

中广核先进燃料研制中心项目 环境影响报告书

中广核铀业发展有限公司

二〇二〇年十月

编制单位和编制人员情况表

项目编号	d7jn74		
建设项目名称	中广核先进燃料研制中心项目环境影响报告书		
建设项目类别	50_187核动力厂(核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等); 反应堆(研究堆、实验堆、临界装置等); 核燃料生产、加工、贮存、后处理; 放射性废物贮存、处理或处置; 上述项目的退役。放射性污染治理项目		
环境影响评价文件类型	报告书		
一、建设单位情况			
单位名称(盖章)	中广核铀业发展有限公司		
统一社会信用代码	9111000071093430X6		
法定代表人(签章)	安军靖		
主要负责人(签字)	盛国福		
直接负责的主管人员(签字)	李睿轩		
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
张晓峰	08353243507320035	BH011870	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
陈超峰	第八章	BH011462	
徐月平	2.1、2.2、2.3、2.5、2.6、第五章	BH016833	
杨立涛	第三章	BH010110	

游春华	2.4	BH011459	游春华
翟良	第四章、第七章	BH016728	翟良
张晓峰	第一章、第九章	BH011870	张晓峰
陶乃贵	第六章	BH022957	陶乃贵

目 录

- 第一章 概述
 - 1.1 项目名称和建设地点
 - 1.2 项目建设性质
 - 1.3 项目规模、厂址规划及工程组成
 - 1.4 项目总投资和环保投资
 - 1.5 项目建设目的与必要性
 - 1.6 报告编制依据
 - 1.7 评价标准
 - 1.8 评价范围

- 第二章 厂址与环境
 - 2.1 厂址地理位置
 - 2.2 人口分布与饮食习惯
 - 2.3 土地利用及资源概况
 - 2.4 气象
 - 2.5 水文
 - 2.6 地形地貌

- 第三章 环境质量现状
 - 3.1 辐射环境质量现状
 - 3.2 非辐射环境质量现状

- 第四章 项目工程分析
 - 4.1 项目规划及总平面布置
 - 4.2 工艺系统
 - 4.3 其他辅助系统
 - 4.4 辐射防护与临界安全控制

4.5 三废处理与排放

第五章 施工期间的环境影响

5.1 土地占用与水的利用

5.2 施工影响的控制

第六章 正常运行的环境影响

6.1 放射性流出物辐射环境影响

6.2 非放污染物环境影响

第七章 事故的辐射影响与环境风险

7.1 事故描述及后果评价

7.2 其他事故

7.3 事故应急

第八章 流出物监测与环境监测

8.1 流出物监测

8.2 环境监测

8.3 监测设施

8.4 质量保证

第九章 结论与承诺

第一章 概述

1.1 项目名称和建设地点

本项目名称为“中广核先进燃料研制中心”，由中广核铀业发展有限公司（以下简称“中广铀”）负责建设和运行。

本项目建设地点位于广东省阳江市阳东区东平镇瓦北村，WNW 方位距阳江市中心直线距离约 34km，W 方位距阳东区东平镇约 3.8km，S 方位距阳江核电厂最近的 5 号机组约 3.3km，地理坐标为东经 112°15'53"、北纬 21°44'26"。

1.2 项目建设性质

中广铀已于 2016 年在本项目厂址开工建设中广核先进燃料工程试验中心（以下简称“工程试验中心”）项目，2018 年 12 月完成工程移交投产，为中广核集团自主品牌系列组件提供研发和试制平台。工程试验中心项目建设内容包括零部件研制实验室、燃料棒及组件组装实验室、理化检测及配套设施，2018 年 9 月 30 日成功打通模拟组件制造工艺，试制出 STEP-12 第一组模拟组件。现有的工程试验中心产品为模拟组件，不涉及放射性核燃料，但在设计过程中充分考虑了实物保护、通排风、核应急及辐射防护等措施，为建成涉核科研设施奠定基础。工程试验中心顺利建成为本先进燃料研制中心项目的建设提供了所需的用地、资源、管理、交通、安保等条件。

中广核先进燃料研制中心项目是在已建成的工程试验中心基础上新建的涉核设施，将充分利用原有部分厂房和设备设施，重点新增芯块研制能力，补充零部件和组件组装必需的工艺设备，新增涉核相关的实物保护、核材料衡算与保护、临界安全、辐射防护、三废处理等涉核设施内容，满足中广核集团 STEP 系列燃料组件及 ATF 型核燃料组件科研试制需求。

中广铀是研制中心的建设和营运单位，对工程建设实行统一协调和监督管理，并负责研制中心的运营管理。

1.3 项目规模、厂址规划及工程组成

按照国家国防科技工业局项目核准文件（科工二司[2019]1504 号，见附件 A），本项目将建成满足中国广核集团自主品牌 STEP 系列燃料组件和 ATF 燃料组件科研试制

平台，核材料年操作量不大于 15tU（金属铀计）。项目厂址占地 50 亩（33333.7 平方米），建设用地用途为工业用地，已于 2019 年获阳江市自然资源局阳东分局颁发的建设用地批准书（阳东[2019]征建字第 020 号，见附件 A）。

研制中心厂区内包含零部件研制室、骨架研制室、综合研制室、供氢站、污水处理站、洗衣房、危险品库、危废品库及门卫室等公用设施。其中，零部件研制室、骨架研制室、污水处理站、门卫室等设施，已由中广铀委托河南省正德环保科技有限公司于 2015 年按工程试验中心项目开展了环境影响评价，并于 2016 年 1 月取得阳江市阳东区环境保护局批复（东环审[2016]31 号文，见附件 A）。此外还针对工程试验中心内组装车间使用的 2 台 HS-XYD-320 型工艺 X 射线探伤机（II 类射线装置）另行开展了环境影响评价，并通过了广东省生态环境厅审批（粤环审[2019]104 号文，见附件 A）。

本报告书主要针对研制中心的新建子项——综合研制室、供氢站、洗衣房、危险品库和危废品库进行评价，上述子项新建建筑面积 9964.51m²，均位于厂址用地范围内，同时本次评价还包括燃料棒和组件组装实验室和零部件研制实验室的改造，包括部分燃料棒和组件组装、零部件研制生产线的新增和转移。项目计划 2021 年 1 月开工，建设周期约为 24 个月，2022 年 12 月建成。

1.4 项目总投资和环保投资

本项目工程总投资为 35999 万元，其中环保设施投资约 1616 万元，约占工程总投资的 4.5%。

1.5 项目建设目的与必要性

1.5.1 促进国家核燃料技术创新

经过三十多年的发展，我国核电虽已实现燃料组件制造的国产化，但燃料组件核心设计技术、关键原材料的供给仍受制于国外，仍有不少“卡脖子”的核心技术受制于人。2018 年 10 月 12 日，美国发起 810 禁令，禁止向我国出口核工业有关技术，特别是针对中广核，提出全面禁止向中广核出口技术、设备、部件、材料等。随着我国核电的不断发展，将来势必可能受到其他国家设置的阻碍。燃料的稳定供应及核电的可持续发展对于国内燃料自主创新、自力更生的需求更加迫切。

十八大以来，习近平总书记也多个场合都曾强调过科技创新的重要性，多次提到

要掌握核心技术，并指出核心技术受制于人是最大的隐患，而“核心技术靠化缘是要不来的”，只有自力更生，只有把核心技术掌握在自己手中，才能真正掌握竞争和发展的主动权。为保障国家核电发展和核电走出去，非常有必要国家层面鼓励国内燃料技术创新，支持关键材料、制造技术、制造装备全面开展国产化技术研究及开发。

中国广核集团作为国内核燃料需求第一大户，有深刻的责任担当，积极地投入国家先进燃料研发事业，已形成以自主品牌STEP系列与事故容错燃料为主的研发体系，是国内燃料组件研发的重要力量。但至今尚无涉核的燃料组件研制平台，无法形成完整的设计——试制——验证——优化的正向闭环。通过建设中广核先进燃料研制中心，补齐中国广核集团在组件研发领域的短板，从而加快和促进我国自主知识产权的高性能核燃料组件研发，早日形成燃料产业的核心竞争力，保障核燃料安全稳定供应和我国核电可持续发展。

1.5.2 支撑核电“走出去”

核电“走出去”是国家战略，中广核作为我国核电“走出去”的重要力量，必须提供拥有自主知识产权的、性能可靠的燃料组件技术方案。

目前，中国广核集团已先后与 20 余个国家的对口企业或政府主管部门签署核电合作谅解备忘录或合作意向书。未来，中国广核集团将重点向中东欧、东南亚、西亚、非洲等区域，积极布局国际市场。在核电出口过程中，燃料组件的供应可靠性也是客户重点考量的因素之一。自主品牌 STEP 组件成功通过英国 GDA 审查，必将形成良好的示范效应，为我国核电“走出去”提供保障。

1.5.3 加快推进集团自主品牌燃料组件研发的需要

燃料组件是反应堆的核心部件，具有研发周期长、难度大、门槛高、技术壁垒深的特点。一种新型燃料元件研发必定需要设计、制造、试验各环节大力协同配合，需要完成燃料组件结构设计、热工水力试验、堆外性能试验、锆合金管棒材制备、组件制造工艺、锆合金堆外试验、燃料组件辐照后池边检查等关键技术攻关。如美国西屋电气、法国 AREVA 和俄罗斯 Rosatom 等公司，均拥有自主知识产权的核燃料组件，均是集设计、研发、制造、试验等能力于一身的核电巨头，其中将设计转化为产品的组件制造在整个研发过程中扮演着举足轻重的角色。

中国广核集团自主品牌 STEP 系列燃料组件已取得突破性进展，已形成的自主品牌产品有 12 英尺燃料组件（STEP-12）、14 英尺燃料组件（STEP-14）、8 英尺燃料组件（STEP-S）。由于缺少组件试制平台，设计和试制脱节，难以快速的实现燃料设计验证的高效迭代，导致组件研发进程缓慢。建设中广核先进燃料研制中心将补齐集团在组件研发方面的短板，从而加快自主品牌组件的设计定型和工程化应用。

1.5.4 支撑新型燃料组件研发

新型燃料组件的研发往往需要采用新技术、开发新工艺、使用新设备，国内现有燃料组件厂均以生产为主，设备、工艺相对较为固化，投入资源承接新型燃料组件技术研发的主观能动性不足，一定程度上限制了燃料组件技术的发展。通过建设中广核先进燃料研制中心，可突破现有组件厂所采用组件制造工艺与技术的限制，为我国燃料组件技术的发展提供有力支撑。

此外，中国广核集团也是国内燃料需求的第一大用户。截至 2019 年底，中国广核集团拥有在运核电机组 24 台，装机容量 2714 万 kW；在建核电机组 5 台，装机容量 579.6 万 kW，是国内最大的核电运营商。按照中国广核集团规划，“十三五”期间核电在运装机容量将达到 2800 万 kW（25 台机组），进入世界前三；核电在运、在建容量将超过 5200 万 kW，居全球第二。

中国广核集团有实际的需求、有夯实的能力、也有很强的积极性为核燃料产业健康发展做出自己的贡献，为核电安全运行和稳定发展保驾护航。建设中广核先进燃料研制中心，能够促进国内燃料产业的健康发展，能够培养锻炼出一批组件加工骨干技术人才队伍，有利于提高国内核燃料组件的研发制造水平，进一步打破国外技术封锁，必将为核电走出去和核电可持续发展提供有力保障。

1.6 报告编制依据

1.6.1 编制背景

本项目为“核燃料生产、加工、贮存和后处理设施等核燃料循环设施”，属《中华人民共和国核安全法》中所列的核设施，《中华人民共和国放射性污染防治法》规定：“核设施营运单位应当在申请领取核设施建造、运行许可证和办理退役审批手续前编制环境影响报告书，报国务院环境保护行政主管部门审查批准；未经批准，有关部门不

得颁发许可证和办理批准文件。”

本报告书作为中广铀向国务院核安全监督管理部门申请中广核先进燃料研制中心项目核设施建造的执照申请文件之一，着重对本工程项目建造及运行期间的环境影响进行分析和论证。

1.6.2 区域发展和环境保护相关规划

《广东省培育新能源战略性新兴产业集群行动计划（2021~2025 年）》（粤发改能源[2020]340 号）明确提出：“深圳、阳江、东莞、江门重点发展核电运行维护，先进燃料研制、核材料研发与检测、非动力核技术应用等产业”；“加快自主知识产权的先进核燃料组件以及事故容错燃料（ATF）的工程示范研究”。

《阳江市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》（阳府[2016]4 号）将“中广核先进燃料工程试验中心”列入 29 项重大能源保障项目之一。

根据《阳江市阳东区东平镇总体规划（2014~2030）》，本项目厂址位于核电产业发展区内，重点发展核电产业和核电配套产业。

1.6.3 遵循的主要法规、标准和导则

本次环境影响评价将主要依据（但不限于）以下的法律、法规、标准、导则和技术文件：

（1）法律、法规和条例

- 中华人民共和国环境保护法（2015 年 1 月 1 日修订施行）；
- 中华人民共和国核安全法（2018 年 1 月 1 日起施行）；
- 中华人民共和国放射性污染防治法（2003 年 10 月 1 日起施行）；
- 中华人民共和国环境影响评价法（2018 年 12 月 29 日修订施行）；
- 中华人民共和国大气污染防治法（2018 年 10 月 26 日修订施行）；
- 中华人民共和国环境噪声污染防治法（2018 年 12 月 29 日修订施行）；
- 中华人民共和国固体废物污染环境防治法（2020 年 9 月 1 日修订施行）；
- 中华人民共和国水土保持法（2011 年 3 月 1 日起施行）；
- 建设项目环境保护管理条例（2017 年 10 月 1 日修订施行）；
- 放射性废物安全管理条例（2012 年 3 月 1 日起施行）。

(2) 部门规章和有关政府文件

- 民用核燃料循环设施安全规定 (HAF301-1993)
- 放射性物品运输安全监督管理办法(HAF702-2016,2016年5月1日起施行);
- 民用核燃料循环设施分类原则与基本安全要求(试行)(国环规辐射[2016]1号);
- 建设项目环境影响评价分类管理名录(2018年4月28日修订施行);
- 环境影响评价公众参与办法(生态环境部令[2018]4号,2019年1月1日施行);
- 关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知(环发[2012]77号);
- 关于切实加强风险防范严格环境影响评价管理的通知(环发[2012]98号);
- 建设项目环境影响评价政府信息公开指南(试行)(环办[2013]103号)。

(3) 标准、导则

- 电离辐射防护与辐射源安全基本标准(GB18871-2002);
- 核燃料循环放射性流出物归一化排放量管理限值(GB13695-1992);
- 放射性废物管理规定(GB14500-2002);
- 放射性物品安全运输规程(GB11806-2019);
- 核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求(GB11216-1989);
- 核设施流出物监测的一般规定(GB11217-1989);
- 生活饮用水卫生标准(GB5749-2006);
- 环境空气质量标准(GB3095-2012);
- 声环境质量标准(GB3096-2008);
- 环境核辐射监测规定(GB12379-1990);
- 工业企业厂界环境噪声排放标准(GB12348-2008);
- 建筑施工场界环境噪声排放标准(GB12523-2011);
- 危险化学品重大危险源辨识(GB18218-2018);
- 一般工业固体废物贮存、处置场污染控制指标(GB18599-2001)
- 危险废物贮存污染控制标准(GB18597-2001);
- 反应堆外易裂变材料的核临界安全 第2部分:易裂变材料操作、加工、处理的基本技术规则与次临界限值(GB15146.2-2008);
- 铀加工及核燃料制造设施流出物的放射性活度监测规定(GB/T15444-1995);

- 建设项目环境影响评价技术导则 总纲 (HJ2.1-2016);
 - 环境影响评价技术导则 声环境 (HJ2.4-2009);
 - 建设项目环境风险评价技术导则 (HJ169-2018);
 - 辐射环境监测技术规范 (HJ/T61-2001);
 - 铀加工与燃料制造设施辐射防护规定 (EJ1056-2005);
 - 铀燃料元件厂设计准则 (EJ/T808-2007);
 - 用于评估铀燃料制造厂核临界事故潜在辐射后果的假定 (EJ/T988-1996);
 - 铀燃料元件制造厂安全要求 (EJ/T20128-2016);
 - 水污染物排放限值 (DB44/26-2001);
 - 大气污染物排放限值 (DB44/27-2001);
 - 核燃料循环设施营运单位的应急准备和应急响应 (HAD002/07-2019)。
- (4) 相关管理和技术文件
- 中广核先进燃料研制中心环境影响评价技术任务书。

1.7 评价标准

1.7.1 辐射环境影响评价标准

(1) 正常运行的剂量管理目标值

依据《铀加工与燃料制造设施辐射防护规定》(EJ1056-2005),核燃料制造设施向环境释放的放射性物质,对公众造成的年有效剂量管理目标值为 0.2mSv。在特殊情况下,连续五年平均不超过 0.2mSv/a,在任何一年中不应超过 1mSv 的有效剂量。

本项目剂量管理目标值暂取 0.01mSv。

(2) 正常运行的放射性流出物排放量管理限值

依据《核燃料循环放射性流出物归一化排放量管理限值》(GB13695-1992),铀元件厂放射性流出物归一化排放量管理限值为:气载总铀 $1.5 \times 10^9 \text{Bq}/100\text{t}$ (U),液态总铀 $4.5 \times 10^9 \text{Bq}/100\text{t}$ (U),本项目核材料年操作量不大于 15tU,故相应排放量管理限值调整为:气载总铀 $2.25 \times 10^8 \text{Bq}$,液态总铀 $6.75 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

(3) 正常运行的液态流出物放射性指标水平

本项目正常运行期间的液态放射性流出物拟处理达到《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)的放射性指标要求(总 α 放射性不超过 0.5Bq/L、总 β 放射性不超过

1Bq/L 的指导值) 后实现清洁解控, 定期外运排放。

(4) 事故工况下的剂量限值

设计基准事故工况下, 厂址边界上的个人(成人)在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下。

超设计基准事故工况下, 厂址边界上的个人(成人)在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 10mSv 以下。

1.7.2 非辐射环境影响评价标准

本厂址前期工程试验中心的环评文件已经阳江市阳东区环保局审批通过, 批复文件(东环审[2016]31 号文)中相关非辐射环评标准要求包括:

- 营运期生活污水和生产废水, 经厂区污水处理站处理达标后, 执行《广东省水污染物排放限值》(DB44/26-2001) 第二时段一级标准排放;
- 营运期废气排放执行《广东省大气污染物排放限值》(DB44/27-2001) 第二时段排放标准;
- 营运期噪声排放执行《工业企业厂界环境排放标准》(GB12348-2008) 中 1 类标准;
- 项目固体废物执行《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制指标》(GB18599-2001)、《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001)。

本项目针对项目营运期的非放污染物排放将沿用上述内容要求。

此外, 在项目施工期还将执行如下非放污染物排放标准:

- 施工期间生活污水、大气污染物无组织排放执行东环审[2016]31 号文中相关标准要求;
- 施工期间场界噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011) 中相应要求。

1.8 评价范围

1.8.1 辐射环境

参考同类核设施环评经验, 本项目辐射环境评价范围是以研制中心综合研制室为中心, 半径 10km 范围的区域。

1.8.2 非辐射环境

- 水环境：评价范围为接纳水体（厂址附近季节性河流）
- 大气环境：评价范围为施工场界及有关敏感点
- 声环境：评价范围为场界外 1m，并适当扩大至环境敏感点处

第二章 厂址与环境

2.1 厂址地理位置

2.1.1 厂址位置

中广核先进燃料研制中心建设地点位于广东省阳江市东平镇瓦北村，WNW 方位距阳江市中心直线距离约 34km，W 方位距阳东区东平镇约 3.8km，S 方位距阳江核电厂最近的 5 号机组约 3.3km，地理坐标为东经 112°15'53"、北纬 21°44'26"。

地理位置详见图 2.1-1。

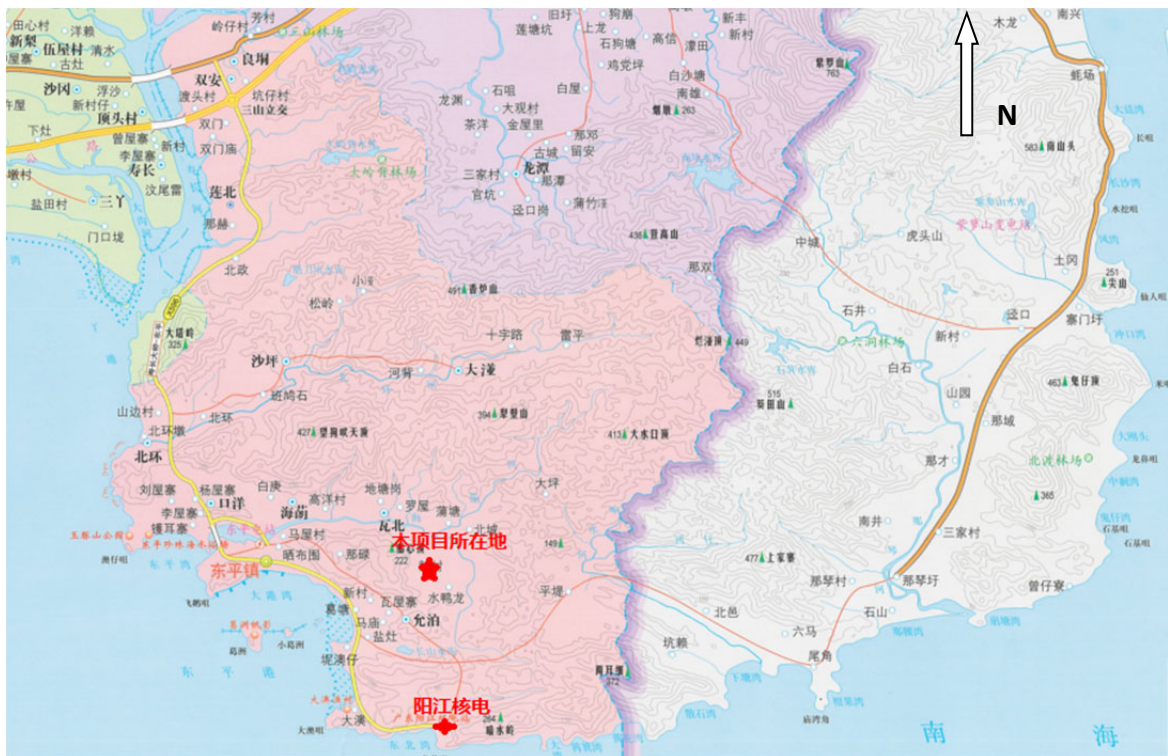


图 2.1-1 中广核先进燃料研制中心项目地理位置图

2.1.2 场地规划与征地情况

本项目占地约 50 亩，已完成用地相关手续并已获得建设项目土地使用权证，见附件 A。规划用地地块呈规则矩形形状，南北长约 219m，东西宽约 153m。已有零部件研制实验室、燃料棒与组件组装实验室、污水处理站、门卫房等（原有建设项目已开展独立环评），建筑面积约 11722m²。新建综合研制室、供氢站、洗衣房、危险品库和危废品库，建筑面积约为 9964.51m²。

2.2 人口分布与饮食习惯

本工程为燃料研制试验中心，结合本工程规模并参照同类核设施环评经验，人口统计为厂址半径 10km 区域范围。评价按子区分别进行，以研制中心综合研制室为中心，划分半径为 1, 2, 3, 5, 10km 的不同半径的同心圆，辐向的罗盘方位为扇形区中心线，划分成 16 个方位，评价区共有 80 个子区。本节主要根据 2020 年 7 月苏州热工研究院有限公司对阳江核电周边开展的区域人口及环境调查专题成果得出，相对位置以研制中心项目为坐标中心，该次调查数据统计的时间截至 2019 年底。

2.2.1 厂址评价区内人口分布

2.2.1.1 厂址半径 5km 范围居民点

厂址半径 5km 范围内涉及阳东区东平镇所辖的东平居委、瓦北村、允泊村、海荫村、大湓村及东北村共 6 个行政村，以及渔业村及渔委会共 10 个，共涉及居民点 37 个。截止 2019 年底，区域内共有人口 30187 人。按陆域面积计算，平均人口密度约 432 人/km²，低于广东省同期平均人口密度 631 人/km²，高于厂址所在阳江市和阳东区同期人口密度 321 人/km² 和 272 人/km²。

表 2.2-1 列出厂址半径 5km 范围内各居民点的方位、距离和人口数。图 2.2-1 给出厂址半径 5km 范围内各居民点的分布情况。

表 2.2-1 厂址半径 5km 范围内自然村（渔委会、渔业村）分布

镇名	行政村名	自然村名	方位	距离(km)	人口数(人)
东平镇	允泊	地塘园	SW	1.9	325
		葛塘	WSW	2.4	480
		泥澳仔	SW	3.0	345
		平堤	ESE	2.6	628
		瓦屋寨	SW	1.8	200
		盐灶	SW	2.5	538
		允安	SW	2.1	507
		允新	WSW	2.1	546
	瓦北	北城	NNE	0.8	234
		地塘岗	NW	2.1	191
		光星(福龙)	S	0.5	286
		和平	WNW	2.5	50
		罗屋	NW	1.7	127
		那心	W	0.8	232

		蒲塘	N	0.9	121
		瓦窑门	NW~WNW	2.0	403
		新村	WSW	0.7	125
	海荫	白庚	WNW	4.2	280
		高洋	WNW	2.9	202
		海荫	WNW	3.8	1096
		马屋	W	3.8	485
		晒布	W	3.9	480
	大滘	大滘	N	4.3	373
		河背	N	4.5	212
		十字路	NNE	4.9	142
	大澳渔村		SW	3.9	73
	大澳渔委会		W	3.6	1083
	东方红渔委会		W	4.0	1253
	海胜渔委会		W	3.9	1238
	红星渔委会		W	4.0	2181
	鹏程渔委会		W	3.7	535
	太阳升渔委会		W	4.2	2401
	先锋渔委会		W	4.3	1799
	永利渔委会		W	4.8	873
	红旗渔委会		W	4.9	1121
	东平居委会		W	4.8	8062
	东北村		W	4.7	960
合计				30187	

月，游客多为短暂逗留，住宿较少。东平镇流动人口主要分布在镇区和核电厂附近，共有 7716 人，其中核电相关人员有 3731 人，其他行业人员 3985 人，流动人口主要分布在核电自建生活区内和进厂道路附近，厂址所在的瓦北村流动人口很少。区域内流动人口除在春节期间大量人员返乡外，其他季节无明显变化。

厂址位于阳江核电厂规划限制区内，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[2015]48 号），阳江市对阳江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外来工作人员数量将不得超过限制区发展规划的要求。

厂址半径 5km 范围内的学校共有 7 所，其中有 1 所中学、1 所小学（分教点）、5 所幼儿园，这些学校共有中学生 877 人，小学生 43 人，幼儿园学生 934 人，教职工 163 人。学校主要是位于阳东区东平镇镇区，少部分位于各行政村。最近的为 SW 方位 2.1km 的蔡元培学校，共有学生 43 人，教师 7 人。

厂址半径 5km 范围内有 1 家卫生院，为东平镇卫生院，位于东平镇镇区，距厂址 W 方位 4.9km，现有医护人员 100 人，病床数 30 张，为一级甲等医院。除镇卫生院外，厂址半径 5km 范围内涉及的阳东区东平镇各村均设有村卫生站，这些卫生站没有大型医疗设施，每个卫生站有医务人员 2~3 人不等，可进行简单的医治活动。

厂址半径 5km 区域有 1 家敬老院，为东平敬老院，位于厂址 SW 方位约 2.7km 处的东平镇允泊村，现有供养人员 24 人，床位 42 张，工作人员 5 人；没有监狱和疗养院等设施，其余各主要文化设施主要集中在东平镇镇区。

表 2.2-2 和图 2.2-2 分别给出了厂址半径 5km 范围内的学校、医院及养老院等公共设施情况。

表 2.2-2 厂址半径 5km 范围内公共设施情况

(一) 学校

序号	学校	地址	方位	距离	教师(人)	学生(人)
1	东平中学	东平镇福庆街 1 号	W	4.8	76	877
2	中心幼儿园	东平镇龙井南路	W	4.8	19	115
3	童家幼儿园	东平镇葛港大道 A7 号	W	4.8	14	169
4	春晖幼儿园	东平镇金湾开发区	W	4.8	17	244
5	晨燕幼儿园	东平镇晒布围小区 AC 号	W	4.8	14	207
6	蓝精灵幼儿园	东平镇葛港大道五巷 69 号	W	4.8	16	199
7	蔡元培学校	东平镇允泊村	SW	2.7	7	43

(二) 医院

序号	医院	地址	方位	距离	工作人员 (人)	床位数 (张)
1	东平镇卫生院	东平镇元山仔大道六号	W	4.8	100	30
2	东平镇先锋渔委会卫生站	东平晒布围	W	4.3	2	/
3	东平镇永利渔委会卫生站	东平镇元山仔大道 140 号	W	4.8	2	/
4	东平镇红星渔委会卫生站	东平镇白沙大道 20 号之三	W	4.0	2	/
5	东平镇鹏程渔委会卫生站	东平镇白沙大道 97 号	W	3.7	2	/
6	东平镇太阳升渔委会卫生站	东平镇正街一巷 11 号	W	4.2	3	/
7	东平镇海胜渔委会卫生站	东平镇龙井大道 19 号	W	3.9	3	/
8	东平镇东方红渔委会卫生站	东平镇白沙大道 397 号	W	4.0	2	/
9	东平镇红旗渔委会卫生站	东平镇白沙大道 5 号	W	4.9	3	/
10	东平镇海荫村卫生站	东平镇晒布围村 30 号	WNW	3.8	2	/
11	东平镇瓦北村卫生站	东平镇瓦北村	WNW	1.9	2	/
12	东平镇大漚村卫生站	东平镇大漚村	N	4.3	2	/
13	东平镇允泊村卫生站	东平镇允泊村	SW	2.7	2	/

(三) 敬老院

序号	机构名称	位置	方位	距离 (km)	供养人员 (人)	床位 (张)	工作人员 (人)
1	东平敬老院	允泊村	SW	2.7	24	42	5

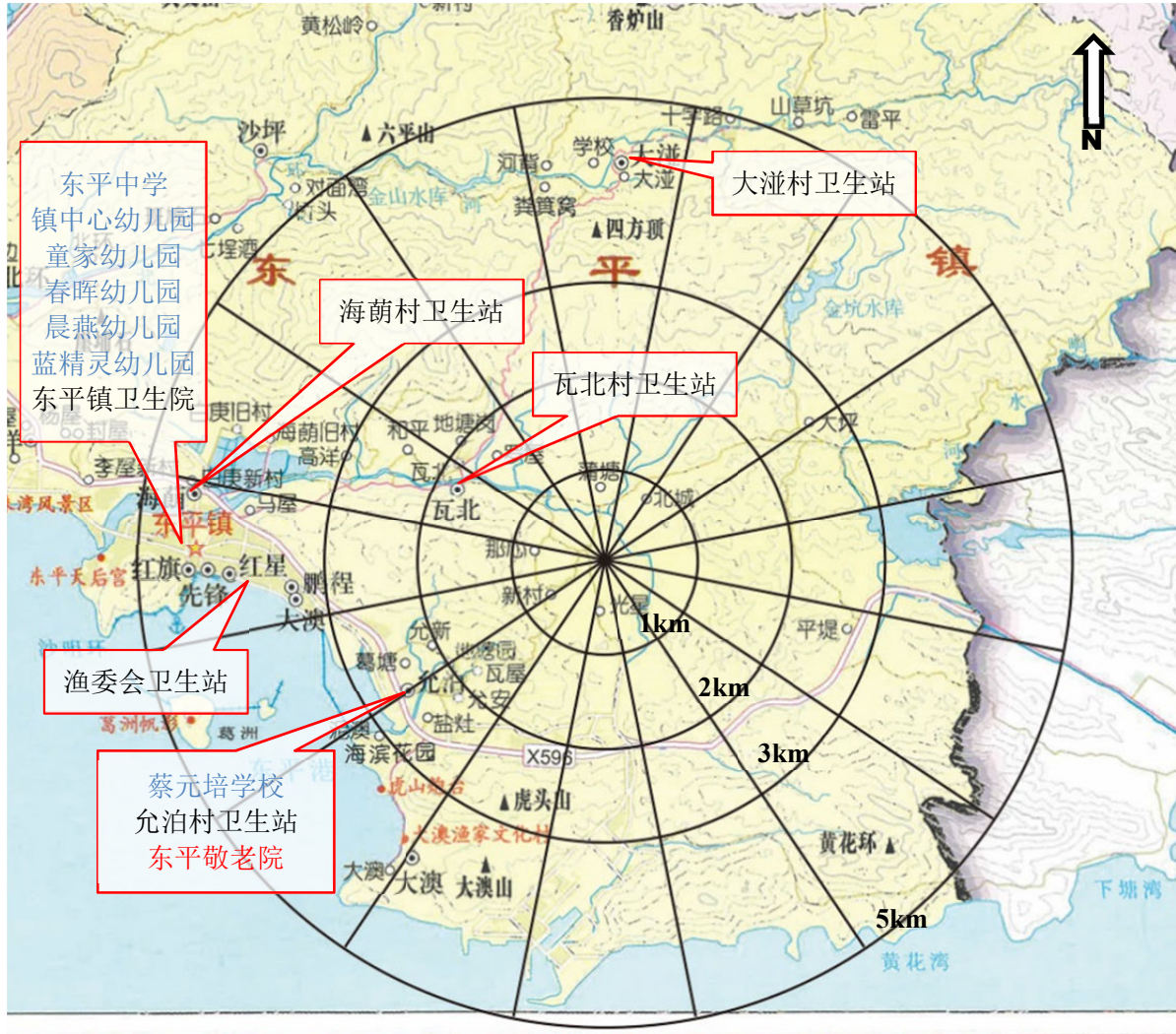


表 2.2-2 厂址半径 5km 范围内公共设施情况分布图

2.2.1.2 厂址半径 10km 范围重要居民点

厂址半径 10km 范围内涉及阳东区东平镇、新洲镇、大沟镇和台山市北陡镇共四个乡镇，10km 范围内共有 49727 人，共涉及 9 个千人以上重要居民点。该区域最大的居民点为东平镇区，位于厂址 W 方位 3.8km 处，包括了东平居委会和 9 个渔委会，共有人口 20546 人。其次为位于厂址 N 方向 8.6km 处的新洲镇龙潭行政村，有 5136 人。厂址半径 10km 范围内无 10 万人以上的城镇。

表 2.2-3 列出了厂址半径 10km 范围内的千人以上重要居民点，图 2.2-3 给出了厂址 10km 范围内千人以上重要居民点的分布情况。

厂址半径 10km 范围内无大的工业区和商业区，当地居民以农业、海洋捕捞和海上养殖为生，流动人口主要为因务工或经商而流动。流动人口主要分布在各镇镇区，

东平镇有流动人员（流入人口）7716人，主要分布于镇区及核电厂附近，主要为务工、经商和养殖人员，除春节期间大量人员返乡外，其他季节无明显变化；新洲镇、大沟镇分别有流动人员（流入人口）257人和187人，主要分布在镇区。

厂址半径10km范围内旅游景点主要分布在东平镇，包括大澳渔村文化村(3A级)、东平渔港，东平镇共接待游客约135万人次，游客主要集中在每年的4~10月，游客多为短暂逗留，住宿较少。

表 2.2-3 厂址半径 10km 范围内千人以上重要居民点

市县名	乡镇名	行政村名	方位	距离 (km)	人口 (人)
阳东区	东平	东平镇区	W	3.8	20546
		海荫	WNW	3.7	2543
		口洋	WNW	5.4	2244
		莲北	NNW	9.2	3490
		允泊	SW	2.7	4529
		瓦北	WNW	1.8	1719
	北环	WNW	7.2	1053	
	新洲	龙潭	N	8.6	5136
台山市	北陡	沙咀	ESE	8.2	3152



图 2.2-3 厂址半径 10km 范围内千人以上重要居民点分布示意图

2.2.1.3 厂址半径 10km 范围人口分布

厂址半径 10km 范围内总人口数为 49727 人，人口密度为 158 人/km²。按陆域面积计算，人口密度约为 253 人/km²，低于广东省同期平均人口密度 631 人/km²，低于阳江市同期人口密度 321 人/km²，低于江门市同期人口密度 484 人/km²。表 2.2-4 和图 2.2-4 分别出了厂址半径 10km 范围内各子区的人口分布及人口总数。

表 2.2-4 厂址半径 10km 范围内各子区的人口分布

单位（距离：km，人口：人）

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	合计
N	121	0	0	585	5136	5842
NNE	234	0	0	142	201	577
NE	0	0	0	0	0	0
ENE	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	2006	2006
ESE	0	0	628	0	3578	4206
SE	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0
S	286	0	0	0	0	286
SSW	0	0	0	0	0	0
SW	0	525	1045	418	0	1988
WSW	125	0	1026	0	0	1151
W	232	0	0	22471	0	22703
WNW	0	138	252	1376	3297	5063
NW	0	392	191	0	1532	2115
NNW	0	0	0	0	3790	3790
合计	998	1055	3142	24992	19540	49727

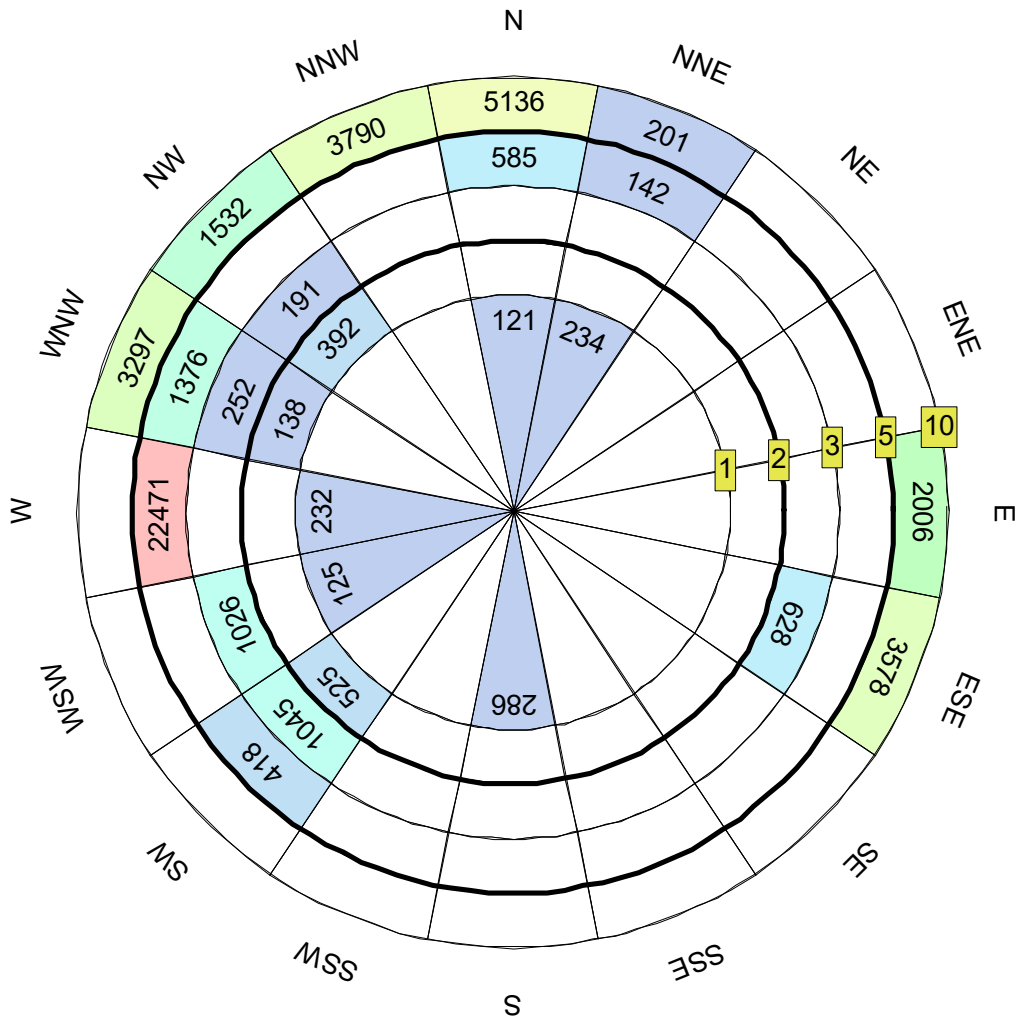


图 2.2-4 厂址半径 10km 范围内各子区的人口分布图

厂址半径 10km 范围主要涉及阳江市所辖的阳东区和江门市所辖的台山市，该区域城镇人口超过万人的城镇为东平镇，东平镇镇区位于厂址 W 方位约 3.8km，共有 20546 人，见图 2.2-2。

对厂址评价期内的预期人口采用指数增长模型进行人口预测。根据《广东省“十二五”人口发展战略研究》，随着经济社会的发展以及计划生育政策调整等因素的影响，预计广东省人口变动将出现以下主要趋势：生育水平先升后降、人口规模增长势头减弱、人口老龄化将明显加速。在 2020 年之前，因实施全面两孩政策之后的补偿生育，生育水平将略有提高；全省人口规模将维持持续增长的态势，但增长速度将逐年放缓，与全国人口增长势能减弱的趋势基本一致，增长率将从 2021 年之前的 7% 逐渐降低到 2030 年的 3% 左右；65 岁以上老龄人口比重上升到 2030 年的 11% 左右。根据《广东

省“十二五”人口发展战略研究》中的高方案即全面二胎方案，全省人口增长率由 2020 年之间的 1%不断降低到 2035 年的 5%左右，在 2050 年前不断减小，阳江市增长率则总体小于全省并在 2044 年进入负增长。对于厂址所在阳江市，其人口增长率在 2030 年前略大于广东省最新发展规划的结果，在 2030 年以后也是逐年减小，基本符合人口发展趋势。

根据上述人口增长率预测结果，对于 2021~2030 年人口增长率采用广东省最新人口发展规划的结果，对于其余时段的人口增长采用全省人口发展战略研究中的结果。综合上述分析，本报告给出的厂址评价范围内各区域的人口增长率情况见表 2.2-5。

根据上述人口预测计算模式以及人口预期增长率可以得出：本工程投产时，厂址半径 10km 范围内的总人口数为 51386 人，各子区的人口分布情况详见表 2.2-6 和图 2.2-5。

表 2.2-5 厂址附近区域内的人口增长率预测结果

(a) 广东省人口发展规划人口增长率预测结果 (%)

2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
0.7 以上		0.7	0.67	0.64	0.61	0.58	0.55	0.52	0.49	0.46	0.3

(b) 广东省十二五人口发展战略研究的人口增长率预测结果 (%)

年份	广东省	阳江市	江门市	年份	广东省	阳江市	江门市
2019	1.38	0.95	0.33	2035	0.53	0.45	-0.55
2020	1.27	0.78	0.21	2036	0.50	0.42	-0.55
2021	1.25	0.75	0.23	2037	0.48	0.37	-0.58
2022	1.23	0.69	0.18	2038	0.46	0.33	-0.58
2023	1.18	0.63	0.13	2039	0.55	0.39	-0.50
2024	1.14	0.58	0.07	2040	0.53	0.33	-0.47
2025	1.08	0.55	0.02	2041	0.47	0.25	-0.43
2026	1.00	0.52	-0.07	2042	0.44	0.17	-0.47
2027	0.94	0.53	-0.12	2043	0.40	0.06	-0.51
2028	0.87	0.53	-0.2	2044	0.35	-0.01	-0.52
2029	0.81	0.56	-0.22	2045	0.30	-0.09	-0.54
2030	0.72	0.50	-0.34	2046	0.25	-0.15	-0.51
2031	0.62	0.44	-0.56	2047	0.20	-0.24	-0.59
2032	0.61	0.48	-0.52	2048	0.14	-0.29	-0.57
2033	0.58	0.47	-0.52	2049	0.09	-0.3	-0.53
2034	0.55	0.46	-0.53	2050	0.04	-0.34	-0.54

表 2.2-6 厂址半径 10km 范围内各子区的预期人口分布

单位（距离：km，人口：人）

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	合计
N	125	0	0	605	5307	6037
NNE	242	0	0	147	208	597
NE	0	0	0	0	0	0
ENE	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	2073	2073
ESE	0	0	649	0	3697	4346
SE	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0
S	296	0	0	0	0	296
SSW	0	0	0	0	0	0
SW	0	543	1080	432	0	2055
WSW	129	0	1060	0	0	1189
W	240	0	0	23220	0	23460
WNW	0	143	260	1422	3407	5232
NW	0	405	197	0	1583	2185
NNW	0	0	0	0	3916	3916
合计	1032	1091	3246	25826	20191	51386



图 2.2-5 厂址半径 10km 范围内各子区的预期人口分布

2.2.2 居民的年龄构成及饮食习惯和生活习性

2.2.2.1 居民的年龄构成

根据阳江市和江门市第六次人口普查资料，以及阳江公安局阳东分局提供的东平镇资料，表 2.2-7 给出了阳江市和江门市，以及东平镇居民的年龄构成。

表 2.2-7 厂址所在不同地区各年龄组居民的年龄构成表

地区 年龄组	阳江市	江门市	东平镇
≤1 岁	1.41%	0.90%	1.10%
1~7 岁	8.51%	6.34%	11.29%
8~17 岁	14.21%	12.68%	9.26%
>17 岁	75.87%	80.08%	78.35%

2.2.2.2 厂址半径 10km 评价区内居民的饮食习惯

根据 2020 年最新开展的厂址附近的居民饮食习惯和生活习性专题调查结果,描述评价区内居民的饮食消费情况。

本工程厂址半径 5km 范围内居民消耗的粮食、蔬菜、肉、水果等农副产品大部分由市场购买,少部分自己生产,所消耗的水产品主要来自附近海域。大澳渔村属东平镇大澳渔委会管辖,其居民以渔民为主,该村没有耕地,居民所消耗的蔬菜、肉等农副产品及部分水果均为市场购买,消耗的水产品主要来自附近海域,该村渔民主要在近岸捕捞,捕捞海域为电厂附近近岸海域,另有几户渔民从事鱼排养殖鱼类和贝类。

对厂址附近区域内的收集到的各个居民食物消费和生活习性分布情况进行统计、汇总分析(共 319 份),得出最终的调查结果。表 2.2-8 给出了本工程厂址半径 5km 范围内不同年龄组和不同职业居民的食物消费量,表 2.2-9 给出了厂址附近居民个人生活习性统计结果。厂址近区婴儿较少,据现场调查,婴儿在 6 个月前基本均食入母乳,在 6~12 月开始逐渐食入母乳与辅食。考虑婴儿在 0~6 月时全部食入母乳,根据中国营养学会 2015 年 12 月发布的《中国 7~24 月龄婴幼儿喂养指南》,6~12 个月婴儿主要食入母乳与辅食,其中婴儿 6~12 个月辅食食入量为:粮食: 15.32kg; 蔬菜: 9.50kg; 水果: 7.66kg; 蛋类: 6.21kg; 肉类: 2.21kg; 鱼类: 4.23kg; 对于母乳与配方奶的食入量,本报告采用喂养指南推荐的每天 800ml。

表 2.2-8 厂址 5km 范围内公众食物消费量情况

单位: kg/人·年

(a) 不同年龄组居民食物消费量

消费量	年龄组	成人		青少年		儿童	
		年平均消费量	年最大消费量	年平均消费量	年最大消费量	年平均消费量	年最大消费量
粮食		158.1	183.0	95.7	150.0	57.7	62.7
蔬菜		121.2	148.0	78.7	124.0	48.1	65.3
肉类		63.1	125.0	54.5	114.0	33.0	47.0
奶类		11.6	36.6	39.2	91.5	60.9	73.2
水果		49.1	54.9	38.9	60.0	36.7	54.9
蛋类		20.7	36.6	18.9	36.6	10.8	18.3
海鱼		63.5	145.6	31.5	60.0	9.7	18.3
甲壳类海产品		10.7	36.6	7.4	18.3	5.2	13.0
软体类海产品		12.3	23.0	3.4	18.3	4.9	10.4
海藻类产品		8.2	18.3	6.1	13.0	2.2	5.2

(b) 不同职业成人食物消费量

人员类别	农民		城镇居民		渔民	
	年平均消费量	年最大消费量	年平均消费量	年最大消费量	年平均消费量	年最大消费量
粮食	153.5	183.0	151.5	164.7	166.1	183.0
蔬菜	112.5	115.5	111.7	120.0	132.6	148.0
肉类	65.1	112.2	60.7	125.0	68.0	102.0
奶类	9.4	36.6	19.3	36.6	1.8	18.3
水果	48.8	54.9	52.8	54.9	45.1	36.6
蛋类	17.7	26.0	24.8	26.0	16.8	36.6
海鱼	72.7	128.1	52.8	109.8	81.3	145.6
甲壳类海产品	14.1	26.0	9.8	26.0	12.5	36.6
软体类海产品	16.9	23.0	9.3	18.3	15.1	18.3
海藻类产品	9.6	18.3	8.1	18.3	8.0	18.3

表 2.2-9 厂址半径 5km 范围内居民个人生活习性统计情况

活动方式 年龄组、职业		岸边活动		海里活动		海上活动	
		人年平均时间 (小时)	人年最大时间 (小时)	人年平均时间 (小时)	人年最大时间 (小时)	人年平均时间 (小时)	人年最大时间 (小时)
成人	农民	101.2	200	6.1	20	18.2	200
	城镇居民	60.1	220	2.0	20	8.3	20
	渔民	125	600	6.3	20	2129	3000
青少年		57.1	216	5.9	54	3.2	34
儿童		61.2	220	/	/	/	/

对于厂址半径 10km 评价区范围内区域着重从有关统计部门收集城乡居民的食物消费资料。本工程厂址半径 10km 评价区内当地居民食物结构为大米、蔬菜、水果、猪肉、家禽肉、蛋类、水产品等。食品主要来源于当地，基本上是当地生产当地消费。农村居民食物消费部分来自本子区，部分来自外子区；城镇居民消费的食物大部分由本子区或邻近子区的农村供给，极少部分来自较远子区或评价区以外的子区。

表 2.2-10 给出了本工程半径 10km 范围内各年龄组居民的饮食消费量情况，其中青少年和儿童根据现场调查结果按比例推算得出；婴儿食物消费量根据食谱指南，在 0~6 月时全部食入母乳，6~12 个月食入母乳与辅食，并由婴儿喂养指南保守推算给出。

表 2.2-10 本工程评价区范围内不同年龄组居民食物消费量

单位: kg/人·年

城镇居民

年龄组	儿童	青少年	成人
	1~7岁 (含7岁)	8~17岁 (含17岁)	>17岁
粮食	27.41	45.46	75.11
蔬菜	39.10	63.97	98.52
肉类	21.29	35.16	40.71
油脂	4.71	7.34	8.16
蛋类	3.95	6.92	7.58
水产品	5.36	11.79	23.06
水果	33.74	35.76	45.14
奶类	56.49	36.36	10.76

农村居民

年龄组	儿童	青少年	成人
	1~7岁 (含7岁)	8~17岁 (含17岁)	>17岁
粮食	41.16	68.3	112.78
蔬菜	41.69	68.2	105.04
肉类	21.77	35.9	41.62
油脂	5.91	9.56	11.34
蛋类	3.63	6.4	6.96
水产品	4.60	10.1	19.79
水果	20.19	21.4	27.01
奶类	20.95	13.5	3.99

2.3 土地利用及资源概况

2.3.1 土地和水体的利用

(1) 土地利用

阳东区内土地类型多样，山地、丘陵、平原、谷地、海岸和滩涂兼有，是广东粮食、渔业重点生产区。2018 年底，阳东区土地总面积 1703km²，其中森林面积 128.60 万亩，农作物总播种面积 65.8 万亩；全区基本农田保护区 48146.63ha。总体来说，全区存在用地结构单一，耕地数量不断减少，土地供需矛盾较大，土地利用水平较低，工业用地布局比较分散等特点。

厂址半径 10km 范围主要涉及阳东区东平镇，东平镇土地以山地和丘陵地较多，植被丰富，绿化覆盖率高。根据《东平镇土地利用总体规划（2010-2020 年）》，按土地用途对东平镇土地进行分区管制，所划分的区具体为：基本农田保护区，有 1497.04hm²；一般农地区，有 2230.37hm²；城镇村建设用地区，有 543.47hm²；独立工矿区，有 1.4hm²；风景旅游用地区，有 262.57hm²；生态环境安全控制区，有 99.22hm²；林业用地区，有 7210.37hm²。东平镇 2014 年镇域现状建设用地主要包括镇区城镇建设用地、核电及其核电配套的区域公用设施建设用地和良垌、双安、莲北等村的村庄建设用地，以及西部沿海高速、S365 省道、良东公路（规划国道）等区域交通设施建设用地。根据规划，东平镇的土地利用总体控制指标为：到 2020 年底，东平镇全镇耕地总面积保有量不低于 1471hm²，全镇基本农田保护面积不少于 1373.33hm²；建设用地总规模将控制在 1142hm² 以内。图 2.3-1 给出了东平镇镇域现状用地情况示意图。

厂址位于阳江市阳东区东平镇瓦北村下属的福龙村，厂址半径 5km 范围内多为自然山体，在沿海一带分布有村庄用地和水旱田地，沿海萌河东西走向分布一条宽约 600~1000m 不等的基本农田带。

本工程位于阳江核电厂北侧，处于阳江核电厂规划限制区范围内，项目占地面积 33333.33m²（50 亩），厂址所在地为工业用地。本项目已有建设设施及拟新增设施均位于厂址现有用地范围内。图 2.3-2 给出了厂址附近区域的土地利用规划示意图（2019 年编制）。

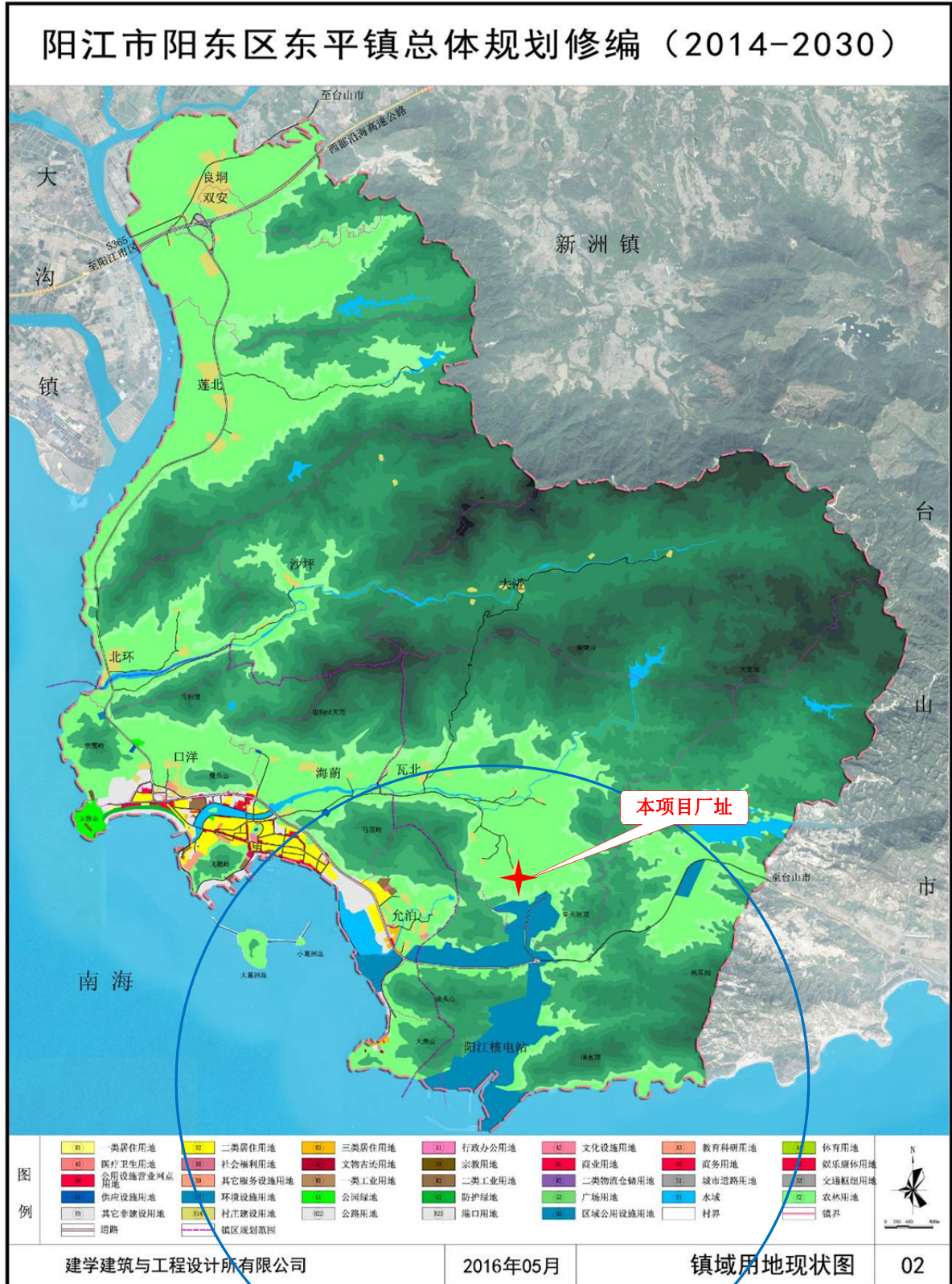


图 2.3-1 厂址附近土地利用现状示意图

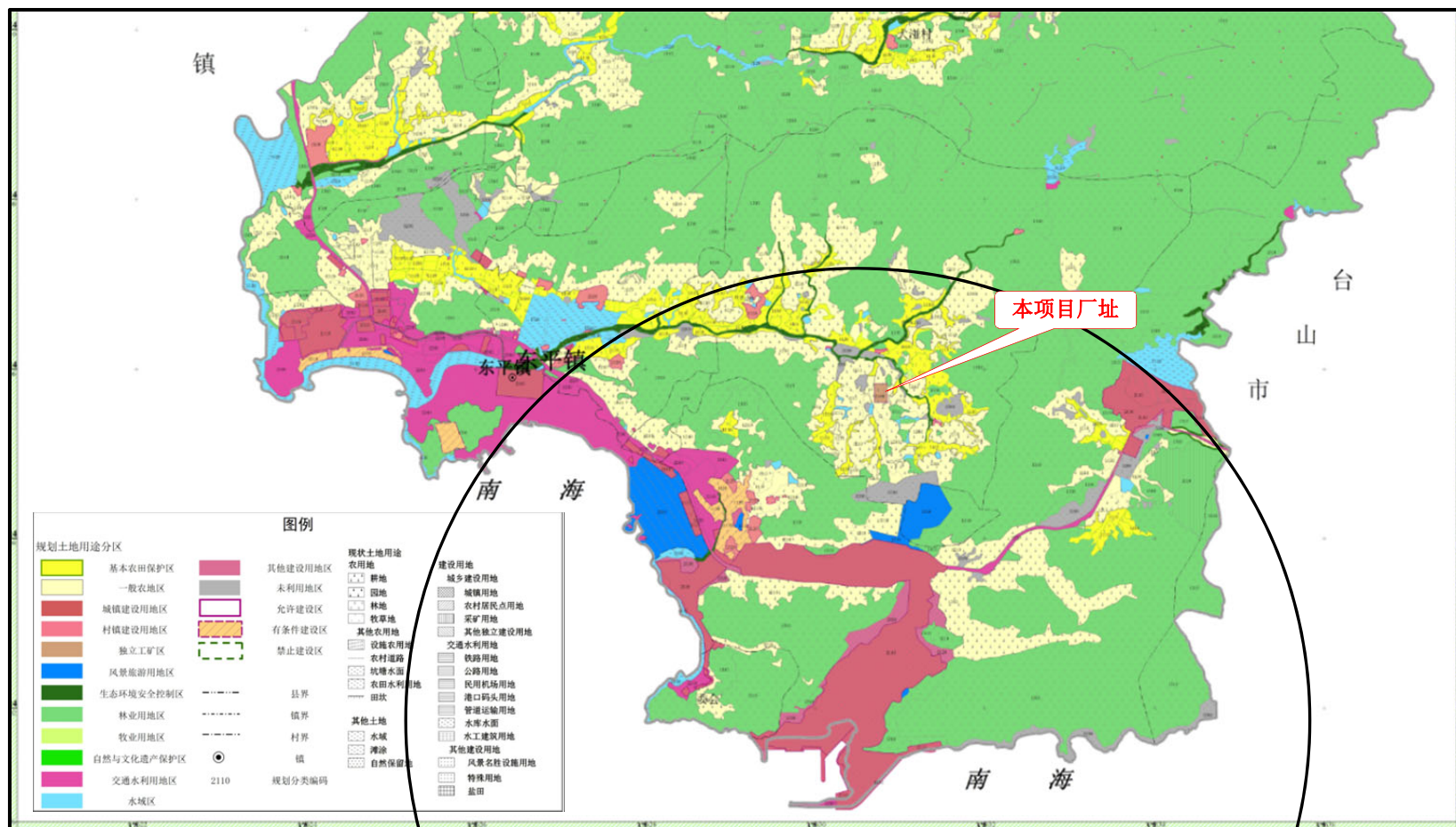


图 2.3-2 厂址附近土地利用规划示意图（2019 年编制）

(2) 水体利用

本工程厂址半径 10km 范围内涉及的主要河流为寿长河水系和响水水系。

寿长河（又名三合河）发源于阳东与台山交界的紫罗山，向西流经新洲镇和三山镇后，折向南流经大沟镇的寿长，在三丫注入南海，入海口位于厂址 NW 方位约 9km 处。河流全长 29.5km，集雨面积 271km²，河道比降 2.17‰。寿长河主河道位于厂址西北侧，主河道位于厂址西北侧 10km 之外。以新洲镇三山为界，紫罗山~新洲镇三山段为“三合河饮用农业用水区”，河长 19km，主导功能为饮用和农业用水，水质管理目标为《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中的 II 类；新洲镇三山~三丫段为“三合河渔业农业用水区”，河长 10.5km，主导功能为渔业、农业和工业用水，水质管理目标为 III 类。

响水河属沿海独立水系，发源于阳东区东平镇境内的烂漈顶，干流全长 12.68km，总流域面积 25.96km²。响水河上游河道的流向由东北流向西南，在东平镇平堤村附近河道绕庙背山南麓呈近似 90° 的急转弯，流向东南，沿途流经台山市的北邑村等，在北陡镇沙咀村西侧注入南海尾角湾。响水河位于厂址 E 方位约 3.8km，响水河主河道以农业用水为主。

厂址附近的海萌河为独流入海河流，主河段位于厂址 N 方位约 0.6km，河长 15km，由东北支（大水河）、南支在北城庙汇合而成。厂址以西约 60m 的小支流为海萌河南支二级支流，河长 1.92km，河宽约 2m~3m，现状为土渠，杂草丛生，未整治过。

厂址半径 10km 范围内有 1 座中型水库、3 座小（一）型水库和 3 座小（二）型水库，见表 2.3-1。其中：

金山水库坐落在海萌河东北支的上游，位于厂址 NE 方位 4.4km，水库总库容 321 万 m³，是以供水为主，结合防洪、灌溉、发电等综合利用的小（一）型水库。金山水库为东平镇自来水厂的主要水源，水厂占地面积约 2000m²，日制水能力 6000m³，现状供水主供管采用 DN300 水泥管，主要供东平镇镇区居民日常生活用水。

平堤水库位于响水河上，位于厂址 E 方位 3.8km 处，为阳江核电厂建设的配套工程，库容 2574m³，属中型水库。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。

表 2.3-1 厂址半径 10km 范围内的水库情况

水库类型	水库名称	方位	距离 (km)	总库容 (万 m ³)	主导功能	水质管理目标
中型	平堤水库	E	3.8	2574.4	饮用, 农业	II
小(一)型	大岭水库	NNW	9.7	186	农业	II
	石井水库	ENE	8.7	290	发电、农业	/
	金山水库	NE	4.4	321	饮用, 农业	II
小(二)型	磨刀坑水库	NNW	7.2	25	农业	/
	松山水库	WNW	3.2	20	农业	/
	长山水库	WSW	2.2	40	农业	/

东平镇规划在海萌河南侧马屋村新建第二自来水厂, 水源为金山水库, 计划 2030 年供水规模 5.6 万 m³/d, 占地面积 4hm², 为整个镇域供水, 同时保留现有东平水厂和核电水厂, 并将东平现有水厂作为备用水厂。东平镇规划供水与周边乡镇 (新洲镇和大沟镇) 统一调度, 在用水紧张时调用周边乡镇水源。计划在 2030 年实现镇区自来水普及率达 100%, 农村地区达 100%。

厂址半径 10km 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、瓦北村和允泊村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, 仅少量未铺设自来水管线的自然村的生活用水源为地下水。

厂址半径 10km 范围内在“十三五”规划期间涉及的水利规划项目包括平堤水库库区水土保持治理工程、阳东区村村通自来水工程等, 解决饮水安全 16.7825 万人, 无大中型水利工程规划建设项目。

(3) 自然保护区、风景旅游区和文物古迹

厂址半径 10km 范围内陆域没有国家和省市级自然保护区。

厂址半径 10km 范围主要涉及东平镇, 区域内主要旅游景点有东平镇珍珠湾海滨度假村、玉豚山海滨公园、仙人井旅游区、鸳鸯石公园、东平渔港、大澳渔家文化村等, 共接待游客 135 万人次, 其中大澳渔家文化村位于厂址 SW 方位 3.9km 处, 为国家 3A 级旅游风景区, 游客主要集中在每年 4 月~10 月, 旅游人次除春节外保守估计每天 1000 人次, 春节最多时约 3000 人, 年 25~30 万人次。

厂址半径 10km 范围内没有国家级和省级重点文物保护单位, 有 7 家县级文物保护单位, 1 家为天后宫 (W, 4.3km), 为清咸丰时代的古建筑, 位于东平镇东平居委。

另 6 家均地处大澳渔村 (SSW, 4.6km), 为: 清乾隆时代的古建筑 2 处, 分别为澳咀山碉楼和虎山炮台; 明代古遗址 1 处, 为大澳渔港遗址; 清光绪古墓葬 1 处, 为大澳万人公义冢; 1931 年近现代史迹 1 处, 为大澳商会旧址; 1966 年近现代史迹 1 处, 为梁伦宅。

2.3.2 陆生资源及生态概况

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, 动物资源主要有兽类、鸟类、爬行类及两栖类等。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, 地带性的自然植被主要是属南亚热带季风常绿阔叶林, 全区 2018 年森林面积 125.44 万亩, 森林覆盖率 54.25%。厂址所在的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。全镇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, 果园有荔枝、龙眼、菠萝蜜、香蕉等果树。镇域内拥有 100 多 km^2 山林, 大部分为原始森林, 以针叶林为主, 其中, 东北山林的大面积 (约 12 万亩) 的原始森林针叶林以松树、相思树为主。本工程厂址半径 10km 范围内无陆域自然保护区及珍稀濒危野生动植物保护区分布。

厂址所在的东平镇蕴藏有钨锡、稀土、花岗岩、高岭土、钾长石、钠长石等矿产资源, 但厂址半径 10km 范围内没有正在开采的矿产企业。

厂址半径 10km 范围内沿海防护林带沿海岸零散分布。寿长河红树林湿地为国家湿地公园 (试点), 位于新洲镇、东平镇和大沟镇三镇交界处, 距厂址最近约 9km, 为南海沿岸河流型天然红树林生态系统, 红树植物群落沿河分布。湿地公园总面积 423.91 公顷, 湿地面积 415.47 公顷, 湿地率 98.01%, 湿地类型多样, 有红树林、河口水域、永久性河流、洪泛湿地、沙石海滩等 5 种湿地类型。其中, 红树林面积 140.45 公顷。寿长河红树林湿地公园有湿地植物 36 科 63 属 64 种, 有软体动物 31 科 80 种, 节肢动物 14 科 46 种; 还有松雀鹰、雀鹰等 5 种国家 II 级重点保护野生动物, 黑尾鸥、灰痛鸥等 11 种广东省级保护动物。寿长河湿地公园划分为生态保育区、恢复重建区、宣教展示区、合理利用区和管理服务区五大功能区。其中生态保育区包括湿地公园内大部分天然红树林和水面, 面积 324.97 公顷, 占总面积 76.66%, 拥有典型的红树林、河口水域、沙石海滩等滨海区湿地类型。湿地公园平面分区图详见图 2.3-3。

厂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、杨梅和柑橘橙等。阳东区 2018 年底水果种植面积共 250833 亩，产量 67262t，其中荔枝产种植面积 152389 亩，产量达 25414t，龙眼种植面积 51039 亩，产量达 9635t。东平镇全镇农作物播种面积有 1635.7 公顷，粮食作物播种面积有 1238.5 公顷，水果种植面积共 7247 亩，产量 1372t，其中荔枝产种植面积 5450 亩，产量达 918t，龙眼种植面积 1350 亩，产量达 252t。种植的主要品种有龙眼、香蕉、荔枝、菠萝蜜等，特色水果有“阳东双肩玉荷包”等，特产农产品为平堤蔗和东平莲藕。

厂址周围农产品中部分水果和蔬菜外销香港和珠三角、广州、中山、深圳等地，其余主要由当地销售。厂址附近畜禽养殖主要以猪、牛以及禽类为主等，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，厂址周围地区生产的肉类主要是家禽肉、猪肉和牛肉。阳东区 2018 年全年生猪出栏 561833 头、禽类出栏 6517992 只，分别占整个阳江市的 23%和 16%，其养猪业较发达，禽类发展也较快；东平镇各村猪出栏一般在数百至一千多头，禽类出栏一般在一万至五万头之间。

厂址半径 10km 范围内各子区粮食、蔬菜、水果等的种植面积和年产量列于附录 B。附录 B 也给出了厂址半径 10km 范围内各子区大牲畜、猪、家禽的出栏量以及产肉量、产蛋量。

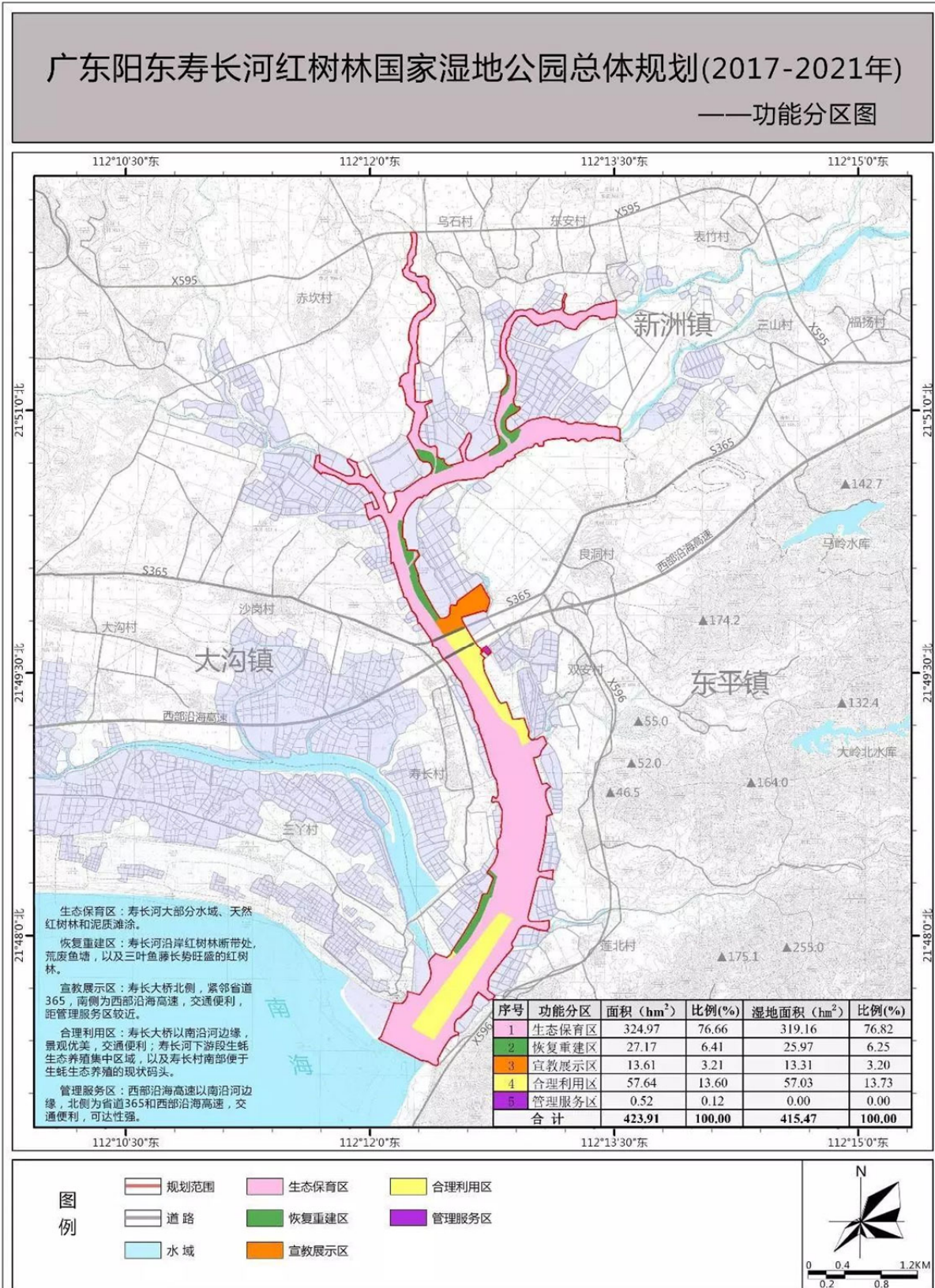


图 2.3-3 寿长河红树林国家湿地公园（试点）功能分区图

2.3.3 海洋生态概况及水产资源

(1) 海洋生态状况

根据阳江核电厂附近 2016-2017 年期间的海洋生态调查成果，厂址附近海洋生态环境较好。根据调查成果，表层叶绿素 a 的含量范围在 $0.34\sim 13.23\text{mg}/\text{m}^3$ ，夏季表层叶绿素 a 含量平均值较其他季节大，平均值为 $2.99\text{mg}/\text{m}^3$ 。浮游植物丰度在 $6.05\times 10^4\sim 6027.43\times 10^4\text{ind}/\text{m}^3$ 范围，以夏季最高，平均为 $2043.48\times 10^4\text{ind}/\text{m}^3$ 。调查期间硅藻为最大类群，优势种包括优美拟菱形藻等，Shannon-wiener 多样性指数变化范围为 $0.57\sim 3.87$ 。浮游动物生物量变化幅度为 $8.25\sim 1178.43\text{mg}/\text{m}^3$ ，以秋季最高，平均为 $359.36\text{mg}/\text{m}^3$ ，各测站的浮游动物种类多样性指数范围为 $0.39\sim 3.92$ 之间。底栖生物以环节动物出现的种类最多，其次为软体动物和节肢动物等。生物量变化范围 $0.00\sim 173.90\text{g}/\text{m}^2$ ，平均生物量以秋季最大，为 $28.91\text{g}/\text{m}^2$ 。生物多样性指数(H')变化范围在 $0.39\sim 4.20$ 之间。潮间带生物调查期间以软体动物种类最多；平均生物量以秋季最大，为 $423.36\text{g}/\text{m}^2$ ，潮间带生物的生物量的垂直分布表现为低潮区最高，高潮区最低，即低潮区>中潮区>高潮区，调查断面潮间带多样性指数(H')以冬季最大，为 2.84。调查期间鱼卵和仔稚鱼中平均密度夏季最大，鱼卵、仔鱼平均密度为 $3201\text{粒}/1000\text{m}^3$ 、 $162\text{尾}/1000\text{m}^3$ ，调查期间出现数量较多的鱼卵仔鱼是鳮科、多鳞鱮、斑鱮等。游泳生物中，无论是平均重量渔获率或平均个体渔获率或平均重量密度或平均个体密度，都是鱼类最多，其次是甲壳类，最少是头足类；渔获以夏季最大，各点位平均重量渔获率和平均个体渔获率分别为 $4.95\text{kg}/\text{h}$ 和 $138\text{ind}/\text{h}$ ，平均重量密度和个体密度分别为 $215.69\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $6013\text{ind}/\text{km}^2$ 。

(2) 渔业资源资源及水产养殖

本工程位于阳江市阳东区，阳东区濒临南海，海岸线绵长，浅海滩涂资源丰富，沿海生态环境多样性高，是鱼、虾、蟹等近海经济动物繁殖生长的理想场所，具有经济价值和产量较高的有 208 种。其中包括 100 多种经济鱼类、30 多种虾类、10 多种蟹类和 50 多种贝类。经济鱼类中产量较高的有篮子鱼、鲮鱼、鲷鱼、石斑鱼、弹涂鱼、舌鳎和斑鱼等；常见的经济虾类有短沟对虾、长毛对虾、刀额新对虾、周氏新对虾、墨吉对虾、斑节对虾、近缘新对虾和长额仿对虾等；主要经济蟹类有锯缘青蟹、远海梭子蟹、三疣梭子蟹、红星梭子蟹和虾蛄等；经济贝类中，牡蛎、翡翠贻贝、毛蚶和文蛤是主要的增养殖对象。

厂址附近沿海捕捞主要为阳江市阳东区、台山市北陡镇等地的渔民，其作业海区除厂址附近海域外，还包括南海陆架区（水深>20m）和其他海域，主要捕捞作业类型有刺钓网、围网和拖网，主要捕捞水产品种有鱼类、头足类和虾蟹类等。

阳东区水产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。养殖范围由滩涂向浅海和岸上延伸，优势品种养殖向基地化、规模化方向发展；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；养殖方式以粗养为主逐渐向粗养、精养和精粗结合多种方式发展，有网箱养鱼、鱼塍养鱼，鱼塍虾蟹混养，增殖护养翡翠贻贝，浮筏养蚝，高位池高密度养殖对虾等。阳东区 2018 年全年海水产品产量 270616t，淡水产品产量 19725t，海水养殖面积 68340 亩，淡水养殖面积 31995 亩。

厂址所在东平镇 2018 年海水产品 118864t，淡水产品 1280t，鱼类为主要水产品，其他为少量的虾、蟹和贝类产品；厂址以东的镇海湾渔业资源种类呈现热带和亚热带河口区系特征，全年各季节均有渔汛期，北陡镇 2018 年海水产品总量和淡水产品量分别为 13171t 和 1613t。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，海洋捕捞海域为南海，专职捕捞渔民 4710 多人，捕捞方式包括刺网、钓具、拖网和围网，镇区各渔委会以海水养殖和海洋捕捞为主，镇区以北至寿长河一带以海水和淡水养殖为主。此外，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，为无证养殖，大澳渔村附近海域有 0.66 亩网箱养殖，养殖品种为石斑和黄特鲳，为无证养殖。

（3）海洋保护动物及保护区

根据有关历史资料及多次水生态调查结果，厂址附近海域无保护性海洋生物及国家级重点保护水生动物活动，厂址附近范围内无重要渔业品种的“三场一通道”。厂址半径 10km 范围内无海洋自然保护区。

2.3.4 工业、交通及其他相关设施

2.3.4.1 工业企业

厂址所在的阳东区现已形成了以五金制造、食品、服装、木器加工等行业为主导的工业体系。规模以上工业企业主要集中在县城所在地东城镇以及北惯镇，东平镇和台山市的北陡镇主要以农业、渔业生产为主，经济相对薄弱，规模以上工业企业较少。

厂址所在的东平镇镇区位于厂址 W 方位 3.8km 处，东平镇除能源产业外，渔业为支柱产业，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、水产品加工业和渔具生产等，工厂规模多为几人到数十人的小厂。2018 年底，除阳江核电有限公司外，东平镇规模以上工业企业仅有 1 家，为华能阳江风力发电有限公司（工作人员 32 人）。台山市北陡镇区位于厂址 NE 方位约 20km 处，该镇工业主要以五金、渔具、轻纺等小型加工企业为主，沙咀村以渔业和农业为主，没有规模以上工业企业。厂址半径 5km 范围内的企业均为几人到数十人的小厂，没有加工生产易燃、易爆和有毒有害物品的生产活动。

根据《阳东县县城区总体规划修编（2012-2030）》，阳东区为粤西新兴的现代加工制造业基地、电力能源基地；阳江市域东部以工业生产、生态保育为主的功能区。阳东区以轻工业为主导，规划打造中国五金刀剪生产基地，形成阳东区支柱产业。阳东划分为主城区、副城区、东翼、北翼四个功能区，构建“一主一副两翼”的特色城镇化新格局，其中厂址所在的东平镇镇为“东翼”。“东翼”以东平镇为中心，辐射带动新洲镇和大沟镇，重点发展新能源产业、先进制造业及其配套产业和滨海特色产业。根据《阳江市阳东区东平镇总体规划（2014~2030）》（正在报批），东平镇的产业发展总体空间布局规划为“一带三区”，即良东公路经济带、现代农业产业区、综合服务产业区和核电产业发展区。其中，核电产业发展区主要包括核电站区域范围和规划的核电产业园的范围，重点发展核电产业和核电配套产业。东平镇针对工业发展及规划，其发展引导：大力发展核电等清洁能源，发挥阳江核电站效应，重点推进核电相关产业发展；积极配合推进风能、浪能等新能源产业项目的开发建设。发挥国家级中心渔港优势，推进海产深加工产业发展，集中建设新型产业园区；引导规模较大、效益较好的企业迁至工业园区；空间布局指引：镇域南部积极推进清洁能源的发展，包括核电及其核电配套的相关产业；利用东平国家级中心渔港的优势，推进海产品加工产业的发展。在中心渔港附近适当地发展船舶修造业；在大葛洲岛适当地发展浪能。北陡镇对沙咀则是进一步发展并深度开发其旅游资源。

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，厂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项目的建设和运行产生影响。

图 2.3-4 给出了厂址所在地区的产业布局规划示意图。

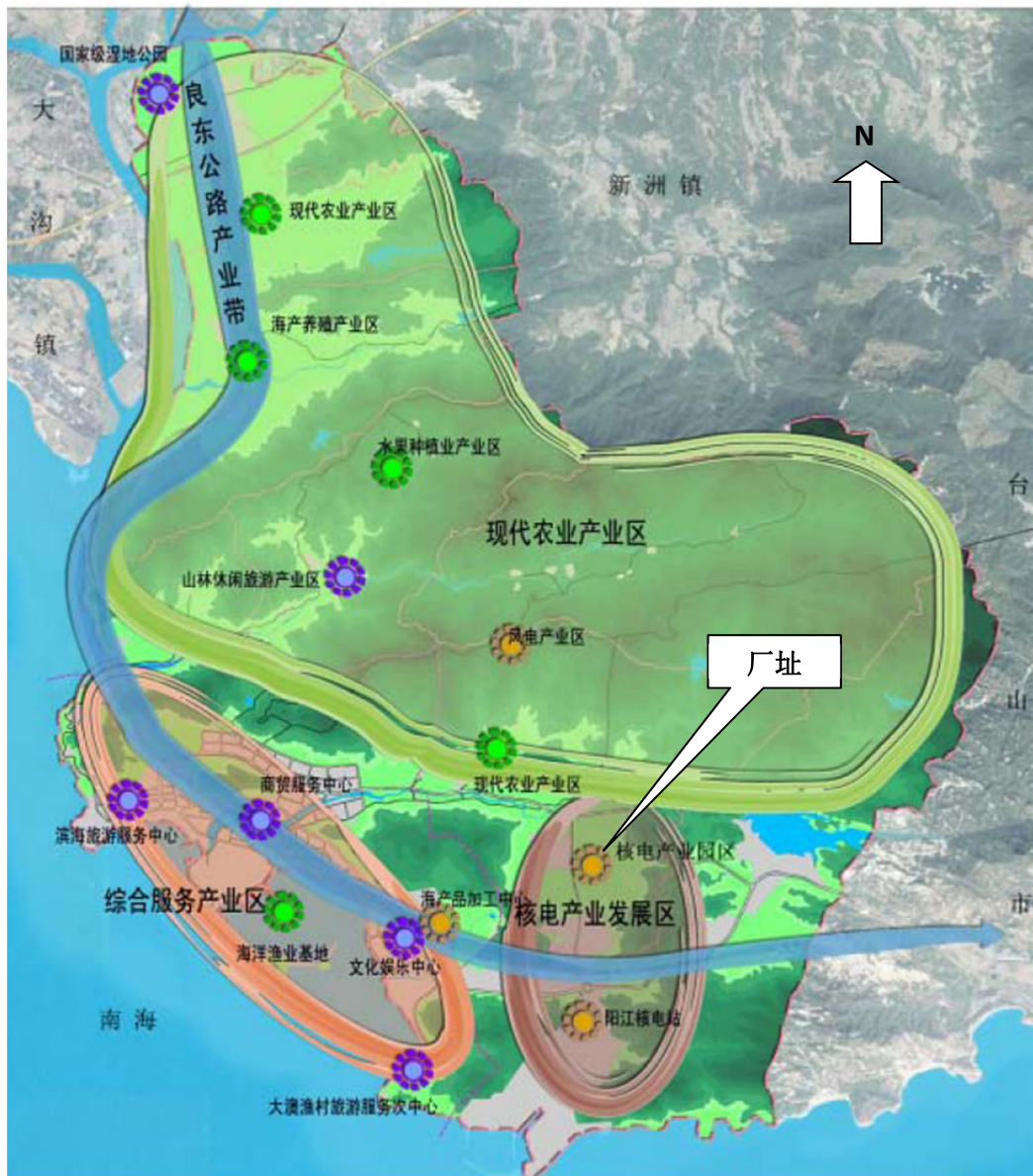


图 2.3-4 东平镇产业布局规划示意图

2.3.4.2 交通

厂址所在的阳东区境内公路交通较为发达，阳东区域内有东西走向的 325 国道一级公路，广东省西部沿海高速公路、S365 省道二级公路，G15 沈海高速（开阳高速）等。厂址所在的东平镇交通便利，水陆贯通，其主要对外道路为良东公路(X596 县道)，也是东平镇现状唯一对外交通线，向北连接西北沿海高速和省一级公路 S365 省道，向东连接省二级公路 S276 省道至台山市北陡镇。东平镇乡镇道路建设发展迅速，大部分村基本上实现了村村通公路，路面以沥青和水泥为主。在“十三五”期间，阳东区将进一步完善全区公路网络建设。本工程厂址半径 10km 范围内没有铁路通过。

厂址半径 10km 范围内道路如下：

- 阳江核电进厂道路位于核电厂东北、厂址西南侧，起点为阳江市东平镇，终点至阳江核电基地，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，混凝土路面，规划交通流量 10000~25000 辆/年。
- 阳江核电厂应急道路从核电厂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接 S276，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，设计年限为 30 年。
- S276 位于厂址东侧，2 级公路，路宽 12m，起讫点为新洲与北陡交界、东平良垌，西接核电厂应急道路，最近距厂址 E 方位约 5km。
- 南北向的 X596 县道（寿长至东平公路），位于厂址西北侧，该道路在东平镇境内由莲北村往南经北环村至东平镇镇区，最近距厂址 WSW 方位 2.7km，全长 23.453km，为二级道路，沥青路面。
- 东平-大澳，为四级道路，最近距厂址 SW 方位约 3.0km。

从西部沿海高速公路在三山出口处下高速公路后，可以经由约 10km 长的 X596 县道至东平镇镇区，由东平镇镇区经核电厂进厂道路后往北至厂址。本工程厂址附近交通运输条件比较完善，厂址附近陆上交通状况见图 2.3-5。

根据阳东区在“十三五”公路规划，全区将继续完善阳东境内高速公路网络，改善地方公路网络，加快新农村公路建设。规划至“十三五”期末，新增公路里程 200km，国道升级改造 26km，省道升级改造 70km，公路密度达到每百平方公里 136.6km。其中，广东省滨海旅游公路阳东东平至雅韶段改建建设工程，原有公路 4 级，改建为 1 级公路，一级公路全长 45km，将东平、雅韶、大沟等地的旅游资源串联起来，构建阳东滨海旅游带。

厂址半径 10km 范围内的较大的港口与码头为东平渔港和新港码头。其中，东平渔港位于厂址 W 方位约 5km 处，是国家一类渔港和二类口岸。东平渔港港池面积 2.5km²，水深 5.5m 以上，渔船 1129 艘，可泊 1 万 t 级货轮，融停泊、避风、补给功能于一体的渔业后勤服务基地。新港码头紧靠东平渔港，属国家二类口岸码头，该港口是货运码头，目前使用 300t 级货运码头，使用频次不高，多为执法船、边防船使用。

东平港进港航道从港口至飞鹅咀共计 2km，距离港口 1km 以内航道的水深大于 2m，航道宽 60m，可航行 300t 级以下船舶；距离港口 1~2km 间航道的水深大于 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，货运船舶）在厂址附近沿海岸通过，无固定航线。

厂址附近主要有连胜围~闸坡航线和闸坡~高栏航线两条航线，厂址附近没有机场。

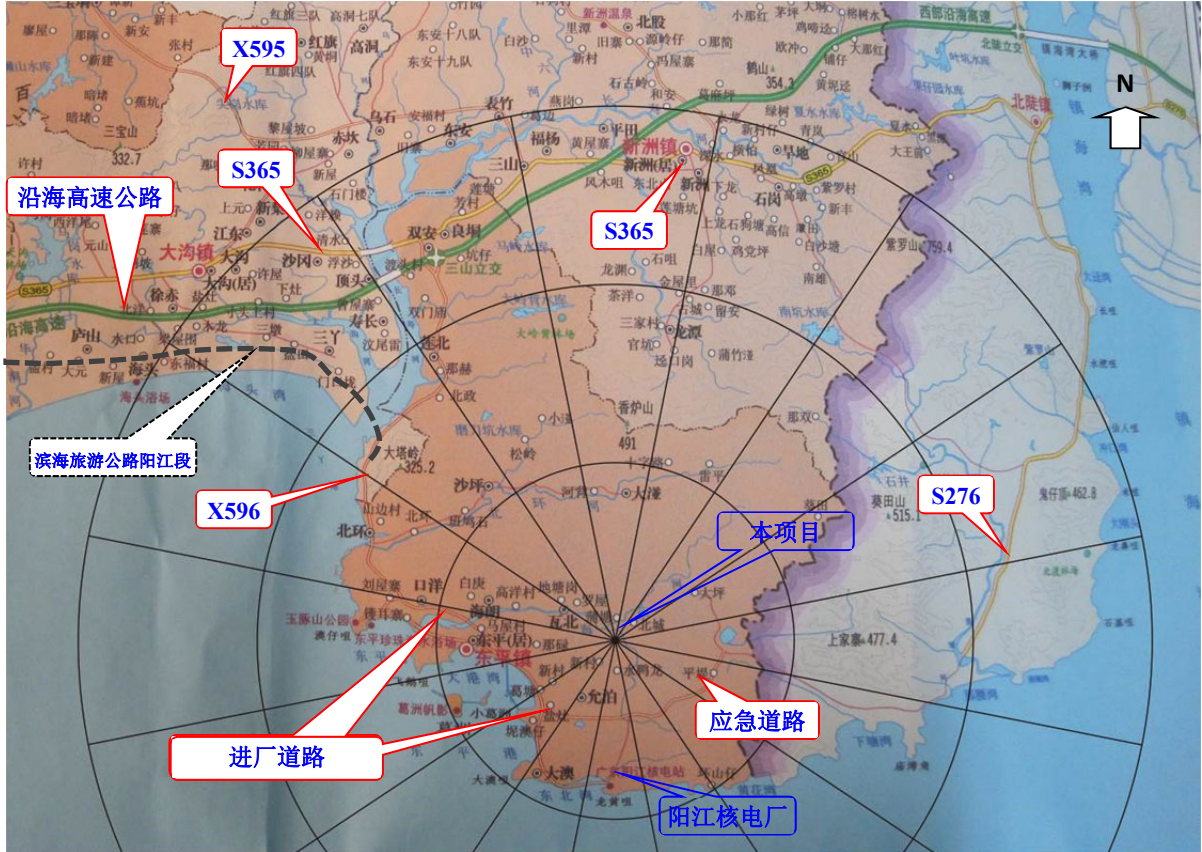


图 2.3-5 厂址附近公路交通现状示意图

2.3.4.3 潜在外部人为事件源

(1) 固定危险源

厂址半径 5km 范围内无有毒、有害气体储存仓库，也无放射性物质贮存和使用。厂址附近区域内的固定危险源主要是油库、乡镇小型民用加油站。厂址半径 5km 范围内有 1 个加油站和 1 个油库：

- 阳东区东平暨南加油站，为二级加油站，位于东平镇北侧，县道 X596（东平公路）与核电进厂道路连接处，W 方位离厂址约 5.0km，该加油站共有 4 个贮油罐，其中汽油罐 30m³×2 个和 10m³×1 个，柴油罐 10m³×1 个。
- 中国石油化工股份有限公司广东阳江阳东葛洲岛油库，位于葛洲岛上，厂址 SW 方位约 4.8km 处，有 1 个柴油库，可储存约 1000t 柴油，目前储存 100

多 t，为出海渔船提供加油。

此外，厂址 10km 范围内还有加油站 1 个和加气站 2 个，分别位于厂址 N 方位 8.7km、W 方位 5.2km 和 W 方位 5.6km 处；阳东区东平镇渔港码头油库，位于厂址 W 方位 5.2km 处，库区有 1 个 1000t 的柴油库，目前储存 100 多吨柴油，主要为出海渔船提供加油和为制冰厂制冰提供能源。

(2) 移动危险源

东平镇贮存的柴油和汽油，目前以陆路运输为主，海运为辅。油品来源根据市场油价的浮动从各地采购，目前主要从海洋石油公司阳江港油气库购买。公路运输采用不大于 60t 的槽罐车运输。液化气则主要由海洋石油公司阳江分公司通过运气船运往阳江港后，再由运输车运往用气单位，运输液化气的槽罐车的吨位不超过 50t。这些危险品运输车经由高速公路或省道进入 X596 县道最终进入东平镇各油、气单位，行驶路线距离厂址的最近距离较远。

海上运输方面，出入东平港的多为小于 500t 的小型渔船和货船，无固定航线，港内有 1 艘 200t 级别的水上加油船供应港内渔船，油品为柴油，加油船可在港内移动，不出港。港内有 300t 级货运码头，使用频次不高。东平港内有 2 个油气码头（液化气、柴油），分别为 3000t~5000t 和 10000t，油气来源有两个，其中自粤西而来的油气船不经过本工程厂址附近海域，自广州和深圳而来的油气船在厂址以南 20km 的南鹏岛外，上、下川岛以南通过。

据调查，厂址附近海域没发生过油船失事事故。

(3) 输油气管道及其他危险源

本工程厂址半径 5km 范围内没有天然气管道、燃料油管道以及液体化工产品等危险品地下管道存在。厂址附近主要有连胜围~闸坡航线和闸坡~高栏航线两条航线，厂址附近没有机场。

2.4 气象

2.4.1 区域气候

厂址区域气候深受季风影响，冬半年受极地冷高压脊控制，盛行东北季风，天气较为干冷；夏半年则为季风低压、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、静止锋和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和减弱。副热带高压已为全年最强，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，500hPa 副热带高压的候平均位置已南落至北纬 22°至 18°，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。

本节中区域气候一般特征描述采用阳江气象站（风资料为 1954~2014 年，温度、雨、相对湿度和气压资料为 1953~2014 年）和上川气象站（风资料为 1958~2014 年，温度、雨、相对湿度和气压资料为 1956~2014 年）的统计资料：

- 阳江气象站位于厂址 NW 方位约 35km 处的阳江市郊外新寨村岗背坡顶，东经 111°58′，北纬 21°52′，海拔高度 23.3m，测风仪器高度离地 10m。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，为国家基本站。
- 上川气象站位于厂址 E 方位约 58km 的上川岛滘水湾獭山山顶，东经 112°46′，北纬 21°44′，紧临海边，四周地势开阔，海拔高度 21.5m，1958 年开始观测。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，是国家基

本站。

表 2.4-1 和表 2.4-2 分别给出了阳江气象站和上川气象站的多年气象参数特征值，表 2.4-3 给出了阳江气象站和上川气象站多年风向风速特征值。

表 2.4-1 阳江气象站累年气象参数特征值（1953~2014 年）

项目 时间	气温（℃）			平均相 对湿度 （%）	最小相 对湿度 （%）	平均气 压 （hPa）	平均降 水量 （mm）
	平均 气温	平均 最高	平均 最低				
一月	14.9	28.8	-1.4	73	8	1016.2	33.9
二月	15.8	28.9	2.2	81	15	1014.3	62.4
三月	18.8	32.2	4.7	85	14	1011.8	83.6
四月	22.6	32.0	9.9	87	24	1008.6	223.5
五月	26.0	35.0	15.3	86	26	1004.9	406.7
六月	27.5	36.8	19.3	86	25	1001.8	426.0
七月	28.2	38.3	21.1	84	36	1001.4	317.3
八月	27.9	37.5	20.6	85	29	1001.3	372.3
九月	26.9	36.8	16.8	82	21	1004.9	256.6
十月	24.3	34.6	9.4	75	15	1010.3	78.2
十一月	20.4	33.1	4.6	70	15	1013.9	46.0
十二月	16.4	29.4	2.2	69	8	1016.3	32.4
全年	22.5	38.3	-1.4	80	8	1008.8	2338.9

表 2.4-2 上川气象站累年气象参数特征值（1956~2014 年）

项目 时间	气温（℃）			平均相 对湿度 （%）	最小相 对湿度 （%）	平均气 压 （hPa）	平均降 水量 （mm）
	平均 气温	平均 最高	平均 最低				
一月	15.0	27.3	3.4	76	19	1018.2	24.4
二月	15.8	27.9	3.0	83	18	1016.4	45.4
三月	18.8	29.6	4.1	86	21	1013.9	69.7
四月	22.7	31.9	9.1	87	26	1010.7	166.0
五月	26.1	35.0	16.2	86	23	1006.9	322.8
六月	27.8	35.4	20.3	85	42	1003.8	400.6
七月	28.5	37.0	20.0	83	46	1003.3	290.2
八月	28.2	35.9	21.8	84	41	1003.2	363.3
九月	27.3	35.9	17.7	81	31	1006.7	313.3
十月	24.8	33.1	13.1	76	26	1012.0	142.4
十一月	21.0	31.7	6.4	73	20	1015.6	42.2
十二月	16.9	28.2	3.4	72	16	1018.1	29.1
全年	22.7	37.0	3.0	81	16	1010.7	2209.4

表 2.4-3 阳江气象站（1954~2014 年）和上川气象站（1958~2014 年）累年风特征值

月份	平均风速 (m/s)		主导风向	
	阳江	上川	阳江	上川
1	3.2	5.6	NE	NNE
2	3.2	5.2	NE	NNE
3	3.3	4.7	NE	NNE
4	3.1	4.2	SE	E
5	2.9	4.0	SSE	E
6	2.9	3.9	S	SSW
7	2.9	3.8	SSE	SSW
8	2.5	3.5	SSE	S
9	2.7	4.4	NE	E
10	2.9	5.3	NE	E
11	3.0	5.8	NE	NNE
12	3.0	5.7	NE	NNE
年	3.0	4.7	NE	NNE

2.4.1.1 气温

两个气象站均位于广东省南部沿岸，受海洋性气候影响较大，冬暖夏凉，多年平均气温和月平均气温变化规律都很一致。

- 阳江气象站的多年平均气温为 22.5℃，其中，月平均气温 7 月份最高，为 28.2℃；月平均气温最低出现在 1 月份，为 14.9℃。
- 上川气象站的多年平均气温为 22.7℃，其中，月平均气温 7 月份最高，为 28.5℃；月平均气温最低出现在 1 月份，为 15.0℃。

2.4.1.2 气压

气压的多年季变化规律较为简单，曲线一般呈单峰单谷型，夏季平均气压较低，而冬季则平均气压较高。

- 阳江气象站多年平均气压为 1008.8hPa。最高月平均气压为 12 月的 1016.3hPa，最低月平均气压为 8 月的 1001.3hPa。
- 上川气象站多年平均气压为 1010.7hPa。最高月平均气压为 1 月的 1018.2hPa，最低月平均气压为 8 月的 1003.2hPa。

2.4.1.3 相对湿度

- 阳江气象站的多年平均相对湿度为 80%，以 4 月最高，平均为 87%；以 12 月最低，平均为 69%。
- 上川气象站的多年平均相对湿度为 81%，以 4 月最高，平均为 87%；以 12 月最低，平均为 72%。

2.4.1.4 降雨

- 阳江气象站多年平均年降水量为 2338.9mm。
- 上川气象站多年平均年降水量为 2209.4mm。

厂址区域降雨丰富，是广东省多雨地区之一。在一年中，各月的降水差异较大。4~9 月为雨季，该期间的降水量占全年总降水量的 85%左右。在雨季中有明显的前后汛期之分。4~6 月为前汛期，以冷空气降水为主；7~9 月为后汛期，以热带气旋（台风）降水为主。这两个峰期都有着同等重要的影响。10 月至次年 3 月为旱季，降水较少，平均每月不足 100mm，尤其是 11、12 月和次年 1 月，其月平均降水不足 50mm。

2.4.1.5 风

阳江气象站多年平均风速为 3.0m/s，主导风向为 NE；上川气象站多年平均风速为 4.7m/s，主导风向为 NNE。

2.4.2 灾害性天气

2.4.2.1 热带气旋

热带气旋是厂址地区主要的灾害性天气，5~10 月是热带气旋季节，7~9 月是热带气旋的盛期。

根据 1949~2014 年间台风年鉴台风资料统计（统计范围为厂址中心半径 400km 范围），千年一遇的台风中心气压为 890hPa。

根据阳江核电厂开展的相关专题成果，厂址可能最大热带气旋的特征参数如下：

- 热带气旋中心最低气压 $P_0=890\text{hPa}$ ；
- 热带气旋外围气压 $P_\infty=1008\text{hPa}$ ；
- 热带气旋最大移速 V ：西方向 40km/h，西北到北方向 26km/h；
- 最大风速半径 $R=40\text{km}$ 。

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。

对厂址为中心经、纬度宽各 3 度范围进行了普查，包括厂址附近台山市、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。

调查区域范围内，龙卷风分布差异大，大致以厂址附近和厂址东、西两侧多，南、北两侧少。1951-2004 年评价区域内共发生 144 次龙卷风，F1 级别的龙卷出现最多为 78 个，占总数的 54.2%；其次是 F0 级 58 个，占总数的 40.3%，调查到 8 个 F2 级别个例，只占总数的 5.6%；调查中未发现 F3 级及以上级别的龙卷风。

根据 2005-2013 年评价区域内发生的龙卷风资料，厂址区域共发生 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 05 月 09 日的阳春县。

根据阳江核电厂开展的相关专题成果，厂址设计基准龙卷风特征参数为：

- 最大风速：80m/s；
- 平移风速：18m/s；
- 最大风速半径：98m；
- 总压降：48hPa；
- 压降速率：870Pa/s。

2.4.2.3 雷暴

根据阳江气象站（1953~2004 年）和上川气象站（1958~2004 年）各月雷暴日资料统计可得，两站年平均雷暴日数分别为 86.3 天和 58.6 天。每年雷暴天气主要发生在 5~9 月，占全年雷暴日的 83%，以 8 月份最多，占全年雷暴日的 20%。

2.4.2.4 飏线

飏线在厂址区域比较常见，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、惠阳和惠东一带稍多，每年有 2d 以上，其中郁南最长达 3~4d；而连山、广宁、翁源、河源、兴梅盆地和珠江三角洲地区每年不足 1d；省内其余地区在 1~2d。飊线多发生于每年春夏季节的 4~8 月份，占全年的 80%以上，其中以 7~8 月份最多，分别占 21.5%和 21.6%。飊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，主要是由于太阳辐射对地球大气的影晌在午后达到最高峰，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。

三分之二左右的飊线持续时间为 5~20min，时间长的则可在 30min 以上。1951~1993 年共发生 8 次持续时间超过 1h 的飊线，主要发生于广东省的中部和西部地区，东部未见出现；其中珠江三角洲的顺德、台山、新会、惠州、博罗和肇庆等地均曾出现长时间的飊线。

2.4.3 当地气象条件

厂址附近的阳江核电厂建有气象观测系统（位于厂址 S 方位约 1.8km 处），观测项目具体如下：

一 厂址气象塔自动观测系统

气象梯度自动观测共设四层（10m、30m、80m 和 100m），分别测量厂址地面以上各层风向、风速、温度。

一 厂址专用地面气象站

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

表 2.4-4 给出了阳江核电厂气象观测系统气象要素采集指标和气象观测系统传感器性能指标，图 2.4-1 给出了厂址和阳江核电厂气象观测系统相对位置示意图。

本报告选取 2018 年一整年的厂址气象塔自动观测系统以及地面站观测数据，根据统计，该年气象数据联合获取率达到 99.98%。

表 2.4-5 给出了厂址地面观测气象参数特征值。

表 2.4-4 阳江核电厂气象观测系统气象要素采集指标和传感器性能指标

气象要素采集指标

项目	采集频率	采样时间	输出参数
风向	3s	正点前 10min 正点前 30min	10 分钟平均风向 风向标准偏差 (σ_θ)
风速	1s	正点前 10min	平均风速 (m/s)
温度	20s	正点前 10min	平均温度 ($^{\circ}\text{C}$)
气压	20s	正点前 10min	平均气压 (hPa)
雨量	1min	60min	小时总降雨量 (mm)
辐射	20s	正点前 10min	算术平均值 (W/m^2)
相对湿度	1min	60min	平均相对湿度 (%)

传感器性能指标

名称	测量范围	分辨率	测量精度
相对湿度	0~100%	1%	$\pm 2\%$ ($\leq 90\%$); $\pm 3\%$ ($> 90\%$)
气压	500~1100hPa	0.1hPa	$\pm 0.2\text{hPa}$
风速	0~100m/s	0.1 m/s	$\pm (0.3 + 0.02V)$ m/s
风向	0~360 $^{\circ}$	3 $^{\circ}$	5 $^{\circ}$
雨量	0~999.9mm	0.1 mm	0.4mm ($\leq 10\text{mm}$) 4% ($> 10\text{mm}$)
辐射	0~2000 W/m^2	0.1%	15 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
温度	-50~+50 $^{\circ}\text{C}$	0.1 $^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$

表 2.4-5 厂址地面观测气象参数特征值 (2018 年)

月	气温			气压			辐射		相对湿度		降雨		
	平均 (°C)	最高 (°C)	最低 (°C)	平均 (hPa)	最高 (hPa)	最低 (hPa)	总辐射 (W/m ²)	净辐射 (W/m ²)	平均 (%)	最低 (%)	降雨量 (mm)	降雨 时数 (h)	降雨 日数 (d)
1	15.7	25.2	4.9	1013.0	1023.8	1006.2	234.0	-36.5	73	17	77.4	74	10
2	15.8	26.0	4.9	1014.5	1024.5	1007.2	291.1	-38.6	69	25	7.5	18	4
3	20.6	27.8	8.3	1010.9	1020.0	1004.2	351.4	-52.5	82	23	6.3	20	8
4	22.8	28.7	9.3	1009.0	1021.6	1002.5	301.0	-42.7	87	23	120.4	41	9
5	28.1	33.0	23.5	1005.5	1011.3	999.2	398.3	-43.0	90	52	115.3	47	12
6	28.3	34.1	23.6	999.7	1008.0	991.7	308.8	-33.9	91	51	538.7	146	21
7	28.3	33.0	24.1	998.8	1003.5	992.5	295.5	-34.3	93	52	599.7	195	27
8	27.8	33.5	23.9	996.8	1005.7	988.2	256.3	-35.5	93	56	365.3	192	23
9	27.1	35.0	21.7	1003.9	1010.6	961.4	343.0	-45.8	88	42	312.3	101	16
10	24.2	30.5	16.6	1010.7	1015.5	1005.9	351.6	-45.3	77	22	92.8	25	6
11	22.5	29.6	15.6	1012.1	1017.6	1006.9	288.7	-38.3	80	23	31.5	34	8
12	18.1	27.9	8.0	1014.7	1023.8	1006.9	269.0	-29.6	78	30	1.5	2	1
年	23.3	35.0	4.9	1007.4	1024.5	961.4	308.4	-39.7	83	17	2268.7	895	145



图 2.4-1 厂址和阳江核电厂气象观测系统相对位置示意图

2.4.3.1 气温

厂址年平均气温为 23.3℃，以 6、7 月最高，平均为 28.3℃；以 1 月最低，平均为 15.7℃。极端最高气温为 35.0℃，出现在 9 月；极端最低气温为 4.9℃，出现在 1、2 月。

2.4.3.2 气压

厂址年平均气压为 1007.4hPa，月平均气压以 12 月最高，为 1014.7hPa；以 8 月份月平均气压最低，为 996.8hPa。极端最高气压为 1024.5hPa，出现在 2 月；极端最低气压为 961.4hPa，出现在 9 月。

2.4.3.3 相对湿度

厂址地面观测站年平均相对湿度为 83%，7、8 月份平均相对湿度最高，为 93%；2 月最低，为 69%。极端最低相对湿度为 17%，出现在 1 月。

2.4.3.4 降雨

厂址年均降水量为2268.7mm，11月至次年3月降水量较小，12月降水量最小，为1.5mm，7月降水量最大，达599.7mm。厂址年降水日数为年均145天，降水时数为年均895小时。

2.4.3.5 太阳辐射

厂址年平均总辐射 $308.4\text{W}/\text{m}^2$ ，5月平均值最高，为 $398.3\text{W}/\text{m}^2$ ，1月平均值最低，为 $234\text{W}/\text{m}^2$ 。厂址年平均净辐射 $-39.7\text{W}/\text{m}^2$ 。

2.4.3.6 气象塔风特征

表2.4-6~表2.4-9给出了厂址气象塔10m、30m、80m和100m四层各季及全年的风频和平均风速，并根据白天和夜间分别进行了统计，图2.4-2给出了气象塔各高度的年均风玫瑰图，图2.4-3给出10m高度降水期风向玫瑰图。

1) 季、年风向玫瑰

气象塔各层高度风向频率分布较为相近，全年出现频次较高的风向均以NNE为主，冬季主要以偏北风为主，夏季主要以偏南风为主。

- 厂址气象塔10m高度主导风向为NE，占14.2%，次主导风向为ENE，占13.2%；
- 厂址气象塔30m高度主导风向为NNE，占13.5%，次主导风向为NE，占12.5%；
- 厂址气象塔80m高度主导风向为E，占15.3%，次主导风向为ENE，占13.2%；
- 厂址气象塔100m高度主导风向为E，占18.4%，次主导风向为NNE，占16.2%。

2) 平均风速

厂址气象塔各层高度平均风速随高度的增加而增大，100m高度和10m高度年平均风速差为1.3m/s。白天的风速比夜间大，夏季的风速最小，冬季的风速最大。

厂址地区10m、30m高度处全年静风频率分别为5.1%和7.3%，而在80m高度，厂址地区全年静风频率为1.2%，100m高度全年静风频率为1.6%。

厂址气象塔各层的年平均风速分别为：

- 10m高度为2.6m/s；
- 30m高度为2.8m/s；
- 80m高度为3.6m/s；
- 100m高度为3.9m/s。

2.4.3.7 气象塔温度

表2.4-10给出了厂址气象塔各高度层气温月、年特征值。从表可见，气象塔各高度层温度年变化规律相同，都是单峰单谷型，各层高度2月平均值最低；各层高度6月平均值最高。各个高度处，气温相差不大，总的趋势是低层气温高于上层。

- 100m高度温度年平均值为22.7℃，温度最大值为33.3℃，温度最小值为4.5℃；
- 80m高度温度年平均值为22.7℃，温度最大值为32.6℃，温度最小值为4.7℃；
- 30m高度温度年平均值为23℃，温度最大值为34℃，温度最小值为5.2℃；
- 10m高度温度年平均值为23.1℃，温度最大值为34.4℃，温度最小值为5.4℃。

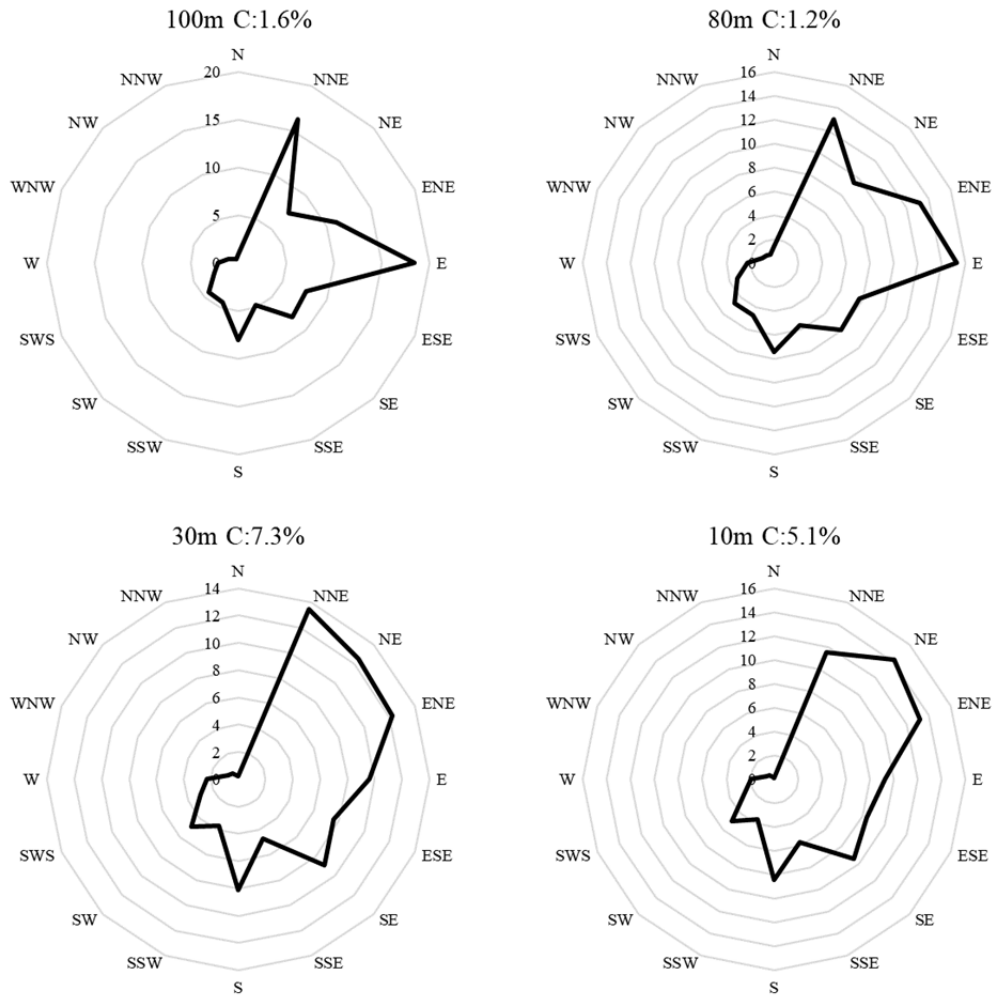


图 2.4-2 厂址气象塔各高度年平均风玫瑰

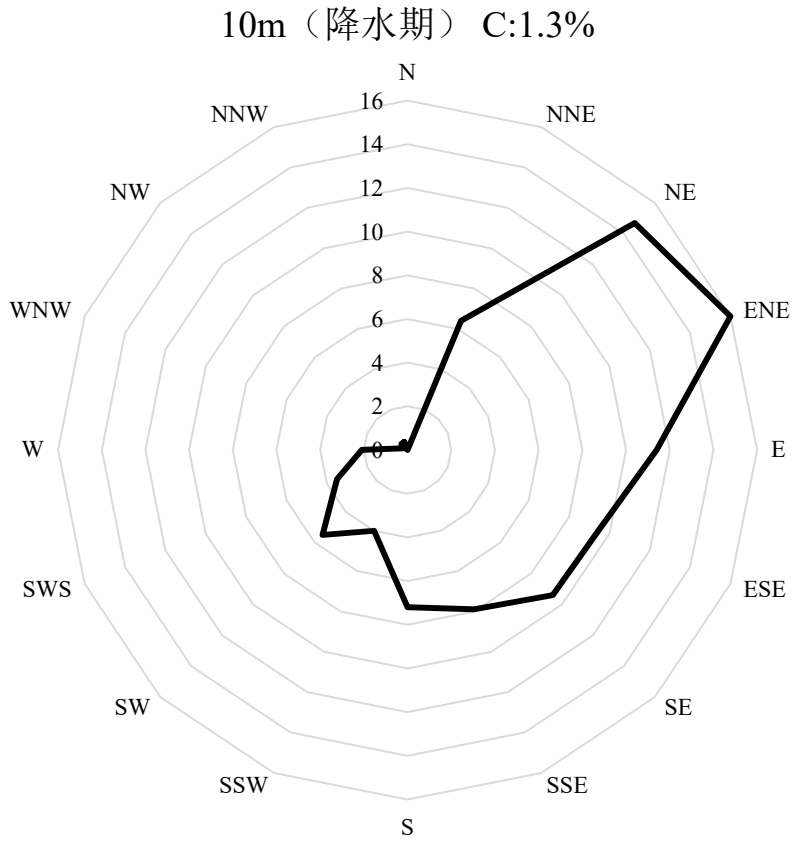


图 2.4-3 厂址气象塔 10m 高度降水期年平均风玫瑰

表 2.4-6 厂址气象塔 10m 高度各季、年风频 (%)、风速 (m/s)

时间		方位	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	静风	平均风速
春季	白天	风频	0	5.4	7.4	8.6	8.5	11.3	15.9	9.2	17.6	5.4	4.7	2.9	2.3	0.1	0	0	0.9	
		平均风速	0	5.4	2.9	2.7	2.5	3.4	3.1	3	3.2	2.8	2.8	2.2	2.1	0.9	0	0	0.4	3
	黑夜	风频	0	8.4	17.2	16.3	11.2	8	14.5	3.5	6.6	1.7	4.1	0.7	0.1	0.1	0.1	0	7.5	
		平均风速	0	3.9	1.9	1.4	1.5	1.7	2.3	1.8	2.3	1.9	2.7	2.5	1.8	0.9	1.4	0	0.3	1.9
	全天	风频	0	6.8	12.1	12.3	9.8	9.7	15.3	6.5	12.3	3.6	4.4	1.8	1.3	0.1	0	0	4	
		平均风速	-	4.5	2.2	1.9	1.9	2.7	2.8	2.7	2.9	2.6	2.8	2.2	2.1	0.9	1.4	-	0.3	2.5
夏季	白天	风频	0	1.8	7.6	10.5	9.8	7.8	10.1	8.6	14.4	6.1	11	5.2	5	1	0.3	0	0.9	
		平均风速	0	3.7	3	2.5	2.5	2.7	2.8	2.8	3.1	2.6	3.3	2.8	2	1.8	1.7	0	0.3	2.8
	黑夜	风频	0	3.4	14.8	17.4	9.3	7.3	9	6.4	9.5	4.2	8.1	2.5	0.7	0.1	0.2	0	7.2	
		平均风速	0	1.9	1.7	1.7	1.3	1.3	2.7	3.1	3	2.1	3.2	3.2	1.8	1	1.1	0	0.3	2
	全天	风频	0	2.5	10.9	13.6	9.6	7.6	9.6	7.6	12.1	5.2	9.6	3.9	3	0.6	0.3	0	3.8	
		平均风速	-	2.6	2.2	2	2	2.1	2.8	2.9	3.1	2.4	3.3	2.9	2	1.7	1.5	-	0.3	2.4
秋季	白天	风频	0.1	11.8	11.2	14	9.8	12.7	8.6	6.1	5.3	4.9	4.6	3.9	3	1.1	1.1	0.6	1.1	
		平均风速	5.5	4.9	3.5	2.6	2.4	2.9	2.5	2.2	2.5	2.1	2.5	1.9	2.3	2.1	5.2	9.7	0.3	2.9
	黑夜	风频	0.1	14	21.1	16.5	8.1	6.2	5.6	4	3.7	2.1	1.3	1.1	1	0.7	0.6	0.1	13.6	
		平均风速	8.1	4.1	2.1	1.5	1.3	1.2	1.8	1.8	1.7	1.1	1.9	2.4	1	1.2	2.1	2.3	0.3	1.8
	全天	风频	0.1	13	16.3	15.3	8.9	9.3	7.1	5	4.5	3.4	2.9	2.5	1.9	0.9	0.9	0.3	7.6	
		平均风速	6.8	4.5	2.6	1.9	1.9	2.3	2.2	2	2.2	1.8	2.4	2	1.9	1.7	4.1	8.7	0.3	2.4
冬季	白天	风频	0.1	25.1	11.4	9.7	10.7	9.6	7	4.9	6.1	3	4.2	3	1.6	0.9	0.9	0.6	1.1	
		平均风速	5.3	5.7	3.8	3	2.6	2.8	2.3	2.3	2.4	2.1	1.9	2.2	2.4	2.5	2.6	3.2	0.3	3.4
	黑夜	风频	0.2	23.5	23.2	12.9	7.2	5	4.7	2.7	3.2	1.5	2	1.7	1.2	1.2	1.1	0.3	8.5	
		平均风速	3.7	5.1	2.9	1.9	1.5	1.2	1.3	1.1	1.2	1	1.3	1.6	1.6	1.7	2.1	2	0.3	2.6
	全天	风频	0.1	24.2	17.8	11.4	8.8	7.1	5.7	3.8	4.5	2.2	3	2.3	1.4	1.1	1	0.5	5.1	
		平均风速	4.3	5.3	3.1	2.3	2.1	2.2	1.8	1.8	1.9	1.7	1.7	1.9	2	2	2.3	2.8	0.3	3
全年	白天	风频	0	10.4	9.3	10.6	9.7	10.3	10.6	7.3	11.2	4.9	6.3	3.8	3.1	0.8	0.6	0.3	1	
		平均风速	5.4	5.3	3.3	2.7	2.5	3	2.8	2.7	3	2.4	2.9	2.3	2.1	2	3.7	6.5	0.3	3
	黑夜	风频	0.1	12.7	19.3	15.7	8.9	6.6	8.3	4.1	5.6	2.3	3.7	1.5	0.8	0.5	0.5	0.1	9.3	
		平均风速	5.2	4.4	2.2	1.6	1.4	1.4	2.2	2.2	2.3	1.6	2.7	2.5	1.4	1.5	2	2.1	0.3	2.1
	全天	风频	0.1	11.5	14.2	13.2	9.3	8.4	9.4	5.7	8.4	3.6	5	2.6	1.9	0.7	0.5	0.2	5.1	
		平均风速	5.3	4.8	2.6	2	2	2.4	2.5	2.5	2.8	2.2	2.8	2.4	2	1.8	2.9	5.2	0.3	2.6

表 2.4-7 厂址气象塔 30m 高度各季、年风频 (%)、风速 (m/s)

时间		方位	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	静风	平均风速
春季	白天	风频	0	5.5	5	9.9	10.3	10.3	16	8.8	17.3	5	4.5	2.3	3	0.1	0.1	0	1.8	
		平均风速	0	6.3	3.1	2.8	2.8	3.7	3.4	3.2	3.4	3	3	2.6	2.2	1	1	0	0.3	3.3
	黑夜	风频	0.2	8.5	13.4	14.7	11	7.8	13.5	3	5.8	2	4.8	1.2	0.2	0.4	0.1	0	13.4	
		平均风速	8	4.4	2.1	1.6	1.9	2	2.9	2.7	2.7	1.7	2.5	2.9	1	1.3	1	0	0.2	2.1
	全天	风频	0.1	6.9	9	12.2	10.7	9.1	14.8	6	11.8	3.6	4.6	1.8	1.7	0.2	0.1	0	7.3	
		平均风速	8	5.2	2.4	2.1	2.4	3	3.2	3.1	3.2	2.6	2.8	2.7	2.2	1.3	1	-	0.2	2.7
夏季	白天	风频	0.2	1.7	8.1	10.5	9.2	7.4	9.4	6.8	14.5	6.1	10.3	6.2	5.1	1.1	0.4	0.2	3.1	
		平均风速	4	3	3.3	2.8	2.7	3.3	3.1	3.1	3.4	2.8	3.4	3.4	2.4	1.8	2.5	4	0.2	3
	黑夜	风频	0.6	3.3	13	11.4	7.9	5.7	8.5	6.2	10.3	4.2	8.3	3.9	1.1	0.8	0.2	0	14.7	
		平均风速	0.8	2.3	2.1	2.1	1.8	1.9	3.2	3.6	3.4	2.1	3.2	3.7	1.8	1.8	3.1	0	0.2	2.3
	全天	风频	0.4	2.4	10.4	10.9	8.6	6.6	9	6.5	12.5	5.2	9.4	5.1	3.3	1	0.3	0.1	8.4	
		平均风速	1.6	2.5	2.6	2.4	2.3	2.8	3.1	3.3	3.4	2.6	3.3	3.5	2.3	1.8	2.7	4.1	0.2	2.7
秋季	白天	风频	0	15.1	10.7	12.4	12.6	12.3	7.3	4.2	5.5	4.6	4.2	3.5	4.1	0.8	0.9	0.9	1	
		平均风速	0	5.3	3.7	2.6	2.8	3	2.8	2.8	2.4	2.5	2.7	2.5	2.5	1.4	4.8	10.2	0.3	3.3
	黑夜	风频	0.1	17.4	20.3	14.8	9	6.5	6.3	3.1	3	1.8	2	1.5	1.3	1.6	1.1	0.1	10.1	
		平均风速	8.5	4.3	2.5	1.9	1.5	1.3	2	1.6	3.1	1.2	1.8	2.5	1.2	1.1	1.7	3.3	0.3	2.2
	全天	风频	0	16.3	15.7	13.6	10.7	9.3	6.8	3.6	4.2	3.2	3.1	2.5	2.7	1.2	1	0.5	5.7	
		平均风速	8.5	4.7	2.9	2.2	2.2	2.4	2.4	2.3	2.7	2.1	2.4	2.5	2.2	1.2	3	9.5	0.3	2.7
冬季	白天	风频	0.3	28.4	9.5	11	11.4	8.2	7.1	2.7	5.8	2.8	3.1	3.4	2.1	0.3	1.4	0.4	2	
		平均风速	4.9	6.2	3.8	2.9	2.7	3	2.6	2.2	2.4	2.2	2.2	2	2.5	2.7	3.1	3.6	0.3	3.7
	黑夜	风频	0.3	28.7	20	13	5.6	3.2	2.8	2.3	1.8	2.6	1.9	1.7	1.4	1	0.7	0.9	12.2	
		平均风速	3.9	5.4	3.2	2.1	1.8	1.7	1.4	1.8	1.2	1.3	1.3	1.6	1.4	1.6	2.2	2.3	0.2	2.9
	全天	风频	0.3	28.6	15.2	12.1	8.2	5.5	4.8	2.5	3.6	2.7	2.5	2.5	1.7	0.7	1	0.6	7.5	
		平均风速	4.3	5.8	3.4	2.5	2.4	2.6	2.2	2	2.1	1.7	1.8	1.9	2	1.9	2.8	2.6	0.2	3.3
全年	白天	风频	0.1	11.9	8.2	10.9	10.8	9.5	10.1	5.8	11.1	4.7	5.7	3.9	3.6	0.6	0.7	0.3	2	
		平均风速	4.5	5.8	3.5	2.8	2.7	3.3	3.1	3	3.2	2.7	3.1	2.8	2.4	1.8	3.5	7.6	0.3	3.3
	黑夜	风频	0.3	15	16.9	13.5	8.3	5.7	7.6	3.6	5	2.6	4.1	2	1	1	0.5	0.3	12.5	
		平均风速	3.5	4.8	2.6	1.9	1.8	1.7	2.6	2.7	3	1.7	2.6	2.9	1.4	1.4	2	2.4	0.2	2.4
	全天	风频	0.2	13.5	12.5	12.2	9.6	7.6	8.9	4.7	8.1	3.7	4.9	3	2.3	0.8	0.6	0.3	7.3	
		平均风速	3.8	5.2	2.9	2.3	2.3	2.7	2.9	2.9	3.1	2.3	2.9	2.8	2.2	1.6	2.8	5.4	0.2	2.8

表 2.4-8 厂址气象塔 80m 高度各季、年风频 (%)、风速 (m/s)

时间		方位	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	静风	平均风速
春季	白天	风频	0.3	5.9	2.9	6.8	17.8	11.3	15.1	10.1	16	4.5	3.7	2.6	2.1	0.4	0	0	0.5	
		平均风速	6.8	7	3.8	3.2	3.8	4.2	4.1	3.1	3.7	3	3	2.8	2.2	2.3	0	0	0.3	3.8
	黑夜	风频	0.5	8	7.3	13	22	11.7	12.4	5.4	5.3	5	4.4	1.6	0.4	0.9	0.2	0.2	1.8	
		平均风速	6	6.3	2.1	2.4	3	3.2	3.6	3	3.4	2.3	2.7	2.2	1	1.3	1	1.6	0.3	3.1
	全天	风频	0.4	6.9	5	9.8	19.8	11.5	13.8	7.9	10.9	4.8	4	2.1	1.3	0.6	0.1	0.1	1.1	
		平均风速	6.3	6.6	2.6	2.7	3.4	3.7	3.9	3.1	3.6	2.6	2.8	2.6	2.1	1.7	1	1.7	0.3	3.5
夏季	白天	风频	0	1.5	5.9	9.3	14	7.4	9.4	7.1	14.2	7.8	9.5	6.2	4.5	1.2	0.8	0.5	0.6	
		平均风速	0	4.8	4	3.2	4.3	4.1	3.8	3.7	4	3.1	3.8	3.1	2.4	2	2.6	4.9	0.3	3.7
	黑夜	风频	0.1	3.7	9.1	12.2	13	7.3	9	8	9.5	8	8.6	3.9	3.4	2.3	0.7	0	1.4	
		平均风速	4.9	3.2	2.7	2.9	3.2	2.8	3.9	4.3	4.4	3.2	3.1	2.8	2	1.6	1.5	0	0.3	3.2
	全天	风频	0	2.5	7.4	10.6	13.6	7.4	9.2	7.5	12	7.9	9.1	5.1	4	1.7	0.8	0.3	1	
		平均风速	4.9	3.7	3.3	3	3.8	3.5	3.9	4	4.2	3.2	3.5	3	2.3	1.7	2.2	4.9	0.3	3.5
秋季	白天	风频	1.4	13.2	9.6	11.8	18.4	7.9	6	4.6	5.3	4.5	4.1	5.3	3.1	0.9	1.4	2.1	0.3	
		平均风速	6.9	5.5	3.6	3.5	3.6	4.3	3.3	2.8	3.1	2.6	3	2.7	2.9	2.6	4.4	7.8	0.4	3.8
	黑夜	风频	1.6	22.1	17.5	19.9	11	5.3	3.4	3.1	1.8	3.3	2.4	1.9	1.1	1.1	1.9	1.8	0.9	
		平均风速	5.9	4.8	2.5	2.6	2.8	2.5	3.2	4	2.1	2	2	2.2	1.8	1.9	1.7	3.9	0.4	3.1
	全天	风频	1.5	17.8	13.7	16	14.6	6.5	4.7	3.8	3.5	3.8	3.2	3.6	2.1	1	1.7	1.9	0.6	
		平均风速	6.4	5.1	2.9	3	3.3	3.5	3.3	3.3	2.8	2.4	2.6	2.5	2.6	2.2	2.8	5.9	0.4	3.5
冬季	白天	风频	4.5	21.8	8.2	13.2	17.7	6.7	4.8	4.4	3.7	2.8	3	3.6	1.9	0.5	0.9	1.2	0.8	
		平均风速	8	6.7	4.3	3.5	3.7	2.9	3.1	2.9	2.2	2.3	1.9	2.2	2.6	3.1	3.5	4.2	0.3	4.2
	黑夜	风频	3.2	27.7	15	19.2	9.7	4	3.2	2.2	2.3	1.7	2.1	1.6	1.2	1.7	1	0.9	3	
		平均风速	6.4	6.5	3.6	2.8	2.8	2.2	1.8	2.5	1.7	1.7	1.5	1.3	1.4	1.7	2.2	2.9	0.3	3.8
	全天	风频	3.8	25	11.9	16.5	13.4	5.2	4	3.2	3	2.2	2.5	2.5	1.5	1.2	1	1	2	
		平均风速	7.3	6.6	3.8	3.1	3.4	2.6	2.6	2.8	2	2	1.7	1.9	2.1	2	2.8	3.6	0.3	4
全年	白天	风频	1.4	10	6.5	10.1	16.9	8.4	9	6.7	10.2	5	5.2	4.5	2.9	0.8	0.8	0.9	0.5	
		平均风速	7.7	6.3	3.9	3.4	3.9	4	3.8	3.2	3.6	2.9	3.3	2.8	2.5	2.4	3.6	6.3	0.3	3.9
	黑夜	风频	1.4	15.9	12.4	16.3	13.8	7	6.8	4.6	4.6	4.4	4.2	2.2	1.5	1.5	1	0.7	1.8	
		平均风速	6.2	5.7	2.9	2.7	3	2.8	3.4	3.6	3.5	2.5	2.6	2.3	1.8	1.6	1.8	3.4	0.3	3.3
	全天	风频	1.4	13	9.5	13.2	15.3	7.7	7.9	5.6	7.4	4.7	4.7	3.3	2.2	1.1	0.9	0.8	1.2	
		平均风速	6.9	5.9	3.2	3	3.5	3.4	3.6	3.4	3.6	2.7	3	2.6	2.3	1.9	2.6	5	0.3	3.6

表 2.4-9 厂址气象塔 100m 高度各季、年风频 (%)、风速 (m/s)

时间		方位	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	静风	平均风速
春季	白天	风频	0.1	6.8	2.3	3.4	20.4	9.7	15.7	8.6	18.2	5	4.2	2.1	2.5	0.4	0	0	0.7	
		平均风速	4.4	7.2	3.4	3.5	4.3	4.3	4.3	3.1	3.7	3.2	3	2.6	2.3	2.5	0	0	0.3	4
	黑夜	风频	0	8.7	5.8	10.1	22.1	12.5	14.3	4.9	7.7	4.8	3.3	1.8	0.4	0.6	0.4	0	2.5	
		平均风速	0	6.4	2.5	2.6	3.6	3.6	4	2.9	3.8	2.7	2.9	2.9	0.9	1.6	1.1	0	0.2	3.5
	全天	风频	0	7.7	4	6.6	21.2	11.1	15	6.8	13.2	4.9	3.8	1.9	1.5	0.5	0.2	0	1.5	
		平均风速	4.4	6.7	2.8	2.8	3.9	4	4.2	3	3.7	3	3	2.8	2.1	2	1.1	0	0.3	3.8
夏季	白天	风频	0.3	1.4	5.4	6.6	15.7	7.9	9.4	6.8	14.3	8.6	9	6.1	4.6	1.8	1	0.3	0.7	
		平均风速	6.3	4.6	4.4	3.7	4.7	4.4	4.1	3.5	4.4	3.5	4	3	2.7	2.2	2.9	4.7	0.3	3.9
	黑夜	风频	0.2	4	6.6	11.2	13.6	8.1	9	6.7	12.5	8.2	7.2	3.3	3.2	3.5	0.5	0	2.4	
		平均风速	4	3.4	2.9	3.3	4	3.4	4.1	3.9	5.1	3.5	3.6	3.4	1.8	1.8	1.6	0	0.3	3.6
	全天	风频	0.3	2.6	5.9	8.7	14.8	8	9.2	6.7	13.5	8.4	8.2	4.8	3.9	2.6	0.8	0.2	1.4	
		平均风速	5.5	3.7	3.7	3.4	4.4	3.9	4.1	3.7	4.7	3.5	3.9	3.1	2.4	1.9	2.5	4.8	0.3	3.8
秋季	白天	风频	1.6	17.7	8.3	9	21.6	8.1	6.2	4.8	4.6	3.2	4.7	3.6	3.3	1.3	0.7	1.1	0.2	
		平均风速	8.2	5.4	3.6	3.5	4.1	4.3	3.6	2.7	3	2.2	3	2.2	2.6	2.6	7.1	10.8	0.3	4
	黑夜	风频	1.7	25.9	13	19.5	16.6	4.7	2.8	2.1	2.1	1.9	2	1.3	1.1	1.4	1.1	0.7	1.9	
		平均风速	6.3	4.9	2.7	2.8	3.4	2.7	4.2	3.4	4.5	2.9	2.1	2.7	1.7	1.4	2.6	2.4	0.4	3.5
	全天	风频	1.6	22	10.8	14.5	19	6.3	4.4	3.4	3.3	2.6	3.3	2.4	2.2	1.4	0.9	0.9	1.1	
		平均风速	7.2	5.1	3	3	3.8	3.7	3.8	2.9	3.5	2.5	2.7	2.3	2.3	1.9	4.2	7.3	0.4	3.7
冬季	白天	风频	2.3	29.3	6.6	10	21.4	7.4	4.9	3.3	2.9	2.4	2.4	2.7	1	0.4	0.5	0.7	1.6	
		平均风速	7.4	6.9	3.8	3.4	4	2.9	2.5	2.2	2.6	2.2	1.7	2.1	2.4	3.2	2.9	4.4	0.3	4.4
	黑夜	风频	1.3	36.1	10.7	19.1	16.6	3.8	2	1.2	1.4	0.7	1.1	0.9	0.7	0.4	0.5	0.3	3.2	
		平均风速	7.6	6.3	3.3	3	3.3	2.3	1.6	1.3	1.7	1.1	1.6	1	2.2	1.2	2.1	1.8	0.3	4.1
	全天	风频	1.8	33	8.8	15	18.8	5.5	3.3	2.2	2.1	1.5	1.7	1.8	0.8	0.4	0.5	0.5	2.5	
		平均风速	7.5	6.6	3.5	3.1	3.7	2.7	2.2	2	2.3	1.9	1.7	1.8	2.3	2.1	2.5	3.6	0.3	4.2
全年	白天	风频	1	13	5.5	7.1	19.6	8.3	9.3	6	10.4	5	5.2	3.7	2.9	1	0.5	0.5	0.8	
		平均风速	7.6	6.4	3.9	3.5	4.2	4.1	3.9	3	3.8	3.1	3.3	2.6	2.5	2.4	4.1	7.7	0.3	4.1
	黑夜	风频	0.8	19.4	9.2	15.2	17.3	7.1	6.8	3.6	5.7	3.8	3.3	1.8	1.3	1.4	0.6	0.3	2.5	
		平均风速	6.7	5.7	2.9	2.9	3.5	3.2	3.9	3.3	4.4	3.1	3	2.8	1.8	1.6	2.1	2.3	0.3	3.7
	全天	风频	0.9	16.2	7.4	11.1	18.4	7.7	8	4.8	8	4.4	4.3	2.7	2.1	1.2	0.6	0.4	1.6	
		平均风速	7.2	6	3.3	3.1	3.9	3.7	3.9	3.1	4	3.1	3.2	2.7	2.3	2	3	5.9	0.3	3.9

表 2.4-10 厂址气象塔各高度层气温月、年特征值 (°C)

	100m			80m			30m			10m		
	月平均	最高	最低	月平均	最高	最低	月平均	最高	最低	月平均	最高	最低
1	15.5	22.7	4.5	15.6	22.9	4.7	15.7	23.3	5.2	15.6	23.6	5.4
2	15.4	23.6	4.7	15.5	23.6	4.9	15.6	23.9	5.3	15.6	24.3	5.5
3	20	24.5	10.1	20.1	24.8	10.3	20.3	25.5	10.7	20.3	26	9.6
4	21.9	26	11.2	22.1	26.2	11.4	22.3	26.8	11.8	22.4	27.1	10.7
5	26.9	29.8	23.4	27.1	30	23.6	27.4	30.7	23.8	27.6	31.2	23.6
6	27.6	31.9	24.4	27.7	32.1	24.6	28	32.7	24	28.1	33	23.8
7	27.5	31.5	23.9	27.6	31.6	24.1	28	32.1	24.2	28.1	32.3	24.1
8	27.3	30.8	23.6	26.8	30.8	23.4	27.6	31.7	24.3	27.6	32	23.9
9	26.7	33.3	22.6	26	32.6	22.3	26.8	34	23	26.8	34.4	22.2
10	24	28.3	19.3	24	27.8	19.6	24.1	29.1	19.8	24	29.4	18.4
11	21.8	26.4	15.4	22	26.7	15.7	22.2	27.2	16.1	22.3	27.7	16.3
12	17.2	25.9	6.9	17.4	26.2	7.2	17.7	26.6	7.6	17.8	27	7.9
年	22.7	33.3	4.5	22.7	32.6	4.7	23	34	5.2	23.1	34.4	5.4

2.4.4 大气稳定度

本报告采用温度梯度分类法（气象塔10m和80m高度温度梯度）判别稳定度。确定厂址地区各类稳定度出现的频率为：A类：6.0%，B类：2.5%，C类：3.0%，D类：60.0%，E类：19.9%，F类：8.6%。

2.4.5 联合频率

在联合频率统计中，风向、风速为气象塔10m高度观测值，风向分16个方位，静风风向延续前一时刻风向。将风速划分为6级，即：

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

统计得出厂址全年以及有雨或无雨条件下的风向、风速、稳定度联合频率分布，结果列于表2.4-11~表2.4-13。

表 2.4-11 厂址风向、风速、稳定度联合频率（有降水）

单位：%

稳定度	风速等级	风速 m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
A	静风	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<1.9	1.4	0	0	0.01	0.02	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01	0.05	0.01	0	0.01	0.01	0	0
	2.0~2.9	2.5	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.05	0	0	0	0	0
	3.0~4.9	3.6	0	0	0	0	0	0	0.01	0.03	0.05	0.03	0.01	0.01	0	0.01	0	0
	5.0~5.9	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	静风	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<1.9	1.3	0	0	0	0.01	0	0.02	0.02	0	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0
	2.0~2.9	2.7	0	0	0.01	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0.03	0.01	0	0	0	0
	3.0~4.9	3.8	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0.02	0.03	0	0	0.01	0
	5.0~5.9	5.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0
	>6.0	6.1	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	静风	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<1.9	1.0	0	0	0	0.02	0.02	0.05	0	0.01	0.03	0	0	0	0	0	0	0
	2.0~2.9	2.6	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0
	3.0~4.9	3.9	0	0.01	0	0.05	0.06	0.02	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.0~5.9	5.5	0	0	0.01	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	9.5	0	0	0	0	0	0	0.02	0.02	0	0	0	0.01	0	0	0	0
D	静风	-	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0
	<1.9	1.3	0	0	0.17	0.32	0.21	0.18	0.21	0.1	0.11	0.07	0.07	0.07	0.07	0	0	0
	2.0~2.9	2.4	0	0.01	0.23	0.41	0.18	0.15	0.06	0.08	0.06	0.06	0.03	0.02	0.06	0	0	0
	3.0~4.9	3.8	0	0.18	0.25	0.24	0.17	0.14	0.23	0.16	0.22	0.06	0.15	0.06	0.02	0	0	0
	5.0~5.9	5.4	0	0.14	0.07	0.03	0.01	0.01	0.05	0.06	0	0.01	0.02	0.01	0	0	0	0
	>6.0	8.2	0	0.22	0.11	0	0.01	0.03	0.1	0.06	0.08	0	0.03	0	0.01	0	0.02	0.05
E	静风	-	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.03	0.01	0.03	0	0	0	0	0	0
	<1.9	1.3	0	0.01	0.27	0.29	0.25	0.18	0.14	0.19	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0	0	0
	2.0~2.9	2.4	0	0.07	0.25	0.11	0.14	0.08	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0	0	0.01	0
	3.0~4.9	3.5	0	0	0.11	0.1	0.03	0.03	0.03	0	0	0.01	0	0.01	0	0	0	0
	5.0~5.9	5.4	0	0.01	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	静风	-	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<1.9	0.6	0	0	0	0	0.01	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.0~2.9	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.0~4.9	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.0~5.9	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 2.4-12 厂址风向、风速、稳定度联合频率（无降水）

单位：%

稳定度	风速等级	风速 m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
A	静风	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0
	<1.9	1.4	0	0	0.01	0.03	0.03	0.06	0.07	0.14	0.08	0.09	0.14	0.19	0.17	0.05	0.03	0
	2.0~2.9	2.5	0	0	0.02	0.07	0.14	0.08	0.19	0.08	0.34	0.19	0.23	0.19	0.32	0.01	0.01	0
	3.0~4.9	3.7	0	0.19	0.24	0.1	0.06	0.17	0.37	0.29	0.35	0.17	0.22	0.03	0.03	0	0.01	0.01
	5.0~5.9	5.3	0	0.07	0.05	0.02	0.01	0.02	0	0.05	0	0	0	0.01	0	0	0	0
	>6.0	6.5	0	0.03	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
B	静风	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0
	<1.9	1.3	0	0	0.03	0.1	0.03	0.06	0.06	0.05	0.02	0.02	0.08	0.02	0.03	0.02	0.01	0
	2.0~2.9	2.4	0	0	0.03	0.07	0.02	0.02	0.03	0.02	0.08	0.02	0.03	0.06	0.11	0	0	0
	3.0~4.9	3.8	0	0.11	0.06	0.06	0.03	0.02	0.14	0.11	0.21	0.07	0.07	0.07	0	0	0	0
	5.0~5.9	5.3	0	0.02	0.02	0.01	0	0.05	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0
	>6.0	6.6	0	0.03	0	0	0	0.03	0.01	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0
C	静风	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<1.9	1.5	0	0.01	0	0.07	0.02	0	0.01	0.02	0.01	0.07	0.01	0.03	0.02	0	0.01	0
	2.0~2.9	2.5	0	0	0.01	0	0.05	0.01	0.03	0.05	0.02	0.02	0.03	0.06	0.1	0.01	0	0
	3.0~4.9	3.8	0	0.08	0.08	0.05	0.09	0.11	0.35	0.23	0.38	0.06	0.1	0.07	0	0.05	0	0
	5.0~5.9	5.3	0	0.02	0.05	0	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	6.9	0.01	0.06	0.01	0.02	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	静风	-	0	0	0.15	0.15	0.33	0.35	0.41	0.38	0.27	0.1	0.09	0.03	0	0	0	0
	<1.9	1.4	0	0.09	1.38	2.83	1.68	1.26	1.1	0.65	0.79	0.55	0.51	0.49	0.27	0.23	0.11	0.01
	2.0~2.9	2.5	0.01	0.38	1.83	2.37	1.8	1.3	2.07	0.88	1.51	0.95	0.88	0.35	0.29	0.09	0.05	0.01
	3.0~4.9	3.7	0	2.99	3.19	1.98	1.36	1.95	2.2	1.14	2.82	0.45	1.64	0.35	0.07	0.02	0.09	0.05
	5.0~5.9	5.4	0.03	2.42	0.59	0.08	0.05	0.15	0.02	0.02	0.03	0	0.06	0.01	0	0	0	0
	>6.0	7.1	0	2.6	0.42	0.06	0.01	0.03	0	0.01	0	0	0	0.02	0	0	0.02	0.01
E	静风	-	0	0	0.15	0.15	0.33	0.35	0.41	0.38	0.27	0.1	0.09	0.03	0	0	0	0
	<1.9	1.0	0	0.77	2.33	2.15	1.76	1.38	1.32	0.84	0.65	0.41	0.34	0.23	0.26	0.1	0.06	0.02
	2.0~2.9	2.4	0	0.22	0.23	0.21	0.14	0.13	0.1	0.06	0.08	0.02	0.05	0.02	0	0.03	0.08	0.01
	3.0~4.9	3.6	0	0.25	0.1	0.01	0	0.01	0.01	0.02	0.05	0.01	0.01	0.01	0	0	0.01	0.02
	5.0~5.9	5.3	0	0.06	0.02	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	6.6	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	静风	-	0	0.01	0.13	0.27	0.45	0.41	0.37	0.23	0.38	0.14	0.02	0.03	0.01	0	0	0
	<1.9	0.8	0	0.41	2.03	1.24	0.81	0.56	0.37	0.25	0.24	0.1	0.02	0.05	0	0.01	0	0
	2.0~2.9	2.3	0	0.02	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.0~4.9	3.0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.0~5.9	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 2.4-13 厂址风向、风速、稳定度联合频率（有降水和无降水）

单位：%

稳定度	风速等级	风速 m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
A	静风	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0
	<1.9	1.4	0	0	0.02	0.06	0.08	0.07	0.08	0.16	0.09	0.14	0.15	0.19	0.18	0.06	0.03	0
	2.0~2.9	2.5	0	0	0.02	0.08	0.15	0.09	0.22	0.09	0.35	0.21	0.27	0.19	0.32	0.01	0.01	0
	3.0~4.9	3.7	0	0.19	0.24	0.1	0.06	0.17	0.38	0.32	0.4	0.21	0.23	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01
	5.0~5.9	5.3	0	0.07	0.05	0.02	0.01	0.02	0	0.05	0	0	0	0.01	0	0	0	0
	>6.0	6.5	0	0.03	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
B	静风	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0
	<1.9	1.3	0	0	0.03	0.11	0.03	0.08	0.08	0.05	0.03	0.02	0.09	0.02	0.03	0.02	0.01	0
	2.0~2.9	2.5	0	0	0.05	0.08	0.02	0.03	0.03	0.03	0.08	0.03	0.07	0.07	0.11	0	0	0
	3.0~4.9	3.8	0	0.11	0.06	0.06	0.03	0.03	0.14	0.11	0.21	0.07	0.09	0.1	0	0	0.01	0
	5.0~5.9	5.3	0	0.02	0.02	0.01	0	0.05	0	0	0	0	0.01	0.02	0	0	0	0
	>6.0	6.5	0	0.03	0	0	0	0.05	0.01	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0
C	静风	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<1.9	1.4	0	0.01	0	0.09	0.05	0.05	0.01	0.03	0.05	0.07	0.01	0.03	0.02	0	0.01	0
	2.0~2.9	2.5	0	0	0.01	0	0.05	0.02	0.03	0.05	0.02	0.02	0.06	0.06	0.1	0.01	0	0
	3.0~4.9	3.8	0	0.09	0.08	0.09	0.15	0.14	0.37	0.24	0.38	0.06	0.1	0.07	0	0.05	0	0
	5.0~5.9	5.3	0	0.02	0.06	0	0	0.03	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	7.7	0.01	0.06	0.01	0.02	0	0.01	0.03	0.02	0	0	0	0.01	0	0	0	0
D	静风	-	0	0	0	0.02	0.02	0.03	0.06	0.06	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0	0	0
	<1.9	1.4	0	0.09	1.55	3.15	1.88	1.44	1.3	0.75	0.9	0.62	0.58	0.56	0.34	0.23	0.11	0.01
	2.0~2.9	2.5	0.01	0.39	2.06	2.79	1.99	1.45	2.12	0.96	1.56	1	0.91	0.38	0.34	0.09	0.05	0.01
	3.0~4.9	3.7	0	3.17	3.44	2.22	1.53	2.09	2.43	1.3	3.04	0.5	1.79	0.41	0.09	0.02	0.09	0.05
	5.0~5.9	5.4	0.03	2.56	0.66	0.11	0.06	0.16	0.07	0.08	0.03	0.01	0.08	0.02	0	0	0	0
	>6.0	7.3	0	2.82	0.54	0.06	0.02	0.07	0.1	0.07	0.08	0	0.03	0.02	0.01	0	0.05	0.06
E	静风	-	0	0	0.15	0.15	0.33	0.37	0.42	0.41	0.29	0.14	0.09	0.03	0	0	0	0
	<1.9	1.0	0	0.78	2.6	2.43	2.01	1.56	1.46	1.04	0.77	0.5	0.41	0.29	0.31	0.1	0.06	0.02
	2.0~2.9	2.4	0	0.29	0.48	0.32	0.27	0.21	0.13	0.08	0.11	0.03	0.07	0.06	0	0.03	0.09	0.01
	3.0~4.9	3.6	0	0.25	0.22	0.11	0.03	0.05	0.05	0.02	0.05	0.02	0.01	0.02	0	0	0.01	0.02
	5.0~5.9	5.3	0	0.07	0.02	0	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	6.6	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	静风	-	0	0.01	0.13	0.27	0.45	0.41	0.38	0.23	0.38	0.14	0.02	0.03	0.01	0	0	0
	<1.9	0.8	0	0.41	2.03	1.24	0.82	0.56	0.39	0.25	0.24	0.1	0.02	0.05	0	0.01	0	0
	2.0~2.9	2.3	0	0.02	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3.0~4.9	3.0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5.0~5.9	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>6.0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.4.6 混合层高度及扩散参数值

2.4.6.1 混合层高度

参考阳江核电厂开展的边界层观测实验结果，各稳定度混合层高度取值为：A-B类为1013m，C类为845m，D类为424m。

2.4.6.2 扩散参数

参考阳江核电厂开展的湍流观测试验、数模试验专题成果，表2.4-14给出了厂址扩散参数系数值，图2.4-4给出了厂址推荐扩散参数与P-G扩散参数的比较。

表 2.4-14 推荐扩散参数

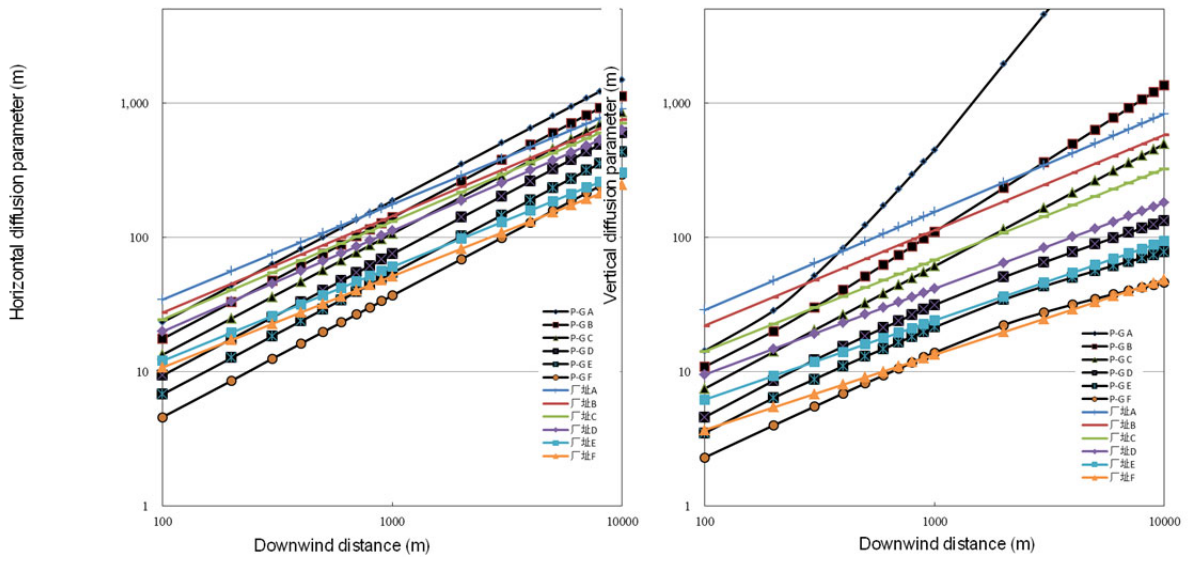
$$\sigma_y = ax^b, \sigma_z = cx^d$$

(低层)

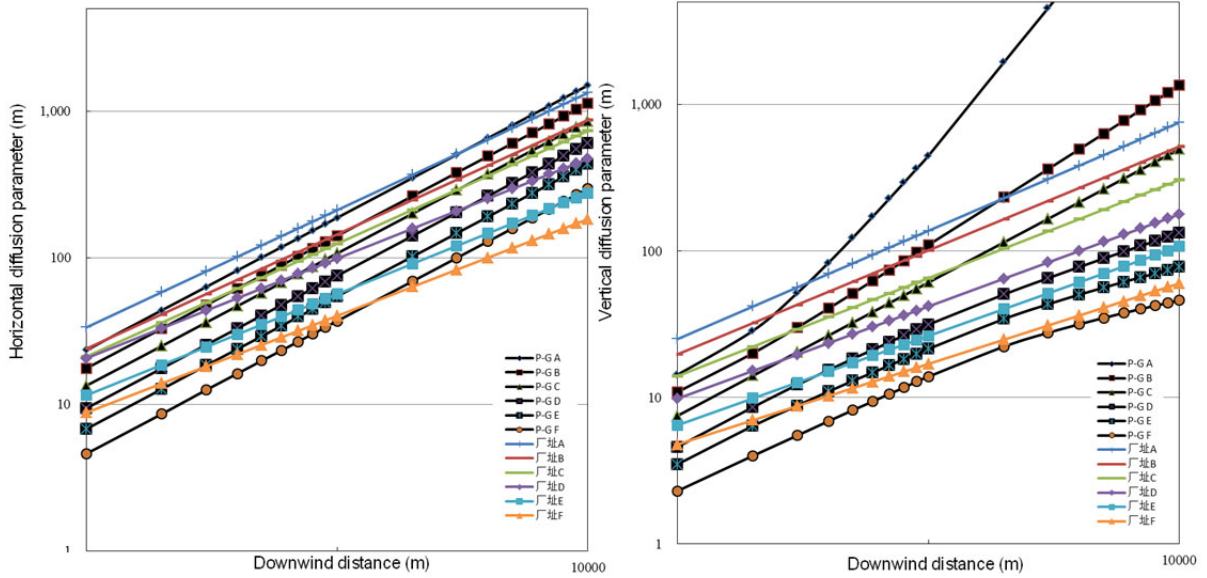
稳定度分类		A	B	C	D	E	F
系数	a	1.31	1.00	0.85	0.63	0.48	0.47
	b	0.71	0.72	0.73	0.75	0.70	0.68
	c	1.00	0.84	0.62	0.50	0.41	0.28
	d	0.73	0.71	0.68	0.64	0.59	0.56

(高层)

稳定度分类		A	B	C	D	E	F
系数	a	0.84	0.66	0.61	0.90	0.48	0.42
	b	0.80	0.78	0.77	0.68	0.69	0.66
	c	0.83	0.75	0.64	0.54	0.39	0.38
	d	0.74	0.71	0.67	0.63	0.61	0.55



推荐扩散参数（低层）



推荐扩散参数（高层）

图 2.4-4 厂址推荐扩散参数与 P-G 扩散参数的比较

2.5 水文

2.5.1 陆地水文

阳东区地处热带北缘，是亚热带向热带过度地区，雨量充沛，河流众多，较大的干流主要有漠阳江和三合河，集雨面积在 100km^2 以上的河流有 6 条，分别为三合河，锦江河，漠阳江一级支流青涌河、大八河、那龙河和二级支流周亨河。阳江核电厂址半径 10km 范围内涉及的主要河流为响水河及海朗河等独流入海水系。

- 响水河属沿海独立水系，发源于阳东区东平镇境内的烂漈顶，干流全长 12.68km ，总流域面积 25.96km^2 。响水河上游河道的流向由东北流向西南，在东平镇平堤村附近河道绕庙背山南麓呈近似 90° 的急转弯，流向东南，沿途流经台山市的北邑村等，在北陡镇沙咀村西侧注入南海尾角湾。主河段位于厂址 NE~ENE 方位 $4\sim 8\text{km}$ 区域，距厂址最近距离为 E 方位约 3.8km ，以农业用水为主。
- 海朗河为独流入海河流，位于厂址 N 方位约 0.6km 。海朗河发源于东平镇境内的大水口顶，由东北流向西南后在北城、蒲塘一带往西经东平镇镇区入海，河长 15km ，流域面积 33km^2 ，河流下游属洪潮混合型，河流比降小，受潮汐影响，洪潮涨落缓慢。流域内有金山水库、海朗河水电站、海朗水陂等。海朗河由东北支（大水河）、南支在北城庙汇合而成。厂址以西约 60m 的小支流为海朗河南支二级支流，汇入口以上集雨面积 1.36km^2 ，河长 1.92km ，平均河道比降 8.02% ，厂址区段河道宽约 $2\text{m}\sim 3\text{m}$ ，河道底高程在 $6.66\text{m}\sim 8.90\text{m}$ ，渠道深约 $1.3\text{m}\sim 2.0\text{m}$ ，现状为土渠，杂草丛生，未整治过，当流域发生较大洪水时，通过渠道及两边农田滩地行洪。

厂址半径 10km 范围内的水库包含 1 座中型水库、3 座小(一)型水库和 3 座小(二)型水库。水库概况见表 2.5-1 和图 2.5-1。

平堤水库位于响水河上，位于厂址 E 方位约 3.8km 处，属于中型水库，是厂址附近范围内最大的水库。平堤水库为阳江核电厂建设的配套工程，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。水库集水面积 15.35km^2 ，多年平均来水量 1903.4万 m^3 ，水库总库容 2574.4万 m^3 ，正常库容 2200万 m^3 。水库在保证率为 90% 时，可供水 1432.8万 m^3 ；在保证率为 97% 时，可供水 1264.2万 m^3 。阳江核电厂规划容量下最大年用水量为 $711\text{万 m}^3/\text{年}$ ，水库的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。阳江核电厂生产给水厂房（水厂）位于水库出水口下游约 300m 处，利用沿交通道路铺设的输水管道输水至阳江核电厂，水厂设计总规模 26000m³/d。

金山水库位于海萌河东北支的上游，位于厂址 NE 方位 4.4km。水库于 1996 年 8 月竣工，水库坝址以上集雨面积 5.44km²，总库容 321 万 m³，是以一座供水为主，结合防洪、灌溉、发电等综合利用的小（一）型水库。水库现有设计洪水标准为 50 年一遇，校核洪水标准为 500 年一遇。金山水库为东平镇自来水厂的主要水源。东平镇自来水厂位于厂址附近范围内，东平镇政府后面山顶，占地面积约 2000m²，日制水能力 6000m³，现状供水主供管采用 DN300 水泥管，主要供东平镇区居民日常生活用水。

东平镇规划在海萌河南侧马屋村新建第二自来水厂，水源为金山水库，计划 2030 年供水规模 5.6 万 m³/d，占地面积 4hm²，为整个镇域供水，同时保留现有东平水厂和核电水厂，并将东平现有水厂作为备用水厂。东平镇规划供水与周边乡镇（新洲镇和大沟镇）统一调度，在用水紧张时调用周边乡镇水源。计划在 2030 年实现镇区自来水普及率达 100%，农村地区达 100%。

厂址位于我国东南沿海丘陵区的西部，区域内地层自震旦系、下古生界至第四系均有出露，区内侵入岩分布广泛，地表主要由第四系组成。地下水主要赋存于第四系堆积物与地表以下岩石裂隙中，按埋藏条件和成因类型主要可分为第四系孔隙水、基岩裂隙水等。厂址区周边为低山、丘陵地形，地下水的径流和排泄条件与地形、地貌条件关系密切，大气降水是本区地下水的主要补给来源，大气降水大部分转为地表径流，小部分渗入地下，通过地表松散孔隙、下部岩石节理和裂隙等下渗补给地下水，地下水动态季节变化大，地下水除地表蒸发外，主要由周围流向沟谷溪流、河流，并由河流最终汇入南海。

本工程日用水量为 108.57 m³/d，拟从平堤水库取水，现已完成取水管道铺设。平堤水库可供水量大，97%保证率时可供水 1264.2 万 m³，本工程用水量较少，取水不会对阳江核电造成影响，水库供水能够满足本工程的取水需求。

图 2.5-1 给出了厂址附近流域内河流水系概况，表 2.5-1 给出了厂址半径 10km 范围内的水库情况。



图 2.5-1 厂址半径 10km 范围内地表水体及水利工程分布图

表 2.5-1 厂址半径 10km 范围内的水库情况

水库类型	水库名称	方位	距离 (km)	总库容 (万 m ³)	主导功能	水质管理目标
中型	平堤水库	E	3.8	2574.4	饮用, 农业	II
小(一)型	大岭水库	NNW	9.7	186	农业	II
	石井水库	NNE	8.7	290	发电、农业	/
	金山水库	NE	4.4	321	饮用, 农业	II
小(二)型	磨刀坑水库	NNW	7.2	25	农业	/
	松山水库	NW	3.2	20	农业	/
	长山水库	WSW	2.2	40	农业	/

2.5.2 海洋水文

厂址南距离南海海岸较远、约 5km，厂址附近的海洋水文条件主要根据阳江核电厂已获得的厂址附近海域水文观测成果进行描述。

阳江核电厂址附近属南海北部海域，受南海水文情势影响。厂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；厂址附近海岸线大致呈东西向，形状曲折，小海湾较多。

阳江核电厂所在海区的潮汐类型属不正规半日潮，其特征是每个潮汐日有两次高潮和两次低潮，电厂工程海区平均海平面为-0.23m（珠江高程）。海区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。海域内大潮期间平均流速最大，小潮次之，中潮最小，观测期间夏季最大流速为 98.6cm/s，冬季最大流速为 87.2cm/s。海域月均水温最高为 29.7℃（7 月），月均水温最低为 17.8℃（2 月份），年均水温为 23.8℃。

2.5.3 洪水

厂址距离南海海域较远，根据阳江核电设计资料，东平镇海域三百年一遇高潮位约为 4.73m，厂址区域河道底标高最低为 6.66m，可基本排除厂址受海域洪水的影响。

本工程厂址以西约 60m 为海荫河南支的二级支流，上游 4.4km 有金山水库，考虑区域陆域洪水的影响。根据厂址防洪专题研究成果，本项目设计防洪标准为 300 年一遇，金山水库校核标准为 500 年一遇，标准较高，故不考虑水库溃坝情况。在遭遇 300 年一遇的暴雨时，考虑海荫河北支水库上游流域降水经水库滞洪后下泄的洪水，叠加区间暴雨导致的洪水情况下，项目区域河道水位介于 10.78m~14.19m 间，本项目建筑物内地面标高 18.1m，场外地面标高为 17.8m，高于河道洪水位，因此不受河道洪水的影响。根据防洪评价报告内容，厂区所在区域中心为小山丘顶部，四周地势均以厂区为中心向外逐渐降低，厂区外的小流域山洪均可沿着四周山谷通过坡面汇流至山下排水沟。

2.6 地形地貌

2.6.1 地质地震

本项目距离阳江核电厂较近,相距约 3km。根据阳江核电厂地震安全性评价报告,厂址属区域范围内构造活动和地震活动相对较稳定的地区。厂址附近范围内未发现能动断层,可以不考虑能动断层在厂址地表或近地表产生地表断层作用的潜在可能性。

厂址区不存在地震断层地表破裂、砂土液化、软土震陷、滑坡等地质灾害,也不存在第四纪火山活动、水库诱发地震、湖涌和海啸等火山与地震引起的次生灾害。

从地震地质条件来看,厂址不存在地震地质方面的颠覆性因素,满足项目建设的要求。

2.6.2 自然地貌

地貌类型主要为丘陵地貌,覆盖层为第四系残坡积层,下伏基岩为黑云母二长花岗岩,属建筑抗震有利地段;区域抗震设防烈度为7度,地震动反应谱特征周期为0.35s,地震动峰值加速度值为0.10g。根据核工业南京工程勘察院编制的岩土工程勘察报告,本厂址区域建筑场地类别为II类。

环境类别为II类,地下水对混凝土结构、钢筋混凝土结构中钢筋具有微腐蚀性;地表水对混凝土结构、钢筋混凝土结构中钢筋具有微腐蚀性。

根据区域地质资料以及本次工程地质绘制、钻探等成果资料,厂址区及其附近无能动断层,无潜在火山灾害和无可供开采的矿产资源,没有影响地基稳定的人类活动、地下工程、采空区、矿井、古水井、古墓等;无崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、地裂缝、岩溶、软弱破碎带等不良地质。

2.6.3 人工地貌

厂区内人工地貌主要由开挖和回填构成,具体为场地平整、地基负挖、回填等。本项目场地平整工作只涉及新增厂房区域。

第三章 环境质量现状

3.1 辐射环境质量现状

本章节根据 2018-2019 年阳江核电厂周围环境的监测结果对厂址周围辐射环境质量现状进行描述，并结合本项目的特点和排放核素特征于 2020 年开展了部分补充调查，以评价项目周围辐射环境质量现状。

3.1.1 补充调查监测方案

(1) 监测项目和点位布置

本次补充调查内容有 γ 辐射剂量率、空气中放射性、土壤中放射性和水中放射性。补充调查以项目厂址为中心，根据近密远疏的原则在项目厂址周围 10km 范围内布置 21 个 γ 辐射剂量率监测点。其中 2km 范围内共布设 8 个点位，2~10km 范围内共布设 13 个点位。

空气中放射性监测布设 1 个点位，位于厂址南侧约 1.88km 处的阳江核电气象站，监测项目有 γ 核素、 ^3H 和 ^{14}C 。

在厂址半径 5km 范围内布设 4 个水样采样点位，分别为厂区东南侧池塘（地表水）、福龙村（井水）、海荫河（河水）和平堤水库（水库水），监测项目为 γ 核素。

在厂址半径 10km 范围内 8 个方位共布置 21 个土壤采样点，在距离厂址较近的区域选取 6 个点位开展土壤中 $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ 测量，其中 2 个点位增加土壤中 ^{90}Sr 监测

本项目补充调查的各监测项目及监测点位统计见表 3.1-1。

表 3.1-1 补充调查的各监测项目及监测点位

序号	监测介质	监测项目	点位数量	点位名称
1	地表	γ 辐射剂量率	21	在厂区边界外半径 10km 范围内布点
2	空气	γ 核素	1	阳江核电气象站
		^3H	1	阳江核电气象站
		^{14}C	1	阳江核电气象站
3	水体	γ 核素	4	厂区东侧池塘、海荫河、平堤水库、福龙村水井
4	土壤	γ 核素	21	厂区边界外半径 10km 范围内
		$^{239+240}\text{Pu}$	6	石料加工区、核电气象站、地塘园村、

序号	监测介质	监测项目	点位数量	点位名称
				瓦北村、蒲塘村、平堤村
		^{90}Sr	2	石料加工区、核电气象站

(2) 监测仪器和方法

补充调查所采用的监测设备和标准方法见表 3.1-2，测量仪器设备均在检定/校准有效期内，监测分析方法依据均为现行有效版本。

表 3.1-2 补充调查采用的仪器和监测方法

序号	检测项目	仪器设备	监测分析方法
1	环境 γ 辐射瞬时剂量率	FH40G+FH672E 型 γ 射线环境监测仪	环境地表 γ 辐射剂量率测定规范 GB/T 14583-1993
2	空气中 ^3H	Quantulus1220 超低本底液体闪烁谱仪	水中氚的分析方法 GB/T 12375-90
3	空气中 ^{14}C	Quantulus1220 超低本底液体闪烁谱仪	空气中 ^{14}C 的取样与测定方法 EJ/T 1008-1996
4	空气中 γ 核素	GEM50P4-83 高纯锗 γ 谱仪	空气中放射性核素的 γ 能谱分析方法 WS/T 184-2017
5	水中 γ 核素	GEM50P4-83 高纯锗 γ 谱仪	水中放射性核素的 γ 能谱分析方法 GB/T 16140-2018
6	土壤中 γ 核素	GMX50P4-83 高纯锗 γ 谱仪	土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法 GB/T 11743-2013
7	土壤中 ^{90}Sr	MPC9604 低本底 α 、 β 测量仪	土壤中锶-90 分析方法 EJ/T 1035-2011
8	土壤中 $^{239+240}\text{Pu}$	Alpha Dual 双通道 α 谱仪	水和土壤样品中钚的放射化学分析方法 HJ 814-2016

3.1.2 γ 辐射剂量率

补充调查 γ 辐射剂量率监测点位共 21 个，点位布置见图 3.1-1、图 3.1-2，其中厂址周围 2km 范围内共布设 8 个点位（点位序号 1~8），2~10km 范围内共布设 13 个点

位（点位序号 9~21）。

补充调查项目周围辐射环境 γ 剂量率结果见表 3.1-3, 监测结果为 111~228 nGy/h。阳江核电厂周围 γ 辐射剂量率监测结果显示, 在本项目厂址周围 5km 范围内, 2018 年监测结果范围为 65~204 nGy/h, 2019 年监测结果范围为 52~391.2 nGy/h。

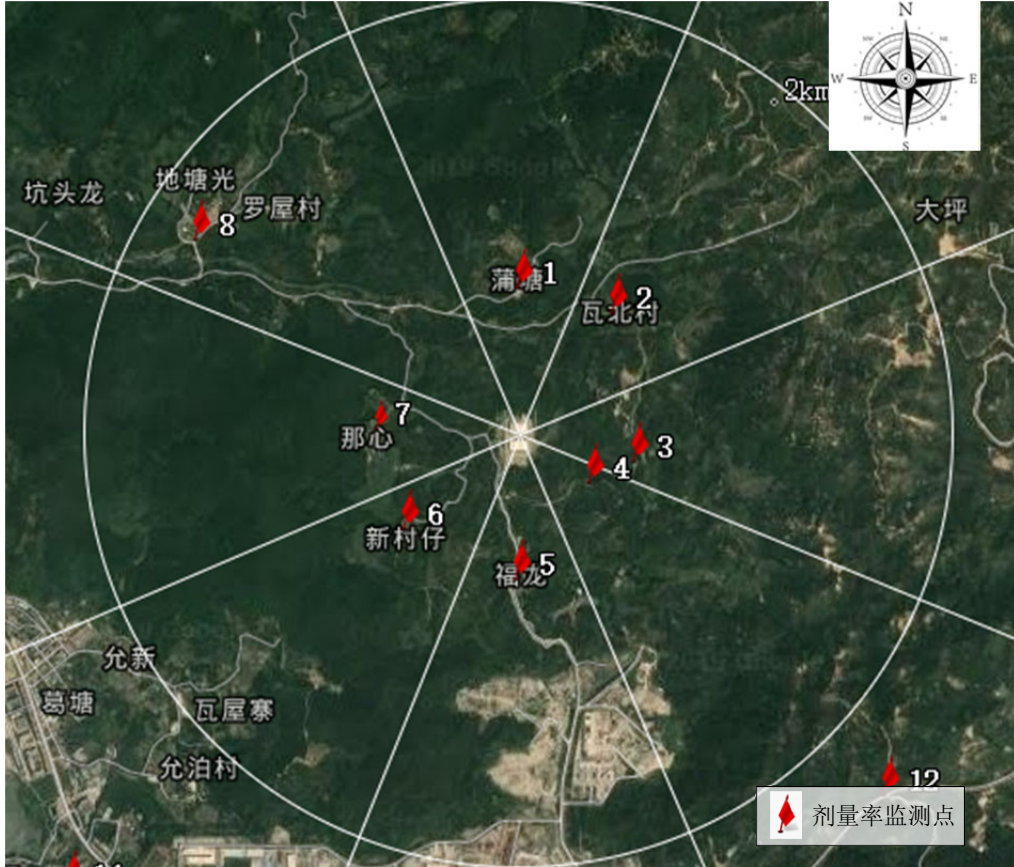


图 3.1-1 补充调查厂址周围 2km 范围 γ 辐射剂量率调查点位



图 3.1-2 补充调查厂址周围 2-10km 范围 γ 辐射剂量率监测点位布置图

表 3.1-3 γ 辐射剂量率监测结果 (nGy/h)

点位序号	点位名称	距离 (km)	方位	平均值	标准偏差
1	蒲塘村	0.67	N	186	3
2	北城村	0.70	NE	159	2
3	厂址东侧山坡	0.54	E	111	3
4	厂址东南侧山坡	0.39	SE	136	2
5	福龙村	0.68	S	197	9
6	新村仔	0.69	SW	170	5
7	那心村	0.67	W	176	9
8	瓦北村	1.74	NW	147	3
9	大滘村	4.18	N	134	4
10	平堤水库北侧山坡	2.71	NE	228	8

点位序号	点位名称	距离(km)	方位	平均值	标准偏差
11	平堤村	2.87	E	186	7
12	核电北门东侧道路	2.36	SE	209	7
13	核电北门草坪	2.22	S	187	3
14	核电生活区	2.95	SW	206	10
15	东平镇华兴花苑	3.21	W	162	3
16	山顶4号风机处	3.88	NW	214	5
17	莲北村东侧养殖场	7.95	N	147	4
18	平堤水库东北侧山坡	6.01	NE	222	6
19	北邑村	6.00	E	161	2
20	东平镇海滨公园	6.78	W	160	3
21	北政村	8.23	NW	232	6
范围		—	—	111~228	—

注：监测结果均未扣除仪器宇宙射线响应值。

3.1.3 空气中放射性核素

本项目补充调查的空气样品采样点位布置在厂址南侧约 1.9km 处的阳江核电气象站，点位位置见图 3.1-3，监测项目包括气溶胶中 γ 核素、空气中 ^3H 、空气中 ^{14}C 。

阳江核电环境空气辐射监测点位均位于本项目厂址周围 5km 范围内，其点位分布见图 3.1-3。其中 AS1、BS1、BS3 点位开展空气中 ^3H 、 ^{14}C 监测，AS1、AS2、AS3、AS4、AS5 和 BS1 开展气溶胶中总 α 、总 β 和 γ 核素测量，AS1、AS3、AS4、BS1、BS3 和 BS4 开展降雨中 ^3H 、总 β 和 γ 核素监测。

空气中放射性核素监测结果见表 3.1-4，降雨中放射性核素监测结果见表 3.1-5。

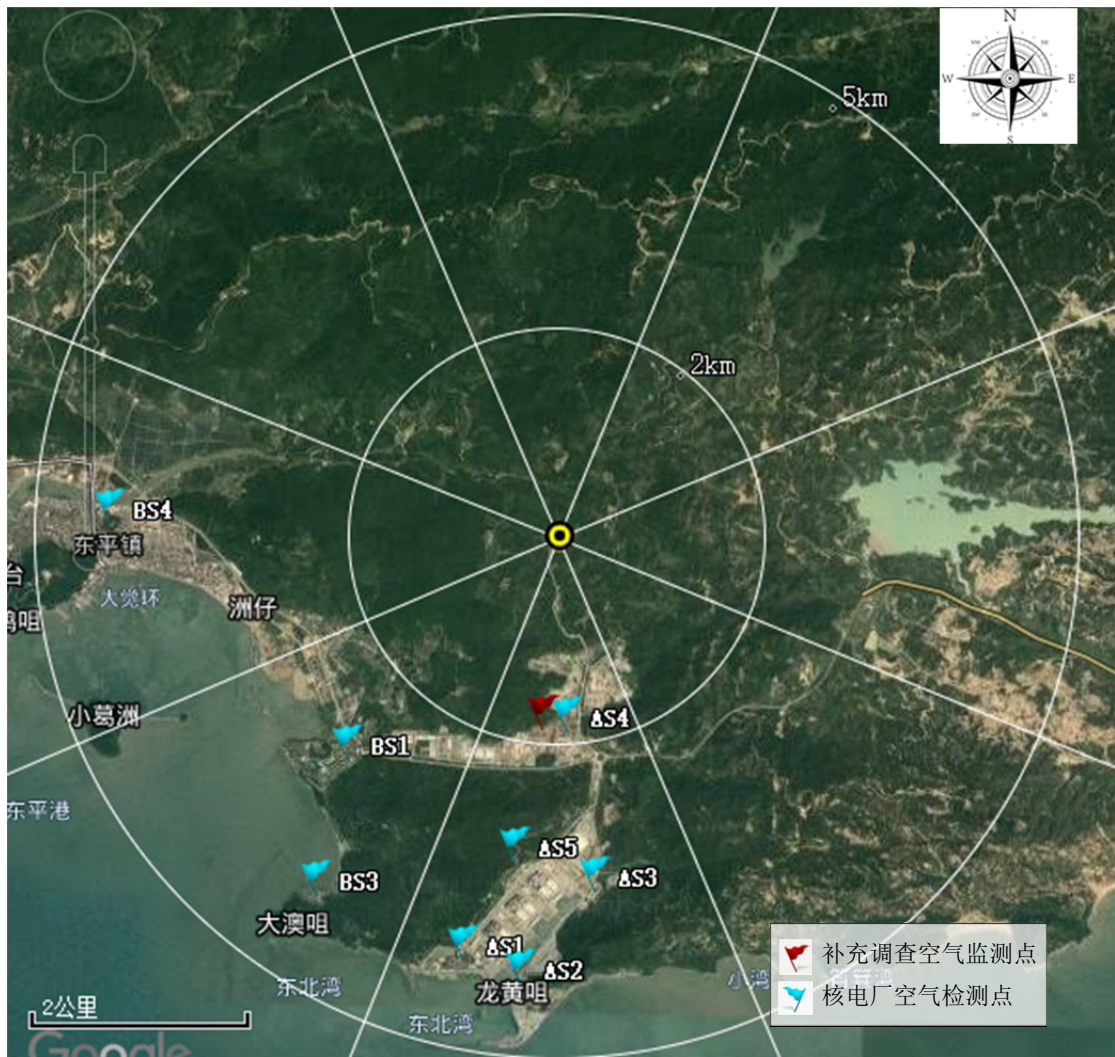


图 3.1-3 空气样监测点位分布图

表 3.1-4 空气中放射性核素监测结果

	补充调查	核电厂 2018~2019 年结果						
监测点	核电气象站	AS1	AS2	AS3	AS4	AS5	BS1	BS3
^3H	< 13	< 32.06~263.71	—	—	—	—	< 42.56~63.99	< 27.03~79.34
^{14}C	0.28±0.03	0.227~1.09	—	—	—	—	0.117~0.580	0.104~0.655
^7Be	1977±98	609~3480	290~4010	562~3950	565~3620	792~5090	656~5250	—
^{137}Cs	<5.9	<4.1	<6.0	<4.2	<4.5	<7.5	<7.7	—
^{134}Cs	<5.6	<3.0	<3.2	<2.8	<3.3	<4.5	<5.3	—
^{58}Co	<5.6	<3.6	<3.9	<3.6	<4.2	<5.1	<6.6	—
^{60}Co	<5.7	<4.9	<5.2	<5.0	<5.7	<7.2	<8.7	—
^{54}Mn	<6.0	<3.6	<3.9	<3.8	<4.2	<5.5	<6.8	—
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	<5.6	<3.0	<3.4	<3.2	<3.8	<5.0	<5.7	—
^{131}I	<6.0	<2.6	<3.0	<2.6	<3.0	<4.5	<4.6	—
总 α	—	<0.041~0.646	<0.041~0.563	<0.041~0.624	<0.041~1.736	<0.041~0.804	<0.041~0.906	—
总 β	—	<0.130~2.765	<0.130~3.032	<0.130~2.731	<0.130~3.721	<0.130~3.289	<0.130~3.353	—

注： ^3H 监测结果单位 mBq/m^3

^{14}C 监测结果单位, Bq/g 碳

γ 核素监测结果单位 $\mu\text{Bq/m}^3$

总 α 监测结果单位 mBq/m^3

总 β 监测结果单位 mBq/m^3

表 3.1-5 核电厂 2018-2019 年降雨中放射性核素监测结果, Bq/L

项目	AS1	AS3	AS4	BS1	BS3	BS4
总 β	0.019~0.221	0.023~0.182	0.010~0.433	0.011~0.253	0.013~0.245	0.022~0.225
^3H	<1.00-4.28	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3	<1.3
^{54}Mn	<6.13E-3	—	<6.26E-3	<6.29E-3	<6.48E-3	—
^{58}Co	<6.28 E-3	—	<5.93E-3	<5.99E-3	<5.28E-3	—
^{60}Co	<6.85 E-3	—	<7.25E-3	<7.02E-3	<6.88E-3	—
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	<5.50 E-3	—	<5.34E-3	<5.54E-3	<5.20E-3	—
^{131}I	<5.11 E-3	—	<5.05E-3	<5.25E-3	<4.85E-3	—
^{134}Cs	<5.27 E-3	—	<4.78E-3	<5.47E-3	<4.92E-3	—
^{137}Cs	<6.05 E-3	—	<5.87E-3	<6.37E-3	<6.05E-3	—

3.1.4 水中放射性核素

补充调查在项目 5km 范围内布设 4 个水样监测点位, 分别为厂区东南侧池塘(地表水)、福龙村(井水)、海萌河(河水)和平堤水库(水库水), 详见图 3.1-4。监测项目为 γ 核素。

阳江核电厂在本项目附近的地表水、地下水、饮用水和雨水监测点位分布图见图 3.1-4, 主要开展 ^3H 、总 β 和 γ 核素监测。

地表水监测结果见表 3.1-6, 地下水和饮用水监测结果见表 3.1-7。

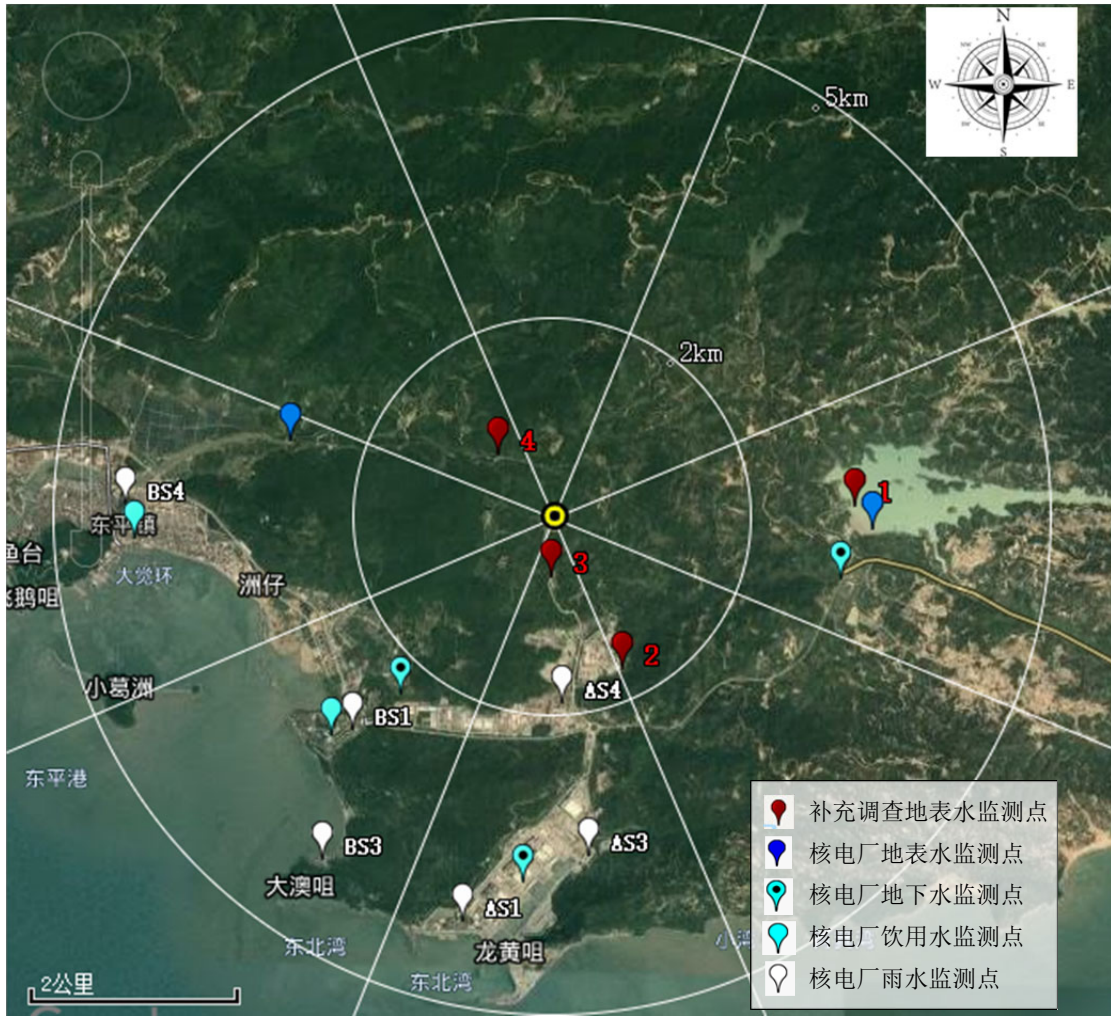


图 3.1-4 地表水、地下水、饮用水、雨水监测点位分布图

表 3.1-6 地表水中放射性核素监测结果, mBq/L

监测项目	补充调查监测结果			核电厂 2018 年监测结果		核电厂 2019 年监测结果	
	厂区东侧池塘 (点位 2)	海荫河 (点位 4)	平堤水库 (点位 1)	海荫河	平堤水库	海荫河	平堤水库
^{137}Cs	< 5.9	< 5.5	< 5.6	<8.10	<7.92	<4.15	<4.31
^{134}Cs	< 5.3	< 5.0	< 5.1	<5.02	<5.36	<3.16	<3.18
^{58}Co	< 5.8	< 5.5	< 5.5	<5.31	<6.15	<3.31	<3.24
^{60}Co	< 8.1	< 6.6	< 6.7	<8.24	<7.88	<3.89	<3.79
^{54}Mn	< 6.1	< 5.7	< 5.7	<6.01	<6.26	<3.42	<3.43
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	< 5.8	< 5.5	< 5.5	<5.08	<5.59	<3.24	<3.33
^{131}I	< 6.1	< 5.7	< 5.8	<4.66	<5.36	<3.83	<3.85
^{90}Sr	0.87±0.14	0.29±0.09	—	—	—	—	—
^3H	< 580	—	—	< 1100	< 1100	< 1300	< 1300

表 3.1-7 地下水和饮用水中放射性核素监测结果, mBq/L

监测项目	补充调查地下水	核电厂地下水监测结果			核电厂饮用水监测结果			
		2018 年		2019 年	2018 年		2019 年	
	福龙村 (点位 3)	平堤水 厂	允泊村	平堤水厂	海滨花园	东平镇	海滨花 园	东平镇
^{137}Cs	< 5.8	<7.92	<6.39	<4.31	<7.39	<7.13	6.12	6.00
^{134}Cs	< 5.4	<5.36	<5.23	<3.18	<5.06	<5.15	5.14	5.10
^{58}Co	< 5.8	<6.15	<5.65	<3.24	<6.36	<6.18	5.05	5.76
^{60}Co	< 8.0	<7.88	<7.62	<3.79	<7.51	<7.92	7.41	7.16
^{54}Mn	< 6.1	<6.26	<5.93	<3.43	<6.04	<6.34	5.57	5.95
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	< 5.8	<5.59	<5.48	<3.33	<5.54	<5.63	5.78	5.41
^{131}I	< 6.1	<5.36	<5.41	<3.85	<5.07	<5.35	5.06	5.02
^3H	—	<1.0	<1.0	1.3	< 1.3	< 1.3	<1.3	<1.3
^{90}Sr	0.74±0.10	—	—	—	—	—	—	—

3.1.5 土壤、底泥中放射性

补充调查土壤取样按 10km 内 8 个方位布点, 主要监测土壤中 γ 核素, 共 21 个监测点位, 监测点位与本项目 γ 辐射剂量率监测在同一位置, 见图 3.1-1、图 3.1-2。在厂址周围选取 6 个点位开展土壤中 $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ 测量, 其中 2 个点位增加土壤中 ^{90}Sr 监测, 监测点位布置图见图 3.1-5。

阳江核电厂在本项目 5km 范围内土壤、底泥监测点位分布见图 3.1-5。

^{90}Sr 、 $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ 放射性监测结果见表 3.1-8, 厂址东南侧石料加工区 ^{90}Sr 监测结果为 0.182Bq/kg, 其余各点位监测结果均低于探测限; $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ 监测结果范围为 0.012~0.069Bq/kg; γ 核素监测结果见表 3.1-9, 补充调查监测结果为: ^{235}U : <4.2~11.5Bq/kg、 ^{137}Cs : 0.43~1.25Bq/kg、 ^7Be : <3.4~6.9Bq/kg, 天然核素 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 监测结果依次为 70~302Bq/kg、53.4~296.5Bq/kg、64~205.6Bq/kg、234.6~1385Bq/kg, 其余监测的人工放射性核素活度浓度均小于探测限; 核电厂 2018 年、2019 年土壤底泥中放射性监测结果为: ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 放射性活度水平范围分别为 97.8~252.7Bq/kg、82.6~174.6Bq/kg、71.9~212.7Bq/kg 和 518.9~1612Bq/kg, 其余监测的人工放射性核素活度浓度均小于探测限。

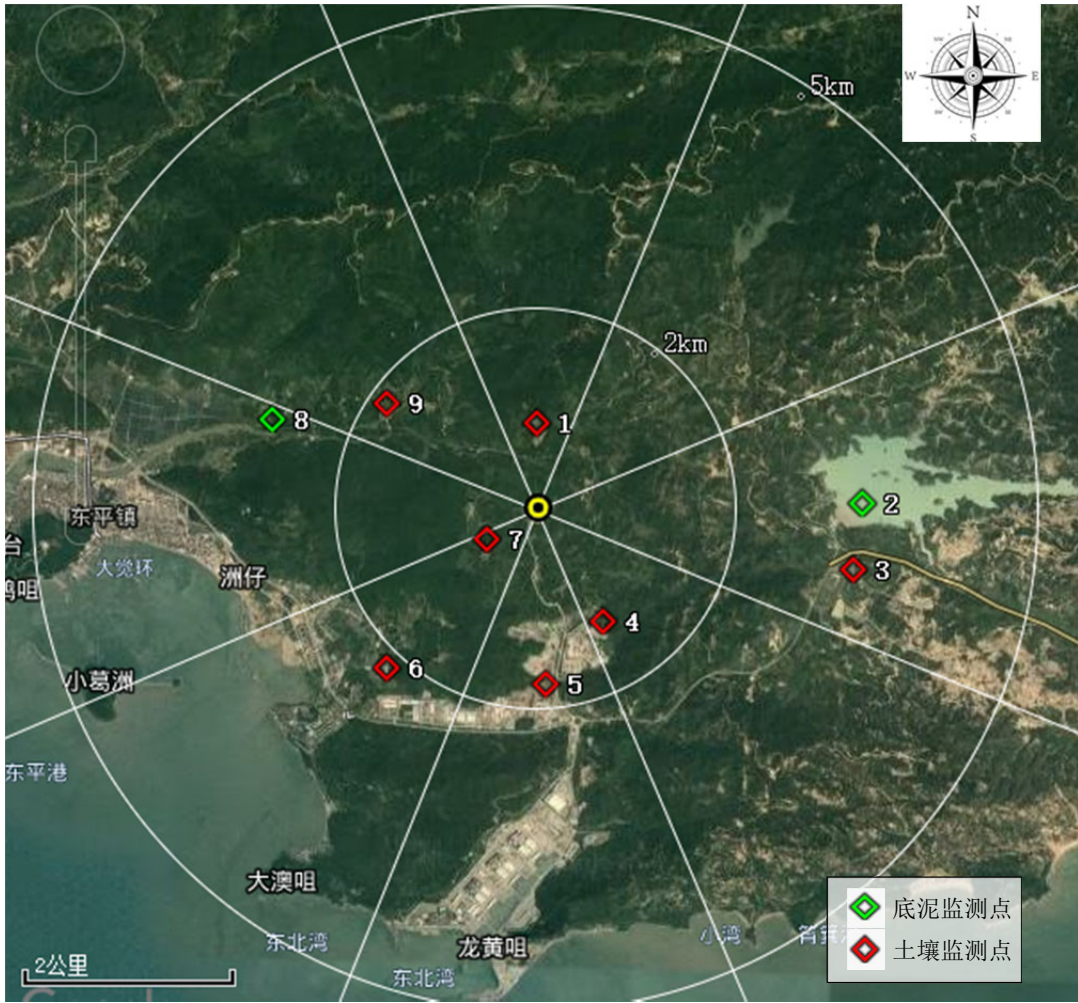


图 3.1-5 土壤、底泥中铯和钷监测点位分布图

表 3.1-8 土壤中铯和钷监测结果

点位序号	点位名称	补充调查结果		2018 年核电厂 监测结果	2019 年核电厂 监测结果
		⁹⁰ Sr	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	⁹⁰ Sr	⁹⁰ Sr
1	蒲塘村	—	0.019±0.014	—	—
2	平堤水库底泥	—	—	<0.23	<0.23
3	平堤村	—	< 0.013	<0.23	<0.23
4	东南侧石料加工区	0.182±0.09	0.012±0.008	—	—
5	核电气象站	< 0.118	< 0.012	<0.23	<0.23
6	地塘园村（允泊）	—	0.069±0.019	<0.23	<0.23
7	水鸭龙	—	—	<0.23	<0.23
8	东平河底泥	—	—	<0.23	<0.23
9	瓦北村	—	0.057±0.016	<0.23	<0.23

表 3.1-9 土壤及底泥中 γ 核素监测结果

序号	点位名称	^{238}U	^{235}U	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^7Be	^{137}Cs	^{134}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{54}Mn
补充 调查	蒲塘村	217±23	7.7±3.3	170.4±2.4	176.7±1.9	614±12	< 5.1	0.73±0.36	< 0.55	< 0.54	< 0.56	< 0.68
	北城村	70±15	4.9±2.6	82.6±1.7	76.3±1.4	637±13	< 4.6	0.89±0.34	< 0.54	< 0.53	< 0.57	< 0.57
	厂址东侧山坡	135±38	< 4.4	77.1±1.6	109.8±1.4	234.6±7.5	6.9±2.4	< 0.45	< 0.41	< 0.40	< 0.40	< 0.5
	厂址东南侧山坡	106±12	5.1±2.1	65.2±1.5	113.5±1.4	265.7±9	< 4.2	< 0.52	< 0.47	< 0.46	< 0.5	< 0.57
	福龙村	108±12	4.5±2.0	64.3±1.4	70.9±1.1	559±11	4.2±2.2	< 0.45	< 0.42	< 0.42	< 0.45	< 0.48
	新村仔	114±12	5.5±2.1	96.5±1.6	84.0±1.2	488±11	< 4.0	0.69±0.31	< 0.46	< 0.46	< 0.50	< 0.54
	那心村	152±15	4.4±2.6	132.3±2.0	105.5±1.4	1385±17	< 4.8	1.22±0.37	< 0.55	< 0.56	< 0.63	< 0.64
	瓦北村	173±19	7.5±2.6	151.3±2.1	94.6±1.4	888±14	< 4.8	1.25±0.35	< 0.54	< 0.52	< 0.60	< 0.61
	大滘村	115±15	5.3±2.4	100.5±1.7	89.7±1.4	846±14	< 4.4	< 0.51	< 0.50	< 0.47	< 0.55	< 0.56
	平堤水库北侧山坡	161±16	< 4.3	118.5±1.8	134.6±1.5	636±12	4.6±2.8	< 0.52	< 0.52	< 0.48	< 0.56	< 0.60
	平堤村	127±13	7.4±2.2	89.0±1.7	110.6±1.4	1123±16	< 4.4	< 0.56	< 0.51	< 0.52	< 0.56	< 0.60
	核电北门东侧道路	252±17	8.0±3.0	162.8±2.3	296.5±2.3	1219±18	< 6.0	< 0.77	< 0.67	< 0.65	< 0.71	< 0.83
	核电北门草坪	127±13	4.4±2.3	92.2±1.7	145.9±1.6	655±13	< 4.7	< 0.60	< 0.54	< 0.53	< 0.58	< 0.65
	核电生活区	194±16	4.7±2.7	150.2±2.1	125.7±1.5	1134±16	< 5.1	< 0.60	< 0.57	< 0.57	< 0.64	< 0.68
	东平镇华兴花苑	56±16	< 6.6	77.2±1.9	79.7±1.6	688±13	< 5.3	< 0.58	< 0.63	< 0.54	< 0.58	< 0.62
	山顶 4 号风机处	302±16	11.5±2.8	205.6±2.3	166.4±1.7	649±12	< 5.0	< 0.62	< 0.57	< 0.56	< 0.61	< 0.67
	莲北村东侧养殖场	128±11	4.2±1.9	70.0±1.4	53.4±1.0	295.2±8.6	< 3.4	< 0.43	< 0.39	< 0.40	< 0.44	< 0.46
	平堤水库东北侧山坡	144±15	< 4.2	90.5±1.7	219.0±1.9	428±11	< 4.8	< 0.62	< 0.55	< 0.54	< 0.57	< 0.67
	北邑村	176±15	6.3±2.6	146.6±2.0	164.0±1.7	838±14	< 4.9	0.77±0.38	< 0.56	< 0.56	< 0.59	< 0.69
东平镇海滨公园	169±14	7.3±2.2	113.2±1.7	83.0±1.2	665±12	< 4.0	< 0.49	< 0.45	< 0.45	< 0.49	< 0.54	

中广核先进燃料研制中心项目环境影响报告书

序号	点位名称	^{238}U	^{235}U	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^7Be	^{137}Cs	^{134}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{54}Mn
	北政村	154±14	4.7±2.2	117.4±1.8	92.8±1.3	617±12	< 4.1	< 0.51	< 0.46	< 0.46	< 0.50	< 0.55
核电厂 2018年 监测结 果	允泊	161~252.7	—	135~212.7	82.6~159.7	1454~1612	<4.65	<0.59~1.10	<0.51	<0.51	<0.60	<0.59
	气象站	154~218.5	—	143~158.8	161.5~167	909~982.7	<4.41	<0.55	<0.47	<0.46	<0.5	<0.52
	水鸭龙	116~155.8	—	117~145.6	155~155.5	633~745.7	<5.38	<0.86	<0.65	<0.66	<0.85	<0.72
	大澳	97.8~141.6	—	100~141.2	110.3~128.5	1226~1357	<5.41	0.86~1.96	<0.65	<0.68	<0.91	<0.74
	瓦北	151.9~196	—	130.9~158	93.7~105	1470~1603	<3.61	<0.48	<0.40	<0.40	<0.48	<0.76
	UA厂前区	120~125	—	71.9~82.2	105~174.6	518.9~784	<4.40	<0.56	<0.47	<0.45	<0.52	<0.51
	平堤水库	110~115	—	97.0~98.2	145~147	842~850	<5.89	<0.89	<0.72	<0.74	<1.01	<0.82
	东平河底泥	182.4~236	—	116~150.7	102.8~120	909~970	<4.86	<0.74~0.97	<0.57	<0.62	<0.80	<0.73

3.1.6 辐射环境质量现状

从本次补充调查结果来看，项目周围辐射环境 γ 剂量率监测结果为111~228nGy/h，土壤中 γ 核素水平为 ^{238}U ：70~302Bq/kg、 ^{232}Th ：53.4~296.5Bq/kg、 ^{226}Ra ：64~205.6Bq/kg、 ^{40}K ：234.6~1385Bq/kg、 ^{235}U ：<4.2~11.5Bq/kg、 ^{137}Cs ：0.43~1.25Bq/kg、 ^7Be ：<3.4~6.9Bq/kg，其余人工放射性 γ 核素均低于探测限，土壤中 $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ 监测结果范围为<0.012~0.069Bq/kg，厂址东南侧石料加工区 ^{90}Sr 监测结果为0.182Bq/kg，其余点位监测结果均低于探测限。

补充调查空气中 ^3H 小于探测限， ^{14}C 为 $0.28\pm 0.02\text{Bq/g}$ 碳，空气中 ^3H 、 ^{14}C 都处于正常水平，核电厂2018~2019年的监测结果空气中 ^3H 范围为<27.03~363.71mBq/m³，空气中 ^{14}C 范围为0.104~1.09Bq/g碳，表明核电厂运行过程中周围空气中的 ^3H 和 ^{14}C 含量会有偶发的暂时性升高。空气中人工放射性 γ 核素监测结果均低于探测限。

补充调查水中 ^{90}Sr 范围为0.29~0.74mBq/L，水中人工放射性 γ 核素监测结果均低于探测限。

3.2 非辐射环境质量现状

依据阳江核电厂2019年4月及5月期间大气环境监测和噪声监测，距离项目最近的音山变电站（项目南侧约1.93km处）监测结果为：

SO_2 的24h均值为12~14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ， NO_2 的24h均值为22~24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，TSP的24h均值为91~111 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ， PM_{10} 的24h均值为59~73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，满足《环境空气质量标准》中的二级标准。

音山变电站噪声昼间等效噪声级为55.8~55.9dB（A），符合《声环境质量标准》中的2类标准。

第四章 项目工程分析

4.1 项目规划及总平面布置

4.1.1 项目规划

中广核先进燃料研制中心项目位于阳江核电厂北侧，项目总占地面积 33333.7m²（50 亩）。项目厂址内包含零部件研制室、骨架研制室、综合研制室、供氢站、污水处理站、洗衣房、危险品库、危废品库及门卫室等公用设施。其中本次环评对象为综合研制室、供氢站、洗衣房、危险品库和危废品库，建筑面积共计 9964.51m²，其他项目前期已建成。

本项目的总体建设思路为：充分利用原有部分厂房和设备设施，重点新增芯块研制能力，补充零部件和组件组装必需的工艺设备，并增加涉核相关的实物保护、核材料衡算与保护、临界安全、辐射防护、三废处理等涉核设施内容，满足中广核集团新型燃料组件科研试制需求。

4.1.2 总平面布置

4.1.2.1 布置原则

中广核先进燃料研制中心项目零部件研制室、骨架研制室、污水处理站在前期完成统一布置规划，做到合理划分实验室及各种辅助用房面积和比例，最大限度提高土地利用效率，实现合理组织人流、物流，保持各功能建筑物间的联系便捷顺畅，并满足城市规划、消防、环保等部门制定的规定、规范要求。

4.1.2.2 平面布置

本项目在南侧临近乡道区域布置研制中心前区（包括停车场，集中绿地等），北侧为实验研制区，实验研制区东、南、西侧为辅助区。其中：

- 实验研制区由南向北依次为零部件研制室（已建）、骨架研制室（已建）和综合研制室（新建）。
- 辅助区东侧布置有供氢站（新建）和污水处理站（已建），西侧布置为危险品库和危废品库（新建），南侧布置为洗衣房（新建）。

场区内部采用平坡式布置。主要道路宽度为 9m，次要道路宽度为 6m。建筑物四周均设有可供消防车通过的空间，并设相应停车场与其配套，以满足规划、消防以及

运输的要求。

(1) 零部件研制室（原有）

零部件研制室（01子项）长 96.09m，宽 52.47m，为单层建筑，辅房二层，建筑面积 5819.88m²。主要用于零部件加工设备布置，如机加工、热处理、部件焊接、三坐标测量、理化检测等。实验室内布置有零件机加工区、条带冲压区、热处理区、绕簧区、管座焊接区、格架焊接区、腐蚀性能检测室，辅房一层布置有机械性能试验室、三坐标测量间，辅房二层布置有金相分析室。

零部件研制室（01子项）现已建设完工，本次将新增部分工艺设备，满足燃料研发零部件研制需求。

(2) 骨架研制室（原有）

骨架研制室（02子项）长 94.4m，宽 42m，为单层建筑，辅房二层，建筑面积 5350.50m²。主要用于燃料棒、导向管及骨架研制，组件组装、存储及发运等。实验室内布置有燃料棒研制区、导向管研制区、骨架研制区及组件组装研制区，以及配套的检测及库房。

骨架研制室（02子项）现已建设完工，本次将新增部分工艺设备，满足燃料研发零部件研制需求。

(3) 综合研制室（新建）

综合研制室（03子项）是用于芯块研制和生产的厂房，西侧为排架结构，东侧为钢筋混凝土框架结构。该子项长约 91m，宽约 33m，地上三层，局部地下一层，建筑高度约 16m，总建筑面积约 8000m²。该子项贴邻 02子项骨架研制室的北侧扩建。

(4) 辅助设施

辅助设施包括污水处理站（04子项）（已建）、供氢站（05子项）（新建）、洗衣房（06子项）（新建）、危险品库（07子项）（新建）和危废品库（08子项）（新建）。

供氢站（05子项）为钢筋混凝土框架结构，长约 7m，宽约 3m，地上一层，建筑高度约 4.5m，总建筑面积约 24m²。该子项位于用地范围的东南侧，供氢站（05子项）南侧为其附属的氢气罐，西侧为零部件研制室（01子项），北侧为污水处理站（04子项）。在供氢站（05子项）的西侧为宽度为 6m 的厂区道路（已建），可满足交通运输及消防需求。

洗衣房（06子项）长约 32m，宽约 8m，地上一层，建筑高度约 5m，总建筑面积

约 266m²。该子项位于用地范围的南侧，其北侧为零部件研制室（01 子项），东北侧为供氢站（05 子项），洗衣房（06 子项）与供氢站内氢气储罐的间距为 15.5m。洗衣房（06 子项）的北侧为 9m 宽的厂区道路（已建），可满足交通运输及消防需求。

危险品库（07 子项）和危废品库（08 子项）位于用地范围的西南侧，零部件研制室（01 子项）的西侧，危险品库（07 子项）位于危废品库（08 子项）的南侧，它们的东侧为 9m 宽的厂区道路（已建），可满足交通运输及消防需求。

图 4.1-1 给出了本项目总平面布置。

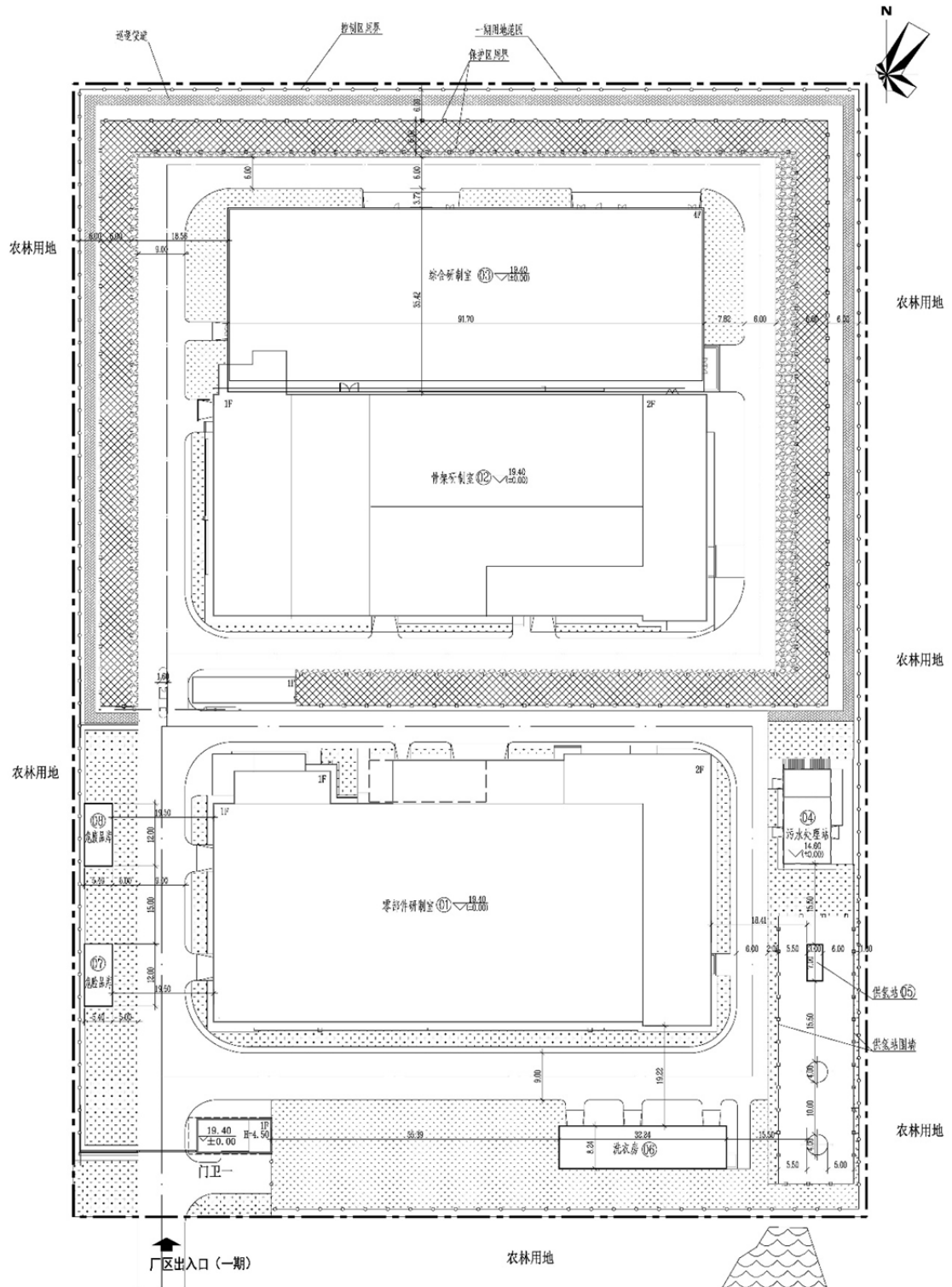


图 4.1-1 总平面布置图

4.1.2.3 厂房布置

本项目新建的涉核厂房为综合研制室，综合研制室是用于芯块研制和生产的厂房，西侧为排架结构，东侧为钢筋混凝土框架结构。该子项长约 91m，宽约 33m，地上三层，局部地下一层，建筑高度约 16m，总建筑面积约 8500m²。

综合研制室地下一层主要为放射性废物处置区，包含树脂床间、废树脂接收槽间、废液箱泵间、废树脂输送泵及阀门间。

综合研制室一层布置有出入口、生产准备区、组装车间、固废和废液操作间、水滤芯更换及贮存隔间、固废暂存区、变电所、实验间等。

综合研制室二层布置有燃料棒生产车间、装芯块间、芯块贮存间、理化分析间、ATF 实验室、流出物实验室、制粒间、钷芯块在线检验间、含钷芯块贮存间等。

综合研制室三层布置有物料贮存间/混料间、废滤芯贮存间、排风机房和送风机房等。

图 4.1-2 给出了综合研制室的厂房平面布置图（一至三层及地下一层）（略）。

4.2 工艺流程

本项目建成投运后将用于中广核集团自主品牌系列组件的研发和试制，工艺包括 5 个部分：芯块研制、燃料棒研制、燃料组件研制、零部件研制、相关组件研制。年操作量 15t 金属铀，生产产品包括 UO_2 芯块、含钷芯块、常规燃料棒、含钷燃料棒、燃料组件、相关组件及零部件等，以及具备研发性质的先进燃料所需零部件和组件。

其中涉核工艺为芯块研制、燃料棒研制、燃料组件研制工艺，在综合研制室中实施。此外，零部件研制实验室中还有上下管座加工、套筒螺钉、轴肩螺钉等回转体零件加工、防屑板加工、燃料棒弹簧加工、格架制造等零部件研制及理化检测等工艺，上述建设内容已另行开展环评。

4.2.1 芯块研制

根据设计目标，结合 STEP 系列燃料组件特点，本项目采用粉末冶金工艺制造陶瓷 UO_2 芯块和含钷芯块。

1) UO_2 芯块

UO_2 芯块制备工艺流程包括粉末混合均匀化、轧辊制粒、混合球化、生坯块成型压制、芯块高温烧结、无心磨削、返料氧化等工序。 UO_2 芯块制备工艺流程如图 4.2-1 所示。

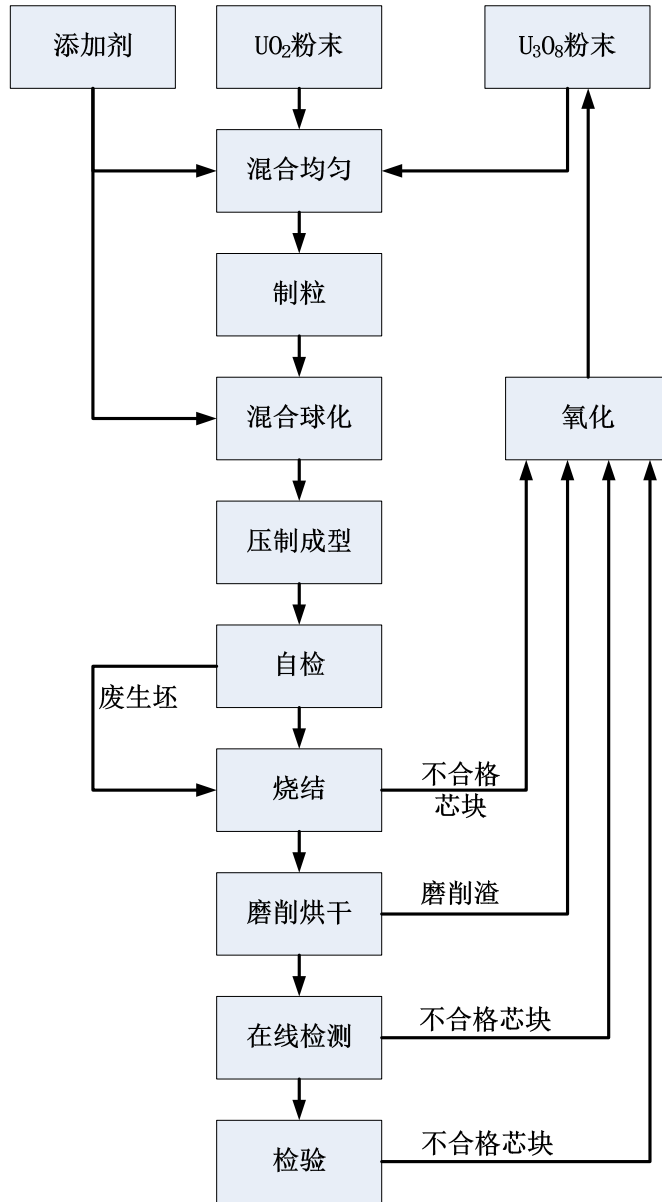


图 4.2-1 UO₂ 芯块制备工艺流程

(1) 原料粉末转运与接收

原料 UO₂ 粉末采用 200L 可移动料桶分装，料桶尺寸~Φ750mm×900mm。由物流出入口进入常规芯块车间，称量、登记后利用电梯将料桶运至三层的物料储存间存放。

返料 U₃O₈ 粉末，采用 50L 料桶分装，料桶尺寸~Φ400mm×590mm，产生于一层的氧化间，称量、登记后利用电梯将料桶运至三层的物料储存间存放。

(2) 粉末混料与均匀化

将 U₃O₈ 粉末料桶人工转运到密封的吸料小室中采用负压抽料方式把 U₃O₈ 粉末吸入单锥双螺旋混料器（预混）中，吸料方式采用上吸方式。吸料的同时将装有添加剂

的容器与单锥双螺旋混料器（预混）对接，将添加剂放入单锥双螺旋混料器（预混）内。然后往单锥双螺旋混料器（预混）中充氮气，启动设备，进行 U_3O_8 粉末和添加剂的预混合。

将 UO_2 粉末料桶人工转运到密封的吸料小室中，采用负压抽料方式把 UO_2 粉末吸入单锥双螺旋混料器（主混）中， UO_2 粉末需和 U_3O_8 粉末保持一定的配比，吸料方式采用下吸方式。 UO_2 粉末吸料完成后，开启布置在单锥双螺旋混料器（主混）的上方单锥双螺旋混料器（预混）的下料阀，单锥双螺旋混料器（预混）中已经混合均匀的 U_3O_8 粉末和添加剂依靠重力流入到单锥双螺旋混料器（主混）中。

然后往单锥双螺旋混料器（主混）中充氮气，启动设备，进行 UO_2 粉末、 U_3O_8 粉末和添加剂的均匀混料过程。物料在单锥双螺旋混料器的均匀化是螺旋的自转和公转来实现物料的被混合，均匀化过程一般运行四个周期，每个周期转 5 分钟停 5 分钟，这样可以使混合过程中摩擦产生的热量能散发走，避免因温度过高使物料被氧化。

U_3O_8 粉末和 UO_2 粉末吸料均采用密闭的真空系统进行，吸料接口采用密闭的接口，整个吸料过程在密封的吸料小室内进行。

（3）轧辊制粒、混合球化

单锥双螺旋混料器（主混）中混合均匀后的 UO_2 、 U_3O_8 粉末混合粉末经布置在其下方的振动给料器定量下料落入布置在 6.00m 的粉末制粒间的轧辊制粒装置进行轧辊制粒。

轧辊制粒后的粉末依靠重力落入布置在 3.50m 的二次混料间的可移动混料料桶内。混料料桶坐落在计量分装装置上，可以准确计量进入混料料桶内的物料量。在混料料桶进料的同时需要向其内部加入一定量的添加剂。

接料完成后，混料料桶人工将其推运并安装于混料器上，提升并启动控制程序，进行粉末物料的滚磨球化，滚磨球化后的混料料桶在二次混料间暂存。

（4）成型压制

人工将混料料桶推至缓存料仓附近，使用提升加料机将混料料桶提升至缓存料仓上方，打开混料料桶的下料阀，粉末物料依靠重力落入缓存料仓中。缓存料仓布置安装在旋转成型压机正上方，缓存料仓内的物料依靠重力向旋转成型压机连续供料。生坯芯块由生坯芯块装舟装置装入钼舟。钼舟中的生坯芯块装载到规定的高度后，将钼舟转移至生坯芯块暂存装置中。

(5) 高温烧结

转运装置按烧结工序的进料节拍，从生坯芯块暂存装置中接取装有生坯芯块的钼舟，接取后转运到高温烧结炉的进料口处。

装在钼舟内的生坯芯块送到高温烧结炉进料口，炉门开启，钼舟被推至烧结炉内进行高温烧结。烧结时炉内通氢气，并且保证高温烧结炉内呈微正压。尾气通过点燃处理。烧结后的芯块通过烧结炉出料口推送出来。

烧结后的芯块在高温烧结炉出料口短暂存放后，由转运装置从该处接取钼舟，接取后转运到烧结芯块暂存装置中进行存放。

(6) 芯块磨削、烘干

烧结芯块翻转倒料装置根据磨削线生产能力需要将烧结芯块暂存装置中的钼舟倒入磨削线的振动给料装置中。在振动过程中将芯块排成单列并连续向无心磨床输送进行外圆磨削；磨削后的芯块先通过输送带传送到清洗烘干装置淋洗段用去离子水冲洗，然后传送到烘干段用热风烘干；烘干后的芯块经激光检测装置在线进行直径检测，不合格芯块用压空吹出落入废芯块收集容器，合格芯块通过输送带传送到芯块自动装盘装置上，自动装入不锈钢 W 型料盘。装满芯块的 W 型料盘人工转运到外检工作台上进行外观检查，剔除外观不合格的芯块，将成品芯块放入专用的芯块柜内暂存。

(7) 渣水分离

磨削过程中产生的磨削废液采用离心机进行渣水分离后，废液进入磨削废液暂存系统中进行循环使用。离心机产生的磨削渣装盘后运往磨削渣烘箱进行烘干。磨削废液暂存系统中的磨削废液定期外排到废固废液操作室。

(8) 返料氧化

芯块生产过程中产生的不合格芯块装在可移动的废芯块料桶中。废芯块料桶，容积：~20L，料桶尺寸~ $\Phi 300\text{mm} \times 370\text{mm}$ 。

磨削渣水混合物通过磨削渣水分离系统分离出的磨削渣送到磨削渣烘箱烘干后送往氧化炉氧化。

将废芯块在进料工作箱内分装到 $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 40\text{mm}$ 的不锈钢舟内。装有废芯块的不锈钢料舟由进料工作箱传送到氧化炉内进行氧化处理，废 UO_2 芯块氧化后得到 U_3O_8 粉末。装有 U_3O_8 粉末的不锈钢料舟在出料工作箱内进行筛分，筛分后粉末粒度 < 150 箱内的 U_3O_8 粉末装入料桶，然后送至 U_3O_8 粉末混料机进行混料，经检验其物理

性能及化学指标合格后作为返料送至粉末混合均匀化工序。

2) 含钆芯块

含钆芯块制备工艺流程包括粉末混合均匀化、轧辊制粒、混合球化、生坯块成型压制、芯块高温烧结、无心磨削、返料氧化等工序。含钆芯块制备工艺流程如图 4.2-2 所示。

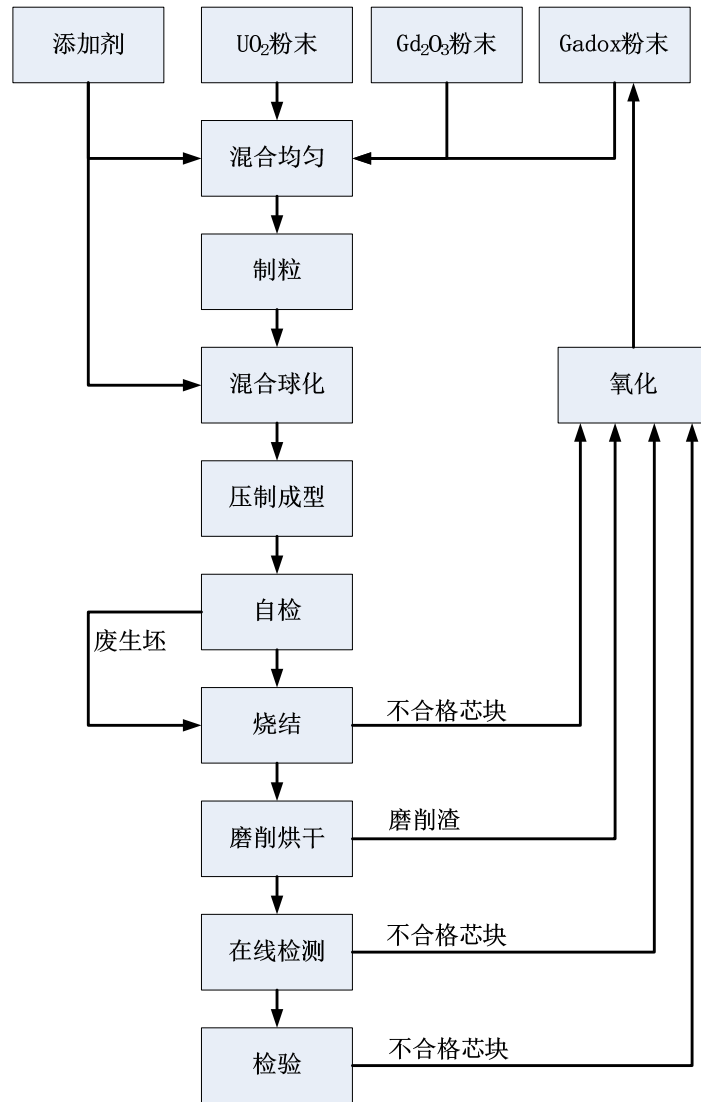


图 4.2-2 含钆芯块制备工艺流程

(1) 原料粉末转运与接收

原料 UO_2 粉末采用 200L 可移动料桶分装，料桶尺寸 $\sim\Phi 750\text{mm}\times 900\text{mm}$ 。由物流出入口进入含钆芯块车间，称量、登记后利用电梯将料桶运至三层的物料储存间存放。

返料 Gadox 粉末，采用 50L 料桶分装，料桶尺寸 $\sim\Phi 400\text{mm}\times 590\text{mm}$ ，产生于一层

的氧化间，称量、登记后利用电梯将料桶运至三层的物料储存间存放。

(2) 粉末混料与均匀化

按工艺要求配比计量后，通过进料手套箱将 UO_2 粉末、Gadox 粉末、 Gd_2O_3 粉末和添加剂加入到犁铧混料器中。然后往犁铧混料器中充氮气，启动设备，进行粉末的均匀化混合。

(3) 轧辊制粒、混合球化

犁铧混料器中混合均匀后的粉末向下落入轧辊制粒装置进行轧辊制粒。轧辊制粒后的粉末依靠重力落入布置在 6.00m 的可移动混料料桶内。混料料桶坐落在计量分装装置上，可以准确计量进入混料料桶内的物料量。在混料料桶进料的同时需要向其内部加入一定量的添加剂。

接料完成后，混料料桶人工将其推运并安装于混料器上，提升并启动控制程序，进行粉末物料的滚磨球化，滚磨球化后的混料料桶在二次混料储存间暂存。

(4) 含钆芯块的制备完成上述工序后，依次经过成型压制、高温烧结、芯块磨削、烘干、渣水分离。该工序与 UO_2 芯块制备时的工序基本相同。

(5) 返料氧化

芯块生产过程中产生的不合格芯块装在可移动的废芯块料桶中。废芯块料桶，容积：~20L，料桶尺寸~ $\Phi 300\text{mm} \times 370\text{mm}$ 。

磨削渣水混合物通过磨削渣水分离系统分离出的磨削渣送到磨削渣烘箱烘干后送往氧化炉氧化。

将废芯块在进料工作箱内分装到 $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 40\text{mm}$ 的不锈钢舟内。装有废芯块的不锈钢料舟由进料工作箱传送到氧化炉内进行氧化处理，废芯块氧化后得到 Gadox 粉末。装有 Gadox 粉末的不锈钢料舟在出料工作箱内进行筛分，筛分后粉末粒度 $< 150\mu\text{m}$ 的 Gadox 粉末装入料桶，然后送至 Gadox 粉末混料机进行混料，经检验其物理性能及化学指标合格后作为返料送至粉末混合均匀化工序。

UO_2 芯块生产线和含钆芯块生产线布置在综合研制室三层，立体布置工艺，将上料和混料工位和设备布置在第三层、制粒和二次混料工位和设备布置在第二层、其余工位和设备布置在第一层。

二氧化铀芯块工艺试验生产线布置在综合研制室第一层，配备二氧化铀芯块工艺试验用设备。

ATF 实验室布置在综合研制室第二层，配置 ATF 芯块研制基本设备。

4.2.2 燃料棒研制

本工艺流程共设置 2 条燃料棒生产线：含钐可燃毒物的燃料棒（以下简称“钐棒”）生产线和常规燃料棒生产线，其中两条燃料棒检查部分共线。

钐棒生产线位于综合研制室（03 子项）二楼，常规燃料棒生产线位于综合研制室一楼和二楼区域内。二楼主要完成装芯块至氦检漏工序，并在装管间内设置芯块烘箱和上端塞返工车床，一楼主要完成燃料棒芯块间隙和芯块丰度检查、称重和尺寸、外观检查工序，并完成装槽和槽存放。

在骨架研制室（02 子项）完成包壳管与下端塞焊接后，合格的包壳管部件输送到综合研制室，并由输送通道送至二楼，开始燃料棒制造。

合格的包壳管空管输送至芯块装管装置。经烘干箱烘干、冷却的芯块在排长操作台排长后转至芯块装管装置，将芯块装入空管；芯块装管装置每次装管 25 根。芯块装入空管后，进行空腔长度测量，不合格时调整芯块长度至合格。包壳管上管口清洁后，在装弹簧工作台上人工插入弹簧。进入压塞机进行上端塞压塞，进入上端塞环焊机焊接上端塞，进入堵孔焊机进行燃料棒内抽真空、充氦堵孔焊。

燃料棒焊接完成后进行擦拭清洁，然后送入上端塞 X 射线检查装置、氦检漏装置、有源/无源检查设备、燃料棒批称量设备、外观检查操作台进行检查，检查完成后成品入库。

每根燃料棒均带有唯一的识别编号以检索制造过程的主要技术参数，可进行从生产到堆内的全寿期的质量跟踪。

不合格的燃料棒需要进行修理。区别不同情况，修理的工作不同。对于焊缝不合格的燃料棒，需要将端塞切除，重新焊接端塞，经修理的燃料棒为 B 级燃料棒，其长度比正常生产的 A 级棒短 6mm 左右，每组组件仅允许装 8 根。对于其他缺陷导致的不合格品，一般将燃料棒端塞切除，倒出并回收芯块。

钐棒制造工艺与常规燃料棒制造工艺基本相同，主要区别是装填的芯块为含有三氧化二钐的 UO_2 芯块。在燃料棒生产线上焊接好下端塞的合格空管送到含钐芯块装管间，经烘干箱烘干、冷却的含钐芯块在排长操作台排长后转至芯块装管装置，将含钐芯块装入空管中；芯块装管装置每次装管 25 根。芯块装入空管后，进行含钐棒中的空

腔长度测量，不合格时调整芯块长度至合格。包壳管上管口清洁后，在装弹簧工作台上人工插入弹簧。进入压塞机进行上端塞压塞，进入上端塞环焊机进行上端塞焊接，进入堵孔焊机抽真空、充氦、堵孔焊。表面清洁完成后，通过过渡区，放置于储存区暂存或直接送到常规燃料棒生产线开展检查和入库。

燃料棒和钎棒制造工艺流程中，若某环节检查不合格且无法返修，则将燃料棒端塞切除报废处理，倒出并回收芯块，废芯块存放于芯块废料桶。

燃料棒制造过程中铀燃料开放性操作岗位位于芯块装管间，装管间内部保持微负压。芯块装管在排长操作台和装管装置上进行，装管后进行装弹簧、上端塞环焊及堵孔焊操作，从而将芯块完整的封闭在包壳管中。上述操作以及燃料棒的返修均在装管间内进行，在芯块装管、燃料棒返修等岗位设局部排风，及时抽走生产过程中产生的铀粉尘或气溶胶。

燃料棒生产过程中涉及的铀燃料的存放主要包括燃料棒的暂存和贮存。燃料棒的暂存包括在压氦箱的暂存、从二楼转运至一楼前的暂存。通过控制暂存区域燃料棒的存放量可以保证暂存区域的临界安全。燃料棒入库后贮存在独立的燃料棒单棒库，单棒库内存放架和贮存槽的设计能够保证贮存区域的临界安全。

燃料棒研制工艺流程如图 4.2-3 所示。

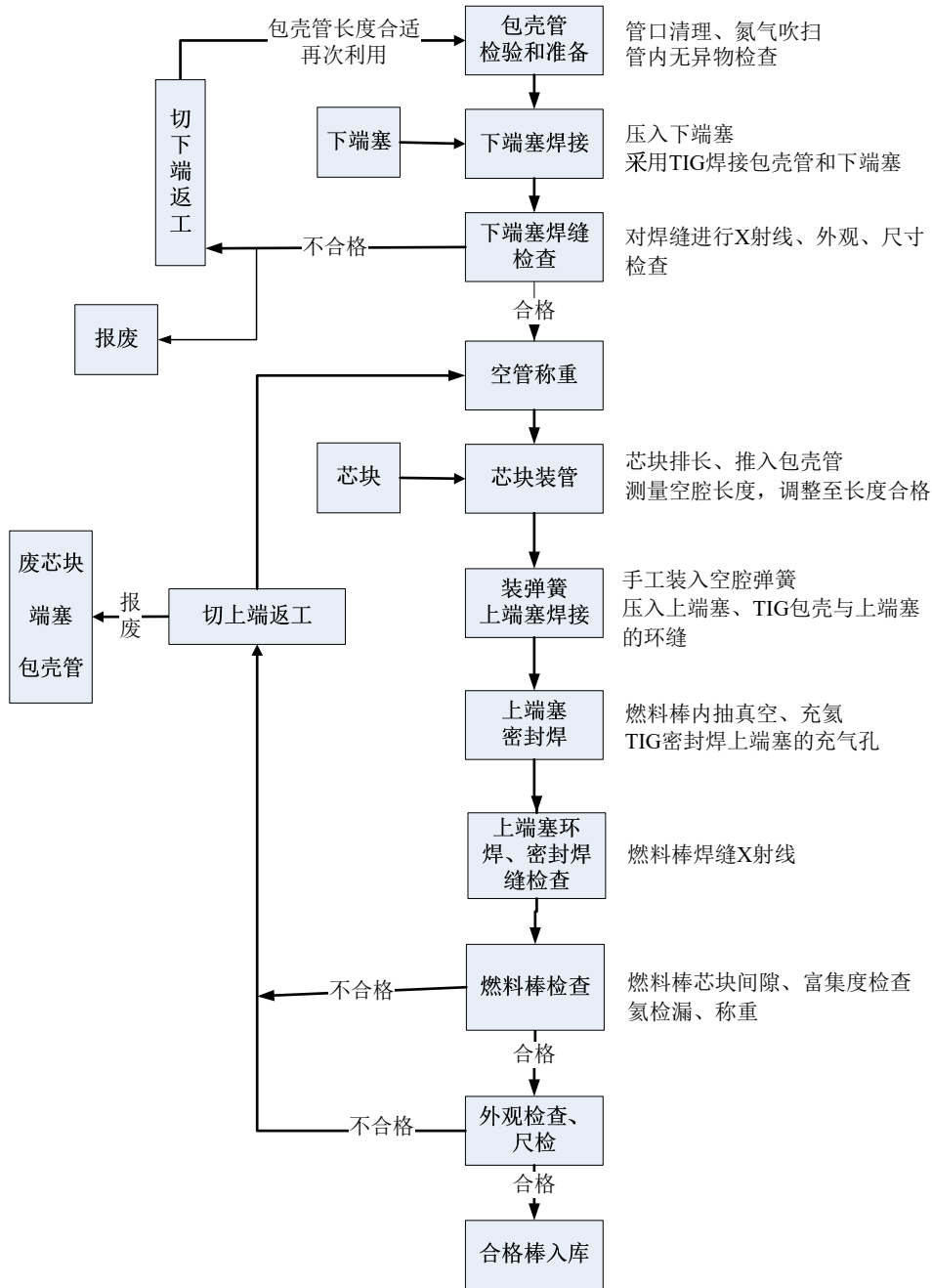


图 4.2-3 燃料棒研制工艺流程

4.2.3 燃料组件研制

燃料组件制造车间位于综合研制室区域内，主要功能区域包括拉棒区、检查区、清洗区、组件存放区和装箱区。

设人流出入口 3 个，卫生出入口设在相邻的骨架研制室内。设物流出入口 2 个，一个出入口布置水平运输导轨，用于将空运输容器输送至综合研制室，组件装箱后，

再将运输容器输送到骨架研制室；另一出入口用于将成品骨架和包壳管部件从骨架研制室运输到综合研制室。

放置于贮存槽内的成品单棒利用手推车从单棒库转移到组装大厅，手工将单棒插入位于预装盒装置上的预装盒中。此时需要对单棒激光条码进行扫描并记录在计算机中。单棒位于预装盒中的位置应与扫描插入时的记录一致，以方便单棒出厂以及入堆之后的质量跟踪。

燃料组件组装工位配置 2 台拉棒机，一台适用于 12 英尺组件拉棒操作，一台适用于 8 英尺、12 英尺和 14 英尺组件的拉棒操作。组件拉棒时，调整预装盒支架，检查预装盒的“Y”标识确保与位于组件工作台上的骨架的“Y”标识一致。将骨架定位、夹紧，卸下管座，并装上模拟下管座，使预装盒的燃料棒层位与骨架中燃料棒孔的层位对正，利用拉棒机构将燃料棒从预装盒中分层拉入骨架。拉棒结束后安装下管座，进行棒/下管座间距检查，然后将经过拧松力矩检查的轴肩螺钉与下管座和导向管胀形连接并检查；安装上管座，并将经过拧松力矩检查的套筒螺钉与上管座胀紧，防止螺钉松脱影响燃料元件的稳定。

拉棒机转至垂直位置，用吊车进行组件转运，依次经过组件检查仪、组件清洗槽组、组件抽插力仪，最终放入组件存放架。

组件清洗槽组包括三个单组件清洗水槽和干燥槽。

燃料组件制造过程中不涉及对铀燃料的开放性操作。对铀燃料的贮存主要包括燃料组件在燃料组件库内的贮存，燃料组件库内设置存放架用于放置燃料组件，存放架的布置能够保证组件库房的临界安全。

燃料组件研制工艺流程如图 4.2-4 所示。

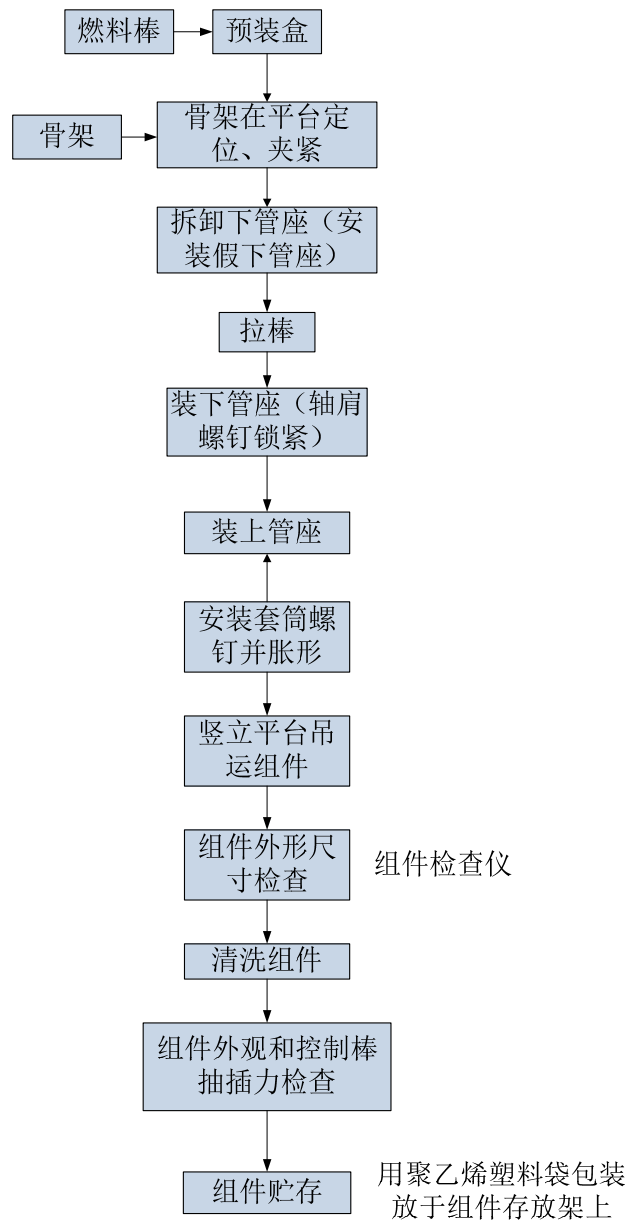


图 4.2-4 燃料组件研制工艺流程

4.2.4 零部件研制

STEP 系列和 ATF 燃料组件和相关组件零部件种类繁多，数量需求大，制造工艺复杂，精度要求高，通常在专业的机械加工车间经过精密加工、焊接、热处理等工序完成。

(1) 回转类零件

回转类零件主要包括各类端塞、套管、螺钉、弹簧等。

端塞、套管、螺钉类部件利用双主轴数控纵切车床进行零件的成型车削以及钻孔、切割沟槽、螺纹加工等，实现连续加工，提高生产效率。机加完成后，进行详细的外观和尺寸检查，合格后，经清洗烘干后入库。

弹簧类部件采用数控绕簧机通过无芯绕制，然后再经磨簧机磨削两端面保证平面度及粗糙度满足要求，最后经过回火处理提高其力学性能。

(2) 上、下管座部件

对于 STEP 系列燃料组件，上管座由 1 个框板、1 个连接板焊接而成，另有 4 组板弹簧组装后由压紧螺钉固定并经 V 型销点焊而成。下管座由 1 个连接板和 4 个支腿组成的盆腔结构。下管座的连接板为正方形，下管座连接板上有便于水流通过的流水槽和固定导向管部件的梅花孔。

上管座研制工艺流程为：框板与连接板组装焊接→消除应力热处理→内腔加工→凸台加工→S 孔加工去→底面加工→四周加工→尺寸检查→生锈试验→清洗→外观检查→喷砂→板弹簧装配→点焊→去飞溅、检查。

下管座研制工艺流程为：板材下料→荒铣顶、底面→荒铣各侧面→刻字 Y 角标记→粗铣底面、盆形腔→顶面、底面加工→铣倒角→喷砂处理→超声波清洗、检验→防异物板装配→焊接→去飞溅、检查。其中 S 孔先精加工，再去毛刺，采用钻、镗工艺在加工中心上完成，保证其尺寸精度及位置精度。

(3) 防异物板

防异物板用于降低因冷却剂中异物进入燃料组件造成燃料棒包壳破损的几率。材料一般为不锈钢，由定位销固定在下管座上。

工艺流程为：原材料出库→线切割下料→铣四周→校平→时效热处理→刻字→电化学加工方孔→尺寸检验→喷砂→检测。

(4) 上管座板弹簧

压紧弹簧安装于上管座键槽内，用于在组件就位后提供压紧力，以克服冷却剂的水力提升力，同时补偿了燃料组件和堆内构件之间不同的膨胀及燃料组件的辐照生长。通常为 4 组板式，Inconel 718 材质。

工艺流程为：板材下料→铣削外轮廓及钻镗孔→精铣外轮廓→钻铰孔→压力机折弯→减薄、修整→方孔线切割（下层板弹簧）→清洗→热处理→尺寸外观检查→喷砂→存储。

(5) 格架研制

结构特点：格架与上下管座、导向管等组成组件骨架，主要用于保持燃料棒的几何排列，保证堆芯具有最佳核、机械、水力、热工性能，并且提供一定刚度，在装和卸燃料组件时起导向作用。格架类似一复杂的“蜂窝”结构，它由 32 片内条带和 4 片外条带组成 17×17 排列的栅元结构。格架条带一般由钎合金带材冲制成形，弹簧由因科镍-718 薄带冲制成形后，电阻点焊在内条带上。内外条带通过装配构成格架的栅元结构，用于夹持燃料棒和固定导向管。

格架条带工艺流程为：原材料出库→冲制成形→清洗检测→热处理→检测和产品包装→入库。

格架工艺流程为：弹簧与内条带组装（仅用于定位格架）→弹簧点焊（仅用于定位格架）→弹簧高度测量（仅用于定位格架）→内条带组装→装外条带→榫头折弯→栅元变形检查→送入点焊焊接室→抽真空冲氩→激光点焊→取出焊接件→送入缝焊焊接室→抽真空冲氩→激光缝焊→取出焊接件→尺寸检查、调整→CCD 格架尺寸检查。

4.2.5 相关组件研制

相关组件分为控制棒组件和固定式相关组件。控制棒分为黑棒和灰棒，固定式组件有二次中子源组件、可燃毒物组件（硼玻璃管芯体）和阻流组件。

(1) 控制棒组件研制

控制棒组件在反应堆内作上下移动，用于调节反应堆的功率，由连接柄和控制棒组装而成。

连接柄部件的加工工艺流程为：零部件清洗→单元件组焊、点焊→涂钎料及止钎剂→钎焊→钳工去除多余钎料→柄体加工（去除钎料）→终检。

控制棒有两种，一是黑棒，在不锈钢包壳内装入吸收中子能力很强的银-铟-镉芯棒；另一种是灰棒，即一根完整的 AISI 304 不锈钢棒，其中子吸收能力稍弱。黑棒的制作工艺过程为：首先将控制棒包壳管与下端塞焊接，然后进行渗氮处理以提高表面硬度、增加控制棒包壳耐磨性能，使控制棒组件具有更长的寿命，最后装入中子吸收体材料后密封焊接上端塞。

控制棒组件组装工艺过程为：上端塞螺纹固定在连接柄部件的指杆中，使用钻孔装置在指杆与上端塞处钻配合孔，装入防转销钉，并用点焊工艺将销钉锁定。

（2）固定式相关组件研制

固定式相关组件包括：二次中子源组件、可燃毒物组件（硼玻璃管芯体）和阻流组件。其研制工艺类似，均是将不同功能的相关棒或不锈钢棒安装在压紧系统上，形成不同功能的相关组件。

压紧系统由压紧杆、板筒焊接件、内、外弹簧组成。与相关棒组合形成各种不同功能的组件，板筒焊接件上带有孔，孔位置与燃料组件导向管排列一致，与燃料组件配装时，保证棒在组件中的导向管位置。

相关棒研制工艺流程为：零部件清洁处理→安装下端塞→下端塞与包壳管焊接→装芯体→安装上端塞→上端塞与包壳管焊接→充氦密封焊接。

二次中子源棒内装铈-铍芯体，充氦压力 4.5MPa。可燃毒物棒内装硼玻璃管。

固定式相关组件的组装工艺过程与控制棒组件类似，在水平方向上装配棒，在直立条件下焊接销钉锁紧螺母。

4.3 其他辅助系统

4.3.1 供氢站

本项目新建一座供氢站（05 子项）。

供氢站采用外购氢气的方式，由露天储氢罐区和汇流排间两部分组成，主要为烧结炉提供纯度和露点等符合要求的氢气。

供氢系统主要由储氢罐、氢气减压装置、氮气瓶、氮气汇流排和相关的管路、仪表组成，包括以下部件：充氢接口用于将外购的氢气注入储氢罐，集中放空口用于排放管路及储氢罐内的氢气；氮气吹扫口用于设备和管路的吹扫；手动取样口用于对氢气进行取样。

供氢系统设有 2 台工作压力为 5MPa、容积为 75m³ 的筒型储氢罐，可以满足烧结炉 14 天的正常用氢量。氢气减压装置采用两个并联、互为备用的减压阀，将来自储氢罐的氢气减压至 0.3MPa 后接入厂区氢气母管。

供氢系统吹扫所需氮气由氮气瓶提供，储存在氮气瓶内的氮气经氮气汇流排汇集、减压后接入供氢系统。

供氢总管设有流量仪表，用于机组启动充氢时监测流量；充氢总管设有氢气露点仪和氢气纯度分析仪，用于测量外购氢气的露点及纯度。

供氢站按照无人值班设计，要求由巡检人员定期检查系统的运行情况。两台储氢罐一台在线供气，另一台备用，当供气总管压力（由氢气减压装置后压力表监测）降低至 0.3MPa 时报警，提醒运行人员手动切换至备用储氢罐组，同时联系供气厂家对压力不足的储氢罐充氢。

系统投入运行之前需要使用氮气进行吹扫；系统停运或检修时首先需放空管道及储氢罐内的氢气，并用氮气进行吹扫；充氢前需打开充氢总管上的放空隔离阀，然后用氮气吹扫。

4.3.2 压缩空气站

本项目已建有压缩空气站一座。

压缩空气站站房位于零部件研制实验室辅助用房内，建筑面积为 120m²，用于供应燃料棒与组件组装实验室、零部件研制实验室压缩空气。站房内安有 55kW 风冷喷油螺杆式压缩空气机 2 台（一用一备），单机排气量 9.1Nm³/min，排气压力 0.85MPa。TSC-2A 风冷冷干机和微热再生吸附式干燥机 2 台。

气体汇流排间与零部件研制实验室相邻，位于实验室北面，用于供应燃料棒与组件组装实验室、零部件研制实验室用氩气和氮气，总面积为 45m²。房间内配置 5700DHIN 型两路气源的氮气低温液体钢瓶自动切换汇流排一套，每路配 2 瓶水容积为 209L 装的低温液体氮气钢瓶（氮气气量为 128Nm³/瓶），输入压力 3.5MPa，输出压力 0.4MPa，配氮气用空温式汽化器 2 台，单台汽化量为 50Nm³/h，2 天换一次瓶。氩气汇流排选用 5700IN 型两路气源的低温液体钢瓶自动切换汇流排一套，每路设 1 瓶水容积为 190L 低温液体氩气钢瓶（氩气气量为 105Nm³/瓶），输入压力 1.5MPa，输出压力为 0.5MPa。设氩气用空温式汽化器 2 台，单台汽化量为 50Nm³/h，2 天换一次瓶。

4.3.3 洗衣房

本项目新建一座洗衣房（06 子项）。

洗衣房内设有洗衣间、烘干间、环境实验室。洗衣间用于工作服和工作鞋的去污，烘干间用于工作服和工作鞋烘干和平整处理。

洗衣间内设三台前后开门的洗衣机，分别用于衣物和工作鞋的清洗，洗衣机机身嵌入洗衣间与烘干间之间的隔墙内，脏衣进口朝向洗衣间，净衣出口朝向烘干间。烘

干间设三台烘干机，两台用于烘干衣物，一台专用于烘鞋。

洗衣废液分为洗衣废液和漂洗废液，由位于洗衣房东侧的废液存储箱间进行分类收集，废液存储箱间设两个废液收集地坑（各设一台废液地坑泵），三个废液贮存箱（两用一备），以及两台废液输送泵（一用一备）。

本项目运行后的环境实验室设在洗衣房内，用于运行期间的环境样品检测分析，设有独立、对外的出入口。

4.3.4 危险品库

本项目新建一座危险品库（07子项）用于贮存厂区生产所需要的危险化学品，为钢筋混凝土框架结构的一座仓库。该子项长约12m，宽约5.4m，地上一层，建筑高度约4.35m，总建筑面积约66m²。

4.3.5 危废品库

本项目新建一座危废品库（08子项）用于对厂区产生的危险废品进行贮存和管理，为钢筋混凝土框架结构的一座仓库。该子项长约12m，宽约5.4m，地上一层，建筑高度约4.35m，总建筑面积约66m²。

4.3.6 取排水、循环水系统

（1）供水

本工程用水由室外预留的DN100进水管供水。建设单位将对原组装车间北面给水管和消防管进行改造，新的环管将布置到新建综合研制室的北侧。

给水系统包括室内生活给水、室内生产给水、室外给水和室外回用水。室外生活给水管网和室外生产给水管网供水至室内，用于室内生活用水和研制用水。

室外回用水系统用于道路及绿地洒水。

本工程日用水量为108.57 m³/d，最大时用水量18.25 m³/h。

（2）排水

本工程排水包括室内外生活污水排水、室内外研制废水排水和雨水排水。生活污水和研制废水采用污废分流设计。

本项目设置了洗衣房，用以清洗放射性控制区未沾污的脏衣物，沾污的脏衣服直

接作为固废处理。洗衣房执行一洗两漂的洗衣工序，第一遍工序的洗衣废水和后续工序的漂洗废水分类收集，检验分析铀浓度，达标废水送往生活污水处理站进行处理，超标废水返回综合研制室进行净化处理。

卫生出入口设置了检测设备，经检测有污染的工作人员进入热淋浴间进行人体去污，热淋浴废水进入放射性废液处理系统进行过滤，检测分析铀浓度，若达标则可免管释放，若仍未达标，则继续进行膜处理和活性炭吸附处理。

生活污水排入一期现有的污水处理装置，经处理达标后部分回用。研制产生的含放射性废水处理达标后运至阳江核电排放口排放。

屋面雨水采用外排水形式排入室外埋地雨水管网。

(3) 循环水系统

本项目的工艺热交换仅涉及芯块烧结炉、氧化炉、工艺试验炉等设备的冷却水循环。为节约用水，设备工艺冷却用水均要求循环使用。其中：

- UO_2 芯块烧结炉（推舟炉）用水量 $1\sim 2\text{ m}^3/\text{h}$ ；
- 钷芯块烧结炉用水量 $15\text{ m}^3/\text{h}$ ；
- U_3O_8 氧化炉用水量 $5\text{ m}^3/\text{h}$ ；
- 钷芯块氧化炉用水量 $15\text{ m}^3/\text{h}$ ；
- 高温复烧炉（带湿氢）用水量 $8\text{ m}^3/\text{h}$ ；
- 工艺试验炉用水量 $8\text{ m}^3/\text{h}$ 。

循环水系统有：

- 装配式钢板水箱 1 个 22.5m^3 ；
- 冷却循环泵 2 台，1 用 1 备 流量 $Q=0\text{-}20\text{L/s}$ ，扬程 $H=50\text{m}$ ；
- 1 套去离子水系统，产水量 $Q=1.5\sim 2.0\text{m}^3/\text{h}$ 。

4.3.7 污水处理站

本工程已建一座污水处理站（04 子项）。根据设计资料，污水站采用物理方法（油水分离+混凝沉淀+二级气浮）预处理后，通过序列间歇式活性污泥反应器（SBR）进行生化处理的方案，设计处理能力为：

- 乳化液废水： $0.5\text{ m}^3/\text{h}$
- 综合废水： $1.0\text{ m}^3/\text{h}$

— 生活污水：1.0 m³/h

污水处理站的设计能力相对原工程试验中心环评文件中的污水产生量（综合废水 2075t/a，生活污水 594t/a）有较大裕量，同时，从污水处理站现有运行情况来看，污水处理量实际较大值为 0.13m³/h，保守按 0.2m³/h 考虑，剩余 0.8m³/h 处理能力较多，因此预计可满足污水处理站也可满足本工程正常运行期间的的生活污水处理需求。该污水处理站已包含在前期工程试验中心项目中通过环评，处理后废水执行《广东省水污染物排放限值》（DB44/26-2001）第二时段一级标准后，部分回用或排入季节性河流。

4.4 辐射防护与临界安全控制

4.4.1 辐射防护

4.4.1.1 辐射防护设计原则

本项目辐射防护设计严格执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)、《铀燃料元件厂设计准则》(EJ/T808-2007)、《铀加工与燃料制造设辐射防护规定》(EJ1056-2005)等标准规范要求,遵循的设计原则包括:

- 遵循辐射防护与安全的基本原则,尽量避免一切不必要的照射,使设计满足辐射防护要求,即实践的正当化、防护的最优化和个人剂量限制,使工作人员和公众所受的照射可合理达到的尽量低(ALARA)。
- 通过辐射工作场所分区和进入控制、屏蔽设计、密闭工作场所通风、区域辐射监测和气载放射性监测等措施控制职业照射。
- 执行“安全第一、预防为主”原则,防止放射性污染扩散,尽量避免发生辐射事故,一旦发生事故,设法将事故后果减至最小。

4.4.1.2 辐射源项与危害因素

根据本项目操作物料和工艺过程,辐射源项主要为原材料铀物料(包括 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{236}U 和 ^{238}U)。根据本项目建设内容、工艺流程及其辐射特性,经呼吸道吸入铀气溶胶造成的 α 内照射是主要危害途径和危害因素。因此,本项目辐射防护设计主要目标是防止铀气溶胶弥散、降低表面污染水平以及限制污染范围。

此外,工作区域内大量铀物料会产生一定强度的 γ 辐射,从而造成外照射危害。因此, γ 辐射也是不可忽略的危害因素。在燃料棒制备和组件组装这些工序所在的区域内,放射性职业危害主要来自于外照射。

4.4.1.3 辐射防护措施

(1) 平面布置与辐射工作场所的分区

为避免交叉污染,实验室内的平面布置采用实体隔离的方法,把非放射性工作区域、放射性工作区域及其不同污染水平区域进行分开布置。放射性工作区域内根据生

产性质、生产岗位分开布置，有利于防止含铀粉尘的扩散和相互影响。实验室为全封闭厂房，设有人流、物流出入口，以防止交叉污染。平面布置保证人员进出工作场所遵循一定的路线，进入时从清洁区到轻污染区，最后到重污染区，出来时则相反。实验室内设置有应急通道，以便在发生事故的情况下及时疏散人员。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)，为便于辐射防护管理和职业照射控制，将放射性工作场所分为控制区和监督区。

1) 控制区

需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射范围。该区域内设有可靠的个人安全防护用品和剂量监测设施，且进入该区域的工作人员配备必需的防护用品。

根据照射或污染水平，将控制区划分为控制 I 区和控制 II 区两个子区。

控制 I 区：排风间、排风值班室、废液暂存区、废固贮存区。

控制 II 区：物料储存间、混料间、制粒间/二次混料间、装芯块间、芯块储存间、氧化间、空桶暂存区、旋转压机间、烧结区、磨削区、芯块库房、芯块烘干间、燃料棒生产车间、芯块装管间、燃料棒库房、组件库房、理化分析间。

2) 监督区

指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域，包括更衣间和淋浴等。

各区的有效剂量率及空气污染浓度限值见表 4.4-1。

表 4.4-1 辐射分区特性

区域名称		有效剂量率限值 ($\mu\text{Sv/h}$)	空气污染浓度 (DAC)	居留特性
监督区		≤ 2.5	≤ 0.1	停留时间不超过 40h/周
控制区	控制 I 区	≤ 10	≤ 0.4	管理进入
	控制 II 区	> 10	≤ 1	管理进入

(2) 出入控制

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的分区原则，为了便于辐射防护管理和职业照射的控制，将操作放射性物质的工作场所按电离辐射照射潜在危险大小及污染情况分为监督区和控制区，并采用以下措施：

- a) 在控制区的出入口及其他适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志；
- b) 在控制区的入口处提供防护用品、监测设备和个人衣物贮存柜；
- c) 在控制区的出口处提供全身式表面污染监测仪和便携式 α/β 表面污染测量仪、小件物品监测仪和淋洗设施。

分别设置人流、物流出入口，配置辐射测量仪表来监测人员和设备的出入。控制区的入口和出口隔开设置，以防止进入和离开人员的相互交叉，避免放射性扩散。

进入工作区域的工作人员必须持有岗位作业卡，经值班人员和实物保护系统验证后方可入内。工作人员进入辐射控制区时，在卫生出入口脱家常服、穿工作服、佩带个人防护用品、进入工作区域；工作人员离开辐射控制区时，在卫生出入口脱工作服、淋浴去污、表面污染测量、穿家常服。

在物流出入口配有便携式 α 、 β 表面污染监测仪和 γ 剂量率仪表，对准备转移出辐射控制区的物料容器等物品的表面污染进行检测。

(3) 去污措施

放射性污染面主要采用高效吸尘器吸尘去污和抹布擦拭去污的方法。

存在潜在污染源的工作区域附近，如库房、混料、制粒、芯块磨削、芯块装管等工位，均备有移动式高效吸尘器，及时对可能的飞散或意外洒落污染物进行清除。

定期对各设备表面和工作场所的表面进行检查，若存在放射性污染情况，采用高效吸尘器进行清理。对于无法通过吸尘器进行清除的粘黏性污染物，采用一次性清洁抹布进行擦拭去污。

(4) 密封、通风与净化

- 密封

密封操作是防止放射性物弥散于作业场所和环境的主要措施之一。根据芯块制备生产工艺特点和辐射防护要求，芯块制备生产线对放射性物料设有三道密封屏障。第一道屏障为直接与放射性介质接触的设备、管道。芯块制备的负压输送等工序的物料均在密闭的设备和管道内反应和转运，减少放射性物质和其他有毒有害物质的泄露；第二道屏障为手套箱及其过滤器和通风管道系统。芯块制备中分装、配料、混料等操作均在手套箱内进行，减少放射性粉尘的扩散；第三道屏障为建筑物本身，建筑物采取密封结构，结构设计保证在设计基准事故情况下建筑物的安全功能不被破坏。

- 通风与净化

合理组织气流，使厂房内的气流流向为：低污染区→高污染区。不同区域的气流组织主要是通过不同区域间的实体隔离和负压来实现有组织流动。设计中采用密闭厂房，厂房内监督区比厂房外低 10~30Pa，实现厂房外气流向厂房内流动；监督区与控制区间有实体墙隔离，控制区比监督区低 10~30Pa，实现监督区气流向控制区流动；控制区内气溶胶浓度比较高的岗位，采取密闭措施，并加强局排，如粉末制粒和压制岗位；芯块磨削设置围封、芯块装管密闭在玻璃隔断内等，通过这些措施使得气流从低污染区到高污染区的有组织流动。

厂房内设有送排风系统，对放射性工作场所进行排风换气，换气次数不小于 4 次/h。厂房全面排风和设备局部排风均经净化设施（高效粒子过滤器等）处理后排放。

（5）辐射屏蔽

— 放射性废物

按照《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）等标准要求，在产生场所对放射性废物进行分拣、装桶并送厂区废物处理设施进行处理，并执行如下原则：

- 遵循废物最小化的原则，尽量减少废物的产生量。
- 设置适当的密封屏障，提供可靠的密封功能和足够的包容能力，加强废气的净化处理，减少放射性物质的扩散，保证在运行工况下工作人员和公众所受照射低于规定的管理限值，并尽可能的小。
- 对放射性废液进行分类处理，尽可能回收利用。
- 对放射性固体废物进行分类收集、处理或贮存。
- 加强对放射性排出物的监测，做到有控排放、达标排放。

— 辐射防护机构设置

各实验室设有辐射防护与监测管理人员和技术人员，负责相应实验室的辐射防护管理与常规、检修及事故监测。

（6）辐射监测系统

辐射监测系统用于监测研制中心内区域、气载、工艺、流出物、人员剂量、表面污染、环境的辐射水平，以及时发现可能出现的放射性泄漏和核临界事故，确保工作人员受照剂量低于国家剂量限值，流出物排放和环境影响符合相关标准和法规的要求。

— 区域监测

设置固定式区域 γ 辐射监测仪，实时监测辐射水平可能出现异常且人员活动较频

繁区域的 γ 剂量率，及时发现容器泄漏或临界产生的放射性水平异常。当探测到剂量率超过预置阈值时，监测仪将在就地发出报警信号，提醒工作人员撤离或远离该区域。

本系统还配置便携式 γ 剂量率仪，用于测量上述固定监测不能覆盖到的地方，并承担事故应急时巡测工作。

根据 GB18871-2002 附录 B 的规定，工作场所放射性表面污染控制水平见表 4.4-2。

表 4.4-2 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		α 表面污染控制水平 (Bq/cm ²)
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4
	监督区	0.4
工作服、手套、工作鞋	控制区	0.4
手、皮肤、内衣、工作袜	监督区	0.04

- 气载监测

设置移动式连续气溶胶辐射监测仪，实时监测辐射水平可能出现异常且人员活动较频繁区域中气溶胶的放射性活度浓度，及时发现气载放射性水平的异常。当探测到活度浓度超过预置阈值时，监测仪将在就地发出报警信号，提醒工作人员撤离或远离该区域。

设置移动式空气取样装置，在辐射控制区内重点关注区域定期连续取样，样品定期用低本底 α/β 测量仪进行测量，以评估辐射控制区内平均放射性水平。

- 事故临界监测

设置核事故临界监测仪，用于监测可能发生的临界事故。每套临界监测仪包括 3 个 γ 辐射探测器、1 个就地处理器（含声光报警装置）。 γ 辐射探测器布置于可能发生核临界事故的区域，就地辐射处理器位于附近。

当 3 个探测器中有 2 个探测到剂量率超过预置阈值时，监测仪将在就地发出报警信号，提醒工作人员撤离或远离该区域。

- 流出物监测

对于气态流出物，设置 1 套气溶胶监测和取样系统，由安装于排风烟囱内的流量计和取样装置、取样管道和固定式气溶胶监测仪组成。当探测到活度浓度超过预置阈值时，监测仪将在就地发出报警信号，提醒工作人员排放出现异常。该监测仪同时具

有气溶胶取样功能，气溶胶样品每周一次送往实验室用铀分析仪进行测量，以确定向环境排放的铀总量。

对于液态流出物，经处理达标后在外运排放前，废水样品送往实验室用铀分析仪进行测量。

- 人员剂量监测

对于个人外照射剂量，为每个工作人员配置 1 台电子式个人剂量计，用于实时监测和报警。

在研制中心运行期间，营运单位将委托第三方有资质机构，开展以下工作：

- a) 为每个工作人员配置热释光剂量计，定期测量个人外照射剂量。
- b) 通过铀分析仪定期测量工作人员尿中铀含量，评价工作人员的内照射剂量。

- 表面污染监测

在控制区出入口设置全身式表面污染监测仪和便携式 α/β 表面污染测量仪，对工作人员离开该区域时的受污染程度进行测量，防止污染区域的放射性物质扩散到非控制区。

在控制区出入口设置小件物品污染监测仪，对离开控制区的小件物品的污染程度进行测量，防止受污染的小件物品将污染扩散到非控制区。

为洗衣房的分拣间和平整间分别配置便携式 α/β 测量仪，用于对清洗前后的衣物进行表面放射性污染水平检测。

本系统还配置便携式 α/β 测量仪，测量物流出入口的物料容器或放射性废物桶的表面污染水平，并定期测量放射性工作场所内地面、墙面、设备等物体的表面污染水平。

4.4.2 临界安全控制

4.4.2.1 临界安全控制设计准则

(1) 在设计中，优先考虑核临界安全。涉及操作、加工、处理和贮存易裂变核材料的工艺过程，必须遵循核临界安全法规标准，保证核设施工艺、部件、系统和结构具有合适的特性、技术规格和材料构成，并进行合理组合和布局，满足法规标准要求。

(2) 采用双偶然事件原则，即在工艺设计中使含可裂变材料的设备或区域有足够的系数，使得在有关的工艺条件中至少必须要同时或相继发生两起不太可能且独

立的变化，系统仍能保持次临界状态。

(3) 在确定次临界控制方法时，首先应准确地找出影响核临界安全的各种因素，然后单独或综合地全面分析这些因素对临界参数的影响程度，尤其应注意分析常规操作、非常规操作和异常事件时可能出现的影响核临界安全最不利的状况，最后确定控制方法。

4.4.2.2 临界安全控制措施

(1) 优先采用的设计方法

- 选用几何良好的设备

设计中尽可能依靠限制设备几何尺寸的设计而不是行政管理措施来实施临界控制，即优先选择“几何良好”的设备。燃料元件生产过程中采用几何控制的主要设备有：磨削液储槽、磨削渣液离心机等。

- 减少物料沉积

采用特殊的设计或者必要的措施将易裂变材料在运行人员不可及位置上的积累减少至最低。设计中需要采用防沉积措施的设备及防沉积措施主要如下：

a) 物料容器的物料排出口设置在容器的最低位置，方便物料的完全排出；

b) 燃料芯块制造工艺中 UO_2 粉末等粉末混合容器和粉末贮存料筒底部均设计为圆锥形。

- 慢化控制

厂房内涉及到核材料的设备可以分为两类，一类是采用几何控制的几何良好设备，另一类是需要采取行政措施控制或其他措施才能满足次临界安全要求的设备。采用几何控制的设备不需要考虑慢化作用，其他设备在临界安全分析过程中必须考虑可能出现的最不利的单元内慢化和单元之间慢化的情况，保证核临界安全不决定于单元内和单元之间的慢化程度。

a) 水的控制。

应当严格限制易裂变材料大量存放或者暂存岗位水的引入，涉及到物量大量存放的岗位主要是 UO_2 粉末库房、燃料芯块库房，在工程设计中采取的限制或者隔绝水引入的措施包括：

在贮存有大量核材料的厂房内不设置消防栓，当存放有大量核材料的厂房发生事

故时，如需动用室外消防设施必须征得临界安全和辐射防护工程师的同意后才能使用；
将使用水的工序与需要严格限制水引入的工序在厂房布置时隔离或布置得尽量远。

b) 具有慢化作用添加剂的控制。

在芯块制备工序中需要添加草酸铵和硬脂酸锌，这两种材料均含有具有较强慢化作用的氢元素，因此需要对每批操作中添加剂的质量进行严格控制。向物料中添加草酸铵或者硬脂酸锌时由两名操作人员分别进行两次称量和两次检查，称量工具为天平，在将添加剂投入单锥双螺旋混料器和双锥料桶时必须要有监督人员或者其他监督措施。

- 中子反射层厚度

在临界安全分析中，单体设备需要考虑足够厚度的水反射层；考虑设备之间的相互作用时，在系统周围应布置足够厚度的水反射层，保证核临界安全不决定于中子反射层的厚度。

(2) 其他控制措施

- 消防器材的选择和使用

常备的消防器材处于备用状态，发生火灾时，保证消防设备能够立刻投入使用。厂房内常备灭火器采用手提式磷酸铵盐灭火器。如果发生火灾且火势非常大，磷酸铵盐灭火器无法控制火势必须要动用室外消防设备时，首选二氧化碳泡沫消防车。如果使用水或含水灭火剂进行灭火时，必须首先得到临界安全人员和辐射防护人员的同意。

- 慢化和反射条件的控制

在对单元或者阵列进行核临界安全分析时，如果无法从工艺流程、设备结构和布置以及操作等方面完全排除不利于核临界安全的慢化、反射的影响，则必须对人体的反射和慢化作用、薄水层或者低密度水的慢化作用进行分析。一般将设备周围的水反射层厚度取 30cm，以保证临界安全分析的结果不决定于反射层的厚度。

- 临界相关仪表的校准

定期对与核临界相关的仪表（如铀浓度分析仪，含水量仪等）进行检查和校准，检查和校准必须由有资格的单位或者人员进行，且检查和校准周期要比常规仪表要短。

- 物料的转移

采用必要和严格的行政管理措施保证在物料的转移环节中涉及到核临界安全的参数核对无误，例如：UO₂粉末的质量、含水量与密度，含铀废水、废渣的铀含量等。

4.4.2.3 次临界控制措施

可裂变材料的质量和浓度、设备的几何尺寸和形状、慢化条件等都是主要的临界安全控制参数。临界安全控制方式是在全面分析整个工艺流程的基础上，选择上述一种或几种参数进行控制。

本项目主要核临界安全单元的设备或系统的次临界控制参数和次临界限值见表 4.4-3。

4.4.2.4 临界事故报警系统

本工程设置临界事故报警系统，借助快速探测和即时撤离报警，将临界事故引起的总危险和所致的工作人员总剂量减至最小。

(1) 探测点的布置

根据《核临界安全手册》（日本原子能研究所编著原子能出版社）和《美国能源部良好实践导则》（原子能出版社），具有发生潜在临界事故岗位均需设置临界事故报警系统。这些潜在临界事故岗位主要是根据工艺和物料贮存量和各工序的临界安全分析，主要是制粒工序、磨削工序和燃料棒制造大厅，共设置 4 套临界事故 γ 报警系统。

(2) 系统组成

每套临界事故 γ 报警系统由三个 γ 辐射探测器、就地处理器（含声光报警装置）等组成。 γ 辐射探测器布置于可能发生核临界事故的区域，就地辐射处理器位于附近。

(3) 探测半径确定

根据 GB15146.9-1994 中规定，探头的布置应能探测到最小临界事故。最小临界事故：在无屏蔽条件下，60s 内在距反应物体 2m 处的自由空气中所引起的中子和 γ 辐射的总吸收剂量为 0.2Gy。

根据 GB15146.9-1994 附录 A，在最小临界事故条件下，对于金属系统 2m 处的 γ 辐射剂量为 0.015Gy/min。当把临界报警系统的报警整定值设置为 5×10^{-4} Gy/h 时，有效作用半径约为 150m。

在实际中，由于存在遮挡物体，其有效探测距离小于 150m。因此，探头均布置在潜在临界事故岗位附近。

(4) 临界报警系统动作程序

- 所有临界事故 γ 报警系统的监测数据、报警信号、失效/故障信号送往辐射监

控室内。

- 对于每套临界事故 γ 报警系统，3个探测器中至少2个超过报警阈值，确定为发生临界事故。
- 当临界事故 γ 报警系统探测到发生临界事故，就地辐射处理箱上指示安全状态的绿灯灭，指示事故状态的红灯亮，并发出报警声响。
- 任一探测器出现故障，就地辐射处理器发生故障报警信号，提醒工作人员检查处理。
- 当临界事故 γ 报警系统出现报警，报警信号自锁，持续到手动复位，并配备防止未经批准的人去动复位开关的装置。

表 4.4-3 主要核临界安全单元的设备或系统的次临界控制参数和次临界限值

工序或岗位名称	核临界安全重要设备	设备特征 (mm)	物料特征	次临界控制方式	控制参数			备注
					运行参数	次临界控制参数	次临界限值	
混合、制粒	单锥双螺旋混料器	倒锥体, 几何容积 $<1\text{m}^3$	—	慢化控制	UO ₂ 粉末含水率 $\leq 1\%$, U ₃ O ₈ 含水率 $\leq 1\%$, 粉末总质量 $<1000\text{kg}$; 草酸铵添加量 $\leq 8.0\text{kg}$, 硬脂酸锌添加量 $\leq 0.5\text{kg}$	UO ₂ 粉末含水率 $\leq 2.52\%$, U ₃ O ₈ 含水率 $\leq 2.52\%$, 粉末总质量 $<100\text{kg}$; 草酸铵添加量 $\leq 16\text{kg}$, 硬脂酸锌添加量 $\leq 0.5\text{kg}$	UO ₂ 粉末含水率 $\leq 3\%$, U ₃ O ₈ 含水率 $\leq 3\%$, 粉末总质量 $<900\text{kg}$; 草酸铵添加量 $\leq 16.8\text{kg}$	加强管理措施, 控制草酸添加量, 并防止投比批料。
	混合器	—	—	慢化控制	硬脂酸锌 $\leq 0.7\text{kg}$, 物料 $\leq 350\text{kg}$	硬脂酸锌 $\leq 1.4\text{kg}$	硬脂酸锌添加量 $\leq 8.4\text{kg}$, 物料 $\leq 350\text{kg}$	加强管理措施, 控制草酸添加量, 并防止投比批料。
磨削	振动上料仓	10L	—	几何控制	10L	$\leq 15\text{L}$	19.5L	GB15146.2-2008 中图 4 的规定
	离心分离机	几何容积 7.2L, 几何高 177mm, 轻液在上部轴向排出, 浆体存于橡胶套内	UO ₂ -H ₂ O 混合物	几何安全	7.2L	$\leq 15\text{L}$	19.5L	参考《核临界安全指南》
	磨削渣液贮槽	—	UO ₂ -H ₂ O 水混合物	几何安全	沉降渣厚度 $\leq 9\text{cm}$	沉降渣厚度 $\leq 9\text{cm}$	9.8cm	1. GB15146.2-2008 中图 3 的规定 2. 在槽体 10cm 位置处开有溢流口, 可确保磨削渣液高度 $<9.8\text{cm}$
芯块库房	芯块柜	外尺寸: 660×420×2200, UO ₂ 芯块	UO ₂ 芯块	质量控制和间距控制	UO ₂ 芯块质量 $<203.16\text{kg}$; 30 个 V 型盘	UO ₂ 芯块质量 $<203\text{kg}$ 。30 个 V 型盘, 每 5 个 V 型盘为一组, 层中心间距为 4cm; V 型盘表面竖向 6 组, 间距为 16cm;	keff ≤ 0.93	确保芯块柜结构完整性; 芯块柜内用导轨和格架来确定 V 型盘的间距并确保 V 型盘的个数。芯块柜暂存于芯块库房, 芯块柜临界安全分析见芯块库房。
		芯块柜	UO ₂ 芯块	控制芯块柜的相应参数	≤ 12 个芯块柜	—	keff ≤ 0.93	避免引入慢化材料;
	燃料棒存放架		UO ₂ 芯块	间距控制	≤ 141 根燃料棒每贮槽	层间距 $\geq 42.0\text{cm}$	keff ≤ 0.93	货架已固定, 可保证间距
组件清洗	组件	264 根燃料棒、棒中心间距 12.6mm	UO ₂ 芯块	慢化控制、间距控制	一个组件, 即 264 根燃料棒	—	keff ≤ 0.96	正四棱柱排列
组件库房	—	—	UO ₂ 芯块	间距控制	≤ 300 组组件	组件基本贮存阵列: 162mm (列) × 282mm (行)	keff ≤ 0.96	避免引入慢化材料

4.5 三废处理与排放

4.5.1 放射性废液处理系统及排放

(1) 废液分类

放射性废液处理系统设计用于控制、收集、处理、输送和贮存燃料研制中心运行期间产生的放射性液体废物。放射性废液处理系统主要接收和处理两类废液：研制废液和其他废液。

- 研制废液包括了磨削芯块时产生的磨削废液、针对芯块进行金相检测时产生的金相及理化分析过程产生的废液。
- 其他废液主要来源于地坑接收到的地面疏水。

各类放射性废液预期产生量见表 4.5-1。

表 4.5-1 各类放射性废液预期产生量

废液来源	预期产生量(m ³ /a)	铀浓度(mg/L)
磨削废液	4.8	<60
金相及理化分析废液	12	<60
地面疏水	6	<1

对这两类废液，放射性废液处理系统先通过废液接收箱分类收集。放射性废液处理系统的处理过程主要分成三个步骤，过滤、膜处理和离子交换。

先以过滤器过滤接收到废液中的固体 UO₂ 小颗粒。一般情况下，UO₂ 颗粒的粒径大约在 5~10 μ m。过滤器滤网精度采用 5 μ m，用以去除粒径超过 90%的 UO₂ 颗粒。过滤器后设置 1 台膜处理装置，采用两支 500mm 长的膜串联的形式处理废液中部分粒径小于 5 μ m 的颗粒。膜组件浓水段设置一台活性炭床，用于吸附浓水中的 UO₂ 小颗粒。由于年废液总量不高，膜组件和活性炭每三年更换一次。膜组件处理后的废液暂存于废液暂存箱，经取样分析后，达标废液经废液输送泵送往流出物废液暂存箱，不达标废液进一步处理。需进一步处理的废液经过 2 台串联的离子交换床，每台床的处理流量约为 0.3~1m³/h。经进一步处理后，确保最终液态流出物放射性指标达到《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)中相关要求(总 α 放射性<0.5Bq/L、总 β 放射性<1Bq/L)。

废液处理系统工艺流程图见图 4.5-1。

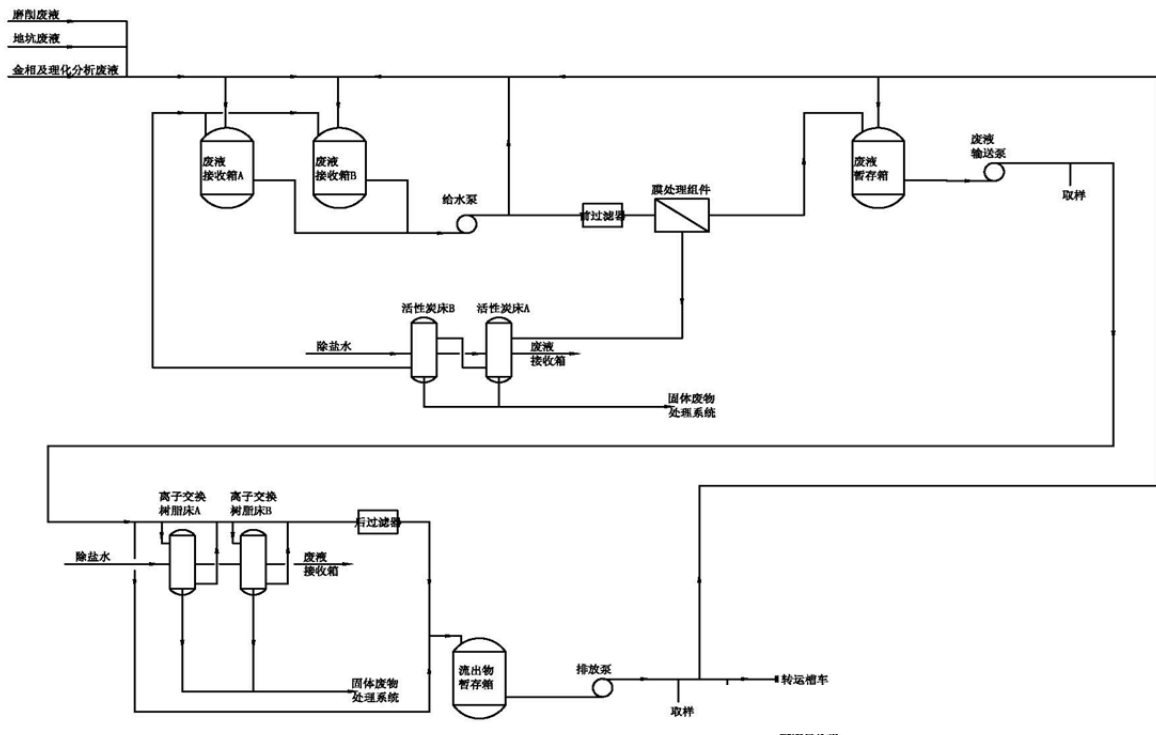


图 4.5-1 废液处理系统工艺流程图

系统共设置 2 个废液接收箱，分别用于接收研制废液和其他废液，考虑到两种废液的产生量比较少，两种废液各设计 1 个废液接收箱且两个废液接收箱互相备用；设置 1 个废液暂存箱，设置 1 个流出物废液暂存箱，用于贮存经树脂床处理后的废液，设计可容纳约 2~3 个月的暂存容量（~5m³）。处理后的液态流出物放射性指标满足《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2006）中相关要求，定期运至阳江核电排放口排放。

（2）系统设备

废液系统主要设备包括废液接收箱、废液暂存箱、泵、前过滤器、膜处理组件、活性炭床、离子交换树脂床等。

废液接收箱和废液暂存箱都采用带有碟型封头的立式圆柱形箱体，箱体底部设有泵吸水管，侧面设置人孔便于检修，底部设有排空管道。

废液输送泵和排放泵选用立式离心泵，安装在水箱附近。

膜处理组件采用两支 500mm 长的 4021 膜串联。

过滤器精度采用 5μm。

离子交换树脂床采用串联运行模式，具备新树脂装填和废树脂卸载功能，用于装

填新树脂和更换失效后树脂。

主要设备清单见表 4.5-2。

表 4.5-2 放射性废液处理系统设备清单

序号	设备名称	数量/台	主要参数
1	废液接收箱	2	有效容积 5m ³
2	给水泵	1	流量 3m ³ /h, 扬程 400m
3	前过滤器	1	精度 5μm
4	膜处理组件	1	2 支 4021 膜串联
5	活性炭床	2	处理流量: 0.3~1m ³ /h 有效装载量: 300L
6	废液暂存箱	1	有效容积 5m ³
7	废液输送泵	1	流量 3m ³ /h, 扬程 120m
8	离子交换树脂床	2	处理流量: 0.3~1m ³ /h 有效装载量: 0.15L
9	后过滤器	1	精度 20μm (暂定)
10	流出物暂存箱	1	有效容积 5m ³
11	排放泵	1	流量 3m ³ /h, 扬程 50m
12	疏水地坑	1	2m×3m×2m
13	地坑泵	2	流量 3m ³ /h, 扬程 50m

4.5.2 放射性废气处理及排放

本项目运行产生的放射性废气可分为工艺废气和通风排气两部分。放射性废气中放射性物质主要以气溶胶形式存在，放射性废气处理系统通过去除废气中的放射性物质，使废气达标排放。

(1) 废气生产工艺

放射性废气主要产生于如下工序过程中：

- 轧辊制粒工序：各物料转移接口处的环形排风罩及单锥双螺旋混料器的尾气，如粉末料桶与单锥双螺旋混料器物料接口和轧辊制粒机与混料料桶物料接口；
- 压制成型工序：混料料桶与缓存料仓接口的排风；
- 生坯芯块暂存：生坯芯块暂存装置排风；
- 烧结工序：炉头、炉尾的尾气；
- 烧结芯块暂存：烧结芯块暂存装置排风；
- 磨削工序：磨削线产生的含铀气溶胶工艺尾气；

- 外检：外检工作台的通风柜排风；
- 磨削渣烘干工序：磨削渣烘箱产生的含铀气溶胶工艺废气和磨削渣分装手套箱产生的含铀气溶胶工艺废气；
- 氧化工序：进出料手套箱产生的含铀气溶胶工艺废气；
- 芯块烘干工序：箱式烘干设备的尾气；
- 芯块装管间：局排或排风罩排风。

工艺废气主要通过管式过滤器过滤、JP-1 排风系统预过滤器过滤、HEPA 过滤器过滤后经烟囱排入环境。通风废气经 JP-1 排风系统预过滤器过滤、HEPA 过滤器过滤后经烟囱排入环境。工艺废气和通风废气经处理后，总净化效率 > 99.9%。

(2) 排放源项

根据《电离辐射环境监测与评价》（潘自强主编，原子能出版社），假定所有排放控制失效，决定释放源项的限制因素是操作量、工艺产量、被操作物质的物理形态。该文献规定：对于气体、可凝结和不可凝结的，以及受热到足够温度时成为挥发态的固体或液体，用于估计大气释放的倍乘系数为 1；对于液体或固体微粒，倍乘系数为 1.0E-03；对于固体（除了上述状态），倍乘系数为 1.0E-06。预估释放量为最大预计操作量乘以倍乘系数。

本工程在估算气载源项时，在考虑操作条件后，对于粉末，释放因子取 1.0E-03；对于混合球化物料，释放因子取 1.0E-04；对于生坯芯块，释放因子取 1.0E-04；对于烧结芯块，释放因子取 1.0E-06。分析中通风系统过滤效率保守的取为 99%，各工序/区域气载流出物产生量、排放量数据如表 4.5-3 所示。

表 4.5-3 放射性气载流出物产生量、排放量及处理措施

工序/区域	主要污染源	主要污染物	总操作量 (kg U/a)	初始活度 (Bq/a)	过滤效率	预计排放量 (Bq/a)	
15 吨普线	制粒	UO ₂ 粉末真空输料系统吸料端	UO ₂ 气溶胶	15066.3	1.66E+08	99%	1.66E+06
		U ₃ O ₈ 粉末真空输料系统吸料端	U ₃ O ₈ 气溶胶	1205.3	1.66E+08	99%	1.66E+06
		真空吸料系统	含铀气溶胶	16271.7	2.25E+09	99%	2.25E+07
		单锥双螺旋混料器	含铀气溶胶	16271.7	2.25E+09	99%	2.25E+07
		轧片制粒与制粒粉末料桶物料接口	含铀气溶胶	16271.7	1.66E+08	99%	1.66E+06

	压制成型	制粒粉末料桶与中间料箱接口	含铀气溶胶	16271.7	1.66E+08	99%	1.66E+06
		旋转成型压机和生坯芯块自动装盘装置	含铀气溶胶	16256.1	2.24E+08	99%	2.24E+06
	生坯芯块暂存	生坯芯块自动储存系统	含铀气溶胶	16256.1	2.24E+08	99%	2.24E+06
	烧结	烧结炉（推舟式）	UO ₂ 气溶胶	16109.9	2.22E+08	99%	2.22E+06
	烧结芯块暂存	芯块柜	UO ₂ 气溶胶	16109.9	2.22E+06	99%	2.22E+04
	磨削	磨削线	UO ₂ 气溶胶	15626.6	2.16E+09	99%	2.16E+07
	外检	外检工作台	UO ₂ 气溶胶	15001.5	2.07E+06	99%	2.07E+04
	磨削渣烘干	磨削渣烘箱	UO ₂ 气溶胶	312.5	4.31E+07	99%	4.31E+05
		磨削渣分装手套箱	UO ₂ 气溶胶	312.5	4.31E+07	99%	4.31E+05
	氧化	进料工作箱	UO ₂ 气溶胶	611.0	8.43E+07	99%	8.43E+05
		氧化装置	含铀气溶胶	611.0	8.43E+07	99%	8.43E+05
		出料工作箱	U ₃ O ₈ 气溶胶	611.0	8.43E+07	99%	8.43E+05
		松装振实筛分手套箱	U ₃ O ₈ 气溶胶	468.8	6.47E+07	99%	6.47E+05
	芯块烘干	烘箱	UO ₂ 气溶胶	15001.5	2.07E+06	99%	2.07E+04
芯块装管	装管机	UO ₂ 气溶胶	15001.5	2.07E+06	99%	2.07E+04	
2吨轧线	制粒	UO ₂ 粉末上料口	含铀气溶胶	NA	1.10E+07	99%	1.10E+05
		U ₃ O ₈ 粉末上料口	含铀气溶胶	NA	1.10E+07	99%	1.10E+05
		犁铧式混料器	含铀气溶胶	2182.0	3.01E+08	99%	3.01E+06
		轧片制粒	含铀气溶胶	2182.0	3.01E+08	99%	3.01E+06
		轧片制粒与制粒粉末料桶物料接口	含铀气溶胶	NA	5.52E+06	99%	5.52E+04
		制粒粉末料桶与中间料桶接口	含铀气溶胶	NA	5.52E+06	99%	5.52E+04
		旋转压机、进出料工作箱	含铀气溶胶	2174.0	3.00E+07	99%	3.00E+05
		生胚暂存	含铀气溶胶	2174.0	3.00E+07	99%	3.00E+05
	烧结	烧结炉（批次炉）	UO ₂ 气溶胶	2148.0	2.96E+07	99%	2.96E+05
		烧结芯块暂存	UO ₂ 气溶胶	2148.0	2.96E+05	99%	2.96E+03
	磨削	磨削线	UO ₂ 气溶胶	2083.5	2.88E+08	99%	2.88E+06
	外检	外检工作台	UO ₂ 气溶胶	2000.2	2.76E+05	99%	2.76E+03
	磨削渣烘干	磨削渣烘箱	UO ₂ 气溶胶	41.7	5.75E+06	99%	5.75E+04
		磨削渣分装手套箱	UO ₂ 气溶胶	41.7	5.75E+06	99%	5.75E+04
	氧化	进料工作箱	UO ₂ 气溶胶	81.5	1.12E+07	99%	1.12E+05
		氧化装置	含铀气溶胶	81.5	1.12E+07	99%	1.12E+05

	出料工作箱	U ₃ O ₈ 气溶胶	81.5	1.12E+07	99%	1.12E+05
	松装振实筛分手套箱	U ₃ O ₈ 气溶胶	62.5	8.63E+06	99%	8.63E+04
芯块烘干	烘箱	UO ₂ 气溶胶	2000.2	2.76E+05	99%	2.76E+03
芯块装管	装管机	UO ₂ 气溶胶	2000.2	2.76E+05	99%	2.76E+03

放射性废气处理系统的主要设备见表 4.5-4。

表 4.5-4 放射性废气处理系统的主要设备

检验区 HVAC 系统		芯块和轧棒车间 HVAC 系统	
直膨式空气处理机组		直膨式空气处理机组	
数量	2	数量	2
低效过滤器	G4	低效过滤器	G4
中效过滤器	F7	中效过滤器	F7
额定风量, m ³ /h	11000	额定风量, m ³ /h	35000
冷却容量, kW	41	冷却容量, kW	442
加热容量, kW	30	加热容量, kW	310
机外余压, Pa	350	机外余压, Pa	550
室外机, kW	制冷 52/ 制热 36	室外机, kW	制冷 445 / 制热 312
理化实验室及烧结间 HVAC 系统		排风机	
直膨式空气处理机组		数量	2
数量	1	额定风量, m ³ /h	40000
低效过滤器	G4	全压, Pa	1800
中效过滤器	F7	排风过滤机组	
额定风量, m ³ /h	20000	数量	1
冷却容量, kW	245	预过滤器	80%
加热容量, kW	170	HEPA 过滤器	99.97%
机外余压, Pa	450	烧结间事故排风机	
室外机, kW	制冷 250/ 制热 175	数量	1
排风机		额定风量, m ³ /h	12600
数量	1	全压, Pa	600
额定风量, m ³ /h	22000	三废区 HVAC 系统	
全压, Pa	1800	空气处理机组	
排风过滤机组		数量	1
数量	1	低效过滤器	G4
预过滤器	80%	中效过滤器	F7
HEPA 过滤器	99.97%	额定风量, m ³ /h	25500
工艺局部排风系统		机外余压, Pa	500
排风机		排风机	
数量	1	数量	1
额定风量, m ³ /h	20000	额定风量, m ³ /h	28000
全压, Pa	1800	全压, Pa	1600

排风过滤机组		排风过滤机组	
数量	1	数量	1
预过滤器	80%	预过滤器	80%
HEPA 过滤器	99.97%	HEPA 过滤器	99.97%

根据上述估算方法，可以得出气载放射性流出物年排放量为 $9.47\text{E}+07\text{Bq}$ ，具体见表 4.5-5。

表 4.5-5 气载放射性流出物年排放量

U-234 (Bq/a)	U-235 (Bq/a)	U-238 (Bq/a)	排放总量 (Bq/a)
8.39E+07	2.74E+06	8.07E+06	9.47E+07

4.5.3 放射性固废处理系统及固废产生量

(1) 放射性固废处理系统

放射性固废处理系统主要功能是收集、整备和贮存燃料研制中心各系统运行所产生的放射性固体废物。放射性固体废物包括废树脂（含活性炭）、水过滤器滤芯、通风过滤器滤芯、干废物（含可燃废物、金属废物等）。各类放射性固体废物经过分类收集、包装后，送往废物暂存区进行暂存。暂存一定期限后送往具备可接受条件的单位进行处理与处置。

废树脂：在综合研制室地下一层设置两个废树脂接收槽，接收和贮存上游系统产生的废树脂（含活性炭）。废树脂接收槽具备足够的容量，可贮存燃料研制中心 20 年内产生废树脂。同时设置废树脂输送泵，可用于定期混合废树脂接收槽内的废树脂，也可用于转运废树脂接收槽内多余的冲排水。废树脂接收槽同时设置有压空和除盐水接口，也可利用压空和除盐水对废树脂进行混合，防止树脂板结。废树脂接收槽留有废树脂外运接口，后续可通过专用的废树脂屏蔽转运装置进行转运。

水过滤器滤芯：通过滤芯转运装置对水过滤器滤芯进行更换和转运。滤芯转运装置可提供足够的屏蔽，便于保证更换时操作人员的辐射防护安全。滤芯转运装置单次可更换一个水过滤器滤芯，并将更换后的水过滤器滤芯转移至水滤芯贮存区。水过滤器滤芯贮存区综合研制室一层，可提供足够的容量和屏蔽。

通风过滤器滤芯：在综合研制室三层，将更换后的通风过滤器滤芯优先进行监测与分拣，其中活度水平较低的滤芯统一收集并实施清洁解控，活度水平较高的滤芯通过通风过滤器预压打包装置进行压实后，装入贮存容器中，送往废物暂存区进行暂存。

干废物：干废物包括金属废物和可燃废物，对于研制过程中表面沾污的金属，经现场去污后，监测确定金属废物表面沾污合格，装入相应的贮存容器中，送往废物暂存区进行暂存。对于研制过程中所产生的可燃废物，装入相应的贮存容器中，送往废物暂存区进行暂存。

膜组件：废膜组件经更换后，在产生场所收集包装，装入相应的贮存容器中，送往废物贮存区进行暂存

放射性固废处理系统设置转运通道，具备外运条件。燃料研制中心各类废物预计产量及活度水平见表 4.5-6。

表 4.5-6 放射性固体废物预计产量及活度

废物类型	废物产量（每年）	比活度（Bq/kg）	处理方式
废树脂	0.1m ³	<4.10E+03	废树脂接收槽贮存
水过滤器滤芯	2 个	<2.98E+05	废滤芯储存格架贮存
废活性炭	0.2m ³	<2.69 E+03	废树脂接收槽贮存
废膜组件	0.66 个	<2.69 E+01	分拣打包后，废物暂存
金属废物	200kg	>0.08Bq/cm ²	设备去污后暂存
可燃废物	400kg	<1.38E+5	分拣打包后，废物暂存
通风过滤器滤芯	40 个	<4.05E+7	压实打包后，废物暂存

放射性固废处理系统主要设备包括废树脂接收槽、废树脂转运泵及通风过滤器滤芯预压打包装置等，设备清单详见表 4.5-7。

废树脂处理流程图见图 4.5-3。

表 4.5-7 放射性固体废物处理系统主要设备

序号	设备名称	数量/台	主要参数
1	废树脂接收槽	2	有效容积 5m ³
2	废树脂转运泵	1	流量 15m ³ /h，扬程 30m
3	通风过滤器滤芯预压打包装置	1	NA
4	水过滤器滤芯贮存格架	1	NA

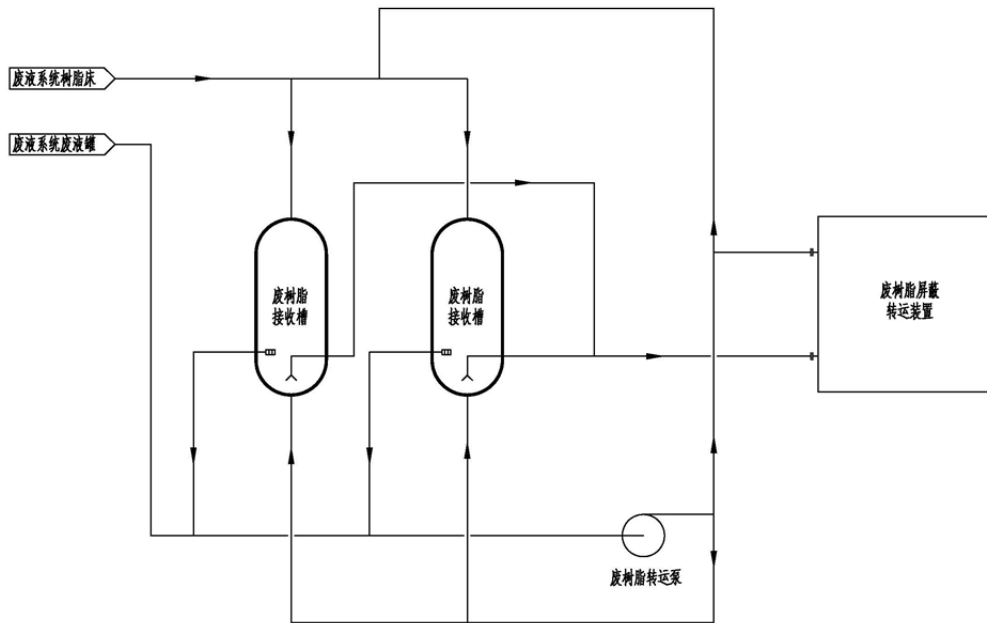


图 4.5-3 废树脂处理流程图

(2) 放射性废物贮存

本项目共设四个放射性固废贮存区，两个在一层运输通道西侧，一个在三层通风机房西侧、一个在地下一层。

地下一层的废树脂接收槽间主要用于贮存废树脂，该房间内设有两个废树脂接收槽。该房间北侧设置了废树脂输送泵及阀门间，实现实体隔离。

1 层的放射性废固贮存区一个面积约为 47m^2 ，用于存放金属废物和其他可燃/不可燃废物。金属废物和可燃/不可燃废物分类收集后装入 200L 钢桶，直接送往一楼的放射性废固区贮存，200L 钢桶堆叠两层存放。

另一个 1 层的放射性废固贮存区面积约为 60m^2 ，用于设置水滤芯更换装置和水滤芯贮存格架，换下的水滤芯直接存放于水滤芯贮存格架中。

3 层的放射性废固贮存区用于设置通风滤芯预压装置和存放预压后的通风滤芯，贮存区面积约为 500m^2 。通风机房替换下的滤芯先送到预压装置预压，再装入 200L 钢桶存放，每个 200L 钢桶约可装 2 个预压后的通风滤芯。

4.5.4 非放废物处理

本项目运行产生的非放射性废气主要类型包括打磨废气、线切割废气、电火花设备废气和各类焊接废气（激光焊、点焊、氩弧焊）废气以及备用发电机尾气。该类废气通过配置移动式单机烟尘净化器、油雾分离器或风机机械通风的方式进行处理。

非放射性废水主要来自超声波清洗废水、碳氢清洗废水、组件棒清洗废水和理化检验中心用水等生产综合废水和工作人员的生活污水，该部分废水将排入场区内的污水处理站，通过一体化处理设备处理达标后排入季节性河流。

非放射性固体废物主要包括危险废物、一般工业固体废物两类。其中危险废物包括机加工段的废切削液、冲压废油、含油棉纺织物、理化实验废弃样品、乳化液废水污泥、含油污泥和油水分离出的废油等，将在研制中心危废品库暂存，定期交危废处置单位处置；一般工业固废包括边角料、废焊丝等，本项目在零部件研制实验室内设有锆屑暂存区，集中收集管理。

以上非放射性废气、废水和固体废物的产生、收集、处理和排放已包含在已通过审批的项目前期的环境影响评价中，本项目无新增源项。

本项目新增建设（子项 06）洗衣房，用于对放射性控制区内操作人员未沾污的衣物及鞋进行清洗复用，洗衣废液量每年约为 400m³。洗衣房执行一洗两漂的洗衣工序，第一遍工序的洗衣废水和后续工序的漂洗废水分别送入不同的废液暂存箱暂存。废液暂存箱设置于洗衣房建筑内，共有三个，两用一备，一个用于存放洗衣废液，一个用于存放漂洗废液，一个备用。废液暂存箱内的洗衣废液经检测后，总 $\alpha < 0.5\text{Bq/L}$ 通过洗衣废液输送泵排往生活污水处理站进行处理，超标废水送往综合研制室的放射性废液处理系统进行处理。

本项目新增暖通风机情况为：

- 检验区 2 台送风空气处理机组，单台噪声源强约 80dBA；
- 三层送风空调机房内有 4 台空气处理机组，单台噪声源强约 80dBA；
- 三层排风机房内有 5 台排风机，单台噪声源强约 85dBA；
- 屋顶共有 5 台消防风机仅火灾时运行，1 台事故排风机仅在氢气泄漏事故时运行。淋浴间和卫生间设置排风机（共 2 台），单台噪声源强约 60dBA。
- 工艺局部排风风机暂定 4 台（三层机房），单台噪声源强约 85dBA。
- 柴油发电机房屋顶排风机 2 台，单台噪声源强 80dBA。

- 蓄电池间排风机 2 台,平时运行 1 台,事故时双台运行,单台噪声源强 75dBA。
- 电气设备间排风机 1 台,噪声源强 75dBA。
- 洗衣房排风机 1 台,噪声源强 85dBA。
- 实保区恒温恒湿空调机、VRV 室内机若干,单台噪声源强 55dBA。

根据国家标准对噪声的控制要求,在设计中采取的噪声控制措施如下:

- 在平面布置时,将噪声较大风机房设在厂房的端头,减少对车间环境的影响;
- 设计中,选用噪声较低的设备;
- 送排风机室风机的噪声和振动较大,设计中,送排风机室的墙为隔音墙,门为隔音门,电缆沟装设隔音板;风机设有减震垫;并设有送排机控制室,操作人员离噪声源一般较远。
- 真空压空设在单独的房间内,内墙为隔音墙,门为隔音门;
- 对噪声源进行消声处理。

第五章 施工期间的环境影响

本工程拟建设的设施位于已有的工程试验中心项目批复场地范围内，不另外占用土地，施工期间主要是在厂区内新增综合研制室等部分子项建设设施。

本工程施工期的环境影响主要有：土方挖掘填埋、混凝土拌和、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废水和生活垃圾，场地清理产生的固体废物等。

5.1 土地占用与水的利用

本工程项目为先进燃料工程试验中心，建成满足燃料组件研制需求的科研设施。项目所在地点为广东省阳江市阳东区东平镇瓦北村，场地属于丘陵地貌，标高约12m~36m。

中广铀已于2016年在本项目厂址开工建设工程试验中心项目，并于2018年12月完成工程移交投产，现有的工程试验中心产品为模拟组件，不涉及放射性核燃料。场地内已建设有零部件研制实验室、燃料棒及组件组装实验室、理化检测及配套设施，本工程是在已建成的工程试验中心基础上新建的涉核设施，利用原有部分厂房和设备设施，重点新增芯块研制能力，建设综合研制室、供氢站、洗衣房、危险品库和危废品库，新建建筑面积为9964.51m²，两个子项均位于厂址用地范围内。其中，新建涉核设施中，综合研制室长92m、宽37m，为地上三层建筑，局部设有地下一层。

厂址附近区域内地貌由山区、丘陵区、河谷平原和海脊平原区等多种地貌单元组成，厂址周围无特别值得关注的国家重要自然景区或较为重要的生态系统，不属于珍稀或濒危特殊物种的生存环境或迁徙走廊。

本项目场区用地已于2019年获得阳江市自然资源局颁发的建设用地规划许可，项目用地为工业用地，符合国家土地利用政策要求。项目规划用地地块呈规则矩形形状，南北长约219m，东西宽约153m，厂址占地50亩。厂址区内建构筑物用地面积12298m²，本工程新建建筑面积为9964.51m²，建设场地内土石方工程量为：挖方3.7万m³，填方0.7万m³。

5.1.1 陆域施工活动对环境的影响

(1) 大气环境影响

施工期间的主要大气污染物包括扬尘、粉尘和汽车尾气，在这些污染物中，扬尘和粉尘对大气局部环境质量影响较为明显。施工产生的地面扬尘和粉尘主要来自于施工机械和运输车辆的行驶、爆破、土石方开挖和填筑、物料堆放以及施工建筑材料的搅拌等环节，TSP产生量与施工方式、车辆数量、道路路面状况以及天气情况相关。

施工中可采用覆盖、定期洒水等措施减少扬尘的产生。有资料表明，在施工期内对车辆行驶的路面实施洒水抑尘，每天洒水4~5次，可使扬尘减少70%左右；对施工场地实施每天洒水4~5次进行抑尘，可有效地控制施工扬尘，并可有效缩小TSP污染距离。本工程施工期土石方较小，施工活动时间较短。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。

工程施工扬尘造成的污染是短期的、局部的，施工完成后就会消失。因此，施工期对区域大气环境影响是有限的，施工结束后这部分大气污染源将不再存在，施工期对区域大气环境影响是有限的。

(2) 水环境影响

施工期间产生的废水主要包括施工生产废水和生活污水的排放。施工生产废水主要是施工现场砂石料加工、搅拌作业及场地、车辆冲洗产生一定量的生产废水，以及施工材料被雨水冲刷形成的污水，污染物主要为悬浮颗粒物。施工生活污水主要包括施工人员的盥洗水和厕所冲洗水。

厂区已建设有生活污水处理设施，采用“一体化生化处理”工艺对项目施工产生的废水和施工人员生活污水进行处理后达标排放，不会对周围水环境产生明显影响。

综上，施工期间的生产废水和生活污水均可得到有效处理，对周边环境影响较小。

(3) 噪声环境影响

本项目施工期间，厂区内可能产生噪声的活动包括场地开挖、道路平整、厂房建设和厂区辅助配套设施的建设，另外设备安装、工程装修和汽车运输也会产生一定噪声，其噪声强度最大可在90~115dB(A)之间。

厂区内的工程试验中心部分厂房设施已经建设完成，本工程新建建筑设施主要为综合研制室、供氢站等，工程施工活动范围和时间有限。在现场施工机械设备如挖掘

机、推土机和钻孔机等噪声值较高，且在实际施工过程中，通常是多台机械设备同时作业，各台设备产生的噪声会互相叠加，多台叠加后的噪声增值约 3~10dB。

施工主要位于本工程已有厂区内，施工是阶段性的且在昼间进行，其影响时间短，随着现场施工完毕，噪音也随即消失。离厂址最近的村庄为位于厂址 S 方位 0.5km 处的福龙村，施工噪声经过项目周边的围墙阻隔、距离自然衰减，对敏感点的贡献值是有限的。施工期噪声控制应满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)。

(4) 固体废物环境影响

施工期间产生的固体废物包括生产废物和生活垃圾。生产废物主要来自土建施工产生的建筑垃圾及危险废物，施工建设期间生活垃圾种类主要有可回收垃圾、有害垃圾和其他生活垃圾。

建筑垃圾主要是建设中产生的废石子、废水泥、石材下角料等等尽量综合利用，不能再利用的则将存放至指定地点堆存，不会对环境产生明显影响。对于施工期间产生的危险废物进行集中贮存和管理，交有资质的单位处理。对于施工期间产生的一般工业固废，在施工现场分类设置堆放场，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。项目施工期施工人员产生少量生活垃圾，统一由环卫部门清理清运。

综上，建设单位可对固体废物进行有效处置和控制。

5.1.2 水的利用

本工程拟建设施位于已有批复场地范围内，不另外占用土地和水域，项目用水从阳江核电站平堤水库取水，工程试验中心建设时已完成取水管道铺设，已有的淡水管线工程可满足本项目需求。

本工程建设期短，平堤水库可供水量大，97%保证率时可供水 1264.2 万 m³，施工期间用水量较少，取水不会影响周围用户用水需求，水库供水能够满足本工程建设的取水需求，取水的影响很小。

5.2 施工影响的控制

在施工期间对陆域环境的影响主要是不同工程阶段和工程子项目建设期间对陆域生态、大气环境和声环境等方面的影响，工程建设过程中应采取有效缓解措施最大限

度降低对环境的不利影响。

(1) 大气环境

- 施工期间爆破、混凝土搅拌和载重车辆运输过程等引起粉尘和地面尘土飘散，为降低其对大气环境的影响，保护施工人员的身体健康，施工过程中可采取洒水抑尘、深孔爆破、硬化路面、控制车速和加盖苫布等方式来降低施工起尘量，有效改善施工区域的大气环境；道路施工期间加强公路的管理，保持路面清洁和洒水，减缓路面径流冲刷污染物的数量；
- 施工过程产生一定量的临时弃土，临时弃土场对环境的影响主要是弃土在堆放过程产生的扬尘污染。为控制临时弃土场对大气环境的不利影响，可采取在弃土倾倒和堆放过程中适量洒水抑尘，并避免同时进行大规模的弃土倾倒；
- 加强区域内的场地绿化，规划施工车辆的运行路线，尽量避开生活区和人流密集的交通要道，避免交通堵塞及注意车辆维修保养，以减少汽车尾气排放。

(2) 水环境

- 合理组织施工，采用合理的开挖施工工艺，对砂石料的临时周转场地进行遮挡，并采用密目网遮盖，防止雨水冲刷和风吹。
- 施工场地区四周周围设置临时排水沟，防止厂区积水和开挖的松散的土石方在雨水的冲刷下流失；
- 施工人员生活废水应排入生活污水处理设施处理后达标排放，禁止生活污水乱排或未经处理直接排放，加强对处理站的维护管理，定期监测出水口水质，确保污水达标排放。

(3) 噪声

- 加强噪声源头控制，选用低噪声施工设备，在高噪声源设备上加装消音、减震装置；按照操作规程操作机械设备，遵守作业规定，减少噪声；
- 合理安排施工时间，并合理安排施工车辆的路线，严禁高噪声设备在作息时间作业，避免在施工期间同步使用高噪声设备，严格控制夜间施工作业活动；
- 采用局部吸声、隔声降噪技术，对各施工环节中噪声较为突出且又难以对声源进行降噪可能的设备装置，应采取临时围障措施，以达到降噪效果；做好厂区绿化，采用绿化带减轻对周围声环境的影响。

(4) 固体废弃物

- 制定严格的施工环境管理规定,对不同类别的施工垃圾和生活废物分类进行处理。施工垃圾中不可回收利用的无毒无害废弃物运至建设单位指定的临时废弃物堆放场,可回收利用废弃物应尽量回收再利用,化学物品的贮存和使用量严格控制;有毒有害废弃物按照设置专门的危废贮存仓库,定期交由有资质单位处理或者由供应商回收进行处理;施工人员产生的生活垃圾统一由环卫部门及时清理清运。
- 合理安排施工计划、施工程序,协调好各个施工步骤,雨季中尽量减少开挖和运输;临时堆土场应合理设置,在堆土场周围坡脚设砖砌挡坎,覆盖密目网的方式,减少雨水和大风等造成水土流失。

第六章 正常运行的环境影响

6.1 放射性流出物辐射环境影响

本节根据先进燃料研制中心运行期间的放射性物质排放量，评价本项目运行状态下放射性流出物排放对厂址周围公众造成的辐射影响。

6.1.1 放射性释放源项

根据设计文件，本项目液态放射性流出物将经处理至清洁解控水平，定期外运排放。气载放射性流出物由各厂房通风系统经过滤处理后引至烟囱进行集中排放，年排放量如表 6.1-1 所示。

表 6.1-1 正常工况下气态流出物排放量 (Bq/a)

U-234	U-235	U-238	排放总量
8.39E+07	2.74E+06	8.07E+06	9.47E+07

本项目核材料年持有量不大于 15tU，气载总铀年排放量控制值为 2.25×10^8 Bq/a。本项目正常工况下气载放射性流出物设计排放量 9.47×10^7 Bq/a，满足总铀年排放量控制要求。

6.1.2 照射途径

本项目运行过程中产生的排气，经处理合格后送往烟囱，排至室外大气。气载放射性流出物排放主要通过以下途径对厂址周围公众造成辐射影响：

- 空气浸没外照射；
- 地面沉积物外照射；
- 吸入空气内照射；
- 食入陆生食品内照射。

图 6.1-1 给出了气载放射性流出物排放对厂址周围公众造成辐射的途径示意图。

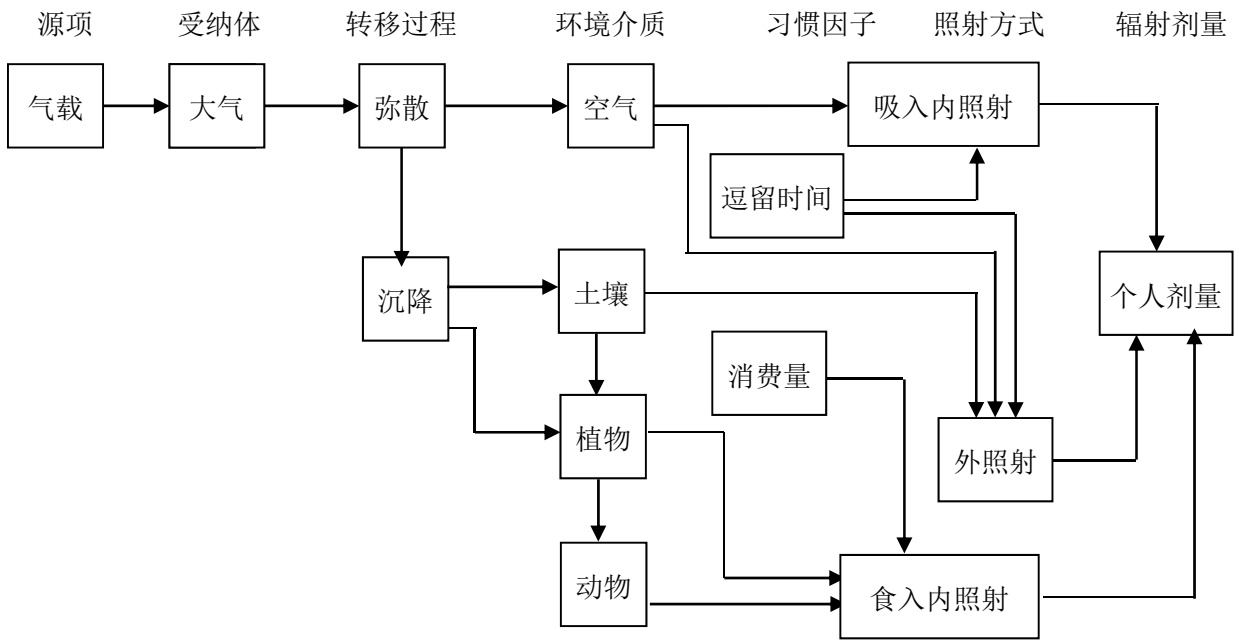


图 6.1-1 气载放射性流出物排放对公众造成辐射的照射途径示意图

6.1.3 计算模式

6.1.3.1 大气弥散和地面沉积

根据核安全导则 HAD101/02 推荐高斯直线烟羽扩散模型，采用阳江核电厂址气象塔 2018 年 1 月到 2018 年 12 月一整年 10m 和 30m 层逐时观测的风向、风速和温度，以及地面气象站的逐时雨量等气象数据，计算厂址区域的长期大气弥散因子和地面沉积因子，本项目烟囱释放高度为 20m，周边建筑物高度 15m，因此假定为混合释放方式。大气弥散计算还考虑了气载放射性流出物雨水冲洗、重力沉降、以及核素衰变等因素造成的烟羽损耗和地面沉积。

(1) 长期大气弥散因子

混合释放情况下的长期大气弥散因子按如下公式进行计算：

$$(\chi/Q) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{m=1}^N [(1-E_m) \cdot (\chi/Q)_{Hm} + E_m (\chi/Q)_{Gm}]$$

式中：

(χ/Q) —混合释放情况下计算点处的长期大气弥散因子， s/m^3 ；

N — 全年中总的有效测量小时数，无量纲；

E_m — 第m小时高架释放与地面释放的分配系数，无量纲计算如下：

- 当 $W_0/U_s < 1$ 时, $Et=1$
- 当 $1 \leq W_0/U_s \leq 1.5$ 时, $Et=2.58-1.58 (W_0/U_s)$
- 当 $1.5 < W_0/U_s \leq 5$ 时, $Et=0.3-0.06 (W_0/U_s)$
- 当 $W_0/U_s > 5$ 时, $Et=0$

式中:

W_0 — 烟流出口速度, m/s;

U_s — 烟囱高度处的风速, m/s。

$(\chi/Q)_{Hm}$ — 高架释放情况下计算点处第m小时的大气弥散因子, s/m^3 ;

$(\chi/Q)_{Gm}$ — 地面释放情况下计算点处第m小时的大气弥散因子, s/m^3 。

(a) 高架情况下大气弥散因子的计算

对于高架释放, 根据公式 $He+2.15\sigma_z(x)=Hm$ 确定考虑混合层的影响起始距离 Xb , 其中 $He=Hs+\Delta H$ 为烟流的有效高度, Hm 为混合层高度。

当 $X < Xb$ 时, 不考虑混合层的影响:

$$(\chi/Q)_{Hm} = \frac{2.032}{X \cdot U_H \sigma_z} \cdot f_{Hm} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot \frac{X}{U_H}) \cdot \exp[-\frac{1}{2}(\frac{He}{\sigma_z})^2]$$

当 $Xb \leq X < 2Xb$ 时, 假定烟流在地面和混合层之间的多次反射:

$$(\chi/Q)_{Hm} = \frac{2.032}{X \cdot U_H \sigma_z} \cdot f_{Hm} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot \frac{X}{U_H}) \cdot \sum_{n=2}^{\infty} \exp[-\frac{1}{2}(\frac{2nHm-He}{\sigma_z})^2]$$

当 $X \geq 2Xb$ 时, 假定烟流在地面和混合层之间的均匀混合:

$$(\chi/Q)_{Hm} = \frac{2.032}{X \cdot U_H (0.79788Hm)} \cdot f_{Hm} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot \frac{X}{U_H})$$

式中:

X — 计算点到释放点的距离, m;

U_{Hm} — 第m小时烟流有效高度处的风速, m/s;

σ_z — 计算点处烟流的垂直标准偏差, m;

f_{Hm} — 高架释放情况下第m小时干沉降和湿沉降引起的烟流耗减校正因子, 无量纲;

$$f_{Hm} = f_{Hdm} \cdot f_{Hwm}$$

式中:

f_{Hdm} — 高架释放情况下第m小时干沉降引起的烟流耗减校正因子，无量纲；

$$f_{Hdm} = \exp\left\{-\left(\frac{2}{\pi}\right)^{0.5} \cdot \frac{V_d}{U_{Hm}} \cdot \int_0^X \frac{1}{\sigma_z} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H_s + \Delta H}{\sigma_z}\right)^2\right] \cdot dx\right\}$$

f_{HWm} — 高架释放情况下第m小时湿沉降引起的烟流耗减校正因子，无量纲。

$$f_{HWm} = \exp\left(-\frac{\alpha \cdot I_m \cdot X}{U_{Hm}}\right)$$

上两式中：

V_d — 放射性物质的干沉降速度，m/s；

α — 降水对放射性物质的冲洗比例常数，h/(mm·s)；

I_m — 第m小时的降水强度，mm/h。

λ_i — 核素i的放射性衰变常数，s⁻¹；

H_s — 烟流释放高度（即烟囱高度），m；

2.032 — $(2/\pi)^{0.5}/(\pi/8)$ 的值；

ΔH — 烟流抬升高度，m。

当烟囱高度为邻近建筑物2~2.5倍（或烟囱高度低于邻近建筑物2~2.5倍但烟流出口速度大于烟流出口处水平风速5倍）时，在中性或不稳定条件下：

$$\Delta H = 1.44 D_i \left(\frac{W_0}{U_s}\right)^{2/3} \cdot \left(\frac{X}{D_i}\right)^{1/3} - C$$

式中：

W_0 — 烟流出口速度，m/s；

U_s — 烟囱高度处的风速，m/s；

D_i — 烟囱出口的内径，m；

C — 当 $W_0 < 1.5U_s$ 时的下冲修正因子，m。

$$C = 3 \cdot \left(1.5 - \frac{W_0}{U_s}\right) \cdot D_e$$

式中： D_e — 烟囱外径，m。

用下式进行估算并取较小值作为烟流抬升高度： $\Delta H = 3 \frac{W_0}{U_s} D_i$

在稳定条件下，计算结果要与下面两个公式计算值作比较，并以最小值作为烟流抬升高度：

$$\Delta H = 4 \cdot \left(\frac{F_m}{S} \right)^{1/4} \quad , \quad \Delta H = 1.5 S^{-1/6} \left(\frac{F_m}{U_s} \right)^{1/3}$$

上两式中：

F_m — 动量通量参数；

S — 稳定度参数。

$$F_m = W_0^2 \left(\frac{D_i}{2} \right)^2, \quad S \approx \frac{g}{T} \left(-\frac{\partial \theta}{\partial Z} \right)$$

式中：

g — 重力加速度， m/s^2 ；

T — 周围空气温度， K ；

$-\frac{\partial \theta}{\partial Z}$ — 位温递减率， K/m 。

对于E类稳定度， $S=8.7 \times 10^{-4}$ ；

对于F类稳定度， $S=1.75 \times 10^{-3}$ 。

(b) 地面释放情况下大气弥散因子的计算

$$(\chi/Q)_{Gm} = \frac{2.032}{X \cdot U_{Gm} \cdot \sum_Z} \cdot f_{Gm} \cdot \exp(-\lambda_i \cdot \frac{X}{U_{Gm}})$$

式中：

X — 计算点到释放点的距离， m ；

U_{Gm} — 第 m 小时的地面风速， m/s ；

\sum_Z — 经建筑物尾流校正后的垂直标准偏差， m ，选择以下计算结果较小者；

$$\sum_Z = \left(\sigma_Z^2 + \frac{0.5}{\pi} D_Z^2 \right)^{0.5}, \quad \sum_Z = \sqrt{3} \cdot \sigma_Z$$

上两式中：

σ_Z — 计算点处烟流的垂直标准偏差， m ；

D_z — 释放点邻近建筑物的高度，m。

f_{Gm} — 地面释放情况下第m小时干沉降和湿沉降引起的烟流耗减校正因子，无量纲；

$$f_{Gm} = f_{Gdm} \cdot f_{Gwm}$$

式中：

f_{Gdm} — 地面释放情况下第m小时干沉降引起的烟流耗减校正因子，无量纲；

$$f_{Gdm} = \exp\left[-\left(\frac{2}{\pi}\right)^{0.5} \cdot \frac{V_d}{U_{Gm}} \cdot \int_0^x \frac{1}{\sum_z} \cdot dX\right]$$

f_{Gwm} — 地面释放情况下第m小时湿沉降引起的烟流耗减校正因子，无量纲。

$$f_{Gwm} = \exp\left(-\frac{\alpha \cdot I_m \cdot X}{U_{Gm}}\right)$$

上两式中：

V_d — 放射性物质的干沉降速度，m/s；

α — 降水对放射性物质的冲洗比例常数，h/(mm·s)；

I_m — 第m小时的降水强度，mm/h。

λ_i — 核素i的放射性衰变常数，s⁻¹；

2.032 — $(2/\pi)^{0.5} / (\pi/8)$ 的值。

(2) 长期地面沉积因子

$$(D/Q) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{m=1}^N \left\{ (1 - E_{im}) \cdot [(\chi/Q)_{Hm} \cdot V_d + \frac{8\alpha \cdot I_m}{\pi \cdot X \cdot U_{Hm}}] + E_{im} \cdot [(\chi/Q)_{Gm} \cdot V_d + \frac{8\alpha \cdot I_m}{\pi \cdot X \cdot U_{Gm}}] \right\}$$

式中：

(D/Q) — 混合释放情况下计算点处的长期地面沉积因子，m²；

N — 全年中总的有效测量小时数，无量纲；

E_{im} — 第m小时高架释放与地面释放的分配系数，无量纲；

$(\chi/Q)_{Hm}$ — 高架释放情况下计算点处第m小时的大气弥散因子，s/m³；

V_d — 放射性物质的干沉降速度，m/s；

α — 降水对放射性物质的冲洗比例常数, h/ (mm·s);

I_m — 第m小时的降水强度, mm/h;

X — 计算点到释放点的距离, m;

U_{Hm} —第m小时烟流有效高度处的风速, m/s;

$(\chi/Q)_{Gm}$ —地面释放情况下计算点处第m小时的大气弥散因子, s/m³;;

U_{Gm} — 第m小时的地面风速, m/s。

根据上述模型和气象数据,表 6.1-2、表 6.1-3 和表 6.1-4 分别列出了本项目厂址半径 10km 范围各子区放射性核素的长期大气弥散因子 (²³⁴U、²³⁵U、²³⁸U)、长期地面干沉积因子 (²³⁴U、²³⁵U、²³⁸U) 和长期地面湿沉积因子 (²³⁴U、²³⁵U、²³⁸U)。

表 6.1-2 厂址长期大气弥散因子 (²³⁴U、²³⁵U、²³⁸U)

单位: s/m³

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10
N	1.42E-06	5.06E-07	2.31E-07	1.08E-07	4.08E-08
NNE	7.60E-07	3.03E-07	1.41E-07	6.62E-08	2.47E-08
NE	8.47E-07	2.97E-07	1.36E-07	6.43E-08	2.44E-08
ENE	4.86E-07	1.68E-07	7.64E-08	3.57E-08	1.34E-08
E	4.29E-07	1.56E-07	7.13E-08	3.33E-08	1.24E-08
ESE	1.88E-07	8.64E-08	4.12E-08	1.95E-08	7.24E-09
SE	1.23E-07	4.93E-08	2.30E-08	1.09E-08	4.02E-09
SSE	4.02E-08	1.30E-08	5.79E-09	2.71E-09	9.99E-10
S	7.36E-07	4.22E-07	2.08E-07	9.95E-08	3.52E-08
SSW	2.15E-06	8.67E-07	4.12E-07	1.97E-07	7.24E-08
SW	2.72E-06	1.11E-06	5.21E-07	2.46E-07	9.04E-08
WSW	2.72E-06	1.11E-06	5.18E-07	2.44E-07	9.05E-08
W	2.04E-06	8.20E-07	3.82E-07	1.80E-07	6.70E-08
WNW	1.60E-06	6.53E-07	3.05E-07	1.44E-07	5.33E-08
NW	1.71E-06	6.54E-07	3.02E-07	1.42E-07	5.29E-08
NNW	8.92E-07	3.43E-07	1.60E-07	7.52E-08	2.81E-08

表 6.1-3 厂址长期地面干沉积因子 (^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{238}U)单位: $1/\text{m}^2$

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10
N	2.84E-09	1.01E-09	4.63E-10	2.17E-10	8.15E-11
NNE	1.52E-09	6.07E-10	2.82E-10	1.32E-10	4.94E-11
NE	1.69E-09	5.95E-10	2.73E-10	1.29E-10	4.88E-11
ENE	9.71E-10	3.36E-10	1.53E-10	7.14E-11	2.69E-11
E	8.57E-10	3.13E-10	1.43E-10	6.66E-11	2.48E-11
ESE	3.77E-10	1.73E-10	8.24E-11	3.91E-11	1.45E-11
SE	2.47E-10	9.85E-11	4.61E-11	2.18E-11	8.04E-12
SSE	8.04E-11	2.61E-11	1.16E-11	5.43E-12	2.00E-12
S	1.47E-09	8.44E-10	4.16E-10	1.99E-10	7.04E-11
SSW	4.30E-09	1.73E-09	8.25E-10	3.93E-10	1.45E-10
SW	5.44E-09	2.23E-09	1.04E-09	4.92E-10	1.81E-10
WSW	5.44E-09	2.22E-09	1.04E-09	4.88E-10	1.81E-10
W	4.08E-09	1.64E-09	7.64E-10	3.59E-10	1.34E-10
WNW	3.21E-09	1.31E-09	6.10E-10	2.87E-10	1.07E-10
NW	3.42E-09	1.31E-09	6.04E-10	2.83E-10	1.06E-10
NNW	1.78E-09	6.86E-10	3.19E-10	1.50E-10	5.62E-11

表 6.1-4 厂址长期地面湿沉积因子 (^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{238}U)单位: $1/\text{m}^2$

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10
N	6.40E-09	2.53E-09	1.52E-09	9.47E-10	5.05E-10
NNE	4.11E-09	1.62E-09	9.73E-10	6.08E-10	3.24E-10
NE	2.36E-09	9.33E-10	5.60E-10	3.50E-10	1.87E-10
ENE	2.13E-09	8.41E-10	5.05E-10	3.15E-10	1.68E-10
E	1.74E-09	6.86E-10	4.11E-10	2.57E-10	1.37E-10
ESE	5.51E-10	2.17E-10	1.30E-10	8.15E-11	4.35E-11
SE	3.83E-10	1.51E-10	9.07E-11	5.67E-11	3.02E-11
SSE	6.19E-11	2.44E-11	1.46E-11	9.15E-12	4.88E-12
S	7.86E-11	3.10E-11	1.86E-11	1.16E-11	6.20E-12
SSW	1.28E-09	5.05E-10	3.03E-10	1.89E-10	1.01E-10
SW	7.57E-09	2.99E-09	1.79E-09	1.12E-09	5.97E-10
WSW	1.10E-08	4.32E-09	2.59E-09	1.62E-09	8.64E-10
W	8.26E-09	3.26E-09	1.96E-09	1.22E-09	6.52E-10
WNW	7.03E-09	2.77E-09	1.66E-09	1.04E-09	5.55E-10
NW	7.47E-09	2.95E-09	1.77E-09	1.11E-09	5.89E-10
NNW	5.93E-09	2.34E-09	1.40E-09	8.77E-10	4.68E-10

6.1.3.2 剂量计算模式

正常运行状态下，气载放射性流出物通过空气浸没外照射、地面沉积外照射、吸入空气内照射和食入陆生食品内照射途径对公众造成辐射剂量。放射性物质通过各照射途径对公众造成的剂量估算模式如下。

(1) 空气浸没外照射剂量

$$D_{EA} = 8760 \cdot \left(\sum_i \chi_i \cdot DF_{EAi} \cdot F \right) \quad (6.1-1)$$

式中：

D_{EA} — 公众个人浸没于污染的半无限烟云中受到的有效剂量，Sv/a；

DF_{EAi} — 浸没于半无限烟云中放射性核素 i 对人体的有效剂量转换因子，
(Sv/h) / (Bq/m³)；

F — 建筑物的屏蔽因子，无量纲；

8760 — h/a的换算系数；

χ_i — 地面空气中放射性核素 i 的浓度，Bq/m³：

$$\chi_i = 3.17 \times 10^{-8} \cdot Q_{Gi} \cdot (\chi/Q)_i \quad (6.1-1-1)$$

式中：

χ_i — 地面空气中放射性核素 i 的浓度，Bq/m³；

Q_{Gi} — 气载流出物中放射性核素 i 的年平均释放率，Bq/a；

$(\chi/Q)_i$ — 放射性核素 i 的年平均大气弥散因子，s/m³；

3.17×10^{-8} — a/s的换算系数。

(2) 地面沉积外照射剂量

$$D_{EG} = 8760 \cdot \left\{ \sum_i \gamma_i \cdot [1 - \exp(-\lambda_{Gi} \cdot t_G)] \cdot \lambda_{Gi}^{-1} \cdot DF_{ESi} \right\} \quad (6.1-2)$$

式中：

D_{EG} — 公众个人逗留在污染的表面上受到的有效剂量，Sv/a；

γ_i — 放射性核素 i 的表面沉积率，Bq/ (m².d)：

$$\gamma_i = \frac{1}{365} Q_{Gi} \cdot (D/Q)_i \quad (6.1-2-1)$$

式中：

Q_{Gi} — 气载流出物中放射性核素*i*的年平均释放率, Bq/a;

$(D/Q)_i$ — 放射性核素*i*的年平均地面沉积因子, $1/m^2$;

λ_{Gi} — 放射性核素*i*在陆地环境中的有效衰变常数, d^{-1} ;

$$\lambda_{Gi} = \lambda_G + \lambda_i \quad (6.1-2-2)$$

式中:

λ_G — 放射性核素*i*在陆地环境中的物理去除常数, d^{-1} ;

λ_i — 放射性核素*i*的衰变常数, d^{-1} 。

t_G — 放射性核素在地面上的积累时间, d;

DF_{Esi} — 沉积物中放射性核素*i*对人体的有效剂量转换因子, $(Sv/h) / (Bq/m^2)$;

8760— h/a的换算系数。

(3) 吸入内照射剂量

$$D_{EI} = 8760 \cdot \left\{ \sum_i \chi_i \cdot B_r \cdot DF_{Ei} \right\} \quad (6.1-3)$$

式中:

D_{EI} — 公众个人吸入污染空气造成的有效剂量, Sv/a;

B_r — 人的呼吸率, m^3/h ;

DF_{Ei} — 吸入放射性核素*i*对人体的有效剂量转换因子, Sv/Bq;

8760 — h/a的换算系数;

χ_i — 地面空气中放射性核素*i*的浓度, Bq/m^3 , 见(6.1-1-1)式:

(4) 食入陆生食品造成的内照射剂量

$$D_{EE} = D_{EE1} \quad (6.1-4)$$

式中:

D_{EE} — 公众个人食入陆生植物食品造成的有效剂量, Sv/a;

D_{EE1} — 公众个人食入除 3H 、 ^{14}C 以外的放射性核素造成的有效剂量, Sv/a, 见

(6.1-4-1)式;

$$D_{EE1} = \sum_i U_{Ei} \cdot DF_{EEi} \quad (6.1-4-1)$$

式中:

DF_{EEi} — 食入放射性核素*i*对人体的有效剂量转换因子, Sv/Bq;

U_{Ei} — 公众个人通过陆生动植食品食入除 ^3H 以外的放射性核素 i 的剂量, Bq/a, 见(6.1-4-1-1)式。

$$\begin{aligned}
 U_{Ei} = & U_V \cdot (F_{V1} \cdot C_{V1i} + F_{V2} \cdot C_{V2i}) \cdot \exp(-\lambda_i \cdot T_V) \\
 & + U_L \cdot (F_{L1} \cdot C_{L1i} + F_{L2} \cdot C_{L2i}) \cdot \exp(-\lambda_i \cdot T_L) \\
 & + U_F \cdot (F_{F1} \cdot C_{F1i} + F_{F2} \cdot C_{F2i}) \cdot \exp(-\lambda_i \cdot T_F) \\
 & + U_M \cdot (F_{M1} \cdot C_{M1i} + F_{M2} \cdot C_{M2i}) \cdot \exp(-\lambda_i \cdot T_M)
 \end{aligned}
 \tag{6.1-4-1-1}$$

式中:

U_V — 公众个人的粮食消费量, kg/a;

U_L — 公众个人的蔬菜消费量, kg/a;

U_F — 公众个人的肉类消费量, kg/a;

U_M — 公众个人的牛奶消费量, kg/a;

F_{V1} — 公众个人食入其所在子区生产的粮食的份额, 无量纲;

F_{L1} — 公众个人食入其所在子区生产的蔬菜的份额, 无量纲;

F_{F1} — 公众个人食入其所在子区生产的肉类的份额, 无量纲;

F_{M1} — 公众个人食入其所在子区生产的牛奶的份额, 无量纲;

F_{V2} — 公众个人食入其所在子区以外评价区生产的粮食的份额, 无量纲;

F_{L2} — 公众个人食入其所在子区以外评价区生产的蔬菜的份额, 无量纲;

F_{F2} — 公众个人食入其所在子区以外评价区生产的肉类的份额, 无量纲;

F_{M2} — 公众个人食入其所在子区以外评价区生产的牛奶的份额, 无量纲;

T_V — 粮食作物从收获到被消费的时间间隔, d;

T_L — 蔬菜从收获到被消费的时间间隔, d;

T_F — 从产肉动物被屠宰到被消费的时间间隔, d;

T_M — 从挤牛奶到牛奶被消费的时间间隔, d;

λ_i — 核素 i 的放射性衰变常数, d^{-1} ;

C_{V1i} — 公众个人所在子区粮食作物中放射性核素 i 的浓度, Bq/kg, 见(6.1-4-1-1-a);

C_{V2i} — 公众个人所在子区以外的评价区粮食作物中放射性核素 i 的浓度, Bq/kg,

见(6.1-4-1-1-a);

$$C_{vi} = \gamma_i \left\{ f_{vi} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{vi} \cdot t_v)] \cdot Y_v^{-1} \cdot \lambda_{vi}^{-1} \cdot DDI + B_{vi} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{Gi} \cdot t_b)] \cdot \rho^{-1} \cdot \lambda_{Gi}^{-1} \right\}
 \tag{6.1-4-1-1-a}$$

式中：

C_{vi} — 作物中放射性核素i的浓度，Bq/kg；

γ_i — 放射性核素i的表面沉积率，Bq/（m²·d）；

f_{vi} — 沉积在作物茎叶上的放射性核素i转移到可食部分的份额，无量纲；

λ_{vi} — 放射性核素i在作物中的有效去除常数，d⁻¹；

$\lambda_{vi}=\lambda_v+\lambda_i$ ；其中 λ_v 为放射性核素i在作物中的物理去除常数，d⁻¹；

t_v — 作物在生长季节中的曝污时间，d；

Y_v — 作物可食部分的单位面积产量，kg/m²；

DDI — 清洗因子，无量纲；

B_{vi} — 作物可食部分从土壤中摄取放射性核素i的浓度因子，
（Bq/kg）/[Bq/kg（干土）]；

λ_{Gi} — 放射性核素i在土壤中的有效去除常数，d⁻¹；

$\lambda_{Gi}=\lambda_G+\lambda_i$ ；其中 λ_G 为放射性核素i在土壤中的物理去除常数，d⁻¹；

t_b — 土壤中放射性核素的累积时间，d；

ρ — 15cm深度内土壤的有效面密度，kg（干土）/m²；

1/365 — a/d的换算系数。

C_{Li} — 公众个人所在子区蔬菜中放射性核素i的浓度，Bq/kg，见（6.1-4-1-1-b）；

C_{L2i} — 公众个人所在子区以外的评价区蔬菜中放射性核素i的浓度，Bq/kg，见（6.1-4-1-1-b）式；

$$C_{Li} = \gamma_i \left\{ f_{Li} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{Li} \cdot t_L)] \cdot Y_L^{-1} \cdot \lambda_{Li}^{-1} \cdot DDI + B_{Li} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{Gi} \cdot t_b)] \cdot \rho^{-1} \cdot \lambda_{Gi}^{-1} \right\} \quad (6.1-4-1-1-b)$$

式中：

C_{Li} — 蔬菜中放射性核素i的浓度，Bq/kg；

γ_i — 放射性核素i的表面沉积率，Bq/（m²·d）；

f_{Li} — 沉积在蔬菜茎叶上的放射性核素i转移到可食部分的份额，无量纲；

λ_{Li} — 放射性核素i在蔬菜中的有效去除常数，d⁻¹；

$\lambda_{Li}=\lambda_L+\lambda_i$ ；其中 λ_L 为放射性核素i在蔬菜中的物理去除常数，d⁻¹。

t_L — 蔬菜在生长季节中的曝污时间，d；

Y_L — 蔬菜可食部分的单位面积产量，kg/m²；

DDI — 清洗因子，无量纲；

B_{Li} — 蔬菜可食部分从土壤中摄取放射性核素*i*的浓度因子，
(Bq/kg) / [Bq/kg (干土)]；

λ_{Gi} — 核素*i*的放射性衰变常数， d^{-1} ；

t_b — 土壤中放射性累积时间， d ；

ρ — 15cm深度内土壤的有效面密度， kg (干土) / m^2 。

C_{Fi} — 公众个人所在子区肉类中放射性核素*i*的浓度，Bq/kg，见 (6.1-4-1-1-c)；

C_{F2i} — 公众个人所在子区以外的评价区肉类中放射性核素*i*的浓度，Bq/kg，见 (6.1-4-1-1-c)；

$$C_{Fi} = f_{Fi} \cdot [f_{FP} \cdot f_{FF} \cdot C_{Pi} + (1 - f_{FP} \cdot f_{FF}) \cdot C_{Si}] \cdot U_F \quad (6.1-4-1-1-c)$$

式中：

C_{Fi} — 肉类中放射性核素*i*的浓度，Bq/kg；

f_{Fi} — 产肉动物每天摄入放射性核素*i*转移到肉中的份额，(Bq/kg) / (Bq/d)；

f_{FP} — 一年中产肉动物在牧场上放牧的时间份额，无量纲；

f_{FF} — 产肉动物在牧场上放牧时每天食入鲜饲料的份额，无量纲；

C_{Pi} — 鲜饲料中放射性核素*i*的浓度，按 (6.1-4-1-1-a) 式计算，Bq/kg；

C_{Si} — 贮存饲料中放射性核素*i*的浓度，按 (6.1-4-1-1-a) 式计算，并考虑收获至消费时间内放射性衰变的修正，Bq/kg；

U_F — 产肉动物每天消费的饲料量， kg/d 。

C_{Mi} — 公众个人所在子区牛奶中放射性核素*i*的浓度，Bq/kg，见 (6.1-4-1-1-d)；

C_{M2i} — 公众个人所在子区以外的评价区牛奶中放射性核素*i*的浓度，Bq/kg，见 (6.1-4-1-1-d)；

$$C_{Mi} = f_{Mi} \cdot [f_{MP} \cdot f_{MF} \cdot C_{Pi} + (1 - f_{MP} \cdot f_{MF}) \cdot C_{Si}] \cdot U_C \quad (6.1-4-1-1-d)$$

式中：

C_{Mi} — 牛奶中放射性核素*i*的浓度，Bq/kg；

f_{Mi} — 奶牛每天摄入放射性核素*i*转移到牛奶中的份额，(Bq/kg) / (Bq/d)；

f_{MP} — 一年中奶牛在牧场上放牧的时间份额，无量纲；

f_{MF} — 奶牛在牧场上放牧时每天食入鲜饲料的份额，无量纲；

C_{pi} — 鲜饲料中放射性核素*i*的浓度，按（6.1-4-1-1-a）式计算，Bq/kg；

C_{Si} — 贮存饲料中放射性核素*i*的浓度，按（6.1-4-1-1-a）式计算，并考虑收获至消费时间内放射性衰变的修正，Bq/kg；

U_c — 奶牛每天消费的饲料量，kg/d。

6.1.4 辐射剂量计算

6.1.4.1 计算参数

(1) 环境参数

根据对本项目厂址周围环境特征的调查成果，以及国际原子能机构 IAEA 19 号安全报告对相关参数的推荐，表 6.1-5 给出了辐射剂量计算的有关环境介质参数。

表 6.1-6 给出了用于气态途径途径辐射剂量计算的参数。表 6.1-7 给出了环境辐射剂量计算中食物链转移因子及部分参数。

表 6.1-5 辐射剂量计算环境介质参数

物理意义	单位	数值
奶牛每天消费的饲料量	kg/d	50
产肉动物每天消费的饲料量	kg/d	5
作物在生长季节中的曝污时间	h	2880
叶类蔬菜在生长季节中的曝污时间	h	1080
作物从收获到被消费的时间间隔	h	1800
从挤奶到牛奶被消费的时间间隔	h	24
从产肉动物被屠宰到被消费的时间间隔	h	24
叶类蔬菜从收获到被消费的时间间隔	h	24
海产品从捕捞到被消费的时间间隔	h	24

表 6.1-6 辐射剂量计算气态照射途径参数

物理意义	单位	数值
气载放射性流出物在地面上的积累时间	H	350400
土壤中放射性积累时间	H	350400
15cm 深度内土壤的有效面密度	kg 干土/m ²	200
呼吸率 <ul style="list-style-type: none"> • 成人 • 青少年 • 儿童 • 婴儿 	m ³ 空气/h	0.96 0.96 0.61 0.22
考虑公众在室外滞留时间及建筑物屏蔽作用等因素确定的空气浸没和地面沉积外照射修正因子	无量纲	0.75
清洗因子	无量纲	0.5

表 6.1-7 环境辐射剂量计算食物链转移因子及部分参数

元素	f_v	f_L	f_M (Bq/kg 牛奶) / (Bq/d)	f_F (Bq/kg 肉) / (Bq/d)	B_v (Bq/kg 作物) / (Bq/kg 干土)	B_L (Bq/kg 蔬菜) / (Bq/kg 干土)	λ_G (1/h)	λ_v (1/h)	λ_L (1/h)
⁹² U	0.2	0.2	6.00E-04	3.00E-03	2.00E-01	1.00E-02	0	2.06E-03	2.06E-03

(2) 剂量转换因子

根据国际原子能机构 IAEA 19 号安全报告,表 6.1-8 给出了 U-234、U-235 和 U-238 空气浸没和地面沉积外照射有效剂量转换因子。

表 6.1-9 根据《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 给出了 U-234、U-235 和 U-238 空气吸入及食入有效剂量转换因子。

表 6.1-8 空气浸没、地面沉积外照射剂量转换因子

核素	空气浸没 (Sv/h)/(Bq/m ³)	地面沉积 (Sv/h)/(Bq/m ²)
U-234	2.87E-14	2.99E-15
U-235	2.60E-11	5.34E-13
U-238	1.32E-14	2.23E-15

表 6.1-9 空气吸入、食入内照射有效剂量转换因子

核素	吸入内照射 (Sv/Bq)				食入内照射 (Sv/Bq)			
	婴儿	儿童	青少年	成人	婴儿	儿童	青少年	成人
U-234	1.50E-05	7.00E-06	4.80E-06	3.50E-06	3.70E-07	8.80E-08	7.40E-08	4.90E-08
U-235	1.30E-05	6.30E-06	4.30E-06	3.10E-06	3.50E-07	8.50E-08	7.10E-08	4.70E-08
U-238	1.20E-05	5.90E-06	4.00E-06	2.90E-06	3.40E-07	8.00E-08	6.80E-08	4.50E-08

(3) 食物消费

本项目评价区范围内居民的食物消费详见本报告第二章。

6.1.4.2 环境介质浓度

根据以上参数和模式，表 6.1-10 列出了本项目厂址半径 10km 范围各子区放射性核素 U-234、U-235 和 U-238 的环境空气浓度。环境空气中放射性年平均浓度最大值位于 WSW 方位 0~1km 子区，核素 U-234、U-235 和 U-238 在该子区的年平均浓度分别为 $7.23 \times 10^{-6} \text{Bq/m}^3$ 、 $2.36 \times 10^{-7} \text{Bq/m}^3$ 、 $6.96 \times 10^{-7} \text{Bq/m}^3$ 。

表 6.1-10 (1/3) 气载放射性排放造成环境空气核素浓度 (U-234)

单位: Bq/m³

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10
N	3.78E-06	1.35E-06	6.14E-07	2.87E-07	1.09E-07
NNE	2.02E-06	8.06E-07	3.75E-07	1.76E-07	6.57E-08
NE	2.25E-06	7.90E-07	3.62E-07	1.71E-07	6.49E-08
ENE	1.29E-06	4.47E-07	2.03E-07	9.49E-08	3.56E-08
E	1.14E-06	4.15E-07	1.90E-07	8.86E-08	3.30E-08
ESE	5.00E-07	2.30E-07	1.10E-07	5.19E-08	1.93E-08
SE	3.27E-07	1.31E-07	6.12E-08	2.90E-08	1.07E-08
SSE	1.07E-07	3.46E-08	1.54E-08	7.21E-09	2.66E-09
S	1.96E-06	1.12E-06	5.53E-07	2.65E-07	9.36E-08
SSW	5.72E-06	2.31E-06	1.10E-06	5.24E-07	1.93E-07
SW	7.23E-06	2.95E-06	1.39E-06	6.54E-07	2.40E-07
WSW	7.23E-06	2.95E-06	1.38E-06	6.49E-07	2.41E-07
W	5.43E-06	2.18E-06	1.02E-06	4.79E-07	1.78E-07
WNW	4.26E-06	1.74E-06	8.11E-07	3.83E-07	1.42E-07
NW	4.55E-06	1.74E-06	8.03E-07	3.78E-07	1.41E-07
NNW	2.37E-06	9.12E-07	4.26E-07	2.00E-07	7.47E-08

表 6.1-10 (2/3) 气载放射性排放造成环境空气核素浓度 (U-235)

单位: Bq/m³

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10
N	1.23E-07	4.40E-08	2.01E-08	9.38E-09	3.54E-09
NNE	6.60E-08	2.63E-08	1.22E-08	5.75E-09	2.15E-09
NE	7.36E-08	2.58E-08	1.18E-08	5.58E-09	2.12E-09
ENE	4.22E-08	1.46E-08	6.64E-09	3.10E-09	1.16E-09
E	3.73E-08	1.35E-08	6.19E-09	2.89E-09	1.08E-09
ESE	1.63E-08	7.50E-09	3.58E-09	1.69E-09	6.29E-10
SE	1.07E-08	4.28E-09	2.00E-09	9.47E-10	3.49E-10
SSE	3.49E-09	1.13E-09	5.03E-10	2.35E-10	8.68E-11
S	6.39E-08	3.67E-08	1.81E-08	8.64E-09	3.06E-09
SSW	1.87E-07	7.53E-08	3.58E-08	1.71E-08	6.29E-09
SW	2.36E-07	9.64E-08	4.53E-08	2.14E-08	7.85E-09
WSW	2.36E-07	9.64E-08	4.50E-08	2.12E-08	7.86E-09
W	1.77E-07	7.12E-08	3.32E-08	1.56E-08	5.82E-09
WNW	1.39E-07	5.67E-08	2.65E-08	1.25E-08	4.63E-09
NW	1.49E-07	5.68E-08	2.62E-08	1.23E-08	4.59E-09
NNW	7.75E-08	2.98E-08	1.39E-08	6.53E-09	2.44E-09

表 6.1-10 (3/3) 气载放射性排放造成环境空气核素浓度 (U-238)

单位: Bq/m³

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10
N	3.63E-07	1.29E-07	5.91E-08	2.76E-08	1.04E-08
NNE	1.94E-07	7.75E-08	3.61E-08	1.69E-08	6.32E-09
NE	2.17E-07	7.60E-08	3.48E-08	1.64E-08	6.24E-09
ENE	1.24E-07	4.30E-08	1.95E-08	9.13E-09	3.43E-09
E	1.10E-07	3.99E-08	1.82E-08	8.52E-09	3.17E-09
ESE	4.81E-08	2.21E-08	1.05E-08	4.99E-09	1.85E-09
SE	3.15E-08	1.26E-08	5.88E-09	2.79E-09	1.03E-09
SSE	1.03E-08	3.33E-09	1.48E-09	6.93E-10	2.56E-10
S	1.88E-07	1.08E-07	5.32E-08	2.55E-08	9.00E-09
SSW	5.50E-07	2.22E-07	1.05E-07	5.04E-08	1.85E-08
SW	6.96E-07	2.84E-07	1.33E-07	6.29E-08	2.31E-08
WSW	6.96E-07	2.84E-07	1.33E-07	6.24E-08	2.32E-08
W	5.22E-07	2.10E-07	9.77E-08	4.60E-08	1.71E-08
WNW	4.09E-07	1.67E-07	7.80E-08	3.68E-08	1.36E-08
NW	4.37E-07	1.67E-07	7.73E-08	3.63E-08	1.35E-08
NNW	2.28E-07	8.77E-08	4.09E-08	1.92E-08	7.19E-09

6.1.4.3 公众个人剂量

根据以上剂量计算模式和参数，表 6.1-11~6.1-14 给出了本项目气载放射性流出物排放通过各种途径造成厂址半径 10km 范围内各子区中各年龄段（成人、青少年、儿童、婴儿）公众个人造成的辐射剂量估算结果。

从表中可以看出，本项目气载放射性流出物排放对各年龄段公众造成的受照剂量最大的子区均为 WSW 方位 0~1km 子区，对该子区成人、青少年、儿童和婴儿组公众个人造成的剂量分别为 $1.39\text{E-}06\text{Sv/a}$ 、 $1.45\text{E-}06\text{Sv/a}$ 、 $1.24\text{E-}06\text{Sv/a}$ 和 $7.11\text{E-}07\text{Sv/a}$ ，均远小于本项目向环境释放的放射性物质对公众造成的年有效剂量管理目标值 0.01mSv ，其中青少年组公众为最大受照年龄组。

表 6.1-15 列出了本项目气载放射性流出物所造成厂址各子区的年集体有效剂量，评价区内公众集体年有效剂量结果为 $3.05\text{E-}03 \text{ 人}\cdot\text{Sv}$ 。

表 6.1-11 先进燃料研制中心对各子区公众个人（成人）造成的有效剂量

单位：Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10
N	7.71E-07	—	—	8.59E-08	3.41E-08
NNE	4.61E-07	—	—	5.27E-08	1.96E-08
NE	—	—	—	—	—
ENE	—	—	—	—	—
E	—	—	—	—	8.92E-09
ESE	—	—	1.71E-08	—	3.68E-09
SE	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—
S	1.73E-07	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—
SW	—	4.28E-07	2.25E-07	1.20E-07	—
WSW	1.39E-06	—	2.75E-07	—	—
W	1.04E-06	—	—	2.81E-08	—
WNW	—	3.43E-07	1.71E-07	9.82E-08	3.51E-08
NW	—	3.55E-07	1.92E-07	—	3.88E-08
NNW	—	—	—	—	2.60E-08

表 6.1-12 先进燃料研制中心对各子区公众个人（青少年）造成的有效剂量

单位：Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10
N	8.06E-07	—	—	8.84E-08	3.53E-08
NNE	4.78E-07	—	—	5.43E-08	2.03E-08
NE	—	—	—	—	—
ENE	—	—	—	—	—
E	—	—	—	—	9.26E-09
ESE	—	—	1.82E-08	—	3.89E-09
SE	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—
S	1.94E-07	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—
SW	—	4.57E-07	2.38E-07	1.26E-07	—
WSW	1.45E-06	—	2.88E-07	—	—
W	1.09E-06	—	—	3.38E-08	—
WNW	—	3.59E-07	1.79E-07	1.02E-07	3.70E-08
NW	—	3.71E-07	1.99E-07	—	4.04E-08
NNW	—	—	—	—	2.68E-08

表 6.1-13 先进燃料研制中心对各子区公众个人（儿童）造成的有效剂量

单位：Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10
N	6.85E-07	—	—	7.51E-08	2.89E-08
NNE	4.06E-07	—	—	4.61E-08	1.67E-08
NE	—	—	—	—	—
ENE	—	—	—	—	—
E	—	—	—	—	7.63E-09
ESE	—	—	1.56E-08	—	3.24E-09
SE	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—
S	1.70E-07	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—
SW	—	3.93E-07	2.04E-07	1.08E-07	—
WSW	1.24E-06	—	2.45E-07	—	—
W	9.29E-07	—	—	3.03E-08	—
WNW	—	3.05E-07	1.53E-07	8.66E-08	3.12E-08
NW	—	3.15E-07	1.69E-07	—	3.33E-08
NNW	—	—	—	—	2.20E-08

表 6.1-14 先进燃料研制中心对各子区公众个人（婴儿）造成的有效剂量

单位：Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10
N	3.91E-07	—	—	4.10E-08	2.09E-08
NNE	2.29E-07	—	—	2.52E-08	1.20E-08
NE	—	—	—	—	—
ENE	—	—	—	—	—
E	—	—	—	—	5.51E-09
ESE	—	—	9.15E-09	—	2.35E-09
SE	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—
S	1.08E-07	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—
SW	—	2.33E-07	1.19E-07	6.22E-08	—
WSW	7.11E-07	—	1.40E-07	—	—
W	5.33E-07	—	—	2.09E-08	—
WNW	—	1.75E-07	8.63E-08	4.79E-08	2.26E-08
NW	—	1.80E-07	9.50E-08	—	2.41E-08
NNW	—	—	—	—	1.58E-08

表 6.1-15 先进燃料研制中心造成各子区公众集体有效剂量

单位：人·Sv/a

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	合 计
N	9.27E-05	—	—	4.97E-05	1.73E-04	3.15E-04
NNE	1.07E-04	—	—	7.41E-06	3.90E-06	1.18E-04
NE	—	—	—	—	—	—
ENE	—	—	—	—	—	—
E	—	—	—	—	1.77E-05	1.77E-05
ESE	—	—	1.07E-05	—	1.31E-05	2.38E-05
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	5.00E-05	—	—	—	—	5.00E-05
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	2.24E-04	2.34E-04	5.00E-05	—	5.08E-04
WSW	1.72E-04	—	2.81E-04	—	—	4.53E-04
W	2.40E-04	—	—	6.52E-04	—	8.92E-04
WNW	—	4.70E-05	4.29E-05	1.34E-04	1.15E-04	3.39E-04
NW	—	1.38E-04	3.64E-05	—	5.89E-05	2.33E-04
NNW	—	—	—	—	9.74E-05	9.74E-05
合 计	6.62E-04	4.09E-04	6.05E-04	8.93E-04	4.79E-04	3.05E-03

6.1.4.4 三关键分析

通过上述分析，本项目正常运行气载放射性流出物释放对厂址 WSW 方位 0~1km 子区的瓦北新村青少年组公众造成的年受照剂量最大，为 $1.45\text{E-}06\text{Sv/a}$ ，同时考虑到厂址附近在气载放射性物质辐射途径上未发现其他特殊生活习性，因此，将厂址 WSW 方位 0~1km 子区的瓦北新村青少年组公众作为受辐射影响可能的关键人群组。表 6.1-16 给出了各放射性核素通过各途径对关键人群组（WSW 方位 0~1km 子区的瓦北新村青少年组公众）造成的有效剂量。

由表可以看出，可能的关键照射途径为食入陆生食品内照射途径，对关键人群组个人造成的有效剂量为 $1.12\text{E-}06\text{ Sv/a}$ ，占个人总有效剂量的 77.20%。可能的关键核素为 U-234，对关键人群组个人造成的有效剂量为 $1.30\text{E-}06\text{Sv/a}$ ，占个人总有效剂量的 89.11%。关键人群组个人受到的有效剂量为 $1.45\text{E-}06\text{Sv/a}$ ，占本项目剂量管理目标值（ 0.01mSv ）的 14.5%，满足剂量管理要求。

表 6.1-16 各放射性核素通过各途径对关键人群组造成的有效剂量

（WSW 方位 0~1km 子区的瓦北新村青少年）

单位：Sv/a

核素	空气浸没	地面沉积	空气吸入	食入陆生食品	合计	占比%
U-234	$1.36\text{E-}15$	$1.08\text{E-}09$	$2.92\text{E-}07$	$1.00\text{E-}06$	$1.30\text{E-}06$	89.11
U-235	$4.04\text{E-}14$	$6.31\text{E-}09$	$8.54\text{E-}09$	$3.14\text{E-}08$	$4.63\text{E-}08$	3.18
U-238	$6.03\text{E-}17$	$7.76\text{E-}11$	$2.34\text{E-}08$	$8.86\text{E-}08$	$1.12\text{E-}07$	7.71
合计	$4.18\text{E-}14$	$7.46\text{E-}09$	$3.24\text{E-}07$	$1.12\text{E-}06$	$1.45\text{E-}06$	100.00
占比%	0.00	0.51	22.28	77.20	100.00	

6.1.5 辐射影响评价

通过上述计算和分析，本项目正常运行状态下，气载放射性流出物排放造成公众最大有效剂量为 $1.45\text{E-}06\text{ Sv/a}$ ，为位于厂址 WSW 方位 0~1km 子区的青少年，占本项目剂量管理目标值（ 0.01mSv ）的 14.5%，满足剂量管理要求。

同时，该人群也是可能的关键居民组，需要关注的关键照射途径为食入陆生食品内照射途径，需要关注的关键核素为 U-234。

6.2 非放污染物环境影响

本工程正常运行时，可能造成的环境影响包括一定的非放射性环境影响。主要包括以下几方面：

- 生产废气；
- 生产废水和生活废水等非放废水；
- 非放射性固废，包括生活垃圾、一般工业废物和危险废物；
- 噪声。

6.2.1 生产废气的环境影响

本项目主要废气类型包括喷砂打磨废气、线切割废气、电火花设备废气和各类焊接废气（激光焊、点焊、氩弧焊）。其中针对喷砂打磨废气采用布袋除尘装备处理后室内无组织排放；线切割由于采用去离子水作为加工冷却介质，生产过程中不产生粉尘；电火花打孔、成型采用油烟净化器处理后，室内排放；焊接废气统一收集后采用水过滤处理后，直接排放到室外，同时对整个车间进行通风换气。

表 6.2-1 废气处理措施一览表

车间	废气种类	数量	污染物	处理措施
喷砂房	打磨废气	1 台	粉尘	经布袋除尘装置处理后，排至室内
线切割	线切割废气	2 台	粉尘	加工冷却介质为去离子水，无粉尘
电火花打孔	打孔废气	1 台	粉尘	油烟净化器处理后，排至室内
电火花成型	成型废气	1 台	粉尘	油烟净化器处理后，排至室内
格架焊接室	焊接废气	1 套	粉尘	尾气收集后经水过滤，排至室内
弹簧插装及点焊自动线	焊接废气	1 套	粉尘	尾气收集后经水过滤，排至室内
管座阻焊	焊接废气	1 台	粉尘	尾气收集后经水过滤，排至室内
骨架焊接区	焊接废气	2 台	颗粒物	尾气收集后水过滤，排至室内
氦质谱检漏装置	检测氦气	1 套	\	收集其尾气，排放至室外

本项目非放废气的产生场所主要在已建的零部件研制室（01 子项）和骨架研制室（02 子项），所产生的污染物类型和数量大部分可被原工程试验中心的环评内容所包括。根据东环审[2016]31 号文，工程试验中心所产生非放废气结合工艺布置要求分 4 套系统对废弃进行收集和处理，达到《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）的第二

时段排放标准后排放。因此，预计本项目所产生的废气经处理后，也可实现达标排放。

6.2.2 非放射性废水的环境影响

本工程厂区已建设 1 座生活污水处理站（04 子项），处理正常运行期间产生的生产废水和生活废水等非放射性废水。根据原工程试验中心环评文件中的相关信息，污水处理站的处理情况为：

- 项目生产综合废水主要有：超声波清洗废水、碳氢清洗废水、组件棒清洗废水和理化检验中心用水等。其产生量约为 8.3t/d，年生产天数为 250，则年总排放量为 2075t/a。生产废水经过厂区污水处理站处理后满足广东省地方标准《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）第二时段一级排放标准的要求，回用或排至厂界外的季节性河流。
- 项目预计员工总人数 66 人，项目不设食堂和宿舍。根据《广东省用水定额》（DB44T1461-2014）中表 2、表 3 规定，不住宿人员用水量按 40L/人·日计，即用水量为 2.64t/d。年工作 250 天，总用水量约 660t/a。依《室外排水设计规范》（GB50114-2006）2011 年版相关规定，排污系数取 0.9，即排放生活污水 594t/a。污水中主要含 COD_{Cr}、BOD₅、SS、NH₃-N 等。生活污水经厂区自建污水处理站处理后，满足广东省地方标准《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）第二时段一级排放标准的要求，排至厂界外排至厂界外的季节性河流。

由此可知，厂区已有的污水处理设施，能够满足正常运行时产生的生产废水和生活废水处置需求。处理后的废水满足广东省地方标准《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）的相关要求。

6.2.3 非放射性固废的环境影响

本工程在正常运行过程中因设备的维修、零部件的损坏等会产生一定量工业固废，其中一般工业固废有废边角料、废钢铁、废焊丝和废空调等，危险固废包括废化学品、废活性炭、废日光灯管等。本项目将设置危废品库（08 子项）对非放固废进行收集暂存，并将委托专业废弃物公司外运处置。

本工程运行期间产生的生活垃圾主要来源于厂区办公区的垃圾。生活垃圾实行袋装分类收集，并委托当地环卫所定期收集处理。

在落实固废收集和处置工作后，本工程的非放射性固废对环境的影响较小。

6.2.4 噪声的环境影响

本项目营运期产生的噪声主要来源于各类送风机组、空调机、排风机等运行产生的噪声，各类噪声源分布及源强情况见表 6.2-2。

表 6.2-2 噪声源分布及源项

序号	噪声源	源强 dB(A)
1	检验区 2 台送风空气处理机组	单台噪声源强 80dB(A)
2	三层送风空调机房内有 4 台空气处理机组	单台噪声源强 80dB(A)
3	三层排风机房内有 5 台排风机	单台噪声源强 85dB(A)
4	淋浴间和卫生间 2 台排风机	单台噪声源强 60dB(A)
5	三层机房工艺局部 4 台排风风机	单台噪声源强 85dB(A)
6	柴油发电机房 2 台排风机	单台噪声源强 80dB(A)
7	蓄电池间排风机 2 台，平时运行 1 台	单台噪声源强 75dB(A)
8	电气设备间排风机 1 台	源强 75dB(A)
9	洗衣房排风机 1 台	源强 85dB(A)
10	实保区恒温恒湿空调机、VRV 室内机若干	单台噪声源强 80dB(A)

采用考虑几何发散引起的声级衰减的保守预测公式和某点处受多个声源噪声叠加公式计算上述预测点的噪声。图 6.2-1 给出了本项目运行期间噪声影响预测分布图。

根据计算结果，本项目运行期间，对北厂界造成的噪声贡献值最大为 51.1dB(A)，对东厂界造成的噪声贡献值最大为 49.5dB(A)，对西厂界造成的噪声贡献值最大为 44.9dB(A)，对南厂界造成的噪声贡献值最大为 51.9dB(A)。本项目生产时期基本只在昼间进行，因此，上述厂界噪声贡献值满足运行期间厂界噪声环境执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中的 1 类标准中昼间 55dB(A)标准。对于夜间偶尔有任务需要开启上述几个噪声源情况，同样满足 GB12348-2008 标准中的 1 类标准中夜间频发噪声标准 (45+10dB(A))。

离厂址最近的噪声环境敏感点为 S 方位 0.5km 处的福龙村，本项目运行对其的噪声环境贡献值将小于 40dB(A)，叠加其噪声环境本底后可以满足环境质量标准要求。

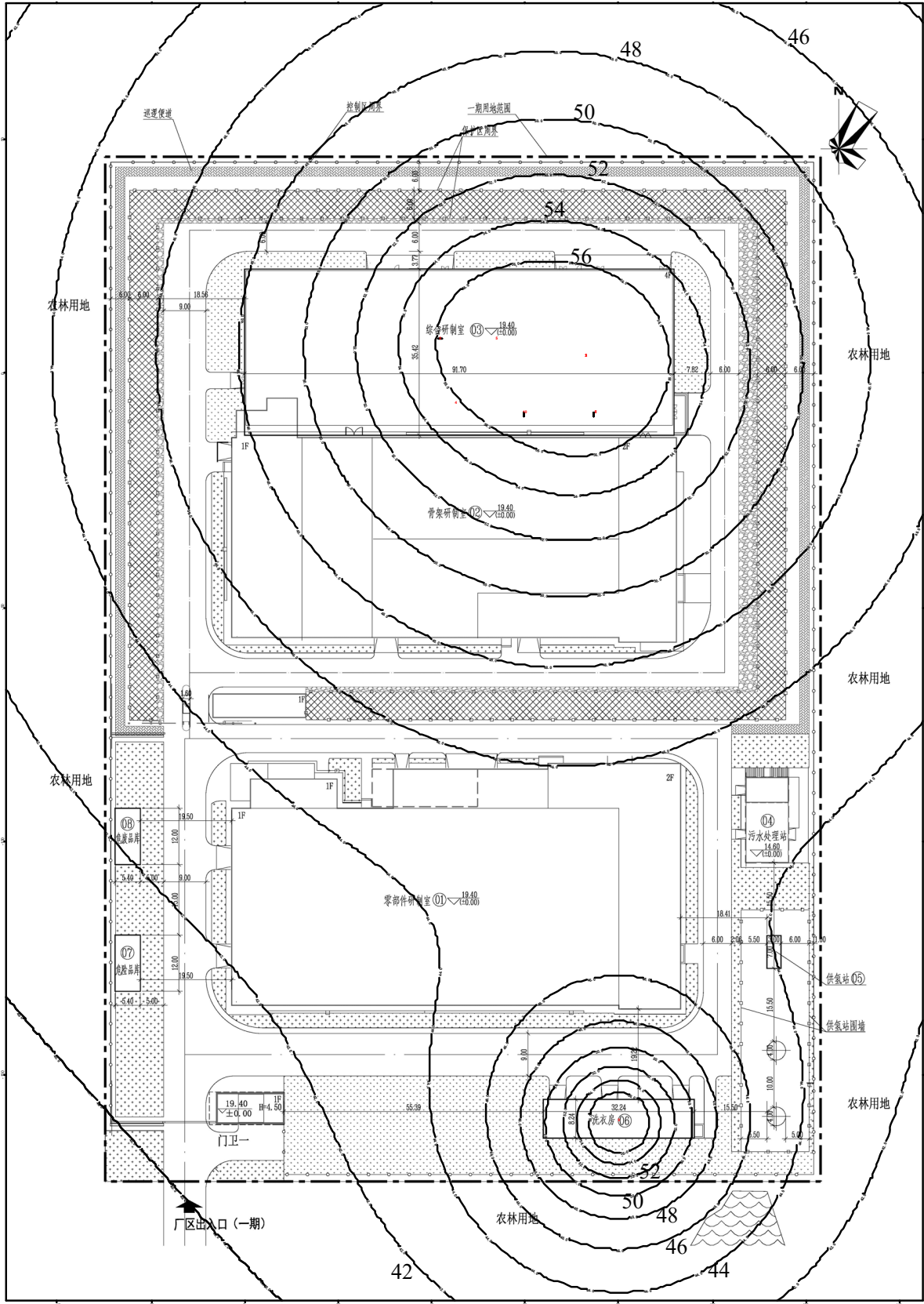


图 6.2-1 本工程运行期间噪声影响预测分布图

第七章 事故的环境影响和环境风险

本工程主要工艺为芯块制备、元件制造和燃料棒组装，在将来的运行过程中可能发生的主要事故为物料洒落事故、烧结炉氢气爆炸事故和临界事故。

根据本项目初步安全分析报告，本节将对运行期间可能发生的事故、其他事故进行评价。

7.1 事故描述及后果评价

7.1.1 事故描述

7.1.1.1 物料洒落事故

1) 事故情景

潜在物料洒落事故发生部位为 U_3O_8 粉末吸料端和 UO_2 粉末吸料端。在吸料时，连接处由于误操作，导致连接脱开，将造成粉末洒落。事故假设为：

- UO_2 粉末装在物料容器内，每桶 $\leq 360\text{kg}$ /桶（偏保守取粉末料桶最大装载量 360kg ）；
- U_3O_8 粉末装在 50L 容器内，每桶 $\leq 75\text{kg}$ /桶（偏保守取粉末料桶最大装载量 75kg ）；
- UO_2 粉末物料容器出料口距地面高度 $<0.5\text{m}$ ；
- 50L 容器置于地面上，出料口离地面的高度 0.62m 。

由于 50L U_3O_8 粉末料桶直立在地面上，即使吸料嘴脱开，也只有吸料嘴内部分物料洒落，因此，分析时按 $360\text{kg}UO_2$ 粉末从 0.5m 高度洒落。

2) 事故源项

参照《Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook》(NUREG-6410)，粉末从小于 3m 高度的自由下落，空气传播份额为 0.2% 。

则气溶胶产生量为 $360\text{kg}\times 0.2\%=720\text{g}UO_2$ （即 635gU ）。

由于吸料过程在吸料小室内进行，当事故发生后，产生的铀气溶胶假定有 90% 经过排风小室外一级管式过滤器过滤，再经 JP-1 系统预过滤器、HEPA 过滤器过滤后，通过 20m 排气筒外排，过滤效率保守取 99% ；其余 10% 泄露到工作场所，经全面排风

系统的预过滤器、HEPA 过滤器过滤后，通过 20m 排气筒外排，过滤效率保守取 99%。

通过 20m 烟囱排入环境的量约为 $635 \times (1-99\%) = 6.35\text{gU}$ ，即 $8.78\text{E}+05\text{Bq}$ 。其中，U-234 为 $7.77\text{E}+05\text{Bq}$ 、U-235 为 $2.54\text{E}+04\text{Bq}$ 、U-238 为 $7.48\text{E}+04\text{Bq}$ 。

物料洒落事故属于设计基准事故。

7.1.1.2 钷芯块烧结炉氢气爆炸事故

1) 事故情景

钷芯块烧结炉以氢气为还原剂，烧结炉在微正压状态下运行，避免空气进入。当烧结炉氢气供应不足，可能导致空气进入，氢气与空气混合浓度达到爆炸限（爆炸范围为 4.1%~74.1%）时，由于烧结炉内温度较高，可发生氢气爆炸事故。

烧结炉炉筒尺寸为长 1300mm×宽 500mm×高 1100mm， UO_2 芯块占炉筒容积的约 1.28%，正常运行时，炉内处于 0.2MPa 的正压，温度在 1700~1800℃之间，经计算炉内氢气的量约为 0.706Nm^3 。

当烧结炉内发生氢气爆炸时，可能破坏所有生坯芯块，生坯芯块总质量为 100kg。

2) 事故源项

(1) 氢气爆炸能

氢气爆炸燃烧热计算公式如下：

$$E = H_c \times V$$

式中，

E 氢气爆炸燃烧热，kJ；

H_c 氢气的高燃烧热值，查表取 12770kJ/m^3 ；

V 参与反应的氢气体积， Nm^3 。

采用上式计算得到氢气爆炸燃烧热 $E = 9.02\text{E}+03\text{kJ} = 9.02\text{E}+13\text{erg}$ 。进一步假设氢气爆炸时作用于物料的能量 E_1 为燃烧热的 10%，则 $E_1 = 9.02\text{E}+12\text{erg}$ 。

(2) 爆炸产生的气溶胶份额

氢气爆炸产生的气溶胶份额计算公式如下：

$$\log A = -2.6 + \sqrt{18.8 \times \left(\log \frac{E_1}{MAR}\right) - \left(\log \frac{E_1}{MAR}\right)^2 - 67.2} = 1.767$$

式中，

A 氢气爆炸产生的气溶胶份额， %；

MAR 受冲击的物料质量， 100000 gUO₂。

经计算，爆炸产生的气溶胶份额为 58.5%。

(3) 气载源项

参考 DOE-HDBK-3010-94，气载源项采用下式计算：

$$Q = \text{MAR} \times \text{DR} \times A \times \text{RF} \times \text{LPF}$$

式中，

Q 事故源项， g；

MAR 受冲击的物料质量， 100000gUO₂；

DR 损失率， 100%；

A 爆炸产生的气溶胶份额， 58.5%；

RF 可被吸入的份额，参照 NUREG-6410 中 D.3.5.2 取 0.2；

LPF 泄漏路径因子，取 1。

代入数据，计算得到事故源项 $Q = 100000\text{g} \times 100\% \times 58.5\% \times 0.2 = 11699.73\text{gUO}_2$ 。

氢气爆炸后引起空气压力增加，导致 UO₂ 气溶胶逸出烧结炉外，偏保守按全部经过 20m 烟囱排入大气，过滤器的过滤效率取 99%，则排入大气的量为 117gUO₂，即 103gU (1.42E+07Bq)。其中，U-234 为 1.26E+07Bq、U-235 为 4.12E+05Bq、U-238 为 1.21E+06Bq。

钐芯块烧结炉氢气爆炸事故属于设计基准事故。

7.1.1.3 核临界事故

1) 事故情景

本工程操作物料是 ²³⁵U 富集度小于 5%铀的化合物。为防止生产线发生核临界事故，各子项在设计中和运行中采取了必要的安全措施，但是，当机械损坏和外力使设备几何安全保障措施受到破坏时，或者当人员误操作使质量限值以及设备间距限值受到损坏时，在有足够质量的易裂变材料区域的慢化和反射条件达到核闪变条件时，将发生核临界事故。各子项可能的事故原因分析如下：

- 混合均匀化工序和磨削工序有大量的易裂变材料且存在慢化剂，具有潜在的临界事故风险。混合均匀化工序向 UO₂ 粉末中添加草酸铵，草酸铵是含氢物

质，当向单锥混料器内多批添加草酸铵时，存在潜在的临界事故风险。

- 磨削工序采用水淋洗，当磨床内积累的大量磨削渣未及时清理，也存在潜在的临界事故风险。
- 厂房内 UO₂ 芯块库房、燃料棒贮存库房和组件库房等岗位贮存有大量易裂变材料，这些岗位在工程设计中不引入慢化剂水，其附近也限制布置水管，发生临界事故的概率极小。
- 组件清洗也是在热水中进行，虽然水有较好的慢化和反射作用，但由于组件为欠慢化阵列，发生临界事故的概率极小。

由上述分析可知，当易裂变材料意外积累、慢化条件改变和具备反射条件时，存在潜在临界风险，但这些条件只有在极端事故时才可能具备且均至少发生两个以上不同工艺条件的改变，因此符合双偶然事件原则。

2) 事故源项

参考《核临界事故回顾》([美]T.P.麦克劳林 [俄]V.V.弗罗洛夫等编著原子能出版社)第二章的“第三节有慢化的金属或氧化物系统”中核临界事故，并针对本工程特点，有慢化的金属或氧化物系统核临界事故的总裂变次数一般在 $10^{16} \sim 10^{18}$ 量级，将设计基准核临界事故的最大可能总裂变数取为 3×10^{18} 次。

根据核行业标准“用于评估铀燃料制造厂核临界事故潜在辐射后果的假定”(EJ/T 988-1996)中的假设：

- 核临界事故产生的所有惰性气体直接释入有通风的事故房间空气内；
- 核临界事故产生的放射性碘核素的 25%直接释入有通风的事故房间空气内。

以 EJ/T 988-1996 中给出的核临界事故产生的惰性气体及碘的活度为基础，考虑最大可能总裂变数取为 3×10^{18} 次，忽略过滤器对惰性气体及碘的过滤作用。

排入环境的主要放射性核素及其活度见表 7.1-1。

表 7.1-1 临界事故期间释放到环境中的放射性活度 (Bq)

核素	0-0.5h	0.5h-8h	0h-8h
Kr-83m	2.44E+11	1.55E+12	1.80E+12
Kr-85m	2.33E+11	1.44E+12	1.68E+12
Kr-85	2.44E+06	1.55E+07	1.80E+07
Kr-87	1.55E+12	9.45E+12	1.10E+13

Kr-88	1.01E+12	6.21E+12	7.23E+12
Xe-131m	1.22E+08	7.77E+08	9.00E+08
Xe-133m	2.78E+09	1.78E+10	2.06E+10
Xe-133	4.23E+10	2.55E+11	2.98E+11
Xe-135m	3.45E+12	2.11E+13	2.45E+13
Xe-135	5.55E+11	3.45E+12	4.02E+12
Xe-138	2.00E+13	1.22E+14	1.42E+14
I-131	3.33E+09	2.09E+10	2.42E+10
I-132	4.16E+11	2.64E+12	3.06E+12
I-133	6.11E+10	3.89E+11	4.49E+11
I-134	1.75E+12	1.08E+13	1.25E+13
I-135	1.83E+11	1.11E+12	1.29E+12

同时，EJ/T988-1996 还规定：容器内装有富集铀浓度为 400g/L 的溶液。核临界事故因蒸发了 100L 溶液而终止。核临界事故期间因蒸发溶液而产生的气溶胶直接释入有通风的事故房间空气内。气溶胶中的盐分约占被蒸发掉的溶液盐含量的 0.05%。根据 EJ/T988-1996 的规定，则铀气溶胶含铀 20g，考虑通风系统过滤效率为 99%，排入环境的铀为 0.2g，按 U-235 富集度为 5%铀比活度 $1.38E+05Bq/g$ 考虑，即 $2.76E+04Bq$ 。其中，U-234 为 $2.45E+04Bq$ 、U-235 为 $8.00E+02Bq$ 、U-238 为 $2.35E+03Bq$ 。

核临界事故属于超设计基准事故。

7.1.2 事故剂量计算

7.1.2.1 事故大气弥散条件

事故后果计算中使用的短期大气弥散因子采用苏州热工研究院有限公司开发的改进版 CEIRA 程序系统计算。CEIRA 程序系统采用了高斯烟羽模式。假设事故工况下放射性以地面源方式释入环境，采用高斯烟流轴浓度公式计算小时大气弥散因子。计算中考虑建筑物尾流效应。

事故短期大气弥散因子的计算模式如下：

$$(\chi/Q)_1 = \frac{1}{u \cdot (\pi\sigma_y\sigma_z + C_w A)} \quad (\text{式 1})$$

$$(\chi/Q)_2 = \frac{1}{u(3\pi\sigma_y\sigma_z)} \quad (\text{式 2})$$

$$(\chi/Q)_3 = \frac{1}{u \cdot (\pi \cdot \Sigma_y \cdot \sigma_z)} \quad (\text{式 3})$$

$$\chi/Q = \min(\max((\chi/Q)_1, (\chi/Q)_2), (\chi/Q)_3) \quad (\text{式 4})$$

上述式中：

- χ/Q —短期大气弥散因子， s/m^3 ；
- x —下风向距离， m ；
- u —地面风速， m/s ；
- A —建筑物最小横截面积， m^2 ；
- C_w —建筑物尾流效应使烟流弥散占面积 A 的份额，取 $C_w=0.5$ ；
- σ_y, σ_z —分别为横向和垂向的大气扩散参数；
- Σ_y —考虑烟云弯曲和建筑物尾流效应的水平大气扩散参数，根据地面风速、稳定性和释放距离确定（具体参见美国管理导则 RG1.145，下式中的 M 取值参见该导则的图 3）：
 - $\Sigma_y = M \cdot \sigma_y$ ，当下风向距离 $x \leq 800m$ ；
 - $\Sigma_y = (M - 1) \cdot \sigma_{y800m} + \sigma_y$ ，当下风向距离 $x > 800m$ 。

本工程环境影响报告书采用阳江核电厂气象观测系统 2018 年 1 月至 2018 年 12 月一整年的逐时气象观测数据进行事故大气弥散因子的计算。

事故工况下，放射性物质主要通过厂房烟囱释放至环境中，其中烟囱距离厂址边界北方位最近距离约 70m，距离东西方位最近距离约 75m，距离南方位最近距离大于 100m。设计基准事故计算时，采用保守的大气弥散因子，即选取分方位 99.5% 概率水平的大气弥散因子。超设计基准事故计算时，采用现实的大气弥散因子，即选取全厂址 50% 概率水平的大气弥散因子。

表 7.1-2 给出了设计基准事故发生后，厂区边界处的大气弥散因子。

表 7.1-2 设计基准事故期间的大气弥散因子

方位	距离 (m)	大气弥散因子 (s/m^3)	
		(0~2h)	(2~8h)
N	70	5.67E-03	3.85E-03
E	75	9.70E-04	6.37E-04
S	100	3.79E-04	1.46E-04
W	75	6.38E-03	4.50E-03

表 7.1-3 给出超设计基准事故发生后,按最近距离 70m 范围计算的大气弥散因子。

表 7.1-3 超设计基准事故期间的大气弥散因子

方位	距离 (m)	大气弥散因子 (s/m ³)	
		(0~2h)	(2~8h)
全厂址	70	6.13E-04	5.10E-04

7.1.2.2 事故剂量

7.1.2.2.1 事故剂量估算模式

本工程事故期间,公众可能受到的辐射照射途径有:

- 烟云浸没外照射;
- 空气吸入内照射;

(1) 烟云浸没剂量 D_a

$$D_a = \sum_n \left[\sum_e Q_n(e) \cdot \left(\frac{\hat{X}}{\dot{Q}} \right)_e \right] \cdot DF_a(n) \quad (\text{式 8})$$

(2) 空气吸入剂量 D_{inh}

$$D_{inh} = \sum_n \left[\sum_e Q_n(e) \cdot \left(\frac{\hat{X}}{\dot{Q}} \right)_e \cdot B_r(e) \right] \cdot DF_{inh}(n) \quad (\text{式 9})$$

上述(式 8)、(式 9)中,各参数的含义为:

D_a 、 D_{inh} : 剂量, Sv;

$Q_n(e)$ — e 时段核素 n 的释放总活度, Bq;

$\left(\frac{\hat{X}}{\dot{Q}} \right)_e$ — e 时段的事(短期)大气扩散因子, s·m⁻³;

$B_r(e)$ — 成人在 e 时段的呼吸率, m³·s⁻¹;

$DF_a(n)$ — 核素 n 的浸没剂量转换因子, Sv·(s·Bq·m⁻³)⁻¹;

DF_{inh} — 核素 n 的吸入剂量转换因子, Sv·Bq⁻¹。

7.1.2.2.2 计算参数的选取

(1) 剂量转换因子

— 惰性气体

烟云浸没外照射剂量转换因子取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；

— 碘

吸入内照射有效剂量转换因子主要取自国际辐射防护委员会(ICRP)71号出版物；烟云浸没外照射剂量转换因子主要取自国际原子能机构(IAEA)19号安全报告(2001)；

— 其它核素

烟云浸没外照射剂量转换因子主要取自美国联邦导则12号报告；吸入内照射有效剂量转换因子主要取自美国联邦导则11号报告。

表 7.1-4 给出了事故剂量计算采用剂量转换因子。

表 7.1-4 剂量转换因子

核素	衰变常数(1/s)	烟云浸没照射(Sv/s)/(Bq/m ³)	吸入内照射(Sv/Bq)
Kr-83m	1.05E-04	2.43E-18	
Kr-85m	4.30E-05	6.83E-15	-
Kr-85	2.05E-09	2.55E-16	-
Kr-87	1.52E-04	3.94E-14	-
Kr-88	6.78E-05	9.72E-14	-
Xe-131m	6.74E-07	3.70E-16	-
Xe-133m	3.66E-06	1.27E-15	-
Xe-133	1.53E-06	1.39E-15	-
Xe-135m	7.42E-04	1.85E-14	-
Xe-135	2.12E-05	1.11E-14	-
Xe-138	8.15E-04	5.44E-14	-
I-130	1.55E-05	1.04E-13	1.99E-09
I-131	9.98E-07	1.84E-14	2.00E-08
I-132	8.37E-05	1.14E-13	3.10E-10
I-133	9.26E-06	3.00E-14	4.00E-09
I-134	2.20E-04	1.33E-13	1.50E-10
I-135	2.91E-05	8.25E-14	9.20E-10
U-234	1.42E+02	7.97E-18	2.13E-06
U-235	2.23E+01	7.22E-15	1.97E-06
U-238	7.75E-03	3.67E-18	1.90E-06

(2) 呼吸

呼吸率取自美国核管理委员会管理导则RG1.183：

— 0~8h时间段： $B_r=3.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ；

- 8~24h时间段： $B_r=1.8 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$;
- 24~720h时间段： $B_r=2.3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ 。

7.1.2.2.3 事故剂量计算结果

(1) 气态释放放射性后果计算

根据上述输入参数以及剂量计算模型，本工程在发生物料洒落、烧结炉氢气爆炸工况下，事故持续期间厂区最近边界上放射性剂量计算结果见表7.1-5、表7.1-6。

表 7.1-5 物料洒落事故造成的公众个人（成人）受照剂量

方位	距离 (m)	剂量 (Sv)
N	70	3.67E-06
E	75	6.27E-07
S	100	2.45E-07
W	75	4.12E-06

表 7.1-6 烧结炉氢气爆炸事故造成的公众个人（成人）受照剂量

方位	距离 (m)	剂量 (Sv)
N	70	5.94E-05
E	75	1.02E-05
S	100	3.97E-06
W	75	6.69E-05

根据计算结果可以得出：

- 物料洒落事故期间厂区边界上造成的公众个人（成人）有效剂量最大值为W方位的 $4.12 \times 10^{-6} \text{ Sv}$;
- 烧结炉氢气爆炸事故期间厂区边界上造成的公众个人（成人）有效剂量最大值为W方位的 $6.69 \times 10^{-5} \text{ Sv}$ 。

本工程在临界事故工况下，事故持续期间厂区最近边界上由惰性气体和碘造成放射性剂量计算结果见表7.1-7，由放射性铀释放造成的公众剂量见表7.1-8。

表 7.1-7 临界事故期间由惰性气体和碘造成的公众个人（成人）受照剂量

方位	距离 (m)	剂量 (Sv)
全厂址	70	7.44E-03

表 7.1-8 临界事故期间由铀释放造成的公众个人（成人）受照剂量

方位	距离（m）	剂量（Sv）
全厂址	70	1.25E-08

根据计算结果可以得出：临界事故期间厂区边界上造成的公众个人（成人）有效剂量为 $7.44 \times 10^{-3} \text{Sv}$ 。

(2) 临界事故瞬发 γ 、中子剂量计算

临界事故时瞬发 γ 剂量估算模式：

$$D_r = 2.1 \times 10^{-22} N d^{-2} e^{-3.4d} \quad (\text{式 10})$$

式中：

- D_r 为 γ 剂量，Sv；
- N 为裂变次数；
- d 为距源点的距离，km。

瞬发中子剂量估算模式：

$$D_n = 7 \times 10^{-22} N d^{-2} e^{-5.2d} \quad (\text{式 11})$$

式中：

- D_n 为中子剂量，Sv；
- N 为裂变次数；
- d 为距源点的距离，km。

表 7.1-9 给出了临界事故发生后，事故发生点至 N 方位厂界 50m 距离处未考虑屏蔽的瞬发 γ 、中子的剂量值。

表 7.1-9 未考虑屏蔽层削减时瞬发 γ 、中子的剂量

距离（m）	瞬发 γ 剂量（Sv）	瞬发中子剂量（Sv）
50	2.13E-01	6.48E-01

EJ/T988-96 提供了屏蔽层对瞬发 γ 射线和瞬发中子的减弱剂量估算方法：“对瞬发 γ 射线来说，最初的 20cm 厚混凝土能把剂量当量降低到无屏蔽时的 2.5 分之一（最初的 30cm 厚混凝土能把剂量当量降低到无屏蔽时的 5 分之一），其后每增加 30cm 厚的混凝土剂量减弱因子为 5.5。对瞬发中子来说，最初的 20cm 厚混凝土能把剂量当量降低到无屏蔽时的 2.3 分之一（最初的 30cm 厚混凝土能把剂量当量降低到无屏蔽时的

4.6 分之一），其后每增加 30cm 厚的混凝土剂量减弱因子为 20。”

为有效降低瞬发 γ 和中子辐射影响，建设单位应充分考虑临界事故潜在位置附近的辐射屏蔽措施。根据估算，临界事故发生点与厂界间至少应有等效 90cm 厚的混凝土墙（密度 $2.4\text{g}/\text{cm}^3$ ），以使对瞬发 γ 射线的减弱因子达到 151.25；对瞬发中子的减弱因子达到 1840。在考虑以上屏蔽层削减后，厂区边界处瞬发 γ 射线和瞬发中子所致剂量分别为 $1.41\times 10^{-3}\text{Sv}$ 和 $3.52\times 10^{-4}\text{Sv}$ ，两者之和为 $1.76\times 10^{-3}\text{Sv}$ 。

7.1.3 事故后果评价

发生物料洒落、烧结炉氢气爆炸工况下，厂区边界上造成的公众个人（成人）有效剂量分别为 $4.12\times 10^{-6}\text{Sv}$ 和 $6.69\times 10^{-5}\text{Sv}$ ，远小于 5mSv 的评价标准。

在落实相关屏蔽措施的基础上，临界事故持续时间，厂区边界上的公众个人（成人）由惰性气体和碘受照造成的有效剂量为 $7.44\times 10^{-3}\text{Sv}$ ，由瞬发 γ 、中子所致剂量为 $1.76\times 10^{-3}\text{Sv}$ ，总计为 $9.20\times 10^{-3}\text{Sv}$ 。满足 10mSv 的评价标准。

7.2 其它事故

7.2.1 非放射性事故

非放射性事故防范主要考虑火灾，本工程设计上从建筑结构防火、结构布局、电缆设计、走线、隔离、可燃物控制等方面考虑火灾防范。火灾的预防可以分为设计上采取的措施和运行管理上采取的措施。整个设施的防火设计将严格遵循相关法规标准的要求，并且严格实施有关火灾危险作业的管理措施和管理规程，以使火灾发生的可能性减至最小。

7.2.2 危险化学品管控

本项目将在厂区西南侧新建面积 66m^2 的危险品库（07 子项），用以贮存厂区内的危险化学品。根据本工程的设计资料，在项目运行过程中，危险化学品年使用量、储存量如表 7.2-1 所示。

根据《危险化学品重大危险源辨识》（GB18218-2018），与重大危险化学品临界量的比较。本工程使用和贮存的危险化学品不构成重大危险源。

表 7.2-1 本工程运行期间危险化学品年使用量、储存量

种类	状态	规格	年用量/ 瓶	年最大储存 量/瓶	备注
硝酸	液体	500ml/瓶	40	60	易制爆
高锰酸钾	固体	500g/瓶	10	20	易制爆、易制毒
重铬酸钾	固体	500g/瓶	10	20	易制爆
高氯酸	液体	500ml/瓶	10	20	易制爆
双氧水	液体	500ml/瓶	20	30	易制爆
尿素	固体	500g/瓶	10	20	易制爆
钼酸铵	固体	500g/瓶	10	20	易制爆
盐酸	液体	500ml/瓶	20	30	易制毒
硫酸	液体	500ml/瓶	20	30	易制毒
丙酮	液体	500ml/瓶	100	150	易制毒
钒酸铵	固体	500g/瓶	10	20	易制毒
亚硝酸钠	固体	500g/瓶	10	20	常规危化品
氢氟酸	液体	500ml/瓶	10	20	常规危化品
无水乙醇	液体	500ml/瓶	100	150	常规危化品
异丙醇	液体	500ml/瓶	20	30	常规危化品
氢氧化钠	固体	500g/瓶	100	150	常规危化品
二甲苯	液体	500ml/瓶	30	50	常规危化品
WD-40 防锈油 (带枪头)	液体	440mL/瓶	50	100	常规危化品
WD-40 防锈油	液体	350mL/瓶	50	100	常规危化品
NEOLUBENO.2 核级石墨润滑 剂	液体	950Ml/瓶	10	20	常规危化品
清洗剂	液体	500mL/瓶	15	30	常规危化品
显像剂	液体	500mL/瓶	10	20	常规危化品
渗透剂	液体	500mL/瓶	10	20	常规危化品
脱模剂	液体	500mL/瓶	5	10	常规危化品
氢气	气体	75m ³ /罐 (5MPa)	/	2	易爆、易燃

为了切实降低危险化学品在运输、装卸、贮存以及使用中可能的环境风险，明确危险化学品安全管理职责是必要的。具体包括：

(1) 危险化学品运输和装卸

- 新增危险化学品需由相关部门技术审定；
- 运送危险化学品应由交通部门认可的专业运输公司提供服务，危险化学品的

运输工具应符合《汽车运输危险货物规则》中运输车辆的常规要求，并配备相应的应急设施；

- 危险化学品运输和装卸的人员需进行相关安全知识专项技能培训并授权；
- 运输和装卸时，针对不同的危险化学品采取不同的安全措施和劳动保护措施。

(2) 危险化学品储存

- 一般情况下，危险化学品需要储存在专用仓库内保管。如确因工作需要储存在现场时，须经过审批，办理储存手续，并落实好许可证上的要求；
- 储存仓库必须符合安全、消防要求；安全设施必须完好；必须制定健全的库房安全管理制度，定期检查安全状况，建立相关检查记录；
- 危险化学品必须根据《危险物品名表》进行分类、分项存放；仓库管理单位必须建立安全操作、发放和回收制度，确保包装完好、标签清楚，配备相应的安全技术说明书供用户查阅；危险化学品仓库的管理人员、搬运人员必须经过专项安全培训和授权才能上岗工作；
- 厂房管理方需对所辖范围内储存的危险化学品进行定期检查，督促存放人落实相关管理措施，保证存放的危险化学品不威胁厂房的安全；

(3) 危险化学品使用

- 使用危险化学品或在相关系统上操作、取样、检修的工作人员，必须经过培训授权，了解相关化学品的特性及应急防护措施；
- 领取危险化学品时，以满足当天工作需要为准，限量领取；
- 对于易燃品的使用必须采取防火措施，远离热源和火源，防止发生火灾；
- 使用时，应根据危险化学品的种类、特性及工作情况采取相应隔离、清扫、通风、检测、防火、防爆、防毒等安全措施，并使用相应的安全防护用具。

7.3 事故应急

根据《中华人民共和国民用核设施安全监督管理条例》和《民用核燃料设施营运单位的应急计划》的要求，营运单位须作好必要的事故应急准备。

7.3.1 核事故应急对策

本工程在设计上要求具备安全特点，发生严重事故的概率很小，在异常情况下能

及时进行事故报警，并保证有足够时间允许运行人员采取应急措施。

在采取各种预防性措施后，还有可能因失误、事故或人为等因素导致应急状态，其概率很小，但仍不能完全排除。为了避免核临界事故可能导致放射性物质的异常释放，造成对人员的过量照射，应做好应急计划和准备，加强应急能力，保证一旦发生事故时能迅速、有效地控制事故，并最大限度地减轻其后果。

7.3.2 应急环境特征

本工程建设地点位于广东省阳江市阳东区东平镇瓦北村，距东平镇约 3.8km，距阳江核电厂约 3km。

(1) 人口分布

厂址半径 5km 范围内涉及阳东区东平镇所辖的瓦北村、允泊村、海萌村、大涯村、及东北村共 6 个行政村，以及渔业村及渔委会共 10 个，共涉及自然村 30 个。截止 2019 年底，区域内共有人口 30187 人。按陆域面积计算，平均人口密度约 432 人/km²，低于广东省同期平均人口密度 631 人/km²，高于厂址所在阳江市和阳东区同期人口密度 321 人/km² 和 272 人/km²。

厂址半径 1km 以内为瓦北村所在地，共涉及瓦北行政村的那心、新村、光星（福龙）、蒲塘、北城共 5 个自然村，离厂址最近的居民点为位于厂址 S 方位 0.5km 处的光星（福龙）村，有居民 286 人。

厂址 5km 范围内人口最多的居民点为厂址 W 方位 4.8km 的东平居委会，有 8062 人。东平镇区位于厂址 W 方位约 3.8km 处，有人口 20546 人，东平镇区包括了东平居委会和 9 个渔委会，其中东平居委有 8062 人，渔委会共计有 12484 人。

厂址半径 5km 范围内的流动人口主要为部分游客和因阳江核电厂建设而流入的人口。其中：大澳渔家文化村（SW 方位 3.9km）为国家 3A 级旅游风景区，年旅游人次约 25~30 万，一年中 4 月~10 月旅游人次较多，每天约 1000 人次，春节最多时约 3000 人；东平渔港位于东平镇区，共接待游客 135 万人次，游客主要集中在每年 4 月~10 月，游客多为短暂逗留，住宿较少。东平镇流动人口主要分布在镇区和核电厂附近，共有 7716 人，其中核电相关人员有 3731 人，其他行业人员 3985 人，流动人口主要分布在核电自建生活区内和进厂道路附近，厂址所在的瓦北村流动人口很少。区域内流动人口这些除在春节期间大量人员返乡外，其他季节无明显变化。

厂址半径 5km 范围内有 1 家卫生院，W 方位 4.9km，现有医护人员 100 人，病床数 30 张。厂址半径 5km 区域有 1 家敬老院，位为东平敬老院，位于厂址 SW 方位约 2.7km 处的东平镇允泊村，现有供养人员 24 人，床位 42 张，工作人员 5 人。没有监狱和疗养院等设施，没有在应急事故中难以撤离的人群。

(2) 经济形态

厂址所在的东平镇镇区位于厂址 W 方位 4.7km 处，东平镇除能源产业外，渔业为支柱产业，工业基本以制网、制冰、造船和海产品加工为主。厂址半径 5km 范围内的企业均为几人到数十人的小厂，没有规模以上工业企业，也没有加工生产易燃、易爆和有毒有害物品的生产活动。

(3) 应急通道

厂址所在的阳东区境内公路交通较为发达，阳东区域内有东西走向的 325 国道一级公路，广东省西部沿海高速公路、S365 省道二级公路，G15 沈海高速（开阳高速）等。厂址所在的东平镇交通便利，水陆贯通，其主要对外道路为良东公路(X596 县道)，也是东平镇现状唯一对外交通线，向北连接西北沿海高速和省一级公路 S365 省道，向东连接省二级公路 S276 省道至台山市北陡镇。东平镇乡镇道路建设发展迅速，大部分村基本上实现了村村通公路，路面以沥青和水泥为主。

(4) 通讯网络

无线通讯网络已覆盖厂址区域，不会存在应急通讯的困难。

此外，本工程位于阳江核电厂烟羽应急计划区内，距阳江核电基地仅 3.3km，阳江核电厂已制定了完备的场内核应急预案。本项目将与阳江核电基地协调，按照多堆厂址统一应急管理的要求，实施核事故场内应急。

综上所述，从可能影响执行应急计划可行性的厂址因素分析，本工程在制定和执行核事故应急计划没有难以克服的困难。

第八章 流出物监测与环境监测

8.1 流出物监测

8.1.1 流出物监测的目的

设施运行期间需要开展流出物监测，其监测目的包括：

- 证明释放到环境中的放射性物质的数量遵守国家批准的排放限值；
- 为判明设施的运行以及放射性废物的处理和装置的工作是否正常有效提供数据和资料；
- 为应用适当的环境评价模式评价环境质量、估算公众所受的剂量提供源项数据和资料；
- 使公众确信设施的放射性排放确实受到严格的控制；
- 迅速发现和鉴别计划外排放的性质、种类及其程度，以便及时采取措施；
- 给出报警和必要的执行动作，以控制不合理排放，提供有关应急响应信息。

8.1.2 流出物监测原则

制定运行期间流出物监测计划的主要原则有：

- 根据设施流出物排放途径等特点，合理地确定监测点的位置、取样测量频度和需要监测的放射性核素。在选择监测点的位置和取样时，确保监测结果能代表实际的排放。
- 考虑到计划外释放的可能性，用于常规监测的仪表具有足够宽的量程；
- 用于关键释放点的监测仪表，必须考虑冗余度；
- 为便于评价监测结果，除对释放的放射性物质监测外，还监测其它与评价和估算有关的参数，如流出物流量、温湿度及气象参数等。

8.1.3 气态流出物监测系统

本项目气态流出物监测系统包括连续监测系统和取样监测系统。

— 连续监测系统

在排放烟囱设计连续监测系统，对排气筒排出的放射性进行连续监测，监测系统应设置报警阈值，并具备超限报警功能。

连续监测系统参数还应包括：流速、静压和温度。

连续监测系统共设置 2 套，一用一备。

— 取样监测系统

设置气溶胶取样系统，对气态流出物进行连续取样，并定期送实验室分析。

取样监测项目包括：总 α 、总 β 、铀浓度，监测频次为每周一次。

气载流出物在线监测与取样设备见表 8.1-1。

表 8.1-1 流出物在线监测和取样设备参数

序号	功能	仪表类型	数量	单位	主要技术指标
1	气载流出物监测	固定式气溶胶监测仪	2	套	1.0E-2 ~ 3.7E+6 Bq/m ³ (α)
2	气载流出物监测	取样回路组合装置	2	套	由气溶胶取样器、流量计、压力表、阀门、管道、抽气泵、电气控制组件和快速接头等组成取样柜
3	气载流出物监测	流量计	1	套	1) 测量范围：0~150000 m ³ /h 2) 准确度：±2.5%
4	液态流出物监测	取样装置	1	套	

8.1.4 液态流出物监测

液态流出物经取样监测，达到放射性清洁解控标准后定期外运排放，其取样监测项目包括：总 α 、总 β 和铀浓度，监测频次为每次排放前监测。

液态流出物取样设备见表 8.1-1。

8.2 环境监测

8.2.1 监测目的

运行期间环境监测方案的目的是为：

- 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。

8.2.2 监测范围

运行期间环境放射性监测范围和布点原则应充分参考运行前的辐射本底调查方案，监测范围为：

- 环境 γ 辐射水平监测：厂址半径 10km 区域；
- 其余项目监测范围：厂址半径 5km 区域。

8.2.3 布点原则

运行期间监测布点原则主要包括：

- 关键居民组居住区域；
- 常年主导风向下风向厂区边界；
- 年平均最大剂量点及流出物落地浓度点。

8.2.4 监测内容

正常运行期间开展辐射环境监测，监测内容包括：

(1) γ 辐射空气吸收剂量率连续监测

巡测：厂址周围半径 10km 范围内开展 γ 辐射剂量率巡测。

连续监测：拟在主导风向下风向厂址边界处布设 γ 辐射空气吸收剂量率连续监测点，自动监测站每隔 30 秒或 1 分钟报送一次 γ 辐射空气吸收剂量率数据，实行全天 24 小时连续监测。

(2) 气溶胶和沉降物

气溶胶和沉降物采样点主要布设在主导风向下风向厂址边界处。

(3) 表层土壤

采集设施主导风向下风向处的表层土壤，每年 1 次。

(4) 水

地表水：采集设施周围地表水，每年 2 次。

海水：采集排放口附近海域海水，每年 2 次。

饮用水：采集关键居民组的饮用水，每年 1 次。

地下水：采集厂址附近地下水，每年 1 次。

(5) 沉积物

地表水沉积物：对厂址周围的地表水沉积物进行监测，每年 1 次。

海水沉积物：对排放口附近区域及近岸海域的潮间带土进行监测，每年 1 次。

(6) 生物

叶菜等农作物：采集厂址当季最大风频下风向及设施边界附近的当季叶菜等农产品，每年 1 次。

水生生物：厂址排放口混合充分处水域、主导风向下风向当地居民主要食用的水生生物来源水体中的水生生物，每年 1 次。

监测方案见表 8.2-1。

表 8.2-1 运行期间周围辐射环境监测方案

介质	监测项目		监测点位或点数	监测频次
空气	γ 辐射	γ 辐射空气吸收剂量率	开展厂区及周边巡测	1 次/年
		γ 辐射空气吸收剂量率 (连续)	主导风下风向厂区边界	连续
	气溶胶	U ¹³⁷ 、总 α、总 β	主导风下风向厂区边界	1 次/月
	沉降物	U ¹³⁷ 、总 α、总 β	主导风下风向厂区边界	1 次/季
土壤	表层土	总 α、总 β、U ¹³⁷	主导风下风向厂区边界	1 次/年
水	地表水	总 α、总 β、U ¹³⁷	海荫河	2 次/年
	海水	总 α、去 ⁴⁰ K 总 β、U ¹³⁷	排放口附近海域	2 次/年
	饮用水	总 α、总 β、U ¹³⁷	关键居民组的饮用水	1 次/年
	地下水	总 α、总 β、U ¹³⁷	厂址附近地下水	1 次/年
沉积物	地表水沉积物	总 α、总 β、U ¹³⁷	同地表水	1 次/年
	海水沉积物		同海水	1 次/年
生物	叶菜等农作物	U ¹³⁷	厂区边界附近就地生长的植物样	1 次/年
	水生生物	总 α、总 β、U ¹³⁷	排放口混合充分处水域、主导风向下风向当地居民主要食用的水生生物来源水体	1 次/年

注 1: 根据总 α 、总 β 的结果, 酌情分析 U 的各种同位素。

8.3 监测设施

8.3.1 流出物实验室

配备流出物实验室面积约 30m^2 , 平面布置图见图 8.3-1。

配备低本底总 α /总 β 测量仪一台, 微量铀分析仪一台, 样品前处理设备一套, 其技术指标如下:

(1) 低本底总 α /总 β 测量仪技术指标:

- 每路均有独立的探测器、防卫探测器、10cm 铅 4π 屏蔽和电子学单元,
- 气路系统采用并联方式, 各路之间完全独立, 无不影响。
- 分格抽屉式设计, 可分别换样
- 超低本底, 高效率, 无损计数, 零串扰
- 断/漏气自动检测并保护
- $80\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 超薄窗, 10min 换窗, 维护时不用抬起铅砖
- 流气式正比计数管, P-10 气体
- 探测器有效面积: $\sim 20\text{cm}^2$
- 样品最大直径 2", 厚度 1/8"或 5/16"
- 测量模式: α 、 β 或 α/β 同时或先 α 再 β
- 本底: $\alpha < 0.08\text{CPM}$; $\beta < 0.6\text{CPM}$
- 效率: 对 α : Am-241 $\geq 42\%$, Po-210 $\geq 42\%$, Th-230 $\geq 42\%$
对 β : Sr-90/Y-90 $\geq 55\%$, Cs-137 $\geq 21\%$, Tc-99 $\geq 43\%$
- 串扰: $\leq 1\text{count}/100,000\text{counts}$
- 坪斜: $\alpha \leq 1.5\%/100\text{V}$, 坪长 $> 800\text{V}$; $\beta \leq 2.5\%/100\text{V}$, 坪长 $> 200\text{V}$ 。

(2) 微量铀分析仪技术指标:

- 检测下限: $0.02\text{ng}/\text{ml}$ (以标准偏差的三倍定义) 测铀量程: $0\text{-}20\text{ng}/\text{ml}$ 对于更高浓度的样品需要适当稀释。
- 精度: $\leq \pm 5\%$ ($1\text{ng}/\text{ml}$ 测量)。
- 线性相关系数: $r \geq 0.995$ 。
- 稳定性: 预热 1h 后测量, $2\text{ng}/\text{ml}$ 标铀测 8h, 相对标准偏差不大于 8%。

— 电源：AC220V \pm 10%，50Hz。

(3) 电炉技术指标：

- 温度、功率可调；
- 炉盘直径：~100mm；
- 功率：~2kW。

(4) 坩埚技术指标：

- 500ml。

(5) 铂坩埚技术指标：

- 20ml。

(5) 马弗炉

- 温度要求：最高温度需达到 1000°C；
- 功率： \leq 3000W；
- 内部容积：约 10L；
- 控温精度： \pm 3°C；
- 采用 PID 控温方式，全自动恒温，具有温度迅速补偿功能；
- 炉膛口和炉膛底部采用硬质耐火材料，可承载重物 and 防止意外损坏。

(6) 红外灯：

- 用于液态样品加热蒸干。

(7) 分析天平：

- 量程：220g；
- 可读性：0.1mg；
- 重复性： \leq \pm 0.1mg；
- 线性： \leq \pm 0.2 mg。

(8) pH 计：

- pH 测量范围：-2.000~19.999；
- 分辨率 0.1/0.01/0.001；
- 相对精度 \pm 0.001。

(9) 干燥器：

- 防止样品吸水受潮；

- 最小直径：24cm

(10) 玛瑙研钵：

- 用于将样品研磨至粉末。

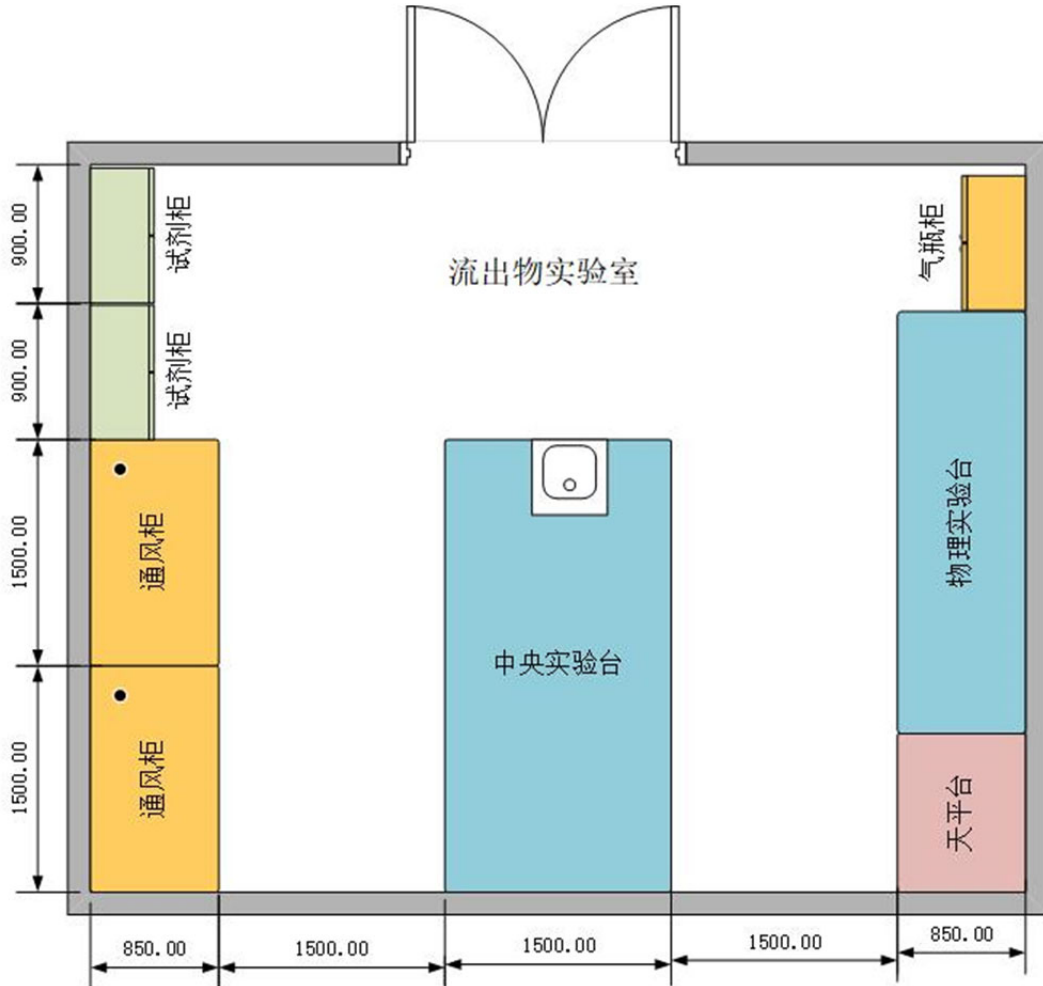


图 8.3-1 流出物实验室平面布置示意图

8.3.2 环境监测设施

环境监测拟委托有资质的单位开展，在现场配备 1 间环境监测前沿实验室，面积约 45m²，平面布置图见图 8.3-2。

配备取样设备和前处理设备，由项目承担单位自行配备监测设备进行监测。

建设连续监测子站进行环境监测，其主要功能包括正常和应急情况下对环境 γ 辐射空气吸收剂量率的自动连续监测，并实现空气中放射性气溶胶、干沉降物样品的采集。其配备的设备主要技术参数见表 8.3-1。

表 8.3-1 监测子站仪器设备配置情况

序号	设备名称	主要性能指标
1	γ 剂量率测量仪	<ul style="list-style-type: none"> - 用于环境 γ 辐射剂量率的自动连续在线监测。可选用高压电离室型或综合性能更优的设备； - 环境温度：-25°C~+50°C（配百叶箱）； - 相对湿度：≤95%； - 量程范围：10nGy/h~1Gy/h； - 温度特性优良； - 能量响应：60keV~3.0MeV 相对于 Cs-137 参考 γ 辐射源响应之差 <30%； - 具有联网功能。
2	大流量气溶胶采样器	<ul style="list-style-type: none"> - 用于空气中放射性气溶胶的快速采集； - 环境温度、相对湿度：满足当地气象条件（采样空气无结露）； - 数据显示：瞬时流量、采样累积体积、采样累积时间，自动转换标况体积，断电后数据不会清空；实时数据上传：具备通讯接口，可将实时数据上传； - 具备过载保护、过热保护； - 具有联网功能，能实现启动、停止、定时采样远程控制功能； - 气溶胶流量：≥60m³/h，有效采样面积：不小于 400cm²； - 提供流量校准设备。
3	干沉降自动采集器	<ul style="list-style-type: none"> - 用于干沉降物样品的连续自动采集； - 环境温度、相对湿度：满足当地气象条件； - 采样器：采集桶的采样面积大于 0.25m²，深度大于 30cm。采样器上口离基础面 1.5m； - 感雨器灵敏度：<1mm/min，雨量数据； - 下雨（雪）时干沉降物采集桶封闭。
4	雨量计	<ul style="list-style-type: none"> - 降雨强度：0.1mm~7mm/min - 示值误差：一次性降雨≤10mm，误差≤±0.2mm 一次性降雨>10mm，误差≤±2%

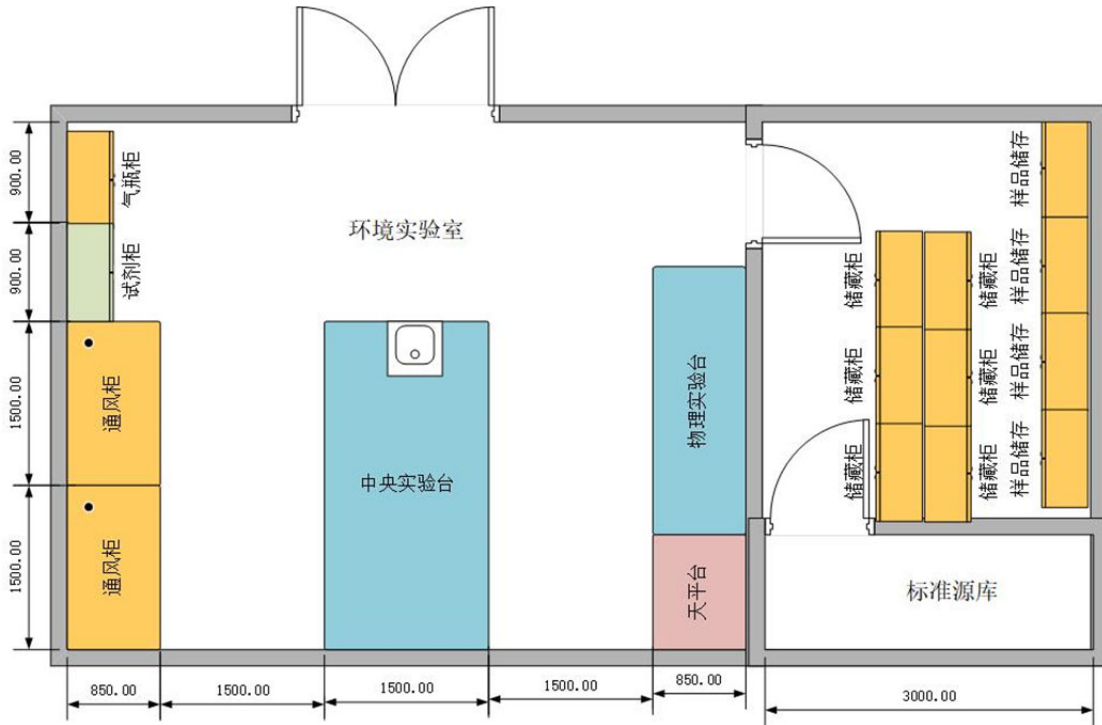


图 8.3-2 环境实验室平面布置示意图

8.4 质量保证

本项目流出物监测和环境监测均拟采用委托监测的方式进行，拟委托的单位需依据《检验检测机构资质认定能力评价 检验检测机构通用要求》(RB T 214-2017)和《检验检测机构资质认定 生态环境监测机构评审补充要求》建立了相应的质量保证体系，并严格按照其质量保证体系开展监测工作。

第九章 结论与承诺

9.1 建设规模与规划

中广核先进燃料研制中心项目是在已建成的工程试验中心基础上新建的涉核设施，将充分利用原有部分厂房和设备设施，重点新增芯块研制能力，补充零部件和组件组装必需的工艺设备，并增加涉核相关的实物保护、核材料衡算与保护、临界安全、辐射防护、三废处理等涉核设施内容，满足集团 STEP 系列燃料组件及 ATF 型核燃料组件科研试制需求，核材料年操作量不大于 15tU（金属铀计）。

中广铀是研制中心的建设和营运单位，对工程建设实行统一协调和监督管理，并负责研制中心的运营管理。

本项目厂址占地 50 亩（33333.7m²），工程总投资为 35999 万元，其中环保设施投资约 1616 万元，约占工程总投资的 4.5%。

9.2 各类废物的去向

运行过程中产生的各类废物分类管理，有明确的去向。

（1）放射性废气

本工程产生的放射性废气经过预过滤器、HEPA 过滤器过滤净化处理后（全排、局排），通过 20m 烟囱排入大气。

本工程放射性气载流出物设计排放量为 9.47E+07Bq/a，满足《核燃料循环放射性流出物归一化排放量管理限值》（GB13695-1992）中规定限值。

（2）放射性废水

本工程产生的放射性废水主要磨削废液、金相及理化分析废液、地面疏水和热淋浴及洗衣废液。其中磨削废水 4.8 m³/a，金相及理化分析废液 12m³/a，地面疏水 6m³/a。上述废水分类收集，经过滤、膜处理、活性炭吸附、离子交换处理后达到《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2006）的放射性指标要求后在厂内暂存，定期运至阳江核电排放口排放。热淋浴及洗衣废液产生量不大于 400m³/a，经辐射监测后，总 $\alpha < 0.5\text{Bq/L}$ 的废水泵往现有的生活污水处理站进行处理，总 $\alpha \geq 0.5\text{Bq/L}$ 的废水送至综合研制室废液处理系统进行处理达标后，定期外运排放。

（3）放射性固体废物

放射性固体废物包括废树脂（含活性炭）、水过滤器滤芯、通风过滤器滤芯、干废物（含可燃废物、金属废物等）。各类放射性固体废物经过分类收集、包装后，送往废物暂存区进行暂存。暂存一定期限后送往具备可接受的单位进行处理与处置。

本项目设有三个放射性固废贮存区，两个在一层运输通道西侧，一个在三层通风机房西侧。1层的放射性废固贮存区用于存放金属废物和其他可燃/不可燃废物。另一个1层的放射性废固贮存区用于设置水滤芯更换装置和水滤芯贮存格架，换下的水滤芯直接存放于水滤芯贮存格架中。3层的放射性废固贮存区用于设置通风滤芯预压装置和存放预压后的通风滤芯。此外，废树脂临时暂存在地下一层的接收槽。

9.3 施工期间的环境影响

本工程拟建设的设施位于已有批复场地范围内，不另外占用土地。

施工期大气环境影响：施工期间的主要大气污染物包括扬尘、粉尘等，施工中可采用覆盖、定期洒水等措施减少扬尘的产生。

施工期水环境影响：施工期间产生的废水主要包括施工生产废水和生活污水的排放。施工生产废水主要是施工现场砂石料加工、搅拌作业及场地、车辆冲洗产生一定量的生产废水，以及施工材料被雨水冲刷形成的污水，污染物主要为悬浮颗粒物。厂区已建设有生活污水处理设施，生活污水经处理达标后回用或排入季节性河流。

施工期噪声环境影响：施工主要位于本工程已有厂区内，施工是阶段性的且在昼间进行，其影响时间短，随着现场施工完毕，噪音也随即消失。离厂址最近的村庄为位于厂址S方位0.5km处的福龙村，施工噪声经过项目周边的围墙阻隔、距离自然衰减，对敏感点的贡献值是有限。

固体废物环境影响：施工期间产生的生产废物主要来自土建施工产生的建筑垃圾及危险废物，生活垃圾种类主要有可回收垃圾、有害垃圾和其他生活垃圾。建筑垃圾主要是建设中产生的废石子、废水泥、石材下角料等等尽量综合利用，不能再利用的则将存放至指定地点堆存，不会对环境产生明显影响。对于施工期间产生的危险废物进行集中贮存和管理，交有资质的单位处理。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。项目施工期施工人员产生少量生活垃圾，统一由环卫部门清理清运。

9.4 工程运行的环境影响

(1) 正常工况的环境影响

在本工程的正常运行过程中，关键居民组是位于厂址 WSW 方位 0~1km 子区的青少年，该居民组受到的最大个人有效剂量为 $1.45 \times 10^{-6} \text{Sv/a}$ ，占本工程剂量管理目标值（ 0.01mSv/a ）的 14.5%，满足剂量管理要求。关键照射途径为食入陆生食品内照射途径，需要关注的关键核素为 U-234。

本工程运行期间产生的非放射性废气包括喷砂打磨废气、线切割废气、电火花设备废气和各类焊接废气（激光焊、点焊、氩弧焊）。其中针对喷砂打磨废气采用布袋除尘装备处理后室内无组织排放；线切割由于采用去离子水作为加工冷却介质，生产过程中不产生粉尘；电火花打孔、成型采用油烟净化器处理后，室内排放；焊接废气统一收集后采用水过滤或烟尘处理后，直接排放到室外。

厂区已有的污水处理设施，能够满足本项目正常运行时产生的生产废水和生活废水处置需求。处理后的废水满足广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB44/26-2001) 的相关要求。

本工程在正常运行过程中会产生一定量工业固废，将委托专业废弃物公司将上述废物外运处置。运行期间产生的生活垃圾实行袋装分类收集，并委托当地环卫所定期收集处理。

本工程将新增厂房设备后，在运行时的主要噪声源增加机械泵、真空泵和送排风机。设计上，对产生噪声的设备布置在单独的房间内，并对房间进行了隔音、消声处理；在房间的墙上设吸音材料，门窗采用隔音双层门窗，电缆沟装设隔音板，使各噪声源对环境的影响符合《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 的要求。

(2) 事故工况的环境影响

发生物料洒落、烧结炉氢气爆炸工况下，厂区边界上造成的公众个人（成人）有效剂量分别为 $4.12 \times 10^{-6} \text{Sv}$ 和 $6.69 \times 10^{-5} \text{Sv}$ ，远小于 5mSv 的评价标准。

临界事故持续时间，厂区边界上的公众个人（成人）由惰性气体和碘受照造成的有效剂量为 $7.44 \times 10^{-3} \text{Sv}$ ，由瞬发 γ 、中子所致剂量为 $1.76 \times 10^{-3} \text{Sv}$ ，总计为 $9.20 \times 10^{-3} \text{Sv}$ 。满足 10mSv 的评价标准。

本工程正常工况和事故工况对环境的影响都是可以接受的。

9.5 监测计划

(1) 环境监测

在工程运行期间，设置的环境监测点，监测内容包括： γ 辐射空气吸收剂量率连续监测、气溶胶和沉降物、表层土壤、水、沉积物、生物中的总 α 、总 β 和 U。

(2) 气载流出物监测

本项目气态流出物监测系统包括连续监测系统和取样分析系统。在排放烟囱设计连续监测系统，对排气筒排出的放射性进行连续监测，监测系统应设置报警阈值，并具备超限报警功能。取样分析系统对气态流出物进行连续取样，并定期送实验室分析。取样监测项目包括：总 α 、总 β 、铀浓度，监测频次为每周一次。

(3) 液态流出物监测

液态流出物经取样监测合格后定期外运排放，其取样监测项目包括：总 α 、总 β 和铀浓度，监测频次为每次排放前监测。

9.6 公众参与和调查结论

根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护管理条例》和《环境影响评价公众参与办法》等有关规定，为切实提高公众对中广核先进燃料研制中心的了解程度，全面反映周边公众对中广核先进燃料研制中心建设的可接受度，收集公众意见，为工程建设营造和谐稳定的社会环境，建设单位中广核铀业发展有限公司采用告示公示、网上公示和报纸公示的方式征求了公众对中广核先进燃料研制中心建设的意见和建议。截至目前未收到公众的反对意见。

9.7 承诺

综上所述，在现有资料情况下，从厂址自然环境特征和社会环境特征、研制中心正常运行和事故工况对厂址周围公众的辐射影响、环境保护设施设计性能等方面分析，在确保相关环保设施和措施得到落实的情况下，中广核先进燃料研制中心对周围环境的影响是可以接受的。

同时，本项目建设单位做出如下承诺：

- 一 尽快固化各项环保设施最终设计，落实与本项目正常运行及事故相关的辐射防护措施，推动按期建设完工，确保满足环境保护“三同时”要求。

- 考虑到本项目厂界距离较近，应在工艺布置许可的前提下，尽可能增加针对潜在事故工况的辐射防护手段，并充分关注运行期间噪声源的减震和降噪。
- 建设单位将尽快落实厂内相关监测设施设计，完成厂区附近自动 γ 辐射监测点的选址与设计，并适时增设有代表性的气象观测设施。
- 建设单位将积极与阳江核电协调，落实有关液态流出物解控后排放去向、环境监测、应急管理等事项。

附件 A 相关文件（略）

附录 B 厂址周围部分环境数据（略）