟建 4#主变压器外 35m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.201	0.038
D9	拟建 4#主变压器外 40m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.183	0.043
D10	拟建 4#主变压器外 45m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.202	0.036
D11	拟建 4#主变压器外 50m	2016.09.21AM	晴	29.5	74.5	西	1.0	100.3	0.206	0.038
拟建小堆主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果										
E1	拟建小堆主变压器外 0m	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.165	0.038
E2	拟建小堆主变压器外 5m	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.181	0.050
E3	拟建小堆主变压器外 10m	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.136	0.044
E4	拟建小堆主变压器外 15m	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.138	0.049
E5	拟建小堆主变压器外 20m	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.142	0.050

表 3.2-9 (4/4) 海南昌江核电厂主变压器工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度 ℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场程度 (V/m)	工频磁感应程度 (μ T)
拟建小堆主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果										
E6	拟建小堆主变压器外 25m	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.159	0.055
E7	拟建小堆主变压器外 30m	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.177	0.043
E8	拟建小堆主变压器外 35m	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.165	0.038
E9	拟建小堆主变压器外 40m	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.168	0.040
E10	拟建小堆主变压器外 45m	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.156	0.042
E11	拟建小堆主变压器外 50m	2016.09.22AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.152	0.039
110kV 倒送电主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果										
F1	110kV 倒送电主变压器外 0m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.562	4.231
F2	110kV 倒送电主变压器外 5m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.510	2.175
F3	110kV 倒送电主变压器外 10m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.482	1.692
F4	110kV 倒送电主变压器外 15m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.432	0.965
F5	110kV 倒送电主变压器外 20m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.389	0.615
F6	110kV 倒送电主变压器外 25m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.361	0.436
F7	110kV 倒送电主变压器外 30m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.345	0.385
F8	110kV 倒送电主变压器外 35m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.316	0.262
F9	110kV 倒送电主变压器外 40m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.288	0.152
F10	110kV 倒送电主变压器外 45m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.262	0.132
F11	110kV 倒送电主变压器外 50m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	0.256	0.106

表 3.2-10 (1/9) 海南昌江核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)
110kV 倒送电输电线路 (P1 监测断面) 垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据										
P1-1	110kV 倒送电输电线路东边相下 0m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	537.6	0.168
P1-2	110kV 倒送电输电线路东边相外 5m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	435.5	0.156
P1-3	110kV 倒送电输电线路东边相外 10m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	349.5	0.137
P1-4	110kV 倒送电输电线路东边相外 15m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	217.9	0.129
P1-5	110kV 倒送电输电线路东边相外 20m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	157.6	0.112
P1-6	110kV 倒送电输电线路东边相外 25m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	99.73	0.102
P1-7	110kV 倒送电输电线路东边相外 30m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	62.16	0.085
P1-8	110kV 倒送电输电线路东边相外 35m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	31.25	0.062
P1-9	110kV 倒送电输电线路东边相外 40m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	19.82	0.043
P1-10	110kV 倒送电输电线路东边相外 45m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	10.15	0.037
P1-11	110kV 倒送电输电线路东边相外 50m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	3.625	0.032
P1-12	110kV 倒送电输电线路西边相下 0m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	567.8	0.181
P1-13	110kV 倒送电输电线路西边相外 5m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	456.8	0.153
P1-14	110kV 倒送电输电线路西边相外 10m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	373.8	0.132
P1-15	110kV 倒送电输电线路西边相外 15m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	230.9	0.108

表 3.2-10 (2/9) 海南昌江核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)
110kV 倒送电输电线路 (P1 监测断面) 垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据										
P1-16	110kV 倒送电输电线路西边相外 20m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	164.1	0.099
P1-17	110kV 倒送电输电线路西边相外 25m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	110.2	0.095
P1-18	110kV 倒送电输电线路西边相外 30m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	73.56	0.087
P1-19	110kV 倒送电输电线路西边相外 35m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	32.63	0.056
P1-20	110kV 倒送电输电线路西边相外 40m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	17.25	0.041
P1-21	110kV 倒送电输电线路西边相外 45m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	9.826	0.036
P1-22	110kV 倒送电输电线路西边相外 50m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	4.563	0.031
110kV 倒送电输电线路 (P1 监测断面) 平行监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据										
P1-23	110kV 倒送电输电线路东边相外 20m(1)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	149.3	0.115
P1-24	110kV 倒送电输电线路东边相外 20m(2)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	153.0	0.108
P1-25	110kV 倒送电输电线路东边相外 20m(3)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	155.2	0.105
P1-26	110kV 倒送电输电线路西边相外 20m(1)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	160.2	0.096
P1-27	110kV 倒送电输电线路西边相外 20m(2)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	156.7	0.107
P1-28	110kV 倒送电输电线路西边相外 20m(3)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	152.5	0.102

表 3.2-10 (3/9) 海南昌江核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)
220kV 出线输电线路 (P2 监测断面) 垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据										
P2-1	220kV 出线输电线路东边相下 0m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	1034	3.652
P2-2	220kV 出线输电线路东边相外 5m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	972.2	2.852
P2-3	220kV 出线输电线路东边相外 10m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	622.4	2.044
P2-4	220kV 出线输电线路东边相外 15m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	389.5	1.357
P2-5	220kV 出线输电线路东边相外 20m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	322.4	1.209
P2-6	220kV 出线输电线路东边相外 25m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	191.5	0.855
P2-7	220kV 出线输电线路东边相外 30m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	125.1	0.654
P2-8	220kV 出线输电线路东边相外 35m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	76.4	0.501
P2-9	220kV 出线输电线路东边相外 40m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	54.22	0.406
P2-10	220kV 出线输电线路东边相外 45m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	39.67	0.338
P2-11	220kV 出线输电线路东边相外 50m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	31.72	0.295
P2-12	220kV 出线输电线路西边相下 0m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	1012	3.591
P2-13	220kV 出线输电线路西边相外 5m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	953.2	2.725
P2-14	220kV 出线输电线路西边相外 10m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	635.4	2.018
P2-15	220kV 出线输电线路西边相外 15m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	358.6	1.275
P2-16	220kV 出线输电线路西边相外 20m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	325.4	1.143
P2-17	220kV 出线输电线路西边相外 25m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	182.7	0.833
P2-18	220kV 出线输电线路西边相外 30m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	142.7	0.636
P2-19	220kV 出线输电线路西边相外 35m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	68.68	0.489
P2-20	220kV 出线输电线路西边相外 40m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	48.87	0.392

表 3.2-10 (4/9) 海南昌江核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)
220kV 出线输电线路 (P2 监测断面) 垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据										
P2-21	220kV 出线输电线路西边相外 45m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	36.06	0.312
P2-22	220kV 出线输电线路西边相外 50m	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	22.89	0.212
220kV 出线输电线路 (P2 监测断面) 平行监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据										
P2-23	220kV 出线输电线路东边相外 20m(1)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	312.6	1.168
P2-24	220kV 出线输电线路东边相外 20m(2)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	318.5	1.172
P2-25	220kV 出线输电线路东边相外 20m(3)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	326.6	1.210
P2-26	220kV 出线输电线路西边相外 20m(1)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	318.2	1.152
P2-27	220kV 出线输电线路西边相外 20m(2)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	329.6	1.149
P2-28	220kV 出线输电线路西边相外 20m(3)	2016.09.19AM	晴	32.4	58.2	北	1.0	100.6	330.1	1.198
拟建小堆主变至开关站出线 (P3 监测断面) 垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据										
P3-1	拟建 P3 输电线路东边相下 0m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.226	0.038
P3-2	拟建 P3 输电线路东边相外 5m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.171	0.040
P3-3	拟建 P3 输电线路东边相外 10m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.101	0.036
P3-4	拟建 P3 输电线路东边相外 15m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.277	0.038
P3-5	拟建 P3 输电线路东边相外 20m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.154	0.037
P3-6	拟建 P3 输电线路东边相外 25m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.222	0.040
P3-7	拟建 P3 输电线路东边相外 30m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.116	0.038
P3-8	拟建 P3 输电线路东边相外 35m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.227	0.035

表 3.2-10 (5/9) 海南昌江核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)
拟建小堆主变至开关站出线（P3 监测断面）垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据										
P3-9	拟建 P3 输电线路东边相外 40m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.124	0.036
P3-10	拟建 P3 输电线路东边相外 45m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.212	0.041
P3-11	拟建 P3 输电线路东边相外 50m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.125	0.037
P3-12	拟建 P3 输电线路西边相下 0m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.232	0.039
P3-13	拟建 P3 输电线路西边相外 5m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.162	0.035
P3-14	拟建 P3 输电线路西边相外 10m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.156	0.036
P3-15	拟建 P3 输电线路西边相外 15m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.228	0.042
P3-16	拟建 P3 输电线路西边相外 20m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.282	0.035
P3-17	拟建 P3 输电线路西边相外 25m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.198	0.036
P3-18	拟建 P3 输电线路西边相外 30m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.198	0.034
P3-19	拟建 P3 输电线路西边相外 35m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.205	0.038
P3-20	拟建 P3 输电线路西边相外 40m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.216	0.037
P3-21	拟建 P3 输电线路西边相外 45m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.135	0.036
P3-22	拟建 P3 输电线路西边相外 50m	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.112	0.038
拟建小堆主变至开关站出线（P3 监测断面）平行监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据										
P3-23	拟建 P3 输电线路东边相外 20m(1)	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.186	0.036
P3-24	拟建 P3 输电线路东边相外 20m(2)	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.157	0.039
P3-25	拟建 P3 输电线路东边相外 20m(3)	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.201	0.035
P3-26	拟建 P3 输电线路西边相外 20m(1)	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.155	0.037
P3-27	拟建 P3 输电线路西边相外 20m(2)	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	100.2	0.134	0.038

表 3.2-10 (6/9) 海南昌江核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)
220kV 核李线输电线路 (P4 监测断面) 垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据										
P3-28	拟建 P3 输电线路西边相外 20m(3)	2016.09.22 AM	晴	27.3	74.2	西	1.0	1002	0.152	0.035
P4-1	220kV 核李线输电线路南边相下 0m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	488.2	0.808
P4-2	220kV 核李线输电线路南边相外 5m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	442.1	0.695
P4-3	220kV 核李线输电线路南边相外 10m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	338.1	0.578
P4-4	220kV 核李线输电线路南边相外 15m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	234.1	0.473
P4-5	220kV 核李线输电线路南边相外 20m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	133.4	0.381
P4-6	220kV 核李线输电线路南边相外 25m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	97.25	0.308
P4-7	220kV 核李线输电线路南边相外 30m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	58.17	0.255
P4-8	220kV 核李线输电线路南边相外 35m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	32.95	0.216
P4-9	220kV 核李线输电线路南边相外 40m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	25.02	0.178
P4-10	220kV 核李线输电线路南边相外 45m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	20.03	0.156
P4-11	220kV 核李线输电线路南边相外 50m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	15.82	0.098
P4-12	220kV 核李线输电线路北边相下 0m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	477.9	0.754
P4-13	220kV 核李线输电线路北边相外 5m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	440.5	0.658
P4-14	220kV 核李线输电线路北边相外 10m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	329.8	0.582
P4-15	220kV 核李线输电线路北边相外 15m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	234.4	0.468

表 3.2-10 (7/9) 海南昌江核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)
220kV 核李线输电线路 (P4 监测断面) 垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据										
P4-16	220kV 核李线输电线路北边相外 20m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	153.7	0.356
220kV 核李线输电线路 (P4 监测断面) 垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据										
P4-17	220kV 核李线输电线路北边相外 25m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	104.4	0.292
P4-18	220kV 核李线输电线路北边相外 30m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	61.15	0.232
P4-19	220kV 核李线输电线路北边相外 35m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	42.34	0.193
P4-20	220kV 核李线输电线路北边相外 40m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	32.12	0.156
P4-21	220kV 核李线输电线路北边相外 45m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	22.19	0.145
P4-22	220kV 核李线输电线路北边相外 50m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	18.82	0.093
220kV 核李线输电线路 (P4 监测断面) 平行监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据										
P4-23	220kV 核李线输电线路南边相外 20m(1)	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	138.6	0.396
P4-24	220kV 核李线输电线路南边相外 20m(2)	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	142.6	0.363
P4-25	220kV 核李线输电线路南边相外 20m(3)	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	146.5	0.352
P4-26	220kV 核李线输电线路北边相外 20m(1)	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	159.9	0.362
P4-27	220kV 核李线输电线路北边相外 20m(2)	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	156.3	0.378
P4-28	220kV 核李线输电线路北边相外 20m(3)	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	150.3	0.376

表 3.2-10 (8/9) 海南昌江核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)
220kV 核成线输电线路 (P5 监测断面) 垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据										
P5-1	220kV 核成线输电线路南边相下 0m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	479.5	0.911
P5-2	220kV 核成线输电线路南边相外 5m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	438.1	0.731
P5-3	220kV 核成线输电线路南边相外 10m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	332.7	0.507
P5-4	220kV 核成线输电线路南边相外 15m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	226.9	0.475
P5-5	220kV 核成线输电线路南边相外 20m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	156.9	0.372
P5-6	220kV 核成线输电线路南边相外 25m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	108.8	0.304
P5-7	220kV 核成线输电线路南边相外 30m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	64.66	0.281
P5-8	220kV 核成线输电线路南边相外 35m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	41.59	0.192
P5-9	220kV 核成线输电线路南边相外 40m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	31.01	0.157
P5-10	220kV 核成线输电线路南边相外 45m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	24.36	0.141
P5-11	220kV 核成线输电线路南边相外 50m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	16.08	0.091
P5-12	220kV 核成线输电线路北边相下 0m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	498.9	0.950
P5-13	220kV 核成线输电线路北边相外 5m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	443.8	0.782
P5-14	220kV 核成线输电线路北边相外 10m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	327.6	0.527
P5-15	220kV 核成线输电线路北边相外 15m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	225.3	0.415
P5-16	220kV 核成线输电线路北边相外 20m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	158.6	0.356

表 3.2-10 (9/9) 海南昌江核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)
220kV 核成线输电线路 (P5 监测断面) 垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据										
P5-17	220kV 核成线输电线路北边相外 25m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	102.1	0.321
P5-18	220kV 核成线输电线路北边相外 30m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	67.42	0.286
P5-19	220kV 核成线输电线路北边相外 35m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	44.08	0.182
P5-20	220kV 核成线输电线路北边相外 40m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	29.62	0.167
P5-21	220kV 核成线输电线路北边相外 45m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	22.91	0.152
P5-22	220kV 核成线输电线路北边相外 50m	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	15.78	0.087
220kV 核成线输电线路 (P5 监测断面) 平行监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据										
P5-23	220kV 核成线输电线路南边相外 20m(1)	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	152.6	0.398
P5-24	220kV 核成线输电线路南边相外 20m(2)	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	158.2	0.358
P5-25	220kV 核成线输电线路南边相外 20m(3)	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	162.5	0.308
P5-26	220kV 核成线输电线路北边相外 20m(1)	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	158.6	0.316
P5-27	220kV 核成线输电线路北边相外 20m(2)	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	156.2	0.332
P5-28	220kV 核成线输电线路北边相外 20m(3)	2016.09.23 AM	晴	34.2	64.8	西北	1.5	100.7	160.3	0.396

表 3.2-11 (1/2) 海南昌江核电厂厂外环境敏感区工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速m/s	大气压kPa	工频电场强度(V/m)	工频磁感应强度(μT)
26	马地村	2016.09.24 AM	晴	35.0	58.1	西	1.0	100.1	0.184	0.046
27	塘兴新村	2016.09.24 AM	晴	35.0	58.1	西	1.0	100.1	0.416	0.046
28	林好村	2016.09.24 AM	晴	35.0	58.1	西	1.0	100.1	1.298	0.062
29	波兰村	2016.09.24 AM	晴	35.0	58.1	西	1.0	100.1	1.187	0.048
30	永安村	2016.09.24 AM	晴	35.0	58.1	西	1.0	100.1	1.256	0.048
31	里仁村	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.307	0.050
32	五联新村	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	1.579	0.047
33	南罗村	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.202	0.046
34	双塘村	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	1.274	0.051

表 3.2-11 (2/2) 海南昌江核电厂厂外环境敏感区工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速m/s	大气压kPa	工频电场强度(V/m)	工频磁感应强度(μT)
35	长田村	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	1.615	0.045
36	梧高村	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.143	0.041
37	北方村	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.151	0.043
38	甘塘村	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.910	0.039
39	沙地	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.272	0.046
40	梧高村通讯基站	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.158	0.040
41	甘塘村通讯基站	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.134	0.041
42	五联新村通讯基站	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.291	0.032

表 3.2-12（1/2） 海南昌江核电厂厂区外环境敏感区射频综合场强现状监测结果

测点编号	测点名称	测量时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	射频电场强度 (V/m)
26	马地村	2016.09.24 AM	晴	35.0	58.1	西	1.0	100.1	0.21
27	塘兴新村	2016.09.24 AM	晴	35.0	58.1	西	1.0	100.1	0.31
28	林好村	2016.09.24 AM	晴	35.0	58.1	西	1.0	100.1	0.19
29	淑兰村	2016.09.24 AM	晴	35.0	58.1	西	1.0	100.1	0.30
30	永安村	2016.09.24 AM	晴	35.0	58.1	西	1.0	100.1	0.24
31	皇仁村	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.41
32	五联新村	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.23
33	南罗村	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.39
34	双塘村	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.38

表 3.2-12 (2/2) 海南昌江核电厂厂区外环境敏感区射频综合场强现状监测结果

测点编号	测点名称	测量时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	射频电场强度 (V/m)
35	长田村	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.26
36	梧高村	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.46
37	北方村	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.17
38	柑塘村	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.46
39	沙坑	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.19
40	梧高村 通讯基站	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.48
41	柑塘村 通讯基站	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.66
42	五联新村 通讯基站	2016.09.25 AM	晴	35.6	58.5	北	0.5	99.8	0.99

表 3.2-13 厂区内监测值统计情况

监测点位置	监测因子	监测值范围	最大值	评价标准
厂区	工频电场 (V/m)	0.148~0.374	0.374	4000
	工频磁场 (μT)	0.036~0.143	0.143	100
	射频综合场强 (V/m)	0.14~1.80	1.80	12
开关站	工频电场 (V/m)	9.689~29.48	29.48	4000
	工频磁场 (μT)	0.106~0.340	0.340	100
主变压器	工频电场 (V/m)	0.136~0.644	0.644	4000
	工频磁场 (μT)	0.032~5.341	5.341	100

表 3.2-14 输电线路监测值统计情况

监测点位置	监测因子	监测值范围	最大值	评价标准
110kV 倒送电输电线路 (P1 监测断面)	工频电场 (V/m)	垂直监测断面: 3.625~567.8	567.8	4000
		平行监测断面: 149.3~160.2	160.2	
	工频磁场 (μT)	垂直监测断面: 0.031~0.181	0.181	100
		平行监测断面: 0.096~0.115	0.115	
220kV 出线输电线路 (P2 监测断面)	工频电场 (V/m)	垂直监测断面: 22.89~1034	10.4	4000
		平行监测断面: 312.6~330.1	330.1	
	工频磁场 (μT)	垂直监测断面: 0.212~3.652	3.652	100
		平行监测断面: 1.149~1.210	1.210	
拟建小堆主变至开关站 出线输电线路 (P3 监测断面)	工频电场 (V/m)	垂直监测断面: 0.101~0.282	0.282	4000
		平行监测断面: 0.134~0.201	0.201	
	工频磁场 (μT)	垂直监测断面: 0.034~0.042	0.042	100
		平行监测断面: 0.035~0.039	0.039	
220kV 核李线输电线路 (P1 监测断面)	工频电场 (V/m)	垂直监测断面: 15.82~488.2	488.2	4000
		平行监测断面: 138.6~159.9	159.9	
	工频磁场 (μT)	垂直监测断面: 0.093~0.808	0.808	100
		平行监测断面: 0.352~0.396	0.396	
220kV 核成线输电线路 (P2 监测断面)	工频电场 (V/m)	垂直监测断面: 15.78~498.9	498.9	4000
		平行监测断面: 152.6~162.5	162.5	
	工频磁场 (μT)	垂直监测断面: 0.087~0.950	0.950	100
		平行监测断面: 0.308~0.398	0.398	

表 3.2-15 厂区外环境敏感区监测值统计情况

监测点位置	监测因子	监测值范围	最大值	评价标准
厂区外环境敏感区	工频电场 (V/m)	0.134~1.615	1.615	4000
	工频磁场 (μT)	0.032~0.062	0.062	100
	射频综合场强 (V/m)	0.17~0.99	0.99	12

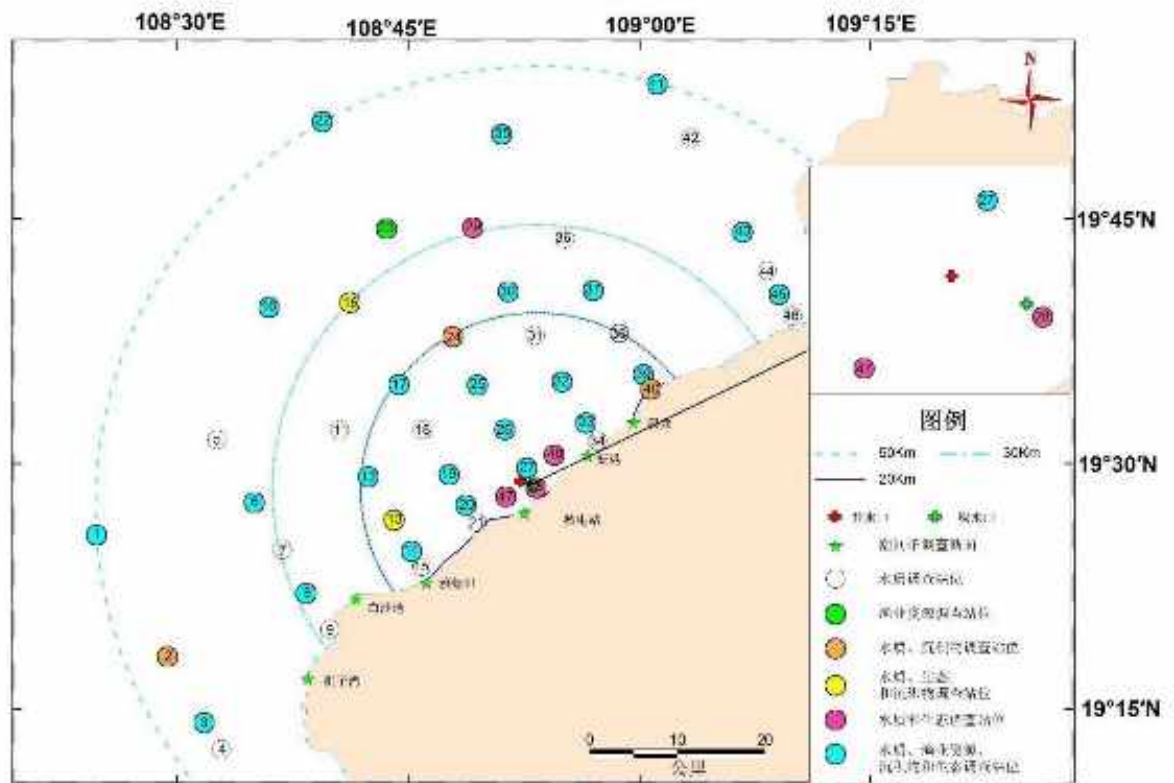


图 3.2-1 厂址邻近海域水质调查站位图

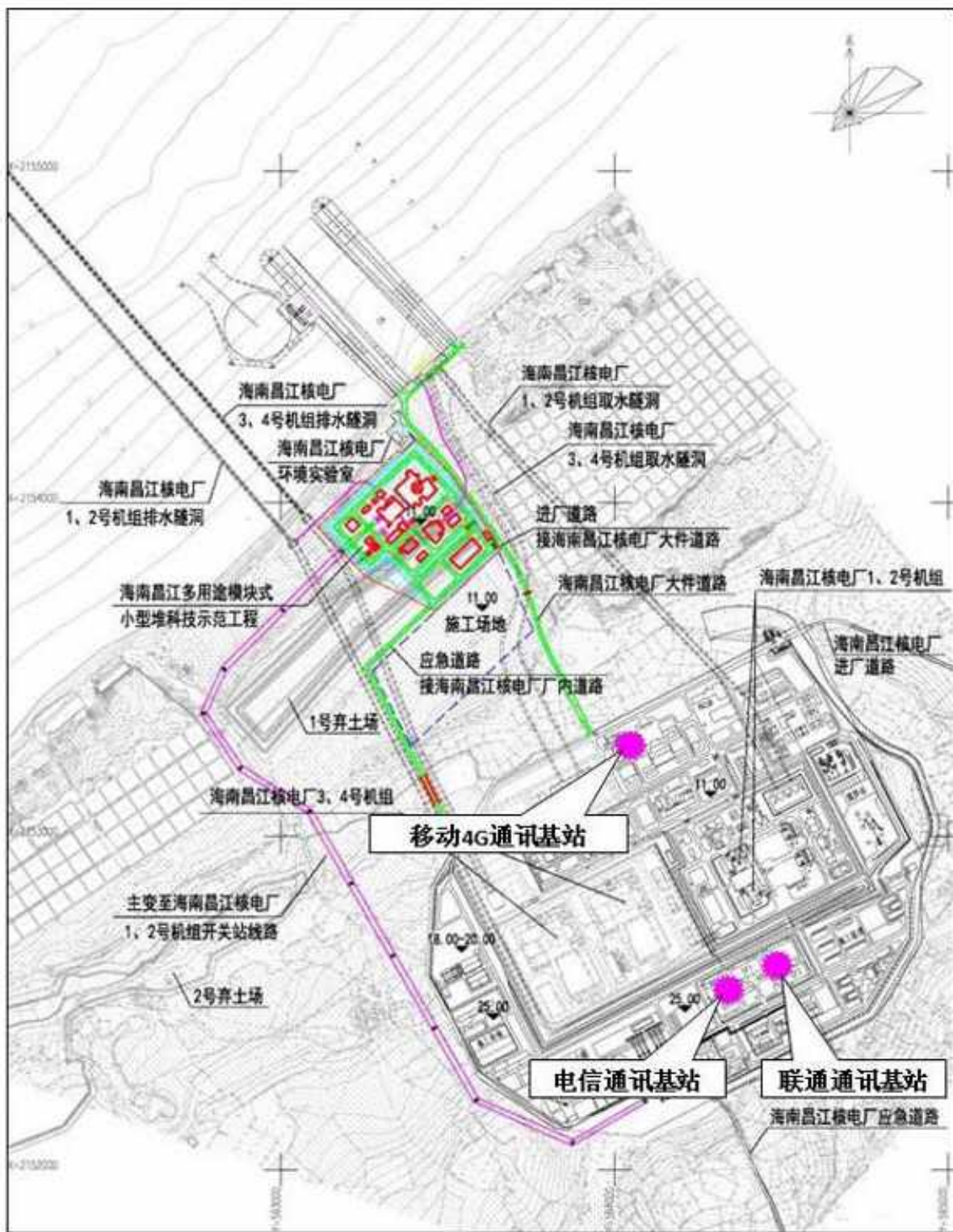


图 3.2-2 厂区内内通讯基站位置示意图



图 3.2-3 厂区外 5km 范围内通讯基站位置示意图

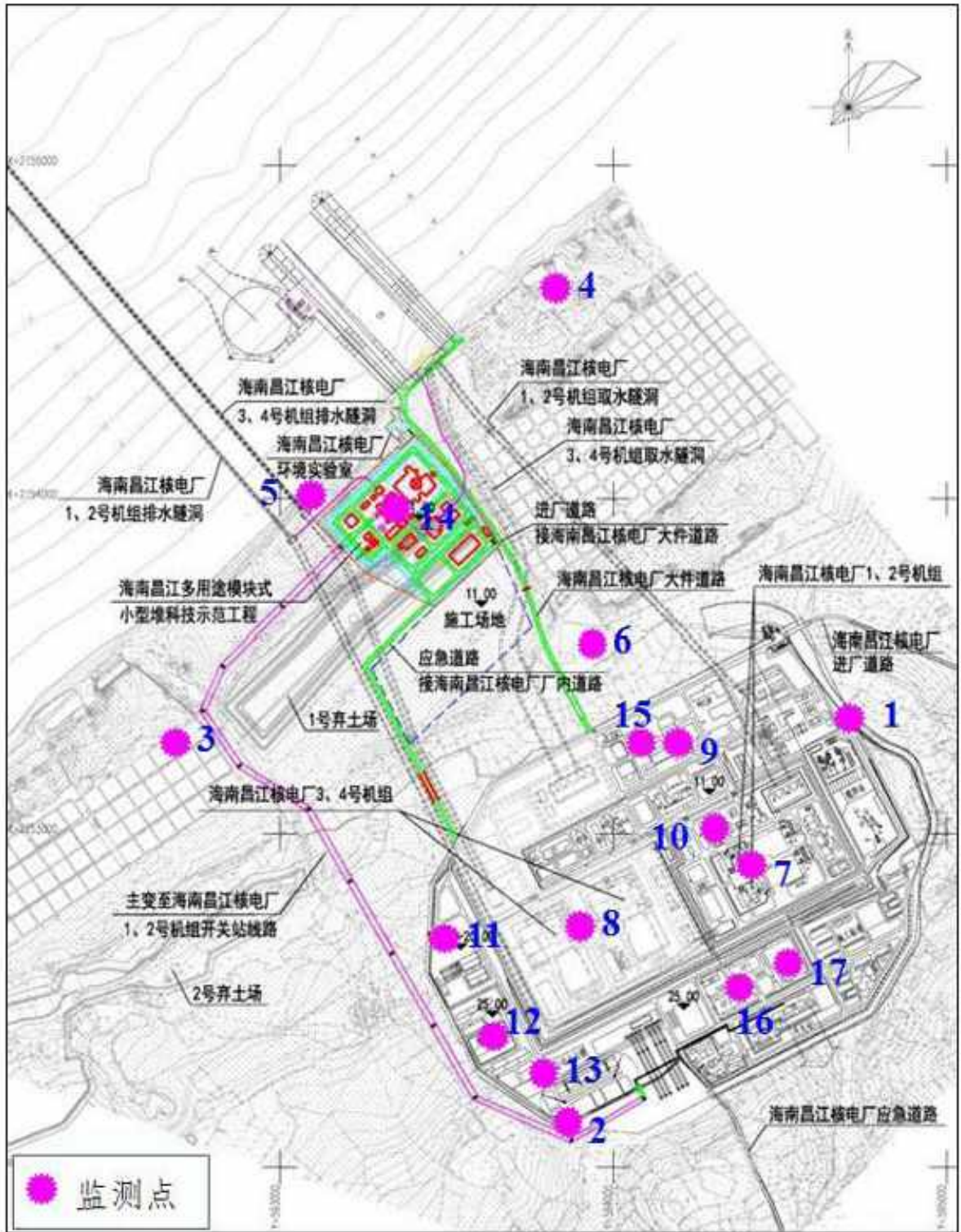


图 3.2-4 海南昌江核电厂厂区内电磁辐射监测点分布情况



图 3.2-6 海南昌江核电厂输电线路监测断面设置示意图

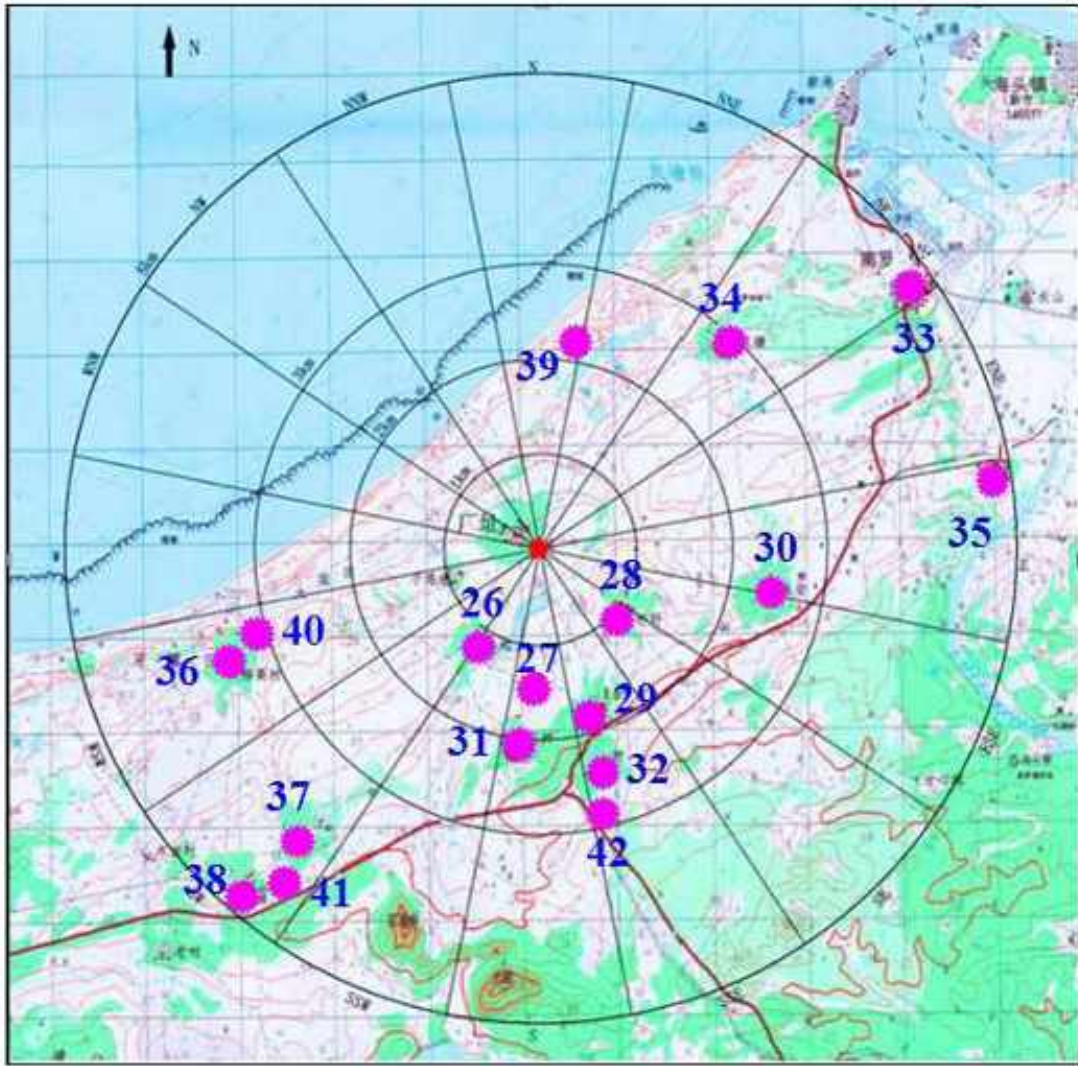


图 3.2-7 海南昌江核电厂外监测点设置示意图

第四章 核电厂

4.1 全厂总体规划及厂区总平面布置

4.1.1 全厂总体规划

4.1.2 厂区平面布置

4.1.3 排放口布置

4.2 反应堆和蒸汽-电力系统

4.2.1 概述

4.2.2 核岛

4.2.3 常规岛

4.3 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 概述

4.5.2 安全注入系统

4.5.3 安全壳喷淋系统

4.5.4 蒸汽发生器辅助给水系统

4.5.5 安全壳隔离系统

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 放射性固体废物管理系统及废物量

4.6.5 乏燃料贮存系统

4.7 非放射性废物处理系统

4.7.1 化学污染物

4.7.2 生活废物

4.7.3 其他废物

4.8 放射性物质运输

4.8.1 新燃料运输

4.8.2 乏燃料运输

4.8.3 放射性固体废物运输

表

表4.1-1 厂址主要技术经济指标表

表4.1-2 3、4号机组新建子项一览表

表4.1-3 3、4号机组与1、2号机组共用子项一览表

表4.1-4 1、2号机组需改扩建子项一览表

表4.1-5 厂区主要技术经济指标表

表4.3-1 海水系统平均用水量

图

图4.3-1 取排水工程方案布置图

4.1 全厂总体规划及厂区总平面布置

4.1.1 全厂总体规划

4.1.1.1 全厂总体规划原则

- 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，合理确定安全重要构筑物场地设计标高（简称厂坪设计标高，下同）。
- 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。
 - 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。
 - 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。
 - 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（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（以下简称“1、2号机组”）运行的影响。
- 3、4号机组充分利用1、2号机组工程已建设施，并考虑与小堆示范工程子项共用建设。

4.1.1.2 全厂总体规划

厂址规划4台压水堆核电机组及小堆示范工程，统一规划，分期建设。1、2号机组为两台650MW压水堆核电机组，位于厂址的东部，已分别于2015年12月25日和2016年8月12日商业运行；3、4号机组位于1、2号机组的西侧（建北方向，下同），计划建设2台百万千瓦级“融合华龙一号”机组及其相应的配套辅助设施；在3、4号机组的西北侧有在建的小堆示范工程。

（1）厂坪设计标高

按照《滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定》（HAD101/09），厂址的设计基准洪水位的组合如下：

10%超越概率天文高潮：	2.71m
可能最大台风增水：	3.71m
海平面上升：	0.18m
设计基准洪水位：	6.60m

根据HAD101/09，厂址设计基准洪水位经计算为6.60m；根据专题计算成果，3、4

号机组北侧排洪渠 PMF 工况下最高洪水位为 10.58m，3、4 号机组厂坪设计标高不宜低于 11.00m。

结合防洪要求、地基条件、土石方工程、景观效果等因素，3、4 号机组厂坪设计标高与 1、2 号机组工程厂坪设计标高保持一致，同为 11.00m。塘兴水库下泄 PMF 洪水、海域洪水及相应台风浪作用均不会影响到厂址防洪安全。

（2）主厂房位置

根据厂址地形特征、地基岩土层的适应性、取排水方案等因素，经总平面专题论证，将 3、4 号机组主厂房建筑群南北向右布置在 1、2 号机组工程西侧，采用核岛朝北、常规岛朝南布置。

3、4 号机组核岛基底处主要为微风化黑云母花岗岩，局部为中风化黑云母花岗岩，并穿插有微风化的煌斑岩岩脉。中等风化岩体剪切波速值为 1455 m/s，微风化岩体剪切波速值为 2812m/s，弹性模量大，承载力强，中等风化岩体地基承载力远大于建筑物基底压力，地基均匀、稳定。根据最新勘察资料，3 号核岛柴油发电机厂房(3DB)、燃料厂房(3KA)局部位于强风化岩体，需进行局部素混凝土回填处理，回填面积约 500m²，最大深度约 5m。

（3）取排水工程

a) 冷却水取排水规划

采用明渠取水，与 1、2 号机组工程合用一条引水明渠。已建成的取水明渠采用斜坡式防波堤结构，明渠底宽约 120m，明渠总长约 600m。3、4 号机组工程 2 台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 1570m，取水隧洞总长约 3140m。

参照 1、2 号机组，考虑采用全隧洞的方式排水，3、4 号机组排水沉管位于 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。每台机组设置一条排水隧洞。每条隧洞长度约 4930m，其中陆域部分隧洞长度约 1070m，洞径 $d=6.8\text{m}$ ，海域部分采用沉管排水方式，单孔断面尺寸为 $5.8\text{m}\times 5.8\text{m}$ ，管线长度约 3860m，较 1、2 号机组海域排水管线长约 1.6km。

b) 淡水取排水规划

3、4 号机组工程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，核电厂的淡水主要用于核电厂施工和运行期间生活、生产用水、消防补充水等。绿化、洗车、浇洒用水采用再生水，由中水系统提供，不足水量由饮用水系统补足，中水系统的再生水来自生活污水处理站。

核电厂非放射性排水主要包括施工期排水和运行期的排水。施工期排水主要为生活污水，施工生产用水除混凝土浇筑和养护、砌砖、降尘等损耗外，冲洗砂石排水沉淀后复用。运行期间的排水主要来自厂区雨水、生活污水和生产废水。厂区雨水、清洁生产废水和经处理达标后的生产废水最终排入大海；生活污水经生化处理达标后用于道路洒水和洗车等，回用剩余水量最终排入大海。

（4）电力出线

3、4号机组主接线暂考虑采用3/2接线方式，进出线共5回，2回机组进线，3回送出线，共2个完整串+1个不完整串。送出线暂考虑接入规划建设500kV西站，长度均约20km，导线截面为4x400mm²。最终接入方案以接入系统专题报告评审意见为准。

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。3、4号机组投产时，暂考虑从系统再引接1回220kV安全备用电源线。最终系统引接点以3、4号机组安全备用电源接入系统专题评审意见为准。

（5）厂区工程规划

3、4号机组位于厂区西部，厂区用地南北方向长约960m，东西方向长约680m。

3、4号机组厂区由主厂房区、循环冷却水设施区、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）其他设施区

其他设施布置在1、2号机组厂区北侧和东侧。其中，综合生产办公楼、技能培训中心、展览中心、倒班宿舍、消防站、室内停车库和厂址气象站需要新建；信息文档中心、培训中心和应急指挥中心需要改、扩建。

（7）施工场地

3、4号机组与小堆示范工程统筹考虑施工用地。施工用地包括1、2号机组现有施工用地以及新增施工用地，其中新增施工用地面积约53.38hm²（含小堆示范工程施工用地面积约10.00hm²）。利用1、2号机组的施工场地有混凝土搅拌站和砂石料堆场、部分核岛、常规岛土建及安装施工场地，混凝土搅拌站和砂石料堆场位于1、2号机组主厂房区东侧，场地标高约为13.00m，部分核岛、常规岛土建及安装施工场地位于4号机组西侧和南侧，场地标高约为20.00m和25.00m。新增施工场地位于现状核岛、常规岛土建及安装施工场地的西侧，场地标高为18.50m~31.50m。

3、4号机组的施工用电、施工用水考虑利用1、2号机组已建的施工变电站和淡水厂，布置在核电厂的西南侧、次要进厂道路的东侧。

（8）场地平整

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9~25.00m）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，并在1、2号机组原施工场地西侧新增施工场地，新增施工场地设计标高为18.50~31.50m。场地平整总挖方量约285.93万m³（实方），总填方量约24.80万m³，余方外运。

场地平整后在3、4号机组厂区南侧和西侧新形成0~14m高的挖方边坡，长约1050m；西侧新增施工场地挖、填方边坡长约3200m，最大坡高14m；在厂区南侧和西侧边坡坡底设置长约1735m的排洪沟，采用矩形断面，沟宽为2~2.5m，将雨水排入北侧排洪渠。另3、4号机组邻近1、2号机组，厂区东南、南及西侧地势较高，构成了防洪屏障；厂区北侧、东北侧、西北侧及厂区内的汇水一部分通过虹吸井将雨水排入大海，另外部分通过排洪沟排入排洪渠，确保核岛及核安全相关构筑物不受山洪威胁。

（9）对外交通运输设施

a) 主要进厂道路（已建成）

主要进厂道路起点位于核电厂北侧边界，转向东南方向接至西线高速公路G98邦溪立交，为二级公路标准，路面为水泥混凝土路面，路基宽度12.0m，路面宽度9.0m，长度约16.5km。

b) 次要进厂道路（已建成）

次要进厂道路起点位于核电厂南侧边界，为三级公路标准，路基宽度8.5m，路面宽度7.0m，接至县道X701，长度约1.7km。从次要进厂道路进入县道X701约700m后，转入县道X706，向东南方向约14.0km到达十月田镇，再向东经过省道S311约3.5km后即可从太坡立交进入西线高速公路G98。

c) 大件码头及大件运输道路

1、2号机组工程已建成核电厂3000吨级大件码头一座，位于取水明渠西导堤外侧，自备大件码头设置有一台额定起重量为550吨的固定旋转式起重机。考虑到3、4号机组在大件设备上可能有重达526T的发电机定子，考虑设备装卸时吊具、钢丝绳及设备自重后，可能超过码头吊车额定载荷。根据《海南昌江核电厂3、4号机组大件码头浮吊作业可行性调研报告》，本工程大件码头可利用浮吊装卸大件设备的方案。

大件设备的运输可采用1、2号机组工程已成熟应用的运输方案。大件设备由设备制造厂通过海运运输至转驳码头后到驳船上，继而运输至核电厂自备大件码头。大件设备由吊

装设施从驳船上卸下后，通过大型平板车由大件运输道路运至大件设备堆放场地或安装现场。

（10）厂址区域土地利用

3、4号机组拟征地面积约 57.71hm^2 ，主要包括厂区工程用地和其他设施用地。厂区工程用地位于1、2号机组西侧，用地面积 50.08hm^2 ；其他设施用地包括行政办公、培训宣教、安全保障、停车场区、现场服务区、排洪渠及防洪设施、排水闸门井，除排水闸门井外其他设施均位于厂区东侧，排水闸门井位于厂区外北侧，其他设施总用地面积 7.63hm^2 ，其中行政办公、培训宣教、安全保障、停车场区用地面积 2.90hm^2 ，现场服务区用地面积 3.80hm^2 ，排洪渠及防洪设施用地面积 0.60hm^2 ，排水闸门井用地面积 0.33hm^2 。

3、4号机组与小堆示范工程统筹考虑施工用地。施工用地包括1、2号机组现有施工用地以及新增施工用地，其中新增施工用地面积约 53.38hm^2 （含小堆示范工程施工用地面积约 10.00hm^2 ）。

厂址区占用土地的类别为建设用地和农林用地，未占用农用地。

（11）厂址与附近城镇发展规划的协调性

厂址半径 15km 范围内有位于厂址东北方向的海头镇，距厂址约 7.5km 。远离核电厂，对核电厂没有影响。

（12）移民搬迁

3、4号机组拟征地及非居住区范围内的各项设施在1、2号机组工程建设时均已完成了搬迁和补偿。因此，本工程无拆迁问题。

（13）厂址主要技术经济指标

厂址主要技术经济指标见表4.1-1。

4.1.2 厂区平面布置

4.1.2.1 总平面布置原则

•按照两台“融合华龙一号”核电机组及其配套辅助设施进行厂区总平面布置，同时考虑与小堆示范工程子项共用建设；

•厂区总平面布置应与海南昌江厂址总体规划相协调；

•核岛、常规岛布置在埋深适宜、均匀稳定、承载力满足要求的地基上；

•满足机组运行及辅助生产设施的工艺流程要求；

•避免汽轮机飞射物危及核安全相关的建、构筑物；

•功能分区明确，合理划分放射区和非放射区；

- 合理安排主厂房、循环冷却水设施及开关站的平面位置，使循环冷却水供排水管道及主变至开关站的电缆廊道短捷、顺畅；
- 通道满足运输、防火、卫生、安全、实物保护、管网布置及施工安装等要求；
- 满足3、4号机组施工建设的要求，并尽量减少施工对1、2号机组运行的影响。

4.1.2.2 建设规模及项目组成

3、4号机组规划建设2台百万千瓦级“融合华龙一号”机组及其相应的配套辅助设施，新建子项见表4.1-2，共用1、2号机组子项见表4.1-3，扩建及改建1、2号机组的子项见表4.1-4。

4.1.2.3 厂区总平面布置

4.1.2.3.1 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，结合厂址条件及全厂总体规划，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。

根据冷却水取排水条件、电力出线条件及地形条件，确定核岛北向、常规岛南向布置。核岛靠近联合泵房及排水虹吸井，主变压器区域靠近开关站，可减少取排水廊道和电缆廊道长度，降低投资。

3、4号机组主厂房建筑群并列式布置，两台机组反应堆厂房中心距离为230m，3号反应堆厂房中心与1号反应堆厂房中心东西向及南北方向轴线间距分别为358.50m、45.60m。

3、4号机组核岛基底标高处主要为微风化黑云母花岗岩，局部为中风化黑云母花岗岩，并穿插有微风化的煌斑岩脉。中等风化岩体剪切波速值为1455 m/s，微风化岩体剪切波速值为2812m/s，弹性模量大，承载力强，中等风化岩体地基承载力远大于建筑物基底压力，地基均匀、稳定。核岛基础底标高约为-3.4m（绝对标高），主要建（构）筑物均坐落在岩石地基上，建筑场地类别为I₁类。根据详勘资料，3号核岛柴油发申机厂房（3DB）、燃料厂房（3KA）部分位于强风化岩体，需进行局部地基处理。

(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）以及虹吸井（8CC）等水工设施，联合泵房（8PM）与制氮站（8PH）布置在3、4号厂区的北侧，联合泵房（8PM）为核安全物项，基础底标高约为-17.20m，基础位于微风化基岩上，地基条件较好；虹吸

井（8CC）布置在联合泵房（8PM）西侧。联合泵房（8PM）与汽轮发电机厂房（MX）之间以循环冷却水进水管道的连接；重要厂用水进走廊道由联合泵房（8PM）进入核辅助厂房（NH）；燃料厂房（KA）与虹吸井（8CC）之间以重要厂用水排水管道连接；汽轮发电机厂房（MX）与虹吸井（8CC）之间以循环冷却水排水管道连接。

（3）配电装置区

3、4号机组规划电力出线方向为东南向，包括500kV开关站（送出）（8TB）、网控楼（8TC）、辅助开关站（220kV）（TD）和辅助变压器区域及中压配电间（8TG），除辅助开关站利用1、2号机组已建成设施外，其余子项需新建。辅助变压器区域及公用中压配电间（8TG）布置在3号汽轮发电机厂房的东南侧，其它配电装置区子项布置在主厂房区南侧25m平台。主变压器和降压变压器平台（3/4TA）与500kV开关站（8TB）之间以500kV主电源GIL通道连接；辅助变压器区域及公用中压配电间（8TG）与辅助开关站（220kV）（TD）之间以220kV辅助电源电缆沟连接。

（4）辅助生产区

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。

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（8QR）和先进废物处理中心（0QD）。除先进废物处理中心（0QD）外均集中布置在3号机组主厂房区东侧，先进废物处理中心（0QD）拟占用1、2号机组备用钢材库（AB3）位置，布置在放射性固体废物处理辅助厂房（QS）的东侧，1、2号机组备用钢材库（AB3）需进行拆除；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）、厂区实验楼（AI）和放射源库（YK）考虑与1、2号机组共用。

非放射性辅助生产设施：主要包括水生产设施、水处理设施、仓库、三修及其它非放射性生产设施等。

a) 水生产设施：除盐水泵房、储罐及公用配电间（8YA）布置在3号机组汽轮发电机厂房（3MX）西侧。

b) 水处理设施区：利用已建成的污水处理站（ED），需工艺改造。

c) 仓库、三修：

专用工具库（8AW）、循泵电机库（8AU），集中布置在北侧辅助生产区东侧；综合仓库（8AE）、大件仓库（8AG）、气体库（8AK）、机具库（0AJ），考虑布置在25m平台，与1、2号机组工程的仓库区连成一个区域，方便管理；移动应急电源车库（8AZ）

布置在 25m 平台开关站（8TB）西侧。

润滑油及油脂库（FC）和化学试剂库（AX）与 1、2 号机组共用；新燃料组件运输中转贮存场地（FX）考虑在 1、2 号机组移动电源车库（AY）子项西侧扩建。

d) 其它非放射性生产设施：

空气压缩机房（8ZC）布置在 3 号机组核岛厂房的东北侧；10kV 公用配电站（8TG）布置在 3 号机组汽轮发电机厂房东南侧；公用气体储存区 3（8ZA）布置在 3 号机组汽轮发电机厂房南侧；公用气体储存区 4（4ZA）布置在 4 号汽轮发电机厂房南侧；氢气站（8ZB）、污水系统油水分离器（8FS）布置在 4 号机组汽轮发电机厂房（4MX）西侧。

辅助锅炉房（VA）与 1、2 号机组共用。

（5）厂前建筑区

厂前建筑区包括综合办公楼（BA）、餐厅（SA）和信息文档中心（BD）布置在厂区东北侧，靠近主要进厂道路，方便管理及交通联系。其中信息文档中心需要扩建。

（6）实物保护设施及出入口

厂区设置三道实物保护围栏：控制区围栏、保护区围栏和要害区围栏。

4.1.2.3.2 竖向布置

3、4 号机组厂区竖向设计采用台阶式布置，场地标高分别为 11.00m 和 25.00m。其中，主厂房区、冷却水设施区和部分辅助生产设施布置在 3、4 号机组建设场地中部和北侧，场地标高为 11.00m；配电装置区和部分辅助生产设施布置在厂区南侧，场地标高为 25m。核岛、常规岛室内±0.00 标高均为 11.30m（1985 国家高程基准，下同），室外标高均为 11.00m。

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。

4.1.2.3.3 厂内道路布置

厂内运输主要是新燃料、乏燃料、固体废物、后勤供应（如备品配件、劳保用品、设备仪表维修等）等的运输，均采用公路运输方式。

为适应厂外运输及厂内厂房（车间）与厂房（车间）之间的货流及人行需要，厂区设主干道、次干道、车间引道及人行道。同时，根据道路荷载，将厂内道路划分为重型路和轻型路，重型路宽 9m，轻型路宽 7m、4m。在主厂房四周及进厂主干道等处设置重型路，其他路段为轻型路。

沿控制区和保护区围栏内侧、要害区围栏外侧，设置巡逻通道。

上述各级道路除满足生产运输安全保卫要求外，部分道路还兼作消防道路。

4.1.2.3.4 绿化与美化布置

厂区分为绿化区及非绿化区：

——非绿化区。本工程保护区内不进行绿化。

——绿化区。在保护区外区域可栽种行道树、花木及加铺草坪等，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。

厂区北侧水生产设施区及仓储区种植了行道树、花木及加铺草坪，对厂区南侧、西侧边坡进行了垂直绿化，充分运用和发挥绿化功能，为核电厂职工提供良好的工作环境。

本厂址规划的绿地率约为 5.7%。

4.1.2.3.5 厂区主要技术经济指标

厂区主要技术经济指标见表 4.1-5。

4.1.3 排放口布置

4.1.3.1 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、排水口、应急指挥中心、环境监测设施等。

（1）核岛厂房的布置

3、4 号机组核岛厂房布置在厂址中部。

（2）放射性辅助生产设施的布置

放射性辅助生产设施中的放射性固体废物处理辅助厂房、放射性固体废物暂存库、特厂区实验楼、放射源库和特种车库与 1、2 号机组共用。新建先进废物处理中心（OQD）布置在 1、2 号机组放射性固体废物处理辅助厂房的东侧，与 1、2 号机组放射性厂房集中布置。核废物厂房、核岛液态流出物排放厂房、常规岛液态流出物排放厂房、废油暂存库、放射性机修及去污车间布置在核岛四周，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或最小风频的上风向，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。

（3）生活污水和生产废水处理设施的布置

3 号和 4 号机组共用一座非放射性含油废水集水池，布置在 4 号机组的汽轮机厂房西侧。

生活污水共用 1、2 号机组工程已建设的污水处理站。

（4）取水口及排水口

取水口位于厂区东北部，与 1、2 号机组共用；排水口位于厂区北部，距 1、2 号机组

排水口约120m，液态流出物经排水隧道排至厂址北部海域。

（5）应急指挥中心的布置

应急指挥中心与1、2号机组共用，位于厂区的东北侧。

（6）环境监测设施的布置

新建设施有厂区地下水监测井；环境实验室和环境 γ 辐射监测站与1、2号机组共用，环境实验室位于厂区外闸门井厂房西南侧。

4.1.3.2 环境保护措施

在工程建设中，充分考虑环境保护要求，使其对原有地貌的改变不仅能够补偿，而且得到改善，以创造优美的小区环境。具体实施措施主要有以下几方面：

- 在总体规划中合理规划厂外设施的位置、组成和规模，充分利用城市现有的公共资源，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。
- 厂区内可绿化区域充分进行绿化，并采取多种绿化方式，包括立体绿化、屋顶绿化等。
- 利用工程建设的时机，改善厂址区域的原始地貌，增加绿化，减少海岸冲刷及水土流失，增强防洪排涝能力，改善小区域气候。

4.1.3.3 排放口布置

3、4号机组流出物排放口包括气态流出物排放口、液态流出物排放口和非放射性物质排放口。

（1）气态流出物排放口

3、4号机组气态流出物排放口有3个，分别为3、4号机组反应堆排风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号机组反应堆排风烟囱排入大气，排风烟囱绝对标高为76.53m。

先进废物处理中心烟囱设置在子项内，烟囱相对子项±0.00m标高为38m。

（2）液态流出物排放口

液态流出物排放口为本工程排水口。液态流出物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、4号机组液态流出物排放口（即排水口）位于北侧海域排水暗管端部。

（3）非放射性物质排放口

雨水排放口设1处，排至北侧排洪渠。

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通过虹吸井、闸门井排至大海。

4.2 反应堆和蒸汽-电力系统

4.2.1 概述

海南昌江3、4号机组采用融合后的华龙一号压水堆核电机组。该核电机组由包括核反应堆及其核辅助设施的核岛和包括汽轮发电机及其辅助设施的常规岛组成。

反应堆堆芯由177组华龙一号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；后续循环使用固体可燃毒物钎，并采用低泄漏或部分低泄漏的装载方式。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态发展的后果。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AFA3G燃料组件及其相关组件组成。

4.2.2.1.1 燃料组件

AFA3G燃料组件由17×17排列的燃料棒和燃料组件骨架组成，组件骨架导向管部件、仪表管、格架（端部格架、结构搅混格架及中间搅混格架）、上管座部件、下管座部件和相应的连接件组成。仪表管位于组件中心栅元位置，它为从上端插入的测量仪表提供通道。导向管用于容纳控制棒和其它堆芯相关组件棒。燃料棒被定位格架夹持，使其保持相互间的横向间距以及与上、下管座间的轴向间距。

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

AFA3G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。各相关组件简述如下：

- 控制棒组件：由星形架和24根控制棒组成，具有启停堆、变更堆功率和紧急停堆的功能。
- 一、二次中子源组件：由于中子源棒数目不多，所以需同可燃毒物棒和阻流塞棒混装，构成所谓混合型组件。一、二次中子源组件分别用于初始堆芯的首次安全启动和反

应堆的再次安全启动。

- 阻流塞组件：由压紧系统和阻流塞棒组成，装在不插入控制棒、可燃毒物棒和中子源棒的燃料组件的导向管，限制冷却剂旁通流量。

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内。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 525t/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：	3180 MWt
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	24680 m ³ /h
热工设计	23500 m ³ /h
机械设计	25670 m ³ /h
反应堆冷却剂温度（热工设计流量下）：	
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：	17.2 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）。

本工程的蒸汽发生器为 ZII-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。该系统布置在安全壳内，以避免经过核辅助厂房输送大量的反应堆冷却剂。

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、除盐水站、办公楼、制氮站、辅助锅炉房、车间和食堂等，不存在较大的火灾危险，在厂房内均设置消火栓和手提式灭火器。常规岛消防系统，能通过自动水喷雾灭火系统、水喷水灭火系统、气体灭火系统以及消火栓和手提式灭火器，对常规岛内的一切火灾危险提供防护。

4.2.3 常规岛

反应堆-蒸汽发生器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。

反应堆-蒸汽发生器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、主给水系统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、凝汽器和汽水分离再热器；
- 通向凝汽器和大气蒸汽旁路系统；
- 除氧器给水系统；
- 汽动辅助给水泵汽轮机；
- 辅助蒸汽转换器。

汽水分离再热器系统：汽水分离器可除去汽轮机高压缸高湿度的蒸汽中的水分，然后再经过再热器加热，使蒸汽在流入低压缸之前温度提高，以减少对低压缸中长叶片的冲刷，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。

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 $1620\text{m}^3/\text{d}$ ，施工现场降尘和洗车用水量为 $230\text{m}^3/\text{d}$ 。考虑管网漏损水量和未预见用水等，施工期间最大日用水量约为 $4500\text{m}^3/\text{d}$ 。

2) 运行期间用水量

运行期间的淡水供水系统主要包括饮用水系统、生产水系统和中水系统。

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 $0.032\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{GW}$ 。

(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 $5550\text{m}^3/\text{d}$ 。

鉴于海南昌江核电厂 1、2 号机组和 3、4 号机组的最大日用水量不会在同一天出现，运行期四台机组最大日用水量约为 $16257\text{m}^3/\text{d}$ 。

海南昌江核电厂淡水厂的设计规模为 $16000\text{m}^3/\text{d}$ ，经核算其供水能力可提升至 $17600\text{m}^3/\text{d}$ ，可以满足四台机组淡水用水要求。

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。取排水的主要流程为：北部湾→明渠→隧洞→联合泵房→循环水及重要厂用水压力管→凝汽器及核岛设备冷却水系统板式换热器→排水管沟→虹吸井→排水隧洞→排水口→北部湾。取排水总体布置方案详见图 4.3-1。

4.3.2.1 取水系统

海域部分采用明渠取水，两期工程合用一条引水明渠。已建成的取水明渠采用斜坡式防波堤结构，明渠底宽约 120m，引水明渠口门处原泥面高程-5m（85 国家高程基准），明渠总长约 600m。本期工程 2 台机组与小堆共用两条取水隧洞，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 1570m，取水隧洞总长约 3140m。

4.3.2.2 排水系统

参照 1、2 号机组工程，考虑采用全隧洞的方式排水，从主厂区的虹吸井一直到排水口，排入厂址北侧的大海，排水口位于海域约-19.7m 水深处。每台机组设置一条排水隧洞。每条隧洞长度约 4050m，其中陆域部分隧洞长度约 4650m，洞径 $d=6.5\text{m}$ ，海域部分采用近岸盾构隧洞+转换井+水下沉管的排水方式，管线长度约 3860m。盾构隧洞+转换井+沉管方案的水工构筑物包含 2 条排水盾构隧洞，总长约 1540m，1 条双孔共壁排水沉管，长约 3033.5m，1 个转换井和排水口。

4.4 输电系统

4.4.1 电气主接线

海南昌江核电厂 3、4 号机组采用具有完全自主知识产权的融合版“华龙一号”技术方案，汽轮发电机组的额定发电容量按照 2 台 1206MW 机组考虑，发电机额定电压 24kV。两台机组分别以发电机—双卷变压器组单元接线升压至 500kV 接入系统，发电机与主变压器之间装设发电机出口断路器。

按照接入系统报告的推荐方案，本期工程建设 2 回进线，3 回出线。3 回 500kV 出线拟接入规划建设 500kV 西站。

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方式，共组成 2 个完整串和 1 个不完整串。

昌江核电 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。现拟在昌江核电 3、4 号机组投产时，考虑从 220kV 鹅毛岭变再引接 1 回 220kV 安全

备用电源线。导线截面暂考虑采用 400mm^2 （导线温升 80°C ）。备用电源经两台 $220/10.5\text{kV}$ 、 38MVA 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。

220kV 辅助开关站在厂用主电源丧失时，为电站提供连续供电的 10.5kV 电源，通过 10.5kV 配电盘向常备、应急和公用设施供电。

4.4.2 开关站的选型和布置

500kV 和 220kV 配电装置采用 SF_6 气体绝缘组合电器（GIS），户内布置。

核电厂 500kV 和 220kV 开关站位置在厂区的东南部，出线向东南偏南。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

依据海南昌江核电厂3、4号机组相关报告对海南电网现状与发展规划的描述，结合海南近期电力发展的态势和海南经济发展规划、发展潜力、经济结构调整和工业化进程，对海南省电力需求的预测。从电力平衡结果看，若仅考虑已有电源及核准电源，从中长期发展来看，2025年2030年海南省分别存在488万千瓦和880万千瓦的电力缺额。本工程的建设适应海南负荷发展需求，可有效支撑海南国民经济的持续发展。海南昌江核电厂3、4号机组最终出线3回 500kV 线路，长度均约 20km ，导线截面为 $4\times 400\text{mm}^2$ ，接入拟规划建设 500kV 西站。

4.5 专设安全设施

4.5.1 概述

专设安全设施主要包括安全注入系统、安全壳喷淋系统、蒸汽发生器辅助给水系统、安全壳隔离系统。

4.5.2 安全注入系统

在发生反应堆失水事故时，安全注入系统提供冷却核燃料所需的手段，限制燃料元件包壳损伤和由此产生的裂变产物的释放，它能保证：

（1）冷却堆芯

1) 任何失水事故工况下由安全注入系统注入堆芯的流量能充分排出堆芯产生的热量。使得：

- 燃料包壳的最高温度不超过 1204°C ；
- 燃料包壳的最大氧化厚度在各处都不超过包壳氧化前总厚度的17%；
- 水（或蒸汽）与包壳化学反应产生的氢气总量不超过假定所有包壳金属都起反应所能产生的氢气量的1%；
- 堆芯几何形状的任何改变都应能保持对准芯进行冷却的能力；

— 堆芯能长期维持在足够低的温度（排出余热）。

2) 安全注入系统能保证在事故下只有一小部分燃料元件可能受损坏。确保在事故下履行安全功能。

（2）堆芯补水

在蒸汽管道破裂事故工况下，安注系统的注入流量足以用来补偿由于不可控的蒸汽释放导致的反应堆冷却剂过冷而引起的容积变化。

（3）反应性控制

安全注入系统投运后，系统向堆芯注入来自内置换料水箱的含硼水，以控制堆芯的反应性。

安全注入系统的主要设备有：

- 2台中压安注泵；
- 3个安注箱；
- 2台低压安注泵；
- 1台水压试验泵。

系统投运后，中、低压安注泵从内置换料水箱(IRWST)取水，向一回路注水。

当反应堆冷却剂系统压力低于安注箱的压力时，安注箱注入。

水压试验泵用于反应堆冷却剂系统压力试验，并且在核电机组丧失全部交流电源时用来给主泵的轴密封供水。

4.5.3 安全壳喷淋系统

安全壳喷淋系统在发生设计基准事故情况下，提供从安全壳内迅速地排出余热和清除裂变产物所需手段，以确保安全壳内的压力、温度和释放到环境的裂变产物水平保持或降低到设计范围之内。

安全壳喷淋系统为每台机组专用，由两个实体隔离的相同系列组成，每个系列均能独立地满足喷淋功能的要求。

除在喷淋前期两个系列均从化学添加剂（NaOH）水箱取水外，该系统的两个系列之间没有任何直接连接。

（1）系统设计的考虑

1) 排热能力考虑：

- 该系统设计得能长期工作，可达几个月，这取决安全壳完整性对它的要求。
- 喷嘴的设计能使液滴的直径符合最大限度地排热和尽可能高效除碘的要求。

—安全壳喷淋系统作为能长期冷却安全壳的手段，它的热交换能力应足以排出余热，通过降低安全壳内压力和温度来防止安全壳超过设计条件。

—按热阱温度等于历史记录的最高温度计算系统的热交换能力。

—支撑喷嘴的喷淋环尽可能布置在穹顶下最高处，使水滴落差尽可能大。

—喷淋管或喷淋环上的喷嘴的间距、位置、方位的选择使喷淋覆盖的面积尽可能大，在安全壳内尽可能均匀分布，重叠喷淋尽可能少，使喷淋能覆盖安全壳的横截面积。

2) 对化学考虑

—选择 pH 值时，在保证其除碘效率下，尽可能减少腐蚀影响，限制金属与辐照分解的水发生反应时和金属腐蚀时产生的氢与氧的释放。

—采取了有利于化学添加剂溶液长期贮存措施，防止沉淀、化学反应和分解。并提供了防止添加剂冷却结晶措施。

3) 单一故障准则的应用

安喷系统喷淋子系统的所有能动部件和非能动部件及化学添加子系统的能动部件遵守单一故障准则。

喷淋子系统由两个容量为 100%且相互独立的系列组成。

热交换器的冷却由设备冷却水系统与重要厂用水系统二个容量 100%的独立的系列来确保。

供电由两列独立电源保证，并由应急柴油发电机组作备用。

两列电源和两列冷却水各自之间都有实体分隔和布置上的分离。

(2) 系统描述

安喷系统由两个子系统组成：喷淋子系统和化学添加剂子系统。

1) 喷淋子系统

喷淋子系统由两个相同的系列组成。每个系列配有一台泵，一台由设备冷却水进行冷却的热交换器，两根位于穹顶的带喷嘴的喷淋环管。

系统启动后，安喷泵从内置换料水箱 IRWST 取水，5 分钟后与来自化学添加剂箱的氢氧化钠溶液混合后由喷嘴喷出。

2) 化学添加剂子系统

化学添加剂子系统包括一个氢氧化钠贮存箱，靠喷射器从该箱吸取氢氧化钠溶液，在泵吸入口混合后经喷淋环管喷嘴喷出。化学添加剂子系统包括一个氢氧化钠混合和循环系统，以防止氢氧化钠结晶。

3) 系统运行方式

当发生安全壳高高压力信号时，安全壳喷淋系统就自动投入运行。喷淋水经热交换器冷却后再进行喷淋。化学添加剂在喷淋信号5分钟后自动开始注入，在化学添加剂箱低液位时停止注入。

4.5.4 蒸汽发生器辅助给水系统

蒸汽发生器辅助给水系统属于专设安全设施。在任一正常给水系统发生事故时，辅助给水系统运行，能够确保向蒸汽发生器供应适量的水，以导出堆芯余热，直到反应堆冷却剂系统达到余热排出系统可投入的状态。此外，还应保证供水不会导致蒸汽发生器满溢。反应堆冷却剂系统的热量通过由辅助给水系统供水的蒸汽发生器传给二回路系统产生蒸汽；二回路系统蒸汽通过汽轮机旁路系统排入凝汽器或排向大气。

电站机组的设备包括两个辅助贮水池、一个泵子系统和一套与蒸汽发生器相连的给水管线，给水管线上装有流量调节阀和给水隔离阀。

辅助给水泵从辅助贮水池001BA和002BA（内装适当pH值的除盐除氧水）吸水，并将其送入安全壳内主给水止回阀下游，靠近蒸汽发生器入口处的主给水管道内。

从辅助贮水池和与每台蒸汽发生器相连的注入管线通过取样泵检查系统的水质。样品在非放射性实验室内进行分析。

辅助给水泵子系统主要设备包括：

——两台50%流量的汽动泵(003PO、004PO)，它由蒸汽发生器主蒸汽隔离阀上游的主蒸汽管供汽，乏汽经过一个消音器排入大气。

——两台50%流量的电动泵(001PO、002PO)，它由应急电源(柴油发电机)供电。

每台电动泵和每台汽动泵并联布置组成一个系列，都各自配置下列管道：

——吸水管线（来自辅助贮水池）；

——通向三台蒸汽发生器的出口管线（包括调节阀和电动隔离阀）。

如果热停堆时间超过8小时，辅助贮水池的正常贮水量不能满足要求。此时，可由除氧装置向辅助贮水池补水，以保证有足够的水带走一回路热量。

另外，在电站启动前，该装置还能对硼水补给水系统的贮水箱进行初次充水，以及在电站运行中当硼回收系统故障时，向硼水补给水箱补充除盐除氧水。

当电站用辅助给水系统启动时，除氧器装置向辅助贮水池补充除盐除氧水。

当失去厂外电源时，由应急柴油发电机向除氧装置的泵供电，且允许直接由WCD系统对贮水池进行补水。

除氧装置能使蒸汽发生器辅助给水中溶解氧的总含量保持在0.01ppm以下。

当任一正常给水设备不能使用时，辅助给水系统向蒸汽发生器供水，以导出堆芯余热，产生的蒸汽向大气排放，如果凝汽器可以使用时，则向凝汽器排放。

4.5.5 安全壳隔离系统

安全壳是阻挡核电厂放射性裂变产物释放到环境中去的最后一道实体屏蔽，在正常运行时以及在发生放射性物质释放到安全壳内的事故以后保证具有规定的密封性，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的危害。

考虑专设安全设施投入运行，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环向断裂（LOCA），或者安全壳内二回路蒸汽管道断裂等事故。

本工程采用双层安全壳，内层安全壳是包容核蒸汽供应系统(NSSS)的主要物项，在所有可以想象的情况下提供对环境、工作人员和公众有效的辐射防护，这些情况包括导致安全壳内压力和温度急剧升高以及气态裂变产物释放的一回路冷却剂管道完全断裂的事故（LOCA 事故）。外层安全壳主要抵抗飞机撞击和龙卷风飞射物及外部爆炸等外部事件。

安全壳还应能承受由于安喷系统误投入运行造成的内部负压。

内层壳为带密封钢衬里的预应力钢筋混凝土结构，外层壳为钢筋混凝土结构。

为在事故工况下保持安全壳的密封性，防止放射性物质向环境释放超过可接受限值，贯穿内外壳的管线（专设安全设施运行所需要的管线除外），以及仅贯穿外层壳并与环形空间大气联通的管线在事故工况下必须能可靠地隔离，为此设置了安全壳隔离系统。

安全壳隔离系统的安全功能为：

(1) 在反应堆失水事故时，隔离与专设安全设施无关的安全壳贯穿件，以减少放射性物质向大气的释放。

(2) 在安全壳内出现各种高活度放射性物质情况下，隔离安全壳大气，防止和控制放射性物质向环境的释放。

(3) 在主蒸汽管道破裂时，隔离蒸汽发生器，防止反应堆冷却剂系统过快降温或安全壳超压。

安全壳隔离系统的设计，每条管线上串联设置的安全壳电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。

内层安全壳设计，在失水事故时泄漏率不超过下面规定的最大泄漏率：在包容性失水事故下，规定总的最大泄漏率为 24 小时内不超过安全壳内气体质量的 0.3%。

外层安全壳的设计必须是密闭的，以便安全壳环形空间通风系统可以维持环形空间内的负压状态。

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。

在排放之前，内层安全壳和外层安全壳的泄漏要经过过滤。

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。

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污染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，其中蒸汽发生器传热管束的泄漏还有可能造成二回路系统的污染。

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（ $31.4\text{m}^3/\text{h}$ ）。

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 350m^3 。

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 $3.5\text{m}^3/\text{h}$ 。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。当一回路氘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）、阴床除盐器（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℃，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，则白冷凝液泵 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氘浓度，将含氘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（ZIT）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。

— 对氧含量最高的 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）送入 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。

— 一化学中和站由酸、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。

— 一蒸发处理设备包括：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 500m^3 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，其余设备的材料均为不锈钢。

排放管线厂房内的部分材料为不锈钢，TR 沟内的部分均为不锈钢。该管线上的其它设备的材料采用不锈钢。

（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

本系统与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：

- 核岛厂房内放射性洗衣房排放废液；
- 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 系统或 ZST 系统。

（2）系统描述

WSR 系统收集下列系统及场所的废液：

NA 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。

洗衣房洗衣和初次漂洗的排放废液，经粗过滤后借助于重力流入废水贮槽 8WSR003BA。二次漂洗的排放废液，借助重力流入废水贮槽 8WSR004BA。8WSR003/004BA 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 8WSR003/004PO 送往 ZLD 系统监测排放。

可降解废物处理系统产生的放射性废液直接进入 8WSR003/004BA，经取样检测后，送往废液处理系统（ZLT）进行蒸发或过滤处理或直接送往 ZLD 系统监测排放。

洗衣房废水贮槽 8WSR003/004BA 房间内的地坑 8WSR903PS 收集来自洗衣房和可降解废物处理设施产生的地面排水，并由地坑泵 8WSR908PO 送往 8WSR003/004BA。

WSR 系统 BOP 部分为两台机组共用，收集下列系统及场所的废液：

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或送往 ZST 系统的浓缩液槽待固化处理。

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 5 号机组 ZLT 系统地面排水接收槽处理或送往 ZLD 系统排放。

（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。

当废水贮槽 8WSR003/004BA 的液位达到高液位时，泵 3/4WSR003/004PO 自动启动。当槽中液位达到低液位时，泵 8WSR003/004PO 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 ZST 系统的浓缩液贮槽或 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。

4.6.2.5 核岛疏水排气系统（RVD）

核岛疏水排气系统（RVD）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：

- 从与安全有关设备问来的废水，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氢废气罐（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，下泄流流向下泄孔板进行降压，再流向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饱和过量的铯时，可以再流过阳床除盐装置。

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

两台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。

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打气去除裂变气体，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 $3 \times 100\%$ 。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 推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壁室：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。裂变气体和溶解的氦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 73.5t/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 24.5t/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 μ m 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 μ m 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，而非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，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：950 m³/a；

化学排水：450m³/a；

除气后反应堆冷却剂：750 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到工艺排水接收槽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。

海南昌江核电厂3、4号机组的液态放射性流出物的年排放量，现实工况下一台机组除氙、C-14外其他核素的排放量为 $1.00\text{E}+00\text{GBq/a}$ ，液态氙为 39.3TBq/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 $6.49\text{E}-00\text{GBq/a}$ ，液态氙为 46.0TBq/a ，液态C-14为 26.9GBq/a 。

由于位于同一厂址的ACP100机组产生的废液拟输送到3、4机组的废液处理系统处理后统一排放，小堆经3、4号机组废液处理系统处理后并放的液态流出物的量，现实工况一台ACP100机组除氙、C-14外其他核素的排放量为 $2.64\text{E}-01\text{GBq/a}$ ，液态氙为 7.36TBq/a ，液态C-14为 4.36GBq/a ；保守工况下一台机组除氙、C-14外其他核素的排放量为 $2.62\text{E}-00\text{GBq/a}$ ，液态氙为 9.01TBq/a ，液态C-14为 4.36GBq/a 。

3、4号机组与ACP100机组的排放总量（包括2台华龙一号机组和1台ACP100机组），现实工况除氙、C-14外其他核素的排放量为 $2.26\text{E}+00\text{GBq/a}$ ，液态氙为 86.0TBq/a ，液态C-14为 24.4GBq/a ；保守工况除氙、C-14外其他核素的排放量为 $1.56\text{E}+01\text{GBq/a}$ ，液态氙为 101.0TBq/a ，液态C-14为 58.2GBq/a 。

现实工况，3、4号机组与ACP100机组核岛及BOP液态流出物排放浓度为 61.9Bq/L ，3、4号机组常规岛液态流出物排放浓度为 0.4Bq/L ；保守工况，3、4号机组与ACP100机组核岛及BOP液态流出物排放浓度为 407.1Bq/L ，3、4号机组常规岛液态流出物排放浓度为 5.25Bq/L 。现实工况和保守工况核岛及BOP、常规岛的液态流出物排放浓度均低于 1000Bq/L ，满足我国核动力厂环境辐射防护规定GB6249-2011的要求。

本工程所在厂址将建先进废物处理中心用于处理海南核电厂产生的技术废物，送往本工程液态流出物排放厂房的放射性废液的排放浓度是 100Bq/L ，低于 1000Bq/L ，经本工程液态流出物排放系统直接排放，年排放量为 $9.8\text{E}+06\text{Bq/a}$ ，远低于3、4号机组的年排放量，先进废物处理中心的具体参数及源项结果见4.6.4节。

4.6.3 放射性废气处理系统及源项

放射性废气处理系统为单机组设置，用于收集、贮存并处理反应堆正常运行工况和预计运行事件时产生的放射性废气，处理后经监测符合国家标准及核电厂管理规范要求后排入大气。放射性废气分为含氢放射性废气和含气放射性废气两大类。

裂变过程产生的放射性气体主要是氦和氙的各种同位素。由于少量的燃料包壳破损，燃料包壳内存积的裂变气体进入反应堆冷却剂。在高压下裂变气体溶解于冷却剂中，但当系统内存在气相空间时，裂变气体就会释放出来，特别是在对堆冷却剂进行除气处理时，几乎所有的裂变气体都将随着溶解的氢气或氮气一起解吸出来，形成含氢放射性废气，被

收集到缓冲罐中。

含氧放射性废气（含空气废气）主要来自核辅助系统，特别是三废处理系统中可能进入空气的各种贮槽的呼排气、吹扫气、鼓泡排气或抽气（保持负压）等，由核岛疏水排气系统集中收集在一根管路里，通过系统排气风机吸入废气处理系统（ZGT），经碘过滤器处理后排到核辅助厂房通风系统（VNA）。含氧废气所含的放射性核素主要以气溶胶的形式存在，含有分子碘和有机碘等。

放射性废气处理系统主要包括：

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

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排放量、核电站工作人员在控制区和非控制区内的受照剂量降低到“可合理达到尽量低”的水平。

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，尤其是含氧放射性废气，除辐照危害外并存在爆炸和引起火灾的危险性，故在进行 ZGT 系统的设计时，考虑了防止该气体向环境泄漏、安全防火、防爆和通风排气等问题，并将放射性气体进行贮存衰变，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/T22158-2008《核电站防火设计规范》的要求；

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

— ZGT 系统不执行核安全相关功能，但含氧废气子系统设计成安全 3 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。

1) 含氢废气子系统

含氢废气主要是由氢气、氦气、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）排向烟囱。

2) 含氧废气子系统

含氧废气主要由空气、少量放射性碘及其同位素组成。

这类废气来自容器的排气（并可能含有放射性气体）。

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）排向烟囱（不经贮存）。

（4）系统运行

1) 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）：

① 当缓冲罐压力上升达到 0.025MPa（表压）时，第一台含氢废气压缩机启动。

② 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。

③ 在含氢废气压缩机运行时，当缓冲罐内压力回落到 0.005MPa（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，或者假如正在排放的衰变箱内的压力下降到 0.02MPa（表压）时，则自动停止排放。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 5~84 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，并连锁关闭排放阀 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。

2) 含氧废气子系统

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

含氧废气干管内的负压由止回式调节阀门维持；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

通风系统对每个厂房进行采暖、通风与空调，以提供一个良好的室内环境，确保人员的安全健康以及设备的有效运行。

核岛厂房处理带放射性空气的主要通风系统如下：

— 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）

·环形空间通风系统（CAV）

— 安全厂房

·安全厂房机械设备区通风系统（VMO）

— 核燃料厂房

·核燃料厂房通风系统（VFI）

— 核辅助厂房

·核辅助厂房通风系统（VNA）

— 核废物厂房

·核废物厂房通风系统（VRW）

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；

— 没有沾污的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：

— 蓄电池房间每小时换气次数为12次；

— 有氢危险的房间每小时换气次数为10次。

（2）总的设计特性

在污染区内，气流组织是从潜在低污染区流向潜在高污染区。

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 1E 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。

（3）通风系统使用的各种过滤设备说明如下：

· 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%。

· 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%。

· 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%。

· 高效粒子空气过滤器（HEPA）

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

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

· 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。这些过滤器吸附分子碘的净化系数至少为 5000。

碘吸附器采用的是 III 型碘吸附器，吸附介质是含 1%KI 的活性炭。

（4）主要通风系统如下：

a) 安全壳连续通风系统（CCV）

反应堆正常运行时，需要由 CCV 系统冷却安全壳内的设备。

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。

b) 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，经高效粒子空气过滤器（HEPA）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（HEPA）过早阻塞，空气取自 CCV 送风干管，使其能利用安全壳连续通风系统（CCV）的预过滤器。只有在污染情况下，工作人员进入安全壳之前或进入期间才启动 CUP 系统。为维修人员提供保证安全工作的条件。

CUP 系统从控制室手动操作。

CUP 系统由安装在混凝土小室内的净化机组和混凝土小室外两台循环风机组成。

净化机组由一个容量为 100% 的净化回路组成，包括：

- 电动隔离阀；
- 电加热器；
- 高效空气粒子过滤器（净化系数 >3000 ）；
- 碘吸附器（净化系数（对分子碘） >5000 ）；
- 手动平衡阀。

两台容量为 100% 冗余配置的风机并联，每台风机后设止回阀，风机前设隔离阀。当 CUP 系统运行时，两台风机中一台及净化机组运行。

c) 安全壳空气监测系统（CAM）

CAM 系统由以下四个子系统组成：

- 混合子系统，在 LOCA 后作为安全壳大气的循环系统运行。
- 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，使排风经过高效粒子空气过滤器（HEPA）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。
- 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。
- 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。
- 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（电厂辐射监测系统）辐射监测设备监测安全壳的空气放射性污染水平。

d) 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合适的环境湿度。

— 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，维持疏水含氡废气罐（RVD 002BA）处在轻微负压状态下。

CSV 系统是直流式通风系统，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。

e) 环形空间通风系统 CAV

CAV 系统是连续运行的，保证内外壳之间空间（环形空间）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。

在事故后为减少释放到周围环境中的放射性，设置了两个系列的碘排风子系统（一用一备），满足单一故障准则，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；
- 共用静压箱的密封连接的风管。

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%）、一台高效粒子过滤器（净化系数 >3000 ）和配有逆止阀的排风机组成。

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%）；
- 一台高效粒子过滤器（净化系数 >3000 ）；
- 一台碘吸附器（净化系数（对分子碘） >5000 ）；
- 一台 100%容量并联的排风机，并配有逆止阀。

f) 安全厂房机械设备区通风系统（VMO）

在正常运行期间，VMO 系统为直流式通风系统，对安全厂房机械设备区进行通风。在事故工况下，VMO 系统以低流量碘排风过滤系统运行。

VMO 系统最小换气次数大于 1 次/时。

VMO 系统的功能是为了保证安全厂房机械设备区的通风换气，在设备维修和定期试

验时，保持电动机房的压力稍高于相应泵房的压力，以防电动机房被污染。即：

- 防止放射性产物释放到环境中去；
- 在安全壳喷淋系统（CSP）和安注系统（RSI）运行期间，容许维修人员进入。

VMO 系统由控制室远距离控制。

SL 及 SR 厂房各有一套独立的 VMO 通风系统。

VMO 系统的正常通风子系统组成如下：

— 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、高效粒子过滤器）；
- 四台循环冷却机组（冷却盘管、送风机）；
- 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。

VMO 系统的低流量排风子系统组成如下：

- 两台串联的 100%容量的加热器；
- 排风过滤器（高效粒子过滤器、碘过滤器）；
- 两台并联连接的 100%容量的排风机，配有止回阀；
- 排风管道；
- 防火阀。

g) 核燃料厂房通风系统（VFL）

在正常运行期间，VFL 系统是直流式的全新风系统。

在事故工况下，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。

系统设置满足单一故障准则，当任一系列出现故障时，系统的设计都能保持其功能。同时，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。

排风机组包括两台 100%容量并联的机组，每个机组包括：

- 两台预过滤器（过滤效率：85%）；
- 两台高效粒子空气过滤器（净化系数>3000）；

- 两个阻塞补偿阀；
- 两台 100%容量并联的排风机，装有逆止阀；
- 一支通向烟囱的排气管，配有两个冗余设置的快速关闭阀门，在事故时把系统与室外隔离。

b) 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，系统功能如下：

- 反应堆正常运行期间，维持核辅助厂房的室内温度在规定的范围内，以满足设备运行或工作人员的健康要求；

- 按辐射防护分级，限制房间中的气溶胶放射性水平，以便人员进入；
- 控制空气从潜在低污染区流向潜在高污染区；
- 减少释放到大气环境中的放射性污染物的浓度；

当机组运行时，维持厂房内的压力略低于大气压力，以控制厂房中的放射性气溶胶泄漏最少，并保证通过烟囱排放；

- 当冷停堆时，确保安全壳换气通风系统（CSV）所需要的风量及过滤要求；
- 在厂房火灾的情况下，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”）、排烟机组、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（两用两备）；
- 配有平衡阀、隔离阀和防火阀的排风管道。

② 碘排风机组

两个容量为 100%的冗余机组，并联连接，每个机组的组成如下：

- 两台电加热器；
- 一台预过滤器（过滤效率：85%）；
- 一台高效粒子空气过滤器（净化系数 >3000 ）；
- 一台碘吸附器（净化系数 >5000 ）；

- 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 排烟机组

排烟机组的组成：

— 一台过滤器机组，包括一台预过滤器（过滤效率：85%）和一台高效粒子空气过滤器（净化系数>3000）；

- 两台 100%容量并联连接的风机，并配置逆止阀；
- 连接电气房间的排烟的管道，并配置排烟阀。

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

在输送硼酸的设备间安装了电散热器和电加热器，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。

i) 核废物厂房通风系统（VRW）

VRW 系统为直流式通风系统，连续运行，系统功能如下：

— 反应堆正常运行期间，维持核废物厂房的室内温度在规定的范围内，以满足设备运行和工作人员的健康要求；

— 控制空气从潜在低污染区流向潜在高污染区；

— 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；

— 在厂房火灾的情况下，从核废物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。

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

正常送风子系统由 3 台 50%容量空调机组（两用一备）以及配有平衡阀、隔离阀和防火阀的送风管路组成，每台空调机组包括：

- 一台预过滤器（过滤效率：85%）；

- 一台高效过滤器（净化系数 >3000 ）；
- 一台冷却器；
- 一台配有止回阀的风机。

② 正常排风子系统

正常排风子系统由3台50%容量空调机组（两用一备）以及配有平衡阀、隔离阀和防火阀的排风管路组成，每台空调机组包括：

- 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 ）；
- 一台配有止回阀的风机。

③ 碘排风子系统

碘排风子系统由2台100%容量的机组（一用一备）以及配有平衡阀、隔离阀和防火阀的碘排风管路组成，每台机组包括：

- 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（净化系数 >5000 ）；
- 一台配有止回阀的风机。

当排除不含碘的气体时，可由旁通管跨越碘吸附器运行。

④ 排烟子系统

排烟子系统由1台100%容量的机组以及配有排烟阀的排烟管路组成，机组包括：

- 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100%容量的风机，并配置止回阀。

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；
- 核废物厂房通风；

- 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。

海南昌江核电厂3、4号机组惰性气体、气载碘、气载粒子的年排放量，现实工况下一台机组的惰性气体排放量为 $1.24\text{E}+03\text{GBq/a}$ ，气载碘的排放量为 $2.39\text{E}-02\text{GBq/a}$ ，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 $3.93\text{E}+03\text{GBq/a}$ ，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 $5.84\text{E}-04\text{GBq/a}$ ，气载碘的排放量为 $9.61\text{E}-01\text{GBq/a}$ ，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 $4.60\text{E}+03\text{GBq/a}$ ，气态C-14的排放量为 366GBq/a 。

本工程所在厂址拟建先进废物处理中心用于处理海南核电厂产生的技术废物，气载放射性物质将由等离子体熔融系统独立的烟囱经处理后排放到环境中，由先进废物处理中心排放的气载粒子年排放量为 $3.64\text{E}-08\text{Bq/a}$ ，气载碘的年排放量为 $3.08\text{E}+01\text{Bq/a}$ ，气态C-14的年排放量为 $4.62\text{E}-08\text{Bq/a}$ ；保守工况下载粒子年排放量为 $9.60\text{E}+08\text{Bq/a}$ ，气载碘的年排放量为 $3.08\text{E}+01\text{Bq/a}$ ，气态C-14的年排放量为 $4.62\text{E}+08\text{Bq/a}$ 。具体计算参数及结果年排放量见4.6.4节。

4.6.4 放射性固体废物管理系统及废物量

4.6.4.1 固体废物处理系统（ZST）

4.6.4.1.1 系统功能

固体废物处理系统（ZST）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）、乏燃料水池净化系统（RFT）和废液处理系统（ZLI）。

浓缩液来自ZLI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ZLI系统的辅助过滤器。

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）ZST 系统组成

本工程的 ZST 系统包括核辅助厂房（NH）内湿废物收集部分、核废物厂房（QF）内湿废物收集部分；新建先进废物处理中心（QD）并与海南昌江核电厂 1、2 号机组和模块化小型堆示范工程共用；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），不再新建。

（2）废物处理工艺描述

ZST 系统对各种固体废物根据各自的性质进行处理。

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 200L 钢桶或树脂桶。然后，送到固体废物暂存库贮存衰变，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 QF 厂房进行水泥固化处理。

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。

在杂项干废物用专用运输车运送到 QS 厂房，在分拣箱分拣成可熔融干废物与不可熔融干废物后装入 200L 钢桶内，并通过运输车送至先进废物处理中心（QD），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）。

（3）固体废物暂存库（QT）

本工程与海南昌江 1、2 号机组共用 QT 库，QT 库按四台机组运行 5 年产生的放射性固体废物量进行设计。

QT 库用于暂存整个厂址在运行中产生并经处理整备后的低、中水平放射性固体废物包（采用 400L 钢桶包装）和收到轻微污染废物。

QT 库分为贮存区、人员工作区和辅助设施区三部分，贮存区分为“贮存室”、“废物桶贮存区”和轻微污染废物贮存部分。

“贮存室”用于贮存表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ 的 400L 废物桶或 200L 钢桶，贮存室由混凝土墙分隔的贮存单元组成，每个贮存单元能够容纳 4 个垂直码放的 400L 钢桶或 200L 钢桶，上方覆有混凝土防护盖板。

“废物桶贮存区”用于贮存表面剂量率 $<2\text{mSv/h}$ 的 400L 废物钢桶或 200L 钢桶。

轻微污染废物贮存部分包括：TTB 废树脂桶贮存区、轻微污染的大尺寸废物贮存区和通风废过滤器芯贮存区。

贮存的放射性废物贮存一定年限后，转运到低、中水平放射性固体废物处置场进行处置。

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 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 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 NX 厂房浓缩液接收槽内，随后转移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。

为确保水泥浆分布均匀，可以将 400L 钢桶放在振动台上振动。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后装入 200L 钢桶内，然后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 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）。

（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：法国运行电厂约 200 个堆年正常运行时活度的平均值，I-131 当量约为 0.1GBq/t；（2）设计工况：法国同类电厂约 200 个堆年正常运行的最大值，I-131 当量约为 4.4GBq/t。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

核电厂内的其他被放射性污染的杂项干废物（受污染的工作服、纸、擦拭布、塑料和金属部件等），单台机组年产生杂项干废物产量设计值为 140m^3 ，其中 134.7m^3 为可熔融干废物， 5.3m^3 为不可熔融干废物。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。

本项目杂项干废物取 $4.0\text{E}-06\text{Bq/kg}$ 作为处理前杂项干废物的设计源项。

可熔融干废物处理后产生玻璃固化体，产生量估算为 10.6kg/h ，卸料后装入 200L 标准桶进行水泥固定，平均处理 32 小时可以产生 1 个 200L 标准桶。每年运行时间 4800h，年产生废物量为 150 个 200L 桶。废物中除核素 C-14、I 和 Tc 以外的其他核素的 95.4% 进入玻璃体，每桶玻璃体产品的放射性活度为 $1.80\text{E}+07\text{Bq/kg}$ ，每桶玻璃体废物的总活度为： $6.10\text{E}-09\text{Bq}$ 。

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" 以下管道法兰密封含银垫片进行替换，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，装入内衬有塑料薄膜的 200L 钢桶或树脂桶中，送到固体废物暂存库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。
- 采用可降解的一次性聚乙烯醇（PVA）防护用品代替传统棉质、纸质和塑料防护用品，可压实干废物产生量降低到运行核电厂的 1/3。

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。

本工程废物最小化的管理目标值是：在满足标准规范要求的同时，每年每台机组放射性废物包预期值 $\leq 50\text{m}^3$ 。

4.6.4.3 废物最终处置

计划每两年向规划中的低放废物处置场运输一次（多批）废物包，首次向处置场运输废物包的时间取决于处置场投运时间和接收条件。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），运输终点为规划中的低水平放射性固体废物处置场。由于目前阶段处置场尚未选址，待处置场选址后再明确运输方式和论证运输路线的可行性。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 海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程废物处理

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程产生的固体废物均由专门的运输车送至本工程固体废物处理系统进行处理。小型堆示范工程产生的固体废物类型为：

- 废树脂；
- 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）。

其中废树脂由废树脂运输槽车送至海南昌江核电厂 1、2 号机组 NX 厂房进行水泥固化处理，废过滤器芯由废过滤器芯运输车送至先进废物处理中心（QD）进行水泥固定处理，杂项干废物由专用运输车送至海南昌江核电厂 1、2 号机组的放射性固体废物处理辅助厂房进行初步分拣，然后送至先进废物处理中心（QD）进行等离子体高温熔融与水泥固定处理。处理后的废物包送至海南昌江核电厂 1、2 号机组的放射性固体废物暂存库进行暂存。

4.6.4.5 先进废物处理中心放射性排放源项

4.6.4.5.1 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。

先进废物处理中心产生的放射性废液经3、4号机组废液处理系统的年排放量为 $9.81\text{E}-06\text{Bq/a}$ ，废液排放浓度为 100Bq/L ，远低于 1000Bq/L ，满足我国核动力厂环境辐射防护规定GB 6249-2011的要求，送往3、4号机组液态流出物排放系统直接排放。

4.6.4.5.2 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。等离子体高温熔融系统产生的洗涤废液经流化床洗涤后产生的尾气经高效过滤器过滤，放射性活度浓度较低。经过滤后的烟气和尾气由烟囱排放。

现实工况下先进废物处理中心产生的气载粒子年排放量为 $3.64\text{E}+08\text{Bq/a}$ ，气载碘的年排放量为 $3.08\text{E}+01\text{Bq/a}$ ，气态C-14的年排放量为 $4.62\text{E}+08\text{Bq/a}$ ；保守工况下载粒子年排放量为 $9.60\text{E}-08\text{Bq/a}$ ，气载碘的年排放量为 $3.08\text{E}+01\text{Bq/a}$ ，气态C-14的年排放量为 $4.62\text{E}-08\text{Bq/a}$ 。

4.6.4.5.3 先进废物处理中心非放射性大气污染物排放

等离子体熔融装置产生的烟气和其它灰质进入尾气处理系统，烟气经SNCR脱硝、冷却、急冷、除尘过滤、除酸、再热、除雾、碳床高效组合过滤等工艺处理后，由38m高的烟囱排放，主要大气污染物有 SO_2 、 NO_x 、TSP、Pb、Cd、氟化物（F）、CO、氯化氢HCl、二噁英类共9类。

4.6.5 乏燃料贮存系统

乏燃料贮存系统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。

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，核燃料厂房通风系统为乏燃料的贮存和转运提供安全环境。

4.6.5.1 系统描述

乏燃料组件从堆芯内卸出，通过燃料转运通道由水下运至燃料转运舱，用人桥吊车吊

乏燃料组件，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封闭的，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乏燃料组件和换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，并设有检漏管，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 $k_{eff} < 0.95$ ；

(2) 乏燃料贮存水池及格架的设计，应能承受乏燃料装卸工具掉落的冲击；

(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白循环；

(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，同时在换料期间，一列余热排出系统的冷却列可以为反应堆换料水池及乏燃料贮存水池冷却和处理系统提供备用。

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

乏燃料水池冷却和处理系统的冷却泵和热交换器均为功能等级2级，屏障等级3级；与余热排出系统连接的管路以及带隔离阀的安全壳贯穿件为功能等级1级，屏障等级2级。

该系统设有两台同样的冷却泵，正常贮存工况下，冷却泵和热交换器的冗余度均为 $2 \times 100\%$ ；白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

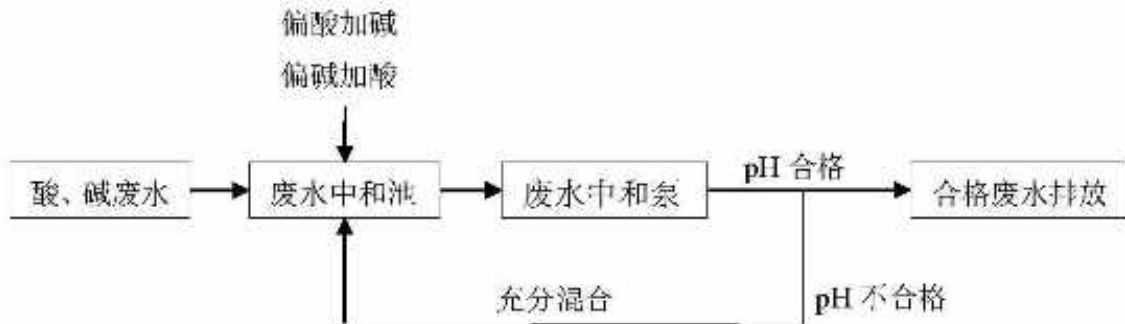
海南昌江核电厂3、4号机组使用化学药剂的主要环节有循环水处理系统、淡水处理系统、除盐水生产系统、凝结水精处理系统、二回路、闭式冷却水系统、硼酸的回收和排放等环节。海南昌江核电厂3、4号机组与海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程共用一座除盐水生产厂房，该厂房位于海南昌江核电厂3、4号机组厂区内。海南昌江核电厂3、4号机组与海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程共用一座制氮站，该厂房位于海南昌江核电厂3、4号机组厂区内。

4.7.1.2 化学物质处理流程图

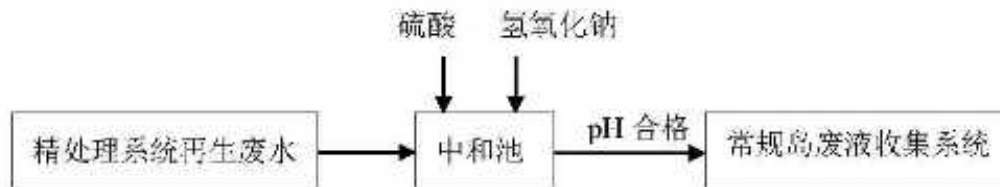
上述化学物质的处理，主要包含酸碱中和处理和三废系统化学物质处理。

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：

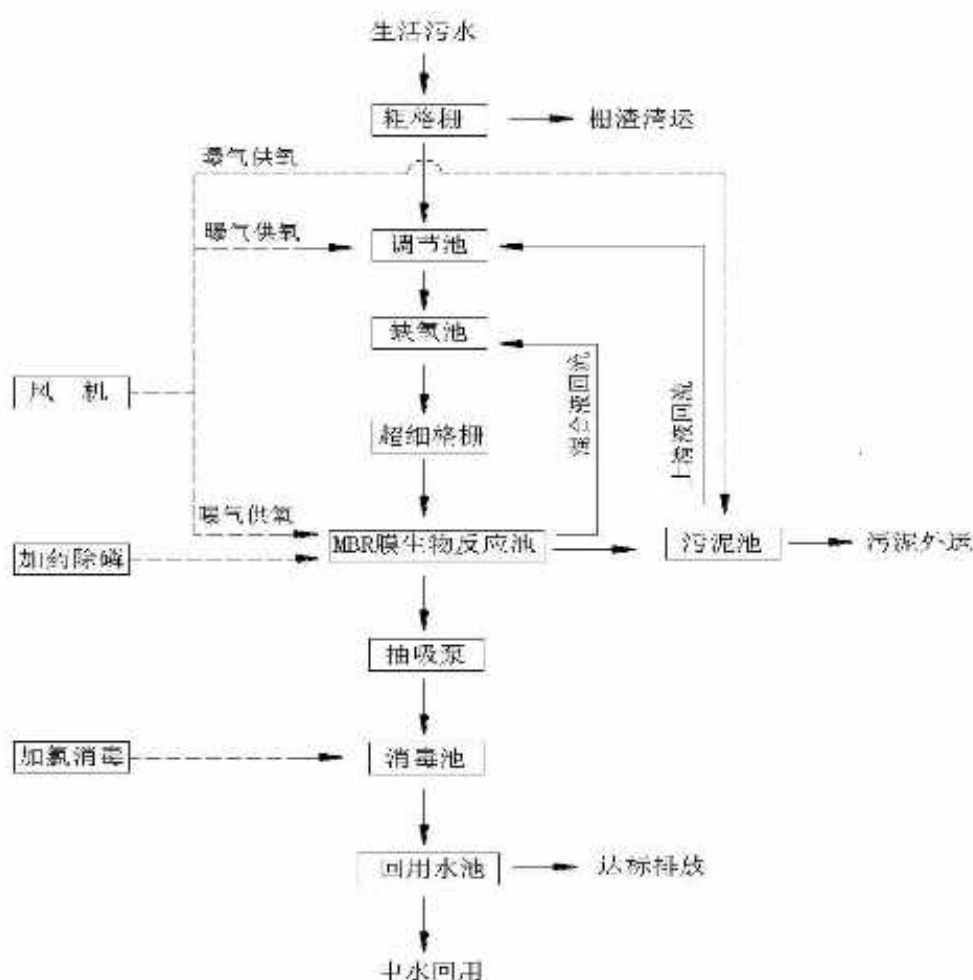


4.7.2 生活废物

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号机组已建的生活污水处理站。生活污水处理站收集的生活污水经处理达到《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、道路洒水等，回用剩余水量排入厂区雨水管网，最终排入大海。1、2号机组生活污水处理站原设计规模为900m³/d，计划2020年改造后设计规模达到1050m³/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 其他废物

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、处置危险废物质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

本项目选用的燃料组件，由中国核燃料有限公司供应。新燃料运输容器采用海陆联运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
·每个燃料组件中燃料重量	约 460kg

首循环 177 组燃料组件，总重量约 118.21 吨。平衡循环每次换料 72 组，总重量 48.08 吨。

新燃料运输容器特性：

·货包类型	A (F)
·燃料组件装载后货包剂量率	

货包表面	$< 2 \times 10^{-2} \text{mSv/h}$
离货包表面 1 米处	$< 1 \times 10^{-2} \text{mSv/h}$

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、可燃毒物组件等，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，总重量 48.08 吨。按平衡换料数量考虑，使用装载 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。如果后处理厂选在内陆，运输方式响应公铁海联运的规划，拟采用海陆联运的运输方式，从核电站至海口之间的运输可以采用公路运输，从海口至拟定码头之间的运输采用轮渡的方式。从拟定码头至规划中的后处理厂之间的运输，可以采用公路运输。如果选在沿海地区，待厂址确定后再确定运输方式及运输路线。

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干废物。

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程产生的固体废物均由专门的运输车送至本工程及海南昌江核电厂 1、2 号机组固体废物处理系统进行集中处理。其中废树脂由废树脂运输槽车送至海南昌江核电厂 1、2 号机组核辅助厂房（NX）进行水泥固化处理，废过滤器芯由废过滤器芯运输车送至先进废物处理中心（QD）进行水泥固定处理，杂项干废物由专用运输车送至海南昌江 1、2 号机组的放射性固体废物处理辅助厂房（QS）进行初步分拣，然后送至先进废物处理中心（QD）进行等离子体高温熔融及水泥固定处理。

计划每两年向规划中的低、中放废物区域处置场运输一次（多批）废物包，首次向处置场运输废物包的时间取决于处置场投运时间和接收条件。本工程低水平放射性固体废物将由海南昌江核电厂的放射性废物暂存库（QT）运转到厂内预选的低放废物处置场（环保配套设施）进行处置。放射性废物的处置将遵守国家的放射性废物处置政策。

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包装容器 钢桶》；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，水泥固定废物体性能满足 EJ 1186-2005《放射性废物体和废物包的特性鉴定》；废物包性能满足 GB 12711-1991《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》。运输过程中即使废物桶从运输车辆上掉下来，最大限度只会造成废物桶的局部损坏，废物散落的可能性很小，即便散落少量废物，也可以采取措施收集，防止对环境造成污染。

表 4.1-1 厂址主要技术经济指标表

编号	内容		单位	数量	备注
1	工程总用地		hm ²	111.09	
	其中	征地面积	hm ²	57.71	
		租地面积	hm ²	53.38	新填
	(1) 厂区工程用地		hm ²	50.08	征地
	(2) 其他设施用地		hm ²	7.63	征地
	其中	行政办公、培训宣教、安全保障、停车场区	hm ²	2.90	
		现场服务区	hm ²	3.80	
		排洪渠及防洪设施	hm ²	0.60	
		排水闸门井	hm ²	0.33	
	(3) 施工场地		hm ²	53.38	租地
2	交通运输设施	主要进厂道路长度（宽 9m）	km	16.50	已建成
		次要进厂道路长度（宽 7m）	km	1.70	
		大件码头（3000t）	座	1	
3	取、排水设施	输水隧道	m	3140	两条总长度
		陆域排水隧道	m	1070	单条
		海域排水隧道	m	3860	单条
4	土石方填方量	挖方量	万 m ³	285.93	实方，不含负挖
		填方量	万 m ³	24.80	
5	边坡		m	1050	最高处 14m
6	排洪沟		m	1735	
7	弃、取土场		hm ²	-	
8	拆迁量		m ²	无	
9	搬迁人口		人	无	

表 4.1-2 (1/5) 3、4号机组新建子项一览表

序号	机组号	子项号	建、构筑物名称	建筑面积 (m ²)	占地面积 (m ²)	备注
核岛						
1	3	DA	3号应急柴油发电机厂房A列	2576	399	
2	4	DA	4号应急柴油发电机厂房A列	2576	399	
3	3	DB	3号应急柴油发电机厂房B列	2576	399	
4	4	DB	4号应急柴油发电机厂房B列	2576	399	
5	3	DU	3号SBO柴油发电机组厂房	181	181	
6	4	DU	4号SBO柴油发电机组厂房	181	181	
7	3	KA	3号燃料厂房	11891	1740	
8	4	KA	4号燃料厂房	11891	1740	
9	3	KP	3号核岛龙门架	—	351	
10	4	KP	4号核岛龙门架	—	351	
11	3	KY	3号应急空压机房	422	211	
12	4	KY	4号应急空压机房	422	211	
13	3	LA	3号电气厂房	21907	2436	
14	4	LA	4号电气厂房	21907	2436	
15	3	NH	3号核辅助厂房	19912	2490	
16	4	NH	4号核辅助厂房	19912	2490	
17	8	QF	核废物厂房	9257	1423	
18	3	PR	3号核岛消防泵房	1970	394	
19	4	PR	4号核岛消防泵房	1970	394	
20	3	UR	3号人员通行厂房	5659	1180	
21	4	UR	4号人员通行厂房	5659	1180	
22	3	RX	3号反应堆厂房	17241	2463	
23	4	RX	4号反应堆厂房	17241	2463	
24	3	SL	3号安全厂房A列	18769	2189	

表 4.1-2 (2/5) 3、4号机组新建子项一览表

序号	机组号	子项号	建、构筑物名称	建筑面积 (m ²)	占地面积 (m ²)	备注
核岛						
25	4	SL	4号安全厂房 A 列	18769	2189	
26	3	SR	3号安全厂房 B 列	18769	2189	
27	4	SR	4号安全厂房 B 列	18769	2189	
28	4	VR	4号连接厂房	1430	306	
常规岛						
29	3	MX	3号汽轮发电机厂房	22806	8236	
30	4	MX	4号汽轮发电机厂房	22806	8236	
31	3	MR	3号再生除盐水箱	—	114	
32	4	MR	4号再生除盐水箱	—	114	
33	3	MS	3号仪用压缩空气储气罐	—	12	
34	4	MS	4号仪用压缩空气储气罐	—	12	
35	3	TA	3号主变压器和降压变压器平台	—	2966	
36	4	TA	4号主变压器和降压变压器平台	—	3065	
37	8	TM	主变备用相平台	—	108	
38	3	MU	3号常规岛事故排油坑	—	49	
39	4	MU	4号常规岛事故排油坑	—	49	
放射性辅助生产区						
40	8	AC	放射性机修及去污车间	9551	4398	与小堆共建
41	8	QA	核岛液态流出物排放厂房	1714	1714	仅滞留池
42	8	QB	常规岛液态流出物排放厂房			
43	8	QR	放射性废油暂存库	586	586	
44	0	QD	先进废物处理中心	14175	2025	
非放射性辅助生产区						
45	8	AZ	移动电源车库	745	745	与小堆共建
46	8	FS	污水系统油水分离器	980	310	与小堆共建

表 4.1-2 (3/5) 3、4号机组新建子项一览表

序号	机组号	子项号	建、构筑物名称	建筑面积 (m ²)	占地面积 (m ²)	备注
非放射性辅助生产区						
47	8	PH	制氮站	1070	1456	
48	8	PM	联合泵房	4808	7218	与小堆共建
49	8	UB	围栏	—	—	与小堆共建
50	8	UA	控制区大门			与小堆共建
51	8	UD	保护区大门	377	445	与小堆共建
52	8	UE	保护区辅助出入口	141	141	与小堆共建
53	8	UG	保卫控制中心	937	637	与小堆共建
54	3	UV	3号核岛主出入口	320	320	
55	4	UV	4号核岛主出入口	320	320	
56	8	YA	除盐水厂房、储罐及公用配电站	3188	3230	与小堆共建
57	8	ZA	公用气体储存区3	83	312	
58	4	ZA	公用气体储存区4	11	66	
59	8	ZB	氢气站	777	793	
60	8	ZC	空气压缩机房	516	516	
辅变及电缆沟						
61	8	DG	500kV 主电源 GIL 通道	—	—	TA-TB
62	8	GJ	220kV 辅助电源电缆沟	—	—	TD-8TG
63	8	TB	500kV 开关站	1331	1331	
64	8	TC	网控楼	1734	568	
65	8	TG	辅助变压器区域及 公用中压配电间	176	176	
仓库						
66	8	AE	综合仓库	7156	3948	与小堆共建
67	8	AG	大件仓库	2076	2076	与小堆共建
68	8	AK	气体库	482	482	与小堆共建

表 4.1-2 (4/5) 3、4号机组新建子项一览表

序号	机组号	子项号	建、构筑物名称	建筑面积 (m ²)	占地面积 (m ²)	备注
仓库						
69	8	AJ	机具库	887	887	与小堆共建
70	8	AW	专用工具库	2034	2034	与小堆共建
71	8	AU	循泵电机库	475	475	与小堆共建
水工设施						
72	8	CC	虹吸井	—	—	与小堆共建
73	8	CQ	冷却水和重要厂用水输水隧道	—	—	与小堆共建
74	8	CP	陆域排水隧道	—	—	与小堆共建
75	8	CS	排水闸门井及海域排水工程	—	—	与小堆共建
主要管沟						
76	3	GA	3号重要厂用水进水廊道	—	—	
77	4	GA	4号重要厂用水进水廊道	—	—	
78	8	GB	综合技术廊道	—	—	与小堆共建
79	8	GC	废液排放管沟	—	—	
80	3	GD	3号循环冷却水进水管道	—	—	
81	4	GD	4号循环冷却水进水管道	—	—	
82	3	GK	3号常规岛电缆廊道	—	—	TA-SL
83	4	GK	4号常规岛电缆廊道	—	—	TA-SL
84	3	GM	3号循环冷却水排水管道	—	—	
85	4	GM	4号循环冷却水排水管道	—	—	
86	3	GS	3号重要厂用水排水管道	—	—	
87	4	GS	4号重要厂用水排水管道	—	—	
88	3	GT	3号核岛电缆廊道	—	—	SL-NH
89	4	GT	4号核岛电缆廊道	—	—	SL-NH

表 4.1-2 (5/5) 3、4号机组新建子项一览表

序号	机组号	子项号	建、构筑物名称	建筑面积 (m ²)	占地面积 (m ²)	备注
其他设施						
90	0	BC	食堂	4000	—	与小堆共建
91	0	BE	综合生产办公楼	—	—	
92	0	BH	倒班宿舍	27000	—	与小堆共建
93	0	EB	技能培训中心	10000	—	与小堆共建
94	0	EG	消防站			与小堆共建
95	0	EJ	展览中心	2800	—	
96	0	EP	室内停车库	8000	—	
97	8	HE	厂区地下水监测井	—	—	
98	0	UY	武警岗楼	—	—	
99	0	VF	厂址气象站	—	—	与小堆共建
100	8	00	厂区室外工程	—	—	
注：机组号为3的子项表示3号机组设施，机组号为4的子项表示4号机组设施，机组号为8的子项表示3、4号机组共用设施，机组号为0的子项表示全厂共用设施。						

表 4.1-3 3、4号机组与1、2号机组共用子项一览表

序号	子项号	建、构筑物名称
1	AA	机加工车间
2	AB1	机修车间
3	AB2	专用工具库
4	AB3	备用钢材库
5	AF	电仪修车间
6	AH	车队办公楼
7	AS	特种车辆库
8	AX	化学试剂库
9	BA	办公楼
10	CA	取水明渠
11	CB1	闸门井厂房
12	EC1	环境实验室
13	EC4	环境 γ 辐射监测站
14	EF12	调试大棚
15	FL1	接待中心
16	FL2	员工活动中心
17	GF	淡水输水管线
18	OF	淡水厂
19	OH1	进厂道路
20	OH2	应急道路
21	OH3	大件运输道路
22	PT2	淡水取水口附属用房
23	QT	放射性固体废物暂存库
24	SD	施工变电站
25	TD	辅助开关站（220KV）
26	UC	海运大件码头
27	UF	保卫楼
28	UN1	应急道路大门
29	UN2	大件道路大门
30	UN3	进厂道路大门
31	VA	辅助锅炉房
32	YK	放射源库

表 4.1-4 1、2号机组需改扩建子项一览表

序号	子项号	建、构筑物名称	备注
1	AL	厂区实验楼	
2	BD	信息文档中心	
3	EA	培训中心	
4	ED	污水处理站	工艺改造
5	EM	应急指挥中心	需相关系统和设备的补充和数据接口
6	FC	润滑油及油脂库	改建，原 FC2 开放存储区要求改为封闭式库房
7	FX	新燃料组件运输中转贮存场地	
8	OW	排洪渠	改造
9	PT1	淡水取水泵房	
10	QS	放射性固体废物处理辅助厂房	增加超压机、桶饼优选装置、水泥固定装置、辘道、400L 桶剂量率检测和液压剪切机装置
11	UA	控制区大门	需增加设备

表 4.1-5 厂区主要技术经济指标表

序号	内容		单位	数量	备注	
1	厂区 用地	本期工程	hm ²	50.08		
		其中	主厂房区用地	hm ²	13.06	
			辅助设施区用地	hm ²	10.25	
			配中装置区用地	hm ²	1.99	
			实物保护用地	hm ²	7.02	
			仓库区用地	hm ²	3.17	
			其他设施用地	hm ²	10.34	
			预留用地	hm ²	4.25	
2	主要管 道(沟) 长度	重要厂用水进水廊道 (GA)	m	1694		
		重要厂用水排水管道 (GS)	m	1809		
		循环冷却水进水管沟 (GD)	m	2557		
		循环冷却水排水管道 (GM)	m	2358		
		500kV 主电源 GIL 通道(8DG)	m	496		
		220kV 辅助电源电缆沟 (8GJ)	m	960		
		综合技术廊道 (GB)	m	3352	含小堆	
		废液排放管沟 (GC)	m	1472	含小堆	
		核岛电缆廊道 (GI)	m	423		
		常规岛电缆廊道 (GK)	m	449		
3	厂区围 栏长度	控制区围栏	m	2520	含小堆	
		保护区围栏	m	6105	含小堆	
		要害区围栏	m	1582		
4	道路广场用地		hm ²	5.90	控制区围栏内	
	其中	重型道路用地	hm ²	3.52	控制区围栏内	
		轻型道路用地	hm ²	2.38	控制区围栏内	

表 4.3-1 海水系统平均用水量

机组 编号	凝汽器冷却用水量 (m ³ /h)	辅助冷却 用水量(m ³ /h)	重要厂用 水用水量 (m ³ /h)	海水制氙 用水量 (m ³ /h)	冲洗水 用水量 (m ³ /h)	总水量 (m ³ /h)
3	227040	7320	3800	400	600	239160
4	227040	7320	3800	400	600	239160
合计	454080	14640	7600	800	1200	478320

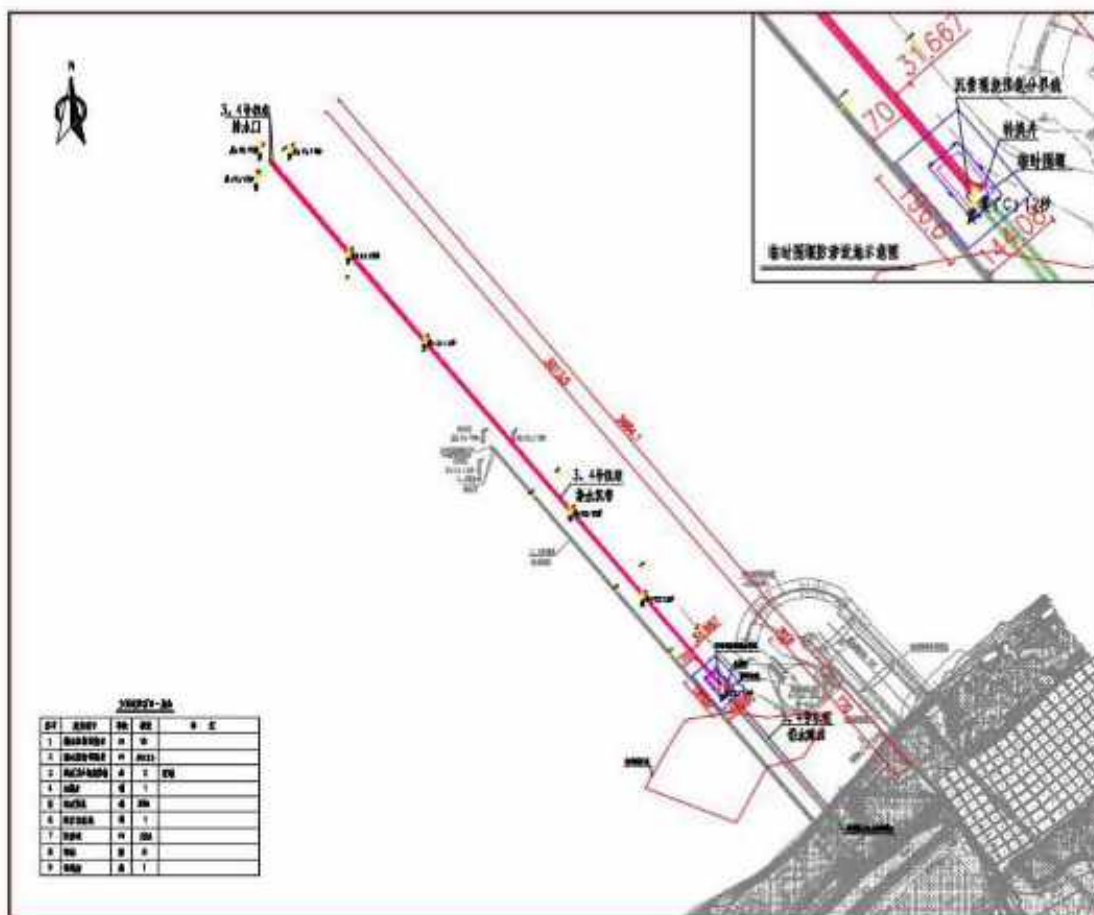


图 4.3-1 取排水工程方案布置图

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
- 5.1.4 施工活动对社会环境的影响

5.2 水的利用

- 5.2.1 施工活动对水资源利用的影响
- 5.2.2 海域施工对水环境的影响
- 5.2.3 减轻施工过程对水环境影响的措施
- 5.2.4 施工期海域环境监测

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 施工期间的大气和声环境监测计划

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

图

图 5.2-1 调查站位示意图

5.1 土地利用

5.1.1 施工建设对土地利用的影响

施工建设对土地利用的影响主要包括临时和永久道路的建造、厂区土石方的开挖与回填、建构筑物的建造等陆域施工活动所产生的影响。

5.1.2 施工建设占用土地情况

（1）占用土地情况

本工程拟征地面积约 57.71hm^2 ，主要包括厂区工程用地和其他设施用地。厂区工程用地位于 1、2 号机组西侧，用地面积 50.08hm^2 ；其他设施用地包括行政办公、培训宣教、安全保障、停车场区、现场服务区、排洪渠及防洪设施、排水闸门井，除排水闸门井外其他设施均位于厂区东侧，排水闸门井位于厂区外北侧，其他设施总用地面积 7.63hm^2 ，其中行政办公、培训宣教、安全保障、停车场区用地面积 2.90hm^2 ，现场服务区用地面积 3.80hm^2 ，排洪渠及防洪设施用地面积 0.60hm^2 ，排水闸门井用地面积 0.33hm^2 。

本工程与小堆示范工程统筹考虑施工用地。施工用地包括 1、2 号机组现有施工用地以及新增施工用地，其中新增施工用地面积约 53.38hm^2 （含小堆示范工程施工用地面积约 10.00hm^2 ）。

厂址区占用土地的类别为建设用地和农林用地，未占用农用地。

本工程拟征用地为永久性占地，施工用地为临时占地。

（2）土地利用合理性分析

海南昌江厂址地处偏僻落后的农业区，附近无工矿企业、风景名胜、历史古迹、交通要道和军事设施，人口稀少，土地贫瘠。本工程与海南昌江核电 1、2 号机组属同一厂址，符合地方城乡总体规划及厂址总体规划。

本工程尽可能多的利用厂址现有建设用地，充分利用海南昌江核电厂 1、2 号机组现有设施，同时与小堆示范工程共建部分设施，减少了厂区用地。

为节约厂区用地，设计上采取了联合厂房或多层建筑、缩减通道宽度、地下管线进综合管廊及平坡式竖向设计等措施。

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

本期工程使用的部分场地已在 1、2 号机组工程建设中进行过场地平整，但还有部分场地需根据标高调整要求进行平整。此外，还需要在厂区周边修筑挖方边坡、排洪沟，通过进行必要的工程及植物措施的防护，可以有效防止水土流失。

5.1.3.2 水土流失

在工程建设过程中，水土流失主要发生在施工期。期间将有开挖和填筑裸露面产生，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；同时，大量土石方的搬运和堆置，也将造成工程区及其附近施工区域的局部水土流失加剧。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，场平整剥离原有地表植被，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。

本工程施工范围主要为以3号机组为中心，半径800m的区域，该区域内没有珍稀保护物种、关键种、建群种、特有种、天然重要经济物种的分布。厂址周围以一些常见的人工林景观、灌草丛景观和荒草地景观为主，这些植被景观的植物组成物种也都是适应人为干扰能力较强和繁殖力较强的常见植物物种，厂址附近动物也为该区域最为常见、适应人为干扰能力较强的物种，对当地车辆及人员干扰具有较强的适应能力。在建设施工过程中，建设单位将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。海南昌江核电厂1、2号机组建成后区域植被没有明显变化，区域内的生态系统结构和功能未发生较大的改变，类比该项目建设前后的生态环境变化，预计本工程建设对当地局部生态环境的影响是可以接受的。

5.1.3.4 对大气环境的影响

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。

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。

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 18920-2002）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、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。

5.1.3.7 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。

5.1.4 施工活动对社会环境的影响

5.1.4.1 对厂区周围历史古迹的影响

厂址半径 5km 范围内无省级以上历史古迹，有县级以上文物古迹 3 处。距离厂址最近的古迹是海尾十三村农民抗捐起事旧址，位于厂址 SW 方位约 2.5km 处。预计施工活动对其影响不大，可忽略。

5.1.4.2 对风景名胜区的影

厂址半径 5km 范围内无风景名胜区。

5.1.4.3 对居民生产生活的影

工程建设期间需要大量的工程施工人员，这些外来施工人员进驻施工现场，并在该地区居住和生活，这将增加该地区的消费能力，增加当地居民的就业机会，一定程度上将促进该地区经济的发展，同时对当地居民的物价指数可能会带来一定影响。

5.2 水的利用

5.2.1 施工活动对水资源利用的影响

(1) 施工期用水

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

5749-2006)。

(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，核电取用水对其他用水户的影响将进一步减小。

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，以及海上施工船舶产生的含油废水排放等。

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沙颗粒物增加，水体透明度下降，削弱了水体的真光层厚度，对浮游植物的光合作用产生不利影响，导致局部海域内浮游植物生物量下降，引起初级生产力水平降低。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《船舶污染物排放标准》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。

5.2.4 施工期海域环境监测

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，将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，在施工期的每年春、夏、秋、冬四季中具有代表性月份的大小潮进行海水水质、沉积物质量、水生生物资源及海洋生物质量的监测。

（1）站位布设

以排水口所处横向断面为中心，兼顾取水坝渠，布设 12 个大面站，排水口和取水口作为连续站。工程区附近有设 D1 和 D2 两个潮间带断面，在新港设一个对照断面 D3，每个断面按照《近岸海域环境监测点位布设技术规范》（HJ730-2014），在高潮区布设 2 个点位，中潮区布设 3 个点位，低潮区布设 1 个点位。调查站位示意图见图 5.2-1。

（2）监测内容

1) 海水水质

大面站：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、悬浮物、挥发性酚、石油类、汞、镉、铅、铜、锌、六价铬、总铬、砷、硫化物、硼和阴离子表面活性剂 29 项。

定点连续站：水温、色度、浊度、pH 值、盐度、悬浮物、溶解氧、化学需氧量、无机氮（硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮）、活性磷酸盐、活性硅酸盐和余氯 14 项。

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）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。

5.3 施工影响的控制

本工程建设主要是场地平整、建构筑物负挖、运输等产生的噪声、粉尘以及施工安装等活动对周围环境的影响，为此需要采取一定的控制措施，以减少对环境造成的不利影响。

5.3.1 土石方开挖工程的控制措施

- 场地平整之前，先将具有肥力的地表土剥离并集中堆放，用于绿化；
- 严格按照设计要求进行施工；
- 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；
- 控制土方爆破范围，不会影响循环冷却水取水地段的海域水文和海床条件；
- 开挖出的土方应尽可能及时运至填方地段充填，避免水土流失；
- 雨季施工做好防护措施；
- 场地和边坡形成后，尽早进行绿化；
- 施工结束后，在全部厂址范围内，凡可进行绿化的用地均充分绿化。

5.3.2 施工扬尘的控制措施

- (1) 施工现场出入口、场内道路、加工区、材料堆放区进行混凝土硬化，防止扬尘。
- (2) 场内主要道路两侧、材料堆放区、基坑临边用固定护栏设定明显区域界限。各区明显位置悬挂责任单位、责任监护人。
- (3) 施工现场设置车辆清洗池，以免泥土带入或带出现场。

(4) 环场混凝土道路委托专业保洁单位进行维护，要求对主要施工区域及道路进行洒水降尘，保持道路湿润。

(5) 根据土石方工程进展，做好土石方运输道路动态调整，并做好运输道路范围洒水降尘力度，施工现场配备洒水设备，并派专人负责洒水、保持土石方道路湿润，并控制车辆行驶速度（20公里以下），避免浮尘上扬。

(6) 爆破钻孔作业必须采用除尘装置，减少扬尘。

(7) 为防止扬尘及水土流失，对施工现场进行部分绿化、美化。对厂区道路两侧及部分空地场地进行草皮种植措施，并完善现场临时排水措施。

(8) 现场部分临时堆土进行密目网苫盖措施，防治坡面冲刷造成的水土流失。

(9) 搅拌站水泥必须设置水泥仓库或者使用密闭水泥罐。

(10) 砂子、石子等松散材料在现场必须进行覆盖，随用随清，卸货时严禁抛散。

(11) 回填土施工时，拌合白灰与回填土时、禁止抛散，以免产生扬尘。

(12) 施工现场松散材料堆放处及时清理，以减少扬尘。根据实际进度确定松散材料进场时间，不得进场过早。

(13) 搅拌机做好密闭式搅拌机作业棚，搅拌站内及砂石厂场地、道路，派专人经常洒水湿润，防止扬尘。

(14) 搅拌完毕后，露天砂石料堆重新堆放后覆盖，预拌砼的罐车使用完，冲洗干净，不得将杂物遗洒到道路上。

(15) 建筑楼层内的施工垃圾必须用袋装好，然后运至楼下垃圾点，不得从楼上或升降机内直接向楼下抛洒。

(16) 楼层内清理时，提前一天将楼内地面洒水湿润，尽量减少浮灰飞扬，避免污染空气。

(17) 建筑垃圾装运时、提前洒水湿润后再装车，以减少灰尘污染环境。

(18) 遇有大风天气时为避免产生大量扬尘，作业时必须加大洒水降尘力度，必要时采用降尘雾炮机进行喷雾降尘。

(19) 施工现场禁止烧沥青、油毡、塑料、油料、化学溶剂、垃圾以及其他产生有毒有害烟尘和恶臭气体的物质。

5.3.3 施工噪声的控制措施

(1) 施工现场倡导文明施工，尽量减少人为的大声喧哗，增强全体施工人员防噪声扰民的自觉意识。

- (2) 所有施工机械应符合环保标准，操作人员需经过环保教育。
- (3) 施工过程中，严格控制推土机一次推土量、装载机装载量，严格超负荷运转。
- (4) 加强施工机械的维修保养，缩短维修保养周期，确保机械设备处于完好的技术状态。
- (5) 要为操作工人配备相应的劳动保护用品。
- (6) 车辆噪声采取保持技术状态完好和适当减低速度的方法进行控制。
- (7) 在噪声敏感区域均需选低频振捣棒。振捣棒使用完毕后，及时清理干净，保养好；振捣混凝土时，禁止振钢筋或钢模板。
- (8) 加强对混凝土泵、混凝土罐车操作人员的培训及责任心教育，保证混凝土罐车平稳运行。
- (9) 从声源上降低噪声。尽量选用低噪声设备和工艺，尽量选用环保型机械设备。
- (10) 从传播途径上控制噪声。对于噪声较大的设备，如空压机、发电机等，应采取吸声、隔音、隔振和阻尼等声学处理方法降低噪声，必要时设立专用工作间，以降低噪声。
- (11) 施工现场应切实采取措施，控制噪声的产生。如进场使用的机械设备要定期维护保养；施工过程中严禁机械设备超负荷运转；禁止夜间使用噪声比较大的机械；模板、脚手架等支拆、搬运、修理应轻拿轻放，维修时禁止使用大锤敲打，尽量降低人为产生的噪声等。
- (12) 加大治理噪声的宣传和奖惩力度，充分利用教育、经济等手段做好噪声的治理。

5.3.4 场地回填的控制措施

3、4号机组工程施工期间仅有场地内的一处排水沟进行少量回填，没有大面积的场地回填工作。

5.3.5 建筑垃圾及污水的控制措施

本工程施工期间施工生产用水主要用于消耗和重复利用。石料加工场及冲洗机具排水经过沟渠进入沉淀池，经过二级沉淀后复用。

本工程施工期间部分施工临建区的生活污水通过相应污水管网汇集至1、2号机组已建的生活污水处理站，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。1、2号机组生活污水处理站原设计规模为900m³/d，计划2020年改造后设计规模达到1050m³/d。生活污水

处理站主要工艺详见 4.7.2 节。

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

施工期间主要用 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管理办法》，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，不得上岗；

— 施工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。本项目施工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

— 放射性同位素与射线装置出入源库时，要办理出入库手续并登记、检查，做到账物相符。放射性同位素与射线装置存放在专用库内，库内有防火、防盗、防泄漏的安全防护措施，专人负责看管。放射性同位素与射线装置专用库不得存放易燃、易爆和腐蚀性物品；

— 运输采用符合防护及安全需求的防护容器及车辆，对货包进行表面污染及辐射水平测量。并安排专人押运，防止放射源丢失及意外事故；

— 放射源存放在安全的防护容器中，并贮存在专门的库、室、柜内。对其表面污染及辐射水平进行测量与监控。进入库房的放射性同位素与射线装置本身先要闭锁，放射性同位素与射线装置不得在库外存放过夜或较长时间库外存放；

— 放射源存放在安全的房间或源库内，专设屏蔽厂房进行贮存，并对其防护墙根据最大辐照量进行计算，使工作人员和公众不会受到超限值的照射；

— 放射性同位素与射线装置专用库的周围设置围栏标记和警告牌，必要时设置安全连锁、报警装置或者工作信号。对放射源贮存容器设置明显的放射性标识和中文警示说明。

（3）放射源的处理

— 本项目产生的废源按采购合同约定的方式处理，优先考虑由供货方可收。

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，尽量避开雨季施工。若不能避开，雨季施工应做好防护措施；

— 优化施工工序，对填方段新形成的不稳定边坡要及时护坡，避免长时间裸露，修建临时性排水沟以避免径流对场地的冲刷；

— 基础开挖的土、石方要集中堆放，并及时回填于需要填方的地点或指定场地，避免水土流失；

— 厂区施工中场地平整应与地下建筑施工相结合，统筹考虑，杜绝重复挖填，土石方运输避免乱流；

—厂区内地下设施繁多，施工时要合理安排施工顺序，遵循由深而浅、统筹安排的原则，确定临近地下设施尽量同槽一次开挖，同时应保持基坑土方边坡的稳定，基面不受扰动；

—所有建筑工地排水、设备清洗水要集中处理，尽量重复利用，对施工场所进行喷洒，减少地而起尘；

—施工结束后，在全部厂址范围内，凡裸露地面全部进行硬化或绿化，可进行绿化的用地均充分绿化。

5.3.9 水土保持措施

5.3.9.1 设计水平年

根据《生产建设项目水土保持技术标准》（GB 50433-2018）规定，方案设计水平年为主体工程完工后的当年或后一年。本工程设计水平年为工程完工当年，即2026年。

5.3.9.2 水土流失防治责任范围

本工程在建设过程中实际扰动面积为 107.45hm^2 ，由此确定本工程的水土流失防治责任范围为 107.45hm^2 。

5.3.9.3 水土流失预测

项目建设可能造成土壤流失总量 2.10万t ，其中新增土壤流失量 1.82万t 。产生水土流失的重点区段为弃渣场和施工场地。水土流失重点时段是施工期。本工程建设造成的水土流失主要发生在场地平整及厂区建设阶段，新增土壤流失具有强度大、影响时段集中的特点，如不采取相应的有效措施，将在一定程度上加剧项目区水土流失。

5.3.9.4 水土保持措施布设

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，各又水土保持措施布设情况如下：

（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。厂区空地进进行土地整治，绿化区域回覆表土，栽植乔灌木绿化。

主要工程量：临时排水沟 3150m ，沉沙池4个；边坡防护 3.02hm^2 ，混凝土排洪沟长 1176m ，雨水排水管 3.98km ，土地整治 1.46hm^2 ，回覆表土 0.64万m^3 ；栽植乔木65株，灌木220株，撒播草籽 $13.6\text{kg}/3.19\text{hm}^2$ 。

（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。

主要工程量：临时土质排水沟865m，浆砌石排水沟1160m，沉沙池2个，编织袋装土1965 m³，彩条布37275m²，撒播草籽298kg；剥离表土7.47万m³，边坡防护5.12hm²，雨水排水管2.52km，土地整治37.33hm²，回覆表土6.83万m³；栽植乔木55995株，撒播草籽3396kg/42.45hm²。

（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，堆渣平台栽植乔灌木绿化。

主要工程量：浆砌石挡渣墙6708m³，浆砌石排水沟6631m³，土地整治18.28hm²；栽植乔木13200株，灌木26424株，撒播草籽1462.4kg。

5.3.9.5 水土保持监测

水土保持监测内容主要包括扰动土地情况、弃土（石、渣）情况、水土流失及危害情况、水土保持措施及效果等。监测时段为2019年11月至2026年12月，监测方法采取定位监测、调查监测和遥感监测相结合，在厂区沉沙池、边坡、施工场地临时堆土场和弃渣场区共布设7处监测点。

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、耗水量低的工艺系统，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 施工期间的大气和声环境监测

（1）大气环境

本节依据中国核电工程有限公司2020年1月编制的《海南昌江核电厂3、4号机组施工期大气环境监测及分析评价报告》编制，监测时间为2019年12月5日~12月11日。监测期间主导风向为NE，风速为0.9~4.8m/s。

施工期大气监测共设置监测点8个，其中厂区内监测点4个，厂区外敏感区监测点3个，污染源监测点1个。

无组织排放监测点按照《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的新污染源大气污染物排放限值进行评价，根据《海南省生态环境保护厅关于核定海南昌江3/4机组环境影响评价非放执行标准的函》（海南省生态环境保护厅，琼环函【2017】302号），项目区域环境空气质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的二级标准。

根据监测结果，厂区内无组织排放源满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的“新污染源大气污染物排放限值”的要求，厂区外的环境空气质量满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准的要求。

（2）声环境

本节依据中国核电工程有限公司2020年1月编制的《海南昌江核电厂3、4号机组施工期噪声监测及分析评价报告》编制，监测时间为2019年12月5日~12月9日。监测期间主导风向为NE，风速为1.0~4.7m/s。

施工期噪声监测厂址区域共设13个监测点，其中施工场界4个，厂址区域内9个。在厂址半径5km范围内的集中居民点布设13个监测点，交通道路布设3个监测点，进行昼夜监测。

根据《海南省生态环境保护厅关于核定海南昌江3/4机组环境影响评价非放执行标准的函》（海南省生态环境保护厅，琼环函【2017】302号），厂界环境噪声执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中3类标准，厂址所在区域执行1类标准，交通噪声执行4a类标准。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）。

根据监测结果，本次监测期间，施工场界噪声满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）标准限值；厂界噪声满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类标准限值；声环境敏感目标噪声满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）1类标准限值；交通噪声满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）4a类标准的限值。

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

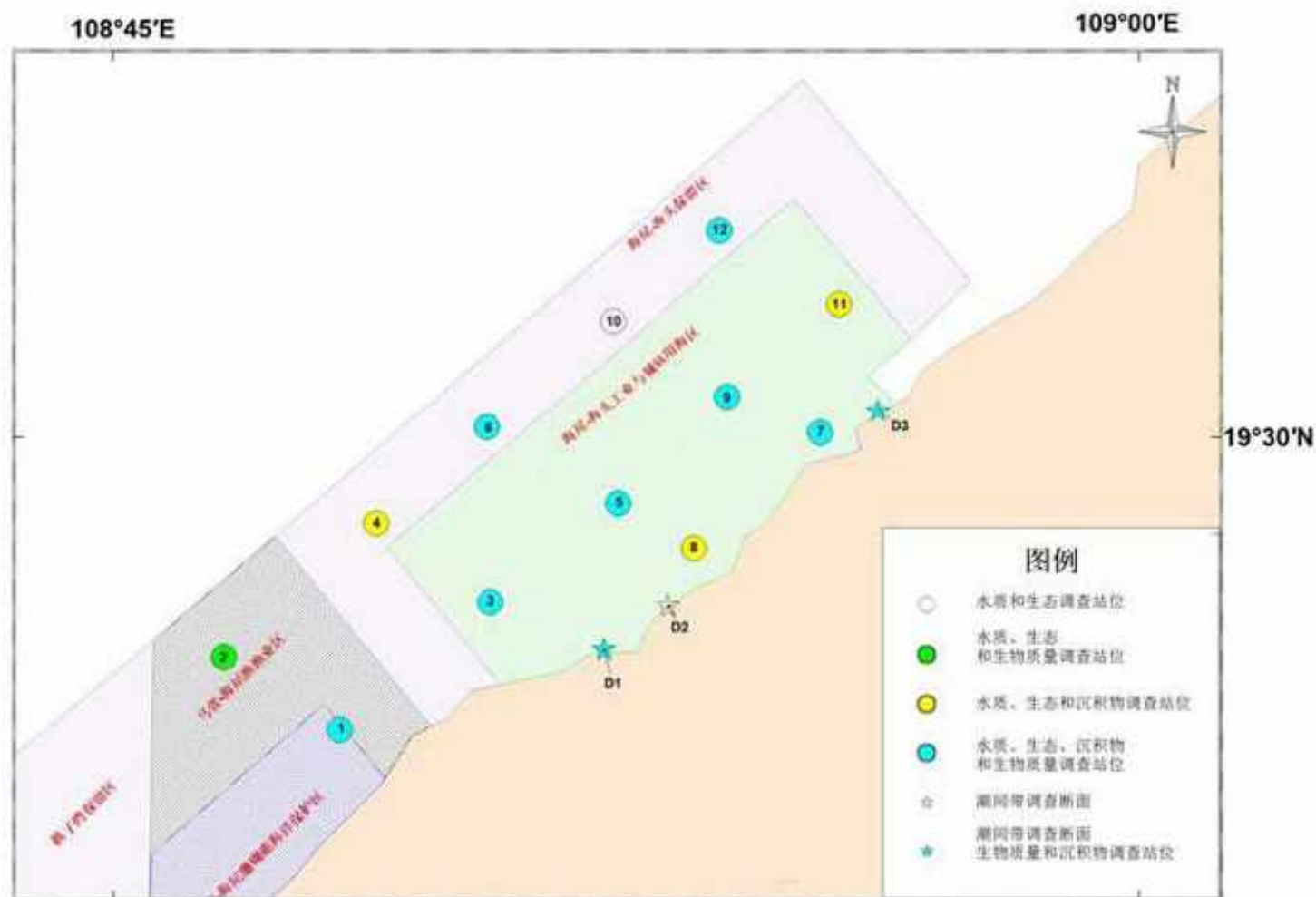


图 5.2-1 调查站位示意图

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 其他污染物的影响

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 小结

表

表6.2-1（1/4） 本工程运行状态下气液态流出物排放对公众个人（成人）所致有效剂量

表6.2-1（2/4） 本工程运行状态下气液态流出物排放对公众个人（青少年）所致有效剂量

表6.2-1（3/4） 本工程运行状态下气液态流出物排放对公众个人（儿童）所致有效剂量

表6.2-1（4/4） 本工程运行状态下气液态流出物排放对公众个人（婴儿）所致有效剂量

表6.3-1 开关站、主变压器监测值统计情况

表6.3-2 输电线路监测值统计情况

图

图6.1-1 3、4号机组海域排水工程平面布置图（盾构+转换井+沉管方案）

6.1 散热系统的环境影响

6.1.1 散热系统方案

海南昌江核电站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。取排水工程方案平面布置示意图6.1-1。

海域部分采用明渠取水，两期工程合用一条引水明渠。已建成的取水明渠采用斜坡式防波堤结构，明渠底宽约120m，引水明渠口门处原泥面高程-5m（85国家高程基准），明渠总长约600m。本期工程2台机组与小堆共用两条取水隧洞，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1570m，取水隧洞总长约3140m。

参照1、2号机组工程，考虑采用近岸盾构隧洞+远海水下沉管的方案，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

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）一期工程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。一期工程（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）一、二期工程温排水对水环境的影响

本工程采用二维数值模型、三维数值模型、物理模型开展了大量温排水模拟研究工作。试验研究的基本结论为：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+小堆共用海域排水隧洞排放条件下，1~4 号机组-小堆共同运行时：夏季 1°C 全潮最大温升影响面积不超过 15.422 km^2 ($10.448 \text{ km}^2+4.974 \text{ km}^2$)；冬季 2°C 全潮最大温升影响面积不超过 6.332 km^2 ($3.186 \text{ km}^2+3.146 \text{ km}^2$)。

6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

6.1.3.1 生态环境调查

厂址邻近海域海洋生物及其生态环境调查结果见 2.3.3 节内容。

6.1.3.2 温排水对海洋生态的影响

(1) 对保护区的影响

本项目为滨海厂址，滨临北部湾，工程附近海域潮流基本呈往复流，冬、夏季的最大流速为 0.97 m/s 和 1.13 m/s ，为电厂的温排水提供了较好的稀释扩散条件。

厂区附近 -6 m 以浅水域为珊瑚礁生长发育地带，优化后的排水工程近岸段约 770 m 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 -6 m 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 10 km ，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) 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°C 以上水域而趋于在热排放的边缘区域（温升 1.0°C ）产卵。

综上所述，在夏季，工程引起排放口附近温升 4°C 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°C 以外海域，由于温升均小于 4°C ，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。

（4）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）取水系统的组成

3、4号机组从取水明渠取水，通过取水闸门井厂房（小堆与1~4号机组共用）、冷却水和重要厂用水输水隧道（小堆与3、4号机组共用）进入联合泵房（小堆与3、4号机组合建）。取水闸门井厂房设置钢闸门、粗格栅和次氯酸钠加药装置，联合泵房内设有钢闸门、细格栅及格栅除污机、次氯酸钠加药装置、鼓形滤网，过滤后的海水通过联合泵房内的水泵给3、4号机组的循环水、重要厂用水等系统供水。

（2）卷吸效应造成的生物损失

3、4号机组取排水工程运行会对周围海域海洋生物产生一定的卷吸效应。一般取排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。

（3）减小机械卷吸效应措施

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，坝渠口门处流速约为 0.19m/s ，明渠内流速约为 0.30m/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。海南昌江核电厂取水明渠海工优化工程正在实施，在取水明渠东导流堤堤头明渠口门处、西导流堤堤头位置处及明渠内共设置三道拦污网，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3道拦污网等设施，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）。在进行最大个人剂量计算时采用设计源项，为分析关键居民组、关键核素和关键照射途径时采用现实源项。

本工程运行状态下，气载流出物排放源项与《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）规定的气载流出物年排放量控制值的比较如下：

核素类别	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 (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	9.73%
碘	1.92E+09	3.08E+01	1.92E+09	4.00E+10	4.81%
粒子 (T _{1/2} ≥8d)	1.87E+08	9.60E+08	1.15E+09	1.00E+11	1.15%
氡	9.20E+12		9.20E+12	3.00E+13	30.67%
碳-14	7.32E-11	4.62E+08	7.32E+11	1.40E+12	52.32%

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（含先进废物处理中心，下同）运行状态下，气载流出物排放源项与《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）规定的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)	3、4号机组年排放量设计值 (Bq/a)	先进废物处理中心年排放设计值 (Bq/a)	小型堆年排放量设计值 (Bq/a)	五台机组年排放量设计值 (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		7.37E+12	3.14E+14	2.40E+15	13.07%
碘	1.52E-09	1.92E+09	3.08E+01	2.63E+08	3.71E+09	8.00E+10	4.63%
粒子 (T _{1/2} ≥8d)	1.67E-08	1.87E+08	9.60E+08	2.83E+07	1.34E+09	2.00E+11	0.67%
氡	7.47E-12	9.20E+12		9.01E+11	1.76E+13	6.00E+13	29.29%
碳-14	4.75E+11	7.32E+11	4.62E+08	6.78E+10	1.28E+12	2.80E+12	45.55%

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。

(2) 液态流出物排放源项

本工程运行状态下，液态流出物排放源项与《核动力厂环境辐射防护规定》（GB

6249-2011)规定的液态流出物年排放量控制值的比较如下:

核素类别	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 (Bq/a)	2台机组排放 量控制值 (Bq/a)	比值
氚	9.20E+13		9.20E+13	1.50E+14	61.33%
碳-14	5.38E+10		5.38E+10	3.00E-11	17.93%
其余核素	1.30E+10	9.81E+06	1.30E+10	1.00E-11	12.99%

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)	3、4号机 组年排放 量设计值 (Bq/a)	先进废物 处理中心 年排放设 计值 (Bq/a)	小型堆年 排放量设 计值 (Bq/a)	五台机组 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	9.20E+13		9.01E-12	1.76E+14	3.00E+14	58.57%
碳-14	3.49E+10	5.38E+10		4.36E-09	9.31E+10	6.00E+11	15.51%
其余核素	3.83E+10	1.30E+10	9.81E+06	2.62E-09	5.39E+10	2.00E+11	26.95%

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。

现实工况,3、4号机组与 ACP100 机组核岛及 BOP 液态流出物排放浓度为 61.9Bq/L, 3、4号机组常规岛液态流出物排放浓度为 0.4Bq/L; 保守工况, 3、4号机组与 ACP100 机组核岛及 BOP 液态流出物排放浓度为 407.1Bq/L, 3、4号机组常规岛液态流出物排放浓度为 5.3Bq/L。本工程为滨海厂址,槽式排放出口处的放射性流出物中除氚和碳 14 外其他放射性核素浓度在保守工况和现实工况下均满足 GB6249-2011 规定的排放控制值要求。

6.2.2 照射途径

(1) 气态途径

本工程运行状态下,气载流出物排放到环境后对公众的照射途径可归纳为:空气浸没外照射、地面沉积外照射、吸入空气内照射和食入农牧产品内照射。

(2) 液态途径

本工程运行状态下，液态放射性流出物与循环冷却水混合后排入北部湾，在其稀释和扩散的过程中，对公众的照射途径可归纳为：食入海产品内照射，岸边沉积外照射，在海域中游泳、划船和从事水上作业时受到的外照射。

本工程为滨海厂址，海水不作为农业灌溉和人畜饮用水，因此对饮用水和灌溉的照射途径不予考虑。

6.2.3 计算模式与参数

(1) 气态途径

根据气态途径排放的源项数据和国标、国际标准推荐的计算模式和参数以及厂址参数，计算了气载流出物对厂址半径 80km 范围内公众的最大个人有效剂量。

在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 70m 高度风向、风速、稳定度、雨况四维联合频率，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；居民食谱和生活习性数据以及动植物养殖和种植数据取自本报告第 2.2、2.3 节，人口分布数据取 2025 年的预期人口数。

(2) 液态途径

根据国标、国际标准推荐的计算模式和参数，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。在剂量评价中，使用厂址半径 5km 范围内居民最大食谱计算厂址半径 5km 范围内公众所受到的最大个人剂量，使用厂址半径 80km 范围内居民食谱计算厂址半径 5~80km 范围内公众所受到的最大个人剂量，人口分布数据取 2025 年的预期人口数。

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 $1.67\text{E-}10\text{ s/m}^3\sim 4.05\text{E-}07\text{ s/m}^3$ 之间，I-131 的年平均大气弥散因子在 $1.61\text{E-}10\text{ s/m}^3\sim 4.05\text{E-}07\text{ s/m}^3$ 之间，Kr-85 的年平均大气弥散因子在 $1.74\text{E-}10\text{ s/m}^3\sim 4.05\text{E-}07\text{ s/m}^3$ 之间，最大年平均大气弥散因子均出现在厂址 SSW 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 $2.51\text{E-}13\text{ m}^2\sim 6.08\text{E-}10\text{ m}^2$ 之间，I-131 年平均相对干沉积因子在 $1.61\text{E-}12\text{ m}^2\sim 4.05\text{E-}09\text{ m}^2$ 之间，最大年平均干沉积因子均出现在厂址 SSW 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 $1.06\text{E-}13\text{ m}^2\sim 1.76\text{E-}10\text{ m}^2$ 之间，最大年平均相对湿沉积因子均出现在厂址 WSW 方位 0~1km 处。

（2）水体弥散

中国水利水电科学研究院于 2019 年 5 月完成了《海南昌江核电厂 3、4 号机组液态流出物排放数值模拟补充研究报告》，根据研究成果报告，5km~80km 稀释因子取值，选取最不利潮型下距离厂址不同距离海域的液态流出物平均相对浓度作为稀释因子。

5km 范围内稀释因子取值，对于 5a、250d、70d 类别核素，0.1 稀释因子已扩散接近或超出沿岸 5km 范围，0.2 稀释因子范围局限在排水口很小范围内，基于保守评价考虑近区 5km 范围公众液态途径的稀释因子取 0.2。对于 8d 类别核素，0.03 稀释因子接近覆盖沿岸近区范围，因此该类别核素近区 5km 范围公众液态途径的稀释因子取 0.03。

6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度

海南昌江核电厂 3、4 号机组共用一套低放废液排放系统，根据排放源项和冷却水流量计算得到排放的循环冷却水中的核素浓度作为排放海域内的核素浓度与国标 GB 3097-1997 进行比较，得到海南昌江核电厂 3、4 号机组运行状态下排放海域的海水水质满足 GB 3097-1997 中相应的放射性指标要求。中国辐射防护研究院于 2013 年 11 月完成的《海南昌江核电厂运行前两年本底调查》中的排放口海域部分核素本底浓度调查情况。即使考虑排放海域内现有的放射性核素的实测浓度与海南昌江核电厂 3、4 号机组液态流出物排放的叠加效应，放射性核素的浓度也均符合《海水水质标准》（GB 3097-1997）中相应的放射性指标要求。

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 $1.95\text{E-}07\text{Sv/a}$ 、 $2.16\text{E-}07\text{Sv/a}$ 、 $1.94\text{E-}07\text{Sv/a}$ 、 $1.45\text{E-}07\text{Sv/a}$ 。

（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 $1.48\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $1.56\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $1.31\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $8.43\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 。

（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 $1.68\text{E-}06\text{Sv/a}$ 、 $1.78\text{E-}06\text{Sv/a}$ 、 $1.50\text{E-}06\text{Sv/a}$ 、 $9.88\text{E-}07\text{Sv/a}$ 。各年龄组中青少年组的剂量最大，为 $1.78\text{E-}06\text{Sv/a}$ ，约占个人剂量约束值（ 0.08mSv/a ）的 2.23%，其中气态途径剂量为 $2.16\text{E-}07\text{Sv/a}$ ，液态途径剂量为 $1.56\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 。

（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 $4.06\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $4.63\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $4.05\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $3.25\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 。各年龄组中青少年组的剂量最大，为 $4.63\text{E-}06\text{Sv/a}$ ，约占个人剂量约束值（ 0.25mSv/a ）的 1.85%，其中气态途径剂量为 $4.67\text{E-}07\text{Sv/a}$ ，液态途径剂量为 $4.16\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 。

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科技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“非人类物种”辐射剂量评估模型的基础。ERICA 程序根据生物所在的栖息环境选择了不同的代表性生物作为参考生物。

6.2.7.4 参数选取

由生物的剂量率限值（ERICA 推荐所有生物的筛选值为 $10\mu\text{Gy/h}$ ）反推出各核素在环境介质中对不同生物体的浓度限值即为环境介质浓度限值，该参数与核素、媒介、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

海南昌江核电厂3、4号两台机组正常运行时，0~80km 海域范围内不同媒介中放射性核素对不同水生生物的影响率均在 10^{-3} 数量级以下；从剂量率的估算来看，0~80km 海域范围内各种水生生物所受的剂量率均小于 $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，海南昌江核电厂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

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，0~80km 海域范围内不同媒介中放射性核素对不同水生生物的影响率均在 10^{-2} 数量级以下；从剂量率的估算来看，0~80km 海域范围内各种水生生物所受的剂量率均小于 $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，海南昌江核电厂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0~80km 海域范围内水生生物是安全的。

6.2.7.6 陆生生物辐射影响的估算

（1）海南昌江核电厂3、4号两台机组正常运行时陆生生物辐射影响的估算

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

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，各年龄组（成人、青少年、儿童、婴儿）各子区公众个人所受气液态流出物辐射的有效剂量见表 6.2-1。

由表 6.2-1 可知，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 $6.48\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 、 $7.22\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 、 $6.13\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 、 $4.31\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 。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 $7.22\text{E-}07\text{ Sv/a}$ ，其中气态途径剂量为 $7.44\text{E-}08\text{ Sv/a}$ ，液态途径剂量为 $6.48\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 。

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 $1.31\text{E-}02\text{ 人}\cdot\text{Sv/a}$ 。

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 86.31%；其次为吸入内照射途径，约占气态途径总剂量的 6.15%；空气浸没外照射和地表沉积外照射途径分别占气态途径的 4.75%和 2.78%。气态途径的主要核素为 C-14，它所造成的剂量约占气态剂量的 77.58%；其它贡献较大的核素为 H-3 和 Co-60，分别占气态途径总剂量的 14.08%和 3.73%。

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 99.85%；其次为岸边沉积外照射途径，约占液态途径总剂量的 0.15%。液态途径的主要核素为 C-14，它所造成的剂量约占液态途径总剂量的 80.34%；其它贡献较大的核素为 Co-60，分别占液态途径总剂量的 12.93%。

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 $6.47\text{E-}07\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 89.57%；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 8.89%，各核素中关键核素为 C-14，它所造成的剂量为 $5.78\text{E-}07\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 80.06%；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 11.99%和 2.17%。

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。采用现实排放源

项分析的关键居民组、关键核素和关键照射途径。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 $2.71\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $3.25\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $2.94\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $2.75\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 。

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 $3.25\text{E-}06\text{ Sv/a}$ ，其中气态途径剂量为 $1.48\text{E-}07\text{ Sv/a}$ ，液态途径剂量为 $3.10\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 。

气、液态综合各途径，各核素对五台机组关键居民组的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 $3.09\text{E-}06\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 95.15%；其次为食入农牧产品内照射途径，占气液态总剂量的 3.70%。各核素中关键核素为 C-14，它所致的剂量为 $2.03\text{E-}06\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 62.52%；另外，Co-60 的剂量贡献也较大，占气液态总剂量的 17.87%。

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。本工程及厂址五台机组运行状态下，厂址附近 0~80km 范围内水生生物和陆生生物所受辐射剂量率均小于 ERICA 推荐的筛选值 ($10\mu\text{Gy/h}$)。

6.3 其他环境影响

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、二氧化氯等药剂。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的，并在处理环节中消耗殆尽。净化剂反应生成物绝大部分存在于淡水厂的生产废水泥浆中。含有悬浮物和净化剂反应生成物的泥浆水经浓缩

后进行脱水，形成固体物质不排入水体，污泥脱水后的滤出液排入室外雨水管网，最终排入大海。滤出液中的化学物质以游离氯为主，且浓度小于淡水厂饮用水出水标准，因此不会影响附近海域的海水质量。

除盐水生产系统树脂再生废水的 NaCl 排放浓度不大于 45mg/L，经中和处理后排入室外雨水管网，经雨水稀释后排入附近海域。与海域内天然含盐量相比，核中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，余氯浓度降得很

低。根据南海水产研究所的研究结果，当余氯浓度为 0.1mg/L 时，鱼的种类多样性指数下降 50%。根据法国格拉芙林核电站的研究结果，余氯浓度为 0.05mg/L 时，藻类的初生组织开始受到影响，浓度高于 0.3mg/L 时初生组织将完全受到抑制。浮游动物对氯化作用敏感性则较差，余氯浓度为 0.3mg/L 左右时，幼蝶的不孵化率为 36%，浓度为 0.05mg/L 时仅为 1%。可见，余氯浓度大于 0.05mg/L 时，才可能对海洋初级生产力造成影响。

余氯在环境水体中衰减很快，在水中的输移、分布主要依靠潮流的挟带，并非累积所致。余氯排放的影响区域仅在排水口附近海域，对海洋生物的影响范围有限。

6.3.2 其他污染物的影响

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，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 1、2 号机组已建的生活污水处理站，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/T18920-2002）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。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

经计算，海南昌江核电厂 3、4 号机组正常运行后，对林好村的噪声贡献值为 28.3 dB(A)。根据中国核电工程有限公司和北京华测北方监测技术有限公司 2016 年 11 月完成的《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》，监测期间，林好村的昼间和夜间等效连续 A 声级分别为 43.1~43.5 dB(A)和 35.1~35.4dB(A)。林好村叠加本底值

后的噪声预测值分别为昼间 43.2~43.6 dB(A)，夜间 35.9~36.2 dB(A)，满足《声环境质量标准》(GB3096-2008) 1类标准，即昼间 55 dB(A)和夜间 45 dB(A)。因此，本工程运行对居民点噪声的影响可以忽略。

海南昌江核电厂 3、4 号机组正常运行后，西南厂界所受影响较大，工程对西南厂界的预测值为 51.3dB(A)，厂界噪声均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 3 类标准，即昼间 65 dB(A)和夜间 55 dB(A)。

先进废物处理中心新增 8 台设备，此子项位于 3 号核岛北侧，距厂界较远，距最近的北厂界位置约 270m，计算结果表明新增设施正常运行对厂界和林好村的影响可忽略不计。

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 电磁辐射的影响

送电线路的电磁辐射环境影响不在本报告的评价范围之内，针对厂区内可能产生电磁辐射的主要设施为220kV开关站，在评价其对环境的电磁辐射环境影响时，开关站的工频电磁场强度根据GB 8702-2014标准的要求以4kV/m作为居民区工频电场评价标准，以0.1mT（100 μ T）作为磁感应强度的评价标准。

根据HJ 24-2014第8.1.1节的规定，对于220kV开关站及220kV送电线路可以采用类比分析的方法。本工程拟建的220kV开关站与已经投产使用的海南昌江1、2号机组220kV开关站具有可比性，具体如下：

- 开关站电压等级都为220kV；
- 开关站都布置在厂区内，且都为露天型、敞开式布置；
- 设备的环保要求都符合产品出厂标准。

因此，可利用已运行的海南1、2号机组的220kV开关站电磁辐射强度和分布的实际测量，对本工程运行后电磁环境影响进行预测。

根据《海南昌江核电厂3、4号机组厂址区域电磁辐射本底测量和现状评价报告》（2016年11月）可知，运行后的海南1、2号机组220kV开关站及220kV送电线路工频电磁、工频磁场强度均满足国家相关标准的要求。

《海南昌江核电厂3、4号机组厂址区域电磁辐射本底测量和现状评价报告》的编制背景为：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。1、2号机组装机容量2 \times 650MW，1、2号机组已经投入商业运行。3、4号机组规划建设两台融合后的

华龙一号核中机组，3号机组计划于2020年8月31日浇筑核岛基础第一罐混凝土（FCD），单台机组建设周期为60个月，4号机组与3号机组间隔10个月。

海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程（以下简称“示范工程”）与海南昌江核电厂毗邻，位于海南昌江核电厂北侧，与海南昌江核电厂属于同一厂址。示范工程规划建设一台ACP100核中机组及其配套辅助设施，装机容量125MW，计划于2020年9月30日开工浇筑第一罐混凝土，建设周期为36个月。

即海南昌江核电厂厂址区域现有电磁辐射源有1、2号机组主变，220kV倒送电主变，1、2号机组220kV出线开关站，220kV倒送电开关站，和6个通讯基站。该报告的主要评价结论见表6.3-1和表6.3-2。

开关站和主变压器所有监测点工频电场强度监测值范围0.136V/m~29.48V/m之间，工频磁场强度监测值在0.032 μ T~5.341 μ T之间，分别小于《电磁环境控制标准》（GB 8702-2014）中标准限值4kV/m和0.1mT（100 μ T），符合要求。

输电线路所有监测点工频电场强度监测值范围3.625V/m~1034V/m之间，工频磁场强度监测值在0.031 μ T~3.652 μ T之间，分别小于《电磁环境控制标准》（GB 8702-2014）中标准限值4kV/m和0.1mT（100 μ T），符合要求。

目前尚未有多个核电厂同时运行后220kV开关站工频电场及工频磁场的监测数据，根据《海南昌江核电厂3、4号机组厂址区域电磁辐射本底测量和现状评价报告》按照叠加计算可以预见海南昌江核电厂3、4号机组建成投运后220kV开关站对周围环境的电磁辐射影响能够满足国家相关标准的要求。

6.3.2.4 正常运行状态下非放大气污染物的环境影响

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，本工程大气环境影响评价等级为二级。

先进废物处理中心正常运行状态下烟囱出口各污染物浓度均满足《危险废物焚烧污染控制标准》（GB18484-2001）规定的标准限值。在评价范围内，各污染物在环境中的浓度预计可以满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）二级标准及其他相关参考标准的要求。

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。国家核安全监管部門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；退役实施对环境的影响方面的考虑；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1、2号机组首次装料前，必须完成环境本底辐射水平调查，至少应获得最近两年的调查数据。本底调查包括环境 γ 辐射、陆地环境介质监测和海洋介质监测。环境 γ 辐射的监测范围为以反应堆厂房为中心，半径50km范围内，其余陆地环境介质的监测项目一般取20~30km，海洋介质的监测范围为排放口为中心，半径10km范围内。主要监测内容为：

- (1) 厂址周围存在的辐射或放射源应用情况；
- (2) 两年本底调查的环境放射性监测项目，主要包括以下几类：
 - 环境 γ 辐射： γ 辐射剂量率瞬时定点测量； γ 辐射累积剂量测量
 - 陆地介质：大气及沉降物、土壤和底泥以及陆生生物
 - 海洋介质：海水、海洋沉积物、海洋生物
- (3) ^{14}C 本底调查的项目，主要包括以下几类：
 - 陆域介质：水、生物
 - 海洋介质：海水、生物

6.4.4.4 退役废物管理

在海南昌江核电厂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、材料规范、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合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 小结

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 6.2-1 (1/4) 本工程运行状态下气液态流出物排放对公众个人（成人）所致有效剂量

单位：Sv/a

方位\距离 km	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N												
NNE												
NE			5.96E-07	5.91E-07	8.16E-08	2.01E-08	2.58E-09	2.01E-09	1.73E-09	1.57E-09	1.46E-09	1.40E-09
ENE					7.96E-08	1.91E-08	2.08E-09	1.70E-09	1.52E-09	1.41E-09	1.34E-09	1.30E-09
E				5.87E-07	7.88E-08	1.87E-08	1.88E-09	1.58E-09	1.43E-09	1.35E-09	1.29E-09	1.26E-09
ESE			5.88E-07		7.78E-08	1.82E-08	1.65E-09	1.46E-09	1.35E-09	1.29E-09	1.26E-09	1.23E-09
SE		6.01E-07			7.86E-08	1.86E-08	1.88E-09	1.60E-09	1.46E-09	1.38E-09	1.32E-09	1.28E-09
SSE		6.17E-07	5.98E-07		7.92E-08	1.89E-08	2.03E-09	1.71E-09	1.55E-09	1.45E-09	1.38E-09	1.34E-09
S			6.01E-07			1.95E-08	2.33E-09	1.90E-09	1.68E-09	1.54E-09	1.46E-09	1.40E-09
SSW		6.48E-07				2.09E-08	3.09E-09	2.39E-09	2.04E-09	1.82E-09	1.68E-09	1.58E-09
SW				5.99E-07	8.46E-08	2.15E-08	3.36E-09	2.55E-09	2.13E-09	1.88E-09		
WSW				6.06E-07	8.70E-08	2.25E-08	3.89E-09					
W												
WNW												
NW												
NNW												

表 6.2-1 (2/4) 本工程运行状态下气液态流出物排放对公众个人（青少年）所致有效剂量

单位：Sv/a

方位\距离 km	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N												
NNE												
NE			6.63E-07	6.58E-07	8.99E-08	2.20E-08	2.69E-09	2.13E-09	1.84E-09	1.68E-09	1.58E-09	1.52E-09
ENE			8.77E-08		8.79E-08	2.10E-08	2.19E-09	1.82E-09	1.64E-09	1.53E-09	1.47E-09	1.42E-09
E				6.53E-07	8.71E-08	2.06E-08	2.00E-09	1.70E-09	1.55E-09	1.47E-09	1.42E-09	1.38E-09
ESE			6.54E-07		8.61E-08	2.01E-08	1.77E-09	1.57E-09	1.47E-09	1.41E-09	1.38E-09	1.35E-09
SE		6.69E-07			8.69E-08	2.05E-08	2.00E-09	1.72E-09	1.58E-09	1.50E-09	1.44E-09	1.40E-09
SSE		6.87E-07	6.65E-07		8.75E-08	2.08E-08	2.15E-09	1.83E-09	1.67E-09	1.57E-09	1.50E-09	1.46E-09
S			6.69E-07			2.14E-08	2.44E-09	2.02E-09	1.80E-09	1.66E-09	1.58E-09	1.51E-09
SSW		7.22E-07				2.28E-08	3.21E-09	2.51E-09	2.16E-09	1.94E-09	1.80E-09	1.70E-09
SW				6.66E-07	9.29E-08	2.34E-08	3.49E-09	2.67E-09	2.24E-09	2.00E-09		
WSW				6.74E-07	9.53E-08	2.44E-08	4.00E-09					
W												
WNW												
NW												
NNW												

表 6.2-1 (3/4) 本工程运行状态下气液态流出物排放对公众个人（儿童）所致有效剂量

单位：Sv/a

方位\距离 km	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N												
NNE												
NE			5.66E-07	5.62E-07	7.65E-08	1.86E-08	2.19E-09	1.75E-09	1.53E-09	1.40E-09	1.33E-09	1.27E-09
ENE					7.49E-08	1.78E-08	1.80E-09	1.51E-09	1.37E-09	1.29E-09	1.23E-09	1.20E-09
E				5.58E-07	7.43E-08	1.75E-08	1.65E-09	1.42E-09	1.30E-09	1.24E-09	1.20E-09	1.17E-09
ESE			5.59E-07		7.35E-08	1.71E-08	1.47E-09	1.32E-09	1.24E-09	1.20E-09	1.17E-09	1.15E-09
SE		5.71E-07			7.42E-08	1.74E-08	1.65E-09	1.43E-09	1.32E-09	1.26E-09	1.22E-09	1.19E-09
SSE		5.85E-07	5.68E-07		7.46E-08	1.76E-08	1.76E-09	1.52E-09	1.39E-09	1.32E-09	1.26E-09	1.23E-09
S			5.71E-07			1.81E-08	2.00E-09	1.67E-09	1.49E-09	1.39E-09	1.32E-09	1.27E-09
SSW		6.13E-07				1.92E-08	2.59E-09	2.05E-09	1.77E-09	1.60E-09	1.50E-09	1.42E-09
SW				5.69E-07	7.89E-08	1.97E-08	2.81E-09	2.17E-09	1.84E-09	1.65E-09		
WSW				5.75E-07	8.08E-08	2.04E-08	3.21E-09					
W												
WNW												
NW												
NNW												

表 6.2-1 (4/4) 本工程运行状态下气液态流出物排放对公众个人（婴儿）所致有效剂量

单位：Sv/a

方位\距离 km	0--1	1--2	2--3	3--5	5--10	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	60--70	70--80
N												
NNE												
NE			4.06E-07	4.03E-07	5.48E-08	1.32E-08	1.50E-09	1.21E-09	1.06E-09	9.81E-10	9.29E-10	8.94E-10
ENE					5.38E-08	1.27E-08	1.25E-09	1.05E-09	9.56E-10	9.02E-10	8.68E-10	8.45E-10
E				4.01E-07	5.33E-08	1.25E-08	1.14E-09	9.89E-10	9.12E-10	8.69E-10	8.42E-10	8.24E-10
ESE			4.02E-07		5.28E-08	1.22E-08	1.03E-09	9.24E-10	8.72E-10	8.42E-10	8.22E-10	8.09E-10
SE		4.08E-07			5.32E-08	1.24E-08	1.14E-09	1.00E-09	9.26E-10	8.83E-10	8.56E-10	8.36E-10
SSE		4.16E-07	4.06E-07		5.35E-08	1.26E-08	1.22E-09	1.06E-09	9.73E-10	9.21E-10	8.88E-10	8.63E-10
S			4.08E-07			1.29E-08	1.38E-09	1.15E-09	1.04E-09	9.69E-10	9.25E-10	8.94E-10
SSW		4.31E-07				1.36E-08	1.77E-09	1.41E-09	1.22E-09	1.11E-09	1.04E-09	9.90E-10
SW				4.07E-07	5.64E-08	1.39E-08	1.92E-09	1.49E-09	1.27E-09	1.14E-09		
WSW				4.10E-07	5.77E-08	1.45E-08	2.18E-09					
W												
WNW												
NW												
NNW												

表 6.3-1 开关站、主变压器监测值统计情况

监测点位置	监测因子	监测值范围	最大值	评价标准
开关站	工频电场 (V/m)	9.689~29.48	29.48	4000
	工频磁场 (μT)	0.106~0.340	0.340	100
主变压器	工频电场 (V/m)	0.136~0.644	0.644	4000
	工频磁场 (μT)	0.032~5.341	5.341	100

表 6.3-2 输电线路监测值统计情况

监测点位置	监测因子	监测值范围	最大值	评价标准
220kV 倒送电输电线路	工频电场 (V/m)	垂直监测断面: 3.625~567.8	567.8	4000
		平行监测断面: 149.3~160.2	160.2	
	工频磁场 (μT)	垂直监测断面: 0.031~0.181	0.181	100
		平行监测断面: 0.096~0.115	0.115	
220kV 出线输电线路	工频电场 (V/m)	垂直监测断面: 22.89~1034	10.4	4000
		平行监测断面: 312.6~330.1	330.1	
	工频磁场 (μT)	垂直监测断面: 0.212~3.652	3.652	100
		平行监测断面: 1.149~1.210	1.210	

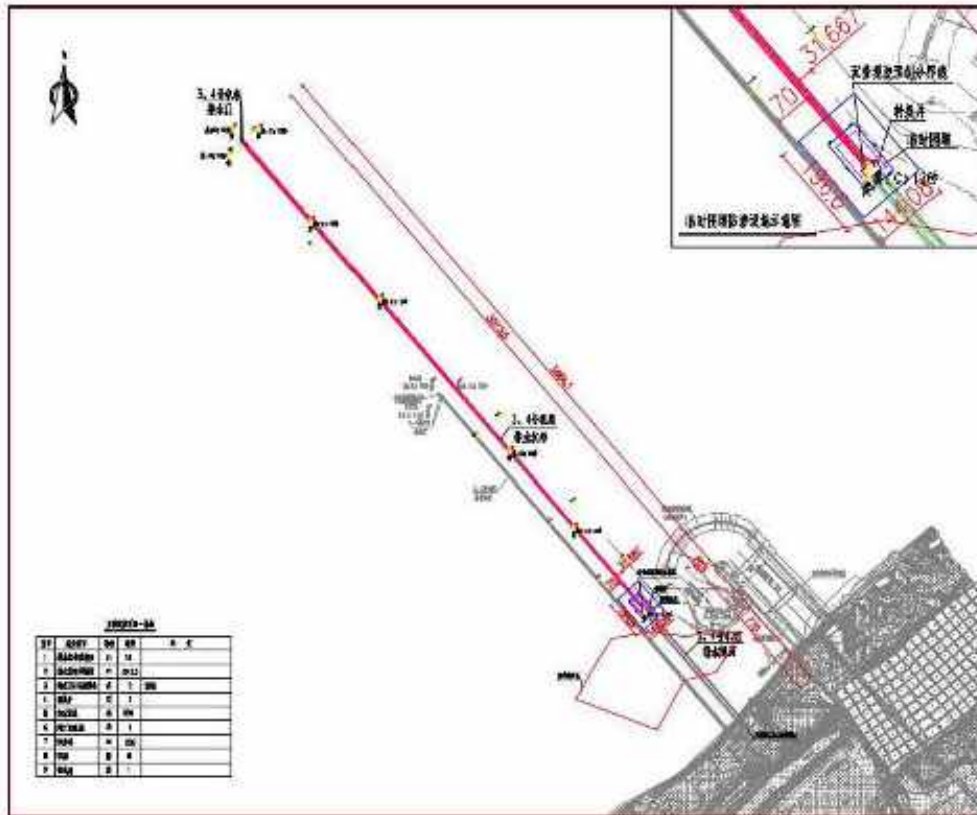


图 6.1-1 3、4 号机组海域排水工程平面布置图（盾构+转换井+沉管方案）

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 应急状态分级

7.5.4 应急设施的配备

7.5.5 应急响应能力的维持

7.5.6 5km 范围内重要居民点分布与道路条件分析

7.5.7 应急计划区

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“融合华龙一号”机型，本章根据“融合华龙一号机组”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
- 卡铂事故
- 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、蒸汽发生器传热管破裂事故（事故前碘峰）、卡铂事故、主蒸汽管道破裂事故、燃料操作事故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、废气处理系统衰变箱破裂事故和化学容积控制系统容控箱破裂事故按照稀有事故进行评价。

此外，本节针对先进废物处理中心等离子体熔融系统在运行过程中可能发生的主要事故进行了分析，选取包络性事故场景进行评价。

7.1.1 事故描述

7.1.1.1 失水事故

— 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。假定事故发生在停堆后 100h，这是停堆后将乏燃料送至贮存池的最短时间。事故导致组件内所有的燃料棒包壳破损，包壳间隙中的放射性物质全部立即释放到乏燃料水池中。裂变产物中惰性气体不滞留水中，乏燃料水池对分子碘和贯穿碘（贯穿碘指有机碘和粒子碘的总称）两种化学形态的滞留因子不同。

燃料操作事故属于极限事故。

7.1.1.10 先进废物处理中心等离子体熔融系统事故

先进废物处理中心等离子体熔融系统在运行过程中可能发生的事故主要包括熔融炉压力增加、熔融炉负压增加、洗涤塔塔釜漏液、以及熔融炉泄漏等事故。

（1）熔融炉压力增加

熔融炉压力增加可能由进料口故障、布袋除尘器部分糊袋、熔融炉等离子体炬水冷管路破裂、以及物料燃烧发生异常引起。现场操作员通过压力报警，泄爆阀动作提示，烟囱

放射性流出物监测确认事件的程度，一旦事故发生，立即启动停机程序。熔融炉压力超过泄爆阀设定压力时，泄爆阀开启，通过泄爆系统泄压，烟气通过水封罐冷却，高效过滤器过滤后，由应急引风机引至烟囱排放，确保系统安全。

（2）熔融炉负压增加

由于运行过程中，布袋除尘器遇到烟气中酸性气体腐蚀或自身机械强度不够等原因，可能在运行过程中发生布袋破损的情况，导致系统流阻降低，熔融炉负压增大。因为布袋除尘器失效，系统失去对飞灰的过滤作用，飞灰将进入洗涤塔后从烟囱排出。

现场操作员通过烟囱放射性监测对事件进行确认，一旦认为发生布袋除尘器破损，则立即停止加料，并降低引风机的功率，待炉中废料处理完之后启动停机程序。

（3）洗涤塔塔釜漏液

由于循环洗涤液呈碱性，且循环过程中与酸性气体发生中和反应生成盐，因而长期与洗涤塔壁面接触可能导致洗涤塔腐蚀，超过其设计所留腐蚀余量，最终导致洗涤塔壁面出现裂缝，导致洗涤液泄漏。

现场操作员通过巡视，一旦发现洗涤塔漏液，则立即关闭洗涤塔循环泵，将循环液储罐内循环液排至废碱液罐，并启动停机程序，熔融系统进入停机状态。塔釜下方设计有事故围堰。事故分析假设洗涤塔发生破壁，携带放射性物质的循环液外泄，造成厂房内放射性污染，不会对厂房外造成影响。

（4）熔融炉泄漏事故

熔融炉在运行过程中，因地震或炉内压力太大等导致炉体开裂，炉体、进料和卸料系统同时发生泄漏故障等原因，放射性废物泄漏到环境中。通过实时监测熔融炉数据，可对发生异常提前预判。发生事故后立即启动停机程序，并停止进料，关闭等离子体炬，加强通风，及时降低厂房内放射性核素的浓度。

事故分析保守取熔融炉停止工作状态。由于熔融炉为一体化设计，破口处应在有开口和连接的地方，如进料和卸料处。由于卸料处温度最高，且常年运行可能遭到玻璃料腐蚀而发生破裂，所以该处更易发生破裂。停机后，熔融炉内积累的放射性废物在自然降温的过程中，会产生热解废渣和烟气。热解废渣滞留在熔融炉内，飞灰与气体形成的烟气通过厂房通风过滤系统释放到厂房外。

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2018.9~2019.8的风向、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距反应堆500m处的个人剂量。照射途径考虑了事故期间起主要作用的三个途径：

- 放射性烟云浸没外照射；
- 沉积在地面的放射性物质外照射；
- 从烟云中吸入放射性物质内照射。

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。

在各类极限事故中，放射性后果最严重的是燃料操作事故。在一系列的保守假设下，该事故在非居住区边界和规划限制区边界处的有效剂量分别为1.89E-02Sv和1.31E-03Sv，分别占事故剂量控制值的18.9%和1.3%，甲状腺当量剂量分别为2.68E-01Sv和1.85E-02Sv，分别占事故剂量控制值的26.8%和1.9%。

在各类稀有事故中，放射性后果最严重的是安全壳外含有一次侧冷却剂的小管道破损事故，当采用保守大气弥散因子时，该事故在非居住区边界和规划限制区边界处的有效剂量分别为 $2.23\text{E-}03\text{Sv}$ 和 $1.55\text{E-}04\text{Sv}$ ，分别占事故剂量控制值的 44.6%和 3.1%；甲状腺当量剂量分别为 $1.8\text{E-}02\text{Sv}$ 和 $1.25\text{E-}03\text{Sv}$ ，分别占事故剂量控制值 36%和 2.5%。

从计算结果可以看出，当采用现实大气弥散因子或保守大气弥散因子时，海南昌江核电厂3、4号机组的设计基准事故和特殊工况所导致的剂量后果均小于 GB6249-2011 中相关的剂量控制值。

7.2 严重事故

7.2.1 事故描述

对于严重事故，“融合华龙一号机组”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。在本阶段，采用 NUREG-1465 中的全堆芯熔化的严重事故假设，考虑机组安全壳完整的情况下评价严重事故的放射性后果。

NUREG-1465 参考了大量研究成果和裂变产物释放的资料，对假定的严重堆芯熔化事故中释放到安全壳内的事故源项进行了更为现实地估算，包括释放时间特性，释放核素的种类、数量和化学形态等。

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。

计算 NUREG-1465 严重事故发生后的 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，结果表明公众所受 2 天有效剂量和 7 天有效剂量满足国标 GB 18871-2002 规定的通用优化干预水平的要求。

7.2.3 严重事故预防和缓解方案

“融合华龙一号”三代核电技术设计上满足“纵深防御”原则，运行管理上考虑了多个防御层次，限制事故发展，防止堆芯熔化，缓解严重事故，包容放射性物质，减轻放射性物质释放后果。安全设施遵循多重性、多样性、独立性、保守性等设计原则。基于国际上对严重事故的研究成果和我国核安全法规的要求，考虑了完善的严重事故预防与缓解措施。

7.2.3.1 预防措施

为了贯彻纵深防御原则，事故预防阶段的基本思路就是确保反应堆的三个安全功能：为了防止或及早终止堆芯损坏过程，需要保证对堆内反应性的控制，保证反应堆能够及时

停堆，同时确保反应堆能够长期处于次临界状态，防止出现重返临界现象。同时，为了避免由于过热而引起的燃料元件损坏，事故情况下就必须导出核燃料的释热，确保对堆芯的冷却。为此可采用的方法有二次侧降温降压、一回路充排冷却及余热排出系统的导热等。为了避免放射性物质扩散到环境中，需要确保对放射性的包容能力，保证安全壳的完整性。可考虑的措施主要是安全壳隔离以及必要的减压措施等。

下面给出“融合华龙一号”的严重事故预防措施。

(1) 确保停堆：在事故发生后，及早停堆是最为有效的干预手段。为了确保停堆，“融合华龙一号机组”专门增加了应急硼注入系统（REB）。此外，安全注入系统（RSI）也可以在反应堆冷却剂管道破裂、主蒸汽管道破裂、蒸汽发生器传热管破裂及弹棒等假想事故时向堆芯注入含硼水。

(2) 防止重返临界：为了防止出现重返临界的危险，主要的措施包括注入浓硼水和控制降温速率等。注入浓硼水可以由应急硼注入系统（REB）和安全注入系统（RSI）来完成。降温速率控制则由事故处置规程来完成。

(3) 维持冷却剂装量：维持冷却剂装量是预防严重事故的重要条件。在冷却剂压力边界遭到破坏的情况下，安全注入系统（RSI）可以注入冷却水维持冷却剂装量。

(4) 维持堆芯冷却剂流量：在事故情况下，维持一定的堆芯冷却剂流量，是排出堆芯热量、确保堆芯冷却的重要保障。为了确保堆芯在事故情况下的冷却，核电厂设计有安全注入系统（RSI），能够不断向一回路注入大量冷却水，以补偿冷却剂的流失，维持堆芯冷却剂流量，从而保证堆芯的冷却。

(5) 维持热阱：维持热阱是反应堆从事故状态转入最终安全状态的保障。在发生全厂断电事故且叠加辅助给水系统汽动泵系列失效时，二次侧非能动余热排出系统（PRS）将自动投入运行，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的停堆状态。事故后长期排出堆芯余热可以通过余热排出系统完成。余热排出系统设计满足单一故障原则。

(6) 维持安全壳完整性：在事故后，维持安全壳完整性是防止大量放射性物质外逸的关键。通过对结构体及内部包容物环境条件的有效控制，可维持安全壳的完整性。控制措施主要有安全壳隔离系统、安全壳喷淋系统（CSP）及非能动安全壳热量导出系统（PCS）。其中安全壳喷淋系统（CSP）能够在发生引起安全壳压力和温度上升的事故时，将安全壳内的温度和压力保持在可接受的范围内；在必要时可在喷淋水中添加化学药剂，以降低安全壳内大气的放射性水平。非能动安全壳热量导出系统（PCS）在核电厂发生导致安全壳压力温度上升的事故时，无需操纵员干预，将安全壳内热量带到壳外换热水箱中，并最终

排向大气。即使发生全厂断电，该系统利用自然循环也可实现安全壳的长期排热，达到事故后给安全壳降温降压的目的。

7.2.3.2 缓解措施

“融合华龙一号机组”作为第三代核电厂，在发生堆芯损坏的超设计基准事故情况下，有以下措施用于缓解严重事故后果：

（1）防止高压熔堆

为了在严重事故工况下防止高压熔堆的发生，“融合华龙一号”核电机组设置有一回路快速卸压系统。在正常、扰动及设计基准事故期间，快速卸压阀处于关闭状态，由稳压器安全阀实现系统的超压保护。在严重事故工况下，快速卸压阀执行排放卸压功能，在控制室由操作员根据有关的严重事故处理规程手动开启阀门，完成反应堆冷却剂系统的快速卸压，从而避免高压熔堆的发生以及安全壳的直接加热。为了防止在机组运行过程中快速卸压的误开启，在主控室对快速卸压的开启操作设置行政隔离。

（2）可燃气体控制

“融合华龙一号”核电机组设置安全壳消氢系统，用于在超设计基准事故工况下将安全壳大气中的氢气浓度减少到限值以下，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。

（3）安全壳过滤排放

在发生堆芯熔穿压力容器的严重事故下，为了缓解对安全壳完整性造成的威胁并控制放射性裂变产物释放，“融合华龙一号”机组设置了安全壳过滤排放系统，通过主动卸压使安全壳内压力不超过承载限值，同时通过安装在卸压管线上的过滤装置对排放气体的放射性物质进行过滤，对放射性裂变产物进行可控排放。

（4）反应堆堆腔注水防止压力容器失效

保持反应堆压力容器下封头的完整性，将熔融堆芯物质滞留在反应堆压力容器内是缓解严重事故的重要措施。“融合华龙一号”核电机组设置堆腔注水冷却系统，用于在发生堆芯融化事故时，向反应堆堆腔注入冷却水来冷却压力容器外壁，保持压力容器下封头的完整性，从而将堆芯熔融物滞留在压力容器内。

（5）非能动安全壳冷却

非能动安全壳热量导出系统用于在超设计基准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。非能动安全壳热量导出系统也用于严重事故工况（如果超设计基准事故发展到堆芯明显恶化的严重事故）。在电站发生超设计基准事故（包括严重事故）工况时，将安全壳内压力和温度降低至可接受的水平，以保持安全壳的完整

性。

非能动安全壳热量导出系统采用非能动技术，发生全厂断电时，在没有操作员干预的情况下，系统自动投入运行，采用自然循环实现安全壳的长期排热。

7.3 厂内运输事故

7.3.1 新燃料运输事故

本项目选用的新燃料组件运输采用新燃料运输容器，容器的设计和制造满足我国 GB 11806-2019《放射性物品安全运输规程》的要求。

新燃料组件及其运输容器的减震和密封性能能在正常运输条件下确保运输的安全，对环境不会产生任何有害影响。运输容器在设计中考虑，即使发生运输事故使容器本身发生变形，也不会发生临界事故，同时燃料棒包壳密封仍然保持完好，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，我国每年都进行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

海南昌江核电厂 3、4 号机组运行过程中产生的低水平放射性固体废物，处理后形成废物包，在厂内固体废物暂存库贮存一定年限后，再运往低放废物区域处置场。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 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包装容器 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，固定废物体性能满足 EJ 1186-2005《放射性废物体和废物包的特性鉴定》。废物包性能满足 GB 12711-2018《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》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。

按照《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018)的相关要求，根据海南昌江核电项目（包括先进废物处理中心）涉及的危险物质、工艺系统危险性和环境敏感程度确定环境风险潜势，并根据风险潜势确定评价工作等级。经计算分析，本项目的环境风险潜势为 I，仅需要开展简单分析。

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-1》（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。

危险品仓库内仅贮存少量化学试剂，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）要求在核电厂选址和设计阶段考虑核事故应急工作，新建核电厂必须在其场内和场外核事故应急预案审查批准后方可装料，《核电厂核事故应急管理条例实施细则之一——核电厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAF002/01）则对核电厂营运单位制定核事故应急预案提出了相应的要求。

核事故应急的目的是在核电厂发生放射性物质可能向环境大量释放的事故时，使事故迅速得到控制，以防止或减少放射性物质向环境的释放，并采取防护行动保护电厂内所有人员的安全，迅速向厂外提供保护居民安全与健康的建议。

按照国家核事故应急条例、核应急法规要求，电厂核事故应急预案应该在首次装料前六个月完成。海南昌江核电厂将根据要求适时完成《海南昌江核电厂场内核事故应急预案》编写并上报评审。

7.5.2 应急组织

海南昌江核电厂1、2号机组场内核事故应急预案中已明确昌江核电厂的应急组织由应急指挥部及其领导下的运行控制组、应急抢修组、技术支持组、辐射防护与医学救护组、环境监测与评价组、安全保卫与消防组、协调保障组和公众信息组构成。3、4号机组与场内1、2号机组采用统一的核应急组织体系，新版的应急组织机构中设置了新建项目协调组，负责协调新项目工程施工、安装和调试等承包商的应急响应行动；对扩建工程施工人员的应急撤离和辐射防护提供援助。

7.5.3 应急状态分级

应急等级是指按照国家有关安全法规，对核电厂偏离正常运行工况的事件或事故，按其所造成的放射性后果的严重程度以及所采取的相应的应急响应行动进行分类、分级的类别或级别。根据我国有关法规，参照国外核事故分级的技术标准，按照海南核电厂可能发生的事故和可能导致事故之事件的性质、特征、后果或可能的后果及其严重程度，将核电厂的应急状态分为应急待命、厂房应急、场区应急和场外应急四个级别。

（1）应急待命：出现可能导致危及海南昌江核电厂安全的某些特定工况，核电厂的有关人员得到通知进入应急准备状态，必要时可以通知场外有关组织处于待命状态；

（2）厂房应急：辐射后果只限于厂房内部或海南昌江核电厂的局部区域，场区人员行动起来，并通知场外有关组织；

（3）场区应急：紧急状况的后果只限于场区，事故释放的放射性物质虽蔓延到海南昌江核电厂之外，但场外尚不必采取防护措施。场区内的人员行动起来，并通知场外应急

组织；

(4) 场外应急：造成的事故后果超越场区边界，场外必须采取防护措施。

7.5.4 应急设施的配备

海南昌江核电厂3、4号机组将与1、2号机组共用应急指挥中心、气象站、保卫楼、环境实验室、环境 γ 辐射监测站、进厂道路、应急道路等应急设施。同时，根据国家有关核应急法规的要求，遵循积极兼容的原则，未来还将根据工程设计和建设情况进一步对海南昌江核电厂的应急设施进行优化，如改建应急指挥中心、消防站、新建保卫控制中心、移动电源车库。

厂内应急通讯系统及设备包括：自动电话系统、应急自动电话系统、警报系统、呼叫通话系统、声力电话系统、无线电话及寻呼系统、应急广播系统等。厂外应急通讯系统及设备包括：公网电话、直通线、无线电话等、海事卫星电话。其它应急通讯系统及设备包括：应急辅助决策系统、厂区实物保护系统（视频监控子系统、保安通信子系统等）。上述各应急通讯系统及设备能保证在应急状态下可提供可靠、冗余的厂内、外通讯联络手段，各通讯系统中的关键设备均有备用，对外通信有两路以上不同路由的独立线路。以上措施以通讯系统具有较高的安全性、可靠性和多样性来确保应急工况下语音、数据、图像信息的传输。

7.5.5 应急响应能力的维持

尽管需要启动核事故应急预案的事故很少，但核电厂的应急准备却必须常备不懈，为了能在需要时顺利实施核事故应急预案，则应维持必要的应急响应能力，主要包括：

(1) 核事故应急预案的修订和完善

根据应急演习及运行中实际出现过的应急状态，认真总结经验及教训，对核事故应急预案及相关执行程序加以完善，核电厂的场内核事故应急预案至少每两年要进行一次必要的修订并报国家核安全局审评。

(2) 建立并坚持应急工作人员培训制度

对所有应急工作人员进行定期培训，包括新人的岗前培训及原有应急工作人员的定期复训。

(3) 应急设施、设备及通讯等系统的维护

所有应急设施、设备及通讯、监测、评价等系统都必须妥善维护，并有严格的保养及试验制度，以保证其处于随时可用状态。

(4) 按法规要求定期进行各种类型及规模的应急演习

应急演习是检验应急准备状况的主要手段之一。核电厂应急响应的过程十分复杂，因

此应急演练也多种多样，一般按演习涉及的范围可分为：

- 单项演习：为检验某些应急响应基本技巧或分系统检验应急组织响应能力、应急设施及设备状况而进行的较小范围的演习，分练习和部分练习；要求每年至少一次，通讯及数据传输系统的练习则应更多。

- 综合演习：核电厂应急组织全面启动的应急演习，应急响应过程中会涉及核电厂的绝大部分甚至全部应急组织、应急设施及设备；要求每两年一次。

- 联合演习：场内、外应急组织全面启动的应急演习，要求在首次装料前进行，并在运行期间每五年一次。

7.5.6 5km 范围内重要居民点分布与道路条件分析

海南昌江核电厂位于海南省昌江县海尾镇原塘兴村，西北濒临北部湾。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。

厂址半径 5km 范围涉及三联、五联、五大、长山和南罗等 5 个行政村的 13 个自然村，距离厂址最近的自然村是五联村的林好村，位于厂址 SE 方位 1.2km 处。人口最多的自然村是南罗村村委会所在地南罗自然村，距离厂址 NE 方位 4.7km。厂址半径 10km 范围涉及昌江县海尾镇、十月田镇、红林农场以及儋州市的海头镇。

由于昌江核电厂 1、2 号机组已投入运营，核电现场有为其提供服务的合同单位人员，这部分外来工作人员中，长期工作人员（工作时间在半年以上）有 500 人左右，400 多人住在核电现场的临建区内，其余人员住在昌江县城（石碌镇），这部分人有班车接送；另外是短期工作人员（现场工作 1-2 个月），大修期间最多时可达 2000 人左右。这些外来工作人员分别统计到长期和短期流动人口中。这部分人员是三联村主要的流入人口。除此以外，总体来看常年外出务工人员多于外来人员。厂址半径 5km 范围没有旅游人员。

厂址附近以海南环线高速 G98（海口—三亚）、海榆西线国道 G225（海口—三亚）、省道什邦线 S310（什运—军营）为主体，连接区内各市、县，各乡镇之间均有县道，甚至省道相通，交通比较方便。

7.5.7 应急计划区

核电厂应急计划区范围的测算需要满足《核电厂应急计划与准备准则 第1部分：应急计划区的划分》GB/T 17680.1-2008的相关要求：

- (1) 既应考虑设计基准事故，也应考虑严重事故，以使在所确定的应急计划区内所做的应急准备能应对严重程度不同的事故后果。

- (2) 对于发生概率极小的事故，在确定核电厂应急计划时可以不予考虑，以免使所

确定的应急计划区的范围过大而带来不合理的经济负担。

(3) 在确定应急计划区范围时，根据核电厂的设计，所考虑的最严重的事故的放射性后果不超过发生确定性健康效应剂量阈值；并考虑选用能代表各种设计基准事故和大多数严重事故序列的事故，计算其后果并与通用干预水平的数值相比较。

依据国标 GB/T 17680.1-2008，海南昌江核电厂3、4号机组烟羽应急计划区的划分准则为：

(1) 在烟羽应急计划区之外，对于各种设计基准事故的预期剂量不超过 GB18871 所规定的通用优化干预水平。其中，烟羽应急计划区内区预期剂量应小于撤离的通用优化干预水平，外区预期剂量应小于隐蔽和碘防护的通用优化干预水平。

(2) 在烟羽应急计划区之外，大多数严重事故序列的预期的剂量不超过 GB18871 所规定的通用优化干预水平。即内区预期剂量应小于撤离的通用优化干预水平，外区预期剂量应小于隐蔽和碘防护的通用优化干预水平。

(3) 在烟羽应急计划区之外，所考虑的后果最严重的严重事故序列使公众个人可能受到的最大预期剂量不应超过 GB18871 所规定的任何情况下预期均应进行干预的剂量水平。

海南昌江核电厂3、4号机组食入应急计划区的划分准则为：

在食入应急计划区之外，大多数严重事故序列所造成的食品和饮用水的污染水平不应超过 GB18871 所规定的食品和饮用水的通用行动水平。

目前海南昌江核电厂3、4号机组厂址区域核应急方案已完成编制并通过国家核应急办的审批。其中对应急计划区进行了初步测算，海南昌江核电厂3、4号机组采用“融合华龙一号”机型，应急计划区的测算考虑了设计基准事故和严重事故。从剂量计算后果的角度推荐3、4号机组的烟羽应急计划区半径为10公里，其中内区半径为5公里，推荐食入应急计划区半径为50公里。

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 废气监测

8.2.4 气象观测

8.2.5 水文观测

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 质量控制

8.4.2 质量管理

表

表 8.1-1 海南昌江核电基地正常运行期间环境辐射监测大纲

表 8.1-2 前沿站主要设备配置表

表 8.2-1 非放射性化学污染物和生活污水监测初步方案

表 8.3-1 OAL 实验室与 3、4 号机组和 1 台小堆共用需增加仪器及放置位置

表 8.3-2 环境实验室主要设备配置表

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。

海南昌江核电厂3、4号机组将设置电厂辐射监测系统，对流出物的排放管道上的低放液体和气载流出物进行监测，利用流出物实验室对气载流出物及液态流出物的取样样品进行测量。

放射性流出物监测的内容包括流出物的放射性浓度、排放总量和核素的种类等。运行期间流出物监测方案根据我国有关法规和工程的实际情况制定。

制定流出物监测方案依据和参考了下列标准：

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）

《核设施流出物监测的一般规定》（GB 11217-89）

《中离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》（GB 11216-89）

《核动力厂液态流出物中C-14分析方法——湿法氧化法》（HJ 1056-2019）

《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第1部分：一般要求》（GB/T 7165.1-2005）

《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第2部分：放射性气溶胶（包括超铀气溶胶）监测仪的特殊要求》（GB/T 7165.2-2008）

《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第3部分：放射性惰性气体监测仪的特殊要求》（GB/T 7165.3-2008）

《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第4部分：放射性碘监测仪的特殊要求》（GB/T 7165.4-2008）

《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第5部分：氡监测仪的特殊要求》（GB/T 7165.5-2008）

《核电厂安全重要仪表 事故及事故后辐射监测 第1部分：一般要求》（GB/T 12726.1-2013）

《核电厂安全重要仪表 事故及事故后辐射监测 第2部分：气态排出流及通风中放射性离线连续监测设备》（GB/T 12726.2-2013）

《海水水质标准》（GB 3097-1997）

《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设规范（试行）》（环发[2012]16号文件）

《核设施烟囱和管道释放气载放射性物质的取样和监测》ANSI N13.1-2011

8.1.1.1 监测目的

运行期间流出物监测目的：

(1) 监测释放到环境中的气载和液态放射性流出物的浓度，判断其是否符合国家批准的排放量控制值和营运单位规定的排放管理目标值；

(2) 为判明本工程的运行以及放射性废物的处理和装置的工作是否正常有效提供数据和资料；

(3) 迅速发现计划外排放和事故排放，为鉴别排放性质、种类及其程度提供监测数据，以便及时采取措施；

(4) 给出报警和必要的执行动作，以控制不合理的排放，可为本工程在事故期间的应急响应提供信息。

8.1.1.2 制定监测方案的原则

制定本工程运行期间流出物监测方案和监测系统设计遵循的主要原则包括：

(1) 满足国家标准法规提出的流出物监测管理要求；

(2) 对于所有可能产生放射性排放的途径，均应设置合理的监测手段。取样点的设置和取样系统的设计应确保监测结果能代表实际的排放；

(3) 对于分批排放，排放前取样分析；

(4) 对于具有事故后监测功能的仪表需考虑冗余监测；

(5) 根据国家标准规定的年排放总量限值 and 排放浓度上限值，制定合理的排放量控制值和仪表的报警阈值；

(6) 流出物监测和取样系统的设计中将考虑地方环保部门的监督性检查和测量。

8.1.1.3 气载放射性流出物监测

对核电站气载放射性流出物的排放监测和控制是防治环境污染措施的重要组成部分。海南昌江核电厂3、4号机组采用“融合华龙一号”三代核电技术，均为单堆布置，核岛反应堆厂房、燃料厂房、核辅助厂房、人员通行厂房、安全厂房等的放射性排风经过滤后汇总到核岛烟囱集中排放。海南昌江核电厂3、4号机组各设有一个排风烟囱，常规岛放射性气体均送至核岛烟囱统一进行排放，因此，核电站集中对核岛烟囱通风排放管道中排放的气体进行监测，并对烟囱排气进行取样测量。

(1) 气载放射性流出物连续监测

1) 放射性惰性气体连续监测

烟囱放射性惰性气体监测分为正常情况监测和事故情况监测。监测仪的量程满足核电厂正常排放和事故排放监测要求，高低量程互相重叠一个量级。惰性气体连续监测设备属安全 1E 级设备，有显示、记录打印和报警功能。惰性气体连续监测仪需按照事故后监测系统（PAMS）的要求进行设计。

2) 气溶胶连续监测

在烟囱设置气溶胶连续监测通道，对气溶胶的放射性水平进行连续监测，并设有显示、记录打印和报警功能。

3) 放射性碘连续监测

在烟囱设置放射性碘连续监测通道，对放射性碘水平进行连续监测，并设有显示、记录打印和报警功能。

(2) 气载放射性流出物取样测量

在烟囱气载流出物连续监测管路并行设置了取样装置，用于对气载流出物进行取样，所取样品送至厂区实验室进行测量和分析，拟取样和监测内容包括：惰性气体、气溶胶、碘、I-131 及 C-14。

8.1.1.4 液态放射性流出物监测

放射性废液主要来自废液处理系统（ZLT）、放射性废水回收系统（WSR）、蒸汽发生器排污系统（TTB）蒸汽发生器排污液、常规岛废液收集系统（WLC）等等，废液经处理后分别汇总到核岛液态流出物排放系统（ZLD）及常规岛液态流出物排放系统（WQB）的贮罐中作为液态放射性流出物集中排放。

液体放射性流出物监测包括排放前的取样测量和排放过程中的在线监测。

(1) 液态放射性流出物取样测量

海南昌江核电厂3、4号机组设有QA、QB废液排放厂房。QA厂房主要收集、贮存核岛液态流出物排放系统废液；QB厂房主要收集、贮存常规岛液态流出物排放系统废液。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运行管理限值。

(2) 液态放射性流出物连续监测

在 QA、QB 厂房各设置一套低放液体排放监测道，其功能是连续监测贮罐排放管道中的废液浓度，以验证实验室所分析的排放前贮罐中的样品浓度，同时监视已分析过的废液贮罐废液是否在排放。当排放废液活度浓度超过预定阈值时，给出报警信号，并自动启动隔离阀，停止废液排放。

8.1.1.5 先进废物处理中心放射性流出物监测

先进废物处理中心放射性流出物主要包括液态放射性流出物和气载放射性流出物。

（1）液态放射性流出物监测

先进废物处理中心产生的洗涤废液送往3、4号机组处理和排放，工作人员淋浴用水将通过1、2号机组废液排放厂房排放。先进废物处理中心不直接排放液态放射性流出物。

（2）气载放射性流出物监测

先进废物处理中心将设置气载放射性流出物排放点，并配套相关监测设备用于气载放射性流出物的排放监测。

8.1.1.6 地方环保部门监督性监测

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系统流出物实验室，为了满足地方环保部门对本工程进行监督性监测。

本工程还将采取一系列措施，主要包括：

（1）本工程的气载和液态流出物在线监测的数据传输至环保部门指定地点；

（2）经常保持与地方环保部门联系，接受地方环保部门的监督与指导；

（3）积极配合地方环保部门进行流出物监督性监测工作，并为地方环保部门定期取样提供方便，包括：可根据需要向地方环保部门提供烟囱气溶胶及放射性碘的取样样品；提供烟囱中 ^{14}C 和 ^3H 样品给地方环保部门进行测量；从排放废液罐中提取废液样品时，同时为地方环保部门提取平行样品；

（4）向地方环保部门及时提供流出物监测月报表；

（5）定期进行监测结果的比对和监测技术的交流。

8.1.2 辐射环境监测

目前，海南昌江核电基地已建立了一套能够覆盖整个厂址区域的环境监测设施进行运行期间的环境监测。同时，海南昌江核电基地也制定了详细的辐射环境监测大纲，按照监测大纲进行日常的环境监测。本工程建成后将对环境监测大纲进行适应性修改，以实现对整个厂址环境进行统一监测。

运行期间环境监测依据的主要标准规范有：

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）

《环境核辐射监测规定》（GB 12379-90）

《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》（GB 11216-89）

《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）

《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-93）

《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）

《环境辐射监测中生物采样的基本规定》（EJ527-90）

《福岛核事故后核电厂改进行动通用技术要求（试行）》（国核安发[2012]98号文）

《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设规范（试行）》（环发[2012]16号文件）

8.1.2.1 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

海南昌江核电基地运行期间的环境辐射监测大纲参见表 8.1-1。

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：

- （1）环境 γ 辐射水平监测范围为以反应堆厂房为中心半径 50km 范围内，其余陆地环境放射性监测项目的监测范围为 20-30km。
- （2）海洋环境放射性监测以核电基地废液排放口为中心，最远半径为 10km，重点监测排放口 2km 以内的海域。

8.1.2.4 布点原则

为了使采样和监测点的选取具有充分的代表性，在进行环境监测采样和监测点的布设中主要考虑的原则有：

- （1）依据相关标准及技术规范，并结合厂址区域附近地区的地形等条件；
- （2）陆地监测点以反应堆厂房为中心，成辐射状布置监测点，近密远疏；
- （3）对居民密集地区、主导风下风向及环境敏感点布设监测点；
- （4）测量或取样点尽量与运行前本底调查布点一致，或至少有一部分与运行前本底调查时一致，并根据运行期间的环境监测情况进行调整；
- （5）环境 γ 辐射监测点及气载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，周围没有高大的树木、建筑物；

(6) 废液排放方式及特点、潮汐规律；

(7) 海上取样点主要设在排放口及其附近海域；

(8) 土壤采样点设置在无水土流失的原野或田间；

(9) 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；

(10) 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。

本工程建成后将对环境监测大纲进行适应性修改，以实现对整个基地周围环境进行统一监测。

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 8.1-1。

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：

(1) 实验室分析测量（对环境介质样品）

物理测量和分析：使用低本底 α/β 测量仪、低本底液体闪烁测量装置、低本底 γ 谱仪等仪表进行 α/β 放射性活度测量、 γ 能谱核素分析、 ^3H 和 ^{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；

在环境中定点布设 TLD 元件，并在实验室中用热释光剂量测量仪进行累积剂量测量；

设置环境监测车/应急监测车进行本工程周边环境 γ 辐射监测，车上设有车载 γ 剂量率

监测仪、便携式 γ 谱仪、便携式 γ 剂量率监测仪等设备。

（3）气象观测

在气象铁塔及地面设置风速、风向、空气温度、相对湿度、降雨量、大气压、天空总辐射、净辐射等气象要素传感器用来连续观测厂区的局部气象状况。

8.1.2.7 地方环保部门的监督性监测

海南昌江核电基地已为海南省地方环保部门建设了监督性监测前沿站和 10 个监督性监测子站，目前处于正常运行状态。前沿站主要设备配置见表 8.1-2。本工程将主要从以下几个方面保证对监督性监测的支持：

（1）为地方环保部门现场监测提供方便，包括人员出入支持、人员配合、水电及监测场地的支持等；

（2）开展实验室之间的检测结果比对活动，增强交流和了解。

8.1.3 应急监测

事故工况下的环境应急监测是核电厂应急计划的重要组成部分，海南昌江核电基地已经建成了相关设施参与应急环境监测。在本工程建设前将根据本工程特点完善应急环境监测大纲，对监测原则、监测方法和步骤、监测项目、监测路线、监测组织机构、监测数据发布等做出规定。在事故工况下，将根据应急监测大纲对环境中 γ 辐射水平及大纲中规定的环境介质进行快速取样，样品根据大纲要求和有关测量程序进行放射性测量。

海南昌江核电基地已经建成的相关设施和设备包括：

（1）环境辐射与气象监测系统：

- 固定式环境 γ 辐射监测站：监测设备具有足够宽的量程，并设置备用电池和太阳能供电设备，具备应急条件下进行连续监测的能力。数据传输方式采用有线及无线两种模式，两种模式互为备用。

- 环境监测车/应急监测车和环境介质取样车：监测车内配备便携式放射性测量和取样设备以及气象设备，可以快速给出环境 γ 辐射水平、表面污染、空气中主要放射性核素等。

- 气象站：气象参数为事故应急期间的应急决策提供数据支持。气象参数主要来自气象铁塔、地面气象观测场以及设置在厂外固定式环境 γ 辐射监测站的风速风向传感器。

- 移动式环境 γ 辐射监测子系统：考虑到极端外部事件下固定式环境 γ 辐射监测站可能受到损坏，因此海南昌江核电基地配备有一套可在事故后投入使用的移动式环境 γ 辐射监测子系统，可连续测量 γ 剂量率和 γ 能谱，以快速恢复环境监测能力。

（2）环境实验室和后备实验室

为了保证在事故情况下的应急监测能力，在海南昌江核电基地环境实验室不可用的情况下，可使用后备实验室。后备实验室建设于海南省监督性监测系统前沿站内，距离海南昌江核电基地约 30km，建筑面积约 170m²。实验室设置专属核电基地使用的测量场所及设备，由核电基地负责定期维护。

8.2 其他监测

8.2.1 热影响监测

在机组运行前，核电厂将委托编制温排水监测方案，并在运行期间按照计划定期完成海南昌江核电厂3、4号机组工程的温排水监测。

8.2.2 化学污染物和生活污水监测

本工程利用海南昌江核电厂1、2号机组已建的生活污水处理站，为了进一步评估排水中含有的非放射性化学污染物和生活污水对水环境的影响，计划在污废水处理工艺末端排放口进行非放射性污染物的监测，初步方案见表 8.2-1。

8.2.3 废气监测

在等离子体熔融系统尾气出口计划进行非放射性废气的监测，其中烟尘、CO、SO₂、氮氧化物、氯化氢等进行连续监测，黑度、HF、重金属等取样频率为一季度一次。

8.2.4 气象观测

海南昌江核电厂已建成一个气象观测系统，由地面气象站和气象铁塔组成，地面气象站主要设置有温度、湿度、气压、风速、风向和降雨量、总辐射、净辐射等传感器，气象铁塔在 102m，在 10m、30m、50m、70m 和 100m 高度处架设了风速、风向和温度传感器。目前依托本工程，在厂址内正在新建气象站（包括地面气象站和气象铁塔）。

8.2.5 水文观测

海南海洋有关部门规划在厂址附近建立长期固定海洋观测站，目前正在开展实施。在观测站建成之前，厂址附近水文观测信息通过东方水文站获取。此外，业主公司委托有资质的技术单位对厂址海域进行海洋气象、雾、海浪、高低潮位的潮高、潮时的常规预报及重要天气系统突变时的风暴潮和海浪预警的预报等工作。

8.3 监测设施

8.3.1 流出物实验室

8.3.1.1 流出物实验室

流出物实验室用于监测核电厂气载和液态流出物的样品，以确定被排放气载和液态流

出物的放射性水平，保证向环境的受控排放。本工程流出物实验室与海南昌江核电厂 1、2 号机组共用一个流出物实验室，实验室处于辐射防护控制区，人员进出需要通过卫生出入口进行管理。

本工程气载放射性流出物和液态放射性流出物的实验室分析项目包括：烟囱气态氙、烟囱气态 C-14、烟囱惰性气体、烟囱气态碘、烟囱气溶胶、核岛液态氙、核岛液态 C-14、核岛液态 γ 核素、核岛液态流出物中 Sr-90, Sr-89, Ru-106 以及总排口氙。

目前增加流出物实验室热室面积方案如下：

(1) 通过改造增加流出物实验室面积。

(2) 通过增加部分使用频率高、分析任务重要的分析测量仪器的数量，能够满足昌江 3、4 号机组和 1 台小堆工程共用 0AL 流出物实验室的要求。配套增加仪器放置工位并重新对调整和新增仪器放置工位进行给排水、常规电、UPS 电源、气、暖通、通信设施、实验台尺寸等配套技术改造。共用仪器和新增仪器列表见表 8.3-1。

8.3.1.2 监督性流出物监测设施

厂区外的监督性流出物实验室与海南 1、2 号机组共用，可以满足监督站使用。

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，采集厂区及周围环境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。本工程考虑在厂外增加 2-3 个固定式环境 γ 辐射监测站，其余均利用已建设施开展相关监测工作。

增加站点后，海南昌江核电基地的环境辐射与气象监测系统主要包括：

(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”）

海南昌江核电基地已在厂区内建设4个固定监测站、在厂区外10km范围内建设5个固定监测站。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。昌江核电基地将依托本工程在基地周围新建2-3个监测站，位置将随设计深入进一步确定。

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

海南昌江核中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 8.3-2。

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。针对本工程，拟新增3口监测井。

8.4 质量保证

为了保证环境监测和流出物监测结果达到足够的可信度，确保获取的数据的有效性和可靠性，海南昌江核中基地已制定和实施《环境监测质量保证细则》和《放射性流出物监测质量保证细则》，对环境监测和流出物监测过程进行质量控制和质量管理。

8.4.1 质量控制

8.4.1.1 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。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。
- 对于流出物采样，应严格按照规程操作，避免样品中放射性核素通过物理、化学或生物作用损失或偶然沾污。
 - 准确地测定样品的质量、体积或流量。
 - 操作样品时具有防止交叉污染的措施。
 - 对于环境监测样品，平行样品的分析数量应占总样品数的10%-20%。
 - 对于流出物样品中的烟囱滤纸、H-3、C-14等样品，按其总数的1%每年保存一份，样品保存10年，并归类入库、记档。

8.4.1.2 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，采取相应的校正措施。
 - 比对：为了发现监测设备和监测中可能存在的缺陷，验证设备的可靠性，确保监测数据的精确性和可比性，积极参加国内外实验室之间分析测量的比对。
 - 仪器的刻度和检验：对监测仪器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，都按照检定周期定期检定。刻度所用标准源和标准物质，可追溯到国家计量标准或国际计量标准。

8.4.1.3 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，并有责任者签字。原始记录和监测结果将长期保存或永久保存。
- 详细、准确的质量控制记录。
- 进行数据统计学处理，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。
- 监测报告中所采用的量、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，还是废弃或采取补救办法。

8.4.2 质量管理

8.4.2.1 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、权限等级。
- 制定组织机构，分工明确，对本工程的环境监测和流出物监测统一管理。流出物监测的组织机构包括化学主管领导、化学处、环境应急处、运行处、保健物理处、设备管理处、核安全处；环境监测的组织机构包括环境保护主管领导、环境应急处、维修处、信息文档处及相关处室。

8.4.2.2 人员资格和培训

监测结果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：

- 从事环境监测和流出物监测的人员应具有相当于中专以上的文化程度以及本岗位必需的专业知识和工作能力。
- 对从事环境监测和流出物监测的所有人员进行上岗前培训，要求熟悉有关采样、样品处理、分析测量、仪器设备维护以及数据处理和评价，经技术考核取得相应的资格方能上岗。
- 为了保持从事环境监测和流出物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。

表 8.1-1 (1/2) 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6个、厂区外5个	11	
		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	
		累计剂量	累计剂量	季	同上	43	
2	空气	氡	^3H	月	EC4-1、三联村、环境实验室	3	
		碳-14	^{14}C	月	同上	3	
		碘	^{131}I	半月	EC4-1、三联村、环境实验室、海尾镇	4	
		气溶胶	总α、总β	月	同上	4	
			γ谱分析(测出 ^{137}Cs , 进行 ^{90}Sr 分析)	季	同上	4	
		沉降物	总β、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	马烈、海尾、中和	3
			地下水		半年	场内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
	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	河米存、中和	2	
	水贝		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 、 ^{110m}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 8.1-1 (2/2) 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		监测项目	监测 频度	监测范围	布点数
3	海洋 介质	海水	γ 谱分析、 ^{211}I	半年	以排放口为中心， 设置 7 个采样点	7
			γ 谱分析、 ^{210}Pb	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 、 ^{56}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{131}I 、 ^{110m}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 8.1-2 前沿站主要设备配置表

序号	设备材料名称	型号规格及主要技术特性	单位	数量
1	高纯锗 γ 谱仪	<ul style="list-style-type: none"> 测量能量范围：50keV~10MeV 相对测量效率：60% 能量分辨率：≤ 2.1keV(在 1.33MeV 处) 道数：8192 道或以上 温度系数：≤ 35ppM/$^{\circ}$C 	套	1
2	低本底 α/β 测量仪	<ul style="list-style-type: none"> 流气式正比计数器 有效探测面积为 $\Phi 50$mm 探头个数：不少于 8 个测量通道 由铅屏蔽体围成，铅室内衬不锈钢 反符合效率$\geq 99.9\%$ 	套	2
3	液体闪烁计数器	<ul style="list-style-type: none"> 测量对象：β射线 能量范围：0~2MeV 探测效率：对密封的充过氮的有机样品 H-3：$> 60\%$ C-14：$> 95\%$ 	套	1
4	热释光剂量测量系统	<ul style="list-style-type: none"> 加热盘尺寸与热释光探测器形状匹配 自动/手动选择加热方式和升温程序 自动选择/手动输入剂量计编号 自动显示当前测量值 	套	1
5	原子吸收光谱仪	<ul style="list-style-type: none"> 波长范围：190~900nm 石墨炉温度范围：室温~2600$^{\circ}$C 	套	1

表 8.2-1 非放射性化学污染物和生活污水监测初步方案

监测对象	监测类型	监测指标	监测频次	监测点位
生活污水	日常监测	总氮、氨氮、总磷、pH值、水温、COD、悬浮物	在线监测	中水回用供水管
	定期监测	COD _{Cr} 、BOD ₅ 、石油类、动植物油、氨氮、总氮、磷酸盐、pH、总余氯、悬浮物、阴离子表面活性剂、粪大肠菌群、色度。	每季度一次	生活污水处理站处理工艺末端排放口
酸碱废水	日常监测	pH	在线监测	除盐水生产厂房废水中和池排放管

表 8.3-1 OAL 实验室与 3、4 号机组和 1 台小堆共用需增加仪器及放置位置

	分析仪器	现有 (台)	考虑 3、4 号机组-1 台小堆 分析任务需增加仪器 (台)	初步考虑放置位置
1	高纯锗谱仪	1	2	215 房间, 原 224 探头间放置空间不够, 需新增二位。
2	碘化钠谱仪	1	2	215 房间
3	pH 计	1	1	214 冷室

表 8.3-2 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: <2.1keV (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: <2.1keV (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 : $>45\%$ ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$);	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

第九章 利益代价分析

9.1 利益分析

9.1.1 运行带来的直接利益

9.1.2 建设和运行带来的间接利益

9.2 代价分析

9.2.1 直接代价

9.2.2 间接代价

9.1 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155.63亿度。

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用费用，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 123885 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 号机组工程的项目计划总资金为 373 亿元，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。

本项目环保费用约占项目计划总资金的 2.39%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10814万元。

②乏燃料处理处置基金

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40464万元。

③中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808万元。

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，不可避免的会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。

第十章 结论与承诺

10.1 核电厂工程

10.2 环境保护设施

10.3 放射性排放

10.4 辐射环境影响评价结论

10.4.1 运行状态下的辐射环境影响

10.4.2 事故工况下的辐射环境影响

10.5 非放环境影响评价结论

10.5.1 施工建设过程对环境的影响

10.5.2 运行期间对环境的影响

10.6 公众意见采纳情况总结

10.7 承诺

10.1 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号机组计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化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。

10.2 环境保护设施

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、排水口、应急指挥中心、环境监测设施等。

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。在进行废气处理系统的设计时，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。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。

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。本工程正常运行产生的噪声污染也采取了相应的防护措施，可以满足要求。

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。

本工程流出物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、冷制备间、流出物 γ 谱仪测量室、流出物测量间。

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。

由此可预计，本工程废物处理系统的设计性能和放射性流出物监测系统的预期效果，完全可以满足对核电厂周围环境保护的要求。

10.3 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氚和碳-14外其他放射性核素浓度低于1000Bq/L，可以满足GB6249-2011中对流出物排放浓度的控制要求。

10.4 辐射环境影响评价结论

10.4.1 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1.68E-06Sv/a、1.78E-06Sv/a、1.50E-06Sv/a、9.88E-07Sv/a。各年龄组中青少年组的剂量最大，为1.78E-06Sv/a，约占个人剂量约束值（0.08mSv/a）的2.23%。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4.06E-06 Sv/a、4.63E-06 Sv/a、4.05E-06 Sv/a、3.25E-06

Sv/a。各年龄组中青少年组的剂量最大，为 $4.63\text{E-}06\text{Sv/a}$ ，约占个人剂量约束值（ 0.25mSv/a ）的1.85%。

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，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 $7.22\text{E-}07\text{Sv/a}$ 。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89.57%。各核素中关键核素为C-14，约占气液态总剂量的80.06%。全厂址运行状态下，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 $3.25\text{E-}06\text{Sv/a}$ 。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95.15%。各核素中关键核素为C-14，约占气液态总剂量的62.52%。

（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。

10.4.2 事故工况下的辐射环境影响

在各类极限事故中，放射性后果最严重的是燃料操作事故。在一系列的保守假设下，该事故在非居住区边界和规划限制区边界处的有效剂量分别为 $1.89\text{E-}02\text{Sv}$ 和 $1.31\text{E-}03\text{Sv}$ ，分别占事故剂量控制值的18.9%和1.3%，甲状腺当量剂量分别为 $2.68\text{E-}01\text{Sv}$ 和 $1.85\text{E-}02\text{Sv}$ ，分别占事故剂量控制值的26.8%和1.9%。

在各类稀有事故中，放射性后果最严重的是安全壳外含有一次侧冷却剂的小管道破损事故，当采用保守大气弥散因子时，该事故在非居住区边界和规划限制区边界处的有效剂量分别为 $2.23\text{E-}03\text{Sv}$ 和 $1.55\text{E-}04\text{Sv}$ ，分别占事故剂量控制值的 44.6%和 3.1%；甲状腺当量剂量分别为 $1.8\text{E-}02\text{Sv}$ 和 $1.25\text{E-}03\text{Sv}$ ，分别占事故剂量控制值 36%和 2.5%。

综上所述，海南昌江核电厂3、4号机组的设计基准事故对环境造成的剂量后果均满足 GB6249-2011 的要求。

10.5 非放环境影响评价结论

10.5.1 施工建设过程对环境的影响

（1）对大气环境的影响

施工过程中，由于负控的爆破、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。

（2）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。

（3）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 18920-2002）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。

（4）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。

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。

10.5.2 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，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。

按照 1、2 号机组冷却水量 81.6 m³/s，取排水温升 8℃考虑；3、4 号机组冷却水量 144 m³/s，取排水温升 8℃考虑；小堆机组冷却水量 9.2 m³/s，取排水温升 8℃考虑。1、2 号机组单独排放，3、4 号机组+小堆共用海域排水隧洞排放条件下，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℃全潮最大温升影响面积不超过 15.422 km² (10.448 km²-4.974km²)；冬季 2℃全潮最大温升影响面积不超过 6.332km²(3.186 km²+3.146 km²)。

厂区附近-6m 以浅水域为珊瑚礁生长发育地带，优化后的排水工程近岸段约 770m 长度为盾构隧洞，工程实施不占用珊瑚礁分布区域；根据温排水试验研究结果，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。

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。

为减轻海域排水工程实施对海域 II 类红线保护区及珊瑚礁分布区的影响，优化后的海域排水工程采用近岸段盾构隧洞+转换井+水下沉管的工程方案，盾构隧洞长约 770m，不会占用近岸珊瑚礁分布区域，故对海域 II 类红线区的保护目标基本没有影响。

(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度水泥浆中。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/T18920-2002）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，用于道路浇洒和绿化等，可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。

（5）先进废物处理中心非放大气污染物的环境影响

按照《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）规定，先进废物处理中心非放大气污染物环境影响评价等级为二级。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，预计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》（GB 3095-2012）二级标准及其他相关参考标准的要求。

综上所述，从厂址的自然条件和社会条件分析，能满足3、4号机组建设的要求。本工程施工建设对环境的影响以及电厂正常运行和事故工况对环境的可能影响均符合我国相关法律法规、标准的要求。从施工建造及环保设施的设计等方面来综合评价，在海南昌

江核电厂厂址继续建造2台融合后的“华龙一号”机组，其对环境的影响是可以接受的。

10.6 公众意见采纳情况总结

第一次环评信息公示和第二次环评信息公示期间未收到公众的反馈信息。

在公众问卷调查中，收到公众提出的意见和建议：加强参与地方经济建设、社会治理、环境保护等方面的工作力度。

本项目采纳公众提出有关环境保护的意见，加强环境污染治理防治措施，在项目建设及营运过程中落实相应的措施。

10.7 承诺

一 将严格执行配套建设的环境保护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用的环境保护“三同时”制度。

一 工程建造过程中，将严格制定施工期间的环境保护管理制度，并加强监测和检查，有效防止水、气、声、渣等非放污染物的环境影响。

一 海南核电有限公司将配合地方应急部门，严格限制规划限制区内的人口机械增长，以便于本项目建成后应急计划的实施。

海南核电二期项目（3、4号机组）

环境影响评价公众参与说明

（建造阶段）（报批版）

编制 王册 2020.5.21

校对 陈青松 2020.5.21

审核 付强 2020.5.21

批准 李永平 2020.5.21



目 录

1	概述.....	3
2	首次环境影响评价信息公开情况.....	5
2.1	公开内容及日期.....	5
2.2	公开方式.....	5
2.2.1	网络.....	5
2.2.2	其他.....	8
2.2.3	公众意见情况.....	9
3	征求意见稿公示情况.....	10
3.1	公示内容及时限.....	10
3.2	公示方式.....	10
3.2.1	网络.....	10
3.2.2	报纸.....	12
3.2.3	张贴.....	15
3.3	查阅情况.....	16
3.4	公众提出意见情况.....	16
4	其他公众参与情况.....	18
4.1	其他公众参与情况.....	18
4.2	宣传科普情况.....	18
5	公众意见处理情况.....	20
5.1	公众意见概述和分析.....	20
5.1.1	团体问卷调查统计情况.....	20
5.1.2	个人问卷调查统计情况.....	22
5.2	公众意见采纳情况.....	26
5.3	公众意见未采纳情况.....	26
6	报批前公开情况.....	28
6.1	公开内容及日期.....	28
6.2	公开方式.....	28
7	其他.....	30
8	诚信承诺.....	31

海南核电二期项目（3、4号机组）环境影响评价公众参与说明（建造阶段）（报批版）

1 概述

海南昌江核电厂厂址位于海南省昌江县海尾镇塘兴村，濒临北部湾。3、4号机组工程位于昌江核电厂厂址内，东侧与1、2号机组相毗邻。该项目为扩建项目，工程采用华龙一号融合技术方案，为百万千瓦级核电机组。本项目由两家集团共同出资建设，华能集团控股51%，中核集团参股49%。项目运营管理单位为海南核电有限公司。

2019年11月，海南核电有限公司对该项目进行第一次网络公示及现场张贴公告。2019年11月21日海南核电有限公司在华能核电开发有限公司官方网站进行项目网络公示，2019年11月25日在海南省昌江黎族自治县人民政府网站公示项目信息。2019年11月28日在建设项目周边村庄包括才地村、海尾镇新港社区、南罗村、三联村、五大村和五联村等张贴项目环评信息。项目第一次环评信息公示期间未收到公众反馈意见。

2019年11月~2019年12月，海南核电有限公司组织开展公众参与问卷调查，在海南昌江核电厂15km范围内的乡镇发放调查问卷，涉及的村庄有三联村、五大村、南罗村、五联村、新港社区，共发放问卷29份，收回29份，有效问卷为29份，其中团体3份，个人26份。团体调查问卷的调查单位包括五联村委会、五大村委会、三联村委会等；个人调查问卷发放区域涉及的村庄包括新港社区、南罗村、三联村、五大村、长山村、林好村等。

2020年2月，海南核电有限公司组织开展第二次环评信息公示，分别在网上、报纸和现场张贴公告三种渠道进行同步公示。2020年2月14日，海南核电有限公司在昌江县黎族自治县人民政府网和华能核电开发有限公司官方网站上进行公示。同时，海南核电有限公司在核电厂15km范围内的镇政府及村庄进行第二次环评公告信息现场张贴并设置项目环境影响报告书查阅点。涉及镇政府包括海尾镇人民政府，涉及村庄包括五大村、三联村、五联村、南罗村、新港村、才地村、高石塘村、打显村、大安村等。

海南核电有限公司分别于 2020 年 2 月 20 日和 2020 年 2 月 25 日在国际旅游岛商报上进行两次公示项目第二次环评信息。项目第二次环评信息公示期间未收到公众反馈意见。

2020 年 5 月 15 日，海南核电有限公司在昌江县黎族自治县人民政府网上公示项目环境影响评价报批前公示信息，2020 年 5 月 18 日在中国核能电力股份有限公司网站上公示项目环境影响评价报批前公示信息。根据前期的环境影响评价开展公众参与的成果及公众反馈意见，海南核电有限公司编制完成了《海南核电二期项目（3、4 号机组）环境影响评价公众参与说明（建造阶段）（报批版）》。

2 首次环境影响评价信息公开情况

2.1 公开内容及日期

确定环评单位后，海南核电有限公司于 2019 年 11 月 21 日~2019 年 11 月 28 日组织开展项目首次环境影响评价信息公示。2019 年 11 月 21 日在华能核电开发有限公司官方网站进行公示，2019 年 11 月 25 日在海南省昌江黎族自治县人民政府网站公示项目信息。2019 年 11 月 28 日在项目周边村庄包括才地村、海尾镇新港社区、南罗村、三联村、五大村和五联村等张贴项目环评信息。首次环境影响评价信息公开的内容主要包括：

- (1) 建设项目名称、选址、建设内容等基本情况；
- (2) 建设单位名称和联系方式；
- (3) 环境影响报告书编制单位的名称；
- (4) 提交公众意见表的方式和途径。

本项目环评首次公示依照《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令生态环境部令第4号，2019年1月1日）开展。项目公开内容中除未提供公众意见表的网络链接外，其余信息公开内容和时间符合《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令生态环境部令第4号）的要求。公众可以通过信息公告详细了解本项目的的主要内容以及反馈意见渠道，便于公众积极参与本项目环境影响评价工作。

2.2 公开方式

2.2.1 网络

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护管理条例》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》、《环境影响评价公众参与办法》的有关规定对本项目环评信息进行第一次网上公示。

在确定中国核电工程有限公司承担本项目的环评工作后，海南核电有限公司于 2019 年 11 月 21 日在华能核电开发有限公司网站对项目进行公示，征求公众对本项目建设的意见，具体公示内容网址链接为：<http://hnnp.com.cn/n5/n115/n128/c1109/content.html>，公示期为 15 个工作

日。公示信息截图如图 2.2-1 所示：



图 2.2-1 项目环评信息第一次网上公示（一）

海南核电有限公司于 2019 年 11 月 25 日在昌江黎族自治县人民政府网对项目环评信息进行公示, 征求公众对本项目建设的意见, 具体公示内容网址链接为: <http://changjiang.hainan.gov.cn/changjiang/0400/201911/f44e6564915f437ba86661f6a30c09c4.shtml>, 公示期为 15 个工作日。

公示信息截图如图 2.2-2 所示:

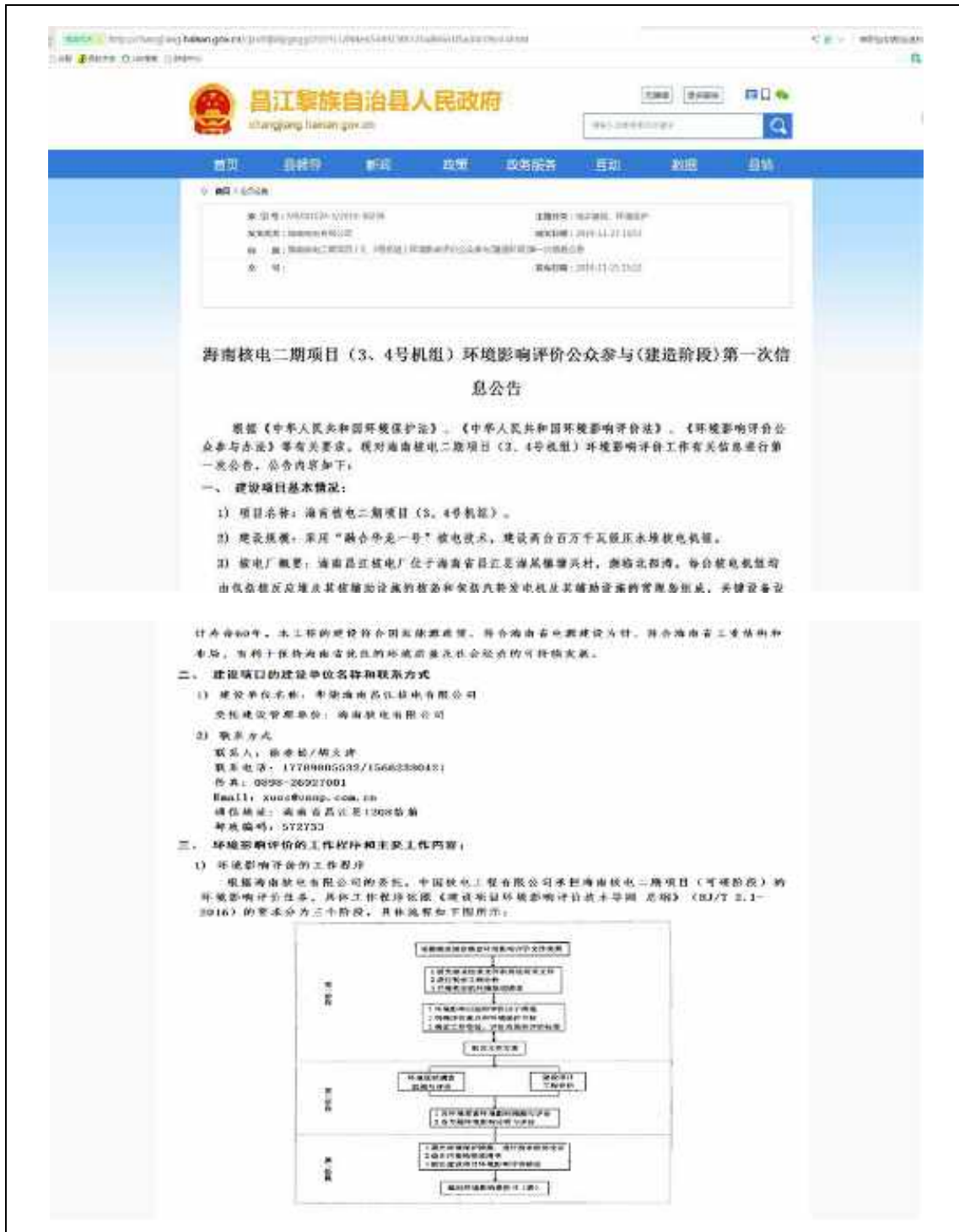




图 2.2-2 项目环评信息第一次网上公示(二)

昌江黎族自治县人民政府网站(<http://changjiang.hainan.gov.cn/>)属于当地公众熟知的网站,华能核电开发有限公司网站(<http://hannp.com.cn>)为控股方的官方网站。公众较容易登录该网站获取项目相关信息,因此项目环评信息公示网站符合环评公示载体要求。

2.2.2 其他

2019年11月28日,海南核电有限公司在核电厂周边村庄包括才地村、海尾镇新港社区、南罗村、三联村、五大村和五联村等区域现场张贴项目首次环评公告信息,具体内容如图 2.2-3 所示:



才地村



新港社区



南罗村



三联村



五大村



五联村

图 2.2-3 现场张贴项目第一次环评信息

2.2.3 公众意见情况

截止项目环境影响评价第一次信息公示公告期结束，未收到对公众对项目环评公告的任何反馈信息。

3 征求意见稿公示情况

3.1 公示内容及时限

本项目的环评征求意见稿编制完成后，海南核电有限公司于 2020 年 2 月 14 日开展项目第二次环评信息公示。采取网上、报纸和现场张贴公告三种渠道进行同步公示，公示期均为 10 个工作日内。

2020 年 2 月 14 日海南核电有限公司在昌江县黎族自治县人民政府网和华能核电开发有限公司公示项目第二次环评信息。在 10 个工作日内即分别于 2020 年 2 月 20 日和 2020 年 2 月 25 日在国际旅游岛商报上进行两次报纸公示。于 2020 年 2 月 20 日，在核电厂 15km 范围内的镇政府及村庄进行现场张贴并设置项目环评征求意见稿查阅点。其中镇政府包括海尾镇人民政府；村庄包括五大村、三联村、五联村、南罗村、新港村、才地村、高石塘村、打显村、大安村等。

第二次影响评价信息公开的内容主要包括：

(1) 环境影响报告书征求意见稿全文的网络链接及查阅纸质报告书的方式和途径；

(2) 征求意见的公众范围；

(3) 公众意见表的网络链接；

(4) 公众提出意见的方式和途径；

(5) 公众提出意见的起止时间。

本项目第二次环境影响评价信息公开内容符合《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令生态环境部令第 4 号）要求。

3.2 公示方式

3.2.1 网络

本项目的征求意见稿完成后，海南核电有限公司于 2020 年 2 月 14 日在昌江黎族自治县人民政府网站 (<http://changjiang.hainan.gov.cn/>) 对项目进行第二次网络公示，就该项目建设对周边环境的影响与环评工作征求公众意见，公示网址链接为：



图 3.2-2 项目环评信息第二次网上公示（二）

昌江黎族自治县人民政府网站和华能核电开发有限公司网站符合项目环评公示载体要求。

3.2.2 报纸

海南核电有限公司于 10 个工作日内在《国际旅游岛商报》上进行了两次报纸公示，即分别于 2020 年 2 月 20 日和 2020 年 2 月 25 日在国际旅游岛商报上公示本项目相关环评信息，具体内容分别见图 3.2-3 和图 3.2-4 所示：

省药监局:加快审评审批速度,确保相关医疗器械投入疫情防控使用

申请资料可简化,免缴注册费用

商报全媒体讯(椰网/海极手机报记者 徐明锋) 2月19日,海南省药品监督管理局印发《新冠肺炎疫情防控所需医疗器械应急审批程序》(以下简称《程序》),全力加快审评审批速度,确保相关医疗器械尽早投入使用。

《程序》指出,本程序所指的应急审批医疗器械,是指疫情防控新冠肺炎疫情所需,且在省内尚无同类产品上市,或虽在省内已有同类产品上市,但产品供应不能满足疫情防控应急需求,需经海南省药品监督管理局(以下简称“省局”)审批的第二类医疗器械产品。在省内新冠肺炎疫情解除后自行废止。

《程序》强调,应急审批按照“统一指挥、早期介入、随到随审、科学审批”的原则和确保产品安全、有效、质量可控的要求,全力加快审评审批速度,确保相关医疗器械尽早投入使用。

《程序》表示,对于符合应急审批要求的,申请人向省局提交注册申请资料以及生产许可开办或变更申请资料,部分申请资料可予以简化;企业可同步申请开展注册样品检验。疫情解除期间,由省局启动的医疗器械应急审批事项,申请人免于缴纳注册费用。

对仅限于疫情防控所需作出的行政许可,相关附件应注明“仅在疫情防控新冠肺炎疫情期间内有效”,产品的说明书和标签中应当明确标注“疫情防控应急物资”,疫情结束后,企业拟继续生产的,应当按照《医疗器械注册管理办法》规定重新申请产品注册。

《程序》要求,各级监管部门要加强监督检查,督促生产企业切实履行产品质量安全主体责任,严格按照医疗器械生产质量管理规范组织生产,强化应急审批医疗器械不良事件监测,确保产品质量安全。

省药监局印发《新冠肺炎疫情防控所需药品应急审批程序》 应急所需药品审批实施即到即受理

商报全媒体讯(椰网/海极手机报记者 徐明锋) 2月19日,海南省药品监督管理局印发《新冠肺炎疫情防控所需药品应急审批程序》(以下简称《程序》),要求各级监管部门切实加强监督检查,督促医疗机构制剂配制单位及药品生产企业切实履行药品质量安全主体责任,严格按照药品生产质量管理规范组织生产,强化应急审批药品不良反应监测,确保药品质量安全。

《程序》指出,程序适用于应对新冠肺炎疫情防控所需药品的省级行政许可事项,包括药品注册补充申请、医疗机构制剂注册和补充申请、医疗机构制剂备案及调剂等,涉及国家药品监督管理局行政许可事项的由省药品监督管理局(以下简称“省局”)予以优先处理。在省内新冠肺炎疫情解除后自行废止。

《程序》表示,我省医疗机构制剂配制单位注册,省局成立应急审批技术指导组,提前介入提供指导,指派专人负责提供注册申请的咨询和技术支持,省药品检验所、省药品审评认证中心等部门按照“合并环节、并联办理”的原则,做好与注册审批环节的衔接,做好与注册审批环节的衔接,做好与注册审批环节的衔接,做好与注册审批环节的衔接。

《程序》强调,对仅限于疫情防控所需作出的行政许可可备案,相关附件或备案表应注明“仅在疫情防控新冠肺炎疫情期间内有效”,疫情结束后,药品注册补充申请事项,可依《药品注册管理办法》重新组织申报,新注册的医疗机构制剂品种,可收事临床病例、完善制剂的药学研究,并依据《医疗机构制剂注册管理办法》(试行)重新组织申报;传统中药制剂备案品种可依据《海南省医疗机构应用传统工艺配制中药制剂备案管理实施细则》(试行)完善制剂的药学、毒理学研究等相关的药学研究后,重新组织备案。

同时,对于申请应急审批的医疗机构制剂注册,省局成立应急审批技术指导组,提前介入提供指导,指派专人负责提供注册申请的咨询和技术支持,省药品检验所、省药品审评认证中心等部门按照“合并环节、并联办理”的原则,做好与注册审批环节的衔接,做好与注册审批环节的衔接,做好与注册审批环节的衔接,做好与注册审批环节的衔接。

同时,对于申请应急审批的医疗机构制剂注册,省局成立应急审批技术指导组,提前介入提供指导,指派专人负责提供注册申请的咨询和技术支持,省药品检验所、省药品审评认证中心等部门按照“合并环节、并联办理”的原则,做好与注册审批环节的衔接,做好与注册审批环节的衔接,做好与注册审批环节的衔接,做好与注册审批环节的衔接。

海口琼山推广线上订单模式 为市民提供“无直接接触”服务 足不出户,31个小区生鲜配送到家

商报全媒体讯(椰网/海极手机报记者 王莉) “您好!您在椰子猪线上销售平台上下单的生鲜配送套餐已经送到小区保安室,麻烦您下取。”2月19日上午,琼山区椰海综合批发市场椰子猪线上销售平台配送员戴着口罩和手套,像往常一样拨通了客户的电话,将打包好的生鲜配送套餐送到保安室,远远看着客户将套餐取走,他又骑上电瓶车,前往下一个配送点。

受新冠肺炎疫情的影响,很多市民只能“宅”在家里,购买生活物资不便。为了解决这一问题,琼山区椰海综合批发市场联合推出椰子猪线上销售平台,市民通过网上下单,由商家直接配送的方式,为市民提供了“无直接接触”的生鲜配送服务,让市民足不出户就能吃上新鲜健康的食品。

据了解,椰子猪线上销售平台,主要以配送蔬菜、肉类、水产、日用品等为主。由椰海综合批发市场负责联系市场菜农、蔬菜基地及肉联厂,为该平台提供每日订单所需的农产品数量,再由自己的配送员实行“一对一”的配送服务。

“为了减少市民的出行和聚集,做好新冠肺炎疫情防控工作,我们多方协调,联合椰海综合批发市场,对接琼山区各个小区物业,通过线上在业主群推送二维码和线下张贴公告的方式,推广椰子猪线上销售平台,市民只需要动动手机,就有专人将生鲜送到家门口,方便了他们生活物资的购买。”琼山区商务局局长李强介绍。

网上下单,直接配送的方式深受广大市民的青睐,截至目前椰子猪线上销售平台已经覆盖琼山区31个小区,约3100户家庭。

海南税务:优化办税服务 助力复工复产

商报全媒体讯(椰网/海极手机报记者 吴英梅 通讯员 海瑞轩) 为全力支持各行各业打赢新型冠状病毒肺炎疫情防控攻坚战,海南省税务局严格落实税务总局各项税收优惠政策,严格落实税务总局支持抗击疫情工作十项税收措施,大力推广“非接触式”办税,积极为纳税人、缴费人提供优质服务,受到多方好评。

为确保持续在疫情防控的同时兼顾满足特殊事项办理需求,海南省税务局为个别急需办理业务的纳税人、缴费人提供绿色通道,解决燃眉之急。

海南省税务局相关负责人表示,在疫情防控关键时期将坚持“不见面”服务不打折,同时进一步优化完善网上办税缴费功能,及时收集纳税人、缴费人反映的难点、热点问题。

海南核电二期项目(3、4号机组)环境影响评价 公众参与(建设阶段)第二次信息公告

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《环境影响评价公众参与办法》等有关法规、文件的要求,建设项目环境影响报告书编制完成后,建设单位需开展建设项目环境影响报告书全文的信息公开,现将《海南昌江核电厂3、4号机组环境影响报告书(建设阶段)》全本进行公示,供社会各界关心海南核电二期项目建设的公众浏览查阅,公示期为2020年2月20日至2020年3月4日(10个工作日)。

建设单位名称:海南昌江核电厂有限公司
受托建设管理单位:海南核电有限公司
联系人:徐春松/胡文涛
联系电话:17789805532/15662380421
传真:0898-26927001
Email: xucs@chnp.com.cn
通信地址:海南省昌江县1208信箱
邮政编码:572733
环境影响报告书公开方式:

公示期间公众可至海南昌江核电厂15Km范围内的镇政府或村委会借阅或登录华能核电开发有限公司官方网站:(http://hnnp.com.cn/n5/n115/n128/c11173/content.html)

或昌江黎族自治县人民政府网:(http://changjiang.hainan.gov.cn/changjiang/0400/202002/6505d5f23af45439e4e1cf6a771f3d4.shtml)查询。

征求公众意见的范围和主要事项:
根据相关法规及本项目环境影响特点,征求公众意见范围为海南昌江核电厂半径15公里范围内公民、法人或其他组织。

征求公众意见时间:
公告期间,如您有任何意见或建议,请至华能核电开发有限公司官方网站或昌江黎族自治县人民政府网下载公众意见表填写后,以邮件、信函等方式反馈,以便我们及时向您反馈相关信息。

海口美兰区 城中村村民 成立“护村队”



商报全媒体讯(椰网/海极手机报记者 王莉) 在海口美兰区千家社区渡头村,一支由当地村民组成的护村队,连日来每天义务值守在进村必经的卡口,对过往人员进行体温登记,并提醒大家做好科学防护措施。平日里他们是默默无闻的平凡百姓,疫情当前,他们是保卫全体村民安全的志愿卫士。

商报记者注意到,在渡头村人口的检查点,有一张排班表,一共4个班,每个班3人,24小时轮班值守。

图 3.2-3 第一次报纸公示内容(国际旅游岛商报)

《国际旅游岛商报》前身为《海南经济报》，1988年与海南建省同步创刊，2010年3月22日，由国家新闻出版总署批准更名为《国际旅游岛商报》。《国际旅游岛商报》经批准在广东省设有分印，发行覆盖包括经济发达的珠三角等地的广东全省。国际旅游岛商报岛内发行量为每期5万份，岛外发行量为每期3万份，每期在海口美兰机场、三亚凤凰机场的南方航空公司所有进出航班上均有发行。读者集中在国际各级政府机关，中大型企业事业单位、私企业主等中高端群体，零售量在全省报业中稳居前三位。因此在其上公开信息具有一定的代表性，也是当地公众易于接触的报纸，符合《环境影响评价公众参与办法》的有关报纸公示载体的规定。

3.2.3 张贴

海南核电有限公司于2020年2月20日在核电厂15km范围内的海尾镇政府、五大村、三联村、五联村、南罗村、新港村、才地村、高石塘村、打显村、大安村等区域进行现场张贴公示。具体情况如下图3.2-5所示：



海尾镇政府



五大村



三联村



五联村



南罗村



新港社区



才地村



高石塘村



打显村



大安村

图 3.2-5 项目周边现场公示照片

3.3 查阅情况

本项目环境影响报告书征求意见稿在海南昌江核电厂 15km 范围内的镇政府及主要村庄设置查阅点，主要包括海尾镇政府、五大村、三联村、五联村、南罗村各村委，供周边村民查阅项目环评报告。公示期间未有公众查阅项目环境影响报告书征求意见稿。

3.4 公众提出意见情况

截止公告期结束，未收到公众反馈的意见和信息。

4 其他公众参与情况

4.1 其他公众参与情况

海南核电有限公司在环境影响评价公众参与过程中还采取发放公众参与调查问卷的形式征求核电厂 15km 所范围内的公众意见。2019 年 11 月~2019 年 12 月，海南核电有限公司组织开展公众参与问卷调查。此次调查问卷共发放 29 份，收回 29 份，回收率 100%，有效问卷为 29 份，其中团体 3 份，个人 26 份。2020 年 2 月，因全国爆发新冠肺炎疫情疫情影响，核电厂周边村庄全部封村，导致 2 月份后续公参调查问卷受阻。项目环境影响评价公众参与调查问卷发放和填写现场照片如图 4.1-1 所示：



五大村村委会



三联村村委会



林好村



新港社区

图 4.1-1 项目公众参与调查问卷现场填写情况

4.2 宣传科普情况

海南昌江核电厂 3、4 机组项目已在选址阶段开展公众参与工作，并在建造阶段公众调查问卷同时同步进行群众面对面核电宣传科普答疑，并发放科普宣传纪念品，提高群众对核电的科学认知，后期因疫情影响科普活动暂停。科普发放现场照片如图 4.2-1 所示：



图 4.2-1 科普宣传纪念品发放

5 公众意见处理情况

5.1 公众意见概述和分析

5.1.1 团体问卷调查统计情况

(1) 团体调查问卷对象及构成

本次团体调查问卷共发放 3 份，回收调查表 3 份。团体问卷总体情况如表 5.1-1 所示：

表 5.1-1 公众参与调查人员构成情况

序号	单位名称	联系人	地区	与核电厂距离	团体单位性质
1	昌江黎族自治县海尾镇 五大村委会	邹和平	昌江县海尾镇	0-5 km	村委会
2	昌江黎族自治县海尾镇 镇三联村委会	唐允奎	昌江县海尾镇	0-5 km	村委会
3	昌江黎族自治县海尾镇 五联村委会	陈定宏	昌江县海尾镇	0-5 km	村委会

(2) 调查统计结果

通过对本次评价收回的调查表的统计，其结果见表 5.1-2：

表 5.1-2 公众参与调查结果统计情况

项目	内容	数量	占百分比 (%)
1、贵单位对本地区环境质量是否满意（如果不满意请注明原因）？	很满意	1	33.3
	较满意	2	66.7
	不满意	0	0
	很不满意	0	0
2、贵单位认为本项目对当地的主要影响？	经济	3	75
	环境	1	25
	社会	0	0
	其它	0	0
3、贵单位认为本项目对您工作和生活主要影响是：	休息	0	0
	学习或工作	0	0
	出行	0	0
	没有影响	3	100
	其它	0	0
4、贵单位认为本项目对本地区环	严重	0	0
	较大	0	0

境质量造成的影响:	一般	1	33.3
	较小	2	66.7
	不清楚	0	0
5、贵单位认为本项目可能对环境造成的主要问题是:	大气污染	0	0
	水污染	2	40
	放射性污染	2	40
	噪声污染	0	0
	没有问题	1	20
	其它	0	0
6、贵单位认为本项目的环境污染防治应注重哪一方面:	大气污染	0	0
	水污染	2	40
	放射性污染	2	40
	噪声污染	1	20
	其它	0	0
7、贵单位认为采取哪些措施可以减轻本项目可能造成的不利影响:	绿化	2	28.6
	加强管理	2	28.6
	加强污染治理措施	3	42.9
	其他	0	0
8、贵单位对本项目建设最关注的问题是:	环境保护	1	20
	就业机会	1	20
	促进经济发展	3	60
	其它	0	0
9、贵单位认为本项目是否有利于推动当地经济发展?	有很大促进作用	3	100
	影响一般	0	0
	没有关系	0	0
10、从环境保护和管理角度考虑,贵单位对本项目的环境影响持何种态度?	支持	3	100
	无所谓	0	0
	不能接受	0	0

根据表 5.1-1, 团体公众参与调查问卷的结果分析如下:

(1) 对本地区环境质量满意情况, 有 66.7% 的被调查单位表示较满意, 33.3% 的被调查单位表示很满意, 被调查的单位中没有对本地区环境质量表示不满意或很不满意。

(2) 关于对本项目对当地的主要影响方面, 有 75% 的被调查单位认为是经济方面, 25% 的被调查单位认为是环境方面, 没有单位认为是社会和其他方面。说明大部分被调查单位认为本项目对当地的主要影响为环境和经济方面。

(3) 在问及本项目的建设对其影响方面，所有被调查单位认为对其没有影响，说明被调查单位认为本项目的建设对其没有影响。

(4) 关于本项目建设对本地区环境质量造成的影响程度方面，66.7%的被调查单位认为影响一般，33.3%的被调查单位认为影响较小，被调查单位中没有认为项目对本地区环境质量造成严重的影响。从以上调查结果来看，大部分被调查单位认为项目对环境的影响较小或影响一般。

(5) 关于该项目可能对环境造成的主要问题方面，被调查单位认为是放射性污染和水污染的占比各有40%，有20%的被调查单位认为是没有问题。从以上调查结果来看，被调查单位认为项目对环境的影响主要体现在放射性污染和噪声污染方面。

(6) 关于本项目的环境污染防治应注重的方面，有40%被调查单位认为是应该注重放射性污染防治方面、40%的被调查单位认为应注重水污染防治方面，20%的被调查单位防治认为是噪声污染。从以上调查结果来看，大部分的调查者更注重放射性污染防治和水污染方面，其次是噪声污染。

(7) 问及应采取哪些措施来减轻本项目可能造成的不利影响方面，42.9%的被调查者认为应当加强污染治理措施，被调查者认为应加强管理和绿化方面各占28.6%。从调查结果来看，大部分调查者认为本项目应当通过加强污染治理措施减轻本项目对环境的不利影响，其次是、加强管理和绿化。

(8) 关于本项目建设最关注的问题方面，60%的被调查者表示为促进经济发展方面，20%的被调查单位表示为环境保护方面，20%的被调查单位表示为就业机会。从结果来看，大部分调查单位更关注促进经济发展方面。

(9) 关于本项目是否有利于推动当地经济的问题，所有的被调查单位认为有很大促进作用。从结果来看，大部分调查单位认为本项目的实施对当地经济的发展起到很大的促进作用。

(10) 从环境保护和管理角度考虑，对该项目建设持何种态度时，所有的被调查单位均表示支持，由此表明，从环境保护和管理角度考虑，被调查单位均认为项目可行，支持项目建设。

5.1.2 个人问卷调查统计情况

(1) 调查对象构成

本次回收个人公众参与有效调查表 26 份。公众参与调查人员信息如表 5.1-3 所示：

表 5.1-3 公众参与调查人员构成情况

项目		人数	比例 (%)
性别	男	22	84.6
	女	4	15.4
年龄	20 岁以下	1	3.8
	20~30 岁	3	11.5
	30~40 岁	5	19.3
	40~50 岁	10	38.5
	50 岁以上	7	26.9
文化程度	小学及以下	4	15.4
	初中	10	38.4
	高中	6	23.1
	中专	2	7.7
	大专	2	7.7
	本科及以上学历	2	7.7
职业	农民	8	30.8
	干部（公务员）	5	19.2
	工人	2	7.7
	个体	1	3.8
	其他	10	38.5

由表 5.1-3 可知，调查对象中男性 22 人，女性 4 人，比例分别为 84.6%和 15.4%，男女比例约为 5:1。

从调查对象年龄统计得知，20 岁以下的 1 人，20~30 岁之间的 3 人，30~40 之间 5 人，40~50 岁之间的 10 人，50 岁以上 7 人，调查对象年龄范围涵盖较广，但调查对象年龄主要集中在 30~50 岁之间，合计人数为 22 人，占被调查对象的 84.6%。

从调查对象文化程度统计得知，小学及以下共 4 人，初中学历 10 人，高中学历 6 人，中专学历 2 人，大专学历 2 人，本科及以上学历 2 人，分别占总调查对象的 15.4%、38.4%、23.1%、7.7%、7.7%和 7.7%。调查对象的学历主要在高中以下。

从调查的职业统计得知，农民 8 人，干部（公务员）5 人、工人 2 人、个体 1 人、其他（如医生、渔民等）10 人，分别占调查对象的 30.8%、19.2%、7.7%、3.8%和 38.5%。从填写的调查问卷中可知，职业为农民比例最大，这主要是由于

核电厂周边 5km 范围内的调查对象主要为村庄，调查对象以务农为主。

(2) 调查统计结果

个人调查问卷统计结果如 5.1-4 所示：

表 5.1-4 公众参与调查结果统计情况

项目	内容	数量	占百分比 (%)
1、您对本地区环境质量是否满意 (如果不满意请注明原因) ?	很满意	19	73.1
	较满意	7	26.9
	不满意	0	0
	很不满意	0	0
2、您认为本项目对当地的主要影响?	经济	10	37.0
	环境	4	14.8
	社会	0	0
	其它	13	48.1
3、您认为本项目对您工作和生活 主要影响是:	休息	2	7.4
	学习或工作	2	7.4
	出行	0	0
	没有影响	11	40.7
	其它	12	44.4
4、您认为本项目对本地区环境质 量造成的影响:	严重	1	3.8
	较大	0	0
	一般	8	30.8
	较小	3	11.5
	不清楚	14	53.8
5、您认为本项目可能对环境造成 的主要问题是:	大气污染	1	3.6
	水污染	2	7.1
	放射性污染	3	10.7
	噪声污染	8	28.6
	没有问题	10	35.7
	其它	4	14.3
6、您认为本项目的污染防治 应注重哪一方面:	大气污染	1	3.6
	水污染	2	7.1
	放射性污染	7	25
	噪声污染	1	3.6
	其它	17	60.7
7、您认为采取哪些措施可以减轻	绿化	5	18.5
	加强管理	5	18.5

本项目可能造成的不利影响:	加强污染治理措施	5	18.5
	其他	12	44.4
8、您对本项目建设最关注的问题是:	环境保护	8	29.6
	就业机会	2	7.4
	促进经济发展	5	18.5
	其它	12	44.4
9、您认为本项目是否有利于推动当地经济发展?	有很大促进作用	13	50
	影响一般	5	19.2
	没有关系	8	30.8
10、从环境保护和管理角度考虑,您对本项目的环境影响持何种态度?	支持	19	73.1
	无所谓	6	23.1
	不能接受	1	3.8

根据表 5.1-4, 个人公众参与调查问卷的结果分析如下:

(1) 对本地区环境质量满意情况, 73.1%的调查对象表示很满意, 26.9%的调查对象表示较满意, 因此大部分调查对象对本地区环境质量很满意, 少部分表示较满意, 没有不满意或很不满意。

(2) 关于对本项目对当地的主要影响方面, 有 48.1%的调查对象认为是其他方面, 有 37.0%的调查对象认为是经济方面, 14.8%的调查对象认为是环境方面。说明大部分调查对象认为本项目对当地的主要影响为其他方面, 其次为环境和经济方面。

(3) 在问及本项目的建设对其影响方面, 有 44.4%的调查对象认为是其它方面, 有 40.7%的调查对象认为对其没有影响, 有 7.4%的调查对象认为是休息方面, 有 7.4%的调查对象认为是学习或工作方面的影响, 说明大部分调查对象认为本项目的建设对其影响为其他方面或对其没有影响, 少部分调查对象认为对其影响为休息、学习或工作。

(4) 关于本项目建设对本地区环境质量造成的影响程度方面, 有 53.8%的调查对象不清楚影响情况, 有 30.8%的调查对象认为影响一般, 11.5%认为较小, 有 3.8%的调查对象认为影响严重。

(5) 关于该项目可能对环境造成的主要问题方面, 35.7%的调查对象认为没有问题, 28.6%的调查对象认为是噪声污染, 14.3%的调查对象认为是其他方面问题, 10.7%的调查对象认为是放射性污染, 7.1%的被调查单位认为是水污染, 3.6%调查对象中认为是大气污染。从以上调查结果来看, 部分调查对象认为项目对环

境没有造成问题，部分认为主要影响体现在噪声污染、其他方面、放射性污染、水污染和大气污染。

(6) 关于本项目的污染防治应注重的方面，60.7%的调查对象认为是其他方面，25%的调查对象认为是应该注重放射性污染防治方面，7.1%的调查对象认为是水污染防治方面，3.6%的调查对象防治认为是大气污染，3.6%认为是噪声污染。从以上调查结果来看，大部分的调查对象更关注其它方面，其次为放射性污染防治，少部分为水污染防治、大气污染和噪声污染。

(7) 问及应采取哪些措施来减轻本项目可能造成的不利影响方面，44.4%的被调查者认为是其他方面，各有18.5%的调查对象认为应当加强污染治理措施、加强管理、绿化。从调查结果来看，大部分调查者认为本项目应当通过加强其它方面来减轻本项目对环境的不利影响，有部分认为应加强污染治理措施、加强管理和绿化。

(8) 关于本项目建设最关注的问题方面，有44.4%的调查对象认为是其它，29.6%的调查对象表示为环境保护方面，18.5%的调查对象表示为促进经济发展方面，7.4%的调查对象表示为就业机会。从结果来看，部分调查对象更关注其它方面，部分关注环境保护、促进经济发展和就业机会。

(9) 关于本项目是否有利于推动当地经济的问题，50%的调查对象认为有很大促进作用，30.8%的调查对象认为没有关系，19.2%的调查对象表示影响一般。从结果来看，一半的调查对象认为本项目的实施对当地经济的发展起到很大的促进作用，少部分认为没有关系或表示影响一般。

(10) 从环境保护和管理角度考虑对项目建设态度，有73.1%的调查对象均表示支持，23.1%的调查对象意见为无所谓，有3.8%的调查对象表示不能接受。从环境保护和管理角度考虑，绝大多数调查对象认为项目可行，支持项目建设。

5.2 公众意见采纳情况

根据问卷调查结果，公众提出的意见和建议为：

(1) 加强参与地方经济建设，社会治理，环境保护等方面的工作力度。

本项目采纳公众提出有关环境保护的意见，加强环境污染治理防治措施，在项目建设及营运过程中落实相应的措施。

5.3 公众意见未采纳情况

海南核电有限公司表示在核电厂工程建设中充分考虑公众提出的意见和建议，全部采纳公众意见，无不采纳情况。

6 报批前公开情况

6.1 公开内容及日期

本项目环境影响评价报批前，海南核电有限公司于 2020 年 5 月 15 日在昌江黎族自治县人民政府网站开展项目环境影响评价报批前信息公示。2020 年 5 月 18 日，海南核电有限公司在中国核能电力股份有限公司官方网开展项目环境影响评价报批前信息公示。

本项目环境影响评价报批前公开的内容主要包括：

- (1) 环境影响报告书全本
- (2) 公众参与说明

本项目环境影响评价报批前公开的内容符合《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令生态环境部令第 4 号）要求。

6.2 公开方式

海南核电有限公司于 2020 年 5 月 15 日在昌江黎族自治县人民政府网站开展项目环境影响评价报批前信息公示。公示网址链接为：

<http://changjiang.hainan.gov.cn/cjxsthjbhj/0500/202005/69f56bfa366b49c9b0df1a915e35ad3a.shtml>。公示情况如图 6.2-1 所示：



图 6.2-1 项目环评信息报批前网上公示（一）

海南核电有限公司于 2020 年 5 月 18 日在中国核能电力股份有限公司官方网站开展项目环境影响评价报批前信息公示。公示网址链接为：

http://www.cnp.com.cn/art/2020/5/18/art_33_7745.html。公示情况如图 6.2-2 所示：

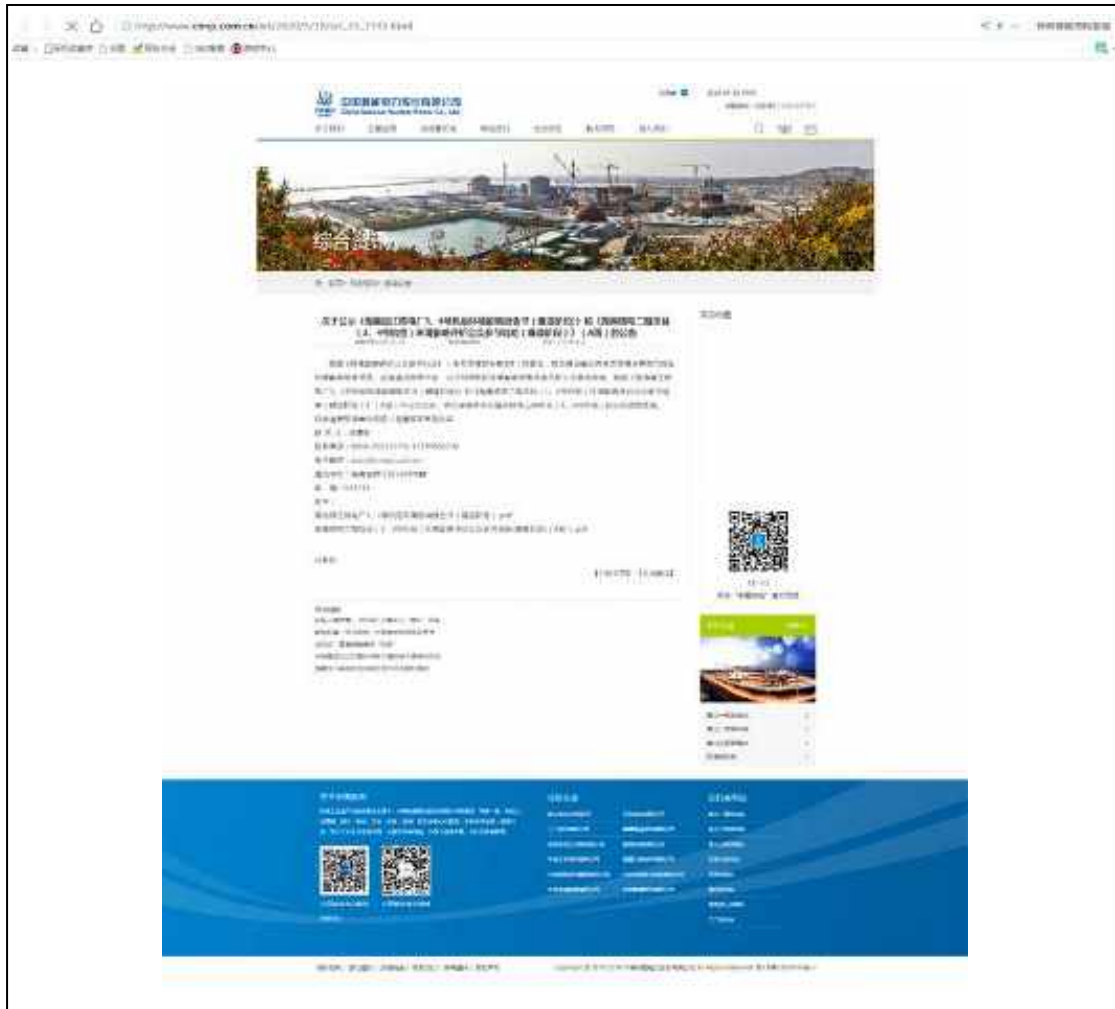


图 6.2-2 项目环评信息报批前网上公示（二）

7 其他

(1) 存档备查情况

海南核电二期项目（3、4 号机组）环境影响评价公众参与（建造阶段）的相关材料包括照片、报纸公示内容、公众参与调查问卷、公告信息截图等资料均已进行分类存档。

8 诚信承诺

我单位已按照《环境影响评价公众参与办法》要求，在海南昌江核电厂3、4号机组环境影响报告书（建造阶段）编制阶段开展了公众参与工作，在环境影响报告书中充分采纳了公众提出的与环境影响相关的合理意见，对未采纳的意见按要求进行了说明，并按照要求编制了公众参与说明。

我单位承诺，本次提交的《海南核电二期项目（3、4号机组）环境影响评价公众参与说明（建造阶段）》内容客观、真实，未包含依法不得公开的国家秘密、商业秘密、个人隐私。如存在弄虚作假、隐瞒欺骗等情况及由此导致的一切后果由海南核电有限公司承担全部责任。

承诺单位：海南核电有限公司
承诺时间：2020年5月20日

