

浙江金七门核电厂 1、2 号机组

环境影响报告书

(建造阶段)

中核浙能能源有限公司
二〇二四年三月



密级：

图册(文件)编号	
2016XEIRHYC01	
共 1 册 第 1 册	
版次：A	状态：CFC

浙江金七门核电厂 1、2 号机组

工 程 号	2016
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	孙清

J	D	X	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
二〇二四年三月

打印编号: 1709198087000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	q82r76		
建设项目名称	浙江金七门核电厂1、2号机组（建造阶段）		
建设项目类别	55--167核动力厂（核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等）；反应堆（研究堆、实验堆、临界装置等）；核燃料生产、加工、贮存、后处理设施；放射性污染治理项目		
环境影响评价文件类型	报告书		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	中核浙能能源有限公司		
统一社会信用代码	9133000009169289X1		
法定代表人（签章）	钟华		
主要负责人（签字）	姚照红		
直接负责的主管人员（签字）	高波		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	中国核电工程有限公司		
统一社会信用代码	911100001000027329		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
高桂玲	06351143505110583	BH026937	高桂玲
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
王欣	第三章、第八章	BH026929	王欣
韩蕊	第四章	BH026658	韩蕊
高桂玲	第一章、第五章、第十章	BH026937	高桂玲
魏刚	第九章	BH026932	魏刚

李京	第二章	BH026930	李京
薛娜	第六章、第七章	BH026661	薛娜

2002



文件修改记录

版本	日期	章节	页码	修改范围及依据
A	2024.03	-	-	首次出版

总 目 录

第一章 概述

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

第二章 厂址与环境

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

第三章 环境质量现状

- 3.1 辐射环境质量现状
- 3.2 非辐射环境质量现状

第四章 核电厂

- 4.1 厂区规划及平面布置
- 4.2 反应堆和蒸汽-电力系统
- 4.3 核电厂用水和散热系统
- 4.4 输电系统
- 4.5 专设安全设施
- 4.6 放射性废物系统和源项

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 场内运输事故

7.4 其他事故

7.5 事故应急

第八章 流出物监测与环境监测

8.1 辐射监测

8.2 其它监测

8.3 监测设施

8.4 质量保证

第九章 利益代价分析

9.1 利益分析

9.2 代价分析

第十章 结论与承诺

10.1 结论

10.2 承诺

第一章 概 述

1.1 建设项目名称和建设性质

1.1.1 核电厂名称

1.1.2 建设性质

1.2 建设项目的规模和厂址总体规划

1.3 建设项目经费和环保设施投资

1.4 建设目的

1.5 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

1.7.1 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

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

项目名称：浙江金七门核电厂 1、2 号机组

项目建设单位：中核浙能能源有限公司

1.1.2 建设性质

浙江金七门核电厂 1、2 号机组为新建项目。

中核浙能能源有限公司作为业主，负责核电厂的建设和运营管理。

1.2 建设项目的规模和厂址总体规划

浙江金七门核电厂厂址规划建设六台“华龙一号”百万千瓦级压水堆核电机组，厂区统一规划，分期建设。一期工程拟建设两台“华龙一号”百万千瓦级压水堆核电机组及其配套设施，工程采用华龙一号融合技术方案，机组电功率 1215MWe，额定热功率 3190MWt。

1.3 建设项目经费和环保设施投资

浙江金七门核电厂 1、2 号机组采用“华龙一号”百万千瓦级压水堆核电机组。按照工程固定价总投资资金需求，资金拟通过以下途径筹措：项目资本金由项目出资人（各股东方）按出资协议中确定的股份比例自行筹措；人民币融资（包含换汇所需资金）拟采用国内政策性银行和（或）商业银行贷款解决。

1.4 建设目的

随着经济社会的持续快速发展，浙江省的能源消费呈现了较快的增长趋势。浙江省一次常规能源资源匮乏，目前全省的煤炭、石油、天然气等一次能源绝大部分靠省外调入。为了满足浙江省今后长远经济建设发展的需要，减轻环境压力、推进节能减排，调整能源结构、保障能源安全，核电建设的需求越来越明显。

1) 持续保障供电、满足用电需求。

随着浙江省电力需求的持续快速增长，“十四五”及以后浙江省的电力缺口逐年增大。金七门核电建成投产后，对于满足浙江省电力电量需求、保障经济社会稳定发展具有有利作用。

2) 减轻环境压力、推进节能减排

目前浙江省电力工业对一次能源的需求主要以煤炭为主，长期以来，煤电装机容量在浙江省总装机容量中的比例一直较大。截至 2023 年底，浙江电网总装机容量 13077 万千瓦，其中火电装机容量 6794 万千瓦，占总装机容量的 52.0%；水电装机容量 1388 万千瓦，占 10.6%；风电装机容量 584 万千瓦，占 4.5%；核电装机容量 917 万千瓦，占 7.0%；光

伏装机 3357 万千瓦，占 25.7%。

核电是一种技术成熟的清洁能源，与煤电相比，核电不排放二氧化硫、烟尘、氮氧化物和二氧化碳。金七门核电厂 1、2 号机组采用的“华龙一号”三代核电技术，每年可减少排放二氧化硫约 0.27 万吨，氮氧化物约 0.32 万吨，二氧化碳约 1786 万吨。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。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。

3) 调整能源结构、保障能源安全

浙江省煤炭资源匮乏，煤炭供应基本依靠外省调入和进口。在浙江省大量发展燃煤电厂给煤炭生产、运输和环境保护带来很大压力。

积极安全有序发展核电成为我国优化能源结构、保障能源供给安全、实现双碳目标、应对气候变化的重要手段。金七门核电项目的建设有利于缓解浙江省能源需求和节能减排所带来的双重压力，能有效改善浙江省的能源供应结构、实现一次能源的多元化，对于保障浙江省的能源安全 and 经济安全具有重要意义。

1.5 建设项目的进度

浙江金七门核电厂 1、2 号机组两台机组的开工时间间隔 10 个月，其中 1 号机组预期于 2029 年底建成投产。

1.6 环境影响报告书编制依据

本工程为满足编制报告书的要求开展了相关专题的研究工作。本报告遵循的主要法规、标准和导则：

（1）主要法规

- 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月 1 日）；
- 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日）；
- 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日）；
- 《中华人民共和国海洋环境保护法》（2024 年 1 月 1 日）；
- 《中华人民共和国大气污染防治法》（2018 年 10 月 26 日）；
- 《中华人民共和国水污染防治法》（2018 年 1 月 1 日）；
- 《中华人民共和国噪声污染防治法》（2022 年 6 月 5 日）；
- 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020 年 9 月 1 日）；
- 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年 10 月 1 日）；

- 《放射性物品运输安全管理条例》（2010 年 1 月 1 日）；
- 《中华人民共和国防治海岸工程建设项目污染损害与海洋环境管理条例》（2018 年 3 月 19 日）；
- 《中华人民共和国海域使用管理法》（主席令 61 号，2001 年）
- 《放射性废物安全管理条例》（2012 年 3 月 1 日）；
- 《国家危险废物名录》（2021 年版）；
- 《水产种质资源保护区管理暂行办法》（2016 年 5 月 30 日）；
- 《近岸海域环境功能区管理办法》（2010 年 12 月 22 日）；
- 《核电厂核事故应急管理条例》（HAF002，2011）；
- 《核动力厂厂址评价安全规定》（HAF101，2023）；
- 《放射性废物安全监督规定》（HAF401，1997）；
- 《浙江省海洋环境保护管理条例》（2017 年 9 月 30 日）；
- 《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2021 年修正）；
- 《浙江省生态环境保护条例》（2022 年 8 月 1 日）；
- 《浙江省辐射环境管理办法》（2021 年修正）等。

（2）技术导则、标准

- 《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）；
- 《建设项目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》（HJ 2.2-2018）；
- 《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018）；
- 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）；
- 《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022）；
- 《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ24-2020）；
- 《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02，1987）；
- 《核电厂厂址选择及评价的人口分布问题》（HAD101/03，1987）；
- 《核电厂厂址选择的外部人为事件》（HAD101/04，1989）；
- 《核电厂厂址选择的放射性物质水力弥散问题》（HAD101/05，1991）；
- 《核电厂厂址选择与水文地质的关系》（HAD101/06，1991）；
- 《滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定》（HAD101/09，1990）；
- 《核电厂厂址选择的极端气象现象》（HAD101/10，1991）；

- 《核电厂设计基准热带气旋》（HAD101/11，1991）；
- 《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01，2019）；
- 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）；
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；
- 《核动力厂运行前辐射环境本底调查技术规范》（HJ969-2018）；
- 《核电厂水文地质调查与评价技术规范》（NB/T 20306-2014）；
- 《海洋监测规范》（GB17378.1~7-2007）；
- 《海洋调查规范》（GB12763.1~7-2007）；
- 《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》（国家海洋局，2002）；
- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- 《核设施流出物监测的一般规定》（GB11217-89）；
- 《核辐射环境质量评价一般规定》（GB11215-89）；
- 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；
- 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）；
- 《放射性物质安全运输货包的泄漏检验》（GB/T 17230-1998）；
- 《电离辐射监测质量保证一般规定》（GB8999-2021）；
- 《海水水质标准》（GB3097-1997）；
- 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
- 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；
- 《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB37822-2019）；
- 《声环境质量标准》（GB 3096-2008）；
- 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）；
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
- 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；
- 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）；
- 《放射性废物体和废物包的特性鉴定》（EJ 1186-2005）；
- 《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）；
- 《核动力厂取排水环境影响评价指南（试行）》（HJ1037-2019）；
- 《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）；
- 《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）；

- 《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）；
- 《排污单位自行监测技术指南 水处理》（HJ 1083-2020）等。

1.7 评价标准

1.7.1 辐射环境影响评价标准

本报告正常运行工况和事故工况下的剂量评价标准，遵循《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）中的有关规定。

（1）运行状态下的剂量约束值和排放量、排放浓度控制值

正常运行工况下的剂量约束值，遵循 GB6249-2011 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”，因此确定本厂址剂量约束值为 0.25mSv/a。浙江金七门核电厂厂址规划建设 6 台华龙一号核电机组，拟定的浙江金七门核电厂 1、2 号机组剂量约束值为 0.08mSv/a。

根据 GB 6249-2011 的第 6.2、6.3 和 6.4 条款的规定，浙江金七门核电厂厂址 6 台机组运行状态下的年放射性排放量应控制在 6.2 条款规定值的 4 倍以内，具体如下：

（a）气载流出物

- 惰性气体， 2.4×10^{15} Bq/a；
- 碘， 8.0×10^{10} Bq/a；
- 长寿命粒子（ $T_{1/2} \geq 8d$ ）， 2.0×10^{11} Bq/a；
- 氚， 6.0×10^{13} Bq/a；
- C-14， 2.8×10^{12} Bq/a。

（b）液态流出物

- 氚， 3.0×10^{14} Bq/a；
- C-14， 6.0×10^{11} Bq/a；
- 其余核素（除氚、C-14 外）， 2.0×10^{11} Bq/a。

本工程拟定的流出物排放量控制值为厂址控制值的 1/3，本工程流出物排放总量控制值如下：

（a）气载流出物

- 惰性气体， 8.0×10^{14} Bq/a；
- 碘， 2.67×10^{10} Bq/a；
- 长寿命粒子（ $T_{1/2} \geq 8d$ ）， 6.7×10^{10} Bq/a；
- 氚， 2.0×10^{13} Bq/a；
- C-14， 9.33×10^{11} Bq/a。

（b）液态流出物

——氚， 1.0×10^{14} Bq/a；

——C-14， 2.0×10^{11} Bq/a；

——其余核素（除氚、C-14 外）， 6.67×10^{10} Bq/a。

本厂址属滨海厂址，液态流出物排放浓度执行 GB6249-2011 第 6.8 条规定的要求，即：槽式排放出口处的放射性流出物中除氚和 C-14 外其他放射性核素的排放浓度不超过 1000Bq/L。

（2）事故工况下的剂量控制值

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）中规定，对于设计基准事故的潜在照射后果应符合下列要求：在发生一次稀有事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 50mSv 以下；在发生一次极限事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 0.1Sv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 1Sv 以下。

（3）海水中的放射性核素浓度标准

根据《海水水质标准》（GB3097-1997）的要求，受纳海域中海水的放射性核素浓度执行以下标准：

—Co-60：0.03Bq/L；

—Sr-90：4.0Bq/L；

—Ru-106：0.2Bq/L；

—Cs-134：0.6Bq/L；

—Cs-137：0.7Bq/L。

1.7.2 非辐射环境影响评价标准

本工程环境影响评价所遵循的非放标准如下：

1.7.2.1 环境质量标准

（1）核电厂厂址周边区域环境空气质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012，2018 年修订）中的二级标准。

（2）厂址区域声环境质量执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 2 类标准，即：昼间 60dB(A)、夜间 50dB(A)；周围声环境敏感点执行 GB3096-2008 中的 1 类标准，即：昼间 55dB(A)、夜间 45dB(A)。

（3）厂址海域海水水质执行调整后的浙江省近岸海域环境功能区划规定的水质标准限值要求。核电厂排放口所在海域为金七门核电温排水三类区，海水水质执行《海水水质标准》（GB3097-1997）中二类标准。核电厂码头附近海域为金七门核电填海及码头四类区，海水水质均执行《海水水质标准》（GB3097-1997）中二类标准。

（4）厂址及周边区域电磁辐射环境现状评价执行《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中标准限值的要求。

1.7.2.2 非放射性污染物排放标准

（1）核电厂施工期间的大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表 2 无组织排放监控浓度限值。另外，施工期间油漆喷涂等工序产生的 NMHC（非甲烷总烃）执行《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB37822-2019）中排放限值：监控点处 1h 平均浓度值执行 $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，监控点处任意一次浓度值执行 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 。

（2）建筑施工场界噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）标准，即昼间 70dB(A)、夜间 55dB(A)。企业厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的 2 类标准，即昼间 60dB(A)、夜间 50dB(A)。

（3）施工期、运行期生活污水排水中的 COD、总氮、氨氮和总磷等 4 项主要水污染物指标执行《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）中表 2 排放浓度限值要求，其余指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中的一级 A 标准；运行期的非放射性生产废水（除石油类）排放执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中的一级 A 标准及《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018），非放射性含油废水的石油类排放执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中的一级 B 标准，非放射性含油废水其余指标执行《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）。

1.8 工程组成

浙江金七门核电厂 1、2 号机组主体工程为核岛、常规岛和配套设施 BOP 工程。

1.9 环境保护措施

本工程拟采取的环境保护措施包括设置核岛通风系统、核岛废物处理和排放系统、常规岛含油污水处理、放射性机修及去污车间、厂区三废处理设施及环境保护工程、核岛辐射监测系统等，以及进行厂区绿化等。

（1）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）等。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，经通风系统后排向烟囱。

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。ZST 系统根据废物的不同类型和性质对其分别进行处理使其达到适宜运输、贮存和处置的要求。

（2）非放射性影响防治措施

①污水处理设施

本工程拟新建非放射性污废水处理站和污水系统油水分离器等污水处理设施。

本工程生产区、厂前区和部分施工临建区的生活污水通过相应污水管网汇集至非放射性污废水处理站。生活污水经生化处理和深度处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中车辆冲洗水质标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级 A 标准，以及《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）中表 2 排放浓度限值要求后，用于绿化、道路浇洒和洗车等，回用剩余排入大海。非放射性污废水处理站建成前生活污水外运处理。厂外南田墩村施工临建区生活污水外运处理。

本工程通过室外管网收集汽机厂房、主变压器和降压变压器平台等子项的非放射性含油废水，汇集至污水系统油水分离器。非放射性含油废水经过油水分离设施处理，石油类

达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中的一级B标准，排入非放射性污废水处理站处理；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。非放射性含油废水处理工艺设备总处理能力为10m³/h，每套设备设计处理能力为5m³/h。

本工程非放射性生产废水除含油废水外，还包括除盐水生产厂房树脂再生废水、制氯站酸洗废水、空调设备冷凝水、工艺管廊集水坑排水、各厂房地面冲洗水、核岛生产废水、常规岛生产废水等，以及消防水池溢流水和泄空水，上述废水均通过室外管网排入非放射性污废水处理站进行处理。

上述污废水经生化处理和深度处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中车辆冲洗水质标准后，用于绿化、道路浇洒和洗车等，回用剩余水量排入大海，排放水质中的 COD、总氮、氨氮和总磷等 4 项主要水污染物指标执行《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）中表 2 排放浓度限值要求，其余指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准。新建非放射性污废水处理站为合建污废水处理设施，总设计规模 900m³/d，为金七门项目 1~4 号机组服务。

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。海水淡化厂房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《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），本工程辐射环境影响评价的范围为以 1 号机组反应堆为中心，半径 80km 的地域范围。为进行剂量估算，将此区域分别以 1、2、3、5、10、20、30、40、50、60、70、80km 为半径画 12 个同心圆，与圆心角为 22.5°的 16 个方位相交划分扇形区，共 192 个评价子区，厂址半径 80km 评价子区划分示意图见图 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 大气环境》（HJ2.2-2018）及《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），本项目大气环境质量现状评价范围为厂址半径 5km 的主要环境敏感点。

根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）及《大气污染物无组织排放监测技术导则》（HJ/T55-2000），本项目施工期大气环境评价范围为施工厂界及厂址附近主要环境敏感点。

（2）声环境

根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）及《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），本项目声环境质量现状评价范围为厂界外 1m 和厂址半径 5km 范围内敏感目标。

根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）及《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008），本项目运行期声环境评价范围为施工场界外 1m 及厂址附近主要环境敏感点。

根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）及《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011），本项目施工期声环境评价范围为厂界外 1m 及厂址附近主要环境敏感点。

（3）水环境

温排水评价范围参照《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》（GBT19485-2014）的相关要求，同时参考本工程温排水专

题的研究范围确定。

（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送电走廊两侧 50m 带状区域。

射频综合场强：调查范围为核电厂厂址周围 5km 范围内环境敏感区域。

（5）生态环境

陆生生态环境的现状调查评价范围为厂址半径 10km；水生生态环境的现状调查评价范围为以金七门核电厂排水口为中心，两侧沿岸向外延伸距离各 30km，向海延伸 50km 范围的海域。

1.11 环境影响报告书批复的落实情况

2023 年 11 月 10 日，生态环境部下发的《关于浙江金七门核电厂 1、2 号机组环境影响报告书（选址阶段）的批复》（环审〔2023〕124 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及相应的落实情况如下：

（1）严格落实相关环境保护措施和监测方案，加强施工期间的环境管理。

在工程设计阶段及今后一个时期，建设单位将严格落实相关环境保护措施和环境监测方案。建设单位已经编制《环境监督管理》和《环境监督管理实施细则》，细则内明确了检查环评报告中提出的保护措施的实施情况和执行标准等要求，加强施工期间的环境管理。

（2）严格管控围填海活动，深入开展项目填海造地的生态环境影响评价，未经批准不得开展相关工作。

建设单位根据填海造地环境影响评价的相关要求，深入开展了本项目填海造地的生态环境影响评价，围填海施工计划受到严格控制，建设单位将在取得相关批准文件后再开展填海造地相关工作。

（3）采取积极有效措施，明确本工程低水平放射性固体废物的去向。

建设单位已经和放射性废物处置单位明确了合作意向，初步计划在 2024 年完成意向书签订。低水平放射性固体废物，通过公路放射性废物货包运输至甘肃省金塔县龙和国家集中处置场。

（4）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。

建设单位积极行动，不断地做好项目公众宣传和公众参与工作。公众宣传方面，建设单位持续开展微科普馆科普接待活动，截至目前已累计接待 2.2 万人次；组织了宁波市、县相关部门人员 138 人次赴秦山核电开展公众考察活动，截至目前已累计组

织公众考察人数 3985 人次。后续除了持续开展微科普馆公众接待和组织相关人员赴核电基地开展公众考察活动外，还将积极配合中国核电开展魅力之光夏令营活动以及与象山县科协联合开展相关公众科普活动。公众参与方面，建设单位严格按照相关法规要求组织环境影响评价的公众参与工作，积极听取公众意见。



图 1.10-1 厂址半径 80km 范围评价子区划分示意图

第二章 厂址与环境

2.1 厂址地理位置

2.1.1 厂址位置

2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区

2.2 人口分布与饮食习惯

2.2.1 厂址半径 15km 范围内的人口分布

2.2.2 厂址半径 80km 范围内的人口分布

2.3 土地利用及资源概况

2.3.1 土地和水体的利用

2.3.2 陆生资源及生态概况

2.3.3 水产资源及水生态概况

2.3.4 工业、交通及其他相关设施

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 各气象站基本状况一览表

表 2.4-2 厂址大气扩散参数

表 2.4-3 铁塔气象观测要素技术指标一览表

表 2.4-4 地面观测主要气象要素技术指标一览表

表 2.5-1 工程海域各站潮汐特性表

表 2.5-2 厂址处长期潮汐特征值推算表

表 2.5-3 健跳站、大目涂站不同重现期潮位表

表 2.5-4 厂址不同重现期潮位表

表 2.5-5 健跳站和大目涂站不同重现期增、减水结果

表 2.5-6 厂址处不同重现期增、减水表

表 2.5-7 大陈站不同重现期波要素

表 2.5-8 厂址外海 20m 水深处各重现期波要素

图

图 2.4-1 石浦站全年及各季风玫瑰图

图 2.4-2 铁塔各高度年均风玫瑰图（2020.10~2023.9）

图 2.4-3 地面站各季及年均风玫瑰图（2020.10~2023.9）

图 2.4-4 地面站各风向季均、年均降水量玫瑰图（2020.10~2023.9）

图 2.5-1 工程附近海域岸线变化

图 2.5-2 工程附近海域 10m 等深线分布（理论深度基准面）

图 2.5-3 风暴潮模型计算范围

图 2.5-4 金七门厂址可能最大风暴增水过程

图 2.5-5 金七门厂址可能最大风暴减水过程

图 2.5-6 台风浪计算取点位置示意图

图 2.5-7 金七门厂址可能最大台风浪矢量图（ $H_{1/100}$ ）

2.1 厂址地理位置

2.1.1 厂址位置

浙江金七门核电厂 1、2 号机组项目厂址位于浙江省宁波市象山县鹤浦镇金七门村，地处南田岛南缘，猫头洋北岸。

厂址北北东距舟山市约 106km（直线距离，下同），西北距象山县约 42km、距宁波市约 89km、距绍兴市约 170km、距杭州市约 220km，西距三门核电厂约 31km，西南距台州市约 62km，西南距南山岛约 200m。

厂址规划容量为 6 台华龙一号压水堆核电机组，统一规划，分期建设。一期工程建设两台机组。

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

本工程厂址边界含已征用地及租地边界。

用地类型主要为农用地、建设用地、未利用地。

1、2 号机组用地红线范围包括 1、2 号主厂房区、6 台机组共用辅助生产设施区域、厂外其他设施区、厂前建筑区、一期工程边坡用地、爆炸安全距离区域及厂址内的一期主要进厂道路用地等。

本工程厂址边界含已征用地及租地边界。因厂址处用地紧张，其中承包商营地需厂外征用；绝大部分施工生产临建需厂外租用；混凝土搅拌站及沙石料场已租地。

2.1.2.2 非居住区及规划限制区

1、2 号机组非居住区边界为以 1、2 号机组反应堆堆芯为圆心，500m 半径的范围。核电厂规划限制区范围以反应堆堆芯为中心，半径 5km。

金七门核电厂 1、2 号机组非居住区范围大部分均在地产界限内，所有权归中核浙能能源有限公司，可有效管理；1、2 号机组未在地产界限内的非居住区范围，位于厂区东北部及西南部，为 3、4 号机组小南山半岛区域及南山岛部分区域，此部分已取得当地政府批文，同意设置为非居住区，中核浙能能源有限公司可行使管理权。

2.2 人口分布与饮食习惯

本节内容根据中国辐射防护研究院于 2023 年 12 月完成的《浙江金七门核电厂 1、2 号机组厂址周围人口环境及其外部人为事件调查和统计》进行编制。

厂址半径 80km 范围涉及浙江省宁波市的北仑区、鄞州区、奉化区、象山县、宁海县，舟山市的普陀区，台州市椒江区、黄岩区、路桥区、三门县、天台县、温岭市及临海市，

共计 1 省 3 市 13 个县（市、区）。

厂址半径 80km 范围资料来自调查范围涉及的省和市、县（市、区）2022 年统计年鉴资料；厂址半径 15km 范围资料来自涉及的市、县（市、区）相关部门及镇（乡）政府部门的 2022 年末有关统计资料；厂址半径 5km 范围资料来自鹤浦镇人民政府等。

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 范围内涉及鹤浦镇下辖 6 个行政村的 6 个自然村，2021 年户籍人口数约 5 千人。距离厂址最近的是金七门村，位于调查中心的 N 方位约 0.4km，2021 年户籍人口数约 7 百人；人口最多的是小南田村，位于厂址 N 方位 4.3km 处，2021 年户籍人口约 1.1 千人。厂址半径 5km 范围内没有万人以上的居民点。

厂址半径 5km 范围内规模以上企业有 1 家，没有学校、医院、养老院及监狱，有一处旅游景区。

2.2.1.2 厂址半径 15km 范围内的重要居民点

厂址半径 15km 范围内涉及鹤浦镇、高塘岛乡及石浦镇下辖的共 45 个行政村，2021 年户籍人口总数约为 5 万人。距离厂址最近的是金七门村，位于厂址的 N 方位约 0.4km，2021 年户籍人口总数约为 7 百人；人口最多的是樊岙村，位于厂址 N 方位 7.6km 处，2021 年有户籍人口约 3 千人。厂址半径 15km 范围内没有 10 万人以上的人口中心。

厂址半径 10km 范围内有养老院 4 所，没有学校、幼儿园、医院和监狱，没有自然保护区，有规模以上的工业企业共两家。

厂址半径 15km 范围内主要涉及鹤浦镇、高塘岛乡及石浦镇，根据象山县国土空间规划，鹤浦镇城规划为城镇化潜力地区、高塘岛乡规划为生态经济地区（省级重点生态功能地区），石浦镇规划为城镇化优势地区（国家级城镇化地区）。

2.2.1.3 流动人口

厂址半径 15km 范围内的流动人口以流入为主，主要集中在高塘岛乡，有长期流入人口约 1.8 万人，主要为当地企业的务工人员。

根据厂址半径 5km 范围内的具体情况来看，厂址半径 5km 范围内主要涉及的流动人口为务工人员以及景区的旅游人员。厂址半径 5km 范围内有一处象山苏宜矿业有限公司，位于厂址 WNW 方位 4.8km，有职工 32 人。

厂址半径 10km 范围涉及两处旅游景区，分别是鹤浦大沙沙滩（3A）和风门口旅游区

（未定级）。

鹤浦大沙沙滩（3A）：位于厂址 NNE 方位约 10.0km，年接待游客 20 余万人，单日最大游客量约 8000 人，旺季时间为 5 月—10 月。

风门口旅游区（未定级）：位于厂址 NNE 方位，约 5.0km。风门口旅游区坐落于象山鹤浦镇南田岛省级森林公园内，景区面积约 10 平方公里。旅游高峰期为每年 7~8 月和 10 月，每天约几百人，其他时间人数较少。

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

厂址评价区域 80km 范围内 2021 年有户籍人口约 354 万人。厂址半径 80km 范围内陆域面积平均人口密度低于浙江省同期平均人口密度。

2.2.2.2 厂址半径 80km 范围的人口中心和城镇

厂址半径 80km 范围超 10 万人以上的居民点涉及共 5 个，涉及浙江省宁波市、台州市共计 1 省 2 市 5 个县（市、区）所辖的 22 个镇（乡、街道）。距离厂址最近的是象山县丹东街道和丹西街道集中居住区，位于厂址 N 方位 44.8km，2021 年户籍人口总数约 12 万；人口最多的是椒江区城区，位于厂址 SW 方位约 64.9km 处，人口总数约 12 万人。

2.3 土地利用及资源概况

2.3.1 土地和水体的利用

本节内容根据中国辐射防护研究院于 2023 年 12 月完成的《浙江金七门核电厂 1、2 号机组厂址周围人口环境及其外部人为事件调查和统计》进行编制。

厂址半径 10km 范围主要包括象山县的鹤浦镇、高塘岛乡。根据象山县土地“三调”数据及《象山县国土空间总体规划（2021-2035 年）》（象山县自然资源与规划局提供），厂址半径 10km 范围所在区域涉及土地地类主要有乔木林地、沿海滩涂、果园等，厂区范围的土地类型是乔木林地。

厂址半径 5km 范围内矿产资源有 1 处，为象山县鹤浦镇马小坦村、大南田村大娘湾炮台山、杨柳坑村北牛外炮台山建筑用石料（凝灰岩）矿。矿产为建筑用凝灰岩，位于厂址 WNW 方位，约 4.8km，现处于开采状态，开采公司为象山苏宜矿业有限公司，年开采量为 555 万吨。

厂址半径 10km 范围内涉及 1 处森林公园，即象山南田岛省级森林自然公园，位于厂址 N~NNE 方位，厂址中心距一般控制区边界最近处约 1.5km。

厂址半径 10km 范围涉及两处旅游景区，分别是鹤浦大沙沙滩（3A）和风门口旅游区（未定级）。

厂址排放口半径 15km 水域涉及象山花岙岛国家级海洋公园，位于 W~WNW 方位，排放口中心距公园一般控制区边界约 8.5km。

厂址半径 10km 范围有文物保护单位 1 处。

厂址半径 10km 范围内，距离厂址最近的基本农田位于 N 方位，约 3.5km；最近的生态保护红线位于 N~NNE 方位，约 1.5km，即象山南田岛省级森林自然公园。

厂址半径 50km 范围内涉及的中型水库有 6 座，分别是塘港水库、车岙港水库、胡陈港水库、溪口水库、仓岙水库和隔溪张水库。距离厂址中心最近的中型水库是象山县塘港水库，位于 NW 方位，距离约 22.0km。

厂址半径 15km 涉及的水库有 6 座。其中有小（1）型水库有 4 座，分别是大乌岩水库、樊岙水库、黄金坦水库、小百丈水库；小（2）型水库有 2 座，分别是横坑里水库和高坎头水库。

厂址半径 15km 涉及 1 条鹤浦大河（乡镇级），位于厂址 N 方位，最近处约为 7.0km。河道长度是 11.80km，集雨面积是 34.08km²。源出樊岙水库，流经樊岙村、五利村、蟹厂村等 5 个村，是鹤浦镇行洪排涝的主要河道，也是农业灌溉水源地。

根据《浙江省水功能区水环境功能区划分方案（2015）》，厂址半径 15km 范围涉及的水功能区有 1 个，即樊岙河象山农业、工业用水区（甬江 93，G0201301503013），目标水质与现状水质均为Ⅲ类。

厂址半径 15km 范围内居民饮用水主要来自当地自来水厂，不饮用地下水。厂址半径 15km 范围内有自来水厂一处，为象山县第二自来水有限公司鹤浦水厂，水源来源是樊岙水库（N 方位，约 7.1km），供水量 300 万 m³/年，供水范围是鹤浦全镇。

2.3.2 陆生资源及生态概况

本节依据浙江国辐环保科技有限公司于 2020 年 10 月完成的《浙江金七门核电项目环境资料调查报告》和中核第四研究设计工程有限公司于 2020 年 12 月完成的《浙江金七门核电项目陆生生态调查专题报告》编制。

2.3.2.1 农业生产情况

厂址半径 80km 范围主要农作物分类如下：

粮食作物：稻谷、小麦、大麦、薯类、豆类；

油料作物：油菜籽、花生、芝麻等；

蔬菜：叶菜类、根茎类、果实类、水生菜类；

水果：柑桔、杨梅、枇杷等；

其他作物：棉花等。

2.3.2.2 畜牧业情况

金七门厂址半径 80km 范围内家畜家禽主要包括猪、牛、羊、家禽和家兔。猪是评价区内最主要的家畜，是当地居民肉类的主要来源。

2.3.2.3 林业资源与自然资源情况

根据浙江省林业局 2019 年年底公布数据，全省现有林地面积 9903 万亩，活立木总蓄积 3.85 亿立方米。

象山县的矿产资总体特征为：建筑石料矿资源丰富，其它矿产资源量小。

2.3.2.4 陆生生态系统状况

2.3.2.4.1 调查方法和时间

本项目采取资料搜集和现场调查相结合的方式，资料搜集的调查范围以核电厂厂址半径不小于 80km 的陆域；现场调查的调查范围以核电厂厂址半径不小于 10km 的陆域。

2.3.2.4.2 植物

（1）苔藓植物

调查区内分布的苔藓植物资源，以收集相关的文献资料为主，结合当地的生境特点，整理出苔藓植物名录。调查区内分布有苔藓类植物 40 科 70 属 99 种，其中苔类植物 16 科 24 属 32 种、角苔类 1 科 2 属 2 种，藓类植物 23 科 44 属 65 种。

调查区苔藓植物数量较多的是丛藓科、细鳞苔科、曲尾藓科。

（2）维管植物

金七门厂址陆域 10km 半径范围内分布有维管束植物共 149 科 466 属 773 种。其中蕨类植物 21 科 34 属 48 种；裸子植物 7 科 10 属 13 种；被子植物 121 科 422 属 712 种。

自然植被包括常绿阔叶林、落叶阔叶林、暖性针叶林、针阔混交林、暖性竹林、常绿阔叶灌丛、落叶阔叶灌丛、暖热性疏灌草丛和草本沼泽，调查区内有较多的人工植被，包括常绿果林植被、落叶果林植被等主要植被类型。

（3）优势种

调查区的乔木类优势种有木荷、柯、樟、麻栎、椿叶花椒、湿地松、马尾松、杉木等，

灌木类优势种有冬青卫矛、滨柃、檵木、雀梅藤、茅莓、海州常山等，草本群落优势种有五节芒、蕨、火炭母、南苜蓿、蝇子草等，海滨滩涂地草本优势种有盐地碱蓬、互花米草等。

（4）保护野生植物和古树名木

经实地调查及查询相关文献，调查区内分布的当地政府有登记在册的古树名木有 2 种，朴树和樟各 1 株，其中樟为国家 II 级保护植物。

2.3.2.4.3 动物

（1）鸟类

根据资料调研浙江金七门核电厂址周边陆域 10km 调查范围统计到鸟类有 15 目 48 科 142 种；小鸊鷉、棕头鸦雀、大山雀、黄眉柳莺、白鹭、麻雀以及针尾鸭、绿翅鸭、绿头鸭、斑嘴鸭等雁鸭类，黑腹滨鹬、红颈滨鹬、环颈鸪、白腰杓鹬等鸪鹬类数量多为优势种。

根据现场调查，在厂址半径 10km 范围记录到鸟类 17 目 41 科 98 种，从目级水平统计，雀形目的种类最多；从科级水平统计发现，鸭科最多。

根据资料收集，浙江金七门核电厂址 10km 调查范围均在象山县内，分布有属于国家二级保护鸟类有 5 种，为普通鵟、红隼、草鸮、斑头鸺鹠和仙八色鸫；属于浙江省重点保护的鸟类有 22 种，为画眉、黄胸鹀、伯劳科、啄木鸟科、鸭科的种类等。

浙江金七门核电厂址 10km 调查范围均在象山县内，分布有普通鵟和红隼、草鸮 2 种国家二级保护鸟类；属于浙江省重点保护的鸟类有 9 种，为棕背伯劳、戴胜、画眉、黑尾鸥、绿头鸭、绿翅鸭、针尾鸭、斑嘴鸭以及大鹰鸮。

（2）哺乳动物

调查区域共记录有哺乳动物种类 5 目 6 科 8 种，从目级水平统计，啮齿目的种类最多，有 4 种；翼手目、食肉目、偶蹄目和兔形目，种数各 1 种。从科级水平统计发现，鼠科最多，有 3 种；其他科各 1 种。

调查样线区域内无国家重点保护哺乳动物，分布有浙江省重点保护哺乳动物黄鼬。

（3）两栖爬行动物

①两栖动物

现场调查记录到的两栖动物 2 目 6 科 8 种。两栖动物仅 2 目，其中有尾目仅 1 种，无尾目 7 种。从科级水平统计，蟾蜍科和叉舌蛙科最多，各 2 种；其他科各 1 种。

项目调查区分布无国家重点保护动物，分布有浙江省重点保护动物东方蝾螈 1 种。

②爬行动物

调查区记录到的爬行动物 1 目 6 科 9 种。爬行动物仅 1 目，从科级水平统计，石龙子科最多，有 3 种；游蛇科第二，有 2 种；其他科各 1 种。

调查样线区域无国家级保护动物，分布有浙江省重点保护动物宁波滑蜥、舟山眼镜蛇、滑鼠蛇、王锦蛇 4 种。

（4）腹足纲软体动物

本次调查在调查区共记录有腹足纲软体动物 1 个纲 3 目 6 科 7 种。

（5）环节动物

本次调查在调查区共记录有 2 纲 3 目 3 科 4 种。

（6）食腐类节肢动物

在调查区共记录食腐类动物 6 纲 8 目 15 科 32 种，分别为唇足纲、甲壳纲、倍足纲、内口纲、软甲纲和昆虫纲，其中唇足纲 4 种，软甲纲 5 种，倍足纲 3 种，甲壳纲 2 种，内口纲 1 种，昆虫纲为 17 种。

（7）飞行类昆虫

在调查区共记录有 14 目 87 个科 369 种。从昆虫类群整体看，调查区所调查的种类中最多的是鳞翅目（165 种）。

2.3.2.5 生态红线（陆域）

根据《自然资源部办公厅关于浙江等省（市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》（自然资办函〔2022〕80 号），“三区三线”划定成果已于 2022 年 9 月 30 日启用。厂址陆域 10km 范围内生态保护红线为浙江宁波象山南田岛省级森林公园生态保护红线。生态保护红线根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）、《浙江省人民政府办公厅关于加强生态保护红线监管的实施意见》（浙政办发〔2022〕70 号）等文件相关要求进行管理。

2.3.2.6 三线一单（陆域）

2024 年 3 月，浙江省发布了《浙江省生态环境分区管控动态更新方案》，厂址所在区域涉及宁波市象山县鹤浦产业集聚重点管控单元（ZH33022520024），项目建设符合相关生态环境管控单元准入要求。

2.3.2.7 距离反应堆最近的菜田、农田、养殖场、奶牛场等

厂址半径 10km 范围内各方位最近的菜田为 N 方向和 NNW 方向 3km，最近的农田为 N 方向和 NNW 方向 3km，最近的养殖场为 SW 方向 1km。

2.3.2.8 南山岛及厂址周边海岛情况

本节内容依据中核第四研究设计工程有限公司于 2020 年 12 月完成的《浙江金七门核电项目海岛调查专题报告》编制。

在南山岛区域记录到鸟类 10 目 26 科 47 种，根据本调查区域的自然环境，分布于此的鸟类类群主要有浅海带鸟类群、森林灌木丛鸟类群等，分布国家二级保护鸟类 3 种为红隼、游隼和斑头鸱鹀；属于浙江省重点保护的鸟类有 11 种。南山岛调查区内有维管束植物有 57 科 110 属 140 种，其中蕨类植物 6 科 8 属 11 种，裸子植物 1 科 1 属 2 种，被子植物 51 科 102 属 127 种，包括常绿阔叶林、落叶阔叶林、暖性竹林、常绿阔叶灌丛、暖热性疏灌草丛等主要植被类型，植被划分为 4 个植被型组，6 个植被型，19 个群系。南山岛调查样线区域内分布浙江省级保护植物 1 种，为柃木。南山岛调查样线区域共记录有哺乳动物种类 3 目 4 科 4 种。南山岛面积较小，缺乏淡水资源，两栖动物种类缺乏，夏季调查发现中华大蟾蜍 1 种，偶见。调查样线区域的爬行动物有 1 目 3 科 4 种，分布浙江省重点保护动物滑鼠蛇和王锦蛇。

在南山东岛区域记录到鸟类 3 目 6 科 7 种，根据本调查区域的自然环境，分布于此的鸟类类群主要有森林灌木丛鸟类群和岛礁沿岸鸟类群等未发现国家和省级保护鸟类。南山东岛调查区内有维管束植物有 40 科 60 属 73 种，其中蕨类植物 4 科 5 属 7 种，裸子植物 1 科 1 属 1 种，被子植物 35 科 54 属 65 种，植被划分为 2 个植被型组，3 个植被型，5 个群系。在南山东岛未发现国家级及浙江省重点保护野生植物、古树名木。南山东岛调查区域内未见哺乳动物分布。南山东岛面积小，缺乏淡水资源，未发现两栖动物物种。南山东岛调查样线区域的爬行动物有 1 目 1 科 1 种，为浙江省重点保护动物王锦蛇。

骑马礁和蟹礁属于象山南田岛西岛群，位于南山岛南侧和西侧，为岩礁，现场调查未发现维管植物和脊椎动物。

在花岙岛区域记录到鸟类 15 目 42 科 95 种，分布于此的鸟类类群主要有浅海和潮间带鸟类群、森林灌木丛鸟类群、内陆湿地水域鸟类群、农田鸟类群、居民点鸟类群等，分布有国家二级保护鸟类 2 种，分别为草鸮和红隼，浙江省重点保护 5 种。花岙岛分布有维管束植物共 146 科 417 属 677 种（含种下等级及变种）。其中蕨类植物 22 科 35 属 49 种，

裸子植物 6 科 8 属 11 种，被子植物 118 科 374 属 617 种，主要包括常绿阔叶林、落叶阔叶林，暖性针叶林、针阔混交林、暖性竹林、常绿阔叶灌丛、落叶阔叶灌丛、暖热性疏灌草丛和草本沼泽等主要植被类型，植被划分为 8 个植被型组，12 个植被型，22 个群系。在花岙岛发现国家Ⅰ级保护植物人工栽培的 1 处水杉 3 株，居民区人工栽培的有苏铁、银杏、南方红豆杉 3 种国家Ⅰ级保护植物。另有文献记载的国家Ⅱ级保护野大豆 1 种。浙江省重点保护野生植物 9 种。哺乳动物的调查主要参照调查样线区域现场调查和访问村民调查，共记录有调查区域的哺乳动物种类 6 目 9 科 10 种。调查记录到的两栖动物 1 目 3 科 5 种。花岙岛调查记录到的爬行动物 1 目 5 科 9 种，分布浙江省重点保护动物宁波滑蜥、舟山眼镜蛇、滑鼠蛇、王锦蛇。

南山岛为基岩岛，海岸地貌为岩质海岸，岛滩类型多为岩滩，早年有村民放养山羊另东北部登岛点立有南山岛石碑。花岙岛地质遗迹以地貌景观大类为主，地质构造大类、岩石矿物与矿床大类次之，地貌景观大类中以海上石林柱状节理景观最为典型，海蚀海积地貌数量最多。此外花岙岛有张苍水纪念馆、花岙兵营遗址、花岙盐场等人文遗迹。

2.3.3 水产资源及水生态概况

本节依据中国水产科学研究院东海水产研究所于 2024 年 3 月完成的《浙江金七门核电厂 1、2 号机组厂址附近海域生态环境现状调查及分析评价（含渔业资源调查）项目中间成果技术报告》编制，调查时间为 2023 年 11 月。

2.3.3.1 厂址附近海域海洋沉积物质量

所有调查海区底质表层沉积物样品中总有机碳、硫化物、油类、有机氯（六六六和滴滴涕）、重金属（铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷）测值均符合《海洋沉积物质量》第一类。

2.3.3.2 厂址邻近海域中的海洋生物

（1）叶绿素 a 和初级生产力

2023 年 11 月航次，调查海域表层海水中叶绿素 a 均值为 $1.60\text{mg}/\text{m}^3$ ；中层仅 43 号站检测出，为 $2.24\text{mg}/\text{m}^3$ 之间；底层海水叶绿素 a 均值为 $1.58\text{mg}/\text{m}^3$ 。

2023 年 11 月航次，调查海域初级生产力为平均值 $54.94\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。

（2）微生物

2023 年 11 月航次，所有样品粪大肠菌群含量全部符合《海水水质标准》第一类（ ≤ 2000 个/L）。

（3）浮游植物和赤潮生物

i 浮游植物

2023 年 11 月航次，在浮游植物网样和水样中共鉴定出浮游植物 3 门 45 属 109 种。其中，网样中共鉴定出浮游植物 3 门 36 属 89 种（硅藻 29 属 70 种，甲藻 6 属 18 种，蓝藻 1 属 1 种）；水样中共鉴定出浮游植物 2 门 34 属 61 种（硅藻 23 属 40 种，甲藻 11 属 21 种）。

ii 赤潮生物

2023 年 11 月航次大面站共鉴定出赤潮生物 2 门 21 属 36 种。其中，硅藻门 10 属 18 种，甲藻 11 属 18 种。

（4）浮游动物

2023 年 11 月航次，大面站共鉴定到浮游动物 40 属 49 种，包括桡足类、栉水母、端足类、翼足类等。

（5）潮下带底栖生物

2023 年 11 月航次，潮下带样品中共鉴定大型底栖生物 5 大类 42 种，其中，环节动物种类数最多 28 种，占甲壳动物 5 种，软体动物 7 种，其他动物各 1 种。

（6）潮间带大型底栖生物

2023 年 11 月航次，共鉴定出 7 大类 77 种，其中软体动物最多（28 种），环节动物 25 种，甲壳动物 19 种，其他动物各 1 种。

（7）鱼卵仔鱼

2023 年 11 月航次，在垂直网和水平网中共采集到 2 种鱼卵和 5 种仔稚鱼。

（8）游泳动物

2023 年 11 月航次，共鉴定出 75 种游泳动物，分别隶属于 3 门 15 目 75 种。

2.3.3.3 保护区及保护性水生生物

厂址 80km 范围内有 1 个国家级自然保护区（浙江象山韭山列岛国家级自然保护区）、2 个国家级水产种质资源保护区（东海带鱼国家级水产种质资源保护区、象山港蓝点马鲛国家级水产种质资源保护区）；有 2 个国家海洋公园：浙江象山花岙岛国家海洋公园、浙江渔山列岛国家海洋公园。

2.3.3.4 “三场一通”概况

厂址周围分布有带鱼、蓝点马鲛、大黄鱼、小黄鱼、白姑鱼、银鲳、鳓鱼、三疣梭子蟹的产卵场、越冬场、索饵场和洄游通道。

2.3.3.5 生态红线（海域）

根据浙江省“三区三线”划定成果，排水口半径 15km 范围内海域生态保护红线涉及浙江象山花岙岛国家海洋公园生态保护红线。生态保护红线根据《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号）、《浙江省人民政府办公厅关于加强生态保护红线监管的实施意见》（浙政办发〔2022〕70 号）等文件相关要求进行管理。本项目不涉及海域生态保护红线。

2.3.3.6 三线一单（海域）

2024 年 3 月，浙江省发布了《浙江省生态环境分区管控动态更新方案》，项目涉及宁波象山县海洋重点管控单元（HY33020020007），项目建设符合相关生态环境管控单元准入要求。

2.3.4 工业、交通及其他相关设施

2.3.4.1 工业设施

厂址半径 15km 范围内规模以上企业有 22 家，主要分布在鹤浦镇船舶基地及石浦镇打鼓峙，多为船舶制造业。距离厂址最近的是象山苏宜矿业有限公司，生产经营品种为建筑石料，有职工 32 人，位于厂址的 WNW 方位 4.8km 处。

厂址半径 15km 内的工业园区有鹤浦镇的船舶工业区和小微创业园、象山国际水产保税冷链物流基地以及石浦镇的打鼓峙岛工业区块，各园区的主要发展情况如下：

- 石浦镇工业：以机电加工、水产品加工为主，工业产业集中在石浦科技园区、门前塘水产品加工园区配套区、万泰工业园区和水产品加工园；镇区西南沿港、沿渔港北路和渔港中路有大量水产品加工或冷冻厂；东门岛、打鼓峙岛等也存在工业。打鼓峙岛主要集聚船舶制造及修理业。
- 鹤浦镇工业：以临港型工业为主，工业产业主要集中在鹤浦镇船舶工业区及小微创业园、象山国际水产保税冷链物流基地。工业以修造船、水产品加工、机械配件为主，发展光伏发电为代表的清洁能源产业。
- 高塘岛乡工业：集中在江北工业小区，主要发展汽车电器配件、水泵、船舶舾装件等产业。

厂址半径 5km 范围内矿产资源主要有 1 处，矿产为建筑用凝灰岩，位于厂址 WNW 方位约 4.8km 处，现处于开采状态，开采公司为象山苏宜矿业有限公司，年开采量为 555 万吨。

厂址半径 15km 范围内涉及危险品使用企业 6 家，距离厂址最近的危险品使用企业为象山苏宜矿业有限公司，位于厂址 WNW 方位 4.8km 处，该企业储存柴油最大储存量为 20t。

厂址半径 15km 范围内仅有一家液化石油气储配站，为象山县鹤浦液化石油气储配站，位于厂址 NNW 方向约 12km 处，该储配站液化石油气的最大储量为 200m³。

厂址半径 15km 范围内，危险品陆上运输主要通过油罐车、槽车、危险品运输专用车辆运输，距离厂址最近的运输道路为 Y607，运输路线最近处位于厂址 NNW 方位约 4.8km 处。

厂址半径 15km 范围内当前没有燃气管道。

厂址半径 15km 范围内规划有中压燃气管网。距离厂址最近的规划中压燃气管道为远景建设中压管道，最近处位于厂址 NNW 方向约 11.2km，管径为 De250，压力为 0.4MPa。

厂址半径 15km 范围内的水上航道、港口、码头均不涉及危险品的运输，仅有 1 处盘基作业区规划涉及危险品油品的储存和运输，位于厂址 N 方位约 12.5km 处。

经计算分析，厂址半径 15km 范围内的外部人为事件危险源均不会对厂址安全造成影响。

2.3.4.2 交通

（1）公路、铁路

厂址半径 15km 范围，公路分布较少，无高速、国省干道，只有县道石三线（X508）和其他乡道及村道。距离厂址最近的道路是 Y607，该道路直通厂区，已规划为本项目的进厂路线；除 Y607 外，距离厂址最近的道路是 Y614，最近处位于厂址 NNW 方位 7km 处。

厂址半径 15km 范围内的交通规划具体如下：

- 鹤浦至明港高速（象山东海岸高速公路），距离厂址 10.5km，N 方位，该高速公路在前期谋划阶段，全长 48.5km；
- 石浦至鹤浦跨海通道，距离厂址 10.4km，NNW 方位，该高速在前期谋划阶段，海底隧道长约 4km，隧道加引桥全长 6.7km；
- 国道 G527 岳井洋大桥及接线工程象山段（中界山大桥及接线工程），距离厂址 11.2km，NNW 方位，新建一级公路 8.3 公里，改建 3.2 公里，隧道长 965 米，预计 2026 年完工；

- 省道鹤浦镇疏港公路（鹤浦-水湖涂段）距离厂址 1.9km，NW 方位，新建二级公路，全长 9.5 公里，隧道长 970 米，预计 2026 年完工；

- 202 省道环石浦港鹤浦至高塘公路工程，距离厂址 10.4km，N 方位，新建二级公路 10.7 公里，跨海大桥约 1700 米，预计 2026 年完工。

（2）海运

厂址周围 15km 所在区域为石浦港区，水上航线共有 10 条。其中现状航道 9 条，距离厂址最近的为南田支航道，其总航程为 5.5km，为 3000 吨级双向乘潮航道，航道宽度 1000m，最近处位于厂址 SSE 方位约 2km 处；规划航道 1 条，为 5000 吨级船舶乘潮双向通航航道，位于厂址 N 方位约 0.2km 处，其主要为苏宜矿业有限公司运输石料。上述航道均不涉及危险品的运输。

厂址周围 15km 属石浦港区，范围主要为石浦镇、鹤浦镇、高塘岛乡之间的狭长港湾两侧岸线，并包括珠门和三门湾等岸段，划分为盘基、雷公山、箬渔山、打鼓峙、万寿塘、预留港口发展区共 6 个作业区，主要服务地方城市客货运和临港产业配套等。

① 雷公山作业区：由雷公山至下塘岸线，可布置 5 万吨级及以下通用泊位 10 余个，并在后方配套港口仓储及物流用地。

② 箬渔山作业区：由林门口西侧至东侧岸线，可布置万吨级及以下货运泊位 10 余个，兼顾船舶供油功能，并在后方配套港口仓储及物流用地，作业区东侧布置支持系统。

③ 盘基作业区：包括炮台山西侧岸线、汰网屿岛岸线和水上客运中心岸线，炮台山西侧自东向西规划布置万吨级及以下通用泊位 4 个，为后方产业物流园提供公共运输服务，并布置支持系统；规划汰网屿岛为燃料油加注，可布置多个万吨级及以下油品泊位；客运中心岸线以已建成石浦水上客运中心为基础，对现有对台码头进行升级改造，以满足万吨级邮轮靠泊需求，打造集邮轮、游船和车客渡一体的旅游集散中心。

④ 打鼓峙和万寿塘作业区：打鼓峙、万寿塘规划为海洋产业配套作业区，已基本建成，可结合产业发展需要，对岸线进行整合提升，可布置万吨级以下通用泊位。

⑤ 预留港口发展区：规划珠门、金七门岸线作为预留港口发展区，应结合后续产业运输需求和建港条件研究，明确港口发展方向和开发方案。

上述 6 个作业区中仅盘基作业区规划涉及危险品油品的储存和运输，位于厂址 N 方位约 12.5km 处。

厂址半径 15km 范围内有 4 个锚地，距离厂址最近的是南山西生产类避风锚地。

厂址半径 15km 范围内现有码头 6 个，规划拟建码头 3 个，距离厂址最近的是金七门渔业码头，该码头将来规划作为本项目的配套码头。

（3）空运

厂址附近机场有 3 个，分别是台州路桥机场（SW 方位、约 74km）、宁波栎社机场（NNW 方位、约 97km）及舟山普陀山机场（NNE 方位，约 106km）。

厂址附近航线有 3 条，分别是 X11 航线（NW 方位，约 15.6km）、W13 航线（ESE 方位，约 42.6km）及 J603 航线（W 方位，51.7km）。

2.4 气象

2.4.1 区域气候

厂址所在区域属于中亚热带湿润气候，是东亚季风盛行的地区。最明显的特征是风向随季节变化显著，冬半年盛行偏北风，夏半年多偏南风。该地区气温适中，四季分明，水热同季，湿润多雨，但变率较大，雨量集中在夏季。春、秋、冬三季常有冷空气侵袭，特别是冬季当有强烈寒潮南下时潮湿寒冷。盛夏副热带高压控制期间天气炎热，并可受台风等低纬度天气系统直接或间接影响。

厂址位于东、西风带交替影响的过渡区，也是温带、热带各类天气系统频繁交替影响的区域。四季大气环流特点如下：

冬季影响本区气候和天气的主要环流系统是中纬度西风槽，对应的是地面强大的蒙古冷高压。北方冷气团的频繁南下入侵，不仅带来强降温和低温冷害，也常常伴随偏北大风。冬季气候相对干冷、盛行风为偏北或东北风。

春季 3~4 月的春雨季节，南支西风急流减弱，冷高压北退，在变性冷气团与紧接的冷气团共同作用下，多持续性阴雨天气。5~6 月的梅雨季节，北方冷空气与来自低纬的暖湿气流交汇，多持续性降水过程，其中大范围的暴雨多出现于 6 月，并以 6 月中下旬频率最高。

夏季本区主要处于西太平洋副热带高压的控制下，多高温晴热天气。夏季盛行偏南和东南气流，台风影响频繁。主要的天气类型有副热带高压控制下的晴热天气、副热带高压边缘的多雷阵雨天气以及台风影响下的狂风暴雨天气。副热带高压的强度和位置直接影响着本区台风活动的多寡。

秋季，高空西风带明显南压，东亚大槽加深，南支急流建立，西太平洋副高进一步南落回撤，冷空气开始活跃，偏北风增强。地面气压场上，印度低压减弱，蒙古高压和阿留

申低压形成。秋季多晴朗天气，降水减少，气温下降。

天气变化是各种不同时空尺度天气系统相互作用、交替影响的结果。影响厂址区域的天气既有高中纬度天气系统又有低纬度天气系统。主要有：（1）西风带天气系统，如北支西风槽、西南低涡、冷锋、江淮静止锋等；（2）副热带天气系统，如南支西风槽、西太平洋副热带高压、西南倒槽等。（3）热带天气系统，如热带云团、台风等。寒潮、暴雨（梅雨暴雨及台风暴雨）及台风大风是厂址区域主要灾害性天气。

厂址 80km 范围内主要有七个气象站分别为石浦站、象山站、宁海站、三门站、临海站、洪家站和大陈站。其中，临海站与厂址距离接近 80km，远离海岸线，与厂址气象特征差异较大；象山站仅在 2006 年以后有完整气象资料，数据序列较短，因而参证站的选择中排除临海站和象山站。表 2.4-1 给出了厂址周边各气象站基本情况。

根据厂址周边大陈站、洪家站、宁海站、三门站和石浦站五个气象站自建站~2020 年的气象资料统计结果，厂址区域年平均气温为 16.6~17.5℃，极端最高气温为 42.0℃（三门站，2013.8.8），极端最低气温为 -9.6℃（宁海站，1979.2.1）；年平均相对湿度为 78.7~84.1%，最小相对湿度为 0%（大陈站，2020.9.14；宁海站，2020.12.7；洪家站多次出现）；年平均风速为 1.7m/s~6.2m/s，最大风速为 44.1m/s（大陈站，2004.8.12 和 2022.9.11），极大风速为 59.5m/s（大陈站，2005.9.11）；年平均降水量为 1347.3~1674.2mm，一日最大降水量为 355.7mm（宁海站，1988.7.30）；年平均气压为 1000.5~1015.5hPa，极端最高气压为 1041.2hPa（洪家站，2000.1.31），极端最低气压为 946.1hPa（大陈站，2005.9.11）；年平均日照时数为 1621.6~1893.8h；年平均总云量为 6.6~6.9 成；年平均低云量为 3.8~5.0 成；最大积雪深度为 50cm（宁海站，1961.2.16）。

2.4.2 设计基准气象参数

2.4.2.1 常规气象

以下根据石浦气象站 1956~2020 年的气象要素统计结果，分析厂址的当地气象条件。

1) 风向、风速

石浦站年平均风速为 5.1m/s，5 月份平均风速最小，为 4.4m/s，7 月份平均风速最大，为 5.6m/s。资料记录范围内的最大风速为 40.0m/s，出现在 1979 年 8 月 24 日；极大风速为 57.9m/s，出现日期为 1989 年 7 月 21 日。

图 2.4-1 给出了石浦站各季和年风玫瑰图，可见，年最多风向为 N，风频为 16.0%，次多风向为 SW，风频为 14.6%。年静风频率为 3.4%。

2) 气温

石浦站年平均气温为 16.6℃，8 月份平均气温最高，为 27.2℃，1 月份平均气温最低，为 5.9℃。石浦站建站以来极端最高气温为 38.8℃，出现在 1971 年 8 月 20 日，极端最低气温为-7.5℃，出现于 1967 年 1 月 16 日。

3) 相对湿度

石浦站年平均相对湿度为 80.2%，12 月平均相对湿度最低，为 71.1%，6 月平均相对湿度最高，为 90.3%。最小相对湿度为 4.0%，出现在 1963 年 2 月 26 日。

4) 降水

石浦站年平均降水日数为 156.2d，年平均降水量为 1410.2mm，年际变化较大，年降水量最大值为 2138.5mm，出现在 2019 年，最小值为 766.9mm，出现在 1967 年，6 月平均降水量最多，为 211.6mm，12 月平均降水量最少，为 55.1mm，一日最大降水量为 286.7mm，出现在 2017 年 10 月 15 日。

5) 气压

石浦站累年平均气压为 1001.5hPa，12 月份平均气压最高，为 1010.2hPa，7 月份平均气压最低，为 991.7hPa。极端最高气压为 1025.1hPa，极端最低气压为 954.5hPa。

6) 水汽压

石浦站年平均水汽压为 17.3hPa；7 月份平均水汽压最高，为 30.7hPa；1 月份平均水汽压最低，为 7.1hPa。

7) 云量

石浦站年平均总云量和低云量分别为 6.6 成和 3.8 成。月平均最高值均出现在 6 月份，分别为 8.3 成和 5.0 成；月平均最低值均出现在 12 月份，分别为 5.3 成和 2.9 成。

8) 日照

石浦站年平均日照时数为 1893.8h；7 月份平均日照时数最长，为 241.7h；8 月份次之，为 238.4h；2 月份平均日照时数最少，为 109.9h。

9) 蒸发

石浦站年平均蒸发量为 1338.7mm；7 月份平均蒸发量最大，为 182.4mm；2 月份平均蒸发量最低，为 61.5mm。

2.4.2.2 极端气象

1) 热带气旋

调查 1949~2020 年间以厂址为中心、半径 400km 范围内的热带气旋资料，共得到 231 个样本，平均每年约 3.2 个。根据核安全导则 HAD101/11（1991）推荐的耿贝尔函数进行极值拟合，得到厂址区域百年一遇热带气旋最大风速为 52.7m/s，百年一遇热带气旋极大风速为 72.7m/s。

2) 龙卷风

调查 1961~2020 年以厂址为中心，经度 3°、纬度 3° 范围内的所有龙卷风资料，总调查面积合计 55689km²。对收集到的 150 个龙卷风样本逐一进行 F 级别评定，其中 F0 级 76 例，F1 级 57 例，F2 级 16 例，F3 级 1 例。

以 10⁻⁷/年作为设计基准龙卷风的概率水平进行评价，得到厂址区域龙卷风设计基准风速为 85.2m/s。从保守角度考虑，最终确定厂址区域设计基准龙卷风为 F3 级，取其上限风速 92.0m/s 作为设计基准龙卷风风速值。

龙卷风设计基准参数归纳如下：

最大龙卷风速	92.0 m/s
平移速度	17.8 m/s
最大旋转风速半径	50 m
总气压降	63.3hPa
压降速率	22.5hPa/s
最大旋转风速	74.2m/s

3) 极端风速

收集大陈站、洪家站、宁海站、三门站和石浦站五个气象站自建站~2020年的历年最大风速和极大风速资料，采用耿贝尔函数对五个气象站历年最大风速序列进行极值拟合，并考虑各参证站的实测风速极值，最终确定厂址区域百年一遇实测极端风最大风速为 51.8m/s，百年一遇实测极端风极大风速为70.4m/s。

综合热带气旋和实测极端风的设计基准，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 72.7m/s（3s 阵风）。

4) 极端气温

收集大陈站、洪家站、宁海站、三门站和石浦站五个气象站自建站~2020 年的历年极端最高气温和极端最低气温资料，采用耿贝尔函数对各站的历年极端气温序列进行拟合，并考虑各参证站的实测气温极值，最终确定厂址区域百年一遇最高气温为 43.1℃，百年一

遇最低气温为-11.9℃。

5) 极端积雪

收集大陈站、洪家站、宁海站、三门站和石浦站五个气象站自建站~2020 年的历年冬季最大积雪深度和冬季 48h 最大降水量资料，采用耿贝尔函数对各站的历年极端雪深序列进行拟合，分别采用耿贝尔和 PIII 函数对各站的历年冬季 48h 最大降水量序列进行拟合，并考虑各参证站的实测积雪深度和冬季 48h 降水极值。按照核安全导则 HAD101/10(1991) 的要求，百年一遇雪荷载为极端雪深和冬季 48h 最大降水量的叠加值，最终确定厂址区域百年一遇雪荷载为 2.44kN/m²。

2.4.3 当地气象条件

以下根据厂址气象站 2020 年 10 月~2023 年 9 月三整年的现场气象要素观测资料的统计结果，分析厂址的当地气象条件。

1) 风向、风速

铁塔各高度（10m、30m、50m、75m、100m）的年平均风速分别为 3.4m/s、4.9m/s、5.1m/s、5.3m/s 和 5.5m/s，年平均风速随高度增高而增大。月平均风速最高均出现在 7 月份，分别为 4.1m/s、6.4m/s、6.6m/s、6.9m/s 和 7.2m/s；月平均风速最低除 75m 出现在 3、5 月份外，其他高度均出现在 5 月份，分别为 2.9m/s、4.2m/s、4.4m/s、4.7m/s 和 4.9m/s；观测期间铁塔各高度出现的最大风速分别为 22.4m/s、22.8m/s、36.5m/s、36.9m/s 和 37.1m/s，均出现在 2022 年 9 月 14 日；出现的极大风速分别为 37.1m/s、40.5m/s、43.1m/s、42.5m/s 和 43.4m/s，除 30m 高度出现在 2021 年 7 月 24 日外，其他高度均出现在 2022 年 9 月 14 日。

地面气象站年平均风速为 4.0m/s。7 月份平均风速最高，为 5.0m/s；5 月份平均风速最低，为 3.4m/s。观测期间厂址地面站最大风速为 22.2m/s，极大风速为 37.3m/s，均出现在 2022 年 9 月 14 日。

铁塔 100m 和 30m 高度处年最多风向为 N，频率分别为 16.7%和 25.4%；75m、50m 和 10m 高度处年最多风向为 NNE，频率分别为 21.1%、20.0%和 23.8%；铁塔 100m 和 30m 高度处年次多风向为 NNE，频率分别为 16.1%和 12.8%；75m、50m 和 10m 高度处年次多风向为 N，频率分别为 14.1%、15.0%和 18.8%。观测期间各高度最多与次多风向均集中在 N~NNE 风向上，总频率约为 35.0%~45.0%。观测期间塔层各高度（10m、30m、50m、75m、100m）的年静风（≤0.5m/s）频率分别为 0.2%、0.1%、0.1%、0.1%和 0.2%；图 2.4-2 为

观测期间塔层各高度年风玫瑰图。

厂址地面站年最多风向为 N，频率为 23.8%；次多风向为 NNE，频率为 17.3%。各风向频率多集中于偏东北风与偏南风向上，春、秋、冬三季偏东北风频率较高，夏季偏南风频率较高，其它风向分布基本平均。年静风（ $\leq 0.5\text{m/s}$ ）频率为 0.2%。图 2.4-3 为地面气象站各季和年风玫瑰图。

2) 气温

观测期间厂址地面站和塔层各高度（10m、30m、50m、75m、100m）高度的年平均气温分别为 17.7℃、17.8℃、17.6℃、17.5℃、17.4℃和 17.2℃；月平均气温最高值均出现在 8 月份，分别为 28.0℃、27.9℃、27.3℃、27.1℃、27.0℃和 26.8℃；月平均气温最低值均出现在 1 月份，分别为 7.5℃、7.8℃、7.8℃、7.6℃、7.5℃和 7.3℃。

观测期间塔层各高度（10m、30m、50m、75m 和 100m）出现的最高气温分别为 34.7℃、34.0℃、33.9℃、33.8℃和 33.6℃，出现日期均为 2023 年 7 月 20 日；最低气温分别为 -6.1℃、-6.2℃、-6.5℃、-6.6℃和 -6.9℃，出现日期均为 2021 年 1 月 8 日。观测期间厂址地面站出现的最高气温为 37.2℃，出现在 2022 年 8 月 20 日；最低气温 -6.6℃，出现在 2021 年 1 月 8 日。

观测期间铁塔 10~30m、10~50m、10~75m、10~100m 各层年逆温的出现频率分别为 24.9%、14.3%、16.0%、13.0%；强逆温的出现频率分别为 0.6%、0.2%、0.1%、0.1%。可见塔层各层全年逆温出现频率相对较低。

3) 相对湿度

厂址地面气象站年平均相对湿度为 82.9%；12 月平均相对湿度最低，为 70.5%；6 月平均相对湿度最高，为 95.1%；观测期间出现的最小相对湿度为 10.2%，出现在 2021 年 4 月 23 日。

4) 降水

观测期间地面站年平均降水时数为 1058.0h，年平均降水量为 1407.6mm，月平均降水量 9 月份最大，为 221.9mm；1 月份最小，平均降水量为 36.4mm。观测期间出现的一日降水量最大值为 265.6mm，出现在 2022 年 9 月 13 日。

图 2.4-4 给出了观测期间各季和年不同风向降水量。可见，年均降水频率多分布在偏东北和偏南风上。

5) 气压

厂址地面站年平均气压为 1018.9hPa，1 月平均气压最高，为 1026.1hPa；7 月平均气压最低，为 1010.4hPa。观测期间地面站出现的最高气压为 1038.5hPa，出现在 2023 年 2 月 26 日；最低气压为 989.4hPa，出现在 2021 年 7 月 25 日。

6) 水汽压

厂址地面站年平均水汽压为 19.2hPa；7、8 月份平均水汽压最高，为 34.2hPa；1 月份平均水汽压最低，为 8.0hPa。

7) 蒸发

厂址地面站年平均蒸发量为 1235.8mm；10 月份平均蒸发量最大，为 165.1mm；9 月份平均蒸发量最低，为 58.7mm。

8) 辐射

观测期间年平均总辐射量和净辐射量分别为 166.0W/m² 和 74.5W/m²，月平均最高值均出现在 7 月，分别为 210.6W/m² 和 129.3W/m²；月平均最低值均出现在 12 月，分别为 109.4W/m² 和 18.5W/m²。

9) 露点温度

厂址地面站年平均露点温度为 14.4℃；7 月份平均露点温度最高，为 26.3℃；1 月份平均露点温度最低，为 2.1℃。

2.4.4 大气稳定度

根据厂址 2020 年 10 月~2023 年 9 月三整年的实测气象资料，采用 $\Delta T \sim u$ 法进行大气稳定度的划分。结果表明厂址以 D 类天气占主导，频率为 63.4%，其次为不稳定的 A~C 类，频率分别为 3.8%、12.6%和 11.8%，稳定的 E~F 类频率最低，均为 4.2%。

2.4.5 联合频率

根据 2020 年 10 月~2023 年 9 月厂址地面站 10m、气象铁塔 75m 高度的风向、风速和地面气象站的降水量观测结果，以及采用 $\Delta T \sim u$ 法得到的稳定度分类，统计计算得到 10m 高度的风向-风速-稳定度三维联合频率和 75m 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

2018 年 1 月 23 日~2 月 12 日（简称冬季，1#位置）和 2017 年 8 月 24 日~9 月 12 日（简称夏季，1#~3#位置）分别在厂址开展了大气边界层探测，其中 1#探空观测点设置在

厂址气象站；2#探空观测点设置在大南田村，距海岸线约 4km；3#探空观测点设置在和平湾村，距离海岸线约 10km。

利用观测期间得到的大气边界层观测资料，利用干绝热曲线法计算得到各时刻混合层高度，由于混合层底面对烟气的向上扩散起到抑制作用，故混合层越低越不利于污染物的扩散。根据上述混合层观测结果，从保守角度出发，取同稳定度下厂址测点冬夏两季混合层高度平均值的较小值取整作为该稳定度下混合层高度的推荐值。厂址各稳定度下混合层高度的推荐值为：

A-B 稳定度	530m
C 类稳定度	493m
D 类稳定度	478m

2.4.6.2 大气扩散参数

为研究厂址的大气扩散特征，开展了现场示踪试验、湍流观测和大气扩散数值模拟。为了满足实际应用的需要，考虑到现场示踪能够最直接反映厂址扩散稀释情况，特别是湍流观测和数值模拟结果在一定程度上与示踪试验结果互相支持与验证，因此，在推荐厂址扩散参数时，D 类扩散参数采用三种手段获得结果的平均值为代表；对于其它类，以三种手段获得的 D 类扩散参数为基准，外推得到其它类别的扩散参数系数。

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

为了观测用于评价核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。气象观测系统各气象要素数据联合获取率均应保证在 90%以上。

厂址气象站于 2015 年 4 季度开始正式观测，气象观测系统由气象铁塔风、温梯度测量系统，其中梯度观测指标包括对 10m、30m、50m、75m 和 100m 处的风向、风速和气温观测；地面气象观测包括对风向、风速、气温、湿度、总辐射、净辐射、气压、降水（包括固态降水）、蒸发量共 9 项要素的观测。

气象观测系统主要由传感器、数据采集器、主控机、电源和专用电缆组成。室外部分有：气压传感器、温、湿传感器、风传感器、雨量传感器、蒸发传感器、辐射传感器、数据采集器、连接箱。其中气压传感器、采集单元包括大容量数据存储卡、电源、通讯转换

器等都安置在室外机箱内。室内部分有主控微机、电源等。室外部分通过无线专网方式，与室内部分相连接。气象观测系统技术性能指标详见表 2.4-3~表 2.4-4。

气象观测仪器在安装架设前均进行了标定，并在安装调试前，在现场开展了气象塔气象要素梯度观测的风向和风速的水平比对。

2020 年 10 月~2023 年 9 月用于计算联合频率的数据联合获取率为 95.1%，数据获取率满足 HAD101/02（1987）规定的大于 90%的要求。

2.5 水文

2.5.1 地表水

2.5.1.1 海洋水文

（1）地理、地形条件

金七门核电厂位于宁波市象山县鹤浦镇的南田岛南缘的金七门，厂址距离象山县约 46km，距北面鹤浦镇约 11km。南田岛陆域地貌以侵蚀剥蚀丘陵为主。厂址东侧面向大海，均为基岩，海蚀地貌发育，存在海蚀崖和海蚀槽。隔金七门水道有小南山小岛，金七门水道属潮流深槽，该潮流深槽东部面临开敞海域。金七门水道往三门湾口内方向水深逐渐变浅，水下浅滩发育，山体岬角之间潮滩发育。厂址西南面是炮台山与小南山之间的淤泥质潮滩，往西北方向延伸分别是南田岛水湖涂、南田涂，水湖涂南部为粉沙滩。

厂址附近的长期水文观测站主要有健跳站、石浦站、大目涂站和大陈站，其中健跳站和大目涂站距离工程区相对较近，观测资料年限又较长，本工程海域潮汐特征分析主要采用健跳站和大目涂站长系列资料结合三门湾内临时站观测资料作为分析基础资料。

（2）潮汐

1) 潮汐特性

金七门厂址位于三门湾外，直面东海，海域开阔，对厂址专用站、健跳站和大目涂站 2015 年 4 月 1 日至 2016 年 3 月 31 日的同步观测资料进行调和分析，结果表明三站潮汐类型一致，均属正规半日潮类型，三站的潮汐特性表见表 2.5-1。

2) 潮位特征值

根据厂址专用站、健跳站、大目涂站，三站一年同步之间的相关关系，可推求厂址长期的潮汐特性，结果见表 2.5-2。

3) 潮位基面

健跳站水位潮高起算面为吴淞零点，据 2002 年 12 月浙江省水利水电勘测设计院直接从国家一等水准点联测至“健水—1”得出该点的 85 高程为 2.915 m。据此，浙江省水文局

进行专门的分析研究后认为当前可采用健跳潮位站的吴淞基面在 1985 国家高程基准以下 1.955 m，即：健跳潮位（1985 国家高程基面）=健跳潮位（健跳吴淞基面）-1.955 m。

大目涂站水位站水准点从丹城大白象的国家二等水准点引测，潮位站冻结基面高程在 1985 国家高程基准以下 5.0m，即：大目涂潮位（1985 国家高程基面）=大目涂潮位（大目涂冻结基面）-5.0 m。

（3）重现期潮位

厂址设计潮位计算采用先对健跳和大目涂潮位站年极值潮位进行重现期频率分析计算，再利用厂址与两站同期高低潮位相关关系推算厂址设计潮位。

1) 健跳站和大目涂站设计高潮位

对健跳潮位站 1976~2014 年、大目涂潮位站 1981~2014 年年最高潮位和年最低潮位的极值序列进行频率分析计算，结果表明：对于重现期高潮位，P-III型结果比耿贝尔型结果拟合较好且相对不利，因此，各重现期高潮位取 P-III型结果；对于重现期低潮位，两种方法基本一致，耿贝尔型略偏不利，因此，各重现期低潮位取耿贝尔型结果；结果见表 2.5-3，表中粗体为推荐值。

2) 厂址设计潮位

对 2015 年 4 月 1 日~2016 年 3 月 31 日厂址专用站与同期健跳、大目涂站的高、低潮位建立相关关系，结果表明厂址与健跳、大目涂的各潮汐特性值相关关系良好，公式分别为：

$$\text{高潮位：} H_{\text{厂址}} = 0.8912 \times H_{\text{健跳}} - 0.0326 \quad (R^2 = 0.9877)$$

$$\text{或 } H_{\text{厂址}} = 1.0196 \times H_{\text{大目涂}} + 0.3652 \quad (R^2 = 0.9770)$$

$$\text{低潮位：} H_{\text{厂址}} = 0.8719 \times H_{\text{健跳}} + 0.0367 \quad (R^2 = 0.9852)$$

$$\text{或 } H_{\text{厂址}} = 1.0789 \times H_{\text{大目涂}} - 0.1799 \quad (R^2 = 0.9838)$$

根据上述相关公式可得厂址处的重现期高低潮位，计算结果见表 2.5-4。结果表明，与健跳站和大目涂站相关得出的厂址各重现期高潮位结果差距较小，千年一遇和万年一遇是与健跳相关的结果偏不利，50 年一遇及以下则是与大目涂相关的结果偏不利；重现期低潮位则是与健跳相关的结果偏不利。由于健跳站资料序列较长，与厂址相关性也略好于大目涂站，因此，厂址处的各重现期潮位推荐与健跳相关的结果，如表 2.5-4 中粗体所示。

3) 累积频率 10% 高、低潮位

对健跳站、大目涂站和厂址专用站 2015 年 4 月~2016 年 3 月的高低潮位进行统计计算，健跳站 10%累积高潮位和 90%累积低潮位分别为 3.18m 和 -2.61m，大目涂站 10%累积

高潮位和 90%累积低潮位分别为 2.34m 和-1.90m，金七门厂址 10%累积高潮位和 90%累积低潮位分别为 2.79m 和-2.25m。

（4）海流

2019 年 11 月~2020 年 7 月，在工程附近海域开展了 4 季的大、中、小潮的定点水文泥沙测验。这 11 条水文垂线按其所在位置可分成两个区域。其中，JV1~JV3 和 JV11 垂线所构成的水域称“厂址前沿海域”，JV4~JV10 垂线所构成的水域称“厂址周边海域”。

1) 最大涨、落潮流

测点最大涨潮流流速多出现在 JV8 垂线，秋、冬、春、夏季分别为 1.31m/s、1.27m/s、1.23m/s、1.23m/s；测点最大落潮流流速多出现在 JV1 垂线，秋、冬、春、夏季分别为 1.64m/s、1.35m/s、1.68m/s、1.54m/s。四季间涨（落）潮流流速相差不大，垂线平均最大涨（落）潮流四季间最大互差多在 0.28m/s 以内。潮流呈往复流时，季节间流向变化较小，潮流呈旋转流时，季节间流向变化较大。潮流随潮汛变化规律良好，整体上，大潮流速最大、中潮次之，小潮流速最小。厂址前沿海域，涨潮流历时明显长于落潮流历时；厂址周边海域，测验垂线有往复流特征时（JV4、JV5、JV8、JV9 垂线），总体上落潮流历时长于涨潮流历时。

2) 潮流类型及运动形式

工程海域的潮流性质为非正规半日浅海潮流的类型，浅水效应较为显著，具体表现为涨、落潮的流速不等和涨、落潮流的历时不等；各季潮流特性没有本质差异。厂址前沿海域 JV1、JV2、JV11 垂线及厂址周边海域 JV4、JV8、JV9 垂线具有明显的往复流特征，厂址周边海域 JV6、JV7 和 JV10 垂线具有明显的旋转流特征，其他各垂线（JV3、JV5 垂线）|K| 值在 0.25 附近，具有一定的往复流特征。

3) 最大可能潮流流速

在厂址前沿海域，可能最大潮流以金七门水道东 JV1 垂线、西 JV11 垂线最强、JV2 垂线次之，JV3 垂线最小，如垂线平均的可能最大潮流，JV1、JV11 垂线为 1.80m/s~2.02m/s，JV2 垂线为 1.54m/s，JV3 垂线为 0.47m/s；垂向分布上仍以表层向下逐层减弱，如 JV1、JV11 垂线表层可达 2.02m/s~2.20m/s，中层为 1.89m/s~2.10m/s，底层为 1.18m/s~1.67m/s；在流向上亦与实测最大流速对应的方向基本一致。

在厂址周边海域，可能最大潮流在分布上亦与实测流况相似，即西部 JV8、JV9 垂线处最强、南部 JV4、JV5 垂线次之、东部 JV6、JV7、JV10 垂线最弱，亦如垂线平均的可能最大潮流，西部 JV8、JV9 垂线处可达 1.74m/s~1.95m/s，南部 JV4、JV5 垂线为 1.60m/s~1.74m/s，东部 JV6、JV7、JV10 垂线为 1.32m/s~1.38m/s；同样，在垂向分布上亦有良好

的特征，即表层稍大，中层次之，底层较小，如 JV8、JV9 垂线表层可达 1.96m/s~2.29m/s，中层为 1.78m/s~1.98m/s，底层为 0.90m/s~0.98m/s；流向与实测最大流速的方向基本相符。

总体而言，秋、冬、春、夏季各测站垂线平均可能最大流速分别介于 0.89~1.57m/s、0.80~1.66m/s、0.99~1.53m/s、1.00~1.81m/s。

4) 余流

测区余流整体不大，最大垂线平均余流为 0.18m/s，出现在 JV11 垂线大潮汛及 JV7 垂线小潮汛。垂线平均余流分别介于 0.02~0.18m/s、0.01~0.19m/s、0.01~0.11m/s、0.01~0.21m/s，余流多在 0.10m/s 以内，随季节变化不大。整体而言，除部分垂线（JV1、JV5、JV7、JV11）个别潮汛出现较大余流外，其它垂线余流均较小，多在 0.10m/s 以下。整体上看，测区余流方向多为涨潮方向。

（5）海水温度

根据 2019 年 11 月~2020 年 7 月在厂址处水文测验期间的相关成果，本测区水温的季节变化十分明显，呈现出秋季到冬季水温降低，春季水温逐渐上升，夏季水温最高的季节变化过程。

实测水温特征值：秋、冬、春、夏季实测最高水温分别为 20.87℃、13.53℃、17.95℃、27.61℃，出现在 JV7/JV9 垂线；实测最低水温分别为 19.03℃、12.57℃、14.21℃、23.71℃。

水温的平面分布：从宏观上看，测区各垂线间水温互差不大。从微观上看，秋、冬季厂址南侧、厂址东侧海域水温相对较高，厂址西侧、厂址前沿海域水温相对较低；春、夏季则规律刚好相反。

水温的垂直分布：秋、冬季表层水温低于底层水温；春、夏季表层水温往往高于底层。从各季表底层温差比较来看，秋、冬季的表底层温差小于春、夏季。

水温的周日变化：当潮流呈往复运动时，水温的周日变化呈现双峰形态，即随潮流的往复运动呈现半日周期的变化；当潮流呈旋转流运动时，潮流引起的水温周期性变化不甚明显；水温周日变化还与地形有关，如厂址前沿海域由于微地形的作用，致使水温的周日变化较为复杂。

（6）海水盐度

根据 2019 年 11 月~2020 年 7 月在厂址处水文测验期间的相关成果，实测盐度特征值：秋、冬、春、夏季实测最高盐度分别为 28.357、29.286、28.509、29.198，出现在 JV5/JV7 垂线。

盐度的季节变化特征：总体上四季观测期间盐度变化不大，秋、冬、春、夏季平均盐

度分别介于 25.604~27.342、27.504~28.682、26.951~28.149、27.240~28.877。

盐度的平面分布特征：总体上由外海向近岸、由东向西逐渐降低的分布特征。

盐度的垂向分布特征：总体上，盐度随水深增加而逐渐增大，且夏季盐度层差高于其它季节。

盐度周日变化特征：与水温周日变化基本一致。

（7）泥沙

1) 含沙量

根据 2019 年 11 月~2020 年 7 月在厂址处水文测验期间及厂址专用水文站实测相关成果，实测含沙量特征值：秋、冬、春、夏季实测最大含沙量分别为 1.70kg/m^3 、 1.44kg/m^3 、 1.05kg/m^3 、 1.14kg/m^3 ，出现在 JV1/JV3 垂线。测区含沙量较小，四季间变化不大。总体上，秋、冬季含沙量略大于春、夏季。含沙量随潮汛变化规律整体表现为：大潮最大，中潮次之，小潮含沙量最小。含沙量垂向分布具有明显的底层高于表层特征。整体上，秋、夏季含沙量层差较大，春、冬季含沙量层差较小。含沙量的平面分布特征：总体上呈现由外海向近岸、由东向西逐渐降低的分布特征。

2) 悬沙粒径分析

根据四季测区悬沙粒径比较结果，悬沙粒径随季节变化不大，总体上冬、夏季悬沙中值粒径略大于春、秋季。秋、冬、春、夏季各测站平均悬沙中值粒径分别介于 $0.0061\sim 0.0086\text{mm}$ 、 $0.0056\sim 0.0095\text{mm}$ 、 $0.0050\sim 0.0078\text{mm}$ 、 $0.0074\sim 0.0112\text{mm}$ ，属于极细粉砂和细粉砂范畴。

3) 底质类型和分布

各站四季大、中、小潮表层底质样的采集与分析结果表明：测区底质主要由粉沙和粘土组成，并含有极少量的砂。秋、冬、春、夏季底质粒径分别介于 $0.0079\text{mm}\sim 0.0246\text{mm}$ 、 $0.0077\text{mm}\sim 0.0264\text{mm}$ 、 $0.0083\text{mm}\sim 0.0239\text{mm}$ 、 $0.0084\text{mm}\sim 0.0232\text{mm}$ ，总体上，底质粒径随季节变化不大，底质类型多属于细粉砂~中粉砂范畴。

（8）海冰

厂址所在区域在地理上属亚热带气候，湿润温和而多雨，根据厂址附近石浦站 2011 年~2015 年的水温实测资料，最高表层水温为 30.6°C ，出现在 2012 年 7 月，最低表层水温为 5.0°C ，出现在 2011 年 1 月。故厂址海域不存在冰情影响问题。

（9）岸滩演变

——岸线变化

1964 年至 2020 年金七门核电厂工程海域附近各次岸线变化见图 2.5-1。工程附近岛礁

岸线变化主要发生在南田岛西岸。金七门以西岸段，该区域 1964 年至 2020 年间陆续有工程建设，岸线的变化主要为围涂形成的人工岸线，其中距本工程最近的为水湖涂二期围涂，其海堤于 2015-2017 年建成，其余岸线主要为基岸岸线，基本无明显变化。金七门以东开阔岸段，海岸受山地地形制约，并经强烈波浪作用，形成许多岬角和港湾，交替成曲折岸线，该区域主要为基岩岸线，56 年内基本无明显变化，岸线基本稳定。

厂区所在区域，除金七门口门西侧小南山北侧岬湾内存在围塘养殖人类活动外，其余主要为基岩海岸，未受人类活动影响，该区域岬角和港湾交替，受开敞海区波浪冲蚀作用较强，淤积现象和围筑活动较少，岸线基本稳定。

——海床等深线变化

图 2.5-2 展示了工程海域 10m 等深线（理论深度基准面）历年变化情况。从图中可以看出：近岸区，金七门水道 10m 等深线西侧位置 1964~2015 年间稳定，至 2020 年略向深槽区退缩，最大幅度为 120m，南北侧 2011 年之后较 1964 年略有扩张，但幅度均在 100m 以内，在测图精度误差范围之内。离岸区，10m 等深线 2015 年、2020 年较 1964 年明显向南部海区摆动，可见附近 10m 以浅水域主要呈淤积趋势。

2.5.1.2 陆地水文

（1）水文描述

象山县位于浙江省东部沿海，象山港与三门湾之间，北临象山港，东濒大目洋，南滨三门湾，西接宁海县。全县由象山半岛东部和 608 个岛礁组成，陆地面积 1175.16 km²，海域面积 5335km²。

象山县多年平均降水量为 1462.8mm，多年平均径流深 734.7mm，多年平均水资源量为 9.327×10⁸m³，其中地表水 8.634×10⁸m³(可利用量 4.78×10⁸m³)，地下水 0.693×10⁸m³(可开采量 0.1877×10⁸m³)；保证率 90%年地表水资源量为 5.110×10⁸m³，保证率 95%年地表水资源量为 4.097×10⁸m³，保证率 97%年地表水资源量为 3.826×10⁸m³。全县人均水资源量 1752.5m³(2000 年人口为基准)，虽高于宁波市人均占有量 1314m³，但仅为全省、全国相应统计值的 82.4%和 77.1%，仍属水资源不丰富的地区。

象山县水资源区域分布不均匀，受地形的影响，地区性差异较大，由西北向东南沿海递减。西北部山区为全县的降水中心区，多年平均降水量为 1595.5mm(西周)，平均径流深 963.7mm(西周)，东南部沿海多年平均降水量约 1432.8mm(石浦)，平均径流深 702.1mm(石浦)，海岛多年平均降水量仅 1301.2mm，平均径流深仅 500mm 左右。

水资源的年际年内分布也不均匀，受季风气候影响，年际年内差异较大，丰、平、枯

水年有连续、交替发生的现象。降雨主要受梅雨和台风控制，年内多集中在 4~10 月，这 7 个月的降雨量占全年降雨量的 71~75%，其中 6~9 月占全年降水的 40.8%~50%。降雨的年际变化亦较大，以丹城站为例，最大年降水量（1991 年 2177.6 毫米）与最小年降水量（1967 年的 770.6 毫米）比为 2.83。

（2）水利工程

目前全县已建中型水库 5 座，小型水库 77 座，总库容 $10045.7 \times 10^4 \text{m}^3$ ；山(池)塘 2086 座，灌溉库容约 $1134 \times 10^4 \text{m}^3$ ；全县河网总长度 710km，水面积 12.7km^2 ，正常蓄水量 $1870.47 \times 10^4 \text{m}^3$ ；全县总蓄水容量 $13050.17 \times 10^4 \text{m}^3$ 。在山区及丘陵地区，还利用堰坝引水灌溉，现有堰坝 635 处，干旱年份引水量约为 $230 \times 10^4 \text{m}^3$ ；建成白溪水库引水工程，白溪水库位于宁海县岔路镇，集水面积 254km^2 ，总库容 $16840 \times 10^4 \text{m}^3$ ，兴利库容 $8150 \times 10^4 \text{m}^3$ ，每天向象山县供水 $5 \times 10^4 \text{m}^3$ ；地下水开发利用的主要形式是打井取水，全县共有各类水井 7433 处，年可供水量 $817 \times 10^4 \text{m}^3$ ，占地下水资源总量的 11.78%。

（3）淡水水源

南田岛属于水利分区的 IV 区，是象山县最大的岛屿，位于象山县南部，面积约 102km^2 ，地形东高西低，东部为山地，西部地势较为平缓；主要河流为鹤浦，发源于小西天，通过鹤浦大闸注入石浦港，全长 9.8km，流域面积 41.3km^2 ，上游建有樊岙、小百丈水库。

由于南田岛水资源量不大，且水资源时空分布不均匀，现有水利工程蓄水能力相当较小，又缺乏有利的建库条件，可供水量有限，在枯水年份，淡水供应较为紧张。根据《象山县水资源综合规划报告》的成果，现有水利工程的供水量仅基本满足 2030 年水平年保证率 90% 的用水需求，为满足区域用水需求，规划建设大唐港水库引水工程；大唐港水库位于象山县定山境内，为三门湾内港岳井洋支流，属堵港蓄淡工程，集水面积 134km^2 ，总库容 $4642 \times 10^4 \text{m}^3$ ，兴利库容 $1935 \times 10^4 \text{m}^3$ ，主要供农业用水，在 90% 保证率枯水年份，满足灌区用水条件下，尚可富余水量约 $2500 \times 10^4 \text{m}^3$ ，可以满足南田岛的引水需求。

根据象山县及核电厂所在区域的淡水资源规划利用的实际情况，核电厂运行期淡水供给初步考虑采用海水淡化解决，施工期用水由市政水源提供。待本工程水资源论证完成后，提供最终结论。

2.5.2 地下水

2.5.2.1 厂址附近范围水文地质特征

厂址位于浙江东部沿海象山半岛低山丘陵区，属天台山脉东部沿象山港延展部分。厂

址区三面环海，北靠大片丘陵，南部为小南山半岛（丘顶标高约 103m），东部长皮长半岛（丘顶标高约 64m）。厂址附近范围内水文地质条件简单，含水层呈层状分布，岩性、厚度、渗透性变化均较小，空间分布稳定，地下水补、径、排条件简单。

厂址属中亚热带季风区，雨量充沛，属海洋性气候。年平均降雨量 1347.3~1674.2mm，多年最大年降雨量 2138.5mm（2019 年），多年最小降雨量 766.9mm（1967 年），其中 6 月降雨量最多（211.6mm），12 月降雨量最少（55.1mm）。

厂址所处南田岛为独立海岛，岛内主要水系为鹤浦大河，以樊岙水库为源头，自南向北流经樊岙村、五利村、蟹厂、鸭嘴头，至鹤翔流入大海，入海口有鹤浦大闸调节，总长度 10.8km。

厂址附近范围内海域多年平均海面为 0.205m，多年平均高潮位为 2.07m，多年平均低潮位为-1.51m，最高天文潮位为 4.87m，最低天文潮位为-3.22m，多年平均潮差为 3.56m。厂址所在海域平均海面 3.1m，大潮汛期间升至 5.4m，小潮汛期间升至 4.1m。

2.5.2.1.1 地下水的类型及特征

根据地下水赋存条件、水力特征及埋藏条件，厂址附近范围地下水类型可分为第四系松散岩类孔隙水和基岩裂隙水两大类。

2.5.2.1.1.1 第四系松散岩类孔隙水

第四系松散岩类孔隙水根据含水层岩性不同可划分为全新统海积层孔隙水、上更新统坡洪积层孔隙水和第四系坡残积层孔隙水。

1) 全新统海积层孔隙水

地下水赋存于全新统海积层，含水层岩性主要为淤泥质粉质黏土、粉质黏土层，厚度约为 5~20m，近山前趋薄，近海变厚，总体上含水层透水性差，属微透土层。地下水接受大气降水补给和地表水体的下渗补给，向海域较低的方向径流，蒸发是其主要排泄方式。根据调查，该含水层水量极贫乏。

2) 上更新统坡洪积层孔隙水

地下水赋存于全新统坡洪积层内，含水层岩性以含黏性土碎石、含砾粉质黏土为主，分布于厂址附近范围内沟谷中下游地势低洼地带及沟口地带，含水层厚度一般为 5~10m，向沟谷源头逐渐变薄。含水层主要接受大气降水补给，上游沟谷接受山坡汇水下渗补给，与地表水体水力联系密切，丰水期部分接受地表水体补给。其地下水位受地形控制，在沟谷上游水位埋深一般为 1~4m，下游埋深多为 0.5~1.5m，个别地段受地势起伏影响也会

出露地表形成下降泉。潜水沿沟谷源头顺地势向沟谷口缓慢径流，向下游径流和泉点出露地表是本含水层的主要排泄方式。根据调查，该含水层水质较好，水量贫乏。

3) 第四系坡残积层孔隙水

地下水赋存于第四系残坡积层中，含水层一般分布于山前坡麓边缘，多呈小范围的带状分布，厚度 2~5m 不等，岩性主要为褐红色、褐黄色可~硬塑状含砾粉质黏土、粉质黏土，透水性弱。含水层主要接受大气降水补给，随地势向低洼处径流，流速缓慢，向下游风化基岩下渗和下游侧向径流排泄。根据调查，该含水层水质属淡水，水量极贫乏。

2.5.2.1.1.2 基岩类裂隙水

基岩类裂隙水根据赋存介质可划分为风化裂隙水和构造裂隙水两类。

1) 风化裂隙水

厂址附近范围所见岩性以熔结凝灰岩为主，属硬质岩类，地下水赋存于上部基岩风化层中，含水层富水性受裂隙发育程度、张开程度和贯通程度控制。基岩风化裂隙一般位于基岩层上部，厚度小于 8m，裂隙多呈网状分布，地下水多赋存于全风化带下部的半风化带中。由于全风化物长石成高岭土化，黏土矿物充塞裂隙，透水性差；而半风化带岩体较松散，保留了原始的岩石风化节理，成为较好的径流通道。地下水主要接受大气降水入渗补给，在地势低洼沟谷处，接受上部第四系松散岩类孔隙水的下渗补给，随地形地势向下游低洼处径流，流速缓慢，在沟谷基岩切割处，以下降泉的形式排泄，沿程径流途径短。风化带的富水性与岩性、地形坡度、风化带厚度以及表部植被发育程度有关，总体上表现为富水性差、均匀性差、地下水流向受地形控制明显。根据调查，该含水层水量极贫乏。

2) 构造裂隙水

构造裂隙水赋存于深部基岩构造裂隙中，主要以节理裂隙为主，裂隙多呈闭合型，局部呈微张型，地下水以脉状形式赋存，均匀性差。地下水接受上部风化裂隙水和第四系松散岩类孔隙水补给为主，沿构造带缓慢径流，在地势低洼处排泄出地表。厂址附近范围基岩构造裂隙水水量极贫乏。

2.5.2.1.2 地下水补给、径流与排泄条件

厂址附近范围地表分水岭总体上呈“工”字形分布，可将南田岛分为相对独立的四部分，另加南山岛独立海岛，共计五个部分。南田岛南北向以小南山~龙王山~大头岗~荷花心~胖蓬岩~风门口~白岩山为分水岭，风门口~小南山东侧均面向猫头洋，西侧有东西向分水岭水牛背~大头岗、炮台山~龙王山，将西区分为上、中、下三个单元，分别为

大南田～牧童岙水文地质单元、水湖涂～杨柳坑水文地质单元、金七门水文地质单元；南田岛东侧为小南山～风门口水文地质单元。各水文地质单元之间相互独立，形成各自补给、径流、排泄系统，金七门核电厂主厂区位于金七门水文地质单元。

1) 金七门水文地质单元

金七门村水文地质单元平面呈“K”字形，以北侧龙王山为分水岭，包括龙王山南侧及厂址所在的小南山半岛、长皮长半岛，该水文地质单元可进一步细分为龙王山南侧、小南山半岛、长皮长半岛三个水文地质单元亚区。

该水文地质单元水文地质条件较为简单。其中，龙王山南侧水文地质单元亚区总体北侧高，南侧缓，北侧龙王山标高 259m，南侧金七门村后缘标高为 30.5m，地表水和地下水径流由山岭→缓坡→入海，径流途径短、水量小、排水快，部分坡面径流和地下水径流沿坡面汇入冲沟，汇集至金七门村后注入大海；小南山半岛和长皮长半岛上地表水和地下水径流由山岭→缓坡→入海，径流途径短、水量小。

该水文地质单元地下水主要接受大气降水补给。龙王山南侧水文地质单元亚区后缘为坡残积层缓坡，地下水补给主要来自南北两侧山岭基岩风化裂隙水，径流缓慢，水量贫乏。此外，调查显示，金七门村两侧山坡修筑有小型蓄水坑，储存山间泉水作为村民生活用水，在场地平整后将不存在；一般泉点涌水量为 0.01～0.02L/s，个别达 0.08L/s，泉水汇流形成冲沟明流，所见冲沟下切 2～3m，部分基岩裂隙水和坡残积层孔隙水补给坡洪积层孔隙水。

2) 大南田～牧童岙水文地质单元

大南田～牧童岙水文地质单元位于厂址附近范围西北侧，南侧以水牛背～大头岗为分水岭，西侧以荷花心～胖蓬岩～风门口为分水岭，北侧以白岩山～老鹰山为分水岭，形成三面环山，开口西北的地形特征。主分水岭控制了地下水和地表水的流向，对于该水文地质单元地下水和地表水构成了天然屏障，并决定了地表水和地下水总体呈北西向流的趋势。

该水文地质单元内地表水和地下水主要接受大气降水补给。该单元次级分水岭受 NE 向和 NW 向山脊控制，地下水和地表水受次级分水岭控制后，总体流向表现为放射状，地下水和地表水均随地势汇集，径流表现为山岭→缓坡→平原，最终经南田墩沟渠汇集后注入大海。

3) 水湖涂～杨柳坑水文地质单元

水湖涂～杨柳坑水文地质单元位于南田岛西侧中部，北侧以水牛背、东侧以龙王山、南侧以炮台山为分水岭。本区地表地势起落明显，水牛北最高为 326.6m，龙王山最高 259m，其余山脊多为 150m 左右，陡降较大，坡面泻水较快，地下水和地表水表现为山岭→缓坡→入海，径流较短。

该水文地质单元内地表水和地下水主要接受大气降水补给。该单元受次一级低丘分水岭分割，平面地形上呈圈椅状汇水，开口向西，地表水和地下水由北向南、由西向东汇入冲沟，直接注入大海。

4) 小南山～风门口水文地质单元

小南山～风门口水文地质单元西侧以小南山～龙王山～大头岗～荷花心～胖蓬岩～风门口～白岩山一线为界，东侧直临大海。该水文地质单元内无常年地表水流，地表水和地下水主要接受大气降水补给，地表水、地下水均随地形由坡面直流入海。

5) 南山岛水文地质单元

南山岛为独立海岛，岛上无地表水体、不存在地表汇流的小规模冲沟，本单元具有统一的边界和补给、径流、排泄条件，属独立水文地质单元。该水文地质单元内地下水主要接受大气降水补给，地下水径流由山岭→缓坡→入海，径流途径短、水量小，地下水均随地形由坡面直流入海。

2.5.2.1.3 现有地下水利用情况

根据调查，厂址附近范围主体经济以海产品养殖和渔业捕捞为主，无大型和中型工厂、矿山等企业，无大水量的地下水用户。含水层厚度较小，水量小，不存在大型地下水供水水源地和地下水供水工程，仅见村庄内有民井用以满足村落的少量生活用水，机井一般深度 3～8m。地方部门和企业没有大规模、系统开采地下水的规划。

2.5.2.2 厂址水文地质特征

浙江金七门核电厂 1、2 号机组厂址所在海域平均海面 3.1m，大潮汛期间升至 5.4m，小潮汛期间升至 4.1m。

1、2 号机组厂区场地尚未开挖整平，为原始地形地貌，雨季地表水呈放射状向低处径流或渗入土层中，最后排入海洋中。

在金七门村两侧山坡修筑有小型蓄水坑，储存山间泉水作为村民生活用水，在场地平整后将不存在。

2.5.2.2.1 地下水类型及赋存条件

1、2 号机组厂区场地内水文地质条件简单，根据地层岩性、含水介质、地下水的成因、赋存条件、埋藏条件和分布规律等因素，地下水可分为第四系孔隙水和基岩裂隙水两类，其中第四系孔隙水可细分为海积层孔隙水、坡洪积层孔隙水、坡残积层孔隙水，基岩裂隙水可细分为风化裂隙水和构造裂隙水。

1、2 号机组厂区浅部以第四系孔隙水和基岩风化裂隙水为主，深部以构造裂隙水为主，地下水补给、排泄、径流途径单一。构造裂隙水径流缓慢，水量贫乏，富水性弱，中等风化和微风化岩体渗透性等级为微透水～弱透水。

2.5.2.2.1.1 第四系孔隙水

1) 第四系海积层孔隙水

该地下水主要赋存于海域滩涂区，属潮间带地段，含水层为淤泥夹粉砂、粉细砂或粉土层，局部为卵砾石层，厚度一般为 6m～10m。海域滩涂表面以淤泥为主，为微透水性；下部粉细砂或粉土的渗透性较好，赋水性较好。

该地下水直接与海水相连通，地下水位受海水涨退潮影响，下部粉细砂、粉土及卵砾石层中的地下水一般属微承压水。

2) 第四系坡洪积层孔隙水

该地下水主要赋存于金七门村附近山麓斜坡地段坡洪积层内，含水层主要为粉质黏土混碎石层，渗透性一般，赋水性相对较好，因坡洪积层成分不均匀，渗透性具有差异性。含水层厚度一般为 5m～20m 左右不等，在坡脚地段厚度相对较薄，在远离坡脚方向逐渐变厚。

3) 第四系坡残积层孔隙水

该地下水赋存于丘陵区第四系坡残积层中。含水层为粉质黏土混碎石层，主要分布于山前坡麓边缘，多呈小范围的带状分布，厚度 0.4m～5m 不等，属中等透水。

2.5.2.2.1.2 基岩裂隙水

1) 风化裂隙水

风化裂隙水赋存于上部基岩风化层中，多呈小范围的带状分布，含水层厚度一般小于 5m，富水性受裂隙发育程度、张开程度和贯通程度控制。在全风化层下部的风化带中，含水层结构较松散，透水性较好，成为较好的储水、径流通道。强风化层裂隙多呈网状分布，裂隙密集，局部透水性较好。地下水主要接受大气降水入渗补给，接受上部第四系松散岩类孔隙潜水的下渗补给，随地形地势向下游低洼处径流，流速缓慢，在沟谷基岩等地

形切割处以下降泉的方式向地表排泄，径流途径短。风化裂隙水的富水性与岩性、地形坡度、风化带厚度以及表部植被发育程度有关，总体上表现为富水性差、均匀性差、流向受地形控制明显。根据调查，该含水层水量极贫乏。

根据 1、2 号机组厂区已有勘察成果，全风化基岩属微透水，强风化基岩属弱透水。

2) 构造裂隙水

构造裂隙水赋存于基岩构造裂隙中，地下水以脉状形式赋存，均匀性差。地下水接受大气降水、上部风化裂隙水和第四系孔隙水补给为主，沿裂隙下渗到一定深度后转向水平运动，地下水总流向和地形总坡向一致，排泄于沟谷低洼地段，最终排向大海，径流途径短。构造裂隙水含水层水量极贫乏，富水性极弱。

根据 1、2 号机组厂区已有勘察成果，中等风化基岩属弱透水。在 1、2 号机组厂区微风化基岩中进行了压水试验，微风化岩体主要为极微～微透水，局部呈弱透水。

2.5.2.2.2 地下水的补、径、排条件

第四系坡残积层孔隙水主要接受大气降水及周边基岩裂隙水侧向补给。地下水流向大致沿或斜交沟谷方向，最终排泄于大海。第四系坡洪积层孔隙潜水补给来源主要为大气降水，其次是基岩裂隙水侧向补给，地下水流向大致沿或斜交沟谷方向，运动迟缓，排泄于大海。水位埋深浅，动态变化大，主要受大气降水影响，少量地段村民生活用水和灌溉用水影响，该层地下水水量贫乏。第四系海积层孔隙水与海水相连通，受海水涨退潮影响，主要接受大气降水及海水入渗补给，水位埋深浅，动态变化大，向地势低洼处径流排泄，最终排向大海。

基岩裂隙水主要赋存于基岩风化裂隙中，接受大气降水入渗补给及上部第四系孔隙水的下渗补给，沿裂隙下渗到一定深度后转向水平运动，地下水总流向和地形总坡向一致，排泄于沟谷低洼地段，泉点是其主要排泄方式，最终排向大海，其特点主要表现为富水性差、均匀性差，流向受地形控制明显。基岩裂隙水水量充足时，沿山麓斜坡及沟谷斜地向地势低洼处径流排泄；水量贫乏或不足时，径流缓慢，甚至停滞。基岩裂隙水由于埋藏浅，多表现为就地补给，就地排泄，地下水流向与地形起伏一致。

综上所述，1、2 号机组厂区地下水补给来源以降水为主，总体沿地势向低洼处径流排泄，最终汇入大海。

2.5.2.2.3 水力联系

a) 地下水与海水之间的水力联系

1、2 号机组场地内地下水随地形由高向低径流排泄，最终汇入大海。

在海域滩涂区第四系海积层中赋存的地下水与海水相连通，在涨潮时接受海水入渗补给，在退潮后，第四系海积层孔隙水向地势低洼处径流排泄，最终排向大海。

b)地下水之间的水力联系

1、2 号机组场地内第四系孔隙水与基岩裂隙水之间存在相互补给关系，第四系孔隙水接受大气降水补给后垂向补给基岩裂隙水；在第四系孔隙水随地形由高向低径流途中，接受基岩裂隙水侧向补给。

2.5.2.2.4 水化学特征及腐蚀性

根据前期勘察水质分析成果，1、2 号机组丘陵区地下水为中性水，属软水～微硬水，属淡水，水化学类型为 $\text{SO}_4\text{-Ca}$ 型和 $\text{SO}_4\text{-Na (K) -Ca}$ 型；滩涂区地下水为弱碱性水，属极硬水，属盐水，水化学类型为 Cl-Na 型，表明滩涂区地下水与海水有水力联系。

1、2 号机组场地环境类型按 II 类进行腐蚀性评价，丘陵区地下水对混凝土结构有微腐蚀性，对钢筋混凝土结构中的钢筋在长期浸水条件下有微腐蚀性，干湿交替条件下有微腐蚀性；滩涂区地下水对混凝土结构有弱腐蚀性，对钢筋混凝土结构中的钢筋在长期浸水条件下有微腐蚀性，干湿交替条件下有强腐蚀性。

2.5.2.3 现有和计划的地下水利用情况

核电厂主要位于金七门水文地质单元内，该水文地质单元内含水层厚度较小，地下水储量不多，取水用户为金七门村的居民，生活用水多为龙王山第四系孔隙水和基岩裂隙水形成的下降泉水汇聚，水量贫乏，且分布分散，不具备大规模开采条件；待电厂建成后，金七门村将被搬迁，该部分取水用户将不复存在。核电厂将来也没有利用地下水的计划。

2.5.2.4 电厂建设对地下水的影响

1、2 号机组场地及其附近没有大的地下水供水源地，地下水用户主要为金七门村居民生活饮用及小部分农业灌溉，待电厂建成后，金七门村将被搬迁，该部分取水用户将不存在。

场地平整后，场地内第四系孔隙水和基岩风化裂隙水含水层大部分将被挖除，主要出露微风化基岩，一定程度上减少大气降水的入渗补给量，致使厂区地下水富水性降低；同时，厂区内设置排水沟，并硬化地表，进一步阻断了厂区地下水补给源，造成地下水补给量进一步减少，从而使厂区内局部地段地下水流场发生变化，但上述措施未改变地下水的总体流向，仍为由中部向四周排泄，核电厂建设不会对厂区地下水产生影响。

综上所述，核电厂建设将造成厂区地下水减少，地下水流场发生变化，但电厂建设未改变厂区内地下水的总体流向，仍为由中部向四周排泄。核电厂建设不会对厂区地下水产生影响。

2.5.2.5 小结

通过已有资料和厂址周边水文地质调查工作的综合分析，得出结论如下：

1) 厂址附近范围水文地质条件简单，含水层岩性、厚度、渗透性变化均较小，空间分布较稳定，地下水补、径、排条件清楚简单，地下水类型有第四系松散岩类孔隙水和基岩裂隙水。厂址附近范围可分为大南田～牧童岙、水湖涂～杨柳坑、金七门、小南山～风口门、南山岛等 5 个水文地质单元，各水文地质单元之间相互独立，形成各自补给、径流、排泄系统，厂址位于金七门水文地质单元。

2) 厂址地下水含水岩组的岩性、厚度稳定，地下水补给来源以降水为主，地下水补径排条件简单，水文地质条件简单，地下水类型有第四系孔隙水和基岩裂隙水。厂址丘陵区地下水水化学类型为 $\text{SO}_4\text{-Ca}$ 型和 $\text{SO}_4\text{-Na(K)-Ca}$ 型，矿化度为 216.096～310.263 mg/L；滩涂区地下水水化学类型为 Cl-Na 型，矿化度为 16220mg/L，表明滩涂区地下水与海水有水力联系。

3) 厂址附近没有地下水供水源地，不存在对地下水供水水源影响的问题。另外，厂址周边地下水用户主要为金七门村居民生活饮用及小部分农业灌溉，待电厂建造后，金七门村将从此地搬迁，该部分取水用户将不复存在。

厂址将来没有利用地下水的计划。

4) 核电厂建设将造成厂址区局部地段地下水流场发生变化，但未改变地下水的总体流向，地下水仍为厂区中间向四周排泄。场地平整后，厂址内地下水下游方向无生产生活取水点。因此，核电厂建设不会对厂址地下水产生影响。

2.5.3 洪水

2.5.3.1 天文潮

按照 HAD101/09 规定，10%超越高潮，即在连续 19 年以上的月最大天文潮中，只有 10%超越或等于其高度的潮位。采用厂址专用站一年的潮位观测资料进行调和分析，用所得的调和常数计算 2016～2034 年这 19 年间的逐时及日高低天文潮位，计算结果如下：

最高天文潮：3.48m

最低天文潮：-2.92m

10%超越概率天文高潮位：	3.32m
90%超越概率天文低潮位：	-2.72m

2.5.3.2 风暴潮增、减水

（1）概率论法

根据健跳站 1976~2014 连续 38 年、大目涂站 1981~2014 连续 33 年的风暴潮期间潮位资料，计算健跳站 38 年、大目涂站 33 年的风暴潮增、减水系列，统计增、减水年极值资料，分别采用皮尔逊Ⅲ型分布和耿贝尔分布方法进行频率统计分析，计算不同重现期的风暴潮增、减水，结果见表 2.5-5。

由于厂址与健跳、大目涂同步观测序列较短，采用增减水同步相关计算厂址处的各重现期增减水较为困难，因此采用增减水叠加天文潮后的潮位相关的方法进行计算。计算结果表明厂址增水值采用与健跳和大目涂相关的结果基本一致，与健跳相关的略微偏不利，推荐采用与健跳相关的结果；减水值则明显是与大目涂相关的偏不利，健跳站位于健跳港口门内侧 200m，与对岸距离约 750m，其减水性质与开敞海区略有不同，因此减水采用与大目涂相关的计算结果；具体结果见表 2.5-6。

（2）确定论法

1) 可能最大热带风暴参数（PMTC）确定

用确定论法来计算热带气旋极端的中心海平面气压 P_0 值，关键在于根据当地环境和探空资料来设定对流层顶高度（导则建议用 100 hPa 的高度代替）、对流层顶温度、海面温度、眼区内温度垂直分布和眼区内的湿度垂直分布等五个参数。本计算依据浙江、福建两省相关资料，通过大气静力学方程、热力学方程和状态方程等，确定本厂址的 PMTC 参数，其中台风外围气压取 1010hPa，台风中心气压取 891hPa，最大风速半径为 30km，台风移行速度为 35km/h。

2) 计算模型

采用风暴潮数值模型直接计算典型台风的增水并对其进行验证，在此基础上计算可能最大风暴增、减水。

计算范围：计算域的水边界西至广东汕头，南至台湾岛南端，东至日本琉球群岛—韩国济州岛东侧一线，北至渤海辽东湾北岸，大致范围为 $21.5^{\circ}\text{N}\sim 41^{\circ}\text{N}$ 、 $116.5^{\circ}\text{E}\sim 127^{\circ}\text{E}$ ，整个计算域面积为 $1030\text{km}\times 2180\text{km}$ ，即 224 万 km^2 。大范围耦合模型的计算域见图 2.5-3。

边界条件：大区边界取静压水位，以平均海平面为初始条件。

地形：大范围计算的地形主要取自近年的新出版海图，浙江沿海的河口、港湾如钱塘江河口、杭州湾、象山港、三门湾、椒江河口、台州湾、乐清湾、甌江河口均采用近年测量的大比例尺的水下地形图对地形进行修正和订正。

3) 模型验证

采用已建立的数值模型对影响本厂址附近海域的 7 次有代表性的台风风暴潮过程进行了模拟计算。根据已有的研究和秦山核电、三门核电以及苍南核电的成果，对本厂址增水不利的台风应为西行登陆型，因此，选择六场西行登陆型台风作为验证台风，这六场台风为：5612 号台风、9417 号台风、9711 号台风、0414 号、0515 号和 1211 号。验证结果表明所建立的风暴潮模型较好的模拟了健跳站和大目涂站每个显著的台风增水过程，可认为所建立的风暴潮模型是可靠的，可以满足本厂址处 PMSS 计算的要求。

4) 可能最大风暴增、减水计算

根据厂址 400km 范围内中心气压小于 975hPa 的热带气旋各移动方向占比统计，考虑厂址处可能最大风暴增、减水出现的路径在 $250^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 和 $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 之间。可能最大风暴增水最不利路径计算方案为：移速 35km/h，路径为在厂址-1.5R \sim +1.5Rkm 处登陆，每 15km（0.5R）为一个计算组次，移向为 $250^{\circ}\sim 360^{\circ}$ （移向东北）和 $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ （移向西北），每 10° 为一个计算组次。计算结果表明：距厂址 30km（-1.0R）处登陆，移速为 35km/h，运行方向为 330° 的台风引起的厂址可能最大风暴增水为 4.77m，增水过程见图 2.5-4。

可能最大风暴减水最不利路径计算方案为：移速 35km/h，路径为在厂址以东 45km（记为+1.5R）到厂址以西 45km（记为-1.5R）的直线，每 15km（0.5R）为一个计算组次，移向为 25° 、 20° 、 15° 、 10° 、 5° 、 0° 、 355° （ -5° ）、 350° （ -10° ）。计算结果表明：距厂址东侧 15km（0.5R）处登陆，运行方向为 20° 的台风引起的厂址可能最大风暴减水为-2.83m，减水过程见图 2.5-5。

综上，厂址可能最大风暴增水为 4.77m，由厂址南侧 30km 处登陆、运行方向为 330° 的台风引起；可能最大风暴减水为-2.83m，由厂址东侧 15km 处登陆、运行方向为 20° 的台风引起。

2.5.3.3 海平面异常

近几十年来，中国海平面变化总体呈波动上升的趋势。据国家海洋局发布的中国海平面公报中海平面监测和分析结果表明，1980 年至 2015 年中国沿海海平面上升速率为高于同期全球平均水平。

推荐本海域在未来 60 年海平面上升值为 0.23m。

2.5.3.4 假潮

假潮是指封闭或半封闭的水域由于大气的、海洋的或者其它个力扰动，水体发生与水域固有频率有关的振动，是该水体地形对外力的一种响应，其振动周期与水域的大小和形状、水深有关。

三门湾假潮振动的周期约在 3.8 小到 4.5 小时之间，平均 4.1 小时，界线位于西岸壳塘山、青峙山一带至东岸金七门一带，故三门湾一带存在假潮振动现象。通过实测资料的谱分析发现，1/6 分潮有异常增大现象且其周期与假潮周期基本一致，因此可以认为假潮振动已包括在天文潮汐的变化之中，不宜另行作为单独因子在设计基准洪水位中计算。

2.5.3.5 海啸

由于我国东南沿海受近海岛屿和大陆架保护，进入沿海地区的海啸波能量很快衰减，在我国大陆沿海尚未发生严重的地震海啸。金七门厂址及其附近区域是我国一个以弱震活动为主，中强震活动频次较低的地区，最高震级仅为 6 级。自从 1970 年有仪器记录以来，在厂址周围 100km 范围内记录到的最大地震仅为 3.3 级（1993 年），历史上也未见破坏性地震记载。三门湾海域大部分区域水深小于 20m，水深较小，历史上也尚未海啸的记载。工程海域基本上不具备海啸发生的条件。

对于外来海啸波传入的影响，引用国家海洋局编制的《我国沿海核电站地震海啸风险论证》报告中的结果进行分析，该次论证工作对可能影响我国沿海核电站的潜在地震海啸进行了数值模拟计算，计算的潜在地震海啸源主要分布在琉球海沟和马尼拉海沟。计算结果表明琉球海沟各断层产生的海啸，浙江三门核电厂和福建宁德核电厂会遭受轻微海啸波外。预计琉球海沟产生的海啸不会造成灾害。各组海啸源中 RL4 对三门核电厂附近海域影响最大，最大海啸波幅在 0.38m。金七门核电厂距三门核电厂仅 30km，可以认为外海可能传入的海啸对本厂址的影响幅度也在同一量级，远小于最大可能风暴增水的 4.77m，表明对本厂址而言主要考虑的极端洪水事件是可能最大风暴增水而不是海啸增水，因此，海啸洪水在本厂址的设计基准洪水位计算中不列入。

2.5.3.6 波浪影响

厂址专用波浪观测站布设在金七门东面水深约 10m 处，观测结果表明：全年有效波高多集中在 1.5m 以内，以 0.5~1.0m 范围居多。全年有效波高多集中在 N~E 向，NE 向占最大比例，为 16.31%，其次为 NNE 向，所占比例为 13.21%。

全年强浪向为 NE 向，最大波高为 8.02m，其次为 ENE 向，最大波高为 5.65m。春季最大波高为 4.82m，SW 向，夏季最大波高为 8.02m，NE 向，夏季次强波高为 5.65m，ENE 向。秋季最大波高为 3.85m，浪向为 NE 向，冬季最大波高为 2.86m，NNW 向，其次为 2.84m，ENE 向。由此可得：全年最大波高出现在夏季，与夏季台风盛行有关，最小波高出现在冬季，因此冬季波浪相对较小。

收集大陈站的 N、E、SE 三个方向 1960~2000 年的年最大平均波高（ $H_{1/10}$ ）及其对应的周期，采用 P-III 型曲线拟合，得到不同重现期的设计波高（ $H_{1/10}$ ）和对应的周期见表 2.5-7。

厂址外海 20m 等深线处的设计波浪要素通过 SWAN 模型，计算 1949-2015 年 67 年间的台风浪，并统计 NE 向、E 向以及 SE 向 1/10 大波波高的年极值，然后采用概率论法，通过 P-III 曲线进行推算。计算结果见表 2.5-8。

根据《浙江金七门核电厂 1、2 号机组工程水文复核分析计算研究报告》（2023 年 6 月），可能最大台风浪的计算是采用引起可能最大风暴潮的台风路径和与之相应的 PMTC 参数，利用波浪模型计算完成。根据确定的可能最大热带气旋(PMTC)参数： P_{∞} 代表台风外围气压或正常气压取值 1010hPa，台风中心气压 P_0 取 891hPa，台风最大风速半径 R 取 30km，台风移速 Vmax 取 35km/h。可能最大风暴潮假想台风路径为 NW 向路径。可能最大台风浪的计算水位，按照 DBF 水位 8.32m。

鉴于本工程南侧局部海域有深槽存在，地形梯度变化大，但范围较小，外围海域水下地形较平缓，坡度小于 1:1000，破碎系数取 0.60。

可能最大台风浪计算点位见图 2.5-6。计算结果显示厂址外海-20m 等深线特征点处可能最大台风浪结果为有效波高 11.0m， $H_{1/100}$ 为 17.0m，平均周期 13.5s。可能最大波浪分布矢量图如图 2.5-7 所示。

2.5.3.7 洪水影响

核电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。核电厂址的设计基准洪水位的组合如下：

10%超越概率天文高潮：	3.32m
可能最大台风增水：	4.77m
海平面上升：	0.23m
设计基准洪水位：	8.32m

综合考虑波浪、土石方平衡等因素，厂坪标高暂定为 15.50m，高于设计基准洪水位。

波浪的影响通过护岸防波堤来解决，确保与安全有关的构筑物不被海洪淹没。

2.5.3.8 陆域洪水

本厂址属滨海厂址，厂址附近无大的溪流和江河通过，不存在溪流和江河在厂址上引起洪水泛滥。厂区暴雨洪水将通过厂区排水系统就近排入大海，核岛排水系统按千年一遇降雨量设计，可能最大降水（PMP）来校核。

2.6 地形地貌

厂址位于浙江东部沿海象山半岛低山丘陵区，属天台山脉东部沿象山港延展部分。区内以侵蚀剥蚀、堆积地貌为主，地貌形态为丘陵、沟谷和滩涂，局部为坡洪积（山麓、斜坡堆积）坳谷与海积滩涂地貌。区内大多为海蚀崖（礁）地貌，海拔高程一般为 3m~20m。

厂址三面环海，北靠低山丘陵区。厂址西部为小南山半岛，其北部有大量滩涂，标高约在-0.6~4.7m；东部为长皮长半岛，最高点标高约 64m。厂址北侧龙王山最高峰标高约 267m，西侧炮台山最高峰标高约为 143.5m。

厂址两个半岛南北向较窄，两半岛南侧海域水深较深，北侧龙王山山体较高。

表 2.4-1 各气象站基本状况一览表

站名	区站号	级别	纬度	经度	海拔高度	与厂址距离	方位
石浦	58569	基本站	29°12'N	121°57'E	128.4m	16 km	N
三门	58568	一般站	29°07' N	121°23' E	34.5m	56 km	W
宁海	58567	一般站	29°19' N	121°26' E	39.3m	58 km	NW
大陈	58666	基本站	28°27' N	121°54' E	86.2m	67 km	S
洪家	58665	基准站	28°38' N	121°25' E	4.6m	69 km	SW

表 2.4-2 厂址大气扩散参数

稳定度	p_y	q_y	p_z	q_z
A	1.606	0.777	0.073	1.329
B	1.061	0.791	0.466	0.898
C	0.646	0.808	0.515	0.782
D	0.406	0.812	0.498	0.672
E	0.301	0.814	0.429	0.598
F	0.203	0.812	0.373	0.560

注：（参数采用值 $\sigma_y = P_y X^{q_y}, \sigma_z = P_z X^{q_z}$ ）

表 2.4-3 铁塔气象观测要素技术指标一览表

名称	测量范围	准确度	分辨率	灵敏度
风速	0.3~60m/s	$\pm 0.3\text{m/s}$ ($\leq 10\text{m/s}$) $\pm (0.03V)(>10\text{m/s})$	0.05m/s	启动风速为 0.3m/s
风向	0°~360°	$\pm 5^\circ$	3°	启动风速为 0.3m/s
气温	-50℃~+50℃	$\pm 0.1^\circ\text{C}$	0.1℃	

表 2.4-4 地面观测主要气象要素技术指标一览表

名称	测量范围	准确度	分辨率	灵敏度
风速	0.3m/s~60m/s	$\pm 0.3\text{m/s}$ ($\leq 10\text{m/s}$) $\pm (0.03V)(>10\text{m/s})$	0.05m/s	启动风速为 0.3m/s
风向	0° ~360°	$\pm 5^\circ$	3°	启动风速为 0.3m/s
气温	-40℃~+85℃	$\pm 0.1^\circ\text{C}$	0.1℃	
降水量	0~4mm/min	$\pm 1\%$ ($\leq 10\text{mm/hr}$) $\pm 3\%$ (10~20mm/hr) $\pm 5\%$ (20~30mm/hr)	0.1mm	
总辐射	0~2000 W/m ²	$<0.1\%/^\circ\text{C}$ (温度依赖性)WMO 二级	1 W/m ²	15 v/W/m ²
净辐射	-2000~2000 W/m ²	$<-0.1\%/^\circ\text{C}$ (温度依赖性)WMO 二级	1 W/m ²	10 v/W/m ²
蒸发	0~100mm	$\pm 0.3\text{mm}$,累积蒸发 3000mm 条件下	0.1mm	
气压	600~1100 hPa	0.119hPa, 900hPa~1100hPa	0.1hPa	
湿度	0~100%	$\pm 1.5\%\text{RH}$	1%	

表 2.5-1 工程海域各站潮汐特性表

潮位站 特征值	专用站 (2015.04~2016.03)	健跳站 (1976~2014 年)	大目涂站 (1981~2014 年)
平均潮位 (m)	0.23	0.25	0.30
最高潮位 (m)	3.61	5.50 (1997/8/18)	4.54 (1997/8/18)
最低高潮位 (m)	0.70	0.31	0.18
平均高潮位 (m)	2.09	2.36	1.85
最高低潮位 (m)	0.16	0.63	0.79
最低潮位 (m)	-2.89	-3.73 (1990/12/3)	-2.78 (1990/12/3)
平均低潮位 (m)	-1.51	-1.77	-1.14
最大涨潮潮差 (m)	5.92	7.23	5.41
最小涨潮潮差 (m)	1.37	0.63	0.29
平均涨潮潮差 (m)	3.61	4.12	3.00
最大落潮潮差 (m)	5.81	6.97	5.51
最小落潮潮差 (m)	1.35	1.03	0.68
平均落潮潮差 (m)	3.61	4.12	3.00
平均潮差 (m)	3.61	4.12	3.00
最大涨潮历时(h:min)	7:20	8:06	9:08
最小涨潮历时(h:min)	5:23	3:50	2:30
平均涨潮历时(h:min)	6:12	6:14	5:54
最大落潮历时(h:min)	7:25	8:40	9:09
最小落潮历时(h:min)	5:20	4:00	4:18
平均落潮历时(h:min)	6:12	6:10	6:30

表 2.5-2 厂址处长期潮汐特征值推算表

潮位站 特征值	厂址 (一年)	厂址长期 (与健跳相关)	厂址长期 (与大目涂相关)
最高潮位 (m)	3.61	4.87	4.99
平均高潮位 (m)	2.09	2.07	2.25
最低潮位 (m)	-2.89	-3.22	-3.18
平均低潮位 (m)	-1.51	-1.51	-1.41
最大涨潮潮差 (m)	5.92	6.28	6.34

表 2.5-3 健跳站、大目涂站不同重现期潮位表 (m)

高潮位	重现期 (年)		10000	1000	100	50	30	25	10
	健跳站	耿贝尔型	6.35	5.72	5.10	4.91	4.76	4.72	4.46
		P-III型	8.19	6.97	5.77	5.40	5.14	5.04	4.61
	大目涂站	耿贝尔型	5.64	5.01	4.38	4.19	4.03	3.99	3.73
		P-III型	6.61	5.62	4.65	4.36	4.15	4.07	3.72
低潮位	重现期 (年)			1000	100	50	33		
	健跳站	耿贝尔型		-4.11	-3.85	-3.77	-3.72		
		P-III型		-3.94	-3.77	-3.71	-3.69		
	大目涂站	耿贝尔型		-3.16	-2.92	-2.85	-2.80		
		P-III型		-3.10	-2.91	-2.84	-2.82		

表 2.5-4 厂址不同重现期潮位表

高潮位	重现期 (年)	10000	1000	100	50	30	25	10
	与健跳站相关	7.27	6.18	5.11	4.78	4.55	4.46	4.08
	与大目涂站相关	7.10	6.10	5.11	4.81	4.60	4.51	4.16
低潮位	重现期 (年)		1000	100	50	33		
	与健跳站相关		-3.63	-3.40	-3.33	-3.28		
	与大目涂站相关		-3.59	-3.33	-3.25	-3.20		

表 2.5-5 健跳站和大目涂站不同重现期增、减水结果 单位：m

增水	水文站	重现期（年）	10000	1000	200	100
	健跳	耿贝尔型	4.45	3.52	2.87	2.59
		P-III型	4.86	3.83	3.09	2.77
	大目涂	耿贝尔型	3.46	2.78	2.30	2.09
		P-III型	4.10	3.21	2.59	2.32
减水	健跳	耿贝尔型	-1.46	-1.24	-1.08	-1.02
		P-III型	-1.49	-1.20	-1.11	-1.04
	大目涂	耿贝尔型	-1.96	-1.63	-1.39	-1.29
		P-III型	-2.04	-1.67	-1.42	-1.31

表 2.5-6 厂址处不同重现期增、减水表 单位：m

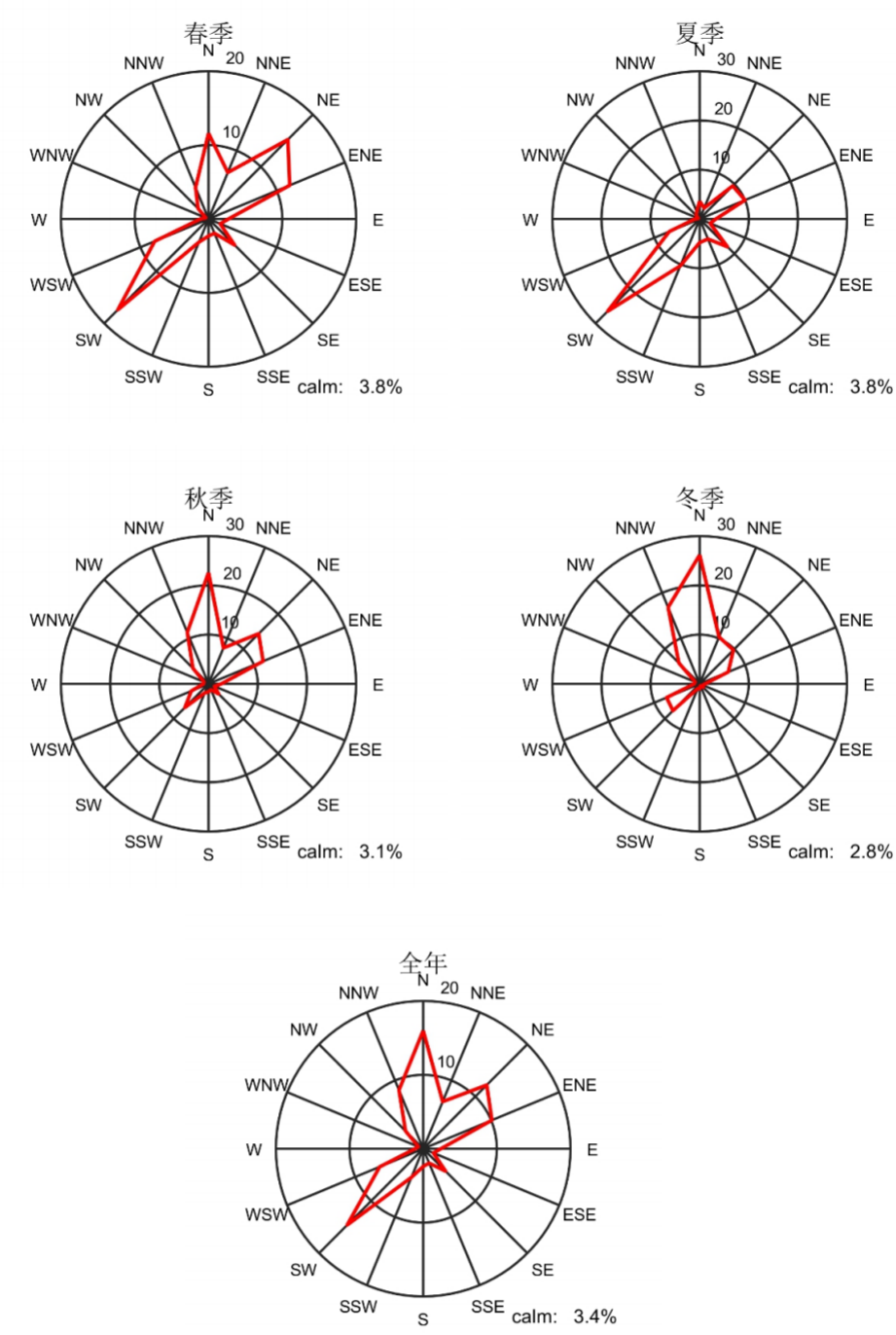
重现期（年）	10000	1000	200	100
增水	4.30	3.38	2.73	2.44
减水	-2.22	-1.82	-1.55	-1.44

表 2.5-7 大陈站不同重现期波要素

重现期（年）	波要素	NE	E	SE	S	SW
100	H _{1/10} (m)	13.5	12.8	10.5	8.5	7.1
	T(S)（平均）	17.3	15.9	15.5	15.2	11.5
50	H _{1/10} (m)	11.8	11.1	9.5	7.7	6.4
	T(S)（平均）	16.2	15.1	14.8	14.2	11.0

表 2.5-8 厂址外海 20m 水深处各重现期波要素

方向 重现期	NE		E		SE	
	波高(m)	周期(S)	波高(m)	周期(S)	波高(m)	周期(S)
100	14.7	14.8	14.1	14.6	14.4	14.8
50	12.6	14.1	13.2	14.3	13.3	14.4
25	10.6	13.3	12.3	13.9	12.4	13.9
10	7.8	12.4	10.9	13.3	10.7	13.2
5	5.9	11.5	9.7	12.8	9.4	12.5



单位：%

图 2.4-1 石浦站全年及各季风玫瑰图

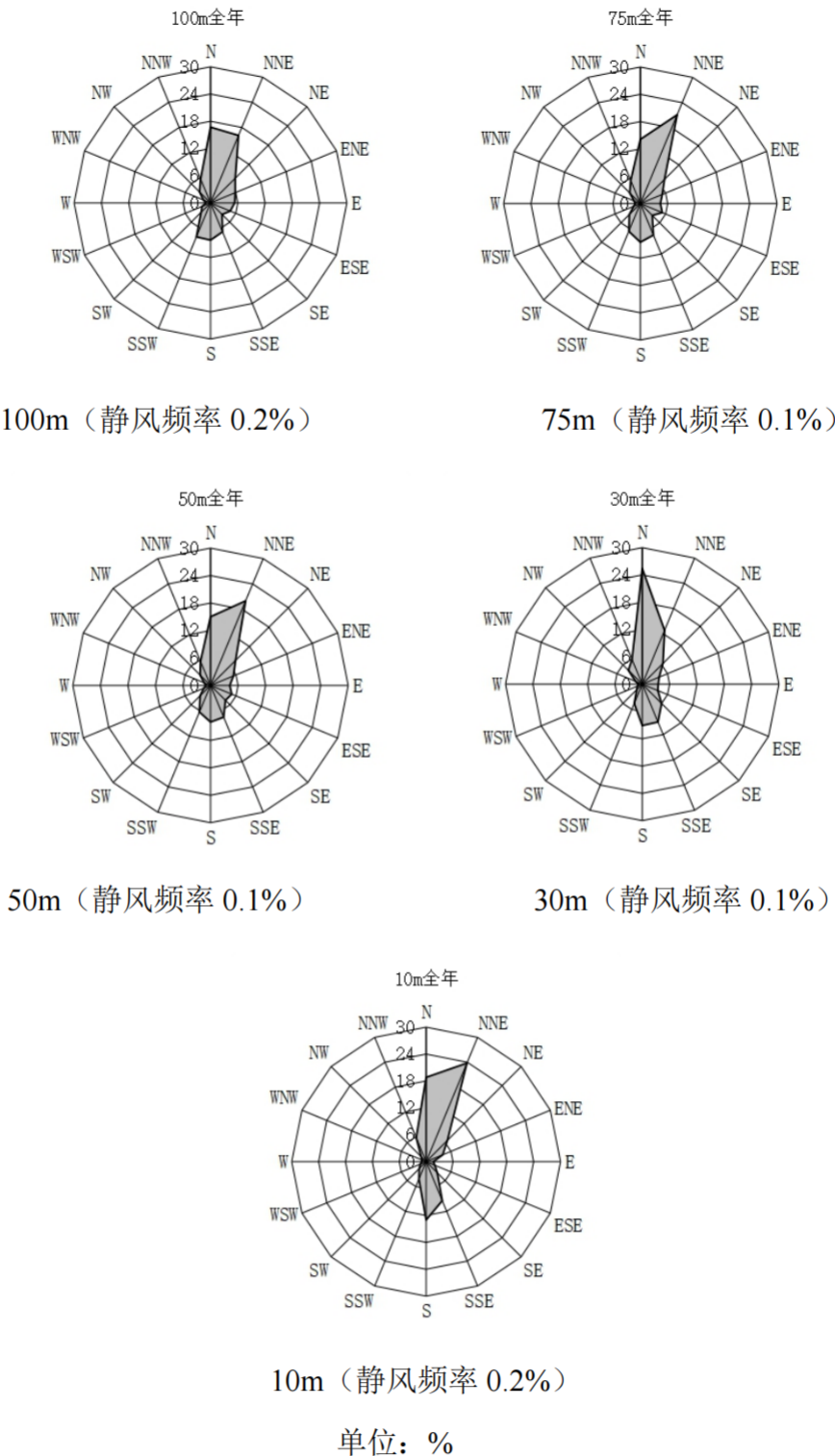
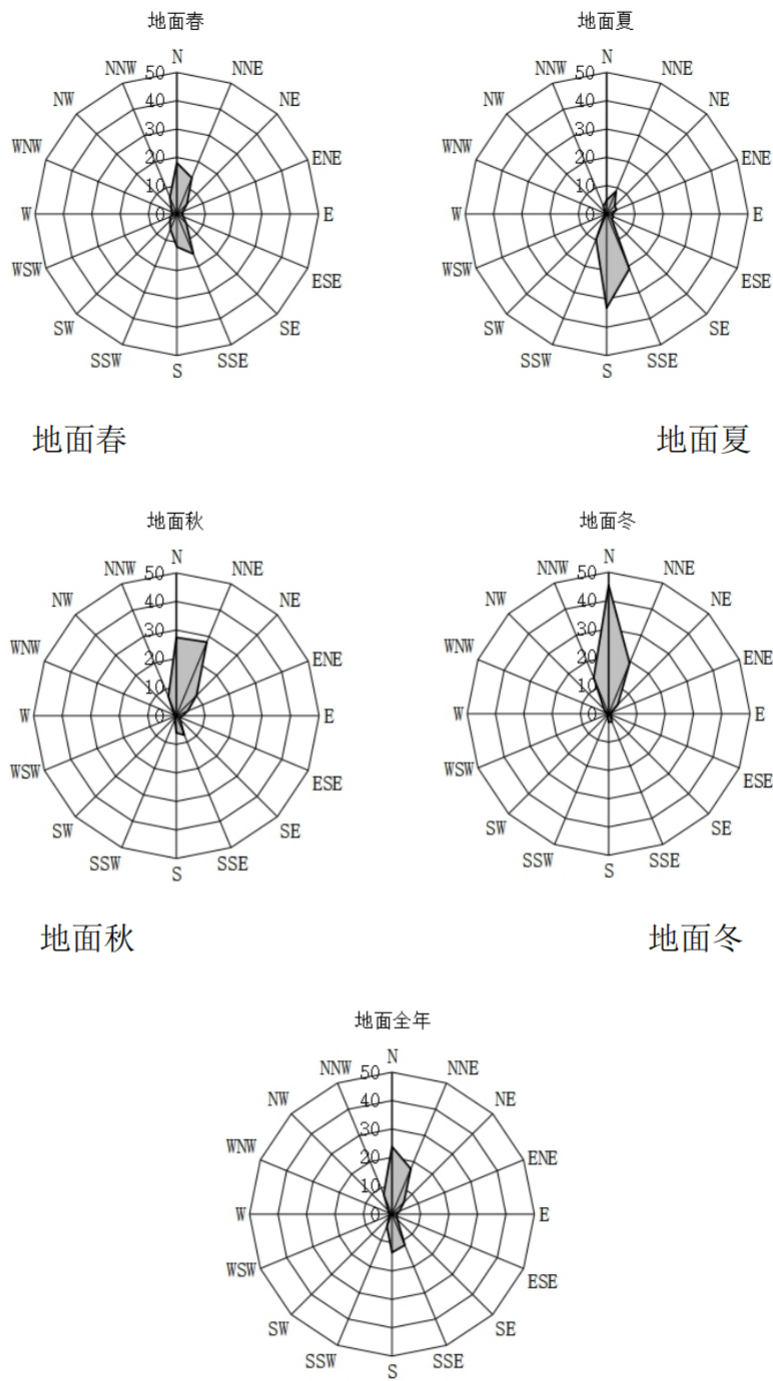


图 2.4-2 铁塔各高度年均风玫瑰图（2020.10~2023.9）



地面全年 静风频率 0.2%

单位：%

图 2.4-3 地面站各季及年均风玫瑰图（2020.10~2023.9）

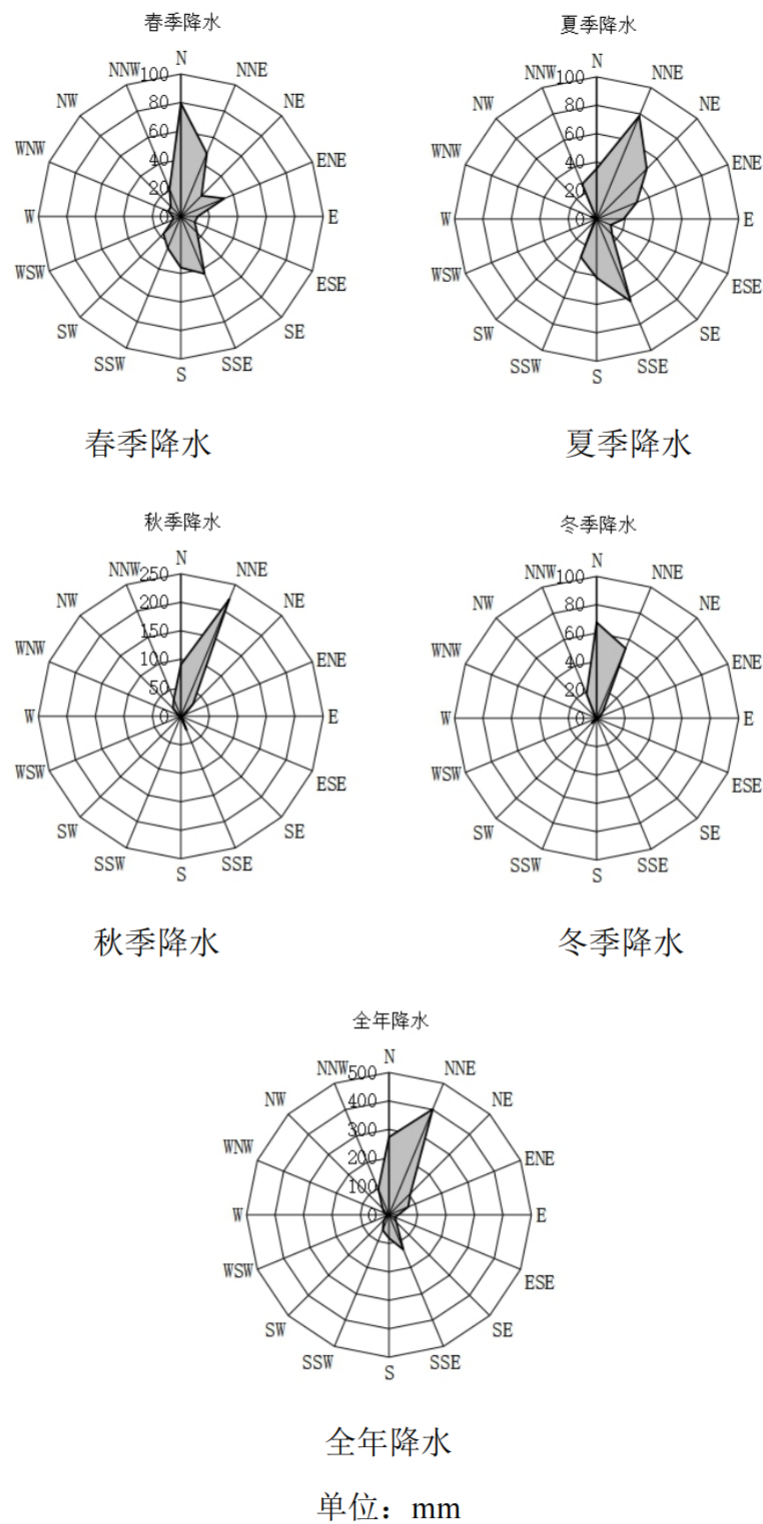


图 2.4-4 地面站各风向季均、年均降水量玫瑰图（2020.10~2023.9）

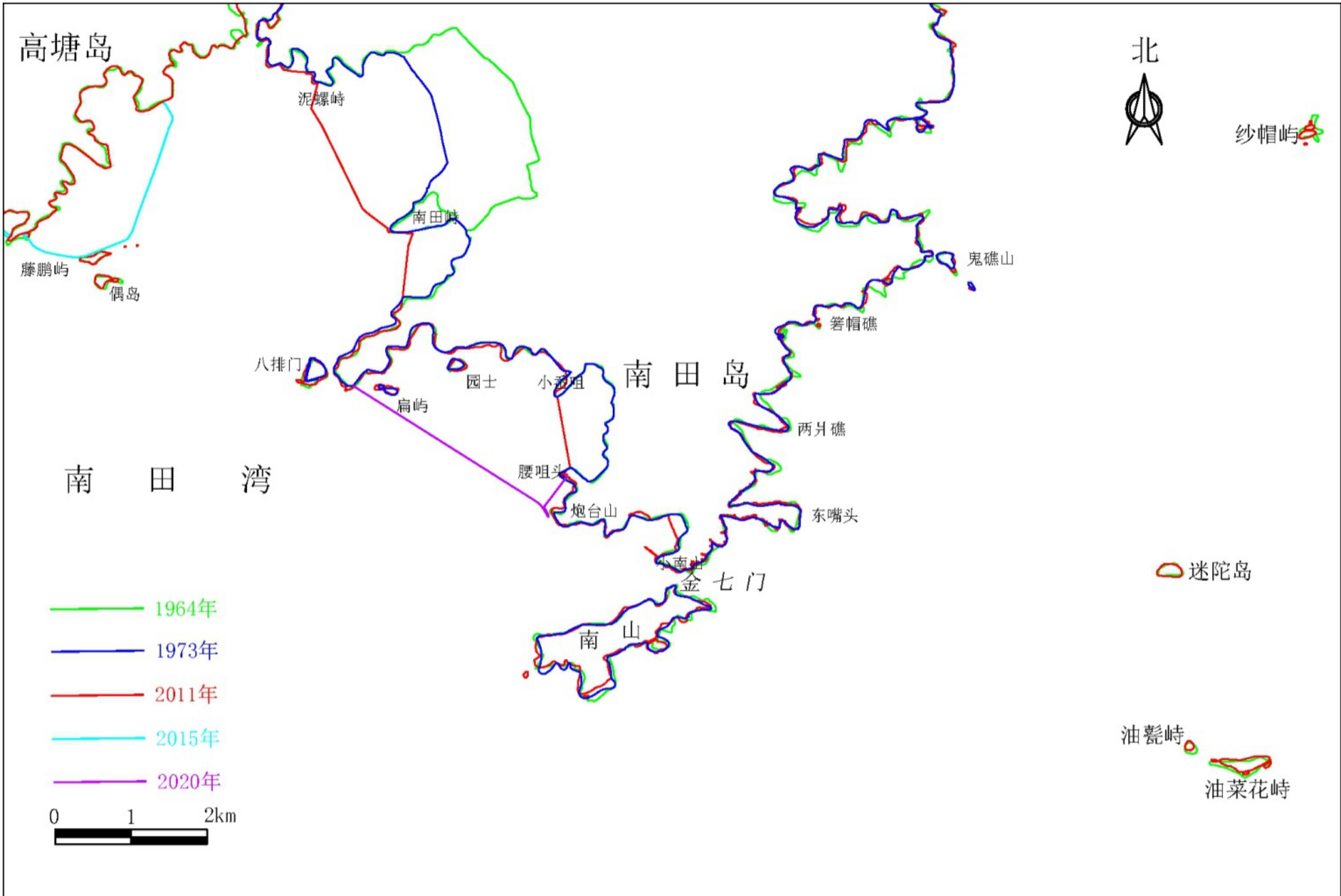


图 2.5-1 工程附近海域岸线变化

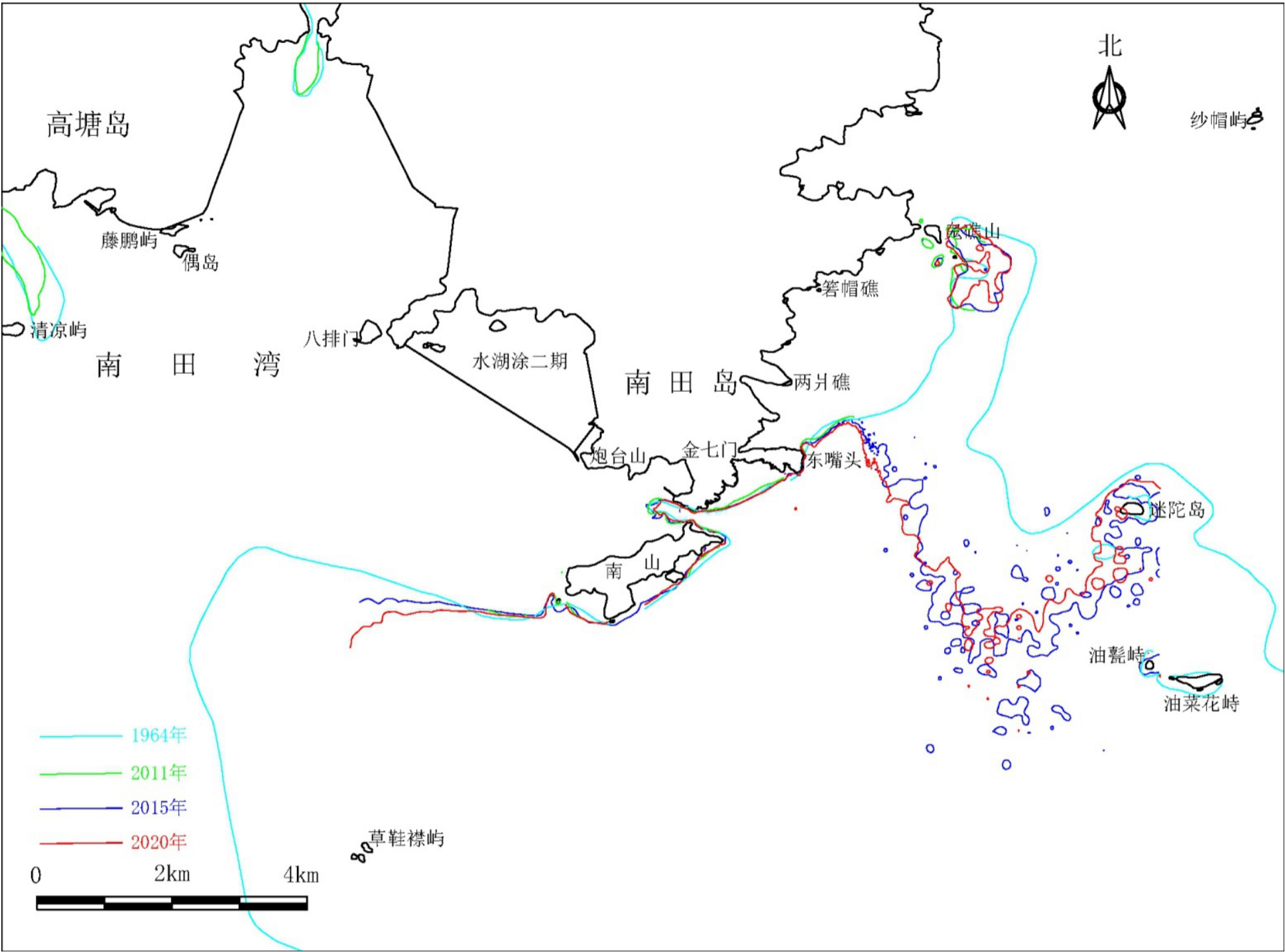


图 2.5-2 工程附近海域 10m 等深线分布（理论深度基准面）

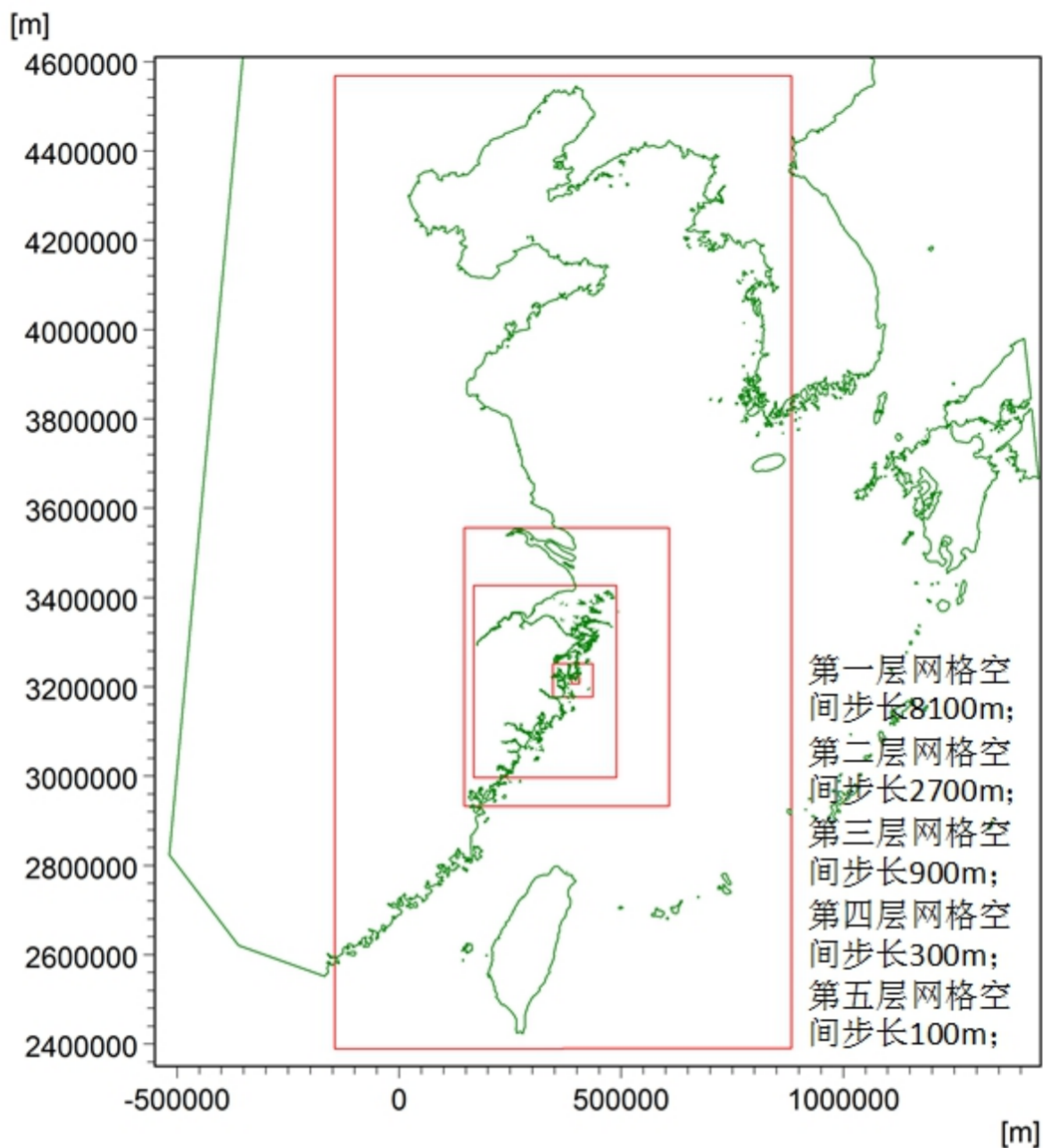


图 2.5-3 风暴潮模型计算范围

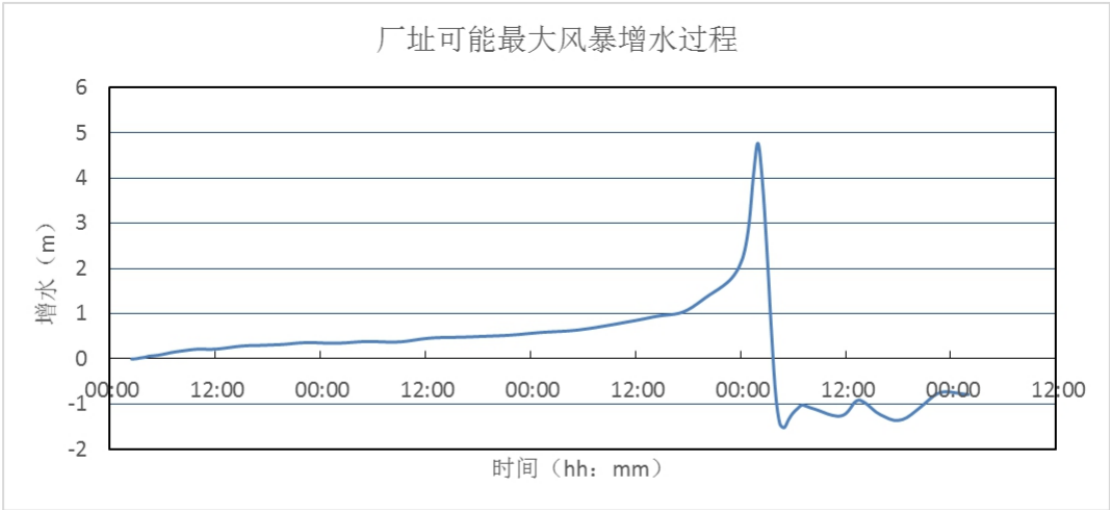


图 2.5-4 金七门厂址可能最大风暴增水过程

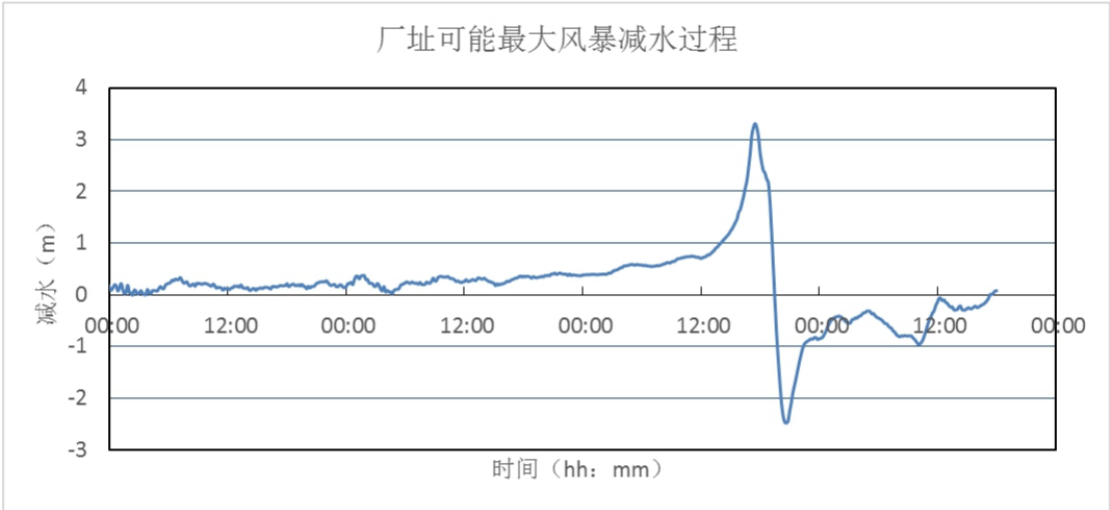


图 2.5-5 金七门厂址可能最大风暴减水过程

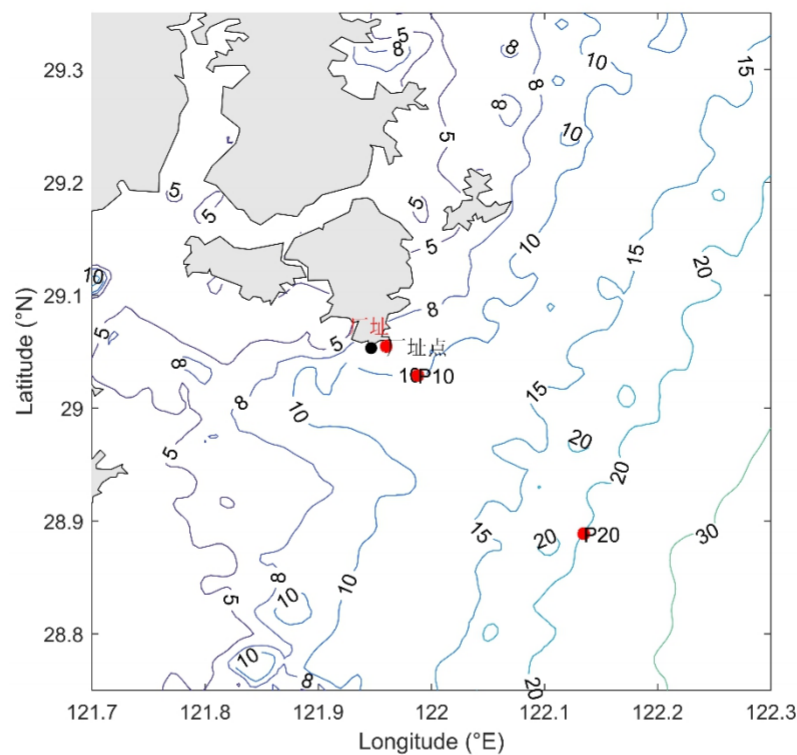


图 2.5-6 台风浪计算取点位置示意图

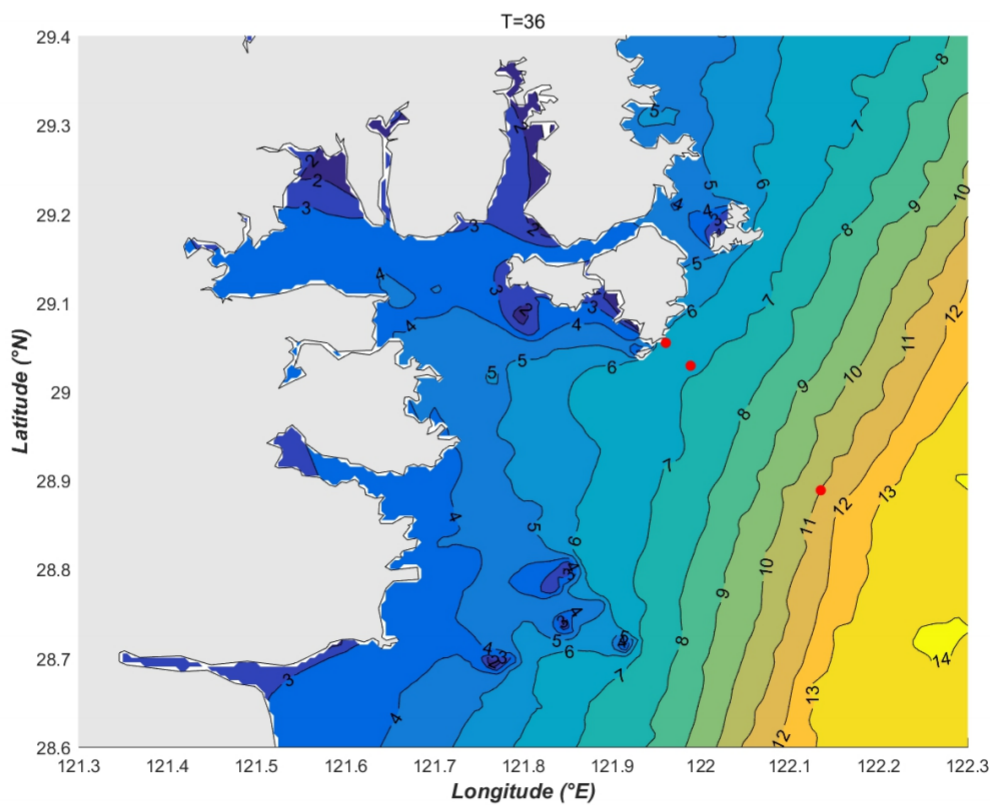


图 2.5-7 金七门厂址可能最大台风浪矢量图（ $H_{1/100}$ ）

第三章 环境质量现状

3.1 辐射环境质量现状

3.1.1 辐射环境本底调查

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 浙江金七门核电厂辐射环境调查方案

表 3.1-2 浙江金七门核电厂辐射环境调查测量仪器一览表

表 3.1-3 环境γ辐射剂量率测量仪器测量参数汇总

表 3.1-4 主要测量参数（放化分析部分）

表 3.1-5 气溶胶样品中γ能谱分析测量参数

表 3.1-6 水样γ能谱分析测量参数

表 3.1-7 土壤、沉积物γ能谱分析测量参数

表 3.1-8 仪器设备检定情况一览表

表 3.2-1 监测仪器一览表

表 3.2-2 厂区内电磁辐射监测值统计情况

图

图 3.1-1 质量保证体系

图 3.1-2 检测流程图

3.1 辐射环境质量现状

3.1.1 辐射环境本底调查

为编制本节内容，浙江金七门核电厂项目委托浙江国辐环保科技有限公司于 2020 年 3 月至 5 月，完成了现场监测、采样及实验室分析测量，编制完成了《浙江金七门核电项目辐射环境本底调查专题报告》（A 版）。2020 年 7 月 30 日，该调查专题报告通过专家审查。2020 年 8 月至 12 月，浙江国辐环保科技有限公司依据专家审查意见进行了补充监测，编制完成了《浙江金七门核电项目辐射环境本底调查专题报告》（B 版）。本章主要采用《浙江金七门核电项目辐射环境本底调查专题报告》（B 版，以下简称“2020 年初步调查”）中的调查数据，对金七门核电厂周围环境的放射性本底情况进行说明。此外，中国核电工程有限公司委托核工业北京地质研究院于 2015 年 3 月至 5 月完成了《浙江金七门核电厂环境放射性质量调查报告》（以下简称“2015 年初步调查”）并通过了专家评审，本报告将两次调查进行比较，对本厂址的放射性本底情况进行评价。

3.1.1.1 标准规范

2020 年初步调查时参照的主要标准有：

- 《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 12379-1990）；
- 《核电厂环境辐射监测规定》（NB/T 20246-2013）；
- 《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）；
- 《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/T 16140-2018）；
- 《水中氚的分析方法》（HJ 1126-2020）；
- 《水中总 α 放射性浓度的测定-厚源法》（EJ/T 1075-1998）；
- 《水中总 β 放射性的测定方法 蒸发法》（EJ/T 900-1994）；
- 《土壤中铯-90 的测定》（EJ/T 1035-2011）。

3.1.1.2 调查内容

2020 年初步调查主要分为资料收集及实地调查两部分。浙江金七门核电厂辐射环境调查方案详见表 3.1-1。

（1）相关数据和资料收集

本次调查需收集的主要资料有：

- 核电厂半径 30km 范围内核设施，铀、钍矿设施概况；
- 核电厂半径 15km 内同位素生产以及非密封放射性同位素应用概况；
- 核电厂半径 5km 内 I 类和 II 类放射源的应用概况；
- 厂址所在的浙江省、宁波市的原野贯穿辐射剂量率资料；
- 浙江省、宁波市土壤放射性本底资料。

（2）现场实际调查

- 厂址半径 20km 范围内的陆地环境 γ 辐射空气吸收剂量率；
- 厂址半径 20km 范围内的陆地环境 γ 辐射累积剂量；
- 厂址半径 20km 范围内的陆地环境 γ 辐射连续空气吸收剂量率；
- 厂址半径 10km 范围内土壤（表层土）放射性核素活度浓度；
- 厂址半径 10km 范围内空气介质中放射性核素活度浓度；
- 厂址半径 10km 范围内地表水沉积物放射性核素活度浓度；
- 厂址半径 10km 范围内地表水、饮用水和地下水放射性核素活度浓度；
- 排水口附近海水的放射性核素活度浓度；
- 排水口附近及主要活动场所的海洋沉积物放射性核素活度浓度。

上述现场调查中调查对象、监测项目以及监测频度等详见表 3.1-1。

3.1.1.3 调查方法

（1）布点原则

2020 年初步调查工作的测量点/采样点设置的总体原则如下：

- 应遵循相关标准规范的规定；
- 充分考虑自然环境状况、社会环境状况以及影响放射性核素在环境中迁移的各种因素；
- 充分考虑金七门核电厂周围地区人口分布、居民饮食结构等调查资料，同时参考当地气象的资料；
- 重点关注主导风向下风向区域、人口稠密区、生态功能区、环境敏感区和脆弱区。

（2）调查范围及布点方案

（1）环境 γ 辐射剂量率

- 调查范围：对厂址为中心，半径 20km 范围内进行环境 γ 辐射剂量率水平测量。按半径 2km、5km、10km、20km 与 16 个方位角形成的扇形区域内布点。
- 布点方案：共布设 70 个测量点，半径 2km 范围内布设 5 个点位，半径 2km~5km

范围内布设 7 个点位，半径 5km~10km 范围内布设 11 个点位，半径 10km~20km 范围内布设 47 个点位。

- 补充点位：共布设 16 个补充测量点，半径 2km 范围内布设 12 个点位，半径 2km~5km 范围内布设 2 个点位，半径 5km~10km 范围内布设 2 个点位。

（2）环境 γ 辐射累积剂量

- 调查范围：以厂址为中心，半径 20km 范围内，按半径 2km、5km、10km、20km 的 16 个方位的扇形区域内布点，同一方位与环境 γ 辐射剂量率点位重合。
- 点位布设：本次调查共布设 70 个测量点，半径 2km 范围内布设 5 个点位，半径 2km~5km 范围内布设 7 个点位，半径 5km~10km 范围内布设 11 个点位，半径 10km~20km 范围内布设 47 个点位。

（3）连续 γ 辐射剂量率

- 点位布设：共布设一个点位，进行两个月的连续 γ 辐射剂量率监测。

（4）空气

- 调查范围：以厂区为中心，半径 10km 范围内。
- 点位布设：共设置 3 个采样点位。

（5）土壤

- 调查范围：以厂址为中心，半径 10km 范围内，在 8 个方位角内的陆地（岛屿）上布点。
- 点位布设：共设置 15 个采样点位。15 个土壤采样点位分别分布于 S、SW、W、NW、N、NE、E 方位；SE 方位为海域，陆域面积极小，不再布设采样点位。

（6）陆地水体

A. 饮用水

- 调查范围：以厂址为中心，半径 10km 范围内。
- 点位布设：共布设 2 个点位。

B. 地下水

- 调查范围：以厂址为中心，半径 10km 范围内。
- 点位布设：共布设 2 个点位。地下水取样点均远离海岸。

C. 地表水和沉积物

- 调查范围：以厂址为中心，半径 10km 范围内。
- 点位布设：地表水和沉积物测量点位一致，共布设 5 个点位。

（7）受纳水体（海水和海洋沉积物）

- 调查范围：厂址排水口附近。
- 点位布设：海水在本次调查中共布设了 4 个采样点，在一、二期取水口，三期取水口；一、二期排水口，三期排水口各设 1 个采样点。沉积物共布设了 3 个采样点。

（3）测量仪器及测量方法

测量仪器名称及型号列于表 3.1-2，测量参数列于表 3.1-3~表 3.1-7。

3.1.1.4 调查结果

（1）相关数据和资料收集

通过联系宁波市环境监测中心、象山市生态环境局象山分局，并向浙江省生态环境厅辐射处调查询问，相关资料调查结果如下：

- 核电厂半径 30km 范围内无铀、钍矿设施，无列入监管的《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录（第一批）》设施；
- 核电厂半径 30km 范围内，仅有一个距离厂址直线距离约 30km 的三门核电站。
- 核电厂半径 15km 内无同位素生产以及非密封放射性同位素应用；
- 核电厂半径 5km 内无 I 类和 II 类放射源。

（2）环境 γ 辐射剂量率

A. 宇宙射线测量

宇宙射线测量结果为 13.0nGy/h。

B. 环境 γ 辐射剂量率

环境 γ 辐射剂量率一共测量了 70 个点位，其中 39 个道路点位，扣除宇宙射线响应值后测值范围为 **63.6~126 nGy/h**，平均值为 95.3 nGy/h。3 月和 5 月两次测得最大值分别为 109nGy/h 和 126 nGy/h；31 个原野点位，扣除宇宙射线响应值后测值范围为 **63.6~124nGy/h**，平均值为 92.4nGy/h，3 月和 5 月两次测得最大值分别为 124 nGy/h 和 110nGy/h。

环境 γ 辐射剂量率补充测量共 16 个点位，其中补充道路设点 7 个，扣除宇宙射线响应值后测值范围为 **88.0~126nGy/h**，平均值为 111nGy/h，最大值为 126nGy/h；原野补充设点 9 个，扣除宇宙射线响应值后测值范围为 **83.7~119nGy/h**，平均值为 98.0nGy/h，最大值为 119nGy/h。

环境 γ 辐射剂量率补充测量共 86 个点位，其中原野测点共计 40 个，扣除宇宙射线响应值后测值范围为 63.6~124 nGy/h，平均值为 93.6 nGy/h。道路测点计共 46 个，扣除宇宙射线响应值后测值范围为 63.6~126 nGy/h，平均值为 97.6 nGy/h。

C. γ 辐射剂量率累积剂量

环境 γ 辐射累积剂量共布设了 70 个点位， γ 辐射剂量率累积剂量片布放时间约为 2 个月，布放点位同环境 γ 辐射剂量率监测点位。 γ 辐射剂量率累积剂量原野测值最低值为 85.2 nGy/h（未扣除宇宙射线响应值），最高值为 138nGy/h（未扣除宇宙射线响应值），平均值为 101.9 nGy/h；道路测值最低值为 69.6 nGy/h（未扣除宇宙射线响应值），最高值为 123nGy/h（未扣除宇宙射线响应值），平均值为 100.6 nGy/h。

D. 连续 γ 辐射剂量率

连续 γ 辐射剂量率共布设 1 个点位，小时平均值变化范围为 139.6~153.5 nGy/h。

（3） 空气

A. 气溶胶

空气中气溶胶样品采用 ZC-Q1001 型大流量采样器进行采集，采样体积均大于 10000m³，气溶胶样品的分析项目包括总 α 、总 β r 和 γ 核素（¹³⁴Cs、¹³⁷Cs、⁵⁸Co、⁶⁰Co、⁵⁴Mn、⁵⁹Fe、¹³¹I、⁷Be）。

γ 谱分析测量结果中，除 ⁷Be 外，其余核素结果均低于探测限。⁷Be 的活度浓度范围为 $3.38 \pm 0.22 \sim 9.84 \pm 0.52 \text{mBq/m}^3$ 。

放化分析包括总 α 、总 β 等分析项目，其中：

总 α 的活度浓度范围为 0.28~0.61mBq/m³。

总 β 的活度浓度范围为 0.27~0.43mBq/m³。

B. 空气中 ³H、¹⁴C

空气中 ³H 采用冷凝法进行采样，LKB 1220 Quantulus 低本底液闪谱仪测量计数。空气中 ¹⁴C 采用碱液吸收法进行采样。

³H 的活度浓度范围为 3.68~6.85mBq/m³。

¹⁴C 的活度浓度范围为 0.20~0.29Bq/g·碳。

（4） 陆地水体中放射性核素活度浓度

A. 地表水

地表水设置 5 个采样点，每个样品采集 100L 左右，分别密封于多个塑料桶容器内，除 2L 用于分析 ³H 的样品装于玻璃瓶内，不作酸化处理外，其余水样均加硝酸（1+1）酸化至 pH<2。

地表水监测项目为总 α 、总 β 、⁹⁰Sr、³H、¹⁴C 和 γ 核素（¹³⁴Cs、¹³⁷Cs、⁵⁸Co、⁶⁰Co、⁵⁴Mn）。监测频次为 1 次。

γ 谱测量结果均低于探测限。

放化分析总 α 、总 β 、⁹⁰Sr、³H、¹⁴C给出了全部测量结果。其中：

总 α 测量结果活度浓度范围 9.71~14.8mBq/L，均值为 12.3Bq/L。

总 β 测量结果活度浓度范围 44.8~47.0mBq/L，均值为 45.9Bq/L。

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 0.88~3.75mBq/L，均值为 2.00mBq/L。

^3H 测量结果活度浓度范围 0.26~0.47Bq/L，均值为 0.36Bq/L。

^{14}C 测量结果活度浓度范围 0.83~5.51mBq/L，均值为 2.71mBq/L。

B. 沉积物

点位同地表水采样点，用铁铲采取。沉积物（底泥）样品的分析项目包括 ^{90}Sr 和 γ 核素（ ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K ）。监测频次为 1 次。

γ 谱分析测量结果中，天然放射性核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 、 ^{137}Cs 均给出了测量结果，其余核素测量结果均低于探测限，其中：

^{238}U 测量结果活度浓度范围为 42.8~57.2Bq/kg·干，均值为 47.2Bq/kg·干。

^{226}Ra 测量结果活度浓度范围为 34.4~55.1Bq/kg·干，均值为 42.4Bq/kg·干。

^{232}Th 测量结果活度浓度范围为 56.7~67.6Bq/kg·干，均值为 61.4q/kg·干。

^{40}K 测量结果活度浓度范围为 605~1456Bq/kg·干，均值为 894Bq/kg·干。

^{137}Cs 测量结果活度浓度范围为 0.74~2.84Bq/kg·干，均值为 1.84Bq/kg·干。

放化分析中 ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围为 0.40~2.69Bq/kg·干，均值为 0.89Bq/kg·干。

C. 地下水

地下水设置 2 个采样点，每个样品采集 90L 左右，用漏斗把水转移到塑料桶内，加硝酸（1+1）酸化至 $\text{pH}<2$ 后密封。用于分析 ^3H 的样品，装于玻璃瓶内，不作酸化处理。地下水监测项目为总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C 和 γ 核素（ ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn ）。监测频次为 1 次。

γ 谱测量结果均低于探测限。

放化分析中总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C 给出了全部测量结果。其中：

总 α 测量结果活度浓度范围 9.71~14.8mBq/L，均值为 12.3Bq/L。

总 β 测量结果活度浓度范围 44.8~47.0mBq/L，均值为 45.9Bq/L。

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 0.88~3.75mBq/L，均值为 2.00mBq/L。

^3H 测量结果活度浓度范围 0.26~0.47Bq/L，均值为 0.36Bq/L。

^{14}C 测量结果活度浓度范围 0.83~5.51mBq/L，均值为 2.71mBq/L。

D. 饮用水

饮用水设置 2 个采样点，每个样品采集 90L 左右，用漏斗把水转移到塑料桶内，加硝

酸（1+1）酸化至 $\text{pH}<2$ 后密封。用于分析 ^3H 的样品，装于玻璃瓶内，不作酸化处理。饮用水监测项目为总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C 和 γ 核素（ ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn ）。监测频次为 1 次。

γ 谱测量结果均低于探测限。

放化分析中总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C 给出了全部测量结果。其中：

总 α 测量结果活度浓度范围 9.71~14.8mBq/L，均值为 12.3Bq/L。

总 β 测量结果活度浓度范围 44.8~47.0mBq/L，均值为 45.9Bq/L。

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 0.88~3.75mBq/L，均值为 2.00mBq/L。

^3H 测量结果活度浓度范围0.26~0.47Bq/L，均值为0.36Bq/L。

^{14}C 测量结果活度浓度范围 0.83~5.51mBq/L，均值为 2.71mBq/L。

（5） 海域放射性核素活度浓度

A. 海水

海水设置 4 个采样点。每个样品采集 100L 左右，分别密封于多个塑料桶容器内，加硝酸（1+1）酸化至 $\text{pH}<2$ 后密封。用于分析 ^3H 的样品，装于玻璃瓶内，不作酸化处理。海水分析项目包括总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C 和 γ 核素（ ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{65}Zn 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{106}Ru ）。监测频次为 1 次。

γ 谱测量结果均低于探测限。

放化分析的所有样品总 β 、 ^{90}Sr 、 ^3H 、 ^{14}C 均给出了测量结果，总 α 均低于探测限，其中：

总 β 测量结果活度浓度范围 5.83~5.92Bq/L，均值为 5.87Bq/L，未扣除 ^{40}K 贡献值。

^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 1.23~1.73mBq/L，均值为 1.56mBq/L。

^3H 测量结果活度浓度范围 0.33~0.46Bq/L，均值为 0.39Bq/L。

^{14}C 测量结果活度浓度范围 6.12~6.73mBq/L，均值为 6.43mBq/L。

B. 海洋沉积物

点位同海水采样点，深水处沉积物用抓斗式采泥器。海洋沉积物测量项目包括 ^{90}Sr 和 γ 核素（ ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K ），测量频次为 1 次。

γ 谱分析结果中，天然放射性核素 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 、 ^{137}Cs 都给出了测量结果，其它核素测量结果均低于探测限。其中：

^{238}U 测量结果活度浓度范围 30.8~46.1Bq/kg·干，均值为 36.4Bq/kg·干。

^{226}Ra 测量结果活度浓度范围 28.5~34.3q/kg·干，均值为 30.6Bq/kg·干。

^{232}Th 测量结果活度浓度范围 37.9~47.9Bq/kg·干，均值为 44.4Bq/kg·干。

^{40}K 测量结果活度浓度范围 670~908Bq/kg·干，均值为 793Bq/kg·干。

^{137}Cs 测量结果活度浓度范围 0.77~1.63Bq/kg·干，均值为 1.32Bq/kg·干。

放化分析结果中， ^{90}Sr 测量结果为活度浓度范围 0.21~1.12Bq/kg·干，均值为 0.46Bq/kg·干。

（6）土壤

共布设 15 个采样点，每个样品的采样量约 2kg。土壤样品的分析项目包括 ^{90}Sr 和 γ 核素（ ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K ）。

γ 谱分析测量结果中，天然放射性核素 ^{137}Cs 、 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 均给出了测量结果，其中：

^{137}Cs 的活度浓度范围为 0.22~9.90Bq/kg·干，均值为 2.83Bq/kg·干。

^{238}U 的活度浓度范围为 32.2~55.3Bq/kg·干，均值为 42.3Bq/kg·干。

^{226}Ra 的活度浓度范围为 23.8~47.7Bq/kg·干，均值为 36.4Bq/kg·干。

^{232}Th 的活度浓度范围为 43.7~68.8Bq/kg·干，均值为 56.5Bq/kg·干。

^{40}K 的活度浓度范围为 634~1065Bq/kg·干，均值为 788Bq/kg·干。

放化分析结果中， ^{90}Sr 测量结果中活度浓度范围为 0.23~4.03Bq/kg·干，均值为 1.03Bq/kg·干。

3.1.1.5 质量保证措施

为了对调查过程进行全面控制，以保证调查结果的代表性、准确性和可靠性，在 2020 年初步调查过程中采取了一系列质量保证措施。在调查过程中质量保措施主要有下几个方面：

（1）组织机构及人员配备

为了保证调查工作的质量，浙江国辐环保科技有限公司专门成立了浙江金七门核电项目辐射环境本底调查工作项目组。项目质量保证体系见图 3.1-1。项目的质量管理检测流程见图 3.1-2。

（2）样品管理

依据《样品管理程序》（GFHB-CX-28-2019）对样品的运输、接收、处置、保护、存储、保留、清理或返回以及样品的识别等各个环节实施有效的控制，保证检测样品的有效、完整、唯一。主要要点：

➤ 现场记录

采样人员及时真实地填写采样记录，并签名。记录内容要求尽可能的详尽。

➤ 样品保存

• 经过现场制备的水样，应尽快分析，保存期一般不超过 2 个月；

- 密封后的土壤样品必须在 7d 内测定其含水率，烘干保存；
- 采集的样品分类保存，防止交叉污染；
- 样品的交换、验收和领取
- 质保人员和采样人员按照采样单认真清点样品，移交给样品管理员；
- 样品验收后，存放在样品贮存间，由样品管理员妥善保管，以防丢失和污染；
- 分析人员按检测通知单，按规定程序领取样品；
- 需要流转的样品，填写样品记录单，进行样品交接测量。

（3）标准物质的控制

所有标准物质均在有效期内使用。

（4）仪器设备的控制

仪器本底质控图是检查仪器状态是否正常的主要手段。在项目分析测量中涉及到的仪器主要有：高纯 Ge γ 谱仪，液闪谱仪和低本底 α/β 测量装置。

主要仪器在使用期间均在检定/校准有效期内，仪器检定/校准信息见表 3.1-8。

（5）平行样品分析

实验室分析的样品，按不少于 10% 的比例，进行了平行样分析实验。

样品的平行性较好。

3.1.2 辐射环境质量评价

（1）资料收集结果

a) 核设施及金属矿产资源情况

通过实地走访宁波市环保局、台州市环保局，结合浙江省环境保护厅等网络调研，厂址周围 50km 范围内核设施主要为三门核电站，无列入监管的《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录（第一批）》设施。

b) 非密封放射源同位素及密封放射性同位素源

通过实地走访宁波市环保局、台州市环保局，结合浙江省环境保护厅等网络调研，厂址半径 30km 范围内有若干放射源、射线装置使用单位，放射性源项主要为工业、医用的密封源和射线装置，均统一接受浙江省环境保护厅监督管理。

（2）实地调查结果

本报告将“2020 环境监测”的调查结果与“2015 环境监测”的调查结果进行了比较，两次结果比较接近，符合较好，不同机构/单位的测量结果基本处于同一水平，可总体认为目前本厂址的环境辐射的整体水平属天然本底水平，未发生明显变化，未发现明显异常。

各类调查对象的具体对比评价情况如下：

a) 环境 γ 辐射水平

2020 年初步调查中共设原野测量点 40 个。各点 γ 辐射剂量率平均值范围为 76.6~137nGy/h（未扣除宇宙射线响应值），平均值为 106.6nGy/h，与“2015 年初步调查”中原野各点 γ 辐射剂量率平均值范围（71~136nGy/h 未扣除宇宙射线响应值）基本处于同一水平。根据《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护局，1995.8）1983-1990 年调查数据，宁波市原野本底值 45~95 nGy/h（已扣除宇宙射线响应值）及浙江省原野本底值 11-151nGy/h（已扣除宇宙射线响应值），两次调查结果基本处于同一水平。

道路测量点 46 个，各点 γ 辐射剂量率范围为 76.6~139nGy/h（未扣除宇宙射线响应值），总平均值为 110.6nGy/h，与“2015 年初步调查”中道路各点 γ 辐射剂量率范围（88~124nGy/h 未扣除宇宙射线响应值）基本处于同一水平。根据《中国环境天然放射性水平》（国家环境保护局，1995.8）1983-1990 年调查数据，宁波市道路本底值 64~128 nGy/h（已扣除宇宙射线响应值）及浙江省道路本底值 13-220nGy/h（已扣除宇宙射线响应值），两次调查结果基本处于同一水平。

2020 年初步调查环境 γ 辐射 TLD 累积剂量测量结果，原野累积 γ 辐射剂量率在 85.2~138nGy/h 之间（未扣除宇宙射线响应值），平均值 101.9nGy/h，道路累积 γ 辐射剂量率在 69.6~123nGy/h 之间（未扣除宇宙射线响应值），平均值 100.6nGy/h。累积剂量与同点位瞬时测量值无显著差异。“2015 年初步调查”中的调查结果为 69~116 nGy/h 之间，两次调查结果基本处于同一水平。

因此可认为，本次调查环境 γ 辐射水平与“2015 年初步调查”调查监测结果较为一致，处于环境本底水平，未发现明显异常。

b) 土壤中放射性核素活度浓度

2020 年初步调查中， ^{137}Cs 活度浓度为 0.22~9.90 Bq/(kg·干)，平均值为 2.76 Bq/(kg·干)； ^{238}U 活度浓度为 32.2~55.3 Bq/(kg·干)，平均值为 42.0 Bq/(kg·干)； ^{226}Ra 活度浓度为 23.8~47.7 Bq/(kg·干)，平均值为 35.9Bq/(kg·干)； ^{232}Th 活度浓度为 43.7~68.8 Bq/(kg·干)，平均值为 55.3 Bq/(kg·干)； ^{40}K 测值范围分别为 634~1065 Bq/(kg·干)，平均值为 790 Bq/(kg·干)。

“2015 年初步调查”中 ^{137}Cs 活度浓度为 1.52~6.51Bq/(kg·干)， ^{134}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{58}Co 、 ^{54}Mn 等人工放射性核素活度浓度均低于最小探测限， ^{238}U 活动浓度分别为 19.0~45.1 Bq/(kg·干)、 ^{226}Ra 活动浓度分别为 25.2~47.6 Bq/(kg·干)、 ^{232}Th 活动浓度分别为 39.6~87.5 Bq/(kg·干)、 ^{40}K 活动浓度分别为 547~1031 Bq/(kg·干)，两次调查基本处于同一水平。因此可认为，浙江金七门核电厂厂址周围土壤中放射性核素处于环境本底水平，未发现异常。

c) 空气中放射性核素活度浓度

➤ 气溶胶

2020 年初步调查中气溶胶 γ 核素 (^7Be) 测值范围为 $(3.38\sim 9.84) \times 10^3 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{131}I 测量值均低于仪器探测限, 未检出。在“2015 年初步调查”中, ^7Be 活度浓度为 $0.45\sim 2.13 \text{ mBq}/\text{m}^3$ 。其他放射性核素 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{58}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{131}I 均低于最小探测限。

➤ 空气中 ^3H 、 ^{14}C

2020 年初步调查中空气中 ^3H 、 ^{14}C 测值范围分别为 $3.68\sim 6.85 \text{ mBq}/\text{m}^3$, $0.20\sim 0.29 \text{ Bq}/\text{g}\cdot\text{碳}$ 。

所有测量结果无异常偏高数据, 可认为厂址周围气溶胶中的放射性核素活度浓度为天然本底水平, 不属于高本底地区。

d) 陆地水体中放射性核素活度浓度

➤ 地表水

2020 年初步调查中地表水样中, 总 α 测量结果活度浓度范围 $9.71\sim 14.8 \text{ mBq}/\text{L}$, 均值为 $12.3 \text{ Bq}/\text{L}$; 总 β 测量结果活度浓度范围 $44.8\sim 47.0 \text{ mBq}/\text{L}$, 均值为 $45.9 \text{ Bq}/\text{L}$; ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 $0.88\sim 3.75 \text{ mBq}/\text{L}$, 均值为 $2.00 \text{ mBq}/\text{L}$; ^3H 测量结果活度浓度范围 $0.26\sim 0.47 \text{ Bq}/\text{L}$, 均值为 $0.36 \text{ Bq}/\text{L}$; ^{14}C 测量结果活度浓度范围 $0.83\sim 5.51 \text{ mBq}/\text{L}$, 均值为 $2.71 \text{ mBq}/\text{L}$ 。

在“2015 年初步调查”中, 总 α 测量结果活度浓度范围 $19.0\sim 125.3 \text{ mBq}/\text{L}$; 总 β 测量结果活度浓度范围 $11.4\sim 32.3 \text{ mBq}/\text{L}$; ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 $0.43\sim 4.25 \text{ mBq}/\text{L}$; ^3H 测量结果活度浓度范围 $0.17\sim 0.33 \text{ Bq}/\text{L}$, 与本次调查中地表水样活度浓度测量结果较为一致。

➤ 沉积物

2020 年初步调查中, 沉积物 (底泥) 样品中的 ^{238}U 测量结果活度浓度范围为 $42.8\sim 57.2 \text{ Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$, 均值为 $47.2 \text{ Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$; ^{226}Ra 测量结果活度浓度范围为 $34.4\sim 55.1 \text{ Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$, 均值为 $42.4 \text{ Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$; ^{232}Th 测量结果活度浓度范围为 $56.7\sim 67.6 \text{ Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$, 均值为 $61.4 \text{ Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$; ^{40}K 测量结果活度浓度范围为 $605\sim 1456 \text{ Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$, 均值为 $894 \text{ Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$; ^{137}Cs 测量结果活度浓度范围为 $0.74\sim 2.84 \text{ Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$, 均值为 $1.84 \text{ Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$; ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围为 $0.40\sim 2.69 \text{ Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$, 均值为 $0.89 \text{ Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$ 。

在“2015 年初步调查”中, ^{238}U 测量结果活度浓度范围为 $27.3\sim 35.8 \text{ Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$; ^{226}Ra 测量结果活度浓度范围为 $21.6\sim 29.4 \text{ Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$; ^{232}Th 测量结果活度浓度范围为 $46.0\sim 87.9 \text{ Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$; ^{40}K 测量结果活度浓度范围为 $429\sim 916 \text{ Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$; ^{137}Cs 测量结果活度

浓度范围为 0.45~7.42Bq/kg·干； ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围为 0.55~4.2Bq/kg·干，与本次调查中沉积物（底泥）活度浓度测量结果较为一致。

➤ 地下水

2020 年初步调查中，地下水样品中的总 α 测量结果活度浓度范围 9.71~14.8mBq/L，均值为 12.3Bq/L；总 β 测量结果活度浓度范围 44.8~47.0mBq/L，均值为 45.9Bq/L； ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 0.88~3.75mBq/L，均值为 2.00mBq/L； ^3H 测量结果活度浓度范围 0.26~0.47Bq/L，均值为 0.36Bq/L； ^{14}C 测量结果活度浓度范围 0.83~5.51mBq/L，均值为 2.71mBq/L。

在“2015 年初步调查”中，总 α 测量结果活度浓度范围 19.0~125.3mBq/L；总 β 测量结果活度浓度范围 11.4~32.3mBq/L； ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 0.43~4.25mBq/L； ^3H 测量结果活度浓度范围 0.17~0.33Bq/L，与本次调查中地下水样活度浓度测量结果较为一致。

➤ 饮用水

2020 年初步调查中，饮用水样中的总 α 测量结果活度浓度范围 9.71~14.8mBq/L，均值为 12.3Bq/L；总 β 测量结果活度浓度范围 44.8~47.0mBq/L，均值为 45.9Bq/L； ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 0.88~3.75mBq/L，均值为 2.00mBq/L； ^3H 测量结果活度浓度范围 0.26~0.47Bq/L，均值为 0.36Bq/L； ^{14}C 测量结果活度浓度范围 0.83~5.51mBq/L，均值为 2.71mBq/L。

在“2015 年初步调查”中，总 α 测量结果活度浓度范围 19.0~125.3mBq/L；总 β 测量结果活度浓度范围 11.4~32.3mBq/L； ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 0.43~4.25mBq/L； ^3H 测量结果活度浓度范围 0.17~0.33Bq/L，与本次调查中饮用水样活度浓度测量结果较为一致。

e) 海域放射性核素活度浓度

➤ 海水

2020 年初步调查中，海水样品中的总 β 测量结果活度浓度范围 5.83~5.92Bq/L（未扣除 ^{40}K 贡献值），均值为 5.87Bq/L（未扣除 ^{40}K 贡献值）； ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 1.23~1.73mBq/L，均值为 1.56mBq/L； ^3H 测量结果活度浓度范围 0.33~0.46Bq/L，均值为 0.39Bq/L； ^{14}C 测量结果活度浓度范围 6.12~6.73mBq/L，均值为 6.43mBq/L。

在“2015 年初步调查”中，总 β 测量结果活度浓度范围 48.3~76.2mBq/L； ^{90}Sr 测量结果活度浓度范围 0.78~7.17mBq/L； ^3H 测量结果活度浓度范围 0.2~0.3Bq/L。除“2020 环境监测”总 β 测量结果未扣除 ^{40}K 贡献值导致测量结果偏高外，其他与本次调查中海水样活度浓度测量结果较为一致。

➤ 海洋沉积物

2020 年初步调查中，海洋沉积物样品中的 ^{238}U 测量结果活度浓度范围 30.8~46.1Bq/kg·干，均值为 36.4Bq/kg·干； ^{226}Ra 测量结果活度浓度范围 28.5~34.3q/kg·干，均值为 30.6Bq/kg·干； ^{232}Th 测量结果活度浓度范围 37.9~47.9Bq/kg·干，均值为 44.4Bq/kg·干； ^{40}K 测量结果活度浓度范围 670~908Bq/kg·干，均值为 793Bq/kg·干； ^{137}Cs 测量结果活度浓度范围 0.77~1.63Bq/kg·干，均值为 1.32Bq/kg·干； ^{90}Sr 测量结果为活度浓度范围 0.21~1.12Bq/kg·干，均值为 0.46Bq/kg·干。

在“2015 年初步调查”中， ^{238}U 测量结果活度浓度范围 19.9~43.1Bq/kg·干； ^{226}Ra 测量结果活度浓度范围 21.5~31.5q/kg·干； ^{232}Th 测量结果活度浓度范围 41.9~56.7Bq/kg·干； ^{40}K 测量结果活度浓度范围 602~742Bq/kg·干； ^{137}Cs 测量结果活度浓度范围 0.49~2.23Bq/kg·干； ^{90}Sr 测量结果为活度浓度范围 0.37~1.45Bq/kg·干。本次调查未发现明显异常，可以认为厂址海洋沉积物活度浓度为环境本底水平。

➤ 放化分析

2020 年初步调查中，受纳水体中的 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、总 β （未扣除 ^{40}K ）测值范围分别为：0.33~0.46 Bq/L，6.12~6.73 mBq/L，1.23~1.73 mBq/L，5.83~5.92 Bq/L；测量平均值分别为 0.39 Bq/L，6.43 mBq/L，1.56 mBq/L，5.87 Bq/L。总 α 测值均未检出。

受纳水体沉积物中 ^{90}Sr 测值范围为 0.21~1.12Bq/kg·干，测量平均值为 0.46 Bq/kg·干。

在“2015 年初步调查”中，海水样品中 ^{90}Sr 活度浓度为 0.78~7.17mBq/L，总 α 为 66.1~292.6mBq/L、总 β 为 48.3~76.2mBq/L， ^3H 的活度浓度最高值为 0.30Bq/L（<0.15~0.30 Bq/L），与本次调查中受纳水体及沉积物活度浓度测量结果较为一致。

本次调查结果未发现明显异常数据，可认为厂址周围海洋沉积物中的放射性核素活度浓度为天然本底水平，不属于高本底地区。

3.2 非辐射环境质量现状

3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

3.2.1.1 大气环境质量现状调查

本节有关资料和数据取自核工业二〇三研究所于 2020 年 8 月完成的《浙江金七门先进重水堆核电站工程厂址周围大气环境现状调查专题报告》。

（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）。

《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）规定的标准限值见表 3.2-1。

（2）厂址半径 5km 范围内的大气污染源

通过现场踏勘，本项目半径 5km 范围内无工矿企业，无成规模养殖场，居民生活用燃料主要为液化天然气，也有少量烧柴，冬季无采暖。无其它已建、在建的大气污染源。

（3）监测布点

依据厂址所在地气象条件及环境空气保护目标分布等情况，共设置监测点 5 个。分别设置在在厂址中心、金七门村、杨柳坑村、金七门乡道和小南田乡道。

3.2.1.2 大气环境质量评价

SO₂ 各测点的小时浓度范围在 0.007~0.016mg/m³ 之间，日均浓度范围在 0.006~0.010mg/m³。SO₂ 小时浓度和日均浓度均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中一级标准要求。

NO₂ 各测点的小时浓度范围在 0.010~0.036mg/m³ 之间，日均浓度范围在 0.016~0.055mg/m³ 之间。NO₂ 小时浓度和日均浓度均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中一级标准要求。

CO 各测点的小时浓度范围在 0.219~0.676mg/m³，日均浓度范围在 0.343~0.514mg/m³。CO 小时浓度和日均浓度均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中一级标准要求。

O₃ 各测点的小时浓度范围在 0.054~0.171mg/m³，日最大 8 小时浓度范围在 0.119~0.159mg/m³。O₃ 小时浓度和日最大 8 小时浓度均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准要求。

PM₁₀ 各测点的日均浓度范围在 0.018~0.078mg/m³，满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准限值。

PM_{2.5} 各测点的日均浓度范围在 0.010~0.025mg/m³，满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）一级标准限值。

综上所述，本次大气环境现状调查期间，厂址半径 5km 范围内的环境空气质量满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）二级标准限值要求。

3.2.1.3 质量保证与质量控制

本次监测各个环节的过程中严格按照《质保大纲》及核工业二 0 三研究所《程序文件》（A/2019 版）的要求，实施全过程质量控制：

（1）监测时，现场环境条件符合《工作大纲》的要求。

（2）样品的采集、运输、保存严格按照《环境空气质量手工监测技术规范》（HJ 194-2017）的技术要求进行。

（3）监测点位的数量、坐标、时间等与《工作大纲》中的要求保持一致，采样工具适合，并按照操作规程进行操作。

（4）分析方法与《工作大纲》要求一致，为核工业二〇三研究所分析测试中心 CMA 认证有效方法，相关资质详见图 3.2-1。

（5）所有监测人员持证上岗，严格按照核工业二〇三研究所质量管理体系文件中的规定开展工作。

（6）所用监测仪器通过计量部门检定并在检定有效期内。

（7）各类记录及分析测试结果，按相关技术规范要求进行数据处理和填报，并进行三级审核。

（8）质保组全流程监督检查，严格按照《质保大纲》及《工作大纲》进行。

3.2.2 声环境质量现状调查与评价

3.2.2.1 噪声现状调查

本节有关资料和数据取自核工业二〇三研究所于 2020 年 8 月完成的《浙江金七门先进重水堆核电站工程厂址周围环境噪声现状调查专题报告》。

（1）执行标准和评价依据

——《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ 2.4-2021）；

——《声环境质量标准》（GB 3096-2008）。

根据《宁波市生态环境局关于浙江金七门核电厂一期工程环境影响评价相关废放射性标准请示的复函》，其中厂址区域声环境质量执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）规定的 2 类标准，即：昼间 60dB(A)、夜间 50dB(A)。周围环境敏感点执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）规定的 1 类标准，即：昼间 55dB(A)、夜间 45dB(A)。该复函中未规定道路执行标准，道路按照《声环境质量标准》（GB3096-2008）中“声环境功能区的划分要求”，道路执行规定的 4a 类标准，即：昼间 70dB(A)、夜间 55dB(A)。（具体限值见表 3.2-2）。

（2）厂址半径 5km 范围内的噪声污染源

通过现场踏勘，本项目半径 5km 范围内无工矿企业，无高速公路、一二级公路等道路，没有正在建设的施工场地，评价区内仅有 2 条乡道和 1 条航道，评价区内山地区域噪声源主要为虫鸣鸟叫、海浪声、风吹树枝和树叶等噪声，居民点区域的噪声源主要为交通噪声、社会生活噪声，其它无明显、固定噪声源。

（3）噪声测量点的布设

1) 厂界监测布点

在厂区边界的东、西、南、北厂界外 1m 处各布设 1 个测量点，共计 4 个监测点。

2) 环境敏感目标监测点

环境敏感点为进入核电厂需要经过的 607 乡道途径的金七门渔村，杨柳坑村，水糊涂村，牧童岙村，小南田村。

3) 道路交通监测点

道路交通监测点为 607 乡道。

3.2.2.2 噪声质量评价

(1) 厂址区域噪声

厂界 4 个噪声监测点昼间环境噪声等效声级在 48.6~51.3dB(A) 之间，夜间环境噪声等效声级在 46.1~48.7dB(A) 之间，昼间噪声监测结果符合声环境功能区 1 类标准；夜间噪声受海浪声和虫鸣鸟叫声影响，监测结果符合声环境功能区 2 类标准。

(2) 环境敏感目标监测点

环境敏感目标监测点昼间环境噪声等效声级在 54.0~57.8dB(A) 之间，夜间环境噪声等效声级在 42.9~47.6dB(A) 之间，昼夜噪声监测结果均超出声环境功能区 1 类标准，符合声环境功能区 2 类标准。环境敏感点的村庄均紧邻乡道，人为活动较多，以社会生活噪声为主。且部分村庄距离海岸线较近，伴有虫鸣鸟叫及海浪声声。

(3) 道路交通监测点

607 乡道的交通噪声监测点昼间环境噪声等效声级在 54.3~55.5dB(A) 之间，夜间环境噪声等效声级在 45.7~47.6dB(A) 之间，监测结果符合声环境功能区 4A 类标准。满足要求。

综上所述，本次环境噪声现状调查期间，厂址区域噪声昼夜监测结果均符合声环境功能区 2 类标准；厂址半径 5km 范围内 5 个敏感目标监测点噪声昼夜监测结果超过 1 类标准，符合声环境功能区 2 类标准；607 乡道昼夜噪声符合声环境功能区 4A 类标准。

3.2.2.3 质量保证与质量控制

本次监测各个环节的过程中严格按照《质保大纲》及核工业二 0 三研究所《程序文件》（A/2019 版）的要求，实施全过程质量控制：

(1) 监测时，现场环境条件符合《工作大纲》的要求。

(2) 监测点位的数量、坐标、时间等与《工作大纲》中的要求保持一致，设备工具适合，并按照操作规程进行操作。

(3) 监测方法与《工作大纲》要求一致，为核工业二〇三研究所分析测试中心 CMA 认证有效方法，相关资质详见图 3.2-1。

(4) 所有监测人员持证上岗，严格按照核工业二〇三研究所质量管理体系文件中的规定开展工作。

(5) 所用监测仪器通过计量部门检定并在检定有效期内。

(6) 各类记录及分析测试结果，按相关技术规范要求进行数据处理和填报，并进行三级审核。

(7) 质保组全流程监督检查，严格按照《质保大纲》及《工作大纲》进行。

3.2.3 受纳水体环境质量现状调查与评价

3.2.3.1 海水水质现状调查

为了解厂址附近海域的海洋环境状况，委托相关单位进行《厂址海域海洋生态环境现状调查与评价》专题研究。

(1) 水质调查时间、范围及站位设置

调查时间为 2019 年 8 月(夏季)、2019 年 10-11 月(秋季)、2020 年 2 月(冬季)和 2020 年 4 月(春季)，取四个季度的代表月进行现场调查取样，其中春、夏和冬季在大潮期调查，秋季在大、小潮期调查，共计 5 个调查频次。

(2) 水质调查要素

大面站位调查要素包括：水深、水温、盐度、水色、透明度等 5 项水文指标和悬浮物（SS）、pH、溶解氧（DO）、化学需氧量（COD）、无机氮(包括硝酸盐氮 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、亚硝酸盐氮 $\text{NO}_2\text{-N}$ 和氨氮 $\text{NH}_3\text{-N}$)、非离子氨、活性磷酸盐、活性硅酸盐、总氮、总磷、石油类和铜（Cu）、锌（Zn）、铅（Pb）、镉（Cd）、铬（Cr）、六价铬、汞（Hg）、砷（As）、硒（Se）、氰化物、硫化物、氟化物、挥发酚、多环芳烃、多氯联苯、余氯、硼（B）、铁（Fe）、锰（Mn）等 32 项化学指标。

连续站位调查要素包括：水深、水温、盐度、水色、透明度、pH、电导率、悬浮物、溶解氧、化学耗氧量、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、活性磷酸盐和活性硅酸盐等 15 项。

3.2.3.2 海水质量评价

根据本工程邻近海域海水水质调查结果，分别对大面调查结果和连续站调查结果进行评价如下。

(1) 大面调查结果评价

总体上，四个季度调查海域水质综合评价结果显示无机氮、活性磷酸盐超标是影响海

水水质的主要因素。无机氮和活性磷酸盐劣四类、第四类水质主要集中在近岸。秋季大潮、春季超过半数站位发生轻度富营养化，40%左右站位未发生富营养化，个别站位发生重度或中度富营养化；其他季度 70%~85%左右站位未发生富营养化，少数站位发生轻度富营养化，个别站位发生中度富营养化。

根据各个站位各监测指标的水质评价结果，四个季度调查海域不满足功能区要求的指标主要有无机氮和活性磷酸盐，不符合站位分别占 74%~98%和 40%~80%，这可能与陆源排污、水产养殖活动有关。

（2）连续站调查结果评价

总体上四个季度 27 小时连续监测中，站位水质 pH、溶解氧、化学需氧量、非离子氨的含量日间波动不大。

3.2.4 电磁环境现状调查与评价

3.2.4.1 电磁环境现状调查

- 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月）
- 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日）
- 《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）
- 《移动通信基站电磁辐射环境监测方法》（HJ 972-2018）

3.2.4.2 调查内容及范围

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

（2）射频综合场强：调查范围为本工程核电厂厂址周围 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)，监测点应选择在地势平坦、远离树木且没有其他电力线路、通信线路及广播线路的空地上。监测仪器的探头架设在地面（或立足平面）上方 1.5m 高度处，每个测点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

本次调查监测投入的测量仪器名称、型号及其性能指标等参数详见表 3.2-3。

3.2.4.5 监测时间及天气

2020 年 3 月 24 日、4 月 27~28 日，5 月 25 日，8 月 25 日~27 日，对浙江金七门核电项目规划厂址周围电磁环境进行了现场调查。监测气象条件符合监测规范及仪器使用要求。

3.2.4.6 电磁辐射源调查

根据现场踏勘资料，规划厂址半径 5km 范围内，现有电磁辐射源有移动通讯基站 12 座，厂址半径 5km 范围外，现有 110kV 变电站 1 座（配套输电线路 1 条）。

3.2.4.7 监测点设置

a) 厂区边界监测点设置

本次监测根据规划厂区环境情况监测点设置如下：

本次监测共设置 5 个厂界监测点位。分别于拟建核电厂界东侧、东南侧、西南侧、西北侧、北侧进行布点测量，测量工频电场强度、工频磁感应强度。

b) 拟建开关站监测点设置

浙江金七门核电厂拟建 2 个开关站在拟建开关站区域东、南、西、北四侧设置 6 个监测点位，其中南侧、北侧各设 2 个监测点位，测量工频电场强度、工频磁感应强度。

c) 拟建主变压器监测点设置

浙江金七门核电厂拟建 6 个主变压器，由于拟建 2#、3#、4#主变压器未见道路不可达，因此对其余 3 个主变压器设置了监测点，测量工频电场强度、工频磁感应强度。

d) 拟建输电线路监测点设置

浙江金七门核电厂拟建 2 条输电线路，且出线方向一致，依据业主提供的平面布置图，在出线方向东西两侧 50m 各设 1 个监测点位，测量工频电场强度、工频磁感应强度。

e) 厂区外环境敏感点监测点设置

本次监测于规划厂区外环境敏感点设置 11 个监测点，分别监测了工频电场强度、工频磁感应强度。

f) 厂区外电磁辐射源监测点设置

- 移动通信基站监测点设置

对厂址半径 5km 范围内已有的移动通信基站共计 12 座，对 12 座移动通信基站共设 19 个监测点位。

- 输变电工程监测点设置

厂址半径 5km 范围外有 1 个 110kV 变电站（汇能光伏站）及 1 条输电线路，线路名称鹤汇 1972 线，自汇能光伏站至鹤岛变电站，采用双回架空线。本次调查在变电站站界外 30m 区域及架空线路以边导线地面投影外两侧各 30m 区域，共设 24 个监测点，每个监测点位监测工频电场强度、工频磁感应强度。

3.2.4.8 电磁辐射现状评价标准

(1) 工频电场强度、工频磁场强度

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

(2) 射频综合场强

厂址区域电磁辐射采用《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）的要求，对于 30MHz-3000MHz 的频率范围，该标准的公众暴露控制限值为：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采取的主要质量保证措施有：

- (1) 项目监测前已事先依据工作大纲和质保大纲制定监测方案及实施细则；
- (2) 依据工作大纲合理布设监测点位，保证各监测点位的代表性、可行性和可比性；
- (3) 监测仪器的响应频率、量程等符合被监测对象的有关参数，准确获取符合实际辐射水平的测量结果；

(4) 电磁辐射监测方法采用现行有效的国家标准、行业标准和地方标准分析方法，监测人员持有国家辐射环境监测技术中心颁发的专业技能考核合格证。负责监测过程内部质量监督的人员持有浙江省合格评定协会颁发的内审员证书，并经公司内部授权任命，负责监测数据审核和专题报告审核的人员具备高级工程师资格；

- (5) 监测仪器经计量部门定期检定，检定合格并且监测日期在检定有效期内；

（6）每次测量前、后均检查仪器工作状态是否正常；

（7）建立完整的现状监测资料档案，资料内容包括仪器和探头的校准说明书、监测方案、监测布点图、测量原始数据等，以备复查。

（8）严格实行三级审核制度，经过校核、审核，最后由技术总负责人审定。

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

本次调查对厂区边界、拟建开关站和主变压器电磁辐射环境进行了监测，数据统计见表 3.2-4。由表 3.2-4 的监测结果所得，测得工频电场强度测值范围为 0.13~5.22V/m，工频磁感应强度测值范围为 6.09~43.63nT，分别小于标准限值 4kV/m 和 0.1mT（100 μ T），符合标准要求。

b) 输电线路电磁辐射监测结果评价

以出线方向为整体，东西两侧 50m 各设 1 个监测点位，测得工频电场强度测值范围为 0.61~0.64V/m，工频磁感应强度测值范围为 6.05~6.08nT，分别小于标准限值 4kV/m 和 0.1mT（100 μ T），符合标准要求。

c) 厂区外监测点电磁辐射监测结果评价

厂区外环境敏感区设 11 个监测点位，测得工频电场强度测值范围为 0.62~1.18V/m，工频磁感应强度测值范围 6.05~30.26nT，分别小于标准限值 4kV/m 和 0.1mT（100 μ T），符合标准要求。

厂址半径 5km 范围内，对 12 座移动通信基站进行监测。射频综合场强测值范围为 0.21~1.70V/m，最大功率密度为 0.77 μ W/cm²，低于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）规定的电场强度公众曝露控制限值 12V/m（功率密度为 40 μ W/cm²），符合标准要求。

对厂址半径 5km 范围外的 1 个 110kV 变电站及 1 条输电线路进行监测，测得工频电场强度测值范围为 2.66~492.9V/m，工频磁感应强度测值范围为 7.67~363.6nT，均小于标准限值 4kV/m 和 0.1mT（100 μ T），符合标准要求。

表 3.1-1 浙江金七门核电厂辐射环境调查方案

序号	监测对象		监测项目	频次	点位数	布点及要求
1	空气	陆地	γ 辐射 剂量率	2 次	5	0~2km
					7	2~5km
					11	5~10km
					47	10~20km
			γ 辐射累积剂量 ¹⁾	1 次	70	同 γ 辐射剂量率监测点
			连续 γ 辐射 剂量率 ¹⁾	1 次	1	金七门村（规划厂址）
		气溶胶	γ 核素 ²⁾	1 次	3	金七门村（厂界）、杨柳坑村（可能的关键居民组）、 鹤浦镇（人口集中区）
2	非受纳水体	饮用水	γ 核素 ³⁾			
			⁹⁰ Sr	1 次	2	金七门村（规划厂址）、杨柳坑村（可能的关键居民组）
			³ H、 ¹⁴ C			
			总 α 、总 β			
		地下水	γ 核素 ³⁾	1 次	2	金七门村（规划厂址）、杨柳坑村（可能的关键居民组）
			⁹⁰ Sr			
			³ H、 ¹⁴ C			
		地表水	γ 核素 ³⁾	1 次	5	鹤浦大河（环境敏感点）、樊岙河（环境敏感点）、 小百丈水库（环境敏感点）、大乌岩水库（环境敏感点）、樊岙水库（距离厂址最近水库）
			⁹⁰ Sr			
			³ H、 ¹⁴ C			
		地表水 沉积物	γ 核素 ⁵⁾	1 次	5	同地表水采样点
			⁹⁰ Sr			
3	受纳水体	海水	γ 核素 ⁴⁾	1 次	4	取水口（一、二期）、取水口（三期）、排水口（一、二期）、排水口（三期）
			⁹⁰ Sr			
			³ H、 ¹⁴ C			
			总 α 、总 β			
		海底 沉积物	γ 核素 ⁵⁾	1 次	4	同海水采样点
			⁹⁰ Sr			

		岸边沉积物	γ 核素 ⁵⁾	1 次	3	杨柳坑渔场（环境敏感点）、红卫塘渔场（环境敏感点）、荷花心渔场（环境敏感点）
			⁹⁰ Sr			
4	土壤		γ 核素 ⁵⁾	1 次	15	金七门村、南山岛南、水糊涂、牧童岙、小南田、凤凰山村、风门口海上森林公园、樊岙、荷花心、五利、小岙、杨柳坑村、金七门码头、南山岛北、厂界东侧
			⁹⁰ Sr			
补充调查方案						
1	空气	陆地	γ 辐射剂量率	1 次	12	0~2km
					2	2~5km
					2	5~10km

注：1) 持续监测 2 个月； 2) γ 核素主要分析 ⁵⁴Mn、⁵⁸Co、⁶⁰Co、¹³⁴Cs、¹³⁷Cs、⁷Be、¹³¹I； 3) γ 核素主要分析 ⁵⁴Mn、⁵⁸Co、⁶⁰Co、¹³⁴Cs、¹³⁷Cs； 4) γ 核素主要分析 ⁵⁴Mn、⁵⁸Co、⁶⁰Co、¹³⁴Cs、¹³⁷Cs、⁶⁵Zn、^{110m}Ag、¹⁰⁶Ru； 5) γ 核素主要分析 ⁵⁴Mn、⁵⁸Co、⁶⁰Co、¹³⁴Cs、¹³⁷Cs、⁴⁰K、²²⁶Ra、²³²Th、²³⁸U。

表 3.1-2 浙江金七门核电厂辐射环境调查测量仪器一览表

序号	名称	数量	型号规格	监测项目
1	高压电离室	1	RS-S131-200	γ辐射剂量率
2	X-γ辐射剂量当量率仪	2	FH40G+FHZ672E-10	
3	热释光测量系统	1	RGD-3D	γ辐射累积剂量
4	高纯锗γ谱仪	1	GEM-5083LBC	γ核素
5		1	GEM-S8530	
6		1	GMX4076LBB (CFG-SV-LB-76)	
7		1	GMX4076LBB	
8	低本底计数器	2	MPC-9604	⁹⁰ Sr、总α、总β
9	低本底液闪谱仪	1	Quantulus1220	³ H、 ¹⁴ C

表 3.1-3 环境γ辐射剂量率测量仪器测量参数汇总

仪器名称	型号	主要参数
高压电离室	RS-S131-200-ER2100	量程：0~100R/hr 零点漂移±0.5uR/hr
X-γ辐射剂量当量率仪	FH40G+FHZ672E-10	外置探头：1nSv/h~100μSv/h 能量响应：40KeV~4.4MeV 基本误差：<±15%
热释光测量系统	RGD-3D	量程：10 ⁻⁸ Gy~9.999Gy 连续 10 次读数,标准偏差<1μGy

表 3.1-4 主要测量参数（放化分析部分）

测量项目	监测对象	样品量	计数时间 (min)	本底 (cpm)	计数效率 (%)	化学回收率 (%)	最低探测限	
							本调查	HJ969-2018
总 α	水	2L	1000	0.2	7	100	$2\times 10^{-2}\text{Bq/L}$	$2\times 10^{-2}\text{Bq/L}$
总 β	水	2L	1000	0.5	50	100	$2\times 10^{-2}\text{Bq/L}$	$5\times 10^{-2}\text{Bq/L}$
^{90}Sr	土壤	50g	1000	0.5	54	50	$2\times 10^{-1}\text{Bq/kg}$	$2\times 10^{-1}\text{Bq/kg}$
	水	20L	1000	0.5	54	60	$3\times 10^{-4}\text{Bq/L}$	$3\times 10^{-4}\text{Bq/L}$
^3H	空气	2L	1000	0.52	18	—	$5\times 10^{-1}\text{Bq/L}$	$5\times 10^{-1}\text{Bq/L}$
	水	2L	1000	0.52	18	—	$2\times 10^{-1}\text{Bq/L}$	$5\times 10^{-1}\text{Bq/L}$
^{14}C	空气	1.2m^3	1200	1.29	30.0	—	$5\times 10^{-2}\text{Bq/g}$	$5\times 10^{-2}\text{Bq/g}$
	水	20L	-	-	-	—	$2\times 10^{-2}\text{Bq/g}$	$5\times 10^{-2}\text{Bq/g}$

表 3.1-5 气溶胶样品中γ能谱分析测量参数

样品量：10000m³ 测量时间：1440min
样品几何尺寸：将滤膜装于φ75mm×H50mm 圆柱形塑料盒

核素	能量 (keV)	发射几率	本底计数率 (s ⁻¹)	探测效率	探测限（mBq/m ³ ）	
					本调查	HJ969-2018
⁵⁴ Mn	834.8	0.9998	8.6×10 ⁻³	0.01983	5.3×10 ⁻³	—
⁵⁸ Co	810.75	0.9945	6.25×10 ⁻³	0.026650	5.0×10 ⁻³	—
⁶⁰ Co	1332.5	0.9998	3.8×10 ⁻³	0.01430	4.9×10 ⁻³	—
¹³⁴ Cs	795.8	0.854	9.3×10 ⁻³	0.02057	6.1×10 ⁻³	—
¹³⁷ Cs	661.7	0.8521	1.0×10 ⁻²	0.02382	2.5×10 ⁻³	5.0×10 ⁻³
⁷ Be	477.59	0.1042	7.5×10 ⁻³	0.02208	6.0×10 ⁻¹	—
¹³¹ I	364.5	0.8124	2.0E-03	0.03396	3.1×10 ⁻³	1.0×10 ⁻²

表 3.1-6 水样γ能谱分析测量参数

样品量：25L 测量时间：1440min
样品几何尺寸：富集后装于φ75mm×H50mm 圆柱形塑料盒

核素	能量(keV)	发射几率	探测限（Bq/L）	
			本调查	HJ969-2018
⁵⁴ Mn	834.83	0.9998	1.3×10 ⁻³	—
⁵⁸ Co	810.75	0.9945	1.2×10 ⁻³	—
⁶⁰ Co	1332.5	0.9998	1.2×10 ⁻³	—
¹³⁴ Cs	795.84	0.8544	1.4×10 ⁻³	—
¹³⁷ Cs	661.7	0.8513	1.4×10 ⁻³	2×10 ⁻³
⁶⁵ Zn	1115.52	0.5075	2.4×10 ⁻³	—
^{110m} Ag	657.75	0.9474	1.3×10 ⁻³	—
¹⁰⁶ Ru	621.93	0.0993	1.4×10 ⁻³	—

表 3.1-7 土壤、沉积物γ能谱分析测量参数

样品几何尺寸：装于φ75mm×H50mm 圆柱形塑料盒

核素	能量 (keV)	发射几率	本底计数率 (s ⁻¹)	探测效率	最低探测限(Bq/kg·干)	
					本调查	HJ969-2018
⁵⁴ Mn	834.8	0.9998	3.2×10 ⁻³	0.01293	2.3×10 ⁻¹	—
⁵⁸ Co	810.75	0.9945	2.9×10 ⁻³	0.01345	2.5×10 ⁻¹	—
⁶⁰ Co	1332.5	0.9998	1.8×10 ⁻³	0.00934	2.4×10 ⁻¹	—
¹³⁴ Cs	604.7	0.9760	5.5×10 ⁻³	0.01620	2.5×10 ⁻¹	—
¹³⁷ Cs	661.6	0.8462	4.1×10 ⁻³	0.01521	2.6×10 ⁻¹	5×10 ⁻¹
⁴⁰ K	1460.7	0.1070	2.6×10 ⁻³	0.00876	2.9	—
²²⁶ Ra	609.3	0.4628	1.2×10 ⁻²	0.016112	7.7×10 ⁻¹	—
²³² Th	911.1	0.2770	2.4×10 ⁻³	0.01217	7.7×10 ⁻¹	—
²³⁸ U	63.3	0.0381	1.2×10 ⁻²	0.00865	1.8×10 ¹	—

表 3.1-8 仪器设备检定情况一览表

序号	仪器名称	型号	检定单位	检定周期	检定有效期
1	低本底 α 、 β 装置	MPC-9604	上海市计量测试技术研究院	二年	2019.3.13~2021.3.12
				二年	2019.5.20~2021.5.19
2	低本底液闪谱仪	LKB-1220	上海市计量测试技术研究院	二年	2019.3.13~2021.3.12
3	HPGe γ 谱仪系统	GEM-S8530、	上海市计量测试技术研究院	二年	2019.3.13~2021.3.12
		GEM50-83-LB-C 、 GMX40-76-LB-B		二年	2019.7.9~2021.7.8
4	X- γ 辐射剂量当量率仪	FH40G+FHZ672E-10	上海市计量测试技术研究院	一年	2019.9.27~2020.9.26
5	X- γ 辐射剂量当量率仪	FH40G+FHZ672E-10	上海市计量测试技术研究院	一年	2019.7.9~2020.7.8
6	热释光测量系统	RGD-3D	上海市计量测试技术研究院	一年	2020.3.23~2021.3.22
7	电磁辐射分析仪	SEM-600(LF-04 、 RF-06)	中国计量科学研究院	一年	2019.7.11~2020.7.10
8	电磁辐射分析仪	SMP-600(WPF6 、 WP400)	上海市计量测试技术研究院	一年	2019.7.16~2020.7.15
					2020.7.31~2021.7.30
9	高压电离室	RS-S131-200-ER0000	中国计量科学研究院	一年	2020.3.19~2021.3.18
10	声级计	AWA6228+	上海市计量测试技术研究院	一年	2019.5.16~2020.5.15
11	大流量气溶胶采样器	ZC-Q1001	杭州博度计量科技有限公司	一年	2019.9.29~2020.9.28

表 3.2-1 环境空气污染物基本项目浓度限值

序号	污染物项目	平均时间	浓度限值		单位
			一级	二级	
1	二氧化硫（SO ₂ ）	年平均	20	60	μg/m ³
		24 小时平均	50	150	
		1 小时平均	150	500	
2	二氧化氮（NO ₂ ）	年平均	40	40	
		24 小时平均	80	80	
		1 小时平均	200	200	
3	一氧化碳（CO）	24 小时平均	4	4	mg/m ³
		1 小时平均	10	10	
4	臭氧（O ₃ ）	日最大 8 小时平均	100	160	μg/m ³
		1 小时平均	160	200	
5	颗粒物 （粒径小于等于 10μm）	年平均	40	70	
		24 小时平均	50	150	
6	颗粒物 （粒径小于等于 2.5μm）	年平均	15	35	
		24 小时平均	35	75	

表 3.2-2 环境噪声限值

单位：dB(A)

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

0类声环境功能区：指康复疗养区等特别需要安静的区域。

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

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

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

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

表 3.2-3 监测仪器一览表

名称	数量	型号规格	监测项目	技术指标
电磁辐射 分析仪	2	SEM-600	工频电磁场	频率范围：1Hz~400kHz 量程范围：工频电场：0.05V/m~100kV/m； 分辨率：0.01 V/m 工频磁场：1nT~3mT 分辨率：0.1nT
			射频综合场强	频率范围：100kHz~6GHz 量程范围：0.2V/m~400V/m； 分 辨 率：0.01V/m
		SMP-600	工频电磁场	频率范围：1Hz~400kHz 量程范围：工频电场：4mV/m~100kV/m； 分辨率：1mV/m 工频磁场：0.5nT~10mT 分辨率：0.1nT
			射频综合场强	频率范围：0.1MHz~6GHz 量程范围：0.2V/m~1000V/m； 分 辨 率：0.1 V/m

表 3.2-4 厂区内电磁辐射监测值统计情况

监测点位置	监测因子	测值范围	最大值	评价标准
厂区边界	工频电场强度（V/m）	0.13~0.87	0.87	4000
	工频磁感应强度（nT）	6.09~43.46	43.46	100000
拟建开关站	工频电场强度（V/m）	0.65~5.22	5.22	4000
	工频磁感应强度（nT）	6.16~12.08	12.08	100000
拟建主变压器	工频电场强度（V/m）	0.63~0.64	0.64	4000
	工频磁感应强度（nT）	6.11~6.40	6.40	100000

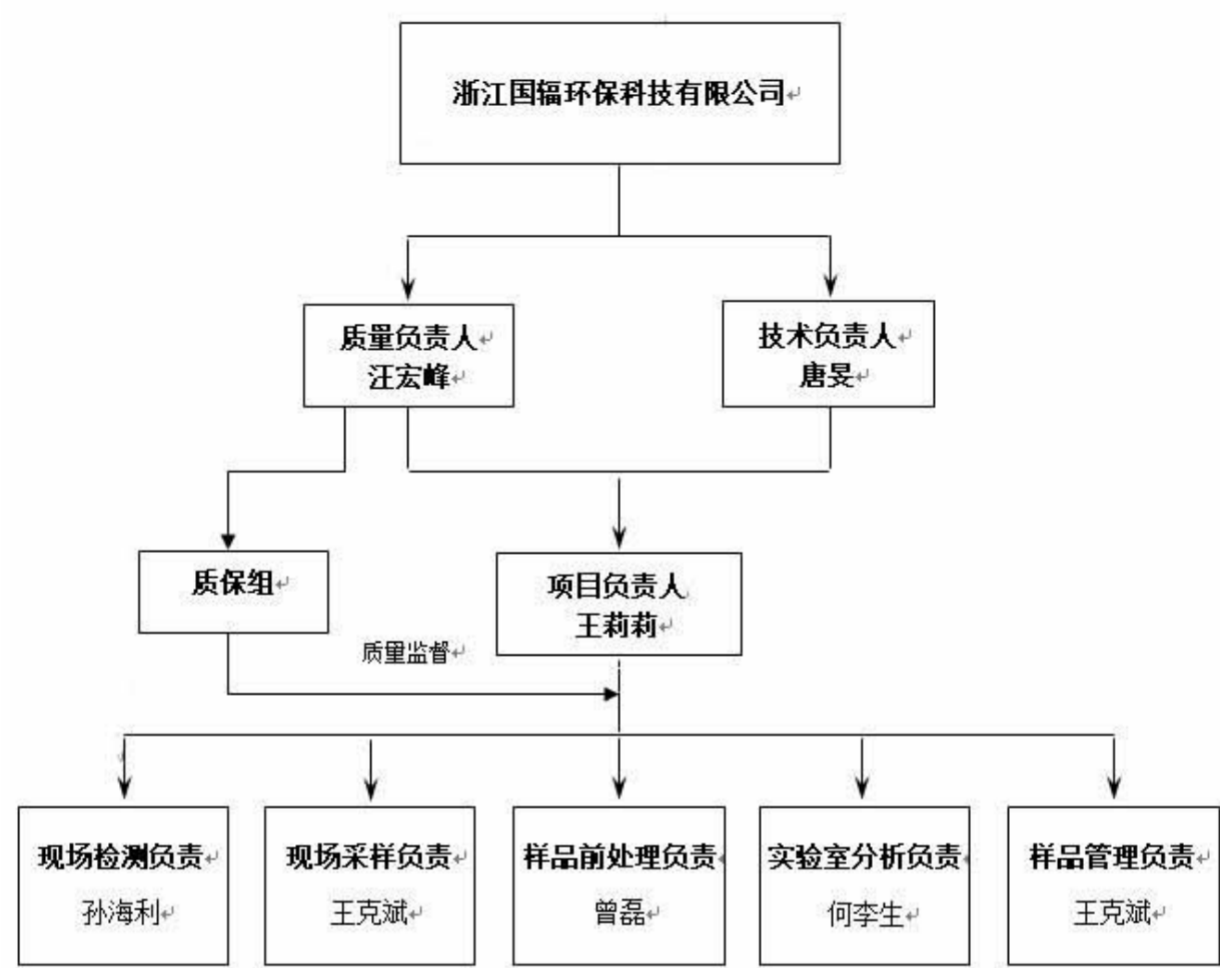


图 3.1-1 质量保证体系

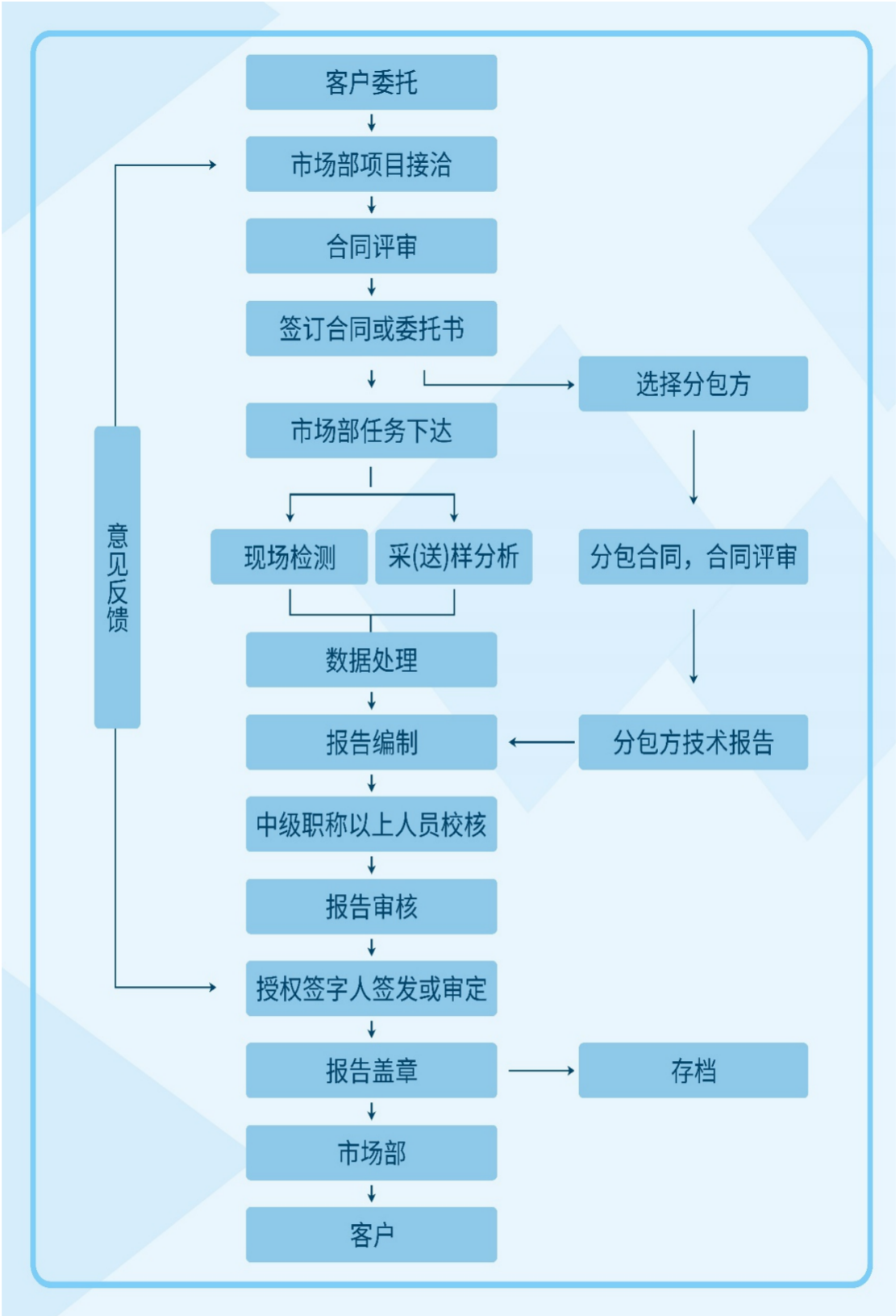


图 3.1-2 检测流程图



图 3.2-1 检验检测机构资质认定证书（CMA）

第四章 核电厂

4.1 厂区规划及平面布置

4.1.1 厂区规划

4.1.2 厂区总平面

4.1.3 排放口布置

4.2 反应堆和蒸汽-电力转换系统

4.2.1 概述

4.2.2 核岛

4.2.3 常规岛

4.3 核电厂用水和散热系统

4.3.1 核电厂用水

4.3.2 核电厂散热系统

4.4 输电系统

4.4.1 接入系统方案

4.4.2 升压站主接线与布置

4.4.3 启备电源系统

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

4.6 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

4.6.5 乏燃料贮存系统

4.7 非放射性废物处理系统

4.7.1 化学污染物

4.7.2 生活废物

4.7.3 其它废物

4.8 放射性物质运输

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

4.1 厂区规划及平面布置

4.1.1 厂区规划

金七门核电工程规划建设六台华龙一号机组，统一规划、分期建设。一期工程建设 2 台机组及其配套辅助设施。

4.1.1.1 厂坪设计标高

厂坪设计标高为 15.50m，高于不考虑波浪影响的设计基准洪水位，波浪的作用通过临海岸边修筑挡浪墙防护。

4.1.1.2 主厂房建筑群位置

1~4 号机组在同一轴线上并列布置在小南山半岛上，核岛南向，常规岛北向，1~2 号核岛中心间距为 220m，2~3 号核岛中心间距为 240m，3~4 号核岛中心间距为 220m；5、6 号机组并列布置，核岛西向，常规岛东向，布置在长皮长半岛上，核岛中心间距为 220m。

4.1.1.3 电力出线

本工程按 6 台机组的规划容量，1、2 号机组升压至 500kV 电压等级向北 2 回出线，接入象山变；3~6 号机组向北 2 回出线接入电网。全厂 6 台机组规划两回 220kV 备用电源进线。电力出线沿厂址北侧送出，跨越龙王山，山体较高、开阔。

4.1.1.4 取排水方案

核电厂 1、2 号机组冷却水系统主要包括循环冷却水系统和重要厂用水系统，均采用直流供水方式。冷却水经虹吸井后排至厂址东侧海域。

循环冷却水系统：厂址南侧海域-暗管取水--联合泵房-循环冷却水进水廊道-常规岛-循环冷却水排水廊道-虹吸井-排水隧洞-暗涵-厂址东侧海域。

重要厂用水系统：厂址南侧海域-暗管取水-联合泵房-重要厂用水进水廊道-核岛-重要厂用水排水廊道-虹吸井-排水隧洞-暗涵-厂址东侧海域。

运行期间生产生活淡水全部海水淡化，施工期间淡水取自市政供水。

雨水通过管网收集后集中排放入海；生活污水送至污水处理站，处理达标后回用；生产废水处理达标后经虹吸井排放入海。

4.1.1.5 对外交通运输设施规划

（1）主要进厂道路

厂址东北侧主要进厂道路接至大百丈村附近的石三线规划延伸段，新建道路的连接段长度约 10.40km，道路等级为二级公路。路面宽 7m，路基宽 12m，采用沥青混凝土路面。

（2）次要进厂道路

厂址西侧次要进厂道路接至南五——金七门线，采用改造现有道路的方式，改造道路长度约 10.36km，利用老路 6.1km，采用三级公路标准，向北接至大百丈村，进而与石三线以及规划的地方公路相接。路面宽 7.0m，路基宽 8m，采用沥青混凝土路面。

（3）大件码头及引桥

厂址拟建 5000 吨级大件码头位于厂址西侧，码头通过引桥与后方厂区相连。装卸采用 1000 吨全回转固定式起重机进行设备吊装上岸。

（4）大件运输道路

本项目大件运输道路起点为大件码头，路径：大件码头-引桥-厂内重件道路。

4.1.1.6 厂区工程规划

厂区工程按功能可分为主厂房区、冷却水设施区、配电装置区、辅助生产区及厂前区等，厂区工程规划详见第 4.1.2 节“厂区总平面”。

4.1.1.7 其他设施规划

其他设施分厂内及厂外两部分设置：

除核能供热站按照业主要求，靠近常规岛布置，雨水回收池、非放射性废水处理站、厂区消防补水泵房集中布置在 2 号及 3 号常规岛北侧，武警岗楼靠近取水口布置，高位水池位于厂址北侧龙王山边坡外，其余子项均集中布置在厂区西北侧。应急物资贮存中心标高设置高于设计基准洪水位 5m。

厂外部分主要集中在生产配套服务区。其位于象山县鹤浦镇，包括现场服务区、值班宿舍、运行支持中心、环境监测类等设施。

环境监测类设施包括环境实验室、监督性监测前沿站、监督性流出物实验室、环境监测站及监督性监测子站多个、气象站等，除气象站布置在小南山半岛西北侧外，其余均布置在厂外。

4.1.1.8 场地平整、边坡及截排洪规划

厂区竖向初步考虑采用平坡式布置形式，场地平整标高为 15.00m。

场地平整土石方基本平衡。场地平整后，厂址北侧形成人工挖方边坡，最大高差约为 145.5m。厂址北侧人工边坡部分属于核安全相关边坡。

按照防、排洪要求，在北侧挖方边坡坡顶设置截洪沟；在挖方边坡坡底设置排水沟，最终排入海域。

4.1.1.9 施工场地规划

施工临建场地包括核岛土建、核岛安装、常规岛土建、常规岛安装、BOP 土建、砂石料堆场、混凝土搅拌站、工程公司临建场地等，施工临建场地需厂外租地。核岛土建、核岛安装、常规岛土建、常规岛安装、BOP 土建、工程公司临建场地等规划于厂址西北侧；混凝土搅拌站及砂石料堆场规划于厂址西北侧。

施工临时堆场利用建设期间空地及厂址内租地。

施工生活区是施工期间土建及安装人员休息及娱乐的场所，位于施工临建场地南侧。

4.1.1.10 施工力能区规划

为满足核电厂施工建造阶段的用水用电要求，需引入淡水水源和施工用电。淡水由市政管网供给；施工用电引自本工程 BOP 区东北部的施工区变电站。

4.1.1.11 厂址区域土地利用

核电厂非居住区范围以反应堆厂房为中心，半径 500m。

核电厂规划限制区范围以反应堆厂房为中心，半径 5km。

用地类型主要为农用地、建设用地、未利用地。

因厂址处用地紧张，其中永久设施的承包商营地需厂外征用，土地性质以园地为主；绝大部分施工生产临建需厂外租用；混凝土搅拌站及沙石料堆场拟租地。

4.1.2 厂区总平面

4.1.2.1 总平面布置原则

厂区总平面布置应与总体规划相协调。

核岛基础尽量坐落在均匀稳定、埋深适宜、承载力特征值满足要求的基岩上，避开已探明的断裂带、海蚀沟、海蚀洞所处位置。

满足生产工艺流程的要求。

避免汽轮机飞射物危及与核安全有关的建、构筑物。

功能分区明确，合理划分放射性和非放射性生产区的位置，使放射性和非放射性运输线路分离。

冷却水取水、排水管线、电力出线力求短捷、顺畅。

主厂房群四周应留有足够的场地，以满足敷设工程管线和施工的需要。

满足运输、防火、卫生、安全、管网布置及施工安装要求。

配套辅助设施一次规划、分期实施。

满足分期建设的要求，减少后期施工对前期运行影响。

4.1.2.2 建设规模及项目组成

本项目规划建设 2 台华龙一号百万千瓦级核电机组及其相应的配套辅助设施。主要辅助生产设施按照 2 台机组规模设置，部分辅助生产设施按照 6/4 台机组规模设置，厂前建筑区和其他设施按照 6/4 台机组规模一次规划建设。

4.1.2.3 厂区总平面布置

厂区主要包括主厂房区，冷却水设施区、配电装置设施区、辅助生产设施区及厂前建筑区等，结合厂址条件及厂址总体规划，总平面布置分述如下：

（1）主厂房区

主厂房区的子项主要包括核岛、常规岛；核岛由反应堆厂房、燃料厂房、安全厂房、核辅助厂房、附属厂房、核岛消防泵房、应急柴油发电机厂房、SBO 柴油发电机厂房、应急空压机房、核废物厂房、核岛龙门架、备用柴油发电机组厂房等组成；常规岛由汽轮发电机厂房、再生除盐水箱、仪用压缩空气储气罐、常规岛事故油坑、酸碱贮存计量间、辅助变压器区域及公用 10kV 配电间、10kV 公用配电站、主变压器和降压变压器平台、主变备用相平台等组成。

厂区固定端位于厂址西侧（按建北描述），1~2 号机组的主厂房建筑群由西向东并列布置在小南山半岛，核岛南向、常规岛北向。

核岛厂房基础底面坐落在中等风化及微风化基岩上，为凝灰岩。中等风化凝灰岩属较坚硬岩，岩体完整程度为较破碎~较完整。

常规岛基础底面部分坐落在中等风化基岩，部分为强风化。

本工程反应堆厂房中心距离：

1 号与 2 号----直线距离 220m。

（2）冷却水设施区

冷却水系统包括循环冷却水系统和重要厂用水系统，均为南取东排。

冷却水设施区主要包括联合泵房、制氯站、虹吸井等各种水工设施，联合泵房布置在主厂房区南侧，基础位于中等风化基岩以上岩体上；制氯站布置在联合泵房西侧；虹吸井布置在 3、4 号核岛主厂房区北侧，配电装置区东南侧。

（3）配电装置区

配电装置区主要包含 500kV 开关站、220kV 开关站、网控楼，布置在 2、3 号机组北侧。主变与开关站之间采用电缆沟连接。

（4）辅助生产设施区

辅助生产设施根据有无放射性分为放射性厂房和非放射性厂房。放射性厂房集中布置在厂区用地的西部边沿地带。非放射性厂房除与主厂房工艺联系密切的子项贴近主厂房布置以外，其余子项均考虑布置于一期工程北侧。

放射性废物处理设施区包括放射性机修及去污车间、特种车辆库、废物处理中心、放射性固体废物暂存库、核岛液态流出物排放厂房、常规岛液态流出物排放厂房、放射性废油暂存库、放射源库、厂区实验楼等。

其中，厂区实验楼、放射性机修及去污车间、特种车辆库、废物处理中心、放射性固体废物暂存库，放射性废油暂存库及放射源库集中布置在主厂房西北侧；核岛液态流出物排放厂房及常规岛液态流出物排放厂房布置在 1 号机组主厂房南侧，靠近核岛厂房，减少沟道敷设长度，地基条件较好。

非放射性辅助生产区主要包括水处理设施区、仓库、机电仪修区及其它非放射性生产设施等。

水处理设施区包括海水淡化厂房（反应沉淀池厂房、滤池厂房、预处理水泵房、预处理厂房、膜处理厂房等）、除盐水生产厂房、除盐水储存罐、污水处理构筑物、高位水池、厂区消防补水泵房等，除盐水生产厂房及除盐水储存罐布置在 1、2 号机组常规岛北侧，海水淡化厂房布置在除盐水生产厂房北侧，污水处理构筑物、厂区消防补水泵房、非放射性废水处理站等均布置在配电装置区南侧，高位水池布置在配电装置区东北侧边坡标高约 125m 处。

仓库、机电仪修区包括非放射性机修车间、电仪修及专用工具库、综合仓库、棚库、龙门吊及环吊小车仓库、润滑油和油脂库、化学品库（1、2）、危废品库等。该区域集中布置在 1 号机组北部。

其他非放射性生产设施包括保卫控制中心、新燃料组件运输中转贮存场地、辅助锅炉房、公共气体贮存区 1、公共气体贮存区 2、氢气贮存及分配站、空气压缩机房、污水系统油水分离器等。

保卫控制中心布置在 1 号机组常规岛东北侧；新燃料组件运输中转贮存场地布置在 1 号机组常规岛西北侧；辅助锅炉房布置在 1 号机组常规岛西侧，厂区附加电源柴油发电机

厂房布置在 1 号核岛西侧；公共气体贮存区 1、公共气体贮存区 2 分别布置在 1 号及 2 号机组常规岛北侧；氢气贮存及分配站布置在 1#常规岛西北侧，靠近厂区边缘；空气压缩机房、厂区消防泵房、污水系统油水分离器集中布置在 2 号机组核岛厂房西北侧。

（5）厂前建筑区

厂前建筑区包含综合办公楼、公共食堂、档案馆。厂前建筑区位于 1 号机组北侧。

4.1.2.4 竖向布置

厂区采用平坡式布置，生产区场地设计标高 15.50m。

场地排水采用有组织的管道或明沟排水系统，确保厂区防洪安全。

4.1.2.5 厂内道路

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。

厂内道路分为重型路和轻型路，路面宽度分别为 12m、9m、7m、4m。

重型路布置在主厂房四周，并连接至大件码头，除路面加宽段外，转弯内半径不小于 25m，其余道路均为轻型路。

轻型路划分各分区，并与各厂房相连。

上述各级道路除满足生产运输安全保卫要求外，还兼作消防通道。消防通道最小转弯半径为 9m。

沿控制区和保护区围墙内侧、要害区围墙外侧，设置巡逻通道。

厂区共设置两个出入口，其中人流出入口设置在厂区东北角，紧邻厂前区及主要进厂道路；厂区西北角设置备用出入口，与次要进厂道路相连，用于常规货运及厂区应急等特殊情况。

4.1.2.6 实物保护

根据核电厂实物保护要求，厂区设置控制区围栏、保护区围栏和要害区围栏。

控制区围栏为单层铁丝网可视围栏，包围区域为主厂房区、循环水设施区及辅助生产设施区。

保护区围栏为双层铁丝网可视围栏，装备相应的技术防范设施，包围区域为主厂房区、循环水设施区及大部分辅助生产设施。

要害区围栏为单层可视围栏及轻质防护栏，装备相应的技术防范设施，部分利用核岛厂房建筑外墙并增设相应的安全保卫设施，包围区域为核岛及其附属设施。

控制区、保护区出入口设置监控系统和执勤哨位，进出人员及车辆必须持有相关证件。

控制区围墙的设置考虑工程分期建设的要求，相对独立设置。

4.1.2.7 绿化与美化

本设计仅划分绿化区及非绿化区，不进行具体绿化设计。

——非绿化区。本工程保护区不进行绿化，采用硬化地面或铺设碎石。

——绿化区。在保护区外的厂前区、辅助设施区及其他设施区等地域可进行绿化。栽种行道树、花木及加铺草坪等，以改善环境，充分运用和发挥绿化功能，为核电厂职工提供良好的工作环境。

为实施绿化，在厂区绿化区（厂前区等）地段的地表均需填筑 $\geq 30\text{cm}$ 厚的种植土壤，以利于花卉树木的成长。

4.1.2.8 环境保护相关设施的布置

环境保护相关设施除核岛厂房外，还包括放射性辅助生产设施、生活污水和生产废水处理设施、环境监测设施等。

（1）放射性厂房的布置

带有放射性的厂房有：废物处理中心、放射性固体废物暂存库、放射性机修及去污车间、核岛液态流出物排放厂房、放射性废油暂存库、新燃料组件运输中转贮存场地、特种车辆库及厂区实验楼等，上述子项集中布置在 1、2 号机组西侧及南侧的边缘地带，靠近各机组，方便放射性废物运输，同时也远离厂前区和其它设施区，尽量避免放射性废物运输与人员交通的相互影响。

（2）污水处理设施的布置

本工程污水处理构筑物、非放射性废水处理站等子项位于一期工程的东北角，最小风频的上风向，避免对其它子项的影响。

（3）环境监测设施的布置

环境监测站及监督性监测子站分散布置在厂址周围，具体位置待定。

（4）应急指挥中心

应急指挥中心位于一期工程北侧，同时位于 500m 非居住区半径外，厂区道路通达。

（5）厂前建筑区

厂前建筑区位于厂址西北侧，一期工程北侧，位于 500m 非居住半径外，道路通达，方便运输。

4.1.2.9 环境保护措施

厂址区域主要为丘陵地貌，植被覆盖密集，厂址西北侧有居民点、滩涂等。在本工程建设中，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，以创造优美的小区域环境。具体实施措施主要有以下几方面：

在总体规划中合理规划厂外设施的组成、规模和位置，将尽可能多的设施（包括核电厂职工生活区、环境实验室等）规划在城市内，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。

厂区总平面布置特别是保护区（为非绿化区）内各设施的布置尽量紧凑布局，节约用地，并使非绿化区面积尽量小。

厂坪标高的确定，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，土石方工程量也作为重要的因素充分予以考虑，尽量减少土石方开挖、回填范围和数量，减少对现状地貌的改变。

厂区内充分进行绿化，并采取多种绿化方式，包括立体绿化、屋顶绿化等，凡可绿化的设施如边坡、挡土墙等，均进行绿化。

利用本工程建设的时机，改善厂址区域的原始地貌，增加绿化，减少河（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 排放口布置

（1）液态流出物排放口

液态流出物经处理达标后通过地下管沟排至虹吸井，稀释后经循环水排水管排放至排水口，进入厂址东部海域（受纳水体）。

（2）气态流出物排放口

气态流出物排放点为反应堆厂房气体排放口。反应堆厂房气态流出物经过处理达标后，通过辅助厂房顶部的烟囱排入环境。气态流出物排放点位于厂址南侧，为最大风频的下风向，且远离厂前建筑区及生活配套设施，有效避免气态流出物扩散对生产生活的影响。

（3）非放射性物质排放口

- 生活污水系统

本工程生活污水经管道收集后排至非放射性污废水处理站，处理达到标后回用于绿化、

中国核电工程有限公司

浇洒、洗车等，回用剩余经虹吸井排入大海。

- 雨水系统

本工程各子项屋面雨水、场地及路面雨水经雨水口收集，部分区域雨水向西排海，部分区域雨水排至虹吸井，经虹吸井排至大海。

- 生产废水系统

本工程各类非放生产废水经室外管网收集接入非放射性污废水处理站，经监测和处理达标后回用于绿化、浇洒、洗车等，回用剩余经虹吸井排入大海。

- 非放射性含油废水

本工程各类非放射性含油废水经非放射性含油废水系统管网收集排至污水系统油水分离器，经处理后排至室外生产废水系统管网，排入非放射性污废水处理站进行进一步处理。污油通过污油泵输送至油污车运走。

4.2 反应堆和蒸汽-电力转换系统

4.2.1 概述

浙江金七门核电厂一期工程采用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 富集度的不同分三区装载；后续循环使用固体可燃毒物钆，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。浙江金七门核电厂一期工程的设计在贯彻纵深防御概念时采用了一系列多层次的防御，用以防止事故并在未能防止事故时保证提供适当的保护：

——第一层次防御的目的是防止偏离正常运行及防止系统失效。这一层次要求按照恰当的质量水平和工程实践，例如多重性、独立性及多样性的应用，正确并保守地设计、建造、维修和运行核电厂。所有构筑物、系统和部件都要根据其安全功能及重要程度进行安全分级，针对不同级别采用不同的规范标准和抗震要求，以及不同的质量保证措施。在第

一层次防御中还包括了按经过实践考验的规程进行核电站的在役检查、维护和试验。设计中也考虑了进行这些活动时的可达性和必要的装备和工具。

——第二层次防御的目的是检测和纠正偏离正常运行状态，以防止预计运行事件升级为事故工况。这一层次中最重要的是设置了保护系统，以保证安全相关的重要参数的偏离达到设定的阈值时停闭反应堆，使电站处于安全状态。为此设置了两套独立的停堆系统——控制棒系统和硼酸控制系统。

——第三层次防御是必须提供附加的设备和规程以控制由某些预计运行事件的升级引起的事故工况的后果。为此，设置了一系列反应堆专设安全设施，如应急硼注入系统、安全壳喷淋系统、快速卸压系统、蒸汽发生器辅助给水系统以及它们的支持系统，这些专设安全设施在事故工况时自动投入运行以控制事故产生的后果。

——第四层次防御的目的是针对设计基准可能已被超过的严重事故，以保证放射性的释放保持在尽可能低的水平。这一层次最重要的目的是保护包容功能。除了事故管理规程之外，还可以由防止事故进展的补充措施与规程，以及减轻选定的严重事故后果的措施来达到。

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

4.2.2 核岛

4.2.2.1 堆芯部件

浙江金七门核电厂 1、2 号机组项目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。本工程堆芯由 177 组 AFA 3G 燃料组件及其相关组件组成。

本工程采用的 AFA 3G 燃料组件由 17×17 排列的燃料棒和燃料组件骨架组成，组件骨架包括上管座、下管座、导向管、仪表管和格架。仪表管位于组件中心栅元位置，它为测量仪表的插入提供通道。导向管用于容纳控制棒和其它燃料相关组件棒。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。

在 M5 合金包壳管内装入二氧化铀陶瓷芯块，并用不锈钢弹簧压紧芯块，棒两端装上

上下端塞，预充 2MPa 压力的氦气，并将上下端塞焊接密封，就构成了燃料棒。燃料棒在反应堆运行时依靠核燃料的自持链式裂变反应产生热能，并将热能传递给冷却剂，同时包容裂变产物。对载钎燃料棒，除所装芯块为 $\text{UO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$ 芯块外，其结构上与二氧化铀燃料棒相同。

AFA 3G 燃料组件的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，用于反应堆的启停堆、变更功率、改善功率分布等。

4.2.2.2 反应堆冷却剂系统

1) 系统功能

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

— 压力控制：在反应堆正常运行期间，通过稳压器控制冷却剂系统的压力，使其保持稳定。瞬态时，限制压力的变化范围，使其保持在允许的范围内。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，在堆芯吊篮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由两台先导式安全阀串联组成的一组先导式安全阀组。阀组第一台安全阀起超压保护作用，正常运行时关闭。第二台安全阀起隔离作用，正常运行时开启。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。

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

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

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

(2) 反应堆冷却剂泵

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

主要部件包括泵壳、叶轮、隔热屏、下部径向轴承、密封件及电动机。

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

(3) 稳压器

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

通过安全阀将稳压器内的蒸汽排放到卸压箱内，达到反应堆冷却剂系统的超压保护目的。

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

(4) 卸压箱

稳压器卸压箱的功能是接纳来自稳压器的安全阀和快速卸压阀、安全壳内的余热排出系统的安全阀或化学和容积控制系统的安全阀所释放的蒸汽，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。采用氮气是为了进行氮气保护，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，保证反应堆冷却剂的正常输运。

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出余热；
- 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、除盐车站、办公楼、制氯站、辅助锅炉房、车间和食堂等，不存在较大的火灾危险，在厂房内均设置消火栓和手提式灭火器。常规岛消防系统，能通过自动水喷雾灭火系统、水喷水灭火系统、气体灭火系统以及消火栓和手提式灭火器，对常规岛

内的一切火灾危险提供防护。

4.2.3 常规岛

常规岛主要包括汽轮机厂房及厂房内的系统和设备。

4.2.3.1 蒸汽-电力转换系统

蒸汽-电力转换系统接收来自核蒸汽供应系统的蒸汽，通过汽轮发电机组将热能转换为电能。本期工程采用三缸四排汽、半转速（1500r/min）汽轮发电机组。汽轮机采用单轴，三缸四排汽，单背压，凝汽式，汽水分离二级再热，额定功率 1200MW 级。发电机采用四极、三相、隐极式同步汽轮发电机，额定功率 1200MW 级。

蒸汽电力转换系统即二回路热力系统。主要包括，主蒸汽系统、汽水分离再热系统、凝结水系统、主给水系统、汽机旁路系统、汽机回热抽汽系统等。除蒸汽-电力转换系统外还有抽真空系统，循环水系统，辅机冷却系统，闭式水系统等。

常规岛主蒸汽及疏水系统的主要功能是将蒸汽发生器产生的蒸汽送到汽轮机主汽门发电，同时根据需要将主蒸汽送至汽机旁路系统，汽水分离再热器第二级再热用汽，汽轮机轴封蒸汽系统，低负荷运行时除氧器加热蒸汽，辅助蒸汽系统。

汽水分离再热器系统的主要功能是除去汽轮机高压缸排汽的水份，然后将其加热成过热蒸汽，再送入中压缸膨胀做功，同时收集其疏水分别送入高压加热器和除氧器，以提高循环效率及保护低压通流叶片。

凝结水系统是指从凝汽器的凝结水出口至除氧器的设备和管道组成的系统。为了保证系统安全可靠运行和提高循环热效率，在输送过程中，对凝结水进行除盐、加热和除氧。凝结水系统还向汽轮机旁路系统、汽轮机低压缸喷水系统、蒸汽发生器排污系统、蒸汽发生器辅助给水系统等提供低温凝结水，作为减温水或补充水。

主给水系统的主要功能是通过给水前置泵和主给水泵将除氧器水箱中经过除氧的低压给水压头升高，送经高压加热器，将品质合格的给水供应给核岛蒸汽发生器。

主给水系统的范围从给水泵出口至蒸汽发生器进口，分为核岛部分和常规岛部分，常规岛部分包括电动给水泵组、高压加热器、主给水调节阀和隔离阀及相关的连接管道等。

旁路系统的功能是在汽轮机起动、甩负荷、汽轮机跳闸和反应堆停堆等情况下，为核岛提供一个虚拟负荷，平衡反应堆与汽轮机之间的功率差，从而保证反应堆安全运行。该功能是通过主蒸汽经旁路系统直接排放至凝汽器实现的。

汽机回热抽汽系统是利用汽轮机的抽汽、轴封系统的余汽加热给水，从而提高汽机热力循环效率，并使进入除氧器的主凝结水、进入蒸汽发生器的给水达到预定的温度。部分

加热器还接收有关热力设备的疏水和排放蒸汽，起到回收热量的作用。华龙一号回热系统通常采用两高加、四低加、一除氧器的配置。

4.2.3.2 凝汽器

凝汽器为单背压、单流程的表面式热交换器。凝汽器的壳体布置在汽轮机厂房运转层的下方，每台凝汽器壳体喉部均安装有复合低压加热器。凝汽器装有用于热井水位控制和取样的管道。凝汽器冷却管采用钛管。热井底部设有凝结水出水装置，通过凝结水母管，然后进入凝结水泵。

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

凝汽器换热管采用钛管，每台凝汽器壳体内布置有两组钛管管束。蒸汽在凝汽器钛管管束附近冷凝成水，不凝结气体由凝汽器真空系统抽出。

凝汽器热井布置在管束的下方，设计有足够的空间，流经管束下部的部分蒸汽能进入该空间，回流加热管束底部的凝结水，从而减轻传热过程中出现的过冷现象。凝汽器热井装有液位计，在现场可观测到热井水位；在热井内装有液位控制器，用以将液位信号反馈到主控制室。

为保证凝汽器冷却管的表面清洁，达到设计的换热效果，每组管束配备一套胶球清洗装置，用以对冷却管内表面进行定期清洗。

常规岛热力系统及设备不产生放射性废物。

常规岛热力系统及设备运行及检修过程中产生热废水、非放射性含油废水。

热废水为常规岛管道、设备等放水，可能带放射性，排至汽机房非油污水池，经泵升压送至常规岛液态流出物排放厂房进行处理。

非放射性含油废水为汽机房检修、运行中产生的含油废水，排放至汽机房含油污水池，经泵升压送至含油生产废水油水分离池进行处理。

4.3 核电厂用水和散热系统

4.3.1 核电厂用水

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。

海水取自三门湾湾口北端海域，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。

最大用水量：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。

三门湾取水条件好、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

本工程的淡水用水主要包括施工期间的生产用水和人员生活用水，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。

本工程施工期间土建期施工生产用水最大日用水量为 2215 m³/d，施工人员生活用水最大日用水量为 770m³/d，施工现场降尘和洗车用水量为 230 m³/d。考虑管网漏损水量和未预见用水等，施工期间土建期最大日用水量约为 3900 m³/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和生产水系统。

饮用水系统主要提供运行期人员的生活用水和采用生活水水质的生产用水等。采用生活水水质的生产用水包括核岛、常规岛及厂区其他用户的生产用水，以及消防水池补水水源。

生产水系统主要作为轴封水的主水源和消防水池补水的备用水源。

绿化、浇洒、洗车等用水采用再生水供给。

考虑管网漏损水量和未预见用水等，本工程两台机组正常运行日用水量为 5285m³/d（按海淡一级产水计算），最大日用水量为 11035m³/d（按海淡一级产水计算）。根据《取水定额 第 46 部分：核电》（GB/T 18916.46-2019）中第 4.1.1 条，本工程通过海水淡化工艺制取淡水，按海水淡化厂供应一级淡水计算，本工程正常运行设计耗水指标为 0.025 m³/s·GW。

（2）供水水源

施工期间淡水用水由浙江象山县第二自来水有限公司供给，运行期间的生活用水和生产用水由海水淡化厂房产品水提供；绿化、浇洒、洗车等用水由再生水提供。

海水淡化厂房按照全厂 6 台机组共用设计，设计规模初步定为 $19000\text{m}^3/\text{d}$ ，一期工程的设计规模：2 台机组正常运行时，海水淡化厂房二级产水量约为 $4894\text{ m}^3/\text{d}$ ；1 台机组启动 1 台机组正常运行时，海水淡化厂房二级产水量约为 $10035\text{ m}^3/\text{d}$ ，可满足浙江金七门核电厂 1、2 号机组运行期两台机组生活用水和生产用水需求。

运行期道路浇洒、洗车用水日用水量约为 $420\text{ m}^3/\text{d}$ ，全部采用非放射性污水处理站产生的再生水供给。

综上所述，本工程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

浙江金七门核电厂一期工程 1、2 号机组海水取排水系统的功能主要是为常规岛循环冷却水系统和核岛重要厂用水系统提供冷却水，并将常规岛循环冷却水、核岛重要厂用水排水以及符合排放标准的液态放射性流出物混合后经排水隧洞和排水暗涵排入海域。金七门核电厂一期工程 1、2 号机组循环冷却水和重要厂用水均采用海水直流供水系统。

（1）取水构筑物

一期 2 台机组共用一座循环水取水泵房，循环水采用暗涵取水方式，与取水泵房连接结构段相接为两条单孔暗涵，向外延伸后合并为一条双孔取水暗涵。单孔取水暗涵长 468.6m ，双孔取水暗涵长 76.6m ，单孔尺度暂定为 $5.8\text{m}\times 5.8\text{m}$ ，多点式取水头部位位于水深 -11m 处，采用混凝土立管+钢结构进水窗的结构形式。

重要厂用水采用岸边取水方式，取水口布置于金七门水道东侧，直接面对深槽由深槽取水。在岸边设取水进水间，进水间设置粗格栅及抓斗式清污机、钢闸门等。一期 2 台机组共用一座重要厂用水泵房和一座进水间，进水间海侧每台机组设置 1 条内径 $2\text{m}\times 2\text{m}$ 的取水隧洞，每条取水隧洞长 56.5m ，取水口位于约 -10m 水深处。

（2）排水构筑物与排水口

一期排水工程采用排水隧洞+排水暗涵的方式，排水口位于厂区东侧约 -10m 水深处。穿越山体的排水隧洞和海域排水暗涵相接处设置闸门井。一期工程排水暗涵长约 977.4m ，采用双孔共壁的结构形式，单孔尺度暂定为 $6.0\text{m}\times 6.0\text{m}$ 。

4.4 输电系统

4.4.1 接入系统方案

浙江金七门核电厂厂址位于浙江省宁波市象山县鹤浦镇金七门村。浙江金七门核电厂项目规划容量为六台“华龙一号”百万千瓦级核电机组，厂区统一规划，分期建设。一期工程拟建设两台“华龙一号”百万千瓦级压水堆核电机组及其配套设施。

金七门本期初步考虑以下两类送出方案：

方案一：本期 2 台机组通过 500kV 接入电网，2 台机组通过 2 回 500kV 线路接入电网。

方案二：本期 2 台机组通过 1000kV 接入电网，2 台机组通过 1~2 回 1000 kV 线路接入电网。此方案下推荐通过 2 回 1000 kV 线路接入电网。

目前暂按方案一开展相关设计。具体接入方案以接入系统设计报告评审意见为准。

4.4.2 开关站主接线与布置

对于方案一，500kV 配电装置采用 3/2 断路器接线，采用 500kV 屋内式全封闭组合电器（GIS）设备，本期建设两个完整串，机组进线 2 回，500kV 出线 2 回。本期 500kV 开关站轴线尺寸约为 52m（长）x16m（宽）。

4.4.3 厂外辅助电源系统

核电厂需配置厂外辅助电源，厂外 220kV 辅助电源经厂用辅助变压器降至 10kV，作为核电厂厂用电的备用电源，在厂用主电源丧失时，厂外辅助电源为电站提供连续供电的 10kV 电源，通过 10kV 配电盘向常备、应急设施供电。

考虑到核电厂规模及可靠性要求，金七门核电项目远景共需 2 回独立的、引自不同电源点的 220kV 辅助电源线，一期工程需 1 回 220kV 辅助电源线。金七门核电以 1 回 220kV 辅助线接入湾山变，采用架空线路，线路自金七门核电向北出线后，4 条线路廊道平行走线，经樊岙乡南侧与 220kV 象山 1 号~湾山变线路平行走线，跨过乌岩港、箬渔洋后往东北走线接入 220kV 湾山变，线路全长约 35km。

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堆芯进行冷却的能力；
- 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；

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。

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来检查系统的水质。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：

——四台 50% 流量的电动泵(001PO、002PO、003PO、004PO)，它由应急电源(柴油发电机)供电。

每台电动泵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，且允许直接由常规岛除盐水分配系统（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铀沾污而直接进入主冷却剂。同时裂变产生的中子使反应堆冷却剂自身以及腐蚀产物、控制棒、硼酸和其它材料受到激活而产生中子活化及活化腐蚀产物。这些裂变产物和活化及活化腐蚀产物是主冷却剂系统及相关放射性系统的主要放射性来源。

4.6.2 放射性废液处理系统及源项

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

- 硼回收系统（ZBR），
- 废液处理系统（ZLT），
- 核岛液态流出物排放系统（ZLD），
- 放射性废水回收系统（WSR），
- 核岛疏水排气系统（RVD）。

其它已被污染或可能被污染的废液由下列系统收集、处理或排放：

- 化学和容积控制系统（RCV），

- 反应堆换料水池及乏燃料水池冷却和处理系统（RFT），
- 蒸汽发生器排污系统（TTB），
- 常规岛液态流出物排放系统（WQB）。

4.6.2.1 硼回收系统（ZBR）

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

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

（1）设计基准

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

本系统设计成能处理反应堆在基本负荷运行、负荷跟踪运行（12-3-6-3，50%满功率）、及各种运行瞬态时排放的含氢反应堆冷却剂。

本系统的前贮槽和净化部分可接收和处理来自 RCV 系统的最大下泄流（31.4m³/h）。

中间贮槽的容积可以满足本系统前、后两部分独立运行，从而不影响反应堆的运行状态。中间贮槽共三个，每个贮槽的有效容积为 350m³。

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

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

本系统蒸发部分将除气后的反应堆冷却剂分离为冷凝液和浓缩液，处理能力为 3.5m³/h。冷凝液含硼量低于 5ppm，经冷却后通常可作为反应堆补给水复用。当一回路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）、阳床除盐器（001DE）、混床除盐器（003DE）、树脂滞留过滤器（003FI）净化后，进入除气塔（001DZ）进行脱气。去除了裂变气体、氢气和氮气的反应堆冷却剂由除气塔疏水泵（003PO，004PO）输送，经再生热交换器（001EX）与除气塔液体冷却器（001RF）冷却后进入中间贮槽（002BA、003BA 或 004BA）暂时贮存。

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

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

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

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

ZBR 系统的设备全部安装在核辅助厂房内。

（3）系统运行

1) 正常运行

前贮槽、除盐器和除气塔的操作都是自动连续进行的。蒸发和除硼操作是由操作人员按需要间歇进行的。

每个前贮槽在使用前，首先用氮气吹扫以降低气相中氧气的浓度。然后，再用 RBM 系统的除盐水从前贮槽开始，逐渐往后充填过滤器、除盐器，直至检查液体中氧的含量低于 0.1ppm （ $100\mu\text{g/L}$ ）时才算合格。

前贮槽 001BA（008BA）覆盖着一定数量的氮气。在正常操作状况下，不排出气体，气体覆盖层压力随液位变化而变化，通常在 0.12 至 0.32MPa （绝压）之间变化。前贮槽除

了有压力与液位检测报警外，槽顶气相与槽底液相管路上均设有安全阀可以保护贮槽。

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

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

当一个中间贮槽被注满时，则手动关闭该槽的进料阀，打开另一个中间贮槽的进料阀。

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

蒸发器手动启动，操作稳定后，改为自动运行。

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

在冷凝液监测槽中的冷凝液通过取样分析后有以下几种出路：

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

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

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

— 为了维持反应堆冷却剂中合适的氘浓度，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（ZLT）工艺排水缓冲槽待处理；

2) 特殊运行

— 在打开反应堆压力容器前，利用除气塔对反应堆冷却剂进行除气。

当 RHR 系统运行时，将 RCV 系统容控箱 RCV002BA 的进料液转送到本系统的前贮

槽，经本系统的净化部分处理后，再送回到容控箱 RCV002BA。

这个工艺过程除了能减少反应堆开盖前的操作时间以外还可以增加净化效率。

— 用蒸发器对除盐水分系统（WND）的除盐水除氧。

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

— 对氧含量高的 RBM 系统补给水除氧。

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

4.6.2.2 废液处理系统（ZLT）

废液处理系统收集、贮存和监测核电厂正常运行工况产生的含有放射性的废液，根据要求对各类废液进行处理。处理过的废液经监测合格后，通过核岛液态流出物排放系统（ZLD）向环境排放。

（1）设计基准

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

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

（2）系统描述

放射性废液根据放射性浓度和化学成分由 RVD 系统分类收集。然后，送至 ZLT 系统贮槽分别贮存。按照废液的特性分别采用下述方法进行处理。

— 地面排水、服务排水放射性浓度低，悬浮固体含量高，用过滤方法处理，处理能力为 $27.2\text{m}^3/\text{h}$ 。地面排水量约为 $5000\text{m}^3/\text{a}$ ，服务排水量约为 $1250\text{m}^3/\text{a}$ 。

— 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 $8\text{m}^3/\text{h}$ ，去污因子为 $10000\sim 100000$ 。工艺排水量约为 $2250\text{m}^3/\text{a}$ 。

— 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 3.5t/h ，去污因子为 1000，处理废液量约为 $1500\text{m}^3/\text{a}$ 。

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 $3 \times 50 \text{m}^3$ ，化学排水接收槽的容积为 $3 \times 50 \text{m}^3$ ，工艺排水接收槽的容积为 $2 \times 50 \text{m}^3$ ，工艺排水缓冲槽 $1 \times 20 \text{m}^3$ （单机组分别布置），化学排水缓冲槽 $1 \times 20 \text{m}^3$ （单机组分别布置），监测槽的容积为 $2 \times 50 \text{m}^3$ 。

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。
 - 一套化学试剂注入装置，本装置用于连续注入化学试剂，以破坏较难去除胶体的稳定性，从而有利于下游的深床过滤器将这些杂质有效地去除。根据在线监测器取样结果调节化学试剂的注入量。
 - 一台活性炭过滤器 ZLT001DE，经上游注入絮凝剂后，通过 001DE 去除废液中的悬浮物、胶体和部分离子。
 - 四台串联的除盐器 ZLT002/003/004/005DE。
 - 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、取样分析和化学调节。
- 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，操作人员可在工作站监测系统的运行。

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

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

— 蒸发净化单元由手动启动，运行稳定后，即进入自动控制状态。

— 除盐器是手动启动的，运行稳定后，即进入自动控制状态。

4.6.2.3 核岛液态流出物排放系统（ZLD）

(1) 设计基准

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

①放射性液态流出物

— 硼回收系统（ZBR）：蒸发器产生的冷凝液。

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

— 放射性废水回收系统（WSR）。

— 核岛疏水排气系统（RVD）排水。

— 核岛液态流出物排放系统（ZLD）地坑疏排水。

— 固体废物处理系统（ZST）的疏水。

②常规废水

— 蒸汽发生器排污系统（TTB）蒸汽发生器排污液。

2）当因环境稀释能力不足而要求延迟排放、或当取样分析或辐射监测系统（IRM）监测到液态流出物放射性浓度超过规定排放限值时，可暂存液态流出物。

3）将超过排放限值的放射性液态流出物送往废液处理系统（ZLT）处理。

（2）系统描述

ZLD 系统设置三个 500m³ 的废液排放槽 ZLD001/002/003BA，排放槽置于滞留池内，滞留池的容量大于三个排放槽同时破裂溢出的全部流出物量。三个排放槽中一个用于接收液态流出物，一个用于液态流出物的混匀、取样分析和监测排放，另一个用于备用。

每个排放槽配有一台排放泵 ZLD001/002 /003PO，用于在取样、分析之前搅拌槽内液态流出物并排放或将液态流出物送往废液处理系统（ZLT）重新处理。

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

三个排放槽有一根共用的排放管线及一根通往 ZLT 系统的管线。在排放管线上安装有一台辐射监测仪（IRM901MA）和受 IRM 控制的自动隔离阀、一个手动隔离阀、一个流量调节阀、一个止回阀及一个累计流量计。

贮槽的材料为碳钢内外涂涂料，其余设备的材料均为不锈钢。

排放管线及管线上设备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

本系统有选择地收集下列场所产生的放射性废液或可能带放射性的废液：

- 核岛厂房内卫生出入口产生的放射性废液，
- 核岛辅助设施（BOP）的放射性机修及去污车间（QC 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）的厂区实验楼（QL 厂房）产生的废液，
- 核岛辅助设施（BOP）的废物处理中心（QS 厂房）产生的放射性废液和热洗衣房洗衣废液

收集的废液经贮存和取样分析后，废液被送往 ZLT 系统或 ZLD 系统。

（2）系统描述

WSR 系统收集下列系统及场所的废液：

UR 厂房热淋浴间和热更衣间的地面排水靠重力收集于废水贮槽 1/2WSR001/002BA 中。1/2WSR001/002BA 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 1/2WSR001/002PO 送往 ZLD 系统排放。

废水贮槽 1/2WSR001/002BA 房间内的地坑 1/2WSR003PS 收集的废液由地坑泵 1/2WSR008PO 送往 1/2WSR001/002BA。

WSR 系统 BOP 部分为全厂共用，收集下列系统及场所的废液：

1) 放射性机修车间及去污车间排放废液

放射性机修及去污车间排放的化学去污废液靠重力流入化学去污水疏水箱 0WSR202BA，经过混匀和取样分析后，由化学去污水排水泵 0WSR202PO 将废液送到放射性废液处理系统。

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 0WSR201BA，经过混匀和取样分析后，由机械去污水排水泵 0WSR201PO 将废液送到监

测排放槽或放射性废液处理系统。

2) 厂区实验楼排放废液

厂区实验楼废液收集在位于 QL 厂房底层的疏水箱 0WSR203BA 中,其有效容积为 2m³。排水泵 0WSR203PO 与疏水箱 0WSR203BA 之间的循环管路使箱内废液混匀,以便取样分析。

位于 0WSR203BA 设备间的地坑收集设备的疏水和清洗水等,并用一台地坑泵 0WSR302PO 将收集的废液送往疏水箱 0WSR203BA,必要时,直接通过管道送往核岛内的废液处理系统。

3) 废物处理中心排放废液

服务排水

热洗衣房和热更衣室产生的服务排水依靠重力收集在 0WSR003/004BA/005BA 中。

在经过过滤器的粗过滤后,从洗衣机来的洗衣废水通过重力输送到 0WSR003BA/004BA/005BA 中,依据取样分析结果,如果需要处理,将其送到 QF 厂房废液处理系统(ZLT)进行蒸发或过滤处理;如果放射性水平低于排放限值,则直接送到核岛液态流出物排放系统(ZLD)排放。

地面疏水

热更衣室的地面疏水收集在 0WSR608PS 中,然后由地坑泵 0WSR608PO 将这些废液送到贮槽 0WSR003/004/005BA 内。

超压机房间的地面疏水收集在 0WSR609PS 中,然后由地坑泵 0WSR609PO 将这些废液送到贮槽 0WSR003/004/005BA 内。

(3) 系统运行

— 核岛部分

当废水贮槽 1/2WSR001/002BA 的液位达到高液位时,泵 1/2WSR001/002PO 自动启动。当槽中液位达到低液位时,泵 1/2WSR001/002PO 自动停运。每个贮槽均可就地取样,以测量废液的放射性浓度。

— BOP 部分

1) 放射性机修及去污车间排放的化学去污废液

化学去污水疏水箱 0WSR202BA 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,将废液送到放射性废液处理系统。。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 0WSR201BA 高液位报警信号通知操作人员水箱已充满。操作人员可进行必要的处理，根据取样分析结果，将废液送到监测排放槽或放射性废液处理系统。。出现低液位信号时，自动停泵。

3) 厂区实验楼排放废液

厂区实验楼疏水箱 0WSR203BA 高液位报警信号通知运行人员水箱已充满，疏水箱可自动排水，也可根据运行人员要求进行排水，将废液送往 ZLT 系统的地面排水槽。出现低液位信号时，自动停泵。

4) 废物处理中心排放废液

废物处理中心贮槽 0WSR003/004/005BA 达到高液位时，泵 0WSR003/004/005PO 自动启动。当槽中液位达到低液位时，泵 0WSR003/004/005PO 自动停运。泵出口和贮槽之间的管线能使废水可以通过泵混和均匀，以便在排放前进行取样。贮槽可就地取样以检验废水的放射性水平。

4.6.2.5 核岛疏水排气系统（RVD）

核岛疏水排气系统（RVD）除核废物厂房（QF 厂房）部分为两机组公用外，系统的其他部分均为单堆布置。

本系统收集核岛内产生的所有放射性废液和废气，它们来自：

- 机组正常运行；
- 换料停堆、维修停堆各阶段及随后的启动；
- 设备维修及维修前设备排水；
- 正常泄漏和事故泄漏；
- 各种瞬态。

根据废物的特性（可复用或不可复用的废液、含氢或含氧废气）以及收集后的处理方式，这些废物将分别由各自的管网输送到核辅助厂房的硼回收系统（ZBR）、废液处理系统（ZLT）和废气处理系统（ZGT）。在反应堆发生事故以后，将较高放射性废液再注入反应堆厂房。RVD 系统不直接履行安全功能（安全壳贯穿件除外）。但它起到限制放射性废物释放到环境中去的作用。

（1）设计基准

根据所收集的放射性物质的种类不同，RVD 系统分为六个独立的子系统：反应堆冷却剂疏水子系统、工艺疏水子系统、地面疏水子系统、化学疏水子系统、含氢废气子系统、

含氧废气子系统。

RVD 系统采用的设计基准如下：

— 从与安全有关设备间来的废水，要防止由于疏水管线回流而造成与安全有关设备的淹没；

— 贯穿安全壳的疏水管线设置隔离阀；

— 非放射性疏水管道的设计和布置应保证不会掺入放射性污染的物质；

— 地坑泵有足够的容量，以防止在正常预期疏水期间地坑溢流；

— 采取预防措施在反应堆发生事故后使高放废液再注入反应堆厂房。

（2）系统描述

1) 反应堆冷却剂疏水子系统

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

2) 工艺疏水子系统

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

— 送至核辅助厂房工艺疏水坑（RVD002PS），再用泵输送到 ZLT 系统；

— 由 ZLT 系统直接收集；

— 在事故工况时，一旦接收到高放射性信号，即将收集在核辅助厂房工艺疏水坑（RVD002PS）和安全厂房工艺疏水坑（RVD008PS、009PS、012PS、013PS、508PS、509PS、512PS、513PS）的较高放射性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、核废物厂房的地面疏水。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），再用泵输送至 ZLT 系统；

— 废水排至各自厂房的地面疏水坑中，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）的较高放射性废液再注入反应堆厂房。

4) 化学疏水子系统

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

除核废物厂房的化学疏水被直接送到 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，泵进口及出口管道上安装的所有的阀门在正常运行时是常开的。

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。

在反应堆厂房位置低于工艺疏水管安全壳贯穿件的系统和设备，工艺疏水收集到工艺疏水箱（RVD003BA）和工艺疏水坑（RVD081PS），再用泵（RVD014/803/804PO）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。

— 收集在核废物厂房工艺疏水坑（RVD502PS），再用泵（RVD523PO）输送到 ZLT

系统工艺排水接收槽。

— 收集在燃料厂房工艺疏水坑（RVD016PS），再用泵（RVD036PO）输送至核辅助厂房工艺疏水坑（RVD002PS）。

— 收集在安全厂房工艺疏水坑（RVD014/514PS）中，再用泵（RVD010/510PO）输送至 ZLT 系统工艺排水接收槽。

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，或直接收集到 ZLT 化学排水缓冲接收槽中。蒸汽发生器排污系统（TTB）取样排水和管道疏水通过重力收集管网收集在 RVD 004PS。在凝汽器再循环之前，这些废水由 RVD 029PO 输送至 TTB 系统处理。

核废物厂房化学疏水收集在核废物厂房化学疏水坑（RVD 503PS）中，再由泵输送到 ZLT 系统化学排水接收槽。

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。

反应堆厂房地面疏水由重力收集到安全壳疏水坑（RVD011/031//041PS），疏水坑装有多多个水位探测器，根据预先设定的高高和低低液位整定值来分别控制泵的启动和关闭（1/2 逻辑）。这些疏水由泵将其送至核辅助厂房地面疏水坑（RVD001PS）。RVD 系统安全壳疏水坑可用于主管道及主蒸汽管道破前泄漏探测，泄漏监测仪表为抗震 1 类。

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。

位于反应堆堆腔和安全壳疏水坑（RVD031PS）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。

燃料厂房中的地面疏水通过重力收集到厂房的疏水坑，再用泵送核辅助厂房地面疏水坑（RVD 001PS）。

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。

核废物厂房地面疏水收集在核废物厂房地面疏水坑（RVD 501PS）中，再由泵将疏水

坑中的废液输送到ZLT系统地面排水接收槽。

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。

在正常运行时，稳压器卸压箱（RCS 002BA）和反应堆冷却剂疏水箱（RVD 001BA）都用氮气覆盖。在异常情况下，经氮气吹扫后，废气可通过 RCS 650VY 排至含氧废气疏水罐。

RVD 001VY 将 RVD 001BA 的气空间与含氢废气总管分隔开。含氢废气总管与 ZGT 001BA 相连。

6) 含氧废气子系统

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

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

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

4.6.2.6 化学和容积控制系统（RCV）

（1）设计基准

化学和容积控制系统（RCV）为反应堆冷却剂系统（RCS）提供以下服务：

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

— 反应堆冷却剂泵密封水注入。

RCV 系统还提供以下服务：

- 为稳压器提供辅助喷淋；
- 稳压器满水时控制 RCS 压力；
- 为余热排出系统（RHR）的投运作准备；

（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，下泄流流过下泄孔板进行降压，再流过下泄热交换器的管侧，其温度进一步降低。在下泄热交换器的下游，通过低压下泄阀使下泄流的压力进一步降低。低压下泄流量调节阀的功能是保持其上游的压力，以防在下泄孔板的下游发生闪蒸。

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

下泄流流过反应堆冷却剂的过滤器并从容积控制箱顶部的一条喷淋接管进入容积控制箱。氢气连续不断地供给容积控制箱，以扫除容控箱气相空间的裂变气体和控制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、燃耗和氡毒变化所引起的反应性的慢变化。

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

控制反应堆冷却剂的 pH 值、氧含量和其它溶解气体的浓度。

（3）系统运行

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

在正常运行期间，通过上充、下泄维持主回路化学容积条件。

在停堆过程中，在堆芯冷却期间，由于冷却剂的收缩要求增加上充流量进行补偿。同期，将硼浓度提高到冷停堆的数值。在达到冷停堆状态之前，如果必须打开反应堆压力容器，则通过用氮气置换容积控制箱中的氢气使反应堆冷却剂的氢含量降到 5mL/kg 以下，定期将容积控制箱的气体排到废气处理系统，释放出溶解的氢气。在电厂停堆时，如果要进行换料或维修操作，可利用化容系统的除盐装置净化放射性离子并采用扫气去除裂变气体，从而降低反应堆冷却剂的放射性水平。

4.6.2.7 反应堆换料水池及乏燃料水池冷却和处理系统（RFT）

（1）设计基准

反应堆换料水池及乏燃料水池冷却和处理系统按下列准则进行设计。

反应堆换料水池及乏燃料水池冷却和处理系统的冷却回路要满足单一故障准则的要求。冷却水泵由柴油发电机供给应急电源。

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 $100\text{m}^3/\text{h}$ ，过滤器的过滤粒度为 $5\mu\text{m}$ 。

(2) 系统描述

1) 服务于乏燃料水池的设施

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

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

— 过滤和除盐回路

— 表面撇沫和过滤回路

— 充水回路

2) 服务于反应堆换料水池的设施

反应堆换料水池分成两个隔离室：反应堆换料水池和堆内构件存放区。

— 过滤回路

— 反应堆换料水池充水和排水

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

反应堆换料水池排水采用重力排水，直接排入内置换料水箱的方式，排水过程可根据池壁喷淋清洗的要求随时终止，并在池壁喷淋清洗之后恢复。反应堆换料水池排空后，必须将水池排水管上的隔离阀切换至开启。

(3) 系统运行

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

系统正常运行：

— 乏燃料水池冷却、过滤和除盐回路

从乏燃料组件贮存在乏燃料水池起，冷却回路开始连续运行，水池的水温不高于 50°C 。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 $450\text{m}^3/\text{h}$ ，由流量计监测。

水泵的工作流量为 $510\text{m}^3/\text{h}$ ，其中 $60\text{m}^3/\text{h}$ 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 $60\text{m}^3/\text{h}$ 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°C 。当温度高于 60°C 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 $5\text{m}^3/\text{h}$ 。

— 反应堆换料水池和附属回路

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

当反应堆压力容器封头打开，反应堆换料水池充水后，过滤回路投入连续运行，过滤水量为 $100\text{m}^3/\text{h}$ ，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°C 。

4.6.2.8 蒸汽发生器排污系统（TTB）

（1）设计基准

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

2) 经排污系统处理后的排污水质指标应与二回路系统补给水的指标一致。

（2）系统描述

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

每台蒸汽发生器的排污水是靠两个径向对称的支管段在管板上收集的，并在其中的一根支管上设置一根取样接管，供取样分析用。两根支管在安全壳内合并后穿过安全壳。在安全壳外的排污管上设置了一根供蒸汽发生器保养用的氮气接管，并在每一根排污管上安装了两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 $10\sim 76.5\text{t/h}$ 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（低于 56°C）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 的过滤器处理，再通过气动阀前往常规岛除盐装置进行净化处理。当常规岛除盐装置不可用或辐射监测装置发出报警后，另一个气动阀打开，原先气动阀关闭隔离，排污水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，而排往液态流出物排放系统。

在特殊情况下，也允许排污水不经处理直接排放。有以下两种特殊情况：

- 处理设施失效；
- 凝汽器失效且排污水只有轻微放射性。

在处理设施失效的情况下，排污水要进行连续的放射性监测，然后再送到液态流出物排放系统。

（3）系统运行

1) 正常运行

正常运行工况下，蒸汽发生器二次侧的排污是连续的，排污水经过再生热交换器冷却后，经过减压、除盐处理后进入冷凝器。排污流量控制在 10~76.5t/h 之间。排污水通过一个系列的常规岛除盐装置进行净化处理。只有当常规岛除盐装置不可用或辐射监测装置发出报警后，排污水由两条并联的除盐管线处理，且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 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。

现实工况下一台机组除氚、C-14 外其他核素的排放量为 1.06E+00GBq/a，液态氚为 38.6TBq/a，液态 C-14 为 10GBq/a；保守工况下一台机组除氚、C-14 外其他核素的排放量为 7.13E+00GBq/a，液态氚为 43.6TBq/a，液态 C-14 为 26.8GBq/a。

核岛及 BOP 的年排放量为 32200m³，常规岛的年排放量为 245900m³。现实工况，核岛及 BOP 液态流出物排放浓度为 6.55E+01Bq/L，常规岛液态流出物排放浓度为 2.05E-02Bq/L；保守工况，核岛及 BOP 液态流出物排放浓度为 4.01E+02Bq/L，常规岛液态流出物排放浓度为 5.41E+00Bq/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。

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氧放射性废气两大类。

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

ZGT 系统不直接履行安全功能。但由于 ZGT 系统处理的废气带有放射性，尤其是含氢放射性废气，除辐照危害外并存在爆炸和引起火灾的危险性，故在进行 ZGT 系统的设计时，考虑了防止该气体向环境泄漏、安全防火、防爆和通风排气等问题，并将放射性气体进行贮存衰变，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《核动力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，并且满足了中国核电工程有限公司

国家标准 GB/T22158-2021《核电厂防火设计规范》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 $2 \times 100\%$ ；含氧废气子系统的电加热器、碘过滤器和风机的容量为 $2 \times 100\%$ 。

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

— ZGT 系统通过调整衰变箱排气速率、安装氢气和氧气分析仪防范系统内潜在的氢氧混合爆炸危险。整个含氢废气子系统都保持正压，并且整个子系统和每个主要设备都有严格的密封措施，以防止空气渗入形成爆炸性的混合气体。

— ZGT 系统为单机组设置。主要设备位于 NH 厂房内。

（3）系统组成

ZGT 系统由含氢废气子系统和含氧废气子系统两个独立的子系统组成。

1) 含氢废气子系统

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

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）稀释后排向烟囱。

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。

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）稀释后排向烟囱（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 5.2~112.5 个小时内以预定的流量排放到 NH 厂房 VNA 系统的碘吸附器入口管线上。排放总管上安装了测量废气排放流量和累积流量的流量计。

在衰变箱排放总管上还设有在线辐射监测仪表，当废气放射性活度浓度超过排放阈值时，发出报警信号，并连锁关闭排放阀 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碳的活性。

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

4.6.3.2 核岛厂房通风系统（HVAC）

（1）设计目的

通风系统对每个厂房进行采暖、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）

·安全壳环形空间通风系统（CAV）

— 安全厂房

·安全厂房控制区通风系统（VMO）

— 核燃料厂房

·核燃料厂房通风系统（VFL）

— 核辅助厂房

·核辅助厂房通风系统（VNA）

— 核废物厂房

·核废物厂房通风系统（VRW）

— 附属厂房

·卫生出入口通风系统（WCV）

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：

— 蓄电池房间在事故工况下每小时换气次数为 12 次。

（2）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空气粒子过滤器（或 HEPA 过滤器）上游，用来收集气流中粗颗粒灰尘，以提高高效空气粒子过滤器的使用寿命，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%。

·高效空气粒子过滤器（HEPA）

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

过滤器由标准尺寸的单元构成，其滤芯是一次性的。除非另有说明，过滤器滤芯采用玻璃纤维纸材料。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。厂房通风系统的送、排风量见附表 4.6-18。

（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。

CCV 系统所考虑热负荷主要来自反应堆厂房内的设备（包括堆坑和控制棒驱动机构区域）。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 系统吸入安全壳内的部分空气，经预过滤器、高效空气粒子过滤器（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，CUP 系统设置有预过滤器。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环形区的两台循环风机组成。

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；
- 预过滤器；
- 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 系统包含以下三个子系统：

- 小扫气子系统是直流系统，在反应堆正常运行期间，它确保安全壳大气的净化，使排风经过高效空气粒子过滤器（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，使用压缩空气生产系统（WAS）或外接空压机给安全壳加压。

— 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温度。

— 减少反应堆厂房中裂变气体产物的浓度，以便在冷停堆期间尽可能快地允许工作人员持续进入。

— 机组停运期间，维持疏水含氧废气罐（RVD 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，设置了两个系列的事事故排风子系统（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；

— 两个事故排风子系统。

CAV 包括以下两个子系统：

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

2) 两个事故排风子系统的组成均包括：

— 一台电加热器；

— 一台预过滤器（过滤效率：85%）；

— 一台高效空气粒子过滤器（净化系数>3000）；

- 一台碘吸附器（净化系数（对分子碘） >5000 ）；
- 一台 100%容量并联的排风机，并配有止回阀。

f) 安全厂房控制区通风系统（VMO）

在正常运行期间，VMO 系统为直流式通风系统，对安全厂房控制区进行通风。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：

— 正常运行工况下，保证安全厂房控制区房间内的设备正常工作和运行人员进入所需的环境温度；

— 在设备维修和定期试验时维持适当的环境条件，允许人员进入电机房进行维修；

— 在应急硼注泵运行时，启动循环冷却机组保持应急硼注泵间正常温度条件；

— 在堆腔注水冷却泵运行时，启动循环冷却机组保持堆腔注水冷却泵的电机房正常温度条件，失电时，一列由接 WSC 系统的循环冷却机组保持堆腔注水冷却泵的电机房正常温度条件，另一列由直接蒸发式冷却机组保持堆腔注水冷却泵的电机房正常温度条件；

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

VMO 系统由主控制室远距离控制。

VMO 系统的正常通风子系统组成如下：

— 两台并联连接的 100%容量的空气处理机组（过滤器、冷却盘管、加热器、送风机），配有止回阀；

— 一台排风过滤机组包括：预过滤器（过滤效率：85%）、高效空气粒子过滤器（净化系数 >3000 ）；

— 三台循环冷却机组（冷却盘管、送风机）；

— 两台并联连接的 100%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；

— 排风过滤机组包括：高效空气粒子过滤器（净化系数 >3000 ）、碘过滤器（净化系数（对分子碘） >5000 ）；

- 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 RHR 泵及 CAM 贯穿件房间的通风相连接。

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：

- 预过滤器（过滤效率：85%）；
- 高效空气粒子过滤器（净化系数 >3000 ）；
- 平衡阀；
- 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。

h) 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。
- 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、电气柜房间循环冷却机组、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 正常送风机组

正常送风机组由以下部件组成：

— 四台 50%冗余配置的空调机组，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（其效率至少为 95%）

— 一台冷却盘管

— 一台风机

— 一止回阀；

— 一台加热盘管，服务于 CSV 系统，由 WHD 系统提供热水；

— 一加配有平衡阀、隔离阀和防火阀的送风管道；

② 电气柜房间循环冷却机组

循环冷却空调机组，包括：

— 一台预过滤器（过滤效率：85%）

— 一台风机

— 一台冷却盘管，由 WSC 系统提供冷水

— 一带有平衡阀和防火阀的通风管道。

③ 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；

— 一台过滤器箱体，每台过滤器箱体包括：

— 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 ）；

— 一台碘吸附器（净化系数 >5000 ）；

— 一台配有止回阀的风机；

— 带有平衡阀、隔离阀和防火阀的排风管道。

当排除不含碘的气体时，可由旁通管跨越碘吸附器运行。

④ 正常排风机组

正常排风机组由以下部件组成：

- 四台并联的过滤器箱体,每台过滤器箱体包括:
 - 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 ）；
- 四台 50%冗余设置的风机，并联连接，并配置止回阀（两用两备）；
- 配有平衡阀、隔离阀和防火阀的排风管道。

⑤ 排风烟囱

排风烟囱固定在反应堆厂房上，烟囱的顶标高为 75.1m，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。

⑥ 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。

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；

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、碘排风子系统组成。

① 正常送风子系统

正常送风子系统由 2 台 100%容量空调机组（一用一备）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%）；
- 一台高效空气粒子过滤器（净化系数 >3000 ）；
- 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 2 台 100%容量空调机组（一用一备）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。

j) 卫生出入口通风系统（WCV）

本系统为卫生出入口采暖通风与空调，为运行人员及维修人员提供进出通道。该系统三个独立的子系统：

- 冷区通风子系统
- 热区通风子系统
- 制冷机房通风子系统

本系统的主要功能如下：

——保证附属厂房运行服务人员及维修人员进入所需的环境温度和房间内的设备正常工作；

- 为房间提供适当的换气次数；
- 发生制冷剂泄漏事故时，保证 WNC 制冷机房的排风。

冷区通风子系统采用一次回风的方式连续运行，包括主通风管路、回风管路和排风管路。

主通风管路包括下列主要设备和阀门，包括：

- 一台 100% 风量的空调机组，包括：
 - 一台预过滤器；
 - 一台高效过滤器；
 - 一台加热器；
 - 一台冷却盘管；
 - 一台送风机及相应阀门；

回风管路包括：

- 一台回风机及相应阀门；

排风管路包括：

- 一台直排风机及相应阀门；

热区通风子系统采用直流式全新风系统，该子系统包括：

- 一台 100%风量的送风空调机组，包括：

一台预过滤器；

一台高效过滤器；

一台加热器；

一台冷却盘管；

一台送风机及相应阀门；

- 一台过滤器箱体包括：

一台预过滤器；

一台高效空气粒子过滤器；

- 一台排风机及相应阀门；

热区通风子系统是直流式通风系统，从附属厂房排出的空气排至烟囱后向大气排放。

制冷机房通风子系统为循环冷却系统，设置一台循环冷却机组，循环冷却机组的主要作用为：当 WNC 制冷机组工作时，维持房间一定温度。

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。

现实工况下一台机组的惰性气体排放量为 $9.76\text{E}+02\text{GBq/a}$ ，气载碘的排放量为

中国核电工程有限公司

1.13E-02GBq/a，气载粒子的排放量为 4.68E-02GBq/a，气态氚的排放量为 4.29E+03GBq/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 5.85E+04GBq/a，气载碘的排放量为 5.82E-01GBq/a，气载粒子的排放量为 9.36E-02GBq/a，气态氚的排放量为 4.84E+03GBq/a，气态 C-14 的排放量为 365GBq/a。

4.6.4 放射性固体废物管理

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

4.6.4.1 固体废物处理系统

4.6.4.1.1 系统功能

华龙一号固体废物处理系统（ZST）的主要功能是收集、贮存、处理和整备本项目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；
- 废活性炭；
- 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（ZLT）。

废活性炭产生自 ZLT 系统工艺废液处理的活性炭床。

浓缩液来自 ZLT 系统的蒸发器。

废过滤器芯来自 RCV、ZBR、RFT、ZLT 和 TTB 系统的水过滤器。

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

4.6.4.1.2 设计基准

经固体废物处理系统收集、贮存、处理和整备本项目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。

本系统设计所采用的主要标准规范：

- 《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》 GB 9132-2018
- 《放射性物品安全运输规程》 GB 11806-2019
- 《低、中水平放射性固体废物包安全标准》 GB 12711-2018
- 《低、中水平放射性固体废物容器-钢桶》 EJ 1042-2014
- 《低、中水平放射性固体废物高完整性容器——混凝土容器》 GB 36900.2-2018

4.6.4.1.3 系统描述

（1）固体废物处理系统组成

本工程的华龙一号机组 ZST 系统由核辅助厂房（NH）内部分、核废物厂房（QF）内部分、废物处理中心（QS）、放射性固体废物暂存库（QT）组成。根据不同类型废物的性质分别对其进行处理。

（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。

ZLT 系统产生的浓缩液收集在 QF 厂房的浓缩液贮槽中，需要处理时分批注入桶内干燥器的 200L 钢桶烘干，经封盖和剂量检测后通过屏蔽运输车转运至固体废物暂存库（QT）装入混凝土高完整性容器（HIC）暂存。

NH 厂房产生的废树脂收集在废树脂贮槽中，然后通过废树脂屏蔽运输槽车转运至 QF 厂房进行处理；QF 厂房产生的废树脂和废活性炭收集在 QF 厂房的废树脂贮槽中，用锥形干燥器烘干后，装入 200L 钢桶，经封盖和剂量检测后，送至 QT 装入 HIC 进行暂存。

正常情况下 TTB 系统不产生放射性废树脂，或产生的废树脂仅受轻微放射性污染，在华龙一号机组的 NH 厂房直接装入贮存容器。然后，送到废物处理中心的 TTB 清洁解控区进行贮存衰变，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，然后送到核废物厂房（QF）进行烘干处理，烘干后，装入 200L 钢桶，经封盖和剂量检测后，送至 QT 装入 HIC 进行暂存。

将 NH 和 QF 厂房产生的废过滤器芯用屏蔽运输车转运至废物处理中心。在废物处理中心将装有废过滤器芯的 200L 钢桶开盖并进行水泥固定，经封盖和剂量检测后送至 QT 暂存。

通风系统的废过滤器芯一般仅受轻微放射性污染，送到放射性固体废物暂存库进行贮存衰变，等待清洁解控。

杂项干废物用专用运输车运送到废物处理中心，在分拣箱分拣成可压实干废物、需要烘干的潮湿干废物和不可压实废物进行处理：杂项干废物→分拣→烘干（必要时）→剪切（必要时）→初级压实→超级压实→水泥固定→200L 钢桶封盖→表面剂量率和表面污染检测→送固体废物暂存库暂存。

（3）固体废物暂存库

放射性固体废物暂存库用于暂存 6 台华龙机组五年产生并经处理整备后的放射性固体废物包，并作为轻微污染大尺寸低放废物、通风过滤器芯的临时贮存场所。

固体废物暂存库分为灌浆区、贮存区、人员工作区和辅助设施区四部分。

废物暂存库贮存区域包括 HIC 废物包贮存室、HIC 废物包贮存区、200L 废物桶贮存室、200L 废物桶贮存区、轻微污染设备贮存区。

表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ 的 200L 钢桶和 HIC 废物包分别贮存在 200L 废物桶贮存室和 HIC 废物包贮存室；表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 的 200L 钢桶和 HIC 废物包分别贮存在 200L 废物桶贮存区和 HIC 废物包贮存区。贮存室由混凝土墙分隔的贮存单元组成。轻微污染废物贮存轻微污染的大尺寸废物和通风过滤器芯。

贮存的放射性废物贮存一定年限后，转运到放射性固体废物处置场进行处置。

4.6.4.1.4 系统运行

（1）浓缩液的处理

浓缩液收集于 QF 厂房的浓缩液贮槽内，需要处理时分批注入桶内干燥器的 200L 钢桶烘干，经封盖和剂量检测后通过屏蔽运输车转运至放射性固体废物暂存库装入 HIC 暂存。

（2）废树脂和废活性炭的处理

NH 厂房产生的废树脂收集在废树脂贮槽中，然后通过废树脂屏蔽运输槽车转运至 QF 厂房进行处理；QF 厂房产生的废树脂和废活性炭收集在 QF 厂房的废树脂贮槽中，用锥形干燥器烘干后，装入 200L 钢桶，经封盖和剂量检测后，送至 QT 装入 HIC 进行暂存。

（3）废过滤器芯的处理

废过滤器芯在 NH 和 QF 厂房通过下降通道装入 200L 钢桶中，然后通过屏蔽运输车转运至 QS 厂房，装有废过滤器芯的 200L 钢桶在 QS 厂房内通过夹层间吊运至 QS 厂房的水泥固定工位，进行水泥固定，然后经封盖和剂量检测后运送至 QT 库暂存。

（4）杂项干废物的处理

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，送到废物处理中心进

行分拣、烘干（必要时）、剪切（必要时）、初级压实、超级压实和水泥固定处理，处理后产生的废物包送到放射性固体废物暂存库暂存。

(5) 废物包暂存

放射性固体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，根据废物包的表面剂量率及包装类型，通过数控起重机将废物包吊运到指定的区域码放贮存。

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、废活性炭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现实工况和设计工况两类；对于活化腐蚀产物，也考虑现实工况和设计工况两类。

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，在分析正常运行工况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，在分析预期运行事件时固体废物源项的过程中，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。

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、废活性炭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），它们在产生地分类收集在塑料袋内后送到废物处理中心厂房压实装桶或装桶水泥固定。

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

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

(1) 源头控制

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

— 使用较大离子交换容量的树脂以减少废树脂的产生量。

(2) 合理分类

— 废树脂按放射性水平分类收集，较高放射性水平的废树脂在废树脂贮槽中贮存衰变一段时间后再进行烘干处理。蒸汽发生器排污系统（TTB）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。

— 将干废物根据不同的性质进行分类处理。浸湿的可压实杂项干废物先进行烘干，然后作为可压实杂项干废物处理；可压实杂项干废物经过初级压实和超级压实后装入 200L 钢桶水泥固定；可直接超级压实废物经过超级压实后装入 200L 钢桶水泥固定；不可压实废物装入 200L 钢桶水泥固定。

— 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，将其放在固体废物暂存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。

(3) 改进处理工艺

— 浓缩液采用减容效果更为明显的处理工艺。浓缩液用桶内干燥器干燥后形成浓缩液盐块。

— 废树脂和废活性炭采用减容效果更为明显的处理工艺。废树脂和废活性炭用锥形干燥器烘干后装入 200L 钢桶。

— RCV、ZBR、RFT、ZLT 和 TTB 系统使用尺寸较小的过滤器芯，ZST 系统使用 200L 钢桶作为废过滤器芯水泥固定的包装容器，减小废过滤器芯水泥固定后废物包的体积。

4.6.4.3 废物最终处置

放射性固体废物的运输起点为浙江金七门核电厂的固体废物暂存库，运输终点为放射性废物处置场。放射性废物运输必须遵守国标 GB 11806-2019《放射性物品安全运输规程》和 GB 12711-2018《低、中水平放射性固体废物包安全标准》。待与处置场明确运输方式和论证运输路线的可行性后再进行废物包的转运处置。放射性废物的处置将遵守国家的放射性废物处置政策。

4.6.5 乏燃料贮存系统

乏燃料贮存系统是用于暂时贮存和转运乏燃料组件的系统，包括燃料转运舱、乏燃料贮存水池、乏燃料贮存格架、容器装载井、容器准备井以及乏燃料水池冷却和处理系统等设施。

乏燃料贮存在乏燃料贮存水池中的乏燃料贮存格架中。乏燃料水池冷却和处理系统为乏燃料的贮存和转运提供安全环境。

4.6.5.1 系统描述

乏燃料组件从堆芯内卸出，通过燃料转运通道由水下运至燃料转运舱，用人桥吊车吊运乏燃料组件，垂直存放在水下的乏燃料贮存格架中。破损的燃料组件装入破损燃料组件贮存小室内存放。需要定量检查辐照燃料组件的破损程度时，采用离线啜吸检测装置进行检测。当乏燃料组件贮存一定时间需要外运时，将组件装入乏燃料运输容器，经过清洗，检查乏燃料容器的表面辐射水平和污染水平满足运输标准规定后，可运往乏燃料后处理厂。

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

乏燃料贮存水池侧壁是混凝土屏蔽墙，使水池周围相邻区域的辐射水平满足相应辐射区域的设计标准。

在乏燃料贮存水池内设有乏燃料贮存格架，分为两个区。Ⅰ区用于装载新燃料组件、破损燃料组件、未达到规定燃耗限值的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，并设有引漏管，用以监测覆面有否渗漏。

在正常情况下乏燃料贮存水池充满含硼水，以保证乏燃料贮存水池内燃料组件的冷却和水面以上的辐射水平满足设计要求。在池底不设任何排水管道，防止池水流失。

在乏燃料贮存水池的另一侧是容器装载井，在此进行乏燃料组件装入运输容器的操作。

以上三个水池彼此相通，水池之间的混凝土隔墙上有密闭的水闸门，平时是关闭的，

使用时才打开。靠近容器装载井的另一侧还设有一个乏燃料运输容器准备井，用作乏燃料运输容器的准备工作。

4.6.5.2 设计准则

乏燃料贮存设计按 HAD102/15《核动力厂燃料装卸和贮存系统设计》相关章节的要求进行，保证乏燃料组件在贮存中各方面的安全，主要设计准则如下：

(1)乏燃料组件贮存的物理布置，必须满足燃料组件安全贮存的次临界要求。必须保证：无论电站正常运行和预期运行故障期间，或者是在特定设计基准事故期间或以后，乏燃料组件的贮存均应满足规定的次临界状态。在设计中摒除了事故工况下置信部分水池中可溶硼的方法来保证临界安全，即在 I 区贮存格架装载最大预期反应性的新燃料组件，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，若不置信可溶硼，有效增殖系数 $k_{eff} \leq 0.95$ ；若信任可溶硼，当装载最大预期反应性的燃料组件，假定被纯水淹没的情况下各种工况的最大有效增殖系数 $k_{eff} < 1.0$ ，在具有最小硼浓度的全密度水中各种工况的最大有效增殖系数 $k_{eff} \leq 0.95$ ；

(2) 乏燃料贮存水池及格架的设计，应能承受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由循环；

（13）乏燃料贮存区应具有承受内部、外部灾害的防护措施；

（14）乏燃料贮存水池的设计，能够保证在有乏燃料组件贮存时水池充满水，而且可以自然循环、净化，以冷却乏燃料组件；

（15）在乏燃料贮存区域及相关的乏燃料组件装卸区域设有辐射水平监测系统，以保证工作人员的辐射安全；

（16）在乏燃料贮存水池中设有多道水位监测装置和温度测量设备，防止池水意外排空，其监测信号送到控制室。乏燃料贮存水池监测满足《核电厂改进通用技术要求》的规定。

4.6.5.3 乏燃料水池的冷却和处理

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

1) 系统的主要功能

排出在乏燃料水池中贮存的乏燃料组件发出的余热。

清除在换料水池和乏燃料贮存水池内的腐蚀产物、裂变产物和水中的悬浮颗粒。

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

该系统可保持乏燃料贮存区域的恒定水位，确保对工作人员的生物屏蔽作用。

2) 系统的设计基准

乏燃料水池冷却和处理系统的设备为为功能等级 F-SC2，屏障等级 B-SC3；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为功能等级 F-SC1，屏障等级 B-SC2；在安全壳内的所有其他部分为功能等级 NC，屏障等级 NC。

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

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

该系统对包括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

为满足浙江金七门核电厂一期工程的运行要求，需对核电厂有关系统的用水作某些化学处理，用于生产淡水海水淡化系统所需的原料海水也需要进行一定的预处理。

化学处理的主要方法是在系统中加入一定量的杀菌剂、阻垢剂、还原剂、树脂再生用酸碱药剂、调节 pH 值用酸碱药剂、除氧药剂等，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 化学处理系统设计

浙江金七门核电厂一期工程释放到环境中的化学物质主要产生于海水淡化系统、除盐水生产系统、凝结水精处理系统、循环水处理系统、放射性废液处理系统等。

循环水处理系统对流经循环水系统和重要厂用水系统的海水作连续加氯处理，即加入次氯酸钠溶液，在重要厂用水系统和循环水系统流道内连续加氯使循环水系统及重要厂用水的海水中的次氯酸钠的浓度达到 1 ppm，以防止海生物在管道内和排放口繁殖，从而避免因繁殖而导致的管道断面缩小，阻力增加，流量降低。

浙江金七门核电厂一期工程采用电解海水的工艺来获取次氯酸钠，海水经过滤网过滤后进入电解系统。从次氯酸钠发生器中出来的次氯酸钠溶液进入次氯酸钠储罐，氢气在其中被分离出去，稀释后排入大气。次氯酸钠溶液从储罐通过加药泵进入加药点。

生产生活用水系统的原水取自海水，海水淡化系统采用“混凝沉淀+V 型滤池+超滤+两级反渗透”工艺。本工程 1 台机组启动工况，海水淡化系统浓盐水排放量约为 14430 m³/d，机组正常运行工况，海水淡化系统浓盐水的排放量约为 7037 m³/d。

海水淡化系统加入的化学物质主要为次氯酸钠、聚合氯化铝、盐酸、氢氧化钠、阻垢剂和 Na₂SO₃。

经过海水反渗透装置处理的一级产水再经二级反渗透处理后分别供向除盐水生产系统、饮用水系统和生产水系统。

除盐水生产系统从二级淡水箱获取原水，原水经过阳离子交换器、阴离子交换器、混合离子交换器处理后进入除盐水箱。除盐水生产系统的树脂再生废液中含有 NaCl、以及少量的 HCl 和 NaOH。再生废液经中和处理达标（pH 调节至 6~9）后排放。

凝结水精处理产生的酸碱废水排至废水中和池，通过加碱和加酸进行中和处理，使

pH 值达到 6~9 排放。

4.7.1.2 废水来源与排放

浙江金七门核电厂一期工程排出的化学物质主要来自下列工艺过程中产生的废水：

- 循环水处理系统；
- 海水淡化系统的浓盐水、酸碱等化学废水；
- 除盐水生产系统的酸碱废水；
- 凝结水精处理系统；
- 核电厂有关厂房的液体流出物及系统排污水处理；
- 核电厂洗衣房的排水。

4.7.2 生活废物

本工程产生的生活废物包括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。

本工程运行期间生活垃圾产生量约为 1.4 吨/天。

生活污水来自本工程生产区和厂前区各个厂房、车间、实验室、办公楼等处卫生设备的非放射性生活污水的排水。本工程生产区和厂前区各子项的生活污水通过相应污水管网汇集至非放射性污废水处理站。上述污水经生化处理和深度处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中车辆冲洗水质标准后，用于绿化、道路浇洒和洗车等，回用剩余水量排入大海，排放水质中的 COD、总氮、氨氮和总磷等 4 项主要水污染物指标执行《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）中表 2 排放浓度限值要求，其余指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准。新建非放射性污废水处理站为合建污废水处理设施，总设计规模 900m³/d，为金七门项目 1~4 台机组服务。

4.7.3 其它废物

本工程运行期产生的其他废物主要为非放射性含油废水、废油、固体废物等。

4.7.3.1 非放射性生产废水

本工程非放射性生产废水包括除盐水生产厂房树脂再生废水、制氯站酸洗废水、非放射性含油废水、空调设备冷凝水、工艺管廊集水坑排水、各厂房地面冲洗水、核岛生产废水、常规岛生产废水等，以及消防水池溢流水和泄空水。

本工程通过室外管网收集汽机厂房、主变压器和降压变压器平台等子项的非放射性含油废水，汇集至污水系统油水分离器。非放射性含油废水经过油水分离设施处理，其石油

中国核电工程有限公司

类指标达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中的一级 B 标准后，经室外生产废水管网排入非放射性污废水处理站内的大型调节池进一步处理或回用。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。非放射性含油废水处理能力：正常 $5 \text{ m}^3/\text{h}$ ，最大 $10 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

常规岛大修期间闭式冷却水系统含磷废水单独收集，采用储罐和泵形式压力流排入非放射性污废水处理站内小型调节池核岛各类非放生产废水和其他子项非放生产废水经室外生产废水管网排入非放射性污废水处理站内小型调节池。对小型调节池中废水水质进行监测，超标进入后续水处理工艺环节处理，若达标则排入回用水池；除盐水生产厂房废水在废水中和池进行监测，监测达标经室外生产废水管网排入回用水池，超标则接入非放射性污废水处理站处理。

经油水分离处理后的事故含油废水、消防水池排空废水经室外生产废水管网排入非放射性污废水处理站内的大型调节池，对大型调节池中废水水质进行监测，超标进入后续水处理工艺环节处理，若达标则排入回用水池。

排入非放射性污废水处理站的各类污废水经处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中车辆冲洗水质标准后，用于绿化、道路浇洒和洗车等，回用剩余水量排入大海，排放水质中的 COD、总氮、氨氮和总磷等 4 项主要水污染物指标执行《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）中表 2 排放浓度限值要求，其余指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准。非放射性污废水处理站的设计规模 $900 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

4.7.3.2 固体废物

本工程运行期产生的固体废物主要包括一般工业废物和危险废物。

一般工业废物主要为水处理过程中产生的污泥、废弃的膜组件和离子交换树脂。海水淡化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。本工程海水淡化厂房设置污泥池和污泥脱水机等设备，非放射性污废水处理站设置污泥脱水机等设备，对污泥进行减量化处理后，定期外运处理。

海水淡化工艺设计采用超滤膜组件和反渗透膜组件。根据膜元件厂商的建议及调研国内膜元件的使用情况，超滤膜元件、反渗透膜元件的使用年限为 5 年。膜元件的更换时间应根据现场实际运行情况，监测反渗透膜的运行情况，合理确定、定期更换。经海水淡化工艺用过的废弃膜元件不含有游离液体或有害物质，一般按照工业垃圾固体废物进行处理。

除盐水处理过程中使用的离子交换树脂使用年限为 5~8 年。树脂的更换时间应根据现场实际运行情况，监测离子交换树脂的运行情况，合理确定、定期补充或更换。经除盐工艺用过的或常规岛凝结水精处理过程中产生的废弃树脂不含有游离液体或有害物质，一般按照工业垃圾固体废物进行处理。

危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）。本工程运行期产生的危险废物主要来源：（1）泵及电机润滑油更换、柴油机更换柴油、油水分离池等产生的废油/废油泥；（2）过期的工艺及实验室用危险化学试剂；（3）实验过程产生的含危化品废样品（非放射性）；（4）盛装过具有危险废物特性的废油桶及危化品容器包装物等；（5）损坏或不能正常使用后更换的铅蓄电池及含汞灯管；（6）过期的应急碘片等药品等。本工程设有专用危险废物暂存库，用于危险废物接收期间的临时存放。本工程运行期产生的危险废物由具有收集、贮存、处置危险废物资质的指定单位进行收集、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

本项目的燃料组件由中国原子能工业有限公司（CNEIC）供应。新燃料运输容器采用陆路运输方式由燃料组件制造厂运至本项目的燃料厂房。

4.8.1.2 新燃料运输容器

新燃料组件特性：

·物理状态	固体
·主要成份	UO ₂
·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）
-------	------

新燃料运输容器由上、下壳体组成的一个卧式圆柱形密封箱体。上、下壳体的连接用螺栓锁紧。上壳体设有吊装环、下壳体设有叉孔，以便于吊装容器。容器内设有一个减震

框架，通过弹性垫块连接于下壳体座。减震框架上的支撑框架用于装载新燃料组件。支撑框架的顶梁上装有两个加速度测量装置，在壳体的端板上设有充气阀和安全阀各一个，每个容器可装运两组组件，两组组件间设有中子吸收板，容器内充以保护性气体，以避免污染。

新燃料运输容器的设计和制造能够满足我国《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）的要求。

燃料组件供货数量，以及备用组件的数量，在业主和供货方的燃料供货合同中规定，新燃料平均年发运次数至少应满足平衡换料循环的要求。每台新燃料容器可装载 2 组新燃料组件，每台机组采用 36 台容器运输，每一年半运输一次，可满足要求。

4.8.2 乏燃料运输

从核电站卸下的乏燃料在乏燃料贮存水池暂存若干年后，将乏燃料运至后处理厂的中间贮存水池作后处理前的暂存。其它与燃料组件相关的控制棒组件、中子源组件等，由于需要更新的机率很小，一般不需要做经常性的运输，需要换下来的可以存放在乏燃料贮存水池内，在反应堆退役时作为废弃物运走。

本项目的乏燃料组件在乏燃料贮存水池尚未贮满之前运出，平衡循环每 18 个月平均换料 72 组燃料组件。按平衡换料数量考虑，如使用可装载 21 组组件的 CNSC 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。CNSC 乏燃料运输容器为不锈钢铅屏结构，已取得国家核安全局颁发的设计批准书和制造许可证，2022 年已完成 3 台容器产品供货，具备本工程使用的条件。

乏燃料运输的运输起点为本项目燃料厂房，运输终点为规划选址论证中的乏燃料后处理厂。本工程乏燃料运输可采用公铁海联运的运输方式，本工程燃料厂房至核电站自备码头间考虑采用公路运输方式进行短途接驳，再由核电站自备码头公海换装后，由专用运输船实施海运。专用运输船到达中转码头，进行海公换装；通过公路短驳方式运输至铁路专用线完成公铁换装、专用线运输，最终运至规划的乏燃料后处理厂。具体运输容器类型、运输方案及路线，需要在国家相关主管部门批准，且乏燃料运输中的海运、铁路及公路运输积累成熟经验后，由承运部门确定。

4.8.3 放射性固体废物运输

浙江金七门核电厂运行期间产生的废树脂来自 RCV、ZBR、TTB、RFT 和 ZLT 系统的除盐器；废活性炭产生自 ZLT 系统工艺废液处理的活性炭床；浓缩液来自 ZLT 系统的

蒸发器；废过滤器芯来自 RCV、ZBR、RFT、ZLT 和 TTB 系统的水过滤器。

NH 厂房产生的废树脂收集在废树脂贮槽中，然后通过废树脂屏蔽运输槽车转运至 QF 厂房进行处理，QF 厂房产生的废树脂和废活性炭收集在 QF 厂房的废树脂贮槽中。废树脂在 QF 厂房用锥形干燥器烘干后，装入 200L 钢桶，经封盖和剂量检测后，通过屏蔽运输车转运至 QT 装入 HIC 进行暂存。废树脂屏蔽运输槽车与厂房内管道通过双球阀结构的干式快速接头连接，确保软管和快速接头无泄漏。这些措施可以防止废树脂通过软管输送过程发生放射性物质泄漏。在装载时，废树脂运输车和接口箱在厂房控制区内，即使发生泄漏，放射性物质收集在控制区，不会污染非控制区和厂房外的空间。废树脂运输车的屏蔽运输容器由内箱体和外箱体构成，外箱体包括屏蔽加强的保护框架、接口箱和控制系统，内箱体由屏蔽箱和屏蔽箱内的奥氏体不锈钢的双层容器组成，双层容器配有搅拌装置、液位仪表和泄漏探测系统，防止运输过程中发生放射性物质泄漏。废树脂运输槽车将在厂内专门路线运输，并设置警告标识，其他人员未经允许不得靠近，从管理上确保废物运输安全。屏蔽转运容器设计标准为在装有额定容量废物时表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ ，司机室后设有屏蔽，屏蔽厚度标准为司机室内剂量率不超过 $10\mu\text{Sv/h}$ ，从而能够有效控制工作人员在废物接收和运输时受到的剂量。

浓缩液采取桶内干燥工艺，在 QF 厂房桶内干燥器的 200L 钢桶中进行干燥，干燥后装有浓缩液干燥盐的 200L 钢桶经封盖和剂量检测后，通过屏蔽运输车转运至放射性固体废物暂存库（QT），然后装入混凝土高完整性容器（混凝土 HIC）后暂存。

废过滤器芯在 NH 和 QF 厂房通过下降通道装入 200L 钢桶中，然后通过屏蔽运输车转运至 QS 厂房，装有废过滤器芯的 200L 钢桶在 QS 厂房内通过夹层间吊运至 QS 厂房的水泥固定工位，进行水泥固定，然后经封盖和剂量检测后运送至 QT 库暂存。

废过滤器芯屏蔽运输车包括运输车本体和屏蔽容器两部分，屏蔽运输容器内能够容纳一个内置废滤芯定位装置的 200L 钢桶，屏蔽容器外表面剂量率不超过 2mSv/h ，屏蔽容器的盖子能够锁死，以保证运输过程中的安全，屏蔽厚度标准为司机室内剂量率不超过 $10\mu\text{Sv/h}$ ，从而能够有效控制工作人员在废物接收和运输时受到的剂量。

杂项干废物用专用运输车运送到废物处理中心，经分拣、干燥（必要时）、剪切（必要时）、初级压实、超级压实和水泥固定（200L 钢桶）；不可压实废物直接进行水泥固定，经封盖和剂量检测后转运至 QT 库暂存。

浙江金七门核电厂产生的放射性废物经处理后产生的废物包主要包括装有烘干后的

中国核电工程有限公司

废树脂和废活性炭、干燥后的浓缩液盐块的混凝土 HIC，装有水泥固定的废过滤器芯以及超级压实后水泥固定的杂项干废物的 200L 钢桶。厂外运输的是 HIC 废物包和 200L 钢桶废物包。其中，表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 的废物包可直接通过转运车辆运输；对于表面剂量率 $> 2\text{mSv/h}$ 的废物桶，则在外加屏蔽体后通过转运车辆运输。放射性固体废物的运输起点为浙江金七门核电厂的固体废物暂存库，运输终点为放射性固体废物处置场。放射性固体废物的运输拟采用公路运输，公路运输的经验表明，事故发生率以及预计事故次数都是很低的。废物包外运前将论证和明确具体运输路线，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 GB 11806-2019《放射性物品安全运输规程》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。HIC 的设计和制造满足 GB 36900.2-2018《低、中水平放射性固体废物高完整性容器——混凝土容器》的要求。水泥固定废物体性能满足 EJ 1186-2005《放射性废物体和废物包的特性鉴定》。废物包性能满足 GB 12711-2018《低、中水平放射性固体废物包安全标准》和 GB 9132-2018《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》的要求。

第五章 核电厂施工建设过程的环境影响

5.1 土地利用

5.1.1 土地占用情况

5.1.2 施工活动的影响

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 海域施工活动对水环境的影响

5.2.3 减轻施工过程对水环境影响的措施

5.3 施工影响控制

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 施工期监测计划

5.3.8 放射源的管理措施

5.3.9 设计地形地貌的改造措施

5.3.10 水土保持措施

5.3.11 施工期的节水措施

5.1 土地利用

5.1.1 施工建设对土地利用的影响

5.1.1.1 工程规划用地

一期工程征地用地类型为农用地、建设用地、未利用地。

因厂址处用地紧张，其中永久设施的承包商营地需厂外征用；绝大部分施工生产临建需厂外租用；混凝土搅拌站及砂石料堆场拟租地。

5.1.1.2 规划用地合理性分析

1) 厂址半径 5km 范围内无万人以上城镇，厂区与周围城乡总体规划（城市发展规划、工业规划、土地利用规划）是相互适宜和可行的。

2) 厂址附近无大中型工矿企业、交通要道、风景名胜和军事设施，人口较少，地下无可供开采的矿产资源。

3) 厂址区域土地类型现状主要为农用地、建设用地、未利用地，无基本农田。

厂址的土地利用是合理的。

5.1.1.3 施工建设占用土地情况

总体规划和总平面布置按照统一规划、分期建设，合理确定核岛间距，建构筑物紧凑布置及设置综合管廊等原则，一期工程厂区总用地已通过项目核准，满足国家集约、节约用地要求；对于施工临时堆场，根据批准部门的严格要求，永久设施的承包商营地需厂外征用，绝大部分施工生产临建需厂外租用，以集约、节约用地。具体施工建设占用土地情况如下：

1) 场地平整

竖向设计根据各功能区不同的防洪要求，尽量保证土石方平衡，采用平坡式布置形式。场地平整标高为 15.00m。

场地平整的土石方基本平衡。

2) 进厂道路的建设

进厂道路已委托外单位设计，施工建设对环境的影响不在此评价。

3) 建、构筑物的建造

建筑材料供应设施（砂石料厂、混凝土搅拌站）、施工临建场地（核岛、常规岛土建及安装场地）在厂外租地以保证工程连续，减少厂内工程用地，节约用地；机组负挖工程量所得石方部分考虑作为混凝土骨料，不外弃，不设弃土场；承包商施工生活区规划在附近城镇（鹤浦镇），根据需要尽量采取租用民房的形式。

5.1.2 施工活动的影响

5.1.2.1 对地形地貌的影响

在工程建设期间，对原始地形地貌需要按设计要求进行相应的改造：开挖部分山体、回填部分海域，在厂区周边建造防波堤、边坡、截洪沟、排洪沟等人工设施。由于相关改造仅涉及厂址周围，范围有限，因此对地形地貌改造的影响是局部的。另外，通过优化施工工序，采取必要的工程及植物措施防护，有利于改造海蚀崖、海蚀礁等受侵蚀影响较大的地貌，有效防止水土流失。结合厂区绿化美化，施工场地使用完毕后还绿等措施，对厂址范围生态是有利的。

5.1.2.2 水土流失

本期工程建设造成的水土流失主要发生在施工期，工程建设伴随着机组负挖、材料堆放和土石方中转等，将改变原地貌、占压土地和损坏水土保持设施，导致土地保水保土能力下降。厂区基础开挖后，自身抗侵蚀能力较弱，堆场、生产及辅助生产建筑物等施工会加剧扰动破坏，更容易产生水土流失。本工程施工中产生的松散土方容易在降雨因子作用下，随地表径流进入附近海域，如不进行围护，可能增加临近海域局部水体浊度，增大含沙量，将对临近海域水质产生负面影响。

但该项目位于南方多雨区，林草植被恢复较快，自然恢复期较短，结合有效的工程措施（防洪排导工程、土地整治工程等）、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。

5.1.2.3 对大气环境的影响

本工程土石方量接近示范快堆，施工期间对大气环境的影响与示范快堆工程进行类比分析。

根据 2021 年 3 月至 2022 年示范快堆工程的施工期监测结果及数据分析（此时为施工最严重阶段），无组织排放源各监测点的 SO_2 、 NO_x 和颗粒物浓度满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的“表 2 新污染源大气污染物排放限值”要求。环境空气监测点的 SO_2 、 NO_2 、 NO_x 和 CO 小时浓度及日均浓度满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准限值要求；TSP、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 日均浓度满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准限值要求。

根据类比分析，本项目施工期间对大气环境的影响可以满足相关标准要求。后续本工程将根据工程进度适时开展施工期监测工作，如遇相关监测指标超标，会通过现场项目部反馈施工单位整改。本工程将对附近居民点进行搬迁，搬迁后的最近居民点为 3.5km 距离

处的牧童岙村，距离较远，预计施工期的大气环境不会对居民点造成影响。

5.1.2.4 对声环境的影响

本项目施工期间对声环境的影响同样与示范快堆工程进行类比分析。

根据 2021 年 3 月至 2022 年示范快堆工程的施工期监测结果及数据分析（此时为施工最严重阶段），施工场界噪声排放均满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）标准要求。

根据类比分析，本项目施工场界噪声排放预计可以满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）标准要求，后续本工程将根据工程进度适时开展施工期监测工作，如遇相关监测指标超标，会通过现场项目部反馈施工单位整改。本工程将对附近居民点进行搬迁，搬迁后的最近居民点为 3.5km 距离处的牧童岙村，距离较远，预计施工期的噪声不会对居民点造成影响。

5.1.2.5 对水环境的影响

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污水处理构筑物，经生化处理和深度处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中车辆冲洗水质标准、《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级 A 标准和《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）中表 2 排放浓度限值要求后，用于施工场地降尘和洗车等。污水处理构筑物建成前在人员相对集中的地方设置旱厕，人员分散的地方如有需要设置移动式环保厕所，定期清掏处理。污水处理构筑物的设计规模 1500m³/d。施工生产用水主要用于消耗和重复利用，施工生产废水除混凝土浇筑、养护、冲洗机具、降尘等损耗外，冲洗砂石排水沉淀后复用。

5.1.2.6 产生的固体废弃物对环境的影响

施工期间的固体废弃物主要是生活垃圾和建筑垃圾。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撒等。因此，本工程施工期间固体废弃物对环境的影响是局部的、暂时的，是可以接受的。

危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）。危险废物产生后存放在危废物暂存库，由专人进行严格管理，并委托有资质的处理单位（营业执照经营范围有危废处理且有危险废物经营许可证并在有效期内）定期对危险品进行处理。

5.2 水的利用

5.2.1 施工活动对水资源利用的影响

（1）施工期用水量

本工程施工期用水主要为淡水，主要包括施工生产用水和施工生活用水。施工生产用水供给、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。

本工程施工期间施工生产用水最大日用水量为 $2215\text{m}^3/\text{d}$ ，施工人员生活用水最大日用水量为 $770\text{m}^3/\text{d}$ ，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 $3900\text{m}^3/\text{d}$ 。

（2）供水水源

本工程施工期间施工生产用水和施工人员生活用水由象山县第二自来水有限公司供给，海水淡化厂房建成后，海水淡化厂房产品水可以作为备用水源。

（3）施工期用水对周围水用户的影响

根据《浙江金七门核电厂一期工程水资源论证报告书》，象山县第二自来水有限公司供水考虑本项目用水，可供水量满足本项目施工期用水的需求，对其他用水户无明显影响。

5.2.2 海域施工活动对水环境的影响

海域施工建设过程中对水环境的影响主要来自取排水工程、护岸工程以及大件码头的施工，以及海上施工船舶产生的含油废水排放等。本项目涉海工程包括围填海工程、取水工程、排水工程、护岸工程、大件码头工程、临时围堰及防渗工程，其中填海造地实施先围后填。上述涉海工程施工会对厂址周边水环境造成一定影响。

5.2.2.1 海上施工引起的悬沙对环境的影响

取排水工程、厂区护岸以及大件码头等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。悬浮泥沙对浮游植物的负面影响将直接导致水体中溶解氧含量的减少，导致部分浮游动物窒息死亡，同时悬浮颗粒会粘附在生物体表，干扰其正常的生理功能，滤食性浮游生物会吞食适当粒径的颗粒物，造成内部消化系统的紊乱。悬浮颗粒物还会堵塞鱼类的鳃部，严重损害其滤水和呼吸功能。另外，悬浮物中有害物质的二次污染也会对海水水质产生一定影响。

施工造成的海水中悬浮物浓度增加主要表现在机械的搅动，施工结束后，水体中的泥沙将在重力作用下以下沉为主，在施工停止数小时后，绝大部分泥沙将沉降于海底，海水会很快变清。

根据本项目工程方案及施工组织方案，施工悬浮泥沙产生源包括厂址护岸、围堤开挖

换填悬沙和抛石悬沙，取水暗涵沉管基槽开挖、临时围堰基槽开挖、港池疏浚，码头和栈桥打桩悬沙等。

根据数值模拟预测结果，本项目施工产生的悬浮物浓度大于 10mg/L 的最大影响包络范围约 16.41km²，悬浮物浓度大于 20mg/L 的最大影响包络范围约为 9.21km²，悬浮物浓度大于 50mg/L 的最大影响包络范围约为 4.21km²，悬浮物浓度大于 100mg/L 的最大影响包络范围约为 1.68km²，悬浮物浓度大于 150mg/L 的最大影响包络范围约为 0.66km²。

根据施工方案，施工完毕的区域，悬浮物浓度增量可以在较短时间内降低至 10mg/L 以内。施工引起悬浮物扩散是暂时的，随着施工结束，悬浮物对滨海附近海域的影响也将消失。

5.2.2.2 海上施工船舶含油废水排放对环境的影响

海上施工船舶因维修和日常保养会在舱底形成部分含油废水，废水量虽然较小，但如进入海域，一部分附着在悬浮物上并随之沉降到海底，一部分溶于水中随水流扩散，而大部分则漂浮在水面上，影响厂址附近海域水质，并降低水体中光线的射入量，从而导致局部海域生态系统的紊乱和生物量的损失。船舶一般自带油水分离器，含油废水自行处理达标后排放；未配置油水分离器的船舶废水，将含油废水带至岸上厂区油水分离设施处理。

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，尽量采用封闭式抓斗挖泥船，以减少悬浮泥沙入海量。

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。

5.3 施工影响控制

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

- 一场地平整之前，先将具有肥力的地表土剥离并集中堆放，用于绿化；
- 一严格按照设计要求进行施工；
- 一土石方爆破应严格遵守《爆破安全规程（GB6722-2014）》的相关规定；
- 一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；
- 一合理选择最大装药量，控制震动速度和安全距离；
- 一控制土方爆破范围，不会影响循环冷却水取水地段的海域水文和海床条件；
- 一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；
- 一雨季施工做好防护措施；
- 一场地和边坡形成后，尽早进行绿化；
- 一施工结束后，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

- 一施工区和相关道路上散落的灰土及时清扫，道路路面上经常洒水，保持路面湿润；
- 一严格控制行车速度；
- 一改善道路路面；
- 一尽量减少土方的临时堆置时间；
- 一渣土临时堆放场应加盖布条进行防护；
- 一水泥等粉状建筑材料应妥善保管，不得露天随意存放；
- 一加强施工管理，合理调度运输车辆等；

— 在施工过程中对易引起飞尘的操作如钻机打孔，采用干式或湿式除尘方法，以减少粉尘。

5.3.3 施工噪声的控制措施

为尽量减少对附近居民的影响，应总结前期施工降噪经验，用于本期工程施工建设中；应严格遵守土石方爆破《爆破安全规程（GB6722-2003）》的相关规定。施工期间将采取以下措施，确保将施工噪声控制在相关规定的限度内：

— 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。

— 所有施工机械应符合环保标准，操作人员需经过环保教育。

— 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。

— 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。

— 要为操作工人配备相应的劳动保护用品。

— 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。

— 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。

— 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。

— 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。

— 从传播途径上控制噪声。对于噪声较大的设备，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。

— 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。

— 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。

施工噪声的控制应满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011），并按照 GB12523-2011 进行建筑施工场地边界线处的等效声级测量。

5.3.4 场地回填的控制措施

施工期间将进行大面积的场地回填工作，回填是在对软土层进行处理之后进行。对于本工程，陆域形成和地基处理拟采用插塑料排水板、强夯和振动碾压等方法，回填料采用开山土石。为了保护回填区域的生态环境，应将场地回填施工造成的污染减少到最低程度，施工前应系统分析潜在的环境风险，制定相应的大气、噪声、水环境等保护措施。

（1）大气环境保护措施

在建设施工过程中，各种燃油动力机械和运输车辆排放的废气，以及挖土、运土、填土、夯实和汽车运输过程的扬尘，会污染周围环境空气。

在施工期间，应严格按照相关标准、文明施工，将施工期的环境影响减小至最低程度。可以采取以下防治措施：

1）对于土方运输车辆，应规划好运输车辆的运行路线与时间。

2）对于常用施工道路（如反复进出道路、标段间共同使用的通道等）进行适宜的硬化处理，道路两侧采用彩钢板等防尘围挡，施工时应采取每日定期和不定期地喷洒水雾的方式进行防护，也可对其进行加盖来防止扬尘的产生。

3）合理规划施工工序，尽量减少临时占地面积，缩短使用时间，及时恢复土地原有功能，避免土地裸露，使扬尘降至最低。

4）做好建筑材料运输车辆的维修工作和车辆的清洁工作，减少扬尘的污染；运输车辆加蓬盖、装卸场地在装卸前先冲洗干净，减少车轮、底盘等携带泥土散落路面。

5）加强回填土方堆放场的管理，要制定土方表面压实、定期喷水、覆盖等措施；取土及弃土场应及时处理、绿化，防止土地水土流失。

6）汽车运送物料和建筑垃圾时，车体必须加盖彩条布。以减少扬尘污染。同时在施工道路清基时要经常喷洒水。

（2）水环境保护措施

本工程为大规模的土方工程，施工过程中对水环境将会产生影响，特别是施工过程中产生的废油、废渣、废水等，在施工期间，应制定详细的水污染控制措施，严格按照相关标准，文明施工，使施工对水环境的影响降到最小。可以采取以下防治措施：

1）现场施工生活用水的排放应有固定位置。

2）加强对现场存放油料的管理，对存放油料的库房，进行防渗漏处理，采取有效措施，在储存和使用中，防止油料跑、冒、滴、漏污染水体。

3）对施工过程中产生的废水经过二次沉淀并达到相关要求后方可后排出。

（3）噪声防护措施

场地施工过程中，施工噪声主要来自施工机械和运输车辆，宜采取措施控制噪声污染：

- 1) 合理安排施工时间，使用低噪声的机械设备。
- 2) 进行噪声动态监测，对产生噪声污染的作业，采取减噪、隔声等措施。
- 3) 对施工作业人员，在噪声较大的现场作业时，应采取有效防护措施。

（4）固体废弃物保护措施

固废主要为生活垃圾，以及施工过程中的一些废弃物。对于生活垃圾及施工过程中的废弃物等应进行分类收集，垃圾运送至指定地点集中统一处理。场地范围内不应燃烧各类废弃物。

5.3.5 建筑垃圾及污水的控制措施

本工程施工建设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等生产废水经过沟渠进入沉淀池，经过二级沉淀后复用。

本工程厂内施工临建区的生活污水通过相应污水管网汇集至非放射性污废水处理站，生活污水经生化处理和深度处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中车辆冲洗水质标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级 A 标准后，其中，非放射性污废水处理站排水中的 COD、总氮、氨氮、总磷等 4 项主要水污染物指标执行《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）中表 2 排放浓度限值要求，用于降尘、道路浇洒和洗车等。厂区非放射性污废水处理站建成前，生活污水外运处理。厂外南田墩村施工临建区生活污水外运处理。非放射性污废水处理站的设计规模 900m³/d。

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撒等。

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 施工期监测计划

5.3.7.1 施工期大气环境监测

5.3.7.1.1 监测点位

依据厂址所在地气象条件及环境空气保护目标分布等情况，设置监测点 7 个。具体情

况如下：

1 号点位设置在厂址北厂界的主要进厂道路入口，该点为厂址北侧厂界监测点，同时可反映主要进厂道路的环境空气质量。该点为本项目施工期监测方案研究报告中建议设置的点位，位于秋冬季和年度主导风上风向，春夏季主导风下风向。

2 号点位设置在规划建设的大件码头附近，该点为厂址西南侧厂界监测点，同时可反映次要进厂道路的环境空气质量。该点为本项目施工期监测方案研究报告中建议设置的点位，位于秋冬季和年度主导风下风向，春夏季主导风上风向。

3 号点位设置在厂址南厂界，为厂址南侧厂界监测点。该点位于秋冬季和年度主导风下风向，春夏季主导风上风向。

4 号点位设置在原杨柳坑村。该村居民已搬迁，但作为本项目生产生活临建区，在临建区建设期间会在此处设置碎石场供临建区地基工程使用，在碎石场设置无组织排放监测点。临建区建成后碎石场会撤除，届时员工居住区可作为环境空气保护目标监测点，即：碎石场撤除前，作为无组织排放监测点，碎石场撤除后，作为环境空气保护目标监测点。同时也是本底大气环境对照监测点和本项目施工期监测方案研究报告中建议设置的点位。位于秋冬季和年度主导风上风向，春夏季主导风向的下风向。

5 号点位设置在牧童岙村，该点是距离厂址最近的居民点。位于秋冬季和年度主导风上风向。

6 号点位设置在南田岛森林公园，为环境保护目标监测点。该点为本项目施工期监测方案研究报告中建议设置的点位，位于春夏季主导风下风向。

7 号点位设置在混凝土搅拌站和沙石料场，为无组织排放源监测点。搅拌站和沙石料场本应分别设置监测点，但是由于搅拌站和沙石料场位于同一场地内，故合并为一个监测点。该点为本项目施工期监测方案研究报告中建议设置的点位。1、2 号机组进入安装施工阶段、调试阶段后，若搅拌站停止使用且沙石料场完成绿化，可以不再视为无组织排放源，届时可撤除该监测点。

根据《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中对无组织排放源监测点布设的要求，进行现场监测时，在监测点上风向 2~50m 处布设一个参照点，同时在其下风向周界外 10m 范围内布设一个监控点。

5.3.7.1.2 监测因子及频率

监测时间应根据施工计划，原则上按照每个季度一次，每次选择对大气污染比较严重的施工阶段进行大气环境监测工作。

无组织排放和厂界监测因子为：SO₂、NO_x、TSP 等 3 项，环境空气保护目标监测因子为：SO₂、NO₂、NO_x、CO、O₃、TSP、PM₁₀、PM_{2.5}等 8 项。

无组织排放和厂界监测点按照《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的规定，SO₂、NO_x和颗粒物（TSP）监测 1 小时浓度值，每天在其正常施工时间内采样 4 次（暂定为 08:00 时、11:00 时、14:00 时、17:00 时），每次连续采样 1h。

环境空气保护目标监测点按照《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的规定，TSP 日均值每天采样 1 次，每次连续采样 24 小时，PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO、NO_x日均值每天采样 1 次，每次至少连续采样 20h；SO₂、NO₂、CO、NO_x、O₃ 小时均值每天采样 4 次（02:00 时、08:00 时、14:00 时、20:00 时），每次连续采样 1h；O₃ 日最大 8 小时平均值每天采集至少 14 个 8 小时滑动平均值，每 8 小时至少有 6 个小时平均值。

5.3.7.1.3 监测要求

监测分析方法按《环境空气质量标准》（GB3095-2012）执行，监测所用仪器均按照国家计量法的要求进行检定，检定合格且在有效期内。

5.3.7.1.4 监测数据统计分析

评价方法采用单因子评价法，评价公式如下：

$$I_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中：I_i —— i 种污染物的单项污染指数；

C_i —— i 种污染物的实测浓度，mg/m³ 或 μg/m³；

S_i —— i 种污染物的评价标准，mg/m³ 或 μg/m³。

当 I_i 值大于 1 时该污染物浓度为超标，反之为未超标。

根据监测结果计算每项大气污染物的污染指数，分析各污染物达标情况和浓度变化规律，并对厂址周围大气环境质量做出总体评价。

5.3.7.2 施工期声环境监测

5.3.7.2.1 监测点位

根据施工阶段的不同及施工活动状况、污染源分布等情况，参照本底监测点进行对比等因素，在厂区、厂址附近居民点、风景区布设噪声监测点，进行施工期噪声监测。

场地开挖阶段（ATP~核岛负挖）厂区内拟设置 12 个监测点，其中，厂界和施工场界监测点各 4 个，分别布设在厂界及一期工程施工场地东南西北四个边界处；大件码头、取水口、排水口各布设 1 个监测点；厂区内现场临时污染噪声源监测点 1 个（设置在监测期

间爆破等产噪明显的作业区域，若没有爆破则不设置此点）。在厂址半径 5km 范围内的噪声敏感点包括村庄、风景区共布设 4 个监测点，对其进行昼夜监测。道路交通布设 3 个点位。

土建阶段（FCD~安装开始）厂区内拟设置 12 个监测点，其中，厂界和施工场界监测点各 4 个，分别布设在厂界及一期工程施工场地东南西北四个边界处；大件码头、取水口、排水口各布设 1 个监测点；厂区内现场临时污染噪声源监测点 1 个（设置在监测期间爆破等产噪明显的作业区域，若没有爆破则不设置此点）。在厂址半径 5km 范围内的噪声敏感点包括村庄、风景区布设 4 个监测点，对其进行昼夜监测。道路交通布设 3 个点位。噪声源监测点 2 个，分别布设在搅拌站和砂石料场以及施工临建场地。

安装、调试阶段（安装开始~冷试开始~商业运行）厂区内拟设置 9 个监测点，其中，厂界和施工场界监测点各 4 个，分别布设在厂界及一期工程施工场地东南西北四个边界处；厂区内现场临时污染噪声源监测点 1 个（设置在监测期间爆破等产噪明显的作业区域，若没有爆破则不设置此点）。在厂址半径 5km 范围内的噪声敏感点包括村庄、风景区共布设 4 个监测点，对其进行昼夜监测。道路交通布设 3 个点位。

若施工期间，进度计划发生变化，则监测方案适时调整。搅拌站、砂石料场及施工临建区等若有搬迁、拆除等，根据实际情况调整监测点位置。

5.3.7.2.2 噪声监测因子及频率

所有监测点在昼间和夜间分别进行测量，昼间监测时段为 6:00~22:00，夜间监测时段为 22:00~次日 6:00，连续监测两天（每个测点昼夜各两组有效数据）。

对于厂区内监测点：每次监测均连续测量 20min，监测参数为等效连续 A 声级 L_{eq} ，最大声级 L_{max} ，累积百分声级 L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} ，和标准偏差 SD。

对于厂区外环境噪声监测点，每次监测均连续测量 10min，监测参数为等效连续 A 声级 L_{eq} ，最大声级 L_{max} ，累积百分声级 L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} ，和标准偏差 SD。

对于厂区外交通噪声监测点，每次监测均连续测量 30min，监测参数为等效连续 A 声级 L_{eq} ，最大声级 L_{max} ，累积百分声级 L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} ，和标准偏差 SD，同时记录车流量。

5.3.7.2.3 监测要求

监测时应在无雨、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。

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。

依据《声环境质量标准》（GB 3096-2008），监测点距离任何反射物（地面除外）至少 3.5m。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。

监测结束后将结果记录在专用的环境噪声监测记录表中，包括监测时间，地点，监测人，记录人，等效声级 L_{eq} 、累积百分声级 L_{10} 、 L_{50} 和 L_{90} 以及标准偏差 SD 等参数，并记录当时的主要噪声源。

5.3.7.2.4 监测数据分析及评价

（1）等效声级 L_{eq}

在声场内的一定点位上，将某一段时间内连续暴露的不同 A 声级变化，用能量平均的方法以 A 声级表示该段时间内的噪声大小。这个声级称为等效连续 A 声级，简称等效声级，单位为 dB（A）。

等效连续声级的数学表示：

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

式中： L_{eq} ——在 T 段时间内的等效连续 A 声级，dB（A）；

L_A ——t 时刻的瞬时 A 声级，dB（A）；

T——连续取样的总时间，min。

（2）累积百分声级

L_{10} 、 L_{50} 和 L_{90} 均属累积百分声级，分别表示在测量时段内有 10%、50%和 90%的时间噪声超过该值，也分别相当于测量时段内噪声平均峰值、平均声级和平均本底声级。

（3）标准偏差 SD

SD 表示所测各个声级的离散程度，以标准差表示，其数学表达式为：

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}$$

式中 L_i ——测得的第 i 个声级，dB；

\bar{L} ——所有测得声级的算术平均值，dB；

n——所测得声级得总个数。

（4）昼夜等效声级 L_{dn}

昼夜等效声级 L_{dn} 是考虑了噪声在夜间对人影响更为严重，将夜间噪声另增加 10dB 加权处理后，用能量平均的方法得出 24 时的噪声平均值。其数学表达式为：

$$L_{dn}=10\lg 1/24\left[T_d10^{0.1L_d}+T_n10^{0.1(L_n+10)}\right]$$

式中 L_d ——昼间的等效声级，dB（A）；

L_n ——夜间的等效声级，dB（A）。

T_d ——昼间的时间，小时，一般为 16 小时；

T_n ——夜间的时间，小时，一般为 8 小时。

项目施工期施工场界噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的相关限值。

5.3.8 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条例》，制订放射源管理制度。管理措施主要涉及到使用、贮存和处理几个方面，具体内容如下：

（1）放射源的使用

对于使用放射源的工作人员进行安全和防护知识教育培训，并进行考核，考核不合格的人员不得上岗。

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，不得挪作它用。

调试或测试放射探伤装置在专门的射线探伤室或空旷的地方进行；射线工作区域用围栏圈出非安全区，并派专人监查。

根据射线的辐射范围，划出一定范围的警戒区域，并设置电离辐射标志和中文警示说明，必要时须有专人负责警戒，以防无关人员进入辐射现场。放射源使用完毕后，及时清点回收。

探伤作业前发布探伤通知，将探伤信息（包括探伤作业地点、警戒范围、时间等）告知各参建单位，避免发生误照射。在探伤作业过程中，对作业前现场公告、拉警戒带隔离、请主控广播、携带剂量率仪表、利用实体隔离、挂射线探伤警示牌、作业前清场、佩戴个人剂量计等辐射安全要求进行检查。

佩带监测个人或环境射线辐射剂量仪器，对辐射场所进行监测，防止意外照射及监测个人所受辐射剂量。组织从事或拟从事放射工作人员进行一年一次的体检，并建立相关的

健康档案；凡在放射事故中有受到超剂量辐射嫌疑的人员，要及时组织接受特别体检，确认伤害程度。

为防止因放射源使用不当、安全防护措施不到位而造成工作人员和周围公众的高剂量误照射，在发生该种辐射事故时，及时启动事故应急预案，控制事故可能造成的危害并按事故报告制度进行报告和处理。

（2）放射源的贮存

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

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

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

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

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

（3）放射源的处理

本项目产生的废源按采购合同约定的方式，优先考虑由供货方回收。

5.3.9 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，减少地面起尘；

—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。

5.3.10 水土保持措施

水土保持主要通过工程措施、植物措施、临时措施及水土保持监测等达到水保要求。

本项目水土流失防治分区分为：主厂区防治区、道路码头防治区、取排水工程防治区、施工生产生活防治区、弃渣场、取料场防治区五个防治区域进行水土流失治理。

1) 主厂区防治区措施

厂区工程措施为排水工程、场地整治和碎石压盖。

厂区排水工程主要包括厂区周边主排水系统和厂区排水系统。

场地整治为在主厂房施工结束后，对周边空地进行场地整治，清理场地建筑杂物，后期根据主体工程相应设计进行碎石压盖。

核电厂主厂房区由于有剂量防护、卫生防护、安全保卫等方面的特殊要求，主厂房四周空地严禁布置绿化措施，采用素混凝土硬化。

主厂房区临时工程主要为施工期间临时排水、沉沙工程和钻渣沉淀池防护工程。在主厂房区场地整治和主厂房基础负挖前，沿主厂房区和主厂房负挖基坑周边设置临时排水沟，并在排水沟末端布设沉沙池缓流沉沙，沉沙后接入厂区周边已有永久排水设施，形成一个完整的排水体系。同时在施工期间，定期清除临时排水沟和沉沙池的沉积物，以防淤堵厂区已有永久排水设施。主厂区基础灌注桩施工过程中，将产生钻渣。为防止钻渣的流失，采用沉淀池固化处理。

2) 道路码头防治区措施

工程措施主要包括表土剥离及回覆、场地平整、道路永久排水沟、隧洞周边截排水及排水顺接工程。

植物措施主要包括道路两侧绿化工程。此外，隧洞洞脸边坡采用植被防护措施。

临时措施主要包括施工期道路两侧临时排水、沉沙措施，道路两侧临时推土拦挡及苫盖措施，以及码头桩基施工中的钻渣泥浆防护。

3) 取排水工程防治区措施

工程措施主要包括表土剥离及回覆、场地平整等措施。植物措施主要包括临时占地植被恢复措施。临时措施主要包括管道两侧表土及临时堆土的拦挡苫盖措施。取水口、出水口施工若涉及钻渣泥浆产生，则应加强施工期钻渣泥浆的防护。

包括施工场地、施工道路、临时堆土（渣）场、表土临时堆场等临时借地范围。其中重点是临时土（渣）场、表土临时堆置场的防护，应根据工程施工组织规划及场地布置情况，确定堆放量、堆放高度、堆放面积、护坡方式、拦挡工程、排水工程等内容；对施工临时占用的其它场地，做好施工期间的临时拦挡和排水等措施。

4）施工生产生活防治区措施

工程措施主要包括表土剥离及回覆、场地平整。植物措施主要包括临时占地植被恢复措施。临时措施主要包括施工场地、施工道路的临时排水、沉沙措施，表土临时堆场的拦挡、排水、撒播草籽等防护，临时堆土（渣）场的拦挡、排水及苫盖措施。

包括施工场地、施工道路、临时堆土（渣）场、表土临时堆场等临时借地范围。其中的重点是临时土（渣）场、表土临时堆置场的防护，应根据工程施工组织规划及场地布置情况，确定堆放量、堆放高度、堆放面积、护坡方式、拦挡工程、排水工程等内容；对施工临时占用的其它场地，做好施工期间的临时拦挡和排水等措施，并根据要求对土地进行整治（包括复耕及植被恢复等）。

5）弃渣场、取料场防治区措施

工程措施主要包括表土剥离及回覆、场地平整、截排水及排水顺接工程、拦挡工程。植物措施主要包括开采终结面、堆渣面植被恢复措施。

包括设置的永久弃渣场、工程自采料场（若为自采）及其周边的直接影响区等。

另外，在工程建设期及植被恢复期还需进行水土保持监测，以厂区、施工生产区和临时堆渣场区为重点地段，监测的主要内容包括主体工程建设进度、工程建设扰动土地面积、水土流失灾害隐患、水土流失及造成的危害、水土保持工程建设情况、水土流失防治效果，以及水土保持工程设计、水土保持管理等方面的情况。采取地面观测、调查监测和场地巡查相结合的方法。

5.3.11 施工期的节水措施

施工期节水措施主要是淡水的节水措施，如下：

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

—加强节水管理，对用水量加以控制和计量。

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 大气弥散和水体稀释

6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度

6.2.6 公众的最大个人剂量

6.2.7 非人类生物的辐射剂量

6.2.8 关键人群组、关键核素、关键照射途径

6.2.9 辐射影响评价

6.3 其他环境影响

6.3.1 化学污染物的环境影响

6.3.2 其它污染物的环境影响

6.4 退役

6.4.1 概述

6.4.2 退役策略选择

6.4.3 退役计划的制定

6.4.4 退役方案简述

6.4.5 便于退役的考虑

6.4.6 运行阶段的设计、运行资料的收集和管理

6.4.7 退役费用的考虑

6.4.8 退役管理设想

6.4.9 结论

表

表 6.2-1（1/4） 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

图

图 6.1-1 一期取排水工程方案布置图

图 6.1-2 一期工程实施后涨急流矢变化图

图 6.1-3 一期工程实施后落急流矢变化图

图 6.1-4 一期工程实施后涨潮流速变化（单位：m/s）

图 6.1-5 一期工程实施后落潮流速变化（单位：m/s）

图 6.1-6 一期工程实施后首年海床冲淤变化（单位：m）

图 6.1-7 一期工程实施平衡后海床冲淤变化（单位：m）

6.1 散热系统的环境影响

6.1.1 散热系统方案

金七门核电厂利用猫头洋海域作为冷却水源，1、2 号机组总冷却水量约为 $140\text{m}^3/\text{s}$ 。

现阶段取排水总体布置方案详见图 6.1-1。采用海水直流冷却系统，由厂址南侧深槽取水。其中循环水采用暗涵取水方案，一期工程 2 台机组共用一座取水泵房，泵房前设前池，暗涵由单孔暗涵过渡至双孔共壁暗涵。重要厂用水采用岸边取水方案，一期工程 2 台机组共用取水泵房和取水头部构筑物，取水头部构筑物布置于金七门水道东侧，直接面对深槽由深槽取水。

一期工程 2 台机组海域范围内采用排水暗涵，排水暗涵采用双孔共壁的结构形式，单孔尺度为 $6.0\text{m} \times 6.0\text{m}$ 。排水口位于厂区东侧，排水头部位于约 -10m 水深处。1、2 号机组排水暗涵长约 977.4m 。

6.1.2 散热系统对水体的物理影响

6.1.2.1 散热系统设施对水体的物理影响

委托相关单位进行了工程海域的水下地形测量和全潮水文观测，基于新的水文及水下地形资料，进行了厂址附近海域的海床及岸滩稳定性和泥沙冲淤数模分析和研究。采用经充分验证的考虑波浪作用的二维潮流泥沙数学模型，对金七门核电工程海域水动力变化、大范围滩面冲淤等进行了模拟研究。图 6.1-2 和图 6.1-3 为一期工程实施后，工程大范围海域涨落潮流场矢量变化图。图 6.1-4 和图 6.1-5 为一期工程实施后，工程大范围海域涨落潮流速变化图。

图 6.1-6 和图 6.1-7 分别为一期工程实施后，首年冲淤和冲淤平衡时海床的冲淤变化图。一期工程实施后，重要厂用水取水口淤积幅度约为 0.9m ，首年淤幅 0.2m 。一期循环水取水口淤幅 1.1m ，首年淤幅 0.2m 。

6.1.2.2 温排水对水体的物理影响

为了分析温排水在海域内输移和扩散规律，并评价核电厂在运行期间的温排放对取水口温升及厂址附近海域的影响，委托相关单位进行温排水数模研究，本节内容主要是根据《浙江金七门核电厂一期循环冷却水温排放三维数值模拟计算报告》（2022 年 5 月）编制完成。

结合 2020 年冬、夏季水文原型观测资料，对建立的平面三维水流数学模型进行了验证计算。总体而言，所建立的三维潮流数学模型较好地模拟了金七门核电工程附近海域的

潮位、潮流变化情况，分层流速、流向验证良好，可据此开展浙江金七门核电厂可行性研究循环冷却水温排放三维数值模拟计算的研究工作。

计算分析结果表明：

1) 金七门核电温度场受工程海域潮流涨落特性影响，不同潮流流态变化不大，但该海域潮流动力条件复杂，厂址周边海域整体西侧流速整体大于东侧，三门湾内涨潮流速大于落潮流速。冬、夏季半月潮时，温排水整体向东北向和西南向两个方向输移扩散，其中温升边界向西南向的输移扩散强度更大。

2) 金七门核电站 1、2 号机组采用暗管排水，在排水口近区高温升区水域表、底存在热分层现象，表层高温升区范围大于底层。随着距排水口距离的增加，温排水被环境水体稀释，温度降低，浮力效应减弱，温排水在水深方向混掺逐渐均匀，低温升区各层温排水分布形态及面积差别逐渐减小。

3) 夏季半月潮时，4°C 温升垂向投影最大包络面积的最大值为 1.31km²，1°C 温升垂向投影最大包络面积的最大值为 17.82km²。

冬季半月潮时，4°C 温升垂向投影最大包络面积的最大值为 2.45km²，1°C 温升垂向投影最大包络面积的最大值为 21.01km²。

4) 冬季大、中、小潮汛期，4°C 温升垂向投影最大包络面积的最大值分别为 1.44km²、1.02km²、1.25km²，1°C 温升垂向投影最大包络面积的最大值分别为 8.31km²、6.05km²、14.07km²。

夏季大、中、小潮汛期，4°C 温升垂向投影最大包络面积的最大值分别为 0.82km²、0.89km²、0.87km²，1°C 温升垂向投影最大包络面积的最大值分别为 7.30km²、7.54km²、11.51km²。

5) 与相关功能区划、生态保护红线的符合性

本项目运行期温排水与近岸海域环境功能区划是相符合的。

排水口为中心半径 15km 范围内海域生态保护红线为浙江象山花鸟岛国家海洋公园生态保护红线，详见本报告第二章。本项目运行期温排水扩散范围远离海洋生态保护红线，与厂址海域海洋生态保护红线是相符合的。

项目温排水温升范围涉及宁波市南部海洋重点管控单元（金七门区块）（编码 ZH33020020011），符合调整后“三线一单”的相关管控要求。

6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

6.1.3.1 取水工程对水生生物的影响

大量的循环冷却水取水将对取水口周围的较小海洋生物产生卷吸效应，如鱼卵、仔稚鱼、仔虾、浮游生物及其游动的生物幼体可能被卷吸，并通过旋转滤网进入冷却水循环系统。在通过冷凝器时经受激剧温度变化的热冲击致使活力下降、肌体受损伤乃至死亡，即“卷载”现象；个别较大的生物可能被取水设施的旋转滤网阻截时受到机械撞击、擦伤、切断和死亡，即“卷塞”。由于机械损伤和热冲击等产生的“卷塞”和“卷载”生物效应因生物种群耐受力不同而存在差异。

基于金七门核电厂地理位置、水文、气象等厂址条件（详见报告第二章），对海水直流和二次循环两种冷却方式进行了分析比选（6.1.1 节），本期工程冷却系统拟采用海水直流冷却方式。关于海水用水量和冷却水取水系统相关描述详见 4.3 节。

现已启动本项目冷源堵塞物的调查工作，通过调查可以得到海洋堵塞物的种类组成和数量分布特点，梳理出潜在的海洋堵塞物名录、风险等级目录以及风险月历，从而为核电厂取水口的海工设计及冷却水系统设计提供科学依据，设置相应的冷源堵塞物拦截措施及监测预警措施，减小海生物被带入核电厂海水取水系统的概率。根据《核动力厂取排水环境影响评价指南》（HJ1037-2019），初步判定本工程厂址归于生物价值低-冷却水流量高的组合，难以直接判定最佳实践技术。在这种情况下，需在开展文献调研、现场调查和实验研究的基础上，进行估算或模型模拟，从而对取水设施环境影响进行分析和评价，综合考虑经济因素和技术水平确定最佳实践技术。

本工程已开展了取排水工程最佳实践技术专题研究工作，后续补充取水方面的研究结论。

6.1.3.2 温排水对海洋生态的影响

在机组的运行过程中，大量的冷却水经过冷凝器后一般温升 8°C 左右，其后排入环境水体将导致排放口附近有限的海域海水温度升高。如果环境水体升温后超过海洋生物生长的适宜温度，就有可能导致海洋生物生长受到抑制甚至死亡；如果在适温范围内，也有可能因为环境水体温度的升高，反而促进海洋生物的生长和繁殖。另外反应堆突然启动或停闭导致排放口水温的骤然改变造成的“冷冲击”，特别在寒冷季节，鱼类往往来不及适应或避开而可能死亡。

根据国外有关研究资料，当夏季水温升高 $6\sim 8^{\circ}\text{C}$ 时，会引起浮游植物光合作用的活性减弱，这种现象并未破坏藻类的细胞，经过几个小时后（不超过一昼夜），浮游植物的光合作用就会恢复。对浮游动物而言，水体增温 $\leq 3^{\circ}\text{C}$ 时，多数情况下不会对其种群有不利影响，有时还会促进其种类、数量及生物量的增加，从而提高海域的生产力和物种的多样性。

在表层水中，温度是影响鱼类分布重要的环境因子。热排放进入受纳水体后，会改变鱼类等水生生物在水体中的正常分布，引起群落结构的变化。不同增温区对鱼类的影响也不同，特别是夏季增温对某些鱼类分布的影响比较明显。而在其他季节，特别是冬季，增温对某些暖水性鱼类可能会表现出有利的影响，一定范围内种群数量随水温升高而提高，并且鱼类种类的迁入增多、迁出减少，其个体数量也增加。

研究表明，热排放对邻近水域鱼类的产卵活动产生一定的影响，而对仔鱼的生存及分布影响不大。鱼类一般避开温升 1.0℃ 以上水域产卵。本项目排水口未进入蓝点马鲛鱼产卵场，温升对其影响有限。

综上所述，在夏季，工程引起排放口附近温升 4℃ 的范围内浮游生物、鱼类的种类及渔获量会受到影响，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。

根据《核动力厂取排水环境影响评价指南》（HJ1037-2019），由 6.1.2.2 节所述温排水物理影响预测结果，本厂址温升影响面积小，可初步判断本厂址现有排水方案满足温排水潜在影响小的条件。在这种情况下，采用分析论证类型 I 进行温排水环境影响分析论证。最终证明给出的温排水限值能够满足水体质量标准，对受纳水体中关键物种和经济物种的生长和繁育影响小。

本工程已开展了取排水工程最佳实践技术专题研究工作，研究结果表明，本项目温排水对周边海域生物的影响有限，不会对物种产生明显损害。本项目热扩散区的设置符合相关的要求，不削弱水体的整体使用功能，不会导致相应区域的功能降级，热扩散区范围小于基于最佳工程实践范围确定的热扩散区范围。因此，本项目热扩散区的设置是合理的。综合温排水影响评价结果、热扩散区设置与范围、排水工程的经济性等方面判定本项目排水工程符合最佳实践技术。

6.2 正常运行的辐射影响

6.2.1 流出物排放源项

（1）气载流出物排放源项

本工程运行状态下，气载流出物主要通过烟囱排入大气。

本工程两台华龙一号机组运行状态下，气载流出物排放量设计值与《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	本工程两台华龙一号机组排放量设计值 Bq/a	两台机组排放量控制值 Bq/a	比值
------	------------------------	-----------------	----

惰性气体	1.17E+14	8.00E+14	14.63%
碘	1.16E+09	2.67E+10	4.36%
粒子（ $T_{1/2} \geq 8d$ ）	1.87E+08	6.67E+10	0.28%
氡	9.68E+12	2.00E+13	48.40%
C-14	7.30E+11	9.33E+11	78.24%

各类核素的排放量均满足 GB 6249-2011 规定的年排放量控制值要求。

厂址 6 台机组运行状态下，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	厂址 6 台华龙一号机组 总排放量设计值 Bq/a	厂址排放量控制值 Bq/a	比值
惰性气体	3.51E+14	2.40E+15	14.63%
碘	3.49E+09	8.00E+10	4.37%
粒子（ $T_{1/2} \geq 8d$ ）	5.61E+08	2.00E+11	0.28%
氡	2.90E+13	6.00E+13	48.40%
C-14	2.19E+12	2.80E+12	78.21%

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。

（2）液态流出物排放源项

本工程两台华龙一号机组运行状态下，液态流出物排放量设计值与《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）规定的厂址液态流出物年排放量控制值的比较如下：

核素类别	本工程两台华龙一号机 组排放量设计值 Bq/a	两台机组排放量控制值 Bq/a	比值
氡	8.72E+13	1.00E+14	87.20%
C-14	5.36E+10	2.00E+11	26.80%
其余核素	1.43E+10	6.67E+10	21.38%

各核素均满足 GB6249-2011 中对厂址液态流出物年排放量控制值的要求。

厂址 6 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）规定的厂址液态流出物年排放量控制值的比较如下：

核素类别	厂址 6 台华龙一号机组总 排放量设计值 Bq/a	厂址排放量控制值 Bq/a	比值
氡	2.62E+14	3.00E+14	87.20%
碳-14	1.61E+11	6.00E+11	26.80%
其余核素	4.28E+10	2.00E+11	21.39%

各核素均满足 GB6249-2011 中对厂址液态流出物年排放量控制值的要求。

本工程运行状态下，核岛的放射性流出物中除氡和碳 14 外其他放射性核素浓度在保守工况下为 396.53Bq/L，在现实工况下为 62.13Bq/L，均满足 GB6249-2011 规定的排放控制值的要求。

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临近海域，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。

本工程所在厂址为滨海厂址，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

本工程运行状态下，气载流出物在大气中迁移和扩散及其对公众的辐射剂量的计算采用的是核环境影响评价程序包的正常气态流出物评价模块。该程序的正常气态流出物评价模块已于 2007 年通过国家环保总局的验收，可以用来计算核设施运行状态下排放的气载流出物对环境的影响。

在大气弥散计算中：该模式对于影响大气弥散的因素进行了较为全面的考虑，进行了风摆效应、静风的分配、大气稳定度、混合层高度、建筑物尾流以及不同地形特征的修正；同时还根据排放口的特征对排放源类型进行了分类考虑，包括高架排放、地面排放和混合排放；该程序可以计算出评价区内各子区的大气弥散因子和核素浓度。

在剂量估算中，对放射性核素衰变及地面沉积、清除和转移进行了考虑，并根据食谱、生活习性以及剂量转换因子的不同对各年龄组进行分别考虑，计算了空气浸没外照射、地面沉积外照射、烟云吸入内照射和农产品与动物产品食入内照射四种途径的辐射剂量。空气浸没外照射的计算考虑了建筑物的屏蔽效应，地面沉积外照射的计算根据联合频率考虑了干、湿沉积的共同影响，农产品和动物产品食入内照射的计算中考虑了核素通过沉降等途径在土壤和食物链中的转移过程。

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》（GB18871-2002），其余核素的空气浸没外照射剂量转换因子和地表沉积外照射剂量转换因子（包括空气中和水中）取自美国联邦导则 12 号报告（1993）《空气、水和土壤中核素导致的外照射》，食入和吸入内照射剂量转换因子分别取自 GB18871-2002 中的表 B6、表 B7 和表 B9；各核素的转移系数和浓集因子取自 IAEA 安全

丛书 19 号报告。

（2）液态途径

剂量估算计算中食入有效剂量转换因子取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），地表沉积和水中浸没剂量转换因子取自美国联邦导则 12 号报告（1993），沉积吸附分配系数 K_d 取自 IAEA 安全丛书 19 号报告。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。

6.2.4 大气弥散和水体稀释

（1）大气弥散

Cs-137 的年均大气弥散因子范围为 $2.55E-10 \text{ s/m}^3 \sim 5.70E-07 \text{ s/m}^3$ ，I-131 的年均大气弥散因子范围为 $2.44E-10 \text{ s/m}^3 \sim 5.70E-07 \text{ s/m}^3$ ，Kr-85 的年均大气弥散因子范围为 $2.55E-10 \text{ s/m}^3 \sim 5.70E-07 \text{ s/m}^3$ 。大气弥散因子最大值均出现在厂址 SSW 方位 0-1km 处。根据本报告 2.4.3 节，气象塔 75m 处的最多风向为 NNE，与大气弥散因子结果一致。

Cs-137 的相对干沉积因子范围为 $3.82E-13 \text{ m}^{-2} \sim 8.55E-10 \text{ m}^{-2}$ ，I-131 的相对干沉积因子范围为 $2.44E-12 \text{ m}^{-2} \sim 5.70E-09 \text{ m}^{-2}$ 。相对干沉积因子最大值均出现在厂址 SSW 方位 0-1km 处。

Cs-137 和 I-131 的相对湿沉积因子范围为 $9.57E-14 \text{ m}^{-2} \sim 2.07E-10 \text{ m}^{-2}$ ，相对湿沉积因子最大值均出现在厂址 NNE 方位 0-1km 处。

（2）水体稀释

浙江省水利河口研究院于 2022 年 3 月完成了《浙江金七门核电厂液态流出物排放数值计算专题报告》。液态流出物对厂址周围 5km 范围内公众的辐射影响评价计算采用的稀释因子根据距离居民点最近的海域进行取值。5km 范围外公众的辐射影响评价计算稀释因子取各评价范围内的均值。

6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度

本工程运行状态下，气载流出物主要通过烟囱排入大气。年均放射性活度浓度的最大值出现在厂址 SSW 方位半径 0~1km 处，几种代表性核素的年均放射性活度浓度最大值分别为 $2.51E-07 \text{ Bq/m}^3$ （Cs-137）、 $1.07E-05 \text{ Bq/m}^3$ （I-131）、 $3.21E-02 \text{ Bq/m}^3$ （Kr-85）。

本工程运行状态下，两台机组共用一套低放废液排放系统。计算得到核电厂排放口处的放射性核素浓度与《海水水质标准》（GB3097-1997）中相应放射性指标进行对比，即使考虑排放海域内放射性本底的叠加效应，各类放射性核素浓度也都符合 GB3097-1997

的要求。

6.2.6 公众的最大个人剂量

在计算公众的最大个人有效剂量中，源项采用设计排放源项。

（1）气态途径

本工程运行状态下，气态途径释放的放射性物质对各年龄组（成人、青少年、儿童、婴儿）公众造成的最大个人有效剂量分别为 $5.30\text{E-}08\text{Sv/a}$ 、 $5.71\text{E-}08\text{Sv/a}$ 、 $5.61\text{E-}08\text{Sv/a}$ 、 $4.52\text{E-}08\text{Sv/a}$ 。

（2）液态途径

本工程运行状态下，液态途径释放的放射性物质对各年龄组（成人、青少年、儿童、婴儿）公众个人造成的最大有效剂量分别为 $2.39\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 、 $1.03\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 、 $1.17\text{E-}07\text{Sv/a}$ 、 $6.30\text{E-}08\text{Sv/a}$ 。

（3）气液态综合途径

本工程运行状态下，气载和液态途径释放的放射性物质对各年龄组（成人、青少年、儿童、婴儿）公众个人造成的最大有效剂量分别为 $2.92\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 、 $1.60\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 、 $1.73\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 、 $1.08\text{E-}07\text{Sv/a}$ 。因此，本工程运行状态下，公众受到的最大个人有效剂量 $2.92\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 占本工程拟定剂量约束值（ 0.08mSv/a ）的 0.37%。

6.2.7 非人类生物的辐射剂量

本节主要估算浙江金七门核电厂一期工程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。

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

中国核电工程有限公司

境介质中对不同生物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

从影响率的结果来看，浙江金七门核电厂一期工程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^{-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，浙江金七门核电厂一期工程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。

6.2.7.6 陆生生物辐射影响的估算

从影响率的结果来看，浙江金七门核电厂一期工程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，浙江金七门核电厂一期工程两台机组正常运行时，厂址附近陆域范围内陆生生物是安全的。

6.2.8 关键人群组、关键核素、关键照射途径

本工程运行状态下采用现实排放源项计算周围的关键人群组、关键核素和关键照射途径。厂址半径 80km 范围内气液态流出物排放对公众个人所致有效剂量见表 6.2-1，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 $1.09\text{E-}02$ 人 $\cdot\text{Sv/a}$ 。

根据现实源项的评价结果，厂址半径 80km 范围内成人组、青少年组、儿童组、婴儿组最大个人有效剂量分别为 $1.28\text{E-}07$ Sv/a、 $6.35\text{E-}08$ Sv/a、 $5.84\text{E-}08$ Sv/a、 $3.27\text{E-}08$ Sv/a。最大个人有效剂量出现在厂址 N 方位 3~5km 处，此处居住的是鹤浦镇牧童岙村的村民，关键居民组为成人（渔民）组，受到的最大个人有效剂量为 $1.28\text{E-}07$ Sv/a，其中气载途径所致的剂量为 $1.38\text{E-}08$ Sv/a，液态途径所致的剂量为 $1.14\text{E-}07$ Sv/a。

气态途径的主要途径为食入农牧产品造成的内照射途径，约占气态途径总剂量的 80.96%；其次为吸入空气内照射途径，约占气态途径总剂量的 12.70%；空气浸没外照射和地面沉积外照射途径分别占气态途径的 3.91%和 2.43%。气态途径主要核素为 C-14，它所造成的剂量约占气态剂量的 69.06%；其它贡献较大的核素为 H-3 和 Kr-88，分别占气态途径总剂量的 24.41%和 1.80%。

液态途径主要途径为食入海产品造成的内照射途径，占液态途径总剂量的 52.50%。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 46.43%；其它贡献较大的核素为 Co-60 和 Co-58，分别占液态途径总剂量的 46.42%和 4.31%。

气液态综合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 $5.96\text{E-}08\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 46.80%；其次为液态途径的岸边沉积造成的外照射途径，占气液态总剂量的 42.33%。各核素中的关键核素为 C-14，它所致的剂量为 $6.23\text{E-}08\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 48.90%；另外，Co-60 和 Co-58 的剂量贡献也较大，分别占气液态总剂量的 41.53% 和 3.86%。

6.2.9 辐射影响评价

综合上述计算分析，本工程运行状态下，气态和液态排放源项、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。

本工程运行状态下，厂址附近水生生物和陆生生物所受辐射剂量率均远小于 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

浙江金七门核电厂一期工程工艺系统中化学污染物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：

- 海水淡化系统；
- 除盐水生产系统；
- 凝结水精处理；
- 循环水处理系统。

6.3.1.1 海水淡化系统

海水淡化系统产生的废水其主要化学物质是海水预处理过程产生的悬浮物和沉淀泥浆、海水淡化反渗透装置排出的浓盐水。

由于海水预处理过程中所用的化学药品均是根据原水水量、悬浮物及浊度等条件按比例投加的，含有悬浮物和氢氧化铝的沉淀泥浆水进入污泥浓缩池进行浓缩，浓缩后的固体物质进入污泥脱水机脱水，脱水后滤液回收至污泥浓缩池，污泥脱水后泥饼外运，不向水体排放固体物质。污泥浓缩池上清液排至海水系统，工艺流程中添加的混凝剂、助凝剂较少，且在工艺处理过程中消耗殆尽，与循环水排水混合后含盐量等指标与原海水基本相同，不会对环境造成影响。V 型滤池反洗排水回收至混凝沉淀工艺进水端，不排放，不会影响附近海域的海水质量。

海水反渗透浓盐水中仅添加了无磷环保型阻垢剂（有机羧酸类以及磺酸类共聚物，不

含氮、磷）和亚硫酸钠还原剂，含盐量约是原海水的 1.50~1.82 倍。海水反渗透装置的浓盐水最大排放量约为 14430 m³/d，本工程循环水排水流量约 136 m³/s，浓盐水的排放量为循环水排水量的 1/814。浓盐水排至虹吸井后，能够有效被循环水排水稀释，且工艺流程中添加的阻垢剂、还原剂量较少，稀释后含盐量等指标与原海水基本相同，不会对环境造成影响。

6.3.1.2 除盐水生产系统

除盐水生产系统树脂再生废水的 NaCl 排放浓度很低，两小时内最大释放浓度小于 2 g/L，与海水中天然 NaCl 浓度相比是很低的。《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）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。

6.3.1.3 凝结水精处理

本工程精处理再生处理过程中投加 HCl 和 NaOH，用于阳树脂和阴树脂的再生。再生产生的废水排入废水中和池内，系统设有加酸、加碱装置，通过废水泵的搅拌中和作用使 pH=6~9，然后通过废水泵送到冷凝液净化过滤器废水监测系统（LDL）。再生废水中的主要物质是 NH₄Cl 和 NaCl。

经处理，排入环境中的 NaCl 浓度低于海水浓度，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 NH₄Cl，排放浓度小于 5mg/L。氨氮排放满足《污水综合排放标准》中一级标准（不大于 15 mg/L）。因此，不会影响附近海域的海水质量。

6.3.1.4 循环水处理系统

循环水处理系统对流经循环水系统和重要厂用水系统的海水作连续配合冲击加氯处理，即加入次氯酸钠溶液，在重要厂用水系统、循环水系统流道连续加氯使循环水系统及重要厂用水的海水中的次氯酸钠的浓度达到 1 ppm（冲击加氯浓度 3ppm），以防止海生物在管道内和排放口繁殖，从而避免因其繁殖而导致的管道断面缩小，阻力增加，流量降低。

加入循环冷却水中的游离态氯衰减得很快，主要是与水中的氨、有机物和微生物等还原性物质作用而消耗。化合态余氯为氯氨（氨氮、有机胺、氯化合而成），如一氯胺（NH₂Cl）、二氯胺（NHCl₂）等。化合态余氯氧化能力低，在海水中比较持久稳定，但它的生物毒性远小于游离态氯。另一主要的因素是残余氯在海区中的稀释与扩散，冷却水排入海域后，随着潮汐和海流的运动，冷却水不断与海区中大量的海水进行混合，在这个过程中，残余

氯亦得到稀释，不断扩散到海区中去，并进一步得到消耗。循环水系统中加入的次氯酸钠在冷却水中迅速地消耗，至排放口时，余氯浓度约为 0.10 mg/L 左右。

根据南海水产研究所的研究结果，当余氯浓度为 0.1 mg/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 0.05 mg/L 时，藻类的初生组织开始受到影响，浓度高于 0.3 mg/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 0.3 mg/L 左右时，幼鲈的不孵化率为 36%，浓度为 0.05 mg/L 时仅为 1%。可见，余氯浓度大于 0.05 mg/L 时，才可能对海洋初级生产力造成影响。

本项目的排放口余氯排放标准执行《海水冷却水排放要求》（GB/T 39361-2020），排放口余氯源强小于 $<0.1\text{mg/L}$ 。考虑到冲击加药等不利工况，余氯源强按 0.2 mg/L 保守设定。根据《浙江金七门核电厂海洋环境影响篇章》，余氯的半衰期仅 1.5 h，在海洋环境水体中经稀释后很快自衰。在水中的输移、分布主要依靠潮流的挟带，加上化合作用，余氯浓度场主要集中在排水口附近，浮游动植物对余氯毒性较为敏感，且趋避能力较弱，受到影响相对较大。游泳生物一般会回避该区域。在海洋环境水体中经稀释作用下，余氯对其他水域浮游植物、浮游动物、游泳动物影响很小。

6.3.2 其它污染物的环境影响

6.3.2.1 生产废水和生活污水的影响

本工程非放射性生产废水包括除盐水生产厂房树脂再生废水、制氯站酸洗废水、非放射性含油废水、空调设备冷凝水、工艺管廊集水坑排水、各厂房地面冲洗水、核岛生产废水、常规岛生产废水等，以及消防水池溢流水和泄空水。

本工程通过室外管网收集汽机厂房、主变压器和降压变压器平台等子项的非放射性含油废水，汇集至污水系统油水分离器。非放射性含油废水经过油水分离设施处理，其石油类指标达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中的一级 B 标准后，经室外生产废水管网排入非放射性污废水处理站内的大型调节池进一步处理或回用。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。非放射性含油废水处理能力：正常 $5\text{ m}^3/\text{h}$ ，最大 $10\text{ m}^3/\text{h}$ 。

常规岛大修期间闭式冷却水系统含磷废水单独收集，采用储罐和泵形式压力流排入非放射性污废水处理站内小型调节池。核岛各类非放生产废水和其他子项非放生产废水经室外生产废水管网排入非放射性污废水处理站内小型调节池。对小型调节池中废水水质进行监测，超标进入后续水处理工艺环节处理，若达标则排入回用水池；除盐水生产厂房废水在废水中和池进行监测，监测达标经室外生产废水管网排入回用水池，超标则接入非放射

性污水处理站处理。

经油水分离处理后的事故含油废水、消防水池排空废水经室外生产废水管网排入非放射性污水处理站内的大型调节池，对大型调节池中废水水质进行监测，超标进入后续水处理工艺环节处理，若达标则排入回用水池。

本工程运行期生产区和厂前区各子项的生活污水通过相应污水管网汇集至非放射性污水处理站处理。

排入非放射性污水处理站的各类污废水经处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中车辆冲洗水质标准后，用于绿化、道路浇洒和洗车等，回用剩余水量排入大海，排放水质中的 COD、总氮、氨氮和总磷等 4 项主要水污染物指标执行《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）中表 2 排放浓度限值要求，其余指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准。非放射性污水处理站的设计规模 900m³/d，为金七门项目 1~4 台机组服务。

满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准和《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）中表 2 排放浓度限值要求的生活污水以及生产废水均允许排入《海水水质标准》（GB3097-1997）中海水二类功能区域。本工程海水区域为二类功能区域，满足排放条件。同时，非放射性污废水处理站处理后的再生水优先回用，仅回用剩余部分排放。因此，非放射性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

浙江金七门核电厂一期工程与漳州核电厂 3、4 号均为华龙一号机组，本工程的噪声影响类比漳州核电厂 3、4 号机组进行评价。

漳州核电厂 3、4 号机组运行后，两台机组中心点距离南厂界最近，距离约 128m，声源对南厂界的贡献值最大为 40.8dB(A)，其次是北厂界，声源对北厂界的贡献值为 34.7dB(A)。因此，漳州核电厂 3、4 号机组运行后，声源对各厂界的噪声贡献值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中规定 2 类标准限值，即昼间 60 dB(A)和夜间 50 dB(A)。

浙江金七门核电厂一期工程两台机组中心距离场界更远，距离约 214m。类比分析，浙江金七门核电厂一期工程正常运行对厂界的噪声贡献值可以满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中规定 2 类标准限值，即昼间 60 dB(A)和夜间 50 dB(A)。

6.3.2.3 电磁辐射影响

浙江金七门核电厂拟建2个开关站，根据HJ 24-2020标准要求，采用类比法与已运行的田湾1-4号机组共用的500kV开关站、5-8号机组共用的500kV开关站的电磁辐射强度和分布的实际测量进行对比，对本工程建成后电磁环境影响进行预测。

田湾核电厂厂址区域5km范围内电磁环境的主要评价结论如下：

工频电场/工频磁场：田湾核电厂厂区工频电场强度监测值在0.164V/m~1428.52V/m之间，工频磁场强度监测值在0.036 μ T~9.793 μ T之间；输电线路工频电场强度监测值范围在1.326V/m~2044.64V/m之间，工频磁场强度监测值在0.035 μ T~6.817 μ T之间；田湾核电厂厂区外环境敏感区工频电场强度监测值在0.118V/m~106.80V/m之间，工频磁场强度监测值在0.038 μ T~0.087 μ T之间。根据以往工程经验，机组正常运行时，开关站电场强度最大值一般出现在靠近输电线路边相外0-5m处，最大磁场强度一般在中相导线的正下方附近，然后随距离增加而降低。距离田湾核电站厂址最近的居民区位于厂址NNW方位约1.4km，此处工频电场监测值为0.371V/m，工频磁场监测值为0.043 μ T。所有工频电场/工频磁场强度监测值都分别小于标准限值4kV/m和0.1mT（100 μ T），符合标准要求。

距离浙江金七门核电厂规划厂址周围的居民点，此处工频电场强度为1.13V/m，工频磁场监测值为0.0092 μ T，工频电场/工频磁场强度监测值都分别小于标准限值4kV/m和0.1mT（100 μ T），预计工程正常运行后对居民区的影响较小，可忽略不计。

浙江金七门核电厂厂址区域附近电磁辐射污染源要少于田湾核电站厂址区域。可以预见，浙江金七门核电厂投运后500kV开关站对周围环境的电磁辐射影响也能够满足国家相关标准的要求。

6.4 退役

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。本节主要对浙江金七门核电厂1、2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，并在退役费用和中国核电工程有限公司

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。

浙江金七门核电厂 1、2 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，针对浙江金七门核电厂 1、2 号机组退役推荐选择立即拆除的退役策略。理由如下：

- 浙江金七门核电厂 1、2 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。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，结合国内外退役技术的发展及国内外交流合作的日益紧密，可保证待浙江金七门核电厂 1、2 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，浙江金七门核电厂 1、2 号机组退役选择立即拆除的退役策略是合适的。

6.4.3 退役计划的制定

退役最终目标的实现取决于周密和有组织的计划。国家核安全监管部门要求新建核设施要制定退役计划。计划的内容、范围和详细程度应根据设施的复杂性和潜在危害的不同进行调整。核电厂退役计划分三个阶段制定和提交，即：初始计划、中期计划和最终计划。三个阶段计划的内容应逐步深入、完善、细化和优化。其中安全分析和环境影响评价是退役计划安全实施的关键。

6.4.3.1 初始退役计划

初始计划的制定要考虑以下几方面的问题：退役可行性的一般分析；退役涉及到的安全问题的基本考虑；退役实施对环境影响方面的考虑；退役费用及筹资方式；明确退役期间需使用的现有设施、系统和设备。

6.4.3.2 中期退役计划

核电厂运行期间需要对初始退役计划进行定期审核、更新和细化，以制定中期退役计划（若发生重大事故时应立即制定）。需要更新和细化的内容包括：国家有关退役政策和法规的变化；退役技术的发展；退役实施时可能发生的异常事件；对影响退役计划的系统和结构的重大修改；退役费用的估算及落实情况。

6.4.3.3 最终退役计划

核电厂安全关闭前要提交详细的最终退役计划，作为关闭申请和退役申请的支持性文

件，其内容深度应符合国家核安全监管部门的相关规定。

6.4.4 退役方案简述

6.4.4.1 退役范围

浙江金七门核电厂 1、2 号机组堆型配置方案为 2 台华龙一号改进型百万千瓦级核电机组，1、2 号机组将是浙江金七门核电厂最早退役的项目，所以将仅为浙江金七门核电厂 1、2 号机组服务的放射性设施纳入此退役范围。

6.4.4.2 退役方案

浙江金七门核电厂 1、2 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，新建必要的废物处理设施，可接收大型设备进行解体切割，并具备所需的废物处理整备手段，确保废物出路畅通。

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

根据国家相关标准的要求，浙江金七门核电厂 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

在浙江金七门核电厂 1、2 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》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号文）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。

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。

浙江金七门核电厂 1、2 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。

这一阶段的任務主要是尽量完成需要类似运行期操作的系统作业，如全系统在线去污（如果需要），还应将运行期间堆放的废物收集做妥善处理整备，另外应对设施系统的放射性盘存量进行调查。

退役期主要活动是将设施内所有放射性物项进行拆卸、解体、包装、处理以使所有设施内不再存有不符退役终态要求的放射性物项，并且最终进行建（构）筑物拆毁和厂址清理，使厂址最终无限制开放。

6.4.9 结论

通过上述分析，得出如下结论：

- 1) 核电厂退役策略选择受多种因素影响，在本核电厂建造可行的前提下，从目前的国家政策、费用来源、废物出路以及退役技术方面来看，建议将来采用立即拆除策略。
- 2) 浙江金七门核电厂 1、2 号机组在设计阶段已考虑方便退役工作的多项措施，将来建造过程中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				1.28E-07	2.98E-08	1.59E-08	1.45E-08	2.11E-09	1.78E-09	7.02E-10	5.65E-10	4.67E-10
NNE						1.57E-08			1.72E-09	6.47E-10		
NE									1.51E-09	4.81E-10		
ENE												
E												
ESE								1.45E-09				
SE												
SSE												
S								3.15E-09	2.53E-09	1.26E-09	9.98E-10	8.13E-10
SSW							1.83E-08	4.62E-09	3.58E-09	2.05E-09	1.62E-09	1.31E-09
SW								2.28E-09	1.89E-09	7.76E-10	6.16E-10	5.03E-10
WSW								1.83E-09	1.57E-09	5.32E-10	4.25E-10	3.49E-10
W						1.52E-08	1.41E-08	1.83E-09	1.57E-09	5.31E-10	4.22E-10	3.45E-10
WNW						1.57E-08	1.44E-08	2.05E-09	1.72E-09	6.40E-10	5.07E-10	4.14E-10
NW						1.49E-08	1.39E-08	1.71E-09	1.48E-09	4.55E-10	3.59E-10	2.93E-10
NNW				1.27E-07	3.00E-08	1.60E-08	1.45E-08	2.16E-09	1.81E-09	7.12E-10	5.67E-10	4.65E-10

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				6.35E-08	2.82E-08	1.51E-08	1.39E-08	1.88E-09	1.61E-09	5.83E-10	4.70E-10	3.89E-10
NNE						1.49E-08			1.56E-09	5.40E-10		
NE									1.39E-09	4.01E-10		
ENE												
E												
ESE								1.34E-09				
SE												
SSE												
S								2.74E-09	2.22E-09	1.04E-09	8.23E-10	6.71E-10
SSW							1.71E-08	3.95E-09	3.08E-09	1.68E-09	1.33E-09	1.08E-09
SW								2.01E-09	1.70E-09	6.41E-10	5.10E-10	4.16E-10
WSW								1.65E-09	1.43E-09	4.40E-10	3.53E-10	2.90E-10
W						1.45E-08	1.36E-08	1.65E-09	1.44E-09	4.39E-10	3.49E-10	2.87E-10
WNW						1.50E-08	1.38E-08	1.82E-09	1.55E-09	5.29E-10	4.20E-10	3.42E-10
NW						1.43E-08	1.34E-08	1.55E-09	1.36E-09	3.78E-10	2.99E-10	2.44E-10
NNW				6.28E-08	2.84E-08	1.52E-08	1.40E-08	1.92E-09	1.63E-09	5.90E-10	4.70E-10	3.86E-10

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				5.84E-08	2.04E-08	1.09E-08	9.96E-09	1.41E-09	1.20E-09	4.55E-10	3.66E-10	3.03E-10
NNE						1.08E-08			1.16E-09	4.24E-10		
NE									1.02E-09	3.12E-10		
ENE												
E												
ESE								9.81E-10				
SE												
SSE												
S								2.07E-09	1.67E-09	8.07E-10	6.40E-10	5.21E-10
SSW							1.24E-08	3.01E-09	2.34E-09	1.31E-09	1.03E-09	8.37E-10
SW								1.51E-09	1.26E-09	4.97E-10	3.95E-10	3.22E-10
WSW								1.22E-09	1.05E-09	3.42E-10	2.73E-10	2.24E-10
W						1.04E-08	9.70E-09	1.22E-09	1.05E-09	3.41E-10	2.71E-10	2.21E-10
WNW						1.08E-08	9.90E-09	1.36E-09	1.15E-09	4.10E-10	3.25E-10	2.65E-10
NW						1.02E-08	9.59E-09	1.15E-09	9.95E-10	2.93E-10	2.31E-10	1.89E-10
NNW				5.79E-08	2.05E-08	1.10E-08	1.00E-08	1.43E-09	1.21E-09	4.58E-10	3.66E-10	2.99E-10

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				3.27E-08	5.04E-09	2.58E-09	2.11E-09	5.08E-10	4.01E-10	2.29E-10	1.84E-10	1.52E-10
NNE						2.59E-09			4.04E-10	2.31E-10		
NE									3.15E-10	1.60E-10		
ENE												
E												
ESE								2.84E-10				
SE												
SSE												
S								7.91E-10	6.00E-10	3.76E-10	2.97E-10	2.42E-10
SSW							3.22E-09	1.23E-09	9.09E-10	6.07E-10	4.77E-10	3.86E-10
SW								5.25E-10	4.08E-10	2.30E-10	1.82E-10	1.47E-10
WSW								3.91E-10	3.12E-10	1.58E-10	1.26E-10	1.03E-10
W						2.28E-09	1.95E-09	3.90E-10	3.10E-10	1.56E-10	1.23E-10	1.00E-10
WNW						2.46E-09	2.04E-09	4.51E-10	3.53E-10	1.88E-10	1.48E-10	1.20E-10
NW						2.21E-09	1.90E-09	3.59E-10	2.88E-10	1.38E-10	1.08E-10	8.75E-11
NNW				3.22E-08	5.03E-09	2.59E-09	2.12E-09	5.03E-10	3.93E-10	2.20E-10	1.75E-10	1.43E-10

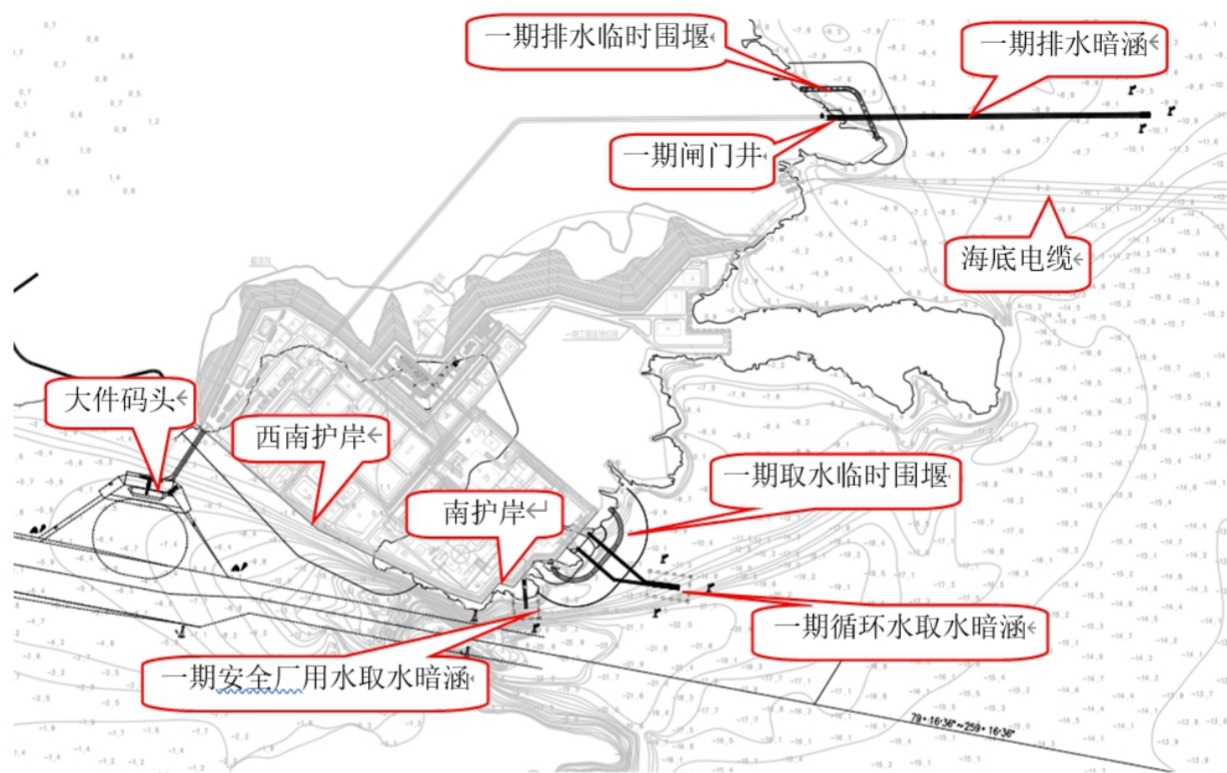


图 6.1-1 一期取排水工程方案布置图

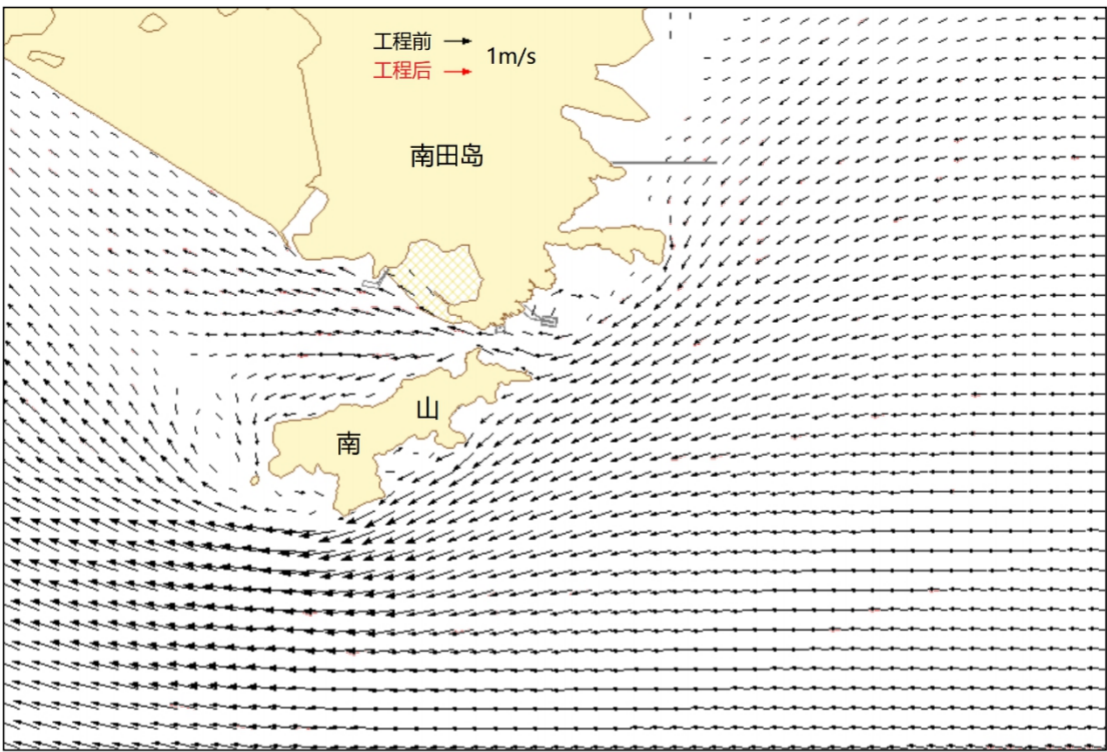


图 6.1-2 一期工程实施后涨急流矢变化图

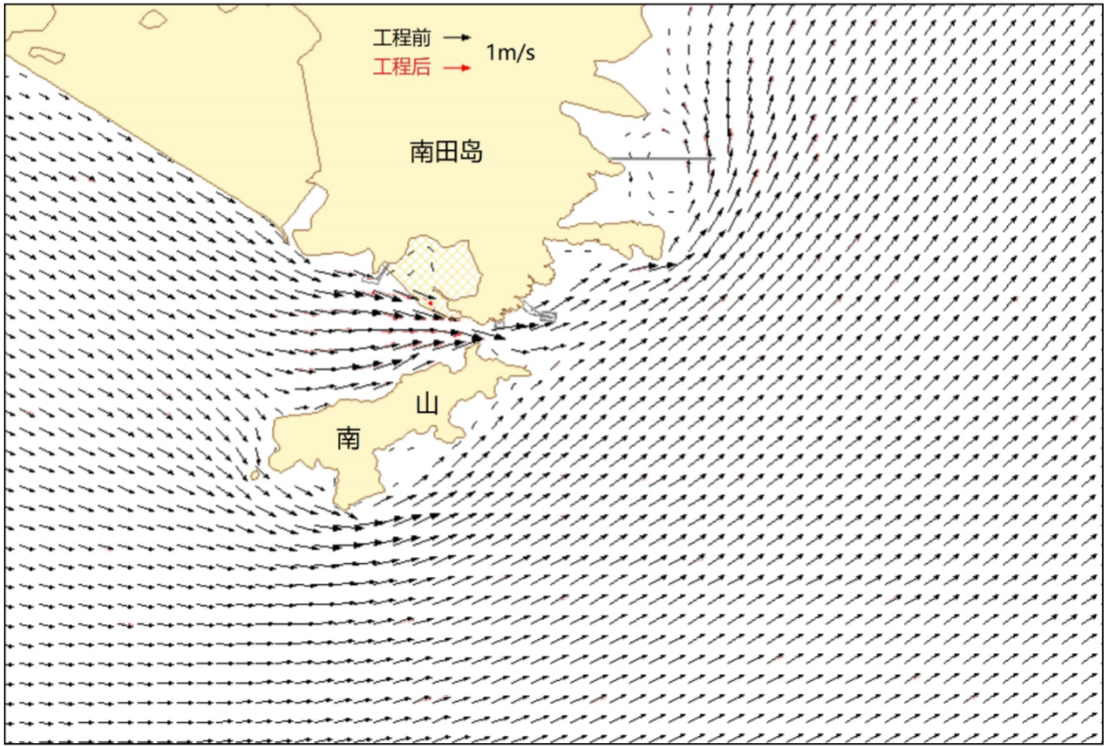


图 6.1-3 一期工程实施后落急流矢变化图



图 6.1-4 一期工程实施后涨潮流速变化（单位：m/s）



图 6.1-5 一期工程实施后落潮流速变化（单位：m/s）



图 6.1-6 一期工程实施后首年海床冲淤变化（单位：m）

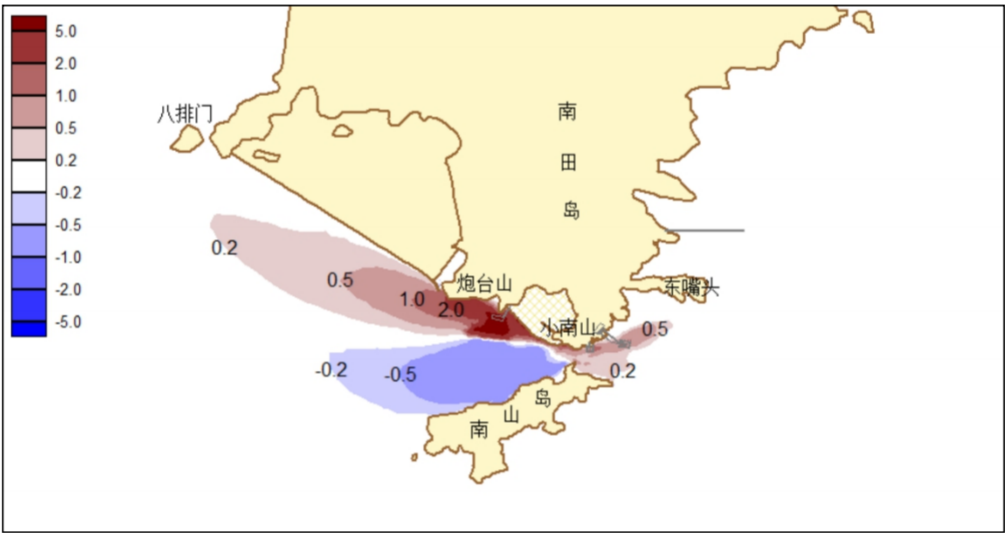


图 6.1-7 一期工程实施平衡后海床冲淤变化（单位：m）

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 事故描述及源项

7.2.2 事故后果

7.2.3 严重事故预防和缓解方案

7.3 厂内运输事故

7.3.1 新燃料运输事故

7.3.2 乏燃料运输事故

7.3.3 放射性固体废物运输事故

7.4 其他事故

7.5 事故应急

7.5.1 制定应急预案的主要依据

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。浙江金七门核电厂 1、2 号机组采用华龙一号技术方案，本章根据华龙一号机组设计基准事故源项，采用金七门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。

浙江金七门核电厂 1、2 号机组所考虑的主要设计基准事故如下：

- 失水事故
- 控制棒弹出事故
- 蒸汽发生器传热管破裂事故
- 卡轴事故
- 安全壳外含有一次侧冷却剂小管道破损事故
- 主蒸汽管道破裂事故
- 废气处理系统衰变箱破裂事故
- 化学容积控制系统容控箱破裂事故
- 燃料操作事故

根据《核动力厂环境辐射防护规定》GB6249-2011 的相关规定，将失水事故、控制棒弹出事故、蒸汽发生器传热管破裂事故（事故前碘峰）、卡轴事故、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损事故、化学和容积控制系统容控箱破裂事故按照稀有事故进行评价。

7.1.1 事故描述

7.1.1.1 失水事故

一回路系统中等效直径大于 34.5cm 的破裂定义为大破口失水事故。

大破口失水事故通常可分为四个阶段：

- 喷放阶段，破裂开始到安注箱注射开始的阶段。
- 喷放结束/再灌水阶段，安注箱开始注射并持续直到堆芯底部开始淹没的过程。
- 早期再淹没阶段，直到安注箱注射结束。
- 晚后期再淹没阶段，直到堆芯完全骤冷和长期冷却建立。

大破口失水事故属于极限事故。

7.1.1.2 控制棒弹出事故

控制棒弹出事故是由于控制棒驱动机构耐压壳机械损坏，导致控制棒组件和驱动轴弹出堆芯外。这种机械损坏将导致正反应性的快速引入和堆芯不利的功率分布畸变。事故中可能引起局部的燃料棒损坏。

控制棒弹出事故属于极限事故。

7.1.1.3 蒸汽发生器传热管破裂事故

蒸汽发生器传热管破裂事故(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。

本事故分析考虑两种情况：工况 A，验证破损蒸汽发生器不发生满溢，不会有向环境的放射性液体释放；工况 B，计算向环境的最大放射性蒸汽释放。

蒸汽发生器传热管破裂（工况 A 事故触发碘尖峰）属于稀有事故，蒸汽发生器传热管破裂（工况 B 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。

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。

ZGT 系统破损可能有各种起因，例如缓冲罐或贮存罐破裂、操作员差错或阀门失效等。

一个罐完全破裂导致事故发生时该罐内所含的所有气体和碘排放，并使得供给该破裂罐的管线在操纵员将其隔离前继续释放放射性活度。

考虑负荷跟踪运行情况下该事故的环境排放源项。ZBR 系统处理的一回路排放的含氢反应堆冷却活度在 ZGT 罐中积累。一回路水活度为瞬变之后达到的峰值。

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，乏燃料水池对不同形态碘的滞留因子不同。

燃料操作事故属于极限事故。

7.1.2 事故后果计算

7.1.2.1 事故大气弥散条件

采用浙江金七门核电厂址地面站 2020.10~2023.10 的 10m 高度的三维联合频率，以及 PG 扩散参数计算短期大气弥散因子。对于保守模型，计算全厂址概率水平为 95%以及各方位概率水平为 99.5%的高斯烟羽轴线浓度的小时大气弥散因子，取各方位的最大值与

全厂址 95%概率水平的值比较，取其中较大值作为 0~2 小时保守的大气弥散因子；对于现实模型，取全厂址 50%概率水平的小时大气弥散因子作为 0~2 小时现实的大气弥散因子。对于释放持续时间长于 2 小时的大气弥散因子，则利用小时大气弥散因子与年均大气弥散因子，采用双对数内插的方法求得。

7.1.2.2 事故剂量

对各类设计基准事故分别计算了非居住区边界和规划限制区外边界的个人剂量。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。

剂量后果计算采用的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。

经计算当采用现实大气弥散因子或保守大气弥散因子时，浙江金七门核电厂 1、2 号机的设计基准事故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 事故描述及源项

对于严重事故，华龙一号机组设计上考虑了完善的严重事故预防及缓解措施，可以防止大量放射性向环境释放的严重事故发生。在本阶段参考浙江金七门核电厂 1、2 号机组现阶段的二级 PSA 分析成果，评价严重事故的放射性后果。

内部事件二级PSA源项分析中共考虑了以下11个释放类：

- RC01 安全壳完好
- RC02 安全壳隔离失效
- RC03 安全壳旁路失效：界面失水事故（LOCA）
- RC04 安全壳旁路失效：蒸汽发生器传热管破裂（SGTR）
- RC05 安全壳早期失效，压力容器下封头熔穿
- RC06 安全壳早期失效，压力容器下封头完好
- RC07 安全壳晚期超压失效，压力容器下封头熔穿
- RC08 安全壳晚期超压失效，压力容器下封头完好
- RC09 安全壳过滤排放，压力容器下封头熔穿
- RC10 安全壳过滤排放，压力容器下封头完好
- RC11 安全壳底板熔穿

7.2.2 事故后果

7.2.2.1 计算模式

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。该模式分为三个模块：ATMOS，EARLY 和 CHRONC。ATMOS 模块处理放射性物质的大气扩散、输送和沉降。EARLY 模块模拟应急阶段的直接照射途径、剂量、缓解措施和健康效应。CHRONC 模块模拟中期和长期阶段的直接和间接照射途径、剂量、缓解措施和健康效应，并计算早期、中期和长期阶段防护行动的经济代价。

7.2.2.2 计算结果

利用浙江金七门核电厂厂址地面站 2020.10~2023.10 的逐时气象监测数据，采用 NUREG/CR-4691 评价模式，计算二级 PSA 全事故谱 2 天、7 天、1 个月和 1 年内不同距离处超越指定有效剂量的概率。

二级 PSA 全事故谱概率加权后，在距离反应堆中心 1km 外，2 天有效剂量超过 10mSv 的概率、7 天有效剂量超过 50mSv 的概率均小于 10%；在距离反应堆中心 1.5km 外，1 个月和一年有效剂量超过 30mSv 的概率均小于 10%。

7.2.3 严重事故预防和缓解方案

本电厂技术设计上满足“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“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，“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。降温速率控制则根据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，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

中国核电工程有限公司 7-7

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

“华龙一号”机组作为第三代核电厂，在发生堆芯损坏的严重事故情况下，主要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，“华龙一号”核电机组设置有一回路快速卸压系统，该系统与稳压器顶部相连接，包括两台快速卸压阀及相关管线。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相关规程/导则手动开启阀门，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直接加热。

（2）可燃气体控制

设置完善的可燃气体控制系统是缓解严重事故的重要措施。当安全壳内的氢气浓度达到一定比例后，在外界条件（温度、压力、氧气浓度等）合适的情况下，可能会发生氢气燃烧或者迅速爆燃从而造成与安全有关的设备和系统的局部损坏，甚至损坏安全壳的结构，致使安全壳的完整性丧失，导致大量放射性物质进入环境。

“华龙一号”核电机组设置安全壳消氢系统，用于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。安全壳消氢系统由多台完全独立的非能动催化氢复合器组成，当安全壳内的氢浓度达到一定数值时，氢复合器自动工作，将安全壳内的氢浓度控制在安全范围之内。

（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，由于堆芯熔融物与混凝土相互作用（MCCI）产生不凝结气体导致安全壳内压力缓慢升高，会造成安全壳晚期失效和放射性裂变产物释放的风险。为了缓解 MCCI 对安全壳完整性造成的威胁并控制放射性裂变产物释放，“华龙一号”机组设置了安全壳过滤排放系统，通过主动卸压降低安全壳内压力，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。当反应堆堆芯超过一定的温度，堆芯燃料元件及堆内构件开始熔化，并形成熔融物质聚积到压力容器下封头，可能将下封头熔穿进入安全壳，并与地坑混凝土发生反应，使安全壳温度升高、压力增大，形成放射性气溶胶弥散于安全壳内。

“华龙一号”核电机组设置堆腔注水冷却系统（CIS），用于在发生堆芯熔化事故时，向反应堆压力容器保温层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。CIS 系统设置了能动系列与非能动系列。能动系列设置两台 CIS 泵，可从消防水池或者内置换料水箱取水，在正常供电丧失情况下，可由应急柴油机和 SBO 电源供电。非能动系列利用高位水箱实施重力注入，可实现持续运行。

（5）非能动安全壳冷却

非能动安全壳热量导出系统（PCS）也可用于严重事故工况下安全壳的长期排热，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，在没有操作人员干预的情况下，系统自动投入运行，采用自然循环实现安全壳的长期排热。PCS 系统通过利用内置于安全壳内的换热器组，通过水蒸气在换热器上的冷凝、混合气体与换热器之间的对流和辐射换热实现安全壳的冷却，通过换热器管内水的流动，连续不断地将安全壳内的热量带到安全壳外，在安全壳外设置换热水箱，利用水的温度差导致的密度差实现非能动安全壳热量排出。

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，我国进行了多次大亚湾乏燃料运输工作，大亚湾乏燃料安全运输经验表明，我国在乏燃料运输的组织管理、方案设计和实施、运输工具配置及安全保障措施等方面的能力完全可以保证乏燃料运输的安全。因此，预期的乏燃料运输事故不会对周围环境和人员造成不可接受的后果。

7.3.3 放射性固体废物运输事故

浙江金七门核电厂运行期间产生的废树脂来自 RCV、ZBR、TTB、RFT 和 ZLT 系统的除盐器；废活性炭产生自 ZLT 系统工艺废液处理的活性炭床；浓缩液来自 ZLT 系统的蒸发器；废过滤器芯来自 RCV、ZBR、RFT、ZLT 和 TTB 系统的水过滤器。

NH 厂房产生的废树脂收集在废树脂贮槽中，然后通过废树脂屏蔽运输槽车转运至 QF 厂房进行处理，QF 厂房产生的废树脂和废活性炭收集在 QF 厂房的废树脂贮槽中。废树脂在 QF 厂房用锥形干燥器烘干后，装入 200L 钢桶，经封盖和剂量检测后，通过屏蔽运输车转运至 QT 装入 HIC 进行暂存。废树脂屏蔽运输槽车与厂房内管道通过双球阀结构的干式快速接头连接，确保软管和快速接头无泄漏。这些措施可以防止废树脂通过软管输送过程发生放射性物质泄漏。在装载时，废树脂运输车和接口箱在厂房控制区内，即使发生泄漏，放射性物质收集在控制区，不会污染非控制区和厂房外的空间。废树脂运输车的屏蔽运输容器由内箱体和外箱体构成，外箱体包括屏蔽加强的保护框架、接口箱和控制系统，内箱体由屏蔽箱和屏蔽箱内的奥氏体不锈钢的双层容器组成，双层容器配有搅拌装置、液位仪表和泄漏探测系统，防止运输过程中发生放射性物质泄漏。废树脂运输槽车将在厂内专门路线运输，并设置警告标识，其他人员未经允许不得靠近，从管理上确保废物运输安全。屏蔽转运容器设计标准为在装有额定容量废物时表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ ，司机室后设有屏蔽，屏蔽厚度标准为司机室内剂量率不超过 $10\ \mu\text{Sv/h}$ ，从而能够有效控制工作人员在废物接收和运输时受到的剂量。

浓缩液采取桶内干燥工艺，在 QF 厂房桶内干燥器的 200L 钢桶中进行干燥，干燥后装有浓缩液干燥盐的 200L 钢桶经封盖和剂量检测后，通过屏蔽运输车转运至放射性固体

废物暂存库（QT），然后装入混凝土高完整性容器（混凝土 HIC）后暂存。

废过滤器芯在 NH 和 QF 厂房通过下降通道装入 200L 钢桶中，然后通过屏蔽运输车转运至 QS 厂房，装有废过滤器芯的 200L 钢桶在 QS 厂房内通过夹层间吊运至 QS 厂房的水泥固定工位，进行水泥固定，然后经封盖和剂量检测后运送至 QT 库暂存。废过滤器芯屏蔽运输车包括运输车本体和屏蔽容器两部分，屏蔽运输容器内能够容纳一个内置废滤芯定位装置的 200L 钢桶，屏蔽容器外表面剂量率不超过 2mSv/h，屏蔽容器的盖子能够锁死，以保证运输过程中的安全，屏蔽厚度标准为司机室内剂量率不超过 $10 \mu\text{Sv/h}$ ，从而能够有效控制工作人员在废物接收和运输时受到的剂量。

杂项干废物用专用运输车运送到废物处理中心，经分拣、干燥（必要时）、剪切（必要时）、初级压实、超级压实和水泥固定（200L 钢桶）；不可压实废物直接进行水泥固定，经封盖和剂量检测后转运至 QT 库暂存。

厂内运输道路有足够的宽度和平整度保证运输安全，运输过程中采取控制转运车辆行驶速度、道路通行管制等管控措施，降低放射性固体废物运输事故发生的概率和危害程度。放射性废物运输车辆司机上岗前经过驾驶训练和培训，在运输过程中严格限速行驶，并设置警告标识，其他人员未经允许不得靠近，从管理上确保废物运输安全。

7.4 其他事故

在本电站中其它事故不会或极少可能导致放射性物质向环境释放，但可能产生其它一些影响环境的后果（例如化学物质爆炸、火灾、化学物品泄漏）。设计中已对这类事故给予充分的注意，采取了切实的保护措施，可以把事故发生的可能性和对环境的可能影响减至最小。

厂区内贮存的化学物品中除了氢气以外，都不是直接易爆的化学物。氢气和氮气是一起作为覆盖气体用于清除一回路冷却剂中的氧。清除覆盖气体时，是将这些气体排入放射性废气处理系统的衰变箱内。废气处理系统中配备有氢氧监测器，氢气和氧气不会在系统中积聚到危险的数量，因而不会发生氢气爆炸事故。

厂内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；《核动力厂防火与防爆设计》HAD102/11（2019）；《压水堆核电站防火设计和建造规则 RCC—I》（1997），贯彻以防为主，消防结合的方针。通过预防火灾、限制火灾蔓延、火灾探测以及通过自动的或由电站运行人员操作的灭火措施来实现防火的目的。尽量使用非易燃的建筑材料和设备，对易产生火灾的物品要选择好安全贮存的位置。在设计中要考虑限制火灾蔓延的措施和设施。

针对非放化学品的环评风险，按照《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）

的相关要求，根据金七门项目涉及的危险物质及工艺系统危险性和环境敏感程度确定环境风险潜势为 I。因此仅需要开展简单分析。

本项目仅涉及危险物质的使用与贮存，危险物质主要包括乙炔、硝酸、氨水、盐酸以及易燃液体。针对危险化学品的物理化学性质，在其使用过程中均采取相应的防护措施。

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。运输和装卸采取一些保护措施，确保不会发生溅落或溢出。贮槽或贮罐均采用耐腐蚀材料和保守的设计，保证它们不会发生破裂或泄漏。箱室有足够高的覆面，即使发生泄漏，泄漏液也能被收集，不会释放到环境中。因此酸碱溶液在运输、装卸和贮存期间，预期不会导致环境风险。

厂区内不会有危险数量的汽油贮存。柴油发电机厂房及主贮油罐区贮存有一定量的柴油，对此设计了安全防火系统，确保不会发生危及环境安全的火灾。

场内可能发生化学物质被盗，一旦被盗可能用于制毒、投毒、制爆等导致污染环境的事件发生，因此，在设计中应考虑技防、人防、物防等措施和设施，满足安防保卫要求。

7.5 事故应急

7.5.1 制定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，电厂应急预案应该在首次装料前六个月完成。金七门核电厂将根据要求适时完成《核电厂场内应急预案》编写并上报评审。

7.5.2 应急组织

浙江金七门核电厂 1、2 号机组将建立统一的应急组织体系，确定场内外应急联系渠道。初步考虑 2 台机组场内应急响应组织由应急指挥部及其领导下的专业组组成。

应急指挥部是金七门核电厂应急响应时的指挥核心，全面负责应急决策和指挥应急响应行动，以及与国家、地方及行业主管部门和其它应急组织进行联系和协调。应急指挥部由应急总指挥、运行指挥、应急抢修指挥、技术支持指挥、后勤保障指挥、应急指挥助理、辅助人员组成。

专业组包括运行控制一、二组、应急抢修一、二组、抢修支持组、技术支持组、辐射防护组、建安组、调试组、消防保卫组、后勤保障组、设备支持组、公众信息组和信息联络组。

现阶段暂未针对 1、2 号机组制定详细的应急行动水平，根据《核动力厂营运单位的应急准备核应急响应》（HAD002/01-2019）中相关规定，将在申请运行许可证时，提出本工程初步制定的应急行动水平。

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，按照浙江金七门核电厂 1、2 号机组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：出现可能危及核电厂安全的某些特定工况或事件，表明核电厂安全水平处于不确定或可能有明显降低；

（2）厂房应急：核电厂的安全水平有实际的或潜在的大的降低，但事件的后果仅限于厂房或场区的局部区域，不会对场外产生威胁；

（3）场区应急：核电厂的工程安全设施可能严重失效，安全水平发生重大降低，事故后果扩大到整个场区，除了场区边界附近，场外放射性照射水平不会超过紧急防护行动干预水平，早期的信息和评价表明场外尚不必采取防护措施；

（4）场外应急：发生或可能发生放射性物质的大量释放，事故后果超越场区边界，导致场外的放射性照射水平超过紧急防护行动干预水平，以至于有必要采取场外防护措施。

7.5.4 应急设施的配备

浙江金七门核电厂 1、2 号机组配备的应急设施主要包括：主控制室、远程停堆站、应急指挥中心、技术支持中心、运行支持中心、应急通讯系统、应急监测和评价设施、保卫消防设施、急救和医疗设施、公众信息中心、应急撤离路线等。

（1）主控制室

主控制室是核电厂正常和事故工况下实施机组运行控制的中心，也是应急响应期间运行控制组的工作场所，其应急响应的主要功能为：

— 对反应堆运行状态进行集中控制和监测，显示并提供安全参数；

— 在应急初始阶段应急指挥部启动到位之前可作为应急指挥中心，并发出早期应急警报；

— 在应急的各阶段，对电厂实施运行控制，分析和诊断事故状态，提出应急状态级别建议，保证安全状态的重新恢复或尽可能减少事故后果。

在主控制室设计中，考虑了应急响应所需要的监测和控制功能。同时，按照主控制室设计要求，设置了完备的通讯手段，包括厂内/厂外通讯、语言/非语言通讯。在主控制室设计中，在各方面采取了多种措施，使得主控制室具有足够的屏蔽、密封和通风，满足应急期间主控制室人员居留在控制室的要求，如：人员剂量不超过限值、主控制室保持微正压以阻止有害气体或放射性产物的进入、通风系统通过新风净化或闭路循环确保人员的安全健康和舒适、事故工况下所需的人身防护应急设备以及生活保障及救生设备等。

（2） 远程停堆站

在主控制室因火灾等原因不能停堆时，可用远程停堆站代替执行。用远程停堆站可使反应堆迅速达到并维持在冷、热停堆状态。通过远程停堆站对系统进行操作，可以排出堆芯余热、控制反应堆冷却剂的压力和体积、在反应堆冷却剂加入硼酸使反应堆保持在次临界状态以及使必要的辅助系统保持运行。

主控室和远程停堆站分别位于不同的防火区域，它们之间的距离保证操纵员在 15 分钟之内能够到达，并保证撤离路径是安全的。

（3） 应急指挥中心

金七门核电厂应急指挥中心位于核电厂厂前区西北侧。该设施是应急响应期间全面指挥和协调场内一切应急响应行动的场所，其主要功能包括应急指挥、应急通讯、事故评价、通报核事故信息等。考虑应急期间技术支持中心和运行支持中心的可用性，场内不再设置备用应急指挥中心。

应急指挥中心内设有应急指挥室、辐射评价室、通讯室、配电间、柴油发电机房、风机房等房间，其出入口设有表面污染监测仪，对进出中心的人员和设备、物资等进行污染检查。去污间配备有可对污染人员进行去污的设施设备以及干净的衣物。楼内还配备有碘片、个人剂量监测仪表以及防护面罩等。

此外，应急指挥中心内设有厨房、休息室、食品贮存间和必备的生活设施，贮存有足够的生活用水和食品。

应急指挥中心在设计时考虑了对 γ 外照射的屏蔽能力，设置了高效过滤器和碘过滤器对进入楼内的空气进行过滤，以减弱楼外受污染的空气进入室内对人员造成吸入内照射。确保事故期间应急控制中心的可居留性。

应急指挥中心还配备有柴油发电机，可确保外电源丧失后应急指挥中心内重要应急设备和求生安全设备的电源供电。

应急指挥中心建筑物按照建筑结构抗震设计规范的基本烈度加 1 度进行抗震设计；按照 SL-2 相当的地面加速度的民用反应谱进行弹性设计。应急柴油机、UPS 主机、通风空调机组、数据服务器、应急水箱和水泵等与可居留性和可用性相关的设备按照满足地震可用性要求进行设计。

（4） 技术支持中心

技术支持中心与主控制室分开设置，其位置考虑保障技术支持中心与主控制室人员的安全来往。主要功能是对主控制室的工作人员提供技术支持以缓解事故后果，是获取电站参数、信息和制定严重事故对策的工作场所，也可以作为与主控制室操作不直接相关的应急工作人员的会议地点。

严重事故情况下，应采取防护措施以确保其正常的工作。技术支持中心具有和主控制室相同的可居留性条件，包括要求设计成能抵御设计基准外部事件，如设计基准地震、强风和洪水等；应为技术支持中心设置常用电源和备用电源。在一段有限的时间内，技术支持中心可以容纳一定数量的技术专家和电厂管理人员同时工作。

（5） 运行支持中心

运行支持中心是在应急响应期间供执行设备检修、系统或设备损坏探查和其他执行纠正行动任务的人员以及有关配合人员集合与等待指派具体任务的场所。在此对主控制室和技术支持中心之外的相关人员进行任务和职责的协调和分配。运行支持中心设有与主控制室和技术支持中心通信的设施，并且设有工作站以获取电厂信息。运行支持中心同主控制室、技术支持中心分开设置，并考虑应急期间该设施的可居留性。

（6） 应急通讯系统

应急通讯系统在应急工况下提供核电厂应急机构及设施与国家核安全监管部门、组织之间的通信联络和信息传输。

应急通讯系统功能上可分为场内应急通讯系统、场外应急通讯系统和其它应急通讯系统及设备三大部分。

在主控制室、远程停堆站、应急控制中心均设置了行政电话、安全电话、调度电话、保卫/医疗/消防应急报警电话、卫星电话、传真机、数据网络传输终端等设备以及发布广播、警报和手机信息的操作台。技术支持中心配备了行政电话、安全电话、传真机、数据网络传输终端等设备。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、冗余的场内、外通讯联络手段，各通讯子系统的关键设备均有备用。

（7） 应急监测和评价设施

应急评价与监测设施主要包括：

1) 电厂辐射监测系统

该系统提供反应堆的各工艺系统的辐射参数、不同区域的辐射水平、气态和液态流出物的排放活度，从而为分析反应堆的安全状态、事故后果的评价提供必要的数据库。

2) 事故后监测系统

该系统提供核电厂事故后的安全重要参数，如堆芯和主回路温度、压力；地坑液位；蒸汽发生器压力、液位；安全壳空气压力、温度、剂量率；安注、安喷系统参数等。事故后监测系统的设备均按照 1E 级设备考虑。

3) 地震仪表系统

其功能是对厂址周围可能出现的地震进行观测记录，当地震加速度超过规定值时发出报警信号，以便运行人员及时采取相应的应急措施。

4) 环境辐射和气象监测系统

包括固定式环境 γ 辐射监测站、环境监测车/应急监测车和环境介质取样车、厂址气象站、移动式环境 γ 辐射监测子系统。

5) 环境实验室

环境实验室拟建设在本工程烟羽应急计划区以外，以避免事故情况下对环境实验室测量的影响，使其在事故期间仍具备对环境介质的放射性测量能力，在事故期间参与应急响应。环境实验室位于核电厂 NNW 方位的象山县鹤浦镇生产配套服务区，距离核电厂 12.3km。

6) 事故后果评价系统

主要任务是评价和预测辐射污染的范围和程度、公众已经或可能接受的辐射剂量与健康危害，为实施应急响应行动的决策提供依据。

（8） 保卫消防设施

保卫消防设施在应急时可实施区域控制、视频监控、人员清点、厂区交通管制、火灾监控和报警。

（9） 急救和医疗设施

在核电厂厂区设置有职业医疗中心，应急指挥中心内部也设有医疗处置室，并配备简易医疗设备和器材，可在应急状况下进行伤员的现场救护和体表污染洗消。

场内医疗设施情况：现场内职业卫生中心作为核电厂职业卫生管理设施和三级医疗救护体系的现场救护机构，主要承担工作人员日常医疗、现场紧急救治和职业健康管理等任

务。医疗服务中心位于生产检修办公楼一层，建筑面积约 300 平米。

（10）公众信息中心

公众信息中心主要功能是接待公众和新闻媒体的采访，发布有关核电厂应急状态的信息，收集公众对有关核电厂事故应急的舆论和反应。拟设置在核电厂烟羽应急计划区外的象山县南部新城金七门核电华龙科创园。

（11）洗消点设置

金七门核电应急洗消点目前象山县政府尚未启动选址工作，具体洗消措施将在场外核事故应急预案中进一步明确。

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上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，因此应急演习也多种多样，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、应急设施核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

（1）厂址周围人口分布

厂址半径 5km 范围内没有万人以上的人口居住点。厂址半径 5km 范围内涉及象山县鹤浦镇的 6 个行政村，根据 2021 年最新资料显示，共有户籍人口 5121 人，常住人口 2305 人。距离厂址最近的行政村是鹤浦镇所辖的金七门村，位于厂址的 N 方位约 0.7km 处，有户籍人口数 750 人；人口最多的行政村是鹤浦镇所辖的小南田村，位于厂址的 N 方位约 4.4km 处。

除此之外，厂址半径 5km 范围内无学校、医院、监狱、敬老院等难以撤离的特殊人群。

（2）厂址周围交通现状

宁波舟山港石浦港区沈海高速连接线石浦至新桥段（石浦连接线）公路工程为在建的高速公路。沿海南线是象山中心城区出入南部地区的咽喉要道，连接象山县主要乡镇。另有石三线（X508）、南金线（Y607）、南双线（Y586）和 614 乡道串联镇域内村庄。

整体来看，厂址 15km 范围内为分散发展的村镇体系，整体道路等级较低，公路铁路不够发达，且道路等级低，以县道（508 县道、507 县道、沿海南线）、乡道（607 乡道）为主，为陆路交通阻隔的岛域空间。厂址区域对外交通主要依靠 607 乡道，目前营运单位正委托相关单位开展厂址进厂道路及应急道路优化设计工作。

（3）核电厂对外交通

浙江金七门核电厂 1、2 号机组施工和运行期间对外交通运输利用 1、2 号机组工程时建设的主要进厂道路、次要进厂道路和大件码头等运输设施。

主要进厂道路：位于厂址东北侧，与场区东北角人流出入口相连，向北延伸至石三线，道路等级为二级公路，路面宽 7m，路基宽 12m。

次要进厂道路：次要进厂道路位于厂址西侧，与场区西北角备用出入口相连，向北延伸至石三线，采用三级公路标准，路面宽 7m，路基宽 8m。

金七门核电厂发生事故需撤离时，分别由主要进厂道路和次要进厂道路向石浦镇方向或者高塘岛方向撤离。两条撤离路线如下：

撤离路线 1：厂址东北侧-主要进厂道路-石浦海底隧道-石浦镇；

撤离路线 2：厂址西侧-次要进厂道路-石三线（X508）-蜊门港大桥-高塘岛乡。

综上，厂址有两条不同方向的撤离路线供应急撤离行动的实施，并实现了与当地交通路网的有效衔接，现有的交通条件可满足核事故应急撤离的要求。

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，浙江金七门核电厂 1、2 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，见表 7.5-1。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。

浙江金七门核电厂 1、2 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。

目前浙江金七门核电厂 1、2 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，浙江金七门核电厂 1、2 号机组采用“华龙一号”技术方案，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 1、2 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 50km。有关的详细计算及论证结果将在场内应急预案中描述。

第八章 流出物监测

8.1 辐射监测

- 8.1.1 流出物监测
- 8.1.2 监测依据
- 8.1.2 辐射环境监测
- 8.1.3 应急监测方案

8.2 其它监测

- 8.2.1 热影响监测
- 8.2.2 化学污染物和生活污水监测

8.3 监测设施

- 8.3.1 流出物实验室
- 8.3.2 环境监测设施
- 8.3.3 监督性监测系统

8.4 质量保证

- 8.4.1 质量控制
- 8.4.2 质量管理

表

- 表 8.1-1（1/4） 浙江金七门核电厂正常运行期间环境辐射监测方案
- 表 8.1-1（2/4） 浙江金七门核电厂正常运行期间环境辐射监测方案
- 表 8.1-1（3/4） 浙江金七门核电厂正常运行期间环境辐射监测方案
- 表 8.1-1（4/4） 浙江金七门核电厂正常运行期间环境辐射监测方案

8.1 辐射监测

8.1.1 流出物监测

浙江金七门核电厂运行期间的流出物监测包括放射性流出物监测和非放射性流出物监测。其中，气载和液态放射性流出物是造成环境污染和居民受照剂量负担的主要源项，因此在流出物监测中对气载和液态放射性流出物进行主要监测。

浙江金七门核电厂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，同时核电厂将设置流出物实验室，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、核素种类和排放总量等。运行期间的流出物监测方案根据我国的有关法规和核电站的实际情况制定。

8.1.1.1 监测依据

制定流出物监测方案的主要依据是：

- GB 18871-2002 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》
- GB 6249-2011 《核动力厂环境辐射防护规定》
- GB 11217-89 《核设施流出物监测的一般规定》
- GB/T 7165.1-2005 《气态排出物（放射性）活度连续监测设备第 1 部分：一般要求》
- GB/T 7165.2-2008 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备第 2 部分：放射性气溶胶（包括超铀气溶胶）监测仪的特殊要求》
- GB/T 7165.3-2008 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备第 3 部分：放射性惰性气体监测仪的特殊要求》
- GB/T 7165.4-2008 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备第 4 部分：放射性碘监测仪的特殊要求》
- GB/T 7165.5-2008 《气态排出流（放射性）活度连续监测设备第 5 部分：氡监测仪的特殊要求》
- GB/T 12726.1-2013 《核电厂安全重要仪表事故及事故后辐射监测第 1 部分：一般要求》
- GB/T 12726.2-2013 《核电厂安全重要仪表事故及事故后辐射监测第 2 部分：气态排出流及通风中放射性离线连续监测设备》
- GB 3097-1997 《海水水质标准》
- 环发【2012】16 号文件 《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设规范（试行）》

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

8.1.1.2 监测目的

运行期间流出物监测目的：

- 监测释放到环境的气载和液态放射性流出物的浓度，判断是否符合国家批准的排放控制值以及核电厂规定的管理目标值；
- 为判明核电厂的运行以及放射性废物的处理控制装置的工作是否正常有效提供数据和资料；
- 迅速发现有无计划外排放和事故排放，鉴别其性质、种类及其程度，以便及时采取措施；
- 给出报警和必要的执行动作，以控制不合理的排放，可为核电厂在事故期间的应急响应提供信息。

8.1.1.3 监测原则

制定浙江金七门核电厂运行期间流出物监测方案遵循的主要原则：

- 满足国家标准法规提出的流出物监测管理要求。
- 对于所有可能产生放射性排放的途径，均应设置合理的监测手段。取样点的设置和取样系统的设计应确保监测结果能代表实际的排放。
- 对于约定排放，进行定期取样分析；对于事故后监测功能的仪表需考虑冗余监测。
- 为方便评价监测结果，除对释放的放射性物质监测外，还监测其它与评价和估算有关的参数，如流出物的流量、温湿度等。
- 根据国家标准规定的年排放控制值，制定合理的排放控制值和仪表的报警阈值。
- 流出物监测和取样系统的设计中将考虑地方环保部门的监督性检查和测量。

8.1.1.4 气载放射性流出物监测

浙江金七门核电厂采用单堆布置，核岛反应堆厂房、燃料厂房、核辅助厂房、核废物厂房、人员通行厂房、安全厂房的放射性排风经过滤后汇总到核岛烟囱集中排放。浙江金七门核电厂设有一个排风烟囱，烟囱监测监测道包括：烟囱排气气溶胶活度监测道，烟囱排气碘活度监测道，烟囱排气低量程和高量程惰性气体 β 活度监测道。

1) 气载放射性流出物连续监测：

A. 放射性惰性气体连续监测

烟囱放射性惰性气体监测分为正常情况放射性惰性气体监测和事故情况放射性惰性气体监测。低量程和高量程惰性气体 β 活度监测道按照事故后监测系统（PAMS）的要求进行设计，浙江金七门核电厂机组包括两列冗余的监测设备，安全级别为 1E 级，抗震类别

为 I 类，泵及控制设备的电源均由保护组重要电源系统提供。由低量程惰性气体 β 活度监测道给出的高阈值报警信号自动联锁关闭安全壳内大气监测系统（CAM）隔离阀和废气处理系统（ZGT）排放阀。惰性气体连续监测仪需按照事故后监测系统（PAMS）的要求进行设计，这些设计包括：

- 系统设计为冗余监测，冗余设备之间进行实体隔离和电气隔离；
- 采用应急电源供电；
- 对设备的输入输出信号进行信号保护；
- 对设备进行预先的质量鉴定，确保设备在事故后环境条件及地震条件下能保持正常运行；
- 试验：对设备进行定期试验、校准。

B. 气溶胶连续监测

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

C. 放射性碘连续监测

在烟囱设置放射性碘连续监测通道，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

在浙江金七门核电厂机组烟囱气载流出物连续监测管路并行设置了取样装置，对烟囱气态流出物中的气溶胶、碘、 ^3H 、 ^{14}C 流出物样品进行连续取样，对惰性气体样品进行定期取样，样品送至实验室进行分析。

3) 烟囱气体取样代表性

气态排出流监测通过在速度和浓度均匀分布的位置采用单点取样，获得烟囱气载放射性流出物具有代表性的样品进行测量，取样方法符合 ANSI N13.1-2011 核设施的烟道和通风管道中的放射性物质取样标准。

8.1.1.5 液态放射性流出物监测

放射性废液主要来自放射性废物厂房液体放射性废物系统、汽轮机厂房废水系统排放以及汽轮机厂房厂用水系统排污等，废液经处理后分别汇总到核岛液体放射性废物排放系统及常规岛废水排放系统的贮罐中作为液态放射性流出物集中排放。液体放射性流出物监测包括取样测量和排放时在线监测。液态放射性流出物排放前，将样品在现场实验室分析合格后才实施排放。

1) 液态放射性流出物连续监测

浙江金七门核电厂机组设有 QA/QB 废液排放厂房。QA 厂房主要收集、贮存核岛废液排放系统废液；QB 厂房主要收集、贮存常规岛废液排放系统废液。在 QA、QB 厂房各设置一套低放液体排放监测道，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。低放液体排放监测道是非安全级设备，无抗震要求。

2) 液态放射性流出物取样测量

在QA/QB的废液排放前，工作人员必须对其进行取样分析，测量待排放废液中的放射性浓度，计算排放活度，确保其放射性浓度及排放活度不超过运行管理限值。取样前将进行充分搅拌，确保取样的代表性；样品在实验室中采用高纯锗 γ 谱仪、低本底 α 、 β 计数器及低本底液体闪烁计数器等仪器进行测量和分析。液态放射性流出物样品的分析项目包括 γ 谱分析、氡、碳-14等活度浓度测量及必要时的 ^{90}Sr 分析。

3) 液态流出物取样代表性

液态流出物在就地取样前，需要在贮槽内使所取的样品混合均匀后，进行取样分析。

8.1.1.6 地方环保局监督性监测

为满足地方环保部门进行监督性监测，浙江金七门核电厂将采取一系列措施，主要包括：

- 根据相关规范要求投资建设监督性监测流出物实验室；
- 与地方环保部门保持联系，接受地方环保部门的监督和指导；
- 积极配合地方环保部门进行流出物监督性监测工作，并为地方环保部门定期取样提供方便，主要包括：
 - ◆ 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。
- 向地方环保部门及时提供流出物监测月报表，地方环保部门以季报、年报的形式反馈给核电厂相关环境监测数据；
- 核电厂流出物监测及样品测量分析数据可随时供地方环保部门查询；
- 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

浙江金七门核电厂为确保运行期间的放射性流出物对周围环境和居民的影响符合国家的有关规定，将在首台机组首次装料前制定环境监测大纲，并按照大纲开展运行期间的

环境监测。环境监测大纲初稿将在运行阶段的环评报告中提供，本阶段的环评报告简要的描述浙江金七门核电厂运行后拟建的环境监测设施及设想的监测方案。

8.1.2.1 监测依据

运行期间环境监测依据的主要标准规范有：

GB 18871-2002 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

GB 6249-2011 《核动力厂环境辐射防护规定》

HJ 61-2021 《辐射环境监测技术规范》

GB 12379-1990 《环境核辐射监测规定》

GB/T 14583-1993 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》

GB 8999-2021 《电离辐射监测质量保证一般规定》

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

8.1.2.2 监测目的

运行期间环境监测的目的是：

- 测定环境介质中核素浓度及大气中 γ 辐射水平的变化，以评估核电厂排放的放射性物质对周围环境的影响情况；
- 及时发现环境介质中放射性活度的变化，并查找原因；评估变化趋势，采取预防措施；
- 监测海洋环境介质是否符合国家环保标准；
- 事故应急响应期间执行应急监测。

8.1.2.3 监测范围

根据国家有关法规，运行期间拟进行环境辐射监测的范围如下：

- 环境 γ 辐射水平监测范围为以核电厂为中心半径 20km 范围内，其余陆地环境放射性监测项目的监测范围为 10km。
- 海洋环境放射性监测以核电厂排水口为中心，最远半径为 10km，重点监测核电厂排放口 2km 以内的海域。

8.1.2.4 布点原则

浙江金七门核电厂运行期间环境监测布点将结合运行前的连续两年的放射性本底调查结果给出具体制定。同时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：

- 依据相关标准及技术规范，并充分结合厂址区域附近地区的地形等条件；
- 与运行前环境调查保持适当比例的同位点；

- 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；
- 对关键居民组、居民密集区、主导风下风向及环境敏感点布设监测点；
- 环境 γ 辐射监测点及气态放射性物质取样点重点布置在主导风向的下风向厂区边界附近区域，周围没有高大的树木、建筑物；
- 海上取样点主要设在排放口及其附近海域；
- 土壤采样点设置在无水土流失的原野或田间；
- 气象塔的位置应适当地远离各种障碍物，使气象传感器的测量数据可充分代表厂址的大气弥散状况。位置尽量能与大气扩散试验站址一致，保持数据的可延续性；
- 充分利用运行前本底调查所获得的资料，并在满足环境评价需要的情况下，尽量做到环境监测最优化。

8.1.2.5 监测项目

浙江金七门核电厂运行期间主要监测项目有：

（1）气象数据测量

主要包括风速、风向、空气温度、相对湿度、降水量、大气压、天空总辐射、净辐射。

（2）环境 γ 辐射水平监测

主要测量的项目有：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

● 大气

气溶胶： ^{90}Sr 及 γ 谱分析；

大气沉降物： ^{90}Sr 及 γ 核素分析；

空气中 ^3H 、 ^{14}C 和 ^{131}I 。

● 水监测

降水： ^3H ；

饮用水：总 α 、总 β 、 ^3H 及 γ 核素分析；

地表水（水库、河流等）：总 β 、 ^3H 、 ^{14}C 及 γ 能谱；

地下水： ^3H 、 ^{90}Sr 及 γ 能谱，可选择部分点位分析 ^{14}C 。

● 陆生生物

肉类、水果、粮食、蔬菜等样品： ^3H (TFWT,OBT)、 ^{14}C 、 γ 核素分析，每类至少选择一个样品进行 ^{90}Sr 分析；

牛奶：进行 ^{131}I 分析测量；

指示生物： ^{90}Sr 和 γ 核素分析。

- 海洋介质

海水：总 β 、 ^{40}K 、 ^3H ，可选择部分点位分析 ^{14}C 、 ^{90}Sr 及 γ 能谱；

海洋沉积物： ^{90}Sr 及 γ 谱分析，在排放口方位 5km 范围内选择点位加测 $^{239+240}\text{Pu}$ ；

海洋生物样品： ^3H (TFWT, OBT)、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 及 γ 谱分析，部分点位测 $^{239+240}\text{Pu}$ 。

- 土壤及底泥

^{90}Sr 和 γ 核素分析，每个方位最近的 1 个点加测 $^{239+240}\text{Pu}$ 。

8.1.2.6 测量方法

（1）实验室分析测量

实验室分析测量主要针对环境介质样品，主要包括：

A. 物理测量与分析

使用低本底 α/β 测量仪、低本底 γ 谱仪、低本底液体闪烁测量装置等仪表进行 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。

B. 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 、 ^{137}Cs 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/应急监测车进行核电厂周边环境 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基地内各区域的局部气象状况。

8.1.2.7 地方环保部门的监督性监测

为了大力配合地方环保部门监督性监测工作的实施，浙江金七门核电厂考虑主要从以下几个方面保证对监督性监测的支持：

- 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；
- 开展实验室之间的检测结果比对活动，增强交流和了解；
- 根据有关规范要求为浙江省环保部门投资建设监督性前沿站及监测子站。

8.1.3 应急监测方案

核电厂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，浙江金七门核电厂将制定应急环境监测大纲，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。环境应急监测大纲将随应急计划统一出版，并在运行阶段的环评报告中提供。在事故工况下，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。应急环境监测的监测设施和设备主要包括环境辐射与气象监测系统 and 环境实验室。

8.1.3.1 环境辐射与气象监测系统

（1） 固定式环境 γ 辐射监测站

监测设备具有足够宽的量程，并将设置维持 72 小时的备用电池，具备应急条件下进行连续监测的能力。数据传输方式采用有线及无线两种模式，两种模式互为备用。

（2） 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。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。

（3） 气象站

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

（4） 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，因此考虑设置可在事故后投入使用的移动式环境 γ 辐射监测子系统，作为环境 γ 辐射水平监测的补充手段，以快速恢复环境监测能力。

8.1.3.2 环境实验室

环境实验室拟建设在金七门核电厂烟羽应急计划区以外，以避免事故情况下对环境实验室测量的影响，使其在事故期间仍具备对环境介质的放射性测量能力，在事故期间参与应急响应。

8.2 其它监测

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，运行后遵守生态环境相关的核电厂相关法规、规范的要求，对运行期温排水的影响范围进行监测。

8.2.2 化学污染物和生活污水监测

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

对非放射性污染物进行监测。在非放射性污废水处理站工艺末端设置在线仪表，监测项目包括流量、pH 值、水温、化学需氧量、氨氮、总氮、总磷；并设置取样口，定期监测悬浮物、色度、五日生化需氧量、动植物油、石油类、阴离子表面活性剂、粪大肠菌群数、总镉、总铬、总汞、总铅、总砷、六价铬、烷基汞、浊度、嗅、铁、锰、溶解氧、总氯、溶解性总固体、大肠埃希尔菌等，监测频次按《排污单位自行监测技术指南 水处理》（HJ 1083-2020）和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GBT18920-2020）执行。

8.3 监测设施

8.3.1 流出物实验室

8.3.1.1 流出物实验室概述

流出物实验室用于监测核电厂气载和液态流出物的样品，以确定被排放气载和液态流出物的放射性水平，保证向环境的受控排放。本工程流出物实验室位于电厂厂区实验楼一层，实验室处于辐射防护控制区，人员进出需要通过卫生出入口进行管理。

流出物实验室包括冷准备间（QL307）、热准备间（QL308）、低本底测量间（QL309/QL310）、液闪测量间（QL311）、 γ 谱仪间（QL313/QL314）、放射源间（QL330）。

流出物实验室配备了流出物监测的仪器和设备，能够满足流出物监测的需求。

8.3.1.2 流出物实验室进度

流出物监测实验室建设、安装预计 2028 年 12 月 15 日完成竣工验收，预计 2029 年 6 月 1 日调试完成可以投运。

8.3.1.3 监督性流出物监测设施概述

依据《核电站辐射环境现场监督性监测系统建设规范（试行）》内容要求，金七门核电厂址在金七门核电厂 1、2 号机组工程建设期间，同时开工建设独立的厂址性监督性流出物实验室。该实验室用于当地环保部门执行核电厂辐射环境现场液态和气态流出物样品的化学和放射化学分析，测量结果为浙江省环境保护厅监督评价金七门核电厂址的流出物排放达标情况提供依据。

监督性流出物实验室配置有成套的实验室家具和放化测量仪器设备及辅助设施，完全满足整个金七门核电厂址六台机组的气液态流出物监督性监测要求。

8.3.2 环境监测设施

8.3.2.1 环境和气象监测系统

金七门核电厂将建设气象和环境监测系统，用于连续监测厂区及周围环境地区的环境 γ 辐射水平，采集厂区及周围地区的环境介质样品并送往环境实验室分析测量，连续监测厂址区域的气象要素，为环境评价和应急决策提供气象数据。为评价核电厂对环境的影响

事故应急期间应急预案制定提供监测数据支持。

（1） 气象观测

气象观测主要是对厂址所在区域的各气象要素进行实时监测、记录，主要的设施有气象观测塔和地面自动气象站。所配置的主要设备有气象塔、气象传感器、数据采集器、数据传输装置等；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

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。在站址选择时，主要考虑在厂区内及在厂外环境周围 10km 范围内布设站址，结合监督性监测子站互补实现基本覆盖核电厂周围陆域各方位，在主导风下风向、海域方向布设站址，综合考虑人口分布、交通、通讯、供电、运行维护等综合因素。监测站拟配置的设备包括： 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/碘采样、 $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ 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

定期对电厂周围环境 γ 辐射水平进行巡测，同时在事故应急时参与应急监测。在环境监测车/应急监测车配置有车载 γ 辐射监测仪、车载自动气象监测仪，和便携式多道 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。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。

（4） 环境介质采样车

按照程序定期从核电厂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。

（5） 移动式 γ 辐射监测系统

可连续测量环境 γ 辐射水平，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。

（6） 中央数据处理站

中央数据处理站将设在应急控制中心内，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、中央数据处理计算机、中央数据服务器、操作工作站等。

8.3.2.2 环境实验室

金七门核电厂将建设环境实验室，用于对从电厂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。环境实验室拟建设在烟羽应急计划区以外，避开主导风下风向。实验室测量的项目包括 γ 谱分析、 α 谱分析、总 α 、总 β 、H-3、C-14、Sr-90、累积剂量测量分析等。环境实验室内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。

8.3.2.3 厂区地下水监测井

为监测核电厂运行对厂区地下水的影响情况，在金七门核电厂将设置地下水监测井，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。监测井数量及位置将根据厂区地下水径流等情况进行确定。

8.3.3 监督性监测系统

金七门核电厂将依据《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设规范（试行）》等规范，为地方环保部门出资建设监督性监测系统。监督性监测系统内容包括：

- （1） 监督性监测流出物实验室
- （2） 监督性监测前沿站
- （3） 监督性监测子站
- （4） 流出物在线监测数据传输

金七门核电厂将依据相关规范，结合其他核电监督性监测系统工程经验，考虑本工程环境特点，与地方环保部门协商后，开展该系统的设计及建设工作。

8.4 质量保证

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：

- （1） 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。
- （2） 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。
- （3） 准确地测定样品的质量、体积或流量，其误差一般控制在 10%以内。
- （4） 操作样品时具有防止交叉污染的措施。

（5） 采样时的样品数量包括分析样品总数 5%的质量控制样品及分析样品总数的 20%的保留样品。

（6） 环境样品采集一定的平行样品以进行平行样测量分析和进行复检。

可保存的各类常规样品（包括分析剩余样品、非破坏性分析样品和备检样品）部分保存十年，并附有可靠的标签和专门的记录。强沾污样品及有特殊情况样品将保存到作出结论后再处理。

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：

（1） 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。

（2） 在分析测量的操作过程中注意防止样品之间的交叉污染。

（3） 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。包括：为了确定分析测量的精密度，采用平行样品分析测量；分析测量掺标样品或标准参考物质，以确定分析测量的准确度。分析测量时，采用与相应的待测样品相同的操作程序和修正已定的系统误差；分析测量空白样品，以发现和量度样品在预处理、分析测量过程中的沾污，并提供适当扣除本底的资料。空白样品与待测样品同时进行预处理和化学分析。

（4） 比对：为了发现监测设备和监测中可能存在的缺陷，验证环境监测设备的可靠性，确保环境监测数据的精确性和可比性，参加国家和环境监测系统主管部门组织的实验室之间分析测量的比对和国际比对；

（5） 仪器的刻度和检验：对环境监测仪器设备严格执行定期检定和校准制度，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，同时还采取如下的检验措施以确保仪器在测量时仍然处于刻度时的良好状态：

- 标准（参考）样品分析。
- 放射性测量仪器每月至少进行一次本底、效率检验，并制作仪器本底、效率的控制图。
- 对放射性测量仪器均每年进行一次以说明仪器计数是否满足泊松分布的 χ^2 检验。
- 每月进行能量分辨率和能量刻度检验。
- 所有放射性测量仪器，每年刻度一次，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。

- 对流量、压力、温度、重量等常规非放射性监测的仪表设备定期进行标定。

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：

- （1） 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，原始记录和环境监测结果将永久保存。
- （2） 详细、准确的质量控制记录。包括所有采样和分析测量仪器性能的检定、校准、检验和维修情况；质量控制样品分析和实验室间的比对情况；标准计量器具、标准源、标准参考物质的使用情况和掺标样品、载体和标准溶液的配制情况；计算机程序验证情况等，将有关质量控制文件长期保存。
- （3） 进行数据统计学处理。包括数据可靠性分析；数据分布检验；中心值和分散度估计等。数据处理尽量采用标准方法，减少处理过程中产生的误差。对数据处理、计算结果进行严格审核。审核人在审核报告上签字；对于异常结果，计算者和审核者应及时查明原因，若属于分析测量差错或其它过失应该及时采取纠正或补救措施。
- （4） 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。
- （5） 环境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。
- （6） 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，对金七门核电厂的环境监测及流出物监测统一管理。

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，拟制定下列措施：

- （1） 从事环境监测的人员必须具有高中或中等专业学校以上的文化程度以及核电站环境监测专业知识和工作能力。
- （2） 对从事环境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。
- （3） 为了保持从事环境监测人员的技术熟练程度，根据相应情况组织培训、考核、

以及定期的技能评审。

表 8.1-1（1/4） 浙江金七门核电厂正常运行期间环境辐射监测方案

监测对象		布点原则	监测项目	监测频次	
				采样	分析
γ 辐射	辐射空气吸收剂量率	设置连续监测自动站，原则上在烟羽应急计划区范围内 16 个方位布设监测站点，沿海核动力厂，靠海一侧可根据需要布设监测站点；对照点	γ 辐射空气吸收剂量率	连续	连续
	γ 辐射累积剂量	厂外烟羽最大浓度落点处；厂界周围 8 个方位角按半径 2km、5km、10km、20km 的圆所形成的各扇形区域内陆地（岛屿）布点；对照点	γ 辐射累积剂量	连续	1 次/季
空气	气溶胶*	尽量选择主导风下风向处设置点位，也可在厂区边界、厂外烟羽最大浓度落点处、主导风下风向距厂区边界 <10km 的居民区任选其中一个点	每周测量一次 γ 能谱，当总 β 活度浓度大于该站点周平均值的 10 倍或 γ 能谱中发现人工放射性核素异常升高，则将滤膜样品取回实验室进行 γ 能谱等分析	连续	总 β ：1 次/天； γ 能谱：1 次/周
		厂区边界、厂外烟羽最大浓度落点处、主导风下风向距厂区边界 <10km 的居民区；对照点	γ 能谱 年度混合样品分析 ^{90}Sr	累积采样，1 次/月， 采样体积不低于 10000 m^3	1 次/月
	沉降物*	厂区边界、厂外烟羽最大浓度落点处、主导风下风向距厂区边界 <10km 的居民区；对照点	γ 能谱 年度混合样品分析 ^{90}Sr	累积采样，1 次/季	1 次/季
	气体	厂区边界、厂外烟羽最大浓度落点处，主导风下风向距厂区边界 <10km 的居民区；对照点	$^3\text{H}(\text{HTO})$ 、 ^{14}C 、 ^{13}H	累积采样，1 次/月	1 次/月

表 8.1-1（2/4） 浙江金七门核电厂正常运行期间环境辐射监测方案

空气	气体		厂区边界、厂外烟羽最大浓度落点处、主导风下风向距厂区边界<10km 的居民区任选其中 1~2 个点	$^3\text{H}(\text{HTO})$	连续	1 次/周 或 在线监测
	降水		厂区边界、厂外烟羽最大浓度落点处、主导风下风向距厂区边界<10km 的居民区；对照点	^3H	累积采样，有雨、雪或冰雹时	混合样品 1 次/月
陆地	表层土壤		<10km，16 个方位角内（主导风下风向适当加密），部分点位可同农作物采样点；对照点	^{90}Sr 、 γ 能谱，每个方位最近的 1 个点加测 $^{239+240}\text{Pu}$	1 次/年	1 次/年
	植物 ^b	农作物	主导风下风向厂外最近的村镇；对照点	$^3\text{H}(\text{TFWT}, \text{OBT})$ 、 ^{14}C 、 γ 能谱，每类至少选择一个样品进行 ^{90}Sr 分析	收获期	1 次/年
	动物 ^b	禽、畜	主导风下风向厂外最近的村镇；对照点	$^3\text{H}(\text{TFWT}, \text{OBT})$ 、 ^{14}C 、 γ 能谱，每类至少选择一个样品进行 ^{90}Sr 分析	1 次/年	1 次/年
		牛（羊）奶	主导风下风向厂外最近的奶场；对照点	^{131}I	每季采样	1 次/季
	指示生物		尽量选择厂外烟羽最大浓度落点处	根据指示生物浓集特性确定监测核素种类	收获期	1 次/年

表 8.1-1（3/4） 浙江金七门核电厂正常运行期间环境辐射监测方案

陆地水	地表水 ^c	预计受沉降影响的地表水；上游对照点，可选择部分点位分析 ¹⁴ C	总β、γ能谱、 ³ H、 ¹⁴ C	平水期、枯水期	平、枯水期各 1 次
	地表水（受纳水体） ^c	在取水口、总排水口、总排水口下游 1km 处，排放口下游混合均匀处	总α、总β、γ能谱、 ¹³¹ I、 ⁹⁰ Sr、 ³ H、 ¹⁴ C	1 次/半年	1 次/半年
	地表水沉积物	同地表水	⁹⁰ Sr、γ能谱，10km 范围内的水体加测 ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	1 次/年	1 次/年
	地下水 ^c	厂内监测井	γ能谱、 ⁹⁰ Sr、 ³ H，可选择部分点位分析 ¹⁴ C	1 次/月，抽测	1 次/月
		可能受影响的地下水、对照点		平水期、枯水期	平、枯水期各 1 次
	饮用水 ^c	关键人群组饮水及可能受影响的水源	³ H、γ能谱、总α、总β，可选择部分点位分析 ⁹⁰ Sr、 ¹⁴ C	平水期、枯水期	平、枯水期各 1 次
	陆地水生植物 ^b	受纳水体排放口附近；主导风下风向厂外或流域覆盖厂址区域面积最大的水体；对照点	⁹⁰ Sr、 ¹⁴ C、γ能谱，受纳水体则增加 ³ H(TFWT,OBT)	收获期	1 次/年
陆地水	陆地水生动物 ^b	受纳水体排放口附近；主导风下风向厂外或流域覆盖厂址区域面积最大的水体；对照点	⁹⁰ Sr、 ¹⁴ C、γ能谱，受纳水体则增加 ³ H(TFWT,OBT)	1 次/年	1 次/年
		指示生物	根据指示生物浓集特性确定监测核素种	1 次/年	1 次/年
海洋	海水 ^c	排放口附近海域；对照点	³ H、总β、 ⁴⁰ K，可选择部分点位分析 ¹⁴ C、 ⁹⁰ Sr、γ能谱	1 次/半年	1 次/半年

表 8.1-1（4/4） 浙江金七门核电厂正常运行期间环境辐射监测方案

海洋沉积物		同海水采样点，包括潮间带土、潮下带土和海底沉积物；对照点	⁹⁰ Sr、γ能谱，在排放口方位 5km 范围内选择点位加测 ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	1 次/年	1 次/年
海洋生物 ^b	植物	排放口附近海域藻类等植物（含指示生物）	³ H(TFWT,OBT)、 ¹⁴ C、 ⁹⁰ Sr、γ能谱（包括 ¹³¹ I）	收获期	1 次/年
	动物	排放口附近海域鱼类、海藻、软体类以及甲壳类生物（含指示生物）	³ H(TFWT,OBT)、 ¹⁴ C、 ⁹⁰ Sr、γ能谱（包括 ¹³¹ I）	1 次/年	1 次/年

a γ能谱分析应重点关注核设施排放的特征核素，可根据核设施排放的特征核素来选择分析的核素，气溶胶及沉降物γ能谱分析项目一般可选择但不限于 ⁷Be（质控用）、⁵⁴Mn、⁵⁸Co、⁶⁰Co、⁹⁵Zr、¹³¹I、¹³⁷Cs、¹³⁴Cs、¹⁴⁴Ce 等放射性核素。

b 生物、土壤、沉积物中γ能谱分析项目一般可选择但不限于 ⁵⁴Mn、⁵⁸Co、⁶⁰Co、⁹⁵Zr、^{110m}Ag、¹³⁷Cs、¹³⁴Cs、¹⁴⁴Ce 等放射性核素。

c 水中γ能谱分析项目一般可选择但不限于 ⁵⁴Mn、⁵⁸Co、⁶⁰Co、¹⁰⁶Ru、⁶⁵Zn、⁹⁵Zr、^{110m}Ag、¹²⁴Sb、¹³⁷Cs、¹³⁴Cs、¹⁴⁴Ce 等放射性核素。

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

浙江金七门核电厂 1、2 号机组由中国核能电力股份有限公司（以下简称中国核电）组建中核浙能能源有限公司作为业主公司，建设规模为不小于 $2 \times 1200\text{MW}$ 百万千瓦级压水堆核电机组。

据财务分析结果，工程投产后在 30 年经济评价期内，项目有较好的经济效益。

9.1.2 建设运行带来的间接利益

9.1.2.1 社会效益

浙江金七门核电厂 1、2 号机组的建设，不仅将有效地解决浙江省的能源供求矛盾，还将缓解交通运输的紧张状况，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，直接或间接地解决了大量劳动力的就业问题，建设期间可提供约 6 万人年的各种建设人才的就业机会，运行期间核电站各岗位的就业人数总计约为 800 人，直接或间接地解决了大量劳动力的就业问题；同时，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。

工程建设将进一步有利于当地的能源、交通、就业、通讯、建材、教育及其他市政设施和福利事业的发展，对加快地区的经济发展具有重要意义。

核电属于高技术产业，其中核电设备设计与制造的技术含量高，质量要求严，产业关联度很高，涉及上下游几十个行业。加快核电自主化建设，有利于推广应用高新技术，促进技术创新，对提高我国制造业整体工艺、材料和加工水平将发挥重要作用。

9.1.2.2 环境效益

核能是一种技术成熟的清洁能源，温室气体接近零排放，不排放二氧化硫、烟尘、氮氧化物。浙江金七门核电厂 1、2 号机组的建设，实际上相当于减少了同等容量标准煤的消耗。每年可减排二氧化硫约 0.27 万吨，氮氧化物约 0.32 万吨，二氧化碳约 1786 万吨。同时，燃煤火电厂是全球 CO_2 释放的重要来源之一，而 CO_2 作为一种对全球气候变化起负面作用的温室气体，其减排问题已成为国际气候公约谈判的争论焦点。在“碳达峰、碳中和”的双碳背景下，积极发展核电将是今后我国在满足电力需求的基础上改善环境质量的有效措施。

同时，浙江金七门核电厂 1、2 号机组利用海水淡化技术，节约淡水资源。在 1、2 号机组建设工程中，厂前区子项将在厂外建设，也拟对该区域室外进行地面硬化、景观绿化。金七门核电厂 1、2 号机组在建设规划中，拟对已破坏的生态进行修复，改善周围的生态

环境。

9.2 代价分析

9.2.1 直接代价

（1）建设期环保设施投资

浙江金七门核电厂 1、2 号机组的项目计划总资金包括建筑工程费、设备购置费、安装工程费等工程费用和建设单位管理费、设计和技术服务费、联合试运转费等工程其他费用以及预备费、建设期贷款利息和融资费用、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、厂区绿化、环境整治、施工期环保投入等费用。

（2）运行期环保费用

运行期的环保费用包括乏燃料处理处置基金、中低放废物处理处置费、退役基金等。

乏燃料后处理从投产后第六年开始提取。

中低放废物处理处置费从投产后第一年开始提取。

退役基金从计算期第一年开始提取，总额以发电工程固定资产原值为基数，提取比例为 10%。

9.2.2 间接代价

9.2.2.1 社会代价

按规定，在核电厂外边界半径 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。

浙江金七门核电厂 1、2 号机组的运输包括施工期间设备、大型设备、建筑材料的运输，生产期间的换料、乏燃料、固体废物运输，以及正常的人员进出运输等，其运输量非常大，不可避免的增加当地的运输负担。

但是由于在项目的施工过程中，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。

核电作为一种高新能源技术，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度，有利于核电项目的顺利推进并营造更为和谐的核电发展环境。

9.2.2.2 环境代价

核电厂施工期间对环境的影响主要表现在噪声、扬尘和放射源的使用、生活污水和生

产废水以及施工建设对自然景观造成一定程度的破坏等方面。为了达到保护环境和保护公众的目的，浙江金七门核电厂 1、2 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，以控制并确保项目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。本报告书的前序章节已对浙江金七门核电厂 1、2 号机组的环境影响做出了详细的论证。

综上所述，浙江金七门核电厂 1、2 号机组是经济的、环保的。虽然前期资金投入较大，但对于电力需求紧张、资源相对匮乏、经济发展迅速的地区来说，发展核电是解决能源问题的有效手段，是调整能源结构、实现区域经济可持续发展的重要保证。浙江金七门核电厂 1、2 号机组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 结论

- 10.1.1 核电厂建设项目
- 10.1.2 环境保护设施
- 10.1.3 放射性排放
- 10.1.4 辐射环境影响评价结论
- 10.1.5 非辐射环境影响评价结论
- 10.1.6 公众意见采纳情况总结

10.2 承诺

10.1 结论

10.1.1 核电厂建设项目

浙江金七门核电厂位于浙江省象山县南田岛的南缘，猫头洋北岸，三面临海，属于滨海厂址。厂址规划建设六台“华龙一号”百万千瓦级压水堆核电机组，厂区统一规划，分期建设。浙江金七门核电厂 1、2 号机组单台机组建设周期为 60 个月，两台机组的开工时间间隔 10 个月，其中 1 号机组预期于 2029 年底建成投产。

浙江金七门核电厂 1、2 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”方案吸取了近这些年来国内外已有核电厂在安全方面的一些成功经验和福岛核电站事故的经验反馈，采用了成熟、可靠的技术和设备，在技术和工程上均是可行的。设计方案满足国家核安全局发布的《福岛核事故后核电厂改进行动通用技术要求（试行）》以及《核安全与放射性污染防治“十三五”规划及 2025 年远景目标》的要求。

10.1.2 环境保护设施

环境保护相关设施包括设置核岛通风系统、核岛废物处理和排放系统、常规岛含油污水处理、放射性机修及去污车间、厂区三废处理设施及环境保护工程、核岛辐射监测系统等，以及进行厂区绿化等。

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。

浙江金七门核电厂 1、2 号机组拟建污水处理构筑物对生活污水进行收集和处理，再生水回用满足回用水相关标准，回用剩余水量排放满足国标的相关要求；通过室外管网收集各子项的非放射性含油废水，汇集至污水系统油水分离器进行处理，排水水质满足国标和浙江省的相关要求。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。

为保证核电厂各系统运行的有效性，保护环境、公众和职业人员安全，金七门核电厂将设置完整而全面的流出物监测系统和能够覆盖整个厂址区域的环境辐射与气象监测系统，并且制订运行期间流出物和环境监测方案以及应急监测方案。

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。

10.1.3 放射性排放

1、2 号机组共同运行状态下，各类气载和液态放射性流出物年设计排放量均能满足《核动力厂环境辐射防护规定》（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 C-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。

10.1.4 辐射环境影响评价结论

（1）对公众的辐射影响

本工程运行状态下估算公众的最大个人剂量时，流出物排放源项采用排放量设计值。本工程运行状态下，气液态流出物对公众的最大个人有效剂量为 $2.92\text{E-}07\text{ Sv/a}$ ，占本工程拟定剂量约束值（ 0.08mSv/a ）的 0.37%。

本工程运行状态下分析的关键人群组、关键核素、关键照射途径时，采用现实排放源项。本工程运行状态下，关键居民组为厂址 N 方位 3~5km 处鹤浦镇牧童岙村的成人（渔民）组，受到的最大个人有效剂量为 $1.28\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 。气液态综合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 $5.96\text{E-}08\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 46.80%；其次为液态途径的岸边沉积造成的外照射途径，占气液态总剂量的 42.33%。各核素中的关键核素为 C-14，它所致的剂量为 $6.23\text{E-}08\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 48.90%；另外，Co-60 和 Co-58 的剂量贡献也较大，分别占气液态总剂量的 41.53%和 3.86%。

（2）对非人类物种的辐射影响

1) 水生生物

从影响率的结果来看，浙江金七门核电厂一期工程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，浙江金七门核电厂一期工程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) 陆生生物

从影响率的结果来看，浙江金七门核电厂一期工程两台机组正常运行时，厂址附近陆域范围内不同媒介中放射性核素对不同陆生生物的影响率均在 10^{-3} 数量级以下；从剂量率的估算来看，厂址附近陆域范围内各种陆生生物所受的剂量率均远小于 $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，浙江金七门核电厂一期工程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。

（3）事故工况的辐射影响

《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。

经计算当采用现实大气弥散因子或保守大气弥散因子时，浙江金七门核电厂 1、2 号机的设计基准事故所导致的剂量后果均小于 GB6249-2011 中相关的剂量控制值。

10.1.5 非辐射环境影响评价结论

10.1.5.1 施工期间的环境影响

（1）社会环境影响

核电厂工程建设期间大量的工程施工人员进驻施工现场，对附近居民的日常生活产生轻微影响，同时由于大量施工人员在该地区较长时期的居住和生活，增加当地居民的就业机会和商机，可以增强该地区的消费能力，促进经济的发展。

（2）水土保持

本工程施工期间，将针对主厂区、道路码头区、取排水工程区、施工生产生活区等区域采取一系列措施进行水土保持，在工程建设期及植被恢复期还将进行水土保持监测。通过以上措施，可有效防治施工期间的水土流失情况。

（3）施工噪声

土石方工程施工期间，开挖爆破以及各类施工和运输机具所产生的噪声对厂址周围的声环境将产生一定的影响。但爆破施工是阶段性的，集中在施工初期，其影响时间短，爆

破施工完毕，噪声也即消失。因此核电厂施工噪声对环境的影响是可以接受的。

（4）大气环境的影响

施工过程中，由于土石方施工的爆破、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）对水环境的影响

本工程厂内施工临建区的生活污水通过相应污水管网汇集至非放射性污废水处理站，生活污水经生化处理和深度处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中车辆冲洗水质标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级 A 标准后，其中，非放射性污废水处理站排水中的 COD、总氮、氨氮、总磷等 4 项主要水污染物指标执行《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）中表 2 排放浓度限值要求，用于降尘、道路浇洒和洗车等。厂区非放射性污废水处理站建成前，生活污水外运处理。厂外南田墩村施工临建区生活污水外运处理。施工生产用水主要用于消耗和重复利用，施工生产废水除混凝土浇筑、养护、冲洗机具、降尘等损耗外，冲洗砂石排水沉淀后复用。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。

（6）固体废弃物的影响

施工期间的固体废弃物主要是建筑垃圾和生活垃圾。施工期间现场废物垃圾的处置主要是制定相应的管理规定，并严格执行。如从源头控制，使废物垃圾产生的数量最小化；规划专用堆放场地，集中储存并做好防护措施，严禁乱倒乱卸，对建筑垃圾和弃渣的收集、堆放、处理规范化，避免对地下水、地表水产生影响；采用专用运输车辆及时外运，避免运输过程中的遗撒等。因此，固体废弃物对环境的影响是局部的和暂时的。

（7）对生态环境的影响

工程施工期需要对厂址场地进行平整，土石方挖掘工作也将破坏原有生境条件，若处理不当将会造成水土流失，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。

在建设施工过程中，将根据现场施工情况采取相应生态保护措施，工程建成后，厂区内会进行绿化，厂区外的临时施工用地也将采取相应的恢复措施，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。

10.1.5.2 运行期间的环境影响

（1）温排水的影响

厂址所处海域较为开敞，水深大流速较快，有利于温排水的扩散。夏季半月潮时，4℃温升垂向投影最大包络面积的最大值为 1.31km²，1℃温升垂向投影最大包络面积的最大值为 17.82km²。冬季半月潮时，4℃温升垂向投影最大包络面积的最大值为 2.45km²，1℃温升垂向投影最大包络面积的最大值为 21.01km²。

（2）生产废水和生活污水的影响

本工程运行期排放的生活污水和生产废水中的 COD、总氮、氨氮和总磷等 4 项主要水污染物指标执行《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》（DB33/2169-2018）中表 2 排放浓度限值要求，其余指标满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准，二者均允许排入《海水水质标准》（GB3097-1997）中海水二类功能区域。本工程海水区域为二类功能区域，满足排放条件。同时，运行期非放射性污废水处理站处理后的再生水尽可能回用，仅回用剩余部分排放，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。

（3）化学污染物的环境影响

海水淡化系统产生的废水其主要化学物质是海水预处理过程产生的悬浮物和沉淀泥浆、海水淡化反渗透装置排出的浓盐水。由于海水预处理过程中所用的化学药品均是根据原水水量、悬浮物及浊度等条件按比例投加的，含有悬浮物和氢氧化铁的沉淀泥浆水进行脱水，固体物质不排入水体，滤出液经循环冷却水稀释后铁的浓度已是很低，滤出液排至滤池反洗水池，与滤池反洗水一起回收至混合反应沉淀池进水端，不排放，这些化学物质将不会影响排放海域的海水质量。污泥脱水后泥饼外运，不向水体排放固体物质。海水膜反渗透装置排出的浓盐水经循环水稀释后，含盐量已降得很低，至海水排放口进一步稀释，浓度更低，不会影响排放海域的海水质量。

除盐水生产系统树脂再生废水的氯化钠排放浓度很低，不会影响附近海域的海水质量。

循环水处理系统对流经循环水系统的海水作连续加氯处理。加入循环冷却水中的游离态氯衰减得很快，主要是与水中的氨、有机物和微生物等还原性物质作用而消耗。化合态余氯氧化能力低，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。余氯在环境水体中衰减很快，在水中的输移、分布主要依靠潮流的挟带，并非累积所致。余氯浓度场主要在排水口附近，影响范围较小。

综上所述，从浙江金七门核电厂厂址的自然条件和社会条件分析，能满足一期工程建设的 yêu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。因此，从核电厂建设和运行对环境的影响角度看，建设浙江金七门核电厂 1、2 号机组是可行的。

10.1.6 公众意见采纳情况总结

本项目在开展公众参与期间未收到公众提出的与项目环境影响评价相关的意见和建议。

10.2 承诺

本报告书给出的对本工程建造和运营单位在环境保护方面的承诺如下：

- 一将严格执行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。
- 一持续开展核电宣传、沟通工作，以得到周边公众对本项目的支持，配合地方政府维护良好的社会环境。
- 一项目施工过程中严格按照要求开展环境监测，加强施工过程环境管理，尽量减小施工对周边环境和公众的影响。