

福建福清核电厂 5、6 号机组

# 环境影响报告书

(运行阶段)



福建福清核电有限公司

二〇二〇年五月

图册(文件)编号	
1188XEIRHYS01	
共 1 册 第 1 册	
版次: A	状态: CFC

## 福建福清核电厂 5、6 号机组

工 程 号 1188


子项号或系统号 \_\_\_\_\_

设 计 阶 段 施工图设计

工 种 综 合

图册(文件)名称 环境影响报告书  
(运行阶段)

图册(文件)序号 \_\_\_\_\_

批 准 

C	P	X	9	9	9	8	0	0	0	4	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

二〇二〇年五月



## 编制单位和编制人员情况表

建设项目名称		福建福清核电厂 5、6 号机组	
环境影响评价文件类型		环境影响报告书（运行阶段）	
<b>一、建设单位情况</b>			
建设单位（签章）		福建福清核电有限公司	
法定代表人或主要负责人（签字）		徐利根	
主管人员及联系电话		顾蔚泉 0591-86530233	
<b>二、编制单位情况</b>			
主持编制单位名称（签章）		中国核工程技术有限公司	
社会信用代码		911100001000027329	
法定代表人（签字）		杨朝东	
<b>三、编制人员情况</b>			
编制主持人及联系电话		郑伟 010-88023627	
<b>1. 编制主持人</b>			
姓名	职业资格证书编号	签字	
郑伟	0001050（环评资格证编号）， A105303111（登记证编号）	郑伟	
	0000547（核安全资格证编号）， ZNPPC45-1903（登记证编号）		
<b>2. 主要编制人员</b>			
姓名	职业资格证书编号	主要编写内容	签字
郑伟	0001050（环评资格证编号）， A105303111（登记证编号）	第一章和第十章	郑伟
李京好 朱好	0006864（环评资格证编号）， A105304811（登记证编号）； 2017035110352013110715000928 （环评资格证编号）， A105304711（登记证编号）	第二章	李京好 朱好
王欣	0006857（环评资格证编号）， A105305011（登记证编号）	第三章和第八章	王欣

韩蕊	2017035110352016110714000413 (环评资格证编号), A105304611 (登记证编号)	第四章	韩蕊
高桂玲	0004412 (环评资格证编号), A105302911 (登记证编号)	第五章	高桂玲
毛亚蔚	0004411 (环评资格证编号), A105303011 (登记证编号)	第六章	毛亚蔚
薛娜	00019558 (环评资格证编号), A105303311 (登记证编号)	第七章	薛娜
魏刚	0006883 (环评资格证编号), A105304511 (登记证编号)	第九章	魏刚
<p>四、参与编制单位和人员情况</p> <p>无</p>			

## 总 目 录

### 第一章 概述

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

### 第二章 厂址与环境

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

### 第三章 环境质量现状

- 3.1 辐射环境质量现状
- 3.2 非辐射环境质量现状

### 第四章 核电厂

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

- 4.5 专设安全设施
- 4.6 放射性废物系统和源项
- 4.7 非放射性废物处理系统
- 4.8 放射性物质运输
- 第五章 核电厂施工建设过程的环境影响**
  - 5.1 土地利用
  - 5.2 水的利用
  - 5.3 施工影响的控制
- 第六章 核电厂运行的环境影响**
  - 6.1 散热系统的环境影响
  - 6.2 正常运行的辐射影响
  - 6.3 其它环境影响
  - 6.4 初步退役计划
- 第七章 核电厂事故的环境影响和环境风险**
  - 7.1 核电厂放射性事故和后果评价
  - 7.2 严重事故
  - 7.3 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 其他监测
  - 8.3 监测设施
  - 8.4 质量保证
- 第九章 利益代价分析**
  - 9.1 利益分析
  - 9.2 代价分析
- 第十章 结论与承诺**
  - 10.1 核电厂建设项目
  - 10.2 环境保护设施

- 10.3 放射性排放
- 10.4 辐射环境影响评价结论
- 10.5 非辐射环境影响评价结论
- 10.6 公众意见采纳情况总结
- 10.7 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

### 1.11 环境影响报告书批复的落实情况

图

图 1.10-1 福建福清核电厂 5、6 号机组厂址半径 80km 范围评价子区划分示意图



## 1.1 建设项目名称和建设性质

### 1.1.1 核电厂名称

核电厂名称：福建福清核电厂 5、6 号机组；

项目建设和运营管理单位：福建福清核电有限公司。

### 1.1.2 建设性质

福建福清核电厂 5、6 号机组建设性质为新建项目，由中国核能电力股份有限公司、华电福新能源股份有限公司和福建省投资开发集团有限责任公司分别以 51%、39% 和 10% 的股比共同出资营建的商业性核电站。

本工程的建设将充分体现国家对核电自主化的要求，认真贯彻执行项目法人责任制、招投标制和监理制等法律、法规要求，工程建设管理中将严格实行对质量、进度、投资、技术、安全和环境的六大控制。核电厂工程设计和建设管理全面实行由中国核电工程有限公司总承包的方式，中国核电工程有限公司承担工程建设的安全、质量、进度、投资、技术与环境控制的项目管理责任，完成从前期准备、设计采购、土建、安装、调试、移交运行、建成投产并通过竣工验收等全过程。

通过开展必要的先进技术引进和咨询服务，工程设计全部由国内设计院完成，设备采购将采取自主设计、按部件采购的方式进行，国产化率不低于 85% 的水平。

## 1.2 建设项目的规模和厂址总体规划

福建福清核电厂规划容量为六台百万千瓦级核电机组，一次规划、分期建设。福建福清核电厂 5、6 号机组采用自主化三代百万千瓦级压水堆核电机组“华龙一号”，电站设计寿命 60 年。

福建福清核电厂 5、6 号机组工程是在福建福清核电厂 1-4 号机组工程的基础上进行建设的项目，能充分利用 1-4 号机组有关设施和宝贵的电厂建设资源，如取排水工程，海工工程、防护工程、厂外道路、施工场地、部分 BOP 子项等。5、6 号机组建成后，整个厂址区域将形成一址多堆的核电基地。福清核电厂对多堆厂址的环保设施进行统筹安排，包括：

- 统一规划并设立非居住区边界和规划限制区边界；
- 设置了统一的取、排水口，并从设计上综合考虑六台机组取、排水设计方案，既保证机组满功率的需要，又有利于减少环境的影响；
- 整个厂区的总平面布置中功能分区明确，统一合理布置了放射性区域、非放射性区域和相关设施；

— 针对所有机组实施统一的流出物排放管理、设置统一的环境监测中心、应急指挥中心和放射性废物库等。

### 1.3 建设项目经费和环保设施投资

福建福清核电厂 5、6 号机组采用我国自主创新的百万千瓦级压水堆核电机组（“华龙一号”技术），部分项目利用 1~4 号机组的设施，不再重复建设。

福建福清核电厂 5、6 号机组直接和间接用于环境保护的费用占项目计划总资金 2.37% 左右。

### 1.4 建设目的

#### （1）符合国家能源政策

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》第三十章“建设现代能源体系”中提出：“深入推进能源革命，着力推动能源生产利用方式变革，优化能源供给结构，提高能源利用效率，建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系，维护国家能源安全。统筹水电开发与生态保护，坚持生态优先，以重要流域龙头水电站建设为重点，科学开发西南水电资源。继续推进风电、光伏发电发展，积极支持光热发电。以沿海核电带为重点，安全建设自主核电示范工程和项目。”

国务院通过的《核电中长期发展规划（2011-2020 年）》对当前和今后一个时期的核电建设做出部署：（一）稳妥恢复正常建设。合理把握建设节奏，稳步有序推进。（二）科学布局项目。“十二五”时期只在沿海安排少数经过充分论证的核电项目厂址，不安排内陆核电项目。（三）提高准入门槛。按照全球最高安全要求新建核电项目。新建核电机组必须符合三代安全标准。

《能源发展“十三五”规划》的能源科技创新重点任务中，华龙一号列为电力重大示范工程之一。规划指出：“发挥我国能源市场空间大、工程实践机会多的优势，加大资金、政策扶持力度，重点在油气勘探开发、煤炭加工转化、高效清洁发电、新能源开发利用、智能电网、先进核电、大规模储能、柔性直流输电、制氢等领域，建设一批创新示范工程，推动先进产能建设，提高能源科技自主创新能力和装备制造国产化水平。”

福清核电厂 5、6 号机组为“华龙一号”的示范工程，本工程的建设符合国家的相关能源政策。

#### （2）有利于改善福建省电源结构

福建是无油、无天然气，常规能源短缺的省份。随着未来国民经济和社会的不断发展，福建后续的能源供应局面是相当紧缺的，福建未来能源需求增量主要靠省外调入能源供应。为建立安全、可靠、稳定、经济的能源保障体系，能源引进必须走煤、油、气、核多元化

的路子。发展核电有利于缓解福建一次能源供应的紧张状况、并减轻煤炭运输压力，推进福建电源结构多元化的进程，有利于提高能源供应安全性，为福建能源的可持续发展打下了良好基础。

### （3）满足福建省电网对电力的需求

福建省 2017 年全年能源消费总量 12889.97 万吨标准煤，其中，全社会用电量 2113 亿千瓦时，同比增长 7.3%。在全省经济总体保持平稳较快增长情况下，随着重点行业优化发展和重点区域的加快推进，以及新增重点项目的陆续开建和投运，预计“十三五”期间，全省用电总体保持平稳增长，逐年用电增速呈前低后高趋势。结合国网公司“十三五”规划分省市电力需求方案边界，校核提出“十三五”期间全省电力需求预测方案，并展望至 2025 年和 2030 年。福建省基础负荷预测方案中，2020 年最大用电负荷 44200MW，电量 2500 亿 kWh；“十三五”期间最大负荷及电量年均增速分别为 7.0%和 6.2%；至 2025 年，最大用电负荷 56500MW，电量 3100 亿 kWh；“十四五”期间最大用电负荷及电量增速分别为 5.0%和 4.4%。

截至 2018 年 12 月，我国大陆已有 44 台运行中的核电机组，总装机容量约 4465 万千瓦，在建核电机组 12 台，总装机容量约 1343 万千瓦。本工程的建设将有助于满足福建省电网对电力的需求。

### （4）有利于环境保护

福建省东、南面临海，西、北部多高山，与周边省份阻隔。西、北部广大山区，静风频率高、大气扩散条件较差，城市空气质量易受到本地污染源影响，地区大气环境容量较小。东南沿海地区，经济发达，人口集中，城镇众多，工农业和近海养殖业生产活动以及城乡居民生活活动，对环境质量造成影响，空气中 TSP 浓度普遍较高。

根据《福建省“十三五”节能减排综合工作方案》，2020 年福建省 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 排放总量控制计划分别为 33.8 万吨和 37.9 万吨，减排压力较大。核电站的建设可以有效减少由于燃煤发电所带来的环境污染，是减少大气污染排放的有效途径。初步测算，两台百万千瓦级核电发电机组替代相应容量脱硫煤电机组后，可以减少 CO<sub>2</sub> 年排放量约 575 万吨、SO<sub>2</sub> 年排放量约 1148 吨、NO<sub>x</sub> 年排放量约 1640 吨。福建省根据《国务院关于印发节能减排综合性工作方案的通知》（国发〔2007〕15 号）精神制定和落实各项优惠政策，大力发展：风能、水能等可再生能源，核能等清洁能源和先进高效的火电机组。在这种可持续发展形势要求下，鉴于福建省一次能源资源严重短缺、生产和消费以及交通运输、保护环境要求等因素的制约，建设核电是减少大气污染排放的有效途径，有利于福建省环境质量的改善及社会经济的可持续发展。

## 1.5 建设项目的进度

福清核电厂 5、6 号机组的建设进度计划如下：

福清核电厂 5 号机组于 2015 年 5 月 7 日开工浇灌第一罐混凝土（FCD），建设周期为 62 个月，计划于 2020 年 7 月 25 日开始装料，可望在 2020 年 12 月 25 日投入商业运行。

5、6 号两台机组间隔 10 个月，6 号机组建设周期为 62 个月。

## 1.6 环境影响报告书编制依据

本报告遵循的主要法规、标准和导则：

### （1）主要法规

- 1) 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年 1 月 1 日）；
- 2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日）；
- 3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日）；
- 4) 《中华人民共和国海洋环境保护法》（2017 年 11 月 5 日）；
- 5) 《中华人民共和国大气污染防治法》（2018 年 10 月 26 日）；
- 6) 《中华人民共和国水污染防治法》（2018 年 1 月 1 日）；
- 7) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》（2018 年 12 月 29 日）；
- 8) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2016 年 11 月 7 日）；
- 9) 《中华人民共和国水法》（2016 年 7 月 2 日）；
- 10) 《中华人民共和国土地管理法》（2004 年 8 月 28 日）；
- 11) 《中华人民共和国突发事件应对法》（2007 年 11 月 1 日）；
- 12) 《核电厂核事故应急管理条例》（HAF002）；
- 13) 《核电厂厂址选择安全规定》（HAF001）；
- 14) 《放射性废物安全监督规定》（HAF401）；

### （2）技术导则、标准

- 1) 《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）；
- 2) 《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；
- 3) 《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）；
- 4) 《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018）；
- 5) 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2009）；
- 6) 《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2011）；
- 7) 《环境影响评价技术导则 输变电工程》（HJ24-2014）；

- 8) 《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ 610-2016）；
- 9) 《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02）；
- 10) 《核电厂厂址选择及评价的人口分布问题》（HAD101/03）；
- 11) 《核电厂厂址选择的外部人为事件》（HAD101/04）；
- 12) 《核电厂厂址选择中的放射性物质水力弥散问题》（HAD101/05）；
- 13) 《核电厂厂址选择与水文地质的关系》（HAD101/06）；
- 14) 《滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定》（HAD101/09）；
- 15) 《核电厂厂址选择的极端气象事件》（HAD101/10）；
- 16) 《核电厂设计基准热带气旋》（HAD101/11）；
- 17) 《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01）；
- 18) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- 19) 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）；
- 20) 《核电厂核事故应急管理条例》（国务院[1993] 124 号令）；
- 21) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
- 22) 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；
- 23) 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）；
- 24) 《海水水质标准》（GB3097-1997）；
- 25) 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；
- 26) 《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）；
- 27) 《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）；
- 28) 《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599-2001）；
- 29) 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）；
- 30) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）；
- 31) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）；
- 32) 《声环境质量标准》（GB 3096-2008）；
- 33) 《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）；
- 34) 《环境核辐射监测规定》（GB12379-90）；
- 35) 《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》（GB11216-89）；
- 36) 《核设施流出物监测的一般规定》（GB11217-89）；
- 37) 《压水堆核电厂设计基准事故源项分析准则》（NB/T 20444-2017RK）；
- 38) 《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）；

- 39) 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；
- 40) 《低、中水平放射性废物固化体性能要求 水泥固化体》（GB14569.1-2011）；
- 41) 《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》（GB12711-2018）；
- 42) 《放射性废物体和废物包的特性鉴定》（EJ1186-2005）；
- 43) 《建筑设计防火规范》（GB50016-2014）。

## 1.7 评价标准

### 1.7.1 辐射环境影响评价标准

本报告运行状态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》（GB6249-2011）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

运行状态下的剂量约束值，遵循国家标准 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”。福建福清核电厂 6 台百万千瓦级核电机组以 0.25mSv/a 作为厂址公众的辐射剂量约束值，本期工程 2 台机组剂量约束值拟定为 0.08mSv/a。

根据《核动力厂环境辐射防护规定》GB6249-2011 的第 6.2、6.3 和 6.4 条款的规定，福建福清核电厂厂址所有机组的年放射性排放量应控制在 6.2 条款规定值的 4 倍以内，福建福清核电厂建设 6 台百万千瓦级压水堆核电机组，厂址 6 台机组运行状态下的排放量控制值如下：

#### 气载放射性流出物

- 惰性气体， $2.40\text{E}+15$  Bq/a；
- 碘， $8.00\text{E}+10$  Bq/a；
- 长寿命粒子（ $T_{1/2}\geq 8\text{d}$ ）， $2.00\text{E}+11$  Bq/a；
- 氚， $6.00\text{E}+13$  Bq/a；
- C-14， $2.80\text{E}+12$  Bq/a。

#### 液态放射性流出物

- 氚， $3.00\text{E}+14$  Bq/a；
- C-14， $6.00\text{E}+11$  Bq/a；
- 其余核素（除氚、C-14 外）， $2.00\text{E}+11$  Bq/a。

国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）第 6.8 条中规定了液态流出物排放浓度的要求。本厂址为滨海厂址，电厂运行过程中所产生的液态流出物系统排放口的

浓度按照以下要求来控制，即：槽式排放出口处的放射性流出物中除氚和碳 14 外其他放射性核素浓度不应超过 1000Bq/L。

### （2）事故工况下的剂量控制值

按照国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011)，在运行阶段针对设计基准事故进行环境影响评价。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: 0.03 Bq/L;
- Sr-90: 4.0 Bq/L;
- Ru-106: 0.2 Bq/L;
- Cs-134: 0.6 Bq/L;
- Cs-137: 0.7 Bq/L。

### （4）福清核电厂 5、6 号机组运行后的排放量申请值

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

福清核电厂 5、6 号机组拟定的排放量申请值如下：

#### 气载放射性流出物

- 惰性气体， $1.15\text{E}+14\text{Bq/a}$ ;
- 碘， $1.10\text{E}+09\text{Bq/a}$ ;
- 长寿命粒子 ( $T_{1/2}\geq 8\text{d}$ )， $8.42\text{E}+07\text{Bq/a}$ ;
- 氚， $8.26\text{E}+12\text{Bq/a}$ ;
- C-14， $6.91\text{E}+11\text{Bq/a}$ 。

#### 液态放射性流出物

- 氚， $9.18\text{E}+13\text{Bq/a}$ ;

——C-14,  $5.06E+10Bq/a$ ;

——其余核素（除氙、C-14 外）， $3.04E+10Bq/a$ 。

### 1.7.2 非辐射环境影响评价标准

#### (1) 大气

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

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

#### (2) 海水水质标准

根据福建省人民政府文件闽政文[2011]45 号文《福建省人民政府关于印发福建省近岸海域环境功能区划（修编）的通知》，福清核电厂附近海域海水水质执行《海水水质标准》（GB3097-1997）中的三类标准。其中，温排水混合区除水温指标外，其余指标仍按海水水质三类标准执行。

#### (3) 污水排放标准

废水排放执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）表 4 中的一级标准；运行期生活污水排放执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）的一级 A 标准；回用水水质执行《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）的要求。

#### (4) 噪声

厂界外距离厂址最近的前薛村执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）2 类声环境功能区标准；核电进厂大道及应急道路两侧声功能区执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）4a 类标准。

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

施工期间，施工场界采用《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）规定的排放限值。

#### (5) 电磁辐射

厂址电磁辐射执行《环境影响评价技术导则 输变电工程》（HJ24-2014）和《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）的相关标准限值。

主要指标如下：

工频电场强度（公众曝露控制限值）  $4kV/m$ ；

磁感应强度（公众曝露控制限值）  $0.1mT(100\mu T)$ ；

对于 30MHz~3000MHz 的频率范围，环境射频综合场强等效平面波功率密度  $S_{eq}$ （任意连续 6 分钟内的方均根值）  $<0.4W/m^2$ 。



## 1.8 工程组成

本项目主体工程为核岛、常规岛和 BOP 工程。福清核电厂涉及的配套工程主要包括进厂道路、应急道路、北林水库、放射源、环境实验室和前沿站等。

## 1.9 环境保护措施

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

## 1.10 评价范围

根据《核辐射环境质量评价一般规定》(GB11215-89)，本次评价范围为以 5 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，见图 1.10-1。

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)，本项目大气环境评价范围为厂址半径 5km。

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)，本项目声环境评价范围为厂址半径 5km。

电磁辐射评价范围：1) 工频电场、工频磁场强度：以本工程核电厂拟建开关站为中心的半径 0.5km 的环形区域以及电力出线送电走廊两侧 0.5km 带状区域；2) 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。

温排水评价范围：排水 0.5℃ 温升可能影响到的全部区域。

生态环境的评价范围：1) 陆生生态环境的现状调查评价范围为厂址半径 10km；海域生态的现状调查评价范围为以排水口为中心，向海延伸 50 km 范围。2) 施工期海域生态评价范围为以排水口为中心的 20km 半径范围内的海域。

施工期陆域评价范围为厂址征地范围，包括厂区、取排水区、施工场地区、开挖面人工边坡区等。

## 1.11 环境影响报告书批复的落实情况

2015 年 5 月 5 日，环保部《关于福建福清核电厂五、六号机组环境影响报告书（建造阶段）的批复》（环审【2015】111 号）要求在工程建造阶段及今后一个时期应重点做好的工作如下：

(1) 严格执行施工期间的环境影响评价标准，落实噪声、施工废水、扬尘污染防治

措施和固体废物处理措施，加强施工场地环境管理，及时缓解和控制施工活动可能造成的环境影响。

现场施工期间严格执行了相关环境影响评价标准，落实了噪声、施工废水、扬尘污染防治措施和固体废物处理措施，为加强施工场地环境管理，制定了相应的施工环境管理程序、规定，可以保证施工期间对环境的影响是可接受的。施工期的环境监测结果证明，施工期间所采取的控制环境污染的相应措施是有效的。详见第五章的相关内容。

(2) 结合工程进度和具体施工活动，进一步细化施工期间环境监测方案并有效实施。

根据施工进度的安排及具体施工活动，进一步细化了施工期间环境监测方案，在福清核电厂厂址连续开展了施工期间大气和噪声的监测，还开展了施工期间海域环境监测。详见第五章的相关内容。

(3) 根据“华龙一号”详细设计和废物处理系统的设备性能、去污效率等，进一步优化放射性流出物源项有关考虑，并反馈到运行阶段环境影响报告书。

本阶段根据“华龙一号”详细设计和和相关参数，结合审管对于排放源项框架体系的最新要求，调整和优化了放射性流出物源项的计算，并应用到了本报告中，详见本报告第四章。

(4) 跟踪并反馈本项目拟采用的湿废物处理工艺在其他设施上应用、运行实践以及固化体性能试验情况，完成本项目废物处理系统的设计、建造、调试等工作，确保满足装料运行要求。

本工程在项目初期确定了采用废树脂湿法氧化浓缩液高效固化处理工艺方案，随着设计、采购和审评工作的不断深入，由于废树脂湿法氧化浓缩液高效固化处理工艺存在一定的技术和工程风险。因此本工程最终确定采用在国内外具有成熟工程实践经验的水泥固化工艺处理废树脂和浓缩液，采用水泥固定工艺处理废过滤器芯。

目前，国内二代和二代加改进型核电厂普遍采用水泥固化工艺，技术成熟，运行实践经验丰富。水泥固化试验目前已完成浓缩液水泥固化配方、废树脂水泥固化配方、活性炭水泥固化配方和废过滤器芯水泥固定配方的桶外搅拌试验，并进行性能测试，测试结果满足国家标准 GB14569.1-2011《低中水平放射性废物固化体性能要求 水泥固化体》、EJ1186-2005《放射性废物体和废物包的特性鉴定》、GB12711-2018《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》的相关要求，水泥固化与固定配方已通过验收评审。

本工程固体废物处理系统的设计和建造工作已经完成，目前正处于设备安装阶段。



图 1.10-1 福建福清核电站 5、6 号机组厂址半径 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

#### 2.2.3 居民的年龄构成及饮食习惯和生活习性

### 2.3 土地利用及资源概况

#### 2.3.1 土地和水体的利用

#### 2.3.2 陆生资源及生态概况

#### 2.3.3 水产资源及水生态概况

#### 2.3.4 工业、交通及其它相关设施

### 2.4 气象

#### 2.4.1 区域气候

#### 2.4.2 设计基准气象参数

#### 2.4.3 当地气象条件

#### 2.4.4 大气稳定度

#### 2.4.5 联合频率

#### 2.4.6 混合层高度及扩散参数值

#### 2.4.7 厂址气象观测

### 2.5 水文

#### 2.5.1 地表水

#### 2.5.2 地下水

#### 2.5.3 洪水

### 2.6 地形地貌

## 表

表 2.4-1 厂址周边气象站基本情况

表 2.4-2 观测期间铁塔各高度不同类别逆温强度的出现时次、频率

表 2.4-3 气象铁塔 $\Delta T-u$ 法稳定度分类月、季、年次数及频率（2017.5~2018.4）

表 2.4-4 推荐的厂址扩散参数

表 2.4-5 气象传感器技术指标

表 2.5-1 主要潮汐特征值

表 2.5-2 厂址重现期高潮位和重现期低潮位（高低潮相关）

表 2.5-3 各测站潮段平均流速统计表

表 2.5-4 各测站涨落潮段垂线平均最大流速统计表

表 2.5-5 工程海域多年盐度月均值

表 2.5-6 各测站涨、落潮段垂线平均含沙量统计表

表 2.5-7 各测站涨、落潮段垂线平均最大含沙量统计表

表 2.5-8 各测站测点最大含沙量统计表

表 2.5-9 厂址附近范围泉水调查结果一览表

表 2.5-10 民井抽水试验成果一览表

表 2.5-11 厂址附近范围民井调查一览表

表 2.5-12 厂址站年最大增水和减水值

表 2.5-13 厂址年最大增水值和年最大减水值的分布

表 2.5-14 四个工程点可能最大台风增、减水值

表 2.5-15 近岸波浪计算点 S 向浪时各测点处波高值

表 2.5-16 近岸波浪计算点 SE 向浪时各测点处波高值

表 2.5-17 近岸工程位置附近海域 SSE 向浪时各测点处波浪要素

表 2.5-18 福清核电厂近岸四个工程点附近台风浪波要素

## 图

图 2.4-1 平潭气象站各月、季及全年风玫瑰图

图 2.4-2 2017.5~2018.4 观测期间地面站及铁塔不同高度风玫瑰图

图 2.5-1 厂址海洋站—平潭站高潮位相关曲线

图 2.5-2 厂址海洋站—平潭站低潮位相关曲线

图 2.5-3 冬季大潮垂线平均潮流矢量图

图 2.5-4 冬季中潮垂线平均潮流矢量图

图 2.5-5 冬季小潮垂线平均潮流矢量图

- 图 2.5-6 夏季大潮垂线平均潮流矢量图
- 图 2.5-7 夏季中潮垂线平均潮流矢量图
- 图 2.5-8 夏季小潮垂线平均潮流矢量图
- 图 2.5-9 厂址附近范围综合水文地质图（未开挖回填前）
- 图 2.5-10 厂址附近范围地下水等水位线图
- 图 2.5-11 厂址附近范围地质构造图
- 图 2.5-12 厂区水文地质图(未开挖回填前)
- 图 2.5-13 厂区与厂外标高示意图
- 图 2.5-14 厂坪标高+11.0m 工程地质切面图
- 图 2.5-15 厂址海洋站-平潭站增减水相关曲线
- 图 2.5-16 四个工程点平面布置图
- 图 2.5-17 近岸波浪计算点位置图

## 2.1 厂址地理位置

### 2.1.1 厂址位置

福建福清核电厂 5、6 号机组位于福建福清核电厂厂内。

厂址地处突入兴化湾的岐尾山，北、南、西三面环海，东北侧与陆地连接。厂址北北西距省会福州市 71km，北距长乐市 58km，距福清市 32km，西距莆田市 43km。

根据全厂总体规划，1、2 号机组布置在厂区的西部，3、4 号机组布置在厂区中部，5、6 号机组布置在厂区东部，4 号与 5 号机组间距为 250m，5 号与 6 号机组间距为 220m。

### 2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区

#### 2.1.2.1 厂址边界

厂址根据 6 台机组进行总体规划，规划容量拟征地面积 192.19  $\text{hm}^2$ 。1~4 号机组建设时已征地 179.2286 $\text{hm}^2$ ，福清 5、6 号机组建设需补征地 12.9614  $\text{hm}^2$ ，目前正在办理相关手续。

1、2 号机组已核准用地 157.59  $\text{hm}^2$ （发改能源[2008]2956 号），其中陆域面积 129.55  $\text{hm}^2$  已获得国土资源部的最终批复（国土资函[2009]1227 号）；填海造地 28.04  $\text{hm}^2$ （按多年大潮平均高潮线 2.75m 为海域与陆域的分界线）已获得国家海洋局批复。

3、4 号机组建设陆域用地 21.6386 $\text{hm}^2$  已获得国土资源部的最终批复（国土资函[2012]588 号）。

1、2 号机组征海总面积 1261.6949 $\text{hm}^2$ ，国家海洋局批复的海域使用权文号为（国海管字[2011]37 号）及（国海证 083570005）。其中温排水征海面积 1057.7174  $\text{hm}^2$ （按 1、2 号机组 1° 温升征海），其余为填海、非透水构筑物征海、港池征海及取排水口征海。因 1、2 号机组 1° 温升征海范围包络了 1~6 号机组 4° 温升范围，所以 5、6 号机组不再征海。

福清核电厂地产界限为征地和征海范围边界之和。陆域地产边界包围厂区、其它设施区、部分施工场地、施工准备区及维修调试生活区，并结合地形地貌取整划定。

#### 2.1.2.2 非居住区和规划限制区

福清核电厂 5、6 号机组与 1~4 号机组处于同一厂址。1~4 号机组采用《核电厂环境辐射防护规定》（GB6249-1986）中规定的最大可信事故进行评价，要求非居住区边界上的任何个人在事故发生后 8h 内受到的有效剂量不大于 0.25Sv，确定厂址的非居住区半径为 500m，厂址规划限制区半径为 5km。

5、6 号机组按照《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）中规定，采用“华龙一号”机组的选址假想事故对厂址进行评价，厂址的非居住区边界和规划限制区边界依

然满足要求；针对电厂可能发生的各类设计基准事故进行了放射性后果计算，结果表明，对于所有设计基准事故，非居住区 500m 边界和规划限制区 5km 边界上的公众所受剂量照射满足 GB6249-2011 的相关规定。

因此确定福建福清核电厂厂址非居住区半径为 500m，规划限制区半径为 5km。福清核电厂非居住区范围为以 6 台机组反应堆厂房中心为半径 500m 范围的包络；规划限制区范围为以 6 台机组反应堆厂房中心为半径 5km 范围的包络。

非居住区范围在地产界限范围内，厂址边界线同厂址地产界限。

福建省人民政府闽政文【2008】46 号文《关于福清核电厂近厂区范围限制发展的批复》中明确：“设置以反应堆为中心半径不小于 0.5 公里的非居住区，设置以反应堆为中心半径不小于 5 公里的限制区。严格控制限制区内的人口增长和规划、发展，满足在核电厂半径 5 公里范围内，不出现万人以上的集中居民点……。”

## 2.2 人口分布与饮食习惯

本节编制依据中国辐射防护研究院编制的《福建福清核电厂 5、6 号机组厂址周围人口和人口分布及食谱调查和统计专题报告》（2018 年 8 月）。

厂址半径 5km 范围，通过各乡镇政府及行政村村委会获得相关 2017 年人口资料。厂址半径 15km 范围，走访各乡镇政府获得 2017 年相关人口资料；厂址半径 80km 范围，通过官网查询和走访厂址半径 80km 范围涉及的省市县区统计局获得 2016 年统计年鉴、人口统计资料。

### 2.2.1 厂址半径 15km 范围内的人口分布

#### 2.2.1.1 厂址半径 5km 范围内的人口分布

厂址半径 5km 范围涉及三山镇前薛村、楼前村、韩瑶村、泽岐村、前庄村和沙埔镇的西山村 6 个行政村的 8 个自然村。2017 年底人口总数为一万六千余人。

厂址半径 5km 范围内没有万人以上的乡镇。前薛村的前薛自然村是距离厂址最近同时也是人口最多的自然村，位于厂址的 NNE 方向，距离 2.1km，人口七千余人。厂址半径 1km 范围内无村庄和居民。

#### 2.2.1.2 厂址半径 15km 范围内的重要居民点

厂址半径 15km 范围涉及福清市的三山镇、江阴镇、江镜镇、港头镇、高山镇、东瀚镇、沙埔镇和江镜农场 8 个镇（乡、农场）的 133 个行政村，2017 年末总人数为四十余万人。厂址半径 10km 范围内没有 10 万人以上的城镇。距离厂址最近的行政村是三山镇的前薛村，距离厂址 2.1km，方位 NNE，2017 年末总人口数为七万余人；人口最多的行



政村是江阴镇的下石村，2017 年末总人口数为七万余人，距离厂址 14.6km，方位 W。

厂址半径 10km 范围内共有学校（含幼儿园）42 所，1 家卫生院和 1 家养老机构。

厂址半径 10km 范围内无监狱。

### 2.2.1.3 流动人口

2017 年厂址半径 15km 范围涉及的镇（乡、农场）短期流入 8846 人，短期流出 37616 人，长期流入 27282 人，长期流出 47632 人。总体来说流出人口多于流入人口。流入人口主要是从事捕捞业、养殖业、海产品加工、运输业和服务行业以及经商和旅游。流出人口的主要去向是临近的大中城市（如福州市、厦门市等）及评价区外（含劳务输出），从事的主要职业是建筑业、制造业、服务行业、餐饮以及经商和旅游等。

厂址半径 5km 范围内涉及三山镇的前薛村、楼前村、泽岐村、韩瑶村、前庄村及沙埔镇的西山村。2017 年厂址半径 5km 范围流动人口大部份是务工人员，其中短期流入人口共有 1820 人，流出 338 人；长期流入人口有 14197 人，流出 963 人，由于福清核电的建设，主要流入厂址附近的前薛村，主要从事核电的外围服务工作。

## 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 区域内的人口分布

厂址半径 80km 范围内 2016 年底人口总数为九百余万人。厂址半径 80km 范围内 2016 年底平均人口密度高于福建省的人口密度和福州市人的口密度。

### 2.2.2.2 厂址半径 80km 区域内的人口中心

厂址半径 80km 范围内十万人以上的城镇有 6 个，分别是福州市城区、莆田市城区、福清市城区、长乐区城区、仙游县城区和仙游县的榜头镇，其中，百万人口以上的城镇有 1 个，是福州市市区，位于厂址的 NNW 方向，距离厂址 71km，有人口 191.66 万人；距离厂址最近的十万人以上的人口中心是福清市市区，距离厂址 32km，位于厂址的 NNW 方向，2016 年末总人口数为 31.82 万人。

## 2.2.3 居民的年龄构成及饮食习惯和生活习性

### 2.2.3.1 居民的年龄构成

厂址半径 80km 范围内四个不同年龄组的居民年龄构成，婴儿组（ $\leq 1$  岁）人口数 151622 占总人口比例为 1.65%，儿童组（1~7 岁）人口数 801584 占总人口比例为 8.71%，青少年组（7~17 岁）人口数 933927 占总人口比例为 10.15%和成人组（ $> 17$  岁）人口数 7311527 占总人口比例为 79.48%。

### 2.2.3.2 居民的饮食习惯和生活习性

### 1) 厂址半径 80km 范围内的居民食谱及消费量

厂址半径 80km 范围内居民食谱、年消费量调查方法及调查资料的来源主要通过走访福建省统计局、国家统计局福建省调查总队及福州市、莆田市、泉州市和厂址所在地福清市统计局、海洋与渔业局等相关部门，收集各级统计部门的 2016 年统计年鉴及城镇居民和农村居民的食谱、年食物消费量统计数据。

厂址半径 80km 范围内居民食谱结构中，粮食消费以大米主，辅以小麦、玉米和薯类。其中，水稻一部分来自当地，一部分来自评价区外；蔬菜除满足当地需要外，部分外销；猪肉、鲜蛋等基本上是自给，偶尔食用牛、羊肉，消费量低；海产品除满足当地需要外，其余均外销；奶制品部分是来自本地，部分是来自外地，其中，小于 1 岁婴儿组食用的牛奶为婴儿配方奶均来自评价区外，1~7 岁儿童组食用的牛奶大部分来处评价区外，小部分鲜奶来自评价区；城镇居民与农民和渔民的食物来源有所不同，城镇民居的食物基本都来自购买，尤其是大中城市的城镇居民。需说明的是，鉴于 $\leq 17$  岁的未成年人多学生，没有参加工作，不分职业构成；对于 $>17$  岁的人口，本报告中职业构成划分为城镇居民、农民和渔民，并分别给出 $>17$  岁的成年人年均食物消费量。

### 2) 厂址附近居民的食谱

厂址半径 5 km 范围内居民食谱、年食物消费量的数据来源于现场实地调查发放调查问卷，通过入户调查、走访幼儿园、向居民发放调查表、到学校发放调查表等方式调查当地居民的食谱及生活习性，以及与村干部、村民座谈获得的数据。食谱调查包括对不同食物食用频率调查。

当地居民经常食用的食物主要是大米和叶类菜、猪肉和鱼类；牛奶及其制品不同年龄段居民食用的频率有所不同， $\leq 1$  岁婴儿组和 1—7 岁儿童组食用最频率比较高，成人最少，其中， $\leq 1$  岁婴儿组食用的牛奶为婴儿配方奶均来自评价区外，1~7 岁儿童组食用的牛奶大部分来自评价区外，少部分鲜奶来自评价区的非本子区内。

厂址半径 5km 范围内居民和关键居民组居民的海产品的消费量要高于厂址半径 80km 范围内居民的消费量，主要原因是厂址半径 5km 范围内居民靠海而居，近海有大量的滩涂地，近海养殖发达，养殖品种多样，有蛭、蛤、海蛎、紫菜和海带等，讨杂海（赶海）也是当地居民的一项重要活动。海产品除自己消费外大部分外销，是当地居民的主要经济来源。

厂址半径 5km 范围内婴儿（ $\leq 1$  岁）对母乳的摄入量、以及哺乳期时间和对应的婴儿数调查同厂址半径 5km 范围内居民食谱调查同步进行。婴儿数来自三山镇计生委，婴儿

对母乳的摄入量、以及哺乳期时间来自现场调查。在与村委会计生干部和入户调查中了解到，当地居民在没特殊情况下婴儿以母乳喂养为主，婴儿断奶期一般在 12 个月龄左右，辅食添加在婴儿 4—6 月龄左右开始。

### 3) 公众群体在核电厂排放水域的活动情况

厂址半径 5~80km 范围居民的生活习性调查数据主要来源于对沿岸县区及乡镇政府相关部门的走访调查。到核电厂排放水域进行内岸边活动、游泳和划船等活动的主要涉及厂址半径 15km 范围兴化湾海域沿岸各乡镇的人员，包括三山镇、江阴镇、江镜镇、港头镇、高山镇、东瀚镇、沙埔镇、龙田镇、江镜农场以及新厝镇。还考虑了厂址半径 80km 范围沿岸乡镇居民岸边活动、游泳和划船等活动情况。经调查，厂址半径 80km 范围渔民均为成人，不分年龄组，渔民家庭的未成年组人员计入所属乡镇人口中统计。

厂址半径 5km 范围居民生活习性采取实地调查，由于厂址半径 5km 范围内核电厂排放水域内沿岸海滩以滩涂居多，可供游玩的海岸沙滩及自然景观较少，海岸游览及通往道路交通等基础设施不完善，海上自然景观开发不多，内陆和沿岸乡镇居民到此进行岸边活动、游泳和划船等活动的不多；在核电厂排放水域内岸边活动、游泳和划船等的主要是沿岸乡镇的渔民和半渔半农人员以及港口码头的工作人员；核电厂排放水域内沿岸乡镇海水捕捞基本是近海定置网捕捞，出海区域主要是近海的福清湾、兴化湾。厂址半径 5km 范围居民及关键居民组居民不同年龄段生活习性的统计结果，按其在核电排放水域的不同活动方式（包括岸边活动、游泳和划船）给出年最大和年平均小时数（小时/人·a）。厂址半径 5km 范围内只有泽岐村村民主要从事农业生产，其他村均为半农半渔村。渔民家庭的未成年组人员计入所属行政村农民人口中统计。

## 2.3 土地利用及资源概况

### 2.3.1 土地和水体的利用

本节内容依据中国辐射防护研究院于 2018 年 8 月完成的《福建福清核电厂 5、6 号机组厂址周围环境及其外部人为事件调查和统计分析专题报告》编制。

厂址所在三山镇土地总面积为 228696.60 亩，其中耕地 63643.39 亩、林地 20572.11 亩，分别占土地总面积的 27.8%和 9.0%。根据《福清市城市总体规划（2017-2035）》中相关资料，2016 年，福清城乡居民点建设用地总量约 220km<sup>2</sup>。城乡居民点建设用地中，城镇建设用地总量约 117km<sup>2</sup>，占城乡居民点建设用地总量的 53.2%；农村居民点建设用地约 103km<sup>2</sup>，占城乡居民点建设用地总量的 46.8%。厂址所在地龙高半岛区域规划城镇建设用地控制在 38km<sup>2</sup> 以内，占全市城镇建设用地的 15.8%。

前次调查中提到厂址半径 15km 范围内有五个采石场（其中两个停产），本次了解到五家采石场全部停产。厂址半径 10km 无珍贵矿产资源，只有一处建筑用凝灰岩矿产，位于厂址 NNE 方位，距厂址中心 4.1km，目前没有进行开采。

厂址半径 15km 范围内共有水库 27 座，其中小（1）型 3 座，小（2）型 24 座；高山镇 3 座（小（1）型 1 座，小（2）型 2 座）、三山镇 11 座（小（1）型 1 座，小（2）型 10 座）、江镜镇 5 座（小（1）型 1 座，小（2）型 4 座）、东翰镇小（2）型 1 座、沙埔镇小（2）型 5 座、港头镇小（2）型 2 座。

厂址半径 15km 范围的居民生活用水水源主要有三种：机井、人力井、水务公司水厂。水务公司水厂主要是龙田水厂、江阴水厂，水源来自东张水库或其他水库。其他水源还包括山泉水、山塘洼地积水等。厂址半径 15km 范围的工业用水主要集中在江阴镇的江阴工业集中区，根据福州市江阴工业集中区管委会提供的数据，江阴工业集中区 2017 年总计工业用水 2622.11 万  $m^3$ （其中保税港区工业用水 23 万  $m^3$ ）。农业生产灌溉主要靠自然降水，不足部分由附近水库和外调引水补充。

厂址半径 5km 范围内的地表水和地下水资源比较贫乏。厂址半径 5km 范围由于地域狭小，均为山地，只有 2 条小溪，无其他河流发育及过境河流，地表水资源严重缺乏。厂址半径 5km 范围涉及到 6 个行政村，居民生活用水水源主要有两种：机井、人力井。无水务公司水厂提供水源。厂址半径 5km 范围总供水人数 16912 人，其中机井供水人数是 13588 人，占总供水人数的 80.3%；人力井供水人数是 3324 人，占总供水人数的 19.7%。

厂址半径 15km 范围内无省级及以上文物古迹、风景旅游区。

厂址半径 15km 范围内无省级及以上自然保护区。

厂址半径 15km 范围内有 1 个县级自然保护区：福清市兴华湾自然保护区，位于厂址 NW—NNE 方位，区域坐落范围：江镜镇、江阴镇、港头镇、三山镇等。核电厂 6 号核岛距福建福清兴化湾水鸟实验区最近距离 600m，距缓冲区最近距离是 2.4km，距核心区最近距离是 2.5km。

### 2.3.2 陆生资源及生态概况

本节内容依据中国辐射防护研究院于 2018 年 8 月完成的《福建福清核电厂 5、6 号机组厂址周围环境及其外部人为事件调查和统计分析专题报告》和 2018 年 11 月完成的《福建福清核电厂厂址附近陆域生态环境现状调查及分析评价报告》编制。

#### 2.3.2.1 农业生产情况

厂址半径 80km 范围内农作物分类如下：

粮食作物：谷物、豆类、薯类。其中谷物包括稻谷、玉米、大小麦、高粱；豆类包括大豆、绿豆、红小豆等；薯类包括甘薯和马铃薯。油料作物：花生、油菜籽、芝麻等主要品种。蔬菜：蔬菜和菜用瓜。水果：柑桔、龙眼、枇杷、李、橄榄、桃等，主要品种是柑桔。

### 2.3.2.2 畜牧业情况

厂址半径80km范围内家畜主要品种是猪、牛、羊，有少量奶牛，羊主要是山羊，家禽主要是鸡、鸭、鹅。

### 2.3.2.3 林业资源与自然资源情况

厂址半径5km范围内林地包括有林地、灌木林地、其他林地。

厂址半径10km范围内无珍贵矿产资源。

### 2.3.2.4 陆生生态系统状况

#### 2.3.2.4.1 植物

调查区内的苔藓植物均为常见种，绝大多数种类对环境具有较强的适应能力，科属分布较广，但集中度相对较低，与调查区内地形生境复杂多样有关。

调查区内主要植被类型包括常绿阔叶林、暖性针叶林、常绿阔叶灌丛、暖热性疏灌草丛和草本沼泽等，此外，人工植被包括果林植被和农作植被，前者主要有龙眼、枇杷、橄榄、番石榴和梅等群系，后者主要有水稻、花生、番薯以及各种时令蔬菜等。

调查区主要资源植物有木材与纤维资源、果蔬资源、粮食及淀粉植物资源、药用植物资源、花卉及绿化植物资源等6大类。调查区内尚未发现有福建省级野生保护植物及古树名木分布。

#### 2.3.2.4.2 动物

##### (1) 两栖动物

调查区域数量较多种类有黑眶蟾蜍、饰纹姬蛙、沼水蛙和泽陆蛙，中国树蟾、斑腿泛树蛙等数量一般，为偶见种。调查区域无本地特有种，分布有中国特有种中国树蟾和沼水蛙2种，无国家重点保护和福建省重点保护两栖类动物。

##### (2) 爬行动物

调查区域的爬行动物类群主要有水生或近水爬行动物类群、针阔叶林爬行动物类群和林缘山地爬行动物类群。爬行动物中无本地特有种，分布中国特有物种的赤链华游蛇。调查区域无国家级保护和福建省重点保护动物。分布有《中国濒危动物红皮书》易危等级(VU)的银环蛇、王锦蛇。爬行类中常见的有中国石龙子、草腹链蛇、银环蛇、竹叶青蛇等。

### （3）鸟类

调查区域较为常见的鸟类有珠颈斑鸠、山斑鸠、白胸翡翠、白头鹎、八哥、大山雀和麻雀等。调查区域地处沿海地带，是鸟类越冬或迁徙停歇地，冬候鸟和旅鸟共计 32 种，是该区中第二类群。它们在秋冬季节由欧亚地区北部相继迁徙或停留在此，这些鸟类常见有：小鸊鷉、矶鹬、黑腹滨鹬、环颈鸻、树鹬、北红尾鹀、灰背鹀、灰头鹀等。夏候鸟多在 3—5 月份从该区以南地区迁徙到这里繁殖，虽然种类不多，但是种群数量可观，如池鹭、白鹭、家燕等，同时，这里的生态环境适于它们的栖息，所以全年都有部分留居在此，终年可见。

调查区域内分布有国家二级保护鸟类 5 种，分别为黑脸琵鹭、褐翅鸦鹃、黑翅鸢、红隼和游隼。福建省重点保护 14 种，分别为小鸊鷉、白鹭、中白鹭、大白鹭、苍鹭、普通鸬鹚、家燕、喜鹊、画眉、戴胜、大杓鹬、白腰杓鹬、黑嘴鸥和黄脚银鸥。常见的且数量较多的鸟类有白鹭、夜鹭、家燕、八哥、麻雀、黑领椋鸟和白头鹎等。本调查区域未见本地特有种和中国特有种。

### （4）哺乳动物

调查区域常见种类有臭鼩、普通伏翼、赤腹松鼠等，但数量不多，数量较多的是村庄及附近的褐家鼠和农田的黄毛鼠、黄胸鼠等。未见本地特有种和中国特有种的分布，无国家重点保护哺乳动物，福建省重点保护的有黄鼬 1 种。

### （5）食腐类节肢动物

在调查区食腐类动物分别为唇足纲、甲壳纲、倍足纲、软甲纲。唇足纲、倍足纲动物主要生活于潮湿枯枝落叶中；甲壳纲动物主要生活于潮湿土壤石块中；软甲纲动物主要生活于港湾中的沼泽泥滩上，多数栖息在红树林旁的滩涂或红树林之间的湿地，是红树林沼泽中最具代表性的螃蟹。

### （6）昆虫

从昆虫类群整体看，调查区种类最多的是鳞翅目，其次为鞘翅目、同翅目、半翅目以及和膜翅目。鳞翅目的蝴蝶类常见的蝶类有玉带凤蝶、柑橘凤蝶、菜粉蝶、蛱蝶等。未发现国家和省级重点保护的昆虫种类。

### （7）腹足纲软体动物

调查区域内软体动物主要分布在城镇和农田等生境，陆生软体动物主要以中腹足目、柄眼目为优势类型，优势种包括蛞蝓、灰巴蜗牛和福寿螺。腹足纲软体动物多为农作物害虫，主要分布于调查区域周围农田中，会对豆类、玉米、大麦、蔬菜、瓜类等农业粮食作

物和经济作物的生长造成危害。

#### （8）环节动物

调查区域内环节动物主要分布在城镇和农田等生境，主要以巨蚓科的直隶环毛蚓和参环毛蚓为优势类型。本次调查只收集到部分陆生环节动物，均为寡毛纲动物。本次观察到的种类以陆生蚯蚓为主，多分布于阴暗潮湿、疏松而富于有机质的土壤内，在肥沃的菜园、花园、果园、河沟旁，垃圾堆和堆肥下常可发现，为杂食性的动物，喜欢摄取动物的粪便、腐烂的动物尸体、土中的虫卵、腐烂的树叶、菜叶、锯木屑等。

### 2.3.3 水产资源及水生态概况

本节内容依据国家海洋局第一海洋研究所于 2018 年 12 月完成的《福建福清核电厂厂址邻近海域生态环境现状调查及分析评价报告》。

#### 2.3.3.1 厂址附近海域海洋沉积物质量

沉积物类型以矿质粉砂（TS）和粘土质粉砂（YT）为主。从表层沉积物粒度组成来看，主要以粉砂组分为主，砂组分次之，均不含砾石组分。整体而言，细颗粒组分在调查海域南北两侧较低，中部较高。

调查海域铬有 1 个站位超二类沉积物质量标准，但优于三类标准，有 9 个站位沉积物铬含量超一类沉积物质量标准，但优于二类标准，其它站位均满足海洋沉积物一类标准；沉积物镉含量有 2 个站位超一类沉积物质量标准，但优于二类标准，其它站位均满足海洋沉积物一类标准；沉积物锌含量有 1 个站位超一类沉积物质量标准，但优于二类标准，其它站位均满足海洋沉积物一类标准；汞有 1 个站位超二类沉积物质量标准，但优于三类标准，有 2 个站位沉积物汞含量超一类沉积物质量标准，但优于二类标准，其它站位均满足海洋沉积物一类标准；所有站位的沉积物中铜、铅和砷含量均满足海洋沉积物一类标准。沉积物中有机碳、油类和硫化物含量均满足海洋沉积物一类标准。

#### 2.3.3.2 厂址邻近水域中的海洋生物

##### （1）微生物

各季节粪大肠菌群的含量均符合《海水水质标准》第一类标准（ $\leq 2000$  个/L）。

##### （2）叶绿素 a 和初级生产力

调查海域叶绿素 a 全年变化为 0.01~8.50  $\mu\text{g/L}$ ，叶绿素 a 平均含量的季节变化为：夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季。

调查海域 L1 连续站叶绿素 a 全年变化为 0.04~2.29  $\mu\text{g/L}$ ，叶绿素 a 季节变化为：夏季 > 春季 > 秋季 = 冬季；L2 连续站叶绿素 a 全年变化为 0.09~2.95  $\mu\text{g/L}$ ，叶绿素 a 平均含量

的季节变化为：夏季>春季>秋季=冬季。

调查海域全年初级生产力变化为  $0.31\sim 320.86 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ，初级生产力季节变化为：春季>夏季>秋季>冬季。

### （3）浮游植物

2017-2018 年调查，共鉴定出浮游植物 7 门类 150 种/类，其中，硅藻类 113 种，甲藻类 32 种，金藻（硅鞭藻）1 种，隐藻、裸藻、蓝藻及未定种鞭毛藻类各 1 种/类。该海域浮游植物出现的种类数的季节变化，以夏季最高，其次是春季，及秋季，冬季则最低。种类组成上以硅藻占优势，硅藻类在总种类数中所占比例年均 77.30%。

2017-2018 年四个航次调查期间，未发现调查海域有赤潮发生。四个航次调查的浮游植物优势种的密度均低于“赤潮监测技术规程(HY/T 069-2005)”所规定的赤潮判定标准。

综合水采及网采浮游植物群落指数的调查结果可见，福清核电邻近海域的浮游植物具有较高的群落多样性水平。与调查海域浮游植物较高的群落多样性指数相对应，该海域水采及网采浮游植物群落的均匀度指数也均较高；这些均表明该海域的浮游植物群落的生态稳定性较高，显示该海域的水生态环境状况较为良好。

### （4）浮游动物

2017-2018 年调查，共鉴定出浮游动物 16 门类 142 种/类，其中，原生动物 22 种，枝角类 2 种，桡足类 36 种，水母类 34 种，端足类、毛颚类各 5 种、被囊类 4 种、糠虾类、十足类、腹足类各 3 种，磷虾类、介形类、涟虫类、多毛类和轮虫类各 1 种，浮游幼体类（无节幼体，桡足类、苔藓类、棘皮类、蔓足类、腹足类、水母类、瓣鳃类、多毛类、长尾类、短尾类和脊索类幼体，及鱼卵和仔鱼等）20 类。综合来看，该海域浮游动物的种类多样性水平较高。

### （5）鱼卵仔鱼

夏季调查共采获鱼卵 40 粒，其中斑鲛 22 粒，江口小公鱼 7 粒，金色小沙丁鱼 5 粒，真鲷和皮氏叫姑鱼各 3 粒。秋季调查共采获鱼卵 22 粒，其中多鳞鱧 16 粒，斑鲛 4 粒，赤鼻棱鳀和棘头梅童鱼各 1 粒。冬季调查未采获鱼卵。春季调查共采获鱼卵 20 粒，其中短吻红舌鲷 18 粒，少鳞鱧 2 粒。

夏季调查期间共采获仔稚鱼 5 尾，其中鰕虎鱼科仔鱼 3 尾，鲷 2 尾。秋季调查期间共采获仔稚鱼 4 尾，其中多鳞鱧 3 尾，中国花鲈 1 尾。冬季调查期间共采获仔稚鱼 297 尾，其中江口小公鱼 259 尾，短吻红舌鲷 15 尾，真鲷 12 尾，少鳞鱧 8 尾，黄鲷 3 尾。春季调查期间共采获仔稚鱼 6 尾，均为细纹狮子鱼。



### （6）游泳动物

夏季调查共出现渔业资源种类 79 种，其中，鱼类 43 种；虾类 22 种；蟹类 10 种；头足类 4 种。秋季调查共出现渔业资源种类 37 种，其中，鱼类 19 种；虾类 12 种；蟹类 3 种；头足类 3 种。冬季调查共出现渔业资源种类 50 种，其中，鱼类 28 种；虾类 15 种；头足类 2 种；蟹类 5 种。春季调查共出现渔业资源种类 51 种，其中，鱼类 25 种；虾类 10 种；蟹类 13 种；头足类 3 种。

### （7）底栖生物

调查海域各季节大型底栖动物种类分别为：夏季 70 种，秋季 29 种，冬季 31 种，春季 30 种。各季节均以多毛类为主。

### （8）潮间带生物

调查海域各季节潮间带生物种类分别为：夏季 38 种，秋季 43 种，冬季 43 种，春季 50 种。各季节均以软体动物为主。

### （9）污损生物

经分析发现，3 月挂板无生物附着，4 月挂板开始附着个体较小的藤壶，生物量较低。随着温度的升高，附着的生物种类逐渐增多，个体增大，生物量逐渐增高。至夏季增至最高，9 月开始随着温度降低又开始逐渐减少，11 月至次年 2 月无生物附着。上半年板经历春季和夏季的增长，附着大量褶牡蛎和藤壶。下半年板附着生物种类较少，生物量较低。年板附着大量牡蛎，覆盖度达到 100%，附着密度高，生物量极高。

#### 2.3.3.3 生物质量

采用《海洋生物质量》（GB 18421-2001）中第一类标准为评价标准进行评价以及《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》和《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》。结果表明：鱼类、虾类、蟹类和软体类生物体质量较好，各评价参数（重金属和石油烃）均符合生物体质量一类标准及相关标准。藻类目前尚未有质量标准，参照鱼类质量评价标准，各评价参数（重金属和石油烃）也均符合相关标准。

#### 2.3.3.4 海洋和渔业保护区

##### （1）自然保护区

厂址半径 80km 范围内的海洋自然保护区有。福建闽江河口湿地国家级自然保护区、长乐海蚌资源增殖省级自然保护区、漳港西施舌国家级水产种质资源保护区、平潭岛礁海洋特别保护区、平潭海坛湾国家海洋公园、长乐国家级海洋公园、湄洲岛国家级海洋公园。

##### （2）传统渔场

福清核电厂位于福建中部沿海，属于闽中渔场。闽中渔场位于福建中部沿海，主要捕捞对象为带鱼、大黄鱼、大眼鲷、绿鳍马面鲀、白姑鱼、鲳鱼、鳓鱼、蓝点马鲛、竹荚鱼、海鳗、鲈、蓝园鲈、鲐鱼、乌贼、剑尖枪乌贼、黄鳍马面鲀等。主要作业类型有对拖网、单拖网、灯光围网、底层流刺网、灯光敷网和钓具等。

### （3）国家级海洋牧场

根据农业部 2017 年 11 月 1 日发布的“关于印发《国家级海洋牧场示范区建设规划（2017—2025）的通知”显示，本调查海域内在 2015-2016 年无已建成的国家级海洋牧场示范区。2017-2025 年国家级海洋牧场示范区建设规划，计划在本海域内新建设部分国家级海洋牧场示范区，主要涉及福清、平潭海域以及莆田的秀屿海域。

### （4）保护性水生生物

调查期间调查水域均没有发现中国鲎、江豚和其他珍稀或濒危海洋生物物种。但在渔民的捕捞渔获物中发现有中国鲎存在，另外在新闻报道中，附近海域有江豚出没。

#### 2.3.3.5 厂址邻近水域渔业生产情况和作业方式

厂址半径 80 km 范围主要作业类型为刺网和张网，也包括拖网、围网和钓具等其他渔具。

#### 2.3.3.6 养殖业

厂址半径 20km 范围附近海域分布养殖区较多，主要有紫菜、牡蛎、海带、龙须菜、花蛤和蛏等。

### 2.3.4 工业、交通及其它相关设施

本节内容依据中国辐射防护研究院于 2018 年 8 月完成的《福建福清核电厂 5、6 号机组厂址周围环境及其外部人为事件调查和统计分析专题报告》编制。

#### 2.3.4.1 工业

厂址半径 15km 范围内规模以上企业主要分布在福州市江阴工业集中区（包括出口加工区、江阴港区），即福建福清江阴经济开发区，位于福清市南部沿海的江阴半岛，江阴工业集中区 2017 年共有在营的规模以上（年产值 2000 万元以上）企业 25 家，企业类型主要是石化、化工、食品、医药等。

除江阴工业集中区外，厂址半径 15km 范围内还有规模以上企业 12 家，共计职工 2376 人，分布在三山镇、江镜镇、港头镇、高山镇和沙浦镇，其中距离厂址最近的是位于厂址 NNE 方位 4.1km 处的中闽（福清）风电有限公司，主要是经营风力发电，目前有在职职工 92 人；职工人数最多的是位于厂址 ENE 方位 15km 处的福清市五环车辆部件实业有限

公司，主要经营活塞、活塞环产品，目前有在职职工 615 人。

据《福清市城市总体规划（2017-2035）》，福清市工业的发展将坚持创新驱动，突出产业园区建设，依托新区加强两岸“深水区”合作，加强与海上丝绸之路沿线国家与地区合作交流，加快平潭实验区政策向福清覆盖，逐步构建起全方位、宽领域、多层次的对外开放格局，着力打造产业基础坚实的“大福清”，为将福州新区建设成东南沿海重要产业基地奠定坚实的基础。

产业园区布局规划形成“5 个重点园区、5 个工业集中区”的整体产业发展格局。厂址半径 15km 范围涉及的“5 个重点园区”有江阴工业集中区和闽台蓝色经济产业园，“5 个工业集中区”有高山工业集中区。

江阴工业集中区规划区域位于厂址 W~WNW 方位、距厂址中心 10km 以外，江阴工业集中区规划城镇建设用地规模为 45km<sup>2</sup>，设置弹性用地 5.7km<sup>2</sup>。产业方面，依托江阴港及自贸区，鼓励支持建设“飞地港”，重点发展集装箱、化工、散杂货泊位为主，集多式联运、仓储、保税、商贸和加工制造为一体并为临港工业服务的多功能综合性现代化港口作业区。依托江阴港区，吸引新的重化工大项目落地，成为全省重要的新兴临港重化工基地，建设大型仓储中心和物流信息平台，推进江阴物流园区建设。

闽台（福州）蓝色经济产业园规划区域位于厂址 NW~N 方位、距厂址中心 5~15km 范围。闽台蓝色经济产业园规划城镇建设用地规模为 12.8km<sup>2</sup>，设置弹性用地 7.0km<sup>2</sup>。发展定位为：以海洋产业为主，生态环境优美的闽台合作示范产业区。产业发展规划为：重点发展临海装备制造产业，培育发展海洋生物产业，配套发展海洋服务产业，严格产业准入，提高综合效益，促进跨越发展，着力打造海洋新兴产业的集聚平台与科技创新平台，把园区建设成为海峡蓝色经济实验区的产业引领基地、生态型工业园区的示范基地、涉海产业和高端人才的集聚中心。

高山工业集中区位于厂址 ENE 方位、距厂址中心 10~15km 范围。高山镇经过几年的项目整合，五金、水产和轻工制品等三大产业已呈集聚发展态势，逐步形成了以融林五金为龙头的五金业，以贤旺为龙头的水产品加工业，以胜德塑胶、和美针织为龙头的轻工制品行业等三大行业组团。高山工业集中区规划工业用地 71.7ha。

厂址半径 15km 范围有爆破公司 1 家：福清市融江爆破服务有限公司，位于江阴镇山头村，危险品是工业炸药、雷管，由福清市公安局统一配送，使用专车运输至各火工品使用点。运输路线是福清—G324—G228—江阴，单次最大运输量为 3 吨，运输路线距厂址最近距离为 12.4km。厂址半径 15km 范围有烟花爆竹公司 1 家：福清市吉祥烟花爆竹有限

公司，库房位于三山镇良祺村，位于厂址 NNE 方位、距厂址最近距离 16.5km，民爆品为烟花爆竹，最大储存量为 100 吨，为专车运输，运输路线为福清—真大线—良祺村，单次最大运输量为 6 吨，运输路线距厂址最近距离为 11.6km。按照《核电厂外部人为事件调查与评价技术规范》（NB/T 20200-2013）和核安全导则 HAD101/04 附录 II 中的建议关系式进行计算，上述危险源均不会对核电厂安全构成潜在危险。

厂址半径 15km 范围内有一家爆破公司位于厂址 14.2km，方位 WNW，危险品为工业炸药和雷管，最大储量 3 吨。

厂址半径 15km 范围涉及危险化学品生产、使用或贮存企业 18 家，全部分布在福州市江阴工业集中区，位于厂址 W~WSW 方位，距厂址 11~18km 范围。按照《核电厂外部人为事件调查与评价技术规范》（NB/T 20200-2013）和核安全导则 HAD101/04 附录 II 中的建议关系式计算，上述危险源均不会对核电厂安全构成潜在危险。对于江阴工业集中区使用有毒化学品的企业，距离最近的有毒化学品为液氨，位于厂址 W 方位 11.1km 的国电福州发电有限公司，单罐储量为 30t，根据 HAD101/04 重量距离法，可排除液氨对核电厂安全的影响。其他有毒化学品均位于 15km 范围外，可不考虑这些有毒化学品对核电厂安全的影响。

厂址半径 15km 范围内加油站 15 家，其中距离厂址最近的加油站是中石化森美（福建）石油有限公司福州福清院西口加油站，位于高山镇院西村，距离厂址 10.3km、ENE 方位，最大贮存汽油、柴油量 120 吨，使用槽车从福清市经 G104 运至加油站，最大运输量为 36 吨。按照《核电厂外部人为事件调查与评价技术规范》（NB/T 20200-2013）和核安全导则 HAD101/04 附录 II 中的建议关系式计算，上述加油站和厂址周围公路上运输汽油、柴油的槽车均不会对核电厂安全构成潜在危险。

厂址半径 15km 范围内有液化石油气（LPG）储配站 3 个。厂址半径 15km 范围内分布有小型液化石油气供应站，储配站为供应站统一供气。厂址半径 15km 范围共涉及 123 个供应站，供应站储量很小，通常每个站仅 1m<sup>3</sup>。厂址半径 5km 范围有 3 个供应站，分别是三山镇泽歧村供应站、三山镇前庄村供应站、三山镇魏庄村供应站。经过分析计算，各液化气站及其运输均不会对核电厂安全构成潜在危险。

厂址半径 15km 范围内无天然气和石油管道。

根据《福清市城市总体规划(2017-2035)》，厂址半径 15km 范围规划有两条燃气管道：平潭支线中石油管道和平潭支线中海油管道。平潭支线中石油位于厂址 NNW-ENE 方位，距厂址最近距离是 10.0km，平潭支线中海油位于厂址 NNW-ENE 方位，距厂址最近距离

是 9.8km。由于距离厂址较远，不会对核电厂安全构成潜在危险。

### 2.3.4.2 交通

#### 2.3.4.2.1 陆上交通

##### 1) 公路

厂址半径 15km 范围内有 2 条高速公路：渔平高速、渔平高速江阴支线（江阴疏港高速），2 条国道（G104、G228），相对厂址最近距离分别为 9.4km、13.2km、10.8km 和 12.4km。此外，还有 1 条专用公路（福清核电大道），7 条县道和 59 条乡道。已形成省道、县道、乡道、村道交织的公路网，实现了村村通公路，交通比较方便。

“十三五”期间将着力推进城乡路网建设，加快构建高速公路骨架网，全力推进长平高速公路福清段和长乐前塘至福清庄前高速公路的建设。加快新规划国省干线及“镇镇有干线”公路的建设，做好与城镇道路网络的衔接，重点推进福清市规划的纵一线（滨海大通道），横六线，南岭支线，万安支线等公路建设。到“十三五”期末，建成以干线公路为主骨架，构筑与城市功能、布局相协调，与城乡发展生态环境相适应，功能完善、畅通高效、安全绿色的交通运输体系。厂址半径 15km 范围涉及规划的公路有：纵一线（滨海大通道），位于厂址以北，距离厂址最近距离约 7km；规划建设牛头港疏港高速，位于厂址 ENE~SE 方位，距离厂址约 9km。

##### 2) 铁路

厂址 15km 范围内无铁路。

##### 3) 机场

距厂址最近的民用机场是福州长乐国际机场，位于厂址 NNE 方位，距厂址直线距离约 58km。

根据民航福建空局函[2018]46 号，厂址西北方向是 A470 航路，其中心线投影线距厂址最近距离为 25.0km。厂址附近有两条福州长乐国际机场进离港航线：一条位于厂址西北方向，距厂址中心 10km 处；另一条位于厂址东南方向，距厂址中心约 500m，这两条航线目前已经开始使用。

按核安全导则 HAD101/04 的规定，在筛选距离 10km 范围内无机场。距离厂址 500m 的航线，使用频率很少。初步分析可不考虑其对核电厂安全的影响。

#### 2.3.4.2.2 水上交通

厂址附近的码头主要集中在江阴港区的壁头作业区和下垄作业区。各乡、镇和部分行政村建设有一些简易的小码头，主要用于渔业捕捞及海上养殖活动，停靠船只多为 100 马

力以下的小船，无危险品贮存。厂址 15km 范围内无存放危险品的码头。

厂址半径 15km 范围内有海上航道 3 条。具体分布情况为：船只由壁头作业区、牛头尾作业区和下垵港区各码头，分别经江阴航道、下垵支航道和牛头门水道，至南日水道、兴化水道。其中江阴航道距厂址最近距离约 11km，下垵支航道距厂址最近距离为 11km，牛头门水道距厂址最近距离约 13km，进出下垵港的航道距厂址最近距离约 7.6km。厂址半径 15km 范围内运输危险品的航道为江阴航道，单只货船最大吨位为 15000 吨，危险品为汽油，距离厂址 12.2km，方位 SW。

经过计算分析，上述港口作业区储存和航道运输的危险品均不会对核电厂安全构成潜在危险。

距离厂址较近的下垵港区航道距离厂址 7.6km，进出下垵港区的船只很少，航线与厂址之间还分布着一些小的岛屿作为屏障，厂址所在的半岛东西两侧均为较大范围的滩涂，使得在航线上的船只很难靠岸。因此，可不考虑该航线上船只失动漂移对核电厂安全的影响。

对于厂址附近乡镇出没的小渔船，采取多种安全保护措施，包括在海面上设置浮漂警示和警告牌、在取水头部一定距离处设置拦船网、安排人员每天定期巡视、请海监及渔政等部门加强宣传和管理等，足以防止小渔船对取水口安全的影响。

## 2.4 气象

为了分析厂址的区域气候、当地气象条件和设计基准气象参数，不仅采用了厂址代表性气象站平潭站的多年统计资料，参考了厂址周边的福清气象站、莆田气象站和崇武气象站的多年气象观测资料，还开展了厂址现场地面站和气象铁塔近年的气象观测，给出了厂址的三维和四维联合频率，同时利用现有资料，对厂址的设计基准气象参数进行了复核。厂址周边各气象站的地理位置、海拔高度及观测情况等信息见表 2.4-1。

### 2.4.1 区域气候

厂址区域属典型的亚热带海洋性季风气候。气候特征为：冬无严寒，夏少酷暑，气候暖热，雨热同季，雨量尚足。受海、陆热力效应的影响，海岸带气候特征明显。气温和降水低于内陆，高于东侧海岛；风速与湿度相反，低于海岛，大于内陆。春季（3~6 月）阴湿多雨；夏季（7~9 月）晴热主导，时有台风；秋季（10~11 月）雨水骤减，海风大增；冬季（12~2 月）低温少雨比较盛行。灾害天气以台风、干旱、大风比较突出，暴雨和低温为次。

厂址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强大的蒙古冷高压、中纬度西风槽。北方冷气团的频繁南下入侵，不仅给本区带来强降温和低温冷害，也常常导致本区出现偏北大风。冬季本区的盛行风为偏北或东北风，气候相对干冷。

春雨季节（3~4月），在变性冷空气与紧接而至的冷气团共同作用下，本区多持续性阴雨天气。梅雨季节（5~6月），北方冷空气与来自低纬的暖湿气流交汇于南岭—武夷山一带。两种气团湿、热性质差异显著而强度相当，从而产生强烈的极锋性降水，本区多持续性暴雨过程，其中大范围的暴雨多出现于6月，并以6月中旬频率最高。

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；夏季本区盛行偏南和东南气流，台风影响频繁。夏季本区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，福建的台风季基本结束，而冷空气则开始活跃。地面气压场上，蒙古高压和阿留申低压已经形成，印度低压减弱，台湾海峡的东北大风增强、增多，降水减少，气温下降。

随着季节性环流更迭，影响本地区的天气系统，冬半年主要控制系统是西风带的槽脊系统，包括高空的低槽、低涡、切变线、急流、阻塞高压、高脊及地面的冷锋、冷高、侧槽等。夏半年的主要控制系统是西太平洋副高、台风、热带辐合带、东风波、热带云团等。

## 2.4.2 设计基准气象参数

### 2.4.2.1 热带气旋

取厂址为中心350km半径范围的区域作为热带气旋调查范围，满足核安全导则《核电厂设计基准热带气旋》（HAD101/11）的规定。收集划定区域内1949~2017年共69年的热带气旋资料，得到厂址区域的百年一遇最低中心气压为886.7hPa。根据热带气旋最大梯度风的计算公式得到静止风场最大梯度风风速为65.6m/s，经过修正后的百年一遇的最大风速为52.7m/s，百年一遇极大风速为68.4m/s。

### 2.4.2.2 极端风速

收集平潭、莆田、福清和崇武四个气象站1961~2017年的历年实测风最大风速资料，将这些风速原始资料经过观测高度和观测时间的订正后，采用耿贝尔函数对四站历年最大风速进行经验拟合，得到厂址区域百年一遇最大风速为44m/s，百年一遇极大风速为68.1m/s。

综合热带气旋设计基准风和实测风设计基准，最终确定厂址区域10m高度百年一遇设计基准最大风速为52.7m/s，百年一遇极大风速为68.4m/s。

### 2.4.2.3 龙卷风

按照核安全导则（HAD101/10）的要求，调查以厂址为中心，经度3度、纬度3度范围内的所有龙卷风样本，调查面积共41743km<sup>2</sup>。1959~2017年59年间共收集到龙卷风样本107例。对所有样本进行富士达~皮尔森强度分类，其中F0级有51例，F1级有42例，F2级有14例。

按照 10<sup>-7</sup> 概率水平进行评价，得到厂址的龙卷风设计基准如下：

设计基准龙卷风	F3 级
最大龙卷风速	71.4m/s
平移速度	13.8m/s
最大气压降	4.29kPa
压降率	1.18kPa/s
最大风速半径	50m

### 2.4.4.4 极端温度

收集周围平潭、莆田、福清和崇武4个站自建站~2017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历年极端温度序列进行拟合，得到厂址区域百年一遇最高温度为42℃，百年一遇最低温度为-4.4℃。

## 2.4.3 当地气象条件

利用平潭站与厂址站2017年4月30日21时~2018年4月30日20时一整年的气压、气温、相对湿度、风速和风向同步气象观测资料，分别开展了逐时、逐日的相关性分析，结果表明两者的风速、风向、气温、气压、相对湿度等要素的相关性均较好，可见平潭对厂址的代表性较好，选择平潭作为厂址的代表性气象站是合理的。本节对厂址当地气象参数的正常值和极值给出了厂址代表性气象站平潭站1953~2017年观测的气象要素统计结果，同时还提供了2017年5月~2019年4月两整年的厂址现场气象要素观测统计结果，以进行验证和分析。

### 2.4.3.1 风向和风速

平潭站常年风速较大，年平均风速为 5.4m/s。其中 11 月平均风速最大，达 6.9m/s，5 月平均风速最小，为 4.4m/s。记录中出现的最大风速为 36.3m/s（2015.8.8），由台风“苏迪罗”所致。

平潭站年主导风向为 NNE~NE，频率为 52%，其次为 SSW~SW，频率为 17%，年静风频率为 3%。累年平均风玫瑰图如图 2.4-1 所示。



观测期间塔层各高度（10m、30m、50m、70m 和 100m）的主导风向均为 NNE~NE，风频分别为 57.4%、56.6%、56.3%、57.6%和 59.2%；除 100m 的次主导风向为 SSW~SW 外，其他高度的次主导风向均为 S~SSW，风频分别为 20.1%、18.0%、20.0%、18.1%和 17.7%。地面站的主导风向为 NNE~NE，风频为 55.9%，次主导风向为 S~SSW，风频为 18.8%，与气象塔低层观测结果一致。塔层各高度的静风（ $\leq 0.5$  m/s）频率均为 0.1%，地面站的静风频率为 0.2%。图 2.4-2 给出了厂址观测期间铁塔不同高度及地面站年风玫瑰图。

观测期间地面站年平均风速为 4.9m/s，其中 12 月份的平均风速最大，为 6.2m/s，4 月份的平均风速最小，为 3.7m/s。塔层各高度（10m、30m、50m、70m 和 100m）的年平均风速分别为 4.9m/s、6.0m/s、6.8m/s、7.3m/s 和 7.7m/s。各高度均以 12 月份的平均风速最大，分别为 6.3m/s、7.7m/s、8.7m/s、9.6m/s 和 10.2m/s，各高度均以 4 月份的平均风速最小，分别为 3.7m/s、4.6m/s、5.2m/s、5.6m/s 和 6.0m/s。

观测期间厂址地面站的最大风速为 21.8 m/s，出现在 2017 年 7 月 30 日；极大风速为 28.2m/s，出现在 2017 年 7 月。铁塔 10m、30m、50m、70m 和 100m 高度的最大风速分别为 18.7m/s、21.4m/s、23.5m/s、24.4m/s 和 24.9m/s。均出现在 2017 年 7 月；铁塔 10m、30m、50m、70m 和 100m 高度的极大风速分别为 27.3m/s、28.9m/s、30.7m/s、29.9m/s 和 30.9m/s，其中 10m、30m 和 50m 高度均出现在 2017 年 7 月，70m 高度和 100m 高度分别出现在 2017 年 10 月和 2018 年 9 月。

综上，平潭气象站多年统计的风向、风速结果与现场观测结果吻合，两者的主导风向明显（NNE~NE），主导风向风频均大于 50%；观测期间厂址铁塔 10m 高度的年均风速与厂址地面站年平均风速一致，略低于平潭站多年平均风速。厂址近地面主导风向和次主导风向与平潭站吻合较好。

#### 2.4.3.2 气温

平潭站年平均气温为 19.8℃，其中月平均气温以 2 月最低，为 10.9℃，以 7 月最高，为 28.1℃。记录中出现的极端最高气温为 37.4℃（1966.8.16），极端最低气温为 0.9℃（1977.1.31）。

观测期间厂址塔层各高度（10m、30m、50m、70m 和 100m）的年平均气温分别为 20.7℃、20.5℃、20.3℃、20.2℃和 19.9℃。地面站年平均气温为 20.9℃，年平均露点温度为 17.4℃。

观测期间塔层各高度（10m、30m、50m、70m 和 100m）的最高气温分别为 32.2℃、31.7℃、31.4℃、31.2℃和 31.4℃，均出现在 7；最低气温分别为 2.7℃、2.7℃、2.6℃、2.4℃和 2.4℃，均出现在 2 月。观测期间的地面气象站观测的最高气温为 34.1℃，出现在 2018 年 7 月 7 日；最低气温为 2.5℃，出现在 2018 年 2 月 6 日。

表 2.4-2 给出了观测期间铁塔不同高度层的逆温年出现次数和频率。由表可见，10~30m、10~50m、10~70m、10~100m 各层年逆温的出现频率分别为 5.0%、5.1%、5.7%、7.0%；强逆温的出现频率为 0.9%、0.3%、0.2%、0.2%。说明塔层各层全年逆温出现频率均很低。各塔层相比，30m 空气出现逆温的情况略多。

#### 2.4.3.3 相对湿度

平潭站年均相对湿度为 81%，最小相对湿度出现在 3 月份，为 11%。

观测期间年平均相对湿度为 81.1%，月平均相对湿度在 72.3%~88.7%之间，最小相对湿度为 24.1%，出现在 2018 年 10 月 29 日。

#### 2.4.3.4 水汽压

平潭多年平均水汽压为 20.1hPa，观测期间厂址的年均水汽压为 21.7hPa。

#### 2.4.3.5 降雨量

平潭站多年平均降水量为 1235.8mm，年际变化明显，介于 751.9~1914.7mm，其中最大值出现在 2002 年，最小值出现在 2003 年。各月中 6 月份降水量最多为 236.4mm，10 月份最少，为 34.7mm。一日最大降雨量为 297mm，出现在 1974 年 6 月 22 日，致因天气系统为锋面。

观测期间厂址的年降水量为 1120.8mm，总降雨时数为 654h。观测期间厂址出现了 12 次暴雨天气，持续时间最长为 1h。一日最大降雨量为 137.5mm，出现在 2018 年 6 月 22 日。

观测期间厂址的春季 NNE 和 NE 风向降雨量最大，两个风向降雨量达 123.2mm；夏季 NNE 和 SSW 风向降雨量最大，两个风向降雨量为 229.4mm；秋季和冬季均为 NNE 风向的降雨量最大。全年来看，NNE 风向降雨量最大，为 334.5mm。

#### 2.4.3.6 大气压

平潭站多年平均气压为 1011.6hPa，当地气压的年变化呈单峰单谷型，冬半年高于夏半年。平潭极端最高气压的最大值为 1034.4hPa，极端最低气压的最低值为 962.6hPa。

观测期间厂址的年平均气压为 1012.9hPa，极端最低气压为 979.6hPa，出现在 2017 年 7 月 30 日；极端最高气压为 1031.1hPa，出现在 2018 年 12 月 29 日。

#### 2.4.3.7 辐射

观测期间厂址的年均总辐射为 190.0W/m<sup>2</sup>，年最大值为 1351.1W/m<sup>2</sup>，出现在 2018 年 3 月 31 日。净辐射年均均为 80.2W/m<sup>2</sup>，年最大值为 769.8W/m<sup>2</sup>，出现在 2018 年 6 月 4 日，最低值为-100.6W/m<sup>2</sup>，出现在 2018 年 7 月 11 日。

### 2.4.4 大气稳定度

根据厂址气象站 2017 年 5 月~2019 年 4 月两整年的实测气象资料，采用 $\Delta T-U$ 法进行稳定度分类。该方法利用铁塔 100m 和 10m 高度处的温度差以及 10m 高度的风速确定大气稳定度。表 2.4-3 给出了稳定度的分类结果。结果显示，当地以中性稳定度天气为主，D 类稳定度为 60.9%，不稳定类（A、B、C）为 33.1%，稳定类（E、F）为 6.1%。

#### 2.4.5 联合频率

利用厂址 2017 年 5 月~2019 年 4 月的风向、风速、大气稳定度和雨况统计得到 10m 高度三维联合频率和 70m 高度四维联合频率。

#### 2.4.6 混合层高度及扩散参数值

##### 1) 混合层高度

中国辐射防护研究院于 2007-2008 年在厂址开展了冬、夏两季边界层探测试验来观测混合层高度。

根据冬、夏两季大气边界层实验得到的不同稳定度类型的混合层高度的观测值，以及这些混合层高度特征值的大小范围，根据大气边界层越不稳定混合层发展越旺盛的一般概念，剔除不合理的观测值后混合层高度的平均值以及理论和经验合理性分析，综合分析后得到厂址不同稳定度下混合层高度值如下：

A-B 稳定度	722m
C 类稳定度	610m
D 类稳定度	444m

##### 2) 大气扩散参数

为了获取厂址的大气扩散特征，开展了厂址湍流观测、 $SF_6$  示踪物实验和大气扩散数值模拟。其中，示踪实验得到的 D 类扩散参数与湍流观测得到的结果比较一致。从数模结果来看，其结果与示踪实验研究的结果定性相符，但总体上示踪实验获得的扩散参数比 P-G 曲线系统偏大约一个稳定度等级。由此可见，示踪实验获得的结果较直接地反映了厂址扩散稀释情况，在推荐扩散参数时以示踪实验获得的结果为基础是较为合理的，但是示踪实验只获得 B、C、D 和 E 类的数据，且 B、E 类实验次数只有一次，因而在推荐扩散时，以示踪实验获得的 D 类的扩散参数为基础，其它稳定度类的扩散参数按照 P-G 曲线的变化趋势关系采用类比的方法推算。

根据上述方法所获得的厂址地区各类天气条件下的扩散参数见表 2.4-4。

根据冬夏两季现场观测的统计结果，厂址的海陆风存在并且符合一般规律。冬季地面主要受 NE 风控制，海陆风现象不明显；夏季 800m 以下海陆风明显，但由于大陆地形不

深厚，陆风没有海风显著。

根据气象观测结果以及现场 SF6 示踪实验、中小尺度风场模拟和数值模拟结果表明，在厂址几十公里范围内的主要地形在西北面，但在厂址周围 20~30km 范围内地形起伏不是很大，风场基本稳定。因此，采用高斯类扩散模型是适合的

## 2.4.7 厂址气象观测

### 2.4.7.1 运行前的现场气象观测大纲

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

福清厂址气象站建于 2005 年 7 月初，建站至今已实现五期观测，第六期观测目前正在进行中。

气象观测系统由气象铁塔风温梯度测量系统、地面气象 8 要素自动观测系统、监控系统平台三部分构成，具体如下：

#### a) 气象铁塔风温梯度测量系统

在 102m 的气象铁塔上架设了 5 层（10m、30m、50m、70m 和 100m）风速、风向和温度传感器，实现对应高度的风速、风向和温度测量，并通过变送器、信号线将电信号传输至数据采集器，记录每小时 15 个要素的平均值与极值。各气象传感器技术指标见表 2.4-5。

#### b) 地面气象自动观测系统

地面自动气象观测系统与铁塔同步观测，完成温度、湿度、风速、风向、降雨量、总辐射、净辐射、气压、地温的实时测量，通过数据采集器计算并存储气象要素的平均值和极值等。各气象传感器技术指标见表 2.4-5。

#### c) 监控系统平台

监控系统平台设置在观测室内，由微机及其气象观测系统软件包构成。通过智能端口、光电隔离装置与信号传输线实现对数据采集器的控制与气象要素监测数据的传输。软件部分具备数据显示、处理、输出与存贮功能。

2017 年 5 月~2019 年 4 月观测期间塔层和地面气象站的数据联合获取率为 98.7%，用于计算联合频率的气象要素联合获取率为 98.6%，满足 HAD101/02 规定的大于 90%的要求。

### 2.4.7.2 运行时的现场气象观测大纲

运行时的现场气象观测是为确定长期常规放射性释放和短期事故工况下放射性释放

对环境的实际影响提供必要的气象资料；在发生核事故时，为实施应急计划和应急行动提供厂区实时的气象资料，为事故的环境后果预测和评价及采取相应的防护措施提供依据。

运行时的气象观测系统与运行前基本保持一致，主要包括气象铁塔、自动气象站和相应的通讯设备。即铁塔 10m、30m、50m、70m、100m 的风向、风速、温度观测，地面气象站风、温、压、湿、辐射、降水等常规气象要素的观测。

数据采集系统能实现对所有的数据实时采集、存贮，监控系统能够记录整时的或由用户定义时间间隔内的测量数据。该系统能够同时显示多层的数据。在核电厂运行阶段，现场气象观测数据将能直接上传至应急指挥中心等场所，为事故情况下实施应急计划提供及时准确的资料。

## 2.5 水文

本节如无特别说明，高程系统均采用 85 国家高程。

### 2.5.1 地表水

#### 2.5.1.1 陆地水文

##### (1) 水文描述

福清市位于福建东南沿海，属于亚热带海洋性气候，暖热湿润，全市多年平均年降雨量 1327mm。多年平均年径流深约在 560~650mm，降水量分布由西北向东南递减，多年平均年降水量从西北山区 1850mm 到东南沿海 1030mm。

全市河流多为独立入海水系，溪流短促，大部分发源于西北部，流经中部地区而注入海湾。境内主要河流有龙江、渔溪、大坝溪、三叉河、一部溪、迳溪等，大小河流总长约 280 公里。水资源以降水补给为主，多年平均水资源总量 11.74 亿  $m^3$ 。目前，福清市人均水资源占有量 995.6 $m^3$ ，仅为全国人均水平的三分之一，仅为该省人均水平的四分之一，是该省严重缺水地区之一。

建国以来，先后建成东张水库、闽江调水工程为重点的一系列水利工程。目前全市共有 95 座小（二）型以上水库，其中大中型各一座（分别为东张水库、建新水库），小（一）型水库 25 座，小（二）型水库 68 座，总库容 3.15 亿  $m^3$ 。

三山镇小（一）型水库 2 座，小（二）型水库 21 座，总共 23 座蓄水水库。合计兴利库容 589 万  $m^3$ 。前薛村没有水库，北林水库为总库容  $99.15 \times 10^4 m^3$  的小（一）型水库。

厂址 20km 范围内水库有：

北林水库：北林水库位于福清三山镇的西南部，总库容 99.15 万  $m^3$ ，原使用功能为灌溉和养鱼，现为核电厂专用调节水库。

前华水库：集水面积  $0.33\text{km}^2$ ，有效库容  $82\text{万 m}^3$ ，为小(一)型水库，其使用功能为灌溉。

古山底水库：集水面积  $2.32\text{km}^2$ ，正常库容  $104\text{万 m}^3$ ，为小(一)型水库，其使用功能为灌溉。

此外，工程所在区域水利设施还有闽江调水工程龙高支线，闽调龙高支线供水区供水给龙田、江境、港头、高山、沙埔、三山、东汗 7 个乡镇和江镜农场，该地区是福清市干旱缺水最严重的地区之一，龙高支线近期设计输水流量为  $4.75\text{m}^3/\text{s}$ ，远期  $5.63\text{m}^3/\text{s}$ 。

## (2) 核电厂淡水水源

福清核电厂的淡水取自北林水库，北林水库位于福清三山镇西南部，距三山镇政府约  $3\text{km}$ ，距离厂址约  $11\text{km}$ 。北林溪主河道长  $2.475\text{km}$ ，主河道上有两条支流汇入，坝址位于两支流汇合口往东南约  $70\text{m}$ ，坝址以上控制流域面积  $2.3\text{km}^2$ 。库区属于沿海低丘台地，山坡比较平缓。

北林水库为小 I 型水库，年平均径流量  $149.5 \times 10^4\text{ m}^3$ ，校核洪水标准为 1000 年一遇，设计洪水标准为 50 年一遇，最大坝高  $10.6\text{m}$ ，坝顶长度  $337.64\text{m}$ ，坝型为均质土坝，校核洪水位  $16.72\text{m}$ （黄海高程），设计洪水位  $16.36\text{m}$ （黄海高程），正常蓄水位  $16.30\text{m}$ （黄海高程），死水位  $10.30\text{m}$ （黄海高程），总库容  $99.15 \times 10^4\text{m}^3$ ，兴利库容  $88.54 \times 10^4\text{m}^3$ ，死库容  $0.6 \times 10^4\text{m}^3$ 。

综合上述北林水库的特点，核电厂用淡水须经闽江调水经北林水库调节后向电厂供水。现闽江调水工程龙高支线已通到北林水库，设计流量  $1.25\text{m}^3/\text{s}$ ，年水量  $3942 \times 10^4\text{m}^3$ 。经过闽江调水，可保证核电厂施工及正常运行期间的生活用水和生产用水。

### 2.5.1.2 海洋水文

由于厂址只有一年的海洋水文观测资料，必须借助附近海域的长期海洋观测站的同步观测资料与厂址处的海洋水文观测资料进行相关，拓延厂址处的海洋水文资料序列。

平潭海洋站是离厂址最近的国家级海洋水文站，具有长期的实测资料，因此，在本报告中采用平潭海洋站作为参证站。

#### (1) 地理、地形条件

福建福清核电厂厂址位于福清市三山镇前薛村的岐尾山前沿。厂址地处突入兴化湾的岐尾山中，其西面为小麦屿及江阴岛，离江阴岛球尾的距离为  $8\text{km}$ ，东南距离牛头尾约  $9\text{km}$ ，东北与前薛村陆地连接，距前薛东林自然村  $1.8\text{km}$ 。厂址西北侧及东南侧至牛头尾为大片的滩涂，滩涂宽阔平坦，易于形成陆域，退潮时干出。歧尾突出部  $2\text{m}$  等深线呈

NW-SE 走向，-9m 等深线离岸最近距离约 200m，岸线前沿水深条件较好，厂址南向约 3km 处有一沙礁。

兴化湾是福建省最大的海湾，长 28km，宽为 23km，岸线长达 223.4km（不含岛屿岸线），总面积为 619.4km<sup>2</sup>。海湾深入内陆，岬湾相间，岸线曲折，岛礁棋布。周边为花岗岩山地丘陵环绕，台地和平原广阔，地势由陆向海降低，呈梯级地形分布。水下地势平缓，水深大部分在 10m 以内，水深 20m 以上仅见于湾口区南日群岛周围海域及窄长水道，最大水深不超过 40m。

### （2）潮汐

根据福清核电厂厂址海洋水文气象站 2005 年 7 月~2006 年 8 月实测潮位资料进行调和和分析计算，得到厂址海域的主要潮汐调和常数。由厂址的调和常数计算  $R=(HK1+HO1)/HM2<0.50$ ，说明本海区的潮汐为正规半日潮型。工程海域的潮汐特征是：每个潮汐日（大约 24.8 小时）有两次高潮和两次低潮；两次高潮和两次低潮的高度相差不明显。

潮流运动形式：潮流运动形式基本是往复流变化。

### （3）潮位

分析统计福清核电厂厂址海洋水文气象站 2005 年 7 月~2006 年 8 月实测潮位资料，可得福清核电厂厂址海域验潮期间潮位特征值，详见表 2.5-1，2017 年 1 月~8 月对厂址工程海域补充水文测验结果表明，潮位特征值与 2005 年测验结果基本一致。

对福清核电厂厂址海洋水文气象站与平潭海洋站 2005 年 7 月~2006 年 8 月同步高、低潮水位资料进行相关分析，可得到该两站高（低）潮相关曲线（见图 2.5-1、图 2.5-2）及其相关公式如下：

高潮位相关公式

$$H(\text{厂址})=1.174\times H(\text{平潭})-417.186$$

$$\text{相关系数 } r=0.962$$

$$\text{标准差 } q=10.12$$

低潮位相关公式

$$H(\text{厂址})=1.138\times H(\text{平潭})-404.15$$

$$\text{相关系数 } r=0.965$$

$$\text{标准差 } q=11.85$$

两站高（低）潮的相关分析结果表明：福清核电厂厂址海洋水文气象站与平潭海洋站高（低）潮相关较好，其高（低）相关系数均高达 0.962 和 0.965，该结果可说明两站的

潮汐性质和潮汐现象较为相近，这给缺乏长期验潮资料的福清核电厂厂址工程引用平潭海洋站潮位资料提供较为充分的科学依据。

利用上述的厂址海洋水文气象站和平潭海洋站两站高（低）潮相关公式，计算厂址站多年（1968~2012 年）年最高、最低潮位；最后计算其 P-III 分布和耿贝尔分布，计算出福清核电厂厂址的工程设计潮位，计算结果见表 2.5-2。厂址洪水位调查表明，近百年来厂址最大洪水位发生于 1996 年 8 月 1 日，估算值为 5.31m，与百年一遇高潮位基本相同，说明该结果合理可靠。

#### （4）海流

兴化湾位于台湾海峡西岸，太平洋的半日潮波分两支经台湾海峡北口和南口传入，在该海域交汇，形成驻波波腹区；同时这两支潮波又与海岸反射波叠加，在此又形成驻波系统的波腹区。因此，兴化湾潮差很大，平均潮差大于 4.5m，是我国少见的大潮差区。潮波从兴化湾湾口向湾顶行进过程中，因水深逐渐变浅，导致波幅逐渐增大。太平洋的日潮波沿台湾海峡轴线，呈前进波形式由北向南传播，振幅远小于半日潮波，因此，兴化湾的潮汐形态呈正规半日潮，潮流属正规半日潮流。

兴化湾海流组成的成分主要是潮流。木兰溪、三江口的年平均流量仅  $49.5\text{m}^3/\text{s}$ ，获芦溪、渔溪等小河流流量很小，因此除河口附近很小水域外，径流一般对海流无明显影响；持续时间较长、且风向较稳定的风也产生风生环流，依据海洋动力学理论，可以断定，与潮流相比，风生环流流速一般较小。兴化湾湾口有南日岛等大量岛屿，阻塞出入兴化湾的潮波的行进，造成湾内外潮位有明显的位相差。这种潮位位相差，导致周期性的湾内外水位落差，使得潮流最大流速增大，所以，兴化湾虽位于半日潮驻波波腹区，但其潮流仍然较强；位相差也使涨潮流最大流速出现时间提前，落潮流最大流速出现时间滞后。

2005 年~2006 年间在福清核电工程海域开展过全潮水文观测。考虑到水文数据的时效性，2017 年委托承接单位重新开展了夏、冬两季的水文观测。根据实测资料的统计分析计算表明：

##### 1) 潮流类型与运动形式

各站垂线平均的示性系数 F 值在 0.10~0.19 之间，平均为 0.15。本海域潮流类型基本可定性为规则半日潮流性质。

潮流的运动形式由潮流的椭圆旋转率 K 值来描述。S1607 测站的显著大于 0.25，即该测站均表现为旋转流，其余测站的椭圆旋转率均小于 0.25，表现为往复流。K 值多为正，表明潮流沿逆时针方向旋转。与实测结果相一致。



## 2) 潮段平均流向

图 2.5-3~图 2.5-8 为冬季和夏季测验期间观测海域垂线平均潮流矢量图。涨、落潮平均流向，除 S1607 测站外，S1601、S1602 和 S1603 测站为 NNW~SSE 方向，S1604 测站为 NNW~SW，其余测站为 NNW~SE 方向。

## 3) 潮段平均流速

各测站潮段平均流速见表 2.5-3。

冬季水文测验期间，实测涨、落潮段平均流速均为 0.34m/s，涨潮段略大于落潮段；其中，大潮分别为 0.48m/s 和 0.38m/s，中潮分别为 0.40m/s 和 0.34m/s，小潮分别为 0.24m/s 和 0.21m/s；夏季水文测验期间，实测涨、落潮段平均流速分别为 0.34m/s 和 0.31m/s，涨潮段略大于落潮段；其中，大潮分别为 0.43m/s 和 0.39m/s，中潮分别为 0.34m/s 和 0.31m/s，小潮分别为 0.27m/s 和 0.24m/s；

大、中、小潮涨落潮平均流速，冬季分别为 0.43m/s、0.37m/s 和 0.23m/s，夏季分别为 0.41m/s、0.32m/s 和 0.25m/s，大潮最大，小潮最小。

冬季水文测验期间，涨潮段平均流速最大值发生在大潮 S1608 测站，为 0.78 m/s；落潮段平均流速最大值发生在大潮 S1603 测站，为 0.54 m/s；涨潮段和落潮段平均流速最小值均发生在小潮 S1604 测站，分别为 0.16 m/s 和 0.07 m/s。潮段平均流速基本上深槽水域的流速较大，向两侧逐渐减小，岸边流速较小。

夏季水文测验期间，涨潮段平均流速最大值发生在大潮 S1608 测站，为 0.58 m/s；落潮段平均流速最大值发生在大潮 S1603 测站，为 0.55 m/s；涨潮段和落潮段平均流速最小值均发生在小潮 S1604 测站，分别为 0.16 m/s 和 0.19 m/s。潮段平均流速基本上深槽水域的流速较大，向两侧逐渐减小，岸边流速较小。

## 4) 垂线平均最大流速

各测站涨落潮段的垂线平均最大流速如表 2.5-4 所示。

冬季水文测验期间，垂线平均最大流速，涨潮段在大潮 S1608 测站最大，为 1.22 m/s，流向 321°，其次在中潮 S1608 测站，为 1.09 m/s，流向 301°；落潮段在大潮 S1603 测站最大，为 0.83 m/s，流向 172°，其次在中潮 S1603 测站，为 0.76 m/s，流向 162°。

夏季水文测验期间，垂线平均最大流速，涨潮段在大潮 S1608 测站最大，为 1.15 m/s，流向 293°，其次在中潮 S1608 测站，为 0.91 m/s，流向 316°；落潮段在大潮 S1603 测站最大，为 0.91 m/s，流向 161°，其次在大潮 S1601 测站，为 0.82 m/s，流向 152°。

## 5) 最大流速特征值

冬季水文测验期间，大潮实测最大流速为 1.56 m/s，流向为 319°，出现在 S1608 测站涨潮段的表层；中潮实测最大流速为 1.30 m/s，流向为 301°，出现在 S1608 测站涨潮段的表层；小潮实测最大流速为 0.80 m/s，流向为 292°，出现在 S1608 测站涨潮段的 0.4H。

夏季水文测验期间，大潮实测最大流速为 1.54m/s，流向为 296°，出现在 S1608 测站涨潮段的表层；中潮实测最大流速为 1.18 m/s，流向为 316°，出现在 S1608 测站涨潮段的表层；小潮实测最大流速为 1.15 m/s，流向为 322°，出现在 S1608 测站涨潮段的表层和 0.2H。

#### 6) 余流

观测海域余流流速冬季大潮平均为 8.0 cm/s，中潮平均为 7.0 cm/s，小潮平均为 4.9 cm/s；夏季大潮平均为 8.2 cm/s，中潮平均为 6.0 cm/s，小潮平均为 5.2 cm/s。余流流向，各站差异较大。

观测海区余流流速，冬季测验期间以 S1608 测站为最大，平均约为 13.5 cm/s，其次是 S1603 测站，平均为 8.0 cm/s，最小余流发生在 S1605 测站，平均为 3.1 cm/s；夏季测验期间以 S1608 测站为最大，平均约为 11.7 cm/s，其次是 S1602 测站，平均为 9.5 cm/s，最小余流发生在 S1601 测站，平均为 2.7 cm/s。

#### (5) 海水温度

由于厂址海域没有长期的水温资料，利用平潭海洋站 1996~2012 年的表层水温资料，以及厂址与平潭海洋站 2005 年 7 月~2006 年 8 月、2009 年 8 月~2009 年 10 月同期表层水温资料，通过相关分析延长厂址站的水温观测序列，计算得到厂址年平均水温 19.7℃，最热三个月累计率为 10%的海水表层水温为 28.8℃，以及 T7 值 29.9℃。

#### (6) 海水盐度

利用平潭海洋站 1960~2012 年共 53 年的连续观测获取的资料，对工程海域海水盐度变化进行了统计分析。表 2.5-5 是工程海域多年盐度月均值。从中可以看出：工程海域海水盐度的多年平均值为 31.0‰；7 月份最高为 33.7‰，8 月份次之为 33.0‰，11 月份最低为 29.5‰。工程海域海水盐度历史最高达到了 35.3‰，分别出现在 1980 年 7 月、1995 年 6 月与 1996 年 7 月；而 1973 年 6 月达到了历史最低的 21.4‰。

#### (7) 泥沙

通过对冬季和夏季测验各个测站的垂线平均含沙量进行统计，得到含沙量统计结果见表 2.5-6~表 2.5-8。主要结论如下：

涨、落潮平均含沙量：冬季测验期间，大潮为 0.088 kg/m<sup>3</sup>，中潮为 0.100 kg/m<sup>3</sup>，小潮为 0.040 kg/m<sup>3</sup>，中潮最大，小潮最小。夏季测验期间，大潮为 0.040 kg/m<sup>3</sup>，中潮为 0.031

$\text{kg/m}^3$ ，小潮为  $0.019 \text{ kg/m}^3$ ，大潮最大，小潮最小。

垂线平均最大含沙量：冬季水文测验期间，大潮为  $0.250 \text{ kg/m}^3$ ，出现在 S1604 测站落潮段；中潮为  $0.191 \text{ kg/m}^3$ ，出现在 S1604 测站涨潮段；小潮为  $0.069 \text{ kg/m}^3$ ，出现在 S1605 测站落潮段。夏季水文测验期间：，大潮为  $0.311 \text{ kg/m}^3$ ，出现在 S1604 测站落潮段；中潮为  $0.536 \text{ kg/m}^3$ ，出现在 S1604 测站落潮段；小潮为  $0.061 \text{ kg/m}^3$ ，出现在 S1604 测站涨潮段。

冬季水文测验期间大潮实测最大含沙量为  $0.250 \text{ kg/m}^3$ ，出现在 1 月 13 日 5:00 的 S1604 测站落潮段的 0.6H，对应流速为  $0.05 \text{ m/s}$ ，流向为  $221^\circ$ ，处在落憩时段；中潮实测最大含沙量为  $0.354 \text{ kg/m}^3$ ，出现在 1 月 17 日 17:00 的 S1605 测站落潮段的底层，对应流速为  $0.36 \text{ m/s}$ ，流向为  $149^\circ$ ，处在落急时段；小潮实测最大含沙量为  $0.156 \text{ kg/m}^3$ ，出现在 1 月 22 日 4:00 的 S1605 测站涨潮段的底层，对应流速为  $0.31 \text{ m/s}$ ，流向为  $333^\circ$ ，处在涨急时段。

夏季水文测验期间大潮实测最大含沙量为  $0.327 \text{ kg/m}^3$ ，出现在 7 月 25 日 18:00 的 S1604 测站落潮段的 0.8H，对应流速为  $0.16 \text{ m/s}$ ，流向为  $281^\circ$ ，处在落憩时段；中潮实测最大含沙量为  $0.595 \text{ kg/m}^3$ ，出现在 8 月 6 日 16:00 的 S1604 测站落潮段的底层，对应流速为  $0.03 \text{ m/s}$ ，流向为  $216^\circ$ ，处在落憩时段；小潮实测最大含沙量为  $0.167 \text{ kg/m}^3$ ，出现在 8 月 2 日 15:00 的 S1602 测站涨潮段的底层，对应流速为  $0.34 \text{ m/s}$ ，流向为  $333^\circ$ ，处在涨急时段。

水体含沙浓度平面分布：各测站呈现出水深小含沙量略高、水深大含沙量略低的分布，变化规律不显著。

根据福清核电厂海床及岸滩稳定性和取排水口泥沙冲淤演变数模研究的成果报告，核电工程区水域处于大潮差强潮兴化湾海域，潮汐动力强，水体含沙量小、泥沙来源主要为海域潮流携沙和边滩水域的泥沙再搬运，数量有限，在波浪、潮流动力作用下海床多年冲淤变化甚小，长期处于稳定的状态。

#### （8）海冰

本海区地处亚热带，属于亚热带季风性气候，光照充足，热量丰富，终年气温较高，基本无霜冻，季风较明显，干湿季分明，不存在冰情影响问题。

#### （9）波浪作用

福清核电工程厂址进行了一年（2005.7~2006.8）现场波浪观测。对观测结果进行统计分析，结果表明：工程海域总的波浪状况是，波浪较弱，波浪以风浪为主，常浪向和强浪向都为 S~SW，最大波高是  $2.06 \text{ m}$ ， $H_{4\%}$  大波波高是  $1.59 \text{ m}$ ，发生于 2005 年 9 月 1 日，相应的平均周期是 4.50 秒，波向为 SSW；年最大周期出现在 2005 年 9 月，平均周期为

8.54 秒。

## 2.5.2 地下水

### 2.5.2.1 厂址附近范围水文地质特征

#### (1) 地下水类型

厂址附近范围地下水主要为第四系海积层孔隙水、第四系残坡积层孔隙裂隙水、基岩裂隙水三类（图 2.5-9）。

##### ①第四系海积层孔隙水

主要分布于海积阶地、海漫滩和滩涂区，含水岩组由海积粉细砂、淤泥、淤泥质土组成，地下水赋存于粉细砂和淤泥的孔隙中，地下水类型为孔隙潜水。含水层厚度 1.00~12.95m，水位埋深 0.00~0.95m，单井涌水量约 20m<sup>3</sup>/d，水量贫乏。

含水层渗透系数  $3.17 \times 10^{-5} \sim 1.74 \times 10^{-3}$ cm/s，属中等~弱透层。

##### ②第四系残坡积层孔隙裂隙水

广泛分布于残积红土台地，位置较高，含水岩组主要为第四系的残坡积砂质粘性土、砾质粘性土，局部夹有碎石，地下水赋存于网状裂隙和孔隙中，是区内的主要含水层之一，地下水类型为孔隙裂隙潜水。含水层厚度 3.00~10.00m，水位埋深 0.20~7.41m，水位年变化幅度 3~6m，泉水流量 0.018~0.15L/s（表 2.5-9），单井涌水量为 5.00~20.00m<sup>3</sup>/d，水量贫乏。据抽水试验成果（表 2.5-10），含水层渗透系数  $2.32 \times 10^{-4} \sim 7.64 \times 10^{-4}$ cm/s，属中等透水性。据室内渗透试验成果，含水层垂直渗透系数  $2.93 \times 10^{-5} \sim 7.07 \times 10^{-4}$ m/s，水平渗透系数  $1.15 \times 10^{-5} \sim 2.19 \times 10^{-4}$ cm/s，属中等透水~弱透层。综合判定第四系残坡积层孔隙裂隙水透水性弱~中等。

##### ③基岩裂隙水

主要分布于丘陵区基岩裸露区和残积红土台地底部的基岩风化裂隙和构造裂隙中，是厂址附近范围主要的地下水类型。含水岩组为南园组火山熔岩、黑云母花岗岩及其后期侵入岩脉。

风化裂隙水赋存于全~强风化基岩中，由于全风化、强风化基岩风化裂隙很发育，裂隙贯通性较好，可形成统一的地下水位，其埋深与岩体的风化破碎程度有关，一般岩体破碎、风化深度大时，含水层厚度大，富水性较好。一般地势较高处水位埋深较大，低洼处水位埋深较浅，水平方向透水性较均匀，垂直方向随深度的增加而减弱。区内全~强风化岩分布于地表浅部，降水入渗地下后随地形由高向低径流，排泄于沟谷和低洼处，仅在雨后 1~2 天内有渗水，之后就干枯，地下水不易赋存，水量贫乏。

构造裂隙水赋存于中等~微风化基岩中，受风化程度及构造裂隙发育程度控制，由于构造裂隙贯通性差，未形成统一的含水层及地下水位，且富水性微弱，水量大小不均。含水层的埋深与岩体的破碎程度有关，往往岩体破碎、风化深度大时，地下水位亦深；岩体相对完整时，则地下水位较浅。据厂区钻孔揭露，地下水位变化大，有的干孔，有的埋深大于 10m，有的埋深则小于 5m，说明地下水与岩石节理发育程度、完整程度有关。

经调查，泉水流量 0.015~0.027L/s，水量贫乏，地下水类型为  $Cl \cdot HCO_3 - Mg$  型水，矿化度 125.47mg/L，pH 值 6.91，属淡水。海岸部分受海潮影响，海水沿裂隙缓慢渗透，使地下水与海水混合，地下水矿化度 1408.44mg/L，pH 值 6.98，水化学类型为  $Cl - K \cdot Na \cdot Mg$  型水，属微咸水。

全~强风化岩体渗透系数 0.0272~0.0448m/d，即  $3.15 \times 10^{-5} \sim 5.18 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ ，属弱透水岩体；中风化岩透水率 0.67~2.30Lu，微风化岩透水率 0.25~2.30Lu，属弱~微透水岩体。

## （2）地下水的补给、径流、排泄

厂址附近范围地下水主要来源于大气降水的入渗补给，由于受地形地貌、地层岩性控制，地下水径流短，基本上是就地降雨入渗补给，就近沿沟谷两侧渗出后排泄入海。地下水的流向由地势较高地区向地势较低地区渗流。

第四系海积层孔隙水分布在阶地和滩涂地区，处在潮间带，孔隙水的补给和排泄直接受海水涨、退潮的影响。

第四系残坡积层孔隙裂隙水分布于红土台地，地下水的补给来源有大气降水和基岩裂隙水。第四系残坡积层呈片状分布，地势较为平缓，有利于降雨和表流入渗补给，以及基岩裂隙水的侧向补给，但其表面粘性土渗透性差，严重影响地下水的补给。地下水由高向低沿孔隙或裂隙径流，以下降泉或渗流形式排泄地表。地下水排泄主要有蒸发、泻流两种方式，民井取水也是重要排泄方式。地下水位受降水的影响很大，前薛村民井中的地下水位雨后接近地表，枯旱时多数井基本干枯无水，地下水位年变幅 3~6m。

基岩裂隙水分布在丘陵区，地下水主要来源于大气降水的入渗补给，由于受地形地貌、地层岩性控制，地下水径流短，基岩裸露，植被不发育，大气降水除少部分通过裂隙入渗补给地下水外，大部分降雨都沿地表呈表流下泄，基本上是就地降雨入渗补给，就近沿沟谷两侧渗出后排泄入海。地下水的流向由地势较高地区向地势较低地区渗流。

## （3）地下水与地表水的水力联系

根据调查，厂址附近范围以地表分水岭为界，可划分成若干个小的独立的水文地质单元，每个水文地质单元的地下水之间无水力联系。地下水以基岩裂隙水（风化）和残坡积

孔隙裂隙水为主要类型，含水层埋藏浅，地下水分水岭与地表水分水岭基本一致。地下水面与地形基本一致，因此地下水顺地形坡降向大海方向径流排泄，地下水流向基本顺地形向下径流，半岛两侧海岸直接向大海排泄，厂址北部前薛村庄地势较低，地下水总流向为南西～西，在低洼处汇集后流向大海（图 2.5-10）。区内没有河流、水库等大型地表水体，仅在前薛村以北有 4 个近于干枯的小型水塘，因此，不存在地表水体与厂区内地下水之间的水力联系。

区内北东分布有三条近于平行的北东东向断裂（图 2.5-11），最近的距厂址 4.5km，按走向延伸东至泽岐或海域、西至外围较远海域，不通过厂区，不存在切穿厂区内地下水分水岭的断裂构造和其它含水通道，因此厂区内地下水与区外的地下水、地表水无水力联系。

#### （4）地下水与海水的水力联系

第四系海积层孔隙水，含水层属海相沉积，地下水补给排泄直接受海水涨、落潮的影响，地下水形成咸水或盐水，与海水关系密切。

第四系残坡积层孔隙裂隙水，含水层属基岩风化产物，透水性弱～中等，为淡水和微咸水，高台地和无居民区的台地范围地下水为淡水，近海岸低台地和居民集中区地下水为微咸水，主要是受海产品、养殖等含盐成分经降雨或地表排水等淋滤、冲刷渗入地下所致，不存在海水入侵的问题。

基岩裂隙水赋存于节理裂隙中，区内裂隙大都为闭合裂隙，透水性弱-微透水，补给来源主要来源于大气降水，与海水无水力联系，属淡水。近海岸与海水接触的影响带很小，位于潮水位以下泉水水质为微咸水，受潮水影响海水沿节理裂隙缓慢渗入造成。

#### 2.5.2.2 电厂对地下水的利用计划

根据《福建福清核电厂厂址环境水文地质调查报告》，厂址附近范围有前薛村、楼前、东薛、韩瑶、泽岐村、洋坪等村庄，没有水库，农业灌溉仅靠 4 个小山塘储水灌溉，另有 71 口水井（表 2.5-11），井深 4～16.5m，平均出水量  $3\text{m}^3/\text{d}$ ，厂址 5km 范围内水井有 6 口在厂区范围，其它均分布在厂区以外的前薛村及其以北地区（距 6 号机组大于 1km）。目前，随着电厂的建设，厂址范围内的水井已不存在；前薛村已通自来水，村民日常生活一般都使用自来水，使用水井的村民非常少。核电厂厂区与前薛村等村庄不在一个水文地质单元，厂区内与厂区外地下水无水力联系。

本区含水层水量不丰富，不具备工业开采价值。核电厂没有利用地下水的计划，核电厂用淡水取自北林水库。

#### 2.5.2.3 电厂对地下水的可能影响

福清核电厂位于前薛村的岐尾山，厂址区域地形狭长，北、南、西三面环海（图 2.5-12）。现在场地平整后，厂区东北侧地势高于厂内其他区（标高 11m）及厂外前薛村、东林村（标高约 6~12m）（图 2.5-13），该区域为分割厂区内与区外联系的分水岭。勘察及厂坪开挖未见贯通厂区内外的断裂构造和其它含水通道。厂区范围可视为一个独立的水文地质单元（图 2.5-13）。

现场地平整后，5、6 号机组场地大部分为基岩出露（图 2.5-14），出露岩体主要为中等风化~微风化岩体。核岛地基岩体主要为微风化岩体，仅 6 号机组局部分布有中等风化岩体。根据地质编录结果，核岛基坑开挖至设计基底标高及开挖过程中，基坑内未见地下水。

场地整平后，厂区地下水主要为基岩裂隙水和赋存于第四系人工回填层中的孔隙水，基岩裂隙水主要分布于基岩出露区，第四系人工回填层孔隙水主要分布于基岩区两侧低于厂坪标高的回填区。地下水的补给来源为大气降水，排泄以蒸发、渗流形式排泄，地下水径流就近从厂区南、北侧排泄入海。

如前所述厂区范围为一独立的水文地质单元，与厂区外地下水无水力联系。而厂址附近范围的居民生活取水点均在厂址区以北，厂址地下水径流途径下游无居民取水点。

因此核电厂的建设不会对周边村庄的地下水造成影响。

## 2.5.3 洪水

### 2.5.3.1 海洋洪水

#### （1）天文潮

根据福清核电厂厂址海洋水文观测站和平潭海洋站 2005 年 7 月~2006 年 8 月实测潮位资料的分潮调和常数，进行厂址站相应的 21 年逐时天文潮调和推算，并从其 21 年的天文潮推算值中，得到 21 年的最高、最低天文潮位值以及 10%超越概率天文高、低潮位值，如下所示：

最高天文潮位： 4.34m

最低天文潮位： -3.98m

10%超越概率天文高潮位： 4.01m

10%超越概率天文低潮位： -3.77m

#### （2）风暴潮增、减水

##### ① 随机法

工程海域的厂址站和平潭站 2005 年 7 月~2006 年 8 月的同期潮位观测资料，分离得

出各自的增减水资料，进行相关分析，可得到该两站增减水相关曲线（见图 2.5-15）及其相关公式如下：

厂址站与平潭站增减水相关方程是：

$$H(\text{厂址})=0.9727 \times H(\text{平潭})$$

相关系数  $r=0.738$

标准差  $q=9.03$

根据相关公式及平潭海洋站 1968~2012 年的增减水资料计算拓延厂址处的增减水资料，得出厂址站 1968~2012 年的年最大增、减水值，见表 2.5-12。利用厂址站 1968~2012 年的年最大增、减水值，计算其 P-III 分布和耿贝尔分布，结果列于表 2.5-13。

## ② 确定论法

本计算采用三重嵌套风暴潮数值模型。通过对影响福清核电厂址的 14 次有代表性的台风风暴潮过程进行模拟计算来验证模型的可靠性。从模拟结果可以看出，所建立的套网格台风风暴潮模型相当好地刻画了每个显著的台风增、减水过程，所建立的台风风暴潮模型可靠。

数值模型所采用的参数如下：

计算台风近中心最大风速，则可得：

- 海上台风近中心最大风速  $W_0=89.4\text{m/s}$ ，
- 登闽台风近中心最大风速  $W_0=65.2\text{m/s}$ 。
- 确定论法估算的海上和登闽的可能最大热带气旋 PMTC 中心最低气压  $P_0$  分别为 862hpa 和 909.7hpa
- 外围气压  $P_n=1010\text{ hpa}$ ；
- 最大风速半径  $R=40\text{km}$ ；
- 移动速度  $V_d=33.63\text{km/h}$ ；

通过风暴潮数值计算模式对+PMTC 和-PMTC 的增、减水进行计算、分析和比较，可得福清核电厂厂址四个工程点(见图 2.5-16)可能最大台风增水值和可能最大台风减水值，详见表 2.5-14。

## (3) 海平面异常

福清核电厂海平面上升按 100 年考虑，则海平面上升幅度为 20cm。

## (4) 假潮

假潮是封闭或半封闭水体在风暴潮、风速变化、海啸、岸边滑坡、水下火山爆发及其



它宽波扰动下而产生的水体显著振荡。而福清核电厂位于开敞海域边，无产生假潮的条件，并且在上述台风暴潮增水计算中，假潮峰值效应已包括在内，所以在厂址设计洪水组合中，不必再单独考虑假潮洪水。

### （5）海啸

根据核安全局对我国沿海核电站地震海啸风险论证结果，基于中国地震局提供的潜在地震海啸源数据，采用数值模式方法计算了引起的地震海啸值。该计算不考虑我国近海能够产生局地海啸的源地，只考虑能够产生类似日本 0311 巨大地震海啸的源地，如马尼拉海沟。这个海沟是亚欧板块与太平洋板块的交界处，是典型的地震潜没带，与日本本州东部的海沟类似，能够产生较大的海啸。计算结果表明，福清厂址处最大海啸波幅约为 0.42m。由于地震海啸引起的增、减水远小于风暴潮的增、减水值，且两者同时遭遇的机率极低，并且是非线性的，所以在设计基准洪水位的组合中可以不考虑海啸的影响。

### （6）波浪影响

#### ——近岸波要素推算

通过海浪模式计算的厂址附近海域-25m 等深线的台风浪，再根据厂址外海-25m 水深不同重现期波高  $H_{13\%}$  和周期，通过数学模型试验，推算厂址附近海域的波浪要素，为设计提供依据。

从所处的地理位置看，工程海区主要受 S 方向传入的风浪影响较大，另外 SSE~W 在大风速时也能产生较大的波浪。

工程点的波浪计算是在 100 年一遇高潮位、最高天文潮位+100 年一遇增水、10%超越概率天文高潮位+可能最大风暴潮增水以及 50 年一遇低潮位四个水位条件下，波浪重现期分别为 100 年和 50 年时，厂址海域-2m、-5m、-10m 等深线 1#~9# 九个测点（测点位置见图 2.5-17）处设计波浪，其中，1#~3# 测点位于-2m 等深线处，4#~6# 测点位于-5m 等深线处，7#~9# 测点位于-10m 等深线处，所有地形水深的基准面采用 85 国家高程基准面。计算结果见表 2.5-15~2.5-17。

#### ——设计基准洪水中的波浪

推算在可能最大风暴潮（PMSS）的可能最大热带气旋（PMTTC）的风场资料，用 10%超越概率天文高潮加 PMSS 的水位下相应的台风浪。

表 2.5-18 是四个工程点（四个工程点详见图 2.5-16）在设计基准洪水位情况下对应的可能最大台风浪波要素。

### （7）洪水影响

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

10%超越概率天文高潮位：	4.01m
可能最大台风增水：	4.37m
<u>海平面异常：</u>	<u>0.20m</u>
设计基准洪水位：	8.58m

厂坪标高定为 11.00m（85 国家高程）。为了防御外海台风浪的影响，在厂区东、西、南方向修筑海工构筑物，确保在设计基准洪水位及相应台风浪作用下核安全相关构筑物的安全不受影响。

### 2.5.3.2 陆地洪水

#### （1）厂区暴雨洪水

福清核电厂所在流域是一个无实测降雨资料的特小流域，按一般暴雨时面深特征分析，厂址设计降雨量可用附近有资料测站点暴雨量来代替。通过以确定论法为主，并用随机法的估算成果进行相互校核和印证，最终确定不同重现期的不同历时降雨量值及可能最大降雨量值。

厂区雨水排水系统分为二部分，即主厂区排水系统和厂前区排水系统。主厂区排水系统按千年一遇降雨量设计，可能最大降水（PMP）来校核，厂前区排水按百年一遇降雨量进行设计，并且厂区排水应满足《福岛核事故后核电厂改进行动通用技术要求（试行）》的规定，即在设计基准洪水位叠加千年一遇降雨时保证厂区的防洪安全。主厂区及厂前区雨水通过各自的雨水管网排入兴化湾。每个厂房屋顶都设有屋面雨水收集系统用来输送和排泄屋面雨水。考虑到特大降水的排除，在平屋面女儿墙一定标高设置一定数量的溢水口以保证屋面水的及时排除。

#### （2）山洪的防护

福清核电厂厂址位于福清市南部兴化湾北岸，厂址附近最高点位于厂区范围内，根据厂址周围地形条件，厂址三面环海，只有东北侧与陆域相接，因此这三个方向不会受到山洪的威胁。

主厂区东北侧依次是预留用地、厂前区和施工临建区。施工临建区位于整个半岛的最高点，临建区的雨水通过区域内独立的雨水管网排入大海，因此，主厂区东北侧也不存在山洪的威胁。

### （3）溃坝洪水对厂区的影响

福清核电厂在半岛突出部，厂区集雨面积小。北林水库坝址位于三山镇道北村北林溪，距厂址约 11km，不属厂址流域，经调查厂区流域范围内无水库和大的河流，不存在上游水库溃坝和河流洪水的影响问题。

### （4）溪流与江河洪水的防护

由于本厂址属滨海厂址，厂址附近无溪流和江河通过，因此不存在溪流和江河在厂址上引起洪水泛滥。

## 2.6 地形地貌

厂址位于福清市三山镇前薛村的岐尾山前沿，地处半岛前端，北、南、西三面环海，并且半岛南北两侧均为较大范围的滩涂，东北侧与陆地连接。

厂址区场地平整工作在一期工程时一次完成，现已形成了大范围的人工地貌。5、6 号机组厂区场地南北向宽约 451m，东西向长约 531m，场地标高 10.7m 左右（85 国家高程），土地类别为建设用地。

根据总体规划，5、6 号机组厂区用地西侧为 3、4 号机组工程用地，北侧为引水明渠，东侧隔预留发展用地为厂前建筑区，南侧隔纬二路为核岛及 BOP 安装场地。

全厂总体规划见图 4.1-1。

表 2.4-1 厂址周边气象站基本情况

站名	等级	建站时间	东经	北纬	海拔 高度(m)	气象站与厂址距离 (km)
平潭	基本站	1953 年	119°47'	25°31'	32.4	东偏北, 36km
福清	一般站	1959 年	119°23'	25°43'	39.2	北偏西, 36km
莆田	一般站	1959 年	119°00'	25°27'	81.1	西, 43km
崇武	基准站	1954 年	118°55'	24°54'	21.8	西南, 80km

表 2.4-2 观测期间铁塔各时刻各高度不同类别逆温强度的出现时次、频率

单位：%

高度 (米)		无 $\Delta T/\Delta z \leq 0$	弱 $0 < \Delta T/\Delta z \leq 1.7$	中 $1.7 < \Delta T/\Delta z \leq 3.4$	强 $\Delta T/\Delta z > 3.4$
10~30 米	次数	16424	497	193	161
	频率	95.0%	2.9%	1.1%	0.9%
10~50 米	次数	16403	664	168	50
	频率	94.9%	3.8%	1.0%	0.3%
10~70 米	次数	16306	772	165	42
	频率	94.3%	4.5%	1.0%	0.2%
10~100 米	次数	16073	991	190	31
	频率	93.0%	5.7%	1.1%	0.2%

表 2.4-3 气象铁塔 $\Delta T-u$ 法稳定度分类月、季、年次数及频率（2017.5~2018.4）

月 稳定度		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	春季	夏季	秋季	冬季	全年
		A	次	1	2	3	5	7	5	6	14	10	2	2	4	15	26	12
	%	0.1	0.4	0.4	0.7	0.9	0.7	0.9	1.9	1.4	0.2	0.2	0.5	0.7	1.2	0.6	0.3	0.7
B	次	14	20	42	46	90	88	136	162	120	36	26	28	178	386	182	62	807
	%	1.9	3.1	5.7	6.3	12.2	12.6	18.4	21.7	17.2	4.9	3.6	3.7	8.1	17.7	8.5	2.9	9.3
C	次	84	78	132	122	230	224	299	282	248	117	126	49	484	805	492	211	1992
	%	11.5	11.8	18.1	17.1	30.9	31.7	40.5	38	35.5	16.1	17.9	6.7	22.1	36.8	23	9.9	23.1
D	次	562	482	438	413	394	384	297	282	312	554	539	600	1244	964	1405	1644	5257
	%	77.1	72.6	59.9	57.6	53	54.6	40.2	38	44.5	76.2	76.3	81.7	56.8	44.1	65.9	77.3	60.9
E	次	28	22	46	58	9	1	1	2	4	15	6	31	112	3	24	81	221
	%	3.9	3.2	6.2	8.1	1.2	0.1	0.1	0.2	0.5	2.1	0.8	4.2	5.1	0.1	1.1	3.8	2.6
F	次	40	59	71	73	13	2	0	1	7	4	8	24	157	3	18	122	300
	%	5.5	8.9	9.7	10.2	1.7	0.3	0	0.1	1	0.5	1.1	3.2	7.2	0.1	0.8	5.8	3.5

表 2.4-4 推荐的厂址扩散参数

稳定度类	扩散参数系数			
	$P_y$	$q_y$	$P_z$	$q_z$
A	0.536	0.936	0.345	0.892
B	0.465	0.915	0.311	0.844
C	0.388	0.902	0.294	0.783
D	0.335	0.857	0.205	0.778
E	0.246	0.860	0.225	0.687
F	0.181	0.851	0.172	0.654

注：( $\sigma_y = P_y x^{\sigma_y}$ ,  $\sigma_z = P_z x^{\sigma_z}$ )

表 2.4-5 气象传感器技术指标

传感器	测量要素	测量范围	准确度	分辨率
EL15-1A 型风速传感器	风速	0.3~60 m/s	1)±0.3m/s	0.05m/s
EL15-2D 型风向传感器	风向	0°~360°	±5°	3°
TBQ-2 型天空总辐射传感器	总辐射	0~2000 W/m <sup>2</sup>	±2%	7~14 μV/(W/m <sup>2</sup> )
TBB-1 型天空净辐射传感器	净辐射	2000~+2000W/m <sup>2</sup>	≤±2%	7~14 μV/(W/m <sup>2</sup> )
SL3-1 型双翻斗雨量计	降雨量	0~4mm/min	±4%	0.1mm
PTB330 型大气压力传感器	大气压	500~1100hPa	500~1100 hPa: ±0.10 hPa	500~1100 hPa: ±0.10 hPa
WZP1 型温度传感器	温度	-50℃~80℃	±0.2℃	±0.2℃
DHC1 型湿度传感器	湿度	0~100%	±3%RH (<90%) ±5%RH (90%~100%)	±3%RH (<90%) ±5%RH (90%~100%)

表 2.5-1 主要潮汐特征值

平均潮位	0.28m
平均高潮位	2.83m
平均低潮位	-2.28m
平均潮差	5.10m
最大潮差（推算）（2003年11月）	8.06m
平均涨潮历时	6小时6分
平均落潮历时	6小时19分
潮高基面	85国家高程

表 2.5-2 厂址重现期高潮位和重现期低潮位(高低潮相关)

重现期 (年)	频率 P%	重现期高潮位(m)			重现期低潮位(m)		
		P—III 分布	概率 70%的 置信区间	耿贝尔 分布	P—III 分布	概率 70%的 置信区间	耿贝尔 分布
10000	0.01	6.52	±0.87		-4.68	±0.15	
1000	0.1	5.94	±0.58	5.62	-4.52	±0.10	-4.61
500	0.2	5.76	±0.50	5.46	-4.47	±0.08	-4.54
200	0.5	5.52	±0.39	5.26	-4.40	±0.07	-4.45
100	1	5.34	±0.32	5.10	-4.35	±0.06	-4.37
50	2	5.15	±0.25	4.95	-4.29	±0.05	-4.30
33	3	5.04	±0.21	4.84	-4.26	±0.05	-4.25
20	5	4.89	±0.16	4.74	-4.21	±0.05	-4.21
10	10	4.69	±0.12	4.58	-4.14	±0.04	-4.13
5	20	4.47	±0.09	4.36	-4.07	±0.04	-4.03
2	50	4.14	±0.07	4.16	-3.94	±0.03	-3.94

表 2.5-3 各测站潮段平均流速统计表

单位：流速（m/s）

站名	冬季涨潮				冬季落潮			
	大潮	中潮	小潮	平均	大潮	中潮	小潮	平均
S1601	0.44	0.34	0.22	0.33	0.36	0.33	0.18	0.29
S1602	0.58	0.47	0.31	0.45	0.44	0.35	0.20	0.33
S1603	0.45	0.44	0.29	0.39	0.54	0.47	0.28	0.43
S1604	0.38	0.31	0.16	0.28	0.17	0.18	0.07	0.14
S1605	0.50	0.44	0.27	0.40	0.39	0.34	0.22	0.32
S1606	0.31	0.28	0.16	0.25	0.35	0.27	0.19	0.27
S1607	0.34	0.31	0.19	0.28	0.32	0.27	0.26	0.28
S1608	0.78	0.63	0.40	0.60	0.44	0.39	0.27	0.37
S1609	0.48	0.39	0.19	0.35	0.43	0.35	0.27	0.35
S1610	0.52	0.34	0.23	0.36	0.38	0.41	0.20	0.33
平均	0.48	0.40	0.24	0.37	0.38	0.34	0.21	0.31
站名	夏季涨潮				夏季落潮			
	大潮	中潮	小潮	平均	大潮	中潮	小潮	平均
S1601	0.44	0.32	0.30	0.35	0.40	0.32	0.26	0.32
S1602	0.47	0.44	0.31	0.41	0.40	0.31	0.23	0.31
S1603	0.50	0.32	0.28	0.37	0.55	0.37	0.28	0.40
S1604	0.33	0.25	0.16	0.25	0.27	0.21	0.19	0.22
S1605	0.45	0.34	0.25	0.35	0.42	0.37	0.24	0.34
S1606	0.34	0.28	0.22	0.28	0.36	0.28	0.24	0.29
S1607	0.30	0.27	0.19	0.25	0.32	0.34	0.19	0.28
S1608	0.58	0.46	0.47	0.51	0.37	0.24	0.26	0.29
S1609	0.41	0.35	0.27	0.34	0.43	0.35	0.24	0.34
S1610	0.43	0.33	0.26	0.34	0.42	0.34	0.24	0.33
平均	0.43	0.34	0.27	0.34	0.39	0.31	0.24	0.31



表 2.5-4 各测站涨落潮段垂线平均最大流速统计表

单位：流速（m/s），流向（°）

冬季	潮段	冬季大潮		冬季中潮		冬季小潮		夏季大潮		夏季中潮		夏季小潮	
		流速	流向	流速	流速	流向	流速	流速	流向	流速	329	0.48	323
S1601	涨潮	0.64	343	0.55	350	0.34	354	0.65	347	0.59	329	0.48	323
	落潮	0.69	172	0.52	180	0.39	181	0.82	152	0.58	191	0.55	188
S1602	涨潮	0.98	342	0.81	355	0.43	352	0.88	350	0.64	350	0.50	349
	落潮	0.72	182	0.53	185	0.35	168	0.71	170	0.52	172	0.38	172
S1603	涨潮	0.77	355	0.73	351	0.43	356	0.73	358	0.53	356	0.53	344
	落潮	0.83	172	0.76	162	0.45	156	0.91	161	0.69	167	0.48	163
S1604	涨潮	0.54	26	0.49	2	0.25	4	0.52	22	0.40	30	0.37	353
	落潮	0.40	212	0.30	201	0.20	200	0.43	209	0.40	215	0.29	226
S1605	涨潮	0.78	339	0.66	346	0.37	343	0.71	345	0.55	335	0.45	332
	落潮	0.61	164	0.57	151	0.39	139	0.62	153	0.53	155	0.42	152
S1606	涨潮	0.53	338	0.46	345	0.25	335	0.54	332	0.46	332	0.38	335
	落潮	0.52	164	0.42	156	0.29	149	0.52	172	0.51	168	0.38	175
S1607	涨潮	0.56	9	0.53	21	0.25	344	0.48	1	0.47	7	0.32	346
	落潮	0.51	163	0.43	154	0.39	141	0.49	139	0.52	146	0.31	165
S1608	涨潮	1.22	321	1.09	301	0.70	291	1.15	293	0.91	316	1.03	332
	落潮	0.73	133	0.68	138	0.39	173	0.55	130	0.34	155	0.61	134
S1609	涨潮	0.72	345	0.65	353	0.33	335	0.69	338	0.59	334	0.46	320
	落潮	0.74	139	0.62	142	0.39	138	0.69	138	0.61	148	0.39	135
S1610	涨潮	0.84	318	0.62	322	0.36	335	0.72	306	0.59	325	0.38	328
	落潮	0.67	144	0.61	142	0.35	119	0.61	152	0.52	143	0.42	139

表 2.5-5 工程海域多年盐度月均值

单位：‰

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
盐度	30.0	30.3	30.4	30.9	31.7	32.3	33.7	33.0	32.1	30.1	29.5	29.7	31.0

表 2.5-6 各测站涨、落潮段垂线平均含沙量统计表

单位：含沙量 (kg/m<sup>3</sup>)

测站	冬季涨潮				冬季落潮			
	大潮	中潮	小潮	平均	大潮	中潮	小潮	平均
S1601	0.080	0.088	0.030	0.066	0.080	0.087	0.027	0.064
S1602	0.075	0.086	0.035	0.065	0.066	0.079	0.032	0.059
S1603	0.100	0.113	0.050	0.088	0.093	0.099	0.049	0.080
S1604	0.107	0.129	0.042	0.093	0.111	0.102	0.036	0.083
S1605	0.099	0.111	0.056	0.088	0.104	0.120	0.048	0.090
S1606	0.108	0.116	0.046	0.090	0.104	0.109	0.040	0.085
S1607	0.079	0.101	0.038	0.073	0.074	0.094	0.036	0.068
S1608	0.087	0.117	0.050	0.085	0.086	0.108	0.045	0.080
S1609	0.086	0.095	0.041	0.074	0.082	0.080	0.034	0.065
S1610	0.068	0.079	0.028	0.059	0.064	0.080	0.028	0.057
平均	0.089	0.103	0.042	0.078	0.086	0.096	0.037	0.073
测站	夏季涨潮				夏季落潮			
	大潮	中潮	小潮	平均	大潮	中潮	小潮	平均
S1701	0.099	0.040	0.030	0.057	0.086	0.044	0.023	0.051
S1702	0.045	0.044	0.032	0.040	0.038	0.036	0.022	0.032
S1703	0.022	0.014	0.011	0.016	0.020	0.012	0.010	0.014
S1704	0.046	0.043	0.024	0.038	0.076	0.117	0.017	0.070
S1705	0.032	0.026	0.020	0.026	0.029	0.019	0.016	0.021
S1706	0.036	0.017	0.013	0.022	0.028	0.015	0.013	0.019
S1707	0.036	0.034	0.022	0.031	0.037	0.023	0.019	0.026
S1708	0.045	0.034	0.027	0.035	0.037	0.031	0.025	0.031
S1709	0.025	0.018	0.015	0.019	0.019	0.016	0.014	0.016
S1710	0.027	0.024	0.016	0.022	0.020	0.019	0.015	0.018
平均	0.041	0.029	0.021	0.031	0.039	0.033	0.017	0.030

表 2.5-7 各测站涨、落潮段垂线平均最大含沙量统计表

单位：含沙量 (kg/m<sup>3</sup>)

测站	冬季涨潮				冬季落潮			
	大潮	中潮	小潮	最大	大潮	中潮	小潮	最大
S1601	0.098	0.110	0.044	0.110	0.109	0.138	0.042	0.138
S1602	0.140	0.119	0.042	0.140	0.081	0.119	0.041	0.119
S1603	0.168	0.182	0.059	0.182	0.115	0.138	0.061	0.138
S1604	0.146	0.191	0.064	0.191	0.250	0.125	0.042	0.250
S1605	0.137	0.135	0.064	0.137	0.131	0.157	0.069	0.157
S1606	0.154	0.152	0.054	0.154	0.122	0.170	0.052	0.170
S1607	0.087	0.126	0.045	0.126	0.092	0.125	0.052	0.125
S1608	0.112	0.132	0.065	0.132	0.137	0.136	0.058	0.137
S1609	0.122	0.126	0.058	0.126	0.116	0.114	0.052	0.116
S1610	0.088	0.120	0.044	0.120	0.069	0.094	0.044	0.094
最大值	0.168	0.191	0.065	0.191	0.250	0.170	0.069	0.250
测站	夏季涨潮				夏季落潮			
	大潮	中潮	小潮	最大	大潮	中潮	小潮	最大
S1601	0.281	0.063	0.047	0.281	0.235	0.143	0.040	0.235
S1602	0.070	0.093	0.056	0.093	0.059	0.067	0.027	0.067
S1603	0.031	0.021	0.017	0.031	0.038	0.020	0.013	0.038
S1604	0.150	0.151	0.061	0.151	0.311	0.536	0.032	0.536
S1605	0.058	0.048	0.029	0.058	0.053	0.039	0.019	0.053
S1606	0.094	0.022	0.015	0.094	0.049	0.020	0.015	0.049
S1607	0.051	0.056	0.034	0.056	0.053	0.031	0.025	0.053
S1608	0.077	0.057	0.045	0.077	0.070	0.054	0.032	0.070
S1609	0.039	0.022	0.018	0.039	0.024	0.020	0.016	0.024
S1610	0.036	0.038	0.021	0.038	0.031	0.026	0.022	0.031
最大值	0.281	0.151	0.061	0.281	0.311	0.536	0.040	0.536

表 2.5-8 各测站测点最大含沙量统计表

单位：含沙量 (kg/m<sup>3</sup>)

测站	冬季涨潮						冬季落潮					
	大潮		中潮		小潮		大潮		中潮		小潮	
	含沙	测层	含沙	测层	含沙	测层	含沙	测层	含沙	测层	含沙	测层
S1601	0.101	0.6H	0.118	0.6H	0.048	0.8H	0.110	0.6H	0.145	0.8H	0.044	0.8H
S1602	0.158	0.8H	0.149	底层	0.056	底层	0.150	底层	0.150	底层	0.047	底层
S1603	0.215	底层	0.215	底层	0.087	底层	0.182	底层	0.246	底层	0.085	底层
S1604	0.178	0.6H	0.237	0.8H	0.067	0.8H	0.250	0.6H	0.145	0.8H	0.044	0.8H
S1605	0.205	底层	0.267	底层	0.156	底层	0.205	底层	0.354	底层	0.099	底层
S1606	0.164	0.8H	0.187	底层	0.063	底层	0.132	0.8H	0.195	底层	0.063	底层
S1607	0.092	0.8H	0.136	0.8H	0.052	底层	0.109	0.8H	0.143	0.8H	0.062	底层
S1608	0.128	底层	0.136	底层	0.074	底层	0.160	底层	0.152	底层	0.068	底层
S1609	0.244	底层	0.239	底层	0.074	底层	0.183	底层	0.190	底层	0.068	底层
S1610	0.210	底层	0.307	底层	0.060	底层	0.150	底层	0.242	底层	0.052	底层
最大	0.244	底层	0.307	底层	0.156	底层	0.250	底层	0.354	底层	0.099	底层
测站	夏季涨潮						夏季落潮					
	大潮		中潮		小潮		大潮		中潮		小潮	
	含沙	测层	含沙	测层	含沙	测层	含沙	测层	含沙	测层	含沙	测层
S1601	0.289	0.8H	0.107	底层	0.100	底层	0.320	0.8H	0.453	底层	0.070	底层
S1602	0.142	底层	0.213	底层	0.167	底层	0.176	底层	0.121	底层	0.070	底层
S1603	0.056	底层	0.040	底层	0.040	底层	0.079	底层	0.039	底层	0.022	底层
S1604	0.182	0.8H	0.175	底层	0.118	底层	0.327	0.8H	0.595	底层	0.048	底层
S1605	0.236	底层	0.144	底层	0.074	底层	0.213	底层	0.174	底层	0.042	底层
S1606	0.179	底层	0.047	底层	0.022	底层	0.089	底层	0.031	底层	0.021	底层
S1607	0.077	底层	0.119	底层	0.097	底层	0.142	底层	0.044	底层	0.036	底层
S1608	0.099	底层	0.080	底层	0.053	底层	0.095	底层	0.111	底层	0.055	底层
S1609	0.101	底层	0.071	底层	0.037	底层	0.067	底层	0.071	底层	0.028	底层
S1610	0.117	底层	0.122	底层	0.043	底层	0.102	底层	0.065	底层	0.051	底层
最大	0.289	0.8H	0.213	底层	0.167	底层	0.327	0.8H	0.595	底层	0.070	底层

表 2.5-9 厂址附近范围泉水调查结果一览表

泉水编号	出露高程 m	涌水量 L/S	水温 °C	泉水性质	含水层
S01	15.50	0.15	16	下降泉	残积土强风化岩
S02	14.43	0.022	16	下降泉	全~强风化岩
S03	4.33	0.054	17.5	下降泉	强风化
S04	11.80	0.062	13	下降泉	强风化岩
S05	12.50	0.018	16	下降泉	残积土强风化岩
S06	4.50	0.015	18	下降泉	微风化岩
S07	26.50	0.039	16	下降泉	残积土
S08	5.00	0.027	16	下降泉	弱风化岩
S09	3.20	0.022	16	下降泉	弱风化岩
S10	11.0	0.14	13	下降泉	残积土

表 2.5-10 民井抽水试验成果一览表

编号	含水层岩性	水位埋深 m	井口标高 m	降深 m	涌水量 m <sup>3</sup> /d	单位涌水量 m <sup>3</sup> /d.m	渗透系数	
							cm/s	m/d
J04	残坡积土	5.40	8.60	3.85	12.96	3.36	$7.64 \times 10^{-4}$	0.66
J20	残坡积土	2.34	12.30	3.50	7.28	2.08	$2.32 \times 10^{-4}$	0.20

表 2.5-11 (1/3) 厂址附近范围民井调查一览表

井泉 编号	坐 标		地面标 高 (m)	水位埋 深 (m)	涌水量 (m <sup>3</sup> /d)	岩 性
	X	Y				
J1	444055	2818563	5.6	2.0	5.0	砂质粘性土
J2	444986	2818689	9.2	2.72	10.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J3	444726	2816945	7.3	2	6.00	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J04	444411	2816720	8.64	6.28	12.96	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J05	444083	2816083	3.6	0.2	36.00	弱风化花岗岩
J06	444295	2816013	16.5	4.8	12.00	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J07	444160	2815238	3.0	2.3	0.50	弱风化花岗岩
J08	444160	2815297	8.4	1.98	15.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J09	444529	2815394	10.6	7.41	8.00	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J10	444860	2815769	3.5	0.95	15.0	粉细砂
J11	444515	2816654	13.2	7.15	8.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J12	444527	2816658	14.0	8.65	6.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J13	444546	2816707	14.2	7.4	5.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J14	444516	2816732	9.94	5.2	27.13	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J15	444495	2816741	9.29	5.8	18.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J16	444661	2816723	12.83	6.4	5.80	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J17	444687	2816688	13.71	7.8	6.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J18	444675	2816658	13.66	6.55	6.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J19	444734	2816690	12.46	5.7	6.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J20	444829	2816759	12.3	2.34	17.28	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J21	444700	2816835	10.3	3.89	15.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J22	444706	2816891	8.63	2.47	13.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J23	444743	2816910	6.49	1.56	10.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J24	444727	2817033	6.56	2.96	15.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J25	444616	2816930	9.71	5.5	8.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J26	444649	2816975	9.15	5.05	6.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J27	444678	2817050	6.75	0.96	10.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩

表 2.5-11 (2/3) 厂址附近范围民井调查一览表

井泉 编号	坐 标		地面标 高 (m)	水位埋 深 (m)	涌水量 (m <sup>3</sup> /d)	岩 性
	X	Y				
J28	444536	2817185	7.5	1.74	10.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J29	444473	2816892	6.1	2.89	6.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J30	444459	2816896	5.8	2.2	8.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J31	444431	2817074	6.52	2.86	10.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J32	444406	2817038	7.32	1.42	15.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J33	444330	2817076	8.04	6.7	5.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J34	444317	2817190	9.5	5.72	6.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J35	444446	2817325	11.29	3.8	18.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J36	444549	2817231	9.4	2.98	8.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J37	444288	2818035	4.82	2.2	10.0	上为砂质粘性土，下为强-中风化花岗岩
J38	443952	2818735	4.8	3.66	8.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J39	444065	2818760	5.24	0	15.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J40	444185	2818453	5.62	3.18	12.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J41	444188	2818405	5.6	2.68	12.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J42	444241	2818262	7.8	1.97	10.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J43	444346	2818045	14.1	7.48	6.0	上为砂质粘性土，下为强-中风化花岗岩
J44	444397	2818010	16.2	10.33	5.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J45	444687	2817325	11.84	7.51	5.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J46	444744	2817270	8.7	2.01	6.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J47	444755	2817262	8.23	2.78	6.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J48	444829	2817355	16.2	4.73	6.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J49	444830	2818571	17.25	3.65	5.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J50	444978	2818570	12.3	1.24	5.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J51	444936	2818698	14.62	8.10	8.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J52	444923	2818793	14.94	3.12	8.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J53	444866	2818999	20.40	7.88	10.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J54	445036	2819002	9.8	1.95	10.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J55	445156	2819087	14.80	5.73	12.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩

表 2.5-11 (3/3) 厂址附近范围民井调查一览表

井泉 编号	坐 标		地面标 高 (m)	水位埋 深 (m)	涌水量 (m <sup>3</sup> /d)	岩 性
	X	Y				
J56	445353	2819216	17.3	9.36	8.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J57	445450	2819375	15.4	4.54	10.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J58	445534	2819396	17.5	6.6	5.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J59	445510	2819149	8.8	2.69	8.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J60	445597	2819115	5.88	3.26	8.0	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J61	445535	2819046	11.4	4.65	7.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J62	445121	2818843	6.60	1.53	10.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J63	445108	2818835	7.0	0.18	12.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J64	445095	2818699	7.42	1.03	5.00	上为砂质粘性土，下为全-强风化花岗岩
J65	445100	2818629	7.50	0.97	10.0	上为砂质粘性土，下为全风化花岗岩
J66	445383	2818579	4.20	0.90	12.0	上为砂质粘性土，下为强风化花岗岩
J67	445428	2818504	5.40	1.06	10.0	上为砂质粘性土，下为全风化花岗岩
J68	445480	2818420	12.40	7.46	12.0	上为砂质粘性土，下为强-中风化花岗岩
J69	445315	2818729	4.20	0.72	10.0	上为砂质粘性土，下为全风化花岗岩
J70	445391	2818756	4.34	0.91	10.0	上为砂质粘性土，下为全风化花岗岩
J71	445468	2818925	4.46	0.68	12.0	上为砂质粘性土，下为全风化花岗岩



表 2.5-12 厂址站年最大增水和减水值

单位：m

年份	月	日	时分	增水值	月	日	时分	减水值
1968	11	09	2035	0.69	11	17	0426	-0.63
1969	10	02	2151	0.85	07	29	1938	-1.23
1970	01	05	1357	0.62	02	17	0254	-0.48
1971	07	26	2003	2.36	09	15	0160	-0.86
1972	08	17	0317	0.84	08	19	1540	-0.77
1973	10	10	0400	0.85	12	23	1206	-0.50
1974	10	12	1330	0.77	11	23	1143	-0.67
1975	02	08	0007	0.71	10	07	0819	-0.99
1976	08	10	0430	1.01	12	10	0700	-0.54
1977	09	22	0010	0.62	09	11	1912	-0.56
1978	10	13	1411	1.02	12	09	0141	-0.49
1979	10	18	0354	0.67	08	24	1930	-0.65
1980	01	30	1656	0.84	10	27	0521	-0.41
1981	06	13	1538	0.77	09	01	2117	-1.07
1982	07	29	1200	1.42	11	12	1600	-0.46
1983	09	26	1308	0.73	09	11	1023	-0.57
1984	08	19	1345	0.74	03	03	0645	-0.41
1985	08	23	1056	0.99	01	15	2106	-0.49
1986	09	19	1835	0.89	01	07	1606	-0.51
1987	10	25	0617	1.23	11	01	1404	-0.53
1988	10	28	1943	0.57	02	05	0815	-0.57
1989	11	14	0530	0.67	08	29	2210	-0.59
1990	08	19	1537	1.02	11	24	0958	-0.44
1991	10	28	0801	0.86	02	27	1753	-0.46
1992	08	30	1912	0.78	09	24	0300	-0.54
1993	01	15	1055	0.71	02	07	0556	-0.50
1994	08	21	1200	1.02	08	09	2015	-0.74
1995	01	16	0445	0.81	11	10	0747	-0.64
1996	08	01	0030	1.27	03	18	0403	-0.59
1997	08	18	0703	1.30	01	03	0839	-0.56
1998	10	16	1342	0.86	02	09	2315	-0.51
1999	03	22	0915	0.82	08	26	0906	-0.40
2000	08	23	0800	0.93	08	31	2030	-0.56
2001	02	25	0655	0.69	03	06	1650	-0.58
2002	09	06	1759	0.98	08	06	0918	-0.52
2003	03	04	0617	0.84	10	27	1546	-0.79
2004	08	25	0223	0.88	05	16	2251	-0.55
2005	09	1	1700	1.37	08	07	2211	-0.63
2006	07	14	0000	0.97	09	06	0756	-0.38
2007	07	06	2200	0.71	01	31	1600	-0.70
2008	07	28	1500	0.89	08	23	0000	-0.37
2009	08	08	1900	0.96	11	05	0700	-0.57
2010	10	26	2000	0.75	01	02	0700	-0.58
2011	10	03	1000	0.82	11	25	0700	-0.71
2012	08	02	0900	0.79	04	05	0600	-0.53

表 2.5-13 厂址年最大增水值和年最大减水值的分布

重现期 (年)	频率 P %	增水(m)			减水(m)		
		P-III 分布	概率 70%的 置信区间	耿贝尔 分布	P-III 分布	概率 70%的 置信区间	耿贝尔 分布
10000	0.01	3.72	±1.40		-2.64	±1.08	
1000	0.1	2.95	±0.91	2.66	-2.06	±0.69	-1.60
500	0.2	2.71	±0.76	2.47	-1.89	±0.58	-1.49
200	0.5	2.40	±0.58	2.22	-1.66	±0.44	-1.35
100	1	2.17	±0.46	2.03	-1.49	±0.34	-1.24
50	2	1.93	±0.34	1.84	-1.31	±0.25	-1.13
33	3	1.80	±0.28	1.71	-1.21	±0.20	-1.06
20	5	1.62	±0.21	1.58	-1.09	±0.15	-0.98
10	10	1.38	±0.14	1.39	-0.91	±0.10	-0.87
5	20	1.14	±0.11	1.11	-0.74	±0.08	-0.71
2	50	0.82	±0.08	0.87	-0.52	±0.06	-0.57

表 2.5-14 四个工程点可能最大台风增、减水值

工程点	可能最大台风增水 (m)	可能最大台风减水 (m)
A	4.06	-2.03
B	4.14	-2.10
D	4.27	-2.04
E	4.37	-2.08

表 2.5-15 (1/3) 近岸波浪计算点 S 向浪时各测点处波高值

计算点	方向	波浪重现期(年)	计算水位(m)	计算点水深(m)	$H_{1/100}$ (m)	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\bar{H}$ (m)	$\bar{T}$ (s)	L(m)
1#	S	100	8.38	10.38	4.01	3.72	3.23	3.13	2.66	1.73	7.55	67
			6.51	8.51	3.50	3.25	2.81	2.74	2.33	1.53		62
			5.34	7.34	3.08	2.87	2.49	2.42	2.06	1.35		59
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-
		50	8.38	10.38	3.76	3.49	3.01	2.91	2.47	1.61	6.89	59
			6.51	8.51	3.30	3.08	2.67	2.59	2.20	1.43		55
			5.34	7.34	2.96	2.77	2.40	2.33	1.98	1.29		52
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-
2#	S	100	8.38	10.38	5.61	5.27	4.59	4.45	3.87	2.61	7.55	67
			6.51	8.51	4.91	4.61	4.04	3.94	3.43	2.33		62
			5.34	7.34	4.44	4.17	3.68	3.58	3.12	2.14		59
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-
		50	8.38	10.38	5.27	4.90	4.27	4.13	3.59	2.41	6.89	59
			6.51	8.51	4.68	4.36	3.82	3.71	3.23	2.19		55
			5.34	7.34	4.25	3.99	3.50	3.42	2.97	2.02		52
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-
3#	S	100	8.38	10.38	5.55	5.19	4.51	4.38	3.81	2.57	7.55	67
			6.51	8.51	4.81	4.50	3.94	3.84	3.34	2.27		62
			5.34	7.34	4.32	4.06	3.56	3.47	3.02	2.06		59
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-
		50	8.38	10.38	5.24	4.88	4.25	4.11	3.56	2.39	6.89	59
			6.51	8.51	4.58	4.30	3.74	3.63	3.16	2.13		55
			5.34	7.34	4.16	3.88	3.40	3.31	2.88	1.96		52
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-

表 2.5-15 (2/3) 近岸波浪计算点 S 向浪时各测点处波高值

计算点	方向	波浪重现期(年)	计算水位(m)	计算点水深(m)	$H_{1/100}$ (m)	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\bar{H}$ (m)	$\bar{T}$ (s)	L(m)
4#	S	100	8.38	13.38	5.08	4.74	4.09	3.97	3.37	2.19	7.55	73
			6.51	11.51	4.66	4.34	3.76	3.66	3.11	2.03		69
			5.34	10.34	4.35	4.05	3.50	3.41	2.90	1.91		67
			-4.29	0.71	0.52	0.48 <sup>*</sup>	0.44	0.43	0.38	0.27		20
		50	8.38	13.38	4.74	4.42	3.79	3.67	3.11	2.02	6.89	64
			6.51	11.51	4.38	4.08	3.52	3.42	2.90	1.89		61
			5.34	10.34	4.14	3.84	3.33	3.24	2.75	1.80		59
			-4.29	0.71	0.52	0.48 <sup>*</sup>	0.44	0.43	0.38	0.27		18
5#	S	100	8.38	13.38	5.32	4.96	4.29	4.17	3.54	2.31	7.55	73
			6.51	11.51	4.87	4.55	3.93	3.83	3.26	2.14		69
			5.34	10.34	4.49	4.19	3.63	3.53	3.01	1.98		67
			-4.29	0.71	0.66	0.55 <sup>*</sup>	0.55 <sup>*</sup>	0.55 <sup>*</sup>	0.55 <sup>*</sup>	0.43		20
		50	8.38	13.38	4.98	4.61	3.99	3.86	3.28	2.14	6.89	64
			6.51	11.51	4.58	4.26	3.69	3.59	3.05	1.99		61
			5.34	10.34	4.32	4.00	3.46	3.37	2.87	1.89		59
			-4.29	0.71	0.66	0.55 <sup>*</sup>	0.55 <sup>*</sup>	0.55 <sup>*</sup>	0.55 <sup>*</sup>	0.43		18
6#	S	100	8.38	13.38	5.97	5.56	4.80	4.69	4.00	2.65	7.55	73
			6.51	11.51	5.37	5.00	4.33	4.22	3.62	2.41		69
			5.34	10.34	4.91	4.60	3.98	3.88	3.33	2.21		67
			-4.29	0.71	0.46	0.43	0.39	0.38	0.33	0.23		20
		50	8.38	13.38	5.57	5.18	4.48	4.36	3.71	2.44	6.89	64
			6.51	11.51	5.10	4.74	4.09	4.00	3.41	2.26		61
			5.34	10.34	4.75	4.42	3.82	3.73	3.19	2.12		59
			-4.29	0.71	0.46	0.43	0.39	0.38	0.33	0.23		18

表 2.5-15 (3/3) 近岸波浪计算点 S 向浪时各测点处波高值

计算点	方向	波浪重现期(年)	计算水位 (m)	计算点水深 (m)	$H_{1/100}$ (m)	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\bar{H}$ (m)	$\bar{T}$ (s)	L (m)
7#	S	100	8.38	18.38	6.13	5.73	4.91	4.73	4.01	2.59	7.55	80
			6.51	16.51	5.72	5.33	4.58	4.42	3.75	2.43		78
			5.34	15.34	5.34	4.97	4.27	4.13	3.50	2.27		76
			-4.29	5.71	2.02	1.87	1.61	1.56	1.32	0.86		53
		50	8.38	18.38	5.71	5.31	4.53	4.39	3.71	2.39	6.89	69
			6.51	16.51	5.38	5.03	4.30	4.16	3.52	2.27		68
			5.34	15.34	5.11	4.78	4.10	3.95	3.35	2.16		67
			-4.29	5.71	1.98	1.85	1.59	1.53	1.30	0.84		47
8#	S	100	8.38	18.38	6.11	5.70	4.89	4.71	3.99	2.58	7.55	80
			6.51	16.51	5.68	5.28	4.54	4.39	3.72	2.41		78
			5.34	15.34	5.30	4.93	4.23	4.09	3.47	2.25		76
			-4.29	5.71	2.18	2.02	1.75	1.70	1.44	0.94		53
		50	8.38	18.38	5.69	5.28	4.51	4.36	3.69	2.38	6.89	69
			6.51	16.51	5.34	4.99	4.27	4.12	3.49	2.25		68
			5.34	15.34	5.07	4.74	4.07	3.92	3.32	2.14		67
			-4.29	5.71	2.14	1.98	1.71	1.66	1.41	0.92		47
9#	S	100	8.38	18.38	6.42	5.98	5.14	4.96	4.21	2.73	7.55	80
			6.51	16.51	6.00	5.59	4.82	4.66	3.96	2.57		78
			5.34	15.34	5.63	5.24	4.52	4.37	3.71	2.41		76
			-4.29	5.71	2.40	2.23	1.93	1.88	1.60	1.05		53
		50	8.38	18.38	5.94	5.53	4.73	4.57	3.87	2.50	6.89	69
			6.51	16.51	5.61	5.27	4.52	4.35	3.69	2.38		68
			5.34	15.34	5.36	5.00	4.29	4.15	3.52	2.28		67
			-4.29	5.71	2.34	2.18	1.89	1.84	1.56	1.02		47

表 2.5-16 (1/3) 近岸波浪计算点 SE 向浪时各测点处波高值

计算点	方向	波浪 重现期 (年)	计算水位 (m)	计算点 水深(m)	$H_{1/100}$ (m)	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\bar{H}$ (m)	$\bar{T}$ (s)	L (m)
1#	SE	100	8.38	10.38	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.04	9.22	85
			6.51	8.51	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.03		78
			5.34	7.34	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.02		74
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-
		50	8.38	10.38	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.03	8.73	80
			6.51	8.51	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.03		74
			5.34	7.34	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.02		69
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-
2#	SE	100	8.38	10.38	5.61	5.27	4.59	4.45	3.87	2.61	9.22	85
			6.51	8.51	4.81	4.50	3.94	3.84	3.34	2.27		78
			5.34	7.34	4.30	4.04	3.55	3.46	3.01	2.05		74
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-
		50	8.38	10.38	5.32	4.97	4.33	4.19	3.64	2.44	8.73	80
			6.51	8.51	4.66	4.33	3.79	3.69	3.21	2.18		74
			5.34	7.34	4.19	3.91	3.43	3.35	2.91	1.98		69
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-
3#	SE	100	8.38	10.38	5.68	5.28	4.62	4.50	3.91	2.65	9.22	85
			6.51	8.51	4.84	4.53	3.98	3.88	3.37	2.29		78
			5.34	7.34	4.32	4.06	3.56	3.47	3.02	2.06		74
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-
		50	8.38	10.38	5.39	5.04	4.39	4.26	3.70	2.48	8.73	80
			6.51	8.51	4.70	4.39	3.84	3.74	3.25	2.20		74
			5.34	7.34	4.21	3.94	3.46	3.37	2.93	1.99		69
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-

表 2.5-16 (2/3) 近岸波浪计算点 SE 向浪时各测点处波高值

计算点	方向	波浪 重现期 (年)	计算水位 (m)	计算点 水深(m)	$H_{1/100}$ (m)	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\bar{H}$ (m)	$\bar{T}$ (s)	L (m)
4#	SE	100	8.38	13.38	4.13	3.84	3.27	3.17	2.68	1.73	9.22	95
			6.51	11.51	3.34	3.10	2.64	2.56	2.16	1.39		89
			5.34	10.34	2.83	2.63	2.24	2.17	1.83	1.17		85
			-4.29	0.71	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		24
		50	8.38	13.38	3.88	3.60	3.07	2.97	2.51	1.61	8.73	88
			6.51	11.51	3.21	2.99	2.55	2.46	2.08	1.33		83
			5.34	10.34	2.77	2.56	2.18	2.11	1.78	1.14		80
			-4.29	0.71	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		23
5#	SE	100	8.38	13.38	5.46	5.09	4.40	4.28	3.64	2.38	9.22	95
			6.51	11.51	4.60	4.27	3.70	3.60	3.06	2.00		89
			5.34	10.34	4.04	3.77	3.26	3.17	2.69	1.75		85
			-4.29	0.71	0.08	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03		24
		50	8.38	13.38	5.12	4.78	4.13	4.01	3.40	2.21	8.73	88
			6.51	11.51	4.40	4.11	3.55	3.44	2.92	1.90		83
			5.34	10.34	3.90	3.63	3.13	3.04	2.58	1.68		80
			-4.29	0.71	0.08	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03		23
6#	SE	100	8.38	13.38	6.43	5.98	5.19	5.05	4.35	2.90	9.22	95
			6.51	11.51	5.82	5.42	4.72	4.57	3.97	2.66		89
			5.34	10.34	5.42	5.07	4.42	4.28	3.72	2.50		85
			-4.29	0.71	0.32	0.29	0.25	0.25	0.21	0.14		24
		50	8.38	13.38	5.95	5.53	4.78	4.66	3.98	2.64	8.73	88
			6.51	11.51	5.46	5.11	4.42	4.31	3.70	2.46		83
			5.34	10.34	5.13	4.77	4.15	4.02	3.48	2.33		80
			-4.29	0.71	0.32	0.29	0.25	0.25	0.21	0.14		23

表 2.5-16 (3/3) 近岸波浪计算点 SE 向浪时各测点处波高值

计算点	方向	波浪 重现期 (年)	计算水位 (m)	计算点 水深(m)	$H_{1/100}$ (m)	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\bar{H}$ (m)	$\bar{T}$ (s)	L (m)
7#	SE	100	8.38	18.38	5.26	4.89	4.17	4.03	3.40	2.18	9.22	106
			6.51	16.51	4.59	4.25	3.63	3.50	2.96	1.90		102
			5.34	15.34	4.21	3.89	3.32	3.21	2.71	1.74		100
			-4.29	5.71	0.86	0.79	0.67	0.65	0.54	0.34		66
		50	8.38	18.38	4.88	4.52	3.85	3.72	3.14	2.01	8.73	98
			6.51	16.51	4.33	4.00	3.41	3.29	2.78	1.78		95
			5.34	15.34	3.95	3.65	3.11	3.00	2.53	1.62		93
			-4.29	5.71	0.81	0.74	0.62	0.60	0.50	0.32		62
8#	SE	100	8.38	18.38	5.62	5.23	4.46	4.31	3.65	2.35	9.22	106
			6.51	16.51	4.96	4.60	3.92	3.79	3.21	2.07		102
			5.34	15.34	4.58	4.26	3.63	3.51	2.97	1.91		100
			-4.29	5.71	0.88	0.82	0.69	0.67	0.56	0.35		66
		50	8.38	18.38	5.19	4.83	4.12	3.98	3.36	2.15	8.73	98
			6.51	16.51	4.64	4.31	3.68	3.55	3.00	1.92		95
			5.34	15.34	4.28	3.97	3.38	3.27	2.76	1.77		93
			-4.29	5.71	0.81	0.75	0.63	0.61	0.51	0.32		62
9#	SE	100	8.38	18.38	6.07	5.65	4.85	4.67	3.96	2.56	9.22	106
			6.51	16.51	5.45	5.08	4.36	4.20	3.56	2.30		102
			5.34	15.34	5.09	3.88	4.08	3.93	3.33	2.15		100
			-4.29	5.71	1.10	1.02	0.87	0.83	0.70	0.44		66
		50	8.38	18.38	5.60	5.20	4.43	4.29	3.63	2.34	8.73	98
			6.51	16.51	5.07	4.71	4.02	3.89	3.29	2.12		95
			5.34	15.34	4.71	3.88	3.74	3.62	3.06	1.97		93
			-4.29	5.71	1.10	1.01	0.85	0.82	0.69	0.44		62



表 2.5-17 (1/3) 近岸工程位置附近海域 SSE 向浪时各测点处波浪要素

计算点	方向	波浪 重现期 (年)	计算水位 (m)	计算点 水深(m)	$H_{1/100}$ (m)	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\bar{H}$ (m)	$\bar{T}$ (s)	L (m)
1#	SSE	100	8.38	10.38	2.48	2.30	1.96	1.89	1.59	1.01	10.37	98
			6.51	8.51	1.90	1.77	1.50	1.45	1.22	0.77		90
			5.34	7.34	1.54	1.41	1.20	1.15	0.97	0.62		84
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-
		50	8.38	10.38	2.34	2.18	1.85	1.78	1.50	0.95	9.93	93
			6.51	8.51	1.83	1.70	1.44	1.39	1.17	0.74		85
			5.34	7.34	1.47	1.35	1.15	1.11	0.93	0.59		80
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-
2#	SSE	100	8.38	10.38	5.83	5.43	4.76	4.63	4.03	2.74	10.37	98
			6.51	8.51	5.12	4.82	4.25	4.13	3.60	2.47		90
			5.34	7.34	4.65	4.33	3.84	3.74	3.28	2.28		84
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-
		50	8.38	10.38	5.51	5.16	4.49	4.36	3.79	2.55	9.93	93
			6.51	8.51	4.95	4.65	4.08	3.97	3.46	2.36		85
			5.34	7.34	4.50	4.25	3.75	3.65	3.18	2.18		80
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-
3#	SSE	100	8.38	10.38	5.80	5.39	4.72	4.60	4.00	2.72	10.37	98
			6.51	8.51	5.05	4.76	4.17	4.07	3.55	2.42		90
			5.34	7.34	4.55	4.27	3.76	3.67	3.21	2.21		84
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-
		50	8.38	10.38	5.50	5.15	4.49	4.35	3.78	2.54	9.93	93
			6.51	8.51	4.91	4.60	4.04	3.93	3.42	2.33		85
			5.34	7.34	4.44	4.17	3.68	3.58	3.12	2.14		80
			-4.29	-2.29	-	-	-	-	-	-		-

表 2.5-17 (2/3) 近岸工程位置附近海域 SSE 向浪时各测点处波浪要素

计算点	方向	波浪重现期(年)	计算水位(m)	计算点水深(m)	$H_{1/100}$ (m)	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\bar{H}$ (m)	$\bar{T}$ (s)	L(m)
4#	SSE	100	8.38	13.38	4.03	3.74	3.19	3.09	2.61	1.68	10.37	109
			6.51	11.51	3.47	3.22	2.75	2.66	2.25	1.45		102
			5.34	10.34	3.14	2.91	2.48	2.40	2.03	1.31		98
			-4.29	0.71	0.26	0.24	0.21	0.20	0.17	0.11		27
		50	8.38	13.38	3.79	3.52	3.00	2.90	2.45	1.57	9.93	103
			6.51	11.51	3.28	3.05	2.60	2.51	2.12	1.36		97
			5.34	10.34	2.96	2.76	2.35	2.27	1.92	1.23		93
			-4.29	0.71	0.26	0.24	0.21	0.20	0.17	0.11		26
5#	SSE	100	8.38	13.38	4.72	4.40	3.78	3.65	3.10	2.01	10.37	109
			6.51	11.51	4.08	3.82	3.28	3.17	2.69	1.74		102
			5.34	10.34	3.68	3.44	2.95	2.85	2.42	1.57		98
			-4.29	0.71	0.33	0.30	0.26	0.26	0.22	0.15		27
		50	8.38	13.38	4.43	4.14	3.55	3.42	2.90	1.87	9.93	103
			6.51	11.51	3.87	3.63	3.11	3.00	2.54	1.64		97
			5.34	10.34	3.52	3.28	2.82	2.71	2.30	1.49		93
			-4.29	0.71	0.33	0.30	0.26	0.26	0.22	0.15		26
6#	SSE	100	8.38	13.38	6.19	5.78	4.99	4.88	4.17	2.77	10.37	109
			6.51	11.51	5.71	5.32	4.63	4.48	3.88	2.60		102
			5.34	10.34	5.35	5.01	4.37	4.22	3.67	2.46		98
			-4.29	0.71	0.43	0.41	0.36	0.35	0.31	0.21		27
		50	8.38	13.38	5.80	5.40	4.68	4.55	3.88	2.56	9.93	103
			6.51	11.51	5.37	5.01	4.34	4.23	3.63	2.41		97
			5.34	10.34	5.07	4.74	4.12	4.00	3.45	2.30		93
			-4.29	0.71	0.43	0.41	0.36	0.35	0.31	0.21		26

表 2.5-17 (3/3) 近岸工程位置附近海域 SSE 向浪时各测点处波浪要素

计算点	方向	波浪 重现期 (年)	计算水位 (m)	计算点 水深(m)	$H_{1/100}$ (m)	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\bar{H}$ (m)	$\bar{T}$ (s)	L (m)
7#	SSE	100	8.38	18.38	5.08	4.71	4.02	3.88	3.28	2.10	10.37	123
			6.51	16.51	4.64	4.31	3.68	3.55	3.00	1.92		118
			5.34	15.34	4.34	4.04	3.44	3.33	2.81	1.80		115
			-4.29	5.71	1.83	1.70	1.46	1.41	1.19	0.77		75
		50	8.38	18.38	4.77	4.41	3.75	3.63	3.06	1.96	9.93	117
			6.51	16.51	4.37	4.05	3.45	3.33	2.81	1.80		112
			5.34	15.34	4.10	3.80	3.24	3.13	2.64	1.69		109
			-4.29	5.71	1.75	1.62	1.38	1.34	1.13	0.73		72
8#	SSE	100	8.38	18.38	5.23	4.86	4.14	4.00	3.38	2.17	10.37	123
			6.51	16.51	4.79	4.43	3.78	3.66	3.09	1.99		118
			5.34	15.34	4.47	4.16	3.55	3.43	2.90	1.86		115
			-4.29	5.71	1.70	1.59	1.36	1.31	1.11	0.71		75
		50	8.38	18.38	4.90	4.54	3.87	3.73	3.15	2.02	9.93	117
			6.51	16.51	4.50	4.17	3.55	3.43	2.90	1.86		112
			5.34	15.34	4.21	3.91	3.33	3.22	2.72	1.74		109
			-4.29	5.71	1.66	1.54	1.31	1.27	1.07	0.69		72
9#	SSE	100	8.38	18.38	5.49	5.11	4.35	4.21	3.56	2.29	10.37	123
			6.51	16.51	5.02	4.67	3.98	3.85	3.26	2.10		118
			5.34	15.34	4.71	4.38	3.74	3.62	3.06	1.97		115
			-4.29	5.71	1.66	1.54	1.31	1.27	1.07	0.69		75
		50	8.38	18.38	5.12	4.76	4.05	3.92	3.31	2.12	9.93	117
			6.51	16.51	4.72	4.38	3.73	3.61	3.05	1.96		112
			5.34	15.34	4.45	4.12	3.51	3.40	2.87	1.85		109
			-4.29	5.71	1.57	1.47	1.25	1.21	1.02	0.65		72

表 2.5-18 福清核电站近岸四个工程点附近台风浪波要素

计算点	方向	计算水位(m)	计算点水深(m)	$H_{1/100}$ (m)	$H_{1\%}$ (m)	$H_{4\%}$ (m)	$H_{5\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	$\bar{H}$ (m)	$\bar{T}$ (s)	L(m)
A	S	8.38	12.38	6.07	5.67	4.92	4.78	4.12	2.75	8.52	83
	SSE	8.38	12.38	6.14	5.71	4.97	4.82	4.17	2.79	10.87	111
	SE	8.38	12.38	6.37	5.94	5.18	5.00	4.35	2.92	10.37	106
B	S	8.38	9.38	5.32	4.98	4.37	4.26	3.70	2.51	8.52	75
	SSE	8.38	9.38	5.74	5.43	4.79	4.66	4.06	2.78	10.87	99
	SE	8.38	9.38	5.51	5.20	4.56	4.44	3.87	2.63	10.37	94
D	S	8.38	17.28	6.53	6.06	5.24	5.08	4.31	2.81	8.52	93
	SSE	8.38	17.28	5.56	5.18	4.43	4.28	3.62	2.34	10.87	128
	SE	8.38	17.28	5.14	4.76	4.06	3.93	3.32	2.14	10.37	120
E	S	8.38	9.88	3.88	3.61	3.13	3.04	2.58	1.68	8.52	76
	SSE	8.38	9.88	2.08	1.94	1.64	1.58	1.33	0.84	10.87	101
	SE	8.38	9.88	-	-	-	-	-	-	10.37	96

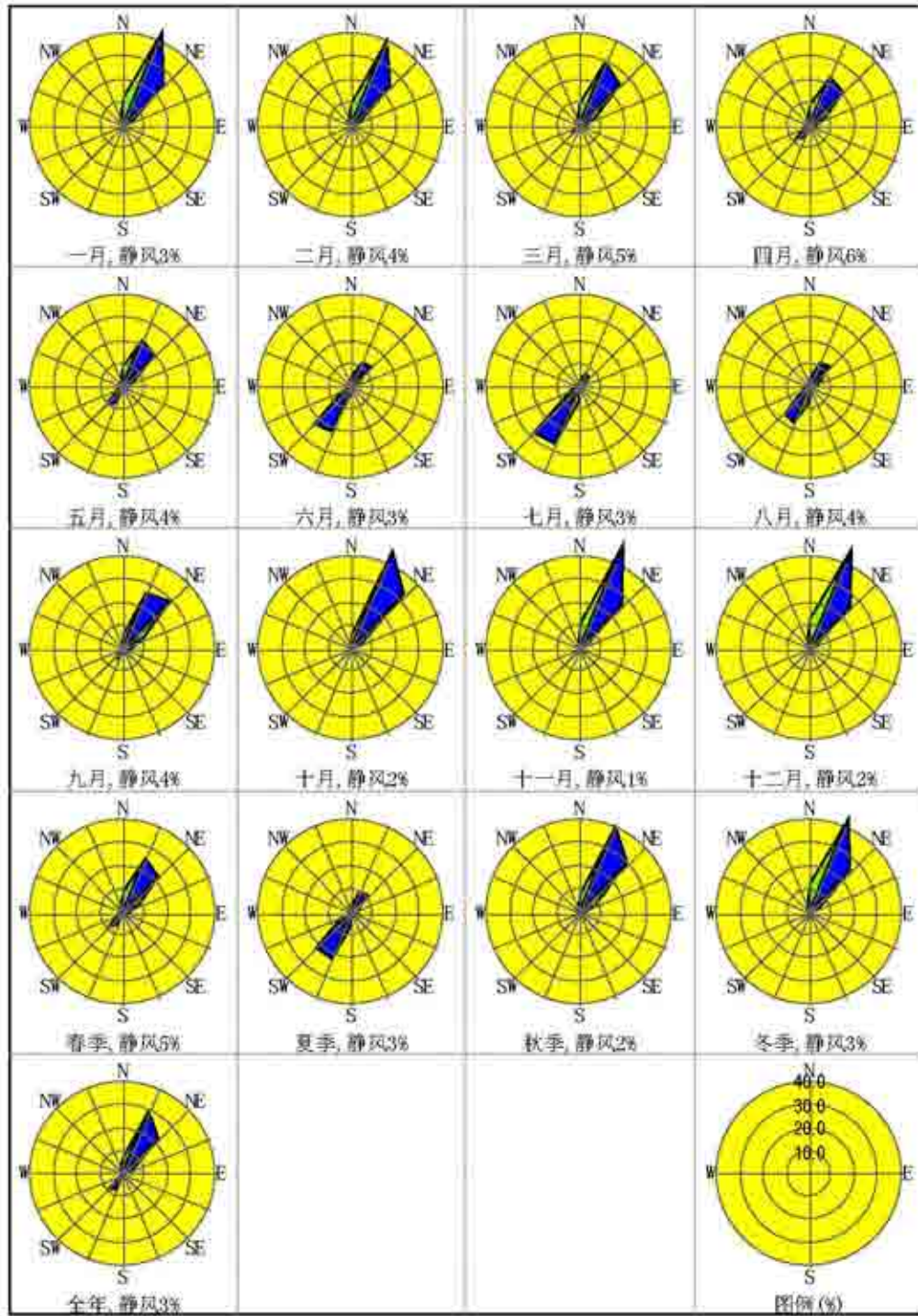


图 2.4-1 平潭气象站各月、季及全年风玫瑰图

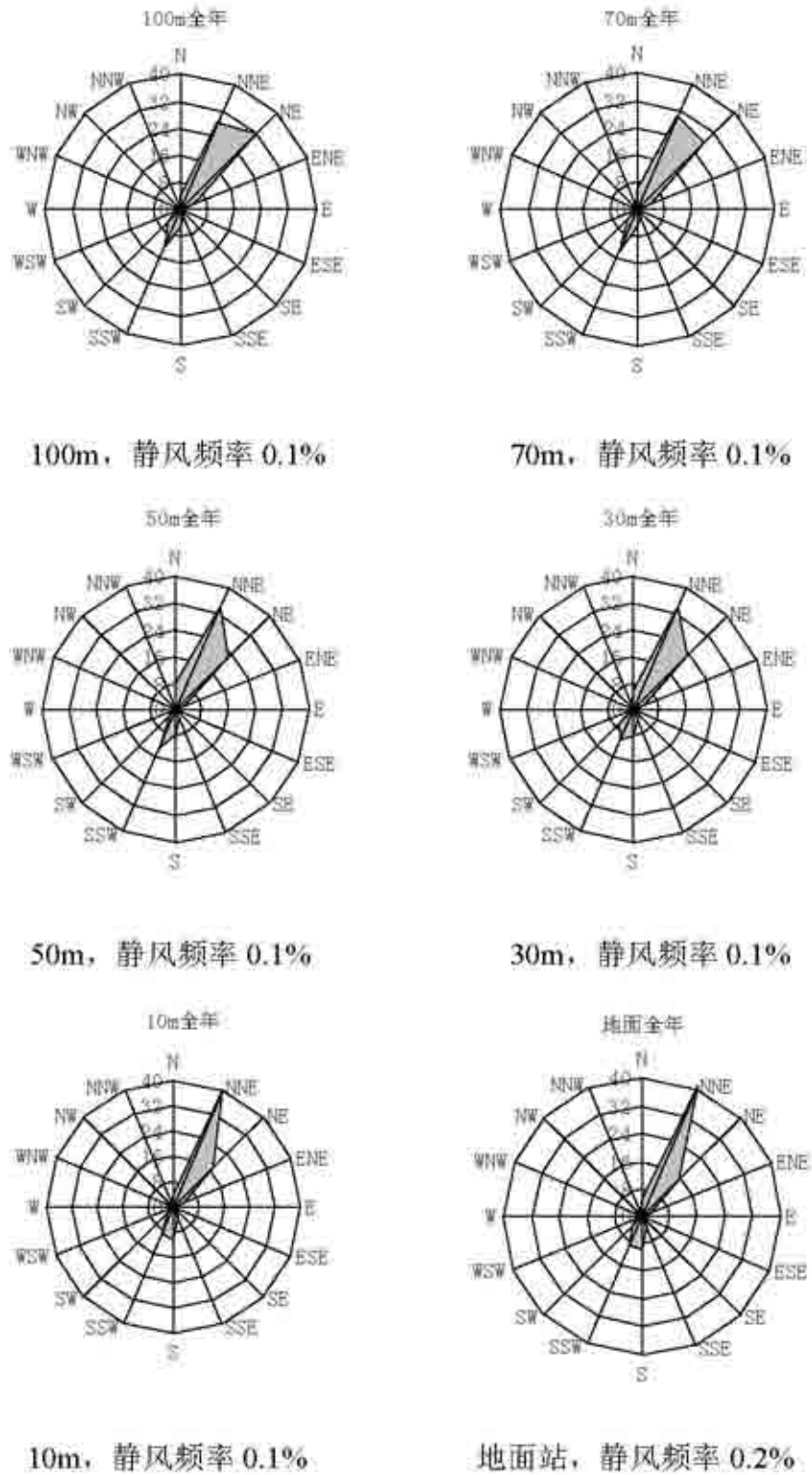


图 2.4-2 2017.5~2019.4 观测期间地面站及铁塔不同高度风玫瑰图

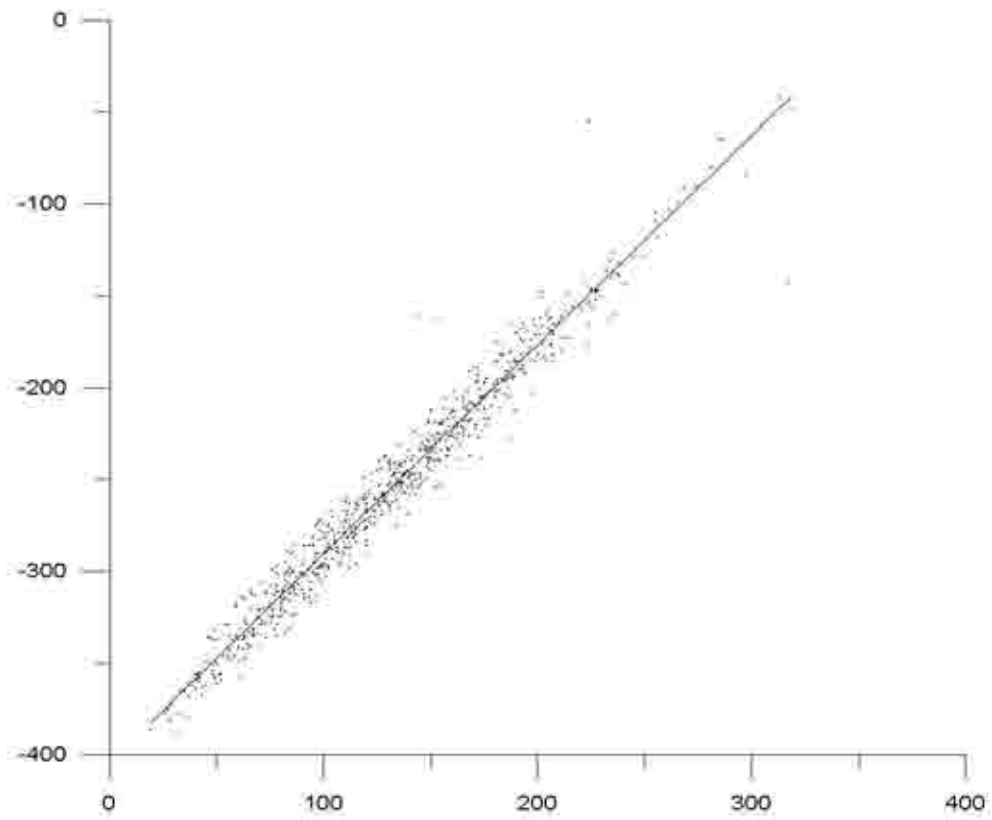


图 2.5-1 厂址海洋站—平潭站高潮位相关曲线

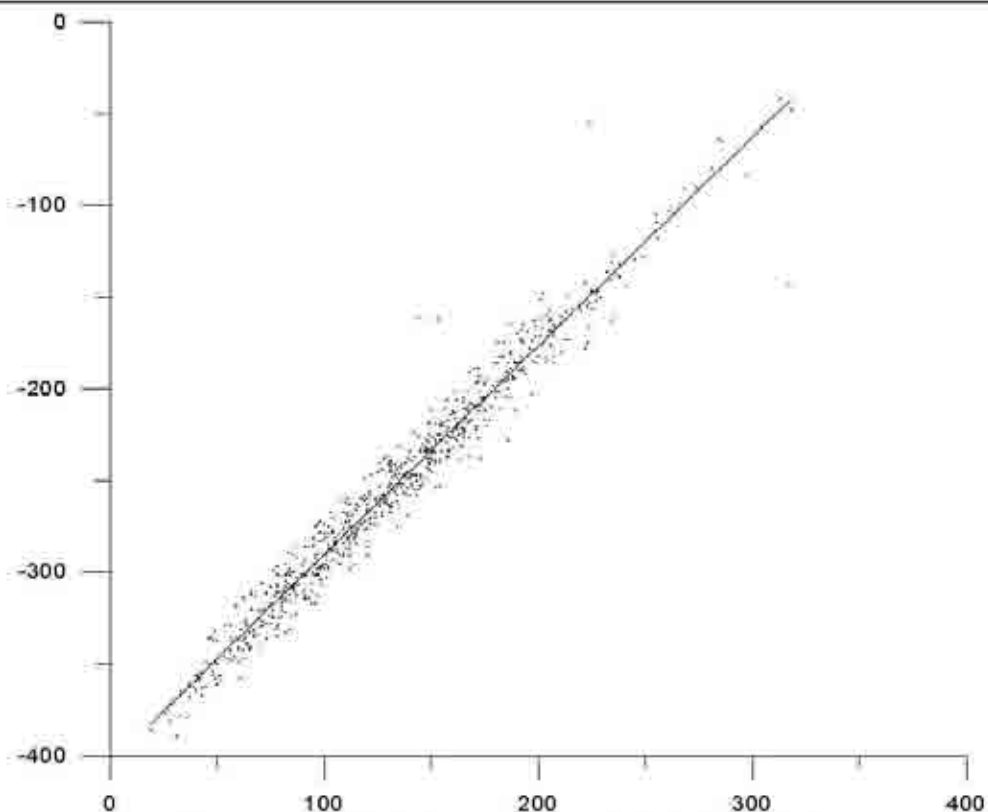


图 2.5-2 厂址海洋站—平潭站低潮位相关曲线

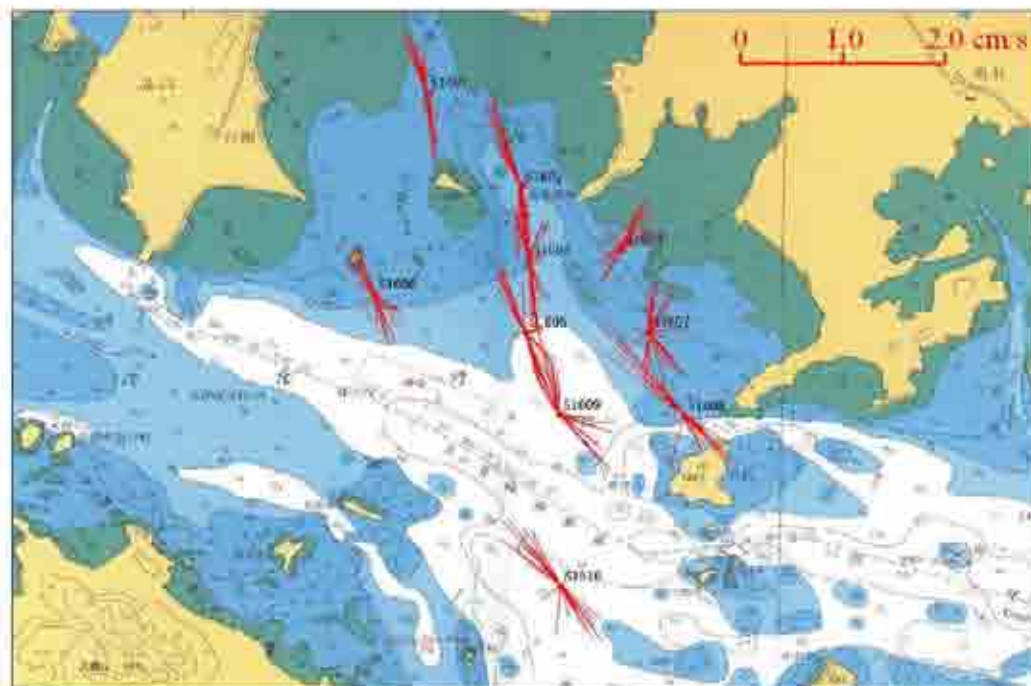


图 2.5-3 冬季大潮垂线平均潮流矢量图



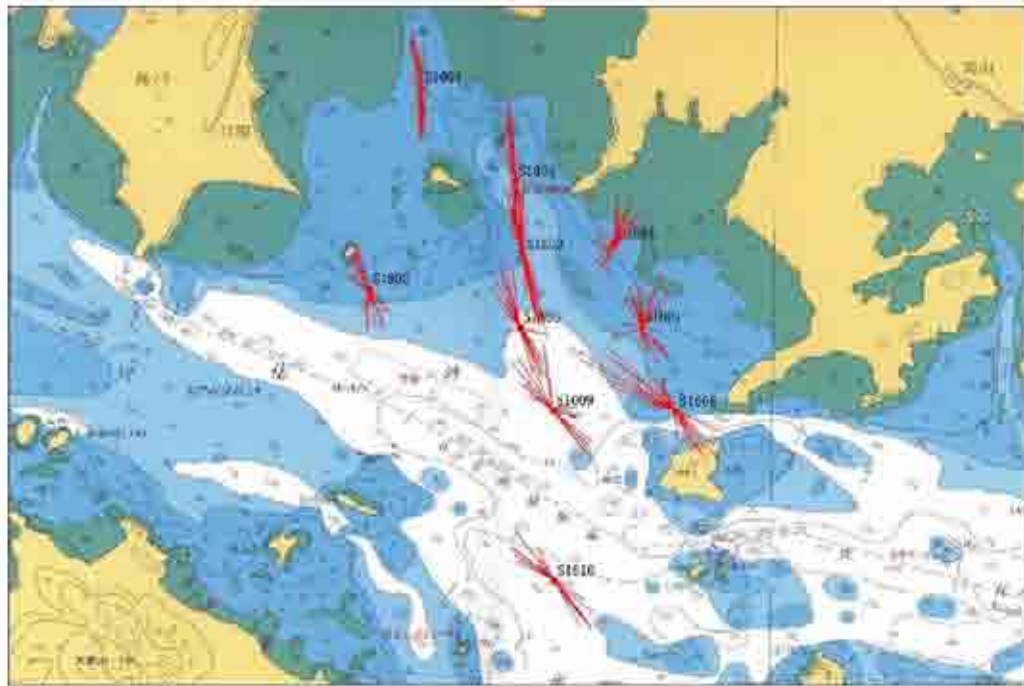


图 2.5-4 冬季中潮垂线平均潮流矢量图

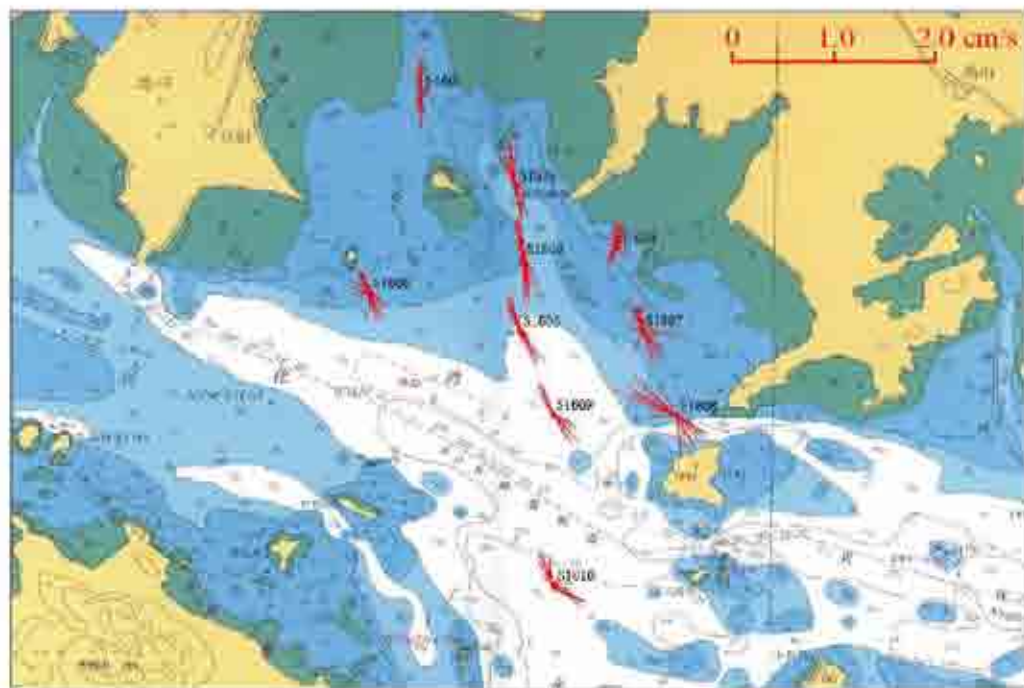


图 2.5-5 冬季小潮垂线平均潮流矢量图

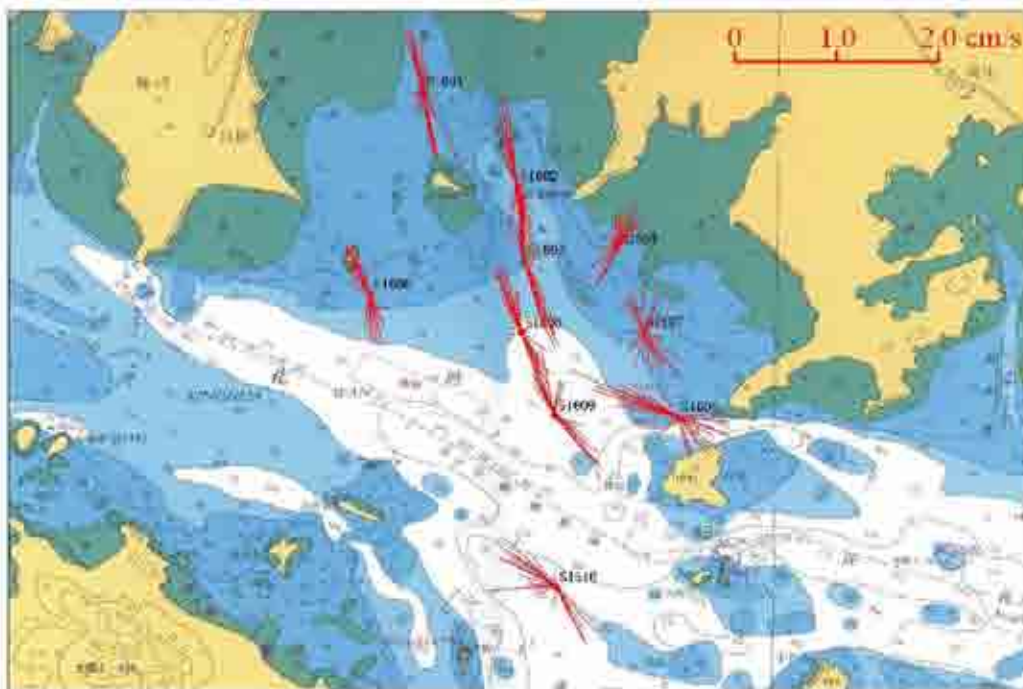


图 2.5-6 夏季大潮垂线平均潮流矢量图

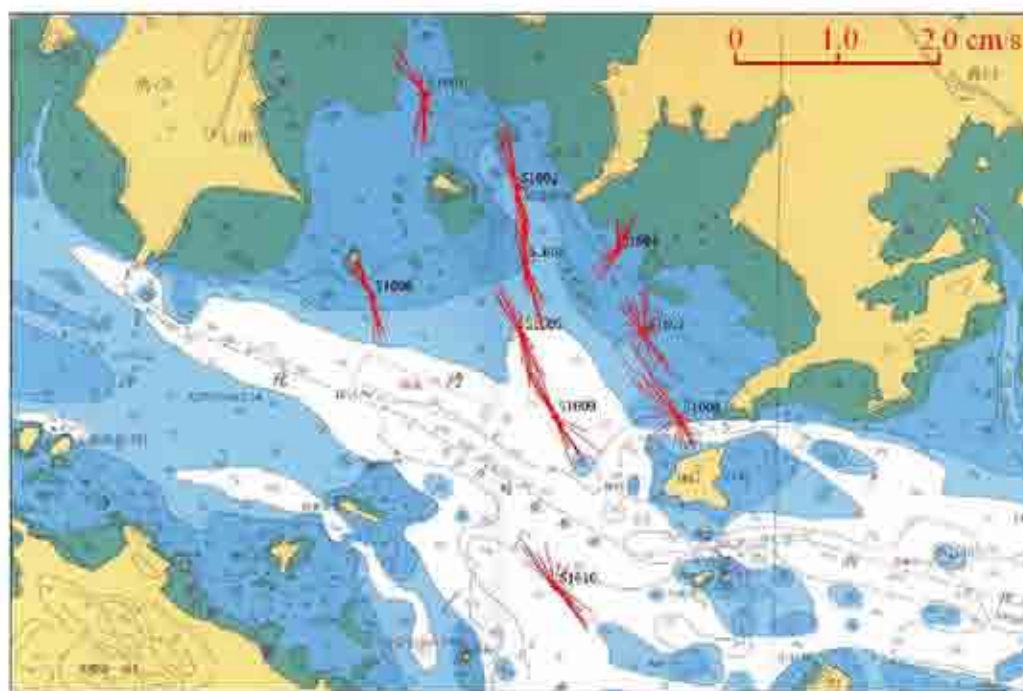


图 2.5-7 夏季中潮垂线平均潮流矢量图

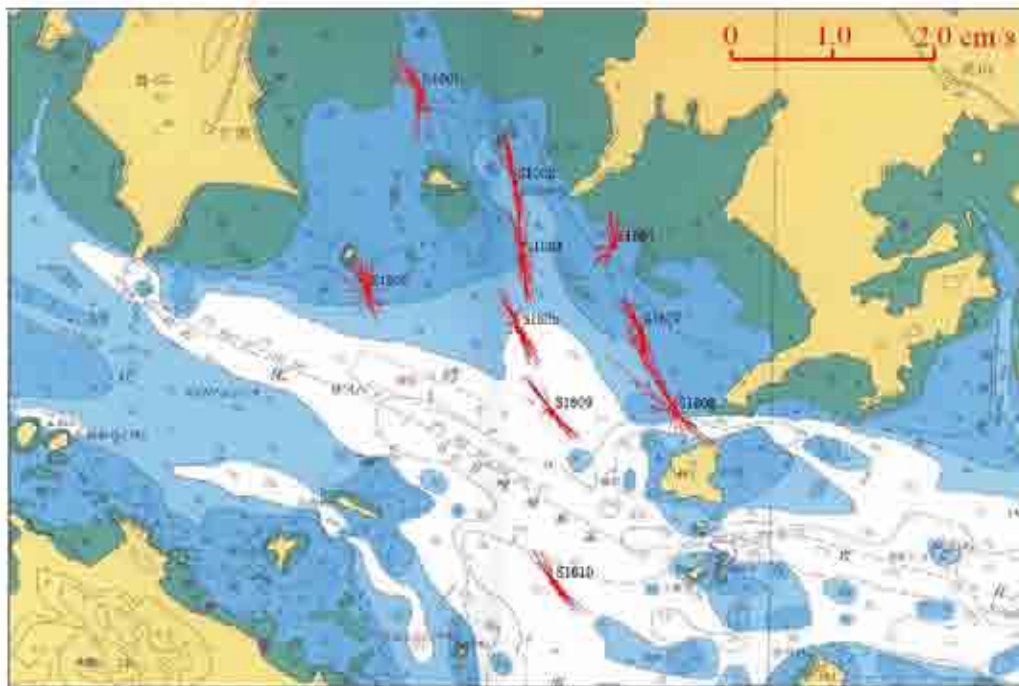
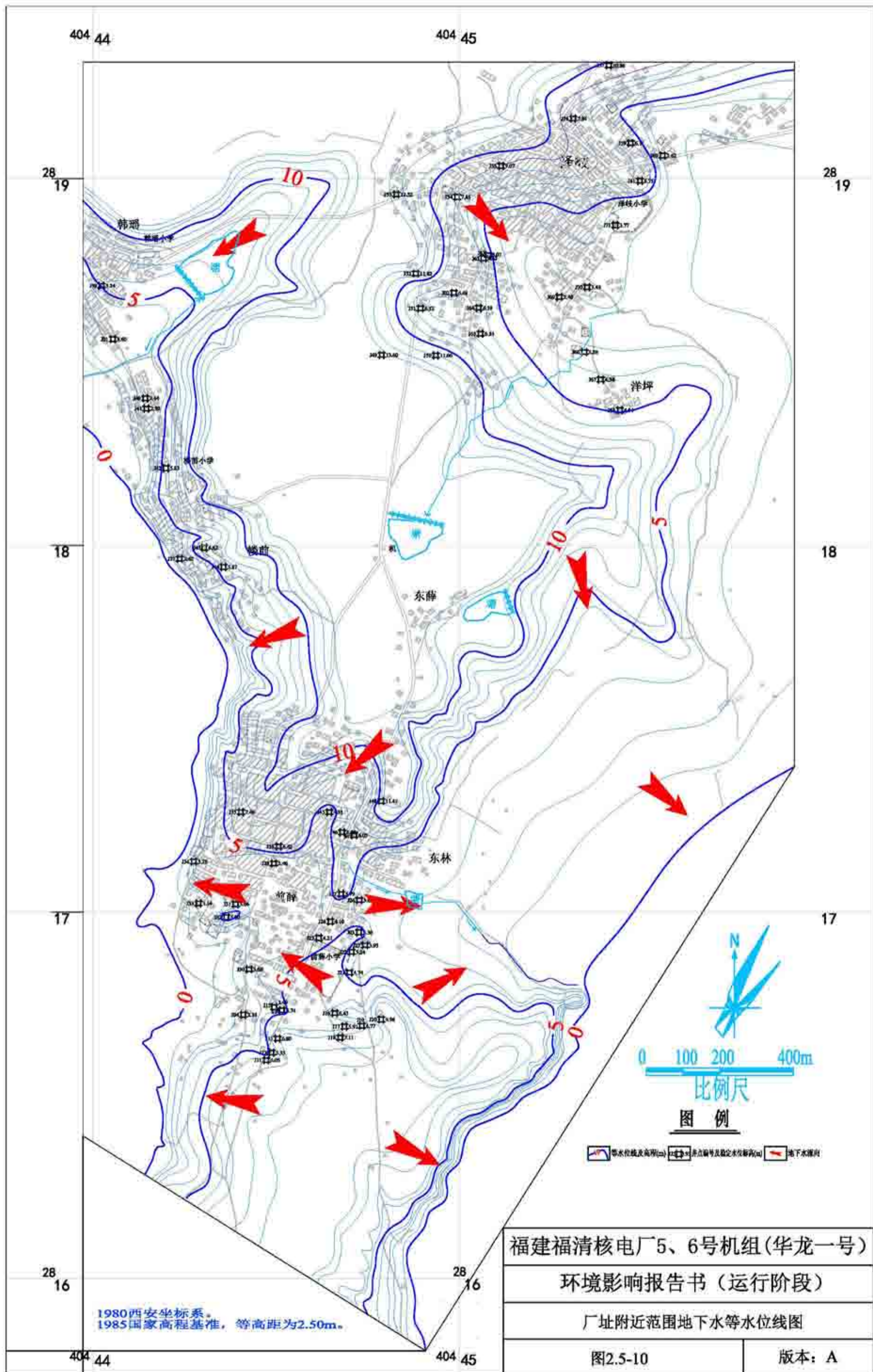
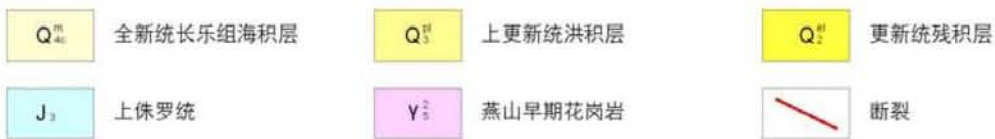
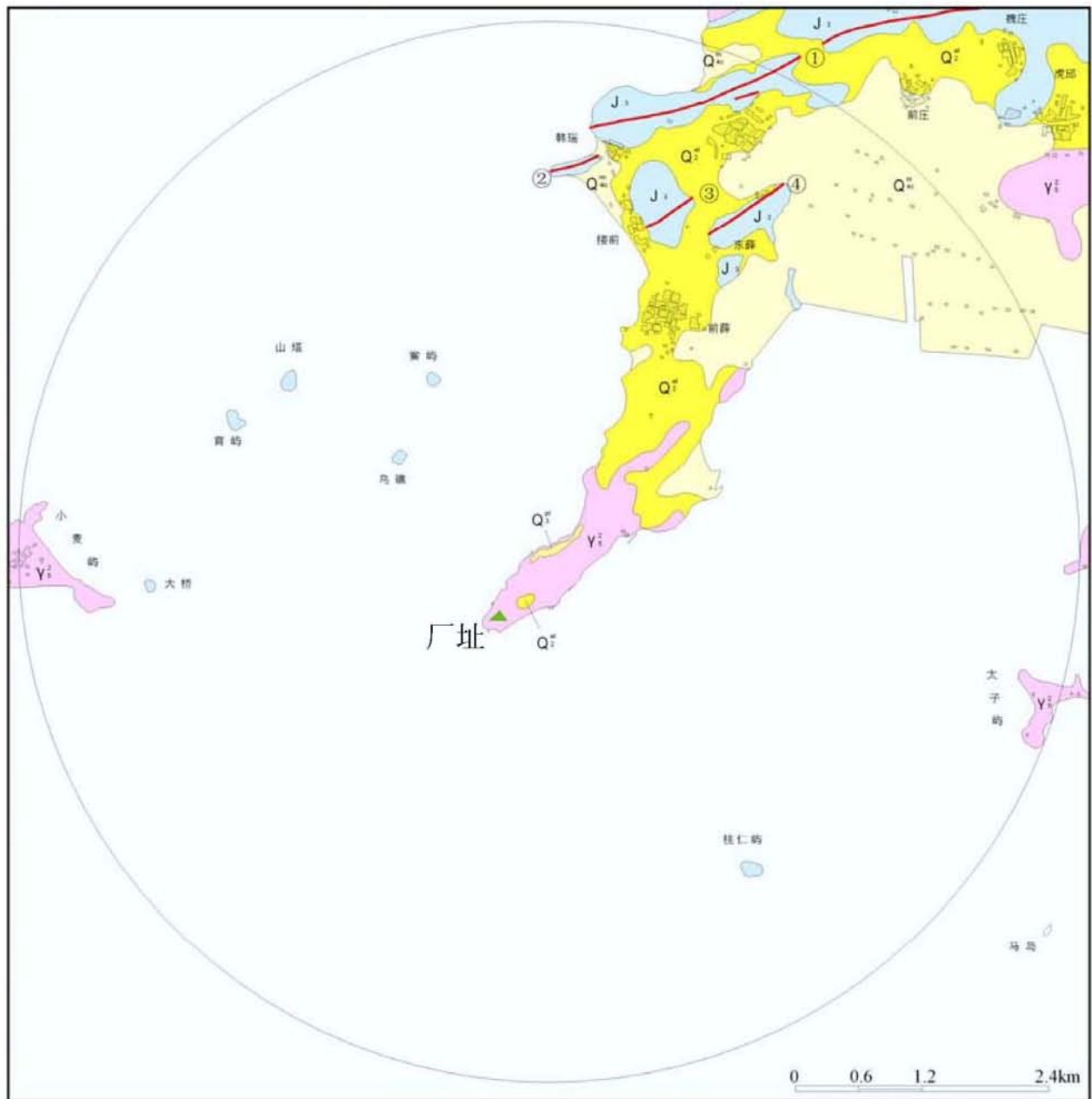


图 2.5-8 夏季小潮垂线平均潮流矢量图







①韩瑶山断裂；②26.6高地断裂；③楼前山南断裂；④东薛山断裂

## 福建福清核电厂 5、6 号机组（华龙一号）

环境影响报告书（运行阶段）

厂址附近范围地质构造图

图 2.5-11

版本：A

404 43

404 44

404 45

水文地质说明表

水文地质单元	含水层	含水层岩性	水文地质特征
第四系松散层孔隙水	第四系松散层	第四系松散层	该层主要分布在厂区东部，岩性为第四系松散层，厚度约10~20m，孔隙率约20%~30%，渗透系数约0.1~0.5m/d，属潜水，受大气降水补给，水量丰富，是厂区主要供水层。
基岩裂隙水	基岩裂隙	基岩裂隙	该层主要分布在厂区西部，岩性为基岩，厚度约10~20m，裂隙发育，渗透系数约0.1~0.5m/d，属潜水，受大气降水补给，水量丰富，是厂区主要供水层。
基岩裂隙水	基岩裂隙	基岩裂隙	该层主要分布在厂区西部，岩性为基岩，厚度约10~20m，裂隙发育，渗透系数约0.1~0.5m/d，属潜水，受大气降水补给，水量丰富，是厂区主要供水层。

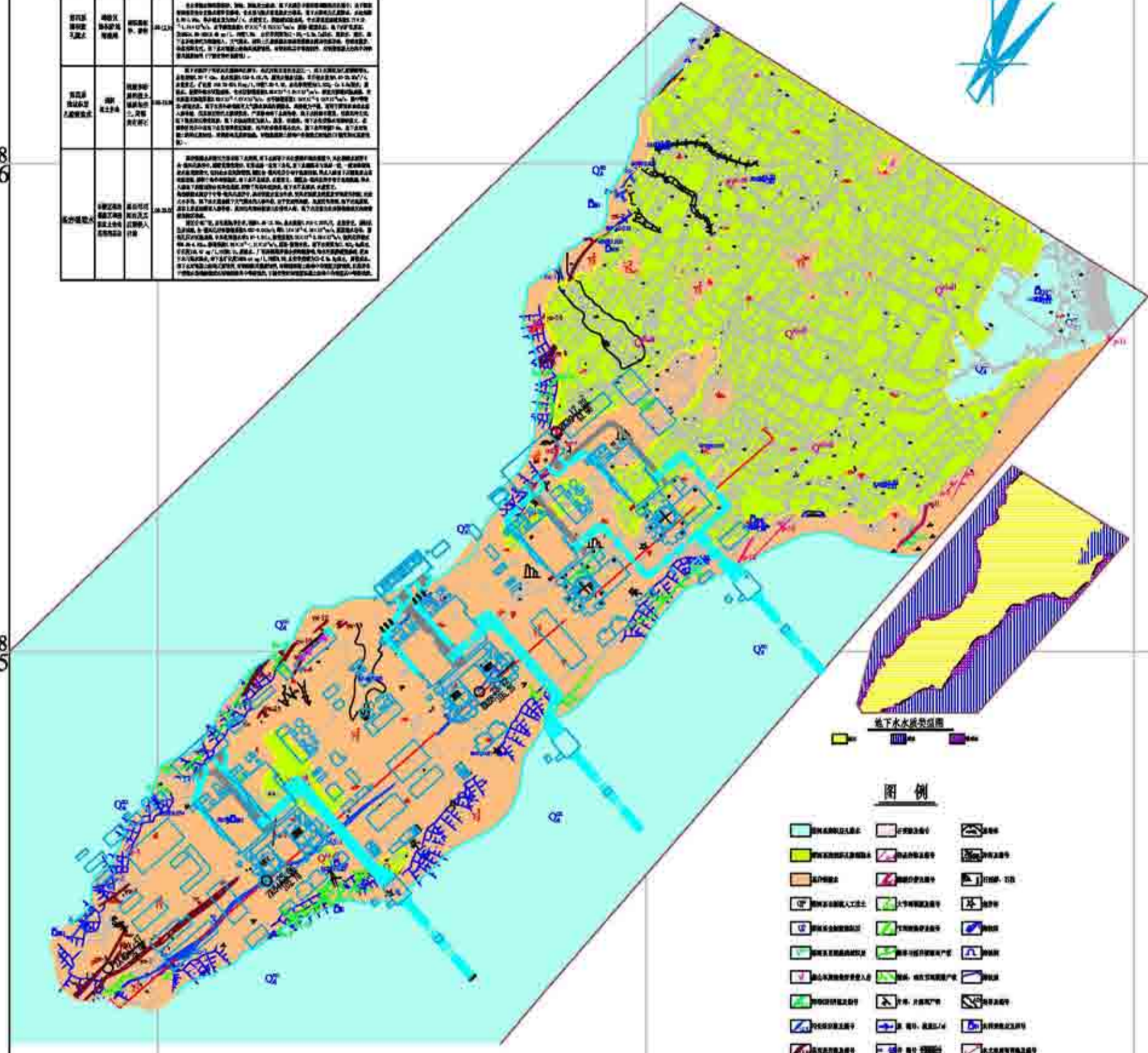


28 16

28 16

28 15

28 15



地下水水质类值图



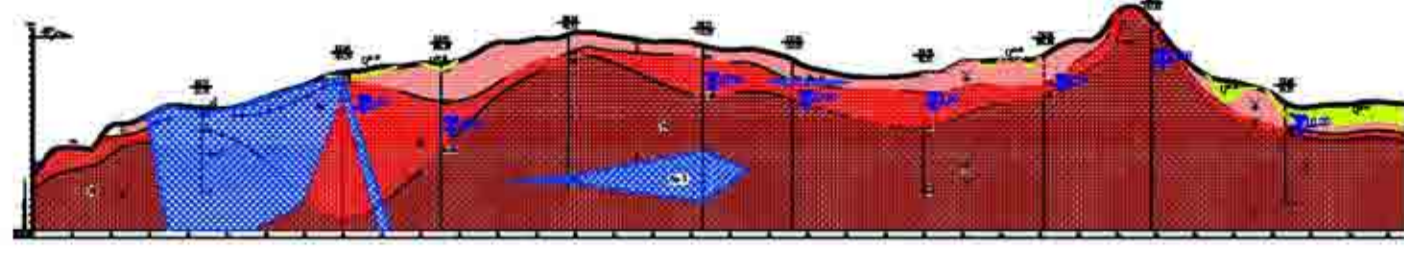
1980西安坐标系，1985国家高程基准，等高距为1.0m。

404 43

404 44

404 45

I-I'水文地质剖面图

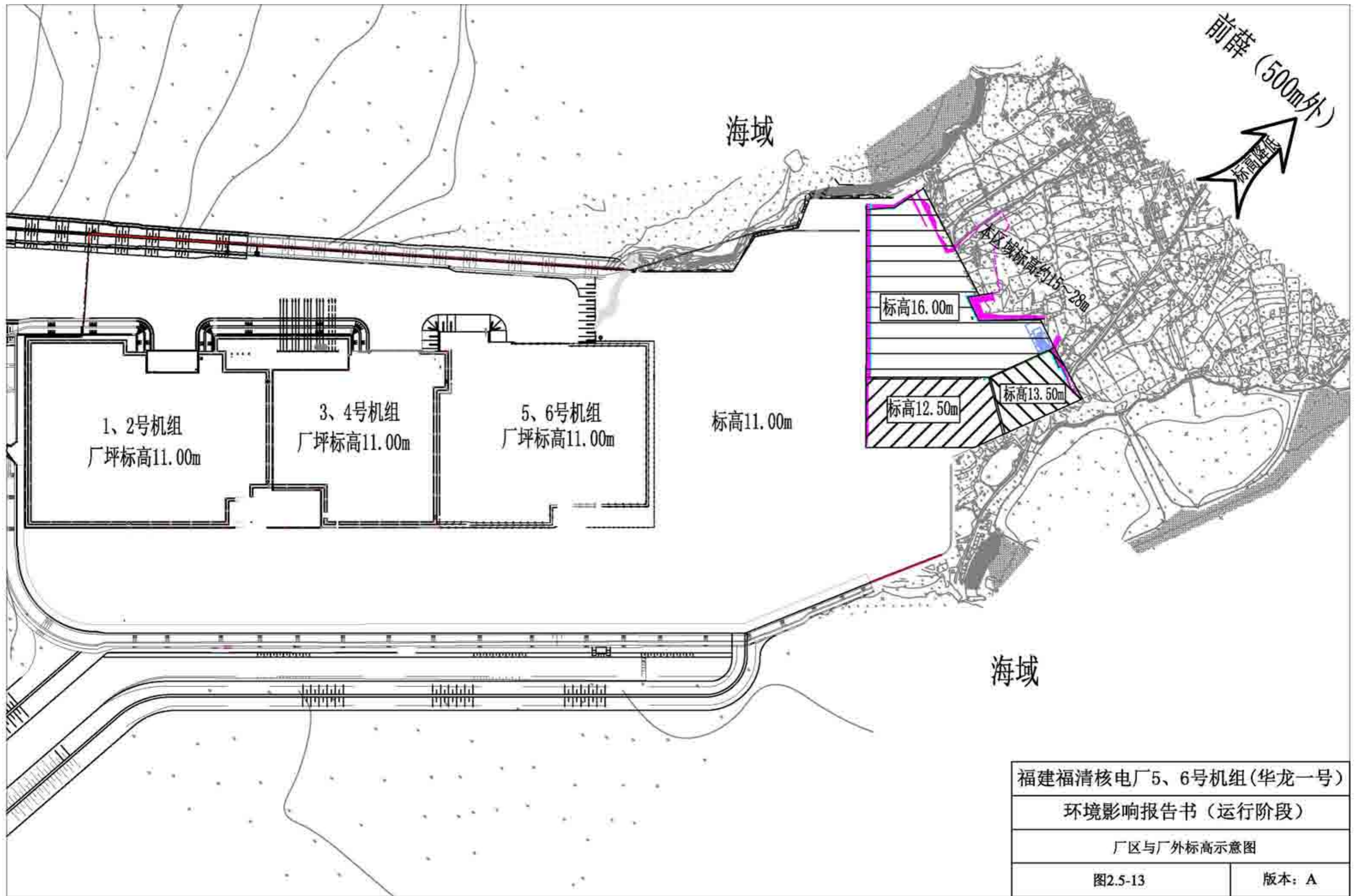


图例



福建福清核电站5、6号机组(华龙一号)  
 环境影响报告书(运行阶段)  
 厂区水文地质图(未开挖回填前)

图2.5-12 版本: A





# 厂坪标高+11.0m工程地质切面图



建(构)筑物名称一览表

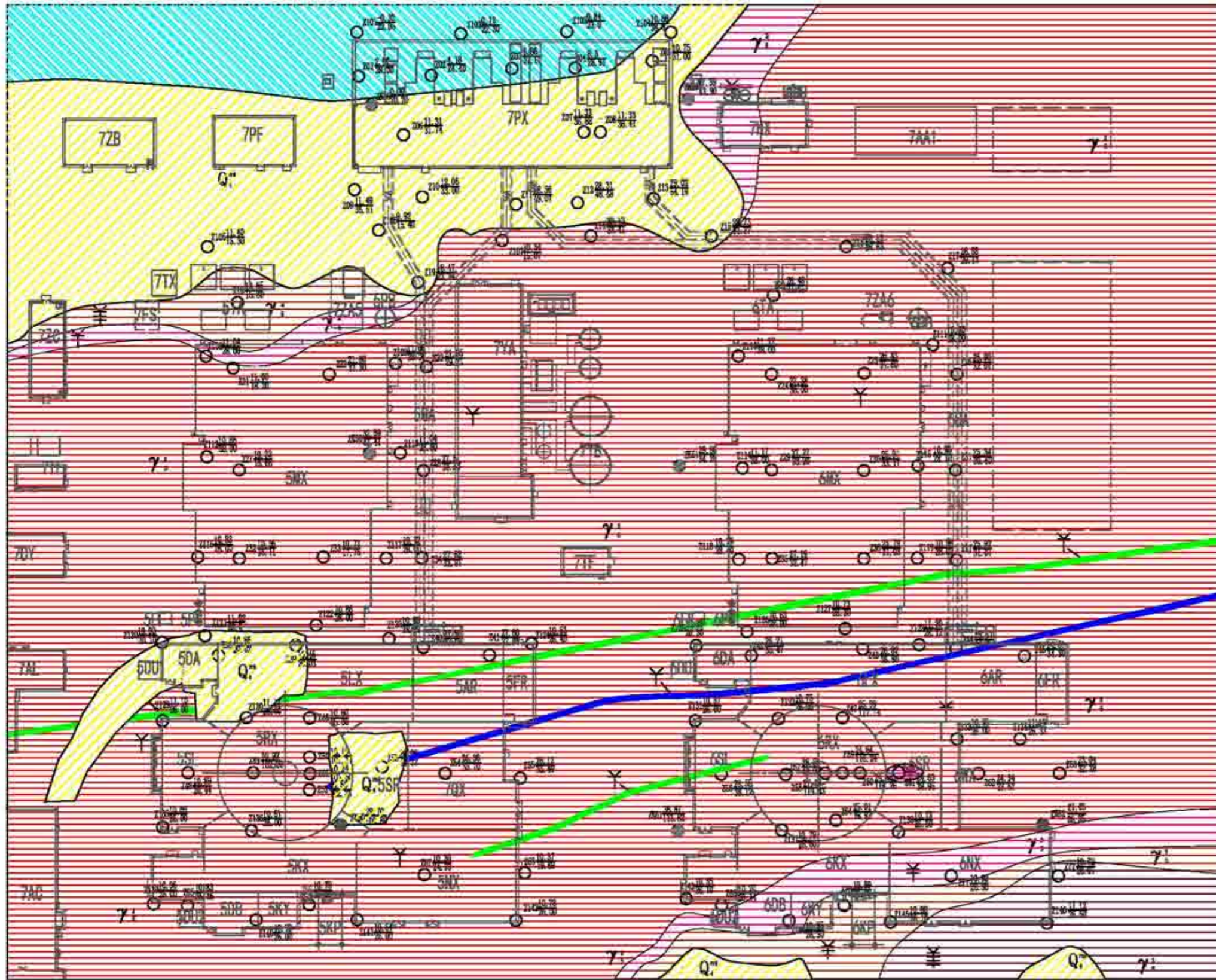
子项号	建(构)筑物名称	基础埋深 (m)
RX	反应堆厂房	11.7(廊道18.25)
NX	核辅助厂房	14.4
QX	废物厂房	10.7
AR	人员通行厂房	10.5
LX(LL)	电器厂房(I区)	14.4
LX(LR)	电器厂房(II区)	14.4
SR	安全厂房2	14.4
SL	安全厂房1	14.4
DX	应急柴油发电机厂房(DA/DB)	11.7
KX	燃料厂房	14.4
KY	应急空压机厂房	11.7
PR	核岛消防泵房	10.5
XP	龙门架	9.7
WX	连接厂房	9.7
GA	重要厂用水进水廊道	9.3
PX	联合泵房	26.2

10 0 10 20 40(m)

图例

- 低于标高+11.0m区
- 闪长岩岩基
- Q<sup>4</sup> 块石素填土
- 风化界线
- 全风化层云母花岗岩
- 地质界线
- 微风化层云母花岗岩
- 钻孔编号 孔口标高(m) 孔底标高(m)
- 中等风化层云母花岗岩
- 可研勘察钻孔 孔口标高(m) 孔底标高(m)
- 微风化层云母花岗岩
- 深藏建筑物
- 辉绿岩岩基

说明:  
1. 图中坐标采用国家坐标系, 高程系统为1985国家高程基准。  
2. Z1-Z72为第一次详勘钻孔, Z101-Z146为第二次详勘钻孔。



福建福清核电厂5、6号机组(华龙一号)  
环境影响报告书(运行阶段)  
厂坪标高+11.0m工程地质切面图  
图2.5-14      版本: A

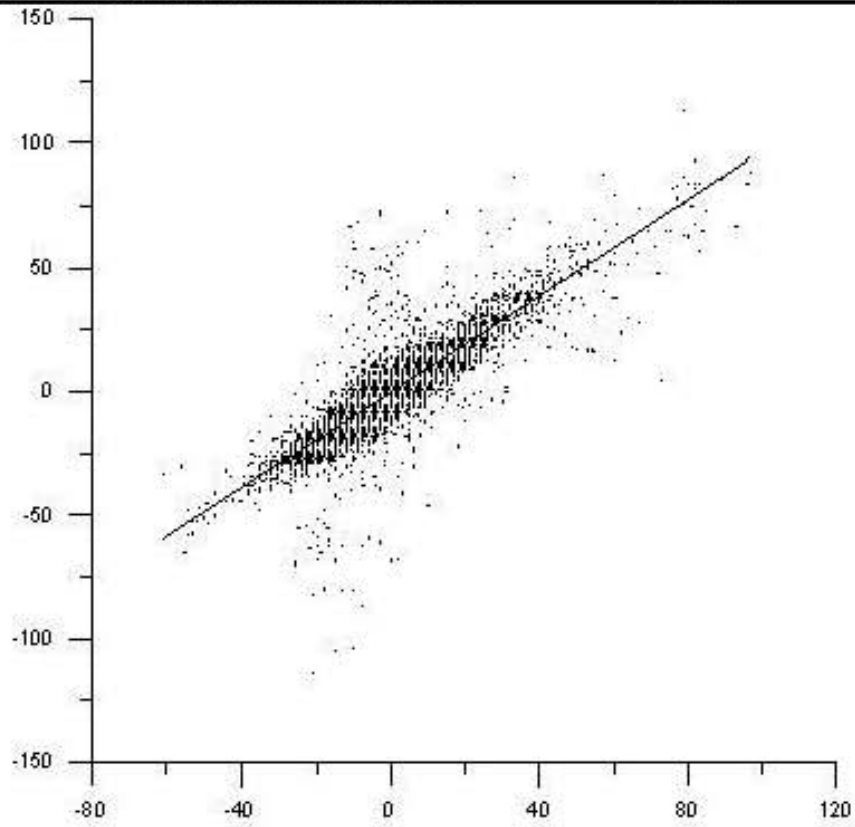


图 2.5-15 厂址海洋站-平潭站增减水相关曲线

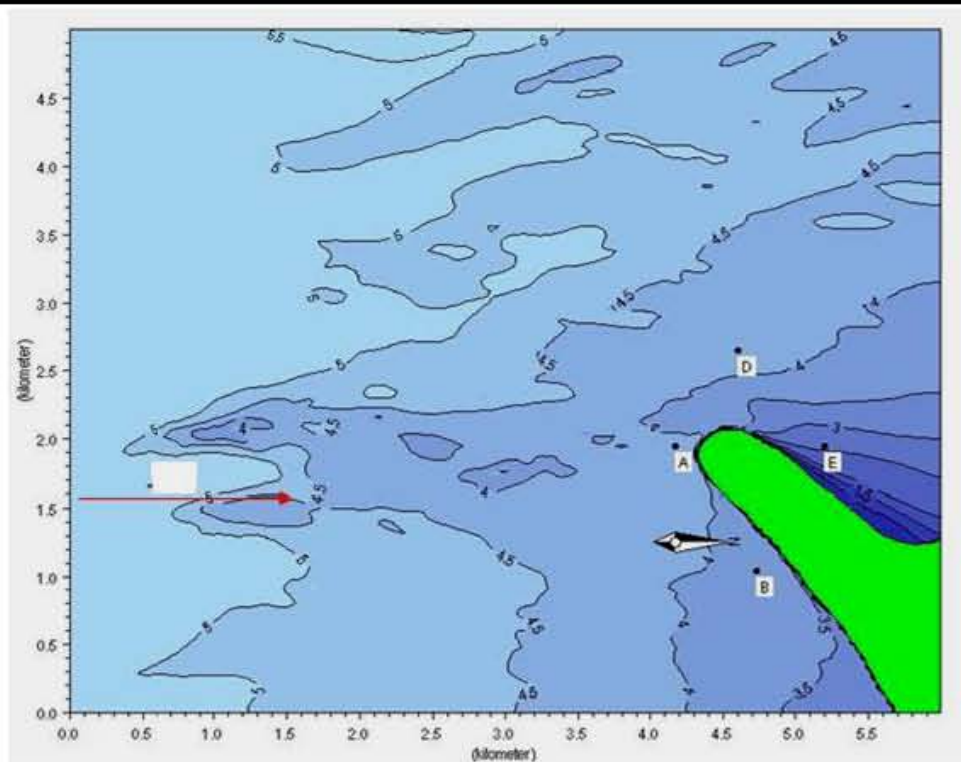


图 2.5-16 四个工程点平面布置图

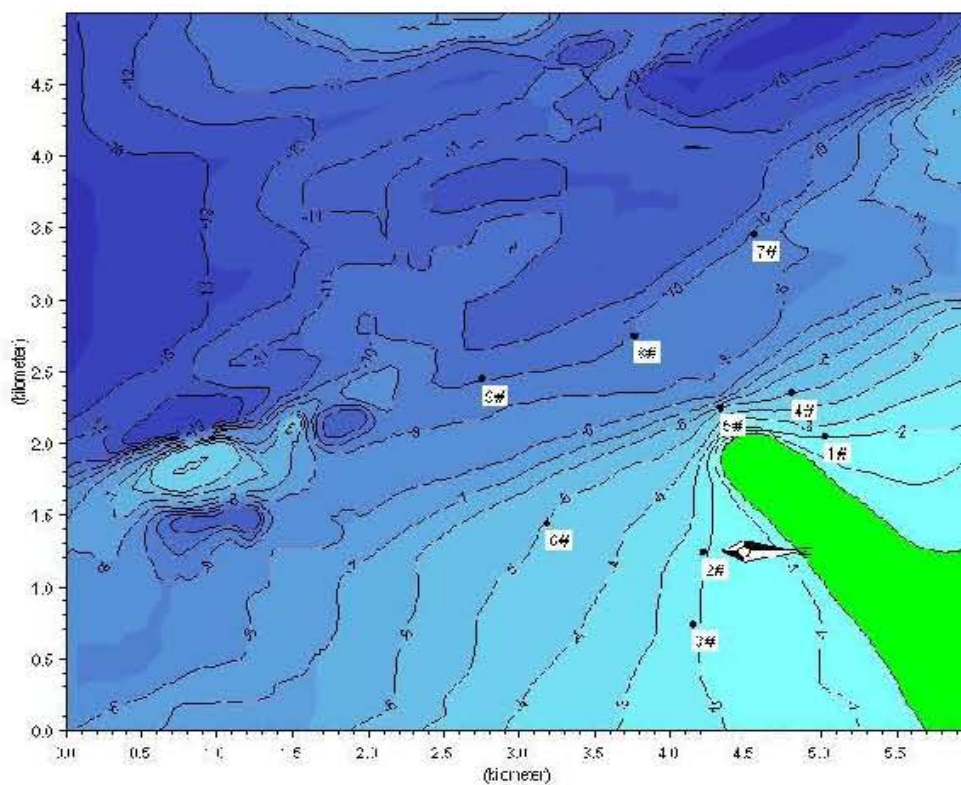


图 2.5-17 近岸波浪计算点位置图

## 第三章 环境质量现状

### 3.1 辐射环境质量现状

#### 3.1.1 辐射环境质量现状调查

#### 3.1.2 辐射环境质量评价

### 3.2 非辐射环境质量现状

#### 3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

#### 3.2.2 声环境质量现状调查与评价

#### 3.2.3 受纳水体环境质量现状调查与评价

#### 3.2.4 电磁环境现状调查与评价

## 表

表 3.1-1 福建福清核电厂 5、6 号机组运行前辐射环境现状调查方案

表 3.1-2 采用的仪器及测量方法依据

表 3.1-3 各样品测量方法的探测下限

表 3.1-4 调查采用的主要仪器和设备检定情况表

表 3.1-5 调查中使用的放射性标准物质

表 3.1-6 掺标样品的分析结果（一）

表 3.1-7 掺标样品的分析结果（二）

表 3.1-8 掺标样品的分析结果（三）

表 3.1-9 平行样品测量结果统计

表 3.2-1 厂区内电磁辐射监测点设置情况

表 3.2-2 福建福清核电厂开关站监测点设置

表 3.2-3 福建福清核电厂主变压器监测点编号一览表

表 3.2-4 福建福清核电厂外监测点设置情况

表 3.2-5 监测仪器一览表

表 3.2-6 居民区环境辐射电平水平标注

表 3.2-7 福建福清核电厂厂区工频电场/工频磁场强度现状监测结果

表 3.2-8 福建福清核电厂厂区射频综合场强现状监测结果

表 3.2-9 福建福清核电厂厂区内开关站工频电场/工频磁场强度现状监测结果

表 3.2-10 福建福清核电厂厂区内开关站射频综合场强现状监测结果

- 表 3.2-11 福建福清核电厂主变压器工频电场/工频磁场强度现状监测结果
- 表 3.2-12 福建福清核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度现状监测结果
- 表 3.2-13 福建福清核电厂厂区外环境敏感区工频电场/工频磁场强度现状监测结果
- 表 3.2-14 福建福清核电厂厂区外环境敏感区射频综合场强现状监测结果
- 表 3.2-15 厂区内监测值统计情况
- 表 3.2-16 输电线路监测值统计情况
- 表 3.2-17 厂区外环境敏感区监测值统计情况

## 图

- 图 3.1-1 调查单位质量控制组织机构图
- 图 3.1-2 Gc3519  $\gamma$  谱仪本底质控图
- 图 3.1-3 Gc3519  $\gamma$  谱仪峰位质控图
- 图 3.1-4 Gc3519  $\gamma$  谱仪效率质控图
- 图 3.1-5 LB770 (6199)  $\alpha/\beta$  测量仪  $\alpha$  本底质控图
- 图 3.1-6 LB770 (6199)  $\alpha/\beta$  测量仪  $\beta$  本底质控图
- 图 3.1-7 LB770 (6199)  $\alpha/\beta$  测量仪效率质控图
- 图 3.1-8 7200-08  $\alpha$  谱仪本底质控图
- 图 3.1-9 7200-08  $\alpha$  谱仪峰位质控图
- 图 3.1-10 7200-08  $\alpha$  谱仪效率质控图
- 图 3.1-11 液闪谱仪  $^3\text{H}$  本底质控图
- 图 3.1-12 液闪谱仪  $^3\text{H}$  效率质控图
- 图 3.1-13 液闪谱仪  $^{14}\text{C}$  本底质控图
- 图 3.1-14 液闪谱仪  $^{14}\text{C}$  效率质控图
- 图 3.2-1 厂区内电磁辐射监测点分布情况
- 图 3.2-2 福建福清核电厂开关站监测点设置
- 图 3.2-3 福建福清核电厂主变压器监测断面设置示意图
- 图 3.2-4 福建福清核电厂输电线路监测断面设置示意图
- 图 3.2-5 福建福清核电厂区外监测点设置情况示意图

### 3.1 辐射环境质量现状

#### 3.1.1 辐射环境质量现状调查

为编制本节内容，中国核电工程有限公司委托中国辐射防护研究院于 2017 年 5 月至 2018 年 5 月开展了为期 1 年的辐射环境现状调查，以了解福建福清核电站 1-4 号机组运行后的辐射环境变化情况，获得 5、6 号机组运行前环境中辐射水平和周围介质放射性现状水平，为评价 5、6 号机组在正常运行期间、事故及事故后对周围环境的影响提供基础数据，最终编制完成了《福建福清核电站 5、6 号机组运行前环境辐射现状调查报告、质量保证总结报告》，并通过了专家评审。本节主要采用上述报告中的调查结果，对福清核电站 5、6 号机组运行前的辐射环境现状进行描述。

##### 3.1.1.1 参考标准规范

HJ/T 61-2001	《辐射环境监测技术规范》
GB 12379-90	《环境核辐射监测规定》
GB 8999-88	《电离辐射监测质量保证一般规定》
GB 6249-2011	《核动力厂环境辐射防护规定》
GB/T 14583-93	《环境地表 $\gamma$ 辐射剂量率测定规范》
GB/T 10264-2014	《个人和环境监测用热释光剂量测量系统》
NB/T 20246-2013	《核电厂环境辐射监测规定》
NB/T 20139-2012	《核电厂环境放射性本底调查技术规范》
HJ 814-2016	《水和土壤样品中钷的放射化学分析方法》
HJ 815-2016	《水和生物样品灰中铯-90 的放射化学分析方法》
EJ/T 1035-2011	《土壤中铯-90 的分析方法》
EJ/T 1008-1996	《空气中 $^{14}\text{C}$ 的取样与测定方法》
GB 12375-90	《水中氚的分析方法》
GB/T 11713-2015	《高纯锗 $\gamma$ 能谱分析通用方法》
GB/T 11743-2013	《土壤中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》
GB/T 16145-1995	《生物样品中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》

##### 3.1.1.2 调查内容

辐射环境现状调查内容主要分为资料收集和现场调查两部分：

(1) 相关数据和资料收集

- 核电厂半径 80km 范围内核设施概况；

- 核电厂半径 30km 范围内铀、钍矿设施概况；
- 核电厂半径 15km 范围内与“人为活动引起天然辐射照射增加”有关设施概况；
- 核电厂半径 15km 范围内同位素生产以及非密封放射性同位素的应用概况；
- 核电厂半径 5km 范围内 I 类和 II 类放射源的应用概况。

## (2) 现场调查

- 厂址半径 50km 范围内的陆地环境  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率；
- 厂址半径 50km 范围内的陆地环境  $\gamma$  辐射累积剂量；
- 厂址半径 30km 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 范围内地表水和底泥（沉积物）放射性核素活度浓度；
- 厂址半径 5km 范围内饮用水和地下水放射性核素活度浓度；
- 厂址半径 10km 范围内水生生物放射性核素活度浓度；
- 厂址半径 30km 范围内陆地生物放射性核素活度浓度；
- 厂址半径 10km 范围内受纳水体（海水和沉积物）放射性核素活度浓度；
- 厂址半径 10km 范围内海洋生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 布点原则

辐射环境现状现场调查工作的测量点/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；
- 充分考虑福清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；
- 按“均匀选点，近密远疏”的原则进行布点，充分考虑采样点和监测点的代表性；
- 参照福清核电厂已运行机组的运行前环境辐射现状调查中的布点，同时考虑福清核电厂常规环境监测的布点。

### 3.1.1.4 布点方案

#### (1) 环境 $\gamma$ 辐射剂量率

- 调查范围：以福清核电厂 5、6 号机组核岛位置为中心，半径 50km 范围内，按半径 2km、5km、10km、20km、30km、40km、50km 的 16 个方位的扇形区域内布点。
- 点位布设：半径 2km 范围内布设 4 个点位，半径 2km~5km 范围内布设 4 个点位，半径 5km~10km 范围内布设 12 个点位，半径 10km~20km 范围内布设 32 个点位，半径 20km~30km 范围内布设 7 个点位，半径 30km~50km 范围内布设 21 个点位。

#### (2) 环境 $\gamma$ 辐射累积剂量

- 调查范围：以福清核电厂 5、6 号机组核岛位置为中心，半径 50km 范围内，按半径 2km、5km、10km、20km、30km、40km、50km 的 16 个方位的扇形区域内布点。
- 点位布设：半径 2km 范围内布设 4 个点位，半径 2km~5km 范围内布设 4 个点位，半径 5km~10km 范围内布设 12 个点位，半径 10km~20km 范围内布设 32 个点位，半径 20km~30km 范围内布设 6 个点位，半径 30km~50km 范围内布设 12 个点位。

#### (3) 土壤

- 调查范围：以福清核电厂 5、6 号机组核岛位置为中心，半径 30km 范围内，在 8 个方位角内的陆地（岛屿）上布点，原则上每个方位 2~4 个点。
- 点位布设：半径 2km 范围内布设 3 个点位，半径 2km~5km 范围内布设 1 个点位，半径 5km~10km 范围内布设 9 个点位，半径 10km~20km 范围内布设 6 个点位，半径 20km~30km 范围内布设 1 个点位，在白沙镇设置 1 个对照点。

#### (4) 空气

- 调查范围：以福清核电厂 5、6 号机组核岛位置为中心，半径 10km 范围内。
- 点位布设：共布设 5 个点位。

#### (5) 陆地水体

##### A. 地表水和沉积物

- 调查范围：以福清核电厂 5、6 号机组核岛位置为中心，半径 10km 范围内。
- 点位布设：共布设 4 个点位。

##### B. 饮用水

- 调查范围：以福清核电厂 5、6 号机组核岛位置为中心，半径 5km 范围内。



- 点位布设：共布设 4 个点位。

#### C. 地下水

- 调查范围：以福清核电厂 5、6 号机组核岛位置为中心，半径 5km 范围内。
- 点位布设：共布设 8 个点位。

#### D. 水生生物

- 调查范围：以福清核电厂 5、6 号机组核岛位置为中心，半径 10km 范围内。
- 点位布设：共布设 2 个点位。

#### (6) 陆生生物

- 调查范围：以福清核电厂 5、6 号机组核岛位置为中心，半径 30km 范围内。
- 点位布设：共布设 18 个点位。

#### (7) 海水和海洋沉积物

- 调查范围：以福清核电厂 5、6 号机组核岛位置为中心，半径 10km 范围内。
- 点位布设：共布设 14 个点位。

#### (8) 海洋生物

- 调查范围：以福清核电厂 5、6 号机组核岛位置为中心，半径 10km 范围内。
- 点位布设：共布设 14 个点位。

### 3.1.1.5 现场测量及采样

#### (1) 环境 $\gamma$ 辐射剂量率

环境  $\gamma$  辐射剂量率测量点位中，道路点位 34 个，包括 30 个水泥路面、2 个柏油路面和 2 个地砖地面；原野点位 46 个，包括 19 个草地、20 个田地、2 个土地、4 个沙石地和 1 个沙地。 $\gamma$  辐射剂量率测量点与附近高大建筑物的距离均大于 30m，测量仪器的有效中心距离地面 1 米。

#### (2) 环境 $\gamma$ 辐射累积剂量

环境  $\gamma$  辐射累积剂量采用热释光剂量计测量，热释光剂量计均布设在树上，与环境  $\gamma$  辐射剂量率测量点位重合。监测频次为 1 次/季，在同一点位布设下一季度的样品时，回收上个季度的样品。

#### (3) 土壤

采集的土壤主要为田埂地头不被耕种的表层土壤、草地和树林等受人类活动影响较小的区域的土壤和不发生水土流失的田间土壤等，每个样品的采样量一般大于 2kg，采样频次为 1 次/年。土壤的采样工具为小铁铲，采样前用自来水冲洗干净，采样容器为聚乙烯

塑料袋，再装入布袋内，采样点位与对应的剂量率测量点位重合。在面积在  $5\text{m}\times 5\text{m}$  范围内，去除采样点表层土后，按五点法（四角和中心）在土壤表层下  $1\text{cm}\sim 5\text{cm}$  处采集样品，混合成原始样品。

#### （4）气溶胶

空气中气溶胶样品采用青岛崂山电子仪器总厂生产的 KC-1000 型大流量采样器进行采集，滤膜采用玻璃纤维滤膜，其规格为  $20\text{cm}\times 25\text{cm}$ 。气溶胶样品的采样频度为 1 次/季，所有样品的采样体积均在  $10000\text{m}^3$  左右。

#### （5）沉降灰

沉降灰采样接收装置是由不锈钢板制成的正方形采样槽，接收面积为  $0.25\text{m}^2$ ，槽壁高  $30\text{cm}$ ，采样槽放置在楼顶或固定在石灰槽上边缘距地  $1.5\text{m}$  的支架上。在采样槽内加注一定量的蒸馏水，采用湿法采样。采样结束后，将采样槽内水与沉降灰的混合物小心转入干净的塑料桶内，用蒸馏水冲洗槽壁三次，冲洗液合并到塑料桶内。沉降灰样品的采样频度为 1 次/季。

#### （6）降水

降水采样接收装置是由不锈钢板制成的正方形采样槽，接收面积为  $0.25\text{m}^2$ ，槽壁高  $30\text{cm}$ ，采样槽固定在角钢制成的框架上，采样槽上边缘距地  $1.5\text{m}$ 。采样槽底部留有出水口，降水可以自动流入塑料桶中进行收集。降水样品采样频度为 1 次/季。

#### （7）空气中 $^3\text{H}$

采样装置包括空气采样泵、粒子过滤器、2 个串联的硅胶吸附瓶。以  $5\text{L}/\text{min}\sim 10\text{L}/\text{min}$  的流量抽取 24h 空气样品，抽取的空气样品中所含的水被完全捕集，使用变色硅胶保证采样期间硅胶吸水不达到饱和。采样气体流量由转子流量计指示与调节，累积流量由累积流量计给出。空气中  $^3\text{H}$  样品采样频度为 1 次/季。

#### （8）空气中 $^{14}\text{C}$

采样装置包括抽气泵、转子流量计与调节器、装有 NaOH 溶液的多孔鼓泡器吸收瓶、空气采样泵及其连接件等。 $^{14}\text{C}$  采样在建筑物外距离地面  $1\text{m}$  以上的高度进行，用抽气泵抽取一定体积的空气，使空气中的  $\text{CO}_2$  完全被碱液吸收捕集。空气中  $^{14}\text{C}$  样品采样频度为 1 次/季。

#### （9）空气中 $^{131}\text{I}$

空气中  $^{131}\text{I}$  的采样仪器使用 Staplex TFRC-2 型放射性碘采样器，活性炭盒尺寸为  $\Phi 5.5\text{cm}\times 2.5\text{cm}$ ，采样流量为  $80\sim 100\text{L}/\text{min}$ ，采样体积可直接从采样器上读出。空气中  $^{131}\text{I}$

样品采样频度为 1 次/季。

#### （10）地表水、地下水、饮用水

地表水样品为水库水或河水，地下水样品为井水，饮用水样品为自来水。地表水用塑料桶直接采集表层水；地下水和饮用水从出水口直接接取至塑料桶中。对于  $\gamma$  谱测量和放化分析，地表水、地下水和饮用水每次每个样品采集 50L 左右，在现场进行酸化处理后，运回实验室。对于分析  $^3\text{H}$  的样品用玻璃容器采集 2.5L，在现场不做任何处理（不加酸）。

#### （11）沉积物（底泥）

沉积物（底泥）样品用长柄铁锹伸入水库或河床底部挖取，将采集到的底泥剔除明显的石子、草根等杂物后装入聚乙烯塑料袋内，再装入布袋内，写明样品名称、编号和采样时间等信息。

#### （12）陆生生物

大米、红薯样品均是到当地农民田间或家中购买，并用 GPS 记录样品的采样位置；空心菜、包菜、芹菜、花菜、莴笋样品均在当地农户的田地中直接采集、购买，并对采样位置进行 GPS 定位记录，采集到的蔬菜除氘碳样品外其余在现场晒干后运回实验室处理；枇杷、芭乐样品均在当地果园直接采集、购买，并在采样位置进行了 GPS 定位记录，采集到的样品直接运回实验室处理；牛奶样品采集自东阁华侨农场奶牛场，采集后的样品经冷冻后，运回实验室处理；羊肉样品采集自当地村民自养的小黑羊，鸡肉样品采集自当地村民喂养的鸡，现场宰杀后冷冻，运回实验室处理；选择较年轻、水分较多的叶子或牧草直接进行采集，相思树叶在多棵相思树树上采集，采集到的样品直接运回实验室处理。

#### （13）水生生物

水生生物样品是委托当地渔民到采样水库养殖场捕捞，将采集到的鱼类样品直接冷冻装入泡沫箱内，运回实验室处理。

#### （14）海水

海水样品通过租用当地渔民的渔船进行采集，采用潜水泵抽取表层海水，潜水泵进水口在水面下 3m 左右，采集到的海水清澈透明无杂质。用于  $\gamma$  谱分析和放化分析的海水样品采集完成并现场酸化（ $\text{PH}<2$ ）后，运回实验室进一步处理。用于  $^3\text{H}$  和  $^{14}\text{C}$  分析的海水样品，不进行酸化直接运回实验室处理。

#### （15）海洋沉积物

海洋沉积物样品通过租用当地渔民的渔船进行采集，沉积物采用改进的船锚采集器勾取，采集到的沉积物混有少量的碎裂贝壳，剔除明显的杂质后，装入聚乙烯塑料袋，再装

入布袋内，运回实验室后处理。

#### （16）海洋生物

海洋生物采样点选在厂址排放口附近海域及厂址附近渔民养殖场和放养场，鱼类、贝类、甲壳类、软体类和藻类样品优先采集近海养殖的海洋生物。

#### 3.1.1.6 测量仪器及方法

测量项目所采用的仪器及测量方法依据见表 3.1-2。各分析测量项目在选定分析测量方法时，有国家标准的，一律采用国家标准，没有国家标准的选用行业标准。

#### 3.1.1.7 探测下限

本次调查中测量方法的探测下限见表 3.1-3。

#### 3.1.1.8 调查结果

##### （1）相关数据和资料收集

##### A. 核设施或矿产开发设施情况

根据已获得的资料，厂址半径 80km 范围内核设施只有福清核电厂，其中，1-4 号机组采用 4×1000MWe 级“二代加改进”技术路线的压水堆核电机组，目前已正式投入运行；5、6 号机组采用 2×1000MWe 级“华龙一号”三代压水堆核电机组，目前正在建设中。半径 30km 范围内无铀、钍矿设施；半径 15km 范围内没有“人为活动引起天然辐射照射增加”有关设施。

##### B. 密封和非密封放射性同位素源情况

根据福清市环保部门提供的放射源和射线装置情况，截止于 2017 年 12 月，福清市共有在用放射源 288 枚，其中 186 枚为福清核电和承包商单位使用。

##### （2）环境 $\gamma$ 辐射剂量率

##### A. 宇宙射线测量

宇宙射线测量结果均值为  $32.0 \pm 1.9 \text{ nGy/h}$ 。

##### B. 环境 $\gamma$ 辐射剂量率

环境  $\gamma$  辐射剂量率一共测量了 80 个点位：46 个原野点位，包括 19 个草地、20 个田地、2 个土地、4 个沙石地和 1 个沙地；34 个道路点位，包括 30 个水泥路面、2 个柏油路面和 2 个地砖地面。

地表  $\gamma$  辐射剂量率测量均值的范围为 34.8~153 nGy/h，80 个测量点位均值为  $78.0 \pm 24.4 \text{ nGy/h}$ 。46 个原野点位结果均值为  $71.9 \pm 28.1 \text{ nGy/h}$ 。34 个道路测量点位结果均值为  $86.4 \pm 15.1 \text{ nGy/h}$ 。

### （3）环境 $\gamma$ 辐射累积剂量

环境 $\gamma$ 辐射累积剂量共布设了70个点位，TLD的回收率为92.9%~100%，平均回收率为97.1%。累积剂量的布设点位与该点位的剂量率测量点位重合，测量结果范围为81.5~188.6 nGy/h。

### （4）土壤中放射性核素活度浓度

$\gamma$ 谱分析测量结果中， $^{238}\text{U}$ 的活度浓度范围为<LLD~76.8Bq/kg，均值为 $38.9\pm 16.6\text{Bq/kg}$ ； $^{226}\text{Ra}$ 的活度浓度范围为5.41~53.3Bq/kg，均值为 $30.8\pm 12.0\text{Bq/kg}$ ； $^{232}\text{Th}$ 的活度浓度范围为8.63~114Bq/kg，均值为 $49.3\pm 22.4\text{Bq/kg}$ ； $^{40}\text{K}$ 的活度浓度范围为351~1200Bq/kg，均值为 $639\pm 268\text{Bq/kg}$ ； $^{137}\text{Cs}$ 的活度浓度范围为<LLD~1.58Bq/kg；其余核素（ $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ ）的测量结果均低于探测限。

放化分析结果中， $^{90}\text{Sr}$ 及测量 $^{239+240}\text{Pu}$ 的样品均给出了测量结果，其中， $^{90}\text{Sr}$ 的活度浓度范围为0.34~3.34Bq/kg，均值为 $1.13\pm 0.80\text{Bq/kg}$ ； $^{239+240}\text{Pu}$ 的活度浓度范围为<LLD~0.1584Bq/kg。

### （5）空气介质中放射性核素活度浓度

#### A. 气溶胶

$\gamma$ 谱分析测量结果中， $^7\text{Be}$ 的活度浓度范围为1.57~10.00mBq/m<sup>3</sup>，均值为 $6.02\pm 3.11\text{mBq/m}^3$ ；其余核素（ $^{131}\text{I}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ ）的测量结果均低于探测限。

放化分析结果中，总 $\alpha$ 的活度浓度范围为0.035~0.207mBq/m<sup>3</sup>，均值为 $0.077\pm 0.042\text{mBq/m}^3$ ；总 $\beta$ 的活度浓度范围为0.154~0.776mBq/m<sup>3</sup>，均值为 $0.504\pm 0.186\text{mBq/m}^3$ ； $^{90}\text{Sr}$ 的活度浓度范围为1.96~7.88 $\mu\text{Bq/m}^3$ ，均值为 $4.72\pm 1.54\mu\text{Bq/m}^3$ 。

#### B. 沉降灰

$\gamma$ 谱分析测量结果中， $^{137}\text{Cs}$ 在2017年第4季度的测量结果为 $0.16\pm 0.03\text{Bq}/(\text{m}^2\cdot\text{月})$ ，其余点位均低于探测限；其它核素（ $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ ）的测量结果均低于探测限。

放化分析结果中，总 $\beta$ 的活度浓度范围为0.821~19.9Bq/(m<sup>2</sup>·月)，均值为 $9.37\pm 6.52\text{Bq}/(\text{m}^2\cdot\text{月})$ ； $^{90}\text{Sr}$ 的活度浓度范围为0.02~0.26Bq/(m<sup>2</sup>·月)，均值为 $0.12\pm 0.08\text{Bq}/(\text{m}^2\cdot\text{月})$ 。

#### C. 降水

$\gamma$ 谱分析测量结果中，所有核素（ $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ ）的测量结果均低于探测限。

放化分析结果中，总 $\alpha$ 测量结果活度浓度范围 0.011~0.086mBq/L，均值为 0.025±0.017mBq/L；总 $\beta$ 测量结果活度浓度范围 0.037~0.149mBq/L，均值为 0.067±0.030mBq/L； $^{90}\text{Sr}$ 测量结果活度浓度范围 8.40~49.8mBq/L，均值为 24.4±11.5mBq/L； $^3\text{H}$ 测量结果活度浓度范围 0.20~0.64Bq/L，均值为 0.32±0.12Bq/L。

#### D. $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 和 $^{131}\text{I}$

$^3\text{H}$ 的活度浓度范围为 4.52~26.30mBq/m<sup>3</sup>，均值为 12.16±5.54mBq/m<sup>3</sup>。

$^{14}\text{C}$ 的活度浓度范围为 18.68~65.65mBq/m<sup>3</sup>，均值为 40.53±11.94mBq/m<sup>3</sup>。

$^{131}\text{I}$ 的测量结果均小于探测限。

### (6) 陆地水体中放射性核素活度浓度

#### A. 地表水

$\gamma$ 谱分析测量结果中，所有核素（ $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ ）的测量结果均低于探测限。

放化分析结果中，总 $\alpha$ 测量结果活度浓度范围 0.001~0.041Bq/L，均值为 0.015±0.014Bq/L；总 $\beta$ 测量结果活度浓度范围 0.078~0.561Bq/L，均值为 0.300±0.158Bq/L； $^{90}\text{Sr}$ 测量结果活度浓度范围 1.95~8.25mBq/L，均值为 4.72±2.18mBq/L； $^3\text{H}$ 测量结果活度浓度范围 0.18~0.44Bq/L，均值为 0.31±0.10Bq/L； $^{14}\text{C}$ 测量结果活度浓度范围 1.08~6.83mBq/L，均值为 4.74±1.98mBq/L。

#### B. 沉积物

$\gamma$ 谱分析测量结果中， $^{238}\text{U}$ 测量结果活度浓度范围为 26.6~58.9Bq/kg，均值为 47.5±14.3Bq/kg； $^{226}\text{Ra}$ 测量结果活度浓度范围为 21.8~43.1Bq/kg，均值为 34.7±8.1Bq/kg； $^{232}\text{Th}$ 测量结果活度浓度范围为 36.2~113Bq/kg，均值为 67.9±28.3Bq/kg； $^{40}\text{K}$ 测量结果活度浓度范围为 293~840Bq/kg，均值为 625±228Bq/kg；其它核素（ $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ ）的测量结果均低于探测限。

放化分析结果中， $^{90}\text{Sr}$ 测量结果活度浓度范围为 0.64~1.13Bq/kg，均值为 0.80±0.19Bq/kg； $^{239+240}\text{Pu}$ 测量结果活度浓度范围为 0.0231~0.0406Bq/kg，均值为 0.0283±0.0070Bq/kg。

#### C. 地下水

$\gamma$ 谱分析测量结果中，所有核素（ $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ ）的测量结果均低于探测限。

放化分析结果中，总 $\alpha$ 测量结果活度浓度范围 0.009~0.841Bq/L，均值为

0.125±0.198Bq/L；总 β 测量结果活度浓度范围 0.082~0.687Bq/L，均值为 0.246±0.172Bq/L；<sup>90</sup>Sr 测量结果活度浓度范围 3.13~21.6mBq/L，均值为 11.4±4.7mBq/L；<sup>3</sup>H 测量结果活度浓度范围 0.19~4.42Bq/L，均值为 1.35±1.41Bq/L；<sup>14</sup>C 测量结果活度浓度范围 1.30~9.72Bmq/L，均值为 4.62±2.49mBq/L。

#### D. 饮用水

γ 谱分析测量结果中，所有核素（<sup>134</sup>Cs、<sup>137</sup>Cs、<sup>58</sup>Co、<sup>60</sup>Co、<sup>54</sup>Mn）的测量结果均低于探测限。

放化分析结果中，总 α 测量结果活度浓度范围 0.008~0.192Bq/L，均值为 0.069±0.079Bq/L；总 β 测量结果活度浓度范围 0.092~0.442Bq/L，均值为 0.225±0.133Bq/L；<sup>90</sup>Sr 测量结果活度浓度范围 3.32~33.2mBq/L，均值为 19.3±12.1mBq/L；<sup>3</sup>H 测量结果活度浓度范围 0.17~0.26Bq/L，均值为 0.23±0.03Bq/L；<sup>14</sup>C 测量结果活度浓度范围 1.31~7.66mBq/L，均值为 4.68±1.95mBq/L。

#### （7）陆（水）生生物放射性核素活度浓度

γ 谱分析测量结果中，<sup>137</sup>Cs 测量结果的范围值为<LLD~0.046Bq/kg（鲜重），其他核素（<sup>134</sup>Cs、<sup>58</sup>Co、<sup>60</sup>Co、<sup>54</sup>Mn）的测量结果均低于探测限。

放化分析结果中，<sup>90</sup>Sr 测量结果的范围值为 0.014~0.917Bq/kg（鲜重），自由水氚的测量结果的范围值为 0.10~0.77Bq/kg（鲜重），有机氚的测量结果的范围值为 0.12~1.23Bq/kg（鲜重），<sup>14</sup>C 的测量结果的范围值为 2.76~98.31Bq/kg（鲜重）。

#### （8）海域放射性核素活度浓度

##### A. 海水

γ 谱分析测量结果中，<sup>137</sup>Cs 测量结果活度浓度范围 1.10~2.35mBq/L，均值为 1.60±0.31mBq/L；<sup>40</sup>K 测量结果活度浓度范围 9.75~12.6Bq/L，均值为 11.1±0.7Bq/L；其他核素（<sup>134</sup>Cs、<sup>58</sup>Co、<sup>60</sup>Co、<sup>54</sup>Mn、<sup>106</sup>Ru、<sup>110m</sup>Ag、<sup>131</sup>I）的测量结果均低于探测限。

放化分析结果中，总 α 测量结果活度浓度范围<LLD~3.33Bq/L，总 β 测量结果活度浓度范围 8.49~13.9Bq/L，均值为 10.0±1.2Bq/L；<sup>90</sup>Sr 测量结果活度浓度范围 1.10~5.04mBq/L，均值为 2.83±1.28mBq/L；<sup>3</sup>H 测量结果活度浓度范围 0.35~4.35Bq/L，均值为 1.26±0.86Bq/L；<sup>14</sup>C 测量结果活度浓度范围 5.07~6.47mBq/L，均值为 5.72±0.45mBq/L。

##### B. 海洋沉积物

γ 谱分析测量结果中，<sup>238</sup>U 测量结果活度浓度范围 24.8~52.8Bq/kg，均值为 40.0±8.8Bq/kg；<sup>226</sup>Ra 测量结果活度浓度范围 18.6~32.7Bq/kg，均值为 25.9±4.5Bq/kg；<sup>232</sup>Th

测量结果活度浓度范围 34.9~78.3Bq/kg，均值为  $48.3\pm 13.9$ Bq/kg； $^{40}\text{K}$  测量结果活度浓度范围 649~905Bq/kg，均值为  $747\pm 77$ Bq/kg； $^{137}\text{Cs}$  测量结果活度浓度范围 <LLD~1.59Bq/kg；其它核素（ $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ）的测量结果均低于探测限。

放化分析结果中， $^{90}\text{Sr}$  测量结果活度浓度范围 0.60~3.94Bq/kg，均值为  $1.87\pm 1.00$ Bq/kg； $^{239+240}\text{Pu}$  在测量结果活度浓度范围 0.1254~0.4832Bq/kg，均值为  $0.3355\pm 0.1086$ Bq/kg。

### C. 海洋生物

$\gamma$  谱分析测量结果中， $^{137}\text{Cs}$  测量结果活度浓度的范围值为 <LLD~0.051Bq/kg（鲜重），其它样品测量结果低于探测限；其它核素（ $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ）的测量结果均低于探测限。

放化分析结果中， $^{90}\text{Sr}$  的测量结果的范围值为 0.002~0.236Bq/kg（鲜重），自由水氚的测量结果的范围值为 0.21~1.01Bq/kg（鲜重），有机氚的测量结果的范围值为 0.12~1.89Bq/kg（鲜重）， $^{14}\text{C}$  的测量结果的范围值为 12.18~31.16Bq/kg（鲜重）。

#### 3.1.1.9 质量保证措施

为保证调查结果的代表性、准确性和可靠性，以及对调查过程进行全面控制，在本次环境放射性现状调查过程中采取了一系列质量保证措施。在调查过程中的质量保证措施主要有以下几个方面：

##### （1）组织机构及人员配备

调查任务承担单位针对本次调查成立了调查组织机构，对调查过程进行质量控制，质量控制组织机构见图 3.1-1，明确的规定了相应的职责、权限和联络渠道。从事对质量活动有影响的人员，均具备从事该任务所必须的学历、经历和业务熟练程度，项目负责人和质保负责人具有硕士研究生以上学历，从事环境辐射本底调查相关工作 5 年以上，项目参加人员具有大专以上学历，具有环境辐射本底调查相关工作 1 年以上，并进行质保培训与考核。

##### （2）调查方法的控制

本次调查采用最新有效的国家和行业标准，对于部分未颁布标准方法的项目，结合本次调查的实际需要，根据公开发表的文献上已有的方法，制定相应的作业指导规程，并经实验验证。本次调查中的调查方法首选国家标准，其次选用行业标准或者专家认可、并经实验验证的方法。国家或行业标准方法发生变化时，进行及时更新。

##### （3）样品的质量控制

采样人员对在选定的采样地点所采集的样品按照样品编码规定进行标识，及时真实地



填写采样记录表和样品标签，并签名，样品标签应字迹清楚，不得涂改，不得与样品分开；采集的样品分类进行简单处理，防止样品变质、污染、被容器吸附等；样品从采样点送到实验室过程中采样人员轻拿轻放，防止标识的脱落、样品破裂、沾污和变质；样品运输前认真填写样品清单，清点样品，检查包装是否符合要求；样品送达实验室后，接样人员和送样人员清点样品，并在样品清单上签字；接样人员将接收的样品放于样品室内，避免暴晒，同时防止挤压、刺破样品袋；分析人员对样品分析的中间过程进行唯一性标识，防止样品间混淆。

#### （4）仪器设备的控制

##### A. 现场采样设备的控制

用于采样的仪器设备，按照国家计量法的要求进行检定/校准后在有效期内使用；对多台同样的设备按仪器编号标识，防止混用；仪器经长途运输到达现场后，工作人员首先查看仪器外形是否有损伤、变形，异常部位着重检查，以消除隐患，经外观确认正常后，通电检查，按照说明书上的技术要求操作，查看仪器是否工作正常；现场仪器经运输后，使用前经检验，确认其性能良好后使用，并做好记录；仪器、采样器和样品容器经常维护，保持清洁，防止交叉污染；仪器维修后重新检定合格后使用。

##### B. 测量仪器的检定

对分析测试结果的准确性和有效性有影响的计量器具或检测设备，均由计量部门或其授权单位进行校准或检定，以保证检测测量值具有溯源性。主要仪器和设备的检定情况见表 3.1-4。

##### C. 标准物质的控制

用于刻度放射性测量仪器的标准源，标准溶液和标准物质，均由 IAEA-AQCS 或中国计量科学研究院等计量部门提供，为测量的量值可溯源到国家的或国际的基准提供了有力的保证。调查中使用的放射性标准物质见表 3.1-5。

##### D. 仪器性能的检验

质控图是检查仪器设备状态是否正常的主要手段，在本次调查分析测量中涉及到的仪器设备主要有液闪谱仪、 $\alpha/\beta$  测量仪、 $\alpha$  谱仪、 $\gamma$  谱仪等，部分仪器设备质控图见图 3.1-2~图 3.1-14。

#### （5）化学试剂的控制

用标准溶液配置工作溶液时，根据国家标准的技术规范执行，并做详细记录；在使用高活度标准溶液时，防止其对低本底实验室的沾污；实验室使用的试剂溶液和蒸馏水必须

贴上标签，试剂溶液的标签必须写明名称、浓度、配置日期，有的试剂还要写明有效期。

#### （6）实验室分析测量的控制

##### A. 掺标样品

掺标样品的分析是为了确定分析测量的准确度。掺标样品由质保人员提供，要求测量结果与参考值的相对偏差 $<15\%$ 。2017 年度掺标样品的分析结果见表 3.1-6~3.1-8。

##### B. 平行样品

为了对调查中样品的采集、预处理及分析测量的全部过程进行有效的质量控制，在项目的实施过程中，分别对地表水、地下水、饮用水、地表水沉积物（底泥）、土壤、陆生生物、海水、海洋沉积物、海洋生物等种类的样品采集了平行样，平行样品从样品的采集、预处理到分析测量与其余样品完全相同，平行样品的采样个数见表 3.1-9。相对偏差计算公式如下：

$$\text{相对偏差} = \frac{|\text{平行样品1} - \text{平行样品2}|}{(\text{平行样品1} + \text{平行样品2})/2} \times 100\%$$

地表水平行样品 2 个，地下水平行样品 2 个，饮水平行样品 2 个，底泥平行样有 1 个，土壤平行样品 4 个，陆生生物平行样品 5 个，海水平行样品 4 个，海洋沉积物平行样品 2 个，海洋生物平行样品 4 个，共给出 167 个测量结果，相对偏差没有大于 30%的结果，样品平行性较好。

#### （7）实验室比对

调查单位实验室在 2017 年参加了“全国核基地与核设施辐射现状调查与评价项目水中  $^{239}\text{Pu}$  的分析测量”活动，提供的比对结果考核成绩为合格；在 2017 年参加了国际原子能机构组织的国际比对（IAEA-TEL-2017-04），比对结果均为 A；2017 年参加了由北京中石国金国际实验室能力验证有限责任公司组织的水中  $^{90}\text{Sr}$  的能力验证活动，评价结论为满意。2017 年参加了由中国建筑科学院建筑工程检测中心建筑材料放射性检测能力验证活动，评价结论为满意。

### 3.1.2 辐射环境质量评价

#### 3.1.2.1 核设施或矿产开发设施情况

厂址半径 80km 范围内运行的核设施只有福清核电厂，其中，1-4 号机组采用  $4 \times 1000\text{MWe}$  级“二代加改进”技术路线的压水堆核电机组，目前已正式投入运行。依据《福建福清核电厂环境监测年报（2017 年）》，以下简称“常规监测”，2017 年福建福清核

电厂 1-4 号机组的运行未对周围环境产生影响。

厂址半径 30km 范围内无铀、钍矿设施；半径 15km 范围内没有“人为活动引起天然辐射照射增加”有关设施。

### 3.1.2.2 密封和非密封放射性同位素源情况

截止于 2017 年 12 月，福清市共有在用放射源 288 枚，其中 186 枚为福清核电和承包商单位使用；共有射线装置 82 个，其中 II 类射线装置 8 个，使用单位为中核二三公司和中核二四公司，其余均为 III 类射线装置。所有放射源和射线装置均接受监督管理，对周围环境影响较小。

### 3.1.2.3 环境 $\gamma$ 辐射水平和环境介质放射性核素活度浓度

通过对比分析可知，福清核电厂周围环境  $\gamma$  辐射水平和环境介质放射性核素活度浓度仍处于环境本底水平，未发现明显异常，福清核电厂 1-4 号机组的运行未对本地区环境  $\gamma$  辐射水平和环境介质放射性核素活度浓度产生明显影响。

### 3.1.2.4 核电厂运行流出物监测

福清 1 号和 2 号机组分别于 2014 年 8 月和 2015 年 8 月首次并网，3 号和 4 号机组分别于 2016 年 9 月和 2017 年 7 月首次并网。福清 1-4 号机组在 2014 年~2017 年运行期间，实际运行监测值均满足 GB6249-2011 规定的年排放量控制值要求，同时满足年排放量申请值要求。

## 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

本节编写以中国核电工程有限公司联合谱尼测试集团深圳有限公司于 2018 年 8 月编制的《福建福清核电厂 5、6 号机组厂址周围大气环境现状调查及分析评价报告》为基础资料。

#### 3.2.1.1 大气环境质量现状调查

执行标准和评价依据

- 《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2008)(2018 年 12 月 1 日前执行)；  
《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018)(2018 年 12 月 1 日后执行)；
- 《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)；
- 《关于确认福清核电厂非放射性环境质量和污染排放标准的函（闽环辐射函[2015]42 号）》。

#### 3.2.1.2 大气环境质量评价

监测结果表明，各监测点的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  及 TSP 符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准。评价区环境空气质量符合福建省环保厅于 2015 年 9 月批准的《关于确认福清核电厂非放射性环境质量和污染排放标准的函（闽环辐射函[2015]42 号）》中关于环境空气质量执行标准。

### 3.2.2 声环境质量现状调查与评价

本节编写以中国核电工程有限公司联合中国建材检验认证集团股份有限公司编制的《福建福清核电厂 5、6 号机组厂址周围噪声现状调查及分析评价报告》为基础资料，此次监测在 2018 年 5 月 4 日和 5 日进行（海域噪声由于天气原因，在 5 月 10 日和 11 日进行），监测期间，1-4 号机组已投入商运，5、6 号机组施工活动密集，包括混凝土浇筑、模板支设、钢筋绑扎等。

#### 3.2.2.1 声环境质量现状调查

执行标准和评价依据

- 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2009）；
- 《声环境质量标准》（GB 3096-2008）；
- 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
- 《福建省环境保护厅关于确认福清核电厂非放射性环境质量和污染排放标准的函》（闽环辐射函〔2015〕42 号）。

根据福建省环境保护厅《福建省环境保护厅关于确认福清核电厂非放射性环境质量和污染排放标准的函》（闽环辐射函〔2015〕42 号），厂界内区域执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 3 类标准，昼间和夜间环境噪声限值分别为 65dB(A)和 55dB(A)；厂界外距离厂址最近的前薛村执行 2 类标准，昼间 60 dB(A)和夜间 50dB(A)；核电进厂大道及应急道路两侧执行 4a 类标准，昼间 70 dB(A)和夜间 55 dB(A)。

#### 3.2.2.2 声环境质量评价

根据《声环境质量标准》（GB 3096-2008）、《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）和噪声监测数据的统计结果可知，评价区域内，在环境噪声监测期间，厂界、施工场界和陆域的个别监测点噪声水平偏高，海域及交通噪声水平较低。总体上，厂址周围噪声环境质量状况较好。

### 3.2.3 受纳水体环境质量现状调查与评价

#### 3.2.3.1 海水水质现状调查

本小节内容主要依据 2018 年 10 月完成的《福建福清核电厂厂址邻近海域生态环境现状调查及分析评价报告》编制。

#### （1）调查时间、范围及站位设置

大面观测站的调查共安排了 48 个观测站位；水文水质调查（48 个站）分春、夏、秋与冬四个季节进行调查，其中春、夏和冬季每个季节进行一个航次调查，秋季进行大潮与小潮两个航次的调查，分别在 5 月、8 月、11 月和 1~2 月完成（2017 年 8 月~2018 年 5 月），共计 5 个航次。

在取水口和排水口附近分别设一个连续站（24h）；每个季节进行一次调查。

#### （2）调查项目

大面站调查项目：

海水调查的所有要素都进行 48 个站位的取样，包括水温、盐度、电导率、浊度，水深；水色、透明度、pH 值、总碱度、溶解氧（DO）、化学需氧量（COD）、生化需氧量（BOD<sub>5</sub>）、硝酸盐氮（NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N）、亚硝酸盐氮（NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N）、铵盐（NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N）、非离子氨、磷酸盐（PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P）、硅酸盐（SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>-Si）、硫化物、挥发性酚、硫酸盐、氯化物、氟化物、氰化物、总有机碳、悬浮物（SPM）、石油类、阴离子表面活性剂、总磷、总氮、重金属（铜、铅、锌、镉、总铬、汞、锰、铁）、砷、硒、硼、余氯。

连续站调查项目：

水温、盐度、电导率、浊度，水深；pH 值、总碱度、溶解氧（DO）、化学需氧量（COD）、生化需氧量（BOD<sub>5</sub>）、硝酸盐氮（NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N）、亚硝酸盐氮（NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N）、铵盐（NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N）、磷酸盐（PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P）、硅酸盐（SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>-Si）、悬浮物（SPM）、石油类、总磷以及总氮。

#### （3）实验和分析方法

样品采集、保存和分析方法分别按 GB/T12763-2007《海洋调查规范》、GB17378.4-2007《海洋监测规范》海水分析分册中规定的有关方法进行。

### 3.2.3.2 海水质量评价

基于 2017 年 8 月~2018 年 5 月在福清核电厂址邻近海域进行的调查分析，根据水质和水文要素的现场观测、实验室分析和评价结果，得到主要结论如下：

（1）根据中华人民共和国国家标准《海水水质标准（GB 3097-1997）》，总体上，调查海区海水多数参数均符合二类水质标准。

（2）调查海域 pH、溶解氧、化学需氧量和生化需氧量等参数具有中国近海海水的一般特征。秋季、冬季和春季 COD 均值均表现为 2017-2018 年略高于 2012-2013 年和 2006

年的调查结果，本次调查秋季和春季为前两次调查结果 COD 均值的 2 倍左右。

(3) 调查海域大面站溶解无机氮全年变化范围为 0.030~0.62 mg/L。

(4) 调查海域活性磷酸盐含量较低，调查海域大面站活性磷酸盐全年变化范围为 0.000~0.047 mg/L。

(5) 调查海域海水整体上没有受到重金属污染：砷、镉、铬、铜、铅、锌、汞和硒等重金属元素均符合相应的海水水质标准。调查海域海水中硫化物、挥发性酚、氰化物和阴离子表面活性剂等要素均符合相应的水质标准，均未超标。

(6) 富营养化指数评价结果表明，整体而言，该调查海域富营养化程度较低，大多数时刻未达到富营养化水平或处于轻度富营养化水平；有机污染评价结果该调查海域总体上处于良好的水质状态；调查海域水体富营养化水平和有机污染程度较低。

### 3.2.4 电磁环境现状调查与评价

#### 3.2.4.1 电磁辐射现状调查

##### 1) 调查依据标准规范

- 《中华人民共和国环境保护法》 2015 年 1 月
- 《中华人民共和国环境影响评价法》 2018 年 12 月
- 《电磁辐射环境保护管理办法》 国家环保局【1997】第 18 号令
- 《电磁环境控制限值》 GB 8702-2014
- 《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
- 《电磁辐射环境影响评价方法与标准》 HJ/T 10.3-1996
- 《环境影响评价技术导则 输变电工程》 HJ 24-2014

除上述法规、标准和规范外，调查任务承担单位应按照标准和规范所规定的测量方法，采用定期校准或审评合格的仪器设备，做到测量方法正确，数据可靠。

##### 2) 调查目的

通过现场测量，调查福清核电厂 5、6 号机组运行前核电厂厂址区域电磁辐射现状，以获取运行阶段环境影响报告书编制所需要的电磁辐射现状测量数据。同时，为今后评价厂址区域核电厂工作人员及周围公众所接受电磁辐射照射水平、无线电干扰影响等环境影响收集本底数据。

为福清核电厂 5、6 号机组运行后的长期电磁辐射水平测量方法奠定基础。

##### 3) 调查内容及范围

厂址区域电磁辐射现状调查的主要内容：

- 根据本工程拟建开关站、送电走廊规划位置及走向选择主要的环境敏感点进行测量和理论计算分析。
- 调查除本工程拟建开关站及送电走廊外，在本厂址周围是否还存在其它的电磁辐射源，以便分析、判断目前所关心的核电厂周围电磁辐射环境敏感点对公众总受照剂量的贡献。

调查的主要项目有工频电场、磁场强度及射频综合场强。

#### 4) 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：

- 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。

监测仪器的探头应架设在地面（或立足平面）上方 1.5m 高度处。也可根据需要在其他高度监测，并在监测报告中注明。

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

监测工频磁场时，监测探头可以用一个小的电介质手柄支撑，并可由监测人员手持。采用一维探头监测工频磁场时，应调整探头使其位置在监测最大值的方向。

- 射频综合场强

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

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

#### 5) 监测点的设置

- 厂区监测点设置

中核核电工程检测中心联合中国建材检验认证集团股份有限公司在 2017 年 5 月进行了福建福清核电厂 5、6 号机组厂址厂址区域电磁辐射本底调查和现状评价的监测工作，并于 2018 年 7 月完成了《福建福清核电厂 5、6 号机组（ACP1000）厂址区域电磁辐射现状调查和评价报告》。

本次监测根据厂区内电磁辐射源和敏感区分布情况设置监测点如下：

本次调查工作共设置 11 个监测点，在厂区边界设 4 个（东南西北），厂区内 6 个。编号 1~11<sup>#</sup>，每个监测点分别监测工频电场、工频磁场强度和射频综合场强。本次厂区内设置除 11<sup>#</sup>（福清核电综合办公楼界外）监测点位外，其余监测点都与本底监测点相对应。监测点名称、编号见表 3.2-1 和图 3.2-1。

- 开关站监测点设置

福建福清核电厂目前共有 3 个开关站，在每个开关站东、南、西、北边界外 5m 处监测工频电场、工频磁场强度和射频综合场强。编号 12~23<sup>#</sup>。开关站监测点设置情况见表 3.2-2 和图 3.2-2。

- 主变压器监测点设置

对于主变压器，选择以主变围墙为起点，在远离进出线一侧设监测点，按 5m 间距，在 0~50m 范围设点，共设 11 个监测点，监测工频电场强度与工频磁场强度监测。

本次调查工作分别对福建福清核电厂已建成和在建的 10 个主变进行监测，监测点编号见表 3.2-3，监测断面位置见图 3.2-3。

- 输电线路监测点设置

本次调查工作共设 3 处监测断面（编号 P1~P3），且分别在各输电线路垂直方向和平行方向设置监测断面，每个监测断面上监测点设置如下：

- a) 垂直方向的监测断面点位设置

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

- b) 平行方向的监测断面点位设置

在输电线路边相外设双侧平行监测断面，监测路径选在边相地面投影点外 20m 处，与输电线路方向平行，在此路径上按 10m 间隔设 3 个监测点，共 6 个监测点，监测工频电场强度、工频磁场强度。

现场监测过程中根据实际情况（如地形限制等）对监测点数量进行调整，并逐一编号（P1-1~P1-x、P2-1~P2-x、P3-1~P3-x）。福建福清核电厂输电线路监测断面设置情况见图 3.2-4。

- 厂区外环境敏感区监测点设置

在福建福清核电厂厂区外设置 14 个监测点，编号 24~37<sup>#</sup>。其中 24~36<sup>#</sup>每个监测点分别监测工频电场强度、工频磁场强度和射频综合场强；37<sup>#</sup>监测点只监测射频综合场强。



监测点设置情况见表 3.2-4 和图 3.2-5。

#### 6) 监测仪器

本次监测使用的仪器见表 3.2-5。

### 3.2.4.2 电磁辐射质量现状评价

#### 1) 评价标准

- 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。

- 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-3000 MHz 的频率范围，该标准的公众曝露控制限值为：环境射频综合场强等效平面波功率密度在任意连续 6 分钟内的平均值应小于  $0.4 \text{ W/m}^2$ （电场强度限值 12V/m）。

同时，按照《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) 附录 B2 中居民区环境辐射电平水平标注，对 5km 范围内的居民区环境电磁辐射进行分类标注，分类要求见表 3.2-6。

#### 2) 质量现状结论

各项测量数据结果见表 3.2-7~3.2-14。

根据评价区域电磁辐射测量结果，得到如下结论：

- 厂区内电磁辐射监测结果评价详见表 3.2-15。

#### a) 工频电场/工频磁场强度

厂区内所有监测点工频电场强度监测值范围 0.468V/m~1207V/m 之间，工频磁场强度监测值在  $0.026\mu\text{T}$ ~ $29.882\mu\text{T}$  之间，分别小于《电磁环境控制限值》(GB 8702-2014) 中标准限值 4kV/m 和 0.1mT ( $100\mu\text{T}$ )，符合要求。

#### b) 射频综合场强

厂区内所有监测点射频综合场强监测值在 0.37V/m ~2.22V/m 之间。所有监测值都小于《电磁环境控制限值》(GB 8702-2014) 中规定的 12V/m 标准限值。

- 输电线路电磁辐射监测结果评价详见表 3.2-16。

输电线路所有监测点工频电场强度监测值范围 16.283V/m~2124.9V/m 之间，工频磁场强度监测值在  $0.050\mu\text{T}$ ~ $5.627\mu\text{T}$  之间，分别小于《电磁环境控制限值》(GB 8702-2014) 中标准限值 4kV/m 和 0.1mT ( $100\mu\text{T}$ )，符合要求。

- 厂区外监测点电磁辐射监测结果评价详见表 3.2-17。

a) 工频电场/工频磁场强度监测

厂区外环境敏感区工频电场强度监测值在 0.637V/m~14.298V/m 之间，所有监测值都小于标准限值 4kV/m，符合要求；工频磁场强度监测值在 0.042 $\mu$ T~0.085 $\mu$ T 之间，小于标准限值 0.1mT（100 $\mu$ T），符合要求。

b) 射频综合场强

所有监测点监测值在 0.16 V/m ~0.64V/m 之间。最大值为 37#监测点（前薛村基站），其监测值为 0.64V/m。所有监测值都小于《电磁环境控制限值》(GB 8702-2014)中的 12V/m 标准限值，符合要求。

表 3.1-1 (1/3) 福建福清核电厂5、6号机组运行前辐射环境现状调查方案

序号	调查对象		监测项目	监测频度	调查范围	采样点数	样品个数	平行样品	样品总数
1	陆地环境 γ辐射水平	剂量率	空气吸收剂量率 <sup>(1)</sup>	1次/季	50km	80个	320	0	320
		累积剂量	累积剂量			70个	280	0	280
2	土壤（表层土）		<sup>90</sup> Sr、 <sup>137</sup> Cs <sup>(2)</sup> 、 <sup>239+240</sup> Pu <sup>(3)</sup> 、γ谱分析	1次/年	30km	21个	21	4	25
3	空气	气溶胶	总α、总β、 <sup>90</sup> Sr、 <sup>137</sup> Cs、γ谱分析	1次/季	10km	5个	20	0	20
		沉降物	总β、 <sup>90</sup> Sr、 <sup>137</sup> Cs、γ谱分析			5个	20	0	20
		降水	总α、总β、 <sup>3</sup> H、 <sup>90</sup> Sr、 <sup>137</sup> Cs、γ谱分析			5个	20	0	20
		<sup>3</sup> H、 <sup>14</sup> C、 <sup>131</sup> I	HTO、 <sup>14</sup> C、 <sup>131</sup> I			5个	60	0	60
4	陆地水体	地表水	总α、总β、 <sup>3</sup> H、 <sup>90</sup> Sr、 <sup>137</sup> Cs、γ谱分析、 <sup>14</sup> C	每年丰水期、枯水期各1次	10km	4个	8	2	10
		沉积物	<sup>90</sup> Sr、 <sup>137</sup> Cs、 <sup>239+240</sup> Pu、γ谱分析	1次/年		4个	4	1	5
		饮用水	总α、总β、 <sup>3</sup> H、 <sup>90</sup> Sr、 <sup>137</sup> Cs、γ谱分析、 <sup>14</sup> C	1次/半年	5km	4个	8	2	10
		地下水	总α、总β、 <sup>3</sup> H、 <sup>90</sup> Sr、 <sup>137</sup> Cs、γ谱分析、 <sup>14</sup> C	1次/半年		8个	16	0	14
		水生生物	<sup>90</sup> Sr、 <sup>14</sup> C、γ谱分析	1次/年		10km	2个	3	1

注：(1)同时给出贯穿辐射剂量率及扣除宇宙射线的环境γ辐射剂量率；

(2)对单独提出<sup>137</sup>Cs测量要求的项目，若γ谱分析不能给出该介质中<sup>137</sup>Cs的活度浓度，各类介质按照20%的比例采用放化方法测量；

(3)每个方位角中，距离厂址最近的1个采样样品测量<sup>239+240</sup>Pu的活度浓度水平；

(4)单独给出<sup>40</sup>K的活度浓度；

(5)5km范围内每个方位选择1个点测<sup>239+240</sup>Pu；

(6)γ谱核素分析包括<sup>54</sup>Mn、<sup>58</sup>Co、<sup>60</sup>Co、<sup>134</sup>Cs、<sup>137</sup>Cs等，并给出γ谱可识别的其他核素的活度浓度。另外，接纳水体介质增加<sup>110m</sup>Ag、<sup>106</sup>Ru的测量，气溶胶增加<sup>7</sup>Be、<sup>131</sup>I的测量，土壤、沉积物类介质增加<sup>40</sup>K、<sup>226</sup>Ra、<sup>232</sup>Th、<sup>238</sup>U的测量。

表 3.1-1（2/3） 福建福清核电厂 5、6 号机组运行前辐射环境现状调查方案

序号	调查对象	监测项目	监测频度	调查范围	采样点数	样品个数	平行样品	样品总数	
5	陆生生物	大米	$^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$ 谱分析、 $^{14}\text{C}$ 、有机氚、组织自由水氚	1 次/收获期	30km	1 个	1	0	1
		红薯	$^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$ 谱分析、 $^{14}\text{C}$ 、有机氚、组织自由水氚			3 个	3	0	3
		花生	$^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$ 谱分析、 $^{14}\text{C}$ 、有机氚、组织自由水氚			2 个	2	0	2
		蔬菜	$^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$ 谱分析、 $^{14}\text{C}$ 、有机氚、组织自由水氚			4 个	5	1	6
		牧草	$^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$ 谱分析、有机氚、组织自由水氚			1 个	1	1	2
		水果	$^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$ 谱分析、 $^{14}\text{C}$ 、有机氚、组织自由水氚			3 个	3	1	4
		家禽	$^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$ 谱分析、 $^{14}\text{C}$ 、有机氚、组织自由水氚	1 次/年		1 个	1	0	1
		家畜	$^{14}\text{C}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$ 谱分析、有机氚、组织自由水氚			1 个	1	0	3
		相思树叶	$^{14}\text{C}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$ 谱分析、有机氚、组织自由水氚	1 次/收获期		1 个	1	0	1
		牛奶	$^{131}\text{I}$ 、 $\gamma$ 谱分析	1 次/半年		30km	1 个	2	1

注：(1)同时给出贯穿辐射剂量率及扣除宇宙射线的环境 $\gamma$ 辐射剂量率；

(2)对单独提出 $^{137}\text{Cs}$ 测量要求的项目，若 $\gamma$ 谱分析不能给出该介质中 $^{137}\text{Cs}$ 的活度浓度，各类介质按照 20%的比例采用放化方法测量；

(3)每个方位角中，距离厂址最近的 1 个采样样品测量 $^{238}\text{Pu}$ 的活度浓度水平；

(4)单独给出 $^{40}\text{K}$ 的活度浓度；

(5)5km 范围内每个方位选择 1 个点测 $^{238}\text{Pu}$ ；

(6) $\gamma$ 谱核素分析包括 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{59}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 等，并给出 $\gamma$ 谱可识别的其他核素的活度浓度。另外，受纳水体介质增加 $^{110m}\text{Ag}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 的测量，气溶胶增加 $^7\text{Be}$ 、 $^{131}\text{I}$ 的测量，土壤、沉积物类介质增加 $^{40}\text{K}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{235}\text{U}$ 的测量。

表 3.1-1 (3/3) 福建福清核电厂 5、6 号机组运行前辐射环境现状调查方案

序号	调查对象	监测项目	监测频度	调查范围	采样点数	样品个数	平行样品	样品总数	
6	接纳水体	海水	$^3\text{H}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $\gamma$ 谱分析、总 $\alpha$ 、总 $\beta$ <sup>(4)</sup> 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{14}\text{C}$	1 次/半年	10km	14 个	28	4	32
		沉积物	$^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $\gamma$ 谱分析、 $^{239+240}\text{Pu}$ <sup>(5)</sup>	1 次/年		14 个	14	2	16
		藻类	$^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $\gamma$ 谱分析、有机氚、组织自由水氚、 $^{14}\text{C}$	1 次/收获期		1 个	1	1	2
		鱼类	$^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $\gamma$ 谱分析、有机氚、组织自由水氚、 $^{14}\text{C}$	1 次/年		3 个	3	1	4
		软体类	$^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $\gamma$ 谱分析、有机氚、组织自由水氚、 $^{14}\text{C}$			1 个	1	0	1
		甲壳类	$^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $\gamma$ 谱分析、有机氚、组织自由水氚、 $^{14}\text{C}$			3 个	3	1	4
		贝类	$^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $\gamma$ 谱分析、有机氚、组织自由水氚、 $^{14}\text{C}$			3 个	3	1	3
		牡蛎	$^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $\gamma$ 谱分析、有机氚、组织自由水氚、 $^{14}\text{C}$			3 个	3	0	4
7	合计					858	25	883	

注：(1)同时给出贯穿辐射剂量率及扣除宇宙射线的环境  $\gamma$  辐射剂量率；

(2)对单独提出  $^{137}\text{Cs}$  测量要求的项目，若  $\gamma$  谱分析不能给出该介质中  $^{137}\text{Cs}$  的活度浓度，各类介质按照 20%的比例采用放化方法测量；

(3)每个方位角中，距离厂址最近的 1 个采样样品测量  $^{239+240}\text{Pu}$  的活度浓度水平；

(4)单独给出  $^{40}\text{K}$  的活度浓度；

(5)5km 范围内每个方位选择 1 个点测  $^{239+240}\text{Pu}$ ；

(6) $\gamma$  谱核素分析包括  $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  等，并给出  $\gamma$  谱可识别的其他核素的活度浓度。另外，接纳水体介质增加  $^{110m}\text{Ag}$ 、 $^{106}\text{Ru}$  的测量，气溶胶增加  $^7\text{Be}$ 、 $^{131}\text{I}$  的测量，土壤、沉积物类介质增加  $^{40}\text{K}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{238}\text{U}$  的测量。

表 3.1-2 (1/2) 采用的仪器及测量方法依据

序号	监测项目	仪器设备	测量方法依据
1	地表 $\gamma$ 辐射剂量率	YB-III型环境辐射剂量率仪	GB/T 14583-1993《环境地表原野贯穿辐射剂量率测定规范》
2	累积剂量	RGD-3型热释光剂量仪	GBZ207-2008《外照射个人剂量系统性能检验规范》 GB/T 10264-2014《个人和环境监测用热释光剂量测量系统》
3	总 $\alpha$	LB770 低本底 $\alpha/\beta$ 测量仪	HJ/T61-2001《辐射环境监测技术规范》 EJ/T1075-1998《水中总 $\alpha$ 放射性浓度的测定 厚源法》
4	总 $\beta$	LB770 低本底 $\alpha/\beta$ 测量仪	HJ/T61-2001《辐射环境监测技术规范》 EJ/T 900-1994《水中总 $\beta$ 放射性测定 蒸发法》
5	$^3\text{H}$	Quantulus 1220 超低本底液闪	GB 12375-1990《水中氚的分析方法》 GB14883.2-1994《食品中放射性物质检验 氢-3的测定》
6	$^{14}\text{C}$	Quantulus 1220 超低本底液闪	EJ/T1008-1996《空气中 $^{14}\text{C}$ 的取样与测定方法》
7	生物灰 $^{90}\text{Sr}$	LB770 低本底 $\alpha/\beta$ 测量仪	HJ815-2016《水和生物样品灰中锶-90的放射化学分析方法》
8	水中 $^{90}\text{Sr}$	LB770 低本底 $\alpha/\beta$ 测量仪	HJ815-2016《水和生物样品灰中锶-90的放射化学分析方法》
9	土壤、沉积物 $^{90}\text{Sr}$	LB770 低本底 $\alpha/\beta$ 测量仪	EJ/T 1035-2011《土壤中锶-90的分析方法》

表 3.1-2（2/2） 采用的仪器及测量方法依据

序号	监测项目	仪器设备	测量方法依据
10	水中 $\gamma$ 核素	GC3519HPGe $\gamma$ 谱仪 GR3019HPGe $\gamma$ 谱仪 BE3830HPGe $\gamma$ 谱仪 GMX-50S 反康 $\gamma$ 谱仪	GB/T 16140-1995 《水中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》 GB/T11713-2015 《高纯锗 $\gamma$ 能谱分析通用方法》
11	土壤、沉积物、气溶胶、沉降灰 $\gamma$ 核素	GC3519HPGe $\gamma$ 谱仪 GR3019HPGe $\gamma$ 谱仪 BE3830HPGe $\gamma$ 谱仪 GMX-50S 反康 $\gamma$ 谱仪	GB/T 11743-2013 《土壤中放射性核素 $\gamma$ 能谱测定》 GB/T 16145-1995 《用半导体 $\gamma$ 谱仪分析低比活度放射性样品的标准方法》
12	生物灰 $\gamma$ 核素	GC3519HPGe $\gamma$ 谱仪 GR3019HPGe $\gamma$ 谱仪 BE3830HPGe $\gamma$ 谱仪 GMX-50S 反康 $\gamma$ 谱仪	GB/T 16145-1995 《生物样品中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》 GB/T11713-2015 《高纯锗 $\gamma$ 能谱分析通用方法》
13	土壤、沉积物中 $^{239+240}\text{Pu}$	低本底 $\alpha$ 能谱测量仪	HJ814-2016 《水和土壤样品中钚的放射化学分析方法》 GB/T16141-1995 《放射性核素的 $\alpha$ 能谱分析方法》

表 3.1-3 (1/2) 各样品测量方法的探测下限

分析项目	环境介质	样品用量	测量时间(min)	探测下限
$^{137}\text{Cs}$	气溶胶	$10389\text{m}^3$	80000s	$6.7\times 10^{-6}\text{Bq/m}^3$
$^{134}\text{Cs}$				$5.8\times 10^{-6}\text{Bq/m}^3$
$^{54}\text{Mn}$				$5.8\times 10^{-6}\text{Bq/m}^3$
$^{137}\text{Cs}$	沉降灰	$0.796\text{m}^2\cdot\text{月}$	74000s	$3.07\times 10^{-3}\text{Bq/m}^2\cdot\text{d}$
$^{134}\text{Cs}$				$2.47\times 10^{-3}\text{Bq/m}^2\cdot\text{d}$
$^{137}\text{Cs}$	水	50L	80000s	$1.6\times 10^{-3}\text{Bq/L}$
$^{134}\text{Cs}$				$1.4\times 10^{-3}\text{Bq/L}$
$^{54}\text{Mn}$				$1.5\times 10^{-3}\text{Bq/L}$
$^{58}\text{Co}$				$1.3\times 10^{-3}\text{Bq/L}$
$^{60}\text{Co}$				$1.7\times 10^{-3}\text{Bq/L}$
$^{110\text{m}}\text{Ag}$				$1.4\times 10^{-3}\text{Bq/L}$
$^{137}\text{Cs}$	土壤、底泥、海洋沉积物	300g	80000s	0.26Bq/kg
$^{134}\text{Cs}$				0.24Bq/kg
$^{58}\text{Co}$				0.22Bq/kg
$^{60}\text{Co}$				0.24Bq/kg
$^{238}\text{U}$				14Bq/kg
$^{232}\text{Th}$				1.1Bq/kg
$^{226}\text{Ra}$				0.69Bq/kg
$^{40}\text{K}$				4.5Bq/kg
$^{137}\text{Cs}$	生物	61.3g 灰	80000s	2.1Bq/kg 灰
$^{134}\text{Cs}$				1.1Bq/kg 灰
总 $\alpha$	气溶胶	$1000\text{m}^3$	475	$1.0\times 10^{-4}\text{Bq/m}^3$
	水	3L	160	$2.9\times 10^{-2}\text{Bq/L}$
总 $\beta$	气溶胶	$1000\text{m}^3$	475	$9.7\times 10^{-5}\text{Bq/m}^3$
	沉降灰	$0.75\text{m}^2\cdot\text{月}$	300	$1.4\text{Bq/m}^2\cdot\text{月}$
	水	3L	160	$6.0\times 10^{-2}\text{Bq/L}$



表 3.1-3 (2/2) 各样品测量方法的探测下限

分析项目	环境介质	样品用量	测量时间(min)	探测下限
$^{90}\text{Sr}$	气溶胶	10000m <sup>3</sup>	700	$6.2 \times 10^{-6} \text{Bq/m}^3$
	沉降灰	0.75 m <sup>2</sup> ·月	250	$3.4 \times 10^{-2} \text{Bq/m}^2 \cdot \text{月}$
	生物灰	20g	600	1.0Bq/kg 灰
	土壤、底泥、沉积物	30g	800	$3.4 \times 10^{-1} \text{Bq/kg}$
	水	50L	500	$1.7 \times 10^{-4} \text{Bq/L}$
$^3\text{H}$	水（电解）	250mL	1000	$1.8 \times 10^{-1} \text{Bq/L}$
$^3\text{H}$	水（直接）	8mL	1000	1.66Bq/L
HTO	空气	10m <sup>3</sup>	1000	$8.0 \times 10^{-3} \text{Bq/m}^3$
有机氚	生物	280g 鲜	1000	$6.8 \times 10^{-2} \text{Bq/kg 鲜}$
$^{14}\text{C}$	空气	3m <sup>3</sup>	1000	$4.25 \times 10^{-3} \text{Bq/m}^3$
	水	50L	1000	$0.20 \times 10^{-3} \text{Bq/L}$
	生物	4g 干样	1000	4.95Bq/kg 干样
	/	4gCaCO <sub>3</sub> 生成的 CO <sub>2</sub>	1000	0.02Bq/gC
$^{131}\text{I}$	气溶胶	10000m <sup>3</sup>	1000	$6.4 \times 10^{-6} \text{Bq/m}^3$
	牛奶	15L	1000	$1.3 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$
	淡水	50L	1000	$0.29 \times 10^{-3} \text{Bq/L}$
$^{239+240}\text{Pu}$	土壤、底泥	50g	1000	0.01Bq/kg

表 3.1-4 调查采用的主要仪器和设备检定情况表

序号	仪器设备名称	型号规格	最近检定日期	检定证书号	检定周期
1	高纯锗 $\gamma$ 谱仪	GR3019	2017.8.13	2017H21-20-000117	2 年
2	高纯锗 $\gamma$ 谱仪	GC3519	2017.8.13	2017H21-20-000115	2 年
3	高纯锗 $\gamma$ 谱仪	BE3830	2017.7.14	2017H21-20-000116	2 年
4	低本底 $\alpha/\beta$ 测量仪	LB770	2017.7.20	2017H21-20-000119	2 年
5	低本底 $\alpha$ 谱仪	7200-08	2016.6.19	JZ-A01-160619A101	3 年
6	超低本底液闪谱仪	Quantulus1220	2016.06.19	GFJGJL1005160001212	2 年
7	环境 $\gamma$ 辐射监测仪	YB-III	2018.04.12	检字第[2018]-R270	1 年
8	热释光剂量仪	RGD-3B	2017.07.28	校字第[2017]-R474	1 年
9	电子天平	PB303-E	2018.05.10	(2018)天字第 25 号	1 年
10	电子天平	MS104S	2018.03.16	(2018)天字第 13 号	1 年

表 3.1-5 调查中使用的放射性标准物质

序号	名称	来源	证书号/编号	用途
1	$^{241}\text{Am}$ , $^{40}\text{K}$ 粉末标准源	中国计量院	Fspa2000-12072	总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 测量
2	点源系列	英国 AMERSHAM	QCRI	$\gamma$ 谱仪刻度
3	土壤放射性参考物质	美国 EML	QAP-9803	$\gamma$ 谱测量
4	土壤放射性参考物质	美国 RESL	MAPEPEP-99-S6	$\gamma$ 谱测量
5	沉积物放射性参考物质	IAEA	IAEA-384	$\gamma$ 谱测量
6	放射性水溶液参考物质	美国 RESL	MAPEPEP-97-W5	$\gamma$ 谱测量

表 3.1-6 掺标样品的分析结果（一）

核素名称	掺标水样		
	参考值 (Bq/L)	测量值 (Bq/L)	相对标准 偏差(%)
H-3	1.25	1.18	-5.61
H-3	1.34	1.27	-5.22

表 3.1-7 掺标样品的分析结果（二）

核素名称	掺标土壤			掺标水样		
	参考值 (Bq/kg)	测量值 (Bq/kg)	相对标准 偏差(%)	参考值 (Bq/kg)	测量值 (Bq/kg)	相对标准 偏差(%)
Sr-90	35.8	34.3	-4.19	54.3	55.6	2.39
Co-60	76.7	78.0	1.69	43.6	42.4	-2.75
Cs-134	79.8	79.7	-0.13	90.8	87.0	-4.19
Cs-137	58.2	58.7	0.86	66.2	70.1	5.89
H-3	—	—	—	398	388	-2.51

表 3.1-8 掺标样品的分析结果（三）

核素名称	掺标奶粉		
	参考值 (Bq/kg)	测量值 (Bq/kg)	相对标准 偏差(%)
Sr-90	21.8	22.5	3.21
Sr-90	21.8	22.8	4.59

表 3.1-9 平行样品测量结果统计

样品名称	平行样品个数	测量结果个数	相对偏差大于30%的个数	相对偏差大于30%的比例(%)
地表水	2	24	0	0
地下水	2	24	0	0
饮用水	2	24	0	0
底泥	1	6	0	0
土壤	4	25	0	0
陆生生物	5	10	0	0
海水	4	28	0	0
海洋沉积物	2	7	0	0
海洋生物	4	12	0	0
合计	29	167	0	0

表 3.2-1 厂区内电磁辐射监测点设置情况

编号	监测点名称	备注	编号	监测点名称	备注	编号	监测点名称	备注
1	厂界东	本底点位	5	工程公司综合办公楼界外	本底点位	9	1、2号机组中心	本底点位
2	厂界南	本底点位	6	电信通讯基站	本底点位	10	大件码头	本底点位
3	厂界西	本底点位	7	5、6号机组中心	本底点位	11	福清核电综合办公楼界外	/
4	厂界北	本底点位	8	3、4号机组中心	本底点位	/	/	/

表 3.2-2 福建福清核电厂开关站监测点设置

开关站名称	监测点设置	编号
110kV 施工进线（海崎线）开关站	东、南、西、北围墙外 5m 处监测工频电场、工频磁场强度和射频电场强度。	12~15
500kV 出线开关站		16~19
220kV 辅助开关站		20~23

表 3.2-3 福建福清核电厂主变压器监测点编号一览表

监测点名称	1# 主变压器	2# 主变压器	3# 主变压器	4# 主变压器	5# 主变压器	6# 主变压器	110kV 进线主变压器（海崎变电站）	220kV 1、2号辅助厂房主变压器	220kV 3、4号辅助厂房主变压器	220kV 5、6号辅助厂房主变压器
监测点编号	A1~A11	B1~B11	C1~C11	D1~D11	E1~E11	F1~F11	G1~G11	H1~H11	W1~W11	Y1~Y11

表 3.2-4 福建福清核电厂外监测点设置情况

编号	名称	备注	编号	名称	备注	编号	名称	备注
24	东薛村	本底点位	29	韩瑶村	本底点位	34	泽歧小学	本底点位
25	前薛村	本底点位	30	前庄村	/	35	西山村	/
26	前薛小学	本底点位	31	前庄小学	/	36	风力发电厂	本底点位
27	楼前村	本底点位	32	洋坪村	本底点位	37	前薛村基站	/
28	楼前小学	本底点位	33	泽歧村	本底点位	/	/	/

表 3.2-5 监测仪器一览表

仪器名称	工频电场/磁场强度测量仪	电磁场强测量仪
型号	PMM8053A (EHP50C)	PMM8053A (EP330)
频率响应	5Hz~100kHz	100kHz~3GHz
分辨率	0.001V/m, 1nT	0.01V/m
测量灵敏度/准确度	0.01V/m, 1nT	0.3V/m
计量标定标号	XDdj2017-2839	XDdj2017-2823
有效期	2018年7月24日	2018年7月27日

表 3.2-6 居民区环境辐射电平水平标注

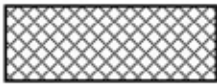
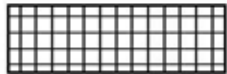



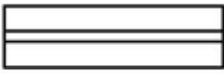
序号	种类	射频电场强度 (mV/m)
1		>300
2		200~300
3		130~200
4		80~130
5		50~80
6		<50

表 3.2-7 福建福清核电厂厂区工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 V/m	工频磁感应强度 $\mu\text{T}$
1	厂界东	2018.05.04AM	晴	25.7	56.0	西南	0.5	100.5	14.023	0.087
2	厂界南	2018.05.04AM	晴	25.7	56.0	西南	0.5	100.5	1.29	0.039
3	厂界西	2018.05.04AM	晴	25.7	56.0	西南	0.5	100.5	2.055	0.039
4	厂界北	2018.05.04AM	晴	25.7	56.0	西南	0.5	100.5	108.75	0.996
5	综合办公楼界外	2018.05.04AM	晴	25.7	56.0	西南	0.5	100.5	12.966	0.245
6	电信通讯基站	2018.05.04AM	晴	25.7	56.0	西南	0.5	100.5	1.945	0.053
7	5、6号机组中心	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	2.272	0.095
8	3、4号机组中心	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	2.757	0.059
9	1、2号机组中心	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	0.648	0.046
10	大件码头	2018.05.04AM	晴	25.7	56.0	西南	0.5	100.5	1.124	0.042
11	福清核电公司综合办公楼	2018.05.04AM	晴	25.7	56.0	西南	0.5	100.5	1.933	0.066

注：监测期间福清核电 1#机组运行功率保持在 1075MWe~1089MWe；2#机组运行功率保持在 1085MWe~1089MWe；3、4#机组满功率运行。

表 3.2-8 福建福清核电厂厂区射频综合场强现状监测结果

测点编号	测点名称	测量时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	射频电场强度 V/m
1	厂界东	2018.05.04AM	晴	25.7	56.0	西南	0.5	100.5	0.89
2	厂界南	2018.05.04AM	晴	25.7	56.0	西南	0.5	100.5	1.75
3	厂界西	2018.05.04AM	晴	25.7	56.0	西南	0.5	100.5	1.67
4	厂界北	2018.05.04AM	晴	25.7	56.0	西南	0.5	100.5	0.51
5	综合办公楼界外	2018.05.04AM	晴	25.7	56.0	西南	0.5	100.5	0.86
6	电信通讯基站	2018.05.04AM	晴	25.7	56.0	西南	0.5	100.5	0.75
7	5、6号机组中心	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	0.37
8	3、4号机组中心	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	1.33
9	1、2号机组中心	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	2.15
10	大件码头	2018.05.04AM	晴	25.7	56.0	西南	0.5	100.5	0.85
11	福清核电公司综合办公楼	2018.05.04AM	晴	25.7	56.0	西南	0.5	100.5	1.06

注：监测期间福清核电1#机组运行功率保持在1075MWe~1089MWe；2#机组运行功率保持在1085MWe~1089MWe；3、4#机组满功率运行。



表 3.2-9 福建福清核电厂厂区内开关站工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速m/s	大气压kPa	工频电场强度V/m	工频磁感应强度μT
12	110kV 施工进线（海嵛线）开关站东边界	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	72.394	1.520
13	110kV 施工进线（海嵛线）开关站南边界	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	65.870	0.675
14	110kV 施工进线（海嵛线）开关站西边界	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	48.553	0.451
15	110kV 施工进线（海嵛线）开关站北边界	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	16.052	0.438
16	500kV 出线开关站东边界	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	29.172	0.620
17	500kV 出线开关站南边界	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	64.141	0.908
18	500kV 出线开关站西边界	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	1207	4.306
19	500kV 出线开关站北边界	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	298.73	1.943
20	220kV 辅助开关站东边界	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	8.915	0.981
21	220kV 辅助开关站东边界	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	59.198	1.055
22	220kV 辅助开关站东边界	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	344.1	1.089
23	220kV 辅助开关站东边界	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	11.923	0.399

注：监测期间福清核电 1#机组运行功率保持在 1075MWe~1089MWe；2#机组运行功率保持在 1085MWe~1089MWe；3、4#机组满功率运行。

表 3.2-10 福建福清核电厂厂区内开关站射频综合场强现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	射频电场强度 V/m
12	110kV 施工进线（海崎线）开关站东边界	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	1.01
13	110kV 施工进线（海崎线）开关站南边界	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	2.22
14	110kV 施工进线（海崎线）开关站西边界	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	1.56
15	110kV 施工进线（海崎线）开关站北边界	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	1.33
16	500kV 出线 开关站东边界	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	0.54
17	500kV 出线 开关站南边界	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	1.04
18	500kV 出线 开关站西边界	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	0.96
19	500kV 出线 开关站北边界	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	0.63
20	220kV 辅助开关站 东边界	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	0.75
21	220kV 辅助开关站 东边界	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	0.42
22	220kV 辅助开关站 东边界	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	0.72
23	220kV 辅助开关站 东边界	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	0.73

注：监测期间福清核电 1#机组运行功率保持在 1075MWe~1089MWe；2#机组运行功率保持在 1085MWe~1089MWe；3、4#机组满功率运行。

表 3.2-11 (1/6) 福建福清核电厂主变压器工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 V/m	工频磁感应强度 μT
<b>1#主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果</b>										
A1	1#主变压器外 0m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	12.595	85.615
A2	1#主变压器外 5m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	10.936	67.837
A3	1#主变压器外 10m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	8.27	50.014
A4	1#主变压器外 15m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	7.836	41.61
A5	1#主变压器外 20m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	5.214	33.33
A6	1#主变压器外 25m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	4.448	22.917
A7	1#主变压器外 30m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	3.222	20.62
A8	1#主变压器外 35m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	2.261	11.817
A9	1#主变压器外 40m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	1.294	8.69
A10	1#主变压器外 45m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	1.136	7.969
A11	1#主变压器外 50m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	1.061	4.388
<b>2#主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果</b>										
B1	2#主变压器外 0m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	13.517	10.952
B2	2#主变压器外 5m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	11.944	9.698
B3	2#主变压器外 10m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	7.378	8.757
B4	2#主变压器外 15m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	5.762	6.148
B5	2#主变压器外 20m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	3.994	5.42
B6	2#主变压器外 25m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	2.499	5.329
B7	2#主变压器外 30m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	2.197	3.696
B8	2#主变压器外 35m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	1.514	3.781
B9	2#主变压器外 40m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	0.892	3.442
B10	2#主变压器外 45m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	0.687	2.688
B11	2#主变压器外 50m	2018.05.07AM	阴	27.3	72.9	西	0.9	101.0	0.602	1.997

注：监测期间福清核电 1#机组运行功率保持在 1075MWe~1089MWe；2#机组运行功率保持在 1085MWe~1089MWe；3、4#机组满功率运行。

表 3.2-11 (2/6) 福建福清核电厂主变压器工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 V/m	工频磁感应强度 μT
<b>3#主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果</b>										
C1	3#主变压器外 0m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	29.882	15.198
C2	3#主变压器外 5m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	20.974	10.488
C3	3#主变压器外 10m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	14.441	8.696
C4	3#主变压器外 15m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	11.398	7.297
C5	3#主变压器外 20m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	7.329	5.072
C6	3#主变压器外 25m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	3.994	3.803
C7	3#主变压器外 30m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	3.758	2.265
C8	3#主变压器外 35m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	2.426	1.849
C9	3#主变压器外 40m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	1.698	1.619
C10	3#主变压器外 45m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	1.084	0.912
C11	3#主变压器外 50m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	0.741	0.6
<b>4#主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果</b>										
D1	4#主变压器外 0m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	22.683	17.196
D2	4#主变压器外 5m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	16.229	14.224
D3	4#主变压器外 10m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	14.644	11.315
D4	4#主变压器外 15m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	10.221	9.255
D5	4#主变压器外 20m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	6.086	6.408
D6	4#主变压器外 25m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	4.882	4.622
D7	4#主变压器外 30m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	2.198	3.451
D8	4#主变压器外 35m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	1.374	2.600
D9	4#主变压器外 40m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	1.097	2.069
D10	4#主变压器外 45m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	0.774	1.599
D11	4#主变压器外 50m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	0.468	1.187

注：监测期间福清核电 1#机组运行功率保持在 1075MWe~1089MWe；2#机组运行功率保持在 1085MWe~1089MWe；3、4#机组满功率运行。

表 3.2-11 (3/6) 福建福清核电厂主变压器工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 V/m	工频磁感应强度 μT
<b>5#主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果</b>										
E1	5#主变压器外 0m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	21.274	0.219
E2	5#主变压器外 5m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	18.456	0.237
E3	5#主变压器外 10m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	23.523	0.320
E4	5#主变压器外 15m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	23.100	0.306
E5	5#主变压器外 20m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	22.476	0.251
E6	5#主变压器外 25m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	22.212	0.255
E7	5#主变压器外 30m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	23.979	0.285
E8	5#主变压器外 35m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	21.630	0.304
E9	5#主变压器外 40m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	23.880	0.325
E10	5#主变压器外 45m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	20.859	0.322
E11	5#主变压器外 50m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	21.357	0.327
<b>6#主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果</b>										
F1	6#主变压器外 0m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	27.991	0.222
F2	6#主变压器外 5m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	29.386	0.227
F3	6#主变压器外 10m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	25.803	0.224
F4	6#主变压器外 15m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	27.845	0.221
F5	6#主变压器外 20m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	25.721	0.235
F6	6#主变压器外 25m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	25.720	0.248
F7	6#主变压器外 30m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	27.592	0.229
F8	6#主变压器外 35m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	26.398	0.216
F9	6#主变压器外 40m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	27.745	0.221
F10	6#主变压器外 45m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	27.893	0.221
F11	6#主变压器外 50m	2018.05.08AM	阴	27.2	73.4	东南	2.0	100.8	27.581	0.230

注：监测期间福清核电 1#机组运行功率保持在 1075MWe~1089MWe；2#机组运行功率保持在 1085MWe~1089MWe；3、4#机组满功率运行。

表 3.2-11 (4/6) 福建福清核电厂主变压器工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 V/m	工频磁感应强度 μT
<b>110kV 进线（海崎变电站）主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果</b>										
G1	110kV 进线#主变压器外 0m	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	47.410	0.555
G2	110kV 进线主变压器外 5m	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	30.049	0.423
G3	110kV 进线主变压器外 10m	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	25.509	0.292
G4	110kV 进线主变压器外 15m	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	19.065	0.291
G5	110kV 进线主变压器外 20m	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	14.127	0.214
G6	110kV 进线主变压器外 25m	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	10.674	0.177
G7	110kV 进线主变压器外 30m	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	8.888	0.149
G8	110kV 进线主变压器外 35m	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	5.769	0.114
G9	110kV 进线主变压器外 40m	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	4.602	0.114
G10	110kV 进线主变压器外 45m	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	3.165	0.083
G11	110kV 进线主变压器外 50m	2018.05.04PM	晴	28.6	37.4	西	0.8	100.5	2.376	0.077
<b>220kV1、2号辅助厂房主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果</b>										
H1	220kV 1.2号辅助厂房主变压器外 0m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	14.340	0.169
H2	220kV 1.2号辅助厂房主变压器外 5m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	12.320	0.154
H3	220kV 1.2号辅助厂房主变压器外 10m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	7.034	0.117
H4	220kV 1.2号辅助厂房主变压器外 15m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	5.102	0.090
H5	220kV 1.2号辅助厂房主变压器外 20m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	3.735	0.090
H6	220kV 1.2号辅助厂房主变压器外 25m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	2.914	0.079
H7	220kV 1.2号辅助厂房主变压器外 30m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	2.259	0.058
H8	220kV 1.2号辅助厂房主变压器外 35m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	1.852	0.056
H9	220kV 1.2号辅助厂房主变压器外 40m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	1.125	0.039
H10	220kV 1.2号辅助厂房主变压器外 45m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	0.780	0.037
H11	220kV 1.2号辅助厂房主变压器外 50m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	0.515	0.026

注：监测期间福清核电 1#机组运行功率保持在 1075MWe~1089MWe；2#机组运行功率保持在 1085MWe~1089MWe；3、4#机组满功率运行。

表 3.2-11 (5/6) 福建福清核电厂主变压器工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 V/m	工频磁感应强度 μT
<b>220kV3、4号辅助厂房主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果</b>										
W1	220kV3、4号辅助厂房主变压器外0m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	51.085	0.324
W2	220kV3、4号辅助厂房主变压器外5m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	37.086	0.282
W3	220kV3、4号辅助厂房主变压器外10m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	24.776	0.259
W4	220kV3、4号辅助厂房主变压器外15m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	22.705	0.180
W5	220kV3、4号辅助厂房主变压器外20m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	12.409	0.171
W6	220kV3、4号辅助厂房主变压器外25m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	10.736	0.126
W7	220kV3、4号辅助厂房主变压器外30m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	8.567	0.116
W8	220kV3、4号辅助厂房主变压器外35m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	6.755	0.106
W9	220kV3、4号辅助厂房主变压器外40m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	5.935	0.083
W10	220kV3、4号辅助厂房主变压器外45m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	3.936	0.074
W11	220kV3、4号辅助厂房主变压器外50m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	3.687	0.064

注：监测期间福清核电1#机组运行功率保持在1075MWe~1089MWe；2#机组运行功率保持在1085MWe~1089MWe；3、4#机组满功率运行。

表 3.2-11（6/6） 福建福清核电厂主变压器工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 V/m	工频磁感应强度 μT
<b>220kV5、6号辅助厂房主变压器工频电场/工频磁场强度监测结果</b>										
Y1	220kV 3、4号辅助厂房主变压器外 0m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	28.733	0.310
Y2	220kV 3、4号辅助厂房主变压器外 5m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	27.568	0.324
Y3	220kV 3、4号辅助厂房主变压器外 10m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	27.129	0.339
Y4	220kV 3、4号辅助厂房主变压器外 15m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	27.370	0.282
Y5	220kV 3、4号辅助厂房主变压器外 20m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	26.387	0.322
Y6	220kV 3、4号辅助厂房主变压器外 25m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	27.223	0.363
Y7	220kV 3、4号辅助厂房主变压器外 30m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	26.098	0.317
Y8	220kV 3、4号辅助厂房主变压器外 35m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	27.626	0.321
Y9	220kV 3、4号辅助厂房主变压器外 40m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	28.340	0.284
Y10	220kV 3、4号辅助厂房主变压器外 45m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	27.051	0.357
Y11	220kV 3、4号辅助厂房主变压器外 50m	2018.05.08PM	阴	28.4	68.4	东南	1.5	100.8	27.112	0.344

注：监测期间福清核电 1#机组运行功率保持在 1075MWe~1089MWe；2#机组运行功率保持在 1085MWe~1089MWe；3、4#机组满功率运行。



表 3.2-12 (1/5) 福建福清核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度 ℃	湿度 %	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 V/m	工频磁感应强度 μT
<b>110kV 进线输电线路（PI 监测断面）垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据</b>										
P1-1	110kV 进线输电线路南边相下 0m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	1541.6	0.951
P1-2	110kV 进线输电线路南边相外 5m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	1282.4	0.767
P1-3	110kV 进线输电线路南边相外 10m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	745.1	0.506
P1-4	110kV 进线输电线路南边相外 15m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	525.87	0.374
P1-5	110kV 进线输电线路南边相外 20m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	337.83	0.309
P1-6	110kV 进线输电线路南边相外 25m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	235.47	0.206
P1-7	110kV 进线输电线路南边相外 30m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	215.54	0.172
P1-8	110kV 进线输电线路南边相外 35m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	166.12	0.126
P1-9	110kV 进线输电线路南边相外 40m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	112.29	0.094
P1-10	110kV 进线输电线路南边相外 45m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	85.414	0.079
P1-11	110kV 进线输电线路南边相外 50m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	64.716	0.050
P1-12	110kV 进线输电线路北边相下 0m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	1436.7	0.953
P1-13	110kV 进线输电线路北边相外 5m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	1206.5	0.803
P1-14	110kV 进线输电线路北边相外 10m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	628.92	0.507
P1-15	110kV 进线输电线路北边相外 15m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	495.16	0.397
P1-16	110kV 进线输电线路北边相外 20m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	397.09	0.343
P1-17	110kV 进线输电线路北边相外 25m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	234.59	0.237
P1-18	110kV 进线输电线路北边相外 30m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	175.95	0.173
P1-19	110kV 进线输电线路北边相外 35m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	101.58	0.137
P1-20	110kV 进线输电线路北边相外 40m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	86.431	0.085
P1-21	110kV 进线输电线路北边相外 45m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	42.578	0.080
P1-22	110kV 进线输电线路北边相外 50m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	36.060	0.068

注：监测期间福清核电 1#机组运行功率保持在 1075MWe~1089MWe；2#机组运行功率保持在 1085MWe~1089MWe；3、4#机组满功率运行。

表 3.2-12 (2/5) 福建福清核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度 ℃	湿度 %	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 V/m	工频磁感应强度 μT
<b>110kV 倒送电输电线路（P1 监测断面）平行监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据</b>										
P1-23	110kV 进线输电线路南边相外 20m(1)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	327.11	0.334
P1-24	110kV 进线输电线路南边相外 20m(2)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	332.73	0.338
P1-25	110kV 进线输电线路南边相外 20m(3)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	358.07	0.348
P1-26	110kV 进线输电线路北边相外 20m(1)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	397.29	0.387
P1-27	110kV 进线输电线路北边相外 20m(2)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	396.14	0.378
P1-28	110kV 进线输电线路北边相外 20m(3)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	393.13	0.393
<b>500kV 出线输电线路（P2 监测断面）垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据</b>										
P2-1	500kV 出线输电线路东边相下 0m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	2124.9	5.406
P2-2	500kV 出线输电线路东边相外 5m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	1819.6	4.499
P2-3	500kV 出线输电线路东边相外 10m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	1665.5	3.375
P2-4	500kV 出线输电线路东边相外 15m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	1051.58	3.121
P2-5	500kV 出线输电线路东边相外 20m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	741.44	2.306
P2-6	500kV 出线输电线路东边相外 25m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	406.26	2.243
P2-7	500kV 出线输电线路东边相外 30m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	283.53	1.519
P2-8	500kV 出线输电线路东边相外 35m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	205.89	0.954
P2-9	500kV 出线输电线路东边相外 40m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	119.22	0.809
P2-10	500kV 出线输电线路东边相外 45m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	58.458	0.689
P2-11	500kV 出线输电线路东边相外 50m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	39.474	0.602
P2-12	500kV 出线输电线路西边相下 0m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	2069.6	5.627
P2-13	500kV 出线输电线路西边相外 5m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	1984.5	4.907
P2-14	500kV 出线输电线路西边相外 10m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	1753.0	3.127
P2-15	500kV 出线输电线路西边相外 15m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	1174.2	3.003

注：监测期间福清核电 1#机组运行功率保持在 1075MWe~1089MWe；2#机组运行功率保持在 1085MWe~1089MWe；3、4#机组满功率运行。

表 3.2-12 (3/5) 福建福清核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度 ℃	湿度 %	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 V/m	工频磁感应强度 μT
<b>500kV 出线输电线路（P2 监测断面）垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据</b>										
P2-16	500kV 出线输电线路西边相外 20m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	810.48	2.358
P2-17	500kV 出线输电线路西边相外 25m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	442.71	2.018
P2-18	500kV 出线输电线路西边相外 30m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	301.64	1.643
P2-19	500kV 出线输电线路西边相外 35m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	183.36	1.160
P2-20	500kV 出线输电线路西边相外 40m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	116.50	0.924
P2-21	500kV 出线输电线路西边相外 45m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	47.262	0.806
P2-22	500kV 出线输电线路西边相外 50m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	35.393	0.513
<b>500kV 出线输电线路（P2 监测断面）平行监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据</b>										
P2-23	500kV 出线输电线路东边相外 20m(1)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	738.54	2.648
P2-24	500kV 出线输电线路东边相外 20m(2)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	670.11	2.814
P2-25	500kV 出线输电线路东边相外 20m(3)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	706.88	2.819
P2-26	500kV 出线输电线路西边相外 20m(1)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	552.03	3.059
P2-27	500kV 出线输电线路西边相外 20m(2)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	536.58	3.027
P2-28	500kV 出线输电线路西边相外 20m(3)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	529.10	3.178
<b>220kV 倒送电输电线路（P3 监测断面）垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据</b>										
P3-1	220kV 倒送电输电线路南边相下 0m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	863.79	1.763
P3-2	220kV 倒送电输电线路南边相外 5m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	599.32	1.549
P3-3	220kV 倒送电输电线路南边相外 10m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	405.15	0.930
P3-4	220kV 倒送电输电线路南边相外 15m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	228.19	0.555
P3-5	220kV 倒送电输电线路南边相外 20m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	138.06	0.440
P3-6	220kV 倒送电输电线路南边相外 25m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	113.88	0.347
P3-7	220kV 倒送电输电线路南边相外 30m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	65.830	0.233

注：监测期间福清核电 1#机组运行功率保持在 1075MWe~1089MWe；2#机组运行功率保持在 1085MWe~1089MWe；3、4#机组满功率运行。

表 3.2-12 (4/5) 福建福清核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点 编号	测点位置	监测时间	天气 情况	温度 ℃	湿度 %	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 V/m	工频磁感应强度 μT
<b>220kV 倒送电输电线路 (P3 监测断面) 垂直监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据</b>										
P3-8	220kV 倒送电输电线路南边相外 35m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	42.836	0.202
P3-9	220kV 倒送电输电线路南边相外 40m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	40.821	0.169
P3-10	220kV 倒送电输电线路南边相外 45m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	19.485	0.133
P3-11	220kV 倒送电输电线路南边相外 50m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	16.283	0.105
P3-12	220kV 倒送电输电线路北边相下 0m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	857.06	1.726
P3-13	220kV 倒送电输电线路北边相外 5m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	552.95	1.250
P3-14	220kV 倒送电输电线路北边相外 10m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	306.26	0.927
P3-15	220kV 倒送电输电线路北边相外 15m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	269.83	0.758
P3-16	220kV 倒送电输电线路北边相外 20m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	140.88	0.613
P3-17	220kV 倒送电输电线路北边相外 25m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	124.78	0.510
P3-18	220kV 倒送电输电线路北边相外 30m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	80.911	0.416
P3-19	220kV 倒送电输电线路北边相外 35m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	61.412	0.363
P3-20	220kV 倒送电输电线路北边相外 40m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	35.012	0.160
P3-21	220kV 倒送电输电线路北边相外 45m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	28.641	0.138
P3-22	220kV 倒送电输电线路北边相外 50m	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	18.228	0.081

注：监测期间福清核电 1#机组运行功率保持在 1075MWe~1089MWe；2#机组运行功率保持在 1085MWe~1089MWe；3、4#机组满功率运行。

表 3.2-12 (5/5) 福建福清核电厂输电线路监测断面工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点 编号	测点位置	监测时间	天气 情况	温度 ℃	湿度 %	风向	风速 m/s	大气压 kPa	工频电场强度 V/m	工频磁感应强度 μT
<b>220kV 倒送电输电线路 (P3 监测断面) 平行监测断面工频电场/工频磁场强度监测数据</b>										
P3-23	220kV 倒送电输电线路南边相外20m(1)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	148.10	0.583
P3-24	220kV 倒送电输电线路南边相外20m(2)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	141.14	0.598
P3-25	220kV 倒送电输电线路南边相外20m(3)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	151.22	0.606
P3-26	220kV 倒送电输电线路北边相外20m(1)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	156.08	0.608
P3-27	220kV 倒送电输电线路北边相外20m(2)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	145.91	0.591
P3-28	220kV 倒送电输电线路北边相外20m(3)	2018.05.09AM	晴	26.4	59.8	西	1.4	101.3	163.34	0.582

注：监测期间福清核电 1#机组运行功率保持在 1075MWe~1089MWe；2#机组运行功率保持在 1085MWe~1089MWe；3、4#机组满功率运行。

表 3.2-13 福建福清核电厂厂区外环境敏感区工频电场/工频磁场强度现状监测结果

测点编号	测点位置	监测时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速m/s	大气压kPa	工频电场强度V/m	工频磁感应强度μT
24	东薛村	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	2.260	0.064
25	前薛村	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.854	0.062
26	前薛小学	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.880	0.057
27	楼前村	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.773	0.055
28	楼前小学	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.637	0.050
29	韩瑶村	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.792	0.053
30	前庄村	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	1.346	0.042
31	前庄小学	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	1.349	0.067
32	洋坪村	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	2.525	0.067
33	泽岐村	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	3.087	0.058
34	泽岐小学	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	1.165	0.061
35	西山村	2018.05.04PM	晴	26.5	50.5	南	1.5	101.5	0.829	0.076
36	风力发电厂	2018.05.04PM	晴	26.5	50.5	南	1.5	101.5	14.298	0.085

表 3.2-14 福建福清核电厂厂区外环境敏感区射频综合场强现状监测结果

测点编号	测点名称	测量时间	天气情况	温度℃	湿度%	风向	风速 m/s	大气压 kPa	射频电场强度 V/m
24	东薛村	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.39
25	前薛村	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.42
26	前薛小学	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.38
27	楼前村	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.56
28	楼前小学	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.23
29	韩瑶村	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.45
30	前庄村	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.51
31	前庄小学	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.29
32	洋坪村	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.49
33	泽岐村	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.21
34	泽岐小学	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.16
35	西山村	2018.05.04PM	晴	26.5	50.5	南	1.5	101.5	0.48
36	风力发电厂	2018.05.04PM	晴	26.5	50.5	南	1.5	101.5	0.62
37	前薛村基站	2018.05.04AM	晴	32.0	32.7	南	1.2	101.5	0.64

表 3.2-15 厂区内监测值统计情况

监测点位置	监测因子	监测值范围	最大值	评价标准
厂区	工频电场 (V/m)	0.648~108.75	108.75	4000
	工频磁场 ( $\mu$ T)	0.039~0.996	0.996	100
	射频综合场强 (V/m)	0.37~2.15	2.15	12
开关站	工频电场 (V/m)	8.915~1207	1207	4000
	工频磁场 ( $\mu$ T)	0.399~4.306	4.306	100
	射频综合场强 (V/m)	0.42~2.22	2.22	12
主变压器	工频电场 (V/m)	0.468~51.085	51.085	4000
	工频磁场 ( $\mu$ T)	0.026~29.882	29.882	100

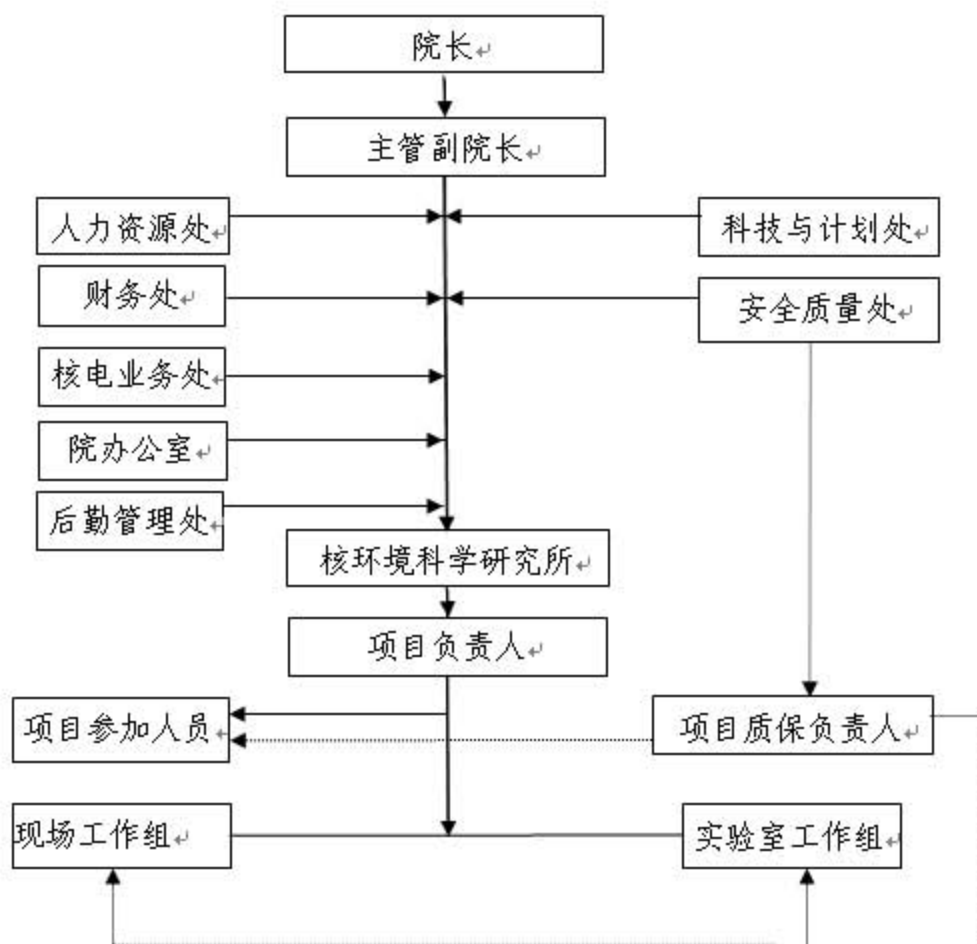
表 3.2-16 输电线路监测值统计情况

监测点位置	监测因子	监测值范围	最大值	评价标准
110kV 施工进线 (P1 监测断面)	工频电场 (V/m)	垂直监测断面: 36.060~1541.6	1541.6	4000
		平行监测断面: 327.11~397.29	397.29	
	工频磁场 ( $\mu$ T)	垂直监测断面: 0.050~0.953	0.953	100
		平行监测断面: 0.334~0.393	0.393	
500kV 出线输电线路 (P2 监测断面)	工频电场 (V/m)	垂直监测断面: 35.393~2124.9	2124.9	4000
		平行监测断面: 529.1~738.54	738.54	
	工频磁场 ( $\mu$ T)	垂直监测断面: 0.513~5.627	5.627	100
		平行监测断面: 2.648~3.178	3.178	

表 3.2-17 厂区外环境敏感区监测值统计情况

监测点位置	监测因子	监测值范围	最大值	评价标准
厂区外 环境敏感区	工频电场 (V/m)	0.637~14.298	14.298	4000
	工频磁场 ( $\mu$ T)	0.042~0.085	0.085	100
	射频综合场强 (V/m)	0.16~0.64	0.64	12





质量职能组织机构图（——领导关系，.....质保关系）

图 3.1-1 调查单位质量控制组织机构图

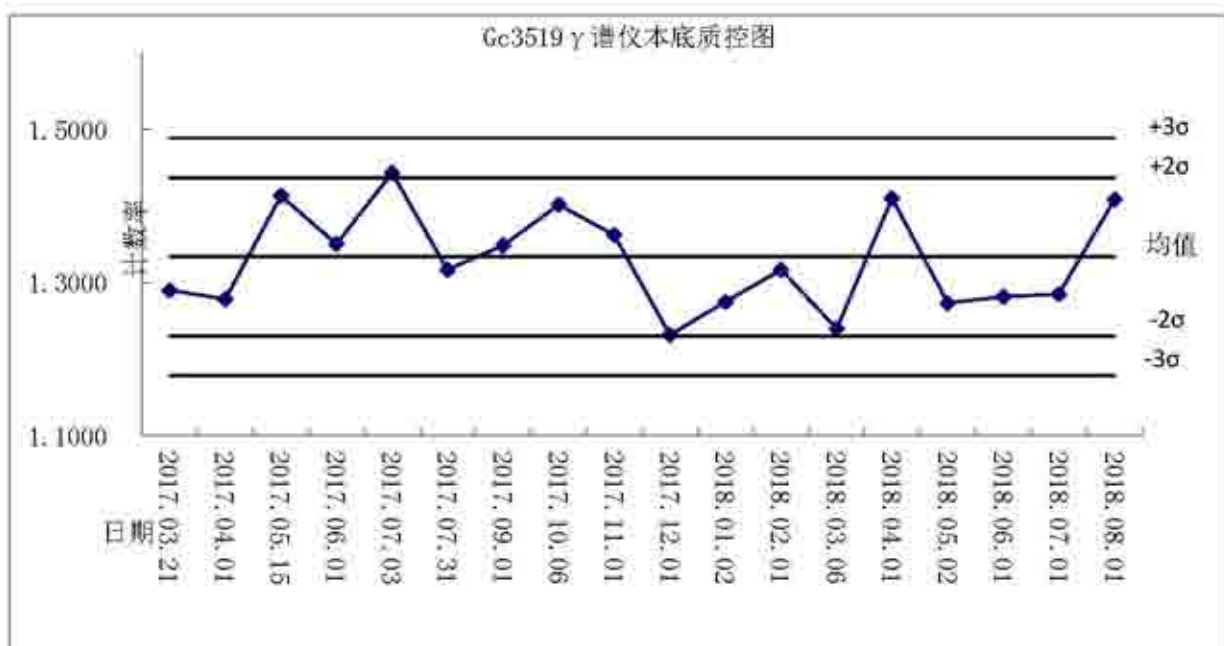


图 3.1-2 Ge3519  $\gamma$  谱仪本底质控图

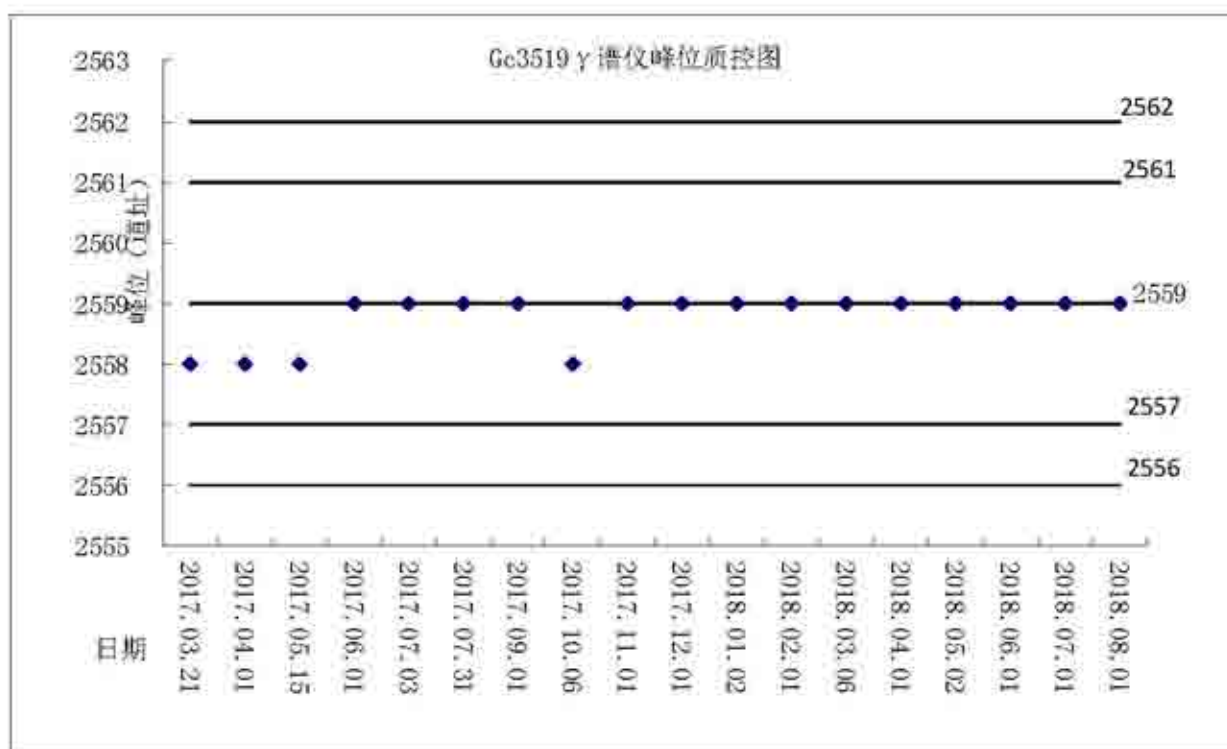


图 3.1-3 Ge3519  $\gamma$  谱仪峰位质控图

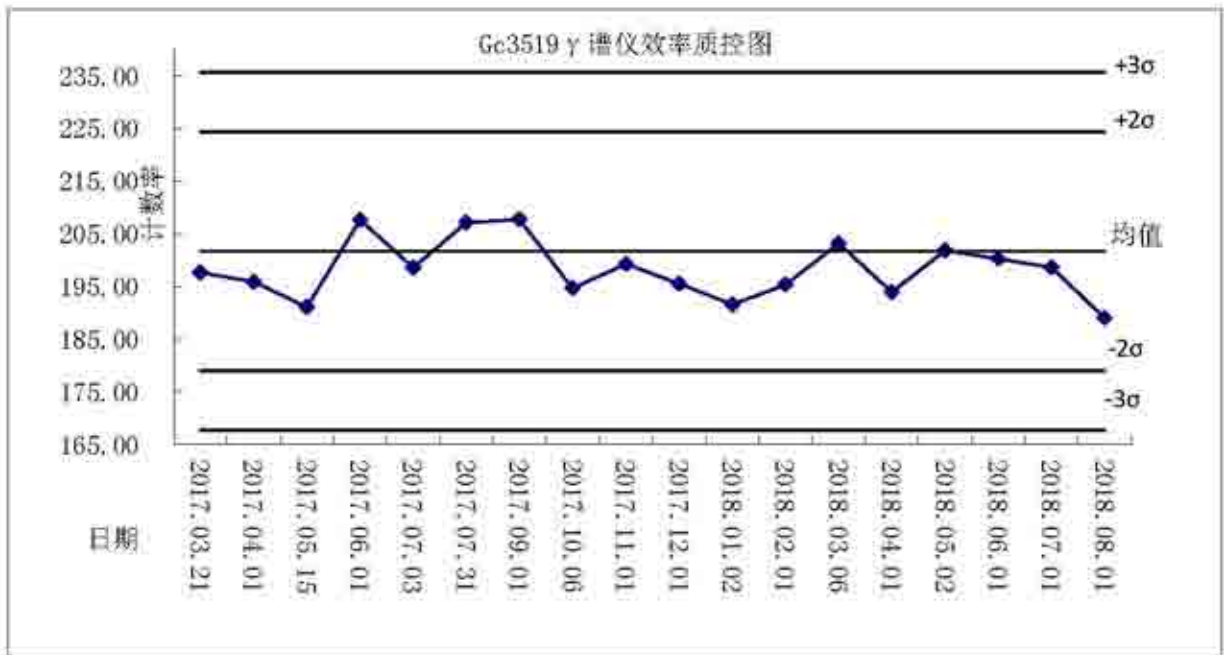


图 3.1-4 Gc3519  $\gamma$  谱仪效率质控图

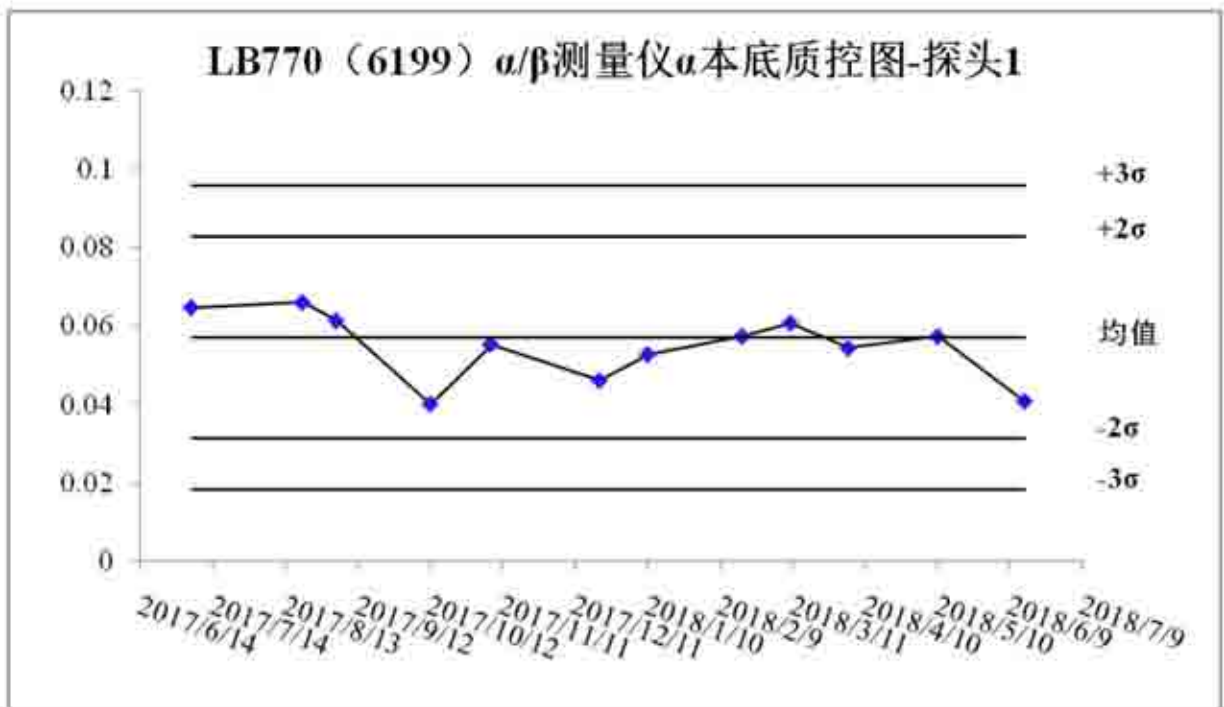


图 3.1-5 LB770 (6199)  $\alpha/\beta$  测量仪  $\alpha$  本底质控图

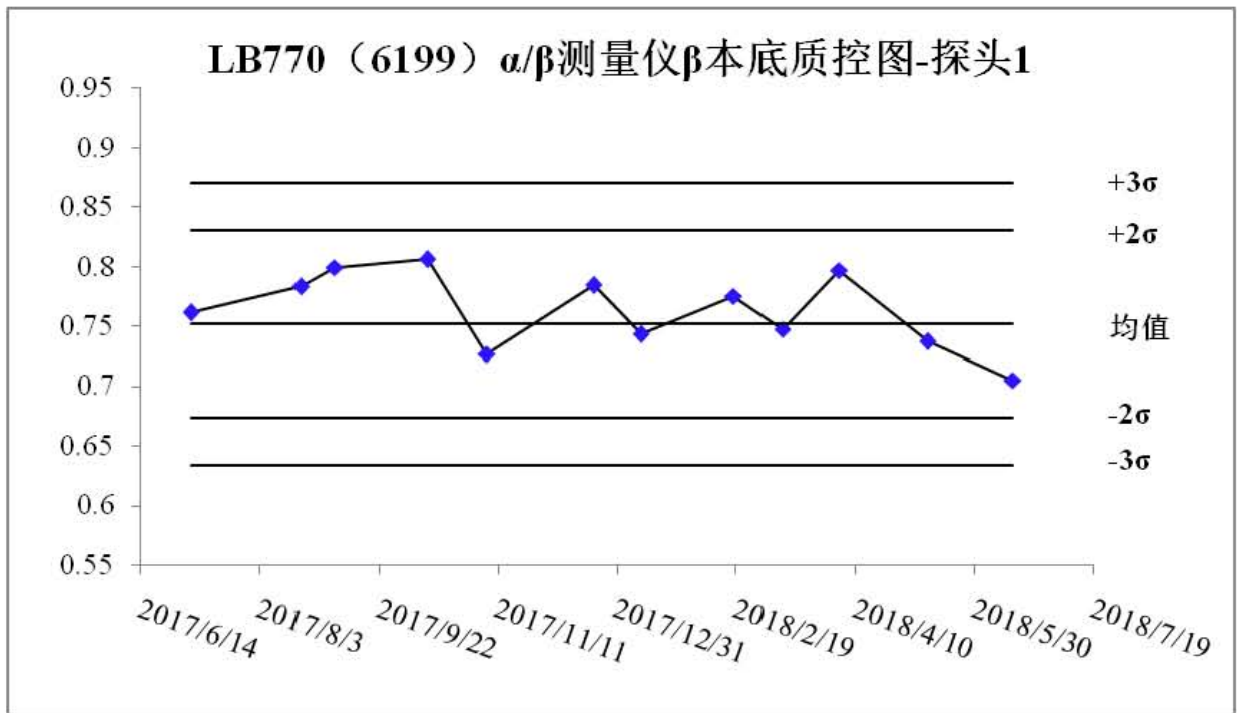


图 3.1-6 LB770 (6199)  $\alpha/\beta$  测量仪  $\beta$  本底质控图

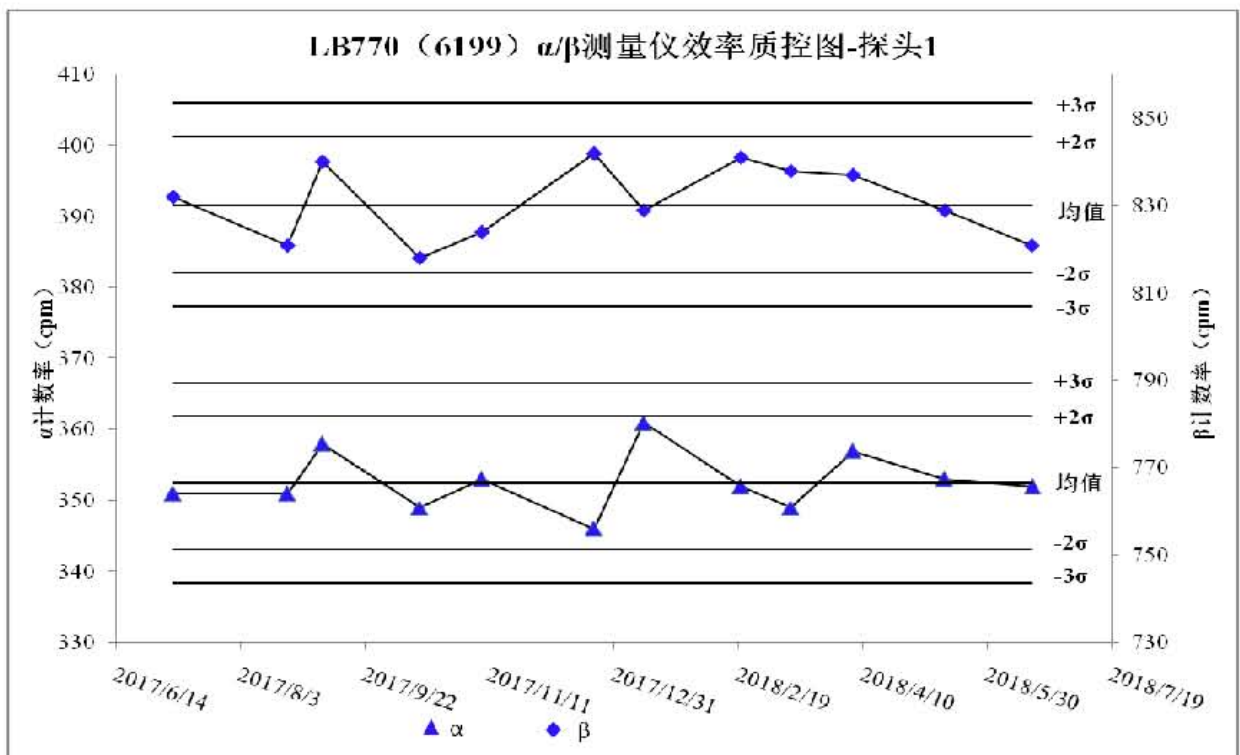


图 3.1-7 LB770 (6199)  $\alpha/\beta$  测量仪效率质控图

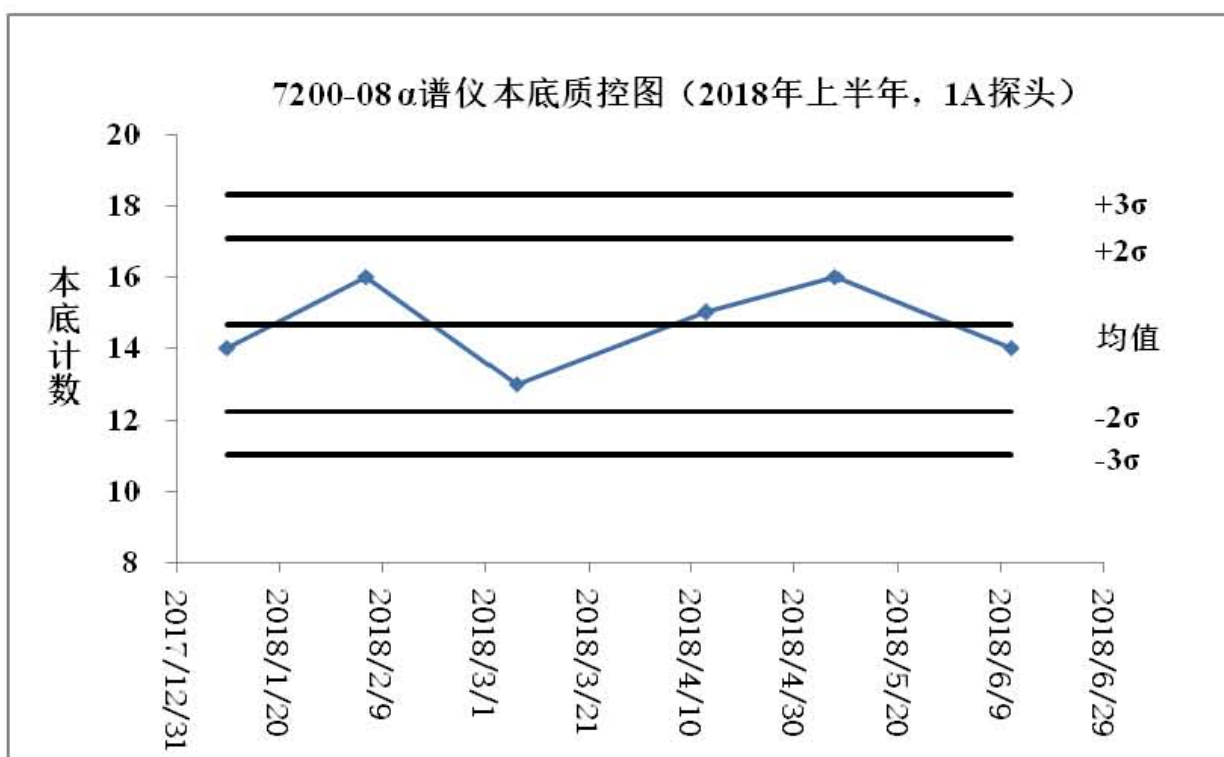


图 3.1-8 7200-08 α 谱仪本底质控图

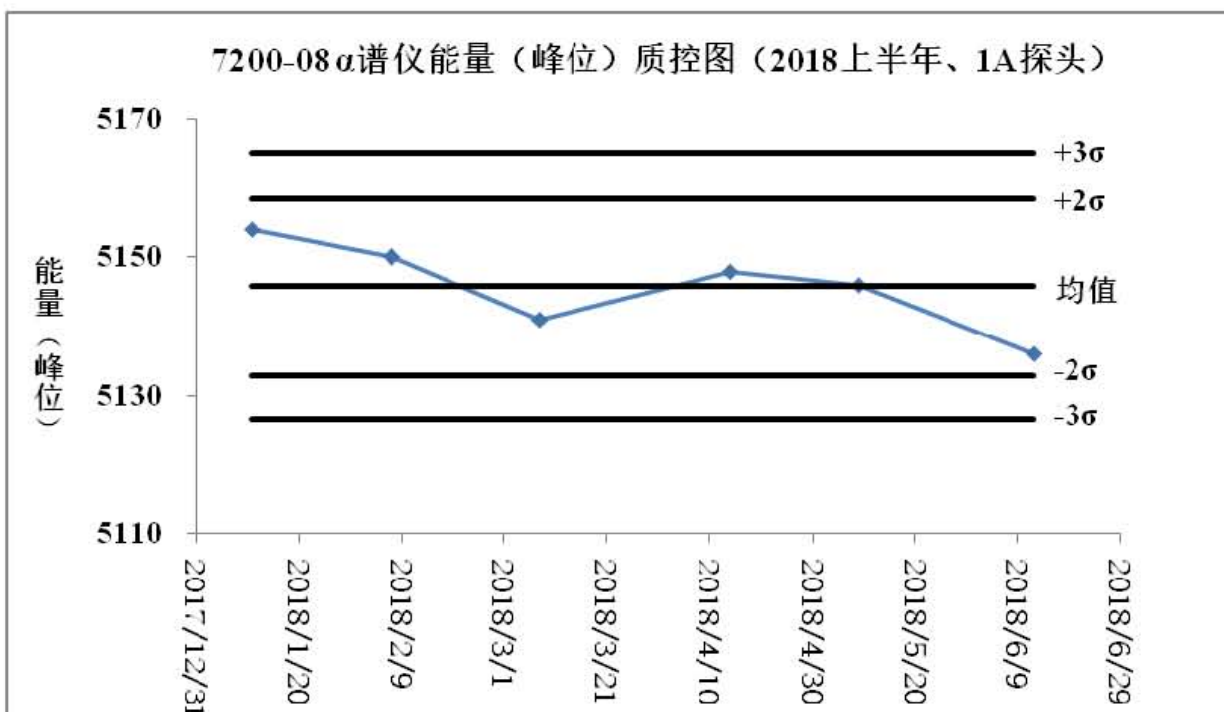


图 3.1-9 7200-08 α 谱仪峰位质控图

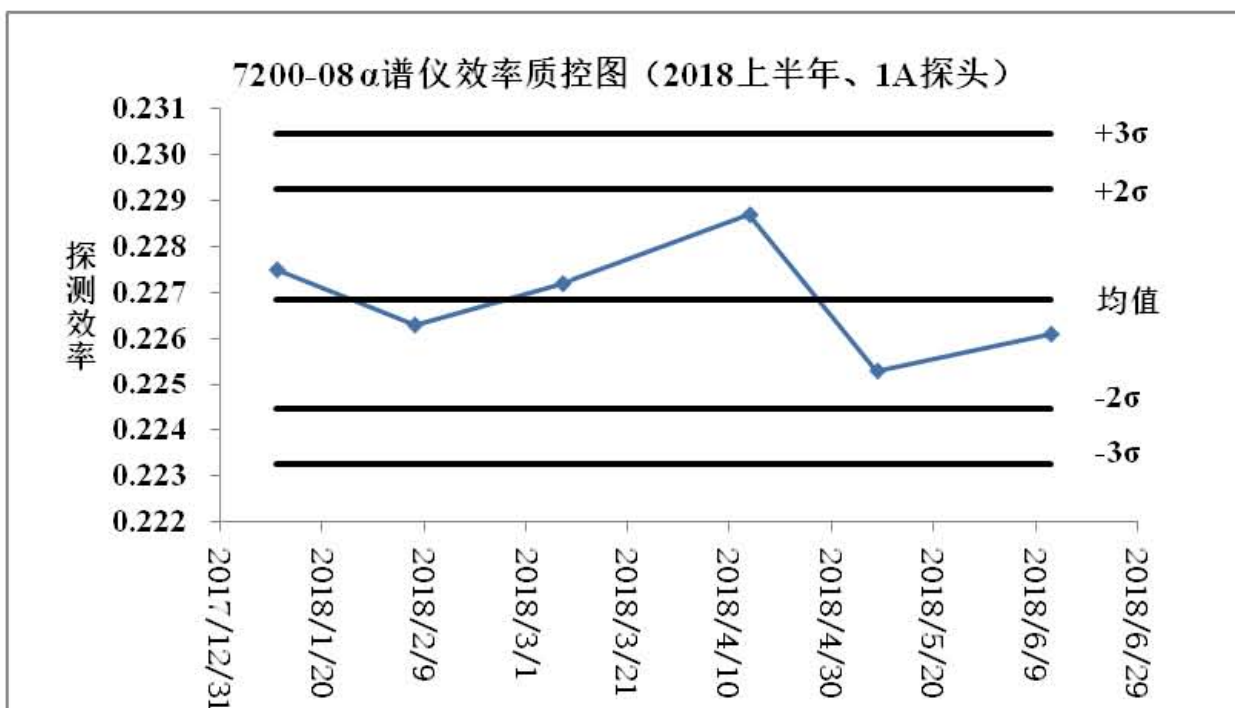


图 3.1-10 7200-08 α 谱仪效率质控图

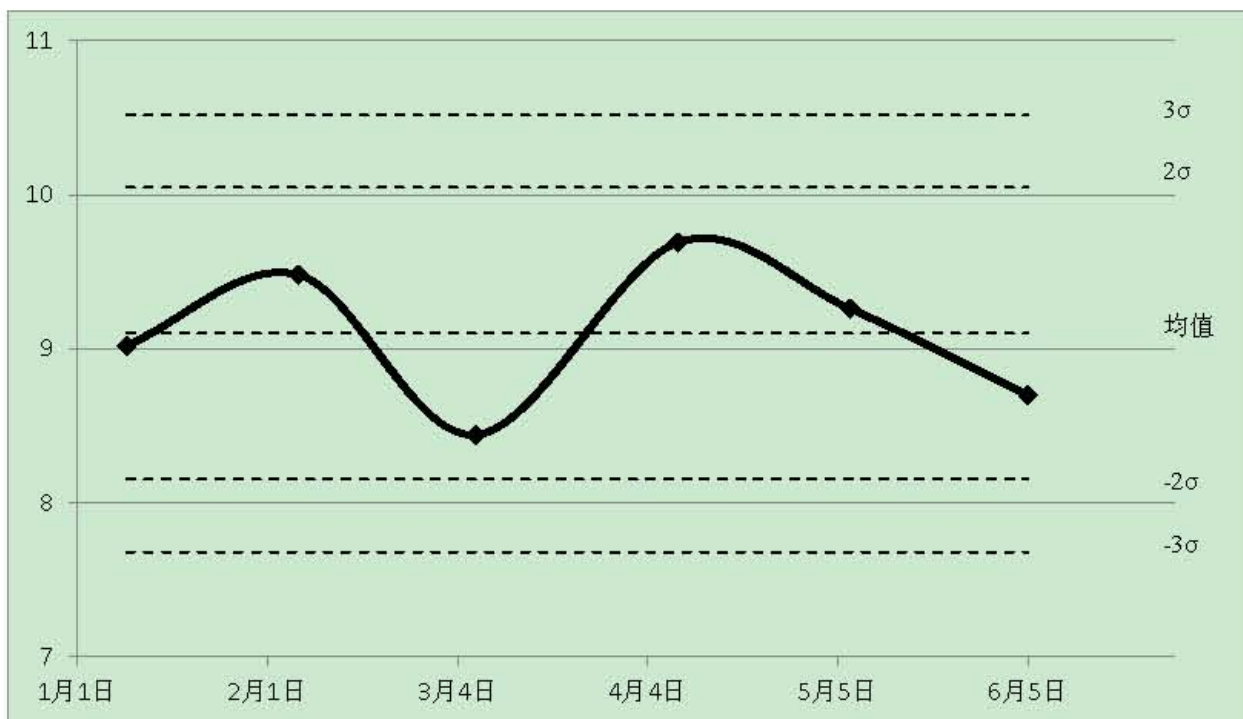
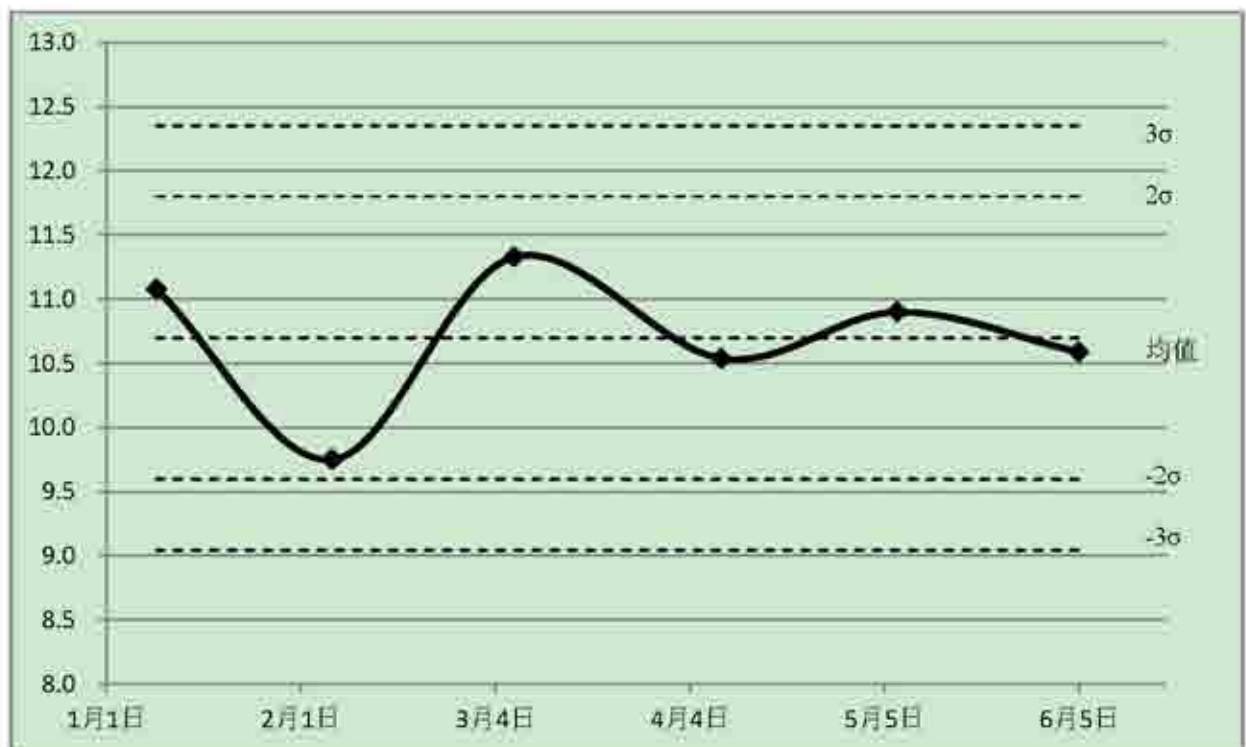
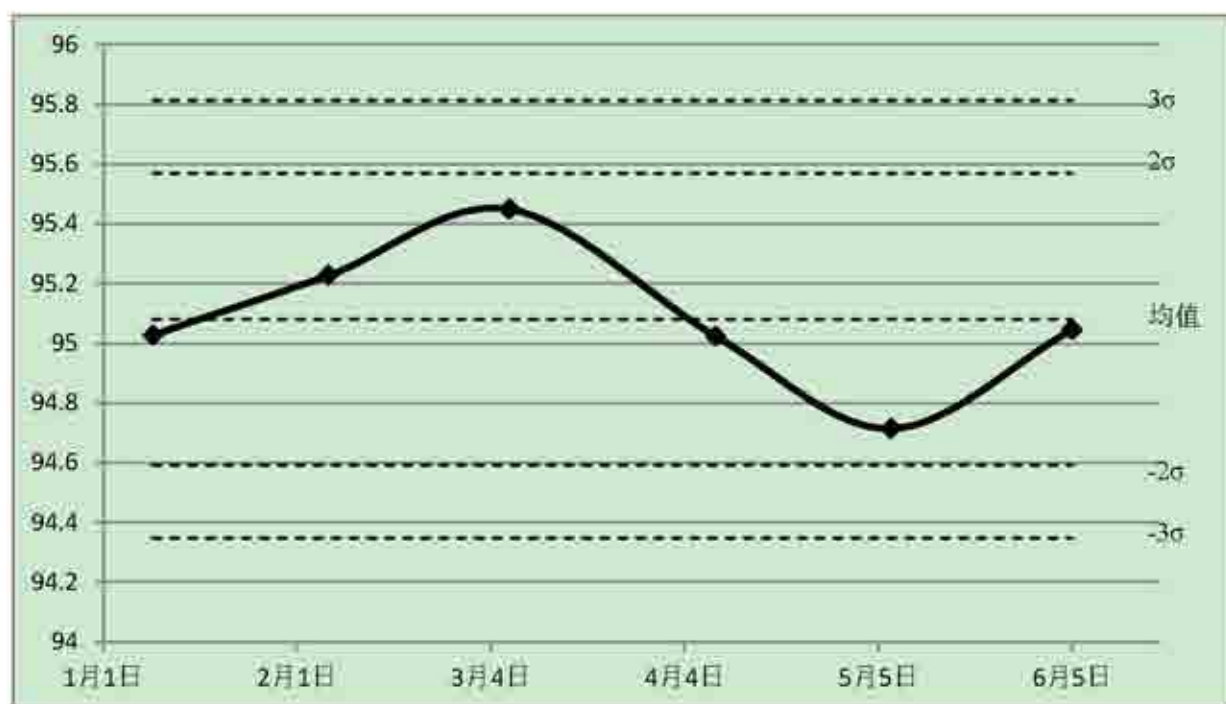


图 3.1-11 液闪谱仪 <sup>3</sup>H 本底质控图

图 3.1-12 液闪谱仪  $^3\text{H}$  效率质控图图 3.1-13 液闪谱仪  $^{14}\text{C}$  本底质控图

图 3.1-14 液闪谱仪  $^{14}\text{C}$  效率质控图



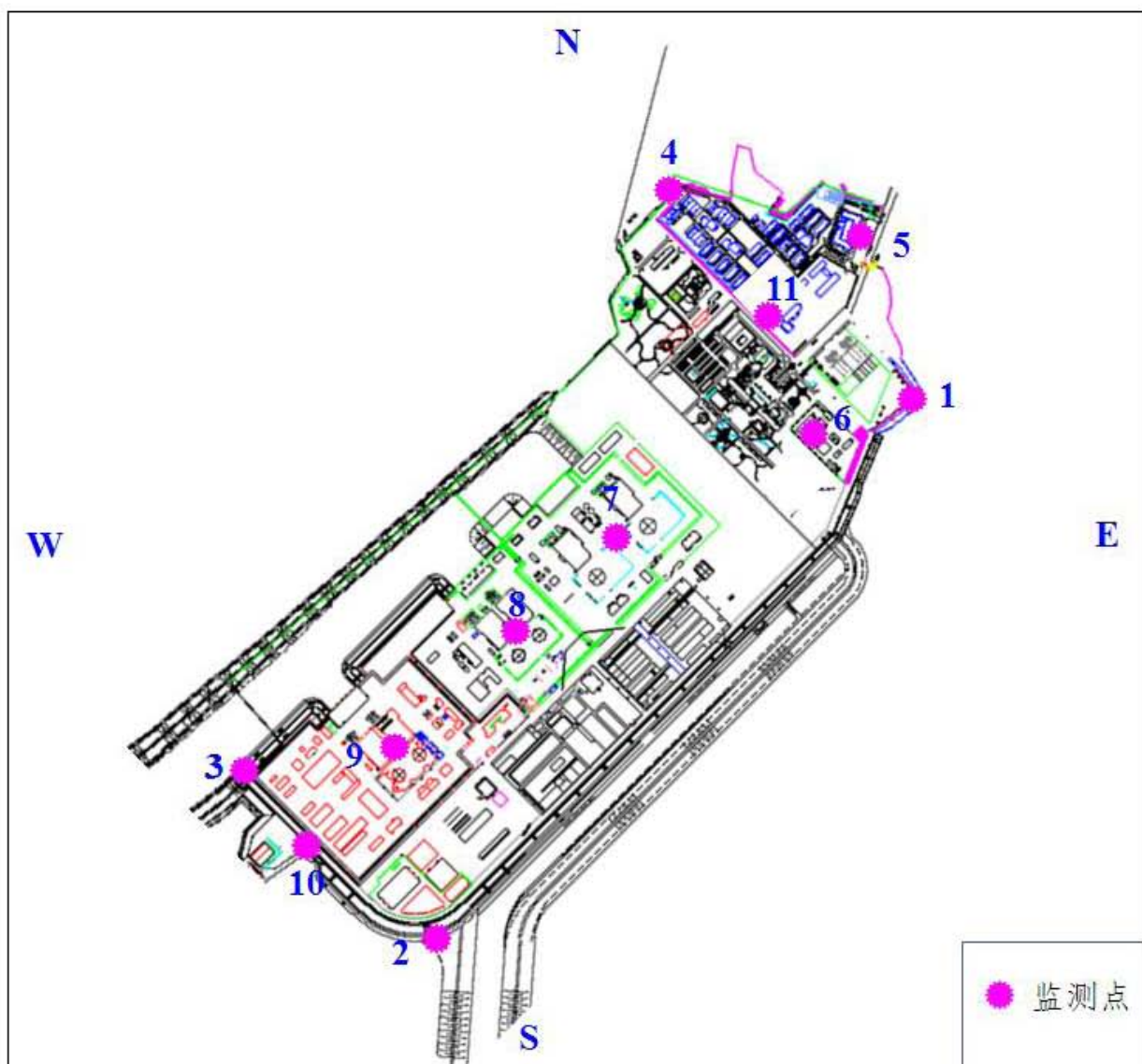


图 3.2-1 厂区内电磁辐射监测点分布情况

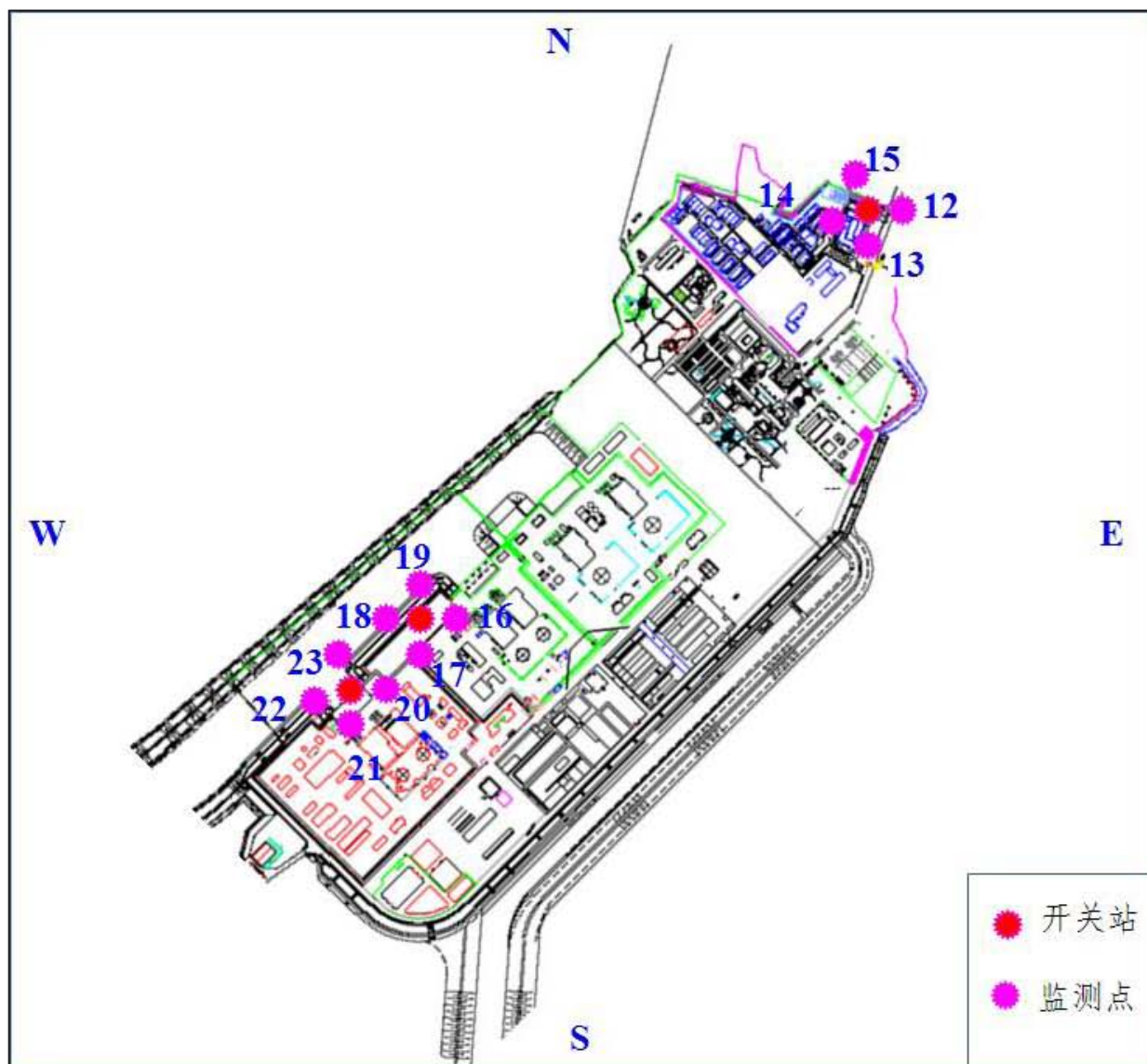


图 3.2-2 福建福清核电厂开关站监测点设置

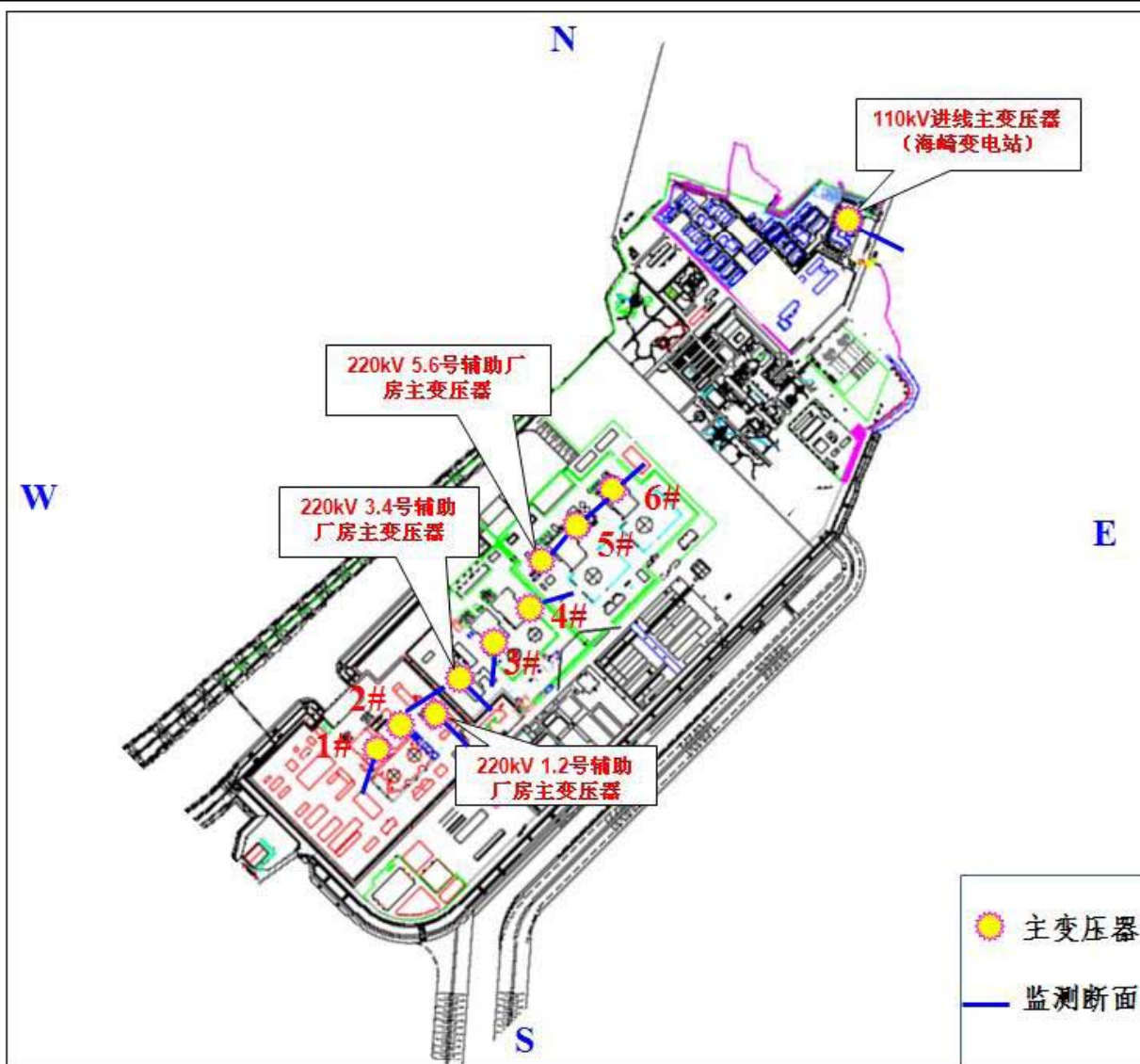


图 3.2-3 福建福清核电厂主变压器监测断面设置示意图

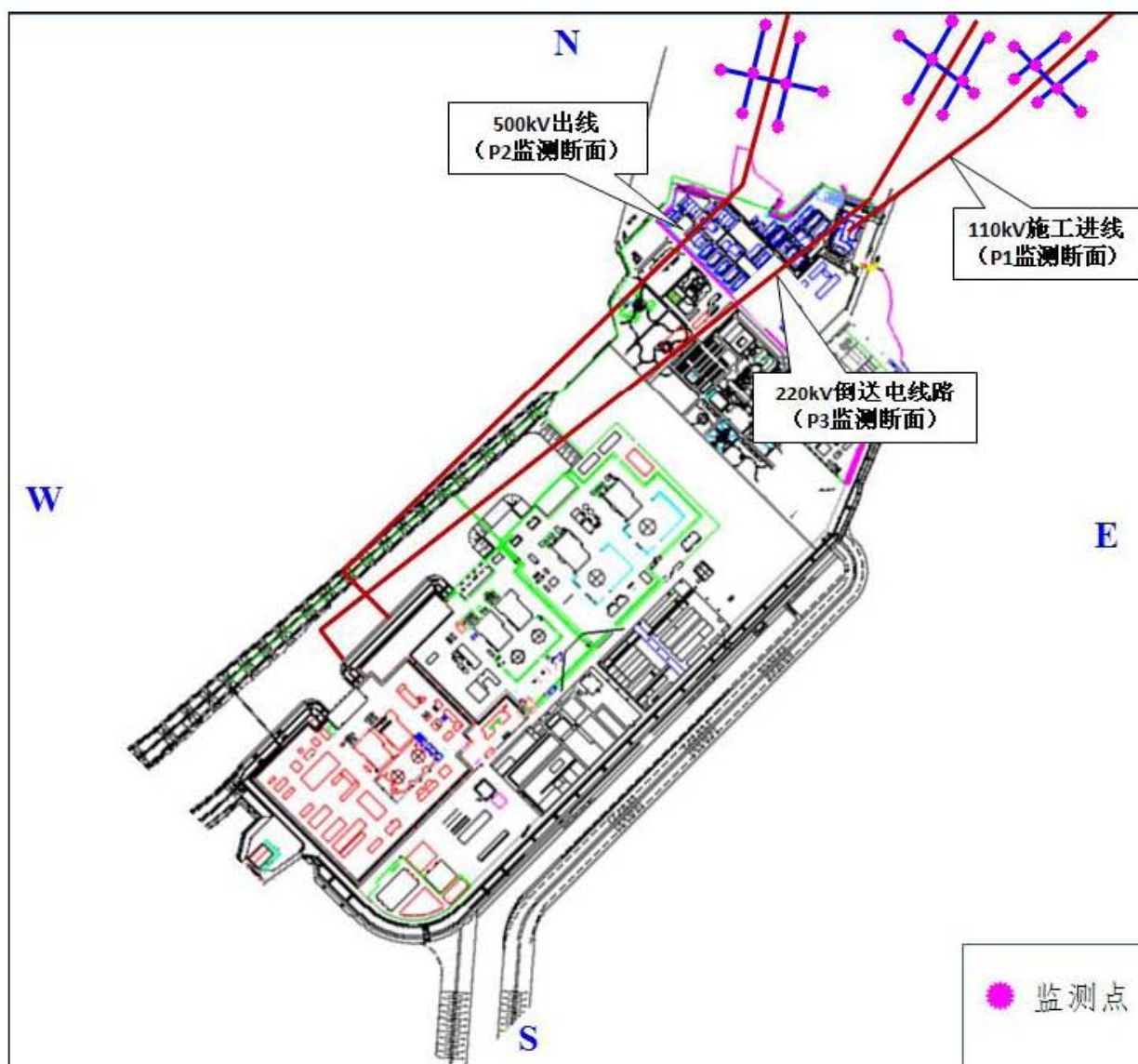


图 3.2-4 福建福清核电厂输电线路监测断面设置示意图

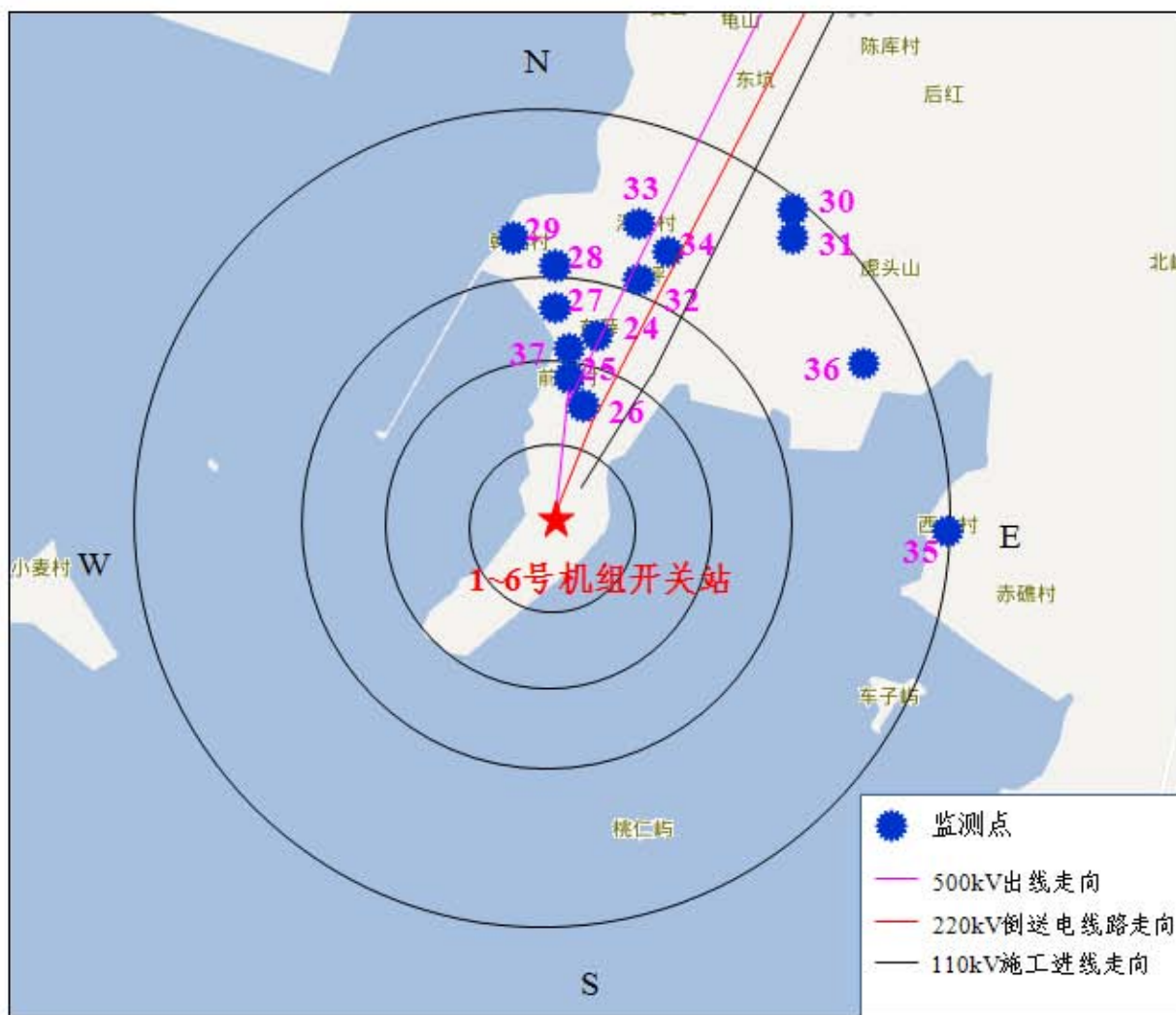


图 3.2-5 福建福清核电厂区外监测点设置情况示意图

## 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 厂区平面布置

#### 4.1.3 排放口布置

### 4.2 反应堆和蒸汽—电力转换系统

#### 4.2.1 概述

#### 4.2.2 核岛

#### 4.2.3 常规岛

#### 4.2.4 蒸汽-电力转换系统

### 4.3 核电厂用水和散热系统

#### 4.3.1 核电厂用水

#### 4.3.2 核电厂散热系统

### 4.4 输电系统

#### 4.4.1 电气主接线

#### 4.4.2 开关站的选型和布置

#### 4.4.3 与电力系统的连接

### 4.5 专设安全设施

#### 4.5.1 安全壳系统

#### 4.5.2 裂变产物去除和控制系统

### 4.6 放射性废物系统和源项

#### 4.6.1 放射性源项

#### 4.6.2 放射性废液处理系统及源项

#### 4.6.3 放射性废气处理系统及源项

#### 4.6.4 放射性固体废物处理系统

#### 4.6.5 乏燃料暂存系统

### 4.7 非放射性废物处理系统

#### 4.7.1 化学污染物

4.7.2 生活废物

4.7.3 其他废物

#### 4.8 放射性物质运输

4.8.1 新燃料运输

4.8.2 乏燃料运输

4.8.3 放射性固体废物的运输

### 表

表4.1-1 5、6号机组新建建、构筑物一览表

表4.1-2 与1~4号机组共用子项一览表

表4.1-3 厂区主要技术经济指标表

表4.3-1 海水系统最大用水量

### 图

图4.1-1 全厂总体规划图

图4.1-2 厂区总平面图

图4.3-1 福清核电厂5、6号机组正常运行工况淡水水量平衡图

图4.3-2 取排水总体布置方案

## 4.1 厂区规划及平面布置

### 4.1.1 厂区规划

#### 4.1.1.1 总体规划原则

·按照 6 台 1000MW 级核电机组的建设规模进行总体规划，其中 5、6 号机组建设 2 台“华龙一号”压水堆核电机组。

·主厂房建筑群和承载力要求较高的设施应尽量坐落在埋深适宜、承载力特征值满足要求的均匀、稳定的地基上。

·在满足核安全要求的前提下，合理确定厂坪设计标高。

·充分利用地形条件，尽可能减少土石方工程量，并就地平衡。

·冷却水取、排水系统和电力出线满足工艺流程，力求线路短捷、顺畅。

·结合非居住区用地，合理规划用地范围，既满足分期建设的要求又节约用地和搬迁费用。

·综合考虑工程分期建设情况、施工要求等因素，合理规划施工场地。

·对外交通规划应满足核电厂建造、运行和应急的交通运输要求。

·满足厂址附近城镇区域发展规划的要求。

#### 4.1.1.2 厂址总体规划

福清核电厂规划容量为 6 台 1000MW 级核电机组，一次规划、连续建设。1~4 号机组为 M310 加改进压水堆核电机组，5、6 号机组建设 2 台“华龙一号”压水堆核电机组及其配套辅助设施，其中部分辅助生产设施利用 1~4 号机组已建设施。

全厂总体规划见图 4.1-1。

##### (1) 厂坪设计标高的确定

5、6 号机组紧邻 1~4 号机组，厂坪标高同 1~4 号机组，定为 11.0m，该标高已通过核安全审评，满足防洪要求。

##### (2) 主厂房建筑群位置的确定

按照总体规划，六台机组的主厂房建筑群由西向东平行布置，1、2 号机组布置在厂区西部，3、4 号机组布置在厂区中部，5、6 号机组布置在厂区东部。主厂房建筑群基础均坐落在微风化黑云母花岗岩上，地基承载力满足要求。

##### (3) 取排水设施规划

取水采用明渠取水方案，5、6 号机组合建一个联合泵房，从已建成的引水明渠取水；排水采用暗渠+排水明渠相结合的排水方式，每台机组设两条排水暗渠与虹吸井相连，后合并成一条排水暗渠排入已建成的排水明渠；5、6 号机组工程所需淡水取自已建成的淡水



厂，淡水厂水源取自北林水库。

#### （4）电力出线规划

6 台机组规划出线方向为厂区北侧滩涂东向出线，6 台机组按 4 回出线，其中 2 回至 500KV 莆田北变，2 回至 500kV 东台变。

#### （5）厂区工程规划

5、6 号机组厂区由主厂房区、配电装置区、冷却水设施区、辅助生产区及厂前建筑区等组成，详见 4.1.2 厂区平面布置。

#### （6）其他设施规划

位于厂前区北部及东北，包括车队管理楼、停车场及候车廊、培训中心、接待展览中心、公安楼、消防站、警卫营房、应急指挥中心等。这些子项在前期工程中已经建成。

#### （7）施工区规划

利用前期工程施工场地。施工场地布置在核电厂的南部回填区。

#### （8）边坡工程及防排洪规划

边坡工程及截排洪设施已在 1、2 号机组建设时全部建成。在厂址东北侧设有人工挖方边坡，边坡长约 594.0m，最大高差 5m。人工挖方边坡坡底设置排水沟，穿过南北护岸排入大海。

#### （9）对外交通规划

5、6 号机组的对外运输利用已建成的主要进厂道路、次要进厂道路和 3000t 级大件码头。

#### （10）海工工程

海工工程包括南护岸、北护岸、明渠防波堤、码头防波堤等海工设施，前期已建成。

#### （11）施工准备区

利用前期工程已建施工供电及供水设施。施工供电布置在核电厂用地的最东部，主要进厂道路北侧；施工供水取自淡水厂，布置在厂前区东南侧，紧邻气象站。

#### （12）维修调试生活区

为建设期的工程管理、维修调试及运行期间的倒班规划建设维修调试生活区。维修调试生活区布置在主要进厂道路北侧、厂区用地东侧。前期工程已建成。

### 4.1.2 厂区平面布置

#### 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、常规岛应尽量坐落在埋深适宜、承载力特征值满足要求的均匀、稳定基岩上。

- 避免汽轮机飞射物危及与核安全有关的建、构筑物。
- 冷却水取、排水管道及主变压器至开关站之间的电缆连接力求短捷、顺畅。
- 功能分区明确，合理划分放射区和非放射区。
- 各厂房的布置满足运输、防火、卫生、安全、管网布置及施工安装的要求。
- 辅助生产设施尽量考虑利用现有设施的可能性。
- 各建、构筑物尽量紧凑布置，以节约、集约用地。
- 满足分期建设的要求，减少后期施工对前期运行的影响。
- 三废设施尽量集中，布置在主导风向下侧并远离人员聚集区域，并尽量减少放射性与非放射性交通路线的交叉。

#### 4.1.2.2 厂区总平面布置

根据全厂总体规划，1、2 号机组布置在厂区的西部，3、4 号机组布置在厂区中部，5、6 号机组布置在厂区东部。5、6 号机组厂区由主厂房区、配电装置区、冷却水设施区、辅助生产区及厂前建筑区等组成。

厂区总平面见图 4.1-2，5、6 号机组新建建、构筑物一览表见表 4.1-1，与 1~4 号机组共用子项见表 4.1-2。

##### (1) 总平面布置

###### ·主厂房区

六台机组的主厂房建筑群由西向东平行布置，5、6 号机组布置在厂区东部（以下方位按建北描述）。主厂房区包括核岛厂房、常规岛厂房，核岛、常规岛南北向一字型布置，核岛南向、常规岛北向。

主厂房建筑群基础主要坐落在微风化黑云母花岗岩上，岩体较完整~完整，岩体的基本质量等级为 II~I 级。建筑场地类别为 I 类。微风化黑云母花岗岩的承载力特征值为 6.0MPa，剪切波速为 2741m/s。

###### ·冷却水设施区

循环冷却水和重要厂用水采用北取南排方案。机组取排水管道采用单元式，明渠取水、暗涵与明渠结合的排水方式。引水明渠和排水明渠已建成。

循环水设施区主要包括联合泵房、制氮站以及引水明渠、虹吸井、排水明渠等水工设施。其中引水明渠设在厂区北部岸边；联合泵房和制氮站布置在主厂房北部引水明渠的北护岸上；联合泵房与汽机厂房之间以循环水冷却水进水管连接；重要厂用水进水廊道由联合泵房经汽机厂房东侧进入核岛厂房；核岛厂房与虹吸井之间以重要厂用水排水管道连接；汽机厂房与虹吸井之间以循环水冷却水排水管道连接；排水明渠设在厂区南部岸边。

### ·配电装置区

开关站包括 500kV 开关站、220kV 开关站、网控楼及辅助变压器区域及公用 6.6kV 配电间。

5、6 号机组 500kV 开关站、220kV 开关站、网控楼在 1、2 号机组开关站内已经预留并建设完成，布置在 2 号与 3 号机组主厂房群的中部靠近取水明渠的北护岸处；辅助变压器区域及公用 6.6kV 配电间布置在 5 号机组主厂房的西部。主变与开关站之间采用电缆沟连接，电缆沟在 3、4 号机组建设时已规划，其中处于 3、4 号机组区内的电缆沟与 3、4 号机组电缆沟一起建设。出线方向为厂区北侧滩涂东向出线。

### ·辅助生产区

辅助生产区包括放射性辅助生产厂房和非放射性辅助生产厂房两类。

放射性厂房原则上集中布置，布置在主导风向下风向。核岛液态流出物排放厂房、常规岛液态流出物排放厂房、放射性机修及去污车间、厂区实验楼布置在 5、6 号机组用地的西南部主厂房区的西、南侧，形成 5、6 号机组三废区。

废油暂存库布置在 1、2 号机组三废区内，固体废物暂存库北部。

非放射性辅助生产厂房中的除盐水生产厂房、除盐水贮存罐、6.6kV 公用配电站布置在 5 号与 6 号机组之间；厂区附加电源柴油发电机厂房布置在 5 号汽机厂房的西部；厂区消防泵房布置在 5 号机组北部，联合泵房西侧；机修车间布置在 6 号机组北部，制氮站东侧；有防爆要求的氢气贮存及分配站布置在 5、6 号机组用地边缘，5 号汽机厂房的西北；5、6 号机组公共气体贮存区、含油生产废水油水分离池布置在 5、6 号机组北侧；空气压缩机房布置在 5 号机组西侧；保卫控制中心布置在保护区入口的西侧；生产检修办公楼临近控制区入口，布置在入口东侧。

污水处理站布置在 5、6 号机组控制区围栏南侧，虹吸井西侧。

化学品库和气体库集中布置在 1、2 号机组用地范围内的西南侧。

大修专用工具库布置在 3、4 号机组用地范围内，东侧为 3、4 号机组的除盐水生产厂房。

综合仓库、大件仓库、库区办公楼布置在厂前建筑区北部，其南侧为 3、4 号机组仓库区。

其他辅助生产设施如放射性的废物辅助厂房、固体废物暂存库、特种汽车库、放射源库、非放射性的铆焊车间、洗衣房及浴室、润滑油和油脂库、龙门吊及环吊小车仓库、辅助锅炉房等子项利用 1-4 号机组工程已建设施。

### ·厂前建筑区

厂前区在 1、2 号机组工程时已做了全厂统一规划，布置在主厂房区东侧厂区扩建端，朝向主要进厂道路，并且在常年主导风向的上风向。厂前区包括综合办公楼、档案馆、食堂，其中综合办公楼在原址扩建，档案馆利用已有设施。

#### ·实物保护

根据核电厂实物保护要求，厂区分别设置控制区围栏、保护区围栏和要害区围栏。控制区出入口为 7UA 子项，保护区出入口为 7UD 子项。

#### （2）竖向设计

5、6 号机组与 1、2 号机组为同一厂址，厂坪设计标高与其相同，定为 11.00m。厂区竖向采用平坡式布置，核岛及安全相关厂房的±0.00 标高为 11.30m，厂区建构筑物室外散水标高 11.00m，核电厂的竖向设计满足安全要求。

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

#### （3）厂内道路

为适应厂内厂房（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，路面宽度为 9m、7m、4m。重型路布置在主厂房四周，并连接至大件码头；轻型路划分各分区，并与各厂房相连。

沿控制区和保护区围栏内侧、要害区围栏外侧，设置巡逻通道。

上述各级道路除满足生产运输安全保卫要求外，其中部分道路还兼作消防道路。

5、6 号机组厂区共设置三座出入口，其中核燃料运输出入口设置在 5、6 厂区南侧西部；人流出入口设置在厂区南侧东部，与主要进厂道路连接；在厂区东北部设置备用出入口，与次要进厂道路相连，用于厂区应急等特殊情况。

#### （4）绿化与美化

在核电厂厂区，由于对辐射防护、卫生、防火、安全保卫等方面的特殊要求，厂区分绿化区和非绿化区。

—非绿化区。厂区保护区围栏内不进行绿化。保护区内除道路、广场外，均采用碎石铺地。碎石粒径 30~60mm，厚 100mm 左右。

—绿化区。保护区以外区域均可进行绿化。绿化以栽种行道树、花木及加铺草坪等，以改善环境，充分运用和发挥绿化功能，为核电厂职工提供良好的工作环境。

为实施绿化，在厂区绿化区地段的地表均需填筑≥30cm 厚的耕植土壤，以利于花卉树木的成长。

在核电厂投产后，厂区南部的施工场地可作为大面积集中绿化区，整个厂区将处在两面绿色植物环抱，两面临海的优美环境中。

福清 5、6 号机组是扩建工程，本期工程用地绝大部分为保护区，可绿化面积为 0.48hm<sup>2</sup>，绿地率为 2%。

#### （5）厂区主要技术经济指标

厂区主要技术经济指标见表 4.1-3。

#### 4.1.2.3 环境保护相关设施的布置

·环保设施的布置原则：放射性厂房与非放射性厂房分区布置；放射性厂房集中布置；放射性厂房布置在盛行风向的下风向或最小风频的上风向；远离人流集中区域及人流集散地；布置在厂区用地的边缘地带。污水处理站宜靠近最终排出口方向布置，并宜处于电厂全年主导风向的下风向。应急指挥中心应设在厂址征地边界内与主控制室相分离的地方，应满足在严重事故状态下的可居留性要求。

·放射性厂房布置：核岛液态流出物排放厂房、常规岛液态流出物排放厂房、放射性机修及去污车间、厂区实验楼布置在 5、6 号机组用地的西南部主厂房区的西、南侧，形成 5、6 号机组三废区；废油暂存库布置在 1、2 号机组三废区内，固体废物暂存库北部，供 6 台机组共用，成区布置。三废区位于厂区用地的西南角，厂区用地的边缘地带，远离人流集中区域及人流集散地，处于全厂主导风向的下风向。

·污水处理站布置：污水处理站位于 6 号机组南部控制区围栏之外虹吸井西侧，方便排放，且位于主导风向下风向。

·应急指挥中心布置：应急指挥中心位于厂前区的东北方向，距离 6 号反应堆厂房中心直线距离约 657m，距离厂前区最近距离 197m，处于全厂主导风向上风向，并位于 500m 非居住区外。

#### 4.1.2.4 环境保护措施

在本工程建设中，充分考虑环境保护，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：

·在厂址总体规划及厂区总平面布置中，尽量紧凑布局，节约用地。

·鉴于核电厂保护区内属非绿化区，因此在厂区总平面布置、尤其对保护区内各设施的布置上，力求合理、紧凑，尽量减少非绿化区面积。

·所有边坡、挡土墙均采取水保措施。

·尽量为工程施工提供便利，使施工活动对环境的影响降低至最小。

·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

废气排放点：核电厂 5、6 号机组反应堆厂房产生的放射性废气经过处理达标后，通过 5、6 号机组反应堆排风烟囱排入大气。5 号机组反应堆排风烟囱，排风口绝对标高为 76.53m，距离陆域地产边界线最小距离为：东向边界线 1090m，南向边界线 156m，西向边界线 1233m，北向边界线 340m；6 号机组反应堆排风烟囱排风口绝对标高为 76.53m，距离陆域地产边界线最小距离为：东向边界线 870m，南向边界线 399m，西向边界线 1453m，北向边界线 429m。

废液排放点：本工程循环冷却水和重要厂用水的排水口为废液排放口。液态流出物通过地下管沟排至虹吸井，经循环水排水暗渠排至排水明渠，最后通过排水明渠排至排水口（废液排放点），进入厂址南部海域（受纳水体）；生活污水经污水处理站处理达标后，就近排放至厂区雨水系统，经虹吸井最终排至厂址南部海域；非放射性含油废水经含油生产废水油水分离池处理达标后，就近排放至厂区雨水系统，经虹吸井最终排至厂址南部海域。此废液排放点在核电厂海域地产界线内，距征海边界最近距离为：东向边界线约 1293m，南向边界线约 2806m，西向边界线约 1725m，北向边界线约 1338m；距陆域征地边界最近距离为 1855m。

废气排放点、废液排放点位置见图 4.1-1。

## 4.2 反应堆和蒸汽—电力转换系统

### 4.2.1 概述

福清 5、6 号机组采用“华龙一号”型压水堆核电机组。该核电机组由包括核反应堆及其核辅助设施的核岛、包括汽轮发电机及其辅助设施的常规岛和 BOP 组成。

反应堆堆芯由 177 组经过修改的 AFA3G 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钐，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。福清 5、6 号机组的设计在贯彻纵深防御概念时采用了一系列多层次的防御，用以防止事故并在未能防止事故时保证提供适当的保护：

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

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

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

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

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

## 4.2.2 核岛

### 4.2.2.1 堆芯部件

福清核电厂 5、6 号机组反应堆由反应堆压力容器、堆芯、堆内构件、堆内测量装置、控制棒驱动机构等部件组成，其中堆芯由 177 组经过修改的 AFA3G 燃料组件及其相关组件组成。

#### 4.2.2.1.1 燃料组件

AFA3G 燃料组件由 17×17 排列的燃料棒和燃料组件骨架组成，组件骨架包括上管座、下管座、格架、导向管和仪表管。导向管上下端通过机械方式与上下管座连接，通过焊接方式与格架连接，格架的内外条带相互嵌插焊接构成 17×17 排列的栅元，燃料棒插入格架栅元中，靠栅元的夹持保持径向定位，并与上下管座保持轴向间隙，为反应堆运行过程中

燃料棒的轴向辐照生长提供空间，避免燃料棒与管座接触进而产生变形。

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

#### 4.2.2.1.2 相关组件

AFA 3G 燃料相关组件包括控制棒组件、可燃毒物组件、一次中子源组件、二次中子源组件和阻流塞组件。其中控制棒组件为可动式相关组件，其余为固定式相关组件。各相关组件简述如下：

**控制棒组件：**由星形架和 24 根控制棒组成，具有启停堆、变更堆功率和紧急停堆的功能。

**可燃毒物组件：**由压紧系统和可燃毒物棒组成；具有补偿初始堆芯过剩反应性和改善堆芯功率分布的功能。

**一次中子源组件：**一次中子源组件的功能是在反应堆首次启动时提高堆芯中子通量至一定水平，使核测仪器能以较好的统计特性测出启动时中子通量的迅速变化，保证反应堆的安全启动。

**二次中子源组件：**二次中子源组件的功能是在反应堆再次启动时提高堆芯中子通量至一定水平，使核测仪器能以较好的统计特性测出启动时中子通量的迅速变化，以保证反应堆的安全启动。

**阻流塞组件：**由压紧系统和阻流塞棒组成。用于装在未插入控制棒、可燃毒物棒和中子源棒的导向管中，限制冷却剂的旁通流量。

#### 4.2.2.2 反应堆冷却剂系统

##### 1) 系统功能

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

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

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

**压力边界：**反应堆冷却剂系统作为压力边界，可以包容反应堆冷却剂，限制放射性物



质的释放，构成防止放射性物质释放的一道屏障。

## 2) 系统描述

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

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

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

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

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

为了在严重事故下执行快速卸压功能，在稳压器上部还设置有快速卸压管线，分为两个冗余的系列，每个系列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。

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 0.25%。干燥后的蒸汽通过位于上封头中央的出口接管流出蒸汽发生器。

### (2) 反应堆冷却剂泵

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

主要部件包括泵壳、叶轮、隔热屏、下部径向轴承、密封件及电动机。

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

### (3) 稳压器

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

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

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

### (4) 卸压箱

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

卸压箱是一个卧式、带有椭圆形封头的圆筒形容器。

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

### (5) 反应堆冷却剂管道

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

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

热 段：即反应堆压力容器与蒸汽发生器之间的管段；

过渡段：即蒸汽发生器与反应堆冷却剂泵之间的管段；

冷 段：即反应堆冷却剂泵与反应堆压力容器之间的管段。

稳压器波动管与反应堆冷却剂管道的一条热段相连接。

#### 4.2.2.3 主要辅助系统

反应堆辅助系统主要包括：化学和容积控制系统、反应堆硼和水补给系统、余热排出系统、燃料装卸和贮存系统、设备冷却水系统、蒸汽发生器排污系统、核取样系统和其他辅助系统（消防系统、通风系统等）。

反应堆辅助系统确保下列功能：

反应堆冷却剂容积控制和化学控制；

反应堆停堆和启动时排除余热；

反应堆换料期间燃料组件的装卸。

化学和容积控制系统，担负正常运行期间反应堆冷却剂系统的容积、化学和反应性的控制。事故（小破口、弹棒和卡棒等）时，保持反应堆冷却剂系统的水装载量，与反应堆硼和水补给系统一起能使反应堆停堆，并维持在热态次临界状态。该系统的主要设备（上充泵、除盐器和容积控制箱）布置在核辅助厂房内。

反应堆硼和水补给系统为化学和容积控制系统提供除盐除气水和硼酸溶液以及防止压力边界材料产生腐蚀的化学药剂。

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

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

消防系统是为核电站可能发生火灾的场所提供灭火措施的系统。核电站设计对可能发生的火灾隐患，采取了层层设防，一旦发生火灾，启用预先设置的各种行之有效的灭火设

施灭火，使火灾危害降到最低限度。核岛厂房内的消防系统包括：核岛消防系统（含反应堆厂房、核辅助厂房、核废物厂房和核燃料厂房）、电气厂房消防系统（含电气厂房和运行服务厂房）、柴油发电机厂房消防系统、安全厂房消防系统及移动式 and 便携式消防设备。BOP 各厂房包括泵站、除盐水处理站、办公楼、制氮站、辅助锅炉房、车间和食堂等，不存在较大的火灾危险，在厂房内均设置消火栓和手提式灭火器。常规岛消防系统，能通过自动水喷雾灭火系统、水喷水灭火系统、气体灭火系统以及消火栓和手提式灭火器，对常规岛内的一切火灾危险提供防护。

#### 4.2.2.4 严重事故预防与缓解设施系统

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

##### 4.2.2.4.1 堆腔注水冷却系统（CIS）

###### a) 系统功能

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

###### b) 系统概述

###### 1) 能动子系统

能动注入子系统设置了并联的两个系列，每个系列配备了一台堆腔注水泵，其入口分别与安注系统相应系列的安注泵的入口管道相连，严重事故工况下由安全注入系统（RSI）的安全壳内置换料水箱（RSI004BA）取水；同时，堆腔注水泵的入口还与消防水分配系统相连，将消防水作为能动注入的备用水源。两台堆腔注水泵出口管线在经过安全壳隔离阀，贯穿安全壳后再合并为母管后注入堆腔。注水管道与保温层的底部相连，注入的冷却水通过 RPV 外壁与保温层内壁之间的流道向上流动，最终从保温层筒体上部的排放窗口流出，并返回到安全壳内置换料水箱。

###### 2) 非能动子系统

系统的非能动部分设置在安全壳内，在安全壳内设置非能动堆腔注水箱，用于维持较长时期的堆腔注入流量。为保证非能动堆腔注水的可靠性，设置了四台并联的直流电动阀和两台逆止阀作为隔离部件，分为两列，每一列包括两台直流电动阀和一台逆止阀，其中两台直流电动阀一台常开，另一台常关。在经过上述阀门后，两根非能动堆腔注水支管线再次合并为一根母管贯穿到堆腔内部与压力容器保温层相连接。在严重事故发生，同时能动注入系列不可用时，隔离阀开启，非能动堆腔注水箱中的水依靠重力通过能动系列注入

管道注入反应堆压力容器与保温层之间的环形流道，并逐渐淹没反应堆压力容器下封头，实现“非能动”的冷却。

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

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

#### 4.2.2.4.2 非能动安全壳热量导出系统（PCS）

##### a) 系统功能

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

##### b) 系统概述

非能动安全壳热量导出系统考虑设置三个相互独立的系列。每个系列包括一台换热水箱、一个蒸汽排放装置以及两个换热系列（每个换热系列包括一组换热器、一台汽水分离器、一台常开的电动隔离阀、两个并联常关的电动阀）。换热器布置在安全壳内的圆周上；换热水箱是钢筋混凝土结构不锈钢衬里的设备，布置在双层安全壳外壳的环形建筑物内。系统设计采用非能动设计理念，利用内置于安全壳内的换热器组，通过水蒸汽在换热器上的冷凝、混合气体与换热器之间的对流和辐射换热实现安全壳的冷却，通过换热器管内水的流动，连续不断地将安全壳内的热量带到安全壳外，在安全壳外设置换热水箱，利用水的温度差导致的密度差实现非能动安全壳热量排出。

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

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

出部分蒸汽最终进入大气。

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

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

#### 4.2.2.4.3 安全壳消氢系统（CHC）

##### a) 系统功能

安全壳消氢系统用于在设计基准事故和超设计基准事故工况下将安全壳大气中的氢浓度减少到安全限值以下，从而避免发生由于氢气爆炸而导致的第三道屏障—安全壳的失效。

##### b) 系统概述

安全壳消氢系统由 33 台非能动催化氢复合器组成，不需任何监测和控制措施。

自动催化氢复合器在条件适合的情况下自动工作。其工作原理为：氢复合器的金属外壳可引导气流向上通过氢复合器，在壳体的下部装有一个插入很多平行的竖直催化剂板的框架，在这些催化剂板上涂满活性催化剂。含氢气体混和物在催化剂作用下发生氢—氧化学反应，并释放出热量使复合器下部的的气体密度降低，进而加强了气体对流，以使大量的含氢气体进入与催化剂接触，以此来保证高效的消氢功能。

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

催化金属板的定期试验和再生在专用的装置里进行，该装置是一种简便的试验装置。

#### 4.2.2.4.4 安全壳过滤排放系统（CFE）

##### a) 系统功能

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

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

### b) 系统概述

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

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

安全壳内气体经过安全壳隔离阀后进入文丘里水洗器。文丘里水洗器内装有一组文丘里喷管，喷管均被淹没在含有重量浓度为 0.5%NaOH 和 0.2%Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的化学溶液中，排出的气体以很高的流速通过文丘里喷管。而高速流动的气体在文丘里喷管的喉部产生吸力，使化学溶液进入喷管，而高速气流与化学溶液之间形成速度差，从而将气体中的大部分气溶胶去除，滞留在文丘里容器内。与此同时，进入文丘里喷管的液滴在喉管内部提供了很大的交换面积，与碘发生充分的化学反应，从而有效的吸附排放气体中的碘。另外，从气体在文丘里喷管内的机械运动来看，大部分的碘及气溶胶粒子在文丘里喷管内就已分离。

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

气体穿过文丘里水洗器之后进入其下游的金属纤维过滤器进行下一步的过滤。经文丘里水洗器过滤后的气体中仍留有少量难滞留的气溶胶，同时还含有一些由于化学溶液表面的气泡破裂而产生的微小粒径的水滴（直径一般在 0.1 $\mu$ m 左右），这些都将通过金属纤维过滤器进行过滤。金属纤维过滤器作为第二级滞留措施，能够保证整个系统在长期内的高滞留率及高效液滴分离性能。

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

#### 4.2.2.4.5 二次侧非能动余热排出系统（PRS）

### a) 系统功能

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

### b) 系统概述

每个环路的蒸汽发生器二次侧都设置一个非能动余热排出系列。每个系列包括一台应急余热排出冷却器、两台应急补水箱和一个换热水箱以及必要的阀门、管道和仪表。

对于每个 PRS 系列，蒸汽管线通过安全壳外常开的电动隔离阀后分成两个支路，一个支路连接应急余热排出冷却器的入口封头的接管嘴，另一个支路与两台应急补水箱的入口相连。

应急余热排出冷却器布置在换热水箱底部的冷凝器隔间。要求在整个机组运行期间（包括 PRS 投入运行期间），该冷却器都浸泡在水中，不允许裸露。冷凝水管道连接应急余热排出冷却器下封头接管嘴，并在管道上设置两台并联的电动隔离阀，应急补水箱的注入管道上也设置有两台并联的电动隔离阀，应急补水箱上游管道设置一台常开的隔离阀。凝水管出口与应急补水箱的注入管线合并后通过贯穿件返回到安全壳内，冷凝水管道与蒸汽发生器的给水管道相连，并在管道上设置一台止回阀，以防止机组正常运行期间，蒸汽发生器给水通过凝水管道旁流。安全壳隔间外设置单条管线，通过辅助给水系统统一对三列 PRS 系统进行充水。充水管线在安全壳隔间内分为三个支路，每个支路对应一个 PRS 系列。PRS 系统安全壳内外分别排水，安全壳内排水至核岛疏水排气系统，安全壳外疏水排至非能动安全壳热量导出系统排水管线。

#### 4.2.3 常规岛

常规岛主要包括汽轮机厂房及其厂房内的系统设备。

#### 4.2.4 蒸汽-电力转换系统

蒸汽-电力转换系统接收来自核蒸汽供应系统的蒸汽，通过汽轮发电机组将热能转换成电能。每台机组包括一台额定输出功率为 1161MWe 的汽轮发电机组。汽轮机由一个 1500rpm 的高中压组合汽缸和两个双流低压缸组成，它与 24kV、三相、50Hz 的交流发电机直接相连。

蒸汽-电力转换系统主要包括主蒸汽系统、汽水分离再热器系统、凝结水系统、主给水系统、汽轮机回热抽汽系统、汽轮机旁路系统、启动给水系统和辅助给水系统等。

其中主蒸汽系统、主给水系统和辅助给水系统与核安全相关。

主蒸汽系统用于将蒸汽由蒸汽发生器输送到下列设备和系统：

主汽轮机及其辅助设备包括汽轮机轴封系统、凝汽器和汽水分离再热器；

通向凝汽器和大气蒸汽旁路系统；

汽动辅助给水泵汽轮机。

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

凝结水系统：凝结水系统位于汽轮机本体和低压给水加热器之间，具有接受汽轮机及



其旁路出口排汽，并将排汽冷凝成水，以及对凝结水进行除气和过滤净化处理等功能。

**主给水系统：**用于从低压给水加热器至蒸汽发生器给水入口进行除氧、升压、加热和调节。

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

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

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

汽轮发电机额定容量为 1333MVA，运行参数为 24kV、三相和 50Hz。发电机定子用水冷却，转子用氢冷却。励磁机与发电机的外侧端子连接，它包含一台永磁副励磁机，通过自动励磁调节器激励主励磁机的磁场。主励磁机的输出通过装在轴上的硅二极管整流，直流电能通过导体输送到发电机磁场绕组。

### 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

海水取自兴化湾，其主要功能是向循环水系统（WCW）、重要厂用水系统（WES）提供冷却水；向循环水处理系统（WCT）提供生产原水；向循环水过滤系统（WCF）提供冲洗水。循环水系统和重要厂用水系统采用海水直流冷却方式。

**最大用水量：**上述海水系统的最大用水量详见表 4.3-1。

**平均用水量：**表 4.3-1 中除了重要厂用水的平均用水量为单台机组 3800m<sup>3</sup>/h，其他系统最大用水量与平均用水量相同。

兴化湾取水条件好、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。

##### 4.3.1.2 淡水用水

核电厂的淡水用水主要包括施工期间的生产用水、人员生活用水、消防用水和施工现场的降尘、洗车用水等，以及运行期间生产用水、生活用水、消防用水、道路浇洒、洗车及绿化用水等。本工程的淡水来自已经建成的福清核电淡水厂。

###### 4.3.1.2.1 淡水用水量

### 1) 施工期间用水量

施工期间的淡水用水量主要由施工生产用水量和施工人员的生活用水量组成。施工生产用水主要用于混凝土骨料清洗、生产、浇注、养护、冲洗机具、石料加工场冲洗和降尘、砌砖等施工用水。福清核电厂 5、6 号机组施工期间设计生产供水量约  $2250\text{m}^3/\text{d}$ ，设计生活供水量  $1905\text{m}^3/\text{d}$ 。两台机组施工期间设计供水量约为  $4155\text{m}^3/\text{d}$ 。

### 2) 运行期间用水量

运行期间的淡水供水系统主要包括饮用水系统和生产水系统。

饮用水系统主要供给运行期人员的生活用水、生活水水质的生产用水及消防补充水、浇洒用水等。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用水。

运行期生产水系统主要为除盐水生产系统供给，并作为水泵轴封水及空调冷冻机组冷却水的补充水、消防补水的备用水源。

绿化、道路浇洒、洗车等用水主要采用再生水。

考虑管网漏损水量和未预见用水等，福清 5、6 号机组运行期正常运行日用水量为  $6709\text{m}^3/\text{d}$ ，最大日用水量为  $9419\text{m}^3/\text{d}$ 。福清核电厂六台机组正常运行日用水量约为  $19700\text{m}^3/\text{d}$ ，最大日用水量约为  $22500\text{m}^3/\text{d}$ 。本工程正常运行工况淡水水量平衡图详见图 4.3-1。

本工程正常运行设计耗水指标为  $0.035\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{GW}$ 。工业用水的重复利用率约为 99.76%。

#### 4.3.1.2.2 淡水水源

福清 5、6 号机组淡水水源与 1-4 号机组为同一水源。淡水厂的原水取自北林水库。北林水库为核电厂专用水库，距离核电厂址 11km，通过闽江调水，可保证核电厂的淡水用水量。在北林水库建取水泵房，由两根 DN600 输水管线送至淡水厂。福清核电厂淡水厂的设计规模为  $26000\text{m}^3/\text{d}$ ，取水口、取水泵站及输水管线设计供水能力  $30000\text{m}^3/\text{d}$ ，可满足福清核电厂六台机组淡水取用水要求。

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

### 4.3.2 核电厂散热系统

#### 4.3.2.1 取水系统

福建福清核电厂工程规划总装机容量为六台百万千瓦级压水堆核电机组，厂区一次规划，分期建设。

福清核电厂利用兴化湾海域作为热阱，1~4号机组每台机组冷却水量为 $56.5\text{m}^3/\text{s}$ （包括重要厂用水），5~6号机组每台机组冷却水量为 $61\text{m}^3/\text{s}$ 。

福清核电厂取排水总体方案是根据目前厂址工程水文研究资料，并结合厂址的实际地形情况和环境条件，经温排水的水力、热力特性和对电厂取水温升以及施工等方面进行综合比较确定。取排水总体布置方案详见图 4.3-2。

核电厂冷却水取水工程采用明渠取水方案，即在厂址西北侧布置取水明渠，1~6 号机组合建一条取水明渠。取水明渠底宽由口门向末端逐渐变小，口门段底宽为 160m，末端底宽为 60m。明渠底高程为-8.50m。核电厂六台机组全部运行时，取水量为 348m<sup>3</sup>/s。在平均高潮位 2.83m 时，明渠口门段平均流速为 0.174m/s；在平均潮位 0.28m 时，明渠口门段平均流速为 0.229m/s；在平均低潮位-2.28m 时，明渠口门段平均流速为 0.330m/s；在 33 年一遇低潮位时，明渠口门段平均流速为 0.493m/s；在百年一遇低潮位-4.35m 时，明渠口门段平均流速为 0.504m/s。

为防止外部船只进入取水口以及附近海域可能漂来的杂物而影响取水安全，在取水明渠进口处设置拦船网和拦污网。引水明渠除定期清淤维护外，还设有值班人员沿两侧防波堤进行经常性巡视，如遇较大的杂物黏附在拦船网或拦污网上，随时进行清理。

#### 4.3.2.2 排水系统

结合厂址三面临海的实际地形情况，采用暗渠+排水明渠相结合的排水方式。温排水自虹吸井出来后，通过各自的排水暗渠排到南护堤旁的排水明渠，经排水明渠排入大海。1~6 号机组每台机组设一条排水暗渠，5、6 号机组的循环冷却水由循环冷却水泵出口到冷凝器经虹吸井接至排水暗渠，最终由南护堤边上的共用排水口进入兴化湾。重要厂用水由重要厂用水泵房接出，在虹吸井处与循环冷却水汇合，与循环冷却水一起排入兴化湾。1-6 号机组共用一条排水明渠，排水明渠底宽为 60-90m，排水明渠一直延伸到约-8.3m 水深处。

### 4.4 输电系统

#### 4.4.1 电气主接线

福清 5、6 号机组采用中核集团自主研发的“百万千瓦级中国先进压水堆核电技术”华龙一号技术方案，汽轮发电机组的额定发电容量按照 2 台 1160MW 机组考虑，发电机额定电压 24kV。两台机组分别以发电机—双卷变压器组单元接线升压至 500kV 接入系统，发电机与主变压器之间装设发电机出口断路器。

福清核电站 6 台百万千瓦级机组以 500kV 电压等级接入系统，电站最终出线 4 回，按分期建设原则考虑。一期工程 2 台机组出线 3 回，2 回至 500kV 莆田北变，1 回至 500kV 东台变；二期工程（3 至 6 号机组）在一期工程基础上，增加 1 回至东台变的 500kV 线路。

500kV 配电装置选用 SF<sub>6</sub> 气体绝缘的全封闭组合电器（GIS），采用一个半断路器接

中国核电工程有限公司 4-20

线。

为核电厂配置厂外备用电源（或称辅助电源），一期工程由厂外 220kV 电网（220kV 华塘变）引来一回 220kV 专用线路，接至厂区内的 220kV 辅助开关站。福清 3、4 号机组投产时考虑由系统引接第 2 回 220kV 线路，本工程 5、6 号机组不再考虑新增厂外辅助电源。220kV 辅助开关站采用双母线接线，GIS 设备。福清核电厂 1、2 号机组厂外 220kV 备用电源经两台 220/6.9kV，34MVA 厂用备用变压器（或称辅助变压器）降至 6.9kV，作为核电厂厂用电的备用电源；3~6 号机组厂外 220kV 备用电源经四台 220/6.9kV，34MVA 厂用备用变压器（或称辅助变压器）降至 6.9kV，作为核电厂厂用电的备用电源；220kV 辅助开关站在厂用主电源丧失时，为电站提供连续供电的 6.6kV 电源，通过 6.6kV 配电盘向常备、应急和公用设施供电。

#### 4.4.2 开关站的选型和布置

500kV 和 220kV 配电装置采用 SF<sub>6</sub> 气体绝缘组合电器（GIS），户内布置。

核电厂 500kV 和 220kV 开关站位置在厂区的东北部，出线向北。主变压器及其厂用备用变压器布置在汽轮机厂房附近。

#### 4.4.3 与电力系统的连接

依据福建福清核电厂相关报告对福建电网现状与发展规划的描述，结合福建近期电力发展的态势和福建经济发展规划、发展潜力、经济结构调整和工业化进程，在多种方法预测的基础上，并参考沿海经济发展较快的省市电力需求增长情况以及对福建省电力需求的预测，综合考虑电力平衡，针对核电站的机组容量，福清核电站 6 台百万千瓦级机组最终出线 4 回，按分期建设原则考虑。一期工程 2 台机组出线 3 回，2 回至规划拟建的 500kV 莆田北变，1 回至 500kV 东台变；二期工程（3 至 6 号机组）在一期工程基础上，增加 1 回至东台变的 500kV 线路。本工程 500kV 送出线路为两个线路走廊，每个走廊都按同杆双回路设计。

### 4.5 专设安全设施

#### 4.5.1 安全壳系统

##### 4.5.1.1 安全壳性能设计

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

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

事故。

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

安全壳设计要求能保护地下水，不使放射性核素或化学物质在事故工况下渗漏到地下水中。

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

在设计基准事故的情况下，安全壳的设计压力取 0.52MPa（绝对）。

安全壳的主要设计参数如下：

- 安全壳的设计压力：0.52MPa(绝对)
  - 喷淋系统误动作引起的设计负压：-0.019MPa
  - 最小净容积：86000m<sup>3</sup>
  - 安全壳的设计泄漏率(最初 24 小时)：在设计温度和设计压力下为气体质量的 0.3%。
- 反应堆厂房采用双层安全壳。

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

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

内层安全壳的主要尺寸如下：

- 内表面钢衬里厚度：6mm
- 筒壁厚度：1.30m
- 穹顶厚度：1.05m
- 穹顶内侧至底板（-8.200 处）的内高：76.73m
- 钢衬里包容的容积：约 118600m<sup>3</sup>
- 净容积：约 87000m<sup>3</sup>。

#### 4.5.1.2 安全壳热量排出系统

安全壳热量排出系统用于在设计基准事故下限制安全壳的压力和温度，以保持安全壳的完整性。此项功能是由安全壳喷淋系统（CSP）实现的，即在发生引起安全壳压力和温度上升的事故后（失水事故或二回路管线破裂事故），安全壳喷淋系统（CSP）投入运行以降低安全壳内的压力和温度，从而减小安全壳的泄漏率；同时，在一回路管道破裂事故情况下，也减少了安全壳内的气载裂变产物量（特别是碘），从而降低安全壳内气体的放射性水平，减轻安全壳外的放射性后果。

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

安全壳喷淋系统为实现其功能，向安全壳内喷淋混合有氢氧化钠的含硼水。

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

安全壳喷淋系统设计能迅速降低安全壳的压力和温度：在喷淋开始阶段，用至少一个喷淋系列提供额定值为  $993\text{m}^3/\text{h}$  的流量，为了最大限度地导出安全壳内的热量，选取了适当的喷头喷淋的液滴直径，平均直径约为  $0.27\text{mm}$ 。

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

CSP 系统设计成可运行长达数月并且用于长期余热导出。

#### 4.5.1.3 安全壳隔离系统

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

本节涉及假想事故时用于隔离安全壳的贯穿件阀门。

##### (1) 设计基准

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

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

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

(d) 安全壳隔离系统设计满足单一故障准则；

(e) 安全壳隔离系统能够防御内部飞射物和管道甩击；

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

- (g) 安全壳隔离系统设计成能够承受 LOCA 后环境条件；
- (h) 安全壳隔离系统能承受至少与安全壳试验压力相等的外部压力；
- (i) 安全壳隔离系统设计成在极限安全地震震动（SL-2）情况下仍能保持其功能，按抗震 1 类设计；

(j) 安全壳外侧的安全壳隔离阀尽可能安装在靠近安全壳处。

## (2) 系统描述

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

——安全壳内侧一个锁闭的隔离阀，安全壳外侧一个锁闭的隔离阀；

——安全壳内侧一个自动的隔离阀，安全壳外侧一个锁闭的隔离阀；

——安全壳内侧一个锁闭的隔离阀，安全壳外侧一个自动的隔离阀；

——安全壳内、外侧各一个自动隔离阀；

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

——在完全满足下列条件情况下，可在安全壳外侧设置一个自动隔离阀：

·系统在安全壳外是封闭的；

·系统能适应能动部件的单一故障；

·系统属于工程安全设施；

·安全壳贯穿件直至所含阀门之间的回路部分封闭在一个密封的包壳内。

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

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

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

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

## (3) 系统运行

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

(a) 出现下列情况之一时，产生安全壳 A 阶段隔离：

- (A) 稳压器低—低压力，
- (B) 安全壳内高压（高压 2），
- (C) 蒸汽管路高流量，同时出现蒸汽管路低压力，或反应堆冷却剂低—低平均温度，
- (D) 任一蒸汽管路低压力，
- (E) 手动启动。

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

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

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

(b) B 阶段隔离由安全壳内高压（高压 4）信号或手动启动。

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

在接到下列信号之一时，启动蒸汽管路隔离：

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

高放射性信号（燃料操作事故等）隔离下列管线：

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

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

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

一些安全壳隔离阀可由反应堆保护系统 (RRP) 自动启动。



#### 4.5.1.4 安全壳可燃气体控制

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

##### (1) 氢的主要来源和采用的假设

当电厂发生 LOCA 事故时，氢气释入安全壳，其主要来源如下：

- 堆芯和内置换料水箱中水的辐照分解；
- 锆—水反应（燃料包壳的锆合金受到事故期间冷却剂或蒸汽的侵蚀）；
- 安全壳中的金属（铝和锌）受到安全壳喷淋水中添加溶液的腐蚀；
- 反应堆冷却剂中的氢。

为此，电厂设置安全壳内可燃气体控制系统，以维持在设计基准事故时安全壳内大气的氢浓度低于 4.1% 体积浓度的最低可燃浓度极限。

##### (2) 设计基准

###### (a) 设计基准事故下的消氢准则

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

###### (b) 单一故障准则

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

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

##### (3) 系统描述

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

非能动氢复合器主要由装置本体和催化板组成。装置本体主要部件有外壳体和催化床。外壳体是由角钢和钢板焊接而成的一个气流通道，壳体的前面板由螺钉固定，可以拆卸，方便检验和清洗。防护壳顶部封闭，气流出口采用侧向开口方式，实现了必要的防滴设计。催化床位于壳体底部，为可更换“抽屉式”结构，便于更换催化板，使得维护更加方便可靠。装置根据现场需要采用钢支撑、连接件、紧固件、膨胀螺栓或其他方式安装在所需的位置。整机受力构件采用焊接框架式结构，外敷设壳板，满足抗震要求。外壳体和催化床

所用材质均选用奥氏体不锈钢材料。整套装置中未采用铸铁材料、铝及其合金，锌及其合金等禁用材料。使用的所有材料能够抵抗由介质或外部影响造成的腐蚀和磨损，且不受辐照的影响。

非能动氢气复合器的核心部件是催化板，催化板采用金属网板作为基材， $\text{TiO}_2$  等组分作为活性组分载体，两种贵金属作为活性组分。两种贵金属组分对  $\text{H}_2$  复合反应产生增强效应，提高了催化板低温启动性能。每一片催化板均具有永久唯一的编号，该编号方便催化板在安装和在役检查时快速、正确的放置。

#### (4) 系统运行

##### (a) 电厂正常运行

电厂正常运行期间，不需要本系统运行。

##### (b) 电厂特殊稳态运行

电厂特殊稳态运行期间，不需要本系统运行。

##### (c) 电厂特殊瞬态运行

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

#### 4.5.1.5 安全壳整体强度试验和密封性试验

本工程采用双层安全壳，本节主要描述内层安全壳的强度试验和密封性试验。

##### (1) 试验的类型和目的

###### (a) 强度试验

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

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

###### (b) 安全壳贯穿件的局部密封性试验

试验的目的是为了测量和就地探测安全壳贯穿件的泄漏。

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

B 类试验涉及以下部分：

- 燃料运输通道盲板的密封件；

- 电气贯穿件外壳；
- 人员空气闸门的密封装置，包括贯穿件；
- 设备闸门的密封装置。

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

### (c) 内层安全壳整体密封性试验

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

#### (2) 试验描述和验收准则

##### A. 内层安全壳整体密封性试验

###### (a) 试验前的条件

- 安全壳安装了永久性的密封、隔离装置和贯穿件；
- 完成了试验前的目视检查；
- 一旦安装好永久隔离装置，则要进行 B 类或 C 类试验，以探测相应贯穿设备的泄漏率。
- 此类试验涉及的系统和设备应尽可能处在假想 LOCA 条件下。

###### (b) 方法

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

###### (c) 仪表

采用的仪表如下：

- 温度传感器
- 湿度传感器
- 压力传感器

###### (d) 试验步骤

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

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

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

在 0.42MPa（表压），即内层安全壳设计压力（P）时，分两次间隔进行测量，两个小时

段各历时 24 小时，中间阶段压力达到 0.483MPa（表压）（1.15P）的试验压力（强度试验，仅在首次运行前进行）。

(e) 验收准则

如果满足下列准则，则试验满足要求：

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

B.安全壳贯穿件的局部泄漏率试验

(a) 概述

其泄漏率占内层安全壳整体泄漏率的一部分，需要检验和改善每个部件的密封性。

(b) 整体泄漏率在内层安全壳各部件的分配

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

(c) B 类和 C 类局部密封试验的验收准则

——B 类试验的部件

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

电气贯穿件：1%，对所有电气贯穿件的总泄漏率；

人员（应急）闸门：1%，对每个闸门；

设备闸门：1%；

燃料转运通道盲板法兰：1%；

——C 类试验的部件

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

#### 4.5.2 裂变产物去除和控制系统

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

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

#### 4.5.2.1 专设安全设施的过滤系统

##### (1) 主控制室空调系统（VCL）

###### (a) 设计基准

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

——在正常运行和应急工况期间保持控制室内的压力高于大气压，以防止室外空气渗入。

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

###### (b) 系统说明

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

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

VCL 系统设计考虑以下事故：

###### ——厂外电源丧失

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

###### ——地震

应急过滤通风机组设计成能承受极限安全地震震动（SL-2）。

###### ——功能丧失

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

###### (c) 应急过滤通风机组的功能

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

吸收剂是具有渗透 1%碘化钾（KI）的活性炭。

过滤除碘的去污因子设计值为  $10^3$ （甲基碘）。

## (2) 燃料厂房的通风系统（VFL）

### (a) 设计基准

VFL 系统的设计要能完成如下任务：

- 为设备的正常运行及工作人员进入维持一个适宜的环境温度；
- 维持厂房压力略低于大气压力（负压值约 0.5daPa，此值在系统调试时验证）以减少气载放射性物质的泄漏；

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

- 在下列情况下，减少排风中的气载放射性物质向大气中排放：

- 燃料装卸事故；
- 铅容器操作事故；
- LOCA。

### (b) 系统说明

在正常运行期间，VFL 系统以“直流式”的全新风系统运行。

在事故情况下，VFL 系统以低流量碘排风过滤系统运行。在燃料装卸事故时，低流量排风与乏燃料水池大厅通风相连接。在 LOCA 情况时，低流量排风与 -5.30m 以下房间的通风相连接。

为了在机组所有运行模式下，维持适当的环境，当任何一台风机或快速隔离阀出现单一能动故障时，系统的设计都能保持其功能。事故工况下使用的低流量排风子系统，配有柴油机应急电源。

VFL 系统由控制室远距离控制。

### (c) 低流量排风子系统的功能

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

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

## (3) 安全壳环形空间通风系统（CAV）

### (a) 设计基准

安全壳环形空间是指由内层安全壳和外层安全壳所围和的空间。安全壳环形空间通风系统确保环形空间保持持续的负压状态，该负压状态能有效引导内、外部的泄漏都向该环

形空间汇集，从而可以避免来自内层安全壳的泄漏（比如在发生失水事故时）直接进入环境。

#### (b) 系统说明

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

全壳环形空间通风系统包括两个空气进口和3个100%容量的并联系列。其中2个系列用于事故后运行，每个系列包括二台隔离阀、一台电加热器、一台预过滤器、一台HEPA过滤器、一台碘吸附器、一台排风机、一台通风逆止阀；1个系列用于电站正常运行，包括上游的两个电动隔离阀和1个下游手动隔离阀、一台预过滤器、一台HEPA过滤器、一台排风机、一台通风逆止阀。

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

### 4.5.2.2 安全壳喷淋系统

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

#### (1) 概述

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

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

#### (2) 系统设计

##### (a) 化学添加剂子系统

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

沉积、化学反应和分解。

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

子系统包括：

- 一台装有氢氧化钠溶液的贮存箱（化学添加剂箱 CSP 001 BA）；
- 一台氢氧化钠搅拌泵，及化学添加剂子系统仪表和控制装置；
- 两台喷射器（每个系列一台喷射器）用于吸入氢氧化钠并将其注射到喷淋水中，来自喷淋泵的加压水注入喷射器并使其工作。

(b) 设计参数

为了有效的和快速地排除碘，选定的全部设计参数为：

- 喷淋水量很大：从  $993\text{m}^3/\text{h}$  到  $1986\text{m}^3/\text{h}$ （一台或两台安全壳喷淋泵在运行）。
- 液滴的尺寸非常小，平均直径： $270 \times 10^{-6}\text{m}$
- 降落高度约为  $42\text{m}$ 。

(c) 运行方式和给水源

a. 运行方式

安全壳喷淋系统的运行方式及条件参见 4.6.1.2 节。

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

b. 给水源

喷淋开始时水来自内置换料水箱，其中添加了化学添加剂；

长期阶段喷淋水来自下列混合物：

- 内置换料水箱的水；
- 注入到喷淋水中的化学添加剂；
- 溢入安全壳内的混有裂变产物以及放射性腐蚀产物的反应堆冷却剂；
- 来自安注箱的水；

(d) 材料

与氢氧化钠溶液相接触的系统的的所有部分都是奥氏体不锈钢制造的。

#### 4.5.2.3 裂变产物控制系统

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



向环境释放。

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

## 4.6 放射性废物系统和源项

### 4.6.1 放射性源项

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

#### 4.6.2.1 硼回收系统（ZBR）

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

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

### （1）设计基准

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

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

本系统的前贮槽和净化部分可接收和处理来自 RCV 系统的最大下泄流（ $31.4\text{m}^3/\text{h}$ ）。

中间贮槽的容积可以满足本系统前、后两部分独立运行，从而不影响反应堆的运行状态。中间贮槽共三个，每个贮槽的有效容积为  $350\text{m}^3$ 。

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

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

本系统蒸发部分将除气后的反应堆冷却剂分离为冷凝液和浓缩液，处理能力为  $3.5\text{m}^3/\text{h}$ 。冷凝液含硼量低于 5ppm，经冷却后通常可作为反应堆补给水复用。当一回路氘的浓度高于控制值时，ZBR 冷凝液被送往 ZLD 系统监测、排放；浓缩液含硼量为 7000-7700ppm，质量合格时可作为 4%-4.4%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

#### a) 正常运行

前贮槽、除盐器和除气塔的操作都是自动连续进行的。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  $0.1\text{ppm}$ （ $100\mu\text{g/L}$ ）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  $0.32\text{MPa}$ （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  $10\sim 30\text{m}^3$  之间，以确保前贮槽在净化部分不能使用时，仍能贮存反应堆以最大排放速率（ $31.4\text{m}^3/\text{h}$ ）送来的冷却剂至少半小时的量。

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

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

蒸发器手动启动，操作稳定后，改为自动运行。

蒸发产生的二次蒸汽经二次蒸汽冷凝器 003CS（004CS）冷凝后，再经冷凝液冷却器

003RF（004RF）冷却至 50℃，进入冷凝液监测槽 005BA（006BA）。

在冷凝液监测槽中的冷凝液通过取样分析后有以下几种出路：

— 如果冷凝液的水质满足反应堆补给水要求，则由冷凝液泵 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氟浓度，将含氟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；

#### b) 特殊运行

— 在打开反应堆压力容器前，利用除气塔对反应堆冷却剂进行除气。

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。

本系统工艺排水缓冲槽及其疏水泵以及化学排水缓冲槽及其疏水泵是单机组布置于核辅助厂房内，其他部分为两堆共用，位于核废物厂房内。所有贮槽均布置在相应的设备间内，设备间设计成可滞留贮槽泄漏或破损时流出的放射性废液。

### （2）系统描述

放射性废液根据放射性浓度和化学成分由 RVD 系统分类收集。然后，送至 ZLT 系统贮槽分别贮存。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  $27\text{m}^3/\text{h}$ 。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  $1000\sim 10000$ 。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  $3.5\text{t/h}$ ，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  $2\times 50\text{m}^3$ 。

#### a) 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。

— 一台深床过滤器 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。

b) 蒸发工艺包括：

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

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

— 一化学中和站由酸、碱试剂槽和两台计量泵组成，用于调节接收槽中废液的 pH 值。

— 一蒸发处理设备包括：蒸发器供料泵 ZLT005PO、蒸发器预过滤器 ZLT001FI、预热器 ZLT001EX，加热器 ZLT001RE、蒸发器 ZLT001EV、旋风式分离器 ZLT001ZE、泡罩塔 ZLT002ZE、蒸馏液冷凝器 ZLT001CS、蒸馏液冷却器 ZLT001RF、冷凝水冷却器 ZLT002RF 和冷凝水平衡槽 ZLT014BA。

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

蒸馏液由两个监测槽（ZLT009/010BA）接收。

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

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

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

c) 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 ZLT002/012F1。可以在不停止处理废液的情况下更换过滤器芯。

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

与废液接触的设备的材料均为不锈钢，有较好的耐腐蚀性。

### （3）系统运行

ZLT 系统总的运行原则如下：

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

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

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

— 蒸发净化单元由手动启动，运行稳定后，即进入自动控制状态。

— 除盐器是手动启动的，运行稳定后，即进入自动控制状态。

#### 4.6.2.3 核岛液态流出物排放系统（ZLD）

##### （1）设计基准

a) 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 常规潜在带放射性的废水

— 蒸汽发生器排污系统（TTB）蒸汽发生器排污液。

b) 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。

c) 将超过排放限值的放射性液态流出物送往废液处理系统（ZLT）处理。

## （2）系统描述

ZLD 系统设置三个 500m<sup>3</sup> 的排放槽 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、一个止逆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。

ZLD 排放管线材料为不锈钢。该管线上的其它设备的材料采用不锈钢。

## （3）系统运行

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

排放管上的 IRM 监测系统对排放槽内液态流出物有辅助监测作用，当排放液态流出物的放射性浓度大于 2.7MBq/L 时，IRM901MA 报警；当排放液态流出物的放射性达到 4.5MBq/L 时，自动切断排放管线。

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：

- 核岛厂房内放射性洗衣房排放废液，
- 核岛厂房内卫生出入口产生的放射性废液，



- 核岛厂房内可降解废物处理系统产生的放射性废液，
- 核岛辅助设施（BOP）的放射性机修及去污车间（AC 厂房）产生的机械去污废液和化学去污废液，
- 核岛辅助设施（BOP）的厂区实验室（AL 厂房）产生的废液。

收集的废液经贮存和取样分析后，废液被送往 ZLT 系统、ZLD 系统或 ZST 系统。

## （2）系统描述

WSR 系统核岛部分 AR 厂房部分为单机组设置，核废物厂房内部分为双机组共用。收集下列系统及场所的废液：

AR 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 WSR001/002BA 中。WSR001/002BA 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 WSR001/002PO 送往 ZLD 系统排放。

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

洗衣房洗衣和初次漂洗的排放废液，经粗过滤后借助于重力流入废水贮槽 WSR003BA。二次漂洗的排放废液，借助重力流入废水贮槽 WSR004BA。WSR003/004BA 内的废液经混匀和取样分析后，如果需要处理，将其经核岛疏水排气系统（RVD）送到废液处理系统（ZLT）进行蒸发或过滤处理，如果放射性水平低于排放限值，则直接由泵 WSR003/004PO 送往 ZLD 系统监测排放。

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

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

WSR 系统 BOP 部分为两台机组共用，收集下列系统及场所的废液：

### a) 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 WSR202BA，经过混匀和取样分析后，由化学去污水排水泵 WSR202PO 送往 ZLT 系统的化学排水接收槽处理或送往 ZST 系统的浓缩液槽待固化处理。

放射性机修及去污车间排放的机械去污废液靠重力流入机械去污水疏水箱 WSR201BA，经过混匀和取样分析后，由机械去污水排水泵 WSR201PO 送往 5 号机组 ZLT 系统地面排水接收槽处理或送往 ZLD 系统排放。

#### b) 厂区试验室排放废液

厂区试验室排放废液靠重力流入厂区试验室疏水箱 WSR203BA，经过混匀和取样分析后，由厂区试验室排水泵 WSR203PO 送往 5 号机组 ZLT 系统地面排水接收槽处理或送往 ZLD 系统排放。

### (3) 系统运行

#### — 核岛部分

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

当废水贮槽 WSR003/004BA 的液位达到高液位时，泵 WSR003/004PO 自动启动。当槽中液位达到低液位时，泵 WSR003/004PO 自动停运。每个贮槽均可就地取样，以测量废液的放射性浓度。

#### — BOP 部分

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

#### b) 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 WSR201BA 高液位报警信号通知操作人员水箱已充满。操作人员可进行必要的处理，根据取样分析结果，将废液送往 5 号机组 ZLT 系统的地面排水槽或 ZLD 系统的贮槽。出现低液位信号时，自动停泵。

#### c) 厂区试验室排放废液

厂区试验室疏水箱 WSR203BA 的高液位信号自动启动泵。根据取样分析结果，将废液送往 5 号机组 ZLT 系统的地面排水槽或 ZLD 系统的贮槽。出现低液位信号时，自动停泵。

#### 4.6.2.5 核岛疏水排气系统（RVD）

核岛疏水排气系统（RVD）除核废物厂房（QX 厂房）部分为两机组共用外，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；
- 在事故发生后使较高水平放射性废液再注入反应堆厂房。

### （2）系统描述

#### a) 反应堆冷却剂疏水子系统

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

#### b) 工艺疏水子系统

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

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

512PS、513PS）的较高放射性废液再注入反应堆厂房。

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

#### d) 化学疏水子系统

该系统收集核岛放化实验室、热机修车间的废水和来自处理含有放射性化学物质系统的疏水。

这些疏水通常是含有高化学成份的放射性废水。

通常化学疏水被送至核辅助厂房的化学疏水坑（RVD003PS），核废物厂房的化学疏水被送至化学疏水坑（RVD503PS），再由泵输送到 ZLT 化学排水接收槽。

#### e) 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。

#### f) 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

#### a) 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。

#### b) 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），再用泵（RVD014PO）将废液送到核辅助厂房工艺疏水坑（RVD002PS）。工艺疏水箱（RVD003BA）有溢流管，可使超过溢流管的废水排到安全壳疏水坑（RVD031PS）。

其它厂房的系统和设备疏水输送方式：

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

— 收集在 QX 厂房工艺疏水坑（RVD502PS），再用泵输送到 ZLT 系统工艺排水接收槽。

— 靠重力直接送到 ZLT 系统。

c) 化学疏水子系统

— 重力收集疏水，送到化学疏水坑（RVD003PS），再用泵输送到 ZLT 化学排水接收槽。

— 收集到 QX 厂房化学疏水坑（RVD503PS），再用泵输送到 ZLT 系统化学排水接收槽。

d) 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（RVD011PS/RVD041PS）以及安全壳底层疏水坑（RVD031PS），疏水坑装有多个水位探测器，根据预先设定的高高和低液位整定值来分别控制两台泵的启动和关闭（逻辑）。这些疏水由泵将其送至核辅助厂房的地面疏水坑（RVD001PS）。

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

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。

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

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

核废物厂房地面疏水收集在核废物厂房地面疏水坑（RVD501PS）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。

#### e) 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。

#### f) 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 可降解废物处理系统（ZDT）

#### (1) 设计基准

可降解废物处理系统的功能是将可降解防护用品进行溶解，并对溶解废水进行暂存、处理、取样分析，最终输送至放射性废水回收系统。

#### (2) 系统说明

可降解防护用品采用聚乙烯醇（PVA）制成，是醋酸盐的一种衍生物，具有水溶性，遇热水溶解。对可降解防护用品处理采用湿式氧化处理技术，处理过程分为三大部分：溶解、过滤和热氧化。

#### a) 溶解部分包括：

- 两台溶解槽（7ZDT001/002BA），用于溶解可降解防护用品。
- 两台溶解槽循环泵（7ZDT001/002PO）及两台溶解槽辅助循环泵（7ZDT011/012PO），用于促进可降解防护用品的溶解和溶解废液的混合。

#### b) 过滤

过滤部分包括三台过滤器（7ZDT001/002/003FI），过滤效率 $>98\%$ 。

#### c) 热氧化

热氧化单元包括：

- 一台 TPS 暂存槽（7ZDT003BA），用于过滤后的 TPS 溶液的暂存；

- 两套热氧化单元，用于去除 TPS 溶液的化学需氧量（COD）、生物需氧量（BOD）；
- 两台骤冷罐（7ZDT004/011BA），用于热氧化处理后废液的暂存、混合和取样分析。
- 两台骤冷罐泵（7ZDT008/014PO），用于将缓冲槽内废液的搅拌、取样分析和输送。

处理后溶液经骤冷罐过滤器（ZDT008FI）过滤后贮存于废液暂存槽（ZDT010BA）。取样后废液的放射性浓度低于排放控制值时，通过排水泵（ZDT009PO）送往放射性废水回收系统（WSR）。当废液的放射性浓度高于排放控制值时，则送至废液处理系统（ZLT）重新处理。

### （3）系统运行

#### a) 溶解

将用过的可降解防护用品放到溶解槽中，向溶解槽中注入加热超过 110°C 的热水，可降解防护用品开始溶解，溶解循环泵连续运转促使混合和溶解。待 PVA 材料完全溶解后加入过氧化氢作为氧化剂，使溶解的 PVA 分解，溶解液转化为处理后的弱有机酸溶液（TPS）。随后通过热换热器对溶液进行冷却，待冷却到合适的温度后，将溶液输送到过滤器进行过滤。此时 PVA 的含量接近于零。任何不溶解的物件都留在溶解槽中，在下次运行之前可以取出，作为固体废物进行处理。

#### b) 过滤

溶解后的废液经 3 段机械过滤，每一段的过滤器会根据溶液中污物的直径分别进行过滤。过滤后的溶液进入 TPS 暂存槽，待进一步进行热氧化处理。

#### c) 热氧化

首先，空气加热到 600°C 后吹入到热氧化装置中。系统压力为一个大气压（表压）。处理后 PVA（TPS）计量加入到热氧化装置。高温会破坏 TPS 键，生成一氧化碳和二氧化碳。含有一氧化碳、二氧化碳和水蒸气的空气进入到催化处理室。在高温及催化剂（镀铂金属）条件下，一氧化碳转化成二氧化碳。最后，用冷却水系统将水蒸气进行冷凝。冷凝水进入热水罐待复用或排至放射性废水回收系统。不凝性气体通过厂房通风系统排出。

### 4.6.2.7 化学和容积控制系统（RCV）

#### （1）设计基准

化学和容积控制系统（RCV）为反应堆冷却剂系统（RCS）提供以下服务：

- 反应堆冷却剂容积控制；
- 反应堆冷却剂化学控制：
  - 与硼和水补给系统（RBM）共同完成硼浓度的调节，从而控制反应性；
  - 控制气体的浓度；

- 净化和过滤；
  - 含氧量和 pH 值的控制（与 RBM 系统一起）。
- 反应堆冷却剂泵密封水注入。

RCV 系统还提供以下服务：

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

## （2）系统描述

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

### a) 上充、下泄、密封水子系统

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

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

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

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

两台上充泵从容控箱吸水并将被冷却、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。轴封水向下引到泵轴轴承和热屏蔽冷却盘管上部，一部分冷却下部轴承。然后，通过迷宫密封和热屏蔽进入反应堆冷却剂系统。其余的轴封水沿着泵轴向上流到密封水泄漏。密封水泄漏流排到位于安全壳内的一条公用集水管。然后，通过密封水返回过滤器和轴封水热交换器流到上充泵吸入侧或通过替换通道流到容积控制箱。



#### b) 反应堆冷却剂净化和化学控制子系统。

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

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

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。

#### 4.6.2.8 反应堆换料水池及乏燃料水池冷却和处理系统（RFT）

##### (1) 设计基准

反应堆换料水池及乏燃料水池冷却和处理系统按下列准则进行设计。

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

##### a) 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）或两个冷却系列（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。

b) 乏燃料水池过滤和除盐回路

最高温度：60℃；

处理能力：60m<sup>3</sup>/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。

c) 反应堆换料水池过滤回路

处理能力为 100m<sup>3</sup>/h，过滤器的过滤粒度为 5μm。

(2) 系统描述

a) 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 或 006PO 抽送乏燃料水池的水流过热交换器 001RF、002RF 或 003RF，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

b) 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，必须将水池排水管的隔离阀切换至开启。

(3) 系统运行

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

系统正常运行：

— 乏燃料水池冷却、过滤和除盐回路

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

冷却回路的流量为 450m<sup>3</sup>/h，由流量计监测。

水泵的工作流量为 510m<sup>3</sup>/h，其中 60m<sup>3</sup>/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 60m<sup>3</sup>/h 由流量计监测，手动调节阀根据过滤器和除盐装置的压降调节流量。

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

根据乏燃料水池的水质情况，可以投运表面撇沫和过滤回路，其流量为 5m<sup>3</sup>/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 100m<sup>3</sup>/h，由流量计监测。

余热排出系统保持反应堆换料水池的冷却剂最高温度为 60℃。

根据反应堆换料水池的水质情况，可以投运表面撇沫和过滤回路，其流量为 6m<sup>3</sup>/h。

#### 4.6.2.9 蒸汽发生器排污系统（TTB）

##### （1）设计基准

a) 在正常运行时，TTB 系统水处理设计流量最高能达到 73.5t/h，三台蒸汽发生器的排污量是相同的，每台蒸汽发生器的最大排污量约为额定蒸汽流量的 1.2%（即 24.5t/h）。

b) 蒸汽发生器排污水的化学和物理性质应符合二回路水化学技术条件。

##### （2）系统描述

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

每台蒸汽发生器的排污水是靠两个径向对称的支管段在管板上收集的，并在其中的一根支管上设置一根取样接管，供取样分析用。两根支管在安全壳内合并后穿过安全壳。在安全壳外的排污管上设置了一根供蒸汽发生器保养用的氮气接管，并在每一根排污管上安装了一个无泄漏的隔离阀和一个手动流量控制阀，操作人员可以根据二次侧水质的好坏通过此阀控制排污量的大小。在功率运行时，排污量在 10~73.5 t/h 之间变化。

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

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

冷却和减压后，排污水被引至处理系列，即先通过一台过滤粒度为 5 $\mu\text{m}$  的过滤器，然后通过一条或两条并联的离子交换管路进行净化处理，每条管路均串联有一台阳离子交换器、一台混床离子交换器和一个手动流量调节阀。处理过的排污水再通过一台过滤粒度为 25 $\mu\text{m}$  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

#### a) 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 10~73.5t/h 之间。不论系统排污流量有多大，系统两条除盐管线必须同时运行。

#### b) 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。

### 4.6.2.10 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、一个流量调节阀及一个累计流量计。

排放管上的 IRM 监测系统对贮槽废液有辅助监测作用，当排放废液的放射性浓度大

于  $0.2\text{MBq/m}^3$  时，IRM902MA 报警；当排放废液的放射性达到  $0.4\text{MBq/m}^3$  时，自动切断排放管线。

## （2）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。

### 4.6.2.11 放射性废液排放源项

放射性废液的排放量取决于：

- 主回路冷却剂中的放射性浓度；
- 与液体放射性释放有关的电厂设备性能，特别是泄漏率和净化工序的去污因子等。
- 废液的输运、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方法考虑：第一种方法假设整个循环中主冷却剂比活度都处于  $0.1\text{GBq/t I-131}$  当量下，这种方法的结果称为现实排放源项；第二种方法假设整个循环主冷却剂比活度都处于  $4.44\text{GBq/t I-131}$  当量下，这种方法的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。

华龙一号机组在液态放射性流出物年排放量：现实工况下一台机组除氚、C-14 外其他核素的排放量为  $1.03\text{E}+00\text{GBq/a}$ ，液态氚为  $3.96\text{E}+04\text{GBq/a}$ ，液态 C-14 为  $6\text{GBq/a}$ ；保守工况下一台机组除氚、C-14 外其他核素的排放量为  $1.69\text{E}+01\text{GBq/a}$ ，液态氚为  $4.59\text{E}+04\text{GBq/a}$ ，液态 C-14 为  $2.81\text{E}+01\text{GBq/a}$ 。

### 4.6.3 放射性废气处理系统及源项

本节叙述了废气管理系统对核电站在正常运行工况和预计运行事件时所产生的放射性废气的控制、收集、处理、贮存和排放等方面的能力及与安全相关的问题。

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、卤素和气体中的悬浮粒子进行收集和处理，以便将预期的放射性废气年释放量、核电站工作人员在控制区和非控制区内的受照剂量降低到“可合理达到尽量低”的水平。

ZGT 系统不直接履行安全功能。但由于 ZGT 系统处理的废气带有放射性，尤其是含氢放射性废气，除辐照危害外还存在爆炸和引起火灾的危险性，故在进行 ZGT 系统的设计时，考虑了防止该气体向环境泄漏、安全防火、防爆和通风排气等问题，并将放射性气体进行贮存衰变，使放射性的气态排放保持在可接受的限值内。

##### （2）设计基准

废气处理系统（ZGT）的设计基准如下：

— ZGT 系统提供足够的处理能力，使气态流出物中的放射性排放低于国家标准 GB6249《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，并且满足了国家标准 GB/T22158-2008《核电站防火设计规范》的要求；

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

— ZGT 系统不执行核安全相关功能，但含氢废气子系统设计成安全 3 级，因为该子系统的故障可能会导致正常贮存衰变的放射性气体的释放；

— ZGT 系统通过调整衰变箱排气速率、安装氢气和氧气检测仪表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 系统为单堆布置。主要设备位于 NX 厂房内。

##### （3）系统组成

ZGT 系统由含氢废气子系统和含氧废气子系统两个独立的子系统组成。

###### a) 含氢废气子系统

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

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等。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  $1.2\text{m}^3$ （STP）/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 NX 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。

#### b) 含氧废气子系统

含氧废气主要由空气、少量放射性碘及其同位素组成。

这类废气来自与大气相通的容器（并可能含有放射性气体）

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

### (4) 系统运行

#### a) 含氢废气子系统

含氢废气子系统运行前用氮气吹扫净化。

含氢废气由 RVD 系统收集至缓冲罐（ZGT001BA）。缓冲罐可对无规律的来气（不同压力和流量）进行调节稳定，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  $0.025\text{MPa}$ （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  $0.03\text{MPa}$ （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  $0.005\text{MPa}$ （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、贮存衰变、排气时的阀门操作均由远传手动进行。

在向大气环境排放之前，衰变箱内的废气要进行取样分析，测其放射性浓度等与安全排放有关的参数，当放射性浓度低于可接受排放限值时允许排放，并且要检查 VNA 系统的运行工况和大气环境条件是否满足排放要求。



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，NX 厂房的烟囱放射性超过阈值，或者假如正在排放的衰变箱内的压力下降到 0.02MPa（表压）时，则自动停止排放。衰变箱内压力低于 0.02MPa（表压）时停止排放是为了防止外部空气进入衰变箱发生爆炸事故。

衰变箱与两套并联的排气管网相连，确保箱内废气在 5~84 个小时内以预定的流量排放到 NX 厂房 VNA 系统的碘吸附器入口管线。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。

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

#### b) 含氧废气子系统

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

含氧废气干管内的负压由止回式调节风门维持；一旦风机停运，该阀就自动关闭。

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

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

### 4.6.3.2 厂房通风系统（HVAC）

#### (1) 设计目的

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

主要的通风系统如下：

——核燃料厂房：

•核燃料厂房通风系统（VFL）。

——安全厂房：

•安全厂房机械设备区通风系统（VMO）。

——核辅助厂房：

•核辅助厂房通风系统（VNA）。

——放射性废物厂房：

•放射性废物厂房通风系统（VRW）。

——反应堆厂房：

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

通风设计中所用的最小换气次数是由以下受控区的类别确定的：

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

一些高度危险区的排风量计算依据如下：

- 设有电气蓄电池的房间每小时换气次数为 12 次。

## （2）总的设计特性

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

每个厂房的通风系统，敷设排风管路时，应使排风口尽可能远离新风进风口。

从潜在放射性污染区域排放的空气不能进行再循环。

没有污染的空气可以从屋顶或墙上的通风口排至室外大气中。

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

在厂外电源丧失时，所有与安全相关的能动部件（包括仪表）分别备有 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。

每个通风系统使用的各种部件组合的说明如下：

### 1. 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%。

### 2. 排风预过滤器

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

### 3. 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%。

#### 4. 高效粒子空气过滤器（HEPA）

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

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

#### 5. 碘过滤器（碘吸附器）

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

碘吸附器采用的是 III 型碘吸附器，吸附介质是含 1%KI 的活性炭。

主要通风系统如下：

##### ① 核燃料厂房的通风系统（VFL）

在正常运行期间，VFL 系统以“直流式”的全新风系统运行。

在事故情况下，VFL 系统以低流量碘排风过滤系统运行。在燃料装卸事故时，低流量排风与乏燃料水池大厅通风相连接。在 LOCA 情况时，低流量排风与-5.30m 以下房间的通风相连接。

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

VFL 系统由控制室远距离控制。

正常排风子系统

排风机组包括两台 100%容量并联的机组，每个机组包括：

——二台预过滤器（过滤效率：85%）；

——二台高效粒子空气过滤器（净化系数>3000）；

——二个阻塞补偿阀；

——二台 100%容量并联的排风机，装有逆止阀；

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

低流量排风子系统

本机组与正常排风子系统的排风管道相连接，并接至烟囱。

本机组包括：

— 两台 100%容量的电加热器；

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

### ② 安全厂房机械设备区通风系统（VMO）

VMO 系统为“直流式”通风系统，为安全厂房机械设备区通风。

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

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

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

VMO 系统的组成如下：

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

- 两台并联风过滤器（预过滤器、高效粒子过滤器）；
- 三台循环冷却机组（冷却盘管、送风机）；
- 两台并联连接的 50%容量的排风机，配有止回阀；
- 送、排风管道；
- 防火阀。

事故情况下运行的低流量排风分系统：

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

### ③ 核辅助厂房通风系统（VNA）

VNA 系统为直流式通风系统，连续运行，设计成能完成如下任务：

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

- 按辐射防护分级，限制房间中的气溶胶放射性水平，以便人员进入；
- 控制空气从潜在低污染区流向潜在高污染区；

——减少释放到大气环境中的放射性污染物的浓度；

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

——当冷停堆时，确保安全壳换气通风系统（CSV）所需要的风量及过滤要求；

——在厂房火灾的情况下，从核辅助厂房的电气房间排烟；

房间的空气流量是根据设备和照明的散热量或用最少的换气次数计算而得。

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

#### 1) 正常排风机组

正常排风机组由以下部件组成：

——四台并联的预过滤器（过滤效率：85%）；

——四台并联的高效粒子空气过滤器（净化系数>3000）；

——四台 50% 冗余设置的风机，并联连接，并配置逆止阀（二用二备）；

——配有平衡阀、隔离阀和防火阀的排风管道；

——一组末端加热盘管和冷却盘。

#### 2) 碘排风机组

二套容量为 100% 的冗余机组，并联连接，每个机组的组成如下：

——二台电加热器；

——一台预过滤器（过滤效率：85%）；

——一台高效粒子空气过滤器（净化系数>3000）；

——一台碘吸附器（净化系数>5000）；

——一台配有逆止阀的风机；

——带有平衡阀、隔离阀和防火阀的排风管道。

当排除不含碘的气体时，可由旁通管跨越碘吸附器运行。

#### 3) 排烟环路

排烟环路的组成：

——过滤器机组[预过滤器（过滤效率：85%）和高效粒子空气过滤器（净化系数>3000）]；

——二台 100% 容量并联连接的风机，并配置逆止阀；

——从电气房间和阻火器来的排烟的管道。

#### 4) 排风烟囱

排风烟囱固定在反应堆厂房上，烟囱的顶标高为 76.53m，高出反应堆厂房 3m。

在烟囱中设有一个监测放射性气体和记录废气排放水平的系统。

#### 5) 特殊措施

在没有跟踪加热的输送硼酸的设备间安装了电散热器和电加热器，以防止发生任何结晶的可能。

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

#### ④ 环形空间通风系统 CAV

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

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

CAV 系统组成如下：

- 带有隔离阀和防火阀的排风管；
- 一个正常排风子系统；
- 两个碘排风子系统；
- 一条气密性风管连接到核辅助厂房通风烟囱。

CAV 包括以下两个子系统：

1) 正常排风子系统由一台预过滤器（过滤效率：85%）、一台高效粒子过滤器（净化系数 $>3000$ ）和配有逆止阀的排风机组成。

2) 两个碘排风子系统的组成均包括：

- 一台电加热器；
- 一台预过滤器（过滤效率：85%）；
- 一台高效粒子过滤器（净化系数 $>3000$ ）；
- 一台碘吸附器（净化系数（对分子碘） $>5000$ ）；
- 一台 100%容量并联的排风机，并配有逆止阀。

#### ⑤ 安全壳连续通风系统（CCV）

反应堆正常运行时，需要由 CCV 系统冷却安全壳设备。

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

### ⑥ 安全壳内空气净化系统（CUP）

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

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

CUP 系统从控制室手动操作。

CUP 系统由安装在混凝土小室内的净化机组和混凝土小室外两台循环风机组成。

CUP 净化系统组成如下：

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

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

### ⑦ 安全壳空气监测系统（CAM）

CAM 系统由以下四个子系统组成：

- 1) 混合和取样子系统设计成在 LOCA 后作为安全壳大气的循环系统运行。
- 2) 小扫气子系统是直流系统，在反应堆正常运行期间，它确保安全壳大气的净化，使排风经过绝对过滤器和碘吸附器的过滤。其功能为：

- 降低安全壳内空气放射性水平；
- 在反应堆启动和正常运行期间，根据安全壳内空气压力的变化，维持安全壳内外压差的最大值 60mbar。

——安全壳密封试验后，当相对压力低于 0.01MPa 时，进行安全壳排气。

3) 泄漏试验子系统使用压缩空气系统（WAS）的空气给安全壳加压。

4) 安全壳大气监测子系统。本系统能够完成下述功能：

——监测安全壳大气的温度和压力。

——用 KRT（辐射防护监测系统）辐射监测设备监测安全壳的空气放射性污染水平。

### ⑧ 安全壳换气通风系统（CSV）

每个机组的反应堆厂房中，CSV 系统设计成：

——在冷停堆期间，为在反应堆厂房内工作的维修人员提供能承受的环境温度。

——减少反应堆厂房中裂变气体产物的浓度，以便在冷停堆期间尽可能快地允许工作人员持续进入。

——机组停运期间，维持疏水含氧废气罐（RVD 002 BA）处在轻微负压状态下。

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

#### 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。

华龙一号机组气载放射性流出物的年排放量：现实工况下一台机组的惰性气体排放量为  $1.13\text{E}+03\text{GBq/a}$ ，气载碘的排放量为  $1.02\text{E}-02\text{GBq/a}$ ，气载粒子的排放量为  $4.68\text{E}-02\text{GBq/a}$ ，气态氙的排放量为  $3.96\text{E}+03\text{GBq/a}$ ，气态 C-14 的排放量为  $2.20\text{E}+02\text{GBq/a}$ ；保守工况下一台机组的惰性气体排放量为  $6.38\text{E}+04\text{GBq/a}$ ，气载碘的排放量为  $6.11\text{E}-01\text{GBq/a}$ ，气载粒子的排放量为  $4.68\text{E}-02\text{GBq/a}$ ，气态氙的排放量为  $4.59\text{E}+03\text{GBq/a}$ ，气态 C-14 的排放量为  $3.84\text{E}+02\text{GBq/a}$ 。

#### 4.6.4 放射性固体废物处理系统

固体废物处理系统（ZST），是为核电厂运行和维修时所产生的放射性废物在处置之前



提供收集、暂存、固化（固定）、压实、包装和临时贮存而设计的。ZST 系统由位于核辅助厂房（NX）内部分、核废物厂房（QX）内部分、废物处理辅助厂房（QS）和放射性固体废物暂存库（QT）组成。

NX 厂房内 ZST 系统设备每台机组一套，用于收集和暂存 NX 厂房产生的废树脂和废过滤器芯。废树脂和废过滤器芯用屏蔽运输车送到 QX 厂房处理。QX 厂房内 ZST 系统设备为两台机组共用，用于对湿废物（浓缩液、废树脂、废活性炭和废过滤器芯）进行处理后封装入 400L 钢桶内。

福建福清核电厂 1、2 号机组的 QS 厂房能够处理 6 台机组产生的干废物，本工程不再新建。福建福清核电厂 1、2 号机组 QT 库的库容按 6 台机组运行 5 年产生的废物量进行设计，本工程不再新建。

福建福清核电厂 5、6 号机组在运行和维修过程中产生的可燃不易爆的废油和废有机溶剂暂存在放射性废油暂存库（QR）中。

#### 4.6.4.1 设计基准

固体废物处理系统（ZST）无安全功能，属非核安全级（NC），设计基准如下：

— ZST 系统处理五种放射性废物：

- 废液处理系统（ZLT）蒸发器产生的浓缩液；
- 来自化学和容积控制系统（RCV）、硼回收系统（ZBR）、反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统（RFT）、废液处理系统（ZLT）和蒸汽发生器排污系统（TTB）除盐器产生的废树脂；
- 废液处理系统（ZLT）活性炭床产生的废活性炭；
- 来自化学和容积控制系统（RCV）、硼回收系统（ZBR）、反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统（RFT）、废液处理系统（ZLT）和蒸汽发生器排污系统（TTB）水过滤器的废过滤器芯；
- 核电厂各控制区产生的杂项干废物（包括抹布、塑料、纸、防护鞋套、口罩、手套、衣服等和废弃的设备零部件等）。

— 各种固体废物根据各自的性质进行处理，说明如下：

- 浓缩液收集到 QX 厂房的浓缩液贮槽中，然后送至 QX 厂房水泥固化线进行水泥固化处理。
- NX 厂房产生的废树脂收集在 NX 厂房的废树脂贮槽中，然后用屏蔽运输车送到 QX 厂房废树脂接收槽，随后送至 QX 厂房水泥固化线采用水泥固化处理。QX 厂房产生的废树脂直接收集在 QX 厂房的废树脂接收槽中，随后进行水泥固化处理。

- 正常情况下 TTB 系统的废树脂仅受轻微放射性污染，在 NX 厂房直接装入 200L 钢桶或原包装容器中。然后，送到固体废物暂存库贮存衰变，等待清洁解控。放射性水平异常的 TTB 废树脂收集在 NX 厂房的废树脂贮槽中。然后，送到 QX 厂房进行水泥固化处理。
  - 废活性炭采用水泥固化工艺处理，在 QX 厂房用桶内批次混合器与水泥、添加剂和水混合均匀后装入 400L 钢桶。
  - 表面剂量率  $>2\text{mSv/h}$  放射性废过滤器芯装入 400L 钢桶内。然后，在 QX 厂房用水泥浆（湿混料）固定；表面剂量率  $\leq 2\text{mSv/h}$  的废过滤器芯装入 200L 钢桶送到福建福清核电厂 1、2 号机组的 QS 厂房，进行烘干、超级压实和水泥固定处理；
  - 通风系统的废过滤器芯一般仅受轻微放射性污染，装入塑料袋送到固体废物暂存库进行贮存衰变，等待清洁解控；
  - 本工程将采用可降解的一次性聚乙烯醇（PVA）防护用品代替传统棉质、纸质和塑料防护用品，可压实干废物产生量降低到运行核电厂的 1/3。穿用后的可降解防护用品送到可降解废物处理装置，处理后形成可以排放的废液和少量二次废物。二次废物采用超级压实和水泥固定处理；
  - 杂项干废物用专用运输车运送到福建福清核电厂 1、2 号机组的 QS 厂房，分成可压实杂项干废物、潮湿的可压实杂项干废物、可直接超级压实废物和不可压实废物四类进行处理：杂项干废物→分拣→烘干（必要时）→初级压实（必要时）→超级压实→水泥固定→400L 钢桶封盖→表面剂量率和表面污染检测→在 QS 厂房养护→送 QT 库暂存；
- 为了减少操作人员所受辐射照射，ZST 系统在就地控制室进行监测和控制；
- 常压贮槽考虑了足够的排气和溢流能力，以防贮槽出现超压或负压。浓缩液贮槽和废树脂贮槽的设备间设有滞留堰，以防止贮槽破损时废物外流；

#### — 废物包暂存：

- 固体废物处理后产生的废物包送到福建福清核电厂 1、2 号机组的 QT 库暂存。

#### 4.6.4.2 系统组成

废树脂和废过滤器芯主要收集在 NX 厂房，固体废物处理过程在 QX 厂房和 QS 厂房内进行，处理后产生的钢桶废物包运至 QT 库暂存。

##### 1) 位于核辅助厂房（NX）中的设备

废物处理站位于核辅助厂房(NX)内部，用于将 NX 厂房产生的废树脂和废过滤器芯收集后送到 QX 厂房处理，当废过滤器芯表面剂量率  $\leq 2\text{mSv/h}$  时将其送到 QS 厂房处理。

#### a) 废树脂收集和运输设备

ZST 系统在 NX 厂房设有两个废树脂贮槽(ZST002BA、003BA),接收和暂存从 RCV、ZBR 和 RFT 系统送来的废树脂。在 TTB 系统除盐器下游设有一个移动式 TTB 废树脂贮槽 (ZST004BA), 正常情况下, TTB 系统产生的废树脂仅受轻微放射性污染, 可将其通过临时软管用水力输送进入 ZST004BA。在异常情况下, TTB 系统产生的废树脂排至废树脂贮槽 (ZST002BA 或 ZST003BA), 通过排入屏蔽运输车的运输容器内再运送到 QX 厂房, 采用桶内水泥固化处理后装在 400L 钢桶中。

相关系统冲排除盐器废树脂的水、冲洗废树脂输送管道的水、冲洗贮槽和计量槽的水以及反冲滤网的水均经核岛疏水排气系统 (RVD) 送往 ZLT 系统处理。贮槽内的废气由 RVD 系统收集。

废树脂贮槽 (ZST002BA、003BA) 中的废树脂在 NX 厂房装入屏蔽运输槽车, 运送到 QX 厂房并卸到废树脂接收槽中, 等待后续进行桶内水泥固化处理。

运输槽车的屏蔽能够使运输槽车的外表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ , 能够有效控制工作人员在废物接收和运输时受到的剂量。

#### b) 废过滤器芯更换和运输设备

废过滤器芯更换转运容器用于远距离更换和转运废过滤器芯。容器用铅作为屏蔽层 (故又称铅容器或铅罐), 外有不锈钢外壳, 并设有一套定位装置、与过滤器芯运输通道连接的滑动底板和升降装置。

### 2) 位于核废物厂房 (QX) 中的设备

固体废物处理系统位于核废物厂房内的部分用于进行浓缩液、废树脂、废活性炭及废过滤器芯的处理。

#### a) 湿废物接收设备

ZLT 系统蒸发器产生的蒸发浓缩液由浓缩液贮槽接收。为防止浓缩液在槽内产生结晶沉淀, 贮槽设有两组电加热器及一个搅拌器。一台测量仪用于测量贮槽浓缩液贮槽的剂量率。

ZLT 系统产生的废树脂用管道输送到 QX 厂房的废树脂接收槽等待处理。废树脂接收槽设有除盐水和压缩空气入口, 用除盐水和压缩空气松动废树脂, 贮槽上部设有溢流管。QX 厂房内设有废树脂辅助运输设备用以接收 NX 厂房的废树脂, 先将废树脂利用卸载至废树脂中间罐 (7ZST750BA), 然后利用树脂输送泵 (7ZST750PO) 将废树脂和水的混合物泵送到废树脂接收槽 (7ZST101BA)。

ZLT 系统产生的废活性炭用管道送到 QX 厂房的废活性炭收集槽待水泥固化处理。废

活性炭接收槽设有除盐水和压缩空气入口，用除盐水和压缩空气松动废活性炭，贮槽上部设有溢流管。

废过滤器芯从 QX 厂房（ZLT 系统）过滤器室的上部取出。利用吊车将废过滤器芯更换转运容器吊至废过滤器芯输送通道上。废过滤器芯输送通道的下端设有一个阀门，上端设有一个供过滤器芯更换转运容器连接的定位底座。废过滤器芯更换转运容器的升降装置将废过滤器芯经输送通道放入带有废过滤器芯定位支架的 400L 钢桶中。表面剂量率  $> 2\text{mSv/h}$  的废过滤器芯在 QX 厂房水泥固定；表面剂量率  $\leq 2\text{mSv/h}$  的废过滤器芯送到 QS 厂房处理。

#### b) 湿废物处理-水泥固化装置

水泥固化装置用来将湿废物装桶并处理。根据废物的特性，采取下列不同方法处理：

- 浓缩液、废树脂和活性炭分别和水泥及添加剂固化在 400L 钢桶内；
- 外表面剂量率  $> 2\text{mSv/h}$  的废过滤器芯子用水、水泥和添加剂制成的湿混料固定在 400L 钢桶内。

— 外表面剂量率  $> 2\text{mSv/h}$  杂项干废物在 QX 厂房水泥固化装置进行水泥固定。

400L 钢桶废物包特性（核素成分及活度、重量和表面污染水平）在 QT 库测量。

#### 3) 位于 QS 厂房中的设备

本工程与福建福清核电厂 1、2 号机组共用 QS 厂房，该 QS 厂房具有处理 6 台机组产生的杂项干废物的能力。

QS 厂房按功能分为下述几部分：

##### a) 干废物的分拣、烘干干燥处理、压实和装桶

将由各系统收集、分检的被放射性污染的杂项干废物分为可压实干废物、浸湿的可压实干废物、可直接超级压实废物和不可压实废物四类，分别处理：

- 浸湿的可压实干废物先装入 200L 钢桶，用两桶干燥器烘干进行干燥处理，然后作为可压实干废物处理。

- 可压实杂项干废物用初级压实机压入 200L 钢桶，再经超级压实机压成饼状后装入 400L 钢桶。为了避免粉尘扩散，将压实机与废物处理辅助厂房通风系统（DVQ）的吸气管嘴相连，在压实装桶过程中产生的低放气溶胶由 DVQ 系统过滤后排出。

- 表面剂量率  $\leq 2\text{mSv/h}$  的废过滤器芯在 QS 厂房，用两桶干燥器先进行烘干干燥处理，然后作为可直接超级压实废物处理；

- 可直接超级压实废物装入 200L 钢桶进行超级压实和水泥固定处理；

- 不可压实废物装入 400L 钢桶进行水泥固定处理。

#### b) 水泥灌浆固定

装有超级压实形成的废物饼或不可压实废物的 400L 钢桶需要进行水泥灌浆固定，水泥、添加剂和水混合后形成水泥浆，在 400L 钢桶加入一定量的水泥浆并震动密实，封盖后送到钢桶废物包暂存区存放，后续按执行程序要送到 QT 库。

水泥固定废物体满足 EJ 1186-2005《放射性废物体和废物包的特性鉴定》的要求。

400L 钢桶符合 EJI042-2004《低、中水平放射性固体废物包装容器 钢桶》的相关要求。

#### 混合配料设备

干混料在本厂房配制，这部分设备包括水泥及辅料贮存设备，计量、输送及混合设备，除尘设备，控制及监测设施。

水泥和辅料按配比经计量后加入混合器搅拌，配制好的混料装入移动式料斗运往 NX 厂房。混合配料设备也可以通过移动式料斗为 QS 厂房内的分拣、压实打包装置提供水泥固定所需的干水泥。

#### 空金属桶贮存

空的 200L/400L 金属桶贮存在本厂房内，用起重机和叉车搬运

#### 4) 位于 QT 库中的设备

福建福清核电厂一期工程的放射性固体废物暂存库（QT）用于暂存福建福清核电厂 1-6 号机组在运行中产生的装有水泥固化和固定废物的 400L 钢桶废物包、轻微污染设备、通风过滤器芯以及轻微污染的 TTB 废树脂。贮存的低、中水平放射性废物最终转运到低、中水平放射性固体废物处置场处置。QT 厂房的废物包贮存部分设有钢桶内核素检测装置，用于检测各废物桶内的核素。

#### 5) 设计特点

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

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

高放射性活度的设备布置在带屏蔽的设备间内；

中、低活度设备的分组布置，使操作人员进入检查和维修时所受剂量减至最少；

废物桶的装卸和贮存均在带屏蔽的固体废物区内进行。

从过滤器隔间取出过滤器芯子是用带屏蔽的转运容器进行的。

厂房布置提供了放射性固体废物处理系统在控制室进行遥控操作。

#### 4.6.4.3 系统运行

##### a) 废树脂、浓缩液、废活性炭的接收

NX 厂房 RCV、ZBR 和 RFT 系统除盐床中的废树脂用水力将除盐器中的废树脂输送至废树脂贮槽，再用废树脂运输车运送到 QX 厂房的废树脂接收槽；QX 厂房 ZLT 系统的废树脂直接用水力将除盐器中的废树脂输送至 QX 厂房的废树脂接收槽。

QX 厂房 ZLT 系统深床过滤器产生的废活性炭的混合物，用水力将输送至废活性炭接收槽。

QX 厂房 ZLT 系统蒸发器产生的蒸发浓缩液由浓缩液贮槽接收。

##### b) 废树脂、浓缩液、废活性炭的水泥固化处理

—首先，将 400L 钢桶移动到湿料加注工位；

—处理废树脂时，打开废树脂接收槽出口阀和废树脂计量装置的进口阀，计量装置开始进料；当计量装置内的废树脂达到所需的量时，关闭计量装置进口阀，对废树脂进行脱水，将脱水后树脂送到浓缩液计量槽准备复用，称量脱水后树脂的重量；如果第一次加入的树脂量不足，则重复加入废树脂和水的混合物并进行脱水直至计量装置内的脱水树脂达到要求的重量；

—处理废活性炭的混合物时，打开废活性炭接收槽出口阀和计量装置的进口阀，计量装置开始进料；当计量装置内的废活性炭达到所需的量时，关闭计量装置进口阀，对废活性炭进行脱水，将脱水后活性炭送到浓缩液计量槽准备复用，称量脱水后活性炭的重量；如果第一次加入的活性炭量不足，则重复加入废活性炭和水的混合物并进行脱水直至计量装置内的脱水废活性炭达到要求的重量；

—处理浓缩液时，打开浓缩液接收槽出口阀和浓缩液计量装置的进口阀，计量装置开始进料；当计量装置内的浓缩液达到所需的量时，关闭计量槽进口阀，称量浓缩液的重量；

—然后，将计量装置内的湿废物加入到 400L 钢桶中，按配方要求的量加入补充水（如果需要）；

—将 400L 钢桶移动到桶内混合器工位后，将桶内搅拌桨下降到 400L 钢桶中，启动桶内混合器，将要求重量的石灰和添加剂加到 400L 钢桶中搅拌一段时间；再将要求重量的水泥连续加入到 400L 钢桶中，直至混合均匀后，停止混合器，提升搅拌桨；

—最后，将 400L 钢桶进行封盖。

##### c) 废过滤器芯的接收和处理

废过滤器芯是用一个衬铅的过滤器芯更换转运容器（铅容器）来拆卸的，拆卸后通过下降通道装入事先放置在辊道上的钢桶中，钢桶内设有定位架，用于装桶时使废过滤器芯

定位，并保证均匀的生物防护。

过滤器芯的装卸利用吊车将过滤器室的密封盖板移走，并置于房间楼板上，打开过滤器顶盖。这些操作均由操作人员手动和遥控进行。

用吊车将过滤器芯子更换转运容器吊至过滤器室正上方。

用过滤器芯子更换转容器的升降装置将吊具下降到过滤器室里面，将芯子提起，并将它吊入过滤器芯子更换转容器内。

关闭过滤器芯子更换转容器底部滑板，将过滤器芯子更换转容器运至 5 站的废过滤器芯子输送通道上，在输送通道正上方定位后，将芯子下降并放入已就位于该站的 400L 钢桶内。

NX 厂房产生的废过滤器芯通过屏蔽容器和运输车送到 QX 厂房，再通过屏蔽容器和运输车送到 QX 厂房，用水泥浆制备设备配制水泥浆，水泥浆在湿料工位加入到 400L 钢桶中。然后将 400L 钢桶进行封盖。QX 厂房产生的废过滤器芯不必使用运输车运输，在湿废物处理装置辊道上装有废过滤器芯的 400L 钢桶用桶外混合器配制的湿混料固定。

#### d) 杂项干废物处理

杂项干废物装入塑料袋运送到 QS 厂房进行处理，将由各系统收集、分检的被放射性污染的杂项干废物分为可压实干废物、浸湿的可压实干废物、可直接超级压实废物和不可压实废物四类，通过在产生地的预分拣和在本厂房手套箱的再次分拣来实现，各类干废物的处理方法如下：

- 浸湿的可压实干废物先进行干燥处理，然后作为可压实干废物处理；
- 可压实干废物用初级压实机压实在 200L 钢桶内，封盖后将 200L 钢桶用超级压实机压成圆饼后装入 400L 钢桶内，然后向桶内注入一定量的湿混料并振实封盖。
- 表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 的废过滤器芯在 NX 厂房装入 200L 钢桶，然后送到 QS 厂房，用两桶干燥器先进行干燥处理，然后作为可直接超级压实废物处理；
- 可直接超级压实废物装入 200L 钢桶进行超级压实，超级压实产生的桶饼装入 400L 钢桶进行水泥固定和封盖。
- 不可压实废物装入 400L 钢桶进行水泥固定处理和封盖。

#### e) 废物包暂存

废物暂存库设有检测装置用于检测入库废物的表面剂量率、核素组成、重量和表面污染。然后，对废物进行分区存放。

从 QX 和 QS 厂房运出的 400L 钢桶废物包，在运往厂外进行最终处置之前，先在废物暂存库（QT）暂存。然后，送到低、中水平放射性固体废物区域处置场进行处置。

#### 4.6.4.4 废物最小化

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

##### a) 源头控制方面

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

·采用高交换容量的树脂以减少废树脂的产生量。

##### b) 合理分类

·废过滤器芯根据放射性水平的不同，分类处理，表面剂量率  $> 2\text{mSv/h}$  的废过滤器芯装入 400L 钢桶进行水泥固定；表面剂量率  $\leq 2\text{mSv/h}$  的废过滤器芯送到 QS 厂房进行烘干、超级压实和水泥固定；通风系统的废过滤器芯表面剂量率水平很低，大部分核素是短寿命的，送到 QT 库的专门区域进行贮存衰变。

·废树脂按放射性水平分类收集，较高放射性水平的废树脂在废树脂贮槽中储存衰变一段时间后再水泥固化。蒸汽发生器排污系统产生的废树脂一般仅受轻微放射性污染，装入内衬有塑料薄膜的 200L 钢桶或原盛装容器中，送到 QT 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，经审管部门批准可作为非放废物处理。

·将干废物分为可压实杂项干废物、浸湿的可压实杂项干废物、可直接超级压实废物和不可压实废物四类，并根据废物可压实与否分别进行处理。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 400L 钢桶水泥固定；可直接超级压实废物经过超级压实后装入 400L 钢桶水泥固定；不可压实废物装入 400L 钢桶水泥固定。

##### c) 改进处理工艺

·采用可降解的一次性聚乙烯醇(PVA)防护用品代替传统棉质、纸质和塑料防护用品，可压实干废物产生量降低到运行核电厂的 1/3。

·采用 400L 钢桶作为废物包装容器，湿废物增容少。

·表面剂量率很低的大尺寸废物暂时不作为放射性废物处理，将其放在 QT 库的专门区域进行贮存衰变，并在贮存一定年限后进行去污和清洁解控。

·QS 厂房设有超级压实后的废物饼优化测量装置，提高 400L 钢桶内的废物填充率。

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

#### 4.6.4.5 废物最终处置



废物包从福建福清核电厂 1、2 号机组的放射性固体废物暂存库（QT）送到规划中的低、中放废物区域处置场处置，放射性废物厂外运输应遵守 GB11806-2004《放射性物质安全运输规程》。极低放废物送到满足 GB/T28178-2011 的规定的极低放废物处置场填埋处置。

#### 4.6.4.6 放射性固体废物源项

##### 1) 废树脂

废树脂来源于下列系统的除盐器：

- 化学和容积控制系统（RCV）；
- 硼回收系统（ZBR）；
- 蒸汽发生器排污系统（TTB）；
- 反应堆换料水池和乏燃料水池的冷却和处理系统（RFT）；
- 废液处理系统（ZLT）。

这些废树脂按其放射性浓度可分为三类：

- RCV 和 RFT 系统的放射性浓度较高的废树脂；
- ZLT 和 ZBR 系统的中等放射性浓度的废树脂；
- TTB 系统的低放射性浓度的废树脂。

“华龙一号”单台机组年产生废树脂量设计值为  $20\text{m}^3$ （包含 TTB 废树脂  $9\text{m}^3$ ）。

废树脂的平均放射性比活度为：

RCV:  $9.1\text{E}+03\text{GBq}/\text{m}^3$

RFT:  $2.4\text{E}+03\text{GBq}/\text{m}^3$

废树脂的最大放射性比活度为：

RCV:  $2.2\text{E}+04\text{GBq}/\text{m}^3$

RFT:  $3.8\text{E}+03\text{GBq}/\text{m}^3$

##### 2) 浓缩液

浓缩液是直接从废液处理系统蒸发器收集来的。它主要含硼酸钠、硼酸或其它化合物的水溶液。

“华龙一号”单台机组年产生浓缩液量设计值为  $8\text{m}^3$ 。

浓缩液的放射性比活度为：

平均值:  $37\text{GBq}/\text{m}^3$

最大值:  $222\text{GBq}/\text{m}^3$

##### 3) 废过滤器芯

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

装有这些过滤器的系统主要有：

- 蒸汽发生器排污系统（TTB）；
- 反应堆换料水池和乏燃料水池的冷却和处理系统（RFT）；
- 化学和容积控制系统（RCV）；
- 硼回收系统（ZBR）；
- 废液处理系统（ZLT）。

“华龙一号”单台机组年产生废过滤器芯约为 85 个。

根据压水堆核电厂的运行经验反馈，在 RCV 废过滤器芯中的主要放射性核素中探测到了钴，其中 Co-58 占 86%，Co-60 占 14%。

#### 4) 废活性炭

ZLT 系统采用了活性炭过滤技术处理工艺废液，因此会产生一些废活性炭。

“华龙一号”单台机组年产生废活性炭量设计值为  $1\text{m}^3$ 。

#### 5) 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），“华龙一号”核电厂单台机组年产生杂项干废物产量设计值为  $140\text{m}^3$ （包括可降解废物），其中  $79\text{m}^3$  为可降解废物， $40\text{m}^3$  为可压实干废物， $21\text{m}^3$  为不可压实干废物。它们在产生地分类收集在塑料袋内后送到 QS 厂房压实装桶或装桶水泥固定。

根据国内核电站的运行数据得出杂项干废物（包括可压实废物和不可压实废物）的放射性水平，处理前杂项干废物的设计比活度按  $1.5\text{E}+06\text{Bq/kg}$  计算装有经过 10t 压实机压实干废物的 200L 钢桶平均表面剂量率约为  $300\mu\text{Sv/h}$ ，最大表面剂量率为  $2\text{mSv/h}$ 。

### 4.6.5 乏燃料暂存系统

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、容器准备井以及反应堆换料水池和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。反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统

#### 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，采用离线吸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 用于贮存由堆芯卸出的达到规定燃耗限值的乏燃料组件。

乏燃料贮存水池的内壁衬有不锈钢覆面，并设有引漏管，用以监测覆面有否渗漏。

在正常情况下乏燃料贮存水池充满含硼水，以保证乏燃料贮存水池内燃料组件的冷却和水面以上的辐射水平满足设计要求。在池底不设任何排水管道，防止池水流失。

在乏燃料贮存水池的另一侧是容器装载井，在此进行乏燃料组件装入运输容器的操作。

以上三个水池彼此相通，水池之间的混凝土隔墙上有密闭的水闸门，平时是关闭的，使用时才打开。靠近容器装载井的另一侧还设有一个乏燃料运输容器准备井，用作乏燃料运输容器的准备工作。

#### 4.6.5.2 设计准则

乏燃料贮存设计按 HAD102/15《核动力厂燃料装卸和贮存系统设计》相关章节的要求进行，保证乏燃料组件在贮存中各方面的安全，主要设计准则如下：

(1) 乏燃料组件贮存的物理布置，必须满足燃料组件安全贮存的次临界要求。必须保证：无论电站正常运行和预期运行故障期间，或者是在特定设计基准事故期间或以后，乏燃料组件的贮存均应满足规定的次临界状态。在设计中摒除了事故工况下置信部分水池中可溶硼的方法来保证临界安全，即在 I 区贮存格架装载最高预期富集度的新燃料组件，而 II 区格架装载达到规定燃耗限值的乏燃料组件，假定被纯水淹没的情况下，有效增殖系数  $k_{eff} \leq 0.95$ ；

(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

反应堆换料水池和乏燃料水池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，反应堆换料水池和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。

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的安全等级为 3 级；与余热排出系统连接的管路以

及带隔离阀的安全壳贯穿件的安全等级为 2 级；在安全壳内的所有其他部分为非安全级。

该系统设有三台同样的泵，每台泵可提供 100% 的流量；由柴油发电机组作为它们的应急备用电源。泵之间的切换或电源之间的切换均采用手动方式。

反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统的设计，在安全停堆地震引起的载荷下仍保持其功能。与之相关的其他区域的排水管道、隔离阀等可在同样条件下保持其密封性。

该系统对飞机坠落在内的飞射物、火灾和爆炸进行防护并能经受住水淹和冰冻的影响。系统设计能对过滤器、离子交换器、泵和热交换器进行在役维修。

## 4.7 非放射性废物处理系统

### 4.7.1 化学污染物

为满足福建福清核电厂 5、6 号机组的运行要求，需对核电厂有关系统的水作某些化学处理，即在系统中加入一定数量的杀菌剂、腐蚀抑制剂或化学添加剂、再生剂等，以保证相关工艺系统的正常运行，这些化学物质的最终产物也将随着排水排入到环境中去。

#### 4.7.1.1 核电厂主要化学物质的使用和排放

福清核电厂 5、6 号机组使用化学药剂的主要环节有循环水系统、除盐水生产系统、凝结水精处理系统、二回路、闭式冷却水系统等环节。

福建福清核电厂 5、6 号机组释放到环境中的化学物质主要产生于循环水系统排放水；循环水处理系统、除盐水生产系统、凝结水精处理系统的酸碱中和废水、硼酸的回收和排放等环节。

常规岛化学物质使用及排放情况：

(1) 常规岛通过添加联氨、氨和 ETA 以控制机组启动、运行时二回路系统的水化学参数在适当的范围，氨、联氨的加入点为凝结水系统、给水系统及核岛部分主给水流量调节系统。正常运行时仅有少量药剂随凝结水精处理系统的再生废水、热力系统疏排水或跑冒滴漏等排放。

(2) 向核岛和常规岛闭式循环冷却水系统加入磷酸三钠溶液作为缓蚀、阻垢剂，加药点为常规岛与核岛的闭式循环冷却水系统。正常运行时仅有少量药剂随冷却水系统疏排水或跑冒滴漏等排放。

(3) 凝结水精处理系统采用 32% 浓度的 NaOH 溶液及 98% 浓度的  $H_2SO_4$  作为离子交换树脂的再生剂；每次树脂再生的排废水量约 200t，收集至精处理废水中和池内，再用酸碱调节 pH 至 6~9 后，排至常规岛废液排放系统。再生废水中的主要污染物为  $Na_2SO_4$  及  $(NH_4)_2SO_4$ 。

#### 4.7.1.2 化学物质处理流程图

上述化学物质的处理，主要包含酸碱中和处理、三废系统化学物质处理三部分。

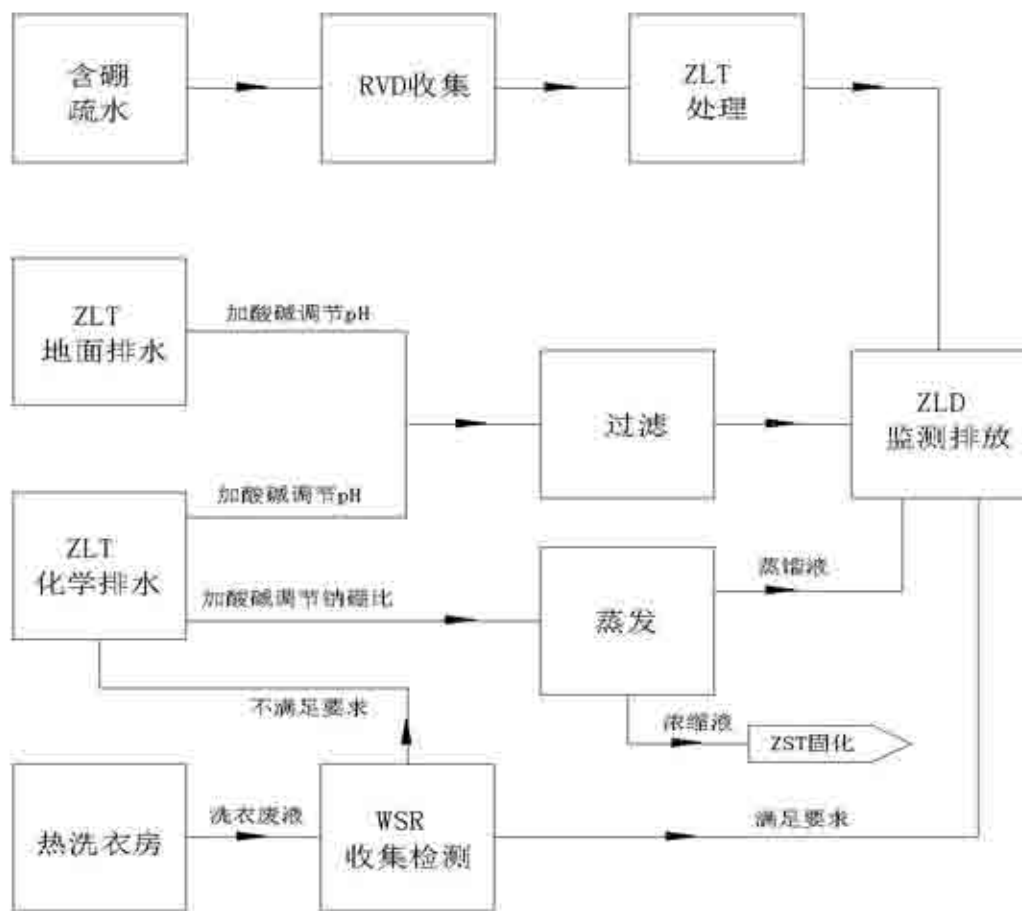
酸碱中和处理：酸、碱药液分别通过加碱和加酸进行中和处理，使 pH 值达到 6-9 排放。处理容量满足一次再生酸碱废水总量。

三废系统化学物质处理容量：满足福清 5、6 号机组的三废排放需求。

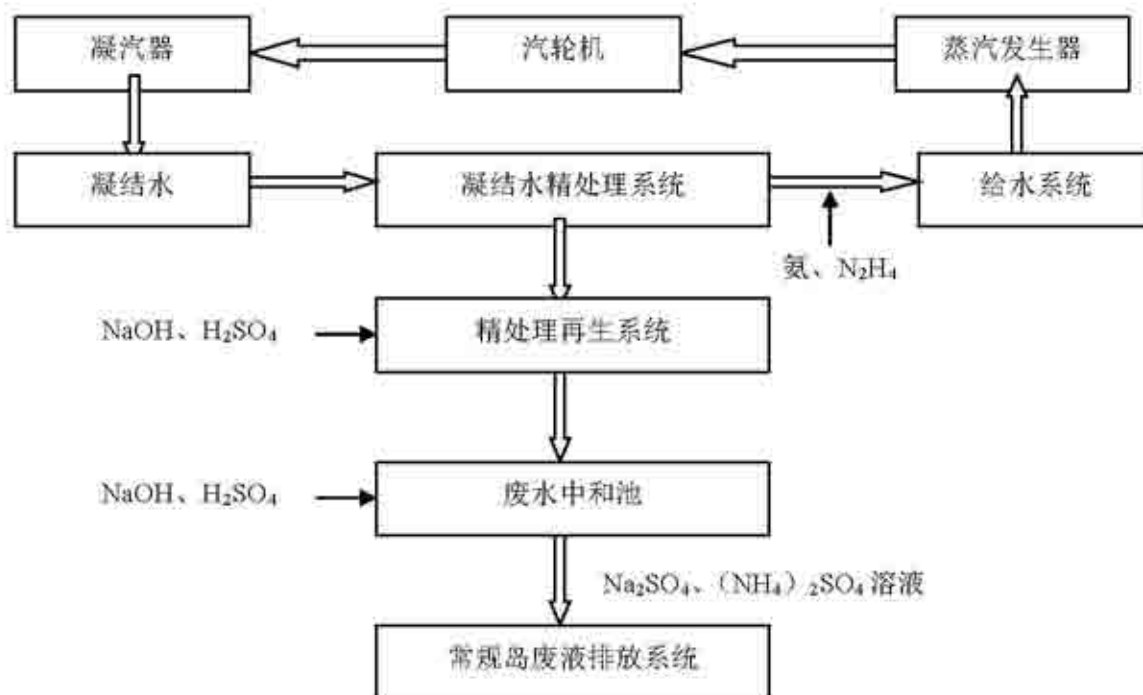
除盐水生产系统、循环水处理系统的酸碱中和处理流程图如下：



三废系统化学物质排放系统图如下：



常规岛化学物质排放系统图如下：

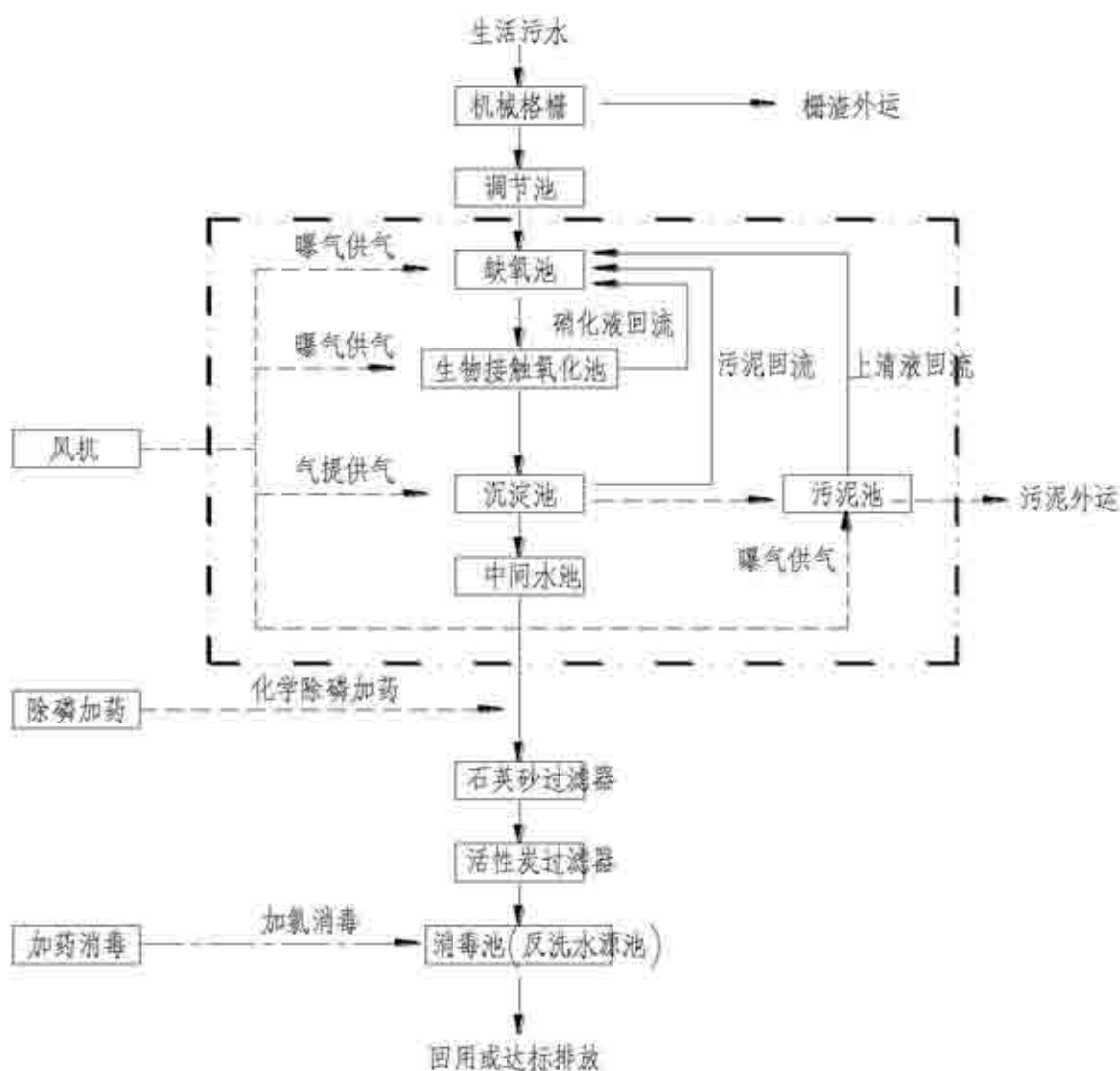


#### 4.7.2 生活废物

福清核电站5、6号机组产生的生活废物包括核电站非控制区产生的非放射性固体生活垃圾、生活污水。

非放射性固体生活垃圾按生活垃圾处理规定收集暂存并送到指定的垃圾消纳场处理。

维修调试综合区及周围临建单位的生活污水汇集至维修调试综合区污水处理站，经处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准后排放至厂址东南部海域。厂前区生活污水经管道收集送至厂前区生活污水处理站（ED1）处理达标后，排至厂区北部海域。来自5、6号机组主厂区各个厂房、车间、实验室、办公楼等处卫生设备以及洗衣房等地的非放射性生活污水通过相应污水管网汇集至主厂区的生活污水处理站（ED4），生活污水经过生化处理，其水质在达到国家标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级A标准和《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）之后，回用于绿化、道路浇洒等，回用剩余水量最终排至大海。5、6号机组主厂区的生活污水处理站（ED4）设计规模200m<sup>3</sup>/d。主厂区生活污水处理站（ED4）主要工艺流程图如下：

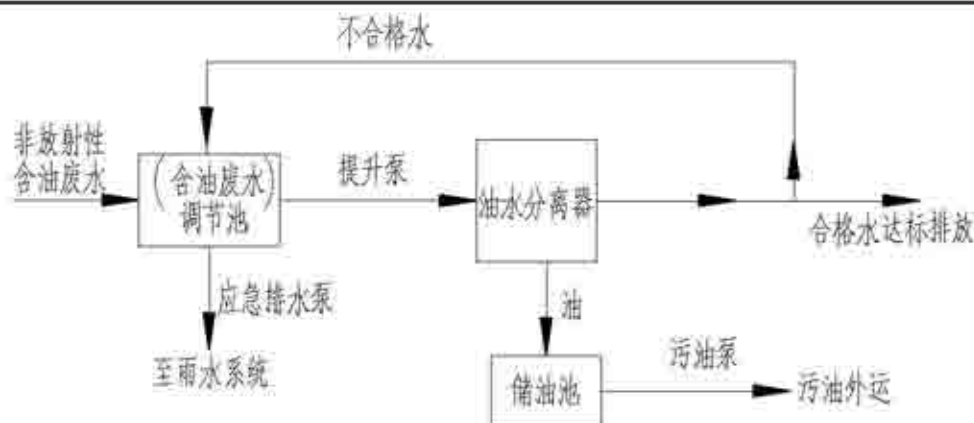


#### 4.7.3 其他废物

本工程运行期产生的其他废物主要为非放射性含油废水、废油、固体废物等。

本工程通过室外管网收集汽机厂房、主变压器和降压变压器平台等子项的非放射性含油废水，汇集至非放射性含油废水处理站。非放射性含油废水经过油水分离设施处理，其水质达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中的一级标准，排入室外雨水管网，最终排至大海；分离出来的污油在污油池内贮存，定期通过污油泵输送至污油车运走。非放射性含油废水处理工艺设备总处理能力为 $10\text{m}^3/\text{h}$ ，每套设备设计处理能力为 $5\text{m}^3/\text{h}$ 。非放射性含油废水处理流程图如下：





本工程运行期产生的固体废物主要包括危险废物和一般工业废物。一般工业废物主要为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。本工程生活污水处理站产生的污泥定期外运处理。危险废物包括废酸碱、过期的石油醚、丙酮、过氧化氢等化学品、矿物油及含矿物油废物、除盐水处理过程中废弃的离子交换树脂等本工程由具有收集、贮存、处置危险废物资质的单位对危险废物等进行收集、处理和处置。废酸碱运送到酸碱中和池利用。过期的石油醚、丙酮、过氧化氢等化学品作为清洗类产品继续使用。矿物油及含矿物油废物等有利用价值的危险废物，委托有资质的单位利用。其它危险废物，委托有资质的单位处置。

#### 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和制造能满足GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》及相关法规标准的要求。

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。乏燃料组件和放射性固体废物容器的设计和制造能满足GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》及相关法规标准的要求。

##### 4.8.1 新燃料运输

###### 4.8.1.1 燃料供应

福建福清核电厂5、6号机组的燃料组件由中核燃料元件有限公司供应。新燃料运输容器采用陆路运输方式由燃料组件制造厂运至福清核电厂5、6号机组燃料厂房。

###### 4.8.1.2 新燃料运输容器

新燃料运输容器特性：

·货包类型	AF
·燃料组件装载后货包剂量率	
货包表面	$< 2 \times 10^{-2} \text{mSv/h}$

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

新燃料运输容器是由上、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GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》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

乏燃料组件的运输必须遵守下列标准规范：《中华人民共和国核材料管制条例》（HAF 501）、《放射性物品运输安全管理条例》（中华人民共和国国务院令562号）、《放射性物质安全运输规程》（GB11806-2019）、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《放射性物质安全运输货包的泄漏检验》（GB/T 17230-1998）。

从核电站卸下的乏燃料在乏燃料贮存水池暂存若干年后，将乏燃料运至后处理厂的中间贮存水池作后处理前的暂存。其它与燃料组件相关的控制棒组件、中子源组件、可燃毒物组件等，由于需要更新的机率很小，一般不需要做经常性的运输，需要换下来的组件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。

福清核电厂5、6号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，使用装载26组组件的乏燃料运输容器，2台机组用2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GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》及相关法规标准的要求。

乏燃料运输的运输起点为福清核电厂5、6号燃料厂房，运输终点为规划选址论证中的乏燃料后处理厂。如果后处理厂选在中核四〇四有限公司，运输方式拟采用公路运输，公路运输沿途主要经过福清、南昌、武汉，沿京港澳高速经信阳、郑州，转连霍高速至西安，经兰州、武威、张掖、酒泉，最后运至中核四〇四有限公司。如果选在沿海地区，待厂址确定后再确定运输方式及运输路线。

### 4.8.3 放射性固体废物的运输

福建福清核电厂5、6号机组产生的放射性废物包括：水泥固化的废树脂和浓缩液、水泥固定的废过滤器芯、以及超级压实的干废物，厂外运输的是400L钢桶废物包。大部分桶的外表面剂量率不大于2mSv/h，少量外表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ 的废物桶在运输中将采取必要的辐射防护措施。

计划每两年向规划中的低、中放废物区域处置场运输一次放射性固体废物包，首次向处置场运输废物包的时间取决于处置场投运时间和接收条件。运输起点为福建福清核电厂1、2号机组的QT库，运输终点为规划中的低、中放废物区域处置场。放射性固体废物的运输拟采用公路运输，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。由于目前阶段区域处置场尚未选址，待处置场选址后再明确运输方式和论证运输路线的可行性。放射性废物的处置将遵守国家的区域处置政策。

在放射性固体废物运输过程中将严格遵守GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》中的有关要求，防止事故发生，确保运输人员和沿途居民的安全和健康。废物桶的设计和制造满足EJ1042-2014《低、中水平放射性固体废物包装容器 钢桶》的要求，采用加厚桶，密封采用法兰连接，螺栓紧固；钢桶经过堆码试验、贯穿试验和自由下落试验检验，试验证明钢桶跌落不会产生严重破损和开裂，能够防止桶内固体的散失。废物体的性能满足GB 14569.1-2011《低、中水平放射性废物固化体性能要求 水泥固化体》，其抗冲击性能可保证从9米高处竖直自由下落后固化体没有明显破碎。废物桶和废物体构成的废物包符合GB11806-2019《放射性物质安全运输规程》和GB 12711-2018《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》的要求。即使在运输过程中废物桶从运输车辆上掉下来，最大限度只会造成废物桶的局部损坏，废物散落的可能性很小，即便散落少量废物，也是易于收集的块状水泥固化物，故不会对环境造成污染。

表 4.1-1 (1/4) 5、6号机组新建、构筑物一览表

分区	序号	代号	建、构筑物名称	建筑面积 (m <sup>2</sup> )	占地面积 (m <sup>2</sup> )	备注
核岛	1	5RX/6RX	反应堆厂房	16130×2	2463×2	
	2	5SL/6SL 5SR/6SR	安全厂房	17450×2	2196×2	
	3	5KX/6KX	燃料厂房	6088×2	1842×2	
	4	5LX/6LX	电气厂房	22060×2	2486×2	
	5	5NX/6NX	核辅助厂房	16650×2	2489×2	
	6	5DX/6DX	柴油发电机厂房 (5DA/5DB、6DA/6DB)	1197×4	345×4	
	7	5DU/6DU	SBO 柴油发电机厂房	181×2	181×2	
	8	5KP/6KP	核岛龙门架	/	/	
	9	5AR/6AR	人员通行厂房	7090×2	1181×2	
	10	5KY/6KY	应急空压机房	435×2	230×2	
	11	5FR/6FR	核岛消防泵房	1097×2	394×2	
	12	7QX	核废物厂房	14720	1831	
	13	6WX	连接厂房	1366	306	
常规岛 及附属 设施	14	5MX/6MX	汽机厂房	28537×2	8935×2	
	15	5PB/6PB	再生除盐水箱	/	/	
	16	5PC/6PC	仪用压缩空气储气罐	/	/	
	17	5TA/6TA	主变压器	/	/	
	18	7TX	备用变压器平台	/	/	
	19	5FF/6FF	常规岛事故排油坑	/	/	

表 4.1-1 (2/4) 5、6号机组新建、构筑物一览表

分区	序号	代号	建、构筑物名称	建筑面积 (m <sup>2</sup> )	占地面积 (m <sup>2</sup> )	备注
放射性 辅助生 产区	20	7AC	放射性机修及去污车间	9417.68	4502.05	
	21	7AL	厂区实验楼	2932.20	1016.90	
	22	7QA	核岛液态流出物排放厂房	1720	1720	
	23	7QB	常规岛液态流出物排放厂房			
	24	7QR	废油暂存库	527.25	527.25	1、2号厂区内
非放射 性辅助 生产区	25	7AB1	综合仓库	9939	4206	厂前建筑区 内
	26	7AB2	大件仓库	2706.70	2706.70	
	27	7BX	生产检修办公楼	6119.72	1525.35	
	28	7DY	厂区附加电源柴油机发电机厂房	945.81	732.95	
	29	ED4	污水处理站	188.16	188.16	
	30	7FS	含油生产废水油水分离池	698.64	298.08	
	31	7HX	制氮站	622.10	622.10	
	32	7PF	厂区消防泵房	621.27	718.31	
	33	7PX	联合泵房	3360.70	6786.55	
	34	7TF	6.6kV 公用配电站	214.11	214.11	
	35	7UA	控制区大门	1066.26	981.44	
	36	7UD	保护区大门	307	422.50	
	37	7UG	保卫控制中心	876.31	876.31	
	38	7YA	除盐水生产厂房	2553.33	2553.33	
	39	7YB	除盐水贮存罐	/	/	

表 4.1-1（3/4） 5、6 号机组新建建、构筑物一览表

分区	序号	代号	建、构筑物名称	建筑面积 (m <sup>2</sup> )	占地面积 (m <sup>2</sup> )	备注
	40	7ZA5	5 号机组公共气体贮存区	82.20	82.20	
	41	7ZA6	6 号机组公共气体贮存区	9.90	9.90	
	42	7ZB	氢气贮存及分配站	340.95	681.90	
	43	7ZC	空气压缩机房	515.90	515.90	
	44	7AA1	机修车间	1271.31	1251.25	
	45	7AZ	大修专用工具库	2035	2035	3、4 号厂区内
	46	7AB0	库区办公楼	1487.40	495.40	厂前建筑区内
	47	AX3	化学品库 1	483.39	483.39	1、2 号厂区南侧
	48	AX4	气体库 1	498.15	498.15	
	49	AX5	化学品库 2	483.39	483.39	
	50	AX6	气体库 2	561.76	561.76	
	51	EC-E	地下水监测井	/	/	
	52	EY4-4	武警岗楼	64.53	22.89	
	53	EY4-5	武警岗楼	64.53	22.89	
	54	7UB	围栏	/	/	
55	5UV/6UV	核岛主出入口	/	/		
辅变及 电缆沟	56	7JX	辅助变压器区域及公用 6.6kV 配电间	166.80	166.80	
	57	7DG	5TA/6TA-TB 电缆沟	/	/	
	58	7GJ	TD-7JX 电缆沟	/	/	

表 4.1-1（4/4） 5、6 号机组新建建、构筑物一览表

分区	序号	代号	建、构筑物名称	建筑面积 (m <sup>2</sup> )	占地面积 (m <sup>2</sup> )	备注
水工设施	59	7CC	虹吸井和排水暗渠	/	/	
	60	7GD3	排水口	/	/	
其它设施区	61	FL	值班宿舍			扩建
	62	MN	模拟体厂房			
厂前区	63	SA	食堂			扩建
	64	7TH	厂前区变电站			
主要管沟	65	5GA/6GA	重要厂用水进水廊道	/	/	
	66	7GB	综合技术廊道	/	/	
	67	7GC	废液排放管沟	/	/	
	68	5GD/6GD	循环水冷却水进排水管道	/	/	
	69	5GH/6GH	核岛降排水盲沟	/	/	
	70	5GS/6GS	重要厂用水排水管道	/	/	
	71	5GF1/ 6GF1	TA-SL 电缆沟	/	/	
	72	5GF2/ 6GF2	SL-NX 电缆沟	/	/	
	73	7GT	开关站至厂区低压电缆沟	/	/	
	74	700	室外工程	/	/	

表 4.1-2 与 1~4 号机组共用子项一览表

序号	代号	建、构筑物名称
1	FC	润滑油和油脂库
2	AQ	龙门吊及环吊小车仓库
3	YK	放射源库
4	AA2	铆焊车间
5	QS	废物辅助厂房
6	QT	固体废物暂存库
7	AS	特种汽车库
8	FX	新燃料组件运输中转贮存场地
9	VA	辅助锅炉房
10	EL	洗衣房及浴室
11	TB	500KV 开关站
12	TC	网控楼
13	TD	220KV 开关站
14	AP	停车场及候车廊
15	MG	车队管理楼
16	AD	档案馆
17	BA	综合办公楼
18	EI	接待展览中心
19	EM	应急指挥中心
20	EY1	武警营房
21	EY2	消防站
22	EY3	公安楼
23	SD	施工变电所
24	CS	维修调试生活区
25	ED1	生活污水处理站
26	AY	移动式柴油机组库房

注：TB、TC、TD 子项为 1~6 号机组共用，土建工程后续不再扩建。

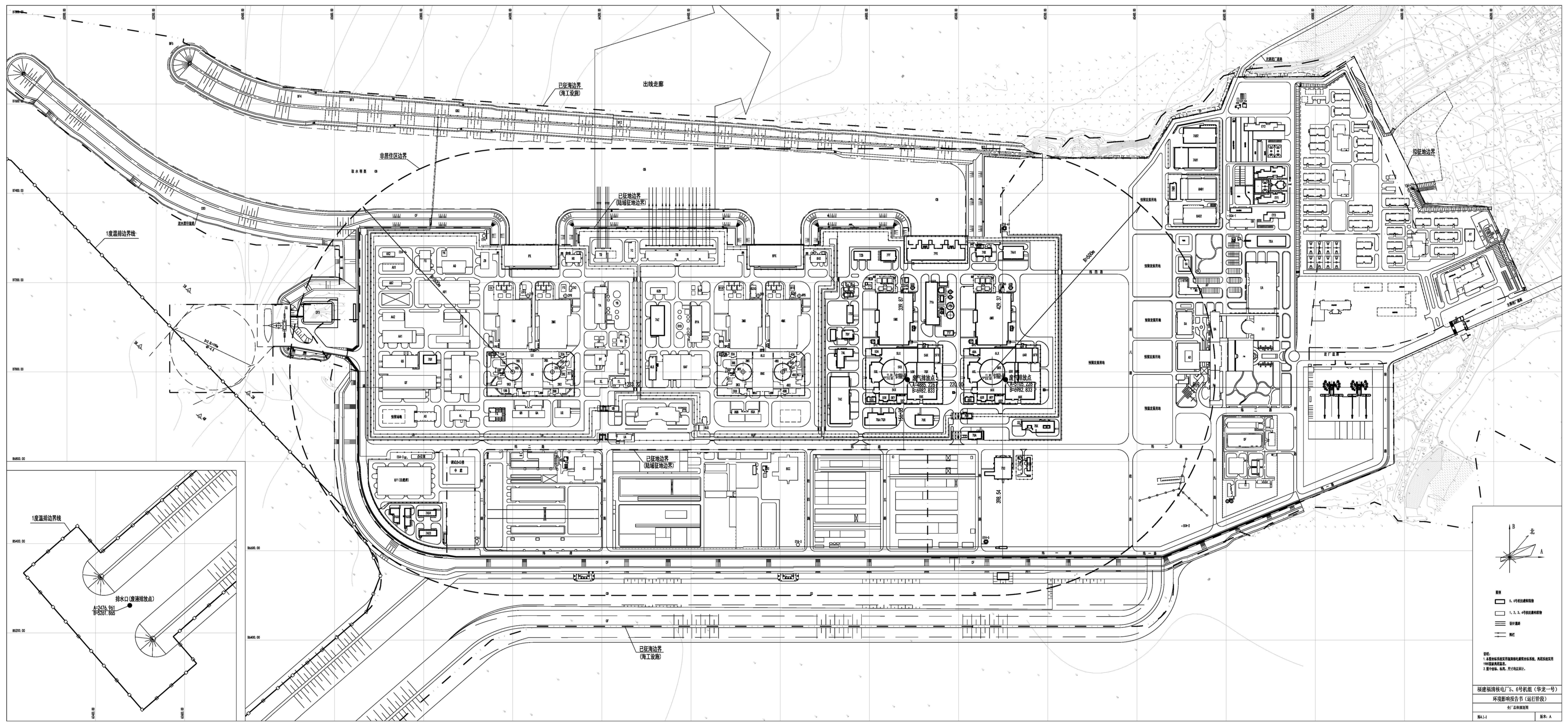


表 4.1-3 厂区主要技术经济指标表

序号	项 目		单位	数 量	备 注
1	厂区占地面积		hm <sup>2</sup>	24.36	
	其中	主厂房区	hm <sup>2</sup>	10.39	
		配电装置区	hm <sup>2</sup>	0.21	
		循环冷却水设施区	hm <sup>2</sup>	1.59	
		辅助生产区	hm <sup>2</sup>	6.91	
		预留用地	hm <sup>2</sup>	1.94	
	实物保护系统占地	hm <sup>2</sup>	3.32		
2	主要管廊长度	循环冷却水进水管道	m	781.35	
		循环冷却水排水管道	m	1718.66	
		重要厂用水进水廊道	m	1074.12	
		重要厂用水排水管道	m	1079.52	
		综合技术廊道	m	2623.6	
		废液排放管沟	m	1125.07	
		5TA/6TA-TB 电缆沟	m	576.05	5、6号厂区内
		TD-7JX 电缆沟	m	75.57	5、6号厂区内
		TA-SL 电缆沟	m	591.16	
		SL-NX 电缆沟	m	521.25	
3	道路广场面积	重型路	万 m <sup>2</sup>	2.71	
		轻型路	万 m <sup>2</sup>	1.72	
4	围墙长度	控制区	m	1065.10	
		保护区	m	2683.67	双层围栏
		要害区	m	1372.44	高围栏
			m	1066.18	防护栏
5	绿化面积	万 m <sup>2</sup>	0.48		
6	厂区绿地率	%	2		

表 4.3-1 海水系统最大用水量

机组编号	循环水用水量 (m <sup>3</sup> /h)	重要厂用水用水量 (m <sup>3</sup> /h)	海水制氯 用水量 (m <sup>3</sup> /h)	冲洗水 用水量 (m <sup>3</sup> /h)	总水量 (m <sup>3</sup> /h)
5	214200	8800	200	600	223800
6	214200	8800	200	600	223800
合计	428400	17600	400	1200	447600



北

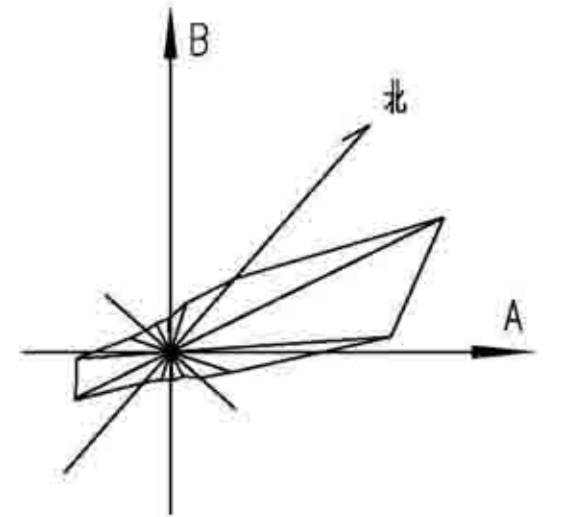
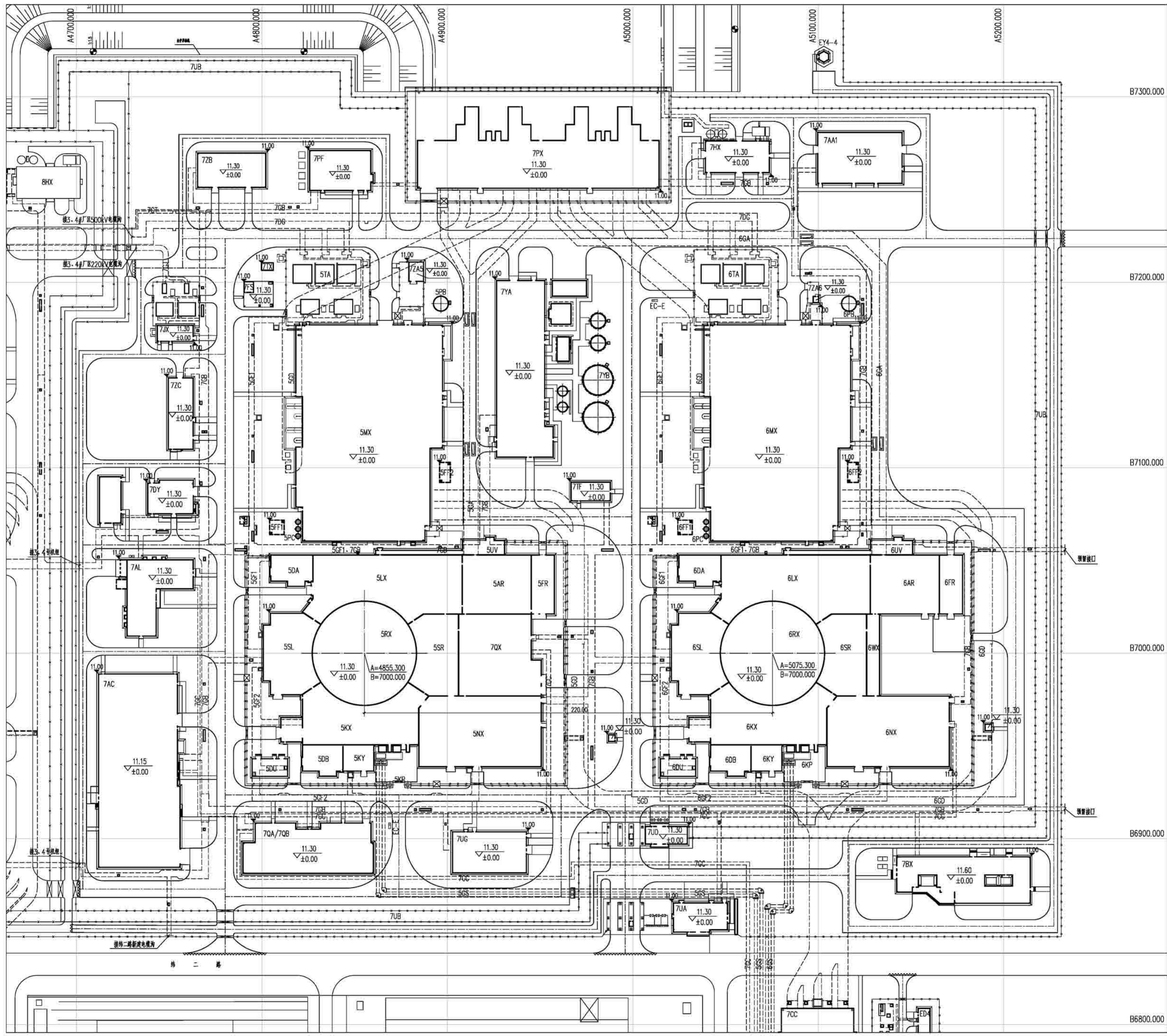
图例

- 1、4号机组厂房
- 1、2、3、4号机组辅助厂房
- 设计道路
- 围墙

说明

1. 本图依据国家环保部《环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)编制。
2. 图中坐标、高程、尺寸均以米为单位。

福建福清核电5、6号机组(华龙一号)  
环境影响报告书(运行阶段)  
全厂总平面布置图  
图号: L1-1  
版本: A

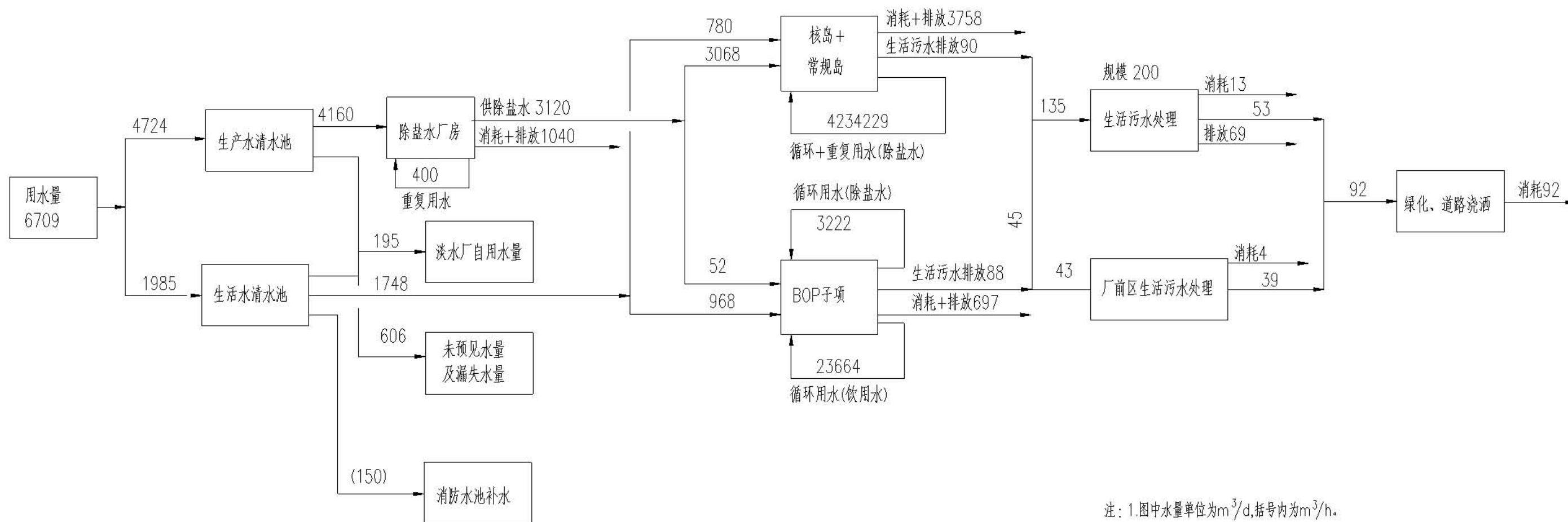


5、6号机组新建、构筑物一览表

序号	子项号	建、构筑物名称	序号	子项号	建、构筑物名称
1	5RX/6RX	反应堆厂房	38	7YA	除盐水生产厂房
2	5S1/6S1	安全厂房	39	7YB	除盐水贮存罐
3	5KX/6KX	燃料厂房	40	7ZAG	5号机组公共气体贮存区
4	5LX/6LX	电气厂房	41	7ZAG	6号机组公共气体贮存区
5	5NX/6NX	核辅助厂房	42	7ZB	氢气贮存及分配站
6	5DX/6DX	柴油发电机厂房 (5DA/5DB, 6DA/6DB)	43	7ZC	空气压缩机房
7	5DU/6DU	S80柴油发电机厂房	44	7AA1	机修车间
8	5KP/6KP	核岛龙门架	45	7AZ	大修专用车库
9	5AR/6AR	人员通行厂房	46	7AB0	库区办公楼
10	5KY/6KY	应急空压机房	47	AX3	化学品库1
11	5FR/6FR	核岛消防泵房	48	AX4	气体库1
12	7QX	核废物厂房	49	AX5	化学品库2
13	6MX	连接厂房	50	AX6	气体库2
14	5WX/6WX	汽机厂房	51	EO-E	地下水监测井
15	5PB/6PB	再生除盐水箱	52	EY4-4	武警岗楼
16	5PC/6PC	仪用压缩空气储气罐	53	EY4-5	武警岗楼
17	5TA/6TA	主变压器	54	7UB	围栏
18	7TX	备用变压器平台	55	5UV/6UV	核岛主出入口
19	5FF/6FF	常规岛事故排油坑	56	7JX	辅助变压器区域及公用6.6kV配电间
20	7AC	放射性核素及去污车间	57	7DB	5TA/6TA-1B 电缆沟
21	7AL	厂区实验楼	58	7GJ	TD-7JX 电缆沟
22	7QA	核岛液态流出物排放厂房	59	7CC	虹吸井和排水暗渠
23	7QB	常规岛液态流出物排放厂房	60	7DB3	排水口
24	7QR	废油暂存库	61	FL	值班宿舍
25	7AB1	综合仓库	62	MN	模拟厂房
26	7AB2	大件仓库	63	SA	食堂
27	7BX	生产检修办公楼	64	7TH	厂前区变电站
28	7DY	厂内附加电源柴油发电机厂房	65	5GA/6GA	重要厂用水进水管
29	ED4	污水处理站	66	7GB	综合技术通道
30	7FS	含油生产废水油水分离池	67	7GC	废液排放管沟
31	7HX	制氮站	68	5GD/6GD	循环水冷却水进排水管道
32	7PF	厂区消防泵房	69	5GH/6GH	核岛排水管沟
33	7PX	联合泵房	70	5GS/6GS	重要厂用水排水管道
34	7TF	6.6kV公用配电站	71	5GF1/6GF1	TA-SL电缆沟
35	7UA	控制区大门	72	5GF2/6GF2	SL-HX电缆沟
36	7UD	保护区大门	73	7BT	开关站至厂区低压电缆沟
37	7UG	保卫控制中心	74	700	室外工程

- 图例:
- 已建、构筑物
  - 新建、构筑物
  - 新建道路
  - 已建道路
  - 道路设计边界线
  - 室内±0.00标高
  - 室外标高
  - A4780.300  
B7223.550 轴线交点坐标
  - 厂区管沟
  - 厂区围栏

说明:  
 1. 本图坐标系采用福建省核电建设坐标系, 高程系统采用1985国家高程基准。  
 2. 图中坐标、标高、尺寸均以米计。



注：1.图中水量单位为 $m^3/d$ ,括号内为 $m^3/h$ 。

2.本图属两台机组正常运行工况下淡水水量平衡图。

3.消防水池补水量未计入总水量。

4.“循环用水(除盐水)”、“循环用水(饮用水)”指其原水的来源。

5.“消耗+排放”水量含可能有放射性存在的排放水量。

图 4.3-1 福清核电站 5、6 号机组正常运行工况淡水水量平衡图

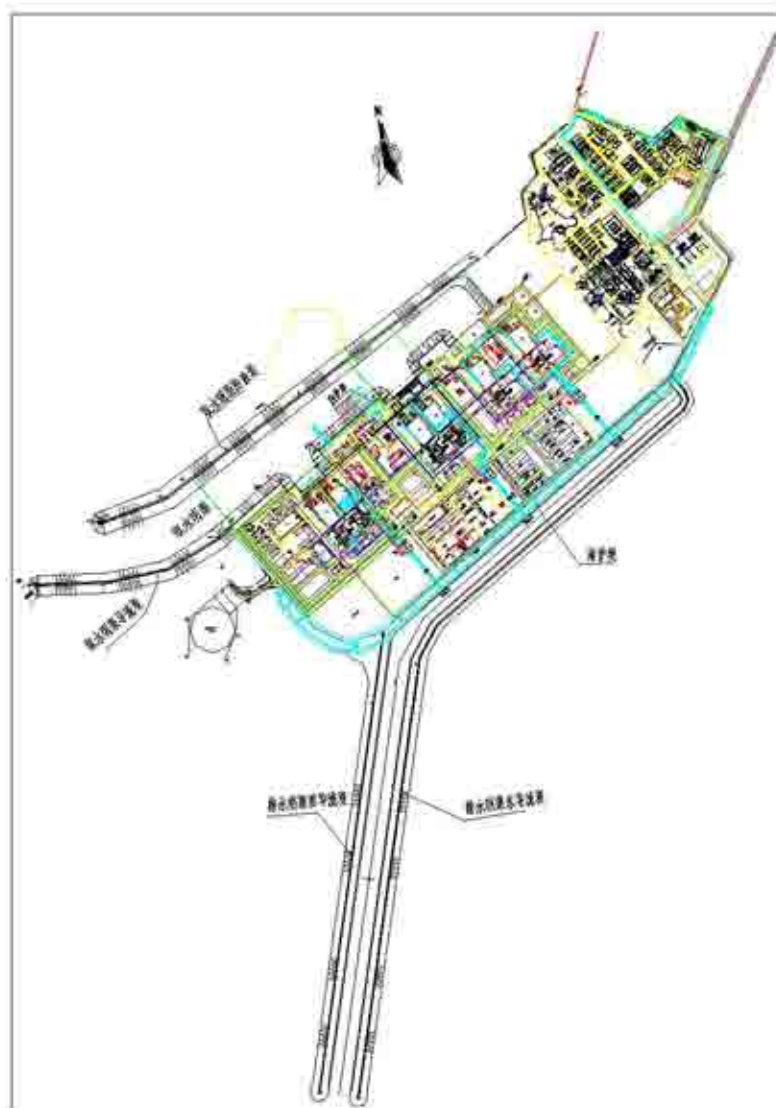


图 4.3-2 取排水总体布置方案

## 第五章 核电站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 陆域施工对水环境的影响

#### 5.2.2 海域施工对水环境的影响

#### 5.2.3 施工期海域环境监测

### 5.3 施工影响控制

#### 5.3.1 土石方开挖工程的控制措施

#### 5.3.2 施工扬尘的控制措施

#### 5.3.3 施工噪声的控制措施

#### 5.3.4 场地回填的控制措施

#### 5.3.5 建筑垃圾及污水的控制措施

#### 5.3.6 非放射性物质的控制措施

#### 5.3.7 放射源的管理措施

#### 5.3.8 设计地形地貌的改造措施

#### 5.3.9 水土保持措施

#### 5.3.10 施工期的节水措施

## 表

表 5.2-1 调查站位经纬度表

表 5.3-1 水土保持完成情况表

## 图

图 5.2-1 调查站位示意图

图 5.2-2 调查站位卫星遥感示意图

## 5.1 土地利用

### 5.1.1 土地占用情况

#### 5.1.1.1 施工建设对土地利用的影响

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

#### 5.1.1.2 土地占用情况

厂址根据 6 台机组进行总体规划，规划容量拟征地面积 192.19  $\text{hm}^2$ 。1~4 号机组建设时已征地 179.2286  $\text{hm}^2$ ，福清 5、6 号机组建设需补征地 12.9614  $\text{hm}^2$ ，目前正在办理相关手续。

福清 5、6 号机组是福清核电厂扩建工程，除 5、6 号机组厂区工程及维修调试生活区部分子项需按规划扩建外，其余设施均利用前期工程已建设施。

5、6 号机组建设用地包括两部分：厂区工程用地及维修调试生活区用地，其中厂区工程用地 24.36  $\text{hm}^2$ ，是在 1~4 号机组已征地范围内的建设；扩建的维修调试生活区用地 12.9614  $\text{hm}^2$ ，需要新征，该地目前被福清核电厂租用。

#### 5.1.1.3 土地利用合理性分析

福清 5、6 号机组尽量少征地，且征地类别为建设用地，土地得到合理利用；尽可能利用前期工程已建设施，减少子项设置，有效减少土地的占用，节约用地；厂区总平面布置，尽量减少机组间距离，减少通道宽度，紧凑布置，节约用地且降低前期建设投资和后期运行费用；单体设计采用联合厂房或多层建筑、地下管线采用综合管廊、竖向设计采用平坡设计等措施，节约用地；施工场地通过协调，和前期工程共用，不再新增用地，节约用地。

### 5.1.2 施工活动的影响

#### 5.1.2.1 对地形地貌的影响

5、6 号机组工程用地为 1~4 号机组工程初平地，标高在 10.7m 左右。5、6 号机组工程主要是负挖工程，场地标高变化在 0.3m 范围内，对地形地貌改造的影响是局部的，对周围环境影响较小。

#### 5.1.2.2 水土流失

在工程建设过程中，水土流失主要发生在施工期。期间将有开挖和填筑裸露面产生，裸露面表层结构疏松，植被覆盖度较低，使区域内土壤抗侵蚀能力下降；同时，大量土石方的搬运和堆置，也将造成工程区及其附近施工区域的局部水土流失加剧。工程施工结束后，因施工引起水土流失的各项因素逐渐消失，地表扰动也基本停止，施工区域的水土流



失将明显减少。通过有效的工程措施、植被种植、临时防护等措施，可有效缓解施工建设期间的水土流失现象。

#### 5.1.2.3 对当地气候的影响

厂址三面环海，5、6 号机组工程用地为 1~4 号机组工程初平场地，标高在 10.7m 左右。5、6 号机组工程主要是负挖工程，场地标高变化在 0.3m 范围内。因地形改变很小，由此产生的气流变化可以忽略，不足以影响厂址边界以外的局部气流。

#### 5.1.2.4 施工噪声的影响

中国核电工程有限公司检测中心联合北京华测北方检测技术有限公司分别于 2017 年 7 月、2017 年 9 月、2017 年 12 月先后开展了三次现场噪声监测工作，分别编制了《福建福清核电厂 5、6 号机组施工期噪声监测分析及评价报告（2017 年第一次）》、《福建福清核电厂 5、6 号机组施工期噪声监测分析及评价报告（2017 年第二次）》、《福建福清核电厂 5、6 号机组施工期噪声监测分析及评价报告（2017 年第三次）》，并于 2018 年 2 月编制了《福建福清核电厂 5、6 号机组施工期噪声监测分析及评价报告（2017 年度报告）》。

中国核电工程有限公司检测中心联合北京华测北方检测技术有限公司分别于 2018 年 3 月、2018 年 5 月、2018 年 10 月先后开展了三次现场噪声监测工作，分别编制了《福建福清核电厂 5、6 号机组施工期噪声监测分析及评价报告（2018 年第一次）》、《福建福清核电厂 5、6 号机组施工期噪声监测分析及评价报告（2018 年第二次）》、《福建福清核电厂 5、6 号机组施工期噪声监测分析及评价报告（2018 年第三次）》。

监测结果表明，福清核电厂 5、6 号机组施工期间，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；厂外敏感点受村民活动频繁，人流密集，社会车辆及私家车车流量大，周边商铺较多引起的村民活动噪声、机动车穿行和鸣笛声及商铺音响播放声的影响，除前薛村部分监测值外，其余均满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类标准要求；交通点由于受到施工车辆来往较多的影响，部分监测点位不满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 4a 类标准要求。随着施工结束，工程进入正常运行状态，上述影响将随之消失。

#### 5.1.2.5 对大气环境质量的影响

中国核电工程有限公司中核核电工程检测中心联合北京华测北方检测技术有限公司于 2017 年 7 月、9 月和 12 月先后完成了 2017 年第一次、第二次和第三次施工期大气环境监测及评价工作，编制了《施工期大气环境监测分析及评价报告（2017 年第一次）》、《施工期大气环境监测分析及评价报告（2017 年第二次）》、《施工期大气环境监测分析及评价报告（2017 年第三次）》，并于 2018 年 2 月编制了《施工期大气环境监测分析及评价报告

（2017 年度报告）》。

中国核电工程有限公司中核核电工程检测中心联合北京华测北方检测技术有限公司于 2018 年 4 月、6 月和 11 月先后完成了 2018 年第一次、第二次和第三次施工期大气环境监测及评价工作，编制了《施工期大气环境监测分析及评价报告（2018 年第一次）》、《施工期大气环境监测分析及评价报告（2018 年第二次）》、《施工期大气环境监测分析及评价报告（2018 年第三次）》。

监测结果表明，福清核电厂 5、6 号机组施工期间，由于施工高峰期碎石厂的工作量逐步增大增多，产生的扬尘较大且碎石厂的沙土堆放问题造成 2017 年第一次厂区内无组织排放源不符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的“新污染源大气污染物排放限值”的要求，在采取颗粒物浓度进行实时监测，根据浓度变化对作业区域进行洒水喷淋，以减少扬尘，控制颗粒物的排放浓度的措施之后，后续的厂区内无组织排放源符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的“新污染源大气污染物排放限值”的要求，厂区外的环境空气质量符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准的要求。因此，施工活动对周围大气环境影响不大。

#### 5.1.2.6 施工活动对社会环境的影响

5、6 号机组用地均为建设用地，不涉及动迁居民，不会对当地居民造成不利影响。

核电厂工程建设期间需要大量的工程施工人员，大量的外来施工人员进驻施工现场，可能对附近居民的日常生活造成轻微的影响，但同时也可以增加当地居民的就业机会和商机，而大量施工人员在该地区较长时期的居住和生活，可以增强该地区的消费能力，促进经济的发展。

核电厂附近区域无历史古迹及风景区，因此，建设活动对当地历史古迹及风景区无影响。

福清 5、6 号机组的建设是在前期工程已平整的场地内的建设。由于前期工程对厂址原地形地貌已按设计要求进行了改造，开挖形成的边坡进行了工程及植物措施的防护，回填的滩涂在临海侧设立了护岸及海堤，从而防止了水土流失。为了减少降雨和山洪对厂址的威胁，在厂区东北面修筑了截洪沟。随着 5、6 号机组的建设，福清核电厂作为一个核电基地，厂区的绿化美化将逐步完善，并在电厂运行后全面完成，施工场地将还绿。对厂区周围生态是有利的。

## 5.2 水的利用

### 5.2.1 陆域施工对水环境的影响

#### （1）陆域施工用水

核电厂施工期淡水用水主要包括施工生产用水和施工生活用水。

施工生产用水系统供给混凝土骨料清洗、生产、浇注、养护、冲洗机具、石料加工场冲洗和降尘、砌砖等施工用水。施工生产用水由已建的施工生产供水管网提供。施工生活用水系统供给施工人员生活用水，水源来自淡水厂。施工生活用水由已建的施工生活供水管网提供，其水质符合《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2006）。福清核电 5、6 号机组施工期间所需的淡水来自已经建成的福清核电淡水厂。

### （2）陆域施工对水环境的影响

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

陆域施工活动对水环境的影响主要来自施工人员生活污水的排放。施工期间生活临建区的生活污水经管道收集后排入生活临建区原有生活污水处理站处理，生活临建区的生活污水处理站已建成，并由专业的公司运营，并对最终出水水质监测排放（排放至厂址北部海域），2019 年 5 月进行升级改造，改造后处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准。搅拌站区域及周围临建单位的生活污水经管道收集后排入已建的维修调试综合区污水处理站，经处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排放至厂址东南部海域。施工期生活污水处理后达标排放，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）陆域施工对水资源利用的影响

福清 5、6 号机组淡水水源与 1-4 号机组为同一水源。淡水厂的原水取自北林水库。北林水库为核电厂专用水库，距离核电厂址 11km，通过闽江调水，可保证核电厂的淡水用水量。因此，施工期用水对水资源利用无影响。

## 5.2.2 海域施工对水环境的影响

本工程的取排水工程及大件码头在二期时已经完成。本阶段的海域施工仅 5、6 号机组围堰的拆除及 5、6 号机组取水明渠清礁作业。

通过采取下列措施减轻施工过程对水环境的影响：

### （1）减轻疏浚过程对海域环境影响的环保措施

- ① 基槽和爆破挤淤淤泥清淤时，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；在施工过程中密切注意有无泄漏污染物的现象，如有发现，立即采取措施。

### （2）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，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《船舶污染物排放标准》GB3552 要求后到港外排放，禁止在港内排放。

⑤ 重件码头到港船舶未配备油水分离处理设施，或因故障未能正常运行的，应直接交予有资质的含油污水接收处理船接收处理。

### 5.2.3 施工期海域环境监测

福建福清核电厂取排水主体涉海工程已经基本完成，剩余 5、6 号机组围堰的拆除及 5、6 号机组取水明渠清礁作业。目前已开展福清核电厂施工期海域环境的监测工作。

#### （1）监测范围

本次施工期海域环境监测的站位共设置 9 个站位，其中 3 个连续站（兼做大面站）。调查站位示意图见图 5.2-1 和图 5.2-2，调查站位的经纬度表见表 5.2-1。

#### （2）监测频率

施工期监测时段为 2018 年 11 月~2019 年 10 月。大面站分别在春、夏、秋、冬四季进行大小潮监测，共 8 个航次。连续站开展冬、夏季大、小潮共四个航次监测。

#### （3）监测结果

本节内容参考 2019 年 3 月完成的《福建福清核电厂 5、6 号机组施工期海域环境监测及分析评价报告》（阶段性成果报告）编制。调查时间为 2018 年 10 月~11 月，其中，水质调查在秋季进行了大、小潮两个潮期的调查，共计 2 个航次；生物和沉积物在秋季进行了一个航次的调查。

##### 1) 水质

根据中华人民共和国国家标准《海水水质标准（GB 3097-1997）》，总体上，调查海区海水多数参数均符合二类水质标准，仅有部分站位的个别观测要素，如活性磷酸盐、无机氮和化学耗氧量，略超出相应的标准。

调查海域海水整体上没有受到重金属污染；砷、镉、铬、铜、铅、锌、汞和硒等重金属元素均符合相应的海水水质标准。调查海域海水中硫化物、挥发性酚等要素均符合相应的水质标准，均未超标。

## 2) 生态

沉积物质量良好，汞、砷、铜、铅、镉、锌、铬、有机碳、石油类、硫化物各项指标均符合一类海洋沉积物标准。通过相关资料的对比发现，调查海域的底质环境质量没有明显的恶化趋势，该海域底质环境污染状况相对良好。

秋季整个调查海区初级生产力水平相对历史调查同期有所降低，这与同时期叶绿素  $a$  的浓度降低的趋势相一致。

秋季航次（2018 年 11 月）共采集鉴定浮游植物 64 种，其中硅藻 51 种，甲藻 9 种，隐藻、硅鞭藻及裸藻各 1 种。本次调查显示，该海域浮游植物的生物量、优势种及群落指数均与以往调查差异不大，同时，群落多样性和物种丰富度也具有较高的水平，这也从一个方面反应了该海域生态系统具有较高的生态健康水平。

秋季航次（2018 年 11 月）共采集鉴定浮游动物 57 种/类，其中原生动物 8 种，桡足类 20 种，水母类 5 种，毛颚类 3 种、端足类和糠虾类各 2 种、介形类、十足类、涟虫类、磷虾类和被囊类各 1 种，以及幼体类（无节幼体，桡足幼体，长尾类、短尾类及多毛类等）12 类。浮游原生动物群落中达到优势的类群，在水样品中，有薄铃虫和拟铃虫两种。网采浮游原生动物的优势类群有拟铃虫和抱球虫。浮游后生动物达到优势水平的类群，在小网样品主要有 5 种，为强额拟哲水蚤、小拟哲水蚤、长腹剑水蚤、纺锤水蚤、小毛猛水蚤。大网采浮游后生动物的优势种主要有 7 种，为太平洋纺锤水蚤、小拟哲水蚤、精致真刺水蚤、百陶箭虫、捷氏歪水蚤、中华假磷虾和钩虾。浮游动物的出现数量方面，浮游原生动物的出现数量与去年同期调查大致相当，但浮游后生动物的出现数量及生物量（湿重）则较去年同期调查有一定程度的增加，这方面可能与本次秋季调查的水温较高有关。优势种方面，本次调查与以往同期调查相一致。群落指数方面，本次调查中小网采浮游动物的群落多样性指数较去年同期调查略有降低，但大网采浮游动物的群落多样性指数则较去年同期调查有所增加。总体上，调查海域浮游动物的群落多样性水平较高，种类组成及出现数量亦与以往同期相近，反映了该海域生态系统具有较高的生态稳定性和较高的生态健康水平。

监测海域共获底栖生物 36 种，隶属于环节动物、软体动物、甲壳动物、棘皮动物、口索动物和鱼类 6 个门类。优势种有环节动物岩虫和棘皮动物近辐蛇尾。本次调查底栖生物种类、生物量较历史同期偏高。

监测海域共鉴定出潮间带生物 19 种，优势种有奥莱彩螺、粒花冠小月螺、青蛤、活额寄居蟹属和斑点相手蟹。与历史资料相比，本次调查获得的潮间带生物及平均密度也较历史同期要低，不过，本次调查的生物量较高，对比多样性指数等指标，可以发现本次调

查生物多样性低。潮间带环境、采样的偶然性可能是造成本次调查与历史数据差异的主要因素。

鱼卵仔鱼的垂拖调查中，9 个定点站均未检测到鱼卵和仔鱼；在 3 个站的平拖调查中，也仅在 07 站检测到仔鱼（小公鱼仔鱼）。与以往历次秋季调查的比较，总体上，调查海域鱼卵与仔鱼在秋季的出现数量较低，其中鱼卵的出现数量尤其低，本次秋季调查未检测到鱼卵，仅检测到仔鱼也与以往的调查结果基本一致。

本次调查共收集 16 种海洋生物，其中鱼类 7 种，虾类 1 种，蟹类 1 种，软体类 6 种，藻类 1 种。采用《海洋生物质量》（GB 18421-2001）、《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》和《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》中第一类标准进行评价。结果表明：鱼类、虾类、蟹类和软体类生物体质量较好，各评价参数（重金属和石油烃）均符合生物体质量一类标准。藻类目前尚未有质量标准，参照鱼类质量评价标准，各评价参数（重金属和石油烃）也均符合生物体质量一类标准。

### 5.3 施工影响控制

#### 5.3.1 土石方开挖工程的控制措施

土石方爆破应严格遵守《爆破安全规程》（GB6722-2014）的相关规定，为了控制构筑物负挖对 1~4 号机组及其它已建设施的影响，可采用以下措施：

- 石方爆破需根据工程要求、地质条件、工程量大小和施工机械等合理选用爆破方法；
- 合理选择最大装药量，控制震动速度和安全距离；
- 对各种临时弃土、弃渣按照“先挡后弃”的原则处理。

#### 5.3.2 施工扬尘的控制措施

- 施工现场进出口、主要道路和砂、石堆场，各种加工场地进行硬化处理。
- 车辆清洗废水经二次沉淀后循环使用或用于洒水降尘。
- 施工区域内的临时道路专人清扫，洒水，各种加工场地及材料堆场划分责任区，由相关施工班组每日清扫。
- 水泥、砂、土等材料运输时封闭或严密覆盖。
- 现场水泥、珍珠岩粉、高效石膏粉、干粉砂浆、界面粘洁剂等入库或严密覆盖。
- 砼、砂浆搅拌机封闭，气候干燥室砂等粒径小的材料洒水润湿。
- 禁止在道路和人行道上堆放或转运易扬尘的建筑材料。
- 严禁在施工现场排放有毒烟尘和气体，不得在施工现场洗石灰、煎熬沥青，工地生活燃料应符合环保有关要求。

- 建筑工程完工后必须及时清理现场和平整场地，消除各种尘源。
- 有扬尘产生的施工切割、打磨等尽量集中进行，密闭施工或带水作业，不能集中进行的尽量密闭作业。
- 为在粉尘工作环境中的施工人员配备口罩等防尘措施，并随时注意检查、救护。
- 遇有四级风以上天气不得进行土方回填、转运以及其他可能产生扬尘污染的施工。
- 施工现场严禁焚烧垃圾，职工食堂不得烧材或煤，必须使用清洁能源。
- 临时办公点、职工宿舍、食堂打扫卫生及施工现场和楼地面要及时清理，清理前要洒水。
- 驶入建筑工地的运输车辆，必须车身整洁，转载车箱完好，转载货物必须堆码整齐，不得污染道路环境。否则，不允许其驶入工地。
- 运送各种建筑材料、施工垃圾、渣土的车辆必须应有遮盖和防护措施，防止建筑材料、建筑垃圾和尘土飞扬、洒落和流溢。否则，不允许其驶入工地。

### 5.3.3 施工噪声的控制措施

施工期间通过以下措施，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。
- 尽量选择低噪声设备，最大限度降低噪声。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，如空压机、发电机等，应采取吸声、隔音、隔振和阻尼等声学处理方法降低噪声，必要时设立专用工作间，以降低噪声。
- 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。

#### 5.3.4 场地回填的控制措施

5、6 号机组工程施工期间仅有建筑物基础和管沟等的少量回填，没有大面积的场地回填工作。

海工施工均在内堤施工，对海域无影响。

#### 5.3.5 建筑垃圾及污水的控制措施

- 对于施工期间现场废物垃圾的处置，制定相应的管理规定，并严格执行；
- 从源头控制，使废物垃圾产生的数量最小化；
- 集中储存，做好防护措施，使其对环境的影响降至最低；
- 采用专用运输车辆及时外运，避免运输过程中的遗撒；
- 污水采用有组织排水方式，处理达标后排入大海。

#### 5.3.6 非放射性物质的控制措施

- 对需进行表面处理的设备、管道、钢材等，要求设备承包商在出厂前进行处理；
- 必须在现场处理的，由施工单位严格执行化学物品使用管理规定，对其使用量严格控制。

#### 5.3.7 放射源的管理措施

施工期间主要用  $\gamma$  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放射防护条例》，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，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

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

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

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

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

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

## （3）放射源的处理

- 本项目产生的废源按采购合同约定的方式，由供货方回收。

### 5.3.8 设计地形地貌的改造措施

- 严格按照设计要求进行施工。
- 选择合理的施工时间，尽量避开雨季施工。若不能避开，雨季施工应做好防护措施，对新开挖面采用土工布或塑料布等进行覆盖，防止雨水冲刷。
- 优化施工工序，对工程开挖区要先修建临时性排水沟以避免径流对开挖场地的冲刷；对工程开挖的弃土弃渣要及时清运；弃土（渣）场地必须先拦后弃，防止弃土（渣）流失；对开挖面、填方段等新形成的不稳定边坡要及时护坡，避免长时间裸露。
- 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，避免或减少二次倒运。
- 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。

### 5.3.9 水土保持措施

福建福清核电厂 1~6 号机组是按照 6 台百万千瓦级核电机组进行的规划，具有“一次规划、连续建设”的特点。水土保持方案报告书共编制 3 份，均已批复。

福建福清核电有限公司委托方案编制单位于 2007 年 1 月编制完成了《福建福清核电厂一期工程水土保持方案报告书（报批稿）》。水利部于 2007 年 12 月 20 日以水利部水保函[2007]361 号文对该方案进行了批复；福建福清核电有限公司委托方案编制单位于 2009 年 11 月编制完成了《福建福清核电厂三至六号机组工程水土保持方案报告书（报批稿）》。水利部于 2010 年 1 月 5 日以水利部水保函[2010]4 号文对该方案进行了批复；福建福清核电有限公司委托江河水利水电咨询中心于 2013 年 5 月编制完成了《福建福清核电厂 5、6 号机组水土保持方案报告书（报批稿）》。水利部于 2013 年 7 月 11 日以水保函[2013]209 号文对该方案进行了批复。

工程建设造成的水土流失主要发生在施工期。5、6 号机组是在核电厂已有厂址上进行的扩建工程，除厂区工程的建设可能引发水土流失，其它如四通一平工程、厂外道路、

北林水库区、输水管线、淡水厂、输电线路、海工工程、大件码头、施工准备区、施工生产区等均在 1、2 号机组工程时建设完毕，这些措施的建设均是在保证厂区安全的前提下，充分按照水土保持原则，符合水土保持要求，维修调试生活区、厂前区及其它设施区等只有个别子项在原址扩建，故本节主要阐述厂区工程及子项扩建的水土保持。

### 5.3.9.1 水土保持防治措施

#### (1) 水土流失防治责任范围

福清 5、6 号机组项目建设区包括厂区（主厂房区、辅助生产区、厂内道路区）、已建设施扩建区、施工生产区、临时堆渣区、弃土（渣）区和取土场，总占地面积 48.85hm<sup>2</sup>；直接影响区根据工程占地的土壤性质、植被覆盖、大风天数、降雨强度、地势等自然情况，并参照相似工程施工迹地的影响范围，总占地面积 1.02hm<sup>2</sup>。经过对项目区占地性质的分析计算，确定本工程水土流失防治责任范围占地面积为 49.87hm<sup>2</sup>。

#### (2) 水土流失防治分区

根据涉及区域的地貌类型、占用方式、工程施工布置及建设顺序、工程地区水土流失状况及工程建设水土流失防治目标等特性，结合项目区域自然环境状况进行水土流失防治分区。福清 5、6 号机组水土流失防治分区分为：厂区（主厂房区、辅助生产区、厂内道路区）、已建设施扩建区、施工生产区、临时堆渣区、弃土（渣）区和取土场。

#### (3) 水土流失重点区域和重点阶段

项目工程在施工中将不可避免地扰动地面，破坏原有地貌形态，造成人为新增水土流失。同时，在暴雨作用下，加剧水土流失，给建设区及周边生态环境带来影响和危害。

通过对项目区地形地貌、土壤植被、地表组成及水土流失现状等因素进行全面的调查分析，结合工程特点，确定主厂房区、辅助生产区和临时堆渣区为水土流失的重点防治区域，重点防治时段为施工期。

#### (4) 水土保持防治措施布设

水土保持方案把水土保持工程措施与植物措施、永久措施和临时性措施有机结合起来，并把主体工程中具有水土保持功能的工程纳入水土流失防治措施体系中，合理确定水土保持措施的总体布局，以形成完整、科学的水土保持防治体系。

福清 5、6 号机组水土保持措施由工程措施、植物措施、临时措施组成。

##### ① 主厂房区

- 工程措施：主要包括主体已经设计的排水管网和碎石压盖。
- 临时措施：拟在施工区周边布设临时排水沟，采用人工开挖土质排水沟；在排水沟汇水出口位置设沉沙池 1 座，采用浆砌石结构。

### ② 辅助生产区

- 工程措施：主要包括主体已经设计的排水管网、碎石压盖；水土保持方案新增土地整治、覆土等措施。

- 植物措施：保护区围栏内不进行绿化，采用硬化或铺设碎石，厚度 10cm；保护区以外区域进行绿化。植物配置上兼顾水土保持与园林美化相结合，乔灌草相结合，总格局以大面积草坪为主，辅以灌木、乔木。

- 临时措施：为了防止施工期雨水进入建筑物，周边地基开挖基沟，沿基沟周边布设临时土质排水沟。

### ③ 厂内道路区

- 工程措施：主要包括主体已经设计的排水管网、碎石压盖；水土保持方案新增土地整治、覆土等措施。

- 植物措施：保护区以外的厂内道路，在道路两侧栽植行道树，选用榕球树种，树下撒播狗牙根草籽。

### ④ 已建设施扩建区

- 工程措施：工程施工结束后对场地进行清理平整，覆土厚 30cm。

- 植物措施：施工结束后，除构筑物、硬化区域外，裸露地面保护区内碎石压盖，保护区外采取种草的植被恢复方式，主要采用撒播狗牙根进行绿化。

- 临时措施：为了防止施工期雨水进入建筑物，周边地基开挖基沟，沿基沟周边布设临时土质排水沟，梯形断面。

### ⑤ 施工生产区

- 工程措施：工程施工结束后对场地进行清理平整，为使植被更好的生长成活，需对该区的空地土地整治。由于临时建筑物拆除后，土壤表面残余有大量残渣，不利于树木和草的成活与生长，为满足植物生长要求，需在平整场地的同时对绿化区进行覆土，覆土厚 30cm，土料来源为外购。

- 植物措施：施工结束后，进行场地清理平整，对裸露地表种植水土保持林草进行植被恢复，采用木麻黄、相思 1:1 混交，并撒播狗牙根草籽快速覆盖。

- 临时措施：在施工开始时，应先在场地周围布置土质排水沟，将其排入西侧辅助生产区排水管网中，采用梯形断面，在排水沟汇水出口设沉沙池 1 座，采用浆砌石结构。沉沙池与临时堆渣区西侧辅助生产区排水管网相连。

### ⑥ 临时堆渣区

工程临时转运土石料统一堆放于临时堆渣土场。临时堆渣区设置在两处：一号临时堆

渣区位于 6 号机组东侧的预留发展用地处，二号临时堆渣区位于厂区内气象站西侧。

- 工程措施：工程施工结束后对场地进行清理平整，覆土厚 30cm。

- 植物措施：施工结束后，进行场地清理平整，采用木麻黄、相思 1:1 混交，并撒播狗牙根草籽快速覆盖。

- 临时措施：利用现有石料，在临时堆渣区周围垒石拦挡，采用矩形断面；在临时堆渣区周边设置临时排水明沟，断面为梯形；在排水沟汇水出口位置设沉沙池 1 座，采用浆砌石结构。

#### ⑦ 弃土（渣）区

本工程弃土（渣）区位于厂前区北侧，为平地型弃土（渣）区。在弃土（渣）区一侧堆放弃土，最大堆土高度 10m。弃土堆放边坡坡度为 1: 1，分二级堆放，每 5m 设一级台阶，台阶宽 4.5m，堆土平面做成微拱型，以利于向周边排水。

- 工程措施：

在弃土（渣）区边坡和顶面设置浆砌石排水沟，导排场内汇水，防止对弃土的冲刷及减小挡土墙所承受静水压力，确保挡墙的稳定。在堆土台阶处设置土质排水沟，并将台阶处堆土向内倾斜，设 1% 的坡降，使雨水自然汇流到土质排水沟中。

在边坡排水沟和台阶排水沟末端设置沉沙池，收集边坡和顶面来水，使雨水通过沉沙池消能后安全排入厂区雨水管网。另外，需要在沉沙池上外接浆砌石排水沟至厂区排水管网。为避免弃土（渣）区水土流失，在弃土（渣）区四周的排水沟出口以及在台阶上设置各设一座浆砌石沉沙池，共 2 座。经沉沙池沉淀水流中的泥沙后，再排至厂区雨水管网。

为防止弃土随径流流失或发生自然坍塌，应遵循“先拦后弃”的原则，弃土前首先在弃土周围设置重力式挡土墙，拦挡堆土期间表面滚落的碎块。

弃土（渣）区堆土结束以后，应该首先弃土（渣）区进行土地整治，在弃土（渣）区覆种植土，覆土厚 30cm。

- 植物措施：施工结束后，对弃土表面和坡面进行覆土绿化，覆土厚度为 30cm，撒播狗牙根草籽

- 临时措施：本工程在开工前已经进行了厂区的“四通一平”工作，因此开挖的表层土需要进行熟化方可用于绿化覆土。将开挖的表层土堆放于弃土（渣）区西侧，堆土设计为梯形，边坡 1:1。在临时堆土堆放前，需要在四周外侧 1m 处开挖土质排水沟，排水沟采用梯形断面，另外在排水沟汇水出口位置设 1 个浆砌石沉砂池，沉砂池与堆土的临时排水沟相连，在临时堆土表面进行苫盖，防止大风天气对周围环境造成影响。

#### ⑧ 取土场

取土场位于厂区北侧，用于辅助生产区、厂内道路区、已建设施扩建区、施工生产区和临时堆渣区的覆土绿化，取土场开挖的全部绿化覆土堆放于弃土（渣）区。

• 工程措施：工程措施主要包括水土保持方案新增土地整治、覆土等措施。

• 植物措施：取土施工结束后，在土地整治的基础上恢复植被。种植榕球，并撒播狗牙根草籽快速覆盖。

### 5.3.9.2 水土保持监测

#### （1）监测内容

- 项目建设区内水土流失主要影响因子参数的监测
- 水土流失状况监测
- 水土流失防治效果监测
- 水土保持措施落实情况监测
- 重大水土流失事件监测

对以下内容进行重点监测：水土保持方案的落实情况，弃土渣场使用情况及安全要求落实情况，扰动土地及植被占压情况，水土保持措施实施情况，水土保持责任制度落实情况等等。

#### （2）监测时段

本工程为建设类项目，监测时段从施工准备期至设计水平年结束。监测时段分为施工准备期、施工期和试运行期，工程施工期与试运行期是重点监测期。

#### （3）监测区域和点位

本工程水土流失及其防治措施监测的重点区域为主厂房区、辅助生产设施区、临时堆渣区以及弃土（渣）区。

根据监测点布设原则，以及水土流失预测分析的结果，定位观测共设 11 个监测点，即主厂房区 2 个、辅助生产区 2 个、厂内道路区 1 个、已建设施扩建区 1 个、施工生产区 1 个、临时堆渣区 2 个、弃土（渣）区 1 个和取土场 1 个。

#### （4）监测方法和监测频次

本工程水土保持监测，采取地面观测、调查监测法和场地巡查相结合的方法。在防治责任范围内，对水土流失较大的区域进行地面观测，水土流失影响较小的区域，采用调查监测和地面巡查。

监测主要以水蚀和重力侵蚀监测为主，因此监测频次视降雨情况确定，同时结合工程实际情况和监测的内容，确定相应的监测频次。

### 5.3.9.3 水土保持工程实施概况

### （1）施工期防治责任范围监测

截止 2018 年三季度，经过现场踏勘调查结合 GPS 测量，项目工程各监测分区水土流失防治责任范围面积分别为：厂区 27.88hm<sup>2</sup>、已建设施扩建区 1.62hm<sup>2</sup>、施工生产区 3.91hm<sup>2</sup>、临时堆渣区 11.65hm<sup>2</sup>、弃土（渣）区 2.84hm<sup>2</sup>、取土场 0hm<sup>2</sup>，合计 47.90hm<sup>2</sup>。

### （2）施工期扰动面积监测结果

截止 2018 年三季度，项目工程各监测分区土建等已全部开工，新增地表扰动面积主要分部在厂区、已建设施扩建区、施工生产区、临时堆渣区、弃土（渣）区、取土场。本工程因工程建设扰动的地表面积累计为 47.90hm<sup>2</sup>，其中厂区、已建设施扩建区、施工生产区、临时堆渣区、弃土（渣）区、取土场分别为 27.88hm<sup>2</sup>、1.62hm<sup>2</sup>、3.91hm<sup>2</sup>、11.65hm<sup>2</sup>、2.84hm<sup>2</sup>、0hm<sup>2</sup>。

### （3）土壤流失量监测

在监测人员现场巡查、实地调查，监测点应用标桩法固定观测记录后，监测本工程 2018 年第三季度不同地形条件下扰动后土壤侵蚀量，根据不同地形面积加权计算各监测域扰动后土壤侵蚀模数介于 5000~7500 t/km<sup>2</sup>·a。

### （4）水土流失防治效果监测

截止 2018 年三季度，本工程水土流失防治措施完成情况为：

#### ① 厂区

工程措施：排水管网 1330m，碎石压盖 4200 m<sup>3</sup>，土地整治 2.95hm<sup>2</sup>，覆土 800 m<sup>3</sup>。

植物措施：栽植苗木 100 株，散播草籽 1.2 Kg；临时措施：土质排水沟 1950 m<sup>3</sup>，沉沙池 1 座。

#### ② 已建设施扩建区

工程措施：土地整治 0.13hm<sup>2</sup>，覆土 500 m<sup>3</sup>。

植物措施：植草 8.5 Kg。

临时措施：土质排水沟 470 m<sup>3</sup>。

#### ③ 施工生产区

工程措施：土地整治 2.8 hm<sup>2</sup>，覆土 9800 m<sup>3</sup>。

临时措施：土质排水沟 400 m<sup>3</sup>。

#### ④ 临时堆渣（土）区

工程措施：土地整治 5.5hm<sup>2</sup>，覆土 11000 m<sup>3</sup>。

临时措施：垒石拦挡 6500 m<sup>3</sup>，土质排水沟 1900 m<sup>3</sup>，沉沙池 2 座，干砌石挡墙 1000m，密目网苫盖 16100m<sup>2</sup>。

工程已实施的水土保持措施与主体工程建设同步，截止 2018 年三季度，本工程水土保持措施完成情况见表 5.3-1。

#### （5）水土保持建议

各施工单位必须重视水土保持工作，现就 2018 年三季度工程进程中有关水土保持方面需要加强的工作提出以下建议：

要明确水土流失防治责任，施工单位在施工过程中要避免随意扩大扰动面积；对临时堆渣和零星弃土加强管理。

#### 5.3.10 施工期的节水措施

施工期节水措施主要是淡水的节水措施，如下：

- 采用用水量少、耗水量低的工艺系统，降低了用水量。
- 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。



表 5.2-1 调查站位经纬度表

站位	经度	纬度	调查内容	备注
1#	119° 25' 26.85"	25° 26' 10.58"	水质、底质、生物	兼作连续站
2#	119° 22' 25.56"	25° 24' 24.74"	水质、底质、生物	
3#	119° 19' 33.17"	25° 22' 45.35"	水质、底质、生物	
4#	119° 26' 11.55"	25° 24' 51.57"	水质、底质、生物	兼作连续站
5#	119° 24' 43.04"	25° 23' 13.43"	水质、底质、生物	
6#	119° 23' 23.53"	25° 20' 15.98"	水质、底质、生物	
7#	119° 27' 08.57"	25° 25' 55.81"	水质、底质、生物	兼作连续站
8#	119° 26' 53.39"	25° 23' 17.34"	水质、底质、生物	
9#	119° 24' 29.69"	25° 27' 54.63"	水质、底质、生物	
F1	119° 26' 41.89"	25° 27' 20.27"	潮间带	
F2	119° 29' 1.09"	25° 26' 42.87"	潮间带	
F3	119° 30' 41.84"	25° 23' 30.09"	潮间带	

表 5.3-1 (1/2) 水土保持完成情况表

指 标		设计总量	本季度新增	累计	
扰动土地面积 (hm <sup>2</sup> )	合 计	48.85	1.03	47.9	
	厂区	28.11	0	27.88	
	已建设施扩建区	1.62	0.03	1.62	
	施工生产区	4.00	0	3.91	
	临时堆渣(土)区	11.65	0.67	11.65	
	弃土区	2.87	0.33	2.84	
	取土场	0.6	0	0	
取土(石、料)场数量(个)		1	0	0	
弃土(石、渣)场数量(个)		1	0	0	
取土(石、料)情况(万 m <sup>3</sup> )		1.62	0	0	
弃土(石、渣)情况(万 m <sup>3</sup> )		18.94	0	0	
拦渣率(%)		95	0	98	
水土保持工程 进度	工程措施	排水管网(m)	1588	170	1330
		土地整治(hm <sup>2</sup> )	22.6	0.4	11.38
		覆土(m <sup>3</sup> )	58570	750	22100
		碎石压盖(m <sup>3</sup> )	4770	310	4200
		浆砌石排水沟(m <sup>3</sup> )	467.6	0	0
		浆砌石挡土墙(m <sup>3</sup> )	2085	0	0
		沉沙池(座)	2	0	0
	植物措施	栽植苗木(株)	40223	0	100
		种草(kg)	1185.4	0	9.7

表 5.3-1（2/2） 水土保持完成情况表

指 标		设计总量	本季度新增	累计	
水土保持工程 进度	临时措施	排水沟（m <sup>3</sup> ）	4756	330	4720
		垒石拦挡（m <sup>3</sup> ）	5781	0	6500
		沉沙池（座）	3	1	3
		密目网苫盖（m <sup>2</sup> ）	0	0	16100
		干砌石挡墙（m）	0	0	1000
水土流 失影响 因子	平均降雨量(mm)		1224.1	0	1224.1
	最大24小时降雨(mm)		297	0	194
	最大风速(m/s)		29	0	23
土壤流失量（t）		土壤流失量	748.44		
		取土（石、料）弃 土（石、渣）潜在 土壤流失量	0	0	



图 5.2-1 调查站位示意图



图 5.2-2 调查站位卫星遥感示意图

## 第六章 核电站运行的环境影响

### 6.1 散热系统的环境影响

- 6.1.1 散热系统方案
- 6.1.2 散热系统对水体的物理影响
- 6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

### 6.2 正常运行的辐射影响

- 6.2.1 流出物排放源项
- 6.2.2 照射途径
- 6.2.3 计算模式与参数
- 6.2.4 大气弥散和水体弥散
- 6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度
- 6.2.6 公众的最大个人剂量
- 6.2.7 非人类生物的辐射影响
- 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 6.1-1 模型比尺参数

表 6.1-2 厂址月均表层水温统计表

表 6.2-1 气态剂量计算剂量转换因子

表 6.2-2 气态剂量计算转移系数和浓集因子

表 6.2-3 液态剂量计算剂量转换因子和沉积吸附分配系数

图

图 6.1-1 取排水工程平面布置图

图 6.1-2 物模模拟范围

图 6.2-1 气、液态放射性流出物对公众的照射途径

## 6.1 散热系统的环境影响

### 6.1.1 散热系统方案

福清核电厂取排水具体方案如下（见图 6.1-1）：

#### ——取水方案

根据厂址工程水文条件，核电厂冷却水取水工程采用明渠取水方案，即在厂址西北侧布置引水明渠，1~6 号机组合建一条引水明渠，引水明渠由东北往西南与海床相接。明渠底宽由口门向末端逐渐变小，口门段底宽为 160m，末端底宽为 60m，明渠底高程为 -8.5m。

#### ——排水方案

福清核电厂排水采用排水暗渠+排水明渠的方案。核电厂循环冷却水从 CC 虹吸井出来后，经排水暗渠排入排水明渠，通过排水口进入兴化湾。排水明渠位于厂区西南角，南护堤外侧。1~6 号机组共用一个排水明渠，排水明渠出水口布置在 -8.3m 水深处。

排水明渠渠内底高程为 -2.5m~-8m 左右，排水明渠底宽为 60m~90m。为了使电厂的排水沿着明渠排出，在明渠两侧分别布置东、西两条导流堤。

### 6.1.2 散热系统对水体的物理影响

#### 6.1.2.1 工程前后潮流场变化与岸滩、底床冲淤变化

根据福清核电厂海床及岸滩稳定性和取排水口泥沙冲淤演变数模研究的成果报告，其基本结论如下：

a) 核电取排水工程实施后，大范围海域的流场特征没有改变，只在取排水工程区附近局部水域的流场有所变化。其中，在取水口水域，受防波堤挑流作用明显，涨潮过程防波堤北侧形成缓流区。受取水防波堤挑流影响，其东侧深槽水域潮流动力有所增强。在排水导流堤的影响下，其两侧水域成为缓流区，潮流动力有所降低。

b) 核电取、排水工程方案实施后，工程海区的泥沙场及地形冲淤只在工程方案附近发生变化，不会发生工程海区大面积的滩面冲淤变化，大范围海床将维持自然冲淤状态。其中在取水防波堤西南侧深槽内将有所冲刷，排水导流堤西北侧的大件码头水域将有所淤积。

c) 核电一~三期工程后取水渠道内正常天气下的平均淤强为 0.56m/a，年淤积量为 16.8 万 m<sup>3</sup>。

#### 6.1.2.2 温排水对环境的影响分析

##### 6.1.2.2.1 温排水数模与物模

###### (1) 数值模拟

###### 1) 模型选择

采用丹麦水力学所开发的平面二维数学模型 mike21 来研究潮流和温度场分布。模拟计算采用的垂向平均平面二维数学模型如下。

二维浅水环流和热扩散问题的基本方程组为：

连续性方程：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t}$$

运动方程：

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \Omega q = E \left[ \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right] + \frac{Q_s}{A_s} U \sin \theta$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} + \Omega q = E \left[ \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right] + \frac{Q_s}{A_s} U \sin \theta$$

对流传输方程：

$$\frac{\partial}{\partial t} (h\Delta T) + \frac{\partial}{\partial x} (uh\Delta T) + \frac{\partial}{\partial y} (vh\Delta T) = \frac{\partial}{\partial x} \left( h \cdot D_x \cdot \frac{\partial \Delta T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \cdot D_y \cdot \frac{\partial \Delta T}{\partial y} \right) - \frac{K_s \Delta T}{\rho c_p} + S$$

式中： $h(x, y, t)$  为水深； $d(x, y, t)$  为时变水深； $\zeta(x, y, t)$  为潮位； $p, q(x, y, t)$  分别为  $x, y$  方向上的垂线平均流量分量； $C(x, y)$  为谢才参数； $g$  为重力加速度； $V, V_x, V_y(x, y, t)$  分别为风速和  $x, y$  方向上的分量； $\Omega(x, y)$  为柯氏力系数； $x, y$  为空间坐标。 $\Delta T$  为温升， $u, v$  为  $x, y$  方向的水平速度分量； $D_x, D_y$  为  $x, y$  方向的扩散系数； $K_s$  为水面综合散热系数， $S = Q_s \cdot (T_s - T_0) / A_s$ ， $Q_s$  为源汇的流量； $A_s$  为排水口位置的流体微团面积， $T_s$  为排放温度， $T_0$  为环境温度， $E$  为涡粘性系数。

运动方程和连续方程均采用交替隐式离散法（ADI）进行离散求解。而对流扩散方程采用的是 QUICKEST 格式离散求解，这种格式具有节省计算时间，稳定性好的特点。方程矩阵采用双向扫描（Double Sweep）算法求解，该格式具有二阶精度。

2) 定解条件

流场定解条件如下。

a) 边界条件：

水边界： $\zeta(x, y, t) = \zeta^*(x, y, t)$  “\*” 表示已知值；

$C(x, y, t) = C^*(x, y, t)$  流入计算域；

$\frac{\partial (hC)}{\partial t} + \frac{\partial (uhC)}{\partial x} + \frac{\partial (vhC)}{\partial y} = 0$  流出计算域；



陆边界：  $Q_n = 0$       法线方向流量为零；

$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0$$

b) 初始条件：

$\zeta(x, y)|_{t=0} = \zeta_0(x, y)$      $\zeta_0$  取几条水边界起始潮位的平均值；

$p(x, y)|_{t=0} = p_0(x, y)$      $p_0$  取零；

$q(x, y)|_{t=0} = q_0(x, y)$      $q_0$  取零；

$C(x, y)|_{t=0} = C_0(x, y)$      $C_0$  取零。

3) 参数选择

a) 水流边壁阻力系数  $n$ ，理论上可依据专门的试验确定，但实际上因为数值化的作用， $n$  应依具体的对象在研究时根据实践经验加以确定。本数值研究取为 0.02~0.025。

b) 水流涡粘性系数  $E$ ，取值 0.5~4m<sup>2</sup>/s。

c) 扩散系数  $D$ ，随具体水流等环境的变化，物质扩散系数在一个较大的范围内变化，本次计算中  $D$  的取值范围为 5~15m<sup>2</sup>/s。为了解扩散系数取值对计算结果的敏感性，选取大潮情况 6×1000MW 装机情况不同扩散系数取值进行了计算，计算结果表明，扩散系数上下浮动 33% 情况下，1℃ 温升包络面积差别在 9% 以内，0.5℃ 温升包络面积差别在 1.2% 以内。

d) 表面综合散热系数  $K$

根据水文气象条件，采用以下公式进行  $K$  的计算。

$$K = (k+b)\alpha + 4s\sigma(T_s + 273)^3 + (1/\alpha)(b\Delta T + \Delta e)$$

式中：

$$\Delta T = T_s - T_a$$

$$\Delta e = e_s - e_a$$

$$k = \frac{\partial e_s}{\partial T_s}$$

$$\alpha = [22.0 + 12.5v_w^2 + 2.0(T_s - T_a)]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1})$$

式中， $b$  可取 0.66P/1000 (hPa·℃<sup>-1</sup>)， $P$  为大气压 (hPa)， $v$  为风速 (m/s)， $\varepsilon$  为水面辐射系数，可取 0.97。 $\sigma$  为 Stefan-Boltzman 常数， $\sigma = 5.6 \times 10^{-8}$  (W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-4</sup>)， $T_a$  为气

温（℃）， $T_s$  为水面水温（℃）， $e_s$  是水温  $T_s$  时的相应水面饱和水汽压（hPa）， $e_a$  是水面以上 1.5m 处的水汽压（hPa）。

根据厂址附近的气象、水温条件，夏季水面综合散热系数取  $47\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{℃}$ 。冬季水面综合散热系数为  $27\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{℃}$ 。

#### 4) 计算区域

数值模拟区域北至闽江口的梅花水文站北部，南至泉州湾的崇武海洋站，外海至海图水深-60m 等深线附近，这个计算域长约 160km，宽约 100km，面积约  $16000\text{km}^2$ 。

#### 5) 网格尺度

大区域网格大小选择 945m，小区域网格大小选择 315m，另外为了更好地模拟取排水口的结构，在其附近网格进行加密，最小网格大小为 35m。

#### 6) 流场验证

通过对实测大、中、小潮潮位及流速流向进行验证结果，验证结果表明潮位计算值与实测值吻合良好，除个别点、个别时段外的大部分验证点流速、流向计算值与实测值基本相符。可以认为所采用的流场数值模型及选定的参数是合适的，能够用于电厂温排水对环境影响的数值预报。

### (2) 物模试验

#### 1) 模型范围

模型模拟海域  $21\text{km}\times 10.5\text{km}$ ，面积约  $220\text{km}^2$  的范围。模型为多开边界全潮海工模型，包含兴化湾 NW—SE 走向主深槽之东北部分。其长开边界基本与该深槽位置吻合；西北边界至江阴半岛岸边；东南边界达目屿岛。模拟范围见图 6.1-2。

#### 2) 模型设计

模型设计应以重力相似为主，兼顾浮力相似，即：

$$\text{重力相似: } (Fr)_r = \left( \frac{V}{\sqrt{gH}} \right)_r = 1$$

$$\text{浮力相似: } (F_\delta)_r = \left( \frac{V}{\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} gH}} \right)_r = 1$$

$$\text{阻力相似: } n_r = \frac{L_r}{H_r^{2/3}} = 1$$

$$\text{温度相似: } (\Delta T)_r = (T_1 - T_a)_r = 1$$

模型几何比尺：水平比尺  $L_r=350$ ，垂向比尺  $H_r=100$ ，几何变态率  $\varepsilon=3.5$ ，属小变态模型。

按照上述模型相似准则，模型比尺关系如下：

流量比尺：

$$Q_r = L_r \cdot H_r^{3/2}$$

流速比尺：

$$V_r = H_r^{1/2}$$

糙率比尺：

$$n_r = H_r^{2/3} \cdot L_r^{-1/2}$$

时间比尺：

$$t_r = L_r \cdot H_r^{-1/2}$$

模型比尺参数见表 6.1-1。

### 3) 模型验证

通过厂址海域实测冬、夏两季大、中、小潮资料对模型进行率定和验证。验证结果表明：潮位的模型值与实测值吻合良好；除个别点、个别时段外，验证点流速、流向的模型值与实测值基本相符，本模型能够用于核电厂温排水的试验研究工作。

#### (3) 计算结果

根据温排水模型试验结果：夏季潮条件下，电厂温排水影响带来 1℃ 温升影响区全潮平均包络面积不超过 24.6km<sup>2</sup>，全潮最大包络面积不超过 41.1km<sup>2</sup>；冬季潮条件下，1℃ 温升影响区全潮平均包络面积不超过 31.4km<sup>2</sup>，全潮最大包络面积不超过 67.5km<sup>2</sup>。电厂取水温升平均值不超过 1.39℃，最大值不超过 1.74℃。

## 6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

### 6.1.3.1 生态环境调查

委托国家海洋局第一海洋研究所对福清核电厂厂址附近海域海洋生物及其生态环境进行了现场调查，调查结果见 2.3.3 节内容。

### 6.1.3.2 温排水对海洋生态的影响

#### 1) 对生态敏感区的影响

在厂址附近海域，多次调查记录到的海洋生物均为常见种，没有国家规定的珍稀保护物种。厂址半径 15km 范围内没有国家级和省级自然保护区。福清核电厂 6 台机组运行后，

在冬季大潮工况下（影响距离最远）， $0.5^{\circ}\text{C}$ 最大温升包络线离岸距离约 9.24km。因此，不存在温排放对敏感区的影响问题。

## 2) 对厂址海域生物的影响

### a) 温排水对贝类的影响

根据海洋生态调查，排水口所处兴化湾海域贝类资源主要有褶牡蛎、菲律宾蛤仔、缢蛏等。调查到的甲壳类适温范围多在  $18\sim 30^{\circ}\text{C}$  之间，水温大于  $38^{\circ}\text{C}$  不能正常运动，大于  $39^{\circ}\text{C}$  将导致其死亡。根据实验研究，在一定适温范围内，温升可以促进仔虾的生长和体重的增加，对中国对虾而言，在  $20^{\circ}\text{C}\sim 32^{\circ}\text{C}$  的范围内，其生长速度随水温升高而加快。

2005 年 8 月~2006 年 7 月对福清核电厂工程海域进行了为期一年的水温观测，后又于 2009 年 8 月~2009 年 10 月对工程海域进行了三个月的水温观测，观测统计结果见表 6.1-2。

从表 6.1-2 可以看出，厂址海域月平均最高水温为  $29.3^{\circ}\text{C}$ ，对于位于强增温区（温升 $>3^{\circ}\text{C}$  时）内的养殖区，在夏季最热季节可能会对贝类的生长有些影响，但对于春、秋、冬三季而言，反而有利于贝类的生长。

### b) 温排水对鱼类的影响

鱼类属变温动物，一般在适温范围内，水温提高会促进鱼类的生长。但如果超过其适温范围，则会抑制鱼类的新陈代谢和生长发育；超过其忍受限度，还会导致死亡。调查鱼类以适温性分析看，调查海区渔获的鱼类，均为暖水性和暖温性的鱼类，未出现冷温性和冷水性鱼类。当海水水温超过  $35^{\circ}\text{C}$ ，对鱼类生长有一定影响。按分布水层而言，调查海区渔获的鱼类，以底层和中下层鱼类最多。

从表 6.1-2 可以看出，厂址海域月平均最高水温为  $29.3^{\circ}\text{C}$ ，即使位于强增温区（温升 $>3^{\circ}\text{C}$  时）内的养殖区，在夏季最热季节温度也很少能达到  $35^{\circ}\text{C}$ ，因此在夏季，温排水对鱼类的生长影响也比较小，但对于春、秋、冬三季而言，反而有利于鱼类的生长。

### c) 温排水对仔鱼、鱼卵的影响

福清核电厂运行后，温排水对整个兴化湾水域的鱼卵和仔鱼数量及其季节变化将不会有全局性的影响。温排水将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。在电厂运行期间会加强跟踪调查，以制定应变措施。

### d) 温排水对藻类的影响

温排水会改变浮游生物群落中的物种组成。有关调查结果表明，一般当水体适度增温时（温升 $\leq 3^{\circ}\text{C}$  时），温升区内浮游植物的种类数平均可增加 50%，尤其是水温较低的春、秋和冬季表现更明显。

根据有关研究资料，即使在夏季水温升高  $6\sim 8^{\circ}\text{C}$ ，也仅引起浮游植物光合作用强度

减弱，并未破坏浮游植物细胞，经过几个小时后(一般不超过一昼夜)，浮游植物就能恢复光合作用。此外，在一定范围内，水温升高还可以促进浮游植物的生长繁殖。这种情况在水温较低的春、秋、冬季更为明显。但多数浮游生物的生存水体温度超过 35℃时，生存条件将明显受到威胁，将抑制其生长或造成死亡。

从表 6.1-2 可以看出，厂址海域月平均最高水温为 29.3℃，即使位于强增温区(温升>3℃时)内的养殖区，在夏季最热季节温度也很少能达到 35℃，因此在夏季，温排水对藻类的生长影响较小，但对于春、秋、冬三季而言，反而有利于藻类的生长。

在大亚湾海洋生态调查前，人们曾预测核电站运行后水温升高，大型藻类可能大量减少，甚至马尾藻场消失，从而担心大亚湾鱼类产卵场和仔幼鱼肥育场受到破坏，但调查结果表明，西大亚湾海洋生物多样性仍较高，暖水种有所增加，大型藻类(主要是丰叶马尾藻)生物量不仅没有减少，反而有所增加，核电站东南部或西南部海域在电站运行后形成鱼卵密集区；渔业年捕捞量总的趋势较为稳定，呈逐年上升的趋势。

### 6.1.3.3 卷吸效应和机械损伤

核电厂六台机组运行过程中，冷却装置系统需用大量海水，由于水泵急速抽取海水，致使水生生物与取水系统的旋转滤网、拦污栅产生机械碰撞损伤，对周围海域海洋生物产生一定的卷吸效应。

#### (1) 对浮游生物的影响分析

取水系统产生的卷吸效应将对浮游生物产生一定程度的损伤，会使取水口附近水域浮游生物量有所减少，但浮游生物的生殖周期短，繁殖快，取水口附近水域浮游生物因受潮汐影响较易受外海水补充，其种群损伤后恢复较快，同时，相对整个兴化湾的浮游生物总量来说，因卷吸效应引起的浮游生物损伤是非常少的，对整个兴化湾的浮游生物总量影响不大。

#### (2) 对鱼卵仔鱼的影响分析

5、6 号机组运行期卷吸效应每年对鱼卵、仔鱼造成的损失量相对整个兴化湾的鱼卵仔鱼总量来说，是非常少的，对整个兴化湾的鱼卵仔鱼总量影响不大，更不会影响到整个兴化湾的海洋渔业资源。

#### (3) 对成鱼的影响分析

福清核电厂取水明渠口门底宽约为 160m，核电厂六台机组全部运行时，冷却水量为 348m<sup>3</sup>/s。在平均高潮位 2.83m 时，明渠口门段平均流速为 0.174m/s；在平均潮位 0.28m 时，明渠口门段平均流速为 0.229m/s；在平均低潮位-2.28m 时，明渠口门段平均流速为 0.330m/s；在 33 年一遇低潮位时，明渠口门段平均流速为 0.493m/s；在百年一遇低潮位

-4.35m 时，明渠口门段平均流速为 0.504m/s。从以上可以看出，即使在百年一遇低潮位时，明渠口门处的流速还是比较低的，成鱼在进入明渠后能够凭借自身力量游出明渠，因此，福清核电站六台机组在运行阶段，对成鱼的卷吸效应影响不大。

## 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高 76.5m、直径 3m 的烟囱排入大气，经大气弥散对公众造成辐射影响。

本工程单台机组运行状态下，气载流出物排放量申请值与《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）规定的气载流出物年排放量控制值的比较如下：

核素类别	本工程单台机组排放量申请值 Bq/a	单台排放量控制值 Bq/a	比值
惰性气体	5.74E+13	6.00E+14	9.57%
碘	5.50E+08	2.00E+10	2.75%
粒子 ( $T_{1/2} \geq 8d$ )	4.21E+07	5.00E+10	0.08%
氙	4.13E+12	1.50E+13	27.53%
碳-14	3.46E+11	7.00E+11	49.43%

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	1、2 号机 组排放量 申请值 Bq/a	3、4 号机 组排放量 申请值 Bq/a	本工程排 放量申请 值 Bq/a	厂址 6 台机 组总排放量 申请值 Bq/a	厂址排放 量控制值 Bq/a	比值
惰性气体	1.37E+14	1.37E+14	1.15E+14	3.89E+14	2.40E+15	16.21%
碘	1.18E+09	1.18E+09	1.10E+09	3.46E+09	8.00E+10	4.32%
粒子 ( $T_{1/2} \geq 8d$ )	1.31E+08	1.31E+08	8.42E+07	3.46E+08	2.00E+11	0.17%
氙	9.90E+12	9.95E+12	8.26E+12	2.81E+13	6.00E+13	46.85%
碳-14	7.81E+11	7.81E+11	6.91E+11	2.25E+12	2.80E+12	80.46%

各类核素的排放量均满足 GB 6249-2011 规定的厂址年排放量控制值要求。

#### (2) 液态流出物排放源项

本工程单台机组运行状态下，液态流出物排放量申请值与《核动力厂环境辐射防护规

定》（GB 6249-2011）规定的液态流出物年排放量控制值的比较如下：

核素类别	本工程单台机组排放量申请值 Bq/a	单台排放量控制值 Bq/a	比值
氚	4.59E+13	7.50E+13	61.20%
碳-14	2.53E+10	1.50E+11	16.87%
其余核素	1.52E+10	5.00E+10	30.40%

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，液态流出物排放源项与《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）规定的液态流出物年排放量控制值的比较如下：

核素类别	1、2 号机组 排放量申请 值 Bq/a	3、4 号机组 排放量申请 值 Bq/a	本工程排 放量申请 值 Bq/a	厂址 6 台机 组总排放量 申请值 Bq/a	厂址排放 量控制值 Bq/a	比值
氚	9.90E+13	9.95E+13	9.18E+13	2.90E+14	3.00E+14	96.77%
碳-14	5.87E+10	5.87E+10	5.06E+10	1.68E+11	6.00E+11	28.00%
其余核素	5.56E+10	5.56E+10	3.04E+10	1.42E+11	2.00E+11	70.80%

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。

本工程为滨海厂址。槽式排放出口处的放射性流出物中除氚和 C-14 外其他放射性核素浓度在保守工况下为 583Bq/L，在现实工况下为 36Bq/L，均满足 GB6249-2011 规定的排放控制值要求。

## 6.2.2 照射途径

### 6.2.2.1 气载途径

本工程运行状态下，气载流出物排放到环境后对公众的照射途径见图 6.2-1，可归纳为：空气浸没外照射、地面沉积外照射、吸入空气内照射和食入农牧产品内照射。

### 6.2.2.2 液态途径

本工程运行状态下，液态放射性流出物与循环冷却水混合后排入兴化湾，在其稀释和扩散的过程中，对公众的照射途径见图 6.2-1，可归纳为：食入海产品内照射，岸边沉积外照射，在海域中游泳、划船和从事水上作业时受到的外照射。

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

## 6.2.3 计算模式与参数

### (1) 气态途径

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

在计算气载流出物在大气中迁移和弥散时，使用了 70m 高度风向、风速、稳定度、雨况四维联合频率，扩散参数采用根据现场大气扩散试验研究的推荐值。

在计算运行状态下气载流出物对公众的辐射剂量中，所使用的参数如下：惰性气体的空气浸没外照射剂量转换因子取自《电离辐射防护与辐射安全基本标准》(GB 18871-2002)，其余核素的空气浸没外照射剂量转换因子和地表沉积外照射剂量转换因子（包括空气中和水中）取自美国联邦导则 12 号报告（1993）《空气、水和土壤中核素导致的外照射》，食入和吸入内照射剂量转换因子取自 GB 18871-2002 表 B6、B7 和 B9，见表 6.2-1；各核素的转移系数和浓集因子取自 IAEA 安全丛书 19 号报告，见表 6.2-2；人口分布数据取厂址 2020 年的预期人口数。

### （2）液态途径

根据国际、国标标准推荐的计算模式和参数，计算了液态途径放射性流出物对厂址半径 80km 范围内公众造成的个人有效剂量。

在计算运行状态下液态流出物对公众的辐射剂量中，所使用的参数如下：食入有效剂量转换因子采用 GB 18871-2002 中的数据；地表沉积和水中浸没剂量转化因子取自美国联邦导则 12 号报告（1993）；核素的  $K_d$  系数采用 IAEA 安全丛书 19 号报告的数据，各数据见表 6.2-3。在剂量评价中，使用厂址半径 5km 范围内居民最大食谱计算厂址半径 5km 范围内公众所受到的最大个人剂量，使用厂址半径 80km 范围内居民食谱计算厂址半径 5~80km 范围内公众所受到的最大个人剂量。人口分布数据取厂址 2020 年的预期人口数。

## 6.2.4 大气弥散和水体弥散

### （1）大气弥散

厂址地处突入兴化湾的岐尾山，东、南、西三面环海，东北侧与陆地连接，气载流出物在大气中迁移和弥散条件较好。

厂址半径 80km 范围内年平均大气弥散因子在  $1.58E-10 \text{ s/m}^3 \sim 3.09E-06 \text{ s/m}^3$  之间，最大年平均大气弥散因子出现在厂址 SSW 方位 0~1km 处。

厂址半径 80km 范围内的年平均相对干沉积因子在  $8.04E-13 \text{ m}^{-2} \sim 7.78E-08 \text{ m}^{-2}$  之间，最大年平均干沉积因子出现在厂址 SW 方位 0~1km 处。

厂址半径 80km 范围内的年平均相对湿沉积因子在  $8.12E-13 \text{ m}^{-2} \sim 2.12E-09 \text{ m}^{-2}$  之间，最大年平均相对湿沉积因子出现在厂址 SW 方位 0~1km 处。

### （2）水体弥散

中国水利水电科学研究院于 2018 年 4 月完成了《福清 5、6 号机组运行环评专题液态流出物数值模拟复核研究报告》成果报告，根据研究成果报告，在液态剂量计算中，各类



核素选取最不利潮型下液态流出物平均相对浓度作为稀释因子。

### 6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度

本工程在运行状态下气载流出物主要通过高 76.5m 烟囱排入大气。代表性放射性核素 Cs-137、I-131、和 Kr-85 年均放射性活度浓度的最大值均出现在厂址 SSW 方位 0~1km 处，分别为  $5.83\text{E-}09\text{ Bq/m}^3$ 、 $5.05\text{E-}07\text{ Bq/m}^3$  和  $2.21\text{E-}03\text{ Bq/m}^3$ 。

本工程运行状态下，液态流出物采用间歇排放方式排放，并与循环冷却水混合后排入受纳海域。福清核电厂 5、6 号机组共用一套低放废液排放系统，根据排放源项和冷却水流量计算得到排放的循环冷却水中的放射性核素浓度可知，排放口处的放射性核素浓度低于海水水质标准给出的限值，且即使考虑排放海域内放射性本底与核电厂液态流出物排放的叠加效应，放射性核素的浓度也均符合《海水水质标准》（GB 3097-1997）中相应的放射性指标要求。

### 6.2.6 公众的最大个人剂量

#### （1）气态途径

本工程运行状态下，气态途径释放的放射性物质对各年龄组（成人、青少年、儿童、婴儿）公众造成的最大个人有效剂量分别为  $1.68\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $1.68\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $1.58\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $1.54\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 。

#### （2）液态途径

本工程运行状态下，液态途径释放的放射性物质对各年龄组（成人、青少年、儿童、婴儿）公众造成的最大个人有效剂量分别为  $2.67\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $1.60\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $6.47\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 、 $2.47\text{E-}07\text{ Sv/a}$ 。

#### （3）气液态综合

本工程运行状态下，气液态途径释放的放射性物质对各年龄组（成人、青少年、儿童、婴儿）公众造成的最大个人有效剂量分别为  $4.35\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $3.28\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $2.23\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $1.79\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 。

各年龄组中成人组的剂量最大，为  $4.35\text{E-}06\text{ Sv/a}$ ，约占个人剂量约束值（ $0.08\text{mSv/a}$ ）的 5.44%，其中气态途径剂量为  $1.68\text{E-}06\text{ Sv/a}$ ，液态途径剂量为  $2.67\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 。

本工程建成后将与福清核电厂 1-4 号机组一起运行，6 台机组运行状态下，气液态途径综合释放的放射性物质对各年龄组（成人、青少年、儿童、婴儿）公众造成的最大个人有效剂量分别为  $1.48\text{E-}05\text{ Sv/a}$ 、 $1.13\text{E-}05\text{ Sv/a}$ 、 $8.19\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 、 $6.92\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 。各年龄组中成人组的剂量最大，为  $1.48\text{E-}05\text{ Sv/a}$ ，约占厂址个人剂量约束值（ $0.25\text{mSv/a}$ ）的 5.92%，其中气态途径剂量为  $6.50\text{E-}06\text{ Sv/a}$ ，液态途径剂量为  $8.28\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 。

## 6.2.7 非人类生物的辐射影响

本节主要估算福建福清核电站 5、6 机组正常运行时，由于气、液态放射性流出物的排放，所致周围环境介质中生物的辐射剂量水平。同时还考虑了福清核电站六台机组正常运行时对厂址周围生物的辐射影响。

### 6.2.7.1 生物的辐射效应

对水生生物而言，辐射效应主要来自外照射和内照射。其中外照射主要分为水体照射和底泥照射，内照射主要来自于生物体的食入照射。

对陆生生物而言，辐射效应主要来自外照射和内照射。其中外照射主要分为空气照射和土壤照射，内照射主要来自于生物体的食入照射。

### 6.2.7.2 评价模式

福建福清核电站 5、6 机组正常运行时，气、液态放射性流出物对周围环境介质中生物的辐射剂量采用 ERICA 程序计算。

### 6.2.7.3 参考生物的分类

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

### 6.2.7.4 参数选取

由生物的剂量率限值（ERICA 推荐所有生物的筛选值为  $10\mu\text{Gy/h}$ ）反推出各核素在环境介质中对不同生物体的浓度限值即为环境介质浓度限值，该参数与核素、媒介、生物种类有关，是一般筛选方法的技术基础。

### 6.2.7.5 水生生物辐射影响的估算

#### （1）福建福清核电站 5、6 号机组正常运行时水生生物辐射影响的估算

##### ①各水生生物影响率的计算

影响率是核素在介质中的浓度与相应 EMCL 的比率，该值反映了当前介质中该核素的浓度对该种水生生物的危险程度。福建福清核电站 5、6 机组近区海域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，福建福清核电站 5、6 机组正常运行时，液态流出物对周围水体中水生生物的辐射影响不大，水生生物是安全的。

##### ②剂量率估算

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，福建福清核电站 5、6 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）福建福清核电站 6 台机组正常运行时水生生物辐射影响的估算

福建福清核电厂 6 台机组正常运行时，近区海域中放射性核素对不同水生生物的影响率均在  $10^{-1}$  数量级以下。在 0~80km 海域范围内不同核素对各类水生生物所受的总剂量率均小于  $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，福建福清核电厂 6 台机组正常运行时，厂址附近 0~80km 海域范围内水生生物是安全的。

#### 6.2.7.6 陆生生物辐射影响的估算

##### (1) 福建福清核电厂 5、6 号机组正常运行时陆生生物辐射影响的估算

###### ① 陆生生物影响率的计算

影响率是核素在介质中的浓度与相应 EMCL 的比率，该值反映了当前介质中该核素的浓度对该种陆生生物的危险程度。福建福清核电厂 5、6 号机组正常运行时气载放射性核素对厂址周围不同陆生生物的影响率均在  $10^{-3}$  数量级以下，福建福清核电厂 5、6 号机组正常运行时，气载放射性流出物对周围陆生生物的辐射影响不大，陆生生物是安全的。

###### ② 剂量率估算

福清核电厂 5、6 号机组正常运行时，厂址附近陆域范围内各种陆生生物所受的剂量率均小于  $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，福清核电厂 5、6 号机组正常运行时，厂址附近陆域范围内陆生生物是安全的。

##### (2) 福建福清核电厂 6 台机组正常运行时陆生生物辐射影响的估算

###### ① 陆生生物影响率的计算

福清核电厂 1-6 号机组正常运行时气载放射性核素对厂址周围不同陆生生物的影响率均在  $10^{-3}$  数量级以下，福清核电厂 1-6 号机组正常运行时，气载放射性流出物对周围陆生生物的辐射影响不大，陆生生物是安全的。

###### ② 剂量率估算

福清核电厂 6 台机组正常运行时，厂址附近陆域范围内各种陆生生物所受的剂量率小于  $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，福清核电厂 6 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。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  $9.79\text{E-}02$  人·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出现在厂址 NNE 方位 1~2km 处，此处居住的是三山镇前薛自然村的村民，关键居民组为前薛村的成人组，受到的最大个人有效剂量为  $9.87\text{E-}07\text{Sv/a}$ 。

气态途径的主要途径为食入农产品和动物产品造成的内照射途径，约占气态途径总剂

量的 52.48%；其次为地面沉积外照射途径，约占气态途径总剂量的 36.27%；吸入内照射和空气浸没外照射途径分别占气态途径的 7.17%和 4.04%。气态途径的主要核素为 C-14，它所造成的剂量约占气态剂量的 41.95%；其它贡献较大的核素为 H-3 和 Co-60，分别占气态途径总剂量的 19.10%和 15.57%。

液态途径的主要途径为食入海产品造成的内照射途径，约占液态途径总剂量的 96.25%；其次为岸边沉积外照射途径，约占液态途径总剂量的 3.73%。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 76.00%；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 8.21%和 3.99%。

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  $4.70\text{E-}07\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 47.61%；其次为气态途径的食入农产品和动物产品的内照射途径，占气液态总剂量的 26.52%。各核素中关键核素为 C-14，它所造成的剂量为  $5.81\text{E-}07\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 58.80%；另外，Co-60 和 H-3 的剂量贡献也较大，分别占气液态总剂量的 11.93%和 10.39%。

本工程建成后将与福清核电厂 1-4 号机组一起运行，6 台机组运行状态下，最大个人有效剂量出现在厂址 NNE 方位 1~2km 处，此处居住的是三山镇前薛自然村的村民。关键居民组为前薛村的成人组，受到的最大个人有效剂量为  $7.36\text{E-}06\text{ Sv/a}$ 。关键途径为液态途径的食入海产品造成的内照射途径，其所致的剂量为  $6.25\text{E-}06\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 64.26%；其次为食入农牧产品造成的内照射途径，占气液态总剂量的 13.07%。各核素中关键核素为 C-14，它所造成的剂量为  $3.60\text{E-}06\text{ Sv/a}$ ，约占气液态总剂量的 48.96%；另外，Co-58 的剂量贡献也较大，占气液态总剂量的 14.94%。

## 6.2.9 辐射影响评价

综合上述计算分析，本工程及厂址 6 台机组运行状态下，气态和液态途径排放总量、液态途径排放的放射性核素的浓度以及公众最大个人有效剂量均满足相应国标要求。

本工程及厂址 6 台机组运行状态下，厂址附近 0~80km 范围内水生生物和陆生生物所受辐射剂量率均小于 ERICA 推荐的筛选值（ $10\mu\text{Gy/h}$ ）。

## 6.3 其他环境影响

### 6.3.1 化学污染物的环境影响

核电厂运行对环境的其它影响主要是化学物质向海域的排放，以及由此造成的海水水质变化对海洋生物的影响。

本工程排放的化学物质主要来自下列工艺过程产生的废水：

- 除盐处理排水；

## 一 循环水处理系统海水连续加氯处理和排水。

### 6.3.1.1 除盐处理过程产生的废水

核电厂除盐处理包括除盐水生产过程和凝结水精处理过程。此类废水中的化学物质是除盐过程和凝结水精处理过程中树脂再生废水产生的氯化盐和硫酸盐。

除盐处理和凝结水处理系统树脂床再生废水经中和处理后排入厂区排水管网，除盐水生产系统中反渗透装置的浓盐水（含盐量约为淡水含盐量的 4 倍）也排入厂区排水管网，再与循环冷却水排水混合，经混合后排入附近海域。被循环水排水稀释后，核电厂排水中含盐量，与海域内天然含盐量相比，核电厂排水中所增加的含盐量很低。《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中对含盐量没有限制，且含盐量也不是《海水水质标准》（GB3097-1997）中用于海水分类的项目指标。不会影响附近海域的海水质量。

### 6.3.1.2 海水连续加氯处理和排水

循环水处理系统中排放废水主要是制氯设备酸洗后的排放废水，间断排放，经中和处理后排入厂区雨水管网，再与厂区生产废水系统汇合稀释后，就近排放至厂区雨水管网，最终排入大海。关于含盐量的影响已经在第 6.3.1.1 节中进行了分析，不会影响海水的质

量。

循环水处理系统对流经循环水冷却系统的海水作连续加氯处理，即在取水设施处采取连续加入浓度达到 1mg/L 的次氯酸钠溶液。这个浓度可以防止海洋生物在整个循环水系统的管道内和排放口繁殖，以避免因其繁殖而导致的整个系统的管道断面缩小、阻力增加和流量的降低。

加入冷却水中的游离态氯衰减得很快，主要是与水中的氮、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（氯氨、有机胺、氯化合而成），如一氯胺（ $\text{NH}_2\text{Cl}$ ）、二氯胺（ $\text{NHCl}_2$ ）等。化合态余氯氧化能力低，在海水中比较持久稳定，但它的生物毒性远小于游离态氯。另一主要的因素是残余氯在海区中的稀释与扩散，冷却水排入海域后，随着潮汐和海流的运动，冷却水不断与海区中大量的海水进行混合，在这个过程中，残余氯亦得到稀释，不断扩散到海区中去，并进一步得到消耗。

冷却水系统中加入的次氯酸钠在冷却水中迅速地消耗，至排放口时，余氯浓度约为 0.15mg/L 左右。根据南海水产研究所的研究结果，当余氯浓度为 0.1mg/L 时，鱼的种类多样性指数下降 50%。根据法国格拉芙林核电站的研究结果，余氯浓度为 0.05mg/L 时，藻类的初生组织开始受到影响，浓度高于 0.3mg/L 时初生组织将完全受到抑制。浮游动物对氯化作用敏感性则较差，余氯浓度为 0.3mg/L 左右时，幼鲱的不孵化率为 36%，浓度为 0.05mg/L 时仅为 1%。可见，余氯浓度大于 0.05mg/L 时，才可能对海洋初级生产力造成影响

响。

余氯在环境水体中衰减很快，在水中的输移、分布主要依靠潮流的挟带，并非累积所致。根据《福清核电厂 5、6 号机组低放废水数值模拟补充计算研究报告》中关于余氯浓度场的计算结果和分析表明余氯浓度大于 0.05mg/L 时的影响范围有限。

### 6.3.2 其它污染物的环境影响

#### 6.3.2.1 生产废水和生活污水的影响

本工程其它生产废水主要为汽机厂房、主变压器和降压变压器平台等子项的非放射性含油废水。非放射性含油废水经过油水分离设施处理，其水质达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中的一级标准，排入室外雨水管网，最终排至大海；分离出来的污油在污油池内贮存，定期通过污油泵输送至污油车运走。

维修调试综合区及周围临建单位的生活污水汇集至维修调试综合区污水处理站，经处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排放至厂址东南部海域。厂前区生活污水经管道收集送至厂前区生活污水处理站（ED1）处理达标后，排至厂区北部海域。运行期主厂区各子项的生活污水通过相应污水管网汇集至主厂区的生活污水处理站（ED4），生活污水经生化处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）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，回用于绿化、道路浇洒等，回用剩余水量最终排入大海。生活污水处理的排放物除总有机物外，不会导致任何有毒化学物质进入受纳水体环境中。

满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准的生活污水和满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中一级标准的生产废水均允许排入《海水水质标准》（GB3097-1997）中海水二类功能区域。本工程海水区域为三类功能区域，满足排放条件。

本工程正常运行时生活污水处理站处理后的再生水回用于绿化、道路浇洒等，由于再生水产生高峰时段和再生水回用高峰时段不完全一致，可能出现再生水溢流排放的情况。但溢流排放的再生水量很小，排放入海后对海水水质的影响极小。

因此，生产废水和生活污水排放不会对附近海域的海水质量造成明显影响，是可以接受的。

#### 6.3.2.2 噪声的影响

福建福清核电厂 5、6 号机组运行对前薛自然村昼夜间的噪声贡献值约为 1dB(A)，远小于该点处的昼夜间噪声本底值，且该本底值已包含 1-4 号机组正常运行的噪声贡献值，因此，福建福清核电厂 5、6 号机组及全厂 6 台机组正常运行对前薛村的影响很小，满足

相应的标准限值要求。

福建福清核电厂 5、6 号机组运行后，南厂界所受影响较大，声源对南厂界的贡献值为 37.5dB(A)，西厂界所受影响最小，声源对西厂界的噪声贡献值为 20.3dB(A)，声源对北厂界和东厂界的噪声贡献值分别为 27.0dB(A)和 28.5 dB(A)。因此，福建福清核电厂 5、6 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 3 类标准限值，即昼间 65dB(A)和夜间 55dB(A)。

综上所述，福建福清核电厂 5、6 号机组运行及全厂 6 台机组正常运行时，对厂界的声环境质量影响满足标准要求，对附近敏感点的影响很小，满足相应的标准限值要求。

### 6.3.2.3 500kV 开关站的环境影响

本工程 500kV 开关站与秦山二期/秦山二期扩建、秦山三期共用的 500kV 开关站相比：

- \* 开关站电压等级都为 500kV；
- \* 开关站都布置在厂区内，且都为露天型、敞开式布置；
- \* 设备的环保要求都符合产品出厂标准。

根据《环境影响评价技术导则 输变电工程》（HJ 24-2014）标准中 8.1.1 节的规定可利用已运行的秦山二期/秦山二期扩建、秦山三期共用的 500kV 开关站电磁辐射强度和分布的实际测量，对本工程建成后电磁环境影响进行预测。

根据《秦山核电厂扩建项目（方家山核电工程）厂址区域电磁辐射本底调查和现状评价报告》（2011 年 12 月）可知，运行后的秦山二期/二期扩建/三期工程 500kV 开关站及 500kV 送电线路工频电磁、工频磁场强度及无线电水平均满足国家相关标准的要求。

《秦山核电厂扩建项目（方家山核电工程）厂址区域电磁辐射本底调查和现状评价报告》的编制背景为：秦山核电基地中秦山核电一期工程 1×300MW 机组、二期工程 2×650MWe 机组和三期工程 2×700MWe 机组正在运行，秦山二期扩建工程 2×650MWe 机组中 3#机组已经运行，4#机组正在调试，秦山核电厂扩建项目 2×1000MWe 核电机组正在建设。即秦山核电基地厂址区域现有电磁辐射源有已运行各核电工程各自所辖的主变压器、开关站、输变电路及三座移动通讯基站，该报告的主要评价结论如下：

——工频电磁/工频磁场：秦山核电基地内厂区工频电场强度监测值在 0.082V/m~1820V/m 之间，工频磁场强度在 0.02 $\mu$ T~52.4 $\mu$ T 之间；核电基地外环境敏感区工频电场强度监测值在 0.268V/m~843.9V/m 之间，工频磁场强度在 0.018 $\mu$ T~2.296 $\mu$ T 之间。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 $\mu$ T），符合标准要求。

——射频综合场强：秦山核电基地内厂区射频电场强度监测值在 0.12V/m~0.96V/m 之

间，核电基地外环境敏感区射频电场强度监测值在 0.12V/m~0.98V/m 之间。所有监测点监测值都小于《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）中规定的 12V/m 标准限值，符合标准要求。

根据《环境影响评价技术导则输变电工程》（HJ 24-2014）标准中 8.1.1 节可预测：福清 5、6 号机组建成后厂区内 500kV 开关站及线路的工频电磁、工频磁场强度能够满足国家相关标准的要求。

#### 6.3.2.4 固体废弃物的影响

本工程运行期产生的固体废物主要包括固体生活垃圾、一般工业废物和危险废物。固体生活垃圾按生活垃圾处理规定收集暂存并送到指定的垃圾消纳场处理。一般工业废物主要为生活污水处理过程中产生的污泥，对污泥进行减量化处理后，定期外运处理。危险废物包括废酸碱、过期的石油醚、丙酮、过氧化氢等化学品、矿物油及含矿物油废物、废弃的离子交换树脂等。本工程由具有收集、贮存、处置危险废物质质的单位对危险废物进行收集、处理和处置。废酸碱运送到酸碱中和池利用。过期的石油醚、丙酮、过氧化氢等化学品作为清洗类产品继续使用。矿物油及含矿物油废物等有利用价值的危险废物，委托有资质的单位利用。其它危险废物，委托有资质的单位处置。固体废物进行分类收集、贮存和处理后，定期外运处理或处置，在有效的管理下其影响是可接受的。

### 6.4 初步退役计划

#### 6.4.1 概述

对核电厂来说，退役是继选址、设计、建造、试运行和运行之后的最后一个阶段。它是一个包括源项调查、去污、厂内设备和系统的拆除、建筑物和结构的拆毁及对产生的废物进行处理、整备、处置等操作的过程。所有这些活动均要考虑操作人员和普通公众的健康和安全要求，也要考虑对环境产生的任何影响。目前越来越多的核电厂退役研究和经验表明，必须在设计、建造和运行阶段就对将来核电厂的退役进行充分考虑。选择合适的退役策略，尽可能在厂址选择、材料选择，系统和设备设计、厂房布局、设备布置等方面考虑退役因素，可以有效减少退役期间工作人员和公众的受照剂量，将退役对环境的影响和废物产生量降至可合理达到的尽量低，尽可能降低将来退役施工的难度和费用。本节主要对福建福清核电厂 5、6 号机组将来退役时的策略选择和阶段划分、退役计划的制定提出了初步设想，阐述了在设计阶段应考虑的有关因素和要求，并在退役费用和管理方面提出了考虑和设想。

#### 6.4.2 退役策略选择

目前国际原子能机构推荐的退役策略分为两种：立即拆除和延迟拆除。



- 1) 立即拆除是将被放射性污染的设备、结构和设施的污染部分移除或者去污至允许设施开放用于无限制使用或者由监管机构进行有限制使用水平的策略。在这种情况下，退役执行活动在运行停止后的短时间内就开始进行。这个策略隐含指出退役项目应该立即完成，包括将设施中的所有放射性材料移除至另一个新的或者已经存在的有资质的设施中进行长期贮存或者处置。
- 2) 延迟拆除是将设施被放射性污染的部分处理或者放置在一定条件下一段足够的时间，直到可以进行后续的去污和/或拆除等操作，从而最终达到允许设施开放用于无限制使用或者由监管机构进行有限制使用的策略。

立即拆除策略要求在核电站停止运行后的短时间内就开始进行退役，在这种情况下，核电站内部分区域的放射性水平较高，要求采用更为先进的技术并对工作人员提供更为严格的保护以降低工作人员所将受到的辐射照射；延迟拆除也许会减少退役所产生的放射性废物的量，并减少对现场人员的辐射照射，但有可能因延迟拆除导致出现系统包容性恶化、档案资料散失、人员流失及长期监督维护需要高额费用支撑等缺陷。

上述两种策略各有利弊，具体选择何种策略需要充分考虑核电站所在国家有关退役的法规政策、放射性废物管理能力、从事退役的工作人员、退役费用估算和筹资方式、其他机组的影响、退役技术发展及其对安全及环境的影响等方面的因素，满足核电站所在国家的放射性废物管理和核能发展战略要求。

福建福清核电厂 5、6 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，针对福建福清核电厂 5、6 号机组退役推荐选择立即拆除的退役策略。理由如下：

- 福建福清核电厂 5、6 号机组的部分废物处理系统经过必要的整治可在退役中继续使用。同时沿用 1、2 机组退役时建设的废物处理设施，使退役工作具备处理整备退役放射性废物的能力，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，核电站退役经费在各核电站商业运行期内提取，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，可保证待福建福清核电站 5、6 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，福建福清核电站 5、6 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。核电站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

核电站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

核电站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、目标及顺序

福建福清核电厂 5、6 号机组的退役针对福清 5、6 号机组，以及 1-4 号机组建设的且与 5、6 号机组共用的设施。5、6 号机组的退役范围包括 5、6 号机组的反应堆厂房（RX）、安全厂房（SL、SR）、燃料厂房（KX）、核辅助厂房（NX）、运行服务厂房（AR）、核废物厂房（7QX）、放射性机修及去污车间（7AC）、厂区实验楼（7AL）、核岛液态流出物排放厂房（7QA）、常规岛液态流出物厂房（7QB）、废油暂存库（7QR）、以及 1、2 号机组的核岛/常规岛废液排放厂房（QA/QB）、特种汽车库（AS）、放射性固体废物处理辅助厂房（QS）、固体废物暂存库（QT）、放射源库（YK）、新建废物处理设施、QS/QT 厂房至 QA/QB 厂房的液态流出物排放管沟等的退役活动进行初步安排，且其退役活动在 5、6 号机组停止运行后考虑立即开始。上述厂房都在去污达到目标值后拆毁，建筑垃圾运走，场地平整。

由于核电站选址需考虑多项因素，为了尽可能利用适宜的场址，建议在本场址退役后尽可能仍作为核设施基地继续使用。随着核电中长期发展规划的后续制定及升版，若明确了本场址在退役后的用途，则应将本核电站的退役计划进行升版，届时退役目标、退役范围等也应根据场址利用计划有针对性地进行调整，海工、电力、取排水等基础设施可根据其状况及后续工程建设方案等方面综合考虑进行保留或拆除。现阶段福建福清核电厂 5、6 号机组的退役目标暂时确定为：将福建福清核电厂 5、6 号机组所在场址建（构）筑物全部拆除，场址清理至无限制开放水平。

上述各放射性设施的拆除顺序简要描述如下：

- 切断反应堆厂房（5RX、6RX）与其他所有厂房的连接管路，并进行封堵；
- 将燃料厂房（5KX、6KX）内设备拆除；
- 对反应堆厂房（5RX、6RX）内设备进行拆除；
- 对核废物厂房（7QX）内工艺设备（除热洗衣房相关系统、可降解废物处理系统、地面排水相关收集及处理系统相关设备外）进行拆除；
- 对核辅助厂房（5NX、6NX）内除通风系统外其余设备进行拆除；
- 对安全厂房（5SL、5SR、6SL、6SR）内设备进行拆除；
- 对运行服务厂房（6AR）进行拆除；
- 对核废物厂房（7QX）内剩余设备进行拆除；
- 对运行服务厂房（5AR）内设备进行拆除；
- 对上述各厂房构筑物墙、地面进行去污；
- 对放射源库（YK）进行拆除；
- 对放射性机修及去污车间（7AC）内设备进行拆除，并对构筑物进行去污；

- 对厂区实验楼（7AL）内设备进行拆除，并对构筑物进行去污；
- 对特种汽车库（AS）进行拆除；
- 拆除核岛液态流出物排放厂房（7QA）和常规岛液态流出物排放厂房（7QB）内设备，并对构筑物进行去污；
- 拆除废油暂存库（7QR）内设备，并对构筑物进行去污；
- 对放射性固体废物处理辅助厂房（QS）进行拆除；
- 对固体废物暂存库（QT）进行拆除；
- 拆除 1、2 号机组的核岛/常规岛废液排放厂房（QA/QB）；
- 对废液排放管沟进行拆除清理；
- 场址清理，在场址清理前应完成去污后厂房构筑物拆除工作；
- 对新建废物处理设施内设备进行拆除，构筑物去污，拆除及周围场址清理。

上述放射性厂房退役时，可先对其中非放射性房间内的设备进行拆除，而后开展放射性房间的退役工作；对于非放射性厂房的拆除顺序需考虑其功能及作用；若其需为放射性厂房退役服务，则必须保证其在放射性厂房全部拆除完毕后再进行拆除；无需为放射性厂房退役服务的非放射性厂房可根据安排尽快开展拆除工作。非放射性厂房的拆除按照普通工业厂房拆除方法拆除即可。

#### 6.4.4.2 退役方案

福建福清核电厂 5、6 号机组的退役，考虑需要经历安全关闭——厂房内放射性物项拆除——建（构）筑物去污、拆毁——厂址清理等几个主要步骤，下面对退役方案简要介绍如下：

在安全关闭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）筑物进行表面剥离去污，直至解控。

厂房建（构）筑物去污完成后，进行建（构）筑物拆毁。

最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，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，福建福清核电厂 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  $\gamma$  辐射、陆地环境介质监测和海洋介质监测。环境  $\gamma$  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  $\gamma$  辐射： $\gamma$  辐射剂量率瞬时定点测量； $\gamma$  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)  $^{14}\text{C}$  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

在福建福清核电厂 5、6 号机组退役过程中，应根据《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011）、《放射性废物分类》（公告 2017 年第 65 号）等废物管理相关标准的规定对各类废物进行检测、分类、处理。

##### (1) 放射性固体废物

对退役过程中产生的高放废物进行包装和暂存采取深地质处置方式处置；低放废物可以在具有工程屏障的近地表处置设施中处置；极低放废物根据其材质及放射性水平分别进行收集和包装，送至新建废物处理设施进行处理，经检测进行解控或送至极低放填埋场填埋。

##### (2) 放射性液体废物

系统倒空、系统串洗过程中产生的放射性废液，用原废液处理系统进行处理。

设备离线去污产生的废液，通过去污设施内配建的废液处理系统进行处理。

退役过程中工作人员产生的洗澡水等放射性水平较低的废液，利用原有系统进行收集、处理及最终排放；当原有系统拆除后，利用新建的废物处理设施的相关系统进行收集、处理和排放。

### （3）放射性气载废物

退役过程中，放射性气载废物产生于使用热切割工具的拆除过程和对厂房构筑物进行表面剥离去污的过程以及厂房的维护排风过程。

在进行热切割时，在切割工位旁设置移动式通风装置，对产生的放射性粉尘及气溶胶进行过滤，过滤后的气体进入厂房排风系统；表面剥离机与高效工业吸尘器配套使用，过滤后的气体也将进入厂房排风系统。气流进入厂房排风系统后通过厂房的排风装置过滤后排放。

退役过程中厂房的通排风利用厂房屋原有的通风系统。

## 6.4.5 便于退役的考虑

目前越来越多的核电厂退役研究和经验表明，必须在设计、建造和运行阶段就对将来核电厂的退役进行充分考虑。尽可能在厂址选择、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。

福建福清核电厂 5、6 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。

### 6.4.5.1 材料选择

在核电厂设计建造期间，为便于今后核电厂的退役和拆除，在材料选用上采取了必要的措施，如：

- 反应堆运行中，易活化材料造成的辐射剂量直接影响反应堆退役时工作人员的受辐照水平，设计上对与反应堆冷却剂接触的材料种类及杂质含量进行了严

格控制，特别是易活化元素如钴、铯等都严格控制其使用范围，同时对容易进入食物链的银元素杂质含量也提出了控制要求。

- 考虑在可能受到污染的区域内避免使用多孔渗水材料（非惰性材料）。
- 尽量减少使用可能有害的物质，如腐蚀性物质、有毒物质、易燃金属等。
- 设计中考虑可循环利用材料的可回收性，不仅对受到污染或活化的区域以外使用的材料进行回收，在一定条件下也对区域内的材料进行回收。

#### 6.4.5.1 主要系统和设备设计

##### 1) 易清洁性

为了减少污染积累和方便去污，系统设备、管道及部件选用耐腐蚀、易清洁去污的材料，尽量使系统及设备能够方便排空。例如与放射性废液接触的设备一般采用不锈钢材料。贮槽及其他设备设计尽量采用了简单设计，避免设备有较复杂的内部构件以减少可能的放射性物质的沉积。

接触和处理放射性液体的系统管道在设计上尽量减少弯管存在和避免液封存在，减少了放射性物质的沉积。并且管道尽量采用焊接，尽量减少法兰、接头及弯头等可能造成放射性物质沉积部件的使用。管道设有足够的坡度，并且管道设有疏排管线以保证管道内液体的排空。

##### 2) 可拆除性

核岛内工艺设备在核岛厂房内的安装位置、安装方式以及安装路径均由核岛设备运输安装路径文件规定。该文件对箱罐类、泵及电机及其他附件、热交换器、除盐器、过滤器、冷冻机组、冷却器、消音器以及大型阀门的安装状况进行描述，并对这些设备安装、吊运过程中所使用的吊装设施进行描述。退役期间可以参考核岛设备运输安装路径文件对涉及的核岛工艺设备进行整体拆除、吊运出核岛厂房，或根据设备实际状况进行合理的拆除方案。

#### 6.4.5.2 设备布置

- 大部分的放射性阀门和设备被集中布置在单独的隔间内实现实体隔离，将放射性尽量集中到某一处，方便快速集中处理。
- 为便于操作位于放射性控制区的阀门，设置必要的阀门远传装置。
- 设计时考虑了设备运输通道、吊装设备以及检修空间，这些都有利于退役时设备的拆除。
- 主回路设备如压力容器、蒸汽发生器、反应堆冷却剂泵可以采用整体拆除方式，主设备运输通道及厂房外部的龙门架将一直保留，反应堆厂房设置有大型设备

安装洞，方便拆除这些大设备时使用。

- 输送反应堆冷却剂或其它放射性液体管道尽量减少产生死区，以防止系统中杂质的沉积。尽可能缩短放射性管道长度。
- 管道保温材料采用易于拆除的结构型式。

#### 6.4.5.3 限制系统污染和污染扩散的措施

- 在设计阶段划分辐射分区，识别在正常和事故情况下可能受到污染的区域，放射性系统和非放射性系统分开布置。
- 放射性废液储罐所在房间设置滞留池，防止废液蔓延。
- 所有带有放射性的房间地面在设计时均设计有一定的坡度，在地面的最低点设置有集水疏水地漏，通过专门的系统管线将废水收集到一起集中处理。
- 系统管道设置合理的坡度及疏水阀，保证实现系统的完全疏水。

#### 6.4.5.4 便于房间和设备去污的布置

- 反应堆厂房内层安全壳设置钢衬里，大大方便了该厂房的清洁作业和后续拆除。
- 所有带有放射性的房间墙面、地面以及天花板均采用耐辐照的涂层，这种表面涂料可以方便去污和清除，而且可以防止污染下层的混凝土表面。
- 所有的水下壁面均提供涂层或不锈钢覆面设计，保证废水不会对混凝土造成污染，这些混凝土可以重复使用。换料水池和乏燃料水池均设置了钢衬里。
- 采取措施防止设备表面污染物沉积：设备周围设置足够空间，方便去污操作。

#### 6.4.5.5 便于拆除阶段人员进出的措施

- 主要设备周围均设置通行区域，可以快速的将设备拆除运走，放射性装备均有专门的运输路径，在拆除时可以按照设计好的路径快速移除。所有这些措施都可以大大减少人工操作时的辐照水平和操作时间。
- 为运行和检修设计的人员通道，可在退役阶段使用。

#### 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：

- 工程设计文件应该随时更新。
- 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）。

已经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 3D 数字模型图。
- 对于选择性操作，允许使用和修改设备和构筑物的其他文件（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、图片检测、各种取样等等）。

最后两点特别需要通过监查清洁/废物分区的演变来确保。

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《核电厂建设项目经济评价方法》 NT/B20028-2011，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。

核电厂退役工程分两个阶段，第一个阶段为电厂的安全关闭期，第二个阶段为电厂退役期。

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，组织机构与生产运行阶段的组织机构相对应，在这一阶段将进行一系列的计划和调整，使核电厂从管理构架和硬件状态等方面都适应退役的目标和要求。

这个阶段是经历人员编制从适于运行到适于退役调减的主要过程，人员编制首先满足安全关闭期工作的需要，并且在安全关闭活动结束的时候人员编制应调整到适于退役期拆除活动的技术、实施和管理需求。

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) 福建福清核电厂 5、6 号机组在设计阶段已考虑方便退役工作的多项措施，在运行阶段也应继续对退役工作进行充分考虑。
- 3) 在核电厂安全关闭期，建议指定有关责任部门负责考虑、实施退役的前期工作。

核电厂退役将涉及国家政策、法规、经济和科学技术条件等问题。在核电厂运行寿期末采用的退役策略和退役方案，将根据技术经济的发展情况，在专门的退役阶段的可行性研究和环境影响评价工作中再行确定并分阶段实施。

表 6.1-1 模型比尺参数

$Q_r$	$V_r$	$n_r$	$t_r$
$3.5 \times 10^9$	10	1.15	35

表 6.1-2 厂址月均表层水温统计表

单位：℃

月份	2006 1	2006 2	2006 3	2006 4	2006 5	2006 6	2006 7	2005 8	2005 9	2005 10	2005 11	2005 12	平均
前薛	10.0	9.4	10.9	15.2	19.0	23.5	26.9	28.0	27.3	23.6	19.6	12.0	18.8
月份								2009 8	2009 9	2009 10			
前薛								29.3	28.5	23.8			

表 6.2-1 (1/2) 气态剂量计算剂量转换因子

核素\途径	空气浸没 Sv.m <sup>3</sup> /Bq.s	地表沉积 Sv.m <sup>2</sup> /Bq.s	食入				吸入			
			成人	青少年	儿童	婴儿	成人	青少年	儿童	婴儿
			Sv/Bq	Sv/Bq	Sv/Bq	Sv/Bq	Sv/Bq	Sv/Bq	Sv/Bq	Sv/Bq
H-3	3.31E-19	0.00E+00	4.20E-11	5.70E-11	7.30E-11	1.20E-10	2.70E-11	3.45E-11	4.65E-11	9.60E-11
C-14	2.65E-18	1.68E-20	5.80E-10	8.00E-10	9.90E-10	1.40E-09	6.20E-12	8.90E-12	1.10E-11	1.90E-11
Kr-85m	6.83E-15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Kr-85	2.55E-16	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Kr-87	3.94E-14	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Kr-88	9.72E-14	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe-133m	1.27E-15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe-133	1.39E-15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe-135	1.11E-14	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe-138	5.44E-14	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
I-131	1.85E-14	3.82E-16	2.20E-08	5.20E-08	1.00E-07	1.80E-07	7.40E-09	1.90E-08	3.70E-08	7.20E-08
I-132	1.14E-13	2.29E-15	2.90E-10	6.20E-10	1.30E-09	3.00E-09	9.40E-11	2.20E-10	4.50E-10	1.10E-09
I-133	3.00E-14	6.43E-16	4.30E-09	1.00E-08	2.30E-08	4.90E-08	1.50E-09	3.80E-09	8.30E-09	1.90E-08
I-134	1.32E-13	2.63E-15	1.10E-10	2.10E-10	3.90E-10	1.10E-09	4.50E-11	1.10E-10	1.80E-10	4.80E-10
I-135	8.09E-14	1.52E-15	9.30E-10	2.20E-09	4.70E-09	1.00E-08	3.20E-10	7.90E-10	1.70E-09	4.10E-09
Cr-51	1.53E-15	3.12E-17	3.80E-11	7.80E-11	1.20E-10	3.50E-10	3.70E-11	6.60E-11	1.00E-10	2.60E-10
Mn-54	4.14E-14	8.22E-16	7.10E-10	1.30E-09	1.90E-09	5.40E-09	1.50E-09	2.40E-09	3.80E-09	7.50E-09
Co-57	5.68E-15	1.16E-16	2.10E-10	5.80E-10	8.90E-10	2.90E-09	1.00E-09	1.50E-09	2.30E-09	4.40E-09
Co-58	4.82E-14	9.61E-16	7.40E-10	1.70E-09	2.60E-09	7.30E-09	2.10E-09	3.10E-09	4.50E-09	9.00E-09
Co-60	1.27E-13	2.38E-15	3.40E-09	1.10E-08	1.70E-08	5.40E-08	3.10E-08	4.00E-08	5.90E-08	9.20E-08
Fe-59	6.04E-14	1.13E-15	1.80E-09	4.70E-09	7.50E-09	3.90E-08	3.70E-09	5.50E-09	7.90E-09	1.80E-08

表 6.2-1 (2/2) 气态剂量计算剂量转换因子

核素\途径	空气浸没 Sv.m <sup>3</sup> /Bq.s	地表沉积 Sv.m <sup>2</sup> /Bq.s	食入				吸入			
			成人	青少年	儿童	婴儿	成人	青少年	儿童	婴儿
			Sv/Bq	Sv/Bq	Sv/Bq	Sv/Bq	Sv/Bq	Sv/Bq	Sv/Bq	Sv/Bq
Sr-89	4.46E-16	1.68E-18	2.60E-09	5.80E-09	8.90E-09	3.60E-08	7.90E-09	1.20E-08	1.70E-08	3.90E-08
Sr-90	1.33E+00	2.24E-04	2.80E-08	6.00E-08	4.70E-08	2.30E-07	1.60E-07	1.80E-07	2.70E-07	4.20E-07
Zr-95	3.65E-14	7.32E-16	9.50E-10	1.90E-09	3.00E-09	8.50E-09	4.80E-09	6.80E-09	9.70E-09	2.00E-08
Nb-95	3.78E-14	7.57E-16	5.80E-10	1.10E-09	1.80E-09	4.60E-09	1.50E-09	2.20E-09	3.10E-09	6.80E-09
Ru-103	2.28E-14	4.69E-16	7.30E-10	1.50E-09	2.40E-09	7.10E-09	2.40E-09	3.50E-09	5.00E-09	1.10E-08
Ru-106	0.00E+00	0.00E+00	7.00E-09	1.50E-08	2.50E-08	8.40E-08	2.80E-08	4.10E-08	6.40E-08	1.40E-07
Sb-125	2.05E-14	4.31E-16	1.10E-09	2.10E-09	3.40E-09	1.10E-08	4.80E-09	6.80E-09	1.00E-08	2.00E-08
Cs-134	7.66E-14	1.54E-15	1.90E-08	1.40E-08	1.30E-08	2.60E-08	2.00E-08	2.80E-08	4.10E-08	7.00E-08
Cs-136	1.07E-13	2.12E-15	3.00E-09	4.40E-09	6.10E-09	1.50E-08	2.80E-09	4.10E-09	5.70E-09	1.50E-08
Cs-137	2.92E-14	6.03E-16	1.30E-08	1.00E-08	9.60E-09	2.10E-08	3.90E-08	4.80E-08	7.00E-08	1.10E-07
Ba-140	8.83E-15	2.00E-16	2.60E-09	5.80E-09	9.20E-09	3.20E-08	5.10E-09	7.60E-09	1.10E-08	2.70E-08
Ce-141	3.53E-15	7.51E-17	7.10E-10	1.50E-09	2.60E-09	8.10E-09	3.20E-09	4.60E-09	4.60E-09	5.00E-04

表 6.2-2 气态剂量计算转移系数和浓集因子

核素\途径	浓集因子		转移系数	
	牧草	农作物可食部分	奶 d/L	肉 d/kg
Ba	1.00E-01	5.00E-02	5.00E-03	2.00E-03
Ce	1.00E-01	5.00E-02	3.00E-04	2.00E-04
Co	2.00E+00	8.00E-02	1.00E-02	7.00E-02
Cr	1.00E-01	1.00E-03	2.00E-04	9.00E-02
Cs	1.00E+00	4.00E-02	1.00E-02	5.00E-02
Fe	1.00E-01	1.00E-03	3.00E-04	5.00E-02
I	1.00E-01	2.00E-02	1.00E-02	5.00E-02
Mn	1.00E+01	3.00E-01	3.00E-04	7.00E-04
Nb	2.00E-01	1.00E-02	4.00E-06	3.00E-06
Ru	2.00E-01	5.00E-02	3.00E-05	5.00E-02
Sb	1.00E-01	1.00E-03	2.50E-04	5.00E-03
Sr	1.00E+01	3.00E-01	3.00E-03	1.00E-02
Zr	1.00E-01	1.00E-03	6.00E-06	1.00E-05

表 6.2-3 (1/2) 液态剂量计算剂量转换因子和沉积吸附分配系数

核素	地面沉积	水中浸没	食入有效 Sv/Bq				底泥沉积吸附分配系数
	Sv.m <sup>2</sup> /Bq.s	Sv.m <sup>3</sup> /Bq.s	成人	青少年	儿童	婴儿	m <sup>3</sup> /kg
H-3	0.00E+00	0.00E+00	4.20E-11	5.70E-11	7.30E-11	1.20E-10	1.00E-04
C-14	1.68E-20	2.99E-21	5.80E-10	8.00E-10	9.90E-10	1.40E-09	2.00E-01
Ag-110	1.65E-16	4.69E-18	—	—	—	—	1.00E-01
Ag-110m	2.85E-15	3.02E-16	2.80E-09	5.20E-09	7.80E-09	2.40E-08	1.00E-01
Ba-140	2.44E-15	2.76E-16	4.60E-09	1.00E-08	1.60E-08	5.20E-08	5.00E-01
Br-84	1.73E-15	2.07E-16	8.80E-11	6.00E-11	2.80E-10	1.00E-09	—
Ce-141	7.51E-17	7.78E-18	7.10E-10	1.50E-09	2.60E-09	8.10E-09	2.00E+02
Ce-143	3.19E-16	2.89E-17	1.10E-09	2.40E-09	4.10E-09	1.20E-08	2.00E+02
Ce-144	1.86E-16	7.03E-18	5.25E-09	1.11E-08	1.92E-08	6.66E-08	2.00E+02
Co-58	9.61E-16	1.04E-16	7.40E-10	1.70E-09	2.60E-09	7.30E-09	2.00E+01
Co-60	2.38E-15	2.77E-16	3.40E-09	1.10E-08	1.70E-08	5.40E-08	3.60E-01
Cr-51	3.12E-17	3.34E-18	3.80E-11	7.80E-11	1.20E-10	3.50E-10	5.00E+00
Cs-134	1.54E-15	1.66E-16	1.90E-08	1.40E-08	1.30E-08	2.60E-08	3.00E-01
Cs-136	2.12E-15	2.34E-16	3.00E-09	4.40E-09	6.10E-09	1.50E-08	3.00E-01
Cs-137	6.06E-16	6.71E-17	1.30E-08	1.00E-08	9.60E-09	2.10E-08	2.40E-01
Fe-55	0.00E+00	0.00E+00	3.30E-10	1.10E-09	1.70E-09	7.60E-09	5.00E+00
Fe-59	1.13E-15	1.31E-16	1.80E-09	4.70E-09	7.50E-09	3.90E-08	5.00E+00
I-131	3.82E-16	4.04E-17	2.20E-08	5.20E-08	1.00E-07	1.80E-07	2.00E-03
I-132	2.29E-15	2.46E-16	2.90E-10	6.20E-10	1.30E-09	3.00E-09	2.00E-03
I-133	6.42E-16	6.79E-17	4.30E-09	1.00E-08	2.30E-08	4.90E-08	2.00E-03
I-135	1.52E-15	1.75E-16	9.30E-10	2.20E-09	4.70E-09	1.00E-08	2.00E-03
La-140	2.24E-15	2.57E-16	2.00E-09	4.20E-09	6.80E-09	2.00E-08	5.00E-01
Mn-54	8.22E-16	8.98E-17	7.10E-10	1.30E-09	1.90E-09	5.40E-09	1.50E-02
Mo-99	3.07E-16	2.95E-17	1.24E-09	2.40E-09	4.10E-09	1.55E-08	—

表 6.2-3 (2/2) 液态剂量计算剂量转换因子和沉积吸附分配系数

核素	地面沉积	水中浸没	食入有效 Sv/Bq				沉积吸附分配系数 m <sup>3</sup> /kg
	Sv/(Bq s m <sup>-2</sup> )	Sv/(Bq s m <sup>-3</sup> )	成人	青少年	儿童	婴儿	
Na-24	3.71E-15	4.79E-16	4.30E-10	7.70E-10	1.20E-09	3.50E-09	1.00E-03
Nb-95	7.57E-16	8.20E-17	5.80E-10	1.10E-09	1.80E-09	4.60E-09	5.00E+01
Np-239	1.66E-16	1.73E-17	8.00E-10	1.70E-09	2.90E-09	8.90E-09	5.00E-01
Pr-143	2.07E-17	2.27E-19	1.20E-09	2.60E-09	4.30E-09	1.40E-08	2.00E+02
Pr-144	1.65E-16	5.07E-18	5.00E-11	9.50E-11	1.70E-10	6.40E-10	2.00E+02
Rb-88	7.62E-16	7.50E-17	9.00E-11	1.70E-10	3.00E-10	1.10E-09	—
Rh-103m	1.32E-18	2.18E-20	3.80E-12	7.40E-12	1.30E-11	4.70E-11	3.00E-02
Rh-106	3.54E-16	2.37E-17	1.60E-10	3.30E-10	5.30E-10	1.40E-09	3.00E-02
Ru-103	4.70E-16	4.95E-17	7.34E-10	1.51E-09	2.41E-09	7.15E-09	3.00E-02
Ru-106	3.54E-16	1.08E-16	7.16E-09	1.53E-08	2.55E-08	8.54E-08	3.00E-02
Sr-89	6.89E-17	5.23E-19	2.60E-09	5.80E-09	8.90E-09	3.60E-08	1.00E-01
Sr-90	1.12E-16	1.14E-18	2.98E-09	6.59E-08	5.70E-08	2.61E-07	1.70E-02
Sr-91	1.09E-15	1.09E-16	1.68E-09	3.43E-09	5.87E-09	1.72E-08	1.00E-01
Tc-99m	1.22E-16	1.33E-17	6.40E-10	1.30E-09	2.30E-09	1.00E-08	1.00E-02
Te-129	1.18E-16	6.41E-18	6.30E-11	1.20E-10	2.10E-10	7.50E-10	1.00E-01
Te-129m	1.79E-16	9.98E-18	3.06E-09	6.72E-09	1.22E-08	4.48E-08	1.00E-01
Te-131	4.94E-16	4.54E-17	8.70E-11	1.90E-10	3.50E-10	9.00E-10	1.00E-01
Te-131m	1.39E-15	1.54E-16	1.90E-09	4.30E-09	7.80E-09	2.00E-08	1.00E-01
Te-132	2.31E-16	2.31E-17	3.80E-09	8.30E-09	1.60E-08	4.80E-08	1.00E-01
W-187	4.89E-16	5.04E-17	6.30E-10	1.30E-09	2.20E-09	5.50E-09	—
Y-90	1.10E-16	1.03E-18	2.70E-09	5.90E-09	1.00E-08	3.10E-08	1.00E+03
Y-91	7.49E-17	9.56E-19	2.40E-09	5.20E-09	8.80E-09	2.80E-08	1.00E+03
Y-91m	5.33E-16	5.61E-17	1.10E-11	2.10E-11	3.30E-11	9.20E-11	1.00E+03
Y-93	2.14E-16	1.13E-17	1.20E-09	2.50E-09	4.30E-09	1.40E-08	1.00E+03
Zn-65	5.60E-16	6.36E-17	3.90E-09	6.40E-09	9.70E-09	3.60E-08	2.00E+00
Zr-95	7.32E-16	7.91E-17	9.50E-10	1.90E-09	3.00E-09	8.50E-09	1.00E+02



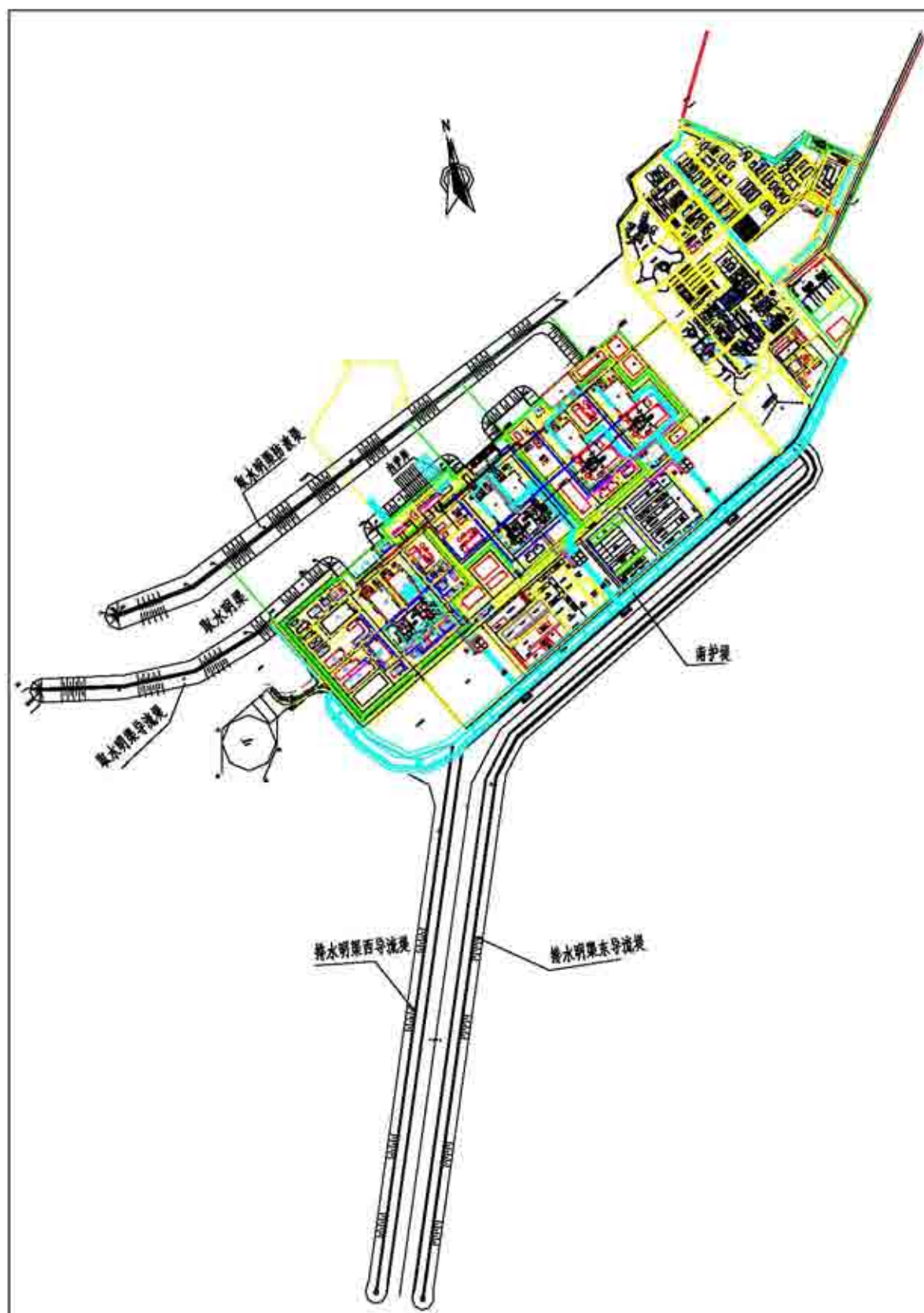


图 6.1-1 取排水工程平面布置图



图 6.1-2 物模模拟范围

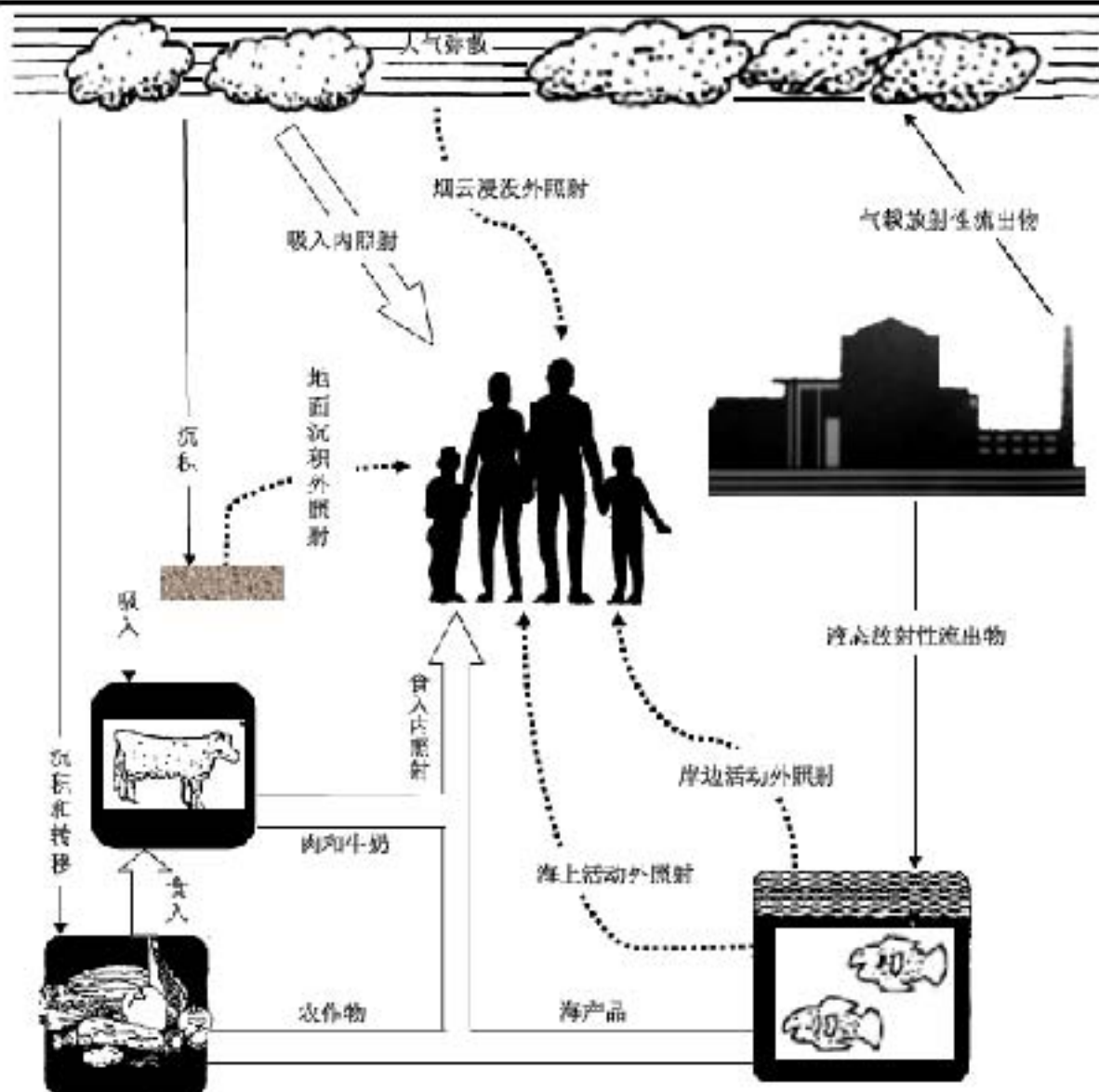


图 6.2-1 气、液态放射性流出物对公众的照射途径

## 第七章 核电厂事故的环境影响和环境风险

### 7.1 核电厂放射性事故和后果评价

#### 7.1.1 事故描述和事故源项

#### 7.1.2 事故后果计算

#### 7.1.3 事故后果评价

### 7.2 严重事故

#### 7.2.1 事故描述

#### 7.2.2 事故后果

#### 7.2.3 严重事故预防和缓解方案

### 7.3 场内运输事故

#### 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 制定场内应急预案的依据

#### 7.5.2 应急组织及其职责

#### 7.5.3 与场外应急组织接口

#### 7.5.4 应急状态分级

#### 7.5.5 应急设施设备

#### 7.5.6 应急计划区的划分

## 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。福建福清核电厂 5、6 号机组采用华龙一号机型,本章根据华龙一号机组设计基准事故源项,采用福建福清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。

福建福清核电厂 5、6 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

上述事故中包含了 9 个设计基准事故。其中,失水事故、控制棒弹出事故、卡轴事故、主蒸汽管道破裂事故和燃料操作事故属于 GB 6249-2011 中规定的极限事故;蒸汽发生器传热管破裂事故、安全壳外含有一次侧冷却剂小管道破损事故、废气处理系统衰变箱破裂事故和化容系统容积控制箱破裂事故属于 GB 6249-2011 中规定的稀有事故。

### 7.1.1 事故描述

#### 7.1.1.1 失水事故

— 回路系统中等效直径超过 34.5cm 的破裂事故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。

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。

弹棒事故属于极限事故。

#### 7.1.1.3 蒸汽发生器传热管破裂事故

本节分析的是蒸汽发生器一根传热管完全双端剪切断裂的事故。

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，则放射性蒸汽将通过蒸汽发生器的大气释放阀向大气排放。

蒸汽发生器传热管破裂事故属于稀有事故。

#### 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

这类事故是由与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，允许操纵员实施正常停堆。排放物所含放射性核素浓度与一回路冷却剂的相同。

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，并处理和控制在气体放射性流出物向厂址环境的释放。

处理废气使用了一个气体缓冲罐、几个过滤器和几台压缩机。在换料前反应堆先停堆，刚好此时 ZGT 系统的废气总量最大。

考虑负荷跟踪运行情况下该事故的环境排放源项。

废气处理系统衰变箱破裂事故属于稀有事故。

### 7.1.1.8 化学容积控制系统容控箱破裂事故

某些液体罐也装有放射性气体。这些罐破损也会使气体向环境释放。

这类事故中的设计基准事故是化学和容积控制系统（RCV）罐破损。

在正常运行条件下，化学和容积控制系统（RCV）罐内贮存的放射性活度，尤其是气态活度是最大的放射性活度。

容积控制罐如果完全破损，该罐中全部液体和气体就释放到罐所在的房间中，并且在操纵员隔断 RCV 下泄管线之前，还会有一定量的液体继续释放出来。

化学溶剂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

燃料装卸期间发生的事故可能有以下几类：

- 反应堆水池内燃料组件坠落；
- 乏燃料池内燃料组件坠落；
- 乏燃料容器在燃料厂房外坠落；
- 乏燃料容器在燃料厂房内坠落。

燃料操作事故是指，如果一个燃料组件坠落在反应堆水池内，由于安全壳换气通风系统的自动关闭和装卸料停堆期间为了确保反应堆厂房的密封所采取的预防措施，使得反应堆厂房外的受照剂量可以忽略不计。在运行人员向反应堆厂房外撤离期间，人员闸门打开，事实上，没有空气从反应堆厂房通过气闸向核辅助厂房的转移，而气闸在撤离完毕后关上。

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

采用福建福清核电厂（2017.05~2019.04）10m高度的风向、风速、大气稳定度三维联合频率，考虑厂址实测大气扩散参数计算短期大气弥散因子。计算全厂址时间保证概率水

平为95%以及各方位概率水平为99.5%的高斯烟羽轴浓度的小时大气弥散因子，取各方位的最大值与全厂址95%概率水平的值比较，取其中较大值作为0~2小时保守的大气弥散因子；取全厂址50%概率水平的小时大气弥散因子作为0~2小时现实的大气弥散因子。对于释放持续时间长于2小时的大气弥散因子，则利用小时大气弥散因子与年均大气弥散因子，采用双对数内插的方法求得。

#### 7.1.2.2 事故剂量

对各类设计基准事故分别计算了非居住区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。

考虑上述三种照射途径，分别计算非居住区边界处公众在各设计基准事故后 2h 内，以及规划限制区边界处公众在各设计基准事故持续期间受到的有效剂量以及甲状腺当量剂量。

外照射剂量转换因子取自 GB18871-2002 和美国联邦导则第 12 号报告中的推荐值。吸入内照射剂量转换因子取自于 GB18871-2002，甲状腺内照射剂量转换因子取自于 ICRP71 号报告；对于 ICRP71 号报告缺少的核素的甲状腺剂量转换因子，则取用美国联邦导则 11 号报告中的推荐值。

#### 7.1.3 事故后果评价

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB 6249-2011）中规定，对于设计基准事故的潜在照射后果应符合下列要求：

在发生一次稀有事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 50mSv 以下。

在发生一次极限事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 0.1Sv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 1Sv 以下。

对福建福清核电厂 5、6 号机组 9 类设计基准事故的潜在放射性后果进行了评价，结果表明事故对非居住区边界及规划限制区边界处的公众造成的有效剂量及甲状腺当量剂量均小于 GB 6249-2011 的相关剂量控制值，事故剂量后果满足国标的要求。



## 7.2 严重事故

### 7.2.1 事故描述

对于严重事故，“华龙一号”机组设计上考虑了完善的严重事故预防及缓解措施，可以防止大量放射性向环境释放的严重事故发生。在本阶段，采用 NUREG-1465 中的全堆芯熔化的严重事故假设，考虑机组安全壳完整的情况下评价严重事故的放射性后果。

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

### 7.2.2 事故后果

采用 NUREG/CR-4691 推荐的事故后果评价模式计算严重事故造成的放射性后果。NUREG/CR-4691 模拟了放射性物质释放入大气的严重事故的场外后果。NUREG/CR-4691 提出的评价模式可以估算公众剂量，健康效应以及环境污染的经济代价和损失。

计算 NUREG-1465 严重事故条件下，场外公众在事故后的 2 天、7 天内所受到的有效剂量，在距离反应堆中心 2km 处，7 天内的预期有效剂量超过 50mSv 的概率低于 2%；在距离反应堆中心 5km 处，2 天内的预期有效剂量超过 10mSv 的概率低于 2%。在距反应堆中心 1km 处，1 月内的预期有效剂量超过 100mSv 的条件概率低于 5%；在距反应堆中心 2km 处，1 年内的预期有效剂量超过 100mSv 的条件概率低于 5%。

结果表明公众所受 2 天有效剂量和 7 天有效剂量以及 1 月内的预期有效剂量和 1 年内的预期有效剂量满足国标 GB 18871-2002 规定的通用优化干预水平的要求。

### 7.2.3 严重事故预防和缓解方案

华龙一号核电机组作为第三代核电厂，通过双层安全壳、一回路快速卸压子系统、堆腔注水冷却系统、安全壳消氢系统、非能动安全壳热量导出系统、安全壳过滤排放系统等系统设置，在设计上针对高压熔融物喷射、蒸汽爆炸、氢气燃烧或爆炸、堆芯熔融物与混凝土相互作用、安全壳晚期超压失效等造成安全壳失效的威胁均考虑了相应的缓解措施。

## 7.3 场内运输事故

### 7.3.1 新燃料运输事故

福建福清核电厂 5、6 号机组选用的新燃料运输容器，容器的设计和制造满足我国 GB《放射性物质安全运输规程》（11806-2019）及相关法规标准的要求。

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，即使发生标准规定的运输事故使容

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《放射性物质安全运输规程》（11806-2019）及相关法规标准的要求，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，我国已多次完成大亚湾乏燃料组件厂外运输工作，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。同时，标准规定的假想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

福建福清核电厂 5、6 号机组运行过程中产生的低、中水平放射性固体废物，厂外运输的是 400L 钢桶废物包，在福建福清核电厂 1、2 号机组的 QT 库贮存一定年限后，再运往低、中放废物区域处置场。放射性固体废物的运输拟采用公路运输，而公路运输的经验表明，事故发生率以及预计事故次数都是很低的。此外，在放射性固体废物运输过程中将严格遵守《放射性物质安全运输规程》（11806-2019）中的有关要求。废物桶的设计和制造满足《低、中水平放射性固体废物包装容器 钢桶》（EJ 1042-2014）的要求。固定废物体性能满足《放射性废物体和废物包的特性鉴定》（EJ 1186-2005）的要求。废物包性能满足《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》（GB 12711-1991）的要求。即使在运输过程中废物桶从运输车辆上掉下来，最大限度只会造成废物包外容器的局部损坏，无内容物散落，不会对环境造成污染。

## 7.4 其他事故

在本电站中其它事故不会或极少可能导致放射性物质向环境释放，但可能产生其它一些影响环境的后果（例如化学物质爆炸、火灾、化学物品泄漏）。设计中已对这类事故给予充分的注意，采取了切实的保护措施，可以把事故发生的可能性和对环境的可能影响减

至最小。

厂区内贮存的化学物品中除了氢气以外，都不是直接易爆的化学物。氢气和氮气是一起作为覆盖气体用于清除一回路冷却剂中的氧。清除覆盖气体时，是将这些气体排入放射性废气处理系统的衰变箱内。废气处理系统中配备有氢氧监测器，氢气和氧气不会在系统中积聚到危险的数量，因而不会发生氢气爆炸事故。

福建福清核电厂 5、6 号机组的防火设计严格执行有关的设计规范，贯彻以防为主，消防结合的方针。通过预防火灾、限制火灾蔓延、火灾探测以及通过自动的或由电站运行人员操作的灭火措施来实现防火的目的。尽量使用非易燃的建筑材料和设备，对易产生火灾的物品要选择好安全贮存的位置。在设计中要考虑限制火灾蔓延的措施和设施。

液体状态的酸碱溶液，用槽车运入电厂内，盛装在专用贮槽或贮罐内。对运输和装卸采取一些保护措施，确保不会发生溅落或溢出。贮槽或贮罐均采用耐腐蚀材料和保守的设计，保证它们不会发生破裂或泄漏。箱室有足够高的覆面，即使发生泄漏，泄漏液也能被收集，不会释放到环境中。因此酸碱溶液在运输、装卸和贮存期间，预期不会导致环境风险。

厂区内不会有危险数量的汽油贮存。应急柴油机房贮存有一定量的柴油，对此设计了安全防火系统，确保不会发生危及环境安全的火灾。

危险品仓库内仅贮有少量化学试剂，不贮存危险数量的酸碱溶液，不存在危及环境安全的化学物品泄漏事故的可能性。

## 7.5 事故应急

### 7.5.1 制定场内应急预案的依据

《中华人民共和国核安全法》（中华人民共和国主席令第七十三号）要求核设施首次装投料前，核设施营运单位应当提交应急预案作为申请运行许可的支持材料。核安全法规《核电厂核事故应急管理条例》（HAF002）要求电厂在选址和设计阶段考虑核事故应急工作，新建核电厂必须在其场内和场外核事故应急计划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）规定在核电厂出现应急状态时，应有效实施应急响应，及时向国家核安全部门报告事故情况并与场外应急机构协调配合，以保证工作人员、公众和环境的安全。

### 7.5.2 应急组织及其职责

福建福清核电有限公司作为福清核电的业主和营运单位，按照“常备不懈，积极兼容，统一指挥，大力协同，保护公众，保护环境”的应急管理工作方针，开展场区内应急准备

工作，在事故工况下采取及时有效的应急响应行动，保护工作人员和公众的健康、保护环境。

福清核电应急准备和响应遵循国家有关核安全责任的法规，保证核安全责任在应急组织的职责分配和应急响应的全过程得到充分的落实。

### 7.5.2.1 应急准备组织与职责

福清核电应急准备组织为生产运行组织机构。福清核电应急准备工作由公司法人领导下的总经理部及其下属各专业责任处室即应急准备责任处室承担，应急准备工作的归口管理部门为环境应急处。

#### 7.5.2.1.1 公司董事长/党委书记/法定代表人

- (1) 作为福清核电应急准备工作的第一责任人；
- (2) 贯彻国家核应急工作方针和政策；
- (3) 制定、修订和实施场内应急预案及其执行程序，做好核应急准备；
- (4) 应急状态下担任应急总指挥。

#### 7.5.2.1.2 总经理

- (1) 执行国家核应急工作方针和政策；
- (2) 负责组织协调应急准备工作；
- (3) 应急状态下担任常务副总指挥。

#### 7.5.2.1.3 分管公司领导

(1) 根据《福清核电厂 1-6 号机组场内应急预案》及应急准备程序的规定，协助总经理负责规范且高标准开展分管领域内的应急准备工作的组织与落实。

#### 7.5.2.1.4 各处室

- (1) 通过规范组织专项应急培训与演练演习，确保其所辖应急岗位人员保持并逐步提高应急响应能力；
- (2) 通过规范开展定期检查/试验/检测/改造等管理措施，确保所辖应急设施、设备、物资、器材等应急物项处于良好且随时可用状态，同时确保所辖设施内应急文件的有效性；
- (3) 负责督促所辖非应急人员严格按照应急准备程序的要求参加应急培训与演习演练活动。

#### 7.5.2.1.5 兼职应急管理工程师

- (1) 各处室兼职应急管理工程师应具备工程师及以上资格要求；
- (2) 负责督促所属处室规范且高标准开展各项应急准备工作；

- (3) 负责督促处室所辖应急设施设备物资器材以及应急文件的规范管理；
- (4) 负责督促所属处室专项应急培训与演习的规范管理；
- (5) 在应急状态下担任应急集合点应急协调员。

#### 7.5.2.1.6 福清核电非应急人员

- (1) 参加应急培训与演习演练，确保熟悉执行应急防护行动的流程。

#### 7.5.2.1.7 外协单位和外驻单位的非应急人员

场区范围内所有单位，包括福清核电承包商、提供支持服务的单位和驻福清核电履行消防保卫等职责的单位的非应急人员，应严格按照场内应急预案和有关应急准备程序的要求参加应急培训与演习演练活动，确保熟悉执行应急防护行动的流程和要求。必要时，根据应急指挥部的要求开展应急响应行动。

#### 7.5.2.2 应急响应组织与职责

福清核电场内应急响应组织（以下简称“应急组织”）由应急指挥部及其领导下的运行控制一组、运行控制二组、运行控制三组、应急抢修一组、应急抢修二组、应急抢修三组、抢修支持组、安全防护组、网络保障组、应急秘书组、技术支持组、设备支持组、公众信息组、消防保卫组和后勤保障组组成。

场内应急组织的主要职责是：

- (1) 执行国家核应急工作的方针和政策；
- (2) 制定、修订和实施场内应急预案，做好核应急准备；
- (3) 规定应急组织的任务及相互间的接口；
- (4) 确定应急状态等级，统一指挥场区内应急响应行动和应急防护行动；
- (5) 及时采取措施，预防事故发生、缓解事故后果；
- (6) 保护场区内工作人员的安全；
- (7) 进行场内的辐射监测，必要时进行场外的辐射监测；
- (8) 及时向国家核应急办、国家能源局、国家核安全局、华东核与辐射安全监督站和福建省核应急办、中核集团公司、中国核能电力股份有限公司报告事故情况，并保持在事故过程中的紧密联系；
- (9) 提出进入场外应急状态和场外公众采取应急防护行动的建议；
- (10) 根据事态发展向福建省场外应急组织和中核集团等提出应急支援请求；
- (11) 根据中核集团应急指挥部的指令，参加其他核电厂的核应急支援工作；
- (12) 配合和协助福建省场外核应急组织做好核应急响应工作；

(13) 做好公众信息收集、舆情应对的准备工作。

#### 7.5.2.2.1 应急指挥部

应急指挥部是福清核电应急响应期间最高决策机构，全面负责指挥和协调福清核电场区内应急响应行动和应急防护行动，以及与国家、地方及行业主管部门等场外应急组织进行联系和协调。

应急指挥部由应急总指挥、常务副总指挥、运行副总指挥、抢修副总指挥、安全副总指挥、技术副总指挥、公众信息副总指挥、后勤保障副总指挥组成。

##### 1) 应急总指挥

应急总指挥作为福清核电应急响应行动的第一责任人，负责领导并指导场内应急响应行动和应急防护行动，负责与场外应急组织的联络。

##### 2) 常务副总指挥

常务副总指挥负责指挥、协调场内应急响应行动和应急防护行动，及时将应急状态进展及发展趋势等事宜汇报应急总指挥。应急状态下在应急指挥中心应急指挥室就位。

- (1) 批准进入/终止应急待命、厂房应急和场区应急状态；
- (2) 批准对外应急通告和报告等应急信息单；
- (3) 批准新闻通稿及拟发布的公众相关信息；
- (4) 批准场内非应急人员执行应急防护行动的建议；
- (5) 批准进入/退出严重事故管理；
- (6) 批准缓解严重事故采取的应对策略；
- (7) 批准非事故机组运行模式及拟采取措施的建议；
- (8) 经应急总指挥授权，向场外应急组织提出进入或终止场外应急状态的建议；
- (9) 经应急总指挥授权，向场外应急组织提出应急支援的请求；
- (10) 经应急总指挥授权，向场外应急组织提出公众采取应急防护行动的建议。

##### 3) 运行副总指挥

运行副总指挥负责协助常务副总指挥开展运行控制应急响应行动；应急状态下在应急指挥中心应急指挥室就位；

- (1) 负责指挥运行控制一组、运行控制二组、运行控制三组；
- (2) 向常务副总指挥提出非事故机组运行模式及拟采取措施的建议；
- (3) 向常务副总指挥提出进入/终止应急状态的建议；
- (4) 根据多重事件应急状态判定准则，向常务副总指挥提出多机组应急状态等级

分级建议：

- (5) 向常务副总指挥提出应急移动设备调用的建议；
- (6) 向常务副总指挥提出进入严重事故管理的建议；
- (7) 指挥、协调应急移动电源接入、应急补水等福岛改进行动的实施；
- (8) 参与应急指挥部的决策。

#### 4) 抢修副总指挥

抢修副总指挥负责协助常务副总指挥开展应急抢修应急响应行动；应急状态下在应急指挥中心应急指挥室就位；

- (1) 负责指挥应急抢修一组、应急抢修二组、应急抢修三组和抢修支持组；
- (2) 经常务副总指挥授权负责批准应急抢修方案；
- (3) 指挥、协调厂房内失踪人员的搜救等行动；
- (4) 协调应急移动电源接入、应急补水等福岛改进行动的实施；
- (5) 参与应急指挥部决策。

#### 5) 安全副总指挥

安全副总指挥负责协助常务副总指挥开展安全防护、网络保障、应急秘书等应急响应行动。应急状态下在应急指挥中心应急指挥室就位。

- (1) 负责指挥安全防护组、网络保障组和应急秘书组；
- (2) 向常务副总指挥提出非应急人员执行应急防护行动的建议；
- (3) 向常务副总指挥提出场外公众采取应急防护行动的建议；
- (4) 向常务副总指挥提出应急人员采取应急辐射照射控制措施等应急防护行动的建议；

建议：

- (5) 参与应急指挥部的决策。

#### 6) 技术副总指挥

技术副总指挥协助常务副总指挥开展技术支持、设备支持等应急响应行动，应急状态下在应急指挥中心应急指挥室就位。

- (1) 负责指挥技术支持组和设备支持组；
- (2) 向常务副总指挥提出退出严重事故管理的建议；
- (3) 向常务副总指挥提出事故机组对非事故机组的影响及采取措施的建議；
- (4) 协调严重事故管理导则的运作；
- (5) 协调场外技术支持资源；

(6) 参与应急指挥部的决策。

#### 7) 公众信息副总指挥

公众信息副总指挥负责协助常务副总指挥开展公众信息、舆情监测与应对等应急响应行动，应急状态下在应急指挥中心应急指挥室就位。

- (1) 负责指挥公众信息组；
- (2) 协调应急状态下新闻发布会；
- (3) 审核新闻通稿及拟发布的公众相关信息；
- (4) 参与应急指挥部决策。

#### 8) 后勤保障副总指挥

后勤保障副总指挥负责协助常务副总指挥开展消防保卫、后勤保障等应急响应行动，应急状态下在应急指挥中心应急指挥室就位。

- (1) 负责指挥消防保卫组和后勤保障组；
- (2) 指挥、协调非应急人员执行应急防护行动；
- (3) 指挥、协调场内出入控制、交通管制、治安维持等应急响应行动；
- (4) 指挥、协调厂房外、场区内失踪人员的搜救等行动；
- (5) 协调应急岗位成员生活及后勤保障所需的资源；
- (6) 协调应急移动电源、应急补水等福岛改进行动的实施；
- (7) 参与应急指挥部决策。

#### 7.5.2.2.2 运行控制一组/运行控制二组/运行控制三组

事故机组当值值长的职责：

(1) 负责代行应急总指挥或常务副总指挥职责，直至应急总指挥或常务副总指挥启动到位；

(2) 应急指挥中心未启动前，负责短信通知和广播通知的发布以及对外的应急通告或报告；

(3) 按照应急响应程序和应急运行规程，控制机组使其引入安全状态，减少事故的后果和影响；

(4) 根据应急行动水平，判断应急状态的等级，将应急事件、异常情况和初步判断的等级及时报告事故机组所属运行处处长/运行控制组组长；

(5) 根据多重事件应急状态判定准则，向所属运行处处长/运行控制组组长提出多机组应急状态等级分级建议。



事故机组运行控制组组长的职责：

- (1) 向运行副总指挥提出进入/终止应急状态的建议；
- (2) 向运行副总指挥提出应急移动设备调用的建议；
- (3) 向运行副总指挥提出进入严重事故管理的建议；
- (4) 组织实施应急移动电源接入、应急补水等福岛改进行动；
- (5) 组织实施经应急指挥部批准的严重事故应对策略；
- (6) 根据多重事件应急状态判定准则，向运行副总指挥提出多机组应急状态等级分级建议；
- (7) 向应急指挥部汇报、应急抢修组、技术支持组、设备支持组、安全防护组提供有关事故的性质、规模及事故发展情况；
- (8) 负责确认应急终止的条件；
- (9) 负责收集应急响应期间事故机组运行控制组产生的各类记录并形成清单，应急终止后反馈环境应急处。

非事故机组运行控制组职责：

- (1) 向应急指挥部报告机组运行情况，提供机组重要运行参数，并提出非事故机组运行模式的建议；
- (2) 必要时，向事故机组提供应急支援。

#### 7.5.2.2.3 应急抢修一组

- (1) 负责 1、2 号机组设备与系统损坏的探查、控制与抢修；
- (2) 制定应急抢修方案，组织实施经应急指挥部批准的应急抢修方案并及时将现场状况汇报应急指挥部；
- (3) 负责 1、2 号机组厂房内失踪人员的搜索和救援；
- (4) 负责应急指挥中心工艺系统设备的运行保障；
- (6) 负责收集应急响应期间应急抢修一组产生的各类记录并形成清单，应急终止后反馈环境应急处；
- (7) 参加其它抢险行动。

#### 7.5.2.2.4 应急抢修二组

- (1) 负责 3、4 号机组设备与系统损坏的探查、控制与抢修；
- (2) 制定应急维修方案，组织实施经应急指挥部批准的应急抢修方案并及时将现场状况汇报应急指挥部；

(3) 负责 3、4 号机组厂房内失踪人员的搜索和救援；

(4) 负责收集应急响应期间应急抢修二组产生的各类记录并形成清单，应急终止后反馈环境应急处；

(5) 参加其它抢险行动。

#### 7.5.2.2.5 应急抢修三组

(1) 负责 5、6 号机组设备与系统损坏的探查、控制与抢修；

(2) 制定应急维修方案，组织实施经应急指挥部批准的应急抢修方案并及时将现场状况汇报应急指挥部；

(3) 负责 5、6 号机组厂房内失踪人员的搜索和救援；

(4) 负责收集应急响应期间应急抢修三组产生的各类记录并形成清单，应急终止后反馈环境应急处；

(5) 参加其它抢险行动。

#### 7.5.2.2.6 抢修支持组

(1) 负责保证应急通讯系统设备的可靠运行和畅通；

(2) 负责人员清点系统的运行保障；

(3) 负责应急指挥中心各类应急通信手段的畅通；

(4) 负责核电厂与核安全监督部门、上级主管部门的视频通讯系统畅通；

(5) 负责工程抢险等行动；

(6) 负责收集应急响应期间抢修支持组产生的各类记录并形成清单，应急终止后反馈环境应急处；

(7) 负责抢修支持和提供抢修所需的工器具。

#### 7.5.2.2.7 安全防护组

(1) 组织对受事故影响的工作场所、场内人员和撤离场区的车辆实施辐射监测和去污；

(2) 组织实施厂房内应急监测；

(3) 向安全副总指挥提出执行集合清点、碘防护行动、撤离场区等非应急人员执行应急防护行动的建议；

(4) 向安全副总指挥提出应急人员执行应急防护行动（含应急辐射照射控制）的建议；

(5) 负责厂房应急状态以上应急指挥中心工作人员辐射安全控制；

(6) 负责场区内应急人员的剂量监测与评价,以及应急轮班人员电子剂量计(EPD)、热释光剂量计(TLD)回收和发放;

(7) 提供场区内需增补的稳定性碘片;

(8) 提供场区需增补的辐射防护用品;

(9) 组织实施医学救护;

(10) 负责收集应急响应期间安全防护组产生的各类记录并形成清单,应急终止后反馈环境应急处;

(11) 为场内应急人员辐射安全和工业安全防护提供支持和建议。

#### 7.5.2.2.8 网络保障组

(1) 保证场内、场外应急组织之间信息网络的畅通;

(2) 负责应急指挥中心及各应急岗位就位地点应急指挥平台的可用。

#### 7.5.2.2.9 应急秘书组

(1) 负责与场外应急组织的应急通告与报告;

(2) 负责应急指挥部应急响应行动的记录;

(3) 负责将应急专业组重要的应急信息单分发至应急指挥部;

(4) 负责将应急指挥部批准的应急信息表单及时分发至相关应急专业组;

(5) 应急指挥中心启动后,负责场内应急广播与短信通知的发布;

(6) 负责应急指挥中心工艺系统设备事故工况下的运行;

(7) 负责应急指挥室大屏相关系统的操作与控制;

(8) 组织实施厂房外环境应急监测;

(9) 组织实施邻近海域应急监测;

(10) 组织实施场外环境辐射监测;

(11) 组织实施事故环境后果评价;

(12) 向安全副总指挥提出场外公众采取应急防护行动的建议;

(13) 负责收集应急响应期间应急指挥部产生的各类记录并形成清单。

#### 7.5.2.2.10 技术支持组

(1) 对机组状态进行诊断与预测,向技术副总指挥提出事故机组与非事故机组拟采取措施的建议;

(2) 组织实施堆芯损伤评价;

(3) 负责系统、设备完好性评价;

- (4) 负责安全壳泄漏率估算；
- (5) 组织实施化学取样分析；
- (6) 负责严重事故管理导则（SAMG）的运用，向技术副总指挥提出缓解严重事故措施的建议；
- (7) 向技术副总指挥提出退出严重事故管理的建议；
- (8) 负责收集应急响应期间技术支持组产生的各类记录并形成清单，应急终止后反馈环境应急处。

#### 7.5.2.2.11 设备支持组

- (1) 负责系统设备抢修方案的技术支持；
- (2) 负责应急指挥中心工艺设备运行的保障；
- (3) 负责应急抢修等应急响应行动所需的物资保障；
- (4) 负责收集应急响应期间设备支持组产生的各类记录并形成清单，应急终止后反馈环境应急处。

#### 7.5.2.2.12 公众信息组

- (1) 接待新闻媒体、地方或社会组织的公众代表；
- (2) 收集公众、社会的反映，以便开展适当的沟通；
- (3) 组织实施舆情监测与应对；
- (4) 为新闻发布准备和提供有关资料；
- (5) 负责收集应急响应期间公众信息组产生的各类记录并形成清单，应急终止后反馈环境应急处。

#### 7.5.2.2.13 消防保卫组

- (1) 负责场区内治安、保卫和消防工作；
- (2) 负责车辆及人员的出入控制；
- (3) 负责场内交通控制，保持撤离通道畅通；
- (4) 负责非应急人员集合清点和撤离的组织和控制；
- (5) 负责厂房外、场区内失踪人员的搜索和救援；
- (6) 负责收集应急响应期间消防保卫组产生的各类记录并形成清单，应急终止后反馈环境应急处。

#### 7.5.2.2.14 后勤保障组

- (1) 提供生活后勤保障；

(2) 应急车辆的组织和调度；

(3) 负责收集应急响应期间后勤保障组产生的各类记录并形成清单，应急终止后反馈环境应急处。

### 7.5.3 与场外应急组织接口

#### 7.5.3.1 各级应急组织及其相互关系

根据核电厂核事故应急管理条例，我国核事故应急管理工作实行国家、地方、营运单位三级管理体系。

核事故应急期间，福清核电应急指挥部将及时建立与国家核事故应急协调委员会（国家核事故应急办公室）、国家能源局、国家核安全局、环境保护部华东核与辐射安全监督站、福建省核电厂核事故应急委员会、中国核工业集团公司（中国核能电力股份有限公司）等单位和部门的联系渠道，按照监管当局及上级主管部门的要求密切配合、协调一致地实施应急响应行动，必要时请求场外支援。

#### 7.5.3.2 与场外应急组织间的接口

(1) 国家核事故应急协调委员会（国家核事故应急办公室）

国家核事故应急协调委员会由国务院和中国人民解放军的各有关部门的领导组成，统一协调全国的核事故应急准备和应急处置工作，日常管理工作由设在国防科工局的国家核事故应急办公室负责。根据国家核事故应急管理条例和国家核应急预案的规定：

—福清核电进入应急状态时，应急指挥部将及时向其报告核电厂事故情况，并按规定提供后续报告；

—国家核事故应急协调委员会负责向国务院建议核电厂进入或终止场外应急状态，国务院负责批准核电厂进入或终止场外应急状态；

—必要时福清核电应急组织将向其请求援助。

(2) 国家能源局

国家能源局是民用核设施上级主管部门。在核事故应急状态下，核电厂应急指挥部将向其报告事故情况和应急信息。

(3) 国家核安全局

国家核安全局是根据国家核安全监督法规、导则对全国民用核设施的安全实施监督管理的部门。在核事故应急情况下，福清核电应急指挥部根据核安全相关法规和要求向其报告事故情况和应急信息，并接受其监督管理。

FQNPC 已向国家核安全局上报民用核设施应急管理联系表。

#### （4） 环境保护部华东核与辐射安全监督站

在核事故应急情况下，福清核电应急指挥部根据核安全相关法规和要求向其报告事故情况和应急信息，并接受其现场监督管理。

#### （5） 福建省核电厂核事故应急委员会

福建省核电厂核事故应急委员会统一领导和协调福建省的场外核应急计划与准备，统一指挥福建省核事故场外应急响应行动。在核事故应急状态下，福清核电厂应急指挥部将向其通报事故情况和应急信息。在事故严重恶化，放射性物质可能或已经严重影响核电厂以外区域时，向其提出进入场外应急状态并采取场外应急防护措施的建议，必要时通过其请求地方和军队提供交通运输、治安保卫、医疗急救、洗消去污和通信保障等方面的支援。

福建省核电厂核事故应急委员会已实行成员单位联络员制度。FQNPC 已指定联络员与业务联络部门，并认真执行《省核应急委成员单位联络员职责》。

#### （6） 中国核工业集团公司

在日常状态下，中核集团为福清核电的各项日常应急工作提供指导和监督。在核事故应急状态下，核电厂应急指挥部将向中核集团报告事故情况和应急信息，并根据事态发展中核集团提出应急支援请求。中核集团核应急指挥部在接到核电厂事故报告和救援请求时，立即启动中核集团核应急事故专项应急预案与中国核工业集团公司核事故应急支援方案，根据事故核电厂的请求，协调与调动中核集团应急支援后援单位的有关专业技术人员、事故抢险人员和救援物资前往事故核电厂实施救援行动。

#### （7） 其他部门

通过福清核电核事故医学应急支援服务合同，核工业总医院为福清核电厂提供核事故应急医学救护支持。

福清核电与厂址所在地的三山镇派出所、福清市公安局均有联络接口，为我厂提供公安支持。

福清核电专职消防队为福清核电厂的主要消防力量，通过福清核电消防联动协议，福清市公安消防大队、福州市公安消防支队作为外援消防单位为核电厂提供消防支持。

通过福清核电常规气象预报及灾害气象专业预报服务合同，福建省气象服务中心为福清核电提供气象信息支持。

通过福清核电海洋环境预报服务合同，国家海洋局东海预报中心为福清核电提供海洋环境及海洋灾害预警支持。

福清市核应急委员会负责联络民防和救灾管理等部门，为福清核电厂提供必要的支持。

福清核电与宁德核电签订核事故应急相互救援合作协议，通过协议，实现核事故情况下的信息、物资共享和专业人员的相互支持。

#### 7.5.4 应急状态分级

根据国家有关法规要求，参考国内外应急状态分级的有关技术标准，结合福清核电机组可能发生的事件或事故的性质、特征、后果或可能的后果及其严重程度，将福清核电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等级。

根据核事故性质、严重程度及辐射后果影响范围，当批准进入应急待命状态时，启动Ⅳ级响应；当批准进入厂房应急状态时，启动Ⅲ级响应；当批准入场区应急状态时，启动Ⅱ级响应，当批准进入场外应急状态时，启动Ⅰ级响应。

##### （1）应急待命

应急待命的特征是一些事件正在进展或已经发生，核电厂安全水平可能下降，但还有时间采取预防性措施以防止向更高级别的应急状态演变。

在这类事件中，预期不会出现需要采取场外响应行动（如进行辐射监测）的放射性物质释放。核电厂安全水平可能下降的主要表现为运行参数超出了核电厂技术规范书中的运行限制条件，在这种情况下允许于规定的时间内变更运行模式。应急待命的事件还应包括那些更严重事件的征兆，因为这种征兆也预示着核电厂的安全水平可能下降。在应急待命状态的事件中可能出现少量放射性物质的释放，但是这类释放并不导致启动环境监测或场外应急响应行动。

确定应急待命的目的是使核电厂运行人员和其他有关人员及时启动并处于戒备状态，保证初始的应急响应行动得以顺利实施，使事故处理、信息发送和决策过程等纳入有条不紊的应急组织体系中去。

##### （2）厂房应急

厂房应急的特征是一些事件正在进展或已经发生，核电厂安全水平实际上或可能发生大的下降。然而，事故的辐射后果或可能的辐射后果仅限于某些厂房内部或场区局部区域，不会对场外产生威胁。

此时关注的重点不应是判断安全水平的下降是否足够大，而是关注安全系统出现的问题是否需要为进一步加强核电厂安全状态的监控而进入厂房应急状态，即确定当班运行人员是否需要支持，而不论此时是否已经确定了核电厂安全水平的下降。加强监控即可更好地确定核电厂的安全状态，确定是否需要将应急状态升级或终止应急状态。

确定厂房应急的目的是保证场内应急响应人员能够迅速有效地做出响应；向场外应急

组织提供有关事故的信息资料。

### （3）场区应急

场区应急的特征是事故正在进展或已经发生，核电厂的一些安全设施的功能已经丧失或可能丧失。在这种应急状态下，可能出现堆芯损坏的情况，可能从电厂中释放出一些放射性物质，事故后果扩大到整个场区，但除了场区边界附近，场外放射性照射水平不会超过紧急防护行动干预水平。

确定场区应急的目的是保证及时派出环境监测人员进行环境监测；保证场外应急组织及时启动；保证及时与场外应急组织协调应急行动；通过场外应急组织向公众提供信息。宣布场区应急的目的之一是做好场区内人员随时撤离的应急准备，以便需要时可以立即执行。

### （4）场外应急

场外应急的特征是事故正在进展或已经发生，堆芯即将或已经极大损坏，甚至熔化，同时安全壳完整性可能丧失。

在这种应急状态下，极可能从电厂释放出大量的放射性物质，事故后果超越场区边界，场外某个区域的放射性照射水平大于紧急防护行动干预水平。不管放射性物质的释放是由于何种原因造成的，进入场外应急状态就意味着场外公众可能需要采取隐蔽或撤离的防护行动。如果厂址周围的人口密度很高，应重点关注安全系统或构筑物（如安全壳）失效的可能性，以及诸如废气贮存罐大量释放放射性气体、严重的乏燃料破损等事故的后果。为了及时通知场外应急组织，确定场外应急状态应主要以核电厂安全系统功能为判据，其次是事故后果评价的预期剂量。就包容裂变产物的三道屏障而言，如果其中两道屏障失效同时第三道屏障也可能失效，就应建议场外应急组织进入场外应急状态。

确定场外应急的目的是启用为保护公众所预先确定的防护行动；持续评价电厂的事故状态和环境监测数据；按实际的或可能的放射性释放量，补充或修改应急防护行动；及时与场外应急组织协调应急行动；通过场外应急组织向公众提供信息。

## 7.5.5 应急设施设备

福清核电主要应急设施包括：应急指挥中心（EM）、主控制室、远程停堆站、技术支持中心、运行支持中心、移动式应急柴油发电机车库（AY）、公众信息中心、应急通信系统、监测和评价设施、环境实验室（EC1）、后备应急控制中心（BECC）等。

### 7.5.5.1 主控制室

#### （1）功能



主控制室是核电厂正常和事故工况下实施机组运行控制的中心，也是应急响应期间运行控制组的工作场所，其应急响应期间的主要功能为：

对反应堆运行状态进行集中控制和监测，显示并提供安全参数；

在应急初始阶段应急指挥部启动到位之前可作为应急指挥的中心，并发出早期应急警报；

在应急的各个阶段，对机组实施运行控制，分析和诊断事故状态，提出应急状态分级建议，保证安全状态的重新恢复或尽可能减少事故后果。

### （2） 数字化主控制室概况

福清核电仪表及控制系统采用全数字化 DCS 技术，即分散控制系统。采用体积小，可靠性高且易于冗余配置的微型计算机控制级，从而分散风险，提高了可靠性。而状态监视及操作部分高度集中。

同时，在主控制室还布置了后备盘（BUP），作为计算机控制失效时的后备控制手段。后备盘采用传统的声光报警、记录仪和操作按钮来保证对核安全相关设备的运行监视和操作，提高了主控制室总体的安全水平。

DCS 系统分成两个部分，安全级 DCS 和非安全级 DCS，安全级 DCS 主要实现反应堆保护和堆芯控制；非安全级主要实现常规岛除汽机本体外和核岛主要系统的控制。重要的控制都采用冗余控制，确保了系统的可靠性和安全性。

### （3） 可居留性

福清核电 5、6 主控制室所处的 LR 厂房为整体钢筋混凝土结构，具有防飞射物和防外照射的屏蔽功能。根据《核动力厂营运单位的应急准备与应急响应》（HAD 002/01-2010）中要求：在设定的持续应急响应期间内（一般为 30 d），工作人员接受的有效剂量不大于 50mSv，甲状腺当量剂量不大于 500mGy。此外《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD 002/01-2010）还要求，可居留性的评价和审查不应局限于设计基准事故，应当适当考虑严重事故的影响。对于设计基准事故源项，选取福清核电厂 5、6 号机组初步安全分析报告（PSAR）中的设计基准大破口失水事故（LOCA）和弹棒事故源项。对于严重事故，考虑到一定的保守性，本报告选取 NUREG-1465 中定义的事故源项作为可居留分析的严重事故源项。在设计基准事故和严重事故条件下，采用 CRXQ 模式计算了大气弥散因子，在考虑事故通风的开启时间和非过滤途径泄漏的情况下，对主控室内工作人员的剂量进行评价，结果表明：福建福清核电厂 5、6 号机组主控室实现双进风口技术改进并增加内部回风循环过滤设施后，对于考虑非过滤泄漏的设计基准事故和严重事故条件，工

作人员接受的剂量均满足 HAD002/01-2010 规定的可居留性准则，主控室在严重事故条件下可居留性满足法规要求。

主控室可居留区域已经具备完善的密闭措施，但为了保证事故期间人员的正常呼吸，使区域温度保持在较低的水平，就需要对 CRE 区域持续引入新鲜空气。为保证引入空气的质量，除了依赖系统设置的各级净化系统，设计上还有一个常用的方法，即采用双进风口。该方案的原理是通过增设第二个进风口，当一个进风口处的放射性物质浓度较高时，及时切换到另外一个进风口。

在主控室丧失执行其基本安全功能时，应将应急响应工作转移至辅助控制室或备用控制室，实施停堆、保持停堆状态、导出余热和监测电厂基本参数，如果再紧急情况下，还可以将主控室人员部分转移至应急控制中心开展应急响应工作。

主控制室系统的设计满足冗余性的要求和有关的安全标准，能承受安全停堆地震，同时具有良好的密封和通风性能，通风口安装有除碘过滤器，对放射性物质具有足够的过滤能力。

#### 7.5.5.2 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。操纵员可通过远程停堆站获得停堆所需的所有信息。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、往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。

远程停堆站的设计不考虑主控室不可用的同时还伴有其他事故，特别是不同时发生要求专设安全设施运行的事故，但考虑了厂外电源丧失的情况。

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要求时间内能够到达，撤离路径是安全的。

#### 7.5.5.3 技术支持中心

技术支持中心的主要功能是对主控制室的工作人员提供技术支持以缓解事故后果，是获取核动力厂参数、信息和制定严重事故对策的工作场所。

福清核电 5、6 号机组技术支持中心分别设在 5L817 和 6L817 房间，位于 5、6 号机组主控室可居留区域内。

#### 7.5.5.4 辐射防护值班室

福清核电 5、6 号机组辐射防护值班室设在 AR 厂房 A214 房间，在相邻的热更衣间设

有 C1 和 C2 门，专门对出辐射控制区的人员服装及体表进行监测，其中 C1 门测量工作服的  $\gamma$  剂量率，C2 门测量人体表面  $\beta$  污染。5、6 号机组的 A217/218 房间是人体去污间，用于对体表污染者进行初步的洗消去污。

#### 7.5.5.5 化学实验室

核岛实验室在应急响应期间的主要功能是对安全壳、反应堆冷却剂系统、二回路以及其他部位进行放射性取样分析，因此该实验室具备应急通信的功能，但在严重事故下不具备可居留性，此时化学取样分析人员可停留在与主控制室相邻的房间待命。

#### 7.5.5.6 应急指挥中心

##### （1）功能

应急指挥中心是应急响应期间全面指挥和协调场内一切应急响应行动的场所，其主要功能包括应急指挥、应急抢修待命、应急通讯、事故评价、信息发布、物资储存等。

##### （2）建筑与可居留性

应急指挥中心内设有应急指挥室、辐射评价室、通讯室、技术支持室，辐射后果评价室等房间，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淋浴式去污、头部去污和体表局部去污的设施设备以及干净的衣物。在 EM 楼还配备有碘片、个人剂量监测仪表以及防护面罩。

EM 楼墙壁及屋顶对  $\gamma$  外照射有足够的屏蔽能力；通风系统设置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。确保事故期间应急指挥中心的可居留性。根据本工程 1-6 号机组的机型特点选取适当的严重事故源项进行应急指挥中心的可居留性评价，经评价，EM 楼内工作人员在事故后 30 天内预计所受有效剂量不超过 50mSv，满足 GB18871 中对于从事干预的工作人员所受照射的标准。

EM 楼中还配备有一台柴油发电机，配备一个 15 立方米的储油罐和一个 1 立方米的日用油箱，分别可满足满功率下 8 小时和 7 天的连续运转。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。

EM 楼建筑物按照 SL-2 级抗震设计、建造。

##### （3）通信手段

根据法规要求，EM 楼配置了多样化、冗余的通信系统，包括有线广播和声报警系统、应急手机短信发布平台、海事卫星电话系统、场内外电话、传真等。

EM 楼内的核应急指挥平台与电厂 DCS、KRS 系统、KZC 系统等相连接，可实时获

取：

- 1) 各机组重要实时运行参数；
- 2) 厂内重要部位的辐射水平监测数据；
- 3) 实时气象数据和环境  $\gamma$  辐射监测数据。

这些数据信息经过处理形成特定的数据组、表或图的形式，供应急指挥部、各应急专业组和场外相关应急管理部门调用和查询。网络终端用户可根据授权访问该局域网以了解电厂应急的实时状况。同时这些数据根据法规要求实时传送国家核安全局等场外应急组织。

#### （4） 设备物资

应急指挥中心内配备的应急有关的设备物资有：

文件资料，包括最终安全分析报告、环境评价报告书、场内应急预案、场外应急预案等。

计算机设备：包括核应急指挥平台、堆芯损伤评价系统、事故后果评价系统等。

通信设备：包括各种厂内电话、专用电话、安全电话、传真机、网络端口等。

防护用品：包括直读式个人剂量计、热释光剂量计、表面污染检查设备等。

维修工具：包括各种常用维修工具。

办公及生活用品：打印机、食品、饮用水等。

#### 7.5.5.7 运行支持中心

运行支持中心位于 EM 楼内。运行支持中心是在应急响应期间供执行设备检修、系统或设备损坏探查和其他执行纠正行动任务的人员以及有关人员集合与等待指派具体任务的场所。

#### 7.5.5.8 后备应急控制中心

后备应急控制中心的主要功能为在电厂应急指挥中心不可用的情况下，实现应急指挥和技术支持的基本功能。福清核电后备应急控制中心设置在福清市市区观音埔核电生活区，距离电厂直线距离约 30km，位于福清核电烟羽应急计划区外。后备应急控制中心配置计算机、传真复印打印一体机、视频会议系统、行政电话等设备，同时配备场内应急预案、应急响应程序、环境影响报告书、最终安全分析报告等文件。

#### 7.5.5.9 公众信息中心

福清核电公众信息中心位于福清市市区观音埔核电生活区，距离电厂直线距离约 30km。主要功能是在应急期间按规定向新闻媒体和公众提供有关核动力厂应急和公众防护行动的信息，对公众和新闻媒体的信息需求作出响应，澄清失真的传闻。公众信息中心

与应急指挥中心有电话和传真联系，备有用于新闻发布会的设施设备，包括功率放大器、专业调音台、音响设备、全数字会议系统控制主机、全数字会议系统主席代表单元、无线话筒、反馈抑制器等。

#### 7.5.5.10 职业医疗服务中心

职业医疗服务中心位于福清核电厂区内，全年 24 小时配备有医生和护士，主要职能是负责现场医学应急演习、准备与响应。

#### 7.5.5.11 应急相关监测和评价设施

福清核电厂配备了各种监测系统、设施，其中与应急计划相关的主要有：环境实验室（EC1）、电厂辐射监测系统（IRM）、事故后监测系统（PAMS）、厂区辐射和气象监测系统（KRS）、流动监测设备等。

#### 7.5.5.12 环境实验室

福清核电环境实验室位于厂区北部约 11km 处，毗邻应急道路。在电厂正常运行情况下，环境实验室的主要工作为环境介质样品的采集、制样和测量分析。在应急情况下，可利用其部分便携式仪表和车载监测设备参与场区和场外应急环境监测，并进行一些应急情况下环境样品的分析。同时，环境实验室也有环境监测数据和信息集中处理、管理和汇总功能。

#### 7.5.5.13 厂房辐射监测系统（IRM）

福清核电设有与核电厂运行工况直接相关的厂房辐射监测系统（IRM）。它们主要用于连续自动地判别核电厂的运行工况是否符合设计标准和运行设定值，以保证对核电厂工作人员和环境提供足够的防护。为确保完成各种功能，厂房辐射监测系统包括工艺辐射监测，流出物监测、工作场所辐射监测及剂量样品分析测量等。

在设计中除设置了具有连续监测、响应快、及时给出比较全的测量和报警信息等特点的固定式监测道外，还配置了足够的各种精确、灵敏的便携式监测仪表作为固定式监测道的补充监测手段，此外，还设计了具有灵敏、精确、可靠等特点的实验室样品分析测量手段，对来自核取样系统收集的液体和气体样品进行分析，分析内容除了直接分析 pH 值、电导率、硼和氢浓度、钠含量外，放射性水平测量也是重要内容之一。

##### 7.5.5.13.1 事故后监测系统（PAMS）

事故后监测系统（PAMS）由在事故工况需继续保持监测功能所需要的测量通道组成，这些测量通道是与安全有关的，因此它们遵守单一故障和共因故障原则，所有设备必须经事故和事故后环境条件的鉴定和抗地震试验。

### 7.5.5.13.2 气象观测系统与厂区辐射和气象监测系统（KRS）

福清核电气象观测系统由场区气象铁塔、气象站和 KRS 固定监测站组成。

场区气象铁塔位于场区东北角，高 102 米，能测量 10m、30m、50m、70m、100m 位置的风速、风向和温度。能测量 1.5m 高度温度、湿度、气压、雨量、总辐射、净辐射。气象站位于电厂环境实验室，可自动连续采集、处理和记录温度、湿度、风速、风向、雨量、大气压、天空总辐射、净辐射等气象数据。数据将实时上传 KRS 系统中央站。KRS 固定监测站上均设置气象观测装置，观测要素包括风速、风向、雨量。测量数据将实时传输至 KRS 中央站。KRS 固定监测站上均设置气象观测装置，观测要素包括风速、风向、雨量。测量数据将实时传输至 KRS 中央站。

KRS 系统由位于电厂周围不同方位上的固定式环境监测设备组成，用来连续记录大气  $\gamma$  辐射测量数据、获取气溶胶和碘的样品，并进行雨水收集。

福清核电 1-4 号机组阶段设置 11 个环境监测子站，包括 4 个厂区内监测站和 7 个厂外监测站。

KRS 系统中央工作站位于应急指挥中心，可查询各监测点的实时数据。

### 7.5.5.13.3 流动监测设备

流动监测设备包括环境监测车、环境介质采样车和应急监测车。

环境监测车和环境介质采样车主要用于电厂运行期间对厂区及周围环境  $\gamma$  辐射水平进行巡测、环境介质的快速测量、环境介质样品的采样和传送及环境辐射与气象监测系统的日常维护，以及进行热释光元件（TLD）的布设及回收。

环境监测车和环境介质采样车配置的主要设备有：车载  $\gamma$  辐射探头、碘和气溶胶取样设备、便携式  $\alpha\beta$  表面污染测量仪、 $\gamma$  剂量率仪、手持式气象仪、GPRS 通讯仪器等设备。

除了车载监测设备，福清核电配置有一套应急移动监测子系统，配置有 5 个移动式探头，每个探头上设有 3G 通信模块、GPS 模块以及无线电数据传输模块。

### 7.5.5.13.4 核应急指挥平台

核应急指挥平台为福清核电应急事件处置行动、指挥、决策提供支持，满足处置过程中信息录入、辅助决策和指挥、应急通告与报告以及应急组织之间快速的信息共享等方面的需求。主要功能包括：

- 与福建省、国家核与辐射安全中心机组工况参数等的数据传输功能。
- 核事故应急响应支持功能。系统与电厂 DCS、KRS、堆芯损伤评价系统、事故后果评价等系统相连，在事故应急期间为应急组织提供指挥决策信息支

持。

- 信息录入、应急响应信息单电子流程化、应急短信发送等功能，为应急信息的快速传递和共享提供支持。
- 应急文件在线查询功能，为应急指挥决策及应急处置行动提供文件支持。

#### 7.5.5.13.5 应急撤离路线

福清核电场内规划横向 4 条，纵向 11 条场内道路，纵横构成便利的场内交通网络，在应急情况下可根据实际情况选择最佳的撤离路线离开场区。

福清核电规划两条主要厂外道路即进厂道路和备用应急疏散道路，做为专用应急道路。此外，可利用厂址附近现存的数条乡道做为应急撤离的备用道路，在专用应急道路交通状况发生异常时，选用这些备用线路，保证人员的及时撤离。

### 7.5.6 应急计划区的划分

#### 7.5.6.1 确定烟羽应急计划区范围的安全准则

在我国国家标准《核电厂应急计划与准备准则应急计划区的划分》(GB/T 17680.1-2008)中，提出了我国核电厂应急计划区划分的准则。

确定烟羽应急计划区大小范围时，应遵循如下准则：

- 在烟羽应急计划区外，所考虑的后果最严重的事故序列使公众个人可能受到的最大预期剂量不应超过国家标准 GB 18871 所规定的任何情况下预期均应进行干预的剂量水平；
- 在烟羽应急计划区外，对于各种设计基准事故和大多数严重事故序列，相应于特定紧急防护行动的可防止的剂量一般应不大于国家标准 GB 18871 所规定的相应的通用干预水平。
- 对于隐蔽和撤离行动推荐的最大期限分别为 2 天和 7 天。

#### 7.5.6.2 确定食入应急计划区范围的安全准则

确定食入应急计划区大小范围时，应遵循的准则如下：在食入应急计划区外，大多数严重事故序列所造成的食品或饮用水污染水平不应超过国家标准 GB 18871 所规定的食品和饮水通用行动水平。

#### 7.5.6.3 应急计划区的范围

根据法规标准的要求，结合福清核电应急计划区专题报告估算结果，福清核电厂 1、2 号机组的烟羽应急计划区范围：以 1、2 号机组反应堆为中心内区边界为 5km，外区边界为 10km；食入应急计划区边界为 50km。3、4 号机组的烟羽应急计划区范围：以 3、4

号机组反应堆为中心，内区边界为 5km，外区边界为 10km。5、6 号机组的烟羽应急计划区范围：以 5、6 号机组反应堆为中心，内区边界为 5km，外区边界为 10km；食入应急计划区边界为 50km。最终确定的福清核电 1-6 号机组应急计划区范围是这三个范围的包络线。



## 第八章 流出物监测与环境监测

### 8.1 辐射监测

#### 8.1.1 流出物监测

#### 8.1.2 辐射环境监测

#### 8.1.3 应急监测

### 8.2 其他监测

#### 8.2.1 热影响监测

#### 8.2.2 化学污染物和生活污水监测

#### 8.2.3 气象观测

#### 8.2.4 水文观测

#### 8.2.5 生态监测

#### 8.2.6 噪声监测

#### 8.2.7 电磁监测

### 8.3 监测设施

#### 8.3.1 流出物实验室

#### 8.3.2 环境监测设施

### 8.4 质量保证

#### 8.4.1 质量控制

#### 8.4.2 质量管理

## 表

表 8.1-1 福建福清核电厂运行期间环境监测大纲

表 8.1-2 环境辐射监测各核素、方法汇总表

表 8.2-1 不同工况下不同等级温升区面面

表 8.2-2 气象站设备性能参数

表 8.3-1 流出物实验室的房间面积和房间功能

表 8.3-2 流出物实验室的仪器设备配置

表 8.3-3 监督性流出物实验室的主要放化测量仪器设备清单

表 8.3-4 福清核电厂环境实验室主要设备及性能参数

表 8.3-5 环境监测车车载设备清单

表 8.3-6 应急巡测车车载设备清单

表 8.3-7 环境取样车车载设备清单

表 8.3-8 便携式取样/巡测设备清单

表 8.3-9 工器具/耗材清单

表 8.4-1 实验室比对情况

## 图

图 8.1-1 固定环境  $\gamma$  辐射测量点（厂内）位置分布图

图 8.1-2 固定环境  $\gamma$  辐射测量点（厂外）位置分布图

图 8.2-1 福清核电厂气象站平面图

图 8.3-1 流出物实验室布局

图 8.3-2 福清核电厂地下水监测井分布图

## 8.1 辐射监测

### 8.1.1 流出物监测

福清核电厂 5、6 号机组的运行期间流出物监测包括放射性流出物监测和非放射性流出物监测。在流出物监测中对气载和液态放射性流出物进行重点监测。

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

#### 8.1.1.1 监测依据

制定流出物监测方案的主要依据是：

GB 18871-2002	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》
GB 6249-2011	《核动力厂环境辐射防护规定》
GB 11217-89	《核设施流出物监测的一般规定》
GB 11216-89	《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》
GB/T 7165.1-2005	《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第 1 部分：一般要求》
GB/T 7165.2-2008	《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第 2 部分：放射性气溶胶（包括超铀气溶胶）监测仪的特殊要求》
GB/T 7165.3-2008	《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第 3 部分：放射性惰性气体监测仪的特殊要求》
GB/T 7165.4-2008	《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第 4 部分：放射性碘监测仪的特殊要求》
GB/T 7165.5-2008	《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第 5 部分：氡监测仪的特殊要求》
GB/T 12726.1-2013	《核电厂安全重要仪表 事故及事故后辐射监测 第 1 部分：一般要求》
GB/T 12726.2-2013	《核电厂安全重要仪表 事故及事故后辐射监测 第 2 部分：气态排出流及通风中放射性离线连续监测设备》

#### 8.1.1.2 监测目的

运行期间流出物监测目的：

- 监测释放到环境中的气载和液态放射性流出物的浓度，判断其是否符合国家批准的排放控制值和核电站本身规定的排放管理目标值；
- 为判明核电厂的运行以及放射性废物的处理和装置的工作是否正常有效提供数据和资料；
- 迅速发现有无计划外排放和事故排放，为鉴别排放性质、种类及其程度提供监测

数据，以便及时采取措施；

- 给出报警和必要的执行动作，以控制不合理的排放，可为核电厂在事故期间的应急响应提供信息。

### 8.1.1.3 监测原则

福清核电厂 5、6 号机组运行期间流出物监测方案的制定和监测系统的设计遵循的主要原则有：

- 满足国家标准法规及国家生态环境部在多堆厂址统一管理规定上的要求；
- 对于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；
- 对于定期排放，进行取样分析；对于存在计划外释放可能性的排放途径，应进行连续监测且仪表有足够宽的量程；对于事故后监测功能的仪表需考虑冗余监测；
- 为便于评价监测结果，除对释放的放射性物质监测外，还监测其它与评价和估算有关的参数，如流出物的流量、温湿度及气象参数等；
- 根据国家标准规定的年排放控制值和浓度限值，制定合理的排放控制值和仪表的报警阈值；
- 流出物监测和取样系统的设计中将考虑地方环保部门的监督性检查和测量。

### 8.1.1.4 气载放射性流出物监测

#### (1) 气载放射性流出物连续监测

福清核电厂 5、6 号机组各设有一个排风烟囱。每个烟囱设有：烟囱排气气溶胶活度监测道（5/6IRM029MA、5/6IRM030MA），烟囱排气碘活度监测道（5/6IRM031MA、5/6IRM032MA），烟囱排气低量程和高量程惰性气体  $\beta$  活度监测道（5/6IRM005MA、5/6IRM006 MA、5/6IRM015MA、5/6IRM016MA）。

#### (2) 气载放射性流出物取样测量

与烟囱连续监测设备并行设置了连续取样设备，对烟囱气态流出物中的气溶胶、碘、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  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。

利用上述样品分析的数据，连续监测仪器测得的数据以及烟囱排放总流量可计算出电厂通过烟囱向环境中排出的总活度。

#### (3) 气载放射性流出物排放量计算方法

气载流出物分为惰性气体、粒子、碘、氡和碳-14 五类。对于某类核素一年排放量计

算方法如下：

$$A_{\neq} = \sum \{ (C_1 + C_2 + \dots + C_n + \dots) \times V_k \}$$

其中  $A_{\neq}$  表示该年某类核素的排放量，Bq； $\Sigma$  表示一年内各次排放量求和； $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_n$  表示某次排放废气中实验室取样分析测得某类某个核素的活度浓度， $Bq/m^3$ ； $V_k$  表示该次排放的废气的排放体积， $m^3$ 。当监测结果高于探测下限时，以监测结果参与计算；当监测结果低于探测下限时，以探测下限的二分之一参与计算。

#### 8.1.1.5 液态放射性流出物监测

##### (1) 液态放射性流出物连续监测

福清核电厂 5、6 号机组设有 QA/QB 废液排放厂房。QA 厂房主要收集、贮存核岛废液排放系统废液；QB 厂房主要收集、贮存常规岛废液排放系统废液。在 QA、QB 厂房各设置一套低放液体排放监测道（7IRM901MA、7IRM902MA），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。

##### (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  $\gamma$  谱仪、低本底  $\alpha$ 、 $\beta$  计数器及低本底液体闪烁计数器等仪器进行测量和分析。

液体流出物样品的分析项目包括  $\gamma$  谱分析、氡、碳-14 等活度浓度测量及必要时的  $^{90}Sr$  分析。

##### (3) 液态放射性流出物排放量计算方法

液态流出物分为氡、碳-14 和  $\gamma$  核素三类。对于某类核素一年排放量计算方法如下：

$$A_{\neq} = \sum \{ (C_1 + C_2 + \dots + C_n + \dots) \times V_k \}$$

其中  $A_{\neq}$  表示该年某类核素的排放量，Bq； $\Sigma$  表示一年内各次排放量求和； $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_n$  表示某次排放废液中实验室取样分析测得某类某个核素的活度浓度， $Bq/m^3$ ； $V_k$  表示该次排放的废液的排放体积， $m^3$ 。当监测结果高于探测下限时，以监测结果参与计算；当监测结果低于探测下限时，以探测下限的二分之一参与计算。

#### 8.1.1.6 配合地方环保部门监督性监测

为了满足地方环保部门进行监督性监测，福清核电厂 5、6 号机组建成后配合地方环保部门进行流出物监督性监测的主要措施有：

- 经常保持与地方环保部门联系，及时争取地方环保部门的监督与指导。
- 为福建省辐射环境监督站建设流出物实验室；并将核电厂气态、液态流出物在线连续监测的数据实时同步传输至地方环保相关部门。
- 积极配合地方环保部门进行流出物监督性监测工作，并为地方环保部门定期取样提供方便，包括：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  $^{14}\text{C}$  和  $^3\text{H}$  样品给地方环保部门进行测量；从废液罐中提取废液样品时，可同时为地方环保部门提取平行样品。
- 向福建省环保部门及时提供流出物监测月报表；核电厂流出物监测及样品测量分析数据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

根据我国的有关标准及规定的要求，在福清核电厂需建设环境监测设施以满足本核电站运行后环境监测的要求。在福清核电厂 1、2 号机组建设中，已建设了一套适用于福清核电基地环境监测设施，以保证福清核电基地内各机组正常运行下的常规环境监测以及事故情况下的环境应急监测。已建环境监测设施对 1~6 号机组进行了统一考虑，可覆盖整个福清核电基地。在本节中描述了基地环境监测设施的设计原则以及主要系统及设施，目前福清核电厂有效执行的环境监测大纲详见表 8.1-1。另外，根据福清核电厂址周围环境的变化情况、国内外监测法规技术的变动及更新，以及监管部门的要求等，福清核电厂 5、6 号机组运行前后，环境监测大纲将根据实际情况进行调整和升版，实际环境监测工作以福清核电现行有效的环境监测大纲为准。

#### 8.1.2.1 监测依据

运行期间环境监测依据的主要标准有：

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/T 61-2001	《辐射环境监测技术规范》
GB 12379-1990	《环境核辐射监测规定》
GB 11216-89	《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》
GB/T 14583-1993	《环境地表 $\gamma$ 辐射剂量率测定规范》
NB/T 20246-2013	《核电厂环境辐射监测规定》
GB8999-88	《电离辐射监测质量保证一般规定》

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

### 8.1.2.2 监测目的

运行期间环境监测的主要目的是：

- 测定环境介质中核素浓度及大气中  $\gamma$  辐射水平的变化，以评估核电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，以便采取预防措施；
- 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

根据国家有关法规和福清核电厂所在厂址的具体情况，监测范围如下：

- 环境  $\gamma$  辐射水平监测范围为以核电厂为中心半径约 30km 范围内，其余陆地环境放射性监测项目的监测范围为以核电厂为中心半径 10km 范围内。
- 海洋环境放射性监测以核电厂排水口为中心半径 10km 范围内，重点监测核电厂排放口 2km 以内的海域。

### 8.1.2.4 布点原则

- 依据相关法规标准及技术规范。
- 环境  $\gamma$  辐射监测点及气态放射性物质取样点重点布置在主导风向的下风向厂区边界附近区域。
- 考虑福清核电厂厂址区域附近地区的地形等条件及废液排放方式及特点、潮汐规律；海上取样点主要设在总排放口及其附近海域；土壤采样点设置在无水土流失的原野或田间。
- 对能够浓集放射性核素的指示性介质进行测量，通过对指示生物的分析，以便及时发现环境介质中放射性含量的微小变化。
- 根据近密远疏的原则布点。
- 相关监测点及介质品种尽可能与本底调查一致，以便进行运行前后的对照分析。
- 为区分核电厂的辐射来源与其它可能的辐射来源，设置部分对照点。

### 8.1.2.5 监测项目

#### (1) 气象要素的监测

福清核电厂设置有自动气象站，包括气象塔和地面气象站，主要观测的气象要素包括风速、风向、温度、湿度、大气压、降雨量、天空总辐射及净辐射。

## （2）环境 $\gamma$ 辐射水平监测

### A. 环境 $\gamma$ 辐射固定点连续测量

福清核电厂共设置11个环境监测子站，固定环境 $\gamma$ 辐射测量点的位置见图8.1-1~8.1-2。

### B. 即时 $\gamma$ 辐射测量

即时 $\gamma$ 辐射测量的对象为开阔的路面与田野，按16个方位角，近密远疏原则布点，同时兼顾地理、地形、居民分布、交通、土地利用等因素。

### C. 累积 $\gamma$ 辐射测量

累积 $\gamma$ 辐射测量采用热释光剂量计，放置在有代表性的不受附近建筑物影响的空旷地区。累积 $\gamma$ 辐射测量点位基本与即时 $\gamma$ 辐射测量点位重合，同时若即时 $\gamma$ 辐射测量点位进行调整，相应的累积 $\gamma$ 辐射测量点位会跟随调整。

## （3）空气介质中放射性核素浓度监测

空气介质监测包括：空气中 $^{131}\text{I}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 的测量；气溶胶中总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 及 $\gamma$ 核素的测量；沉降灰中总 $\beta$ 、 $\gamma$ 核素、 $^{90}\text{Sr}$ 的测量；降水中 $^3\text{H}$ 、 $\gamma$ 核素的测量。

## （4）土壤中放射性核素浓度监测

土壤样品采样点的设置主要考虑在无水土流失的稻田、菜地、果园、山地、丘陵等。监测项目为 $^{90}\text{Sr}$ 及 $\gamma$ 核素分析。

## （5）陆生生物放射性核素浓度监测

陆生生物样品包括粮食类作物、牛奶、蔬菜类、淡水鱼、肉类、指示生物等。

- 粮食类作物：大米、红薯、花生，主要进行 $^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 谱分析。
- 牛奶：分析的项目有 $^{131}\text{I}$ 和 $\gamma$ 谱核素。
- 蔬菜类：叶菜（空心菜、芹菜）、豆角，分析项目主要为 $^{14}\text{C}$ 和 $\gamma$ 谱核素。
- 淡水鱼：草鱼、罗非鱼、鲢鱼，分析项目为鱼肉中 $^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 核素。
- 肉类：羊肉、鸡肉，对可食部分进行 $^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 谱分析。
- 水果：甜瓜，分析项目有 $^{14}\text{C}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 和 $\gamma$ 核素。
- 相思树叶：分析项目为 $^{14}\text{C}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 和 $\gamma$ 核素。

## （6）陆地水体放射性核素浓度监测

福清核电目前的环境监测大纲中，陆地水分为地表水、饮用水和地下水（控制区内地下水与控制区外地下水）。地表水、控制区外地下水测量项目为 $^3\text{H}$ 和 $\gamma$ 核素，饮用水测量项目为总 $\beta$ 、 $^3\text{H}$ 和 $\gamma$ 核素。控制区内地下水（EC-E1至5号点位）测量项目为 $\gamma$ 核素、总



$\beta$ 、 $^3\text{H}$ 。

#### (7) 海域放射性核素浓度监测

##### A. 海水与海洋沉积物

海水污染集中在距总排水口附近很小区域，因此监测重点为以总排水口为中心的附近海域。海水分析的项目主要为  $\gamma$  核素、 $^3\text{H}$  分析，同时选取排水口附近及对照点的样品进行  $^{90}\text{Sr}$  分析；海洋沉积物分析的项目有  $^{90}\text{Sr}$  和  $\gamma$  核素。

##### B. 海洋生物样品

海洋生物样分别采集 3 个鱼类样品、2 个贝类样品、2 个藻类样品、1 个甲壳类样品、1 个软体类样品以及 1 个指示生物。分析项目为  $^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$  核素、指示生物牡蛎需额外分析  $^{90}\text{Sr}$ 。

#### 8.1.2.6 测量方法

福清核电厂根据监测任务和样品的种类采取以下不同的测量方法，具体测量核素和方法见表 8.1-2。

##### (1) 实验室分析测量（对环境介质样品）

- 物理测量和分析：使用低本底  $\alpha/\beta$  测量仪、低本底液体闪烁测量装置、低本底  $\gamma$  谱仪等仪表进行  $\alpha/\beta$  放射性活度测量、 $\gamma$  能谱核素分析、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  放射性活度测量。
- 放射化学测量分析：放射化学测量分析的方法按照国家标准规定进行，主要对环境介质中的  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{131}\text{I}$ （生物样品）等核素进行测量分析。

##### (2) 固定式环境 $\gamma$ 辐射监测和流动的辐射监测

- 设置环境监测子站，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，对核电厂周边环境  $\gamma$  辐射进行监测，车上设有便携式  $\gamma$  谱仪、便携式  $\gamma$  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的气象状况。

### 8.1.3 应急监测

#### 8.1.3.1 监测目的

福清核电厂应急环境辐射监测目的是，在核电厂事故应急状态下，为了了解和掌握环境辐射水平和放射性污染情况。在福清核电厂发生事故时，环境/应急监测车将携带便携

式仪表对厂址区域的环境  $\gamma$  辐射水平进行快速测量。如有必要，环境介质采样车将对空气、土壤、地面水、陆地生物以及电厂排放口及周围海域海水等环境介质取样，并根据事故发生情况调整取样频度，送至环境实验室中进行测量分析，以确定污染区域和污染水平，为评价事故性质、源项大小以及应采取的防护措施提供依据。

### 8.1.3.2 监测范围

在应急待命状态下，关注 KRS 位于核电厂周围的 11 个环境监测子站  $\gamma$  剂量率。在厂房应急状态下，监测范围主要是关注 KRS 位于核电厂周围的 11 个环境监测子站的实时数据，重点关注厂内 4 个子站的剂量率变化。在场区应急和场外应急状态下的事故早期，应急环境监测的范围以涵盖福清核电厂场区以及厂址周围半径 5km 之内的区域为重点，可根据烟羽弥散情况、或为了支援场外应急监测的需要，可视情况适当扩大监测范围，但监测半径一般不超过 10km。在场区应急和场外应急状态下的事故晚期，重点监测范围为场区周界及其厂址周围 20km 范围内的环境介质， $\gamma$  空气吸收剂量率测量和 TLD 的布放范围为 30km。

### 8.1.3.3 监测内容

(1) 厂区监测可选项目为：

- 巡测过程中的  $\gamma$  剂量率；
- 地表  $\beta$  污染水平测量；
- 空气中放射性污染浓度测量。

(2) 厂区外监测可选项目为：

- 巡测线路上的  $\gamma$  剂量率；
- 地表  $\beta$  污染水平测量；
- 空气中放射性污染浓度；
- 热释光剂量计（TLD）的取放与测量；
- 某些特殊情况下的风向、风速测量。

(3) 海域应急监测的可选项目为：

- 海域表面  $\gamma$  剂量率水平（1 分钟平均值）；
- 海水浅表层取样分析（取样 1L， $\gamma$  谱分析）；
- 某些特殊情况下的风向、风速测量。

根据国内外最新法律法规、监管单位的要求、场外应急组织的要求等，监测内容可能会进行调整，具体应以电厂实际执行的应急辐射环境监测相关程序为准。

### 8.1.3.4 监测设备

参与应急环境监测的监测设施和设备主要包括：

- 固定式环境监测子站：监测设备具有足够宽的量程，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。
- 监测车辆：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  $\gamma$  辐射水平、表面污染、空气中主要放射性核素等。数据传输方式采用无线传输。
- 气象站：气象参数为事故应急期间的应急决策提供数据支持。气象参数主要来自气象铁塔、地面气象观测站以及地方气象部门的预警信息。
- 环境实验室：环境实验室在事故期间仍具备对环境介质的放射性测量能力，在事故期间参与应急响应。

## 8.2 其他监测

### 8.2.1 热影响监测

2014-2018 年福清核电厂与环保部卫星环境应用中心合作，开展了 1-4 号机组温排水监测工作，以热红外卫星遥感技术为主要手段，辅助 2 次大面积海面测量，获得了温排水的温升范围分布。监测得到的不同工况下不同等级温升区面统计情况见表 8.2-1。

遥感测量结果与核电厂用海范围及近岸海域环境功能区划叠加分析表明，福建福清核电厂温排水影响范围满足海域环境功能区划的要求。

后续福清核电将继续开展运行机组温排水监测，以热红外卫星遥感技术，辅助开展海面航空遥感测量或地面实测等方式，调查核电厂温排水排放对其附近海域热环境的影响状况。

### 8.2.2 化学污染物和生活污水监测

为评估排水中非放射性化学物质对附近水环境的潜在影响，福清核电定期对取、排水口的水质进行监测（取水口为对照点），主要监测的项目包括硼、油类、铁、硫酸盐、锂、镍、钠、阴离子洗涤剂、溶解氧、六价铬、总铬、余氯、电导率、pH 值等，具体监测项目及频次以福清核电实际执行的监测程序为准。

福清核电厂制定了《非放污水管理》程序，规定了厂区的生活污水排放执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）的一级 A 标准，按照程序的要求对厂区的非放污水进行管理。

### 8.2.3 气象观测

福清核电气象站位于福清核电厂区内，所在位置为小丘陵顶部，四周平坦，局部地区有灌木丛。气象站位于 5 号机组的北偏东 73.5 度，距离反应堆中心 698m；位于 6 号机组的北偏东 84 度，距离反应堆中心 507m。气象站包括一座高 102 米的斜拉索式气象铁塔、地面标准观测场以及值班房等必要的附属设施，气象铁塔和地面观测场见图 8.2-1。其中，地面观测场为 25×35 米标准观测场，地面观测场观测项目包括：气温、相对湿度、降水量、风向、风速、气压、地温、太阳辐射(包括总辐射和净辐射)、蒸发量；气象观测铁塔共分为 5 层，分别为 10 米、30 米、50 米、70 米、100 米，各层观测项目为风向、风速、温度。

气象站采用的气象传感器均经过国家法定气象设备检定机构进行标定，主要包括风速传感器、风向传感器、雨量传感器、温度传感器、湿度传感器、天空总辐射、天空净辐射、大气压力传感器等，各设备的具体参数详见表 8.2-2，后续根据国内外技术更新、设备替代等原因，所选设备型号会变更，以实际为准。在 2017.5.1-2019.4.30 观测期间，气象站数据总标准数为 402960 个，总获取数为 397963 个，总样本获取率 98.8%，铁塔和地面站气象数据的联合获取率为 98.7%，数据获取率可以满足核电厂建设所需设计参数的要求。

福清核电厂制定了气象设施设备维修程序，指导作业人员对气象设施设备进行规范化、标准化维修，包括对气象站日常维修及预防性维修。其中，包括铁塔塔身检查，观测传感器检查等。

气象数据传输至应急指挥中心 KRS 系统中央数据服务器贮存。

### 8.2.4 水文观测

在厂址大件码头处设置有一个验潮站，主要观测潮位、水温、盐度、风速、风向等，由福建省海洋部门负责运行管理，我公司可获取必要的水文资料。根据电站的实际运行情况，在运行期间计划每 5~10 年开展一次大面积水文观测和水下地形观测。

### 8.2.5 生态监测

将参考同行业和国内同类电站的做法，跟踪相关标准规范等相关要求，逐步开展监测方案的制定等工作，在运行期间计划每 5~10 年开展一次厂址附近海域生态监测。

### 8.2.6 噪声监测

本工程运行期间，计划每季对离核电厂最近的居民敏感点及厂界进行一次噪声监测。

### 8.2.7 电磁监测

#### 8.2.7.1 监测范围

电磁辐射监测范围包括核电厂所属的 110kV 线路、220kV 第一回线路以及 220kV 第

二回保安线路。

### 8.2.7.2 监测内容

工频电场、工频磁场、噪声测量、无线电干扰值。

### 8.2.7.3 监测点位

- 每条线路工程跨越的电磁环境敏感目标均应进行工频电场、工频磁场监测；
- 110kV 线路选取边导线外 30 米距离内的 5-10 个环境敏感目标进行工频电场、工频磁场监测；220 kV 线路选取边导线外 40 米距离内的 5-10 个环境敏感目标进行工频电场、工频磁场监测；
- 对线路跨越的以及边导线 50 米距离内的 5 至 10 个环境敏感目标进行噪声监测，分别测量昼间和夜间噪声；
- 每条线路选取 1 处进行衰减断面监测；
- 在每条输电线路边导线外 20m 处选取 1 个无线电干扰监测点位。

### 8.2.7.4 监测频次

根据运行情况，每年开展两次监测。

## 8.3 监测设施

福建福清核电厂为福清核电基地和福建地方环保部门分别建设了核电营运单位自主监测以及监督性监测设施，独立执行针对福清核电厂 5、6 号机组流出物以及基地周围的环境监测功能。主要包括以下几类设施。

### 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，实验室布局示意图附图 8.3-1。

流出物实验室包括计数测量间（101）、冷制备间（102）、核素测量间（106）、 $\gamma$  谱仪探头间（107）、热制备间（108）和源存放间（109）。实验室的面积和房间功能见表 8.3-1。

流出物实验室配备了流出物监测的仪器和设备，能够满足流出物监测的需求，详见表 8.3-2。

本工程气载放射性流出物和液态放射性流出物的实验室分析项目包括烟囱气态氙、气态 C-14、惰性气体、气态碘（测量周期 7 天），液态氙、液态 C-14、液态  $\gamma$  核素（批次排

放前），液态流出物中 Sr-90、总排放口氚（月度混合样）。

### 8.3.1.2 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，福清核电厂在福清核电 3、4 号机组工程建设期间，同时开工建设了独立的厂址性监督性流出物实验室。现已投入使用，该实验室由福建省辐射环境监督站运行，主要用于核电厂辐射环境现场液态和气态流出物样品的分析，测量结果为福建省环境保护厅监督评价福清核电厂的流出物排放达标情况提供依据。

监督性流出物实验室配置有成套的实验室家具和放化测量仪器设备及辅助设施，完全满足整个福清核电厂六台机组的气液态流出物监督性监测要求。该实验室的主要测量仪器设备见表 8.3-3。

## 8.3.2 环境监测设施

### 8.3.2.1 环境监测子站

环境监测子站主要是在正常运行和事故期间连续监测厂址区域和周围环境  $\gamma$  辐射水平及气象参数，采集厂区周围空气中气溶胶、碘、 $^3\text{H}$  以及  $^{14}\text{C}$  等环境介质样品送环境实验室测量分析，并进行雨量测量。在福清核电基地厂区内设置 4 个环境监测子站（EC4-1~EC4-4），厂内监测站的位置见图 8.1-1。在厂区周围 10km 范围内设置 7 个环境监测子站（EC4-5~EC4-9、EC-12、EC4-13），厂外监测站的站址位置见图 8.1-2。

当环境监测子站测得  $\gamma$  辐射剂量率超过报警阈时，给予报警，并将报警信号送到中央数据处理计算机。

环境监测子站配置的主要设备：

- 环境  $\gamma$  辐射连续监测仪；
- 气溶胶、碘取样装置（部分监测站设置）；
- 空气中  $^3\text{H}$  和  $^{14}\text{C}$  取样装置（部分监测站设置）；
- 雨量计；
- 数据传输设备。

### 8.3.2.2 环境实验室

为进行厂址区域环境辐射监测及环境介质样品的测量分析，福清核电基地建设了环境实验室，负责福清核电基地周围环境介质样品的采集、制样、样品分析测量以及对环境样品测量数据处理及评价。

环境实验室位于港头镇东元村，距核电厂厂区约 11km，在核电厂烟羽应急计划区以

外，与福建省监督性监测系统前沿站共处同一小区。环境实验室主楼总建筑面积约为 2363m<sup>2</sup>，共三层，按照物理测量、样品制备、放化分析、信息处理传输、辅助动力、用品存放及会议办公进行分区设计。小区内为环境监测车及环境介质采样车设置了车库。

环境实验室内的主要功能房间包括：

- 低本底物理测量房间： $\gamma$  谱仪测量室、液闪测量室、低本底  $\alpha/\beta$  测量室、热释光测量室及相应的数据处理间；
- 样品预处理及制备房间：鲜样存放间、鲜样处理间、样品干燥间、碳化室、灰化室、天平室等；
- 化学制样及分析房间：化学实验室 1-3、光谱测量室、非放测量室、标准样品准备间等。

环境实验室内配置的主要设备包括以下几类：

- 放射性分析测量仪器：主要有低本底  $\alpha/\beta$  测量仪、低本底液体闪烁测量装置、低本底  $\gamma$  谱仪和热释光测量仪等；
- 制样设备：程控马福炉、电炉、程控烘箱、球磨机、电子天平、通风柜等；
- 非放测量及分析仪器：原子吸收光谱仪、紫外/可见分光光度计、BOD、COD、酸度计、溶氧仪、测氯仪、电导率仪等。

环境实验室的主要设备配备及性能参数详见表 8.3-4，环境实验室会因为设备性能下降、监测方法更新等原因，对监测设备进行变更，以实际使用的为主。

### 8.3.2.3 自动气象站

气象数据是评价核电厂气态流出物对周围环境影响程度及范围的重要参数，因此气象观测系统也是电厂运行期间环境监测的重要组成部分。自动气象站主要用来采集、处理和记录厂区的风速、风向、温度、湿度、气压和雨量等气象数据，作为计算、评价短期或长期常规放射性释放对该地区环境影响的依据。在发生核事故时，提供实时气象参数以便电厂应急组织执行应急措施，同时作为事故辐射后果评价的输入参数，以便采取最适当的防护措施保护环境以及保护电厂工作人员和公众安全。

自动气象站由以下设施组成：

#### 1) 气象塔

气象塔沿用现位于厂区东南侧。该塔高约 102m，分别在距地面 10m、30m、50m、70m、100m 处设置风速、风向、温度传感器；在靠近地面处设置温度、湿度、气压等传感器。

#### 2) 地面气象站

地面气象站内设置 10m 风速风向、地面温度、相对湿度、雨量计、天空总辐射及净辐射等传感器及气象数据采集装置和就地处理计算机，气象数据采集装置自动采集、处理、存储气象数据，并将气象数据送到 KRS 中央数据服务器。所有的气象数据传输至应急指挥中心的 KRS 中央数据服务器。

#### 8.3.2.4 环境监测车辆

环境监测车辆包括环境监测车、应急巡测车和环境取样车。在本工程正常运行情况下，环境监测车和环境介质采样车用于对厂区及周围的环境  $\gamma$  辐射水平进行巡测、环境介质样品的采样和传送、环境介质的快速测量、气象和环境监测系统设备的日常维护，以及进行热释光元件（TLD）的布设及回收等监测相关工作。在事故情况下，应急监测车将快速出动，利用便携式仪表对厂区内及厂址周围的辐射水平进行快速测量。测量数据可通过无线方式传输至应急指挥部。

环境监测车辆配置的主要设备有：便携式  $\gamma$  谱仪、车载气溶胶连续监测仪、碘和气溶胶取样设备、便携式表面污染测量仪、 $\gamma$  剂量率仪、手持式气象仪、无线通讯、各种介质采样工具以及样品容器、包装袋等设备。目前福清核电环境监测车、应急巡测车和环境取样车的仪器设备详见表 8.3-5~8.3-7，其他便携式取样/巡测设备及工器具见表 8.3-8~8.3-9，后续设备变更或新增时，以实际应急辐射监测相关程序为准。

#### 8.3.2.6 应急监测子系统

按照目前福清核电应急辐射监测程序要求，电厂配备有移动式  $\gamma$  辐射监测设备及相应数据接收处理单元，日常情况下，需确保 1 备 1 用。根据事故影响的范围，为了对部分重点位置加强监测，或在环境  $\gamma$  辐射固定监测站不可用的情况下，将移动式  $\gamma$  剂量率监测设备放至指定地点进行环境  $\gamma$  剂量率的连续监测，监测数据通过无线方式传输至 KRS 中央站。后续根据法律法规更新、监管部门要求等，本部分内容以电厂实际应急辐射监测相关要求为准。

#### 8.3.2.7 地下水监测井

福清核电 1-4 号机组在控制区内共设置了 5 口地下水监测井，分别位于 9QA/9QB 厂房、QS 厂房、2MX 厂房、4MX 厂房及 8QA/8QB 厂房附近，共同监测 1-4 号机组的地下水。福清核电 5、6 号机组工程设置了 3 口地下水监测井，分别位于气象站、7QA/7QB 厂房、6MX 厂房附近。监测井布置见图 8.3-2 中所示。核电厂正常运行后监测井将作为环境监测大纲中地下水的取样点，定期取监测井内的地下水进行测量，用于分析地下水是否受到放射性核素污染。



### 8.3.2.8 监督性前沿站和子站

除了福清核电厂各类环境监测设施外，也建设了外围辐射环境监督性监测系统供地方环保部门使用，外围辐射环境监督性监测系统包括外围环境监测子站和前沿站。

监督性监测前沿站位于港头镇东元村，与福清核电厂厂外环境实验室处于同一小区。前沿站建筑面积约 1362m<sup>2</sup>，共三层。配置低本底物理测量设备、通用化学分析仪表及实验室家具，可完成环境样品的采样、制样、低本底测量（ $\gamma$  谱分析、总  $\alpha$ 、总  $\beta$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ ）等功能。

监督性监测子站共设置 11 个，与福清核电厂 11 个的固定式环境监测子站，可基本覆盖核电厂周围陆域各个方位角。

## 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；
- (7) 可保存的各类常规样品（包括分析剩余样品、非破坏性分析样品和备检样品）部分保存十年，并附有可靠的标签和专门的记录。强沾污样品及有特殊情况的样品将保存到作出结论后再处理。

#### 8.4.1.2 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刻度制度，所有放射性测量仪器，都按照检定周期定期检定。刻度所用标准源和标准物质，可追溯到国家计量标准或国际计量标准，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  $\chi^2$  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。

#### 8.4.1.4 实验室比对

为了发现和确定本实验室分析测量所产生的系统不确定度，实验室应积极参与至实验室之间分析测量比对，近年来的比对结果详见表 8.4-1。

### 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、权力等级。
- 统一的环境监测组织机构，对福清核电地区的环境监测进行统一管理。
- 设环境应急科科长及副科长、主管工程师、专业工程师。其中，环境应急科科长及副科长对环境监测计划的实施及其质量保证全面负责；各主管工程师及专业工程师对其职责范围内的采样、样品处理、分析测量及数据处理与评价等各个环节的质量控制负直接责任。

#### 8.4.2.2 人员资格和培训

监测结果准确度与工作人员的经验、知识和技术水平有关，因此，制定了下列措施：

- 从事环境监测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；

- 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。
- 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 (1/2) 福建福清核电厂运行期间环境监测大纲

监测对象		监测分析项目	监测频度	布点数+对照点数		
陆地环境 $\gamma$ 辐射	连续 $\gamma$ 辐射	空气吸收剂量率	连续	11		
	即时 $\gamma$ 辐射	空气吸收剂量率	季	43+1		
	累积 $\gamma$ 辐射剂量	累积剂量	季	43+1		
大气和沉 降物	空气	氡	$^3\text{H}$	季	3	
		碳-14	$^{14}\text{C}$	季	3	
		碘	$^{131}\text{I}$	月	4	
	气溶胶		总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 、 $\gamma$ 谱分析	月	5	
	沉降灰		总 $\beta$ 、 $\gamma$ 谱分析、 $^{90}\text{Sr}$	季	3+1	
	降水		$^3\text{H}$ 、 $\gamma$ 谱分析	季	3+1	
陆地介质	水	地表水	$^3\text{H}$ 、 $\gamma$ 谱分析	半年	3+1	
		控制区外地下水	$^3\text{H}$ 、 $\gamma$ 谱分析	半年	2+1	
		控制区内地下水	总 $\beta$ （季度）、 $^3\text{H}$ （季度）、 $\gamma$ 谱分析（半年）	季度 半年	5	
		饮用水	$^3\text{H}$ 、总 $\beta$ 、 $\gamma$ 谱分析	半年	2+1	
	岸边沉积物		$^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$ 谱分析	年	3	
	土壤		$^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$ 谱分析	年	5	
	陆生生物	大米		$^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 谱分析	年	2
		红薯		$^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 谱分析	年	2
		花生		$^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 谱分析、 $^{90}\text{Sr}$ 分析	年	1
		叶菜	空心菜	$^{131}\text{I}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 谱分析	年	3
芹菜						

注：(1)  $\gamma$ 谱分析的核素包括： $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{114}\text{Ce}$ 、 $^7\text{Be}$ 、 $^{103}\text{Ru}$ 、 $^{133}\text{I}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 以及在 $\gamma$ 谱仪上有明显特征峰的其他核素。

(2) 若监测大纲更新，以实际为准。

表 8.1-1 (2/2) 福建福清核电厂运行期间环境监测大纲

监测对象		监测分析项目		监测 频度	布点数+对照 点数	
陆地介质	陆生生物	豆角		$^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 谱分析、 $^{90}\text{Sr}$	年	1+1
		水果	甜瓜	$^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 谱分析、 $^{90}\text{Sr}$	年	1
		肉类	羊肉	$^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 谱分析、羊骨分析 $^{90}\text{Sr}$	年	2
			鸡肉			
		牛奶		$^{131}\text{I}$ 、 $\gamma$ 谱分析	年	2
		淡水鱼	罗非鱼	$^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 核素	年	3
			鲢鱼			
			草鱼			
指示生物	相思树叶	$^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 谱分析、 $^{90}\text{Sr}$	年	1		
海洋介质	海水		$\gamma$ 谱分析、总排放口附近样品及 对照点样品分析 $^{90}\text{Sr}$	半年	5+1	
			$^3\text{H}$	月	2	
	海洋沉积物		$^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$ 谱分析	年	5+1	
	海洋生物	藻类	海带	$^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 谱分析	年	2
			紫菜			
		贝类	蚬子	$^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 谱分析	年	2
			蛏子			
		甲壳类	明虾	$^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 谱分析	年	1
		鱼类	乌母鱼	$^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 谱分析	年	3
			红鱼			
			鲈鱼			
	软体类	八爪鱼	$^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 谱分析	年	1	
	指示生物	牡蛎	$^{14}\text{C}$ 、 $\gamma$ 谱分析、 $^{90}\text{Sr}$	年	1	

注：(1)  $\gamma$ 谱分析的核素包括： $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{114}\text{Ce}$ 、 $^7\text{Be}$ 、 $^{103}\text{Ru}$ 、 $^{133}\text{I}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 以及在 $\gamma$ 谱仪上有明显特征峰的其他核素；

(2) 若监测大纲更新，以实际为准。

表 8.1-2（1/2） 环境辐射监测各核素、方法汇总表

序号	调查对象	样品用量	分析项目	分析方法（参考标准）	测量时间	探测限
1	环境 $\gamma$ 辐射	N/A	连续 $\gamma$ 辐射	GM 管剂量率测量法	连续测量	10nGy/h
		N/A	瞬时 $\gamma$ 辐射	塑料闪烁体剂量率仪测量法	2min	10nGy/h
		N/A	累积 $\gamma$ 辐射	热释光计数法	一季度	1.0 $\mu$ Gy
2	气溶胶	大于 300m <sup>3</sup>	总 $\alpha$	$\alpha$ 计数法	120min	1.07 $\times 10^{-5}$ Bq/m <sup>3</sup>
		大于 300m <sup>3</sup>	总 $\beta$	$\beta$ 计数法	120min	1.69 $\times 10^{-5}$ Bq/m <sup>3</sup>
		大于 300m <sup>3</sup>	$\gamma$ 核素	$\gamma$ 能谱分析法	1400min	1.3 $\times 10^{-5}$ Bq/m <sup>3</sup>
3	沉降灰	0.2g	总 $\beta$	$\beta$ 计数法（EJ/T900-1994 水中总 $\beta$ 放射性测定蒸发法）	120min	2.04 $\times 10^{-3}$ Bq/(m <sup>2</sup> ·d)
		1 季度实际采集量	$\gamma$ 核素	$\gamma$ 能谱分析法	1400min	0.51 Bq/(m <sup>2</sup> ·d)
			<sup>90</sup> Sr	二-（2-乙基己基）磷酸酯萃取色层法 HJ815-2016 水和生物样品灰中锶-90 的放射化学分析方法	960min	1.4 $\times 10^{-4}$ Bq/(m <sup>2</sup> ·d)
4	空气	10ml	<sup>3</sup> H	液体闪烁计数法（GB 12375-1990 水中氚的分析方法）	1000min	1.12Bq/L
		2g	<sup>14</sup> C	液体闪烁计数法（EJ/T 1008-1996 空气中 <sup>14</sup> C 的取样与测定方法）	500min	6.5 $\times 10^{-6}$ Bq/L
		大于 300m <sup>3</sup>	<sup>131</sup> I	$\gamma$ 能谱分析法（GB/T 14584-1993 空气中碘-131 的取样与测定）	1400min	4.0 $\times 10^{-5}$ Bq/m <sup>3</sup>
5	土壤、岸边沉积物、海洋沉积物	100g	<sup>90</sup> Sr	二-（2-乙基己基）磷酸酯萃取色层法（EJ/T 1035-2011 土壤中锶—90 的分析方法）	960min	0.15Bq/kg
		250g	$\gamma$ 核素	$\gamma$ 能谱分析法（GB 11743-2013 土壤中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法）	1400min	0.2Bq/kg（干）

表 8.1-2 (2/2) 环境辐射监测各核素、方法汇总表

序号	调查对象	样品用量	分析项目	分析方法（参考标准）	测量时间	探测限
6	地表水、海水、地下水、饮用水、降水	10mL	$^3\text{H}$	液体闪烁计数法（GB 12375-1990 水中氚的分析方法）	1000min	0.9Bq/L
		40L	$\gamma$ 核素	二氧化锰吸附- $\gamma$ 能谱分析法（GB/T 16140-2018 水中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法）	1400min	$8 \times 10^{-4}$ Bq/L
7	海水	5L	$^{90}\text{Sr}$	二-（2-乙基己基）磷酸酯萃取色层法 HJ815-2016 水和生物样品灰中锶-90 的放射化学分析方法	960min	$2.5 \times 10^{-4}$ Bq/L
8	生物	1kg	$^{90}\text{Sr}$	二-（2-乙基己基）磷酸酯萃取色层法 HJ815-2016 水和生物样品灰中锶-90 的放射化学分析方法	960min	$9.9 \times 10^{-3}$ Bq/kg(鲜样)
		20g	$^{14}\text{C}$	氧化燃烧法-液闪计数法	500min	3.8Bq/kg
		20g	$^3\text{H}$	冷冻捕集-液闪计数法	500min	1.5Bq/kg
		200g	$^{131}\text{I}$	$\text{CCl}_4$ 萃取、AgI 沉淀法（GB/T13273-1991 植物、动物甲状腺中碘-131 的分析方法）	960min	0.041Bq/kg(鲜样)
		50g	$\gamma$ 核素	$\gamma$ 能谱分析法（GB/T 16145-1995 生物样品中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法）	1400min	$2.0 \times 10^{-3}$ Bq/g（灰）
9	牛奶	4L	$^{131}\text{I}$	树脂吸附 $\text{CCl}_4$ 萃取法（GB/T14674-1993 牛奶中碘-131 的分析方法）	960min	$1.49 \times 10^{-3}$ Bq/L（鲜样）
		50g 灰	$\gamma$ 核素	$\gamma$ 能谱分析法（GB/T 16145-1995 生物样品中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法）	1400min	$2.0 \times 10^{-3}$ Bq/g 灰

注：若监测大纲更新，或监测方法更新，以实际执行的环境监测大纲为准。



表 8.2-1 不同工况下不同等级温升区面积

温升 机组数	0.5℃	1℃	2℃	3℃	4℃	5℃
1 台机组	3.39	1.85	0.09	0.01	0.004	-
2 台机组	2.42	1.1	0.54	0.12	0.04	-
3 台机组	5.75	1.87	0.52	0.19	0.06	0.014
4 台机组	4.79	3.22	1.56	0.45	0.04	0.007

表 8.2-2 气象站设备性能参数

序号	设备名称	型号	主要性能
1	风速传感器	EL15-1A	量程：0.3-60m/s 启动风速：0.3m/s 精度： $\pm 0.3\text{m/s}$ 分辨率：0.05m/s
2	风向传感器	EL15-2D	量程：0-360° 启动风速：0.3m/s 精确性： $\pm 5^\circ$ 分辨率：3°
3	雨量传感器	SL3-1	承水口径： $\Phi 200\text{mm}$ 分辨率：0.1mm 测量范围：0~4mm/min 精确性： $\pm 4\%$
4	温度传感器	WZP1	测量范围： $-50^\circ\text{C}\sim 80^\circ\text{C}$ 最大允许误差： $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 外型尺寸： $\phi 6\text{mm}\times 130\text{mm}$
5	湿度传感器	DHC1	测量范围：0% RH~100% RH 最大允许误差： $\pm 3\%\text{RH}$ (< 90%) $\pm 5\%\text{RH}$ (90%~100%) 长期稳定性： $< 2\%\text{RH}/\text{年}$ 重复性：0.5%RH
6	天空总辐射	TBQ-2	测量精度： $7\sim 14\ \mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$ 响应时间： $< 30\text{s}$ (99%) 测量范围：0~2000W/m <sup>2</sup> 温度响应： $\pm 2\%$ ( $-20^\circ\text{C}\sim +40^\circ\text{C}$ )
7	天空净辐射	TBB-1	测量精度： $7\sim 14\ \mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$ 响应时间： $< 35\text{s}$ (99%) 光谱范围：3~100 $\mu\text{m}$ (长波辐射)；0.3~3 $\mu\text{m}$ (短波辐射)
8	大气压力传感器	PTB330	测量范围：500~1100 hPa 精度：500~1100 hPa： $\pm 0.10\ \text{hPa}$ ； 温度系数：500~1100 hPa： $\pm 0.1\ \text{hPa}$ 长期稳定性：500~1100 hPa： $\pm 0.1\ \text{hPa}/\text{年}$

表 8.3-1 流出物实验室的房间面积和房间功能

房间	功能	使用面积 m <sup>2</sup>
计数测量间	测量分析流出物的放射性水平	30
冷制备间	常规岛气液态流出物样品制样	29.42
核素测量间	分析流出物核素的种类	14.55
$\gamma$ 谱仪探头间	流出物 $\gamma$ 谱放化测量	11.75
热制备间	核岛气液态流出物样品制样	37.24
源存放间	存放放射源	5.7

表 8.3-2 流出物实验室的仪器设备配置

序号	设备名称	数量	仪器设备型号及规格参数
1	液闪计数器	1	LSC-LB7 能谱范围：0—2000keV
2	低本底 $\alpha/\beta$ 测定仪	1	ORTEC PIC-MPC 9604 效率：对 $\alpha$ ： $^{241}\text{Am} \geq 42\%$ ， 对 $\beta$ ： $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y} \geq 55\%$ ；
3	分析天平（220g）	1	赛多利斯 BSA224S-CW220g；精度 0.1mg
4	高纯锗 $\gamma$ 谱仪	2	ORTEC GEM40P4-76 晶体类型：P 型高纯锗，同轴型，相对探测效率： $\geq 40\%$ ；能谱范围：50 keV~10 MeV；分辨率：1332.5keV 半峰宽 2.1keV
5	便携式 pH 计	1	梅特勒-托利多 S8
6	总有机碳分析仪	1	1030W TOC
7	手动真空泵抽滤瓶成套（泵+抽滤瓶）	1	配 5 $\mu$ 微孔滤膜+47MM, 500ML 过滤器； 手动真空泵制造材料（主体）：PVC，最大真空度：58—64cmHg

表 8.3-3 监督性流出物实验室的主要放化测量仪器设备清单

序号	放化测量仪器名称	仪器设备型号及规格参数	数量
1	液闪计数仪	Quantulus 1220/ PerkinElmer 1.能谱范围：0—2000keV； 2.具有多参数线性 MCA(多通道分析)技术，分辨 1/10keV； 3.计数效率：H-3 的效率大于 60%，C-14 的效率大于 94%； 4. 配有制冷装置保证设备温度恒定。	1
2	低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 测定仪	MDS-4/ORTEC 1.独立的 4 路超低本底流气式正比计数器； 2.本底： $\alpha < 0.1\text{CPM}$ ， $\beta < 1\text{CPM}$ ； 3.效率：对 $\alpha$ $^{241}\text{Am} \geq 42\%$ ， 对 $\beta$ $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y} \geq 55\%$ 。	2
3	高纯锗 $\gamma$ 谱仪	GEM60P4/ ORTEC 1.晶体类型：P 型高纯锗，同轴型； 2.相对探测效率： $\geq 60\%$ ； 3.能谱范围 40keV~10MeV； 4.分辨率 122keV 半峰宽小于 1keV， 1332.5keV 半峰宽小于 1.95keV。	2

表 8.3-4 (1/2) 福清核电厂环境实验室主要设备及性能参数

序号	仪器名称	型号	性能指标	数量
1	高纯锗 $\gamma$ 谱仪-P 型	GEM60P4-83	相对探测效率：60%； 能量分辨率：1.95keV； FW.1M/FWHM：1.9。	2 台
2	高纯锗 $\gamma$ 谱仪-N 型	GMX40P4-83	相对探测效率：40%； 能量分辨率：2.0keV； FW.1M/FWHM：2.0。	1 台
3	低本底液体闪烁计数器	Q1220	淬灭标准源： $^3\text{H}$ 和 $^{14}\text{C}$ 淬灭校正源；（活度在 4~5 $\mu\text{Ci}$ ）	2 台
4	低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 测量仪	MDS-8	对 $\alpha$ 射线的本底 < 0.06cpm；探测效率为 $\geq 42\%$ ( $^{241}\text{Am}$ ) ( $2\pi$ ) 对 $\beta$ 射线的本底 < 0.6cpm；探测效率为 $\geq 55\%$ ( $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ ) ( $2\pi$ )	3 台
5	热释光剂量读出仪	HR2000D	量程：0.01 $\mu\text{Gy}$ ~10Gy； 升温速率：1~40 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$	2 台
6	原子吸收光谱仪	AA800	双光束光路系统 火焰原子化系统 横向加热石墨炉原子化器 AS800 石墨炉自动进样器 1 台	1 台
7	紫外/可见分光光度计	Lambda35	50mm 光程石英流通池, 370 $\mu\text{L}$ 体积, 连接头 10~100mm 长光程	2 台
8	溶解氧测定仪	Oxi3210	量程：0.00~19.99mg/l $\pm 0.5\%$ 饱和度：0.0~199.9% $\pm 0.5\%$	1 台
9	专用酸度计	PH3210	pH 量程：-2.00~+19.99 Mv 量程： $\pm 1200.0 \pm 0.3$	3 台
10	多功能酸度计	Cond 720	pH 量程：-2.00~+19.99 Mv 量程： $\pm 1200.0 \pm 0.3$	2 台
11	电导率测定仪	Cond 3210	量程：0.0~1000mS/cm $\pm 0.5\%$ 0.000~1.999 $\mu\text{S}/\text{cm}$	1 台
12	测氯仪	ET 9950F	光源类型：LED 波长 528nm 量程：0.01~2.0 mg/l	2 台

表 8.3-4 (2/2) 福清核电站环境实验室主要设备及性能参数

序号	仪器名称	型号	性能指标	数量
13	高气压电离室	RSS-131	测量范围：0~100mSv/h 精度：±5%	1台
14	γ剂量率仪	FH40G-L10 主机+672E-10 探头	测量范围：1nGy/h~100mGy/h 灵敏度：约 2000s <sup>-1</sup> /μGy/h	2台
15	双GM管γ辐射探测器	WF-GM-FL	测量范围：0.01μGy/h ~ 10Gy/h，自动切换量程 线性：≤ ±15% 长期稳定性：≤ ±10%	若干
15	称量及制样设备			若干
16	样品前处理设备			若干

表 8.3-5 环境监测车车载设备清单

序号	设备名称	数量	主要参数
1	车载 $\gamma$ 辐射探测器	1套	测量范围：0.01 $\mu$ Sv/h~10 Sv/h 能量范围： 50keV -3MeV
2	数据通讯系统（集成GPS）	1套	-
3	笔记本电脑	1套	-
4	车载不间断电源（UPS）	1套	功率：5kw 持续工作时间：8h 输出：220V
5	车载避雷装置	1套	-
6	车载汽油发电机	1套	交流输出： 电压：220V； 功率：2.0kw； 额定电流：9.1A； 直流输出：电压12V； 电流：8.3A。



表 8.3-6 应急巡测车车载设备清单

序号	设备名称	数量	主要参数
1	车载 $\gamma$ 辐射探测器	1套	具备本底识别功能(NBR); 测量上限: 1Gy/h; 线性: $\pm 5\%$ 能量范围: 50keV~3MeV。
2	数据通讯系统(集成GPS)	1套	-
3	加固笔记本电脑	1套	-
4	车载不间断电源(UPS)	1套	功率: 5kw。 持续工作时间: 8h。 输出电压: 220V。
5	车载气溶胶取样与测量装置	1套	工作电压: 220V。 $\alpha$ 效率: 27.6% (Am-241)。 $\beta$ 效率: 26.6%(Cl-36)。 流量: 0~6m <sup>3</sup> /h。

表 8.3-7 环境取样车车载设备清单

序号	设备名称	数量	主要参数
1	车载配电系统	1套	输出: 220V;
2	车载汽油发电机	1套	交流输出: 电压: 220V; 功率: 2.0kVA; 额定电流: 9.1A; 直流输出: 电压 12V; 电流: 8.3A。

表 8.3-8 便携式取样/巡测设备清单

序号	设备名称	数量	主要参数
1	气溶胶、气碘 取样器	1套	流量范围：60-230L/min 吸附效率： $\geq 99\%$
2	轻便型三杯风 向风速表	2套	风速 1m/s-30m/s 风向 $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$ 旋杯的启动风速 $< 0.8\text{m/s}$
3	便携式 $\gamma$ 剂量 率仪	1台	0.1 $\mu\text{Sv/h}$ -100mSv/h
4	$\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染 测量仪	1台	0-10000cps
6	便携式 $\gamma$ 剂量 率仪	1套	测量范围：0.01 $\mu\text{Sv/h}$ -10mSv/h 能量响应： 内置 GM 管：60keV-1.3MeV 外接 $\gamma$ 探测器：80keV-3MeV
7	便携式 $\alpha$ 、 $\beta$ 表 面污染仪	2套	测量范围：0.1- $10^4$ cps 探测效率： $\alpha$ ：8%， $^{241}\text{Am}$ (表面 3.4mm) $\beta$ ：10%， $^{60}\text{Co}$ ：50%， $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ $\gamma$ ：1.15%， $^{60}\text{Co}$
8	手持式数字多 道分析器	1套	剂量率范围：10nSv/h-100mSv/h 能量范围：15keV-3MeV
9	定位装置 GPS 导航仪	1套	

表 8.3-9 工器具/耗材清单

序号	名称	型号	存放位置	数量
1.	通讯工具	对讲机	环境实验室	6 部
2.	计算器		环境实验室	2 个
3.	应急照明灯		环境实验室	1 个
4.	胶带	60mm 宽	环境实验室	3 卷
5.	隔离标识		环境实验室	500 米
6.	取样袋（马夹袋）	大号	环境实验室	100 个
7.	取样袋（密封袋）	中号	环境实验室	100 个
8.	大流量气溶胶滤纸	Φ56mm	环境实验室	若干
9.	超大流量气溶胶滤纸	58cm×47cm	环境实验室	若干
10.	气碘取样盒	Φ56mm×25mm	环境实验室	若干
11.	取样桶	25L	环境实验室	20 个
12.	底泥取样专用工具		环境实验室	1 件
13.	铁锹		环境实验室	3 把

表 8.4-1 (1/2) 实验室比对情况

序号	参加项目名称	组织方	参加实验室	参加日期	结果
1	土壤中 $^{90}\text{Sr}$	苏州热工研究院有限公司	秦山核电、大亚湾核电、宁德核电、阳江核电、海南核电、江苏核电等	2015年6月	满意
2	土壤中 $\gamma$ 核素	苏州热工研究院有限公司	秦山核电、大亚湾核电、宁德核电、阳江核电、海南核电、江苏核电等	2015年6月	满意
3	水中 $^{14}\text{C}$	苏州热工研究院有限公司	秦山核电、大亚湾核电、宁德核电、阳江核电、海南核电、江苏核电等	2015年6月	满意
4	水中 $^3\text{H}$	苏州热工研究院有限公司	秦山核电、大亚湾核电、宁德核电、阳江核电、海南核电、江苏核电等	2016年6月	满意
5	水中总 $\alpha$	苏州热工研究院有限公司	秦山核电、大亚湾核电、宁德核电、阳江核电、海南核电、江苏核电等	2016年6月	满意
6	水中总 $\beta$	苏州热工研究院有限公司	秦山核电、大亚湾核电、宁德核电、阳江核电、海南核电、江苏核电等	2016年6月	满意

表 8.4-1 (2/2) 实验室比对情况

序号	参加项目名称	组织方	参加实验室	参加日期	结果
7	生物样品中 <sup>90</sup> Sr	苏州热工研究院有限公司	秦山核电、大亚湾核电、宁德核电、阳江核电、海南核电、江苏核电等	2017年6月	满意
8	水中 $\gamma$ 放射性核素	环境保护部	秦山核电、大亚湾核电、宁德核电、阳江核电、海南核电、江苏核电等	2017年8月	满意
9	X- $\gamma$ 辐射累积剂量	环境保护部	秦山核电、大亚湾核电、宁德核电、阳江核电、海南核电、江苏核电等	2017年8月	满意
10	土壤中 $\gamma$ 核素	苏州热工研究院有限公司	秦山核电、大亚湾核电、宁德核电、阳江核电、海南核电、江苏核电等	2018年10月	满意
11	水中氚	苏州热工研究院有限公司	秦山核电、大亚湾核电、宁德核电、阳江核电、海南核电、江苏核电等	2018年10月	满意

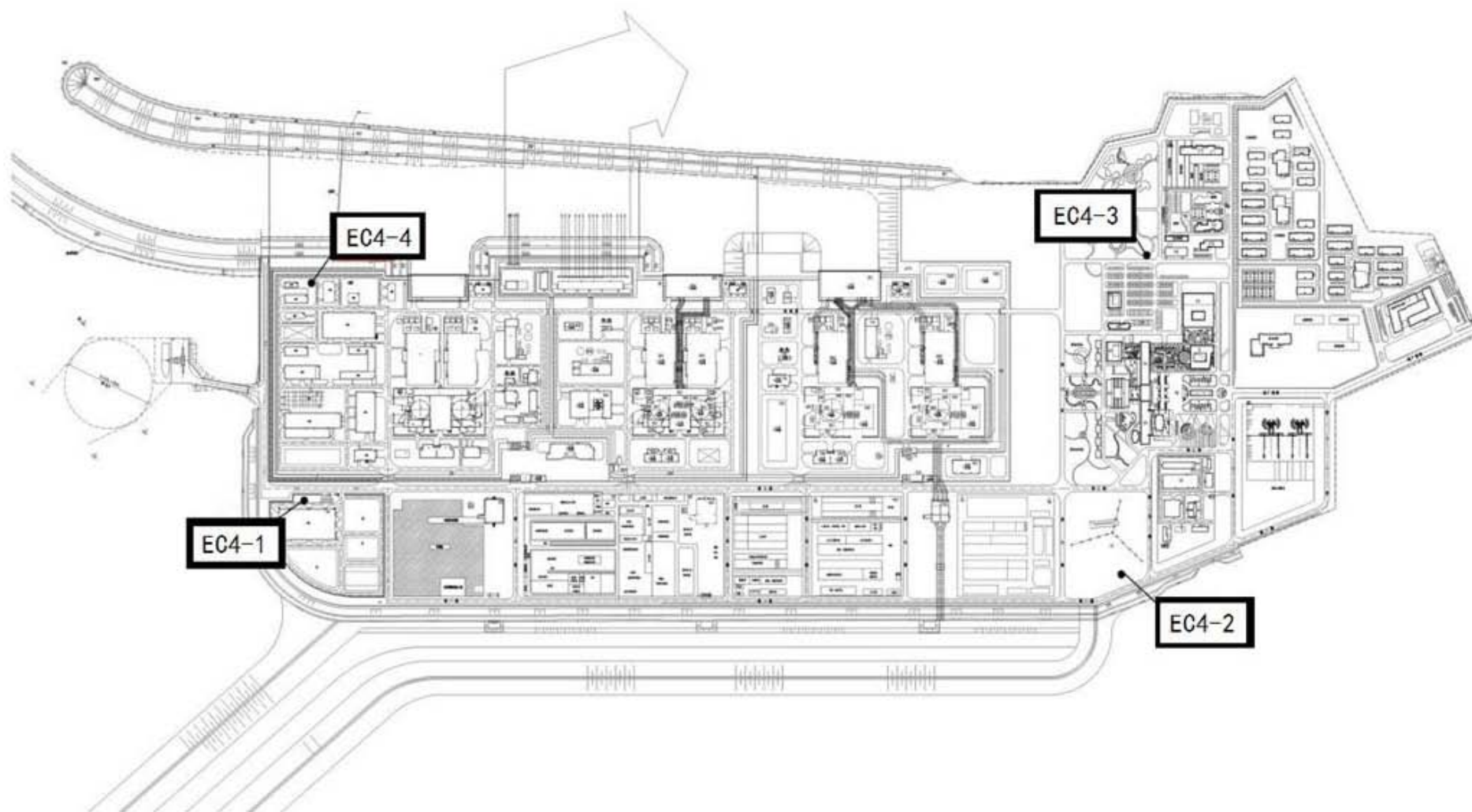


图 8.1-1 固定环境  $\gamma$  辐射测量点（厂内）位置分布图

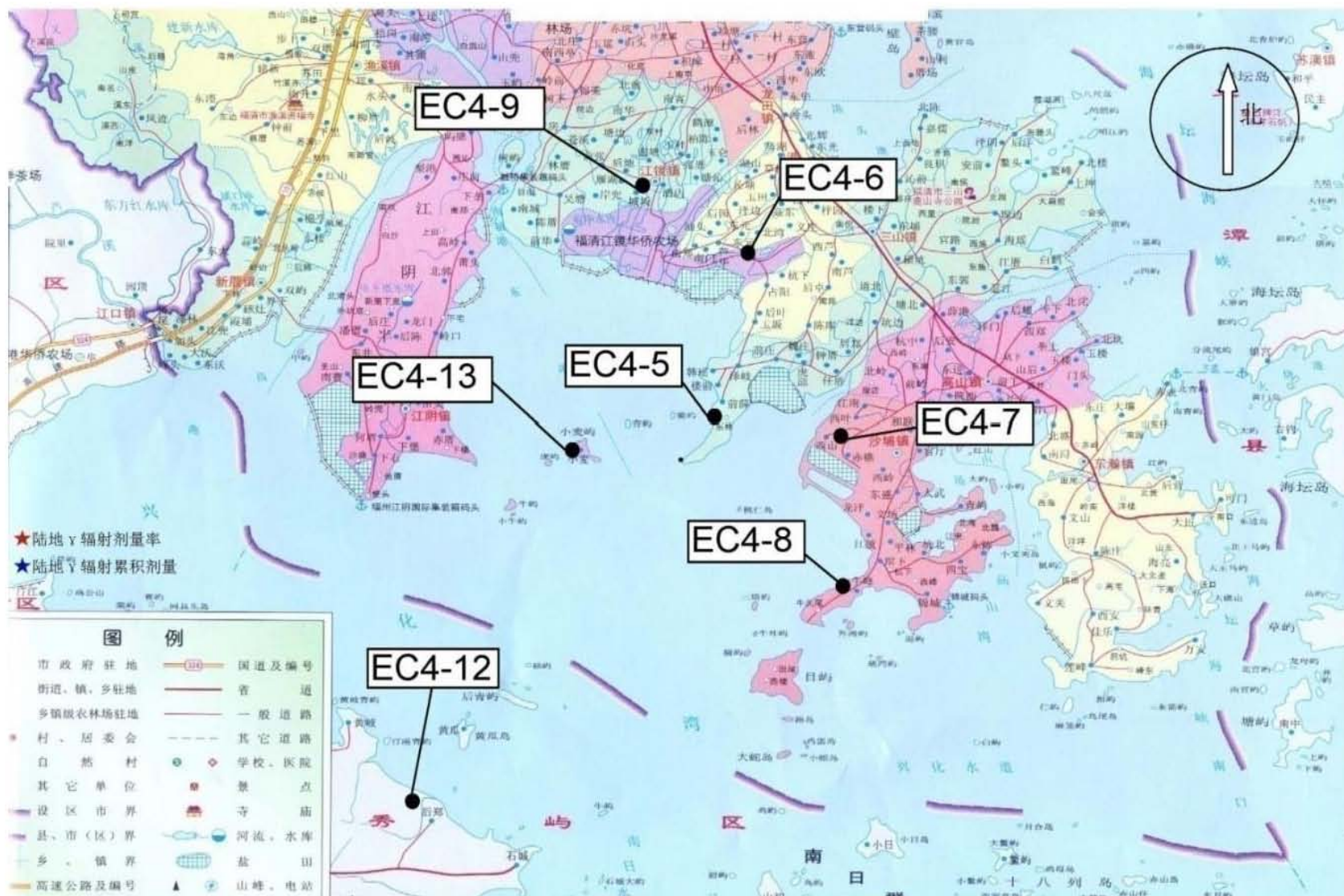


图 8.1-2 固定环境 $\gamma$ 辐射测量点（厂外）位置分布图



图 8.2-1 福清核电厂气象站平面图





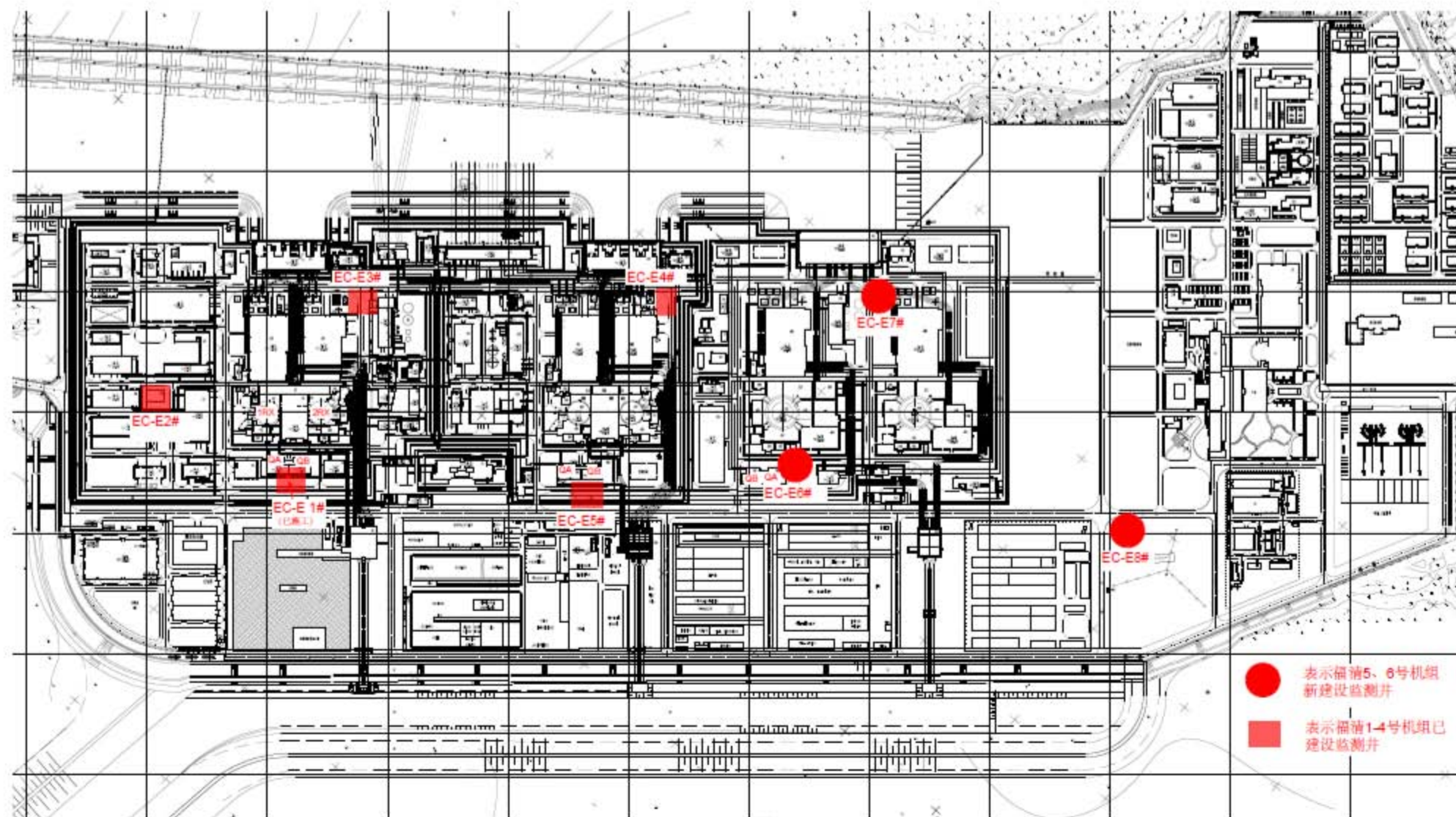


图 8.3-2 福清核电站地下水监测井分布图

## 第九章 利益代价分析

### 9.1 利益分析

9.1.1 运行带来的直接利益

9.1.2 建设和运行带来的间接利益

### 9.2 代价分析

9.2.1 直接代价

9.2.2 间接代价

## 9.1 利益分析

### 9.1.1 运行带来的直接利益

福建福清核电厂 5、6 号机组采用中核集团自主创新的三代百万千瓦级压水堆核电机组（华龙一号），建设规模为  $2 \times 1160\text{MW}$ 。设计寿命期为 60 年，经济评价期为 30 年。

福建福清核电厂 5、6 号机组工程项目年供电量为 150.35 亿度，新增工业产值约七百余亿元。项目考虑先征后返增值税作为补贴收入计入利润总额，测算收益情况，工程投产后在 30 年经济评价期内资本金内部收益率大于 9%，其经济效益在电力行业里属中等水平。

### 9.1.2 建设和运行带来的间接利益

#### （1）社会效益

福建福清核电厂 5、6 号机组工程项目的建设，不仅将有效地解决福建省的能源供求矛盾，还将缓解交通运输的紧张状况，推动当地的经济的发展，提高人民的生活水平。

核电厂的建设，还有助于逐步完善我国的核电标准，实现我国核电建设的系列化、标准化发展，从而全面推动我国核电事业的发展。

核电站项目投资大，建设周期长，直接或间接地解决了大量劳动力的就业问题。福建福清核电厂 5、6 号机组工程项目在建设期间，可提供约 5 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 600 人。其建设有利于地方建设，繁荣当地经济，有利于社会的安定团结。

福建福清核电厂 5、6 号机组工程项目通过对厂区周围环境的绿化装饰美化了周边的生活环境，带来了新的景观。

#### （2）环境效益

福建福清核电厂 5、6 号机组工程项目正常运行工况下，放射性流出物对周围居民的辐射影响小于天然本底辐射的波动范围，对生态环境的影响也极小。通过对事故后果的分析，周围公众可能受到的最大个人有效剂量等明显小于规定的剂量控制值。

与释放大量飘尘二氧化硫造成酸雨、释放二氧化碳造成温室效应和需要庞大排灰场地的燃煤电厂相比，核电是一种安全、清洁、高效的能源，对环境的影响很小。以正常年份发电量 1503.5 万兆瓦时、减排因子 1.05 计算，每年可减排  $\text{CO}_2 5.75 \times 10^6$  万吨，按 9.0 欧元/吨的单价计算，可产生环境效益 37794 万元。

## 9.2 代价分析

### 9.2.1 直接代价

环保设施投资包括核岛废物处理和排放系统、常规岛水处理系统及附属生产工程、厂

区三废处理及环境保护系统、流出物监测和环境监测系统、环境保护工程及厂区绿化等费用。施工期间环保费用的建设投资约占项目计划总资金约 2.37%左右。

乏燃料处理处置费从投产后第六年开始提取，按 0.026 元/KWH 计提。在计算期内，平均每年提取约 39091 万元。

退役基金以发电工程固定资产原值为基数，提取比例为 10%。从计算期第一年开始提取，在计算期内，平均每年提取退役基金 12060 万元。

中低放废物处理处置费从投产后第一年开始提取，按 0.5 元/MWH 计提。在计算期内，平均每年提取约 813 万元。

### 9.2.2 间接代价

#### 1) 长期占用土地

福建福清核电厂 5、6 号机组工程项目厂区、生活区需要长期征用大量的土地。

温排放和放射性流出物以及取排水构筑物都不会对当地的渔业生产产生明显影响。

#### 2) 限制厂址半径 5km 范围内地区的发展

按规定，在核电站外边界半径 5km 范围内为限制区，即在该地区内要限制人口机械增长、集中居民点建设和工矿企业及其它事业的发展。

厂址半径 5km 范围内目前无大工厂，据调查，厂址半径 5km 范围内没有新的工业发展规划。厂址半径 5km 范围内无生产、运输、储存易燃、易爆、化学腐蚀等危险品的设施。厂址半径 15km 内无铁路，厂址半径 10km 内无飞机场。厂址附近有两条福州长乐国际机场进离港航线。厂址半径 15km 范围内实现了村村通公路，交通比较方便。厂址 15km 内无省级以上自然保护区、名胜古迹和风景游览区，也无监狱和大型医院。

#### 3) 对交通运输的影响

在核电厂建设初期，电厂建设所需的施工设备、器材和人员的运输会增加当地交通网的负担，亦可能增加交通事故的频率。建设期间的大型设备运输和运行期间的乏燃料及放射性废物的运输，因有特殊的要求，会给所经线路的交通(包括陆路和海运)带来一定的影响。

#### 4) 对当地市政设施的影响

核电厂运行期间，电厂工作人员加上家属可达数千人，居住在当地，对该地方的文教、卫生、商业、交通等市政设施造成一定的压力，加重了地方市政负担。

核电站施工期间对环境的影响主要表现在噪声、扬尘、少量有毒化学品和放射源的使用、生活污水和生产废水以及施工建设对自然景观造成一定程度的破坏等方面。但是由于

在核电站的施工过程中，严格按照国家有关规定进行操作和管理，制定了满足环保要求的施工方案和施工组织设计，并采取了相应的防护措施，所以对周围环境造成的影响是很有限的。另外，由于厂址半径 500m 范围内无居民居住，核电厂施工对公众的影响程度很小。由于核电站的建设，使当地的地形地貌发生了变化，但是在电厂投入运行后，在厂区附近将尽可能绿化，改善和美化环境。

核电站运行期间非放射性因素对环境的影响主要表现在机械损伤和卷吸效应、温排水、化学物质的排放以及生活污水等方面。福清 5、6 号机组工程项目采用海水直流冷却方式，因冷却水取水不会导致大批成鱼机械损伤，对浮游生物造成的卷吸效应也不会很明显；由于海湾所具有的优良自然条件，核电厂排出的温排水可以得到充分的掺混、稀释，并逐渐向外海迁移，因而造成的影响范围很小；核电厂运行期间排出的各种生产废水所含化学物质数量较少，而且在标准规定的控制浓度以下，并且是与循环冷却水一起汇合后排入海域，所以，化学物质排放不会对核电厂所在海域产生明显的不利影响；由于所有厂房的生活污水都在厂区用管道收集后送到厂区生活污水处理站，处理达到《污水综合排放标准》（GB8978-1996）的一级排放标准后排入大海，因此，生活污水不会对环境产生影响。

福建福清核电厂 5、6 号机组工程项目两台核电机组正常运行期间对环境产生的辐射影响是很小的，对周围居民的辐射影响控制在天然本底辐射的波动范围以内；在事故工况下，亦能够满足 GB6249—2011 规定的剂量控制值要求。

## 第十章 结论与承诺

### 10.1 核电厂建设项目

### 10.2 环境保护设施

### 10.3 放射性排放

### 10.4 辐射环境影响评价结论

### 10.5 非辐射环境影响评价结论

#### 10.5.1 施工期的环境影响

#### 10.5.2 运行期间的环境影响

### 10.6 公众意见采纳情况总结

### 10.7 承诺

## 10.1 核电厂建设项目

福清核电厂 5、6 号机组属新建工程，与 1-4 号机组属于同一个厂址，厂址位于福建省福清市三山镇西南前薛村的岐尾山前沿，厂址地处突入兴化湾的岐尾山，北、南、西三面环海，东北侧与陆地连接。厂址北距省会福州市 71km，距长乐市 58km，距福清市 32km，6 号机组距最近的村庄——前薛自然村 2.1km（均为直线距离）。

福建福清核电厂规划容量为六台百万千瓦级核电机组，一次规划、分期建设。福清 1-4 号机组采用“二代加改进”技术路线，5、6 号机组采用“华龙一号”自主化三代压水堆技术。1 号机组于 2014 年 11 月投入商运，2 号机组于 2015 年 10 月投入商运，3 号机组于 2016 年 7 月投入商运，4 号机组于 2017 年 9 月投入商运。福清核电厂 5、6 号机组计划于 2020 年 7 月 25 日装料，2020 年 12 月 25 日投入商业运行。5、6 号机组间隔 10 个月投运。

“华龙一号”机组定位为自主化三代百万千瓦级压水堆核电机组，“华龙一号”核电技术充分吸收借鉴了国家引进的三代核电技术，充分汲取了福岛事故经验反馈，设计和建造满足国家相关法规、标准和导则的要求，同时参照国际原子能机构所颁布的最新安全标准的要求，设计和建造执行的法规和标准能够确保核电厂构筑物、系统和设备的安全性达到或满足国际上核电发达国家的法规和标准要求。“华龙一号”核电技术充分考虑了运行和在建核电厂已有的设计、建造和运行经验，具备自主设计能力与知识产权。

## 10.2 环境保护设施

福建福清核电厂 5、6 号机组的主要环保设施以福清核电厂 1、2 号机组为设计参考，同时进行改进。福清核电厂 5、6 号机组的三废处理设施中，废气处理系统（ZGT），硼回收系统（ZBR）为单机组设置，废液处理系统（ZLT）及固体废物处理系统（ZST）的湿废物处理部分为双机组设置，增设两台机组共用的可降解废物处理系统（ZDT）。在采用先进的放射性废物处理工艺后，可使处理后的液态、气载放射性流出物排放满足《核动力厂环境辐射防护规定》GB6249-2011，使每台机组处理、整备后的放射性固体废物低于 50m<sup>3</sup>/年。

本工程利用 1、2 号机组原有的一套能够覆盖整个厂址区域的环境监测设施与气象监测系统，并且制订了环境辐射监测方案。此外，为福建省地方环保部门建设了相应的流出物实验室和环境监测设施，进行监督性监测。

由此可以预计，福建福清核电厂 5、6 号机组的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。

本工程主厂区设置生活污水处理站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我国国标的相关要求；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，汇集至非放射性含油废水处理站进行处理，排水水质满足我国国标的相关要求。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。

### 10.3 放射性排放

福清核电厂 5、6 号机组的设计年排放量满足国标 GB6249-2011 的要求，同时拟定的 5、6 号机组排放量申请值以及厂址 6 台机组的年排放量申请值均低于国标 GB6249-2011 规定的控制值。槽式排放出口处的放射性流出物中除氡和碳 14 外其他放射性核素浓度不超过 1000Bq/L。

### 10.4 辐射环境影响评价结论

#### （1）对公众的辐射影响

本工程运行阶段估算公众的最大个人剂量时，流出物排放源项采用排放量申请值。福建福清 5、6 号机组运行状态下，气液态流出物对公众的最大个人有效剂量为  $4.35E-06$  Sv/a，满足本工程剂量约束值（ $0.08mSv/a$ ）的要求。本工程建成后将与福清核电厂 1-4 号机组一起运行，6 台机组运行状态下，气液态途径综合释放的放射性物质对公众造成的最大个人有效剂量为  $1.48E-05$  Sv/a，约占厂址个人剂量约束值（ $0.25mSv/a$ ）的 5.92%。

本工程运行阶段分析关键人群组、关键核素、关键照射途径时，采用流出物排放源项预期值。福建福清 5、6 号机组运行状态下，关键居民组为前薛村的成人组，受到的最大个人有效剂量为  $9.87E-07Sv/a$ ；关键途径为液态途径的食入海产品造成的内照射途径，其所致的剂量为  $4.70E-07Sv/a$ ，约占气液态总剂量的 47.61%；关键核素为 C-14，它所致的剂量为  $5.81E-07Sv/a$ ，约占气液态总剂量的 58.80%。

#### （2）对非人类物种的辐射影响

福建福清核电厂 5、6 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  $10\mu Gy/h$ 。因此，福建福清核电厂 5、6 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。

福建福清核电厂 6 台机组正常运行时，近区海域中放射性核素对不同水生生物的影响率均在  $10^{-1}$  数量级以下。在 0~80km 海域范围内不同核素对各类水生生物所受的总剂量率均小于  $10\mu Gy/h$ 。因此，福建福清核电厂 6 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。

从影响率的结果来看，福清核电厂 5、6 号机组正常运行时，厂址附近陆域范围内不

同媒介中放射性核素对不同陆生生物的影响率均在  $10^{-3}$  数量级以下；从剂量率的估算来看，厂址附近陆域范围内各种陆生生物所受的剂量率均小于  $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，福清核电厂 5、6 号机组正常运行时，厂址附近陆域范围内陆生生物是安全的。

福清核电厂 6 台机组正常运行时气载放射性核素对厂址周围不同陆生生物的影响率均在  $10^{-2}$  数量级以下。厂址附近陆域范围内各种陆生生物所受的剂量率小于  $10\mu\text{Gy/h}$ 。因此，福清核电厂 6 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

在各类极限事故中，放射性后果最严重的是燃料操作事故。在一系列的保守假设下，公众在非居住区边界 2h 内和规划限制区边界整个事故持续时间内受到的有效剂量分别为  $8.60\text{E-}03\text{Sv}$  和  $6.21\text{E-}04\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量分别为  $1.22\text{E-}01\text{Sv}$  和  $8.80\text{E-}03\text{Sv}$ ，满足 GB6249-2011 对极限事故规定的剂量控制值（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  $0.1\text{Sv}$  以下，甲状腺当量剂量应控制在  $1\text{Sv}$  以下）。

在各类稀有事故中，放射性后果最严重的是蒸汽发生器传热管破裂（事故前碘峰）事故，当采用保守大气弥散因子时，公众在非居住区边界 2h 内和规划限制区边界整个事故持续时间内受到的有效剂量分别为  $1.79\text{E-}03\text{Sv}$  和  $1.29\text{E-}04\text{Sv}$ ；甲状腺当量剂量分别为  $1.90\text{E-}02\text{Sv}$  和  $1.37\text{E-}03\text{Sv}$ ，均小于 GB6249-2011 对稀有事故规定的剂量控制值（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  $5\text{mSv}$  以下，甲状腺当量剂量应控制在  $50\text{mSv}$  以下）。

事故分析表明：福清 5、6 号机组运行期间可能发生的设计基准事故和特殊工况事故导致的环境放射性后果是可以接受的。

## 10.5 非辐射环境影响评价结论

### 10.5.1 施工期的环境影响

#### （1）社会环境影响

5、6 号机组用地均为建设用地，不涉及动迁居民，不会对当地居民造成不利影响。核电厂工程建设期间需要大量的工程施工人员，大量的外来施工人员进驻施工现场，可能对附近居民的日常生活造成轻微的影响，但同时也可以增加当地居民的就业机会和商机，而大量施工人员在该地区较长时期的居住和生活，可以增强该地区的消费能力，促进经济的发展。

#### （2）水土流失

福清 5、6 号机组的建设是在前期工程已平整的场地内的建设，工程建设严格按照批复的水土保持方案执行。工程施工结束后，因施工引起水土流失的各项因素逐渐消失，地表扰动也基本停止，施工区域的水土流失将明显减少。通过有效的工程措施、植被种植、临时防护等措施，可有效缓解施工建设期间的水土流失现象。

### （3）施工噪声

福清核电厂 5、6 号机组施工期间，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；厂外敏感点受村民活动频繁，人流密集，社会车辆及私家车车流量大，周边商铺较多引起的村民活动噪声、机动车穿行和鸣笛声及商铺音响播放声的影响，除前薛村部分监测值外，其余均满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类标准要求；交通点由于受到施工车辆来往较多的影响，部分监测点位不满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 4a 类标准要求。随着施工结束，工程进入正常运行状态，上述影响将随之消失。

### （4）粉尘的影响

福清核电厂 5、6 号机组施工期间，由于施工高峰期碎石厂的工作量加大，产生的扬尘较大，且碎石厂的沙土堆放问题造成 2017 年第一次厂区内无组织排放源不符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的“新污染源大气污染物排放限值”的要求，在采取颗粒物浓度进行实时监测、根据浓度变化对作业区域进行洒水喷淋、减少扬尘、控制颗粒物的排放浓度的措施之后，后续的厂区内无组织排放源符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的“新污染源大气污染物排放限值”的要求，厂区外的环境空气质量符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准的要求。因此，施工活动对周围大气环境影响不大。

### （5）水环境的影响

陆域施工活动对水环境的影响主要来自施工人员生活污水的排放。施工期间生活临建区的生活污水经管道收集后排入生活临建区原有生活污水处理站处理，生活临建区的生活污水处理站已建成，并由专业的公司运营，并对最终出水水质监测排放（排放至厂址北部海域），2019 年 5 月进行升级改造，改造后达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准。搅拌站区域及周围临建单位的生活污水经管道收集后排入已建的维修调试综合区污水处理站，经处理达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准后排放至厂址东南部海域。施工期生活污水处理后达标排放，不会对附近海域的海水质量造成明显影响，是可以接受的。

本工程的取排水工程及大件码头在一期时已经完成。本阶段的海域施工仅 5、6 号机

组围堰的拆除及 5、6 号机组取水明渠清礁作业。采取有效措施减轻疏浚及其他施工过程对海域环境影响。海域施工期间开展了福清核电厂施工期海域环境的监测工作。

### 10.5.2 运行期间的环境影响

#### （1）温排水物理影响

核电厂非放环境影响主要是电厂运行时余热排入环境。福清核电厂近岸区域为三类功能区，执行的水质标准为海水水质第三类。对此类海域要求：核电站温排水在混合区外造成的海水温升不超过当时当地 4℃。5、6 号机组采用“华龙一号”核电机组，1-6 号机组总冷却水量为 348m<sup>3</sup>/s。根据温排水数值模拟复核研究报告，夏季 1℃温升线和冬季 2℃温升线均在三类区范围内。因此，本项目排放的温排水对兴化湾海域的影响是有限的。

#### （2）对海洋生物的影响

在厂址附近海域，多次调查记录到的海洋生物均为常见种，没有国家规定的珍稀保护物种。福清核电厂 6 台机组运行后，在冬季大潮工况下（影响距离最远），0.5℃最大温升包络线离岸距离约 9.24km。因此，温排水对敏感区没有影响。电厂运行后，温排水对整个兴化湾水域的鱼卵和仔鱼数量及其季节变化将不会有全局性的影响；温排水将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。运行期间对浮游生物、鱼卵仔鱼等能进入取水系统的生物造成损失的影响有限，不会造成整个区域海洋生态的变化。

#### （3）生产废水和生活污水

本工程排放的生活污水满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）中一级 A 标准，排放的生产废水满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中一级标准（石油类<5mg/L），二者均允许排入《海水水质标准》（GB3097-1997）中海水二类功能区域。本工程海水区域为三类功能区域，满足排放条件。同时，生活污水处理站（ED4）处理后的再生水尽可能回用，仅回用剩余部分进行排放，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。

综上所述，福建福清核电厂 5、6 号机组在设计中对该核电厂产生的“三废”采取了相应有效的处理措施，使“三废”排放能够满足国家和地方有关环保法规和标准的要求，也满足《“十二五”期间新建核电厂安全要求》。预测的核电厂运行状态和事故工况下的辐射环境影响均满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的相关要求。核电厂运行产生的其他非放污染影响均不会对环境造成明显的影响。因此，从环境保护的角度考虑，本工程的建设和运行是可接受的。

### 10.6 公众意见采纳情况总结

福建福清核电有限公司根据相关法规标准的要求组织开展了福清核电厂 5、6 号机组运行阶段的公众参与活动，包括运行阶段首次环境影响评价信息公开（2019 年 1 月 30 日—2 月 12 日）、征求意见稿公示（2019 年 4 月 4 日—4 月 19 日）。

在 2019 年开展的福清 5、6 号机组运行阶段两次公众参与信息公告期间，未接到公众到现场查阅环境影响评价报告，也未收到公众通过电话、邮件、信函等方式提出的意见。

### 10.7 承诺

本工程运营管理单位在环境保护方面的承诺如下：

1) 为了加强核电厂周围公众对核电厂运行安全和环境影响的正确认识，福建福清核电有限公司在做好运行安全和环境保护工作的同时，将采取多种形式与公众加强沟通和交流。

2) 本工程运行期间，将严格进行流出物监测和环境监测；严格管理，加强设备维护和保养，确保“三废”处理设施稳定运行，尽可能降低放射性流出物排放量。

综上所述，从福建福清核电厂 5、6 号机组厂址的自然条件和社会条件分析，能满足工程建设运行的要求。本工程施工建设对环境的影响、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分析，建设和运行福建福清核电厂 5、6 号机组均是可行的。