

广东陆丰核电 5、6 号机组

# 环境影响报告书

(选址阶段)

中广核陆丰核电有限公司

二〇二〇年十一月

广东陆丰核电 5、6 号机组

# 环境影响报告书

(选址阶段)

中广核陆丰核电有限公司

法定代表人：马捷

地址：广东省汕尾市城区海宁路

邮政编码：516600

广东陆丰核电 5、6 号机组

# 环境影响报告书

(选址阶段)

苏州热工研究院有限公司 编制

# 目 录

## 前言

## 第一章 概述

- 1.1 建设项目名称和建设性质
- 1.2 建设项目规模和厂址总体规划
- 1.3 建设项目经费
- 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-电力转换系统
- 4.3 核电厂用水和散热系统
- 4.4 输电系统
- 4.5 专设安全设施
- 4.6 放射性废物管理系统和源项
- 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 施工影响的控制

## 第六章 核电厂运行的环境影响

- 6.1 散热系统的环境影响
- 6.2 正常运行的辐射影响
- 6.3 其它环境影响

## 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 场内运输事故
- 7.3 其它事故
- 7.4 事故应急

## 第八章 流出物监测和环境监测

- 8.1 辐射监测
- 8.2 其他监测

8.3 监测设施

8.4 质量保证

## 第九章 厂址比选

9.1 选址过程

9.2 候选厂址评价与比选

9.3 推荐厂址评价

## 第十章 利益代价分析

10.1 利益分析

10.2 代价分析

## 第十一章 结论与承诺

11.1 核电厂建设项目

11.2 环境保护设施

11.3 放射性排放

11.4 辐射环境影响评价结论

11.5 非辐射环境影响评价结论

11.6 公众参与和调查结论

11.7 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 环境保护设施

### 1.10 评价范围

1.1 建设项目名称和建设性质

1.1.1 建设项目名称及其业主

1.1.2 建设性质

## 1.1 建设项目名称和建设性质

### 1.1.1 建设项目名称及其业主

本建设项目名称为广东陆丰核电 5、6 号机组，申请建造的核电机组为广东陆丰核电 5、6 号两台百万千瓦级华龙一号技术融合方案压水堆核电机组，由中广核陆丰核电有限公司负责建设和运营。

### 1.1.2 建设性质

本项目广东陆丰核电 5、6 号机组为新建商用核电项目。

## 1.2 建设项目的规模和厂址总体规划

陆丰核电厂全厂规划建设 6 台百万千瓦级压水堆核电机组，5、6 号机组建设 2 台华龙一号技术融合方案核电机组。中广核陆丰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。为了实现专业化、集约化和科学化的工程建设，中广核陆丰核电有限公司将委托中国广核集团下属的专业化公司中广核工程有限公司进行工程总承包，深圳中广核工程设计有限公司作为陆丰核电 5、6 号机组的设计总包院，负责本期工程项目的工程前期咨询、总体设计、初步设计和主要的施工图设计，负责组织和协调分包设计单位共同完成施工图设计，以及工程建设各阶段的相关技术服务。

陆丰核电厂为了对厂址内所有核电机组实施高效、安全的管理，实行辐射防护最优化，对电厂所有机组与环境保护相关的设施进行统筹安排，包括：

- 综合考虑电厂非居住区边界和规划限制区边界的设置；
- 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和设施；
- 针对所有机组实施统一的流出物排放管理、设置统一的环境监测中心和应急指挥中心等。

## 1.3 建设项目的经费

广东陆丰核电 5、6 号机组建设两台华龙一号核电机组，由中广核陆丰核电有限公

司负责建设和运营，负责筹措建设所需资金和债务偿还。

## 1.4 建设目的

### a) 符合国家能源发展的产业政策

核能已成为人类使用的重要能源，是目前可以被大规模商业使用并可以替代化石燃料的成熟清洁能源。在保证安全的前提下，稳步高效推进核电建设，是我国能源发展的一项重要政策，建设在优化能源结构、保证能源安全、促进减排和应对气候变化等方面发挥着不可替代的战略作用。

2016年3月16日十二届全国人大四次会议通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》中提出：“深入推进能源革命，着力推动能源生产利用方式变革，优化能源供给结构，提高能源利用效率，建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系，维护国家能源安全。以沿海核电带为重点，安全建设自主核电示范工程和项目。”

2016年11月7日，国家发改委、国家能源局正式发布《电力发展“十三五”规划（2016-2020年）》，规划中提出“重点任务（四）安全发展核电，推进沿海核电建设：坚持安全发展核电的原则，加大自主核电示范工程建设力度，着力打造核心竞争力，加快推进沿海核电项目建设。”

2016年12月26日，国家能源局正式印发《能源发展“十三五”规划》，规划中提出“安全高效发展核电，在采用我国和国际最新核安全标准、确保万无一失的前提下，在沿海地区开工建设一批先进三代压水堆核电项目。”

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。”陆丰核电5、6号机组拟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，相对传统火电以及风电、光伏等新能源均具有其比较优势，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。

2018年2月26日，国家能源局印发《2018年能源工作指导意见》，提到“在充分论证评估的基础上，开工建设一批沿海地区先进三代压水堆核电项目。”

2019年2月18日，经党中央、国务院同意发布的《粤港澳大湾区发展规划纲要》中提出：“大力发展绿色低碳能源，加快天然气和可再生能源利用，有序开发风能资源，因地制宜发展太阳能光伏发电、生物质能，安全高效发展核电，大力推进煤炭清洁高效利用，控制煤炭消费总量，不断提高清洁能源比重。”

#### b) 适应广东电力需求发展的需要

改革开放以来，广东省经济社会保持快速、稳定发展，电力需求也同步快速增长，电力市场迅速扩大。根据电力需求预测结果，未来广东省电力需求仍将保持增长。因此，为适应广东省电力需求增长，满足电力供应的安全性和可靠性，必须加快规划电源的建设力度和速度，以适应省内电力需求快速发展的需要。

#### c) 为广东省电网安全运行提供电源支撑

长期以来，广东省区域经济发展不协调，珠三角地区和粤东西北地区经济总量差距悬殊。珠三角地区经济跨越发展，粤东西北地区包括东翼、西翼和粤北山区，东翼和西翼分别位于珠三角的东、西两侧，人口资源、生产力发展水平处于中游，北部山区经济发展比较落后。粤东西北地区振兴发展不仅关系粤东西北地区自身的发展，也是珠三角地区加快经济转型升级的迫切需要。在粤东地区建设陆丰核电厂大型电源，能够为经济发展提供强有力的电源保障，有力推动粤东西北地区振兴发展。同时，广东省内部电源建设条件有限，外电比例较大，陆丰核电厂的建设，可以增加广东电网本地电源比例，一定程度上解决外区电力送入减少所带来广东省供电不足问题，有利于提高整个广东省电网的供电可靠性。

#### d) 为小火电退役创造条件，加快电源结构优化进程

根据广东省人民政府印发的《广东省打赢蓝天保卫战行动方案(2018-2020年)》（粤府[2018]128号），珠三角地区禁止新建、扩建燃煤燃油火电机组或企业燃煤燃油自备电站。粤港澳大湾区的建设将对广东省、尤其是珠三角地区环保排放带来更高的要求。中长期，随着在运煤电运行年限增加，将逐步达到服役年限，从控制煤炭消费的角度，达

到服役年限的煤电机组按“煤改气”或搬迁考虑。2019 年~2035 年，广东省约有 16645MW 煤电机组将逐步达到服役年限，需要实施升级改造或退役。

本期工程的建设可以加速这些小火电机组的退役，对于减排和促进广东电源结构的优化有很大作用，同时也能够提高电力系统的综合效益，是实现广东省能源供应可持续发展的重要路径，也有利于提高广东省能源供应的安全性和稳定性。

e) 核电厂建设将有助于节约能源、保护环境、促进社会可持续发展

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。2019 年 2 月发布的《粤港澳大湾区发展规划纲要》提出了推进生态文明建设、创新绿色低碳发展模式。

根据《广东省节能减排“十三五”规划》，2015 年广东省一次能源消费结构中煤炭消费占比仍然高达 40.5%。“十三五”是广东省全面建设小康社会的决胜阶段和推进生态文明建设的关键时期，绿色发展理念将深度融入经济社会发展全过程，节能减排工作面临重大战略机遇。与此同时，广东省经济社会发展的资源环境瓶颈制约因素日益突出，节能减排潜力不断下降，工作难度持续加大。

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 1200 兆瓦级核电机组替代相应容量的煤电机组，可减少燃烧约 528.3 万吨标准煤/年，减少二氧化碳排放约 1384.1 万吨/年，减少二氧化硫排放约 4.5 万吨/年，减少氮氧化物排放约 3.9 万吨/年。本期工程的建设，实际上相当于减少了同等容量火电厂的建设，可以有效改善环境质量，减轻广东省在环境保护方面的压力，具有显著的环境效益和社会效益。

## 1.5 建设项目的进度

根据工程进度安排，5、6 号两台机组计划于 2026 年 10 月、2027 年 8 月投入商业运行。

## 1.6 环境影响报告书编制依据

### 1.6.1 区域发展规划和环境保护相关规划

陆丰核电项目已列入《核电中长期发展规划（2011-2020 年，调整）》，2020 年 5 月，



国家能源局组织召开专家座谈会，研究广东陆丰核电 5、6 号机组项目前期工作有关事宜。并于 6 月 9 日，正式印发《关于广东陆丰核电 5、6 号机组项目前期工作专家座谈会的会议纪要》（国能综纪核电[2020]6 号），同意陆丰核电 5、6 号机组按照华龙一号技术路线开展前期工作。

2016 年 1 月发布的《广东省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》（粤府[2016]35 号）提出：“到 2020 年地区生产总值约 11 万亿元，人均地区生产总值约 10 万元。”同时提出以核电、天然气、风电、太阳能等为重点，大力发展绿色低碳能源的现代能源体系，推进能源可持续发展。

2018 年广东省发展和改革委员会发布的《广东省能源发展“十三五”规划》提出，安全高效发展核电，推动陆丰等后续项目开工建设。

2018 年 10 月发布的《陆丰市城市总体规划（2011-2035 年）》指出，陆丰市面临新的重大的战略机遇期，尤其是能源项目的建设，如田尾山核电项目（陆丰核电厂）等，对于陆丰市而言，均具有重大的影响和推动作用。规划中，陆丰市城镇空间结构，规划形成“一核两区三轴四组团”的空间发展格局，其中四组团包括“中部碣石-湖东组团”，作用之一有主导核电新能源产业等具有要素集聚和辐射带动的作用。在该规划期内供电规划建筑一个核电站和若干个水电站。

2019 年 5 月形成的《陆丰市市域乡村建设规划（2018-2035 年）》指出，统筹全市范围内电站、电厂建设。规划期内将建筑一个核电站和若干个水电站。到规划期末将能满足区内的用电需求的增长。

根据《陆丰市海洋功能区划（2015—2020 年）》，陆丰核电厂用海区域处于代码为“A3-26”的“田尾山工业与城镇用海区”，功能区类型为“工业与城镇用海区”，面积为 4183ha，岸段长度 15382m。

根据广东省人民政府关于同意调整汕尾市部分近岸海域环境功能区划的批复（粤府函[2013]127 号），陆丰核电厂址所在海域为“碣石浅澳工业功能区（406B）”。

根据《广东省海洋生态红线》，厂址半径 15km 内涉及的海洋生态红线区有 4 处，分别为碣石湾长毛对虾重要渔业海域限制类红线区（序号 198）、金厢重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区（序号 199）、金厢重要渔业海域限制类红线区（序号 200）和碣石湾海马珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区（序号 201）。厂址相邻的海洋生态红线中自然岸线有 2 处，为浅澳港（序号 184）和湖东港（序号 185），均与厂址相邻。

## 1.6.2 遵循的主要法规、标准和导则

### (1) 主要法律法规和规章

- 中华人民共和国环境保护法（自 2015 年 1 月 1 日实施）
- 中华人民共和国核安全法（自 2018 年 1 月 1 日起施行）
- 中华人民共和国环境影响评价法（自 2018 年 12 月 29 日起修正施行）
- 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）
- 中华人民共和国大气污染防治法（2018 年 10 月 26 日修正）
- 中华人民共和国水污染防治法（2017 年 6 月 27 日修正）
- 中华人民共和国环境噪声污染防治法（自 2018 年 12 月 29 日起修正施行）
- 中华人民共和国固体废物污染环境防治法（自 2020 年 9 月 1 日起施行）
- 中华人民共和国水土保持法（自 2011 年 3 月 1 日修正施行）
- 中华人民共和国土地管理法（自 2020 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 日修正施行）
- 中华人民共和国海域使用管理法（自 2002 年 1 月 1 日起施行）
- 中华人民共和国海洋倾废管理条例（自 2017 年 3 月 1 日起施行）
- 建设项目环境保护管理条例（自 2017 年 10 月 1 日起修订施行）
- 放射性物品运输安全管理条例（自 2010 年 1 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（2018 年 3 月 19 日修正）
- 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）
- 核电厂核事故应急管理条例（HAF002，自 2011 年 1 月 8 日起施行）
- 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）
- 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 日起施行）
- 放射性固体废物贮存和处置许可管理办法（自 2014 年 3 月 1 日起施行）

- 放射性物品运输安全许可管理办法（自 2010 年 11 月 1 日起施行）
  - 核电厂厂址选择安全规定（HAF101，1991）
  - 核动力厂设计安全规定（HAF102，2016）
  - 放射性废物安全监督管理规定（HAF401，1997 年 1 月）
  - 国务院办公厅关于印发国家突发环境事件应急预案的通知（国办函〔2014〕119 号）
  - 国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知（国发〔2013〕37 号）
  - 国务院关于印发水污染防治行动计划的通知（国发〔2015〕17 号）
  - 关于印发《建设项目环境影响评价政府信息公开指南（试行）的通知》（环办〔2013〕103 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）
  - 关于印发《核电厂流出物放射性监测技术规范（试行）》的通知（国核安发〔2020〕44 号）
- (2) 技术标准和导则
- 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）
  - 放射性废物管理规定（GB14500-2002）
  - 放射性物品安全运输规程（GB11806-2019）
  - 核电厂低、中水平放射性固体废物暂时贮存技术规定（GB14589-93）
  - 核电厂应急计划与准备准则—应急计划区的划分（GB/T17680.1-2008）
  - 核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求（GB11216-89）
  - 核设施流出物监测的一般规定（GB11217-89）
  - 环境核辐射监测规定（GB12379-90）
  - 危险化学品重大危险源辨识（GB18218-2018）
  - 海水水质标准（GB3097-1997）
  - 城镇污水处理厂污染物排放标准（GB18918-2002）
  - 环境空气质量标准（GB3095-2012）
  - 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）
- 海洋沉积物质量（GB18668-2002）
- 海洋生物质量（GB18421-2001）
- 电磁环境控制限值（GB8702-2014）
- 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 核电厂环境影响报告书的格式和内容（HJ808-2016）
- 环境影响评价技术导则 大气环境（HJ2.2-2018）
- 环境影响评价技术导则 地表水环境（HJ 2.3-2018）
- 环境影响评价技术导则 声环境（HJ2.4-2009）
- 环境影响评价技术导则 生态影响（HJ19-2011）
- 环境影响评价技术导则 输变电工程（HJ24-2014）
- 建设项目环境风险评价技术导则（HJ169-2018）
- 辐射环境保护管理导则 电磁辐射环境影响评价方法与标准（HJ/T10.3-1996）
- 辐射环境监测技术规范（HJ/T61-2001）
- 近岸海域环境监测规范（HJ442-2008）
- 核电厂厂址选择的大气弥散问题（HAD101/02）
- 核电厂厂址选择及评价的人口分布问题（HAD101/03）
- 核电厂厂址选择的外部人为事件（HAD101/04）
- 核电厂厂址选择的放射性物质水力弥散问题（HAD101/05）
- 核动力厂取排水环境影响评价指南（试行）（HJ1037-2019）

### （3）地方法规和标准

- 广东省环境保护条例（2015 年 7 月 1 日起施行）
- 广东省民用核设施核事故预防和应急管理条例（2018 年 11 月 29 日修订）
- 广东省固体废物污染环境防治条例（2012 年 7 月 26 日修正）
- 广东省放射性废物管理办法（2001 年 6 月 1 日）
- 广东省海域使用管理条例（自 2007 年 3 月 1 日起施行）
- 广东省水污染物排放限值（DB4426-2001）
- 广东省大气污染物排放限值（DB4427-2001）

### 1.6.3 相关管理文件

- 广东省政府办公厅，粤办函[2007]29 号，关于同意开展陆丰核电项目前期准备工作的复函；
- 广东省建设厅，粤建规函[2005]171 号，关于粤东核电工程厂址选址意见的函；
- 电力规划设计总院，电规发电[2006]32 号，关于广东省粤东地区核电工程初步可行性研究报告的审查意见；
- 汕尾市自然资源局，关于广东陆丰核电厂址是否压覆矿产资源的复函（2020 年 8 月）；
- 中国民用航空中南地区管理局空中交通管理局，民航中南局空管局空管函[2005]1 号，关于台山、陆丰核电站厂址与最近航（路）线相对距离的复函；
- 汕尾市环境保护局，汕环函[2012]256 号，关于陆丰核电厂 220kV 施工及辅助电源第一回送电线路工程项目环境影响报告表的批复；
- 广州军区司令部，关于确认陆丰核电站对其附近区域军事设施不影响的复函（秘密），2013 年 9 月；
- 广东省人民政府办公厅，粤办函[2009]595 号，关于在陆丰核电厂周围设置限制发展区问题的复函；
- 广东省林业局准予行政许可决定书，粤林地许准[2019]934 号，使用林地审核同意书；
- 国家能源局，国能综纪核电[2020]6 号，关于广东陆丰核电厂 5、6 号机组项目前期工作专家座谈会的会议纪要，2020 年 6 月 8 日；
- 汕尾市生态环境局，汕尾市生态环境局关于提供陆丰核电区域非放射性影响评价等相关标准的复函，2020 年 4 月 24 日；
- 汕尾市生态环境局陆丰分局，汕环陆丰[2019]219 号，关于广东陆丰核电一期工程重件码头工程建设项目环境影响报告表的批复。

### 1.6.4 相关技术文件

陆丰核电厂近期已开展的专题成果主要有：

- 广东陆丰核电一期工程受纳水体水质环境、水生生态与渔业资源调查总报告，自然资源部第三海洋研究所，2020 年 3 月；
- 广东陆丰核电厂 5、6 号机组陆域生态环境调查及评价报告，中国辐射防护研究院，2020 年 6 月；
- 陆丰核电厂一期工程海域冬、夏季全潮观测报告，国家海洋局南海调查技术中心，2019 年 11 月；
- 广东陆丰核电厂一期工程厂址区域非放射性环境质量现状调查报告，苏州热工研究院有限公司，2020 年 3 月；
- 广东陆丰核电一期工程选址阶段环境辐射本底初步调查报告，苏州热工研究院有限公司，2020 年 3 月；
- 广东陆丰核电一期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 11 月；
- 广东陆丰核电一期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，2019 年 11 月；
- 广东陆丰核电厂 5、6 号机组海洋水文分析与计算报告（A 版），深圳中广核工程设计有限公司；
- 广东陆丰核电厂 5、6 号机组极端气象设计基准及气象数据收集分析报告（A 版），深圳中广核工程设计有限公司；
- 广东陆丰核电厂 5、6 号机组岩土工程勘察报告（可研阶段），长江勘测规划设计研究有限责任公司，2020 年 3 月；
- 广东陆丰核电厂 5、6 号机组厂址区域核应急初步方案，深圳中广核工程设计有限公司，2020 年 9 月；

## 1.7 评价标准

### 1.7.1 辐射环境影响评价标准

（1）运行状态（包括正常运行和预计运行事件）下的剂量约束值和排放控制值

陆丰核电厂规划建设 6 台压水堆核电机组，其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）造成的有效剂量约束值为 0.25mSv/a，本次环境影响评价确

定 5、6 号两台机组向环境释放的放射性流出物对公众所造成的剂量约束值不超过 0.08mSv/a。

陆丰核电 5、6 号机组采用华龙一号核电机组为轻水反应堆，根据 GB6249-2011 中规定，对于 3000MW 热功率的轻水反应堆设计控制值，其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。

陆丰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。

### （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）5.9 款规定，在发生选址假想事故时，考虑保守大气弥散条件，非居住区边界上的任何个人在事故发生后的任意 2h 内通过烟云浸没外照射和吸入内照射途径所接受的有效剂量不得大于 0.25Sv；规划限制区边界上的任何个人在事故的整个持续期间内（可取 30d）通过上述两条照射途径所接受的有效剂量不得大于 0.25Sv。在事故的整个持续期间内，厂址半径 80km 范围内公众群体通过上述两条照射途径接受的集体有效剂量应小于  $2 \times 10^4$  人 Sv。

### （3）海水中的放射性核素浓度指标

根据《海水水质标准》（GB3097-1997）的要求，陆丰核电 5、6 号机组运行期间受纳水体中与核电厂释放相关的放射性核素浓度控制值为：

- $^{60}\text{Co}$ : 0.03Bq/L；
- $^{90}\text{Sr}$ : 4.0Bq/L；
- $^{106}\text{Ru}$ : 0.2Bq/L；

- $^{134}\text{Cs}$ : 0.6Bq/L;
- $^{137}\text{Cs}$ : 0.7Bq/L。

### 1.7.2 非辐射环境影响评价标准

根据汕尾市生态环境局关于提供陆丰核电区域非放射性影响评价等相关标准的复函以及当地环保要求，陆丰核电 5、6 号机组环境影响评价执行的非辐射环境影响标准如下：

#### （1）环境质量标准

##### a) 环境空气质量标准

厂址区域环境空气质量现状评价执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准。

##### b) 海水水质标准

厂址区域海水质量评价按厂址附近近岸海域环境功能区划的要求执行《海水水质标准》（GB3097-1997）规定的相应标准。

##### c) 声环境质量标准

项目附近区域及敏感点的声环境质量现状执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 1 类标准，即：昼间 55dB（A）、夜间 45dB（A）。

##### d) 电磁辐射环境控制标准

厂址区域工频电场强度和工频磁感应强度评价标准执行《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）规定的对应于 50Hz 频率的公众曝露控制限值，即：工频电场 4000V/m，工频磁场 100 $\mu\text{T}$ 。

#### （2）非放射性污染物排放标准

##### a) 污水排放标准

电厂建设期间的非放射性废水和运行期间非放射性生产废水排放执行《广东省水污染物排放限值》（DB44/26-2001）中第二时段一级标准。

运行期间生活污水排放按照《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准执行。

##### b) 大气污染物排放标准

电厂施工期间的大气污染物排放执行《广东省大气污染物排放限值》



（DB44/27-2001）中的第二时段二级标准。

c) 噪声污染物排放标准

施工期间的场界噪声排放执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中的限值，即：昼间 70dB（A）、夜间 55dB（A）；

电厂运行期间，厂界噪声排放拟执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的 2 类限值，即：昼间 60dB（A）、夜间 50dB（A）。

## 1.8 工程组成

本项目除核电主体工程（核岛、常规岛、辅助厂房）之外，还包括相关配套工程。陆丰核电 5、6 号机组相关的配套工程主要包括：500kV 输变电线、220kV 辅助电源、放射源库、进厂道路、应急道路、重件码头等。其中，电厂进厂道路已建成并移交地方管理，500kV 输变电线将由电网公司负责建设及运行，220kV 辅助电源工程目前已经建成 1 回 220kV 线路（汕环函[2012]256 号），应急道路正在规划设计阶段，放射源库单独立项进行环评，重件码头已建成投用（汕环陆丰[2019]219 号）。应急道路及其余配套工程环评包含在核电厂主体工程环评中。

## 1.9 环境保护设施

本项目拟建设的环境保护设施主要包括放射性废气系统、放射性废液系统、放射性固体废物系统、放射性废物厂房、环境监测站、应急指挥中心、生活污水处理站、含油废水处理站等。

拟建的环境保护设施主要选择现有核电厂普遍采用的成熟、可靠、经济的方案，并结合本工程机组类型和污染物排放特点进行适当优化，以保证环境保护设施在机组长期运行期间稳定运行，满足国家环保法规的排放和管理要求。

## 1.10 评价范围

(1) 辐射环境

本项目辐射环境影响评价的范围为以陆丰核电 5 号反应堆为中心，半径为 80km 内的区域。

(2) 非辐射环境

1) 水环境

根据核电项目液态排放特点，水环境的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。

2) 大气环境

主要考虑施工期的大气环境影响，评价范围为施工场界以及厂址附近的大气环境保护目标。

3) 声环境

声环境影响的评价范围为厂界外 1m，并适当扩大至环境敏感点处。

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），本项目电磁辐射环境的评价范围为：厂区内架空线路边导线地面投影外两侧各 30m 区域，以及厂区内变电站、开关站站界外 50m 区域。

## 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 厂址地理位置图

## 2.1 厂址地理位置

### 2.1.1 厂址位置

广东陆丰核电厂址位于广东省汕尾市所辖陆丰市碣石镇以南约 8km 的田尾山。厂址西北距陆丰市约 26km，西距汕尾市约 45km，东北距揭阳市惠来县约 58km，东北距汕头市约 120km。

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

陆丰核电 5、6 号机组永久用地面积约 115.79 hm<sup>2</sup>，工程临时用地面积约 37 hm<sup>2</sup>。用海面积约 67.29hm<sup>2</sup>（其中将一期共用部分纳入统计中），主要包括建设填海造地用海（一期工程）、非透水构筑物、透水构筑物、排水口，取水口、港池、蓄水区用海等。

在本阶段，根据电厂选址假想事故的放射性后果，结合厂址周围环境特征，陆丰核电 5、6 号机组非居住区边界暂定为以各反应堆为中心、半径 500m 的包络区域。在该范围内主要为海域、山地、林地和一期工程用地。陆丰核电厂 1、2 号机组暂定的非居住区边界为 800m 范围，与本工程非居住区部分重叠。

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，在陆丰核电厂厂址周围应设置半径为 5km 的规划限制区。2009 年 11 月，广东省人民政府已复函（粤办函[2009]595 号）原则同意在国家正式核准陆丰核电项目后，按照有关规定在核电厂周围设置限制发展区。同时，《广东省民用核设施核事故预防和应急管理条例》（2018 年 11 月 29 日修订施行）要求“核电厂和核热电厂取得国家颁发的《核设施建造许可证》后，依法向省人民政府申请设立规划限制区，并配合省人民政府向国务院核安全监督管理部门报批规划限制区”。据此，建设单位将在取得核设施建造许可证后，及时与汕尾市人民政府、广东省生态环境厅就设置核电厂规划限制区事宜进行沟通，并向广东省人民政府申请设立规划限制区。

广东陆丰核电 5、6 号机组环境影响报告书（选址阶段）



广东陆丰核电 5、6 号机组		
环境影响报告书（选址阶段）		
厂址地理位置示意图		
图 2.1-1	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 范围内内居民的饮食习惯

### 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（2017 年）

表 2.2-2 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2026 年）

表 2.2-3 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2036 年）

表 2.2-4 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2046 年）

表 2.2-5 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2056 年）

表 2.2-6 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2066 年）

表 2.2-7 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2076 年）

表 2.2-8 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2086 年）

图

图 2.2-1 厂址半径 80km 范围内各子区人口分布图（2017 年）

图 2.2-2 厂址半径 80km 范围内各子区预期人口分布图（2026 年）

图 2.2-3 厂址半径 80km 范围内各子区预期人口分布图（2036 年）

图 2.2-4 厂址半径 80km 范围内各子区预期人口分布图（2046 年）

图 2.2-5 厂址半径 80km 范围内各子区预期人口分布图（2056 年）

图 2.2-6 厂址半径 80km 范围内各子区预期人口分布图（2066 年）

图 2.2-7 厂址半径 80km 范围内各子区预期人口分布图（2076 年）

图 2.2-8 厂址半径 80km 范围内各子区预期人口分布图（2086 年）



## 2.2 人口分布与饮食习惯

按照《核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ808-2016）要求，本节人口分布统计按子区分别进行，以陆丰核电 5 号机组反应堆为中心，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。主要资料来源：

- 厂址半径 80km 范围内深汕特别合作区、汕尾市、揭阳市、汕头市、惠州市和河源市及所辖的各区政府 2018 年的统计年鉴（2017 年数据）；
- 陆丰市公安局提供的陆丰市截止到 2018 年底的户籍人口资料；陆丰市卫健局提供的厂址半径 20km 范围内截止到 2018 年底的常住人口和流动人口资料；
- 当地各级政府机构及有关单位提供的（新近）资料；
- 现场实地调查的资料。

厂址半径 80km 范围主要涉及深汕特别合作区、汕尾市、揭阳市、汕头市、惠州市和河源市，具体包括：

- 厂址半径 5km 范围，主要涉及陆丰市碣石镇的后埔、浅澳、上林、新丰、红坡、角清和前堆共 7 个行政村；
- 厂址半径 10km 范围，主要位于陆丰市碣石镇所辖范围，涉及碣石镇镇区及碣石镇所辖部分行政村；
- 厂址半径 15km 范围，主要位于陆丰市碣石镇、湖东镇、金厢镇所辖范围，以及桥冲镇和南塘镇一角；
- 厂址半径 80km 范围，主要涉及广东省深汕特别合作区，汕尾市下辖的汕尾城区、红海湾开发区、华侨管理区、陆丰市、海丰县、陆河县，揭阳市下辖的揭西县、惠来县、普宁市，汕头市下辖的潮南区，惠州市下辖的惠东县小部分地区，以及河源市下辖的紫金县一角。

### 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

厂址半径 5km 范围内涉及陆丰市碣石镇的后埔、浅澳、上林、新丰、红坡、角清和前堆共 7 个行政村，13 个自然村（原西湖村已于 2012 年底搬迁至碣石镇镇区西湖社

区)。

厂址半径 5km 范围，共有人口 23858 人。按厂址半径 5km 范围总面积计算，人口密度约为 304 人/km<sup>2</sup>；按陆域面积计算，平均人口密度约 982 人/km<sup>2</sup>，高于广东省同期的平均人口密度 622 人/km<sup>2</sup>，也高于汕尾市同期的平均人口密度 565 人/km<sup>2</sup>。5km 范围内，按常住人口统计，共有人口 15171 人。

厂址半径 1km 以内没有自然村，离厂址最近的居民点是浅澳自然村，位于厂址 NW 方位 1.4km 处，有 3310 人。厂址半径 5km 范围内最大的居民点为 NNE 方位 1.7km 的上林村，共有 4865 人。

厂址半径 5km 范围内主要为陆丰市碣石镇农村地区，厂址东北侧紧邻厂区规划有中广核汕尾海洋工程基地（位于 5 号机组 NE~ENE 方位 2.3km~4.5km），目前正处于建设中，基地建成后，规划各类职工总数约 4000 人。

厂址半径 5km 范围内没有 1 万人以上的居民点。

#### 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，其它各类公共设施主要集中在碣石镇镇政府所在地。

##### — 卫生

碣石镇有人民医院 1 所，位于厂址 N 方位约 8km。

##### — 文教

厂址半径 10km 范围主要位于碣石镇，有中学 8 所，小学 40 所，幼儿园 13 所。碣石镇镇区设置有幼儿园、初中、高中，以及镇中心小学，一般各行政村有小学或教学点。厂址半径 5km 范围内小学主要分布在浅澳、后埔、上林和角清村，厂址半径 5km 范围内无中学。离厂址最近的学校为后埔小学，位于厂址 NNE 方位 1.8km，其次为浅澳小学，位于厂址 NW 方位 2.1km。

##### — 敬老院、监狱

碣石镇上有一家养老院，位于厂址 N 方位约 8km。

厂址半径 10km 范围内没有监狱。

碣石镇城镇位于厂址 N~NNE 方位最近约 5.5km 处，碣石镇镇区集中居住区域（5 个社区以及集中居住的包一、包二、南城、北城、浅海、红卫 6 个行政村和镇机关）

内共有 98009 人，满足 GB6249-2011 所规定的“厂址半径 10km 范围内不应有 10 万人以上城镇”的要求。

### 2.2.1.3 厂址半径 15km 范围

厂址半径 15km 范围涉及陆丰市金厢镇、桥冲镇、南塘镇、碣石镇和湖东镇 5 个镇所辖行政村，基本上每个行政村人口均在千人以上，但仅碣石镇镇区位于厂址半径 15km 范围内，居民以农业、渔业生产为主以及少量的手工业制造等。

厂址半径 15km 范围内共有（常住口径）总人口 228167 人，（户籍口径）总人口 330232 人，人口密度分别为 323 人/km<sup>2</sup> 和 467 人/km<sup>2</sup>，按陆域面积计算，人口密度分别为 1346 人/km<sup>2</sup> 和 1946 人/km<sup>2</sup>，高于广东省和汕尾市同期平均人口密度。

厂址半径 5~15km 范围内千人以上行政村有 51 个。该区域中最大的行政村为诗书村，位于厂址 N 方位 6.8km 处，有 24235 人；其次为西门村，位于厂址 N 方位 6.3km 处，有 20066 人。

根据陆丰市卫健局、旅游局的相关资料，厂址半径 15km 范围内仅碣石镇镇区位于该区域内，流动人口主要集中在碣石镇境内。碣石镇流入人口主要来自于广东省内和汕尾市所辖各区县，主要从事服务业、商贸、手工制造业以及渔业养殖等，流出方向主要以广州、深圳等珠三角城市和香港澳门等地，主要为外出打工以及经商等。

厂址半径 15km 范围内的旅游景点主要是位于碣石镇镇区北部的玄武山风景旅游区 and 位于金厢镇的金厢滩旅游区。

- 玄武山风景旅游区位于厂址 N 方位约 8km 处，为国家 4A 级旅游景区，旅游区中的元山寺在玄武山南麓，占地 15hm<sup>2</sup>，是佛道两教合一的宗教活动场所，也是粤东地区重要的名胜古迹。2018 年玄武山风景旅游区共接待游客 200 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，春节期间日高峰接待游客可以达到 30 万人次；旅游人口中大多数为本地居民，也有少部分为外地信徒。
- 金厢滩旅游区位于厂址 NNW 方位 10~15km，为省级风景名胜区，位于金厢镇靠近建成区的滨海区域，2018 年金厢滩旅游区共接待游客 50 万人次，日最大接待游客数万人。景区游客主要来自于潮汕地区和本地居民，集中在旅游黄金周以及平时的周末假期，平时游客较为分散。

## 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 范围内共有 100 多个乡镇、街道和农场，由于粤东地区人口相对比较密集，一半以上乡镇的城镇人口超过万人。该区域有城镇人口超过万人的乡镇和街道有 77 个，其中城镇人口超过 10 万人的乡镇（街道）有 9 个。

距厂址最近的万人以上人口中心为碣石镇镇区，最近处位于厂址 N 方位 7km 处，碣石镇镇区集中居住的有 98009 人。厂址半径 80km 范围内最大的人口中心是普宁市市区，位于厂址 NNE 方位约 70km 处，共包括池尾街道、流沙北街道、流沙东街道、流沙南街道、流沙西街道，有 423507 人。

### 2.2.2.2 厂址半径 80km 范围内的人口分布

厂址半径 80km 范围内总人口数为 8006901 人，评价区内人口密度为 398 人/km<sup>2</sup>，按陆域面积计算，评价区内人口密度为 926 人/km<sup>2</sup>，高于广东省同期平均人口密度 622 人/km<sup>2</sup>，也高于汕尾市同期年平均人口密度 565 人/km<sup>2</sup>。其中 NNE、NE 和 ENE 方位人口较多，主要是由于位于 NNE 方位 70~80km 的普宁市、NE 方位 70~80km 的汕头市潮阳区和 NE~ENE 方位 50~60km 的惠来县城人口较多引起的。

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

本报告采用的广东省各地区的预期人口增长率数据来源于《广东省“十二五”人口发展战略研究》，该研究采用双性别确定性动态模型进行人口预测分析，预测数据模型考虑参数主要包括：未来的生育率、死亡率以及人口的迁移，预测时间段为 2011~2050 年，考虑到目前已开放全面二胎政策，本次预测采用该研究报告中的高方案，即考虑了全面二胎政策后的预测结果，同时，保守假定 2050 年以后的增长率与 2050 年一致。

陆丰核电 5 号机组计划于 2026 年建成投产，电厂设计寿期为 60 年。以此推算核电厂投运时（2026 年）以及寿期内每隔 10 年（即 2036 年、2046 年、2056 年、2066 年、2076 年、2086 年）厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布。

人口预测以 2017 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）。

本报告预测厂址半径 80km 内 2026 年人口为 9332230 人，寿期内每隔十年人口为 11320557 人（2036 年）、12422289（2046 年）、12931616 人（2056 年）、13340703 人（2066 年）、13763887 人（2076 年）、14201697 人（2086 年）。

核电厂运行寿期内各子区的人口分布情况见表 2.2-2~表 2.2-8 和图 2.2-2~2.2-8。

## 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 年广东省和汕尾市第六次人口普查资料，统计出 80km 范围内居民的年龄构成。

### 2.2.3.2 厂址半径 5km 范围内居民的饮食习惯和生活习性

本次通过对厂址半径 5km 范围居民实地走访并发放调查表的方式，调查厂址半径 5km 范围内居民的生活及饮食习惯，调查时间为 2019 年 5 月。

本次实地走访的居民位于后埔村、上林村、浅澳村、林厝村、新安村，发放并回收了 196 份有效食物消费情况和生活习惯数据调查表。

厂址半径 5km 范围内居民职业以农民为主，外加少量的捕捞渔民和养殖渔民。由现场实地走访可知，当地居民消费的副食品种类中，水产品消费量较大，其中又以海鱼类消费为主。厂址半径 5km 范围内粮食、蔬菜、肉类等食物主要从当地集市上购买，集市所出售的食品来源以周边农村生产为主。当地居民消费的奶制品主要产自于外地的奶制品生产企业。近区居民食用的海产品主要来自于当地渔民捕捞和养殖，所消耗的鱼、虾、贝类等水产品主要来自附近海域，少部分产自于其他区域。

本次调查共向渔民发放并收回了 32 份有效居民食谱及生活习性调查表，通过调查了解，厂址近区有部分居民在沿岸海域从事海水捕捞和养殖。其中碣石湾东侧沿海各

村中养殖渔民较多，养殖形式主要包括增养殖和岸边滩涂养殖。位于厂址西侧海岸的浅澳村中有较多渔民从事渔业捕捞，距离厂址较近的后埔村和上林村也有少量渔民从事渔业捕捞，林厝村和新安村据现场走访了解到基本没有渔民从事渔业捕捞。渔民捕捞的海产品大部分在碣石镇售卖，同时在镇区集市购买家庭生活所需要的粮食、蔬菜、肉类、水果等日常消费品。

### 2.2.3.3 厂址半径 80km 范围内居民的饮食习惯

厂址半径 80km 范围内成人食物消费量来自《广东统计年鉴-2018》提供的 2017 年居民食物消费量数据，年鉴中对于粮食的消费量仅提供了原粮的数据，本报告按照原粮的 75%折算为成品粮进行统计。

### 2.2.4 参考资料

- [1] 广东陆丰核电一期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 11 月。

表 2.2-1 厂址半径 80km 范围内各子区现有人口分布（2017 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	1105	0	6187	102363	69075	128534	63426	54765	74174	79106	306660	885395
NNE	0	4865	0	2895	78833	77451	115006	119539	97135	104371	419529	708881	1728505
NE	0	2225	615	2656	13375	58622	71426	67903	118785	12382	156533	977873	1482395
ENE	0	0	0	0	0	66876	199314	243922	154541	395566	211413	228672	1500304
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WSW	0	0	0	0	0	0	54141	0	0	0	0	0	54141
W	0	0	0	0	0	0	16360	145461	261973	20861	19206	26075	489936
WNW	0	0	0	0	0	0	22678	102603	111695	326479	116687	12917	693059
NW	0	3310	0	0	0	24598	292328	88852	39925	137622	16701	20537	623873
NNW	0	0	0	0	4708	61714	109610	65935	43260	101280	101693	61093	549293
合计	0	11505	615	11738	199279	358336	100939 7	897641	882079	117273 5	112086 8	2342708	8006901

表 2.2-2 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2026 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	1297	0	7260	107761	72959	149087	74427	61539	84186	91722	344593	994831
NNE	0	5709	0	3397	105709	100640	133604	134326	109150	117281	471424	796568	1977808
NE	0	2611	722	3117	13669	68577	83111	76302	133478	13914	175487	109378 2	1664770
ENE	0	0	0	0	0	78476	233885	281819	173809	444497	237256	256924	1706666
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WSW	0	0	0	0	0	0	63532	0	0	0	0	0	63532
W	0	0	0	0	0	0	19198	170691	307412	24479	91909	124781	738470
WNW	0	0	0	0	0	0	26612	120400	131069	383107	136926	14401	812515
NW	0	3884	0	0	0	28865	343033	104264	46850	161493	19214	22896	730499
NNW	0	0	0	0	4748	72418	128622	77371	50763	118847	119332	71038	643139
合计	0	13501	722	13774	231887	421935	118068 4	103960 0	101407 0	134780 4	134327 0	272498 3	9332230



表 2.2-3 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2036 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	1429	0	8003	114205	80423	164340	82042	71034	96149	102403	397759	1117787
NNE	0	6293	0	3745	135165	122685	148857	155050	125991	135376	544158	919467	2296787
NE	0	2878	796	3436	13872	75467	92440	88075	154072	16060	198333	1210216	1855645
ENE	0	0	0	0	0	86504	257813	315830	200439	513076	270667	296206	1940535
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WSW	0	0	0	0	0	0	70031	0	0	0	0	0	70031
W	0	0	0	0	0	0	21162	188154	338863	26984	448316	608656	1632135
WNW	0	0	0	0	0	0	29334	132717	144478	422301	150935	15441	895206
NW	0	4281	0	0	0	31818	378127	114930	51643	178014	20961	24550	804324
NNW	0	0	0	0	4776	79827	141781	85287	55957	131006	131540	77933	708107
合计	0	14881	796	15184	268018	476724	1303885	1162085	1142477	1518966	1867313	3550228	11320557

表 2.2-4 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2046 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	1533	0	8585	115279	86276	176299	88012	79740	106850	111289	446505	1220368
NNE	0	6751	0	4017	140604	130572	161442	174052	141431	151967	610846	1032150	2553832
NE	0	3087	853	3686	14031	80869	100080	98869	172954	18028	218629	1308915	2020001
ENE	0	0	0	0	0	92800	276575	344539	224808	575955	300810	332168	2147655
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WSW	0	0	0	0	0	0	75128	0	0	0	0	0	75128
W	0	0	0	0	0	0	22702	201847	363523	28947	512015	695137	1824171
WNW	0	0	0	0	0	0	31469	142376	154992	453034	161919	16213	960003
NW	0	4593	0	0	0	34133	405645	123294	55401	190969	22308	25777	862120
NNW	0	0	0	0	4798	85637	152099	91494	60029	140540	141113	83301	759011
合计	0	15964	853	16288	274712	510287	1401439	1264483	1252878	1666290	2078929	3940166	12422289

表 2.2-5 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2056 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	1593	0	8920	115895	89635	183164	91439	83468	111663	115875	467380	1269032
NNE	0	7014	0	4174	143725	135099	168037	182190	148044	159072	639404	1080406	2667165
NE	0	3208	887	3829	14123	83970	104138	103491	181040	18871	227439	1352642	2093638
ENE	0	0	0	0	0	96413	287344	358963	235285	602882	313807	347578	2242272
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WSW	0	0	0	0	0	0	78053	0	0	0	0	0	78053
W	0	0	0	0	0	0	23586	209706	377677	30075	534437	725578	1901059
WNW	0	0	0	0	0	0	32694	147919	161027	470673	168224	16576	997113
NW	0	4772	0	0	0	35462	421439	128095	57558	198405	23041	26355	895127
NNW	0	0	0	0	4810	88971	158021	95056	62366	146012	146607	86314	788157
合计	0	16587	887	16923	278553	529550	1456476	1316859	1306465	1737653	2168834	4102829	12931616

表 2.2-6 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2066 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	1633	0	9145	116310	91902	187795	93751	86954	115927	119362	486900	1309679
NNE	0	7191	0	4279	145831	138154	172967	189799	154227	165715	666109	1125529	2769801
NE	0	3289	909	3926	14184	86062	107126	107813	188601	19659	235597	1392544	2159710
ENE	0	0	0	0	0	98850	294609	370267	245039	628062	325901	361981	2324709
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WSW	0	0	0	0	0	0	80026	0	0	0	0	0	80026
W	0	0	0	0	0	0	24182	215008	387226	30835	547950	743923	1949124
WNW	0	0	0	0	0	0	33521	151659	165098	482573	172477	16894	1022222
NW	0	4893	0	0	0	36359	432094	131334	59014	203421	23572	26860	917547
NNW	0	0	0	0	4819	91221	162016	97459	63943	149704	150314	88409	807885
合计	0	17006	909	17350	281144	542548	1494336	1357090	1350102	1795896	2241282	4243040	13340703

表 2.2-7 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2076 年）

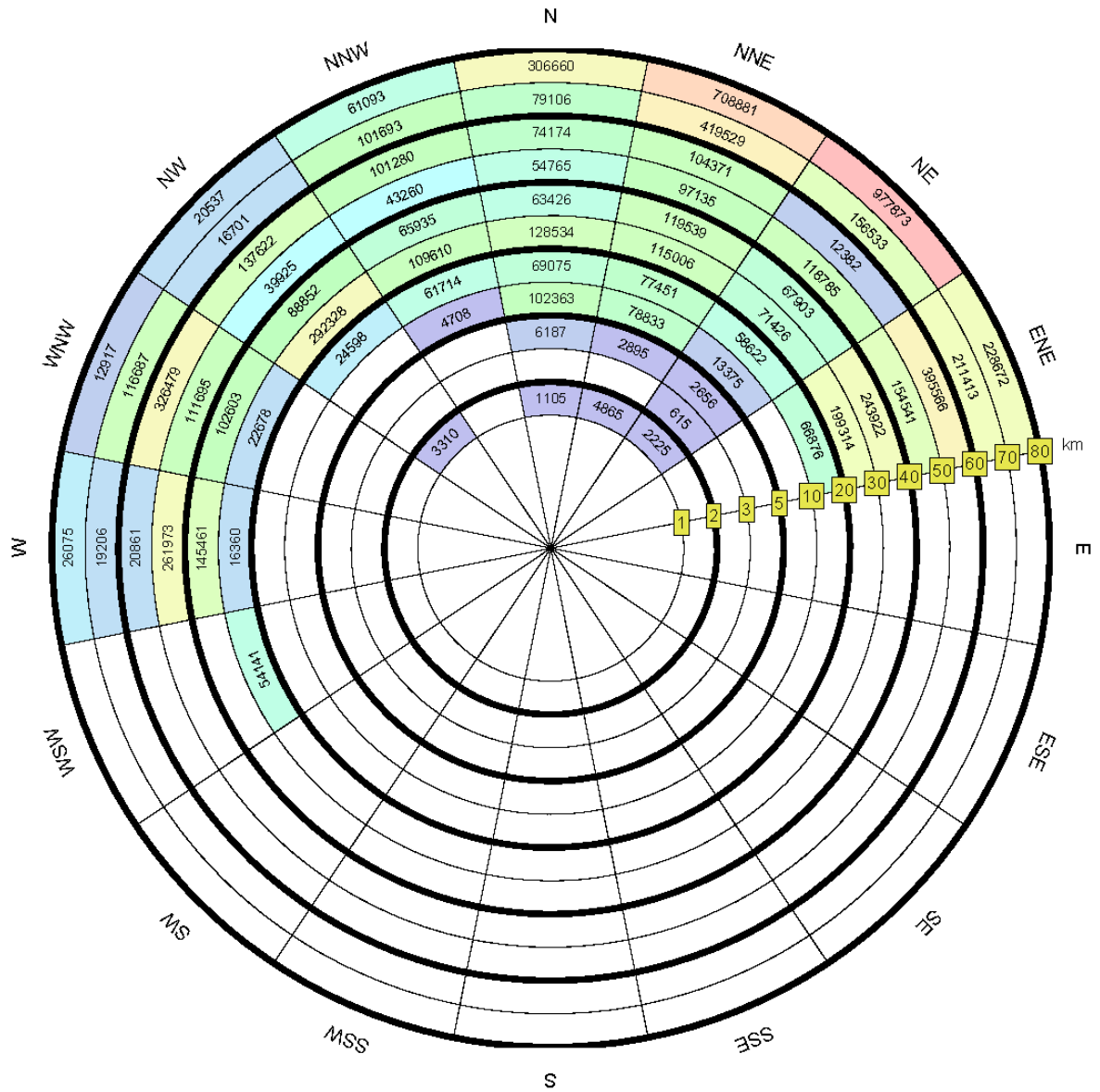
单位：人

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	1675	0	9376	116737	94225	192543	96121	90585	120359	122961	507236	1351818
NNE	0	7373	0	4387	147990	141285	178051	197726	160668	172636	693929	1172536	2876581
NE	0	3372	932	4025	14248	88207	110204	112316	196478	20480	244070	1433795	2228127
ENE	0	0	0	0	0	101350	302058	381948	255199	654292	338480	376983	2410310
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WSW	0	0	0	0	0	0	82050	0	0	0	0	0	82050
W	0	0	0	0	0	0	24793	220444	397016	31615	561803	762732	1998403
WNW	0	0	0	0	0	0	34368	155493	169272	494774	176838	17218	1047963
NW	0	5016	0	0	0	37278	443019	134654	60506	208564	24115	27375	940527
NNW	0	0	0	0	4828	93527	166112	99924	65560	153488	154114	90555	828108
合计	0	17436	932	17788	283803	555872	1533198	1398626	1395284	1856208	2316310	4388430	13763887

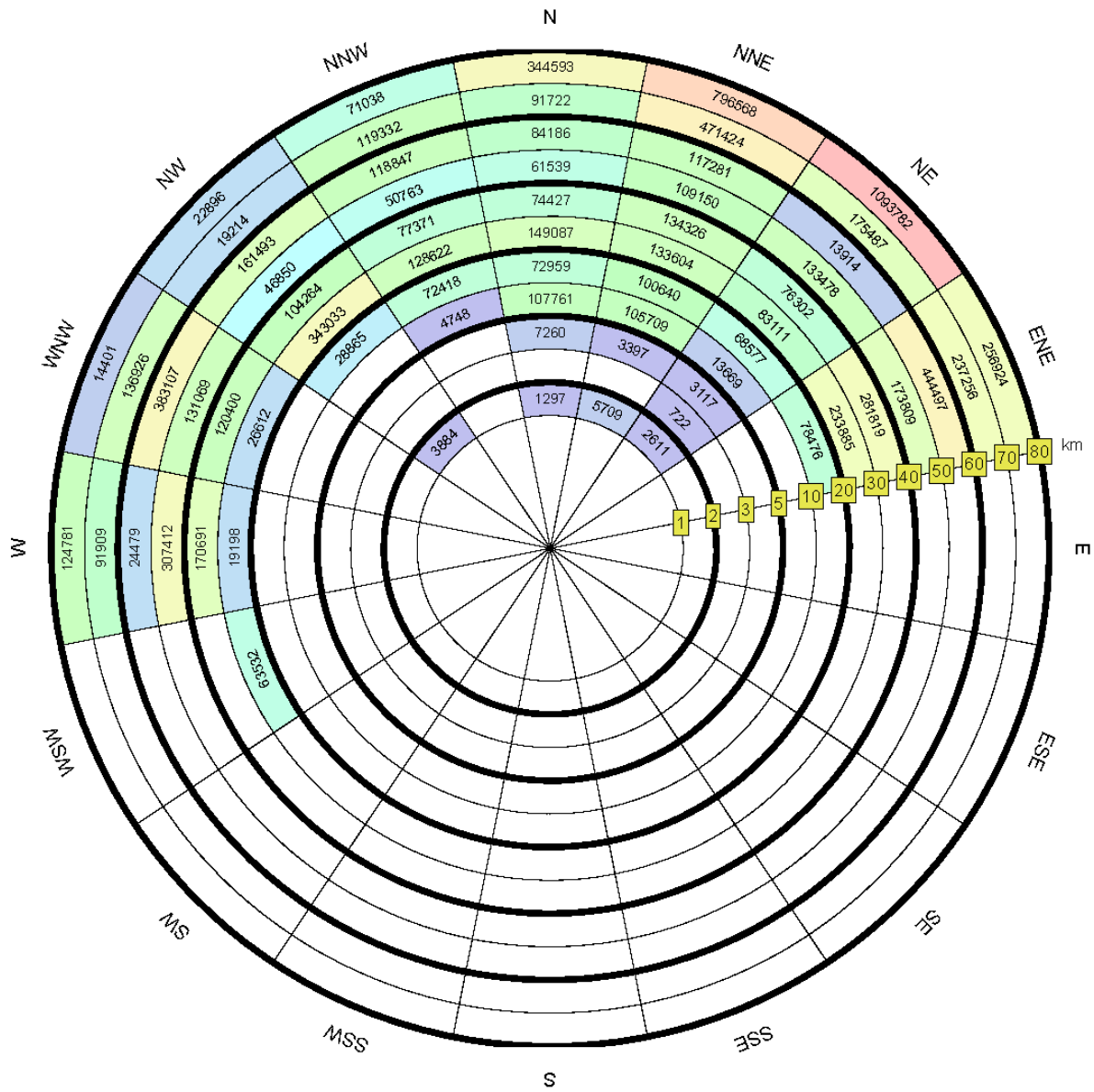
表 2.2-8 厂址半径 80km 范围内各子区的预期人口分布（2086 年）

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	1717	0	9613	117174	96608	197411	98552	94368	124966	126676	528420	1395505
NNE	0	7559	0	4498	150204	144495	183292	205984	167378	179846	722911	1221507	2987674
NE	0	3457	956	4127	14312	90406	113376	117007	204684	21336	252870	1476445	2298976
ENE	0	0	0	0	0	103912	309695	394023	265781	681619	351564	392610	2499204
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WSW	0	0	0	0	0	0	84124	0	0	0	0	0	84124
W	0	0	0	0	0	0	25420	226018	407054	32414	576008	782016	2048930
WNW	0	0	0	0	0	0	35237	159425	173552	507284	181309	17548	1074355
NW	0	5143	0	0	0	38220	454220	138059	62036	213838	24672	27899	964087
NNW	0	0	0	0	4837	95892	170312	102450	67217	157369	158011	92754	848842
合计	0	17876	956	18238	286527	569533	1573087	1441518	1442070	1918672	2394021	4539199	14201697

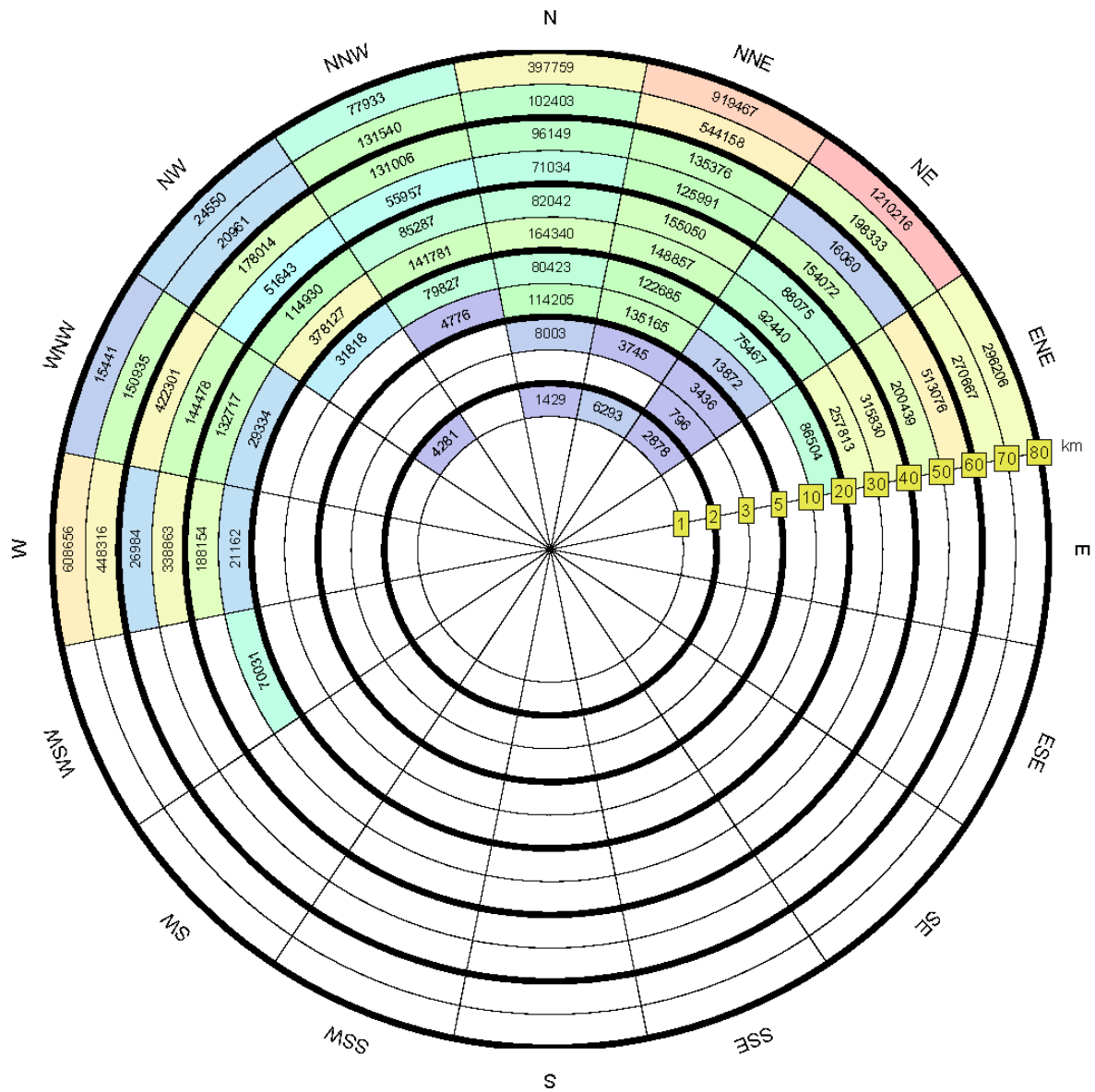


广东陆丰核电 5、6 号机组		
环境影响报告书（选址阶段）		
厂址半径 80km 范围内 各子区人口分布图（2017 年）		
图 2.2-1	版次：	A

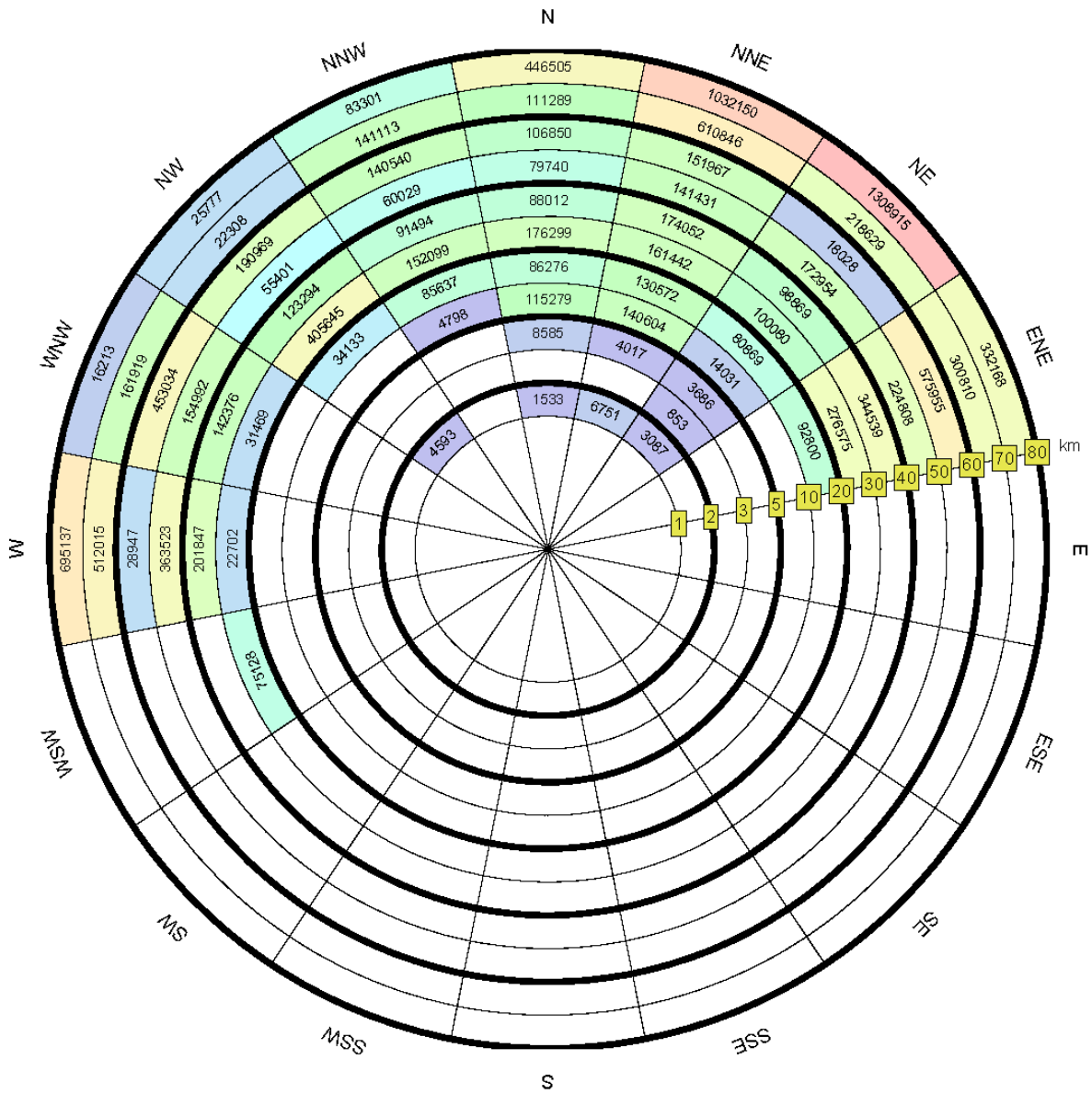


广东陆丰核电 5、6 号机组		
环境影响报告书（选址阶段）		
厂址半径 80km 范围内 各子区预期人口分布图（2026 年）		
图 2.2-2	版次：	A

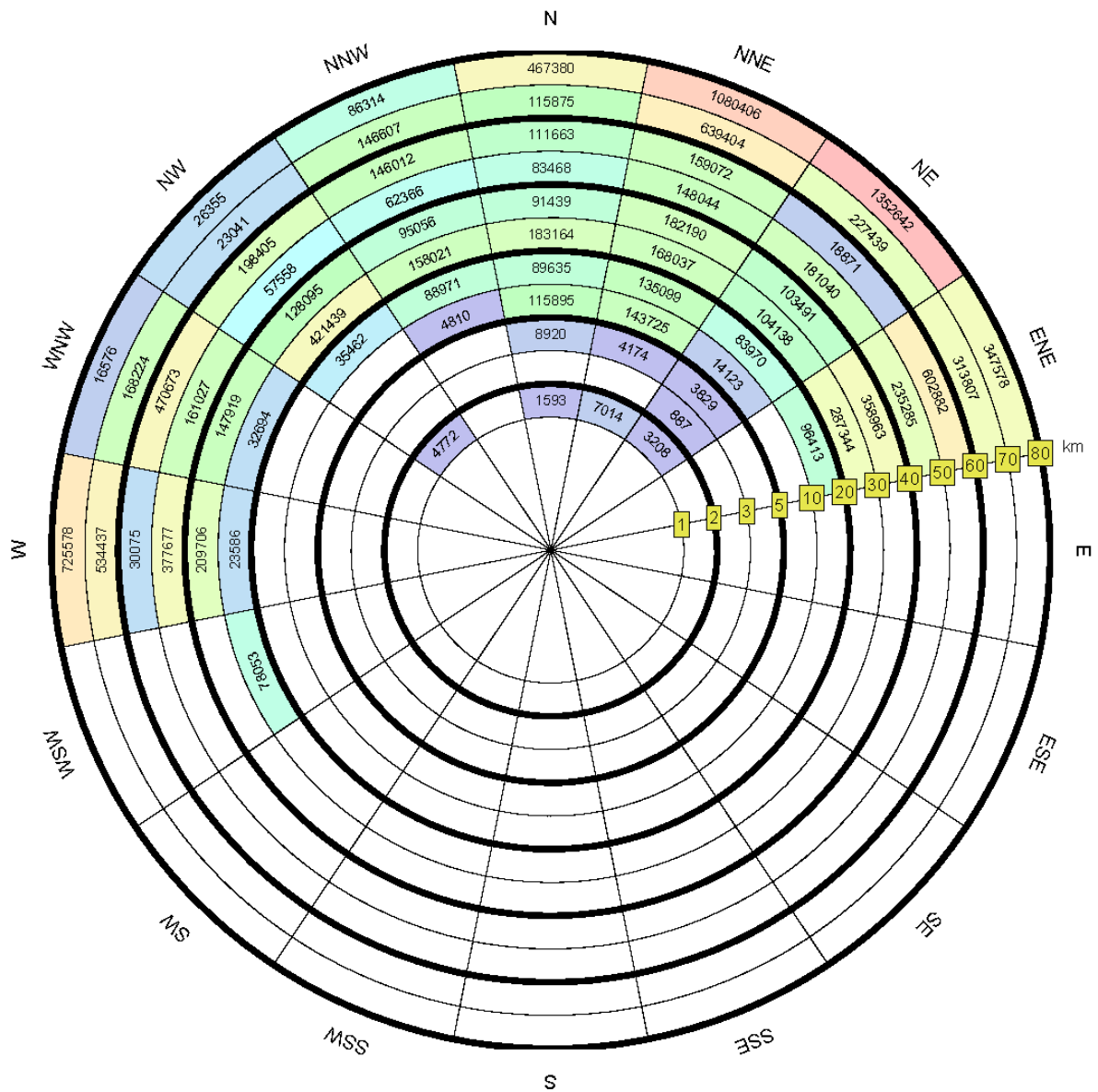




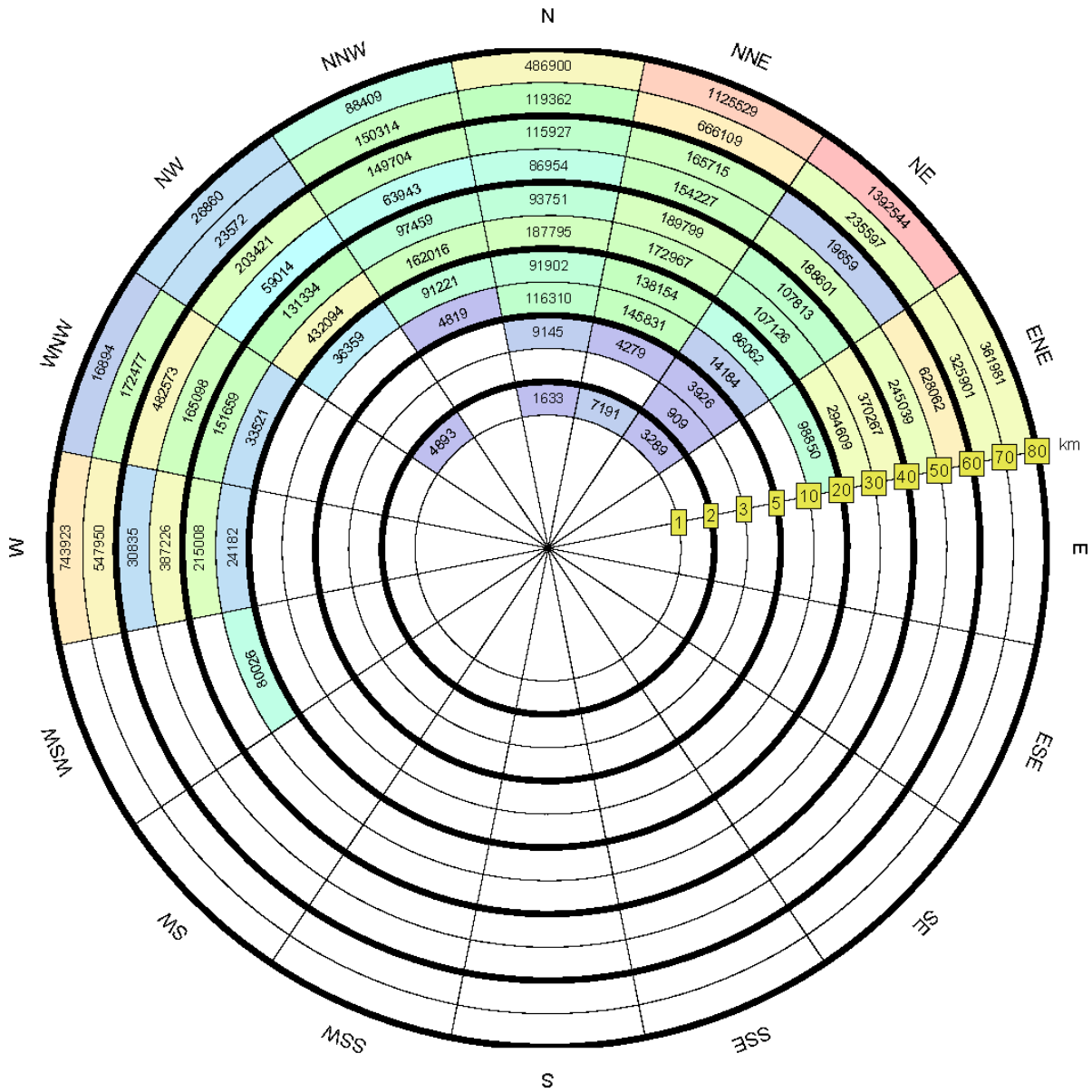
广东陆丰核电 5、6 号机组		
环境影响报告书（选址阶段）		
厂址半径 80km 范围内 各子区预期人口分布图（2036 年）		
图 2.2-3	版次：	A



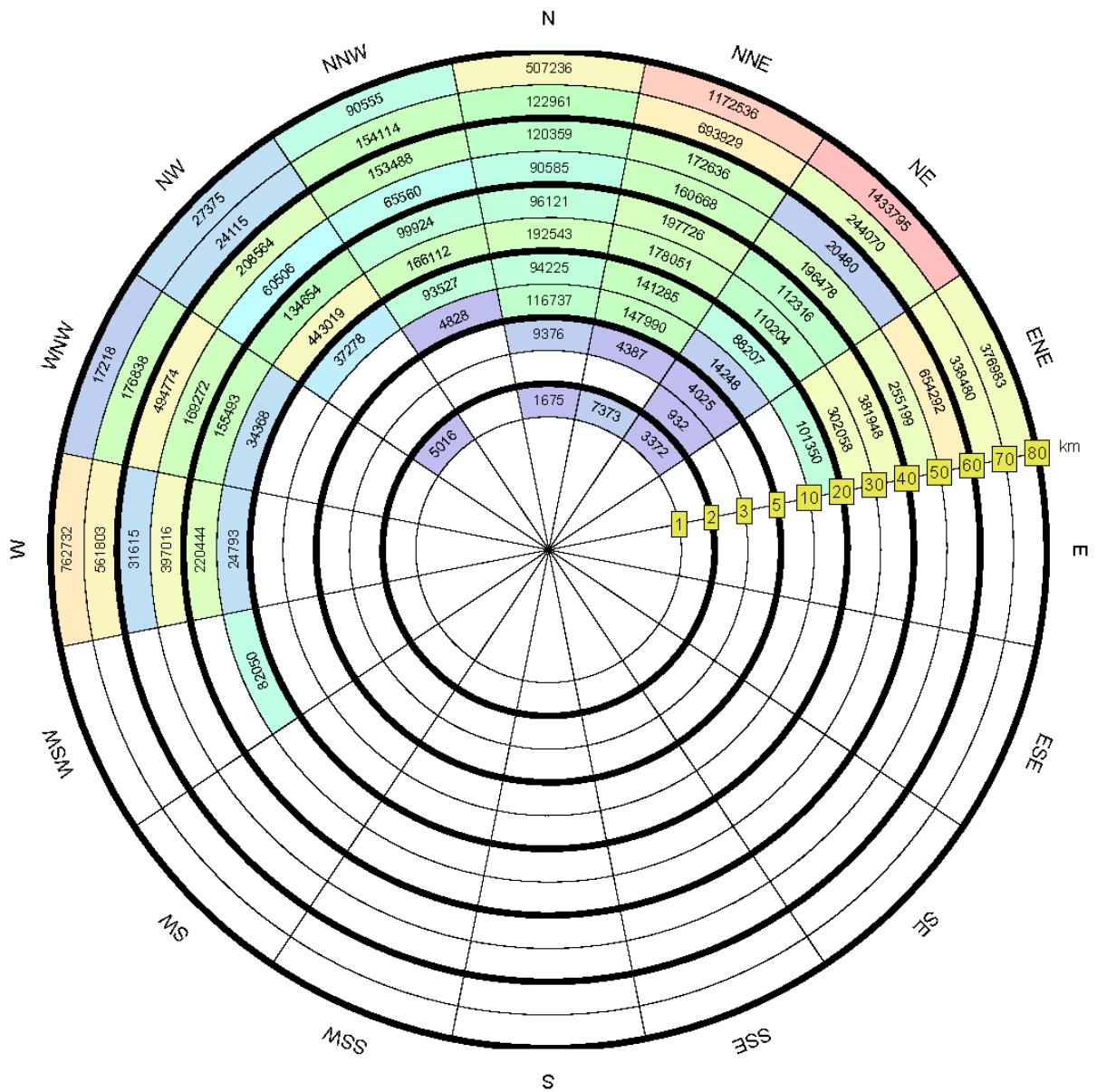
广东陆丰核电 5、6 号机组		
环境影响报告书（选址阶段）		
厂址半径 80km 范围内 各子区预期人口分布图（2046 年）		
图 2.2-4	版次:	A



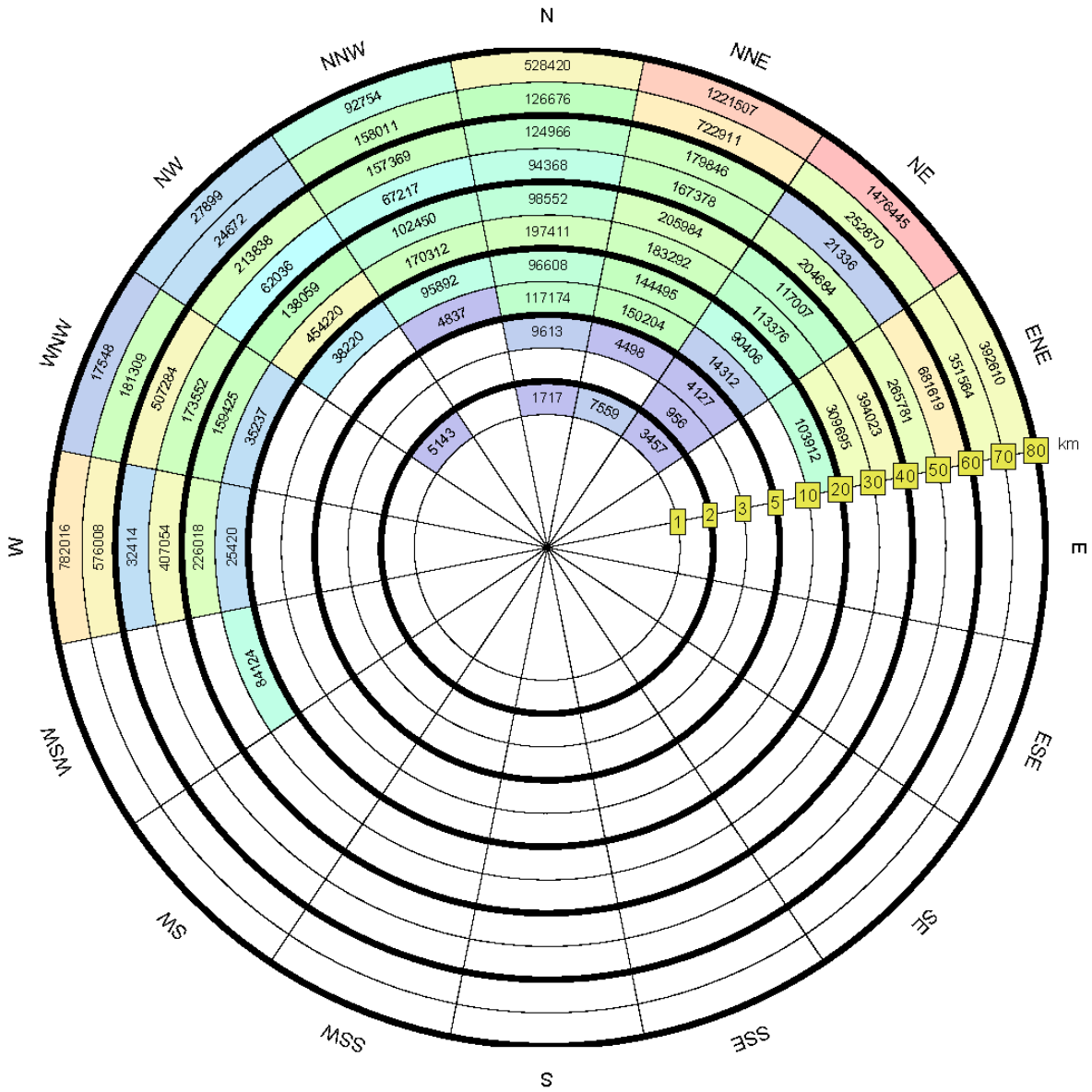
广东陆丰核电 5、6 号机组		
环境影响报告书（选址阶段）		
厂址半径 80km 范围内 各子区预期人口分布图（2056 年）		
图 2.2-5	版次：	A



广东陆丰核电 5、6 号机组		
环境影响报告书（选址阶段）		
厂址半径 80km 范围内 各子区预期人口分布图（2066 年）		
图 2.2-6	版次：	A



广东陆丰核电 5、6 号机组		
环境影响报告书（选址阶段）		
厂址半径 80km 范围内 各子区预期人口分布图（2076 年）		
图 2.2-7	版次：	A



广东陆丰核电 5、6 号机组		
环境影响报告书（选址阶段）		
厂址半径 80km 范围内		
各子区预期人口分布图（2086 年）		
图 2.2-8	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 其它陆生资源概况

#### 2.3.2.3 陆生生态系统

#### 2.3.2.4 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

#### 2.3.3.4 赤潮

### 2.3.4 工业、交通及其它设施

#### 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 海洋生物调查站位表

表 2.3-2 潮间带站位经纬度

表 2.3-3 2010 年至 2018 年陆丰核电周边海域赤潮灾害情况统计表

图

图 2.3-1 海洋生物调查站位分布图（不包括粪大肠菌群和潮间带调查站位）

图 2.3-2 粪大肠菌群调查站位分布图



## 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

陆丰核电厂位于陆丰市碣石镇南端的田尾山，厂址半径 5km 范围内属于碣石镇辖区。厂址所在地区属沿海丘陵地带，位于东田尾山北侧，场地西南高东北低，地形起伏较大，场地内除四个山包外，其余地方相对高差不大。区域地带性土壤为赤红壤、水稻土，自然土壤主要包括花岗岩赤红壤、砂页岩赤红壤、第四纪沉积物赤红壤等，耕作土壤主要有水稻土、果园土。

陆丰核电厂址所在的陆丰市土地类型多样，海岸曲折，港湾众多，全市土地总面积为 170067ha。境内地势平坦，最高山脉不上千米，地势自北向南倾斜，依次分布有山地、丘陵、平原等多个地貌类型区。其中北部以山地为主，间有小盆地，中部与南部沿海多为丘陵、台地、平原与低洼地。

根据《碣石镇土地利用总体规划（2010~2020 年）修改完善》，规划期间，碣石镇将结合“北拓、西优、东延、南跨”城镇发展定位，不断优化城乡用地布局，不断优化工业布局，发挥海岸线资源优势，建设成新型海滨现代化城市。

#### 2.3.1.2 水体利用

##### （1）水体利用情况

陆丰核电厂厂址位于陆丰市东南面，濒临南海，属低丘陵、台地及平原地区，附近无大江大河，多数小河短小分散，独流入海，集水面积小，径流量少，无大型水利工程进行径流调节，枯水季节尤其是特枯水期和连续枯水期径流量甚小。

陆丰市境内螺河、乌坎两大水系从北向南注入南海，此外境内有鳌江、龙潭河等。其中，螺河河长102km，发源于陆河县与紫金县交界的三神凸山，为陆丰第一大河，集雨面积1356km<sup>2</sup>。陆丰市境内流域100km<sup>2</sup>以上一级支流有螺溪、南北溪、新田河；境内主要的水库有龙潭、巷口、五里牌、秣投围、三溪水、牛角隆水库等。厂址半径15km 范围内主要的小河流包括湖东水和南溪河，其中，湖东水发源于西山山脉后径山。南溪河又叫碣石水，发源于西山山脉黄土岭。南溪河水流经碣石镇后经狭窄的口门水道由碣石港汇入南海碣石湾，为泻湖型水系，河口受潮汐影响严重，碣石内港是陆地内的水域，碣石湾海水则随潮由内港进入内洋；随着南溪河原有进潮通道受阻，纳潮面

积缩小，纳潮量减少，加上南溪上游水土流失严重，泥沙随水下移，港口淤积，围起来的内洋则不断淤积形成荒涂和水塘。厂址半径15km范围内的水库有4座。

厂址所在碣石镇饮用水为自来水，碣石镇农业灌溉用水水源主要为流经该镇的南溪河。厂址附近附近 10km 范围内的碣石镇各村均使用自来水，基本不使用地下水。

### （2）海洋功能区划和近岸海域环境功能区划

根据《陆丰市海洋功能区划（2015-2020 年）》，陆丰核电厂用海区域处于代码为“A3-26”的“田尾山工业与城镇用海区”，功能区类型为“工业与城镇用海区”，面积为 4183ha，岸段长度 15382m。

- 该海域使用管理要求有：1) 相适宜的海域使用类型为造地工程用海、工业用海；2) 保障核电用海需求；3) 适当保障交通运输用海需求；4) 优化围填海平面布局，节约集约利用海域资源，提高岸线利用效率；5) 在基本功能未利用时，保留浅海增殖、养殖等渔业用海活动。

根据广东省人民政府关于同意调整汕尾市部分近岸海域环境功能区划的批复（粤府函[2013]127 号），陆丰核电厂址所在海域为“碣石浅澳工业功能区（406B）”，水质目标为三类，陆丰核电厂排水口设置在田尾山南侧海域，附近有“陆丰核电厂冷却水排污稀释混合区（406-1）”，在该区域内，电厂温排水将除温升不执行水质标准外，其他指标均将执行 GB3097-1997 中三类海水水质标准要求。

### （3）生态红线

根据《广东省海洋生态红线》，厂址半径 15km 内涉及的海洋生态红线区有 4 处：

- 碣石湾长毛对虾重要渔业海域限制类红线区，管控类别为限制类，类型为重要渔业海域。
- 金厢重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区，管控类别为限制类，类型为重要砂质岸线及邻近海域。
- 金厢重要渔业海域限制类红线区，管控类别为限制类，类型为重要渔业海域。
- 碣石湾海马珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区，管控类别为限制类，类型为珍稀濒危物种集中分布区。

厂址相邻的海洋生态红线中自然岸线有 2 处，为浅澳港（序号 184）和湖东港（序号 185），均与厂址相邻。

### 2.3.1.3 自然保护区、风景旅游区和文物保护区

#### （1）陆域自然保护区

厂址陆域半径15km范围内有1个自然保护区，为陆丰市碣石湾湿地自然保护区。

根据《陆丰市碣石湾湿地自然保护区总体规划（2018-2027年）》，陆丰市碣石湾湿地自然保护区位于碣石镇，于2007年9月经陆丰市人民政府批准成立，为县级自然保护区，总面积171hm<sup>2</sup>，地理位置坐标为：115°47'20.51"~115°49'05.33"E，22°48'79.49"~22°49'25.10"N。保护区类型为内陆湿地和水域生态系统类型，主要保护对象为湿地水资源、候鸟及其栖息地。碣石湾保护区具有独特的自然环境条件和特殊的湿地生物资源，是多种候鸟南北迁徙的密集交汇区，也是许多珍稀濒危鸟类的迁徙驿站，保护区共记录到国家Ⅱ级重点保护动物4种，广东省重点保护陆生野生动物11种。保护区内没有珍稀濒危及国家重点保护野生植物。

#### （2）海域自然保护区

厂址附近目前有碣石湾海马资源自然保护区、遮浪角东海洋生态自然保护区、遮浪汇聚流海洋生态系统保护区，以及汕尾碣石湾鲮鱼长毛对虾国家级水产种质资源保护区共四个海洋自然保护区。

- 碣石湾海马资源自然保护区：位于田尾山以南海域，由汕尾市于2006年批准建立。保护区范围包括A：115°42'00"E，22°33'00"N；B：116°00'50"E，22°34'00"N；C：116°02'35"E，22°24'40"N；D：115°42'00"E，22°20'40"N等四点连线内海域，面积约500hm<sup>2</sup>，保护对象为三斑海马、日本海马和克氏海马等及其栖息环境。
- 遮浪角东海洋生态自然保护区：位于遮浪角东北部海域，由汕尾市于2006年批准建立。保护区范围包括A：115°34'11"E，22°41'38"N；B：115°34'33"E，22°39'24"N；C：115°35'51"E，22°40'28"N；D：115°35'14"E，22°41'41"N四点连线内的水域，面积约810hm<sup>2</sup>，水深范围在10~21m。保护对象为遮浪角东人工鱼礁区的海洋生物资源及其栖息环境。
- 遮浪汇聚流海洋生态系统保护区：为省级保护区，位于遮浪南部海域。保护区范围为A：115°25'51"E，22°40'46"N；B：115°26'55"E，22°41'13"N；C：115°27'16"E，22°40'15"N；D：115°25'17"E，22°39'23"N；E：115°26'00"E，22°38'44"N五点连线范围内的海域，总面积850hm<sup>2</sup>。主要保护为珍稀濒危野生

动物、重要海珍品及其栖息环境，包括海龟、玳瑁、中国鲎、紫海胆、杂色鲍、锦绣龙虾等。

- 汕尾碣石湾鲮鱼长毛对虾国家级水产种质资源保护区：位于粤东汕尾市碣石湾。保护区范围为：A：22°49.14'N，115°37.38'E；B：22°47.22'N，115°37.38'E；C：22°47.22'N，115°40.44'E；D：22°49.14'N，115°40.44'。保护区总面积1800hm<sup>2</sup>，核心区面积675hm<sup>2</sup>，实验区面积1125hm<sup>2</sup>。主要保护对象为为鲮鱼、长毛对虾以及海鳗、赤点石斑、花鲈、三疣梭子蟹、锯缘青蟹等经济渔业种类亲体和幼体。综合保护种类的产卵期和幼体的繁殖期，特别保护期为每年2-4月和10-12月，一般保护期为每年的7月份至翌年4月份。

### （3）风景旅游区

#### — 旅游现状

陆丰市全市现已开发的旅游景区有三个，即玄武山、金厢滩和清云山旅游区，其中玄武山、金厢滩风景名胜区位于厂址半径15km范围内，两者均为省级风景名胜区。

玄武山风景名胜区位于碣石镇镇区，为AAAA级景区。玄武山是道佛两教合一的宗教活动场所，也是粤东地区一处历史悠久、驰名海内外尤其是东南亚的名胜古迹，并且是闽南语系群众的信仰中心，玄武山南麓的元山寺2001年被国务院列为“全国重点文物保护单位”。2018年玄武山风景旅游区共接待游客200万人次。元山寺平时游客较为分散，在每年春节期间日高峰接待游客可以达到30万人次。春节期间元山寺的主要人流集中在大年初三至十五，最高峰出现在初三晚上至初四凌晨，该镇的主要道路在这一时间段较为拥堵。

金厢滩旅游区位于金厢镇靠近建成区的滨海区域，2018年金厢滩旅游区共接待游客50万人次。

从旅游者的空间分布上来看，以陆丰临近市县以及本地的旅游者为主，省内其它地区及外省的旅游者较少。省内旅游者主要来自广州、深圳、汕头、汕尾等城市以及陆丰附近的县乡。旅游者在时间上具有明显的集中现象，旅游者主要集中在清明节、重阳节和春节三个中国民间传统节日期间。每逢传统佳节，旅居国外的侨胞纷纷回归故里，探亲访友，而“五一”、“十一”两大旅游黄金周则相对较为平缓。

除上述两个旅游景区外，厂址附近浅澳村也有村民开发的小规模旅游项目，主要为沙滩和附近出海游玩，游客一般不住宿，游客人数也较少。

#### 一 旅游规划：

根据陆丰市旅游发展总体规划（2018-2035 年），厂址半径 15km 范围内涉及旅游规划主要是玄武山风景名胜区和金厢滩旅游区。

玄武山风景名胜区：根据规划，陆丰市将进一步扩大该旅游区的规模，完善基础设施和配套服务，并对旅游区的周边环境加以整治，对区内的一些影响景观的建筑予以整修或拆除；在旅游区外面开设特色旅游商品一条街；并在节庆期间，或在安排的时间内在寺的戏台上表演地方戏剧，将该旅游区建设成为集宗教朝拜、特色购物、宗教历史文化探究为一体的特色旅游区。

金厢滩旅游区：根据陆丰市旅游规划，金厢滩旅游区将发展建设金厢滩国际海滨浴场和金厢滨海度假村。周边旅游景点还有金厢沙滩和周恩来渡海处、虎洞藏身处、养病旧址。

#### （4）文物古迹

厂址半径10km范围内的不可移动文物43处，其中距厂址最近的文物位于浅澳村，共有5处，分别为田尾山遗址、浅澳炮台遗址、卢存诚墓、浅澳天后宫、石洲南关庙。

### 2.3.2 陆生资源及生态概况

#### 2.3.2.1 农副业生产概况

厂址半径 80km 范围内无大的森林、草场以及野生珍稀动植物保护区等。厂址位于广东东部沿海，其农作物为一年三熟。地区农业生产品种繁多，主要有粮食作物、油料作物、经济作物、蔬菜和水果。

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。厂址评价区范围内农产品除水果中有部分外销外，其余主要由当地销售。

陆丰核电厂厂址周围地区牲畜饲养种类主要为猪、家禽（鸡、鸭和鹅）、牛和极少数的羊及兔。猪和家禽是厂址地区周围绝大多数农户的副业，生产的肉猪大部分在本地销售，小部分销往汕头、广州和深圳等珠三角地区。猪苗主要供应珠江三角洲地区。牛、羊和兔是部分农户的家庭副业，饲养量很少，牛主要是耕牛，用于耕地劳役。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；家禽有部分为小规模笼舍圈养，农户饲养主要是散养。

### 2.3.2.2 其他陆生资源概况

#### （1）林业资源

厂址所在的陆丰市地形以山地、丘陵为主，地处北回归线以南，属亚热带海洋性季风气候，水热条件优越，地带性植被为亚热带季风常绿阔叶林。区域内目前以人工森林植被为主，仅存有少量的次生阔叶林，主要森林类型有：常绿阔叶林、常绿针叶林、常绿针阔叶混交林和经济林。区域内主要的常见植物属乔木类的有樟树、马尾松、杉树、榕树等，灌木主要梅叶冬青、九节、岗松等，草本植物主要有芒萁、乌毛蕨等。区域内主要的名贵树木有大戟科、桑科、棕榈科、梧桐科、豆科、茶科等。

#### （2）矿产资源

根据调查，厂址所在区域未发现重要矿产资源。此外，汕尾市自然资源局已发函确认厂址无压覆矿床（《关于广东陆丰核电厂址是否压覆矿产资源的复函》（汕尾市自然资源局，2020年8月））。

### 2.3.2.3 陆生生态系统

根据《广东陆丰核电 5、6 号机组陆域生态环境调查及评价报告》，专题单位于 2019 年 10-11 月，在厂址半径 10km 范围进行了动、植物样带、样方现场调查，2020 年 1 月在厂址半径 10km 范围内进行了冬季鸟类调查。

#### （1）生态景观和生态系统

通过调查表明，调查区内的典型生态环境，包括灌木混交林、草丛、农田村庄、海岸滩涂湿地、养殖水塘等生态景观。调查区生态类型：有自然生态系统和人工生态系统。其中自然生态系统有森林生态系统、草原生态系统和淡水生态系统，人工生态系统两大类型有农田生态系统、城市生态系统。各类生态系统情况如下：

- 森林生态系统：调查区的天然植被应为热带常绿季雨林和亚热带季雨性常绿阔叶林，生态系统为热带雨林生态系统及热带季雨林生态系统，同时又具有亚热带常绿阔叶林的特点。主要分布在调查区的丘陵、台地上的林地，是调查区内主要的生态系统。它们组成种类复杂，结构多层，类型多样，它们与环境之间进行着复杂的物质和能量循环，具有旺盛生产力。
- 草原生态系统：属于热带草原的滨海草原类型，滨海沙滩草地、大面积撩荒的

农田构成调查区内热带草原景观，陆丰市海滨气候干热，降水量较内陆少，其特点动植物种类较少，群落结构简单，种群密度和群落结构经常发生剧烈变化。植物以草本植物为主，动物具有挖洞、穴居或快速奔跑的行为特点。两栖类和水生动物少见。调查区内海滨，具有较大面积的草地，可作为热带畜牧业生产基地，同时具有调节气候，防水土地沙化的作用。

- 淡水生态系统：其类型为沼泽、河流。分布于调查区内的一些农田水网、沟渠、坑塘等地，面积较小。调查区内没有大型的河流及大片的沼泽湿地。
- 农田生态系统：调查区有面积较大的农田、园地，主要分布于村镇周边的水稻田、旱地、果林园地等。
- 城市生态系统：主要为调查区内的村镇、工厂、交通道路等。

#### （2）植被类型和调查区内植被群落的优势种、建群种

调查区植被主要分自然植被和人工植被两大类，其中自然植被包括 4 个植被型组，8 个植被型，30 种群系类型，植被型主要有常绿、落叶阔叶混交林、常绿阔叶林、竹林、落叶阔叶灌丛、常绿阔叶灌丛、灌草丛、草本沼泽、浮水水生植被。人工植被有人工林植被、农作植被两植被型组，包括防护林、用材林、水田作物、旱地作物、常绿果林 5 个植被型，8 个植系类型。根据现场踏勘和卫星遥感影像的解译结果可知，调查区域主要植被类型为山林和果园，其次为灌草丛。

调查区域的森林植被面积最大，生物量最高的植物群落主要是人工营造的湿地松群系、台湾相思群系、大叶相思群系、木麻黄群系。次生的天然常绿阔叶林，乔木层呈多优势种结构，其建群种有土蜜树、潺槁木姜子、银合欢、朴树等，林下的灌木层优势种的种类有桃金娘、欏木、雀梅藤、马缨丹、车桑子、黄桅子、银合欢、余甘子、鸦胆子、酒饼簕等，草本层的优势种有黄茅、斑茅、五节芒、白茅、芒萁、野古草等，藤本植物有羊角藤、菟丝子、野葛、厚藤等。撂荒的农田杂草以铺地黍为优势种。

#### （3）生物多样性

根据生物多样性指数（BI）计算，陆丰核电厂厂址半径 10km 范围生物多样性等级为低，联系实际调查结果和查询资料可知，该区域物种贫乏，生态系统类型单一，特有属、种不多，生物多样性较低。

#### （4）陆生动物情况

从两栖动物区系和动物地理区划上看，5 种均为东洋界种类。从爬行动物区系和动

物地理区划上看，均为东洋界种类，无古北界种。调查样带区域的鸟类按照鸟类地理分布的东洋种类 42 种，古北种类 29 种，广布种 13 种。调查样带区域共记录有哺乳动物种类 4 目 5 科 8 种，属于东洋界的有 5 种，占总数的 62.50%；属于古北界的有 3 种，占总数的 37.50%。

#### （5）珍稀濒危物种保护状况

本次调查，尚未发现有国家级重点保护野生植物、广东省省级重点保护野生植物及当地政府登记并挂牌保护的古树名木。也未发现当地特有种分布。

调查样带分布有国家二级重点保护动物（分别为褐翅鸦鹃、黑翅鸢、红隼、岩鹭、普通鸬和黑耳鸬，其中普通鸬和黑耳鸬为资料记载的种类，褐翅鸦鹃、岩鹭、黑翅鸢和红隼，均为现场观察到的种类）、广东省重点保护动物（分别为池鹭、白鹭、牛背鹭、大白鹭、中白鹭、苍鹭、夜鹭、黑水鸡、红嘴鸥、粉红燕鸥、黑枕燕鸥、褐翅燕鸥、白翅浮鸥、草鹭、黄斑苇鳉和沼水蛙。其中草鹭、黄斑苇鳉、粉红燕鸥、黑枕燕鸥、褐翅燕鸥和沼水蛙为资料记载的种类，其余均为现场观察到的种类）。列入《中国濒危动物红皮书》：其中稀有等级（R）岩鹭，易危等级（VU）有银环蛇、舟山眼镜蛇、黑翅鸢、褐翅鸦鹃。银环蛇和舟山眼镜蛇为资料记载的种类，岩鹭、黑翅鸢和褐翅鸦鹃现场观察到的种类。

### 2.3.2.4 居民点和农牧场

离反应堆最近的居民点是位于厂址 NW 方位 1.4km 的浅澳村，人口 3310 人。

厂址周围半径 15km 范围内无牧场，也无奶牛场和奶羊场。离厂址最近的养殖场为后埔村刘养童养猪场。

### 2.3.3 水产资源及生态概况

#### 2.3.3.1 水生生态

自然资源部第三海洋研究所于 2019 年 2 月~11 月期间，对陆丰核电厂邻近海域水质、生态环境和水产资源进行了 4 个季度航次的调查监测工作。调查海区位于陆丰厂址附近半径约 50km 范围内。

#### （1）站位布设

叶绿素 *a* 和初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物、鱼卵仔鱼、游泳动物



均布设 29 个调查站位，粪大肠菌群调查布设 10 个站位，底栖生物阿氏拖网布设 6 个站位，潮间带底栖生物调查布设 6 条断面。调查站位信息见表 2.3-1~2.3-2 和图 2.3-1~2.3-2。

## （2）叶绿素 *a* 和初级生产力

春季调查海域表层叶绿素 *a* 含量的平均值为  $9.19\text{mg}/\text{m}^3$ ，变化范围介于  $0.41\sim 35.72\text{mg}/\text{m}^3$  之间；底层叶绿素 *a* 含量的平均值为  $6.81\text{mg}/\text{m}^3$ ，变化范围介于  $0.52\sim 21.45\text{mg}/\text{m}^3$  之间，表层和底层叶绿素 *a* 含量变化幅度均较大。从分布上看，表、底层叶绿素 *a* 含量的相对高值站大部分均集中在碣石湾湾内，相对低值站多集中在较远岸海域；从含量上看，表层叶绿素 *a* 平均含量高于底层，为底层的 1.35 倍；表层大部分站位的叶绿素 *a* 含量在  $5.00\sim 10.00\text{mg}/\text{m}^3$  之间，底层大部分站位的叶绿素 *a* 含量在  $0.00\sim 3.00\text{mg}/\text{m}^3$  以及  $5.00\sim 10.00\text{mg}/\text{m}^3$  之间。

夏季调查海域表层叶绿素 *a* 含量的平均值为  $3.71\text{mg}/\text{m}^3$ ，变化范围介于  $0.92\sim 7.38\text{mg}/\text{m}^3$  之间；底层叶绿素 *a* 含量的平均值为  $2.69\text{mg}/\text{m}^3$ ，略低于表层，变化范围介于  $0.98\sim 4.99\text{mg}/\text{m}^3$  之间。从分布上看，表、底层叶绿素 *a* 含量的相对高值站多集中在东北海域，相对低值站多集中在碣石湾湾口西部海域；从含量上看，表层叶绿素 *a* 平均含量高于底层，为底层的 1.38 倍；表层大部分站位的叶绿素 *a* 含量在  $3.00\sim 5.00\text{mg}/\text{m}^3$  之间，底层大部分站位的叶绿素 *a* 含量在  $1.50\sim 3.00\text{mg}/\text{m}^3$  之间。

秋季调查海域表层叶绿素 *a* 含量的平均值为  $2.99\text{mg}/\text{m}^3$ ，变化范围介于  $0.72\sim 9.71\text{mg}/\text{m}^3$  之间；底层叶绿素 *a* 含量的平均值为  $2.86\text{mg}/\text{m}^3$ ，略低于表层，变化范围介于  $0.55\sim 9.82\text{mg}/\text{m}^3$  之间。从分布上看，表、底层叶绿素 *a* 含量的相对高值站多集中在碣石湾湾内，相对低值站多集中在较远岸海域；从含量上看，表层叶绿素 *a* 平均含量高于底层，为底层的 1.04 倍；表层大部分站位的叶绿素 *a* 含量在  $1.50\sim 3.00\text{mg}/\text{m}^3$  之间，底层大部分站位的叶绿素 *a* 含量在  $0.00\sim 3.00\text{mg}/\text{m}^3$  之间。

冬季调查海域表层叶绿素 *a* 含量的平均值为  $3.97\text{mg}/\text{m}^3$ ，变化范围介于  $0.72\sim 8.38\text{mg}/\text{m}^3$  之间；底层叶绿素 *a* 含量的平均值为  $3.57\text{mg}/\text{m}^3$ ，变化范围介于  $1.05\sim 8.60\text{mg}/\text{m}^3$  之间，表层和底层叶绿素 *a* 含量变化幅度均较大。从分布上看，表、底层叶绿素 *a* 含量的相对高值站大部分均集中在碣石湾内，相对低值站多集中在较远岸海域；从含量上看，表层叶绿素 *a* 平均含量略高于底层，为底层的 1.17 倍；表、底层大部分站位的叶绿素 *a* 含量均在  $3.00\sim 5.00\text{mg}/\text{m}^3$  之间。

春季调查海域初级生产力的平均值为  $255.18\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，变化范围在  $18.52\sim 677.59\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  之间，变化幅度较大。总体来看，初级生产力的平面分布与叶绿素 *a* 的分布较为一致，均表现出高值站多集中于近岸海域（碣石湾湾内），低值站多数集中于较远岸海域的分布规律，大部分站位的初级生产力含量在  $100.00\sim 300.00\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  之间。

夏季调查海域初级生产力的平均值为  $55.72\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，变化范围在  $9.22\sim 138.29\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  之间，变化幅度较大。总体来看，初级生产力的平面分布与叶绿素 *a* 的分布较为一致，均表现出相对高值站多集中在东北海域，相对低值站多集中在碣石湾湾口西部海域的分布规律，大部分站位的初级生产力含量在  $25.00\sim 75.00\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  之间。

秋季调查海域初级生产力的平均值为  $31.81\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，变化范围在  $7.30\sim 116.44\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  之间。总体来看，调查海域初级生产力变化幅度较大，大部分站位的含量在  $0.00\sim 25.00\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  之间，总体分布呈现碣石湾湾内高于较远岸海域的分布趋势，与表、底层叶绿素 *a* 含量的分布较为一致。

冬季调查海域初级生产力的平均值为  $45.23\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，变化范围在  $19.56\sim 116.00\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  之间，变化幅度较大。总体来看，初级生产力的平面分布与表、底层叶绿素 *a* 的分布均不一致，呈现出低值站多集中于近岸海域，高值站多数集中于较远岸海域的分布规律，大部分站位的初级生产力含量在  $25.00\sim 50.00\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  之间。

### （3）浮游植物

#### 一 水采浮游植物

调查海区 4 个航次调查共记录浮游植物 6 门 252 种，其中硅藻 53 属 191 种，甲藻 19 属 51 种，金藻 3 属 3 种，蓝藻 2 属 3 种，绿藻 3 属 3 种，裸藻 1 属 1 种。其中，赤潮种 65 种。其中，2 月共记录浮游植物 6 门 43 属 181 种（类），其中硅藻 45 属 140 种（类），甲藻 12 属 34 种，金藻 2 属 3 种，绿藻 2 属 2 种，蓝藻和裸藻各 1 属 1 种。2 月该监测海域优势种主要有翼根管藻纤细变型和丹麦细柱藻；4 月，共记录浮游植物 5 门 51 属 122 种（类），其中硅藻 36 属 100 种（类），甲藻 10 属 21 种，金藻 3 属 3 种，蓝藻和定鞭藻各 1 属 1 种。4 月该监测海域优势种主要有中肋骨条藻、微小细柱藻、丹麦细柱藻、柔弱拟菱形藻和菱形海线藻小型变种；8 月，调查共记录浮游植物 4 门

44 属 112 种（类），其中硅藻 33 属 83 种（类），甲藻 16 属 29 种，金藻 3 属 4 种，蓝藻 1 属 3 种。8 月该监测海域主要优势种有菱形海线藻、微小细柱藻、柔弱拟菱形藻，此外中肋骨条藻在个别测站也占非常高的比例；11 月，调查共记录浮游植物 4 门 52 属 95 种（类），其中硅藻 32 属 71 种（类），甲藻 16 属 21 种，金藻 3 属 2 种，蓝藻 1 属 1 种。8 月该监测海域主要优势种有冰河星杆藻、马氏骨条藻、菱形海线藻、微小细柱藻、丹麦细柱藻、柔弱拟菱形藻和中肋骨条藻。

#### — 网采浮游植物

根据 4 个航次的调查结果，共记录鉴定到种的浮游植物 5 门 56 属 158 种，其中硅藻门 40 属 126 种，甲藻门 10 属 26 种，蓝藻门 2 属 2 种，金藻门 3 属 3 种，定鞭藻门 1 属 1 种。优势种主要有菱形海线藻、球形棕囊藻、窄隙角毛藻、热带骨条藻、中肋骨条藻、翼根管藻纤细变型和扭链角毛藻。

#### （4）浮游动物

本次年度 4 航次调查共记录鉴定到种的浮游动物 128 种，鉴定到科的 1 种，另记录部分浮游生物幼体 32 个属，在种类组成上以桡足类最为优势，共记录到 56 种；其次是水母类，共记录到 36 种；被囊类共记录到 12 种；此外还记录了阶段性浮游生物 24 个类群。浮游动物种类以春季最为丰富，检测到 76 种，秋季最少，仅 54 种。除夏季浮游动物以水母类占主要优势，桡足类次之，其余季度桡足类的种类数占优势，水母类次之。

本调查浮游动物四个季度总生物量均值为  $(476.72\text{mg}/\text{m}^3)$ ，夏季浮游动物生物量最低  $(112.45\text{mg}/\text{m}^3)$ ，冬季最高  $(1259.88\text{mg}/\text{m}^3)$ 。在趋势分布上，从冬季到秋季呈现先减小后增加的趋势。四个季度总个体密度均值为  $172.93\text{ind}/\text{m}^3$ 。春季总个体密度值最高  $(446.71\text{ind}/\text{m}^3)$ ，冬季个体密度值最低  $(45.94\text{ind}/\text{m}^3)$ 。四个季度浮游动物主要类别个体密度的百分组成不尽相同，冬季以水母类和栉水母占优势，春季以毛颚类、桡足类和水母类占优势，夏季以桡足类占绝对优势，秋季以桡足类占绝对优势。物种多样性指数和均匀度的变化趋势都呈波浪式，在春季两个值都达到最大值。四个季度浮游动物多样性指数均值为 2.99。

#### （5）微生物

冬季调查，除 L13 号站、L45 号站和 L22 号站表层外，其余各站表、底层粪大肠菌群丰度均未超过供人生食贝类增殖海水粪大肠菌群丰度检测标准 140 个/L；L45

站表层粪大肠菌群平均丰度为 3020 个/L，除 L45 站位表层外，其余所有站位粪大肠菌群丰度均不超过 2000 个/L，均符合《海水水质标准》中的一至三类海水水质标准。

春季调查，除 L45 号站外，其余各站表、底层粪大肠菌群丰度均未超过供人生食贝类增养殖海水中粪大肠菌群丰度检测标准 140 个/L；本海区表、底层水体粪大肠菌群丰度均不超过 2000 个/L，均符合《海水水质标准》中的一至三类海水水质标准。

夏季调查，除 L45 号站外，其余各站表、底层粪大肠菌群丰度均未超过供人生食贝类增养殖海水中粪大肠菌群丰度检测标准 140 个/L；本海区表、底层水体粪大肠菌群丰度均不超过 2000 个/L，均符合《海水水质标准》中的一至三类海水水质标准。

秋季调查，除 L45 号站外，其余各站表、底层粪大肠菌群丰度均未超过供人生食贝类增养殖海水中粪大肠菌群丰度检测标准 140 个/L；L45 站表、底层粪大肠菌群平均丰度为 5500 个/L，除了 L45 号站位外，其余 9 个站位粪大肠菌群丰度均不超过 2000 个/L，均符合《国家海水水质标准》中的一至三类海水水质标准。L45 站位于碣石内湾，养殖较多，水交换能力较差，可能是造成各季调查结果超标的主要原因。

#### （6）潮间带底栖生物

本次调查共采获潮间带大型底栖生物 226 种，不同季节潮间带大型底栖生物物种数以春季（121 种）>秋季（107 种）>夏季（98 种）>冬季（97 种）。

岩相潮间带大型底栖生物年平均栖息密度为 897ind/m<sup>2</sup>，不同季节岩相潮间带大型底栖生物密度以春季（2205ind/m<sup>2</sup>）>冬季（599ind/m<sup>2</sup>）>夏季（467ind/m<sup>2</sup>）>秋季（318ind/m<sup>2</sup>）；软相潮间带大型底栖生物年平均栖息密度为 173ind/m<sup>2</sup>，不同季节软相潮间带大型底栖生物密度以夏季（203ind/m<sup>2</sup>）>秋季（195ind/m<sup>2</sup>）>春季（167ind/m<sup>2</sup>）>冬季（128ind/m<sup>2</sup>）。

岩相潮间带大型底栖生物年平均生物量为 1017.19g/m<sup>2</sup>。不同季节岩相潮间带大型底栖生物生物量以春季（1351.16g/m<sup>2</sup>）>冬季（1275.89g/m<sup>2</sup>）>夏季（756.10g/m<sup>2</sup>）>秋季（685.61g/m<sup>2</sup>）；软相潮间带大型底栖生物年平均生物量为 28.89g/m<sup>2</sup>。不同季节软相潮间带大型底栖生物生物量以春季（47.58g/m<sup>2</sup>）>秋季（29.64g/m<sup>2</sup>）>冬季（23.06g/m<sup>2</sup>）>夏季（15.22g/m<sup>2</sup>）。

本航次采获潮间带大型底栖生物物种数 226 种，岩相潮间带大型底栖生物年平均栖息密度 897ind/m<sup>2</sup>，软相潮间带大型底栖生物年平均栖息密度 173ind/m<sup>2</sup>，岩相潮间带大型底栖生物年平均生物量 1017.19g/m<sup>2</sup>，软相潮间带大型底栖生物年平均生物量

28.89g/m<sup>2</sup>。

### （7）潮下带底栖生物

四季调查共鉴定大型底栖生物 406 种，其中环节动物最多（133 种），占有所有种类的 32.76%，其次是软体动物 109 种，占有所有种类的 26.85%，节肢动物 102 种，占有所有种类的 25.12%。棘皮动物和其他类的种类数较少。4 个季度的底栖生物种类分布变化为夏季（223 种）>秋季（212 种）>春季（179 种）=冬季（179 种）。

邻近海域大型底栖生物年平均密度为 401ind./m<sup>2</sup>，其中环节动物密度最大（193ind./m<sup>2</sup>），占平均密度的 48.24%，其次是软体动物（123ind./m<sup>2</sup>），占平均密度的 30.61%，节肢动物密度为 47ind./m<sup>2</sup>，占平均密度的 11.81%，其他类和棘皮动物密度较小，分别为 33ind./m<sup>2</sup>和 4ind./m<sup>2</sup>。4 个季度的底栖生物平均密度变化为夏季（527ind./m<sup>2</sup>）>冬季（445ind./m<sup>2</sup>）>秋季（398ind./m<sup>2</sup>）>春季（234ind./m<sup>2</sup>），各个季节均以环节动物和软体动物密度占优势，棘皮动物密度均最小。

邻近海域大型底栖生物年平均生物量为 29.88g/m<sup>2</sup>，其中软体动物生物量最大（16.04g/m<sup>2</sup>），占平均生物量的 53.69%，其次是其他动物（5.05g/m<sup>2</sup>），占平均生物量的 16.91%，环节动物和节肢生物量分别为 4.72g/m<sup>2</sup>和 3.07，各占平均生物量的 15.81%和 10.27%，棘皮动物生物量较小，仅为 0.25g/m<sup>2</sup>。4 个季度的底栖生物平均生物量变化为秋季（57.91g/m<sup>2</sup>）>夏季（28.99g/m<sup>2</sup>）>春季（17.13g/m<sup>2</sup>）>冬季（15.48g/m<sup>2</sup>），春季、夏季和秋季以软体动物生物量占优势，冬季以环节动物生物量占优势。

### （8）鱼卵仔稚鱼

调查期间共记录鱼卵和仔稚鱼 41 科 50 属 83 种（含未定种）。其中以春季（4 月）和夏季（8 月）种类较多，分别为 48 种（含未定种）和 46 种（含未定种），冬季降到 31 种（含未定种），秋季种类最少仅为 18 种（含未定种）。种类上，以鲱科、鯷科和石首鱼科种类最多为 6 种、鲷科和隆头鱼科为 5 种居二、狗母鱼科、鲻科、鲹科、鮡科、魴科和舌鳎科种类各为 3 种（含未定种），其它各科仅记录 1~2 种。

调查期间，四季垂直拖网平均个体数为 279.5ind/100m<sup>3</sup>，其中春季密度最高平均为 837.4ind/100m<sup>3</sup>，夏季平均为 245.2ind/100m<sup>3</sup>居次、秋季降至 29.9ind/100m<sup>3</sup>，冬季为年最低（5.5ind/100m<sup>3</sup>）值。水平拖网四季平均为 399.7/100m<sup>3</sup>，其中夏季（8 月）为年最高值（896.0ind/100m<sup>3</sup>），春季居二为 636.9ind/100m<sup>3</sup>、秋季下降为 45.2，冬季年最低值仅为 20.8ind/100m<sup>3</sup>。

### （9）游泳动物

四个航次共出现游泳动物 199 种。其中，鱼类 133 种，占总种数的 66.83%，虾类 21 种，占总种数的 10.55%，蟹类 26 种，占总种数的 13.07%，虾蛄类 9 种，占总种数的 4.52%，头足类 10 种，占总种数的 5.03%。调查海域四个航次游泳动物相对资源密度平均为 506.50kg/km<sup>2</sup> 和 56882ind./km<sup>2</sup>。

2019 年 2 月冬季调查海域渔业资源重量和尾数密度分别为 425.44kg/km<sup>2</sup> 和 30187ind./km<sup>2</sup>。其中，鱼类为 262.37kg/km<sup>2</sup>、13182ind./km<sup>2</sup>，虾类为 3.55kg/km<sup>2</sup>、848ind./km<sup>2</sup>，蟹类为 59.51kg/km<sup>2</sup>、4269ind./km<sup>2</sup>，虾蛄类为 98.28kg/km<sup>2</sup>、11640ind./km<sup>2</sup>，头足类为 1.73kg/km<sup>2</sup>、248ind./km<sup>2</sup>。

2019 年 4 月春季调查海域渔业资源重量和尾数密度分别为 410.99kg/km<sup>2</sup> 和 31998ind./km<sup>2</sup>。其中，鱼类为 250.17kg/km<sup>2</sup>、19364ind./km<sup>2</sup>，虾类为 4.10kg/km<sup>2</sup>、1396ind./km<sup>2</sup>，蟹类为 58.53kg/km<sup>2</sup>、5289ind./km<sup>2</sup>，虾蛄类为 65.72kg/km<sup>2</sup>、4672ind./km<sup>2</sup>，头足类为 32.48kg/km<sup>2</sup>、1276ind./km<sup>2</sup>。

2019 年 8 月夏季调查海域渔业资源重量和尾数密度分别为 747.24kg/km<sup>2</sup> 和 121019ind./km<sup>2</sup>。其中，鱼类为 426.85kg/km<sup>2</sup>、38614ind./km<sup>2</sup>，虾类为 81.97kg/km<sup>2</sup>、34063ind./km<sup>2</sup>，蟹类为 109.97kg/km<sup>2</sup>、27636ind./km<sup>2</sup>，虾蛄类为 90.89kg/km<sup>2</sup>、17633ind./km<sup>2</sup>，头足类为 37.56kg/km<sup>2</sup>、3072ind./km<sup>2</sup>。

2019 年 11 月秋季调查海域渔业资源重量和尾数密度分别为 442.31kg/km<sup>2</sup> 和 44315ind./km<sup>2</sup>。其中，鱼类为 164.21kg/km<sup>2</sup>、9664ind./km<sup>2</sup>，虾类为 20.99kg/km<sup>2</sup>、4077ind./km<sup>2</sup>，蟹类为 95.28kg/km<sup>2</sup>、13157ind./km<sup>2</sup>，虾蛄类为 151.43kg/km<sup>2</sup>、16517ind./km<sup>2</sup>，头足类为 10.39kg/km<sup>2</sup>、900ind./km<sup>2</sup>。

#### 2.3.3.2 三场一通

陆丰核电厂址附近海域三场一通情况如下：

##### （1）产卵场

陆丰核电厂址半径 15km 范围内海域没有产卵场。

##### （2）索饵场

核电厂附近海域闽南、粤东近海群系鲷鱼索饵场，该鲷鱼闽南、粤东近海群系不作长距离洄游，整个生命过程包括生殖、索饵等基本在闽南、粤东近海渡过。

### （3）越冬场

闽南、粤东近海群系鲈鱼越冬场，闽南、粤东近海群系不作长距离洄游，整个生命过程包括生殖、索饵等基本在闽南、粤东近海渡过，主要分布于 22°00'~22°30'，116°00'~116°40'，水深 60m~100m，越冬期一般为 12 月至翌年 3 月。

### （4）洄游通道

蓝圆鲈可分为二个种群：一是东海种群，二是闽南、粤东近海种群。东海种群有二个越冬场：一是在台湾海峡中南部（与闽南、粤东近海种群的分布有交错）；另一个是在台湾北部彭佳屿附近水深 100m~150m 的海域。

东海区鲈鱼可分为闽南、粤东近海群系和东海群系。闽南、粤东近海群系不作长距离洄游，整个生命过程包括生殖、索饵等基本在闽南、粤东近海渡过，无明显的越冬现象，冬季主要分布于 22°00'~22°30'N，116°00'~116°40'E，60m~100m 水深海区。

分布于南海的金线鱼不作季节性远距离的洄游，仅随着季节的变化在深水区与浅水区之间移动。每年 2 月中旬金线鱼从汕头西南外海区向近海一带作产卵洄游，在 4 月下旬至 5 月上旬水温升高时进行产卵，5 月产卵后分散向西南方向游向外海；幼鱼逐渐长大，也向深水海域移动。

#### 2.3.3.3 渔业资源及渔业生产现状

陆丰近岸海域主要鱼类资源有带鱼、金线鱼、沙丁鱼、海鳗、鳀鱼、真鲷、白姑鱼、马面鲀、蓝圆鲈等；甲壳类资源主要有梭子蟹、对虾等；藻类资源主要有江篱；头足类主要有乌贼、鱿鱼等。养殖的主要品种有牡蛎、南美白对虾、鲈鱼、青蟹、贻贝、蛤、海胆等。

厂址附近已经取得《水域滩涂养殖证》的养殖区主要分布在碣石浅海养殖区，主要为增养殖及虾、蟹、牡蛎、海胆、鲍鱼等养殖。

根据《广东省沿海人工鱼礁建设规划》，碣石湾海域共规划建设人工鱼礁区 6 个，分别为 1、陆丰市甲子麒麟山人工鱼礁区；2、陆丰市湖东三洲澳人工鱼礁区；3 陆丰市碣石田尾山人工鱼礁区；4、陆丰市金厢南人工鱼礁区；5、汕尾市遮浪角东人工鱼礁区；6、汕尾市遮浪角西人工鱼礁区。其中，规划的最近的鱼礁为碣石田尾山人工鱼礁区。碣石田尾山人工鱼礁区易址后，距离陆丰核电厂最近的人工鱼礁是陆丰市金厢南人工鱼礁区，地理位置为东经 115°43'30"、115°45'00"、115°45'00"、115°43'20"、

22°49'45"，北纬 22°49'45"、22°48'55"、22°48'55"，礁区面积 375km<sup>2</sup>，投放礁体 26400 空方。

#### 2.3.3.4 赤潮

根据 2010 年至 2018 年广东省海洋环境状况公报，陆丰核电周边海域（50km）共发生 4 次赤潮，分别在 2010 年、2011 年、2013 年、2016 年，面积为 1.7-10km<sup>2</sup>，爆发的赤潮种也各不相同，分别为锥状斯氏藻、丹麦细柱藻、米氏凯伦藻、红色赤潮藻。具体见表 2.3-3。

### 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

根据陆丰市自然资源局和统计局，以及当地各乡镇提供的相关资料，陆丰市主要形成以新兴产业核能、风能和传统产业圣诞玩具、服装、日用制品为主的行业格局。厂址半径 15km 范围主要包括了陆丰市的碣石镇全部区域，以及金厢镇、南塘镇、湖东镇和桥冲镇的部分范围，区域内社会经济以农业、渔业为主，以及少量轻工业和手工业制造。区域内碣石镇乡镇工业经济一般，其余各镇工业经济较为薄弱。

陆丰核电厂厂址周围 15km 区域内主要是一些中小型企业，且基本集中在碣石镇镇区。核电厂半径 5km 范围内无大规模的工矿企业。碣石镇全镇范围内无化工生产和重工业企业。

##### （2）工业企业规划

根据《陆丰市城市总体规划（2011-2035 年）》（2018 年 10 月），厂址半径 15km 范围所涉及的碣石镇为重点镇，金厢镇和湖东镇为一般镇。碣石镇的规划目标为市域东南部城镇密集区中心，以圣诞玩具、服装、日用制品为主的加工工业中心，发展休闲旅游和现代商贸业，陆丰市环境优美的中心镇。湖东镇规划为工贸型城镇，金厢镇规划为旅游型城镇。

紧邻厂址东北侧规划有中广核汕尾海洋工程基地，规划有风机叶片制造厂区、铸造厂区、塔筒/钢管桩生产区、导管架生产区、海缆厂区、辅助设施区、办公/生活区等。



工程基地定位于支撑汕尾乃至粤东地区海上风电的发展，目标是形成集技术研发、设备制造、检测认证、建设安装、运行维护为一体的海上风电工程基地。

湖东镇工业规划主要为甲湖湾能源基地，项目包括：

- 陆上风力发电厂，分二期建设；
- 海上风电厂，规划海域面积达 240km<sup>2</sup>。

### 2.3.4.2 交通

#### (1) 陆上交通

##### 1) 铁路

厂址所在的陆丰市现有一条铁路，厦门—深圳沿海铁路东西向经过陆丰市境内，离厂址最近距离约 28km（N 方位），陆丰段为 112km，按照国铁 1 级建设。

厂址附近规划有汕汕铁路，起自广梅铁路汕头站，终自厦深铁路汕尾站，陆丰市境内设陆丰南站。该线路距厂址最近距离约 18km。

##### 2) 公路

陆丰核电厂厂址附近区域的主要公路干线为深汕高速公路、324 国道、338 省道、陆丰市沿海公路、139 县道和 138 县道。此外，陆丰核电厂进厂道路也已建成通车；应急道路正处于规划选线阶段。厂址附近区域内各村庄已实现了“村村通”。

根据《汕尾市公路网规划（2016-2030 年）》，厂址附近主要的道路建设规划有：

- SWX005 金厢镇-甲西镇：起点位于陆丰市金厢镇山门村，途径桥冲镇大塘村、南塘镇潭头村、龙岭村、石佛村、塔仔村、白山村、南塘九村、十村、凉水井、梧厝村、后西村、湖东镇北坑村、华美村、神围水库、甲西镇新饶村、博社村，终于甲西镇西山村。
- SWX006 内湖至核电站：起点位于陆丰市内湖镇内湖村（X139 线 1.04KM 处），途径南塘镇潭头村、龙岭村（福德庙）、碣石镇莲花村、角清村，终点止于碣石镇浅澳村（核电站）。
- SWX008 上埔—联海：起点位于陆丰市潭西镇上埔村，途经深港村、恢丰村、上英镇禾路村、上英村、围内村、新乡，新建一条 2km 的公路接新开通的 G324 线陆丰穿城段。
- 陆河水唇至汕尾红海湾田乾（S19 兴汕高速公路汕尾段）。路线起于陆河水唇

与揭西五云交界处，经陆河水唇、河田、上护、河口、新田、陆丰西南、海丰平东、可塘、陆丰星都、海丰赤坑，终于汕尾市红海湾管理区田墘镇附近，路线在陆河水唇至海丰平东与甬莞高速共线。

一 广东滨海旅游公路。

## （2）海上交通

### 1) 港口和码头

陆丰市地处广东东部沿海，海岸线众多，水运资源丰富。陆丰市境内港口航运用海有甲子、湖东、碣石、金厢、乌坎 5 处，距离厂址最近的港口是碣石港。

根据《汕尾港总体规划》（2014 年 6 月），厂址半径 15km 范围内规划港口 1 处：汕尾港陆丰港区碣石作业区，碣石作业区未来规划布置 4 个 10000DWT 通用泊位。

根据《汕尾市现代渔港建设规划（2015-2025 年）》（2015 年 8 月），厂址半径 15km 范围内规划渔港 1 处，即现有的碣石渔港。

## （3）锚地

陆丰核电厂厂址半径 15km 范围内有 3 个锚地，分别为碣石港大型船舶临时避风锚地、过驳锚地、引航、检疫锚地。

## （4）航道

厂址周围的海上航线主要是香港至上海、广州至汕头和香港至基隆的航线等，过境的近海航路主要有 3 条，分别为：中小型船舶航路、中型船舶航路、大型船舶航路。另外，从广州、汕尾或汕头等港口至碣石湾码头的航线位于碣石湾西岸。

## （5）机场及空中航线

陆丰核电厂厂址半径 30km 范围内没有机场。根据中国民用航空中南地区管理局空中交通管理局的文件（民航中南局空管局空管函[2005]1 号），厂址半径 4km 范围内没有民航飞机航线通过。

### 2.3.4.3 外部人为事件评价

根据厂址安全评价报告，厂址附近固定危险源发生爆炸的安全距离估算结果均远小于各危险源与厂址的实际距离，因此不会对陆丰核电厂址产生安全影响。

根据厂址安全评价报告，潜在的移动危险源主要考虑厂址附近碣石湾油库的油品采用海运时的运输船只。其安全距离小于碣石湾航道与厂址的最近距离。因此碣石湾

油气船的运输不会对陆丰核电厂安全有潜在影响。

碣石镇上的加油站和民用液化气均采用公路运输，从碣石湾油气码头至碣石镇镇区的运输线路距离厂址都在 5km 以外，不会对陆丰核电厂安全有潜在影响。

综合上述分析评价，厂址周边存在的潜在外部人为事件风险源不会对厂址安全构成影响。

### 2.3.5 参考资料

- [1] 广东陆丰核电一期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，2019 年 11 月；
- [2] 广东陆丰核电一期工程接纳水体水质环境、水生生态与渔业资源调查总报告，自然资源部第三海洋研究所，2020 年 3 月；
- [3] 广东陆丰核电厂 5、6 号机组陆域生态环境调查及评价报告，中国辐射防护研究院，2020 年 6 月。

表 2.3-1 海洋生物调查站位表

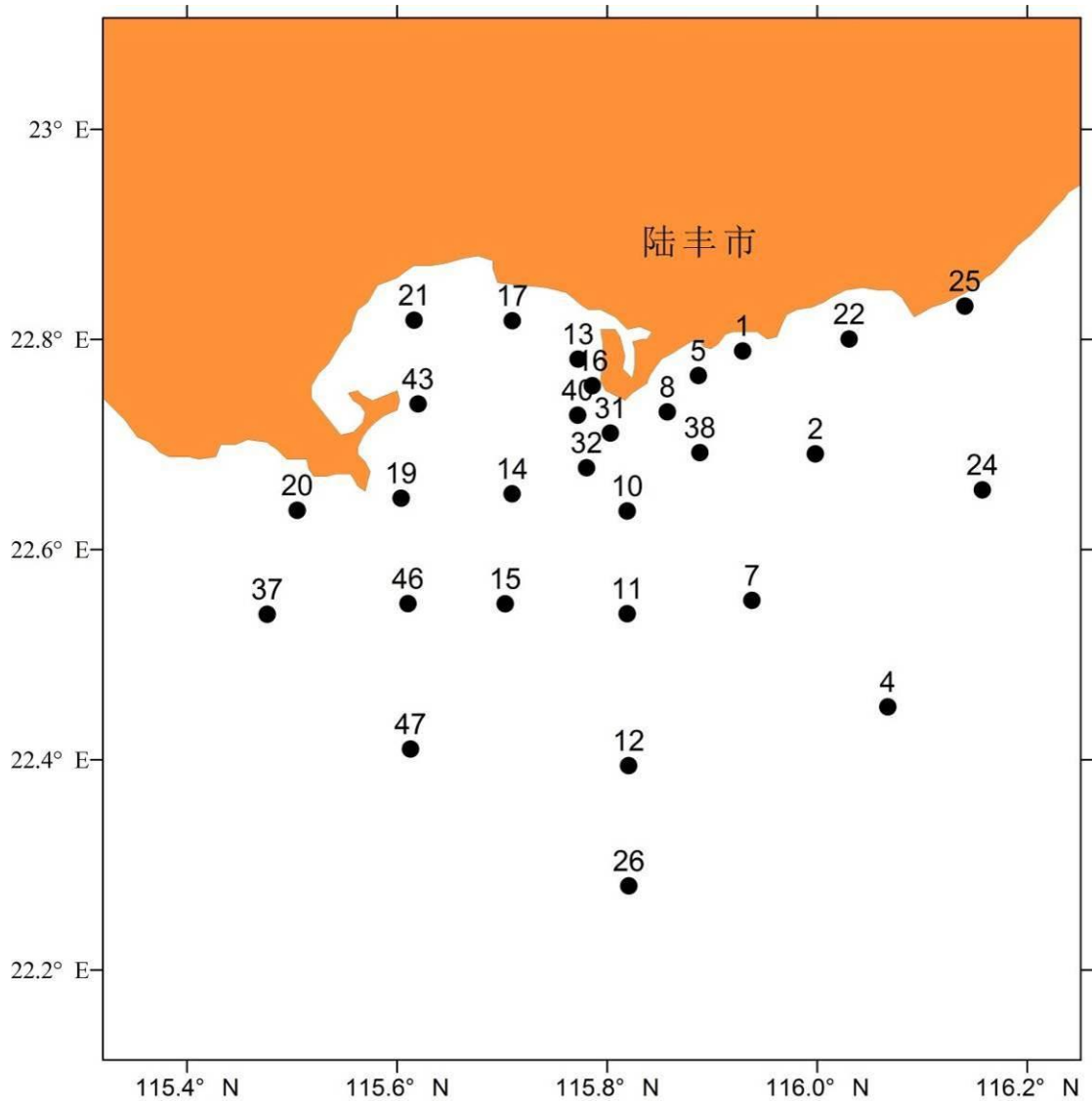
站号	经纬度		调查内容		
	东经	北纬	叶绿素 <i>a</i> 和初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物、鱼卵仔鱼、游泳动物	粪大肠菌群	底栖生物阿氏拖网
1	115°55'43.91"	22°47'20.68"	√		
2	115°59'53.5"	22°41'28.6"	√		
3	116°2'49.6"	22°33'43.69"		√	
4	116°4'1.34"	22°27'1.44"	√		
5	115°53'12.2"	22°45'56.8"	√	√	√
7	115°56'16.08"	22°33'6.27"	√		
8	115°51'26"	22°43'52.2"	√		
10	115°49'8.34"	22°38'12.7"	√		
11	115°49'8.34"	22°32'20.5"	√	√	
12	115°49'13.5"	22°23'40.3"	√		
13	115°46'20.1"	22°46'52.9"	√	√	
14	115°42'33.66"	22°39'11.2"	√		√
15	115°42'10.43"	22°32'55.07"	√		
16	115°47'8.89"	22°45'21.8"	√		
17	115°42'34.2"	22°49'4.38"	√		√
19	115°36'13.6"	22°38'56.4"	√		
20	115°30'17.48"	22°38'14.81"	√		
21	115°36'58.3"	22°49'5.88"	√	√	
22	116°1'48.75"	22°48'1.59"	√	√	√
24	116°9'25.35"	22°39'24.89"	√		
25	116°8'25.41"	22°49'54.55"	√		
26	115°49'14.06"	22°16'48.29"	√	√	
31	115°48'10.5"	22°42'39.8"	√		√
32	115°46'48.7"	22°40'40.8"	√		
37	115°28'34.65"	22°32'18.78"	√		
38	115°53'17.2"	22°41'32.9"	√		
39	115°49'11.8"	22°41'21.7"		√	√
40	115°46'18.9"	22°43'41.15"	√		
43	115°37'11.72"	22°44'19.06"	√		
45	115°49'0.14"	22°47'19.88"		√	
46	115°36'36.72"	22°32'55.34"	√	√	
47	115°36'45.76"	22°24'37.14"	√		

**表 2.3-2 潮间带站位经纬度**

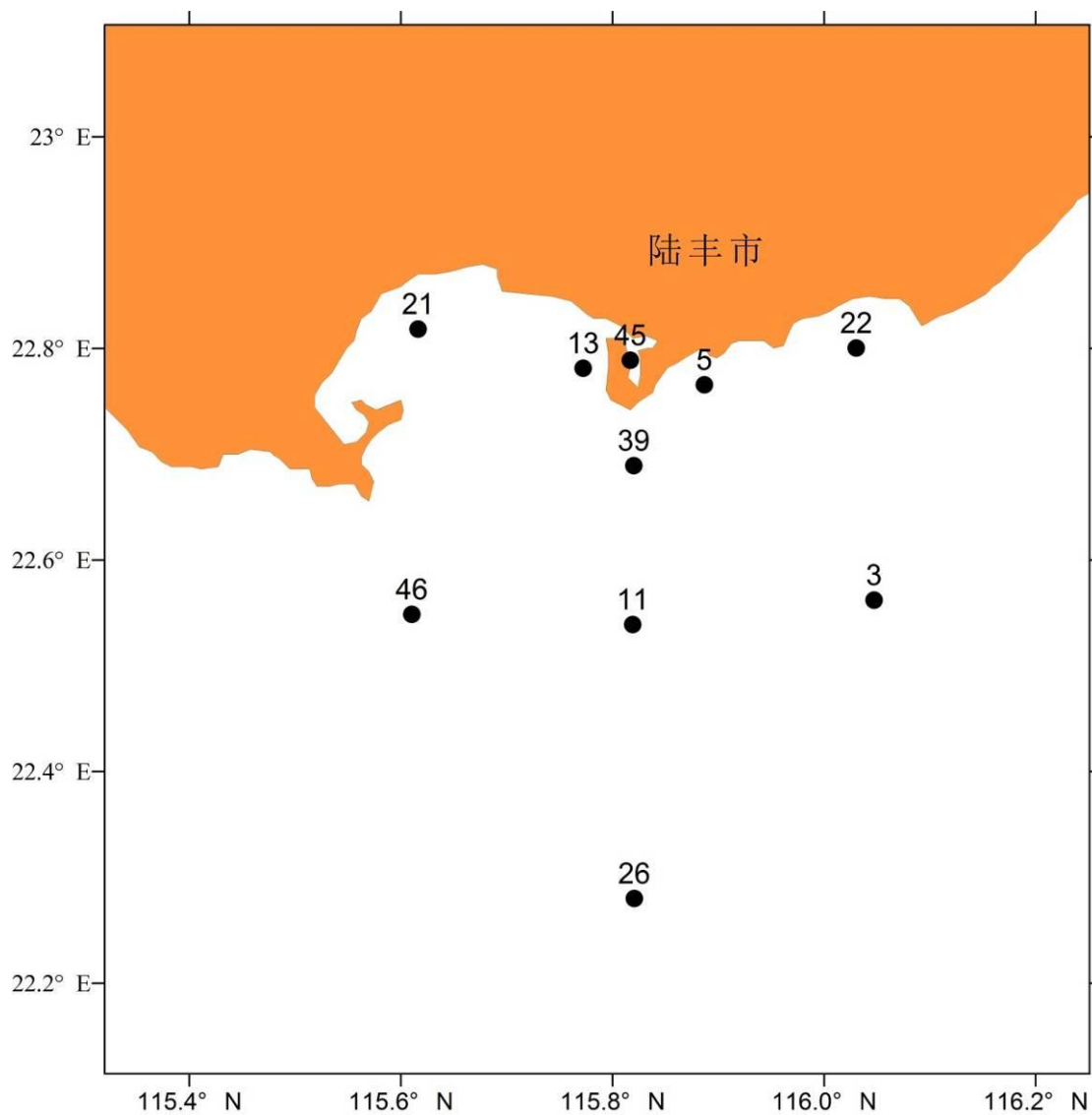
断面	纬度	经度	底质
LFD1	22°45'1.46"	115°48'29.15"	岩石
LFD2	22°48'10.94"	115°57'3.01"	沙
LFD3	22°47'31.00"	115°54'.1.74"	岩石
LFD4	22°52'21.47"	115°41'53.64"	沙
LFD5	22°49'23.01"	115°47'50.84"	泥沙
LFD6	22°51'40.05"	115°36'45.94"	沙

表 2.3-3 2010 年至 2018 年陆丰核电周边海域赤潮灾害情况统计表

序号	发生时间	消亡时间	地点	地区特征	面积 (km <sup>2</sup> )	主要藻类
1	2010.10.13	2010.10.20	汕尾施公寮半岛至径尾村对开海域		5	锥状斯氏藻
2	2011.8.7	2011.8.16	汕尾碣石湾海域		10	丹麦细柱藻
3	2013.4.24	2013.4.28	汕尾红海湾新围村附近海域	内湾、养殖区	4.4	米氏凯伦藻
4	2016.2.18	2016.2.24	汕尾市捷胜镇南面海岸对开海域	内湾	1.7	红色赤潮藻



广东陆丰核电 5、6 号机组		
环境影响报告书（选址阶段）		
海洋生物调查站位分布图（不包括粪大肠菌群和潮间带调查站位）		
图 2.3-1	版次:	A



广东陆丰核电 5、6 号机组		
环境影响报告书（选址阶段）		
粪大肠菌群调查站位分布图		
图 2.3-2	版次：	A



## 2.4 气象

### 2.4.1 区域气候

#### 2.4.1.1 气温

#### 2.4.1.2 气压

#### 2.4.1.3 相对湿度

#### 2.4.1.4 降水

#### 2.4.1.5 日照

#### 2.4.1.6 风

### 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 相对湿度

#### 2.4.3.4 降水

#### 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 扩散参数值

#### 2.4.6.3 海陆风

#### 2.4.6.4 热内边界层

#### 2.4.7 运行前的厂址气象观测

图

图 2.4-1 厂址附近气象站位置示意图

## 2.4 气象

陆丰核电厂位于广东省东部陆丰市碣石镇以南的碣石湾沿岸，背山面海。厂址所在的陆丰市地处广东省东部、北回归线以南的低纬度地区，属南亚热带季风气候，具有四季温暖，雨量充沛，日照充分，无霜期长，海洋性季风明显等特点。厂址所处区域各季节气候概况：

冬季（12~2 月份）普遍盛行东北风或北风，来自北方既寒冷又干燥的空气，经过长途跋涉以后，增温、增湿，强度大为减弱，到达广东时风速已经变小、气温偏高，所以冬季较温暖。但个别年份在寒潮来临时，也可出现霜冻天气。

春季（3~5 月份）气温和降水均处在上升时期。正因为这个时候是冷暖天气交替的变化季节，所以它的不稳定性很大。有的年份会出现春光明媚的天气，而有的年份却会出现持续的低温阴雨倒春寒天气；在某些年份因为雨季来得迟，可能出现持续性的干旱。但从常年的情况来看，雨季在 4 月份便开始了，各地先后进入前汛期。

夏季（6~8 月份）受海洋气团的影响，普遍吹偏南风，带来丰沛的雨水。6 月份是广东前汛期的降雨高峰期，各地出现暴雨的机会甚多。同时，每年的 6~10 月又是热带气旋影响广东的主要时段，影响广东的热带气旋，有 89% 以上出现在这个时段内。据 1949~1998 年的资料统计，平均每年有 7~8 个热带气旋影响广东，登陆广东的也有 3~4 个，占登陆我国热带气旋个数的 4 成。

秋季（9~11 月份）气温逐渐下降。此时多晴朗天气，少降水，开始进入干季。热带气旋活动的次数减少。11 月份虽不是热带气旋最活跃的季节但仍有出现的可能，平均 10 年有一个热带气旋登陆广东。

### 2.4.1 区域气候

厂址周围区域气候站主要为汕尾气象站和陆丰气象站。两气象站的主要情况如下：

- 汕尾气象站：1952 年 8 月 1 日建站，站址经过多次搬迁。测站位置为北纬 22°48′，东经 115°22′，测场海拔 16.7m。观测项目有气压、绝对湿度、相对湿度、风速和风向、气温、降水量、日照、蒸发量等，仪器设备和资料整理等均符合国家规范。
- 陆丰气象站：于 1959 年 10 月开始记录整编资料。测站位置为北纬 22°57′，东经 115°39′，观测场地高度 5.6m，在陆丰市东海镇东风路尾后壁洋；观测项目

有气压、绝对湿度、相对湿度、风速和风向、气温、降水量、日照、蒸发量等，仪器设备和资料整理等均符合国家规范。

图 2.4-1 给出了厂址周边气象站地理位置示意图。

## 2.4.2 设计基准气象参数

### 2.4.2.1 热带气旋

根据中国气象局出版的 1949 年~2018 年的台风年鉴或中央气象台实时发布的台风资料统计（统计范围：以厂址为中心 300km 为半径的圆），每年选择一个年台风中心最低气压，如果某年没有台风进入该区域或在该区域内台风已减弱为低气压，该年最低气压就取 990hPa。其中 5413 号超强台风中心气压最低为 890hPa，在厂址附近 300km 范围内最低气压为 920hPa，约距核厂址 266km，台风中心附近最大平均风速 65m/s，为统计范围内出现的台风最大风速。

### 2.4.2.2 龙卷风

龙卷风是一种小尺度的强对流天气系统，常与飑线、低压、锋面、热带气旋等天气系统相伴出现。陆丰核电厂厂址地处北回归线以南，属于南亚热带海洋性气候，春、夏时节天气变化剧烈，强对流天气频繁出现，夏、秋季节热带气旋活跃，均为龙卷形成提供了有利条件。

资料收集的空间范围以陆丰核电厂址为中心，经度宽 3 度、纬度宽 3 度区域内的所有气象站点和区域，具体为陆丰、汕尾、海丰、惠来、揭西、普宁、潮阳、揭阳、汕头、澄海、潮州、南澳、饶平、深圳、博罗、惠阳、惠东、河源、紫金、龙川、兴宁、五华、丰顺、梅县 24 个县（市）等。进行定量统计和分析的资料年限以 1951 年~2018 年为主。

陆丰核电厂址评估区域内，1951 年~2018 年间平均每年出现约 2.3 个。2005 年发生龙卷风为 11 次，为历年最多。评估区域内，F1 级龙卷出现最多为 95 个，占总数的 61.7%，其次是 F0 级 51 个，占总数的 33.1%，F2 级个例 8 个，调查中未发现 F3 级以上的龙卷风。

## 2.4.3 当地气象条件

本报告采用厂址气象塔和地面气象站 2018 年 7 月~2019 年 6 月一整年逐时观测气象数据的统计分析结果进行描述。该整年气象数据联合获取率为 99.1%。

### 2.4.3.1 气温

#### （1）地面气温

厂址地区年平均气温为 23.1℃，7 月平均气温最高，为 28.8℃，1 月平均气温最低，为 16.5℃。极端最高气温为 33.8℃，出现在 9 月，极端最低气温为 7.9℃，出现在 2 月。

#### （2）气象塔塔层气温

气象塔 10m 高度年平均气温 22.6℃，7 月平均气温最高，为 28.4℃，1 月平均气温最低，为 16.2℃。极端最高气温为 32.9℃，出现在 9 月，极端最低气温为 7.9℃，出现在 2 月。

气象塔 30m 高度年平均气温 22.6℃，7 月平均气温最高，为 28.3℃，1 月平均气温最低，为 16.3℃。极端最高气温为 32.7℃，出现在 7 月，极端最低气温为 8.0℃，出现在 2 月。

气象塔 80m 高度年平均气温 22.1℃，7 月平均气温最高，为 27.9℃，1 月平均气温最低，为 15.8℃。极端最高气温为 32.4℃，出现在 9 月，极端最低气温为 8.2℃，出现在 2 月。

气象塔 100m 高度年平均气温 21.9℃，7 月平均气温最高，为 27.8℃，1 月平均气温最低，为 15.8℃。极端最高气温为 32.0℃，出现在 9 月，极端最低气温为 7.4℃，出现在 2 月。

#### （3）边界层温廓线

夏季，厂址地区近地层 100m 高度范围内空气温度在 28~29℃。最高气温出现在 14 时，最低气温出现在 5 时，在 0.8~0.9℃/100m 左右。冬季，厂址地区近地面 100m 高度范围内平均温度在 15.6~16.3℃，100m 高度内的平均气温递减率约为 0.78℃/100m，100~400m 高度之间平均气温递减率约为 0.1℃/100m。

#### （4）逆温

##### 一 贴地逆温

夏季大气测试期间，厂址地区的贴地逆温均出现在夜间，符合辐射逆温的生消特征。自 20 点之后，逆温层不断向上发展，强度也随之减低，至早上 5 点左右逆温层最

高，平均高度为 67m，逆温强度为 1.16℃/100m，早上 8 点贴地逆温消失。

冬季大气测试期间，厂址地区贴地逆温出现频率略低于夏季，逆温层平均厚度则高于夏季。

#### 一 空中逆温

夏季大气测试期间，厂址地区空中逆温出现高度无明显规律性可循，500m 高度以下空中逆温出现频率为 12.1%。冬季大气测试期间，厂址地区空中逆温的出现频率达到 90%。逆温层底部平均高度约为 500m，一般厚度可达 100m 以上，平均逆温强度约为 1℃/100m。

### 2.4.3.2 气压

厂址地区年平均气压为 1010.7hPa，月平均气压在 1000.0~1019.4hPa 之间，1 月平均气压最高，8 月平均气压最低。极端最高气压 1026.4hPa，出现在 1 月，极端最低气压 990.4hPa，出现在 9 月。

### 2.4.3.3 相对湿度

厂址地区年平均相对湿度为 82%，12 月平均相对湿度最小，为 80%，6 月平均相对湿度最高，为 90%。极端最小相对湿度为 23%，出现在 10 月。

### 2.4.3.4 降水

厂址地区年平均降水量为 1490.3mm。年内各月降水分配不均，雨水主要集中在汛期 3~9 月，占全年降水量的 88%。厂址地区年降水时数 690h，降水日数 124d。厂址地区最大日降水量为 99.5mm，出现在 4 月。

### 2.4.3.5 风

#### （1）风速

厂址地区 10m、30m、80m、100m 高度年平均风速分别为 3.2m/s、4.5m/s、6.0m/s 和 7.1m/s，从各月平均风速来看，气象塔 2 月和 11 月平均风速最大，6 月、8 月平均风速最小。

#### （2）风向

厂址各高度主导风向为 10m 高度（ENE，18.5%）、30m 高度（E，22.6%）、80m 高度（E，25%），100m 高度（SW，19.4%）。厂址各高度静风频率为 1.5%（10m 高度）、1.2%（30m 高度）、0.5%（80m 高度）、0.0%（100m 高度）。

### （3）风廓线

厂址地区冬夏两季大气测试的结果显示，厂址地区受系统风影响较强，风速大、风向时空变化小。

## 2.4.4 大气稳定度

根据厂址气象观测系统和大气扩散试验观测的气象要素，可使用温度梯度-风速法、莫宁-奥布霍夫长度法和温度梯度法三种方法对稳定度进行分类。从分类原理比较，温度梯度—风速法和莫宁—奥布霍夫长度法均同时考虑了热力湍流和机械湍流，而温度梯度法仅考虑热力湍流，厂址地区风速较大，机械湍流作用不可忽略，因此对于本厂址而言前两种方法的评价指标更为全面。从分类结果来看，温度梯度法 D 类和 E 类比例太高，A、B、C 和 F 类比例太低，稳定度分布不太合理；莫宁—奥布霍夫长度法各类稳定度出现比例最为合理，但该方法的稳定度分类需要湍流观测数据，常规气象观测数据不能使用该方法；温度梯度—风速法的 F 类出现比例过低，但整体与莫宁—奥布霍夫长度法分类结果相近，因此稳定度分类方法推荐采用温度梯度—风速法。

本报告根据厂址气象塔观测系统 2018 年 7 月~2019 年 6 月一个整年 10m 高度风向、风速、10m 和 80m 高度温度逐时观测资料，采用温度梯度-风速法对厂址地区稳定度分类，各稳定度所占比例分别为：A 类 4.6%，B 类 19.6%，C 类 19.2%，D 类 43.4%，E 类 3.4%，F 类 9.8%。

## 2.4.5 联合频率

按照《核电厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02）导则要求，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

为了解陆丰核电厂址地区大气扩散特征，厂址地区开展了现场大气扩散试验，观测分析厂址地区大气边界层风、温特征和湍流特征。试验分冬夏两季进行，冬季试验

时间为 2010 年 1 月 21 日~2 月 8 日，共进行了 18 天；夏季试验时间为 2010 年 7 月 8 日~8 月 3 日，共开展了 27 天。

冬季试验期间在厂址测点，进行了小球测风和测温，平衡球观测，以及气象塔塔层湍流观测；夏季试验期间在南溪村和厂址测点同时进行，厂址测点进行了小球测风和测温，平衡球观测，南溪村进行小球测风和测温，在厂址气象塔塔层进行了湍流观测。

#### 2.4.6.1 混合层高度

混合层是指湍流受热对流控制的近地面层以上的大气边界层，混合层特点是层结不稳定，对流旺盛，位温和风向风速都变化甚小，常发生于晴朗的白天，其高度主要由热对流的高度决定，与地面的垂直湍流热通量和大气层结稳定度有关，边界层以下的大尺度下沉运动和平流作用对其高度也有影响。

大气测试结果表明，厂址地区夏季混合层较高，冬季混合层高度主要受平流作用影响，与稳定度无关。本报告从保守的角度出发，推荐了各类稳定度的混合层高度。

#### 2.4.6.2 扩散参数值

为获取大气扩散参数值，厂址开展了固定点湍流观测、平衡球观测和中小尺度风场与输送规律研究。

将湍流观测法和平衡球法计算扩散参数曲线比较，两种方法计算的扩散参数在近区比较接近，但在远区平衡球法计算扩散参数小于湍流观测法，这可能是由平衡球方法的固有缺陷造成的。平衡球的观测距离有限，总观测时间一般在 15 分钟以内，平衡球的运动尚无法反映低频涡旋的作用，导致估算的扩散参数在远区偏小。这也从另一个角度反映了湍流观测计算扩散参数的合理性。

中小尺度风场数值模拟专题以美国 NCEP 的 FNL 数据为基础，采用 WRF 模式+风场诊断模式+随机游走扩散模式计算扩散参数，其中模拟的风向、风速以气象塔实测数据进行验证。

最终推荐的扩散参数值为数值模拟试验和湍流试验获得的扩散参数的算术平均值，推荐的扩散参数与 P-G 曲线对比相对偏大，特别是侧向扩散参数值有所偏大。



### 2.4.6.3 海陆风

冬夏两季的观测表明，厂址地区冬季出现海陆风的可能性较低。夏季当满足下列条件时可出现海陆风现象：1) 台风过后 1~2 天，系统转换间隙，2) 天气晴朗。其出现日数约占夏季的 15%。出现海陆风时，一般情况下近地面的风向昼夜变换，而高层由于系统影响风向不会发生转向，低层风的变化规律是：上午 8 点至 11 点间，陆风转为海风，白天太阳辐射强时，其高度可以达到 800m；夜间 23 点至 2 点，海风转为陆风，其高度在 200m~400m。厂址地区出现海陆风环流的可能性很低，只有在天气系统非常弱且太阳辐射强烈的正午才可能出现短时间的环流。

### 2.4.6.4 热内边界层

陆丰核电厂址位于海陆交界处，气流由海至陆后可能产生温度层结自上而下的变化，形成沿海热内边界层。沿海厂址出现热内边界层的必要条件是：1) 太阳辐射强，海陆温差大；2) 气流为向岸流；3) 远海点温跃层高度高于近海点。

冬夏两季大气测试表明，厂址地区沿海热内边界层出现频率不高。夏季出现明显热内边界层的频率约为 2%；厂址地区热内边界层高度在 100m 左右。冬季无论是受冷气团影响还是受东南风影响时，厂址地区均很难出现热内边界层。

### 2.4.7 运行前的厂址气象观测

运行前的现场气象观测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，陆丰核电厂址已开展的气象观测包括厂址专用气象站观测和厂址大气扩散试验。其中厂址专用气象站包括厂址气象梯度自动观测、厂址地面气象站，自 2008 年 11 月设立，由于一期工程厂平布置的调整，厂址气象观测系统已于 2012 年 1 月结束观测。建设单位委托汕尾市气象局进行新的厂址气象观测系统建设，并于 2017 年 3 月开始观测。

#### (1) 厂址气象梯度自动观测

气象梯度自动观测共设 4 层（10m、30m、80m 和 100m），观测风向、风速和气温。

#### (2) 厂址专用地面气象站

该站与国家气象站网的常规气象站基本相同，观测项目有降雨量、大气压、太阳总辐射、净辐射、温湿度和地表温度。



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

2.5.3 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

陆丰核电5、6号机组厂址位于陆丰市东南面，濒临南海，属低丘陵、台地及平原地区，附近无大江大河，多数小河短小分散，独流入海，集水面积小，径流量少，无大型水利工程进行径流调节，枯水季节尤其是特枯水期和连续枯水期径流量甚小。

陆丰市境内螺河、乌坎两大水系从北向南注入南海，此外境内有鳌江、龙潭河等。其中，螺河河长102km，发源于陆河县与紫金县交界的三神凸山，为陆丰第一大河，集雨面积1356km<sup>2</sup>。陆丰市境内流域100km<sup>2</sup>以上一级支流有螺溪、南北溪、新田河；境内主要的水库有龙潭、巷口、五里牌、秣投围、三溪水、牛角隆水库等。厂址半径15km范围内主要的小河流包括湖东水和南溪河。南溪河水流经碣石镇后经狭窄的口门水道由碣石港汇入南海碣石湾，为泻湖型水系，河口受潮汐影响严重，碣石内港是陆地内的水域，碣石湾海水则随潮由内港进入内洋；随着南溪河原有进潮通道受阻，纳潮面积缩小，纳潮量减少，加上南溪上游水土流失严重，泥沙随水下移，港口淤积，围起来的内洋则不断淤积形成荒涂和水塘。

厂址半径 15km 范围内水库工程主要分布于碣石、南塘和桥冲地区。陆丰市的饮用水取水口全部位于厂址 15km 以外，厂址所在的碣石镇饮用水主要来自以龙潭、巷口水库下游的调蓄水库—尖山水库为主要取水点的碣石水厂。

##### （2）淡水水源条件

运行期生活用水、施工期生产生活用水由碣石镇市政管网供水。淡水供应取至碣石镇玄武山水自来水厂，水厂处理后的水加压后通过淡水管道送至厂区，供施工期施工及生活用水、调试期间的调试用水、运行期生活用水以及赤潮期间除盐水的应急用水。淡水供水管线分为两段，一段为从水厂到进厂道路桥头村位置，由市政进行建设。一段为进厂道路桥头村位置沿进厂道路敷设至厂区，为已建管线。

陆丰核电 5、6 号机组运行期除盐水用水、生产用水均采用海水淡化。

### 2.5.1.2 海洋水文

厂址海区附近共有陆丰、遮浪两个长期海洋水文观测站。陆丰海洋站位于厂址以西约 48km，自 1970 年开始观测，主要观测项目有潮位、温度和盐度等。遮浪海洋站位于厂址西南约 27km，1962 年开始观测波浪，2002 年 1 月开始潮汐观测。

2019 年 1 月和 7 月，国家海洋局南海调查技术中心在厂址附近海域开展了冬季和夏季大、中、小潮水文观测。此次观测共设置了 4 个潮位观测站（碣石港站、陆丰海洋站、遮浪海洋站和厂址站）和 11 个海流观测站。冬季期间，2019 年 1 月 22 日 11 时~23 日 13 时进行大潮期同步观测；2019 年 1 月 25 日 03 时~26 日 05 时进行中潮期同步观测；2019 年 1 月 28 日 18 时~29 日 20 时进行小潮期同步观测。夏季期间，2019 年 7 月 16 日 03 时~17 日 05 时进行大潮期同步观测；2019 年 7 月 07 日 12 时~8 日 14 时进行中潮期同步观测；2019 年 7 月 10 日 22 时~12 日 0 时进行小潮期同步观测。

#### （1）潮汐

根据2019年实测碣石港站和厂址站以及收集得到的工程海域附近陆丰海洋站和遮浪海洋站实测潮位数据分析后得知，碣石港站、陆丰海洋站和遮浪海洋站附近海区均为不正规全日潮，厂址站附近为正规全日潮。

#### （2）海流

厂址附近海域的潮流主要受太平洋潮波的作用。太平洋潮波自巴林塘海峡和巴士海峡进入南海后，以前进波的形式向广东沿岸传播，由于地形、地貌复杂，对潮波运动产生各种影响。在广东沿海浅海范围内，潮波分布复杂，潮波性质、大小、运动形式均因地而异，厂址附近海域潮流性质以不正规半日潮为主。

冬季大潮和中潮观测期间，碣石湾内各站海流表现为较明显的西北-东南向，且流速明显小于外海站位，厂址附近站位的实测海流明显受到码头地形岸线的影响，沿着平行于岸线的方向运动，沿岸流区域站位的实测海流明显受到冬季广东沿岸流的影响，在东北季风作用下，主要表现为西向流，且流速较大。小潮期全潮海流观测站均表现为东向流的特征，且随着水深的增加，这种东向流的特征愈加明显，而表层因受东北季风的影响，东向逆风流特征被削弱。

夏季全潮观测期间，碣石湾内各站海流表现为较明显的西北-东南向，且流速明显小于外海站位，厂址附近站位的实测海流明显受到码头地形岸线的影响，沿着平行于

岸线的方向运动，沿岸流区域站位的实测海流明显受到夏季西南季风的影响，主要表现为东向流，且流速较大。

### （3）余流

冬季大潮和中潮观测期，受东北季风影响，调查海域主要表现为西向余流。小潮观测期间，调查海域存在一支较强的东向逆流自遮浪角，顺时针进入碣石湾，后沿海岸向甲子方向流去。夏季观测期基本表现为东向余流特征。

### （4）波浪

在波型方面，陆丰核电浮标观测海区周年波浪观测结果表明，本海区波浪主要以风浪型为主。

在波向方面，陆丰核电周年波浪观测结果表明，观测浮标站全年波向以SE为最多，ESE次之，波向主要分布在ESE~SSW之间，约占97.78%。西南季风期（5月~8月）波向分布主要以E、SSW为主，东北季风期（10月~翌年3月）波向分布主要以ESE和SE为主。季风转换期的4、9月份波向分布介于两者之间。

在波高方面，陆丰核电浮标观测期间观测到的最大波高为6.0m，对应周期9.6s，主波向南。年平均波高为1.2m，各月平均波高的变化较小，7月~9月和11月~翌年2月，平均波高较大，11月平均波高最大为1.6m，5月份平均波高最小为0.6 m，月平均波高的最大差值均为1.0m。各向年平均波高，S波高最大为1.3m，E次之为1.2m；常年无W~NE浪存在，ENE波高最小，仅有0.1m。波高大于2.0m的大浪主要出现在S、SE和ESE。

### （5）水温

冬季全潮观测期间，各站温度自表层至底层温度随深度变化不大，70%时间内表底层温度差小于0.2℃，不存在温度跃变。全潮观测期间各站均出现底层水温高于表层水温的情况。水温空间变化范围不大，表层整体上表现出从西北到东南方向逐渐降低，底层温度整体上表现出从西北到东南方向逐渐增加。

夏季全潮观测期间，各站温度自表层至底层温度随深度逐渐降低，表底层温度差均大于0.45℃。中层-底层之间不存在温度跃变。全潮观测期间各站表层水温均高于底层水温。水温空间变化范围表层>中层>底层，整体上表现出从西北到东南方向逐渐降低。

### （6）盐度

冬季全潮观测期间，各站盐度自表层至底层盐度随深度变化不大，底盐度高于表

层盐度，61%时间内表、底层盐度差小于0.2。本海区1月份海水混合强烈，海水以强混合型为主盐度空间变化整体上表现出从西北到东南方向逐渐增加。

夏季全潮观测期间，各站表层盐度均小于底层盐度，中底层盐度分布较一致；表、底层盐度差分布范围为0.03~10.5。各潮期各站表层-底层日平均盐度垂向梯度在 $1\sim 10^{-2}$ 之间，表明本海区7月份海水混合较弱，海水以缓混合型为主。盐度空间分布整体表现出从湾内到湾外逐渐增加，东部海域盐度高度西部海域。

### （7） 泥沙

厂址所在海区没有河流来沙影响，水体含沙量不大，潮流流速较弱，远离本海域的高含沙量水体不可能随着潮流运移到本海域，海域的水体泥沙主要是在波浪作用下的泥沙再悬浮。

### （8） 岸滩稳定性

厂址位于碣石半岛南端，地质地貌基础为花岗岩经侵蚀剥蚀形成的低丘陵，厂址附近海岸属岬湾海岸。花岗岩岬角是一个稳定的地质体，虽然长期承受波浪的冲击，但其侵蚀速度甚慢。近岸沉积物多为砂质。

岬角之间海湾内的砂质堆积体，其海滩受波浪作用，以横向输沙为主，纵向输沙轻微，地形亦相对稳定或轻微侵蚀。岬角以外海床，在水深15m以内，水下地形仍呈岬角形状，再外等深线逐步呈东—西向分布。

## 2.5.2 地下水

### （1） 地下水类型及赋存条件

陆丰核电5、6号机组厂址附近范围的水文地质单元可划分为田尾山水文地质单元（I）、碣石水文地质单元（II）和南田水文地质单元（III）。

陆丰核电5、6号机组厂址属田尾山水文地质单元（I），该单元地表水和地下水具有独立的补给、径流和排泄关系，与北部碣石水文地质单元（II）之间均存在明显的分水岭，主要以花岗岩低丘陵分水岭为界（地表和地下水分水岭基本一致），西湖一带以老红砂堤为界，其地势较高，附近见花岗岩残丘，东侧为花岗岩残积土，基岩面较高，存在地表水和地下水分水岭，两个水文地质单元之间不存在地下水发生相互联系的条件。此单元的地下水唯一补给是大气降水，再经单元之内的地表水与地下水较为简单方式的转化过程，最终排入海域。I水文地质单元在调查区内是一个完整、独



立的水文地质体系。

I 单元各水文地质亚单元之间没有任何水力联系，各自成体系，从大气降水—地表水—地下水—入海的循环关系清楚，循环周期短促，其循环过程亦未受到邻区单元或亚单元干扰，所以各亚单元完全是一个独立性质的水体体系。

根据地层的含水介质特征及水理性质，厂址区地下水可分为松散岩类孔隙水和基岩裂隙水两类。

松散岩类孔隙水主要赋存于第四系人工堆积层、海积层、冲积层、风-海积层及残积层的砾质黏性土、砂砾等的孔隙中，均为潜水。冲积层孔隙水主要分布于厂址区中部沟谷平原区的山间小河两侧，堆积物主要为砾质黏性土，厚度 5.4m，富水量中等，除接受大气降水补给外，主要接受溪流直接注入，富水性良好，排泄给残积层。海积层孔隙水主要分布于厂址区南部一带滨海浅滩区，堆积物以中细砂为主，一般厚 5~10m，堆积稍密，该层透水性以中等透水为主，富水性差。海积层孔隙水主要接受大气降水补给，排泄至大海。

## （2）地下水水位

松散岩类孔隙水的地下水位标高变化范围较大。在 BOP 区、厂址区中部沟谷及厂址区南部海岸附近三个分区，在各自分区内地下水位高程差别不大，可认为该三个分区内具有稳定的地下水位。基岩裂隙水以基岩风化裂隙水为主，多呈脉状分布，由于岩体节理分布不均一及贯通性差，未形成统一的地下水位。基岩区钻孔所测地下水位受钻探及降雨影响，并不能形成稳定地下水位。

## （3）地下水补给、径流、排泄

松散岩类孔隙水补给来源主要有大气降水，其次为地表水塘的渗流补给及少量基岩裂隙水侧向补给。地下水一般在含水层中作层状渗流，其渗流速度取决于自然地形坡度。地下水排泄有蒸发、人工开采、以及向沟谷分散排泄等方式，其中人工开采水量较少。水位变化明显受气象条件控制，雨季水位高，旱季水位低。地下水流向同地形倾斜方向一致，最终流入大海。

厂址区内基岩裂隙水主要受大气降水补给，辅以松散岩类孔隙水补给，水位变化具有季节性和差异性，一般节理不发育地段，地下水水位变化较小。地下水以径流等形式排泄，总体而言，径流方向由贯通性较好的节理向原始地形低洼地带运移，最终向大海排泄，其次通过蒸发方式排泄。



#### （4）地下水开采利用现状

厂址区内大多数地下水流失入海，水资源开发利用程度很低，厂址区内无大量抽取地下水的厂矿或企业，厂址区内无大规模利用地下水的情况，也没有大规模开采地下水的规划。故厂址区内无大规模开采利用地下水的情况。

#### （5）厂址区场地平整分析

厂址区场地平整后，原始地形较低的平原和海岸地段接受回填，分布第四系孔隙水，该类地下水的补给源主要为大气降水，径流稍强，排泄仍沿原始地形山高往低渗流，最终排泄于大海。地下水主要分布于下层基岩，富水性十分缺乏。厂址区地下水与区域水文地质单元没有水力联系，为独立的局部地下水体。

总体上看，电厂场地整平后不会对地下水的径流产生较大影响。

### 2.5.3 洪水

陆丰核电 5、6 号机组厂址为滨海厂址，厂址附近无大江河及水库等水利工程，无其它汇水区域的输水及水库溃坝等产生的洪水威胁，厂址防洪主要是防御海域最大风暴潮引起的洪水和厂址附近汇水区域可能最大降雨引起的洪水。

陆丰核电厂的电厂厂坪标高远高于海域洪水水位，波浪的防护考虑采取工程措施。降雨产生厂区内的积水将通过厂区排水渠道组成的自然排水系统排入厂前的大海，保证核岛区内的积水不超过 0.2m。

### 2.5.4 参考资料

- [1] 长江勘测规划设计研究有限责任公司，广东陆丰核电厂 5、6 号机组岩土工程勘察报告（可研阶段），2020 年 3 月。
- [2] 国家海洋局南海调查技术中心，陆丰核电厂一期工程海域冬、夏季全潮观测报告，2019 年 11 月。

## 2.6 地形地貌

## 2.6 地形地貌

广东陆丰核电 5、6 号机组厂址位于碣石半岛南端，地质地貌基础为花岗岩经侵蚀剥蚀形成的低丘陵，几个丘峰（如田尾山、狮山头）高程数十米至 100 余米，呈西北~东南向排列。丘陵山地西南临海，在平缓处形成海湾。厂区东北及北侧普遍发育高度约 50m 以下的堆积或剥蚀台地。基岩出露区可见相互堆叠的石蛋地貌，岩石表面有海蚀龕、海蚀洞等海蚀痕迹。厂址丘陵山地东北多为堆积台地，高程 15m~40m 的地段主要为晚更新世风海积物；高程 15m 以下地段为全新世海滩中细砂堆积物，局部地段分布有泻湖堆积。

陆丰核电 5、6 号机组厂区范围内以丘陵剥蚀地貌为主，其次为人工地貌和海岸地貌。

### a) 丘陵地貌

呈 NW 向长带状展布，最高峰为西部的田尾山，海拔 134.27m。区内大部分基岩裸露，石蛋地貌发育。山坡坡度一般 10°~30°，局部大于 35°。主厂房主要位于丘陵地貌区。

### b) 海岸地貌

主要分布于厂址区南部沿海一带，包括岩岸和沙滩等地貌。岩岸分布于厂址区西部及东南部的临海一带，长 230m，由基岩和块石组成，岸线稳定，海蚀地貌发育。海岸沙滩主要分布于田尾山中部及东部海岸潮间带，一般宽 40m~200m 不等。牛山湖和田尾角一带发育有小港湾。沿海边分布有礁石。

### c) 人工地貌

主要分布于厂址区东南侧，由花岗岩碎块石堆砌而成，堆场顶部平整，海拔一般 26m~35m，堆砌坡度一般 30°左右。

厂区东北侧分布有平原地貌，以海积平原为主，系滨浅海环境下形成的沉积层被抬升而成，其形成时代为晚更新世—全新世。海积地形主要有泻湖、老砂堤和砂地等类型。泄湖分布于西湖东，呈近 EW 向凹状，表面较平坦，大部分已开垦为农田耕作区。老砂堤见于西湖和鲍鱼场西一带，位于滨海砂堤内侧，呈垅状，宽数十米至几百米，长约 6km，海拔高 15m~37m。砂地分布于区内东南部鲍鱼场一带，宽度由数十米至百多米，起伏不平。

### 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 辐射环境本底调查

#### 3.1.2 辐射环境质量评价

### 3.1 辐射环境质量现状

#### 3.1.1 辐射环境本底调查

2019 年 6 月，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本次广东陆丰核电厂址区域辐射环境本底调查工作，根据技术任务书和 HJ 969-2018 的要求对厂址区域最新的辐射环境本底开展了调查。现场调查时间为 2019 年 9 月初~2019 年 11 月末，为期三个月。

##### 3.1.1.1 调查方案

###### 3.1.1.1.1 调查范围

陆地环境  $\gamma$  辐射水平：20km。陆地环境介质放射性核素调查：10km，关注核电厂排放附近区域。海洋环境介质放射性核素调查：取排水口附近。

###### 3.1.1.1.2 布点原则

本次调查采样布点与监测考虑以下原则：

- 近密远疏、均匀覆盖各方位；
- 结合核电厂周围的环境特征综合考虑，在人口稀少且交通非常不便的山区（或岛屿）可适当减少监测点位；
- 对可能的关键居民组、人口集中的居民区域、农牧渔业和养殖集中区、环境敏感区和主导风下风向应适当针对性布点；
- 尽可能选择未来被扰动和破坏可能性小的位置作为监测点位，以便电站运行期间以及同一厂址后续建造的机组调查时可作为监测点位长期使用；
- 所选点位应能够采集到有代表性样品，避免各类自然和人为因素的影响；
- 所选点位应便于达到、采样和布设仪器设备，并考虑供电、安全等因素；
- 地表  $\gamma$  辐射剂量率监测与累积剂量监测应同点布设，土壤采样点一般应有地表  $\gamma$  辐射监测；
- 地表水体（非接纳水体）水样与沉积物采样点一般应一致；
- 接纳水体水底沉积物与水样采集点一般应一致；
- 采集饮用水时，一般应同时采集其水源水。

### 3.1.1.1.3 调查内容

#### （1）陆地环境 $\gamma$ 辐射剂量率

布点要求：以反应堆为中心（一期工程）半径 2km、5km、10km、20km 与 16 个方位角形成的扇形区域内布点，对可能的关键居民组、主导风下风向、烟羽最大浓度落点处增加针对性测点位。在人口集中的居民区域、环境敏感区适当增加监测点，共布设 52 个点位。

监测频次为 2 次。监测点位主要为原野，一般为田地、草坪、山坡、空地等。

#### （2）陆地环境辐射累积剂量

累积剂量监测点与陆地环境  $\gamma$  辐射剂量率监测点共点。

TLD 的布放高度一般约为 1m，但为了提高回收率，现场布样时酌情增加布放高度，并尽量隐蔽。为了便于回取，在布放时还进行拍照、GPS 定位等方式做好标识。累积剂量监测 1 次，2 个月/次。

#### （3）宇宙射线响应

为获得环境  $\gamma$  辐射剂量率仪在广东陆丰核电厂址 20km 范围内宇宙射线响应，监测点位设置在距离厂址 54km 的公平水库。公平水库湖面半径约 1km，深度大于 3m，满足宇宙射线响应要求，测量的宇宙射线响应值参考 HJ/T-61-2001 推荐的修正公式，修正至厂址中心处宇宙射线响应值。

#### （4）空气中放射性核素

在后埔村和生活区设空气采样点，采集气溶胶样品，气溶胶监测项目为  $\gamma$  核素（ $\gamma$  核素包括  $^{60}\text{Co}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{54}\text{Mn}$  等）、 $^3\text{H}$  和  $^{14}\text{C}$ 。空气采样监测频次为 1 次。

#### （5）土壤中放射性核素

布点要求：以反应堆为中心半径 10km 范围与 8 个方位角形成的扇形区域内布点，在陆地每个方位 1 个点，下风向及人口密集区酌情增加点位。

采样点选取时设置在水土流失的土壤及田间，同时兼顾农田、山地、丘陵等不同类型的土壤。

土壤监测项目包括： $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$ 。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。

#### （6）地表水及其沉积物中放射性核素

布点要求：地表水在半径 10km 范围内最近的湖泊（水库）、河流、流域内面积最大的湖泊（水库）及饮用水水源。

布设 4 个监测点，包括滴水村附近湖泊、南溪河、虎陂水库、尖山水库，同步取沉积物。

地表水监测项目包括： $\gamma$  核素、总  $\alpha$ 、总  $\beta$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^3\text{H}$ ，监测频次 1 次。

底泥和岸边沉积物监测项目包括  $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$ ，监测频次为 1 次。

#### （7）地下水中放射性核素

地下水布点要求：厂址附近地下水，布设 4 个点，浅澳村、后埔村、上林村、赤坎头村。

监测项目包括： $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^3\text{H}$ 、总  $\alpha$  和总  $\beta$ ，监测频次为 1 次。

#### （8）饮用水中放射性核素

采样布点要求：可能的关键居民组有浅澳村、西陂林、后埔村、上林村以及石头围和新安村，在这些区域设饮用水监测点。

监测项目包括： $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^3\text{H}$ 、总  $\alpha$ 、总  $\beta$ ，监测频次为 1 次。

#### （9）海水及海洋沉积物中放射性核素

海水及海洋沉积物采样要求：以厂址取、排水口附近各设海水和沉积物取样点 1 个，在浅澳港和生活区各取岸边沉积物 1 个。

海水监测项目包括： $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^3\text{H}$ 。沉积物监测项目包括： $\gamma$  核素、 $^{90}\text{Sr}$ 。

### 3.1.1.1.4 调查方法

本次调查中检出限的计算将根据《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。检出限一般情况作以下两种表述约定：

#### （1）探测下限（ $LLD_N$ ）

$LLD_N$  用于表征仪器检测能力的量，其单位为计数或计数率（以下采用计数方式进行描述）。对于计数率、活度或活度浓度的探测下限，均可由最小探测样品净计数  $LLD_N$  算得。一般采用近似满足正态分布的  $LLD_N$  大多是可接受的，其计算公式为：

$$LLD_N = (K_\alpha + K_\beta) S_N$$

式中： $K_\alpha$  为显著性水平等于犯第 I 类错误的概率  $\alpha$  时的标准正态变量的上侧分位



数； $K_\beta$  为显著性水平等于犯第 II 类错误的概率  $\beta$  时的标准正态变量的上侧分位数； $S_N$  为样品净计数的标准偏差。在一般环境监测中，常有净计数比本底计数小得多，而使样品总计数标准差  $S_n$  等于本底计数标准差  $S_b$ ，即可得：

$$S_n = \sqrt{2}S_b$$

如果  $\alpha=\beta=0.05$ ，即  $K_\alpha = K_\beta = 1.645$ ：则  $LLD_N$  为：

$$LLD_N = 2.71 + 2\sqrt{2}K_\alpha S_b = 2.71 + 4.65\sqrt{n_b t_b}$$

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  $LLD_N$  及样品灰鲜比、回收率等因素有关。

1)  $\gamma$  能谱的检出限（MDC）采用以下公式：

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

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，实际情况下可能采用多条  $\gamma$  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。

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

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

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。

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

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

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  $1.802 \times 10^{-4} \text{min}^{-1}$ 。

4) 对  $^3\text{H}$  测量，其 MDC 由下式进行计算：

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

式中： $t_s$  为样品测量时间； $\eta$  为计数效率； $W$  为测量瓶中  $H_2O$  或  $CO_2$  的重量或体积； $K$ ：样品含  $H_2O$ （包括 TFWT 和 OBT）或含碳率转化率。

### 3.1.1.2 厂址附近电离辐射源调查结果

调查表明：

厂址半径 80km 范围无已运行的核设施，在建的核设施位于惠州市黄埠镇的中广核太平岭核电厂，距厂址约 80km，以及核电厂附近中国科学院近代物理研究所在建的加速器驱动嬗变研究装置（CiADS）（II 类研究堆），距厂址约 78km；

厂址半径 30km 范围内无铀钍矿开采状况；

厂址半径 5km 范围未开展 I 类和 II 类放射源应用，5km 范围内没有医院等涉及的放射源及射线装置的使用单位。

### 3.1.1.3 调查结果

#### 3.1.1.3.1 环境 $\gamma$ 辐射水平

##### （1）瞬时 $\gamma$ 辐射剂量率监测结果

本次调查共调查 52 个瞬时  $\gamma$  辐射剂量率监测点，所有监测点均为原野监测点位。监测设备采用 6150AD/5H 型便携式  $\gamma$  辐射剂量率监测仪。监测数据已扣除宇宙射线响应值。52 个监测数据中，最小值是 20 nGy/h，最大值是 146 nGy/h，中位数是 83nGy/h。

##### （2）TLD 累积剂量率监测

本次调查采用 TLD 对厂址周围 20km 范围内  $\gamma$  辐射剂量率的监测，以用于对瞬时  $\gamma$  辐射剂量率监测数据进行对比补充。本次调查共设 52 个监测点，均与瞬时剂量率监测点位同点，实际有效监测点 49 个，调查厂址 20km 范围内累积剂量换算的剂量率监测范围为（39.3~174.3）nGy/h。

##### （3）宇宙射线响应测试

本次调查在正式开展监测前对瞬时  $\gamma$  辐射剂量率测量的 6150AD 型便携式  $\gamma$  辐射剂量率仪进行了宇宙射线响应测试。测试在位于厂址 NW 方位约 54km 的公平水库，该水库集水面积 317km<sup>2</sup>，有效库容 3.83 亿 m<sup>3</sup>。监测时乘坐木质机动船行于水库中央，距岸>1.0km，水深>15m， $\gamma$  辐射剂量率监测的仪器对宇宙射线响应值是 20nGy/h。

### 3.1.1.3.2 环境介质放射性水平

#### (1) 空气

本次调查空气采样点分别位于厂区内生活区和后埔村，采集样品包括空气中  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  和气溶胶，采样频次均为 1 次。

对空气中的  $^3\text{H}$ ，以水体积作为单位，测量结果小于 0.58Bq/L；以空气体积为单位，测量结果小于 10.8Bq/m<sup>3</sup>。

对空气中的  $^{14}\text{C}$ ，以碳质量为单位，其活度浓度范围是 (0.17~0.18) Bq/gC，以空气体积为单位，其活度浓度范围是 (38.7~43.1) mBq/m<sup>3</sup>。

对  $\gamma$  核素分析，所有人工  $\gamma$  放射性核素检测结果均低于探测限。两个点位空气样品中均检测到了宇生放射性核素  $^7\text{Be}$ ，其活度浓度范围是 (2.34~2.88) mBq/m<sup>3</sup>。

#### (2) 土壤

土壤共设 12 个监测点位，分布于厂址半径 2km、5km、10km 各个方位。对分析环境  $\gamma$  辐射剂量率地面贡献来源，监测点位与 TLD 测量点位以及瞬时  $\gamma$  辐射剂量率监测点相同，土壤监测项目包括： $\gamma$  核素和  $^{90}\text{Sr}$ 。本次调查土壤天然核素  $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{40}\text{K}$  监测结果范围分别是 (<8~79)Bq/kg、(10~120)Bq/kg、(<1~60)Bq/kg、(93~1164)Bq/kg，平均值分别是 91.1Bq/kg、124.9Bq/kg、74.7Bq/kg、382.6Bq/kg。

土壤中人工放射性核素  $^{90}\text{Sr}$  和  $^{137}\text{Cs}$  检测结果分别是  $^{90}\text{Sr}$  的活度浓度范围为 (<0.13~0.49) Bq/kg， $^{137}\text{Cs}$  的活度浓度范围是 (<0.26~1.64) Bq/kg。

#### (3) 地下水（井水）

本次调查设置 4 个地下水采样点，分别为后埔村、赤坎头、上林和浅澳。

地下水总  $\alpha$  监测结果范围是 (0.014~0.111) Bq/L，略低于广东省地下水中总  $\alpha$  检测结果 (0.133~0.286) Bq/L；地下水总  $\beta$  监测结果范围是 (0.056~0.858) Bq/L，与广东省地下水总  $\beta$  检测范围结果 (0.272~0.397) Bq/L 处于同一水平。

本次调查地下水样品总  $\alpha$  和总  $\beta$  检测结果均低于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006) 中规定的指导水平 0.5Bq/L 和 1Bq/L。

地下水中  $^3\text{H}$  监测结果均低于探测限 0.58Bq/L，低于 1990 年代原卫生部监测到广东地区井水中氚浓度经修正后的值 0.99Bq/L。

地下水中  $^{90}\text{Sr}$  检测结果是 (0.32~3.33) mBq/L，处于正常水平。

地下水中  $\gamma$  放射性核素  $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{134}\text{Cs}$  均低于探测限； $^{137}\text{Cs}$  检测

结果是（1.5~<1.8）mBq/L，处于正常水平。

#### （4）地表水

本次调查共设置 4 个地表水采样检测点位，分别为南溪河、尖山水库、滴水湖和虎陂水库。

地表水中总  $\alpha$  监测结果范围是（0.012~0.030）Bq/L，与广东省地表水中总  $\alpha$  检测结果范围（0.017~0.202）Bq/L 处于同一水平；总  $\beta$  监测结果范围是（0.053~0.248）Bq/L，与广东省地表水中总  $\beta$  检测结果范围（0.027~0.206）Bq/L 处于同一水平。

本次调查地表水总  $\alpha$  和总  $\beta$  监测结果均低于《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2006）中规定的指导水平 0.5Bq/L 和 1Bq/L。对地表水中  $^3\text{H}$  监测结果均小于探测限 0.58Bq/L。

地表水中  $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围是（<0.18~1.08）mBq/L，处于正常水平。

地表水中  $\gamma$  放射性核素  $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  均低于探测限。

#### （5）饮用水（自来水）

本次调查共设置 6 个饮用水采样检测点位，分别为浅澳、西陂林、后埔、上林、石头围和新安。

饮用水中总  $\alpha$  与总  $\beta$  监测结果平均值范围分别是（0.009~0.015）Bq/L 和（0.045~0.057）Bq/L，低于《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2006）中规定的指导水平 0.5Bq/L 和 1Bq/L。

饮用水中  $^3\text{H}$  监测结果均小于探测限 0.58Bq/L，与 1990 年代原卫生部监测到广东地区饮用水中氚浓度经修正后的值 0.99Bq/L 处于同一水平。

饮用水中  $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围是（0.30~0.56）mBq/L，处于正常水平。

饮用水中  $\gamma$  放射性核素  $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{134}\text{Cs}$  均低于探测限， $^{137}\text{Cs}$  监测结果范围是（<1.5~9.1）mBq/L，浅澳和西陂林两处结果略高于探测限，属于正常水平。

#### （6）沉积物

本次调查在 4 个地表水监测点，同点位采集土壤沉积物。

沉积物中  $^{90}\text{Sr}$  检测结果平均值范围是（<0.14~0.31）mBq/L，处于正常水平。

沉积物中天然核素  $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{40}\text{K}$  监测结果范围分别是（<29~154）Bq/kg、（29~176）Bq/kg、（24~121）Bq/kg、（94~1084）Bq/kg，其余人工核素均低于探测限。

#### （6）海水

本次调查共设置 3 个海水采样监测点位，分别为取水口、1 号排水口和 5 号排水口。

海水中  $^3\text{H}$  监测结果均低于探测限 0.58Bq/L，与 1990 年代原卫生部监测到广东地区海水中氚浓度经修正后的值 0.29Bq/L 和 2019 年自然资源部第三海洋研究所调查结果范围（ND~0.79）Bq/L 比较，处于同一水平。

海水中  $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围是（0.40~0.89）mBq/L，处于 2019 年自然资源部第三海洋研究所调查结果（0.21~2.28）mBq/L 范围内。

海水中  $\gamma$  放射性核素  $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{58}\text{Co}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$  和  $^{106}\text{Ru}$  均低于探测限， $^{137}\text{Cs}$  监测结果范围是（2.0~<2.3）mBq/L，与 2019 年自然资源部第三海洋研究所调查结果（0.40~2.68）mBq/L 处于同一水平。

#### （7）海洋沉积物及潮间带

海洋沉积物及潮间带共设 5 个监测点位，浅澳海域和生活区海域属于潮间带土壤，其余 3 个点位样品为潮下带土壤，与海水同点位。

潮下带中  $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围是（<0.10~0.17）Bq/kg，与 2019 年自然资源部第三海洋研究所调查结果（ND~2.06）Bq/kg 比较，处于同一水平；潮间带中  $^{90}\text{Sr}$  监测结果均低于探测限 0.14Bq/kg，整体略低于 2019 年自然资源部第三海洋研究所调查结果（0.66~5.32）Bq/kg。

潮下带中天然核素  $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{40}\text{K}$  监测结果范围分别是（11~<23）Bq/kg、（6~11）Bq/kg、（<1~15）Bq/kg、（248~274）Bq/kg，整体略低于 2019 年自然资源部第三海洋研究所调查结果。

潮间带中天然核素  $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{40}\text{K}$  监测结果范围分别是（<27）Bq/kg、（10~24）Bq/kg、（11~20）Bq/kg、（133~167）Bq/kg，与 2019 年自然资源部第三海洋研究所调查结果处于同一水平。

潮下带中  $^{137}\text{Cs}$  监测结果均低于探测限 0.28Bq/kg，与 2019 年自然资源部第三海洋研究所调查结果（0.19~1.34）Bq/kg 比水平；潮间带中  $^{137}\text{Cs}$  监测结果范围是（<0.24~0.58）Bq/kg，与 2019 年自然资源部第三海洋研究所调查结果处于同一水平，其余人工放射性  $\gamma$  核素均低于探测限。

### 3.1.1.4 质量保证

#### 3.1.1.4.1 质量保证体系

##### （1）单位资质

本次本底调查工作的承担单位苏州热工研究院有限公司环境检测中心已按照 CNAS—CL01: 2018《检测和校准实验室能力认可准则》、CNAS-CL01-A002: 2018《检测和校准实验室能力认可准则在化学检测领域的应用说明》、RB/T214-2017《检验检测机构资质认定能力评价 检验检测机构通用要求》和《检验检测机构资质认定 生态环境监测机构评审补充要求》建立了质量保证体系，并获得了中国合格评定国家认可委员会颁发的实验室认可证书（CNAS L9634）和江苏省市场监督管理局（原江苏省质量技术监督局）批准的检验检测机构资质认定证书，本次调查包含的项目均在资质认定（CMA）检测能力范围内。

##### （2）人员资格

承担单位制定并实施《人员管理程序》，对实验室人员的能力要求、人员选择、人员培训、人员监督、人员授权和能力监控等进行规范管理，保证环境检测中心所有可能影响实验室活动的人员，无论是内部人员还是外部人员，应行为公正，受到监督，胜任工作，并按照管理体系要求工作。

参加本项目的技术人员均经过培训、考核，并取得相应项目的书面授权。

##### （3）组织管理

苏州热工研究院有限公司环境检测中心属于苏州热工研究院有限公司下属的非独立法人检测机构，其质量保证工作受院安全质保部监督管理，本项目成立了项目组，项目组内部开展监测工作按苏州热工研究院有限公司环境检测中心的质量保证体系运行。

##### （4）能力验证

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）组织的水中镉-90 能力验证计划，能力验证结果满意。

2019 年参加国际原子能机构（IAEA）组织的  $\gamma$  核素、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、总 $\alpha$ 、总 $\beta$ 测量能力验证计划，能力验证结果均为“通过”。

2019 年 11 月，参加了江苏省组织的关于  $\gamma$  辐射剂量率的比对，比对结果满意。

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。

#### 3.1.1.4.2 质量保证措施

##### (1) 调查方案制定的质量保证措施

项目组根据技术任务书和《核动力厂运行前辐射环境本底调查技术规范》（HJ969-2018）的要求，在现场调查的基础上，编制《广东陆丰核电一期工程选址阶段环境辐射本底初步调查工作大纲》和《广东陆丰核电一期工程选址阶段环境辐射本底初步调查质量保证大纲》，并于 2019 年 8 月 13 日邀请专家对工作大纲和质保大纲进行了审查，根据审查后的工作大纲和质保大纲开展调查工作。

##### (2) 样品采集过程的质量保证措施

环境检测中心依据相关标准制定并在采集过程中实施以下样品采集作业指导书，以满足样品采集过程的质量控制：

- RG ZY-101-2016 放射性气溶胶采样作业指导书；
- RG ZY-104-2016 空气中氡采样作业指导书；
- RG ZY-105-2016 空气中碳-14 采样作业指导书；
- RG ZY-107-2016 饮用水、地下水、地表水、废水采样作业指导书；
- RG ZY-108-2016 海水采样作业指导书；
- RG ZY-110-2016 土壤、潮间带土采样作业指导书；
- RG ZY-111-2016 底泥采样作业指导书。

##### (3) 样品处理过程的质量保证措施

###### ■ 气溶胶样品

本项目气溶胶样品仅检测  $\gamma$  核素，不做预处理，直接放置于  $\gamma$  谱仪上测量。

###### ■ 空气中 $^{14}\text{C}$

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。对陈化的溶液进行抽滤，弃去滤液。将沉淀放入烘箱内，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，将烘干后的  $\text{CaCO}_3$  用研钵研磨成粉末，保存在干燥器中备用。

#### ■ 水样预处理

水样在采集时根据需要进行了酸化处理，酸化至 pH=1~2。进行氚分析的水样不酸化。

#### ■ 土壤与沉积物

在烘箱中干燥 48h（110℃）并称重，然后压碎土块，筛分至 2mm，废渣弃去。筛取部分研细过筛，粒径 40~60 目部分供  $\gamma$  谱测量；粒径大于 100 目部分供  $^{90}\text{Sr}$  分析。

#### （4）分析测量过程的质量保证措施

#### ■ 平行样

平行样检测结果可接受性判断方法：

- 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》，两个结果的绝对差小于 95% 概率水平下的重复性临界差，则结果可信；
- 依据 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》，两个结果的标准化误差指标  $En \leq 1$ ，则结果可信；
- 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。

本次调查对后埔饮用水等 4 个样品中  $^3\text{H}$  进行了平行双样的分析，对后埔饮用水、南溪河水及取水口海水样品中的  $\gamma$  核素进行了平行双样分析，对后埔饮用水等 2 个样品进行了平行双样分析，本次调查平行双样分析结果可以接受。

#### ■ 复测样

平行样检测结果可接受性判断方法：

- 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》，两个结果的绝对差小于 95% 概率水平下的重复性临界差，则结果可信；
- 依据 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》，两个结果的标准化误差指标  $En \leq 1$ ，则结果可信；
- 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。

本次调查对 3 个土壤样品中  $\gamma$  核素进行了复测分析，本次土壤中  $\gamma$  核素复测分析结果可以接受。

#### ■ 人员间比对

不同分析人员对相同样品进行分析，通过分析结果，可以检查分析人员的操作水平和数据质量，人员比对的接受准则如下：

- 人员间比对依据 GB/T 6379.6-2009《测量方法与结果的准确度（正确度与精密密度）第 6 部分：准确度值的实际应用》，两个人员监测结果的绝对差小于 95% 概率水平下的再现性临界差，则结果可信。

本次调查对 3 个水样品中  $^{90}\text{Sr}$  和 3 各土壤/沉积物中  $^{90}\text{Sr}$  进行了人员间比对的分析，本次调查人员间比对结果可以接受。

#### ■ $^{90}\text{Sr}$ 分析空白样

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。

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。

#### (4) 数据处理过程的质量保证措施

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。

### 3.1.2 辐射环境质量评价

#### （1）环境 $\gamma$ 辐射剂量率

本次调查共设置了 52 个瞬时  $\gamma$  辐射剂量率监测点位，各点位监测结果范围是（20~146）nGy/h，平均值为 80nGy/h。

本次调查共设置了 52 个 TLD 监测点位，实际有效监测点位 49 个，监测结果范围是（39.3~174.3）nGy/h，与同点位  $\gamma$  瞬时剂量率监测值具有较强相关性。

#### （2）空气中放射性

本次调查空气中放射性结果表明，所有人工  $\gamma$  放射性核素检测结果均低于探测限，均处于正常范围。

空气中  $^3\text{H}$  测量结果均小于 0.58Bq/L（以空气体积为单位，测量结果小于 10.8Bq/m<sup>3</sup>）。

空气中的  $^{14}\text{C}$ ，以碳质量为单位，其活度浓度范围是（0.17~0.18）Bq/gC（以空气体积为单位，其活度浓度范围是（38.7~43.1）mBq/m<sup>3</sup>），处于正常水平。

#### （3）土壤中放射性

本次调查土壤中天然核素  $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{40}\text{K}$  监测结果范围分别为（<8~79）Bq/kg、（10~120）Bq/kg、（<1~60）Bq/kg、（93~1164）Bq/kg。土壤中  $^{90}\text{Sr}$  的活度浓度范围为（<0.13~0.49）Bq/kg。

土壤中  $^{137}\text{Cs}$  的活度浓度范围是（<0.26~1.64）Bq/kg，其余人工  $\gamma$  核素均低于探测限。

#### （4）非受纳水体中放射性

本次调查的非受纳水体主要包括地下水、饮用水和地表水及其沉积物。

##### 1) 地下水中放射性

本次调查地下水中总  $\alpha$  和总  $\beta$  监测结果分别是（0.014~0.111）Bq/L 和（0.272~0.397）Bq/L，低于《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2006）中规定的指导水平 0.5Bq/L 和 1Bq/L。

地下水中氡监测结果均低于探测限 0.58Bq/L，低于 1990 年代原卫生部监测到广东地区井水中氡浓度经修正后的值 0.99Bq/L，处于正常水平。

地下水中  $^{90}\text{Sr}$  检测结果为（0.32~3.33）mBq/L，处于正常水平。

地下水中  $^{137}\text{Cs}$  检测结果是（1.5~<1.8）mBq/L，其余  $\gamma$  放射性核素均低于探测限，处于正常水平。

## 2) 饮用水中放射性

本次调查饮用水中总  $\alpha$  与总  $\beta$  检测结果平均值范围分别为 (0.009~0.015) Bq/L 和 (0.045~0.057) Bq/L, 低于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006) 中规定的指导水平 0.5Bq/L 和 1Bq/L。

饮用水中氡监测结果均小于探测限 0.58Bq/L, 与 1990 年代原卫生部监测到广东地区饮用水中氡浓度经修正后的值 0.99Bq/L 处于同一水平。

饮用水中  $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围是 (0.30~0.56) mBq/L, 处于正常水平。

饮用水中  $^{137}\text{Cs}$  监测结果范围是 (<1.5~9.1) mBq/L, 其余人工  $\gamma$  核素监测结果均低于最小可探测浓度水平, 属于正常水平。

## 3) 地表水中放射性

本次调查地表水中总  $\alpha$  和总  $\beta$  监测结果平均值范围是 (0.012~0.030) Bq/L 和 (0.053~0.248) Bq/L, 与广东省地表水总  $\alpha$  和总  $\beta$  监测结果处于同一水平, 均低于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006) 中规定的指导水平 0.5Bq/L 和 1Bq/L。

地表水中  $^3\text{H}$  监测结果均小于探测限 0.58Bq/L。地表水中  $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围是 (<0.18~1.08) mBq/L, 处于正常水平。

地表水中人工  $\gamma$  核素监测结果均低于探测限。

## 4) 沉积物中放射性

本次调查在 4 个地表水监测点, 同点位采集土壤沉积物, 监测核素包括  $^{90}\text{Sr}$  和  $\gamma$  核素。

沉积物中  $^{90}\text{Sr}$  检测结果平均值范围是 (<0.14~0.31) mBq/L, 处于正常水平。

沉积物中天然核素  $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{40}\text{K}$  的分布, 各天然放射性核素监测结果范围分别为 (<29~154) Bq/kg、(29~176) Bq/kg、(24~121) Bq/kg、(94~1084) Bq/kg, 其余人工核素均低于探测限。

## (5) 受纳水体中放射性

本次调查海水氡监测结果均小于探测限 0.58Bq/L, 与 1990 年代原卫生部监测到广东地区海水中氡浓度经修正后的值和 2019 年自然资源部第三海洋研究所调查结果比较, 处于同一水平。

海水中  $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围是 (0.40~0.89) mBq/L, 处于 2019 年自然资源部第三海洋研究所调查结果范围内。

$^{137}\text{Cs}$  监测结果范围是（2.0~<2.3）mBq/L，与 2019 年自然资源部第三海洋研究所调查结果处于同一水平，其余人工  $\gamma$  核素监测结果均低于探测限。

（6）海洋沉积物及潮间带

本次调查潮下带中  $^{90}\text{Sr}$  监测结果范围是（<0.10~0.17）Bq/kg，潮间带中  $^{90}\text{Sr}$  监测结果均低于探测限，与 2019 年自然资源部第三海洋研究所调查结果处于同一水平。

潮下带中  $^{137}\text{Cs}$  监测结果均低于探测限 0.28Bq/kg，潮间带中  $^{137}\text{Cs}$  监测结果范围是（<0.24~0.58）Bq/kg，与 2019 年自然资源部第三海洋研究所调查结果处于同一水平，其余人工  $\gamma$  核素均低于探测限。

潮下带中天然核素  $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{40}\text{K}$  监测结果范围分别是（11~<23）Bq/kg、（6~11）Bq/kg、（<1~15）Bq/kg、（248~274）Bq/kg，整体略低于 2019 年自然资源部第三海洋研究所调查结果，属于正常水平。

潮间带中天然核素  $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{40}\text{K}$  监测结果范围分别是（<27）Bq/kg、（10~24）Bq/kg、（11~20）Bq/kg、（133~167）Bq/kg，与 2019 年自然资源部第三海洋研究所调查结果处于同一水平。

综上所述，本次本底调查结果陆丰核电厂址周围辐射水平和环境介质中放射性核素处于正常水平。

## 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 电磁环境质量现状调查与评价

## 3.2 非辐射环境质量现状

### 3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

空气质量监测由具有 CMA 资质的浙江鼎清环境检测技术有限公司承担，该公司于 2019 年 9 月 20 日至 9 月 26 日在现场进行了采样。

#### 3.2.1.1 监测因子

2019 年 9 月陆丰核电季节的主要风向为北风，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，在厂址南侧、后埔村、1 号机组、中交四航局、角清村 5 处设置监测点位。监测因子为 TSP、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>。

#### 3.2.1.2 监测方法和仪器

采样方法按照《环境空气质量监测规范》（试行）的要求进行，采样仪器为智能综合大气采样器。

#### 3.2.1.3 监测点位

结合现场实际情况，选择在厂址南侧、后埔村、1 号机组、中交四航局、角清村 5 处设置监测点位。

#### 3.2.1.4 监测结果及评价

##### （1）厂址南侧

厂址南侧 NO<sub>2</sub> 小时浓度值为 < 0.015~0.049mg/m<sup>3</sup>，SO<sub>2</sub> 小时浓度值为 < 0.007~0.055mg/m<sup>3</sup>，CO 小时浓度值为 0.37~0.42mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>2</sub> 24 小时均浓度值为 < 0.006~0.013mg/m<sup>3</sup>，SO<sub>2</sub> 24 小时浓度值为 < 0.004~0.017mg/m<sup>3</sup>，CO 24 小时浓度值为 0.36~0.39mg/m<sup>3</sup>，TSP 24 小时浓度值为 0.062~0.069mg/m<sup>3</sup>，PM<sub>10</sub> 24 小时浓度值为 0.058~0.064mg/m<sup>3</sup>，PM<sub>2.5</sub> 24 小时浓度值为 0.02~0.025mg/m<sup>3</sup>。

根据监测结果，厂址南侧二氧化氮、二氧化硫和一氧化碳的 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。

## （2）1 号机组

1 号机组  $\text{NO}_2$  小时浓度值为  $< 0.015\sim 0.031\text{mg/m}^3$ ,  $\text{SO}_2$  小时浓度值为  $< 0.007\sim 0.066\text{mg/m}^3$ ,  $\text{CO}$  小时浓度值为  $0.39\sim 0.56\text{mg/m}^3$ ,  $\text{NO}_2$  24 小时均浓度值为  $< 0.006\text{mg/m}^3$ ,  $\text{SO}_2$  24 小时浓度值为  $< 0.004\sim 0.006\text{mg/m}^3$ ,  $\text{CO}$  24 小时浓度值为  $0.37\sim 0.43\text{mg/m}^3$ ,  $\text{TSP}$  24 小时浓度值为  $0.053\sim 0.069\text{mg/m}^3$ ,  $\text{PM}_{10}$  24 小时浓度值为  $0.050\sim 0.064\text{mg/m}^3$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  24 小时浓度值为  $0.018\sim 0.021\text{mg/m}^3$ .

根据监测结果, 1 号机组二氧化氮、二氧化硫和一氧化碳的 02、08、14、20 小时浓度值和 24 小时浓度值,  $\text{TSP}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  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）后埔村

后埔村  $\text{NO}_2$  小时浓度值为  $< 0.015\sim 0.072\text{mg/m}^3$ ,  $\text{SO}_2$  小时浓度值为  $< 0.007\sim 0.078\text{mg/m}^3$ ,  $\text{CO}$  小时浓度值为  $0.18\sim 0.41\text{mg/m}^3$ ,  $\text{NO}_2$  24 小时均浓度值为  $< 0.006\sim 0.011\text{mg/m}^3$ ,  $\text{SO}_2$  24 小时浓度值为  $< 0.004\sim 0.011\text{mg/m}^3$ ,  $\text{CO}$  24 小时浓度值为  $0.25\sim 0.36\text{mg/m}^3$ ,  $\text{TSP}$  24 小时浓度值为  $0.048\sim 0.063\text{mg/m}^3$ ,  $\text{PM}_{10}$  24 小时浓度值为  $0.042\sim 0.058\text{mg/m}^3$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  24 小时浓度值为  $< 0.010\sim 0.018\text{mg/m}^3$ .

根据监测结果, 后埔村二氧化氮、二氧化硫和一氧化碳的 02、08、14、20 小时浓度值和 24 小时浓度值,  $\text{TSP}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  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。

## （4）中交四航局

中交四航局  $\text{NO}_2$  小时浓度值为  $< 0.015\sim 0.069\text{mg/m}^3$ ,  $\text{SO}_2$  小时浓度值为  $0.008\sim 0.14\text{mg/m}^3$ ,  $\text{CO}$  小时浓度值为  $0.44\sim 2.38\text{mg/m}^3$ ,  $\text{NO}_2$  24 小时均浓度值为  $< 0.006\sim 0.012\text{mg/m}^3$ ,  $\text{SO}_2$  24 小时浓度值为  $0.005\sim 0.012\text{mg/m}^3$ ,  $\text{CO}$  24 小时浓度值为  $0.26\sim 0.38\text{mg/m}^3$ ,  $\text{TSP}$  24 小时浓度值为  $0.060\sim 0.069\text{mg/m}^3$ ,  $\text{PM}_{10}$  24 小时浓度值为  $0.057\sim 0.066\text{mg/m}^3$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  24 小时浓度值为  $0.014\sim 0.022\text{mg/m}^3$ .

根据监测结果, 中交四航局二氧化硫、二氧化氮和一氧化碳的 02、08、14、20 小时浓度值和 24 小时浓度值,  $\text{TSP}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  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。

## （5）角清村

角清村  $\text{NO}_2$  小时浓度值为  $< 0.015\sim 0.055\text{mg/m}^3$ ,  $\text{SO}_2$  小时浓度值为  $<$

0.007~0.114mg/m<sup>3</sup>, CO 小时浓度值为 0.21~0.39mg/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 0.27~0.37mg/m<sup>3</sup>, TSP 24 小时浓度值为 0.047~0.059mg/m<sup>3</sup>, PM<sub>10</sub> 24 小时浓度值为 0.044~0.051mg/m<sup>3</sup>, PM<sub>2.5</sub> 24 小时浓度值为 <0.010~0.017mg/m<sup>3</sup>.

根据监测结果,角清村二氧化氮、二氧化硫和一氧化碳的 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

声环境质量现状调查由苏州热工研究院有限公司环境检测中心承担,于 2019 年 9 月 22 日至 9 月 23 日在现场监测。

#### 3.2.2.1 监测因子

根据《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) 和《环境影响评价技术导则-声环境》(HJ2.4-2009) 的要求,本项目声环境监测对象主要为核电厂的一期厂界、进厂道路和应急道路、声环境敏感目标。监测因子为工业企业厂界噪声、功能区噪声。

#### 3.2.2.2 监测方法

测量时应在无雨雪、无雷电,风速小于 5m/s 下进行;距离任何反射物(地面除外)至少 3.5m 外测量,距离地面高度 1.2m 以上;在噪声敏感建筑物外,距墙壁或窗户 1m 处,距地面高度 1.2m 以上;厂界外 1m、高度 1.2m 以上、距任一反射面距离不小于 1m。

选择两天的昼间(6:00~22:00)和夜间(22:00~6:00)两个时段进行噪声监测,声环境敏感目标采用 10min 的等效声级,核电厂界噪声采用 1min 的等效声级,夜间有频发、偶发噪声影响时同时测量最大声级。进厂道路和应急道路监测每次测量 20min,记录 20min 的等效声级。

#### 3.2.2.3 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) 核电厂一期厂界周围

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

选择中核二二陆丰项目经理部门口和中交四航局门口、角清村村委会）、浅澳村委会。

(3) 声环境敏感目标

选择厂址半径 5km 范围内各行政村内小学或卫生所作为声环境敏感目标。

### 3.2.2.4 监测结果及评价

(1) 核电厂一期厂界噪声

昼间噪声最大值为 56 dB(A)，夜间最大值为 45 dB(A)，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

陆丰核电进厂公路属于二级公路，根据《声环境功能区划分技术规范》(GB/T 15190-2014)，4a 类声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 范围内的声环境功能区执行 4a 类标准，评价标准为昼间 70dB (A)，夜间 55dB (A)。根据现场调查，中核二二陆丰项目经理部门口、中交四航局门口，执行 4a 类标准。由监测结果可知，进厂道路连续等效 A 声级昼间最大为 56 dB (A)，夜间最大为 46 dB (A)，均满足《声环境质量标准》(GB3096-2008)中的 4a 类功能区限值要求。根据现场调查，角清村村委会，浅澳村委会均应执行 1 类标准，由监测结果可知，昼间最大为 49 dB (A)，夜间最大为 45 dB (A)，应急道路监测点位均满足《声环境质量标准》(GB3096-2008)中的 1 类功能区限值要求。

(3) 声环境敏感目标

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)。由监测结果可知，昼间最大为 51dB (A)，夜间最大为 45 dB (A)，所有监测点位的连续等效 A 声级满足《声环境质量标准》(GB3096-2008)中的 1 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

2019 年，受深圳中广核工程设计有限公司委托，自然资源部第三海洋研究所承担了广东陆丰核电一期工程邻近海域水质环境、水生生态与渔业资源调查工作，本章节引用本次调查结果对受纳水体水质现状进行评价。

按照单因子标准指数法对海水水质进行评价，评价结果如下：

#### （1）冬季海水水质

采用海水水质一类标准评价时，超过一类标准的指标为 COD、无机氮、活性磷酸盐、铅和 BOD<sub>5</sub>，其它参数均符合评价标准。

采用海水水质二类标准评价时，超过二类标准的指标为无机氮、活性磷酸盐，其它参数均符合评价标准。

采用海水水质三类标准评价时，超过三类标准的指标为活性磷酸盐，其它参数均符合评价标准。

采用海水水质四类标准评价时，超过四类标准的指标为活性磷酸盐，其它参数均符合评价标准。

#### （2）春季海水水质

采用海水水质一类标准评价时，超过一类标准的为无机氮、活性磷酸盐、铅和 BOD<sub>5</sub>，其它参数均符合评价标准。

采用海水水质二类标准评价时，超过二类标准的指标为无机氮，其它参数均符合评价标准。

采用海水水质三类标准评价时，全部参数均符合评价标准。

#### （3）夏季海水水质

采用海水水质标准对研究海域水质进行评价。

采用海水水质一类标准评价时，超过一类标准的为溶解氧、无机氮、活性磷酸盐、铅和 BOD<sub>5</sub>，其它参数均符合评价标准。

采用海水水质二类标准评价时，超过二类标准的为溶解氧、无机氮、活性磷酸盐，其它参数均符合评价标准。

采用海水水质三类标准评价时，超过三类标准的为溶解氧，其它参数均符合评价标准。

采用海水水质四类标准评价时，全部参数均符合评价标准。

#### （4）秋季海水水质

采用海水水质一类标准评价时，超过一类标准的为无机氮、活性磷酸盐、铅和 BOD<sub>5</sub>，其它参数均符合评价标准。

采用海水水质二类标准评价时，超过二类标准的无机氮、活性磷酸盐，其它参数均符合评价标准。

采用海水水质三类标准评价时，超过三类标准的无机氮、活性磷酸盐，其它参数均符合评价标准。

采用海水水质四类标准评价时，全部参数均符合评价标准。

### 3.2.4 电磁环境质量现状调查与评价

电磁环境质量现状调查由苏州热工研究院有限公司环境检测中心承担，于 2019 年 9 月 23 日在现场监测。

#### 3.2.4.1 监测因子

广东陆丰核电厂规划建设 6×1000MW 压水堆核电机组，分期建设，5、6 号机组建设 2 台华龙一号机组。电磁环境监测因子为工频电场、工频磁场。

#### 3.2.4.2 监测方法

根据《交流输变电工程电磁环境监测方法》（HJ 681-2013）的要求：

（1）监测点应选在地势平坦、远离树木且没有其他电力线路、通信线路及广播线路的空地上。

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

（3）监测工频电场时，监测人员与监测仪器探头的距离至少 2.5m。监测仪器探头与固定物的距离应不小于 1m。

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

（5）测量读数：在输变电工程正常运行时间内进行监测，每个监测点连续测 5 次，每次监测时间不小于 15 秒，并读取稳定状态的最大值。若仪器读数起伏较大时，

应适当延长监测时间。求出每个监测位置的 5 次读数的算术平均值作为监测结果。

监测使用设备为电磁辐射分析仪。

### 3.2.4.3 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）220kV 辅助变电站

根据变电站周围地形条件（北侧为电缆进线），选取北侧围墙外电缆沟和变电站南侧分别进行衰减断面监测。考虑到线路周边地形条件限制和线路运行情况，选取架空线路丰庆线向东作衰减断面监测。

#### （2）其他区域

在拟建 1/2 号机组区域、拟建 5/6 号机组区域、拟建 500kV 开关站区域，各设置 1 个监测点位。

监测结果及评价：

#### （1）220kV 辅助变电站及 220kV 丰庆线

由监测结果可知，220kV 辅助变电站周围环境最大电场强度为 0.3840V/m，最大磁感应强度为 0.0073 $\mu$ T；由架空线路和地埋电缆沟衰减断面监测结果可知，电场强度最大监测值（831.7V/m）出现在中心线外 1m 处，磁感应强度最大监测值（0.1716 $\mu$ T）出现在地埋线缆沟正上方，监测结果均满足《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）1/2 号机组，5/6 号机组，500kV 开关站拟建区域

由监测结果可知，1/2 号机组，5/6 号机组，500kV 开关站拟建区域电场强度、磁感应强度监测结果均满足《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 核电厂

### 4.1 厂区规划及平面布置

### 4.2 反应堆和蒸汽—电力转换系统

### 4.3 核电厂用水和散热系统

### 4.4 输电系统

### 4.5 专设安全设施

### 4.6 放射性废物管理系统和源项

### 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 厂区总平面布置

##### 4.1.3 工程子项目

##### 4.1.4 排放口布置

## 4.1 厂区规划及平面布置

陆丰核电厂全厂规划建设 6 台百万千瓦级压水堆核电机组，5、6 号机组建设 2 台融合后华龙一号核电机组。

### 4.1.1 厂区总体规划

厂址总体规划需遵循以下原则：

- 按照国家批准的核电厂规划容量、结合当地的自然资源条件及电力系统的发展进行；
- 遵从国家和地方有关城市规划、土地利用规划、水功能区规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；
- 近、远期相结合，永久建筑与生产临建相结合，统筹规划，分期实施；
- 以核电厂厂区布局为中心，功能分区明确，辅助配套设施齐全，满足工艺流程及生产、生活的需要；
- 充分利用自然条件，因地制宜，减少厂区工程量和基建费用；
- 坚持合理用地、节约用地及节省投资的原则。

根据生产工艺流程特点，结合现场实际情况，全厂总体规划主要分为核电厂厂区、厂外辅助设施区、现场服务区、施工准备区等。

#### 1) 核电厂厂区

核电厂厂区是核电厂的核心部分，包含有主厂房区（核岛和常规岛）、BOP 区、厂前区等。根据陆丰核电厂区域的地质情况，结合取排水规划等一系列因素，陆丰核电 5、6 号机组厂区布置在西田尾山。

#### 2) 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项目，包括环境实验室、应急指挥中心/应急行动中心、武警营房、消防站、消防训练站、应急设施存贮与燃油补给中心等，靠近进厂公路，便于与厂区的联系。

#### 3) 现场服务区

现场服务区位于核电厂厂址区北侧，非居住区之外，依山傍海，靠近进厂路，主要包括运行宿舍以及食堂、室内活动中心、室外活动设施等公共设施。

#### 4) 施工准备区

5、6 号机组施工区规划充分利用一期现场已建施工临建和公共配套临建，优先在征地范围内开展布置，不足场地在考虑厂外租地。5、6 号机组施工准备区按照华龙一号建设特点，划分为核岛土建、核岛安装、常规岛土建、常规岛安装及 BOP 建安五个区域。

#### 5) 淡水水源规划

电厂运行期除盐水用水、生产用水均采用海水淡化，运行期生活用水、施工期生产生活用水由碣石镇市政管网供水。

#### 6) 取排水规划

厂址附近海域海面宽广，岸线较稳定，循环（冷却）水系统、重要厂用水系统、辅助冷却水系统、循环水处理系统以及循环水过滤系统均取用海水。陆丰核电 5、6 号机组拟采用“港池+暗涵”供水系统。

#### 7) 出线规划

陆丰核电厂规划容量 6 台机组，拟通过 6 回 500kV 线路接入电网，其中 3 回至茅湖站，3 回至陆丰站。

最终的接入系统方案以电网部门审定的方案为准。

#### 8) 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修建的主要道路及一座 3000 吨级驳船码头。

#### 9) 截、排洪规划

厂区东、南面环海，西、北面有小流域雨、洪水汇入厂区，构成对厂区的危害。为此，规划沿厂址西、北侧设置防排洪设施，分别将厂址附近汇水面积内的洪水向东、南排入南海海域。

### 4.1.2 厂区总平面布置

厂区总平面布置原则：



- 总平面布置与总体规划相协调一致，满足规划容量的要求；
- 主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。

#### 1) 主厂房建筑群

主厂房建筑群由反应堆厂房、核辅助厂房、燃料厂房、安全厂房、柴油发电机厂房和汽轮发电机厂房等组成，是核电厂最重要的组成部分。根据地形地貌、地质情况，并结合取排水、电力出线等多方面因素综合考虑，选定 5、6 号机组规划布置在西田尾山区域。

#### 2) BOP 厂房区

陆丰核电 5、6 号机组 BOP 暂按两台华龙一号单独配置，厂前区布置在厂区东北角，临近控制区出入口。安保楼、厂区实验室、蓄电池充电维修间、车库洗衣机房以及辐射剂量实验室根据交通流线布置在厂前区南侧区域，靠近保护区出入口。联合泵房、制氯站和海水淡化及除盐水处理厂布置在主厂房东侧。对于生产储存含易燃易爆物品的子项如制氢站、油脂库等，集中布置在厂区的东南角，最小风频的上风侧，与主要建筑物的距离满足消防和卫生间距要求，该区域车辆及人员较少，与其它交通运输线路不交叉，可最大限度减少火灾发生的可能性及危害性；放废处理和贮存设施规划布置在主厂房的西侧，邻近保护区的西侧边界附近，与主要建筑物的距离满足消防和卫生间距要求。

#### 3) 开关站布置

500kV 及 220kV 开关站联合布置在主厂区东侧，开关站与机组主变间联系采用全 GIL 管廊方案。

#### 4) 取排水工程

取排水方案整体采用明取暗排方案。其中取水方案采用“码头东侧港池+暗涵”方案，排水方案采用一机一隧洞离岸远排方案。

#### 5) 竖向布置

厂区竖向布置采用平坡式布置，主厂房周边场地标高为 15.30m。

#### 6) 土石方工程量

陆丰核电 5、6 号机组位于西田尾山区域，属丘陵地貌，原始地形高度范围为 10m~90m 之间。征地范围内挖方工程量（含边坡）约 788 万 m<sup>3</sup>，填方工程量约为 46 万 m<sup>3</sup>。

#### 7) 实物保护

实物保护分要害区、保护区及控制区，三个区域为纵深布局，保护区在控制区内，要害区在保护区内，实物保护措施逐级加强。

#### 8) 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，在厂区保护区内一般不进行绿化，仅在厂前区及其以外的地方进行绿化。

### 4.1.3 工程子项目

主厂房群由反应堆厂房及安全厂房、电气厂房、燃料厂房、核辅助厂房组成。

### 4.1.4 排放口布置

本工程产生的放射性废气经处理、监测达到排放规定后，主要通过各自位于辅助厂房顶部的烟囱排入环境。

放射性废液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、监测达到排放标准后，与电厂的温排水混合后最终排入大海。

非放射性生产废水和生活污水经处理达标后排放。

## 4.2 反应堆和蒸汽—电力转换系统

### 4.2.1 概述

### 4.2.2 核岛

### 4.2.3 常规岛

## 4.2 反应堆和蒸汽—电力转换系统

### 4.2.1 概述

广东陆丰核电 5、6 号机组工程拟建两台华龙一号核电机组，每台机组由核岛、常规岛和电厂配套设备组成，部分设施按全厂共用原则设置。

每台华龙一号机组核蒸汽供应系统（NSSS）的额定功率为 3190MWt，堆芯额定功率 3180MWt。本工程采用 18 个月换料方式，电厂设计寿命为 60 年。

华龙一号充分借鉴融合了三代核电技术的先进设计理念和我国现有压水堆核电厂设计、建造、调试、运行的经验，以及近年来核岛发展及研究领域的成果，满足我国最新核安全法规要求和国际、国内最先进的标准要求，同时参考国际先进轻水堆核电厂用户要求（URD 和 EUR），满足三代核电技术的指标要求，满足“采用国际最高安全标准”要求。此外，华龙一号采用经过验证的技术，并充分利用我国目前成熟的装备制造体系，具有技术成熟性和完全自主的知识产权，采用能动与非能动技术相结合的技术，满足全面参与国内和国际核电市场的竞争要求。

### 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）。

##### （1）反应堆厂房布置特点

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，三个主环路对称布置可以使六条管道对压力容器的推力达到平衡。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，安全壳内设置内环墙。

##### （2）安全厂房布置特点

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。主控室位于安全厂房 C 中，可以有效防止大型商用飞机撞击。

### （3）燃料厂房布置特点

燃料厂房毗邻反应堆厂房、安全厂房及核辅助厂房，与反应堆厂房和安全厂房共用筏基。燃料厂房在横向上划分为相对独立的三个布置分区，以满足内部灾害防护要求及安全相关系统实体隔离要求。PTR 系统三列执行乏燃料水池冷却功能的物项分别布置在这三个分区内。两列 RBS 系统及两列 RCV 系统分别布置在与其系列对应的两个分区内。

### （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。

### （5）柴油发电机厂房的布置特点

应急柴油发电机厂房分为 BDA、BDB 和 BDC 厂房，每个厂房配置一台应急柴油发电机组，三个应急柴油发电机厂房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三台柴油发电机组的独立运行。

SBO 柴油发电机厂房为 BDU 厂房，其内部配置一台 SBO 柴油发电机组，与应急柴油发电机厂房 BDA 相邻布置。

BDA 和 BDU 厂房相邻布置，BDB 和 BDC 厂房相邻布置。应急柴油发电机和 SBO 柴油发电机及其相关设备，通过实体隔离的布置方式来防止内部灾害的蔓延。柴油发电机厂房与核岛通过廊道相连。

## 4.2.2.2 堆芯设计

### 4.2.2.2.1 堆芯描述

广东陆丰核电 5、6 号机组工程华龙一号机组反应堆堆芯额定功率为 3180MWt。堆芯设计采用首循环年度换料、平衡循环 18 个月换料燃料管理策略。为了展平功率分

布，首循环堆芯按  $^{235}\text{U}$  富集度的不同，分三区装载。

#### 4.2.2.2.2 燃料组件和燃料棒

本工程机组堆芯燃料组件选用全 M5 AFA3G 燃料组件，由燃料棒和燃料组件骨架组成。其中燃料棒由包壳管及装在其中的低富集度烧结圆柱形  $\text{UO}_2$  或  $\text{UO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$  芯块及螺旋弹簧组成。燃料组件骨架由导向管、仪表管、上管座部件、下管座部件、结构格架、跨间搅混格架和连接件构成。

#### 4.2.2.2.3 其他组件

本工程堆芯内的其他相关组件包括控制棒组件、中子源组件和阻流塞组件。此外还包括由多块不锈钢平板拼接而成的直角多边形筒体，形成堆芯外部轮廓的堆芯围板，反应堆内用于盛放堆芯的带法兰不锈钢圆筒的堆芯吊篮，和位于反应堆压力容器底部的堆内中子探测器的导向管内的堆内中子通量探测器和热电偶等堆芯测量装置等。

#### 4.2.2.3 反应堆冷却剂系统

华龙一号反应堆冷却剂系统（RCP）由并联到反应堆压力容器的三条相同的传热环路组成，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。主要设备包括：

- 反应堆压力容器；
- 反应堆冷却剂泵；
- 蒸汽发生器包容冷却剂的部分；
- 稳压器以及与其相连接到一条反应堆冷却剂环路热段的波动管线；
- 安全和自动卸压系统阀；
- 反应堆堆顶排放阀；
- 以上主要部件相连的管道和附件；
- 与辅助和支持系统相连接的管道、附件和阀门。

RCP 由三个传热环路组成，每一条环路有一台反应堆冷却剂泵和一台蒸汽发生器。在运行时，反应堆冷却剂泵使冷却剂通过反应堆压力容器和冷却剂环路循环。作为冷却剂、慢化剂和硼酸溶剂的水在通过堆芯时被加热，然后流入蒸汽发生器，将热量传

递给二回路系统，最后返回到反应堆冷却剂泵重复循环。

此外，反应堆冷却剂系统还包括稳压器及反应堆冷却剂压力控制和超压保护所需的辅助设备。稳压器通过波动管线接到 3 号环路热段。压力控制通过电加热器和水喷淋阀的动作实现。喷淋系统由两个冷段供水，并通过喷淋管线接到稳压器的顶封头，通过旁路喷淋阀提供一小股连续喷淋流量，电加热器安装在稳压器的底封头处。

反应堆冷却剂系统配置了堆顶排气系统，及严重事故专用卸压阀。稳压器安全阀与严重事故专用卸压阀的排放管线连接至公共母管后排入稳压器卸压箱。稳压器卸压箱爆破盘出口的管道分别连接至 2 号主泵隔间和 3 号蒸汽发生器隔间。

堆顶排气系统用于严重事故情况下排出压力容器顶部不可凝气体。

严重事故专用卸压阀用于严重事故工况下防止高压熔堆。

#### 4.2.2.4 核辅助系统

核辅助系统保证反应堆和一回路的正常启动、运行与停堆。核辅助系统包括：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）、蒸汽发生器排污系统（APG）、核取样系统（REN）、冷链系统等。

### 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发电机厂房与毗屋。汽轮发电机厂房内主要安装有汽轮机、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、电动给水泵组、凝结水精处理设备、高压加热器、化学取样设备、暖通设备、电气开关柜、蓄电池组以及其它辅助设备；毗屋内设有凝结水精处理间、润滑油传送间等。

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—电力转换系统由核岛蒸汽供应系统供汽，驱动额定输出功率约 1200MWe

的汽轮发电机组。蒸汽电力转换系统包括主蒸汽系统及疏水系统、汽水分离再热器系统、凝结水系统、汽机回热抽汽系统、汽机旁路系统、主给水系统和其它辅助系统。

#### 4.2.3.3 汽轮机发电机组

##### （1）汽轮机

汽轮机为三缸四排汽，全周进汽，串联布置，转速为 1500rpm，每台汽轮机组配有四组高压主汽调节联合阀。每组联合阀体上有 1 个主汽门和 1 个调节汽门。蒸汽通过这 4 套主汽门和调节汽门进入高压缸。主汽门的主要作用是在紧急条件下切断通往高压缸的蒸汽，其支撑结构不受汽机的影响。调节汽门的主要功能是根据控制系统的要求调节进入汽机的蒸汽量。经由主汽门的蒸汽，通过调节汽门后进入到高压缸膨胀做功。

高压缸上有两级抽汽分别至 7 号和 6 号高压加热器加热给水。高压缸排汽通过高压排汽管输送到位于机组两侧的汽水分离再热器中进行汽水分离和再加热，其中一部分排汽被送往除氧器对给水进行除氧和加热。经过汽水分离和两级再热后的蒸汽进入中压缸继续膨胀做功，之后再进入低压缸做功。

中压缸上有 2 级抽汽分别被引出至 4 号、3 号低压加热器；低压缸上有 2 级抽汽分别被引出至 2 号和 1 号低压加热器。蒸汽在低压缸膨胀做功后排入凝汽器，最终凝结成水。

##### （2）发电机

本工程采用的发电机为三相、旋转磁场、圆柱形转子、水平放置同步发电机，额定功率 1200MWe，自并励静态励磁。

发电机冷却方式为水-氢-氢冷却，即定子绕组、引线、引出线等为水内冷，转子绕组为氢内冷，定子铁芯及其它构件为氢冷。冷风由发电机风扇通过通风孔和通风沟打入转子和铁芯背部通风道。气体冷却器水平安装在发电机机座顶部的冷却器罩内，氢气通过冷却器的翅片管内的冷却水冷却。

发电机定子机座由一个钢板焊接结构的气密圆柱形外壳组成，内部在径向和轴向两个方向上用筋板加固，以提供一个刚性结构。定子铁芯由高质量硅钢片组成。定子绕组由双层、半个绕组构成，并在嵌入定子铁芯槽中后端部被连接起来，形成一个完整的绕组。



#### 4.2.3.4 凝汽器

凝汽器为单背压、单流程的表面式热交换器。凝汽器的壳体布置在汽轮机厂房运转层的下方，每台凝汽器壳体喉部均安装有复合低压加热器。凝汽器装有用于热井水位控制和取样的管道。凝汽器冷却管采用钛管。每个壳体均设置 2 个凝结水出口，通过支管汇集到凝结水母管，然后进入凝结水泵。

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

### 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

#### 4.3.2 核电厂散热系统

## 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

淡水水源主要有水厂供水及海水淡化两部分。5、6 号机组建设一座海水淡化厂，海水淡化厂为除盐水和工业用水提供淡水。运行期的生活用水与施工用水取自碣石镇的玄武山自来水厂。

#### 4.3.1.2 核电厂用水系统

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。

（1）与热交换相关的系统主要有：

##### 1) 重要厂用水系统（SEC）

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) 设备冷却水系统（RRI）

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。

（2）与供水相关的系统主要有：

— 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。

（3）与冷却水循环相关的系统主要有：

— 循环水过滤系统（CFI）：确保常规岛的循环水系统及重要厂用水系统（SEC）

的过滤功能，并阻止海生物和污物经由海水夹带进入联合泵站和各冷却系统。循环水过滤系统（CFI）位于循环水泵房（BPW）。

- 循环水处理系统（CTE）：向循环水过滤系统（CFI）、循环水系统（CRF）和重要厂用水系统（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。

#### （4）海水淡化系统

海水淡化系统（SWD）的功能是将海水进行淡化处理后，向除盐水生产系统（SDA）、工业水系统（SEI）供应符合质量要求的淡水。

海水淡化系统的海水取水泵布置在BPX泵房，其余设备集中布置在海水淡化厂房（BHW）。海水淡化厂房紧邻除盐水生产车间/除盐水贮存罐（BYA/BYB），两者为联合建筑。预处理设施、污泥处理设施以及各类水箱、水池等布置在室外，细砂过滤器、反渗透装置、各类水泵等布置在厂房内。

### 4.3.2 核电厂散热系统

本期工程循环水系统采用海水直流冷却系统，拟采用码头东侧港池+暗涵独立取水方案、南侧一机一洞深排的隧洞排水方案。

电厂取排水系统的功能主要是为常规岛和核岛提供冷却水，并将常规岛循环冷却水、厂用水排水以及符合排放标准的低放废水混合后经虹吸井和排水隧洞排入海域。

#### （1）取水系统

本工程采用码头东侧港池+暗涵独立取水方案，在码头东侧设置取水构筑物。

场外取水构筑物包括取水导流堤、取水头部构筑物、取水暗涵及泵房前池。厂内取排水构筑物包括：联合泵房、厂内取排水管廊、排水虹吸井。

#### （2）排水系统

陆丰核电 5、6 号机组排水方案采用南侧深排的隧洞排水方案，一机一洞呈直线布置。

#### 4.4 输电系统

#### 4.4 输电系统

广东陆丰核电厂配套的500kV开关站按全厂6台机组规划设计，开关站布置在厂区北侧，其500kV出线主要为西北方向，就近接入广东省500kV电网。

本期工程建设2回500kV出线接入500kV陆丰变电站，220kV施工与辅助电源变电站远景规划以2回220kV接入系统，目前已经建成1回220kV线路，接入220kV丰港变电站。

最终接入系统方案应由接入系统设计及其电网公司评审意见确定。

4.5 专设安全设施

4.5.1 安全壳及安全壳系统

4.5.2 安全注入系统（RIS）

4.5.3 应急硼化系统（RBS）

4.5.4 应急给水系统（ASG）

4.5.5 蒸汽大气排放系统（VDA）

4.5.6 二次侧非能动余热排出系统（ASP）

4.5.7 额外冷却系统（ECS）

4.5.8 可居留性系统

## 4.5 专设安全设施

根据广东陆丰核电 5、6 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 类为 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 类为严重事故。

广东陆丰核电 5、6 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）、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。专设安全设施的设计目标为：在发生 DBC 和 DEC-A 后，确保核电厂状态实现反应性控制、堆芯衰变热排出、向环境释放的放射性物质满足限值要求。

### 4.5.1 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和安全壳过滤排放系统。这些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。

#### 4.5.1.1 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。



广东陆丰核电5、6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。

#### 4.5.1.2 安全壳总体参数

安全壳部分设计参数如下：

- 内层安全壳的整体泄漏率限值：在设计压力下，每天的总泄漏量为安全壳内包容的自由气体和蒸汽总量的 0.3%。
- 外层安全壳的整体泄漏率限值：在 620Pa 环廊负压、20℃下，外层安全壳每天的泄漏率为其包容体积的 1.5%。

#### 4.5.1.3 安全壳热量导出系统（EHR）

安全壳热量导出系统（EHR），作为严重事故预防和缓解措施的一部分。在严重事故情况下，安全壳热量导出系统是限制安全壳超压，保证安全壳以及安全壳内换料水箱（IRWST）散热的最终缓解手段。

EHR 系统的功能是在严重事故下控制安全壳内压力，并对压力容器、安全壳内大气和 IRWST 进行长期冷却。同时，EHR 系统还可实现在超设计基准事故下一回路热

量排出系统不可用时，用于冷却 IRWST，排出堆芯余热。

#### 4.5.1.4 安全壳隔离系统（EIE）

##### 4.5.1.4.1 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。

##### 4.5.1.4.2 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。

###### （1）与一回路冷却剂相连的管线或者直接通向安全壳大气的管线

根据对应的管壁厚度，管线上装有一个或两个隔离阀（一个在安全壳外侧，另一个（如需要）在安全壳内侧）。两个隔离阀为安全壳贯穿件提供了双重隔离屏障。如果安全压力整定值高于安全壳设计压力的 1.5 倍，那么安全阀可用作隔离阀。

- 仅在停堆期间使用的系统：两个手动阀或两个由主控室控制的电动阀。
- 在正常运行或事故工况下使用的特定系统（指部分在安全壳外，并形成一封闭边界的系统）：安全壳外的封闭管道视为安全壳的一部分，并在设计中保证能抵抗安全壳的设计压力。对每个贯穿件，在其安全壳外的部分装有一个自动隔离阀。
- 在正常运行或事故工况下使用的其它系统：设置两个安全壳自动隔离阀，一个在安全壳内，另一个在安全壳外，或对输送流体进安全壳的管线，一个自动隔离阀，一个止回阀，其中止回阀安装在安全壳内。
- RIS 和 EHR 系统贯穿件：仅在其安全壳外部分装有一个隔离阀。这些阀门都需要在主控室手动关闭。在地坑和隔离阀之间的管道上装有一个套管（保护管），为这些贯穿件提供了双重密封屏障。

(2) 不直接与安全壳内大气相通，且不属于二回路系统的管线

对某些进入安全壳的管线，它们不直接通向安全壳内大气，不和一回路冷却剂系统相连，且不属于二回路冷系统。在这些管线上，在其安全壳外侧都装有一个隔离阀，从而为贯穿件提供了双重屏障（安全壳内是闭合系统，安全壳外装有隔离阀）。

(3) 部分属于二回路系统的管线

当蒸汽发生器传热管完好时，蒸汽和给水管线贯穿件不承担安全壳功能。此时，安全壳功能由二回路系统压力边界承担。在发生蒸汽发生器传热管破裂事故（SGTR）后，二回路系统隔离阀有助于实现长期的安全壳功能。

(4) 只穿过安全壳外侧墙体的管线

对于只穿过安全壳外侧墙体，且与环廊内大气相通的管线，在其安全壳外侧装有一个隔离阀或一个止回阀；对于只穿过安全壳外侧墙体，且与环廊内大气隔离的管线，不安装隔离阀。

#### 4.5.1.4.3 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。

#### 4.5.1.5 安全壳可燃气体控制系统（EUH）

设置完善的可燃气体控制系统是应对严重事故的重要措施。所谓可燃气体主要是指氢气和一氧化碳，当安全壳内的氢气浓度达到一定比例后，在外界条件（例如温度、压力、氧气浓度等）适合的情况下，可能会发生氢气燃烧或迅速爆燃而造成与安全有关的设备和系统的局部损坏，甚至损坏安全壳的结构，造成大量的放射性物质进入环境，所以危及安全相关设备和系统的氢气局部燃烧和危及安全壳完整性的整体氢爆

炸必须被排除。广东陆丰核电 5、6 号机组 EUH 系统包括消氢子系统和氢气浓度测量子系统。

消氢子系统的设计目标是减低严重事故工况下安全壳内氢气浓度，同时也用于降低 LOCA 等设计基准事故工况下安全壳内的氢气浓度。消氢子系统的设计应满足以下要求：

- 在事故期间及以后，相当于 100%活性区锆包壳-冷却剂反应产生的氢气在安全壳内均匀分布时，控制安全壳内的氢气平均浓度低于 10%；
- 在事故期间及以后，相当于 100%活性区锆包壳-冷却剂反应产生的氢气可能发生局部燃烧时，保障安全壳结构和功能完整。

氢气测量子系统由布置在安全壳内的氢气浓度探测器和布置在安全壳外的信息处理柜以及通往主控室显示装置组成。氢气测量子系统将为操纵员提供严重事故下的安全壳内氢气浓度信息，为严重事故导则中的操作提供依据。

#### **4.5.1.6 安全壳环廊通风系统（EDE）**

##### **4.5.1.6.1 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。

##### **4.5.1.6.2 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，该子系统送排风处理设备由核辅助厂房通风系统（DWN）承担；
- 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、一组后置高效粒子空气过滤器（HEPA）和碘吸附上下游防火阀。

##### **4.5.1.6.3 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-200Pa 的压力。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。

#### 4.5.1.7 安全壳过滤排放系统（EUF）

核电厂安全壳是防止放射性产物释放到环境中的最后一道屏障。在发生严重事故后，如果安全壳内的压力逐渐升高，则最终可能会破坏安全壳的完整性，造成放射性物质的外泄。EUF 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。

EUF 系统的设计目标是防止安全壳大气压力逐渐升高从而引起的安全壳破坏，它不能用于应付短期内较高的压力瞬态（例如，由安全壳内氢气爆炸引起的压力瞬态）。

#### 4.5.2 安全注入系统（RIS）

安全注入系统（RIS）的主要功能是事故后向反应堆应急注水以补偿水装量的丧失或淹没堆芯，将热量从反应堆导出，此外，RIS 系统还执行正常停堆和事故工况下余热排出的功能。

##### 4.5.2.1 系统功能

###### 1) 安全功能

###### — 反应性控制

在设计基准事故（DBC-3~DBC-4）、复杂事故序列（DEC-A）情况下，RIS 系统运行在安注模式下，将安全壳内置换料水箱（IRWST）和安注箱内的含硼水注入到反应堆冷却剂系统（RCP）内，以控制堆芯的反应性。

###### — 余热排出

在丧失冷却剂事故下（小破口失水事故（SB-LOCA）到双端剪切断裂失水事故

（2A-LOCA）、蒸汽发生器传热管破裂（SGTR）将水注入到反应堆内，防止堆芯裸露，限制燃料包壳温度的峰值。另外，如果破口发生在冷段，低压安注（LHSI）通过冷、热段同时注入，防止硼在堆芯燃料上结晶导致的传热恶化。

在余热排出（RHR）运行模式下，如果发生 RCP 系统误疏水或 SB-LOCA 事故（DBC-4），为确保 RCP 的水位，由中压安注（MHSI）泵补偿破口或泄漏丧失的 RCP 容积，满足 LHSI 泵在 RHR 模式下的运行条件。

在 DBC 或 DEC-A 事故工况下，通过 RHR 运行模式或事故长期运行模式，将堆芯衰变热排出，使机组进入安全停堆状态或最终状态。

在安全壳内发生中破口失水事故（IB-LOCA）及以上的破口事故时，RIS 系统通过 LHSI 泵和余热排出换热器的运行，对注入 RCP 系统的含硼水和 IRWST 内的流体进行冷却，带走 IRWST 和安全壳内的热量。

失水事故（LOCA）工况下，过滤进入 IRWST 内的碎片，确保 RIS 泵（MHSI 泵和 LHSI 泵）和安全壳热量导出系统（EHR）泵的正常运行。

在非 LOCA 的事故下，例如主蒸汽管道断裂（DBC-4），通过安注补偿由于 RCP 冷却导致的冷却剂收缩，直到安全停堆状态。

在反应堆压力容器（RPV）打开大盖的停堆阶段，如果完全丧失冷链（DEC-A），EHR 系统通过 RIS 系统冷段注入管道向一回路补水，补偿由于蒸发导致的 RCP 水位下降，RIS 系统提供一回路补水流道。

在 RPV 打开大盖的停堆阶段，如果发生全厂断电（SBO，失去厂外电源和应急柴油机），冷链系统将完全丧失，此时 EHR 系统通过 RIS 系统冷段注入管道向一回路补水，补偿由于蒸发导致的 RCP 水位下降，RIS 系统提供一回路补水流道。

#### — 放射性包容

在 IB-LOCA 及以上的破口事故下，LHSI 泵下游的换热器对注入堆芯的含硼水进行冷却，并通过冷、热段同时注入的方式限制破口处产生的蒸汽，保证安全壳的完整性。

IRWST 作为安全壳内的热阱，吸收安全壳大气内的热量，限制安全壳压力和温度的升高，保护安全壳不超压。

MHSI 的注入压力低于主蒸汽系统（VVP）安全阀的设定压力，防止在 SGTR 事故下 VVP 安全阀被打开，导致放射性物质大量向大气释放。

## 2) 运行功能

在 RHR 冷却正常停堆模式（NS/RIS-RHR）下，RIS 系统在 RHR 模式下运行，带走堆芯衰变热并降低冷却剂的温度。

在装、卸燃料和维修操作时，RIS 系统在 RHR 模式下运行，保持 RCP 冷却剂的温度，维持一回路在冷停堆状态。

在停堆或启堆期间（主泵不运行），RIS 系统在 RHR 模式下运行，搅混 RCP 内的冷却剂。

当 RCP 内的压力低于化学与容积控制系统（RCV）下泄管线运行要求时，通过 RIS 的管线完成低压下泄，并将冷却后的冷却剂输送至 RCV 系统进行净化。

机组正常运行工况下，当反应堆硼和水补给系统（REA）对 IRWST 进行硼水补给（弥补水的蒸发或泄漏）或 IRWST 温度升高时，通过 LHSI 泵下游的切向和径向小流量管线搅混 IRWST，通过换热器冷却 IRWST，以均匀 IRWST 内的硼浓度和温度。

在装、卸燃料期间，从 IRWST 抽水至反应堆水池。

正常功率运行工况下，使用 MHSI 泵从 IRWST 取水向安注箱补水。

RCV 容控箱不可用情况下，IRWST 可以作为 RCV 的后备水源。

在冷停堆期间，将安注箱降压后与一回路连接，保证主泵在低压状态下的运行条件，防止主泵损坏。

IRWST 收集来自不同系统的流体（如 RIS 安全阀的排放，堆腔池的疏水等）。

在正常运行期间，通过安注箱的持续加压，防止发生反应堆冷却剂压力边界（RCPB）隔离阀间的死管段现象。

### 4.5.2.2 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 列，RIS 系统 A、B 列的设计和 C 列的设计除下述不同外基本一致：

- 1) A 列和 B 列与 RCV 系统用于净化的部分相连；
- 2) A 列和 B 列上的 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 DEL 的备用冷源；
- 3) 系列 A 和 B 与 EHR 系统相连的应急堆芯冷却注入管线；
- 4) 系列 A 与堆坑注水箱相连的非能动注入管线。

每一列 RIS 系统由 MHSI 子系统、LHSI 子系统、安注箱子系统组成，每一列 MHSI 泵和 LHSI 泵通过共用取水管道从 IRWST 取水。

MHSI 泵、安注箱和 LHSI 泵都通过共用的注入管线，将含硼水直接注入到对应环路的 RCP 主管道冷段。在 LHSI 泵的下游安装了余热排出换热器，冷却注入 RCP 冷段的硼水，带走堆芯和安全壳内的热量。在发生大、中破口失水事故的长期阶段，为防止硼在堆芯内的结晶和减少蒸汽从破口的释放，LHSI 泵所在管系还可以手动切换为冷、热段同时注入模式。

在 DBC 或 DEC-A 事故工况下，当一回路压力和温度降低到 RHR 的接入条件时，RIS 系统以 RHR 模式运行，将堆芯衰变热持续、稳定的导出，使机组进入安全停堆或最终状态。

正常停堆工况下，在机组正常停堆冷却的第二阶段（从 NS/SG 过渡到 NS/RIS-RHR 模式），RIS 系统以 RHR 模式运行，执行余热排出的功能，在规定的时间内按一定的降温速率将一回路冷却到并维持在冷停堆工况，每一列 RIS 系统都可以执行 RHR 功能。

RHR 模式运行期间，每一列 LHSI 泵都从 RCP 一个环路的热段取水，通过余热排出换热器的管侧冷却后，返回到对应 RCP 环路的冷段，热量被传递给余热排出换热器壳侧的设备冷却水系统。

#### 4.5.2.3 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。

##### 1) 安注箱

安注箱是利用氮气加压的、充有含硼水的压力容器，其结构为带有标准椭圆上封头和下封头的圆柱形立式储罐，它由碳钢材料制成，内衬不锈钢，满足抗震 1 类要求，安注箱布置在安全壳内，安注箱的总容积为  $50\text{m}^3$ ，正常运行时安注箱内的氮气压力为  $4.7\text{MPa}$  (abs)。

##### 2) LHSI 泵

LHSI 泵为卧式多级离心泵，采用不锈钢制造，水平安装在安全厂房内，RRI 系统为 LHSI 泵的电机和轴封提供冷却，A 列 LHSI 泵的电机还可以由 DEL 系统提供冷却，



LHSI 泵注入一回路的最高压力为 2.5MPa (abs)，在一回路压力为 0.1MPa (abs) 时注入一回路的最低流量为 440m<sup>3</sup>/h。

### 3) MHSI 泵

MHSI 泵为卧式多级离心泵，采用不锈钢制造，水平安装在安全厂房内，三列 MHSI 泵的电机都由 RRI 系统提供冷却，MHSI 泵注入一回路的最高压力为 8.85MPa (abs)，在一回路压力为 0.1MPa (abs) 时注入一回路的最低流量为 190m<sup>3</sup>/h。

### 4) 余热排出换热器

余热排出换热器为 U 形管式换热器，水平安装在安全厂房。余热排出换热器的管侧为一回路冷却剂或 IRWST 的硼水，壳侧为 RRI 系统提供的设备冷却水。

### 5) 安全壳内换料水箱 (IRWST)

IRWST 为正常停堆换料和事故下 RIS 泵和 EHR 泵的运行提供水源，IRWST 内含硼水的硼浓度为 1300mg/kg~1400mg/kg (富集度 35%的 <sup>10</sup>B)，IRWST 的正常水容积为 1948m<sup>3</sup>，它的水装量满足停堆换料时的水量要求，IRWST 的液位高度可以确保所有从 IRWST 取水的泵 (RCV、RIS、EHR 和 PTR 系统) 即使是在事故工况下也具有足够的可用汽蚀余量 (NPSHa)。

## 4.5.2.4 系统运行

在机组功率运行期间，安全注入系统处于备用状态，所有的泵和管线处于安注连接模式。

正常停堆工况下，在机组正常停堆冷却的第二阶段(从 NS/SG 过渡到 NS/RIS-RHR 模式)，安全注入系统以 RHR 模式运行，执行余热排出的功能，在规定的时间内按一定的降温速率将一回路冷却到冷停堆工况。

在机组达到冷停堆后的换、装料期间，安全注入系统保持在 RHR 的运行模式，将堆芯衰变热带走，以满足换、装料的要求。

在机组正常启动过程中，安全注入系统以 RHR 模式运行，搅混反应堆冷却剂系统，以均匀硼浓度并控制反应堆冷却剂系统的温升速率。

另外，在机组正常运行期间，安全注入系统通过 LHSI 泵的切向和径向的小流量管线可以对 IRWST 内的硼水进行冷却和搅混，以均匀硼浓度和控制 IRWST 的水温在正常的范围。

在机组发生 DBC-2~DBC-4 或 DEC 事故后，为了应对各种 LOCA 事故或 RCP 由于过冷导致的水体积收缩等工况，安全注入系统的 LHSI、MHSI 和安注箱陆续投用，以淹没堆芯（保持 RCP 的水装量）和带走堆芯衰变热，将机组带入可控状态、安全停堆状态或最终状态。

### 4.5.3 应急硼化系统（RBS）

#### 4.5.3.1 系统功能

应急硼化系统（RBS）是一个安全系统，在事故工况下对一回路进行硼化，用于补偿由于堆芯冷却和氙毒减少引入的正反应性。在发生设计基准工况（DBC-2 到 DBC-4）或设计扩展工况（DEC-A）中，当机组达到可控状态后由操作员手动投入 RBS 系统，使得一回路可以进一步降温、降压，直到堆芯到达安全停堆状态。在发生由控制棒故障引起的未能紧急停堆的预期瞬态（ATWS）时，RBS 系统自动投入运行，保证堆芯处于次临界状态。

#### 4.5.3.2 系统描述

RBS 系统由两列 100% 容量的系列组成。两列应急硼酸箱之间使用集管连接，使每台泵都可以从任一应急硼酸箱取水。两列 RBS 注入管线进入安全壳后由母管相连，分别向下游 RCP 的三个环路注入。

每列 RBS 系统由一个应急硼酸箱、一台活塞泵及相关的阀门、仪表和管线组成。每列 RBS 系统向 RCP 的三个环路注入，活塞泵输送硼酸溶液，经安全壳隔离阀和 RCPB 隔离阀，并经由安全注入系统（RIS）的管线注入到 RCP 系统对应环路的冷管段中。

其中 B 列的 RBS 泵用于一回路水压试验。一回路水压试验时，开启与化学和容积控制系统（RCV）连接管线上的手动阀，B 列 RBS 泵从 RCV 容控箱取水，通过 RCV 的轴封注入管线，经过 RCP 系统主泵轴封注入到 RCP 系统。

RBS 泵需要进行定期试验，定期试验管线由泵的出口连接至相应的应急硼酸箱上。泵也可以通过此管线对应急硼酸箱进行定期搅混。在泵出口设置有安全阀，对 RBS 系统进行超压保护。

RBS 系统使用最低浓度为 7000mg/kg 的浓硼酸溶液，为防止硼结晶，要求系统介

质温度不低于 20℃，介质温度由暖通系统和管道伴热系统予以保障。

#### 4.5.3.3 设计基准

在执行应急硼化功能时，从可控状态到安全停堆过程（RHR 接入）中，RBS 以最小流量注入时，能够补偿因慢化剂冷却和氙毒减少引入的正反应性。

设计基准工况下，从可控状态到安全停堆过程（RHR 接入）的降温过程中，在使用 RBS 系统注硼且 RCV 系统不考虑下泄的情况下，RBS 系统以最大流量注入时，不会导致稳压器满溢。

RBS 系统使用富集度为 35at%，最低浓度为 7000mg/kg 的  $^{10}\text{B}$  硼酸溶液，1 个应急硼酸箱提供的硼酸总量能够满足电厂从可控状态带入安全停堆的要求。

应急硼化泵的排出压力需考虑 ATWS 下反应堆冷却剂系统（RCP）的最大压力，并保证在此压力下能够向 RCP 注入足够流量的硼酸溶液。

泵的最大排出压力还需满足执行一回路水压试验要求。

RBS 系统采用浓硼溶液作为介质，因此必须保证介质温度高于硼结晶温度，以避免流道堵塞导致流量不足或注入到 RCP 系统的硼浓度不足。

#### 4.5.3.4 系统运行

##### 1) 机组正常运行

机组正常运行期间，RBS 系统处于备用状态：

- RBS 泵可用且处于备用状态；
- 应急硼酸箱和 RCP 之间的所有手动阀处于开启状态，确保 RBS 泵能够从应急硼酸箱取水注入到 RCP 系统中；
- 试验管线上的电动隔离阀关闭；
- 安全壳内注入管线电动隔离阀开启；
- 安全壳外电动隔离阀关闭。

##### 2) 一回路水压试验

一回路水压试验时，B 列应急硼化泵从 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。

##### 3) 事故瞬态

RBS 系统的安全硼化是由控制室中操作员手动操作或就地手动操作完成，当发生 ATWS 事故时 RBS 系统自动启动。

在 DBC 事故工况下，如果操作员手动启动 RBS 系统：

- 开启或确认开启安全壳内注入管线电动隔离阀；
- 开启安全壳外电动隔离阀；
- 关闭或确认关闭试验管线上的隔离阀；
- 启动泵。

一旦启动注硼，RBS 系统将持续运行，直到注入的硼酸容量能够达到安全停堆的要求。当 RCP 硼浓度达到目标值，可由操纵员手动停运 RBS 系统。

#### 4.5.4 应急给水系统（ASG）

##### 4.5.4.1 系统功能

###### 1) 安全功能

应急给水系统（ASG）执行以下三个基本安全功能。

- 反应性控制

当发生主蒸汽管线破裂（MSLB）事故，通过隔离受影响蒸汽发生器的应急给水管线（ASG 系统管道），防止过量给水注入蒸汽发生器导致堆芯过冷，维持堆芯处于次临界的可控状态。

- 余热排出

ASG 系统必须确保在 DBC-2、DBC-3、DBC-4 工况下向完好的蒸汽发生器提供应急给水，通过蒸汽发生器导出 RCP 系统的堆芯衰变热和显热，直至 RIS 系统以余热排出（RHR）模式运行。

在 DEC-A 事故时（例如 SBO 或 TLOCC），ASG 系统向蒸汽发生器提供应急给水，通过蒸汽发生器导出 RCP 系统的堆芯衰变热和显热，将机组带入到最终状态。

- 放射性包容

在 SGTR 等一、二次侧连通事故工况下，隔离受影响蒸汽发生器的应急给水管线（ASG 系统管道），防止放射性物质不可控地向环境释放，实现放射性物质的包容。

在安全壳内 FLB 或 MSLB 事故工况下，隔离受影响蒸汽发生器的应急给水管线

（ASG 系统管道），降低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，避免第三道屏障完整性失效。

## 2) 运行功能

在机组正常停堆期间，向蒸汽发生器注水，并同时向核岛化学加药系统（SIH）提供的化学药剂注入蒸汽发生器内完成湿保养操作。

在机组正常启动期间，完成蒸汽发生器初次充水。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。

### 4.5.4.2 系统描述

ASG 系统由 3 个独立的连接至 3 个环路的蒸汽发生器的应急给水系列组成。

每个系列包含：

- 1 个水箱；
- 1 台应急给水电泵（1×100%），由应急电源供电；
- 泵吸入口与排出口相关的管道、阀门等。

三台泵的吸入侧及出口侧均通过集管方式连接，集管可由操纵员现场手动打开。

应急给水管线独立于主给水系统，注入蒸汽发生器。

ASG 系统的应急给水泵启动后，从水箱取水，经功率限制阀、蒸汽发生器水位调节阀、安全壳外隔离阀和安全壳内止回阀等一系列管道和阀门向蒸汽发生器供水。任何一列 ASG 泵提供的应急给水流量都足以带出事故后的堆芯衰变热。应急给水泵出口设置了一个小流量保护阀（三通止回阀），当泵出口的流量较低时，将泵出口流量送回至水箱，保证泵连续运行。

在全厂断电事故（SBO）工况下，A 列应急给水泵由 SBO 柴油机供电。操作员手动启动 A 列 ASG 系统向蒸汽发生器供水。

当某个水箱水装量不能满足要求（或失效）时，手动打开水箱连通集管上的手动隔离阀，从其他列的水箱取水注入到该列蒸汽发生器；当某列应急给水泵不可用时，可打开泵出口集管上的隔离阀从其它列取水为该列蒸汽发生器供水。

在应急给水泵不可用的工况下（例如完全丧失交流电源），通过与 ASG 注入管线相连接的二次侧非能动余热排出系统（ASP），采用闭式非能动循环带热的方式导出堆芯衰变热。

#### 4.5.4.3 设计基准

ASG 系统是专设安全系统，具有充分的冗余性，在 DBC 设计基准事故中，即使单一故障导致丧失 1 列 ASG 系统，系统仍能够执行其安全功能。

ASG 系统应具有足够的可靠性。在事故的长期阶段，ASG 系统具有持续提供稳定给水的功能，导出堆芯衰变热。在全厂断电（SBO）工况下，ASG 系统也能够执行上述功能。

ASG 系统的水箱具有足够的有效容积，在发生长期 LOOP 事故时，能够将电厂维持在热停堆 24 小时。

在失去主给水（FLB）事故工况下，ASG 给水泵能够提供足够的流量，以导出堆芯余热。

在安全壳内发生主蒸汽管线破裂（MSLB）的事故下，ASG 系统向受影响蒸汽发生器注入的最大流量不会导致安全壳超压。

在全厂断电（SBO）或完全丧失冷链（TLOCC）的事故下，ASG 水箱的存水耗尽后，可通过 ASP 水箱进行再补水并维持电厂最终状态至 72 小时。72 小时后，可以通过临时接管和移动泵从外部水源向 ASG 水箱补水，延长 ASG 系统的运行时间。

#### 4.5.4.4 系统运行

##### 1) 机组正常运行

机组正常运行期间，ASG 系统处于备用状态。

##### 2) 事故工况

当 ARE 和 AAD 系统不可用时，应急给水系统向蒸汽发生器提供给水，导出反应堆内的余热，产生的蒸汽通过汽轮机旁路系统（GCT）或者蒸汽大气排放系统（VDA）排出。

在一个应急给水系列的泵不可用，或者某一系列的水箱排空时，可以开启泵吸入侧或出口侧集管的阀门，确保应急给水系统泵和水箱得到最大的利用。

在发生全厂断电事故（SBO）时，可由 SBO 电源支持的应急给水泵系列对 SG 进行供水。在发生极端的完全丧失交流电源事故时（SBO 电源也不可用），由 ASP 系统带出 RCP 系统的热量。

在事故长期阶段，若 ASG 应急水箱的水量耗尽（持续运行 24 小时后），必要时可通过 ASP 冷凝水箱与 ASG 应急水箱之间的重力补水管线，向 ASG 应急水箱补水。极端情况下可通过 ASG 应急水箱上的临时补水接口，由厂内或厂外水源通过移动设备进行补水。

#### 4.5.5 蒸汽大气排放系统（VDA）

##### 4.5.5.1 系统功能

蒸汽大气排放系统（VDA）的系统功能有安全功能和运行功能。

###### 1) 安全功能

###### - 反应性控制

在蒸汽流量过度增加的事故工况中，VDA 的隔离作为一回路过冷保护的一部分，参与执行反应性控制。

###### - 余热排出

发生 DBC-2/3/4 及 DEC-A 类事故时，VDA 能够通过向大气排放蒸汽来排出余热。

###### - 放射性物质包容

在 DBC-2/3/4 和 DEC-A 事件中，通过 VDA 的开启来参与防止蒸汽发生器超压。

此外，在中压快速冷却结束后，通过提高 VDA 开启设定值，将放射性包容在受影响的蒸汽发生器之内，从而限制受影响 SG 向安全壳外的放射性释放。

最后，在严重事故情况下，VDA 必须参与安全壳的隔离。

###### 2) 运行功能

VDA 不参与机组正常运行，但在以下工况需要 VDA 开启：

- 在某些试验工况或瞬态（GCT 不可用时的厂用电负荷运行、汽机跳闸等）期间，将蒸汽发生器的热量传输至大气；

- 在机组正常停运过程中，当 GCT 不可用时，可以用 VDA 来排出余热，直至达到 RIS 系统以 RHR 模式运行的接入条件；

- 对蒸汽发生器进行超压保护；

- 在机组正常启动过程中，当 RIS 系统退出 RHR 运行模式后，如果 GCT 不可用，可由 VDA 系统来控制一回路温度。

#### 4.5.5.2 系统描述

每台机组的 VDA 系统由 3 个相同的安全级排放序列组成（每个 SG 对应一列）。

每列包括：

- 1) 一个主蒸汽释放隔离阀（MSRIV）；
- 2) 一个主蒸汽释放控制阀（MSRCV），位于 MSRIV 下游；
- 3) 一个消音器，位于 MSRCV 下游的排放管道上；
- 4) 连接管道。

VDA 的三列被严格分开，位于反应堆厂房之外实体隔离的 3 个相同的阀站内（与三列 VVP 的阀门隔间相同）。其中两个阀站位于安全厂房 B 的顶部，另外一个位于安全厂房 A 的顶部。

#### 4.5.5.3 设计基准

VDA 的每列（每列对应 1 台 SG）应能在 8.6MPa（abs）的定值压力下排放至少 50% 的名义蒸汽流量。超压保护系统应能在流体为蒸汽、汽水混合物或水的工况下执行功能。

#### 4.5.5.4 系统运行

1) 机组正常运行

- NS/SG 模式至反应堆功率运行：热量导出由 GCT 保证，MSRIV 处于关闭状态。当 GCT 不可用时，三列 VDA 向大气排放蒸汽，此时 MSRIV 处于开启状态，MSRCV 开度受控。
- NS/SG 模式至反应堆功率运行：热量导出由 GCT 保证，MSRIV 处于关闭状态。当 GCT 不可用时，3 列 VDA 向大气排放蒸汽，此时 MSRIV 处于开启状态，MSRCV 开度受控。
- RHR 模式连接的停堆状态：反应堆停堆，RIS 系统以 RHR 模式运行导出 RCP 的余热。

2) 机组扰动及事故工况

- 在 GCT 不可用的 DBC-2/3/4 和 DEC-A 事件中，由 VDA 控制 SG 二次侧压力，



直到可控状态或最终状态；

- 在 GCT 不可用的 DBC-3/4 及 DEC-A 事件中，当需要使 RCP 降压以满足安注条件时，通过 VDA 冷却 RCP 从而实现降压（自动中压快速冷却或手动低压全速冷却）；
- 在导致二次侧不可控热量导出的 DBC-3/4 事件中，VDA 被隔离以达到可控状态。

#### 4.5.6 二次侧非能动余热排出系统（ASP）

二次侧非能动余热排出系统（ASP）主要用于设计扩展工况，应对的工况为需要应急给水系统（ASG）投运以排出一回路热量且 ASG 失效的事故工况，在这些工况中 ASP 能够持续排出一回路热量。这些工况主要包括：

- 丧失全部给水（状态 A）；
- SBO 叠加 SBO 柴油机失效；
- 其他需要 ASG 启动的事故叠加 ASG 失效。

此外，ASP 还可在所有需要通过 ASG 和蒸汽大气排放系统（VDA）进行排热的设计扩展工况的长期阶段为 ASG 提供水源，在反应堆水池和燃料水池冷却和处理系统（PTR）冷却回路机械系统完全失效的设计扩展工况的长期阶段为乏燃料水池补水。

在蒸汽发生器传热管破裂（SGTR）工况下，作为蒸汽发生器（SG）压力边界范围的 ASP 设备参与 SG 隔离功能。

在严重事故工况下，通过隔离自身，参与隔离安全壳外二次侧系统。

#### 4.5.7 额外冷却系统（ECS）

额外冷却系统（ECS）执行如下余热排出安全功能：在部分 DEC-A 工况（完全丧失冷链（TLOCC）、全厂断电（SBO））和严重事故工况（DEC-B）下，通过冷却安全壳热量导出系统（EHR）的换热器导出堆芯及安全壳内余热；通过冷却反应堆水池和燃料水池冷却和处理系统（PTR）的换热器来移出燃料厂房乏燃料水池的衰变热。

ECS 设置了中间冷却回路，通过中间波动箱维持回路压力，保证该回路运行压力始终高于 EHR 系统和 PTR 系统，从而确保放射性物质的包容。

ECS 系统为一列配置，包括：

a) 终端冷却回路：由一台终端循环泵、一台终端过滤器、一套机械通风冷却塔、集水池、补给水池、以及相关的管道、阀门和管部件组成；

b) 中间冷却回路：由一台中间循环泵、一台中间换热器、一个中间波动箱以及相关的管道、阀门和管部件组成。

电厂正常运行期间，ECS 系统处于备用状态；事故工况下，由操作员手动启动，为 EHR 及 PTR 系统 A 列提供冷却，导出堆芯及乏池热负荷。

#### 4.5.8 可居留性系统

控制室可居留性系统主要的设计功能是为可居留区域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。

##### 4.5.8.1 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：持续应急响应期间内（一般为 30 d），工作人员接受的有效剂量不大于 50mSv，甲状腺当量剂量不大于 500mSv；
- 提供有毒或有害气体的防护：出现有毒或有害气体释放的险情时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；
- 在危险化学品或烟雾的威胁下可以从控制室或其他可选的停堆控制站对反应堆进行控制。

##### 4.5.8.2 系统设计和运行

广东陆丰核电 5、6 号机组的控制室可居留区域（CRE）范围包括控制室、交接班

会议室、值长办公室、备用间、隔离办公室、计算机室、参观室、技术支持中心、更衣室、厨房、餐厅、卫生间、DCL 设备间以及相关走廊等，即由控制室空调系统（DCL）提供服务的整个区域。

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。

- 4.6 放射性废物管理系统和源项
- 4.6.1 放射性源项
- 4.6.2 放射性废液管理系统及排放源项
- 4.6.3 放射性废气管理系统及排放源项
- 4.6.4 放射性固体废物管理系统及废物量
- 4.6.5 乏燃料暂存系统

#### 4.6 放射性废物系统和源项

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。

本节描述广东陆丰核电5、6号机组的放射性废物系统和放射性源项，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，气载和液体放射性流出物的排放量及固体放射性废物的产生量。

放射性排放量主要取决于：

- 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

核电站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。

###### （1）堆芯裂变产物积存量

广东陆丰核电5、6号机组采用十八个月燃料循环方式，使用全M5 AFA3G燃料组件。

###### （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，在发生活化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。

- a) 通过裂变、放射性衰变或中子俘获产生裂变产物；
- b) 裂变产物通过扩散、反冲和击出等方式进入燃料棒内间隙；
- c) 裂变产物通过包壳缺损释入反应堆冷却剂。
- d) “沾污铀”在中子照射下发生裂变及裂变产物的释放。
- e) 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。

根据燃料循环管理策略中平衡循环特性，采用CPFP程序模拟共8个循环，并将第3至第8个循环寿期末的最大值提取作为裂变产物源项值。

反应堆冷却剂系统的放射性主要取决于包壳缺陷的特征和裂变产物穿过包壳缺陷进入反应堆冷却剂中的特性以及破损棒的功率等运行情况。

除了稳态源项外，对于碘、铯和惰性气体，根据法国和国内在运核电站的运行经验反馈，还给出了瞬态源项。

## 2) 活化腐蚀产物

活化腐蚀产物是结构材料所含的某些核素被中子照射后活化产生。一回路冷却剂中活化腐蚀产物活度与燃料棒破损无直接关系。

### (3) 二回路系统的放射性活度

二回路系统的活度由蒸汽发生器传热管束泄漏造成。在计算二回路源项时保守地假设三台蒸汽发生器的泄漏率在整个燃料循环周期内预期工况为1.5kg/h，设计工况为3kg/h。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和小部分的碘（碘的份额与汽水分配因子有关）从冷凝器抽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。二回路的泄漏主要发生在冷凝器后端的给水系统中。

### (4) 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，同时核电站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氚反应产生；
- 二次源中的铍活化产生的氚

#### （5）C-14 源项

C-14 的半衰期为 5730 年，它对集体剂量负担有重要的贡献。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。

结合我国国家标准《压水堆核电厂运行状态下的放射性源项》（GB/T 13976-2008）中的相关内容，并考虑适当的保守性，确定每台机组每年经由气态和液态途径释放的 C-14 源项。

### 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）；
- 反应堆换料水池和乏燃料水池冷却系统（PTR）；
- 蒸汽发生器排污系统（APG）；
- 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）接收和贮存核电厂正常运行中可复用的一回路冷却剂，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。

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 个运行部分：

- 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

1) 冷却剂贮存和供给子系统（TEP1）执行以下功能：

- 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除盐水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含硼浓度为 7000mg/kg 硼酸溶液和补给水，供反应堆冷却剂系统复用。
- 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在电厂排放（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，如反应堆冷却剂接近设计的放射性限值，或者冷却剂化学性质的要求，通过冷却剂除气子系统（TEP4）除气，减少惰性气体和其它气体浓度。

(2) 系统描述

冷却剂贮存和处理系统根据电厂正常运行工况设计。

1) 冷却剂贮存和供给子系统（TEP1）

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)

冷却剂净化子系统由以下部分组成：

- 2 台硼酸蒸馏塔补给泵（2×100%）；
- 1 台混床除盐器；
- 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) 冷却剂除气子系统（TEP4）

冷却剂除气子系统主要有以下设备组成：

- 1 台除气塔；
- 1 台除气塔电加热器；
- 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 台除气输送泵；
- 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。

#### 4.6.2.2 废液处理系统（TEU）

##### （1）系统功能

TEU 系统位于 BWX 厂房，为 2 台机组共用。用于监测、收集、贮存并处理机组正常运行期间及预期运行瞬态下产生的不可复用放射性废液，并将处理合格的废液送入废液排放系统（TER）排放。

TEU 系统处理四类放射性废液：工艺废液、化学废液、地面废液和洗涤废液。上述废液主要由核岛排气和疏水系统（RPE）和放射性废水回收系统（SRE）收集。

##### （2）系统描述

放射性废液根据放射性浓度和化学组份主要由 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，可由除盐、蒸发+除盐等多种方式进行处理；

- 化学废液的化学杂质含量及放射性浓度均较高，可由蒸发、蒸发+除盐等多种方式进行处理；

- 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，若地面废液放射性活度较高时，也可由蒸发工艺进行处理。

TEU 系统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、废液处理和处置、化学试剂贮存与加注和系统集中取样监测等功能。

##### a) 废液贮存子系统

废液贮存子系统分别设置工艺废液接收槽、地面废液接收槽、化学废液接收槽以及洗涤废液接收槽用于贮存不同类别的放射性废液。同类别贮槽均配备专门的排水泵，用于贮槽内废液的搅混和倒罐操作，并在贮槽达到设定液位时输送槽内的废液到废液处理子系统进行处理。

工艺废液进入工艺废液接收槽，地面废液进入地面废液接收槽，化学废液由化学废液接收槽接收，洗涤废液由洗涤废液接收槽接收。每类贮槽中总有 1 个贮槽处于接

收状态。贮槽装满后要进行搅拌、取样分析、添加化学试剂等，然后进行处理。

#### b) 废液处理子系统

废液处理子系统设计采用三种工艺用于分离在机组正常运行期间所产生废液中含有的放射性物质或化学组分：除盐、蒸发和过滤。

##### — 除盐处理单元

当废液需要采用除盐工艺进行处理时，先将废液于相应收集槽内混合搅拌，取样分析后，输送至除盐单元。

当废液在蒸发单元处理之后需要再进行除盐操作时，蒸发处理过的废液可通过除盐床进行进一步处理。

##### — 蒸发处理单元

当废液需要采用蒸发工艺进行处理时，将废液于相应收集槽内混合搅拌，取样分析后，经由蒸发器进料泵输送至蒸发单元处理。若蒸发处理后废液满足排放要求，可直接送至监测槽内贮存，若不满足要求，则需经过除盐床进行进一步处理。

##### — 过滤处理单元

地面排水和洗涤废液一般由过滤进行处理后经取样分析合格后直接排往 TER 系统监测槽。

#### c) 化学加药子系统

化学加药子系统能够精确剂量的计量泵及附属部件，以满足废液贮存时系统对废液的 pH 值等化学性质调节的需要。

#### d) 取样分析子系统

取样分析子系统配备专门的取样手套箱，将分布于系统内不同地点的取样管线汇集到一起进行取样操作及分析。以掌握废液在贮存和处理过程中的特性，随时跟踪各处理设备状态。取样箱配备有通风、疏排水和管线冲洗等附属设施。

#### e) 监测子排放系统

监测排放子系统由监测槽、排放泵组成，用于收集经过废液处理子系统处理后废液，取样合格后，排往核岛废液排放系统（TER）进行排放。

### 4.6.2.3 核岛废液排放系统（TER）

#### （1）系统功能

TER 系统运行功能如下：

- 收集来自 TEU 系统的达标废液和 TEP 的排氙废液，对这些废液进行暂时贮存、混匀、监测，并有控制地向环境水体进行排放；
- 当 SEL 系统贮存能力不足、贮罐破裂或排往 SEL 系统的废液放射性水平较高时，接收该部分废液；
- 经取样分析或电厂辐射监测系统（KRT）监测，废液放射性水平超过排放管理限值时，将其送回 TEU 系统进行处理；
- 排放废液时，监测并记录废液的放射性剂量水平、流量和累计水量。

## （2）系统描述

TER系统配置3台容积相同的废液贮存罐，每台废液贮存罐配备1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。3台废液贮存罐共用1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。本系统所在厂房设有地坑，用于收集系统泄漏或排空的废液，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。

### 4.6.2.4 放射性废水回收系统（SRE）

#### （1）系统功能

SRE 系统分类收集下列场所产生的放射性废液或可能带有放射性的废液，然后送往废液处理系统（TEU）进行处理。

- 放射性废物处理厂房（BWX）的各类疏排水；
- 热机修车间与仓库（BBH）产生的放射性废液；
- 厂区实验室（BBL）产生的放射性废液；
- 职业医疗室（BBC）产生的放射性废液。

废物辅助厂房（BQS）内产生的放射性废液通过 BQS 废液地坑泵经 SRE 管道输送到 TEU 系统进行处理。

#### （2）系统描述

- BWX 厂房的各类疏排水

BWX 厂房内产生的各类疏排水及地面冲洗水根据其废液性质收集到不同的废液地坑中，然后由地坑泵送至 TEU 系统进行处理。

— BBH 厂房产生的放射性废液

BBH 厂房内产生的放射性废液收集后，经 SRE 管线输送至 TEU 系统进行处理。

— BBL 厂房产生的放射性废液

BBL 厂房内产生的放射性废液收集后，经 SRE 管线输送至 TEU 系统进行处理。

— BBC 厂房产生的放射性废液

BBC 厂房产生的人体去污废液依靠重力流入 SRE 系统人体去污废液收集箱内，然后通过废液排放泵送到 TEU 系统进行处理。

— BQS 厂房产生的放射性废液

BQS 厂房内产生的放射性废液收集后，经 SRE 管线输送至 TEU 系统进行处理。

#### 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：

- 收集来自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，对这些废液进行暂存、混匀、监测，并有控制地向环境水体进行排放；
- 经取样分析或电厂辐射监测系统（KRT）监测，废液放射性水平超过管理限值时，将其送回 TEU 系统进行处理；
- 排放废液时，监测并记录废液的放射性剂量水平、流量和累计水量。

##### （2）系统描述

SEL 系统设置 3 个容积相同的废液贮存罐，每个废液贮存罐各配备 1 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。3 个废液贮存罐共用 1 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。

系统所在厂房罐区和泵房各设有 1 个地坑，用于收集泄漏或排空的废液，各地坑内设有 1 台地坑泵，用于将地坑内收集的废液送回废液贮存罐。

#### 4.6.2.6 放射性废液的排放源项

液态放射性流出物源项计算主要考虑TEP系统含<sup>3</sup>H废液释放、TEU系统释放和二回

路系统释放。

本工程运行状态下的放射性液态流出物放射性废液排放采用槽式排放的方式，即所有的放射性废液均通过TER或SEL系统取样分析达标后排放，流出物源项计算中考虑了其滞留衰变影响。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。

在运行状态下（除启动和停堆外），蒸汽发生器排污系统（APG）将蒸汽发生二次侧水通过除盐器处理后，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。

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。

放射性废液排放浓度满足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的要求。

#### 4.6.3 放射性废气系统及排放源项

放射性废气系统收集、贮存反应堆正常运行工况和预计运行事件时产生的放射性废气，处理后经监测符合国家标准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、输运、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、输运和处理，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

反应堆堆芯产生氚和氦等放射性裂变气体，部分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。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) 通过连续吹扫来平衡与 TEG 系统相连容器气空间的压力变化；
- b) 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；
- c) 用氮气吹扫冷却剂除气产生的废气并处理；
- d) 吹扫系统设备，限制  $H_2/O_2$  浓度低于可燃气体浓度下限，避免氢爆风险；
- 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；
- f) 滞留惰性气体，使其释放到大气前，放射性活度降到环境可接受的水平。

## （2）设计准则

TEG 系统设计准则如下：

- 吹扫含有反应堆冷却剂的容器，置换出气相空间的氢气和放射性惰性气体，维持氢浓度在 4% 以下，氧浓度在 2% 以下，避免燃爆的潜在风险；
- 建立一个闭环回路，吹扫气体经过氢氧复合后降低氢氧浓度后（氢浓度低于 0.3%，氧浓度低于 0.1%）进行复用，减少废气向环境的排放量；
- 根据上游系统要求，维持上游系统微负压（RCV 容控箱除外）。同时充分考虑系统的密封性设计，防止放射性气体释放到厂房环境；
- 瞬态工况下循环回路中多余气体排入滞留单元，进行足够时间的衰变，方可通过 DWN 系统的烟囱排至环境，排放期间通过 KRT 系统连续监测。

机组启动、停运等工况时，系统进入波动运行模式，相连系统设备的大量气体进入 TEG 系统，造成 TEG 系统压力增加。过量气体进入活性炭滞留单元进行处理，这部分气体主要包括一回路冷却剂膨胀产生、开盖前反应堆压力容器气空间吹扫产生、TEP 系统冷却剂贮存箱补充除盐水产生、相关容器检修过程中的吹扫氮气等。含有氙、氪等放射性核素的废气经过一定时间的滞留衰变后，则通过 DWN 系统的烟囱进行排放。释放的放射性核素总量满足 GB6249-2011 的要求。

## （3）系统描述

根据 TEG 运行功能，TEG 系统划分为 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、滞留单元和热交换器冷冻水供应单元。

### a) 氢氧复合单元

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、氧气和氮气供应、氢气/氧气测量回路和氢氧复合器。

b) 废气压缩单元

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。废气压缩单元主要包括冗余设置的两台压缩机及密封液供应回路、压缩机出口的压力和流量调节回路以及压缩气体预干燥设备。

c) 气体分配单元

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。

d) 安全壳隔离单元

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 4 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。

e) 滞留单元

滞留单元的主要功能是衰变处理放射性废气，使废气的放射性活度在向环境排放前降低至环境可接受的水平，并满足法规标准要求。滞留单元主要包括为滞留床、电加热器、硅胶干燥器、气体过滤器、取样管线、向通风系统的排放管线和放射性活度连续监测设备。

f) 热交换器冷冻水供应单元

热交换器冷冻水供应单元的主要功能是为TEG系统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系统各热交换器供应冷冻水的管线和阀门。

#### 4.6.3.2 空调、加热、冷却及通风系统

(1) 系统功能

- 用各种加热、冷却、通风和空调系统对每一个可能污染的厂房进行采暖、空调和降温以提供一个温暖的和空气质量良好的环境，确保操作人员的舒适、安全、健康以及设备的有效运行和完整性。



- 控制空气气流从污染较少的区域流向污染逐渐增加的区域，并使各厂房内可能被污染区域的全部通风空气经监测后，通过烟囱排放。
- 对通风排气进行过滤和除碘处理，以减少气载物质向大气环境的排放。

## （2）系统描述

该系统的主要设备有进气预过滤器、排气预过滤器、高效空气粒子过滤器、碘吸附器等。

### 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 系统或在起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

广东陆丰核电 5、6 号机组运行状态下气态放射性核素向环境释放的途径主要有以下三种：

- a) 通过 TEG 系统向环境释放；
- b) 通过厂房通风系统向环境释放；
- c) 通过二回路系统向环境释放。

其中，TEG 系统中气态放射性核素来自于放射性液体储罐和一回路冷却剂系统的气相空间的吹扫以及对于一回路冷却剂的脱气。厂房通风系统中气态放射性核素来自于各放射性设备的泄漏以及开放水面的蒸发。二回路系统中气态放射性核素来自于蒸汽发生器一二次侧泄漏情况下冷凝器真空系统对不凝气体的抽气。

#### （1）通过 TEG 的释放

TEG 系统的主要运行功能是为与冷却剂相连的各辅助系统提供连续的氮气吹扫并维持设备运行要求的负压以防止放射性气体泄漏至设备间，主要吹扫对象包括核岛疏水排气系统（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）等。经过各分支管线吹扫后的气体通过压缩机的抽吸汇合至一条管线重新进入复合器上游气体干燥器的入口，并通过复合器去除吹扫气体中的氢和氧以防止氢气在设备中的积累及控制冷却剂中的氧含量。氢氧复合后的吹扫气体进入废气压缩机，废气压缩机的出口管线上设有调节阀，用于维持压缩机出口的压力恒定。经过压缩机的气体先由预干燥器进行干燥，再重新对 TEG 相连系统设备气空间进行吹扫。

依靠上述运行过程，吹扫管线基本构成了一个闭式循环，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，基本没有废气排入衰变箱，但由于循环管线接口处的泄漏会造成放射性环境释放，泄漏的放射性气体通过 DWN 碘过滤单元后通过烟囱排放环境。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 TEG 衰变箱贮存衰变后排放环境。

#### （2）通过厂房通风系统的释放

气态放射性核素通过厂房通风系统向环境的释放可能发生在反应堆厂房、核辅助厂房、废物厂房、燃料厂房、安全厂房以及汽轮机厂房中，废物厂房与核辅助厂房的计算模型相同，流出物源项计算中将废物厂房通风系统的释放合并到核辅助厂房通风系统释放中统一考虑。

反应堆厂房通风系统主要包括安全壳内部过滤系统（EVF）以及安全壳换气通风系统（EBA）。电站功率运行或热停堆时，EVF 系统连续运行，系统由安全壳上部空间取风，经初效过滤器、HEPA 过滤器及碘过滤器过滤后，送至安全壳内下部环廊空间，以降低壳内放射性碘及气溶胶的浓度。当有人员进入需要时，EBA 小流量系统投运，以直流式通风降低安全壳内的大气放射性浓度，EBA 系统设置了 HEPA 以及碘过滤器。冷停堆期间 EVF 系统不需要运行，安全壳内通风主要由 EBA 系统实现。流出物源项计算中保守考虑忽略 EVF 系统的净化能力，EBA 通风系统通过 DWN 碘过滤后排放环境。

由于放射性液体以冷态或热态泄漏到核辅助厂房及废物厂房中，其中的放射性核素部分或者全部迁移到厂房空气中，保守假设这部分迁移到厂房空气中的放射性核素全部进入 DWN 系统（不考虑厂房滞留衰变），可能存在碘污染的房间通风通过 DWN 系统碘过滤列过滤后排放环境。

燃料厂房内燃料水池开放水面的蒸发是该厂房内气态放射性物质释放的主要途径，燃料水池中水的放射性浓度较低，蒸发进入燃料厂房空气中的放射性核素非常少，

另外在这些气态放射性物质排入环境前还会经过高效过滤器过滤碘过滤器（必要时）。因此，燃料厂房气态流出物活度释放量相比其他气态途径释放可忽略。

安全厂房内与一回路冷却剂相关的系统泄漏会导致该厂房的气态放射性释放，由于安全厂房内的系统仅在电厂停堆期间投入运行，即在核电厂一个燃料循环内发生泄漏的时间以及泄漏量基本相比其他厂房内的泄漏可以忽略，因此，安全厂房气态流出物活度相比其他气态途径释放可忽略。

在二回路放射性污染的情况下汽轮机厂房内的给水泄漏蒸发会导致气态放射性物质直接向环境释放，但考虑到这部分放射性释放相对于二回路冷凝器真空系统抽气排放可忽略，因此计算中忽略汽轮机厂房通风系统的释放。

综上，其他厂房通风系统的气态放射性释放量相比核辅助厂房以及反应堆厂房较小，故计算中主要考虑反应堆厂房通风系统以及核辅助厂房通风系统的释放。

### （3）二回路系统的释放

二回路系统中的放射性气体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冷凝器真空系统向 DWN 系统经辐射监测后排放。

### （4）氚和 C-14 源项

氚和 C-14 源项在 4.6.1 节中已经有所描述。

### （5）气溶胶

目前，尚无一种物理模式可用较为精确的描述和计算气溶胶的产生和释放。设计方参照我国国家标准《压水堆核电厂运行状态下的放射性源项（GB/T13976-2008）》的有关内容，根据本工程在预期工况和设计基准工况下一回路冷却剂的活度谱，给出了本工程气溶胶源项。

## 4.6.4 放射性固体废物管理系统及废物量

固体废物处理系统（TES）是为核电厂运行和维修时所产生的废树脂、废过滤器滤芯、浓缩液、干废物等废物在处置之前提供收集、处理、整备、包装和暂存而设计的。固体放射性废物最终送往国家指定的中、低放废物处置场永久处置。

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

### （1）系统功能

TES 系统按不同的功能主要分为三部分：

第一部分为湿废物处理，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）和废物处理厂房（BWX），其中核辅助厂房为单机组布置，废物处理厂房为两台机组共用。

第二部分为干废物分拣压缩打包线，位于废物辅助厂房（BQS），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（BQT），BQT为两台机组共用。

### （2）系统描述

#### 1) 废树脂

在 BNX 厂房内 RCV/PTR/TEP 系统除盐器内的树脂需要更换时，首先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 BNX 厂房废树脂贮槽内收集的废树脂达到设定值时，将废树脂输送至 BWX 厂房废树脂暂存槽中。BWX 厂房内 TEU 系统产生放射性废树脂也送至废树脂暂存槽中处理。

当废树脂暂存槽中废树脂需进行水泥固化时，将贮槽内的废树脂送往废树脂计量槽中进行计量。400L 钢桶由辊道传输系统传输至自动取封盖站位进行卸盖，再传输至湿料接收位与湿料加注罩配合接收计量好的废树脂，然后送至干料接收位与干料加注罩及桶内搅拌器配合进行水泥添加，同时启动桶内搅拌器进行水泥固化操作，固化完 毕后将钢桶传输至自动取封盖站位进行封盖，再进行养护，最后通过厂内运输车辆将其运往 BQT 库暂存。

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，经过一段时间存放，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桶中，APG 废树脂桶运至 BQT 暂存。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，此时通过管道支路，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。

#### 2) 废滤芯

过滤器芯用于保持水的质量并除去其中的放射性活化产物、放射性腐蚀产物和悬

浮固体颗粒。

废滤芯主要来自下列系统的过滤器：PTR、RCV、RPE、TEP和TEU系统。其中布置在核辅助厂房（BNX）的系统产生过滤器芯失效时，需利用废滤芯更换装置来进行拆卸、运输废滤芯和装载新滤芯等操作，布置在BWV厂房的TEU系统过滤器芯采用配套的废滤芯更换转运装置进行更换。表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 的废滤芯通过超压处理；表面剂量率 $> 2\text{mSv/h}$ 的废滤芯装400L桶中进行水泥灌浆固定。

### 3) 浓缩液

当TEU系统暂存的浓缩液需进行水泥固化时，将贮槽内的浓缩液通过管道送往浓缩液计量槽中进行计量。400L钢桶由辊道传输系统传输至自动开封盖站位进行卸盖，再传输至湿料接收位与湿料加注罩配合接收计量好的浓缩液，然后送至干料接收位与干料加注罩及桶内搅拌器配合进行水泥添加，同时启动桶内搅拌器进行水泥固化操作，固化完毕后将钢桶传输至自动开封盖站位进行封盖，再进行养护，最后通过厂内运输车辆将其运往BQT库暂存。

### 4) 干废物的收集和处理

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 BQS 厂房废物暂存间。待未压缩废物积累到一定量之后进行分拣处理，由操作人员操纵电动叉车将装有废物的 200L 钢桶运至分拣箱的提升与倾倒装置，由倾倒装置倒入分拣箱进行分拣。首先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可压缩和不可压缩废物。分拣箱内有剂量率测量装置，可将剂量率较高和较低的废物进行合理混放，防止某一个桶剂量率偏高。分拣箱内设置了液压剪，可将大块的需要切割的废物切成小块。分拣箱共设三个工位，可同时供三名工人工作。

经分拣箱分拣后的可压缩废物装入 200L 可压缩钢桶，然后运输至初级压缩机工位，在 200L 桶内预压，预压结束后的 200L 钢桶通过传输辊道返回分拣箱相应的分拣工位，由操作人员对压出的空间再次装填废物，如此反复压实装满桶后传输至 200L 钢桶封盖站位，由操作人员对 200L 钢桶手动封盖。封盖完成的 200L 钢桶转运至超压机工位，先对 200L 钢桶进行打孔以方便超级压缩时桶内气体和废液的排出，然后超级压缩机将装有废物的 200L 可压缩桶压成钢桶饼。表面剂量率不大于  $2\text{mSv/h}$  的废滤芯也在 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选盘。优选盘为多位置圆盘形装置，根据桶饼高度优化选择装入 400L 钢桶以达到一个 400L 钢桶内放尽可能多桶饼的要求，通常一个 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，灌浆完成后进行封盖养护，养护后的 400L 钢桶送至废物暂存库暂存。

对于表面剂量率大于 $2\text{mSv/h}$ 的检修废物，则收集到400L钢桶中，运至BWX厂房暂存衰变，经衰变后，若表面剂量率不大于 $2\text{mSv/h}$ ，则可运至BQS厂房进行分拣压缩打包处理；若表面剂量率仍大于 $2\text{mSv/h}$ ，进行水泥灌浆固定处理。

#### 5) 废物暂存库

BQT 库贮存量按照暂存两台机组 5 年产生的放射性固体废物包进行设计。废物桶由废物转运车辆运到 BQT 库的操作区后，操作人员在操作区通过数控吊车和专用吊具把废物桶吊至桶检测间，根据桶的表面剂量率，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贮存区 I 和竖井区，垂直码放四层。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。

#### (3) 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。

### 4.6.5 乏燃料暂存系统

#### (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

本期工程采用 18 个月换料方式，反应堆在平衡循环每次换料产生 72 组乏燃料组件。乏燃料组件采用水下湿法贮存，贮存在燃料厂房乏燃料水池里。乏燃料水池设置有水下燃料贮存格架和破损燃料组件贮存小室等设备，总的贮存容量至少满足 10 个换料循环的贮存需求。

从堆芯卸出的燃料组件贮存在乏燃料水池里水下燃料贮存格架中；破损的燃料组件存放到破损燃料组件贮存小室中。在贮存期间保持燃料组件的次临界状态、保证燃

料组件衰变热的有效导出和保持燃料包壳的完整性。

水下燃料贮存格架采用安全的几何布置和物理方法来防止临界事故，安装有固定式中子吸收体，确保在全部装载最高预期富集度的燃料组件、假定充满纯水并考虑不确定的因素后，其有效增值系数  $K_{eff}$  不超过 0.95。

水下燃料贮存格架的每个贮存小室底部设有流水孔，顶部为开口，使贮存的燃料组件能得到有效冷却。

反应堆水池和燃料水池冷却和处理系统（PTR）导出乏燃料组件的衰变热，保证水池水温、水质、水位及放射性水平在一定限度内。乏燃料水池设有水位、水温监测系统及水池检漏系统，可随时监测水池水位、水温并检查水池的密封情况。

乏燃料贮存区设有通风系统，能及时过滤空气里的放射性物质。

乏燃料贮存区内设置剂量监测点，以确保操作人员的安全。

4.7 非放射性废物处理系统

4.7.1 化学污染物

4.7.2 生活废物

4.7.3 其他废物



## 4.7 非放射性废物处理系统

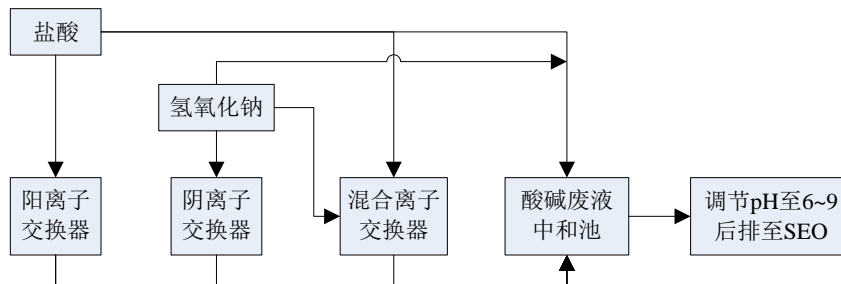
### 4.7.1 化学污染物

广东陆丰核电 5、6 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)；
- 循环水处理车间（CTE）；
- 常规岛化学加药系统（SIR）；
- 海水淡化系统（SWD）。

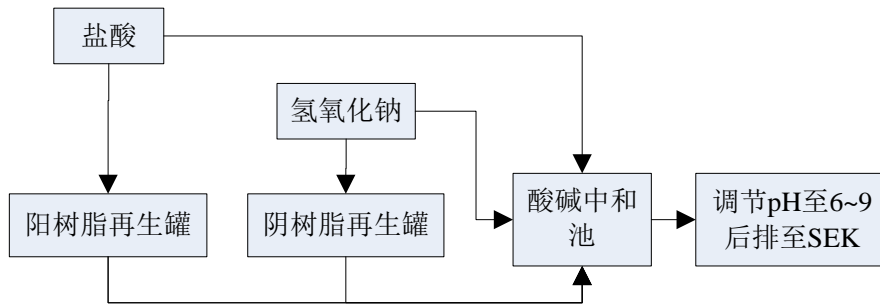
#### （1）化学水处理系统

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：



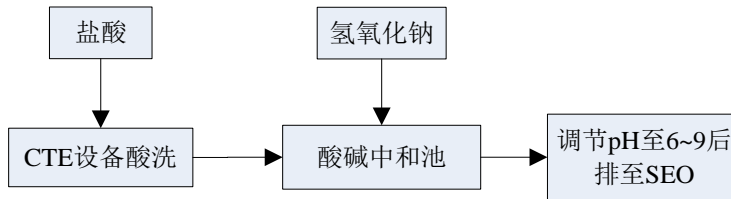
#### （2）凝结水精处理系统

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) 循环水处理车间

为满足核电厂运行的要求，循环水处理车间对循环冷却水连续加入次氯酸钠处理（电解氯化钠溶液）。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。该系统化学物质使用及排放简图如下：



### (4) 常规岛化学加药系统

常规岛化学加药系统，将化学添加剂注入二回路系统，用以控制二回路系统中水的化学工况，使蒸汽发生器在正常运行和停机保养中的腐蚀和固体沉积物减少至最小。在凝结水精处理混床出水和给水中实施加氨、加联氨处理。此外，磷酸三钠作为腐蚀抑制剂注入常规岛闭式冷却水系统中调节pH为9左右。

### (5) 海水淡化系统

海水淡化系统(SWD)的功能是将海水进行淡化处理后，向除盐水生产系统(SDA)、工业水系统(SEI)供应符合质量要求的淡水。

## 4.7.2 生活废物

### (1) 生活污水

核电厂 5、6 号机组的主厂区内拟建一座厂区污水处理站以满足 5、6 号机组运行、值班人员生活污水处理的需要。厂区污水处理站处理工艺拟采用活性污泥法，工艺流程拟分三级进行处理，主处理工艺采用 A<sup>2</sup>O+MBR+BAF。

污水处理站处理能力为 480m<sup>3</sup>/d，出水水质需达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准，处理后的水部分用于厂区绿化及道路浇洒。

#### （2）含油废水

本工程运行期所产生的含油废水包括：非放射性含油废水和潜在放射性含油废水。针对这两类含油废水，在厂区内分别设置了非放射性含油废水处理站（BES）和潜在放射性含油废水处理站（BER）。

非放射性含油废水处理站（BES）用于处理来自轮机厂房、开关站区域、辅助锅炉房以及变压器区域的含油废水，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；分离出的水排至厂外接纳水体。出水指标执行《广东省水污染物排放限值》（DB44/26-2001）中第二时段一级标准。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。

潜在放射性含油废水处理站（BER）用于处理来汽轮机厂房内产生的潜在放射性含油废水，经过贮存、油水分离处理，分离出的油脂收集后装入油桶在厂内暂存；分离出的水送至常规岛废液储存罐厂房（BQB）。BER 厂房设置两套油水分离器，每套油水分离器处理量为 25m<sup>3</sup>/h，总处理能力为 50m<sup>3</sup>/h。

### 4.7.3 其他废物

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、废变压器和废空调等，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。

固废将纳入全厂固废收集处理系统，委托专业废弃物公司将一般固体废物外运处置。危险废物将委托具有相关处理资质的公司进行外运处置。

4.8 放射性物质厂内运输

4.8.1 新燃料运输

4.8.2 乏燃料组件运输

4.8.3 放射性固体废物运输

## 4.8 放射性物质厂内运输

运进核电厂的放射性物质有中子源和未经辐照的新燃料组件。中子源有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、制造应能满足我国《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）的要求。

运出核电厂的放射性物质有两类，即乏燃料组件和放射性固体废物。

本节简要叙述新燃料、乏燃料和放射性固体废物的运输。

### 4.8.1 新燃料运输

新燃料组件的运输由新燃料供应商负责。

新燃料运输容器是依照法国 AREVA 公司 RCC-3 容器全套技术资料及图纸等同转化原则制造的。运输容器的设计和制造满足《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令 562 号）和《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）的要求。

装有新燃料组件的新燃料运输容器运到辅助厂房装卸区后，用乏燃料运输容器吊车吊运至新燃料运输容器停放区，然后打开并取掉运输容器盖，将燃料组件托板翻转到垂直位置，并销住。之后，将新燃料旋臂吊上的新燃料操作工具与燃料组件正确可靠连接，松开燃料组件的抱紧箍，最后用新燃料旋臂吊把燃料组件从运输容器中一次一个地卸出并吊运至新燃料检查区。

被送到检查装置上的新燃料组件，经进一步的外观检查及控制棒插入试验，以及技术条件规定的其它检查项目，表明符合新燃料组件的接收要求后，用新燃料旋臂吊将新燃料组件吊放进新燃料储存格架内贮存。

### 4.8.2 乏燃料组件运输

乏燃料的厂内运输包括乏燃料装入乏燃料运输容器，至厂外运输前的全过程。

乏燃料的厂内运输由辅助厂房吊车、燃料抓取机、容器专用运输卡车及相应的操作工具完成。乏燃料组件装在专用的密封乏燃料运输容器中外运。乏燃料装入运输容器的操作以及容器的清洗、检查在装料池和清洗池内进行。装料池和清洗池为两个毗邻的水池，均位于辅助厂房内乏燃料存储水池旁侧。它们均为内衬不锈钢板覆面的钢筋混凝土结构，与乏燃料存储水池连成整体结构。其中装料池与存储水池相通，并由水闸门隔开。

乏燃料组件通常存储在乏燃料存储水池中，直到裂变产物的活性降低到允许运输的程度。然后，将乏燃料组件装入到乏燃料运输容器中。

乏燃料的厂外运输拟委托国内有资质的公司进行。乏燃料厂外运输遵循《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令第 562 号）和《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）的要求，按选定的并经国家核安全局批准的运输线路，使用经国家核安全局批准的车辆，将乏燃料运至国家指定的乏燃料处理厂。

#### 4.8.3 放射性固体废物运输

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、技术废物等）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。

废物包装容器外表面任意一点的表面剂量率不超过 2.0mSv/h，超过此限值者，采用外加屏蔽容器进行运输。表面污染物水平低于以下限值：

- $\beta$ 、 $\gamma$  发射体、低毒性  $\alpha$  发射体  $\leq 4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；
- 其它  $\alpha$  发射体  $\leq 0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

固体废物经过一定时间暂存后（不超过 5 年）最终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》（GB12711-2018）和《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）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。

## 第五章 电厂施工建设过程对环境的影响

### 5.1 土地利用

### 5.2 水的利用

### 5.3 施工影响的控制

5.1 土地利用

5.1.1 土地占用

5.1.1.1 场地平整

5.1.1.2 道路

5.1.2 陆域施工活动对环境的影响

5.1.2.1 声环境的影响

5.1.2.2 大气环境的影响

5.1.2.3 水环境的影响

5.1.2.4 生态环境的影响

5.1.2.5 使用化学物质对环境的影响

5.1.2.6 固体废弃物对环境的影响

5.1.2.7 社会环境的影响

5.1.3 应急道路对沿线环境的影响

表

表 5.1-1 施工阶段的主要噪声污染源及噪声级



## 5.1 土地利用

陆丰核电厂规划建设 6 台百万千瓦级压水堆机组，采用一次规划分期建设的模式，5、6 号机组建设 2 台华龙一号机组。

### 5.1.1 土地占用

#### 5.1.1.1 土地占地

陆丰核电 5、6 号机组建设两台 2 台华龙一号机组。核电厂建设所需的临时性用地（如施工场地等），采取租地的方式，减少永久性用地面积。

陆丰 5、6 号机组永久用地为厂区、厂外辅助设施区、现场服务区、厂外取排水构筑物及专用码头设施区、边坡及排洪沟，大部分用地已于一期征用，临时用地用做施工准备区。

陆丰核电厂址场地西南高东北低，地形起伏较大，西田尾山山体较高，山顶高程最高为 134.27m（国家 85 高程，下同），东田尾山山体相对较低，山顶高程最高为 84.3m；本工程主厂区在西田尾山。厂区占用地类为城镇建设用地、林业用地、基本农田等。对于占用的基本农田，将进行异地补偿，达到占补平衡。

#### 5.1.1.2 厂平总体规划

根据生产工艺流程特点，结合现场实际情况，全厂总体规划主要分为核电厂厂区、厂外辅助设施区、现场服务区、施工准备区等。

##### — 厂区（控制区）

核电厂厂区是核电厂的核心部分，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。根据陆丰核电厂区域的地质情况，结合取排水规划等一系列因素，将厂区布置在南侧，其中，5、6 号机组厂区布置在西田尾山。

##### — 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项目，包括环境实验室、应急指挥中心/应急行动中心、武警营房、消防站、消防训练站、应急设施存贮与燃油补给中心等。位于核电厂厂区以北，现场服务区以南，靠近进厂公路，便于与厂区的联系。

##### — 现场服务区

现场服务区位于核电厂厂址区北侧，非居住区之外，依山傍海，靠近进厂路，主要包括运行宿舍以及食堂、室内活动中心、室外活动设施等公共设施。

#### 一 施工准备区

本着方便施工、节省投资、缩短工期、节约用地的原则，场地布置紧凑适宜，并按照滚动式考虑，施工场地可利用后期工程建设用地，使施工场地临近厂区，便于施工。

5、6 号机组施工区规划充分利用一期现场已建施工临建和公共配套临建，优先在征地范围内开展布置，不足场地在考虑厂外租地。5、6 号机组施工准备区按照华龙一号建设特点，划分为核岛土建、核岛安装、常规岛土建、常规岛安装及 BOP 建安五个区域，布置在 5、6 号机组东侧和北侧区域，施工生活区由承包商自行解决。

#### 5.1.1.3 场地平整

陆丰核电 5、6 号机组位于西田尾山区域，属丘陵地貌，原始地形高度范围为 10m~90m 之间。征地范围内挖方工程量（含边坡）约 788 万  $m^3$ ，填方工程量约为 46 万  $m^3$ 。陆丰核电 5、6 号机组不设弃土场，余土通过弃土综合利用进行永久处置。

#### 5.1.1.4 交通道路

根据核电厂对交通运输的要求和陆丰核电厂厂址目前的交通现状，陆丰核电厂的设备运输以水运为主，公路运输为辅，不设铁路。建设期间大型设备和大量进口设备以及大件建设安装材料大部分采用水运，核电厂自建 3000t 级专用重件运输码头；施工和安装的材料、设备以及人员交通则主要依靠公路运输；运行期间的核燃料及乏燃料运输采用水运与公路联运方式。

厂址对外交通道路有两条：进厂公路和应急道路。

##### （1）进厂公路

进厂公路是进出陆丰核电厂的主要通道，起于碣石镇东部的大路岭处南（南塘镇）—碣（碣石镇）公路，向西南经角溪新村、童厝、桥头村与沿海公路相交，然后平行于海岸线向西南延伸至田尾山处，与核电厂区道路相接。现已建成通车。

##### （2）应急道路

应急道路为碣澳公路改建工程。应急道路主要由主线和支线组成，应急道路全

长 7.750km，采用三级公路标准，水泥混凝土路面，路面宽度 7.0m，设计速度 40km/h。

### 5.1.2 陆域施工活动对自然环境的影响

陆丰核电 5、6 号机组陆域施工活动对环境的影响主要是工程负挖、土石方爆破、以及设备安装等造成的噪声、粉尘、植被破坏和水土流失等生态方面的影响。

#### 5.1.2.1 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、道路平整、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 5.1-1。

爆破施工是间歇性的，集中在施工初期场地平整阶段。现场施工机械设备如挖掘机、推土机、钻孔机等噪声值较高，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 2~6 台，一般不会超过 10 台，叠加后的噪声增值约 3~10dB。

施工机械作业时可视为点声源，距离加倍时噪声降低 6dB，如果考虑空气吸收，则附加衰减 0.5~1dB/100m，因此，昼间所有机械设备施工噪声通常在 50m 外可小于《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中 85dB；夜间除灌注桩机外，在 350m 外可以小于《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中的 55dB。

电厂主体工程位于规划厂区内，南面临海，附近没有居民点，周边最近居民点位于厂区反应堆 NW 方向 1.4km 处，电厂施工产生噪声在满足 GB12523-2011 要求前提下（厂界处昼间 70dB、夜间 55dB），按照点声源衰减模式至 1km 外居民点的衰减值为 60dB，考虑地形起伏及空气吸收因素，噪声实际衰减更多，故对该居民点几乎不产生影响，不改变敏感点处的声环境现状达标情况。在合理安排施工时间和加强进出场地车辆的管理的情况下，不会出现噪声扰民的现象。总体而言，电厂建设施工期间噪声对环境的影响是暂时的，施工结束后，相应环境影响逐渐消失。

#### 5.1.2.2 大气环境的影响

本工程施工期间主要大气污染物包括扬尘、粉尘和汽车尾气，在这些污染物中，扬尘和粉尘对大气局部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），在施工和运输过程中会产生一定量的汽车尾气，主要成分为 CO、NO<sub>x</sub> 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 NO<sub>x</sub>。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。

核电厂场地平整过程中扬尘是主要大气污染物，其中施工方式和施工现场的自然条件影响最大。

陆丰核电厂一期工程施工期间，深圳市宇驰检测技术股份有限公司于 2018 年一整年开展的陆域环境质量现状监测结果显示：SO<sub>2</sub> 和 CO 的小时平均浓度全部满足 GB3095-2012 二级浓度限值要求，NO<sub>2</sub> 在第四季度测点 6#（浅澳村）出现一个时次的超标现象，其余时次均满足 GB3095-2012 二级浓度限值要求。NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、TSP 的日平均浓度全部满足 GB3095-2012 二级浓度限值要求，PM<sub>10</sub> 在第四季度测点 3#（板房办公区）出现一个日次的超标现象，其余时次均满足 GB3095-2012 二级浓度限值要求。综上，根据监测结果，陆丰核电厂址及周围的大气环境基本满足 GB3095-2012 的要求。在本工程施工时，建设单位将继续委托相关单位开展施工期陆域环境监测，在厂界和周边环境敏感点布设点位并进行定期监测，通过监测数据说明厂界处的无组织排放达标情况及施工大气污染物对环境敏感点的影响。另外，由于施工机械较为分散，海边风速较大，大气扩散条件较好，施工机械产生的尾气排放不会对大气环境造成明显的影响。

参考国内核电厂及前期工程施工经验，扬尘影响范围主要局限于施工作业点周围几百米范围，通过实施覆盖、洒水等措施，可有效地控制施工扬尘。有资料表明，在施工期内对车辆行驶的路面实施洒水抑尘，每天洒水 4~5 次，可使扬尘减少 70% 左右，并可将 TSP 污染距离缩小到 20~50m 范围。因此，在施工活动中，在采取覆盖、定期

洒水等减少扬尘的措施后，施工粉尘及扬尘的影响将局限于施工场地周围，对大气环境影响范围有限。另外，由于部分粉尘的粒径和质量较大，将很快在空气中自然沉降，大规模扩散的粉尘量较小。施工结束后这部分大气污染源将不再存在，影响时段有限。距离厂址最近的居民点位于厂址 NW 方 1.4km 处，预计施工期间的扬尘无组织排放不会对其产生影响。

### 5.1.2.3 水环境的影响

本工程在陆域工程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。陆丰核电厂厂址附近无大江大河，电厂厂区及临时施工区内无地表水水源，因此受纳水体为电厂附近海域。

施工期间的施工废水主要为砂石厂、搅拌站生产废水和场地、设备冲洗水，施工废水经沉淀处理后全部回用作为作业区地面冲洗等用水，不向环境排放。

施工期间的生活污水主要来自厂区施工人员和办公人员的生活用水，由临建污水处理站处理后回用或达标排放。本工程施工期利用前期建立的临时污水处理站，该污水处理站已经建成。污水处理站出水首先回用于厂区绿化和地面冲洗，多余部分排放。

### 5.1.2.4 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。

本工程所在区域属于广东省人民政府公告的水土流失重点治理区，水土流失防治执行建设类项目水土流失防治标准中的二级标准。施工前，项目地表多为林地、农田所覆盖。本工程施工期是产生水土流失的重点时段，通过实施水土保持措施，可减少水土流失量。

核电厂在施工期需要对厂址场地进行平整。场平需要去除原有植被，进行大量的土石方挖掘工作，完全改变当地局部生态环境。挖掘过程产生的部分废弃土石方采用弃方分层碾压回填的方式用于厂区边坡防护。

电厂施工所在地的植被多为灌木和杂草，没有名贵的动植物资源，也没有风景名胜和文物古迹。建设方在电厂施工阶段严格按照相关规定及要求施工，并做好水土保持和绿化工作，以减少对区域内生态环境的影响。

当地无特殊生境，在电厂建设过程中，建设单位将有规划地对整个厂区和厂外道路实施绿化，建造全新的人文景观。通过类比前期项目建设前后的生态环境变化，预计工程建设对当地局部生态环境的影响是可以接受的。

#### 5.1.2.5 使用化学物质对环境的影响

核电站建设施工阶段，各种设备和连接管道需要运输、贮存和现场安装，为避免盐雾锈蚀和表面氧化，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。上述物质有些是有毒化学物品，因此施工时，要求设备承包商在出厂时按照相关要求处理。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。

为减少危险化学品储存设施的环境风险，建设单位均要求各承包商制定严格的管理措施和应急预案，包括危险化学品登记制度、配备干粉灭火器、消防沙、消防栓、防毒面具、消防服等设施、设置链锁防止钢瓶倾倒、危险品库防雨、防腐蚀、防渗处理等，尽可能避免危化品事故的发生。

#### 5.1.2.6 固体废弃物对环境的影响

在陆丰核电 5、6 号机组建设过程中，各施工单位均会产生一定量的生活垃圾和工业废弃物，且部分工业废弃物属于危险固废，如油漆桶、探伤洗片废液，废油布、废油漆等，该部分固体废物虽无放射性危害，但其堆放过程会占用大量土地，破坏地表植被和生物生境，如保存和处理不当，受日晒雨淋影响后，会产生恶臭、蚊蝇、景观方面的污染，有毒有害物质析出后将随雨水冲刷污染大片土地，甚至可能深入地表污染地下水等。

施工过程产生的固体废物量与工程使用的原材料种类、数量和施工项目密切相关。为减少固体废弃物对环境的影响，建设单位将制定严格的施工环境管理规定，做到文明施工，尽量减少固废产生量；生活垃圾定点堆放，及时清运；无毒无害固废尽量回

收再利用，危险固废按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）设置专门的危废贮存仓库，定期交由有资质的单位处理或由供货商回收处置。

通过采取上述措施，核电厂施工产生的固体废弃物将尽可能实现回收利用和分类处理，以减轻对环境的影响。

#### 5.1.2.7 社会环境的影响

本项目征地范围内不涉及居民搬迁，离厂址最近的居民点是浅澳自然村，位于 5 号机组 NW 方位 1.4km 处。

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，将对当地居民的日常生活造成一定影响，但同时也可以增加当地居民的就业机会和商业机会。由于核电建设施工期较长，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。

#### 5.1.3 应急道路对沿线环境的影响

应急道路工程将连接厂区与快速路网，在核电厂发生事故时，确保厂区人员及周边群众的快速撤离，是核电厂交通应急疏散的主要通道。拟改建应急道路主要由主线和支线组成，其中主线起点接陆丰核电厂区道路，终点位于碣石镇沙埔头大道处，全长 6.768 km；支线有 2 条，为连接主线与碣田公路、核电厂区出入口的连接道路，全长 0.982 km。应急道路全长 7.750km，采用三级公路标准，水泥混凝土路面，路面宽度 7.0m。

应急道路为碣澳公路改建工程，拟改建路段目前公路等级为三级，沿线分布有石头围、角清村、西坡林、上林村和上林小学等敏感点。

根据《广东陆丰核电一期工程应急道路环境影响报告书》（2013 年 12 月），应急道路施工期的主要环境影响和防治措施主要有：

##### （1）大气环境的影响

应急道路施工期间对环境的影响主要为施工扬尘的影响。施工期间，扬尘主要来自于施工场地内地表的挖掘与重整、土方和建材的运输，运输车辆在施工场地内的道路和裸露施工面表面行使等。其中施工区内车辆运输引起的道路扬尘约占场地扬尘总

量的 50% 以上，道路扬尘的起尘量与运输车辆的车速、载重量、轮胎与地面的接触面积、路面含尘量、相对湿度等因素有关。

砂石料堆存过程中在大风天气下极易起尘，使得堆存场所下风向环境空气中悬浮颗粒物浓度增加，从而对堆存场所下风向环境空气质量造成一定的影响。各种施工扬尘（平整土地、筑路材料装卸、灰土拌和等）中以灰土拌和所产生的扬尘最严重，通过合理选择拌和地址，远离居民区敏感点且设置在居民区下风侧。

施工中对大气环境的影响是暂时的，仅局限于施工场地的周围。且施工结束后，当地的大气环境质量会很快得以恢复。

对于施工期大气环境影响的主要防治措施有：

- 施工场地和相关道路上散落土灰及时清扫，施工区和道路路面上定期洒水，保持地面湿润，防止扬尘污染。
- 施工场地周围应当设置连续、密闭的围挡，围栏视施工地段不同适当增加。
- 在进行产生大量泥浆的施工作业时，应当配备相应的泥浆池、泥浆沟，做到泥浆不外溢，废浆应当采用密封式罐车外运。
- 开挖出的土方应尽可能及时运至填方地段充填，尽量减少土方的堆置时间；
- 渣土临时堆放场应加盖布条进行防护；临时堆土必须及时清运，运输余泥渣土的车辆必须按指定的运输路线和时间行驶。运输过程中，应装载适量，车厢上部，须覆盖篷布或采取其他有效措施，防止余泥渣土沿途洒漏、飞扬，避免对周围大气环境造成影响。
- 水泥等建筑材料应妥善保管，不得露天随意存放；
- 加强施工管理，冲洗出场车辆，防范机动车运输洒漏，合理调度运输车辆。使用商品混凝土，或者进行密闭搅拌并采取相应的扬尘防治措施，严禁现场露天搅拌。
- 砂石料堆存场所设置与距环境敏感点较远的地方，并且用苫布覆盖，尽量将起尘量降到最低。

## （2）水环境的影响

应急道路施工时混凝土搅拌产生的水泥浆水和施工机械的含油废水等生产废水量较少，生产废水采取过滤、沉淀处理后循环利用，实现施工生产废水零排放；施工机械的含油废水采用隔油处理后用作道路养护水，实现施工含油废水零排放。施工



期间对水环境的影响主要来自于施工区域的水土流失对水环境的影响和施工人员产生的生活污水对水环境的影响。

水土流失对水环境的影响主要指对沿线河流的桥梁施工中不可避免地会有水泥、石屑、钢枝等建筑材料掉入水中，对水质造成一定影响；另外，施工场地如遇到大雨，地表径流冲刷泥浆也会带入河流，对水质的影响因子主要是悬浮物。在桥梁施工时，加强施工营地的管理，使营地远离水域，同时加强对施工人员的环保意识教育。同时道路、桥梁施工对于沿线地表水体的影响属于短期影响，影响因子比较简单，影响程度较轻，在施工结束以后，及时做好善后清理工作，一般不会造成不利的后果。

### （3）声环境的影响

施工过程噪声较大的施工单元主要在基础工程、基础部分的挖土作业、挖泥作业等。常见的施工机械主要有装载机、挖掘机、推土机、平地机等机械，各种施工机械在 15m 处的噪声可达 75~105dB(A)。道路沿线部分路段邻近村镇和学校等敏感点，施工时采取噪声污染防治措施，以降低对当地人民群众的日常生活造成影响。施工期声环境影响的主要防治措施有：

- 合理安排施工时间，噪声大的土方工程的挖掘、填埋、平整等工程应安排在白天。在居民区附近施工应根据有关规定进行，在 12:00~14:00、23:00~次日 7:00 不得施工。在施工进度的安排上，进行适当的组合搭配，避免高噪音设备同时在相对集中的地点工作。
- 选择低噪声设备，对强噪声机械必要时应建立简易的声屏障。在声环境敏感点处施工场地设置移动声屏障。保持动力机械设备处于良好状态，避免因松动部件的震动或降低噪声部件的损坏而产生很强噪声的设备。在施工过程中，尽量减少运行动力机械设备的数量，对施工合理布局，使高噪声的机械设备和施工环节远离敏感点。
- 严格加强营运输车辆的管理。重型车辆在经过敏感路段时应限速行驶，以减轻对敏感区的噪声影响。对于运输车辆尽可能安排在白天工作，避免产生不必要的环境影响。若必须在夜间工作的，在行经敏感区时应严格落实禁鸣喇叭的规定。另外，还应采取：①购买或选择运输车辆时，应尽量选用低噪音的车种，以降低噪声污染，对车辆定时添加润滑剂以控制噪声产生，保持上路车辆有良好的状态；②对车辆要加强维护，及时更换易磨损部件；③避免

使用重型柴油引擎车辆；④在运输车辆上装排气消声器，尽量降低车辆噪声；  
⑤严格执行《机动车辆允许噪声标准》。

#### （4）固体废弃物的影响

应急道路的建设可能将产生一定量的弃方。施工中可以通过道路标高随地形变化及公路绿化微地形变化等方式，尽量减少挖填方量，做到土石方内部消化，尽量减少外运量，从而减少应急道路建设对区域环境的影响。

应急道路的建设也会产生一定量的建筑垃圾和生活垃圾。施工单位将建筑垃圾单独收集并统一运送到管理部门指定的受纳场处置。

建设单位应督促施工单位对施工人员的生活垃圾及时清理，工地的建筑垃圾及废弃物在工程竣工结束后清除整理，尽可能复原地形、地貌。

#### （5）生态环境的影响

拟建应急道路沿线两侧 200m 范围内植被类型较为简单，但植物种类较多，没有发现国家保护野生植物。区域内主要植被类型速草丛植被、木麻黄群落、马尾松群落和农作物群落的生态质量中等偏上，区域内没有大型野生动物，均为常见的动物种类。

应急道路的建设对沿线的农业生产、景观和生态系统服务功能有一定的影响；但建设没有对保护的珍稀濒危动植物造成影响。通过加强道路沿线及其周边地区的绿化建设，做好施工期的环境监理，在沿线种植抗污能力强的由高大乔木组成的防护林带，将可大大减少或避免道路建设对沿线动植物的负面影响。因此，应急道路的建设对生态环境造成的不良影响较小。

应急道路建设区水土流失轻微，人为活动影响程度低，无明显的水土流失现象，土壤侵蚀微度到轻度。应急道路建设所在地水土流失类型属水力侵蚀，即水力作用引起的土壤流失。应急道路建设区属于广东省人民政府公告的水土流失重点监督区，不属于国家级、省级和县级水土流失重点防治区。水土流失整体上属于以面状侵蚀为主的轻度侵蚀，土壤侵蚀背景值强度取  $450\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ 。

施工期生态环境影响的主要防治措施包括：

- 拟建应急道路的弃土、弃渣外运并及时进行压实及复绿。临时堆放点周边应设置截排水沟和拦挡设施，在堆土表面覆盖帆布等遮盖物，防止因下雨或大风天气造成区域内局部水土流失或者扬尘等污染影响。临时堆放点堆料不能侵入附近的田地和村落，工程结束后及时清理施工现场，撤出占用场地，恢

复原有景观及绿化。

- 施工过程中应注意保持原有沟渠的畅通，避免对农田排灌的影响；施工场地设置必要的排水导流系统，防止废水影响周围的生态环境。
- 施工中采用合理的开挖和回填工艺，每完成一部分开挖或回填，采用夯实、覆盖等有效的水土保持措施，最大限度地提高地面的抗侵蚀能力，使水土流失最小化；
- 开展水土流失防治，并进行水土流失监测工作。

#### （6）社会环境的影响

应急道路在选线时对人口密集地段采取了绕避措施，因此拆迁工程量不大。拆迁建筑物主要为砖瓦房、混凝土房、棚房和围墙。拆迁时根据国家制定的拆迁条例，对拆迁户进行妥善安置补偿。由于拆迁房屋较少，在各项政策落实后，当地居民生活也不会受到大的影响。应急道路经过部分居民点，施工过程中产生的水土流失将破坏景观，并给沿线居民的生产、生活及出行带来不利影响。

项目建设前沿线区域主要为农田、盐田、山林等自然景观，在施工期间由于植被的破坏，沿线将成为缺乏植被的裸地，这一改变对沿线的景观会造成不利影响，但随着施工期的结束，绿化措施的实施，景观将会得到逐步的恢复和改善。

应急道路在建设期间，做好施工防护措施，防止在降雨径流作用下泥沙漫流，以减少对周边道路交通安全、河道通行及防洪安全、居民生产生活造成的不良影响。同时施工单位应切实做好防护措施，严禁随意扩大占地面积，尽可能将道路建设对沿线敏感区域影响降到最小。

陆丰核电厂应急道路为现有道路的改建。原道路服务水平较低，部分路段路面破损严重，已经成为发展沿线经济的瓶颈，迫切需要进行升级改造，建设合理的、开放的现代化综合交通运输体系，为沿线经济更好更快的发展提供网络完善、运行高效的公路基础设施保障。应急道路建成后，可以完善该区域的市政路网，推进当地区域城镇化以及土地开发利用进程。由于工程建成后交通条件的便利，将促进该区域信息、物资及人员的交流，提高当地居民的整体素质，改善居民的总体生活环境质量和生活质量。

表 5.1-1 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

## 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

#### 5.2.2.1 施工活动对海域的影响

#### 5.2.2.2 海上施工船舶废水对海域的影响

### 5.2.3 海域施工活动对航运、防洪堤坝、景观等的影响

### 5.2.4 施工期供水水源分析

## 5.2 水的利用

### 5.2.1 海域工程概况

陆丰核电 5、6 号机组用海面积约 67.29 hm<sup>2</sup>（其中将一期共用部分纳入统计中），主要包括建设填海造地用海（一期工程）、非透水构筑物、透水构筑物、排水口，取水口、港池、蓄水区用海等。

### 5.2.2 海域施工对水环境及生态的影响

本工程海域施工建设过程中对水环境的影响主要来自取排水设施和护岸工程工程的修筑，以及海上施工船舶产生的含油废水排放等。

#### 5.2.2.1 施工活动对海域的影响

##### （1）水文动力环境

类比针对陆丰核电厂一期工程编制的《广东陆丰核电一期工程海工工程泥沙数学模型试验研究》专题成果，从总体上说，工程前后碣石湾整体流场无明显变化，工程建设仅对工程邻近水域产生影响，仅在局部施工地区流场发生调整。

##### （2）水质环境

海工施工会产生泥沙，从而对海水水质造成影响。

泥沙的扩散除了自身的沉降外，主要受到潮流输运作用的影响，因此泥沙的扩散方向基本与潮流方向相同。悬沙主要是在主作业区内形成较高浓度面积较大。随着与作业点距离的增加，悬沙浓度将逐步降低。

##### （3）沉积物环境

本工程施工过程对海洋沉积物的可能影响主要来自回基床开挖、抛石和疏浚产生悬浮泥沙的扩散和沉降。

施工悬浮泥沙对水质影响包括两个方面：一是粒度较大的泥沙被扰动悬浮到上覆水体后，经过较短距离的扩散即沉降，其沉降范围位于挖泥点附近，这部分泥沙对施工区外的沉积物基本没影响；二是粒度较小的颗粒物进入水体而影响海水水质，并长时间悬浮于水体中，经过相对较长距离的扩散后再沉降。随着粒度较小的悬浮物的扩散及沉淀，从项目施工区域漂移的悬浮物将成为其所覆盖区域的新的表层沉积物。项

目海上施工对沉积物的影响主要是沉积物理化因子的物理转移，工程建设除了对海底沉积物产生部分分选、位移、重组和松动外，没有其他污染物混入，因此，工程施工过程中产生的悬浮泥沙扩散和沉降，沉积物环境质量不会产生明显变化，即沉积物质量状况仍将基本保持现有水平。

#### （4）生态环境

工程建设用海主要是施工期间对生活在水中的水生生物产生不良影响。海洋生物按生活习性可分为浮游生物、自游生物和底栖生物三大生态类群，工程建设期间悬浮泥沙对不同生态类群的影响方式和影响程度也不尽相同。

##### 1) 海上施工作业对底栖生物影响分析

海上作业施工，改变了底栖生物原有的栖息环境，局部施工海域将彻底改变其底质环境，大部分底栖种类将被掩埋、覆盖，除少量能够存活外，绝大部分种类诸如贝类、多毛类、线虫类等都难以存活。

##### 2) 海上施工对浮游动植物影响分析

###### a 对浮游植物影响分析

从海洋生态角度来看，施工海域内的局部海水悬浮物增加，水体透明度下降，从而使溶解氧降低，对水生生物产生诸多的负面影响。最直接的影响是削弱了水体的真光层厚度，对浮游植物的光合作用产生不利影响，进而妨碍浮游植物的细胞分裂和生长，降低单位水体浮游植物数量，导致局部水域内初级生产力水平降低，使浮游植物生物量降低。

在海洋食物链中，除了初级生产者—浮游藻类以外，其它营养级上的生物既是消费者，也是上一营养级生物的饵料。因此，浮游植物生物量的减少，会使以浮游植物为饵料的浮游动物在单位水体中拥有的生物量也相应地减少，致使这些浮游生物为食的一些鱼类等由于饵料的贫乏而导致资源量下降。而且，以捕食鱼类为生的一些高级消费者，也会由于低营养级生物数量的减少而难以觅食。可见，水体中悬浮物质含量的增加，对整个海洋生态食物链的影响是多环节的。

###### b 对浮游动物的影响

施工作业引起施工海域内的局部海水的浑浊，这将使阳光的透射率下降，从而使该水域内的游泳生物迁移别处，浮游生物将受到不同程度的影响，尤其是滤食性浮游动物和营光合作用的浮游植物受到的影响较大，这主要是由于施工作业引起的水中

悬浮物增加，悬浮颗粒会粘附在动物体表，干扰其正常的生理功能，滤食性浮游动物及鱼类会吞食适当粒径的悬浮颗粒，造成内部消化系统紊乱。

水中悬浮物质含量的增加，对浮游桡足类动物的存活和繁殖有明显的抑制作用。过量的悬浮物质会堵塞浮游桡足类动物的食物过滤系统和消化器官，尤其在悬浮物含量大到 300mg/L 以上时，这种危害特别明显。在悬浮物质中，又以粘性淤泥的危害最大，泥土及细砂泥次之。同时，过量的悬浮物质对鱼、虾类幼体的存活也会产生明显的抑制作用。

施工引起的环境影响是局部的，且这种不良影响是暂时的，当施工结束后，这种影响也将随之消失。

### 3) 海上施工对渔业资源和渔业生产的影响分析

#### a 对渔业资源影响分析

项目海上施工会对渔业捕捞产生一定影响。鱼类等水生生物都比较容易适应水环境的缓慢变化，但对骤变的环境，它们反应则是敏感的。疏浚作业引起悬浮物质含量变化，并由此造成水体混浊度的变化，其过程呈跳跃式和脉冲式，这必然引起鱼类等其他游泳生物行动的改变，鱼类将避开这一点源混浊区，产生“驱散效应”。施工引起的影响是局部的和暂时的，当施工结束后，这种影响也将随之消失。

#### b 对渔业生产的影响分析

项目海上施工对渔业生产的影响主要是对水产养殖区的影响。项目海上施工造成局部水中悬浮物质含量过高，使鱼类的腮腺积聚泥沙微粒，严重损害鳃部的滤水和呼吸功能，甚至导致鱼类窒息死亡。不同的鱼类对悬浮物质含量高低的耐受范围有所区别。据有关实验数据，悬浮物质的含量为 80000mg/L 时，鱼类最多只能存活一天；含量为 6000mg/L 时，最多能存活一周；含量为 300mg/L 时，若每天作短时间搅拌，使沉淀的淤泥泛起，保持悬浮物质含量达到 2300mg/L 时，则鱼类能存活 3~4 周。通常认为悬浮物质的含量在 200mg/L 以下时，不会导致鱼类直接死亡。由于施工期间造成悬浮泥沙增量较大的区域面积 很小，因此对其影响很小。

### 4) 对人工鱼礁和自然保护区等环境敏感区的影响

海域施工期间有水下爆破和悬浮泥沙带来的冲击波和水质影响。一般来说，爆破仅局限于附近约 500m 以内的范围；悬浮泥沙影响的范围局限于施工点周围 1km 范围



内。目前，厂址半径 1km 范围内没有环境敏感区，因此，施工过程中对海域附近的人工鱼礁及海洋生态保护区等环境敏感区基本没有影响。

#### **5.2.2.2 海上施工船舶废水对海域的影响**

挖泥船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。建议施工时选择自带油水分离器的船舶，含油废水自行处理达标后排放。

#### **5.2.3 海域施工活动对航运、防洪堤坝、景观等的影响**

本工程距离货运航道较远，不会对其产生影响。本工程不占用厂址附近岸线，不会对岸线造成影响。

#### **5.2.4 施工期供水水源分析**

陆丰核电 5、6 号机组施工期间用水包括生活用水均由碣石镇自来水公司采用市政管网供给。

碣石镇自来水厂已根据自身水厂规模和区域内用户水量需求，同意向陆丰核电厂施工期间供应淡水。预计本项目施工期水资源的利用不会对区域内其他用户的淡水需求造成影响。

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

5.3.4 水土保持

5.3.5 生产和生活废物

## 5.3 施工影响的控制

### 5.3.1 减少陆域环境影响的措施

陆丰核电 5、6 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目建设期间对陆地生态、大气环境和声环境等方面的影响。为最大限度降低对环境的不利影响，建议工程中应采取以下有效缓解措施，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，施工过程中可采取洒水抑尘、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，有效改善施工区域的大气环境；加强对道路沿线及其周边地区的绿化建设，道路施工期间加强公路的管理，保持路面清洁和洒水，减缓路面径流冲刷污染物的数量；
- 施工过程产生一定量的临时弃土，临时弃土对环境的影响主要是弃土在堆放过程产生的扬尘污染。为控制弃土转运场对大气环境的不利影响，可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，栽植能阻挡灰尘的高矮不等的乔木、灌木。

#### （2）声环境

- 建议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，必要时设置临时隔声屏障，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；
- 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，减轻对周围声环境的影响。

#### （3）生态

- 为控制水土流失，建议通过工程措施、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：弃土转运场“先挡后弃”，弃土堆放前在转运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，在弃土顶面及马道周围修筑挡水土埂，保持水土。植物措施包括：在转运场顶面采取乔、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，表土集中堆于转运场一角，用于弃后回铺。
- 为工程取土方便，在施工现场路边设置临时堆土场，为控制堆土场的水土流失，采取在堆土场周围坡脚设砖砌挡坎，同时覆盖密目网的方式，减少雨水和大风天气造成的不良生态影响。

#### （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，建议制定以下相应管理措施：
  - 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，并设有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。现场配备一台巡检仪，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，应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）固体废弃物管理

建设单位将制定严格的施工环境管理规定，对不同类别的施工垃圾和生活垃圾按分类进行处理。施工垃圾中不可回收利用的无毒无害废弃物运至建设单位指定的临时废弃物堆放场，可回收利用废弃物应尽量回收再利用；有毒有害废弃物按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）设置专门的危废贮存仓库，定期交由有资质单位处理或者由供应商回收进行处理。

通过采取上述措施，使核电厂施工产生的固体废弃物尽可能实现回收利用和分类

处理，以减轻对环境的影响。

### 5.3.2 减少海洋环境影响的措施

陆丰核电 5、6 号机组在施工期间产生的悬浮泥沙、含油废水、生活污水、回填土方等会对附近海洋环境产生影响。为减少海洋环境影响，建议采取的措施如下：

- 挖泥船挖掘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。在运输泥浆途中，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，船舶含油废水经油水分离器处理后排海；
- 厂区雨污分流，禁止生活污水乱排或未经处理直接排海，加强对污水处理站的维护管理，定期监测出水口水质，确保污水达标排放；
- 场地冲洗、混凝土搅拌等生产废水经沉淀池处理后，回用于场地洒水抑尘和绿化等，做到不外排；
- 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 施工期环境监测

为了及时掌握施工期环境现状的变化情况，了解工程建设过程中对环境的影响，有必要制定并实施施工期环境监测计划。在施工监测过程中发现存在的问题，可以及时改进环境保护措施，控制施工活动对环境的影响，使施工对环境的影响降到最低，更好地贯彻有关环境保护法律法规，保护好环境质量，实现工程建设和环境的协调发展。

在陆丰核电厂一期工程建设期间，委托相关单位对厂址附近的大气、噪声、生态和海水水质进行了监测，本项目为陆丰核电厂拟建设的 5、6 号机组，将其施工期监测纳入前期监测计划中，并持续到全部施工结束。

施工期将进行大气、噪声、污水站出水和海洋动态监测，其中动态监测分为海水水质、海洋沉积物以及海洋生态三部分，具体如下：

- 陆域大气监测内容包括二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、二氧化氮（NO<sub>2</sub>）、细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）、总悬浮颗粒（TSP）和可吸入颗粒物（PM<sub>10</sub>）等五个项目，监测布点共包括厂区内主要是施工区域、厂区和厂址附近环境敏感区域。同时对进厂道路的施工也进行监测，监测布点在进厂道路两侧。监测频次为每季度一次，数据有效性应满足 GB3095-2012 的相关要求。
- 陆域噪声监测项目为等效连续 A 声级 Leq，监测布点包括厂区陆域边界外 1m、厂址附近敏感点等。同时，在进厂道路两侧设监测点，在应急道路施工时在上林村设监测点。
- 废水排放监测：在临时污水处理站和建成后的施工区污水处理站进出口各设置一个采样点，测试 pH、化学需氧量（COD）、五日生化需氧量（BOD<sub>5</sub>）、悬浮物（SS）、石油类、氨氮、动植物油、阴离子活性剂和磷酸盐等。
- 海水水质监测分为全面监测和监督监测，监督监测站位数量不低于全面监测站位数量的 50%。结合本项目厂址取排水口区域水下地形特征，本工程监测站位将在正在开展的施工动态监测的站位上适当增加点位，即在本工程海工工程附近增加布设点位。全面监测每年进行两次，监督监测每月进行一次。沉积物监测和生态监测同水质全面监测频次，每年两次。

水质全面监测内容包括水深、水温、透明度、pH、溶解氧、化学需氧量、盐度、浑浊度、活性磷酸盐、铵盐、硝酸盐、亚硝酸盐、油类、悬浮物、锌、镉、铅、铜、总铬、总汞、砷共 21 项。每年丰水期和枯水期各进行 1 次。

监督性监测内容包括水深、水温、透明度、pH、溶解氧、化学需氧量、盐度、浑浊度、活性磷酸盐、铵盐、硝酸盐、亚硝酸盐、油类、悬浮物共 14 项。每月监测 1 次。

- 沉积物监测站位在水质监测站位中选取（原则上不低于 50%）。沉积物监测内容包括粒度、pH、硫化物、石油类、有机碳、锌、镉、铅、铜、总铬、总汞、砷共 13 项。每年进行 2 次。
- 生态监测站位在水质监测站位中选取（原则上不低于 60%），生态监测内容

包括浮游植物、浮游动物、叶绿素 a 与初级生产力、底栖生物、潮间带生物、鱼卵仔鱼等。每年进行 2 次。

本项目在进行施工期间监测之前，根据本工程的建设特点、厂址区域环境特征、场地施工特点，并结合国家有关法规和导则要求制定详细的监测大纲，并经评审认定后实施。鉴于核电厂施工规模较大，持续时间较长，因此，环境监测将贯穿至核电厂整个施工期，直至全部施工结束。

### 5.3.4 水土保持

陆丰核电 5、6 号机组位于广东省汕尾市陆丰市碣石镇，项目所在区域属于广东省人民政府公告的水土流失重点治理区，水土流失防治标准执行二级标准。厂址位于海滨小丘陵与浅海区之交汇地带，场区不存在滑坡、崩塌、泥石流等不良地质现象，未发现现代岩浆、火山的侵入和喷发及地热和温泉等不良地质现象。根据前期水土保持资料，厂址所在地水土流失类型属水力侵蚀，即水力作用引起的土壤流失。厂址区属于广东省人民政府公告的水土流失重点治理区，不属于国家级、省级和县级水土流失重点防治区。综合以上情况，厂址区水土流失整体上属于以面状侵蚀为主的轻度侵蚀。目前厂址及施工区水土流失轻微，人为活动影响程度低，无明显的水土流失现象，土壤侵蚀微度到轻度。进厂道路区植被覆盖率高，水土流失轻微。

结合国内同类核电厂以及前期施工的水土防治措施，建设单位在施工过程应严格按照以下相关措施要求进行施工期的水土流失防治。各水土保持防治区可采取的水保措施主要有：

- 场地硬化：厂区地表除厂房等建筑物占压和绿化外，其余裸露部分地表用于道路和广场的建设，均采用硬化措施进行处理，保持水土。
- 防洪工程：在厂区南侧沿岸设置边坡防护，防护形式可采用锚杆喷浆防护或人工块体护面；在厂区北部与陆域衔接处设置护堤工程，可采用弃方分层碾压回填方式，填筑从边坡底部向顶部进行，分层压实后实施植被覆盖。该修筑方式不仅可美化厂区景观，也可有效减少水土流失，防止雨水对边坡的冲刷及腐蚀。
- 截排水沟工程措施：设置厂址外围截洪沟及厂区排水渠道组成的自然排水系统，截洪沟将山洪分区组织排洪，有足够排水能力将洪水从厂外排走，厂区排水井及渠道、管道也将收集的雨洪水及时排入厂前的大海，减少对地表土的冲

刷。

- 剥离表土及临时堆土堆放场：对覆土绿化产生的剥离表土以及施工产生的临时堆土进行堆放时，断面设计为梯形；在土堆的两侧用临时土袋挡土墙防护，断面为矩形；土堆外侧设计断面为梯形的简易排水渠，并在土堆表面用蛇皮布遮盖，以防止水蚀和风蚀；在排水渠两端修建沉沙池，以沉降径流泥沙，降低水流流速，防止水流对地面的冲刷侵蚀。
- 绿化措施：结合当地自然环境，选择适合当地的植被物种对主厂区实施草、灌、乔相结合的绿化；对施工生产生活区采取人工播种草籽方式进行绿化；对采石区和输水管线区进行植被恢复，在场外道路两侧采用乔灌结合的方式，可以榕树、樟树为主要树种，结合实地环境，形成统一有序的植被景观。对厂址区域的绿化可以有效减少水土流失。

此外，由于本工程水土流失主要发生在施工过程中，在施工过程中应采取的水土保持措施还应包括：

- 工程建设区雨季施工时做好排水及临时拦挡、疏导措施；
- 大风天气对易起尘场所采取遮盖、洒水等措施；
- 所有建筑工地排水、设备清洗水要集中处理，尽量重复利用，对施工场所进行喷洒，减少地面起尘；
- 各区域施工产生的建筑垃圾要及时清运，堆放至指定场所，并进行平整、碾压；
- 各施工场所尽量减小施工占地，减小地表植被破坏面积；
- 各施工区临时占地区域挖方首先用于回填，对于挖方不能立即回填的，其堆放场所要做好临时防护措施；
- 严格按照施工组织设计使用施工区，避免扩大施工范围，增加扰动地表面积；
- 厂区内地下设施繁多，施工时要合理安排施工顺序，遵循由深而浅、统筹安排的原则，确定临近地下设施尽量同槽一次开挖，同时保持基坑土方边坡的稳定，基面不受扰动；
- 厂区施工中场地平整与地下建筑施工相结合，统筹调配土方工程量，杜绝重复挖填，土石方运输避免对流乱流；
- 施工过程中的土方及其他砂石等建筑材料合理安排堆放，平整坡面，避免加剧水土流失；



- 各施工场所及道路大风天气增加洒水频次，降低风蚀；
- 合理安排各工区的挖填施工工序，在施工过程中对土方调配平衡坚持前期、后期紧密结合，杜绝重复挖填，提高回填土堆放点使用效率；
- 施工前做好施工建设区域内临时排水系统的总体规划，注意保护挖、填土方边坡的稳定。用机械施工时，边坡坡度应适当减缓，进行必要的边坡修整和场地边角修整，小型沟槽开挖或填土等，可利用人工或小型机具配合进行；
- 进入雨季施工应根据工程特点合理安排机具和劳力，组织快速施工，当日进度当日完成，做到随挖、随填、随压。

### 5.3.5 生产和生活废物

#### （1）生活垃圾

类比其他类似电厂经验，5、6 号机组施工期间危险固废主要为废油漆桶，年产生量约 12000 只左右；废油，年产生量约 400kg 左右；酸洗钝化废液，年产生量约 5t 左右。述危险废物由建设单位委托有相应资质的单位统一处置。

类比国内同类核电厂建设过程，施工期生活垃圾年产生量约 100t 左右，由当地环卫部门定期外运填埋处置。

#### （2）生活污水

本工程施工期预计产生污水量为  $425\text{m}^3/\text{d}$ ，临时污水处理站设计处理量为  $480\text{m}^3/\text{d}$ ，因而，预计临时污水处理站可以满足本工程现场施工人员产生的污水处理需求。处理后的废水首先回用于厂区绿化和地面冲洗，多余部分排放，排放的废水满足 DB44/26-2001 第二时段一级标准，对海水环境影响较小。

#### （3）生产废水

电厂施工期间的施工废水主要为砂石厂、搅拌站生产废水和场地、设备冲洗水，施工废水经沉淀处理后全部回用作为作业区地面冲洗等用水，不向环境排放。

砂石厂废水主要来自于洗砂、降尘过程，废水污染物为 SS，其中部分废水散落在砂石厂内随空气挥发，部分废水被砂石料携带，收集后的废水通过设置平流式沉淀池进行混凝沉淀处理，上清液回用于生产过程，不外排。

搅拌站废水主要来自设备和作业区冲洗废水，废水呈弱碱性，SS 含量较高，可达  $3000\text{mg}/\text{L}$ 。类比国内部分核电施工现场砂石厂及搅拌站运行过程中的废水产生情

况，预计本项目在施工期间砂石厂和搅拌站同时运行过程产生的废水约 10~15 吨/天。砂石厂和搅拌站废水为间歇产生，施工高峰期设备及场地冲洗频率约 5~8 次/月。搅拌站作业区设置三级沉淀池和澄清池，废水通过场地四周沟渠汇入沉淀池处理，出水回用于冲洗过程，不外排。

对于施工期由设备维修和车辆冲洗产生的生产废水，其污染物含有石油类，经隔油沉淀处理后回用，不外排。

## 第六章 电厂运行的环境影响

### 6.1 散热系统运行的影响

### 6.2 正常运行的辐射影响

### 6.3 其它影响

## 6.1 散热系统运行的影响

### 6.1.1 散热系统方案

#### 6.1.2 散热系统对水体的物理影响

##### 6.1.2.1 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

#### 6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

##### 6.1.3.1 取水系统对水生生物的影响

##### 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

陆丰核电 5、6 号机组拟建设两台百万千瓦核电机组，采用海水直流冷却方式，以厂址附近的碣石湾海水作为冷却水源，电厂散热系统产生的乏热通过电厂循环冷却水随潮外泄、进入碣石湾附近广大海域。

### 6.1.1 散热系统方案

#### 6.1.1.1 冷却方式比选论证

滨海电厂的冷却方式主要有 2 种：直流冷却方式和二次循环冷却方式。陆丰厂址位于碣石湾东岸岬角，厂址濒临南海海域，水深条件好、潮流动力条件强，根据技术可行性、经济合理性和环境相容性三个方面来论证冷却方式的比选结论。

##### （1）技术可行性

采用直流冷却方式，从附近海域提取海水，然后将通过常规岛厂房内的凝汽器换热升温后的温排水排入外海，最终将核电厂余热排入海洋。目前国内核电厂均采用此冷却方式，国外滨海核电厂亦多采用此冷却方式，技术上可行性上不存在颠覆性因素。

采用二次循环冷却方式，在冷却系统中需要配置冷却塔，凝汽器后升温的海水，经过冷却塔的热交换，最终将核电厂余热排入大气。根据初步优化计算，确定采用超大型海水自然通风冷却塔，1 机 1 塔配置，单塔淋水面积 20000m<sup>2</sup>，塔底水池直径约 175m，塔高约 210m。国内海水自然通风冷却塔应用案例仅在火电项目有 3 例，但冷却塔尺寸相对较小。超大型海水冷却塔在国内外尚无先例，缺乏核电超大型海水冷却塔的设计、施工、运行经验，冷却塔占地面积大，地基处理难度大。

##### （2）经济合理性

直流冷却方式与二次循环冷却方式主要差别是，前者采用隧洞远排，后者采用自然通风冷却塔。直流冷却方式中采用隧洞离岸远排的排水方案时，隧洞工程造价约为 9.1 亿；考虑二次循环冷却方式时，单座冷却塔建造费用约为 3 亿元，加上地基处理费用约 2 亿，本期工程 2 台机组冷却塔工程费用约为 8 亿。

直流冷却方式与二次循环冷却塔方式在用海费用差别不大，二次循环冷却塔需要填海造地约 9ha（2 台机），用海费用 0.15 亿。

冷却塔出塔水温高于外海水温，造成二次循环冷却方式较直流冷却塔方式，单台

机组年均减少发电量约为 1.12 亿 kWh，按 0.37 元/度考虑，折合 0.83 亿/年。

综上，工程造价二次循环冷却略优，但运行费用直流冷却方式优势极为明显，经济合理性方面推荐直流冷却方式。

### （3）环境相容性

直流冷却方式：陆丰核电厂址位于田尾角附近，东、南、西三侧临海，水域水深条件好，潮流条件强。排水方案采用离岸深排方案，能较好满足海域环境功能区划的有关要求，海域水深条件好，潮流作用强，有利于温排水与深层冷海水强掺混后迅速降温，温排水造成的高温升区面积小，海域整体温升范围有限，能够有效减少温排水对海域环境的影响。

二次循环冷却方式：二次冷循环需要建造超大型冷却塔，受厂址自然条件影响，需要填海造地以布置超大型冷却塔。冷却塔占地面积大，建设费用高，需要大面积填海，且背山面海不利于冷却塔的水汽扩散，对环境友好程度反而相对较低。

结合核动力厂取排水环境影响评价指南（HJ1037-2019）有关滨海电厂取排水设施的环境影响评价要求及判定准则，根据厂址附近海域内海洋生态调查结果及海域用海，厂区周边近岸内没有分布典型生物群落、水产养殖区，未发现有三场一通道等渔业敏感区，海域内没有发现有受取排水环境影响敏感的保护生物、当地特有种及珍稀濒危物种，拟设置的取排水口区域内没有重要海洋生态环境敏感区，从减小冷却水取水和温排水对环境负面影响的优化比选，采用一次直流循环冷却方式对海域生态环境的影响相对有限，是相对较为切实可行的技术方案。

综上，广东陆丰核电 5、6 号机组从技术可行性、经济合理性、环境相容性等角度分析，均推荐采用直流冷却方式。

#### 6.1.1.2 直流冷却方案比选论证

##### （1）取水方案比选

陆丰核电厂在工程前期阶段已经开展了众多取排水方案研究工作，并获得了丰富的工程设计经验。在核电厂 5、6 号机组取排水方案研究和优化过程中，根据海域用海政策、厂区总体布局、安全经济等因素，取水主要考虑近岸取水，取水方案先后共分 3 个阶段考虑了共 29 组。

综合考虑工程造价、冷源防护等因素，认为方案 28——“码头东侧港池+暗涵独

立取水”由于其总工程造价低，并且能够满足布设冷源设施需求，最终确定为现阶段的取水方案。

## （2）排水方案比选

陆丰核电厂前期已开展取排水方案比选和温排水数模等相关工作，受纳水体海域潮流条件好，温排水稀释扩散强。厂址附近海域内受温排水影响的环境敏感因素和控制条件相对较少，在尽可能满足功能区要求条件下，充分减小温排水对环境负面影响，考虑技术经济、环境安全及工程施工条件等因素，对直流循环的排水方案优化比选，确定 5、6 号机组的温排水采用隧洞离岸深排方案，即将温排水通过隧洞输送至深水区，利用深水区冷水以及强潮流作用加速掺混减少温升影响范围。

综合比较结果为，沉管的结构自身安全性和抗震性能不及盾构隧道，且沉管运营过程中可能需要维护，施工工期也较长；而盾构隧道开挖量小，工期快；此外，在环境影响方面，盾构隧洞的开挖位于海床以下，相比沉管的水下施工对环境的影响小很多。

陆丰核电 5、6 号机组从维护电网稳定考虑，最好具备单机检修条件，再考虑隧洞施工工期应小于核电厂建设工期（56 个月），因此，推荐一机一洞直线型方案。

综合上述对取排水方案的分析，“码头东侧港池+暗涵独立取水”方案作为现阶段的取水方案，一机一洞直线型布置的离岸深排方案作为现阶段的排水方案，采用隧洞排至-17m 等深线处，隧洞外径 6.9m，

## 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

根据《广东陆丰核电厂 5、6 号机组泥沙数值模拟专题研究报告》，基于陆丰核电六台机组规划容量，设计单位采用二维泥沙数学模型对本工程水流和泥沙淤积进行模拟计算。结果分析表明：

水流计算分析：近岸水流受岸线控制，基本与岸线平行。重件码头防波堤和取水明渠导流堤突出岸线，形成了新的岸线边界。涨落潮主流区位于重件码头防波堤和取水明渠导流堤外缘，重件码头防波堤和取水明渠导流堤至岸线以内水域属于受掩护的弱流区，重件码头防波堤掩护下，西北方形成新的岬湾。涨潮时，主流贴取水明渠南

导流堤外缘上涨至取水口位置，由于取水引流作用，涨潮流分离成两股，一股顺着取水明渠进入取水前池，取水明渠口门涨急流速达 0.42m/s，取水前池流速约 0.35m/s。另一股沿岸线继续上涨至重件码头防波堤头，在重件码头防波堤掩护区的港池水域形成回流。最高潮位时，外海流速极小，取水引流作用下，取水口附近水体被吸入取水明渠至取水前池，由于潮位最高，水深较大，取水明渠口弯道处流速约 0.35m/s，其他位置流速在 0.3 m/s 左右。落潮时，落潮流在取水明渠道流堤头分成两股，一股贴导流堤外缘，一股进入取水明渠，取水明渠和前池流速略有增大。至最低潮位时，外海水域流速极小，潮位较低，水深较小，取水明渠和前池流速迅速增大至 0.45m/s 和 0.36m/s，取水引流作用显著。

泥沙淤积分析：只有 2 台机组运行明渠流速较小或大风天含沙量剧增时，取水明渠口门才会有泥沙淤积。重件码头区域，进港航道位于防波堤外侧，水流流速较大，航道水深与工程前自然水深相近，泥沙基本不发生沉降。

综上，电厂散热系统对海域的流场影响及泥沙淤积的影响是有限的。

### 6.1.2.2 温排水对水体的物理影响

为分析电厂温排水对厂址附近海域的温升影响，南京水利科学研究院已于 2020 年开展陆丰核电 5、6 号机组运行时厂址附近海域三维温排水输移扩散数值模拟。本节将根据相关成果进行描述。

#### （1）模拟方法

数值模拟采用三维潮流数学模型，流场的控制方程如下：

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} + \frac{\partial(H\omega)}{\partial \sigma} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(Hu)}{\partial t} + \frac{\partial(Huu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hvu)}{\partial y} + \frac{\partial(H\omega u)}{\partial \sigma} = fHv - gH \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \frac{K_v}{H} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + F_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial(Hv)}{\partial t} + \frac{\partial(Huv)}{\partial x} + \frac{\partial(Hvv)}{\partial y} + \frac{\partial(H\omega v)}{\partial \sigma} = -fHu - gH \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \frac{K_v}{H} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + F_y \quad (3)$$

$$F_x = \frac{\partial}{\partial x} \left( HA_v \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( HA_v \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$



$$F_y = \frac{\partial}{\partial x} \left( HA_v \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( HA_v \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

$$\varpi = \frac{1}{H} \left[ w - u \left( \sigma \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial x} \right) - v \left( \sigma \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial \xi}{\partial y} \right) - \left( \sigma \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial \xi}{\partial t} \right) \right]$$

其中  $t$  为时间,  $(u, v, w)$  为流速矢量在  $(x, y, z)$  向的分量,  $A_v$  是水平涡粘性系数,  $K_v$  为垂向涡粘性系数,  $f$  为科氏力系数,  $g$  为重力加速度。

紊流模型采用  $K-\varepsilon$  模型, 其控制方程如下:

$$\frac{\partial(HK)}{\partial t} + \frac{\partial(HuK)}{\partial x} + \frac{\partial(HvK)}{\partial y} + \frac{\partial(H\varpi K)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \frac{K_s}{H\sigma_K} \frac{\partial K}{\partial \sigma} \right) + F_K + H(P_K - \varepsilon) \quad (4)$$

$$\frac{\partial(H\varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(Hu\varepsilon)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv\varepsilon)}{\partial y} + \frac{\partial(H\varpi\varepsilon)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \frac{K_s}{H\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial \sigma} \right) + F_\varepsilon + H \frac{\varepsilon}{K} (C_1 P_K - C_2 \varepsilon) \quad (5)$$

$$F_K = \frac{\partial}{\partial x} \left( HA_v \frac{\partial K}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( HA_v \frac{\partial K}{\partial y} \right), \quad F_\varepsilon = \frac{\partial}{\partial x} \left( HA_v \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( HA_v \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right)$$

温度控制方程为:

$$\frac{\partial(HT)}{\partial t} + \frac{\partial(HuT)}{\partial x} + \frac{\partial(HvT)}{\partial y} + \frac{\partial(H\varpi T)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \frac{K_s}{H} \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right) + F_T \quad (6)$$

$$F_T = \frac{\partial}{\partial x} \left( HA_s \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( HA_s \frac{\partial T}{\partial y} \right)$$

温度控制方程在水面边界满足以下条件:  $\frac{K_s}{H} \frac{\partial T}{\partial \sigma} = \frac{KT}{\rho C_p}$

其中,  $T$  为温度,  $A_s$  为水平向涡粘扩散系数,  $\rho$  为水体密度;  $C_p$  为水的定压比热,  $K_s$  为水面综合散热系数。

## (2) 水文条件

计算水文条件包括数学模型验证计算所需的实测水文条件和温排水影响预测计算所需的典型水文条件。

利用原型观测水文资料作为水流数学模型验证的水文条件和温排水影响预测计算所需的典型水文条件, 根据国家海洋局南海技术调查中心针对所在海域进行的夏、冬季全潮水文原型测验, 选取以下 4 个实测水文条件:

— 冬季大潮: 2019 年 1 月 22 日~23 日;

- 冬季小潮：2019 年 1 月 28 日~29 日；
- 夏季大潮：2019 年 7 月 16 日~17 日；
- 夏季小潮：2019 年 7 月 10 日~11 日。

### （3）温升分布预测

#### （i）取水口温升

模拟结果表明：在该取排水方案下，夏季典型潮下的最大取水温升不超过 0.58℃（夏季大潮），平均取水温升分别不超过 0.42℃（夏季大潮）；冬季典型潮下的最大取水温升不超过 0.37℃（冬季大潮），平均取水温升分别不超过 0.24℃（冬季大潮）。

#### （ii）温升等值线包络面积

模拟显示，对于最大温升分布区域，除冬季大潮外，其余潮型的温升区域较多向厂址东侧发展。由于排放口附近海域水深条件好，电厂高温升区基本局限于受纳海域水体底部，温升也仅局限于排放口附近区域。

数模全潮最大温升包络线面积最大值为：

- 1℃温升面积夏季为 4.39km<sup>2</sup>（大潮表层），冬季为 4.63km<sup>2</sup>（大潮表层）；
- 2℃温升面积夏季为 0.35km<sup>2</sup>（大潮表层），冬季为 0.28km<sup>2</sup>（大潮表、中层）；
- 3℃温升面积夏季为 0.03km<sup>2</sup>（大、小潮底层），冬季为 0.05km<sup>2</sup>（大潮底层）；
- 4℃温升面积夏季均小于 0.01km<sup>2</sup>，冬季为 0.01km<sup>2</sup>（中潮底层）。

### （7）近岸海域环境功能区相符性评价

根据《广东省人民政府关于同意调整汕尾市部分近岸海域环境功能区划的批复》（粤府函[2013]127 号），陆丰核电厂附近的近岸海域环境功能区包括：田尾山生态功能区（405A），主要功能为海洋生态保护，水质目标为二类；碣石浅澳港口、工业功能区（406A），主要功能为港口、工业，水质目标为三类；碣石浅澳工业功能区（406B），主要功能为工业，水质目标为三类；碣石湾浅海渔业功能区（412），主要功能为渔场作业区，水质目标为一类；陆丰核电厂冷却水排污稀释混合区（406-1），在该区域内，电厂温排水将除温升不执行水质标准外外，其他指标均将执行 GB3097-1997 中三类海水水质标准要求。根据《海水水质标准》（GB3097-1997），海水水质一类和二类“人为造成的海水温升夏季不超过当时当地的 1℃，冬季不超过 2℃”，三类“人为造成的海水温升不超过当时当地的 4℃”。

结合已开展温排水模拟结果，可知：

5、6 号机组采用离岸深排后的夏季典型大、中、小潮全潮的最大 1℃温升外包络范围和冬季典型大、中、小潮全潮的最大 2℃温升外包络范围均位于三类功能区内，4℃温升区仅局限排放口区域，排放口位于三类功能区内但不在排污混合区内，因此，尚不完全满足厂址附近近岸海域环境功能区划的管理要求。

### （8）海洋生态红线相符性评价

厂址半径 15km 内海域共涉及四处海洋生态红线区以及两处自然岸线，四处海洋生态红线区距离 5、6 号机组均在 7km 以上，温升包络范围也不涉及海洋生态红线区，因此，本工程温排水不会对海洋生态红线区造成影响。另外，厂址相邻的自然岸线有两处，分别是位于厂址西侧的浅澳港和位于厂址东侧的湖东港，两处自然岸线对温升没有管理要求。综上，本工程温排水方案对海洋生态红线区和自然岸线均没有影响。

## 6.1.3 取排水系统对水体水生生物的影响

陆丰核电厂取排水系统主要包括取水头部、拦污栅、鼓形滤网、水泵、冷凝器、虹吸井和排水暗管等部分。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、以及取水系统卷载、卷塞的影响。

### 6.1.3.1 取水系统对水生生物的影响

卷载效应是指水生物随电厂抽取循环冷却水而进入冷却系统，并在其中受到热、压力等物理因素和氯化等化学因素影响而死亡的现象。一般取排水产生的卷载效应只对那些能通过取水系统滤网的鱼卵、仔鱼、仔虾、浮游生物及其它游泳类生物幼体产生明显的伤害。卷载效应与取水口附近的生物密度、种类以及取水流速、取水口的布置等因素有直接的关系。卷塞效应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。

陆丰核电 5、6 号机组正常运行过程中，需抽取大量的海水作为循环冷却用水。为尽量减轻取排水卷载效应对海洋生物的可能影响，陆丰核电 5、6 号机组将考虑采取一定工程措施尽可能地减少仔鱼等小型海洋生物被卷载进入循环水系统。

电厂取水工程主要包括：取水头部、取水港池、泵房前池、联合泵房。其中，在取水头部处设置一道拦污网、一道防撞网、一道隔油栅；在联合泵房中设有粗格栅、

细格栅、鼓型滤网各一道，鼓型滤网过滤后的出水供给各用水系统。

本工程取水口流速与邻近海域海流流速接近，不会对周边水域流态产生明显影响，不会带来明显的生物撞击影响。同时，从各电厂实际运行的经验反馈情况来看，格栅清污机内捕获的较大鱼类和贝类数量极为有限，因此电厂取水对较大鱼类和贝类撞击的损失量可忽略不计。

电厂取水口流速与邻近海域海流流速接近，不会对周边水域流态产生明显影响，减小了对海生物的撞击和夹带的影响。

此外，陆丰核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，初步估计取水造成的卷载、卷塞影响较小。

### 6.1.3.2 温排水对水生生物的影响

陆丰核电 5、6 号机组运行过程中，其循环冷却水经厂址西南侧的排水口排入南海，将导致排水口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，亦有可能影响海洋生物的正常活动。

#### 6.1.3.2.1 温排水对海洋生物的影响

##### （1）温排水对浮游生物的影响

浮游生物不但是某些鱼、虾、贝类的饵料生物，同时其数量的多少也决定海域海洋初级生产力的大小，从而影响渔业资源的潜在量。如果核电厂的温排水对浮游生物产生严重危害，其后果也会间接影响到本海域的渔业资源量。

温排水与浮游生物的种类数关系密切。一般说来，当水体适度增温时（ $\Delta T \leq 3^{\circ}\text{C}$ ），群落中的种类数增加，其中浮游植物的种类数平均可增加 50%，浮游动物种类数平均可增加 76%，底栖动物可增加 40%。尤其是水温较低的春、秋和冬季表现更加明显。有观测结果表明，春季温度场弱增温区（ $\Delta T < 3^{\circ}\text{C}$ ）生物量最高，是自然水温区生物量的 1.3 倍；而冬季的浮游动物生物量是自然水温区生物量的 2.4 倍。但是在水体强增温时（ $\Delta T > 3^{\circ}\text{C}$ ），会使浮游生物生长有不利影响，特别在夏季自然水温较高时，可能引起浮游生物的种类和数量的减少、群落物种多样性较低，并改变群落中的物种组成。

在水体温度不超过  $35^{\circ}\text{C}$  时，多数浮游生物的生长不会被抑制或造成死亡，且浮游

生物多存在于海域的表层。根据陆丰核电厂海域冬夏季全潮观测报告的观测数据，海域水温日变化范围一般不超过 32℃，因此，估计在电厂温排水 3℃ 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。根据已开展的温排水模拟成果，温排水造成 3℃ 温升的影响仅限于在排放口极小范围区域在夏季全潮温升面积最大不超过 0.03 km<sup>2</sup>。因此预计温排水在春、冬季海水温度较低时可能会促进周围海域浮游生物生长，在高温季节对排水口附近局部区域的浮游生物造成的不利影响范围有限。

## （2）温排水对鱼类的影响

由于鱼类是变温动物，它的体温随环境水温的变化而变化，并依靠游动行为来选择所需的适宜温度。因此，水温对鱼类的各种生命活动过程有很大影响。在适温范围内，水温的升高会提高鱼类的摄食能力，促进其性成熟，生长加速；但在水温过高时，温排水也会对鱼类产生不利的影响，包括：在强增温区、亚增温区会对鱼类洄游行为造成明显逆反影响；会提早鱼类性腺发育成熟产卵，对鱼类生殖产生影响；会使鱼类饵料生物发生变化，从而影响鱼类生长，可能引起种群结构的变动；可能增多寄生虫病的危害，增加对鱼类的致病影响。鱼类喜在适宜温度水域内活动，对超出适宜温度范围的高温或低温水体具有回避反应。在自然水体中，近海区鱼类一般都有随季节水温变化而进行洄游的现象，这是鱼类对温度的选择。

根据调查，陆丰核电厂周围海域的主要经济鱼类有金线鱼、带鱼和真鲷等。其中，金线鱼适温范围为 5~26℃，带鱼的适温范围为 20~29℃，真鲷适温范围为 20~28℃。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分别为 34.96~36.42℃，34.78~35.62℃ 和 38.76~39.39℃。由于该海域内鱼类与大亚湾鱼类同属暖水性种类或暖温性种类，预计海水水温在 35℃ 以内时，不会对鱼类产生不利影响。

陆丰核电厂邻近海域水温季节变化十分明显，根据陆丰核电厂海域冬夏季全潮观测报告的观测数据，海域水温日变化范围一般不超过 32℃，夏季水温相对较高，其他季节水温相对较低。初步预计，由于该区域内鱼类均为暖水性或暖温性鱼类，除夏季外，其他季节温排水入海后水体温度仍在鱼类的适温范围内，因此可以估计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，温排水引起的海水升温对鱼类生长的影响局限于核电厂排放口附近的 3℃ 温升区域内。根据已开展的温排水模拟成果，温排水造成 3℃ 温升的影响范围小，仅限于在排放口极小范围区域，在夏季全潮

温升面积最大不超过  $0.03 \text{ km}^2$ ，且大多数鱼类能够回避高温升区，因此预计温排水对海域内鱼类不会产生明显影响。

### （3）温排水对贝类的影响

有关实验结果表明，贝类是变温动物，由于新陈代谢的水平低以及缺乏完善的温度调节导致其体温不恒定。温度过高，能使贝类呼吸急促而不规则，缺氧窒息，还可能造成蛋白质凝固，以至昏迷死亡。适温范围内，贝类新陈代谢旺盛，对呼吸与排泄、运动与摄食、消化与生长、性腺发育与繁殖均产生积极作用。贝类的浮游幼虫，在适温范围内生长和发育速度随水温升高而加速。水温超过一定范围时，生长率下降、发育速度受阻，甚至停止生长，导致幼虫死亡。例如牡蛎属于暖水种，对热有较强的忍受能力，生长的适宜水温  $15\sim 35^\circ\text{C}$ 。根据中科院南海所对大亚湾内贝类进行的耐热试验研究成果，在  $25\sim 35^\circ\text{C}$  的驯化温度下，翡翠贻贝的起始致死温度为  $34.55\sim 36.04^\circ\text{C}$ 。鉴于陆丰核电站附近海域与大亚湾同属南海近海，上述研究成果对于陆丰核电站具有一定的参考价值。

根据调查，陆丰核电站周围海域的主要贝类有翡翠贻贝和牡蛎等，其主要生长分布于海域沿岸的浅水底部。根据陆丰核电站海域冬夏季全潮观测报告的观测数据，夏季海域底层水温日变化范围一般不超过  $32^\circ\text{C}$ ，当接纳水体温升超过  $3^\circ\text{C}$  时，则可能对牡蛎和翡翠贻贝产生影响。根据已开展的温排水模拟成果，温排水造成底层  $3^\circ\text{C}$  温升的影响仅限于在排放口极小范围区域，在夏季全潮温升面积最大不超过  $0.03 \text{ km}^2$ 。因此，预计温排水对贝类产生的影响范围有限。

### （4）温排水对甲壳类（虾、蟹）的影响

甲壳类的适温范围多在  $18\sim 32^\circ\text{C}$  之间，大于  $38^\circ\text{C}$  不能正常运动，大于  $39^\circ\text{C}$  将导致其死亡。根据实验研究，在一定适温范围内，温升可以促进仔虾的生长和体重的增加。

根据调查，厂址附近海域内甲壳类主要有长毛对虾、南美白对虾和三疣梭子蟹等，幼体虾主要生活于浅海，并随着发育和生长逐渐向深海区迁移，而三疣梭子蟹主要分布于浅海的底层。在冬季期间，预计电厂 5、6 号机组温排水引起的温升对该海域内的虾、蟹类不会有明显影响。在夏季期间，根据陆丰核电站海域冬夏季全潮观测报告的观测数据，夏季海域水温日变化范围一般不超过  $32^\circ\text{C}$ ，已开展的温排水模拟成果表明，温排水造成整个海域内  $4^\circ\text{C}$  温升的影响范围极小 ( $0.01\text{km}^2$ )，预计温排水对甲壳类影响是非常有限的。

#### 6.1.3.2.2 温排水对海水养殖的影响

由于电厂采用隧洞离岸深排方式，排放口离岸超过 2km，远离厂址周围的养殖区域，根据已开展的温排水模拟成果，夏季全潮 1℃温升区也没有延伸至养殖区域内。因此，电厂温排水对厂址附近海域内的温升影响较小，预计温排水对厂址附近海水养殖造成的影响是极为有限的。

#### 6.1.3.2.3 温排水对自然保护区的影响

陆丰核电厂厂址附近存在的自然保护区有碣石湾海马资源自然保护区、遮浪角东海洋生态自然保护区、遮浪汇聚流海洋生态系统保护区和汕尾碣石湾鲮鱼长毛对虾国家级水产种质资源保护区。

碣石湾海马资源自然保护区位于田尾山以南海域，厂址 S~SSE 方位约 20~30km；遮浪角东海洋生态自然保护区位于遮浪角东北部海域，厂址 WSW 方位约 27km；遮浪汇聚流海洋生态系统保护区为省级保护区，位于遮浪南部海域，厂址 WS 方位约 40km；汕尾碣石湾鲮鱼长毛对虾国家级水产种质资源保护区位于粤东汕尾市碣石湾内，厂址 WNW 方位约 17~21km。上述自然保护区均位于厂址半径 15km 以外，远离电厂温排水 1℃温升包络区，预计电厂温排水不会对保护区内海洋生物及其栖息环境造成不良影响。

此外，陆丰核电厂厂址半径 15km 范围内海域没有产卵场，核电厂附近的索饵场和越冬场主要分布于闽南、粤东近海但远离厂址，蓝圆鲹、东海区鲐台鱼等鱼的洄游通道也距离厂址较远，预计电厂温排水不会对“三场一通”造成影响。

#### 6.1.4 参考资料

- [1]. 国家海洋局南海调查技术中心，陆丰核电厂一期工程海域冬、夏季全潮观测报告，2019 年 11 月。
- [2]. 苏州热工研究院有限公司，厂址区域环境特征及外部人为事件调查报告，2019 年 11 月。
- [3]. 南京水利科学研究院，广东陆丰核电厂 5、6 号机组泥沙数值模拟专题研究，2020 年 2 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 计算模式和参数

### 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

表6.2-1 厂址长期大气弥散因子

表6.2-2 厂址长期地面干沉积因子

表6.2-3 厂址长期地面湿沉积因子

表6.2-4 气载放射性排放造成环境空气核素浓度

表6.2-5 液态放射性排放造成海域水体中的浓度

表6.2-6 气态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量



- 表6.2-7 液态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量
- 表6.2-8 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6.2-9 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6.2-10 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6.2-11 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6.2-12 气态和液态途径对对各子区公众集体造成的集体有效剂量
- 表6.2-13 海洋生物受到的剂量率
- 表6.2-14 陆生生物受到的剂量率
- 表6.2-15 各放射性核素通过各种照射途径对关键人群组个人造成的有效剂量
- 表6.2-16 公众受照辐射剂量“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

广东陆丰核电 5、6 号机组拟建设两台华龙一号型核电机组。本节根据核电厂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，对核电厂正常运行状态下放射性流出物对公众和环境造成的辐射影响进行计算和评价。

### 6.2.1 流出物排放源项

陆丰核电 5、6 号机组运行状态下，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。本报告第四章 4.6 节给出了气载和液态放射性流出物各核素的年排放量。

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，6.2 款和 6.3 款规定了核动力厂每座 3000MW 热功率反应堆气载和液态放射性流出物年排放量控制值。广东陆丰核电厂将严格按照国家标准的排放控制要求进行总量控制。广东陆丰核电 5、6 号机组放射性流出物各类放射性核素的年排放量，均能满足国家标准 GB6249-2011 相应的单堆排放量控制要求。

《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氚和 C-14 外其它放射性核素的浓度不超过 1000Bq/L。

广东陆丰核电 5、6 号机组的放射性废液经废液处理系统（TEU）处理后，于监测排放子系统监测槽收集，取样合格后，排往核岛废液排放系统（TER）进行向环境的受控排放；若监测结果不满足要求，则返回 TEU 处理。因此，实际运行过程中，电厂除氚和 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。

核电厂运行状态下，对于环境辐射影响的分析，其主要目的：首先是通过预测厂址周围一般公众的辐射剂量，以验证电厂三废处理系统的设计性能和效能的可靠性，其次为电厂运行后环境监测方案的制定提供技术依据。根据 HJ808 的要求，对于广东陆丰核电 5、6 号机组，采用较为保守的设计排放源项估算一般公众的辐射剂量，采用接近实际运行工况的预期排放源项进行“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，以更现实的反映核

电厂放射性流出物排放在环境中的分布及影响情况。

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 计算模式和参数

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，采用厂址气象塔2018年7月至2019年6月一整年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，计算厂址区域的长期大气弥散因子和地面沉积因子。

广东陆丰核电5、6号机组气载放射性流出物假定为混合排放方式。大气弥散计算还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

陆丰核电厂属滨海厂址，运行状态下，广东陆丰核电 5、6 号机组产生的液态放射性流出物随电厂温排水排入电厂附近海域，并在潮流的作用下向周围海域稀释扩散。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

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）环境调查分析得出；，放射性核素在食物链中转移的特征参数根据IAEA 19号安全报告给出。

液态照射途径辐射剂量计算参数根据IAEA 19号安全报告给出；海鱼类、软体类、甲壳类以及藻类四类海产品可食部分的生物浓集因子和海水中悬浮物对元素的吸附分配Kd因子，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IAEA 19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

母体吸入和摄入放射性核素后，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参考ICRP 95号出版物给出。

#### （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根据调查结果给出。

### 6.2.4 大气弥散和水体稀释

表 6.2-1、表 6.2-2 和表 6.2-3 分别列出了广东陆丰核电 5、6 号机组厂址半径 80km 范围各子区部分放射性核素的长期大气弥散因子（ $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{131}\text{I}$ ）、长期地面干沉积因子（ $^{60}\text{Co}$ 、 $^{131}\text{I}$ ）和长期地面湿沉积因子（ $^{60}\text{Co}$ 、 $^{131}\text{I}$ ）。

电厂排放口附近各海域的相对浓度根据南京水利科学研究院完成的低放数模专题成果给出。

### 6.2.5 环境介质中的放射性核素浓度

根据以上参数和模式，表 6.2-4 列出了广东陆丰核电 5、6 号机组厂址半径 80km 范围各子区部分放射性核素的环境空气浓度（ $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{131}\text{I}$ ）。环境空气中放射性年平均浓度最大值位于 W 方位 0~1km 子区，核素  $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{131}\text{I}$  在该子区的年平均浓度分布为  $5.69 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 、 $3.72 \times 10^{-9} \text{Bq/m}^3$ 、 $2.57 \times 10^{-6} \text{Bq/m}^3$ 。

表 6.2-5 给出了广东陆丰核电 5、6 号机组排水口周围不同半径海域水体中的各放射性核素的年平均浓度和排水口 0~1km 海域的排放峰值浓度。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  $5.52 \times 10^{-1} \text{Bq/L}$ 、 $2.28 \times 10^{-4} \text{Bq/L}$ 。

表6.2-5同时给出了广东陆丰核电5、6号机组排放口附近0~1km海域排放时的峰值浓度。

《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，其中与广东陆丰核电 5、6 号机组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 0.03Bq/L、4.0Bq/L、0.2Bq/L、0.6Bq/L 和 0.7Bq/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  $4.83\times 10^{-5}\text{Bq/L}$ 、 $6.17\times 10^{-8}\text{Bq/L}$ 、 $4.40\times 10^{-8}\text{Bq/L}$ 、 $4.80\times 10^{-4}\text{Bq/L}$  和  $7.03\times 10^{-4}\text{Bq/L}$ ，均满足《海水水质标准》（GB3097-1997）中相应的浓度限值要求。

### 6.2.6 公众最大个人剂量

#### （1）公众（成人）个人剂量

表 6.2-6 和表 6.2-7 分别给出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 6.2-8 给出了各子区公众个人（成人）受到的总有效剂量。

广东陆丰核电 5、6 号机组正常运行状态下，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 NE 方位 1~2km 子区。造成的最大年有效剂量增量为  $1.81\times 10^{-7}\text{Sv}$ ，其中通过气态途径造成的年有效剂量增量为  $1.74\times 10^{-7}\text{Sv}$ ，通过液态途径造成的年有效剂量增量为  $6.71\times 10^{-9}\text{Sv}$ 。

#### （2）公众（青少年）个人剂量

表 6.2-9 给出了广东陆丰核电 5、6 号机组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。

广东陆丰核电 5、6 号机组运行状态下，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为厂址 NE 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为  $1.99\times 10^{-7}\text{Sv}$ 。

#### （3）公众（儿童）个人剂量

表 6.2-10 给出了广东陆丰核电 5、6 号机组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。

广东陆丰核电 5、6 号机组运行状态下，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为厂址 NE 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为  $1.85\times 10^{-7}\text{Sv}$ 。

#### （4）公众（婴儿）个人剂量

表 6.2-11 给出了广东陆丰核电 5、6 号机组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。

广东陆丰核电 5、6 号机组运行状态下，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为厂址 NE 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为  $1.25 \times 10^{-7} \text{Sv}$ 。

#### （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，广东陆丰核电 5、6 号机组运行状态下，放射性流出物对厂址 NE 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成人组公众个人，成人组公众个人的年受照有效剂量大于婴儿组公众个人。

因此，广东陆丰核电 5、6 号机组运行状态下，就一般公众的受照剂量而言，厂址 NE 方位 1~2km 子区内的青少年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，受到的年有效剂量为  $1.99 \times 10^{-7} \text{Sv}$ 。

#### （6）集体剂量

根据厂址评价范围内的居民年龄构成和各子区的预期人口分布，表 6.2-12 列出了广东陆丰核电 5、6 号机组放射性流出物所造成厂址各子区的年集体有效剂量，评价区内公众集体年有效剂量结果为  $4.34 \times 10^{-2} \text{人} \cdot \text{Sv}$ ，其中各核素通过气、液态途径所造成的厂址评价区内公众总的集体年有效剂量分别为  $3.48 \times 10^{-2} \text{人} \cdot \text{Sv}$  和  $8.57 \times 10^{-3} \text{人} \cdot \text{Sv}$ 。

### 6.2.7 非人类生物的辐射剂量

非人类生物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气液态放射性流出物，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。

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 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。

#### 6.2.7.1 非人类生物的分类

ERICA 程序根据生物所在的栖息环境选择了不同的代表性生物作为参考生物，其中海洋生态系统的参考生物包括深海鱼类、鸟类、甲壳类、大型藻类、哺乳动物、双壳软体类、浅水鱼、浮游植物、多毛纲蠕虫、爬行动物、海葵珊瑚、导管植物和浮游动物 13 类。陆生生态系统的参考生物包括两栖动物、环节动物、腐食节肢动物、鸟类、飞行类昆虫、草本植物、苔藓植物、大型哺乳动物、小型掘洞哺乳动物、腹足纲软体动物、爬行动物、灌木植物、乔木 13 类。

根据厂址周边海域的生态调查结果，海洋参考生物选取深海鱼类、甲壳类、藻类、软体类、浅水鱼、浮游植物和浮游动物进行评价。

根据厂址陆域生态调查结果，本项目推荐用于生物辐射剂量评价的参考植物包括（1）苔藓植物：推荐种类为地钱（苔类植物）和葫芦藓（藓类植物）；（2）草本植物：推荐种类为芒萁；（3）灌木植物：推荐种类为金合欢；（4）乔木类植物：推荐种类为潺槁木姜子；（5）农作物：推荐种类为番薯；（6）果林作物：推荐种类为龙眼。

本项目推荐用于生物辐射剂量评价的参考动物包括（1）腹足纲软体动物，推荐福寿螺；（2）环节动物：推荐用参环毛蚓；（3）食腐类无脊椎动物：推荐海蟑螂；（4）飞行类昆虫类：推荐菜粉蝶；（5）两栖类：推荐斑腿树蛙；（6）爬行动物：推荐中华石龙子；（7）鸟类：推荐喜鹊；（8）小型掘穴类哺乳动物：推荐褐家鼠和黄毛鼠；（9）大型哺乳动物：推荐人工放养的黄牛。



### 6.2.7.2 参数选取

#### （1）悬浮物分配因子（Kd）

水生生态（核电周围海域）中悬浮物分配因子 Kd 值取自 IAEA 422 号报告。

#### （2）浓集因子（Bp）

海洋生态系统生物对各液态放射性核素的浓集因子参考 ERICA 程序和 IAEA 422 号报告给出。

陆域生态系统生物对各气载流出物核素的浓集因子参考 ERICA 程序和 IAEA 479 号报告给出。

#### （3）放射性核素对生物的辐射剂量转换因子

ERICA 程序提供了海洋生态系统中不同核素不同海洋生物在不同辐射类型下的照射剂量率转换因子和外照射剂量转换因子。各放射性核素对海洋生物的内照射和外照射辐射剂量转换因子按 ERICA 程序给出的不同辐射类型权重值给出。

ERICA 程序对陆生生态系统生物依据生物的生活习性将照射类型分为空气浸没外照射、土表沉积外照射、土中浸没外照射和内照射途径。其中惰性气体 Kr 和 Xe 采用 EA R&D128 出版物中的数据。

#### （4）各生物居留因子

海洋生态系统和陆生生态系统各生物的居留因子根据各生物的生物习性并参考 ERICA 程序给出。

### 6.2.7.3 非人类生物辐射影响

#### （1）水生生物辐射影响

表 6.2-13 给出了厂址周围海域生物受到广东陆丰核电 5、6 号机组液态流出物的剂量率。

由表可以看出，广东陆丰核电 5、6 号机组正常运行状态情况下，厂址周围海域生物受到的附加剂量率值最大的为浮游动物，为  $7.76E-03\mu\text{Gy/h}$ 。各类海洋生物受到的附加剂量率值均远小于 ERICA 程序推荐的  $10\mu\text{Gy/h}$  剂量率筛选值，对核电厂周围海域中的海洋生物总体上影响很小。

#### （2）陆生生物辐射影响

表 6.2-14 给出了厂址周围陆域生物受到广东陆丰核电 5、6 号机组气态流出物通过各种途径造成的剂量率。

由表可以看出，广东陆丰核电 5、6 号机组正常运行状态情况下，厂址周围陆域生物受到的附加剂量率值最大的为乔木，为  $8.07\text{E-}04\mu\text{Gy/h}$ 。各类陆域生物受到的附加剂量率值均远小于 ERICA 程序推荐的  $10\mu\text{Gy/h}$  剂量率筛选值，对核电厂周围陆域中的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

根据上述一般公众受照剂量的计算结果，对广东陆丰核电 5、6 号机组两台华龙一号核电机组放射性流出物排放造成的辐射影响进行“三关键”分析时，初步考虑一般公众受照剂量较大的 NE 方位 1.5km 后埔村居民，对该子区考虑渔民、农民和青少年三类人群，相关生活习性和食谱消费情况见本报告 2.2 节。

广东陆丰核电 5、6 号机组两台机组运行状态下，放射性流出物排放对厂址 NE 方位 1.5km 的后埔村青少年造成的年有效剂量大于子区内渔民或农民的受照剂量，为  $8.56\times 10^{-8}\text{Sv/a}$ 。根据上述分析结果，本阶段将厂址 NE 方位 1.5km 的后埔村青少年作为受广东陆丰核电 5、6 号机组两台核电机组辐射影响最大的可能关键人群组。

表 6.2-15 给出了广东陆丰核电 5、6 号机组运行状态下，放射性流出物通过各种途径对厂址 NE 方位 1.5km 的后埔村青少年个人造成的辐射剂量贡献。从表可以看出：

- 广东陆丰核电 5、6 号机组运行状态下，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  $8.56\times 10^{-8}\text{Sv/a}$ 。其中通过气态途径造成的剂量贡献为  $7.79\times 10^{-8}\text{Sv/a}$ ，占个人总有效剂量的 90.94%；通过液态途径造成的剂量贡献为  $7.76\times 10^{-9}\text{Sv/a}$ ，占个人总有效剂量的 9.06%。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  $7.30\times 10^{-8}\text{Sv/a}$ ，占个人总有效剂量的 85.21%。其它重要照射途径为食入海产品内照射和吸入空气内照射，对关键组居民个人造成的有效剂量分别为  $7.56\times 10^{-9}\text{Sv/a}$  和  $3.10\times 10^{-9}\text{Sv/a}$ ，分别占个人总有效剂量的 8.83% 和 3.62%。
- 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  $7.65\times 10^{-8}\text{Sv}$ ，占个人总有效剂量的 89.37%；其它重要核素为  $^3\text{H}$ 、 $^{60}\text{Co}$ ，对关键组居民个人造成的有效剂量分别为  $5.22\times 10^{-9}\text{Sv/a}$ 、 $7.08\times 10^{-10}\text{Sv/a}$ ，分别占个人总有效剂量的 6.10%、0.83%。

表 6.2-16 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

广东陆丰核电 5、6 号机组各类放射性流出物的年排放量均能满足国家标准 GB6249-2011 相应的控制要求。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) 规定任何厂址的所有核动力堆向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量，每年必须小于 0.25mSv 的剂量约束值。广东陆丰核电厂址规划建设六台百万千瓦级核电机组，针对广东陆丰核电 5、6 号机组进行评价，确定向环境释放的放射性流出物对公众所造成剂量不超过剂量管理目标值 0.08mSv/a。

广东陆丰核电 5、6 号机组运行状态下，放射性流出物排放造成的最大有效剂量为  $1.99 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，占 GB6249-2011 中年剂量约束值 (0.25mSv/a) 的 0.08%，占广东陆丰核电 5、6 号机组剂量管理目标值 (0.08mSv/a) 的 0.25%。

通过公众辐射剂量“三关键”分析，广东陆丰核电 5、6 号机组运行状态下，在制定环境辐射监测方案时，需要关注的关键人群组为位于厂址 NE 方位 1.5km 的后埔村青少年，需要关注的照射途径包括：食入陆生食品内照射途径、食入海产品内照射和吸入空气内照射途径，需要关注的放射性核素包括： $^{14}\text{C}$ 、 $^3\text{H}$  和  $^{60}\text{Co}$  等。

#### (2) 非人类物种辐射影响评价

广东陆丰核电 5、6 号机组运行状态下，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  $7.76 \times 10^{-3} \mu\text{Gy/h}$ ，气载放射性流出物对厂址周围陆域生物造成的辐射剂量率最大为  $8.07 \times 10^{-4} \mu\text{Gy/h}$ ，均远低于 ERICA 程序推荐的  $10 \mu\text{Gy/h}$  剂量率筛选值，因此，可以认为广东陆丰核电 5、6 号机组运行状态下，放射性流出物排放不会对厂址周边非人类生物在种群上造成明显的损伤。

广东陆丰核电 5、6 号机组运行状态下，就放射性流出物的排放控制和公众所受剂量而言，三废处理系统的预期处理效果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。

#### 6.2.10 参考资料

- [1] IAEA Safety Reports Series No.19, Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, 2001;
- [2] 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;
- [3] 广东核电厂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;
- [4] 放射生态学转移参数手册, 原子能出版社, 李建国、商照荣等;
- [5] 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);

表 6.2-1 (1/3) 厂址长期大气弥散因子 ( $^{85}\text{Kr}$ )单位:  $\text{s}/\text{m}^3$ 

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	1.25E-07	5.90E-08	2.70E-08	1.57E-08	8.16E-09	3.88E-09	2.23E-09	1.56E-09	1.19E-09	9.58E-10	8.09E-10	7.00E-10
NNE	1.61E-07	7.27E-08	3.19E-08	1.85E-08	9.74E-09	4.69E-09	2.72E-09	1.90E-09	1.45E-09	1.17E-09	9.91E-10	8.58E-10
NE	1.41E-07	6.51E-08	2.89E-08	1.66E-08	8.75E-09	4.25E-09	2.49E-09	1.75E-09	1.35E-09	1.09E-09	9.22E-10	7.99E-10
ENE	1.56E-07	7.49E-08	3.43E-08	1.99E-08	1.06E-08	5.16E-09	3.01E-09	2.11E-09	1.61E-09	1.30E-09	1.10E-09	9.54E-10
E	1.53E-07	7.21E-08	3.18E-08	1.80E-08	9.57E-09	4.67E-09	2.73E-09	1.92E-09	1.47E-09	1.19E-09	1.01E-09	8.73E-10
ESE	6.89E-08	3.55E-08	1.83E-08	1.13E-08	6.05E-09	2.79E-09	1.54E-09	1.05E-09	7.77E-10	6.15E-10	5.19E-10	4.50E-10
SE	6.40E-08	3.27E-08	1.62E-08	9.71E-09	5.14E-09	2.41E-09	1.35E-09	9.23E-10	6.90E-10	5.49E-10	4.63E-10	4.01E-10
SSE	5.96E-08	2.99E-08	1.46E-08	8.39E-09	4.14E-09	1.82E-09	9.75E-10	6.54E-10	4.83E-10	3.78E-10	3.17E-10	2.74E-10
S	1.95E-07	9.72E-08	4.80E-08	2.72E-08	1.29E-08	5.36E-09	2.78E-09	1.82E-09	1.32E-09	1.03E-09	8.52E-10	7.34E-10
SSW	3.74E-07	1.88E-07	9.71E-08	5.81E-08	2.91E-08	1.25E-08	6.58E-09	4.33E-09	3.13E-09	2.42E-09	2.03E-09	1.75E-09
SW	3.65E-07	1.74E-07	8.44E-08	4.99E-08	2.55E-08	1.14E-08	6.17E-09	4.14E-09	3.04E-09	2.39E-09	2.01E-09	1.74E-09
WSW	3.89E-07	1.74E-07	7.69E-08	4.35E-08	2.26E-08	1.06E-08	6.01E-09	4.15E-09	3.14E-09	2.51E-09	2.12E-09	1.83E-09
W	4.75E-07	2.27E-07	1.09E-07	6.57E-08	3.51E-08	1.65E-08	9.25E-09	6.34E-09	4.74E-09	3.77E-09	3.19E-09	2.76E-09
WNW	3.04E-07	1.42E-07	6.44E-08	3.81E-08	2.05E-08	9.90E-09	5.71E-09	3.98E-09	3.02E-09	2.43E-09	2.06E-09	1.78E-09
NW	1.23E-07	6.01E-08	2.89E-08	1.75E-08	9.46E-09	4.55E-09	2.61E-09	1.81E-09	1.37E-09	1.10E-09	9.33E-10	8.09E-10
NNW	9.50E-08	4.67E-08	2.20E-08	1.31E-08	6.94E-09	3.34E-09	1.93E-09	1.35E-09	1.02E-09	8.26E-10	6.98E-10	6.05E-10

表 6.2-1 (2/3) 厂址长期大气弥散因子 ( $^{60}\text{Co}$ )单位:  $\text{s}/\text{m}^3$ 

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	1.23E-07	5.77E-08	2.61E-08	1.50E-08	7.70E-09	3.59E-09	2.03E-09	1.41E-09	1.07E-09	8.57E-10	7.21E-10	6.21E-10
NNE	1.60E-07	7.19E-08	3.13E-08	1.80E-08	9.37E-09	4.44E-09	2.54E-09	1.77E-09	1.35E-09	1.09E-09	9.16E-10	7.90E-10
NE	1.39E-07	6.40E-08	2.82E-08	1.61E-08	8.38E-09	4.02E-09	2.33E-09	1.63E-09	1.24E-09	1.00E-09	8.46E-10	7.31E-10
ENE	1.54E-07	7.35E-08	3.32E-08	1.91E-08	1.00E-08	4.75E-09	2.72E-09	1.89E-09	1.44E-09	1.16E-09	9.76E-10	8.42E-10
E	1.52E-07	7.13E-08	3.11E-08	1.75E-08	9.18E-09	4.40E-09	2.54E-09	1.77E-09	1.35E-09	1.09E-09	9.20E-10	7.95E-10
ESE	6.78E-08	3.46E-08	1.77E-08	1.09E-08	5.72E-09	2.56E-09	1.37E-09	9.14E-10	6.70E-10	5.25E-10	4.39E-10	3.77E-10
SE	6.31E-08	3.20E-08	1.57E-08	9.34E-09	4.85E-09	2.20E-09	1.20E-09	8.06E-10	5.97E-10	4.72E-10	3.95E-10	3.40E-10
SSE	5.77E-08	2.86E-08	1.38E-08	7.85E-09	3.79E-09	1.59E-09	8.25E-10	5.40E-10	3.91E-10	3.03E-10	2.51E-10	2.15E-10
S	1.92E-07	9.44E-08	4.60E-08	2.57E-08	1.19E-08	4.83E-09	2.43E-09	1.57E-09	1.12E-09	8.61E-10	7.11E-10	6.08E-10
SSW	3.69E-07	1.84E-07	9.35E-08	5.54E-08	2.71E-08	1.13E-08	5.71E-09	3.67E-09	2.61E-09	1.99E-09	1.65E-09	1.41E-09
SW	3.61E-07	1.71E-07	8.17E-08	4.79E-08	2.41E-08	1.05E-08	5.50E-09	3.62E-09	2.63E-09	2.04E-09	1.70E-09	1.46E-09
WSW	3.86E-07	1.72E-07	7.55E-08	4.24E-08	2.17E-08	1.00E-08	5.60E-09	3.83E-09	2.88E-09	2.29E-09	1.93E-09	1.66E-09
W	4.73E-07	2.26E-07	1.08E-07	6.46E-08	3.41E-08	1.57E-08	8.69E-09	5.90E-09	4.39E-09	3.47E-09	2.92E-09	2.51E-09
WNW	3.02E-07	1.41E-07	6.36E-08	3.75E-08	1.99E-08	9.50E-09	5.41E-09	3.74E-09	2.83E-09	2.27E-09	1.91E-09	1.65E-09
NW	1.21E-07	5.92E-08	2.82E-08	1.70E-08	9.09E-09	4.30E-09	2.43E-09	1.67E-09	1.26E-09	1.01E-09	8.49E-10	7.32E-10
NNW	9.32E-08	4.55E-08	2.12E-08	1.25E-08	6.51E-09	3.06E-09	1.73E-09	1.20E-09	9.09E-10	7.30E-10	6.14E-10	5.30E-10

表 6.2-1 (3/3) 厂址长期大气弥散因子 ( $^{131}\text{I}$ )单位:  $\text{s}/\text{m}^3$ 

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	1.18E-07	5.32E-08	2.29E-08	1.26E-08	6.08E-09	2.63E-09	1.42E-09	9.62E-10	7.22E-10	5.74E-10	4.76E-10	4.05E-10
NNE	1.53E-07	6.72E-08	2.81E-08	1.55E-08	7.51E-09	3.33E-09	1.85E-09	1.27E-09	9.61E-10	7.69E-10	6.40E-10	5.46E-10
NE	1.35E-07	6.05E-08	2.58E-08	1.42E-08	7.00E-09	3.13E-09	1.72E-09	1.17E-09	8.82E-10	7.03E-10	5.83E-10	4.96E-10
ENE	1.51E-07	7.03E-08	3.08E-08	1.70E-08	8.25E-09	3.64E-09	2.01E-09	1.38E-09	1.04E-09	8.30E-10	6.90E-10	5.89E-10
E	1.48E-07	6.83E-08	2.89E-08	1.58E-08	7.78E-09	3.52E-09	1.97E-09	1.36E-09	1.03E-09	8.25E-10	6.88E-10	5.89E-10
ESE	6.49E-08	3.21E-08	1.58E-08	9.19E-09	4.26E-09	1.65E-09	8.28E-10	5.44E-10	4.01E-10	3.15E-10	2.60E-10	2.20E-10
SE	5.96E-08	2.90E-08	1.34E-08	7.56E-09	3.48E-09	1.38E-09	7.03E-10	4.64E-10	3.43E-10	2.70E-10	2.23E-10	1.88E-10
SSE	5.21E-08	2.40E-08	1.06E-08	5.70E-09	2.48E-09	9.04E-10	4.26E-10	2.70E-10	1.94E-10	1.50E-10	1.22E-10	1.03E-10
S	1.68E-07	7.50E-08	3.27E-08	1.72E-08	7.26E-09	2.56E-09	1.18E-09	7.41E-10	5.31E-10	4.09E-10	3.34E-10	2.81E-10
SSW	3.34E-07	1.55E-07	7.36E-08	4.16E-08	1.83E-08	6.54E-09	3.03E-09	1.90E-09	1.36E-09	1.05E-09	8.56E-10	7.21E-10
SW	3.35E-07	1.50E-07	6.79E-08	3.80E-08	1.73E-08	6.69E-09	3.33E-09	2.17E-09	1.58E-09	1.24E-09	1.02E-09	8.64E-10
WSW	3.74E-07	1.63E-07	6.94E-08	3.78E-08	1.82E-08	7.78E-09	4.16E-09	2.81E-09	2.10E-09	1.67E-09	1.39E-09	1.18E-09
W	4.63E-07	2.18E-07	1.02E-07	5.89E-08	2.87E-08	1.21E-08	6.36E-09	4.26E-09	3.17E-09	2.52E-09	2.09E-09	1.78E-09
WNW	2.97E-07	1.36E-07	5.99E-08	3.40E-08	1.68E-08	7.45E-09	4.11E-09	2.82E-09	2.13E-09	1.71E-09	1.42E-09	1.22E-09
NW	1.18E-07	5.62E-08	2.59E-08	1.49E-08	7.23E-09	3.09E-09	1.66E-09	1.13E-09	8.47E-10	6.74E-10	5.59E-10	4.76E-10
NNW	8.98E-08	4.25E-08	1.90E-08	1.07E-08	5.14E-09	2.21E-09	1.19E-09	8.07E-10	6.05E-10	4.81E-10	3.98E-10	3.38E-10

表 6.2-2 (1/2) 厂址长期地面干沉积因子 ( $^{60}\text{Co}$ )单位:  $1/\text{m}^2$ 

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	2.46E-10	1.15E-10	5.23E-11	3.01E-11	1.54E-11	7.18E-12	4.07E-12	2.81E-12	2.14E-12	1.71E-12	1.44E-12	1.24E-12
NNE	3.19E-10	1.44E-10	6.26E-11	3.60E-11	1.87E-11	8.88E-12	5.09E-12	3.54E-12	2.70E-12	2.18E-12	1.83E-12	1.58E-12
NE	2.78E-10	1.28E-10	5.64E-11	3.22E-11	1.68E-11	8.03E-12	4.65E-12	3.25E-12	2.49E-12	2.01E-12	1.69E-12	1.46E-12
ENE	3.09E-10	1.47E-10	6.63E-11	3.82E-11	2.00E-11	9.51E-12	5.44E-12	3.78E-12	2.87E-12	2.32E-12	1.95E-12	1.68E-12
E	3.03E-10	1.43E-10	6.23E-11	3.51E-11	1.84E-11	8.81E-12	5.08E-12	3.54E-12	2.70E-12	2.18E-12	1.84E-12	1.59E-12
ESE	1.36E-10	6.93E-11	3.54E-11	2.18E-11	1.14E-11	5.11E-12	2.74E-12	1.83E-12	1.34E-12	1.05E-12	8.78E-13	7.54E-13
SE	1.26E-10	6.40E-11	3.14E-11	1.87E-11	9.71E-12	4.40E-12	2.39E-12	1.61E-12	1.19E-12	9.43E-13	7.90E-13	6.79E-13
SSE	1.15E-10	5.72E-11	2.77E-11	1.57E-11	7.57E-12	3.19E-12	1.65E-12	1.08E-12	7.83E-13	6.05E-13	5.02E-13	4.30E-13
S	3.83E-10	1.89E-10	9.20E-11	5.15E-11	2.39E-11	9.67E-12	4.87E-12	3.13E-12	2.25E-12	1.72E-12	1.42E-12	1.22E-12
SSW	7.39E-10	3.67E-10	1.87E-10	1.11E-10	5.43E-11	2.26E-11	1.14E-11	7.34E-12	5.22E-12	3.98E-12	3.30E-12	2.82E-12
SW	7.22E-10	3.41E-10	1.63E-10	9.58E-11	4.82E-11	2.09E-11	1.10E-11	7.24E-12	5.25E-12	4.09E-12	3.40E-12	2.92E-12
WSW	7.71E-10	3.44E-10	1.51E-10	8.48E-11	4.35E-11	2.00E-11	1.12E-11	7.67E-12	5.76E-12	4.58E-12	3.85E-12	3.33E-12
W	9.45E-10	4.51E-10	2.16E-10	1.29E-10	6.82E-11	3.14E-11	1.74E-11	1.18E-11	8.77E-12	6.94E-12	5.83E-12	5.03E-12
WNW	6.04E-10	2.81E-10	1.27E-10	7.49E-11	3.99E-11	1.90E-11	1.08E-11	7.48E-12	5.66E-12	4.54E-12	3.82E-12	3.30E-12
NW	2.43E-10	1.18E-10	5.64E-11	3.41E-11	1.82E-11	8.60E-12	4.86E-12	3.35E-12	2.52E-12	2.02E-12	1.70E-12	1.46E-12
NNW	1.86E-10	9.09E-11	4.24E-11	2.49E-11	1.30E-11	6.11E-12	3.47E-12	2.40E-12	1.82E-12	1.46E-12	1.23E-12	1.06E-12



表 6.2-2 (2/2) 厂址长期地面干沉积因子 ( $^{131}\text{I}$ )单位:  $1/\text{m}^2$ 

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	3.76E-09	1.70E-09	7.34E-10	4.05E-10	1.94E-10	8.40E-11	4.55E-11	3.08E-11	2.31E-11	1.84E-11	1.52E-11	1.30E-11
NNE	4.91E-09	2.15E-09	8.98E-10	4.96E-10	2.40E-10	1.06E-10	5.92E-11	4.07E-11	3.08E-11	2.46E-11	2.05E-11	1.75E-11
NE	4.31E-09	1.94E-09	8.24E-10	4.55E-10	2.24E-10	1.00E-10	5.52E-11	3.75E-11	2.82E-11	2.25E-11	1.86E-11	1.59E-11
ENE	4.82E-09	2.25E-09	9.84E-10	5.44E-10	2.64E-10	1.16E-10	6.43E-11	4.40E-11	3.32E-11	2.66E-11	2.21E-11	1.88E-11
E	4.75E-09	2.19E-09	9.26E-10	5.05E-10	2.49E-10	1.13E-10	6.30E-11	4.34E-11	3.29E-11	2.64E-11	2.20E-11	1.88E-11
ESE	2.08E-09	1.03E-09	5.04E-10	2.94E-10	1.36E-10	5.28E-11	2.65E-11	1.74E-11	1.28E-11	1.01E-11	8.31E-12	7.04E-12
SE	1.91E-09	9.27E-10	4.30E-10	2.42E-10	1.11E-10	4.40E-11	2.25E-11	1.48E-11	1.10E-11	8.65E-12	7.12E-12	6.03E-12
SSE	1.67E-09	7.67E-10	3.40E-10	1.82E-10	7.95E-11	2.89E-11	1.36E-11	8.63E-12	6.21E-12	4.80E-12	3.91E-12	3.29E-12
S	5.37E-09	2.40E-09	1.05E-09	5.50E-10	2.32E-10	8.21E-11	3.78E-11	2.37E-11	1.70E-11	1.31E-11	1.07E-11	9.00E-12
SSW	1.07E-08	4.97E-09	2.36E-09	1.33E-09	5.85E-10	2.09E-10	9.70E-11	6.08E-11	4.35E-11	3.35E-11	2.74E-11	2.31E-11
SW	1.07E-08	4.81E-09	2.17E-09	1.22E-09	5.55E-10	2.14E-10	1.07E-10	6.93E-11	5.07E-11	3.96E-11	3.27E-11	2.77E-11
WSW	1.20E-08	5.22E-09	2.22E-09	1.21E-09	5.82E-10	2.49E-10	1.33E-10	8.98E-11	6.72E-11	5.34E-11	4.44E-11	3.79E-11
W	1.48E-08	6.97E-09	3.26E-09	1.88E-09	9.17E-10	3.86E-10	2.04E-10	1.36E-10	1.02E-10	8.05E-11	6.69E-11	5.70E-11
WNW	9.49E-09	4.35E-09	1.92E-09	1.09E-09	5.39E-10	2.38E-10	1.32E-10	9.02E-11	6.82E-11	5.47E-11	4.56E-11	3.90E-11
NW	3.78E-09	1.80E-09	8.27E-10	4.77E-10	2.31E-10	9.89E-11	5.33E-11	3.61E-11	2.71E-11	2.16E-11	1.79E-11	1.52E-11
NNW	2.87E-09	1.36E-09	6.09E-10	3.43E-10	1.65E-10	7.06E-11	3.82E-11	2.58E-11	1.94E-11	1.54E-11	1.27E-11	1.08E-11

表 6.2-3 (1/2) 厂址长期地面湿沉积因子 ( $^{60}\text{Co}$ )单位:  $1/\text{m}^2$ 

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	1.27E-09	7.63E-10	4.58E-10	2.86E-10	1.53E-10	7.63E-11	4.58E-11	3.27E-11	2.54E-11	2.08E-11	1.76E-11	1.53E-11
NNE	4.38E-10	2.63E-10	1.58E-10	9.87E-11	5.26E-11	2.63E-11	1.58E-11	1.13E-11	8.77E-12	7.17E-12	6.07E-12	5.26E-12
NE	1.18E-09	7.05E-10	4.23E-10	2.64E-10	1.41E-10	7.05E-11	4.23E-11	3.02E-11	2.35E-11	1.92E-11	1.63E-11	1.41E-11
ENE	1.42E-09	8.49E-10	5.10E-10	3.18E-10	1.70E-10	8.49E-11	5.10E-11	3.64E-11	2.83E-11	2.32E-11	1.96E-11	1.70E-11
E	8.62E-10	5.17E-10	3.10E-10	1.94E-10	1.03E-10	5.17E-11	3.10E-11	2.22E-11	1.72E-11	1.41E-11	1.19E-11	1.03E-11
ESE	8.54E-10	5.13E-10	3.08E-10	1.92E-10	1.03E-10	5.13E-11	3.08E-11	2.20E-11	1.71E-11	1.40E-11	1.18E-11	1.03E-11
SE	5.45E-10	3.27E-10	1.96E-10	1.23E-10	6.54E-11	3.27E-11	1.96E-11	1.40E-11	1.09E-11	8.92E-12	7.55E-12	6.54E-12
SSE	1.46E-09	8.74E-10	5.24E-10	3.28E-10	1.75E-10	8.74E-11	5.24E-11	3.75E-11	2.91E-11	2.38E-11	2.02E-11	1.75E-11
S	1.22E-09	7.34E-10	4.40E-10	2.75E-10	1.47E-10	7.34E-11	4.40E-11	3.14E-11	2.45E-11	2.00E-11	1.69E-11	1.47E-11
SSW	2.28E-09	1.37E-09	8.22E-10	5.14E-10	2.74E-10	1.37E-10	8.22E-11	5.87E-11	4.57E-11	3.74E-11	3.16E-11	2.74E-11
SW	1.85E-09	1.11E-09	6.66E-10	4.16E-10	2.22E-10	1.11E-10	6.66E-11	4.76E-11	3.70E-11	3.03E-11	2.56E-11	2.22E-11
WSW	2.01E-09	1.21E-09	7.24E-10	4.52E-10	2.41E-10	1.21E-10	7.24E-11	5.17E-11	4.02E-11	3.29E-11	2.78E-11	2.41E-11
W	1.79E-09	1.08E-09	6.45E-10	4.03E-10	2.15E-10	1.08E-10	6.45E-11	4.61E-11	3.59E-11	2.93E-11	2.48E-11	2.15E-11
WNW	1.06E-09	6.36E-10	3.82E-10	2.39E-10	1.27E-10	6.36E-11	3.82E-11	2.73E-11	2.12E-11	1.74E-11	1.47E-11	1.27E-11
NW	4.20E-10	2.52E-10	1.51E-10	9.45E-11	5.04E-11	2.52E-11	1.51E-11	1.08E-11	8.40E-12	6.87E-12	5.81E-12	5.04E-12
NNW	9.94E-10	5.97E-10	3.58E-10	2.24E-10	1.19E-10	5.97E-11	3.58E-11	2.56E-11	1.99E-11	1.63E-11	1.38E-11	1.19E-11

表 6.2-3 (2/2) 厂址长期地面湿沉积因子 ( $^{131}\text{I}$ )单位:  $1/\text{m}^2$ 

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	8.74E-10	5.24E-10	3.15E-10	1.97E-10	1.05E-10	5.24E-11	3.15E-11	2.25E-11	1.75E-11	1.43E-11	1.21E-11	1.05E-11
NNE	3.01E-10	1.81E-10	1.09E-10	6.78E-11	3.62E-11	1.81E-11	1.09E-11	7.75E-12	6.03E-12	4.93E-12	4.17E-12	3.62E-12
NE	8.08E-10	4.85E-10	2.91E-10	1.82E-10	9.70E-11	4.85E-11	2.91E-11	2.08E-11	1.62E-11	1.32E-11	1.12E-11	9.70E-12
ENE	9.73E-10	5.84E-10	3.50E-10	2.19E-10	1.17E-10	5.84E-11	3.50E-11	2.50E-11	1.95E-11	1.59E-11	1.35E-11	1.17E-11
E	5.93E-10	3.56E-10	2.13E-10	1.33E-10	7.11E-11	3.56E-11	2.13E-11	1.52E-11	1.19E-11	9.70E-12	8.21E-12	7.11E-12
ESE	5.87E-10	3.52E-10	2.11E-10	1.32E-10	7.05E-11	3.52E-11	2.11E-11	1.51E-11	1.17E-11	9.61E-12	8.13E-12	7.05E-12
SE	3.75E-10	2.25E-10	1.35E-10	8.43E-11	4.50E-11	2.25E-11	1.35E-11	9.63E-12	7.49E-12	6.13E-12	5.19E-12	4.50E-12
SSE	1.00E-09	6.01E-10	3.60E-10	2.25E-10	1.20E-10	6.01E-11	3.60E-11	2.57E-11	2.00E-11	1.64E-11	1.39E-11	1.20E-11
S	8.41E-10	5.04E-10	3.03E-10	1.89E-10	1.01E-10	5.04E-11	3.03E-11	2.16E-11	1.68E-11	1.38E-11	1.16E-11	1.01E-11
SSW	1.57E-09	9.42E-10	5.65E-10	3.53E-10	1.88E-10	9.42E-11	5.65E-11	4.04E-11	3.14E-11	2.57E-11	2.17E-11	1.88E-11
SW	1.27E-09	7.63E-10	4.58E-10	2.86E-10	1.53E-10	7.63E-11	4.58E-11	3.27E-11	2.54E-11	2.08E-11	1.76E-11	1.53E-11
WSW	1.38E-09	8.29E-10	4.98E-10	3.11E-10	1.66E-10	8.29E-11	4.98E-11	3.55E-11	2.76E-11	2.26E-11	1.91E-11	1.66E-11
W	1.23E-09	7.40E-10	4.44E-10	2.77E-10	1.48E-10	7.40E-11	4.44E-11	3.17E-11	2.47E-11	2.02E-11	1.71E-11	1.48E-11
WNW	7.29E-10	4.38E-10	2.63E-10	1.64E-10	8.75E-11	4.38E-11	2.63E-11	1.88E-11	1.46E-11	1.19E-11	1.01E-11	8.75E-12
NW	2.89E-10	1.73E-10	1.04E-10	6.50E-11	3.46E-11	1.73E-11	1.04E-11	7.42E-12	5.77E-12	4.72E-12	4.00E-12	3.46E-12
NNW	6.84E-10	4.10E-10	2.46E-10	1.54E-10	8.20E-11	4.10E-11	2.46E-11	1.76E-11	1.37E-11	1.12E-11	9.47E-12	8.20E-12

表 6.2-4 (1/3) 气载放射性排放造成环境空气核素浓度 ( $^{85}\text{Kr}$ )单位:  $\text{Bq}/\text{m}^3$ 

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	1.50E-01	7.07E-02	3.24E-02	1.88E-02	9.78E-03	4.65E-03	2.67E-03	1.87E-03	1.43E-03	1.15E-03	9.69E-04	8.39E-04
NNE	1.93E-01	8.71E-02	3.82E-02	2.22E-02	1.17E-02	5.62E-03	3.26E-03	2.28E-03	1.74E-03	1.40E-03	1.19E-03	1.03E-03
NE	1.69E-01	7.80E-02	3.46E-02	1.99E-02	1.05E-02	5.09E-03	2.98E-03	2.10E-03	1.62E-03	1.31E-03	1.10E-03	9.57E-04
ENE	1.87E-01	8.97E-02	4.11E-02	2.38E-02	1.27E-02	6.18E-03	3.61E-03	2.53E-03	1.93E-03	1.56E-03	1.32E-03	1.14E-03
E	1.83E-01	8.64E-02	3.81E-02	2.16E-02	1.15E-02	5.60E-03	3.27E-03	2.30E-03	1.76E-03	1.43E-03	1.21E-03	1.05E-03
ESE	8.26E-02	4.25E-02	2.19E-02	1.35E-02	7.25E-03	3.34E-03	1.85E-03	1.26E-03	9.31E-04	7.37E-04	6.22E-04	5.39E-04
SE	7.67E-02	3.92E-02	1.94E-02	1.16E-02	6.16E-03	2.89E-03	1.62E-03	1.11E-03	8.27E-04	6.58E-04	5.55E-04	4.81E-04
SSE	7.14E-02	3.58E-02	1.75E-02	1.01E-02	4.96E-03	2.18E-03	1.17E-03	7.84E-04	5.79E-04	4.53E-04	3.80E-04	3.28E-04
S	2.34E-01	1.16E-01	5.75E-02	3.26E-02	1.55E-02	6.42E-03	3.33E-03	2.18E-03	1.58E-03	1.23E-03	1.02E-03	8.80E-04
SSW	4.48E-01	2.25E-01	1.16E-01	6.96E-02	3.49E-02	1.50E-02	7.88E-03	5.19E-03	3.75E-03	2.90E-03	2.43E-03	2.10E-03
SW	4.37E-01	2.08E-01	1.01E-01	5.98E-02	3.06E-02	1.37E-02	7.39E-03	4.96E-03	3.64E-03	2.86E-03	2.41E-03	2.08E-03
WSW	4.66E-01	2.08E-01	9.21E-02	5.21E-02	2.71E-02	1.27E-02	7.20E-03	4.97E-03	3.76E-03	3.01E-03	2.54E-03	2.19E-03
W	5.69E-01	2.72E-01	1.31E-01	7.87E-02	4.21E-02	1.98E-02	1.11E-02	7.60E-03	5.68E-03	4.52E-03	3.82E-03	3.31E-03
WNW	3.64E-01	1.70E-01	7.72E-02	4.57E-02	2.46E-02	1.19E-02	6.84E-03	4.77E-03	3.62E-03	2.91E-03	2.47E-03	2.13E-03
NW	1.47E-01	7.20E-02	3.46E-02	2.10E-02	1.13E-02	5.45E-03	3.13E-03	2.17E-03	1.64E-03	1.32E-03	1.12E-03	9.69E-04
NNW	1.14E-01	5.60E-02	2.64E-02	1.57E-02	8.32E-03	4.00E-03	2.31E-03	1.62E-03	1.22E-03	9.90E-04	8.36E-04	7.25E-04

表 6.2-4 (2/3) 气载放射性排放造成环境空气核素浓度 ( $^{60}\text{Co}$ )

单位:  $\text{Bq}/\text{m}^3$

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	9.67E-10	4.54E-10	2.05E-10	1.18E-10	6.05E-11	2.82E-11	1.60E-11	1.11E-11	8.41E-12	6.74E-12	5.67E-12	4.88E-12
NNE	1.26E-09	5.65E-10	2.46E-10	1.42E-10	7.37E-11	3.49E-11	2.00E-11	1.39E-11	1.06E-11	8.57E-12	7.20E-12	6.21E-12
NE	1.09E-09	5.03E-10	2.22E-10	1.27E-10	6.59E-11	3.16E-11	1.83E-11	1.28E-11	9.75E-12	7.86E-12	6.65E-12	5.75E-12
ENE	1.21E-09	5.78E-10	2.61E-10	1.50E-10	7.86E-11	3.73E-11	2.14E-11	1.49E-11	1.13E-11	9.12E-12	7.67E-12	6.62E-12
E	1.19E-09	5.61E-10	2.44E-10	1.38E-10	7.22E-11	3.46E-11	2.00E-11	1.39E-11	1.06E-11	8.57E-12	7.23E-12	6.25E-12
ESE	5.33E-10	2.72E-10	1.39E-10	8.57E-11	4.50E-11	2.01E-11	1.08E-11	7.19E-12	5.27E-12	4.13E-12	3.45E-12	2.96E-12
SE	4.96E-10	2.52E-10	1.23E-10	7.34E-11	3.81E-11	1.73E-11	9.43E-12	6.34E-12	4.69E-12	3.71E-12	3.11E-12	2.67E-12
SSE	4.54E-10	2.25E-10	1.08E-10	6.17E-11	2.98E-11	1.25E-11	6.49E-12	4.25E-12	3.07E-12	2.38E-12	1.97E-12	1.69E-12
S	1.51E-09	7.42E-10	3.62E-10	2.02E-10	9.36E-11	3.80E-11	1.91E-11	1.23E-11	8.80E-12	6.77E-12	5.59E-12	4.78E-12
SSW	2.90E-09	1.45E-09	7.35E-10	4.36E-10	2.13E-10	8.88E-11	4.49E-11	2.89E-11	2.05E-11	1.56E-11	1.30E-11	1.11E-11
SW	2.84E-09	1.34E-09	6.42E-10	3.77E-10	1.89E-10	8.25E-11	4.32E-11	2.85E-11	2.07E-11	1.60E-11	1.34E-11	1.15E-11
WSW	3.03E-09	1.35E-09	5.94E-10	3.33E-10	1.71E-10	7.86E-11	4.40E-11	3.01E-11	2.26E-11	1.80E-11	1.52E-11	1.31E-11
W	3.72E-09	1.78E-09	8.49E-10	5.08E-10	2.68E-10	1.23E-10	6.83E-11	4.64E-11	3.45E-11	2.73E-11	2.30E-11	1.97E-11
WNW	2.37E-09	1.11E-09	5.00E-10	2.95E-10	1.56E-10	7.47E-11	4.25E-11	2.94E-11	2.22E-11	1.78E-11	1.50E-11	1.30E-11
NW	9.51E-10	4.65E-10	2.22E-10	1.34E-10	7.15E-11	3.38E-11	1.91E-11	1.31E-11	9.91E-12	7.94E-12	6.67E-12	5.75E-12
NNW	7.33E-10	3.58E-10	1.67E-10	9.83E-11	5.12E-11	2.41E-11	1.36E-11	9.43E-12	7.15E-12	5.74E-12	4.83E-12	4.17E-12

表 6.2-4 (3/3) 气载放射性排放造成环境空气核素浓度 ( $^{131}\text{I}$ )单位:  $\text{Bq}/\text{m}^3$ 

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	6.55E-07	2.95E-07	1.27E-07	6.99E-08	3.37E-08	1.46E-08	7.88E-09	5.34E-09	4.01E-09	3.18E-09	2.64E-09	2.25E-09
NNE	8.49E-07	3.73E-07	1.56E-07	8.60E-08	4.17E-08	1.85E-08	1.03E-08	7.05E-09	5.33E-09	4.27E-09	3.55E-09	3.03E-09
NE	7.49E-07	3.36E-07	1.43E-07	7.88E-08	3.88E-08	1.74E-08	9.54E-09	6.49E-09	4.89E-09	3.90E-09	3.23E-09	2.75E-09
ENE	8.38E-07	3.90E-07	1.71E-07	9.43E-08	4.58E-08	2.02E-08	1.12E-08	7.66E-09	5.77E-09	4.60E-09	3.83E-09	3.27E-09
E	8.21E-07	3.79E-07	1.60E-07	8.77E-08	4.32E-08	1.95E-08	1.09E-08	7.54E-09	5.71E-09	4.58E-09	3.82E-09	3.27E-09
ESE	3.60E-07	1.78E-07	8.77E-08	5.10E-08	2.36E-08	9.15E-09	4.59E-09	3.02E-09	2.22E-09	1.75E-09	1.44E-09	1.22E-09
SE	3.31E-07	1.61E-07	7.43E-08	4.19E-08	1.93E-08	7.66E-09	3.90E-09	2.57E-09	1.90E-09	1.50E-09	1.24E-09	1.04E-09
SSE	2.89E-07	1.33E-07	5.88E-08	3.16E-08	1.38E-08	5.01E-09	2.36E-09	1.50E-09	1.08E-09	8.32E-10	6.77E-10	5.71E-10
S	9.32E-07	4.16E-07	1.81E-07	9.54E-08	4.03E-08	1.42E-08	6.55E-09	4.11E-09	2.95E-09	2.27E-09	1.85E-09	1.56E-09
SSW	1.85E-06	8.60E-07	4.08E-07	2.31E-07	1.02E-07	3.63E-08	1.68E-08	1.05E-08	7.54E-09	5.82E-09	4.75E-09	4.00E-09
SW	1.86E-06	8.32E-07	3.77E-07	2.11E-07	9.60E-08	3.71E-08	1.85E-08	1.20E-08	8.77E-09	6.88E-09	5.66E-09	4.79E-09
WSW	2.07E-06	9.04E-07	3.85E-07	2.10E-07	1.01E-07	4.32E-08	2.31E-08	1.56E-08	1.16E-08	9.26E-09	7.71E-09	6.55E-09
W	2.57E-06	1.21E-06	5.66E-07	3.27E-07	1.59E-07	6.71E-08	3.53E-08	2.36E-08	1.76E-08	1.40E-08	1.16E-08	9.87E-09
WNW	1.65E-06	7.54E-07	3.32E-07	1.89E-07	9.32E-08	4.13E-08	2.28E-08	1.56E-08	1.18E-08	9.49E-09	7.88E-09	6.77E-09
NW	6.55E-07	3.12E-07	1.44E-07	8.27E-08	4.01E-08	1.71E-08	9.21E-09	6.27E-09	4.70E-09	3.74E-09	3.10E-09	2.64E-09
NNW	4.98E-07	2.36E-07	1.05E-07	5.94E-08	2.85E-08	1.23E-08	6.60E-09	4.48E-09	3.36E-09	2.67E-09	2.21E-09	1.88E-09

表 6.2-5 (1/3) 液态放射性排放造成海域水体中的浓度（年平均） 单位：Bq/L

核素 \ 海域	0~1km	1~2km	2~5km	5~10km	10~20km
H-3	5.52E-01	1.79E-01	1.47E-01	9.20E-02	7.15E-02
C-14	2.28E-04	7.38E-05	6.08E-05	3.80E-05	2.95E-05
Cr-51	1.65E-06	5.36E-07	4.31E-07	2.69E-07	2.06E-07
Mn-54	1.43E-07	4.63E-08	3.81E-08	2.38E-08	1.85E-08
Fe-59	2.69E-07	8.75E-08	7.04E-08	4.40E-08	3.36E-08
Co-58	6.18E-07	2.01E-07	1.62E-07	1.01E-07	7.72E-08
Co-60	6.17E-07	2.00E-07	1.65E-07	1.03E-07	8.00E-08
Sr-89	3.78E-08	1.23E-08	9.89E-09	6.18E-09	4.73E-09
Sr-90	7.88E-10	2.55E-10	2.10E-10	1.31E-10	1.02E-10
Sr-91	4.83E-09	1.54E-09	1.22E-09	7.33E-10	5.38E-10
Sr-92	5.15E-09	1.64E-09	1.30E-09	7.82E-10	5.74E-10
Y-90	5.97E-11	1.90E-11	1.50E-11	9.06E-12	6.65E-12
Y-91	1.36E-09	4.43E-10	3.57E-10	2.23E-10	1.70E-10
Zr-95	1.83E-09	5.94E-10	4.78E-10	2.99E-10	2.28E-10
Nb-95	1.67E-09	5.43E-10	4.37E-10	2.73E-10	2.09E-10
Mo-99	7.34E-08	2.34E-08	1.85E-08	1.12E-08	8.19E-09
Tc-99m	6.31E-08	2.01E-08	1.59E-08	9.58E-09	7.04E-09
Ru-103	1.94E-09	6.32E-10	5.09E-10	3.18E-10	2.43E-10
Ru-106	5.62E-10	1.82E-10	1.50E-10	9.36E-11	7.28E-11
Rh-106	1.05E-13	3.36E-14	2.65E-14	1.60E-14	1.17E-14
Ag-110m	1.01E-07	3.20E-08	2.62E-08	1.65E-08	1.25E-08
Sb-122	1.80E-08	5.75E-09	4.54E-09	2.74E-09	2.01E-09
Sb-124	4.17E-08	1.36E-08	1.09E-08	6.82E-09	5.22E-09
Te-131	2.81E-09	8.97E-10	7.08E-10	4.27E-10	3.13E-10
Te-131m	1.48E-09	4.73E-10	3.73E-10	2.25E-10	1.65E-10

表 6.2-5 (2/3) 液态放射性排放造成海域水体中的浓度（年平均）

单位：Bq/L

海域 核素	0~1km	1~2km	2~5km	5~10km	10~20km
Te-132	2.76E-08	8.82E-09	6.96E-09	4.20E-09	3.08E-09
Te-134	5.93E-09	1.89E-09	1.49E-09	9.01E-10	6.61E-10
I-131	2.69E-05	8.59E-06	6.78E-06	4.09E-06	3.00E-06
I-132	2.40E-06	7.65E-07	6.03E-07	3.64E-07	2.67E-07
I-133	1.15E-05	3.68E-06	2.90E-06	1.75E-06	1.29E-06
I-134	2.17E-07	6.93E-08	5.47E-08	3.30E-08	2.42E-08
I-135	2.80E-06	8.93E-07	7.05E-07	4.25E-07	3.12E-07
Cs-134	6.13E-06	1.99E-06	1.64E-06	1.02E-06	7.95E-07
Cs-136	2.70E-06	8.79E-07	7.07E-07	4.42E-07	3.38E-07
Cs-137	8.98E-06	2.91E-06	2.39E-06	1.50E-06	1.16E-06
Cs-138	6.31E-07	2.01E-07	1.59E-07	9.58E-08	7.04E-08
Ba-140	6.83E-08	2.22E-08	1.79E-08	1.12E-08	8.54E-09
La-140	5.87E-08	1.87E-08	1.48E-08	8.92E-09	6.55E-09
Ce-141	1.98E-09	6.44E-10	5.18E-10	3.24E-10	2.48E-10
Ce-143	2.63E-09	8.40E-10	6.63E-10	4.00E-10	2.94E-10
Ce-144	1.19E-09	3.86E-10	3.18E-10	1.98E-10	1.54E-10
Pr-143	2.11E-09	6.86E-10	5.52E-10	3.45E-10	2.64E-10
Pr-144	1.11E-09	3.54E-10	2.79E-10	1.68E-10	1.24E-10



表 6.2-5 (3/3) 液态放射性排放造成海域水体中的浓度（峰值）

海域	排水口附近 0~1km 海域			
	核素	浓度 (Bq/L)	核素	浓度 (Bq/L)
	H-3	4.32E+01	Sb-124	3.27E-06
	C-14	1.78E-02	Te-131	2.20E-07
	Cr-51	1.29E-04	Te-131m	1.16E-07
	Mn-54	1.12E-05	Te-132	2.16E-06
	Fe-59	2.11E-05	Te-134	4.64E-07
	Co-58	4.84E-05	I-131	2.11E-03
	Co-60	4.83E-05	I-132	1.88E-04
	Sr-89	2.96E-06	I-133	9.03E-04
	Sr-90	6.17E-08	I-134	1.70E-05
	Sr-91	3.78E-07	I-135	2.19E-04
	Sr-92	4.03E-07	Cs-134	4.80E-04
	Y-90	4.67E-09	Cs-136	2.12E-04
	Y-91	1.07E-07	Cs-137	7.03E-04
	Zr-95	1.43E-07	Cs-138	4.94E-05
	Nb-95	1.31E-07	Ba-140	5.35E-06
	Mo-99	5.75E-06	La-140	4.60E-06
	Tc-99m	4.94E-06	Ce-141	1.55E-07
	Ru-103	1.52E-07	Ce-143	2.06E-07
	Ru-106	4.40E-08	Ce-144	9.32E-08
	Rh-106	8.24E-12	Pr-143	1.65E-07
	Ag-110m	7.91E-06	Pr-144	8.67E-08
	Sb-122	1.41E-06		

表 6.2-6 气态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量

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	—	1.29E-07	—	3.5E-08	1.18E-08	7.63E-09	4.01E-09	3.02E-09	2.01E-09	1.69E-09	1.37E-09	1.59E-09
NNE	—	1.53E-07	—	4.27E-08	1.59E-08	8.49E-09	4.56E-09	3.01E-09	2.29E-09	1.81E-09	1.45E-09	1.3E-09
NE	—	1.74E-07	7.17E-08	4.03E-08	1.86E-08	8.42E-09	4.66E-09	3.06E-09	2.32E-09	1.76E-09	1.56E-09	1.28E-09
ENE	—	—	—	—	—	1E-08	5.57E-09	3.68E-09	2.76E-09	2.13E-09	1.8E-09	1.56E-09
E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ESE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
WSW	—	—	—	—	—	—	9.6E-09	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—	1.43E-08	9.89E-09	6.46E-09	5.29E-09	4.79E-09	4.42E-09
WNW	—	—	—	—	—	—	1.05E-08	6.82E-09	5.03E-09	3.83E-09	3.31E-09	2.86E-09
NW	—	1.34E-07	—	—	—	8.32E-09	4.16E-09	2.97E-09	2.27E-09	1.7E-09	1.44E-09	1.23E-09
NNW	—	—	—	—	9.7E-09	6.42E-09	3.49E-09	2.4E-09	1.76E-09	1.38E-09	1.13E-09	1.01E-09

表 6.2-7 液态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量

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	—	6.71E-09	—	4.18E-09	1.20E-09	8.68E-10	9.27E-10	8.55E-10	8.72E-10	8.13E-10	8.62E-10	8.87E-10
NNE	—	6.71E-09	—	4.18E-09	1.16E-09	8.87E-10	8.78E-10	8.84E-10	8.36E-10	8.51E-10	9.23E-10	8.74E-10
NE	—	6.71E-09	6.71E-09	4.18E-09	1.13E-09	8.51E-10	8.27E-10	8.48E-10	8.46E-10	9.37E-10	8.32E-10	9.06E-10
ENE	—	—	—	—	—	8.71E-10	8.69E-10	8.63E-10	8.55E-10	8.93E-10	8.60E-10	8.45E-10
E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ESE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
WSW	—	—	—	—	—	—	9.81E-10	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—	9.81E-10	8.93E-10	9.32E-10	8.79E-10	9.43E-10	8.32E-10
WNW	—	—	—	—	—	—	8.44E-10	8.70E-10	8.63E-10	9.11E-10	8.40E-10	8.07E-10
NW	—	6.71E-09	—	—	—	8.33E-10	9.46E-10	8.45E-10	8.16E-10	8.67E-10	8.15E-10	8.09E-10
NNW	—	—	—	—	1.12E-09	8.48E-10	8.75E-10	8.55E-10	8.55E-10	8.51E-10	9.20E-10	8.52E-10

表 6.2-8 气态和液态途径对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量

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	—	1.36E-07	—	3.92E-08	1.30E-08	8.50E-09	4.93E-09	3.87E-09	2.88E-09	2.50E-09	2.24E-09	2.47E-09
NNE	—	1.60E-07	—	4.69E-08	1.71E-08	9.38E-09	5.43E-09	3.89E-09	3.13E-09	2.66E-09	2.38E-09	2.17E-09
NE	—	1.81E-07	7.84E-08	4.45E-08	1.97E-08	9.27E-09	5.49E-09	3.91E-09	3.17E-09	2.70E-09	2.39E-09	2.19E-09
ENE	—	—	—	—	—	1.09E-08	6.44E-09	4.55E-09	3.61E-09	3.03E-09	2.66E-09	2.40E-09
E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ESE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
WSW	—	—	—	—	—	—	1.06E-08	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—	1.53E-08	1.08E-08	7.39E-09	6.17E-09	5.73E-09	5.26E-09
WNW	—	—	—	—	—	—	1.13E-08	7.69E-09	5.89E-09	4.75E-09	4.15E-09	3.66E-09
NW	—	1.41E-07	—	—	—	9.15E-09	5.11E-09	3.81E-09	3.09E-09	2.57E-09	2.25E-09	2.04E-09
NNW	—	—	—	—	1.08E-08	7.27E-09	4.36E-09	3.26E-09	2.62E-09	2.23E-09	2.05E-09	1.86E-09

表 6.2-9 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

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	—	1.47E-07	—	4.28E-08	1.43E-08	9.67E-09	5.72E-09	4.44E-09	3.35E-09	2.86E-09	2.59E-09	2.88E-09
NNE	—	1.74E-07	—	5.25E-08	1.94E-08	1.09E-08	6.36E-09	4.59E-09	3.66E-09	3.13E-09	2.83E-09	2.57E-09
NE	—	1.99E-07	8.67E-08	4.94E-08	2.24E-08	1.06E-08	6.26E-09	4.51E-09	3.65E-09	3.18E-09	2.77E-09	2.58E-09
ENE	—	—	—	—	—	1.25E-08	7.39E-09	5.27E-09	4.18E-09	3.54E-09	3.09E-09	2.79E-09
E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ESE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
WSW	—	—	—	—	—	—	1.21E-08	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—	1.76E-08	1.24E-08	8.57E-09	7.13E-09	6.82E-09	6.14E-09
WNW	—	—	—	—	—	—	1.30E-08	8.95E-09	6.88E-09	5.61E-09	4.85E-09	4.27E-09
NW	—	1.53E-07	—	—	—	1.06E-08	6.04E-09	4.45E-09	3.59E-09	3.02E-09	2.62E-09	2.38E-09
NNW	—	—	—	—	1.19E-08	8.32E-09	5.02E-09	3.74E-09	3.02E-09	2.58E-09	2.41E-09	2.16E-09

表 6.2-10 气态和液态途径对各子区公众个人（儿童）造成的有效剂量

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	—	1.36E-07	—	3.80E-08	1.31E-08	8.32E-09	4.90E-09	3.72E-09	2.81E-09	2.35E-09	2.16E-09	2.38E-09
NNE	—	1.62E-07	—	4.80E-08	1.74E-08	9.42E-09	5.43E-09	3.89E-09	3.05E-09	2.61E-09	2.41E-09	2.15E-09
NE	—	1.85E-07	7.92E-08	4.50E-08	1.97E-08	9.10E-09	5.30E-09	3.80E-09	3.06E-09	2.71E-09	2.30E-09	2.18E-09
ENE	—	—	—	—	—	1.08E-08	6.31E-09	4.47E-09	3.51E-09	2.99E-09	2.59E-09	2.32E-09
E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ESE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
WSW	—	—	—	—	—	—	1.06E-08	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—	1.55E-08	1.07E-08	7.42E-09	6.10E-09	5.84E-09	5.14E-09
WNW	—	—	—	—	—	—	1.12E-08	7.65E-09	5.84E-09	4.78E-09	4.07E-09	3.54E-09
NW	—	1.39E-07	—	—	—	9.08E-09	5.21E-09	3.74E-09	2.98E-09	2.53E-09	2.16E-09	1.94E-09
NNW	—	—	—	—	1.08E-08	7.13E-09	4.25E-09	3.13E-09	2.52E-09	2.15E-09	2.05E-09	1.79E-09

表 6.2-11 气态和液态途径对各子区公众个人（婴儿）造成的有效剂量

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	—	1.01E-07	—	2.56E-08	1.04E-08	5.57E-09	3.15E-09	2.36E-09	1.80E-09	1.54E-09	1.39E-09	1.50E-09
NNE	—	1.20E-07	—	3.10E-08	1.29E-08	6.27E-09	3.49E-09	2.46E-09	1.95E-09	1.65E-09	1.47E-09	1.35E-09
NE	—	1.25E-07	5.30E-08	2.93E-08	1.38E-08	6.15E-09	3.49E-09	2.46E-09	1.97E-09	1.67E-09	1.49E-09	1.36E-09
ENE	—	—	—	—	—	7.29E-09	4.13E-09	2.89E-09	2.25E-09	1.88E-09	1.65E-09	1.49E-09
E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ESE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
WSW	—	—	—	—	—	—	7.44E-09	—	—	—	—	—
W	—	—	—	—	—	—	1.09E-08	7.26E-09	5.04E-09	4.04E-09	3.63E-09	3.20E-09
WNW	—	—	—	—	—	—	7.38E-09	4.93E-09	3.72E-09	2.99E-09	2.56E-09	2.25E-09
NW	—	1.01E-07	—	—	—	6.05E-09	3.33E-09	2.39E-09	1.91E-09	1.60E-09	1.40E-09	1.28E-09
NNW	—	—	—	—	8.66E-09	4.77E-09	2.74E-09	2.01E-09	1.62E-09	1.39E-09	1.28E-09	1.16E-09

表 6.2-12 气态和液态途径造成各子区公众集体有效剂量

单位：人 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	合 计
N	—	1.77E-04	—	2.86E-04	1.41E-03	6.29E-04	7.49E-04	2.92E-04	1.80E-04	2.13E-04	2.08E-04	8.66E-04	5.01E-03
NNE	—	9.21E-04	—	1.62E-04	1.84E-03	9.62E-04	7.40E-04	5.34E-04	3.47E-04	3.18E-04	1.15E-03	1.76E-03	8.73E-03
NE	—	4.78E-04	5.73E-05	1.40E-04	2.74E-04	6.45E-04	4.62E-04	3.03E-04	4.29E-04	3.83E-05	4.26E-04	2.44E-03	5.69E-03
ENE	—	—	—	—	—	8.69E-04	1.53E-03	1.30E-03	6.38E-04	1.37E-03	6.41E-04	6.27E-04	6.98E-03
E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ESE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
WSW	—	—	—	—	—	—	6.84E-04	—	—	—	—	—	6.84E-04
W	—	—	—	—	—	—	2.99E-04	1.87E-03	2.32E-03	1.54E-04	5.39E-04	6.67E-04	5.85E-03
WNW	—	—	—	—	—	—	3.06E-04	9.43E-04	7.87E-04	1.86E-03	5.79E-04	5.36E-05	4.53E-03
NW	—	5.52E-04	—	—	—	2.69E-04	1.79E-03	4.04E-04	1.47E-04	4.23E-04	4.39E-05	4.74E-05	3.68E-03
NNW	—	—	—	—	5.20E-05	5.34E-04	5.70E-04	2.55E-04	1.35E-04	2.69E-04	2.49E-04	1.34E-04	2.20E-03
合 计	—	2.13E-03	5.73E-05	5.88E-04	3.58E-03	3.91E-03	7.13E-03	5.91E-03	4.98E-03	4.64E-03	3.83E-03	6.60E-03	<b>4.34E-02</b>



表 6.2-13 海洋生物受到的剂量率（单位： $\mu\text{Gy/h}$ ）

机组	生物	内照射剂量率	外照射剂量率	总剂量率
广东陆丰核电 5、6 号机组	深海鱼类	1.46E-03	1.49E-06	1.46E-03
	甲壳类	2.81E-03	1.45E-06	2.81E-03
	藻类	3.31E-03	1.75E-06	3.32E-03
	软体类	6.88E-03	1.59E-06	6.88E-03
	浅水鱼	1.48E-03	2.18E-06	1.48E-03
	浮游植物	1.15E-03	2.91E-06	1.15E-03
	浮游动物	7.76E-03	2.60E-06	7.76E-03

表 6.2-14 陆生生物受到的剂量率（单位： $\mu\text{Gy/h}$ ）

机组	生物	空气外照射	土表外照射	土中外照射	内照射	总剂量率
广东陆丰核电 5、6 号机组	两栖动物	2.64E-04	1.19E-04	0.00E+00	3.14E-04	6.97E-04
	环节动物	0.00E+00	0.00E+00	1.26E-06	2.27E-04	2.28E-04
	腐食节肢动物	0.00E+00	0.00E+00	1.29E-06	2.27E-04	2.28E-04
	鸟类	2.08E-04	1.18E-04	0.00E+00	3.19E-04	6.45E-04
	飞行类昆虫	3.35E-04	1.26E-04	0.00E+00	2.15E-04	6.77E-04
	草本植物	3.21E-04	1.18E-04	0.00E+00	2.71E-04	7.10E-04
	苔藓植物	3.94E-04	1.23E-04	0.00E+00	2.72E-04	7.90E-04
	大型哺乳动物	1.09E-04	6.01E-05	0.00E+00	3.23E-04	4.92E-04
	小型掘洞哺乳动物	0.00E+00	0.00E+00	1.18E-06	3.20E-04	3.21E-04
	腹足纲软体动物	3.06E-04	1.26E-04	0.00E+00	2.27E-04	6.60E-04
	爬行动物	0.00E+00	0.00E+00	1.13E-06	3.19E-04	3.20E-04
	灌木植物	3.96E-04	1.16E-04	0.00E+00	2.72E-04	7.84E-04
	乔木	3.96E-04	9.60E-05	0.00E+00	3.15E-04	8.07E-04

表 6.2-15（1/2） 放射性核素通过各种照射途径对关键人群组个人造成的有效剂量（Sv/a）

（N方位1.5 km，后埔村青少年）

序号	核素	空气浸没外照射		地面沉积物外照射		吸入内照射		食入陆生食品内照射		岸边沉积物外照射		水上活动外照射		食入海产品内照射		气态和液态途径	
		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	—	—	—	—	3.10E-09	3.62	1.89E-09	2.21	—	—	—	—	2.32E-10	0.27	5.22E-09	6.10
2	<sup>14</sup> C	—	—	—	—	—	—	7.08E-08	82.71	4.89E-15	0.00	2.86E-22	0.00	5.72E-09	6.68	7.65E-08	89.37
3	<sup>85</sup> Kr	8.38E-12	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8.38E-12	0.01
4	<sup>85m</sup> Kr	2.34E-11	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.34E-11	0.03
5	<sup>87</sup> Kr	1.42E-10	0.17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.42E-10	0.17
6	<sup>88</sup> Kr	6.48E-10	0.76	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.48E-10	0.76
7	<sup>133</sup> Xe	7.88E-11	0.09	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.88E-11	0.09
8	<sup>133m</sup> Xe	2.23E-12	0.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.23E-12	0.00
9	<sup>135</sup> Xe	3.12E-10	0.36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.12E-10	0.36
10	<sup>138</sup> Xe	2.12E-10	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.12E-10	0.25
11	<sup>51</sup> Cr	1.07E-17	0.00	9.88E-15	0.00	1.60E-16	0.00	2.87E-15	0.00	3.39E-13	0.00	3.43E-16	0.00	1.00E-11	0.01	1.04E-11	0.01
12	<sup>54</sup> Mn	2.97E-17	0.00	3.01E-13	0.00	6.16E-16	0.00	1.51E-13	0.00	1.53E-11	0.02	6.97E-16	0.00	3.42E-11	0.04	4.99E-11	0.06
13	<sup>59</sup> Fe	4.31E-17	0.00	5.90E-14	0.00	1.40E-15	0.00	2.31E-14	0.00	2.28E-12	0.00	1.53E-15	0.00	3.52E-10	0.41	3.54E-10	0.41
14	<sup>58</sup> Co	2.67E-16	0.00	6.13E-13	0.00	4.79E-15	0.00	1.24E-13	0.00	1.61E-11	0.02	3.27E-15	0.00	7.52E-11	0.09	9.21E-11	0.11
15	<sup>60</sup> Co	2.56E-16	0.00	1.49E-11	0.02	1.07E-14	0.00	5.62E-12	0.01	1.52E-10	0.18	1.20E-15	0.00	5.35E-10	0.63	7.08E-10	0.83
16	<sup>89</sup> Sr	8.32E-21	0.00	1.06E-16	0.00	6.06E-17	0.00	1.91E-15	0.00	1.20E-16	0.00	4.50E-20	0.00	4.03E-15	0.00	6.23E-15	0.00
17	<sup>90</sup> Sr	1.74E-22	0.00	1.02E-15	0.00	3.20E-17	0.00	1.95E-13	0.00	1.91E-17	0.00	2.10E-24	0.00	8.50E-16	0.00	1.97E-13	0.00
18	<sup>91</sup> Sr	1.57E-17	0.00	2.00E-16	0.00	1.12E-16	0.00	1.86E-17	0.00	4.44E-19	0.00	1.10E-18	0.00	7.10E-18	0.00	3.55E-16	0.00
19	<sup>92</sup> Sr	7.04E-17	0.00	2.47E-16	0.00	1.51E-16	0.00	1.07E-19	0.00	3.94E-19	0.00	3.65E-18	0.00	1.01E-19	0.00	4.73E-16	0.00
20	<sup>90</sup> Y	3.69E-23	0.00	2.16E-20	0.00	4.14E-20	0.00	2.27E-19	0.00	1.90E-17	0.00	2.07E-21	0.00	6.42E-15	0.00	6.44E-15	0.00
21	<sup>91</sup> Y	4.05E-22	0.00	4.62E-18	0.00	2.50E-18	0.00	2.59E-17	0.00	1.40E-15	0.00	1.52E-20	0.00	3.61E-14	0.00	3.75E-14	0.00
22	<sup>95</sup> Zr	1.11E-19	0.00	4.91E-16	0.00	7.66E-18	0.00	4.85E-17	0.00	4.88E-14	0.00	3.88E-18	0.00	7.70E-14	0.00	1.26E-13	0.00
23	<sup>95</sup> Nb	2.46E-20	0.00	2.80E-17	0.00	5.05E-19	0.00	4.21E-18	0.00	5.87E-15	0.00	1.89E-18	0.00	5.94E-15	0.00	1.19E-14	0.00
24	<sup>99</sup> Mo	1.75E-17	0.00	1.80E-15	0.00	7.36E-16	0.00	1.37E-15	0.00	2.61E-15	0.00	1.36E-17	0.00	2.15E-14	0.00	2.80E-14	0.00
25	<sup>99m</sup> Tc	3.07E-19	0.00	2.61E-18	0.00	6.16E-19	0.00	2.33E-20	0.00	2.86E-19	0.00	1.07E-17	0.00	1.12E-15	0.00	1.13E-15	0.00
26	<sup>103</sup> Ru	1.15E-19	0.00	1.53E-16	0.00	6.29E-18	0.00	4.94E-17	0.00	5.09E-17	0.00	3.93E-18	0.00	5.63E-14	0.00	5.66E-14	0.00
27	<sup>106</sup> Ru	5.75E-21	0.00	1.06E-16	0.00	7.34E-18	0.00	1.30E-16	0.00	2.49E-17	0.00	2.21E-19	0.00	8.13E-14	0.00	8.16E-14	0.00

表6.2-15（2/2） 各放射性核素通过各种照射途径对关键人群组个人造成的有效剂量（Sv/a）  
（N方位1.5 km，后埔村青少年）

序号	核素	空气浸没外照射		地面沉积物外照射		吸入内照射		食入陆生食品内照射		岸边沉积物外照射		水上活动外照射		食入海产品内照射		气态和液态途径	
		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
28	<sup>106</sup> Rh	—	—	—	—	—	—	—	—	1.18E-27	0.00	1.06E-23	0.00	—	—	1.06E-23	0.00
29	<sup>110m</sup> Ag	7.58E-17	0.00	6.05E-13	0.00	2.37E-15	0.00	3.69E-14	0.00	4.46E-13	0.00	1.74E-15	0.00	3.66E-10	0.43	3.67E-10	0.43
30	<sup>122</sup> Sb	1.20E-17	0.00	1.08E-15	0.00	3.62E-16	0.00	1.81E-15	0.00	3.93E-17	0.00	1.38E-17	0.00	2.45E-13	0.00	2.48E-13	0.00
31	<sup>124</sup> Sb	6.99E-17	0.00	1.32E-13	0.00	2.59E-15	0.00	3.10E-14	0.00	4.96E-14	0.00	8.19E-16	0.00	6.22E-12	0.01	6.43E-12	0.01
32	<sup>131</sup> Te	3.43E-17	0.00	2.43E-17	0.00	3.11E-17	0.00	1.84E-35	0.00	1.18E-20	0.00	6.51E-19	0.00	2.25E-32	0.00	9.05E-17	0.00
33	<sup>131m</sup> Te	1.47E-18	0.00	5.87E-17	0.00	1.25E-17	0.00	2.82E-17	0.00	2.33E-19	0.00	1.62E-19	0.00	4.28E-15	0.00	4.38E-15	0.00
34	<sup>132</sup> Te	7.81E-19	0.00	9.90E-16	0.00	1.06E-16	0.00	7.15E-16	0.00	6.20E-17	0.00	1.54E-18	0.00	7.34E-13	0.00	7.36E-13	0.00
35	<sup>134</sup> Te	1.09E-16	0.00	1.20E-16	0.00	1.10E-16	0.00	4.15E-28	0.00	8.65E-20	0.00	2.83E-18	0.00	4.54E-25	0.00	3.42E-16	0.00
36	<sup>131</sup> I	2.15E-15	0.00	1.76E-12	0.00	1.96E-13	0.00	4.36E-11	0.05	5.51E-16	0.00	3.15E-15	0.00	1.76E-10	0.21	2.22E-10	0.26
37	<sup>132</sup> I	1.12E-14	0.00	1.08E-13	0.00	7.65E-15	0.00	6.49E-18	0.00	6.47E-19	0.00	3.16E-16	0.00	2.74E-17	0.00	1.27E-13	0.00
38	<sup>133</sup> I	5.25E-15	0.00	4.79E-13	0.00	7.47E-14	0.00	9.83E-13	0.00	3.61E-18	0.00	1.85E-16	0.00	6.06E-13	0.00	2.15E-12	0.00
39	<sup>134</sup> I	9.12E-15	0.00	3.37E-14	0.00	2.44E-15	0.00	4.68E-24	0.00	1.31E-19	0.00	1.71E-16	0.00	3.36E-23	0.00	4.54E-14	0.00
40	<sup>135</sup> I	8.02E-15	0.00	2.04E-13	0.00	1.63E-14	0.00	7.12E-15	0.00	1.48E-18	0.00	2.70E-16	0.00	1.29E-14	0.00	2.48E-13	0.00
41	<sup>134</sup> Cs	4.27E-15	0.00	9.24E-11	0.11	2.40E-13	0.00	4.89E-11	0.06	3.19E-12	0.00	1.35E-15	0.00	2.45E-11	0.03	1.69E-10	0.20
42	<sup>136</sup> Cs	2.27E-16	0.00	9.49E-14	0.00	2.76E-15	0.00	3.11E-14	0.00	8.42E-14	0.00	2.11E-15	0.00	2.31E-12	0.00	2.52E-12	0.00
43	<sup>137</sup> Cs	2.49E-15	0.00	2.70E-10	0.32	4.17E-13	0.00	2.04E-10	0.24	1.99E-12	0.00	5.74E-17	0.00	2.56E-11	0.03	5.02E-10	0.59
44	<sup>138</sup> Cs	3.32E-15	0.00	2.59E-15	0.00	7.61E-16	0.00	2.21E-30	0.00	4.50E-18	0.00	7.28E-17	0.00	1.02E-28	0.00	6.75E-15	0.00
45	<sup>140</sup> Ba	6.37E-19	0.00	2.76E-16	0.00	2.00E-16	0.00	1.37E-15	0.00	8.80E-16	0.00	1.33E-17	0.00	1.11E-13	0.00	1.14E-13	0.00
46	<sup>140</sup> La	2.26E-19	0.00	1.14E-17	0.00	1.37E-18	0.00	4.00E-18	0.00	3.13E-14	0.00	2.02E-16	0.00	8.61E-13	0.00	8.93E-13	0.00
47	<sup>141</sup> Ce	1.82E-20	0.00	2.08E-17	0.00	8.49E-18	0.00	4.41E-17	0.00	2.13E-15	0.00	6.06E-19	0.00	8.80E-14	0.00	9.02E-14	0.00
48	<sup>143</sup> Ce	1.14E-18	0.00	5.54E-17	0.00	4.10E-17	0.00	8.07E-17	0.00	2.53E-17	0.00	1.73E-19	0.00	6.68E-15	0.00	6.88E-15	0.00
49	<sup>144</sup> Ce	2.83E-21	0.00	6.71E-17	0.00	1.58E-17	0.00	1.20E-16	0.00	5.93E-15	0.00	2.05E-20	0.00	1.50E-13	0.00	1.56E-13	0.00
50	<sup>143</sup> Pr	4.90E-23	0.00	3.61E-20	0.00	2.65E-18	0.00	2.00E-17	0.00	1.18E-17	0.00	4.62E-21	0.00	7.11E-14	0.00	7.11E-14	0.00
51	<sup>144</sup> Pr	2.34E-21	0.00	1.20E-21	0.00	1.36E-20	0.00	—	—	8.40E-20	0.00	7.11E-20	0.00	3.11E-41	0.00	1.72E-19	0.00
合计		1.43E-09	1.67	3.82E-10	0.45	3.10E-09	3.62	7.30E-08	85.21	1.92E-10	0.22	1.76E-14	0.00	7.56E-09	8.83	8.56E-08	100.00
气态途径：7.79E-08(Sv)，占总剂量的百分比：90.94										液态途径：7.76E-09(Sv)，占总剂量的百分比：9.06							

百分数指占总剂量的百分比

表 6.2-16 公众受照辐射剂量“三关键”计算分析结果

a) 关键组居民及其受照剂量

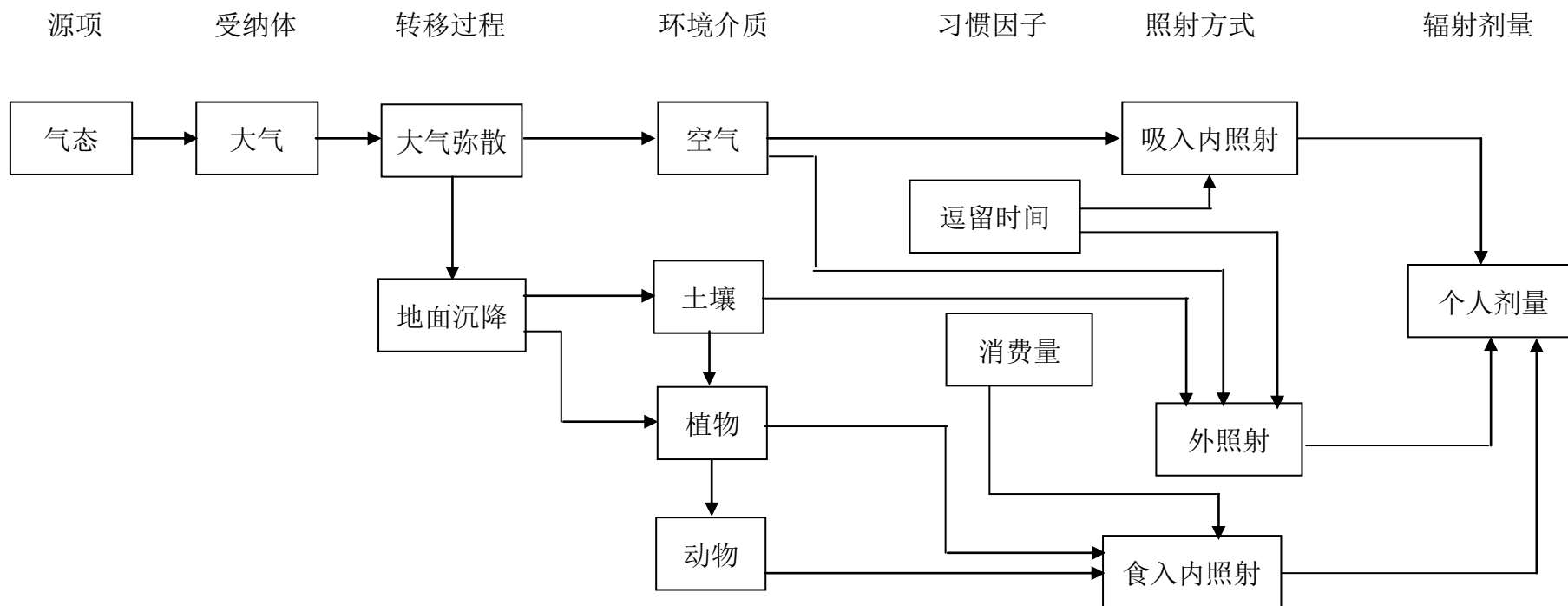
方位	距离 (km)	群体	有效剂量— $H_E$ (Sv/a)
NE	1.5	后埔村青少年	8.56E-08

b) 关键照射途径和重要照射途径

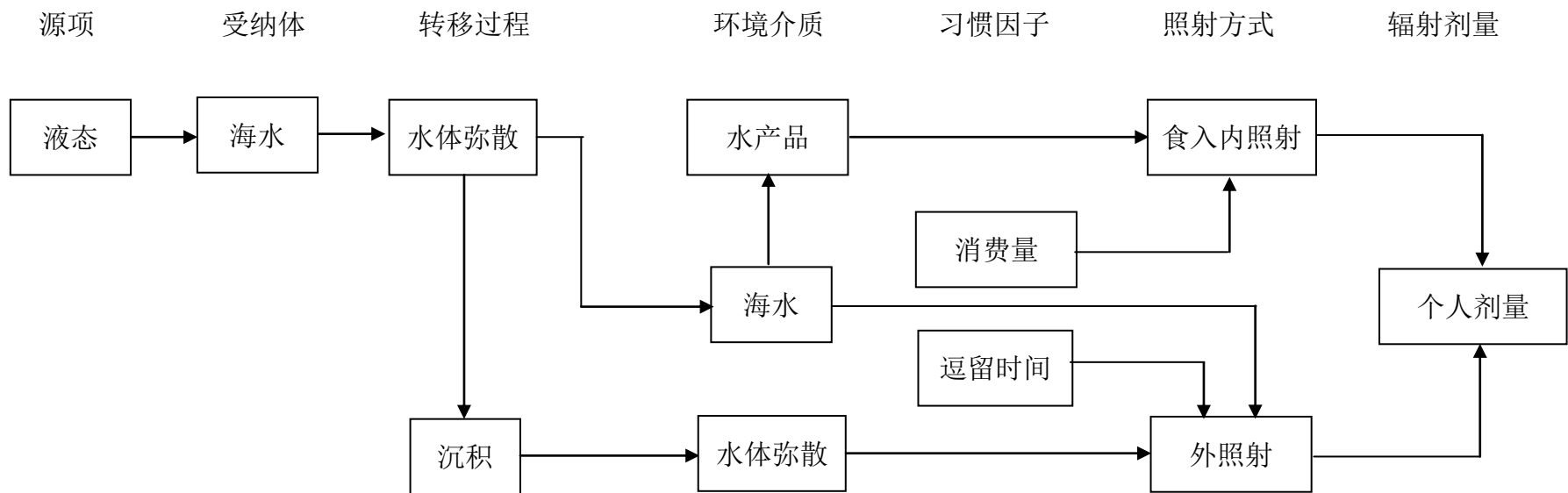
名称		有效剂量 (Sv/a)	占 $H_E$ 的份额 (%)
关键照射途径	食入陆生食品内照射	7.30E-08	85.21
重要照射途径	食入海产品内照射	7.56E-09	8.83
	吸入空气内照射	3.10E-09	3.62

c) 关键核素和重要核素

名称		剂量贡献 (Sv/a)	占 $H_E$ 的份额 (%)	主要照射途径及占 $H_E$ 的份额 (%)
关键核素	$^{14}\text{C}$	7.65E-08	89.37	食入陆生食品内照射: 82.71
重要核素	$^3\text{H}$	5.22E-09	6.10	空气吸入内照射: 3.62
	$^{60}\text{Co}$	7.08E-10	0.83	食入海产品内照射: 0.63



广东陆丰核电 5、6 号机组		
环境影响报告书（选址阶段）		
气态照射途径		
图 6.2-1	版次：	A



广东陆丰核电 5、6 号机组		
环境影响报告书（选址阶段）		
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 其他污染物的环境影响

## 6.3 其它环境影响

广东陆丰核电 5、6 号机组正常运行时，可能造成的环境影响除了前述温排水影响和辐射影响外，还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、海水淡化系统排放的浓盐水等非放射性的影响。核电厂排放的化学物质主要来自于非放射性化学物质排放、污水处理系统的流出物排放以及海水连续加氯处理系统的余氯排放等工艺过程。

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

#### 6.3.1.1 余氯排放的影响

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降低，通常在循环冷却系统取水加入一定浓度的次氯化物。加氯处理虽然抑制了浮游生物在管道内的繁殖，但也造成电厂排放冷却水中含有一定量的余氯。

余氯对水生生物构成的影响，不仅来自于氯直接作用于水生生物，还包括氯可在水中与有机物形成一系列有机氯化物，对水生生物带来更大的损伤，甚至可能通过食物链对人体健康造成危害，因此需要关注余氯对受纳水体的环境影响。

余氯进入水体后可水解生成游离有效氯（ $\text{HClO}$  和  $\text{ClO}^-$ ），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，实际情况中它们对水生生物的影响差别不大。水体化学性质、pH、温度以及外界光照，对余氯生物效应都有影响。较低的 pH 值和  $\text{NH}_3$  含量及较高的温度，都有利于余氯毒性增强；光照会引起余氯衰减，降低其生物毒性。

浮游植物受余氯损害较大。国内研究人员发现，0.2mg/L 的氯可以直接杀死水中 60~80% 的藻类；0.1mg/L 的氯会使浮游植物光合作用下降 50%；当余氯被稀释到 0.03mg/L 以下时，水中初级生产力可完全恢复；25℃ 时余氯对咸水中浮游动物的 96h 半致死浓度（ $\text{LC}_{50}$ ）为 0.062~0.267mg/L；鱼类受余氯影响也较大，余氯对平鲷等几种海水鱼类 48h 的  $\text{LC}_{50}$  为 0.18~0.19mg/L；白鲢、银蛙等 10 种鱼类对氯的回避相应浓度范围为 0.04~0.41mg/L。有研究提出由 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。目前国内尚没有对水体中余氯浓度的标准限值。



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  $20\mu\text{g/L}$  时，不论作用多长时间，也不会对海洋生物有毒性作用。美国 EPA 于 2006 年发布的水质基准中，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和慢性损伤的基准连续浓度分别为  $13\mu\text{g/L}$  和  $7.5\mu\text{g/L}$ 。

核电厂正常运行过程中，通常需要向循环冷却水中连续加入  $1\text{mg/L}$  的次氯化物以抑制海洋生物在管道内的繁殖。根据国内同类电厂的运行经验，估计广东陆丰核电 5、6 号机组正常运行情况下，排水口处水中余氯浓度不高于  $0.15\text{mg/L}$ 。根据南京水利科学研究院开展的低放数模计算结果，本工程两台机组正常运行时排放的余氯在附近海域全潮下稀释 10 倍的浓度（即相对浓度为 0.1，余氯绝对浓度值为  $15\mu\text{g/L}$ ）最大包络面积为  $1.08\text{km}^2$ （冬季）。

另外，考虑到光照引起的余氯衰减以及核电厂附近海域较高的 pH 值（平均  $\text{pH}>8.0$ ）均会降低余氯毒性，因此，可估计核电厂排放的余氯的影响区域仅在排水口附近有限的海域，对附近海域中海洋生物的影响范围很小。

### 6.3.1.2 非放射性化学物质排放的影响

为了保证核电厂的正常运行，需要对电厂工艺用水进行除盐处理，通过加入一定数量的腐蚀抑制剂或化学活性添加剂（如盐酸、次氯酸钠、联胺等），将淡水经絮凝、沉淀和离子交换除盐，以实现各系统用水的水质要求。除盐过程加入的化学添加剂，除一部分进入固体废物处理外，其余将随电厂温排水排入厂址附近海域。此外，液体放射性废物的处理过程也需要加入少量的化学添加剂，其产生的废水中相应的也会含有一些化学物质。

根据报告书 4.7 节给出的核电厂化学物质使用情况，陆丰核电 5、6 号机组在正常运行期间排入受纳水体的主要的化学物质可能包括氯化物、无机氮等。

- 氯化物 ( $\text{Cl}^-$ )：氯化物本身的毒性很低，在低浓度条件下可被水生植物作营养物质。核电厂排放氯化物经冷却水完全混合后浓度为  $0.13\text{mg/L}$ ，按盐度计算公式该氯化物产生盐度约为  $0.24\text{mg/L}$ ，远低于厂址附近海水天然盐度约 30‰（ $30000\text{mg/L}$ ）左右，因此不会对周围海洋生物产生明显影响。
- 无机氮 (N) 是水生植物生长所必需的元素，也是造成海洋赤潮的重要物质。

GB3097-1997中二类海水标准限值为0.30mg/L，附近海域中无机氮的自然背景值0.003-1.609mg/L。本工程排放的无机氮经冷却水完全混合后浓度约0.10mg/L，预计造成的排放口浓度增量在其正常涨落范围内。

从以上估算结果可以看出，由于核电厂运行中使用的化学物质相对较少，核电厂运行在排放口中产生的浓度增量或远低于国内外的其他标准限值，或在环境中的本底背景值正常涨落范围内，因此预计不会对排放口附近海域环境及海洋生物造成不利影响。

### 6.3.2 其他污染物的影响

#### 6.3.2.1 生产废水排放的影响

核电厂的生产废水主要为正常运行期间产生的少量含油废水，主要来自于机油零星泄漏和对机械设备的清洗。含油废水送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；分离出的水排至厂外接纳水体。出水在处理达到《广东省水污染物排放限值》（DB44/26-2001）中第二时段一级标准后，与大量的温排水混合后排放，因其排放量极少，预计不会对排放口周围海域造成影响。

#### 6.3.2.2 生活污水排放的影响

陆丰 5、6 号机组的主厂区内拟建一座生活污水处理站以满足全厂运行、值班人员生活污水处理的需要。生活污水处理站处理工艺拟采用活性污泥法。污水处理站处理能力为 480m<sup>3</sup>/d，出水水质需达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准，处理后的水部分用于厂区绿化及道路浇洒。沉淀池中的污泥经脱水浓缩制成泥饼后外运。污水站出水处理达标后排入海域，不会对附近海洋环境造成不良影响。

#### 6.3.2.3 非放射性固废对环境的影响

陆丰核电 5、6 号机组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，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、废变压器和废空调等，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。固废将纳入全厂固废收集处理系统，并委托专业废弃物公司（其中危废处置将委托相关有资质单位）外运处置。

5、6 号机组运行期间产生的生活垃圾主要来源于厂区办公及员工生活区的垃圾。生活垃圾实行袋装分类收集，并委托当地环卫所定期收集处理，餐饮废弃物由专门机构上门清运。在落实固废收集和处置工作后，本工程非放射性固废对环境的影响较小。

#### 6.3.2.4 噪声对环境的影响

核电厂运行噪声主要来自核岛厂房群和汽轮机厂房中高速运转和有高速流体流动的设备。核岛厂房群的噪声主要来自五个方面：

- 大量高温高压水泵及配套电动机在不停地高速运转；
- 柴油发电机组在热备用状态下的高速运转；
- 为大型空调和通风系统服务的电动鼓风机不停运转；
- 工艺过程的泄压释放系统的安全阀、管道和箱罐等，在执行排放或泄压功能时发出很强噪声；
- 电气系统的部分设备也会发出很强噪声，例如：为反应堆控制棒驱动机构供电的发电机组、开式变压器、逆变器等。

汽轮发电机厂房的噪声主要来自以下四个方面：

- 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蒸汽通过安全阀和泄压阀向大气排放时，会产生极强气体动力噪声，但发生概率非常低。

根据国内核电厂相关资料，每台泵、风机、设备的噪声源强为 85~110dB（A）。类比国内同类电厂噪声预测影响范围，考虑到陆丰核电 5、6 号机组最近居民点位于厂址 NW 方位 1.4km 的浅澳村，厂址非居住区边界范围为反应堆半径 500m，因此预计噪声对厂界和敏感点的声环境影响较小。

#### 6.3.2.5 电磁环境的影响

对于陆丰核电厂厂内 500kV 开关站的环境影响，类比红沿河核电厂 1、2 号机组，根据红沿河核电厂 2014 年期间 500kV 开关站及送电线路环境监测结果，开关站围墙外 5m 处的最大工频电场强度为 111.3V/m，最大磁感应强度为 0.2531 $\mu$ T，均小于 GB8702-2014 中工频电场 4kV/m、磁感应强度 0.1mT 的限值；500kV 送电线路工频电场最大值出现于线路正下方，为 1563V/m；磁感应强度最大值同样出现于线路正下方，为 0.9630 $\mu$ T，均满足 GB8702-2014 中的限值。根据类比监测结果表明，陆丰核电厂 500kV 开关站的电磁辐射能够满足相关评价标准。

陆丰核电厂 500kV 开关站外最近居民点为位于厂址 NW 方位 1.4km 的浅澳村，预计其工频电磁场强度将降至本底水平。因此，开关站投运后对周围居民不会产生不利影响。

#### 6.3.2.6 海水淡化环境影响

陆丰核电 5、6 号机组除盐水生产系统补水、生产用水水源由海水淡化系统供给，拟采用反渗透法海水淡化方案。海水淡化系统中，混凝沉淀池的泥渣废水排至污泥浓缩池，然后污泥经过脱水后运出厂区由相关有资质单位处理；污泥浓缩池排出的清水、V 型砂滤池和超滤反洗水达标排放，海淡一级反渗透浓水经过能量交换后排至循环水系统 BCC 井，经循环水排水稀释后排放，经混合后盐度增量有限，预计浓盐水排放不会对厂址附近海域环境造成明显影响。海淡二级反渗透浓水回流至超滤产水箱进行再利用。

## 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 场内运输事故

### 7.3 其它事故

### 7.4 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

#### 7.1.1.1 事故描述

#### 7.1.1.2 事故源项

### 7.1.2 事故后果计算

#### 7.1.2.1 事故大气弥散因子

#### 7.1.2.2 事故剂量

### 7.1.3 事故后果评价

### 7.1.4 参考资料

表

表 7.1-1 非居住边界上公众个人有效剂量

表 7.1-2 规划限制区外边界上公众个人有效剂量

表 7.1-3 厂址半径 80km 范围内公众受到的集体有效剂量

表 7.1-4 公众个人剂量和集体剂量与国家标准的比较

## 7.1 核电厂放射性事故和后果评价

根据我国国家标准《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的规定：核动力厂周围应设置非居住区和规划限制区。非居住区和规划限制区边界的确定应考虑选址假想事故的放射性后果。不要求非居住区是圆形，可以根据厂址的地形、地貌、气象、交通等具体条件确定，但非居住区边界离反应堆的距离不得小于 500m；规划限制区半径不得小于 5km。

核动力厂的选址假想事故仅适用于审批厂址阶段，作为确定厂址非居住区、规划限制区边界的依据。对于水冷反应堆，该事故一般应考虑全堆芯熔化，否则应进行充分有效的论证。

### 7.1.1 事故描述和事故源项

#### 7.1.1.1 事故描述

核电厂选址假想事故是用于厂址适宜性评价的假想事故，这种事故发生的概率（ $<10^{-4}$ /堆年）极小，是在核电厂寿期内极不可能发生的假想事故。对于压水堆核电厂，是指堆芯大规模熔化，导致堆芯内放射性物质向环境释放达到最严重的事故。

#### 7.1.1.2 事故源项

广东陆丰核电5、6号机组拟采用华龙一号融合技术方案，选址假想事故条件下，以华龙一号堆芯放射性积存量为基础（考虑+2%的不确定性）进行事故源项计算，事故源项计算包括以下步骤：

（1）事故后释放进入安全壳大气的放射性核素。堆芯及一回路向安全壳大气的放射性释放分为三个阶段：

— 一回路释放阶段：一回路冷却剂中放射性核素，假设该部分核素在事故开始0s瞬间进入内层安全壳大气中；

— 包壳释放阶段：燃料芯块和包壳间隙内的放射性核素，假设该部分核素在事故后30s瞬间进入安全壳；

— 早期压力容器内释放阶段：由于燃料融化，造成部分燃料芯块中的放射性物质向外释放，假设该部分核素在事故后0.5h瞬间进入安全壳。

（2）内层安全壳内放射性活度随时间的变化情况，进而计算由内层安全壳向内外层安

全壳之间环廊释放的核素活度。根据环廊向安全壳外通风流量及过滤器去除效率计算环廊向安全壳外环境释放源项。

（3）安全壳外安注管线泄漏到环境的放射性源项及安全壳旁通泄漏的放射性源项。

## 7.1.2 事故后果计算

广东陆丰核电 5、6 号机组暂按机组半径 500m 作为非居住区边界，机组半径 5km 作为规划限制区边界。

### 7.1.2.1 事故大气弥散因子

事故后果计算中使用的小时大气弥散因子采用苏州热工研究院有限公司开发的改进版 CEIRA 程序系统计算。CEIRA 程序系统采用了高斯烟羽模式。

本章采用厂址气象观测系统 2018 年 7 月至 2019 年 6 月连续 12 个月的逐时气象观测数据，以及厂址大气扩散参数计算事故期间各时段大气弥散因子。

（1）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

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 的释放时段的事事故大气弥散因子，则利用 2h 时段的事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。

（2）用于事故集体剂量计算的大气弥散因子

对于用于事故集体剂量计算的各时段的大气弥散因子，首先采用高斯扇形平均公式计算厂址半径 80km 范围内 192 个子区、99.5% 概率水平下的小时大气弥散因子，作为 0~2h 的事故大气弥散因子，对于持续时间长于 2h 的释放时段的事事故大气弥散因子，则利用 0~2h 时段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。

### 7.1.2.2 事故剂量

（1）事故剂量估算模式

在事故释放期间，考虑公众可能受到的辐射照射途径包括如下途径：

— 烟云浸没外照射；



— 空气吸入内照射；

(2) 剂量转换因子

— 惰性气体

烟云浸没外照射剂量转换因子取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；

— 碘和碱金属

吸入内照射有效剂量转换因子主要取自国际辐射防护委员会（ICRP）71号出版物和GB18871-2002；烟云浸没外照射剂量转换因子主要取自国际原子能机构（IAEA）19号安全报告（2001）；

(3) 呼吸率

呼吸率取自美国核管理委员会管理导则RG1.183：

— 0~8h时间段： $B_r=3.5 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ ；

— 8~24h时间段： $B_r=1.8 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ ；

— 24~720h时间段： $B_r=2.3 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ 。

表 7.1-1 和表 7.1-2 给出了非居住区边界和规划限制区外边界上的事故放射性剂量，从表可以得出：

— 事故后0~2h内，非居住区边界上公众个人（成人）最大有效剂量为  $4.46 \times 10^{-2} \text{Sv}$ ；

— 事故后0~30d内，规划限制区边界上公众个人（成人）最大有效剂量为  $3.72 \times 10^{-2} \text{Sv}$ 。

根据厂址半径80km范围内各子区计算得到的公众个人有效剂量以及运行首年的预期人口数据，计算了选址假想事故持续期间内对各子区内公众可能造成的集体有效剂量。表7.1-3给出了厂址半径80km范围内各子区公众在选址假想事故发生持续期间受到的集体有效剂量。从表中可以看出，选址假想事故发生期间30d内，厂址半径80km范围公众受到最大集体有效剂量为  $8.13 \times 10^3 \text{人} \cdot \text{Sv}$ 。

### 7.1.3 事故后果评价

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011），在发生选址假想事故时，

考虑保守大气弥散条件，非居住区边界上的任何个人在事故发生后的任意 2h 内通过烟云浸没外照射和吸入内照射途径所接受的有效剂量不得大于 0.25Sv；规划限制区边界上的任何个人在事故的整个持续期间内（可取 30d）通过上述两条照射途径所接受的有效剂量不得大于 0.25Sv。在事故的整个持续期间内，厂址半径 80km 范围内公众群体通过上述两条照射途径接受的集体有效剂量应小于  $2 \times 10^4$  人·Sv。

表 7.1-4 给出了事故剂量与国家标准的比较。

#### （1）个人剂量

选址假想事故发生后 2h 内，拟定非居住区边界上的公众个人（成人）受照最大有效剂量为  $4.46 \times 10^{-2}$  Sv，占国家标准限值的 17.8%；事故持续时间 30d 内，规划限制区边界上的公众个人（成人）受照最大有效剂量为  $3.72 \times 10^{-2}$  Sv，占国家标准限值的 14.9%。

#### （2）集体剂量

选址假想事故发生持续期间 30d 内，厂址半径 80km 范围内公众群体所受到的最大集体有效剂量为  $8.13 \times 10^3$  人·Sv，占国家标准限值的 40.7%。

因此，基于选址假想事故的辐射影响评价结果分析，拟定非居住区边界、规划限制区边界能够满足核安全相关法规的要求。

表 7.1-1 非居住区边界上公众个人有效剂量（0~2h）

方位	距离（m）	有效剂量（Sv）
N	500	1.88E-02
NNE	500	2.26E-02
NE	500	2.25E-02
ENE	500	1.75E-02
E	500	1.71E-02
ESE	500	2.96E-02
SE	500	3.02E-02
SSE	500	3.12E-02
S	500	4.17E-02
<b>SSW</b>	<b>500</b>	<b>4.46E-02</b>
SW	500	3.94E-02
WSW	500	2.78E-02
W	500	2.08E-02
WNW	500	1.72E-02
NW	500	1.68E-02
NNW	500	1.35E-02
全厂址		3.83E-02

表7.1-2 规划限制区外边界上公众个人有效剂量（0~30d）

方位	距离（m）	有效剂量（Sv）
N	5000	8.95E-03
NNE	5000	1.02E-02
NE	5000	9.65E-03
ENE	5000	7.52E-03
E	5000	7.10E-03
ESE	5000	1.78E-02
SE	5000	1.83E-02
SSE	5000	1.94E-02
S	5000	3.28E-02
<b>SSW</b>	<b>5000</b>	<b>3.72E-02</b>
SW	5000	3.18E-02
WSW	5000	2.01E-02
W	5000	1.07E-02
WNW	5000	7.96E-03
NW	5000	7.26E-03
NNW	5000	5.26E-03
全厂址		3.21E-02

表 7.1-3 整个事故期间厂址半径 80km 范围内公众受到的集体有效剂量

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	—	5.35E+01	—	8.59E+01	5.57E+02	1.73E+02	1.68E+02	6.08E+01	3.99E+01	4.53E+01	4.26E+01	1.42E+02	1.37E+03
NNE	—	2.94E+02	—	4.59E+01	5.96E+02	2.29E+02	1.71E+02	1.26E+02	8.07E+01	7.22E+01	2.50E+02	3.73E+02	2.24E+03
NE	—	1.28E+02	1.78E+01	4.03E+01	7.60E+01	1.47E+02	1.05E+02	7.03E+01	9.76E+01	8.49E+00	9.21E+01	5.07E+02	1.29E+03
ENE	—	—	—	—	—	1.32E+02	2.26E+02	2.01E+02	9.91E+01	2.12E+02	9.75E+01	9.31E+01	1.06E+03
E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ESE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
WSW	—	—	—	—	—	—	1.71E+02	—	—	—	—	—	1.71E+02
W	—	—	—	—	—	—	2.56E+01	1.63E+02	2.34E+02	1.55E+01	4.28E+01	5.12E+01	5.32E+02
WNW	—	—	—	—	—	—	2.65E+01	8.69E+01	7.50E+01	1.78E+02	5.66E+01	5.28E+00	4.28E+02
NW	—	1.38E+02	—	—	—	4.72E+01	3.32E+02	7.40E+01	2.65E+01	7.56E+01	7.86E+00	8.25E+00	7.10E+02
NNW	—	—	—	—	1.43E+01	8.50E+01	8.75E+01	3.85E+01	2.00E+01	3.91E+01	3.39E+01	1.78E+01	3.36E+02
合计	—	6.14E+02	1.78E+01	1.72E+02	1.24E+03	8.12E+02	1.31E+03	8.21E+02	6.72E+02	6.46E+02	6.23E+02	1.20E+03	<b>8.13E+03</b>

表 7.1-4 事故公众个人剂量和集体剂量与国家标准的比较

项 目	剂量结果	GB6249-2011 事故剂量限值	占限值比 例
事故后任意 2 小时内非居住区边界（500m） 个人受照的最大有效剂量（Sv）	$4.46 \times 10^{-2}$	0.25	17.8%
整个事故持续期间内规划限制区边界（5km） 个人受照的最大有效剂量（Sv）	$3.72 \times 10^{-2}$	0.25	14.9%
整个事故持续期间内厂址半径 80km 范围内公 众个人受照的集体有效剂量（人.Sv）	$8.13 \times 10^3$	$2 \times 10^4$	40.7%

7.2 场内运输事故

7.2.1 新燃料运输事故

7.2.2 乏燃料运输事故

7.2.3 固体废物运输事故

## 7.2 场内运输事故

### 7.2.1 新燃料运输事故

新燃料运输货包的设计和制造应同时满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）、《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令 第 562 号）和交通运输部《放射性物品道路运输管理规定》的要求。

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。

新燃料运输容器设计时应充分考虑可能的事故工况，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和危害人员健康，可达到安全可靠。

### 7.2.2 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。预期的乏燃料运输事故不会对周围环境和人员造成不可接受的后果。

### 7.2.3 固体废物运输事故

核电厂运行产生的放射性固体物质（如废树脂、废过滤器芯子、技术废物等）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。废物包装容器外表面任意一点的表面剂量率不超过 2.0mSv/h，超过此限值者，采用外加屏蔽容器进行运输。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。



### 7.3 其它事故

#### 7.3.1 建设期间其它事故分析

#### 7.3.2 运行期间其它事故分析

## 7.3 其它事故

### 7.3.1 建设期间其它事故分析

核电厂施工建设期间的环境风险主要包括厂平及负挖期间炸药的储存和运输风险、化学品存储和使用风险、山坡开采和道路施工引起滑坡以及施工营地环境卫生问题导致施工人员的健康风险。

核电厂施工阶段一般采用炸药对厂址处岩体进行爆破处理，如炸药储存和运输不当，则可能对施工人员安全及环境安全造成较大风险。核电厂爆破所用炸药集中存放于场外仓库，对炸药入库、出库、运输等过程设专人管理，每次使用前均需向公安部门申报，严格控制炸药使用量。施工过程中，在场地各主要出入口设置警示牌，告知爆破时间，每次爆破前须提前疏散周围施工人员，确保爆炸区无人员车辆后方可实施爆炸作业，将炸药对人员及环境可能产生的风险降至最低。

核电厂可能需要采用一些化学物质和缓蚀剂进行表面处理，以避免设备及管道的盐雾锈蚀和表面氧化。这些化学物质和缓蚀剂主要包括磷酸三钠、硼酸钠、非卤素的有机溶剂和硫酸、磷酸、有机酸等，如保存管理不当，可能造成泄漏风险，对地表土壤及植被生态造成破坏。由于核电厂设备和管道等均在厂内定点存放，并考虑防水防雨等不利影响，因此需后续处理过程较少，化学物质使用量不大。该部分危险废物按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）可以得到安全妥善贮存，产生的废物由生产厂商回收处理。在施工阶段，由于化学品泄漏造成的环境风险较小。

核电厂施工周期较长，施工人数众多，施工期间大量人员涌入电厂区域及附近进行施工和居住，如环境卫生管理不到位，特别在夏季，容易使爆发流行性传染病的机会大大增加，一旦发生疫情，将对整个施工区内的人员健康造成极大威胁。在电厂施工期间，将积极做好施工营地及施工场所的卫生管理，做到垃圾日产日清，提供安全的饮食和饮用水，不会对人员的健康产生风险。若发现人员出现疫情特征，及时送往附近医院治疗，减少疫情大规模扩散的几率，保障施工人员的健康。

### 7.3.2 运行期间其它事故分析

#### 7.3.2.1 火灾、爆炸

### （1）火灾防范

陆丰核电 5、6 号机组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。
- 剂量泵出口装有安全释放阀。
- 所有的储罐，剂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。

## 7.3.2.2 危险化学品事故

### （1）事故描述

陆丰核电 5、6 号机组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。

根据国内核电厂运行经验，核电厂运行期间危险化学品的预期贮存量，各存储单元化学品储量远低于《危险化学品重大危险源辨识》（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

陆丰核电 5、6 号机组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。

7.4 事故应急

7.4.1 核事故应急对策

7.4.2 核电厂应急环境特征

7.4.3 应急响应可行性分析

## 7.4 事故应急

国务院颁布的《核电厂核事故应急管理条例》指出：“有关部门在进行核电厂选址和设计工作时，应当考虑核事故应急工作的要求”。在选址阶段，核安全法规《核电厂厂址选择安全规定》（HAF101）也要求：考虑到公众的潜在辐射后果和执行应急计划的能力，以及可能妨碍执行应急计划的任何外部事件的影响，必须在推荐厂址的周围建立外围地带。在核电厂开始建造前，必须确定在核电厂运行前外围地带不存在妨碍制定应急计划的根本问题。

国际原子能机构（IAEA）第 55 号安全丛书指出：如果核设施的推荐厂址在制定和执行应急计划方面出现了难以克服的特殊困难，则可以成为不选择该厂址的充分理由。按照我国核安全法规《核电厂厂址选择安全规定》（HAF101）的要求，在厂址选择时必须考虑下述与厂址有关的因素，来评价执行应急计划的可行性：

- 人口密度和分布，离人口中心的距离，在事故中难以隐蔽或难撤离的居民群，以及在核电厂预计寿期内上述各项因素的变化；
- 特殊的地理特征，例如岛屿、山地地形、河流以及当地的运输通讯能力；
- 外围地带和区域的经济、工业、农业以及生态和环境特征。

### 7.4.1 核事故应急对策

核电厂运行失误或事故导致核事故应急状态的可能性极小，但仍不能完全排除。因此在核电厂选址阶段就应考虑妨碍或影响执行应急计划的因素。

为了减少事故时公众的辐射影响，根据核安全导则《核动力厂营运单位的应急准备》（HAD002/01）和《地方政府对核动力厂的应急准备》（HAD002/02）的要求，事故应急应包括：隐蔽、简单的呼吸道和体表防护、服用稳定性碘、撤离；避迁、控制食品和水、控制通道、地区去污和人员去污等措施。

为了快速有效地处理核事故发生后的各种问题，最大限度减少事故影响，核电厂业主将与地方政府保持密切联系，积极协助地方政府成立必要的核应急组织，以利于建立切实可行的场外应急计划，并设立相应的核应急监测机构。

### 7.4.2 核电厂应急环境特征

#### （1）应急区域

核事故应急照射有两个基本途径：

- 烟羽照射，包括空气浸没外照射和烟云吸入内照射；
- 食入内照射，包括摄入受污染的食品和水等。

对于这两个基本途径，核电厂周围将建立应急计划区：

- 烟羽应急计划区；
- 食入应急计划区。

根据《核电厂应急计划与准备准则——应急计划区的划分》(GB/T17680.1-2008)，对于压水堆核电厂，烟羽应急计划区在符合安全准则的前提下，一般应在以反应堆为中心、半径 7km~10km 的范围内确定，烟羽应急计划区内区（即应做好采取应急撤离等紧急防护措施准备的区域）一般应在反应堆为中心、半径 3km~5km 的范围内确定；食入应急计划区在应急计划阶段根据应急计划与准备的事故辐射后果综合考虑。

#### （2）人口分布

厂址半径 5km 范围内涉及陆丰市碣石镇的后埔、浅澳、上林、新丰、红坡、角清和前堆共 7 个行政村，13 个自然村。

厂址半径 10km 范围内的医院为碣石镇人民医院。

#### （3）经济形态

厂址 5km 范围内现有的危险品存储设施不会威胁到核设施的安全。

就厂址外围地带的经济、工业、农业以及生态和环境特征而言，暂不存在妨碍在厂址外围地带建立应急计划区的外部事件。

#### （4）道路交通

厂址附近区域的主要公路干线为深汕高速公路、G324 国道、S338 省道、陆丰市沿海公路、X139 县道、X133 县道和 X138 县道。此外，陆丰核电厂进厂道路也已完成通车；应急道路正在规划设计阶段。

#### （5）通讯网络

厂址所在地及附近村镇的电信、移动、联通信号均已覆盖，基本可以满足应急通讯的需求。

### 7.4.3 应急响应可行性分析

核电厂应急响应包括撤离、隐蔽和服稳定碘，本节初步分析烟羽应急计划区实施



撤离、隐蔽和服稳定碘应急响应措施的可行性。

#### 7.4.3.1 应急撤离的可行性

##### (1) 烟羽应急计划区内区撤离的可行性

广东陆丰核电 5、6 号机组 5km 范围内主要的应急撤离道路为应急道路和进厂道路，其中进厂道路已建成通车，按二级公路设计；应急道路规划按三级公路设计，水泥混凝土路面。

实际应急撤离过程中，可通过加强应急撤离的组织管理，按照实际通行情况合理分配场内人员的撤离路线，5km 范围内的居民点可在应急集合点集中后进行有序撤离，考虑到进厂道路的通行能力高于应急道路，且 5km 范围内公众撤离主要依托应急道路，合理安排核电厂场内人员通过应急道路撤离的数量，优化撤离时间。

##### (2) 烟羽应急计划区外区撤离的可行性

广东陆丰核电 5、6 号机组烟羽应急计划区外区公众主要撤离道路为省道 S338 及县道 X133，省道 S338 为二级公路，烟羽应急计划区外区公众撤离不存在困难。

根据调查，厂址半径 10km 范围内部分居民拥有小轿车及摩托车等交通工具，当进入场外应急状态时，部分居民可以利用自有车辆自行撤离，尤其是烟羽应急计划区外区有条件的公众可以预先进行自行撤离，也可以减轻后续撤离的道路压力。

此外，场外应急组织及相关部门可根据实际情况进行撤离安排和指挥，部分路段可采取交通管制措施，优化各个道路的通行车辆数，以避免出现撤离道路出现拥堵状况。

##### (3) 碣石镇新规划对应急撤离的影响

###### 1) 人口控制

通过对老城区的调养和对原有镇域范围内人口的合理引导，碣石镇旧城区人口的机械增长将得到控制，人口密度将不断下降，旧城综合区的总人口将保持在一个较为稳定或逐步减少的状态。随着碣石镇位于烟羽应急计划区外区内的人口不断减少，将大大改善应急撤离条件，有效缩短应急撤离时间。

###### 2) 交通条件改善

根据碣石镇规划，碣石镇将大力发展镇域交通，镇区道路的拓宽疏导、停车站场的布置优化，将大大改善撤离道路的通行条件，提高道路疏散能力。

根据规划，部分拟建道路将为烟羽应急计划区内公众及核电厂人员的撤离提供更多的路径：

- 未来将修建碣澳公路直接向北跨碣石内港接入省道 S338 的公路，撤离人员可直接由应急道路经该公路转入省道 S338 往西北方向撤离，无需进入碣石镇区，大大缓解镇区公众撤离压力；
- 广东滨海旅游公路可为应急撤离提供一条新的撤离路径，缓解现有撤离道路的压力；
- 拟新增县道 SWX006（内湖-核电站）及 SWX008（上埔—联海）将增强厂址区域内北向及东向应急撤离的疏散能力。

综上所述，新规划实施后，碣石镇应急撤离道路条件将大大改善，应急撤离能力将显著加强。

#### （4）玄武山风景旅游区旅游人口对应急撤离的影响

玄武山风景旅游区位于厂址 N 方位约 8km 处，为省级风景名胜区，旅游区中的元山寺在玄武山南麓，占地 15 公顷，是佛道两教合一的宗教活动场所，也是粤东地区重要的名胜古迹。2018 年玄武山风景旅游区共接待游客 200 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，春节期间日高峰接待游客可以达到 30 万人次；旅游人口中大多数为本地居民，也有少部分为外地信徒。

根据碣石镇规划，位于碣石镇旧城区的玄武山风景区位于历史人文景观风貌区，属于古城文化游览区，主要是配合旧城区的调养进行保护性发展，并将在玄武山周边增加大型停车场等，而规划中没有相关的景区大型开发项目，景区旅游人口不会发生大的增长，景区的道路交通及撤离条件将得到改善。

陆丰核电厂应急撤离需要增加考虑旅游人口对撤离产生的影响，且需要按照节假日期间人口数量进行保守考虑，因此，建议如在该时段采取应急撤离行动，需加强玄武山风景旅游区人口撤离的交通管制，合理疏散撤离车辆，优化撤离路线，使对应急撤离产生的影响降至最低，但需关注特定旅游旺季玄武山旅游人口对应急撤离的影响。

### 7.4.3.2 隐蔽和服稳定碘可行性

#### （1）隐蔽的可行性

#### — 场内人员隐蔽

按照HAD002/01以及GB/T17680提出的应急设施设置的基本原则，即“核电厂营运单位应根据其应急响应的需要，并按照日常运行和应急响应积极兼容的原则设置应急设施和设备，但任何按照兼容原则设置的应急设施及其设备应是立即可以用于应急响应的或即时可转换用于应急响应的”，考虑到隐蔽的特点，初步考虑充分利用厂区内已有厂房作为紧急情况下的隐蔽场所，如办公楼、餐厅、宿舍以及会议中心等。

#### — 场外公众隐蔽

广东陆丰核电5、6号机组半径10km范围内的人口主要集中在碣石镇，碣石镇主要的居住条件以2~5层的砖混结构楼房为主，一般没有地下室。在密闭门窗的条件下，具有一定的隐蔽条件。

对于一些不具备隐蔽条件的人群，建议相关部门为其提供公共设施作为隐蔽场所，如医院、图书馆、剧院等，以保障在核电厂事故情况下能够顺利实施隐蔽措施。

#### (2) 服用碘的可行性

服用稳定碘又称碘防护或服碘，当事故已经或可能导致释放碘的放射性同位素的情况下，将含有非放射性碘的化合物（一般为碘化钾）作为一种防护药物分发给公众和应急人员服用，以降低甲状腺的受照剂量。服用稳定碘的通用优化干预水平是100mGy（指甲状腺的可防止的待积吸收剂量）。

碘片的准备、储存、发放和服用，都将由专门的部门负责，尤其是场外的服碘措施，会有政府力量保证，不会存在厂址特殊性的困难。

综上所述，从可能影响执行应急计划可行性的厂址因素分析，陆丰核电厂制定和执行核事故应急计划没有难以克服的困难。

## 第八章 流出物监测和环境监测

### 8.1 辐射监测

#### 8.1.1 流出物监测

#### 8.1.2 辐射环境监测

#### 8.1.3 应急监测

#### 8.1.4 参考资料

### 8.2 其他监测

#### 8.2.1 热影响监测

#### 8.2.2 化学污染物和生活污水监测

### 8.3 监测设施

#### 8.3.1 流出物分析实验室

#### 8.3.2 环境监测设施

### 8.4 质量保证

#### 8.4.1 质量管理

#### 8.4.2 质量控制

## 8.1 辐射监测

### 8.1.1 流出物监测

广东陆丰核电 5、6 号机组将建立放射性流出物监测系统，用于监测和控制核电厂流出物的排放。核电厂运行期间放射性流出物分为气载放射性流出物和液态放射性流出物，放射性流出物监测系统包括连续在线监测系统和取样分析监测系统，连续在线监测系统设置有报警装置和报警阈值，根据放射性流出物年排放总量满足《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）中控制值的要求，当监测通道测量值超过设定阈值时，发出报警并停止排放。流出物监测同时将满足《核电厂流出物放射性监测技术规范（试行）》（国核安发[2020]44 号）的要求。

本节简要介绍广东陆丰核电 5、6 号机组运行期间流出物监测的初步设想。

#### 8.1.1.1 监测目的

放射性流出物监测的目的是：

- 证明释放到环境中的气载和液态放射性物质的数量遵守国家批准的排放限值和核电厂本身规定的管理目标值；
- 为判明核电厂的运行以及放射性废物的处理工作是否正常有效提供数据和资料；
- 为应用适当的环境模式评价环境质量、估算公众所受的剂量提供源项数据和资料；
- 使公众确信核电厂的放射性排放确实受到严格的控制；
- 迅速发现和鉴别计划外排放的性质、种类及其程度，以便及时采取措施；
- 给出报警和必要的执行动作，以控制不合理排放，提供有关应急响应信息。

#### 8.1.1.2 主要原则

制定运行期间流出物监测计划的主要原则有：

- 根据核电厂流出物排放途径等特点，合理地确定监测点的位置、取样测量频率和需要监测的放射性核素。在选择监测点的位置和取样时，确保监测结果能代表实际的排放。

- 考虑到计划外释放的可能性，用于常规监测的仪表具有足够宽的量程。
- 用于关键释放点的监测仪表，必须考虑冗余度。
- 为便于评价监测结果，除对释放的放射性物质监测外，还监测其它与评价和估算有关的参数，如流出物流量、温湿度及气象参数等。

#### 8.1.1.3 气载放射性流出物监测系统

广东陆丰核电 5、6 号机组采用华龙一号技术路线，其运行期间气载放射性流出物的排放途径是烟囱，气载放射性流出物监测主要是对烟囱中的惰性气体、放射性碘、气溶胶、 $^3\text{H}$  和  $^{14}\text{C}$  等进行监测。

气载放射性流出物在线连续监测系统的设置应满足在正常运行和事故运行工况下对测量范围的要求，一般设有气溶胶连续在线监测通道、放射性碘在线连续监测通道、惰性气体在线连续监测通道和事故后气体连续监测通道。

气载放射性流出物取样监测一般用于排放量统计，设置有气溶胶取样通道、碘取样通道、惰性气体取样通道和  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  取样通道。取样方法和测量周期根据流出物的排放方式、排放周期和放射性物质的特性来确定。

#### 8.1.1.4 液态放射性流出物监测系统

广东陆丰核电 5、6 号机组的液态放射性流出物将按照国家法规要求采用槽式排放，废液在向环境排放前先送往储存槽逐槽监测，符合排放标准后方可排放。

液态放射性流出物监测系统包括取样分析系统和在线连续监测系统。取样分析监测主要用于判断是否满足排放标准和进行排放量统计，核岛系统废液的取样分析项目包括 pH 值、总  $\gamma$ 、 $^{14}\text{C}$ 、氡、 $\gamma$  核素和  $^{90}\text{Sr}$ ，常规岛系统废液的取样分析项目包括 pH 值、总  $\gamma$ 、氡和  $\gamma$  核素（月度混合样）， $\gamma$  核素分析主要包括  $^{58}\text{Co}$ ， $^{60}\text{Co}$ ， $^{54}\text{Mn}$ ， $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ， $^{124}\text{Sb}$ ， $^{131}\text{I}$ ， $^{134}\text{Cs}$ ， $^{137}\text{Cs}$ ， $^{106}\text{Ru}$  和  $^{59}\text{Fe}$  等。在线连续监测系统主要用于排放时对废液进行实时监测，防止因工作人员误操作、实验室仪器故障和取样分析结果不正确，导致放射性浓度超标排放，保证核电厂周围环境安全和公众健康，在线连续监测系统包括核岛废液排出流放射性浓度在线连续监测通道和常规岛废液排出流放射性浓度在线连续监测通道。

### 8.1.1.5 流出物监督性监测

流出物监督性监测主要用于：

- 实现对核电厂流出物排放的实时有效监控；
- 对核电厂流出物进行独立的抽样监测，核查核电厂放射性物质排放数据，承担事故条件下的流出物应急样品分析。

流出物监督性监测包括在线监测和抽样监测，按照《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设规范（试行）》和《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设具体要求（试行）》进行建设。

### 8.1.2 辐射环境监测

根据《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）的规定，核动力厂在首次装料前，营运单位必须制定环境监测大纲，并在装料后根据该大纲进行辐射环境监测。广东陆丰核电 5、6 号机组在首次装料前，将制定陆丰核电厂环境监测大纲，满足 5、6 机组的监测需求。

#### 8.1.2.1 监测目的

核电厂运行期间的环境辐射监测主要是针对厂址周围的辐射水平和环境介质中的放射性比活度进行监测，其监测方案的制定与实施将充分参考运行前本底调查所获得的监测经验以及厂址最新的环境特征。监测目的是：

- 测定环境介质中放射性核素浓度或辐射水平的变化；
- 评价营运单位执行环境标准和运行控制限值的实施情况；
- 评价核电厂对放射性物质包容和排放控制的有效性；
- 为评价环境辐射安全和估算公众剂量提供依据；
- 鉴别由其它来源引起的污染；
- 为发现未知的照射途径和确定放射性核素在环境中的传输模型提供依据；
- 为应急监测提供预警信息。

#### 8.1.2.2 监测范围与布点原则

广东陆丰核电 5、6 号机组运行期间环境放射性监测范围和布点原则应充分参考运行前的辐射本底调查方案，监测范围为：

- 环境  $\gamma$  辐射水平监测：厂址半径 20km 区域；
- 其余项目监测范围：一般取厂址半径 10km 区域。

运行期间监测布点原则主要包括：

- 关键居民组居住区域；
- 常年主导风向下风向厂区边界附近居民点以及敏感区域；
- 厂址周边海域潮汐特点；
- 年平均最大剂量点及浓度点；
- 核电厂排水口及其附近海域；
- 尽可能与本底调查时的监测布点一致。

### 8.1.2.3 监测内容

#### （1）环境 $\gamma$ 辐射水平的监测

##### — 环境 $\gamma$ 剂量率连续监测

设立厂区大气  $\gamma$  剂量率实时连续监测网络，实时、连续、自动监测正常运行时放射性烟羽在环境大气中产生的  $\gamma$  剂量率。监测站点布设时将考虑关键居民组的位置、厂址边界、常年主导风向下风向人口密集居民点、本底调查以及敏感地区等因素。环境  $\gamma$  剂量率连续监测的点位布设与监测设备应具备与应急监测相兼容的特点。

##### — 瞬时 $\gamma$ 剂量率测量

参考本底调查的结果，确定  $\gamma$  剂量率瞬时测量点位或路线，采用便携式  $\gamma$  剂量率仪或监测车巡测厂区周围原野、道路以及室内环境的  $\gamma$  剂量率水平。

##### — 累积剂量测量

在厂区周围布设若干累积剂量计，定时采集并测读，得到环境大气中累积  $\gamma$  剂量水平。布设的点位可与连续监测和瞬时监测的点位重合，作为  $\gamma$  剂量率监测的补充。

#### （2）环境介质放射性监测

环境介质采样、分析和测量方法大体上与运行前的环境本底监测相同。监测的主要环境介质是大气（气溶胶、沉降灰、空气中  $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$  等）、水（地表水、饮用水、降水）、土壤、动植物（特别是指示生物）以及若干海洋介质（包括海洋生物、海水、底泥和潮间带土）。对环境介质的监测，一般包含了取样、制样、测量、分析等过程，是核电厂常规环境监测的主要内容。核电厂在进行实际点位布设时，可根据本底调查



的监测经验以及厂址周围环境变化，按照最优化原则，对点位进行调整。此外，随着核电厂运行期间环境监测数据的累积，核电厂应对本底调查时所确定的指示生物作进一步鉴别和分析，以最终确定对放射性污染具有指示意义的生物。

### （3）气象观测

核电厂运行期间将进行气象观测，以提供评价短期或长期放射性释放对环境造成的影响所需的气象资料。核电厂可设立专用的气象观测站，也可与厂区环境  $\gamma$  剂量率连续监测系统同步设置。气象观测项目包括：厂址处 10m 和烟囱释放高度位置的风向、风速和温度，地面处的降水、湿度、气压和太阳辐射等。当发生事故时，气象观测应能够提供实时气象参数，为应急决策提供支持。

### （4）地下水监测井设置

地下水监测井系统一般包括厂内地下水监测和厂外地下水监测，监测内容包括：总  $\beta$ 、H-3 和  $\gamma$  谱，具体布点方案将在后续阶段环评报告中给出，布点原则为：

— 监测井的布置需重点考虑反应堆附近区域及其他有放射性泄漏风险的子项或系统；

— 监测井应尽量布置在交通便利、取样方便的区域，以便于样品采集；

— 监测井应选在水质不受海水影响的位置；

— 监测井位置的选择应尽量避免受地表水汇流影响的区域；

— 依据地下水流场情况，在进入核电厂厂界的地下水上游和下游均应布点；

— 厂外布点应尽可能考虑作为饮用水或灌溉用水的地下水。

#### 8.1.2.4 辐射环境监督性监测

核电厂监督性监测系统作为核电厂环境保护设施的一部分，负责对核电厂的运行实施监督性监测。核电厂外围辐射环境监测系统则由监测子站和前沿站构成，负责对环境辐射水平及相关气象参数、样品中放射性物质等进行监测和采样分析，并实施传输监测数据至省级数据汇总点。此外，系统应同时具备核事故应急环境辐射监测的能力，并具备自动报警和通知功能。

监测子站和前沿站按照《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设规范（试行）》和《核电厂辐射环境现场监督性监测系统建设具体要求（试行）》进行建设，同时将满足《核电厂流出物放射性监测技术规范（试行）》（国核安发[2020]44号）对监督

性监测系统的要求。

### 8.1.3 应急监测

广东陆丰核电 5、6 号机组在运行期间将制定必要的应急监测方案或实施程序，用于测量核事故时放射性释放对环境造成的污染范围和污染程度，为应急决策提供数据支持。应急监测应具备以下能力：

- 用于应急监测的环境  $\gamma$  辐射连续监测系统应具备厂址半径 5~10km 范围内的连续监测的能力，以适应应急监测的要求；
- 设置必要的环境监测机构，配备应急响应时使用的测量仪表、环境监测车和取样车以及相应的取样和分析器材等，具备快速监测和响应的能力。

## 8.2 其他监测

### 8.2.1 热影响监测

建设单位拟委托专业部门开展核电厂温排水影响范围内的海水温度测量工作，以取得核电厂运行前温排水影响范围内的基础温度数据，并根据国内同类核电厂温排水监测经验和监测技术发展，适时考虑对核电厂运行后的温排水开展监测工作。

### 8.2.2 化学污染物和生活污水监测

核电厂在厂区各污水站建成后，及时委托相关资质单位对污水站出水开展定期水质监测。

核电厂运行以后，将在电厂排放口附近海域布设监测点位，主要的监测项目包括：水温、pH、总氯、游离氯、DO、浊度、COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、油类、悬浮物等。

## 8.3 监测设施

### 8.3.1 流出物分析实验室

广东陆丰核电 5、6 号机组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。实验室主要负责放射性流出物样品的分析测量，包括流出物样品的制备和测量。

#### （1）样品制备

流出物分析的样品制备应考虑设置热准备间和冷准备间，分别用于对核岛废液贮存罐和常规岛废液贮存罐中的废液进行样品制备。

样品制备间应配置有工作台、通风柜、干燥箱、电子天平、电热板以及制备样品所需的设备。

#### （2）流出物测量

流出物样品通常在测量室内测量，常见的测量仪器主要包括：

- $\gamma$  谱仪，用于分析流出物样品中的  $\gamma$  放射性核素浓度；
- 液闪谱仪，用于分析流出物样品中的氚和  $^{14}\text{C}$  浓度；
- $\alpha$ - $\beta$  测量仪，用于分析流出物样品中的总  $\alpha$  和总  $\beta$  浓度。

### 8.3.2 环境监测设施

#### 8.3.2.1 环境实验室

广东陆丰核电厂全厂共用一座环境实验室（BEE），负责核电厂的辐射环境监测，其具体的职责为：

- 负责运行期间的环境监测和事故时的应急监测；
- 评价正常运行及事故排放时的环境污染水平；
- 调查污染变化趋势，追踪测量异常排放时放射性核素的转移途径；
- 定期向有关环境保护监督管理部门和主管部门报告环境辐射监测结果。

环境监测实验室将配备必要的实验室用房，主要包括制样实验室和分析实验室以及厂区环境  $\gamma$  剂量率监测系统中央站实验室。制样实验室主要用于制备可供测量的环境样品，比如生物样品碳化、放射化学分析制样等，分析实验室主要用于环境样品的分析测量，相关的设备主要有  $\gamma$  谱仪、低本底  $\alpha/\beta$  计数器、低本底液闪谱仪等。

#### 8.3.2.2 厂区辐射与气象监测系统

广东陆丰核电厂将按照统一环境监测的要求，建立全厂共用的厂区辐射与气象监测系统，系统包括厂区环境  $\gamma$  辐射监测站、气象观测站和中央站。

##### （1）厂区环境 $\gamma$ 辐射监测站

厂区环境  $\gamma$  剂量率监测系统主要对厂区环境空气中的  $\gamma$  剂量率进行在线、实时、连续、自动监测。系统包括若干监测站点，站点通常分布在厂址半径 10km 以内，站

点的设置主要考虑以下因素：

- 厂址周围的环境特征，重点监测厂址附近环境敏感点（主要是人口密集区域），以用于评价敏感人群和公众所受的剂量水平；
- 设置点具有代表性，能够反映区域的污染特征，比如气载流出物大气弥散后在环境中最大浓度的位置可设置监测点；
- 考虑监测设备布置和数据传输的可行性；
- 设置必要的参考点。

## （2）气象观测站

气象观测站的作用是测量、记录和发送现场风向、风速、温度和湿度等参数，用于计算和评价核电厂气态放射性物质排放对该地区环境影响的气象数据；事故情况下，提供实时气象参数以便制定和执行应急措施。

## （3）中央站

中央站设置在环境实验室内，其主要作用是负责连续采集、处理和记录气象和环境  $\gamma$  辐射剂量率数据，并对采集的数据进行存储、分析和发布。中央站主要包括：

- 环境  $\gamma$  辐射数据采集工作站：对厂区环境  $\gamma$  辐射监测站进行远程管理，并提供直接监视和操作的平台，收集环境  $\gamma$  辐射监测站采集的  $\gamma$  剂量率数据；
- 气象数据采集工作站：作为气象站的远程监测终端，负责气象数据的采集和处理。

### 8.3.2.3 移动监测系统

广东陆丰核电 5、6 号机组环境监测车和环境监测采样车内配备相应的监测设备和采样设备。在核电厂运行期间环境监测车可对厂址周围环境  $\gamma$  剂量率进行巡测，在发生核事故时亦可用于应急监测。

## 8.4 质量保证

为保证广东陆丰核电 5、6 号机组流出物和环境监测设备的可靠性，确保流出物和环境监测数据的准确性，核电厂应依据国家有关标准，制订流出物与环境监测质量保证程序，确保测量结果的可信性、有效性和可比性。本节主要描述运行期间流出物与环境监测质量保证的主要内容。

#### **8.4.1 质量管理**

质量保证体系是流出物和环境监测工作管理水平的集中表现，它对组织机构、人员素质、工作环境、测试方法以及各种管理制度等可能影响监测质量的活动进行严格和有效地控制。

##### **8.4.1.1 组织机构**

适当的组织和管理机构是核电厂流出物和环境监测质量保证体系的重要组成部分，该组织机构内的人员设置及其职责应有明文规定。核电厂成立组织机构的目的在于：通过对流出物与环境监测以及排放的监督和管理，及时发现异常并采取措施，确保排放符合国家法规要求；执行有效的管理措施，减少废液产生量、排放量，减少对环境的影响；通过对电厂环境工作的监督与管理，确保电站各种废物处理、排放设施的可靠运行及环保机构的正常运作，达到保护环境的目的。

##### **8.4.1.2 人员的资格与培训**

监测结果准确度与工作人员的工作经验、专业知识和技术水平有关，所有参加取样、监测、数据统计和审核的人员均应按规程要求，参加相应的理论和实践培训，经授权后上岗。从事放射性环境监测的人员，应掌握辐射防护基础知识和放射性环境监测技术，熟悉有关环境保护和环境监测的法规和标准。同时，相关部门应不定期地组织测量、分析人员就放射性测量仪器、测量原理及测量方法展开探讨和研究，以提高对测量仪器的了解和样品测量、分析水平。

##### **8.4.1.3 数据审查制度**

为了检查质量保证的执行情况，确保监测结果的准确性，必须对监测数据进行有计划的检查。检查应该由在被检查方面没有直接职务的有资格的人员来进行，检查人员应对检查结果写出书面报告，并经过对检查工作负责的管理单位复审。对存在的问题应该采取进一步的措施，包括再次核查等。

#### **8.4.2 质量控制**

为了保证流出物和环境监测工作的质量，质保工作必须从样品采集、运输、处理、

测量、分析、保存等环节，以及文件控制、量值溯源、制订质保大纲、样品比对等方面展开。

#### 8.4.2.1 内部质量控制

##### （1）样品采集、运输和贮存的质量控制

样品采集、运输和贮存的质量控制的目的是保证采集具有代表性并保持放射性核素在分析前的原始浓度。为此应该准确地测量样品的质量、体积或流量，其误差一般控制在 $\pm 10\%$ 以内。为了确定采样的不确定度，应该定期采集平行的瞬时样品。采集的各类常规样品应妥善保存，直至得出最终分析结论。

##### （2）分析测量中的质量控制

样品的预处理和分析测量方法应采用标准方法或经过鉴定和验证过的方法。操作人员应严格按操作程序操作，防止样品间的交叉污染。为了确定分析测量过程中产生的不确定度，应该分析质量控制样品。

为了发现和确定环境实验室分析测量系统的不确定性，有必要参加本地区和国家组织的实验室之间的分析比对，对存在的系统误差应查明原因，并采取校正措施。用于分析测量装置，应对其性能定期进行检定、校准和检验，测量过程使用的标准源应定期进行标定。

##### （3）数据处理

每个样品从采集、预处理、分析测量到结果计算全过程中的每一步都应有清楚、详细和准确的记录。数据处理应采用标准方法，减少处理过程中产生的误差。对于偏离正常值的异常结果应及时向技术负责人报告，并在自己的职责范围内进行核查。监测数据的正式上报或使用，必须经有关技术负责人签发。

#### 8.4.2.2 外部质量控制

实验室外部质量控制的主要措施有：

##### （1）比对

为验证实验室监测设备的可靠性，确保监测数据的精确性、可比性，实验室可积极的与国内外权威机构进行实验室间比对。

##### （2）量值溯源

用于刻度放射性测量仪器的标准源、标准溶液或标准物质，均由权威计量部门提供，为测量的量值可溯源到国家基准提供有力的保证。

（3）测量仪器定期检定

所有对分析测试结果的准确性和有效性有影响的计量或检定设备，均由计量部门或其授权单位进行校准或检定，以保证所进行的检测有溯源性。

## 第九章 厂址筛选

### 9.1 选址过程

### 9.2 候选厂址评价与比较

### 9.3 推荐厂址评价



## 9.1 选址过程

### 9.1.1 厂址选择过程

图

图 9.1-1 候选厂址地理位置示意图

## 9.1 选址过程

### 9.1.1 厂址选择过程

广东陆丰核电厂规划建设 6 台百万千瓦级压水堆核电机组建设，5、6 号机组建设 2 台华龙一号核电机组。

广东陆丰核电厂选址工作始于 1988 年，当时作为广东省第二核电站（粤东核电项目）选址在粤东地区开展了部分厂址调查工作。

2003 年 8 月，广东省政府正式将粤东核电项目列入 2011~2020 年电源建设计划。之后，国家电网公司、电规总院和南方电网公司也分别同意将粤东核电项目列入国家 2020 年核电规划和南方电网 2011~2020 年电源建设计划。2003 年 8 月 26 日，中广核集团正式启动粤东核电项目厂址开发工作。

2003 年 9 月~2004 年 11 月，广东省电力设计研究院对粤东地区的揭阳市惠来县境内的沟疏、乌屿厂址，汕尾市海丰县境内的小漠、百安厂址，以及陆丰市境内的甲东、海甲、田尾共 7 个可能厂址，进行了资料收集并编制了《广东第四核电站粤东地区候选厂址查勘报告》。2004 年 11 月，中国电力工程顾问集团公司（电力规划设计总院）组织召开了广东粤东地区候选厂址预评审会，会议认为，从厂址场地、交通运输、地质地震、工程地质、水文及取排水条件、环境与安全等建厂条件分析，粤东地区田尾、海甲、甲东和乌屿 4 个厂址均可继续开展初可研阶段的工作。

2005 年 3 月，粤东地区核电工程初步可行性研究工作启动，在初步可行性研究工作中以田尾和海甲 2 个厂址为候选厂址，重点对田尾厂址开展专题工作。2005 年 8 月 12~13 日，电力规划设计总院在广州市主持召开了广东省粤东地区核电工程初步可行性研究报告审查会。随后电力规划设计总院提出了审查意见（电规发电[2006]32 号），基本意见包括：

- 拟选两个厂址场地条件均可满足 6 台百万千瓦级核电机组用地需要。田尾厂址区优化裕度大，且土石方量和搬迁量较少，距汕尾市较近（45km），生活依托条件较好。从厂址场地条件分析，田尾厂址优于海甲厂址。
- 从地震地质和工程地质条件分析，两个厂址均不存在颠覆性因素，适宜建设核电厂。经比较，田尾厂址稍优。
- 从水文、气象及取排水条件分析，未发现与核电站建设不相适宜的颠覆性问题，

具备建设核电站的基本条件。综合比较两厂址的海水、淡水及防洪工程条件，田尾厂址优于海甲厂址。

- 从人口分布、可能的外部人为事件影响、正常运行和事故工况下的辐射影响等因素分析，田尾厂址和海甲厂址基本上不存在颠覆性因素。

同时，审查意见认为：原则同意广东省电力设计研究院编制的《广东粤东地区核电工程初步可行性研究报告》的结论，田尾厂址和海甲厂址均具备建设 6 台百万千瓦级核电机组的基本条件。经对接入系统、厂址场地、交通运输、地质与地震、工程水文、取排水条件、环境与安全、工程投资与经济效益分析等因素综合分析比较，推荐田尾厂址为广东省粤东地区核电工程优先候选厂址，海甲厂址作为备选厂址。

2005 年 9 月中广核集团启动田尾厂址可行性研究，并正式命名为广东陆丰（粤东田尾）核电厂。

2010 年 12 月 27 日，国家发展和改革委员会办公厅以《关于同意广东陆丰核电一期工程开展前期工作的函》（发改办能源[2010]3242 号文）同意陆丰核电一期工程开展前期工作，并指出本期工程以广东岭澳核电站为参考电站，按六台百万千瓦机组规划。按照“翻版加改进”方式先建设两台百万千瓦级压水堆核电机组。

2011 年 3 月，日本发生了福岛核事故。在日本福岛地震引发核电泄漏事件后，国家核安全机构对国内运行和在建核电厂进行了系统地复查和审核，并同时暂停受理了国内核电厂的选址审批工作。

在福岛核事故后对现有核设施进行的综合安全检查结果表明，我国运行和在建核电机组基本满足我国现行核安全法规和国际原子能机构最新标准的要求，安全和质量是有保障的。

2012 年 5 月 31 日，国务院常务会议审议并原则通过了《核安全与放射性污染防治“十二五”规划及 2020 年远景目标》（简称“核安全规划”），并指出，我国核安全与放射性污染防治的根本方针是：安全第一，质量第一。同时，国家核安全局启动了《“十二五”新建核电厂安全要求》编制工作，以指导新建核电厂的选择、设计、建造等活动，以及相应的审评监督。2012 年 10 月 24 日，国务院常务会议讨论通过了《核电安全规划（2011-2020 年）》和《核电中长期发展规划（2011-2020 年）》，会议明确：“十二五”时期只在沿海安排少数经过充分论证的核电项目厂址，并且新建核电机组必须符合三代安全标准。

根据国家发展核电的有关方针政策和发改委文件精神，陆丰核电厂对原 CPR1000 技术路线进行了调整，电厂全厂规划建设 6 台百万千瓦级压水堆核电机组，一期工程 建设 2 台 AP1000 机组。

2013 年 3 月 13 日，国家发展改革委办公厅以《关于同意广东陆丰核电一期工程调整为 AP1000 技术方案的函》（发改办能源[2013]636 号）同意陆丰核电一期工程调整为 AP1000 技术方案。

2014 年 6 月 18 日，国家核安全局和国家环境保护部分别发文（（国核安发[2014]133 号）和（环审[2014]147 号））正式批复《广东陆丰核电厂一期工程厂址选择安全评价报告》和《广东陆丰核电厂一期工程环境影响评价报告（选址阶段）》。

2014 年 7 月 10 日，电规总院对《广东陆丰核电一期工程（AP1000 技术方案）可行性研究报告》正式出具审查意见（电规发电[2014]629 号），认为工程在安全、技术、环境和经济方面可行。

2014 年 6 月，中广核陆丰核电有限公司向环境保护部上报了《广东陆丰核电一期工程环境影响报告书（建造阶段）》，经多次审评对话，安审中心对该报告书出具的审查意见已于 2016 年 11 月通过了核安全专家委员会的审议。但《广东陆丰核电一期工程环境影响报告书（建造阶段）》尚未获得批复。

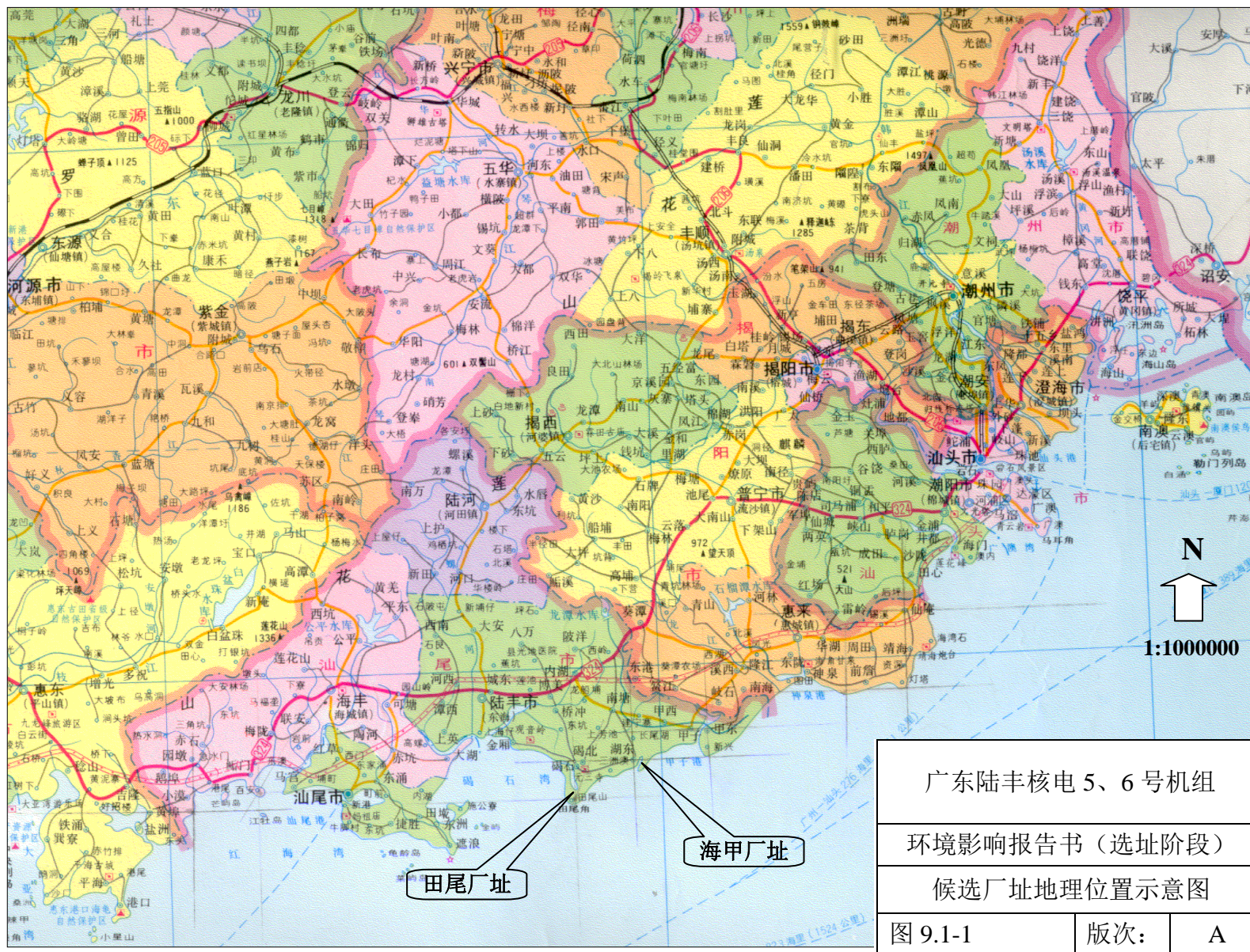
2020 年 3 月，生态环境部复函（环核电函[2020]18 号）认可《广东陆丰核电一期工程环境影响报告书（选址阶段）复核报告》，认为从环境影响评价方面不存在影响场址可接受性的因素。

至今，受到国内外各方面影响，陆丰核电一期工程（1、2 号机组）暂未获得国家核准。

广东陆丰核电 5、6 号机组在陆丰核电一期工程已做厂址相关工作的基础上，规划建设 2 台华龙一号机组。图 9.1-1 给出了相关候选厂址地理位置示意图。



广东陆丰核电 5、6 号机组环境影响报告书（选址阶段）



广东陆丰核电 5、6 号机组

环境影响报告书（选址阶段）

候选厂址地理位置示意图

图 9.1-1

版次:

A

9.2 候选厂址评价与比选

9.2.1 人口分布

9.2.2 工业、交通和军事设施

9.2.3 风景名胜区和重要文物保护单位

9.2.4 外部人为事件

9.2.5 外部自然事件

9.2.6 大气弥散条件和水弥散条件

9.2.7 近岸海域环境功能区划

9.2.8 环境辐射影响

9.2.9 应急计划执行的可行性

9.2.10 参考资料

## 9.2 候选厂址评价与比较

陆丰核电厂候选厂址为田尾厂址和海甲厂址。本节的描述将以《广东省粤东地区核电工程初步可行性研究报告》中的厂址比选结论为基础，说明陆丰核电厂候选厂址的环境特征，对这两个候选厂址进行比较。

### 9.2.1 人口分布

#### (1) 厂址半径 80km 范围内人口数量和密度

- 截止 2005 年底，田尾厂址半径 80km 范围内的总人口数为 6611298 人，按陆域面积计算的平均人口密度为 757 人/km<sup>2</sup>。2005 年厂址半径 5km 范围内人口总数 14603 人。
- 截止 2005 年底，海甲厂址半径 80km 范围的总人口数为 10540146 人，按陆域面积计算的平均人口密度为 1106 人/km<sup>2</sup>。2005 年厂址半径 5km 范围内人口总数 47563 人。

两候选厂址近区按陆域面积计算，不同距离范围的平均人口密度为：

- |         |       |    |                          |
|---------|-------|----|--------------------------|
| — 田尾厂址： | 0~2   | km | 123 人/km <sup>2</sup> ；  |
|         | 2~5   | km | 960 人/km <sup>2</sup> ；  |
|         | 5~10  | km | 3825 人/km <sup>2</sup> ； |
|         | 10~20 | km | 1058 人/km <sup>2</sup> 。 |
| — 海甲厂址： | 0~2   | km | 533 人/km <sup>2</sup> ；  |
|         | 2~5   | km | 1277 人/km <sup>2</sup> ； |
|         | 5~10  | km | 2305 人/km <sup>2</sup> ； |
|         | 10~20 | km | 996 人/km <sup>2</sup> 。  |

两候选厂址均位于广东省人口密集的粤东地区，但两厂址半径 5km 范围内均处于粤东地区人口密度相对较低的地区。

#### (2) 厂址半径 80km 范围内人口中心

两候选厂址半径 80km 范围内，无百万以上的大型人口中心。距离田尾厂址最近的万人以上人口中心为厂址 N~NNE 方位约 8km 的碣石镇，距离海甲厂址最近的万人以上人口中心为厂址 WSW 方位约 6km 的湖东镇；两个候选厂址评价区内最大的人口中心为普宁市区，有常住人口 374800 人。



两候选厂址均位于广东省人口密集的粤东地区，但两厂址半径 5km 范围内均处于粤东地区人口密度相对较低的地区。从两个厂址周围的人口分布和人口密度分析，田尾厂址优于海甲厂址。

### 9.2.2 工业、交通和军事设施

#### （1）工业

- a) 田尾厂址半径 15km 范围区域内社会经济以农业、渔业为主，工业基础薄弱。目前厂址周围 15km 区域内没有大型工矿企业，一些中、小型私营企业集中在距离厂址约 N 方位约 7~8km 的碣石镇。主要为农业、渔业、旅游业和轻工等。
- b) 海甲厂址半径 15km 范围以农业、渔业为主，工业基础相对较为落后，目前厂址周围区域没有大型工矿企业，主要是一些中、小型私营企业集中在乡镇政府所在地。以轻工业、手工业为主。产品结构主要为：五金塑料、工艺制品、机械、渔网、家具配件、服装商标、海产加工品等，以塑料、五金、家具配件为主。

就两个厂址周围的工业分布情况分析，海甲厂址周围除一些中、小型企业外，没有大的工矿企业，而田尾厂址附近有碣石港，海甲厂址略优于田尾厂址。

#### （2）交通

两个候选厂址对外的交通运输均以公路为主，均可通过省道、国道连接深汕高速公路，交通便利。目前，均有乡村公路可直达厂址。

就交通运输条件而言，两候选厂址外部交通条件基本相同。

#### （3）军事设施

2004 年 10 月，广州军区就粤东核电厂址与中广核电集团举行了协调会，通过军方海、陆、空三军相关部门的反复研究和评估，目前，军方已原则同意田尾和海甲厂址均可作为粤东核电工程候选厂址，从两个厂址周围的军事情况分析，条件相当。

### 9.2.3 公共设施、风景名胜区和重要文物保护单位

候选厂址半径 15km 范围内涉及到的区域内没有监狱、大型文化设施和大的医院、疗养院等，区域内的各行政村一般均设有小学、幼儿园和卫生所，乡镇所在地设有中学和卫生院。



(1) 学校

- 田尾厂址半径 15km 范围内有学校 59 所，教职工 2320 人，学生数 49644 人。
- 海甲厂址半径 15km 范围内有学校 114 所，教职工 2182 人，学生数 35072 人。

(2) 卫生

- 田尾厂址半径 15km 范围内除碣石镇有 3 个小型医院和卫生院，共有 120 个床位和 164 人医护人员，其它均为基层卫生站，卫生站只配备一到两个医护人员，没有病床位。
- 海甲厂址半径 15km 范围内甲子镇、甲西镇、甲东镇、南塘镇、湖东镇各有一所医院，共 5 所卫生院，共有 245 个床位和 334 人医护人员，其它均为基层卫生站，卫生站只配备一到两个医护人员，没有病床位。

(3) 风景旅游区

- 田尾厂址 N 方位约 8km 的玄武山—金厢滩风景旅游区是经省级风景名胜区，旅游区内元山寺是全国重点文物保护单位。
- 海甲厂址附近没有大的旅游点、风景名胜区和重点文物保护单位。

陆丰市政府已经对于陆丰市旅游规划作了调整，撤销了与田尾厂址和海甲厂址相关的旅游规划。

因此，从公共设施、风景名胜区和文物保护方面看，两候选厂址相当。

## 9.2.4 外部人为事件

(1) 固定危险源

- 田尾厂址半径 15km 范围内经计算，油库和液化气库的爆炸安全距离均远小于危险源至厂址的距离。
- 海甲厂址半径 15km 范围内的油库的存储容量更小，且距离厂址更远。

(2) 移动危险源

移动源爆炸安全距离为小于碣石湾航道与厂址的最近距离（约 5km）。

(3) 机场和航线

两个候选厂址半径 15km 范围内均无民用和军用机场，两个厂址上空离空中走廊均在其地面投影距离两候选厂址在 5km 以外。

就外部人为事件的危险性分析，两个厂址附近存在的可能外部人为事件均不会影

响厂址的安全。

### 9.2.5 外部自然事件

#### （1）地质地震

田尾厂址和海甲厂址在区域地壳稳定性分区上，均位于基本稳定区。

两候选厂址近区域地震活动性较弱，厂址在地震动峰值加速度（50 年超越概率 10%）区划图上位于 0.1g 区。田尾和海甲两候选厂址场地对应 SL-2 的水平峰值加速度高值估算均为 0.18g。

#### （2）极端气象事件

由于田尾厂址和海甲厂址位于同一海区，因此从台风、龙卷风和海啸等灾害性天气情况来看两候选厂址基本相同。

### 9.2.6 大气扩散条件和水弥散条件

田尾厂址和海甲厂址相距约 25km，两厂址气象特征基本相同，大气弥散条件类似。根据初可研阶段收集的陆丰市气象站 2002 年一整年的气象数据统计，常年主导风向为 E 风，其占有所有风向的比例为 16%；次主导风向 NNW 风的比例为 12%；静风频率为 12%。年平均风速为 2.8m/s。

两候选厂址大气弥散条件均较好。

田尾厂址和海甲厂址均位于陆丰市东部沿海，潮汐类型属于不正规日潮，潮差较大，平均潮差 0.84m。潮流运动形式大都呈往复流，南海北部的环流受季风控制，夏季盛行东北向的漂流，冬季盛行西南向的漂流。当风场稳定时，浅海海流主要呈风海流性质，风力较弱时，浅海海流则以地转流为主，如果风海流和地转流方向一致时，则会出现较强流速的近岸流，反之，则近岸流较弱。

两厂址附近海域的波浪以风浪为主，其常浪向为 ENE~E，强浪向为 ENE~ESE。

两候选厂址附近海域水弥散条件均较好。

### 9.2.7 近岸海域环境功能区划

根据《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府办[1999]68 号），田尾厂址所在田尾山近岸海域以田尾山为界，田尾山以东至三洲澳海域属于田尾山生态功能区，主要功

能为海洋生态保护，执行二类海水水质标准。田尾山以西至西澳农场海域属于碣石浅澳港口功能区，主要功能为港口，执行三类海水水质标准。

海甲厂址所在海甲山近岸海域属于甲子山至三洲澳养殖、渔业功能区，执行二类海水水质标准。从海洋环境功能区划方面比较，田尾厂址略优于海甲厂址。

### 9.2.8 环境辐射影响

根据初可研阶段对两候选厂址的初步可行性研究报告的审查结果可知，两个候选厂址正常运行期间和最大可信事故条件下的辐射影响，均可以满足国家标准《核电厂环境辐射防护规定》的要求，两个候选厂址均是可行的。

### 9.2.9 应急计划执行的可行性

粤东核电工程田尾、海甲两个厂址 5km 范围内为粤东地区人口密度相对较低的地区，两个候选厂址没有特殊的地理特征和难以隐蔽或撤离的人群。厂址周围公路交通发达，近区的交通情况可以通过核电工程的建设得于完善。两个厂址在执行应急计划的可行性上均不存在难以克服的困难，但考虑到海甲厂址半径 5km 范围内人口数量相对较多，田尾厂址在执行应急计划可行性上略优。

### 9.2.10 参考资料

- [1] 中广核工程有限公司，广东省粤东地区核电工程初步可行性研究报告，2005.7；
- [2] 电力规划设计总院，关于广东省粤东地区核电工程初步可行性研究报告的审查意见，2005.8；
- [3] 陆丰核电厂厂址区域环境及外部人为事件调查专题报告，2007.10；

### 9.3 推荐厂址评价

表

表 9.3-1 两个候选厂址建厂条件比较

### 9.3 推荐厂址评价

从核安全的观点考虑，核电厂厂址选择的主要目的，是保护公众和环境免受放射性事故释放所引起的过量辐射影响，同时对于核电厂正常的放射性物质释放也应加以考虑。根据《核电厂厂址选择安全规定》（HAF101），在评价一个厂址是否适于建造核电厂时，需考虑以下几方面因素：

- 1) 在某个特定厂址所在区域可能发生的外部自然事件或人为事件对核电厂的影响；
- 2) 可能影响所释放的放射性物质向人体转移的厂址特征及其环境特征；
- 3) 与实施应急措施的可能性及评价个人和群体风险所需要的有关外围地带的人口密度、分布及其他特征。

根据《广东省粤东地区核电工程初步可行性研究报告》中对于田尾厂址和海甲厂址的研究结论，并通过分析从电厂运行对环境的影响以及环境对电厂安全运行的影响，可以认为田尾厂址和海甲厂址作为核电站的候选厂址都是适宜的。

在陆丰核电厂田尾厂址的初步可行性研究中未发现影响厂址的颠覆性因素。厂址位于区域地壳较为稳定的地区内，厂址附近范围内不存在能动断层。厂址 SL-2 级地震加速度的高值均为 0.18g，地震基本烈度为 VII 度。厂址区内水文地质条件简单，属独立水文地质单元；在初步确定厂址标高范围内可找到相对完整的核岛地基，地基承载力均满足要求。军方已同意田尾厂址可作为粤东核电工程候选厂址。厂址不存在影响核电厂安全的外部潜在危险源；大气弥散和水弥散条件较好，对环境的辐射影响在国家标准限值之内；厂址周围没有影响安全撤离的特殊地形地貌和难以隐蔽或撤离的人群；在执行应急计划的可行性上不存在难以克服的困难。

根据厂址选择的基本原则，从电厂和环境相容性角度考虑，田尾厂址具备建造六台百万千瓦核电机组的厂址条件。综合考虑厂址的建厂条件，推荐田尾厂址作为陆丰核电厂的建设厂址，海甲厂址作为备用厂址。

根据陆丰核电厂初可研阶段的结论，表 9.3-1 给出了田尾厂址和海甲厂址建厂条件的比较。

表 9.3-1（1/3） 两个候选厂址建厂条件比较

项目 \ 厂址名称	田尾厂址	海甲厂址（初可研阶段成果）
1) 人口分布和人口密度 • 半径 80km 累计人口数 • 评价区人口密度 • 0~2 km 范围人口密度 • 2~5 km 范围人口密度 • 5~10 km 范围人口密度 • 10~20km 范围人口密度 • 评价区内人口 10 万人以上居民点数量	6611298 人 757 人/km <sup>2</sup> 123 人/km <sup>2</sup> 960 人/km <sup>2</sup> 3825 人/km <sup>2</sup> 1058 人/km <sup>2</sup> 19 个	10540146 人 1106 人/km <sup>2</sup> 533 人/km <sup>2</sup> 1277 人/km <sup>2</sup> 2305 人/km <sup>2</sup> 996 人/km <sup>2</sup> 29 个
2) 工业、交通和军事设施 • 工业 • 交通 • 军事设施	厂址 15km 范围内无大的工业企业，小型工厂集中在距离厂址约 N 方位 7~8km 的碣石镇。  厂址有简易公路连接省道、国道，并与深汕高速公路相接。  军方同意可作为候选厂址。	厂址 15km 范围内无大的工业企业，小型工厂集中在距离厂址约 8km 甲子镇。  同田尾厂址。  同田尾厂址。

表 9.3-1（2/3） 两个候选厂址建厂条件比较

项目 \ 厂址名称	田尾厂址	海甲厂址
3) 公共设施 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 学校</li> <li>• 医院</li> <li>• 风景旅游区</li> </ul>	厂址半径 15km 范围内： 学校 59 所 医院 3 所 玄武山旅游区，年接待游客约 100 万人。	厂址半径 15km 范围内： 学校 114 所 医院 5 所 无大的旅游点。
4) 潜在外部人为事件	存在少量固定和移动危险源，不会影响电厂的安全和运行。	同田尾厂址
5) 外部自然条件 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 地质地震</li> <li>• 区域稳定性</li> <li>• 地震基本烈度</li> <li>• SL-2</li> </ul>	厂址近区域无区域性断裂分布，厂址半径 5km 范围不存在能动断层，地震活动微弱，稳定性好，无不良地质现象。  VII 0.18g	同田尾厂址   VII 0.18g
6) 气象特征和大气弥散条件 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 常年主导风向</li> <li>• 年平均静风频率</li> </ul>	E（16%）、NNW（12%）  12%	同田尾厂址

表 9.3-1（3/3） 两个候选厂址建厂条件比较

项目 \ 厂址名称	田尾厂址	海甲厂址
7) 水文特征水弥散条件 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 水源供应</li> <li>• 水力弥散条件</li> </ul>	区域水资源能够满足工程需要。 水力弥散条件较好。	同田尾厂址 水力弥散条件较好
8) 温排水	温排水影响是可以接受的。	同田尾厂址
9) 核电厂运行的辐射影响 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 正常运行</li> <li>• 事故工况</li> </ul>	公众个人（成人）受照最大年有效剂量 $1.46 \times 10^{-6} \text{Sv}$ 。 公众个人(成人)非居住区边界个人有效剂量、甲状腺剂量、80km 范围内事故集体有效剂量满足国家标准要求。	公众个人(成人)受照最大年有效剂量 $1.03 \times 10^{-6} \text{Sv}$ 。 公众个人（成人）非居住区边界个人有效剂量、甲状腺剂量、80km 范围内事故集体有效剂量满足国家标准要求。
10) 执行应急计划的可行性 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 厂址半径 5km 内总人口</li> <li>• 厂外应急条件</li> </ul>	厂址半径 5km 内总人口 14603 人，不存在不易撤离的人群。 有较为便利的交通。	厂址半径 5km 内总人口 47563 人，不存在不易撤离的人群。 同田尾厂址。



## 第十章 利益代价分析

### 10.1 利益分析

### 10.2 代价分析

## 10.1 利益分析

### 10.1.1 电厂运行带来的直接利益

### 10.1.2 电厂建设和运行带来的间接利益

## 10.1 利益分析

### 10.1.1 电厂运行带来的直接利益

广东陆丰核电 5、6 号机组建设两台百万千瓦级压水堆核电机组，在其整个商业运行寿期内将取得显著的经济利益，上交国家和地方的税金数以亿计，此为核电厂的直接利益。建成后的头十五年，还贷的压力较大，随着还贷期的结束，核电厂将凭其大容量、低运行成本和较高的年负荷因子，将会取得更为显著的经济效益。

我国经济持续快速发展，对能源包括煤炭、石油等的需求越来越大，加上国际油价上涨，造成能源价格和运输费用大幅提高。另外，环保要求燃煤机组须采用除尘、脱硫、脱硝等设备，不但提高了燃煤电厂的造价，还使燃煤机组的运行费用提高。燃煤超超临界机组采用高效除尘、脱硫及脱氮设备，将使工程造价增加 7~8%，厂用电率增加 1.3~1.5%。而核电机组随着设计自主化和设备国产化比例的不断提高，造价将大幅度降低，再加上低廉的运行成本，与燃煤机组相比，核电机组的上网电价将具有较强的竞争性。

除创造显著的经济利益外，广东陆丰核电 5、6 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。此外，本工程的建设还有利于实现广东省能源供应多元化，提高能源自给率，保障广东省的能源安全和实现经济可持续发展，有利于缓解广东省能源需求和节能减排所带来的双重压力。

广东陆丰核电 5、6 号机组施工期间现场施工及安装人员高峰时预计将达到上万人。因此，必须建设配套的生产服务和生活福利等方面的设施，这都将给社会带来可观的就业机会。另外，本工程引进的第三代核电技术，可在提高核电安全性，降低核电造价，增强核电竞争力的同时，推动我国核电事业及相关核工业产业的发展。

### 10.1.2 电厂建设和运行带来的间接利益

#### 10.1.2.1 社会效益

广东陆丰核电 5、6 号机组的建设将对缓解广东省内电力供求矛盾、优化电源结构

和电网结构起到积极的作用，保障广东经济的持续稳定高速地增长。发展火电目前愈来愈受到环境保护和交通运输条件的制约，特别是二氧化碳已成为国际气候公约谈判减排的争论焦点。因此，尽快提高清洁能源在电力生产中的比重，既是我国能源、电力工业结构调整的当务之急，也是我国能源工业持续发展的长远大计。因此，尽快提高清洁能源在电力生产中的比重，既是我国能源、电力工业结构调整的当务之急，也是我国能源工业持续发展的长远大计。

（1）核电建设关系到我国重大设备制造业的发展

我国的制造业从整体上看，与世界上先进国家相比还存在着不小的差距，具体体现在质保体系、管理水平、质量意识、制造能力、工艺水平等方面。通过自主发展核电，可以从整体上提高水平，促进产业结构升级和人员素质的提高。

（2）形成我国核电建设自主化的技术队伍

根据国外有关数据统计，一个核电厂的建设需要约 5000 人年的工程设计和项目管理方面的技术人员，通过我国核电厂的自主设计和自主建设，可以充分利用并发展核工业现有技术体系和人才力量，整合、组建和提升核电系统设计院、常规电力设计院和相关研究所的技术力量，锻炼和培养我国高素质的核电设计队伍和项目管理队伍，逐步建立起能够全面掌握核电建设的核心技术，具有规划和设计、采购、施工安装、调试、运行维修、培训等一条龙服务的项目总承包能力，形成国际先进水平的 AE 公司。

（3）对核燃料工业和核科技发展的影响

我国核燃料已形成了军民两用，与核电相配套的工业体系，核电的发展将有效带动核燃料的产业发展。我国是世界上少数几个拥有较为完整核工业体系的国家之一，发展核电，是平时时期保持铀生产能力和核工业建设力量的手段。

（4）对钢铁、建材、电子等基础行业的影响

由于核电厂的安全性要求高，所以对核电厂建设所需大量的钢材和建材的质量要求很高，通过一定数量核电厂的建设，有利于我国钢铁行业产品和建筑材料的结构调整，提升国际竞争力。

（5）促进当地经济、社会的发展

广东陆丰核电 5、6 号机组施工期间现场施工及安装人员预计将达到 1~2 万人，需要建设配套的生产服务和生活福利等设施，将给社会带来大量的就业机会，促进当地

经济发展和提高人民生活水平，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，对拉动地方经济增长和社会发展有积极的意义。

综上所述，通过本工程的建设可进一步提高国内核电技术力量，包括核电设计及核电设备的国产化，同时也有助于提高核设备、仪表、建筑安装和科研等方面的技术水平。通过提高设备的国产化率，进一步缩短工期、提高质量、降低造价，为缓解广东省用电紧张局面、促进广东省经济发展发挥积极作用。

#### 10.1.2.2 环境效益

通过广东陆丰核电 5、6 号机组的建设，将使厂址区附近原有的山地、丘陵、坡地等通过总体规划、设计、绿化和美化，构成一个崭新的人文景观。

我国能源消费以煤炭为主，燃煤发电装机占全部电力装机总容量的 74% 以上，燃煤电厂排放的  $\text{SO}_2$  已成为我国大气的主要污染源之一，用大型商用核电厂代替了燃煤电厂，将大大降低燃煤电厂释放的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  等有害气体对环境的污染，缓解当地的酸雨发生。火电厂释放的  $\text{CO}_2$  是全球  $\text{CO}_2$  重要来源，而  $\text{CO}_2$  作为一种对全球气候变化起负面作用的温室气体，其减排问题已成为国际气候公约谈判的争论焦点，我国政府承诺到 2020 年，单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40%-45%。因此，积极发展核电将是我国今后在满足电力需求的基础上，改善环境质量的一种有效措施。据测算，2 台 125 万千瓦容量的核电机组替代相应容量的煤电机组，相当于减少燃烧标准煤 556.5 万吨/年，减少排放二氧化碳约 1458 万吨/年，减少排放二氧化硫 4.7 万吨/年，减少排放氮氧化物 4.1 万吨/年。因此，积极发展核电将是我国今后在满足电力需求的基础上，改善环境质量的一种有效措施。

总之，通过对广东陆丰核电 5、6 号机组的利益分析，可以得出，广东陆丰核电 5、6 号机组的建设是必要的，符合我国产业政策，该项目的建设和运行能获得显著的社会效益、经济效益和环境效益。

## 10.2 代价分析

### 10.2.1 直接代价

### 10.2.2 间接代价

## 10.2 代价分析

### 10.2.1 直接代价

广东陆丰核电 5、6 号机组将投入一定的总资金，两台机组建成运行后，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。同时，对于运行中产生的放射性废物的处理，将根据与放射性废物处理和处置单位的合同支付相关费用，并计入运行成本。

### 10.2.2 间接代价

#### 10.2.2.1 社会代价

广东陆丰核电 5、6 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；生产期间的换料、乏燃料、固体废物运输；正常的人员进出等，将加大当地的交通运输量。

为解决电厂建设和运行期间的运输问题，核电厂采取以水运为主，陆运为辅的运输方式。在陆运方面需投入一定量的资金用于厂外公路的建设，包括新建、改造道路及修建桥梁。此外，专门开辟事故应急通道。

##### — 电厂建设对当地市政建设设施产生的影响

广东陆丰核电 5、6 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，将对厂址所在区域的医疗、学校、商业和基础设施如道路、供排水、供热等市政工程和生活服务设施的需要将有所增加。

##### — 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，将有大量的流动人口涌入厂址周围区域，如果不加强管理可能会对当地社会的安全造成一定的负面影响，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，当地政府必须增加治安、社会服务等方面的投入，经过电厂业主、承包商以及当地政府的努力这种消极影响是

可以避免的。

此外，厂址半径 5km 范围内规划限制区的设立，会使该区域经济发展受到一定的限制，可通过调整经济发展方式等办法来缓解设立规划限制区对区域经济的影响。

#### 10.2.2.2 环境代价

广东陆丰核电 5、6 号机组的建设将造成厂址区域生态环境的变化，主要表现在核电站的建设将在规划区内占用大量土地，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。通过核电站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。核电站建成后，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。

广东陆丰核电 5、6 号机组建成运行后，会向环境释放放射性物质。为了控制并确保核电站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，核电站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。

广东陆丰核电 5、6 号机组建成运行后，在发生放射性泄漏事故的情况下，会有一些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站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。根据本报告对选址假想事故的评价结果，发生选址假想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。

广东陆丰核电 5、6 号机组运行产生的中、低放固体废物和乏燃料作为核废料，将均按照国家规定进行严格的处置。中、低放固体废物在废物暂存库内贮存一定时间后送往国家指定的区域中、低放固体废物处置厂进行处置。乏燃料一般经过冷却，包装后送入乏燃料暂存系统暂存，暂存达到国家有关标准要求的年限后，送往国家指定的乏燃料处置厂处置。

中、低放固体废物和乏燃料经过最终处置后，随着时间的推移，对其所采取的人工屏障的性能将逐渐失去作用，由于入渗水的作用，其中的核素将从废物体中渗出，经由地下水、地下水载带进入水循环，同时经由生物活动进入生态环境。但此过程是较缓慢的，核素的释放率是较低的。此外，处置场址主动监护结束后，公众将有可能



无意闯入，从而受到一定的外照射和内照射影响，根据相关资料，公众所受到的影响将低于目标管理值，是可接受的。

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，广东陆丰核电5、6号机组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。

## 第十一章 结论与承诺

### 11.1 核电厂建设项目

### 11.2 环境保护设施

### 11.3 放射性排放

### 11.4 辐射环境影响评价结论

### 11.5 非辐射环境影响评价结论

### 11.6 公众参与和调查结论

### 11.7 承诺

## 11.1 核电厂建设项目

广东陆丰核电厂址位于广东省汕尾市所辖陆丰市碣石镇以南约 8km 的田尾山，全厂规划建设 6 台百万千瓦级压水堆核电机组，5、6 号机组建设 2 台华龙一号技术融合方案核电机组。5、6 号两台机组计划分别于 2026 年 10 月和 2027 年 8 月投入商业运行。

## 11.2 环境保护设施

广东陆丰核电 5、6 号机组采用华龙一号技术融合方案，根据设计资料：

(1) 每台机组设置一套废气处理系统（TEG），采用滞留衰变的方式，设置复合压缩、分配、隔离、滞留等子单元进行放射性废气的处理，确保废气排放满足要求。

(2) 在烟囱排放管线上设置了废气的净化和控制装置。放射性气载流出物在排入环境前，将通过高效颗粒过滤器和碘吸附器进行净化。同时，在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。固体废物处理系统（TES）最终形成的低、中放废物包为 400L 钢桶，采用厂内专用运输车运输，送废物暂存库暂存，废物包暂存时间不超过五年，之后运往国家指定的区域处置场进行最终处置。

(7) 为了加强对核电厂运行后辐射环境的监测，陆丰核电厂将依据厂址周围的环境特征设计建成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，广东陆丰核电 5、6 号机组环境保护设施的设计性能可以满足环境保护的要求。

### 11.3 放射性排放

广东陆丰核电 5、6 号机组正常运行状态下，每台机组各类放射性流出物的年排放量和两台机组的年排放总量均能满足国家标准 GB6249-2011 相应控制要求。

本工程两台机组的液态流出物通过相关排放管理程序，可以满足 GB6249-2011 中 6.8 款规定的“对于滨海厂址，槽式排放口处的放射性流出物中除氡和 C-14 外其他放射性核素浓度不应超过 1000Bq/L”的浓度控制要求。

### 11.4 辐射环境影响评价结论

#### (1) 电厂正常运行的辐射环境影响

本工程运行状态下，放射性流出物排放造成的公众辐射剂量分析结果表明，对于一般公众，厂址 NE 方位 1~2km 子区内的青少年组公众个人受放射性流出物造成的年有效剂量最大，为  $1.99 \times 10^{-7} \text{Sv/a}$ ，占 GB6249-2011 中年剂量约束值（0.25mSv/a）的 0.08%，占剂量管理目标值（0.08mSv/a）的 0.25%。

本工程运行状态下，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  $7.76 \times 10^{-3} \mu\text{Gy/h}$ ，气载放射性流出物对厂址周围陆域生物造成的辐射剂量率最大为  $8.07 \times 10^{-4} \mu\text{Gy/h}$ ，均远低于 ERICA 程序推荐的  $10 \mu\text{Gy/h}$  剂量率筛选值，因此，可以认为放射性流出物排放不会对厂址周边非人类生物在种群上造成明显的损伤。

辐射环境影响计算和评价结果表明，两台机组对厂址周围公众的辐射影响满足 GB6249-2011 的相应要求，放射性流出物排放对非人类生物以及公众造成的辐射影响有限，对环境造成的辐射影响是可接受的。

公众辐射剂量“三关键”初步分析表明，在制定环境辐射监测方案时，需要关注的关键人群组为位于厂址 NE 方位 1.5km 的后埔村青少年，需要关注的照射途径包括：食入陆生食品内照射途径、食入海产品内照射和吸入空气内照射途径，需要关注的放射性核素包括： $^{14}\text{C}$ 、 $^3\text{H}$  和  $^{60}\text{Co}$  等。

#### (2) 选址假想事故的辐射环境影响

按照 GB6249-2011 要求,采用保守大气弥散条件下的选址假想事故的放射性后果评估厂址可接受性,事故后果计算结果表明:

- 选址假想事故发生后2h内,拟定非居住区边界上的公众个人(成人)受照最大有效剂量为 $4.46 \times 10^{-2} \text{Sv}$ , 占国家标准限值的17.8%;事故持续时间30d内,规划限制区边界上的公众个人(成人)受照最大有效剂量为 $3.72 \times 10^{-2} \text{Sv}$ , 占国家标准限值的14.9%。
- 选址假想事故发生持续期间30d内,厂址半径80km范围内公众群体所受到的最大集体有效剂量为 $8.13 \times 10^3 \text{人} \cdot \text{Sv}$ , 占国家标准限值的40.7%。

因此,厂址周围公众在选址假想事故下所受各类剂量低于 GB6249-2011 中的相应控制值。

### (3) 实施应急计划的可行性

广东陆丰核电 5、6 号机组厂址半径 5km 范围内涉及陆丰市碣石镇的后埔、浅澳、上林、新丰、红坡、角清和前堆共 7 个行政村, 13 个自然村。厂址半径 5km 范围内仅有小学分布在浅澳、后埔、上林和角清村。厂址半径 5km 范围内没有大、中型医院、监狱、大型工厂和养老院, 也没有大的学校。因此, 厂址半径 5km 范围内没有难以撤离的人群。

厂址 5km 范围内现有的危险品存储设施不会威胁到核设施的安全。就厂址外围地带的经济、工业、农业以及生态和环境特征而言, 暂不存在妨碍在厂址外围地带建立应急计划区的外部事件。

厂址附近区域的主要公路干线为深汕高速公路、G324 国道、S338 省道、陆丰市沿海公路、X139 县道、X133 县道和 X138 县道。此外, 陆丰核电厂进厂道路也已建成通车; 应急道路正在规划设计阶段。厂址周围交通网络较为发达, 厂区与外围交通联系便捷, 厂址周围具有良好的应急撤离、疏散和运输条件。无线通讯网络已覆盖厂址区域, 不会存在应急通讯的困难。

因此, 陆丰核电 5、6 号机组制定和执行核事故应急计划没有难以克服的困难。

## 11.5 非辐射环境影响评价结论

### (1) 温排水的影响

广东陆丰核电 5、6 号机组采用海水直流冷却方式冷却, 拟采用隧洞离岸深排方

案，即将温排水通过隧洞输送至深水区，利用深水区冷水以及强潮流作用加速掺混减少温升影响范围，减少温排水扩散面积。根据已开展温排水模拟结果，5、6 号机组采用离岸深排后的夏季典型大、中、小潮全潮的最大 1℃温升外包络范围和冬季典型大、中、小潮全潮的最大 2℃温升外包络范围均位于近岸海域功能区划三类功能区内，并且远离生态红线区，4℃温升区仅局限排放口区域，排放口位于三类功能区内但不在粤府函[2013]127 号设置的排污混合区内。

为尽量减轻取排水卷吸效应对海洋生物的可能影响，陆丰核电 5、6 号机组将考虑采取一定工程措施尽可能地减少仔鱼等小型海洋生物被卷吸进入循环水系统。电厂取水口流速与邻近海域海流流速接近，不会对周边水域流态产生明显影响，减小了对海生物的撞击和夹带的影响。陆丰核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。

#### （2）化学流出物的影响

电厂运行期间排放的有害化学物质主要是余氯。现有研究成果表明，海水中余氯浓度在 20 $\mu\text{g/L}$  以下时，其毒性不会对海洋生物产生显著影响。根据国内核电厂的运行经验来看，预计余氯对厂址附近海域的海洋生物影响很小。

除余氯外，核电厂排放的其它化学物质的量很小，且浓度较低，经电厂循环冷却水和海水稀释后，不会影响厂址附近海域的海水水质和海洋生物。

#### （3）其他环境影响

核电厂产生的生活污水、生产废水经处理达标后排放或回用于厂区绿化及道路浇洒。工业固废和生活垃圾均可以妥善收集处置，噪声和电磁对周围环境影响较小，可以满足国家相关标准要求。

### 11.6 公众参与和调查结论

陆丰核电厂在一期工程选址阶段和建造阶段环境影响评价过程已开展过多次公众参与活动。其中一期工程选址阶段公众参与工作就可分为 2011 年日本福岛核事故前和事故后两个阶段。在福岛核事故前，建设单位采用了核电科普知识宣传、发布一号、二号信息公告和环评报告简本、发放问卷调查表等方式向公众公开了相关信息并征求公众的相关意见和建议；在福岛核事故后，开展的公众参与工作主要有核电科普宣传、发布补充信息公告、现场布告、走访调查以及发放调查表、公布环评报告书简

本、开展座谈会等。此外，在开展一期工程选址阶段环评公众参与调查期间，建设单位还同时开展了社会稳定风险分析工作，对厂址周围的公众进行了电厂建设相关的核电知识宣传及问卷调查等，并对公众进行了充分的沟通及回访工作，有效化解了公众对陆丰核电厂建设的疑虑和对核安全的担忧。

一期工程建造阶段环境影响评价期间，建设单位采用了刊登一号信息公告、二号信息公告、公示全本环评报告、核电知识宣传、调查问卷发放、座谈会等形式充分保证了公众环境保护知情权、参与权、表达权和监督权。从开展的工作结果表明，当地公众总体上支持陆丰核电厂的建设。

当前，建设单位持续开展公众沟通与社会责任各项活动，包括邀请政府部门代表和媒体代表座谈、核电科普进校园、邀请周边村民走进核电基地、公众开放体验日、关爱周边弱势群体志愿者等活动。2018 至 2020 年 8 月期间，已累计举办 27 项上述各类活动。通过上述活动，建设单位进一步与当地公众进行沟通与交流，并在公众参与过程中充分保障公众的知情权和参与权，对厂区周边公众对核电厂建设起到了积极良好的促进作用，获得了公众对陆丰核电厂建设的理解和支持，也让更多人了解核电、支持核电。

建设单位后续将持续开展在厂址周边的公众宣传、社会公益事业，并将积极配合地方政府，力所能及支持当地就业，努力营造项目良好的周边关系环境。

## 11.7 承诺

建设单位将借鉴国内在役及在建核电厂的良好经验，拟采取如下措施和计划，促进厂址与周边环境相容，减少电厂建设及运行对环境的影响，并努力融入地方经济社会发展，为周边地区市政建设、产业升级、促进就业等方面提供持续的帮助。建设单位针对本工程的建设将在以下方面作出努力：

- (1) 针对本工程目前厂区用地与碣石镇土地利用规划不相符问题，本工程将尽快落实征地和基本农田异地补偿工作，使本工程满足用地要求；
- (2) 落实对于不在征地范围内的非居住区有效管控措施；
- (3) 进一步深化开展本项目散热系统运行对厂址周围海域的温升影响范围及程度的研究工作，以保证与厂址近岸海域功能区划要求相符合；
- (4) 本项目建设单位已通过一系列公众沟通与参与工作，取得了周边公众的理解和

支持。建设单位将持续开展核电科普宣传，尽可能消除公众“恐核”心理，实现核电与地方经济的融合发展；

- (5) 建设单位承诺在开工前委托开展施工期海域和陆域环境监测工作，及时启动现场水土保持监测工作，以掌握核电厂施工对厂址所在区域的环境质量及水土流失情况的影响。