

**防城港核电厂**

**3、4 号机组环境影响报告书**

**（运行阶段）**

**广西防城港核电有限公司**

**二〇二〇年九月**

**防城港核电厂**

**3、4 号机组环境影响报告书**

**（运行阶段）**

**广西防城港核电有限公司**

**法定代表人：周建平**

**地址：广西防城港市中心区迎宾路红树林大厦西塔**  
**楼 25 楼**

**邮编：538001**

**防城港核电厂**  
**3、4 号机组环境影响报告书**  
**（运行阶段）**

**苏州热工研究院有限公司 编制**

## 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

### 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 放射性废物管理系统和源项
- 4.7 非放射性废物处理系统
- 4.8 放射性物质厂内运输

## 第五章 核电厂施工建设过程的环境影响

- 5.1 土地利用
- 5.2 水的利用
- 5.3 施工影响控制

## 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 其它事故
- 7.5 事故应急

## 第八章 流出物监测与环境监测

- 8.1 辐射监测
- 8.2 其它监测
- 8.3 监测设施

## 8.4 质量保证

## 第九章 利益代价分析

### 9.1 利益分析

### 9.2 代价分析

## 第十章 结论与承诺

### 10.1 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 公众参与和调查结论

### 10.7 承诺

## 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

## 1.1 建设项目名称和建设性质

### 1.1.1 建设项目名称

本项目核电厂名称为“防城港核电厂”，本工程名称为“防城港核电厂3、4号机组”（简称“3、4号机组”）。防城港核电厂1、2号机组为两台CPR1000核电机组，3、4号机组采用华龙一号核电技术方案。

3、4号机组由广西防城港核电有限公司投资建设，并负责机组的建造、调试、运营和管理。广西防城港核电有限公司由中国广核集团有限公司和广西投资集团有限公司分别出资组建。

本报告书对3、4号两台核电机组开展环境影响评价。

### 1.1.2 建设性质

3、4号机组工程为扩建工程。

为了实现3、4号机组专业化、集约化和科学化的工程建设，广西防城港核电有限公司委托中广核工程有限公司对本工程建设实施全过程管理，加强安全、质量、进度、投资、技术和环保的六大控制。中广核工程有限公司由中国广核集团和广东核电投资有限公司共同出资成立，拥有曾参加过多个核电站工程建设的工程管理专业化人员队伍，具备百万千瓦级核电站工程自主化管理能力。

## 1.2 建设项目的规模和厂址总体规划

防城港核电厂址规划容量为6台百万千瓦级核电机组，一次规划、分期实施。防城港核电厂1、2号机组为两台CPR1000压水堆核电机组，3、4号机组采用华龙一号技术方案。截至目前，防城港核电厂1、2号机组已投入商业运行，3、4号机组正在建设中。防城港核电厂按规划容量建成后，整个厂址区将形成一址多堆的核电基地。为了对一址多堆厂址内的所有核电机组实施高效、安全的管理，实行辐射防护最优化，电厂业主遵循近远期结合、统一规划和循序渐进的原则进行现场总体规划，对电厂所有机组与环境保护相关的设施进行统筹安排，如：

- 统一规划并设立规划限制区边界；
- 整个厂区的总平面规划中功能分区明确，统一合理规划放射性区域和非放射性区域设施，3、4号机组将充分利用前期工程已经建成的BOP设施；



- 针对所有机组实施统一的流出物排放管理、设置统一的环境实验室和应急指挥中心等。

### 1.3 建设项目经费和环保设施投资

3、4 号机组由广西防城港核电有限公司负责建设和运营，负责筹措建设所需资金和债务偿还，负责债务的风险管理。

### 1.4 建设目的

#### （1）符合国家能源发展的产业政策

随着我国国民经济的持续快速稳步发展，能源供应的安全和节能减排的压力越来越受到国家的重视。长期以来，我国煤炭消费占能源消费总量的比例一直较高，同时，由于石油消费的不断增长，我国作为一个石油净进口国，石油消费对外部的依赖越来越严重。未来相当长时期内，煤炭仍将是中国的主要能源，化石能源在中国能源结构中仍占主体地位。

在面临常规能源资源日益减少和环境保护日益受到公众关注的情况下，我国除了积极推进资源节约型和环境友好型社会建设外，寻找节能环保的替代能源，是保障国民经济可持续发展的必然选择。通过发展核电，可避免过分依赖石油、煤炭、天然气等不可再生能源，实现能源供应多元化，提高能源的安全性。

2017 年 3 月，国务院正式批复了《核安全与放射性污染防治“十三五”规划及 2025 年远景目标》，规划中提出“保持新建核电厂高安全水平。科学开展核电厂选址，做好厂址特性的安全评价，保护已选核电厂址，必要时开展厂址复核。汲取日本福岛核事故经验教训，修订《核动力厂设计安全规定》，将安全改进项纳入新建机组标准设计，提高机组设计安全水平。新建核电机组实现从设计上实际消除大量放射性物质释放。”3、4 号机组采用的华龙一号技术方案安全水平满足核安全规划中的有关要求。

党的十九大提出到 2035 年基本实现社会主义现代化的阶段性宏伟目标，强调要构建清洁低碳安全高效的能源体系，这为新时代我国能源发展指明方向。核电具有清洁低碳安全高效等特点，发展核电是我国构建清洁低碳安全高效能源体系的重要途径之一。

综上所述，本项目的建设符合国家当前的核电产业政策要求。

## （2）满足广西电力需求发展的需要

3、4 号机组的建设可缓解广西未来能源供应紧张状况，项目建成后将成为广西电网的重要供电电源，其电力电量全部在广西电网消纳，成为广西西南部的核心电源，有效地解决广西的用电问题，为广西经济社会发展提供充足的电力，也将带动相关产业的发展，促进广西沿海乃至全区的经济发展。

## （3）满足广西环境保护的要求

习近平总书记在十九大报告中指出，加快生态文明体制改革，建设美丽中国，把生态文明建设摆在了中国特色社会主义五位一体总体布局的战略位置。

广西能源消费主要以煤炭消费为主，广西煤炭资源匮乏，煤炭供应基本依靠外省调入和进口，给煤炭生产、运输和环境保护带来很大压力。

核电是清洁能源，对环境无污染，几乎不排放硫化物、碳化物、氮化物以及烟尘、灰渣等污染物，放射性物质的泄漏亦有严格控制。以本期工程 2 台百万千瓦级核电机组替代相应容量的煤电机组，可减少二氧化碳排放约 1200 万吨/年，减少二氧化硫排放约 12.6 万吨/年，减少氮氧化物排放约 10.6 万吨/年。建设 3、4 号机组，实际上相当于减少了同等容量火电厂对环境的污染，可以有效改善环境质量，减轻广西在铁路、水路运输方面的压力，降低环境污染，实现电力、经济与环境协调发展，具有显著的环境效益和社会效益。

## （4）充分利用现有厂址资源，具有良好的经济效益

防城港核电厂 1、2 号机组已建成投运，形成了较好的经济效益和社会效益；为本期工程继续扩建奠定了良好的技术基础，为本期工程建设提供了技术保障。

此外，防城港核电厂址现有的基础设施已基本完备，如交通、供水、供电、通信、生活等方面设施，本期工程建设可充分利用，将有利于缩短工期、控制投资，提升本期工程项目建设的经济性。

## 1.5 建设项目的进度

3 号机组预计于 2021 年 12 月首次装料，2022 年 4 月具备商业运行条件。4 号机组预计于 2022 年 11 月首次装料，2023 年 3 月具备商业运行条件。

## 1.6 环境影响报告书编制依据

### 1.6.1 相关规划

#### （1）发展规划和土地利用规划

《防城港市城市总体规划（2015-2030 年）》已考虑防城港核电厂周围 5km 规划限制区的需要。本工程用地性质与《防城港市土地利用总体规划（2006-2020 年）（2016 年调整）》相符。

#### （2）海洋功能区划

广西壮族自治区海洋局 2013 年发布了“关于公布《广西壮族自治区海洋功能区划（2011-2020 年）》的通知”（桂海发[2013]39 号），发布了《广西壮族自治区海洋功能区划（2011-2020 年）》。厂址附近海洋环境功能区划具体为：

##### 一、企沙半岛东侧工业与城镇用海区（代码 A3-3）

位于企沙半岛东侧海域，东经 $108^{\circ}30'-108^{\circ}35'$ ，北纬 $21^{\circ}35'-21^{\circ}40'$ 。功能区类型为工业与城镇用海区，面积 $2901\text{hm}^2$ ，岸段长度 $42530\text{m}$ 。用途管制为：主要为防城核电厂建设与发展使用。部分海域布局核电厂取排水、码头、航道等基础设施；兼容风电场建设。用海方式为：允许适度改变海域自然属性；防城港核电厂应严格按照批复的用海方式使用、管理和维护海域；向海一侧距海岸线 $1\text{km}$ 外，除取排水设施、码头外，不得建设其他构筑物。

##### 二、企沙半岛东侧保留区（代码 B8-1）

位于企沙半岛东侧海域，东经 $108^{\circ}32'-108^{\circ}35'$ ，北纬 $21^{\circ}32'-21^{\circ}39'$ 。功能区类型为保留区，面积 $2342\text{hm}^2$ 。用途管制为：靠近防城港核电厂一侧，为防城港核电厂排水区；其余区域应严格论证最适合功能。加强对特殊用途区域及设施的保护，保障使用效能。新建项目及填海设施时，需按照规定征求相关部门的意见。用海方式为：按照批复的取排水方案、工程结构及施工工艺进行施工、管理和维护；禁止设置渔排、鱼栅、人工鱼礁等养殖设施。

#### （3）近岸海域环境功能区划

根据《广西壮族自治区人民政府办公厅关于印发广西壮族自治区近岸海域环境功能区划调整方案的通知》（桂政办发[2011]74 号文），厂址附近近岸海域环境功能区划具体为：

##### 一、红沙工业用海区（代码 GX083CIII）

企沙半岛东面，位置是  $E108^{\circ}33'58.0''$ 、 $N21^{\circ}41'43.0''$ ， $E108^{\circ}35'16.7''$ 、 $N21^{\circ}42'30.0''$ ，

E108°36'03.7"、N21°40'41.8"，E108°37'23.6"、N21°38'28.9"，E108°38'10.3"、N21°33'29.1"，E108°37'25.7"、N21°30'08.0"，E108°31'35.4"、N21°31'28.9"，E108°32'59.7"、N21°38'33.4"围成的海域（红沙排污区除外），面积 150km<sup>2</sup>。主导功能为核电站温排水及工业用海，属三类环境功能区，水质保护目标为三类海水水质标准。

## 二、红沙排污区（代码 GX084DIV）

红沙工业用海区内，位置是以 E108°35'01.8"、N21°36'16.8"为中心，半径 2km 的海域，面积 15km<sup>2</sup>，排污区周围设 0.5km 水质过渡带。主导功能为港口、工业、生活排污用海，属四类环境功能区，水质保护目标为四类海水水质标准，水温不执行海水水质标准。

### 1.6.2 相关管理文件

- 广西壮族自治区人民政府，桂政函[2009]28 号，《关于同意在防城港核电站周围设置限制区的复函》；
- 广西壮族自治区人民政府办公厅，桂政办发[2009]51 号，《关于成立广西壮族自治区核事故应急委员会的通知》；
- 广西壮族自治区人民政府，桂政办发[2011]74 号，《广西壮族自治区人民政府办公厅关于印发广西壮族自治区近岸海域环境功能区划调整方案的通知》；
- 广西壮族自治区生态环境厅，桂环函[2018]2966 号，《广西壮族自治区生态环境厅关于防城港红沙核电 5、6 号机组非放射性环境影响评价执行标准的函》；
- 广西防城港核电有限公司，桂防核[2018]87 号，《关于防城港红沙核电 5、6 号机组非放射性环境影响评价执行标准的请示》；
- 广西壮族自治区环境保护厅，桂环审[2012]200 号，《自治区环境保护厅关于 500 千伏防城港核电站送出工程环境影响报告书的批复》；
- 广西壮族自治区环境保护厅，桂环审[2013]85 号，《自治区环境保护厅关于广西防城港核电有限公司放射性同位素及射线装置核技术应用项目环境影响报告表的批复》；
- 广西壮族自治区环境保护厅，桂环函[2015]441 号，《广西壮族自治区环境保

护厅关于确定自治区近岸海域环境功能区划调整方案中红沙工业用海区范围的函》；

- 防城港市港口区环境保护局，港区环管发[2017]22 号，防城港市港口区环境保护局关于防城港核电二期砂石工程项目环境影响报告表的批复；
- 广西壮族自治区生态环境厅，桂环审[2018]233 号，广西壮族自治区生态环境厅关于广西防城港核电有限公司防城港核电厂二期工程核技术应用项目环境影响报告表的批复。

### 1.6.3 法规、标准和导则

#### (1) 主要法律法规、条例、部门规章和文件

- 中华人民共和国环境保护法（自 2015 年 1 月 1 日起修订施行）；
- 中华人民共和国核安全法（自 2018 年 1 月 1 日起施行）；
- 中华人民共和国海洋环境保护法（自 2017 年 11 月 5 日起修订施行）；
- 中华人民共和国放射性污染防治法（自 2003 年 10 月 1 日起施行）；
- 中华人民共和国环境影响评价法（自 2018 年 12 月 29 日起修订施行）；
- 中华人民共和国大气污染防治法（自 2018 年 10 月 26 日起修订施行）；
- 中华人民共和国水污染防治法（自 2018 年 1 月 1 日起修订施行）；
- 中华人民共和国环境噪声污染防治法（自 2018 年 12 月 29 日起修订施行）；
- 中华人民共和国固体废物污染环境防治法（自 2020 年 9 月 1 日起修订施行）；
- 中华人民共和国水土保持法（自 2011 年 3 月 1 日起修订施行）；
- 中华人民共和国海域使用管理法（自 2002 年 1 月 1 日起施行）；
- 中华人民共和国自然保护区条例（自 2017 年 10 月 7 日起修订施行）；
- 建设项目环境保护管理条例（自 2017 年 10 月 1 日起修订施行）；
- 中华人民共和国防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例（自 2018 年 3 月 19 日起修订施行）；
- 中华人民共和国防治陆源污染物污染损害海洋环境管理条例（自 1990 年 8 月 1 日起施行）；
- 放射性废物安全管理条例（自 2012 年 3 月 1 日起施行）；
- 危险化学品安全管理条例（自 2013 年 12 月 7 日起修订施行）；

- 海洋自然保护区管理办法（自 1995 年 5 月 29 日起施行）；
- 国家危险废物名录（自 2016 年 8 月 1 日起施行）；
- 近岸海域环境功能区管理办法（自 2010 年 12 月 22 日起修订施行）；
- 建设项目环境影响评价分类管理名录（自 2018 年 4 月 28 日起修订施行）；
- 核电厂厂址选择安全规定（HAF101，自 1991 年 7 月 27 日起施行）；
- 核电厂设计安全规定（HAF102，自 2016 年 10 月 26 日起修订施行）；
- 核电厂核事故应急管理条例（HAF002，自 2011 年 1 月 8 日起修订施行）；
- 放射性物品运输安全监督管理办法（HAF702，自 2016 年 5 月 1 日起施行）；
- 放射性废物安全监督管理规定（HAF401，自 1997 年 1 月 25 日起施行）；
- 放射性固体废物贮存和处置许可管理办法（HAF402，自 2014 年 3 月 1 日起施行）；
- 环境影响评价公众参与办法（生态环境部令[2018]4 号，自 2019 年 1 月 1 日起施行）；
- 水污染防治行动计划（国发[2015]17 号）；
- 关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知（环发[2012]77 号）；
- 关于切实加强风险防范严格环境影响评价管理的通知（环发[2012]98 号）。

## （2）技术标准、导则和规范

### 1) 辐射

- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）；
- 《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》（GB11216-89）；
- 《核电厂流出物放射性监测技术规范（试行）》（国核安发[2020]44 号）；
- 《环境核辐射监测规定》（GB12379-90）；
- 《核设施流出物监测的一般规定》（GB11217-89）；
- 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；
- 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）；
- 《放射性废物分类》（HAD401/04-2017）；
- 《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/01-2019）；

- 《核设施放射性废物处置前管理》（HAD401/12-2020）；
  - 《环境影响评价技术导则 核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ 808-2016）。
- 2) 大气
- 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；
  - 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
  - 《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）。
- 3) 水
- 《海水水质标准》（GB3097-1997）；
  - 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；
  - 《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）；
  - 《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018）。
- 4) 噪声
- 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
  - 《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）；
  - 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2009）。
- 5) 电磁
- 《环境影响评价技术导则 输变电工程》（HJ24-2014）；
  - 《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）。
- 6) 其他
- 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；
  - 《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2011）；
  - 《环境监测质量管理技术导则》（HJ630-2011）；
  - 《近岸海域环境监测规范》（HJ442-2008）；
  - 《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599-2001）及修改单；
  - 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18957-2001）及修改单；
  - 《危险废物收集贮存运输技术规范》（HJ2025-2012）；

- 《危险化学品重大危险源辨识》（GB18218-2018）；
- 《危险货物品名表》（GB12268-2012）等。

#### 1.6.4 相关技术文件

- 防城港核电厂 3、4 号机组最终安全分析报告，深圳中广核工程设计有限公司，2020 年 8 月；
- 防城港核电厂二期工程温排水数值模拟计算研究报告，中国水利水电科学研究院，2014 年 6 月；
- 防城港核电厂二期工程液态流出物数值模拟计算研究报告，中国水利水电科学研究院，2014 年 8 月；
- 防城港核电厂二期（2×HL1000-1）工程温排水物理模型试验研究成果报告，中国水利水电科学研究院，2015 年 11 月；
- 防城港核电厂 5、6 号机组工程接纳水体水质环境、水生生态与渔业资源调查生态总报告，国家海洋局第三海洋研究所，2018 年 12 月；
- 防城港核电厂 5、6 号机组工程厂址区域环境特征及外部人为事件调查报告，苏州热工研究院有限公司，2018 年 8 月；
- 防城港核电厂 5、6 号机组工程厂址区域人口分布、饮食习惯和生活习性调查报告，苏州热工研究院有限公司，2019 年 1 月；
- 防城港核电厂 3、4 号机组大气扩散试验研究总报告，苏州热工研究院有限公司，2020 年 4 月等。

### 1.7 评价标准

#### 1.7.1 辐射环境影响评价标准

##### 1) 正常运行期间（包括预计运行事件）的剂量约束值

防城港核电厂的规划建设规模为6台百万千瓦级核电机组。本次环境影响评价确定3、4号两台机组向环境释放的放射性物质对公众所受的剂量约束值为0.08mSv/a。

##### 2) 事故工况下的剂量限值

按《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）7.2款的规定，核动力厂事故工况的环境影响评价可采用设计基准事故，在设计中应采取针对性措施，使设计基准



事故的潜在照射后果符合下列要求：

- 在发生一次稀有事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 50mSv 以下；
- 在发生一次极限事故时，非居住区边界上公众在事故后 2h 内以及规划限制区外边界上公众在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 0.1Sv 以下，甲状腺当量剂量应控制在 1Sv 以下。

### 3) 年排放量控制值

防城港核电厂 3、4 号机组采用的华龙一号核电机组为轻水反应堆，堆芯额定热功率接近 3000MW，根据 GB6249-2011 中对于 3000MW 热功率的轻水反应堆设计控制值，则单堆排放量控制值如下：

气载放射性流出物：

- 惰性气体： $6 \times 10^{14}$ Bq/a；
- 碘： $2 \times 10^{10}$ Bq/a；
- 粒子（半衰期 $\geq 8$ d）： $5 \times 10^{10}$ Bq/a；
- 碳 14： $7 \times 10^{11}$ Bq/a；
- 氚： $1.5 \times 10^{13}$ Bq/a。

液态放射性流出物：

- 氚： $7.5 \times 10^{13}$ Bq/a；
- 碳 14： $1.5 \times 10^{11}$ Bq/a；
- 其它核素： $5 \times 10^{10}$ Bq/a。

按照《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）6.4款的规定，对于同一堆型的多堆厂址，所有机组的年总排放量应控制在6.2条款规定值的4倍以内。

防城港核电厂作为滨海厂址，其槽式排放出口处的放射性流出物中除氚和碳14外其它放射性核素浓度不应超过1000Bq/L。

### 4) 海水中的放射性核素浓度

根据《海水水质标准》（GB3097-1997）的要求，防城港核电厂运行期间受纳水体中的放射性核素浓度控制值为：

- $^{60}\text{Co}$ : 0.03Bq/L

- $^{90}\text{Sr}$ : 4.0Bq/L
- $^{134}\text{Cs}$ : 0.6Bq/L
- $^{137}\text{Cs}$ : 0.7Bq/L
- $^{106}\text{Ru}$ : 0.2Bq/L

#### 5) 放射性流出物排放量申请值

核电厂营运单位在首次装料前必须向生态环境部申请核电厂运行后放射性流出物的年排放量，经批准后作为核电厂运行后开展排放管理的技术依据。

3、4 号机组对于放射性流出物排放量的申请值按照以下原则进行确定：

- 满足国家和地方相关法律法规要求；
- 核电厂放射性流出物的排放不仅与电厂的系统设计有关，同时也与电厂运行负荷、管理水平等因素密切相关。考虑 3、4 号机组运行初期的实际情况，3、4 号机组申请流出物排放量方案如下：气载  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  和液态  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  申请值为机组设计值，液态流出物中其余核素和气载流出物的其它各类流出物排放量为机组设计值的 90%。

在此基础上，根据核电厂“四个统一”的原则，综合原环境保护部“关于广西防城港核电厂一期工程一、二号机组环境影响报告书(运行阶段)的批复”(环审[2015]194号)中已批复的 2 台机组年排放量，确定防城港核电厂 1 至 4 号机组放射性流出物的年排放量申请值。

### 1.7.2 非辐射环境影响评价的标准

参照广西壮族自治区生态环境厅出具的《广西壮族自治区生态环境厅关于防城港红沙核电 5、6 号机组非放射性环境影响评价执行标准的函》（桂环函[2018]2966 号），本次评价执行非放标准如下：

#### (1) 环境质量现状评价标准

##### — 海水

根据广西近岸海域环境功能区划要求执行《海水水质标准》（GB3097-1997）。

根据《广西壮族自治区人民政府办公厅关于印发广西壮族自治区近岸海域环境功能区划调整方案的通知》（桂政办发[2011]74 号文），红沙核电附近海域设立“红沙工业用海区”和“红沙排污区”。红沙工业用海区位置是 E108°33'58.0"、N21°41'43.0"，

E108°35'16.7"、N21°42'30.0"，E108°36'03.7"、N21°40'41.8"，E108°37'23.6"、N21°38'28.9"，E108°38'10.3"、N21°33'29.1"，E108°37'25.7"、N21°30'08.0"，E108°31'35.4"、N21°31'28.9"，E108°32'59.7"、N21°38'33.4"围成的海域（红沙排污区除外），面积 150km<sup>2</sup>。主导功能为核电站温排水及工业用海，属三类环境功能区，水质保护目标为三类海水水质标准。红沙排污区位置是以 E108°35'01.8"、N21°36'16.8" 为中心，半径 2km 的海域，面积 15km<sup>2</sup>，排污区周围设 0.5km 水质过渡带。水质保护目标为四类海水水质标准，水温不执行海水水质标准。

— 声

厂址区域声环境执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 2 类声环境功能区标准，厂址周围敏感点的噪声环境质量现状评价执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 1 类标准：昼间 55dB（A），夜间 45dB（A）。

— 环境空气质量

厂址区域空气质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的二级标准浓度限值。主要污染物的浓度限值分别为：TSP 日均浓度为 0.30mg/m<sup>3</sup>，PM<sub>10</sub> 日均浓度为 0.15mg/m<sup>3</sup>，PM<sub>2.5</sub> 日均浓度为 0.075mg/m<sup>3</sup>，SO<sub>2</sub> 的小时浓度为 0.50mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>2</sub> 的小时浓度为 0.20mg/m<sup>3</sup>。

— 电磁辐射

厂址区域电磁辐射环境现状评价执行《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）。工频电场强度和磁感应强度限值分别为 4kV/m 和 100μT。

（2） 污染物排放标准

— 生活污水

核电厂施工期和运营期的污水处理站处理的生活污水满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准，主要污染物的控制值为：

- 悬浮物：10mg/L；
- BOD<sub>5</sub>：10mg/L；
- COD：50mg/L；
- 总氮：15mg/L；
- 氨氮：5（8）mg/L；5mg/L 为水温>12℃时的控制指标，8mg/L 为水温≤12℃时的控制指标；

- 动植物油：1mg/L；
- 总磷：0.5mg/L（以 P 计）；
- 粪大肠菌群数： $10^3$  个/L；
- 色度（稀释倍数）：30；
- pH：6~9。

— 生产废水

核电厂施工期和运营期的生产废水满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中的一级标准排放，主要污染物的控制值为：

- 悬浮物：70mg/L；
- BOD<sub>5</sub>：20mg/L；
- COD：100mg/L；
- 石油类：5mg/L；
- pH 值：6~9。

— 噪声

运行期间厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的 2 类标准：昼间 60dB（A）；夜间 50dB（A）。

施工期间噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011），场界环境噪声排放限值：昼间 70dB（A）；夜间 55dB（A）。

— 大气污染物

核电厂非放大气污染物排放主要来自施工期的车辆尾气和施工粉尘，施工期的大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的无组织颗粒物排放监控浓度限值要求：二氧化硫的浓度为  $0.40\text{mg}/\text{m}^3$ ，氮氧化物的浓度为  $0.12\text{mg}/\text{m}^3$ ，颗粒物的浓度为  $1.0\text{mg}/\text{m}^3$ 。

## 1.8 工程组成

本项目是扩建工程，相关辅助设施充分使用已建设完成的配套工程，包括重件码头、施工与辅助电源输变电工程、500kV输电线路、放射源库、淡水供应工程、进厂道路和应急道路等，本期工程主要建设核电主体工程（核岛、常规岛、辅助厂房）。

本项目已单独开展环评的相关配套工程包括：500kV输电线路、放射源库。

## 1.9 环境保护措施

### （1）辐射影响防治措施分析

3、4 号机组采用的华龙一号核电技术方案，核岛废物处理系统（放射性气体废物系统、放射性废液处理系统、放射性固体废物处理系统）设置在核岛的辅助厂房与废物辅助厂房，能满足核电厂正常运行的需求。

放射性废液系统为电厂提供控制、收集、处理、输送、贮存及处置正常运行期间（包括预期运行事件）产生的放射性废液的能力，并将放射性废液的活度和化学浓度降低到可排放或电厂可重复利用的水平。放射性废液系统包括：冷却剂贮存和处理系统（TEP）、废液处理系统（TEU）、核岛废液排放系统（TER）、放射性污水回收系统（SRE）和核岛排气和疏水系统（RPE）等。3、4 号机组 TEU 系统采用蒸发、过滤、除盐等成熟的处理工艺对放射性废液进行处理，实现处理出水浓度满足 GB6249-2011 的要求。

放射性废气系统用于收集、贮存并处理反应堆正常运行工况和预期运行事件时产生的放射性废气，处理后经监测后排入大气。放射性废气系统主要包括：废气处理系统（TEG）、厂房通风系统（HVAC）和冷凝器真空系统（CVI）。放射性废气系统收集放射性气体，采用滞留床延时衰变的方式进行放射性废气的处理。

放射性固体废物系统用于收集和贮存电厂正常运行、预期运行事件下产生的蒸发浓缩液、废树脂及废活性炭、废过滤器芯子以及各种干废物。放射性固体废物处理过程主要在放射性废物处理站和放射性废物辅助厂房内进行，处理包装完成后的固废容器运至 QT 厂房中期暂存，防城港核电厂实行统一的环境保护管理，QS/QT 厂房按照满足六台机组 5 年产生的固体废物中期贮存要求设计，在一期工程中已建成。

### （2）非辐射影响防治措施分析

#### 1) 废水防治措施分析

本工程工业废水、生活污水按照“清污分流”、“分类处理”、“一水多用”的原则处理。

工业废水主要为循环冷却水中含有的少量氯、电厂工艺用水除盐时所产生的腐蚀抑制剂或化学活性添加剂（如氢氧化钠、盐酸、次氯酸钠、联胺等）。

电厂工艺用水除盐时将用到的腐蚀抑制剂或化学活性添加剂（如硼酸、氢氧化锂、

氢氧化钠、盐酸、次氯酸钠、联胺等），其中硼酸大部分随浓缩液进入固体废物，氢氧化锂基本不外排；部分氢氧化钠、盐酸和次氯酸钠在水中混合后可以发生氧化还原和中和反应生成无毒无害的无机盐类；联胺可分解为氮气及氢气排出。

厂区生活污水处理站（ED1）主要处理核电厂厂区的生活污水，主体工艺采用“厌氧-缺氧-耗氧除磷（A2O）”，废水经处理后达标排放。厂外辅助及生活区的生活污水处理站（ED2）采用和 ED1 相同的处理工艺，废水经处理后达标排放。定期监测污水处理站出水水质，发现不达标时及时处置。

## 2) 噪声污染防治措施分析

- 合理进行总平面布置，使重点噪声源尽量布置在厂区中部，并充分利用其他辅助建筑物进行屏蔽。
- 发电机、汽轮机、水泵、风机等设备均密闭于厂房内、高噪声设备均经过减震、隔噪等工程措施处理，且各厂房离厂界距离相对较远。通过多种方式使厂区边界处噪声满足国家标准要求。

## 3) 固体废弃物污染防治措施分析

- 一般工业固弃物：核电厂在正常运行过程中因设备的维修、零部件的损坏等会产生一定量的工业固废，有废木材、废钢铁、废电缆、废塑料、废金属、废电动机、废变压器和废空调等，将纳入全厂固废收集处理系统，委托专业废弃物公司对上述废物进行处置。
- 危险固废：本项目运行时将会产生废油漆、废油脂、废酸碱、废有机溶剂等危险固废，将其归类后，委托具有危险废弃物处置资质的公司对其处置。
- 生活垃圾及污泥：本项目运行时厂区工作人员产生的生活垃圾、生活污水处理站的污泥，由专门部门清运处置。

## 1.10 评价范围

### (1) 辐射环境

辐射环境的评价范围是以防城港核电厂 3 号机组反应堆为中心，半径 80km 范围的区域，评价内容包括气载和液态放射性流出物对半径 80km 区域内公众的辐射影响。

### (2) 非辐射环境

1) 水环境

评价范围为受纳海域 1℃温升范围,重点考虑取排水口附近海域及相关功能区管理要求,以及环境敏感目标环保要求。

2) 大气环境

由于核电厂施工期废气为无组织排放,因此评价范围为施工厂界和有关敏感点。

3) 声环境

声环境影响的评价范围为厂界外 1m 及敏感点。

4) 生态环境

参照《环境影响评价技术导则 生态影响》(HJ19-2011),本项目生态环境评价范围以核电厂永久占地和临时占地范围为主,并考虑附近自然保护区和生态敏感区。

5) 电磁环境

参照《环境影响评价技术导则 输变电工程》(HJ24-2014),本项目电磁环境影响评价范围以厂内输变电工程站界外 50m。

## 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



## 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

图

图 2.1-1 厂址地理位置示意图

图 2.1-2 防城港核电厂 1 至 4 号机组 5km 规划限制区示意图

## 2.1 厂址地理位置

### 2.1.1 厂址位置

防城港核电厂址位于防城港市港口区光坡镇东面约 8km 的红沙漓南侧光岭至山鸡啼一带。厂址为滨海厂址，东临钦州湾，西为老虎港，地处钦州湾盆地西北边缘。厂址的具体地理位置见图 2.1-1。厂址距北海市城区约 60km；距南宁市约 130km，距钦州市城区约 32km，距钦州市龙门港镇约 9km；距防城港市城区约 25km。

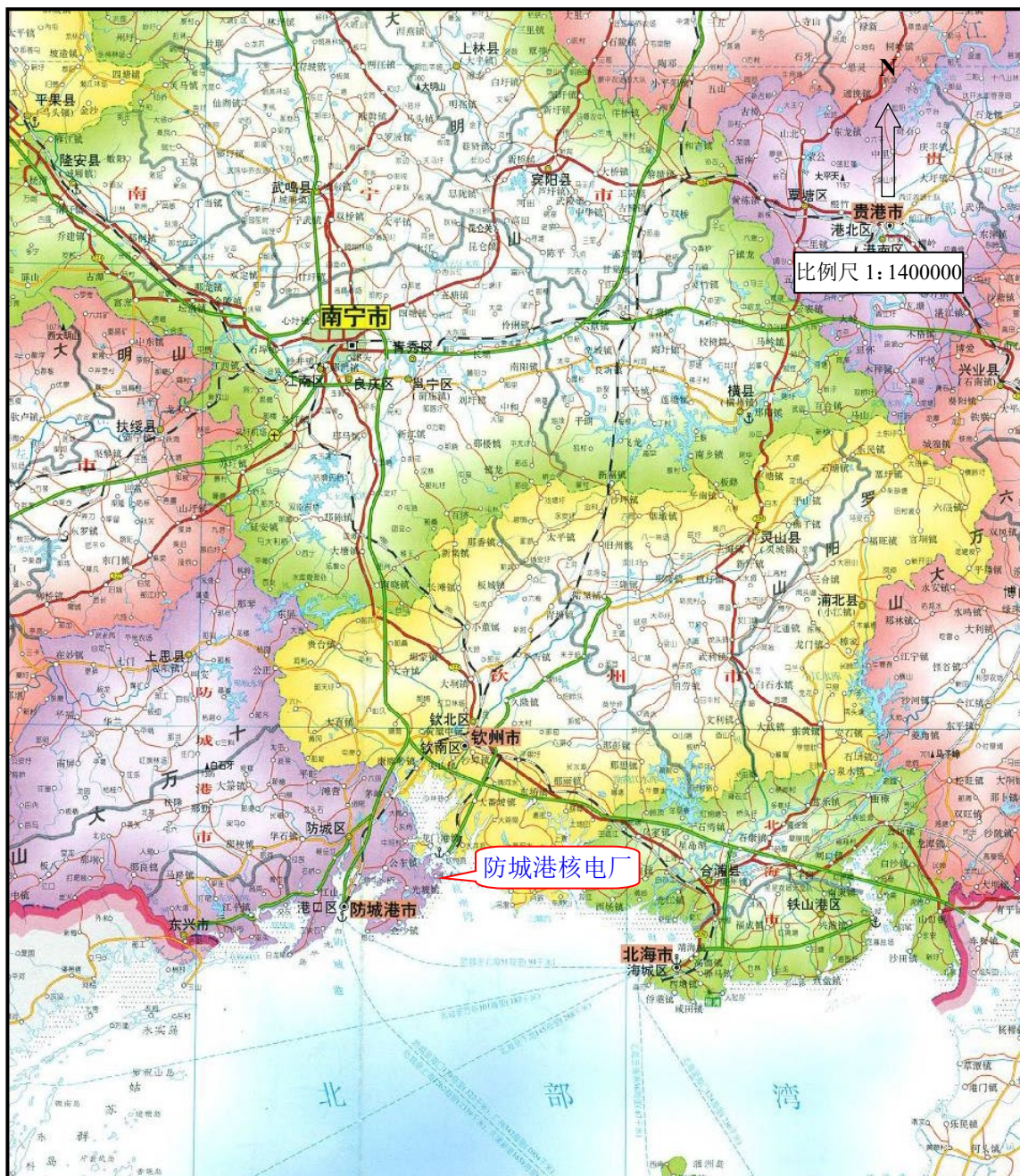
厂址地理位置见图 2.1-1。

### 2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区

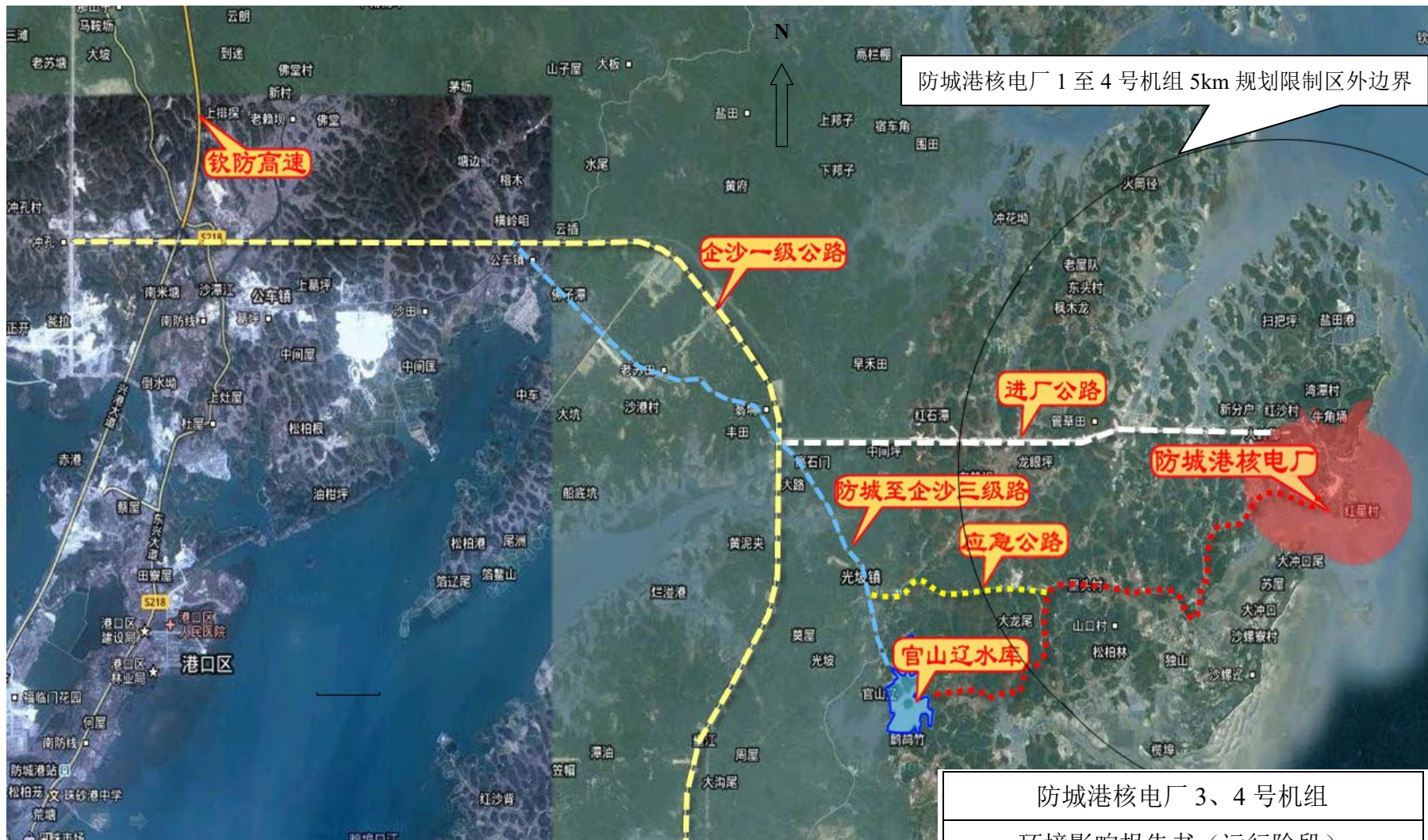
防城港核电厂为多堆厂址，全厂规划建设六台百万千瓦级压水堆核电机组，本期工程采用华龙一号技术方案建设两台核电机组。本期工程永久用地面积约 45.28hm<sup>2</sup>，工程临时用地面积约 75.65hm<sup>2</sup>（施工准备区，其中利用一期面积 46.57hm<sup>2</sup>，本期新增面积 29.08hm<sup>2</sup>）。本期工程用海面积约 266.6386hm<sup>2</sup>，其中温排水用海面积 264.9213hm<sup>2</sup>，跨明渠大桥（透水构筑物）用海 0.1231hm<sup>2</sup>，排水虹吸井施工围堰（非透水构筑物，临时用海）用海 1.5942hm<sup>2</sup>。

根据选址假想事故放射性后果的分析，3、4 号机组非居住区边界定为 800m，防城港核电厂 1 至 4 号机组陆域非居住区位于核电厂实际用地范围内，核电厂可以对非居住区实施有效控制。

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》和《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的要求，在防城港核电厂址周围将设置半径为 5km 的规划限制区。规划限制区内必须限制人口的机械增长，对该区域内的新建和扩建的项目应加以引导或限制，以考虑事故应急状态下采取适当防护措施的可能性。建设单位已获得广西壮族自治区人民政府的《关于同意在防城港红沙核电站周围设置限制区的复函》（桂政函[2009]28 号文），同意在防城港核电周围划定并设置半径 5km 的规划限制区（以反应堆为中心）。图 2.1-2 给出了防城港核电厂 1 至 4 号机组规划限制区示意图。



防城港核电站 3、4 号机组		
环境影响报告书（运行阶段）		
厂址地理位置示意图		
图 2.1-1	版次：	A



防城港核电站 1 至 4 号机组 5km 规划限制区外边界

防城港核电站 3、4 号机组		
环境影响报告书（运行阶段）		
防城港核电站 1 至 4 号机组 5km 规划限制区示意图		
图 2.1-2	版次:	A

## 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

#### 2.2.1.1 厂址半径 5km 范围

#### 2.2.1.2 厂址半径 10km 范围

#### 2.2.1.3 厂址半径 15km 范围

### 2.2.2 厂址半径 80km 范围内的人口分布

#### 2.2.2.1 厂址半径 80km 范围内的人口中心

#### 2.2.2.2 厂址半径 80km 范围内的人口分布

#### 2.2.2.3 厂址半径 80km 范围内的预期人口分布

### 2.2.3 居民的年龄构成及饮食习惯和生活习性

#### 2.2.3.1 居民年龄构成

#### 2.2.3.2 厂址半径 5km 范围内居民的饮食习惯和生活习性

#### 2.2.3.3 厂址半径 80km 评价区内居民的饮食习惯

### 2.2.4 参考资料

#### 表

表 2.2-1 厂址半径 80km 范围内各子区现有人口分布（2016 年）

表 2.2-2 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2021 年）

表 2.2-3 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2031 年）

#### 图

图 2.2-1 厂址半径 80km 范围内各子区人口分布图（2016 年）

图 2.2-2 厂址半径 80km 范围内各子区预期人口分布图（2021 年）

图 2.2-3 厂址半径 80km 范围内各子区预期人口分布图（2031 年）

## 2.2 人口分布与饮食习惯

人口分布和饮食习惯以防城港核电厂 3 号机组为厂址中心按子区分别进行统计，径向划分半径为 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 和 80km 的同心圆，辐向以罗盘方位为扇形区中心线，划分成 16 个方位，共 192 个子区。调查数据时间为截至 2016 年底。

厂址半径 80km 范围主要涉及广西壮族自治区的防城港市、钦州市、北海市、南宁市四个地级市以及越南芒街市，具体包括：

- 厂址半径 5km 范围，主要涉及防城港市光坡镇的红沙村、沙螺辽村、栏冲村和新兴村；
- 厂址半径 10km 范围，主要位于防城港市光坡镇所辖范围，涉及沙潭江街道、王府街道、企沙镇和钦州市龙门港镇、钦州港经济技术开发区和钦州保税港区；
- 厂址半径 15km 范围，涉及防城港市光坡镇、沙潭江街道、王府街道、企沙镇、茅岭镇，以及钦州市龙门港镇、大番坡镇、钦州港经济技术开发区和钦州保税港区；
- 厂址半径 80km 范围，主要涉及广西壮族自治区防城港市下辖的港口区、防城区、东兴市、上思县；钦州市下辖的钦北区、钦南区、灵山县；北海市下辖的合浦县、银海区、海城区；南宁市下辖的良庆区；越南芒街。

### 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

本期工程不涉及人口搬迁工作，前期工程人口搬迁工作已完成，本次调查的人口数据反映了搬迁后的人口分布情况。厂址半径 5km 范围内涉及防城港市光坡镇的红沙、沙螺辽、栏冲和新兴 4 个行政村，共 57 个村民小组，共有户籍人口 9093 人。按厂址半径 5km 范围陆域面积计算，平均人口密度约为 258 人/km<sup>2</sup>，高于广西壮族自治区同期平均人口密度 202 人/km<sup>2</sup>，也高于防城港市同期年平均人口密度 158 人/km<sup>2</sup>。

离厂址最近的居民点是红沙村牛角冲组，位于厂址 NNE 方位 1.1km 处，有 111 人。厂址半径 5km 范围内最大的居民点为 SW 方位 2.6km 的栏冲村栏冲组，共有 312 人。

厂址半径 5km 范围内没有万人以上的乡镇。

厂址半径 5km 范围内则几乎没有工业发展，流入人口很少。厂址半径 5km 范围内

的红沙村、沙螺辽村、新兴村和栏冲村流入人口均不足百人，主要为从事养殖的外来人员。

与建造阶段相比，厂址半径 5km 范围内人口总数由 2012 年底的 9017 人增长为 2016 年底的 9093 人，自然村数量、公共设施规模基本保持一致。

厂址半径 5km 范围内为防城港市光坡镇农村地区，《防城港市城市总体规划》（2015-2030 年）中已考虑防城港核电厂 5km 规划限制区需要，该区域内无工业区和大型公共设施规划，对人口机械增长实施有效控制。

### 2.2.1.2 厂址半径 10km 范围

厂址半径 10km 范围内无大型公共设施。厂址半径 10km 范围内的中学、卫生院一般位于各镇的镇区，小学、幼儿园和卫生室则主要分布在各镇的镇区和中心村。

#### 一 卫生

厂址半径 10km 范围内的防城港地区有两家镇卫生院和一家精神病医院，具体情况为：

- 光坡镇卫生院，位于厂址 WSW 方位约 7.5km；
- 防城港市精神病医院，位于厂址 W 方位约 8.5km；
- 龙门港镇卫生院，位于厂址 NNW 方位约 8.8km。

厂址半径 10km 范围内的钦州地区有两家大型医疗机构，分别为钦州港滨海医院和钦州市第一医院港区分院。

- 钦州港滨海医院是一家综合性医疗单位，该院位于厂址 NE 方位约 8.5km。
- 钦州市第一医院港区分院，该院位于厂址 NE 方位约 10km 处。

#### 一 文教

厂址半径 10km 范围内的中学一般位于各镇的镇区，小学和幼儿园则主要分布在各镇的镇区和中心村。具体情况为：

- 企沙镇有小学 2 所；
- 光坡镇有中学 1 所，小学 8 所，幼儿园 2 所；
- 龙门港镇有中学 1 所，小学 1 所，幼儿园 2 所。
- 钦州港有小学 3 所。

#### 一 敬老院、监狱

厂址半径10km范围内没有监狱。敬老院主要在光坡镇、龙门港镇的镇区，另有数个五保村分布于各行政村。钦州港经济技术开发区没有敬老院。

厂址半径 10km 范围内没有 10 万人以上的城镇。

### 2.2.1.3 厂址半径 15km 范围

厂址半径 15km 范围涉及防城港市光坡镇、沙潭江街道、王府街道、企沙镇、茅岭镇，以及钦州市龙门港镇、大番坡镇、钦州港经济技术开发区和钦州保税港区。共有户籍人口 116756 人。按厂址半径 5km 范围陆域面积计算，平均人口密度约为 211 人/km<sup>2</sup>，高于广西壮族自治区同期平均人口密度 202 人/km<sup>2</sup>，也高于防城港市同期年平均人口密度 158 人/km<sup>2</sup>。

在统计厂址半径 5km 至 15km 范围内的居民点时，一般以行政村级行政单位作为基本单位。厂址半径 15km 范围内的行政村数量为 38 个，离厂址最近的行政村为红沙村，位于厂址 3 号机组 NNE 方位 2.5km，最大的行政村为企沙镇东港社区，位于厂址 3 号机组 SW 方位 14km。

本报告在具体统计时，居民区连接在一起的作为一个人口中心对待。厂址半径 5~15km 范围内有千人以上居民点 21 个。其中最大的居民点为企沙镇镇区，位于厂址 3 号机组 SW 方位约 13.2km 处，2016 年底有人口 31498 人。

近些年来，厂址半径 15km 范围内的各镇工业发展步伐逐渐加快，其中企沙镇、沙潭江街道、王府街道属于防城港经济技术开发区，而钦州港区内的工业也发展迅猛。相应地这三个地区内的人口流动性也较大。

厂址半径 15km 范围内的旅游景点和游客情况主要如下：

- 钦州市七十二泾风景区（厂址 N~NNE 方位约 8~11km 处）为 3A 级风景名胜區，年接待游客约 5 万人次。景区平时游客较为分散，只有在每年节假日期间游客较多，节日高峰接待游客可以达到三四百人次。
- 红沙村火山岛、万亩蚝排和渔鹭园，火山岛和万亩蚝排位于厂址 NNE 方位约 3.5km 处，渔鹭园位于厂址 NE 方位约 2.5km 处，3 处景点年接待游客总量约 3 万人次。
- 企沙镇簕山古渔村，位于厂址 SSW 方位约 7.5km 处，年接待游客约 30 万人次。



## 2.2.2 厂址半径 80km 范围内的人口分布

### 2.2.2.1 厂址半径 80km 范围内的人口中心

厂址半径 80km 范围涉及广西壮族自治区防城港市下辖的港口区、防城区、东兴市、上思县；钦州市下辖的钦北区、钦南区、灵山县；北海市下辖的合浦县、银海区、海城区；南宁市下辖的良庆区；越南芒街。

在统计厂址半径 80km 范围内的居民点时，一般以镇级行政单位作为基本单位。本报告在具体统计时，对于各市区的街道统一合并为一个人口中心看待。

厂址半径 80km 范围内人口超过万人的人口中心有 18 个，其中超过 10 万人的有 3 个，分别为：北海市市区，位于厂址 ESE 方位 60km，有 339992 人；钦州市市区，位于厂址 N 至 NNE 方位 32km，有 213589 人；北海市合浦县廉州镇镇区，位于厂址 E 方位 63km，有 126887 人。

距厂址最近的万人以上人口中心为钦州港经济技术开发区主城区，位于厂址 NNE 方位 9km 处，集中居住的户籍人口有 14269 人。

### 2.2.2.2 厂址半径 80km 范围内的人口分布

截至 2016 年底，防城港核电厂厂址半径 80km 范围内总人口数为 3709609，评价区内人口密度为 185 人/km<sup>2</sup>，陆域面积约占总评价区域的 58%，按陆域面积计算，评价区内人口密度为 318 人/km<sup>2</sup>，高于广西壮族自治区同期平均人口密度 202 人/km<sup>2</sup>，也高于防城港市同期年平均人口密度 158 人/km<sup>2</sup>。厂址半径 80km 范围评价区平均人口密度高于广西壮族自治区同期平均人口密度的原因是评价区涉及的钦州市下辖的钦北区、钦南区；北海市下辖的合浦县、银海区、海城区；南宁市下辖的良庆区人口密度高。

厂址半径 80km 范围内的人口分布详见表 2.2-1 和图 2.2-1。

### 2.2.2.3 厂址半径 80km 范围内的预期人口分布

根据《核电厂厂址选择及评价的人口分布问题》（HAD101/03）的要求，需要预测核电厂投运时及电厂寿期内每隔十年的人口数量。

根据《广西人口发展规划（2016~2030 年）》，厂址半径 80km 范围内的人口预期增

长率：2015~2020 年：年平均增长率 1%，2021~2030 年：年平均增长率 1.1%。

防城港核电站 3 号机组计划于 2021 年建成投产，电厂设计寿期为 60 年。以此推算核电站投运时（2021 年）以及寿期内每隔 10 年（即 2031 年、2041 年、2051 年、2061 年、2071 年、2081 年）厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布。

人口预测以 2016 年底人口数据为基础，预测人口采用指数增长公式计算：

$$N = N_0 e^{rt}$$

式中：N：预期人口数（人）；

$N_0$ ：现有人口数（人）；

r：预期年平均人口增长率（‰）；

t：N 与  $N_0$  之间的时间间隔（年）。

广西人口总规模到 2030 年前后达到峰值，本报告保守假设 2030 年以后人口增长率为 0%。由于 2030 年以后人口增长率为 0%，因此厂址半径 80km 范围内 2031 年以后人口与 2031 年相同。根据预测，防城港核电站 3 号机组半径 80km 范围内运行时（2021 年）总人口为 3903726，2031 年及以后总人口为 4309928。

核电站运行寿期内各子区的人口分布情况见表 2.2-2~表 2.2-3 和图 2.2-2~2.2-3。

## 2.2.3 居民的年龄构成及饮食习惯和生活习性

### 2.2.3.1 居民年龄构成

根据 2010 年全国第六次人口普查统计资料，统计出厂址半径 80km 范围内居民年龄构成占。

### 2.2.3.2 厂址半径 5km 范围内居民的饮食习惯和生活习性

本次调查针对厂址半径 5km 范围内的居民食谱和生活习性采用调查表的方式进行，居民个人食物消费量调查采用了食物图谱辅助下的 3 天 24 小时膳食回顾法，辅以 1 年食物频率问卷法。居民个人生活习性采用了年回顾法进行调查。

厂址半径 5km 范围内的一般居民，采用等容量多阶段分层整取随机抽样方法，具体抽样方法是：先确定所要调查的乡镇，即光坡镇，然后选取所辖村庄，即红沙、沙螺辽、栏冲和新兴 4 个行政村中的自然村，再从选中的自然村中随机抽取一定数量的家庭，针对家庭中的成员进行调查。对于可能的关键人群组，在可能关键人群组范围

内采用等容量分层整取随机抽样方法，抽取一定数量的家庭。

本次调查于 2017~2018 年共开展了 4 次，每季开展一次，各次开展时间为：2017 年 11 月 1 日~6 日（秋季），2018 年 1 月 24 日~28 日（冬季），2018 年 5 月 3 日~8 日（春季），2018 年 8 月 23 日~25 日（夏季）。各季数据获取情况如下：

- 秋季：本次调查表 237 份有效，其中 219 份为采用 3 天 24 小时膳食回顾法，18 份采用 1 年食物频率法；
- 冬季：本次调查表 209 份有效，其中 194 份为采用 3 天 24 小时膳食回顾法，15 份为采用 1 年食物频率法；
- 春季：本次调查表 192 份有效，均为采用 3 天 24 小时膳食回顾法；
- 夏季：本次调查表 208 份有效，其中 199 份为采用 3 天 24 小时膳食回顾法，9 份为采用 1 年食物频率法。

根据对厂址附近的村民（主要渔民）的生活消费习惯以及厂址附近地区各年龄组工作的调查，厂址附近居民饮食消费结构和评价区内居民消费习惯基本相同，而水产品消费量相对较大。厂址近区居民消费的大米、蔬菜、肉、水果等农副产品一般为从当地集市购买，集市所出售产品则以当地周边农村生产为主，奶产品则主要来自外地奶制品企业生产的成品；食入的海产品主要为鱼类，其次有少部分虾、蟹以及贝壳类，其来源主要为养殖和捕捞，主要来自附近海域。

根据对厂址半径 5km 范围内居民点的实地调查，厂址附近区域居民的食谱和统计部门给出的食谱资料相差不大，水产品消费量要高出防城港市港口区农村居民的平均水平。厂址近区居民基本不在海中游泳。

### 2.2.3.3 厂址半径 80km 评价区内居民的饮食习惯

除厂址近区半径 5km 范围外，厂址半径 80km 范围内居民的饮食习惯从相关地区统计局收集城乡居民饮食消费资料。本次调查收集了广西壮族自治区统计局和防城港市港口区统计局提供的 2016 年居民人均食物消费量。

### 2.2.4 参考资料

- [1] 广西防城港红沙核电 5、6 号机组工程厂址区域人口分布、饮食习惯和生活习性调查报告，苏州热工研究院有限公司，2019 年 1 月。

表 2.2-1 厂址半径 80km 范围内各子区现有人口分布（2016 年）

单位：人

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	合计
N	0	309	220	69	4113	3260	47268	185404	37140	105886	86768	103531	573968
NNE	0	208	703	0	2001	11561	17543	126667	47457	96045	87634	182754	572573
NE	0	0	0	0	4317	8679	10891	10891	39414	22425	50239	50240	197096
ENE	0	0	0	0	0	12970	3351	17204	26937	35836	41323	48951	186572
E	0	0	0	0	0	16538	33220	53791	83552	76565	196151	161727	621544
ESE	0	0	0	0	0	3322	2037	0	0	30919	318954	13559	368791
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSW	0	532	743	513	929	0	0	0	0	0	0	0	2717
SW	0	0	394	425	8919	40105	0	0	0	0	0	0	49843
WSW	0	135	74	1086	5889	7506	37747	3420	12898	20505	41941	11250	142451
W	0	420	418	944	3609	18398	22077	11158	39331	30043	56974	49262	232634
WNW	0	0	0	584	387	12608	103173	16061	27971	39024	30465	13804	244077
NW	0	115	0	711	1383	7962	4750	42736	25580	20227	24252	92544	220260
NNW	0	490	0	0	4428	7458	22316	42300	47333	95637	35005	42116	297083
合计	0	2209	2552	4332	35975	150367	304373	509632	387613	573112	969706	769738	3709609

表 2.2-2 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2021 年）

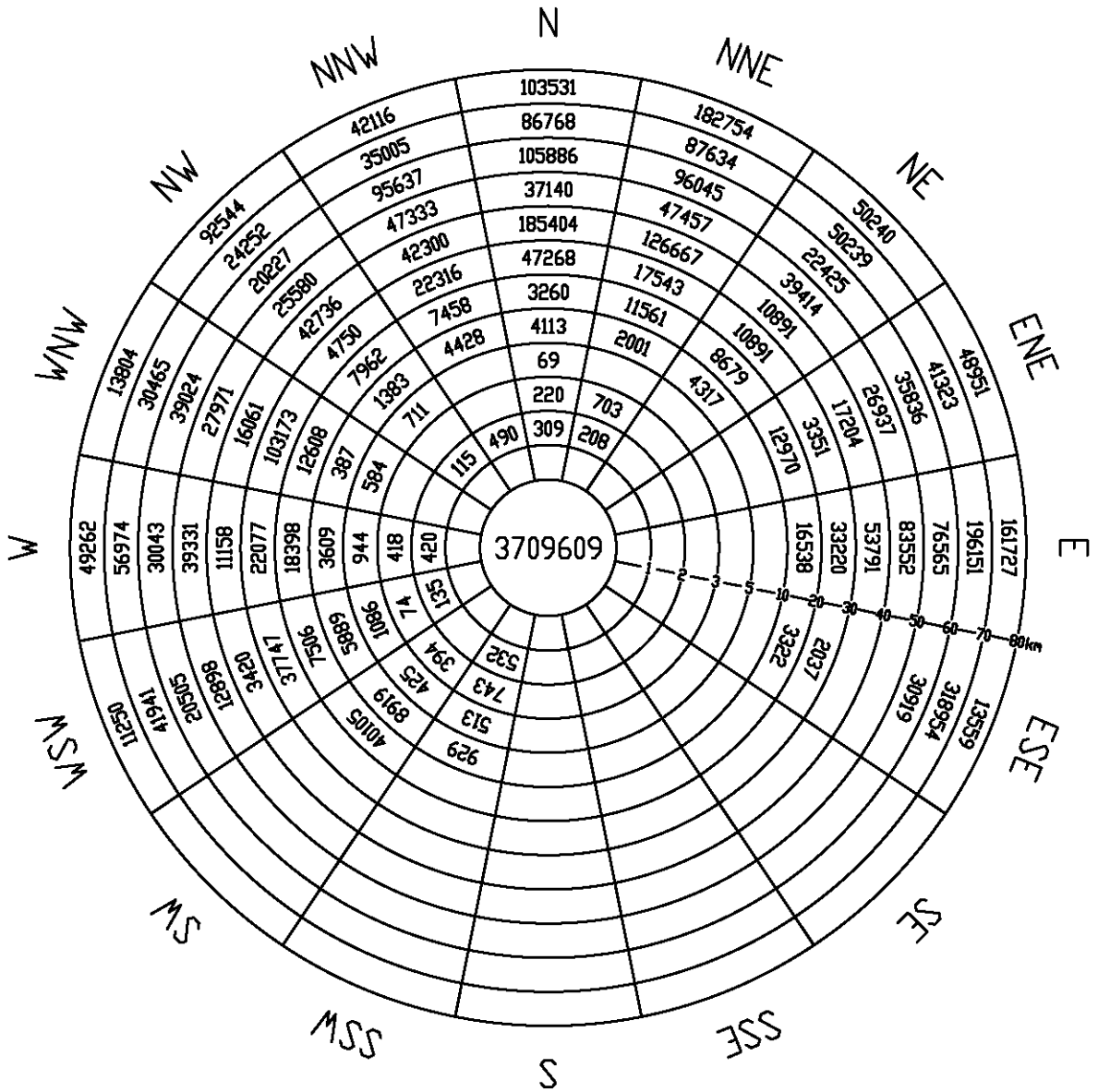
单位：人

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	合计
N	0	324	231	74	4328	3431	49742	195105	39084	111428	91310	108950	604007
NNE	0	218	739	0	2104	12166	18461	133295	49940	101071	92218	192316	602528
NE	0	0	0	0	4544	9135	11461	11461	41476	23598	52868	52868	207411
ENE	0	0	0	0	0	13651	3527	18104	28347	37712	43485	51514	196340
E	0	0	0	0	0	17404	34958	56608	87924	80571	206415	170190	654070
ESE	0	0	0	0	0	3495	2143	0	0	32537	335643	14269	388087
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSW	0	559	783	539	978	0	0	0	0	0	0	0	2859
SW	0	0	415	445	9386	42203	0	0	0	0	0	0	52449
WSW	0	141	79	1143	6199	7898	39722	3598	13573	21577	44136	11839	149905
W	0	445	438	991	3795	19360	23231	11742	41390	31615	59959	51840	244806
WNW	0	0	0	615	407	13268	108571	16901	29435	41066	32059	14528	256850
NW	0	120	0	747	1455	8378	4999	44973	26918	21286	25521	97388	231785
NNW	0	515	0	0	4660	7849	23485	44513	49809	100641	36837	44320	312629
合计	0	2322	2685	4554	37856	158238	320300	536300	407896	603102	102045 1	810022	3903726

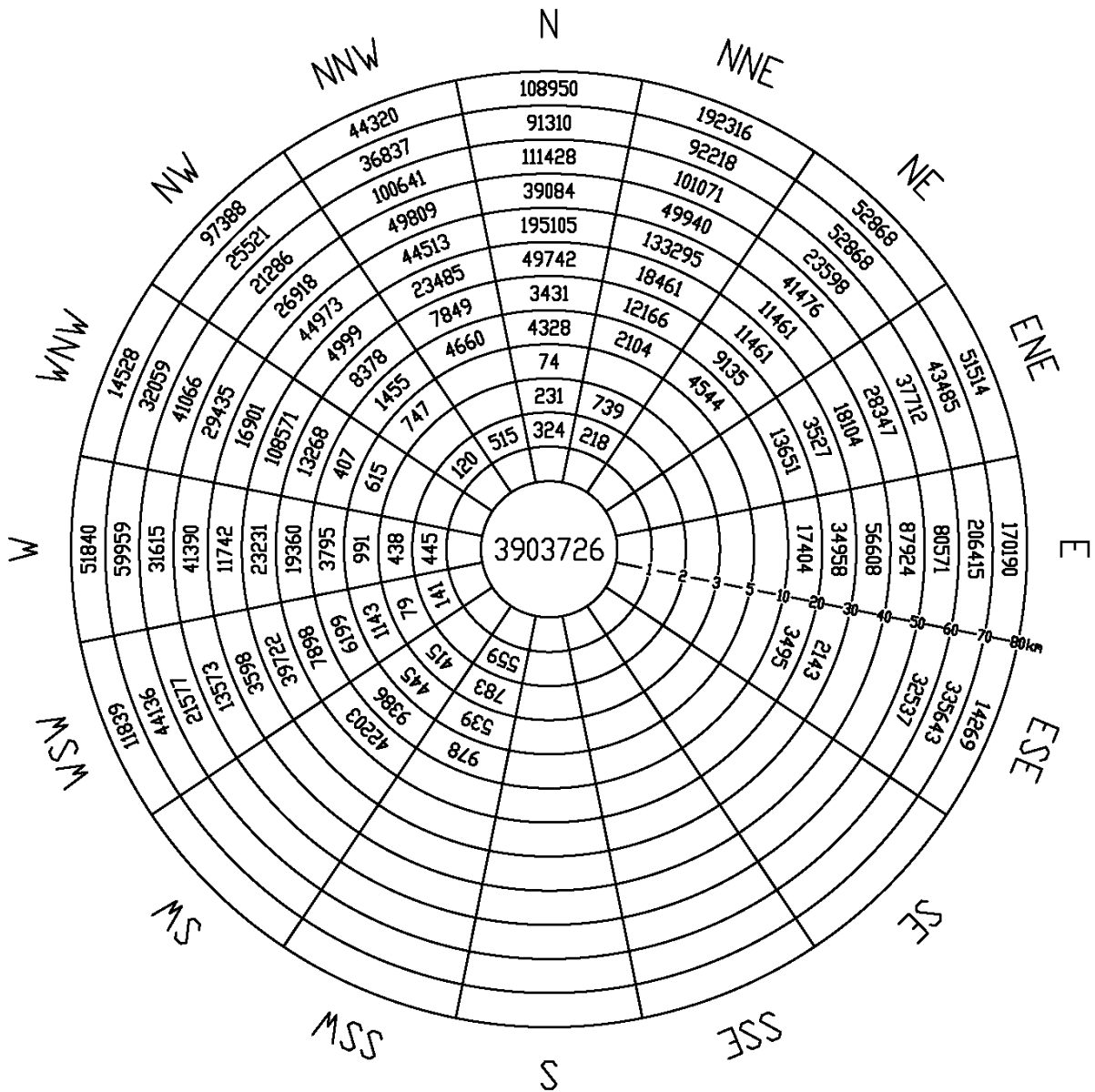
表 2.2-3 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2031 年）

单位：人

距离 (km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	合计
N	0	351	258	83	4778	3788	54920	215409	43152	123024	100811	120286	666860
NNE	0	236	811	0	2322	13435	20383	147167	55137	111588	101815	212330	665224
NE	0	0	0	0	5017	10087	12653	12653	45794	26055	58371	58371	229001
ENE	0	0	0	0	0	15072	3894	19988	31297	41637	48014	56874	216776
E	0	0	0	0	0	19214	38595	62499	97074	88956	227895	187902	722135
ESE	0	0	0	0	0	3859	2366	0	0	35923	370572	15754	428474
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSW	0	622	855	593	1080	0	0	0	0	0	0	0	3150
SW	0	0	460	488	10361	46589	0	0	0	0	0	0	57898
WSW	0	159	88	1251	6840	8720	43854	3973	14985	23825	48727	13070	165492
W	0	490	483	1102	4189	21370	25649	12963	45697	34907	66201	57235	270286
WNW	0	0	0	678	452	14646	119870	18660	32501	45340	35395	16039	283581
NW	0	129	0	819	1603	9250	5518	49652	29719	23501	28176	107523	255890
NNW	0	560	0	0	5146	8669	25928	49146	54993	111114	40672	48933	345161
合计	0	2547	2955	5014	41788	174699	353630	592110	450349	665870	1126649	894317	4309928

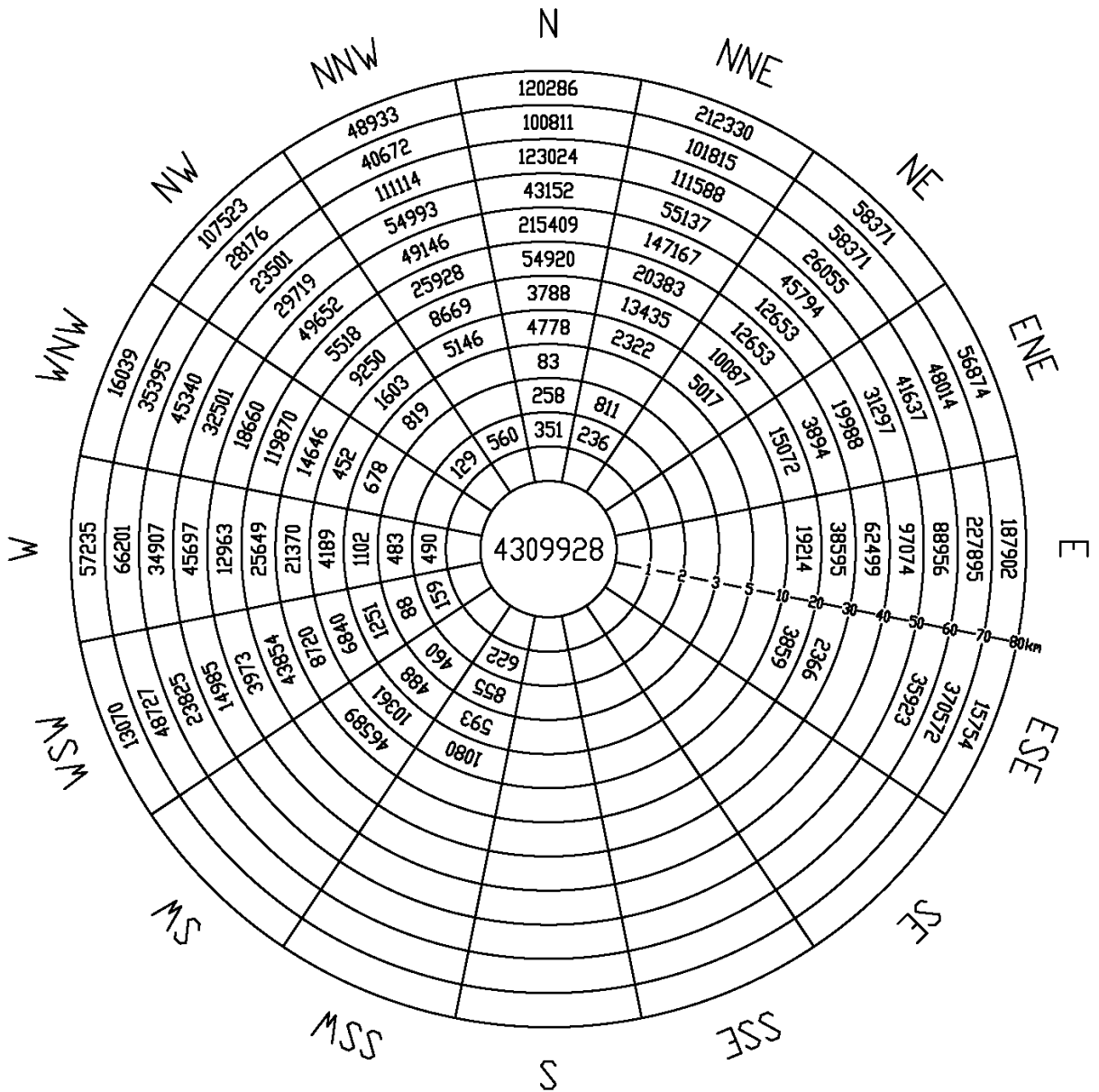


防城港核电站 3、4 号机组		
环境影响报告书（运行阶段）		
厂址半径 80km 范围内 各子区人口分布图（2016 年）		
图 2.2-1	版次：	A



防城港核电站 3、4 号机组		
环境影响报告书（运行阶段）		
厂址半径 80km 范围内 各子区预期人口分布图（2021 年）		
图 2.2-2	版次:	A





防城港核电站 3、4 号机组		
环境影响报告书（运行阶段）		
厂址半径 80km 范围内 各子区预期人口分布图（2031 年）		
图 2.2-3	版次：	A

## 2.3 土地利用及资源概况

### 2.3.1 土地和水体利用

#### 2.3.1.1 土地利用

#### 2.3.1.2 水体利用

#### 2.3.1.3 自然保护区、风景旅游区和文物保护区

### 2.3.2 陆生资源及生态概况

#### 2.3.2.1 农副业生产概况

#### 2.3.2.2 陆生资源概况

#### 2.3.2.3 居民点和农牧场

### 2.3.3 水产资源及生态概况

#### 2.3.3.1 水生生态

#### 2.3.3.2 三场一通

#### 2.3.3.3 渔业资源及渔业生产现状

### 2.3.4 工业、交通和其它相关设施

#### 2.3.4.1 工业、物流商贸

#### 2.3.4.2 交通

#### 2.3.4.3 外部人为事件评价结论

### 2.3.5 参考资料

表

表 2.3-1 海洋生物调查站位

图

图 2.3-1 厂址附近海域海洋生物调查站位图

图 2.3-2 厂址附近海域潮间带生物调查站位图

## 2.3 土地利用及资源概况

本节主要根据《广西防城港红沙核电 5、6 号机组工程厂址区域环境特征及外部人为事件调查报告》（苏州热工研究院有限公司，2018 年 8 月）和《广西防城港红沙核电 5、6 号机组工程接纳水体水质环境、水生生态与渔业资源调查海洋生物调查总报告》（国家海洋局第三海洋研究所，2018 年 12 月）编写。《广西防城港红沙核电 5、6 号机组工程厂址区域环境特征及外部人为事件调查报告》的调查时间为 2017 年 9 月，主要调查数据和现状描述时间为截止 2016 年底。

### 2.3.1 土地和水体利用

#### 2.3.1.1 土地利用

厂址位于防城港市港口区，港口区地处滨海丘陵地带，境内丘陵起伏。地势西北高，东南低。土质多为红壤土，海滩及海湾为第四系覆盖层。港口区境内山丘多为低丘。

厂址半径 10km 范围内涉及的防城港市区域主要为港口区光坡镇。厂址所在区域现状为城镇建设用地，半径 10km 范围内还包括基本农田用地、一般农用地、林业用地和风景旅游用地。厂址半径 10km 范围内规划的土地类型与现状基本一致。

厂址半径 10km 范围内涉及的钦州市区域主要为龙门港镇和钦州港经济技术开发区，其中涉及的钦州港经济技术开发区部分主要为城镇建设用地。

厂址评价范围内土地利用现状与建造阶段相比基本一致。

#### 2.3.1.2 水体利用

##### （1）水体利用情况

##### 一、河流和水库

厂址附近陆地水域主要涉及防城河、茅岭江和钦江，均属桂南沿海诸河水系。

防城河位于防城港市境内，属桂南沿海诸河之一，独流入海。河流发源于防城区扶隆镇十万大山崇顶南麓，众山涧沟溪顺十万大山山势自北往南汇流，在扶隆镇平垌村附近形成常年流水不息的山区性河流——平垌河，在扶隆镇汇入那其河后折向东流，经那勤、大菴、华石、防城区，进入港口区冲孔，于防城港半岛注入北部湾。防城河主要支流有老屋江、西江河、电六江、大菴江、华石江、龙头石江、大王江等。河源

至大菴间，河道狭浅，水流湍急，两岸高山耸立，地势险峻，大菴至入海口处属丘陵地区，水流平缓，两岸各地较开阔，是主要耕作区。厂址位于防城河流域，防城河口位于厂址 NW 方位约 23.5km 处。

茅岭江位于防城区东部，与钦州市之分界河流，属桂南沿海诸河，独流入海。河流发源于钦州市那香乡龙门村，自东北向西南流经那香、新棠、长滩、小董、那蒙等镇，于大寺镇汇入大寺江后折向东南流，至黄屋屯转向西南流，于防城港市的茅岭镇注入钦州湾。茅岭江上游河段称小董江，下游大寺镇至出海河段称茅岭江。流域范围包括防城、上思、钦北等县（区）部分面积。整个流域呈扇型，上游干流水系呈丫型分为小董江、大寺江两大支，分别自东北、西北两方向于大寺镇汇聚，出海河段地势较低，河流受潮水影响明显，其主要的支流有板城江、那蒙江、大直江以及那湾河等。钦州市钦南区黄屋屯镇平寮村~入海口（茅岭乡小陶村委）为“茅岭江入海口渔业用水区”，主导功能为海口渔业用水，水质管理目标为《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中的 III 类。

钦江发源于灵山县平山镇东山东北方，于钦南区尖山镇犁头咀分东、西 2 支，分别于排榜村和九鸦村注入钦州湾茅尾海。钦江流域东邻南流江及大风江，南濒北部湾，西与茅岭江流域接界，北与郁江相接，流域形状南北长而东西窄。

厂址半径 15km 范围内包含 4 座小（一）型水库和 4 座小（二）型水库，没有大、中型水库。距离厂址最近的水库为官山辽水库，位于防城港市港口区光坡镇光坡村长歧左干渠经过库区，可引防城河水入库调节供水。官山辽水库是一座集供水、灌溉、防洪等综合利用的小型水库，主要向企沙工业区以及光坡镇、企沙镇、公车镇供水。长歧左干渠经过官山辽库区，是官山辽水库补水的重要供水设施。

## 二、地下水

厂址半径 15km 范围内主要涉及防城港市光坡镇、王府街道、沙潭江街道、企沙镇、茅岭乡，以及钦州市龙门港镇、大番坡镇、钦州港经济技术开发区和钦州保税港区，上述区域以地表水体开发利用为主。

根据对厂址周边 5km 范围内的红沙村、沙螺辽村、栏冲村和新兴村的调查，厂址周边农村居民家多数有水井，但基本不作为饮用水，只用作洗衣洗菜。

## 三、淡水水源

淡水主要由官山辽水库引接至厂区，一期工程的淡水供水已按 6 台机组进行规划建设

设，现淡水工程已建成投用。本期工程淡水供水继续利用原官山辽水库等水源提供淡水。

#### 四、冷却水水源

厂址位于钦州湾位于广西海岸中段，是一深入内陆且为丘陵台地所环绕的巨型溺谷港湾，呈哑铃状，内湾为茅尾海，有钦江和茅岭江注入，外部为面向北部湾的钦州外湾，内湾和外湾之间为较狭窄的潮流深槽所沟通。

本期工程采用单元制海水直流供水系统，循环冷却水和重要厂用水采用海水作为冷却水源。本期工程沿用一期的取排水规划方案，取排水构筑物总平面布置采用“明渠取，明渠排，东取，南排”的原则。冷却水通过厂区东侧取水明渠再经北侧明渠进入泵房前池，在厂址南侧海域通过明渠排水。

#### （2）海洋功能区划和近岸海域环境功能区划

广西壮族自治区海洋局 2013 年发布了“关于公布《广西壮族自治区海洋功能区划（2011-2020 年）》的通知”（桂海发[2013]39 号），发布了《广西壮族自治区海洋功能区划（2011-2020 年）》。厂址附近海洋环境功能区划具体为：

##### 一、企沙半岛东侧工业与城镇用海区（代码 A3-3）

位于企沙半岛东侧海域，东经 108°30'-108°35'，北纬 21°35'-21°40'。功能区类型为工业与城镇用海区，面积 2901hm<sup>2</sup>，岸段长度 42530m。用途管制为：主要为防城港核电厂建设与发展使用。部分海域布局核电厂取排水、码头、航道等基础设施；兼容风电场建设。用海方式为：允许适度改变海域自然属性；防城港核电厂应严格按照批复的用海方式使用、管理和维护海域；向海一侧距海岸线 1km 外，除取排水设施、码头外，不得建设其他构筑物。

##### 二、企沙半岛东侧保留区（代码 B8-1）

位于企沙半岛东侧海域，东经 108°32'-108°35'，北纬 21°32'-21°39'。功能区类型为保留区，面积 2342 hm<sup>2</sup>。用途管制为：靠近防城港核电一侧，为防城港核电厂排水区；其余区域应严格论证最适合功能。加强对特殊用途区域及设施的保护，保障使用效能。新建项目及填海设施时，需按照规定征求相关部门的意见。用海方式为：按照批复的取排水方案、工程结构及施工工艺进行施工、管理和维护；禁止设置渔排、鱼栅、人工鱼礁等养殖设施。

##### 三、钦州湾外湾农渔业区（代码 B1-5）

位于钦州湾外湾海域，东经 108°30'-108°39'，北纬 21°26'-21°42'。功能区类型为农渔业区，面积 19968 hm<sup>2</sup>。用途管制为：海域基本功能为渔业用海；允许在论证基础上，安排与渔业相兼容的开发活动。用海方式为：严格限制改变海域自然属性；按照养殖内容控制养殖规模和养殖密度，发展健康、生态养殖方式；禁渔期间，禁止底拖渔网船和拖虾渔船及捕捞二长棘鲷幼鱼和幼虾为主的其它作业渔船进入生产；禁止影响航道安全的养殖活动。该区南侧边界向北 7km 范围内不得进行鱼排、鱼栅、人工鱼礁、围海等活动。

#### 四、防城港红沙农渔业区（代码 A1-3）

位于企沙半岛东部红沙海域，东经 108°33'-108°35'，北纬 21°40'-21°42'。功能区类型为农渔业区，面积 692hm<sup>2</sup>，岸段长度 4028m。用途管制为：海岸基本功能为渔业用海，禁止新的围填海。用海方式为：禁止改变海域自然属性，严格执行相关海洋生物资源养护规定，按照养殖容量控制养殖规模和养殖密度；不得进行渔排、鱼栅等养殖，不能设置人工鱼礁等人工养殖设施。

根据广西壮族自治区人民政府办公厅文件《广西壮族自治区人民政府办公厅关于印发广西壮族自治区近岸海域环境功能区划调整方案的通知》（桂政办发[2011]74 号文），厂址附近近岸海域环境功能区划具体为：

##### 一、红沙工业用海区（代码 GX083CIII）

企沙半岛东面，位置是 E108°33'58.0"、N21°41'43.0"，E108°35'16.7"、N21°42'30.0"，E108°36'03.7"、N21°40'41.8"，E108°37'23.6"、N21°38'28.9"，E108°38'10.3"、N21°33'29.1"，E108°37'25.7"、N21°30'08.0"，E108°31'35.4"、N21°31'28.9"，E108°32'59.7"、N21°38'33.4" 围成的海域（红沙排污区除外），面积 150km<sup>2</sup>。主导功能为核电站温排水及工业用海，属三类环境功能区，水质保护目标为三类海水水质标准。

##### 二、红沙排污区（代码 GX084DIV）

红沙工业用海区内，位置是以 E108°35'01.8"、N21°36'16.8" 为中心，半径 2km 的海域，面积 15km<sup>2</sup>，排污区周围设 0.5km 水质过渡带。主导功能为港口、工业、生活排污用海，属四类环境功能区，水质保护目标为四类海水水质标准，水温不执行海水水质标准。

##### 三、揽埠江口养殖区（代码 GX085B II）

从企沙东岸揽埠江口附近的揽槌村至企沙镇白沙红村的岸线，岸线向海至 -5m 等

深线以内的海域，面积 30km<sup>2</sup>。主导功能为海产品养殖用海，属二类环境功能区，水质保护目标为二类海水水质标准。

#### 四、企沙港北部养殖区（GX088B II）：

企沙镇北面，田鸡港村至牛路村的海域，面积 5km<sup>2</sup>。主导功能为海产品养殖用海，属二类环境功能区，水质保护目标为二类海水水质标准。

#### 五、钦州海产品增殖区（GX078BII）：

防城港湾口至大风江沿海-5m 至-25m 等深线以内的海域（已划定其它功能的海域除外），面积 2900km<sup>2</sup>。主导功能为鱼类、对虾等海产品增殖用海，属二类环境功能区，水质保护目标为二类海水水质标准。

本期工程批准用海面积266.6386 hm<sup>2</sup>，厂址评价范围内水体利用现状与建造阶段相比基本一致。

### 2.3.1.3 自然保护区、风景旅游区和文物保护区

#### （1）自然保护区和风景名胜区

厂址所在海域附近自然保护区如下：

##### — 北部湾二长棘鲷长毛对虾国家级种质资源保护区

北部湾二长棘鲷长毛对虾国家级种质资源保护区（农业部公告 1130 号，2008 年 12 月 22 日）各边界点坐标为：21°31'N、109°10'E，21°31'N、108°04'E，21°00'N、108°30'E，20°30'N、109°00'E，20°30'N、109°30'E，21°29'N、109°30'E，21°15'N、108°15'E，21°15'N、109°30'E。主要保护渔业经济种类二长棘鲷和长毛对虾资源。

该保护区实验区最北边与厂址直线距离约为 20km，该保护区核心区最北边与厂址直线距离约为 45km。

##### — 广西钦州茅尾海国家级海洋公园

钦州茅尾海国家级海洋公园是2011年5月13日获国家海洋局批准建立的。保护区位于广西钦州市茅尾海海域，总面积3482.7hm<sup>2</sup>，边界长25.0公里。边界南连七十二泾群岛，西临茅岭江航道，北连广西茅尾海红树林自然保护区，东接沙井岛航道。广西钦州茅尾海国家级海洋公园划分为三个功能分区，分别是重点保护区、生态与资源恢复区和适度利用区。重点保护区面积为578.7hm<sup>2</sup>，适度利用区面积为2183.0hm<sup>2</sup>，生态与资源恢复区面积为721.0hm<sup>2</sup>。



保护区的主要保护对象为红树林、盐沼等典型生态系统、丰富的近江牡蛎种质资源。

广西钦州茅尾海国家级海洋公园位于河口海湾区，具有旺盛的初级生产力和丰富的生物多样性，同时拥有处于原生状态的红树林和盐沼等典型海洋生态系统，也是近江牡蛎的全球种质资源保留地和我国最重要的养殖区与采苗区。此外，还盛产60多种经济价值较高的鱼类，30多种虾蟹类，110多种贝类。

该保护区距厂址最近处位于厂址N方位12km。

#### — 广西茅尾海红树林自然保护区

广西茅尾海红树林自然保护区位于广西壮族自治区钦州市以南的钦州湾，东经 $108^{\circ}28'33''\sim 108^{\circ}54'24''$ 、北纬 $21^{\circ}44'19''\sim 21^{\circ}54'10''$ ，保护区总面积 $3454.0\text{hm}^2$ ，包括核心区 $1293.3\text{hm}^2$ 、缓冲区 $1152.2\text{hm}^2$ 、实验区 $1008.5\text{hm}^2$ 。保护区由康熙岭片（厂址NNW方位20km）、坚心围片（厂址N方位20km）、七十二泾片（厂址NNE方位8.8km）和大风江片（厂址ENE方位33km）四大片组成。其中，康熙岭片区位于康熙岭镇辖区的滩涂湿地，面积 $1826.7\text{hm}^2$ ，陆地部分以标准海堤为界；坚心围片区位于茅尾海区域的尖山、大番坡坚心围一带的滩涂湿地，面积 $754.8\text{hm}^2$ ，陆地部分以标准海堤为界；七十二泾片区位于钦州港辖区的滩涂湿地，面积 $192.7\text{hm}^2$ ，陆地部分以仙岛公园边缘和松飞大岭脚为界；大风江片区位于东场镇、那丽镇大风江区域的滩涂湿地，面积 $679.8\text{hm}^2$ ，与北海交界部分以航道中心线（即与北海分界线）为界，其余以河（海）岸为界。

广西茅尾海红树林自然保护区内有真红树林植物11种，半红树林6种。主要红树林植被类型有：秋茄林、桐华树林、白骨壤林、海漆林、黄槿林、无瓣海桑林、老鼠簕群落。

该保护区距厂址最近处位于厂址NNE方位9km。

根据《港口区林业局关于发布新建港口区红沙湾万鹭园和企沙镇铜鼓潭万鹭山自然保护小区名单、面积、范围等有关事项的通知》（港林发[2012]23号）文，港口区林业局于2012年分别在光坡镇红沙村和企沙镇北港村设立两个鹭鸟自然保护小区，具体为：

#### — 红沙湾万鹭园自然保护小区

面积 $2.83\text{hm}^2$ ，主要保护对象鹭鸟，位置红沙村，范围东经 $108^{\circ}33'50''\sim 108^{\circ}33'58''$ ，

北纬 $21^{\circ}41'4''$ — $21^{\circ}41'11''$ 之间，位于厂址NNE方位2km处。

#### — 企沙镇铜鼓潭万鹭山自然保护区

面积 $8.25\text{hm}^2$ ，主要保护对象鹭鸟，位置北港村，范围东经 $108^{\circ}25'55''$ — $108^{\circ}26'8''$ ，北纬 $21^{\circ}36'1''$ — $21^{\circ}36'14''$ 之间，位于厂址SW方位14km处。

厂址半径 15km 范围内的旅游资源主要是钦州七十二泾风景区。景区位于厂址 N~NNE 方位 8~11km 处，仙岛公园和龙泾还珠是区内的主要景点，该景区为国家“3A”级风景旅游区。仙岛公园位于钦州港七十二泾风景区的入口，由一大一小两个岛组成，全岛面积约  $12.35\text{hm}^2$ ，为纪念孙中山先生而建造的人文景观公园。龙泾还珠又名“七十二泾”，是集自然景观和人文景观于一体的综合性生态旅游胜地，为钦州八景之一，它由 100 多个散落在海面上的海岛组成，海岛上树木葱郁，风光旖旎，景色迷人。2008 年 7 月，该景区挂牌国家“三 A”旅游景区。

此外，厂址 NNE 方位 3.5km 有火山岛风景区。火山岛俗称“六墩岛”，由 6 座相连的小岛组成。该景区规模较小，目前没有级别，主要以渔家乐旅游为主。

簕山古渔村位于防城港市企沙半岛东南面，距离核电厂 SSW 方位约 7.5km。

根据防城港市旅游发展规划，在空间上将防城港市划分十大旅游区：江山半岛滨海旅游度假区、西湾城市观光休闲旅游区、港口文化旅游区、企沙工业生态旅游区、京岛民俗风情旅游区、北仑河口跨国旅游区、东兴国门旅游区、中越边境高山漂流群旅游区、南山长寿旅游区、十万大山国家森林公园旅游区，这十大旅游区除企沙工业生态旅游区外均位于厂址半径 15km 范围外。

企沙工业生态旅游区规划拟利用临海工业的优势，开展钢铁、核电工业观光游，使之成为广西工业旅游的典范；利用火山岛、渔鹭园、万亩蚝排、簕山古村等开展滨海生态观光游活动。主要建设项目包括核电基地参观平台；将火山岛、白鹭园、万亩蚝排等整合成火山岛景区，开展国家 3A 级景区创建；建设企沙渔港参观平台；簕山古村农业示范点建设等。

#### （2）文物古迹

厂址半径 15km 范围内的文物古迹较少，仅有一家防城港市级文物保护单位——“三光企”革命武装起义纪念碑。纪念碑位于防城港市港口区光坡镇光坡村东南面约 1.5km 处大岭山顶，该文保单位位于厂址 SW 方位约 8km 处。

厂址半径15km范围内的无其它特殊和重要生态敏感区，生态敏感区主要为滨海湿

地，主要作为周围村民的养殖场。

## 2.3.2 陆生资源及生态概况

### 2.3.2.1 农副业生产概况

厂址评价区内农村的副业生产主要是家畜家禽养殖，养殖的种类包括大牲畜、猪、羊、家禽和少量的兔。

大牲畜有黄牛、水牛、奶牛以及马，主要用于耕地和劳役，一部分还提供肉用。

猪以家庭圈养为主，其饲料为农户自产粮食；羊和家禽采用家庭散养的饲养方式，其中家禽包括鸡、鸭和少量的鹅。

厂址半径 15km 范围内无大的森林、草场。

### 2.3.2.2 陆生资源概况

#### （1）农作物基本情况

厂址半径 5km 范围内的粮食、水果、蔬菜等农作物基本在当地消费。厂址周围评价区范围内农产品主要以当地销售为主，部分外销。

#### （2）畜牧业生产

厂址周围地区内农村的副业生产主要是家畜养殖，养殖的种类包括大牲畜、猪、羊、家禽（鸡、鸭和鹅）和少量的兔。猪和家禽是厂址周围绝大多数农户的副业，牛、羊和兔是部分农户的家庭副业，饲养量较少。饲养方式上，大牲畜以圈养为主，放牧为辅；生猪以圈养为主，极少地方散养，其饲料为农户自产粮食；家禽有部分为小规模笼舍圈养，农户饲养主要是散养。

#### （3）林业资源和陆生野生动物

厂址所在的防城港市港口区植被属于北热带雨林和季雨林植被区。目前原生植被已破坏，以次生林为主。森林植被主要有马尾松、桉树、湿地松、台湾相思、木麻黄及各种阔叶树，还与龙眼、荔枝等经济林，绝大部分为纯林。灌木之辈有岗松、野牡丹、野漆树、桃金娘、余甘子、白背桐等，红树林植被有红海榄核白骨壤。草本常见的有五节芒、蕨类、金茅、白茅、海金沙、鹧鸪草、蜈蚣草等。

港口区生活着一些野生动物，其中：属国家重点保护的野生动物有原鸡、虎纹蛙、白尾鹇、小隼、红隼等；属广西重点保护的野生动物有金环蛇、银环蛇、百花锦蛇、

三索锦蛇、乌梢蛇、大杜鹃、八哥、豹猫、果子狸、黄鼬等。厂址附近人为活动较多，很难见到陆生野生动物。

厂址所在的光坡镇是港口区林地资源最多的乡镇，有林地面积为 4718.9hm<sup>2</sup>，林地按照主导功能的不同划分为生态公益林和商品林，港口区的林业全部为商品林。

厂址所处钦州湾内的红树林主要位于茅尾海红树林自然保护区。此外。在龙门港镇沿岸和钦州港亚路江、水井坑及金鼓江沿岸也有一些零散的小规模红树林。

#### （4）矿产资源

厂址半径 10km 范围内的现有矿业开采区包括：

- 中间坪泥岩/页岩鼓励开采区，位于厂址 W 方位 8km 处；
- 新兴泥岩/页岩鼓励开采区，位于厂址 W 方位 6km 处。

厂址半径 10km 范围内的钦州部分没有矿业开采区。

### 2.3.2.3 居民点和农牧场

离核电厂 3 号机组最近的居民点为厂址 NNE 方位 1.1km 处的红沙村牛角冲组，共有人口 111 人。厂址周围半径 15km 范围内无牧场、奶牛场和奶羊场。

### 2.3.2.4 陆域生态红线

根据《广西陆域生态保护红线划定方案》（第二次征求意见稿）（2018 年 6 月），厂址范围不涉及生态保护红线。

厂址评价范围内陆生资源及陆生生态与建造阶段相比基本一致。

## 2.3.3 水产资源及生态概况

### 2.3.3.1 水生生态

防城港核电厂开展过三次厂址邻近海域水质环境、水生生态和渔业资源等调查工作，第一次调查由国家海洋局南海工程勘察中心开展，调查时间分别为 2008 年 11 月（秋季）、2009 年 2 月（冬季）、2009 年 5 月（春季）、2009 年 8 月（夏季）；第二次调查由国家海洋局第三海洋研究所分别于 2013 年 8 月（夏季）、10 月（秋季）和 2014 年 1 月（冬季）、3 月（春季）开展；第三次调查由国家海洋局第三海洋研究所分别于 2017 年 10、11 月（秋季）、2018 年 1、2 月（冬季）、4 月（春季）和 8 月（夏季）开

展。本报告主要根据第三次调查完成的调查总报告来描述核电厂邻近海域的水生态概况。

### （1）站位布设

海洋生物调查站位,分布在以排水口为中心向外扩展 50km 范围内,开展叶绿素 a、初级生产力、浮游植物、浮游动物、鱼卵、仔稚鱼、潮下带底栖生物、游泳生物、微生物调查。其中,保留了 2008 年~2009 年开展的“防城港核电厂工程邻近海域水质环境、水生生态和渔业资源调查”以及 2013 年~2014 年开展的“防城港核电厂二期工程邻近海域水质环境、水生生态与渔业资源调查”的 15 个站位,本次调查新增了 14 个站位。

潮间带调查布设 6 条断面,分别为 GFC1、GFC2、GFC3、GFC4、GFC5、GFC6。每条断面布设 5 个调查站位。其中,保留了 2008 年~2009 年开展的“防城港核电厂工程邻近海域水质环境、水生生态和渔业资源调查”以及 2013 年~2014 年开展的“防城港核电厂二期工程邻近海域水质环境、水生生态与渔业资源调查”的 4 条断面 (C1~C4),本次调查新增了 2 条断面 (GFC5、GFC6)。

游泳生物设置 29 个调查站位,秋季航次调查,原设置的 S7、S9、S31、S40 站位于钦州港及茅尾海,因无法进行底拖,故移至钦州湾外。经中期评审后,冬、春、夏季航次游泳动物调查,原设置的 S9、S40 号站位移动至茅尾海东南侧,S7、S31 站位也做了适当移动。

表 2.3-1、图 2.3-1 和图 2.3-2 给出了海洋生物调查站位。

### （2）叶绿素 a 和初级生产力

从含量上看,表层叶绿素 a 与水柱叶绿素 a 均表现出夏季最高,春季次之,秋季最低的变化规律,底层叶绿素 a 表现为冬季>春季>夏季>秋季,而初级生产力表现为夏季最高,春季次之,冬季最低的变化规律。

结合近年的历史资料来看,防城港附近海域类似的海洋生物与生态调查最完整的、最具有代表性以及比较性的应为 2008-2009 年的防城港核电厂一期工程调查项目以及 2013-2014 年防城港核电厂二期工程调查项目,这两个项目均包含了春、夏、秋、冬四个航次的调查。

总体来看,2017-2018 年防城港生态调查水柱叶绿素 a 年平均含量相比一期、二期工程的调查结果存在上升的趋势,其季节变化的含量与一期、二期工程相比亦存在明

显差异：2017-2018 年防城港生态调查水柱叶绿素 *a* 含量表现为夏季最高，春季次之，秋季最低；二期表现为夏季最高，春季次之，冬季最低；一期则为秋季最高，夏季次之，春季最低。由此可见，防城港的叶绿素 *a* 季节变化存在不确定性的，这可能与具体调查时间的不统一以及不同环境动力、生化因素影响有关。

总体来看，2017-2018 年防城港生态调查初级生产力年平均含量相比一期、二期工程的调查结果存在上升的趋势，其季节变化的含量与一期、二期工程相比存在明显差异：2017-2018 年防城港生态调查初级生产力季节变化总体表现为夏季>春季>秋季>冬季；一期、二期初级生产力均表现为夏季>秋季>春季>冬季。

### （3）浮游植物

根据 4 个航次的调查结果，共记录鉴定到种的网采浮游植物 6 门 58 属 195 种（含 sp.），其中硅藻门 46 属 167 种，占总种数的 85.64%；甲藻门 7 属 23 种，占总种数的 11.79%；蓝藻门 2 属 2 种，占总种数的 1.03%；绿藻门 1 属 1 种，占总种数的 0.51%；金藻门 1 属 1 种，占总种数的 0.51%；定鞭藻门 1 属 1 种，占总种数的 0.51%。

根据对广西防城港海域浮游植物的长期监测，表明近二十多年来，广西防城港海域浮游植物的种类变化较大，总体呈增加趋势，80 年代中期共记录到种类数有 82 种，进入 90 年代，浮游植物种类数增加，到 2006 年为 37 属 108 种，2009 年种类数增加到 54 属 131 种，2014 年种类数增加到 48 属 146 种，2018 年种类数增加到 58 属 195 种。浮游植物种类数总体呈现增加趋势，究其原因，一是随着生物分类的技术进步，过去一些没有识别或有争议的种类如今可以确定（如变种和变型种），二是样品的分类鉴定工作，由于具体的各分类学家对物种的识别程度有差异，导致分类记录的差异，三是调查海区的环境改变，确实存在一些往年没有记录的物种出现在调查海区。

浮游植物的种类组成及其时空分布与浮游植物的生态习性、环境的温度、盐度和营养盐等密切相关。与以往的历史资料对比发现，近年来调查海区的部分优势种发生变化。例如，与 2009、2014 年相比，2018 年春季翼根管藻、菱形海线藻、并基角毛藻、奇异棍形藻成为主要优势种，夏季叉角藻、伏氏海毛藻、扭鞘藻成为主要优势种。

值得注意的球形棕囊藻成为 2018 年冬季的优势种，该种是一种广温广盐的藻类，在南北极及热带海洋中都有分布。在富营养化的海域中短期内爆发性增殖形成有害的赤潮。

### （4）浮游动物

对比本次调查 2017-2018 年四个航次优势种，本海区浮游动物不同年际优势种类均有明显的年际变化，特别是夏季种类差异更明显。2008-2009 年夏季的优势种达 9 种，2017-2018 年为 8 种，而 2013-2014 年仅 4 种，其中球型侧腕水母相同外，其它种类都不一样。秋季 2008-2009 年优势种种类较少（7 种），2013-2014 年达 10 种，2017-2018 年出现 9 种，肥胖箭虫和锥形宽水蚤为三个年度秋季共同优势种。冬季 2017-2018 年优势种为 8 种，而 2008-2009 年冬季优势种种类较少（4 种），优势种优势度较为突出，2013-2014 年达 12 种，其中仅锥形宽水蚤相同，其它种类均不同，差距甚远，这可能与采样月份不同有关。春季 2008-2009 年优势种种类为 5 种，2013-2014 年和 2017-2018 年略多为 6 种，其中肥胖箭虫为三个年度优势种，其它种类均不同，这与采样月份不同有关。

### （5）微生物

我国《海水水质标准》规定一至三类海水水质水体中粪大肠菌群丰度不超过 2000 个/L，总大肠菌群丰度不超过 10000 个/升，其中，用于供生食贝类养殖水中粪大肠菌群数不超过 140 个/升，总大肠菌群丰度不超过 700 个/升。对于粪大肠菌群丰度，调查海区冬季所有站位均可达到《海水水质标准》三类以上海水水质标准，春季所有站位均无法达到上述标准，秋、夏季除位于贝类养殖相关海域的站位外，其他海域水质部分站位达到上述；对于总大肠菌群丰度，除春季所有站位均无法达到上述标准外，其他季节部分站位可达到上述标准。

防城港核电海区的调查发现，总大肠菌群的平均丰度在春季水体中丰度最高，其次是夏季，秋季，在冬季水体中的菌丰度最低。与总大肠菌群平均丰度分布不同的是，粪大肠菌群在夏季的平均丰度最高，其次是春季，秋季，冬季水体中菌丰度含量最低。

水体中大肠菌群和粪大肠菌群的污染主要来自于人和温血动物的粪便，通过对粪大肠菌群的监测，可以指示水域受人类活动干扰的强度和受生活污水污染的程度。调查海区位于核电近岸海域，冬季粪大肠菌群和总大肠菌群丰度高值区在钦州和防城港近岸均出现重叠，春季总大肠菌群和粪大肠菌群高值区位于钦州和防城港近岸水体，夏季粪大肠菌群和总大肠菌群丰度高值区在钦州和防城港近岸及湾内水体，秋季粪大肠菌群和总大肠菌群丰度高值区在钦州和防城港近岸水体，这些地区受人类活动影响较多，显示人类活动频繁区域水体中总大肠菌群和粪大肠菌群等微生物丰度明显高于人类活动较少的外湾海域。

本次调查大肠菌群的丰度范围和平均丰度均明显高于一期调查结果，除了冬季之外其它季节丰度也明显高于二期调查。整体来看，三次调查的总大肠菌群的丰度呈现了逐次递增的趋势。

除了夏季之外，本次调查的粪大肠菌群的丰度范围和平均丰度均明显低于前两次的调查结果。夏季的粪大肠菌群的丰度范围和平均丰度均介于两次调查之间。

#### （6）大型底栖生物

对三个年度核电厂附近海域的大型底栖生物物种数进行对比分析，总平均物种数为 2017-2018 年最高，2008-2009 年最低，这与所设计的站位数及调查范围相关，三个年度调查中均以环节动物及软体动物的物种数较多。季节变化对比中，2008-2009 年以春季和冬季物种数最高；2013-2014 年以春季和秋季物种数最高；2017-2018 年以秋季最高。

对比三个年度大型底栖生物总平均栖息密度，其变化趋势为 2008-2009 年（ $437\text{ind}/\text{m}^2$ ）>2013-2014 年（ $345\text{ind}/\text{m}^2$ ）>2017-2018 年（ $161\text{ind}/\text{m}^2$ ）。2008-2009 年以软体动物栖息密度占优势，环节动物和节肢动物次之。2013-2014 年栖息密度以环节动物占优势，其他动物次之。2017-2018 年栖息密度以环节动物占优势，软体动物次之。三个年度物种栖息密度对比相差较大的是软体动物和环节动物，软体动物降低，环节动物栖息密度增高。其他生物在 2013-2014 年的栖息密度相对较高。季节变化对比中，2008-2009 年以冬季最高，秋季次之；2013-2014 年栖息密度以秋季最高，春季次之。2017-2018 年栖息密度以冬季最高，秋季次之。

对比三个年度大型底栖生物总平均生物量，其变化趋势为 2008-2009 年（ $109.28\text{g}/\text{m}^2$ ）>2013-2014 年（ $65.75\text{g}/\text{m}^2$ ）>2017-2018 年（ $36.24\text{g}/\text{m}^2$ ）。三个年度调查均以软体动物生物量占优势，节肢动物次之。软体动物在三个年度调查掌，平均生物量变化较为明显。季节变化对比中，2008-2009 年以冬季最高，秋季次之；2013-2014 年生物量以春季最高，秋季次之。2017-2018 年生物量以冬季最高，春季次之。

对比三个年度的优势种，2008-2009 年优势种以软体动物双壳类方格皱纹蛤为主，秋季含有波纹巴非蛤；2013-2014 年优势种以多毛类沙蚕、稚齿虫为主，软体动物以波纹巴非蛤为主；2017-2018 年优势种以多毛类双腮内卷齿蚕为主，软体动物占比例较小。三个年度的优势种相对变化较大，这与大型底栖生物栖息密度及生物量的变化趋势相同，跟所调查的区域及调查站位的布设范围也存在一定关系。



### （7）潮间带底栖生物

2017 年 10 月（秋季）、2018 年 1 月（冬季）、4 月（春季）和 8 月（夏季）四个季度的调查，经初步鉴定大型底栖生物 279 种，其中春季（155 种）>冬季（148 种）>秋季（147 种）>夏季（146 种）；超过 50 种的断面中，秋季只有 GFC4 断面，冬季有 GFC3 和 GFC4 断面，春夏季有 GFC2、GFC3 和 GFC4 断面。

全年四个季度总平均栖息密度为  $709\text{ind}/\text{m}^2$ ，其中夏季（ $862\text{ind}/\text{m}^2$ ）>春季（ $774\text{ind}/\text{m}^2$ ）>秋季（ $657\text{ind}/\text{m}^2$ ）>冬季（ $543\text{ind}/\text{m}^2$ ）。其中栖息密度超过  $1000\text{ind}/\text{m}^2$  的站位中，春、秋和冬季各只有 GFC6 断面，夏季有 GFC4 和 GFC6 断面。全年四个季度总平均生物量为  $487.16\text{g}/\text{m}^2$ 。其中，秋季（ $743.90\text{g}/\text{m}^2$ ）>冬季（ $476.53\text{g}/\text{m}^2$ ）>夏季（ $416.87\text{g}/\text{m}^2$ ）>春季（ $311.34\text{g}/\text{m}^2$ ）；在生物量大于  $1000\text{g}/\text{m}^2$  的站位中，秋季有 GFC1、GFC2 和 GFC6 断面，春季、夏季和冬季则没有。

秋季群落中的优势种和主要种有：变化短齿蛤、僧帽囊牡蛎、亚光棱蛤、粗糙滨螺、日本鳞笠藤壶、豌豆毛满月蛤、珠带拟蟹守螺、直背小藤壶、弓形革囊星虫、软疣沙蚕、黑芥麦蛤、网纹藤壶、长碗和尚蟹、红明樱蛤、欧努菲虫、细巧仿对虾、小相手蟹、塔结节滨螺、疣荔枝螺、弯齿围沙蚕、中阿曼吉虫、腺带刺沙蚕、纵带滩栖螺、刺沙蚕、斯氏印澳蛤等；冬季群落中的优势种和主要种有：网纹藤壶、僧帽囊牡蛎、粗糙滨螺、塔结节滨螺、变化短齿蛤、直背小藤壶、豌豆毛满月蛤、欧努菲虫、亚光棱蛤、纹藤壶、菲律宾蛤仔、上野螺赢蜚等；春季群落中的优势种和主要种有：上野螺赢蜚、变化短齿蛤、斯氏印澳蛤、网纹藤壶、僧帽囊牡蛎、粗糙滨螺、日本美人虾、强壮藻钩虾、大角玻璃钩虾、直背小藤壶、欧努菲虫、塔结节滨螺、鳞笠藤壶、青蚶、长碗和尚蟹、纹藤壶、腹沟虫、江蓠、锈凹螺、膜囊尖锥虫等；夏季群落中的优势种和主要种有：直背小藤壶、哥伦比亚刀钩虾、僧帽囊牡蛎、斯氏印澳蛤、变化短齿蛤、粗糙滨螺、上野螺赢蜚、弓形革囊星虫、昌螺、塔结节滨螺、青蚶、欧努菲虫、网纹藤壶等。

对三个年度核电厂附近海域的大型底栖生物物种数进行对比分析，总平均物种数为 2017-2018 年最高，2008-2009 年最低。季节变化对比中，2008-2009 年以冬季物种数最高；2013-2014 年以冬季物种数最高；2017-2018 年以春季最高。

对比三个年度大型底栖生物总平均栖息密度，其变化趋势为 2008-2009 年（ $510\text{ind}/\text{m}^2$ ）<2017-2018 年（ $709\text{ind}/\text{m}^2$ ）<2013-2014 年（ $883\text{ind}/\text{m}^2$ ）。季节变化对比

中，2008-2009 年以夏季最高，春季次之；2013-2014 年栖息密度以夏季最高，秋季次之。2017-2018 年栖息密度以夏季最高，春季次之。

对比三个年度大型底栖生物总平均生物量，其变化趋势为 2013-2014 年(373.9g/m<sup>2</sup>) < 2017-2018 年 (487.2g/m<sup>2</sup>) < 2008-2009 年 (502.6g/m<sup>2</sup>)。季节变化对比中，2008-2009 年以秋季最高，夏季次之；2013-2014 年生物量以春季最高，秋季次之。2017-2018 年生物量以秋季最高，冬季次之。

对比三个年度的优势种，2008-2009 年优势种以软体动物双壳类粗糙拟滨螺为主；2013-2014 年优势种以多毛类为主；2017-2018 年优势种以甲壳类藤壶为主。

### (8) 鱼卵仔稚鱼

本海区共记录鱼卵和仔稚 59 种（含未定种），其中鱼卵的数量占优势的种类是鳊属、鱮属和小公鱼。仔稚鱼为美肩鳃鲷和鰕虎鱼；种类的分布四航次均以钦州湾口及邻近水域物种最丰富。四次调查鱼卵垂直拖网平均为 241.8ind/100m<sup>3</sup>，其中冬季为数量最高（477.2ind/100m<sup>3</sup>），夏季平均为 437.1ind/100m<sup>3</sup>，居二，秋季大幅度下降至 33.8ind/100m<sup>3</sup>，冬季为年最低谷（19.2ind/100m<sup>3</sup>）。水平拖网四季平均为 25.4ind/100m<sup>3</sup>，夏季（8 月）为数量最高峰为 456.4ind/100m<sup>3</sup>，春季居次为 175.5ind/100m<sup>3</sup>、秋季和冬季数量较低分别为 51.3ind/100m<sup>3</sup> 和 52.0ind/100m<sup>3</sup>。

### (9) 游泳动物

四个季度游泳动物拖网调查共鉴定游泳动物 175 种，其中鱼类 117 种，占拖网总种数的 66.86%，虾类 17 种，占 9.71%，蟹类 28 种，占 16.00%，虾蛄类 3 种，占 1.71%，头足类 10 种，占 5.71%。

#### 2.3.3.2 三场一通

根据防城港核电厂海洋生态调查报告，历史资料显示厂址附近可能存在二长棘鲷产卵场。防城港核电三次生态调查期间均未发现二长棘鲷的鱼卵，仅发现了二长棘鲷的幼鱼。历史资料中未记载核电厂邻近海域有鱼类越冬场分布。本次海洋生态调查未在厂址附近发现需特别关注的“三场一通”生态敏感区。

#### 2.3.3.3 渔业资源及渔业生产现状

调查海区属北部湾热带和亚热带的半封闭海湾生态系，其渔业资源的主要特点为

种类多、个体小；各类作业渔获种类组成复杂；生殖洄游路径主要在北部湾内移动；幼鱼主要分布在沿岸浅水区。随着海洋环境的变化和人类捕捞的影响，出现了种间的交替现象，一些寿命长、个体大的种类在长期过度捕捞的情况下逐渐减少以至消失，取而代之的是一些寿命短、个体小、繁殖力强的种类。

据调查，海区内有鱼类 500 多种，虾类 200 多种，头足类近 50 种，蟹类 20 多种，软体动物 100 多种。可供养殖开发的主要经济海洋动物有红笛鲷、黑鲷、黄鳍鲷、石鲷鱼等鱼类，斑节对虾、长毛对虾、墨吉对虾、锯缘青蟹、梭子蟹、中国鲎等甲壳类，文蛤、泥蚶、近江牡蛎、马氏珠母贝、华贵栉孔扇贝、日月贝等经济贝类，以及腔肠动物的海蜇、裸虫动物的光裸星虫等。调查水域主要经济鱼类的产卵期延续较长，周年均有鱼类产卵繁殖。

厂址 15km 范围内各乡镇均有养殖捕捞。

#### 2.3.3.4 海洋生态红线

根据《广西海洋生态红线划定方案》（2017年），厂址附近最近的海洋生态红线为“企沙半岛东部岸段4”，生态保护目标为海岸景观，管控措施为保持自然岸线自然属性、形态、特征，禁止围填海、矿产资源开发及其他可能毁坏红树林、自然岸线的各类开发活动。

厂址评价范围内水产资源及水生生态与建造阶段相比基本一致。

### 2.3.4 工业、交通及其它设施

#### 2.3.4.1 工业、物流商贸

##### （1）工业企业现状

厂址周围的工业企业主要集中在位于厂址西侧的防城港经济技术开发区和厂址东侧的钦州港经济技术开发区，其中半径15km范围内的工业企业主要涉及防城港经济技术开发区的企沙工业区和大西南临港工业园，钦州港经济技术开发区的石化产业园、中马钦州产业园、综合物流加工区和钦州保税港区。相对而言，防城港市光坡镇和钦州市龙门港镇的工业较少，没有大规模的工矿企业。

##### （a）防城港经济技术开发区

防城港经济技术开发区位于防城港市东南部沿海，由企沙工业区、大西南临港工

业园、东湾物流园三大省级重点园区融合而成，重点布局钢铁、有色金属、能源、化工、新材料、装备智造、粮油以及相关配套产业。该开发区成立于2017年2月18日，规划面积216平方公里，拥有90公里深水岸线，倚靠防城港，港口设计通过能力8亿t，现已形成一批钢铁、有色金属、能源、化工、新材料、装备制造、粮油食品和现代物流产业基地。

#### 一 大西南临港工业园

防城港市大西南临港工业园区于2003年正式启动建设，地处港口区公车镇北州路以东、企沙一级公路以西以南，该园区由原来的港口区渔洲坪工业园和公车工业园区合并而成。工业园区依托大西南丰富的矿产资源、成熟的装备制造业基础，天然深水良港、独特的区位优势，以“产业支撑、辐射带动、环境优先、可持续发展”为原则，全力打造以钢铁、装备制造业、磷硫化产业和矿产业为龙头的工业区和以资源加工型企业为主的大西南出口加工基地和物流仓储基地。

#### 一 企沙工业区

防城港市企沙工业区功能定位为依托优良的深水岸线资源，以发展临港重化工业为主要方向，以钢铁产业为龙头，主要发展钢铁、重型机械、能源、粮油加工、修造船及其他配套或关联产业，成为以工业港为主导的多功能的现代化国际工业港区。随着多年不断发展，园区水、电、路等基础设施已基本完善，部分工业企业已建成投运，另有多个项目正处于规划或建设之中。企沙工业区内现有的工业企业主要为矿业、金属、电力和建材企业，包括防城港市文盛矿业有限公司、广西金川有色金属有限公司、中电广西防城港电力有限公司、广西杭氧金川新锐气体有限公司、防城港市华欣混凝土有限公司和广西晖龙科技有限公司等。

#### (b) 钦州港经济技术开发区

钦州港经济技术开发区位于钦州市南部沿海，是广西大型临海工业园区，总面积约 667 平方公里，依托良好的港口资源，该港区已形成了石化、能源、造纸、冶金、粮油加工为主的大型临海工业框架，并以综合物流为支配产业。辖区内有中国与东盟前沿开放合作平台—广西钦州保税港区、中国第三个两国政府合作共同开发的“中国—马来西亚（钦州）产业园”、石化产业园和综合物流加工区等多个产业发展基地与平台。

#### (2) 工业企业规划

厂址半径15km范围内的工业企业规划主要为防城港经济技术开发区和钦州港经济技术开发区相关规划。根据《防城港市城市总体规划（2015-2030）》，防城港市大力发展港口经济，打造临港工业升级版。加快培育钢铁、有色、能源、食品、石化、装备制造等六大支柱产业，着力打造六大产业集群；加快推进传统产业转型升级，优化产业布局，拓展产业发展空间，建成环北部湾地区重要的现代工业城市。防城港市重点建设的工业园区主要集中布局在七个地方，包括防城港经济技术开发区、防城港市高新技术产业开发区、东湾物流加工园区、中国东兴--越南芒街跨境经济合作区、防城工业园区、东兴冲榄工业园、上思县工业集中区，其中位于厂址半径15km范围内的为防城港经济技术开发区，具体有企沙工业园区和大西南临港工业园区。

### 2.3.4.2 交通

#### （1）陆上交通

##### （a）铁路

厂址所在的防城港市目前有南（宁）防（城港）铁路直达港区，全长 173km，通过南防线联通黎钦线、湘桂线、南昆线等可与全国铁路线联网，铁路交通运输十分方便。此外，广西沿海高铁即南（宁）钦（州）铁路、钦（州）北（海）铁路及钦（州）防（城港）铁路已建通车，北部湾四市（南北钦防）实现一小时经济圈。

目前厂址半径 15km 范围内的现有铁路具体包括：

- 企沙铁路支线：线路长 19.8 公里。该支线从南防铁路防城港北站接轨，终点位于云约站，为货运铁路，最近处位于厂址 W 方位约 8.3km 处。
- 钦港铁路：从钦北铁路钦州东站引出钦港铁路，接入钦州港的金谷港区，在港区的勒沟作业区和鹰岭作业区设有支线铁路，最近处位于厂址 NE 方位约 7.5km 处。
- 钦州港东铁路：从钦港铁路向东侧分出，通往大榄坪南作业区，近处位于厂址 ENE 方位约 11.5km 处。

##### （b）公路

防城港市公路交通较为发达，钦防高速公路、崇左经上思至防城港高速公路、防城至东兴高速公路贯穿全境，境内还分布有东兴至凭祥那坡沿边公路、广西滨海公路防城港段，沿边、沿海公路路网初步形成。

这六条交通干线距离厂址最近的是核电进厂道路。自核电厂由东向西与沙潭江至企沙一级公路向连接。沙潭江至企沙一级公路是广西滨海公路防城港段配套建设的支线，是进出企沙沿海工业园区的交通要道；起点于港口区沙潭江，终点是企沙工业园区，全长 30.15km，路面宽 25.5m；并与钦防高速公路玉罗岭互通式立交（顺接防城港市中心区东西大道）相接，下穿南防铁路，经公车镇、光坡镇，终于企沙镇北河口村。

光坡镇镇区通过三级公路与外界相连。该三级公路路面宽 4.5m 至 5m，为沥青路面，路面较为平整。经由该三级公路可与沙潭至企沙一级公路相通，进而连接到南宁至防城港高速公路。厂址附近各村镇均通公路，公路级别为四级农村路，限宽 2.5m。

## （2）港口

厂址位于企沙半岛的东侧，东临钦州湾，其附近最为重要的港口是钦州港。此外企沙港规模较小，而防城港则位于企沙半岛的西侧，且其所有泊位及航道均位于厂址半径 15km 外。

### （a）钦州港

钦州港位于北部湾的顶端。钦州港距离厂址的最近距离约 6km。钦州港具有港池宽阔、水深条件良好、港湾隐蔽、风浪小、泥沙淤积少的特点，是条件优越的深水良港。

### （b）防城港

防城港目前包括渔湾港区、企沙港区、江山港区 3 个主枢纽港区和竹山、京岛、潭吉、白龙、榕木江、大小冬瓜、茅岭 7 个小港口。其中位于厂址半径 15km 范围内的为企沙港区。

### （c）渔港

广西北部湾海域面积约 12.93 万 km<sup>2</sup>，海岸线东起粤桂交界处的洗米河口，西至中越边境的北仑河口，大陆海岸线长 1500 多 km。海岸类型分冲积平原海岸和台地海岸两种。沿海岛屿有 697 个，岛屿岸线长 600 余 km，岛屿总面积 84km<sup>2</sup>。涠洲岛是广西沿海最大的岛屿，面积约 28km<sup>2</sup>。广阔的海域和绵长的海岸线既为海洋生物生长提供了良好的栖息地，也为渔港等基础设施建设提供了良好的岸线条件。

厂址所在的防城港市渔港有企沙渔港、渔洲渔港、双墩渔港和天鹅湾渔港，厂址东侧的钦州市渔港有龙门渔港、犀牛脚渔港、沙角渔港、鹿耳环渔港、金鼓渔港和东场内河渔港。上述渔港中位于厂址半径 15km 范围内的渔港包括防城港企沙渔港、钦州

龙门渔港和钦州金鼓渔港。

### （3） 航道

厂址半径 15km 范围内的现有航道为钦州港西航道、钦州港东航道和防城港的东湾航道。

### （4） 空中航线

根据中国民用航空广西安全监督管理局函：《关于转发民航中南管理局关于广西防城港核电有限公司项目厂址民航意见的通知的函》（民航广西监管局函[2015]59 号），厂址半径 30km 范围内没有民用飞机场，半径 4km 范围内没有飞机航线。

钦州城区通用机场规划选址于三娘湾地区，位于厂址东侧 20~30km 区域。

防城港机场正处于选址阶段，初步选址在港口区四和村的高岭，距防城港核电厂距离略大于 30km。

#### 2.3.4.3 外部人为事件评价结论

根据《防城港核电厂 3、4 号机组最终安全分析报告》：

厂址附近存在的固定危险源不会影响核电厂的建设和安全运行。

厂址附近防城港市陆上移动危险源较少，钦州港移动危险源相对较多。考虑西航道危险源爆炸，其冲击波超压不会影响核电厂重要建筑物的安全。在最极端不利情况下，也不会对核电厂安全相关建筑物产生影响。

根据气云飘移距离分析结果，西航道危险源发生泄漏，其蒸气云飘移至核电厂上方时，浓度已低于点燃浓度极限值，不会对核电厂相关建筑物的安全造成影响。

综合上述分析评价，厂址外部人为事件不会对厂址安全构成影响。

#### 2.3.5 参考资料

- [1] 广西防城港红沙核电 5、6 号机组工程厂址区域环境特征及外部人为事件调查报告，苏州热工研究院有限公司，2018 年 8 月；
- [2] 广西防城港红沙核电 5、6 号机组工程接纳水体水质环境、水生生态与渔业资源调查海洋生物调查总报告，国家海洋局第三海洋研究所，2018 年 12 月。

表 2.3-1 (1/4) 海洋生态调查站位（不包括游泳动物）

站位	经纬度	
	东经	北纬
S2	108°34.944'	21°37.528'
S4	108°34.022'	21°37.495'
S5	108°34.450'	21°39.424'
S6	108°34.783'	21°41.495'
S7	108°34.237'	21°42.846'
S9	108°32.370'	21°49.868'
S11	108°38.255'	21°37.560'
S14	108°37.975'	21°35.580'
S16	108°47.227'	21°35.180'
S17	108°49.714'	21°31.274'
S18	108°34.694'	21°35.651'
S19	108°34.482'	21°31.917'
S20	108°34.482'	21°27.050'
S21	108°34.497'	21°20.515'
S22	108°33.448'	21°36.518'
S23	108°32.120'	21°35.061'
S24	108°28.501'	21°32.240'
S25	108°20.565'	21°30.392'
S26	108°40.104'	21°31.159'
S28	108°52.204'	21°21.063'
S31	108°39.880'	21°41.519'
S33	108°52.698'	21°34.510'
S34	108°22.790'	21°18.571'
S35	108°13.388'	21°28.306'
S40	108°32.002'	21°52.151'
S41	108°30.356'	21°30.626'
S42	108°46.597'	21°16.001'
S46	108°26.149'	21°26.016'
S48	108°36.785'	21°39.491'



表 2.3-1 (2/4) 海洋生态调查站位（潮间带调查）

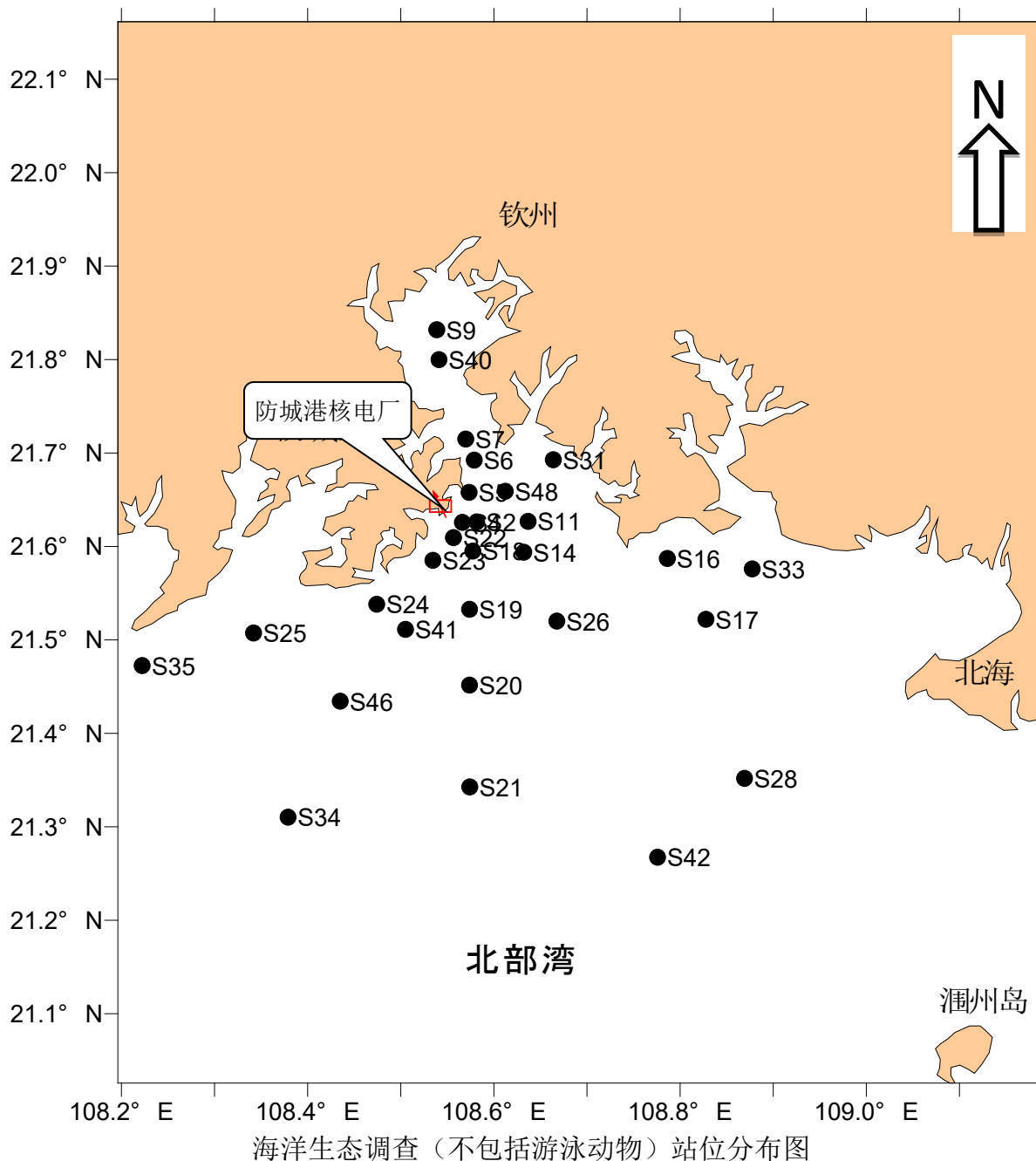
断面	纬度	经度	底质
GFC1	21°41'08.28" N	108°34'22.65" E	岩石、铁板沙
GFC2	21°40'36.74" N	108°34'00.46" E	细沙、泥沙、岩石、铁板沙
GFC3	21°38'58.68" N	108°33'15.53" E	岩石、沙
GFC4	21°38'20.34" N	108°33'17.42" E	岩石、混合沙
GFC5	21°37' 0.696" N	108°31'54.44" E	岩石、细沙、铁板沙
GFC6	21°34' 23.33" N	108°29'22.07" E	岩石

表 2.3-1 (3/4) 海洋生态调查站位 (秋季航次游泳动物)

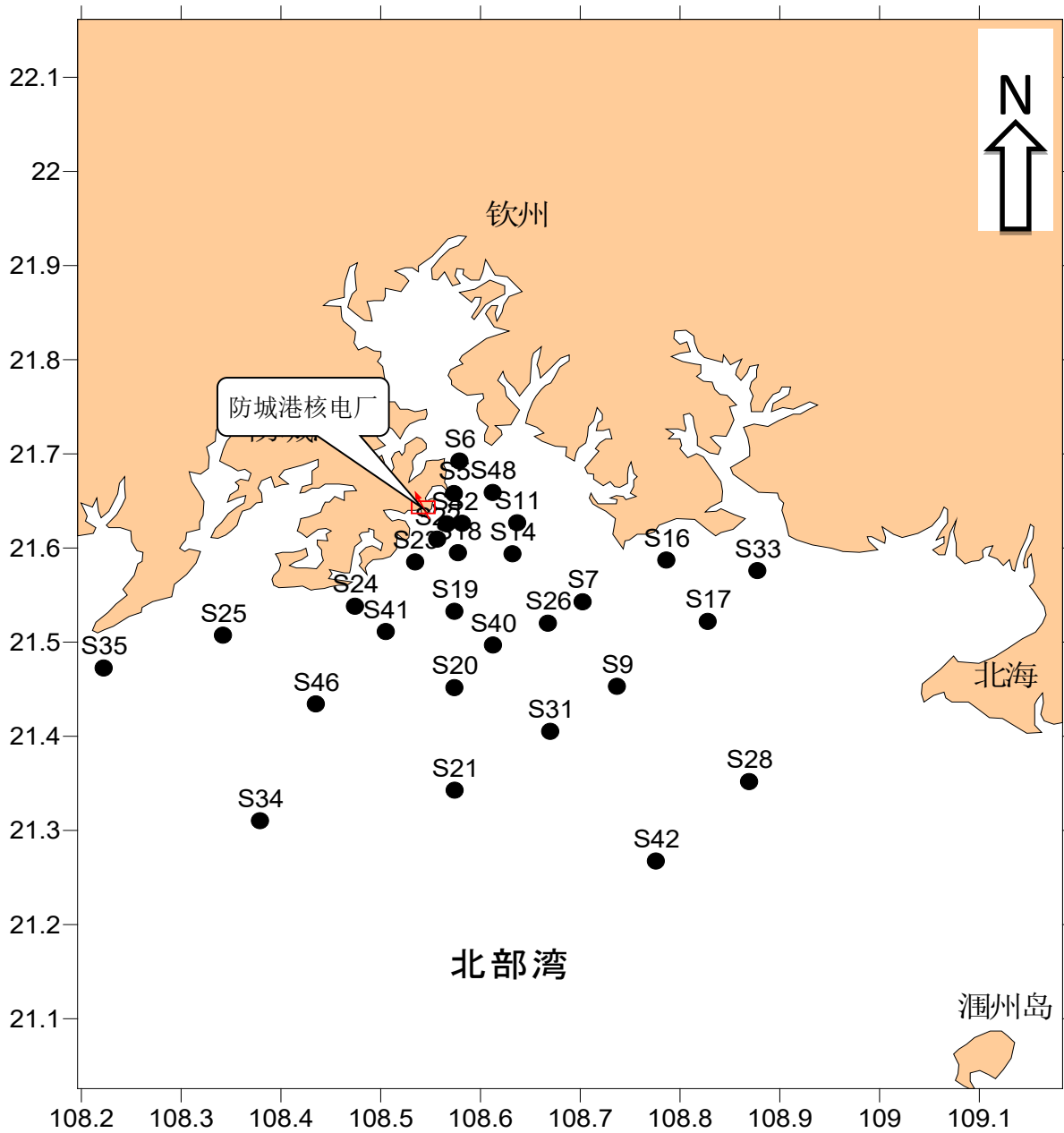
站位	东经	北纬
S2	108.5824000	21.6254667
S4	108.5670333	21.6249167
S5	108.5741667	21.6570667
S6	108.5797167	21.6915833
S7+	108.7031895	21.5420413
S9+	108.7375943	21.4522069
S11	108.6375833	21.6260000
S14	108.6329167	21.5930000
S16	108.7871167	21.5863333
S17	108.8285667	21.5212333
S18	108.5782333	21.5941833
S19	108.5747000	21.5319500
S20	108.5747000	21.4508333
S21	108.5749500	21.3419167
S22	108.5574667	21.6086333
S23	108.5353333	21.5843500
S24	108.4750167	21.5373333
S25	108.3427500	21.5065333
S26	108.6684000	21.5193167
S28	108.8700667	21.3510500
S31+	108.6706961	21.4044224
S33	108.8783000	21.5751667
S34	108.3798333	21.3095167
S35	108.2231333	21.4717667
S40+	108.6133550	21.4961684
S41	108.5059333	21.5104333
S42	108.7766167	21.2666833
S46	108.4358167	21.4336000
S48	108.6130833	21.6581833

表 2.3-1（4/4） 海洋生态调查站位（春、夏、冬季航次游泳动物）

站位	东经	北纬
S2	108.5824000	21.6254667
S4	108.5670333	21.6249167
S5	108.5741667	21.6570667
S6	108.5797167	21.6915833
S7	108.7031895	21.5420413
S9	108.5894628	21.8287475
S11	108.6375833	21.6260000
S14	108.6329167	21.5930000
S16	108.7871167	21.5863333
S17	108.8285667	21.5212333
S18	108.5782333	21.5941833
S19	108.5747000	21.5319500
S20	108.5747000	21.4508333
S21	108.5749500	21.3419167
S22	108.5574667	21.6086333
S23	108.5353333	21.5843500
S24	108.4750167	21.5373333
S25	108.3427500	21.5065333
S26	108.6684000	21.5193167
S28	108.8700667	21.3510500
S31	108.6706961	21.4044224
S33	108.8783000	21.5751667
S34	108.3798333	21.3095167
S35	108.2231333	21.4717667
S40	108.5713047	21.8077223
S41	108.5059333	21.5104333
S42	108.7766167	21.2666833
S46	108.4358167	21.4336000
S48	108.6130833	21.6581833

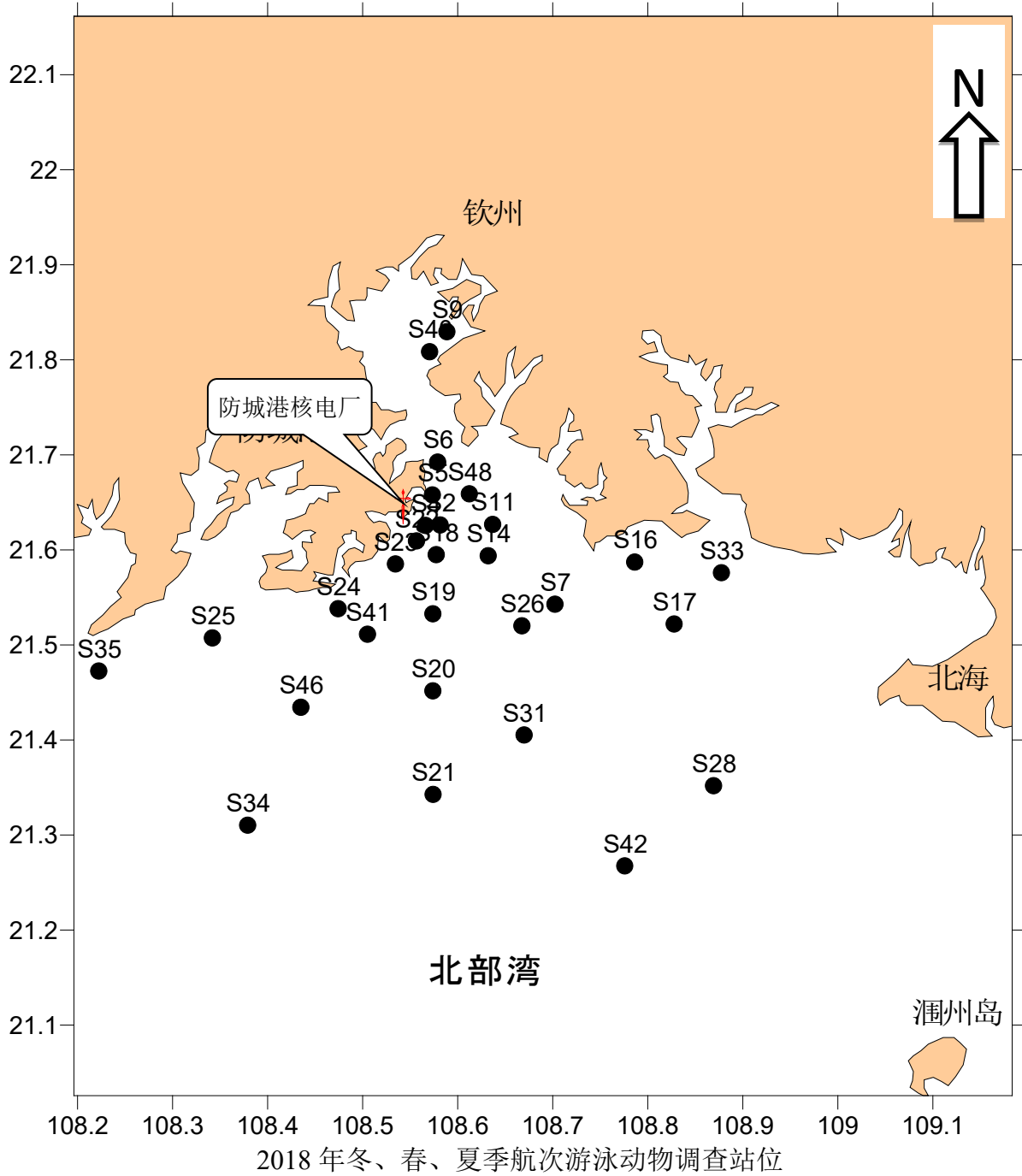


防城港核电站 3、4 号机组		
环境影响报告书（运行阶段）		
厂址附近海域海洋生物调查站位图		
图 2.3-1（1/3）	版次：	A

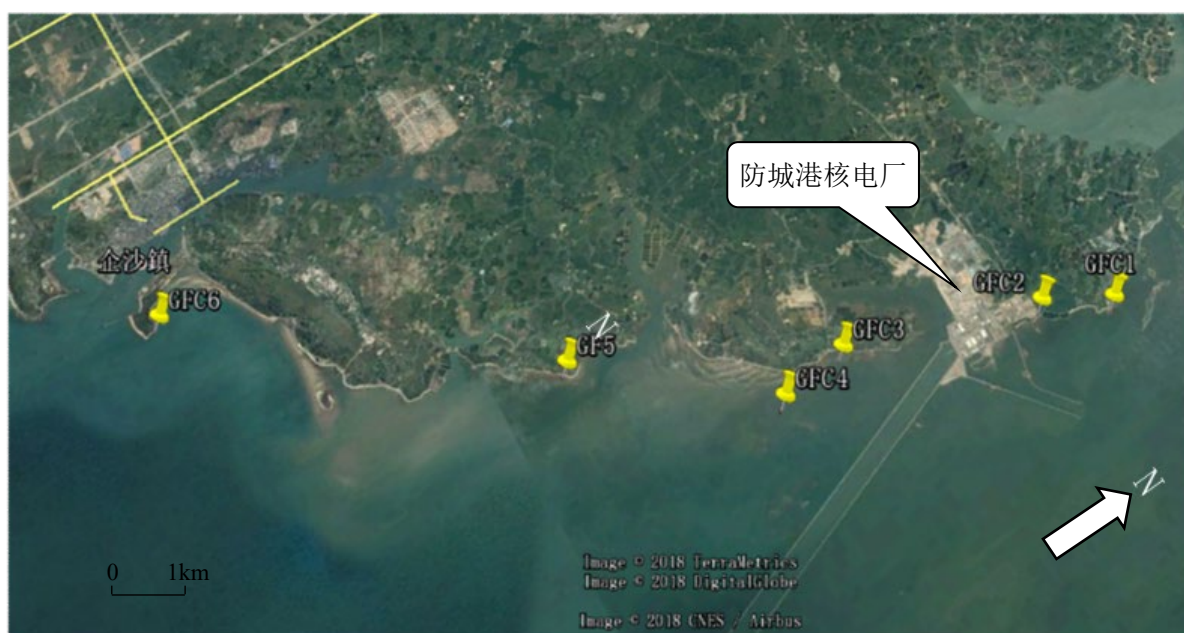


2017 年秋季航次游泳动物调查站位

防城港核电站 3、4 号机组		
环境影响报告书（运行阶段）		
厂址附近海域海洋生物调查站位图		
图 2.3-1（2/3）	版次：	A



防城港核电站 3、4 号机组		
环境影响报告书（运行阶段）		
厂址附近海域海洋生物调查站位图		
图 2.3-1（3/3）	版次：	A



防城港核电站 3、4 号机组		
环境影响报告书（运行阶段）		
厂址附近海域潮间带生物调查站位图		
图 2.3-2	版次：	A

## 2.4 气象

### 2.4.1 区域气候

### 2.4.2 设计基准气象参数

#### 2.4.2.1 热带气旋

#### 2.4.2.2 龙卷风

### 2.4.3 当地气象条件

#### 2.4.3.1 气温

#### 2.4.3.2 气压

#### 2.4.3.3 降水

#### 2.4.3.4 相对湿度

#### 2.4.3.5 风

### 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

#### 2.4.6.1 混合层高度

#### 2.4.6.2 扩散参数

#### 2.4.6.3 海陆风和热内边界层

### 2.4.7 运行前的厂址气象观测

图

图2.4-1 气象观测站和厂址的相对地理位置



## 2.4 气象

### 2.4.1 区域气候

防城港核电厂地处广西壮族自治区南部沿海，在亚洲东南部季风区内，季风环流明显，属南亚热带季风型海洋气候。该地区四季气候温暖、热量丰富、日照时间长、雨量充沛，是广西风速最大的地区之一。该地区气候主要受以下气团影响：

- 冬季，极地大陆气团影响厂址区域，在气团南下过程中，受到高原及山脉的阻滞，到达该地区时强度已明显减弱，气团变性快。厂址区域处于气团边缘，多吹偏北风。
- 夏季，厂址区域主要受赤道气团和热带海洋气团影响，高温多雨，多吹偏南风。
- 春、秋季，厂址区域受极地大陆气团、赤道气团和热带海洋气团交替影响，冷空气不强，南下过程中又受高原的屏障作用而明显减弱，东亚暖湿气流活跃，天气温暖潮湿。

厂址周边 50km 范围内有 3 个气象站，为钦州、防城、防城港气象站，钦州气象站位于核电厂址以北约 32km，防城气象站位于核电厂址西北约 25km，防城港气象站位于核电厂址西约 23km。其中防城气象站与钦州气象站为国家基本站，防城港气象站为一般站。

防城港气象站和钦州气象站两个台站所在区域地势相对开阔，周围没有高大障碍物阻挡。两个气象站的主要观测项目均为云、能见度、天气现象、气压、空气温度和湿度、风向和风速、降水、日照、蒸发、地温，其中除由人工观测的项目（云、能见度、天气现象等，一天观测四次）外，每天进行 24 次定时自记观测。防城港气象站地形特征为海岛，东面、南面、西面数公里外为海洋。

由于钦州气象站为国家基本站，且资料年限长，因此采用钦州气象站的统计数据描述防城港核电厂区域气候。

图 2.4-1 给出了各气象观测站和厂址的相对地理位置图。

### 2.4.2 设计基准气象参数

#### 2.4.2.1 热带气旋

凡登陆、影响广西沿海地区的热带气旋，对厂址区域均可能造成影响。

按照“国际热带气旋名称和等级标准”，台风指最大风速大于 32.6m/s 的热带气

旋，由于长期以来我国气象界和民间习惯把热带气旋称为台风，在本报告部分地方所称台风实际即热带气旋。

调查范围为以厂址为中心的 400km 半径的区域，采用了 1949-2016 年的台风年鉴资料。统计 1949 年至今穿越雷州半岛和海南岛进入北部湾海域的台风，其中，穿越雷州半岛和海南岛进入北部湾海域的台风分别为 56 个和 106 个。其中，穿越雷州半岛和海南岛进入北部湾海域的较强台风数分别为 24 个和 51 个。采用确定论法、概率论法确定影响防城港核电厂工程设计基准热带气旋的参数。

#### 2.4.2.2 龙卷风

统计 1962-2013 年广西防城港核电厂工程厂址区域内 73 个龙卷风样本，龙卷风分布大致以厂址附近和东南、东北部较多，西部相对较少。

多发的合浦、钦州平均 5-7 年出现一次龙卷风，其次是防城、博白、横县、化州、湛江、吴川、徐闻、雷州等地在调查年限内出现 2-4 次龙卷风，少的地方如扶绥、上思、南宁、浦北、贵港、北海、遂溪等地在调查年限内仅出现过 1 次龙卷风，还有点地方（如邕宁、灵山等）在调查年限内未有龙卷风记录。厂址南临南海，因洋面资料较少，无海龙卷记录。

防城港核电厂厂址区域发生龙卷风的季节性特征鲜明。同一日有多个龙卷出现只计一次或称一个龙卷风个例日，共有 64 个例日。防城港区域龙卷风从季节上来看主要出现在春季和夏季，秋季和冬季仅出现过 1 次-2 次。从出现时间上来看，2 月-7 月为防城港龙卷风高发时段，其中以 4 月份发生次数最多，5 月次之，2 月、3 月、6 月、7 月稍少，1 月、9 月、11 月偶有发生。

龙卷风产生于强对流天气，除了要有适当的天气形势外，高温、高湿是其孕育的另一个必要条件。一天当中，午后到傍晚由于下垫面受辐射增温，加热低层大气，从而导致大气层结的不稳定，有利于强对流天气的形成，也有利于龙卷风的发生。

在调查的龙卷风资料中，共有 44 个龙卷风日记录了确切的发生时间。从发生的时辰上看，龙卷风多发生在中午至傍晚这一时段，集中高发时段为 10 时-18 时，共发生了 25 次，占有确切记录日的 57%。

按照“ANSI/ANS-2.3.1983”设计基准龙卷风特征参数表，给出防城港核电厂工程 10<sup>7</sup> 年一遇的龙卷风事件对应的设计参数。补充收集了 2014-2017 年龙卷风样本，调

查范围内查到 5 个 F0 级样本，对原设计基准参数没有影响。

### 2.4.3 当地气象条件

本报告根据厂址气象观测站 2018 年 5 月-2020 年 4 月两整年气象数据，数据联合获取率为 98%，观测数据获取率满足相关导则中获取率不低于 90%的要求。

#### 2.4.3.1 气温

厂址气象塔 10m、30m、80m、100m 高度年平均气温分别为 23.0℃、22.9℃、22.6℃、22.5℃，厂址地面气象站观测得到的年平均气温为 23.1℃。从厂址气温变化来看，无论是厂址专用地面气象站还是气象塔各高度月平均气温均为 6 月最高，1 月最低，厂址地面气象站 6 月气温平均值为 29.1℃，1 月气温平均值为 15.2℃。观测期间，厂址地面气象站观测到的最高气温为 35.7℃，最低气温为 4.7℃。

从气象塔各高度年平均气温看，各个高度处气温随高度变化总的趋势是下层气温高于上层。厂区气温与气象塔气温变化规律吻合。

#### 2.4.3.2 气压

12 月份的平均气压最高，为 1017.8hPa，8 月份的平均气压最低，为 999.6hPa。最高气压出现在 12 月，为 1028.8hpa，最低气压出现在 8 月，为 984.1hpa。全年平均气压为 1009.4hPa。

#### 2.4.3.3 降水

厂址地区全年总降水量为 2124.1mm。7 月份的降水量最大，为 545mm，11 月份降水量最小，为 48.5mm。全年降水日数 125d，降水时数 759h。

厂址地区小时降水量多在 0.5mm 以下，小时降水量小于 0.5mm 的降水时数达 365h，占总降水时数的 47.9%，但总降水量仅为 67.4mm，占总降水量的 3.2%。

#### 2.4.3.4 相对湿度

厂址地区全年平均相对湿度为 88%，3、6 月份平均相对湿度最高，为 93%，10 月份最低，为 79%。全年最低相对湿度 33%，出现在 10 月。

### 2.4.3.5 风

#### 1) 风向

各层风向频率分布较为相近，全年出现频次较高的风向均以北风为主。

- 厂址气象塔 10m 高度出现频次最高的风向为 N，所占风向频率为 31.2%，其次的风向为 NNW，占 10.4%；
- 气象塔 30m 高度出现频次最高的风向为 N，占 31.1%，其次的风向为 NNW，占 11.2%；
- 气象塔 80m 高度出现频次最高的风向为 N，占 31.1%，其次的风向为 SSW，占 9.5%；
- 气象塔 100m 高度出现频次最高的风向为 N，占 33.4%，其次的风向为 SSW，占 9.3%。

从风向的季节性变化来看，厂址地区季风性气候较为明显，冬季盛行偏北风；相反，夏季盛行偏南风。而春、秋季为冬、夏季风转换的季节。

#### 2) 风速

气象塔10m高度年平均风速为4.0m/s，30m高度年平均风速为4.8m/s，80m、100m高度处年平均风速分别为5.8m/s、6.3m/s，风速随高度变化总的趋势是低层平均风速小于高层平均风速。

通过对静风（风速 $<0.5\text{m/s}$ ）的统计，总体上厂址地区高层静风频率少于低层，10m高度处全年静风频率为0.9%，30m高度静风频率为0.5%，80m高度静风频率为0.4%，100m高度静风频率为各高度最小，为0.3%。

### 2.4.4 大气稳定度

防城港核电厂厂址区域地形起伏，引起大气湍流的原因既有热力的，也有机械的。电厂厂址滨海而建，周围有海面也有陆地，下垫面类型较复杂。温度梯度-风速法由温度梯度和风速两个指标判定大气稳定度，即考虑了热力湍流的作用又考虑了机械湍流的作用，与其他大气稳定度分类方法比较，温度梯度-风速法对厂址大气稳定度分类是比较符合厂址实际情况的。因此，防城港核电厂厂址区域的大气稳定度采用温度梯度-风速法分为六类。

根据厂址气象塔 2018 年 5 月-2020 年 4 月两整年逐时 10m 和 80m 高度气温及 10m 高度风速气象资料，采用温度梯度-风速法对厂址稳定度进行统计分析。厂址地区各稳定度所占比例分别为：A 类：1.2%；B 类：11.1%；C 类：15.0%；D 类：56.5%；E 类：4.5%；F 类：11.7%。

#### 2.4.5 联合频率

按照《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02）导则要求，在联合频率统计中，风向分 16 个方位，静风风向延续前一时间风向。将风速划分为 6 级，即：

- 风速小于 0.5m/s 按静风处理，作为第一级风速；
- 0.5~1.9m/s 为第二级风速；
- 2.0~2.9m/s 为第三级风速；
- 3.0~4.9m/s 为第四级风速；
- 5.0~5.9m/s 为第五级风速；
- 大于 6.0m/s 为第六级风速。

统计得出厂址全年以及有雨或无雨条件下的风向、风速、稳定度联合频率分布。

#### 2.4.6 混合层高度及扩散参数值

为了解厂址地区的混合层高度、扩散参数等大气扩散特征，分别于 2009 年 7 月和 2010 年 1 月开展了夏、冬两季现场大气扩散试验，于 2019 年 10~11 月在厂址现场开展了防城港核电厂 3、4 号机组示踪试验和数值模拟试验。本节根据上述两次试验成果进行描述，两次试验内容简介和概况如下。

##### — 夏、冬两季现场大气扩散试验

该专题的夏季和冬季现场大气扩散试验工作分别于 2009 年 7 月和 2010 年 1 月开展。专题测试主要包括两部分，分别为大气边界层风、温特征观测和湍流特征观测，其中，夏季大气边界层风、温特征观测设置了两个测点，分别为厂址所在的红星村和位于厂址 NE 方位 7km 处的钦州电厂，两测点进行同步观测；冬季现场大气测试在厂址所在的红星村开展。湍流特征观测设于厂址梯度气象观测站，分别在梯度气象站 10m 和 80m 进行湍流观测。现场大气测试具体工作内容如下：

- 大气边界层风、温特征观测：

1) 小球测风：分析试验地区风的垂直分布，观测所用的气球为 20 号探空气球，充以氢气，气球的标准升速 100m/min 升空，采用双电子式经纬仪跟踪，每隔 15 秒读一次数，每天具体释放时间为：2: 00、5: 00、8: 00、11: 00、14: 00、17: 00、20: 00、23: 00。

2) 低空测温：主要测量试验地区温度的垂直分布。低空测温与小球测风同时进行，带有热敏元件的探空包由测风气球牵引升空，探空包发射无线电信号，地面接收机接受温度信号并记录。

• 湍流特征观测：

1) 采用目前应用广泛，观测精度高的基础研究级三维超声风速仪进行风速三分量U、V、W的观测；

2) 湍流脉动量采样频率为20Hz，不间断连续采样；

3) 观测高度为 10m 高度和 80m 高度。

— 现场示踪试验和数值模拟试验

示踪试验现场工作期间共开展 19 次有效试验，获取了不稳定（B、C）、中性（D）和稳定（F）层结 4 类天气条件下的试验成果，利用样本数据和最优化方法解（MADS）统计得出大气扩散参数。

数值模拟研究利用 WRF 中尺度天气预报模式和 CALPUFF 三维非稳态拉格朗日烟团扩散模式研究分析了厂址区域中小尺度风场特征和污染物输送扩散规律，并根据现场示踪试验成果对模型适用性进行了验证，通过数值模拟结果统计出了厂址区域大气扩散参数。

结合本项目两种技术手段获得的扩散参数与防城港核电厂前期大气专题成果进行比较，综合推荐出防城港核电厂大气扩散参数。

#### 2.4.6.1 混合层高度

根据夏季、冬季两季获得的不同稳定度下的混合层高度进行算术平均得到厂址地区混合层高度。

#### 2.4.6.2 扩散参数

数值模拟试验利用小时平均浓度结果获得了大气污染物水平和垂直空间上的浓

度，并根据空间网格点浓度数据获得了侧向和垂向扩散参数，试验利用全面的大样本资料，获得了各类稳定度条件下的扩散参数结果，但其局限性在于气象场的分辨率为 1h，无法完全反映短时间内气象场变化对浓度分布的影响。

示踪试验结合实际气象条件及地形植被影响，其结果较为直观的反映出气载污染物的扩散分布特征，特别是水平扩散分布特征，但受现场天气条件等因素影响，其试验样本数的获取受到限制，本项目未获取到 A、E 类稳定度条件下的扩散参数值。示踪试验根据近地层空间分布的各采样点获取的采样结果利用最优化方法数值解获得扩散参数，其统计结果是建立在水平采样点分布结果及数值方法求解上，其局限性在于采样获得的都为地面浓度，无法获得三维浓度场，其垂向扩散参数完全由数值方法求得。

湍流试验以固定点观测获取湍流特征等湍流信息，在一定区域范围内能较好的反映大气湍流扩散的基本特征，并得到该区域不同类型天气条件下的大气扩散参数，其局限性在于反映湍流特征的区域相对较小，在观测点一定范围以外受下垫面等因素的影响其代表性相对较差。

综合上述分析，侧向扩散参数采用示踪试验（基于单次释放<40min>）获得的结果，垂向扩散参数采用数值模拟计算结果。考虑到未获取到的 A、E 类稳定度条件扩散参数值，从保守的角度考虑，A 类稳定度与 B 类结果一致，E 类稳定度与 F 类结果一致。

#### 2.4.6.3 海陆风和热内边界层

厂址地区夏季由于受西南季风和台风交替控制，系统气流较强，而海岸线又与主导气流方向重合，故海陆风现象较难形成，夏季大气测试期间仅 2009 年 8 月 4 日和 2 日观测到了明显带海陆风性质的低层风场随时刻转向现象（2 日只发生风向偏转，未形成环流）。根据夏季 8 月 4 日观测到的海陆风可知，当日陆风风向为 W、WSW、SW 风，海风仅在 11 时、14 时出现，风向分别为 E、SSE 风；海陆风转向高度主要分布在 300~500m 间。从厂址地区冬季大气测试的温度探测数据来看，10m 高度处气温日变化幅度小于 3℃；从天气形势上看，厂址地区冬季多受极地大陆性气团影响，系统风风速较大。海陆风的形成需要下垫面出现较大的热力性质差异和较低风速的系统风，故分析可知，冬季厂址地区难以形成海陆风。

夏季大气测试期间，热内边界层现象是与海风相联系的，由于厂址地区海陆风现象较少，故热内边界层现象也较少，但在观测到海陆风的 2 天中，也同时观测到了热内边界层的出现；冬季大气测试期间，热内边界层现象是与控制厂址地区的极地大陆性气团和热带海洋性气团的进退相联系的，测试期间仅 2 天观测到热内边界层现象。

#### 2.4.7 运行前的厂址气象观测

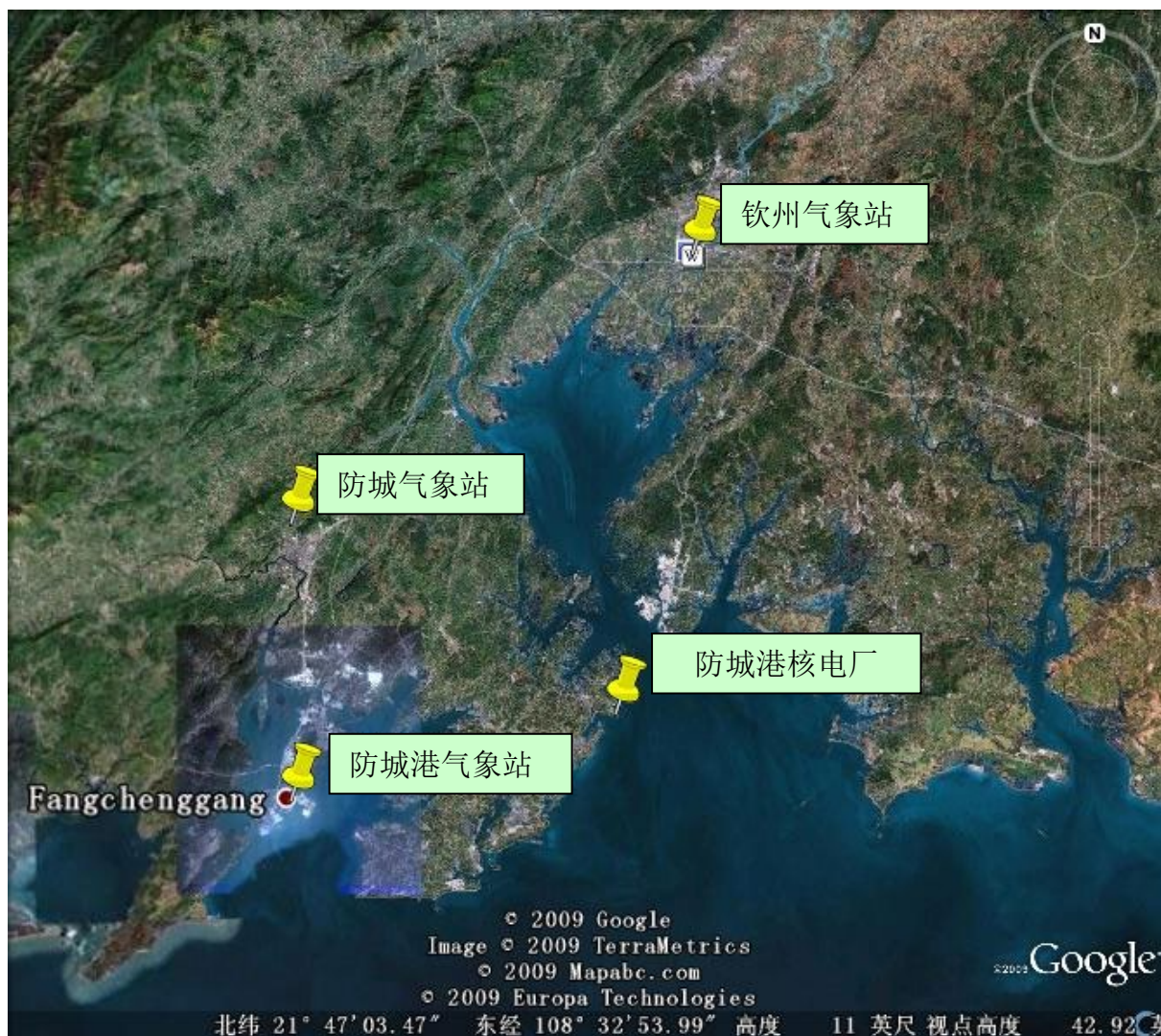
运行前的现场气象观测大纲是用来观测用于评价电厂正常运行期间和事故工况下气载放射性物质的厂址弥散特性所需要的各种参数。

目前的厂址气象观测系统于 2011 年 8 月开始正式运行。厂址气象观测系统包括厂址专用地面气象站和百米气象塔，位于电厂西南侧公管岭的山坡。所选站址周边多洼地，无高大山体遮挡，气象站观测环境满足《地面气象观测规范》有关要求，观测数据可以较好反映厂址地区的风、温场和大气弥散条件的气象特征，观测数据对厂址地区气象条件代表性较好。

厂址专用地面气象站：观测的气象要素包括温度、湿度、雨量、气压、总辐射、净辐射和地温。太阳辐射观测高度为离地面 1.5m，气压、雨量和地温为观测场地面高度，温湿度计高度为 1.5m。

百米气象塔：气象梯度自动观测共设四层（10m、30m、80m 和 100m），各层观测风向、风速、温度。





防城港核电站 3、4 号机组		
环境影响报告书（运行阶段）		
气象观测站和厂址的 相对地理位置		
图 2.4-1	版次：	A

## 2.5 水文

### 2.5.1 地表水

#### 2.5.1.1 陆地水文

#### 2.5.1.2 海洋水文

### 2.5.2 地下水

#### 2.5.2.1 水文地质概况

#### 2.5.2.2 地下水类型及赋存特征

#### 2.5.2.3 地下水补径排状况

#### 2.5.2.4 厂址附近地下水使用情况

### 2.5.3 洪水

### 2.5.4 参考资料

## 2.5 水文

### 2.5.1 地表水

#### 2.5.1.1 陆地水文

##### （1）河流与水库

厂址附近陆地水域主要涉及防城河、茅岭江和钦江，均属桂南沿海诸河水系。厂址位于防城河流域，电厂的淡水主要取自防城河，防城河河口位于厂址 NW 方位约 23.5km 处。厂址所在的企沙半岛没有大的河流存在，只有一些季节性的源短流急的小山溪，这些小山溪集水面积很小，径流量随季节变化明显，洪枯水变化很大，枯水季节流量非常小，并有断流现象，沿地形条件直接流入大海。

茅岭江为独流入海河流，发源于钦州市那香乡龙门村，于防城港市茅岭镇注入钦州湾；钦江独流注入茅尾海。防城河是防城港市内最大的河流，独流入海，发源于十万大山山脉南麓的扶隆乡平隆隘旁，自西向东南流经防城区，在防城港针鱼岭汇入防城港的西湾，主要支流有老屋江、西江、大坝江（电六江）、大录江、那梭江（华石江）、龙头石江、大王江等。防城河流域河流多为山区性河流。

防城河流域主要的水利工程包括：长歧拦河坝和木头滩拦河坝 2 座引水建筑物以及长歧干渠引水工程；另外流域内建有大（2）型水库——小峰水库，中型水库——三波水库、小陶水库和白石牙水库，小（1）型水库 5 座，小（2）型水库 4 座；规划大垌中型水库 1 座。

厂址半径 15km 范围内主要涉及官山辽水库。官山辽水库位于防城港市港口区光坡镇光坡村，距厂址约 9km，是一座具有灌溉、调蓄水和供水功能的年调节小（1）型水库。长歧左干渠（长歧拦河坝—官山辽水库干渠）经过官山辽库区，是官山辽水库补水的重要供水设施。

##### （2）淡水水源与淡水供应

防城港核电厂 3、4 号机组施工期及运行期间生活、生产用水水源为距厂址西南约 9km 的官山辽水库，本工程 2 台机组与电厂 1、2 号机组共用一个取水口。该方案利用防城河上现有的水源工程进行联合调度，经木头滩拦河坝引水至官山辽水库调节后，最终经输水管线输送至厂址。官山辽水库集水面积较小，为小型水库，防城河小峰水库、白石牙水库、大垌水库、长歧引水坝、木头滩拦河坝、长歧灌区内的三波、小陶及小型水库群调水经长歧渠道供水到官山辽水库作为电厂的淡水供水水源。国家水利

部已经以“水许可资源决字[2009]14号”准予了广西防城港核电厂一期工程 1、2 号机组的淡水用水方案，淡水取水量为 205.35 万 m<sup>3</sup>。

本工程淡水供水项目输水管设计按满足规划 6 台百万千瓦级核电机组的最高日需水量要求，一次建设完成。目前，核电厂已取得二期工程的淡水取水许可（水许可办决字[2015]2 号）。根据批复意见，本工程 3、4 号机组施工期用水量 554 万 m<sup>3</sup>，运行期年用水量 185 万 m<sup>3</sup>，3、4 号机组运行期间和施工期间的淡水供水规模可满足本工程取水需求。

### 2.5.1.2 海洋水文

针对防城港核电厂址海洋水文特征，建设单位已开展了多次水下地形、全潮水文观测、泥沙与岸滩分析等专题研究工作。目前，为反映厂址海域最新的水文特征，建设单位委托天津水运工程勘察设计院开展了 2018 年海域全潮水文观测工作，观测内容包括潮位、水深、海流、水温、盐度、悬沙等，其中潮位观测点 3 个，海流、水温、盐度、悬沙等定点观测站 14 个。本节相关内容结合电厂前阶段已有专题成果及本次最新的 2018 年夏、冬两季全潮水文观测成果进行描述。

#### （1）厂址所在钦州湾概况

钦州湾是位于北部湾顶，由内湾（即茅尾海）和外湾（狭义上的钦州湾，面向北部湾）构成，中间狭窄，两端宽阔，呈哑铃状。内湾和外湾之间为较狭窄的潮流深槽所沟通。

北部湾为末端流系，北部湾的环流主要由两支流系组成，一是外海高盐水、次高盐水构成的外海流系，二是沿岸低盐水构成的沿岸流系。从整体来看，北部湾的环流四季均为一个大的逆时针式的环流。在大的逆时针环流中，于春、夏、秋三季，又套有局地性的小环流。春季在该湾北部出现一个逆时针的小环流；夏季，在该湾北部又转成一个顺时针的小环流；秋季，在北部湾中部出现一个逆时针小环流。琼州海峡西口及其附近为一强流区，南部湾口东侧的余流也比湾内的要强。

内湾茅尾海面积 114km<sup>2</sup>，河口湾中有三角洲发育，内湾有钦江和茅岭江注入，两河径流携带大量泥沙在河口区附近沉积，并不断向茅尾海推进，形成了水下复合三角洲。外湾中部钦州港、龙门港一带以南水面宽阔，水深条件良好，泥沙回淤少。

茅尾海湾内东西最宽处约 13km，南北纵深约 20km，通过鹰岭水道连接内外两湾。

## （2）厂址附近海底地形

自茅尾海向南，湾面逐渐收缩，水深加大，在龙门岛东侧形成一海峡状通道主槽，水深十余米，主槽两侧罗列着大小岛屿数十座，其间水道纵横，水深数米。自通道主槽向南即钦州外湾呈喇叭状，其东西湾岸范围内发育了一巨大的落潮三角州扇形堆积体，并被自龙门岛东侧主槽向南延伸的 3 条落潮冲刷槽所切割，冲刷槽边缘或槽底有礁石分布；在落潮冲刷槽之间发育了数条近似南北向的纵向潮流沙脊；落潮冲刷槽向南则为拦门浅滩所在处。拦门浅滩以外即过渡至北部湾水下斜坡。

## （3）潮汐

防城港核电厂位于广西钦州湾的西侧岸边。厂址周围有龙门、防城港、白龙尾和北海 4 个验潮站。根据四个验潮站的多年潮位观测资料，潮汐均为正规全日潮，各站的涨落历时略有不同，但各站的涨潮历时均较落潮历时长。

建设单位于 2008 年 9 月在防城港核电项目厂址处设立海洋水文专用站，进行为期一年的水文观测，观测项目包含潮汐、波浪、水温和含沙量等。天津水运工程勘察设计院和国家海洋局第一海洋研究所分别于 2009 年 7 月、1 月和 2013 年 7 月、12 月对厂址附近海域开展了夏季和冬季全潮水文测验，观测内容包括潮位、海流、水温、盐度和含沙量等，共布设 3 个潮位站和 14 个测流站。本次夏、冬两季全潮水文观测时间为 2018 年 8 月 7 日~2018 年 9 月 10 日和 2018 年 12 月 3 日~2019 年 1 月 4 日，观测点布置与原观测站点基本一致。

根据厂址水文站周年潮汐观测及统计分析显示：专用站所处海域为正规日潮。

龙门站位于厂址西北方 9km 左右处，采用龙门站与厂址海洋水文专用站的同步潮位观测资料进行相关性分析，结果表明两站的潮位相关性较好（相关系数高于 0.98）。此外，根据龙门站 2008~2017 年的极值潮位资料，并结合前期已有的资料进行扩展形成了新的资料序列，对设计潮位复核得出，厂址附近海域极值潮位成果是保守的。

整体而言，对于调查海域，冬季观测期间最大潮差、平均潮差均大于夏季，冬季观测期间最高潮位、最低潮位和平均低潮位均小于夏季。根据实测潮位资料进行潮汐性质调和分析，红沙站、乌雷站与果子山站均为正规全日潮海区。

## （4）海流

厂址附近海区的潮波属驻波，大、中、小潮期的海流流速最大值均出现在潮位由低潮至高潮或由高潮至低潮之间，海流速度的最小值则出现在高潮时或低潮时。

2018 年 8 月和 12 月夏、冬两季全潮海洋水文测验期间，工程海域钦州湾内各站基本为往复性流动，流速平面分布呈湾内大湾外小的态势。涨潮流方向为偏 NW 向，落潮流方向为偏 SE 向。钦州湾外各站涨潮流方向为偏 N~NE 向，落潮流方向为偏 SW 向。两次观测期间，涨落潮流流速、流向基本一致。钦州湾各站中，底层流速、流向的平面分布与表层相似，表、中、底层流速由表至底逐渐减小。

#### （5）余流

2018 年夏季观测期间：一般湾内大部分测站（L01~L07）的余流小潮余流流速较大，中潮次之，大潮较小；湾外大部分测站（L08~L14）则是大潮余流流速大，中潮次之，小潮较小。湾内大部分站表层的余流流向为偏 SE 向，湾内站中、底层流向为偏 NE 或偏 NW 向；湾外大部分站的表层余流流向为偏 S 向，中、底层余流流向为偏 E 或偏 S 向。

2018 年冬季观测期间：一般湾内大部分测站（L01~L07）的余流中潮余流较大，小潮次之，大潮较小；与湾外大部分测站（L08~L14）规律相似。湾内各站各层余流方向多为偏 NW 向，也有部分站位为偏 NE 向，靠近外海站位余流方向多为偏 NW 向和 SW 向。

#### （6）波浪

钦州湾地处亚热带地区，受亚热带季风的影响。湾内波浪主要是风浪，占总波数的 90%以上，由外海传播而来的涌浪也占有一定的比例。湾内波高一般不大，茅尾海内微浪居多，小浪出现的频率较少，外湾微浪和小浪较多。

#### （7）泥沙

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。潮段平均含沙量呈表层到底层逐渐增大的分布状态。

根据悬沙粒径分析结果，悬沙的沉积类型主要为粘土质粉砂，分选程度大多为差~很差。海底表层沉积物粗细相间，表现出近岸粗、远岸细的明显特征。

#### （8）海水温度

据厂址专用站 2008 年 10 月~2009 年 9 月为期一年的水温统计分析资料：7、8、9 月的表层月均水温分别为 30.1℃、31.8℃和 30.5℃，底层的月均水温范围为 14.0℃（1 月）~30.9℃（8 月）。

2018年夏季和冬季的全潮水文测验资料表明：夏季大潮平均水温为30.44℃，中潮为30.23℃，小潮为29.83℃；冬季大潮平均水温为18.25℃，中潮为13.36℃，小潮为23.69℃。

#### （9）海水盐度

据厂址专用站 2008 年 11 月~2009 年 9 月的盐度统计分析资料，厂址处海水盐度范围为 8.6‰~29.0‰，盐度年均值为 24.6‰，冬季和春季海水盐度较高，夏季和秋季海水盐度较低。

受涨落潮影响，各测站呈现出涨潮段盐度逐渐增大、落潮段盐度逐渐减小的变化规律。海水盐度平面分布，呈现由湾内向外海盐度逐渐增大的特点。海水盐度垂直分布，总趋势为随深度的增加而略有增大。

#### （10）岸滩稳定性

根据中国航海图书出版社出版的钦州湾 1985、1997 和 2005 版三张 1:40000 海图进行水下地形演变分析，施测时间分别为 1979 年、1996 年和 2004 年。整体而言，钦州湾海域东、中、西三条水道一沙脊相间的水下地形布局基本稳定，各条水道的位置也基本不变，工程海域岸线及水下地形基本稳定。

通过对工程水域水文泥沙资料的分析、天然状况下岸滩演变分析、数学模型的验证和不同取排水工况下冲淤量等方案计算研究，取排水工程实施后：

- 取排水工程对钦州湾涨落潮流态的影响主要在西槽及其以西浅滩。北取南排方案增加鹰岭水道涨潮量的2%左右，对落潮流影响不大。排水引起西槽涨潮潮段平均流量减少，幅度不超过2.5%；落潮流量增大不超过17%，取排水工程对主槽分流比的影响西槽大于中、东槽，但总体上变化不大，在±2%之内。工程取排水对西航道轴线的横向流速影响在8.0cm/s之内。
- 根据取排水方案长期演变计算结果，取水明渠和排水明渠口门处的30年最大冲刷厚度分别为1.20m和0.80m左右，60年的最大冲刷厚度分别为1.70m和1.30m。
- 由于工程海域含沙量低、悬沙细，在落潮时归槽坡面流输沙作用下，取、排水明渠道流堤间形成的小湾及排水明渠西侧形成的湾口淤积强度很小，年淤积厚度小于0.001m。

## 2.5.2 地下水

### 2.5.2.1 水文地质概况

厂区附近区域的地下水和地表水分水岭呈北西向展布，水文地质条件简单，为一较为完整的水文地质单元，该单元东、南、北三面环海，与西部相邻单元间分水岭基本位于厂区西部管草田—蓑衣山一线，与地表水水力联系微弱，与海水的水力联系薄弱。根据厂址区水文地质特征，结合地下水的分水岭和地下水分布范围，厂址区划分为 I~V 区，每个单元均有相对独立的汇水面积、排泄通道及排水口。

### 2.5.2.2 地下水类型及赋存特征

厂址附近区域内地下水主要为第四系孔隙水和基岩裂隙水，区域内地下水主要受大气降水补给。根据岩土工程勘察结果，厂区地层的含水介质特征及水理性质，地下水类型包括第四系孔隙水和基岩裂隙水两类。厂区仅在第四系分布区的钻孔中测得地下水位，其余地段均为基岩，无稳定地下水位。

#### 1) 第四系孔隙潜水

厂址半径 5km 范围内，松散土体孔隙水主要分布在测区南部第四系江平组（ $Q_{pj}$ ）及第四系海积层（ $Q_{h^{ma}}$ ），岩性为石英质细—中粒砂层，其厚度较薄，一般小于 5m。底部为灰色、深灰色泥质、淤泥质细砂岩。地下水主要赋存于砂层的孔隙中，含水层较薄，含水性差，水量贫乏。孔隙水赋存于第四系松散地层中，受大气降水补给影响较大。第四系残坡积层以粘性土为主，属弱透水；粉砂土层属半透水，仅断续分布。

#### 2) 基岩裂隙水

厂址半径 5km 范围内，基岩裂隙水分布于志留系下统连滩组上段（ $S_{1l}^3$ ）、连滩组下段中亚段（ $S_{1l}^{1-2}$ ）及中生界侏罗系大岭组（ $J_{1d}$ ）岩层中，岩性主要为细砂岩、粉砂岩、砾岩夹泥岩、页岩等。地下水主要赋存于细砂岩、粉砂岩的风化裂隙及构造裂隙中，属碎屑岩类基岩裂隙水，水量贫乏。基岩属弱透水~不透水。

厂址区岩体风化及裂隙发育程度随着表层向深层逐渐减弱。表层强风化岩体风化裂隙发育，且均为张性裂隙，为地下水提供了一定的赋存空间，赋存风化裂隙水；中等风化基岩主要发育构造节理，赋存构造裂隙水，主要沿裂隙呈脉状分布，上部靠近地表发育少量的风化裂隙内赋存风化裂隙水，分布不均匀；微风化岩体相对较完整，节理裂隙均为构造节理，节理裂隙分布不均匀且大多呈闭合状或被石英完全充填，延



伸性差，只在局部范围内连通而构成互不联系或联系很差的脉状含水系统，赋存脉状裂隙水。根据基坑开挖情况可知，基坑边坡仅在局部有滴水或渗水现象，也证明基岩构造裂隙富水性较差。

场地上部浅地表或近地表风化程度较高岩体内，因风化裂隙、构造节理等作用而赋存基岩裂隙水。基岩裂隙水包括风化裂隙水及构造裂隙水。风化裂隙水主要赋存在强风化和中等风化岩体浅层裂隙中，且以砂岩风化裂隙富水性最好，泥页岩和泥质粉砂岩因泥质成份含量较高，风化裂隙多被堵塞，裂隙贯通性差，富水性差。构造裂隙水主要赋存在中等风化岩体中，因节理裂隙发育的不均匀性，造成构造裂隙水分布不均匀，多呈脉状存在，富水性较差。

主厂区主要分布中等风化基岩，局部为微风化基岩，针对主厂区基岩完成的压水试验结果显示，中等风化和微风化岩体呈微透水~弱透水。对照各钻孔岩芯节理裂隙，对不同地段不同深度试验结果进行比较发现，浅部岩体较破碎，节理裂隙较发育，且呈微张状或不完全充填状；岩石泥质含量影响岩体渗透性，整体上由浅入深，岩体的节理裂隙相对减少，透水性逐渐减小，整体上岩体透水性能较弱。

依据厂址附近范围水文地质调查及厂址区岩土工程勘察资料，厂址及附近范围岩层为志留系沉积岩，岩性种类多、组合关系复杂，主要岩性包括：细砂岩、粉砂岩、泥岩、页岩、泥质粉砂岩等，呈厚层~薄层状，各种岩性多呈互层状分布；本工程场地为志留系沉积岩，以砂岩为主，局部夹薄层~极薄层的泥质粉砂岩或泥页岩，各类岩石形成的地质历史久远，成岩固结充分、矿物颗粒胶结良好；依据岩石试验，岩石的孔隙率低，而且岩石中泥质含量较高，具有隔水作用，岩石内部存在少量的孔隙，不足以形成有意义的含水空间，不具备赋存孔隙水的基本条件。依据各钻孔岩芯节理裂隙统计结果，对不同地段不同深度试验结果进行比较发现，浅部岩体较破碎，节理裂隙较发育，且呈微张状或不完全充填状；岩石泥质含量影响岩体渗透性，整体上由浅入深，岩体的节理裂隙相对减少，透水性逐渐减小，整体上岩体透水性能较弱。

基坑开挖后，基坑边坡仅在局部有滴水或渗水现象，未见有大量地下水涌出现场，证明基岩裂隙富水性差。在场平工程结束后，主厂区出露基岩以中等风化岩石为主，上部大部分富水性较好的地层已经被剥除，地下水以基岩裂隙水为主，因基岩内裂隙分布不均匀，多呈脉状分布，未形成统一的地下水位。

### 2.5.2.3 地下水的补径排状况

厂址所在区域原始地貌条件下，厂区内地下水主要为第四系孔隙水和基岩裂隙水，区域内地下水主要受大气降水补给。厂址所在水文地质单元为一独立单元，和其他水文地质单元无水力联系，且位于水文地质单元的排泄区，地下水最终向四周排泄入海。

厂址区所在范围为一个独立的水文地质单元，核岛区包含在该水文地质单元内，水文地质条件简单。核岛区地下水主要为大气降水补给，局部还接受海水、池塘水及周边地下水的侧向补给，沿风化裂隙和构造裂隙运移，以径流、蒸发等形式排泄。地下水类型按赋水介质的不同分为风化裂隙水和构造裂隙水，地下水分布不均匀，岩体富水性均较弱。根据地下水勘探及抽水试验结果，随着深度的增加，节理裂隙发育程度变弱，富水性呈逐渐减弱的趋势。

厂坪施工后，厂坪以上的第四系含水层及经验裂隙含水层被剥除，松散层孔隙潜水不复存在。场地平整后，原始地貌条件下地表水赋存条件已不存在，厂区范围内已无地表水。厂坪以下为基岩，其基岩风化和节理裂隙发育较差，基岩裂隙水含水量贫乏，仅在局部范围内连通而难以构成相互联系的地下水含水系统。在电厂回填并进行厂区硬化后，地下水的降水补给来源被切断，地层含水系统受到破坏，地下水的渗流和排泄方向也发生改变，水力坡度均受到影响，地下水沿贯通性节理裂隙由高到低渗流，最终向大海或基坑方向进行渗流和排泄。

场地整平后，原始地貌条件下赋存地表水的鱼塘、水稻田等均被挖除或回填，厂区范围内已无地表水。3、4 号机组厂址区所处范围为一个相对独立的水文地质单元，水文地质条件简单。在天然原始地貌条件下，厂区由丘陵或高地圈闭形成的小范围的水文地质单元，因天然分水岭的存在，与其他单元间基本无相互补给的条件；场地整平后，地表以上的天然高地被开挖至设计标高，但这些高地（分水岭）均由基岩组成，仍维持其隔水作用。故厂址所在单元的地下水与其它水文地质单元间基本不存在水力联系。

依据钻探及基坑开挖验证结果，强风化岩体裂隙较为发育，赋存少量的地下水，中等风化岩体中的节理裂隙以闭合~微张为主。随深度的增加，节理裂隙多呈闭合状态，基岩的透水性向深部明显变弱。主厂房基坑开挖后结果显示，仅在局部节理裂隙发育地段有少量渗水现象，未见明显的地下水活动，而且也未见受海水影响的现象。核电厂建成后及运行期间，主厂区地表基本硬化，阻断了降水等地下水补给来源，主厂区

地表水随厂区排水设施排入大海。

#### 2.5.2.4 厂址附近地下水使用情况

厂址区所在范围为一个独立的水文地质单元，水文地质条件简单。地下水贫乏，不具开采价值。厂址所在的防城港市饮用水资源利用以地表水为主，厂址所在的光坡镇农村均通自来水，水源为厂址 WSW 方位约 9km 的官山辽水库。根据对厂址周边 5km 范围内红沙村、沙螺辽村、栏冲村和新兴村的调查，厂址周边农村居民基本不取用井水作为饮用水，多用于清洗衣物，开采的含水层主要是浅层孔隙含水层，开采量和使用量很小。

厂址所在区域内水资源开发利用程度低，厂址区没有大规模开采地下水的活动。根据厂址区的地形特点及水文状况，厂区位于地下水的排泄区，居民点多位于其上游地区，电厂外围设置有截洪沟及厂区排水渠道组成的自然排水系统，有足够的排水能力将降水从厂外排走，厂区排水井及渠道、管道也将收集的雨洪水及时排入大海。因此，采取了上述工程措施后，核电厂运行不会对厂址附近地下水用户产生影响。

#### 2.5.3 洪水

根据《滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定》（HAD101/09）和《核电厂厂址选择安全规定》（HAF101）的要求，防城港核电厂厂址设计基准洪水位由可能最大风暴潮增水，10%超越概率天文高潮位、海平面异常和风浪影响组成。

厂址处设计基准洪水位（DBF）由可能最大风暴潮增水，10%超越概率天文高潮位、海平面异常和风浪影响组成。本工程厂址的设计基准洪水位考虑了下列不利因素的组合，其组合潮位 8.80m。根据有关规定，厂坪标高的确定应在满足设计基准洪水位的条件下考虑适当的安全裕度，一般规定安全裕度不小于 0.5m。因此，为了预留一定的裕度，防城港核电厂厂坪标高确定为 9.50m。

#### 2.5.4 参考资料

- [1] 珠江水利委员会水文局，广西防城港核电厂二期工程水资源论证报告，2015 年 7 月；
- [2] 深圳中广核工程设计有限公司，防城港核电厂 3、4 号机组最终安全分析报告，2019

年 10 月；

- [3] 天津水运工程勘察设计院，广西防城港红沙核电 5、6 号机组工程海域全潮水文观测报告，2019 年 4 月。

## 2.6 地形地貌

图

图 2.6-1 全厂建成后地形地貌示意图

## 2.6 地形地貌

### （1）厂址附近地形地貌

厂址附近范围包括海域和陆地，地貌包含了低山—丘陵、滨海低丘两个地貌区带，总体地貌特点为低山—丘陵、宽谷和滨海低丘地貌组合。

陆域总体地貌特征为中低山脉与宽谷丘陵相间分布；滨海低丘分布在低山—丘陵地貌带与海岸之间，地貌特点为低矮、浑圆的圆丘，海拔高度在 15m~50m 之间。海域主要为北部湾北部海岸地带，由钦州湾、防城港湾、龙门港、茅尾海等组成海域区域。

### （2）厂址区地形地貌

防城港核电厂地处钦州湾盆地西北边缘的半岛海岸地带，厂址区总体上呈西北高、东南低的地形特征，按其成因及形态特点分为滨海丘陵地貌、海岸地貌和人工地貌三种地貌单元：

#### A) 丘陵地貌

- 低丘：厂址区西部及北部属滨海丘陵地貌，由侵蚀低丘及丘间沟谷构成。厂址区丘顶高程为 20m~35m，山坡坡度多为 15°~20°。受山沟切割，丘陵一般呈北西向或北东向展布；厂坪完成后，丘陵区已全部开挖至+9.0m 高程。
- 冲沟：丘陵间为宽窄不一的沟谷，与山丘间隔分布，冲沟沟底标高一般为 2.0~5.0m，宽度一般 50~250m。一般走向北东、北西和北方向，南部海边的冲沟局部可见基岩出露。厂坪施工后，冲沟已全部回填。

#### B) 海岸地貌

海岸地貌处于场地的南部，属于钦州湾潮间带，涨潮时基本被海水浸没，退潮时除部分低洼地段外均显露，主要形态为沙滩和岩滩。海岸地形均向大海倾斜，倾角 2~5°，海滩中有剥蚀残丘零星分布。现状场地的海岸地带大部分已整平回填，形成高约 8-10m 的人工填方边坡，人工边坡以南为原始海滩。

#### C) 人工地貌

厂区的原人工地貌主要包括虾塘、水田及废弃的采石场等，规模均较小，场地整平后已不复存在。

3、4 号机组工程的核岛、常规岛、循环水泵房等主要建（构）筑物均位于陆域丘陵区，其余 BOP 区建筑物多位于沟谷区；厂区陆域现已完成场地平整，现状地貌开

阔平坦。

图 2.6-1 给出了全厂建成后地形地貌示意图。

防城港核电站 3、4 号机组环境影响报告书（运行阶段）



防城港核电站 3、4 号机组		
环境影响报告书（运行阶段）		
全厂建成后地形地貌示意图		
图 2.6-1	版次：	A



### 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

### 3.1 辐射环境质量现状

#### 3.1.1 辐射环境现状调查

#### 3.1.2 辐射环境质量评价

### 3.1 辐射环境质量现状

#### 3.1.1 辐射环境现状调查

依据 HJ808-2016 的要求，对于同一厂址后续建造的机组，在运行阶段，开展至少最近一年的辐射环境现状调查，受深圳中广核工程设计有限公司委托，苏州热工研究院有限公司自 2018 年 10 月开始开展为期一年的辐射环境现状调查。

##### 3.1.1.1 调查方案

###### （1）调查范围

依据 HJ969-2018《核动力厂运行前辐射环境本底调查技术规范》，陆地环境  $\gamma$  辐射/贯穿辐射剂量率的监测范围取半径 20km，土壤监测范围取 20km，饮用水和地下水监测范围取 5km，其余项目监测范围取 10km。

###### （2）布点原则

在确定调查范围及点位布设时，主要考虑前期本底调查、常规监测点位的延续性，并满足有关辐射本底调查通用技术规范的要求。为保证监测数据可用性和代表性，充分考虑厂址周围自然环境状况和社会环境状况，包括人口分布、水资源、气象、土地利用等情况。布点原则如下：

- 满足 HJ969-2018 对布点的相关要求；
- 参考一期工程本底调查、常规监测布点方案，综合考虑点位的延续性和数据的可比性；
- 近密远疏、均匀布点；
- 结合核电厂周围环境特征，在人口稀少且交通不便的山区或岛屿可适当减少监测点；
- 对可能的关键居民组、人口集中的居民区、农牧渔业和养殖集中区、环境敏感点和主导风下风向适当针对性布点。

###### （3）调查内容

###### 1) 环境 $\gamma$ 辐射剂量率

###### ● $\gamma$ 辐射剂量率

以反应堆为中心半径 2km、5km、10km、20km 与 16 个方位角形成的扇形区域内布点。

监测频次为每季度 1 次。监测点位主要为原野，一般为田地、草坪、山坡、空地

等。

- 累积剂量

累积剂量监测点与瞬时剂量率监测点共点，监测频次为每季度 1 次。

- 环境  $\gamma$  辐射连续监测

在沙螺寮村和白沙村设连续监测点。监测频次为 1 次，持续监测 1 年。

- 宇宙射线响应测试

本项目对  $\gamma$  辐射剂量率瞬时监测设备（高压电离室 GER S131）进行了宇宙射线响应测试。测试地点为厂址 NNE 方位约 106km 的大王滩水库，测试时间为 2019 年 8 月 1 日，测试期间天气晴朗。

大王滩水库位于广西壮族自治区南宁市良庆区那马镇，是广西壮族自治区辐射环境监督管理站和防城港核电厂开展宇宙射线响应测试的大型水库。测试时乘玻璃钢小船至水库中心处进行监测，测试点水深 >10m。

GER S131 的宇宙射线响应值为 43.4nGy/h。

## 2) 空气中放射性核素

在沙螺寮村、白沙村和春天岭附近村庄设空气采样点。

空气监测项目为  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  和  $^{131}\text{I}$ ，气溶胶与沉降灰监测项目均为  $\gamma$  核素（一般包括  $^{60}\text{Co}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{106}\text{Ru}$  等）和  $^{90}\text{Sr}$ ，雨水监测项目为  $^3\text{H}$  和  $\gamma$  核素。

空气采样监测频次为每季度 1 次。

## 3) 土壤中放射性核素

以反应堆为中心半径 20km 范围 与 8 个方位角形成的扇形区域内布点。

土壤监测项目包括： $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 。监测频次为 1 次。其中  $\gamma$  核素增加  $^{238}\text{U}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$  等天然核素，测量  $^{239+240}\text{Pu}$  的点位主要为 5km 范围内的点及对照点，共 7 个。

## 4) 地表水及其沉积物中放射性核素

地表水在半径 10km 范围内主要地表水体、流域覆盖厂址 30km 范围面积较大的水体及流域覆盖主导风下风向面积较大的水体，取样点位包括官山辽水库、山口水库、白沙村附近水塘、春天岭附近水塘和黄淡水库（对照点），同步取底泥或岸边沉积物。

地表水监测项目包括： $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ ，监测频次为每半年 1 次。

底泥和岸边沉积物监测项目包括  $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{239+240}\text{Pu}$ ，监测频次为每年 1 次，其中  $\gamma$  核素增加  $^{238}\text{U}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{40}\text{K}$  等天然核素。

#### 5) 地下水和饮用水中放射性核素

地下水监测共设 4 个点位（白云村、春天岭、核电厂区和沙螺寮）、饮用水共设 3 个点位（白云村、沙螺寮和苏屋），饮用水均采自当地自来水末梢水，地下水样品均采自当地井水。

地下水监测项目包括： $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ ，监测频次为每半年 1 次。

饮用水监测项目包括： $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、总  $\alpha$ 、总  $\beta$ ，监测频次为每半年 1 次。

#### 6) 陆生生物中放射性核素

陆地植物监测设白云村、栏冲村、沙螺寮和飞斗谭 4 个采样点。陆生植物的采集根据各采样点的实际作物情况开展，采集了包括稻米、红薯叶、芥菜、萝卜、红薯、香蕉 6 个品类共计 8 个样品。以松针作为指示生物，采样点位于白云村和沙螺寮。陆生动物监测设白云村和沙螺寮 2 个采样点，采集猪肉和鸡肉 2 种样品。

陆生生物分析项目包括： $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$ 、OBT、TFWT、 $^{14}\text{C}$ ，监测频次为 1 次。

#### 7) 水生生物中放射性核素

水生植物在官山辽水库采集，主要为水草。水生动物在官山辽水库和山口水库采集鱼。

水生生物分析项目包括  $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^3\text{H}$ (OBT 和 TFWT)、 $^{14}\text{C}$ ，监测频次为 1 次。

#### 8) 海水与海洋沉积物中放射性核素

海水采样以厂址排水口为中心，半径 5km、10km 与 8 个方位角形成的扇形区域内布点，共设 10 个采样点位。

海洋沉积物共设 6 个采样点位（排水口、SE1、取水口、保税区、养殖区 1 和养殖区 2），潮间带土壤共设 4 个采样点（大冲口尾、渔猎人部落、核电生活区和飞斗谭）。

海水的取样频次为每半年 1 次，海洋沉积物和潮间带的取样频次为每年 1 次。

海水监测项目包括： $\gamma$  谱核素分析、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 。海洋沉积物和潮间带监测项目包括： $\gamma$  谱核素分析、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 。

#### 9) 海洋生物中放射性核素

海洋生物监测设排水口、钦州港、企沙港沙螺寮滩涂养殖区和红沙村滩涂养殖区

4 个采样区域。海洋生物的采集根据各采样点的海洋生物情况开展，采集了包括马尾藻、红树林、杂鱼、鱿鱼、虾、文蛤、花甲、红口贝、大蚝、牡蛎（指示生物）10 个品类共计 13 个样品。

海洋生物采样频次为每年 1 次，监测项目包括自由水氚（TFWT）、有机氚（OBT）、 $^{14}\text{C}$ （OBC）、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$  谱核素分析。

#### （4）监测方法

调查中检出限的计算根据《环境辐射监测技术规范》（HJ/T 61-2001）等规范要求，根据实际情况下进行表述。检出限作以下两种表述约定：

##### 1) 探测下限（LLD）

LLD 用于表征仪器检测能量的量，其单位为计数或计数率（以下采用计数方式进行描述）。在低本底测量下，假定样品测量时间与本底测量时间相同，则 LLD 根据下式进行计算：

$$LLD = 2.71 + 4.65\sqrt{n_b t_b}$$

式中： $n_b$  为本底计数率，cps； $t_b$  为本底测量时间，s。

##### 2) 最小可探测活度浓度（MDC）

MDC 一般用于表征方法的检出限水平，与 LLD 及样品灰鲜比、回收率等因素有关。

—  $\gamma$  能谱的检出限（MDC）采用以下公式：

$$MDC = \frac{K \cdot LLD}{t \cdot \varepsilon \cdot P_\gamma \cdot W}$$

式中：K 为生物样品的灰鲜比，其余样品 K 值为 1；t 为样品测量时间； $\varepsilon$  为探测效率； $P_\gamma$  为射线分支比；W 为样品量。

对  $\gamma$  谱测量，实际上可能采用多条  $\gamma$  射线进行测量，采用各计算用的  $\gamma$  射线分别计算 MDC，取  $MDC_{\min}$  作为表征量。

— 对总  $\alpha$ 、总  $\beta$  测量，MDC（单位为 Bq/L）表达式为：

$$MDC = \frac{LLD}{t_s \cdot \eta \cdot R \cdot V}$$

式中， $t_s$  为样品测量时间，s； $\eta$  为探测效率；R 为水残渣回收率；V 为水残渣对应的样品体积，单位为 L。

— 对  $^{90}\text{Sr}$  测量（采用快速法进行测量），MDC 根据下式计算：

$$MDC = \frac{LLD}{Y_Y \times t_s \cdot \eta \cdot W \cdot e^{-\lambda(t_2 - t_1)}}$$

式中： $Y_Y$  为钇的化学回收率； $t_s$  为样品测量时间； $\eta$  为仪器对钇-90 的探测效率； $W$  为样品量； $t_1$ ：从开始过柱到过柱完毕的中间时刻； $t_2$ ：从开始测量到测量完毕的中间时刻； $\lambda$ ：钇-90 的衰变常数，为  $1.802 \times 10^{-4} \text{min}^{-1}$ 。

— 对  $^3\text{H}$  与  $^{14}\text{C}$  测量，其 MDC 由下式进行计算：

$$MDC = \frac{K \cdot LLD}{t_s \cdot \eta \cdot W}$$

式中： $t_s$  为样品测量时间； $\eta$  为计数效率； $W$  为测量瓶中  $\text{H}_2\text{O}$  或  $\text{CO}_2$  的重量或体积； $K$ ：样品含  $\text{H}_2\text{O}$ （包括 TFWT 和 OBT）或含碳率转化率。

### 3.1.1.2 调查区域内电离辐射类污染源调查结果

#### （1）核设施概况（30km）

项目半径 30km 范围内除了防城港核电厂外，无其他核设施和铀、钍矿设施。

#### （2）人为活动引起天然辐射照射增中的设施（NORM）（15km）

项目半径 15km 范围内无 NORM 设施。

#### （3）同位素生产和非密封放射性同位素应用概况（15km）

项目半径 15km 范围内无同位素生产和非密封放射性同位素应用的情况。

#### （4）I、II 类放射源应用概况（5km）

除防城港核电厂外，项目半径 5km 范围内不涉及 I、II 类放射源的应用。

### 3.1.1.3 辐射环境现状调查结果

#### 1) 环境 $\gamma$ 辐射剂量率

$\gamma$  辐射剂量率瞬时监测扣除宇宙射线响应值后的监测结果范围为 5~88nGy/h。

累积剂量 TLD 监测结果（已换算为剂量率）范围为 46~121nGy/h。

#### 2) 空气中放射性核素

气溶胶中  $\gamma$  核素测量结果表明人工放射性  $\gamma$  核素活度浓度均小于探测限， $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围为  $<0.54 \sim 1.16 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ，空气中氡的监测结果范围为  $<5.4 \sim 19 \text{mBq}/\text{m}^3$ ， $^{14}\text{C}$  监

测结果范围为 45.9~52.2mBq/m<sup>3</sup>，<sup>131</sup>I 监测结果均小于探测限。

沉降灰中放射性核素监测结果除第三季度沙螺寮监测到 <sup>137</sup>Cs 为 8.0mBq/d.m<sup>2</sup> 外，其他人工放射性  $\gamma$  核素的活度浓度均低于探测限，<sup>90</sup>Sr 的监测结果均低于探测限。

降雨中放射性核素监测人工放射性  $\gamma$  核素活度浓度和 <sup>3</sup>H 活度浓度均小于探测限。

### 3) 土壤中放射性核素

土壤中 <sup>137</sup>Cs 监测结果范围为 <0.34~1.5 Bq/kg·干，其他人工放射性  $\gamma$  核素的活度浓度均低于探测限，Sr-90 监测结果范围为 <0.1~1.13 Bq/kg·干，<sup>239/241</sup>Pu 监测结果范围为 0.011~0.144 Bq/kg·干。

### 4) 地表水及其沉积物中放射性核素

地表水中人工放射性  $\gamma$  核素和氡的活度浓度均低于探测限，<sup>14</sup>C 监测结果范围为 1.36~4.24 mBq/L（0.20~0.31 Bq/g.C），<sup>90</sup>Sr 监测结果范围为 0.26~1.05mBq/L。

沉降灰中人工放射性  $\gamma$  核素的活度浓度均低于探测限，<sup>90</sup>Sr 监测结果范围为 <0.29~0.49 Bq/kg·干，<sup>239/241</sup>Pu 监测结果范围为 <0.015~0.015 Bq/kg·干。

### 5) 地下水和饮用水中放射性核素

地下水中人工放射性  $\gamma$  核素和氡的活度浓度均低于探测限，<sup>14</sup>C 监测结果范围为 1.93~13.13 mBq/L（0.20~0.27 Bq/g.C），<sup>90</sup>Sr 监测结果范围为 0.79~1.51 mBq/L。

饮用水中人工放射性  $\gamma$  核素和氡的活度浓度均低于探测限，<sup>14</sup>C 监测结果范围为 0.96~2.09 mBq/L（0.22~0.34Bq/g.C），<sup>90</sup>Sr 监测结果范围为 0.39~0.74mBq/L，总  $\alpha$  监测结果均小于探测限，总  $\beta$  监测结果范围为 0.038~0.048Bq/L。

### 6) 陆生生物中放射性核素

陆生植物中除 <sup>137</sup>Cs 外其他人工放射性  $\gamma$  核素的活度浓度均低于探测限，<sup>137</sup>Cs 的监测结果范围为 <0.005~0.813Bq/kg·鲜，自由水氡和有机氡的监测结果均低于探测限，<sup>14</sup>C 监测结果范围为 3.1~70 Bq/kg·鲜（0.16~0.24Bq/g.C）。

陆生动物中除 <sup>137</sup>Cs 外其他人工放射性  $\gamma$  核素的活度浓度均低于探测限，<sup>137</sup>Cs 的监测结果范围为 0.010~0.066Bq/kg·鲜，自由水氡和有机氡的监测结果均低于探测限，<sup>14</sup>C 监测结果范围为 29.2~47.3 Bq/kg·鲜（0.21~0.35Bq/g.C），<sup>90</sup>Sr 监测结果范围为 <0.002~0.209 Bq/kg·鲜。

### 7) 水生生物中放射性核素

水生生物中除 <sup>137</sup>Cs 外其他人工放射性  $\gamma$  核素的活度浓度均低于探测限，<sup>137</sup>Cs 的



监测结果范围为 0.010~0.034Bq/kg·鲜，自由水氚和有机氚的监测结果均低于探测限， $^{14}\text{C}$  监测结果范围为 14.5~22.1 Bq/kg·鲜(0.20Bq/g.C)， $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围为 0.007~0.074 Bq/kg·鲜。

#### 8) 海水与海洋沉积物中放射性核素

海水中除  $^{137}\text{Cs}$  外其他人工放射性  $\gamma$  核素的活度浓度均低于探测限， $^{137}\text{Cs}$  的监测结果范围为 <2.4~3.6mBq/L，氚的监测结果范围为 <0.57~7.36Bq/L， $^{14}\text{C}$  监测结果范围为 3.39~7.13mBq/L (0.18~0.32Bq/g.C)， $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围为 0.30~0.93mBq/L。

海洋沉积物中除 Cs-137 外其他人工放射性  $\gamma$  核素的活度浓度均低于探测限， $^{137}\text{Cs}$  的监测结果范围为 <0.57~0.96 Bq/kg·干， $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围为 <0.22~0.34Bq/kg·干， $^{239/241}\text{Pu}$  监测结果范围为 <0.016~0.121 Bq/kg·干。

#### 9) 海洋生物中放射性核素

海洋生物中除  $^{137}\text{Cs}$  外其他人工放射性  $\gamma$  核素的活度浓度均低于探测限， $^{137}\text{Cs}$  的监测结果范围为 <0.011~0.043Bq/kg·鲜，自由水氚监测结果范围为 <0.81~2.64 Bq/kg·鲜 (<1.26~3.43 Bq/L)，有机氚的监测结果范围为 <0.09~0.44 Bq/kg·鲜 (<1.26~3.61Bq/L)， $^{14}\text{C}$  监测结果范围为 12.9~35.9 Bq/kg·鲜 (0.20~0.35Bq/g.C)， $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围为 <0.009~0.065Bq/kg·鲜。

### 3.1.1.4 质量保证

#### 3.1.1.4.1 组织管理

本次本底调查工作由苏州热工研究院有限公司承担，由下属环境检测中心负责具体实施，苏州热工研究院有限公司环境检测中心具有江苏质量技术监督局颁发的检验检测机构资质认定证书（证书标号 171012050252），证书认证范围涵盖了本次辐射环境质量现状调查的所有项目，参与本项目调查的工作人员全部按照质量保证体系的要求经过培训考核，并具有上岗证书。

#### 3.1.1.4.2 调查方案审查

受深圳中广核工程设计有限公司委托，苏州热工研究院有限公司承担本次调查项目后，在前期社会环境调查的基础上，根据技术任务书、HJ 808-2016、HJ 969-2018 等的要求编制了工作大纲和质保大纲（简称“两纲”），2018 年 9 月 13 日，委托单位在北

京组织召开了两纲评审会，根据审查意见，调查单位对两纲进行了修订，并按照工作大纲开展调查工作。

#### 3.1.1.4.3 样品的采集和处理

##### （1）空气气溶胶、碘采集与预处理

气溶胶采样采用大流量采样器，过滤材料用对直径  $0.3\mu\text{m}$  粒子捕集效率 95% 以上的玻璃纤维滤膜或纤维素滤纸（便于灰化处理）。大流量采样器瞬时流量为  $1\text{m}^3/\text{min}$ 。采样器的采样口应高出基础面 1.5m，每个采样点采集时间为 7 天（168 小时），采集总量大于  $10000\text{m}^3$ 。确认采样器能正常工作并记下采样起始时间和起始流量，最后记下结束时间、体积和相关环境参数，计算出采样量，并在样品袋上标识清楚，以便于样品交接与管理。

空气中碘采样，选在地形开阔，半径 50 米范围内无高大建筑物、树木。采样体积大于  $100\text{m}^3$ 。对于流量  $100\text{L}/\text{min}$  采样时间一般为一天（即 24 小时）。

将浸活性炭盒放入烘箱内，在  $100^\circ\text{C}$  以下烘烤 4 小时后，存入磨口瓶或自封袋中待用。对滤纸作透光检查，寻找因针孔、颗粒物、缺陷或严重折皱等引起的漏光现象。

滤膜与浸活性炭盒放进不同的两只特制的圆柱形塑料样品盒里。加盖并用胶粘纸封好，并将样品盒编号，放入塑料袋中密封。

样品经采集后，取出滤膜，置于密闭容器中保存，送回实验室。样品预处理前进行干燥，然后置于  $\gamma$  谱测量样品盒进行测量。

测完  $\gamma$  谱后，将滤膜样品置于马弗炉内于  $450^\circ\text{C}$  灰化，将灰样恒重、称重，进行  $^{90}\text{Sr}$  灰化处理和测量分析。

##### （2）沉降灰与雨水采集与预处理

沉降灰采样器采用承灰面积不低于  $0.25\text{m}^2$ 、深度不低于 50cm 的采样桶进行采样，其中雨水采集只在降雨时间采集，沉降灰采样采集干湿混合沉降，采样时确保样品不溢出。采样器安放时保证盘底面为水平，并位置固定，四周开阔无遮挡，避开高大房屋和树木的影响。

沉降灰采集时，将收集的水样倒入已清洗的塑料桶中，并用脱脂棉滴上少许稀硝酸擦取沉降灰，并用收集水样进行冲洗并收集。沉降灰和雨水样品均用塑料桶盛装，其中用于氡分析的雨水样品用玻璃瓶盛装。

沉降灰经收集后，于电热板上进行蒸发处理。蒸发后的水残渣首先进行  $\gamma$  核素分析，然后取样烘干碳化，并在马弗炉内于  $450^{\circ}\text{C}$  灰化，称重后进行  $^{90}\text{Sr}$  放射处理和测量分析。

雨水经收集后，用玻璃瓶盛装的样品，取 300ml 进行蒸馏，取蒸馏液在液闪谱仪上进行测量。

### （3）空气中氡与 $^{14}\text{C}$ 采集与预处理

空气 H-3 的采样一般选择在周围没有树木、没有建筑物影响的开阔地，或没有高大建筑物影响的建筑物的平台上。采样器放置高度一般为距离地面（或屋顶台面）1~1.5m 高处。采集样品量一般需要保证足以在液闪上进行测量，一般情况下应采集不低于 100ml 的水量，采样时间根据现场环境空气湿度情况而定，可分次采集样品。

空气  $^{14}\text{C}$  采样取样流速 10~55l/h，氧化炉温度为  $200\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，可以采集有机碳与无机碳。采样共有 4 个捕集瓶，分别装入 150ml 2mol/L 的 NaOH 吸收溶液，前两个捕集瓶吸收无机碳，后两个捕集瓶吸收有机碳氧化生成的  $\text{CO}_2$ 。设备对  $\text{CO}_2$  气体捕获效率： $>99\%$ ；有机碳捕获效率： $>94\%$ ；有机碳催化氧化效率： $99.99\%$ 。采样点应有代表性，一般选择在建筑物外距离地面 1m 以上的高度进行，采样点要选择在周围没有树木、没有建筑物影响的开阔地，或没有高大建筑物影响的建筑物平台上。采集样品量一般根据测量需要来定，正常情况下需要确保采集样品体积不低于  $6\sim 8\text{m}^3$ 。实际情况可以根据采集的量确定是否需要增加。样品采集后关闭设备，将捕集器转移到 1L 的塑料瓶，送实验室制样分析。

将收集瓶内的吸收碱液合并倒入 1000ml 烧杯中，用蒸馏水对各吸收瓶进行清洗，清洗液一并倒入烧杯中。加  $\text{NH}_4\text{Cl}$  调节 pH 值至 10.5。随后逐滴加入  $\text{CaCl}_2$  溶液，形成碳酸钙沉淀，陈化。对静置过夜的溶液进行抽滤，弃去滤液。将滤纸上纯净的  $\text{CaCO}_3$  沉淀放入烘箱内，在  $110^{\circ}\text{C}$  下烘干 1 小时，取出放在干燥器中冷却至室温后用天平称重，记录生成的  $\text{CaCO}_3$  重量。将烘干称重后的  $\text{CaCO}_3$  用研钵研磨成粉末，保存在干燥器中备用。

### （4）水样采集与预处理

采样设备用有机玻璃采水器，样品容器选用聚乙烯塑料桶，供氡分析的水样装于 500ml 玻璃瓶中。

一般情况下，水库（湖泊）采样点选择在中心部位或多点取混合样，河流选择在

控制断面水流中心部位，也可根据其他要求进行取样，例如取水和排放特点，设于取水口或排放口附近区域。所有地表水均采集其表层水样。

采集前洗净塑料桶，用样水洗涤三次，取所需体积的样品。

样品采集量满足分析项目和方法的要求，并考虑适量余量。

对饮用水取自居民自来水，一般情况下，地下水取当地居民饮用水的水井。如现场已有可供钻井地下水采集的条件，可采集该地下水。

饮用水、地下水采集时，凡用泵或直接从自来水管取样时，必须预先放水，使管内的积水排出后，方可采样。

水样采集后，用浓  $\text{HNO}_3$  酸化至  $\text{pH}=1\sim 2$ 。当水中含泥沙量较高时，待 24h 后取上清液再酸化，送至实验室，尽快分析测量，保存水样一般不超过 2 个月。

对水样测量，一般需要考虑各种测量的用量，同时应考虑一定的富余量。

取 3L 水样用于总  $\beta$  测量，40L 用于  $\gamma$  能谱测量，40L 用于  $^{90}\text{Sr}$  分析，20L 用于  $^{14}\text{C}$  分析（海水测  $^{131}\text{I}$  用量 20L），装于玻璃瓶的水样用于氡的测量。以上各个分项测量、分析预处理见技术规范。根据实际情况，水样可以做适当调整。

#### （5）土壤和沉积物采集与预处理

土壤采集使用专用土壤采集器或用采样铲。

现场采样时，一般在  $10\times 10\text{m}^2$  范围内，采用梅花型布点，在条件不具备时，用蛇型设点采集。每点一般采  $10\times 10\times 10\text{cm}^3$  的土样，在现场充分混合，去除石头、草根等杂物，取 2~3kg 于双层塑料袋内，保存。

深水部分的底泥用专用采泥器采集，浅水处底泥用塑料勺（或铁铲）直接采集。样品置于塑料容器中。底泥采样样品量参考土壤样品量的要求。沉积物一般每个样品采集 3kg。晾干后运输保存。

在烘箱中干燥 48h（ $110^\circ\text{C}$ ）并称重，然后压碎土块，筛分至 2mm，废渣弃去。使筛取部分均匀化，并研细过筛 60 目，供  $\gamma$  谱测量；研细过 100 目供  $^{90}\text{Sr}$  分析；研细过 200 目总  $\alpha$ 、总  $\beta$  测量。

#### （7）生物样品采集与预处理

对当地种植的蔬菜，应在蔬菜生长均匀的菜地选 5~7 处采样。

对淡水生物，于捕捞季节在养殖区采样养殖产品，于渔业公司或市场购买野生产品。购买前需确知捕捞区所在厂址周围区域，也可以从养殖区直接采样。

生物样品采集后，及时处理，注意保鲜，样品运输过程应加强保鲜处理。生物样品采样量应考虑样品灰分，满足分析项目和方法的要求。

对蔬菜类，采集样品，除去泥土，用水洗干净，晾干或擦干，取可食部份称鲜重。

对水生物鱼类，采集到的新鲜样品，用水洗净，擦干，去鳞，去内脏称重，骨肉分离，分别称重。

叶菜、根菜、鱼肉等切成碎片置于搪瓷盘内，放入干燥箱，在 105℃ 进行干燥，冷却后称重，密封保存。

对样品灰化处理，样品放在蒸发皿中加热，充分炭化（防止出现明火）。然后移入马弗炉内，在 450℃ 灰化，至样品呈白色，冷却研磨、称重，计算灰鲜比，密封保存，并供  $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$  测量。

鲜样处理：采集到的新鲜样品，用水洗净，擦干，根据前述生物样品处理方法进行预处理，一般取可食部分称鲜重。

样品干燥处理：一般情况下视样品进行切碎等处理，放入干燥箱，在 110℃ 进行干燥，冷却后称重，计算干鲜比，取 40g 以上，用塑料袋密封，作有机氙（OBT）的待测样。烘干后的样品在双温区催化氧化炉上进行氧化处理，收集氧化后产生的燃烧水（OBT）。收集后燃烧水经必要的蒸馏处理后，采用液闪谱仪进行测量。

#### 3.1.1.4.4 分析与测量

##### （1）空白样

空白样品的分析测量是为了检查实验用水和化学试剂的放射性本底水平及分析人员的操作能力，定期进行化学试剂空白实验。

由表中结果可以看出，试剂空白样品的计数率在仪器本底涨落范围内，试剂未对分析样品产生放射性计数贡献。

##### （2）平行双样和复测样

平行双样和复测样是在重复性条件下进行的试验，依据 GB/T 6379.6-2009《测量方法与结果的准确度（正确度与精密度）第 6 部分：准确度值的实际应用》：在重复性条件下得到的两个单一测试结果进行检验时，应与重复性限  $r = 2.8\sigma_r$  进行比较。即： $|y_1 - y_2| \leq r$  时平行双样测量结果可以接受， $y_1$  和  $y_2$  分别为两次测量结果。如果平行双样中有一个结果大于 MDC，另外一个小于 MDC，则采用大于 MDC 的数值和 MDC 进

行比较；如果平行双样中两个结果都小于 MDC，则认为两个平行双样结果可以接受。如果重复性标准差 $\sigma_r$ 未知，则参考 GB/T15483.1-1999《利用实验室间比对的能力验证第 1 部分：能力验证计划的建立和运作》中的 En 法进行判断，En 计算公式如下：

$$E_n = \frac{|y_r - y_c|}{\sqrt{U_r^2 + U_c^2}}$$

式中：En 为标准化误差指标； $y_r$  为参考值； $y_c$  为测量值； $U_r$  为参考方法扩展不确定度； $U_c$  为测量方法扩展不确定度。

用 En 值来评价测量结果的可接受性：若  $En \leq 1$ ，表明在 95% 的置信概率下 ( $k=2$ )，比对结果没有显著差异，测量结果可以接受。

— 空气中  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  平行双样分析结果

空气中  $^3\text{H}$  和  $^{14}\text{C}$  分别有 1 个样品进行了平行双样分析，本次空气中  $^3\text{H}$  和  $^{14}\text{C}$  平行双样分析结果是可以接受的。

— 土壤中  $^{90}\text{Sr}$  平行双样分析结果

本次调查对大冲口尾、苏屋土壤等 5 个土壤样品中  $^{90}\text{Sr}$  的放化分析进行了平行双样的分析，本次土壤中  $^{90}\text{Sr}$  平行双样分析结果是可以接受的。

— 土壤中  $^{239+240}\text{Pu}$  平行双样分析结果

本次调查对 3 个土壤样品中  $^{239+240}\text{Pu}$  的放化分析进行了平行双样的分析，本次土壤中  $^{239+240}\text{Pu}$  平行双样分析结果是可以接受的。

— 水中  $^3\text{H}$  平行双样分析结果

本次调查对沙螺寮地下水等 6 个水样品中  $^3\text{H}$  进行了平行双样的分析，本次水样品中  $^3\text{H}$  平行双样分析结果是可以接受的。

— 水中  $^{90}\text{Sr}$  平行双样分析结果

本次调查对沙螺寮地下水等 6 个水样品中  $^{90}\text{Sr}$  进行了平行双样的分析，本次水中  $^{90}\text{Sr}$  平行双样分析结果是可以接受的。

— 水中总  $\alpha$ 、总  $\beta$  平行双样分析结果

水中总  $\alpha$ 、总  $\beta$  共有 2 个样品进行了平行双样分析，本次水中总  $\alpha$ 、总  $\beta$  平行双样分析结果是可以接受的。

— 水中  $^{14}\text{C}$  平行双样分析结果

水中  $^{14}\text{C}$  共有 6 个样品进行了平行双样分析，本次水中  $^{14}\text{C}$  平行双样分析结果是

可以接受的。

— 水中  $^{131}\text{I}$  平行双样分析结果

水中  $^{131}\text{I}$  共有 2 个样品进行了平行双样分析，本次水中  $^{131}\text{I}$  平行双样分析结果是可以接受的。

— 生物中 TFWT 平行双样分析结果

生物中 TFWT 共有 3 个样品进行了平行双样分析，本次生物中 TFWT 平行双样分析结果可以接受。

— 生物中 OBT 平行双样分析结果

生物中 OBT 共有 3 个样品进行了平行双样分析，本次生物中 OBT 平行双样分析结果是可以接受的。

— 生物中  $^{14}\text{C}$  平行双样分析结果

生物中  $^{14}\text{C}$  共有 3 个样品进行了平行双样分析，本次生物中  $^{14}\text{C}$  平行双样分析结果是可以接受的。

— 生物中  $^{90}\text{Sr}$  平行双样分析结果

生物中  $^{90}\text{Sr}$  共有 3 个样品进行了平行双样分析，本次生物中  $^{90}\text{Sr}$  平行双样分析结果是可以接受的。

— 土壤中  $\gamma$  核素平行双样分析结果

本次调查对 5 个土壤样品中  $\gamma$  核素的放化分析进行了平行双样的分析，其中  $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{134}\text{Cs}$  的两次监测结果均小于探测限，本次土壤中  $\gamma$  核素平行双样分析结果是可以接受的。

— 水中  $\gamma$  核素平行双样分析结果

水中  $\gamma$  核素共有 6 个样品进行了平行双样分析，其中苏屋 2019 年饮用水和大冲口尾 2018 年海水所有监测结果均小于探测限，高于探测限的平行样结果见表 3.1-28，本次水中  $\gamma$  核素平行双样分析结果是可以接受的。

— 生物中  $\gamma$  核素平行双样和复测样分析结果

生物中  $\gamma$  核素共有 2 个样品进行了平行双样分析，1 个样品进行了复测样分析，生物中  $\gamma$  核素平行双样和复测样分析结果可以接受。

#### 3.1.1.4.5 数据记录与处理的质量控制

依据苏州热工研究院有限公司环境检测中心《检测工作控制程序（RG/CX 07-E0）》的要求，项目组制定了关于原始数据记录、数据处理、检测结果报告与审核程序。针对不同的检测项目，编制了专用的原始记录单（包括采样记录，分析测量记录等）。检测人员严格按照分析测量程序规定，真实、准确、完整地记录分析测量过程中的相关信息。在对原始数据进行必要的整理之前，逐一检查原始记录是否按规定的要求填写完全、正确。检测人员按规范的检测结果报告要求及时写出检测报告，项目负责人审核原始记录及运算过程是否规范、完整、准确。项目质量员组织质保人员对各分项目组的报告数据进行核实评审。

#### 3.1.1.4.6 实验室比对

（1）2018 年 11 月参加中实国金国际实验室能力验证研究有限公司（CNAS 能力验证发布单位）组织的水中锶-90 能力验证计划，能力验证结果满意。

（2）2019 年参加国际原子能机构（IAEA）组织的能力验证计划，共参加了水中  $\gamma$  核素、水中  $^{89}\text{Sr}$ 、水中  $^{90}\text{Sr}$ 、土壤中  $\gamma$  核素、气溶胶中  $\gamma$  核素、水中总  $\alpha$ 、水中总  $\beta$ ，能力验证结果均为“通过”。

（3）2018 年 12 月和 2019 年 11 月，参加了江苏省辐射比对测量，包括  $\gamma$  辐射剂量率、综合场强、工频电场、工频磁场、噪声，比对结果均为满意。

（4）2018 年 4 月-11 月，调查单位参加了中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所组织的 2018 年度放射卫生技术机构检测能力考核-总  $\alpha$  总  $\beta$  放射性测量，考核结果为合格。

（5）2019 年 8 月，参加了中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所组织的 2019 年度放射卫生技术机构检测能力考核-放射性核素  $\gamma$  能谱分析能力考核，考核结果为合格。

（6）2018 年 11 月，参加了福建省环境科学学会组织的闽台辐射环境实验室间放射性测量比对，包括稻米中  $\gamma$  核素，比对结果满意。



### 3.1.2 辐射环境质量评价

#### 3.1.2.1 环境 $\gamma$ 辐射水平

核电站 2016 年~2019 年开展的原野瞬时  $\gamma$  辐射剂量率监测结果（未扣除仪器宇宙射线响应）水平保持平稳，未发现上升趋势。

本次辐射环境现状调查结果  $\gamma$  辐射剂量率范围为 5~88nGy/h（已扣除仪器宇宙射线响应），和防城港核电站 1、2 号机组首次装料前的本底调查结果（15.1~96.1nGy/h） $\gamma$  辐射水平相当，表明防城港核电站 1、2 号机组运行后，周围环境  $\gamma$  辐射水平未发生变化。

#### 3.1.2.2 环境介质中核素的放射性水平

##### （1）空气中核素放射性水平

本次辐射环境现状调查结果空气中氡的范围为小于探测限~19mBq/m<sup>3</sup>，处于防城港核电站首次装料前的本底调查结果（2.14~21mBq/m<sup>3</sup>）范围内，核电站 2016 年~2019 年空气中氡的监测结果均小于探测限。

本次辐射环境现状调查结果空气中 <sup>14</sup>C 的范围为 0.18~0.25 Bq/gC，处于防城港核电站首次装料前本底调查结果（0.101~0.412Bq/gC）范围内。

本次辐射环境现状调查结果气溶胶中  $\gamma$  核素未监测到人工放射性  $\gamma$  核素（<sup>110m</sup>Ag、<sup>60</sup>Co、<sup>58</sup>Co、<sup>137</sup>Cs、<sup>134</sup>Cs、<sup>54</sup>Mn、<sup>51</sup>Cr、<sup>124</sup>Sb、<sup>106</sup>Ru 等均低于探测限），和防城港核电站首次装料前的本底调查结果（<sup>110m</sup>Ag、<sup>137</sup>Cs、<sup>134</sup>Cs、<sup>58</sup>Co、<sup>60</sup>Co、<sup>54</sup>Mn 等均低于探测限）一致。

本次辐射环境现状调查结果气溶胶中 <sup>90</sup>Sr 的范围为小于探测限~1.16 $\mu$ Bq/m<sup>3</sup>，防城港核电站首次装料前的本底调查结果和核电站日常监测均未开展该项目监测。

本次辐射环境现状调查结果空气中 <sup>131</sup>I 的监测结果均小于探测限。

##### （2）沉降灰中核素放射性水平

本次辐射环境现状调查结果沉降灰中 <sup>137</sup>Cs 在 2019 年 4 月~7 月采集的沙螺寮样品中活度浓度为 8.0 mBq/d.m<sup>2</sup>，其他所有样品中 <sup>137</sup>Cs 均 < 1.6 mBq/d.m<sup>2</sup>，防城港核电站首次装料前的本底调查结果小于探测限（探测限约 4.0 mBq/d.m<sup>2</sup>），沉降灰中其他人工放射性  $\gamma$  核素和 <sup>90</sup>Sr 均低于探测限，随后沙螺寮 2019 年 7 月~9 月沉降灰样品中 <sup>137</sup>Cs 的活度浓度已恢复正常（< 1.3mBq/d.m<sup>2</sup>），因此，沉降灰中放射性核素水平未发现升高

趋势。

### （3）雨水中核素放射性水平

本次辐射环境现状调查结果雨水中人工放射性  $\gamma$  核素活度浓度和  $^3\text{H}$  活度浓度均小于探测限，和防城港核电厂首次装料前的本底调查结果一致。

### （4）土壤中核素放射性水平

本次辐射环境现状调查结果土壤中  $^{137}\text{Cs}$  监测结果范围为小于探测限~1.5 Bq/kg·干，处于防城港核电厂首次装料前的本底调查结果（小于探测限~8.75 Bq/kg）范围内。

本次辐射环境现状调查结果土壤中  $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围为小于探测限~1.13 Bq/kg·干，处于防城港核电厂首次装料前的本底调查结果（小于探测限~8.15 Bq/kg）范围内。

本次辐射环境现状调查结果土壤中  $^{239/241}\text{Pu}$  监测结果范围为 0.011~0.144 Bq/kg·干。

### （5）地表水及其沉积物中核素放射性水平

本次辐射环境现状调查结果地表水中人工放射性  $\gamma$  核素监测结果均小于探测限，和防城港核电厂首次装料前的本底调查结果一致（地表水中人工放射性  $\gamma$  核素均小于探测限）。

本次辐射环境现状调查结果地表水中  $^3\text{H}$  监测结果均小于探测限。

本次辐射环境现状调查结果地表水中  $^{14}\text{C}$  监测结果范围为 1.36~4.24 mBq/L，处于正常水平。

本次辐射环境现状调查结果地表水中  $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围为 0.26~1.05 mBq/L，处于防城港核电厂首次装料前的本底调查结果（1.04~10.9 mBq/L）范围内，未发生变化。

本次辐射环境现状调查结果地表水沉积物中人工放射性  $\gamma$  核素的活度浓度均低于探测限，和防城港核电厂首次装料前的本底调查结果一致（人工放射性  $\gamma$  核素均小于探测限）。

### （6）地下水中核素放射性水平

本次辐射环境现状调查结果地下水中人工放射性  $\gamma$  核素监测结果均小于探测限，和防城港核电厂首次装料前的本底调查结果（人工放射性  $\gamma$  核素均小于探测限）一致。

本次辐射环境现状调查结果地表水中  $^3\text{H}$  监测结果均小于探测限。

本次辐射环境现状调查结果地下水中  $^{14}\text{C}$  监测结果范围为 1.93~13.13 mBq/L，处于正常水平。

本次辐射环境现状调查结果地下水中  $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围为 0.79~1.51 mBq/L。

#### （7）饮用水中核素放射性水平

本次辐射环境现状调查结果饮用水中人工放射性  $\gamma$  核素监测结果均小于探测限，和防城港核电站首次装料前的本底调查结果一致（人工放射性  $\gamma$  核素均小于探测限）。

本次辐射环境现状调查结果饮用水中  $^3\text{H}$  监测结果小于探测限。

本次辐射环境现状调查结果饮用水中  $^{14}\text{C}$  监测结果范围为 0.96~2.09 mBq/L，处于正常水平。

本次辐射环境现状调查结果饮用水中  $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围为 0.39~0.74mBq/L。

本次辐射环境现状调查结果饮用水中总  $\alpha$  监测结果均小于探测限~0.004Bq/L，处于防城港核电站首次装料前的本底调查结果（小于探测限~0.053 Bq/L）范围内。

本次辐射环境现状调查结果饮用水中总  $\beta$  监测结果范围为 0.038~0.048Bq/L，处于防城港核电站首次装料前的本底调查结果（0.015~0.14 Bq/L）范围内，放射性水平未发生变化。

#### （8）陆生生物中核素放射性水平

本次辐射环境现状调查结果陆生生物中  $^{137}\text{Cs}$  的监测结果范围为小于探测限~0.813Bq/kg·鲜，处于防城港核电站首次装料前的本底调查结果（小于探测限~2.87Bq/kg·鲜）范围内。

本次辐射环境现状调查结果陆生生物中自由水氚和有机氚的监测结果均低于探测限。

本次辐射环境现状调查结果陆生生物中  $^{14}\text{C}$  的监测结果范围为 3.1~70 Bq/kg·鲜（0.16~0.24Bq/g.C），处于正常水平。

本次辐射环境现状调查结果陆生生物中  $^{90}\text{Sr}$  的监测结果范围为低于探测限~0.209 Bq/kg·鲜，陆生生物中  $^{90}\text{S}$  的放射性水平未发生变化。

#### （9）水生生物中核素放射性水平

本次辐射环境现状调查结果水生生物中  $^{137}\text{Cs}$  的监测结果范围为 0.010~0.034Bq/kg·鲜，处于防城港核电站首次装料前的本底调查结果（小于探测限~0.463Bq/kg·鲜）范围内，和防城港核电站首次装料前的本底调查结果一致。

本次辐射环境现状调查结果水生生物中自由水氚和有机氚的监测结果均低于探测限。

本次辐射环境现状调查结果水生生物中  $^{14}\text{C}$  的监测结果范围为 14.5~22.1 Bq/kg·鲜

(0.20Bq/g.C)，水生生物中  $^{14}\text{C}$  的放射性水平处于正常水平。

本次辐射环境现状调查结果水生生物中  $^{90}\text{Sr}$  的监测结果范围为 0.007~0.074 Bq/kg·鲜，均在防城港核电厂首次装料前的本底调查结果陆生生物中  $^{90}\text{Sr}$  的监测结果范围（0.139~0.925 Bq/kg·鲜）内，水生生物中  $^{90}\text{S}$  的放射性水平未发现升高趋势。

#### （10）海水与海洋沉积物中核素放射性水平

本次辐射环境现状调查结果海水中  $^{137}\text{Cs}$  的监测结果范围为小于探测限~3.6mBq/L，和防城港核电厂首次装料前的本底调查结果（小于探测限~2.02 mBq/L）相当。

本次辐射环境现状调查海水中除  $^{137}\text{Cs}$  外的其他人工放射性  $\gamma$  核素的活度浓度均低于探测限，海水中人工放射性  $\gamma$  核素放射性水平未发生变化。

本次辐射环境现状调查结果海水中氡的监测结果范围为小于探测限~7.36Bq/L，和防城港核电厂首次装料前的本底调查结果（0.18~0.40 Bq/L）相比，部分时段海水中氡的放射性水平有所升高，属于核电厂液态排放期间的短期影响。

本次辐射环境现状调查结果海水中  $^{14}\text{C}$  的监测结果范围为 3.39~7.13mBq/L（0.18~0.32Bq/g.C），海水中  $^{14}\text{C}$  的放射性水平处于正常水平。

本次辐射环境现状调查结果海水中  $^{90}\text{Sr}$  的监测结果范围为 0.3~0.93mBq/L，在防城港核电厂首次装料前的本底调查海水中  $^{90}\text{Sr}$  的监测结果范围（小于探测限~4.42mBq/L）内。

#### （11）海洋沉积物中放射性核素水平

本次辐射环境现状调查结果海洋沉积物中  $^{137}\text{Cs}$  的监测结果范围为小于探测限~0.96Bq/kg·干，和防城港核电厂首次装料前的本底调查结果（小于探测限~1.5Bq/kg）相当。

本次辐射环境现状调查海水中除  $^{137}\text{Cs}$  外的其他人工放射性  $\gamma$  核素的活度浓度均低于探测限，和防城港核电厂首次装料前的本底调查结果一致。

本次辐射环境现状调查结果海洋沉积物中  $^{90}\text{Sr}$  的监测结果范围为小于探测限~0.34 Bq/kg·干，在防城港核电厂首次装料前的本底调查海洋沉积物中  $^{90}\text{Sr}$  的监测结果（小于探测限~1.57Bq/kg）范围内。

本次辐射环境现状调查结果海洋沉积物中  $^{239/241}\text{Pu}$  的监测结果范围为小于探测限~0.121Bq/kg·干。

### （11）海洋生物中放射性核素水平

本次辐射环境现状调查结果海洋生物中  $^{137}\text{Cs}$  的监测结果范围为小于探测限~0.043Bq/kg·鲜，和防城港核电厂首次装料前的本底调查结果（小于探测限~0.035 Bq/kg·鲜）相当。

本次辐射环境现状调查海洋生物中除  $^{137}\text{Cs}$  外的其他人工放射性  $\gamma$  核素的活度浓度均低于探测限，和防城港核电厂首次装料前的本底调查结果一致。

本次辐射环境现状调查结果海洋生物中自由水氚监测结果范围为小于探测限~2.64 Bq/kg·鲜（小于探测限~3.43 Bq/L），有机氚的监测结果范围为小于探测限~0.44 Bq/kg·鲜（小于探测限~3.61Bq/L），处于防城港核电厂首次装料前的本底调查结果（自由水氚 0.91~2.90 Bq/L，有机氚 0.14~0.48 Bq/kg·鲜）范围内，海洋生物中氚的放射性水平未发生变化。

本次辐射环境现状调查结果海洋生物中  $^{14}\text{C}$  的监测结果范围为 12.9~35.9 Bq/kg·鲜（0.20~0.35Bq/g.C），处于正常水平。

本次辐射环境现状调查结果海洋生物中  $^{90}\text{Sr}$  的监测结果范围为小于探测限~0.065Bq/kg·鲜，在防城港核电厂首次装料前的本底调查海洋生物中  $^{90}\text{Sr}$  的监测结果范围（小于探测限~1.53Bq/kg·鲜）内。

#### 3.1.2.3 小结

2019 年开展的防城港核电厂辐射环境现状调查中  $\gamma$  辐射剂量率和防城港核电厂首次装料前的本底调查结果一致，防城港核电厂地区  $\gamma$  辐射水平未发生明显变化。

2019 年开展的防城港核电厂辐射环境现状调查中海水部分取样点位的氚和防城港核电厂首次装料前的本底调查结果相比有短时间升高，但未发现持续升高趋势，其他调查结果均在防城港核电厂首次装料前的本底调查结果附近波动，属正常波动范围。

综上所述，防城港核电厂 1、2 号机组运行以后，周围  $\gamma$  辐射水平未发生变化，环境介质中核素的放射性水平也未发现升高趋势，保持在首次装料前的本底调查结果附近。

## 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

## 3.2 非辐射环境质量现状

受深圳中广核工程设计有限公司的委托，苏州热工研究院有限公司承担了广西防城港核电厂址区域非放射性环境质量现状调查工作。

### 3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

空气质量监测于 2018 年 4 月 24 日至 4 月 30 日在现场进行了采样，2018 年 4 月 24 日至 5 月 3 日完成实验室分析。

#### 3.2.1.1 监测点位

2018 年 4 月防城港核电厂季节的主要风向为东南风和北风，同时结合厂址周边环境空气保护目标，并考虑进厂道路、应急道路和施工场地影响，选择在新兴村委会院内、湾潭村吴姓人家旁、5 号机组拟建处、应急道路附近的老虎港、栏冲村黄姓人家旁和大冲口设置监测点位。

#### 3.2.1.2 监测因子

TSP、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>，同步观测气温、气压、风向、风速及相对湿度等。

#### 3.2.1.3 监测结果及评价

各监测点位 NO<sub>2</sub> 小时浓度值为 <0.015~0.072mg/m<sup>3</sup>，SO<sub>2</sub> 小时浓度值为 <0.007~0.114mg/m<sup>3</sup>，CO 小时浓度值为 0.29~3.32mg/m<sup>3</sup>；NO<sub>2</sub> 24 小时均浓度值为 <0.006~0.016mg/m<sup>3</sup>，SO<sub>2</sub> 24 小时浓度值为 <0.004~0.018mg/m<sup>3</sup>，CO 24 小时浓度值为 1.33~1.99mg/m<sup>3</sup>，TSP 24 小时浓度值为 0.007~0.093mg/m<sup>3</sup>，PM<sub>10</sub> 24 小时浓度值为 <0.010~0.068mg/m<sup>3</sup>，PM<sub>2.5</sub> 24 小时浓度值为 <0.010~0.048mg/m<sup>3</sup>。

根据监测结果，各监测点位 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 和 CO 的 02、08、14、20 小时浓度值和 24 小时浓度值，TSP、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 的 24 小时浓度值均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中 2 级标准要求。

### 3.2.2 声环境质量现状调查与评价

#### 3.2.2.1 噪声源调查

防城港核电厂址半径 5km 范围内涉及防城港市光坡镇的红沙、沙螺辽、栏冲和新兴 4 个行政村，村内没有规模以上企业，噪声污染源主要是核电厂汽轮发电机组，进厂道路和应急道路的交通噪声，钦州湾内西航道的交通噪声。

#### 3.2.2.2 声环境监测

##### 3.2.2.2.1 监测点位

按照《声环境质量标准》（GB3096-2008）、《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的要求进行点位布设。

##### （1）核电厂厂界周围

选取可到达的厂界外 1m 处进行噪声监测。

##### （2）核电厂应急道路与进厂道路周围

选择新兴村（进厂道路北侧约 10m）和新兴村黄姓人家（进厂道路北侧约 15m）、三口益海小学（应急道路北侧约 2m）、栏冲幼儿园（应急道路南侧约 3m）进行交通噪声测量。

##### （3）声环境功能区

选择厂址半径 5km 范围内各行政村设置有代表性的监测点位，分别是红沙村的红沙小学、红沙大创商铺，栏冲村的里头组，新兴村的村委会、大龙口村居民、新兴村黄姓人家，沙螺寮村（大冲口尾）。

##### 3.2.2.2.2 监测因子

工业企业厂界噪声、功能区噪声。

##### 3.2.2.2.3 监测结果及评价

##### （1）核电厂厂界噪声

根据监测结果，核电厂西侧外 1m（进厂大门附近）因夜间受 3、4 号机组施工车辆影响，夜间噪声超标，其他各厂界昼间和夜间噪声均可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的 2 类排放限值要求，即昼间 60dB(A)，夜间 50dB(A)。



## （2）核电厂应急道路与进厂道路交通噪声

防城港核电厂进场公路属于次干路，根据《声环境功能区划分技术规范》（GB/T 15190-2014），4a 类环境功能区相邻区域为 2 类声环境功能区的，道路附近 35±5m 范围内的环境功能区执行 4a 类标准，评价标准为昼间 70dB（A），夜间 55dB（A）。根据现场调查，新兴村（路边）、新兴村黄姓人家均在 35±5m 内，应执行 4a 类标准，由监测结果可知，进厂道路的连续等效 A 声级均可满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 4a 类功能区限值要求。

应急道路应执行 2 类标准，评价标准为昼间 60dB（A），夜间 50dB（A）。根据现场调查，山口益海小学测量点位在学校门口，应急道路北侧约 2m 处，大龙口村居民家位于应急道路北侧约 1m，应执行 2 类标准，由监测结果可知，2018 年 4 月 19 日栏冲幼儿园和大龙口村居民家由于受应急道路车流量大而略有超标外，其他监测点位和时间段连续等效 A 声级可满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 2 类功能区限值要求。

## （3）声环境功能区

环境敏感点声环境质量应执行 1 类标准，评价标准为昼间 55dB（A），夜间 45dB（A）；其他区域应执行 2 类标准，评价标准为昼间 60dB（A），夜间 50dB（A）。根据现场调查，大冲口尾、里头组、新兴村委会办公楼门口应执行 1 类标准，红沙小学、红沙大创商铺应执行 2 类标准。

由监测结果可知，新兴村委会办公楼在进厂道路北侧约 45m 处，受道路交通噪声影响较大，新兴村委会办公楼门口昼间噪声略有超标，里头组夜间噪声略有超标，其他监测点位和时间段连续等效 A 声级可满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 1 类功能区限值要求；红沙小学、红沙大创商铺连续等效 A 声级可满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 2 类功能区限值要求。

### 3.2.3 受纳水体环境质量现状调查与评价

深圳中广核工程设计有限公司于 2017 年 7 月委托自然资源部第三海洋研究所进行受纳水体环境质量现状调查，自然资源部第三海洋研究所于 2017 年 10 月~2018 年 8 月开展为期一年四个季度的调查，调查时间为：

— 秋季航次调查时间：2017.10.26-2017.10.28 大潮期；

- 冬季航次调查时间：2018.01.25-2018.01.26 大潮期；
- 春季航次调查时间：2018.04.19-2018.04.21 大潮期；
- 夏季航次调查时间：2018.08.17-2018.08.19 大潮期。

### 3.2.3.1 监测点位

考虑核电厂附近海域环境及其地理特点，根据全面覆盖、基本均匀和重点代表的原则进行站位布设。

### 3.2.3.2 监测因子

水文项目：水温、盐度、浊度，分层测量。水深、水色、透明度按站观测，共计 6 个项目；

常规水环境化学项目：悬浮物、pH、DO、COD、BOD<sub>5</sub>、总碱度、氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、活性磷酸盐、活性硅酸盐、余氯、氟化物、氰化物、硫酸盐（以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>计），共计 15 个项目；

污染项目及重金属项目：石油类、铜、铅、镉、总铬、锌、汞、砷、锰、硼、银，共计 11 个项目。

### 3.2.3.3 监测结果及评价

根据厂址 2017~2018 年开展的海水水质的相关监测结果，采用海水水质标准（详见表 3.2-10）对研究调查水域水质进行评价，水质评价采用单因子标准指数法。

（1）单项水质标准指数法的计算方法如下：

$$S_{i,j} = \frac{C_{i,j}}{C_{j,s}}$$

式中： $S_{i,j}$  ----第 i 站评价因子 j 的标准指数；

$C_{i,j}$  ----第 i 站评价因子 j 的调查浓度，mg/L；

$C_{j,s}$  ----评价因子 j 的评价标准，mg/L。

（2）DO 的标准指数为：

$$S_{DO,j} = \frac{|DO_f - DO_j|}{DO_f - DO_s} \quad DO_j \geq DO_s$$

$$S_{DO,j} = 10 - 9 \frac{DO_j}{DO_s} \quad DO_j < DO_s$$

$$DO_f = \frac{468}{31.6 + T};$$

式中： $S_{DO,j}$  ----第 j 站上溶解氧的标准指数，mg/L；

$DO_j$ ----溶解氧实测值，mg/L；

$DO_f$ ----现场温度和盐度下的饱和溶解氧浓度，mg/L；

$DO_s$ ----溶解氧的评价标准值，mg/L。

(3) 对海水中 pH 值的标准指数用下式计算：

$$PI_{pH} = \frac{|pH - pH_{SM}|}{D_s}$$

其中， $pH_{SM} = \frac{pH_{su} + pH_{sd}}{2}$ ； $D_s = \frac{pH_{su} - pH_{sd}}{2}$

式中： $PI_{pH}$  ----pH 的污染指数；

$pH$  ----pH 的实测值；

$pH_{su}$ 、 $pH_{sd}$  ----分别为 pH 评价标准的上限值和下限值。

冬季和春季所有点位均满足二类环境功能区水质标准，秋季所有点位均满足三类环境功能区水质标准，秋季点位 7、9、40、48 的无机氮超标，超标倍数 1.03~1.30。

夏季属于二类环境功能区的点位 7、9、40、48 的活性磷酸盐超标，超标倍数 1.03~1.50，属于二类环境功能区的点位 7、9、40 的无机氮超标，超标倍数 1.57~1.77，属于三类的环境功能区的点位 1、2、4、5、6、8、22、30 的活性磷酸盐超标，超标倍数 1.03~1.53，属于三类的环境功能区的点位 5、6、8 的无机氮超标，超标倍数 1.04~1.52。

综上所述，秋季 7、9、40、48 的无机氮超标；夏季点位 1、2、4、5、6、7、8、9、22、30、40、48 的活性磷酸盐超标，夏季点位 5、6、7、8、9、40 的无机氮超标，其他监测结果满足相应区域的海水水质标准。

### 3.2.4 电磁环境现状调查与评价

#### 3.2.4.1 电磁设施设备调查

经现场踏勘，厂址区域范围内现有电磁辐射源一共有 6 处，分别是 1#主变压器、2#主变压器、500kV 开关站和 220kV 辅助变电站，输变电线路为 500kV 光海甲线和光海乙线、500kV 光南甲线和光南乙线、220kV 中光线和潭光线。

#### 3.2.4.2 电磁环境监测

##### 3.2.4.2.1 监测点位

监测布点参照《交流输变电工程电磁环境监测方法》（HJ 681-2013）中第 4.5 节的要求进行。

##### （1）500kV 主开关站

主开关站南侧、东侧、北侧围墙外 5m 各布置 1 个点位（西侧与 220kV 辅助变电站相邻，无法测量），监测时，开关站四周北侧外为最大值，考虑到受到北侧架空线路的影响，选取监测的次高值的东侧围墙进行衰减断面监测，相邻点位间隔 5m，测至围墙外 50m。主开关站目前建有四条架空出线，线路架设排列一致，选择东侧的架空出线进行衰减断面监测，测至架空线路边导线外 50m。

##### （2）220kV 辅助变电站

220kV 辅助变电站共有 2 回进线，分别为中光线及潭光线，由于防城港核电厂目前共有 1、2 号机组发电，220kV 辅助变电站目前只投运了一条中光线。

在辅助变电站北侧、西侧、南侧围墙外 5m 各布置 1 个点位（东侧与 500kV 开关站相邻，无法测量）；根据变电站周围地形条件（北侧为架空进线），选取南侧围墙外进行衰减断面监测，相邻监测点位间隔 5m，监测至 50m。考虑到线路周边地形条件限制和线路运行情况，选取中光线向西作衰减断面监测，监测至 50m。

##### 3.2.4.2.2 监测因子

工频电场、工频磁场。

### 3.2.4.2.3 监测环境条件及运行工况

苏州热工研究院有限公司环境监测中心于 2018 年 4 月 23-24 日对防城港核电厂址区域的电磁环境进行了监测，监测时天气条件均满足标准要求。

### 3.2.4.2.4 监测结果及评价

#### （1）500kV 开关站

由监测结果可知，500kV 开关站周围环境最大电场强度为 3176V/m，最大磁感应强度为 1.7344 $\mu$ T，主要是受架空线路影响；由线路衰减断面监测结果可知，电场强度最大监测值（3351V/m）出现在中心线外 11m 处，磁感应强度最大监测值（0.9002 $\mu$ T）出现在中心线外 12m。

监测结果表明，500kV 开关站周围电磁辐射满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中电场强度 4kV/m、磁感应强度 100 $\mu$ T 的公众曝露控制限值要求。

#### （2）220kV 辅助变电站

由监测结果可知，受架空线路影响，辅助变电站四周电场强度最大监测值（334.6V/m）、磁感应强度最大监测值（0.6662 $\mu$ T）均在变电站北侧偏东方位；电场强度最大监测值（342.7V/m）出现在边导线外 45m 处，磁感应强度最大监测值（0.2667 $\mu$ T）出现在线路的正下方，分析原因主要受到附近线路影响所导致。

监测结果表明，220kV 辅助变电站周围电磁辐射满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中电场强度 4kV/m、磁感应强度 100 $\mu$ T 的公众曝露控制限值要求。

## 第四章 电厂

### 4.1 厂区规划及平面布置

### 4.2 反应堆和蒸汽—电力系统

### 4.3 核电厂用水和散热系统

### 4.4 输电系统

### 4.5 专设安全设施

### 4.6 放射性废物管理系统和源项

### 4.7 非放射性废物处理系统

### 4.8 放射性物质厂内运输

#### 4.1 厂区规划及平面布置

##### 4.1.1 厂区规划

##### 4.1.2 3、4 号机组总平面布置

##### 4.1.3 排放口布置

## 4.1 厂区规划及平面布置

防城港核电厂位于广西壮族自治区防城港市境内，厂址规划建设 6 台百万千瓦级压水堆核电机组，一期工程已建成 2 台 CPR1000 机组。防城港核电厂 3、4 号机组在一期工程西侧扩建，为 2 台华龙一号核电机组，厂坪标高为 9.50m（1985 国家高程基准）。

防城港核电厂 3、4 号机组呈单堆布置，3 号机组核岛与 4 号机组核岛之间的距离为 252.50m。

### 4.1.1 厂区规划

#### 4.1.1.1 总体规划原则

- 遵从国家和地方有关城市规划、土地利用规划、海洋功能区划及现行的国家法规和标准，与地方经济发展战略相适应，与当地城市发展相协调。
- 处理好核电与环境、建设与运行、临时与永久、厂内与厂外等各方面的关系。
- 在确保电站安全运行及工程有序建设的前提下，充分结合一期工程规划现状，突出以近期规划为重点，主体与配套设施同步进行，因地制宜地开展总体规划工作。
- 坚持节约用地、合理用地及节省投资的原则。
- 坚持保护和改善生态环境，防止污染和造成其它危害，保护绿地，加强环境建设。

#### 4.1.1.2 分区规划

防城港核电厂分区规划在一期工程期间已经完成，3、4 号机组在此基础上进行布置。

##### a) 核电厂厂区

核电厂厂区是核电厂建设的核心部分，包含有主厂房区（核岛和常规岛）、BOP 区、厂前区等，其它各区均服务于该区。3、4 号机组主厂房规划布置在一期工程主厂区西侧，由东向西扩建。

##### b) 厂外辅助设施区

厂外辅助设施区主要是为电厂服务的相关配套设施，主要包括环境实验室、应急



指挥中心、武警营房、消防站、培训中心、淡水净水站、应急设施存储与燃油补给中心等。在防城港核电厂一期工程的建设过程中，已经按照全厂六台机组考虑建设了大部分厂外辅助设施。3、4 号机组新增的厂外辅助设施主要包括：模拟机培训中心、二期公关中心等，均布置在主厂区以北。

c) 现场服务区

现场服务区主要包括运行宿舍、食堂、室内活动中心、室外活动设施等公共设施。

3、4 号机组的现场服务区位于一期工程现场服务区的北侧。

d) 施工准备区及施工生活区

本着方便施工、节省投资、缩短工期、节约用地的原则，场地布置得紧凑适宜，并按照滚动式考虑。3、4 号机组的施工场地尽量利用一期工程已有施工场地及后期工程施工用地，使施工场地临近厂区以便于施工。

e) 气象站

根据厂址的地形特点，气象站布置在厂区西南侧，靠近应急公路，已建成。

f) 弃土区

规划的弃土场位于厂址西南角，占地面积约 14.0hm<sup>2</sup>，共可消纳弃土约 45 万 m<sup>3</sup>。

#### 4.1.1.3 专项规划

a) 淡水水源规划

淡水主要由距厂址西南约 9km 的官山辽水库引接至厂区，作为核电厂生活、生产用水水源。淡水厂、输水管线已经随一期工程建设完毕，并满足 3、4 号机组的淡水用水需求。

b) 取排水规划

3、4 号机组采用单元制海水直流供水系统，循环冷却水和安全厂用水采用海水作为冷却水源。3、4 号机组沿用一期工程取排水规划方案，采用“东取南排、明渠取明渠排”方案。

c) 出线规划

防城港核电厂 3、4 号机组以 500kV 一级电压接入系统，沿用一期工程所建设的 500kV 核电厂~海港双回线路和核电厂~南宁双回线路接入系统。

辅助电源最终由 220kV 电网引入两路相互独立的电源，一回由 220kV 中路站供电，另一回引自 220kV 潭松站，一期工程由中路站引入第 1 路电源，本期 3、4 号机组引入潭松站第 2 路电源。

#### d) 交通规划

根据核电厂对交通运输的要求和厂址的自然条件，本工程的交通运输采用以水运和公路联运为主的运输方式。施工安装期间大型设备和少量进口设备采用水运，建筑材料及人员交通以公路运输为主。

为满足项目施工和运行期间对外交通运输的要求，厂区与外部交通规划利用一期工程已修建完成的两条主要道路（进厂道路、应急公路）及一座 3000t 级驳船码头。

#### e) 截、排洪规划

沿厂址西、北侧设置截排洪设施。北排洪沟沿进厂公路北侧，穿过现场服务区将汇集的洪水向东排入海域，目前已经建成。西排洪沟规划沿厂区西侧将汇集的洪水由北向南排入海域，西排洪沟将结合本期规划统一考虑。

#### f) 用地、用海规划

防城港核电厂 3、4 号机组永久用地面积 45.28hm<sup>2</sup>，全部为陆域用地，实现了项目零填海。

### 4.1.2 3、4 号机组总平面布置

#### （1）总平面布置原则

- 与总体规划相协调一致，满足规划容量的要求，统一规划、分期实施、留有进一步优化的余地；
- 充分结合一期工程布置方案，BOP 设施需统筹考虑；
- 厂房布置在埋深适宜、承载力满足要求、均匀稳定的基岩上；
- 工艺流程合理，功能分区明确，交通运输便捷；
- 确定合理的通道宽度，满足管网布置、生产运行管理和施工安装要求；
- 合理利用厂址地形、地质条件，减少土石方工程量；
- 合理确定厂坪标高，降低运行费用；
- 节约用地。

#### （2）总平面布置方案

#### a) 主厂房建筑群位置

主厂房建筑群主要由反应堆厂房、核辅助厂房、进出厂房、安全厂房、应急柴油发电机厂房、放射性废物处理厂房以及汽轮发电机厂房等组成，是核电厂最重要的组成部分。核岛、常规岛、泵房南北向一字型布置，核岛南向、常规岛北向。

#### b) BOP 厂房区

BOP 区（厂内）建筑物较多，防城港一期工程 BOP 设施除了少数采取单元式配置外，其它均按规划容量 6 台百万千瓦机组共用的原则考虑，因此，二期工程 BOP 设施结合一期工程进行统一规划。根据分析，能够满足二期工程的主要 BOP 设施有：除盐水生产车间、冷机修仓库、厂区实验室、辐射计量标定室、废物暂存库、全厂保卫控制中心、油脂库、危险品库等。二期新建的主要 BOP 设施有：二期热机修车间与仓库、额外冷却水与核岛消防水厂房、核岛废液贮存罐厂房、常规岛废液贮存罐厂房等。新建 BOP 设施主要围绕主厂房区布置。

#### c) 取排水

一期工程采用“东取南排、明渠取明渠排”方案，二期工程沿用一期工程规划方案，冷却水通过厂区东侧取水明渠再经北侧明渠进入循环水泵房前池，在厂址南侧海域通过明渠排水。

取排水工程区主要包括循环水泵房、重要安全水泵房、制氯站以及北进水明渠、虹吸井、排水明渠等水工设施。北进水明渠布置在二期主厂区北侧，泵房及制氯站布置明渠南护岸上。循环水泵房与汽机厂房之间以循环冷却水进水管连接，重要厂用水进水廊道由重要厂用水泵房经汽机厂房两侧进入核岛厂房。核岛厂房与虹吸井之间以重要厂用水排水廊道连接。汽机厂房与虹吸井之间以循环冷却水出水管廊连接。排水明渠设在厂区南侧岸边。

#### d) 开关站区

一期工程 500kV 及 220kV 开关站均按 6 台百万千瓦机规模考虑，能够满足二期工程需要，500kV 及 220kV 开关站联合布置在主厂区北侧。通过二期 500KV 厂内输电线路方案专题分析，开关站与机组主变间联系采用全 GIL 管廊方案。

#### e) 厂前区

厂前区建筑包括生产办公楼、档案馆、岩芯库、职工餐厅等，布置在主厂区东北侧，靠近出入口，并设有停车场，便于通行与管理。经分析，一期工程厂前区建筑基

本可满足二期工程要求。根据华龙一号新机型的需求，二期工程新增技术支持办公楼，与一期业主办公楼合建，规划布置在厂外辅助区预留用地上。

#### f) 竖向布置

防城港一期场平完成面已至 9.0m。基于目前现状以及二期工程进展，推荐二期场平标高仍按一期确定为：设计基准洪水位+安全裕度=8.80m+0.70m=9.50m。

#### g) 出入口

厂内道路分为四级，即主干道、次干道、支道（车间引道）和人行道。

根据核电厂实体保卫以及应急疏散的要求，利用一期 UA 主入口，连接进厂公路，另外在厂区西侧设一辅助出入口，连接应急公路。进厂公路作为工程建设及运行时的主要通道，应急公路供运输放射性废物和应急疏散人员使用。防城港二期厂区主出入口实物保护方案，考虑 UA 和 UG 与一期共用，只需在二期增加部分设备如人行旋转门，在一二期中新建 UD，二期子项名为 BUD。

#### h) 厂区绿化

核电厂厂区由于有剂量防护、卫生防火、安全保卫等方面的特殊要求，对厂区绿化的要求不同于一般的电厂，在厂区保护区内（ZP 围栏之内）一般不进行绿化，仅在厂前区及其以外的地方进行绿化。

防城港核电厂厂前区、厂外辅助及生活区是按照规划容量统筹规划，其中一期工程绿地面积约为 55000m<sup>2</sup>，二期工程绿地面积约为 15000m<sup>2</sup>，合计面积约 70000m<sup>2</sup>，3、4 号机组建成后的全厂绿地率约为 5.38%。

### 4.1.3 排放口布置

防城港核电厂 3、4 号机组产生的放射性废气主要通过各自位于辅助厂房顶部的烟囱排入环境。

废水经过放射性废液系统处理后采用槽式排放，贮存在贮存槽中的放射性废液经处理、监测达到排放规定后，与电厂的循环冷却水混合后最终排入大海。

本工程的污水系统主要由厂区的污水管网、污水检查井、污水提升泵组成；污水主要来自于核岛、常规岛、BOP 各厂房的卫生间排水，通过本工程的生活污水系统收集后，输送至一期已建成的厂区生活污水处理站（ED1）进行处理。本工程的雨水管网主要由厂区的雨水管网、雨水检查井、雨水篦子、雨水排出口组成，主要收集厂区

各建筑的屋面排水、厂区道路排水。本工程的污水和雨水分为两套系统收集。其中生活污水系统称为 SEO1，雨水系统称为 SEO2，满足雨水和污水分流的要求。防城港核电厂共设置 ED1、ED2 污水处理站，它们均已在一期工程建设时建成。在建设期间，为满足基地施工期生活污水处理要求，在原有施工临时污水处理站基础上新增一座施工期污水处理站，并按照永久使用考虑。本期工程雨水由三根主排水管道排入排水明渠，最终进入外海；非放工业废水处理达标之后，就近排入雨水管网。

## 4.2 反应堆和蒸汽—电力系统

### 4.2.1 概述

### 4.2.2 核岛

#### 4.2.2.1 核岛主厂房布置

#### 4.2.2.2 堆芯设计

### 4.2.3 常规岛

#### 4.2.3.1 常规岛主厂房布置

#### 4.2.3.2 蒸汽—电力转化系统

## 4.2 反应堆和蒸汽—电力系统

### 4.2.1 概述

防城港核电厂 3、4 号机组由核岛（NI）、常规岛（CI）和电厂配套设备（BOP）三大部分组成。每台机组的核蒸汽供应系统（NSSS）的额定热功率为 3160MWt，堆芯额定热功率为 3150MWt，发电机额定电功率约为 1180MWe，堆芯使用全 M5 的 AFA 3G 燃料组件。

为保证核电厂的安全运行，提供清洁可靠的能源，核安全是首要考虑的因素。由于核能的风险与电离辐射有关，因此核安全的最终目标是建立并保持对电离辐射危害的有效防御，保护厂区人员、公众和环境。具体来说，核电厂的设计和运行保证厂区人员和公众在核电厂正常运行状态下所受到的辐射剂量低于规定限值并保持“可合理达到的尽量低”；预防事故的发生，并保证在出现设计中考虑的所有事故序列时其后果低于规定限值；即使出现概率极低的严重事故时，也可通过执行应急计划缓解事故后果。

#### （1）纵深防御原则

纵深防御概念是核安全原则的重要部分，它被贯彻于安全有关的全部活动中，以保证这些活动均置于重叠措施的防御之下。在防城港核电厂 3、4 号机组的设计中将贯彻如下五个层次的纵深防御措施：

第一层次防御的目的是防止偏离正常运行。这一层次要求按照恰当的质量水平和工程实践，正确并保守地设计、建造和运行核电厂。所有构造物、系统和部件都要按它的安全功能及其重要程度来进行安全分级。对不同级别将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厂的在役检查、维护和试验。设计中也考虑了为进行这些活动时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的情况，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，使核电厂处于安全状态。

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，如安全注入系统、

应急硼化系统、应急给水系统以及它们的支持系统，在事故工况时自动投入运行以限制事故产生的后果。

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，并保证放射性的释放保持在实际可能尽量低的水平。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，还可以有防止事故发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制订厂内和厂外应急响应计划。

纵深防御概念的第二种应用是设置多重实体屏障，防止放射性物质外逸。这些屏障包括燃料包壳、反应堆冷却剂系统压力边界和安全壳，设计将保证每一屏障的有效性，并为之提供保护。

## （2）可靠性设计原则

为达到和保持五个防御层次内所执行的安全功能，防城港核电厂 3、4 号机组将遵循以下可靠性设计原则：

- 多重性：采用多于最少套数的设备来完成某一项特定的安全功能。它是提高重要设备的可靠性并借以满足单一故障准则的重要设计原则。
- 单一故障准则：在设备组合的任何部位发生单一随机故障时，仍能保持所赋予的功能。
- 多样性：为了减少某些共因故障的可能，对某些至关重要的系统采用多样性设计，即采用不同的工作原理、不同的物理变量或不同的运行条件以及使用不同制造厂的产品等。
- 独立性：为提高系统的可靠性，设计中采用功能隔离或实体分隔来实现其独立性。
- 故障安全设计：系统和部件发生故障时，核电厂能进入安全状态。
- 固有安全特性：在一些安全重要设备或系统的设计中，特别是反应堆堆芯设计，要使其具有固有安全特性，使假设始发事件不产生与安全有关的重大影响或只产生趋向安全状态的变化。
- 成熟和保守的设计：本工程的设计是建立在现有核电厂运行经验反馈基础上



的成熟设计。设计中为安全限值留有足够的保守裕度。

## 4.2.2 核岛

### 4.2.2.1 核岛主厂房布置

核岛主厂房包括反应堆厂房（BRX）、安全厂房（BSA、BSB、BSC）、燃料厂房（BFX）、核辅助厂房（BNX）和应急柴油发电机厂房（BDA、BDB、BDC）、SBO 柴油发电机厂房（BDU、BDV）。常规岛厂房位于核岛主厂房北面，靠近安全厂房侧。

#### （1）反应堆厂房的布置特点

反应堆厂房的布置是以压力容器为中心，三个环路的蒸汽发生器和主泵围绕压力容器布置。安全壳采用双层结构，外壳满足抗大型商用飞机撞击的要求，内壳具备包容放射性功能，内壳和外壳之间设置环廊。

#### （2）安全厂房的布置特点

安全厂房在平面上分为 BSA、BSB、BSC 三个实体及空间隔离的厂房，分别称为安全厂房 A、B、C，并分别对应相应的三个安全系列。安全厂房与反应堆厂房、燃料厂房共处同一筏基上，三个厂房靠近布置，且与反应堆厂房均有连接，环绕反应堆厂房，整体呈方形排布。其中 BSA 厂房与燃料厂房有连接，BSB 厂房与燃料厂房、核辅助厂房和进出厂房均有连接。安全厂房 A、B 分别位于反应堆厂房的两侧，在空间上相互隔离，两者的间距约为 40m，安全厂房 C 外墙和屋面被设计成能抗击大飞机撞击，这种设计方式使安全厂房满足防大型商用飞机撞击的要求。主控室位于安全厂房 C 中。

#### （3）燃料厂房的布置特点

燃料厂房位于反应堆厂房的一侧，紧邻反应堆厂房和核辅助厂房，与安全厂房 A、B 相连。燃料厂房的布置充分考虑了内部灾害防护要求，厂房分为相对独立的三个分区，确保安全相关物项的列间实体隔离。

#### （4）核辅助厂房的布置特点

核辅助厂房位于反应堆厂房 45°角方位，分别与燃料厂房和安全厂房 B 相连，临近但不与反应堆厂房相连，呈长方形，主要用于布置核岛安全系统以外的辅助系统设施，并作为核岛废物收集处理中转站。核辅助厂房的布置方案整体划分为三个功能区

域：冷却剂净化、分离、除气设备区域和核岛废气处理系统区域、核岛主要取样和净化区域、储罐布置区。

#### （5）柴油发电机厂房的布置特点

柴油发电机组主要用于厂内及场外电源均丧失的情况下，确保核电厂应急供电，以保证堆芯得到充分冷却，避免发生极端事故。该厂房为钢筋混凝土结构，厂房内布置了应急柴油发电机组及其辅助系统、相关电气、仪表、通风和消防系统的设备。

柴油发电机组厂房涉及 3 台应急柴油发电机组（LHP、LHQ、LHR）和 2 台 SBO 柴油发电机组（LHU、LHV），其中 3 台应急柴油发电机组分别布置在柴油发电机厂房（BDA、BDB、BDC），2 台 SBO 柴油发电机组分别布置在 SBO 柴油发电机厂房（BDU、BDV）。

BDA、BDC 和 BDU 厂房相邻布置，BDB 和 BDV 厂房相邻布置，BDC 厂房单独布置。3 台应急柴油发电机（LHP、LHQ、LHR）采用地理位置隔离的方式分开布置在核岛两侧，避免因飞机撞击事件影响到 3 台应急柴油发电机的独立运行。

柴油发电机厂房与核岛通过廊道相连。

### 4.2.2.2 堆芯设计

防城港核电厂 3、4 号机组反应堆堆芯由燃料组件及其他相关组件、围板、堆芯上下支撑板、堆芯吊篮和堆芯测量装置等组成。

防城港核电厂 3、4 号机组的堆芯设计采用 18 个月换料方案，即首循环年度换料、平衡循环 18 个月换料燃料管理策略。

#### 4.2.2.2.1 燃料组件和燃料棒

##### （1）燃料组件

防城港核电厂 3、4 号机组装载全 M5 AFA 3G 燃料组件。

##### （2）燃料棒

燃料棒由芯块装在密闭的包壳管中构成，通过封焊端塞实现燃料棒密封。

##### （3）燃料组件骨架

燃料组件骨架由下管座、上管座、导向管、仪表管和定位格架及连接件构成。上下管座可拆卸，以允许更换燃料棒，也便于燃料贮存和后处理。

#### 4.2.2.2.2 其他组件

##### （1）控制棒组件

控制棒组件以快速反应性变化的补偿方式满足停堆和控制的要求。

控制棒组件分为黑棒组件和灰棒组件两种。

##### （2）中子源组件

中子源组件的目的是提供基础中子水平，以保证中子探测器能工作和对堆芯增殖中子作出响应，为了适应防城港核电厂 3、4 号机组堆芯仪表管从燃料组件上部插入，在中子源组件的中心筒内增加倒角，以适应中子测量仪表棒的插入。

##### （3）阻流塞组件

阻流塞组件的作用是限制通过燃料组件导向管的旁流量，阻流塞棒位于不放控制棒、中子源棒的那些导向管中。

#### 4.2.2.3 反应堆冷却剂系统

反应堆冷却剂系统（RCP）位于反应堆厂房内，包括并联连接到反应堆压力容器（RPV）的三个相同的环路。每个环路由一台反应堆冷却剂泵、一台蒸汽发生器（SG）和相关的管道组成。稳压器（PZR）通过波动管连接至 3 号环路热段。除此之外，反应堆冷却剂系统还包括稳压器卸压箱、严重事故专用卸压阀、稳压器安全阀、堆顶排气系统隔离阀、稳压器喷淋阀、疏水排气管线及相关的测量仪表。

##### （1）系统功能

RCP 系统执行三大基本安全功能：反应性控制、堆芯热量导出、放射性物质包容。

##### A) 反应性控制

RCP 中的反应堆冷却剂为硼酸溶剂，补偿因氙毒、燃耗引起的反应性变化，与控制棒组件一起进行反应性控制。化学和容积控制系统（RCV）、反应堆硼和水补给系统（REA）、应急硼化系统（RBS）、安全注入系统（RIS）用于支持反应性控制功能。

##### B) 堆芯热量导出

正常运行期间，RCP 将堆芯产生的热量通过蒸汽发生器传递至二回路系统，为汽轮发电机组提供蒸汽；在机组功率运行、启停期间，当二回路系统可用时，一回路热量通过主蒸汽系统（VVP）、汽机旁路系统（GCT）、主给水流量控制系统（ARE）或启动和停堆给水系统（AAD）导出；事故工况下，当主给水流量控制系统或启动和停

堆给水系统不可用时，应急给水系统（ASG）向蒸汽发生器提供冷却水导出一回路热量；当二回路系统不可用（如冷凝器不可用）时，一回路热量通过蒸汽大气排放系统（VDA）导出；在机组启停堆期间，蒸汽发生器不可用时，安全注入系统（RIS）以余热排出模式（RIS/RHR）运行导出一回路热量；当发生 LOCA 时，RIS 执行安全注入功能用于维持一回路水装量；在完全丧失热量排出手段时（如：完全丧失给水事故），可以通过二次侧非能动余热排出系统（ASP）或充排运行方式导出堆芯产生的热量。

维持一回路水装量有利于堆芯热量的导出。机组正常运行期间，化学和容积控制系统（RCV）用于维持一回路水装量和补偿反应堆冷却剂系统的微量泄漏。

### C) 放射性物质包容

RCP 的管道和设备构成反应堆冷却剂压力边界。压力边界作为第二道放射性屏障，需确保其在整个电站寿期内的高度完整性。

#### (2) 系统描述

##### A) 反应堆压力容器

反应堆压力容器是一个圆柱形容器，它的底部是焊接的半球形底封头，上部为一个可拆的、用法兰连接和装密封环的、具有半球形的上封头顶盖，容器有三个与反应堆冷却剂环路冷段连接的进口接管和三个与反应堆冷却剂环路热段连接的出口接管。冷却剂通过进口接管进入容器，并且向下流过堆芯吊篮和容器壁之间的环形空间，在底部转向并向上流过堆芯到出口接管。压力容器内包含堆芯、堆芯支撑结构、控制棒、与堆芯及冷却剂循环通道直接相关的所有部件。

##### B) 反应堆冷却剂泵

反应堆冷却剂泵是由空气冷却的三相感应式电动机驱动的立式、单级、轴密封机组。该机组由水力部件、轴密封系统和电动机组成。反应堆冷却剂由连接到泵轴底端的叶轮吸入。反应堆冷却剂进入泵壳吸入管嘴，通过吸入导流器流向泵叶轮，再经过叶轮增压后从出口管嘴排出。

##### C) 蒸汽发生器

蒸汽发生器由带有内置式汽水分离设备的立式筒体和倒 U 形传热管束构成。反应堆冷却剂从蒸汽发生器下部半球形封头的入口接管进入蒸汽发生器，流经倒 U 形管束，再从下部半球形封头的出口接管离开。由反应堆冷却剂传送的热量通过管束的管壁传给二回路流体，二回路流体被加热和部分蒸发。汽水混合物向上流动，通过两级汽水

分离器后通过蒸汽发生器椭圆封头顶部的出口接管流出。

#### D) 稳压器

稳压器是一个立式圆筒形高温、高压容器，承压壳体是由圆柱形筒体与上、下半球形封头组件组焊而成。在下封头底部，以同心圆的排列方式、立式安装有直接浸没式的电加热元件。稳压器喷淋管嘴、安全阀、严重事故卸压阀以及连续除气管线和抽真空管线共用接口位于稳压器上封头。

#### E) 稳压器安全阀和严重事故专用卸压阀

3 个稳压器安全阀连接在稳压器上封头处 3 个独立的管嘴上，稳压器安全阀下游连接至稳压器排放管线，3 条排放管线汇集到一根集管，稳压器安全阀排放的蒸汽通过集管排入稳压器卸压箱中。稳压器安全阀应尽可能靠近稳压器上封头，以避免在阀门上游管道中积聚过量的氢气。

两组严重事故卸压阀并联安装在稳压器上封头处，每一组包含两台串联安装的电动隔离阀。接口位置与稳压器安全阀接口水平高度相同。阀门下游管道连接至稳压器安全阀下游排放集管，排放介质最终排入稳压器卸压箱。

#### F) 主管道

三条冷却剂环路主管道及稳压器波动管安装在反应堆厂房，构成反应堆冷却剂系统的一部分。主管道主要用于输送冷却剂。冷却剂通过主管道热段从反应堆压力容器输送至蒸汽发生器，通过过渡段从蒸汽发生器输送至主泵，通过冷段从主泵输送至反应堆压力容器。

### 4.2.2.4 核辅助系统

核辅助系统为反应堆冷却剂系统提供支持，包括化学和容积控制系统（RCV）、反应堆硼和水补给系统（REA）、反应堆水池和燃料水池冷却和处理系统（PTR）、设备冷却水系统（RRI）、蒸汽发生器排污系统（APG）、核取样系统（REN）等。

#### (1) 化学和容积控制系统（RCV）

RCV 执行的主要功能包括：反应堆冷却剂容积控制；反应堆堆芯的慢反应性变化控制；反应堆冷却剂水化学控制；反应堆冷却剂净化和除气；为反应堆冷却剂泵 1 号轴封提供轴封注入并收集轴封泄漏；为稳压器提供辅助喷淋；稳压器满水时控制 RCP 压力；对 RCP 进行充排水和水压试验。

RCV 系统主要由再生式热交换器、下泄热交换器、高压减压阀、过滤器、除盐器、容积控制箱、上充泵、加氢单元及其相应的管道、阀门、仪表组成。

### （2）反应堆硼和水补给系统（REA）

REA 执行的主要功能包括：制备 4%（含硼 7000~7700mg/kg）浓度的硼酸溶液并根据需要向有关系统和设备提供补给；经 RCV 向 RCP 补给与冷却剂相同硼浓度的硼酸溶液；经 RCV 系统向 RCP 补给 4%硼酸溶液或除盐除氧水调节冷却剂硼浓度以控制堆芯反应性。

REA 系统包括硼酸制备与分配、硼酸贮存与补给、除盐水补给三个子系统。硼酸制备和分配系统为机组所有贮存硼酸溶液的系统或设备提供首次注入和补给需要的硼酸溶液；硼酸贮存和补给部分贮存机组正常运行期间慢反应性变化控制及容积控制所需的硼酸溶液，并通过 RCV 系统向 RCP 系统补给；除盐水补给部分从硼回收系统（TEP）取水，通过 RCV 系统向 RCP 系统补给慢反应性变化控制、容积控制所需的除盐除氧水。

### （3）反应堆水池和燃料水池冷却和处理系统（PTR）

PTR 为反应堆水池和燃料水池提供乏燃料冷却、水池净化、生物屏蔽、水池充排水功能；乏燃料水池的初次充水；换料期间，转运井和反应堆水池的充、排水；乏燃料装罐时，装载井的充、排水；正常运行和超设计基准事故后乏燃料水池补水等功能。

PTR 系统由乏燃料水池冷却回路、乏燃料水池和反应堆水池净化回路及撇沫回路、水传输回路、充水和补水回路组成。

#### 1) 乏燃料水池冷却回路

PTR 系统设置三个容量相同的冷却回路，均布置在燃料厂房，每个冷却回路配置一台乏燃料水池冷却泵和一台热交换器。乏燃料水池的水通过浸入水下的管道经阀门进入冷却水循环泵的吸入口，再由循环泵送入热交换器，在热交换器内将乏燃料元件的剩余释热带给 RRI 侧的设备冷却水，随后可分别通过回水管道返回到乏燃料水池内。在三台冷却泵后设置列间联管，必要时可实现不同列间的列间支持。正常功率运行时，一列冷却系列投入运行，另外两列处于备用状态。正常换料大修时，两列投入运行，另外一列备用。

#### 2) 乏燃料水池和反应堆水池净化回路及撇沫回路

乏燃料水池净化回路配置一台乏燃料水池净化泵、一台乏燃料水池过滤器和一台

混床除盐器以及一台树脂捕集过滤器。燃料厂房水池（不包括乏燃料水池）底部到泵的入口管线上设置两道电动隔离阀，在乏燃料水池低水位时自动关闭。

反应堆水池净化回路配置一台反应堆水池净化泵和一台反应堆水池过滤器。在泵的入口管线上同样设置两道电动隔离阀。

乏燃料水池和反应堆水池各设置一套撇沫回路。乏燃料水池撇沫回路配置一台撇沫泵、一台过滤器。反应堆水池撇沫回路使用浮子式取水装置进行反应堆水池的撇沫，确保水池液位变化时也能执行撇沫功能，配置一台撇沫泵，泵的出口与反应堆水池的净化泵入口相连，在建立水池表面到净化泵的循环后停止运行。

### 3) 水传输回路

乏燃料水池的净化系统也可以用来进行燃料厂房水池之间的水传输。在这种情况下，净化单元被旁路。

装载井充水所需要的水贮存在燃料厂房转运井中。

换料期间，乏燃料水池净化泵和反应堆水池净化泵可用于 IRWST 向反应堆水池的充水；换料结束后，反应堆水池中的水可通过重力疏水管线排往 IRWST，也可通过乏燃料水池净化泵或反应堆水池净化泵排往 IRWST。

### 4) 反应堆水池充水和排水回路

SED 系统用来补偿乏燃料水池的蒸发损失。

在超设计基准工况下，还可由如下手段对乏燃料水池进行补水：

- 利用 ASP 水箱重力补水管线进行补水；
- 利用外部水源接口管线将外部水源接入进行喷淋补水。

### (4) 设备冷却水系统（RRI）

设备冷却水系统的主要功能是：冷却核岛各种热交换器；经由重要厂用水系统（SEC）冷却的热交换器将热负荷传给最终热阱（海水）；在核岛的热交换器与海水之间形成一道屏障，以防止放射性流体不可控地释放到海水中去，同时也可以防止未经处理的海水进入安全壳或反应堆系统中。

RRI 系统由 3 个安全相关的专用系列组成。另外，配置两个非安全相关的冷却支路，分别位于 RRI 系统的第 A 和 B 列，为核岛非安全相关的公共用户提供冷却。RRI 系统的三个安全系列为核岛安全相关设备提供冷却，两个非安全相关的冷却支路为核岛非安全相关的公共用户提供冷却。其中三个安全系列中的第 A 和第 B 列又分别设

置两个独立的小列，因此 RRI 系统实际上配置 5 个独立的安全小列，每个小列对核岛安全相关设备具有 100%的冷却能力。

#### （5）蒸汽发生器排污系统（APG）

APG 系统的主要功能是连续从蒸汽发生器（SG）二次侧引出一部分排污水并对其进行收集和处理，以使 SG 二次侧的水质保持在核电厂正常运行的限值内。SG 引出的排污水经过冷却和减压，经净化处理后送回凝汽器以回收再利用。

APG 系统分为排污水收集、冷却、减压和流量控制、净化处理、回收或排放五部分，主要包括排污隔离阀、再生式热交换器、流量和压力调节阀、过滤器、离子交换器以及相应的管道和阀门等组成。

在每台蒸汽发生器管板上设有两个径向对称的排污支管，两根排污支管中有一根支管与核取样系统（SEN）相连。两根排污支管合并为一根排污管线，每条排污管线设有与氮气分配系统（SGN）的连接支管，三条排污管线两两之间设有一条转移管线，每条转移管线上设有一台转移管线调节阀。三条 SG 排污管线贯穿安全壳后，在安全壳外管线上设有两道排污隔离阀。

三条 SG 排污管线汇集成一根排污母管连接至再生式热交换器，对排污水进行冷却，排污水通过再生式热交换器后被冷却到 60℃以下。再生式热交换器的冷却水由凝结水抽取系统（CEX）提供，被加热后的冷却水送至除氧器水箱，使排污水的热量得到回收利用。热交换器下游连接至一个降压和流量控制站，该控制站由两条并联的管线构成，每条管线上分别设有一台排污水流量和压力调节阀，对排污水流量和压力进行调节。在正常运行期间，只有一条管线运行，另一条处于备用状态。

在降压和流量控制站下游连接两台并联的前置过滤器，然后连接至两条并联设置的除盐净化处理管路，每条管路上均串联设置有一台阳离子除盐器、一台阴离子除盐器、一台树脂捕集过滤器，对排污水进行过滤、除盐净化处理。在处理回路下游可连接至凝汽器或常规岛废液排放系统（SEL）。正常运行工况下，经净化处理后排污水送回凝汽器以回收再利用；当凝汽器不可用时，处理后的排污水可被排放到常规岛废液排放系统。

#### （6）核取样系统（REN）

核取样系统通过对各被取样系统的液体和气体进行集中或就地取样，以进行化学和放射化学分析。



核取样系统分为一次侧取样子系统、二次侧取样子系统和事故后取样子系统。

一次侧取样子系统对反应堆冷却剂系统、三废系统和辅助系统的液体和气体样品进行取样，通过测量或分析确定样品特性。二次侧取样子系统对来自蒸汽发生器二次侧、蒸汽发生器排污系统（APG）净化单元的液体样品进行取样分析。事故后取样子系统用于事故后定量获取安全壳内气体样品和 IRWST 换料水箱中的流体样品。

根据取样介质状态，取样管线分别设置有高温取样冷却器、低温取样冷却器和减压阀对样品进行冷却和降压，以满足在线分析仪表和手动取样要求。高温取样冷却器由设备冷却水（RRI）冷却，低温取样冷却器由冷冻水（DER）冷却。减压阀下游设置安全阀以避免管线超压。经工艺处理后的样品送往在线分析仪自动分析或手动取样分析。

样品经在线分析仪分析后分别输送至一次侧和二次侧样品回收箱进行回收，一回路液体样品返回至 RCV 容控箱，二次侧液体样品返回至 APG 系统净化单元上游。当 RCV 容控箱或 APG 净化单元不可用时，样品排往核岛排气和疏水系统（RPE）。手动取样产生的废液直接排往 RPE。

## 4.2.3 常规岛

### 4.2.3.1 常规岛主厂房布置

常规岛主厂房包括汽轮机厂房与辅助间。在汽轮机厂房中主要安装有汽轮机、发电机、励磁机、汽水分离再热器、凝汽器、凝结水泵、低压加热器、除氧器等设备；常规岛主厂房毗邻的建筑物内设有凝结水精处理车间凝结水精处理间、干燥过滤设备间等。

常规岛电气厂房（BLX）独立布置，与 BMX 相邻，布置有电缆桥架、开关柜、直流蓄电池、二次盘柜、直流盘柜等设备。

### 4.2.3.2 蒸汽—电力转换系统

蒸汽电力转换系统由核蒸汽供应系统供汽，驱动额定输出功率约为 1180MWe 的汽轮发电机组。整个蒸汽电力转换系统除上述主蒸汽系统外，还包括汽水分离再热器系统、凝结水抽取系统、给水系统、汽机回热抽汽系统、汽机旁路系统、蒸汽大气排放系统和辅助给水系统等辅助系统。

#### 4.2.3.2.1 汽轮机发电机组

##### （1）汽轮机

汽轮机为单轴、中间再热三缸四排汽，凝汽式，半转速 1500rpm 机型。核岛三台蒸汽发生器产生的饱和蒸汽，经三根主蒸汽管道进入布置在常规岛厂房内的主蒸汽联箱，由主蒸汽联箱经四根管道送到汽轮机的高压主汽门，再经调节汽门进入高压缸；蒸汽在高压缸中膨胀做功后，经四根高压缸排汽管道接至汽水分离再热器，经去湿和两级再热后，通过四根再热管道经低压联合汽门后进入汽轮机低压缸，最后排入凝汽器。

在高压缸内，有两级抽汽分别进入 6、7 号高压加热器加热给水，其中较高一级抽汽也作为汽水分离再热器一级再热装置的热源。高压缸的排汽除了进入汽水分离再热器接受再热外，还有一部分引至除氧器作为加热汽源对凝结水进行除氧和加热。低压缸内，有四级抽汽，分别进入 3、4 号低压加热器和复合式 1、2 号低压加热器加热凝结水。

##### （2）发电机

发电机额定功率为 1200MW 级，功率因数 0.9。发电机定子线圈用水冷却，转子线圈用氢冷却。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。

#### 4.2.3.2.2 凝汽器

每台汽轮机组包括两台凝汽器，每台凝汽器由以下主要部件组成：排汽喉部、壳体、管束、管板、水室、1、2 号复合式低压加热器。

凝汽器壳体通过直接焊接的方式连接到低压缸外缸上。每台凝汽器有两组相同而独立的管束，每组管束由若干根钛管组成。这些冷却钛管每端用胀管器连接在管板内，然后端口与管板进行密封焊。冷却水管的进水端有喇叭形的扩口，以保证循环水能平滑的流动。每组管束对应一组前后水室，前后水室各有两个相同的管道接口，每个接口经橡胶膨胀件和有内衬的碳钢管分别与冷却水进、排水暗渠相连接。凝汽器换热管长度方向上设置碳钢制成的支撑板。复合式低压加热器安装在凝汽器的喉部，支撑在

与凝汽器内部加强构件做成一体的钢结构上，部分突出在凝汽器的壳体外面。

凝汽器壳体由碳钢制造，管板采用复合钛板，管子采用钛管。管束两端的水室，结构相同，并要经受 6.5bar（绝压）的水压试验。由于海水有较强的磨蚀作用，碳钢制造的水室、冷却水管和法兰都配备了氯丁橡胶的保护衬里。

凝汽器的布置保证蒸汽和不凝结气体混合物被抽到管束中央并被冷却到尽可能低的温度，然后沿着循环水流相反的方向抽出。在每组管束底部还设置了凝结水收集和除气托盘，以使所有的凝结水都经过除气以后再进入凝汽器热井。正常运行热井容量应满足机组在满功率条件下至少 5min 的凝结水量。

每台汽轮发电机组在凝汽器喉部合布置适数量的蒸汽排放装置。

### 4.3 核电厂用水和散热系统

#### 4.3.1 核电厂用水

##### 4.3.1.1 核电厂用水来源

##### 4.3.1.2 核电厂用水系统

##### 4.3.1.3 淡水用水量

##### 4.3.1.4 海水用水量

#### 4.3.2 散热系统

## 4.3 核电厂用水和散热系统

### 4.3.1 核电厂用水

#### 4.3.1.1 核电厂用水来源

核电厂生活、生产、除盐水的水源取自官山辽水库，官山辽水库作为广西防城港市临海工业区供水项目企沙工业区南线供水管网工程，官山辽水库除了承担农业灌溉任务外，更主要的是调蓄水和城市工业供水。

根据《防城港核电厂二期工程水资源论证分析报告》，现状水平年利用水利设施方案可满足包括本项目在内的防城港市近期各项用水的需求。

#### 4.3.1.2 核电厂用水系统

##### （1）与热交换相关的系统

核岛冷却链系统包括设备冷却水系统（RRI）和重要厂用水系统（SEC），其功能是将核岛用户的热量移出到最终热阱。

设备冷却水系统（RRI）是一个闭式回路的冷却水系统，通过重要厂用水系统（SEC）与最终热阱相连，导出核岛安全和非安全相关系统及设备的的热量。RRI 由 3 个冷却系列组成，每个系列由相互独立的 SEC 为其提供冷却。RRI 系统作为核岛一回路和环境之间的一道屏障，能够防止放射性物质泄漏到环境，同时也可以防止未经处理的海水进入安全壳或反应堆系统中。

重要厂用水系统（SEC）是一个开式系统，从大海吸取冷却水，冷却设备冷却水系统（RRI）的 RRI/SEC 换热器，再将冷却 RRI/SEC 换热器后的热水排至大海，执行其将 RRI 系统收集的热负荷输送至最终热阱——大海的安全功能。SEC 系统由三列独立的安全系列组成。

##### （2）与供水有关的系统：

— 化学水处理系统：化学水处理系统的淡水水源来自防城港市官山辽水库。

原水经净水站过滤处理后进入除盐水生产厂房，再经活性炭吸附、深度除盐处理后，输送至核岛除盐水分配系统（SED）以及常规岛除盐水分配系统（SER）。部分 SED 除盐水也用于离子交换器树脂再生。

— 饮用水系统（SEP）：SEP 饮用水系统的任务是供应生产生活用水并将其分配至核电厂的各个建筑物，生活用水来自厂外净水站。

（3） 与冷却水循环相关的系统主要有：

— 循环水过滤系统（CFI）：确保循环水系统（CRF）、辅助冷却水系统（SEN）和循环水处理系统（CTE）的过滤功能。

— 循环水处理系统（CTE）：向 CFI、循环水系统（CRF）和 SEC 供应活性氯化物溶液，以尽量减少微生物、藻类和贝类的繁殖。

— 循环水系统（CRF）：提供海水作为汽机凝汽器的冷却水，以排出运行期间乏汽的热量。该系统也向常规岛的闭路冷却水系统（SRI）的热交换器提供冷却水。CRF 位于 PX 联合泵站内，直至经过冷却水渠的流出口。

（4） 生活污水处理系统

— 施工阶段产生的生活污水通过施工建设期间建造的临时办公区生活废水处理设施进行处理。

运行以后产生的生活污水通过核电厂的污水处理站（ED1 和 ED2）进行处理，经过生化处理达到国家规定的排放标准后排入大海。

#### 4.3.1.3 淡水用水水量

本工程运行期间的淡水用水单位主要包括生活水系统和生产水系统两部分。

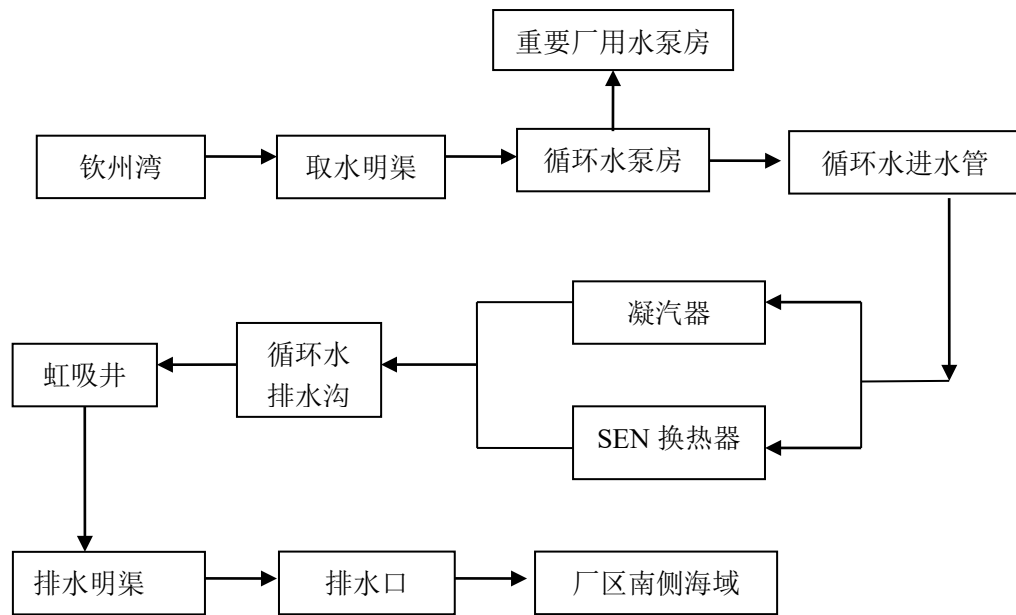
防城港核电厂 3、4 号机组的工业用新鲜用水量为  $244.50\text{m}^3/\text{h}$  ( $0.0679\text{m}^3/\text{s}$ )，工业用水重复利用率为 99.8%。

#### 4.3.1.4 海水用水水量

防城港核电厂 3、4 号机组海水设计取水量约为  $132.64\text{m}^3/\text{s}$ 。

#### 4.3.2 散热系统

核电厂取排水系统为电厂提供循环冷却水和安全用水，与防城港核电厂 1、2 号机组相同，3、4 号机组仍然采用直流冷却方式。防城港核电厂 3、4 号机组循环冷却水供水系统采用单元制海水直流供水系统，其主要功能是向常规岛汽轮机凝汽器及其辅助系统、核岛重要厂用水提供冷却水，系统主要流程为：



防城港核电厂的取排水方案已经在一期工程设计时予以了统筹兼顾考虑。防城港核电厂全厂共用取水港池和排水明渠，取排水采用“东取南排、明渠取明渠排、厂区北进”方案。循环冷却水从厂址东侧海域通过明渠取水，在厂址南侧海域通过明渠排水，取排水口置于西航道西侧水深条件较好的区域。

防城港核电厂 3、4 号机组的取排水系统包括如下部分：

- 1) 取水明渠；
- 2) 循环水泵房，包括循环水泵及鼓网系统等；
- 3) 循环水压力进水管等；
- 4) 凝汽器；
- 5) 循环水排水沟；
- 6) 虹吸井；
- 7) 排水明渠及排水口。

#### (1) 取水明渠

一期工程取水明渠总长度约 2150m，二期加远期规划工程取水明渠总长度约 3170m。其中一期、二期加远期规划工程有一段共用明渠，长度约 1250m。

一期工程取水明渠底宽为 40m，二期取水明渠底宽为 80m，共用段明渠底宽为 100m。一期工程和共用段明渠底标高为-7.0m，二期取水明渠底标高为-7.9m。

#### (2) 循环水泵房

3、4 号机组各设置一座循环水泵房。泵房分成两个区域：鼓型滤网区和水泵区。鼓型滤网区平面尺寸约为 56m×25m，水泵区约为 56m×23m。泵房地下部分为钢筋混凝土结构，地上部分为单层钢结构厂房。泵房至汽机房间的厂内循环水管廊为两条内径 3700mm 的现浇钢筋混凝土圆管。汽机房至排水虹吸井之间为两条 3600mm×3600mm 的现浇钢筋混凝土方管。每台机组设两格排水溢流井，合建在一起，总平面尺寸约为 20m×78m，内部由隔墙分隔。每个虹吸井设一个溢流堰，堰宽为 8.5m。

循环水泵房内还设有循环水泵、滤网冲洗水泵、电解制氯设备海水供给泵等。

### （3）进水和排水管沟

每台机组的两台循环水泵通过两条内径为  $\Phi 3700\text{mm}$  钢筋混凝土管道向汽机房的凝汽器供水。每台机组的凝汽器出水管通过两条 3600mm×3600mm 的钢筋混凝土管道排入虹吸井，经明渠最终排往外海。

### （4）虹吸井及溢流堰

每台机组设两个排水溢流井，合建在一起。每个虹吸井设一个溢流堰，溢流堰的堰顶标高能保证在最不利运行工况下凝汽器水室真空满足规范要求。

### （5）排水明渠

排水明渠总长度 6200m，整个排水明渠在原始海床标高高于-1.2m 的区段需挖除，渠底开挖宽度为 100m，原始海床低于-1.2m 的标高段可直接作为明渠底部。

防城港核电厂 3、4 号机组将与 1、2 号机组共用排水明渠。排水明渠已随一期工程建设完毕。



#### 4.4 输电系统

##### 4.4.1 接入方案

##### 4.4.2 220kV 输电方案

## 4.4 输电系统

### 4.4.1 接入方案

根据《广西防城港核电厂二期工程接入系统设计报告评审意见的报告》的批复意见：防城港核电厂工程装机规模为  $6 \times 1000\text{MW}$  压水堆核能发电机组，将以  $500\text{kV}$  电压等级接入广西  $500\text{kV}$  网架。

防城港核电厂一期 2 台机组以  $500\text{kV}$  一级电压接入系统，出线 4 回，至海港变 2 回，南宁变 2 回。

现有接入系统方案（核电厂一期已建成的 4 回出线）可以满足防城港核电厂 3、4 号机组的接入及电力送出需求，本期不需增加出线。

### 4.4.2 220kV 输电方案

防城港核电厂一期工程已建 1 回至中路变电站的  $220\text{kV}$  线路，根据《防城港核电厂二期工程  $220\text{kV}$  辅助电源变电站接入系统专题研究评审意见》，本期新建（已建成）1 回  $220\text{kV}$  线路接入  $220\text{kV}$  潭松站。

$220\text{kV}$  配电装置采用双母线接线方式，选用屋内 GIS 设备。目前已按终期规模一次建成配电装置楼，站内的防雷接地、给排水、消防、照明等配套设施已同步完成，为后期设备预留了安装位置，并为电缆沟、管道、道路等扩建预留了接口。本期为满足 3、4 号机组接入开关站需要，仅需扩建  $220\text{kV}$  配电装置 2 个 GIS 间隔。

$220\text{kV}$  辅助变压器布置在常规岛厂房附近的变压器区域， $220\text{kV}$  GIS 与变压器之间通过电缆连接。

## 4.5 专设安全设施

### 4.5.1 安全注入系统（RIS）

#### 4.5.1.1 系统功能

#### 4.5.1.2 系统描述

#### 4.5.1.3 设备和部件描述

#### 4.5.1.4 系统运行

### 4.5.2 应急硼化系统（RBS）

#### 4.5.2.1 系统功能

#### 4.5.2.2 系统描述

#### 4.5.2.3 设备和部件描述

#### 4.5.2.4 系统运行

### 4.5.3 应急给水系统（ASG）

#### 4.5.3.1 系统功能

#### 4.5.3.2 系统描述

#### 4.5.3.3 设备和部件描述

#### 4.5.3.4 系统运行

### 4.5.4 二次侧非能动余热排出系统（ASP）

#### 4.5.4.1 系统功能

#### 4.5.4.2 系统描述

#### 4.5.4.3 设备和部件描述

#### 4.5.4.4 系统运行

### 4.5.5 额外冷却系统（ECS）

#### 4.5.5.1 系统功能

#### 4.5.5.2 系统描述

4.5.5.3 设备和部件描述

4.5.5.4 系统运行

4.5.6 安全壳及安全壳系统

4.5.6.1 安全壳功能设计

4.5.6.2 安全壳热量导出系统（EHR）

4.5.6.3 安全壳隔离系统（EIE）

4.5.6.4 安全壳可燃系统控制系统（EUH）

4.5.6.5 安全壳环廊通风系统（EDE）

4.5.6.6 安全壳过滤排放系统（EUF）

4.5.7 可居留性系统

4.5.7.1 系统功能

4.5.7.2 系统设计和运行

4.5.8 裂变产物去除和控制系统

## 4.5 专设安全设施

根据防城港核电厂 3、4 号机组运行期间事件/事故的预期发生频率，可以将核电机组的设计基准工况分为如下四类：

- DBC-1：正常运行瞬态；
- DBC-2：预期运行事件；
- DBC-3：稀有事故；
- DBC-4：极限事故；

除设计基准事故外，设计上还考虑了两类设计延伸工况（DEC），分别为 DEC-A 类事故和 DEC-B 类事故。其中，DEC-A 类事故为包括 DBC 工况未涵盖的、但为满足概率安全目标或放射性后果必须加以考虑的多重失效复杂事故；DEC-B 类事故为严重事故。

防城港核电厂 3、4 号机组的专设安全设施主要包括：安全注入系统（RIS）、应急硼化系统（RBS）、蒸汽发生器应急给水系统（ASG）、二次侧非能动余热排出系统（ASP）、冷链系统（设备冷却水系统（RRI）\重要厂用水系统（SEC）\额外冷却系统（ECS））、安全壳及相关系统等几个系统组成。

### 4.5.1 安全注入系统（RIS）

#### 4.5.1.1 系统功能

RIS 系统的主要功能是在一回路发生失水事故和二回路蒸汽管道破裂事故工况下，向一回路应急补水，补偿一回路水装量的丧失和反应堆冷却剂的收缩，控制堆芯的反应性。具体可以分为安全功能和运行功能。

#### 4.5.1.2 系统描述

RIS 由分别位于 3 个安全厂房的 3 个独立系列组成（每个 RCP 环路对应一个系列），分别为 A、B、C 系列。

RIS 系统 A、B 系列的设计和 C 系列的设计除下述不同外基本一致：

- a) 系列 A 和 B 与化学和容积控制系统（RCV）低压下泄部分相连；
- b) 系列 A 和 B 与 EHR 系统的吸入管线相连用于执行 EHR 地坑滤网反冲洗功能；

系列 A 和 B 与 EHR 系统相连的应急堆芯冷却注入管线；

c) 系列 A 和 B 上的 LHSI 泵电机设置有多样化的冷源，除了可以由设备冷却水系统（RRI）提供冷却外，还设置了来自安全冷冻水系统（DEL）的备用冷源；

d) 系列 C 的 LHSI 泵未设置内环小流量管线。

RIS 的每一系列均由低压安注、中压安注和安注箱子系统组成。此外，IRWST 为 3 列共用的设备。

#### 4.5.1.3 设备和部件描述

每一列 RIS 系统由 MHSI 泵、LHSI 泵、安注箱、余热排出换热器和相关的阀门和管道组成，IRWST 为 3 列共用的设备。

#### 4.5.1.4 系统运行

电站功率运行期间，RIS 处于安注备用状态。LOCA 事故后，安注信号自动触发 RIS 系统动作，LHSI 泵和 MHSI 泵（RHR 停堆工况下的 LOCA 事故为 MHSI 泵）从 IRWST 取水向 RCP 系统注入，从破口流出的冷却剂通过反应堆厂房内的回流通道的返回 IRWST。考虑到不可回收的水装量丧失，IRWST 内的水装量仍能满足事故后的水量需求，保证安注泵的可靠运行。在执行安注功能时，不需要操纵员的任何操作。

在中、大 LOCA 事故中，为防止硼在堆芯内结晶和减少向安全壳内大气的蒸汽释放量，需要操纵员在规定的时间内，在主控制室手动开关一些阀门，将系统由冷段注入模式切换到冷、热段同时注入的模式。

RIS 系统设置有下列仪表，有助于操纵员在控制室对事故后的电厂状态进行监测：

a) RIS 系统每一列 LHSI 和 MHSI 管路上设置有流量测量仪表，事故工况下，操纵员可以在控制室监测 MHSI 和 LHSI 的流量；

b) IRWST 内设置有冗余的水位和温度测量仪表，可以在控制室监测事故后 IRWST 内的温度和水位；

c) 每一列 RHR 热段取水管线上设置有压力仪表，可以在控制室监测事故后一回路的压力；

d) 安全壳内设置有冗余的压力仪表，可以在控制室监测事故后安全壳内的压力。

## 4.5.2 应急硼化系统（RBS）

### 4.5.2.1 系统功能

RBS 在事故情况下对堆芯进行硼化，用于补偿由于堆芯冷却引入的反应性，具体可以分为安全功能和运行功能。

#### （1）安全功能

- 反应性控制：在发生设计基准（DBC-2 到 DBC-4）事故或 DEC-A 事故时，启动 RBS 系统对一回路执行硼化，补偿由堆芯冷却或氙毒减少引入的反应性，将机组从可控状态带入到安全停堆状态。
- 放射性物质包容：RBS 系统确保第二道屏障的完整性，当反应堆冷却剂压力边界（RCPB）隔离阀上游的 RBS 管道失效时，RBS 系统确保反应堆冷却剂压力边界完整性；限制 RBS 系统的最大流量，确保 RCP 系统不会因过量注入硼酸导致稳压器安全阀开启。RBS 系统确保第三道屏障完整性，系统布置在反应堆厂房内外部，设置安全壳贯穿件及其隔离装置，必要时确保安全壳隔离功能。

#### （2）运行功能

除安全功能外，本系统还可执行如下的运行功能：本系统的 B 列泵可执行反应堆冷却剂压力边界（RCPB）水压试验功能。

### 4.5.2.2 系统描述

RBS 为 3 列配置的专设安全系统，其中 C 列布置在安全厂房 C，另外两列布置在 BFX 厂房。3 列 RBS 系统之间实现实体隔离。

RBS 由三个 100%容量的独立系列组成。

每个 RBS 系列由一个应急硼酸箱、一台活塞泵及连接管线组成。活塞泵将硼酸溶液经过安全壳隔离阀和 RCPB 隔离阀后注入到对应 RCP 的一个环路的冷段管道中，RBS 与 RIS 共用向 RCP 注入的管道。

其中的 B 列 RBS 泵用于 RCPB 水压试验，也称试验泵。RCPB 水压试验时，通过开启与化学和容积控制系统（RCV）连接管线上的手动阀，RBS 试验泵从 RCV 容控箱取水，通过 RCV 的轴封注入管线，从 RCP 系统主泵 1 号轴封注入 RCP 系统。

#### 4.5.2.3 设备和部件描述

每个 RBS 系列由一个应急硼酸箱、一台应急硼化泵（活塞泵）及连接管线组成。

#### 4.5.2.4 系统运行

电厂正常运行期间，RBS 处于备用状态。

RCPB 水压试验时，RBS 试验泵从 RCV 容控箱取水，同时隔离与应急硼酸箱相连的吸入管道，通过 RCP 主泵轴封注入到 RCP 中。泵下游的安全阀采用机械装置闭锁且试验管线保持隔离。

事故瞬态时，RBS 的安全硼化由控制室中操作员手动操作完成或就地启动。当发生 ATWS 事故时 RBS 自动启动。

### 4.5.3 应急给水系统（ASG）

#### 4.5.3.1 系统功能

ASG 用于缓解正常给水系统失效或丧失的设计基准事件或事故工况（包括 DBC 和 DEC-A）。事故期间，ASG 系统向蒸汽发生器提供给水，恢复或维持蒸汽发生器水位，反应堆的衰变热和显热通过蒸汽发生器从一次侧传导到二次侧，在汽机旁路系统（GCT，如果可用）或蒸汽大气排放系统（VDA）的配合下，最终将热量导出到最终热阱。

ASG 执行的功能包括安全功能和运行功能。

##### （1）安全功能

- 反应性控制：当发生主蒸汽管线破裂事故（MSLB）时，通过隔离受损蒸汽发生器的应急注水管线（ASG 管道），防止注入过量给水导致堆芯过冷，从而使堆芯处于次临界的可控状态。
- 余热排出：在 DBC-2 至 DBC-4 工况下，系统向完好蒸汽发生器提供应急给水，通过蒸汽发生器将 RCP 的堆芯衰变热和显热导出，并持续到余热排出系统（RIS/RHR）的投入；在 DEC-A 事故时，ASG 向蒸汽发生器提供应急给水，通过蒸汽发生器将 RCP 的堆芯衰变热和显热导出，将电厂带入到最终状态。
- 放射性物质包容：在蒸汽发生器传热管破裂（SGTR）等一二次侧连通事故



工况下，隔离受影响蒸汽发生器 ASG 管道，防止放射性物质不可控地向环境的释放；在安全壳内 MSLB 事故工况下，隔离受影响蒸汽发生器 ASG 应急给水，减少通过破口向安全壳内喷放的高温、高压流体的流量，防止安全壳的压力和温度持续上升导致第三道屏障完整性的失效。

## （2）运行功能

除安全功能外，本系统还可执行如下的运行功能：在电厂正常停堆期间，向蒸汽发生器注水，并同时向核岛化学加药系统（SIH）提供的除氧药剂注入蒸汽发生器内，并一回路平均温度达到 80℃ 之前，完成湿保养操作；在电厂正常启动期间，向蒸汽发生器初次充水，并在启动和停堆给水系统（AAD）投用之前，对蒸汽发生器进行必要的补水，维持正常水位。

### 4.5.3.2 系统描述

ASG 系统由应急给水泵子系统、ASG 混凝土水箱搅混和疏水子系统、集管子系统等三个子系统组成。

应急给水泵子系统由三个完全独立的系列组成，每个系列包括混凝土水箱、应急给水泵、泵的小流量循环管线、功率限制阀、SG 液位调节阀、ASG 系统隔离阀（兼做安全壳外隔离阀）和安全壳内止回阀以及相关的管道（泵入口和出口管道）、阀门、仪表组成。

应急给水泵子系统为 ASG 系统安全级的部分，可以应对 DBC 和 DEC-A 的事故，并能在事故下接收到触发信号后自动启动。

ASG 混凝土水箱搅混和疏水子系统由搅混管线、疏水管线和三个搅混泵组成。每个 ASG 混凝土水箱都配置一个搅混泵，当水箱需要检修时（例如发现水箱泄漏），由搅混泵将水箱排空。ASG 系统处于备用状态时，搅混泵定期启动对水箱存储介质进行搅混。

ASG 混凝土水箱搅混和疏水子系统主要设备为 NC 类功能分级，搅混泵仅在反应堆停堆状态下对混凝土水箱进行疏水。

集管子系统包括两个部分，一个为三个 ASG 混凝土水箱相互连接的集管，三个混凝土水箱可以通过集管互相提供水源，保证水源可以有效利用。ASG 混凝土水箱的正常补水由常规岛除盐水分系统（SER）提供，补水管连接在水箱联通的集管上；在

TLOCC 或 SBO 等工况下，二次侧非能动余热排出系统（ASP）通过三个 ASG 混凝土水箱相互连接的集管，向每个 ASG 混凝土水箱补水。另一个为三个应急给水泵出口相互连接的集管，每个应急给水泵都可以通过集管向非本列的蒸汽发生器供水，这样在某一个泵失效的情况下，所有蒸汽发生器都可以得到给水，有利于一次侧热量导出

#### 4.5.3.3 设备和部件描述

ASG 的主要设备包括 ASG 应急给水泵、混凝土水箱、管线和相应的阀门。

##### （1）ASG 应急给水泵

ASG 泵为多级卧式离心泵。每台泵的出口安装有小流量三通止回阀，小流量侧通往 ASG 混凝土水箱，大流量侧通往蒸汽发生器。当应急给水泵出口流量小于  $25\text{m}^3/\text{h}$  时，阀门小流量侧打开，确保泵最小流量；随着泵流量增大，小流量侧关闭，大流量侧打开，给水流量全部进入蒸汽发生器。

每台应急给水泵都是自润滑和自冷却的，不需要额外的冷却水系统提供支持。

每台应急给水泵的下游都安装了功率限制阀，在向卸压后的蒸汽发生器注水时，功率限制阀将限制 ASG 应急给水泵的给水流量，防止泵电机超功率。

##### （2）ASG 混凝土水箱

ASG 共设置三个混凝土水箱。ASG 混凝土水箱为混凝土结构内衬钢衬里的水箱，水箱里的水为除盐水。该水箱还安装了一个溢流管，在水箱补水后供水无法停止时使用，防止意外的水淹。

##### （3）SG 水位调节阀和安全壳隔离阀

在应急给水泵给水管线和泵后集管汇合点之后的 SG 注入管线上，设置了 SG 水位调节阀。SG 水位调节阀调节 SG 在正常水位，以防 ASG 给水过量导致 SG 满溢。在 ASG 注入管线上、安全壳的内侧配有止回阀，在安全壳外侧设置了电动隔离阀。

#### 4.5.3.4 系统运行

电厂正常运行期间，ASG 处于停运状态。

如果蒸汽发生器丧失正常给水供应，在某蒸汽发生器低 2 水位信号时 ASG 应急给水泵系列自动启动。也可由操纵员在主控室手动隔离。

事故工况下，ASG 注入管线根据情况自动隔离，也可由操作员在主控室手动隔离。

#### 4.5.4 二次侧非能动余热排出系统（ASP）

##### 4.5.4.1 系统功能

ASP 作为二次侧排热手段，用于在需要 ASG 启动排出一回路热量且 ASG 失效的工况下排出堆芯余热。这些工况主要包括：全厂断电（SBO）叠加 ASG 失效工况、丧失全部给水等。

##### 4.5.4.2 系统描述

ASP 由三个同样的冷却系列组成，分别对应三台 SG。每个系列主要包含：

一段入口蒸汽管线，接在安全壳与主蒸汽隔离阀（MSIV）之间的蒸汽管道上，装有一个隔离阀和一个调节截止阀；一个冷凝换热器，相对 SG 处于高位，并浸泡在一个混凝土水箱中；一段冷凝回流管线，出口接在靠近 SG 的 ASG 管道上，装有一个隔离阀和一个逆止阀。

此外，混凝土水箱配置有补水、排水接口，以及用于水质保持的循环管线和加药装置；从混凝土水箱排水管线上引出为 ASG/PTR 补水的管线，分别连接至 ASG 混凝土水箱集管以及乏燃料水池。

ASP 为非能动系统，其原理为：通过将冷芯（冷凝器）布置在高于热芯（SG）的位置，形成上升段蒸汽与下降段冷凝水的密度差，从而提供自然循环的驱动力。传递到 SG 二次侧的一回路热量，可经由本系统传递并最终排向大气。

##### 4.5.4.3 设备和部件描述

ASP 的主要设备包括：

###### （1）冷凝器

冷凝器为 C 型结构，浸泡在混凝土水箱底部。冷凝器作为自然循环的关键设备，在冷凝管内将蒸汽冷凝成水，将热量传导至管外的混凝土水箱存水。冷凝器材料为不锈钢。

###### （2）混凝土水箱

混凝土水箱布置在反应堆厂房外壁。混凝土水箱的作用是接收冷凝器传出的热量，并通过混凝土水箱存水的蒸发或沸腾将热量排向大气。

#### 4.5.4.4 系统运行

##### （1）正常运行

机组正常运行时，系统处于备用状态。系统最高点与入口隔离阀之间管道不充水。系统入口隔离阀和回流隔离阀均位于关闭位置，混凝土水箱处与大气相通。回流管道内充满水，系统的入口蒸汽管道内充以氮气进行覆盖。

##### （2）事故工况运行

在需要ASG投运而ASG失效的工况下，同时启动3列ASP回路。启动信号先后使入口隔离阀与回流隔离阀开启，蒸汽进入冷凝器，冷凝水回流至SG，系统的自然循环建立，一回路热量被传导至混凝土水箱，并最终排向大气。系统投运后，随着余热功率逐渐下降，一回路和SG二次侧温度均逐渐下降，系统排热功率逐渐降低，混凝土水箱中水位则随时间推移逐步下降。

#### 4.5.5 额外冷却系统（ECS）

核岛冷却链系统包括设备冷却水系统（RRI）和重要厂用水系统（SEC），其功能是将核岛用户的热量移出到最终热阱。另外，为了应对全厂断电（SBO）工况或丧失最终热阱，还配置了额外冷却系统（ECS），用作缓解超设计基准工况的后备冷却系统。在本报告书 4.3 节中已经简要描述了 RRI 和 SEC，本节将简要描述 ECS。

额外冷却系统（ECS）用于在部分设计扩展工况（DEC）下，冷却安全壳热量导出系统（EHR）换热器，移出堆芯及安全壳内热量；冷却反应堆水池和燃料水池冷却和处理系统（PTR）换热器，移出乏燃料水池的衰变热。

##### 4.5.5.1 系统功能

ECS 系统需要满足如下 DEC 工况下的冷却功能：在部分复杂事故序列（DEC-A），如全厂断电（SBO）或完全丧失冷链（TLOCC）工况，以及严重事故（DEC-B）工况下，冷却 EHR 系统和 PTR 系统的 A 列和 B 列，移出堆芯及安全壳内热量、EHR 泵及电机散热、乏燃料水池的衰变热。此外，ECS 设置的中间回路，确保放射性流体与厂区外环境保持隔离，间接起到了放射性物质包容的作用。

##### 4.5.5.2 系统描述

ECS 系统由两个相同的系列组成，每列包括一个中间冷却回路和一个终端冷却回路。

中间冷却回路主要设备包括一台中间循环泵、一台换热器和一个波动箱。中间冷却回路从用户吸收热量，然后通过中间换热器将热量传递给终端冷却回路。中间冷却回路用户包括：EHR 换热器、EHR 泵及电机、PTR 换热器。ECS 系统通过波动箱维持中间冷却回路压力，使其高于用户侧压力，防止用户向环境的潜在放射性泄漏。

终端冷却回路主要设备和物项包括一台终端循环泵、一台过滤器、三座机械通风冷却塔、一个集水池及一个补给水池。终端循环泵从集水池取水，冷却中间换热器之后进入冷却塔，在冷却塔内与空气换热之后落入集水池。当集水池液位下降至低液位时，可通过补给水池向集水池补水。

#### 4.5.5.3 设备和部件描述

##### （1）中间循环泵

中间循环泵为卧式离心泵，不锈钢材料，同时后备 EDG 柴油机、SBO 柴油机和移动电源供电。

##### （2）中间换热器

中间换热器为板式换热器，板片为耐海水不锈钢，可耐海水腐蚀。中间冷却回路和终端冷却回路流体于板片的两侧流动。中间冷却回路运行压力高于终端冷却回路以防止海水漏至中间冷却回路。换热器冷侧流体按海水设计，热侧流体按除盐水设计。

##### （3）中间波动箱

中间波动箱为立式水箱，碳钢材料，用于吸收运行温度变化带来的水容积变化。中间波动箱上部覆盖压缩空气，底部与中间循环泵上游管道连通，由核岛除盐水分配系统（SED）提供补水。

##### （4）终端循环泵

终端循环泵为卧式离心泵，不锈钢材料，同时后备 EDG 柴油机、SBO 柴油机和移动电源供电。

##### （5）终端过滤器

终端过滤器为反冲洗过滤器，主要材料为碳钢衬胶，同时后备 EDG 柴油机、SBO 柴油机和移动电源供电。

#### （6）机械通风冷却塔及配套水池

机械通风冷却塔按照淡水介质设计并考虑海水工况。每台机组配置 6 座机械通风冷却塔，每个系列 3 座。冷却塔主要部件包括风机筒体、能动风机、塔芯部件等。冷却塔采用鼓风侧吹式轴流风机进风，每座冷却塔配置 1 台鼓风式风机。风机电机由 380V 正常交流电源供电，同时后备 EDG 柴油机、SBO 柴油机和移动电源供电。

每个系列配有一个集水池和一个补给水池。集水池位于冷却塔底部，其最低液位确保终端循环泵有足够的吸入压头。补给水池用于为集水池提供补充水源。

#### 4.5.5.4 系统运行

##### a) 电厂正常运行

机组正常运行工况下，ECS 系统不参与机组运行，系统处于备用状态。中间冷却回路与终端冷却回路处于满水状态。当波动箱液位低时，通过核岛除盐水分配系统（SED）自动补水；当波动箱压力低时，由操作员现场手动补充压缩空气，维持中间回路水装量及压力在正常范围内。当冷却塔集水池液位低时，通过补给水池自动补水；当补给水池液位低时，由操作员现场通过饮用水系统（SEP）手动补水，确保补给水池水量满足事故后系统 24h 的运行要求。

##### b) 事故工况运行

在部分 DEC-A，如 SBO 或 TLOCC 工况，以及 DEC-B 工况下，根据用户需求投运一列或两列 ECS 系统。ECS 系统由操作员手动投运：先启动终端冷却回路，然后再启动中间冷却回路。

系统运行期间，冷却塔集水池液位低时，通过补给水池自动补水；补给水池液位过低时，由操作员现场通过 SEP 系统补水，若 SEP 系统不可用，则通过移动设施补水。

#### 4.5.6 安全壳及安全壳系统

安全壳系统主要包括：

- 安全壳；
- 安全壳热量导出系统；
- 安全壳隔离系统；
- 安全壳可燃气体控制系统；

- 安全壳泄漏率试验和监测系统；
- 安全壳环廊通风系统；
- 安全壳过滤排放系统。

这些安全壳系统的设计保证或有助于实现下述安全功能：

- 在运行状态和事故工况下包容放射性物质；
- 在运行状态和事故工况下的辐射屏蔽；
- 防御外部自然事件和人为事件。

#### 4.5.6.1 安全壳功能设计

安全壳起到第三道包容屏障的作用，在正常运行时及在发生放射性产物释放到安全壳内的事故后，安全壳构筑物 and 附属物（贯穿件、隔离系统、人员闸门和设备闸门等）提供良好的密封性能，防止放射性物质不可控制的释放。

防城港核电厂3、4号机组采用双层安全壳，内层为带钢衬里的预应力钢筋混凝土安全壳，外层为钢筋混凝土安全壳，在内层和外层安全壳之间留有环廊，环廊保持负压状态，以收集可能通过内壳墙体泄漏的物质，并在泄漏物质通过烟囱释放到外部大气环境之前通过环廊通风系统进行过滤。

内层安全壳包容整个反应堆冷却剂系统（RCP）、安全壳内置换料水箱（IRWST）、安全壳内堆坑注水水池、部分主蒸汽系统和部分主给水系统。当发生安全壳内管道破裂事故时，内层安全壳包容所有放射性物质并承受RCP或蒸汽发生器二次侧质能释放产生的最大压力和温度。内层安全壳同时也具备下列功能：

- 正常运行时的密封；
- 在正常运行及事故工况下保护现场人员免受包容屏障内辐射源的辐照；
- 保护反应堆冷却剂系统免受外部灾害影响。
- 外层安全壳执行如下几项功能：
  - 和内层安全壳一起，在正常运行和事故期间对厂区人员和环境提供辐射屏蔽；
  - 保护外层安全壳内的系统和部件不受外部假设始发事件的影响；
  - 捕集从安全壳泄漏到环廊中的漏气。

#### 4.5.6.2 安全壳热量导出系统（EHR）

EHR 作为严重事故预防与缓解措施的一部分，在专设安全系统失效、堆芯熔化的严重事故工况下，EHR 是限制安全壳超压，保证安全壳以及安全壳内置换料水箱 IRWST 热量导出的最终缓解手段。在 DBC 事故工况下，安全壳热量导出功能由安全注入系统（RIS）执行。

#### 4.5.6.2.1 系统功能

EHR 执行的安全功能包括：

##### (1) 余热导出：

在下列工况下，EHR 系统将衰变热从安全壳导出至最终热阱：

- 严重事故（DEC-B）；
- 功率工况小破口叠加低压安注失效（RP）；
- 停堆工况小破口叠加低压安注失效（NS/RIS-RHR、MCS）；
- 停堆工况下，丧失余排或 LOOP 后恢复余排失效（MCS）；
- 功率工况完全丧失冷链叠加轴封破口失效（RP）；
- 停堆工况完全丧失冷链（MCS）；
- SBO 工况（MCS）。

在发生完全丧失交流电的事故且二次侧带热不可用的工况下，EHR 系统可以通过与安全注入系统（RIS）的接口向堆芯临时注水，应急冷却堆芯。

##### (2) 放射性物质包容

- 设计扩展工况（DEC）下，EHR 系统可以将安全壳内的热量通过 IRWST 传递给最终热阱，从而限制安全壳内温度和压力，保证安全壳的完整性；
- 在严重事故（DEC-B）期间，为了维持安全壳完整性，EHR 系统长期向堆坑注水对压力容器进行外部冷却，将熔融物碎片和放射性物质滞留于压力容器中；
- EHR 系统的安全壳喷淋具有放射性碘去除功能，能够有效降低安全壳内的放射性；
- 在发生不需要 EHR 系统运行的事故时，EHR 系统参与安全壳的隔离；
- 在发生需要 EHR 系统运行的事故时，EHR 系统位于安全壳外的部分构成第三道屏障的一部分，保持安全壳的完整性并包容放射性物质。



#### 4.5.6.2.2 系统描述

EHR 除非能动堆坑注水子系统外，包括两个相同的系列，每个系列包括：

- 一条通过 EHR 专用从 IRWST 取水的管线，地坑滤网属于 RIS；
- 设置在安全厂房 A（B）的一台安全壳热量导出泵和一台热交换器。热交换器用于导出安全壳内的热量，由 RRI 或 ECS 提供冷却；
- 热交换器下游的三条排放管线（喷淋、堆坑注水和再循环冷却），每一条管线上在安全壳厂房内外均设有安全壳隔离阀；
- 喷淋支路上的穹顶喷淋子系统，由喷淋环管和若干喷嘴组成，喷淋时可以降低安全壳内的温度和压力；
- RCV 取水隔离阀，当容控箱（VCT）水位低时，RCV 上充泵从 IRWST 取水；
- RCV 泵的小流量管线通过 EHR 第 2 列的反冲洗管线返回 IRWST。

EHR 的 A、B 列的泵和换热器都分别布置在安全 A、B 厂房，实现物理分离和实体隔离，且由于事故后输送的是高放射性流体，因此布置在控制区。泵和换热器都可以通过关闭上、下游的阀门进行隔离。

非能动堆坑注水子系统主要由安全壳内高位布置的堆坑注水箱与出口的管线、阀门组成。堆坑注水箱布置在反应堆厂房的高位，满足非能动的大流量和小流量注水流量要求。安全壳喷淋环管布置在安全壳穹顶上，喷淋环管上安装有喷头为安全壳喷淋提供均匀的流量分配，保证安全壳喷淋时最大的覆盖体积和喷淋面积。

#### 4.5.6.2.3 设备和部件描述

##### （1）EHR 泵

EHR 泵为卧式离心泵，布置在安全厂房 A/B。泵电机除由正常电源供电外，还由应急柴油发电机、SBO 柴油发电机和移动电源供电。泵电机由 RRI 和 ECS 提供冷却。

EHR 泵可以在以下五种不同模式下运行：

- 安全壳喷淋；
- 再循环冷却/反冲洗（循环冷却主要用于在 DEC-A 的某些工况冷却 IRWST；反冲洗主要用于冲洗 EHR 泵吸入口滤网防止堵塞）；
- 能动堆坑大流量注水（用于 DEC-B 工况下堆坑注水冷却 RPV）；

- 安全壳喷淋叠加能动堆坑注水小流量；
- 能动堆坑小流量注水叠加泵的小流量。

#### （2）EHR 换热器

EHR 换热器为卧式管壳式换热器，事故后管侧为放射性流体，壳侧为清洁流体。换热器布置在安全厂房 A/B，符合换热及布置要求，考虑到与接口系统的连接，换热器布置尽量靠近 ECS 系统。

严重事故工况作为安全壳热量导出换热器的设计工况。

#### （3）堆坑注水箱

严重事故工况下，堆坑注水箱中的水通过非能动管线注入堆坑，对压力容器外部进行冷却，带走堆芯熔融物的衰变热，防止压力容器熔穿。堆坑注水箱布置在反应堆厂房。水箱为混凝土结构内衬不锈钢衬里。水箱容量满足严重事故后 10 小时堆坑注水的流量要求。

### 4.5.6.2.4 系统运行

#### （1）正常运行

电厂正常运行期间，EHR 系统处于停运状态。

#### （2）DBC 长期阶段

DBC 长期阶段（24h）后，操作员以喷淋模式启动 EHR 系统以降低壳内放射性剂量。

#### （3）DEC-A 事故运行

##### 1) SB-LOCA 叠加 LHSI 全部丧失（RP、NS/RIS-RHR、MCS）

当发生 SB-LOCA 叠加 LHSI 全部丧失时，操作员根据 IRWST 的水温和安全壳压力手动启动 EHR 系统，以安全壳喷淋/再循环模式对安全壳进行冷却。

##### 2) TLOCC 导致主泵轴封破裂（功率运行工况下）

该工况会导致安全壳和 IRWST 的温度上升，操作员根据 IRWST 的水温和安全壳压力手动启动 EHR 系统，以安全壳喷淋/再循环模式对安全壳进行冷却。由于正常冷链 RRI 系统不可用，此时 EHR 换热器冷侧需切换至 ECS 系统冷却模式。

##### 3) TLOCC（停堆工况下）

该工况下发生 TLOCC 事故时，操作员根据 IRWST 的水温和安全壳压力手动启动

EHR 系统，以安全壳喷淋/再循环模式对安全壳进行冷却。由于正常冷链 RRI 系统不可用，此时 EHR 换热器冷侧需切换至 ECS 系统冷却模式。

#### 4) 停堆工况下丧失余排或 LOOP 后恢复余排失效

停堆工况下发生丧失余排或 LOOP 后恢复余排失效时，操作员根据 IRWST 的水温和安全壳压力手动启动 EHR 系统，以安全壳喷淋/再循环模式对安全壳进行冷却。

#### 5) 停堆工况下发生 SBO

停堆工况下发生 SBO 时，操作员根据 IRWST 的水温和安全壳压力手动启动 EHR 系统，以喷淋/再循环模式对安全壳进行冷却。由于正常冷链 RRI 系统不可用，此时 EHR 换热器冷侧需切换至 ECS 系统冷却模式。

### （4）DEC-B 事故运行

#### 1) 堆坑注水

严重事故工况下，当堆芯出口温度超过 650℃时，手动打开安全壳内堆坑注水箱出口非能动大流量堆坑注水阀门，依靠重力，向堆坑内注水，通过冷却压力容器外壁冷却堆内熔融物，实现堆芯熔融物压力容器内滞留。

当堆坑注水箱液位降至大流量接管以下，自动转入小流量注水阶段。长期阶段，EHR 泵从 IRWST 取水，经 EHR 换热器冷却后注入堆坑。

堆坑注水箱容量满足丧失全部交流电源（包括：厂外电、EDG 和 SBO 柴油发电机丧失）12 小时的堆坑注水水量要求（对应严重事故后 10 小时）。

#### 2) 安全壳喷淋

如果发生堆芯融化的严重事故，根据安全壳和 IRWST 的固有特性（容量、设计参数、结构热惯性等），严重事故发生后 12 小时内，即使 EHR 系统安全壳喷淋不启动，安全壳内的压力和温度也能够保持在设计限值以下。

根据严重事故管理导则，手动打开喷淋支路的安全壳隔离阀并启动 EHR 泵，从 IRWST 取水，经过换热器降温后，执行安全壳喷淋来降低安全壳内的压力和温度。如果地坑滤网堵塞，则 EHR 系统需要切换至反冲洗模式运行。

### 4.5.6.3 安全壳隔离系统（EIE）

#### 4.5.6.3.1 系统功能

EIE 通过安全壳贯穿件隔离阀来执行安全壳隔离功能。在安全壳内有裂变产物释放时，安全壳隔离系统确保安全壳的密封性以减少放射性向外部大气的释放。安全壳贯穿件和其隔离设施确保正常运行和事故期间安全壳的完整性。

安全壳隔离功能有助于放射性物质的包容，以确保在伴有放射性物质释放的事故期间，能将通过流体贯穿件释放到环境中的放射性减小到最低程度。

#### 4.5.6.3.2 系统设计

EIE 通过在流体贯穿件上安装隔离阀（电动阀和/或止回阀）来实现安全壳隔离功能。在需要隔离时能确保能实现安全壳的隔离。

#### 4.5.6.3.3 系统运行

在正常运行时，不需要执行安全壳隔离功能，隔离阀的状态取决于所属系统状态。发生事故时，除了用来缓解事故的安全系统外，其他所有流体贯穿件都将被隔离。

在接收到反应堆保护系统的隔离信号后，安全壳自动隔离阀关闭。这不适用于缓解事故危害特定的安全系统。只有在完全关闭和隔离信号取消后，隔离阀才可能重新打开。允许操纵员在主控室手动控制安全壳隔离阀。安全壳自动隔离阀是电动的，其供应电源有应急电源作为备用，或者按故障安全设计（一般而言，除因缓解事故危害的需要运行的安全系统外，故障安全状态是常闭的）。主控室能查看隔离阀的状态和可用性信息。

#### 4.5.6.4 安全壳可燃气体控制系统（EUE）

事故后，安全壳内可能由于以下原因产生氢气：锆燃料包壳与水反应，水辐照分解，结构材料的腐蚀，RCP 内溶解的氢。防城港核电厂三、四机组设置了较多措施控制安全壳内可燃气体的积聚，包括具有足够大自由容积的安全壳、能够促进自然循环和改善混合的安全壳隔间流道设计等。除此之外，还专门设置了安全壳可燃气体控制系统（EUE）以控制安全壳内的可燃气体的浓度，进而确保维持安全壳的完整性。

##### 4.5.6.4.1 系统功能

EUE 主要执行如下功能：

- 在 DBC 后非能动控制氢气，限制和降低局部氢气积聚及其燃烧引起的风险；
- 在堆芯降级或堆芯熔化期间，限制安全壳内整体平均氢气浓度低于 10%，以此来限制其燃烧引起的安全壳失效风险，确保严重事故下安全壳的完整性。
- 事故后安全壳内氢气浓度监测，以评估事故后安全壳氢气燃烧的威胁和非能动氢复合器的工作状态，同时作为了解堆芯恶化情况的辅助参考。

#### 4.5.6.4.2 系统设计

EUH 主要包括两个子系统：非能动氢复合器子系统和氢气监测子系统。

#### 4.5.6.4.3 系统运行

在机组正常运行时，非能动氢复合器处于备用状态。当安全壳内的氢浓度达到设备的启动阈值时，非能动氢复合器自动工作。

氢气监测子系统在事故后由操作员手动启动投入运行。

#### 4.5.6.5 安全壳环廊通风系统（EDE）

##### 4.5.6.5.1 系统功能

在核电厂正常运行期间，EDE 维持环廊内环境条件在可接受的范围内，保持安全壳环廊内相对于室外大气的负压；事故期间，EDE 维持环廊内的温度和负压，实现对环廊的动态包容，限制由于 DBC 及 DEC 事故所产生的放射性物质向环境释放。

##### 4.5.6.5.2 系统设计和部件

EDE包括如下设备：

- 1×100%容量的正常通风子系统，该子系统包括一组初效过滤器、一组高效粒子空气过滤器（HEPA）；
- 2×100%容量的事故通风子系统，两列实体隔离，每列中设有一组初效过滤器、一台电加热器、一组高效粒子空气过滤器（HEPA）、一台碘吸附器和碘吸附上下游防火阀。

#### 4.5.6.5.3 系统运行

EDE 的正常通风子系统连续运行，为安全壳环廊提供冷风或热风，并通过调节排风量维持排风经过 DWN 排风列处理后再经烟囱排至室外。

当 EDE 正常通风子系统不可用时，切换至事故通风子系统，维持环廊内负压。在 DBC2-4、DEC-A、DEC-B 事故中安全壳内部发生放射性物质泄漏时，隔离正常通风子系统，切换至事故通风子系统，以处理来自内层安全壳的泄漏，同时满足环廊最小负压要求。

#### 4.5.6.6 安全壳过滤排放系统（EUF）

在发生严重事故后，安全壳的内部压力可能会慢慢升高。当安全壳压力达到其设计限值时，可以通过安全壳过滤排放系统（EUF）主动卸压，缓解安全壳压力，维持安全壳的完整性。同时，通过安装在卸压管线上的过滤装置对排放气体的放射性物质进行过滤，使不可避免释放到环境中的放射性物质释放维持在尽可能低的水平。

##### 4.5.6.6.1 系统功能

在发生严重事故后，通过运行 EUF 主动卸压维持安全壳压力在一定水平，并对放射性物质进行过滤以减少向环境的释放。

##### 4.5.6.6.2 系统设计和部件

EUF 主要由一套过滤组合装置、2 个安全壳隔离阀、一个安全阀、一个反冲洗阀、一个限流孔板、一个爆破膜和一套 KRT 测量设备、以及向过滤组合装置内注入各种物质（包括含化学物质的除盐水、氮气）的管线（包括管道、设备及相关仪表）、废液返回至安全壳的管道及阀门、测量液位及压力的仪表等组成。EUF 的主要设备布置在燃料厂房。

安全壳内大气通过安全壳过滤排放系统进口管线至两道安全壳隔离阀，然后经过一套过滤组合装置，再经流量限流孔板和爆破膜，最终通向电厂烟囱。

##### 4.5.6.6.3 系统运行

核电厂正常运行期间，EUF 处于备用模式。

在严重事故工况下，当安全壳压力超过其设计限值时，为了保证安全壳的完整性，由现场应急指挥中心根据严重事故管理导则确定本系统开始运行的时机。

通过 EUF 系统的过滤排放，安全壳内的压力将会降低，在得到应急指挥中心的关闭指令后或安全压力达到设定值时，运行人员手动关闭安全壳隔离阀来关闭本系统。系统关闭后，过滤组合装置内积聚了放射性极强的溶液，形成潜在的放射性污染源，为避免潜在的放射性污染源造成扩散，必须将其输送回事故机组的安全壳内。

#### 4.5.7 可居留性系统

主控制室可居留性系统主要的设计功能是为主控室可居留区域（CRE）提供一个安全的环境，使操作人员在此环境中，能在电厂正常运行期间保持核反应堆和辅助系统在受控之下，在异常情况期间能使这些系统安全停堆，以保护公众和电厂工作人员的健康和安全。

该系统必须保证主控制室在正常工况下的可居留性，在设计基准事故、严重事故和外部事件发生时及事故后的居留期得以延长，并保证在主控制室或其他可选停堆站控制反应堆的操作不受影响。可居留性系统包括辐射屏蔽、冗余设置的新鲜空气供应和调节系统、防火排烟、人员的防护设备、应急照明、通讯、生活保障及救生设施。

##### 4.5.7.1 系统功能

控制室可居留性系统主要满足实现如下功能：

- 使主控制室可居留区域范围能承受地震、洪水、台风、龙卷风等自然现象及外部飞射物的影响；
- 提供足够的辐射防护：在正常工况下，主控制室可居留区域内工作人员的受照剂量在国家相关法规标准要求的限值内并尽量低；设定的持续应急响应期间内（一般为 30d），工作人员接受的有效剂量不大于 50mSv，甲状腺当量剂量不大于 500mSv；
- 提供有毒或有害气体的防护：假如出现有毒或有害气体释放的险情，电厂会出现相应的报警，主控制室空调系统以全回风方式运行，并提供带呼吸装置的自救设施（仅在特定厂址需要考虑化学品泄漏事故对主控制室可居留性的影响时有此要求）；

- 防止外界环境恶化（包括放射性空气、烟雾等）对主控制室范围的侵入：在应急工况下，探测器探得室外空气被污染时，室外空气必须经过过滤机组处理后补给新风。用具有足够密封性的边界将 CRE 与外界进行隔离，同时保持主控制室可居留区域微小的正压以阻止未经过滤机组处理的区域外空气漏入；
- 保证 CRE 于正常的室温、湿度及照明条件之下，并在例如厂外电源丧失（LOOP）等事故工况情况下仍能维护控制操作所必需的环境条件；
- 为安全重要的构筑物、系统和部件提供防火和排烟措施，防火区划分能防止火灾由可居留区域外向内部扩散，也能防止发生在可居留区域内火灾的蔓延；
- 提供正常工况下及事故工况下的辐射监测手段：设置放射性监测系统，在任何工况下自动对主控制室空调系统的新风口进行放射性监测，一旦监测到辐射水平超标，将及时发出报警，手动或自动启动相应的防护措施。同时配备有个人辐射剂量监测器，在事故工况下对主控制室内操作人员的个人受照剂量进行实时监测。

#### 4.5.7.2 系统设计和运行

防城港核电厂 3、4 号机组的控制室可居留区域（CRE）范围包括主控制室、计算机室、技术支持中心、交接班会议室、值长办公室、隔离办公室、更衣室、茶水间、参观室、运行人员盥洗间、食品贮存间、餐厅和厨房、主要连通走道、主控制室空调系统（DCL）的送风、回风功能相关竖井（不包括排风竖井）等反应堆控制时有可能需要到达的房间。

控制室可居留区的环境条件主要由控制室空调系统（DCL）来保证。在正常运行及事故运行期间，DCL 为可居留区内人员及设备提供适宜的环境条件（温度、湿度、压力）；在厂区发生放射性污染事件时，DCL 系统通过对新、回风过滤来保证可居留区的可居留性。

密封性方面，在控制室可居留区域内保持微小的正压以防止未经过滤的空气经缝隙（门、电缆和管道贯穿件）泄漏进入到可居留区域。在门和管道贯穿件套筒、管道和电缆上采用了专门的结构进行密封。在每个未安装空气过滤装置的入口处都配备了自动关闭的电动密封隔离阀。同样，结构的预防措施和适当的混凝土表面处理相应减少了由于结构联结处和混凝土多孔性导致的泄漏。

屏蔽设计方面，控制室可居留区域边界墙体采用现浇混凝土，边界上的门采用具



备气密功能的屏蔽门，可对室外烟云的浸没照射起到良好的屏蔽效果。

#### 4.5.8 裂变产物去除和控制系统

##### （1）通风系统

防城港核电厂 3、4 号机组具有专设安全设施空气过滤装置的通风系统如下：

- 安全壳换气通风系统（EBA）
- 安全壳环廊通风系统（EDE）
- 主控室空调系统（DCL）
- 安全厂房控制区通风系统（DWL）

此外，其他有碘过滤装置，但不属专设安全设施部件的通风系统如下：

- 安全壳内部过滤系统（EVF）
- 核辅助厂房通风系统（DWN）
- 放射性废物处理厂房通风系统（DWQ）

所有这些通风系统都可用于过滤从安全壳和事故后和（或）正常运行期间易受污染的厂房中释放出的气载放射性物质。

##### （2）喷淋系统

防城港核电厂 3、4 号机组不设置专门的安全壳喷淋系统。在设计基准事故下，大自由容积的双层安全壳可以包容安全壳的压力峰值和放射性。在超设计基准事故和严重事故工况下，由安全壳热量导出系统（EHR）通过安全壳喷淋降低安全壳内的压力和去除安全壳大气中的裂变产物。本节的前文已对 EHR 进行了简要描述。

##### （3）安全壳

安全壳构筑物是设计基准事故下限制裂变产物的首要措施。防城港核电厂 3、4 号机组设置了双层安全壳及有关系统，本节前文已对安全壳及相关系统进行了简要描述。

##### （4）安全壳过滤排放系统

安全壳过滤排放系统是严重事故后限制裂变产物的重要系统。本节的前文已对该系统进行了简要描述。

- 4.6 放射性废物管理系统和源项
  - 4.6.1 放射性源项
    - 4.6.1.1 堆芯裂变产物积存量
    - 4.6.1.2 一回路冷却剂的放射性活度
    - 4.6.1.3 二回路冷却剂的放射性活度
    - 4.6.1.4 H-3 和 C-14 的放射性活度
  - 4.6.2 放射性废液管理系统及排放源项
    - 4.6.2.1 冷却剂贮存和处理系统（TEP）
    - 4.6.2.2 废液处理系统（TEU）
    - 4.6.2.3 核岛废液排放系统（TER）
    - 4.6.2.4 放射性废水回收系统（SRE）
    - 4.6.2.5 常规岛废液排放系统（SEL）
    - 4.6.2.6 放射性废液的排放源项
  - 4.6.3 放射性废气管理系统及排放源项
    - 4.6.3.1 废气处理系统（TEG）
    - 4.6.3.2 空调、加热、冷却及通风系统
    - 4.6.3.3 冷凝器真空系统
    - 4.6.3.4 放射性废气的排放源项
  - 4.6.4 放射性固体废物管理系统及废物量
    - 4.6.4.1 系统功能
    - 4.6.4.2 系统描述
    - 4.6.4.3 设备描述
    - 4.6.4.4 系统运行
    - 4.6.4.5 废物最小化
    - 4.6.4.6 固体废物产生量

4.6.4.7 放射性固体废物最终处置

4.6.5 乏燃料贮存系统

## 4.6 放射性废物管理系统和源项

放射性废物系统主要包括放射性废液系统、放射性废气系统和放射性固体废物系统。

本节根据防城港核电厂3、4号机组的最终安全分析报告和其他有关设计文件对本工程的放射性废物系统和放射性源项进行描述，包括堆芯积存量、一回路和二回路的放射性活度，液体、气体和固体放射性废物处理系统，气载和液态放射性流出物的排放量及固体放射性废物的产生量。

气载和液态放射性流出物的排放量及固体废物的产生量主要取决于：

- 一回路冷却剂的放射性活度；
- 处理系统的设计处理能力及运行效能。

### 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，正常运行工况下裂变产生的放射性裂变产物基本上都包容在燃料元件的包壳内，只有极少量的裂变产物通过包壳缺陷泄漏到一回路冷却剂中；同时裂变产生的中子使一回路冷却剂、控制棒、硼酸和其它结构材料受到激活而产生中子活化产物。这些裂变产物和活化产物形成反应堆冷却剂中的放射性源。它们通过冷却剂的净化、蒸汽发生器传热管束的泄漏等过程造成对核辅助系统和二回路的污染。

本节中提出的源项是由如下几方面确定的，即防城港核电厂3、4号机组的堆芯和反应堆冷却剂系统的参数和预期的防城港核电厂3、4号机组运行参数，还有来自中广核集团在运核电站、法国核电站和美国核电站的运行经验反馈。

#### 4.6.1.1 堆芯裂变产物积存量

防城港核电厂3、4号机组采用首循环年度换料、平衡循环18个月换料的燃料管理策略，共使用177组全M5 AFA3G燃料组件，平衡循环时，新燃料组件的<sup>235</sup>U富集度为4.45%。

#### 4.6.1.2 一回路冷却剂的放射性活度

反应堆运行时燃料元件中产生的气态和固态放射性产物，在元件中迁移并积存，

当发生包壳破损情况后以一定的几率释放到冷却剂中，构成冷却剂中裂变产物源项，包括惰性气体、卤素等。

此外，一方面由于堆内构件因受到中子照射而具有放射性，在发生腐蚀后释放到冷却剂中；另一方面一回路管道和设备的材料由于氧化和腐蚀进入到冷却剂中，随冷却剂流经堆芯受到堆芯及其相邻区域的中子照射后具有放射性，主要有Cr-51、Mn-54、Fe-59、Co-58 和Co-60 等核素。这些构成了冷却剂中的腐蚀产物源项。

#### （1）裂变产物

影响裂变产物的产生及其随后通过燃料包壳缺陷从燃料释放到反应堆冷却剂中的现象是复杂的，通过计算程序可以清楚地理解这些过程。

在程序中，裂变产物在燃料中产生并随后进入反应堆冷却剂的模型分为五个过程。

- 通过裂变、放射性衰变或中子俘获产生裂变产物；
- 裂变产物通过扩散、反冲和击出等方式进入燃料棒内间隙；
- 裂变产物通过包壳缺损释入反应堆冷却剂；
- “沾污铀”在中子照射下发生裂变及裂变产物的释放；
- 考虑反应堆运行参数后，裂变产物在反应堆冷却剂系统的分布。

按照国内放射性废物管理源项新框架，分别计算冷却剂裂变产物的“现实源项”和“设计源项（也称为设计基准源项）”。现实源项可以反应机组长期运行期间冷却剂内的平均放射性水平，设计源项规定了限定时间内机组运行中允许达到的最大放射性水平。

#### （2）活化腐蚀产物

反应堆冷却剂中的活化腐蚀产物主要由于堆芯及结构材料所含的某些元素被中子照射后活化产生。冷却剂中的溶解物和悬浮物颗粒与基体金属、氧化物薄层以及沉积物之间不停地进行物质交换，这个过程是非常复杂的。

本项目以中广核集团在运机组近年来的冷却剂活化腐蚀产物的运行监测数据为基础，经过对这些运行反馈数据的分析，设计出活化腐蚀产物源项。本项目定义了两套冷却剂活化腐蚀产物源项，即现实和设计源项。这两套源项均包括机组稳态功率运行、瞬态和停堆三种工况。在机组功率运行期间，冷却剂活化腐蚀产物源项采用“对运行数据取百分比包络性”的方式确定，具体法为：

- 现实源项的稳态值包络50%运行数据。

— 设计源项的稳态值包络95%的运行数据。

— 现实源项和设计源项的瞬态值均为包络100%的运行数据。

在机组停堆前通常会采用氧化操作使沉积在管道表面的腐蚀产物溶解，从而形成停堆期间活化腐蚀产物活度的快速增加（即停堆的氧化峰）。本项目停堆期间的活化腐蚀产物源项来自中广核集团在运机组运行数据以及法国压水堆的运行数据。

活化腐蚀产物在一回路主管道的典型沉积源项来自大亚湾核电基地的运行反馈。

#### 4.6.1.3 二回路冷却剂的放射性活度

二回路系统的放射性主要来源于蒸汽发生器传热管处一回路冷却剂向二回路系统的泄漏，即带放射性的一回路冷却剂经由破损的蒸汽发生器传热管进入蒸汽发生器二次侧。蒸汽发生器中带放射性的蒸汽均匀混合，经汽轮机膨胀做功后进入冷凝器。在冷凝器中，蒸汽中所有惰性气体以及碘和气溶胶（与汽水分配因子有关）从冷凝器真空系统向大气排放。其他的放射性蒸汽全部被冷凝成液体后经过凝结水除盐器回到给水系统。在正常运行工况下，二回路系统内液态放射介经 APG 系统除盐器处理后，返回二回路系统中复用。因此，二回路系统质放射性源项计算是考虑衰变、排污、泄漏和抽真空的综合结果。

#### 4.6.1.4 H-3 和 C-14 的放射性活度

##### （1）氚源项

氚主要是由反应堆运行时燃料的裂变反应及硼、锂、氘和二次源中铍的中子活化反应产生。

燃料元件、二次源中产生的氚有一部分会扩散到主回路中，主回路中还会因为硼、锂和氘的中子活化反应产生氚，由于氚易溶于水，而且不能被三废系统有效去除，因此氚会在回路中滞留，运行时一般将冷却剂中的氚浓度控制在一定范围内。由于氚的半衰期比较长，同时核电厂产生的氚会定期排放，因此可以假设年初和年末一回路中氚浓度保持不变。

一回路主冷却剂中的氚产生途径主要有：

- 燃料中三元裂变产生的氚通过包壳扩散到一回路冷却剂中；
- 反应性控制中在一回路主冷却剂中加入硼酸，硼活化产生；

- 在一回路水中为调节pH值加入LiOH，锂活化产生；
- 由冷却剂中天然存在的氡反应产生；
- 二次源中的铍活化产生的氡。

#### （5）C-14源项

在压水堆冷却剂中，C-14 主要是由中子与冷却剂中的 O-17 和 N-14 分别发生核反应(n,  $\alpha$ )和 (n, p) 产生。

在正常运行条件下，假设冷却剂中 N-14 含量为 5ppm，机组的负荷因子为大亚湾核电站 1、2 号机组自 2003 年实施 18 个月换料以来至 2013 年的负荷因子的平均值(0.9) 时反应堆冷却剂中 C-14 的产生量。在最不利情况下，机组的负荷因子为最大值 (1.0)。

### 4.6.2 放射性废液管理系统及排放源项

放射性废液系统指具有控制、收集、处理、输送、贮存及排放放射性废液能力的系统，主要包括：

- 冷却剂贮存和处理系统 (TEP)；
- 废液处理系统 (TEU)；
- 核岛废液排放系统 (TER)；
- 放射性废水回收系统 (SRE)；
- 核岛排气和疏水系统 (RPE)。

除此之外，其它已被污染或可能被污染的液体也由下列系统处理或收集：

- 化学和容积控制系统 (RCV)，见4.2节；
- 反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统 (PTR)，见4.2节；
- 蒸汽发生器排污系统 (APG)，见4.2节；
- 常规岛废液排放系统 (SEL)。

#### 4.6.2.1 冷却剂贮存和处理系统 (TEP)

冷却剂贮存和处理系统 (TEP) 接收和贮存电厂正常运行中可复用一回路冷却剂，通过蒸发工艺，制取反应堆补给水和 7000mg/kg 的硼酸溶液返回一回路复用。通过除气工艺，降低一回路冷却剂中放射性水平。

TEP 根据不同的运行功能，TEP 系统被分成冷却剂贮存和供给，净化，处理和除

气系统 4 个子系统：

- 冷却剂贮存和供给子系统（TEP1）；
- 冷却剂净化子系统（TEP2）；
- 冷却剂处理子系统（TEP3、5、6）；
- 冷却剂除气子系统（TEP4）。

（1）系统功能

TEP 不执行安全功能，它作为一个输送含有放射性物质的系统，必须包容系统运行中含有或释放的放射性物质。各子系统的运行功能为：

1) 冷却剂贮存和供给子系统（TEP1）执行以下的运行功能：

- 接收和贮存电厂正常运行中由于燃耗、负荷变化（包括负荷跟踪）和启动与停机瞬态从反应堆冷却剂系统（RCP）排放的冷却剂；
- 接收和贮存由核岛排气和疏水系统（RPE）收集的反应堆冷却剂（可复用的一回路疏水）；
- 接收和贮存由核岛排气和疏水系统（RPE）收集的反应堆冷却剂（安全阀排放的可复用一回路冷却剂）；
- 贮存和供给除气后的蒸馏液到反应堆硼和水补给系统（REA），用于反应堆冷却剂的补给和更换。

2) 冷却剂净化子系统（TEP2）执行如下功能：

- 去除固体和离子杂质，降低待处理的一回路冷却剂的放射性水平。

3) 冷却剂处理子系统（TEP3、5、6）执行以下功能：

- 将电厂正常运行中暂存在 TEP1 系统中的反应堆冷却剂分离成 7000mg/kg 的硼酸溶液和补给水，供反应堆冷却剂系统中复用；
- 对经过处理单元分离得到的蒸馏液在重新注入到反应堆冷却剂系统或者从电厂排放（在氚浓度高的时候）前进行除气操作，对补偿排放用的核岛除盐水分配系统（SED）除盐补给水进行除气操作。

4) 冷却剂除气子系统（TEP4）执行以下功能：

- 在反应堆冷却剂系统（RCP）压力容器顶盖因换料或者维修打开之前，去除反应堆冷却剂中的放射性气体和氢气；



- 当反应堆冷却剂系统（RCP）压力容器顶盖闭合之后，去除 RCP 系统中溶入冷却剂中的氧气；
- 在机组功率运行时，如果反应堆冷却剂接近设计的放射性限值，或者基于冷却剂化学性质的要求，可以通过冷却剂除气子系统（TEP4）除气，减少惰性气体和其它气体的浓度。

## （2）系统描述

### 1) 冷却剂贮存和供给子系统（TEP1）

TEP1主要包括：6个冷却剂贮存箱、1个硼化水管线和1个除盐水管线。

在机组正常运行的工况下，始终保持一个贮存箱可以贮存和供给一回路冷却剂（通过硼水管线），同时另一个贮存箱始终可以贮存和供给除盐水（通过除盐水管线）。

### 2) 冷却剂净化子系统（TEP2）

TEP2主要包括：2台硼酸蒸馏塔补给泵（2×100%）、1台混床除盐器和1台滤筒式过滤器（树脂捕集器）。

混床除盐器和下游的树脂捕集器设置在冷却剂贮存和供给子系统（TEP1）和冷却剂处理子系统（TEP3、5、6）之间。

### 3) 冷却剂处理子系统（TEP3、5、6）

TEP3、5、6系统是由1套蒸发单元和1套冷凝液除气单元组成，用来将反应堆冷却剂分离为补给水和硼酸溶液。基于提高系统可用性，TEP3、5、6系统的重要能动设备均设置冗余。

### 4) 冷却剂除气系统（高流量除气、TEP4）

TEP4 主要由以下设备组成：1 台除气塔、1 台除气塔电加热器、1 台除气输送泵、1 台除气循环泵、1 台除气冷凝器和 1 台除气气体冷却器。

1 台除气塔真空泵带有 1 台密封液罐、1 台密封液过滤器和 1 台密封液冷却器使冷却剂在 50° C 达到沸点的低压由除气真空泵实现，同时除气塔真空泵也用来将析出的气体抽出除气塔。除气塔用废气处理系统 TEG 提供的氮气吹扫。产生的气体混合物再次返回 TEG 系统。

## （3）系统运行

### 1) 冷却剂贮存和供给子系统（TEP1）

一回路冷却剂通过以下来源进入硼水管线：

— 化学和容积控制系统（RCV），通过容控箱上游的三通阀。一个设置在三通阀下游的逆止阀防止倒流回 RCV 系统；

— 核岛排气和疏水系统（RPE）（可复用的一回路疏水）。

另外，以下系统介质也流入 TEP1 系统：

— 除盐水分配系统（SED）的除盐水，用于补给除盐水以及设备冲洗/疏排水排放；

— 废气处理系统（TEG）的吹扫气体，用于吹扫冷却剂贮存箱并保持负压。

一回路冷却剂通过硼水管线输送到冷却剂处理子系统以分离为硼酸溶液和除盐水。

冷却剂贮存箱中的除盐水通过除水管线输送到反应堆硼和水补给系统 REA。

## 2) 冷却剂净化子系统（TEP2）

TEP2 将冷却剂从 TEP1 输送到 TEP3，并对冷却剂进行除盐过滤操作。混床除盐器充满阴阳树脂，用来清除未被 RCV 系统阳床除盐器去除的锂、铯和其他离子，同时也去除去往冷却剂处理系统的离子和胶体悬浮物。

一个筒式过滤器用来去除来自除盐床的树脂颗粒或通过除盐床的杂质。

除盐床和过滤器的设置，可以有效防止可溶和不溶杂质在冷却剂处理子系统中聚集，避免通过 REA 系统再次进入反应堆冷却剂系统。

硼水通过硼水管线由硼酸蒸馏塔补给泵由冷却剂贮存箱输送到冷却剂净化子系统，净化后，冷却剂被输送到 TEP3 的硼酸蒸馏塔中。废树脂通过冲刷管道输送到固体废物处理系统 TES。

## 3) 冷却剂处理子系统（TEP3、5、6）

TEP3、5、6 有 4 种工作模式：

— 不需要除气操作的蒸馏分离，处理后复用。冷却剂通过一个硼酸蒸馏塔补给泵输送，经过两级再生式热交换后（分别回收硼酸蒸馏塔生产的浓硼酸以及蒸馏液的热量），进入硼酸蒸馏塔。通过加热沸腾，蒸发上升的蒸汽通过两台蒸汽压缩机抽出并加压送入硼酸蒸馏塔热交换器壳侧，加热塔釜料液并冷却冷凝。冷凝液收集罐和冷凝液罐收集冷凝液并完成汽水分离，通过冷凝液输送泵把冷却的冷凝液输送到 TEP1 冷却剂贮存箱贮存。塔釜的硼酸溶液被浓缩，并通过硼酸输送泵输送到 REA 系统。

- 需要除气操作的蒸馏分离，处理后复用。在这种操作下，其他操作同上操作，但冷凝液在进入再生式预热器前，通过旁路进入 TEP6，除气后通过再生式预热器及后续冷却器冷却输送到 TEP1 冷却剂贮存箱复用。
- 需要除气操作的蒸馏分离，处理后排放冷凝液。当冷凝液水质不满足复用要求时，如一回路氘含量超标需要排气，处理后的冷凝液通过与上第 2 条相同的操作后，不输送到 TEP1 而直接输送到 TER 系统排放。
- 补给水除气。当冷凝液被部分排放后，需要补充除盐水。补给水由 SED 系统提供，通过补给水预热器加热进入 TEP6，除气后冷却输送到 TEP1 冷却剂贮存箱贮存备用。

#### 4) 冷却剂除气子系统 (TEP4)

##### a、在电站正常运行和停堆前降低放射性气体或氢气含量

冷却剂通过下泄管线从 RCV 输送到冷却剂除气子系统 TEP4。除气后的冷却剂送回 RCV 系统。一回路冷却剂中脱除的气体送到 TEG 或 DWN 系统。

反应堆冷却剂从 RCV 系统输送到除气塔顶，逆流经过上升的蒸汽后脱溶解在其中的不凝气体。为了使料液沸腾，除气塔运行压力保持在一定条件下，大部分冷却剂里溶解的气体会析出。

除气后的冷却剂由除气输送泵送回 RCV 系统。泵下游有一条最小流量管线回到除气塔。

除气塔循环泵将除气塔塔釜的反应堆冷却剂送到除气塔电加热器，以获得蒸发所需要的热量，再回到除气塔。

除气塔内上升的蒸汽基本全都被冷凝器冷凝，回流到除气塔的顶部塔盘。冷凝液被保持在沸点温度以防止析出的气体再次溶解。冷凝器下游的气体冷却器冷却和干燥析出的气体。

冷却剂沸腾所需的真空度由除气塔真空泵保证，真空泵同时抽出除气塔内析出的气体。析出的气体与 TEG 系统注入的氮气混合，混合气体再送回 TEG 系统。

##### b、换料后反应堆冷却剂除气

除吹扫气源和气体排放下游，其他除气运行与上述一致。

在排放气体放射性足够低或者当 TEG 系统氧含量需要降低时，气体可送到 DWN 系统。

如果 TEG 不可用或氧含量超过一定限值，则通过氮气分配系统注入氮气

#### 4.6.2.2 废液处理系统（TEU）

##### （1）系统功能

放射性废液根据放射性浓度和化学组份由 RPE 系统和 SRE 系统分类收集，然后送至 TEU 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。

- 工艺废液为化学杂质含量低的放射性废液，主要由除盐工艺处理；
- 化学废液的化学杂质含量及放射性浓度均较高，主要由蒸发工艺处理；
- 地面废液和洗涤废液的放射性浓度较低，含悬浮固体和纤维物质等，可采用过滤工艺进行处理，若放射性活度较高时，也可由蒸发工艺进行处理。

##### （2）系统描述

TEU 系统布置在废物处理厂房（BWV）内，为双堆共用。该系统可以划分为废液贮存子系统、废液处理子系统、化学加药子系统、取样分析子系统以及监测排放子系统，分别执行放射性废液收集及贮存、废液处理、化学试剂加注和系统集中取样监测等功能。

##### （3）系统运行

TEU 每类废液的贮存槽，应保持有一个处于可接受废液的状态。当贮存槽被装满后，要对槽内废液进行混匀搅拌和取样分析，根据需要通过化学加药子系统调节废液 PH 值、钠硼比，而后根据废液类型以及放射性浓度情况进行处理。

工艺废液通常通过工艺废液泵送往除盐单元处理，如有需要，可通过除盐单元循环处理。当工艺废液受到化学污染时可排往蒸发单元进行处理。放射性浓度低于排放限值的工艺废液通过过滤单元处理后送往 TER 系统。

化学废液通常由蒸发单元处理。废液通过蒸发器进料泵输送，经过再生式预热器与冷凝液出料进行热交换后，进入蒸发器塔釜循环回路再循环泵上游，与塔釜循环料液混和后经电加热器进入蒸发器热交换器管侧冷却壳侧的蒸汽，同时自身被加热后进入蒸发器。部分料液蒸发，上升的蒸汽与下行的冷凝回流液进行传质交换。塔顶蒸汽被蒸汽压缩机抽出并加压送入蒸发器热交换器壳侧，用来加热塔釜料液并被冷却形成冷凝液。冷凝液罐收集冷凝液并完成汽水分离，不凝气体通过放射性废物厂房控制区通风系统排放，冷凝液泵把冷凝液输送到再生式预热器冷却后，送往监测槽。塔釜的

浓硼酸溶液达到设计浓度后排往浓缩液罐，而后由固体废物处理系统处理。当冷凝液放射性浓度仍高于排放限值时，可送往除盐单元进行精处理后，再送往监测槽。

放射性浓度低于排放限值的化学废液通过过滤单元处理后送往 TER 系统。

地面废液及洗涤废液通常由过滤单元处理后送往 TER 系统，如放射性浓度高于排放限值，送往蒸发单元进行处理后送往监测槽。

监测槽内废液在排放前必须经过混匀搅拌和取样分析，若放射性浓度不超过排放限值，才能送往 TER 系统。如取样监测不合格，则可送往除盐单元进行精处理，或送回化学废液贮存槽再处理。两个监测槽中一个用于接收废液时，另一个用于废液的取样分析或再处理或排送至 TER 系统。

#### 4.6.2.3 核岛废液排放系统（TER）

##### （1）系统功能

TER 的运行功能如下：

- 收集来自核岛不需要处理或经处理后满足排放要求的废液，进行暂存、混匀、取样分析，并有控制地向环境排放；
- 当因环境稀释能力不足或其他原因而要求延迟排放时，可暂存废液；
- 将放射性浓度超过排放限值的废液输送至废液处理系统（TEU）处理。

##### （2）系统描述

TER系统配置三台容积相同的废液贮存罐，每台废液贮存罐配备一台废液排放泵，用于罐内废液的混匀和输送。废液排放泵出口设置取样设施，用于废液排放前的取样分析。三台废液贮存罐共用一根向环境的排放总管，排放总管上设有KRT系统的在线监测设备，监测排放废液的放射性水平。地坑内设有地坑泵，用于将地坑内收集的废液送回废液贮存罐。

##### （3）系统运行

正常运行时，三台废液贮存罐中的一台处于接收状态，当接收废液至高液位时，通过进水隔离阀切换至另一台贮存罐接收废液，一台备用。达到高液位的废液贮存罐内的废液，经混匀后进行取样分析，取样分析合格后向环境排放。排放时，可通过调节阀调节废液的排放流量，排放管上设有KRT系统在线监测仪表，对排放废液的放射性水平进行监测，发出报警信号或联锁关闭排放隔离阀。

经取样分析，贮存罐废液放射性浓度超过排放限值，将送回TEU系统重新进行处理。

#### 4.6.2.4 放射性废水回收系统（SRE）

##### （1）系统功能

放射性废水回收系统（SRE）由放射性废物处理厂房（BWX）废液收集子系统和热机修车间与仓库（BBH）废液收集子系统组成，分类收集BWX厂房和BBH厂房产生的放射性废液，将废液送至废液处理系统（TEU）进行处理。

##### （2）系统描述

SRE系统收集来自BWX厂房各系统的设备、管线疏排水、溢流水以及地面冲洗水，这些废液收集于SRE系统地坑内，再通过地坑泵把废液从地坑输送到TEU进行处理。

SRE系统收集BBH使用或运行过程、地面排污产生的放射性废液，经SRE管线输送至TEU系统进行处理。

##### （3）系统运行

###### 1) BWX厂房SRE系统

SRE系统废液地坑设置有液位测量装置，地坑液位与地坑泵的启动和停止联锁。

###### 2) BBH厂房SRE系统

SRE系统机械去污水疏水箱（8SRE2201BA-）设置高高、高、低、低低液位信号。

#### 4.6.2.5 常规岛废液排放系统（SEL）

##### （1）系统功能

SEL系统的功能为：

- 将常规岛废液收集系统（SEK）和蒸汽发生器排污系统（APG）排放的潜在放射性废液收集、混匀、取样分析、监测后有控制地排放；
- 当环境稀释能力不足或其它原因而要求延迟排放，可暂存废液；
- 将超过允许排放限值的废液输送至废液处理系统（TEU）处理。

##### （2）系统描述

SEL系统排放的废液来源包括：

- 常规岛废液收集系统（SEK）的潜在放射性废液；

- 蒸汽发生器排污系统（APG）的潜在放射性排污液；
- 其它废液：如 SEL 泵房间、贮罐滞留间地坑内的废液等。

该系统配置三台容积相同的废液贮存罐，每台废液贮存罐配备一台废液排放泵，用于罐内废液的混匀和输送。废液排放泵出口设置取样点，用于废液排放前的取样分析。三台废液排放泵共用一根排放总管，排放总管上设有 KRT 系统的在线监测设备，监测排放废液的放射性水平。地坑设置有地坑泵，用于将地坑内废液送回贮存罐内。

### （3）系统运行

正常运行时，SEL 废液贮存罐接收来自上游排放的废液。三台废液贮存罐中一台处于接收状态，当接收废液至高液位时，通过进水隔离阀切换至另一台贮存罐接收废液。达到高液位的废液贮存罐内的废液，经混匀后进行取样分析，取样分析合格后向环境排放。排放时，可通过调节阀调节废液的排放流量，排放管上设有 KRT 系统在线监测仪表，对排放废液的放射性水平进行监测。

经取样分析，贮存罐废液放射性浓度超过排放限值，将送回 TEU 系统重新进行处理。

#### 4.6.2.6 放射性废液的排放源项

运行状态下核电厂液态放射性流出物释放量是基于合理的计算模型及假设计算得出。计算基于以下两种运行工况：

- a) 对于包括预期运行事件在内的运行状态，计算了电厂寿期内的平均释放值（以下称为“预期工况”）；
- b) 对于一回路冷却剂最大活度下的运行工况，计算了其释放水平（以下称为“设计工况”）。

根据核电厂的工艺系统设计，液态放射性流出物释放途径主要有三种，分别是通过冷却剂贮存和处理系统（TEP）的排气释放、通过废液处理系统（TEU）的释放以及通过二回路系统的释放。

##### a) 通过冷却剂贮存和处理系统的释放

来自一回路冷却剂系统的反应堆冷却剂经过 TEP 系统处理后，被分离成浓硼酸溶液（浓缩液）和除盐水（蒸馏液）。一般情况下蒸馏液复用。为了降低一回路冷却剂系统中反应堆冷却剂的氚浓度，使之不超过化学技术规范中的限值，蒸馏液必要时不复用，

通过核岛废液排放系统（TER）排往环境。

排放的蒸馏液在排往TER系统之前已经过化学和容积控制系统（RCV）和TEP系统离子交换、过滤、蒸发分离和除气处理。

#### b) 通过废液处理系统的释放

根据废液的物理化学特性和放射性水平，废液处理系统处理的废液可分为以下四类：

- 工艺废液：主要来自各系统的废树脂冲洗水、不再复用的主冷却剂泄漏和排水等；一般而言，这些废水中化学杂质较少；
- 地面废液：主要来自不回收的设备泄漏水、核岛厂房地面冲洗水、设备冷却水系统的排水等；这些废水一般是带有各种杂质的低放废水，放射性水平极低；
- 化学废液：主要来自放射性机修和去污车间、放射性试验室、取样系统的取样间等的废液，通常情况下这些废水中化学杂质含量较高；
- 洗涤废液：主要来自热洗衣房产生的洗涤废液，这些废液一般放射性水平较低，可直接经过滤处理后排放。

根据放射性活度水平，可以选择相应的处理工艺对排往TEU系统的各类废液进行处理，包括除盐、蒸发、过滤，废液在TEU系统中的暂存处理后的废液排往TER系统。

#### c) 通过二回路系统的释放

由于蒸汽发生器传热管处一回路冷却剂向二回路系统的泄漏，二回路系统中流体也具有放射性。经二回路系统释放到环境中的放射性废液主要包括不回收的蒸汽发生器排污和二回路系统泄漏。

在正常运行工况下（除启动和停堆外），蒸汽发生器排污废液在经蒸汽发生器排污系统（APG）除盐器处理后，返回二回路系统中复用。但当处理设施失效、冷凝器不能使用、或者二回路水质超标时，蒸汽发生器排污水不再复用，而直接通过常规岛废液排放系统（SEL）向环境释放。

在液态放射性流出物源项计算时，保守地假设循环寿期末蒸汽发生器内水相中所有放射性核素均在APG系统除盐器处理后通过废液排放系统向环境排放。

#### d) 液态放射性流出物释放模式

在放射性废液排放之前，均需在TER或SEL系统排放槽中贮存并监测放射性浓度，监测达标后放射性废液方可向环境排放。在液态放射性流出物源项计算时，对于预期



工况，考虑了放射性废液在TER系统5天的衰变时间；对于设计工况，则保守考虑了放射性废液在TER系统中1天的最小混合循环时间。

e) 液态放射性流出物年释放总量

根据源项计算结果，本项目液态流出物排放浓度满足低于1000Bq/L的要求。

#### 4.6.3 放射性废气管理系统及排放源项

放射性废气系统收集、贮存反应堆运行状态下时产生的放射性废气，处理后经监测符合国家标准的相关要求后排入大气。处理的废气包括含空气废气和含氢废气：

- 对放射性含氢废气进行控制、收集、运输、贮存、衰变和监测，直至达到允许向环境排放的水平时进行可控排放；
- 对放射性含空气废气进行控制、收集、运输和处理，直至达到允许向环境排放的水平时进行可控排放。

放射性废气系统主要包括废气处理系统（TEG）、空调、加热、冷却及通风系统（HVAC）和冷凝器真空系统（CVI）。

##### 4.6.3.1 废气处理系统（TEG）

###### （1）系统功能

反应堆堆芯裂变反应时会产生氦和氩等放射性裂变气体，部分放射性裂变气体会释放到反应堆冷却剂中，并随着工艺流体的交换进入电厂各一回路相关系统，该放射性气体需通过滞留衰变降低放射性。同时，为控制一回路冷却剂氧浓度，通过化学和容积控制系统（RCV）向反应堆冷却剂加氢。由于氢气的易爆性，需对相连系统的设备进行氮气吹扫来控制设备中的氢气浓度。

TEG系统主要执行如下运行功能：

- a) 吹扫上游系统设备，限制  $H_2/O_2$  浓度低于可燃气体浓度下限，避免氢爆风险；
- b) 通过氢氧复合去除吹扫气体中的氢气和氧气，实现吹扫气体的复用；
- c) 通过注入或抽出气体来平衡与系统相连的容器内压力变化；
- d) 通过维持负压将放射性物质包容在本系统中，防止放射性气体释放到设备所在厂房；
- e) 处理与本系统相连系统在电厂启动和停堆期间所产生的大流量气体以及冷却

剂除气产生的废气；

- f) 滞留放射性惰性气体，使其放射性活度在释放到大气前降到环境可接受水平。

## （2）系统描述

根据 TEG 的运行功能，该系统可划分为 6 个子功能单元，分别是氢氧复合单元、废气压缩单元、气体分配单元、安全壳隔离单元、活性炭滞留衰变单元和热交换器冷冻水供应单元。

氢氧复合单元的主要功能是降低循环吹扫气体中的氢气和氧气浓度，为吹扫单元提供满足要求的载气。氢氧复合单元主要包括气体干燥器、氢气/氧气浓度测量及调节设施和氢氧复合器等。

废气压缩单元的主要功能是通过压缩气体维持本系统内气体循环的动力，以及气体流过活性炭滞留床的动力。废气压缩单元主要包括两台并联的液环式压缩机以及压缩机密封液供应回路、压缩机出口压力和流量的调节回路等设施。

气体分配单元的主要功能是通过吹扫带出各容器气空间中的氢气、氧气和放射性气体等，维持设备运行的压力和氢氧浓度限值要求，限制放射性气体向设备所在的厂房环境释放。气体分配单元主要包括核辅助厂房的吹扫管线、反应堆厂房的吹扫管线、安全厂房吹扫管线、燃料厂房吹扫管线及相关的压力、流量控制阀门。

安全壳隔离单元主要包括在反应堆厂房吹扫管线上设置的四个安全壳隔离阀，为反应堆厂房的吹扫管线提供安全壳隔离功能。

活性炭滞留衰变单元的主要功能是在放射性废气排放前对其进行处理，使废气中的放射性物质得到充分的衰变。衰变单元主要包括为硅胶干燥床、硅胶再生加热器、3 台串联的活性炭滞留床、管线过滤器、排放管线的放射性活度连续监测设备等。

热交换器冷冻水供应单元的主要功能是为 TEG 各热交换器提供冷冻水。热交换器冷冻水供应单元主要包括为 TEG 各热交换器供应冷冻水的管线和阀门。

## （3）系统运行

在电厂正常运行工况下，如功率运行、瞬态运行和停堆状态（包括换料停运），TEG 系统均需运行。TEG 的运行模式包括稳态运行模式和波动运行模式。

稳态运行时，TEG 系统及相连的系统通过 TEG 系统的废气压缩机维持循环吹扫气体循环，此时系统基本处于闭式循环，无多余需要向环境排放。同时，通过废气压缩机入口抽吸维持上游系统相连容器处于微负压，防止回路中的放射性气体向环境释放。

与 TEG 系统相连的系统设备中释放出的氢气和放射性气体通过循环吹扫被带入 TEG 系统，进入 TEG 系统后先通过气体干燥器进行降温冷凝，降低吹扫气体中的湿度。

除湿后的吹扫气体通过复合器上游的  $H_2/O_2$  测量回路进行氢气浓度和氧气浓度的测量，并根据测量结果将氢氧浓度调节至合适的化学计量比（氢浓度稍过量）。

波动运行时，当大量气体进入 TEG 系统，TEG 系统切换至波动运行模式。

上述情况下，大量气体进入 TEG 系统，当系统内部压力过高时，TEG 系统进入波动运行模式。此时 TEG 系统一方面可维持对上游系统的循环吹扫，另一方面打开通向衰变单元的隔离阀，将多余的气体排入滞留衰变单元。TEG 系统滞留衰变单元一共配有 3 个串联的滞留床，通过动态吸附滞留放射性气体。废气经处理合格后通过 DWN 系统的烟囱排入环境。在稳态运行模式和波动运行模式下，TEG 系统由功能模块自动控制。自动控制和联锁确保了 TEG 系统运行的安全性和可靠性。当 TEG 系统停运命令触发时，废气压缩机自动停运，相关阀门自动关闭。TEG 系统的运行和监测信号通过电站过程信息控制系统在主控室进行显示和报警，并可根据测量值和报警信号在主控室进行处理。

#### 4.6.3.2 空调、加热、冷却及通风系统

##### （1）系统功能

本系统主要用于在运行状态和事故工况下，维持人员和设备可接受的环境条件（温度、压力、湿度、放射性和清洁度），监测和限制放射性物质排放；同时保护人员和设备不受建筑物内部（缺氧、爆炸、火灾）和外部特殊危害影响。

##### （2）系统描述

防城港核电厂 3、4 号机组的空调、加热、冷却及通风系统涉及多个子系统。其中，用于限制放射性排放的系统包括：燃料厂房通风系统（DWK）、安全厂房控制区通风系统（DWL）、核辅助厂房通风系统（DWN）、放射性废物处理厂房通风系统（DWQ）、进出厂房控制区通风系统（DWW）、安全壳环廊通风系统（EDE）、安全壳换气通风系统（EBA）。

在这些系统的风系统设计中使用了若干种过滤器。通风系统中使用的过滤器分为低效过滤器、中效过滤器、高效过滤器、高效空气粒子过滤器（HEPA）和碘吸附器，根据不同需要，对空气中的灰尘或气溶胶进行过滤。

#### 4.6.3.3 冷凝器真空系统

冷凝器真空系统（CVI）的主要功能是保持冷凝器的真空度在正常运行所要求的水平。同时，把抽出的气体输送至 DWN 系统或在启动时抽出气体直接排入大气。该系统本身不具备放射性废气的贮存、处理功能。

当蒸汽发生器传热管破损时，一回路冷却剂从蒸汽发生器一次侧向二次侧泄漏，从而造成 CVI 系统抽出的气体带有放射性。系统为此设置了放射性气体监测系统。

#### 4.6.3.4 放射性废气的排放源项

运行状态下核电厂气态放射性流出物释放量计算基于以下两种运行工况：

- 对于包括预期运行事件在内的运行状态，计算了电厂寿期内的平均释放值（以下称为“预期工况”）；
- 对于一回路冷却剂最大活度下的运行工况，计算了其释放水平（以下称为“设计工况”）。

根据核电厂的工艺系统设计，气态放射性流出物释放途径主要有三种，分别是通过废气处理系统的释放、通过厂房通风系统的释放以及通过二回路系统的释放。核电厂气态放射性流出物年总释放量为以上三种途径的释放量之和。

##### a) 通过废气处理系统（TEG）的释放

TEG系统处理的废气主要来自于核岛排气和疏水系统（RPE）的反应堆冷却剂疏水箱、化学和容积控制系统（RCV）的容控箱、冷却剂贮存和处理系统（TEP）的贮罐及除气单元、反应堆硼和水补给系统（REA）的贮罐、RPE系统的冷却剂废液收集箱（除反应堆冷却剂疏水箱外）产生的气体等。这些废气进入TEG系统循环管线，必要时通过滞留床滞留衰变后通过烟囱排放。

在计算中考虑每年2次冷停堆和1次换料停堆，每次停堆TEP系统对反应堆冷却剂完全脱气。

机组功率运行期间进入TEG系统的废气在循环管线内实现循环吹扫，基本没有废气排入滞留床而排放环境。在计算中不考虑废气泄漏进入厂房后通过厂房通风系统向环境释放。机组停堆期间反应堆冷却剂系统脱气产生气量较大，计算中考虑废气全部进入滞留床衰变后排放环境。废气处理合格后，在放射性在线监测装置的监视下控制

排放。

b) 通过厂房通风系统的释放

反应堆厂房大气中放射性核素主要来自于厂房中放射性冷却剂的泄漏以及堆坑周围的空气活化。核辅助厂房、燃料厂房和安全厂房大气中放射性核素主要来自于厂房中放射性冷却剂的泄漏。汽轮机厂房大气中放射性核素主要来自于在反应堆冷却剂系统向二回路系统泄漏的情况下汽轮机冷凝器的抽气。

在核岛厂房中存在放射性冷却剂的泄漏时，泄漏的冷却剂中所含的全部惰性气体和部分碘都会释放到厂房大气中。

厂房大气中放射性核素通过厂房通风系统释放到环境中。

燃料厂房、安全厂房、废物处理厂房的开放水面蒸发率根据饱和水汽压差、相对湿度、水面风速为因子的水面蒸发率公式计算得出，泄漏率考虑厂房内主要放射性设备和管道的泄漏。

c) 通过二回路系统的释放

由于蒸汽发生器传热管处一回路冷却剂向二回路系统的泄漏，二回路系统中流体也具有放射性。经二回路系统释放到环境中的放射性废气主要通过凝汽器真空系统释放。

在凝汽器真空系统中，抽出的气体通过DWN系统经辐射监测后排放。

d) 其它放射性核素的气态释放

运行状态下向环境释放气溶胶核素的途径主要有以下两种：

- 通过二回路系统向环境释放；
- 通过厂房通风系统向环境释放；

二回路系统中的放射性气溶胶核素来源于蒸汽发生器中一次侧向二次侧的泄漏，泄漏进入二次侧的放射性气体通过凝汽器真空系统排向DWN系统，经辐射监测后排放。

通过各厂房通风系统向环境释放气溶胶的产生、排放与气态碘排放模型一致，计算时考虑各厂房放射性设备泄漏及开放水面的蒸发所形成的气态放射性核素，保守考虑这部分核素不经过衰变直接通过厂房通风系统排放到环境中。

#### 4.6.4 放射性固体废物管理系统及废物量

固体放射性废物管理系统是为核电厂运行和维修时所产生的废树脂、浓缩液、废过滤器芯、放射性干废物等废物在处置之前进行收集、处理、整备和临时暂存而设计的。放射性固体废物最终按照国家区域处置政策送国家区域处置场永久处置。

TES 系统处理以下几种废物：

- 干废物（废纸、抹布、塑料、金属等）
- 废离子交换树脂（简称“废树脂”）
- 废过滤器芯（简称“废滤芯”）
- 浓缩液

按废物性质对其进行处理。

#### 4.6.4.1 系统功能

核电厂产生的放射性固体废物的处理及管理主要由固体废物处理系统(TES)实现，TES 系统按不同的功能主要分为三大部分：

- 一部分为干废物分拣压缩打包线，位于废物辅助厂房（QS），全厂六台机组共用，一期工程已建成。
- 另一部分为湿废物处理部分，包括湿废物的收集、暂存、转运、处理等过程，位于核辅助厂房（BNX）和放射性废物处理厂房（BWV）内，其中 BNX 厂房部分为单机组布置，BWV 厂房部分为两台机组共用。
- 最后一部分为废物货包暂存，位于废物暂存库（QT），全厂六台机组共用，一期工程已建成。

#### 4.6.4.2 系统描述

TES分为干废物处理子系统、废树脂收集及暂存子系统、废过滤器芯置换子系统、湿废物转运及处理子系统、废物货包暂存子系统。

##### （1）干废物处理子系统

防城港核电厂一期工程的QS厂房按照处理六台机组检修产生的干废物设计，本项目产生的干废物送至QS厂房处理，相关内容基于共用一期工程QS厂房分拣压缩打包线进行描述。

干废物处理子系统设置有分拣箱、桶传输系统、初级压缩机、超级压缩机、起吊

装置及灌浆固定装置等设备，核电厂内产生的被放射性污染的干废物(如布、纸、塑料及废弃的设备零部件等)，采用分拣、压缩、打包的处理工艺。干废物在产生地将按照其性质和受污染的程度收集在不同颜色的塑料袋内，然后送到QS厂房进行分拣、装桶、预压、超压，最后用水泥浆固定在400L钢桶中。

#### （2）废树脂的收集和暂存子系统

在BNX厂房内设有两个废树脂贮槽，用来接收、贮存、衰变来自RCV、TEP、PTR系统的放射性废树脂。

同时，厂房内设有APG废树脂分离罐用于接收APG系统除盐器产生的废树脂。在正常情况下APG废树脂通过SED水力冲排至APG树脂分离罐内，再利用抽吸装置将树脂装入合适的容器中（如400L钢桶）。在特殊情况下（如蒸汽发生器传热管破裂时），APG废树脂的放射性水平较高时，可以将APG树脂冲排至废树脂贮槽中，作为放射性废树脂处理。

#### （3）废过滤器芯更换子系统

在BNX厂房的过滤器隔间设置了可进行远程操控的过滤器芯更换装置，该套装置服务的系统主要为RCV、PTR、TEP、RPE。当这些系统过滤器芯失效时，废滤芯更换装置通过轨道移动至需更换滤芯的过滤器上方，将过滤器中的废滤芯取出并同时为过滤器装载新过滤器芯。更换下的废滤芯装入400L钢桶（带屏蔽容器）后运至BWX厂房处理。

#### （4）湿废物转运及处理子系统

在BWX厂房内设置有废树脂暂存槽、屏蔽容器、废树脂转运容器、厂内电动车、废树脂转运泵、起吊装置、桶传输辊道、干/湿料接收站位、废物固化计量设备、桶内搅拌器、移动灌浆装置等设备实现湿废物的转运、接收及处理。

3号机组BNX厂房废树脂贮槽中的放射性废树脂通过TES废树脂输送泵输送至BWX厂房的废树脂暂存槽；BWX厂房内TEU系统除盐器产生的放射性废树脂通过TES废树脂转运泵冲排至废树脂暂存槽。4号机组BNX厂房废树脂贮槽内的废树脂先输送至废树脂转运容器中，再将废树脂转运容器运至BWX厂房。BWX厂房设有可与废树脂转运容器连接的接口，用于接收4号机组BNX厂房转运来的废树脂。当暂存槽中的废树脂达一定量时，将其排入400L钢桶中进行水泥固化。

BNX厂房内表面剂量率超过2mSv/h的废滤芯在装入400L钢桶后通过废滤芯屏蔽

容器运至 BWX 厂房水泥固化线进行水泥灌浆固定处理。BWX 厂房内也设有一台废滤芯更换装置，用于更换 TEU 系统产生的放射性废滤芯，其中表面剂量率超过 2mSv/h 废滤芯在装入 400L 钢桶（带屏蔽容器）后，也通过厂内电动车运至水泥固化线进行灌浆固定。

#### （5）废物货包暂存子系统

防城港核电厂一期工程的 QT 库按照六台运行 5 年产生的所有中、低放废物的容量设计。

本工程形成的各类中低放废物货包都将送入 QT 库中暂存。

QT 厂房废物的管理采用计算机管理，建立废物容器存放档案和废物登记卡片，记载每个废物容器的种类、规格、产生地点、产生日期、主要放射性核素、比放射性活度、存放日期和码放位置(包括水平坐标、高度)、取出时间等信息。

#### 4.6.4.3 设备描述

TES 系统的设备分布在以下四个厂房：BNX、BWX、QS 和 QT。

##### （1）废树脂贮槽

废树脂贮槽位于 BNX 厂房，主要用于接收 RCV、TEP、PTR 系统除盐器产生的失效的放射性树脂以及在蒸汽发生器换热管线破裂时 APG 系统产生的放射性废树脂。废树脂贮槽设有树脂入口、循环水出口，树脂排放口、排气管线、液位测量仪表管口，并连接有氮气疏松管线。废树脂贮槽的底部循环水出口设置有滤网，可将排入废树脂贮槽中的冲排水从底部排水管线排出，而废树脂则截留在废树脂贮槽中。

##### （2）废树脂冲排泵

废树脂冲排泵为离心泵，位于 BNX 厂房，主要为 RCV/PTR/TEP 系统废树脂冲排至废树脂贮槽以及废树脂在废树脂贮槽间的输送操作提供水动力。

##### （3）废滤芯更换装置、APG 树脂真空抽吸装置和 400L 钢桶自动取封盖装置

位于 BNX 厂房的废滤芯更换装置，主要由轨道、轮子、驱动装置、屏蔽舱、转盘、3 副丝杠机构、抓具、悬臂吊、观察窗、机械锁定机构、局部排风、舱内辅助照明以及临时表面剂量率检测口等组成，能够同时实现废滤芯的抓取和新滤芯安装。该装置通过轨道从停靠位经各个过滤器小室上方运行至转运站位。通过控制系统能够记录各工位位置，更换滤芯时该装置能够根据控制系统里预设的工位位置信息自动运行至待更



换滤芯的工位。

位于 BWX 厂房的废滤芯更换装置，主要由提升装置、铅屏蔽筒体、底部闸板门装置及控制系统等组成。

APG 树脂真空抽吸装置是一套可移动式设备，位于 BNX 厂房内，其功能将 APG 树脂分离罐内已滤掉游离水的树脂输送到暂存容器中。通过工业吸尘器产生负压，并通过前置分离器、软管将负压传递给抽吸杆来抽取 APG 树脂，当 APG 树脂进入前置分离器后，树脂和空气分离，树脂落入装桶容器中，空气则经过工业吸尘器过滤系统后，排放到房间里。

4400L 钢桶自动取封盖装置位于 BWX 厂房，为一套集成的自动化设备，主要由支架、提升机构、旋转机构、抓具、力矩扳手、定位装置、传感器和控制系统等组成。取盖时，自动取封盖装置将取下的钢桶盖及螺栓存放在桶盖贮存架上。封盖时，将搁架上的桶盖抓取并准确回装到钢桶上。

#### （4）双螺旋行星式搅拌器

行星式双螺旋搅拌器位于 BWX 厂房的固化操作间，主要由搅拌桨、升降丝杠、提升电机、搅拌电机、公转电机、支架等组成，其功能是对 400L 钢桶内放射性废树脂（或含硼浓缩液）、石灰、水、水泥以及添加剂进行混合及搅拌，最终产生符合性能要求的水泥固化体。

#### （5）灌浆设备

灌浆设备为可移动式的连续搅拌器，由水泥料斗、搅拌机、控制机柜及输送软管等组成，各模块可独立运输。水泥料斗用于装载干水泥，其上设置物位开关及振动器。控制机柜除配置电控系统和操作面板外，还集成了给水和添加剂给料系统。除盐水和添加剂通过管线输送入搅拌机中与水泥混合，搅拌机生产的泥浆通过软管送入固化线内的钢桶中。

#### （6）转运小车

转运小车位于 BWX 厂房，用于输送 400L 钢桶、400L 钢桶屏蔽容器、废滤芯屏蔽容器，实现其在废物桶转运及灌浆间与废物转运大厅两个房间之间的转运。转运小车主要由驱动电机、直线轨道、容器定位环、车架、挡板、限位开关及电缆链等部件组成。

#### （7）传输辊道

传输辊道位于 BWX 厂房，用于实现 400L 钢桶在取封盖站位、湿料加注站位、搅拌站位、清洗水回收位等各个站位之间的传输。辊道由 18 段辊道组成，可分为固定式辊道、侧移式辊道、平移式辊道及顶升辊道。根据各站位的功能需要，可对桶实现相应的侧移、顶升、抱紧等功能。

#### （8）剂量率检测装置

剂量率检测装置位于 BWX 厂房，主要由辐射探测器、测量架体、旋转机构、测量控制柜等组成。剂量率检测装置主要用于放射性固体废物固化处理整备过程中，对废物桶表面剂量率水平进行检测和记录，以判断废物桶是否需装入屏蔽容器内运输。

#### （9）分拣站

分拣站位于 QS 厂房，由提升倾斜装置、分拣箱、液压剪切装置以及初级压缩机组成。分拣箱设置有三个分拣工位及一个倾倒工位，可供 4 个工人同时工作。初级压缩机对 200L 钢桶内干废物进行初级压缩，对压出的空间可再次填充废物，如此反复压实满桶后封盖，称重后送至超级压缩机进行超压。

#### （10）超级压缩机

超级压缩机位于 QS 厂房，主要将装满废物的 200L 钢桶压缩成桶饼，达到减容效果。超级压缩机主要由超压机主体、液压单元、废物桶传输系统、尾气处理系统、废液收集系统、控制系统等组成。超压机由操作员进行远程操作，先将 200L 钢桶转运至超压机内，定位后对钢桶进行钻孔便于压缩过程中气体和废液排出。超压机保护罩将钢桶密封完好进行压缩，压缩过程中产生的气体通过高效过滤器处理排入通风系统中。钢桶被压成饼状后进行测高、称重记录，并由超压机抱抓装置送至传输系统中，便于后续优选装入 400L 钢桶中。

### 4.6.4.4 系统运行

#### a) 废树脂处理

在 BNX 厂房内 RCV/PTR/TEP 系统除盐器内的树脂需要更换时，首先向输送回路中注入除盐水使除盐器与废树脂贮槽间形成闭环回路，利用树脂冲排泵将废树脂冲排至废树脂贮槽。当 3BNX 厂房废树脂贮槽内收集的废树脂达到设定值时，通过废树脂输送泵将废树脂输送至 BWX 厂房废树脂暂存槽中。4BNX 厂房废树脂贮槽内的废树脂先输送至废树脂转运容器中，再将废树脂转运容器运至 BWX 厂房，BWX 厂房设有与

废树脂转运容器连接的接口，连接管道后再通过废树脂转运泵将废树脂转运容器中的废树脂冲排至废树脂暂存槽中。BWX 厂房内 TEU 系统产生放射性废树脂通过废树脂转运泵冲排至废树脂暂存槽。

当废树脂暂存槽中废树脂需进行水泥固化时，通过废树脂计量泵将废树脂送往废树脂计量槽中计量。400L 钢桶由辊道传输系统传输至自动取封盖站位进行卸盖，再传输至湿料加注工位与湿料加注罩配合后接收计量好的废树脂，然后再将装有废物的钢桶送至搅拌工位，在完成与干料加注罩及桶内搅拌器配合后向桶内添加石灰和水泥，同时启动桶内搅拌器进行物料混合操作，搅拌完毕后先将钢桶传输至专用的辊道上进行暂存，暂存期间通过辊道上方设置的气动盖对钢桶进行临时封盖，以限制桶内水分散失。待一批次钢桶完成固化搅拌后，再将钢桶传输至湿料加注站位并顶升就位，利用移动灌浆装置制备净浆水泥，并通过软管和湿料加注罩将水泥浆注入固化桶，对固化桶上部剩余空间进行填充，以降低固化桶顶部放射性物质的扩散风险，并进一步提高钢桶的装填高度。注浆完毕的钢桶传送至自动取封盖站位进行封盖，再通过辊道和吊车将其输送至废物桶暂存间进行养护，最后通过厂内运输车辆将其运往 QT 库暂存。

400L 钢桶在湿料加注工位和搅拌工位上可提升至与湿料加注罩和干料加注罩贴合密封，防止加料和搅拌过程中放射性物质飞溅到钢桶外。两个站位上均设置有接液盘，分别用于接收下料管及搅拌桨上的残液或残留泥浆，防止其滴溅至其它设备或钢桶上。

BNX 厂房 APG 系统除盐器产生的废树脂，在正常情况下由水力冲排至 APG 树脂分离罐内。APG 树脂分离罐接收树脂的同时通过底部的疏水管排水，接收结束后，经过一段时间，将树脂中的游离水排尽，再利用真空抽吸装置将废树脂装入合适的容器（如 400L 钢桶）中，再运至 QT 暂存，然后作进一步的清洁解控处理。在特殊情况下（如蒸汽发生器破管），APG 产生的废树脂放射性水平较高时，可通过管道支路，利用 SED 水将 APG 树脂冲排至废树脂贮槽中作为放射性废树脂处理。

#### b) 浓缩液处理

当 TEU 系统产生的浓缩液需要固化处理时，先通过重力将其排入浓缩液计量槽中进行计量，再排入 400L 钢桶进行水泥固化。

浓缩液固化操作流程与废树脂固化相同，400L 钢桶由辊道传输系统传输至自动取封盖站位进行卸盖，再传输至湿料加注工位与湿料加注罩配合后接收计量好的浓缩液，然后再将装有废物的钢桶传送至搅拌工位与干料加注罩及桶内搅拌器配合添加石灰和

水泥，同时启动桶内搅拌器进行物料混合操作，搅拌完毕后先将钢桶传输至专用的辊道上进行暂存，暂存期间通过辊道上方设置的气动盖对钢桶进行临时封盖，以限制桶内水分散失。待一批次钢桶完成固化搅拌后，再将钢桶传输至湿料加注站位并顶升就位，利用移动灌浆装置制备净浆水泥，并通过软管和湿料加注罩将水泥浆注入固化桶，对固化桶上部剩余空间进行填充，以降低固化桶顶部放射性物质的扩散风险，并进一步提高钢桶的装填高度。注浆完毕的钢桶传送至自动取封盖站位进行封盖，再通过辊道和吊车将其输送至废物桶暂存间进行养护，最后通过厂内运输车辆将其运往 QT 库暂存。

### c) 废滤芯处理

废过滤器芯子主要来自下列系统的过滤器：PTR、RCV、RPE、TEP 及 TEU 系统。其中，布置在 BNX 厂房的 PTR、RCV、RPE、TEP 系统过滤器芯失效时，需利用 BNX 厂房的废滤芯更换装置来进行拆取、运输废过滤器芯子和装载新过滤器芯子等操作。BNX 厂房废滤芯更换的主要操作过程如下：

- 利用手推小车将组装好的新滤芯及适配器、适配器屏蔽容器、新滤芯固定支撑环运入过滤器隔间内，并将新滤芯放置在转运站位就位；
- 将废滤芯更换装置移动至转运站位上方，用抓取机构抓取新滤芯后将废滤芯更换装置驶离；
- 通过房间内的吊车和电动车，将废滤芯转运屏蔽容器（装有未封盖且已固定废滤芯支架的 400L 钢桶）放入转运站位；
- 用电动扳手人工拆下待更换滤芯的过滤器的屏蔽盖法兰螺栓，并将屏蔽盖法兰移走。然后将废滤芯更换装置移至待更换过滤器小室上方定位；
- 操作废滤芯更换装置的旋转盘及 3 套抓取机构。用抓取机构 1 将过滤器的屏蔽盖抓起，利用抓取机构 2 将过滤器中的废滤芯抓起，将抓取机构 3 上的新滤芯装入过滤器，最后将抓取机构 1 上的过滤器屏蔽盖放回过滤器；
- 将装有废滤芯的废滤芯更换装置移至转运站位上方定位，操作废滤芯更换装置的旋转盘及 3 套抓取机构，用抓取机构 1 将废滤芯屏蔽容器盖的屏蔽塞抓起，将抓取机构 2 上的废滤芯装入屏蔽容器的钢桶中，此时废滤芯上的适配器将与芯子脱离（适配器仍由抓取机构 2 抓住），然后将屏蔽容器盖的屏蔽塞放回屏蔽容器；
- 将废滤芯更换装置驶离转运站位后，将通过房间内的吊车和电动车将废滤芯屏

蔽容器从转运站位移出，并运至 BWX 厂房；抓取机构 2 上的过滤器芯适配器将被释放到专用的容器中，经去污后可回收利用。

布置在 BWX 厂房的 TEU 系统过滤器，其废滤芯通过 BWX 厂房的废滤芯更换机更换。该装置将通过厂房内行车吊装至过滤器小室上方，来拆除过滤器中的废滤芯。

表面剂量率不超过 2mSv/h 的废滤芯通过超压处理；表面剂量率超过 2mSv/h 的废滤芯通过废滤芯更换装置装入带屏蔽容器的 400L 钢桶中，由转运车辆将屏蔽容器及钢桶运至 BWX 厂房的 TES 废物桶转运及灌浆间进行水泥灌浆固定处理，在 BWX 厂房中将装有废滤芯的屏蔽容器及钢桶吊至转运小车上，再由小车将其运至灌浆站位进行水泥灌浆固定处理，灌浆完毕后将钢桶传输至自动取封盖站位进行封盖操作，再进行养护，最后通过厂内运输车辆将其运往 QT 库暂存。

#### d) 干废物处理

干废物（纸、衣服、塑料、金属等）在产生地经初步分类后装在不同颜色的塑料袋中，然后运输至 QS 厂房，由倾倒装置倒入分拣箱进行分拣。将含水量较高的废物分拣至 200L 钢桶内，送至干燥器干燥。干燥后的废物重新送至分拣箱进行分拣。经初步分类后的废物在分拣箱中分为压缩比大和压缩比小的废物，为有效的防止反弹，压缩比大的废物和压缩比小的废物按一定比例放入 200L 钢桶。

经分拣箱分拣后的废物装入 200L 钢桶，运输至初级压缩机进行桶内预压，对压出的空间可再次填充废物，反复压实满桶后封盖。利用 2000t 超级压缩机将封装好的 200L 废物桶压成钢桶饼。表面剂量率不大于 2mSv/h 的废过滤器芯也在 200L 桶内被超级压缩机压缩成钢桶饼。

超级压缩后的桶饼被输送到优化测厚装置，根据厚度优化选择装入 400L 钢桶以达到一个 400L 钢桶内放尽可能多的桶饼的要求，一般一个 400L 钢桶可放 3~4 个桶饼。400L 钢桶装满桶饼后进行水泥灌浆固定，封盖后的 400L 钢桶送 QT 库暂存。

在 BNX 厂房设置有干废物暂存点，方便就近收集和集中转运核岛厂房内产生的干废物。当暂存点的干废物达到一定数量后，再集中将其运输至 QS 厂房处理。对于检修中可能产生的表面剂量率大于 2mSv/h 的干废物，也可送至该处带有隔墙的房间内临时暂存，再根据其暂存衰变情况和废物的性状，采取适当方式运输至 QS 或 BWX 厂房处理。

#### e) 废物货包暂存

QT 库贮存量按照暂存防城港核电厂共六台机组 5 年产生的放射性固体废物进行设计。

待解控废物通过叉车将废物运至待解控废物暂存区进行码放，对待解控废物外形尺寸要求为：小于  $1.2 \times 1.2 \times 1.2\text{m}$ 、重量小于 5t，其码放方式由运营方根据废物特性以及包装自行决定。对于检修过程中产生的不利于切割的大件待解控废物也在此区域暂存。

废物桶由废物转运车辆运到 QT 库的操作间后，操作人员在吊车操作间通过专用吊具把废物桶吊至桶检测间，根据桶的表面剂量率，用数控吊车把废物桶吊至指定区域暂存。

400 L 钢桶废物包按照其表面剂量率不同分别存放在废物桶贮存区和竖井区，垂直码放四层。对于表面剂量率大于  $2\text{mSv/h}$  的 400L 钢桶均采用屏蔽容器运输，屏蔽容器采用数控吊车远程开盖，有效降低对操作人员受辐照剂量。

#### 4.6.4.5 废物最小化

防城港核电厂 3、4 号机组按照核电厂废物最小化导则的要求，从设计、建造、运行各方面制定了废物最小化的相关原则和措施。在运行阶段，防城港 3、4 号核电厂将继续开展废物源项控制、废物处理技术等方面的持续改进和提升，继续开展管理人员和工作人员的废物最小化培训，确保贯彻实施废物最小化管理原则和目标。具体措施有：

##### a) 从堆工和燃料设计的源头贯彻废物最小化

本项目采用全 M5 AFA-3G 燃料组件，该燃料组件在继承 AFA-3G 优良性能的基础上针对上、下管座进行了简单的改进。此外，结构材料完全采用了 M5 材料，有利于减小燃料组件与燃料棒辐照生长的差异并缓解了由格架生长造成的组件间隙减小现象。这些改进项使得全 M5 AFA-3G 燃料组件在高能耗下表现更为优秀，大大提高了其运行可靠性，可有效减小组件发生破损的概率。

本项目采用 18 个月换料，相比传统年度换料，每三年能够减少一次换料大修，平均卸料燃耗深度高达  $47\text{GWd/tU}$ ，相比 1/3 年度换料每年能够节省 5.3 组燃料组件，减少了废物产生量，降低人员辐照剂量。

另外，本项目机组运行模式采用 MODE G 模式，减少调硼，减少需要处理的放射

性废液。

b) 从优化系统、布置和设备设计方面贯彻废物最小化

1) 减少一回路冷却剂泄漏，减少放射性废物产生

设备设计采取了多项减少一回路冷却剂泄漏的措施，如加工制造工艺过程控制、材料选择、焊接和密封设计、泄漏监测等，通过这些措施，可以降低冷却剂及相关辅助系统废液贮存及输送过程中的泄漏，降低废液产生量。

2) 延长工艺系统内消耗性净化材料使用寿命

本项目使用树脂的系统主要包括 RCV、APG、PTR、TEP、TEU 系统。首先通过优化系统设计保证了树脂的工作条件不会导致其提前失效；其次通过采用交换容量大的核级树脂，既减少了树脂的使用量，也降低了引入系统的杂质离子含量。

3) 从源头对放射性废物进行分流和收集

— 对于放射性废液，不同厂房的放射性废液采取分类收集和输送，非放射性废水及潜在放射性污染的废水与放射性废水分开收集和隔离。通过废液分类收集，将可复用的废液（反应堆冷却剂废液）重复利用，将非控制区收集的非放射性废液输送至非放废液的收集系统（SEK）监测排放，最终减少了 TEU 系统废液处理量，进而减少废液处理过程中废滤芯、废树脂、浓缩液的产生，减少了需要处理的湿固体废物量。

— 对不同厂房产生的放射性气体分类、收集和排放。放射性废气根据气体特性和来源的不同，主要由废气处理系统（TEG）、核辅助厂房通风系统（DWN），放射性废物处理厂房通风系统（DWQ）进行分类收集和排放，更好的满足分类处理需求。

— 对固体废物在产生地进行分类收集。

4) 从厂房总体布局和设备布置设计限制放射性废液泄漏扩散

为限制放射性废物泄漏和污染扩散，厂房总体布局和设备布置设计遵循了下述原则：

— 高放射性设备的相对集中布置，与中、低放射性设备分开布置；如可复用冷却剂收集箱、工艺废液收集箱等高放设备都集中布置于核辅助厂房最底层，高放射性除盐器、过滤器等集中布置于特定的功能区，与阀门操作间、APG 过滤器和除盐器等中、低放射性设备分开布置。

- 放射性剂量高的设备优先考虑布置于地下室；如放射性废物处理厂房中，TEU 系统处理前的工艺及化学废液贮存槽等高放射性储罐均于地下-10.25m 层设置独立隔间布置。
- 放射性设备室都设有地漏或小地坑；
- 放射性剂量率水平高的储罐、容器或换热器优先布置在独立的隔间内；如 RCV 系统容积控制箱布置在燃料厂房单独的房间内；
- 除必须的连接点外，非放射性系统与含放射性物质的系统优先考虑进行实体隔离；如燃料厂房-4.90m 层 RBS 系统应急硼化泵布置在单独的房间内，该房间的辐射分区为绿区，与其他含放射性物质的系统（如 RCV 系统等）进行了实体隔离。

#### 5) 从放射性流体输送方面采取限制泄漏和监测的措施

本项目收集或贮存放射性液体的系统包括 RCV、PTR、TEP、TEU、RPE、TER 等系统，这些系统设置的废液贮槽上设置有液位监测及报警等防止溢流的措施，减少了液体溢流污染地面带来的地面废液量。另外，收集放射性废液的地坑也都设有高液位启泵、低液位停泵的液位监测措施，保证废液能及时输送，避免发生溢流产生的污染。

#### 6) 从设备设计方面考虑限制泄漏和污染扩散

本项目泵类设备在设计中要求设备带有接液盘，接液盘上带有引漏管，将泵设备的泄漏介质进行收集后排放到相应的收集和回收系统。阀门设备上设置有引漏管，将泄漏介质进行收集后排放到相应的收集和回收系统。除了泵、压缩机进出口、设备人孔、管道孔板等采用法兰连接外，设备、管道和阀门尽量采用焊接连接，并保证焊缝质量，以减少潜在的泄漏风险。

#### 7) 采用先进的去污技术减少二次废物产生量

从系统中拆卸下来的各类机械部件送入防一项目热机修车间和仓库进行去污后进行维修。热机修车间和仓库内设有喷丸去污、高压水去污、超声波去污、化学去污等设施。

#### 8) 减少不必要的设备、阀门和管线，降低最终退役废物量

设计中减少了不必要的物项，如：

- 采用直插式温度仪表测量一回路的平均温度，相较于 CPR1000 的测温旁路减



少了较多的阀门与管道；

- 采用余热排出系统与安全注入系统合并的配置方式，将余热排出系统与安全注入系统的管嘴合并，减少了主管道的接管数量；由于系统的合并，不再设置单独的余热排出系统，取消了余热排出泵（由低压安注泵执行余热排出功能），减少了阀门、管道的数量。
- 蒸汽发生器排污系统（APG）相较于 CPR1000 机组取消了非再生式热交换器，减少了废物量。
- 冷却剂贮存和处理系统（TEP）由 6 个容积相同的冷却剂贮存箱以及一条除盐水母管和一条冷却剂母管组成。每一个冷却剂贮存箱都可通过电动阀与冷却剂母管或除盐水母管相连。在电厂正常运行时，始终保持一个冷却剂贮存箱与冷却剂母管永久连接，同时另一个贮存箱与除盐水母管永久连接，因此接收和输送冷却剂或除盐水可同时进行。由于在机组调硼过程中，一回路水量基本保持恒定，下泄到 TEP 系统的一回路冷却剂以及返回到一回路的补给水量基本一致，因此采用上述一体化贮存设计方案有效减少了储罐数量以及体积，进一步减少配套设备、阀门和管线，从而最终降低退役废物量。
- TEG 系统对上游系统进行循环并维持上游系统容器的气相压力，同时通过氢氧复合降低循环气体的氢氧浓度。超过一定压力后，多余气体通过活性炭滞留床处理后向环境监测排放。在保证 TEG 系统安全性和可用性的基础上，TEG 系统对关键设备考虑了备用，比如氢氧复合上游监测仪表、废气压缩机和部分压力控制阀等。对短期失效后不会对系统安全、可用性造成危害的设备不考虑备用设置，而通过配置应急电、进行定期检修等措施来保障，从而减少了检修物项和最终退役废物量，体现了废物最小化原则。

c) 从再循环、再利用方面贯彻废物最小化

反应堆在功率运行期间为了补偿堆芯燃耗以及可能出现的运行瞬态，冷却剂中的硼酸浓度会发生变化，如将排出的废液直接处理排放，会造成废液处理系统的负荷增大以及最终废液排放量的增加。

化学和容积控制系统（RCV）的净化装置可以除去反应堆冷却剂中的杂质、放射性产物和裂变产物，以及锂、铯。净化后的反应堆冷却剂被上充泵送回一回路。对于 RCV 系统不能接收的下泄流通过三通阀转到 TEP 系统。

TEP 系统接收和贮存电站正常运行中可复用一回路冷却剂，通过蒸发工艺，制取反应堆补给水和 7000mg/kg 的硼酸溶液返回一回路复用。

TEG 系统对上游系统存储一回路冷却剂的容器进行连续吹扫，吹扫气体进行氢氧复合后重新复用对上游系统循环吹扫，维持闭环吹扫。这样的循环再利用设计大大减少了最终向环境排放的废气总量，体现了废物最小化的原则。

d) 从放射性废物处理技术方面贯彻废物最小化原则

- 废气处理系统通过负压吹扫维持相连上游系统的微负压状态，避免了放射性废气向厂房环境泄漏并减少放射性核素向环境的排放量。
- 废液处理系统采用蒸发、过滤、除盐工艺组合，根据废液来源分类收集，取样分析后选取合适工艺分别处理，另外，本项目从源头采取了各种减少废液产生量的措施，减少了二次废物的产生量。另外，工艺废液及化学废液贮槽所在滞留间敷设钢覆面，防止放射性废液污染混凝土，钢覆面设置可减少污染范围，便于去污并避免混凝土被污染产生固体废物。
- 对各类放射性废物采用优化的废物处理技术进行处理。固体废物处理技术采用了 400L 钢桶作为最终的包装容器；废树脂和浓缩液采用成熟可靠的水泥固化技术并对水泥固化配方进行改进；对干废物采用两级压缩，首先在 200L 钢桶中进行初级压缩，再使用超级压缩机进行超级压缩，之后将 200L 桶饼装入 400L 钢桶进行灌浆固定操作。在放射性废物的产生、预处理、处理、整备的全过程中体现了 ALARA 和废物最小化原则。

e) 运行阶段的废物最小化

放射性废物最小化管理将积极借鉴国内外的良好实践，遵循“减少产生、分类收集、减容固化、集中处置、加强监测”的管理方针，按照《核设施放射性废物最小化》（HAD401/08-2016）导则的方法和方案实施，从源头减少固废产量，并通过切实可行的管理措施，使得放射性固体废物年产生量及活度可合理达到尽量低，采取的主要措施如下：

- 放射性除盐床压差高时，禁止对除盐床进行反冲洗，在确保安全的情况下，实施离线清理除盐床上游滤头，增加除盐床运行时间，减少放射性树脂产量；
- 固化电站通风系统管理流程，确保待解控废物信息可追溯，同时避免交叉污染，对新风口滤芯经测量满足要求视常规废物处理；

- 制定控制区塑料布、塑料袋耗材发放制度，按需发放，避免因浪费增加放射性固体废物产量。对造成浪费行为以通知单形式进行通告；
- 编制《限制性物品进入控制区管理》，减少备品备件包装品、木质材料等物品进入控制区的量；
- 现场产生的大于等于 2mSv/h 放射性技术废物需单独放入废物收集袋收集暂存，待其衰变小于 2mSv/h 以下进行超压减容处理；
- 将多个废液过滤器芯装入一个包装容器，用水泥浆固定，提高了包装容器的容积利用率；
- 尽量降低放射固体废物产量，经测量，对可复用的破损报废的工作防护服作核清洁使用，对污染吊带去污后重复使用。

电厂还将继续开展废物源项控制、再循环和复用和废物处理技术等各方面的持续优化改进，以实际行动践行废物最小化原则。本工程每台机组每年废物最小化的管理目标值为不超过 53.2m<sup>3</sup>。

#### 4.6.4.6 固体废物产生量

防城港核电厂 3、4 号机组单台机组放射性固体废物的产生量：

##### a) 废树脂

废树脂来自下列系统的除盐器：化学和容积控制系统（RCV）、冷却剂贮存和处理系统（TEP）、反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统（PTR）、废液处理系统（TEU）、蒸汽发生器排污系统（APG）。

##### b) 浓缩液

浓缩液主要来自 TEU 系统蒸发器，浓缩液主要为含硼酸钠、硼酸或其它化合物的水溶液。浓缩液中最大硼浓度可达 40000ppm，浓缩液贮槽中的浓缩液维持在 55℃ 以上，以免结晶。

##### c) 废过滤器芯

过滤器芯在全厂范围内用于去除水介质中的放射性活化的腐蚀产物和悬浮固体颗粒。

废过滤器芯来自下列系统的过滤器：PTR、RCV、TEP、RPE、APG、TEU 系统。

##### d) 干废物

干废物由低污染的易压缩废物（例如破布、塑料、纸、防护鞋套、口罩、手套、衣服等）和不易压缩的固体小部件组成。

#### e) 通风过滤器

通风过滤器主要指通风系统的预过滤器、高效过滤器和高效空气粒子过滤器。

废通风过滤器的表面剂量率水平为  $\mu\text{Sv/h}$  级。废通风过滤器经人工更换后，装入过滤器袋中，由专用车辆运输至 QT 库待解控废物暂存区暂存，衰变 2~3 年甚至更长时间，待其满足国家审管部门规定的清洁解控水平后申请清洁解控。

#### 4.6.4.7 放射性固体废物的最终处置

根据我国有关法规文件的要求，核电厂产生的放射性固体废物，在厂内暂存一段时间后，应送往国家指定的废物处置场进行处置。为了贯彻《放射性污染防治法》、《放射性废物安全管理条例》等法律法规要求，广西防城港核电有限公司已经积极推动建设防城港固体废物处置场的工作，相关工作正正处于积极推进过程中。

#### 4.6.5 乏燃料贮存系统

##### （1）系统功能

乏燃料贮存系统的主要功能是对从反应堆中卸出的乏燃料组件，在运往后处理厂之前进行贮存和冷却。

##### （2）系统描述

水下燃料贮存格架自由坐落在乏燃料水池的底部，由若干台相互独立的贮存格架组成，每台贮存格架又由若干个贮存小室连接组成。

水下燃料贮存格架采用不分区设计，共有 900 个贮存小室，每个贮存小室仅能贮存一组燃料组件。其中 20 个下部装有滤网的贮存小室专门用来贮存破损燃料组件。

水下燃料贮存格架由贮存小室、底板、围板、支腿及连接紧固件等构成。水下燃料贮存格架的每个贮存小室的栅距为 280mm，在每个贮存小室外四壁，均安装有中子吸收材料，确保贮存的燃料组件满足次临界要求。

水下燃料贮存格架的支腿可以使用支腿调节工具调节支腿高度，以保证格架的水平 and 载荷均匀分配到水池。

水下燃料贮存格架的几何形状和设计要保证，当乏燃料水池吊车或辅助吊车在贮

存小室上方就位时，可以垂直的插入或取出燃料组件。不再需要其他任何操作，以避免撞击或损坏燃料组件。

将根据中子毒物选用情况再确定是否需要采取在役监测中子毒物有效性措施。

#### 4.7 非放射性废物处理系统

##### 4.7.1 化学物质排放

##### 4.7.2 生活废物排放

###### 4.7.2.1 含油废水处理

###### 4.7.2.2 生活污水处理

## 4.7 非放射性废物处理系统

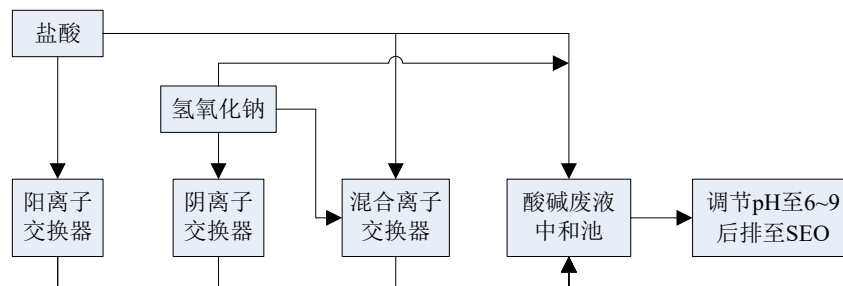
### 4.7.1 化学物质排放

防城港核电厂 3、4 号机组生产过程中需要使用一定量的化学品。这些化学品包括：硼酸、盐酸、硝酸、氢氧化钠、氢氧化钾、氢氧化锂、氨水、水合联氨、次氯酸钠、六氟化硫、氢气、液氮、二氧化碳、轻柴油、润滑油等。此外在检修过程中使用的材料、取样化验和实验室分析药剂还将使用氧气、乙炔、氮气、氩气、氦气等化学品。上述化学品中，大宗的化学物质排放主要来自以下系统：

- 化学水处理系统（SDA）；
- 凝结水精处理系统(ATE)；
- 制氯站；

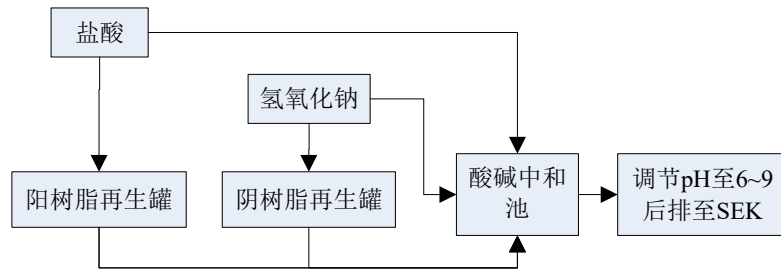
#### （1）化学水处理系统

化学水处理系统产生的废水主要来自离子交换树脂酸碱再生产生的酸碱废液。树脂再生废液排入酸碱中和池，再通过加酸或者加碱进行中和，调节 pH 值至 6~9 后至 SEO 排放。该系统化学物质使用及排放简图如下：



#### （2）凝结水精处理系统

凝结水精处理系统用于净化核电厂二回路系统凝结水。系统内设有前置阳床和混床，运行一段时间后阴阳离子需要再生，再生需要使用酸（如盐酸）、碱（如NaOH），再生废水排至中和池，再生废水中和处理也需要投入一定量的酸碱。该系统化学物质使用及排放简图如下：



### （3）制氯站

为满足核电站运行的要求，循环冷却水需加入次氯酸钠（电解海水生产）。电解设备运行一段时间需要酸（如盐酸）洗，产生酸洗废液收集至中和池，用碱（如NaOH）进行中和调节pH6~9后至SEO排放。

## 4.7.2 生活废物

防城港核电站3、4号机组的生活废物主要是非放射性的生活垃圾、生活污水和含油废水：

- 生活垃圾：主要是核电站非控制区及厂外附属、辅助区产生的非放射性固体生活垃圾，也包括电站工作人员日常生活和工作产生的所有非放射性废物。
- 生活污水：包括核电站各厂房、实验室、办公楼等设施内的卫生设备排水以及洗衣房、食堂等生活设施的排水等。
- 含油废水：各操作区被碳氢化合物污染的水。

### 4.7.2.1 处理方式

防城港核电站 3、4 号机组作为扩建项目，生活污水、含油废水和生活垃圾的处理将沿用已有设施和原有处理方式。

#### （1）生活污水的处理

防城港核电站在厂区设有一座厂区生活污水处理站（ED1），在厂外辅助及生活区还设有一座生活污水处理站（ED2），防城港核电站施工期还设有施工期临时生活污水处理站。

厂区生活污水处理站（ED1）主要处理来自厂区的生活污水，采用厌氧缺氧耗氧除磷（A2O）处理工艺，处理能力为 480m<sup>3</sup>/d。生活污水经 ED1 处理后满足《城镇污水处



理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准，并全部排放入海。

厂外辅助及生活区的生活污水处理站（ED2），主要处理来自住宅、食堂、盥洗室等的生活污水，采用与 ED1 相同处理工艺，处理能力为 480m<sup>3</sup>/d。生活污水经 ED2 处理后满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准并全部排放入海。

本工程施工期和运行期生活污水经处理后将满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准。

### （2）含油废水的处理

防城港核电厂 3、4 号机组产生的不含放射性的含油废水，如汽轮机厂房以及变压器区域含油废水汇集到专门的管网内，进入非放射性含油废水处理站（BES），经过贮存、油水分离处理。分离出的油脂收集后装入油桶运送到厂外，分离出的水达标后排放。BES 厂房设置两套油水分离器，每套油水分离器处理量为 5m<sup>3</sup>/h，总处理能力为 10m<sup>3</sup>/h。含油废水在排放前的监测项目包括：化学需氧量（COD）、五日生化需氧量（BOD<sub>5</sub>）、悬浮物（SS）、pH 值和含油量。

含油废水处理站出水指标将满足《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）的相关要求。

放射性含油废水送至潜在放射性含油废水处理站（8BER）进行除油后送至 BQB 处理。

### （3）生活垃圾的处理

防城港核电工地现场办公及生活区生活垃圾按规定收集暂存，并委托专业物业服务公司送往防城港市就近的生活垃圾中转站或处理厂处理。

#### 4.8 放射性物质厂内运输

##### 4.8.1 新燃料运输

##### 4.8.2 乏燃料运输

###### 4.8.2.1 乏燃料组件厂内运输

###### 4.8.2.1 乏燃料组件厂外运输

##### 4.8.3 放射性固体废物的运输

## 4.8 放射性物质厂内运输

核电厂运入的放射性物质包括未经辐照的新燃料组件和中子源，其中中子源包括一次源组件和二次源组件。新燃料组件和中子源运输容器的设计、制造能满足我国《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的要求。

核电厂运出的放射性物质包括乏燃料组件和放射性固体废物。

### 4.8.1 新燃料运输

防城港核电厂 3、4 号机组首炉用新燃料组件及相关组件可由中核建中核燃料元件有限公司（812 厂）或其他核燃料元件公司供应。现以中核建中核燃料元件有限公司（812 厂）为例做详细说明。

中核建中核燃料元件有限公司（812 厂）使用的新燃料运输容器是依照法国 FRAGEMA 公司 RCC-3 容器全套技术资料及图纸等同转化原则制造的。货包的设计和制造满足 IAEA No.TS-R-1《放射性物质安全运输条例》，同时也满足我国《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的要求。

中核建中核燃料元件公司使用的新燃料运输容器是依照法国 FRAGEMA 公司 RCC-3 容器全套技术资料及图纸等同转化原则制造的。货包的设计和制造满足 IAEA No.TS-R-1《放射性物质安全运输条例》，同时也满足我国《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的要求。

RCC-3 运输容器的技术要求：

- 运输等级：七级（危险品）
- 物理状态：固体
- 化学成分：UO<sub>2</sub>
- 燃料的 235U 富集度：1.8%，2.4%，3.1%，4.45%
- 每个组件中燃料重量：523kg
- 燃料组件包装后的剂量率：
  - 货包表面： $<2 \times 10^{-2} \text{mSv/h}$
  - 距货包 1m 处： $<1 \times 10^{-2} \text{mSv/h}$
- 货包类型：A

RCC-3 型新燃料运输容器已被法国批准并有 10 多年的使用历史。它是由上下壳体

组成的一个卧式圆柱形密封箱体。上下壳体的连接用 30 个螺栓锁紧。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燃料组件，支撑框架的顶梁上装有两个加速度测量器，在壳体的端板上设有充气阀和安全阀各一个，每个容器可装运两个燃料组件，相关组件可插入容器内固定好的燃料组件，随同燃料组件一起运输。两个组件间设有中子吸收板。容器装好燃料组件并完成密封后，充入氦气，检查容器的密封性能，以避免在运输途中事故情况下引起燃料组件的液体或气体沾污。

为适应高富集度燃料组件的运输，中核建中核燃料元件公司已经对上述新燃料运输容器进行了改造，在两个燃料组件的中间隔板上加入硼不锈钢板，能够满足最高 4.5% 富集度燃料组件的运输需求。

新燃料组件如由中核建中核燃料元件公司（812 厂）提供，采用铁路加公路的运输方案。

新燃料及运输容器、运输、贮存都将执行专门的包装技术条件和新燃料接受贮存设计准则，均要满足 HAD103/03《核电厂堆芯和燃料管理》，HAD003/10《核燃料组件采购、设计和制造中的质量保证》，《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的有关条款要求，达到安全可靠。

新燃料接收、贮存的操作均在燃料厂房的新燃料贮存操作区进行。新燃料的接收、贮存应满足《核动力厂燃料装卸和贮存系统设计》（HAD102/15）（2007 年 1 月 23 日）的相关要求，其过程主要包括以下几个阶段：

a) 新燃料的接收。

新燃料的接收操作在燃料收发间完成。

b) 新燃料的检查。

为保证入堆新燃料有良好的质量，新燃料组件在入堆前都必须进行外观检查及控制棒的抽插试验。新燃料组件的外观检查在新燃料检查间进行，新燃料组件控制棒组件的抽查试验在新燃料贮存格架上进行。

c) 新燃料的贮存。

经检查合格的新燃料组件，运至新燃料贮存间的贮存格架内进行贮存或者运至乏燃料贮存水池内贮存。

堆芯换料前，干式贮存燃料由辅助吊车及新燃料组件抓具将新燃料组件吊运

至新燃料升降机，将新燃料组件降至乏燃料贮存水池的池底，再用乏燃料水池吊车和乏燃料组件抓具将新燃料组件从新燃料升降机内提出，并插入水下燃料贮存格架内临时贮存。湿式贮存的燃料则不需要再移动。

## 4.8.2 乏燃料运输

### 4.8.2.1 乏燃料组件厂内运输

乏燃料组件的厂内运输按照“核电厂燃料装卸和贮存系统（HAD102/15，1990年2月20日）”以及“法国900MW压水堆核电厂系统设计和建造规则（RCC-P，1991版，1995修订）”相关章节的规定执行。主要要求包括：

- （1）乏燃料运输容器的装卸与吊运不得在乏燃料贮存格架上方进行；
- （2）装卸设备发生断电事故时，能使乏燃料或载有乏燃料的容器至于安全位置；
- （3）乏燃料容器的设计满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）中的要求；
- （4）容器装卸操作期间，乏燃料容器坠落的危险性减至最小；
- （5）乏燃料容器吊车及人桥吊车在安全停堆地震时能停住并保持载荷在安全位置。

乏燃料组件的厂内运输由人桥吊车、乏燃料容器吊车、及其它操作工具完成。厂内运输包括乏燃料发送前的准备直到将装满乏燃料的运输容器交付至燃料收发间的全过程。

新燃料及乏燃料运输由于其运输物品和运输车辆的特殊性，需要综合考虑厂区道路规划施工情况和路况条件（比如路口转弯半径大小等），燃料相关运输路线需要在厂区道路路况条件确定后，由广西防城港核电有限公司另行研究确定。

### 4.8.2.3 乏燃料组件厂外运输

乏燃料组件厂外运输必须遵守下列标准：《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）、《中华人民共和国核材料管制条例》（HAF501）、《放射性物质安全运输货包的泄漏检验》（GB/T17230-98）、《乏燃料运输容器技术条件》（EJ/T565-91）和《核级容器制造质量保证》（EJ/T619-91）等。

防城港核电厂 3、4 号机组的乏燃料组件的运输拟采用公路或铁路运输，可以经由进厂二级公路与外界公路网或铁路网连接，在向厂外运输乏燃料组件时将编制专门的文件以评价其对环境的可能影响。

#### 4.8.3 放射性固体废物的运输

核电厂运行过程中产生的放射性固体物质（如废树脂、废过滤器芯子、浓缩液、维修废物等）将根据其性质进行分类，并按照《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》（GB12711-2018）的要求进行包装处理。

##### （1）厂内运输

在厂内放射性废物的主要运输线路有两条：

- 核辅助厂房（BNX）至废物暂存库（QT）
- 检修废物产生地（RX、KX、NX 等）至废物辅助厂房（QS）至废物暂存库（QT）

固体废物包装容器为 400L 金属桶。在厂内运输时需要用屏蔽容器进行运输，以确保运行人员的受辐射水平尽量低。

##### （2）厂外运输

放射性固体废物的厂外运输方案将考虑运输过程中可能发生的事故，并准备具体的应急措施，使其对环境的可能影响减至最低。

## 第五章 核电厂施工建设过程的环境影响

### 5.1 土地利用

### 5.2 水的利用

### 5.3 施工影响控制

## 5.1 土地利用

### 5.1.1 土地占用

### 5.1.2 陆域施工活动对环境的影响

#### 5.1.2.1 振动的影响

#### 5.1.2.2 声环境的影响

#### 5.1.2.3 大气环境的影响

#### 5.1.2.4 水环境的影响

#### 5.1.2.5 生态环境的影响

#### 5.1.2.6 施工废弃物对环境的影响

#### 5.1.2.7 施工活动对社会环境的影响

#### 5.1.2.8 道路对周围环境的影响

表

表 5.1-1 本期工程陆域用地概况

表 5.1-2 施工阶段的主要噪声污染源及噪声级

表 5.1-3 施工期环境监测结果

图

图 5.1-1 厂址景观恢复示意图



## 5.1 土地利用

### 5.1.1 土地占用

防城港核电厂位于防城港市港口区光坡镇红沙村，规划建设六台百万千瓦级压水堆核电机组，一期工程 2 台 CPR1000 机组已于 2016 年建成运行。本工程建设 3、4 号两台华龙一号核电机组。

防城港核电厂进厂道路、应急道路、淡水工程都已在前期工程建设完成。防城港核电厂 3、4 号机组工程主要由核电厂厂区、厂外辅助设施区、现场服务区、施工准备区及施工生活区等部分组成，分别如下：

#### — 核电厂厂区

核电厂厂区是核电厂建设的核心部分，包含有主厂房区（核岛和常规岛）、BOP 区、厂前区等，其它各区均服务于该区。3、4 号机组主厂区规划布置在一期工程主厂区西侧，由东向西扩建。

#### — 厂外辅助设施区

厂外辅助设施区主要是为电厂服务的相关配套设施，主要包括环境实验室、应急指挥中心、武警营房、消防站、培训中心、淡水净水站、应急设施存储与燃油补给中心等。在防城港核电厂一期工程的建设过程中，已经按照全厂六台机组考虑建设了大部分厂外辅助设施。3、4 号机组新增的厂外辅助设施主要包括：模拟机培训中心、二期公关中心等，均布置在主厂区以北。

#### — 现场服务区

现场服务区主要包括运行宿舍、食堂、室内活动中心、室外活动设施等公共设施。3、4 号机组的现场服务区位于一期工程现场服务区的北侧。

#### — 施工准备区及施工生活区

本着方便施工、节省投资、缩短工期、节约用地的原则，场地布置得紧凑适宜，并按照滚动式考虑。3、4 号机组的施工场地尽量利用一期工程已有施工场地及后期工程施工用地，使施工场地临近厂区以便于施工。

#### — 弃土区

弃土场位于厂址西南角，占地面积约 14.0hm<sup>2</sup>，共可消纳弃土约 45 万 m<sup>3</sup>。

#### 5.1.1.1 项目用地

本期工程申请总用地面积约 53.06hm<sup>2</sup>，防城港核电有限公司已于 2015 年 7 月 14 日获得了国土资源部发函《关于广西防城港核电二期工程建设用地预审意见的复函》（国土资预审字[2015]152 号）。

根据本项目最近厂区规划，本期工程永久用地面积 45.28hm<sup>2</sup>，全部为陆域用地，实现了项目零填海。工程临时用地面积 75.65hm<sup>2</sup>，其中利用一期面积 46.57hm<sup>2</sup>，二期新增面积 29.08hm<sup>2</sup>。表 5.1-1 给出了本期工程陆域用地概况。

### 5.1.1.2 土石方平衡

本期工程土石方工程包括场平、主厂房（核岛、常规岛、泵房）、BOP 及廊道基坑负挖、海工（取排水工程、护岸工程等）、建筑垃圾处理等方面。砂石料场位于厂址西面约 5km 的新兴村，该项目已单独开展环境影响评价并获得批复（防城港市港口区环境保护局关于防城港核电二期砂石工程项目环境影响报告表的批复（港区环管发[2017]22 号））。综合考虑本期工程正挖、负挖工程量，核电厂内各区消纳后土石方外运量 405.20 万 m<sup>3</sup>。建设单位与广西北防建筑工程有限公司签订了弃渣综合利用合同，防城港核电产生的弃渣由广西北防建筑工程有限公司负责运输，运输及弃渣综合利用过程中的环境保护工作由广西北防建筑工程有限公司负责。

## 5.1.2 陆域施工活动对环境的影响

3、4 号机组工程陆域施工活动对环境的影响主要是工程负挖、土石方爆破、汽车运输以及设备安装等造成的地面振动、噪声、粉尘和植被破坏、水土流失等生态方面的影响。

### 5.1.2.1 振动的影响

核电厂区地基施工过程中的打桩、强夯、爆破和碾压等活动会对周围环境产生一定的振动影响。振动主要是由施工引起的地面振动在土体中传播产生的，其频率和强度变化范围与振源特征、土体条件、周围建筑物结构特点、振源与人或建筑物的距离等因素有关。

振动的影响是短暂的，且核电厂周边居民距施工区较远，振动的影响较小。

### 5.1.2.2 声环境的影响

核电厂施工过程中，厂区内可能产生噪声的活动包括场地负挖，土石方爆破、主厂房（核岛、常规岛）的建设和厂区辅助配套设施的建设，另外设备安装和汽车运输也会产生一定噪声。施工阶段的主要噪声污染源及其噪声级见表 5.1-2。

爆破施工是间歇性的，现场施工机械设备如挖掘机、推土机、钻孔机等噪声值也较高，且在实际施工过程中，通常是多台机械设备同时作业，各台设备产生的噪声会互相叠加。同一地点同时作业的机械设备多为 2 台~6 台，一般不会超过 10 台，叠加后的噪声增值约 3dB~10dB。

表 5.1-3 给出了施工期环境监测结果，从中可以看出，除 2017 年第三季度、第四季度和 2018 年第三季度施工场界噪声出现超过《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）限值外，其余时间均满足标准要求。

综上，本期工程施工期间场界噪声多数时间能够实现达标排放，施工噪声对环境影响较小。

### 5.1.2.3 大气环境的影响

工程施工期间的主要大气污染物包括扬尘、粉尘和汽车尾气，其中，扬尘和粉尘对大气环境质量影响较为明显。施工产生的地面扬尘和粉尘主要来自于施工机械和运输车辆的行驶、爆破、土石方开挖和填筑、物料堆放和运输以及施工建筑材料的搅拌等环节，TSP 产生量与施工方式、车辆数量、道路路面状况以及天气情况相关。

由于施工时现场车辆较多，特别是大型工程车和施工机械设备（挖掘机、铲土机等），在施工运输过程中会产生一定量汽车尾气，主要污染物为 CO、氮氧化物和碳氢化合物。

爆破过程除产生大量粉尘外，还会产生一定量的烟气，烟气量与炸药种类、用量和操作方式等诸多因素有关。国内同类核电厂场平施工爆破通常使用乳化炸药，主要污染物为氮氧化物。通常在爆破前对实施爆破的区域喷水，以降低爆破过程的起尘量。爆破时合理布局炸药孔位置，尽量减少大量炸药同时引爆，最大程度降低爆破带来的粉尘和大气污染。

表 5.1-3 给出了施工期环境监测结果，从中可以看出，2019 年第一季度施工场界下风向 TSP 超标，第二季度 NO<sub>2</sub> 超标，其余各季均达标。敏感点 2018 年第三季度、

第四季度出现氮氧化物超标，2019 年第一季度出现 PM10 和 PM2.5 超标，其余各季均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的二级标准。

从监测结果可以看出，施工期间无组织排放多数时间达标，偶尔出现超标，总体上对环境的影响较小。

#### 5.1.2.4 水环境的影响

本工程在施工期间对水环境的污染主要来自施工生产废水和生活污水的排放。由于核电厂厂区及临时施工区内无地表水水源，因此污水受纳水体为电厂附近海域。

##### （1）生活污水

防城港核电厂各生活污水处理站均进行改造以满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中的一级 A 标准要求。各污水处理站的改造完成时间为：施工期临时生活污水处理站（处理能力 288m<sup>3</sup>/d）于 2017 年底完成改造，厂区生活污水处理站（ED1，处理能力 480m<sup>3</sup>/d）于 2018 年 4 月完成改造，厂外辅助及生活区的生活污水处理站（ED2，处理能力 480m<sup>3</sup>/d）于 2018 年 3 月完成改造。为满足施工期生活污水处理要求，防城港核电厂新建了一座施工期临时生活污水处理站（处理能力 400m<sup>3</sup>/d），处理工艺为 A2/O 工艺，出水接入已建的施工期临时生活污水处理站排水管线合排，出水水质满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中的一级 A 标准要求。

表 5.1-3 给出了施工期临时生活污水总排口监测的水质，从中可以看出，施工期临时生活污水处理站完成提标改造及新增施工期临时生活污水处理站建成后的运行调试初期，即 2018 年第二季至 2019 年第一季度，施工期临时生活污水总排口水质出现超标，超标指标为粪大肠菌群、氨氮和总磷。经过经验总结，2019 年二季度后出水水质满足标准要求。

2019 年，中国检验认证集团广西有限公司对防城港核电厂厂区生活污水处理站（ED1）和厂外辅助及生活区的生活污水处理站（ED2）进行了每季 1 次检测，每次检测天数为 1 天，检测频次为 4 次/天，检测项目为 pH 值、水温、色度、悬浮物、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、总磷、阴离子表面活性剂、石油类、粪大肠菌群数、总氮、动植物油。各季检测的出水水质均满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中的一级 A 标准要求。

海水水质从 2018 年第二季度至 2019 年第三季度均出现超标，超标指标主要为无机氮、活性磷酸盐。

## （2）施工废水

施工期间的生产废水来自场地冲洗水、混凝土拌合水、砂石料洗涤用水和车辆冲洗废水，污染物主要为悬浮颗粒物。施工单位在各施工项目区设置沉淀池，废水经沉淀后回用于场地洒水抑尘、绿化等，不外排。

综上，本期工程施工期间的生活污水和生产废水均得到收集和处理，总体上来说施工期污水对周边海域的环境影响较小。

### 5.1.2.5 生态环境的影响

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

本项目规划主要在防城港核电厂现有厂区内，动植物资源很少，大部分场平工程已在前期机组施工时完成，此次工程量相对较小。但少量场平工程仍会产生一定的水土流失，须通过实施水土保持措施，减少水土流失量。

本项目在施工期间持续开展水土保持监测，重点监测区域为水土流失预测量较大的主体工程施工作业区（核电厂厂区、辅助设施及现场服务区）、取排水工程区、施工生产生活区和弃渣场。根据 2019 年第二季度最新监测结果显示，施工单位合理安排水土保持工程措施项目，及时采取工程措施、植物措施和临时措施，水保方案中的水土保持措施得到较好的落实，水土保持设施的施工质量符合设计规范要求，累计水土流失量 1.86 万 t，小于设计总量 2.68 万 t。

图 5.1-1 给出了防城港核电厂景观恢复示意图。

### 5.1.2.6 施工废弃物对环境的影响

防城港核电厂 3、4 号机组建设过程中，各种设备和连接管道的运输、贮存和现场安装将采用一些化学物质和缓蚀剂进行表面处理。这些化学物质和缓蚀剂包括磷酸

三钠、硼酸钠、非卤素的有机溶剂和硫酸、磷酸、有机酸等，部分是有毒化学物品，施工时设备承包商按出厂相关要求处理，需要在现场进行补充处理的，由施工单位按照制定的化学物品使用管理规定严格执行，对化学物品的使用量严格控制。另外施工过程中产生的危险固废如油漆桶、探伤洗片废液，废油布、废油漆等，定期交由有资质的单位处理或由供货商回收处置。

施工阶段产生的生活垃圾定点堆放，及时清运。通过采取上述措施，使核电厂施工产生的废弃物尽可能实现回收利用和分类处理，总体上对环境的影响较小。

#### **5.1.2.7 施工活动对社会环境的影响**

本项目施工区不涉及历史古迹、考古场地、风景名胜。

核电厂施工期间大量外来施工人员进驻施工现场和附近村镇，对当地居民的日常生活造成了一定影响，但同时也增加了当地居民的就业机会和商业机会。由于核电厂建设施工期较长，大量施工人员在该地区长期居住和生活，可以增强该地区的消费能力，促进当地经济的发展。

#### **5.1.2.8 道路对周围环境的影响**

核电厂进厂道路和应急道路已建成通车，施工期的环境影响已结束，目前进厂道路和应急道路周边的生态环境现状良好。

表 5.1-1 本期工程陆域用地概况

序号	项目名称	永久用地 (hm <sup>2</sup> )	临时用地 (hm <sup>2</sup> )	备注
1	厂区	26.20		控制区围栏以内
2	厂外 BOP	2.92		控制区围栏以外, 包括二期宿舍、餐厅、综合物资仓库、工业废物暂存库等
3	其他设施区	16.16		取水明渠、海工护岸
4	施工区		75.65	其中利用一期面积 46.57 hm <sup>2</sup> , 二期新增面积 29.08 hm <sup>2</sup> 。
合计		45.28	75.65	

表 5.1-2 施工阶段的主要噪声污染源及噪声级

施工期	主要声源	噪声级 dB (A)
负挖	爆破	>120
土石方	挖掘机、推土机、平地机、装载机、压路机、打桩机和摊铺机	76~105
底板和结构	混凝土输送泵、振捣机、电锯、电焊机	90~100
内部装修	电钻、电锤、手工钻、无齿锯	100~110
外部装修	升降机、吊车	65~75
交通运输	轻型载重卡车、混凝土罐车、大型载重车	75~95



表 5.1-3（1/4）施工期环境监测结果

2016 年

	施工场界 噪声排放	敏感点环境噪声	无组织废气排放	敏感点 空气质量	生活污水排放	海水水质
第一季度	达标	达标	达标	达标	达标	达标
第二季度	达标	达标	达标	达标	达标	达标
第三季度	达标	达标	达标	达标	达标	达标
第四季度	达标	达标	达标	达标	达标	达标

表 5.1-3（2/4）施工期环境监测结果

2017 年

	施工场界噪声排放	敏感点环境噪声	无组织废气排放	敏感点空气质量	生活污水排放	海水水质
第一季度	达标	达标	达标	达标	达标	达标
第三季度	南侧场界夜间噪声 Ln 和 Lmax 均出现 1 次超标	老虎港夜间噪声 Ln 超标（53dB(A)）	达标	达标	达标	达标
第四季度	南侧场界夜间噪声 Lmax 出现 1 次超标	湾潭（51dB(A)）、老虎港（56dB(A)）、大冲口（53dB(A)）夜间噪声 Ln 超标	达标	达标	达标	达标

表 5.1-3（3/4） 施工期环境监测结果

2018 年

	施工场界 噪声排放	敏感点环境噪声	无组织 废气排放	敏感点 空气质量	生活污水排放	海水水质
第一 季度	达标	老虎港 (61dB(A))、大 冲口 (59dB(A)) 夜间噪声 Ln 超标	达标	达标	达标	达标
第二 季度	达标	达标	达标	达标	粪大肠菌群超标 (最高 $7.9 \times 10^3$ MPN/L)	无机氮超标 (最高 0.8494mg/L), 活 性磷酸盐超标 (最高 0.0496mg/L)
第三 季度	南侧场界 夜间噪声 Lmax 出 现 1 次超 标	老虎港 (56dB(A))、湾 潭 (57dB(A)) 夜 间噪声 Ln 超标	达标	氮氧化物偶有 超标 (最高 $0.072\text{mg}/\text{m}^3$ )	粪大肠菌群超标 (最高 $1.6 \times 10^4$ MPN/L)	无机氮超标 (最高 0.8223mg/L), 活 性磷酸盐超标 (最高 0.0540mg/L)
第四 季度	达标	湾潭 (52dB(A)) 夜间噪声 Ln 超标	达标	氮氧化物偶有 超标 (最高 $0.089\text{mg}/\text{m}^3$ )	氨氮超标 (最高 21.4mg/L), 总磷 超标 (最高 1.29mg/L), 粪大 肠菌群超标 (最高 $2.4 \times 10^5$ MPN/L)	悬浮物超标 (最高 518mg/L), 无机 氮超标 (最高 1.8496mg/L), 活性磷 酸盐超标 (最高 0.0405mg/L)

表 5.1-3（4/4）施工期环境监测结果

2019 年

	施工场界噪声排放	敏感点环境噪声	无组织废气排放	敏感点空气质量	生活污水排放	海水水质
第一季度	达标	老虎港（53dB(A)）、大冲口（51dB(A)）夜间噪声 Ln 超标	下风向 TSP（1.1mg/m <sup>3</sup> ）偶有超标	牛角冲 PM10 偶有超标（最高 0.156 mg/m <sup>3</sup> ）。湾潭（最高 0.077 mg/m <sup>3</sup> ）、老虎港（最高 0.098 mg/m <sup>3</sup> ）、大冲口（最高 0.099 mg/m <sup>3</sup> ）、牛角冲（最高 0.117 mg/m <sup>3</sup> ）PM2.5 偶有超标	氨氮超标（最高 25.5mg/L），悬浮物超标（最高 14mg/L）	无机氮超标（最高 1.6158mg/L），活性磷酸盐超标（最高 0.0465mg/L）
第二季度	达标	达标	下风向 NO <sub>2</sub> （0.286mg/m <sup>3</sup> ）偶有超标	达标	达标	无机氮超标（最高 1.5270mg/L），活性磷酸盐超标（最高 0.0610mg/L）
第三季度	-	-	达标	达标	达标	化学需氧量超标（最高 4.2mg/L），pH 值超标（最低 6.72）

防城港核电站 3、4 号机组环境影响报告书（运行阶段）



防城港核电站 3、4 号机组

环境影响报告书（运行阶段）

厂址景观恢复示意图

图 5.1-1

版次：

A

## 5.2 水的利用

### 5.2.1 海域工程概况

### 5.2.2 海域施工活动对水环境及生态的影响

### 5.2.3 施工期供水水源及对周边用户影响

## 5.2 水的利用

### 5.2.1 海域工程概况

防城港核电厂 3、4 号机组属于在已有厂址上的扩建工程，重件码头已在前期工程建设完成，取排水工程中的合取段和合排段已在前期工程建成。

防城港核电有限公司已于 2019 年 8 月 4 日获得了自然资源部发函《自然资源部办公厅关于广西防城港红沙核电二期工程项目用海的函》（自然资办函[2019]1348 号）。批准用海面积 266.6386hm<sup>2</sup>，不占用自然岸线，其中温排水用海 264.9213hm<sup>2</sup>，跨明渠大桥（透水构筑物）用海 0.1231hm<sup>2</sup>，排水虹吸井施工围堰（非透水构筑物，临时用海）用海 1.5942hm<sup>2</sup>。

### 5.2.2 海域施工活动对水环境及生态的影响

防城港核电厂 3、4 号机组海域施工建设过程中对水环境的影响主要来自取排水工程以及海上施工船舶产生的含油废水排放等。

根据《广西海洋生态红线划定方案》（2017 年），厂址附近最近的海洋生态红线为“企沙半岛东部岸段 4”，生态保护目标为海岸景观，管控措施为保持自然岸线自然属性、形态、特征，禁止围填海、矿产资源开发及其他可能毁坏红树林、自然岸线的各类开发活动。本工程海域施工不涉及上述生态红线，不对上述生态红线产生不良影响。

#### （1）取排水工程对海洋环境的影响

本期工程的海域施工工程主要为跨明渠大桥（透水构筑物）和排水虹吸井施工围堰（非透水构筑物），工程量较小。

取排水工程施工时除了引起水中悬浮颗粒物增加造成以上各种不利影响外，其爆破挤淤时产生的冲击波以及在水中传递的声场会对水生生物产生损害甚至致死效应。爆破振动声波对水生生物的影响随距离爆破中心半径的加大而逐渐减小。

海域工程建设对海域生态环境的主要影响是底栖生物的直接损失和其他海洋生物的间接损失。调查表明，本项目附近海域没有珍稀海洋生物，其余底栖生物和鱼类在当地的大多数海域中均有大量分布，工程建设及施工不会显著降低物种多样性，总体影响是短暂的，损失的生物群落可以在施工结束后重新建立和恢复。

#### （2）海上施工船舶及大件码头船舶含油废水排放对海洋环境的影响

海上施工船舶因维修和日常保养会在舱底形成部分含油废水，废水量虽然较小，但如进入海域，一部分附着在悬浮物上并随之沉降到海底，一部分溶于水中随水流扩散，而大部分则漂浮在水面上，影响厂址附近海域水质，并降低水体中光线的射入量，从而导致局部海域生态系统的紊乱和生物量的损失。船舶废水需经铅封储存后返回岸上处理，不允许直接排放。通过采取并落实上述环境管理措施后，施工船舶含油废水不会对海域环境质量造成明显影响。

### 5.2.3 海域施工活动对航运、防洪堤坝、景观等的影响

本项目厂址距离航道较远，本项目海域工程建设期间不会对航道产生不良影响。

厂址附近岸线原为自然岸线，没有人工防洪堤坝。原有的以自然岸线为主的自然景观已被防波堤及其他人工景观所代替。

### 5.2.4 施工期供水水源及对周边用户影响

根据本项目水资源论证报告，施工期间用水量包括施工生产用水和施工人员生活用水。最高日的施工生产用水为  $5200\text{m}^3$ ，最高日施工生活用水为  $850\text{m}^3$ ，即施工期间的最高日用水量为  $6050\text{m}^3$ 。根据 2016 年至今的施工期用水记录，单月最大使用量为  $60627\text{m}^3$ ，小于水资源论证报告的最高用水量，对其他用户的影响很小。



### 5.3 施工影响的控制

#### 5.3.1 减少陆域环境影响的措施

#### 5.3.2 减少海洋环境影响的措施

#### 5.3.3 施工期环境监测

##### 5.3.3.1 陆域环境监测方案

##### 5.3.3.2 海域环境监测方案

表

表 5.3-1 海域环境监测全面监测内容

图

图 5.3-1 施工期陆域环境质量监测点位图

图 5.3-2 施工期海域环境质量监测点位图

## 5.3 施工影响控制

### 5.3.1 减少陆域环境影响的措施

防城港核电厂 3、4 号机组在施工期间对陆域环境的影响主要是不同工程阶段和工程子项建设对陆地生态、大气环境和声环境等方面的影响。为最大限度降低该过程对环境的不利影响，工程中采取以下相应的有效缓解措施，主要包括：

#### （1）大气环境

- 施工期间爆破、混凝土搅拌和载重车辆运输过程等引起粉尘和地面尘土飘散，为降低其对大气环境的影响，保护施工人员的身体健康，施工过程中采取洒水抑尘、深孔爆破、硬化路面、控制车速和加盖苫布等方式来降低施工起尘量，改善施工区域的大气环境；
- 施工过程产生一定量的临时弃土，临时弃土场对环境的影响主要是弃土在堆放过程产生的扬尘污染。为控制临时弃土场对大气环境的不利影响，采取在弃土倾倒和堆放过程中适量洒水抑尘，并避免同时进行大规模的弃土倾倒；
- 加强区域内的场地绿化，栽植能减少扬尘的高矮不等的乔木、灌木。

#### （2）声环境

- 尽量使用低噪声施工设备，在高噪声源设备上加装消音、减震装置，经常对设备进行保养，维持设备处于良好的运转状态；
- 合理安排施工进度，避免在施工期间同步使用高噪声设备；严格控制夜间施工过程，对于可能影响到声环境敏感点的项目，禁止夜间施工，或夜间施工禁止使用重型机械和车辆；
- 在厂房建筑设计中，使办公场所和休息区远离强噪声源，并设置必要的值班室对工作人员进行噪声防护隔离，对工人直接接触的噪声设备，采用隔声耳罩。对主控室单独进行声学设计，通过封闭隔声、减振和内部吸声降低混响等措施，减小室内噪声级；
- 对于土石方爆破、场地负挖和设备安装带来的振动和噪声影响，采取深孔爆破方法，合理选择装药量，划定安全防护距离、装卸设备轻拿轻放等方式，来控制噪声及振动影响的范围。
- 厂区绿化，选用灌木和草坪等对噪声吸收效果较好的植物构成绿化带，以减轻对周围声环境的影响。

### （3）生态环境

- 为控制弃土场的水土流失，通过工程措施、植物措施与预防保护措施来实施有效的控制。工程措施包括：弃土场“先挡后弃”，弃土堆放前在弃土场周围坡脚设砖砌挡坎，弃土结束后，对弃土顶面进行土地平整，为恢复创造条件；弃土结束顶面平整后，在弃土顶面及周围修筑挡水土埂，保持水土。植物措施包括：在弃土场顶面采取乔、草结合的方式，种植当地优势物种。预防保护措施包括：弃土过程中，将清基表土与其他弃土分开堆放，表土集中堆于弃土场一角，用于弃后回铺。
- 为减少施工过程特别是场平阶段对厂区生态的影响，尽量保留原有地表表土，在厂区绿化过程中优先采用原有表土，栽培地方特有物种，搭配对粉尘有较好抑制效果的乔木和灌木。
- 进行水土保持监测，掌握水土流失情况，评价工程的建设对水土流失的实际影响，了解水土流失工程所起的作用，优化水体保持措施。

### （4）放射源及化学物品管理

- 施工期间主要用  $\gamma$  射线进行无损探伤检验，管理措施如下：
  - 1) 聘请有相应辐射安全许可的专业检测公司开展；
  - 2) 根据环境保护部颁布的《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》进行管理；
  - 3) 放射源存放在厂区内专用源库中，并设专人看管和安保监控；
  - 4) 使用放射源的作业区范围内设置警示区和警戒线，防止有人误入控制区；
  - 5) 探伤操作人员佩戴个人剂量计和报警器，监控工作过程中个人所受辐射剂量。现场配备巡检仪，监控放射性工作场所的剂量水平。
- 核电厂建设施工阶段，将涉及多种化学物质的使用。在施工时，严格执行制定的化学物品管理使用规定，对化学物品的贮存和使用量严格控制，产生的危险废物由相关资质单位处理或由供应商回收处理。

### 5.3.2 减少海洋环境影响的措施

防城港核电厂 3、4 号机组在施工期间产生的悬浮泥沙、含油废水、生活污水以及海工爆破等工程会对附近海洋环境产生影响。为减少施工期间的海洋环境影响，采

取的措施主要有：

- 疏浚挖泥过程尽量做到精确定位，减少作业中不必要的超深、越宽疏浚量。泥浆在运输途中严格检查泥舱泥门的密封性，发现有泄漏污染物的现象，立即采取措施封堵；
- 对于岸边堆放的土方及建筑材料，加强场地管理，增加防护措施，以防止由于外界因素进入水体；
- 严禁施工船舶向施工海域排放废油、残油等污染物，船舶含油废水经铅封贮存后带至岸上处置；陆上隔油池定期清理，废油脂交由相关资质单位回收；
- 厂区雨污分流，禁止生活污水乱排或未经处理直接排海，加强对污水站的维护管理，定期监测出水口水质，确保污水站运行稳定，污水达标排放；
- 场地冲洗、混凝土搅拌等生产废水经沉淀池处理后，全部回用于场地洒水抑尘和绿化，不外排；
- 水下爆破严格控制一次爆破用药量，尽量减少爆破次数和单次爆破之间的时间间隔；爆破时间选择在低平潮时段进行，并避开鱼类繁殖生长旺盛的季节（8~9月）。

### 5.3.3 减少生产和生活废物的排放及其影响的措施

#### 5.3.3.1 固体废物

施工期间产生的固体废物包括生产废物和生活垃圾。生产废物主要来自土建施工产生的建筑垃圾，安装阶段产生包装物以及危险废物，施工建设期间生活垃圾种类主要有可回收垃圾、厨余垃圾、有害垃圾和生活垃圾。

- 危险固废暂存库：危险废物集中贮存和管理，交有消纳资质单位处理，不得擅自倾倒、堆放。临时贮存危险废物时，采取适宜的防护措施，防止污染环境。转移危险废物时，按照国家有关规定填写危险废物转移联单，要求承包商按照危险废物处理合同将转移单定期报项目部。对一些有害垃圾如含汞银光灯，来源为办公场所和宿舍照明，委托具有固废处理资质的承包商进行回收处置。
- 一般工业固废贮存场：施工现场分类设置堆放场，并设置标牌，以分类集中存放各类废弃物。可回收的废弃物如包装板（箱）、纸袋、金属余料、塑料制品等

按规定回收，一般建筑垃圾在指定垃圾场填埋。

- 生活垃圾：生活、办公和施工现场设立适当数量的分类垃圾桶，垃圾分类收集、转运，保证可回收资源的再利用。垃圾及时清运，做到日产日清，由物业部门委托相关单位外运填埋处置。

综上，建设单位对固体废物进行了有效的处置和控制。

### 5.3.3.2 生产和生活废水

#### （1）生活污水

防城港核电厂各生活污水处理站均按照《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中的一级 A 标准执行。

#### （2）生产废水

施工单位在各施工项目区设置沉淀池，废水经沉淀后回用于场地洒水抑尘、绿化等，不外排。

### 5.3.4 施工期环境监测

核电厂的施工包括陆域工程和海域工程的建设，这些工程的建设会造成厂址附近局部陆域及海域环境质量受到影响。为掌握核电厂建设期间对陆域及海域环境造成影响的程度，检验核电厂施工期间采取的减缓环境影响措施的实施效果，促使施工单位采用更合理的工艺以最大限度降低工程建设对周边环境的不利影响。2017 年三季度前，业主单位委托防城港市环境监测站开展防城港核电厂施工期间的陆域及海域环境监测专题，2017 年三季度后，改为委托深圳市宇驰检测技术股份有限公司实施相关监测。

#### 5.3.4.1 陆域环境监测方案

陆域环境监测内容包括环境空气、污水站出水和噪声三部分。

a、环境空气监测：共布设了 8 个空气监测点位，施工场界 4 个，湾潭村、老虎港、大冲口和牛角冲各 1 个。施工场界监测项目为总悬浮颗粒物(TSP)、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)和二氧化硫(SO<sub>2</sub>)，每次连续监测 5 天，每天取 08:00、11:00、15:00、19:00 采样，每次采样 1h。敏感点监测项目为总悬浮颗粒物(TSP)、可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)、细颗

颗粒物（PM<sub>2.5</sub>，2017 年第三季度开始新增）、二氧化氮（NO<sub>2</sub>）和二氧化硫（SO<sub>2</sub>），每次连续监测 5 天，每天测日均值。

b、废水排放监测：在核岛区域排水沟和搅拌站排水沟设置了 2 个施工废水监测点，测试水温、pH 值、悬浮物、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、磷酸盐、氟化物、石油类。进出水监测指标为：水温、pH 值、色度、氨氮、化学需氧量、五日生化需氧量、悬浮物、动植物油、石油类、总磷、阴离子表面活性剂、粪大肠菌群数。施工废水和生活污水处理站监测采样频次为每季度监测 1 天，每天采样 4 次。

c、噪声监测：共设置了 9 个监测点，包括施工场界 6 个点，湾潭村、老虎港和大冲口 3 个敏感点。施工厂界环境噪声测试项目为等效连续 A 声级（Leq），昼间等效声级（Ld）、夜间等效声级（Ln）和最大声级（Lmax），每次连续监测 2 天，每天于昼、夜间各监测 1 次，每点每次监测 20min。环境噪声测试项目为等效连续 A 声级（Leq），昼间等效声级（Ld）、夜间等效声级（Ln）和最大声级（Lmax），每次监测 1 天，连续监测 24 小时。

陆域环境监测点位见图 5.3-1。

#### 5.3.4.2 海域环境监测方案

海域监测共设置了 4 个点，每季监测一次，监测内容包括水温、pH 值、悬浮物、溶解氧、化学需氧量、五日生化需氧量、无机氮、活性磷酸盐、石油类。每次监测在大潮和小潮的涨潮、退潮期各取样 1 次。

监测点位具体见图 5.3-2，监测内容见表 5.3-1。

表 5.3-1 施工期环境监测内容

监测对象	监测项目	项数 (项)
海水水质	水温、pH值、悬浮物、溶解氧、化学需氧量、五日生化需氧量、无机氮、活性磷酸盐、石油类	9
生活污水	水温、流量、pH值、悬浮物、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、动植物油、石油类、总磷、阴离子表面活性剂、色度、粪大肠菌群	13
施工污水	水温、流量、pH值、悬浮物、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、磷酸盐、氟化物、石油类	10
施工场界大气无组织排放	总悬浮颗粒物 (TSP)、二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )、二氧化氮 (NO <sub>2</sub> )	3
敏感点空气质量	总悬浮颗粒物(TSP)、可吸入颗粒物(PM10)、细颗粒物(PM2.5)、二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )、二氧化氮 (NO <sub>2</sub> )	5
施工场界噪声	等效连续A声级 (Leq)、昼间等效声级 (Ld)、夜间等效声级 (Ln)、最大声级 (Lmax)	4
敏感点环境噪声	等效连续A声级 (Leq)、昼间等效声级 (Ld)、夜间等效声级 (Ln)、最大声级 (Lmax)	4

防城港核电站 3、4 号机组环境影响报告书（运行阶段）



图中▲为厂界噪声监测点，在本期工程主厂区北侧、西侧、南侧各设 2 个监测点；△为噪声敏感点监测点，分别设置于湾潭、大冲口和老虎港；○为环境空气质量监测点，分别设置于湾潭村、老虎港、大冲口和牛角冲。

防城港核电站 3、4 号机组

环境影响报告书（运行阶段）

施工期陆域环境质量监测点位图

图 5.3-1

版次：

A





防城港核电站 3、4 号机组		
环境影响报告书（运行阶段）		
施工期海域环境空气质量监测点位图		
图 5.3-2	版次：	A

## 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

- 6.1 散热系统的环境影响
  - 6.1.1 散热系统方案
    - 6.1.1.1 取排水方案论证过程
    - 6.1.1.2 取排水工程设计方案简介
  - 6.1.2 散热系统对水体的物理影响
    - 6.1.2.1 散热系统设施对水体的物理影响
    - 6.1.2.2 温排水对水体的物理影响
    - 6.1.2.3 温排水温升监测与分析
    - 6.1.2.4 温排水影响评价
  - 6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响
    - 6.1.3.1 取排水工程对水生生物的影响
    - 6.1.3.2 温排水对水生生物的影响
  - 6.1.4 参考资料

## 6.1 散热系统运行的影响

防城港核电厂位于广西壮族自治区防城港市港口区光坡镇，厂址东临钦州湾，电厂采用海水直流冷却方式，冷却水取、排水口均位于钦州湾。1、2号机组建设2台CPR1000核电机组，3、4号机组建设两台华龙一号机组。

目前，钦州湾内大型取排水设施除核电项目外，还有位于防城港核电厂东北方向约6.5km的广西钦州燃煤电厂，广西钦州燃煤电厂建于钦州港经济技术开发区鹰岭作业区东南端，以钦州湾海水作为冷却水源，取排水采用金鼓江排水、鹰岭水道取水的布置方案。

### 6.1.1 散热系统方案

在防城港核电冷却方式研究阶段，建设单位委托相关设计单位对本工程的取排水方案进行了详细比选论证，包括直流冷却和海水冷却塔二次循环方案的比选，以及直流冷却方式的深入比选优化工作。根据厂址所在海域潮流特点，通过技术、经济和环境等方面综合比选，最终确定了“东取南排、港池取水、明渠排水”的取排水方案。

防城港核电厂取排水方案按规划容量一次建成，取水采用港池方式，港池内分期开挖与外海-7.0m等深线直接相通的引流槽；排水采用明渠方式，渠长6.2km，出口底标高-4.7m。具体取排水工程方案如下：

- 总平面布置依照“东取、南排、北进水”的原则，取水口位于厂址东部海域，由取水明渠导入主厂区北部的取水泵房，进入主厂区中部的发电机组作为冷却用水，温排水由主厂区南部的排水井排出，由排水明渠导流，最后从排水口入海。
- 取水明渠为东西走向，东部与取水北防波堤及东内护岸相接，西部为厂区取水泵房前池，明渠南护岸为厂区内护岸，北护岸为厂外辅助区的内护岸。
- 排水防波堤呈东南-西北走向，东南端与主排水防波堤的西堤相接，西北端与南外护岸相接，防波堤与南内护岸围成排水明渠。排水口布置在高墩石和外沙石两座小岛以南、西航道西侧海域，距离西航道轴线约750m，距取水口约7.1km，排水明渠长约6200m，底宽100m，两侧导流堤间距300m。

### 6.1.2 散热系统对水体的物理影响

### 6.1.2.1 散热系统设施对水体的物理影响

防城港核电厂采用东取南排的取排水方式，排水明渠长 6.2km。防城港核电厂已经针对电厂取排水工程实施的可能的水动力环境和冲淤影响、温排水影响开展了泥沙和岸滩稳定性分析专题、海洋水文动力和泥沙数模、温排水模拟等专题研究。此外，防城港核电厂一期工程已于 2015 年 10 正式投入运行，电厂已结合厂址取排水工程附近海域多次水下地形勘察成果，对电厂取排水工程实施后的厂址海域水下地形和冲淤演变开展了分析研究，并于 2018 年 5 月完成了防城港核电厂温排水遥感监测研究，对一期工程 2 台机组运行期间的温排水温升影响进行了监测及分析。本节基于上述研究成果对电厂散热系统实施可能对厂址附近海域水体的物理影响进行分析和评价。

#### （1） 海域流场影响

根据中国水科院开展的电厂泥沙和岸滩稳定性分析专题成果，电厂取排水工程对海域流态的变化主要表现为：a) 取水明渠对北堤西北侧的水流和排水明渠对西南侧的水流有所阻碍，取、排水明渠修建后，均会形成一定的沿堤流，但流速不大；b) 取、排水明渠之间形成一个低流速区域；c) 取排水工程对钦州湾涨落潮流态的影响局限于钦州湾西槽及其以西浅滩，对西槽分流比的影响大于中、东槽，小潮大于大潮，但总体上变化不大，大多在 $\pm 2\%$ 之内。从总体来说，取排水工程对流态的影响较小，局限于工程附近水域，西槽以东水域的流态变化不是很明显。

根据电厂温排水模拟结果可知，取排水工程对水域流场影响主要表现在取排水构筑物附近局部水域，电厂取排水方案工程布置的改变对工程海域总体流场特性没有影响。取排水工程实施对海域流场变化分析如下：

- 取排水工程实施前后，茅尾海内的纳潮量变化很小；对进出鹰岭水道的潮流影响不大，影响程度基本在 $\pm 0.5\%$ 之内。
- 对于排水明渠西侧浅滩及区域流场：排水明渠修建后，涨潮时段，涨潮流沿着西水道北上，受涨潮流的顶托作用，排水出流在出口不远处分为两支，除大部分出流逐渐汇入西水道深槽主流外，小部分出流偏向排水明渠西侧的浅滩，由于明渠西侧形成半封闭的浅湾，涨潮水流受阻，绕过堤头沿西槽和排水明渠堤脚上涨，由此引起排水明渠堤头以西涨急流速减小，一般为小于 0.2m/s，堤头及以东涨潮流速有所增大；落潮时，受排水明渠束窄水流通道的沿堤落潮流向西槽归顺和机组排水水流的多重影响，大小红排礁至排水明渠

头部的西槽水流增大，受排水水流的顶托，落潮流在排水明渠的绕流作用较弱，致使落潮时排水明渠西侧及其以南的较大海域流速减小。

根据电厂二期工程水文动力、冲淤影响及施工悬浮物扩散专题研究，基于排水明渠一次建成、长度 6.2km 的取排水工程方案，对整个钦州湾南边界东至北海、西至白龙尾一线、从钦州湾湾顶到南边界的南北共 50km 范围研究区域的海域潮流和泥沙影响分析表明：

- 取排水工程建设后，由于取排水明渠对近岸潮流的阻隔和核电厂取排水流量的影响，厂址附近海域的潮流场出现了一些变化：①取水明渠建成后，取水明渠头部的挑流作用明显，潮流在取水明渠头部形成绕流，涨潮时取水明渠北侧小范围内的回流有所增强，落潮时取水明渠北侧小范围内流速有所降低，取水头部前沿的流速有所增强；②排水明渠建成后，对排水明渠西侧近岸潮流的阻挡作用显著，涨潮时潮流绕过堤头沿西槽和排水明渠堤脚上涨，排水明渠堤头以西涨急流速减小，堤头东侧流速有所增大，落潮时排水明渠对潮流的阻挡作用不明显，排水明渠南段西侧海域的流速有所减小。
- 总体而言，取排水工程对流态的影响局限于工程附近水域，工程前后流速变化大于 0.05m/s 的区域仅限于取排水明渠周围约 4.0km 范围内，钦州湾西槽以东水域的流态无明显变化。

## （2）泥沙及岸滩影响

根据电厂泥沙和岸滩稳定性分析专题研究成果表明，天然状态下钦州湾海域的海床演变与床沙分布情况息息相关，从总体上看，钦州湾海域东槽东侧和西槽西侧的边滩主要呈微淤状态；典型潮作用下取排水工程对海域的冲淤影响主要局限于取排水口附近水域，影响范围一般不跨越西槽，取水明渠和排水明渠口门处存在一定冲刷。

根据电厂二期工程水文动力、冲淤影响及施工悬浮物扩散专题研究成果表明，取、排水工程建成后，总体而言，工程对海床冲淤影响大于 0.01m/a 的区域主要在取排水明渠附近约 1.5km 的范围内，对其它海域影响很小。

结合防城港核电厂已经开展专题研究成果表明，取排水工程对厂址附近海域流态的影响较小，主要局限于工程附近水域，西航道以东水域的流态变化影响有限；厂址附近海域内从长期和大范围的角度来看，工程附近海区的海床演变整体呈现微冲微淤的状态。

### 6.1.2.2 温排水对水体的物理影响

中国水利水电科学研究院开展的温排水影响数值模拟和物理模型试验专题，根据厂址附近海域的水文、岸线和地形等实际情况，对本工程取排水的可能温升影响进行了分析预测。研究方法、模型和参数如下：

#### （1）温排水数值模拟计算

##### （a）计算工况和研究条件

数学模型计算区域为以防城港核电厂为中心，西至白龙尾，东至北海港，南距电厂约45km，北至茅尾海湾顶，涵盖整个钦州湾及外围部分区域，计算网格的尺度应反映工程海域水工构筑物（包括取排水建筑物等）及沿岸地形的影响，同时也适当考虑计算工作量的经济合理性，局部加密后最小网格尺寸为20m。水下地形数据采用厂址附近海域的实测地形图和相关海图资料。

数值模拟计算采用的海洋水文资料为国家海洋局第一海洋研究所于2013年开展的夏冬两季全潮水文测验资料。其中，2013年夏季实测大、中、小潮对应的潮差频率分别为<5%、50%和>85%，冬季实测大、中、小潮对应的潮差频率分别为<5%、20%~25%和>85%，观测基本符合大、中、小潮的典型潮位分布特征。

##### （b）模型方程和参数

数值模拟采用水深平均平面二维潮流数学模型，流场及温度场控制方程如下：

连续方程：

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0$$

动量方程：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gu}{C^2 H} \sqrt{u^2 + v^2} - \frac{\tau_{sx}}{\rho H} - \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x} (HE \frac{\partial u}{\partial x}) - \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial y} (HE \frac{\partial u}{\partial y}) - fv = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gv}{C^2 H} \sqrt{u^2 + v^2} - \frac{\tau_{sy}}{\rho H} - \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x} (HE \frac{\partial v}{\partial x}) - \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial y} (HE \frac{\partial v}{\partial y}) + fu = 0$$

热输运方程为：

$$\frac{\partial \Delta T}{\partial t} + u \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + v \frac{\partial \Delta T}{\partial y} = \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x} (DH \frac{\partial \Delta T}{\partial x}) + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial y} (DH \frac{\partial \Delta T}{\partial y}) - \frac{K_s \Delta T}{\rho c_p H}$$

式中：H为水深， $H = h_b + \zeta$ ， $h_b$ 为基准面以下水位， $\zeta$ 为相对基准面水位；u、v分别为x、y方向垂向平均流速；t为时间变量；C为谢才系数， $C = 1/n \cdot H^{\frac{1}{6}}$ ，n为糙率

系数；E为广义粘性系数； $\Delta T$ 为水体超温， $\Delta T = T - T_{\infty}$ ，T为水温， $T_{\infty}$ 为自然水温；D为广义热扩散系数； $K_s$ 为水面综合散热系数； $\rho$ 为水体密度；g为重力加速度； $C_p$ 为水的定压比热；f为柯氏力系数； $\tau_{sx}$ ， $\tau_{sy}$ 为表面风应力 $\tau_s$ 在x、y方向的分量。

计算参数中，糙率系数n根据运算经验取值；表面综合散热系数 $K_s$ 根据《冷却水工程水力、热力模拟技术规程》（SL 160-2012）及厂址附近夏季和冬季的气象、水温条件，得到夏季和冬季的 $K_s$ 。

### （c）模型验证

数模计算根据2013年海洋水文测验结果进行数学模型的验证。采用具有实测潮位的厂址站、果子山和乌雷站共3个测站进行夏、冬两季典型大、中、小潮的潮位验证（共6个潮型），采用测流期间布设的14个测点进行夏、冬两季典型大、中、小潮的流场验证（共6个潮型）。验证结果表明：潮位计算值与实测值吻合良好，大部分测流点的流速、流向计算值与实测的垂向平均值基本一致，模型模拟成果能够较好地反映厂址海域的潮流特征。

工程海区海流运动的主要形式为往复流，涨潮时，来自外海的涨潮流北上，通过三条水道向湾内聚集。西部涨潮流沿西水道上行，东部海流绕经大三墩平台，进入中、东水道。东水道的涨潮流在鹰岭作业区尖角分成两部分，一部分折转进入金鼓江，一部分与西、中水道的涨潮流汇合，进入茅尾海。落潮时，来自茅尾海的落潮流在青菜头附近分成三股主要水流，顺西、中、东水道向外海扩散。

### （2）温排水物理模型试验

#### （a）试验模型和研究条件

物理模型试验的模拟范围为以电厂为中心的 $26.1 \times 13.5 \text{ km}$ 的海域，面积约 $352 \text{ km}^2$ 。模拟范围包括钦州湾中西部水域及茅尾海湾颈水域，同时考虑了钦州电厂所在东侧部分水域，模拟以厂址为中心 $26.1 \text{ km} \times 13.5 \text{ km}$ 海域，总面积约 $352 \text{ km}^2$ 。

物理模型设计以重力相似为主，兼顾浮力相似等其它相似准则。

— 重力相似准则： $(Fr)_r = (V/\sqrt{gH})_r = 1$ ；

— 模型几何比尺为：

- 水平比尺： $Lr=450$ ；
- 垂向比尺： $Hr=125$ ；
- 几何变态率： $\varepsilon = Lr/Hr=3.6$ 。



物理模型试验采用2013年开展的夏季全潮水文测验资料，其中大、中、小潮对应的潮差频率分别为<5%、50%和>85%，符合大、中、小潮的典型潮位分布特征，在试验过程中作为典型潮开展试验。

#### （b）模型验证

物理模型试验采用2013年夏季的大、中、小潮潮位和潮流资料率定，模型边界条件由数模计算提供。物模试验的海域包含1个潮位验证点（厂址站）和7个测流点

（L03~L06、L08、L10、L11）。验证结果表明：在三个实测潮型对比中，物理模型与原体潮位误差基本不超过 $\pm 1\text{mm}$ ，潮位过程吻合良好。模拟海域7个测流点流速、流向模型值均与实测值基本符合。其中，各测点流速基本介于原型实测表层与垂向平均之间，个别时刻流速略有偏差，但总的随潮变化过程与实测结果一致；各测点的流向与原型实测结果基本相符，基本如实反映了整个流场的变化特征。

#### （3）模拟预测结果

##### （a）温升流态

工程海域钦州湾地形呈三槽四滩的地形总格局，潮流运动形式表现为往复流，流向基本与岸线和深槽走向一致。该海域潮间带宽，岛礁与沙洲较多，低潮位时常常露出水面。东、中、西三条水道是涨落潮流的主要通道，流速分布呈现深槽主流区流速大、浅滩流速小的分布特点。涨潮时，潮流自外海宽阔海域沿着三条水道向湾内汇集，落潮时，来自金鼓江与茅尾海的潮流南下向外部海域扩散。核电厂取排水靠近西侧水道，深槽潮流较强。取排水方案实施后，工程海域总体流场特性没有改变，只在取排水构筑物附近局部水域流场有所变化，主要表现为受排水明渠及取水港池的挑流作用，涨落潮时有小范围回流区存在。

温排水排入环境水体后，在涨落潮流作用下随潮输移扩散。受工程海域岸线、地形、潮流及取排水布置方式的影响，温排水在物理模型与数学模型中呈现的输运规律一致，即：温排水高温升影响区主要集中于西水道一侧。涨潮时，温排水受北上涨潮流作用，大部分在西水道涨潮主流挟裹下向茅尾海输运，并途经取水口前缘水域，小部分则随潮流向西侧浅滩。落潮时，滩涂上的热水表现为归槽流，而排水明渠流出的温排水则随落潮流沿西水道南下，远离取水口并流向外海。

##### （b）取水温升及温升分布

根据温排水模拟及综合研究分析结果，温排水模拟结果良好，均能反映出原体涨

落潮流场的整体态势及特点。受温差浮力影响，物理模型的高温升区影响范围大于数学模型；当温排水三维水力、热力特性在远区逐渐减弱并沿垂向均化后，物理模型与数学模型的模拟结果差异缩小，在远区低温升影响范围则以数学模型更大一些；近区宜采用物理模型的试验结果，远区宜采用二维数模计算结果。

针对取水温升，以中潮最大、大潮次之、小潮最小；同时高温升区影响面积均为大潮最小、小潮最大、中潮介于两者中间；取水温升随潮变化过程中，取水温升峰值一般出现于涨潮过程的后期，而低平潮时期容易出现温升低值。取水温升采用物模成果。电厂4台机组取水温升最大不超过 $1.6^{\circ}\text{C}$ ，平均温升不超过 $0.7^{\circ}\text{C}$ 。

针对温排水温升分布，电厂4台机组正常运行期间，钦州电厂与防城港核电厂两者厂址前缘水域属不同分支，温排水可各行其道，相互间不存在直接影响， $1^{\circ}\text{C}$ 以上温升区域互不相连；对于夏季温升影响区，近区（ $\geq 2^{\circ}\text{C}$ ）采用物模结果，远区（ $\leq 1^{\circ}\text{C}$ ）采用数模结果，对于冬季温升影响区采用数模结果。

本工程3、4号机组及电厂1、2号机组共4台机组正常运行时：

- 夏季：全潮最大 $4^{\circ}\text{C}$ 温升包络面积不超过 $3.97\text{km}^2$ （小潮）， $3^{\circ}\text{C}$ 温升包络面积不超过 $10.79\text{km}^2$ （小潮）， $2^{\circ}\text{C}$ 温升包络面积不超过 $24.72\text{km}^2$ （小潮）， $1^{\circ}\text{C}$ 温升包络面积不超过 $71.00\text{km}^2$ （中潮）；全潮平均 $4^{\circ}\text{C}$ 、 $3^{\circ}\text{C}$ 、 $2^{\circ}\text{C}$ 、 $1^{\circ}\text{C}$ 温升面积分别不超过 $1.08\text{km}^2$ 、 $3.34\text{km}^2$ 、 $8.05\text{km}^2$ 和 $29.50\text{km}^2$ （小潮）。
- 冬季：全潮最大 $4^{\circ}\text{C}$ 温升包络面积不超过 $3.31\text{km}^2$ （小潮）， $3^{\circ}\text{C}$ 温升包络面积不超过 $11.86\text{km}^2$ （小潮）， $2^{\circ}\text{C}$ 温升包络面积不超过 $33.7\text{km}^2$ （小潮）， $1^{\circ}\text{C}$ 温升包络面积不超过 $129.84\text{km}^2$ （小潮，与钦州电厂共同造成）；全潮平均 $4^{\circ}\text{C}$ 、 $3^{\circ}\text{C}$ 、 $2^{\circ}\text{C}$ 、 $1^{\circ}\text{C}$ 温升面积分别不超过 $1.25\text{km}^2$ 、 $3.95\text{km}^2$ 、 $14.14\text{km}^2$ 、 $57.14\text{km}^2$ （小潮）。

### 6.1.2.3 温排水温升监测与分析

生态环境部卫星环境应用中心于2015年至2018年期间开展了防城港核电厂的温排水温升监测工作，对防城港核电厂一期工程运行前后的温排水扩散规律和温升影响范围进行了分析，包括夏、冬两种典型季节、不同潮流特征及不同机组投运条件下的有关温度场特征。

遥感监测各级温升面积与模拟结果比较可知：

(a) 遥感监测所得的不同温升下的平均面积远小于数模结果；

(b) 在夏、冬季全潮工况下，除了冬季3℃温升区大于数模结果外，其余遥感监测的最大温升面积结果1℃、2℃、3℃、4℃温升区均小于模拟范围，且远远小于模拟温升范围。

根据一期工程运行期间温排水的共27次有效遥感监测数据，综合分析可知：

(a) 防城港核电站温排水排出后基本呈扇形形态热扩散，高温区面积较小，热量随潮流运动向外扩散，随着温升等级的减少，温升分布面积显著增加，高温温升区（3℃、4℃和5℃）的面积要远低于低温温升区（1℃和2℃）。

(b) 工况对温排水热扩散有一定程度影响。随着运行机组数目的增加，0.5℃、1℃温升区面积均随之增加，但不明显，而2℃、3℃、4℃温升区随着工作机组的增加，温升区面积变化不大。

(c) 潮汐对温排水热扩散有较大影响。涨潮时，海域水体随涨潮流向西北即排水通道方向移动，但是同时水体又受到潮流向岸方向的顶托作用，不利于排水口附近高温水体的扩散，因此大于2℃高温温升区分布面积比较大，而0.5℃、1℃低温温升区分布面积较小。落潮时，温排水随着主流向西南方向移动，湾内水体向南泄出，由于潮流的拖曳作用，排水口附近的高温水体更容易扩散，高温温升区分布面积较小，而低温温升区面积较大。总体来说，对于各个潮汐状况下，落急/落憩阶段的温升面积要比涨急/涨憩阶段分布面积大，落潮比涨潮更有利于排水口附近高温水体扩散；大潮的水的流速迅速增大，高温水体的热量迅速被扩散，在大潮时高温温升区分布面积低，低温温升区面积多。

#### 6.1.2.4 温排水影响评价

根据《广西壮族自治区海洋功能区划》（2011-2020），厂址附近的海洋功能主要有：（1）企沙半岛东侧保留区（B8-1），面积为2342ha，海域用途包括：在靠近防城港核电站一侧，为防城港核电站排水区，其余区域应严格论证最适合功能，加强对特殊用途区域及设施的保护，保障使用效能；（2）企沙半岛东侧工业与城镇用海区

（A3-3），面积为2901ha，主要为防城港核电站建设与发展使用，部分海域布局核电站取排水、码头、航道等基础设施。国家海洋局已经以《自然资源部办公厅关于广西防城港红沙核电二期工程项目用海的函》（自然资办[2019]1348号）文批复了本工程项

目的用海方案。

根据广西壮族自治区人民政府办公厅文件《广西壮族自治区人民政府办公厅关于印发广西壮族自治区近岸海域环境功能区划调整方案的通知》（桂政办发[2011]74号），厂址所在近岸海域的环境功能区主要有：（1）红沙工业用海区（GX083CIII），主导功能为核电站温排水及工业用海，属三类环境功能区，水质保护目标为三类海水水质标准；（2）红沙排污区（GX084DIV），主导功能为港口、工业、生活排污用海，属四类环境功能区，除水温不执行海水水质标准外，其他水质目标为四类；（3）揽埠江口养殖区（代码GX085B II），主导功能为海产品养殖用海，属二类环境功能区，水质保护目标为二类海水水质标准；（4）企沙港北部养殖区（GX088B II），主导功能为海产品养殖用海，属二类环境功能区，水质保护目标为二类海水水质标准；（5）钦州海产品增殖区（GX078BII），属二类环境功能区，水质保护目标为二类海水水质标准。根据海水水质标准（GB3097-1997）的要求，对于三类海水水质，人为造成的海水温升不超过当时当地4℃；对于二类海水水质，人为造成的海水温升夏季不超过当时当地1℃，其它季节不超过2℃。

根据核电厂温排水模拟结果，在4台机组温排水作用下，夏、冬两季大、中、小潮的全潮最大4℃温升外包络区域均位于水温不执行海水水质标准的红沙排污区内；夏季大、中、小潮的全潮最大1℃温升外包络区域和冬季大、中、小潮的全潮最大2℃温升外包络区域均位于三类区内，未涉及二类区。总体来说，电厂本工程运行期间，电厂共4台机组温排水共同作用下，温排水造成的海水升温均满足相应近岸海域环境功能区划的水温管理要求，与近岸海域环境功能区划相符。

根据《广西海洋生态红线划定方案》（2017年），厂址附近最近的海洋生态红线为“企沙半岛东部岸段4”，位于厂址西南侧的内湾，距离排水口最近约5.8km，其生态保护目标为海岸景观，管控措施为保持自然岸线自然属性、形态、特征，禁止围填海、矿产资源开发及其他可能毁坏红树林、自然岸线的各类开发活动，电厂温排水远离该岸线，不会对此岸线造成不利影响。

### 6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

防城港核电厂取排水系统主要包括取水头部、取水明渠、闸门、拦污栅、鼓形滤网、水泵、冷凝器、虹吸井和排水渠等部分。取排水系统各个部分对海洋生物可能产

生的影响主要通过机械因素、热因素和化学因素实现。在所有这些影响因素中，最主要的是排水系统的热影响、以及取水系统的卷塞和卷载的影响，对于取排水系统的加氯影响见6.3节。

#### 6.1.3.1 取排水工程对水生生物的影响

卷塞是指冷却水进入冷却系统时被拦截在滤网等装置上导致的生物伤害或死亡的物理现象，卷塞对象包括那些被滤网收集或截留的生物，不包括通过滤网进入冷却水设施的生物，一般个体较大。卷载效应通常指随同取水进入冷却水系统的小型水生生物被动携带传输的过程，卷载生物在高压、高温以及杀生剂的作用下导致伤害或死亡。

防城港核电厂在运行过程中，需抽取海水作为循环冷却水，一般取排水只对那些能通过取水系统滤网的鱼卵、仔鱼、仔虾、浮游生物及其它游泳类生物幼体产生明显的伤害。电厂明渠设计取水流速与海域潮流相接近，取水系统将对浮游生物产生一定程度的损伤，对取水口附近水域浮游生物量有潜在的减少影响。

国内针对电厂取水系统卷塞与卷载影响的研究中，东北师范大学在对国内若干电厂进行的现场实测结果显示，在电厂冷却系统内流速 $\geq 2\text{m/s}$ ，高于核电厂取水口处流速，滤网孔径 8mm，大于核电厂安装的 3mm 孔径旋转滤网条件下，进入冷却系统的浮游藻类机械损伤率为 11.98%~27.08%，易损种类主要为蓝藻和绿藻，受损藻类恢复到受损前水平约需 2d 时间；对浮游动物的损伤程度高于浮游藻类，数量损伤率为 31%~90%，易受损伤的种类主要是桡足类水蚤，浮游动物恢复约需 1.5d-6d，恢复最快的是原生动物，最慢的是桡足类；因卷吸进入冷却系统的仔虾（体长 7mm~34mm）损伤率为 28.3%~66.9%，损伤率与仔虾密度呈正相关关系，且随仔虾体长增大而增加；梭鱼幼鱼（体长 20mm~40mm）的损伤率为 63.4%~78.8%。此外，国家海洋局第三海洋研究所对大亚湾核电站冷却水滤网闸排水沟进行的调查结果也表明，在进入核电站取水滤网的仔幼鱼中，以品位低的次质经济小型鱼类为主，而品位较高的优质经济鱼类的数量极少。

国外针对电厂冷却系统的卷吸效应影响研究表明，水生生物受损伤程度因生物种群耐受能力不同而异。例如，在法国 Gravelines 核电站的观察表明，卷吸及热效应对不同生物造成的死亡率为：浮游动物在 10% 以下，其中的敏感种群达 20%；底栖鱼类的卵 50%，幼鱼为 100%。对撞击较敏感的鲱鱼死亡 100%，抗力较强的比目鱼，鳎

鱼、鲈鱼在 0~20%；海虾在 30%~70%之间。美国报道发电站冷却系统卷吸效应损伤数的范围很宽：太平洋近岸四个电站排放口浮游动物死亡率为 6%~11%；大西洋沿岸海湾的三座电站浮游动物死亡 20%~70%；康涅狄格州的 Millstone Point 电站为 60%~90%；康涅狄格河电站鱼类死亡 74%~100%。美国 Argonne 国立实验室对 Point Beach 电站冷却系统对受纳水体密歇根湖水生物机械损伤和热冲击影响的现场系统观察表明，浮游动物经过冷凝器后的净死亡率为 6%。英国 Bradwell 核电站观察到机械效应导致相当数量鱼卵和幼鱼死亡，牡蛎幼体经过冷却系统后 20%的壳受损，但并未造成附近渔业发展的不利影响。相对于鱼卵、仔鱼的自然存活率一般低于 10%而言，卷吸效应所致的海洋资源损失是较小的。此外，国内相关单位在 2007 年开展的针对大亚湾和岭澳核电站运行时卷吸效应的数模结果显示，对广东省大亚湾附近海域中黑鲷和墨吉明对虾卷载率分别为 10.10%和 5.55%。

由于浮游生物的生殖周期较短、繁殖较快，且损伤后的恢复也较快。根据厂址附近海域生态调查结果，电厂的取水口周围海域没有海洋生物的产卵场，也不涉及海洋生物的洄游路线，同时电厂取水口附近的海洋生物在附近海域中均有大量分布，基于海洋生物所固有的繁殖能力，预计取水系统的取水不会影响物种的种群水平发展，电厂取水对本海区海洋生物的影响是有限的。

为尽量减轻取排水卷塞与卷载对海洋生物的可能影响，防城港核电厂采用明渠取水方案，在引水渠入口段设置拦污网和隔油栅，并设置有格栅和板框式旋转滤网，建立起多重拦截作用，能够有效的阻止海洋生物进入循环水系统。其中，第一道拦污网采用网目规格为 50mm×50mm 的尼龙网，第二道网为直立式布置，固定于进水支渠内双排桩墩的前部，采用网目规格为 30mm×30mm 的尼龙网，第三道为网兜，固定于双排桩墩的后部，采用网目规格为 10mm×10mm 的尼龙网。被卷吸进入取水口的部分海生动植物及其他废物垃圾，将主要被取水明渠内的拦截网截留，剩余的都将被 SEC 系统的格栅和板框式旋转滤网截留住，并由 SEC 系统的清洗回路将其冲走。厂址所在海域的现有海流的平均流速在 0.2m/s~0.5m/s 左右，取水明渠口门处流速接近厂址所在海区的海流流速，大多数鱼类能逃离取水口，其对海洋生物潜在影响是较小的。

### 6.1.3.2 温排水对水生生物的影响

防城港核电厂3、4号机组在运行过程中，大量的循环冷却水经过散热装置后，通

过排水工程排入周围水体中，将导致周围水体有一定的温升。如果环境水体升温后超过海洋生物生长的适宜温度，温度的升高将可能导致海洋生物的生长受到抑制或死亡。另外，自然水体经过冷却系统后骤然形成的高温差，亦有可能使海洋生物不适应而造成死亡。

#### 6.1.3.2.1 温排水对浮游生物的影响

浮游生物是许多鱼虾贝类的饵料生物，其数量的多寡和种类性质也决定海洋次级生产力的大小，从而影响整个水域渔业资源的潜力。浮游生物个体小，一般漂浮于水面，游泳能力差，一般对不适宜环境缺乏逃避能力。因此浮游生物是受到核电厂温排水影响的首要对象。

对浮游生物而言，除排水口附近局部区域高增温区会产生不利影响外，温排水的增温幅度小于 $3^{\circ}\text{C}$ 时，多数情况下不会对其种群产生明显的不利影响，相反在一定的升温范围内还会增加浮游生物的种类数量和种群生物量的作用，从而提高海域的生产力和物种的多样性。这种效应在水温较低的春秋冬季更为明显。多数浮游生物的生存水体温度超过 $35^{\circ}\text{C}$ 时，生存条件将明显受到威胁，生长将受到抑制甚至造成死亡。

根据厂址附近海域夏季海水的温度特征（海域累积频率10%日表层平均水温为 $31.5^{\circ}\text{C}$ ，2018年夏季平均水文全潮最高为 $30.44^{\circ}\text{C}$ ），预计在电厂温排水 $3^{\circ}\text{C}$ 以上温升区域内的浮游生物的种类和生物量将产生一定影响。在此范围内，浮游生物的种类、数量可能会减少，多样性会降低。根据数模结果，电厂4台机组运行后，温排水造成的夏季各典型潮最大 $3^{\circ}\text{C}$ 温升包络面积不超过 $10.79\text{km}^2$ ，但该海区比较开阔，海水交换较快，对于这个影响范围来看，其后果不会明显影响本海域的初级生产力。因此，核电厂温排水对浮游生物的影响将是有限的。

#### 6.1.3.2.2 温排水对底栖生物的影响

根据厂址附近海域海洋生态调查结果，防城港核电厂附近海域大型底栖生物共有10门98科209种，主要包括环节动物、软体动物、节肢动物等，主要以软体动物生物量占优势，潮间带底栖生物共有9门147种，其中软体动物最多，主要包括双壳类方格皱纹蛤、多每类双腮内卷齿蚕、变化短齿蛤、双壳类粗糙拟滨螺、甲壳类藤壶等。底栖生物大多营固着生活、附着生活或埋栖生活于海底泥沙、岩礁之中。固着生活的种类

终生不能移动，其它种类则对环境温度的变化可作小范围移动，主动回避能力弱。

底栖生物对水温变化的适应能力较强，和大多数潮间带生物一样，能忍耐水温的较大变化。根据相关单位对大亚湾内几种贝类进行的耐热试验研究结果说明，在 25℃~35℃的驯化温度下，华贵栉孔扇贝、翡翠贻贝、射带镜蛤和梳纹加夫蛤的起始致死温度分别为 33.13℃~33.41℃、34.55℃~36.04℃、37.28℃~38.09℃和 39.50℃~40.63℃。核电厂正常运行后，排水口附近海域形成了一个暖水区域。这一暖水区域在水温较低的春、秋和冬季，对水域内的生物不会造成大的影响，还有可能使种类增加，生物量增大。但在水温较高的夏季，栖息于这一暖水域的底栖生物在环境水温逐渐升高至不适时，会缓慢地移动位置，逐步离开高水温水域，而那些喜高温或耐高温的种类会留下来，或从附近海域缓慢向高温水域移动。另外，营固着或附着生活的底栖生物，其幼体在附着变态前，对温度更敏感，高温不适者可能受到伤害而死亡，适高温者则附着而存活下来。

温度变化对底栖生物的潜在影响主要包括，底栖生物群落结构和生物区系组成发生变化、底栖生物栖息地减少、生物多样性指数降低等。一般情况下，适度增温（ $\Delta T \leq 3^\circ\text{C}$ ）有利于底栖生物种类和数量的增加，当温升高于 $3^\circ\text{C}$ 时有可能对底栖生物造成影响。由于防城港核电厂的温排水造成温升 $3^\circ\text{C}$ 区域主要位于排水口附近，夏季最大温升面积不超过 $10.79\text{km}^2$ ，面积有限且对远区底层海水的影响很小，因而可以认为温排水对底栖生物的影响是有限的。

#### 6.1.3.2.3 温排水对经济物种和渔业资源的影响

鱼类是变温动物，其体温随环境的水温变化而变化。因此，水温对鱼类的各种生命活动过程有很大的影响。鱼类能感受到环境水温的微弱变化，对超过适温范围的高温或低温水体，具有回避反应，这使许多鱼类进行远距离的适温回游。此外，水温的变化会影响鱼类的产卵，影响渔获量，对渔业生产影响很大。厂址海域内调查的鱼类均属于暖水性种类或暖温性种类，且多在水体的中底层活动。当海水水温超过 $35^\circ\text{C}$ 时，会对鱼类生长有一定影响。

水温对鱼类、虾类的各种生命活动过程有很大的影响。一般而言，在适温范围内，水温的升高会提高鱼类、虾类的摄食能力，促进其性成熟加快、生长加速。但是，如果水温超过适温范围，将会抑制其新陈代谢和发育生长；如果超过其忍受极限，还将



会有导致其死亡的危险。此外，对于鱼类和虾类等具有游泳能力的海洋生物，它们能感受到环境水温的微弱变化，对超出适温范围的高温或低温水体，具有回避反应。采用一次循环的电厂运行所排放的温排水会引起周围部分海域水温有所升高，一方面可能使鱼类繁殖季节提前，也可能使鱼卵孵化时间缩短，胚胎死亡率和仔鱼畸形率随之增加；另一个方面水温升高，浮游植物繁殖速度将加快，可能增加附近海域的富营养化程度。

厂址附近海区内有鱼类 500 多种，可供养殖开发的主要经济海洋动物有红笛鲷、黑鲷、黄鳍鲷、石鲈鱼等鱼类，斑节对虾、长毛对虾、墨吉对虾等。根据海洋生态调查，海域内鱼类主要包括斑鲷、二长棘鲷、姑鱼等，这些鱼类属暖水性和暖温性鱼类。根据中科院南海所对大亚湾内几种经济鱼类进行的耐热试验研究结果，在 25℃~33℃ 的驯化温度下，黑鲷、平鲷和细鳞刺的起始致死温度(TLM<sub>50</sub>)分别为 34.96℃~36.42℃，34.78℃~35.62℃ 和 38.76℃~39.39℃。对大亚湾内几种虾类进行的耐热试验研究结果显示，在 25℃~33℃ 的驯化温度下，斑节对虾和脊尾白虾的起始致死温度分别为 37.5℃~38.1℃ 和 37.4℃~38.4℃；近缘新对虾在 25℃~38℃ 驯化温度范围内起始致死温度为 38.9℃~39.3℃。

根据监测数据，防城港核电厂海域夏季表层累积10%日平均最高水温为31.5℃，夏季海水表层温度相对较高，而冬季海水温度较低。除夏季外，核电厂温排水排入钦州湾后其水温仍在鱼类的适温范围内，因此温排水不会对鱼类的生长造成明显的影响。夏季海水高温期间，温排水引起的温升对鱼类生长的影响局限于钦州湾西侧核电厂温水排放口附近3℃温升海域。根据温排水影响研究成果，4台机组共同运行时，温排水造成的夏季全潮最大3℃温升包络面积不超过10.79km<sup>2</sup>，相对于整个钦州湾而言，其影响范围有限，电厂温排水对鱼类不会造成明显影响。

#### 6.1.3.2.4 温排水对海水养殖的影响

厂址附近海水养殖主要分布于茅尾海及厂址周围近岸区域，包括红沙村养殖、沙罗辽村养殖、新兴村养殖等，养殖品种包括近江牡蛎等。因近江牡蛎对热有较强的忍受能力（牡蛎可以忍受40℃左右的水温），防城港核电厂海域表层月平均水温的累积最大值31.5℃，温升4℃以下对近江牡蛎不会产生大的影响。结合夏季温排水全潮最大温升外包络区域可知，全潮最大4℃温升外包络区域不涉及现状海水养殖区，预测温排

水对海水养殖影响有限。

#### 6.1.3.2.5 温排水对红树林的影响

红树林主要生长在热带、亚热带地区的河海交界处，它们耐湿、耐高温。红树林作为河口海区生态系统初级生产者支撑着陆域和海域生命系统，为海区和陆缘生物提供食物来源，也为鸟类、昆虫、鱼虾贝类、藻菌等提供栖息繁衍场所，并构成复杂的食物链和食物网关系。红树林是嗜热的植物类群，温度的升高可能对红树林有积极的影响，可能改变其大规模的分布、林分结构以及提高原有红树林区的多样性。但是，如果温度超过35°C，红树林根的结构、苗的发育、光合作用则将受到负面的影响。

防城港核电厂厂址半径5km范围内没有红树林，钦州湾内的红树林主要位于厂址北侧的茅尾海红树林自然保护区。结合温排水模拟研究成果，防城港核电厂四台机组正常运行时：夏季温排水造成的全潮最大1°C温升外包络区域和冬季全潮最大2°C外包络区域均不涉及红树林保护区，对红树林造成的影响有限。

#### 6.1.3.2.6 温排水对保护区的影响

根据厂址附近海域自然保护区分布，距离厂址较近的保护区主要包括：

- 北部湾二长棘鲷长毛对虾国家级种质资源保护区：该海洋保护区位于厂址南侧，主要保护渔业经济种类二长棘鲷和长毛对虾资源。该保护区实验区最北边与防城港核电厂直线距离约为 20km，该保护区核心区最北边与防城港核电厂直线距离约为 45km。
- 广西钦州茅尾海国家级海洋公园：海洋公园总面积 3482.7hm<sup>2</sup>，边界长 25.0km，保护区南连七十二泾群岛、西临茅岭江航道、北连广西茅尾海红树林自然保护区、东接沙井岛航道，分重点保护区、生态与资源恢复区和适度利用区三个功能分区，保护区的主要保护对象为红树林、盐沼等典型生态系统、丰富的近江牡蛎种质资源，该保护区距厂址最近处位于厂址 N 方位 12km。
- 广西茅尾海红树林自然保护区：位于广西壮族自治区钦州市以南的钦州湾，保护区总面积 3454.0hm<sup>2</sup>，保护区内有真红树林植物 11 种，半红树林 6 种，该保护区距厂址最近处位于厂址 NNE 方位 9km。

结合温排水模拟研究成果，4台机组温排水造成保护区温升影响有限（温升不超过

1℃），因此不会对长毛对虾和二长棘鲷产生明显影响。

#### 6.1.4 参考资料

- [1] 防城港核电站二期工程温排水数值模拟计算研究报告，中国水利水电科学研究院，2014年6月；
- [2] 防城港核电二期（2×HL1000-1）工程温排水物理模型试验研究，中国水利水电科学研究院，2015年11月；
- [3] 防城港核电站二期(2xHLI000-1) 工程温排水模拟研究综合分析报告，中国水利水电科学研究院，2015年11月；
- [4] 防城港核电站二期（2×HL1000-1）工程海域使用论证报告书，中国科学院南海海洋研究所，2015年1月；
- [5] 广西防城港红沙核电5、6号机组工程接纳水体水质环境、水生生态与渔业资源调查海洋生物调查总报告，国家海洋局第三海洋研究所，2018年12月；
- [6] 防城港核电站温排水监测与评价终期成果报告，环境保护部卫星环境应用中心，2018年5月。

## 6.2 正常运行的辐射影响

### 6.2.1 流出物排放源项

### 6.2.2 照射途径

### 6.2.3 计算模式与参数

### 6.2.4 大气弥散和水体稀释

### 6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度

### 6.2.6 公众的最大个人剂量

### 6.2.7 非人类生物的辐射剂量

### 6.2.8 关键人群组、关键核素、关键照射途径

### 6.2.9 辐射影响评价

### 6.2.10 参考资料

表6.2-1 气态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量

表6.2-2 液态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量

表6.2-3 气态和液态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量

表6.2-4 气态和液态途径对各子区公众个人（青少年）造成的年有效剂量

表6.2-5 气态和液态途径对各子区公众个人（儿童）造成的年有效剂量

表6.2-6 气态和液态途径对各子区公众个人（婴儿）造成的年有效剂量

表6.2-7 气态和液态途径对各子区公众造成的集体有效剂量

表6.2-8 海洋生物浓集因子Bp和悬浮物Kd因子

表6.2-9 主要核素对七类海洋生物的辐射剂量转换因子

表6.2-10 排水口附近海域海洋生物的辐射剂量率

表6.2-11 “三关键”筛选比较

表6.2-12 各放射性核素通过各种照射途径对关键居民组个人造成的有效剂量

表6.2-13 防城港核电厂四台机组运行状态下“三关键”计算分析结果

图

图6.2-1 气态照射途径

图6.2-2 液态照射途径

## 6.2 正常运行的辐射影响

防城港核电厂 1、2 号机组采用 CPR1000 技术方案，3、4 号机组采用华龙一号技术方案。本节根据 3、4 号机组及全厂四台机组正常运行状态下的放射性流出物排放源项，以及厂址周围的环境特征、公众的食物消费和生活习惯，采用核电厂流出物排放源项申请值进行正常运行状态下放射性流出物造成公众和环境辐射影响的计算和评价，并采用流出物排放源项预期值进行“三关键”分析。

### 6.2.1 流出物排放源项

防城港核电厂正常运行状态下，放射性流出物以气载和液态形态向环境释放，分别在大气环境和受纳水体中迁移扩散。结合环审[2015]194 号批复的一期工程两台机组年排放量，厂址四台机组各类放射性流出物排放源项申请值与控制值的比较可知，全厂四台机组放射性流出物各类放射性核素的年排放量申请值，可满足 GB6249-2011 相应的排放量控制要求。

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）对核动力厂放射性流出物排放除规定了总量控制要求外，对于滨海厂址，还要求槽式排放口处的放射性流出物中除氙和 C-14 外其它放射性核素的浓度不超过 1000Bq/L。

防城港核电厂 3、4 号机组的废液处理系统采用成熟处理工艺，处理后废液能达到系统设计目标要求的排放浓度 1000Bq/L。此外，在 TER 系统排放口处设置取样监测和在线监测系统，当排放废液中除氙和 C-14 外其它放射性核素的浓度超过排放浓度控制值时，放射性废液将被重新返回到 TEU 系统进行再处理，满足要求后才允许排放。因此，实际运行过程中的除氙和 C-14 外其它液态放射性核素排放可以满足国标中规定的 1000Bq/L 浓度控制要求。

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）的要求，对于防城港核电厂 3、4 号机组及全厂四台机组，采用放射性排放源项申请值进行公众及非人类生物的辐射剂量环境进行估算，采用接近于实际运行工况的排放源项预期值进行“三关键”分析，确定受核电厂放射性流出物排放造成辐射影响最大的关键人群组、关键核素和关键照射途径。

气载放射性流出物中的  $^{14}\text{C}$  在环境介质中的转移过程具有特殊机理，有别于核电厂排放的其它各类气载放射性核素，通常认为，只有以二氧化碳形式存在的  $^{14}\text{C}$  才能

通过光合作用被植物吸收，并以食物的摄入形式进入食物链，对摄入者造成内照射影响。根据 IAEA 421 号技术报告，欧洲和美国的压水堆核电站以二氧化碳形态向环境排放的  $^{14}\text{C}$  占  $^{14}\text{C}$  总排放量的 5~25%，根据此研究结论，本节在评估气载  $^{14}\text{C}$  的排放所造成的环境辐射影响时，假定以二氧化碳形态排放的  $^{14}\text{C}$  占总排放量的 25%。

## 6.2.2 照射途径

### 6.2.2.1 气态途径

气载放射性流出物排放对厂址评价区内公众造成的辐射影响，考虑如下四种照射途径：

- 空气浸没外照射；
- 地面沉积物外照射；
- 吸入空气内照射；
- 食入陆生食品内照射。

公众食入陆生食品包括蔬菜、粮食、水果等作物产品，以及肉类、奶类等动物产品。图6.2-1给出了气载放射性流出物对公众造成辐射的途径。

### 6.2.2.2 液态途径

液态放射性流出物排放对厂址评价区内公众造成的辐射影响，考虑如下四种照射途径：

- 水体浸没外照射；
- 水上活动外照射；
- 岸边沉积物外照射；
- 食入海产品内照射。

公众食入海产品包括鱼类、甲壳类、软体类、藻类产品，图6.2-2给出了液态放射性流出物对公众造成辐射的途径。

### 6.2.2.3 其它途径

厂址周围区域不存在可能达到或超过上述途径的个人有效剂量10%的其它照射途径。

## 6.2.3 计算模式与参数

防城港核电厂正常运行状态下，气载和液态放射性流出物通过各照射途径对公众造成的剂量估算模式相关的计算参数如下：

#### （1）大气弥散

根据核安全导则HAD101/02推荐高斯直线烟羽扩散模型，采用2018年5月到2020年4月连续24个月厂址气象塔10m和80m两层高度逐时观测的风向、风速和温度，以及地面气象站的逐时雨量等气象数据，计算厂址区域的大气弥散因子和地面沉积因子。

气载放射性流出物排放高度低于邻近建筑物高度的2倍，大气弥散计算假定为混合排放方式，同时考虑了气载放射性流出物雨水冲洗、重力沉降、以及核素衰变等因素造成的烟羽损耗和地面沉积。

#### （2）水体稀释

防城港核电厂正常运行期间，液态放射性流出物采用槽式排放方式，经处理满足排放要求后，随温排水通过排水渠排入海域，并在海水潮流的作用下，进一步稀释扩散。本报告采用国际原子能机构IAEA 19号安全报告推荐的模型和参数，计算放射性核素迁移扩散过程中在海水悬浮物、沉积物中的浓度。

#### （3）环境参数

根据环境调查分析厂址周围用于剂量计算中考虑的部分放射性物质传递介质参数（如介质含水率、食物从获取到消费的时间间隔等）；根据IAEA 19号安全报告获得放射性核素在食物链中转移的特征参数。

根据IAEA 19号安全报告获得液态照射途径辐射剂量计算参数，海鱼类和甲壳类海洋生物的浓集因子采用IAEA 19号安全报告的推荐值，而对于IAEA 19号安全报告中未推荐的软体类和藻类生物浓集因子采用IAEA 57号安全报告的推荐值。

#### （4）剂量转换因子

惰性气体空气浸没外照射剂量转换因子以及其它各类放射性核素的吸入和食入内照射剂量转换因子取自《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），除惰性气体外其它核素的空气浸没以及地面沉积外照射剂量转换因子取自IAEA19号安全报告，水体浸没外照射剂量转换因子取自美国联邦导则12号报告。

#### （5）婴儿食入母乳内照射剂量

参考ICRP 95号出版物，婴儿通过食入母乳而转移至婴儿体内的份额及对婴儿内照射的有效剂量转换因子。



## （6）食物消费和生活习惯

厂址半径80km范围内各子区陆上环境介质（如粮食、蔬菜等）的面积、产量，公众的食物消费量以及生活习惯因子见本报告书第二章。

### 6.2.4 大气弥散和水体稀释

根据《防城港核电厂液态流出物数值模拟计算研究报告》，按照核电厂取排水工况，结合厂址附近海域的潮流特征，采用二维数学模型开展的低放废水数值模拟专题研究成果，预测核电厂四台机组运行状态下，排放的液态放射性流出物在受纳水体中的稀释扩散水平。数模计算结果表明，厂址周围海域受纳水体中放射性核素的相对浓度，随着与排水口距离的增加而减小。

### 6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度

防城港核电厂四台机组运行，核素  $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{131}\text{I}$  在环境空气中的年平均浓度分布为  $1.90\text{Bq}/\text{m}^3$ 、 $1.25\times 10^{-5}\text{Bq}/\text{m}^3$ 、 $5.14\times 10^{-5}\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

受纳水体中放射性浓度最大值位于排放口 0~1km 海域，核素  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  在该海域海水中的年平均浓度分别为  $6.37\text{Bq}/\text{L}$ 、 $4.85\times 10^{-3}\text{Bq}/\text{L}$ 。

《海水水质标准》（GB3097-1997）中规定了海水中部分放射性核素的浓度限值，其中与防城港核电厂液态放射性流出物排放相关的有  $^{60}\text{Co}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{134}\text{Cs}$  和  $^{137}\text{Cs}$  五个核素，其水质指标限值分别为  $0.03\text{Bq}/\text{L}$ 、 $4.0\text{Bq}/\text{L}$ 、 $0.2\text{Bq}/\text{L}$ 、 $0.6\text{Bq}/\text{L}$  和  $0.7\text{Bq}/\text{L}$ 。由表可以看出，五个核素在排放口 0~1km 海域峰值浓度分别为  $1.61\times 10^{-3}\text{Bq}/\text{L}$ 、 $1.71\times 10^{-6}\text{Bq}/\text{L}$ 、 $1.57\times 10^{-6}\text{Bq}/\text{L}$ 、 $2.05\times 10^{-2}\text{Bq}/\text{L}$  和  $2.09\times 10^{-2}\text{Bq}/\text{L}$ ，均满足《海水水质标准》（GB3097-1997）中相应的浓度限值要求。

### 6.2.6 公众的最大个人剂量

#### （1）公众（成人）个人剂量

表 6.2-1 和表 6.2-2 分别给出了防城港核电厂核电机组运行状态下，气载和液态放射性流出物排放通过各种途径对厂址半径 80km 评价区内各子区一般公众个人（成人）造成的有效剂量，表 6.2-3 给出了各子区公众个人（成人）受到的总有效剂量。

从表可以看出，防城港核电厂核电机组运行状态下，放射性流出物对于一般公众

（成人）个人造成最大有效剂量的居民点位于 3 号反应堆 NNE 方位 1~2km 子区。

防城港核电项目 3、4 号机组运行状态下，放射性流出物对于厂址 NNE 方位 1~2km 子区的成人组公众个人造成的年有效剂量增量为  $5.92 \times 10^{-7} \text{Sv}$ ，其中通过气态途径造成的年有效剂量增量为  $5.26 \times 10^{-7} \text{Sv}$ ，通过液态途径造成的年有效剂量增量为  $6.61 \times 10^{-8} \text{Sv}$ 。

3、4 号机组建成运行后，厂区内四台机组运行状态下对该子区成人组公众个人造成的年有效剂量为  $3.37 \times 10^{-6} \text{Sv}$ ，其中由气态途径造成的年有效剂量为  $3.10 \times 10^{-6} \text{Sv}$ ，由液态途径造成的年有效剂量为  $2.66 \times 10^{-7} \text{Sv}$ 。

#### （2）公众（青少年）个人剂量

表 6.2-4 给出了防城港核电厂核电机组运行状态下，放射性流出物对厂址半径 80km 评价区内各子区青少年组公众个人造成的年有效剂量。

从表可以看出，防城港核电厂 3、4 号机组和厂区内四台机组运行状态下，放射性流出物对青少年组公众个人造成辐射剂量最大的子区均为 3 号反应堆 NNE 方位 1~2km 子区，对该子区的青少年组公众个人造成的年有效剂量分别为  $5.75 \times 10^{-7} \text{Sv}$  和  $3.11 \times 10^{-6} \text{Sv}$ 。

#### （3）公众（儿童）个人剂量

表 6.2-5 给出了防城港核电厂核电机组运行状态下，放射性流出物对厂址半径 80km 评价区内各子区儿童组公众个人造成的年有效剂量。

从表可以看出，防城港核电厂 3、4 号机组和厂区内四台机组运行状态下，放射性流出物对儿童组公众个人造成辐射剂量最大的子区均为 3 号反应堆 NNE 方位 1~2km 子区，对该子区的儿童组公众个人造成的年有效剂量分别为  $5.47 \times 10^{-7} \text{Sv}$  和  $3.00 \times 10^{-6} \text{Sv}$ 。

#### （4）公众（婴儿）个人剂量

表 6.2-6 给出了防城港核电厂核电机组运行状态下，放射性流出物对厂址半径 80km 评价区内各子区婴儿组公众个人造成的年有效剂量。

从表可以看出，防城港核电厂 3、4 号机组和厂区内四台机组运行状态下，放射性流出物对婴儿组公众个人造成辐射剂量最大的子区均为 3 号反应堆 NNE 方位 1~2km 子区，对该子区的婴儿组公众个人造成的年有效剂量分别为  $4.49 \times 10^{-7} \text{Sv}$  和  $2.64 \times 10^{-6} \text{Sv}$ 。

### （5）最大受照年龄组

对上述各年龄组公众的个人剂量结果进行比较分析发现，防城港核电项目 3、4 号机组及厂区内四台核电机组运行状态下，放射性流出物对厂址 3 号反应堆 NNE 方位 1~2km 子区内各年龄组公众个人造成的有效剂量均大于其它各子区同年龄组公众个人的受照剂量，而对该子区各年龄组公众个人而言，核电厂的放射性流出物对成人组公众个人的年受照有效剂量大于青少年组公众个人，青少年组公众个人的年受照有效剂量大于儿童组公众个人，儿童组公众个人的年受照有效剂量大于婴儿组公众个人。

因此，就一般公众的受照剂量而言，厂址 3 号反应堆 NNE 方位 1~2km 子区内的成人组公众个人受放射性流出物造成的年有效剂量最大，为该子区的最大受照年龄组。防城港核电厂 3、4 号机组及厂区内四台机组运行状态下，公众受到的最大年有效剂量分别为  $5.92 \times 10^{-7} \text{Sv}$  和  $3.37 \times 10^{-6} \text{Sv}$ 。

### （5）一般公众集体年有效剂量

表 6.2-7 给出了防城港核电厂核电机组运行状态下，放射性流出物对厂址半径 80km 评价区内各子区公众造成的集体年有效剂量。

从表可以看出，防城港核电厂四台机组运行状态下，放射性流出物对厂址半径 80km 评价区内造成的集体年有效剂量为  $2.19 \times 10^{-1} \text{人} \cdot \text{Sv}$ 。

## 6.2.7 非人类生物的辐射剂量

非人类生物受到的辐射照射主要来自宇宙射线、天然放射性核素以及核设施排放的液态放射性流出物，由于生物种类的庞大和生存环境的广阔，目前国际上普遍使用一系列特征生物的概念，包括参考生物，参考动植物，代表物种，特征物种和受体等，对生物进行辐射影响评价。

国际放射防护委员会（ICRP）于 2008 年发布的第 108 号报告中提出了参考动植物（RAP）的概念，并将其定义为“参考动植物是一个假想的实体，具有特定动物或植物类别的假想的基本生物特征，用于描述不同科类生物分类上的共性，具有明确的解剖学、生理学和生命历史的属性，可用于将该种生物体的暴露与辐射剂量，以及剂量与产生效应相联系起来。”根据一系列的选择准则，ICRP 报告推荐了 16 种用于辐射影响评价的参考动植物，其中海洋生物有比目鱼、蟹和褐藻三种。

欧盟在 2004-2007 年间开展的 ERICA 项目中选取参考生物的方式与 ICRP 报告稍

有不同，它不根据分类学、解剖学、生理学以及生活史等特征选取特定物种，而是基于不同的环境特征中的典型生物类别。ERICA 中可用于评价的参考海洋生物有浮游植物、海藻类、维管植物、浮游动物、环节动物、底栖软体类、甲壳类、底栖鱼类、中上层鱼类、哺乳类和海葵等。其中海藻类、甲壳类和底栖鱼类分别对应于 ICRP 报告中推荐的褐藻、蟹和比目鱼，其余来自 ERICA 及 FASSET 的参考生物假设。

ERICA 项目中采用的一系列水生和陆生生物在不同生境中的剂量学模型也为 ICRP 所采用，在辐射剂量率计算方法上，两者也都采用了 Ulanovsky 等人运用 Monte-Carlo 方法计算不同体形尺寸生物体对  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  辐射的吸收比例，再结合各核素的辐射能量得出各种核素对于不同生物体辐射的剂量转换因子。

防城港核电厂址附近海域海洋生物的种类，按照浮游鱼类、底栖鱼类、软体类、甲壳类、海藻类、浮游植物和浮游动物七类参考生物。通过正常运行状态下，液态放射性流出物排放造成排放口附近海域（排放口 1km 海域）海洋生物辐射剂量率的计算分析，进行非人类物种的辐射剂量评价。

参考国际原子能机构 IAEA422 号报告，表 6.2-8 给出了评价中的海洋生物浓集因子  $B_p$  以及海水中悬浮物对元素的吸附分配  $K_d$  因子；参考欧盟 ERICA 项目的研究成果，表 6.2-9 给出了七类海洋生物的辐射剂量率的剂量转换因子。

根据 ICRP108 号出版物中的推荐，本报告针对海鱼类和海藻类在海水中游泳及浮游的活动特点，取其暴露在水体中的居留因子为 1.0，而软体类和甲壳类主要营底栖生活，取其暴露在水体和底泥中的居留因子各为 0.5。根据上述介绍的模型及参数，表 6.2-10 给出了排水口附近海域中的七类海洋生物因核电厂排放的液态放射性流出物造成的辐射剂量率。

防城港核电厂 3、4 号机组建成后，四台机组运行状态下排放的液态放射性流出物对排放口附近海域的浮游鱼类、底栖鱼类、软体类、甲壳类、海藻类、浮游植物和浮游动物等七类海洋生物造成总的附加辐射剂量率分别为  $4.72 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ 、 $4.46 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ 、 $3.04 \times 10^{-1} \mu\text{Gy/h}$ 、 $9.29 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ 、 $1.35 \times 10^{-1} \mu\text{Gy/h}$ 、 $3.62 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$  和  $2.07 \times 10^{-1} \mu\text{Gy/h}$ 。其中 3、4 号机组排放的液态放射性流出物对排放口附近海域的浮游鱼类、底栖鱼类、软体类、甲壳类、海藻类、浮游植物和浮游动物等七类海洋生物造成总的附加辐射剂量率分别为  $7.64 \times 10^{-3} \mu\text{Gy/h}$ 、 $7.53 \times 10^{-3} \mu\text{Gy/h}$ 、 $3.15 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ 、 $1.46 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ 、 $1.54 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ 、 $6.04 \times 10^{-3} \mu\text{Gy/h}$  和  $3.87 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ 。

从表 6.2-10 给出的计算结果可以看出，防城港核电厂 3、4 号机组及 1~4 号四台机组运行状态下，液态放射性流出物对排放口附近海域水体中浮游鱼类、底栖鱼类、软体类、甲壳类、海藻类、浮游植物和浮游动物七类海洋生物的辐射剂量率均远远低于 ERICA 程序推荐的  $10\mu\text{Gy/h}$  辐射剂量率。因此，可以预计，防城港核电厂 3、4 号机组运行后，四台机组排放的液态放射性流出物对受纳海域水体中浮游鱼类、底栖鱼类、软体类、甲壳类、海藻类、浮游植物和浮游动物七类参考海洋生物不会造成明显的损伤，对核电厂周围海域中的海洋生物总体上影响很小。

### 6.2.8 关键人群组、关键核素、关键照射途径

核电厂运行状态下向环境排放的放射性流出物量不仅与电厂废物处理系统的性能和效能有关，更与电厂运行管理水平密切相关。为了能够指导核电厂运行期间的环境辐射监测工作，本节采用正常运行排放源项预期值计算各照射途径造成公众辐射剂量，并进行公众受照剂量的关键人群组、关键核素以及关键照射途径的“三关键”分析。

防城港核电厂放射性流出物排放造成的辐射影响进行“三关键”分析时，考虑厂址北侧红沙村，以及厂址南侧沙螺辽村的滩涂养殖渔民和海水捕捞渔民。根据厂址环境调查数据分析，上述子区内从事滩涂养殖和浅海捕捞渔民的食物消费和生活习惯与一般公众存在差异，报告书第二章 2.2 节给出渔民的食物消费情况以及生活习惯因子。

表 6.2-11 给出了上述子区内各村所辖沿岸海域从事浅海捕捞的渔民通过各种途径，受厂区内四台机组运行状态下的放射性流出物排放造成的辐射剂量值。防城港核电项目厂区内四台机组运行状态下，放射性流出物排放对厂址南侧沙螺辽村的滩涂养殖渔民造成的年有效剂量为  $8.19\times 10^{-7}\text{Sv}$ ，大于其它渔民群体的受照剂量。根据上述分析结果，将厂址南侧沙螺辽村滩涂养殖渔民作为受辐射影响可能的关键居民组。

表 6.2-12 给出了防城港核电项目厂区内四台机组运行状态下，放射性流出物通过各种途径对厂址 SSW 方位 1~2km 子区内沙螺辽村关键组居民个人造成的辐射剂量贡献。从表可以看出：

- 一 防城港核电项目厂区内四台机组运行状态下，核电厂放射性流出物排放对关键组居民个人造成的有效剂量为  $8.19\times 10^{-7}\text{Sv/a}$ 。其中通过气态途径造成的剂量贡献为  $5.86\times 10^{-7}\text{Sv/a}$ ，占个人总有效剂量的 71.58%；通过液态途径造成的剂量贡献为  $2.33\times 10^{-7}\text{Sv/a}$ ，占个人总有效剂量的 28.42%。比较发现，气态途径对

关键组居民个人造成的剂量贡献大于液态途径。

- 可能的关键照射途径为食入陆生食品内照射，对关键组居民个人造成的有效剂量为  $4.62 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，占个人总有效剂量的 56.36%。其它重要照射途径为食入海产品内照射和岸边沉积外照射，对关键组居民个人造成的有效剂量分别为  $1.66 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ 、 $6.67 \times 10^{-8} \text{Sv/a}$ ，分别占个人总有效剂量的 20.27%、8.15%。
- 可能的关键核素为  $^{14}\text{C}$ ，对关键组居民个人造成的有效剂量为  $5.21 \times 10^{-7} \text{Sv}$ ，占个人总有效剂量的 63.67%；其它重要核素为  $^{60}\text{Co}$ ，对关键组居民个人造成的有效剂量分别为  $8.95 \times 10^{-8} \text{Sv/a}$ ，占个人总有效剂量的 10.93%。

表 6.2-13 给出了公众辐射剂量“三关键”分析结果。

## 6.2.9 辐射影响评价

防城港核电厂 3、4 号机组运行后，全厂四台机组各类放射性流出物的申请年排放量可满足国家标准 GB6249-2011 的相关要求。核电厂实际运行过程中，除氚和 C-14 外其它液态放射性核素的排放浓度可以实现 GB6249-2011 规定的 1000Bq/L 的浓度控制要求。

### （1）公众辐射影响评价

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）对于每座核电厂运行状态下向环境释放的放射性物质对公众中任何个人（成人）造成的有效剂量当量要求小于  $0.25 \text{mSv/a}$ 。同时，防城港核电项目 3、4 号两台机组及厂区内四台机组放射性流出物排放对公众个人（成人）造成的有效剂量制定了相应的剂量目标管理值要求分别低于  $0.08 \text{mSv/a}$  和  $0.16 \text{mSv/a}$ 。

防城港核电厂 3、4 号两台机组运行状态下，放射性流出物排放造成的最大有效剂量为  $5.92 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，占防城港核电厂两台机组剂量管理目标值（ $0.08 \text{mSv/a}$ ）的 0.74%；全厂四台机组运行状态下，放射性流出物排放造成的最大有效剂量为  $3.37 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ ，占四台机组剂量管理目标值（ $0.16 \text{mSv/a}$ ）的 2.11%。

公众辐射剂量“三关键”分析表明，防城港核电项目厂区内四台机组运行状态下，可能的关键居民组为位于厂址南侧沙螺辽村滩涂养殖渔民，需要关注的照射途径包括：食入陆生食品内照射途径、食入海产品内照射途径、岸边沉积外照射途径，需要关注的放射性核素包括： $^{14}\text{C}$ 、 $^{60}\text{Co}$  等。

## （2）非人类物种辐射影响评价

防城港核电站四台机组正常运行状态下，液态放射性流出物排放对排放口附近海域海洋生物造成的辐射剂量率最大为  $0.304\mu\text{Gy/h}$ ，低于 ERICA 程序推荐的  $10\mu\text{Gy/h}$  剂量率筛选值，因此，可以认为防城港核电站四台机组运行状态下，液态放射性流出物排放不会对排放口附近海域的海洋生物在种群上造成明显的损伤。

防城港核电站 3、4 号机组运行状态下，放射性流出物的排放造成公众剂量满足国家标准的相应要求，对海洋生物的辐射影响有限。

### 6.2.10 参考资料

- [1] IAEA安全丛书第57号，1982
- [2] IAEA Safety Reports Series No.19, Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, 2001
- [3] 中华人民共和国国家标准—电离辐射防护与辐射源安全基本标准，2003年4月1日实施；
- [4] 广东核电站放射性释放环境影响计算机程序系统——CEIRA，苏州热工研究院有限公司，1992年；
- [5] 防城港核电站液态流出物数值模拟计算研究报告，中国水利水电科学研究院，2014年8月；
- [6] 放射生态学转移参数手册，原子能出版社，李建国、商照荣等；
- [7] CNSC. 2002. Protection of Non-Human Biota from Ionizing Radiation. INFO-0730, Canadian Nuclear Safety Commission;
- [8] DOE. 2002. A Graded Approach for Evaluating Radiation Does to Aquatic and Terrestrial Biota. DOE-STD-1153-2002. U.S. Department of Energy, Washington, D.C.;
- [9] IAEA. 1992. Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards. Technical Report Series No. 332; International Atomic Energy Agency, Vienna;
- [10] NCRP. 1991. Effects of Ionizing Radiation on Aquatic Organisms. NCRP Reports No.109, Bethesda MD;

- [11] UNSCEAR. 1996. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1996 Report to the General Assembly, Fifty-first Session, Supplement No. 46 (A/51/46), Annex: “Effects of Radiation on the Environment”, United Nations Sales No. E96.IX.3 (1996);
- [12] 放射性同位素手册, 科学出版社, 马崇智等, 1979;
- [13] 放射生态学转移参数手册, 原子能出版社, 李建国等, 2006;
- [14] U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), Environmental Impact Statement for an Early Site Permit (ESP) at the North Anna ESP Site, 2005年5月;
- [15] U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), Environmental Impact Statement for an Early Site Permit (ESP) at the Exelon ESP Site, 2006年7月;
- [16] ICRP Publication 95: Doses to Infants from Ingestion of Radionuclides in Mother's Milk, 2004.



表 6.2-1 (1/2) 气态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量（3、4 号机组排放）

单位：Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	—	5.09E-07	2.87E-07	1.64E-07	4.14E-08	2.22E-08	9.75E-09	5.33E-09	3.85E-09	2.93E-09	2.35E-09	2.00E-09
NNE	—	<b>5.26E-07</b>	2.84E-07	0.00E+00	3.64E-08	1.96E-08	8.64E-09	4.51E-09	3.38E-09	2.53E-09	1.98E-09	1.62E-09
NE	—	—	—	—	2.93E-08	1.56E-08	7.66E-09	4.37E-09	2.86E-09	2.16E-09	1.63E-09	1.33E-09
ENE	—	—	—	—	—	1.12E-08	5.27E-09	3.00E-09	2.20E-09	1.58E-09	1.30E-09	1.03E-09
E	—	—	—	—	—	7.95E-09	3.72E-09	2.69E-09	1.85E-09	1.35E-09	9.17E-10	7.95E-10
ESE	—	—	—	—	—	4.02E-09	1.84E-09	—	—	1.13E-09	7.97E-10	4.71E-10
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	3.71E-07	2.16E-07	1.28E-07	4.90E-08	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	1.20E-07	7.98E-08	3.21E-08	1.18E-08	—	—	—	—	—	—
WSW	—	1.45E-07	9.45E-08	5.85E-08	2.30E-08	9.30E-09	3.58E-09	2.54E-09	1.72E-09	1.25E-09	9.76E-10	8.40E-10
W	—	1.51E-07	9.61E-08	5.97E-08	2.40E-08	8.72E-09	4.14E-09	2.47E-09	1.73E-09	1.27E-09	1.01E-09	8.61E-10
WNW	—	—	—	8.30E-08	3.37E-08	1.23E-08	5.72E-09	3.68E-09	2.61E-09	2.01E-09	1.61E-09	1.35E-09
NW	—	3.39E-07	—	1.09E-07	4.15E-08	1.45E-08	6.56E-09	3.88E-09	2.61E-09	2.28E-09	1.64E-09	1.31E-09
NNW	—	3.99E-07	—	—	3.26E-08	1.73E-08	7.50E-09	4.47E-09	3.10E-09	2.34E-09	2.29E-09	1.92E-09

表 6.2-1 (2/2) 气态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量（四台机组排放）

单位：Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	—	2.56E-06	1.62E-06	1.03E-06	3.38E-07	1.94E-07	1.02E-07	6.04E-08	4.63E-08	3.59E-08	3.13E-08	2.69E-08
NNE	—	<b>3.10E-06</b>	1.74E-06	—	2.71E-07	1.37E-07	6.63E-08	3.46E-08	2.82E-08	2.14E-08	1.72E-08	1.44E-08
NE	—	—	—	—	2.53E-07	1.33E-07	7.64E-08	4.94E-08	3.44E-08	2.75E-08	2.15E-08	1.83E-08
ENE	—	—	—	—	—	1.10E-07	6.11E-08	3.93E-08	3.07E-08	2.41E-08	2.04E-08	1.70E-08
E	—	—	—	—	—	7.66E-08	4.18E-08	3.17E-08	2.33E-08	1.79E-08	1.37E-08	1.23E-08
ESE	—	—	—	—	—	7.67E-08	4.37E-08	—	—	2.41E-08	2.00E-08	1.71E-08
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	1.71E-06	1.18E-06	7.91E-07	3.10E-07	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	9.00E-07	6.01E-07	2.49E-07	1.09E-07	—	—	—	—	—	—
WSW	—	1.36E-06	8.58E-07	5.61E-07	2.45E-07	1.15E-07	5.76E-08	5.07E-08	3.74E-08	2.89E-08	2.34E-08	1.88E-08
W	—	1.42E-06	9.09E-07	6.04E-07	2.87E-07	1.23E-07	7.82E-08	5.49E-08	4.16E-08	3.24E-08	2.71E-08	2.24E-08
WNW	—	—	—	8.44E-07	4.07E-07	1.84E-07	1.07E-07	7.89E-08	6.04E-08	4.88E-08	4.12E-08	3.35E-08
NW	—	2.01E-06	—	7.63E-07	3.44E-07	1.45E-07	7.73E-08	5.52E-08	3.46E-08	4.68E-08	2.71E-08	2.14E-08
NNW	—	2.10E-06	—	—	2.78E-07	1.57E-07	8.20E-08	5.26E-08	3.85E-08	2.98E-08	4.73E-08	2.44E-08

表 6.2-2 (1/2) 液态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量（3、4 号机组排放）

单位：Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	—	6.61E-08	4.81E-08	4.81E-08	1.75E-08	1.18E-08	3.70E-09	3.67E-09	3.70E-09	3.51E-09	3.30E-09	2.97E-09
NNE	—	6.61E-08	4.81E-08	—	1.72E-08	1.17E-08	3.69E-09	3.65E-09	3.70E-09	3.51E-09	3.51E-09	3.51E-09
NE	—	—	—	—	1.72E-08	1.17E-08	3.71E-09	3.71E-09	3.69E-09	3.51E-09	3.51E-09	3.51E-09
ENE	—	—	—	—	—	1.17E-08	3.71E-09	3.70E-09	2.77E-09	3.05E-09	1.87E-09	2.13E-09
E	—	—	—	—	—	1.17E-08	3.71E-09	1.27E-09	1.10E-09	8.98E-10	1.26E-09	1.02E-09
ESE	—	—	—	—	—	1.18E-08	3.70E-09	—	—	1.44E-09	1.40E-09	1.10E-09
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	8.97E-08	4.81E-08	4.81E-08	1.75E-08	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	4.81E-08	4.81E-08	1.74E-08	1.17E-08	—	—	—	—	—	—
WSW	—	6.61E-08	4.81E-08	4.82E-08	1.72E-08	1.18E-08	3.65E-09	3.70E-09	3.69E-09	3.47E-09	3.48E-09	3.51E-09
W	—	6.61E-08	4.81E-08	4.81E-08	1.75E-08	1.17E-08	3.69E-09	3.69E-09	3.69E-09	3.48E-09	3.49E-09	3.50E-09
WNW	—	—	—	4.81E-08	1.75E-08	1.17E-08	3.66E-09	3.69E-09	3.69E-09	3.50E-09	3.50E-09	3.50E-09
NW	—	6.61E-08	—	—	1.75E-08	1.18E-08	3.70E-09	3.70E-09	3.70E-09	3.51E-09	3.51E-09	3.49E-09
NNW	—	6.61E-08	—	—	1.75E-08	1.18E-08	3.69E-09	3.70E-09	3.70E-09	3.51E-09	3.17E-09	1.12E-09

表 6.2-2 (2/2) 液态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量（四台机组排放）

单位：Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	—	2.66E-07	1.94E-07	1.94E-07	7.06E-08	4.73E-08	1.49E-08	1.47E-08	1.48E-08	1.40E-08	1.31E-08	1.18E-08
NNE	—	<b>2.66E-07</b>	1.94E-07	—	6.94E-08	4.71E-08	1.48E-08	1.47E-08	1.49E-08	1.40E-08	1.40E-08	1.40E-08
NE	—	—	—	—	6.94E-08	4.69E-08	1.49E-08	1.49E-08	1.48E-08	1.40E-08	1.40E-08	1.40E-08
ENE	—	—	—	—	—	4.70E-08	1.49E-08	1.49E-08	1.12E-08	1.21E-08	7.45E-09	8.47E-09
E	—	—	—	—	—	4.72E-08	1.49E-08	5.18E-09	4.51E-09	3.58E-09	5.02E-09	4.08E-09
ESE	—	—	—	—	—	4.74E-08	1.49E-08	—	—	5.74E-09	5.57E-09	4.39E-09
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	3.62E-07	1.94E-07	1.94E-07	7.06E-08	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	1.94E-07	1.94E-07	7.00E-08	4.72E-08	—	—	—	—	—	—
WSW	—	2.66E-07	1.94E-07	1.94E-07	6.95E-08	4.75E-08	1.47E-08	1.49E-08	1.48E-08	1.38E-08	1.38E-08	1.40E-08
W	—	2.66E-07	1.94E-07	1.94E-07	7.03E-08	4.70E-08	1.48E-08	1.48E-08	1.48E-08	1.38E-08	1.39E-08	1.39E-08
WNW	—	—	—	1.94E-07	7.06E-08	4.69E-08	1.47E-08	1.48E-08	1.48E-08	1.39E-08	1.39E-08	1.39E-08
NW	—	2.66E-07	—	—	7.06E-08	4.72E-08	1.49E-08	1.49E-08	1.49E-08	1.40E-08	1.40E-08	1.39E-08
NNW	—	2.66E-07	—	—	7.06E-08	4.75E-08	1.48E-08	1.49E-08	1.49E-08	1.40E-08	1.26E-08	4.47E-09

表 6.2-3 (1/2) 气态和液态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量（3、4 号机组排放）

单位：Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	—	5.75E-07	3.35E-07	2.13E-07	5.89E-08	3.40E-08	1.34E-08	8.99E-09	7.54E-09	6.43E-09	5.65E-09	4.97E-09
NNE	—	<b>5.92E-07</b>	3.32E-07	—	5.36E-08	3.13E-08	1.23E-08	8.16E-09	7.08E-09	6.04E-09	5.48E-09	5.13E-09
NE	—	—	—	—	4.65E-08	2.73E-08	1.14E-08	8.08E-09	6.56E-09	5.67E-09	5.14E-09	4.84E-09
ENE	—	—	—	—	—	2.29E-08	8.98E-09	6.70E-09	4.98E-09	4.63E-09	3.17E-09	3.16E-09
E	—	—	—	—	—	1.97E-08	7.42E-09	3.96E-09	2.95E-09	2.24E-09	2.18E-09	1.82E-09
ESE	—	—	—	—	—	1.58E-08	5.53E-09	—	—	2.58E-09	2.20E-09	1.57E-09
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	4.61E-07	2.64E-07	1.76E-07	6.65E-08	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	1.68E-07	1.28E-07	4.95E-08	2.35E-08	—	—	—	—	—	—
WSW	—	2.11E-07	1.43E-07	1.07E-07	4.02E-08	2.11E-08	7.23E-09	6.24E-09	5.41E-09	4.72E-09	4.45E-09	4.35E-09
W	—	2.17E-07	1.44E-07	1.08E-07	4.15E-08	2.04E-08	7.83E-09	6.16E-09	5.42E-09	4.74E-09	4.50E-09	4.36E-09
WNW	—	—	—	1.31E-07	5.13E-08	2.40E-08	9.38E-09	7.37E-09	6.30E-09	5.50E-09	5.11E-09	4.85E-09
NW	—	4.05E-07	—	1.09E-07	5.90E-08	2.63E-08	1.03E-08	7.58E-09	6.31E-09	5.79E-09	5.15E-09	4.80E-09
NNW	—	4.65E-07	—	—	5.01E-08	2.91E-08	1.12E-08	8.18E-09	6.81E-09	5.84E-09	5.46E-09	3.04E-09

表 6.2-3 (2/2) 气态和液态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量（四台机组排放）

单位：Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	—	2.83E-06	1.82E-06	1.22E-06	4.08E-07	2.41E-07	1.17E-07	7.51E-08	6.11E-08	4.99E-08	4.44E-08	3.88E-08
NNE	—	<b>3.37E-06</b>	1.93E-06	—	3.40E-07	1.85E-07	8.11E-08	4.93E-08	4.31E-08	3.54E-08	3.12E-08	2.83E-08
NE	—	—	—	—	3.22E-07	1.80E-07	9.13E-08	6.43E-08	4.92E-08	4.15E-08	3.55E-08	3.22E-08
ENE	—	—	—	—	—	1.57E-07	7.59E-08	5.42E-08	4.19E-08	3.63E-08	2.79E-08	2.55E-08
E	—	—	—	—	—	1.24E-07	5.66E-08	3.69E-08	2.78E-08	2.15E-08	1.87E-08	1.64E-08
ESE	—	—	—	—	—	1.24E-07	5.85E-08	—	—	2.98E-08	2.56E-08	2.15E-08
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	2.08E-06	1.38E-06	9.85E-07	3.80E-07	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	1.09E-06	7.95E-07	3.19E-07	1.56E-07	—	—	—	—	—	—
WSW	—	1.62E-06	1.05E-06	7.55E-07	3.15E-07	1.63E-07	7.23E-08	6.55E-08	5.22E-08	4.27E-08	3.73E-08	3.28E-08
W	—	1.69E-06	1.10E-06	7.97E-07	3.57E-07	1.70E-07	9.30E-08	6.97E-08	5.65E-08	4.62E-08	4.10E-08	3.63E-08
WNW	—	—	—	1.04E-06	4.77E-07	2.31E-07	1.22E-07	9.38E-08	7.52E-08	6.27E-08	5.51E-08	4.74E-08
NW	—	2.28E-06	—	7.63E-07	4.15E-07	1.92E-07	9.21E-08	7.01E-08	4.95E-08	6.08E-08	4.11E-08	3.53E-08
NNW	—	2.37E-06	—	—	3.49E-07	2.05E-07	9.68E-08	6.75E-08	5.34E-08	4.38E-08	5.99E-08	2.89E-08

表 6.2-4（1/2） 气态和液态途径对各子区公众个人（青少年）造成的有效剂量（3、4 号机组排放）

单位：Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	—	5.54E-07	3.18E-07	1.94E-07	6.39E-08	3.96E-08	1.57E-08	1.07E-08	8.89E-09	7.65E-09	6.75E-09	5.97E-09
NNE	—	<b>5.75E-07</b>	3.17E-07	—	5.82E-08	3.73E-08	1.45E-08	9.85E-09	8.35E-09	7.21E-09	6.56E-09	6.15E-09
NE	—	—	—	—	5.10E-08	3.27E-08	1.33E-08	9.45E-09	7.74E-09	6.73E-09	6.11E-09	5.76E-09
ENE	—	—	—	—	—	2.70E-08	1.05E-08	7.86E-09	5.90E-09	5.50E-09	3.82E-09	3.79E-09
E	—	—	—	—	—	2.33E-08	8.74E-09	4.81E-09	3.57E-09	2.78E-09	2.77E-09	2.26E-09
ESE	—	—	—	—	—	1.84E-08	6.46E-09	—	—	3.77E-09	3.28E-09	1.90E-09
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	4.26E-07	2.46E-07	1.56E-07	7.69E-08	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	1.49E-07	1.07E-07	5.80E-08	2.71E-08	—	—	—	—	—	—
WSW	—	1.81E-07	1.21E-07	8.63E-08	4.77E-08	2.45E-08	8.60E-09	7.23E-09	6.34E-09	5.68E-09	5.35E-09	5.14E-09
W	—	1.88E-07	1.23E-07	8.63E-08	4.81E-08	2.41E-08	9.15E-09	7.19E-09	6.34E-09	5.69E-09	5.37E-09	5.18E-09
WNW	—	—	—	1.09E-07	5.88E-08	2.82E-08	1.11E-08	8.55E-09	7.33E-09	6.48E-09	6.02E-09	5.72E-09
NW	—	3.81E-07	—	1.12E-07	6.81E-08	3.08E-08	1.20E-08	8.86E-09	7.42E-09	6.79E-09	6.11E-09	5.77E-09
NNW	—	4.42E-07	—	—	5.50E-08	3.37E-08	1.31E-08	9.56E-09	7.98E-09	6.94E-09	6.38E-09	3.74E-09

表 6.2-4 (2/2) 气态和液态途径对各子区公众个人（青少年）造成的有效剂量（四台机组排放）

单位：Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	—	2.58E-06	1.65E-06	1.08E-06	4.26E-07	2.60E-07	1.24E-07	8.21E-08	6.63E-08	5.46E-08	4.87E-08	4.27E-08
NNE	—	3.11E-06	1.78E-06	—	3.58E-07	2.05E-07	8.81E-08	5.53E-08	4.73E-08	3.94E-08	3.50E-08	3.20E-08
NE	—	—	—	—	3.40E-07	2.00E-07	9.74E-08	6.90E-08	5.36E-08	4.55E-08	3.92E-08	3.58E-08
ENE	—	—	—	—	—	1.73E-07	8.12E-08	5.86E-08	4.57E-08	3.97E-08	3.07E-08	2.82E-08
E	—	—	—	—	—	1.37E-07	6.13E-08	4.03E-08	3.03E-08	2.38E-08	2.18E-08	1.85E-08
ESE	—	—	—	—	—	1.36E-07	6.33E-08	—	—	3.73E-08	3.27E-08	2.41E-08
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	1.82E-06	1.22E-06	8.53E-07	4.17E-07	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	9.47E-07	6.68E-07	3.52E-07	1.70E-07	—	—	—	—	—	—
WSW	—	1.39E-06	8.96E-07	6.28E-07	3.49E-07	1.76E-07	7.77E-08	6.92E-08	5.61E-08	4.71E-08	4.13E-08	3.60E-08
W	—	1.46E-06	9.45E-07	6.66E-07	3.85E-07	1.87E-07	9.88E-08	7.40E-08	6.04E-08	5.06E-08	4.48E-08	3.97E-08
WNW	—	—	—	8.87E-07	5.06E-07	2.52E-07	1.32E-07	9.89E-08	7.96E-08	6.69E-08	5.89E-08	5.10E-08
NW	—	2.05E-06	—	7.25E-07	4.46E-07	2.09E-07	9.83E-08	7.46E-08	5.38E-08	6.34E-08	4.47E-08	3.92E-08
NNW	—	2.16E-06	—	—	3.66E-07	2.21E-07	1.04E-07	7.27E-08	5.80E-08	4.82E-08	6.23E-08	3.19E-08



表 6.2-5 (1/2) 气态和液态途径对各子区公众个人（儿童）造成的有效剂量（3、4 号机组排放）

单位：Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	—	5.28E-07	3.02E-07	1.86E-07	5.93E-08	3.36E-08	1.33E-08	9.13E-09	7.30E-09	6.29E-09	5.55E-09	4.91E-09
NNE	—	<b>5.47E-07</b>	3.02E-07	—	5.47E-08	3.21E-08	1.23E-08	8.51E-09	6.78E-09	5.91E-09	5.37E-09	5.01E-09
NE	—	—	—	—	4.75E-08	2.89E-08	1.11E-08	7.70E-09	6.30E-09	5.49E-09	4.94E-09	4.64E-09
ENE	—	—	—	—	—	2.31E-08	8.62E-09	6.40E-09	4.75E-09	4.44E-09	3.11E-09	3.07E-09
E	—	—	—	—	—	1.93E-08	7.07E-09	3.88E-09	2.85E-09	2.30E-09	2.36E-09	1.89E-09
ESE	—	—	—	—	—	1.46E-08	5.19E-09	—	—	3.04E-09	2.46E-09	1.60E-09
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	4.09E-07	2.35E-07	1.51E-07	6.62E-08	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	1.44E-07	1.04E-07	5.03E-08	2.38E-08	—	—	—	—	—	—
WSW	—	1.75E-07	1.17E-07	8.52E-08	4.20E-08	1.99E-08	7.56E-09	5.77E-09	5.11E-09	4.82E-09	4.50E-09	4.09E-09
W	—	1.82E-07	1.19E-07	8.52E-08	4.08E-08	2.04E-08	7.58E-09	5.82E-09	5.09E-09	4.79E-09	4.43E-09	4.18E-09
WNW	—	—	—	1.06E-07	4.96E-08	2.41E-08	9.46E-09	6.98E-09	5.91E-09	5.31E-09	4.90E-09	4.62E-09
NW	—	3.64E-07	—	1.04E-07	5.81E-08	2.60E-08	9.97E-09	7.23E-09	5.99E-09	5.50E-09	4.96E-09	4.81E-09
NNW	—	4.20E-07	—	—	5.04E-08	2.81E-08	1.11E-08	7.84E-09	6.46E-09	5.68E-09	5.14E-09	3.11E-09

表 6.2-5 (2/2) 气态和液态途径对各子区公众个人（儿童）造成的有效剂量（四台机组排放）

单位：Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	—	2.49E-06	1.58E-06	1.04E-06	4.06E-07	2.29E-07	1.10E-07	7.36E-08	5.80E-08	4.81E-08	4.26E-08	3.73E-08
NNE	—	<b>3.00E-06</b>	1.72E-06	—	3.43E-07	1.82E-07	7.79E-08	4.99E-08	4.04E-08	3.40E-08	3.00E-08	2.73E-08
NE	—	—	—	—	3.25E-07	1.81E-07	8.53E-08	5.95E-08	4.63E-08	3.92E-08	3.37E-08	3.06E-08
ENE	—	—	—	—	—	1.54E-07	7.10E-08	5.06E-08	3.92E-08	3.40E-08	2.66E-08	2.42E-08
E	—	—	—	—	—	1.19E-07	5.29E-08	3.45E-08	2.58E-08	2.07E-08	1.92E-08	1.61E-08
ESE	—	—	—	—	—	1.17E-07	5.61E-08	—	—	3.17E-08	2.67E-08	2.11E-08
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	1.75E-06	1.17E-06	8.23E-07	3.80E-07	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	9.05E-07	6.46E-07	3.19E-07	1.56E-07	—	—	—	—	—	—
WSW	—	1.32E-06	8.54E-07	6.05E-07	3.15E-07	1.53E-07	7.24E-08	5.86E-08	4.75E-08	4.09E-08	3.58E-08	3.04E-08
W	—	1.39E-06	9.02E-07	6.43E-07	3.40E-07	1.66E-07	8.57E-08	6.32E-08	5.12E-08	4.38E-08	3.84E-08	3.36E-08
WNW	—	—	—	8.49E-07	4.48E-07	2.23E-07	1.16E-07	8.50E-08	6.80E-08	5.74E-08	5.05E-08	4.35E-08
NW	—	1.97E-06	—	6.86E-07	3.95E-07	1.84E-07	8.61E-08	6.37E-08	4.65E-08	5.19E-08	3.80E-08	3.37E-08
NNW	—	2.07E-06	—	—	3.46E-07	1.93E-07	9.26E-08	6.37E-08	5.04E-08	4.23E-08	5.05E-08	2.81E-08

表 6.2-6 (1/2) 气态和液态途径对各子区公众个人（婴儿）造成的有效剂量（3、4 号机组排放）

单位：Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	—	4.34E-07	2.48E-07	1.52E-07	5.40E-08	2.65E-08	1.04E-08	6.91E-09	5.56E-09	4.80E-09	4.28E-09	3.89E-09
NNE	—	<b>4.49E-07</b>	2.47E-07	—	4.87E-08	2.50E-08	9.60E-09	6.34E-09	5.18E-09	4.50E-09	4.08E-09	3.79E-09
NE	—	—	—	—	4.14E-08	2.19E-08	8.61E-09	5.93E-09	4.76E-09	4.18E-09	3.77E-09	3.53E-09
ENE	—	—	—	—	—	1.75E-08	6.70E-09	4.87E-09	3.91E-09	3.57E-09	3.03E-09	2.91E-09
E	—	—	—	—	—	1.46E-08	5.40E-09	3.72E-09	3.10E-09	2.77E-09	2.62E-09	2.46E-09
ESE	—	—	—	—	—	1.13E-08	3.96E-09	—	—	2.61E-09	2.46E-09	2.28E-09
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	3.37E-07	1.93E-07	1.23E-07	5.37E-08	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	1.18E-07	8.54E-08	3.98E-08	1.83E-08	—	—	—	—	—	—
WSW	—	1.45E-07	9.67E-08	6.96E-08	3.22E-08	1.56E-08	5.68E-09	4.43E-09	3.82E-09	3.48E-09	3.27E-09	3.14E-09
W	—	1.50E-07	9.81E-08	7.01E-08	3.22E-08	1.54E-08	5.79E-09	4.41E-09	3.82E-09	3.49E-09	3.28E-09	3.16E-09
WNW	—	—	—	8.73E-08	3.98E-08	1.83E-08	7.16E-09	5.31E-09	4.46E-09	4.00E-09	3.71E-09	3.54E-09
NW	—	2.99E-07	—	8.43E-08	4.68E-08	2.02E-08	7.76E-09	5.55E-09	4.56E-09	4.18E-09	3.81E-09	3.57E-09
NNW	—	3.45E-07	—	—	4.49E-08	2.23E-08	8.65E-09	6.06E-09	4.95E-09	4.34E-09	4.02E-09	3.25E-09

表 6.2-6 (2/2) 气态和液态途径对各子区公众个人（婴儿）造成的有效剂量（四台机组排放）

单位：Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80
N	—	2.19E-06	1.40E-06	9.16E-07	3.82E-07	1.98E-07	9.53E-08	6.37E-08	4.99E-08	4.13E-08	3.64E-08	3.20E-08
NNE	—	<b>2.64E-06</b>	1.52E-06	—	3.18E-07	1.55E-07	6.71E-08	4.22E-08	3.41E-08	2.85E-08	2.50E-08	2.25E-08
NE	—	—	—	—	2.99E-07	1.54E-07	7.35E-08	5.07E-08	3.92E-08	3.31E-08	2.84E-08	2.56E-08
ENE	—	—	—	—	—	1.30E-07	6.13E-08	4.31E-08	3.38E-08	2.90E-08	2.44E-08	2.22E-08
E	—	—	—	—	—	9.95E-08	4.51E-08	3.12E-08	2.47E-08	2.09E-08	1.87E-08	1.70E-08
ESE	—	—	—	—	—	1.01E-07	4.91E-08	—	—	2.59E-08	2.31E-08	2.09E-08
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	1.52E-06	1.03E-06	7.19E-07	3.38E-07	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	7.89E-07	5.64E-07	2.78E-07	1.33E-07	—	—	—	—	—	—
WSW	—	1.16E-06	7.47E-07	5.26E-07	2.70E-07	1.31E-07	6.58E-08	4.92E-08	3.96E-08	3.36E-08	2.93E-08	2.53E-08
W	—	1.22E-06	7.91E-07	5.62E-07	2.94E-07	1.42E-07	7.33E-08	5.33E-08	4.28E-08	3.63E-08	3.17E-08	2.77E-08
WNW	—	—	—	7.43E-07	3.89E-07	1.91E-07	1.00E-07	7.22E-08	5.74E-08	4.82E-08	4.25E-08	3.72E-08
NW	—	1.73E-06	—	6.04E-07	3.45E-07	1.57E-07	7.42E-08	5.37E-08	3.97E-08	4.18E-08	3.22E-08	2.80E-08
NNW	—	1.82E-06	—	—	3.24E-07	1.67E-07	8.04E-08	5.52E-08	4.34E-08	3.62E-08	4.02E-08	2.68E-08

表 6.2-7 气态和液态途径对各子区公众造成的集体有效剂量（四台机组排放）

单位：人·Sv

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	合 计
N	—	8.50E-04	3.88E-04	8.15E-05	1.77E-03	8.30E-04	5.81E-03	1.48E-02	2.40E-03	5.60E-03	4.09E-03	4.26E-03	4.09E-02
NNE	—	6.84E-04	1.32E-03	—	7.21E-04	2.27E-03	1.51E-03	6.68E-03	2.16E-03	3.61E-03	2.91E-03	5.51E-03	2.74E-02
NE	—	—	—	—	1.47E-03	1.66E-03	1.05E-03	7.37E-04	2.05E-03	9.84E-04	1.89E-03	1.72E-03	1.16E-02
ENE	—	—	—	—	—	2.17E-03	2.68E-04	9.83E-04	1.19E-03	1.37E-03	1.22E-03	1.32E-03	8.53E-03
E	—	—	—	—	—	2.17E-03	1.98E-03	2.10E-03	2.45E-03	1.75E-03	3.96E-03	2.83E-03	1.73E-02
ESE	—	—	—	—	—	4.36E-04	1.26E-04	—	—	1.01E-03	8.95E-03	3.12E-04	1.08E-02
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	1.07E-03	9.89E-04	4.86E-04	3.76E-04	—	—	—	—	—	—	—	2.92E-03
SW	—	—	4.14E-04	3.23E-04	3.03E-03	6.66E-03	—	—	—	—	—	—	1.04E-02
WSW	—	2.10E-04	7.45E-05	7.82E-04	1.98E-03	1.29E-03	2.90E-03	2.34E-04	7.07E-04	9.28E-04	1.66E-03	3.89E-04	1.11E-02
W	—	6.81E-04	4.42E-04	7.19E-04	1.36E-03	3.33E-03	2.16E-03	8.16E-04	2.33E-03	1.47E-03	2.47E-03	1.89E-03	1.77E-02
WNW	—	—	—	5.81E-04	1.94E-04	3.09E-03	1.33E-02	1.58E-03	2.20E-03	2.57E-03	1.76E-03	6.89E-04	2.60E-02
NW	—	2.54E-04	—	5.32E-04	6.05E-04	1.62E-03	4.61E-04	3.14E-03	1.34E-03	1.28E-03	1.05E-03	3.46E-03	1.37E-02
NNW	—	1.13E-03	—	—	1.63E-03	1.61E-03	2.28E-03	3.01E-03	2.67E-03	4.44E-03	2.18E-03	1.29E-03	2.03E-02
合 计	—	4.87E-03	3.63E-03	3.50E-03	1.32E-02	2.71E-02	3.18E-02	3.41E-02	1.95E-02	2.50E-02	3.21E-02	2.37E-02	<b>2.19E-01</b>

表 6.2-8 海洋生物浓集因子  $B_p$  和悬浮物  $K_d$  因子

元素	$K_d$ (L/kg)	海洋生物浓集因子 $B_p$ (Bq/kg 海洋生物) / (Bq/L 海水)					
		鱼类	甲壳类	软体类	海藻类	浮游植物	浮游动物
$^{11}\text{Na}$	$1 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^0$	$7 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^0$
$^{24}\text{Cr}$	$5 \times 10^4$	$2 \times 10^2$	$1 \times 10^2$	$2 \times 10^3$	$6 \times 10^3$	$5 \times 10^3$	$1 \times 10^3$
$^{25}\text{Mn}$	$2 \times 10^5$	$1 \times 10^3$	$5 \times 10^3$	$5 \times 10^4$	$6 \times 10^3$	$5 \times 10^4$	$7 \times 10^3$
$^{26}\text{Fe}$	$5 \times 10^4$	$3 \times 10^4$	$5 \times 10^5$	$5 \times 10^5$	$2 \times 10^4$	$4 \times 10^5$	$5 \times 10^5$
$^{27}\text{Co}$	$3 \times 10^5$	$7 \times 10^2$	$7 \times 10^3$	$2 \times 10^4$	$6 \times 10^3$	$2 \times 10^3$	$7 \times 10^3$
$^{30}\text{Zn}$	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^3$	$3 \times 10^5$	$8 \times 10^4$	$2 \times 10^3$	$1 \times 10^4$	$1 \times 10^5$
$^{37}\text{Rb}^*$	$1 \times 10^7$	$1 \times 10^2$	$2 \times 10^1$	—	—	—	—
$^{38}\text{Sr}$	$1 \times 10^6$	$3 \times 10^0$	$5 \times 10^0$	$1 \times 10^1$	$1 \times 10^1$	$1 \times 10^0$	$2 \times 10^0$
$^{39}\text{Y}$	$5 \times 10^5$	$2 \times 10^1$	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^2$	$1 \times 10^2$
$^{40}\text{Zr}$	$1 \times 10^2$	$2 \times 10^1$	$2 \times 10^2$	$5 \times 10^3$	$3 \times 10^3$	$6 \times 10^4$	$2 \times 10^4$
$^{41}\text{Nb}$	$1 \times 10^2$	$3 \times 10^1$	$2 \times 10^2$	$1 \times 10^3$	$3 \times 10^3$	$1 \times 10^3$	$2 \times 10^4$
$^{42}\text{Mo}^*$	$3 \times 10^2$	$1 \times 10^1$	$1 \times 10^2$	$1 \times 10^1$	$1 \times 10^1$	—	—
$^{43}\text{Tc}$	$1 \times 10^3$	$8 \times 10^1$	$1 \times 10^3$	$5 \times 10^2$	$3 \times 10^4$	$4 \times 10^0$	$1 \times 10^2$
$^{44}\text{Ru}$	$1 \times 10^3$	$2 \times 10^0$	$1 \times 10^2$	$5 \times 10^2$	$2 \times 10^3$	$2 \times 10^5$	$3 \times 10^4$
$^{45}\text{Rh}^*$	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^2$	$1 \times 10^3$	—	—	—	—
$^{47}\text{Ag}$	$2 \times 10^1$	$1 \times 10^4$	$2 \times 10^5$	$6 \times 10^4$	$5 \times 10^3$	$5 \times 10^4$	$2 \times 10^4$
$^{51}\text{Sb}$	$3 \times 10^3$	$6 \times 10^2$	$3 \times 10^2$	$3 \times 10^2$	$2 \times 10^1$	$1 \times 10^3$	$8 \times 10^1$
$^{52}\text{Te}$	$5 \times 10^3$	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^4$	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^3$
$^{53}\text{I}$	$3 \times 10^6$	$9 \times 10^0$	$3 \times 10^0$	$1 \times 10^1$	$1 \times 10^4$	$8 \times 10^2$	$3 \times 10^3$
$^{55}\text{Cs}$	$2 \times 10^6$	$1 \times 10^2$	$5 \times 10^1$	$6 \times 10^1$	$5 \times 10^1$	$2 \times 10^1$	$4 \times 10^1$
$^{56}\text{Ba}$	$5 \times 10^6$	$1 \times 10^1$	$7 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^1$	$7 \times 10^1$	$8 \times 10^2$	$8 \times 10^1$
$^{57}\text{La}$	$3 \times 10^4$	$3 \times 10^1$	$1 \times 10^3$	$1 \times 10^3$	$5 \times 10^3$	—	—
$^{58}\text{Ce}$	$3 \times 10^6$	$5 \times 10^1$	$1 \times 10^3$	$2 \times 10^3$	$5 \times 10^3$	$9 \times 10^4$	$6 \times 10^3$
$^{59}\text{Pr}$	$5 \times 10^6$	$2.5 \times 10^1$	—	$1 \times 10^3$	—	—	—
$^{74}\text{W}$	$3 \times 10^4$	$9 \times 10^1$	$1 \times 10^1$	$6 \times 10^2$	$6 \times 10^2$	$9 \times 10^4$	$1 \times 10^3$
$^6\text{C}$	$1 \times 10^3$	$2 \times 10^4$	$2 \times 10^4$	$2 \times 10^4$	$1 \times 10^4$	$9 \times 10^3$	$2 \times 10^4$

表 6.2-9（1/2） 主要核素对七类海洋生物的辐射剂量转换因子

单位：(μGy/h)/(Bq/kg)

生物类别 照射途径	浮游鱼类		底栖鱼类		甲壳类		软体类		海藻类		浮游植物		浮游动物	
	外照射	内照射	外照射	内照射	外照射	内照射	外照射	内照射	外照射	内照射	外照射	内照射	外照射	内照射
<sup>3</sup> H	8.30E-15	8.25E-06	7.72E-13	8.25E-06	7.40E-15	8.25E-06	2.90E-12	8.25E-06	2.00E-11	8.25E-06	3.23E-06	6.25E-10	1.60E-13	8.25E-06
<sup>51</sup> Cr	1.62E-05	9.26E-06	1.64E-05	8.97E-06	1.58E-05	9.60E-06	1.75E-05	7.90E-06	1.80E-05	7.40E-06	1.85E-05	6.92E-06	1.82E-05	7.20E-06
<sup>24</sup> Na	2.21E-03	4.89E-04	2.24E-03	4.58E-04	2.18E-03	5.21E-04	2.35E-03	3.48E-04	2.44E-03	2.57E-04	2.68E-03	1.49E-05	2.51E-03	1.89E-04
<sup>54</sup> Mn	4.30E-04	5.61E-05	4.40E-04	4.84E-05	4.30E-04	6.48E-05	4.70E-04	2.36E-05	4.80E-04	1.32E-05	4.80E-04	4.86E-10	4.80E-04	9.50E-06
<sup>55</sup> Fe	1.92E-08	8.23E-06	1.49E-08	8.23E-06	1.74E-08	8.23E-06	6.18E-08	8.19E-06	1.71E-07	8.08E-06	5.72E-07	7.68E-06	3.00E-07	7.95E-06
<sup>59</sup> Fe	6.23E-04	1.31E-04	6.33E-04	1.21E-04	6.12E-04	1.42E-04	6.66E-04	8.83E-05	6.82E-04	7.20E-05	7.18E-04	3.58E-05	6.89E-04	6.50E-05
<sup>57</sup> Co	6.20E-05	3.61E-05	6.30E-05	3.52E-05	6.10E-05	3.70E-05	6.70E-05	2.97E-05	6.90E-05	2.78E-05	8.30E-05	1.74E-09	7.00E-05	2.89E-05
<sup>58</sup> Co	5.00E-04	8.27E-05	5.10E-04	7.31E-05	5.00E-04	9.05E-05	5.40E-04	4.40E-05	5.60E-04	3.02E-05	5.80E-04	1.19E-09	5.60E-04	2.52E-05
<sup>60</sup> Co	1.30E-03	1.90E-04	1.30E-03	1.70E-04	1.30E-03	2.10E-04	1.40E-03	9.80E-05	1.40E-03	6.80E-05	1.50E-03	3.00E-09	1.40E-03	5.60E-05
<sup>65</sup> Zn	3.04E-04	4.27E-05	3.09E-04	3.75E-05	2.98E-04	4.81E-05	3.19E-04	2.14E-05	3.32E-04	1.42E-05	3.37E-04	9.12E-06	2.51E-03	1.12E-05
<sup>88</sup> Rb	4.73E-04	1.00E-03	5.52E-04	1.00E-03	4.50E-04	1.10E-03	7.35E-04	8.15E-04	1.06E-03	4.93E-04	1.55E-03	3.80E-06	1.37E-03	1.88E-04
<sup>89</sup> Sr	9.50E-06	3.30E-04	1.50E-05	3.20E-04	8.40E-06	3.30E-04	2.80E-05	3.10E-04	8.80E-05	2.50E-04	3.40E-04	3.80E-09	1.50E-04	1.80E-04
<sup>90</sup> Sr	2.70E-05	6.20E-04	5.00E-05	6.00E-04	2.30E-05	6.30E-04	7.70E-05	5.80E-04	2.00E-04	4.50E-04	6.50E-04	7.60E-09	3.60E-04	2.90E-04
<sup>91</sup> Sr	5.52E-04	4.33E-04	5.73E-04	4.12E-04	5.39E-04	4.45E-04	6.21E-04	3.64E-04	7.11E-04	2.74E-04	9.68E-04	1.63E-05	8.01E-04	1.83E-04
<sup>92</sup> Sr	7.05E-04	1.81E-04	7.16E-04	1.70E-04	0.00E+00	1.93E-04	0.00E+00	1.32E-04	0.00E+00	1.08E-04	8.50E-04	3.56E-05	7.91E-04	9.53E-05
<sup>90</sup> Y	2.65E-05	5.12E-04	4.88E-05	4.90E-04	1.20E-08	5.16E-04	1.20E-08	4.65E-04	1.20E-08	3.47E-04	5.30E-04	8.52E-06	3.45E-04	1.93E-04
<sup>91</sup> Y	1.21E-05	3.37E-04	1.82E-05	3.31E-04	2.46E-08	3.38E-04	2.46E-08	3.17E-04	2.46E-08	2.54E-04	3.35E-04	1.44E-05	1.66E-04	1.83E-04
<sup>91m</sup> Y	2.73E-04	4.84E-05	2.78E-04	4.33E-05	2.68E-04	5.40E-05	2.95E-04	2.63E-05	3.05E-04	1.63E-05	3.21E-04	5.56E-07	3.09E-04	1.26E-05
<sup>93</sup> Y	8.99E-05	6.38E-04	1.26E-04	6.02E-04	8.27E-05	6.45E-04	1.70E-04	5.59E-04	3.31E-04	3.97E-04	7.21E-04	6.72E-06	5.35E-04	1.92E-04
<sup>95</sup> Zr	3.80E-04	1.10E-04	3.70E-04	1.10E-04	3.80E-04	1.20E-04	4.10E-04	8.20E-05	4.20E-04	7.00E-05	4.90E-04	3.30E-09	4.30E-04	6.50E-05
<sup>95</sup> Nb	4.00E-04	7.24E-05	4.00E-04	6.43E-05	3.90E-04	7.96E-05	4.30E-04	4.18E-05	4.40E-04	3.22E-05	4.70E-04	1.66E-09	4.40E-04	2.81E-05
<sup>99</sup> Mo	1.44E-04	2.52E-04	1.47E-04	2.48E-04	1.40E-04	2.55E-04	1.64E-04	2.32E-04	2.01E-04	1.94E-04	3.62E-04	3.40E-05	2.30E-04	1.65E-04
<sup>99m</sup> Tc	6.45E-05	2.06E-05	6.53E-05	1.98E-05	6.31E-05	2.21E-05	7.02E-05	1.49E-05	7.20E-05	1.31E-05	7.51E-05	9.98E-06	2.70E-06	1.24E-05
<sup>103</sup> Ru	2.40E-04	9.88E-05	2.50E-04	9.36E-05	2.40E-04	1.04E-04	2.60E-04	7.80E-05	2.70E-04	7.10E-05	3.40E-04	3.92E-09	2.70E-04	6.78E-05
<sup>106</sup> Ru	1.70E-04	7.70E-04	2.20E-04	7.30E-04	1.60E-04	7.80E-04	2.80E-04	6.60E-04	4.90E-04	4.50E-04	9.40E-04	3.82E-09	7.40E-04	2.04E-04
<sup>103m</sup> Rh	2.95E-07	2.55E-05	3.31E-07	2.55E-05	2.57E-07	2.56E-05	6.08E-07	2.52E-05	8.43E-07	2.50E-05	1.77E-06	2.40E-05	9.73E-07	2.48E-05
<sup>106</sup> Rh	1.68E-04	7.67E-04	2.17E-04	7.20E-04	1.57E-04	7.78E-04	2.84E-04	6.53E-04	4.92E-04	4.44E-04	9.30E-04	4.40E-06	7.41E-04	1.95E-04
<sup>110</sup> Ag	5.81E-05	6.41E-04	9.38E-05	6.06E-04	5.16E-05	6.47E-04	1.35E-04	5.66E-04	2.96E-04	4.04E-04	6.93E-04	5.50E-06	5.03E-04	1.96E-04

表 6.2-9 (2/2) 主要核素对七类海洋生物的辐射剂量转换因子

单位: ( $\mu\text{Gy/h}$ )/(Bq/kg)

生物类别 照射途径	浮游鱼类		底栖鱼类		甲壳类		软体类		海藻类		浮游植物		浮游动物	
	外照射	内照射	外照射	内照射	外照射	内照射	外照射	内照射	外照射	内照射	外照射	内照射	外照射	内照射
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	1.40E-03	2.10E-04	1.50E-03	1.80E-04	1.40E-03	2.30E-04	1.50E-03	1.02E-04	1.60E-03	6.32E-05	1.60E-03	2.01E-09	1.60E-03	4.78E-05
$^{124}\text{Sb}$	9.60E-04	3.10E-04	9.80E-04	2.90E-04	9.40E-04	3.30E-04	1.00E-03	2.30E-04	1.10E-03	1.80E-04	1.30E-03	3.70E-09	1.10E-03	1.30E-04
$^{122}\text{Sb}$	2.37E-04	3.44E-04	2.74E-04	3.33E-04	2.31E-04	3.49E-04	2.73E-04	3.07E-04	3.39E-04	2.42E-04	5.65E-04	1.57E-05	4.05E-04	1.76E-04
$^{129}\text{Te}$	3.71E-05	3.15E-04	4.14E-05	3.11E-04	3.55E-05	3.16E-04	5.46E-05	2.97E-04	1.07E-04	2.45E-04	3.19E-04	3.30E-05	1.59E-04	1.92E-04
$^{129\text{m}}\text{Te}$	4.50E-05	3.57E-04	5.10E-05	3.57E-04	4.30E-05	3.67E-04	6.60E-05	3.37E-04	1.20E-04	2.86E-04	4.00E-04	6.89E-09	1.80E-04	2.24E-04
$^{131\text{m}}\text{Te}$	7.94E-04	2.96E-04	8.11E-04	2.78E-04	7.78E-04	3.11E-04	8.62E-04	2.27E-04	9.08E-04	5.35E-04	1.04E-03	5.31E-05	9.46E-04	1.43E-04
$^{131}\text{Te}$	2.32E-04	4.27E-04	2.46E-04	4.12E-04	2.25E-04	4.34E-04	2.77E-04	3.82E-04	3.61E-04	2.98E-04	6.36E-04	2.29E-05	4.59E-04	2.00E-04
$^{132}\text{Te}$	1.30E-03	5.10E-04	1.40E-03	4.80E-04	1.30E-03	5.41E-04	1.50E-03	3.88E-04	1.50E-03	3.06E-04	1.80E-03	7.90E-09	1.60E-03	2.35E-04
$^{134}\text{Te}$	4.57E-04	2.29E-04	4.65E-04	2.20E-04	4.47E-04	2.38E-04	4.97E-04	1.88E-04	5.26E-04	4.69E-04	6.38E-04	4.81E-05	5.38E-04	1.47E-04
$^{131}\text{I}$	2.00E-04	1.30E-04	2.00E-04	1.30E-04	1.90E-04	1.40E-04	2.10E-04	1.20E-04	2.30E-04	1.00E-04	3.30E-04	4.10E-09	2.30E-04	9.80E-05
$^{132}\text{I}$	1.20E-03	4.10E-04	1.20E-03	3.80E-04	1.20E-03	4.30E-04	1.30E-03	3.10E-04	1.40E-03	2.30E-04	1.60E-03	4.00E-09	1.40E-03	1.70E-04
$^{133}\text{I}$	3.20E-04	2.70E-04	3.30E-04	2.60E-04	3.10E-04	2.80E-04	3.50E-04	2.40E-04	4.00E-04	1.90E-04	5.90E-04	4.00E-09	4.30E-04	1.60E-04
$^{134}\text{I}$	1.38E-03	4.96E-04	1.41E-03	4.64E-04	1.35E-03	5.22E-04	1.50E-03	3.76E-04	1.60E-03	2.76E-04	1.86E-03	1.59E-05	1.68E-03	1.89E-04
$^{135}\text{I}$	8.67E-04	3.03E-04	8.83E-04	2.88E-04	8.52E-04	3.18E-04	9.33E-04	2.37E-04	9.85E-04	1.86E-04	1.15E-03	2.53E-05	1.02E-03	1.52E-04
$^{134}\text{Cs}$	8.10E-04	1.90E-04	8.20E-04	1.70E-04	7.90E-04	2.00E-04	8.70E-04	1.20E-04	9.00E-04	9.50E-05	9.90E-04	3.37E-09	9.10E-04	8.40E-05
$^{136}\text{Cs}$	1.10E-03	2.00E-04	1.10E-03	1.84E-04	1.10E-03	2.30E-04	1.20E-03	1.22E-04	1.20E-03	9.28E-05	1.30E-03	4.26E-09	1.30E-03	8.06E-05
$^{137}\text{Cs}$	2.90E-04	1.80E-04	3.00E-04	1.70E-04	2.90E-04	1.80E-04	3.20E-04	1.50E-04	3.40E-04	1.30E-04	4.70E-04	4.39E-09	3.50E-04	1.20E-04
$^{138}\text{Cs}$	1.29E-03	7.70E-04	1.34E-03	7.16E-04	1.26E-03	7.97E-04	1.45E-03	6.11E-04	1.64E-04	1.26E-03	2.05E-03	6.57E-06	1.86E-03	2.00E-04
$^{137\text{m}}\text{Ba}$	3.09E-04	7.36E-05	3.15E-04	6.77E-05	3.02E-04	7.98E-05	3.34E-04	4.81E-05	3.49E-04	3.33E-05	3.81E-04	1.31E-06	3.56E-04	2.57E-05
$^{140}\text{Ba}$	1.50E-03	6.89E-04	1.53E-03	6.60E-04	1.48E-03	7.16E-04	1.63E-03	5.66E-04	1.74E-03	4.53E-04	2.11E-03	8.08E-05	1.83E-03	3.66E-04
$^{140}\text{La}$	1.22E-03	4.22E-04	1.22E-03	3.99E-04	1.20E-03	4.43E-04	1.32E-03	3.25E-04	1.40E-03	2.46E-04	1.63E-03	1.79E-05	1.46E-03	1.83E-04
$^{141}\text{Ce}$	3.90E-05	1.02E-04	3.90E-05	1.02E-04	3.80E-05	1.02E-04	4.40E-05	1.01E-04	4.90E-05	9.59E-05	1.40E-04	4.59E-09	5.20E-05	9.28E-05
$^{143}\text{Ce}$	1.47E-04	2.70E-04	1.51E-04	2.66E-04	1.43E-04	2.74E-04	1.69E-04	2.48E-04	2.09E-04	2.08E-04	3.77E-04	4.06E-05	2.40E-04	1.77E-04
$^{144}\text{Ce}$	7.20E-05	7.10E-04	1.10E-04	6.70E-04	6.50E-05	7.20E-04	1.50E-04	6.30E-04	3.20E-04	4.60E-04	7.80E-04	6.43E-09	5.30E-04	2.50E-04
$^{143}\text{Pr}$	2.38E-06	1.79E-04	2.79E-06	1.79E-04	2.16E-06	1.79E-04	7.23E-06	1.74E-04	3.03E-05	1.51E-04	1.55E-04	2.66E-05	4.34E-05	1.38E-04
$^{144}\text{Pr}$	6.16E-05	6.53E-04	9.89E-05	6.17E-04	5.47E-05	6.60E-04	1.42E-04	5.74E-04	3.08E-04	1.22E-03	7.09E-04	5.71E-06	5.20E-04	1.95E-04
$^{187}\text{W}$	2.48E-04	2.30E-04	2.53E-04	2.25E-04	2.43E-04	2.35E-04	2.72E-04	2.06E-04	2.97E-04	1.81E-04	4.04E-04	7.42E-05	3.13E-04	1.65E-04
$^{14}\text{C}$	2.30E-08	2.96E-05	1.80E-08	2.96E-05	7.20E-08	2.86E-05	2.10E-08	2.96E-05	1.60E-07	2.86E-05	2.90E-05	1.84E-09	4.30E-07	2.86E-05



表 6.2-10 排水口附近海域海洋生物的辐射剂量率

单位:  $\mu\text{Gy/h}$ 

运行工况	生物类别	内照射剂量率	外照射剂量率	附加辐射总剂量率
防城港核电厂 3、4 号 两台机组	浮游鱼类	7.63E-03	1.04E-05	7.64E-03
	底栖鱼类	7.53E-03	7.34E-06	7.53E-03
	软体类	3.15E-02	7.84E-06	3.15E-02
	甲壳类	1.46E-02	7.14E-06	1.46E-02
	海藻类	1.54E-02	8.68E-06	1.54E-02
	浮游植物	6.02E-03	1.38E-05	6.04E-03
	浮游动物	3.87E-02	1.24E-05	3.87E-02
防城港核电厂 1~4 号 四台机组	浮游鱼类	4.71E-02	9.60E-05	4.72E-02
	底栖鱼类	4.45E-02	6.40E-05	4.46E-02
	软体类	3.03E-01	6.76E-05	3.04E-01
	甲壳类	9.28E-02	6.16E-05	9.29E-02
	海藻类	1.35E-01	7.13E-05	1.35E-01
	浮游植物	3.60E-02	1.28E-04	3.62E-02
	浮游动物	2.07E-01	1.15E-04	2.07E-01

表6.2-11 “三关键”筛选剂量比较

单位：Sv/a

照射途径 \ 渔民来源		养殖渔民	捕捞渔民	养殖渔民	捕捞渔民
		(沙螺辽村)	(沙螺辽村)	(红沙村)	(红沙村)
气态	空气浸没	4.54E-08	4.54E-08	3.48E-08	3.48E-08
	地面沉积	4.38E-08	4.38E-08	4.71E-08	4.71E-08
	吸入空气	3.53E-08	3.53E-08	1.51E-08	1.51E-08
	食入陆生食品	4.62E-07	4.62E-07	3.35E-07	3.35E-07
气态途径剂量		5.86E-07	5.86E-07	4.32E-07	4.32E-07
液态	岸边沉积	6.67E-08	3.65E-08	2.61E-08	3.66E-08
	水上活动	3.06E-11	3.91E-11	2.27E-11	3.17E-11
	食入海产品	1.66E-07	1.66E-07	1.41E-07	1.41E-07
液态途径剂量		2.33E-07	2.03E-07	1.67E-07	1.77E-07
总剂量		<b>8.19E-07</b>	7.89E-07	5.99E-07	6.09E-07

表6.2-12（1/3） 各放射性核素通过各种照射途径对关键居民组个人造成的有效剂量（Sv/a）（四台机组排放）  
（SSW方位，1~2 km，沙螺辽村滩涂养殖渔民）

序号	核素	气态途径								液态途径						合计	
		空气浸没		地面沉积		吸入空气		食入陆生食品		岸边沉积		水上活动		食入海产品			
		剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数
1	<sup>3</sup> H	—	—	—	—	3.52E-08	4.30	1.41E-08	1.73	—	—	—	—	5.92E-09	0.72	5.53E-08	6.75
2	<sup>14</sup> C	—	—	—	—	—	—	4.29E-07	52.45	6.33E-13	0.00	1.11E-19	0.00	9.19E-08	11.22	5.21E-07	63.67
3	<sup>85</sup> Kr	1.17E-10	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.17E-10	0.01
4	<sup>85m</sup> Kr	6.78E-10	0.08	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.78E-10	0.08
5	<sup>87</sup> Kr	4.19E-09	0.51	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.19E-09	0.51
6	<sup>88</sup> Kr	2.05E-08	2.51	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.05E-08	2.51
7	<sup>133</sup> Xe	3.46E-09	0.42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.46E-09	0.42
8	<sup>133m</sup> Xe	8.79E-11	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8.79E-11	0.01
9	<sup>135</sup> Xe	9.41E-09	1.15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.41E-09	1.15
10	<sup>138</sup> Xe	6.94E-09	0.85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.94E-09	0.85
11	<sup>51</sup> Cr	1.31E-16	0.00	3.56E-14	0.00	9.81E-16	0.00	3.58E-15	0.00	3.72E-11	0.00	1.13E-13	0.00	1.27E-11	0.00	5.01E-11	0.01
12	<sup>54</sup> Mn	3.63E-16	0.00	1.09E-12	0.00	4.71E-15	0.00	1.04E-13	0.00	1.88E-09	0.23	2.57E-13	0.00	1.52E-10	0.02	2.03E-09	0.25
13	<sup>59</sup> Fe	5.27E-16	0.00	2.12E-13	0.06	1.15E-14	0.00	3.11E-14	0.00	2.30E-10	0.03	4.62E-13	0.00	1.08E-09	0.13	1.31E-09	0.16
14	<sup>58</sup> Co	3.26E-13	0.00	5.27E-10	2.91	3.90E-12	0.00	6.11E-11	0.01	3.51E-09	0.43	2.13E-12	0.00	7.71E-10	0.09	4.87E-09	0.60
15	<sup>60</sup> Co	5.78E-13	0.00	2.38E-08	0.00	1.62E-11	0.00	1.33E-09	0.16	5.76E-08	7.03	1.36E-12	0.00	6.80E-09	0.83	8.95E-08	10.93
16	<sup>89</sup> Sr	1.02E-19	0.00	3.81E-16	0.00	4.97E-16	0.00	1.77E-15	0.00	5.72E-14	0.00	6.45E-17	0.00	1.11E-13	0.00	1.71E-13	0.00
17	<sup>90</sup> Sr	2.12E-21	0.00	3.78E-15	0.00	2.77E-16	0.00	8.91E-14	0.00	7.92E-15	0.00	2.62E-21	0.00	2.12E-14	0.00	1.22E-13	0.00
18	<sup>91</sup> Sr	—	—	—	—	—	—	—	—	3.70E-17	0.00	2.75E-16	0.00	4.12E-17	0.00	3.53E-16	0.00
19	<sup>92</sup> Sr	—	—	—	—	—	—	—	—	3.27E-17	0.00	9.09E-16	0.00	5.67E-19	0.00	9.42E-16	0.00
20	<sup>90</sup> Y	—	—	—	—	—	—	—	—	1.60E-15	0.00	5.24E-19	0.00	1.25E-14	0.00	1.41E-14	0.00

表6.2-12（2/3） 各放射性核素通过各种照射途径对关键居民组个人造成的有效剂量（Sv/a）（四台机组排放）  
（SSW方位，1~2 km，沙螺辽村滩涂养殖渔民）

序号	核素	气态途径								液态途径						合计	
		空气浸没		地面沉积		吸入空气		食入陆生食品		岸边沉积		水上活动		食入海产品			
		剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数
21	<sup>91</sup> Y	—	—	—	—	—	—	—	—	1.94E-11	0.00	6.35E-16	0.00	1.17E-11	0.00	3.11E-11	0.00
22	<sup>95</sup> Zr	1.36E-18	0.00	1.77E-15	0.00	6.61E-17	0.00	9.95E-17	0.00	1.48E-11	0.00	3.53E-15	0.00	4.65E-13	0.00	1.53E-11	0.00
23	<sup>95</sup> Nb	3.01E-19	0.00	1.01E-16	0.00	4.21E-18	0.00	6.57E-18	0.00	1.95E-12	0.00	1.87E-15	0.00	5.98E-14	0.00	2.01E-12	0.00
24	<sup>99</sup> Mo	—	—	—	—	—	—	—	—	1.36E-12	0.00	2.12E-14	0.00	4.58E-13	0.00	1.84E-12	0.00
25	<sup>99m</sup> Tc	—	—	—	—	—	—	—	—	3.51E-17	0.00	3.92E-15	0.00	1.25E-15	0.00	5.21E-15	0.00
26	<sup>103</sup> Ru	1.41E-18	0.00	5.52E-16	0.00	5.28E-17	0.00	7.76E-17	0.00	1.49E-14	0.00	3.44E-15	0.00	3.45E-13	0.00	3.64E-13	0.00
27	<sup>106</sup> Ru	7.04E-20	0.00	3.80E-16	0.00	6.14E-17	0.00	2.69E-16	0.00	8.27E-15	0.00	2.20E-16	0.00	5.43E-13	0.00	5.52E-13	0.00
28	<sup>106</sup> Rh	—	—	—	—	—	—	—	—	9.77E-26	0.00	2.64E-21	0.00	0.00E+00	0.00	2.64E-21	0.00
29	<sup>110m</sup> Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	1.46E-09	0.18	1.71E-11	0.00	5.27E-08	6.44	5.42E-08	6.62
30	<sup>122</sup> Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	2.43E-13	0.00	2.55E-13	0.00	1.20E-10	0.01	1.21E-10	0.01
31	<sup>124</sup> Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	5.21E-12	0.00	2.58E-13	0.00	5.42E-11	0.01	5.97E-11	0.01
32	<sup>131</sup> Te	—	—	—	—	—	—	—	—	9.78E-19	0.00	1.62E-16	0.00	9.21E-32	0.00	1.63E-16	0.00
33	<sup>131m</sup> Te	—	—	—	—	—	—	—	—	7.87E-17	0.00	1.64E-16	0.00	6.87E-14	0.00	6.90E-14	0.00
34	<sup>132</sup> Te	—	—	—	—	—	—	—	—	2.95E-14	0.00	2.20E-15	0.00	1.72E-11	0.00	1.73E-11	0.00
35	<sup>134</sup> Te	—	—	—	—	—	—	—	—	7.18E-18	0.00	7.05E-16	0.00	2.03E-24	0.00	7.13E-16	0.00
36	<sup>131</sup> I	4.36E-13	0.00	3.31E-10	0.04	2.02E-11	0.00	1.12E-09	0.14	2.81E-13	0.00	4.82E-12	0.00	1.43E-09	0.17	2.91E-09	0.36
37	<sup>132</sup> I	5.87E-13	0.00	5.14E-12	0.00	2.01E-13	0.00	4.16E-17	0.00	5.37E-17	0.00	7.87E-14	0.00	3.99E-17	0.00	6.00E-12	0.00
38	<sup>133</sup> I	3.41E-13	0.00	2.86E-11	0.00	2.22E-12	0.00	7.54E-12	0.00	4.79E-16	0.00	7.36E-14	0.00	1.30E-12	0.00	4.00E-11	0.00
39	<sup>134</sup> I	4.03E-13	0.00	1.33E-12	0.00	5.82E-14	0.00	2.66E-23	0.00	1.09E-17	0.00	4.25E-14	0.00	5.47E-23	0.00	1.84E-12	0.00
40	<sup>135</sup> I	4.40E-13	0.00	1.02E-11	0.00	4.55E-13	0.00	4.42E-14	0.00	1.23E-16	0.00	6.72E-14	0.00	1.69E-14	0.00	1.12E-11	0.00

表6.2-12 (3/3) 各放射性核素通过各种照射途径对关键居民组个人造成的有效剂量 (Sv/a) (四台机组排放)  
(SSW方位, 1~2 km, 沙螺辽村滩涂养殖渔民)

序号	核素	气态途径								液态途径						合计	
		空气浸没		地面沉积		吸入空气		食入陆生食品		岸边沉积		水上活动		食入海产品			
		剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数	剂量	百分数
41	<sup>134</sup> Cs	5.69E-13	0.00	8.24E-09	1.01	2.42E-11	0.00	8.41E-09	1.03	1.34E-09	0.16	1.70E-12	0.00	2.77E-09	0.34	2.08E-08	2.54
42	<sup>136</sup> Cs	2.77E-15	0.00	3.42E-13	0.00	2.29E-14	0.00	3.51E-14	0.00	2.23E-11	0.00	1.68E-12	0.00	8.28E-11	0.01	1.07E-10	0.01
43	<sup>137</sup> Cs	1.55E-13	0.00	1.08E-08	1.32	1.94E-11	0.00	6.99E-09	0.85	6.44E-10	0.08	5.58E-14	0.00	2.14E-09	0.26	2.06E-08	2.52
44	<sup>138</sup> Cs	—	—	—	—	—	—	—	—	3.73E-16	0.00	1.81E-14	0.00	9.14E-28	0.00	1.85E-14	0.00
45	<sup>140</sup> Ba	7.79E-18	0.00	9.93E-16	0.00	1.65E-15	0.00	8.34E-16	0.00	3.91E-13	0.00	1.77E-14	0.00	1.32E-12	0.00	1.74E-12	0.00
46	<sup>140</sup> La	—	—	—	—	—	—	—	—	3.74E-12	0.00	7.26E-14	0.00	1.72E-12	0.00	5.54E-12	0.00
47	<sup>141</sup> Ce	2.22E-19	0.00	7.50E-17	0.00	7.23E-17	0.00	5.84E-17	0.00	6.18E-13	0.00	5.28E-16	0.00	4.95E-13	0.00	1.11E-12	0.00
48	<sup>143</sup> Ce	—	—	—	—	—	—	—	—	9.63E-15	0.00	1.97E-16	0.00	4.76E-14	0.00	5.74E-14	0.00
49	<sup>144</sup> Ce	—	—	—	—	—	—	—	—	2.19E-12	0.00	2.27E-17	0.00	1.07E-12	0.00	3.26E-12	0.00
50	<sup>143</sup> Pr	—	—	—	—	—	—	—	—	2.04E-14	0.00	2.39E-17	0.00	2.95E-12	0.00	2.97E-12	0.00
51	<sup>144</sup> Pr	—	—	—	—	—	—	—	—	6.97E-18	0.00	1.77E-17	0.00	7.06E-41	0.00	2.47E-17	0.00
合计		4.54E-08	5.55	4.38E-08	5.35	3.53E-08	4.31	4.62E-07	56.36	6.67E-08	8.15	3.06E-11	0.00	1.66E-07	20.27	8.19E-07	100.00
5.86E-07Sv/a, 占总有效剂量的 71.58%										2.33E-07Sv/a, 占总有效剂量的 28.42%							

表 6.2-13 防城港核电厂四台机组运行状态下“三关键”计算分析结果

## a) 关键组居民及其受照剂量

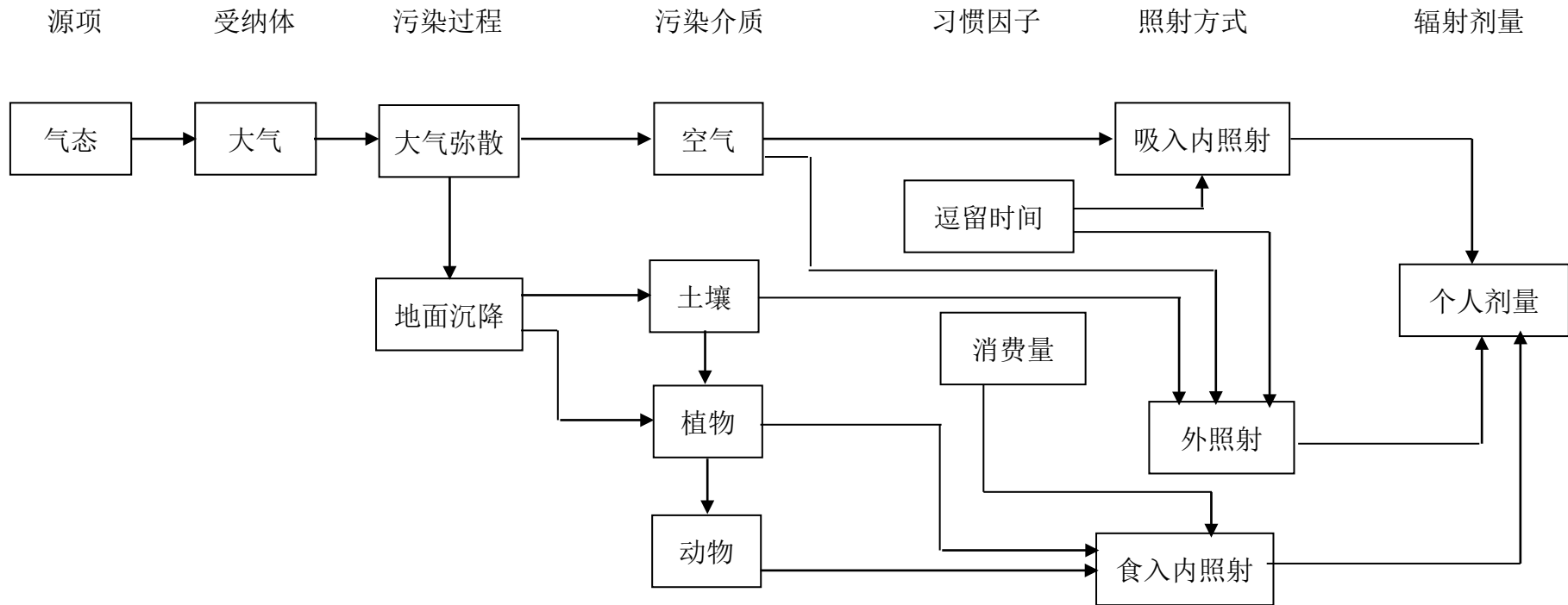
方位	距离 (km)	群体	有效剂量—H <sub>E</sub> (Sv/a)
SSW	1~2	沙螺辽村滩涂养殖渔民	$8.19 \times 10^{-7}$

## b) 关键照射途径和重要照射途径

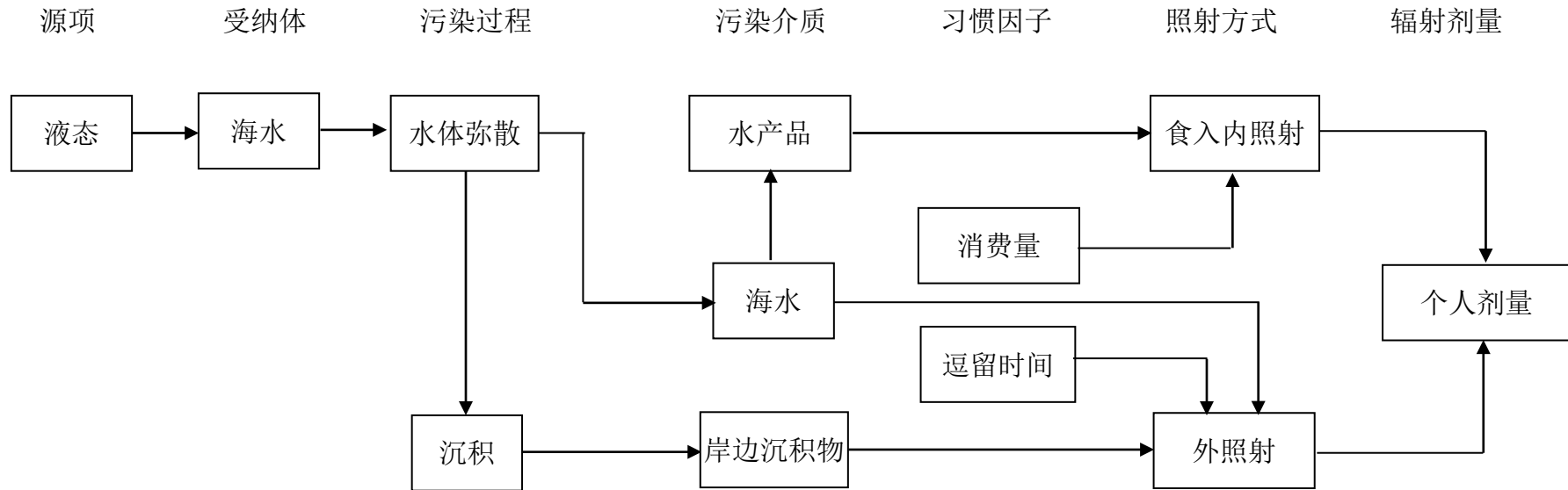
名称		有效剂量 (Sv/a)	占 H <sub>E</sub> 的份额 (%)
关键照射途径	食入陆生食品内照射	$4.62 \times 10^{-7}$	56.36
重要照射途径	食入海产品内照射	$1.66 \times 10^{-7}$	20.27
	岸边沉积外照射	$6.67 \times 10^{-8}$	8.15

## c) 关键核素和重要核素

名称		剂量贡献 (Sv/a)	占 H <sub>E</sub> 的份额 (%)	主要照射途径及占 H <sub>E</sub> 的份额 (%)
关键核素	<sup>14</sup> C	$5.21 \times 10^{-7}$	63.67	食入陆生食品内照射: 52.45
重要核素	<sup>60</sup> Co	$8.95 \times 10^{-8}$	10.93	岸边沉积物外照射: 7.03



防城港核电站 3、4 号机组		
环境影响报告书（运行阶段）		
气态照射途径		
图 6.2-1	版次：	A



防城港核电站 3、4 号机组		
环境影响报告书（运行阶段）		
液态照射途径		
图 6.2-2	版次：	A



### 6.3 其它环境影响

#### 6.3.1 化学污染物的环境影响

#### 6.3.2 其它污染物的环境影响

图

图 6.3-1 4 台机组运行期噪声贡献值预测图

### 6.3 其它环境影响

防城港核电厂 3、4 号机组正常运行时，可能造成的环境影响除前述温排水影响和辐射影响之外，还包括其它方面的影响。厂区非放射性污染物主要包括循环冷却水中的化学物质、生活污水与含油废水、固体废物、噪声、电磁辐射等。本节将对上述非放射性污染物对环境的可能影响进行分析和评价。

#### 6.3.1 化学污染物的环境影响

为满足核电厂运行要求，电厂有关回路系统和循环冷却水系统用水需进行化学处理，即在系统中加入一定数量的腐蚀抑制剂和化学添加剂（如硼酸、氢氧化锂、次氯酸钠、盐酸、氢氧化钠、联胺和氨水等），以保证水质要求。这些化学物质中，硼酸和氢氧化锂用于主回路系统用水，联胺和氨用于二回路系统用水，其他物质用于循环冷却水系统用水。

防城港核电厂 3、4 号机组主回路设有硼回收系统，对排出的硼酸大部分回收复用，其余部分则随浓缩液进入固体废物，仅少量部分随废液进入循环冷却水系统排放，核电厂硼酸使用对海水水质影响较小，二回路使用的联胺完全分解为氮气及氢气排出，氨循环使用，排放量极小，对环境影响甚微，可以预期核电厂主回路、二回路使用化学物质不会对受纳水体的海水水质造成明显的影响。因此，本节主要预测循环冷却水系统所用次氯化物对海水水质的影响。

为保护核电厂冷却系统不被水中附着生物堵塞，避免因其繁殖而导致的管道断面变小和流量的降低，通常在循环冷却系统的取水中加入一定浓度的次氯化物。加氯处理后电厂排放的循环冷却水中存在一定数量的余氯。

氯进入水体后可水解生成游离有效氯（ $\text{HOCl}$  和  $\text{OCl}^-$ ），进而与水中的氨反应产生化合态有效氯（ $\text{NH}_2\text{Cl}$  和  $\text{NHCl}_2$ ）。游离态余氯毒性强于化合态余氯，但自然条件下游离态较化合态更容易衰减。水体的化学性质、pH 值、温度以及外界光照，对余氯的生物效应都有影响。较低的 pH 值、 $\text{NH}_3$  含量和较高的温度，会增强余氯毒性；光照会引起余氯衰减，降低其生物毒性。

国内研究发现余氯对浮游植物的损害较大， $0.2\text{mg/L}$  的氯可以直接杀死水中 60~80% 的藻类； $0.1\text{mg/L}$  的余氯会使浮游植物光合作用下降 50%；当余氯稀释到  $0.03\text{mg/L}$  以下时，水中初级生产力可完全恢复。

浮游动物对余氯较敏感，国内外的研究结论表明，48h 的半致死浓度乘以安全因子 0.5 可确定余氯的安全浓度。25℃时余氯对海水中浮游动物的 96h 的半致死浓度 (LC<sub>50</sub>) 为 0.062~0.267mg/L。研究发现鱼类受余氯影响较大，但鱼类的回避性可以助其迅速游离高浓度余氯水域，因此，鱼类不会受余氯影响而造成大的损伤。

目前国内尚没有对水体中余氯浓度的标准限值。国外研究人员通过对包括水生植物、水生无脊椎动物和鱼类在内的 120 多种水生生物的余氯毒性研究，证明当余氯浓度低于 20μg/L 时，不论作用多长时间，也不会对海洋生物有毒性作用。在美国 EPA 于 2006 年发布的水质基准 (National Recommended Water Quality Criteria) 中，针对氯对海洋生物影响制定的避免急性损伤的基准最大浓度 (Criteria Maximum Concentration) 和慢性损伤的基准连续浓度 (Criteria Continuous Concentration) 分别为 13μg/L 和 7.5μg/L。

核电厂正常运行过程中，通常需要向循环冷却水中加入次氯化物以抑制海洋生物在管道内的繁殖。根据《防城港核电厂二期工程液态流出物数值模拟计算研究报告》(2014 年 8 月)，按照核电厂排放口最大排放浓度 3mg/L，每天排放 3 次，每次持续半小时，四台机组运行时排放的余氯在附近海域中 15μg/L 的浓度等值线，夏季全潮最大包络面积最大不超过 0.50km<sup>2</sup>，冬季全潮最大包络面积最大不超过 0.75km<sup>2</sup>。

防城港核电厂 4 台机组正常运行时的余氯排放对周围海域中海洋生物有明显毒性影响的范围限于核电厂排放口附近 0.75km<sup>2</sup> 的海域。因此，核电厂排放的余氯的影响区域仅在排水口附近海域，对海洋生物的影响范围也很有限。考虑到光照引起的余氯衰减会降低余氯毒性，实际情况中防城港核电厂排放水中余氯对附近海域中海洋生物影响很小。

## 6.3.2 其它污染物的环境影响

### 6.3.2.1 非放射性废水和生活污水的环境影响

#### (1) 含油废水

防城港核电厂运行期间的含油废水包括两部分：常规岛厂房各项设备和楼层各排水沟疏水、地面冲洗水和设备检修产生废水，和机修车间及运输车辆清洗站房等辅助厂房产生废水。前者经常规岛废液收集系统 (SEK) 收集并经油水分离处理后，通过常规岛废液排放系统 (SEL) 集中排放至 CC 井后，与循环冷却海水混合后外排。后者

由废油和非放射性水排放系统（SEH）收集，经油水分离器FS处理后，直接外排。

油水分离系统的主要部分是一个地下构筑物，包括下部的含油废水贮存池和上部的油水分离设备，废水处理工艺为：含油污水过滤器使用特殊的过滤介质，使截留的油污很容易反冲去除，不会产生因油污吸附饱和而堵死失效，其特点是在一定的滤速下，含油悬浮物和部分油可以通过材料表面的特性被截留；而在较高的水流速度下，含油悬浮物和部分油可以脱离材料表面，从而达到反冲洗的效果。防城港核电厂排放的生产废水满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中的一级标准。防城港核电厂油水分离系统处理后的油脂收集起来用油泵泵出或装入油桶将委托相关有资质单位外运处理，预计不会对排放口周围环境产生影响。

## （2）生活污水

防城港核电厂厂区实行雨污分流制。污水处理站（ED1、ED2）主要处理全厂包括核岛、常规岛以及其它厂房、办公楼、食堂等场所的生活污水。预期电厂所有人员产生的生活污水量不超过 960m<sup>3</sup>/d。厂区的污水处理站（ED1）和辅助生活区污水处理站（ED2）的设计进水水量规模均为 480 m<sup>3</sup>/d，具备一至四号机组生活污水的处理能力。

厂区生活污水处理站（ED1）和厂外辅助和生活区污水处理站（ED2）处理的生活污水将按照《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中的一级 A 标准处理达标后排放。因此，防城港核电厂生活污水排放不会对附近海洋环境造成明显影响。

### 6.3.2.2 非放射性固废的环境影响

防城港核电厂 3、4 号机组正常运行期间的非放射性固体废物主要包括运行产生的固体废物和工作人员的生活垃圾两部分。

#### （1）工业固体废物

核电厂运行期间因设备的维修、零部件的损坏等会产生一定量的工业固废，其中一般工业固废有废木材、废钢铁、废电缆、废塑料、废金属、废电动机和废空调等，危险固废包括废油漆、废化学品、废润滑油、废日光灯管和废油布等。

目前，电厂委托广西固体废物管理中心负责定期处理非放射性固废。

#### （2）生活垃圾

电厂运行期间产生的生活垃圾主要来源于厂区及员工生活区的生活垃圾，包括员工的生活垃圾、办公垃圾和餐饮垃圾等。

垃圾实行袋装分类收集，并委托当地环卫所集中收集处理；餐饮废弃物中厨房下脚料、食物残渣、鱼类内脏等有机废物由专人上门清运用作饲料，废食用油回收利用。

通过上述有效控制，防城港核电厂运行期间产生的生活垃圾不会对当地环境造成不利影响。

### 6.3.2.3 噪声影响

防城港核电厂正常运行的噪声主要来自汽轮机厂房中高速运转和有高速流体流动的设备。汽轮发电机厂房的噪声主要来自以下几个方面：

- 高速运转的汽轮发电机组、主给水泵、增压泵和凝结水泵等机械动力噪声；
- 电动机、变压器等电气设备的磁场交变运动产生的电磁噪声；
- 在甩负荷时，蒸汽排入冷凝器前减温减压器会发出较强的噪声；
- 设备运行中其安全阀或排汽阀事故排汽时，尤其是主蒸汽管道内的蒸汽通过安全阀和泄压阀向大气排放时，会产生极强的气体动力噪声。

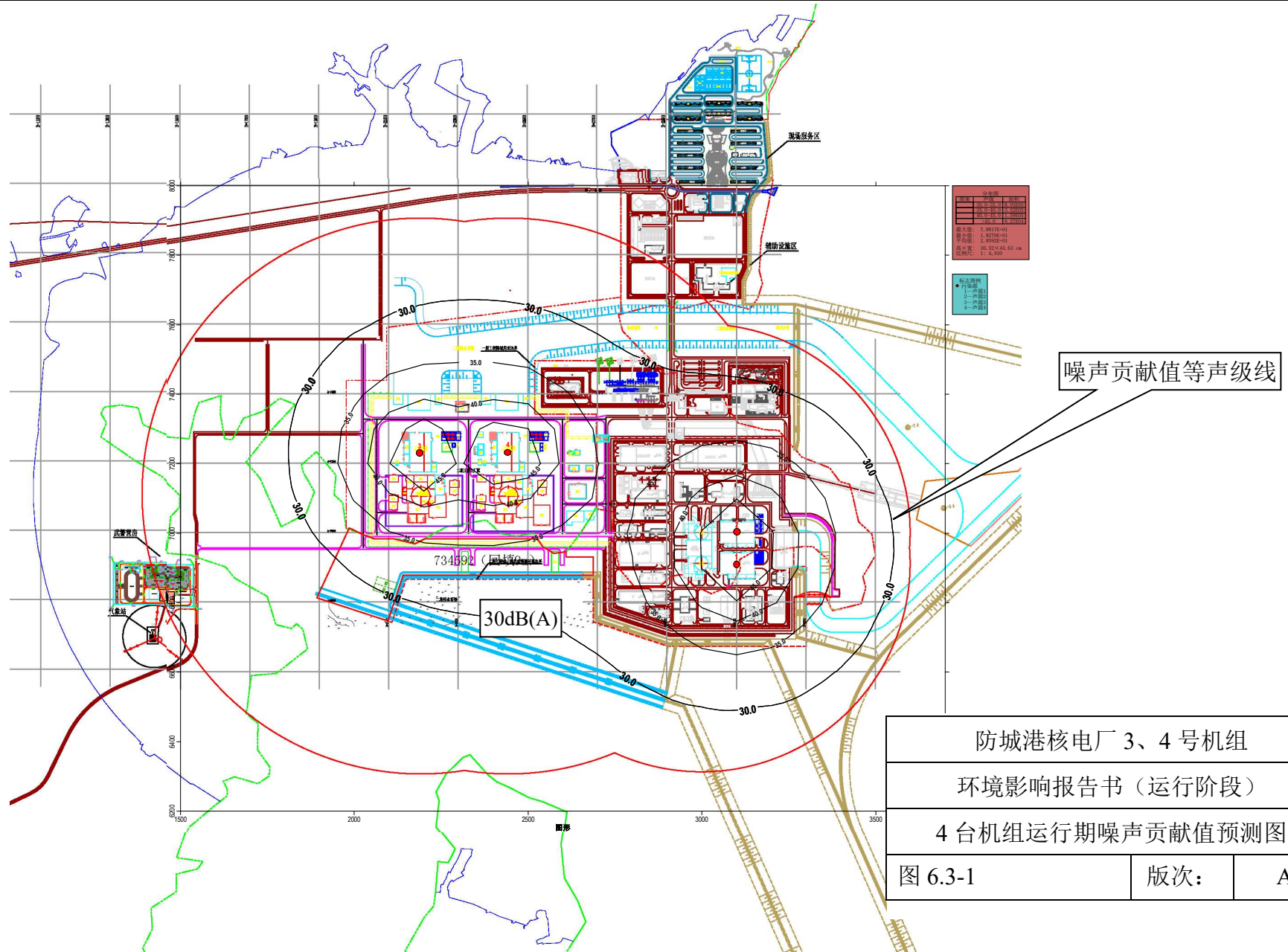
根据设计资料，每台泵、风机、设备的噪声源强为 85~110dB（A），考虑到设备均密闭于厂房内，高噪声设备均经过减震、隔噪等工程措施处理，因此假设厂房外声源简化为点声源，源强为 90dB（A）。

图 6.3-1 给出了防城港核电厂 1 至 4 号机组运行期噪声贡献值预测图，从图中可以看出，电厂排放噪声 30dB(A)等声级线位于厂界内，满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的厂界噪声 2 类标准。

### 6.3.2.4 电磁辐射影响

防城港核电厂一期工程建设的开关站至输电系统第一座铁塔送电线路 4 回，可以满足防城港核电厂 3、4 号机组的接入及电力送出需求，本期不需增加出线。

防城港核电厂一期工程 1、2 号机组运行阶段环境影响报告书已对该线路的电磁影响进行了评价，结果表明线路周围所有距地面 1.5m 高度处的工频电场和工频磁场均满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中 4kV/m 和 0.1mT 的限值要求。



## 6.4 初步退役计划

### 6.4.1 退役原则

### 6.4.2 退役策略设想

### 6.4.3 便于退役措施

### 6.4.4 退役活动

### 6.4.5 退役资金

表

表 6.4-1 初步退役活动计划进度表

## 6.4 初步退役计划

核电站反应堆的退役是一项复杂的技术工作，其全部退役活动将在充分保护从事退役工作的人员和周围公众的健康，以及保护环境和保证安全的情况下进行。根据《中华人民共和国放射性污染防治法》要求，核设施营运单位在进行核设施退役活动前应当编制环境影响报告书报国务院环境保护行政主管部门审查。

核电站退役的重点是反应堆退役，随着科学技术的不断进步，在今后的几十年时间内核电站退役技术必将会发展到一个新的水平。防城港核电站具体的退役技术方案将取决于临近退役时国家的法律法规、核电站的实际状况和最终放射性总量、场址区域开发和利用、环境影响和公众态度、退役技术以及费用等诸多因素，其中废物出路和退役经费是两大关键因素。

### 6.4.1 退役原则

防城港核电站3、4号机组采用“华龙一号”技术方案，核电机组设计寿期为60年，随着运行时间的增长，反应堆系统中机械和电器设备将出现老化现象，尤其是其中的一些不可更换设备的性能因老化而不断劣化，最终将中止反应堆的使用；为了保证工作人员和公众不受剩余放射性物质及其潜在风险的危险，将对核电站进行有计划的善后处理，最终目的是要实现核电站址不受限制地开放使用。

核电站反应堆的退役是一项新的复杂的技术工作，其全部退役活动的安全目标是充分保护从事退役工作的人员和周围公众的健康，以及保护环境和保证安全，使之免受或减少来自所核电站退役各阶段产生的放射性危害或非放射性有害物质的危害，同时又不至于给后代留下不适当的负担，包括额外的健康、安全风险以及财政需求。其最终目标是核电场址获得有限制或无限制的开放和使用。退役活动中的每项实践活动，必须符合辐射防护三原则。

防城港核电站营运单位为了便于核电站的退役和拆除，在设计、建造、运行期间均应考虑退役要求，注意收集、保存和修订退役所需的主要资料，退役活动应该准备充分、措施落实、管理严格、监督到位。

### 6.4.2 退役策略设想

根据国际原子能机构（IAEA）对退役策略的分类，目前主要有三种退役策略：



（1）立即拆除：一般用于核燃料循环前段和后处理设施，以及放射性污染水平比较低而场址利用价值很高的核设施。如：燃料循环前段和后处理工厂、研究中心的小型核设施、放射性同位素生产热室和大加速器等。

（2）延缓拆除：一般应用于大型反应堆，具体操作时先卸出乏燃料和冷却剂运走乏燃料和可能存留的新组件，对压力容器外的设备进行去污、切割和拆除封堵出管口。最后在监控之下，封存几十年。

（3）就地掩埋：指整个核设施，一般经常的主要部分如反应堆压力容器、蒸汽发生等埋葬于原场址，或设施区域内不再回收。就地埋葬可以大大减少拆卸工作量、减轻废物的运输贮存和处置负担，但是就地埋葬必须评价该位置可以作最终处置，是一种有条件的退役。

核电站的退役策略目前也将在以上3种方式中选择，而究竟采用何种策略，取决于退役时的以下三大因素：

- （1）政治/地理/社会因素：如环境保护要求、社会和公众态度等；
- （2）技术因素：去污、切割、废物处理、处置等技术；
- （3）经济因素：利益-代价分析、经费估算等。

经过国际上对核设施退役的技术积累和退役技术的发展，退役的设备和技术已不是制约退役的主要因素，退役产生的大量废物的处置场地和退役经费是退役工作的主要障碍。

防城港核电站3、4号机组现阶段考虑采用立即拆除的退役策略，主要理由如下：

- （1）防城港核电站3、4号机组退役时，国内在核电站退役方面已经有了一定的工程实践，形成比较成熟的退役技术，培养了一批具有丰富经验的工程技术人员；
- （2）熟悉核电站的运行人员可以直接参与到退役工程中；
- （3）能够尽早再利用核电厂址。

防城港核电站3、4号机组运行寿期满后，具体采用何种退役策略，将根据国家政策、现实的经济和技术条件开展电厂退役可行性论证而定。此外，根据《中华人民共和国放射污染防治法》的要求，防城港核电站3、4号机组在决定退役时，将向国家主管部门提交核电站退役环境影响报告书，经审查批准并获得退役批准书后方可开始退役活动。

### 6.4.3 便于退役措施

防城港核电站3、4号机组在反应堆设计建造阶段和运行寿期内就对其最终退役处置问题给予充分的重视。通过合理的设计，最大限度地减少放射性废物的产生量，并力图做到简化退役工作。

防城港核电站3、4号机组设计、建造阶段为便于退役采取了如下措施：

（1）为了评价电厂建成后对厂址的未来影响，建造前对厂址和它的周围进行合适的放射性检测，建立基准的辐射水平；对于建造所用的建筑物材料，进行天然放射性的定量测定。

（2）从简化退役的观点全面地审查设计特性，尽量使反应堆设备布置合理，易于拆除。能够比较方便地从核设施移走辐照过的和未辐照过的燃料元件以及所有被放射性污染的介质，如过滤器、浓缩物和废水，做到放射性物质贮量的大部分从设施中移走，或者经过特殊的处理变成可操作和可贮存的状态。

（3）精心选择材料，以便达到：

- 减少活化，对于受到较强中子辐照的设备和材料作到钴和镍的含量很少；
- 尽可能地减少活化腐蚀产物的传播；
- 对于受到放射性污染的设备和材料作到去污性好，确保表面容易去污；
- 尽可能少地使用可能会成为有害的物质（如油、可燃的和化学有害材料、含纤维的绝热材料）。

（4）设备空间的合理布置，对进出通道进行优化，以便：

- 便于大设备的移出；
- 容易分离和远距离移出明显活化的部件；
- 便于进一步安装用于退役和废物装卸的设备；
- 便于嵌入式部件（如管子）的去污和移出；
- 便于管理设施内放射性材料。

（5）在设计中提供包括去污设备，废水处理，固体废物贮存在内的操作和贮存放射性废物的设备。

防城港核电站 3、4 号机组在运行阶段为便于退役作如下考虑：

（1）在反应堆运行寿期内对某些参数进行监督，便于退役工作实施前正确估算放射性总贮量、分析退役过程中工作人员可能受到的辐射剂量，以及退役过程中和退役

的最终状态对环境的影响。

(2) 保存与厂址、最终设计和建造有关的资料和信息，作为退役所需要的重要资料。明确反应堆运行寿期终了时为退役目的所需要准备的基本信息，并在整个反应堆运行寿期内对这些信息进行收集、维护和修订。此外，对于运行期间所有放射性可能释放的事故或事件进行记录，为放射性总量估算提供可靠的数据。

(3) 制定严格的文档保管制度，保存好退役工作所需要的各种重要资料，包括：竣工图纸，模型和照片，施工顺序，设备和管道的重量，尺寸和配置，施工详图，结构材料的成分，贯穿件，部件和构筑物可接受的偏离，钢筋的位置等。

#### 6.4.4 退役活动

防城港核电厂 3、4 号机组现阶段考虑采用立即拆除的退役策略。根据 IAEA 和国际上退役电厂的实践经验，核电厂立即拆除可以分为以下五个阶段：

第一阶段为退役前期准备工作，该工作在核电厂最终关闭前开展，主要工作是开展核电厂退役可行性研究、退役执照申请、退役设计和退役技术研发等工作；

第二阶段是在核电厂最终关闭不久后有计划进行的活动，此阶段的主要工作是乏燃料卸载、源项调查、现场改造、安全维护、运行废物（包括固体废物、废液等）的清理以及主回路、辅助设施和工艺厂房的初步去污等活动；

第三阶段是在第二阶段退役的基础上进行的，其主要任务为乏燃料在乏池内安全储存，此阶段末期还需要更新退役计划；

第四阶段主要是放射性系统、设备及受污染厂房的去污和拆除，并按规定处理、贮存或处置放射性废物；防城港核电厂的退役拆除工作包括主回路设备拆除，如压力容器及堆内构件、蒸汽发生器、反应堆冷却剂泵、稳压器及主回路管道，还包括辅助系统和厂房的拆除等，部分拆除工作开展前需要进行进一步去污，去污和拆除的工作可能需要借助远程遥控技术或机器人技术；

第五阶段的主要任务是厂址恢复（包括其它设施的拆除）、厂址终态调查、许可证终止等。

根据国际退役经验，核电厂大多先进行外围设施的拆除，再进行核岛以及相关放射性设施的拆除。防城港核电厂 3、4 号机组退役时拟采用从外至内的拆除顺序。

防城港核电厂 3、4 号机组最终关闭前就将开始退役前期准备工作。根据国际各退

役核电站的调研并经过分析和整理，正常情况下，预计防城港核电站 3、4 号机组将在 2082 年正式关闭。

预计整个退役过程（包括前期）将耗时约 18 年。

#### **6.4.5 退役资金**

根据《中华人民共和国放射性污染防治法》第 27 条规定，核设施的退役费用和放射性废物处置费用应当预提，列入投资概算或者生产成本。根据《核电中长期发展规划（2005~2020 年）》，为保证核电站“顺利”退役，在电厂投入商业运行开始，即在核电发电成本中强制提取、积累核电站退役处理费用。

根据《核电站建设项目经济评价方法》（NB/T20048-2011）的相关要求，防城港核电站 3、4 号机组的退役基金总额将按核电站建设工程固定资产原值的 10% 提取，在电厂投入商业运行后第一年开始提取，存入电厂退役资金专户。

## 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 其它事故

### 7.5 事故应急

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

表

表 7.1-1 非居住区边界上公众可能受到的最大个人剂量

表 7.1-2 规划限制区外边界公众个人剂量

表 7.1-3 设计基准事故后果与国家标准的比较

## 7.1 核电厂放射性事故和后果评价

国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》GB6249-2011 规定了设计基准事故的公众辐射剂量接受准则：

- “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。”

防城港核电厂 3、4 号机组采用“华龙一号”机组，根据机组运行期间事件/事故的预计发生频率，设计基准 DBC-3 和 DBC-4 事故工况分别与 GB6249-2011 的稀有事故和极限事故相对应，本章针对 DBC-3 和 DBC-4 中可能有较大放射性物质释放的下列设计基准事故进行事故评价。

- 大破口失水事故（LOCA）
- 控制棒弹出事故（CREA）
- 燃料操作事故（FHA）
- 蒸汽发生器单根传热管破裂（SGTR-1）
- 蒸汽发生器两根传热管破裂（SGTR-2）
- 安全壳外主蒸汽管道破裂事故（MSLB）
- 主泵转子卡死（卡轴）事故（LRA）。

### 7.1.1 事故描述和事故源项

#### (1) 失水事故（LOCA）

失水事故是在一回路压力边界有较大破口时，反应堆冷却剂从破口流失，当一回路水的补充能力不足以弥补破口流量时，使堆芯逐渐丧失冷却能力，导致燃料棒烧毁的事故。这种破口可能是由于一回路主管道、或者与它相连的辅助系统管道在隔离阀前一段上发生破裂，也可能由于安装在高压系统上的设备（如阀门）故障而引起的。

发生 LOCA 后，一回路冷却剂及堆芯中的放射性核素进入内层安全壳大气中。内层安全壳大气中的核素通过内层安全壳的泄漏进入内外安全壳之间的环廊（在安全壳

隔离之前，内层安全壳中的放射性物质可能会由于安全壳通风释放到环境）。环廊中的核素经由通风系统及过滤器释放到安全壳外环境。

## （2） 弹棒事故（CREA）

该事故假定为控制棒驱动机构压力罩发生机械故障而导致控制棒组件弹出，引起堆芯反应性增长，局部功率增加，部分燃料棒因超功率而破损和融化。因此控制棒组件弹出事故可能同时具有两个特征：它是一个反应性事故，因为在瞬间内向堆芯引入正反应性；控制棒组件弹出是在控制棒传动机构压力罩破裂时发生，一回路压力边界的完整性遭到破坏。该事故属于 DBC-4 工况。

随着事故发生时控制棒的弹出，燃料中部分放射性核素释放进入反应堆冷却剂，并假定这些放射性物质与反应堆冷却剂瞬时均匀混合，增加一回路的放射性活度。

## （3） 燃料操作事故（FHA）

燃料装卸期间可能发生的燃料操作事故有如下几种类型：

- 燃料组件掉落在反应堆换料水池内：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确保反应堆厂房的密封所采取的预防措施，使得事故对反应堆厂房外造成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，期间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。
- 燃料组件掉落在乏燃料水池内：燃料组件在移动到乏燃料水池过程中可能会因为各种原因造成跌落，该事故可能会引起包壳破损，从而导致燃料厂房内出现高放射性水平。
- 乏燃料罐掉落在燃料厂房内或外：在用燃料罐装卸吊车运输或装卸燃料期间，可能会发生掉罐事故，但由于乏燃料罐装卸吊车是按照核安全设备要求设计并且达到安全级要求，因此可以将事故发生概率降到很低的程度。另外，由于乏燃料组件在装卸时已在乏燃料水池里储存了 6 个月以上，其主要放射性同位素（碘和氙）的活度已衰变至很低。

燃料操作事故主要指燃料组件掉落在乏燃料水池中，该事故的放射性物质释放量相对较大，属于 DBC-4 工况。

## （4） 蒸汽发生器单根传热管破裂（SGTR-1）

SGTR-1 事故起因假定为某个 SG 中的一根传热管发生双端剪切断裂，并假设在



SGTR 发生的同时失去厂外电（LOOP），属于 DBC-3 工况。

该事故使放射性冷却剂从反应堆冷却剂系统（RCP）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者蒸汽向凝汽器的排放失效，蒸汽或者液体通过主蒸汽排放系列（VDA）和/或主蒸汽安全阀（MSSV）的排放都可以造成放射性向大气排放的风险。一回路侧冷却剂的放射性来源于有限数量的破损燃料棒连续运行产生的腐蚀和裂变产物。

#### （5） 蒸汽发生器两根传热管破裂（SGTR-2）

SGTR-2 事故为某个 SG 中的两根传热管同时发生双端剪切断裂的情况，并假设在 SGTR-2 发生的同时失去厂外电（LOOP），属于 DBC-4 工况。

事故的起因是某个 SG 中的两根传热管同时发生双端剪切断裂（SGTR-2）。由于该事故使放射性冷却剂从反应堆冷却剂系统（RCP）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者蒸汽向凝汽器的排放失效，蒸汽或者液体通过主蒸汽排放系列（VDA）和/或主蒸汽安全阀（MSSV）的排放都可以造成放射性向大气排放的风险。一回路侧冷却剂的放射性来源于有限数量的破损燃料棒连续运行产生的腐蚀和裂变产物。

#### （6） 安全壳外主蒸汽管道破裂事故（MSLB）

安全壳外主蒸汽管道破裂事故假定蒸汽管道双端剪切破裂，属于 DBC-4 工况。事故过程大体可以分为下面两个阶段描述：

第一阶段即蒸汽管道刚破裂、二回路蒸汽从破口大量流失，蒸汽流量迅猛增加，造成反应堆功率快速上升，以补偿二回路负荷的这种虚假增长。同时，由于一回路冷却剂平均温度的降低，稳压器内压力和水位也相应下降，导致反应堆因超功率保护或稳压器低压保护而紧急停堆，汽轮机组脱扣停机。

第二阶段即停堆、停机后，在主蒸汽管道隔离之前，蒸汽继续从破口流失，一回路冷却剂平均温度不断下降。由于压水堆具有负温度效应的内在特性，冷却剂温度的下降意味着堆内正反应性的引入，停堆深度逐渐减少，如果此时又遇上反应性价值最大的一根控制棒组件卡死在堆顶，那么就有可能使停闭后的反应堆重返临界，并且达到一定的功率。因而需要通过安全注射系统注射硼酸使反应堆最终停堆。

当蒸汽发生器传热管出现泄漏使相应的二次侧蒸汽受到反应堆冷却剂污染时，安全壳外主蒸汽管道破损会造成受污染的二回路蒸汽释放入环境；如果二回路冷却系统

没有受到一回路的放射性污染，则即使蒸汽管道破裂也不会有放射性后果。

#### （7）主泵转子卡死（卡轴）事故（LRA）

主泵转子卡死事故初始假设为反应堆满功率运行期间一台反应堆冷却剂泵转子瞬间卡（锁）住。受损环路中的流量快速降低，导致反应堆在流量低信号下触发紧急停堆。始发事件假定叶轮固定不动，致使堆芯中的流量大大降低，温度与压力迅速上升，则这种温度上升与局部流率下降一起可能会使燃料棒发生 DNB，导致燃料损伤。属于 DBC-4 工况。

### 7.1.2 事故后果计算

防城港核电厂事故放射性释放造成的剂量后果估算主要考虑事故期间起主要作用的三个照射途径：

- 放射性烟云浸没外照射；
- 烟云中吸入放射性物质内照射；
- 地面沉积外照射。

#### （1）大气弥散因子

事故发生期间各时段大气弥散因子采用苏州热工研究院有限公司开发的 CEIRA 程序系统计算。CEIRA 程序系统采用了高斯烟羽模式。

本报告采用厂址气象观测系统 2018 年 5 月~2020 年 4 月连续 24 个月逐时气象观测数据进行厂址事故大气弥散因子的计算。

非居住区边界和规划限制区外边界上的事故大气弥散因子

- 分方位大气弥散因子：计算得到厂址周围 16 个方位、99.5%概率水平的高斯烟羽轴线浓度的小时大气弥散因子作为 0~2h 的事故大气弥散因子；各个方位年平均大气弥散因子为该方位按高斯烟羽模式的扇形区平均浓度公式计算的小时大气弥散因子的年平均值；对于持续时间长于 2h 的释放时段的事故大气弥散因子，则利用小时事故大气弥散因子与年平均事故大气弥散因子之间的双对数内插的方法求得。
- 全厂址大气弥散因子：计算得到厂址周围各距离全厂址 95%概率水平的高斯烟羽轴线浓度的小时大气弥散因子作为 0~2h 的事故大气弥散因子；年平均大气弥散因子为全年按高斯烟羽模式的扇形区平均浓度公式计算的小时大气弥

散因子的年平均值；对于持续时间长于 2h 的释放时段事故大气弥散因子，则利用小时事故大气弥散因子与年平均事故大气弥散因子之间的双对数内插的方法求得。

非居住区边界和规划限制区边界上的事故剂量后果计算将采用分方位大气弥散因子和全厂址大气弥散因子之间的最大值进行计算。

#### （2）剂量转换因子

惰性气体的空气浸没外照射剂量转换因子采用 GB18871-2002 的推荐值；放射性碘的空气浸没和地面沉积外照射剂量转换因子采用 IAEA 第 19 号报告的推荐值；放射性碘吸入内照射剂量转换因子取自 ICRP 71 号报告。

#### （3）干沉积速率

干沉积速率取自联邦德国辐射防护委员会第十七卷出版物（SSK No.17）：

- 气溶胶： $V_d=1.5 \times 10^{-3}$  m/s；
- 分子碘： $V_d=1.0 \times 10^{-2}$  m/s；
- 有机碘： $V_d=1.0 \times 10^{-4}$  m/s。

#### （4）呼吸率

呼吸率取自美国核管理委员会管理导则 RG 1.195：

- 0~8h： $B_r=3.5 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s；
- 8~24h： $B_r=1.8 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s；
- 24~720h： $B_r=2.3 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s。

### 7.1.3 事故后果评价

GB6249-2011 规定，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。

表 7.1-1 和表 7.1-2 分别给出了设计基准事故在非居住区边界和规划限制区边界上造成的个人有效剂量和甲状腺当量剂量。表 7.1-3 给出了这些事故的放射性后果与国家

标准相应控制值的比较。从表中可以看出：

- 对于 DBC-4 工况。失水事故（LOCA）对非居住区边界上公众造成的有效剂量、甲状腺剂量最大，分别为  $5.02 \times 10^{-3} \text{Sv}$  和  $2.76 \times 10^{-2} \text{Sv}$ ，占国家标准 GB6249-2011 极限事故相应限值的 5.02%和 2.76%；
- 对于 DBC-4 工况，失水事故（LOCA）对规划限制区外边界上公众造成的有效剂量和甲状腺当量剂量最大，分别为  $4.30 \times 10^{-3} \text{Sv}$  和  $1.98 \times 10^{-2} \text{Sv}$ ，占国家标准 GB6249-2011 极限事故相应限值的 4.30%和 1.98%。
- 对于 DBC-3 工况，蒸汽发生器一根传热管破裂（SGTR-1）对非居住区边界上公众造成的有效剂量和甲状腺当量剂量最大分别为  $3.18 \times 10^{-4} \text{Sv}$  和  $5.23 \times 10^{-3} \text{Sv}$ ，占国家标准 GB6249-2011 稀有事故相应限值的 6.36%和 10.46%；
- 对于 DBC-3 工况，蒸汽发生器一根传热管破裂（SGTR-1）对规划限制区外边界上公众造成的有效剂量和甲状腺当量剂量最大为  $6.27 \times 10^{-5} \text{Sv}$  和  $1.02 \times 10^{-3} \text{Sv}$ ，占国家标准 GB6249-2011 稀有事故相应限值的 1.25%和 2.04%。

从各类设计基准事故的放射性后果分析可以看出，防城港核电厂 3、4 号机组的专设安全设施的设计性能可靠，厂址周围各类边界的设置是合理的，电厂设计基准事故导致的环境放射性后果满足 GB6249-2011 的相应要求。

表 7.1-1（1/2） 非居住区边界上公众可能受到的最大个人剂量

非居住区边界公众个人有效剂量（2h）

单位：Sv

方位	距离（m）	LOCA	CREA	MSLB	SGTR	SGTR-2	FHA	LRA
N	800	3.77E-03	3.54E-03	2.37E-04	2.39E-04	9.92E-04	8.62E-04	2.04E-04
NNE	800	4.02E-03	3.77E-03	2.53E-04	2.54E-04	1.06E-03	9.19E-04	2.17E-04
NE	800	4.06E-03	3.82E-03	2.56E-04	2.57E-04	1.07E-03	9.30E-04	2.20E-04
ENE	800	4.29E-03	4.03E-03	2.70E-04	2.71E-04	1.13E-03	9.81E-04	2.32E-04
E	800	4.22E-03	3.96E-03	2.65E-04	2.67E-04	1.11E-03	9.65E-04	2.28E-04
ESE	800	4.81E-03	4.52E-03	3.03E-04	3.04E-04	1.27E-03	1.10E-03	2.60E-04
SE	800	4.30E-03	4.04E-03	2.71E-04	2.72E-04	1.13E-03	9.84E-04	2.32E-04
<b>SSE</b>	<b>800</b>	<b>5.02E-03</b>	<b>4.72E-03</b>	<b>3.16E-04</b>	<b>3.18E-04</b>	<b>1.32E-03</b>	<b>1.15E-03</b>	<b>2.71E-04</b>
S	800	4.63E-03	4.35E-03	2.91E-04	2.93E-04	1.22E-03	1.06E-03	2.50E-04
SSW	800	4.05E-03	3.81E-03	2.55E-04	2.57E-04	1.07E-03	9.27E-04	2.19E-04
SW	800	3.13E-03	2.94E-03	1.97E-04	1.98E-04	8.24E-04	7.16E-04	1.69E-04
WSW	800	2.05E-03	1.93E-03	1.29E-04	1.30E-04	5.41E-04	4.70E-04	1.11E-04
W	800	2.41E-03	2.26E-03	1.52E-04	1.53E-04	6.34E-04	5.51E-04	1.30E-04
WNW	800	3.45E-03	3.24E-03	2.17E-04	2.18E-04	9.08E-04	7.89E-04	1.86E-04
NW	800	3.93E-03	3.70E-03	2.48E-04	2.49E-04	1.04E-03	9.00E-04	2.12E-04
NNW	800	3.45E-03	3.24E-03	2.17E-04	2.18E-04	9.08E-04	7.89E-04	1.86E-04

表 7.1-1 (2/2) 非居住区边界上公众可能受到的最大个人剂量

非居住区边界公众个人甲状腺剂量 (2h)

单位: Sv

方位	距离 (m)	LOCA	CREA	MSLB	SGTR	SGTR-2	FHA	LRA
N	800	2.07E-02	1.99E-02	2.36E-03	3.93E-03	9.22E-03	1.43E-02	1.66E-03
NNE	800	2.20E-02	2.12E-02	2.52E-03	4.18E-03	9.83E-03	1.52E-02	1.77E-03
NE	800	2.23E-02	2.14E-02	2.55E-03	4.23E-03	9.94E-03	1.54E-02	1.79E-03
ENE	800	2.35E-02	2.26E-02	2.69E-03	4.47E-03	1.05E-02	1.63E-02	1.89E-03
E	800	2.31E-02	2.22E-02	2.65E-03	4.39E-03	1.03E-02	1.60E-02	1.86E-03
ESE	800	2.64E-02	2.53E-02	3.02E-03	5.01E-03	1.18E-02	1.82E-02	2.11E-03
SE	800	2.36E-02	2.27E-02	2.70E-03	4.48E-03	1.05E-02	1.63E-02	1.89E-03
<b>SSE</b>	<b>800</b>	<b>2.76E-02</b>	<b>2.65E-02</b>	<b>3.15E-03</b>	<b>5.23E-03</b>	<b>1.23E-02</b>	<b>1.90E-02</b>	<b>2.21E-03</b>
S	800	2.54E-02	2.44E-02	2.91E-03	4.83E-03	1.13E-02	1.76E-02	2.04E-03
SSW	800	2.22E-02	2.14E-02	2.54E-03	4.22E-03	9.91E-03	1.54E-02	1.78E-03
SW	800	1.72E-02	1.65E-02	1.96E-03	3.26E-03	7.66E-03	1.19E-02	1.38E-03
WSW	800	1.13E-02	1.08E-02	1.29E-03	2.14E-03	5.03E-03	7.80E-03	9.04E-04
W	800	1.32E-02	1.27E-02	1.51E-03	2.51E-03	5.90E-03	9.14E-03	1.06E-03
WNW	800	1.89E-02	1.82E-02	2.16E-03	3.59E-03	8.44E-03	1.31E-02	1.52E-03
NW	800	2.16E-02	2.07E-02	2.47E-03	4.10E-03	9.62E-03	1.49E-02	1.73E-03
NNW	800	1.89E-02	1.82E-02	2.16E-03	3.59E-03	8.44E-03	1.31E-02	1.52E-03

表 7.1-2（1/2） 规划限制区外边界公众个人剂量

规划限制区外边界公众个人有效剂量（事故期间）								单位：Sv
方位	距离（m）	LOCA （0~30d）	CREA （0~30d）	MSLB （0~8h）	SGTR （0~8h）	SGTR-2 （0~8h）	FHA （0~24h）	LRA （0~8h）
N	5000	2.37E-03	1.60E-03	4.67E-05	3.92E-05	1.61E-04	1.38E-04	8.09E-05
NNE	5000	2.96E-03	1.97E-03	5.56E-05	4.65E-05	1.91E-04	1.63E-04	9.70E-05
NE	5000	2.92E-03	1.98E-03	5.84E-05	4.90E-05	2.01E-04	1.72E-04	1.01E-04
ENE	5000	2.50E-03	1.78E-03	5.68E-05	4.80E-05	1.98E-04	1.69E-04	9.61E-05
E	5000	2.44E-03	1.79E-03	6.04E-05	5.13E-05	2.11E-04	1.81E-04	1.01E-04
ESE	5000	2.71E-03	2.00E-03	6.74E-05	5.73E-05	2.36E-04	2.02E-04	1.12E-04
SE	5000	2.89E-03	2.05E-03	6.51E-05	5.51E-05	2.26E-04	1.94E-04	1.10E-04
SSE	5000	4.06E-03	<b>2.69E-03</b>	<b>7.51E-05</b>	<b>6.27E-05</b>	<b>2.58E-04</b>	<b>2.20E-04</b>	<b>1.31E-04</b>
S	5000	<b>4.30E-03</b>	2.68E-03	6.69E-05	5.53E-05	2.27E-04	1.94E-04	1.20E-04
SSW	5000	2.39E-03	1.67E-03	5.20E-05	4.38E-05	1.80E-04	1.54E-04	8.86E-05
SW	5000	1.47E-03	1.03E-03	3.21E-05	2.71E-05	1.11E-04	9.52E-05	5.48E-05
WSW	5000	8.75E-04	6.07E-04	1.85E-05	1.56E-05	6.40E-05	5.47E-05	3.17E-05
W	5000	1.05E-03	7.12E-04	2.09E-05	1.76E-05	7.22E-05	6.17E-05	3.61E-05
WNW	5000	1.80E-03	1.28E-03	4.13E-05	3.49E-05	1.44E-04	1.23E-04	6.97E-05
NW	5000	2.54E-03	1.74E-03	5.22E-05	4.39E-05	1.80E-04	1.54E-04	8.98E-05
NNW	5000	2.17E-03	1.49E-03	4.46E-05	3.75E-05	1.54E-04	1.32E-04	7.67E-05

表 7.1-2 (2/2) 规划限制区外边界公众个人剂量

规划限制区外边界公众个人甲状腺当量剂量（事故期间）								单位：Sv
方位	距离（m）	LOCA （0~30d）	CREA （0~30d）	MSLB （0~8h）	SGTR （0~8h）	SGTR-2 （0~8h）	FHA （0~24h）	LRA （0~8h）
N	5000	1.11E-02	1.08E-02	4.66E-04	6.38E-04	1.50E-03	2.23E-03	9.88E-04
NNE	5000	1.38E-02	1.32E-02	5.54E-04	7.58E-04	1.78E-03	2.64E-03	1.19E-03
NE	5000	1.37E-02	1.34E-02	5.82E-04	7.98E-04	1.87E-03	2.78E-03	1.23E-03
ENE	5000	1.18E-02	1.23E-02	5.66E-04	7.83E-04	1.84E-03	2.74E-03	1.16E-03
E	5000	1.16E-02	1.25E-02	6.02E-04	8.37E-04	1.97E-03	2.93E-03	1.21E-03
ESE	5000	1.29E-02	1.40E-02	6.71E-04	9.35E-04	2.20E-03	3.27E-03	1.35E-03
SE	5000	1.36E-02	1.41E-02	6.49E-04	8.98E-04	2.11E-03	3.14E-03	1.34E-03
SSE	5000	1.89E-02	<b>1.79E-02</b>	<b>7.48E-04</b>	<b>1.02E-03</b>	<b>2.40E-03</b>	<b>3.56E-03</b>	<b>1.61E-03</b>
S	5000	<b>1.98E-02</b>	1.74E-02	6.67E-04	9.01E-04	2.12E-03	3.13E-03	1.48E-03
SSW	5000	1.12E-02	1.15E-02	5.18E-04	7.15E-04	1.68E-03	2.50E-03	1.08E-03
SW	5000	6.94E-03	7.08E-03	3.20E-04	4.42E-04	1.04E-03	1.54E-03	6.65E-04
WSW	5000	4.11E-03	4.14E-03	1.84E-04	2.54E-04	5.96E-04	8.86E-04	3.86E-04
W	5000	4.91E-03	4.81E-03	2.09E-04	2.86E-04	6.72E-04	9.99E-04	4.41E-04
WNW	5000	8.50E-03	8.87E-03	4.11E-04	5.70E-04	1.34E-03	1.99E-03	8.44E-04
NW	5000	1.19E-02	1.18E-02	5.20E-04	7.15E-04	1.68E-03	2.50E-03	1.09E-03
NNW	5000	1.02E-02	1.01E-02	4.44E-04	6.11E-04	1.43E-03	2.13E-03	9.34E-04



表 7.1-3 设计基准事故后果与国家标准的比较

事故	工况	非居住区边界				规划限制区边界			
		有效剂量 (Sv)		甲状腺当量剂量 (Sv)		有效剂量 (Sv)		甲状腺当量剂量 (Sv)	
		最大剂量	控制值%	最大剂量	控制值%	最大剂量	控制值%	最大剂量	控制值%
CREA	DBC-4	4.72E-03	4.72%	2.65E-02	2.65%	2.69E-03	2.69%	1.79E-02	1.79%
<b>LOCA</b>	<b>DBC-4</b>	<b>5.02E-03</b>	<b>5.02%</b>	<b>2.76E-02</b>	<b>2.76%</b>	<b>4.30E-03</b>	<b>4.30%</b>	<b>1.98E-02</b>	<b>1.98%</b>
FHA	DBC-4	1.15E-03	1.15%	1.90E-02	1.90%	2.20E-04	0.08%	3.56E-03	0.36%
MSLB	DBC-4	3.16E-04	0.32%	3.15E-03	0.32%	7.51E-05	0.13%	7.48E-04	0.07%
SGTR-2	DBC-4	2.71E-04	0.27%	2.21E-03	0.22%	1.31E-04	0.13%	1.61E-03	0.16%
LRA	DBC-4	1.32E-03	1.32%	1.23E-02	1.23%	2.58E-04	0.26%	2.40E-03	0.24%
<b>SGTR-1</b>	<b>DBC-3</b>	<b>3.18E-04</b>	<b>6.36%</b>	<b>5.23E-03</b>	<b>10.46%</b>	<b>6.27E-05</b>	<b>1.25%</b>	<b>1.02E-03</b>	<b>2.04%</b>

## 7.2 严重事故

### 7.2.1 事故描述

### 7.2.2 事故后果

### 7.2.3 严重事故预防缓解措施

## 7.2 严重事故

防城港核电厂 3、4 号机组设计扩展工况是指不在设计基准事故考虑范围的事故工况,包括没有造成堆芯明显损伤的工况(DEC-A)和堆芯熔化(严重事故)工况(DEC-B)。严重事故主要是由于堆芯冷却剂的持续丧失和失去二次侧热阱,导致堆芯裸露,继而发生堆芯材料氧化和燃料棒失效。

本节选取 DEC-B 工况的典型事故序列进行评价,根据《防城港核电厂 3、4 号机组最终安全分析报告》第 19 章的分析,选取双端剪切大破口失水事故(LB-LOCA)和全厂断电叠加柴油机失效事故(SBO)作为代表性严重事故的始发事件。

### 7.2.1 事故描述

#### 7.2.1.1 事故情景

##### (1) 双端剪切大破口失水事故(LB-LOCA)

核电厂功率工况下一回路冷管段发生双端剪切大破口失水(LB-LOCA)事故时,一回路冷却剂经破口快速喷放到安全壳,导致安全壳温度、压力快速上升,堆芯水位逐渐下降,堆芯开始裸露,同时一回路压力快速下降至安注箱的开启压力,安注箱自动投入,堆芯水位上升,待安注箱水耗尽后,一回路冷却剂经破口持续流失,堆芯由于失水得不到足够的冷却导致堆芯熔化,大量放射性物质经破口向安全壳迁移并最终释放至环境。

LB-LOCA 工况事故进程快,堆芯裸露熔化时间早,放射性物质的释放时间也较早,大量的放射性冷却剂和裂变产物释放进入安全壳,引起安全壳的快速升压,在高的安全壳压力驱动下,导致大量放射性物质泄漏到环廊和安全辅助厂房并最终释放到环境。

##### (2) 全厂断电叠加柴油机失效事故(SBO)

全厂断电叠加 SBO 柴油机失效事故,能动安全系统因失电而不可用,二次侧冷却丧失,堆芯衰变热无法及时导出导致一回路温度、压力快速上升,一回路压力达到稳压器安全阀开启压力后稳压器安全阀自动打开,一回路压力下降,稳压器安全阀回座。堆芯水位持续下降,堆芯开始裸露,待堆芯出口温度达到 650℃后手动开启严重事故专用卸压阀。堆芯水位进一步下降,一回路压力下降至安注箱的启动压力后,安注箱投入,堆芯水位逐渐上升淹没堆芯,安注箱水耗尽后,在衰变热作用下,堆芯水位逐

渐下降，堆芯逐渐失去冷却，堆芯熔化。同时该事故也会导致事故后安全厂房控制区通风系统（DWL）和安全壳换气通风系统（EBA）失电不可用，造成放射性物质未经过滤直接从安全厂房和燃料厂房经地面释放到环境。

### 7.2.1.2 事故源项

#### （1） 双端剪切大破口失水事故（LB-LOCA）

功率工况下发生一回路双端剪切大破口事故，紧急停堆成功，中、低压安注不可用，安注箱有效，IVR 有效。出于源项计算的保守性考虑，假设安全壳压力达到设计压力时开启安全壳喷淋以降低安全壳压力。

事故源项计算时考虑安全壳保持完整性。

#### （2） 全厂断电叠加柴油机失效事故（SBO）

功率工况下发生全厂断电叠加 SBO 柴油机失效事故，中、低压安注不可用，安注箱有效，IVR 有效，堆芯出口温度达到 650℃进行一回路卸压。出于源项计算的保守性考虑，假设安全壳压力达到设计压力时开启安全壳喷淋以降低安全壳压力。

事故源项计算时考虑安全壳保持完整性。

### 7.2.2 事故后果

根据厂址气象观测系统 2018 年 5 月~2020 年 4 月连续 24 个月的逐时气象观测数据，采用苏州热工研究院有限公司研发的 CEIRA 程序系统计算事故各方位 99.5%、全厂址 95%的短期大气弥散因子。

严重事故放射性后果评估时主要考虑下列三个照射途径：

- 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。

基于本章 7.1 节中的公众辐射剂量转换因子、干沉积速率、呼吸率等参数，计算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以及甲状腺当量剂量。

#### （1） 双端剪切大破口失水事故（LB-LOCA）

非居住区边界上 0-2h 公众（成人）的个人有效剂量最大值为 8.18E-03Sv，甲状腺

当量剂量最大值为  $2.79\text{E-}03\text{Sv}$ ；规划限制区外边界上事故持续期间公众（成人）的个人有效剂量最大值为  $3.42\text{E-}03\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $1.56\text{E-}03\text{Sv}$ 。

## （2）全厂断电叠加柴油机失效事故（SBO）

非居住区边界上 0-2h 公众（成人）未受到明显事故辐照影响；规划限制区外边界上事故持续期间公众（成人）的个人有效剂量最大值为  $2.09\text{E-}02\text{Sv}$ ，甲状腺当量剂量最大值为  $9.61\text{E-}02\text{Sv}$ 。

## 7.2.3 严重事故预防缓解措施

### （1）严重事故专用卸压阀

防城港核电厂 3、4 号机组在严重事故后的一回路卸压功能主要通过严重事故专用卸压阀实现。

严重事故专用卸压阀组位于稳压器顶部，每列管线包括两个串联的阀门。先导式安全阀组和严重事故卸压系统共用的一条卸压管线，排往卸压箱。除正常电源供电外，应急柴油机、SBO 柴油机和严重事故专用电源都可以向严重事故专用卸压阀供电。因此，即使在全厂断电且所有柴油机失效的情况下，严重事故专用卸压阀门也能够开启且保持在开启状态，实现一回路的卸压功能。

严重事故专用卸压阀的启动条件为：当堆芯出口温度达到  $650^{\circ}\text{C}$  且一回路压力高于  $2\text{MPa}$ （严重事故管理导则中设定）。其设计时即考虑可以保证在气体温度较高时仍能启动阀门卸压，在全厂断电和应急柴油机不可用的情况下，也能够保证卸压功能的实现，并且一旦启动严重事故专用卸压阀，即使事故升级，卸压路径也能确保畅通。

### （2）熔融物堆内滞留系统

防城港核电厂 3、4 号机组的堆芯熔融物滞留系统在核电厂发生严重事故以后，堆芯熔融物坍塌到反应堆压力容器下封头内，通过非能动（从 IVR 水池取水）+能动（从 IRWST 取水）的方式，向堆坑内注水进行反应堆压力容器外部冷却，并通过安全壳热量导出系统将热量导出安全壳，以保持压力容器完整性。并将堆芯熔融碎片滞留于压力容器中，防止大多数可能威胁安全壳完整性的堆外现象（安全壳直接加热、蒸汽爆炸、熔融物-混凝土反应等）。

为了保证压力容器外部冷却的效率，专门设计了适用于堆坑注水系统的 RPV 保温

层。该保温层设置了相应的入水口和出汽口。严重事故工况下堆坑注水后，在一定压差下保温层的入水口和出汽口将会打开，为堆坑注水提供较好的流道，确保压力容器得到良好的冷却，保证其完整性。保温层的流道优化设计将在相应试验分析的基础上开展。此外，反应堆堆坑结构的设计也做了相应考虑，以保证 RPV 保温层的设计不受堆坑结构的影响。

堆坑注水系统投入后，绝大部分堆芯余热由 RPV 壁面导出，再由堆坑水或蒸汽带回 IRWST，最后经换热器排至最终热阱，从而使得堆内熔融物可以滞留在 RPV 内，并达到长期稳定状态。

防城港核电厂 3、4 号机组的堆坑注水功能含非能动和能动两种方式。非能动方式通过 IVR 水池取水，能动方式从 IRWST 取水。

设置堆坑注水专用管线，严重事故工况下，当堆芯出口温度超过 650℃ 且一回路充分卸压，打开 IVR 水池与堆坑之间连接管道的阀门，通过非能动方式向堆坑内注水，建立早期水位；随后由操纵员手动启动能动堆坑注水系统，包括：解除堆坑注水行政隔离，启动注水泵，开启堆坑注水管线上的电动隔离阀，向反应堆堆坑能动注水。

早期阶段，要求以较大流量注入堆坑，在相当短的时间内将堆坑充满水（约 30 分钟），由堆坑液位监测仪表探测堆坑水位，当堆坑满水时可以转入小流量注入模式，以补偿堆坑内水的蒸发损失。在运行过程中，若堆坑水位低于整定值，将重新切换至大流量模式。

### （3）安全壳热量导出系统

严重事故下，从主回路释放的大量水蒸汽将会在安全壳内积蓄大量的热量，同时，由于衰变热的持续产生，需要对安全壳进行有效的持续热量导出。

防城港核电厂 3、4 号机组中，设置安全壳热量导出系统，作为严重事故预防和缓解措施的一部分，在专设安全设施失效、堆芯熔化的情况下，安全壳热量导出系统是限制安全壳超压，保证安全壳和安全壳内换料水箱（IRWST）散热的最终缓解手段。

安全壳热量导出系统（EHR）除非能动堆坑注水子系统外，包括两个相同的系列，每个系列包括：

- a) 一条通过 EHR 专用从 IRWST 取水的管线，地坑滤网属于 RIS 系统；
- b) 设置在安全厂房 A（B）的一台安全壳热量导出泵和一台热交换器。热交换器用于导出安全壳内的热量，由设备冷却水系统（RRI）或额外冷却系统（ECS）

提供冷却；

- c) 热交换器下游的三条排放管线（喷淋、堆坑注水和反冲洗），每一条管线上在安全壳厂房内外均设有安全壳隔离阀；
- d) 喷淋支路上的穹顶喷淋子系统，由喷淋环管和若干喷嘴组成，喷淋时可以降低安全壳内的温度和压力。

EHR 系统在下列工况下，将衰变热从安全壳导出至最终热阱：

- 严重事故（DEC-B）；
- 功率工况小破口叠加低压安注失效（RP）；
- 停堆工况小破口叠加低压安注失效（NS/RIS-RHR、MCS）；
- 停堆工况下，丧失余排或 LOOP 后恢复余排失效（MCS）；
- 功率工况完全丧失冷链叠加轴封破口失效（RP）；
- 停堆工况完全丧失冷链（MCS）；
- SBO 工况（MCS）。

在发生完全丧失交流电的事故且二次侧带热不可用的工况下，EHR 系统可以通过与安全注入系统（RIS）的接口向堆芯临时注水，应急冷却堆芯。

EHR 系统保证安全壳的完整性及包容放射性物质：

- 当发生严重事故（DEC-B）时，EHR 系统可以将安全壳内的热量通过 IRWST 传递给最终热阱，从而限制安全壳内温度和压力，保证安全壳的完整性；
- 在严重事故（DEC-B）期间，为了维持安全壳完整性，EHR 系统向堆坑注水对压力容器进行外部冷却，将熔融物碎片和放射性物质滞留于压力容器中；
- 在发生不需要 EHR 系统运行的事故时，EHR 系统参与安全壳的隔离；
- 在发生需要 EHR 系统运行的事故时，EHR 系统位于安全壳外的部分构成第三道屏障的一部分，保持安全壳的完整性并包容放射性物质。

#### （4）安全壳可燃气体控制系统

严重事故工况下，由于堆芯得不到足够的冷却，堆芯温度比较高，造成燃料元件包壳破损，锆合金与水反应，会产生大量的氢气。当空气中所含氢气的体积浓度大于 10% 以后，就有可能发生较严重的火焰加速现象甚至发生燃爆转换引发氢气爆炸，造

成安全壳失效的风险。

为应对事故工况下的氢气燃烧风险，设置安全壳可燃气体控制系统，控制安全壳内的可燃气体的浓度，以确保维持安全壳的完整性。

安全壳可燃气体控制系统包括非能动氢气复合器子系统和氢气监测子系统，系统功能如下：

a) 非能动氢复合器子系统：氢气还原作用。限制严重事故下安全壳内整体平均氢气浓度低于 10%，以此来限制其燃烧引起的安全壳失效风险；限制和降低局部氢气积聚及其燃烧引起的安全壳风险；确保严重事故下的安全壳完整性。

b) 氢气监测子系统：用于严重事故下安全壳大气的氢气浓度测量。

防城港核电厂 3、4 号机组在安全壳相关的位置安装 29 台非能动氢气复合器。其特点为：非能动，不需任何支持系统；其复合反应可在低温下自启动，复合效率高；可在高温高压下正常工作；催化剂板防水、耐热，可长时间有效。

#### （5）安全壳过滤排放系统

安全壳过滤排放系统通过主动卸压使安全壳内的压力不超过其承载限值，从而确保安全壳的完整性。同时，通过安装在卸压管线上的过滤装置对排放气体的放射性物质进行过滤，尽最大可能的减少放射性产物向环境释放。

安全壳过滤排放系统主要的安全功能是放射性物质的包容，其采用文丘里水洗器和金属过滤器两级过滤的方案。发生严重事故后安全壳大气通过两级过滤设备进行净化，首先通过文丘里水洗器进行第一级过滤，过滤掉大部分的气溶胶和碘；然后通过文丘里水洗器下游的金属过滤器进行第二级过滤，从而达到系统过滤要求。

当安全壳热量导出系统不可用时，安全壳过滤排放系统可以防止严重事故后长期阶段由于压力逐渐升高引起的安全壳破坏，降低安全壳晚期超压失效的风险；此外，通过降低安全壳内的压力也可以减少安全壳在高压状态下的泄漏。



### 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 固体废物运输事故

## 7.3 场内运输事故

### 7.3.1 新燃料运输事故

防城港核电厂 3、4 号机组采用全 M5 AFA 3G 燃料组件，新燃料组件拟由中核建中核燃料元件公司（812 厂）提供，采用铁路加公路的运输方案。

中核建中核燃料元件公司使用的新燃料运输容器是依照法国 FRAGEMMA 公司 RCC-3 容器全套技术资料及图纸等同转化原则制造的。燃料组件运输容器的设计和制造满足我国《放射性物品运输安全管理条例》和《放射性物品安全运输规程》的要求。

根据国内其它核电厂燃料运输的经验表明，在严格遵循国家标准的技术规范下运输燃料组件时，组件的抗震和密封性能可确保不对环境产生任何有害的影响。

由于 RCC-3 型运输容器设计时充分考虑了可能的事故工况，即使发生运输事故，容器本身发生变形，燃料组件也不会产生临界反应，同时燃料棒包壳密封仍然保持完好，不会发生燃料散落。加上新燃料组件未经辐照，放射性水平很低。

总体而言，新燃料运输事故不会污染周围环境并危害人员健康。

### 7.3.2 乏燃料运输事故

乏燃料运输容器的安全可靠是实现安全运输的前提。乏燃料运输容器应严格满足《放射性物品运输安全管理条例》和《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）的要求，同时容器在承受正常运输条件下和运输中事故条件下的种种试验后，仍能保持符合密封性能与屏蔽性能的要求。

除了运输容器本身具有高的安全性外，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。

- 燃料装卸事故的放射性后果分析表明其对公众的影响是可以接受的；
- 乏燃料容器坠落事故主要发生在由容器吊车进行的燃料装卸过程中，由于乏燃料在乏燃料水池里储存了 6 个月之后，主要放射性同位素（I 和 Xe）的绝大部分活度已经降到几乎为零，而乏燃料组件在装入乏燃料容器之前要在乏燃料水池中至少贮存 5 年，事故发生后放射性的释放极少，其后果也是可以接受的。

### 7.3.3 固体废物运输事故

防城港核电站 3、4 号机组运行产生的中、低放固体废物，将根据其放射性水平的高低装入金属桶内。在金属桶封盖后，进行剂量监测，若表面剂量率不超过 2mSv/h，则用专门的小车直接运往固体放射性废物贮存厂房；若表面剂量率大于 2mSv/h，则需装入专门的屏蔽容器，然后运至固体放射性废物贮存厂房暂存。在废物贮存厂房贮存一定年限后，将送往国家指定的区域中、低放废物处置场。

公路运输的经验表明，事故发生率（次/km·车）以及预计事故次数都是很低的。另外，废物桶的设计和制造符合《低、中放水平放射性固体废物包装安全标准》和《放射性物品安全运输规程》的要求，即使废物桶从运输车辆上掉下来，最大限度只会造成废物桶的局部损坏，废物散落的可能性很小，即便散落少量废物，也可以采取措施收集，故不会对环境造成污染。

## 7.4 其它事故

### 7.4.1 火灾、爆炸

### 7.4.2 危险化学品事故

## 7.4 其它事故

### 7.4.1 火灾、爆炸

#### （1）火灾防范

核电厂设计上将从建筑结构防火、电厂结构布局、电缆设计、走线、隔离、可燃物控制等方面考虑火灾防范。火灾的预防可以分为电厂设计上采取的措施和电厂运行管理上采取的措施。整个电厂的防火设计符合《核电厂防火》（HAD102/11）等相关法规标准的要求，并且严格实施有关火灾危险作业的管理措施和管理规程，以使火灾发生的可能性减至最小。

#### （2）氢爆防范

- 对与氢气相关的设备，严格遵照有关标准设计、制造、施工以及保证质量。
- 用氮气冲入储槽或有关的上部空间，以防止空气漏入，限制水中的氧浓度来防止空气与氢气形成混合爆炸物。
- 放射性气体废物系统废气保护床、延迟床设有氮气管，用于工作前设备的扫气和检修前的清扫。
- 安全壳内设置有氢气浓度监测系统，在设计基准事故后，由两台安全相关的非能动氢气复合器消除安全壳内的氢气，防止达到可燃下限。严重事故后，分布在安全壳内的点火器将引发氢气的燃烧，以保证安全壳的完整性。

#### （3）腐蚀性事故防范

为防止人员直接与氨、联氨接触，采用机械化设施输送这些物质，在加药泵出口均装有安全释放阀，一旦超压，排出溶液可返回溶液箱或者废水池处理。此外，还增加了通风装置，将有害的气体排到室外。

为防止浓酸、浓碱造成的人员伤害，设计中将采取下列措施：

- 选择的设备、部件均对酸碱具有耐腐蚀性。
- 浓酸、浓碱的输送采用机械化设备。
- 计量泵出口装有安全释放阀。
- 计量箱均有液位报警连锁装置。
- 在酸碱储存区域装有安全淋浴装置和洗眼器。
- 酸碱储存中的浓酸与空气不直接接触。

## 7.4.2 危险化学品事故

### （1）事故描述

核电厂运行期间使用的化学物质主要用于：

- 反应堆冷却剂（加注硼酸及 LiOH）；
- 化学容积控制系统；
- 除盐水处理系统；
- 中央冷冻水系统；
- 循环水处理系统；
- 常规岛化学药剂注入系统；
- 防火系统和应急柴油机。

根据建设项目环境风险评价相关要求，风险评价首先要评价有害物质，确定项目中属于应该进行危险性评价的物质以及毒物危害程度的分级。核电厂在运行中将使用一些毒性物质（如氨、联氨）和易燃物质（如柴油）等，这些物质在运输、使用、储存过程中均存在一定的事故风险隐患。

防城港核电厂三、四号机组运行期间危险化学品的预期贮存量远低于《重大危险源辨识》（GB18218-2018）的临界量，均不会构成重大危险源，因此不考虑对电厂的非放射性环境风险源进行后果预测评价。

### （2）事故管控

防城港核电厂将参考国内在运核电厂的经验反馈，制定严格的危险化学品管控程序，明确电厂各部门在危险化学品安全管理中的职责，以切实降低电厂危险化学品在运输、装卸、贮存以及使用中可能的环境风险，具体包括：

#### 1) 危险化学品运输和装卸

- 进入厂区的新增危险化学品需由相关部门技术审定；
- 运送进出厂区危险化学品应由交通部门认可的专业运输公司提供服务，危险化学品的运输工具应符合《汽车运输危险货物规则》中运输车辆的常规要求，并配备相应的应急设施；
- 危险化学品运输和装卸的人员需进行相关安全知识专项技能培训并授权；
- 运输和装卸时，针对不同的危险化学品采取不同的安全措施和劳动保护措施。

## 2) 危险化学品储存

- 一般情况下，危险化学品需要储存在专用仓库内保管。如确因工作需要储存在现场时，须经过审批，办理储存手续，并落实好许可证上的要求；
- 储存仓库必须符合安全、消防要求；安全设施必须完好；必须制定健全的库房安全管理制度，定期检查安全状况，建立相关检查记录；
- 危险化学品必须根据《危险货物品名表》进行分类、分项存放；仓库管理单位必须建立安全操作、发放和回收制度，确保包装完好、标签清楚，配备相应的安全技术说明书供用户查阅；危险化学品仓库的管理人员、搬运人员必须经过专项安全培训和授权才能上岗工作；
- 厂房管理方需对所辖范围内储存的危险化学品进行定期检查，督促存放人落实相关管理措施，保证存放的危险化学品不威胁厂房的安全。

## 3) 危险化学品使用

- 使用危险化学品或在相关系统上操作、取样、检修的工作人员，必须经过培训授权，了解相关化学品的特性及应急防护措施；
- 领取危险化学品时，以满足当天工作需要为准，限量领取；
- 对于易燃品的使用必须采取防火措施，远离热源和火源，防止发生火灾；
- 使用时，应根据危险化学品的种类、特性及工作情况采取相应隔离、清扫、通风、检测、防火、防爆、防毒等安全措施，并使用相应的安全防护用具。

## 7.5 事故应急

### 7.5.1 应急计划区划分

### 7.5.2 应急状态描述

### 7.5.3 应急组织

### 7.5.4 应急设施和设备



## 7.5 事故应急

核事故应急的目的是在核电厂发生导致放射性物质可能向环境大量释放的事故时，能及时有效地实施各种应急响应行动，控制事故状态的发展并努力维持和恢复电厂的安全状态，最大限度地限制和减少事故的后果与影响，以保护公众、保护环境。

根据《中华人民共和国核安全法》第五十五条规定：“核设施营运单位负责制定本单位场内核事故应急预案，报国务院核工业主管部门、能源主管部门和省、自治区、直辖市人民政府指定的部门备案。”

防城港核电厂核事故应急预案的制定和实施遵循“常备不懈、积极兼容、统一指挥、大力协同、保护公众、保护环境”的方针。按照针对多堆厂址的“四个统一”环境管理要求，防城港核电厂 3、4 号机组的事故应急将纳入到全厂四台机组进行统一管理。

### 7.5.1 应急计划区划分

应急计划区是指为在事故时能及时、有效的采取保护公众的行动，事先在核电厂周围建立的、制定有应急计划并做好应急准备的区域。应急计划区是应急准备工作的需要，而事故后的应急响应范围有可能需要根据事故后果评价，在相应的区域采取应急响应行动。

广西壮族自治区核事故应急委员会于 2013 年 6 月 17 日印发了《自治区核应急委关于确定防城港核电厂应急计划区范围的函》，批准建立防城港核电厂 1、2 号机组的应急计划区。

- 烟羽应急计划内区：以 1# 机组反应堆为中心，半径 5km 划定的区域，包括光坡镇下辖的红沙村、沙螺辽村、栏冲村和新兴村四个行政村的所有自然村，共五十余个村民小组；
- 烟羽应急计划外区：以 1# 机组反应堆为中心，半径 10km 划定的区域，包括防城港市港口区下辖的光坡镇、企沙镇及钦州市下辖的龙门港镇、钦州港区的部分区域；
- 食入应急计划区：以 1# 机组反应堆为中心，半径 50km 划定的区域。

广西防城港核电有限公司将向广西壮族自治区核事故应急委员会申请包括 3、4 号机组的厂址统一应急计划区，并经核事故应急委员会最终批准确定。

### 7.5.2 应急状态描述

根据《核电厂核事故应急管理条例》（HAF002）规定，防城港核电厂事故应急状态分为四级：

(1) 应急待命：出现可能导致危及核电厂核安全的某些特定情况或者外部事件，核电厂有关人员进入戒备状态。

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。

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：事故后果仅限于核电厂的局部区域，核电厂人员按照场内核事故应急计划的要求采取核事故应急响应行动，通知厂外有关核事故应急响应组织。

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，如果有放射性物质释放的话，预计场外照射水平只是相当于隐蔽通用干预水平的很小部分。厂房应急时，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核电厂局部区域。

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：事故后果蔓延至整个场区，场区内的人员采取核事故应急响应行动，通知广西壮族自治区核事故应急委员会，某些场外核事故应急响应组织可能采取核事故应急响应行动。

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。

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。

(4) 场外应急：事故后果超越场区边界，实施场内和场外核事故应急计划。

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，事故的辐射后果或可能的辐射后果可能使场区边界之外的照射水平超过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等紧急防护行动。

### 7.5.3 应急组织

防城港核电厂已经建立了应急响应组织，并制定了相关的应急执行程序。防城港核电厂的应急响应组织由应急指挥部（SEH）及其领导下的运行控制组（FOP）、技术支持组（TSC）、安全防护组（GRP）、维修服务组（MSC）、后勤支持组（LSC）组成，负责电厂核事故及非核突发事件的应急响应与处置工作。

目前应急组织机构正在调整，调整为由应急指挥部（SEH）及其领导下的 1/2#运行控制组（FOP1）、3/4#运行控制组（FOP2）、技术支持组（TSC）、安全防护组（GRP）、维修服务组（MSC）、后勤支持组（LSC）组成，负责电厂核事故及非核突发事件的应急响应与处置工作。相关的应急执行程序和指令单规定了各应急响应组每个应急岗位的职责和分工及不同应急状态下应采取的应急响应行动。

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，防城港核电厂应急指挥部有责任和义务及时与国家核事故应急协调委员会（国家核事故应急办公室）、生态环境部（国家核安全局）、国家能源局、广西壮族自治区核事故应急委员会（广西壮族自治区核事故应急指挥部）以及中国广核集团有限公司等单位 and 部门的场外应急机构建立起报告联系，通报应急状态，并密切配合，协调一致地实施应急响应行动，必要时请求和获得场外支援。

广西防城港核电有限公司将在考虑全厂四台机组的基础上，进一步完善有关应急

组织和应急程序。

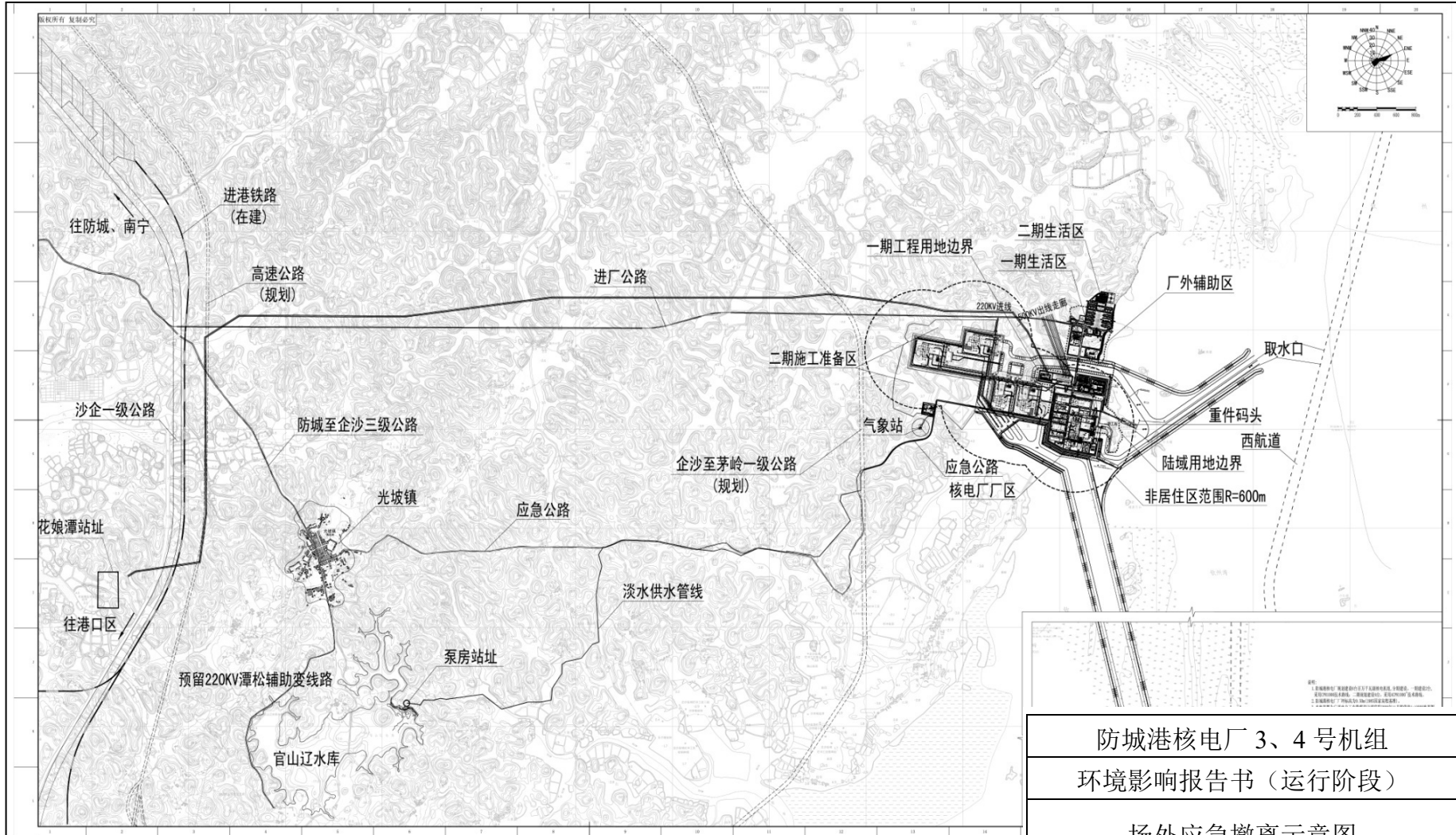
#### 7.5.4 应急设施和准备

应急设施与设备是核电厂进入应急状态后应急响应人员需要使用的设备、工具和停留的空间，是核电厂实现应急功能的物质基础。防城港核电厂已经建成并配备了应急指挥与行动中心、技术支持中心、应急行动中心、公众信息中心、应急监测与评价设施（厂区实验室和环境实验室等）、辐射防护与医学应急设施、应急网络系统、应急通信系统等。图 7.5-1 给出了防城港核电厂场外应急撤离示意图。

第一条撤离道路（进厂公路，正西方向）：应急车辆可通过进厂公路-沙企公路-北部湾大道或通过进厂公路-榕木江大街-小龙门街-北部湾大道到达距电厂约 30km 的防城港市港口区，其中进厂公路设计行车速度为 80km/h，规划年平均日交通量 15000~30000 辆/天，按照一级平原微丘标准进行设计，全长约 9.5km。

第二条撤离道路（应急公路）：应急车辆可通过应急公路-沙企公路-北部湾大道或通过应急公路-榕木江大街-小龙门街-北部湾大道到达距电厂约 30km 的防城港市港口区，应急公路起点位于防城港核电西南侧大门，经老虎港、栏冲、山口，终于位于光坡镇星光派出所附近，终点桩号为 K7+318.235 处，道路标准为三级路，全长约 10.38km，路线总体走向呈东西走向。

防城港核电站 3、4 号机组环境影响报告书（运行阶段）



防城港核电站 3、4 号机组		
环境影响报告书（运行阶段）		
场外应急撤离示意图		
图 7.5-1	版次：	A

## 第八章 流出物监测与环境监测

### 8.1 辐射监测

### 8.2 其它监测

### 8.3 监测设施

### 8.4 质量保证

## 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

表

表 8.1-1 放射性流出物监测通道的性能指标

表 8.1-2 流出物监测大纲

表 8.1-3 流出物实验室监测方法探测下限

表 8.1-4 防城港核电厂环境监测方案

表 8.1-5 防城港核电厂  $\gamma$  剂量率监测点位信息

表 8.1-6 环境监测车道路  $\gamma$  剂量率监测点

表 8.1-7 环境监测采样点分布

表 8.1-8 环境辐射与放射性样品测量方法、装置及探测下限

表 8.1-9 应急环境监测方案

图

图 8.1-1 气载流出物监测系统工艺流程示意图

图 8.1-2 SEL 液态流出物监测系统工艺流程示意图

图 8.1-3 TER 液态流出物监测系统工艺流程示意图

图 8.1-4 气载流出物排放控制流程图

图 8.1-5 液态流出物排放控制流程图

## 8.1 辐射监测

### 8.1.1 流出物监测

根据国家对多堆厂址核电厂“四个统一”的环境管理要求，防城港核电厂对基地所有核电机组制定统一的流出物监测计划，由统一的监测机构实行流出物监测与排放控制管理。3、4 号机组的放射性流出物监测系统是本工程电厂辐射监测系统（KRT）的一部分，主要监测 3、4 号机组向环境排放的气载和液态流出物，监测内容包括流出物的放射性浓度、排放总量和核素的种类等。

#### 8.1.1.1 气载流出物监测系统

防城港核电厂 3、4 号机组的气载流出物通过核辅助厂房烟囱排放到环境中，在废气排放时，测量和记录废气排放总量及其核素的浓度。

防城港核电厂 3、4 号机组属单堆布置，3 号机组和 4 号机组分别设置有一套气载流出物监测系统，对烟囱排放的气载流出物进行连续在线监测和采样监测。

##### （1）连续监测系统

防城港核电厂 3、4 号机组的气载流出物连续监测系统包括正常运行工况下惰性气体、气溶胶、碘的活度浓度监测和事故工况下惰性气体活度浓度和剂量率监测，各监测通道的技术指标如下：

■ 烟囱排气低量程惰性气体活度浓度监测通道 YKRT8101MAI/YKRT8201MAI

该监测道用于测量正常排放时惰性气体的  $\beta$  放射性。整个系统的抽气、控制都由 KRT 集中控制柜供电。

■ 烟囱排气气溶胶活度浓度监测通道 YKRT8111MAI/YKRT8211MAI

该监测通道采用气溶胶过滤器对样品进行采集，在采样器吸附了气溶胶之后由设置在采样器前的探测器监测其  $\beta$  放射性。该监测只作报警用，监测数据不用于统计排放量。

■ 烟囱排气碘活度浓度监测通道 YKRT8121MAI/YKRT8221MAI

该监测通道采用活性炭碘吸附器采集样品，之后由设置在采样器前的  $\gamma$  探测器测量  $^{131}\text{I}$  放射性。该监测只作报警用，监测数据不用于统计排放量。

■ 事故及事故后烟囱排气惰性气体放射性浓度监测通道 YKRT9501MAI/YKRT9502MAI



该监测通道是烟囱排气高量程惰性气体监测通道，用于测量事故排放时惰性气体的  $\beta$  放射性。该通道用于事故后的放射性测量，整个系统的抽气、控制都由 KRT 集中控制柜供电。

## （2）取样监测系统

烟囱气载流出物取样设备设计为连续取样，每个取样器包括一个气溶胶过滤器和两个布置在气溶胶过滤器下游的用于取样天然碘和人工碘的过滤床。

气溶胶取样装置为 YKRT8141MAL/YKRT8241MAL，事故条件下取样装置为 YKRT9541MAL/YKRT9542MAL，碘取样装置为 YKRT8151MAL/YKRT8251MAL，事故工况下取样装置为 YKRT9551MAL/YKRT9552MAL。

烟囱中需要对包括  $^3\text{H}$  和  $^{14}\text{C}$  进行连续取样， $^3\text{H}$  的取样通道为 YKRT8171MAL/YKRT8271MAL， $^{14}\text{C}$  的取样通道为 YKRT8181MAL/YKRT8281MAL。

惰性气体取样通过 YKRT8101MAI/YKRT8201MAI 通道管线上的快速接头使用 3L 专用取样瓶取样。

### 8.1.1.2 液态流出物监测系统

防城港核电厂的液态流出物实施槽式排放，在废液向环境排放前先送往储存槽逐槽测量，符合排放标准后方可排放。

液态流出物监测系统包括连续监测系统和取样监测系统。取样监测系统主要在每一罐废水排放前采集有代表性的样品在流出物实验室进行测量。

连续监测的目的是为了连续监测 TER 与 SEL 正在排放的液态流出物的放射性水平。液态排放与监测的功能由两个测量通道完成，分别为 8KRT8301MAI 与 8KRT8401MAI，分别对应 TER 与 SEL，如在排放过程中在线监测通道出现报警信号，会立即停止排放。

液态流出物监测子系统 2 个监测通道的探测器名称、大小、型号、工作电压全部相同，它们的辐射特性也完全相同。

### 8.1.1.3 流出物监测大纲

根据核电厂“四统一原则”，3、4 号机组流出物监测纳入到核电基地的流出物监测方案中统一管理。

通过烟囱连续释放的气载流出物每月进行四次连续取样、定期分析，定期分析是在每一次取样后进行的。

废液在采样和排放前必须经过连续循环混合，对 TER 贮存罐，不少于 6 小时，对 SEL 贮存罐不小于 3 小时。在经过充分混合后进行采样分析，分析项目包括 pH 值、总  $\gamma$  和  $^3\text{H}$ ，废液达到相应的放射性控制要求后，才排入合排渠中，再由总排放口排入海域。对于 TER 废液，每罐流出物都必须进行  $\gamma$  核素（包括  $^{58}\text{Co}$ ， $^{60}\text{Co}$ ， $^{54}\text{Mn}$ ， $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ， $^{124}\text{Sb}$ ， $^{131}\text{I}$ ， $^{134}\text{Cs}$ ， $^{137}\text{Cs}$ ）和  $^{14}\text{C}$  分析，月度混合样需进行  $^{90}\text{Sr}$  分析，以确定所排放主要核素的浓度和核素年排放量；对于 SEL 废液，其月度混合样还需进行总  $\gamma$ 、 $\gamma$  核素、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{90}\text{Sr}$  分析。

#### 8.1.1.4 流出物监测及排放控制

##### 8.1.1.4.1 气载流出物排放控制

防城港防城港核电厂 3、4 号机组烟囱连续排放的放射性活度由 KRT 系统（YKRT8101MAI/YKRT8201MAI、YKRT8111MAI/YKRT8211MAI、YKRT8121MAI/YKRT8221MAI）进行连续监测，其结果记录在主控室。烟囱连续性排放无须进行排放申请，每月定期进行 4 次取样、分析。

废气处理系统（TEG）的排放和安全壳换气通风系统（EBA）的排放均需通过高效过滤器和碘过滤器排向烟囱，在 KRT 通道的监测下进行排放，无须进行排放申请和取样监测。在废气处理系统（TEG）异常或 KRT 通道监测不可用时，可根据情况对衰变床出口进行取样监测；在安全壳换气通风系统（EBA）异常或 KRT 通道监测不可用时，可根据情况对反应堆厂房内  $^3\text{H}$ 、碘及惰性气体进行取样。

##### 8.1.1.4.2 液态流出物排放控制

###### （1）排放条件

液态流出物的排放可分为正常排放和特殊排放。

###### 1) 正常排放

TER、SEL 废液同时满足下列条件的排放为正常排放：

- 废液连续循环混合时间：TER 不得少于 6 小时，SEL 不得少于 3 小时；
- pH 值：TER 为 6.0~9.0，SEL 为 6.0~10.5，保证排放渠出口 pH 值在 6~9 范

围内（包括 6 和 9）；

— 总  $\gamma$  比活度：TER 小于  $0.5\text{MBq/m}^3$ ，SEL 小于  $0.4\text{MBq/m}^3$ 。

## 2) 特殊排放

对于 TER、SEL 废液满足下述中任一条件的排放为特殊排放，需总经理部分管领导或应急总指挥 SED 批准同意后方可进行排放。

当 SEK 系统不可用或大修二回路排水较多时，在蒸汽发生器无严重泄漏和确定废水来源的情况下，可通过 SEO 系统临时管道排放，废水的排放控制参考 SEL 规定执行，并在总经理部分管领导批准同意后实施，此段时间内必须每天取样监测。

### (2) 过程控制

#### 1) 排放申请

当 TER 或 SEL 罐开始循环混和后，及时填写排放申请单，并逐一填写排放单中相应内容。

#### 2) 取样

取样前必须确认排放罐内的流出物进行了充分混合（满足循环混合时间要求）；对排放单中申请的排放罐进行取样。

#### 3) 分析

— TER 总  $\gamma$  比活度  $\geq 0.5\text{MBq/m}^3$ ，必须另取一个样品进行核实。

— SEL 总  $\gamma$  比活度  $< 0.08\text{MBq/m}^3$ ，分别进行定量收集储存以进行月度分析；

— SEL 总  $\gamma$  比活度  $\geq 0.08\text{MBq/m}^3$  且  $< 0.4\text{MBq/m}^3$ ，必须进行以下附加测量： $\gamma$  谱分析  $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{134}\text{Cs}$  和  $^{137}\text{Cs}$  的活度。

— SEL 总  $\gamma$  比活度  $\geq 0.4\text{MBq/m}^3$  或者  $^3\text{H} \geq 2\text{MBq/m}^3$ ，必须另取一个样品进行核实，核实以后，尽快通知当班运行值值长，由运行人员分析、查找原因，并采取相应措施。

#### 4) 排放工况确定

— TER：检查分析结果并按照比活度水平和 CRF、SEC 泵的流量确定排放流速。

废液排放流速的计算应遵循如下原则：

- 至少有一台 CRF 泵运行；
- 稀释因子  $\geq 500$  倍；
- 在排放渠内稀释后的平均比活度：总  $\gamma$  ( $^{40}\text{K}$  和  $^{226}\text{Ra}$  除外)  $< 7.4\text{Bq/L}$ ， $^3\text{H} < 740\text{Bq/L}$

- 排放流速 $\leq 250\text{m}^3/\text{h}$ 。

— SEL：当流出物总  $\gamma$  比活度 $< 0.4\text{MBq}/\text{m}^3$  时，在电厂辐射监测系统（KRT）通道的监测下进行排放时无特殊要求；当流出物总  $\gamma$  比活度 $\geq 0.4\text{MBq}/\text{m}^3$  时，参考 TER 的规定确定排放流速。

#### 5) 批准排放

排放前，当班的值长需检查当时的实际排放条件，如为正常排放则批准，如是特殊排放则需报请总经理部分管领导或应急总指挥 SED 批准。

#### 6) 排放实施

— TER 实施排放的条件如下：

- 一般结合钦州湾海水潮位，在由高潮位开始退潮时，实施优化排放；
- 必须在当班值长签字同意后方可实施；
- 实际排放流速不能高于排放单上给出的最大流速；
- KRT 监测通道（YKRT8301MAI）可用，无故障和超阈值报警。如在排放过程中 YKRT8301MAI 出现报警信号，运行人员应立即按照有关报警单的指令采取行动；
- 排放结束，机组长按排放单要求及时准确填写排放实施情况，用于排放量统计及归档。

— SEL 实施排放条件如下：

- 当班值长签字同意后方可授权排放；
- KRT 监测通道（YKRT8401MAI）可用，无故障和超二级阈值报警；
- 对特殊排放需按给出的排放条件进行排放；
- 在排放过程中，运行人员需监视排放情况。如 KRT 监测通道报警，必须按照有关报警单的指令立即采取措施；
- 排放结束，机组长按排放单要求及时准确填写排放实施情况，用于排放量统计及归档。

### 8.1.1.5 流出物排放量统计

(1) 气载、液态放射性流出物年排放量的统计计算公式如下：

$$Q=C_1V_1+C_2V_2+\dots+C_nV_n=\sum_{i=1}^n C_iV_i$$

式中：

Q：本工程实际放射性年排放量，Bq/a；

C<sub>i</sub>：一年中第 i 次气载流出物烟囱取样或液态流出物排放前取样分析核素活度浓度，Bq/m<sup>3</sup>；

V<sub>i</sub>：一年中第 i 次排放的体积，m<sup>3</sup>；

n：一年中气载流出物烟囱取样或液态流出物系统排放的总次数。

液态流出物系统排放口处放射性核素活度浓度即为每次排放前对于废液储存罐取样分析的结果。

对于核素活度浓度，测量结果取值：

- 样品的净计数值大于方法探测下限 (ALLD)，分析结果取实际测到的净计数值；
- 样品的净计数值小于或等于探测下限 (ALLD)，分析结果取(ALLD)/2。

(2) 对于年排放量统计，方法如下：

— TER 废液

参加统计的核素有 <sup>3</sup>H、<sup>14</sup>C 及其他核素（包括 <sup>110m</sup>Ag, <sup>58</sup>Co, <sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs, <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>54</sup>Mn, <sup>124</sup>Sb, 如果还有其他核素大于探测下限，也需统计。），此外，总 γ 也需统计。

— SEL 废液

参加统计的 <sup>3</sup>H 和总 γ。

— 烟囱连续排放 (DVN)

对于惰性气体，统计 <sup>133</sup>Xe、<sup>135</sup>Xe、<sup>85</sup>Kr、<sup>88</sup>Kr、<sup>131m</sup>Xe，其中，<sup>133</sup>Xe、<sup>135</sup>Xe 大于探测下限时取实测值，小于探测下限时取二分之一探测下限；<sup>85</sup>Kr、<sup>88</sup>Kr、<sup>131m</sup>Xe 及其他惰性气体核素，大于探测下限时取实测值，小于探测下限时不统计；

对于卤素，统计 <sup>131</sup>I 和 <sup>133</sup>I，如有其他卤素核素大于探测下限，也需统计；

对于粒子（气溶胶），统计的核素有 <sup>58</sup>Co、<sup>60</sup>Co、<sup>134</sup>Cs、<sup>137</sup>Cs，如有其他核素大于探测下限，也需统计；

<sup>3</sup>H 和 <sup>14</sup>C 也参与统计。

#### 8.1.1.6 流出物监督性监测

防城港核电厂已经完成了核电厂流出物监督性监测系统建设，3、4 号机组配合完成以下工作：

##### （1）流出物监测数据实时传输

按照《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设规范（试行）》要求，3、4 号机组将监测的实时数据传输到监督性监测系统数据控制中心。

##### （2）协助完成日常工作

为保证流出物监督性监测的顺利开展，防城港核电厂配合省环境辐射监测中心办理相关进场手续，并协助进行流出物取样。

#### 8.1.2 辐射环境监测

《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）规定：“在核动力厂首次装料前，营运单位必须制定环境监测大纲，在首次装料后，依据该大纲进行常规环境辐射监测”，“在进行常规环境辐射监测时，应与运行前的环境本底（或现状）调查工作相衔接，充分利用运行前环境调查所获得的资料”。

防城港核电厂 3、4 号机组属该厂址后续建设工程，为满足前期将投运机组的环境监测要求，防城港核电厂已制定了运行期间的环境监督与监测大纲，开展核电厂址周围环境的常规监测，具体由广西防城港核电有限公司化学环保部环境科统一负责。根据国家核安全局对多堆厂址核电厂“四个统一”的环境管理要求，营运单位应统一环境监测方案，由统一的监测机构进行常规环境辐射监测。因此，本工程运行后的环境监测方案将在现有监测方案基础上，结合运行前辐射环境现状调查的反馈，对监测点位、内容及频次进行优化和补充，并对监测设施进行必要的完善。

##### 8.1.2.1 监测目的

运行期间辐射环境监测的目的为：

- 为评价环境辐射安全和估算公众剂量提供依据；
- 测定环境介质中放射性核素含量和环境  $\gamma$  剂量率水平的变化；
- 发现核电厂周围地区放射性和非放射性污染变化异常现象，及时查找原因；
- 鉴别污染来源，追踪污染趋势并修正监测计划；

- 分析受纳水体中的放射性核素浓度是否满足国家标准的要求。

### 8.1.2.2 监测范围

目前，防城港核电厂正常运行期间的辐射环境监测范围如下：

- 陆地：环境  $\gamma$  辐射水平调查范围为 20km，其余调查范围一般取 10km；
- 海洋：主要监测核电厂周围 10km 范围，重点监测核电厂排放口附近的海域和滩涂。

运行期间辐射环境监测中的对照点为东兴黄淡水水库（即东兴水库），位于防城港核电厂 W 方位约 53km 处。

### 8.1.2.3 监测内容

辐射环境监测的重点是对关键居民组影响最大的那些环境介质和排放核素上，辐射环境监测由大气放射性监测、陆地放射性监测和海洋放射性监测三部分组成，监测项目以环境辐射、空气、水、土壤、沉积物、陆生及水生生物为主。重点关注钦州湾西海域中的生物及海水中的  $^3\text{H}$ 。

#### 1) 环境 $\gamma$ 辐射

- $\gamma$  辐射固定点连续监测：共包括 8 个厂内站和 6 个厂外站；
- $\gamma$  辐射剂量率瞬时监测：共布设 69 个点位，其中 37 个点位采用便携式  $\gamma$  剂量率仪测量，32 个点位采用监测车进行测量。
- $\gamma$  辐射累积剂量测量：采用 TLD 进行测量，与采用便携式  $\gamma$  剂量率仪进行测量的点位相同。

#### 2) 空气

- 大气气溶胶：共布设 6 个点，分别为 AS1、AS2、AS3、AS4、AS7、BS5，取样监测总  $\alpha$ 、总  $\beta$ ，总  $\beta$  偏高时测  $\gamma$  谱，按周取样；累积样品测量  $\gamma$  能谱，按月取样。AS7 站布置有超大流量气溶胶取样器，每季度取样测量  $\gamma$  谱。
- 空气碘监测： $\gamma$  能谱，共布设 6 个点，按周取样，分别位于 AS1、AS2、AS3、AS4、AS7、BS5。
- 空气  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ ：共布设 5 个点，按季度取样，分别位于 AS1、AS3、AS7、

BS2、BS5。

- 沉降灰：测量总  $\alpha$ 、总  $\beta$ ，按按季度取样；年度累积样品测量  $\gamma$  谱和  $^{90}\text{Sr}$ 。共布设 5 个点，与空气  $^3\text{H}$ 、空气  $^{14}\text{C}$  点位相同。
- 降水：测量  $^3\text{H}$ 、总  $\beta$ ，共设 5 个点，按季度取样，点位同上。

### 3) 水

- 地表水：测量总  $\beta$  和  $^3\text{H}$ ，设 4 个点，按每半年取样，分别位于官山辽水库、山口水库、红沙村水塘、黄淡水库；
- 地下水：测量总  $\beta$ 、 $^3\text{H}$ 、 $\gamma$  谱和  $^{40}\text{K}$ ，分别在厂区内、白云村和沙螺辽取样。其中厂区内共设置有 10 口地下水监测井，地下水监测井测量总  $\beta$ 、 $^3\text{H}$  和  $^{40}\text{K}$ ，按每月取样，每半年进行一次  $\gamma$  谱分析；白云村和沙螺辽地下水井测量总  $\beta$  和  $^3\text{H}$ ，按每半年取样，每年进行一次  $\gamma$  谱分析；
- 饮用水：测量总  $\beta$  和  $^3\text{H}$ ，共设三个点，按每半年取样，分别位于白云村、沙螺辽、核电生活区；
- 海水：共设 10 个点位，其中 H1-H7 共 7 个点位每两个取样，测量氡；均位于排放口附近（的 H1、H5、H6、H7，共 4 个点）、海水循环进口处、码头、沙螺辽，按每半年取样，测量总  $\beta$ 、氡、 $\gamma$  谱和  $^{40}\text{K}$ 。

### 4) 土壤与沉积物

- 陆地土壤：测量  $\gamma$  谱、 $^{90}\text{Sr}$ ，共设 9 个点位，按年取样；
- 沉积物：测量  $\gamma$  谱、 $^{90}\text{Sr}$ ，共设 4 个点位，按年取样；
- 海洋沉积物：包括潮间带（4 个点位）与潮下带（共 7 个点位）：测量  $\gamma$  谱、 $^{90}\text{Sr}$ ，按每半年取样。

### 5) 陆生生物

- 香蕉：测量  $\gamma$  谱，在收获期采样，共设 2 个点位；
- 青菜：测量  $\gamma$  谱和  $^{14}\text{C}$ ，按年取样，共设 3 个点位；
- 萝卜：测量  $\gamma$  谱，按年取样，共设 2 个点位；
- 薯类：测量  $\gamma$  谱，按年取样，共设 2 个点位；
- 现场草：测量  $\gamma$  谱，按年取样，共设 1 个点位；
- 桉树：测量  $\gamma$  谱，按年取样，共设 2 个点位；
- 鸡：测量  $\gamma$  谱和  $^{14}\text{C}$ ，按年取样，共设 2 个点位；



- 淡水鱼：测量  $\gamma$  谱，按年取样，共设 3 个点位；
- 指示生物：选定松针作为指示生物，测量  $^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$  谱、有机  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  和总  $\beta$ ，每半年取样，共设 2 个点位。

#### 6) 海生生物

- 红树林：测量  $\gamma$  谱、有机  $^3\text{H}$  和  $^{14}\text{C}$ ，按每年取样，共设 2 个点位；
- 马尾藻：测量  $\gamma$  谱，按每年取样，共设 1 个点位；
- 杂鱼：测量  $\gamma$  谱，按每半年取样，共设 2 个点位；
- 鱿鱼：测量  $\gamma$  谱，按每年取样，共设 2 个点位；
- 虾：测量  $\gamma$  谱，按每半年取样，共设 2 个点位；
- 蟹：测量  $\gamma$  谱，按每年取样，共设 2 个点位；
- 文蛤：测量  $\gamma$  谱和  $^{90}\text{Sr}$ ，按每年取样，共设 1 个点位；
- 大蚝：测量  $\gamma$  谱、 $^{14}\text{C}$  和  $^{90}\text{Sr}$ ，按每年取样，共设 1 个点位；
- 指示生物：选定牡蛎作为指示生物，测量  $^{90}\text{Sr}$ 、 $\gamma$  谱、有机  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  和总  $\beta$ ，每半年取样，共设 2 个点位。

### 8.1.2.4 监测方法

#### 1) 测量方法

- 环境  $\gamma$  辐射监测：环境  $\gamma$  剂量率采用固定点连续监测系统在线、连续、实时监测，采用便携式  $\gamma$  剂量率仪进行现场监测，采用热释光剂量率(TLD)进行累积  $\gamma$  剂量测量；
- 环境介质样品放射性活度采用物理方法和化学方法进行测定。其中物理方法包括低本底  $\gamma$  谱测量、低本底液闪测量、低本底  $\alpha/\beta$  测量，化学方法主要涉及样品制备（特别是放化）等。

#### 2) 探测下限和最小可探测比活度

- $\gamma$  辐射测量的探测下限 (LLD)

$$LLD = 4.65\sqrt{n_b / t_b}$$

- 环境介质最小可探测比活度 (MDC)

由具体仪器探测下限 (LLD) 和制样、测量方法决定，可用下式计算：

$$MDC = \frac{LLD}{E \cdot W \cdot P}$$

式中： $t_b$ 为测量时间； $n_b$ 为仪器本底计数率； $E$ 为仪器探测效率； $W$ 为样品量； $P$ 为放化分析的化学回收率或谱仪分析的 $\gamma$ 发射率。

### 8.1.3 应急监测

为保证防城港核电厂在进入核事故应急状态下能够迅速有效地开展应急环境辐射监测，及时确定电厂周围环境放射性污染范围和水平，为采取防护行动决策提供依据，防城港核电厂制定了事故期间环境应急监测方案。应急监测方案主要包括应急监测内容、应急监测线路和应急监测组织响应。

#### 8.1.3.1 应急监测内容

根据核电厂事故放射性释放对公众的照射途径，确定事故后不同阶段应急环境辐射监测的任务和内容，从而制定应急环境辐射监测方案。

##### （1）事故后早期监测

核事故早期主要环境辐射风险来源于放射性烟羽外照射和放射性吸入内照射。根据应急监测的任务，参照电站风向、辐射评价结果确定监测区域和监测内容，并根据空气环境 $\gamma$ 剂量率监测结果，结合事故工况和操作干预水平给出辐射防护行动建议。

事故早期应急环境监测内容是：（a）厂区监测项目以 $\gamma$ 剂量率为主，必要时，还应测量表面污染，并进行空气取样测量，空气测量项目主要是碘；（b）厂区周界和厂外环境监测内容主要是烟羽环境的剂量率、放射性水平和核素组成以及放射性烟羽随时间和空间的变化趋势，通过空气取样，分析出空气中的活度浓度水平及主要核素。必要时还需对地表沉积的环境剂量率进行监测，主要是 $^{131}\text{I}$ 和 $^{137}\text{Cs}$ 活度。

##### （2）事故后中期监测

事故中期辐射危害主要来自烟羽放射性外照射、地面沉积外照射、放射性物质的吸入以及受污染的食品和水的摄入造成的内照射。该阶段环境监测任务的重点为对下风向污染区域空气、水、食物进行监测，主要监测项目包括：

- 环境 $\gamma$ 剂量率巡测；
- 气溶胶和碘样品的监测；

- 环境 TLD 的布放与取样监测；
- 地面污染监测；
- 地表水污染水平；
- 地表沉积外照剂量率；
- 食物样品监测。

### （3）事故后期监测

事故后期应急环境监测任务在于确定整个事故释放所造成的污染水平及范围。重点监测内容：污染区域地表污染  $\beta/\gamma$  剂量率和地面沉积  $\gamma$  核素、空气  $\gamma$  剂量率、水库水和饮用水、食品或植物、土壤以及环境 TLD 的测量。监测方法包括：

- 环境监测车继续巡测环境  $\gamma$  剂量率，并在关注区进行气溶胶和碘样品的采集；
- 收回和更换 TLD 片，布放与回收的周期根据事故的具体情况确定；
- 采集地表水、地下水和饮用水等样品；
- 采集食入食品样品，并进行测量。

### 8.1.3.2 应急监测线路

根据应急环境辐射监测的要求，防城港核电厂制定了应急巡测路线，包括 5 条陆路和 1 条海路监测路线。

- A 线：（风向 NE、ENE）AS1—老虎港—沙螺辽—山口益海—松柏林—曲山—牛路—松柏山—大龙—企杀镇；
- B 线：（风向 E）AS1—管草田—中间坪—山湖龙—光坡镇—官山辽水库—山口益海—栏冲—老虎港；
- C 线：（风向 SSW、SW）AS1—中间坪—企杀大道—钦防高速—仙岛公园—果子山；
- D 线：（风向 ESE、SE）AS1—管草田—老屋队—冲花坳—响水—龙门港镇；
- E 线：（风向 SSE、S）AS1—湾潭村—红沙村—盐田巷—红沙湾—刘屋；
- F 线：（风向 WSW、W、WNW、NW、NNW、N、NNE）海上巡测，在无液态途径释放时，以事故电厂为中心，以 1km、3km、5km 为半径的圆弧上，每隔 30°进行选点测量；在同时有液态途径释放时，还应以电站总排放渠出口为中心，以 1、3、5km 为半径，每隔 30°选点取样测量。

### 8.1.3.3 应急监测组织响应

防城港核电厂应急环境监测组织由安全防护组和技术支持组的人员组成，主要职责如下：

- 在事故状态下，进行厂区内的辐射监测、取样分析和辐射安全水平的评价，提出厂内工作人员和厂外公众防护的建议；
- 对工程抢险和应急维修活动等提出工业安全和辐射防护的要求并提供现场支持，控制应急照射，保证应急抢险和维修人员的安全；
- 收集并保存应急状态下各阶段的有关资料和记录。

根据监测人员的职责分工，应急响应包括监测人员的应急响应、环境监测车的应急响应以及环境实验室的应急响应。

#### （1）监测人员的应急响应

应急环境监测人员在事故状态下应立即到应急指挥部报到，按照核电厂相关程序的要求进行启动和响应。

#### （2）环境监测车的应急响应

当核电厂进入应急待命状态时，环境监测车的岗位人员立即奔赴监测车就位，穿戴好防护服，佩戴好个人剂量计，按照指令做好监测车巡测前的准备工作。

#### （3）环境实验室的应急响应

在事故应急状态时，环境实验室应急人员按照实验室应急程序检查仪器清单，查看仪器是否正常，并做好检查记录。同时，准备应急监测所需的备品备件，准备就绪后向环境监测助理报告。

## 8.2 其它监测

### 8.2.1 热影响监测

### 8.2.2 化学污染物和生活污水监测

### 8.2.3 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 电磁环境监测

表

表 8.2-1 拟建水文、水质监测站信息

## 8.2 其它监测

### 8.2.1 热影响监测

根据环境保护部卫星环境应用中心提供的《防城港核电站温排水监测与评价终期成果报告》，2015 年 10 月至 2018 年 4 月，卫星环境应用中心利用 IRS/HJ-1B、TIRS/Landsat8 及 ETM/Landsat7 卫星遥感数据，开展了 27 次有效的防城港核电温排水遥感监测，并结合潮汐、气象、工况、数模物模、功能区、养殖区等信息，开展综合分析得出以下初步结论：

（1）防城港核电厂温排水排出后基本呈扇形形态热扩散，高温区面积较小，热量随潮流运动向外扩散，随着温升等级的减少，温升分布面积显著增加，高温温升区（3℃、4℃和 5℃）的面积要远低于低温温升区（1℃和 2℃）。

（2）工况对温排水热扩散有一定程度影响。根据防城港核电机组工况运行情况，结合多时相遥感监测结果分析可知，随着运行机组数目的增加，0.5℃、1℃温升区面积均随之增加，但不明显，而 2℃、3℃、4℃温升区随着工作机组的增加，温升区面积变化不大。

（3）随季节变化，温排水温升面积也会有所变化。防城港核电温排水夏季温升区面积要高于冬季，其中低温升区面积（0.5℃和 1℃）夏季要明显大于冬季。

（4）潮汐对温排水热扩散有较大影响。遥感监测统计发现，对于各个潮汐状况下，落急/落憩阶段的温升面积要比涨急/涨憩阶段分布面积大，这是因为落潮比涨潮更有利于排水口附近高温水体扩散。此外大潮相比于其他各潮期，水的流速迅速增大，高温水体的热量迅速被扩散，因此，在大潮时，高温升区分布面积降低，低温升区面积增多。

（5）从遥感监测 1℃以上温升面积与功能区关系分析来看，防城港核电厂温排水温升状况，满足厂址附近近岸海域环境功能区划的要求，符合广西壮族自治区人民政府《广西壮族自治区人民政府办公厅关于印发广西壮族自治区近岸海域环境功能区划调整方案的通知》（桂政办发[2011]74 号文）的规定和《海水水质标准》中海水水质标准。

（6）从遥感监测结果大于 1℃的温升面积分布与养殖区空间关系叠加分析来看，核电温排水的影响范围有限，仅限于排水口附近，其并未对养殖场产生影响。

（7）遥感监测结果反映的是实际温度场分布，不仅仅是核电厂温排水热扩散导致

的，而是各种因素综合影响的结果。比如遥感监测到发电前防城港核电厂西南部的沙螺辽村附近少量的自然增温现象，发电后该区域的自然增温与核电厂温排水热扩散导致的人为增温叠加在一起，现有技术很难对其进行进一步分离，这种现象会导致遥感监测得到的温升范围可能大于实际温排水造成的温升范围；加之海陆混合像元的影响，也会导致遥感监测得到的温升范围可能大于实际温排水造成的温升范围。

防城港核电厂拟建设 7 个水文、水质监测站，在这些监测站中包括水温监测。

防城港核电厂将开展 3 号机组满功率运行后及 4 号机组满功率运行后两个阶段的温排水调查，以论证电厂运行温排水排放对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

防城港核电厂对非放污水处理设施的排水进行每个工作日监测。同时，每季度委托相关环保单位进行季度监测。

自检项目有 COD、BOD<sub>5</sub>、pH、总磷、悬浮物等项指标。其中 COD、悬浮物、pH 每个正常工作日上午、下午取样样品均分析（节假日前一天下午样品不分析），氨氮指标每个工作日上午取样样品均分析（节假日前一天样品不分析），总磷每周选择一个工作日的上午样品及前一天的下午样品进行分析，BOD<sub>5</sub> 指标每周选择一个工作日的上午样品进行分析。

季度检测项目有：水温、pH、色度（稀释倍数）、氨氮（以 N 计）、总氮（以 N 计）、总磷（以 P 计）、化学需氧量、生化需氧量、悬浮物、粪大肠杆菌群（个/L）、石油类、动植物油、阴离子表面活性剂 13 项指标。

### 8.2.3 气象观测

厂址气象观测系统包括厂址专用地面气象站和百米气象塔，位于电厂西南侧公管岭的山坡。所选站址周边多洼地，无高大山体遮挡，气象站观测环境满足《地面气象观测规范》有关要求，观测数据可以较好反映厂址地区的风、温场和大气弥散条件的气象特征，观测数据对厂址地区气象条件代表性较好。

厂址专用地面气象站：观测的气象要素包括温度、湿度、雨量、气压、总辐射、净辐射和地温。太阳辐射观测高度为离地面 1.5m，气压、雨量和地温为观测场地面高度，温湿度计高度为 1.5m。

百米气象塔：气象梯度自动观测共设四层（10m、30m、80m 和 100m），各层观测风向、风速、温度。

气象塔、地面气象站进行 24 小时实时观测，气象数据通过各自数据采集箱采集后，通过无线和有线的传输方式，发送至 KRS 中央站中的气象数据采集工作站，进行处理和运算。

气象系统内的设备都采用工业级设备，并配置 72 小时备用电源以保证设备的稳定工作。

上述气象观测系统的联合数据获取率应达到 HAD101/02 不低于 90%的要求。

#### **8.2.4 水文观测**

防城港核电厂拟建设 7 个水文、水质监测站对受纳水体开展，其拟开展监测项目见表 8.2-1，建成后将开展水文、水质连续监测。

另外，每季度对进水渠水下地形进行观测，每月对地下水水位进行观测。

#### **8.2.5 生态监测**

后续根据运行情况适时开展生态监测。

#### **8.2.6 噪声监测**

运行期间委托有资质单位对厂址边界开展噪声监测，监测频次为 1 次/季度。

#### **8.2.7 电磁环境监测**

运行后对 500kV 开关站和厂用电主变电站开展电磁环境监测，监测点位包括 500kV 开关站四周、开关站进出线及其衰减断面、厂用电主变电站四周，监测项目工频电场和工频磁场，监测频次为每年 1 次。



表 8.2-1 拟建水文、水质监测站信息

序号	编号	安装地点	选取目的	监测项目	其他
1	HYHJ-1#	取水明渠附近, 利用一期水文观测点	水文监测	1. 水温; 2. 盐度; 3. 潮位。	
2	HYHJ-2#	1℃温升线附近	水文、水质环境监测	1. 水温; 2. pH; 3. COD; 4. BOD; 5. NH3-N; 6. 总磷; 7. DO; 8. 流速; 9. 流向。	
3	HYHJ-3#	4℃温升线附近	水文、水质环境监测	1. 水温; 2. pH; 3. COD; 4. BOD; 5. NH3-N; 6. 总磷; 7. DO; 8. 流速; 9. 流向。	水温进行表、中、底监测
4	HYHJ-4#	4℃温升线附近	水文、水质环境监测	1. 水温; 2. pH; 3. COD; 4. BOD; 5. NH3-N; 6. 总磷; 7. DO; 8. 流速; 9. 流向。	水温进行表、中、底监测
5	HYHJ-5#	红沙村滩涂养殖区	水文、水质环境监测	1. 水温; 2. pH; 3. COD; 4. BOD; 5. NH3-N; 6. 总磷; 7. DO; 8. 流速; 9. 流向。	
6	HYHJ-6#	沙螺寮滩涂养殖区	水文、水质环境监测	1. 水温; 2. pH; 3. COD; 4. BOD; 5. NH3-N; 6. 总磷; 7. DO; 8. 流速; 9. 流向。	
7	HYHJ-7#	钦州港	水文、水质环境监测	1. 水温; 2. pH; 3. COD; 4. BOD; 5. NH3-N; 6. 总磷; 7. DO; 8. 流速; 9. 流向。	

### 8.3 监测设施

#### 8.3.1 流出物实验室

#### 8.3.2 环境监测设施

#### 8.3.3 监督性监测系统

## 8.3 监测设施

### 8.3.1 流出物实验室

核电厂放射性流出物的准确排放量主要来自于流出物分析实验室的测量与分析。核电厂在 1、2 号机组运行前已建成了流出物分析实验室，实验室作为厂区实验室（AL 实验室）的一部分，按照 1~4 号机组共用的要求进行设计和建造。

厂区实验室设在核电厂厂区内，共三层，地下一层，地上二层，实验室一层为样品处理及测量区，二层为办公及油分析室。厂区实验室用于放射性流出物样品分析测量的主要房间有：测量室、热准备间和冷准备间（即样品制备间）等，位于地面一层。

#### （1）测量室

测量室用于对流出物样品进行测量。防城港核电厂厂区实验室测量室有下列主要仪器设备：

- 高纯锗  $\gamma$  谱仪，用于分析流出物样品中的  $\gamma$  放射性核素浓度；
- NaI $\gamma$  探测器，用于分析流出物样品总  $\gamma$  放射性；
- 液闪谱仪，用于分析流出物样品中的  $^3\text{H}$  和  $^{14}\text{C}$  浓度；
- $\alpha$ - $\beta$  测量仪，用于分析流出物样品中的总  $\beta$  浓度。

#### （2）热准备间、冷准备间

防城港核电厂厂区实验室的有两间样品制备间，一间用作热准备间，另一间为冷准备间，分别用于对核岛废液 TER 贮存罐和常规岛废液 SEL 贮存罐中的废液进行样品制备。

样品制备间将配置有工作台、通风柜、干燥箱、电子天平、电热板以及制备样品所需设备。

### 8.3.2 环境监测设施

#### 8.3.2.1 环境实验室

环境实验室（EC1）主要承担核电厂正常运行下的环境监测。防城港环境实验室位于距离反应堆约 1km 的行政管理及辅助设施区，共设两层。主要功能如下：

- 经过 KRS 网络服务接收器、处理 EC-3 连续监测站点的监测数据、厂址气象站（EC-2）的气象数据及环境监测车传输的数据、及时发现环境异常数据并将有关信息发送到应急指挥中心和主控制室、辐射环境监督管理部门等；

— 定期进行低活度的环境介质样品的采集、制样及测量分析工作。在事故情况下，且环境实验室未受到污染时可执行一定的应急监测功能。如在事故早期对核电厂周围环境介质进行采样和测量分析：应急状态下接受应急技术支持组的指令，启用环境监测车结合风向及源项释放情况，对设定路线环境辐射水平进行测量，并将有关信息发送至环境实验室、应急指挥中心及其他相关部门。

环境实验室配备的测量仪器有：

- 环境  $\gamma$  辐射监测仪：用于分析水、土壤与沉积物、气溶胶、生物样品等介质中的  $\gamma$  放射性核素的浓度；
- 低本底  $\alpha/\beta$  计数器：用于测量水、土壤、气溶胶、生物样品等介质中的总  $\alpha$  和总  $\beta$  放射性水平；
- 低本底液闪谱仪：主要用于测量环境介质中的  $^3\text{H}$ ，有时也可用于其他放射性核素的分析，如  $^{14}\text{C}$ 、 $^{90}\text{Sr}$  等；
- $\gamma$  辐射剂量率仪：用于测量环境空气中的  $\gamma$  剂量率；
- 热释光剂量仪：用于测读热释光剂量片记录的环境  $\gamma$  累积剂量。

除了这些仪器外，环境实验室还配置其它必要的测量装置和分析仪器，如精密电子天平、滴定仪、pH 计，用于制备样品的马弗炉、电热板、碳化炉、搅拌器、离心机、真空干燥箱、球磨机等。

### 8.3.2.2 厂区辐射和气象监测系统（KRS）

防城港核电厂 KRS 系统由 KRS 中央站、气象站、环境  $\gamma$  辐射监测站、环境监测车和应急移动组网设备组成。

#### 8.3.2.2.1 KRS 中央站

KRS 中央站连续采集、处理和记录气象和环境  $\gamma$  辐射数据；发送处理后的数据到主控室和核电厂应急指挥中心（EM 楼）；接收并处理传感器故障报警、电源故障报警及阈值报警信号。

KRS 中央站的主要设备包括：

- 环境  $\gamma$  辐射数据采集工作站

- 气象数据采集工作站
- 数据采集工作站（EM）
- 值班机
- 气象和  $\gamma$  数据图形工作站
- 无线与有线数据传输系统
- KRS 网络服务器 A（EC）
- KRS 网络服务器 B（EM）
- 数据监测工作站
- 网络通讯设备和网络互联设备

（1）环境  $\gamma$  辐射数据采集工作站

环境  $\gamma$  辐射数据采集工作站采用两台冗余的工业计算机，它们通过无线和有线的方 式对厂区环境  $\gamma$  辐射监测站和厂外环境  $\gamma$  辐射监测站进行远程管理，提供直接的监视、操作平台，收集  $\gamma$  辐射监测站采集的  $\gamma$  剂量数据形成磁盘数据文件最终存入 KRS 网络服务器数据库中。

（2）气象数据采集工作站

气象数据采集工作站采用一台工业计算机，它通过无线和有线的方 式对气象站和环境监测车进行通讯并进行远程管理，提供直接的监视、操作平台、收集气象站采集的气象数据，并进行计算处理，形成磁盘数据文件最终存入 KRS 网络服务器数据库中，它还应具备数据备份的能力。

（3）应急数据采集工作站

应急数据采集工作站采用一台工业计算机，负责直接接收从环境监测站、环境监测车、气象站采集的数据，并同步将数据存入 EM 楼 KRS 网络服务器。

（4）值班机

值班机采用一台工业计算机，它配置环境监测车地理信息图形应用软件以及 GIS 平台软件系统，可以在数字化电子地图上，实时显示环境监测车和 KRS 系统 14 个环境  $\gamma$  辐射监测站的  $\gamma$  剂量率以及气象站数据，自动处理各类图表、环境和应急监测报告。

（5）气象和  $\gamma$  数据图形工作站

气象和  $\gamma$  数据图形工作站采用一台工业计算机，它运行服务器/客户机数据库前台

管理软件,实时进行气象数据和环境  $\gamma$  数据分析处理,用人机交互方式控制给出每日、月、年的气象数据报表、各种曲线和统计图表。它具有设置无人监测时的报警功能,能通过电话等公用通信通道,将系统中的各种报警信息通报给指定的用户。

#### （6）无线和有线的数据传输系统

无线和有线的数据传输系统包括环境  $\gamma$  辐射监测站、气象站以及环境监测车的数据采集传输所需要的设备。

对于环境  $\gamma$  辐射监测站、气象站的数据采集,采用有线传输优先于无线的方式。在正常情况下,将采用有线传输方式;如果在一定时间周期内(10 分钟),KRS 中央站(含应急移动组网服务器)无法接收到有线传输方式传送的数据,将自动启动无线传输方式,将数据传送到 KRS 中央站(含应急移动组网服务器),待排除故障后,再手动切换到有线传输方式。

#### （7）KRS 网络服务器

KRS 系统 EC 楼网络服务器采用一台带可读写光驱、双硬盘的工业计算机,操作系统为 WINDOWSNTSERVER,是 KRS 网络主域控制器、文件服务器和数据库服务器,提供数据/文件共享服务。服务器运行服务器/客户模式数据库,服务器数据库存储气象和环境  $\gamma$  辐射监测的所有数据文件,形成环境监测数据库为全网提供环境监测数据共享服务,具有数据备份的功能。

KRS 网络服务器配置一款基于服务器/客户机体系结构的 KRS 数据库管理软件。该软件为环境  $\gamma$  辐射数据和气象数据存储共享提供了一个高效的管理平台,它具有数据质量控制、安全管理、报表生成和系统参数设置等功能。

KRS 系统 EM 楼网络服务器性能与 EC 楼基本一致,两台服务器冗余备份,同时,需满足事故状态下可用的条件,具备抗震性能。

#### （8）数据监测工作站

数据监测工作站采用一台工业计算机,位于核电厂的 EM 楼,作为 KRS 系统环境数据监测终端实时显示 KRS 系统环境  $\gamma$  辐射监测数据和气象数据。KRS 数据监测工作站运行 WINDOWNTWORKSTATION 操作系统,运行监测软件包,工作站自动访问数据库,实时更新屏幕显示的监测信息,供有关部门人员实时监视 KRS 系统运行的情况。

#### （9）KRS 网络通讯和网络互联设备

KRS 中央站主网采用 ETHERNET，配置集线器连接环境实验室和应急指挥中心（EM 楼）内的所有工作站。

#### 8.3.2.2.2 气象站

气象站安装自动气象系统设备，实现环境气象要素的自动监测。

气象铁塔、厂址专用地面气象站的气象数据及设备故障报警通过各自的数据采集箱采集后，通过无线和有线的传输方式，发送至 KRS 中央站 EM 楼中的数据采集工作站，接着传输至 EC 楼气象数据采集工作进行处理和运算。

##### （1）气象铁塔

在气象铁塔 10m、30m、80m 和 100m 高度处分别安装了风速、风向和温度传感器。

##### （2）厂址专用地面气象站

厂址专用地面气象站的 1.5m 高度处安装了温度、相对湿度、气压、地面的降雨量、太阳总辐射、净辐射和地表温度等传感器。

##### （3）现场工作室

现场工作室是一间长 5m，宽 2.5m 的工作间，距离气象铁塔中心 14m。现场工作室配置的气象数据采集/处理计算机的作用是处理自动气象站传感器送来的风速、风向、温度、湿度、雨量和辐射等信息，并对其进行处理计算（如计算温度梯度）。

#### 8.3.2.2.3 环境 $\gamma$ 辐射监测站

环境  $\gamma$  辐射监测站的所测数据和报警信号可以通过无线或有线的数据传输方式传送至 KRS 中央站 EM 楼中的数据采集工作站，经有线方式发送至 EM 楼两台环境  $\gamma$  辐射数据采集工作站显示和报警，其中超阈值报警信号将经过通讯模块传输至主控制室进行报警。

##### （1）厂内环境 $\gamma$ 辐射监测站

厂内环境  $\gamma$  辐射监测站分别为 AS1、AS2、AS3、AS4、AS5、AS6、AS7、AS8。

##### （2）厂外环境 $\gamma$ 辐射监测站

厂外环境  $\gamma$  辐射监测站分别为 BS2、BS3、BS4、BS5、BS7、BS8。

#### 8.3.2.2.4 环境监测车

防城港 KRS 系统共配置 2 辆环境监测车，环境监测车为 4 轮驱动车，具有小型、机动灵活等特点。环境监测车内设置专用活动支架放置便携式仪器设备，仪器支架具备抗振、防冲击的特点。

环境监测车配备的系统和设备有：

##### （1） $\gamma$ 辐射探测系统

$\gamma$  辐射监测系统由  $\gamma$  辐射探测器和自动数据采集系统组成，其功能用来实时采集核电厂周围的环境剂量率，并将数据及时传输到车载计算机系统进行处理。

##### （2）气溶胶和碘采样装置

监测车安装气溶胶放射性微尘和碘采样装置，监测空气中气溶胶和碘放射性的浓度。

##### （3）GPS 卫星定位系统

GPS 卫星定位仪利用全球卫星定位系统（GPS）进行定位测量，得到监测车行驶位置和轨迹。

##### （4）车载计算机网络系统

车载计算机网络系统主要包括数据采集工业计算机、GIS 工作站、网络存储器和通讯控制计算机等设备。

系统的功能包括：

- $\gamma$  辐射、GPS 传感器的信号采集、控制、处理；
- 工作站平台上显示监测车的行驶轨迹及其测量结果，并负责与数据中心进行数据交换。

整个车载计算机网络系统是一个分布式处理的多处理机系统，用以太网连接，实现车上各种数据资源的共享，各处理机模块只负责有限的、较单一的工作任务，可靠性高，便于维护。

##### （5）车载通讯和数据传输系统

监测车通讯系统的任务是将监测车的实时的位置（经纬度）和辐射测量结果传送至 KRS 中央站的气象数据采集工作站中，并在值班站中进行处理、显示。环境监测车的通讯方式有：

- 采用无线数据传输无线收发装置为主和 GSM 移动电话短信息为辅的通讯方



式。

- 无线数传电台信道，使用原有的应急无线监测网传送监测车数据。
- 车载移动电话信道，使用电讯 GSM 移动电话短信息传送监测车数据。
- 使用车载移动电话实现监测车和应急指挥中心的语音通讯。

#### （6）环境监测车的电源系统

环境监测车仪器系统的主电源为直流 24V，实际工作电压范围在 23~28V 之间。汽车的电源系统和监测仪器系统的电源是相对独立的。

### 8.3.2.2.5 应急移动组网

应急移动组网子系统主要负责：

在正常情况下，各环境监测站所采集的信号通过无线和有线方式发送至 EM 网络服务器后，再通过有线方式传输至 EC 楼网络服务器。

在 EC 因失去外接电源后导致 KRS 中央站不可用时，EM 楼网络服务器（EM 子项内具备应急电源）仍能正常接收外部数据，并保证实时向 KCC 系统传输数据，待 EC 恢复供电后，将失电期间所存储在 EM 楼的环境监测数据通过网络或人工的方式发送至 EC 楼 KRS 网络服务器，保证 EC 楼 KRS 网络服务器数据的完整性。

在极端环境条件导致固定式环境监测站点失效时，用便携式多功能辐射探头替代传统固定式站点（按固定式监测站点数量的 100%冗余配置），采用无线电方式将所采集的数据发送至 EM 楼网络服务器，并传输至 KCC 系统。

应急移动组网包括的系统和设备有：

- 数据采集工作站（与 KRS 中央站共用）；
- 网络服务器（与 KRS 中央站共用）；
- 便携式多功能辐射探头；
- 网络通信设备及配套的辅助设备。

### 8.3.2.3 地下水监测井

3、4 号机组场内共设置 7 个地下水监测井。

### 8.3.3 监督性监测系统

防城港核电厂辐射环境现场监督性监测系统由两大系统组成：核电厂外围辐射环境监测系统和流出物监测系统，按照建设内容和建设地点可将防城港核电厂辐射环境现场监督性监测系统分为三大子项组成：（1）监测子站、（2）前沿站和（3）流出物实验室。防城港核电厂辐射环境现场监督性监测系统共有十二个监测子站，分别为老屋队，火筒径，进场道路，红沙村、沙螺寮、簕山、供水站、山口村、东兴、金桂纸业、仙人岛和前沿站子站，按照站点的配置来分，有一个增强型子站（沙螺寮），四个标准型子站（东兴、红沙村、前沿站、仙人岛），七个基本型子站。监督性监测系统前沿站建设在钦防高速公路防城港市收费站东700m附近，位于核电厂WNW方位，距离核电厂约22公里。目前，该系统已经建成，并通过了国家的最终验收。

## 8.4 质量保证

### 8.4.1 质量保证体系

### 8.4.2 质量保证计划

图

图 8.4-1 环境监测质量保证体系图

图 8.4-2 流出物监测质量保证体系图

## 8.4 质量保证

为了保证广西防城港核电厂流出物监测和环境监测设备的可靠性，确保流出物监测和环境监测数据的精确性、可比性，依据国家有关标准，防城港核电厂制订了《流出物监测质量控制措施（7 版）》（016-GN-P-WD-L19-001）和《环境监测质量保证措施（6 版）》（016-GN-P-WD-L19-002）。

### 8.4.1 质量保证体系

质量保证体系是环境和流出物监测工作管理水平的集中表现，它对从外部到内部，从组织机构设立到人员素质保证，从工作环境和测试方法到工作方法标准和管理制度等各种可能影响监测质量的活动进行严格和有效地控制。防城港核电厂制订了《环境监测质量保证措施（6 版）》和《流出物监测质量控制措施（7 版）》，分别对环境监测和流出物监测进行质量控制，核电厂环境和流出物监测质量保证体系见图 8.4-1 和图 8.4-2。

#### 8.4.1.1 组织机构

防城港核电厂负责环境和流出物监测的部门是化学环保部，环境和流出物监测人员属于环境科。环境科根据人员的分工和职责，设置了以下岗位：

##### — 环境科科长或负责人

负责监督质量保证措施的有效实施；为环境和流出物监测质量保证工作的开展提供足够资源；监督岗位人员的培训和岗位考核工作；监督和检查环境和流出物监测岗位责任的履行。

##### — 环境监督主任工程师

全面统筹安排广西防城港核电厂的环境和流出物监测工作。

环境监督主任工程师未到岗情况下，其职责由环境科科长或负责人授权环境监测相关岗位上的工程师履行。

##### — 环境监督副主任工程师

负责环境和流出物监测质量保证和质量控制工作。

环境监督副主任工程师未到岗情况下，其职责由环境科科长或负责人授权环境监测相关岗位上的工程师履行。

— 环境监督主管工程师

负责环境和流出物监测各项相关工作的开展及质量控制措施的实施。

— 环境监测工程师

根据环境监督主管工程师的安排，及时完成环境和流出物排放监测相关工作。

— 环境监测助理工程师\技术员

熟悉技术程序，严格执行环境和流出物监测质量控制措施，完成流出物工作岗位上的取样、测量和分析任务。

#### 8.4.1.2 人员的资格与培训

建立并执行《化学环保部岗位培训大纲》，规定了化学环保部各个岗位要求、培训要求和授权流程，所有参加取样、监测分析、数据统计和审核的人员均须按培训大纲要求，参加相应的理论和实践培训，培训合格后经授权上岗。

#### 8.4.1.3 数据审查和异常情况处理

在进行分析检测时，检测人员应严格按照分析测量程序规定，真实、准确、完整地记录分析测量过程中的相关信息。在对原始数据进行必要的整理之前，逐一检查原始记录是否按规定的要求填写正确。如有异常情况，应严格按照质量控制程序的规定，选择正确的处理方式。防城港核电厂对测量数据的审查和异常情况的处理有以下规定：

1) 数据审查：原始测量数据和监测记录，严格执行“三级”检查制，即测量、校核、审核。

2) 异常情况的处理：环境监督主管工程师主要负责质量控制措施的实施。监测过程中出现的异常情况统一由环境监督主管工程师处理。具体的处理措施如下：

- 当发现测量数据有疑问或异常时，环境监督主管工程师及时分析查找原因、确认仪器有无异常，并进行独立验证（复测或重新取样等）；
- 当取样过程中有异常情况时，取样人员及时报告环境监督主管工程师，由环境监督工程师联系相关部门进行处理或到现场协助处理；
- 若测量仪器出现异常或故障，环境监督主管工程师及时组织人员查找原因，尽快给出解决办法。

## 8.4.2 质量保证计划

### 8.4.2.1 环境监测质量保证计划

#### 8.4.2.1.1 内部质量控制

##### （1）样品前处理中防止交叉污染措施

需制定采样及前处理程序以确保采集的样品具有代表性，样品的前处理满足国家标准要求。环境样品前处理中采取以下措施防止交叉污染：

- 新塑料桶使用前以及旧塑料桶每半年须用 10% 的  $\text{HNO}_3$  溶液浸泡 24 小时；
- 烘箱、马弗炉应按海、陆样品分开进行预处理；
- 每季度对烘箱进行一次清洗；
- 淡水样品与海水样品在不同的制备间进行处理；
- 对需长期保存的各类常规样品，要按程序进行编码，贴好标签，归类入库，做好记录。

##### （2）样品保存期限

原始样品或经过预处理的样品应该保存备查，具体如下：

- 本底调查（现状调查）期间的各类可保存样品应贮存到核电站退役后 10 年；
- 核电厂正常运行期间采集的可保存的各类常规样品数的百分之一保存 10 年，气溶胶每年保存一个月的样品不少于 10 年，其余月份样品保存 2 年；
- 强沾污样品及有特殊情况的样品应保存到处理后做出结论；
- 对于采集的各类水样，保存时间不超过 2 个月。

##### （3） $\gamma$ 辐射探测器质量控制

- 系统校准用放射源具有可追溯性和证书；
- 定期对  $\gamma$  辐射探测器进行检定或校准，确保仪器处于检定周期内；每年对  $\gamma$  辐射探测器进行校准；
- 每年对各监测子站的  $\gamma$  辐射探测器进行一次校准，校准结果相对基本误差  $<15\%$ ，校准因子的不确定度  $<15\%$ ；
- 每年用检验源检查各监测子站探测仪  $\gamma$  辐射探测器工作的稳定性和报警信号的响应，若变异系数  $>10\%$ ，需复测 10 组数据（每组 30 个），进行成组统计检验，根据检验结果，评价探头的可用性；
- 每个季度用高压电离室对监测子站  $\gamma$  辐射探测器进行比对测量，若检测结果

相对误差 $>8\%$ ，应及时对  $\gamma$  辐射探测器进行本底补偿校正；

- 探头维修后，安装和恢复使用前应重新进行校准；
- 对 KRS 的  $\gamma$  辐射连续监测系统，运用系统质量控制软件，对实时监测数据进行质控和异常数据分析。删除或保留

（4）便携式辐射类监测仪器质量控制

- 定期对仪器进行检定或校准，确保仪器处于检定周期内；
- 探头维修后，安装和恢复使用前应重新进行校准；
- 每次使用前用检验源检验其工作状态是否正常

（5）TLD 累积剂量测量质控措施

- 每年在标准刻度室照射剂量片，作剂量传递，刻度 TLD 测量仪；
- 定期布放和回收剂量片，及时测量和处理数据；
- 每次测量前，测量参考光源和本底，参考光源的相对误差要求 $<5\%$ ，确保仪器处于正常的工作状态。

（6）实验室仪器质量控制

仪器负责人负责仪器的校准、性能检验与评价，以及质控图的编制，保证仪器可靠运行。

— 标准溯源

对于实验室仪器检定和校验所采用的放射性标准源和标准参考物，如果是国内生产的，应追溯到国家标准，即使用经过国家计量监督部门和国家权威部门认定的标准物和参考物，并有证书；若国外生产的放射性源需有相应的证明文件。

— 仪器仪表检定与校准

按照《计量管理》（F-IP/TST/0200）和《电站电厂离线计量器具分类与检定周期确定导则》（F-TS/TST/206）等相关程序的要求，对计量器具实行分类管理。进行年度强制性检定及校准的，下次检定日期需在仪器校准的有效期内，如超过有效期校准，则需对在此期间测量数据的有效性进行评价。对到达检定日期而又未能送检的器具，经有效的比对合格，最多可再用 15 天，之后必须送检。

当仪器部件维修后，做好仪器维修与维护纪录。对于影响探测性能的部件维修（如探头等）和导致重要参数更改（如高压等）的维护，记录校准数据与结论。

— 仪器性能检验

按照相应的仪器操作程序，对测量仪器的性能参数（如本底、探测效率、能量分辨率等）进行月度检验，并对检测结果和仪器状态给出评价；对于测量仪器的坪特性，每半年检验一次；对放射性测量仪器的最小探测限或各分析项目的方法探测限每年核实一次。

— 仪器质控图

用正常工作状态下的上述性能检验数据，对  $\gamma$  谱仪、低本底  $\alpha/\beta$  测量仪、低本底氡测量仪的本底、效率值（ $\geq 12$  个数据）做仪器质控图，若仪器本底、效率超过质控图的质控范围（ $X \pm 3\sigma$ ），应查明原因，及时采取措施，确保测量仪器处于正常的工作状态。

(7) 实验室分析测量的质量控制

— 分析测量方法

按照环境监测组相应的技术规程进行测量分析和数据处理，任何操作人员不得擅自修改常规采用的方法和程序，如有修改的必要，应先经调研确定，修改程序生效后，再按新方法执行。

— 样品复检率

环境样品  $\gamma$  核素分析（除碘盒样品外）复检率  $\geq 10\%$ ，淡水总  $\beta$ 、氡样和气态 C-14 样品测量复检率  $\geq 10\%$ ；复检样品应分布在各类样品中。其他样品，当发现异常时，应及时复检。

— 平行样分析

环境样品  $\gamma$  核素分析、总  $\beta$  测量和环境水氡平行样分析  $\geq 10\%$ ，要求分布在各类样品之中；平行样测量的相对偏差小于标准分析方法规定的标准偏差的两倍。

— 空白本底

环境水氡样每批样品测量空白本底。

环境气溶胶样品测量（总  $\alpha$ 、总  $\beta$ ）前，测量空白滤膜本底。

— 放化分析

测定加标回收率，检验测量结果的准确性；

环境  $^{90}\text{Sr}$  样品，平行样分析  $\geq 10\%$ ；

事故情况下的  $^{90}\text{Sr}$  样品，100% 做平行样分析。

— 防止样品交叉污染



在制样、分析和测量过程中，淡水与海水样品应尽量分开进行。

— 生活污水分析

生活污水分析每一批样品至少做一组平行样，相对偏差应小于 10%；

生活污水分析 BOD<sub>5</sub>，每一批样品做两个分析空白试样；

生活污水分析 COD<sub>Cr</sub>、总磷和氨氮，每一批样品至少做一组质控样。

(8) 内部比对

— 不定期地组织实验室内部比对工作；

— 不定期发放环境样品（盲样），对实验室工作人员考核。

**8.4.2.1.2 外部质量控制**

— 按照公司《承包商管理导则》、《供应商管理》等程序的有关规定，对承接环境监测项目的外包单位，必须具备相应的监测资质，质保体系及人员资历能满足所承接项目的要求；

— 尽可能参加国内外机构组织的实验室之间比对；比较鉴别本实验室的测量误差是否在合格范围内，从中发现可能存在的系统误差，及时采取措施加以改进，确保测量的准确性；

— 加强信息交流，关注国际、国内有关监测标准、规范、方法和理论概念的变化，及时使用国家和行业新的监测标准和规定；

— 加强与地方环保部门之间的技术交流，不定期地与地方环保部门的实验室进行样品比对；

— 加强与其他核电环境监督部门之间的技术交流，不定期地与其他核电环境实验室进行样品比对；

— 不定期地抽取部分样品送权威机构外检；

— 每年 KRS 系统与辐射环境现场监督性监测系统的监测站进行比对测量；

— 尽可能采购 IAEA 等权威机构研制的标准参考物质；

— 实验室计量器具定期由国家计量部门或有资质的计量检定单位进行检定，保证测量值的可靠性。

**8.4.2.2 流出物监测质量保证计划**

#### 8.4.2.2.1 内部质量控制

##### （1）流出物排放的取样规定

- 对电厂所有流出物排放的取样，应严格按照相应的取样程序要求执行；
- 在 KRT008/009/028MA 和 KRT016/017/020/021MA 处取样时，应悬挂“正在取样”的提示牌；
- 样品取好后，及时贴上标签，记录和标识要清晰、完整。

##### （2）流出物样品制样与测量规定

- 取回样品应及时测量；测量前，首先确认仪器处于可用状态；对连续排放碘盒样品应先测量  $\gamma$  谱，后测量总  $\gamma$ ；
- 所有样品的体积、质量测量必须使用量筒、天平等衡量器具；
- 对于 SEL 样品，应先制备氡样、后测 pH 值和总  $\gamma$ ；如果总  $\gamma$  大于检出限，更换样品瓶再测量，若仍大于检出限，及时报告环境监督主管工程师和查找原因，必要时进行  $\gamma$  谱测量；
- 若 SEL 样品的氡活度大于  $1.0E+05 \text{ Bq/m}^3$  时，样品需复测后再报结果；
- 每周应对 SEL 样品至少进行 1 次平行样分析，确保 SEL 平行样数量大于 5%；
- 对于每月第一罐 TER 样品，需进行一次平行样全分析；
- TER 样品测量中，对重点关注的核素（如： $^{110m}\text{Ag}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{58}\text{Co}$  等）应先确认有无峰值，然后再抄结果；
- 测量 TER 总  $\gamma$  时，严格遵守内部控制值，若超出内部控制值，及时向环境监督主管工程师汇报；
- 液闪谱仪质控标准样品测量值与标准值的相对偏差应小于 10%（期望值为小于 5%）；相对偏差大于 10% 时样品测量数据不可信，需及时采取措施；
- TER 接收氡量每罐一般不超过  $3\text{TBq}$ ，特殊情况下根据机组运行情况作临时调整；
- 每月至少对气态流出物的  $^3\text{H}$  和  $^{14}\text{C}$  进行 1 次平行样取样（通过 2 号机取样通道）和分析。

##### （3）流出物样品处理规定

- 流出物样品测量完毕后需暂存，待环境监督主管工程师或岗位负责人完成数据审核且无特殊要求后再进行处理。

（4）测量数据记录规定

- 在记录测量数据前，先按附录 2 自查步骤进行自查，严格遵照管理限值和内部控制值，确认数据无误后，在原始数据表格内做好记录；
- 修改错误数据时，在原数字上画一条横线表示删除，同时应保留数据字迹清晰可辨，并签注修改人姓名及修改日期；
- 填写电子排放申请单数据，分析人首先自查数据无误后再提交，并及时通知环境监督主管工程师检查数据。

（5）测量项目正常值参考范围及预警值

- 防城港核电厂正常运行以后，进行测量数据统计，给出流出物监测各项目的正常值参考范围。
- 根据流出物排放量管理目标值和上一年度排放体积，计算给出 TER 废液和烟囱连续排放样品的核素浓度预警值，当样品浓度大于预警值时应采取必要措施，防止流出物排放量超出管理目标值或排放限值。

（6）测量数据的检查及异常情况处理

- 为确保流出物分析数据准确、无误，数据校核或审核人员需仔细审查所有数据，并对其签字后的数据负责；流出物月报数据统计报表实行三级检查，各级对其签字后的月报数据负责。

（7）仪器性能定期测试

- 高纯锗  $\gamma$  谱仪

本底：每周测 1 次；

分辨率：每周测 1 次，用  $^{60}\text{Co}$  点源和  $^{137}\text{Cs}$  点源同时测量。

- NaI  $\gamma$  谱仪

能量刻度：每周 1 次，用  $^{137}\text{Cs}$  点源；

本底：每周测 1 次（在能量刻度后）。

- 液闪测量仪

本底、效率测量：每周用厂家提供的标准源和本底放在 SNC 架子上测量，测量时间仪器内自动设置，自动存盘；

每月第一周，用电厂除盐水（SED）配制 TER、SEL、气态  $^{14}\text{C}$  本底样各一个，分别放置于对应的测量架内测量。

- iMatic 无气流  $\alpha/\beta$  测量仪

本底、效率测量：每周用标准源对仪器进行测量检查。

- pH 计

每周用 pH 标准液进行两点刻度，并给出仪器状态评价。

- 仪器质控图

用正常工作状态下的上述性能检验数据，对  $\gamma$  谱仪、液闪谱仪、 $\alpha/\beta$  测量仪的本底、效率值做仪器质控图，若仪器本底、效率超过质控图的质控范围 ( $X \pm 3\sigma$ )，应查明原因，及时采取措施，确保测量仪器处于正常的工作状态。

应对各类测量仪器进行年度检定或校准，下次检定或校准日期需在仪器检定或校准的有效期内，如超过有效期，则需对在此期间测量数据的有效性进行评价。对于送检的仪器，运回到实验室后需进行检验。

#### (8) 仪器刻度

应每年对流出物实验室各类测量仪器进行一次效率刻度，其测量值与标准值偏差参考值如下：

- 液闪谱仪：本年度仪器效率与上年度仪器效率偏差在  $\pm 5\%$  以内为合格；
- 高纯锗  $\gamma$  谱仪：对所有分析项目进行效率刻度，其标准源测量值与标准值偏差在  $\pm 5\%$  以内为合格；
- NaI  $\gamma$  谱仪：标准源测量值与标准值偏差在  $\pm 10\%$  以内为合格，期望值为  $\pm 5\%$ ；
- iMatic 无气流  $\alpha/\beta$  测量仪：本年度仪器效率与上年度仪器效率偏差在  $\pm 10\%$  以内为合格，期望值为  $\pm 5\%$ 。

流出物实验室各类测量仪器的最小探测限或各分析项目的方法探测限应每年核实一次。

#### (9) 内部比对

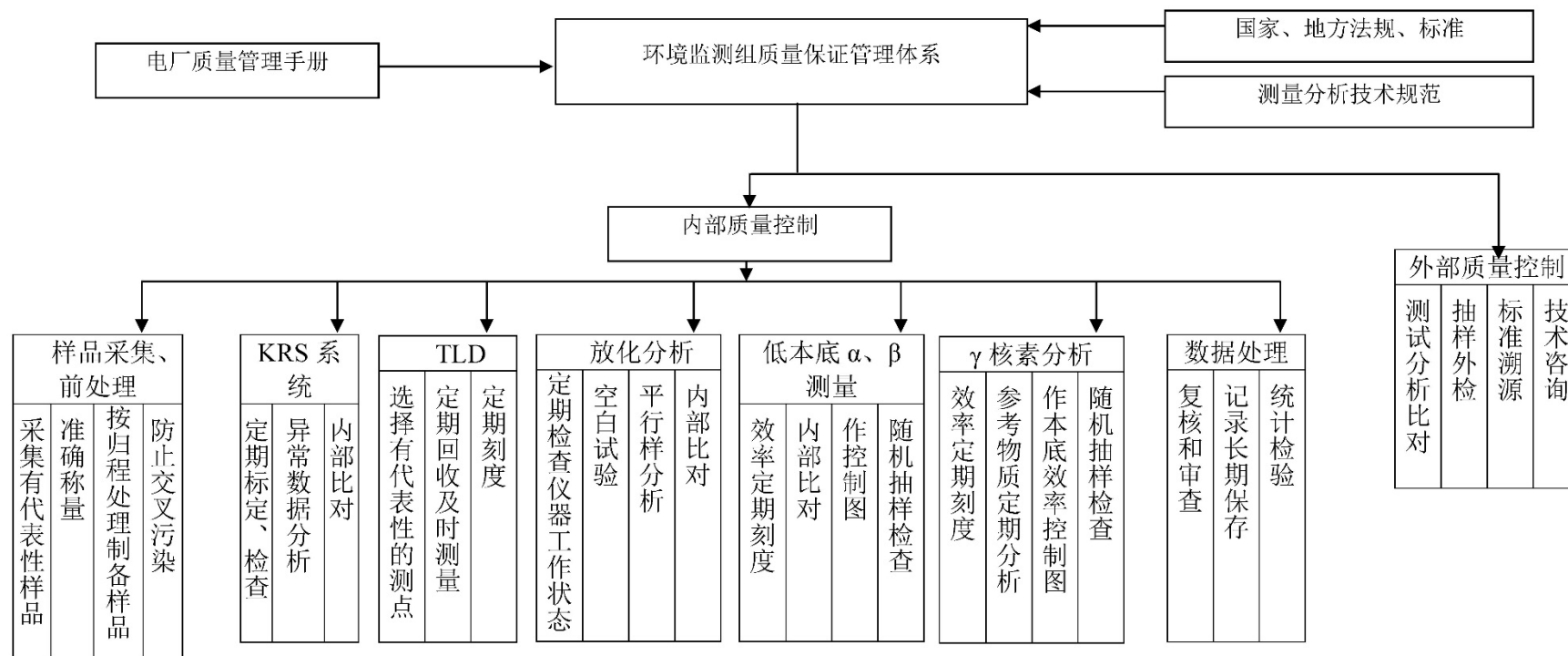
- 不定期地组织实验室内部比对工作；
- 不定期发放流出物样品（盲样），对实验室工作人员考核。

#### 8.4.2.2.2 外部质量控制

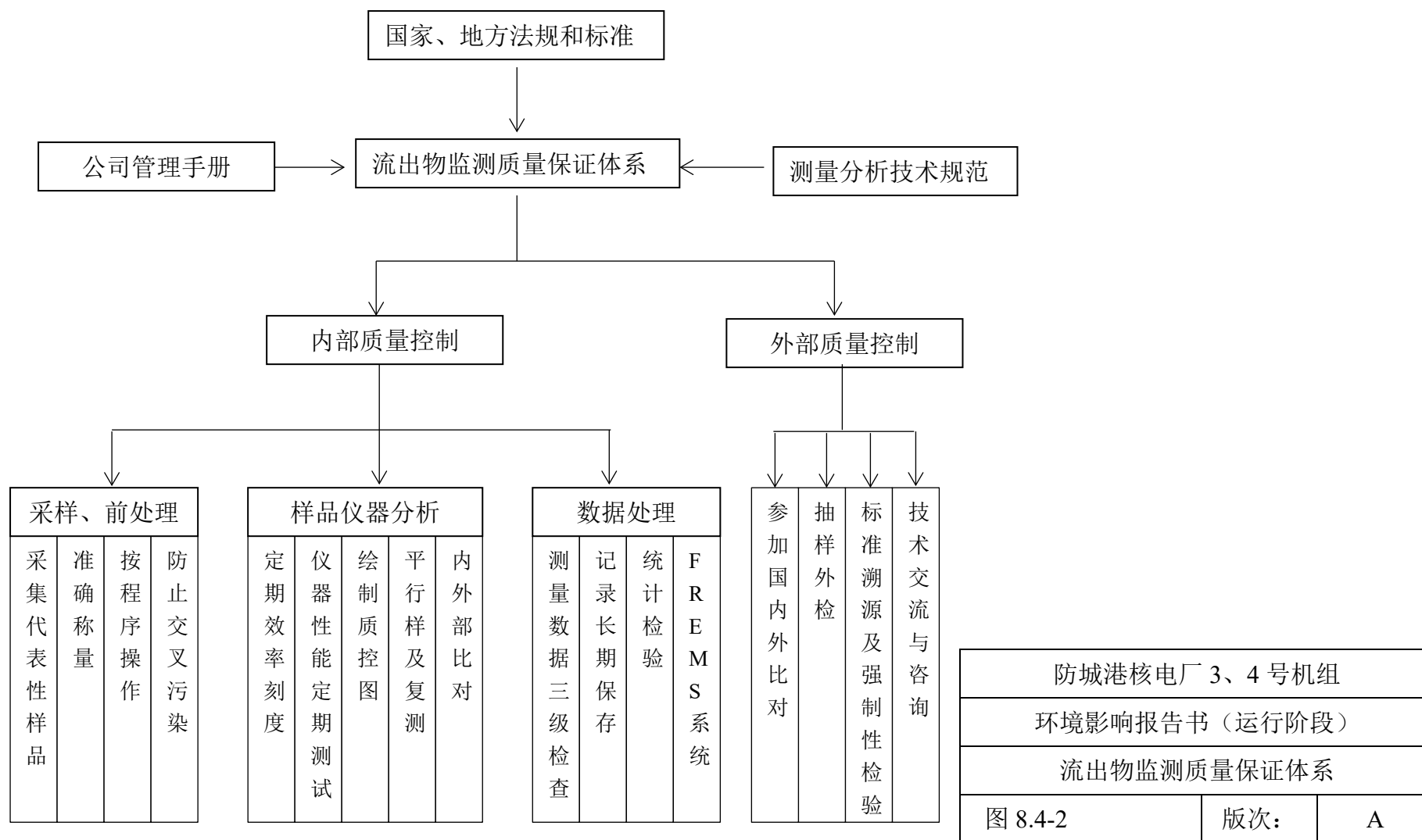
- 尽可能参加国内外机构组织的实验室之间比对；比较鉴别本实验室的测量误差是否在合格范围内，从中发现可能存在的系统误差，及时采取措施加以改

进，确保测量的准确性；

- 加强信息交流，关注国际、国内有关监测标准、规范、方法和理论概念的变化，及时使用国家和行业新的监测标准和规定；
- 加强与地方环保部门之间的技术交流，不定期地与地方环保部门的实验室进行样品比对；
- 加强与其他核流出物监测部门之间的技术交流，不定期地与其他核流出物实验室进行样品比对；
- 不定期地抽取部分样品送权威机构外检；
- 实验室计量器具定期由国家计量部门或有资质的剂量检定单位进行检定，保证测量值的可靠性。



防城港核电厂 3、4 号机组		
环境影响报告书（运行阶段）		
环境监测质量保证体系		
图 8.4-1	版次：	A



## 第九章 利益代价分析

### 9.1 利益分析

### 9.2 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

## 9.1 利益分析

### 9.1.1 运行带来的直接利益

3、4 号机组采用华龙一号技术方案。单台机组额定电功率为 1187.6 兆瓦，正常年份 2 台机组的年上网电量可达 1533.5 万兆瓦时。运行寿期 60 年内上网电量约 92010 万兆瓦时，预计缴给政府税金累计共达数百亿元。核电厂在其整个商业运行寿期内，将取得显著的经济利益。

### 9.1.2 建设和运行带来的间接利益

#### 9.1.2.1 对周边环境的利益

核电给环境带来的间接效益主要来自于其替代燃煤发电带来的减排效应，煤炭燃烧的主要污染物是 CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 以及烟尘等。本项目的建成可有效替代燃煤机组，大量减少 CO<sub>2</sub> 排放量。

按照 CO<sub>2</sub> 减排因子为 800 克/kw·h 考虑，本项目投产后正常年份可实现 CO<sub>2</sub> 减排约 1200 万 t，CO<sub>2</sub> 减排效益参考近期国内 CO<sub>2</sub> 排放权交易价格，取 50 元/t，正常年份内 CO<sub>2</sub> 减排可实现经济效益约 6 亿元。

根据等价标准煤耗 0.404 kg/(kw·h)，煤的 SO<sub>2</sub> 排放系数为 0.0204 tSO<sub>2</sub>/tce，NO<sub>x</sub> 排放系数为 0.0171 tNO<sub>x</sub>/tce，粉尘排放系数为 0.02 t/tce，3、4 号机组运行寿期 60 年内减排量分别为 7.58×10<sup>6</sup>t、6.36×10<sup>6</sup>t 和 7.43×10<sup>6</sup>t。

3、4 号机组运行寿期 60 年内减排 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和粉尘带来的环境效益，按照国家发改委确定的脱硫、脱硝、除尘电价估算，分别为 0.015 元/（kw·h）、0.01 元/（kw·h）和 0.02 元/（kw·h），则减排效益货币化为 1.38×10<sup>10</sup> 元、0.92×10<sup>10</sup> 元和 1.84×10<sup>11</sup> 元。

#### 9.1.2.2 对关联产业的利益

核电投资建设对相当多产业形成了直接和间接拉动。根据测算，1 元的核电建设投资，对关联产业的拉动作用如下：一是对 42 个行业门类中的 37 个行业产出的拉动作用超过 0.01 元；二是对通用、专用设备制造业等 14 个行业产出的拉动作用超过 0.1 元。

核电生产运营也对相关产业产生较强的拉动，1 元的核电产出将拉动主要行业的产出增长为：石油加工、炼焦及核燃料业 0.11 元，农业 0.10 元，化学工业 0.08 元，

金融保险业 0.08 元。

### 9.1.2.3 对区域经济的利益

核电项目能够为地方创造大量的就业机会，不仅在建设期需要大量的不同层次的劳动力，而且运行期间也能直接或间接的提供大量的就业岗位。

### 9.1.2.4 对社会发展的利益

3、4 号机组的建设将有利于实现广西壮族自治区能源供应多元化，提高能源自给率，保障能源安全和实现经济可持续发展，有利于缓解广西壮族自治区能源需求和节能减排所带来的双重压力。

3、4 号机组的建设和运行也可促进当地经济发展和提高人民的生活水平，同时可改善电厂所在地区的交通以及其它市政设施条件，优化投资环境，对拉动地方经济的增长和促进地方经济的繁荣发展有积极的意义。

核电厂职工的货币购房和生活消费等，有利于当地的房地产业、零售业、通讯、教育、医疗卫生及其他市政设施和社会福利事业的发展，繁荣当地经济。

随着 3、4 号机组的建设和运营，一大批有高学历背景的各方面人才和专家集聚，有利于优化当地的人力资源结构，为当地的文化繁荣和进步作出贡献。

## 9.2 代价分析

### 9.2.1 直接代价

### 9.2.2 间接代价

## 9.2 代价分析

### 9.2.1 直接代价

#### 9.2.1.1 电厂建设的经济代价

3、4 号机组是扩建工程，将共用大量厂区前期工程建设的设施，因此本工程的建设经济代价相对较小。

#### 9.2.1.2 电厂运行的经济代价

核电厂运行每年需要核燃料费、折旧费、摊销费、修理费、运行维护费，退役及后处理费等运行成本，此外，电厂运行期间还应缴纳税金、还贷利息，并偿还贷款本金。

核电厂运行中产生的放射性废物的处理，中低放固体废物、乏燃料均将按照国家规定严格处置，放射性废物处理和处置、乏燃料处置相关费用，将计入运行成本。

核电厂退役需支付费用，退役基金总额将按核电厂建设工程固定资产原值的 10% 提取，在电厂投入商业运行后第一年提取，存入电厂退役资金专户。

### 9.2.2 间接代价

#### 9.2.2.1 社会代价

3、4 号机组的建设和运行，不仅要解决电厂职工的饮食、居住、交通和子女受教育、就业等实际问题，而且还会给当地带来一系列急待解决的社会问题。

##### — 交通运输问题

核电厂的运输包括施工期间设备、大型设备、建筑材料的运输；运行期间的换料、乏燃料、固体废物运输；正常的人员进出等，其运输量非常大，不可避免增加当地的运输负担。

##### — 电厂建设对当地市政建设设施产生的影响

3、4 号机组的建设和运行，使厂址所在地区的人口数量有所增加，这势必造成医疗、学校、商业和基础设施如道路、供排水等市政工程和生活服务设施的紧张局面，加重了当地政府的负担。

##### — 对当地社会安全、稳定的影响

核电厂建设期间将不可避免地带动当地第三产业的发展，同时也会引起当地人口

数量的增加，从而影响当地的社会秩序、安全和稳定。为使当地有一个安定的生活环境和经济持续发展的社会环境，当地政府须增加治安、社会服务等方面的投入。

#### — 设置规划限制区的影响

以反应堆为圆心，在厂址半径 5km 范围设置规划限制区，在该区域内，人口机械增长、大的集中居民点建设和大型企事业单位的建设和发展将会受到限制。核电厂的建设会对规划限制区内居民的经济活动带来一定影响。

### 9.2.2.2 环境代价

本期工程的建设将造成厂址区域生态环境的变化，主要表现在核电厂的建设将在规划区内占用土地，其表土和植被需要剥离，这将影响当地植物资源量和动物的生存环境。通过核电厂建设工程中有计划的绿化和植被恢复，将对受到影响的陆域生态环境进行有效的修复。核电厂建成后，当地原有的农业和林业生态环境将被更为优美的人工景观环境所替代。

本期工程建成运行后，会向环境释放放射性物质。为了控制并确保核电厂在正常运行和事故期间向环境释放的放射性物质低于国家标准，从而保障电厂工作人员和周围居民的安全，核电厂设置了各种放射性废物净化和处理系统、剂量监测系统、屏蔽防护及应急设施等。

本期工程建成运行后，在发生放射性泄漏事故的情况下，会有一些量的气载放射性流出物排放，对周围环境产生影响。气载放射性流出物对核电厂周围环境产生辐射影响，并通过污染空气浸没外照射、地面沉积放射性外照射、吸入污染空气内照射和食入污染陆生动植物产品内照射对厂址周围公众产生一定的剂量影响。根据本报告对事故的评价结果，发生事故时气载放射性流出物对周围公众产生的影响很小，满足国家有关标准。

为了控制并确保核电厂在正常运行和事故期间向环境释放的放射性物质低于国家标准，从而保障电厂工作人员和周围居民的安全，核电厂设置了各种放射性废物净化和处理系统、剂量监测系统、屏蔽防护及应急设施等。在核电厂发生放射性泄漏事故时，营运单位将及时启动应急计划，确保核电厂对周围环境的影响尽可能降低到最小。

为达到保护环境及人身安全的目的，核电厂必须对放射性三废进行严格的治理。因此，核电厂专门设置了废液、废气和固体废物处理和贮存设施、以及放射性流出物

监测、环境监测和事故应急设施，尽可能降低放射性废物对公众的照射。

- 环境监测：核电厂设置环境监测系统，对电厂运行期间的环境状况进行监测，同时为检验放射性废物处理系统是否满足要求提供对照测量，电厂环境监测设施包括：辐射监测设备、数据采集及试验仪表、气象数据采集设施和环境放射性监测设备等。
- 流出物监测：核电厂设置流出物监测系统，对电厂运行期间的气载和液态流出物进行监测，用于测量流出物中放射性物质的种类和数量，为判断核电厂放射性排放是否满足国家标准限值或运行限值提供依据。
- 应急设施：核电厂除考虑正常运行情况下的环境保护和人身安全外，还考虑了在事故状态下人员的紧急疏散和医疗措施。

防城港核电厂环境监测、流出物监测、应急设施维护等为保护环境产生的费用将计入电厂运行成本。

## 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 公众参与和调查结论

### 10.7 承诺



## 10.1 核电厂建设项目

防城港核电厂址位于防城港市港口区光坡镇东面约 8km 的红沙漓南侧光岭至山鸡啼一带。防城港核电厂规划建设六台百万千瓦级压水堆核电机组，1、2 号机组为两台 CPR1000 压水堆核电机组，本期工程 3、4 号机组为两台华龙一号压水堆核电机组。广西防城港核电有限公司负责核电厂的建设和运营管理。

2015 年 6 月 5 日，原环境保护部批复了防城港核电厂 3、4 号机组的选址阶段环境影响报告书（环审[2015]136 号）；2015 年 12 月 23 日，原环境保护部批复了防城港核电厂 3、4 号机组建造阶段环境影响报告书（环审[2015]262 号），随后，国家核安全局颁发了防城港核电厂 3、4 号机组的建造许可证。

按照现有工程进度计划，防城港核电厂 3 号机组计划于 2021 年 12 月具备首次装料条件，2022 年 4 月投入商业运行。

分析和评价结果表明，防城港核电厂 3、4 号机组环境保护设施的设计性能是可靠的，电厂建设的影响是可以接受的，设计基准事故工况下对公众造成的放射性后果能够满足相关标准要求，建设与运行期间环境风险可控。

## 10.2 环境保护设施

防城港核电厂 3、4 号机组采用华龙一号技术方案，根据设计资料：

（1）每台机组设置一套废气处理系统（TEG），采用滞留床延时衰变的方式进行放射性废气的处理。

（2）在烟囱排放管线上设置了监测通道和相关的取样通道（包括氙取样和 C-14 取样），在监测通道上将分别设置两级排放报警阈值，以保证对放射性气载流出物排放的有效控制。

（3）每台机组设置一套冷却剂贮存和处理系统（TEP）。该系统通过脱气、蒸发、除盐等净化设施，保持了对反应堆冷却剂良好的去污能力。

（4）每两台机组共用一套废液处理系统（TEU）。实现了对放射性废液的分类收集和处理。TEU 采用过滤、蒸发和除盐等较为成熟的处理工艺对放射性废液进行处理，以确保处理后排放的液态流出物浓度和总量满足国家有关标准的要求。

（5）核岛废液排放系统（TER）和常规岛废液排放系统（SEL），各自分别设计有废液贮存罐。废液采用槽式排放的方式，经取样分析合格后才予以排放。在 TER

和 SEL 排放管线上将分别设置两级报警阈值，通过取样监测和在线监测两重控制的方式，可以保证对核电厂核岛和常规岛所排放的液态流出物进行有效控制。

（6）采用较为成熟的水泥固化工艺和分拣压缩打包工艺对固体废物进行处理。QS/QT 厂房按照满足六台机组 5 年产生的固体废物中期贮存要求设计，一期工程已建成。

（7）为了加强对核电厂运行后辐射环境的监测，核电厂依据厂址周围的环境特征设计建成统一的厂区环境辐射与气象监测系统（KRS），并建立有效的环境监测大纲。

总体而言，防城港核电厂 3、4 号机组工程环境保护设施的设计性能可以满足环境保护的要求。

### 10.3 放射性排放

国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）要求核动力厂必须按每堆实施放射性流出物的年排放总量控制，对于同一堆型的多堆厂址，全厂所有机组的年总排放量应控制在单堆排放控制值的4倍以内。根据国家标准的要求，防城港核电厂3、4号机组将严格按照国家标准的排放控制要求进行总量控制。将3、4号单台机组以及1~4号4台机组的各类放射性流出物年排放量与GB6249-2011相应总量控制值进行比较，结果表明各类放射性流出物的年排放量均能满足国家标准GB6249-2011的总量控制要求。

国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）对核动力厂放射性流出物排放除规定了总量控制要求外，对于滨海厂址，还要求槽式排放口处的放射性流出物中除氡和 C-14 外其它放射性核素的浓度不超过 1000Bq/L。

防城港核电厂 3、4 号机组的废液处理系统采用成熟处理工艺，选用成熟模块化的设备，处理后的废液能达到系统设计目标要求的排放浓度 1000Bq/L。此外，在液态排放口处设置取样监测和在线监测系统，当排放废液中除氡和 C-14 外其它放射性核素的浓度超过排放浓度控制值时，放射性废液将被重新返回到系统进行再处理，满足要求后才允许排放。因此，电厂实际运行过程中的除氡和 C-14 外其它液态放射性核素排放可以满足国标中规定的 1000Bq/L 浓度控制要求。

## 10.4 辐射环境影响评价结论

### （1）正常运行期间的辐射环境影响

根据正常运行工况下（包括预期运行事件）设计排放量，核电厂运行造成的环境和公众辐射剂量的结果分析表明：

- 防城港核电厂 3、4 号机组及 1~4 号 4 台机组运行状态下，放射性流出物对于一般公众（成人）个人造成最大有效剂量的居民点位于厂址 NNE 方位 1~2km 子区，造成的最大年有效剂量增量分别为  $5.92 \times 10^{-7} \text{Sv}$  和  $3.37 \times 10^{-6} \text{Sv}$ 。
- 关键人群组为位于厂址 SSW 方位 1~2km 沙螺辽村的滩涂养殖渔民，核电厂放射性流出物排放对关键人群组个人造成的有效剂量为  $8.19 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ 。可能的关键照射途径为食入陆生食品内照射，其它重要照射途径为食入海产品内照射和岸边沉积外照射，可能的关键核素为  $^{14}\text{C}$ ，其它重要核素为  $^{60}\text{Co}$ 。
- 防城港核电厂 1~4 号 4 台机组正常运行状态下，液态放射性流出物排放对排放口附近海域海洋生物造成的辐射剂量率最大为  $0.304 \mu\text{Gy/h}$ ，低于 ERICA 程序推荐的  $10 \mu\text{Gy/h}$  剂量率筛选值，因此，可以认为防城港核电厂 1~4 号 4 台机组运行状态下，液态放射性流出物排放不会对排放口附近海域的海洋生物在种群上造成明显的损伤。
- 液态放射性排放造成核素  $^{60}\text{Co}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{134}\text{Cs}$  和  $^{137}\text{Cs}$  在排放口处海域峰值浓度分别为  $1.61 \times 10^{-3} \text{Bq/L}$ 、 $1.71 \times 10^{-6} \text{Bq/L}$ 、 $1.57 \times 10^{-6} \text{Bq/L}$ 、 $2.05 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$  和  $2.09 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ ，均满足《海水水质标准》（GB3097-1997）中相应的浓度限值要求。
- 基于电厂设计资料和 GB6249-2011 要求，防城港核电厂提出的 3、4 号机组运行前，全厂 4 台机组的放射性流出物年排放量申请值为：惰性气体  $696.52 \text{TBq}$ 、气载碘  $6.4276 \text{GBq}$ 、粒子  $3.11652 \text{GBq}$ 、气载碳 14  $1.576 \text{TBq}$ 、气载氚  $19.66 \text{TBq}$ ；液态氚  $177 \text{TBq}$ 、液态碳 14  $134.8 \text{GBq}$ 、液态其余核素  $49.954 \text{GBq}$ 。该申请值不超过电厂流出物排放设计值，可以满足相关法规要求，其对环境的辐射影响也可以接受。

防城港核电厂 4 台机组运行状态下，就放射性流出物的排放控制和公众所受剂量而言，可以满足国家标准的相应要求。而就放射性流出物排放造成的环境辐射影响而言，对海洋生物的辐射影响有限，是可以接受的。

## （2）设计基准事故工况下的辐射环境影响

- 对于 DBC-4 工况。失水事故（LOCA）对非居住区边界上公众造成的有效剂量、甲状腺剂量最大，分别为  $5.02 \times 10^{-3} \text{Sv}$  和  $2.76 \times 10^{-2} \text{Sv}$ ，占国家标准 GB6249-2011 极限事故相应限值的 5.02%和 2.76%；
- 对于 DBC-4 工况，失水事故（LOCA）对规划限制区外边界上公众造成的有效剂量和甲状腺当量剂量最大，分别为  $4.30 \times 10^{-3} \text{Sv}$  和  $1.98 \times 10^{-2} \text{Sv}$ ，占国家标准 GB6249-2011 极限事故相应限值的 4.30%和 1.98%。
- 对于 DBC-3 工况，蒸汽发生器一根传热管破裂（SGTR-1）对非居住区边界上公众造成的有效剂量和甲状腺当量剂量最大分别为  $3.18 \times 10^{-4} \text{Sv}$  和  $5.23 \times 10^{-3} \text{Sv}$ ，占国家标准 GB6249-2011 稀有事故相应限值的 6.36%和 10.46%；
- 对于 DBC-3 工况，蒸汽发生器一根传热管破裂（SGTR-1）对规划限制区外边界上公众造成的有效剂量和甲状腺当量剂量最大为  $6.27 \times 10^{-5} \text{Sv}$  和  $1.02 \times 10^{-3} \text{Sv}$ ，占国家标准 GB6249-2011 稀有事故相应限值的 1.25%和 2.04%。

从各类设计基准事故的放射性后果分析可以看出，防城港核电厂 3、4 号机组的专设安全设施的设计性能可靠，厂址周围各类边界的设置是合理的，电厂设计基准事故导致的环境放射性后果满足 GB6249-2011 的相应要求。

## 10.5 非辐射环境影响评价结论

### — 施工期环境影响

防城港核电厂 3、4 号机组工程建设期间对周围环境的影响主要是：土石方工程负挖、运输以及其他活动造成的陆域和海洋生态的影响、水土流失的影响、噪声的影响、地表水环境的影响、大气环境的影响，以及施工固体废弃物对环境的影响。电厂施工期间，建设单位采取了一系列环境保护措施控制环境影响。从施工期环境监测结果来看，施工活动给环境带来的影响是局部的、短期的。随着工程竣工，施工期环境影响将消失。

### — 运行期间环境影响

#### （1）散热系统运行的影响

经过比选，取排水工程推荐方案为：继续采用“东取南排，明渠取水，明取排水”的直流方案。即取水采用港池方式，一次建成，港池内分期开挖与外海-7.0m 等深线

直接相通的引流槽，引流槽底标高均为-7.9m；排水采用明渠方式，渠长 6.2km，一次建成，出口底标高-4.7m。

根据防城港核电厂 4 台机组温排水影响的模拟研究成果，冬、夏季大、中、小潮全潮最大温升外包络区域与近岸海域环境功能区划比较可以看出：电厂共 4 台机组温排水共同作用下，温排水造成的海水升温均满足相应近岸海域环境功能区划的水温管理要求，与近岸海域环境功能区划相符。

经分析评价，防城港核电厂温排水引起的温升对本海域的初级生产力、底栖生物、渔业资源不会产生明显影响，对钦州湾内的红树林造成的影响有限，不会对厂址南侧的北部湾二长棘鲷长毛对虾国家级种质资源保护区内的长毛对虾和二长棘鲷产生明显影响。防城港核电厂取水卷吸效应对海洋鱼虾类的影响程度远小于海洋鱼虾类在自然条件下的死亡程度，卷吸效应造成的影响是有限的。

## （2）其他非辐射影响

防城港核电厂 3、4 号机组工程投产运行后对环境的其它影响主要包括，电厂向海域排放的化学物质、海水加氯处理的余氯、排放的非放射性污水以及暂时贮存的固废，噪声和电磁对环境造成的影响。

根据预测，余氯对海洋生物的安全浓度影响范围仅限于电厂排水口附近的局部海域，光照引起的余氯衰减以及核电厂附近海域较高的 pH 值均会降低余氯毒性，实际情况中，防城港核电厂 3、4 号机组排放水中余氯对附近海域中海洋生物的影响有限。核电厂正常运行期间的含油废水经处理后排放，且排放量极少，不会对周围海域造成明显影响。

防城港核电厂 3、4 号机组生活区和厂区生活污水经处理后执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》中的一级 A 标准排放，非放射性废水不会对附近海洋环境造成明显的影响。

核电厂在正常运行过程中因设备的维修、零部件的损坏等会产生一定量工业固废，核电厂内人员会产生生活垃圾，在落实固废收集和处置工作后，本工程的非放射性固废对环境的影响较小。

防城港核电厂 3、4 号机组运行期间的噪声主要来自汽轮机厂房、循环水泵房、空气压缩机房等厂房内的汽轮机、发电机、循环水泵、送风机及引风机等设备的运转

以及变压器区域的主变压器的运行。经预测，本工程运行对周围环境产生噪声影响符合标准要求。

本工程接入已建成的 500kV 配电装置线路运行工频电场、磁场均满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中 4000V/m 和 100 $\mu$ T 的限值要求。

## 10.6 公众参与和调查结论

广西防城港核电厂有限公司在前阶段的工程建设过程开展的多种形式的公众参与工作，包括开展核电知识宣传、公众意见问卷调查、召开座谈会和专家咨询等活动，公众参与活动过程中对公众的反馈意见通过召开座谈会及专家咨询会及时与公众进行了沟通和解答，获得了公众对防城港核电厂建设的理解和支持。

本阶段环境影响评价已开展首次信息公告工作。

## 10.7 承诺

（1）考虑到防城港核电厂 3、4 号机组为新型机组的首次装料，机组运行后的工作人员实际运行经验可能存在欠缺，目前在申请放射性流出物排放量时考虑了给机组运行和后续机组建设留有一定的裕量。电厂营运单位将加强对电厂运行后放射性流出物排放实践的总结与反馈，按照相关法规要求和可合理达到尽量低的原则，对流出物排放量申请值持续优化。

（2）核电厂运行期间做好环保设施的运行维护，确保达标排放。