

大尖山核能环保中心

环境影响报告书

阳江核电有限公司

二〇二六年五月

编制单位和编制人员情况表

项目编号	206e07		
建设项目名称	大尖山核能环保中心环境影响报告书		
建设项目类别	55--168放射性废物贮存、处理、处置设施		
环境影响评价文件类型	报告书		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	阳江核电有限公司		
统一社会信用代码	914417007718670082		
法定代表人 (签章)	杨剑兵		
主要负责人 (签字)	王进		
直接负责的主管人员 (签字)	牛凯		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	苏州热工研究院有限公司		
统一社会信用代码	913205084669547113		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
徐月平	2017035320350000003511320681	BH016833	徐月平
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
鲍昕杰	2.4节	BH011464	鲍昕杰
陶乃贵	第3章	BH022957	陶乃贵
徐续	2.1节、2.2节、2.3节	BH020263	徐续
徐月平	第1章、第8章	BH016833	徐月平

徐天寒	5.3节、5.4节、5.5节、5.6节、5.7节、5.8节	BH062605	徐天寒
张兵	第4章、第6章	BH044629	张兵
刘靓辉	2.5节、2.6节、5.1节、5.2节、第7章	BH036095	刘靓辉

目 录

第一章 概述

- 1.1 编制目的
- 1.2 项目基本情况
- 1.3 建设目的
- 1.4 主要建设内容及规划
- 1.5 编制依据
- 1.6 评价标准
- 1.7 评价范围
- 1.8 环境保护目标
- 1.9 生态环境分区管控符合性

第二章 场址环境

- 2.1 地理位置
- 2.2 人口分布与饮食习惯
- 2.3 土地利用和资源概况
- 2.4 气象
- 2.5 水文
- 2.6 地质和地震

第三章 处置设施

- 3.1 基本情况
- 3.2 处置对象
- 3.3 处置设施布置
- 3.4 处置工程设计
- 3.5 废物的处置
- 3.6 处置系统的演化
- 3.7 三废的产生与处理

第四章 环境质量现状

4.1 辐射环境质量现状

4.2 非放射性环境质量现状

第五章 环境影响

5.1 环境影响因素识别与评价因子筛选

5.2 施工过程的环境影响

5.3 运行的环境影响

5.4 关闭的环境影响

5.5 关闭后的环境影响

5.6 事件/事故的环境影响

5.7 环境风险评价

5.8 评价迭代的考虑

第六章 流出物监测与环境监测

6.1 流出物监测

6.2 环境监测

6.3 监测系统

6.4 质量保证

第七章 场址筛选及处置方案比较

7.1 场址筛选

7.2 处置方案比较

7.3 环境影响经济损益分析

第八章 结论与建议

8.1 结论

8.2 建议

1 概述

1.1 编制目的

根据《中华人民共和国核安全法》《中华人民共和国放射性污染防治法》要求，核设施营运单位须负责本单位放射性污染的防治并对核安全负全面责任，核电厂为实现安全运行与可持续发展，需做好放射性固体废物的处置工作，确保永久安全。大尖山核能环保中心规划接收并处置核电厂等所产的放射性固体废物，为满足放射性废物安全处置要求，本报告对大尖山核能环保中心开展环境影响评价，根据场址所在区域环境特征、废物源项和工程方案、环境保护设施建设等情况，评价工程建设运行后对周边生态环境以及公众可能产生的环境影响。

1.2 项目基本情况

1.2.1 建设项目名称及其业主

本建设项目名称为大尖山核能环保中心（以下简称“核能环保中心”），项目按照“一次规划选址、分期建造”的原则实施，本工程为一期工程，主要建设2条处置隧洞。核能环保中心由阳江核电有限公司（以下简称“阳江公司”）投资建设，并由广东大亚湾核电环保有限公司（以下简称“大亚湾环保公司”）营运，设计单位为深圳中广核工程设计有限公司。

阳江公司作为阳江核电厂的业主公司，负责阳江核电厂的运行，成立于2005年2月，控股股东为中国广核集团有限公司（以下简称“中广核集团”），阳江核电厂1号机组于2014年投入运行，全厂规划建设的6台核电机组已于2019年7月全部投入商业运行。为优化阳江核电基地的资源配置与利用，提高核设施安全运行水平，大亚湾环保公司作为中国广核集团下属的专业化公司，作为核能环保中心的营运单位，确保质量安全管理满足相关法律法规、标准和规范等要求，实现本工程的专业化运行和对放射性废物的安全管理。

1.2.2 建设性质

阳江核电已建设并运行6台核电机组，每年产生一定数量的放射性废物货包，并已运行多年。为了满足阳江核电产生的放射性废物处理和贮存需求，阳江核电向国家核安全局申请放射性废物贮存库改造项目（阳江核电环保配套工程项目）。2020年7

月6日，阳江核电收到国家核安全局《关于批准阳江核电环保配套工程项目改造的通知》（国核安发〔2020〕140号）。阳江核电环保配套工程项目属于阳江核电厂的附属设施，于2020年10月开工建设。

在建设过程中，阳江核电基于未来可能需长期贮存放射性废物的考虑，并响应国家中长期规划，采取高标准按照低中放放射性废物处置场规范要求设计和建造。为更好满足国家规划和广东省核电发展需要，落实相关要求，拟将阳江核电环保配套工程项目转为处置场（核能环保中心）。

场址位于广东省阳江市的阳江核电场址范围，主要接收和处置阳江核电厂等广东省内核电厂运行和退役期间产生的低中放固体废物，本工程主要建设2条处置隧洞，接收废物包括整备后的金属桶和高完整性容器等，其它各期工程视废物产生情况适时开工建设，项目设计服务年限为100年。

工程投资所需资金由建设单位进行筹措和解决。

1.3 建设目的

（1）建设目的和必要性

《中华人民共和国核安全法》《中华人民共和国放射性污染防治法》要求，核设施营运单位须负责本单位放射性污染的防治并对核安全负全面责任。阳江核电厂6台机组自2014年起先后投入运行，随着电厂的持续运行，每年产生一定数量的放射性废物货包，须做好放射性废物的安全处置工作。

为推动广东省放射性废物处置工作，2016年8月国家国防科技工业局、生态环境部、国家能源局联合组织召开关于加快提高我国核废物处置能力专题工作组推进会，会议要求尽快提出广东省域处置场推进方案。2018年9月，国家生态环境部（核安全局）召开第五次核安全与环境专家委员会部分委员会议，与会委员建议国家生态环境部（核安全局）督促广东省政府有关部门、中国广核集团有限公司抓紧落实广东省内低中放固体废物处置场建设。

阳江核电有限公司按照国家相关法律法规，推进落实放射性固体废物最终处置方案。为使阳江等核电厂产生的放射性固体废物得到妥善处置，保护公众和环境，满足国家核电发展规划和废物处置政策的要求，需在阳江核电基地区域范围选址建设低中放固体废物处置设施。根据2016年12月以来国防科工局等组织开展的有关场址审查

结论，在阳江核电基地周边区域选址建设低中放处置设施，具有必要性与紧迫性，场址建设符合国家核电发展规划和废物处置政策的要求。

（2）建设的规划相符性

《广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划纲要和 2035 年远景目标纲要》（粤府〔2021〕28 号）指出，保障能源安全，以加大油气等资源勘探开发和大力发展核电、海上风电等非化石能源为重点；安全高效发展核电。根据《广东省国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》（粤府〔2026〕24 号），先进核能是省未来产业发展重点方向，纲要提出，建设新能源体系，构建安全可靠的能源供应体系，坚持风光水核等多能并举，积极安全有序发展核电。

《广东省能源发展“十四五”规划》（粤府办〔2022〕8 号）指出：推动先进核能产业布局，在阳江等地集中规划新建核电产业园区，推进核电环保配套工程等一批重大项目和科研基础设施落地。根据《阳江市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二零三五年远景目标纲要》（阳府〔2021〕15 号），阳江市将大力发展核电风电、太阳能等新能源产业，建设“双区”重要电力能源供应基地，打造多能齐发的国家级能源产业基地，优化能源产业规划布局，推动能源产业集群式发展，保障能源安全，打造核电产业体系。

《广东省环境保护“十四五”规划》（粤环〔2021〕10 号）指出，加快实施碳排放达峰行动，持续优化能源结构，推进能源革命，安全高效发展核电；促进核设施保持高安全水平，配合国家开展低放固体废物处置场选址、建设工作。《阳江市生态环境保护“十四五”规划（阳府〔2022〕14 号）》，全市将发挥风电、核电、抽水蓄能、氢能等绿色能源优势，构建多元化清洁能源体系。本工程属于《产业结构调整指导目录》中核能的核设施退役及放射性废物治理类，属于鼓励类项目。

本项目的建设符合国家区域社会经济发展和能源发展规划要求，有利于做好核电厂放射性固体废物的安全处置和环境保护工作，有利于保障核电行业的安全有序发展。

1.4 主要建设内容及规划

核能环保中心规划用于满足阳江等广东省内核电厂产生的低中放固体废物处置需求，场址工程方案采用岩洞型处置形式，项目按照“一次规划选址、分期建造”的原则实施，作为废物包最终处置的场所。

本工程建设 2 条处置隧洞，主要接收和处置阳江等核电厂运行产生的低中放固体废物。

本工程运行期间的核安全和环境保护充分结合并利用阳江核电基地现有设施及管理要求进行协调和统筹安排。本工程主要由岩洞处置区、辅助设施区两大部分构成，其中岩洞处置区主要由 2 条处置隧洞、交通隧道、施工隧道、通风隧道和应急通道组成，辅助设施区主要包括辅助工艺厂房、废水排放廊道、设施出入口等，辅助设施区建筑占地面积 1859.2m²。本工程建设环境保护设施有防排水工程、通风系统、废水收集排放系统、环境监测设施等。

1.5 报告书的编制依据

1.5.1 法律法规、标准和导则

本工程主要遵循或参考的法规、标准和导则如下：

(1) 主要法律、法规和条例

- 中华人民共和国环境保护法（自 2015 年 1 月 1 日起修订施行）
- 中华人民共和国环境影响评价法（自 2003 年 9 月 1 日起施行，2018 年修正）
- 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（自 2016 年 1 月 1 日起施行，2018 年修正）
- 中华人民共和国水污染防治法（自 2008 年 6 月 1 日起施行，2017 年修正）
- 中华人民共和国噪声污染防治法（自 2022 年 6 月 5 日起施行）
- 中华人民共和国固体废物污染环境防治法（自 2020 年 9 月 1 日起修订施行）
- 中华人民共和国水土保持法（自 2011 年 3 月 1 日起施行）
- 建设项目环境保护管理条例（自 1998 年 11 月 29 日起施行，2017 年修订）
- 放射性物品运输安全管理条例（自 2010 年 10 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）
- 生态环境监测条例（自 2026 年 1 月 1 日起施行）
- 建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）（自 2021 年 1 月 1 日起施行）
- 国家危险废物名录（2025 年版）（自 2025 年 1 月 1 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，2019 年修正）
 - 放射性物品运输安全监督管理办法（自 2016 年 5 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，2021 年修正）
 - 放射性废物安全监督管理规定（自 1997 年 11 月 5 日起施行）
 - 生态环境分区管控管理暂行规定（自 2024 年 7 月 6 日起施行）
 - 广东省环境保护条例（自 2015 年 7 月 1 日起施行，2022 年修正）
 - 广东省民用核设施核事故预防和应急管理条例（自 1998 年 1 月 1 日起施行，2024 年修订）
 - 广东省固体废物污染环境防治条例（2022 年 11 月 30 日修正施行）
 - 广东省大气污染防治条例（2022 年 11 月 30 日起修正施行）
- (2) 技术标准、导则和规范
- 电离辐射防护与辐射源安全基本标准（GB 18871-2002）
 - 核动力厂环境辐射防护规定（GB 6249-2025）
 - 放射性废物管理规定（GB 14500-2002）
 - 放射性物品安全运输规程（GB 11806-2019）
 - 放射性固体废物岩洞处置安全规定（GB 13600-2024）
 - 低中水平放射性废物固化体性能要求-水泥固化体（GB 14569.1-2011）
 - 低中水平放射性废物高完整性容器（GB 36900-2018）
 - 低、中水平放射性固体废物包安全标准（GB 12711-2018）
 - 低水平放射性废物包特性鉴定-水泥固化体（GB 41930-2022）
 - 环境空气质量标准（GB 3095-2026）
 - 地表水环境质量标准（GB 3838-2002）
 - 海水水质标准（GB 3097-1997）
 - 声环境质量标准（GB 3096-2008）
 - 工业企业厂界噪声标准（GB 12348-2008）
 - 建筑施工噪声排放标准（GB 12523-2025）
 - 放射性废物分类（环保部、工信部、国防科工局公告 2017 年第 65 号）

- 核设施流出物监测的一般规定（GB 11217-89）
- 电离辐射监测质量保证通用要求（GB 8999-2021）
- 危险废物贮存污染控制标准（GB 18597-2023）
- 城镇污水处理厂污染物排放标准（GB 18918-2002）
- 核设施放射性废物处置前管理（HAD 401/12-2020）
- 放射性废物处置设施的监测和检查（HAD 401/09-2019）
- 放射性废物近地表处置设施营运单位的应急准备和应急响应（HAD 002/09-2023）
- 建设项目环境影响评价技术导则 总纲（HJ 2.1-2016）
- 环境影响评价技术导则 大气环境（HJ 2.2-2018）
- 环境影响评价技术导则 地表水环境（HJ 2.3-2018）
- 环境影响评价技术导则 声环境（HJ 2.4-2021）
- 环境影响评价技术导则 生态影响（HJ 19-2022）
- 环境影响评价技术导则 放射性固体废物近地表处置环境影响报告书的格式与内容（HJ 5.2-2026）
- 建设项目环境风险评价技术导则（HJ 169-2018）
- 辐射环境监测技术规范（HJ 61-2021）
- 地下水环境监测技术规范（HJ 164-2020）
- 广东省水污染物排放限值（DB 44/26-2001）
- 广东省大气污染物排放限值（DB 44/27-2001）

1.5.2 相关管理文件

本工程场址位于阳江核电基地，报告书充分结合阳江核电基地有关文件编制。

1.5.3 相关技术文件

报告书编制依据的主要设计文件、相关技术专题论证和研究报告主要有：

- 阳江核电厂 5、6 号机组环境影响报告书（运行阶段），苏州热工研究院有限公司，2018 年 3 月；
- 阳江核电环保配套工程水土保持方案报告书，广东省电力设计研究院有限公

- 司，2021年7月；
- 阳江核电环保配套工程项目可研阶段岩土工程勘察报告，长江勘测规划设计研究有限责任公司，2018年8月；
 - 阳江核电环保配套工程初步设计阶段岩土工程勘察报告，长江勘测规划设计研究有限责任公司，2020年6月；
 - 阳江核电环保配套工程项目场址离散裂隙网络渗流数值模拟研究成果，核工业北京地质研究院，2022年9月；
 - 阳江核电环保配套工程项目初步设计总说明，深圳中广核工程设计有限公司，2022年7月；
 - 阳江核电环保配套工程处置源项环境敏感性分析报告，中国辐射防护研究院，2023年10月；
 - 阳江核电厂2024年度放射性流出物排放与监测报告、2024年度环境监测报告，2025年3月；
 - 阳江核电厂2025年度放射性流出物排放与监测报告、2025年度环境监测报告，2026年3月；
 - 大尖山核能环保中心处置场场内辐射事故应急预案，广东大亚湾核电环保有限公司，2026年3月。

1.6 评价标准

1.6.1 辐射环境影响评价标准

(1) 正常运行工况下的公众剂量约束值

本工程所接收和处置的为核电厂所产生并整备后的固体废物，废物包装符合国家标准要求，对公众造成的影响主要是废物处置过程中货包的外照射对公众造成的剂量，设施正常运行期间不直接产生流出物向外环境排放。本工程位于阳江核电基地，根据工程特点，本工程正常运行工况下对公众造成的剂量要求取 0.01mSv/a 。

(2) 事故工况下的公众剂量控制值

本工程运行期间在事故工况下，对公众个人造成的剂量不超过 1mSv 。

(3) 关闭后环境释放对公众的年个人有效剂量限值

处置设施通过各种途径向环境释放的放射性核素对公众中关键人群组的成员造成

的年有效剂量不超过 0.1mSv。在场址的有组织控制解除后的任何时间内，对无意闯入或接触废物的个人提供保护，无意闯入者持续受到照射的年有效剂量不超过 1mSv，单次急性照射受到的有效剂量不超过 5mSv。

此外，本工程位于阳江核电基地，考虑本工程场址区域公众受到区域内其他核设施所造成的剂量贡献，公众所受到的剂量不超过 0.25mSv/a。

1.6.2 流出物排放控制值

本工程运行期间接收的放射性废物为整备后经表面污染监测合格的完整货包，运行主要是对废物包进行搬运与处置，正常运行期间不产生气态流出物排放。

本工程运行期间潜在含放射性废水主要为处置区的渗析水及辅助工艺厂房去污室的去污废水，本工程对废水进行收集并监测达标后按要求排放。本工程废水经监测后放射性浓度满足广东省《水污染物排放限值》（DB 44/26-2001）中总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ 要求，并满足 H-3 $\leq 740\text{Bq/L}$ 要求后，通过废水排放廊道接入阳江核电排水隧洞前池后最终排入大海。此外，对于废水相关非放指标应满足广东省《水污染物排放限值》（DB 44/26-2001）要求，其中化学需氧量：40mg/L，磷酸盐：0.5mg/L，氨氮：10mg/L。

1.6.3 接收限值

为保证放射性废物货包长期处置期间的辐射安全要求，本工程接收废物包为满足国家法规标准规定要求的低放射性固体废物包，包括整备后的金属桶和高完整性容器等。

本工程拟接收废物体积约为 $4.5\times 10^4\text{m}^3$ ，拟接收废物放射性总活度为 $1.72\times 10^{16}\text{Bq}$ 。废物包放射性核素及其活度浓度限值满足《放射性废物分类》中的低水平废物核素浓度限值要求。

1.6.4 非放射性环境影响评价标准

场址位于阳江核电基地，根据本工程污染物排放特点并根据阳江核电场址已有的非放评价标准要求，本次评价执行非放标准如下：

（1）环境质量现状评价标准

— 大气

场址区域环境空气质量执行《环境空气质量标准》（GB 3095-2026）中的二级标准。

— 水环境

场址附近海水水质按照近岸海域环境功能区划要求执行《海水水质标准》（GB 3097-1997）中的相应标准。

场址附近区域地下水按照《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）要求执行III类标准。

— 声环境

场址区域声环境标准执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中2类声环境功能区环境噪声限值，场外声环境保护目标执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）的2类标准，即昼间60dB（A），夜间50dB（A）。

（2）污染物排放标准

— 大气污染物

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）第二时段二级标准及无组织排放监控浓度限值。

— 噪声

施工期间的场界噪声执行《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）中的相应限值，即：昼间：70dB（A）、夜间：55dB（A）；运行期间场界噪声环境执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的3类标准（工业区），即昼间为65dB（A），夜间为55dB（A）。

— 污水排放

本工程运行期间非放污水送往海滨污水处理站处理，出水达到《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）中第二时段的一级标准。

— 固体废物

本工程对一般固体废物的贮存过程满足相应防渗漏、防雨淋、防扬尘等环境保护要求，危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）相关要求，并交由有资质的单位处置。

1.7 评价范围

(1) 辐射环境

结合本工程特点及工程规模，根据《环境影响评价技术导则 放射性固体废物近地表处置环境影响报告书的格式与内容》（HJ 5.2-2026）要求，本次辐射影响评价范围是以场址为中心、半径 5km 范围内的区域。

(2) 非辐射环境

— 大气环境

本工程大气环境主要是施工期废气的无组织排放，大气环境影响评价范围为施工厂界并适当扩大到厂址附近有关环境保护目标处。

— 地表水环境

本工程运行期间所产生的废水由本工程周边有资质单位接收并处理，不直接产生废水排放进入场址周围环境水体，根据导则要求可不设置评价范围。

— 地下水环境

本工程位于大水沟水文地质单元，地下水主要向北侧的大水沟、南侧的大海排泄，该水文地质单元位于场址 5km 区域范围内，地下水评价范围主要考虑场址所在水文地质单元。

— 声环境

本工程声环境影响评价范围取场址边界外 200m，并适当扩大至环境保护目标处。

1.8 环境保护目标

本工程场址半径 5km 评价范围内涉及到阳东东平湾森林公园生态保护红线，位于本工程 NW 方位约 2.5km 处。本工程不涉及利用或占用森林公园生态保护红线，不开展与其主导功能定位不相符合的开发利用活动。

本工程水环境保护目标主要是场址半径 5km 评价范围内的平堤水库，位于场址 NNE 方位 4.0km 处，水库为阳江核电厂和周边村庄提供淡水水源。场址区域没有地下水饮用水源地，所在的大水沟水文地质单元属于独立的水文地质单元，场址地下水下游没有居民点，大气和声环境不涉及环境保护目标。

本工程辐射环境保护目标主要是场址半径 5km 范围内的居民点，场址半径 5km 范围内涉及东平镇的瓦北行政村、允泊行政村，及大澳渔村居民点，最近的村庄距离

场址 NNE 方位约 3km。

1.9 生态环境分区管控符合性

根据《阳江市国土空间总体规划（2021-2035）》（粤府函〔2023〕230号）及阳东区政府提供的东平镇“三区三线”资料，本项目场址区不涉及永久基本农田和生态保护红线。

根据《阳江市“三线一单”生态环境分区管控方案》（阳府〔2021〕28号）以及2024年3月发布的《〈阳江市“三线一单”生态环境分区管控方案〉更新调整内容清单》，本工程位于东平镇中南片区一般管控单元（ZH44170430001），不属于重点管控单元和优先保护单元，本工程建设有助于保障核电的安全有序发展，属于《产业结构调整指导目录》中的鼓励类项目，不属于国民经济规划纲要中明确提出控制的“高耗能、高污染和资源性”类项目，不属于《产业结构调整指导目录》中限制类、淘汰类项目和《市场准入负面清单》禁止准入类项目，不涉及生态保护红线，不涉及岸线开发利用，也不存在污染物超标排放，符合相关管控要求。

2 场址环境

2.1 地理位置

本工程位于广东省阳江市东平镇的阳江核电厂场址范围。本工程位于阳江核电厂1号机组（E方位）约1.6km、6号机组（ESE方位）约1.0km，距离东平镇约6.2km、阳江市约37km。

本期工程地面部分主要包含辅助工艺厂房、隧洞口、运输道路等，地下部分主要为地下隧洞部分。本工程共建设2条处置隧洞，采取岩洞型处置方案，其NNE方位约4.0km处为平堤水库，南侧临海。

距场址最近的村庄为位于场址NNE方位约3.0km处的平堤村，有628人。

2.2 人口分布与饮食习惯

本工程建设单位委托专题单位于2026年3月对周边区域开展了人口分布和环境资料收集，人口数据统计口径为当地统计部门提供的截至2024年底户籍人口数据。本工程评价区域为场址半径5km范围，各子区的划分以场址为中心点，半径为1km、2km、3km、5km，按罗盘方位分成16个扇形面（每个扇形面22.5°）。

2.2.1 人口分布

2.2.1.1 各子区现状人口分布

本工程场址半径5km评价区范围内的居民点人口仅涉及广东省阳江市阳东区东平镇。截至2024年底，本工程场址半径5km评价区范围内总人口4663人，按陆域面积计算人口密度为122人/km²，低于广东省同期人口密度711人/km²，低于阳江市同期的人口密度329人/km²。

与上一次调查（4775人，2021年）相比，场址半径5km范围内涉及的自然村总数量不变（14个），人口减少了112人。人口减少的主要原因是当地人口增长率下降和部分农村人口迁往了周边城镇。

2.2.1.2 各子区预期人口分布

根据人口预测计算模式及人口预期增长率预测表明,本工程运行时,场址半径 5km 范围内的总人口数为 4708 人。

2.2.1.3 居民年龄构成

当地政府相关部门提供本工程场址评价范围内各年龄组的人口构成比例资料。

2.2.1.4 场址附近重要居民点

截至 2024 年底,场址半径 5km 范围内的人口涉及阳东区东平镇所辖的允泊行政村、瓦北行政村和大澳渔村,共有居民点 14 个,人口共有 4663 人。

场址半径 1km 范围内没有自然村,离场址最近的村庄为位于场址 NNE 方位 3.0km 处的平堤村,有人口数 628 人,该居民点也是场址半径 5km 范围内人口最多的自然村。场址半径 5km 范围内没有万人以上的集中居民区。

2024 年,东平镇的流入人口有 9276 人,其中最多的为允泊村,有流入人口 4678 人,主要为核电相关工作人员或承包商,居住地分布在核电自建生活区内(允泊村及其周边),其他务工或经商人员主要居住在东平镇区。根据阳江市政府颁发的《阳江核电厂周围限制区安全保障与环境管理规定》(阳府〔2021〕12 号文),阳江市对核电厂规划限制区内人口的机械增长进行规划、限制和引导,限制区内迁入常住人口或者进入暂住的外来工作人员数量将不得超过限制区发展规划的要求。

2.2.1.5 场址半径 5km 范围公共设施

1) 学校

本工程场址半径 5km 范围内没有学校。

2) 医院

本工程场址半径 5km 范围内共有 2 所卫生站,分别为允泊村卫生站(场址 WNW 方位约 3.8km)和瓦北村卫生站(场址 NW 方位约 5.0km)。这些卫生站没有大件医疗设施,每个卫生站有医务人员 1 人,可进行简单的医治活动。

3) 敬老院

本工程场址半径 5km 范围有 1 家敬老院,为东平敬老院,该敬老院位于场址 WNW

方位约 3.8km 处的东平镇允泊村，现有供养人员 14 人，床位 68 张，工作人员 6 人。场址半径 5km 范围没有监狱和疗养院等设施。

4) 风景旅游区

本工程场址半径 5km 范围内主要旅游景点为大澳渔村，大澳渔村为国家 4A 级旅游风景区（W 方位约 3.3km），并入选为全国乡村旅游重点村。

5) 企事业单位

场址半径 5km 范围内工业企业为阳江核电有限公司和庆杭造船厂等企业。

6) 其他公共设施

本工程场址半径 5km 范围无国家级文物保护单位，有 1 家省级重点文物保护单位。本工程场址半径 5km 范围内无飞机场。

2.2.2 居民生活习性与饮食结构

本工程场址周边主要属于农村地区，经现场调查，各村实际居住的儿童、青少年人数较少。本次居民饮食习惯调查在前期调查基础上，于 2026 年 3 月采用现场发放调查表的方式开展，发放对象为场址半径 5km 范围内允泊村、瓦北村下辖的各自然村居民。

对于各类食物的来源，经现场调查，场址周边居民消耗的粮食、蔬菜、肉、水果等农副产品大部分在镇区市场购买，少部分自己生产，所消耗的水产品主要来自附近海域。

场址半径 5km 范围内允泊村的居民生活用水来源为平堤水库，瓦北村大部分居民生活用水来源于东平镇自来水厂，小部分居民生活用水来源为井水或山泉水。由现场调查可知，场址附近渔民主要在近岸海域及外海捕捞，除禁渔期外一般每天出海时间 6~8 小时，捕捞的海产品在东平镇贩卖。场址附近有部分农民常年在从事农业生产活动，农忙季节每天最多工作 12 小时，非农忙季节每天工作 8~10 小时，全年约 300 天从事农业生产活动。场址附近农民主要食用自家种植的粮食和蔬菜，其主要农用地和农业生产活动范围主要为村庄周边区域，其农作物灌溉主要利用附近的小山塘、小水陂、小堤防等，灌溉方式主要为塘堰灌溉。

2.3 土地利用和资源概况

2.3.1 土地和水体利用

2.3.1.1 土地利用

根据《阳江市阳东区东平镇国土空间总体规划（2021-2035年）》，本工程所在东平镇建设用地现状 919.27hm²，包括城乡建设用地 706.40hm²、区域基础设施用地 164.93hm²、其他建设用地 47.94hm²。农业设施建设用地现状 60.52hm²，非建设用地 11956.11hm²（包括水域 774.94hm²，农林用地 11130.38hm²，其他非建设用地 50.79hm²）。

场址区域土地利用现状为林地，场址半径 5km 范围除阳江核电基地建设用地及村镇建设用地外，主要为林业用地和一般农用地。场址所在大尖山山南侧小湾一带在上世纪三十年代曾有露天采矿，矿坑长约 50m，宽约 20m，深约 1m，以及露天开挖水井，深约 5m。此外，在大尖山上零星分布有 8 个小规模探槽，探槽宽约 1m，深 1~3m，最深约 5m，除此之外未发现地下工程、采空区等。地表人类活动对地下工程无影响。本工程场址周边区域植被条件浓密，现状主要为乔木林。

目前，本工程场址半径 5km 范围内规模以上的工业企业为阳江核电有限公司。

除上述规模以上企业外，渔业为东平镇支柱产业，工业基本以冰厂、造船厂和海产品初加工为主，有造船业、机械维修业、制冰业、水产品加工业及渔具生产等，工厂规模多为几人到数十人的小厂。

根据《阳江市国土空间总体规划（2021-2035年）》（粤府函〔2023〕230号），阳江市将构建产业空间格局、引导产业园区空间布局，实施产业园区扩容提质，建设引领型产业集聚区、支撑型产业园区和万亩千亿大平台，推进 11 个产业园区建设，其中在阳东区布局东平产业园，主导产业为绿色能源、节能环保；在重点建设项目安排表中，提出在本次国土空间规划谋划建设阳江核电产业园，项目类型为产业，建设性质为扩建。本工程所在空间格局属于东部海域空间，以绿色能源为特色，推进南鹏岛南侧海域海上风电场项目建设，安全稳妥推进核电项目，推动核电产业链延伸拓展。场址附近现状及规划的土地利用类型主要为林地。

本工程属于规划的核电产业发展区，与核电相关的经济及产业规划设置已纳入上述规划中，场址位于阳江核电厂规划限制区范围内。通过对各区人口规模及产业进行控制和引导，预计相关规划的实施不会对本工程的建设 and 运行产生影响。

根据《阳江市国土空间总体规划（2021-2035年）》（粤府函〔2023〕230号），

阳江市要助力打造成为珠江口西岸都市圈重要发展极、广东省先进制造业新高地、国家绿色能源产业基地、国际知名滨海旅游城市；到 2035 年，阳江市耕地保有量不低于 1034.31km²（155.15 万亩），其中永久基本农田保护面积不低于 973.20km²（145.98 万亩）；陆域生态保护红线面积不低于 1479.21km²；城镇开发边界面积控制在 372.98km² 以内。场址不占用生态保护红线及基本农田。

2.3.1.2 水体利用

2.3.1.2.1 地表水

场址半径 5km 范围内涉及的主要河流为海萌河和响水河，主要的水库为平堤水库。

海萌河（又名海朗河、大水河），发源于东平镇境内东部山区，由东向西流入南海，河道全长度约 15km，主河道位于场址 NNW 方位约 4.5km；依据广东省地表水域功能区划，海萌河的功能为综合利用，目标水质为 II 类。

响水河属沿海独立水系，响水河上游河道的流向由东北在东平镇平堤村附近转弯后流向西南，在北陡镇沙咀村西侧注入南海尾角湾，主河段距场址最近 NE 方位约 4.3km，以农业用水为主。

平堤水库位于响水河上，位于场址 NNE 方位 4.0km 处，为阳江核电厂建设的配套工程，库容 2.569×10⁷m³，集雨面积 15.35km²，属中型水库，水质管理目标为 II 类。水库为阳江核电基地运行期间的生产和生活用水提供淡水水源，并兼顾向阳东区东平镇和台山市北陡镇部分村庄提供生活和农田灌溉用水，设计供水量可满足阳江核电厂建设、运行及地方生产、生活的要求。

根据《阳江市水利改革发展“十四五”规划》，阳江市加快构建完善水利基础设施网络，实施水资源配置工程、优化水资源配置格局，实施农村水利保障工程等，根据《阳江市阳东区水利改革发展“十四五”规划》，阳东区实施农村供水全覆盖及提质增效工程，通过乡镇水厂及管网升级改造提高水厂的供水覆盖自然村数和覆盖人口、建设边远山区村独立供水工程和部分镇自然村巷道管网工程。

场址附近的居民用水以地表水为主，东平镇各村均已实现 100%的集中供水通水。场址半径 5km 范围内的居民用水以地表水为主，仅少量村庄涉及地下水利用，东平镇镇区及附近村庄、各渔委会的居民生活用水水源主要为东平镇自来水厂、平堤水库和山涧水，水井地下水仅少量自然村在日常生活中保留作为生活用水水源，用于洗衣等。

场址半径 5km 范围内的农田灌溉用水主要利用当地的小山塘、小水陂、小堤防等引水灌溉。

2.3.1.2.2 地下水

场址附近主要以地表水体开发利用为主，仅少量村庄存在地下水利用，没有地下水饮用水水源地。

东平镇各村均已实现集中供水通水。场址半径 5km 范围内涉及东平镇的允泊村、瓦北村和大澳渔村。大澳渔村以自来水作为生活用水来源。允泊村目前使用平堤水厂的自来水，原有的村级公用井现已废弃，不再使用。瓦北村也已实现自来水全村覆盖，但部分自然村仍有村级公用井和居民自家使用的小井，用于洗衣和生活用水等。根据《阳江市阳东区水网建设规划》（2025 年），阳东区水资源分为 3 个五级区，其中粤西沿海诸小河阳江阳东涉及了东平镇、新洲镇和大沟镇。东平镇的计算面积为 171.1km²，多年平均地表水资源量为 2.33 亿 m³，径流深 1.362m。东平镇所在流域为三合河，多年平均地下水资源量为 0.50 亿 m³。

2.3.2 生态和资源开发利用

2.3.2.1 矿产资源

场址半径 5km 范围内目前无矿产资源开采区。根据阳东区自然资源部门提供的资料，场址附近规划有 2 处饰面用花岗岩区，分别为阳江市阳东区猫头山饰面用花岗岩开采规划区块及阳江市阳东区新洲东平建筑用花岗岩集中开采区。

2.3.2.2 林业资源

本工程场址位于东平镇阳江核电场址范围，场址周边区域植被条件浓密，现状主要为乔木林。

阳东区为半山区县，动植物资源丰富，其中植物资源主要包括木、竹、花、药四大类，常见的树林有南洋杉、马尾松、赤松（油松）、湿地松、加勒比松、落羽杉和桉树等；常见的观赏植物有白玉兰花、含笑花、荷花、鸡冠花、九里香、梅花、桃花、米仔兰、杜鹃花、大红花、夜兰香、吊钟花、茉莉花、紫金花、石蒜花、美人蕉等；常见的药用植物有石松、铺地蜈蚣、海金沙（牛抄芒）、井栏草（凤尾曹）、金钱草、

厥、贯众、金星草、槐叶芋、满江红等。

动物资源主要有兽类、鸟类、爬行类及两栖类等。兽类主要有黄猯、野猪、刺猬、穿山甲、大灵猫、小灵猫、野猫、白额灵猫、猪獾、山獾、水獭、旱獭、白鼻仔、野兔、松鼠等；鸟类主要有鸢、苍鹰、鹞、隼、猫头鹰、猴面鹰、斑啄木鸟、黑枕绿木啄鸟、布谷、小杜鹃、白鹭、绿头鸭、鸿雁等；爬行类主要有：蟒蛇、盲蛇、琴蛇、绞花林蛇、繁花林蛇、绿瘦蛇、紫沙蛇、白花锦蛇、玉斑锦蛇、平胸龟、水龟、金钱龟、甲鱼等。

阳东区背山面海，丘陵地区多，海岸线长。山地、丘陵地以赤红壤为主，占宜林山地 95%。加上属亚热带季风气候，热量丰富，雨量充沛，有利于林木生长发育。地带性的自然植被属南亚热带季风常绿阔叶林，但该地区也有人工培植的沿海丘陵地植被：如鹧鸪草、鸭嘴草、芒箕、桃金娘、岗松等。

阳东区森林面积 125.44 万亩，活立木蓄积量 $392.06 \times 10^4 \text{m}^3$ ，森林覆盖率 54.25%。

2.3.2.3 陆生生态

2.3.2.3.1 农业生产

场址位于广东西部沿海地区，主要粮食作物品种有稻谷、玉米、大豆和薯类；油料作物主要有花生；蔬菜主要有苦瓜、节瓜、莲藕、番茄、尖辣椒、芦笋、黄瓜、食用菌等，其中黑皮大冬瓜是阳东区的特色蔬菜之一，黑皮冬瓜个大产量高，单重一般都在 30 斤以上，主要销往浙江、上海及珠三角等地区；水果主要品种有荔枝、菠萝、龙眼、香蕉、甘蔗、黄皮、杨梅和柑橘等。

2.3.2.3.2 畜牧业生产

场址半径 5km 范围内畜禽养殖主要以猪、牛及禽类为主，一般多为散户个体养殖，有小部分养殖户养殖有羊等其他牲畜。场址周围地区生产的肉类主要以猪肉、牛肉、家禽肉为主。

2.3.2.3.3 陆生生态系统及重要保护性动植物

(1) 陆生生态系统

森林生态系统：东平镇山地海拔普遍不高，森林植被保存较好，生态环境优越，

拥有森林 8940 公顷，大部分为原始森林，以针叶林为主。其中，大面积（约 8000 公顷）的原始森林针叶林以松树、相思树为主。本工程场址位于东平镇东南侧的大尖山，现状主要为原始森林。

农田生态系统：场址半径 5km 范围主要涉及东平镇粮食作物、蔬菜、水果种植区，其中播种面积最大的为粮食作物，2024 年东平镇农作物总播种面积为 27059 亩。

湿地生态系统：场址半径 5km 范围内主要的湿地系统由沿海防护林带、河川湿地系统等组成。沿海防护林带沿海岸零散分布，河川湿地系统在河流入海口等处有分布。

（2）植物群落分布

东平镇形成了与其气候环境相适应的植被类型，主要自然植物群落为常绿阔叶林、针阔叶混交林型植被群落、滨海沙生型植被群落、红树林等。主要人工植物群落主要有海岸木麻黄林、桉树林、农业果林及其他。木麻黄林是主要的海岸防护林，其林相结构单一，分布着单叶蔓荆、仙人掌、茅根等。桉树林也是现状人工植被的主要类型之一，一般为纯林，林下植物较少。果园有荔枝、龙眼、菠萝蜜、香蕉等果树。

（3）保护动植物情况

场址半径 5km 范围内未发现分布有国家级、广东省级保护的珍稀濒危动植物。松雀鹰、雀鹰等保护动物主要分布于寿长河红树林湿地（最近距离场址西北侧约 11.8km）及附近的森林中。

2.3.2.4 水生生态

东平镇从事渔业生产活动以海水养殖、淡水养殖和海洋捕捞为主。其中：大澳渔委会、鹏程渔委会、永利渔委会、先锋渔委会、海胜渔委会、红星渔委会、太阳升渔委会、东方红渔委会和红旗渔委会共计 9 个渔委会以海水养殖和海洋捕捞为主；北环村、口洋村、良洞村、海荫村、莲北村及双安村以海水养殖和淡水养殖为主。大澳渔村现以旅游业为主，无渔业生产。

（1）水产捕捞

2024 年东平镇海水捕捞 45720t，鱼类为主要的捕捞水产品，总共捕捞量 42988t，占捕捞产品总量的绝大部分，其他为少量的虾、蟹和贝类产品。海洋捕捞海域为周边近海区域，无远洋捕捞，捕捞方式包括刺网、钓具、拖网和围网。捕捞类别以鱼类为主，并有少量甲壳类、贝类、藻类和头足类等。鱼类品种包括海鳗、带鱼、鲳鱼、金

线鱼、沙丁鱼、马面鲀、鲷鱼、石斑鱼、蓝园鲹、鳀鱼、大黄鱼、小黄鱼、梭鱼、金枪鱼、竹荚鱼等；甲壳类品种包括对虾和虾蛄等；头足类包括鱿鱼、章鱼和乌贼。

(2) 水产养殖

场址所在的阳东区淡水养殖范围主要集中在寿长河、那龙河两岸，海水养殖主要分布于三丫港和北环沿海一带。养殖品种以对虾、牡蛎、锯缘青蟹、文蛤、翡翠贻贝和海水鱼类为主。东平镇 2024 年海水养殖产量 80617t，淡水养殖产量为 1608t，其中北环村、良洞村、莲北村、双安村、海荫村、口洋村海水养殖产量较大。海水养殖水域包括海上和滩涂；养殖方式有普通网箱、池塘、筏式、吊笼和底播，以普通网箱和池塘为主。淡水养殖品种包括青鱼、草鱼、鲢鱼、鳙鱼、鲤鱼、鲫鱼、鳊鱼、泥鳅和罗非鱼，以青鱼和罗非鱼为主；养殖水域包括池塘和水库。

场址周边海水养殖品种以贝类和螺为主，养殖区域主要位于场址 WNW~NW 方位 10~15km 海域；东平镇葛洲岛湾内海域有少量的网箱养殖，养殖品种为石斑鱼、红鲷和对虾等。

2.3.2.5 国家公园、风景名胜

根据《阳江市国土空间总体规划（2021-2035 年）》（粤府函〔2023〕230 号），场址半径 5km 范围内涉及的国家公园为阳江阳东东平湾地方级森林公园。

阳江阳东东平湾地方级森林公园最近处距离场址 NW 方位约 2.5km，该森林公园同时划为粤西沿海丘陵台地水土保持生态红线。东平湾森林公园面积 5788.50 公顷，地处热带北缘，为亚热带和热带过渡地区，是阳东目前植物最早发生和现代分布中心之一。该区属南亚热带海洋季风气候，常年温暖湿润、雨水充沛、日光充足，自然资源丰富，有南亚热带常绿阔叶原始次生林 6 万亩，蓄水能力强，林区气候湿润。该森林公园能够有效地保护当地南亚热带常绿阔叶林和珍稀动物资源。

本工程场址半径 5km 范围内主要旅游景区为大澳渔村。大澳渔村位于场址 W 方位约 3.3km 处，为国家 4A 级旅游风景区，并被入选为全国乡村旅游重点村。大澳渔村年接待游客约 50 万人次，景区日最大游客承载量为 5000 人。游客主要集中在每年 4 月~10 月，均为短暂观光停留。

2.3.2.6 生态环境分区管控

(1) 阳江市

根据《阳江市“三线一单”生态环境分区管控方案》以及2024年发布的《〈阳江市“三线一单”生态环境分区管控方案〉更新调整内容清单》，全市共划定陆域环境管控单元48个和海域环境管控单元57个，分为优先保护单元、重点管控单元和一般管控单元三类，实施分类管理。

陆域环境管控单元：优先保护单元14个，主要分布在北部的云雾山、天露山，西部的鹅凰嶂等水源涵养、水土保持和生物多样性维护生态功能重要区域。重点管控单元23个，主要分布在江城区、阳东区、阳西县、阳春市和阳江高新区的城市建成区以及水环境持续改善压力较大的区域。一般管控单元11个，为优先保护单元、重点管控单元以外的区域。

海域环境管控单元：优先保护单元40个，为海洋生态保护红线；重点管控单元6个，主要用于拓展工业与城镇发展空间、开发利用港口航运资源、矿产能源资源的海域及现状劣四类海水海域的划定；一般管控单元11个，为优先保护单元、重点管控单元以外的海域。

(2) 江门市

根据《江门市“三线一单”生态环境分区管控方案》以及2024年发布的《江门市“三线一单”生态环境分区管控方案（修订）》，江门市共划定陆域环境管控单元77个，其中，优先保护单元33个，主要涵盖生态保护红线、一般生态空间、饮用水水源保护区、环境空气质量一类功能区等区域，主要分布在北部、西部的皂幕山-天露山生态屏障以及中部古兜山-台山沿海丘陵生态屏障；重点管控单元28个，主要包括工业集聚、人口集中和环境质量超标区域，主要分布在主城区、潭江走廊和大广海湾沿岸；一般管控单元16个，为优先保护单元、重点管控单元以外的区域，主要分布于鹤山北部和西部、新会东部、台山中部和恩平南部。共划定海域环境管控单元46个，其中优先保护单元26个，为海洋生态保护红线；重点管控单元10个，主要为拓展工业与城镇发展空间、开发利用港口航运资源、矿产能源资源的海域；一般管控单元10个，为优先保护单元、重点管控单元以外的海域。

本工程位于东平镇中南片区一般管控单元，符合相关管控要求。

2.3.2.7 生态保护红线

根据《阳江市国土空间总体规划（2021-2035）》（粤府函〔2023〕230号），全市严格执行国家和广东省生态保护红线管控政策要求。生态保护红线内允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动，其中生态保护红线内自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动，其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规的前提下，除国家重大项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动，严禁开展与其主导功能定位不相符合的开发利用活动。生态红线将整合优化后的自然保护地、生态保护极重要区、生态极脆弱区域以及目前基本没有人类活动、具有潜在重要生态价值的区域划入生态保护红线；生态红线成果将原先承担城市功能的公园划入红线。全市划定生态保护红线 3000.46km²，其中陆域生态保护红线 1479.21km²，海洋生态保护红线 1521.25km²。

本工程不涉及用海，场址附近的陆域生态保护红线主要为粤西沿海丘陵台地水土保持生态红线，位于场址 NW 方位最近约 2.5km，本工程不涉及利用或占用生态保护红线，不开展与其主导功能定位不相符合的开发利用活动。

本工程所在区域位于国土空间规划的生态保护红线外，符合国土空间规划相关管控要求。

2.3.3 交通运输

2.3.3.1 公路

1) 现状

阳东区境内普通国道共 3 条，分别为国道 G228、G234、G325；普通省道共 4 条，分别为省道 S276、S297、S386、S539。场址半径 5km 范围内涉及的三级以上公路为阳江核电进厂公路和应急公路，该段道路也属于 G228 国道的一部分，最近距场址 N 方位约 1.3km。

➤ 核电进厂公路

阳江核电厂进厂公路位于场址西北侧，起点为阳江市东平镇，终点至阳江核电厂厂区，沿线路经葛塘村和允泊村，全长 6.97km。按一级标准进行设计，设计路基宽度 23.5m，为混凝土路面。

➤ 核电应急道路

阳江核电厂应急道路从场址东北部低山丘修筑道路，经东平镇平堤村，再转东南方向进入台山市，进而汇入西部沿海高速公路。应急道路全长 2.429km，为二级公路，设计车速 60km/h，路面为混凝土。

本工程利用阳江核电厂已有交通设施，通过外部道路连接至阳江核电厂路网并至场址区。

2) 规划

根据《阳江市综合交通运输体系中长期发展规划（2018-2035 年）》，阳江市区将构建“一环十快”快速干线网络，阳江普通干线公路总体形成“多环+多快+多联”的网络形态，规划期内总体形成“四环二十五快三十四联”的路网布局方案，普通干线公路总里程 2075km，重复里程 193km。到 2035 年，阳江境内总体形成“三横两纵两支”的高速公路网络总体布局，总里程约 500km，基本实现“镇镇通高速”的要求。展望 2050 年，规划预留了 4 条高速公路，分别是深圳至南宁高速公路（阳江段约 95km）、郁南至阳西高速公路（阳江段约 60km）、沈海高速公路阳东支线（约 30km）、粤西沿海高速（阳江段约 50km）共 4 条线路，展望线里程约 235km（控制预留建设条件）。

根据《阳江市阳东区综合交通运输体系中长期发展规划（2021-2035 年）》，规划阳东区域形成“五纵七横”的干线公路网络布局，实现主中心东城、副中心合山镇与重点镇（东平镇、北惯镇）以及 7 个一般镇的高效联通，串联阳东主要交通和经济节点，推动产城融合、城乡一体、陆海统筹联动。规划阳东区境内高速公路布局形态为“三纵三横”布局，总里程约 228km，其中新增里程约 121km。

根据《阳江市阳东区综合交通运输体系中长期发展规划（2021-2035 年）》，规划建设省道 S276 线阳东支线新洲龙潭至阳江核电站公路（最近距场址 NNW 方位约 1.6km），规划道路全长 15km，为二级公路，2 车道，路基宽 12m，建设时序为 2027 年-2029 年，该道路建成后将为阳江核电基地提供南北方向的交通便利。

2.3.3.2 铁路

本工程场址半径 5km 范围内没有铁路通过。离场址最近的铁路是深茂高速铁路，距场址最近的西北方位约 25km 处。

2.3.3.3 海上交通

(1) 港口码头

东平渔港，位于场址 NW 方向约 6km 处，是国家一类渔港和二类口岸。港池及水域面积 140 万平方米，港口航道长 5.5km，宽 0.5~1.5km，平均水深 4.5m。有钢筋混凝土码头 3 座，长 645m，泊位 9 个，泊位平均水深 4m，可泊 400 吨级船只，可同时停泊船只 1500 艘，年吞吐量 15 万吨。渔港属浅海渔港，是融停泊、避风、补给等功能的渔业后勤服务基地。根据广东省阳江市东平中心渔港二期工程，拟建设加固防波堤、改造码头设施和配套工程等，提高东平渔港的避风等级，升级渔港的基础设计，实现渔港功能多元化。

除东平渔港外，阳江核电厂自建有重件码头，重件码头的建设规模（包括结构及码头长度）按靠泊 5000 吨级（同时兼顾 10000 吨级杂货船减半载靠泊）杂货船考虑；码头布置在取水渠道北侧，位于南防波堤和西防波堤合围形成的掩护水域内，沿厂区护岸呈东西向布置，码头总长 190 米。

(2) 海上航线

场址附近的海上航线有东平港进港航道，该航道从港口至飞鹅咀共计 2km，距离港口 1km 以内的航道水深大于 2m，航道宽 60m，可航行 300t 级以下船舶；距离港口 1~2km 之间的航道水深大于 4.5m，航道宽 100m，可航行 1000t 级船舶。出入东平港的多为小于 500t 级的小型船舶（包括渔船及货运船舶），上述船舶在场址附近沿海岸通过，无固定航线。

(3) 机场及空中航空线

场址半径 16km 范围内无飞机场。场址附近的空中航线主要包括：

- 连胜围~闸坡航线：为广州白云机场~湛江、昆明、东南亚的国际航路。该航线上飞机机型较多，飞行高度 7000~10000m 不等。该航线离场址的最近投影距离约 4km，为离场址最近的航线。
- 闸坡~高栏航线：珠海三灶机场~闸坡~湛江航线，离场址最近投影距离约 7km。飞机飞行高度在 4000m 左右。

根据阳江核电厂开展的相关研究专题结果，场址区域内的坠机概率为 5.42×10^{-9} 次/年，小于我国核安全法规中规定的坠机筛选概率 10^{-7} 。本工程距离阳江核电厂较近，可以认为此结论也适用于本场址。

2.4 气象

2.4.1 区域气候

场址所在的广东阳江市气候深受季风影响，冬半年受极地冷高压脊控制，盛行东北季风，天气较为干冷；夏半年则受季风低压、热带气旋所影响，盛行西南和东南季风，高温多雨。

春季白昼渐长，太阳倾角逐渐增大，地面接收的太阳辐射总量也开始增多。在季风显著的气候区中，春季是从冬半年到夏半年的过渡季节，影响广东的冷空气势力开始减弱，虽也有较明显的冷空气达到沿海，但东移较快，多受弱变性冷高压脊、静止锋、低槽等天气系统控制。

夏季为西南风的盛行期。高层副热带西风已撤离广东上空，而由热带东风所取代，并稳定控制。西风急流位置再次北跳并减弱。副热带高压为全年最强、位置最北的时期。夏季在副热带高压的稳定控制下，常出现炎热天气，是极端最高气温出现的主要时期。

秋季是夏、冬过渡季节，此时，高层南亚高压迅速撤离，500百帕副热带高压的候平均位置南落至北纬22度至18度，地面上锋面的候平均位置已越过南岭，冷高压迅速南下并控制广东。

冬季是北方蒙古冷高压的鼎盛时期，冬季风力强大。广东冬季经常处于干冷气流的控制下，气温为全年最低，降雨稀少，但广东大陆大部分地区位于南亚热带，冬季仍较温暖。

本场址位于阳江市，本节中区域气候一般特征采用阳江气象站资料统计得到，阳江气象站位于本场址西北方位约35km处。

阳江气象站是国家基本站点，1952年8月开始记录整编资料，其测站位于阳江市江城新寨村岗背坡顶，东经111°58'，北纬21°52'，海拔高度23.3m，观测场地周围比较开阔，无高大建筑物直接遮挡，具有气候代表性，观测项目有气温、气压、相对湿度、绝对湿度、风向和风速、降水量、日照时数、蒸发量、云量等，仪器设备和资料整理等均符合国家规范。

a) 气温

阳江年平均气温22.6℃，最热月在7月，月平均气温28.2℃，最冷月为1月，月

平均温度为 15.0℃。极端最高气温 38.3℃，出现在 2005 年 7 月 19 日，极端最低气温 -1.4℃，出现在 1955 年 1 月 12 日。

b) 气压

阳江年平均气压为 1008.1hPa，年内气压冬季高，夏季低，最高气压在 12 月，月平均气压为 1015.6hPa，最低气压在 8 月，月平均气压为 1000.5hPa，极端最高气压 1031.3hPa，出现在 1983 年 1 月 22 日，极端最低气压 956.7 hPa，出现在 2018 年 9 月 16 日。

c) 相对湿度

阳江年平均相对湿度为 80%，全年相对湿度在前汛期中的 4 月份达到最大，为 87%，冬季 12 月份相对湿度最小，为 69%，极端最低相对湿度 8%（为 4 次定时观测的最小值），分别出现在 1961 年 1 月 17 日和 1973 年 12 月 30 日。

d) 降雨

阳江为广东省降水中心之一，其年降水量及降水日数都比较多，其多年平均降水量为 2342.4mm，最大年降水量为 3611.3mm，出现在 2001 年，最小年降水量为 1197.1mm，出现在 1977 年；最大日降水量为 605.3mm，发生在 2001 年 6 月 8 日；年最多降水日数 200d，出现在 1975 年；累年最大连续降水量为 1471.7mm，发生在 2001 年 5 月 24 日~6 月 14 日。

e) 风

阳江气象站年平均风速为 3.0m/s，全年平均风速最大值在 3 月，为 3.3 m/s，平均风速最小值在 8 月，为 2.6 m/s，10 分钟最大风速为 34.6m/s，风向为 NNE，出现在 2008 年 9 月 24 日；极大风速为 52.5m/s，风向为 NNE，同样出现在 2008 年 9 月 24 日。

阳江气象站累年最多风向为 NE 风，风向频率为 18.9%，次多风向为 ENE，风向频率为 13.1%。年内各月，1 月、2 月、3 月、9 月、10 月、11 月、12 月最多风向为 NE 风，4 月最多风向为 SE 风，5 月、8 月最多风向为 SSE 风，6 月、7 月最多风向为 S 风；春季出现频率最高的是 NE，频率为 16.7%，夏季出现频率最高的是 S，频率为 13.3%，秋季出现频率最高的是 NE 风向，频率为 22.3%，冬季出现频率最高的是 NE 风向，频率为 29.0%。

f) 蒸发量

阳江气象站年平均蒸发量为 1776.1mm，最大蒸发量出现在 7 月，月平均蒸发量为

193.8mm，最小蒸发量在 2 月，月平均蒸发量为 90.6mm。

2.4.2 灾害性天气

2.4.2.1 热带气旋

1952~2022 年间，登陆或影响阳江市（日雨量 $\geq 50\text{mm}$ 或日最大风速 $\geq 10.8\text{m/s}$ ）的台风共有 250 个，年平均 3.6 个，最多年份有 8 个（1974 年）台风登陆或影响阳江市。

2.4.2.2 龙卷风

龙卷风包括陆龙卷风和海龙卷风。它是一种小尺度的强对流天气系统。龙卷风出现的时间短，范围小，但能量大，因此破坏力大。

对场址为中心经、纬度各宽 3 度范围进行了普查，包括场址附近台山市、阳江市（含阳西县、阳东区、江城区），该地区曾发生过二十多次陆龙卷风，这些龙卷风强度都不大。

根据 2005-2013 年评价区域内发生的龙卷风资料，场址区域共发生 49 次龙卷风，其中 F0 级 19 次，F1 级 27 次，F2 级 3 次，未发现 F3 级以上的龙卷风。3 次 F2 级龙卷风分别发生在 2008 年 6 月 29 日的番禺、2006 年 5 月 5 日的花都、2005 年 5 月 9 日的阳春县。

2.4.2.3 雷暴

阳江气象站（1953 年~2013 年）年平均雷暴日为 83.8d，年最多雷暴日 125d（1975 年），年最少雷暴日也有 56d（2003、2011 年），年内各月均有可能出现雷暴天气；雷暴天气主要集中出现在 4-9 月，约占 92.0%，11 月至翌年 1 月较少出现雷暴天气。

2.4.2.4 飑线

飑线在广东省比较常见，年均发生可达近 100 次。在全省的分布范围很广，地理分布没有一定的规律性，郁南至高要一线，英德、佛冈、南雄、始兴、惠阳、惠东一带稍多，每年有 2d 以上，其中郁南最多达 3~4d；而连山、广宁、翁源、河源、兴梅

盆地、珠江三角洲地区每年不足 1d；省内其余地区在 1~2d。飏线多发生于每年春夏季节的 4~8 月份，占全年的 80%以上，其中仅以 7~8 月份最多，分别占 21.5%和 21.6%。飏线在一天的任何时间内都可能出现，但以午后 1~6 时较为多见，占近六成，其中下午 2~6 时发生最多，约占四成。个中原因主要是太阳辐射对地球大气的影响在午后达到最高峰，这时气温最高，对流旺盛，大气层结构极不稳定，所以强对流天气最易发生。

阳江气象站飏线的年平均日数为 0.35 天，年内 3-9 月均可能出现飏线天气。

2.4.3 当地气象条件

阳江核电厂气象站位于本工程场址 NNW 方位约 2.3km 处，周边环境条件接近，可代表本工程场址地区气象条件。

本报告选取 2024 年 1 月至 2025 年 12 月两整年的阳江核电厂气象观测系统数据，根据统计，该两年气象数据联合获取率均高于 90%。

该气象系统观测项目有气象塔 10m、30m、80m、100m 风向、风速及气温；地面站气温（1.5m）、地表温度、气压、湿度、雨量等。

由于本项目不涉及气态流出物排放，根据规范要求，本节重点描述场址区域地面气象特征，包括 10m 高度风向、风速、气温、相对湿度、降雨等统计结果。

2.4.3.1 气温

场址地区年平均气温为 23.8℃，以 7 月最高，平均为 29.2℃；以 12 月最低，平均为 16.6℃。最高气温为 35.7℃，出现在 8 月；最低气温为 4.6℃，出现在 1 月。

2.4.3.2 相对湿度

场址地区地面观测站年平均相对湿度为 78%，6 月份和 8 月份平均相对湿度最高，为 86%；11 月份和 12 月份平均相对湿度最低，为 66%。

2.4.3.3 降雨

场址地区年均降水量为 2181.7mm，12 月降水量最小，为 1.4mm，9 月降水量最大，达 385.3mm。降水时数为年均 687.5 小时。

2.5 水文

2.5.1 地下水

本工程场址区构造简单，大尖山山体总体上富水性较差、透水性微弱，大尖山区位于滨海，地表、地下水分别向南侧南海和北边大水沟排泄，大水沟水流程短，沟口即为电厂区南侧的海湾，边界条件清晰，工程地质条件好，场址适宜性好。场址区地下水系统的主要补给来源为大气降水，整个系统范围内都为地下水的补给区，包气带水大多通过大气降水垂直渗入补给，少数通过大尖山北侧大水沟地表溪流侧向渗流补给。

场址区地质构造简单，无大规模的断层和能动断层，不同岩性之间均为熔融紧密接触关系，处置洞主要位于微新岩体、呈微新风化状态、属坚硬岩组，处置洞埋置深度范围微新鲜岩体属渗透性很弱-弱为主，不利于地下水和核素迁移，地质环境简单、不良地质作用不发育，综合评价场址适宜性好。工程区内未发现崩塌、滑坡、泥石流、岩溶、地裂缝、地面塌陷等不良地质作用，未揭露到可液化砂层及软土层，场地稳定性较好；开展钻孔双栓塞水文地质试验获取的岩体渗透系数，处置隧洞洞身段附近岩体渗透性等级主要为极微透水，不利于地下水和核素迁移，综合评价场址适宜性好。本节结合已有的水文资料及本工程岩土勘察成果，对场址地下水条件进行描述。

2.5.1.1 区域水文地质单元及水文地质特性

(1) 水文地质单元

按地表水、地下水的补给、径流、排泄条件，场址附近区域可分为大水河、响水河、允泊村-大澳、大水沟、大湾-小湾、下塘湾 6 个水文地质单元，各单元的分界基本为其地表水--地下水分水岭。其中，本工程位于大水沟水文地质单元（IV）与大、小湾水文地质单元（V）内。

1) 大水河水文地质单元（I）

大水河水文地质单元位于场址区 NW 方向的大水河流域，大水河（海荫河）左岸

离场址区最近的支流为黄符沟，最近距场址约 1.3km，大水河为入海河流，主河道距场址约 4.5km，大水河右岸有 6 条溪沟，坡脚见下降泉，主要为基岩裂隙水，流量 0.1~0.2L/s，左岸为海拔低于 150m 的低缓山丘及平地，有数条小溪沟补给，流量 4~21.3L/s 不等。沿大水河及其较大的支流地形较平缓，周边为低山、丘陵地形，大气降水大部分转为地表径流，小部分渗入地下。在河谷两岸的前缘坎下，常有泉水出露或呈片状和积水洼地分布。地下水排泄方式有三种：一是地下水由周围流向沟谷溪流、大水河，然后由河流排入南海；二是地下水直接排入南海；三是地表蒸发。

2) 响水河水文地质单元 (II)

响水河水文地质单元位于场址区北东侧约 5km，西侧以肥山一带的分水岭与大水河水文地质单元分界，东侧以婆髻山-两耳细山一带分水岭与下塘湾、小湾-大湾和大水河水文地质单元为界，流域面积约 17km²。单元内主要地表水体为响水河，发源于阳江、台山交界附近的横坑顶-直坑顶背一带，支流呈树枝状汇入干流，中上游有平堤水库，下游为大河最终汇入南海。大气降水入渗为响水河水文地质单元地下水的主要补给来源，除此之外还接受周边基岩裂隙水的侧向补给及河水、溪沟、渠道的渗漏补给。沿大河及其较大的支流地形较平缓，周边为低山、丘陵地形，大气降水大部分转为地表径流，小部分渗入地下。在河谷两岸的前缘坎下，常有片状和积水洼地、沼泽分布。地下水排泄方式有三种：一是地下水由周围流向沟谷溪流、响水河、大河，然后由河流排入南海；二是地下水直接排入南海；三是地表蒸发。

3) 允泊湾-大澳水文地质单元 (III)

允泊湾-大澳水文地质单元位于场址西侧约 3.5km 的允泊湾-大澳一带，地表水发源于虎头山-大澳山，水流自东向西汇入南海，流域面积 7.3km²，在大澳村有两条自西向东流入南海的溪流，大气降水入渗是允泊村水文地质单元地下水的主要补给来源，除此外还接受周边基岩裂隙水的侧向补给及河水、溪沟、渠道的渗漏补给。

4) 大水沟水文地质单元 (IV)

大水沟水文地质单元位于场址区以北，主要地表水系为大水沟，该单元面积约 4km²，大水沟发源于黄花环山下，经东北村东侧转南汇入电厂，属于常年径流。地下水系统的主要补给来源为大气降水，除此外还接受周边基岩裂隙水的侧向补给及河水、溪沟、渠道的渗漏补给。地下水系统的排泄方式有三种：一是地下水从周围流向谷地中小河，然后由河流排入大海；二是地下水直接排向大海；三是地表蒸发。系统内地

下水的运动主要是从周围沟谷向谷地厂区中间流动，最终由厂区排水系统汇入大海。

5) 大湾-小湾水文地质单元 (V)

大湾-小湾水文地质单元北边界以龙黄咀、大尖山、黄花环一带山脊为分水岭与大水沟水文地质单元分界，单元面积约 4.4km^2 ，区内主要由 3 条地表水系组成，分别为自北向南汇入黄花湾、自北向南汇入大湾和自北东向南西汇入大湾。大尖山南侧海边分布有下降泉。地下水系统的主要补给来源为大气降水，整个系统范围内都为地下水的补给区。地下水系统的排泄方式有三种：一是地下水以下降泉、溪流排入大海；二是地下水直接排向大海；三是地表蒸发是地下水的第三种排泄方式。

6) 下塘湾水文地质单元 (VI)

下塘湾水文地质单元位于场址区以东，区内地表水体为发源于山猪垅的小河，长约 1.9km ，由西向东汇入南海。地下水系统的主要补给来源为大气降水，除此外还接受周边基岩裂隙水的侧向补给及河水、溪沟的渗漏补给。地下水系统的排泄方式有三种：一是地下水流向溪流排入大海；二是地下水直接排向大海；三是地表蒸发。

总体而言，区域内的 6 个水文地质单元内的水系发育状况、汇水面积、地表-地下水水量等条件各异。本工程位于大水沟水文地质单元 (IV) 与大、小湾水文地质单元 (V) 内，两者以龙黄咀、尖山顶、黄花环、两耳细顶、大石碑、鬼仔顶一带山脊为界，场址所在区域涉及的边界条件清晰。大气降水为区内地下水补给的主要来源，其次为基岩裂隙水侧向补给与地表溪流渗流补给，在分界线以北，为地下水主要向大水沟内排泄，大水沟大致由东向西流向核电厂区南侧海湾汇入南海；分界线以南，地下水以下降泉及地表溪流形式向南海排泄。

(2) 地下水含水岩组分布及类型

本工程场址附近区域内地下水自上而下依次为：包气带水、潜水，偶见局部裂隙弱承压水。包气带水主要位于残坡积层和全风化带中，以结合水和毛细水的形式赋存于含砂、砾及块石的粘土中。潜水面主要位于全-强风化带内，少数位于中等风化带甚至微新基岩内。潜水按含水介质可分为松散层孔隙水和基岩裂隙水，松散层孔隙水赋存于第四系松散层中，基岩裂隙水赋存于斑状花岗岩、中细粒花岗岩、花岗斑岩及其风化层中。因此，场址地区含水岩组的划分首先根据含水介质的性质划分为两个大类，即松散层孔隙含水岩组和基岩裂隙含水岩组，含水岩组根据含水和透水性质又细分为若干含水层。

1) 松散层孔隙含水岩组

松散层孔隙含水岩组主要特点是地下水赋存并运移于第四系松散堆积物的孔隙中。砂层是松散层孔隙含水岩组代表性的含水层和透水层。场址区覆盖层物质主要由含砂、砾质粘性土组成，夹风化块球体，粘土含量的不同导致渗透性相差较大。覆盖层物质成分主要为冲洪积层砂层及砂卵砾石层及残坡积层砾质粘性土和砂质粘性土。砂层包括局部的砂卵石层，孔隙率高，分选性较好，为强透水~透水层。残积层包括砾质粘性土和砂质粘性土，均为弱透水层。

2) 基岩裂隙含水岩组

基岩裂隙含水岩组主要特点是地下水赋存并运移于岩石的裂隙中，岩石中主要有风化裂隙和构造裂隙两类。岩体主要为透水性弱及透水性很弱，局部为透水性中等，少量强透水。在弱风化-微新基岩中，地下水大多呈网络状赋存在岩体的张性节理裂隙中，为网络裂隙水，在致密基岩中几乎不含地下水。

(3) 地下水水位及变化

场址附近的大尖山区地形总体为一近东西向山体，东高西低，北侧大水沟河谷切割较深，南侧临海坡度大，局部为陡坎崖地貌，北侧坡稍缓，北部音山、松籽岭一带地势较缓。地下水受地形地貌、岩性、风化和构造控制较为明显，斑状花岗岩、花岗斑岩抗风化能力弱，岩体中裂隙发育，地下水埋深相对较大；中细粒花岗岩抗风化能力强，裂隙不发育，地下水埋深较浅。

场址区内地下水位大多位于全-强风化带中，少数位于弱风化带甚至微新基岩中。包气带水在不同的地貌单元，不同的岩性厚度是不同的。在大尖山一带基岩露裸，包气带厚度变化大，包气带水厚度一般 10~50m，在山脊附近最厚可达 80m，在山坡、山脚处较薄，最薄 3.1m。音山-松籽岭一带包气带厚度一般 6~22m，沿山脊至沟谷，包气带厚度逐渐减小。地下潜水水面线受地形起伏直接影响大，大尖山南坡潜水水面线陡，水力坡降一般 0.4~0.6；北坡潜水水面线稍缓，水力坡降一般 0.35~0.5；音山、松籽岭一带潜水水面线走势受地形起伏控制，水力坡降一般 0.25~0.3。

根据 2016 年 7 月~2018 年 4 月期间开展的地下水位监测结果，场址区地下水埋深一般为 10~88m，最大埋深为 149.6m。地下水位埋深一般随地形起伏而变化，由山脊向河谷逐渐变浅；场址区局部因岩体中张裂隙发育，且在排泄方向上裂隙连通性好，地下水位埋深大。

根据地下水水位监测结果，地下水一般高水位出现在7月、8月，低水位出现在11月、12月。地形坡度较缓处，大尖山北坡植被较密集处，地下水水位变幅不大，一般1~6m；地形坡度较陡处、植被稀少处，地下水水位变化受降雨影响较大，大气降水补给地下水入渗快，地下水水位变幅较大，一般达10~30m，最大变幅为39.6m；大尖山南坡植被稀少、地形较陡处，变幅在20.82~28.87m。

2021年度监测期间，14个监测钻孔中，钻孔最高水位为218.34m，最低水位为8.29m。基于场址区域目前连续长期监测的钻孔CCZK01、CCZK03、CCZK06、ZK01、ZK03、ZK09和ZK11水位数据，不同钻孔地下水水位呈上升或者下降的趋势，位于地表水汇水区域的钻孔，因汇水可能导致该钻孔水位呈上升的趋势，位于地形相对较高区域的钻孔，则地下水水位相对呈下降的趋势，整体地下水水位变化幅度一般在10cm~15cm之间，波动幅度不大。

（4）地下水补径排条件

大尖山山体浅表部地下水文结构属较典型的孔隙—裂隙网络结构，微新岩体中则为典型的裂隙网络结构，岩脉、断层发育的局部地段则为脉状结构。水文地质结构的非均质各向异性特征明显，总体上富水性较差、透水性微弱。

1) 地下水补径排条件

场址所在的大尖山区地形起伏较大，总体为一近东西向山体，东高西低，山体较为浑厚，北侧大水沟河谷切割较深；南侧临海坡坡角一般35°~50°，局部为陡坎崖地貌；北侧坡稍缓，坡角25°~35°；北部音山、松籽岭一带为低丘，地势较缓，山体自然坡角一般20°~30°。大尖山区地形起伏较大，河谷切割较深，基岩出露良好，出露于地表的全风化带岩体的渗透性弱，加之雨量集中，且多阵发性暴雨，因此绝大部分降水转化为地表径流，地下水均衡补给量小，约10~20mm/a。地下裂隙潜水水力坡度较大，地下水交替迅速，形成活跃的地下径流。大气降水从岩石节理裂隙下渗形成地下水后，迅速地沿着节理裂隙坡降往下运动，然后从切割较深的河谷或山脚以泉的形式出露地表，部分可能直接排泄补给大水沟和南海。区域属于地下径流迅速循环区。

场址区主要地表水系为大水沟，场址区地下水系统的北侧边界为大水沟，是场址区北侧音山南坡与场址区北坡地下水共同排泄的通道；南侧边界为大尖山南侧的海岸线，为场址区南坡地下水向南海排泄的通道；西侧边界位于龙黄咀、尖山顶一带的山脊，东侧边界位于大小湾以北近南北向的埡口一带。

场址区地下水系统的主要补给来源为大气降水，整个系统范围内都为地下水的补给区，包气带水大多通过大气降水垂直渗入补给，少数通过大尖山北侧大水沟地表溪流侧向渗流补给。潜水通过降水和包气带的下渗补给，以垂直渗入补给为主。大尖山地下水埋藏较浅，径流途径短，水力梯度较陡，大多数为浅循环网状裂隙水，常以散流或下降泉的形式排泄于南海和大水沟，部分通过花岗岩体尤其是裂隙极为发育的花岗斑岩脉补给网络裂隙水。地下水系统的排泄方式有三种：一是地下水从北坡流向大水沟，然后由大水沟经排水渠道排入大海；二是地下水直接从南坡排向大海；三是地表蒸发是地下水的第三种排泄方式。

大尖山为东西向条状山体，地下水仅依靠大气降水补给，无外界越流补给，在本工程开挖及废物处置期间，隧洞内疏放水导致地下水潜水面下降，山体地下水水位会下降，但在回填及封场后的场址长期关闭后，洞室周围混凝土及工程屏障将逐渐降解失效，处置隧洞与大尖山山体融为一体，大尖山山体的地下水系统接受大气降水补给后，地下水水位将逐渐恢复，山体内潜水面从山顶到山脚仍是逐渐降低，形成的地下水径流仍分别向北侧的大水沟、南侧的大海排泄，仍不会改变大尖山山体的地下水流场的宏观规律。

2) 泉出露及分布

场址周边 5km 范围内出露的泉点基本为下降泉，在地形上多沿地形陡缓相交部位出露，在覆盖层与基岩接触线附近多呈散点状或线状出露，在溪沟或海边基岩地段则是顺断层或裂隙集中出露。

大尖山常见泉水流量 0.1~1.0L/s，但分水岭地带水量贫乏，泉水常见流量 0.01~0.10L/s，少数流量为 0.15L/s；大尖山南侧海边泉水沿大尖山坡脚基岩裂隙出露，都为下降泉，分布高程 2~13m，多小于 10m，流量 0.02~4L/s，多小于 0.1L/s，水质清澈，为淡水，盐度<2‰，水温 23~24℃；大水沟上游泉水出露高程较高，这些泉水流量为 0.01~0.05L/s，随季节变化明显。

3) 地下水渗透对隧洞的影响及应对措施

本工程处置隧洞底板高程为 22.0m，位于海平面高程以上，处置隧洞不受海水渗透影响；场址为地形相对独立的山体，处置隧洞高程以上无水库、河流、暗河等水量较大的地下水入渗来源，不存在影响洞室稳定安全的大流量承压地下水渗流。

洞内渗水来源仅为地表降雨入渗和周边地下水沿裂隙入渗至处置隧洞，由于山体

覆盖深度大且岩体本身的渗透系数很低，其渗水压力和渗水量相对较小，对处置隧洞的整体稳定安全影响极小。

根据施工建造阶段现场地质编录资料及隧洞内统计，自施工建造阶段后一段时间，隧洞内地下水补给来源以滴水 and 渗水为主，自 2025 年 5 月 1 日至 2026 年 2 月 28 日，1#处置隧洞渗水总量 46102.106L，2#处置隧洞渗水总量 21250.502L。

(5) 地下水水化学特征

1) 岩石地球化学特征

根据场址区花岗质岩石主量元素成分分析，场址区岩石主要为高酸度的钙碱性花岗岩，以 SiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 含量高， Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 CaO 、 MgO 含量低为其特点。中细粒花岗岩和花岗斑岩中 SiO_2 含量绝大部分在 76% 以上， $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 可达 7.47%~8.48%，全铁含量 (TFe_2O_3) 1.22%~1.70%。斑状花岗岩 SiO_2 含量 72.82%， $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 含量 7.92%，全铁含量 1.70%。中细粒花岗岩普遍发生钠长石化和云英岩化，分析表明钠长石化岩石 Na_2O 、 SiO_2 含量明显增高，而 CaO 、 K_2O 、 MgO 和全铁含量有所降低，从矿物成分上也有所反映，钠长石化岩石颜色较浅，多含伟晶岩团块。

2) 地下水水化学特征

场址附近区域地下水水化学特征及矿化度自北部山地向南部台地、平原区呈现出分带特征。

- 北部为中、低山区为重碳酸盐带，由于地势起伏较大，潜水水力坡度大，径流条件好，地下水水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$ 型水和 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型水，其次为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型水、 $\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Mg}$ 型水及 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ 型水，水的矿化度低，一般小于 0.5g/L。
- 中部低丘及台地地区为重碳酸-氯化物水带， $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}$ 型水分布较广，为丘陵、山区向滨海过渡的台地地区及滨海丘陵区多为此类型水，局部为 $\text{SO}_4\cdot\text{Cl}$ 型水，水的矿化度绝大多数小于 0.5g/L，少数在 0.5~1.0g/L。
- 沿海平原区为氯化物水带，主要为沿海平原及河流入海处受海水、潮汐影响，形成了 Cl-Ca 型水分布区，矿化度一般大于 1.0g/L，部分大于 10.0g/L，最高矿化度达 34.34g/L，愈近海岸矿化度愈高。

根据对场址北侧冲沟大水沟、场址南海湾、钻孔内地下水，以及泉水的共 15 组水样水化学特性分析结果，大水沟溪流水水质类型为 $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$ 型水，海水水质类型

主要为 Cl-Na 型水，地下水水质类型主要为 $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$ 型水，其次为 $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$ 型水及 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型水，泉水类型主要为 $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$ 型水。海水、钻孔水和地表溪水测试氧化还原电位 Eh 均为 $0 < \text{Eh} < 200\text{mV}$ ，属氧化条件。

(6) 地下水流场模拟

根据本工程开展的《岩洞处置工程技术研究花岗岩场址裂隙介质地下水流数值模拟研究成果报告》，采用软件 FracMan 和程序 PFLOTTRAN，建立场址离散裂隙网络结构模型，实现了渗透结构数值表征，构建了离散裂隙网络地下水流数值模型，模拟了地下水在裂隙中的迁移规律，评估地下水流动演化趋势并预测了地下水流动路径和质点迁移路径，获取了场址地下水流场及核素迁移评价相关的重要成果。

根据专题对场址水文地质条件研究分析结果，场址区地下水系统的主要补给来源为大气降水，场址区域绝大部分地下水以垂直渗入方式补给，潜水通过降水和包气带的下渗补给，以垂直渗入补给为主，大尖山地下水埋藏较浅，径流途径短，水力梯度较陡，大多数为浅循环网状裂隙水，排泄于南海和大水沟；场址区域整体上多数钻孔受到降雨影响较小，整体地下水是从场址地形较高区域向地形较低区域运移；场址绝大多数裂隙岩体的渗透系数都分布在 $10^{-12}\sim 10^{-9}\text{m/s}$ 之间，这充分说明本工程场址岩体的渗透性是极低的，属于极微透水，该结果可为场址渗透参数的取值提供重要的参考依据。

花岗岩岩体中的地下水流动受裂隙产状、连通性、孔隙度等多种因素的影响。根据整个核素迁移路径距离及迁移时间分析，在迁移路径上地下水流整体流速不超过 $2.0\times 10^{-3}\text{m/d}$ 。本工程处置隧洞区多数达西流速分布在 $10^{-7}\sim 10^{-4}\text{m/d}$ 左右，地下水流较为缓慢。总体来看，整个场址区为花岗岩网状裂隙结构，溶质往大水沟方向迁移时间最快约 700 年到达离散裂隙网络模型的西北侧边界，而到达南侧南海边界的时间约为 4800 年；模拟研究显示的场址周围多数裂隙中地下水渗流速度分布在 10^{-2}m/d （约 10^{-5}cm/s ）之下，地下水流较为缓慢。

场址尺度花岗岩裂隙介质地下水流模拟研究中，模拟范围为场址及邻近区域，北侧和南侧分别以大水沟和南海作为边界条件，在离散裂隙网络渗流模型研究中，模型范围与边界模型范围与边界条件主要根据场址水文地质条件和等效多孔介质模型的模拟结果进行确定的，离散裂隙网络模型采用立方体形状，范围为 $854\text{m}\times 923\text{m}\times 322\text{m}$ 。

场址尺度地下水流模型模拟中，模拟研究结果表明整体场址区域地下水水位是中

间偏高，四周偏低，中间区域处存在地表分水岭，西北侧水力梯度相对较陡，东南侧相对偏缓，整体场址地下水位与地形的高低起伏是保持一致的。根据离散裂隙网络模型模拟结果也可知，裂隙中地下水流动较为缓慢，虽然少数裂隙中的地下水流速较大，然而与之相连的其它裂隙流速往往相对较低，无法形成有效的快速通道。场址区域绝大部分的裂隙导水系数是小于 $10^{-8}\text{m}^2/\text{s}$ ，这说明整体上场址区域内的裂隙导水系数是相对较低的，其次通过切面图可知虽然局部区域的裂隙渗透性较高，但是与其相连的裂隙渗透性多数是相对较低，无法形成有效的快速通道，这对场址的安全评价是有利的。

2.5.1.2 区域地层特征及岩性特征

(1) 地层特征

本工程场址区域属华南地层区，区域内地层自震旦系、下古生界至第四系均有出露。在阳江核电厂址附近主要以印支期花岗岩、燕山晚期第一阶段花岗岩为主，本工程所在场区及以北地区主要以燕山早期第三阶段花岗岩为主，场址以东以燕山晚期第一阶段花岗岩为主，以南沿海局部地区则少部分为燕山晚期第二阶段花岗岩，第四系则广泛分布于河谷平原、河口三角洲和滨海平原等。

区域内属亚热带气候，雨量充沛，大气降水是本区地下水的主要补给来源，地下水的径流和排泄条件与地形、地貌条件关系密切。场址所在区域内地下水主要赋存于第四系堆积物与砂岩类岩石裂隙中，按埋藏条件和成因类型主要可分为第四系松散堆积层孔隙水、基岩孔隙裂隙水、基岩裂隙水、岩浆岩脉状裂隙水及弱承压水等类型，区域内岩性及含水岩层分布情况主要如下：

- 第四系沿河流两岸和沿海平原分布，地下水主要埋藏于孔隙较大的砂和砂砾层中，形成孔隙潜水。第四系冲积层中，粗砂及砂砾层构成了良好的孔隙含水层，含水较充沛，渗透性好；第四系海陆交互相、滨海相及海相沉积层中，砂及砂砾层分布不连续，孔隙较发育，透水性较好。地层中局部连续分布的层状粘土层、粉质粘土层透水性差，为良好的隔水层。
- 沉积岩主要为寒武系、泥盆系、上三叠-下侏罗系及第三系岩层，岩性以砂岩、砾岩及页岩为主，地下水主要赋存于基岩孔隙裂隙中。总体上，沉积岩地层均属于含水微弱岩层，透水性一般。
- 岩浆岩主要有加里东期、印支期、燕山期花岗岩、闪长岩岩体及不同期次的岩脉，

地下水主要赋存于基岩裂隙及长大岩脉裂隙中，形成裂隙状及脉状潜水。岩浆岩层中，地下水的动态受季节影响大，多以裂隙下降泉的形式出露于山坡和冲沟底部，泉涌水量不大，透水性一般。

(2) 岩性特征

本工程场址半径 5km 范围内的地层和岩性较为简单，基岩主要为燕山期花岗质侵入体及其中的岩脉，第四系覆盖层主要由人工堆积层 (Q_4^f)、冲洪积层 (Q_4^{pal})、残积层 (Q_4^{cl})、坡基层 (Q_4^{dl}) 和海积层 (Q_4^m) 构成。花岗质岩石根据侵入时代由老到新依次为：粗粒二长花岗岩 ($\eta\gamma_5^{2(2)}$)、斑状花岗岩 ($\gamma_5^{2(3)}$)、中-细粒花岗岩 ($\gamma_5^{3(1)}$) 和花岗斑岩 ($\gamma\pi_5^{3(2)}$)，以及黑云母花岗岩 (γ_5^1)。岩脉主要有花岗斑岩脉 ($\gamma\pi$)、闪长玢岩脉 ($\delta\mu$)、伟晶岩脉 (ρ)，各种岩脉与围岩直接成熔融紧密接触。场址所在的大尖山山体总体较浑厚、完整，地层岩性主要有斑状花岗岩、中细粒花岗岩、花岗斑岩及穿插其间的花岗斑岩脉、闪长玢岩脉、伟晶岩脉，不同岩性之间均为熔融紧密接触关系。场址区各岩层岩性特征如下：

(a) 侵入岩

- 燕山期晚白垩世花岗斑岩 ($\gamma\pi_5^{3(2)}$)：主要分布于阳江核电厂以东的大尖山山梁中西部，以岩株、岩墙出现，花岗斑岩风化后呈灰白色，新鲜面为青灰色，斑状结构、块状构造，岩质坚硬，裂隙较发育。在场址区主要有场区西南侧的少部分区域分布有该种岩层，在场区 1~9# 处置洞南端位于该种岩性岩体内。
- 燕山期早白垩世中-细粒花岗岩 ($\gamma_5^{3(1)}$)：主要分布在阳江核电厂以西的大澳山以及以东的黄花环、环山仔、那琴圩一带。岩性为灰白色，中-细粒花岗岩，块状构造，岩质坚硬，岩体较完整。场址区主要分布于大尖山东南侧，场区处置洞的东南端及东侧处置洞区。
- 燕山期晚侏罗世斑状花岗岩 ($\gamma_5^{2(3)}$)：主要分布在大尖山北坡及核电厂东侧山坡利田仔一带。微新岩石呈灰白色，似斑状结构，块状构造，岩质坚硬，岩体较完整。在场址区北侧大部分区域位于该种岩性岩体内。
- 燕山期中侏罗世粗粒二长花岗岩 ($\eta\gamma_5^{2(2)}$)：主要分布在阳江核电厂排水洞以东至筲箕湾一带的海边，岩性为粗粒二长花岗岩、角闪石黑云母花岗岩，其中发育有花岗斑岩脉、伟晶岩以及闪长玢岩脉；微新岩石呈深灰色，粗粒结构，块状构造，岩质坚硬，岩体较完整。场址区分布在大尖山以南海边大湾、小湾至筲箕湾

一带，被海水冲蚀露头较好，场址区内无此种岩性分布。

- 印支期黑云母花岗岩 (γ^1)：主要分布在阳江核电厂北西侧，岩性为灰白色细粒黑云母花岗岩，岩质坚硬，岩体较完整。

(b) 岩脉

- 闪长玢岩脉 ($\delta\mu$)：主要分布在大尖山南侧海滨，以岩脉的形式产出，侵入 $\eta\gamma^2$ ⁽²⁾ 和 γ^3 ⁽¹⁾ 中，宽度多为 10-20cm，岩脉与围岩接触界线不规则；
- 石英斑岩脉 ($\lambda\pi$)：主要分布在大尖山南侧的海滨，以岩脉形式产出，岩石为浅灰色斑状结构；
- 伟晶岩脉 (ρ)：主要分布在 γ^2 ⁽²⁾ 中，主要由石英、云母等组成。

(c) 第四系

- 人工堆积层 (Q_4^r)：主要分布在阳江核电厂区范围及核电厂附属设施范围，下部多为杂填土，上部主要为混凝土；在场址区交通洞进洞口有少量分布。
- 冲洪积层 (Q_4^{pal})：主要分布在大尖山北侧的大水沟以及大尖山南坡的冲沟，主要由粉质粘土、砂质粘土、块石、漂石组成，粉质粘土、砂层主要分布在冲沟开阔平坦地带，花岗岩卵石和不规则块体主要分布在冲沟内。
- 残积层 (Q_4^{el})：主要分布在大尖山北坡及音山南坡，斑状花岗岩 (γ^2 ⁽³⁾) 风化所形成的残积土，主要为砾质粘性土。
- 坡积层 (Q_4^{dl})：主要分布于山坡和坡脚处，主要为粉质粘土和块石组成，坡积块石为棱角状，大小混杂，显示搬运堆积的特征，并充填有粘性土。

海积层 (Q_4^m)：主要分布在小湾和大湾海滨，主要由中粗砂层组成，局部有细砂，主要由石英颗粒构成，含贝壳碎片，呈松散状态。

本工程由处置隧洞 (1#、2#)、交通隧洞、施工隧洞、应急通道及通风隧洞组成，各隧洞的岩性特征如下：

(a) 1#处置隧洞

1#隧洞埋深 112~203m，隧洞均布置于微新岩体中，隧洞顶拱之上微风化~新鲜岩体厚度 82~185m，平均厚 129m，均超过 2 倍洞高。

隧洞所处围岩主要为II、III类，总体成洞条件较好，在隧洞顶拱部位局部可能存在缓倾角裂隙密集带及不利块体组合，需及时采取相应支护措施。

1#隧洞洞身段岩体渗透性总体为极微透水，不利于地下水和核素迁移，洞室开挖

过程中在揭露到张裂隙发育的地段（长度占比约 5%）会出现渗淋水的情况，渗水量 39~81m³/d，需做好防渗封堵及疏排。

据钻孔测氦、钻孔测温及水压致裂地应力测试及综合分析成果，1#隧洞洞身段有毒气体和天然放射性本底水平均在限值范围内，无高地温问题，最大主压应力方向为 NW 向，大小为 5.9~8.4MPa，属低地应力场，发生岩爆的可能性不大。

（b）2#隧洞

2#隧洞埋深 130~194m，隧洞均布置于微新岩体中，隧洞顶拱之上微风化~新鲜岩体厚度 63~178m，平均厚 129m，均超过 2 倍洞高。

2#隧洞所处围岩主要为 II、III 类，总体成洞条件较好，在隧洞顶拱部位局部可能存在缓倾角裂隙密集带及不利块体组合，需及时采取相应支护措施。

2#隧洞洞身段岩体渗透性总体为极微透水，不利于地下水和核素迁移，硐室开挖过程中在揭露到张裂隙发育的地段（长度占比约 5%）会出现渗淋水的情况，渗水量 38~76m³/d，需做好防渗封堵及疏排。

据钻孔测氦、钻孔测温及水压致裂地应力测试及综合分析成果，2#隧洞洞身段有毒气体和天然放射性本底水平均在限值范围内，无高地温问题，最大主压应力方向为 NW 向，大小为 5.9~8.4MPa，属低地应力场，发生岩爆的可能性不大。

（3）风化特征

本工程场址区位于湿热气候带，化学风化作用进行得较彻底。场址区主要岩性为花岗岩类，其造岩矿物钾长石、斜长石（钙钠长石）、黑云母等风化的最终或中间产物为高岭石、水云母、蛭石、蒙脱石等，形成典型的硅铝粘土型风化壳。

根据场址区基岩风化分带特征，可将风化带分为全风化带 IV、强风化带 III、中风化带 II 和微风化~新鲜岩体 I 共四个风化带。其中，全风化带 IV 岩石全部变色，矿物除石英外完全风化蚀变，岩体呈半岩半土状；强风化带 III 岩石矿物大部分变色，除石英外其余矿物均有显著风化蚀变，岩石的组织结构大部分已破坏，少部分岩石风化成砂或土状；中风化带 II 岩石大部分已经风化，表现为块体，边缘风化严重，裂隙大部分风化变色；微风化~新鲜岩体 I 岩石表面未褪色，断口造岩矿物新鲜，沿裂隙面有轻微褪色，主要矿物不风化蚀变，岩石原始结构较完整。

根据钻孔揭露的不同岩性、风化带内的岩芯 RQD 值，除强风化带岩芯 RQD 值较小外，中风化、微风化及新鲜岩体取芯 RQD 值较高，一定程度上反映场址区岩体较

完整。场址区各处置洞均布置于微风化-新鲜岩体内，斑状花岗岩和中细粒花岗岩微新岩体岩质坚硬、岩体完整。

场址区基岩风化受岩性、地貌、构造共同影响，岩体风化具有如下特征：

- 不同岩性风化特征不同。大尖山不同岩石抗风化能力为花岗斑岩>中细粒花岗岩>粗粒斑状花岗岩，不同岩石风化带的颜色、厚度不同。
- 不同地貌及部位岩石风化强度不同。大尖山北坡因地形平缓、植被发育、化学风化作用强烈而风化层厚度比南坡及山脊部位大。
- 裂隙发育的岩石比裂隙相对不发育的岩石风化程度高，在长有大裂隙和裂隙密集带的孔段往往出现风化加剧现象。
- 强风化、中风化、微风化花岗岩岩体平均纵波速度呈逐步增加的趋势，与风化程度呈很好的对应关系。
- 根据钻孔结果，处置洞洞身位于微风化~新鲜岩体内，顶拱之上微风化~新鲜岩体厚度 50.2~186.4m，平均厚度 104.7m，最薄处位于场区东南端。

(4) 裂隙分布及特征

大尖山场址区裂隙以陡、中倾角裂隙为主。场址区裂隙走向以 NEE（45°~84°）、NNE（15°~45°）和 NWW（275°~295°）向为主，分别占比 29.9%、24.6%、18.5%，主要倾向 N，其次倾向 SE；以陡倾角闭合裂隙为主。

场址区岩体张开裂隙占 8.98%，闭合裂隙占 80.43%，微张裂隙占 10.59%，闭合-微张裂隙占 6.23%，裂隙平均线密度 1.08 条/m，微风化~新鲜岩体孔段裂隙平均线密度 0.93 条/m。场址陡倾角裂隙中，钻孔揭露裂隙多为闭合状态，闭合裂隙多被长英质脉体充填，张裂隙张开宽度一般 1~2mm 不等，少数 3~20mm。中倾角裂隙以 N~NNE 走向为主，占陡倾角裂隙总数的 48%，主要倾向 SE，优势产状为 103°∠42°。缓倾角裂隙产状无明显规律，场址区花岗岩体内缓倾角裂隙不发育，线密度一般小于 0.1 条/m，地下缓倾角裂隙多为闭合裂隙，闭合裂隙宽度一般为 1mm，微张裂隙宽度一般为 1~2mm。

根据裂隙发育特征，裂隙走向以 NEE 为主，与区域构造线走向相似，与 NNW 方向断层及裂隙为共轭，与区域近 NW-SE 方向主压应力方向吻合。裂隙随深度增加、岩石风化程度降低，线密度逐渐减少，裂隙逐渐闭合，裂隙宽度减少。场址位于微新岩体内，处置洞埋深部位裂隙线密度一般 0.6~0.8 条/m，多为闭合裂隙，少数为张裂

隙，张开宽度多为 1mm，大尖山垭口区裂隙相对发育。

根据参考水文地质手册的经验值实际的孔隙率或者裂隙率一般分布在 10^{-3} ~ 10^{-2} ，数模专题研究考虑的裂隙岩体孔隙度为 0.01~0.015，场址初设勘察期间统计得到斑状花岗岩的孔隙率为 0.58%。

(5) 渗透特征

大尖山场址地形起伏较大，区内浅部地下水位大多位于全-强风化带中，少数位于弱风化带甚至微新基岩中，音山、松籽岭一带全-强风化层地下水渗透系数一般为 3.8×10^{-3} ~ 4.2×10^{-4} cm/s，在大尖山一带全强风化层地下水渗透系数一般为 1.38×10^{-1} ~ 2.7×10^{-3} cm/s，弱风化带渗透系数一般为 1.17×10^{-3} ~ 6.49×10^{-4} cm/s；深部地下水类型为基岩网络裂隙水，赋存于微风化~新鲜岩体网络裂隙中，岩体渗透系数为 2.32×10^{-5} ~ 2.78×10^{-6} cm/s，主要接受上部潜水的垂直下渗补给。

大尖山场址区覆盖层物质主要由含砂、砾质粘性土组成，夹风化块球体，粘土含量的不同导致渗透性相差较大。覆盖层中，砂层渗透系数为 1×10^{-4} ~ 5×10^{-2} cm/s，残积层渗透系数为 1×10^{-5} ~ 3×10^{-3} cm/s，局部小于 1×10^{-6} cm/s。

根据场址岩土工程勘察，对钻孔内共进行了 95 段压水试验、1 段注水试验、1 段抽水试验，按《低、中水平放射性废物处置场岩土工程勘察规范》(GB/T 50983-2014) 中附录 A 岩土渗透性分级，岩体渗透性弱占 44.2%，渗透性很弱占 51.6%，不起压占 4.2%，岩体渗透性主要为透水性弱和透水性很弱，少量中等透水。岩体渗透特性如下：不同岩性基岩因裂隙程度而渗透性有所差异；中等~微风化带及新鲜岩体的渗透性不同，总体上浅部透水性较大，向深部逐渐减小，到一定深度以下则变为相对隔水岩体；微风化、新鲜岩体随深度增加，透水性相应呈现随深度增加而变小的总趋势；洞室附近岩体渗透性以很弱透水为主，次为弱透水，局部地段受裂隙发育控制而透水相对较多，渗透性平均 0.93Lu，最大 2.94Lu、最小 0.09Lu，很弱透水段有 48 段，占试段总数的 55.2%；弱透水段有 38 段，约占总数的 43.7%。大尖山山体局部受构造影响、裂隙密集带发育而导致其渗透性相对周边围岩大，但场址附近区域花岗斑岩、花岗斑岩脉与围岩呈熔融紧密接触和混熔接触，岩体和脉体破碎地段透水性大，故岩脉对岩体透水性的影响实质上也是裂隙的影响。

场址处置洞区微新岩体完整，总体来说属渗透性很弱至弱岩体，地下水水位 153~230m，处置洞顶板标高为 46.5m。浅部透水性较大，向深部逐渐减小，到一定深

度以下则变为相对隔水岩体。围岩岩体为微新岩体，岩体渗透系数为 $3.78 \times 10^{-6} \sim 2.32 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 。

此外，初设阶段通过钻孔双栓塞水文地质试验（脉冲、斯拉格、非稳定流压水）进一步获得渗透性系数，本次勘察共完成 10 个钻孔、132 个试验段的分段水文地质试验。

根据双栓塞分段试验的试验获取的岩体渗透系数，绝大部分孔段渗透性等级为极微透水，显示场址及周边总体渗透性低，地下水难以接受到大气降水的垂向补给和相邻含水带的侧向补给。其中，70%试验段（每段长 12m）渗透系数在 $1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ ，约 86%试验段的渗透系数 $K \leq 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ，90%试验段的渗透性等级为极微透水（ $K < 1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ ），仅少数张裂隙孔段为中等透水，全、强风化带主要为弱~中等透水。

（6）迁移特性

根据勘察，场址区微新花岗岩密度在 $2.62 \sim 2.65 \text{g/cm}^3$ 之间，其中斑状花岗岩密度为 2.63g/cm^3 ，中细粒花岗岩密度为 2.64g/cm^3 。对于核素在野外场地地下水中的弥散，由于不同地区、不同岩性含水介质对核素迁移结果的影响差异较大且具有尺度效应，弥散度一般可随距离增加而增大，依据《多孔介质污染物迁移动力学》采用弥散度经验公式 $\alpha_x = 0.83(\log L_s)^{2.414}$ 分析。

建设单位已委托西南科技大学开展了核素在岩洞处置中的吸附迁移行为专题研究，对核素在不同介质中的吸附迁移特性进行了实验，研究并给出了关键核素（Co-60、Sr-90、Cs-137、Ni-63、I-129）在混凝土、回填材料以及花岗岩中的吸附系数。针对核素在处置单元内及花岗岩含水层等不同介质迁移过程中，根据各核素在不同介质中分配系数合理选取 Kd 值。

（7）其他物理参数

根据对场址区域各类岩石取样的岩石物理性质和力学性质室内试验，对 32 组岩芯样品进行了物理力学常规试验。

2.5.1.3 核素潜在迁移路径

本工程采用岩洞处置方案，随着工程屏障逐渐失效，降水入渗补给而裂隙水而进入处置隧洞内后，废物包装体与地下水接触，放射性核素将不断被浸出而随着入渗水流释放，随时间推移而工程屏障损坏失效，将导致进入到隧洞中的水流量增加，最终

工程屏障失效而对地下水完全失去阻隔作用。场区内地下水补给主要来源为大气降水，场址地下水总体呈现向北部大水沟沟谷与南部海域汇流的趋势，地下水呈现裂隙网络网状分布。因此，核素潜在迁移路径主要是：①经花岗岩地下水迁移汇入大尖山北侧大水沟；②经花岗岩地下水迁移汇入大尖山南侧南海海域。

根据离散裂隙网络模型以溶质运移方式模拟地下水及核素在裂隙中的迁移规律可知，②途径的迁移时间约为 4800 年，远大于①途径的 700 年，因此，②途径迁移影响远小于①途径，本工程放射性影响主要考虑①途径。

从地下水渗流特性及流场模拟来看，等效多孔介质模拟与离散裂隙模型两者结果相近且具有较好的一致性，场址区域没有大型断层及地下水节理裂隙优先通道，局部区域的裂隙渗透性较高，但是与其相连的裂隙渗透性多数相对较低，无法形成有效的快速通道，岩体整体上较完整、渗透性较低。相较于等效多孔介质而言，地下水到达模型西北侧边界最快时间约 700 年，与等效多孔介质的模拟结果相近，离散裂隙网络模拟结果地下水主渗流方向更倾向于向本工程场址深处运移。

2.5.2 地表水

2.5.2.1 陆地水文

本工程场址 5km 范围内，地表水系主要有响水河、大水沟、大水河（海荫河），以及发育于大澳山和山猪垌一带的小山间冲沟等。

响水河属沿海独立水系，响水河上游河道的流向由东北在东平镇平堤村附近转弯后流向西南，在北陡镇沙咀村西侧注入南海尾角湾，主河段距厂址最近 NE 方位约 4.3km，以农业用水为主。

大水沟位于大尖山北坡，其发源于场址区以东的阳江、台山分界线附近的黄花环山，自东向西流入核电厂区，随后转向南汇入核电厂临时用水水库，沟内水流量为 50.2L/s（丰水期）、13L/s（枯水期），汇流长度约 3km，汇水面积约 1.26km²。以大尖山进场公路为界，大水沟东段长 987m，汇水面积 0.46km²，坡降 20°~30°，局部 40°，沟内有大量块石，水流速度快，跌水发育，上游宽度 5m 左右；公路至核电厂的西段总体坡降较小，坡降 5°~15°，汇水面积 0.8km²，在场址区内平均比降 56‰，沟底高程在场址东北侧位置为 100m 左右，到下游核电厂区溢流堰附近为 15m 左右。黄符沟位于场址区以北音山北侧，距场址 NE 方位约 1.3km，发源于黄花环山，水流随地形自

东南向西北方向汇入 S276 路边水沟内，汇流长约 2km，汇水面积约 0.5km²，流量约 19.2L/s，受季节变化明显。场址西侧约 3.5km 的允泊湾-大澳一带，地表水发源于虎头山-大澳山，水流自东向西汇入南海，流域面积 7.3km²，水流量 22.5L/s；场址东北侧约 4km 的下塘湾一带，地表水发源于山猪垅，大致由西向东汇入南海，长约 1.9km，汇水面积 2.4km²，流量 53L/s。

大水河（海萌河）主河道位于场址 NNW 方位约 4.5km，主河道总体自东向西流，发源于肥山一带，在东平镇汇入南海，流域长度约 6.5km，大水河右岸为狂狗吠天顶，主峰海拔 350m~400m，右岸有 6 条溪沟，汇水面主要为狂狗吠天顶南坡，流量 0.3~100L/s 不等，坡脚见下降泉，主要为基岩裂隙水，流量 0.1~0.2L/s，左岸为海拔低于 150m 的低缓山丘及平地，有数条小溪沟补给，流量 4~21.3L/s 不等。黄符沟位于场址区以北音山北侧，距场址区约 1.3km，发源于黄花环山，自南东东向北西西汇入 S276 路边水沟内，汇流长约 2km，汇水面积约 0.5km²，流量约 19.2L/s，受季节变化明显。

本工程半径 5km 范围内的水库包含 1 座中型水库，为平堤水库，总库容为 2569×10⁴m³，主要用途为供水和农业灌溉，位于场址 NNE 方位约 4.0km。场址用水量很小，本工程用水从阳江核电厂生活水管网取用，通过一根管道将水送至本工程场区。

2.5.2.2 海洋水文

场址紧临阳江核电厂场区，场址位于粤西沿海，位于南海北部，附近海域受南海水文情势影响。场址所在海区海面宽广，其西南面有南鹏岛、大镬岛、二镬岛、虎仔和黄程山等岛屿；东南面有潯洲和下川岛；水深较深，近岸即达 6~9m；场址附近海岸线大致呈东西向，形状曲折，小海湾较多。场址附近的沿海岸为典型的海蚀地貌，基岩裸露，由于海浪的冲刷和淘蚀形成以海蚀崖、海蚀凹槽为主的陡峭海岸岸坡，局部形成陡崖。根据 1964 年以来的海床地形图分析，海域内主要在局部海域内有冲淤变化，场址附近海区内海床基本稳定。

场址所在海区的潮汐类型属不正规半日潮。2011 年观测期间，海区内各站的平均潮差、最大潮差和最小潮差较为相近。海区内潮汐性质为不正规半日潮，平均落潮历时大于平均涨潮历时，观测期间闸坡站的最大潮差最大，为 337cm，各站的最小潮差为 20cm 左右，各站的平均潮差范围为 127cm~150cm。工程海区天文潮特征为（珠江高程，下同）：平均海平面为-0.23m，最高天文潮位为 1.71m，最低天文潮位为-2.11m，

10%超越概率天文高潮位为 1.56m，10%超越概率天文低潮位为-1.98m。

场址附近海区的潮流性质均属不正规半日潮流，略带旋转成分的往复流，各分潮最大流速方向主要受附近地形的影响，方向基本与岸线或等深线平行。根据海区调查资料，夏季全潮最大流速为 98.6cm/s，冬季全潮最大流速为 87.2cm/s，平均流速以大潮期间最大，小潮次之，中潮最小。夏季海区余流流速基本在 30cm/s 以内，冬季海区余流基本在 20cm/s 以内。

场址附近海区沿岸多为岩石海岸，无大江大河，仅有山溪小河独流入海，海区泥沙主要来自珠江入海泥沙在海域扩散，其次是漠阳江下泄的泥沙，而局部海岸和岸滩被侵蚀入海的泥沙数量不多，对海域内泥沙的影响不大。根据阳江核电厂厂址附近海域及取排水口近区的泥沙淤积和岸滩稳定性分析结果，本工程附近海域的岸线较为稳定，不会产生大范围海域的冲刷淤积影响。

场址附近海域的近岸海域环境功能区主要包括：“沙咀工业排污功能区”、“阳江核电工业排污功能区”、“东平综合功能区”，主要功能分别为“工业排污混合区”、“工业、景观”，区域内除阳江核电工业排污功能区内的阳江核电厂港池作业区执行《海水水质标准》（GB 3097-1997）四类标准外，其它均执行三类海水水质标准；此外，还包括“阳江核电冷却水排污稀释混合区”，该区域内除温度外，其他指标均执行海水水质三类标准，港池作业区执行海水水质四类标准。

2.5.3 洪水

本项目位于山体隧洞中，不受小流域洪水影响，而交通隧洞入口位于阳江核电厂区范围内，受阳江核电厂区外围排洪沟保护。

根据中国地震局和原国家海洋局编制的中国沿海核电站地震海啸风险论证结果，阳江核电厂址附近海区地震海啸产生的洪水事件比热带气旋产生的风暴潮洪水要小，因此不考虑海啸影响。根据核安全导则《滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定》（HAD 101/09）的要求，阳江核电厂的组合洪水主要考虑对厂址有重要影响的极端事件，其组合为可能最大风暴潮增水+10%超越概率天文潮位+电厂寿期内海平面升高，根据分析，阳江核电厂址处设计基准洪水位为 7.32m，核电厂厂坪标高最终确定为 8.5m。

本工程的处置隧洞底板高程设置在22m，远高于场址附近的设计基准洪水位，因此不会受到附近海区产生的洪水威胁。此外，进入处置区的交通洞的进口底板高程为

9m，向洞内上行底板高程逐渐升高至22m，因此也不会受到附近海区产生的洪水影响。

2.4.3.4 风特征

1) 风向

场址地区 10m 高度处全年以 NNE 风向为主。从季节变化来看，冬季以偏北风为主，夏季以偏南风为主。气象塔 10m 高度全年出现最多的风向为 NNE，占 17.6%，其次为 NE，占 10.4%。

2) 风速

场址地区 10m 高度处年平均风速为 2.5m/s，8 月平均风速最小，为 2.1m/s，10 月平均风速最大，为 3.0m/s，年风速极大值为 49.2m/s。10m 高度全年静风频率为 8.43%。从风速随时间变化情况来看，白天的风速比夜间大。

2.4.3.5 温度

场址地区 10m 高度年平均温度为 23.4℃，1 月平均值最低，为 16.5℃，7 月平均值最高，为 28.4℃。

2.4.4 运行期间的气象观测计划

本工程运行期间将采用阳江核电厂的气象观测系统的气象数据。

2.6 地质和地震

本工程位于阳江核电场址范围内的大尖山，本节内容根据已经开展的岩土、地质、地震等相关专题研究成果进行描述。

2.6.1 地形和地貌

本工程位于阳江核电厂场址区山体内，地貌上属于侵蚀构造丘陵地貌，山顶为浑圆状，高程一般 170~230m，场址区内最高处高程 265.5m。沿山脊线地形起伏不大，山体北坡相对较缓，坡度 20°~30°，杂木丛生；山体南坡相对较陡，坡度可达 35°~50°，植被发育相对较少，沿海岸为典型的基岩海蚀地貌，基岩裸露，海浪冲蚀形成海

蚀崖、海蚀凹槽为主的海岸岸坡，局部形成陡崖，坡度 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。本工程采取高标准按照低中放固体废物处置场规范要求设计和建造阳江核电环保配套工程项目，并对环境监测设施和监督性监测设施等进行改造升级，增配相关监测设备，拟将阳江核电环保配套工程项目转为大尖山核能环保中心(即大尖山核能环保中心处置场)。场址区主要水系为大水沟，位于场址区北侧音山南坡与场址区北坡之间，其源头位于阳江、台山分界线附近的分水岭，高程约 300m，水流自东向西，沟底高程在场址东北侧位置为 100m 左右，到下游溢流堰附近为 15m 左右，在场址区内平均比降 56‰。

2.6.2 地质特征

2.6.2.1 区域地质及场址地质特征

(1) 场址区域地质特征

本工程场址区域大地构造上属于华南褶皱系(Ⅱ)的二级构造单元华南加里东地槽褶皱系(Ⅱ₁)的三级构造单元粤中、粤北、粤东北拗陷区(Ⅱ₁²)，是在加里东褶皱基底上发育起来的泥盆纪-中三叠世大型拗陷区，夹持于粤西和粤东隆起区之间，向北与湘中南拗陷相通，总体呈北东走向。该带晚古生界发育良好，厚达 4500~8000m。中、新生代以陆相断陷盆地沉积为主，厚度超过 1 万米。

本工程场址区域范围新构造上位于沿海断块差异隆起区(I₂)的云雾山间歇性断块隆起区(Ⅱ₂²)中，云雾山断块隆起区(Ⅱ₂²)位于珠江三角洲以西至吴川—四会断裂带之间。区内新构造主体方向为北东向，新构造运动以间歇性上升为主。区内构造隆起幅度北部大于南部，北部地势较为高峻，断层崖、断层峡谷、多级阶地或多级洪积台地都比较发育，反映地壳间歇性抬升。北部地区的断块沉陷自新近纪末以来则趋于减弱，本区南部沿海一带第四纪以来的块断差异运动强度则较大，特别是受北西向断裂活动的影响，海湾多呈北西方向向陆内延伸。

区域断裂构造比较发育。区域断裂大部分在中更新世有过活动，在一些地区，如珠江三角洲断陷区、雷琼断陷区和滨海地带，不少断裂在晚更新世甚至全新世仍有活动，但离场址区距离均超过 100km。区域范围内震级最高的发震构造为珠江口外滨海断裂带(F11)及铺前—清澜断裂(F16)，最大潜在地震均为 7.5 级，距离场址均在 170km 以外。

区域内的地震活动属于华南地震区东南部地震活动最强烈的东南沿海地震带的

西南段。场址所在的恩平地区则很少有 $M_s \geq 5$ 级地震发生，区域中部的阳江一带仅分布个别破坏性地震。

在区域有历史破坏性地震记载的近 700 年里，场址遭受地震影响比较弱，共遭受有感（IV度）以上的历史地震影响 10 次，其中遭受V度以上影响 3 次，包括 1 次VI度，来自 1605 年海南琼山 7.5 级地震；1 次V—VI度，来自 1962 年河源 6.1 级地震；1 次V度，来自 1969 年阳江 6.4 级地震。场区遭受的最大历史地震影响烈度为VI度。

（2）场址近区域地质特征

本工程场址近区域在大地构造位置上，位于粤中拗陷的四级构造单元阳春—开平凹褶断束中的一个相对完整的断块上，该断块除下古生代变质基底外，主要是由印支—燕山期花岗岩类侵入体组成的。新构造活动性较弱，总体上表现为缓慢间歇性整体隆升掀斜运动，具有东、西部稍强、中部弱的特点。

场址近区域断裂构造不太发育，仅有两条区域性大断裂通过区内。一条展布于西北部的烟墩—百足山—雅韶圩一线，为区域性苍城—海陵断裂中段的组成部分，距场址约 25km。总体走向 35° ，倾向东南，倾角 75° 左右，区内长约 21km。向北可延至恩平、高明、清远一带，向南延至海陵岛入南海。另一条展布于东部镇海湾西边的洪滔角、沙头冲、北陡、米咀一线，距场址约 18km，属区域性水剷口—镇海湾断裂南段组成部分，总体走向 350° ，倾向南西或北东，倾角 80° 左右，在区内长约 21km。上述两条断裂都是在中更新世早、中期（40 万~60 万年）有过活动的断裂（段）。近区域范围没有晚更新世以来活动的地表断裂。

场址近区域内没有发震构造，距离场址最近的发震构造为平岗断裂（F₄），距离场址 28km 左右，其最大潜在地震为 $6\frac{3}{4}$ 级。近区域范围内，仅有 1 次破坏性地震记录，即 1664 年 9 月 30 日的 5 级地震，距场址在 25km 以外，对场址影响烈度为IV—V度。近区域内记录到 $2.0 \leq M_s \leq 5.0$ 级地震 10 次，其中最大震级为 3.8 级。

从地质构造、地球物理、新构造运动和地震活动性等因素综合分析认为：场址所在地的区域地壳稳定性良好，属于基本稳定地块。

（3）场址区地质特征

1) 断层

本工程场址附近范围内地质构造简单，断层不太发育，区内仅发育一些规模较小的断层，以分散、简单、短小为特点，它们均不属于晚更新世以来活动的断裂，可以

不考虑能动断层在场址地表或近地表产生地表断层作用的潜在可能性。

2) 不良地质作用

场址区无大规模崩塌、滑坡、泥石流等不良地质体发育，仅大尖山南坡局部陡坎（崖）部位有小规模卸荷崩塌现象，不良地质体弱发育，环境地质条件良好。人类活动主要是地表修路、探矿，对地下工程无影响；场址区无居民建筑物，无地下构筑物等。

3) 有毒有害气体与地温异常

场址区及附近范围均为燕山期花岗质岩体，勘察区范围内泉水点水温、水质无异常，钻孔钻进过程中返浆温度无异常，紧邻本项目的核电厂 1#~6#排水洞（底板标高 -8m），施工开挖过程中未检测到有毒有害气体及地温异常。因此，本项目场址区不存在有毒有害气体及高地温异常等问题。

4) 地应力

处置洞洞身段最大水平主应力为 5.9~8.4Mpa，最大水平主压应力方向为 124°，与处置洞室纵长轴线方向呈 40°夹角，垂直于洞室边墙方向地应力分量 3.79~5.4Mpa，属低地应力；围岩强度应力比 S 值介于 16~24 之间，均大于 7，不会发生岩爆现象。

2.6.2.2 处置隧洞工程地质条件

(1) 1#处置隧洞

1) 地形地貌

1#处置隧洞靠阳江核电厂一侧布置，与山体走向近直交，隧洞所在位置地表地形中间高、两侧低，北坡坡度约 20°，南坡坡度 24°~36°，隧洞顶拱之上岩体厚度 112m~203m。

2) 地层岩性

1#处置隧洞所在山体地表出露岩性自北向南分别为斑状花岗岩、花岗斑岩和中细粒花岗岩，地表为全、强风化岩体。洞身全部位于微新岩体中，桩号 0+000~0+290m 为斑状花岗岩夹灰白色花岗斑岩脉，约占洞身长度的 71%；桩号 0+313~0+379m 为花岗斑岩，约占洞身长度的 16.2%；桩号 0+290~0+313m、0+379~0+408.3m 为中细粒花岗岩，约占洞身长度的 12.8%。不同时代岩性之间为熔融紧密接触。顶拱之上微新岩体厚 82~185m，平均厚 129m。斑状花岗岩和中细粒花岗岩微新岩体岩质坚硬、块状

结构，岩体较完整。花岗斑岩为块状~裂隙块状结构，裂隙较发育，岩体较破碎，裂隙次发育的岩体较完整。

3) 构造

1#处置隧洞洞身段无断层发育，发育三组优势裂隙①NEE 走向，向 NW 倾的陡倾角裂隙；②NW 走向，向 NE 倾的陡倾角裂隙；③NNE 走向，向 NW 倾的陡倾角裂隙。微新岩体中结构面以陡、中倾角闭合裂隙为主，裂隙线密度一般为 0.8~1.2 条/m，花岗斑岩中裂隙线密度达 2~8 条/m，但多为微裂隙，延伸长度不大。

4) 水文地质

1#处置隧洞洞身段附近岩体渗透系数 K 一般小于 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ，渗透性等级主要为极微透水，局部揭露到张裂隙地段渗透性等级为微透水-中等透水。洞身段地下水类型主要为基岩裂隙水，洞身位于山体地下水位以下 87~171m。

(2) 2#处置隧洞

1) 地形地貌

2#处置隧洞靠阳江核电厂一侧布置，处置隧洞长轴走向 344° ，与山体走向近直交，隧洞所在位置地表地形中间高、两侧低，北坡坡度约 25° ，南坡坡度 $22^\circ \sim 70^\circ$ ，隧洞顶拱之上岩体厚度 130~194m。

2) 地层岩性

2#处置隧洞所在山体地表出露岩性自北向南分别为斑状花岗岩、花岗斑岩和中细粒花岗岩，地表为全、强风化岩体。洞身全部位于微新岩体中，桩号 0+000~0+279m 为斑状花岗岩夹灰白色花岗斑岩脉，约占洞身长度的 68.7%；桩号 0+294~0+338m 为花岗斑岩，约占洞身长度的 10.8%；桩号 0+279m~0+294m、0+338~0+406.3m 为中细粒花岗岩，约占洞身长度的 20.5%。不同时代岩性之间为熔融紧密接触关系。处置洞顶拱之上微新岩体厚度 63~178m，平均厚 126m。斑状花岗岩和中细粒花岗岩微新岩体岩质坚硬、块状结构，岩体较完整。花岗斑岩为块状~裂隙块状结构，裂隙较发育岩体较破碎，裂隙次发育的岩体较完整。

3) 构造

2#处置隧洞洞身段无断层发育，发育三组优势裂隙：①NEE 走向，向 NW 倾的陡倾角裂隙；②NW 走向，向 NE 倾的陡倾角裂隙；③NNE 走向，向 NW 倾的陡倾角裂隙。微新岩体中结构面以陡、中倾角闭合裂隙为主，裂隙线密度一般为 0.8~1.2 条/m，

花岗斑岩中裂隙线密度可达 2~8 条/m，但多为微裂隙，延伸长度不大。

4) 水文地质

2#处置隧洞洞身段附近微新岩体渗透系数 K 一般小于 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ，渗透性等级主要为极微透水，局部揭露到张裂隙地段渗透性等级为微透水-中等透水。洞身段地下水类型主要为基岩裂隙水，洞身位于山体地下水位以下 43~167m。

总体来说，1#和 2#处置隧洞处置洞所处围岩主要为II、III类，总体成洞条件较好，洞身段附近岩体渗透性等级主要为极微透水，不利于地下水及核素的迁移。

(3) 其他隧洞

— 交通隧洞布置在西北侧，由地表进口平顺连接至地下处置隧洞。交通隧洞洞身段岩性主要为粗粒斑状花岗岩，偶夹花岗斑岩脉。沿隧洞无较大规模的断裂发育，裂隙总体不发育，局部可能存在长大裂隙，地下水类型主要为基岩裂隙水，根据钻孔压水试验，洞身段附近岩体渗透系数大多 $K \leq 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ，渗透性等级主要为微透水-极微透水，局部含张裂隙部位为弱透水-中等透水。

— 应急通道位于交通隧洞北东侧，与交通隧洞平行布置。隧洞建筑物涉及岩性主要为粗粒斑状花岗岩，偶夹花岗斑岩脉。沿隧洞无较大规模的断裂发育，裂隙总体不发育，局部可能存在长大裂隙，地下水类型主要为基岩裂隙水，根据钻孔压水试验，洞身段附近岩体渗透系数大多 $K \leq 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ，渗透性等级主要为微透水-极微透水，局部含张裂隙部位为中等透水。

— 施工支洞进口位于交通隧洞桩号 0+454.5m 处，施工支洞桩号 0+000~0+339.4m 与 1#、2#处置洞室平行布置，经 125m 弧线段连接后延伸至 1#、2#处置洞室南端与处置洞垂直相连。施工支洞基岩岩性为粗粒斑状花岗岩、花岗斑岩及中细粒花岗岩。沿隧洞裂隙总体不发育，局部可能存在长大裂隙，地下水类型主要为基岩裂隙水，岩体多为极微透水。

— 通风洞出口布置于大尖山南坡陡崖岩壁之上，与 2#处置洞南端相连。靠近通风洞出口的洞段为中风化中细粒花岗岩，其余洞身段为微新岩体。大部分洞身段地下水类型主要为基岩裂隙水，岩体透水性为很弱透水性。

(4) 岩洞处置区洞室结构安全

根据本工程封闭期地震工况下的稳定分析，从地震工况位移变化、塑性区分布等计算成果，处置隧洞在地震工况下处于安全状态，能满足处置隧洞的抗震稳定性。

场址区无大规模崩塌、滑坡、泥石流等不良地质体发育。岩洞处置隧洞区围岩主要为微风化-新鲜花岗质侵入岩，微新斑状花岗岩和中细粒花岗岩，围岩类别总体以II类为主、少量为III类，仅局部为IV类围岩，围岩总体稳定性好。微新花岗质岩体有足够的厚度和力学强度，其力学性质的长期稳定性能满足本工程的安全建设、运行和关闭的寿命周期要求，抗风化能力和地球化学性质稳定性强，可以作为地下洞室长期稳定的地质屏障。

2.6.3 地震

2.6.3.1 地震烈度

本项目紧邻的阳江核电厂场址位于华南地震带的东南沿海地震带的内带，地震强度明显弱于滨海地区的外带，历史上未发生过7级以上的地震。根据《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015），本项目场址50年超越概率10%水平向地震动峰值加速度为0.10g，地震基本烈度为VII度，地震动加速度反应谱特征周期0.35s。本项目场区遭受的最大历史地震影响为VI度，低于本工程场区地震基本烈度VII度。

2.6.3.2 SL-2级设计基准地面运动峰值加速度

根据安全分析报告，本次采用确定性方法评估场址的地震危险性。评价结果表明：确定性方法场址基岩SL-2级设计基准地面运动峰值加速度为：水平峰值加速度133gal；竖直峰值加速度82gal。

2.6.3.3 区域稳定性

根据前期地震安评成果，场址区50年超越概率10%水平向地震动峰值加速度值为0.1g，地震基本烈度为VII度。场址区发育4条NEE走向断层，为早、中更新世或前第四纪断层，不属于能动断层，断层规模均较小，影响宽度有限，不影响场地的稳定性。依据地震安评专题成果，场址附近范围不存在能动断层。

场址所在山体所处区域地质环境稳定，无损害处置系统的地质隔离能力的新构造运动；历史上发生的震级和烈度较大的地震都在150km以外；最大水平主应力为5.9MPa~8.4MPa；垂直应力为4.4MPa~5.5MPa；不存在将引起区域水文地质系统改

变的自然事件（沉陷、火山喷发）发生的可能性。

场址评估区地质灾害一般不发育；地形简单，地貌类型单一；地质构造相对简单，断层不发育，且规模小；岩性简单，为花岗质岩石；岩土体工程地质性质良好，破坏地质环境的人类工程活动一般，地质环境条件属于简单类型。

场址 5km 范围内无活动断裂，地下洞室布置在微风化-新鲜的花岗斑岩 ($\gamma\pi_5^{3(2)}$)、中-细粒花岗岩 ($\gamma_5^{3(1)}$) 和斑状花岗岩 ($\gamma_5^{2(3)}$) 内，这些微风化岩石单轴饱和抗压强度均大于 80MPa，均属坚硬岩，地基主要受力深度内不存在软弱下卧岩层，地基稳定性好，属于抗震有利地段，场址区仅发育小规模卸荷、崩塌，不良地质作用弱发育，对本项目地下工程无影响，属稳定场地。

3 处置设施

3.1 基本概况

大尖山核能环保中心主要包括处置隧洞，交通隧洞，施工隧洞，通风隧洞，应急通道，辅助工艺厂房等设施，场址位于阳江核电场址范围，主要规划接收和处置阳江核电厂等核设施运行和退役产生的低中放固体废物。本工程主要建设 2 条处置隧洞。

本工程主要构筑物如下：

- 1) 岩洞处置区
- 2) 辅助工艺厂房
- 3) 设施出入口
- 4) 废水排放廊道

3.2 处置对象

本工程主要接收和处置阳江等核电厂产生的低中放射性废物。

本工程废物包接收准则如下：

- 1) 废物包中放射性核素及活度浓度限值；
- 2) 400L 桶处置容器内单桶表面剂量率接收限值暂定为 400mSv/h，HIC 处置容器内的单个废物桶的表面剂量率接收限值暂定为 500mSv/h；
- 3) 废物包表面污染： β 、 γ 和低毒性 α 表面污染水平限值为 4Bq/cm²，其他 α 表面污染水平限值为 0.4Bq/cm²；
- 4) 废物包内游离液体的体积应小于固体废物体积的 1%，废物体应呈密实的、非流动的固体形态并尽可能地充满废物包、减少包装物上部的空间；
- 5) 废物中不允许含有易爆或在常温下易于发生剧烈分解或反应、或者与水或空气接触能产生猛烈反应的物质，自燃、易燃物质，强腐蚀性物质，未经处理的动物尸体和含有病原体物质，非放射性剧毒物质，含有或可能产生对运输、装卸或处置工作人员带来有害影响的有毒气体、蒸汽或烟雾。此外，HIC 所盛废物内不应含与 HIC 材料不相容的化学物质，见《低、中水平放射性废物高完整性容器——交联高密度聚乙烯容器》（GB 36900.3-2018）附录 A；
- 6) 废物包档案要求参考 GB 9132-2018 附录 A 的要求执行。

3.3 处置设施布置

3.3.1 项目组成

规划原则为根据本工程岩洞处置的特点,分为岩洞处置区及辅助设施区两大分区。

岩洞处置区主要由进出口、处置隧洞、交通隧道、应急通道、施工隧道以及通风隧道组成。布置在大尖山处,位于阳江核电各机组东南向。其北侧为大水沟,西北侧为阳江核电厂各机组、南侧临海、东侧临近台山地界。

辅助设施区规划布置在岩洞处置区进出口区域,主要有辅助工艺厂房、废水排放廊道、设施出入口等。

本工程利用岩洞进行放射性固体废物处置,不占用地表土地,不影响洞顶植被的生态环境,充分利用隧道区地层和岩性特点,保护周围环境。

3.3.2 总平面布置方案

本工程出入口地坪高程+9.0m。

处置隧洞相邻隧洞间岩柱厚度约 30m,处置隧洞采用长隧道型式。处置隧洞轴线方向为 NW16°,洞轴线方向与场址区主应力方向近一致,与岩体优势裂隙走向近垂直,有利于处置隧洞围岩稳定。

辅助设施区规划布置在隧道进出口区域,其中辅助工艺厂房布置在阳江核电 5、6#机组南侧,标高约+9m。辅助设施紧邻阳江核电现有路网,交通联系便捷。

3.3.3 道路运输

本工程位于阳江核电厂场址范围,区域内已建设有核电厂进厂道路和应急道路,本工程利用阳江核电厂已有交通设施,通过外部道路连接至阳江核电厂路网并至场址区。

3.3.4 竖向布置

(1) 岩洞处置区竖向设计

岩洞处置区应满足洞室稳定、核素运移以及待处置废物的运输、装卸、防洪和场区的防排水的要求。

依据非能动设计理念，利用进出口和处置隧洞底板的高差实现自流排水，减少处置容器被水浸泡的可能性，并且通过防排水措施对处置区岩体内的地下水进行自然疏干，增加地质屏障的非饱和带厚度，有利于阻滞核素的迁移。

进出口位于辅助工艺厂房内部，阳江核电各机组东南侧，高程高于阳江核电厂厂坪标高（+8.5m），确保岩洞处置区不受外部洪水的威胁。

（2）辅助设施区竖向设计

本工程岩洞处置区外工程较少，其竖向设计主要考虑与阳江核电厂现有设施的衔接以及防排洪安全。辅助工艺厂房零米高程为+9.3m，沿洞口侧靠山体部分设置排洪沟，以确保场址不受洪水威胁。

3.4 处置工程设计

本工程建设两条处置隧洞，交通隧道采用双车道设计，辅助设施主要包括辅助工艺厂房、废水排放廊道和设施出入口。辅助工艺厂房为地上三层建筑、局部有地下室，厂房布置在岩洞处置区出入口处。废水排放廊道用于辅助工艺厂房内废水的排放。设施出入口是本工程的主要出入口，配置人员出入口设施（1个双旋转门和1个应急门出入口）和车辆出入口设施（2个车辆通道，一进一出），分别在人员出入口和车辆出入口设置读卡控制设备，警卫室对人员和车辆出入口实施监督控制。

3.5 废物的处置

处置工艺包括：（1）核实认定；（2）废物包检查、接收、登记；（3）废物包堆码；（4）灌浆、回填。

3.6 处置系统的演化

国内外已建的处置场多采用粘土进行隔水处理，目前均运行正常。粘土作为一种原生天然材料，其耐久性及防水性非常好，能满足本工程的耐久性要求。

3.7 三废的产生与处理

本工程正常运行期间所产生的废水及污染物主要是运行期间处置隧洞处置区收集

的渗析水、运行工作人员产生的人体去污水。

辅助工艺厂房控制区内的潜在放射性废液，主要来自岩洞处置区处置隧洞内混凝土底板排出的废水及辅助工艺厂房人体去污室产生的人体去污废液。

a) 处置隧洞内混凝土底板排出的废水来自洞内的冷凝水。1#处置隧洞在地面布设纵横向集水槽，洞内冷凝水可通过集水槽引排至处置隧洞洞口，汇入收集水管，并通过收集水管引排至辅助工艺厂房废水收集箱。2#处置隧洞在处置单元底板设纵横向集水槽，处置单元内部冷凝水通过集水槽引排至处置隧洞洞口，汇入收集水管，并通过收集水管引排至辅助工艺厂房废水收集箱。

b) 人体去污废液来自辅助工艺厂房人体去污室的洗手盆和淋浴间地漏疏水，疏水管引排至辅助工艺厂房废水收集箱。

正常运行期间，对废水收集箱内的潜在放射性废液开展取样分析，满足排放要求后，送至5号机或6号机排水隧洞前池进行排放。对于非正常或异常情况时，可接入移动式处理设备进行处理，使之满足排放要求后，送至5号机或6号机排水隧洞前池进行排放。

本工程正常运行状态下每年产生的放射性固体废物主要为擦拭检测纸、手套、工作服、通风过滤器等不易去污的工艺和技术固体废物（不含报废的设备）约0.3t，经检测超标的废物将装入放射性废物收集袋/桶，暂存在施工洞端头，收集到一定量后送阳江核电进行处理或有资质的单位处理。

4 环境质量现状

运行前环境质量现状监测的主要目的是全面掌握场址所在区域的环境质量现状水平，为编制项目环境影响报告书提供支持性材料，也为本工程后续阶段的环境监测提供参考依据。

4.1 辐射环境质量现状

依据《环境影响评价技术导则 放射性固体废物近地表处置环境影响报告书的格式与内容》（HJ 5.2-2026）的要求，以及《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的规定，需要获取本工程场址周围环境辐射现状数据，作为本工程运行期间和关闭后环境影响评价的基础数据。

本工程已于 2021 年开展了辐射环境现状调查。此外，本工程位于阳江核电场址区域，阳江核电厂开展的环境监测内容能够基本涵盖本工程监测所涉及的范围，监测数据总体上能够反映本场址周围辐射环境质量的现状水平。

本节将根据本工程已开展完成的辐射现状调查成果，并结合阳江核电厂 2023—2025 年环境监测年度报告数据，对场址周围的辐射环境现状进行论述。

4.1.1 监测方案

4.1.1.1 环境 γ 辐射剂量监测

（1）环境 γ 辐射剂量率连续监测

根据阳江核电厂气象塔 10m 层主导风向（NNE 方位）和次主导风向（NE 方位）分布，考虑其下风向位于海上区域，无合适点位，同时结合阳江核电厂 KRS 系统环境 γ 辐射剂量率连续监测站点分布，为了便于后续数据对比，在阳江核电厂气象站设置 1 个剂量率连续监测点，获取每日、每小时的监测数据，持续监测 2 年。同时，为判定剂量率连续监测时雨量的影响，在进行剂量率连续监测时同步测量雨量，以确定雨量对剂量率的影响关系。

（2）环境 γ 辐射剂量率瞬时监测

环境 γ 辐射剂量率瞬时监测以场址中心为中心，在半径 1km、2km、5km 与 16 个方位角形成的扇形区域内布点，布点时兼顾阳江核电厂的监测点位，共布设了 39

个点位。

监测频次为每季度 1 次，从 2021 年 3 月到 2022 年 2 月，共开展 4 个季度。

(3) 环境辐射累积剂量监测

环境辐射累积剂量监测点与剂量率瞬时监测共点，包括：A0~A16、B1~B6 和 B11~B16，共设 29 个点位。

累积剂量监测 TLD 的布放高度约为 1m，每季度布放 1 次，从 2021 年 3 月到 2022 年 3 月，共监测 4 个季度。

(4) 宇宙射线响应测量

调查开展期间，对环境 γ 辐射剂量率监测使用的设备开展了宇宙射线的响应测量，测量点位于场址 ENE 方位约 357km 的公平水库。

公平水库位于广东省汕尾市海丰县公平镇，集水面积 317km²，有效库容 3.83 亿 m³。现场宇宙射线响应监测时，携带比对用高压电离室和测量用便携式辐射剂量率仪，至水库中心位置进行测量，测量时湖面海拔 14m，距岸大于 1m，测量时各仪器同时记录 50 个测量数据。

4.1.1.2 土壤辐射环境监测

土壤采样点选择在不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。

土壤采样点位与 γ 辐射剂量率监测点以及累积剂量布设点位共点，按 8 个方位进行布设采样，场内共 9 个点位（含中心点 A0），场外共 7 个点位（含 1 个对照点），调查范围内土壤采样点位共设 16 个，对照点位于 NNW 方位约 5.3km 的瓦北村。

土壤监测项目包括：总 α 、总 β 、 γ 能谱、⁹⁰Sr。监测频次为每半年 1 次，共监测两次。对于 γ 能谱除可识别的人工核素外，需分析 ²³⁸U、²²⁶Ra、²³²Th、⁴⁰K 等天然核素。

4.1.1.3 空气放射性监测

本次调查在场内隧洞入口处和场址附近居民点平堤村布置两处空气采样点。

空气采集样品分空气中氡和气溶胶，气溶胶监测项目包括：总 α 、总 β 和 γ 能谱。

空气采样频次为每半年 1 次，共 2 次。

4.1.1.4 地表水和底泥监测

地表水和底泥采样共点，共布置4处采样点，包括：大水沟上游、下游，以及位于场址NW方位约3.5km的允泊和NNE方位约4km的平堤（平堤水库）。

地表水监测项目包括：总 α 、总 β 、 γ 能谱、 ^{90}Sr 、 ^3H ，监测频次为丰水期和枯水期各一次。

底泥监测项目包括：总 α 、总 β 、 γ 能谱、 ^{90}Sr ，共开展一次采样监测，对于 γ 能谱除可识别的人工核素外，需分析 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 等天然核素。

4.1.1.5 地下水辐射环境监测

地下水监测布设在场址范围及周围主要居民点。其中，在场址范围内选取现有岩土工程勘察阶段的钻孔（井）进行监测，共7个监测点；场外选择距离场址最近的平堤村以及居民较为密集的允泊村两处的民用井水点位。

地下水监测项目包括：总 α 、总 β 、 ^3H 、 γ 能谱，频次为每季度1次，共监测两年。

4.1.1.6 生物辐射环境监测

生物样品共设2个采样点，包括允泊村和瓦北村，其中瓦北村作为对照点。

采集的生物包括：谷类（稻米）、蔬菜（青菜、红薯）、家禽（鸡）、家畜（猪）。

本次调查牧草作为指示生物，采样点选择场内和瓦北村，共2处。

水生生物选择允泊村和瓦北村的淡水鱼作为监测样品。

生物样品监测项目包括： γ 能谱和 ^{90}Sr ，本次调查共开展1次采样监测。

4.1.2 监测分析方法及仪器

本工程运行前的环境辐射本底调查采用标准规定的的监测设备和方法。

4.1.3 质量保证与控制

本工程运行前辐射环境现场调查承担单位——苏州热工研究院有限公司环境检测中心实验室质量保证体系已通过CMA认证和CNAS认证，本次调查在执行该质量保证体系的基础上，严格按照质保大纲的要求开展工作。

4.1.4 辐射环境现状监测结果

4.1.4.1 环境 γ 辐射水平

— 宇宙摄像响应监测

本工程开展辐射环境现状调查期间，在公平水库对使用的 γ 辐射剂量率监测仪器进行了宇宙射线响应测试，对监测经纬度以及海拔修正，对于所使用的FH40G+FH672E型便携式剂量率仪，宇宙射线响应监测结果为10.44nGy/h；对于使用的6150Ad-b型便携式剂量率仪，宇宙射线响应监测结果为21.12nGy/h，对于质量保证使用的RSS 131型高压电离室，宇宙射线响应监测结果为38.3nGy/h。

— 环境 γ 辐射剂量率连续监测

γ 辐射剂量率连续监测的时段为2021年1月1日至2022年12月31日，共两年。监测采用的设备为GESS 131型高压电离室。

监测结果表明： γ 辐射剂量率连续监测小时平均值为 127.5 ± 4.1 nGy/h，范围为118.6~138.4nGy/h。监测数据未进行宇宙射线响应修正。

— 环境 γ 辐射剂量率瞬时监测

瞬时 γ 辐射剂量率分别于2021年4月、2021年7月、2021年10月和2022年1月进行了四次监测，实测点位39个。

监测结果表明，四次监测的环境 γ 辐射剂量率瞬时值范围分别为62.0~309.7nGy/h、44.7~246.3nGy/h、65.6~258.5nGy/h和45.9~258.5nGy/h，四次监测结果的平均值为 132.8 ± 41.6 nGy/h，范围为49.4~265.2nGy/h，水平较高的点位主要位于场址以东大尖山山坳处（B4、B5、B6），该处点位两侧均为较高的花岗岩山体，辐射剂量率水平较高可能与两侧花岗岩山体有关。

— 环境 γ 辐射累积剂量

γ 辐射累积剂量TLD共布设29个点位，丢失2个点位，回收率98.27%。从2021年4月9日至2022年5月21日结束，累计布放时间401~406天。

监测结果表明，四个季度的 γ 辐射累积剂量范围分别为105.7~251.1nGy/h、143.8~303.3nGy/h、123.7~363.9nGy/h和142.2~341.0nGy/h，四个季度的平均值为 183.9 ± 37.6 nGy/h，范围为148.3~296.7 nGy/h。

4.1.4.2 空气中放射性

气溶胶和空气中氡采样设置平堤村和隧道口两处采样点。

结果表明均处于正常水平。

4.1.4.3 土壤和沉积物中放射性

土壤和沉积监测项目为总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 和 γ 能谱。

4.1.4.4 地表水中放射性

地表水监测共布4个点位，监测项目为总 α 、总 β 、 ^3H 和 γ 能谱，监测频次为丰水期和枯水期各一次。

监测结果表明，场址周围地表水中总 α 放射性活度浓度范围为0.015~0.129Bq/L，总 β 放射性活度浓度范围为0.049~0.279Bq/L， ^3H 放射性活度浓度范围为<0.42~1.00Bq/L。 γ 能谱天然放射性核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 和 ^{40}K 的放射性活度浓度范围分别为<169mBq/L、<7.9~22.9mBq/L、<8.2~78.2mBq/L和<43~245mBq/L，人工放射性核素均低于探测下限。

4.1.4.5 地下水中放射性

本次调查地下水监测布设在场址范围及周围主要居民点。

地下水监测项目包括：总 α 、总 β 、 ^3H 、 γ 核素，监测频次为每季1次，监测周期为两年。

监测结果表明，地下水中总 α 放射性活度浓度范围为0.008~5.07Bq/L，总 β 放射性活度浓度范围为0.090~4.27Bq/L， ^3H 放射性活度浓度范围为<0.40~1.27Bq/L。 γ 能谱天然放射性核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 和 ^{40}K 的放射性活度浓度范围分别为<110~520mBq/L、<5.54~995mBq/L、<5.3~906mBq/L和<26~552mBq/L，人工放射性核素均低于探测下限。

4.1.4.6 生物中放射性

生物样品设2个监测点，监测的生物类别包括谷类（稻米）、蔬菜（青菜、红薯）、家禽（鸡）、家畜（猪），同时增加牧草作为指示生物（牧草在场区内增加1个点位）。对水生生物，采集淡水鱼作为监测样品。生物分析项目包括： γ 能谱、 ^{90}Sr ，本次调查

共开展 1 次调查。

监测结果表明：生物样品中 ^{90}Sr 的放射性活度浓度范围 $<4.9\sim 326.3\text{mBq/kg}$ （鲜）； γ 能谱天然核素 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 的放射性活度浓度范围分别为 $<0.032\sim 3.93\text{Bq/kg}$ （鲜）、 $<0.017\sim 3.343\text{Bq/kg}$ （鲜）和 $20.77\sim 101.27\text{Bq/kg}$ （鲜），宇生放射性核素 ^7Be 的放射性活度浓度范围 $<0.045\sim 14.25\text{Bq/kg}$ （鲜），人工核素 ^{137}Cs 放射性活度浓度范围 $<0.028\text{Bq/kg}$ （鲜），其他放射性核素均低于探测限。监测结果均在正常范围内。

4.1.5 核电厂辐射环境现状监测

本工程位于阳江核电厂场址区域，阳江核电厂对周围环境开展的辐射环境监测，阳江核电厂开展的环境监测内容能够基本涵盖本工程监测所涉及的范围，监测数据总体上能够反映本场址周围辐射环境质量的现状水平。

以下根据阳江核电厂 2023—2025 年环境监测年报给出的数据，并结合场址区域点位特征和相应调查项目进行描述与评价。

（1） γ 辐射剂量率

阳江核电厂 KRS 系统 γ 辐射连续监测站点，其中 6 处站点位于本工程半径 5km 范围内，监测结果可反映本工程不同方位的环境监测现状水平，另 1 处位于本工程半径 5km 外，可反映本工程对照点的环境监测现状水平。

根据监测，区域内 γ 辐射剂量率连续监测年均值为 $0.140\pm 0.021\mu\text{Gy/h}$ ，月均值范围为 $0.10\sim 0.18\mu\text{Gy/h}$ 。监测数据未进行宇宙射线响应修正。

（2）空气

阳江核电厂对于空气采样监测，涉及本工程场址辐射环境调查范围内的站点共有 3 处，BS1（海滨花园）、AS3（工程办公区），以及 AS4 气象站，其中气溶胶中的总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 和 γ 能谱核素分析，沉降灰中总 β 、 ^{90}Sr 和 γ 能谱核素分析，空气氡和空气 ^{14}C 等监测项目可以反映本工程场址周围的辐射环境现状水平。

— 气溶胶

根据阳江核电涵盖场址区域三个站点 2023~2025 年度气溶胶监测结果，总 α 活度范围为 $<10\sim 265\mu\text{Bq/m}^3$ ，总 β 活度范围为 $32\sim 1766\mu\text{Bq/m}^3$ ， ^{90}Sr 活度范围 $<0.16\mu\text{Bq/m}^3$ ， γ 能谱天然核素 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{238}U 活度范围分别为 $<246\sim 990\mu\text{Bq/m}^3$ 、 $<14.7\sim 83.7\mu\text{Bq/m}^3$ 、 $<25.0\sim 49.7\mu\text{Bq/m}^3$ 和 $<279\mu\text{Bq/m}^3$ ，宇生核素 ^7Be 的活度范围为

341~4710 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ，人工核素 ^{210}Pb 的活度范围为 268~3470 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ，其他 γ 能谱放射性核素均小于探测限。

— 沉降灰

根据阳江核电厂 2023—2025 年监测年报数据，沉降灰季度采样监测分析，总 β 活度范围为 18.1~513 $\text{mBq}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ ， ^{90}Sr 年度混合样监测结果为 <0.16~0.30 $\text{mBq}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ ， ^7Be 的活度范围为 <142~1000 $\text{mBq}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ ，其他 γ 能谱放射性核素均小于探测限。

— ^{14}C

采用 BS3 站点空气中 ^{14}C 采样监测数据，2023 年为季度采样分析，结果范围为 0.330~0.602 $\text{Bq}/(\text{g}\cdot\text{碳})$ 、空气中的活度范围为 0.028~0.034 Bq/m^3 ；2024 年为月度样进行采样分析，结果范围为 0.200~0.607 $\text{Bq}/(\text{g}\cdot\text{碳})$ 、空气中活度的检出值范围为 0.014~0.050 Bq/m^3 ；2025 年月度样分析结果范围为 0.157~0.499 $\text{Bq}/(\text{g}\cdot\text{碳})$ 、空气中活度的检出值范围为 0.014~0.115 Bq/m^3 。

— ^3H

采用 BS3 站点空气中氚采样监测数据，2023 年为季度采样分析，结果范围为 0.576~2.76 Bq/L （水）、空气中的活度范围为 7.10~44.7 mBq/m^3 ；2024 年改为月度样进行采样分析，检出率为 5/12，检出值的结果范围为 1.57~5.12 Bq/L （水）、空气中活度的检出值范围为 8.16~76.9 mBq/m^3 ；2025 年月度样检出率为 6/12，检出值的结果范围为 1.85~4.01 Bq/L （水）、空气中活度的检出值范围为 9.42~24.3 mBq/m^3 。

(3) 土壤/沉积物

土壤采样点共有 6 处位于场址范围内，监测频次为年度监测，监测项目 ^{90}Sr 和 γ 能谱。根据监测结果，土壤中 ^{90}Sr 检出率为 9/15，结果范围为 <0.18~0.40 $\text{Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$ ，土壤中 γ 能谱天然核素 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{238}U 活度范围分别为 360~1600 $\text{Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$ 、49~229 $\text{Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$ 、43.6~194 $\text{Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$ 和 35.4~240 $\text{Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$ ，其他核素均低于探测限。

平堤水库沉积物中 ^{90}Sr 检出率为 2/3，结果范围为 <0.10~0.34 $\text{Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$ ， γ 能谱天然核素 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{238}U 活度范围分别为 160~386 $\text{Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$ 、81.4~137 $\text{Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$ 、248~367 $\text{Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$ 和 82~138 $\text{Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$ ，宇生射线 ^7Be 检出率 2/3，结果范围为 <16.6~39.4 $\text{Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$ ，人工核素 ^{137}Cs 检出率 2/3，结果范围为 <0.48~1.66 $\text{Bq}/\text{kg}\cdot\text{干}$ ，其他人工核素均低于探测限。

(4) 地表水

地表水采样点平堤水库在场址范围内，平堤水库水体中总 β 活度范围为0.049~0.085Bq/L， γ 能谱核素分析仪 ^{226}Ra 有检出，结果范围为<6.5~9.5Bq/m³，其他核素均低于探测限。

(5) 地下水

地下水点位监测项目包括总 β 、氡、 ^{90}Sr 等，监测结果表明：地下水中氡的活度浓度<1.30Bq/L，总 β 的活度浓度范围为<0.171~0.756Bq/L，地下水中 ^{90}Sr 的活度浓度范围为<0.65~1.70Bq/m³， γ 能谱天然核素 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{238}U 活度范围分别为<82~890 Bq/m³、<6.60~21 Bq/m³、<9.3 Bq/m³、<196 Bq/m³，其他 γ 能谱核素浓度均低于探测限。

(6) 陆生动、植物

分析项目 ^{90}Sr 和 γ 能谱能够反映场址周围环境陆生动、植物样品的现状水平，根据监测结果，场址范围内陆生动、植物样品中 ^{90}Sr 的活度浓度范围为5.4~227mBq/kg·鲜样， γ 能谱天然核素 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{238}U 的活度浓度范围分别为21000~223000 mBq/kg·鲜样、<15.6~4070 mBq/kg·鲜样、<34~1500 mBq/kg·鲜样和<1500 mBq/kg·鲜样，宇生射线 ^7Be 的活度浓度范围为<226~65000 mBq/kg·鲜样，其他核素小于探测限。

4.1.6 辐射环境质量评价

4.1.6.1 环境 γ 辐射水平

(1) 环境 γ 辐射连续监测

本工程本底调查环境 γ 辐射剂量率连续监测小时均值为127.5±4.1nGy/h，与阳江核电位于场址范围内7个子站2023—2025年度 γ 辐射剂量率均值(140±21nGy/h)基本在同一水平，环境 γ 辐射剂量率未发生显著变化，均在环境本底正常涨落范围内。

(2) 环境 γ 辐射瞬时监测

场址半径5km范围内瞬时监测环境 γ 辐射剂量率范围为49.4~265.2nGy/h，水平较高的点位主要位于场址以东大尖山山坳处，该处点位两侧均为较高的花岗岩山体，辐射剂量率水平较高可能与两侧花岗岩山体有关。

(3) 环境 γ 辐射累积剂量监测

场址半径5km范围内环境 γ 辐射累积剂量率平均值为183.9±37.6nGy/h，范围为148.3~296.7 nGy/h，与环境 γ 辐射瞬时监测结果基本一致。

4.1.6.2 环境介质中的放射性水平

(1) 空气中放射性

本工程本底调查气溶胶中总 α 浓度（0.067~0.339mBq/m³）、总 β 浓度（0.323~1.753mBq/m³）、 γ 能谱放射性核素浓度（⁷Be: 1.13~4.86mBq/m³），与阳江核电最近两个年度位于场址范围内相关监测点气溶胶中总 α 浓度（<10~265 μ Bq/m³）、总 β 浓度（32~1248 μ Bq/m³）、 γ 能谱放射性核素浓度（⁷Be: 3.41×10^2 ~ $4.71\times 10^3\mu$ Bq/m³）基本在同一水平，未发生显著改变，调查结果反映了场址环境现状水平。

本底调查空气中氡浓度范围为 5.6~53.2mBq/m³（0.63~2.03Bq/L），与阳江核电 2023~2025 年度的监测结果 7.10~76.9 mBq/m³（0.576~5.12 Bq/L）基本在同一水平。

(2) 土壤、沉积物

本底调查对于土壤和沉积物中 γ 核素和⁹⁰Sr的监测结果与阳江核电2023~2025年度的监测结果基本在同一水平，均在环境本底正常涨落范围内。

(3) 地表水

本工程本底调查对地表水中总 α 、总 β 、³H和 γ 能谱进行了监测，地表水中总 α 浓度（0.015~0.129Bq/L）、总 β 浓度（0.049~0.279Bq/L）、³H（<0.42~1.00Bq/L）和 γ 能谱（人工核素均小于探测限），与阳江核电2023~2025年度对地表水中总 β 浓度（0.049~0.085Bq/L）、 γ 能谱（人工核素均小于探测限）监测结果基本在同一水平，均在环境本底正常涨落范围内。

(4) 地下水

本工程本底调查对地下水中总 α 、总 β 、³H和 γ 能谱进行了监测，地下水中总 α 浓度（0.008~5.07Bq/L）、总 β 浓度（0.090~4.27Bq/L）、³H（<0.40~1.27Bq/L）和 γ 能谱（人工核素均小于探测限），与阳江核电2023~2025年度对地下水中总 β 浓度（<0.171~0.756Bq/L）、³H（<1.30Bq/L）、 γ 能谱（人工核素均小于探测限）监测结果基本在同一水平，均在环境本底正常涨落范围内。

(5) 生物

本工程本底调查对 γ 能谱和⁹⁰Sr进行了监测，生物样品中⁹⁰Sr浓度和 γ 能谱核素浓度，与阳江核电的监测结果基本在同一水平。

综上所述，本工程开展的辐射环境现状调查结果与阳江核电 2023—2025 年度的环境监测结果在同一水平，均处于环境本底正常涨落范围内，其结果反映了场址运行前

的环境辐射现状水平。

4.2 非放射性环境质量现状

本节根据阳江核电厂 2023—2024 年环境监测年报中相关数据，以及 2026 年 4 月 25—26 日对本项目开展地表水、地下水和环境空气检测结果，对场址周围的非辐射环境现状进行描述和评价。

4.2.1 大气环境质量

阳江核电大气环境监测由华测检测认证集团股份有限公司承担，每季度开展 1 次，每年监测 4 次。监测项目包括：NO₂、SO₂、TSP、PM₁₀ 和 PM_{2.5}。

根据阳江核电厂的监测点位，并结合本工程的场址地理位置，选取场址附近的海两处点位。

此外，2026 年 4 月 25—26 日针对本项目委托国检测试控股集团京诚检测有限公司开展了环境空气的氮氧化物检测：场址周围区域大气环境质量均满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2026）中的二级标准，场址所在区域及周边环境空气质量现状较好。

4.2.2 声环境质量监测

阳江核电每年的声环境质量监测由华测检测认证集团股份有限公司承担，每季度开展 1 次，每年监测 4 次，对昼间和夜间的声环境现状质量进行监测，监测因子为等效连续 A 声级 Leq。

根据阳江核电厂的监测点位，并结合本工程的场址地理位置，选取场址附近的三处点位。

由监测结果可知：距离场址较近的海滨花园、大澳渔村和允泊村噪声水平均满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）的 2 类标准的要求，场址周围区域的声环境质量现状良好。

4.2.3 地下水环境质量

根据本工程运行前委托开展的地下水监测结果进行评价。调查时段为 2021 年 3

月至 2023 年 2 月，为期两年，每季度 1 次，并于 2026 年 4 月 26 日补充开展了 1 次地下水的监测。

2021 年 3 月至 2023 年 2 月委托开展的地下水调查，与辐射本底调查点位相同，共设置了 7 个采样监测点位，监测项目包括：pH 值、电导率、硝酸盐、氟化物和总有机碳，根据监测：场区地下水监测井 pH 值范围为 5.4~7.6，达到《地下水质量标准》（GB 14848-2017）中的 V 类水质标准（ $\text{pH} < 5.5$ 或 $\text{pH} > 9.0$ ）；电导率范围为 34.3~330 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ；硝酸盐检出的浓度范围为 0.12~10.2 mg/L （检出率为 26.5%），达到《地下水质量标准》（GB 14848-2017）中的 III 类水质标准（ $\leq 20.0\text{mg}/\text{L}$ ）；氟化物的浓度范围为 0.21~9.35 mg/L （检出率为 95.9%），达到《地下水质量标准》（GB 14848-2017）中的 V 类水质标准（ $> 2.0\text{mg}/\text{L}$ ）；总有机碳的范围为 0.6~5.3 mg/L （检出率为 79.6%）。

2026 年 4 月 26 日进行了 1 次补充监测，在平堤村设置了 1 个采样监测点，监测项目包括：pH 值、电导率、浊度、氨氮、氯化物、钙和镁总量（总硬度）、铁、锰、溶解性固体、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮。根据监测：平堤村地下水中 pH 值为 7.3，达到《地下水质量标准》（GB 14848-2017）中的 I~III 类水质标准（ $6.6 \leq \text{pH} \leq 8.5$ ）；电导率为 153.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ；浊度为 21 NTU ，达到《地下水质量标准》（GB 14848-2017）中的 V 类水质标准（ $> 10\text{NTU}$ ）；总硬度和氯化物的浓度分别为 143 mg/L 和 14.6 mg/L ，达到《地下水质量标准》（GB 14848-2017）中的 I 类水质标准；铁和锰的浓度分别为 0.258 mg/L 和 1.48 mg/L ，分别达到《地下水质量标准》（GB 14848-2017）中的 II 类和 III 类水质标准；氨氮的浓度为 0.878 mg/L ，达到《地下水质量标准》（GB 14848-2017）中的 IV 类水质标准（ $\leq 1.50\text{mg}/\text{L}$ ）；亚硝酸盐（以 N 计）和硝酸盐（以 N 计）的浓度分别为 0.003 mg/L 和 0.13 mg/L ，达到《地下水质量标准》（GB 14848-2017）中的 I 类水质标准。

4.2.4 地表水环境质量

本工程场址附近的海萌河水质目标为 II 类，根据阳东区生态环境局的监测，2023 年度现状水质基本为 III 类~V 类，平均为 IV 类，高锰酸钾指数（年均值 6.9 mg/L ，II 类水质标准为 4 mg/L ）、COD（年均值 25 mg/L ，II 类水质标准为 15 mg/L ）、BOD₅（年均值 4.0 mg/L ，II 类水质标准为 3 mg/L ）、氨氮（年均值 0.774 mg/L ，II 类水质标准为

0.5mg/L)、总磷(年均值 0.23mg/L, II类水质标准为 0.1mg/L)、总氮(年均值 2.79mg/L, II类水质标准为 0.5mg/L)。

本工程于 2026 年 4 月 26 日委托国检测试控股集团京诚检测有限公司对场址附近的平堤水库、排洪沟下游以及大水沟开展了 1 次采样监测, 根据监测: 大水沟中氨氮的浓度为 0.152mg/L, 达到《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)中II类水质要求, 平堤水库和排洪沟下游水体中氨氮的监测结果均达到《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)中 I 类水质要求; 平堤水和大水沟地表水中总氮的监测结果达到《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)中II类水质要求, 排洪沟下游地表水中总氮的结果达到《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)中III类水质要求; 其他项目的监测结果均达到《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)中 I 类水质要求。

4.2.5 海水环境质量

本工程非放废水不直接排入环境, 废水经收集后由场址周边有资质单位接收。

阳江核电海水环境质量监测由华测检测认证集团股份有限公司承担, 对阳江核电厂附近海域每月监测 1 次, 监测项目包括: pH、COD、BOD5、悬浮物、活性磷酸盐、无机氮、石油类、大肠菌群。结合本工程的场址地理位置, 选取大澳、东平港和排放口等 3 个点位反映场址附近海域的海水水质现状, 根据《海水水质标准》(GB3097-1997)海域使用功能划分, 场址附近海域执行第三类海水水质标准, 监测结果表明: 除个别时段无机氮、活性磷酸盐、COD 超第三类海水水质标准外, 其余项目均满足第三类海域功能要求, 其原因可能为周边海水养殖和陆源污染物排放导致。

5 环境影响

5.1 环境影响因素识别与评价因子筛选

5.1.1 环境影响因素识别

5.1.1.1 区域国土空间规划与环境现状

(1) 国土空间规划与分区管控现状

本工程场址位于阳江核电场址范围，行政区划隶属广东省阳江市阳东区东平镇。根据区域规划文件，项目符合《广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划纲要》《阳江市国土空间总体规划（2021-2035）》等规划，属于鼓励类项目；纳入阳江市东平镇中南片区一般管控单元，不涉及永久基本农田、生态保护红线、岸线开发限制区，不属于“高耗能、高污染、资源性”管控项目，符合区域生态环境分区管控要求。同时，场址处于阳江核电厂半径 5km 规划限制区内。

(2) 场址环境现状

— 地理与人口：场址距东平镇约 6.2km，半径 5km 评价范围内总人口约 4663 人，最近居民点为 3.0km 处平堤村，无大规模集中居民区与特殊敏感建筑；

— 水文地质：采用岩洞处置模式，处置隧洞埋深超百米，岩体渗透系数极低（多数 $\leq 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ），属极微透水层，地下水以基岩裂隙水为主，补给来源为大气降水，排泄至大水沟与南海；处置隧洞底板高程 22m，远高于设计基准洪水位，无洪水侵袭风险；场址为侵蚀构造丘陵地貌，南坡陡峭、北坡平缓，无大规模滑坡、崩塌等不良地质现象。

— 环境现状：区域辐射本底水平正常，无异常辐射污染源，场址周边辐射环境质量符合国家标准；大气、声等非放环境质量较好。

5.1.1.2 处置设施全周期直接与间接行为

(1) 直接行为

直接行为为本工程建设、运维、封场及后期管控活动，主要有：

— 施工阶段：岩洞隧洞开挖与施工、辅助工艺厂房建设、建材堆放与运输、土石方开挖与回填、设备安装等；

— 运行阶段：废物接收与转运、废物装卸与堆码、辐射防护巡检、废水收集与达标排放、环境监测；

— 关闭阶段：处置隧洞回填封堵、封场、辅助设施拆除、场地生态整治、临时设施清理；

— 关闭后阶段：长期封存管控、地下水与辐射环境跟踪监测、场址监护。

(2) 间接行为

间接行为主要为配套保障与管控延伸活动，有核电基地物资运输车辆通行、运维人员进驻与生活保障等。

5.1.1.3 各阶段环境影响分析

(1) 施工阶段环境影响

结合本工程场址环境特征、施工工艺、时序等特点，施工阶段主要受影响的要素为大气环境、声环境、水环境及生态环境，其中大气环境影响主要为施工机械和运输车辆运行造成的扬尘、尾气排放，声环境影响主要为开挖爆破施工产生的施工噪声，水环境影响主要为现场施工人员产生的生活污水以及搅拌站运行、车辆冲洗产生的生产废水，生态影响主要为弃土弃渣堆放的施工临时占地和水土流失。本工程施工时间相对较短，废水及固废依托阳江核电厂处理，在相关环保措施充分落实的情况下，预计本工程施工阶段对场址及周边的影响有限。

(2) 运行阶段环境影响

本工程采用岩洞处置方式，处置隧洞较为封闭，运行期间对周边环境及公众的辐射影响很小，技术可行性高，建成后可以就近接收阳江核电厂运行产生的低放废物，运输成本低，场址所处环境地质、地震条件稳定，有利于本工程长期运行的稳定性。本工程正常运行期间不产生并排放气态流出物，废水主要是渗析水和去污废水，非放射性废物产生量小，确保达标排放。

(3) 关闭及关闭后阶段环境影响

本工程在关闭活动前，将进行详细的关闭方案设计，关闭后，对场区仍要进行控制，控制的目的是确保本工程符合辐射防护要求，使废物在地下能安全地长期处置。本工程采用岩洞处置方案，远离地表及人类和动植物活动圈层。场址关闭后，不会对周围地表的土地利用和植被等产生破坏，对场址周围环境产生的影响是较小的。

5.1.2 评价因子筛选

依据国家及地方环保法规标准、区域生态环境分区管控要求、场址环境保护目标，并结合本工程污染特征，分析筛选本工程环境影响评价因子。本工程接收满足国家标准的低放废物货包，主要是运行和关闭后核素的辐射环境影响，重点是考虑核素对公众产生的辐射剂量及三关键，对于本工程的非辐射环境影响，主要是运行期间废水排放的环境影响，包括废水中 COD、氨氮等。

结合项目特性、区域管控要求与环境敏感性，主要关注环境影响因素是辐射安全与公众剂量限值：本工程运行后，放射性核素的辐射照射是重要关注因素，需严格管控废物包处置规范、屏蔽措施有效性、运行期间公众剂量，以及关闭后核素释放迁移后确保公众受照剂量达标。

5.2 施工期间的环境影响

本工程采用岩洞型处置方案，建设 $4.5 \times 10^4 \text{m}^3$ 的处置容量，建设内容主要由主体工程区（岩洞处置区工程、辅助设施区工程）等组成，具体包括 1#处置隧洞、2#处置隧洞、施工支洞、交通隧洞、通风隧洞以及辅助工艺厂房等。

本工程建设的辅助设施位于阳江核电厂区用地范围内，不另外占用土地。本工程施工期间主要是在山体内进行爆破施工、洞室开挖及回填等工程，远离地表及场址周围居民点，本工程施工期间利用阳江核电厂已有场地及配套成熟设施，并对施工期间所产生的废物进行处理处置，对周围外环境影响较为有限。

本工程施工主要阶段包括：隧道开挖及支护、辅助工艺厂房施工、管沟工程施工、安装工程等。根据工程施工情况，现场高峰期人员可达到 300 人左右。具体情况见表 5.2-1。

施工期的环境影响主要有：土方挖掘填埋、混凝土拌合、物料运输和装卸产生的扬尘污染；各类燃油机械的废气排放、运输车辆产生的尾气；施工机械作业产生的噪声污染；施工作业人员日常生活产生的生活污水和生活垃圾，场地清理产生的固体废物等。相比阳江核电厂等大型核电厂设施项目建设来说，本工程施工规模总体上相对较小，工程施工远离场址周围居民点，施工影响较为有限。

表 5.2-1 本工程施工阶段概况表

序号	施工阶段	施工内容	施工机械	施工人数
1	隧道开挖及支护	主要包括隧道的开挖掘进、初期支护（锚杆施工、喷射混凝土施工等）、二衬施工、路面结构施工、灌浆作业、拱顶防水施工等	三臂凿岩机、锚杆机、挖机、装载机、吊车、拱架安装车、自制开挖台车、自卸车、风机、空压机、变压器等	约 160 人
2	辅助工艺厂房施工	主要包括土建部分施工（钢筋、模板、混凝土、支架等）及装修阶段	汽车起重机、挖机、铲车、自卸车、运输车、钢筋加工设备、泵车、罐车等	土建施工约 35 人，装修阶段约 25 人
3	管沟工程施工	主要为排放沟、排洪沟、新增电缆沟等管沟施工	挖机、装载机、运输车、自卸车等	约 30 人
4	安装工程	主要为消防工程、通信、照明、给排水、暖通、通风空调、火灾报警系统、污水、行车安装、变压器安装等	吊车、叉车、铲车、手拉葫芦、升降车等	约 100 人

5.2.1 土地占用

本工程的渣、土主要由辅助工艺厂房、管沟工程及隧道开挖产生，总量约 $43.8 \times 10^4 \text{m}^3$ ，其中厂房及管沟工程回填量约 $1.1 \times 10^4 \text{m}^3$ 。回填主要包含洞口回填及辅助工艺厂房、管沟工程等开挖后回填。本工程土石方利用约 $28.0 \times 10^4 \text{m}^3$ ，弃方约 $14.05 \times 10^4 \text{m}^3$ ，其他项目综合利用 $0.65 \times 10^4 \text{m}^3$ ，施工期间利用洞渣主要用于加工本项目混凝土、水稳等所需的骨料，对碎石进行加工并综合利用，弃土弃渣由当地土方运输队外运处置。

5.2.2 施工活动对环境的影响

5.2.2.1 施工期大气环境影响分析

施工期间的主要大气污染物包括扬尘、粉尘和汽车尾气。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。

施工车辆和施工机械设备（挖掘机、铲土机等）等在施工和运输过程中会产生一定量的汽车尾气。爆破过程产生一定量粉尘和烟气，本工程爆破使用乳化炸药，炸药集中存放于仓库，每次使用前均向公安部门申报，并于洞内使用。

本工程施工期土石方主要是通过山体隧洞的爆破和开挖，远离地表。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。施工结束后这部分大气污染源将不再存在，影响时段有限。

建设单位委托华测检测认证集团股份有限公司于本项目施工期间（2023年1月11日和4月13日）对施工区大气环境质量现状进行了监测，其中监测点位包含隧道出入口附近施工区北侧厂界、南侧厂界以及厂区下风向处。根据监测结果，总悬浮颗粒物的浓度范围为0.065~0.511mg/m³，PM₁₀的浓度范围为0.031~0.073mg/m³，二氧化氮的浓度范围为0.012~0.031mg/m³，二氧化硫未检出，一氧化碳的浓度范围为0.3~0.4mg/m³，均可满足广东省地方标准《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）中的标准限值要求（总悬浮颗粒物1.0mg/m³，二氧化硫0.40mg/m³，一氧化碳8mg/m³）。可见，施工期大气污染物排放对大气环境影响不大。

5.2.2.2 施工期水环境影响分析

本工程施工用水量很小，本工程用水从阳江核电厂管网取用，通过管道将水送至场址处，不会对周围取水用户产生影响。

本工程对于两条处置隧洞采用防排水设计，1#和2#隧洞防排水设计方案均为对底板、洞周裂隙发育较大的部位进行固结灌浆，阻断地下水入渗，固结灌浆后洞壁局部仍存在渗水部位，采用排水管及防水顶棚引排，导入处置隧洞底部两侧的排水沟。

本工程施工期间现场基本无涌水产生，监控量测数据在允许区间内，未出现报警现象。自施工建造阶段后一段时间，隧洞内地下水补给来源以滴水 and 渗水为主。施工期产生的废水主要包括生活污水和生产废水。其中：

（1）生活污水

本工程项目部营地位于东平镇，未单独设置生活区，场区施工人员在现场产生的生活污水依托阳江核电生活污水处理设施处理。施工高峰期间所产生的生活污水量约为30m³/d，废水产生量较小，依托阳江核电厂生活污水处理站处理后达标排放，污水站出水满足广东省《水污染物排放限值》（DB 44/26-2001）中第二时段的一级标准。

（2）生产废水

施工现场主要需水为拌合站拌合用水（每天约50~150t），及锚杆、灌浆孔、炮孔

等钻孔用水等。所需用水主要为从阳江核电厂既有给水管接驳处抽取的拌合及饮用水等施工用水。施工现场设置四个沉淀池，分别用于沉淀隧道内排水、搅拌站污水及车辆出入口洗车水；隧道内施工废水通过洞口沉淀池沉淀后再进行三级沉淀，回用于场地洒水抑尘、车辆冲洗等。总体上，施工期生产废水均按照阳江核电厂的施工管理要求统一管理。

综上，施工期间的生活污水和生产废水均得到有效处理，施工期产生的废水对周边环境得到有效控制。

5.2.2.3 施工期固体废物环境影响分析

施工期间产生的固体废物包括生产废物和生活垃圾。生产废物主要来自土建施工产生的工程弃土、建筑垃圾及安装阶段产生的包装物等，生活垃圾主要包括可回收垃圾和有害垃圾等。

岩洞处置区所在区域山体为花岗岩，工程开挖主要为石方，开挖石方大部分为质量较好的建筑材料，外运至有用料堆场或指定弃渣场。

建筑垃圾主要是建设中产生的废石子、废水泥、石材下角料等，建筑垃圾尽量综合利用，不能再利用的运输至指定地点堆存，不会对环境产生明显影响。

对于施工期间产生的生产废物：施工现场分类设置堆放场，并设置标牌，以分类集中存放各类废弃物。可回收的废弃物如包装板（箱）、纸袋、金属余料、塑料制品等按规定回收。施工期间一般固废和危险废物的处理处置严格按照法规及阳江核电基地有关管理要求实施固废处理处置。

对于施工期间产生的生活垃圾：现场设置垃圾箱或垃圾桶，每天定期安排人员进行清理至生活区，通过垃圾回收进行处理。垃圾及时清运，做到日产日清，并委托相关单位外运填埋处置。

综上，建设单位对固体废物进行了有效处置和控制。

5.2.2.4 施工期噪声影响分析

本工程施工期间，主要的噪声源有开挖爆破产生的噪声、机械噪声以及运输噪声等。其中，开挖爆破产生的噪声对周围环境产生较大的影响。根据爆破振动控制值要求，本工程单段最大装药量不大于 48kg，洞室爆破实际最大单段装药量为 38.4kg；隧

道爆破采用光面爆破的方式，掏槽形式采用楔形掏槽，数码电子雷管进行起爆；掏槽孔及辅助孔采用连续装药，周边孔采用不耦合间隔装药。施工过程中严格按照本工程制定的《隧道爆破掘进专项施工方案》进行控制，爆破噪声可以控制在允许范围内。由于爆破施工是阶段性的，爆破噪声为间歇性脉冲噪声，集中在施工初期，其影响时间短，随着爆破完毕，噪声也随即消失。此外，由于处置隧洞位于大尖山山顶以下一百多米，且离场址最近的居民点位于场址 NNE 方位 3.0km，因此爆破对周围环境的影响是有限的。本工程施工期间尽量采用低噪声机械设备，部分施工位于隧洞内，且周边无重要的声环境保护目标，预计机械运转对周边产生的噪声影响有限。本项目施工期间运输建筑材料及土石方会产生运输噪声，运输活动主要在发生在昼间，且周边无重要的声环境保护目标，预计运输对周边产生的噪声影响有限。

此外，根据本工程施工期间对施工区厂界噪声进行的监测结果（2023 年 1 月 11 日、2023 年 4 月 12~13 日），其中监测点位包含隧道出入口附近施工区北侧厂界和南侧厂界外 1m，厂界昼间噪声范围为（59~61）dB，夜间噪声范围为（52~53）dB，均可满足《建筑施工噪声排放标准》（GB 12523-2025）中的标准限值要求（昼间 70dB(A)，夜间 55dB(A)）。可见，施工期噪声对声环境影响不大。

5.2.3 施工影响的控制

5.2.3.1 施工期间的环境管理及监测

本工程的施工为陆域工程的建设，施工建设会对场址附近局部陆域环境质量产生影响，为掌握本工程建设施工期间对陆域环境造成影响的程度，检验施工期间采取的减缓环境影响措施的实施效果，促使施工单位采用更合理的工艺，有效降低工程建设对周边环境的不利影响，根据本工程特征和区域环境现状及保护要求制定了陆域环境监测方案 and 水土保持监测计划。

5.2.3.2 减少不利环境影响的措施

为最大限度降低对环境的不利影响，工程采取了相应有效缓解措施，主要包括：

（1）大气环境

— 配备洒水车，对施工道路等进行洒水处理，加强在旱季和大风天气时段的洒水作业；

— 工程材料存放场地、施工便道和生产区道路采取硬化处理，施工过程中经常洒水，防止扬尘对施工人员造成危害和影响。易洒落粉状物料的堆场，采取防风遮盖措施，以减少扬尘；

— 在运输易飞扬的散料时，装料适中并用篷布覆盖。储料场松散易飞扬的材料用彩条布遮盖。避免运输、装卸过程中和刮风时扬尘。水泥、砂等易洒落散物料的运输，采取防风遮盖措施，以减少扬尘；

— 经常清洗工程车辆车轮和车厢。机动车辆采取排烟净化系统，以减少排烟量；

— 对易产生粉尘、扬尘的作业面和装卸运输过程制定操作规程和洒水降尘制度，在旱季和大风天气适当洒水，保持地面湿度；

— 合理组织施工，优化工地布局，土、石、砂、水泥等材料的运输和堆放进行遮盖和密封，减少污染；

— 严禁在施工现场焚烧任何废弃物及会产生有害气体、尘烟、臭气的物质；

— 水泥等易飞扬细颗粒散装物料应尽量安排在库内存放，堆土场、散装物料的露天堆放场要压实、覆盖；

— 选择合格的运输单位，场地出口设冲刷池，并设专人对所有进出场地的车辆进行冲洗，严禁遗洒；运渣车辆，渣土应低于槽帮 10cm 并用苫布等覆盖，严防落土掉渣污染道路、影响环境；

— 施工现场在施工前做好施工道路的规划和设置，临时施工道路基层要夯实，路面要硬化。

(2) 声环境

— 施工场界噪声严格控制，控制爆破单次炸药使用量及爆破时间；

— 采取措施保证在各施工阶段尽量选用低噪声的机械设备和工艺方法，尽量选择低噪声的机具；

— 确定施工场地合理布局、优化作业方案，保证施工安排和场地布局考虑尽量减少施工对周围居民生活的影响，减小噪声强度和敏感点受噪声干扰的时间；

— 噪声排放监测和控制：施工现场定期、定时对场界内施工噪声排放进行监测并记录，及时采取措施控制超标噪声。定期组织对噪声场所防噪声控制措施执行情况进行检查，及时整改。

(3) 水环境

本工程在隧洞施工期间，做好隧洞产生水量收集与管控，施工废水做好沉淀与场地自回用。建设期间产生的生活污水依托阳江核电厂生活污水处理站处理后达标排放，污水站出水满足广东省《水污染物排放限值》（DB 44/26-2001）中第二时段的一级标准。生产废水经过沉淀池沉淀处理后尽量回用于场地洒水抑尘、车辆冲洗等。

（4）生态环境

— 弃土场按要求设挡渣墙，做好排水系统，分层整平、碾压至设计标高，并控制在规划地点；完工整平后在表面进行植被覆盖；

— 工程完工后应将临时设施全部拆除。对施工场地要认真清理，并收集施工垃圾运至指定的位置处理；

— 工程完工后对临时设施、施工工点及其他施工区域范围做好环保及生态环境恢复工作。

（5）水土保持

1) 水土流失防治措施

水土流失防治措施布局贯彻“预防为主、因地制宜、综合防治”的原则，通过不同措施的配置形成以工程促植物，以植物保工程，临时预防与永久防治并重的综合防治体系。水土流失防治措施由工程措施、植物措施和临时措施组成。工程措施以排水工程为主，植物措施主要为喷混植生，临时防护工程主要包括临时排水、沉沙、拦挡、覆盖等。水土保持措施布局如下：

施工前期，沿山体布设钢筋混凝土截洪沟，并最终接入核电厂区排洪沟，沿建设范围外边界布设临时排水沟，并配套沉沙池，排水就近接入核电厂区截洪沟；建筑物基础施工期，开挖临时堆土外侧用装土草袋拦挡，降雨时采用塑料彩条布覆盖，建筑后期，沿主要建筑物四周布设雨水排水管网。主体设计已设计钢筋混凝土截洪沟、雨水管网；本方案新增临时排水沟、沉沙池、装土草袋临时拦挡、塑料彩条布覆盖。

2) 水土流失状况监测情况

根据水土保持方案及设计文件，本工程扰动土地面积为 4.38hm²，其中主体工程区 0.59hm²，堆料场区 3.79hm²。本工程实际累计扰动土地面积 3.80hm²。

根据现场监测及收集相关资料得知，主体工程区累计完成土石方开挖 43.8×10⁴m³，回填土石方 1.1×10⁴m³，本工程利用 28.0×10⁴m³，弃方量 14.05×10⁴m³，其他项目综合利用 0.65×10⁴m³。

通过现场监测和巡查，本工程区已采取硬化措施，未发现水土流失重大事件。

3) 水土保持措施监测情况

i) 工程措施

本工程水土保持工程措施有：钢筋混凝土截洪沟、浆砌石排洪沟、土地整治、雨水管网等。本工程完成主体工程区钢筋混凝土截洪沟 213.24m，浆砌石挡墙 11.38m³，堆料场区土地整治 3.20hm²。

ii) 植物措施

本工程设计的水土保持植物措施主要在场外堆料场区设计植草等，本工程实际累计完成播草绿化 3.2hm²，草地护坡 315.9m，乔灌木护坡 187 株。

iii) 临时措施

本工程采取的水土保持临时措施有：临时砖砌沉沙池、临时防雨布苫盖以及临时密目网苫盖等。

总体上，根据本工程水土保持方案和相关设计，结合现场监测情况，确定本工程水土保持工程能够满足水土保持要求。本工程制定了水土保持工作责任管理制度，并在整个工程建设过程中实时动态监测项目区水土流失情况。

5.2.3.3 减少生产和生活废物的排放及其影响的措施

(1) 固体废物

施工期间产生的固体废物包括生产废物和生活垃圾。生产废物主要来自土建施工产生的工程弃土、建筑垃圾和安装阶段产生的包装物等，生活垃圾种类主要有可回收垃圾、有害垃圾及其他垃圾。

— 生产废物：合理调配土方，减少回填土的堆放时间和堆放量，堆土场周围加护墙、护板，表面用盖布苫盖。选择有资质的运输单位，及时清运施工弃土和淤泥渣土；建立登记制度，防止中途倾倒事件的发生并做到运输途中不撒落。选择对环境影响小的运输路线和运输时间。剩余料具的包装及时回收、清退，对可再利用的废弃物回收利用，各类垃圾及时清扫、清运，分类存放，不得随意倾倒，尽量做到每班清运，每日清运。保证回填土的质量，不得将有毒有害物质及其他工程废料、垃圾用于回填。施工现场内无废弃砂浆和混凝土，运输道路和操作面落地料及时清运，砂浆、混凝土倒运时应采取防撒落措施。严格按照要求做好危险废物的管理管控。

— 生活垃圾：施工现场设置垃圾箱或垃圾桶，每天定期安排人员清理并将垃圾运送至生活区，通过垃圾分类回收进行处理。

综上，建设单位对固体废物进行了有效的处置和控制。

(2) 生产废水和生活污水

— 在工程开工前完成工地排水和废水处理设施的建设，并保证工地排水和废水处理设施在整个施工过程中的有效性，确保现场无积水、排水不外溢、不堵塞、用水有效管控。

— 施工中废浆和淤泥用封闭的专用车辆进行运输。

— 雨季施工时制定有效的排水措施，采用固定泥浆池，泥浆池采用土砂袋堆砌，外包无纺布，池底及池壁做好防渗措施，废弃泥浆由泥浆车运出场外，按照环保相关规定进行处理。

— 施工现场设置专用料库，库房地面做防渗漏处理，储存、使用、保管专人负责，防止油料跑、冒、滴、漏污染土壤、水体。

— 生活污水控制：加强对生活污水及雨水排放设施的维护管理，防止污水的二次污染。发现污水排水设施损坏应及时抢修，保证系统的正常使用。

综上，施工期间的生产废水和生活污水均得到有效收集和处理，施工期废水对周边环境影响较小。

5.3 运行的环境影响

5.3.1 环境影响分析

本工程位于阳江核电厂场址区域，采用岩洞处置方式，场址隧洞环境较为封闭，运行期间对周边环境及公众的影响很小，技术可行性高，处置安全性高，场址所处环境地质、地震条件稳定，有利于本工程长期运行的稳定性。本工程隧洞位于花岗岩山体中，隧洞埋深大，岩体渗透性弱、富水量少，本工程运行不会引起洞室周围及周边区域地下水位大幅下降，不会影响洞顶植被和植物群落结构，不会对地表动植物产生不利影响。

5.3.2 辐射环境影响

本工程处置隧洞位于山体内，废物的接收、运输都有充分的实物保卫，公众不能直接进入核电厂内，也不能进入本工程场区内。本工程正常运行期间不产生排放气态流出物。本工程营运单位将与阳江公司签订相关协议，对阳江基地有关事项达成合作，落实本工程运行期间阳江基地内设施共用及有关废物的接收处置条件。

厂房内配置两台废水收集箱，用于收集和暂存从岩洞处置区处置隧洞内的处置单元底板排出的废水及辅助工艺厂房人体去污室产生的人体去污废液。收集的废水在取样检测后，放射性浓度满足满足广东省《水污染物排放限值》（DB 44/26-2001）中总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ 、总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$ ，以及 $\text{H-3}\leq 740\text{Bq/L}$ 要求后，经废水排放廊道内的管道送至阳江核电厂5号机组或6号机组排水隧洞前池排放。废水排放严格按照管理要求进行审批，并按操作规程实施排放。根据处置设施运行经验，运行期间收集的渗析水基本无放射性。

废水收集罐布置在辅助工艺厂房的最底层，确保废水可以靠重力流入废水收集罐。厂房内配置一台废水收集箱泵，用于混匀和排放箱内废液。废水收集箱所在房间设置滞留池，用于滞留废液，滞留池容量可以容纳两台废水收集箱破裂后产生的全部废液。滞留池内设置一个地坑和一台地坑泵，用于将滞留池内废液输送至废水收集箱。废水收集罐预留与移动式处理设备接口，在非正常或异常情况时可通过预留接口接入移动式处理设备进行处理，确保运行期间的废水可达标排放。

本工程运行期间可能产生的放射性固体废物主要是每年产生少量的擦拭检测纸、手套、工作服、不易去污的物件等工艺固体废物，本工程接收的废物包均经检测，破损污染防护用品、去污用品的概率极低，由此产生的放射性废物数量较少，对经检测超标的废物将装入放射性废物收集袋/桶。收集到一定量后送阳江核电进行暂存及处理或有资质的单位处理。参考已营运处置设施经验，运行期间产生的技术废物较少。针对运行所产生的技术废物及其他工艺固体废物，本工程将按照放射性废物管理规定要求做好放射性废物分类，尽可能降低最终废物产生量，确保本工程运行产生的固废得到及时、安全处置。

处置隧洞设计有多重防排水措施，能够防止运行期内山体内地下水进入处置隧洞内的放射性废物堆码区域，隔断地下水与岩洞内处置容器间的水力联系以防止放射性核素迁移出处置隧洞。同时，处置隧洞距离山体表面覆盖最小120m的花岗岩。本工

程处置隧洞到隧洞入口的交通隧洞长度 678m，处置隧洞南侧端头距离南海、北侧距离大水沟均较远。处置隧洞四周均被至少百余米厚的花岗岩山体覆盖，具有足够厚度的花岗岩自然屏障和山体屏蔽，离场址最近的村庄为位于场址 NNE 方位 3.0km 处，因此，废物体产生的 γ 直接外照射可以忽略不计，运行期内场外居民点和公众不会受到废物辐照和放射性核素迁移的影响，正常运行期间对公众造成的剂量远小于 0.01mSv/a 评价标准要求。

5.3.3 非放射性污染物环境影响

运行期间其他污染或废物主要是运行期间运行工作人员产生的生活污水、环境实验室废水以及固体废物等。其中：

— 生活污水

生活污水（主要是卫生间用水）产量按照 40 人预计，工作人员平均日综合生活用水量定额按 200L/（人·d）计算，其平均日综合生活用水量约为 8m³/日。生活污水可排入附近污水收集池，定期由吸污车抽走，运往海滨污水处理站处理，不会对环境产生不利影响。

— 环境实验室废水

环境实验室污水主要有器皿清洗水、环境水样品等。年环境监测次数按 400 次，单次检测产生 200L 算，平均用水量约为 7m³/月。产生的污水排入污水收集池，定期由吸污车抽走，运往海滨污水处理站处理。

— 固体废物

本工程运行期间非放一般固体废物的年产生量约为 900t，本工程运行期间对一般固体废物的贮存过程满足相应防渗漏、防雨淋、防扬尘等环境保护要求。运行期间产生的危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）相关要求，并交由有资质的单位处置。对运行期间工业固废，严格按照要求送到指定废物收集点或废物暂存库，根据废物按要求进行分类和分区贮存，做好出入库管理和运输，建立固体废物管理台账，做好废物管理工作。对于危险废物，单独收集暂存在 FY210 实验室，危废贮存点采取防渗、防漏、防止流失、扬散等污染防治措施，满足相应环境管理要求，再集中交由有资质的公司进行处理。

本工程运行期间工作人员日常工作中产生少量的生活垃圾，生活垃圾产量按照 40 人预计，生活垃圾按人均产生 1.2kg/天计，将日均产生 48kg 的生活垃圾。新增生活垃圾产生量较小，由有资质单位收集处理。

本工程运行期间产生的噪声主要来自运输、搬运过程中产生的机械噪声、风机噪声等。本工程废物处置主要是在山体隧洞内，噪声可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）要求，距离最近村庄居民点在 3km 外，经距离衰减后，不会对周围环境产生噪声影响。

因此，本工程正常运行期间，对环境的非放射性影响总体上较为有限，不会对周围环境产生不利影响。

5.4 关闭的环境影响

在处置单元全部装满废物后，即对处置设施进行封场关闭。根据岩洞处置相关规定，岩洞处置设施的关闭包括处置洞室的封闭、剩余空间的封闭、辅助设施的拆除和场址恢复等。

本工程在实施关闭活动之前将进行详细的关闭源项调查估算与关闭方案设计，对关闭过程中可能存在的辐射影响进行评估，对关闭活动进行详细计划，以保证关闭活动的安全实施。在满足各项关闭条件后，根据实际情况进行关闭阶段的处置隧洞回填及岩洞处置区入口封闭施工、无关设施拆除等工作，并将采用成熟的施工技术方法，以避免出现触电、跌落、火灾等事故。

关闭中可能对工作人员产生一定的辐射影响，根据工艺设计方案，处置隧洞已经考虑了有关辐射屏蔽作用，可将覆盖层施工对工作人员的剂量影响降至最低。此外，对于可能受到辐射沾污的建构筑物与设备拆除，将首先进行全面的污染测量，对确认已被污染的设备 and 设施，将根据类型进行适当的去污操作，并对不适宜去污的物件和废物进行整备与统一管理，合理进行设施退役。

处置设施在关闭活动前，将进行详细的关闭方案设计，专门开展详细的环境影响评价工作，对关闭过程中可能存在的辐射影响进行评价，并保证关闭活动的安全实施。

本工程关闭期间，先行拆除缆绳、管道及其他无用的设施和设备，然后对本工程的所有通道及入口进行回填封闭，以减少或延缓地下水侵入，阻滞放射性核素的迁移，

并防止岩洞坍塌。本工程封闭活动完成后对沾污的建筑物和设备进行去污，对长期不用的建筑物和辅助设施进行退役和拆除。

本工程关闭后，对本工程区仍要进行控制，控制的目的是确保本工程符合辐射防护要求，使废物在地下能安全地长期处置，逐渐达到无害化程度。本工程采用岩洞处置方案，远离地表及人类和动植物活动圈层。场址关闭后，不会对周围地表的土地利用和植被等产生破坏，对场址周围环境产生的影响是较小的。

5.5 关闭后的环境影响

本工程在运行期结束后，根据处置设施的设计寿命将对本工程进行回填、关闭。本章节根据本工程的设计方案及安全分析有关研究成果，对本工程关闭后的环境影响进行分析，并对核素释放迁移后的辐射影响进行评价。

5.5.1 景象的开发

处置设施关闭后的景象受场址所处的环境特征和工程方案、人类活动影响等多种因素影响。本工程属于地上山体内岩洞处置方案，设计单位根据项目场址实际条件及岩洞处置特点开展了景象分析研究并提出本工程的景象清单。本节针对场址关闭后的景象进行分析描述。

5.5.1.1 景象分析

(1) 工程屏障及长期安全性

本工程场址位于阳江核电场址范围，属于低丘陵地形，南临南海，处置岩洞位于山体内，主要接收和处置低放废物，场址交通条件便利。场址周围 5km 范围绝大部分属于阳江市东平镇区域，半径 1km 范围内没有自然村，半径 5km 内无国家级文物保护单位，无飞机场、监狱及大型影院、体育场馆等公共设施，场址区没有发现地下工程、采空区等，地表人类活动对地下工程无影响，场址附近不存在影响本工程建设的固定危险源和移动危险源。经对周边区域的社会经济条件和环境条件进行分析，未发现影响本工程建设的颠覆性因素。

大尖山场址区 50 年超越概率 10% 水平向地震动峰值加速度值为 0.1g，地震基本烈度为 VII 度。场址区不存在地震断层地表破裂、砂土液化、软土震陷，也不存在第四纪

火山活动、诱发地震和湖涌、海啸等地震灾害，场址区也无大规模崩塌、滑坡、泥石流等不良地质体发育。

岩洞处置隧洞区围岩主要为微风化-新鲜花岗质侵入岩，包括微新斑状花岗岩和中细粒花岗岩，围岩类别总体以II类为主，围岩总体稳定性好。微新花岗质岩体有足够的厚度和力学强度，其力学性质的长期稳定性能满足本工程的安全建设、运行和关闭的寿命周期要求，抗风化能力和地球化学性质稳定性强，可以作为地下洞室长期稳定的地质屏障。

处置隧洞地下水类型为典型的裂隙网络结构，总体上富水性较差、透水性微弱。根据本工程安全分析针对洞室结构及洞室长期稳定性研究，对区域地质构造运动、岩体蠕变影响分析和计算，本工程洞室能保障围岩长期稳定安全。

(2) 景象筛选及景象分析

场址附近最近的村庄为位于场址 NNE 方位 3.0km 处的平堤村，其余村庄居民点均位于 3km 外的允泊、瓦北和东平镇区附近，位于允泊村水文地质单元，上述居民点与本场址所在的大水沟水文地质单元不属于同一水文地质单元。场址所在的东平镇各村均已实现 100%的集中供水通水，允泊原有的村级公用井现已废弃，水井地下水仅少量自然村在日常生活中保留作为生活用水水源，用于洗衣等。大尖山山体较陡峭，杂草灌木丛生，南侧为基岩海岸，场址区没有可供开发的历史遗迹，也不具备修建隧道、庙宇、进行旅游开发的经济价值和社会条件，不考虑该类对山体利用相关的景象。

根据本工程安全分析研究，本工程处置岩洞位于大尖山山体内，距离地表较深，场址在关闭后不存在近地表浅地层处置类似的覆盖层和顶盖的失效，不会由于地表风化等作用而使放射性废物释放进入大气环境，不会产生降雨及地表水体的侵蚀、挟带及洪水对洞室的淹没及核素浸出，处置隧洞围岩结构较完整，难以产生动植物的入侵作用，也不会发生地质地震等过程对处置隧洞结构和废物包装体破坏而导致的核素释放，本工程低放射性废物处置中不会产生核素气态途径的流出物释放。

在确定本工程景象过程中，首先对国际组织及国外类似工程中具有参考价值的放射性废物处置的 FEPs（特征、事件和过程）清单进行调研和归纳总结，建立 FEPs 清单的基本结构、分类及 FEPs 母本清单，母本清单包括评价基础、外部条件、内部过程及核素迁移相关四大类，再对 FEPs 的发生可能性、重要性以及后果的严重程度进行分析，总结出废物处置后演化的基础清单。在初步清单基础上根据景象本身的后果

包络性进行梳理，最后根据本工程的具体情况分析每类景象发生可能性、后果危害，形成本工程选取的景象清单。

结合本工程景象清单分析，共得到 2 个类别，分别为预期演化景象和非预期演化景象。

5.5.1.2 景象描述

(1) 预期演化景象

本工程 1#处置隧洞顶拱喷射高防渗混凝土，喷射混凝土内部喷两层水泥基结晶防水材料，阻隔洞壁渗水流入洞内，2#处置隧洞洞室内壁设置空腔隔水区兼封闭回填区，岩洞顶拱喷射高防渗喷射混凝土。当处置区全部装满废物包后，其所有剩余空隙回填，1#隧洞在容器顶部浇筑一层混凝土找平层，顶拱剩余空腔采用碎石或水泥砂浆充填，2#隧洞洞壁与混凝土防水侧墙间以及处置单元顶部回填膨润土预制块回填，顶部形成一层混凝土层，顶拱剩余空腔采用水泥砂浆或碎石充填。

在处置系统设计中，废物包、处置容器、处置单元、回填材料、岩体等各部分屏障实现不同的安全功能及预期性能要求。废物包实现保持处置系统结构稳定性、限制渗析水侵入以及阻滞核素迁移的功能，处置容器实现保持处置系统结构稳定性的功能，处置单元实现保持处置系统结构稳定性、限制渗析水侵入以及阻滞核素迁移的功能，回填材料实现限制渗析水侵入、阻滞核素迁移的功能，围岩实现保持处置系统结构稳定性、限制渗析水侵入以及阻滞核素迁移的功能。本工程岩洞地质条件优良，且岩洞空隙灌封后，渗流基本处于静止状态，对水泥灌浆体的耐久性更为有利，耐久性好；膨润土为天然无机材料，耐久性好，能满足耐久性要求。对于高完整性容器（HIC），其材料性能满足《低、中水平放射性废物高完整性容器——交联高密度聚乙烯容器》（GB 36900.3-2018）要求，可保证其长期性能。

针对预期演化景象，假定废物体、工程屏障和围岩等维持其预期功能。

(2) 非预期演化景象

在预期演化景象基础上，假定在此基础上发生一些改变，定义一系列的替代景象。

5.5.2 环境影响分析

5.5.2.1 预期景象下的核素迁移及照射途径

本工程采用岩洞型处置方案，场区内地下水补给主要来源为大气降水，场址地下水总体呈现向北部大水沟沟谷与南海汇流的趋势，地下水呈现裂隙网络状分布，数模结果显示核素主要是偏向西北方向迁移并且向深部运移。

当本工程关闭后，在正常情况下，随着工程屏障失效，降水入渗补给及裂隙水进入处置隧洞内后，废物包装体与地下水接触，放射性核素将不断被浸出并随着入渗水流释放。根据花岗岩裂隙数模专题研究可知，放射性核素从处置单元及工程屏障释放而进入花岗岩岩石圈后，核素在地下水中迁移主要是往场址北侧的大水沟方向迁移，考虑分析核素从处置洞室释放后经大水沟方向的迁移，并考虑小型农业景象的公众辐射剂量。

根据数模结果，核素迁移偏向西北方向且同时往深处运移。根据质点追踪路径及迹线分析，核素处置隧洞区释放迁移对应的地下水迁移距离绝大多数分布在 600~750m，粒子追踪显示在 700 年内处置区溶质迁移距离不超过 500m。因此，核素迁移条件研究概化中，保守假定核素直接从处置洞室向处置区花岗岩地下水中释放后，核素迁移路径保守假定核素直接往大水沟方向水平迁移，迁移距离取 500m。

处置隧洞及大尖山花岗岩地下水中核素迁移的概化过程为：a) 废物包装体内核素因地下水入渗进入处置单元内而浸出释放；b) 核素从处置洞室回填材料及混凝土等工程屏障材料底部释放渗出；c) 经处置隧洞释放迁移后进入花岗岩地下水中，并在岩石圈中迁移；d) 进入北侧大水沟地表水中；e) 核素通过受照途径对公众产生辐射影响。

场址附近最近的村庄为位于场址 NNE 方位 3.0km 处的平堤村，其余村庄居民点均位于 3km 外的允泊瓦北和东平镇区附近，位于允泊村水文地质单元，上述居民点与本场址所在的大水沟水文地质单元不属于同一水文地质单元。场址所在的东平镇各村均已实现全镇 100% 的集中供水通水，水井地下水仅少量自然村在日常生活中保留作为生活用水水源，用于洗衣等。结合厂址周围居民点分布特点及社会特征，场址关闭后放射性核素往北侧迁移至大水沟后，保守假定公众因大水沟水体利用的小型农业活动景象而导致核素对公众产生辐射影响，受照途径考虑饮水、食入灌溉作物、吸入粉尘内照射和土壤沉积外照射途径。

5.5.2.2 非预期景象下的核素迁移及照射途径

a. 工程屏障提前失效

假定工程屏障提前失效景象发生时，工程屏障比预期的失效时间提前，导致地下水提前进入废物处置单元，从而使核素释放并迁移。假定废物桶提前破损发生，导致处置单元放射性废物过早释放并在地下水中迁移，最终进入大水沟后对场址周围公众产生辐射影响。核素迁移路径及对公众产生的辐射剂量贡献途径与预期演化景象下相同。

b. 公众无意闯入

(1) 场址边界打井

场址区地形陡峭且处置隧洞位于微新花岗岩岩体中，钻孔困难且赋水条件较差，仍保守假定场址周围公众因打井利用地下水而受到辐射影响。打井场景中，假定公众在处置区边界打井，取水水井位于大尖山北坡、紧临大水沟的南岸区域，水井位于含水层等水位线垂直方向的地下水出露点处，假定水井距场址约 400m，公众直接饮用井水而通过饮用水途径造成辐射影响。

(2) 场址上方钻孔

a) 钻孔急性照射事故

场址关闭后，钻孔景象发生年份越早造成的剂量越大。钻孔景象在急性照射事故时，钻孔操作人员将主要受到外照射和吸入粉尘引起的内照射。

b) 钻孔后岩芯散落事故

考虑抽出的岩芯为本工程中 $>2\text{mSv/h}$ 处置隧洞（2#隧洞）中的放射性废物，钻孔取出的岩芯长度为 4m，废物的平均比活度为 2#隧洞废物的平均活度。考虑的照射途径有土壤沉积外照射和吸入粉尘内照射。

5.5.3 模式与参数

5.5.3.1 核素地下水途径迁移及浓度

5.5.3.1.1 计算模型

根据场址区地下水补径排条件及迁移路径，对场址放射性核素在场址地下水中的迁移应用软件模拟分析。模拟采用箱式模型，主要包括库室、污染物在库室之间的迁移和源项。模型中假定各模拟库室内的浓度是瞬时混合均匀的，污染物在库室间的迁

移过程以迁移率表示。库室 i 中污染物 N 的总量随时间的变化率满足如下的方程：

$$\frac{dN_i}{dt} = \left[\sum_{j \neq i} \lambda_{ji} N_j + \lambda_M M_i + S_i(t) \right] - \left[\sum_{j \neq i} \lambda_{ij} N_i + \lambda_N N_i \right] \quad (5-1)$$

式中： i, j 表示库室； N, M 表示放射性核素 N 和 M (在衰变链中， N 是 M 的子体) 在一个库室中的量， Bq ； λ_M 为放射性核素 M 的衰变常数， a^{-1} ； $S(t)$ 为放射性核素 N 随时间而定的外界源项， Bq/a ； λ_N 为放射性核素 N 的衰变常数， a^{-1} ； $\lambda_{\{ji\}}$ 为从库室 j 中转移到库室 i 得到放射性核素 N 的迁移比率， a^{-1} ； $\lambda_{\{ij\}}$ 为从库室 i 中转移到库室 j 得到放射性核素 N 的迁移比率， a^{-1} 。

a) 核素在处置单元及处置隧洞内的迁移

本工程处置的两条处置隧洞分别处置 $\leq 2mSv/h$ 和 $> 2mSv/h$ 废物，其中表面剂量率 $> 2mSv/h$ 的隧洞共有 14 个处置单元，每个处置单元内在废物容器上方有自密实混凝土和膨润土，侧墙和隔墙设置混凝土，底部则为膨润土，对于 $\leq 2mSv/h$ 废物顶部设置有碎石回填，不设置混凝土侧墙和隔墙，底部铺设混凝土底板。根据处置隧洞和处置单元设计，1#处置隧洞底板为 70cm 厚混凝土，2#处置隧洞采用膨润土回填，底板为 100cm 厚膨润土+100cm 厚混凝土。

假设处置单元关闭后，随着工程屏障失效，降水垂直入渗补给进入处置隧洞内处置单元，废物体内核素随着入渗水流释放进入地下水环境中。假定核素从废物处置单元中释放在处置单元内均匀混合，释放的放射性核素完全溶于水，且核素释放、溶解及吸附的过程是瞬时达到平衡的。

核素在处置单元内迁移时考虑了核素的衰变、吸附及垂直向下迁移。核素在处置单元内随地下水垂直向下的迁移比 λ_{inf} 可由下式给出：

$$\lambda_{inf} = q / (D \cdot \theta_w \cdot R) \quad (5-2)$$

其中： q 是地下水的达西流速 (m/a)； D 是放射性核素迁移的总距离 (m)； θ_w 是含水层介质的孔隙度或裂隙率； R 为核素的阻滞系数。

核素在不同介质中的阻滞系数 R 可由如下公式计算得出：

$$R = 1 + \rho K_d / \theta_w \quad (5-3)$$

其中： ρ 为介质密度 (kg/m^3)， K_d 为核素在介质中的分配系数 (m^3/kg)。

废物包装体中放射性核素经地下水渗入而在处置单元区释放并垂向向下迁移时，针对 $\leq 2mSv/h$ 和 $> 2mSv/h$ 的不同处置隧洞，分别经 1#隧洞处置单元底部混凝土和 2#

处置单元底部的混凝土和膨润土不同介质回填材料垂向迁移后从处置单元底板渗出后进入处置隧洞区花岗岩。迁移模型与核素在处置单元内的迁移相同，考虑核素从处置单元底部泄漏下渗及衰变作用后，不同处置洞室内处置单元内核素在混凝土和膨润土工程屏障中的阻滞作用。

b) 核素在花岗岩含水层中的迁移

场址区岩体较完整而整体渗透性小，地下水呈裂隙网络状分布特征，地下水大多赋存在网络状的张性节理裂隙中。场址区域没有大型断层及地下水节理裂隙优先通道，岩体整体上较完整、渗透性较低。

在计算核素在地下水中迁移时，迁移过程中主要考虑核素的衰变、吸附、对流和弥散作用，模拟中设置了3级库室，共有库室200个。

核素在花岗岩地下水中迁移的比例可由如下公式计算：

$$\text{对于对流可表示为: } \lambda_{A,ij} = q / (\theta_w \cdot L_i \cdot R) \quad (5-4)$$

$$\text{对于弥散可表示为: } \lambda_{D,ij} = \alpha_x / \Delta x \cdot \lambda_{A,ij} \quad (5-5)$$

其中， L_i 为含水层中库室的长度（m）； α_x 为纵向弥散度（m）； Δx 纵为核素在含水层中的纵向弥散迁移距离（m）。

5.5.3.1.2 模型计算源项分析

对低水平放射性固体废物的包容、隔离时间一般为300至500年。根据花岗岩裂隙介质数模结果研究可知，本工程处置隧洞释放在花岗岩中的迁移时间至少在700年，在同时考虑废物工程屏障的作用后，大部分核素在其长时间的迁移过程中将衰变完全。

5.5.3.1.3 模型参数

在模型迁移计算中，根据本工程场址勘察和花岗岩裂隙地下水数模专题研究得出的场址区地下水流场及溶质运移特征，以及核素在本工程介质中吸附迁移规律研究资料，进行参数选取分析。

5.5.3.1.4 地下水中核素浓度

根据本工程处置方案中不同表面剂量率废物的堆码形式和回填工艺，采用模型分析计算。模拟过程中假定各个处置单元内的核素已均匀堆满整个处置单元，每个库室

内核素均匀分布。模拟过程中假设关闭后工程屏障正常演化开始失效。处置单元区底板的核素释放由处置单元内各核素的活度浓度与处置单元中各核素的迁移比率的乘积求得。

基于本工程的源项和处置工艺给出了本工程关闭后本工程放射性核素从处置单元底板向花岗岩含水层中释放的核素浓度峰值及其出现时间。

5.5.3.2 核素地表水途径迁移及浓度

本工程关闭后裂隙地下水流向场址北侧的大水沟，并受到大水沟的地表水稀释扩散，大水沟水流自东向西在场址北侧流入电厂场区并最终汇入大海。

根据本工程核素在花岗岩中的放射性浓度及大水沟地表水的稀释因子，计算得到的大水沟中放射性核素浓度。

5.5.3.3 公众受照途径及辐射剂量

本工程关闭后放射性核素随花岗岩地下水往北侧流向大水沟时，公众将在此处进行小型农业活动而受到照射。大水沟水体利用的小型农业活动景象对公众的辐射影响考虑饮水、食入灌溉作物、吸入粉尘内照射和土壤沉积外照射途径。

5.5.3.4 核素迁移计算的参数灵敏性与不确定性分析

本工程运行过程中，应做好防排水工作，确保工程屏障性能，采取措施及时将雨水排走，降低雨水入渗的可能性，并严格做好处置回填工作，提高工程屏障对核素迁移的阻滞作用。

5.5.4 剂量评价

考虑本工程关闭后，区域内其他核设施均已退役，其他核设施对公众的辐射影响很小，叠加本项目的辐射影响效应后公众所受到的剂量满足小于 0.25mSv/a 要求。

5.5.4.1 预期景象下的公众剂量

根据本工程所处置的废物源项，本工程在场址正常关闭后不同时间内，在场址关闭后 1000a 内，关键人群为成人组公众，关键核素为 H-3，其造成的峰值剂量为

4.64E-11Sv/a，出现时间为290年，关键途径为饮水内照射途径；6000a后，关键人群为成人组公众，关键核素为C-14，其造成的峰值剂量为1.18E-08Sv/a，关键途径为饮水内照射途径。本工程关闭后处置设施对公众造成的年有效剂量满足小于0.1mSv的剂量要求。

5.5.4.2 非预期演化景象下的公众剂量

a. 工程屏障提前失效

针对非预期演化景象下，假定工程屏障在早期失效条件下，放射性核素中部分较易迁移的核素相对较早释放并迁移，主要为H-3，其地下水迁移后进入地下水体的峰值浓度为 $2.03 \times 10^4 \text{Bq/m}^3$ ，峰值时间为240年，关键人群组为成人组公众，关键途径为饮水内照射途径，关键核素为H-3，放射性核素对公众的峰值剂量为5.88E-10 Sv/a，此后在长期关闭后关键人群组为成人组公众，关键途径为饮水内照射途径，关键核素为H-3，对公众的剂量最大为1.18E-08 Sv/a。

b. 公众无意闯入

针对公众无意闯入景象，当公众在本工程下游场址边界处打井时，放射性核素中H-3较易迁移，在短时期第一个剂量峰值内（1000年内）地下水井中H-3造成剂量最大，峰值时间为260年，关键人群组为成人组公众，关键途径为饮水内照射途径，关键核素为H-3，对公众打井景象造成的最大剂量为1.06E-07Sv/a；在关闭后整个时期内关键人群组为成人组公众，关键途径为饮水内照射途径，关键核素为C-14，对公众造成的剂量贡献最大为6.82E-06Sv/a。

对于公众本工程上方钻孔时，在场址关闭后第10a时，钻孔景象造成的操作人员单次急性照射剂量和钻孔后岩芯洒落造成的公众年有效剂量分别为7.45E-06mSv和1.33E-05mSv/a，分别满足在关闭后单次急性照射的有效剂量不超过5mSv的要求和本工程关闭后无意闯入者持续受到照射的年有效剂量不超过1mSv的要求。

因此，本工程关闭后，处置设施通过各种途径向环境释放的放射性核素对公众中关键人群组的成员造成的年有效剂量不超过0.1mSv，无意闯入者持续受到照射的年有效剂量不超过1mSv，单次急性照射受到的有效剂量不超过5mSv，满足标准要求。

5.6 事件/事故的环境影响

5.6.1 事件/事故分析

根据本工程设计特点，设施运行期间可能发生的事故主要有废物运输车故障、废物堆码装置故障、正面吊故障及废物包跌落。本节将对这几种事故的可能性、事故工况、事故处置措施及后果进行分析。

5.6.1.1 废物运输车故障

废物运输车故障主要针对废物运输车抛锚等故障。此时，废物包在废物运输车上呈完好状态，并未跌落，不影响转运屏蔽容器或处置容器的完整性及屏蔽功能。废物运输车故障可能发生在处置隧洞外，也可能发生在处置隧洞内。

废物运输车在处置隧洞外发生故障时，需要将临时拖车连接到运输车辆，由临时拖车将废物运输车和废物货包拖至辅助工艺厂房。到达辅助工艺厂房后，预先将处置容器抓具/吊索挂在辅助工艺厂房数控吊车上，吊起废物包至辅助工艺厂房临时存放区，然后再由维修人员对废物运输车进行故障维修。

废物运输车在交通隧洞内发生故障时，需要将临时拖车连接到运输车辆，由临时拖车将废物运输车和废物货包拖至交通隧洞与处置隧洞连接处。然后通过采用正面吊或数控吊车将废物包吊起堆码在指定位置，然后将运输车辆拖至辅助工艺厂房进行维修。

废物运输车在处置隧洞内发生故障时，如果是装填表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ 废物包装容器的运输容器，使用废物堆码装置将运输容器及废物吊走后，操作人员将临时拖车连接至运输车，将废物运输车移至辅助工艺厂房维修；如果是装填表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 废物包装容器的运输容器，操作人员使用正面吊将废物包堆码至指定位置（该活动与正常运行一致，未因事故增加受照剂量），然后操作人员将临时拖车连接至运输车，将废物运输车移至辅助工艺厂房维修。

5.6.1.2 废物堆码装置故障

废物堆码装置用于在接收、处置表面剂量率 $>2\text{mSv/h}$ 废物包的洞室内堆码 400L 桶处置容器和 HIC 处置容器。废物堆码装置故障时，废物堆码装置在吊运、堆码 400L

桶处置容器和 HIC 处置容器过程中发生故障，无法完成相应处置容器的吊运、堆码操作。

废物堆码装置将会设置冗余的控制系统、起升机构及大、小车运行机构，能够在吊车发生故障时切换至备用机构。当废物堆码装置在吊运、堆码处置容器过程中故障时，可由操作人员在远程控制室（控制室设在洞室外辅助工艺厂房的非控制区）切换至冗余的备用机构，将正在吊运或堆码的处置容器在处置隧洞内就近安全放下，然后吊车运行至吊车检修区检修。待维修结束后继续吊运、堆码操作。

5.6.1.3 正面吊故障

正面吊用于在接收、处置表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 废物包的处置隧洞内堆码 400L 桶处置容器。正面吊故障指正面吊在堆码 400L 桶处置容器过程中发生故障，无法完成 400L 桶处置容器的堆码操作。

正面吊设有处置容器手动释放装置，正面吊在堆码 400L 桶处置容器时发生故障后，需要操作人员将处置容器手动释放至处置隧洞地面，然后将拖拽装置与正面吊连接，再操作拖拽装置将正面吊拖拽出处置隧洞维修。处置容器手动释放操作和正面吊、拖拽装置连接操作均需近距离接触装填有 400L 桶的处置容器。

5.6.1.4 废物包跌落事故

a) 运输过程中废物包跌落风险分析

废物包运输过程中，道路平整，路况条件好，且废物运输车限速运行，一般不超过 15km/h；废物运输车设置运输容器固定装置，将运输容器固定在车上，防止处置容器在运输过程中松动、跌落。以上措施能够保证废物包在运输过程中的安全，不会发生跌落事故。

b) 堆码过程中废物包跌落风险分析

根据装填废物货包的表面剂量率差异，本项目在处置隧洞内分别使用废物堆码装置和正面吊堆码 400L 桶处置容器和 HIC 处置容器。

1#处置隧洞使用正面吊堆码 400L 桶处置容器，正面吊抓取 400L 桶处置容器的抓具设有抓取状态传感器，能够显示抓具抓取状态，避免误操作；此外，正面吊还设有

吊运物项监测传感器，在吊运过程中联锁正面吊抓具无法打开，避免因人员误操作导致 400L 桶处置容器跌落。如仍意外发生人因失误，导致 400L 桶处置容器从高处跌落（假设从最高的第 9 层跌落，跌落高度为 11.2 米）。该高度超过 GB 14569.1-2011《低、中放水平放射性废物固化体性能要求—水泥固化体》中抗冲击性能要求的跌落高度，故假设 400L 桶处置容器及其装载的 8 个 400L 桶破碎。根据本工程安全分析，事故后主要是废物体的破碎散落，破碎产生的气溶胶极低，考虑将散落的破碎废物体收集起来，装入备用的处置容器，然后再对事故场地进行去污处理。首先通过便携测量设备测定污染水平，事故处理人员佩戴相关防护用品到达事故现场处理，并根据实际情况考虑辐射屏蔽措施，降低人员伤害并避免内照射，整个操作过程预计在 1 小时内可完成。

2#处置隧洞使用废物堆码装置堆码 HIC 处置容器和 400L 桶处置容器。吊车起升机构将在不同位置冗余设置多个制动器，每个制动器均能独立在断电事故、超行程故障、超速或起升机构传动部件损坏状态下实现对吊运处置容器的制动；同时吊车卷绕系统设有两根钢丝绳，在其中一根钢丝绳断裂的意外情况下，另一根钢丝绳也可承受全部吊装载荷，防止跌落事故发生。吊车搭载的抓具设置处置容器抓取状态传感器，与吊车联锁，可保证抓具稳定抓取处置容器后再进行操作以及在吊运过程抓具无法打开。吊车搭载的抓具设计为失电后保持原有状态，恢复电源后需要人工复位后才能进行下一步动作，避免因抓取不稳定就进行吊运操作、失电或其他人因导致废物包跌落。

HIC 处置容器在 2#处置隧洞只堆码两层，堆码后高度为 4.3 米，考虑一定裕量后吊装高度不超过 5 米。吊装过程中可控制处置单元隔墙通道的码垛高度，保证 HIC 全过程的吊装高度不超过 5 米。根据安全分析，已有 HIC 跌落试验结果表明 HIC 在 5.4 米高度跌落不会发生破损，即 HIC 万一发生跌落事故也不会造成容器破损，可重新吊装至处置单元。

5.6.2 事件/事故源项

5.6.2.1 废物运输车故障源项

发生车辆故障时，主要途径为外照射途径。

5.6.2.2 废物堆码装置故障源项

废物堆码装置事故发生后，距事故区域最近的处置单元的净间距超过 20m 且处置单元内外有隔墙屏蔽，主要途径为外照射途径。

5.6.2.3 正面吊故障源项

正面吊用于在接收、处置表面剂量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 废物包的处置隧洞内堆码 400L 桶处置容器。事故发生时，源项主要来源于废物包和堆码废物，主要对工作人员产生辐射影响，主要途径为外照射途径。

5.6.2.4 废物包跌落事故源项

对于 1#处置隧洞发生的事件/事故，假设 400L 桶处置容器及其装载的 8 个 400L 桶破碎。考虑散落的破碎废物体收集处理。保守假设事故处理人员受到剂量贡献考虑两部分来源，一是跌落的 8 个 400L 桶 2mSv/h 辐照剂量率，另外是已堆码区处置容器预计对工作人员造成的辐照剂量率为 1.3mSv/h 。

对于 2#处置隧洞发生的事件/事故，假设在吊装最高点发生跌落，最大的跌落高度为 11.2 米，且处置容器、金属桶破损。事故发生后，首先在破损位置设临时屏蔽措施，采取临时屏蔽措施控制屏蔽体后的对工作人员的剂量率不超过 2mSv/h 。

5.6.3 事件/事故后果计算

5.6.3.1 事件/事故所致辐射剂量估算

(1) 废物运输车故障

当洞外发生车辆故障时，工作人员受照剂量风险主要来源于故障车辆上的废物包。此时，考虑到处置容器及屏蔽容器完好，在故障处理过程中，只有事故缓解人员需靠近废物包执行相关操作。本事故情景下，对于公众的辐射影响只考虑外照射途径，由于公众无法进入本项目场区，公众与辐射源之间有充分的距离和物理屏蔽（百余米厚的花岗岩山体），因此本故障对场外公众无辐射影响。

(2) 废物堆码装置故障

吊车检修区位于处置单元对侧（中间间隔有运输隧道），该区域距最近的处置单元的净间距超过 20m 且处置单元内外有隔墙屏蔽。本事故情景下，对于公众的辐射影

响只考虑外照射途径，由于公众无法进入本项目场区，公众与辐射源之间有充分的距离和物理屏蔽，因此本故障对场外公众无辐射影响。

(3) 正面吊故障

事故处置措施由两名工作人员完成，依次为废物包手动释放、连接拖拽装置及正面吊；本事故情景下，对于公众的辐射影响只考虑外照射途径，由于公众无法进入本项目场区，公众与辐射源之间有充分的距离和物理屏蔽（百余米厚的花岗岩山体），因此本故障对场外公众无辐射影响。

(4) 废物包跌落事故

对于 1#处置隧洞发生的事故，由于本事故情境下不产生放射性气溶胶的排放，对于公众的辐射影响只考虑外照射途径，由于公众无法进入本项目场区，公众与辐射源之间有充分的距离和物理屏蔽（百余米厚的花岗岩山体），因此本故障对场外公众无辐射影响。

对于 2#处置隧洞发生的事故，事故发生后，首先在破损位置设临时屏蔽措施，事故处理人员佩戴相关防护用品在临时屏蔽体外通过长杆工具将破碎废物体收集在备用的 400L 桶处置容器内，以降低人员伤害并避免内照射。由于本事故情境下不产生放射性气溶胶的排放，对于公众的辐射影响只考虑外照射途径，由于公众无法进入本项目场区，公众与辐射源之间有充分的距离和物理屏蔽（百余米厚的花岗岩山体），因此本故障对场外公众无辐射影响。

5.6.3.2 事件/事故所致非放射性化学污染物浓度计算

本工程可能发生的事件/事故预计不会产生非放射性化学污染物。

5.6.4 事件/事故后果评价

由于本项目位于岩洞中，处置隧洞四周均被至少百余米厚的花岗岩山体覆盖，具有足够厚度的花岗岩自然屏障和山体屏蔽，事故情况下对公众人员无辐射影响。本工程已经制定有相应的应急预案，可有效实施相应应急工作，尽可能减少事故影响。

5.7 环境风险评价

本节主要依据《建设项目环境风险评价导则》（HJ 169-2018）相关要求对环境

风险分析与评价。

5.7.1 环境风险识别

本工程运行时，配套的环境监测实验室将使用一些化学药品（硝酸、盐酸、无水乙醇、过氧化氢等），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。

5.7.2 环境风险评价

上述化学药品年最大存放使用量约 29.1kg（单个包装不超 25kg 或 L）。表 5.7-1 给出了本工程运行期间潜在环境风险较大的危险化学品最大储存量及对应的临界量，根据 HJ 169-2018 附录 C 危险物质数量与临界量比重计算，本工程主要危险化学品的设计最大储存量与临界量的比值之和 Q 为 0.0041855，风险潜势为 I，需简单分析。

表 5.7-1 本工程主要危险化学品贮存情况及临界量

序号	储存场所	物质	最大可能储存量 q_i (t)	参考 HJ 169-2018 附录 B 临界量 Q_i (t)	q/Q
1	环境监测实验室	硝酸	0.009	7.5	0.001200
2	环境监测实验室	过氧化氢	0.00055	100	0.000006
3	环境监测实验室	次氯酸钠	0.002	5	0.000400
4	环境监测实验室	盐酸	0.0075	7.5	0.001000
5	环境监测实验室	氨水	0.002	10	0.000200
6	环境监测实验室	氢氧化钠	0.00055	2.5	0.000220
7	环境监测实验室	无水乙醇	0.001	100	0.000010
8	环境监测实验室	硫酸	0.0015	10	0.000150
9	环境监测实验室	闪烁液	0.005	5	0.001000
ΣQ					0.0041855

本工程危险性相对较大的危险化学品配备泄漏应急处理设备，危险化学品泄漏后不会污染周边地表水或地下水，有毒气体储存场所不临近厂界，即使发生泄漏，其挥发的气体也不会大量飘散至厂界外造成严重的大气环境污染。同时，针对各类危险化

学品，本工程还制定了一系列管控措施。

5.7.3 危险化学品管控

本工程环境监测实验室使用的危险化学品会存放在专用的危险化学品存放柜中，落实"双人双锁"管理，配备必要的个人劳动防护用品和应急设备，做好日常检查和应急演练。

综上可知，本工程对于各危险物质的管理均设置了可靠的工程措施以及安全管理措施，在严格落实相关措施后，本工程的环境风险较小。

5.8 评价迭代的考虑

场址运行一定时期后，社会经济发展有一定变化，并可能导致场址区域的自然环境、人口分布、地质及水文地质条件等发生变化，进而影响场址周围的关键环境特征、核素关闭后迁移途径，以及人为入侵等外部风险事件的可能。处置设施运行结束后，需要结合场址的流出物监测和环境监测结果，分析处置设施安全性及辐射防护的有效性，开展相关影响评价。

针对处置系统的性能和安全，考虑对设施设计中如何考虑各系统的要求，可能影响处置系统的辐射、热、水力、力学、化学和生物过程，废物空间不均匀性和相关的不确定性，系统部件及其接口的特性和行为随时间的变化及相关的不确定性。

本工程拟考虑每十年进行一次迭代评价，对本项目的监测结果、设施安全性和辐射防护进行评价。

6 流出物监测与环境监测

6.1 流出物监测

6.1.1 气态流出物监测

本工程运行期间接收的放射性废物包的放射性物质都密封在容器内，且外表面都必须经过表面污染检测合格后方可接收，正常运行工况下不会产生气态流出物，控制区内通风系统主要起到通风换气功能。

为做好岩洞处置区内放射性固体废物包搬运与处置期间的辐射监测，保守考虑通过在岩洞处置区和辅助工艺厂房通风系统的排风系统上分别设置 1 台固定式气溶胶连续监测仪对控制区内的空气进行在线监测，当气溶胶放射性浓度突然增高或超过报警阈值（ $8.5E+01Bq/m^3$ ）时触发异常警示（声光报警），并切换为过滤通风方式，其排放经初效过滤器和高效过滤器处理后排入环境。

6.1.2 液态流出物监测

本工程运行期间产生的潜在放射性液态流出物，包括：来自岩洞处置区处置隧洞混凝土底板排出的废水，以及辅助工艺厂房人体去污室产生的人体去污废液。

本工程对于潜在放射性废水的监测项目包括：水中总 α 、总 β 、氡、 γ 能谱，以及非放监测项目 pH 值、 COD_{Cr} 、TP、 NH_3-N ，监测频次为排放前。

6.2 环境监测

6.2.1 辐射环境监测

运行期间辐射环境监测方案的目的是：

- 为评价环境辐射安全和估算公众剂量提供依据。
- 监测环境介质中放射性核素浓度或照射剂量率的变化。
- 发现设施周围地区放射性变化的异常现象，及时查找原因，鉴别污染来源，追踪污染趋势并修正监测计划。

6.2.2 监测范围

辐射环境监测以场址为中心，半径 3~5km。重点关注地下水等环境介质，并根

据场址所在区域的环境特点，适当调整。

6.2.3 辐射环境监测内容

针对本工程运行期间相关放射性释放的可能途径，同时结合本工程运行前的辐射本底调查、场址区域的主导风向以及本工程周围的环境特征，按照《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)的要求，本工程营运单位制定了运行期间的辐射环境监测方案。

(1) γ 辐射剂量

— γ 辐射剂量率连续监测

本工程 γ 辐射剂量率连续监测依托阳江核电基地辐射环境监测系统现有条件，结合本工程的监测要求，共设置 6 个站点，共享阳江核电 KRS 系统站点的 γ 辐射剂量率连续监测数据，共享站点包括：场内站 (AS3)、百米塔 (AS4)、平堤水厂 (BS2)、大澳站 (BS3)、允泊站 (BS5) 和对照点阳江阳光园。

场内站 (AS3)：阳江核电 KRS 系统的工程办公区站 (AS3)，位于本工程隧洞排风口 NW 方位约 1.0km 的隧洞入口位置，为场区范围内的监测点位。

百米塔 (AS4)：位于本工程排风口 NNW 方位约 1.9km。

平堤水厂 (BS2)：位于本工程排风口 NNE 方位约 3.9km，邻近水环境敏感点和该方位最近居民点。

大澳站 (BS3)：位于本工程排风口 WNW 方位约 3.4km，为 80m 高度次主导风下风向可能关键居民组的监测点位。

允泊站 (BS5)：位于本工程排风口 NW 方位约 3.2km，为距离本工程最近居民点的监测点位。

对照点阳江阳光园：位于本工程排风口 WNW 方位约 37km，作为本工程评价区范围外的对照点。

— γ 辐射累积剂量

γ 辐射累积剂量点位参考环境本底调查点位进行监测，除东、东南东、东南、南共四方位处于林地/海域不具备长期监测条件外，其余方位均布置 γ 辐射累积剂量监测点，点位为 01~12，对照点为阳江阳光园。

γ 辐射累积剂量监测频次为每季度监测 1 次。

(2) 气溶胶、沉降物和空气

依托阳江核电基地辐射环境监测系统现有条件，并考虑本工程的监测要求，气溶胶、沉降物和空气采样（含对照点）共设置4处，均共享阳江核电KRS系统的站址，并根据本工程的监测要求增设相应的采样设备，共享站址包括：场内站（AS3）、大澳站（BS3）、平堤水厂（BS2）、对照点阳江阳光园。气溶胶监测项目包括：总 α 、总 β 、 γ 能谱、 ^{90}Sr 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{99}Tc 。

沉降物监测项目包括：总 α 、总 β 、 γ 能谱、 ^{90}Sr 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{99}Tc 。

空气监测项目包括： $^3\text{H}(\text{HTO})$ 、 ^{14}C 、 ^{129}I 。

气溶胶、沉降物和空气的采样和监测频次：1次/半年。

（3）土壤

本工程从山体内进行开挖，基体为岩石，不具备土壤采样条件，因此不考虑场区内土壤采样。

场外土壤采样监测（含对照点）共设采样点4处，包括：处置隧道入口、核电海边气象站、大澳和对照点瓦北。土壤监测项目包括：总 α 、总 β 、 γ 能谱、 ^{90}Sr 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 。

土壤监测频次：1次/年。

（4）地表水和沉积物

地表水及沉积物采样监测考虑设施运行对自然水体的影响，结合本底调查监测位点，含对照点共设置4个采样点，包括：大水沟、排洪沟下游、平堤水库和对照点阳江碧田湖。

地表水监测项目包括：总 α 、总 β 、 γ 能谱，监测频次为1次/半年。

沉积物监测项目包括：总 α 、总 β 、 γ 能谱、 ^{90}Sr 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{99}Tc 、 ^{129}I ，监测频次为1次/年。

（5）地下水

地下水采样（含对照点）共设7个采样点，包括：1#厂前区、2#隧道连廊西、3#工程办公区、4#应急隧道、5#通风隧道、平堤水厂和对照点阳江雅韶。

地下水放射性监测项目包括：水中总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 、 ^{99}Tc 、 ^{129}I 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 γ 能谱、 ^3H 、 ^{14}C 。

地下水的监测频次为1次/半年。

（6）生物

生物采样（含对照点）共设2个采样点，包括：允泊（稻谷、蔬菜、家禽）和对

照点阳江雅韶（稻谷、蔬菜、家禽）。

生物样品监测项目包括：生物中 γ 能谱、 ^{90}Sr 、 ^{99}Tc 、 ^{129}I 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 。

监测频次为 1 次/年。

（7）指示生物

选择草作为本工程的指示生物，采样点位共设 2 个，分别选在 EM 楼和漠阳湖公园。指示生物监测项目包括：生物中 γ 能谱、 ^{90}Sr 。

监测频次为 1 次/年。

6.2.4 监测方法

本工程涉及监测项目检测方法应优先选用生态环境主管部门发布的环境监测专用的环境标准。没有环境标准的，使用适合的国家标准；没有国家标准的，选用适合的其他部门行业标准。如果某监测方法只有测量标准，还需补充完善现场采样/监测的采样方法、点位布设、监测频次、环境条件、运行工况等规范性内容，以作业指导书等文件形式予以规范。

自行监测的项目在初次使用标准方法前，将首先进行方法验证。包括对方法涉及的人员培训和技术能力、设施和环境条件、采样及分析仪器设备、试剂材料、标准物质、原始记录和监测报告格式、方法性能指标（如刻度曲线、判断限、探测下限、准确度、精密度）等内容进行验证，并根据标准的适用范围，选取不少于一种实际样品进行测定。

参考《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）中的推荐值，本工程规定了自行监测项目涉及的监测方法、常用仪器、分析样品量和典型探测下限。

目前营运单位已制定 γ 剂量率、氡、总 α 、总 β 、 γ 谱和 ^{90}Sr 等项目的监测技术文件，并将根据本工程监测项目及监测内容，持续制定和完善 ^{14}C 、 ^{99}Tc 、 ^{129}I 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 等监测方法，按照国家标准要求和有关监测方法，做好监测工作。当前对于 ^{14}C 、 ^{99}Tc 、 ^{129}I 和 $^{239+240}\text{Pu}$ 等不具备监测能力的项目将采取外委给有资质（如 CMA、CNAS 等）的检测单位开展监测。

6.2.5 应急监测

当处于应急状态时，必须开展应急监测，确定事故是否升级或者事故是否得到缓解，监测内容包括人员个人剂量监测、辐射环境水平监测、表面污染水平等。

启动应急预案后，应急处置组根据指令立即到达工作岗位开展工作。根据事故情况，经批准可在以下主要监测项目中选择进行：

- (1) 开展事故警戒区的环境 γ 剂量率监测（使用便携式 γ 剂量率仪）和表面污染监测（便携式表面污染监测仪表）：事故处理期间直至应急状态终止，每 30 分钟监测 1 次；应急状态终止后 1 小时内再监测 1 次。
- (2) 人员个人剂量监测（热释光和个人电子剂量计）：应急工作人员随时关注佩戴的个人电子剂量计（直读数），遇报警声急促刺耳时立即撤离事故区域，应急处置组在应急处置工作结束后对应急工作人员个人数据进行记录；热释光剂量计在应急状态终止后 1 周内送第三方监测单位监测并出具监测报告。
- (3) 气溶胶放射性浓度监测（取样监测总 α 、总 β ），事故处理期间至应急状态终止前至少监测 1 次，应急状态终止后至少再监测 1 次。
- (4) 开展场区边界的环境 γ 剂量率监测（使用便携式 γ 剂量率仪），事故处理期间每天至少监测 1 次，应急状态终止后至少监测 1 次，视情况适当加密。
- (5) 完成应急响应后，应对内警戒区域做 1 次普查，项目包括 γ 剂量率、表面污染和气溶胶采样监测。

对于废物包破损后，监测期间若导致 0KHA004/005MA 超阈值报警，应急处置组应在场区下风向对 γ 辐射、气溶胶、土壤和地表水进行应急环境监测，监测项目包括 γ 剂量率、总 α 、总 β 和 γ 能谱。

6.2.6 竣工环保验收监测

根据国家关于建设项目竣工环境保护验收的要求，本项目试运行后将组织开展竣工环境保护验收工作，开展验收监测，监测内容应结合本项目运行期间监测项目实施，监测方案应包括隧洞内气溶胶放射性浓度，渗析水及流出物监测，辐射环境监测，废水废气等排放监测，具体方案将根据项目竣工环保验收要求制定并反映在竣工环保验收报告中。

6.2.7 运行寿期后的监测

根据《放射性固体废物岩洞处置安全规定》(GB 13600-2024)的相关要求,为保证安全屏障的完整性,本工程关闭前制定监护(监测、监督和设施维护)计划,监护计划定期更新,关闭后监护的持续时间根据本工程的类型及其容纳废物的种类确定。

本工程关闭后的监护控制可以是主动的(监测、监督和设施维护)或被动的(限制土地使用)控制。初步确定关闭后的监护期为300年。

(1) 主动监护期的监测

主动监护期内的监测以本工程场区内的监测为主,继续对地下水等进行监测以对环境的影响作出评价。此外还包括对环境辐射水平的测量和收集到的环境样品中的放射性核素浓度的测量。

主动监护期的环境监测应以地下水样品为主,适当保留部分环境 γ 辐射水平和陆生生物样品监测。主动监测项目包括:

— 地下水

在场址关闭后的初期,需继续执行前期运行阶段的地下水监测,如已确认没有潜在问题,经监管部门批准,可逐渐减少地下水的监测频率。

— 其他采样介质

关闭后定期采集植物,特别是深根植物,以测定对放射性核素的吸收。也应采集掘穴、啮齿类动物或它们的粪便进行分析。并根据当地人的生活习惯,采集与人的食物链有关的生物,并且分析可食部分。

(2) 被动监护期的监测

被动监护措施包括:(1)限制场址的土地使用;(2)设置场址标识;(3)根据主动监护期的监测结果情况有针对性地减少被动监护期的监测项目和频率。

另外,根据主动监护期的监测结果情况有针对性地调整被动监护期的监测项目和频率。

— 关闭期间监测

关闭期间监测主要为关闭活动和后续关闭后监测提供支持,关闭期间监测需在运行阶段辐射环境监测基础上进行,根据关闭活动造成的环境影响,适当增加相应的监测点位和频次。

— 关闭后监测

关闭后阶段的监测主要是为处置废物中放射性核素异常释放提供早期预警。设施关闭后环境监测介质以场区的监测井样品为主，并保留一个运行期间设置的环境 γ 辐射空气吸收剂量率连续监测点位继续开展连续监测，并适当保留部分 γ 辐射水平和植物样品监测。

本工程具体关闭期间和关闭后的环境监测，将根据项目寿期内的实际运行情况以及关闭活动，依据关闭期间的有关法规标准及关闭前的环境影响评价工作，制定详细、具体的监测方案并实施。

6.2.8 其他监测

本工程位于山体地下的洞室内，地表距本工程最近的村庄为 3km，运行时废物处置位于隧洞内，排放环境污染源较少。采取外委给有资质（如 CMA、CNAS 等）的检测单位开展监测。

(1) 废气监测

本工程运行期间产生的废气为实验室浓缩环境样品时产生的少量酸碱水汽、油烟等，排放总量较少，无需安装在线监测设备，实验室正常运行工况下采取定期监测。

废气监测从环境实验室废气排放口采样，监测项目包括：苯、甲苯、二甲苯、甲醛、非甲烷总烃、氨、三甲胺、硫化氢、甲硫醇、甲硫醚、二甲二硫醚、二硫化碳、苯乙烯、臭气浓度、总挥发性有机物（VOCS）、排放速率。

废气的监测频次为 1 次/半年。

(2) 废水监测

本工程运行期间产生的废水包括实验室污水和生活污水，实验室污水和生活污水统一收集后运往场址周边污水处理设施进行处理，不直接排放，因此不进行监测。

(3) 噪声监测

本项目的噪声源主要是通风系统运行时产生的振动噪声，部分通风设备位于地下隧道内，产生的噪声因共振吸收以及距离衰减等缘故对外界的影响可以忽略不计。

距离本项目最近的人员聚集点位于东南偏东的 YM 楼，噪声排放监测点设置在两者之间的 AS3 监测站。

噪声监测项目包括： L_{eq} 、 L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} 、 L_{max} 。

监测频次为 1 次/季度。

(4) 环境空气检测

环境空气监测点位设置在阳江核电 KRS 系统的 AS2 站点。

监测项目包括：二氧化硫（SO₂）、二氧化氮（NO₂）、可吸入颗粒（PM₁₀）、细颗粒物（PM_{2.5}）、总悬浮颗粒物（TSP）、一氧化碳（CO）、臭氧（O₃）。

监测频次为 1 次/季度。

(5) 地下水监测

地下水监测包括 1#厂前区、2#隧道连廊西、3#工程办公区、4#应急隧道、5#通风隧道共 5 处采样井，开展地下水水位和水质监测。

地下水非放监测项目包括：地下水水位、pH 值、电导率、浑浊度、总硬度、溶解性固体、NH₃-N、挥发性酚、总氯、氰化物、砷、汞、镉、六价铬、铁、锰。

地下水监测频次为 1 次/半年。

(6) 气象观测

本工程气象观测共享阳江核电厂 AS4 气象监测站记录的气象数据，共享的气象数据包括降雨量、气温、湿度、风向、风速等常规气象要素，为环境监测提供评价参考信息。

6.3 监测系统

6.3.1 环境实验室

本工程运行后的辐射监测由营运单位承担，负责运行期间环境样品的总 α 、总 β 、 γ 谱、³H 和 ¹⁴C 项目的测量和分析工作，为此在场区辅助工艺厂房内配备实验场所一处，设置环境监测室（FY113）和（FY210）两间实验室。

环境监测室（FY113）主要用于环境样品的物理测量，配备有多道 α/β 测量仪、高纯锗 γ 谱仪、液闪谱仪等物理测量设备；FY210 主要用于环境样品的前处理，配备通风柜、马弗炉、烘箱、天平室等。

为做好本工程辐射环境监测，营运单位将针对实验室现有监测条件，将持续完善实验室的监测能力配置与优化，确保实验室监测能力在工程投运前满足本工程环境监测要求。

6.3.2 监测设施

本工程辐射环境监测系统主要通过依托阳江核电基地辐射环境监测系统现有条件，共享阳江核电 KRS 系统相关站点及相关监测项目，并结合本工程的监测要求单独配置相应的仪器设备。

(1) 监测子站

本工程涉及监测子站共 6 处，均共享阳江核电 KRS 系统的相关站点，包括：场内站（AS3）、大澳站（BS3）、允泊站（BS5）、气象塔站（AS4）、平堤水厂站（BS2）、阳光园站（对照点）。

共享的监测项目包括：各站点 γ 辐射剂量率连续监测数据和雨量监测数据，气象塔站（AS4）的气象观测数据。

根据本工程的监测要求，在场内站（AS3）、大澳站（BS3）、平堤水厂站（BS2）和阳光园站（对照点）4 处监测子站共新增 5 台大流量采样器（其中 1 台作为备件）、5 台干湿沉降收集器（其中 1 台作为备件），另新增 2 台氟采样器和 2 台碳-14 采样器用于 4 个子站每半年 1 次的轮换采样。

(2) 仪控系统

本工程环境监测系统共用阳江核电 KRS 系统中央站设备，新建隧道入口自动监测站，数据传送至阳江核电 KRS 系统数据采集工作站的数据库服务器。本工程营运单位将做好数据的收集和监测工作，满足本工程的环境监测要求。

本工程环境监测系统监控室专线连接阳江核电 KRS 系统中央站，监控室安装数据监控工作站，安装环境监测系统软件，实现实时数据监控、历史数据查询、历史数据比对、统计报表生成。数据中心安装一台短信报警模块，负责实时监测子站汇入的数据是否异常，并实时发送报警信息给指定值班人员。

(3) 监测水井

为了开展地下水项目监测，本工程在场区范围内规划建设 5 处地下水井，包括：1#厂前区、2#隧道连廊西、3#工程办公区、4#应急隧道、5#通风隧道。地下水井将按照相应规范要求建设，满足本工程运行期间的地下水监测要求。

(4) 监督性监测

本工程将开展监督性监测系统建设，以满足本工程辐射环境监测的监管要求。

6.4 质量保证

在监测时，质量保证是至关重要的，其目的是通过有计划/system行动，对监测过程进行全面控制（如监测过程的组织管理，参与人员的素质要求与岗位培训，仪器设备的管理与维护，样品采集布点与频度的设计，分析过程的质量控制，监测数据的记录、复核与审核等），使测量结果具有适当置信度，保证测量结果的可信性、有效性和可比性。

为了保证本工程环境监测的可实施性和监测设备的可靠性，确保监测数据和监测质量的有效性，本工程运行管理单位将依据国家有关法规标准，制订辐射环境监测以及非放监测相关的质量保证程序，确保排放符合本工程排放标准或国家法规的要求，控制和减少对环境的影响，使各种废物处理设施设备的可靠运行及环保机构的正常运作，达到保护环境的目的。

本工程将制定实验室质量保证计划，落实规章制度。

本节主要描述运行期间有关监测质量保证的要求。

6.4.1 环境监测责任

本工程营运单位根据运行期间环境监测要求，建立相应的管理组织，设置相关岗位，开展环境监督和环境管理，落实相应的环境监测责任。

6.4.2 质量管理

质量保证体系是监测工作管理水平的集中表现，它对从外部到内部，从组织机构设立到人员素质保证，从工作环境和测试方法到工作方法标准和管理制度等各种可能影响监测质量的活动进行严格和有效的控制。

本工程按照实验室的管理要求编制相关管理程序，并按照承担的各监测项目编制相应的作业指导文件和仪器设备的操作规程。目前，已完成《环境监测管理规定》《流出物与非放污染物管理规定》《实验室管理规定》等管理程序，以及《LSA3000 低本底液闪谱仪操作规程》、《NES-AS 高纯锗 γ 谱仪操作规程》、《低本底 α 、 β 测量仪操作规程》和《水质 总 α 、总 β 放射性的测定作业指导书》等设备操作规程和测量作业指导

书，其他实验室质量管理程序、作业指导文件以及操作规程将持续编制完善。

6.4.2.1 组织机构

适当的组织和管理机构是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。本工程营运单位成立组织机构的目的在于：通过对监测的监督和管理，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，减少放射性废物的产生量、排放量，减少对环境的影响；通过对本工程环境工作的监督与管理，确保各种废物处理、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。

6.4.2.2 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。

6.4.3 监测记录和管理

监测记录采用统一格式的表格，书写不得用铅笔和圆珠笔，字迹要工整，不得随意涂改；监测记录包括如下内容：名称、测量地点和采样地点、采样时间、采样延续时间、采样体积、测量仪器、测量时间、测量结果等；分析测试人员和审核人员都应在监测结果记录表上签字；监测原始记录和结果报告在相关人员签字后存档保存。

6.4.4 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。对存在的问题应采取进一步的措施，包括再次核查等。

6.4.5 质量控制

为了保证监测工作的质量，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、制订质保大纲等方面展开。

6.4.5.1 内部质量控制

(1) 作业过程管理

全部监测活动都应有程序文件加以规定，并严格遵照执行。所有用于辐射环境监测的方法均应参照现行有效的相关标准，包括采样、分析测量、数据处理与报告等，所参照标准在操作中不够详细或个别条款不适合的，应建立对应的作业指导书/技术规程，相关人员应熟练掌握，严格遵照执行。

(2) 分析过程的质量控制

实验室内质量控制通过质量控制样品实施，质量控制样品一般包括平行样、加标样和空白样。质量控制样品的组成应尽量与所测量分析的环境样品相同，其待测组分浓度尽量与待测的环境样品相近，且波动不大。

(3) 计量器具的核查

为保证监测数据的准确可靠，计量器具应开展期间核查，核查周期的长短取决于其可靠程度、故障率等因素。核查方法可选取个别关键指标进行核查，核查结果应能确定仪器是否适用，但不宜用于修正仪器的校准因子，除非监测方法另有规定。如核查误差超过 15% 时（监测方法规定了误差要求的，以监测方法规定为准），仪器应停用，检查原因，重新检定/校准。

6.4.5.2 外部质量控制

外部质量控制的主要措施有：

(1) 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，为测量的量值溯源到国家基准提供有力的保障。

(2) 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具有溯源性。

(3) 能力验证

通过参加国内外机构组织的实验室之间比对活动，比较鉴别本实验室的测量误差是否在合格范围内，从中发现可能存在的系统误差，及时采取措施加以改进，确保测量的准确性。

7 场址筛选及处置方案比较

7.1 场址筛选

本工程前期普选阶段共有三个候选场址，分别为东观景平台、砂石堆料场和核电厂东侧山体，经过比较，砂石堆料场和核电厂东侧山体场址较优。本工程选址工作针对砂石料堆场和核电厂东侧山体两个场址进行比选，最终选定大尖山作为建设地点。

7.1.1 砂石料堆场

砂石料堆场位于阳江核电厂东北侧，距离核电厂区 2.3km，距东平镇 4.3km，地处东南沿海丘陵地带，三面环山，紧邻核电厂施工区。该地块为核电厂石料堆填区，现状堆料较多，短期内无法搬迁拆除，场地地形以谷地、低山丘陵为主，水文地质条件存在明显缺陷。场址处于地下水汇集区，地下径流路径短，水体快速汇入东侧排洪沟，最终流入东平镇附近海域，周边分布大量农田、鱼塘、村庄，部分村庄以地下水为饮用水源。

该场址岩土渗透性强、吸附能力弱，难以满足废物处置的场地选址规范要求，长期处置安全完全依赖工程屏障。此外，场址距离居民点近，排洪压力大，核素易随水体扩散，环境风险较高。经专家论证，该场址天然地质条件不利，不符合建设要求，判定为不适宜场址。

7.1.2 核电厂东侧山体

2015年7月，深圳中广核工程设计有限公司针对阳江核电厂东侧山体开展了勘察论证，研究范围以大水沟为界，划分为大尖山区（A区）和音山-松籽岭区（B区）。其中大尖山区为北东走向的雄厚山岭，山体完整，高程 150-263m，岩体以中细粒花岗岩为主，抗风化能力强，弱风化岩体裸露广泛，适合布设地下洞室群。该区水文地质条件优良，地下水富水性差、透水性微弱，地表及地下水直接就近排入南海，径流路径短，涉及范围小，水文边界清晰。

音山-松籽岭区地形低矮，沟谷纵横，洼地密布，岩体以斑状花岗岩为主，抗风化能力弱，风化层厚度大，地下水流向复杂，水体流经居民区，环境影响管控难度大。对比两区条件，两区均无大型断层和地质灾害隐患，但大尖山区在地形、岩体稳定性、水文地质方面优势显著，更适合建设处置洞室。

7.1.3 推荐场址

综合对比两处初选场址，核电厂东侧山体各项条件远优于砂石料堆场。其中大尖山区地下水系独立，水体直接入海，不经过居民区，环境影响可控，工程建设难度低、长期安全性高。因此，最终选定东侧山体大尖山区作为项目推荐场址。

7.2 处置方案比较

7.2.1 洞室堆码方案的比选

可研初始阶段，针对废物货包堆码提出两种方案，分别为金属桶集装堆码、单个金属桶堆码。金属桶集装堆码方案，是将多个金属桶装入混凝土处置容器后集中堆码，操作效率高，灌浆频次低，工作人员受辐照剂量小，运行灵活便捷，无需额外研发专用设备，技术成熟可靠。单个金属桶堆码方案，采用逐桶堆放、逐层灌浆的模式，操作效率极低，作业时间长，人员近距离操作频次高，受辐照风险大，还需研发配套远程灌浆、磨平设备，技术难点多。两种方案总体造价相近，综合安全性、效率、可行性，初步选定金属桶集装堆码方案。

7.2.2 总平布置方案比选

本工程采用岩洞处置方式，处置区设于大尖山地下约 140m 处，辅助设施布置在隧洞口附近。可研初期提出三种总平面布置方案，经初步筛选主推单进出口、双隧道分隔的方案。

可研深入阶段，重点对比两种优化布置方案。方案一为单条处置洞室，采用高低洞分区布局，交通洞设于洞室中部，依靠机械通风，施工工作面多、工期较短，但后期施工易对运行洞室产生爆破振动影响，处置容量偏小。方案二为两条独立处置洞室，分别处置不同剂量率的放射性废物，交通洞设于端部，可利用自然通风，降低运行成本，施工坡度平缓，作业安全性高，处置容量大幅提升，能容纳更多类型废物，运行灵活性强，还能避免后期施工干扰已投用洞室。对比两种方案的处置能力、通风、施工、环保及投资成本，方案二综合优势更突出，最终选定方案二作为总平面布置方案。

7.3 环境影响经济损益分析

7.3.1 利益分析

7.3.1.1 运行带来的直接利益

本工程为接收低放射性固体废物处置的核设施，建设性质为用于放射性废物治理的环境保护工程，能够接收核电厂产生的低放射性固体废物，保护公众和环境，满足国家核电发展规划和废物处置政策的要求，使核电厂运行期间产生的放射性固体废物得到妥善处置。

本工程实施后，可使阳江等核电厂产生的低放废物就近得到妥善处置，为企业的进一步发展创造了必要条件，有效降低了废物处置成本。

7.3.1.2 建设和运行带来的间接利益

(1) 社会效益

核电运行带来清洁能源的同时，也产生放射性废物。本工程的建设有助于在当地政府的支持下解决核电厂废物处置问题，保证核电厂的正常运行，实现核电的安全持续发展。

按照核电厂设计，低放废物固化并暂存于废物暂存库后，这些废物要转运到场址进行最终处置。为使废物就近得到妥善处置，保证电厂的正常运行，确保公众安全，本工程应时而建。

本工程建成后，可促进当地环保治理措施的配套完善及环境管理工作的健全。本工程的建设和安全运行，降低了放射性固废对人的危害及对环境的污染，对保障社会稳定和经济的可持续发展，起着不可替代的作用。

本工程的建设有助于完善核电产业链，促使废物环保治理相关产业的健全，促进固定资产投资和技术研发，通过本工程的建设可有力地保障核电运行并做好固废安全处置工作。

(2) 环境效益

本工程处置的低放射性废物为整备后的满足国家标准的废物桶，主要废物来源为核电厂运行产生的各类低放固体废物。这些废物所含放射性核素大部分半衰期较短，可在几十年至几百年范围内衰变到放射学上不重要的水平；除自然屏障对核素的隔离作用外，本工程设计并建有完整的工程屏障以阻止核素释放和迁移。这些低水平放射

性废物经过固化处理，并封装在坚固的包装容器后，被运输到场址后，放置于底部经过处理具有承重、防渗、集水、吸附放射性核素等功能的处置隧洞中。本工程处置隧洞位于深达 100 多米的山洞中，且布置在完整的基岩上，可避开地质断层及复杂地质单元地带。处置单元堆满废物后将对应放废物的处置单元进行灌浆，当处置隧洞全部堆满废物后，采用碎石、混凝土和粘土进行回填。本工程封闭活动完成后，在场址适当位置竖立永久性警示标牌。这样的处理可以防止深根植物、啮齿动物、穴居动物的闯入和人的挖掘活动，即使包装容器发生破损或老化，多数放射性核素也只是被吸附在周围的岩体中，从而确保可满足标准提出的 300-500 年的安全隔离要求。

本工程可以使放射性废物达到减量化、无害化和妥善处置，增加废物处置的安全性，使放射性废物与人类及环境长期、安全地隔离；使放射性废物对人类环境的影响减小到可合理达到的尽量低水平。本项目的实施，将建立工程屏障，使放射性物质与环境隔离，确保废物安全处置和环境友好。

通过对本工程的利益分析可知，本项目的建设是必要的，符合我国产业政策，并且可以获得较好的社会效益和环境效益。

7.3.2 代价分析

7.3.2.1 经济代价

本工程的建设需要付出一定的经济代价：除建设费用外，放射性固体废物处置单位应当根据运行监测计划和辐射环境监测计划，对处置设施进行安全性检查，并对处置设施周围的地下水、地表水、土壤及空气进行放射性监测，关闭后应当进行安全监护。本项目已经制定了运行期间及关闭后的有关监测计划，本工程运行时每年需要一定费用，关闭后也需要维护费用等成本。上述费用均计入本工程的运行成本中。

综上，本项目建设 and 运行均需付出一定的经济代价。

7.3.2.2 社会代价

本工程运行后工作人员将较少，本工程建成运行后引起的社会代价主要有：

一 交通运输

本工程在阳江核电厂场址范围，核电厂产生的低放废物直接运输到本工程场址，不会增加当地的交通运输量，不会对当地交通设施造成额外的负担和影响。

— 对当地公共服务设施产生的影响

本工程运行后，工作人员较少，这些人员的生活消费不会增加当地的市场供应负担，也不会对当地的文教、卫生、商业、交通等公共服务设施造成压力。

— 对当地社会安全、稳定的影响

本工程场址经过比选和分析论证，按法规标准要求做到合理的设计、高质量的建造和规范化的运行，并将实施有效的环境监测工作。本工程位于阳江核电基地，场址条件较好，场址距周边居民点较远，且采用岩洞处置后安全性较高，废物处置单元远离地表环境，对公众的辐射影响较小。

7.3.2.3 环境代价

本工程正常运行工况下可能会收集到少量渗析水，为了控制并确保本项目可能向环境释放的放射性物质满足国家标准的相关要求，本工程严格做好了设计工作，并制定了环境保护管理制度，设置了剂量监测、辐射屏蔽等设施。

— 环境保护管理：本工程执行和遵守国家有关环境保护法律、法规、政策和标准，接受环境保护主管部门的环境监督，制定和实施环境保护措施，把不利影响尽可能减少，最终达到保护环境的目的，取得更好的综合环境效益，关闭后将按照法规要求开展监护和监督。

— 辐射监测和环境监测：本工程营运单位将开展辐射监测，并结合核电厂已有监测设施，设置环境监测系统，对本工程运行期间的环境状况进行监测，掌握场区周围环境质量的变化趋势。

本工程的各项监测费用、环保管理费用等为保护环境产生的费用将计入本项目运行成本。本工程接收低放废物，其放射性活度较低，从安全考虑，采取适当的工程措施，较好与人类活动环境相隔离，可以确保长久的环境安全。

7.3.3 效益分析

本工程建设为接收与处置低放废物，满足核电厂生产运行的需要。总体而言，本工程采用岩洞处置，安全性好，将使核电厂暂存的废物得到安全、稳妥地处理，实现核电的可持续发展，为放射性污染防治发挥重要作用，凸显环境效益和社会效益。

总之，本工程将以较小的代价带来较大的效益，可保障核电事业安全、健康、可持续发展。

8 结论与建议

8.1 结论

8.1.1 建设项目基本情况

大尖山核能环保中心规划用于满足阳江等广东省内核电厂运行和退役期间产生的低中放固体废物处置需求，场址工程方案采用岩洞型处置形式。本工程为一期工程，建设2条处置隧洞，由阳江核电有限公司进行投资建设，主要接收阳江等核电厂运行产生的低中放固体废物，废物总体积约为 $4.5 \times 10^4 \text{m}^3$ ，接收的废物放射性总活度约为 $1.72 \times 10^{16} \text{Bq}$ 。

本工程采用岩洞处置方案，本工程场址区岩体力学性质的长期稳定性能满足场址安全建设、运行和关闭的寿命周期要求，抗风化能力和地球化学性质稳定性强，可以作为地下洞室长期稳定的地质屏障；工程多种屏障系统理念，处置隧洞布置在完整的基岩上，洞室位于花岗岩体内，处置洞室四周围岩属于微新岩体，避开地质断层及复杂地质单元地带，远高于洪水水位。本工程采用本工程防排水采用多重防护系统设计，通过多重屏障，将放射性废物包装体与周围地质环境和地下水环境尽可能有效隔离，处置隧洞可尽可能远离地表生物圈的影响，通过工程屏障和天然屏障相结合来保证长期安全。根据对周边区域的社会经济条件和环境条件进行分析，未发现影响本工程建设的颠覆性因素，本工程洞室能保障围岩长期稳定安全。

本工程所接收的废物包括400L桶、HIC等满足国家标准的废物包，接收的废物为满足国家标准的低中放废物。本工程岩洞处置区主要由处置隧洞、交通隧道、通风隧道、施工隧道、应急通道等组成，其中1#处置隧洞主要用于处置表面剂量率 $\leq 2 \text{mSv/h}$ 的废物包，2#处置隧洞主要用于处置表面剂量率 $> 2 \text{mSv/h}$ 的废物包；交通隧道是岩洞处置区进出通道，出入口布置在辅助工艺厂房内部；通风隧道用于将岩洞处置区排风送至设施外部。辅助设施区布置在岩洞处置区进出口区域，主要有辅助工艺厂房、废水排放廊道、核能环保中心出入口等，辅助工艺厂房布置在岩洞处置区进出口区域，主要功能包括岩洞处置区进出控制、岩洞处置贮运流程远程操作、废水收集排放、处置容器存放、人体去污、环境监测样品监测、办公等。

8.1.2 环境质量现状

根据本工程辐射本底调查结果，场址周围监测点连续 γ 辐射剂量率小时平均值为 $127.5\pm 4.1\text{nGy/h}$ ，瞬时 γ 辐射剂量率为 $49.4\sim 265.2\text{nGy/h}$ ，空气中 ^3H 放射性活度浓度范围 $5.6\sim 53.2\text{mBq/m}^3$ ；场址周围地表水中总 α 放射性活度浓度范围为 $0.015\sim 0.129\text{Bq/L}$ ，总 β 放射性活度浓度范围为 $0.049\sim 0.279\text{Bq/L}$ ， ^3H 放射性活度浓度范围为 $<0.42\sim 1.00\text{Bq/L}$ ；地下水中总 α 放射性活度浓度范围为 $0.008\sim 5.07\text{Bq/L}$ ，总 β 放射性活度浓度范围为 $0.090\sim 4.27\text{Bq/L}$ ， ^3H 放射性活度浓度范围为 $<0.40\sim 1.27\text{Bq/L}$ 。场址区域各核素的测量结果均处于正常范围内。

根据阳江核电厂 2023 年至 2025 年开展的环境监测结果，本工程场址区域 γ 辐射剂量率连续监测年均值为 $0.14\pm 0.021\mu\text{Gy/h}$ ，范围为 $0.10\sim 0.18\mu\text{Gy/h}$ ，气溶胶总 α 活度范围为 $<10\sim 265\mu\text{Bq/m}^3$ 、总 β 活度范围为 $32\sim 1766\mu\text{Bq/m}^3$ ，地表水-平堤水库总 β 活度范围为 $0.049\sim 0.085\text{Bq/L}$ ，厂外地下水中氚的活度浓度范围为 $<1.30\text{Bq/L}$ ，总 β 的活度浓度范围为 $<0.171\sim 0.756\text{Bq/L}$ ，地下水中 ^{90}Sr 的活度浓度范围为 $<0.65\sim 1.70\text{Bq/m}^3$ 。本项目监测范围内陆生动、植物样品中 ^{90}Sr 的活度浓度范围为 $5.4\sim 227\text{mBq/kg}\cdot\text{鲜样}$ ，宇生射线 ^7Be 的活度浓度范围为 $<226\sim 65000\text{mBq/kg}\cdot\text{鲜样}$ ，其它核素基本均小于探测限。

根据场址周围非放射性环境质量现状，本项目场址所在区域大气环境质量满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中的二级标准，周围声环境敏感点满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）的 2 类标准的要求，场址附近平堤水库和大水沟地表水水环境达《地表水环境质量标准》GB 3838-2002 中 III 类水质要求，场址周围村庄地下水基本满足《地下水质量标准》（GB 14848-2017）中 III 类水质标准要求，场址所在区域大气、声、水环境质量总体较好。场址附近海域的海水除个别时段无机氮、活性磷酸盐、COD 超第三类海水水质标准外，其余项目均满足第三类海域功能要求，其原因可能为周边海水养殖和陆源污染物排放导致。

根据本工程已经开展的运行前辐射本底调查，以及阳江核电厂开展的辐射环境监测结果资料，场址附近区域内放射性水平保持在正常本底范围内。

8.1.3 废物产生处理及环境保护措施

本工程的建设过程中，所产生的污染物主要有大气扬尘、施工废水、固体废物和噪声。本工程由于采用岩洞处置方案，施工远离地表及场址周围居民点，施工期间

按照法规及阳江核电基地环境管理要求做好废物处理处置，施工期间做好水土保持工作，施工期大气污染物排放、噪声等满足相应标准要求，总体来说本工程施工远离场址周围居民点，采取了有效的施工环保控制措施，施工影响较为有限。

本工程正常运行期间主要是针对固体废物包的搬运和处置，不产生有组织和无组织的气态污染物，运行期间所产生的废水及污染物主要是运行期间处置隧洞处置区收集的渗析水、运行工作人员产生的人体去污水，产生的放射性固体废物主要是少量的擦拭检测纸、手套、废弃的防护用品等。本工程设置有渗析水收集系统，用于收集本工程运行期间处置隧洞处置区可能渗出的地下水，并对水中的放射性核素进行监测，经监测达标后由废水排放廊道送至 5、6 号机排水隧洞前池进行排放。对于运行期间生活污水将收集后运往海滨污水处理站处理，对固废危废严格按照要求分类和分区贮存，做好出入库管理和运输，建立固体废物管理台账，做好废物管理工作。

本工程制订有运行期间流出物和环境监测大纲，对废水收集箱内的潜在放射性废水开展取样分析并满足要求后排放，在辅助工艺厂房设置有环境实验室，建设有辐射监测系统，通过采集、分析场区周围的水、土壤、空气、生物样品，对环境辐射状况进行监测，做好环境监测工作。

8.1.4 环境影响

(1) 正常运行的环境影响

本工程处置单元布置在地下隧洞中，与地面距离较远，中间又有山体隔离，运行期间主要是废物包的外照射导致的辐射影响，处置隧洞堆码的放射性废物经隧洞外岩体屏蔽，不会对场外公众人员造成照射影响。

本工程正常运行期间不产生气态流出物排放，含潜在放射性的废水主要是处置隧洞内混凝土底板排出的废水及辅助工艺厂房人体去污室产生的人体去污废水，辅助工艺厂房内配置两台废水收集箱进行收集，排放前开展取样分析，经监测放射性水平满足要求后由废水排放廊道送至 5、6 号机排水隧洞前池进行排放，本工程运行期间对公众的辐射影响很小。

本工程运行期间可能产生的放射性固体废物主要是每年产生少量的擦拭检测纸、手套、工作服、不易去污的物件等工艺固体废物，经检测超标的废物将装入放射性废物收集袋/桶，收集到一定量后送阳江核电进行处理或有资质的单位处理。本工程接收

的废物包均经检测，破损污染防治用品、去污用品的概率极低，由此产生的废物数量较少，并将按照废物分类做好废物的最终处置。

本工程运行期间非放射性废物量有限，做好对废水、生活垃圾、固废等的收集和处理处置后，预计不会对环境产生不利影响。

(2) 事故的环境影响

本工程事故分析，出现可能影响安全的某些特定工况或事件主要有废物吊运设备故障及废物包跌落，其中吊运设备故障包括有废物运输车故障、数控桥式吊车故障和正面吊故障。严格做好运输管控和搬运堆码，事故处置过程中考虑了处理处置的安全要求和辐射屏蔽要求，处置过程中对废物处理均发生在处置隧洞内，放射性物质不会直接进入外环境，因此本工程在运行期间的事件发生不会对公众产生明显辐射影响。本工程的应急状态为一般辐射事故，针对运行期间的事故，本工程制定有相应的应急预案，可有效实施相应应急工作，尽可能减少事故影响。

(3) 关闭后的环境影响

本工程处置岩洞位于大尖山山体内，距离地表较深，隔离条件较好。场址所处水文地质单元为独立单元，下游无居民点，场址附近的村庄位于 3km 外，与场址不属于同一水文地质单元。场址关闭后，根据本工程所处置的废物源项，本工程在预期演化景象下，在关闭后 1000 年内对公众造成剂量最大为 $4.64\text{E}-11\text{Sv}$ ，主要辐射剂量贡献核素为 H-3，从 6000 年后对公众造成剂量峰值为 $1.18\text{E}-08\text{Sv}$ ，满足对公众中关键人群组的成员造成的年有效剂量不超过 0.1mSv 要求，关键核素为 C-14，关键途径为饮用水内照射途径。

非预期演化景象包括工程屏障提早失效、场址下游边界处打井和场址上方钻孔。非预期演化景象中，在工程屏障提早失效景象下，放射性核素中部分较易迁移的核素相对较早释放并迁移，放射性核素对公众造成剂量最大为 $5.88\text{E}-10\text{Sv}$ ，峰值时间为 240 年，关键核素为 H-3，关键途径为饮用水内照射途径，此后在关闭后长期时间内对公众造成剂量最大为 $1.18\text{E}-08\text{Sv}$ ，满足对公众中关键人群组的成员造成的年有效剂量不超过 0.1mSv 要求；场址下游边界处打井景象时，在短时期第一个剂量峰值内（1000 年内）放射性核素对公众造成的最大剂量为 $1.06\text{E}-07\text{Sv/a}$ ，关键核素为 H-3，峰值时间为 260 年，在关闭后整个时期内对公众造成剂量最大为 $6.82\text{E}-06\text{Sv/a}$ ，关键核素为 ^{14}C ；在场址上方钻孔景象下，放射性核素对公众造成的单次急性照射剂量和钻孔岩芯洒落

造成的公众年有效剂量分别为 $7.45\text{E-}06\text{mSv}$ 和 $1.33\text{E-}05\text{mSv/a}$, 分别满足单次急性照射受到的有效剂量不超过 5mSv 和无意间入者持续受到照射的年有效剂量不超过 1mSv 要求。

综上, 本工程在关闭后对公众的照射剂量均能满足本工程的剂量控制要求。

8.1.5 环境影响结论

本工程的建设符合我国相关法律法规和地方规划要求, 可满足放射性固体废物处置要求。结合场址环境现状、废物源项、工程方案和屏障结构特点, 从场址环境特征、运行和关闭后的环境影响分析, 本工程运行对环境的辐射影响是较小的。在本工程落实有关环境监测设施和环境监测能力, 落实设计上提出的环境保护措施情况下, 本工程的运行是可行的。

8.2 建议

1、本工程在开展辐射本底补充调查中, 及时获取并更新场址环境质量现状相关数据。持续完善环境监测体系和设备, 切实做好运行期间的环境监测工作。同时, 根据处置设施实际运行情况及经验反馈做好监测大纲优化及监测工作。

2、结合本工程拟接收处置的废物来源, 持续完善废物处置源项分析, 做好固废的接收、核查、运输及处置工作。

3、本工程做好运行后处置隧洞的废物处置条件和防排水特征的监控和管理, 充分做好处置区的渗析水及辅助工艺厂房去污室的去污水的收集、处理及监测工作, 确保废物处置的安全, 并定期开展安全全过程系统分析, 开展不确定性研究工作。

4、结合阳江核电大基地环境管理要求, 积极做好本工程在放射性废物的转运与处置、环境监测、辐射应急等方面的统筹管理, 确保三废合理处置, 做好本工程与阳江核电厂环境保护相关事项的协调统一。