中广核先进燃料研制中心项目

环境影响报告书

（运行阶段）

中广核铀业发展有限公司

二〇二三年八月

打印编号：1693192478000

编制单位和编制人员情况表

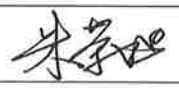
项目编号	r8971
建设项目名称	中广核先进燃料研制中心（运行阶段）
建设项目类别	55—167核动力厂（核电厂、核热电厂、核供汽供热厂等）；反应堆（研究堆、实验堆、临界装置等）；核燃料生产、加工、贮存、后处理设施；放射性污染治理项目
环境影响评价文件类型	报告书
一、建设单位情况	
单位名称（盖章）	中广核铀业发展有限公司
统一社会信用代码	91110000710934303X6
法定代表人（签章）	安军靖
主要负责人（签字）	丁怀博
直接负责的主管人员（签字）	张学粮
二、编制单位情况	
单位名称（盖章）	苏州热工研究院有限公司
统一社会信用代码	91320508466954713
三、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	BH 011870	

2.主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
于家欢	第六章、第七章	BH 035476	
张兵	第三章、第八章	BH 044629	
徐月平	第二章	BH 016833	
张晓峰	第一章、第九章	BH 011870	

朱荣旭	第四章、第五章	BH 016835	

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　项目建设内容及总平面布置
4.2　工艺流程
4.3　其他辅助系统
4.4　辐射防护与临界安全控制

4.5 三废处理系统与排放源项
4.6 非放射性废物处理系统
4.7 退役初步考虑

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 事故应急
7.3 环境风险评价

第八章 流出物监测与环境监测
8.1 辐射监测
8.2 其他监测
8.3 监测系统
8.4 质量保证

第九章 结论与承诺

附录 A 本次环境影响评价相关文件
附录 B 项目周围部分环境数据

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″。

本项目位于阳江核电厂 5km 规划限制区内，该区域内已建和正在建设的核设施有：

- 阳江核电厂，现有 1~6 号机组建成运行，最近的 5 号机组位于本项目 S 方位约 3.3km 处。
- 阳江核电环保配套工程（大尖山中低放废物处置场），采用岩洞处置方案，规划处置容量 34 万 m^3，其中一期工程建设两条处置隧洞，处置容量约 4.5 万 m^3，目前已开工建设，位于本项目 S 方位约 4km。
- 中广核先进能源研究与创新中心（热室），目前已开工建设，位于本项目 S 方位约 1.7km 处。

1.2 项目建设性质

中广铀曾于 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 月完成工程移交接产，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。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），中广核先进燃料研制中心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）。

作为项目主体工程，《中广核先进燃料研制中心环境影响报告书（建造阶段）》已于 2021 年 9 月获得生态环境部颁发的批复文件（环审[2021]74 号，见附件 A），并于同月获国家核安全局颁发的建造许可证。此外，研制中心厂区内包含的零部件研制室、骨架研制室、污水处理站、门卫室等设施作为工程试验中心项目于 2015 年取得阳江市阳东区环境保护局批复（东环审[2016]31 号文）。本次新建综合研制室内拟安装使用一台工业 X 射线探伤机，已获广东省生态环境厅环评批复（粤环审[2022]306 号，见附件 A），此外研制中心内涉及的 1 枚 4 类密封源和进口放射性同位素标准物质，均已于 2022 年完成了建设项目环境影响登记备案（备案号分别为 202244172300000015、2022441723000232）。

本报告书主要针对研制中心的新建子项——综合研制室（含 40m 高烟囱）、供氢站、洗衣房、危险品库、危废品库和应急指挥中心进行评价，上述子项新建建筑面积 9964.51m^2，均位于厂址用地范围内，同时本次评价还包括零部件研制实验室和骨架组装实验室的改造，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。

研制中心项目运行寿期为 50 年，已于 2021 年 10 月开工建设，于 2023 年 4 月基本完成工程建安工作，计划于 2023 年 8 月完成各工艺设备的空载调试和公辅系统的投运调试（A 阶段调试），后续在完成工艺设备的贫铀物料调试（B 阶段调试）后具备投料运行条件。

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自主创新

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自主创新，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。建设中广核先进燃料研制中心，可实现中广核自主 STEP 燃料组件的多批次快速试制，及时开展堆外性能试验和堆内考验，从而进行组件设计优化改进与反复验证之间的高效迭代，同时积累堆内运行数据和经验，为我国华龙一号技术成功通过英国 GDA 审查提供有力支撑。

此外，泰国、肯尼亚、印尼、南非、土耳其、哈萨克斯坦等越来越多的国家，也对中国的“华龙一号”产生强烈兴趣。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、试验等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

一款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，开展诸如增强型燃料芯块制备、锆包壳涂覆、碳化硅包壳制备等新技术、新工艺的开发，更加灵活、高效的开展包括 ATF 在内新型燃料组件的研发，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 2022 年底，中国广核集团拥有在运核电机组 26 台，装机容量 29380MW；在建核电机组 7 台，装机容量

8380MW，是国内最大的核电运营商。

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运行许可证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

（1）区域发展规划

《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十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》（阳府[2021]15 号）将“阳江中广核先进燃料研制中心及中广核组件厂项目”列入阳江市“十四五”规划重大建设项目之一。

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。

（2）区域生态环境分区管控要求

根据《阳江市“三线一单”生态环境分区管控方案》，全市共划定陆域环境管控单元 48 个和海域环境管控单元 57 个，分为优先保护单元、重点管控单元和一般管控单元三类，实施分类管理。本项目拟建范围位于东平镇中南片区一般管控单元（ZH44170430001），符合相关管控要求，见图 1.6-1。本项目与区域“三线一单”管控协调性分析如下：

— 与“三线一单”生态环境分区管控的相符性

根据《阳江市“三线一单”生态环境分区管控方案》，本项目位于东平镇中南片区一般管控单元，不属于重点管控单元和优先保护单元。该一般管控单元的区域布置管控、能源资料利用、污染物排放管控、环境风险管控等要求见表 2.3-2。

本项目不属于国民规划纲要中明确提出控制的“高耗能、高污染和资源性”类项目，不属于《产业结构调整指导目录》中限制类、淘汰类项目和《市场准入负面清单》禁止准入类项目，不涉及生态保护红线，不存在不合理的岸线开发利用，也不存在污染物超标排放，因此，项目规划建设符合《阳江市“三线一单”生态环境分区管控方案》的要求。

— 与生态保护红线及一般生态空间的相符性

根据《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（粤府[2020]71 号），广东全省生态保护红线暂采用 2020 年 9 月广东省人民政府报送自然资源部、生态环境部的版本：一般生态空间后续与发布的生态保护红线进行衔接。本项目所在位置不属于生态保护优先区、水环境优先保护区、大气环境优先保护区，也不涉及温排水影响海洋生态红线或新增用海及新增自然岸线占用的情况，故符合生态保护红线及一般生态空间的要求。

— 与环境质量底线相符性分析

项目拟排水海域有部分水质指标超标现象存在，大气环境属于达标区。本项目运行产生的非放射性生活污水规划送至阳江核电现有生活污水处理站，不直接向海洋、地表水体排放。施工及运行产生的废气、噪声、固体废物等其他污染物将确保达标排放，不会造成所在区域环境质量恶化，因此符合环境质量底线的要求。

— 与资源利用上线的相符性分析

本项目不涉及项目用海，也不占用自然岸线，已按程序办理相关用地、用水等手

续，符合资源利用上线要求。

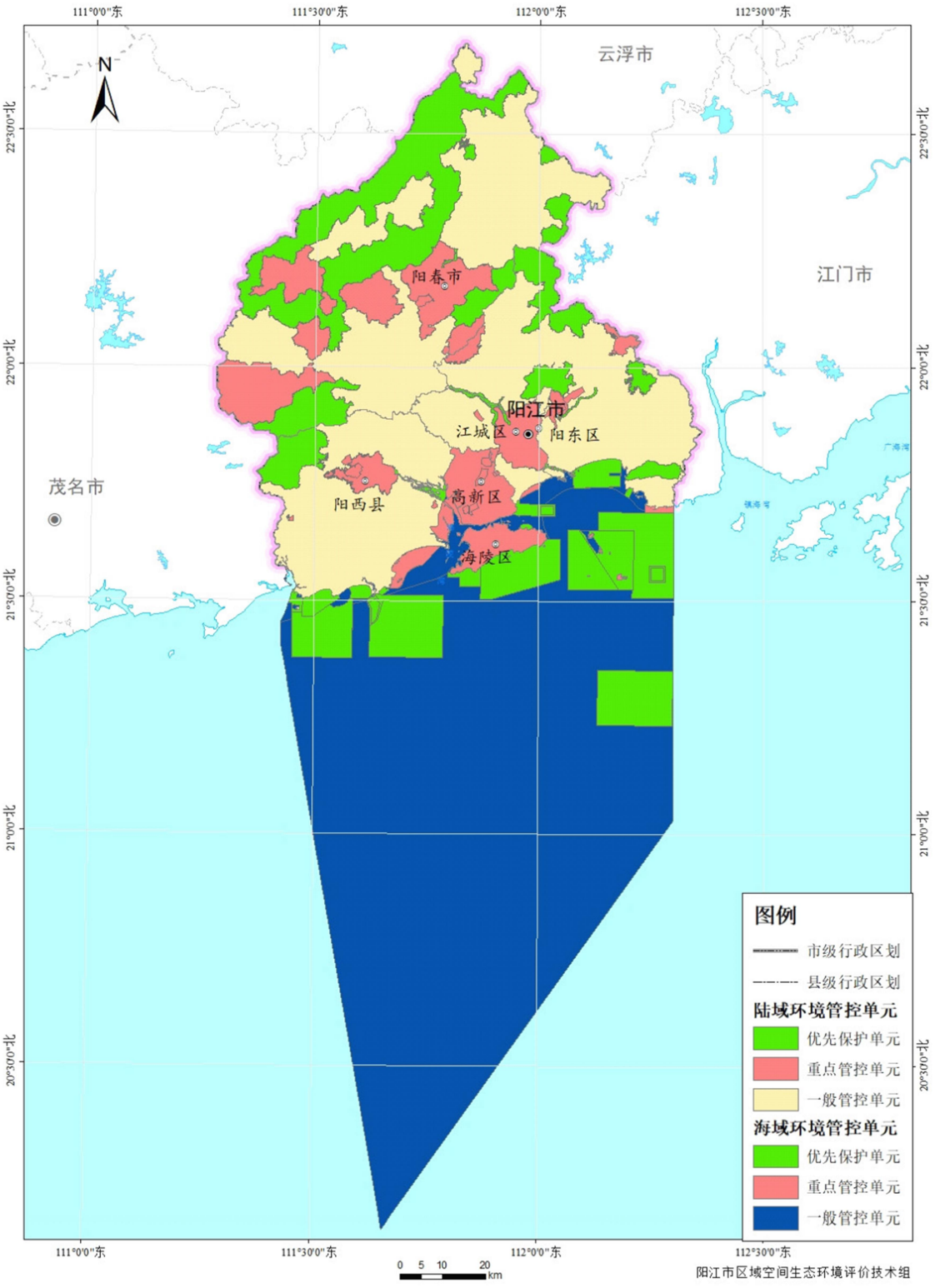


图1.6-1 阳江市“三线一单”分区管控图

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）；
- 中华人民共和国噪声污染防治法（2022 年 6 月 5 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（2021 版）（2021 年 1 月 1 日起施行）；
- 环境影响评价公众参与办法（生态环境部令[2018]4 号，2019 年 1 月 1 日施行）；
- 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）；
- 电离辐射监测质量保证通用要求（GB8999-2021）；
- 核设施流出物监测的一般规定（GB11217-1989）；

- 生活饮用水卫生标准（GB5749-2022）；
- 环境空气质量标准（GB3095-2012）；
- 声环境质量标准（GB3096-2008）；
- 工业企业厂界环境噪声排放标准（GB12348-2008）；
- 建筑施工场界环境噪声排放标准（GB12523-2011）；
- 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（GB18599-2020）
- 危险废物贮存污染控制标准（GB18597-2023）；
- 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（HJ2.4-2021）；
- 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（HJ61-2021）；
- 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（申请运行阶段）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 1.5×10^{9}Bq/100t（U），液态总铀 4.5×10^{9}Bq/100t（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 2.25×10^{8}Bq，液态总铀 6.75×10^{8}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》（GB5749-2022）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，即使饮用所致年剂量也不会超过 0.1mSv，可以满足《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素浓度活度》（GB27742-2011）中天然放射性核素的免管浓度确定基础（附加有效剂量不超过 1mSv/a），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。此外，在临界事故工况下，厂址边界上的个人（成人）在整个事故持续期间可能受到的甲状腺当量剂量控制在 10mSv 以下。

（5）放射性流出物申请排放量

根据设计资料，本项目运行期间气态放射性流出物设计年排放总量为 1.14×10^{7}Bq，液态流出物处理至《生活饮用水卫生标准》后定期外运排放，可认为液态放射性流出物排放量可以忽略，因此本项目申请的放射性流出物排放量为 1.14×10^{7}Bq。

1.7.2 非辐射环境影响评价标准

中广核阳江元件厂位于本项目西侧，两者位于同一场址。本次评价参考建设单位在开展阳江元件厂项目时申请的非放射性评价标准内容。根据中广核铀业发展有限公司《关于恳请同意中广核阳江元件厂非放射性环境影响评价执行有关标准的函》（广核铀函[2022]94 号）及阳江市生态环境局阳东分局《关于中广核阳江元件厂非放射性环境影响评价标准执行标准的复函》（详见附录 A），本项目非放射性环评标准要求包括：

（1）环境质量评价标准

1、厂址区域环境空气质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级浓度限值：SO_2 的 1 小时平均浓度和 24 小时平均浓度分别为 500μg/m^3 和 150μg/m^3，NO_2 的 1 小时平均浓度和 24 小时平均浓度分别为 200μg/m^3 和 80μg/m^3，CO 的 1 小时平均浓度和 24 小时平均浓度分别为 10mg/m^3 和 4mg/m^3，O_3 的 1 小时平均浓度和日最大 8 小时平均浓度分别为 200μg/m^3 和 160μg/m^3，$PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的 24 小时平均浓度分别为 75μg/m^3 和 150μg/m^3，氟化物的 1 小时平均浓度和 24 小时平均浓度分别为 20μg/m^3 和 7μg/m^3。

2、厂址区域海水水质按排放口附近近岸海域环境功能区划的要求执行《海水水质标准》（GB3097-1997）相应标准。

3、厂址区域声环境执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 2 类声环境功能区环境噪声限值：昼间 60dB（A），夜间 50dB（A）；其中声环境保护目标执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 1 类声环境功能区环境噪声限值：昼间 55dB（A），夜间 45dB（A）。

（2）非放射性污染物排放标准

1、项目运营和施工期间生活污水和生产废水水质执行《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）第二时段一级标准，具体限值如下（单位：mg/L，pH 除外）：

项目	pH	COD_{Cr}	BOD_5	SS	NH_3-N	石油类
第二时段一级标准限值	6-9	90	20	60	10	5.0

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，具体限值如下（单位：mg/m^3）：

项目	SO_2	NO_X	颗粒物
第二时段二级标准限值	500	120	120

施工期大气污染物排放执行《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）中的无组织排放监控浓度限值：SO_2 为 0.4mg/m^3，NO_X 为 0.12mg/m^3，颗粒物为 1.0mg/m^3。

3、项目运营期间厂界环境噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 2 类排放限值：昼间 60dB（A），夜间 50dB（A）；施工期场界噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）规定的排放限值：昼间 70dB（A），夜间 55dB（A）。

4、项目运营和施工期间一般固体废物的处置和贮存执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020），危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）及其修改单中相关要求，并交由有资质单位处置。

1.8 评价范围

1.8.1 辐射环境

根据本工程的项目建设性质和建设规模，参考本项目前阶段环评经验，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 20km 范围的区域。

1.8.2 非辐射环境

本项目新增非放射性气态污染物为 01 和 02 子项焊接设备排放的极微量氩气和 03 子项经高效粒子过滤器处理后排放的气溶胶，排放量非常少，依据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）评价等级应为三级，评价范围为施工厂界内。

本项目非放射性废水经处理达标后，经管道输送至阳江核电原施工准备区内的污水管网中，经阳江核电现有生活污水处理设施处理后排放，因此，本项目无非放废水直接外排。

厂址周边区域为乡村环境，属于 1 类声环境功能区，根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021），声环境影响评价工作等级为二级。由于厂址周边最近的居民点距离约 500m，无更近的噪声敏感目标，因此评价范围缩减至厂址边界外 1m，并适当扩大至附近敏感点光星村。

1.8.3 环境保护目标

本项目厂址半径 20km 评价范围内仅有一处国家湿地公园（试点），为距厂址约 9km 的寿长河红树林湿地公园，主要分布有红树林、河口水域、永久性河流、洪泛湿地、沙石海滩等 5 种湿地类型，除此之外无其他环境敏感区。

此外，评价范围内的学校、医院、保护文物、风景名胜区等基本均位于厂址半径 5km 范围内的东平镇和大澳渔村，包括 1 所中学、1 所小学、5 所幼儿园、1 家卫生院、1 家敬老院、7 家县级文物保护单位以及珍珠湾度假村、玉豚山海滨公园、大澳渔家文化村等 6 处旅游景点。

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 场地规划与用地情况

本项目规划用地面积 3333.70m^2（50 亩），用地地块呈规则矩形形状，南北长约 219m，东西宽约 153m，建设单位已经获得建设项目土地使用权证（粤（2020）阳江市（阳东）不动产权第 0001931 号）。

本工程场地内子项设施包括零部件研制实验室、骨架组装实验室、综合研制室、污水处理站、供氢站、洗衣房、危险品库、危废品库、门卫一、门卫二和应急指挥中心，其中新建的综合研制室、供氢站、洗衣房、危险品库、危废品库和应急指挥中心总建筑面积约为 9964.51m^2。

2.2 人口分布与饮食习惯

本工程为先进燃料研制中心，结合本工程规模及上阶段环评经验，人口统计为厂址半径 20km 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 1，2，3，5，10、20km 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 96 个子区。本节主要根据 2023 年 3 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，反映了厂址附近人口等最新环境特征资料，该次调查的人口数据统计的时间截至 2022 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、大涌村及东北村共 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 2022 年底，区域内共有人口 29970 人。按陆域面积计算，平均人口密度约 426 人/km^2，低于广东省平均人口密度 706 人/km^2，高于厂址所在阳江市和江门市人口密度 329 人/km^2 和 423 人/km^2。

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	392
		泥澳仔	SW	3.0	341
		平堤	ESE	2.6	623
		瓦屋寨	SW	1.8	221

		盐灶	SW	2.5	520
		允安	SW	2.1	519
		允新	WSW	2.1	573
	瓦北	北城	NNE	0.8	246
		地塘岗	NW	2.1	204
		光星(福龙)	S	0.5	486
		和平	WNW	2.5	55
		罗屋	NW	1.7	109
		那心	W	0.8	228
		蒲塘	N	0.9	133
		瓦窑门	NW~WNW	2.0	425
		新村	WSW	0.7	122
	海荫	白庚新村	W	4.3	273
		高洋	WNW	2.9	201
		海荫新村	W	4.3	1213
		马屋	W	3.8	365
		晒布	W	3.9	360
	大涎	大涎	N	4.3	420
		河背	N	4.5	228
		十字路	NNE	4.9	159
	大澳渔村		SW	3.9	70
	大澳渔委会		W	3.6	1109
	东方红渔委会		W	4.0	1476
	海胜渔委会		W	3.9	1278
	红星渔委会		W	4.0	2157
	鹏程渔委会		W	3.7	534
	太阳升渔委会		W	4.2	2527
	先锋渔委会		W	4.3	1790
	永利渔委会		W	4.8	880
	红旗渔委会		W	4.9	1115
	东平居委会		W	4.8	7096
	东北村		W	4.7	997
	合计				29770



图 2.2-1　厂址半径 5km 范围内自然村（渔委会、渔业村）分布示意图

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 486 人。

厂址半径 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 7096 人。东平镇区位于厂址 W 方位约 3.8km 处，有人口 19962 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 7096 人，渔委会共计有 12866 人。

厂址半径 5km 范围内的流动人口主要为部分游客和阳江核电厂务工人口。阳江核电基地工作人员及承包商人员主要居住阳江核电厂半径 5km 范围内的允泊村及其周边自建生活区内。2022 年期间厂址所在的瓦北村共有流入人口 4348 人、流出人口 1435 人，其余各村及渔委会流动人口以流出为主，流出人口在 23~180 人、流入人口在 3~180 人。厂址所在的东平镇常年接待游客约 100 多万人次，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。厂址半径 5km 范围内主要有大澳渔村文化村和东平渔港，其中大澳渔家文化村为国家 3A 级旅游风景区，2021 年已创建全国乡村旅游

重点村，目前正创建国家 4A 级旅游风景区，景区位于场址西南侧约 3.9km 处，一年中 4 月~10 月旅游人次较多，2022 年大澳渔村年接待游客 10.5 万人左右，高峰期日均接待游客约 1300 人。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 9 所，其中有 1 所中学、1 所小学（分教点）、7 所幼儿园，这些学校共有中学生 699 人，小学生 15 人，幼儿园学生 1295 人，教职工 279 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 15 人，教师 6 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 83 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 6 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	82	699
2	中心幼儿园	东平镇龙井南路	W	4.8	12	76
3	童家幼儿园	东平镇葛港大道 A7 号	W	4.8	14	100
4	春晖幼儿园	东平镇金湾开发区	W	4.8	24	176
5	晨燕幼儿园	东平镇晒布围小区 AC 号	W	4.8	37	244
6	晨燕海韵幼儿园	东平镇白沙头环尾	W	3.5	30	172
7	蓝精灵幼儿园	东平镇葛港大道五巷 69 号	W	4.8	25	159
8	蓝精灵七彩幼儿园	东平镇五谷饮食广场 C37	W	4.9	49	368
9	蔡元培学校	东平镇允泊村	SW	2.7	6	15

（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	83	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	东平镇海萌村卫生站	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	东平镇大涎村卫生站	东平镇大涎村	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	6



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 20km 范围重要居民点

厂址半径 20km 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 4 个乡镇。截止 2022 年，厂址半径 5~20km 范围内共有千人以上居民点为 41 个，其中最大的居民点为厂址 N 方位约 13km 的新洲镇区，包括新洲居委和新洲村，共有人口 9765 人，其次为厂址 NW 方位约 13km 的大沟镇沙岗村，有人口 5362 人。

表 2.2-3 列出了厂址半径 5~20km 范围内的千人以上重要居民点，图 2.2-3 给出了厂址 5~20km 范围内千人以上重要居民点的分布情况。

厂址半径 20km 范围主要涉及阳东区所辖的东平镇、新洲镇和大沟镇及台山市北陡镇部分区域，周围无大的工业区和商业区，当地居民以农业、海洋捕捞、海上养殖为生，流动人口主要为因务工经商而流动。厂址半径 20km 范围内新洲镇、大沟镇流

动人口一般在数百人以下，主要分布于各镇区。东平镇流动人口有 8202 人，其中最多的为允泊村，有流入人口 4348 人，主要为核电相关工作人员或承包商，居住地分布在核电自建生活区内（允泊村及其周边），其他务工或经商人员 3878 人，主要居住在东平镇区。

厂址半径20km范围内旅游景点主要分布在东平镇，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（3A 级）以及位于台山市北陡镇的浪琴湾度假村和那琴地质海洋公园度假村等。东平镇常年接待游客约 100 多万人次，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。浪琴湾度假村（E 方位约 10km）旺季时每天可接待游客上千人，淡季则为上百人左右，旺季主要为每年的 4~10 月，来此地旅游的人多为短暂逗留，住宿较少。那琴地质海洋公园度假村（E 方位 8.5km），位于台山北陡镇的那琴半岛，一般的周末游客较多，每年的 4 到 10 月为旅游旺季，日游客最多时有 5000 人左右。

表 2.2-3　厂址半径 5~20km 范围内千人以上居民点

镇名	行政村名	方位	距离（km）	人口数（人）	镇名	行政村名	方位	距离（km）	人口数（人）
东平镇	口洋	WNW	6.3	2377	新洲镇	表竹	NNW	14.8	2515
	莲北	NNW	9.2	3381		乌石	NNW	15.3	3285
	北环	WNW	7.2	1132		北股	N	16.5	3840
	双安	NNW	11.6	2369		中六	N	17.9	2816
	良垌	NNW	12.0	4227		鸡山农场	NNW	19.7	1005
北陡镇	沙咀	ESE	8.2	3473	大沟镇	寿长	NW	10.6	3612
	那琴	E	10.2	4881		三丫	NW	11.2	2564
	石蕉	ENE	12.5	3259		沙岗村	NW	13.0	5362
	寨门	ENE	15.3	4486		海头村	WNW	14.5	3795
	下洞	NE	17.4	3437		大沟村	NW	14.7	3948
	早禾石	NE	18.3	1834		徐赤村	NW	14.9	2869
	小洞	NE	18.5	2478		新梨村	NW	15.3	3320
	陡门	NE	19.4	3475		赤坎村	NNW	15.4	5059
新洲镇	龙潭	N	8.6	5148		大沟居委会	NW	15.6	2798
	石岗	NNE	12.7	3545		花村	NW	15.6	1998
	新洲镇区	N	13.0	9765		芦山村	WNW	16.6	4183
	三山	NNW	13.2	2345		华洞村	WNW	18.1	3065
	福杨	N	13.3	2255		那金村	NW	18.0	1763
	旱地	NNE	13.8	3607		红旗村	NNW	18.3	1529
	平田	N	13.7	2423		高洞村	NNW	18.5	1099
	东安	NNW	14.5	3806	—				



图 2.2-3 厂址半径 5~20km 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 20km 范围人口分布

截止 2022 年底的厂址半径 20km 范围内总人口数为 166331 人，按陆域面积计算，人口密度约为 133 人/km^2，低于广东省平均人口密度 706 人/km^2，低于阳江市同期人口密度 329 人/km^2，低于江门市同期人口密度 423 人/km^2。表 2.2-4 和图 2.2-4 分别给出了厂址半径 20km 范围内各子区的人口分布及人口总数。

表 2.2-4 厂址半径 20km 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	10~20	合计
N	133	0	0	648	5148	24049	29978
NNE	246	0	0	159	226	8861	9492
NE	0	0	0	0	0	9552	9552
ENE	0	0	0	0	0	7745	7745
E	0	0	0	0	2440	2441	4881
ESE	0	0	623	0	3473	71	4167
SE	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0
S	486	0	0	0	0	0	486
SSW	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	546	1380	70	0	0	1996
WSW	122	0	965	0	0	0	1087
W	228	0	0	23170	0	0	23398
WNW	0	146	256	0	3509	9895	13806
NW	0	388	204	0	957	29373	30922
NNW	0	0	0	0	3381	25440	28821
合计	1215	1080	3428	24047	19134	117427	166331

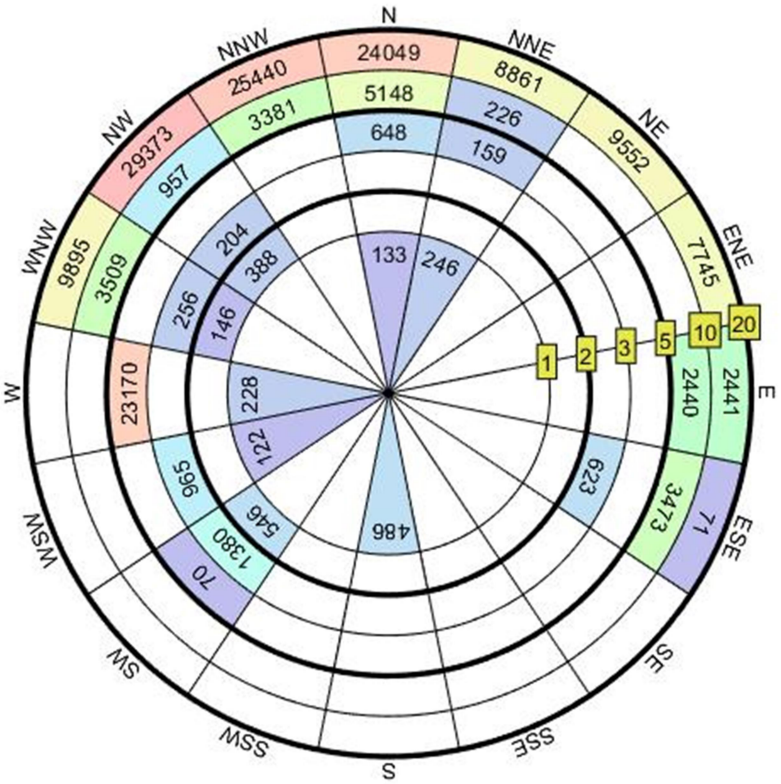


图 2.2-4 厂址半径 20km 范围内各子区的人口分布图

本项目厂址拟在2023年运行。厂址半径20km范围内涉及广东省阳江市和江门市部分区域。根据《广东省人口发展规划（2017-2030年）》，广东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，在2020 年以后迅速下降。根据《广东省“十二五”人口发展战略研究》，该项研究采用了双性别确定性动态模型进行全省各市的未来人口的预测分析，预测中的高方案考虑了政策开放后的预测结果，其中阳江市、江门市的2023年至2050年逐年人口增长率。阳江市及江门市的人口自然增长率近年来呈不断下降趋势。结合厂址区域人口发展形势，评价区内预期人口增长率根据广东省人口发展战略研究中的高方案进行预测。

本报告人口预测采用指数增长模式计算，模型公式如下：

$$N = N_0 e^{r \cdot t}$$

式中：N为预期人口数（人）；N_0为现有人口数（人）；r为预期年平均人口增长率（‰）；

t为N与N_0之间的时间间隔（年）。

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2023年投产时，厂址半径 20km 范围内的总人口数为 167128 人，各子区的预测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（‰）

年份	阳江市	江门市	年份	阳江市	江门市
2023	0.56	0.06	2037	0.4	0
2024	0.51	0	2038	0.36	0
2025	0.48	0	2039	0.31	0
2026	0.46	0	2040	0.25	0
2027	0.46	0	2041	0.18	0
2028	0.47	0	2042	0.1	0
2029	0.48	0	2043	0.01	0
2030	0.49	0	2044	0.01	0
2031	0.49	0	2045	0.01	0
2032	0.49	0	2046	0.01	0
2033	0.48	0	2047	0.01	0
2034	0.47	0	2048	0.01	0
2035	0.46	0	2049	0.01	0
2036	0.44	0	2050	0.01	0

表 2.2-6 厂址半径 20km 范围内各子区的预期人口分布（2023 年）

单位（距离：km，人口：人）

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	合计
N	134	0	0	652	5177	24185	30148
NNE	247	0	0	160	227	8908	9542
NE	0	0	0	0	0	9557	9557
ENE	0	0	0	0	0	7750	7750
E	0	0	0	0	2441	2442	4883
ESE	0	0	626	0	3475	71	4172
SE	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0
S	489	0	0	0	0	0	489
SSW	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	549	1388	70	0	0	2007
WSW	123	0	970	0	0	0	1093
W	229	0	0	23300	0	0	23529
WNW	0	147	257	0	3529	9947	13880
NW	0	390	205	0	962	29541	31098
NNW	0	0	0	0	3400	25580	28980
合计	1222	1086	3446	24182	19211	117981	167128

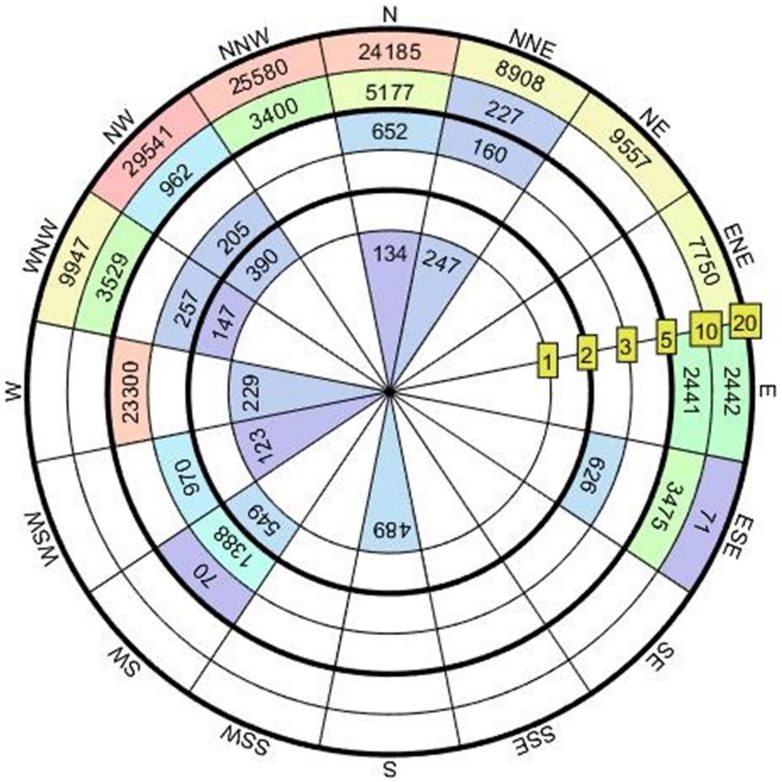


图 2.2-5　厂址半径 20km 范围内各子区的预期人口分布（2023 年）

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

根据阳江公安局阳东分局提供的 2022 年阳东区及东平镇的居民各年龄组资料，以及广东省和台山市的第七次人口普查结果，表 2.2-7 给出了阳江市和江门市、阳东区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	广东省	阳东区	东平镇	台山市
≤1 岁	1.02%；	0.62%	0.55%	1.65%
1~7 岁	9.40%；	6.81%	6.15%	5.98%
8~17 岁	11.44%；	14.64%	14.36%	9.61%
>17 岁	78.14%。	77.93%	78.94%	82.76%

2.2.2.2 厂址评价区内居民的饮食习惯

根据 2020 年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　厂址半径 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

年龄组 消费量	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	
食物种类	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 20km 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 20km 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 20km 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。截至 2020 年底，阳东区土地总面积 1703km^2，其中森林面积 134.81 万亩，农作物总播种面积 65.8 万亩。根据《阳江市阳东区土地利用总体规划(2010-2020 年)调整完善方案》（2017 年 4 月），规划期内阳东区基本农田保护面积为 26370.00 公顷，城乡建设用地 8325.33 公顷。总体来说，全区土地利用为林地较多、耕地较少，土地利用水平较低，工业用地布局比较分散等特点。

目前，阳江市国土空间尚未正式颁布。根据《阳江市国土空间总体规划（2021-2035）》草案公示稿，阳东区总体定位为“沿海经济带的重要战略支点、宜居宜业宜游的现代化滨海城市”；农业空间格局图形成“三区两带”，东平镇等南部沿海地区属于蓝色农业产业带，重点发展海洋牧场、深水网箱、底播增养殖、休闲渔业和水产品冷链物流产业；城镇空间格局形成“一主两副、一带三区”，即阳江城市主中心（中心城区）、阳春和阳西两副中心、蓝色活力海岸带，以及南部集聚发展区、中部特色提升区、外环生态保育区。厂址处于滨海蓝色活力岸带，该区域以滨海旅游、文化创意、商贸物流等产业为主，聚合滨海发展要素，强化滨海功能集聚带。

厂址所在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《阳江市阳东区东平镇总体规划修编（2014-2030 年）》（2019 年 1 月批复），本项目所在东平镇建设用地现状 847.03hm^2，交通设施用地现状 88.46hm^2，公用设施用地现状 360.65hm^2，非建设用地 12358.53hm^2（包括水域 249.29hm^2，农林用地 11998.55hm^2，其他非建设用地 110.69hm^2）。东平镇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，以及区域交通设施建设用地等。图 2.3-1 给出了东平镇镇域现状用地情况示意图。

根据《阳江市阳东区东平镇总体规划修编（2014-2030 年）》，东平镇的土地利用规划为：到 2030 年，规划建设用地 1611.37hm^2，规划交通设施用地 178.18hm^2，规划公用设施用地 538.54hm^2，规划非建设用地 11594.19hm^2（包括水域 222.9hm^2，农林用地 11358.67hm^2，其他非建设用地 12.62hm^2）。

厂址位于阳江市阳东区东平镇瓦北村下属的光星村，区域内除阳江核电基地建设

用地及村镇建设用地外，主要为林业用地和一般农地区，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，沿海荫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 33333.33m^2（50 亩），用地地块呈规则矩形形状，南北长约 219m，东西宽约 153m，建设单位已经获得建设项目土地使用权证（粤（2020）阳江市（阳东）不动产权第 0001931 号），厂址所在地为工业用地。图 2.3-2 给出了厂址附近区域的土地利用规划示意图（2022 年编制）。

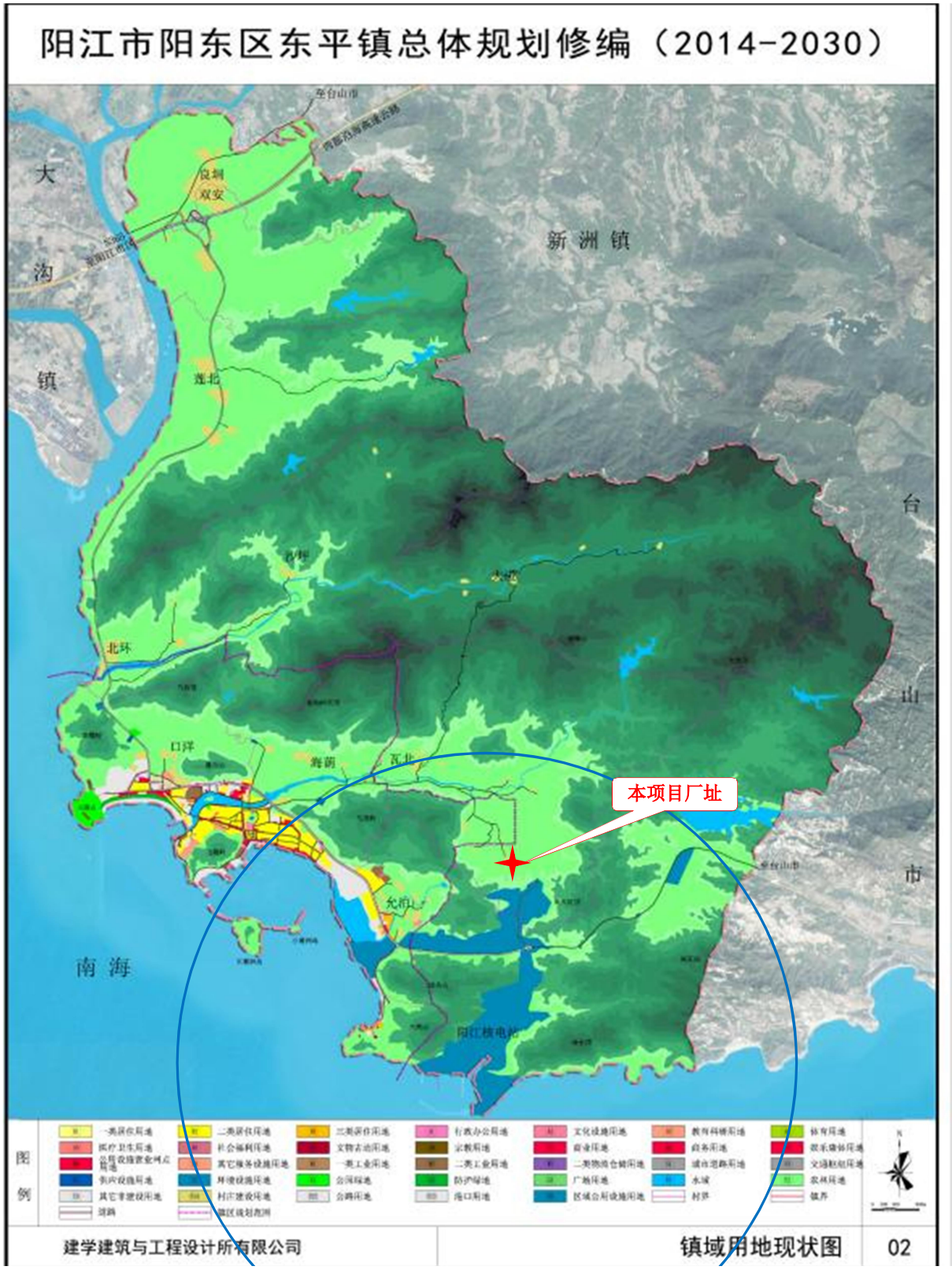


图 2.3-1 厂址附近土地利用现状示意图

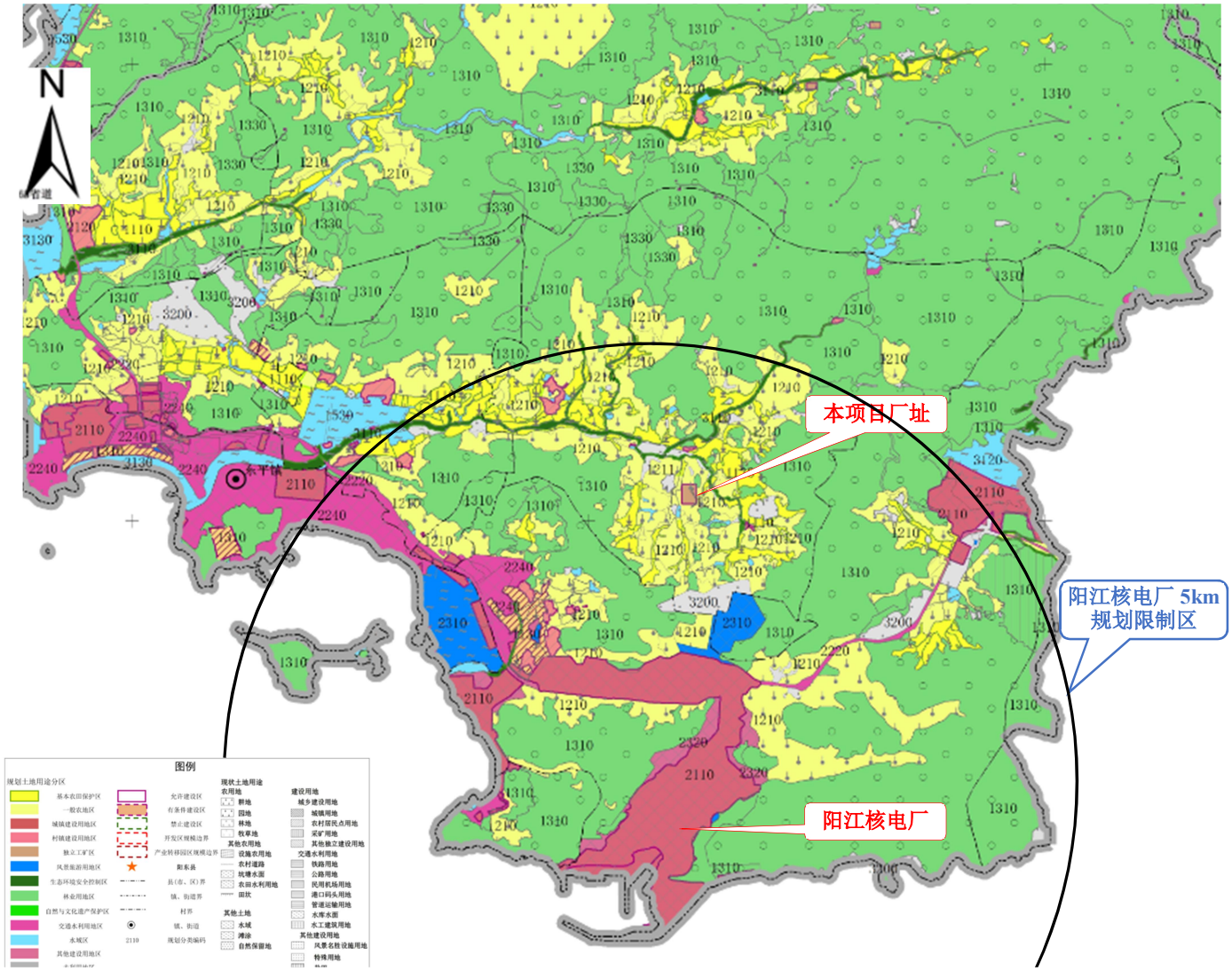


图 2.3-2　厂址附近土地利用规划示意图（2022 年编制）

（2）水体利用

阳江市地处广东省西南沿海，海岸线总长度 458.6km，其中大陆岸线长 323.5km，海岛岸线长 135.1km，主要岛屿 40 个。阳江市内河流密布，集雨面积在 100km^2 以上的河流 28 条，其中干流 7 条，一级支流 13 条，二级支流 7 条以及三级支流 1 条，境内最大河流漠阳江发源于阳春市河朗云廉洒山西南，经阳春、阳东和江城由北向南流入南海，其干流长 199km，流域面积为 6091km^2，河口多年平均径流量为 85.4 亿 m^3。漠阳江流域内集雨面积大于 100km^2 的一级支流有西山河、潭水河、大八河和那龙河等 13 条。

阳东区位于阳江市东南，背山面海，南临南海，海岸线长达 130 多公里。阳东区境内主要河流有漠阳江（最近位于厂址 WNW 方位约 28km）和寿长河（位于厂址 NW 方位约 9km），那龙河和大八河是漠阳江阳东区段的两大支流。阳东属滨海丘陵地区，三面环山、南面临海，中部为漠阳江流域。此外，台山市全市河流分属两流域：北部的河流由东南向西北流归潭江，属珠江流域水系河流；南部和西南部的河流从北向南流入南海，属粤西沿海诸小河水系河流。

本工程厂址半径 20km 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 271km^2，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泩顶，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^o 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。

厂址附近的海荫河为独流入海河流，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，水质管理目标为《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中的 II 类。厂址以西约 60m 的小支流为海荫河南支二级支流，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 2 座小（二）型水库，见表 2.3-1。其中：

金山水库坐落在海荫河东北支的上游，位于厂址 NE 方位 4.4km，水库总库容 321 万 m^3，集雨面积 5.44km^2，正常蓄水位 153.5m，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，水厂位于东平镇镇区，水厂取水口位于金山水库主坝右岸，主供水主供管采用 DN400 水泥管，供水管线长约 12km，主要供东平镇镇区居民日常生活用水；水厂设计供水规模为 1.5 万 m^3/d，主要供东平镇区居民日常生活用水，全镇现状水平年相应的取水规模为 7100 m^3/d，年取水量为 259.15m^3/a。

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 2574m^3，集雨面积 5.44km^2，正常蓄水位 153.5m，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	4.6	20	农业	/

厂址半径 10km 范围内的居民用水以地表水为主，东平镇各村均已实现全镇 100%的集中供水通水。厂址半径 5km 范围内的居民用水以地表水为主，仅少量村庄涉及地下水利用，东平镇镇区及附近村庄、各渔委会的居民生活用水水源主要为东平镇自来

水厂、平堤水库和山涧水，水井地下水仅少量自然村在日常生活中保留作为生活用水水源，用于洗衣等。

（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，东平镇常年接待游客 100 多万人次，游客主要集中在每年 4 月~10 月。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，并入选第二批全国乡村重点村名单，目前正在创建国家 4A 级景区，2022 年大澳渔村接待游客 10.5 万人左右，高峰期日均接待游客约 1300；珍珠湾风景区位于东平镇西北侧，厂址 W 方位 3.8km，2022 年接待游客 78 万人左右。此外，厂址以东的台山市北陡镇海岸线广阔，其中那琴半岛地质海洋公园位于厂址 ESE 方位约 8.9km，该景点是国家 4A 级旅游景区，每年的 4 到 10 月为旅游旺季，日游客最多时每天有 5000 人左右。

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

（1）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。根据《阳东区林业发展“十四五”规划》，阳东区全区 2020 年森林覆盖率为 52.76%，规划到 2025 年达到≥52.77%，森林总蓄积量 510 万 m^3。

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；东平镇拥有林业用地 8908.76hm^2，森林覆盖率 68.3%。。厂址半径 5km 范围内主要为乔木林，厂址附近没有森林保护区及野生动植物保护区，场址区也未发现分布有国家级、广东省级保护的珍稀濒危植物。厂址半径 5km 范围内，在大澳渔村有 2 颗古树名木，为榕树，树龄为 160 年。

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，阳东区建筑石料规划区主要包括猫头山饰面用花岗岩开采规划区块、新洲东平建筑用花岗岩集中开采区，以及长山建筑用花岗岩开采规划区块，上述区域均位于厂址半径 5km 外。厂址半径 5km 范围内目前无矿产资源开采区，也没有规划布局的建筑石料资源规划区。

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、灰瘅鸥等 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、河品水域、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 2022 年全区粮食作物播种面积 40.61 万亩，粮食产量 13.7 万 t，蔬菜产量 22.28 万 t。东平镇主要有荔枝、龙眼，葱、

萝卜、土豆、黑美人西瓜、莲藕、甘蔗、水稻、苗木花卉等，特产农产品为平堤蔗和东平莲藕。东平镇全镇 2022 年农作物播种面积有 2114.4 公顷，粮食作物播种面积有 1231.5 公顷，水果种植面积共 7247 亩，产量 1745t，其中荔枝产种植面积 5450 亩，产量达 11698t，龙眼种植面积 1350 亩，产量达 279t。厂址半径 5km 范围内各村的粮食作物在 109.6t~788t 之间，蔬菜和水果产量分别在 141.3t~631.9t 和 125t~317t 之间，厂址所在的瓦北村 2022 年耕地面积 1355.94 亩，粮食作物、蔬菜和水果产量分别 658.7t、535t 和 295t。厂址半径 5km 范围内的较大规模的农作物种植主要有位于 NW 方位 1.9km 的瓦北种植专业合作社，主要为水果种植，面积约 600 亩，产量为 50t。

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，厂址所在的阳东区养猪业较发达，家禽类发展也较快，厂址周围地区生产的肉类主要是家禽肉、猪肉和牛肉。东平镇 2022 年全年生猪出栏 3495 头、禽类出栏 372070 只，厂址半径 5km 东平镇各村猪出栏一般不超过 300 头，禽类出栏一般不超过 1.5 万只，厂址所在的瓦北村 2022 年猪、禽类和肉类产量分别在 19 头、14400 只和 77t。厂址半径 5km 范围内规模养殖户有 1 处，为昊龙养殖合作社，位于厂址 W 方位 4.6km 处的海萌村，年出栏鸽子 11 万只。

厂址半径 20km 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 也给出了各子区大牲畜、猪、家禽的出栏量以及产肉量、产蛋量。

（2）三线一单

根据《阳江市人民政府关于印发阳江市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（阳府〔2021〕28 号），全市共划定陆域环境管控单元 48 个和海域环境管控单元 57 个，分为优先保护单元、重点管控单元和一般管控单元三类，实施分类管理。基本原则为坚持生态优先、强化绿色发展，强化空间管控、突出差别准入，加上上下联动、实施动态管理。

本项目位于“东平镇中南片区一般管控单元（ZH44170430001）”，其区域布局管控禁止引入国家产业禁止、限制或淘汰类项目，严格管控生态保护红线，污染物排放管控要求中，需加强东平镇龙黄咀--澳仔咀一带入海排污口管理，严格限制陆源污染排放。此外，东平镇沙坪-北环村优先保护管控单元（ZH44170410005）最近距离场址 NNE 方位约 3.0km。表 2.3-2 给出了厂址附近三线一单情况。

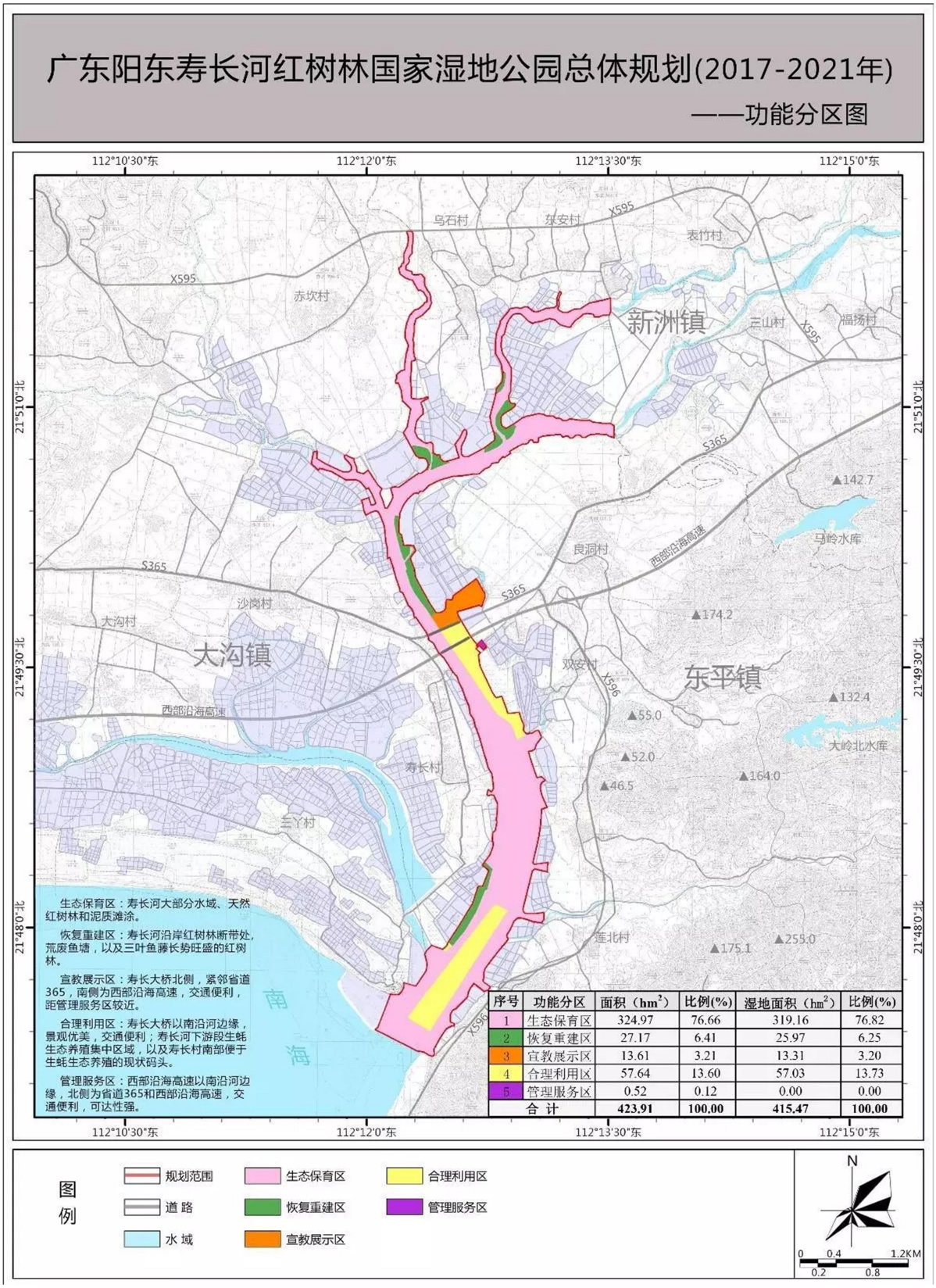


图 2.3-3　寿长河红树林国家湿地公园（试点）功能分区图

表 2.3-2 厂址区域三线一单及环境管控单元情况

陆域优先保护管控单元

环境管控单元编码	单元名称	行政区划			管控单元分类	要素细类	与本项目位置关系
		省	市	县(市、区)			
ZH44170410005	东平镇沙坪-北环村优先保护管控单元	广东省	阳江市	阳东区	优先保护单元	水环境农业污染重点管控区、大气环境一般管控区、生态保护红线	NNE 3.0km
管控要求							
1.【生态/限制类】生态保护红线按照《关于国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》严格管控，自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动，其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规前提下，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的 8 类有限人为活动。 2.【生态/禁止类】严格保护东平镇县级森林公园，依照《广东省森林公园管理条例》依法依规管理，禁止不符合森林公园总体规划的各类开发及建设；已经建设的，按照森林公园总体规划逐步迁出。 3.【水/综合类】加快农村生活污水处理设施建设，因地制宜选择合适的污水处理设施，实现雨污分流、污水排放管道收集或暗渠化，农村生活污水处理设施出水标准执行广东省《农村生活污水处理排放标准》(DB44/2208)。 4.【水/综合类】实施水产养殖池塘养殖网箱标准化改造，养殖尾水达标排放或者资源化利用，推进水产健康养殖和生态养殖。							

陆域一般保护管控单元

环境管控单元编码	单元名称	行政区划			管控单元分类	要素细类	与本项目位置关系
		省	市	县(市、区)			
ZH44170430001	东平镇中南片区一般管控单元	广东省	阳江市	阳东区	一般管控单元	水环境一般管控区、大气环境一般管控区、生态保护红线	本项目位于该管控单元
管控维度	管控要求						
区域布局管控	1-1.【产业/禁止类】禁止引进国家《产业结构调整指导目录》中限制类、淘汰类项目和《市场准入负面清单》禁止准入类项目。 1-2.【生态/限制类】生态保护红线按照《关于国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》严格管控，自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动，其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规前提下，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的 8 类有限人为活动。						
能源资源利用	2-1.【能源/鼓励引导类】鼓励降低煤炭消耗、能源消耗。 2-2.【岸线/其他】提高岸线开发利用效率，实行岸线分区管理，落实空间用途管制。 2-3.【土地资源/限制类】完成单位土地面积投资强度、土地利用强度等建设用地控制性指标要求，提升土地等资源的集约程度。						
污染物排放管控	3-1.【水/综合类】加快农村生活污水处理设施建设，因地制宜选择合适的污水处理设施，实现雨污分流、污水排放管道收集或暗渠化，农村生活污水处理设施出水标准执行广东省《农村生活污水处理排放标准》(DB44/2208)。 3-2.【水/综合类】实施水产养殖池塘养殖网箱标准化改造，养殖尾水达标排放或者资源化利用，严格控制近海养殖密度，推进水产健康养殖和生态养殖。 3-3.【水/综合类】加强东平镇龙黄咀--澳仔咀一带入海排污口管理，严格限制陆源污染排放。						
环境风险防控	4-1.【风险/综合类】完善陆域环境风险源和海上溢油及危险化学品泄漏应急方案，完善风险防控措施。						

2.3.3 海洋生态概况及水产资源

（1）海洋生态状况

厂址所在的阳东区地处广东西南沿海，海洋资源丰富，阳东海域面积 482.63 平方公里，大陆海岸线全长 78.91 千米，全区 20 米水深以内的浅海面积 4.26 万公顷，，其中 0~10 米等深线海域滩涂面积 2.06 万公顷。根据阳江核电厂附近海域海洋生态调查成果，厂址附近海洋生态环境较好。

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、鲳鱼、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。

（2）水产捕捞及养殖

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、鱼塭养鱼，鱼塭虾蟹混养，增殖护养翡翠贻贝，浮筏养蚝，高位池高密度养殖对虾等。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。

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，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。2022 年东平镇海水养殖 75148t，其中贝类养殖产量占 69.3%，牡蛎、贻贝和蛤产量分别为 35055t、8264t 和 6789t，养

殖鱼类主要为鲷鱼、石斑鱼等，产量分别为3698t和3196t，甲壳类中虾类产量为9863t；淡水养殖为1579t，厂址所在的瓦北村2022年有淡水养殖面积35亩，养殖产量18.5t。

根据阳东区养殖水域滩涂规划（2018-2030），阳东区渔业结构将会进行不断调整优化，进一步推进对虾、海水优质鱼、尖山蟹和牡蛎养殖示范基地建设，大力推广无公害健康养殖、工厂化养殖、循环水养殖、深水网箱养殖等。2030年阳东共规划养殖区8660公顷，其中：海水池塘养殖区共规划陆基海水池塘养殖区5个，包括寿长河口池塘养殖区1061公顷（NW方位10km）、海头湾海水池塘养殖区284公顷（WNW方位15km）、寿长河下游咸淡水池塘养殖区655公顷（NW方位9km）、东平镇咸淡水池塘养殖区62公顷（W~NW方位6~8km）、那龙河口咸淡水池塘养殖区296公顷（WNW方位26km）；浅海滩涂养殖区共规划三丫港养殖区（NW方位12km）和北津港增殖区（WNW方位21km）两个。上述规划养殖区中，东平镇咸淡水池塘养殖区位于场址附近5km范围内，养殖区域为阳东区海朗村及北环河口，以集中成片的标准池塘为主，还有少量的零散池塘，主要开展鱼虾咸淡水养殖。

（3）海洋保护动物及保护区

厂址位于瓦北村一带的山地丘陵区，厂址最近离岸SW方向约3km。根据有关历史资料及多次水生态调查结果，厂址半径5km范围内海域无保护性海洋生物及国家级重点保护水生动物活动，也没有海洋自然保护区，厂址附近无重要渔业品种的“三场一通道”。

2.3.4 工业、交通及其他相关设施

2.3.4.1 工业企业

厂址所在的阳东区工业及产业以五金制造、食品服装、能源电力等行业为主，发展以传统产业为主，阳东区的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，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，厂址半径10km范围涉及的东平、大沟和北陡三镇规上企业共有7家，厂址半径5km范围主要以农业、渔业生产为主，工业基础相对薄弱。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。东平镇除阳江核电有限公司外，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，有员工 30 多人。除上述规模以上企业外，离厂址最近的企业是庆杭造船厂，位于大澳村西南端，距本项目 SW 方位约 3.1km，主要从事渔船修理和建造工作，现有职工少于 50 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。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《广东省沿海经济带综合发展规划（2017-2030）》、《阳江市阳东区沿海经济综合发展规划（2020-2030）》，阳江市作为广东省“一心两极双支点”发展总体格局的“双支点”之一，赋予“珠三角辐射粤西战略支点”的定位，阳东区充分发挥其作为“双支点”的重要作用，拓展及延伸产业链条，努力建设成为大湾区重要的制造基地。

根据《阳江市阳东区“十四五”规划和二〇三五远景目标纲要》，阳东区要构建“一轴一带、一核三区”的发展总体格局，一轴为依托 325 国道和广湛高速公路形成的城镇发展轴，一带为依托东城镇为核心的陆海联动发展带，三区为北部农业经济发展、中部中部工业经济发展区、南部南部海洋经济发展区三个经济发展区域，厂址所在的东平镇属于南部海洋经济发展区。全区将加快培育战略性新兴产业，并打造三大产业平台四大产业集群，谋划阳江东部（阳东）发展平台、核电产业园发展平台、阳江东部（阳东）现代化城区发展平台，加快打造超百亿高品质紧固件产业集群，积极培育发展超百亿机械装备产业集群，着力构建超百亿电子电器产业集群，发展壮大核电和先进燃料产业集群。其中，针对核电产业园发展平台谋划：谋划在东平镇瓦北村附近谋划核电产业园发展平台，根据国家能源战略布局，发展核电及先进燃料等相关产业，搭建核电产业发展平台，打造“新能源科技产业园”；发展壮大核电和先进燃料产业集群中提出，大力推进中广核先进燃料研制中心等项目建设，推动项目尽快投产，全力打造新能源科技产业园。

根据阳江市阳东区十四五规划，东平镇位于规划的南部海洋经济发展区。根据阳东区镇域经济发展指引，该镇发展定位为海洋经济发展区和滨海特色旅游区，功能定位为新能源产业、海洋渔业和滨海旅游业发展重要载体；在产业发展方面，与大沟镇合力打造全省乃至全国著名的“新能源产业科技园”，大力引进核电配套产业及海上风电相关产业。根据《阳江市阳东区东平镇总体规划修编（2014-2030 年）》，规划确定东

平镇的产业总体布局为“一带三区”，“一带”为良东公路经济带，“三区”为现代农业产业区、综合服务产业区，以及核电产业发展区，其中现代农业产区主要包括主要包括良垌、双安、莲北、北环、沙坪、大湴、瓦北村，发展现代农业、风电等新能源产业、山林休闲旅游和乡村旅游业，综合服务产业区包括东平镇镇区的范围，发展海洋渔业、滨海旅游业及生活总和服务配套功能，核电产业发展区主要包括核电站区域范围和规划的核电相关产业园的范围，重点发展核电产业和核电配套产业。根据规划，东平镇区域内没有规划危化品生产制造或石化产业园区。

对于厂址以东的台山市北陡地区，根据《台山市城市总体规划（2014-2030）》，北陡镇被划为适度发展型镇（保留少量工业型），全镇职能定位为以滨海旅游、现代农渔业、玉石工艺品为主导的生态型旅游城镇。

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。

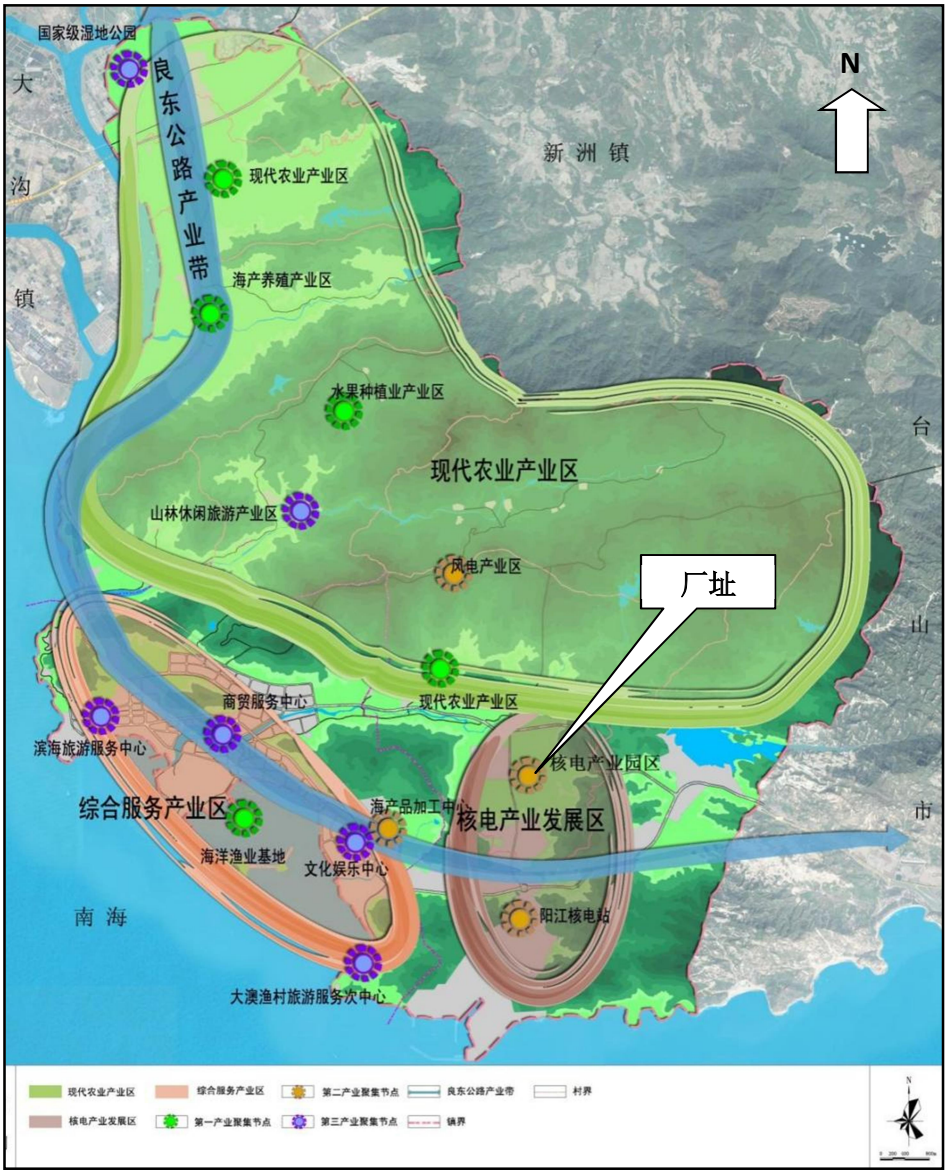


图 2.3-4 东平镇产业布局规划示意图

2.3.4.2 交通

厂址所在的阳东区境内公路交通较为发达，截至 2020 年末，阳东区境内公路总里程 2434km，其中高速公路总里程达到 107km，公路密度为每百平方公里 142.9km。阳东区境内普通国道共 3 条，分别为国道 G228、G234、G325；普通省道共 4 条，分别为省道 S276、S297、S386、S539。阳东区东平镇、大沟镇和新洲镇境内县级以上道路有 9 条，其中高速 1 条，国道 1 条，省道 3 条，县道 4 条。

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，全镇已实现了村村通公路，路面以沥青和水泥为主。

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《阳江市综合交通运输体系中长期发展规划（2018-2035）》，阳江市区将构建“一环十射”快速干线网络，阳江普通干线公路总体形成“多环+多射+多联”的网络形态，规划期内总体形成“四环二十五射三十四联”路网布局方案，普通干线公路总里程 2128 公里，重复里程 193 公里。根据阳东区交通规划，规划到 2035 年基本实现“镇镇通高速”的要求，位于厂址半径 10km 范围的高速公路为远期规划的沈海高速公路阳东支线：全长约 30 公里，最近处位于厂址 NW 方位约 6.5km。根据阳东区交通规划，最新的规划道路为 S276 阳东支线新洲龙潭至阳江核电站公路南北穿过本项目厂址，规划为二级道路，该道路给本项目与外界交通提供了南北方向的交通便利条件。厂址半径 10km 范围内没有铁路通过。根据《阳江市立体综合交通规划》（2020-2035），厂址附近拟规划的阳茂湛滨海城际铁路及珠海至阳江的高铁距离厂址最近约 12km。

阳江港及作业区均位于厂址半径 20km 外，厂址半径 10km 范围内的较大的港口为

东平渔港。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。港池及水面积 140 万平方米，港口航道长 5.5 千米,宽 0.5～1.5 千米，平均水深 4.5 米。有钢筋混凝土码头 3 座，长 645 米，泊位 9 个，泊位平均水深 4 米，可泊 400 吨级船只，可同时泊船只 1500 艘，年吞吐量 15 万吨。渔港属浅海渔港，是融停泊、避风、补给等功能的渔业后勤服务基地。根据广东省阳江市东平中心渔港二期工程，拟建设加固防波堤、改造码头设施和配套工程等，提高东平渔港的避风等级，升级渔港的基础设计，实现渔港功能多元化。

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。根据阳江市及阳东区现有工业及产业发展相关规划，厂址半径 10km 范围内没有规划危化品或石化产业园。厂址半径 5km 范围内现有 2 个加油站和 3 个油库码头：

— 加油站：阳东区东平暨南加油站，为 3 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 3 个贮油罐，其中汽油罐 30m^3×2 个，柴油罐 10m^3×1 个。东平盛丰石油有限公司东平镇新港河堤路，位于厂址 W 方位 5.0km 处，有 25m^3 汽油 2 个罐，25m^3 柴油罐 1 个。

— 油库：阳东区东平镇渔港码头油库，位于厂址 W 方位约 5km 处。库区有油库码头 3 个，均为 200t 柴油库。此外，东平渔港有 2~3 条可装 100t 柴油的加油船为出海渔船加油。

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 E 方位 6.2km、W 方位 5.2km 和 W 方位 5.6km 处。

（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 3 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。东平港内有 3 个柴油码头，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 的上川岛涤水湾獭山山顶，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=890hPa；

— 热带气旋外围气压 P∞=1008hPa；

— 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=40km。

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 飑线

飑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，其中郁南最多达 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。飑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%。飑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响在午后达到最高峰，这时气温最高，对流旺盛，大气层结构极不稳定，所以强对流天气最易发生。

三分之二左右的飑线持续时间为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的飑线，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飑线。

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：

— 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。

— 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2021年1月至2022年12月两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99.53%。

表 2.4-5 给出了厂址地面观测气象参数特征值。

需要说明的是，本项目已在厂址西侧新建 10m 气象风杆，安装自动气象系统设备，实现环境气象要素的 24 小时自动监测。气象风杆自 2023 年 1 月以来观测情况良好，但由于尚无连续一整年气象数据，因此本次评价仍然采用阳江核电气象观测系统的观测数据作为输入。

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（℃）
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%	±2%（≤90%）; ±3%（>90%）
气压	500~1100hPa	0.1hPa	±0.2hPa
风速	0~100m/s	0.1 m/s	± (0.3 +0.02V) m/s
风向	0~360°	3°	5°
雨量	0~999.9mm	0.1 mm	0.4mm（≤10mm） 4%（>10mm）
辐射	0~2000 W/m^2	0.1%	15 μV/W/m^2
温度	-50~+50℃	0.1℃	±0.2℃

表 2.4-5　厂址地面观测气象参数特征值

月	气温			气压			辐射		相对湿度		降雨		
	平均（℃）	最高（℃）	最低（℃）	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	16.3	26.5	3.5	1014.5	1023.5	1006.3	342.9	-24.4	70	13	6.4	13	4
2	16.6	26.8	6.1	1013.1	1023.7	1003.0	392.1	-20.8	84	29	121.9	70	8
3	21.8	28.6	10.6	1009.6	1019.6	999.5	403.6	-17.4	87	33	49.8	25	4
4	23.6	31.1	11.8	1008.7	1020.2	999.7	420.1	-20.0	88	28	15.3	34	8
5	26.9	34.7	15.4	1004.6	1012.6	997.3	432.6	-14.6	92	36	197	76	11
6	28.5	34.3	23.7	1001.1	1007.4	995.6	360.2	-10.1	96	50	250.8	78	11
7	29.2	35.1	24.3	1000.2	1008.4	981.7	475.0	-19.8	91	51	240.8	84	12
8	28.0	35.3	23.0	1001.7	1008.8	988.4	387.0	-16.9	93	52	521.7	154	14
9	28.2	35.4	22.8	1004.5	1009.8	996.0	435.0	-19.2	92	54	293.8	95	15
10	24.7	33.5	17.0	1007.8	1017.1	990.8	401.7	-14.0	81	32	311.7	86	10
11	21.9	30.8	13.3	1012.4	1019.6	1003.7	442.0	-24.8	72	27	0.2	0	0
12	17.0	26.7	6.6	1015.3	1023.7	1007.4	369.9	-25.1	68	19	52.1	23	4
年	23.6	35.4	3.5	1007.8	1023.7	981.7	406.1	-18.9	84	13	2061.6	741	103



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23.6℃，以7月最高，平均为29.2℃；以1月最低，平均为16.3℃。最高气温为35.4℃，出现在9月；最低气温为3.5℃，出现在1月。

2.4.3.2　气压

厂址年平均气压为1007.8hPa，月平均气压以12月最高，为1015.3hPa；以7月份月平均气压最低，为1000.2hPa。最高气压为1023.7hPa，出现在12月；最低气压为981.7hPa，出现在7月。

2.4.3.3　相对湿度

厂址地面观测站年平均相对湿度为84%，6月份平均相对湿度最高，为96%；12月份平均相对湿度最低，为68%。最低相对湿度为13%，出现在1月。

2.4.3.4　降雨

厂址年均降水量为2061.6mm，11月降水量最小，为0.2mm，8月降水量最大，达521.7mm。厂址年降水日数为年均103天，降水时数为年均741小时。

2.4.3.5 太阳辐射

厂址年平均总辐射 406.1W/m^2，7 月平均值最高，为 475W/m^2，1 月平均值最低，为 342.9W/m^2。厂址年平均净辐射-18.9W/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NNE，占17.4%，次主导风向为NE，占13.6%；

— 厂址气象塔30m高度主导风向为NNE，占18.0%，次主导风向为NE，占11.0%；

— 厂址气象塔80m高度主导风向为NNE，占17.1%，次主导风向为E，占12.0%；

— 厂址气象塔100m高度主导风向为NNE，占12.8%，次主导风向为ENE，占11.7%。

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7.4%和5.5%，而在80m高度，厂址地区全年静风频率为2.3%，100m高度全年静风频率为1.7%。

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3.0m/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2.4-11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1月平均值最低；各层高度7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22.9℃，温度最大值为33.4℃，温度最小值为4.8℃；

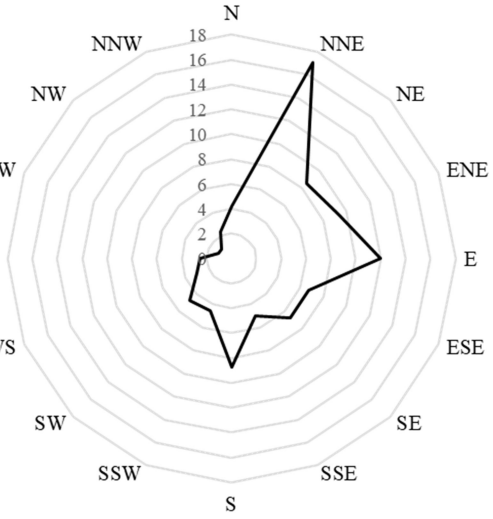
— 80m高度温度年平均值为23.0℃，温度最大值为33.6℃，温度最小值为4.9℃；

— 30m高度温度年平均值为23.2℃，温度最大值为34.1℃，温度最小值为5.4℃；

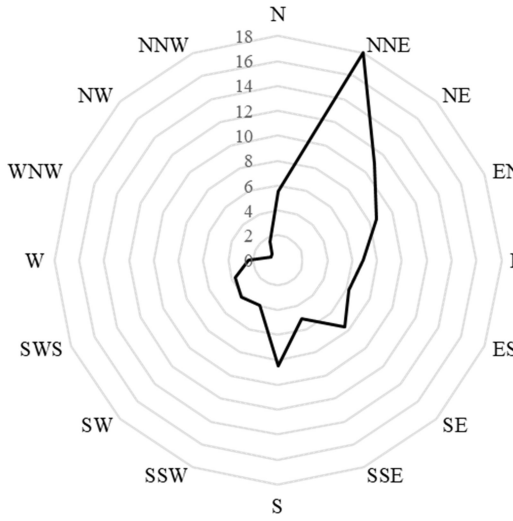
— 10m高度温度年平均值为23.2℃，温度最大值为34.4℃，温度最小值为5.6℃。



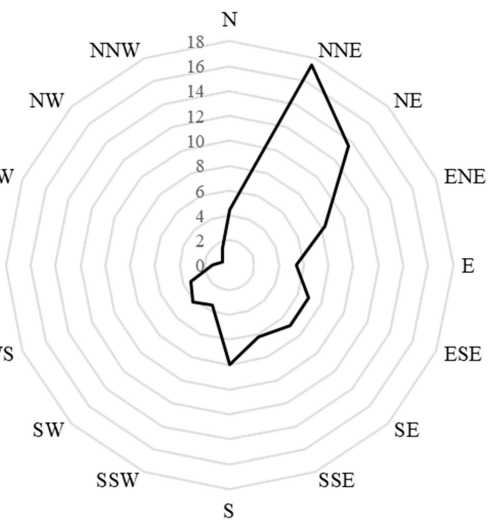
100m 高度 C=1.7%



80m 高度 C=2.3%

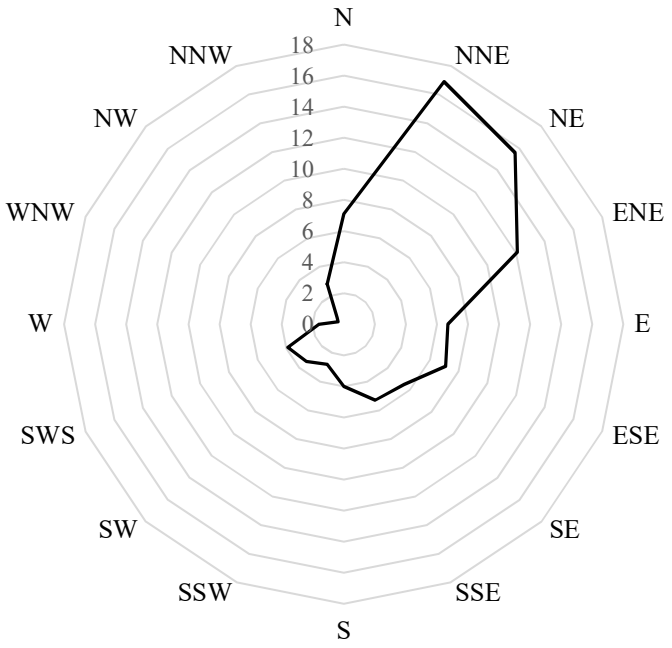


30m 高度 C=5.5%



10m 高度 C=7.4%

图 2.4-2　厂址气象塔各高度年平均风玫瑰



C=4.0%

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	1.9	8.6	8.5	7.6	5.8	10.7	13.8	11.8	16.1	4.4	3.7	2.3	1.6	0.4	0.3	1.1	1.6	
		平均风速	2.9	4.3	3.0	2.6	2.6	3.1	3.1	3.0	3.3	2.8	3.1	2.7	2.3	1.9	1.8	1.7	0.2	3
	黑夜	风频	2.7	12.8	18.0	11.3	6.1	7.9	10.3	6.1	5.8	1.5	3.2	0.8	0.5	0.5	0.7	1.3	10.5	
		平均风速	2.0	2.5	1.7	1.6	1.3	1.8	2.5	2.8	2.8	1.7	2.6	1.5	1.1	0.9	1.1	1.4	0.3	1.9
	全天	风频	2.2	10.6	13.0	9.4	6.0	9.3	12.1	9.1	11.2	3.0	3.4	1.6	1	0.4	0.5	1.2	5.9	
		平均风速	2.4	3.3	2.2	2.0	2.0	2.6	2.8	2.9	3.2	2.5	2.9	2.5	2	1.3	1.3	1.6	0.3	2.5
夏季	白天	风频	3.3	4.2	3.8	4.3	3.0	6.2	8.6	9.5	17.4	7.5	12.4	10.5	3	0.9	1	1.4	3	
		平均风速	3.0	2.3	2.4	2.2	2.4	3.3	3.2	3.0	3.3	2.8	3.1	2.8	2	1	1.7	1.5	0.3	2.8
	黑夜	风频	6.9	15.4	10.4	5.4	2.9	5.4	5.9	8.9	10.4	4.9	7.8	3.4	0.6	0.6	0.3	1.6	9.1	
		平均风速	1.5	1.3	1.7	1.5	1.4	2.2	2.6	3.1	2.8	2.1	2.7	2.7	1.2	1.2	1.1	1.3	0.2	1.9
	全天	风频	4.9	9.3	6.8	4.8	2.9	5.8	7.4	9.2	14.2	6.3	10.3	7.2	1.9	0.7	0.7	1.5	5.8	
		平均风速	2.0	1.6	2.0	1.9	2.0	2.9	3.0	3.0	3.2	2.5	3.0	2.8	1.9	1.1	1.6	1.4	0.2	2.4
秋季	白天	风频	5.5	21.0	15.2	10.1	8.8	8.2	5.9	5.5	4.4	3.4	2.0	3.4	1.6	0.3	0.7	1.1	2.8	
		平均风速	3.5	5.0	3.7	2.6	2.4	2.6	2.5	2.6	2.6	2.4	2.5	2.2	2	2.1	1.8	2.7	0.2	3.2
	黑夜	风频	4.0	27.8	21.4	10.3	5.6	4.4	2.8	2.0	1.0	1.6	1.5	0.7	0.3	0.2	0.3	0.9	15.3	
		平均风速	1.6	4.1	2.3	1.8	1.3	1.8	1.4	1.4	0.8	1.6	1.5	1.3	1.1	1.7	1.2	1.3	0.2	2.2
	全天	风频	4.7	24.6	18.4	10.2	7.1	6.2	4.2	3.7	2.6	2.5	1.7	2.0	0.9	0.3	0.5	1	9.3	
		平均风速	2.7	4.5	2.8	2.2	2.0	2.3	2.2	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.6	2	0.2	2.7
冬季	白天	风频	6.5	23.2	10.6	8.7	6.5	9.9	4.7	3.6	6.3	3.9	2.0	4.4	2.9	0.9	1.4	2.5	2	
		平均风速	3.6	5.2	3.6	2.8	2.5	3.2	2.5	2.6	2.7	2.6	2.1	2.3	2	1.4	1.8	2.3	0.3	3.3
	黑夜	风频	5.9	27.4	21.2	8.8	4.5	3.0	2.7	1.9	1.5	0.9	0.7	1.4	1	0.6	1.5	2.5	14.4	
		平均风速	2.6	4.5	2.2	1.6	1.3	1.4	1.0	0.9	1.1	1.4	1.4	1.5	1.4	1.2	1.2	1.9	0.3	2.3
	全天	风频	6.2	25.5	16.4	8.7	5.4	6.1	3.6	2.7	3.7	2.3	1.3	2.8	1.9	0.7	1.5	2.5	8.7	
		平均风速	3.0	4.8	2.6	2.1	2.0	2.7	1.9	1.9	2.3	2.3	1.9	2.1	1.8	1.3	1.4	2.1	0.3	2.8
全年	白天	风频	4.2	13.6	9.3	7.5	5.9	8.7	8.5	7.8	11.5	4.9	5.3	5.3	2.3	0.6	0.8	1.5	2.4	
		平均风速	3.4	4.7	3.3	2.6	2.5	3.1	3.0	2.9	3.2	2.7	2.9	2.6	2.1	1.4	1.8	2.1	0.3	3.1
	黑夜	风频	4.9	21.2	18.0	9.0	4.8	5.1	5.3	4.6	4.5	2.1	3.2	1.5	0.6	0.5	0.7	1.6	12.5	
		平均风速	1.9	3.6	2.0	1.6	1.3	1.9	2.2	2.5	2.5	1.9	2.5	2.1	1.2	1.2	1.2	1.5	0.2	2.1
	全天	风频	4.5	17.4	13.6	8.3	5.4	6.9	6.9	6.2	8.0	3.5	4.2	3.4	1.4	0.6	0.8	1.5	7.4	
		平均风速	2.6	4.0	2.5	2.1	2.0	2.6	2.6	2.8	3.0	2.4	2.8	2.5	1.9	1.3	1.5	1.8	0.2	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	2.3	9.0	6.1	8.7	8.2	9.7	14.1	9.7	16.3	5.2	3.0	2.9	2	0.3	0.2	0.6	1.6	
		平均风速	2.8	5.0	3.3	3.0	2.8	3.3	3.4	3.2	3.5	3.2	3.1	3.5	2.3	1.8	1.2	1.8	0.2	3.3
	黑夜	风频	4.7	12.0	13.0	12.4	9.7	7.1	12.5	4.4	7.7	1.7	2.3	1.6	0.8	0.3	0.3	1.1	8.4	
		平均风速	1.6	3.2	2.1	2.0	1.7	1.9	2.8	2.8	3.4	2.0	3.0	2.4	1.1	0.6	1.3	1.4	0.2	2.2
	全天	风频	3.4	10.4	9.4	10.4	8.9	8.5	13.3	7.2	12.2	3.5	2.7	2.3	1.4	0.3	0.3	0.9	4.8	
		平均风速	2.0	4.0	2.5	2.4	2.2	2.7	3.1	3.1	3.5	2.9	3.1	3.1	2	1.2	1.3	1.6	0.2	2.8
夏季	白天	风频	3.4	3.9	4.0	3.8	4.0	5.0	9.0	7.3	17.3	9.0	10.9	10.4	6.3	1.1	0.8	1.1	2.4	
		平均风速	2.2	3.5	2.8	2.4	2.8	3.7	3.7	3.3	3.6	3.1	3.4	3.4	2.4	1.2	1.5	1.8	0.2	3.1
	黑夜	风频	7.1	12.2	8.6	6.2	4.8	4.1	8.1	6.7	11.6	4.3	8.9	4.7	1.3	0.8	0.6	1	9.1	
		平均风速	1.6	1.5	2.1	2.1	1.6	2.2	3.0	3.6	3.4	2.4	2.8	3.2	1.8	1.2	1.5	1.1	0.2	2.2
	全天	风频	5.1	7.7	6.1	4.9	4.3	4.6	8.6	7.0	14.7	6.9	10.0	7.8	4	1	0.7	1.1	5.5	
		平均风速	1.8	2.0	2.3	2.2	2.2	3.1	3.4	3.5	3.5	2.9	3.1	3.4	2.3	1.2	1.5	1.5	0.2	2.7
秋季	白天	风频	5.6	19.9	13.1	10.2	10.3	6.9	6.7	4.5	5.7	3.9	2.4	3.4	2.8	0.4	0.8	1.5	2	
		平均风速	3.9	5.6	4.1	2.9	3.0	3.0	3.0	3.2	2.9	2.8	2.6	2.8	2.4	2.8	2.6	3.1	0.2	3.6
	黑夜	风频	7.0	27.9	17.8	9.2	5.8	4.1	4.0	2.3	2.0	1.7	2.0	1.6	0.9	0.5	1.1	1.7	10.3	
		平均风速	2.1	4.9	2.8	2.0	1.9	2.3	1.8	1.6	1.5	1.5	2.1	1.7	1.6	1.3	1.2	1.4	0.2	2.7
	全天	风频	6.3	24.1	15.5	9.7	7.9	5.4	5.3	3.4	3.8	2.7	2.2	2.4	1.8	0.5	1	1.6	6.4	
		平均风速	2.8	5.2	3.4	2.4	2.6	2.7	2.5	2.6	2.5	2.4	2.4	2.4	2.2	1.9	1.8	2.1	0.2	3.1
冬季	白天	风频	6.3	27.8	8.1	8.5	7.9	10.2	3.5	3.3	5.2	4.3	2.4	3.1	3.7	0.9	1.1	2.5	1.2	
		平均风速	4.0	5.7	4.0	3.1	2.6	3.3	2.6	2.7	2.7	2.7	1.9	2.3	2.2	1.6	1.7	2.5	0.2	3.7
	黑夜	风频	7.7	32.3	17.8	10.0	5.3	2.9	2.4	2.1	1.4	0.9	1.1	1.2	0.9	0.9	0.9	3.2	9.2	
		平均风速	2.2	5.0	2.7	2.1	1.5	1.2	1.3	1.1	1.4	1.1	1.4	1.4	1.7	1.3	1.6	1.8	0.2	2.8
	全天	风频	7.1	30.3	13.3	9.3	6.5	6.3	2.9	2.6	3.1	2.4	1.7	2.1	2.2	0.9	1	2.9	5.5	
		平均风速	2.9	5.3	3.0	2.5	2.1	2.8	2.0	2.0	2.4	2.4	1.7	2.0	2.1	1.4	1.7	2.1	0.2	3.2
全年	白天	风频	4.3	14.4	7.6	7.7	7.4	7.9	8.6	6.4	11.6	5.7	4.9	5.1	3.8	0.7	0.7	1.4	1.8	
		平均风速	3.4	5.4	3.7	2.9	2.8	3.3	3.3	3.2	3.4	3.0	3.1	3.2	2.3	1.6	1.8	2.4	0.2	3.4
	黑夜	风频	6.6	21.6	14.5	9.5	6.3	4.5	6.6	3.8	5.5	2.1	3.4	2.2	1	0.6	0.7	1.8	9.3	
		平均风速	1.9	4.2	2.5	2.0	1.7	1.9	2.5	2.7	3.0	2.0	2.6	2.5	1.6	1.2	1.4	1.5	0.2	2.5
	全天	风频	5.5	18.0	11.0	8.6	6.9	6.2	7.6	5.1	8.5	3.9	4.2	3.7	2.4	0.6	0.7	1.6	5.5	
		平均风速	2.5	4.7	2.9	2.4	2.3	2.8	3.0	3.0	3.3	2.7	2.9	3.0	2.2	1.4	1.6	1.9	0.2	3

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	1.6	9.7	4.1	6.6	16.0	8.4	14.1	9.7	15.8	4.9	3.4	2.2	1.4	0.3	0.1	0.5	1.1	
		平均风速	3.4	5.9	3.3	3.1	3.8	3.9	3.9	3.3	3.9	3.3	3.8	2.6	2.3	1.1	1.3	1.7	0.2	3.8
	黑夜	风频	3.1	11.1	8.5	12.3	18.3	9.9	10.9	4.8	8.7	2.1	3.0	0.9	0.4	0.2	0.3	1.1	4.5	
		平均风速	2.1	4.6	2.1	2.4	3.0	2.8	3.6	3.1	4.4	2.4	3.2	1.4	0.9	0.7	1	1.3	0.2	3
	全天	风频	2.3	10.4	6.2	9.3	17.1	9.1	12.6	7.4	12.4	3.6	3.2	1.6	0.9	0.3	0.2	0.8	2.7	
		平均风速	2.6	5.2	2.5	2.7	3.4	3.4	3.7	3.2	4.0	3.1	3.5	2.3	2	0.9	1.1	1.4	0.2	3.4
夏季	白天	风频	2.3	3.0	3.6	3.5	6.0	4.7	7.7	7.2	16.9	12.7	12.8	7.8	6.4	1.8	1.1	0.7	1.8	
		平均风速	3.3	4.3	3.0	3.0	3.6	4.8	4.4	3.4	4.2	3.7	3.6	3.3	2.7	1.7	1.8	2.2	0.3	3.6
	黑夜	风频	2.7	4.5	5.1	7.2	7.9	7.5	8.7	6.9	14.8	8.1	10.2	5.1	2.5	1.5	1.2	1.3	4.7	
		平均风速	2.1	2.4	2.4	2.7	2.6	3.0	3.6	3.0	4.4	3.3	3.2	2.9	2	1.7	1.6	1.7	0.3	3
	全天	风频	2.5	3.7	4.3	5.2	6.9	6.0	8.1	7.1	15.9	10.6	11.6	6.5	4.6	1.7	1.2	1	3.1	
		平均风速	2.7	3.2	2.7	2.8	3.1	3.8	4.0	3.2	4.3	3.5	3.5	3.1	2.5	1.7	1.7	1.9	0.3	3.3
秋季	白天	风频	5.4	17.1	9.5	11.5	11.4	7.3	4.7	4.6	5.3	2.3	3.4	2.7	3.6	1.4	2.4	6.5	0.9	
		平均风速	5.0	6.4	4.3	3.4	3.8	3.5	3.4	2.8	2.9	2.7	3.0	3.2	3.1	3.7	5.1	5.4	0.2	4.2
	黑夜	风频	4.2	23.6	16.1	12.9	9.9	6.1	2.4	2.0	2.0	1.9	2.7	2	2.5	2	2.6	5.2	1.8	
		平均风速	3.6	5.6	3.2	2.8	2.7	3.5	3.2	2.9	3.1	3.5	2.7	3.3	3.4	4	3.2	4.4	0.3	3.7
	全天	风频	4.8	20.5	13.0	12.2	10.6	6.7	3.5	3.3	3.6	2.1	3.0	2.4	3	1.7	2.5	5.8	1.3	
		平均风速	4.3	5.9	3.6	3.0	3.3	3.5	3.3	2.8	2.9	3.1	2.9	3.2	3.2	3.9	4.1	4.9	0.3	3.9
冬季	白天	风频	7.8	28.7	7.5	6.6	15.0	7.2	3.1	3.9	4.9	3.0	2.1	2.8	2.8	1	0.5	2.1	1.1	
		平均风速	4.5	6.3	3.7	3.4	3.8	3.6	2.6	2.7	2.8	2.1	1.9	1.9	2.1	1.5	1.8	2.2	0.3	4.1
	黑夜	风频	7.1	39.0	13.6	14.0	12.1	3.3	1.6	0.9	1.0	0.5	0.6	0.5	0.6	0.4	0.8	1.2	2.7	
		平均风速	3.1	5.6	2.5	2.7	2.8	1.7	1.4	1.7	1.6	1.6	1.3	1.2	1.4	1.2	1.3	1.9	0.2	3.6
	全天	风频	7.4	34.3	10.8	10.7	13.4	5.1	2.3	2.3	2.8	1.6	1.3	1.6	1.6	0.6	0.6	1.6	2	
		平均风速	3.8	5.9	2.9	2.9	3.3	2.9	2.1	2.5	2.6	2.0	1.8	1.8	2	1.4	1.5	2.1	0.2	3.9
全年	白天	风频	4.1	13.9	6.0	6.9	12.0	6.9	7.6	6.5	11.2	6.0	5.7	4	3.6	1.1	1	2.3	1.2	
		平均风速	4.4	6.2	3.7	3.3	3.8	3.9	3.8	3.2	3.8	3.3	3.4	2.9	2.7	2.2	3.6	4.3	0.3	3.9
	黑夜	风频	4.4	20.3	11.0	11.7	12.0	6.6	5.7	3.5	6.3	3.0	4.0	2.1	1.5	1	1.3	2.2	3.4	
		平均风速	2.9	5.3	2.7	2.6	2.8	2.9	3.4	2.9	4.2	3.1	3.0	2.7	2.5	2.7	2.4	3.3	0.2	3.3
	全天	风频	4.2	17.1	8.5	9.3	12.0	6.7	6.7	5.0	8.7	4.5	4.8	3.0	2.5	1.1	1.1	2.3	2.3	
		平均风速	3.6	5.7	3.0	2.9	3.3	3.4	3.6	3.1	3.9	3.3	3.3	2.9	2.6	2.4	2.9	3.8	0.2	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	3.9	6.9	4.2	10.2	14.3	9.3	15.0	13.3	11.0	3.6	3.4	1.8	1	0.4	0.5	0.5	0.7	
		平均风速	5.5	5.8	3.3	3.9	4.1	4.0	3.9	3.8	3.8	3.4	3.5	2.2	2.1	1.8	1.6	3.1	0.3	3.9
	黑夜	风频	5.2	8.6	7.0	16.1	17.8	11.1	8.9	9.6	4.3	2.7	1.9	0.6	0.5	0.5	0.8	1	3.5	
		平均风速	4.7	4.0	2.5	2.9	3.6	3.2	3.9	4.2	3.6	2.9	3.0	1.6	0.7	0.7	1.1	1.7	0.2	3.3
	全天	风频	4.5	7.7	5.6	13.0	16.0	10.2	12.1	11.5	7.8	3.2	2.7	1.2	0.7	0.4	0.6	0.7	2	
		平均风速	5.1	4.8	2.8	3.3	3.8	3.6	3.9	3.9	3.8	3.2	3.4	2.1	1.6	1.3	1.3	2.2	0.2	3.6
夏季	白天	风频	2.4	2.2	3.3	4.3	5.2	5.6	8.0	10.9	15.2	13.4	12.2	6.8	4.6	2.4	1.4	0.8	1.3	
		平均风速	6.0	2.6	3.4	3.6	4.0	4.7	4.3	4.1	4.2	3.8	3.7	3.3	2.6	1.8	1.8	2.3	0.3	3.8
	黑夜	风频	2.2	3.1	4.5	5.9	7.1	9.0	8.6	10.1	14.0	12.4	7.6	5.1	3.4	1.2	1.7	1.2	3	
		平均风速	3.5	2.2	2.9	3.1	3.7	3.4	3.7	3.6	4.1	3.9	3.3	2.8	2	1.5	1.9	1.7	0.3	3.3
	全天	风频	2.3	2.6	3.8	5.0	6.1	7.1	8.3	10.5	14.6	12.9	10.1	6.0	4.1	1.9	1.5	1	2.1	
		平均风速	4.9	2.4	3.1	3.3	3.8	4.0	4.0	3.9	4.2	3.9	3.6	3.1	2.4	1.7	1.9	2	0.3	3.6
秋季	白天	风频	10.6	13.7	9.2	13.0	12.3	6.0	6.2	4.5	5.2	2.9	3.8	3.9	2	1.5	1.5	3.2	0.6	
		平均风速	6.2	5.9	4.6	3.9	4.3	3.8	3.9	3.1	3.3	3.3	3.2	3.3	3	3.6	4.2	4.4	0.2	4.4
	黑夜	风频	9.3	21.8	17.0	16.6	11.8	5.2	2.6	1.7	1.5	1.8	2.2	1.6	1.4	0.7	0.9	2.3	1.5	
		平均风速	6.2	5.3	3.6	3.3	3.6	3.7	4.0	3.6	3.9	3.1	3.2	2.4	2.4	2.7	3.2	2.5	0.3	4.1
	全天	风频	10.0	17.9	13.3	14.9	12.1	5.6	4.3	3.0	3.2	2.3	3.0	2.7	1.7	1.1	1.2	2.7	1.1	
		平均风速	6.2	5.5	3.9	3.5	4.0	3.7	3.9	3.2	3.4	3.2	3.2	3.0	2.7	3.3	3.8	3.6	0.3	4.2
冬季	白天	风频	14.9	17.4	7.1	11.6	14.6	4.6	4.9	3.8	4.7	2.6	2.9	3.9	1.7	0.8	1.2	2.7	0.8	
		平均风速	5.7	6.0	4.1	4.0	4.2	3.7	2.9	2.8	2.6	2.6	2.4	2.3	2.6	2.2	2.3	3	0.3	4.2
	黑夜	风频	15.9	28.3	13.2	16.4	10.7	2.9	1.4	1.4	1.2	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	1.7	2.4	
		平均风速	5.6	5.4	3.0	3.3	3.1	1.8	2.0	1.8	1.8	1.7	2.0	1.6	1.3	1.2	1.6	2.4	0.2	3.9
	全天	风频	15.4	23.3	10.4	14.2	12.5	3.6	3.0	2.5	2.8	1.6	1.7	2.2	1.2	0.8	1	2.2	1.7	
		平均风速	5.6	5.6	3.3	3.6	3.7	2.9	2.7	2.5	2.4	2.4	2.3	2.1	2.2	1.6	2	2.8	0.2	4.1
全年	白天	风频	7.6	9.6	5.8	9.5	11.4	6.4	8.7	8.4	9.3	5.9	5.8	4.1	2.4	1.3	1.1	1.7	0.9	
		平均风速	5.8	5.7	4.0	3.9	4.2	4.1	3.9	3.7	3.8	3.6	3.5	2.9	2.6	2.4	2.7	3.6	0.3	4.1
	黑夜	风频	8.4	16.0	10.7	13.9	11.8	6.9	5.2	5.5	5.0	4.2	3.0	1.9	1.5	0.8	1.1	1.6	2.6	
		平均风速	5.5	5.0	3.2	3.2	3.5	3.2	3.7	3.8	3.8	3.5	3.1	2.5	1.9	1.6	2	2.2	0.3	3.7
	全天	风频	8.0	12.8	8.2	11.7	11.6	6.7	7.0	6.9	7.2	5.1	4.4	3.0	1.9	1	1.1	1.6	1.7	
		平均风速	5.7	5.3	3.5	3.5	3.8	3.6	3.8	3.7	3.8	3.6	3.4	2.8	2.3	2.1	2.3	2.9	0.3	3.9

表 2.4-10　厂址气象塔各高度层气温月、年特征值（℃）

	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	16.0	23.2	4.8	16.1	23.2	4.9	16.2	23.6	5.4	16.1	24.0	5.6
2	16.3	23.9	5.5	16.4	24.2	5.6	16.4	24.9	6.0	16.4	25.2	6.0
3	20.9	26.1	13.5	21.0	26.2	13.6	21.3	26.7	12.5	21.4	27.0	11.4
4	22.6	28.3	12.1	22.7	28.5	12.2	23.0	28.8	12.6	23.1	29.2	12.8
5	25.7	30.0	14.8	25.8	29.9	14.9	26.2	30.5	15.4	26.3	31.0	15.5
6	27.5	31.7	23.7	27.6	31.9	23.7	27.9	32.5	23.8	28.1	32.9	23.8
7	28.2	32.0	24.3	28.3	32.2	24.4	28.6	32.7	24.5	28.7	33.1	24.3
8	27.3	31.9	22.8	27.4	32.1	23.0	27.5	32.6	22.8	27.6	32.9	23.0
9	27.7	33.4	23.2	27.8	33.6	23.2	27.8	34.1	23.4	27.8	34.4	22.9
10	24.0	31.4	15.9	24.2	31.6	16.0	24.4	32.3	16.5	24.5	32.5	16.7
11	21.6	27.3	12.9	21.7	27.6	13.0	21.7	28.1	13.5	21.7	28.5	13.7
12	16.7	23.9	5.8	16.7	24.0	5.9	16.9	24.6	6.3	16.8	24.9	6.5
年	22.9	33.4	4.8	23.0	33.6	4.9	23.2	34.1	5.4	23.2	34.4	5.6

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	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	<1.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0~2.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.0~4.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B	静　风	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	<1.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0~2.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.0~4.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	静　风	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	<1.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0~2.9	2.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.0~4.9	3.4	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D	静　风	-	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
	<1.9	1.4	0.03	0.03	0.14	0.13	0.10	0.11	0.03	0.06	0.06	0.04	0.01	0.04	0.06	0.02	0.01	0.05
	2.0~2.9	2.5	0.02	0.03	0.13	0.18	0.06	0.09	0.08	0.09	0.06	0.04	0.06	0.09	0.02	0.00	0.00	0.03
	3.0~4.9	3.7	0.11	0.13	0.23	0.12	0.08	0.10	0.12	0.08	0.05	0.05	0.10	0.07	0.01	0.00	0.01	0.01
	5.0~5.9	5.5	0.05	0.17	0.06	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
	>6.0	8.0	0.02	0.55	0.12	0.02	0.01	0.03	0.03	0.04	0.07	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
E	静　风	-	0.05	0.02	0.03	0.05	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	<1.9	1.2	0.16	0.25	0.29	0.24	0.17	0.11	0.09	0.13	0.06	0.06	0.06	0.08	0.03	0.02	0.02	0.09
	2.0~2.9	2.4	0.03	0.03	0.13	0.11	0.05	0.06	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02
	3.0~4.9	3.8	0.09	0.07	0.14	0.19	0.07	0.05	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.04
	5.0~5.9	5.4	0.01	0.04	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.0	8.7	0.07	0.07	0.03	0.01	0.00	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	静　风	-	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	<1.9	1.0	0.01	0.06	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0~2.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.0~4.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

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	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	<1.9	1.4	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
	2.0~2.9	2.4	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
	3.0~4.9	3.4	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	5.3	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B	静　风	-	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	<1.9	1.3	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	2.0~2.9	2.5	0.02	0.00	0.00	0.04	0.02	0.03	0.01	0.08	0.06	0.04	0.04	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00
	3.0~4.9	3.8	0.07	0.10	0.04	0.05	0.07	0.12	0.24	0.13	0.06	0.07	0.05	0.09	0.00	0.01	0.00	0.01
	5.0~5.9	5.4	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.0	7.0	0.02	0.06	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	静　风	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	<1.9	1.5	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01
	2.0~2.9	2.6	0.01	0.01	0.02	0.03	0.09	0.02	0.05	0.07	0.12	0.09	0.05	0.11	0.08	0.01	0.00	0.02
	3.0~4.9	3.8	0.06	0.14	0.06	0.14	0.17	0.25	0.28	0.28	0.49	0.13	0.09	0.06	0.03	0.00	0.00	0.03
	5.0~5.9	5.4	0.03	0.10	0.03	0.02	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.0	7.1	0.01	0.17	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D	静　风	-	0.03	0.05	0.05	0.02	0.05	0.04	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01
	<1.9	1.4	0.40	0.53	1.48	1.96	1.19	0.95	0.86	0.67	0.68	0.65	0.62	0.64	0.47	0.31	0.33	0.28
	2.0~2.9	2.5	0.33	0.77	1.75	1.52	0.97	1.40	1.73	1.58	2.10	1.11	1.16	0.81	0.37	0.03	0.09	0.23
	3.0~4.9	3.7	0.67	3.49	2.78	1.08	0.52	1.94	1.93	2.03	3.45	0.82	1.49	0.72	0.09	0.02	0.02	0.12
	5.0~5.9	5.4	0.13	2.18	0.57	0.03	0.03	0.10	0.05	0.09	0.08	0.00	0.05	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.0	7.4	0.14	3.14	0.36	0.03	0.01	0.02	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E	静　风	-	0.38	0.20	0.29	0.18	0.26	0.22	0.25	0.24	0.15	0.09	0.06	0.10	0.13	0.07	0.11	0.13
	<1.9	1.0	1.14	2.25	2.18	1.21	0.99	0.79	0.69	0.45	0.34	0.24	0.22	0.28	0.15	0.10	0.22	0.44
	2.0~2.9	2.4	0.18	0.34	0.48	0.15	0.10	0.14	0.07	0.03	0.04	0.05	0.05	0.09	0.02	0.02	0.03	0.07
	3.0~4.9	3.7	0.06	0.36	0.19	0.03	0.06	0.03	0.06	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02
	5.0~5.9	5.6	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.0	6.6	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	静　风	-	0.52	0.25	0.45	0.39	0.48	0.38	0.31	0.30	0.17	0.15	0.07	0.07	0.07	0.05	0.06	0.05
	<1.9	0.9	0.57	2.23	2.24	0.84	0.50	0.38	0.32	0.25	0.15	0.06	0.05	0.04	0.02	0.01	0.02	0.07
	2.0~2.9	2.2	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.0~4.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

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	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	<1.9	1.4	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
	2.0~2.9	2.4	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
	3.0~4.9	3.4	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	5.3	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B	静　风	-	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	<1.9	1.3	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	2.0~2.9	2.5	0.02	0.00	0.00	0.04	0.02	0.03	0.01	0.08	0.06	0.04	0.04	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00
	3.0~4.9	3.8	0.07	0.10	0.04	0.05	0.07	0.12	0.24	0.13	0.06	0.07	0.05	0.09	0.00	0.01	0.00	0.01
	5.0~5.9	5.4	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.0	7.0	0.02	0.06	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	静　风	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	<1.9	1.5	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01
	2.0~2.9	2.6	0.01	0.01	0.02	0.03	0.09	0.02	0.06	0.07	0.12	0.09	0.06	0.11	0.08	0.01	0.00	0.02
	3.0~4.9	3.8	0.06	0.14	0.06	0.14	0.17	0.26	0.29	0.28	0.49	0.13	0.09	0.06	0.03	0.00	0.00	0.03
	5.0~5.9	5.4	0.03	0.10	0.03	0.02	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.0	7.1	0.01	0.17	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D	静　风	-	0.03	0.05	0.05	0.02	0.05	0.04	0.04	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01
	<1.9	1.4	0.42	0.57	1.62	2.08	1.28	1.06	0.89	0.73	0.75	0.69	0.63	0.68	0.53	0.33	0.33	0.33
	2.0~2.9	2.5	0.35	0.80	1.89	1.70	1.03	1.49	1.81	1.67	2.16	1.15	1.22	0.90	0.39	0.03	0.09	0.26
	3.0~4.9	3.7	0.78	3.61	3.00	1.20	0.60	2.04	2.05	2.11	3.50	0.87	1.59	0.80	0.10	0.02	0.03	0.13
	5.0~5.9	5.4	0.18	2.35	0.64	0.05	0.05	0.11	0.07	0.10	0.09	0.01	0.06	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00
	>6.0	7.5	0.16	3.69	0.48	0.05	0.02	0.05	0.03	0.07	0.08	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
E	静　风	-	0.43	0.22	0.32	0.22	0.27	0.23	0.26	0.25	0.15	0.10	0.06	0.11	0.13	0.08	0.12	0.14
	<1.9	1.1	1.30	2.50	2.47	1.45	1.16	0.89	0.78	0.58	0.40	0.30	0.28	0.36	0.19	0.12	0.24	0.53
	2.0~2.9	2.4	0.21	0.38	0.61	0.27	0.15	0.19	0.11	0.06	0.06	0.07	0.08	0.10	0.02	0.02	0.03	0.09
	3.0~4.9	3.7	0.15	0.42	0.33	0.22	0.13	0.07	0.10	0.03	0.04	0.03	0.02	0.05	0.01	0.00	0.02	0.06
	5.0~5.9	5.5	0.01	0.06	0.04	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.0	8.5	0.07	0.09	0.03	0.01	0.00	0.04	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	静　风	-	0.52	0.25	0.46	0.40	0.48	0.38	0.32	0.31	0.17	0.15	0.07	0.07	0.07	0.05	0.06	0.05
	<1.9	0.9	0.58	2.29	2.27	0.85	0.52	0.39	0.32	0.26	0.15	0.06	0.05	0.04	0.02	0.01	0.02	0.07
	2.0~2.9	2.2	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3.0~4.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.0~5.9	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	>6.0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

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

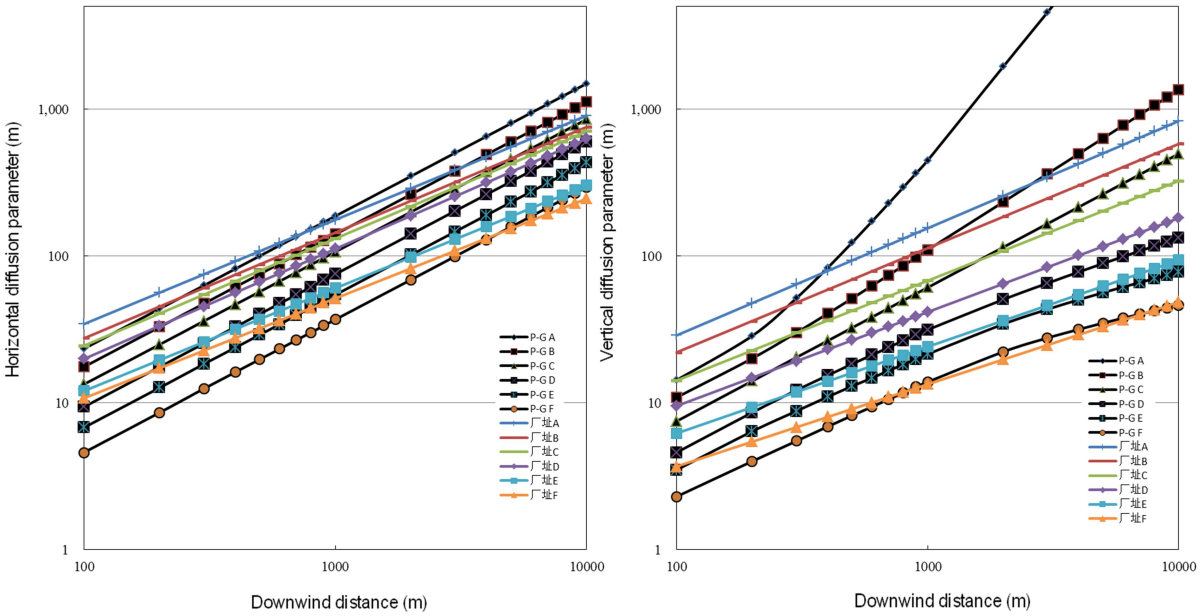
$$\sigma_y = ax^b, \quad \sigma_z = cx^d$$

(低层)

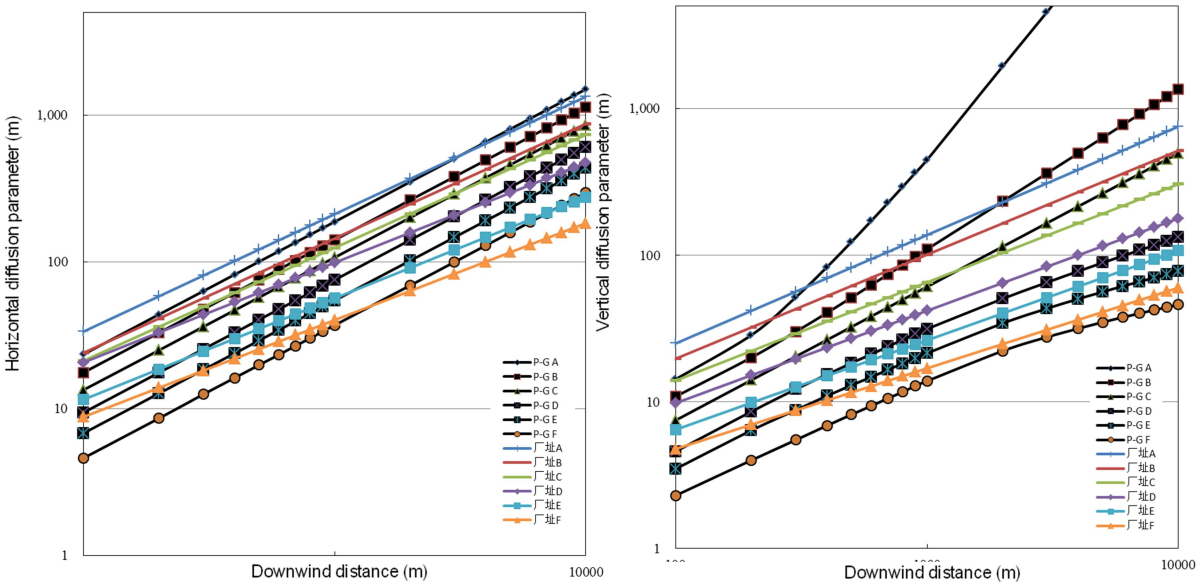
稳定度分类		A	B	C	D	E	F
系数	a	1.31	1.00	0.85	0.63	0.48	0.47
	b	0.71	0.72	0.73	0.75	0.70	0.68
	c	1.00	0.84	0.62	0.50	0.41	0.28
	d	0.73	0.71	0.68	0.64	0.59	0.56

(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

（1）地表水

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荫河等独流入海水系。

— 响水河属沿海独立水系，发源于阳东区东平镇境内的烂泩顶，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^o 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 4~8km 区域，距厂址最近距离为 E 方位约 3.8km，以农业用水为主。

— 海荫河为独流入海河流，位于厂址 N 方位约 0.6km。海荫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。海荫河干流上游建设有小（1）型水库-金山水库。海荫河由东北支（大水河）、南支在北城庙汇合而成。厂址以西约 60m 的小支流为海荫河南支二级支流，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 2m~3m，河道底高程在 6.66m~8.90m，渠道深约 1.3m~2.0m，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 2 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 万 m^3/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 26000m^3/d。

金山水库位于海荫河东北支的上游，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 5.44km^2，总库容 321 万 m^3，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，水厂取水口位于金山水库主坝右岸，主供水主供管采用 DN400 水泥管，供水管线长约 12km，水厂设计供水规模为 1.5 万 m^3/d，主要供东平镇区居民日常生活用水，全镇现状水平年相应的取水规模为 7100m^3/d，年取水量为 259.15m^3/a。

本工程日用水量为 132.1m^3/d，最大时用水量 31.54m^3/h。本项目年用水量较少，从阳江核电厂平堤水库取水，已完成取水管道铺设。平堤水库位于项目地东向，直线距离约 3km，为中型水库，水库正常蓄水位时库容为 2200 万立方米，在 P＝97%的年供水保证率下，水库可供水量为 1264.2 万立方米，目前主要用于阳江核电六台机组的生产和生活，根据阳江核电相关设计资料，阳江核电 6 台机最大年用水量为 537 万立方米，水库可供水量大，本项目用水量较少，取水不会对阳江核电造成影响。

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。

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	/

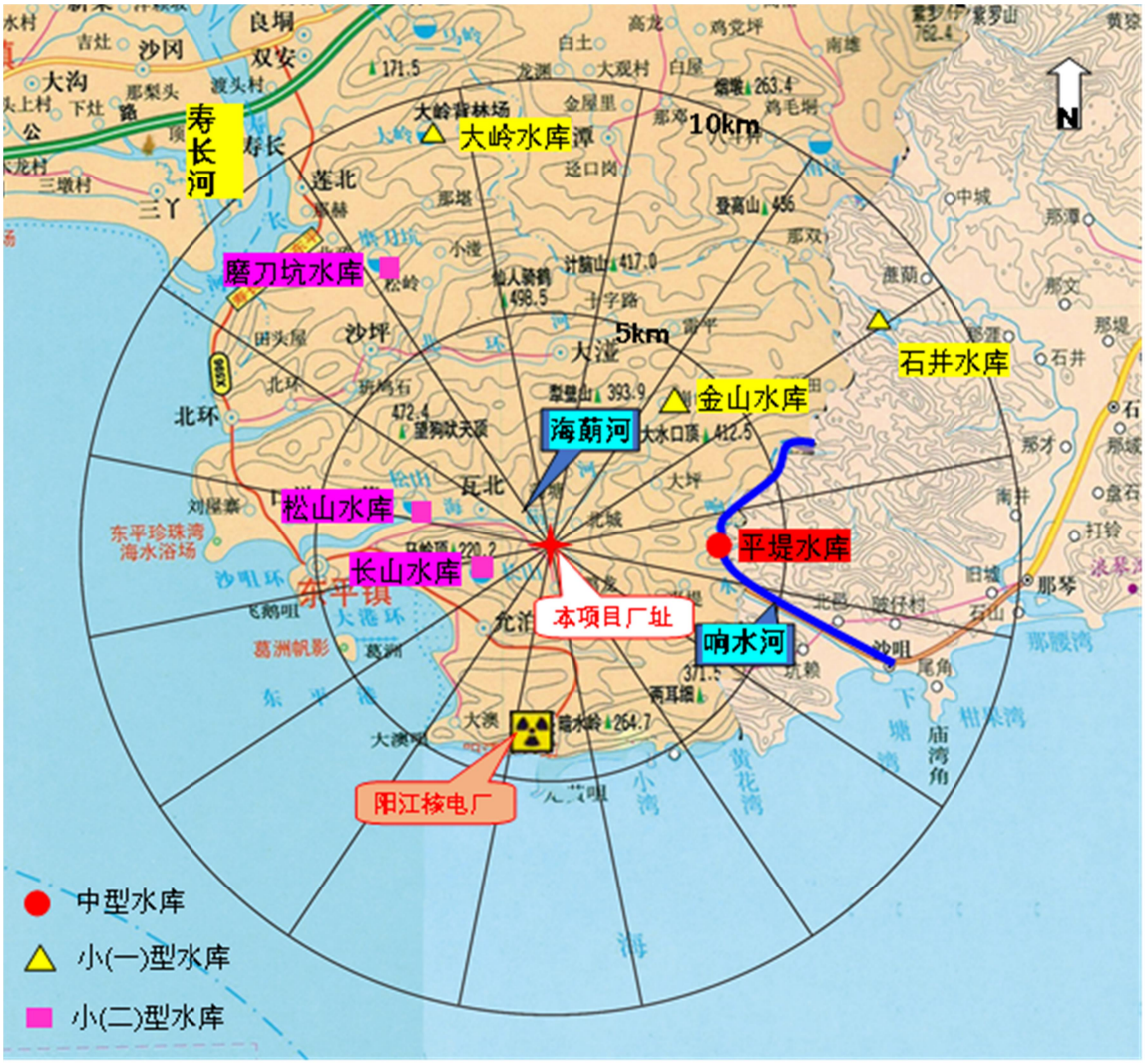


图 2.5-1 厂址半径 10km 范围内地表水体及水利工程分布图

（2）地下水

a）岩性特征及水文地质单元

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。根据勘察结果，综合岩土层的种类及其工程地质特征、成因类型、地层时代等，将勘探孔控制范围内岩土层自上而下划分为人工填土层、第四系冲洪积层、白垩系基岩共三大类。各地层信息见表 2.5-2，各地层如下：

1）人工填土层（Q_4^{ml}，层号 1）

（1）素填土（1）：黄褐色、暗红色，湿，松散，局部稍经压实，主要由黏性土及砂土组成，部分区域有 0.20～0.40m 耕植土，为近代人工填土，堆填时间为 2016 年，

采用机械及人工方式进行堆填，未完成自重固结。

2）残积层（Q^{el}，层号 2）

该层揭露到砂质黏性土 1 个亚层:

（1）砂质黏性土（2-1）：黄褐色、暗红色，可~硬塑状，以硬塑为主，稍湿，为花岗岩风化残积土，遇水易软化崩解。

3）黑云母二长花岗岩 ($S_2^a\eta\gamma$，层号 3)

中志留世基岩($S_2^a\eta\gamma$)，岩性为花岗岩，按风化程度由上至下可划分为三个岩带：全风化岩带、强风化岩带、微风化岩带、微风化岩带，按各岩带特点及分布分述如下：

（1）全风化花岗岩（层号 3-1）：黄褐色、灰褐色、暗红色，原岩结构模糊，岩石风化强烈，除石英外其它矿物已完全风化成土状，遇水易软化，失水崩解，属极软岩，岩体基本质量等级为V级。

（2）强风化花岗岩（层号 3-2）：黄褐色、灰褐色、灰黄色，中粒斑状花岗结构，块状构造，岩质极软，岩芯多呈半岩半砂土状或岩块状，岩石中矿物除石英外其它矿物已基本风化成土状，岩石遇水易软化、失水崩解，属极软岩，岩体基本质量等级为V级。

（3）中风化花岗岩（层号 3-3）：灰黄色、青灰色、灰白色等；片麻状细粒花岗结构，块状构造；节理、裂隙发育；岩石中暗色矿物定向排列明显，岩芯多呈短柱状及碎块状。岩石坚硬程度为软岩，岩体完整程度为较破碎，岩体基本质量等级为V级。

（4）微风化花岗岩（层号 3-4）：灰黄色、青灰色、灰白色等片麻状细粒花岗结构，块状构造，节理裂隙稍发育，岩芯呈短柱-长柱状，节长 5～90cm，岩石较完整，属坚硬岩，岩体基本质量等级为II级。

表 2.5-2　厂址区地层统计表

岩土分层	岩土分层代号	岩土名称	时代与成因	统计项目	厚度（m)	层顶面标高（m)	层底面标高（m)	层顶面埋深（m)	层底面埋深（m)	揭露钻孔数（孔）
1	1	素填土	Q_4^{ml}	最大值	4.30	19.93	19.43	0.00	4.30	45
				最小值	0.50	18.70	15.20	0.00	0.50	
				平均值	1.70	19.10	17.40	0.00	1.70	
2	2-1	砂质黏性	Q^{el}	最大值	15.70	36.50	20.80	4.30	15.70	57

		土		最小值	0.50	15.20	4.50	0.00	0.50	
				平均值	3.78	19.06	15.28	0.48	4.26	
3	3-1	全风化花岗岩	$S_2^a\eta\gamma$	最大值	24.40	20.80	18.38	15.70	27.80	68
				最小值	0.70	4.50	-8.40	0.00	0.90	
				平均值	4.44	15.48	11.04	4.00	8.44	
	3-2	强风化花岗岩		最大值	26.20	19.71	18.79	30.60	42.50	103
				最小值	0.10	-11.29	-23.10	0.00	0.50	
				平均值	3.65	8.51	4.86	10.70	14.35	
	3-3	中风化花岗岩		最大值	3.10	12.65	11.75	27.00	29.90	6
				最小值	0.70	-7.83	-10.73	6.60	7.50	
				平均值	1.90	1.61	-0.29	17.42	19.32	
	3-4	微风化花岗岩		最大值	8.80	19.43	18.13	42.50	46.20	103
				最小值	0.40	-23.10	-26.80	0.50	1.70	
				平均值	3.54	5.07	1.52	14.14	17.68	

厂址附近地形以丘陵山地为主，主干山脊突起明显、连续，分水岭截然。东西向以垢澳-虎头山一线和近南北向以两耳细一线两条主干分水岭为界，可将调查区划分为三个水文单元，即东西向分水岭以南为东北村水文单元（I）、南北向分水岭以西为东平水文单元（II）和以东为平堤水文单元（III），各水文单元特征见表 2.5-3。

表 2.5-3 水文地质单元、亚单元划分及其特征

单元名称	代号	面积(km^2)	地下水			与邻区单元关系
			补给	迳流	排泄	
东北村水文单元	I	10.47	大气降水	向南	排泄入海	独立水文地质亚单元，调查区内完整
东平水文单元	II	32.45	大气降水	向西	排泄入海	独立水文地质亚单元，调查区内为非完整，东部延至区外
平堤水文单元	III	15.83	大气降水	向东南	排泄入海	独立水文地质亚单元，调查区内为非完整，东部延至区外

三个水文地质单元之间分属各自独立、自成补迳排体系的水文地质系统，地下水难以逾越自然形成的分水岭，各单元之间没有任何水力联系，即某个水文地质单元的地下水对邻区水文地质单元不构成任何干扰。

b）厂址附近范围水文地质条件

根据地下水的含水介质特征和赋存特征，将厂址附近范围地下水划分为松散岩类孔隙水和基岩裂隙水两种。

厂址附近范围属南亚热带季风气候区，海洋性气候明显，雨量充沛，但降水分布不均，降雨多集中于夏季，年降雨量略大于年蒸发量。地下水的补给方式主要为大气降水垂直渗入补给，年均降雨量为2290.6mm，为渗入补给地下水提供了充足来源。丘陵区块状岩类裂隙水主要接受大气降水渗入补给；平原区松散岩类孔隙水除接受大气降水垂直渗入补给和沟补给外，同时接受丘陵区基岩裂隙水侧向迳流补给，沿海岸带砂地，尚有凝结水的补给。

厂址附近范围多为丘陵地带，地下水埋藏较深，水力坡度受地形影响较大，因此地下水基本沿地表分水岭向两侧运移，流速较快，至山脚平缓地带，地下水水力坡度显著减小，部分地下水出露成泉，其余部分进入平原沟谷地带，流速变缓，流向主要与地形倾斜一致，最后汇入沟溪、河流中；在平原地带，由于地下水流速较缓，水位埋深较小，该区蒸发较为强烈，因此部分地下水（潜水）通过蒸发进行排泄。

厂址附近范围内年降水量较大，但同时蒸发较强，这是该区地下水普遍较为贫乏的主要因素。夏季，雨量充沛，连续降雨时间短，地表水、地下水的补给主要来自大气降水，显然其溪沟的形成也与降水及水流作用密切相关，形成一个降水—水流—溪沟—地表水、地下水—排泄入海—再蒸发的循环过程。

c）厂址区水文地质条件

厂址区属东平水文单元（II），该亚单元地表水和地下水具有独立的补给、迳流、排泄条件，与东侧的平堤水文单元（III），南侧的东北村水文单元（I）水文地质亚单元之间均存在明显的分水岭，因此水文地质单元之间及亚单元之间无水力联系。区内地表和地下水分水岭基本一致，因此东平水文单元（II）是一个非完整但独立的水文地质体系。目前东平水文单元（II）内工业不发达，人类活动对地下水的影响较小；同时，潮汐的影响作用有限。

厂址区地下水按含水介质类型（含水层的空隙性质）不同可分为第四系土层中的孔隙水、基岩裂隙水。粉质黏土弱透水，为相对隔水层，补给来源为侧向或垂向入渗补给；素填土为中等透水层；基岩裂隙水主要受岩层破碎程度影响，由于第四系土层为透水层，基岩裂隙与第四系及表土层水力联系较强，基岩裂隙水主要受层间侧向渗流及垂向入渗补给，因此基岩裂隙水含水量可能较丰富。

地下水的补给来源主要为地表径流，排泄方式主要为地表径流和蒸发。岩土勘察期间测得各孔地下水初见水位埋深 2.60～17.50m（高程 9.40～19.00m），稳定水位埋深 2.80～17.80m（高程 9.12～18.70m），地下水动态变化与大气降雨有密切关系，变化的季节性周期、高峰与雨季的周期、高峰是一致的，丰水季节水位上升，枯水季节水位下降，但因地下水埋藏条件不同，水位变化反映的快、慢也不同。每年 6～9 月为高水位期，10 月份以后水位缓慢下降，1 月份水位最低。水位变幅约 2.00～3.00m，基岩风化裂隙水主要赋存在花岗岩层全风化、强风化、微风化风化裂隙中，含水层无明确界限，埋深和厚度很不稳定，属承压水，透水性弱～中等，地下水赋存条件一般。

根据现场抽水试验及收集到的水文地质资料和地区经验，以及参照相关规范内容，厂区人工填土渗透系数为 2.00m/d，属中等透水；粉质黏土渗透系数为 0.03m/d，属弱透水；全风化花岗岩渗透系数为 0.03m/d，属弱透水；强风化花岗岩渗透系数为 0.02~1.00m/d，属弱透水～中等透水；微风化花岗岩渗透系数为 0.05m/d，属弱透水。

厂址半径 5km 范围内主要以地表水体开发利用为主，东平镇各村均已实现全镇 100%的集中供水通水。厂址半径 5km 范围内的居民用水以地表水为主，仅少量村庄涉及地下水利用。厂址半径 5km 范围内涉及东平镇的允泊村、瓦北村和各渔委会，多数渔委会不使用水井，仅大澳渔村有村级公用井，主要用于洗衣，不饮用。允泊行政村所辖部分自然村有村级公用井，直径约 0.8~1.2m，用于洗衣，不饮用。瓦北行政村所辖部分自然村有村级公用井和居民自家使用小井，主要用于洗衣。

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；东南面有漭洲和下川岛；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 为海萌河南支的二级支流，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，根据《民用核设施分类原则与基本安全要求》，本项目属三类设施，防洪设计按不低于 500 年一遇洪水考虑。当海萌河流域发生 500 年一遇洪水导致金山水库溃坝时，坝址处的最大流量为 525.5m^3/s，溃坝流量与下游 500 年一遇洪水叠加后，最为不利。根据计算结果，厂址附近的海萌河干流内洪水位 12.53m~13.91m，即 500 年一遇洪水位 13.91m。厂坪设计标高为 19.1m，高于 500 年一遇洪水位。厂址通过设置排洪沟等工程措施可以避免厂址受到小流域洪水的威胁。根据防洪评价及安全报告内容，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到山下排水沟。

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。根据本工程厂址安全评价结果，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，厂址附近范围内不存在晚更新世活动断层，不存在潜在地表断裂可能性，厂址区内不存在第四系饱和粉细砂、粉土，故本场地可不考虑地震砂土液化，工程场地无软弱土层，本项工程不存在软土震陷问题，厂址区不存在溶洞等岩溶现象，也未发现滑坡、塌陷、泥石流等不良地质作用；厂址区未发现滑坡、崩塌等地质灾害。根据安全分析计算，本项目工程场地设计地震动参数结果，结合《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）和《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010，2016 年版）等相关规定，本项目工程场地的抗震设防烈度为VII度，设计基本地震加速度值为 0.10g，设计地震分组为第一组。

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 地形地貌

厂址附近范围（陆地部分）内，丘陵起伏，植被茂密，除个别的山头海拔高度超过 350m 以外，其余皆在海拔 200m 以下。总体上看该区属低山丘陵区，发育有网状水系、山间侵蚀洼地、海蚀崖、月牙海湾、沙堤、泻湖等。厂址区用地范围内已经平整并建设有厂房及建筑设施。

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。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。

第三章　环境质量现状

3.1　辐射环境质量现状

3.1.1　辐射环境现状调查

2021 年 10 月至 2022 年 10 月，生态环境部核与辐射安全中心受委托开展了“中广核先进燃料研制中心项目运行前辐射环境现状调查”工作，本报告依据本次调查结果对中广核先进燃料研制中心项目周围辐射环境现状进行描述和评价。

3.1.1.1　现状调查方案

（1）调查范围

依据《辐射环境监测技术规范》（HJT61-2021），陆地γ辐射/贯穿辐射的调查范围取以厂址为中心半径 30km，气溶胶、沉降物、土壤、水体（地表水、海水、饮用水）、沉积物（地表水沉积物、海水沉积物）、生物等环境介质的调查范围取以厂址为中心半径 10km。

（2）布点原则

调查的测量点/采样点设置总的原则是：近密远疏。重点关注主导风向下风向区域、人口集中的居民区、风景名胜区、自然保护区等环境敏感区，充分考虑样品和测量点的代表性。具体原则如下：

1) 遵循相关标准、规范的规定，满足调查技术任务书的要求；

2) 综合考虑目前厂址周围地区的水文、气象、资源、人口分布及该地区生态环境的特点；

3) 对人口集中的居民区域、农牧业和养殖集中区、环境敏感区和主导风下风向适当针对性布点；

4) 尽可能选择未来被扰动和破坏可能性小的位置作为监测点位，以便项目运行期间可以作为监测点长期使用。

5）人口稀少且交通非常不便的山区及岛屿适当减少测量点或选择附近子区内可达的位置；

6）现场调查时对整个子区全部落在水面上（江、湖、海）或不可达的监测点进行核实后，不进行监测；

7）参照阳江核电厂运行前本底监测大纲，部分采样点选取与周边核设施辐射环境采样点一致。

（3）调查内容

本项目调查内容详见表 3.1-1，具体包括：

1）环境γ辐射水平

- 陆地瞬时γ辐射剂量率监测

在 30km 范围内按场界外，以场址为中心，16 个方位与半径为 2km、5km、10km、20km、30km 的圆所形成的各扇形区域内陆地上布点，共设置 62 个监测点位，其中厂区边界布设 4 个点、在厂区范围内布设 2 个点，布设图见图 3.1-1 和图 3.1-2，监测点位信息见表 3.1-2。

监测周期为 1 年，频次为每季度 1 次，共监测 4 次。监测点位土地类型均为原野。

- γ累积剂量监测

γ累积剂量计共布放 14 个点位，布设点均与陆地瞬时γ辐射剂量率监测同点，γ累积剂量监测从 2021 年 10 月 11 日开始，至 2022 年 9 月 6 日结束，分四个季度开展，监测时长为 329~330 天。

- 连续γ辐射剂量率监测

连续γ辐射剂量率监测利用本项目辐射监测系统的监测数据，辐射监测系统的连续γ辐射剂量率监测点位设置在厂区保卫室，使用 GE 公司生产的 RSDETECTION 型高气压电离室，连续γ辐射剂量率的数据监测时间为 2021 年 10 月 10 日至 2022 年 2 月 23 日共 4 个月。

- 宇宙射线响应

现场检测期间分别于 2021 年 10 月 15 日和 2022 年 9 月 7 日通过在广东辐射监测中心粤西分部监测 15 个放射源点位的γ辐射剂量率，利用公式计算获得本次调查所用的便携γ剂量率仪（6150AD）和便携γ剂量率仪（FH40G-L10）的宇宙射线响应值。

表 3.1-1 本项目运行前辐射环境本底调查方案

序号	监测介质		监测项目	点位数量	监测频次	采样点信息
1	环境γ辐射水平		瞬时γ辐射剂量率	62	4	详见表 3.1-2
			累积剂量	14	1	详见表 3.1-2
			连续监测（4 个月）	1	连续	厂区保卫室
2	气溶胶		总 α、总 β 和总 U	3	4	厂区门卫室、那心村 瓦北新村（新村仔）
3	沉降物					
4	土壤		γ核素和总 U	9	1	详见表 3.1-3
5	水体	地表水	γ核素和总 U	3	2	金山水库、东平海荫河、平堤水库
		饮用水	总 α、总 β 和总 U	2	2	葛塘村水井、光星村水井
		海水	γ核素和总 U	2	2	阳江核电厂排水口、珍珠湾
6	地表水沉积物		γ核素和总 U	3	1	金山水库、东平海荫河、平堤水库
7	海洋沉积物		γ核素和总 U	2	1	阳江核电厂排水口、珍珠湾
8	生物	植物	γ核素和总 U	2	1	最大风频下风向及设施边界附近
		水生		3	1	阳江核电厂附近海域

表 3.1-2 瞬时γ辐射剂量率/累积剂量监测点位信息

序号	名称	方位	范围（km）	点位距离（km）	备注
1	厂址北边界	N	-	0.2	
2	厂址南边界	SSW	-	0.08	土壤采样点
3	厂址西边界	W	-	0.1	土壤采样点
4	厂址东边界	NE	-	0.15	土壤采样点 累积剂量点
5	厂区内 1	NNE	-	0.1	累积剂量点
6	厂区内 2	ENE	-	0.05	
7	2km 内 NNE 监测点	NNE	0~2	0.8	
8	蒲塘	N	0~2	0.8	
9	北城村	NE	0~2	0.83	土壤采样点 累积剂量点
10	竹仔村	ESE	0~2	0.9	
11	2km 内 SE 监测点	SE	0~2	0.4	
12	2km 内 SSE 监测点	SSE	0~2	1.2	
13	光星村	S	0~2	0.7	土壤采样点 累积剂量点
14	2km 内 SSW 监测点	SSW	0~2	2	
15	瓦北新村（新村仔）	SW	0~2	1.8	土壤采样点
16	允新村	WSW	0~2	1.9	累积剂量点
17	那心村	W	0~2	0.6	
18	瓦北村	WNW	0~2	1.7	累积剂量点
19	地塘岗村	NW	0~2	1.9	

序号	名称	方位	范围（km）	点位距离（km）	备注
20	大涎村	N	2~5	4.3	
21	2~5km 内 N 监测点	NNE	2~5	4.8	
22	金山水库（1）	NE	2~5	3.3	
23	响水水库	ENE	2~5	4.1	
24	平堤水库	E	2~5	2.9	
25	平堤村	ESE	2~5	2.8	
26	2~5km 内 SE 监测点	SE	2~5	2.3	
27	横山仔附近	SSE	2~5	2.1	
28	阳江核电厂厂界	S	2~5	2.8	
29	大澳村	SSW	2~5	3.7	土壤采样点 累积剂量点
30	允泊村	SW	2~5	2.4	土壤采样点
31	葛塘村	WSW	2~5	2.3	
32	滨海大道	W	2~5	4.4	
33	白庚村	WNW	2~5	4.1	累积剂量点
34	2~5km 内 NW 监测点	NW	2~5	4.0	
35	金山水库（2）	NNW	2~5	4.2	
36	三家村	N	5~10	8.7	
37	更口岗	NNE	5~10	8.1	
38	5~10km 内 NE 监测点	NE	5~10	6.6	
39	马头铃水库	ENE	5~10	5.7	
40	水岸丽舍度假酒店	E	5~10	9.8	累积剂量点
41	尾角老人堂	ESE	5~10	8.5	累积剂量点
42	海滨公园	W	5~10	7	
43	口洋村	WNW	5~10	6.3	土壤采样点
44	北政二村	NW	5~10	8.2	累积剂量点
45	莲北小学	NNW	5~10	8.7	累积剂量点
46	北股村	N	10~20	16.8	
47	小么村道	NNE	10~20	18.2	
48	中城村	NE	10~20	11	累积剂量点
49	寨门小学	ENE	10~20	15.4	累积剂量点
50	盘石村	E	10~20	11.5	
51	浮沙村道	WNW	10~20	16.8	
52	新梨村	NW	10~20	15.3	累积剂量点
53	高峒村	NNW	10~20	18.6	
54	那关村	N	20~30	28.2	累积剂量点
55	园山村	NNE	20~30	25.3	
56	沙溪村	NE	20~30	25.5	
57	高朗村	ENE	20~30	27.9	累积剂量点
58	信水寨	W	20~30	28.4	
59	笏朝小学	WNW	20~30	24.8	累积剂量点
60	利屋村	NW	20~30	26.7	累积剂量点
61	白石湾	NNW	20~30	24	
62	0~1km 内 ENE 监测点	ENE	0~1	0.6	

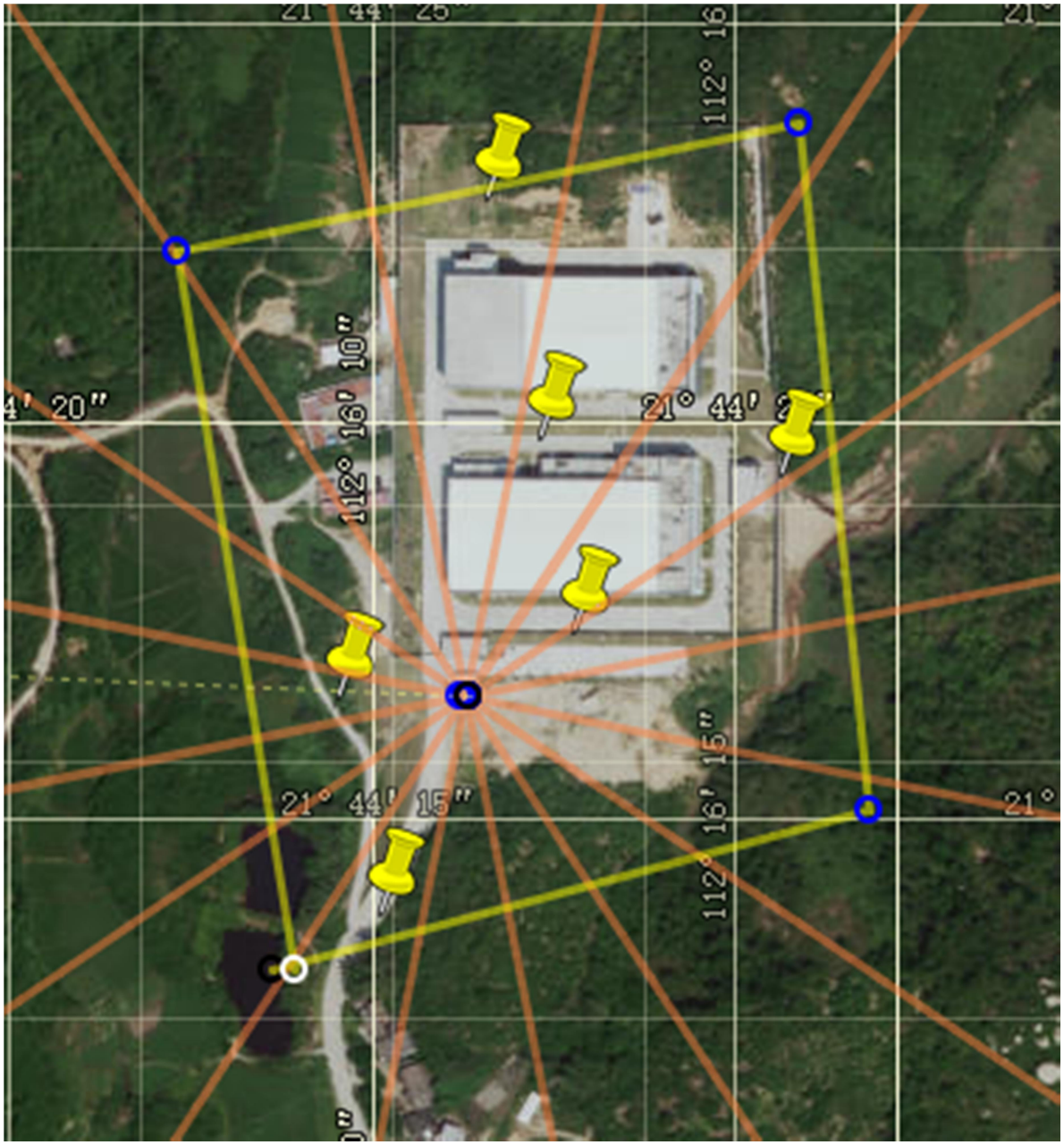


图 3.1-1 陆地 γ 辐射剂量率/累积剂量监测点位示意图（厂区内）

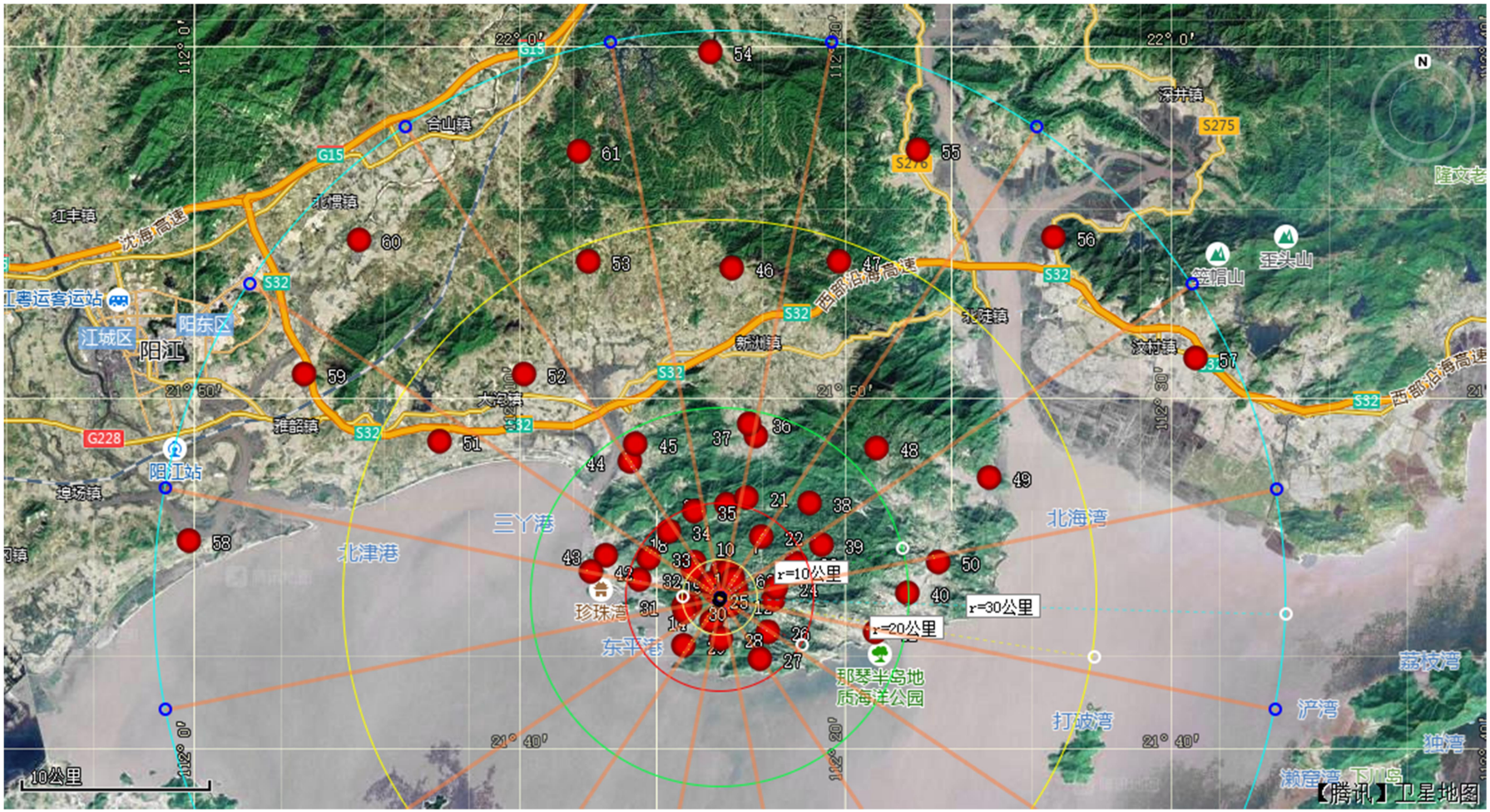


图 3.1-2 陆地 γ 辐射剂量率/累积剂量监测点位示意图（厂区外）

2）气溶胶和沉降物

气溶胶和沉降物共设置 3 个采样点，分别为厂界下风向（厂区门卫室位置）、可能的关键居民组（瓦北新村）和那心村，采样点位见示意图 3.1-3。

气溶胶和沉降物的监测周期为 1 年，频次为每季度 1 次，共采样检测 4 次；监测内容包括：总 α、总 β 和总 U。

气溶胶采样信息见表 3.1-3。气溶胶共 3 个采样点，分四个季度 4 次采集，每次采样量不低于 1 万 m^3，分析项目包括：总 α、总 β 和总 U。

沉降物采样信息见表 3.1-4。厂界下风向采样点沉降物分三次收集，第一次收集 94 天（2022.2.27-2022.6.1），第二次收集 93 天（2022.6.2-2022.9.3），第三次收集 284 天（2022.9.6-2023.6.17）；那心村分收集三次，第一次收集 138 天（2021.10.11-2022.2.26），第二次收集 94 天（2022.2.27-2022.6.1），第三次收集 93 天（2022.6.2-2022.9.3）；瓦北新村分四次收集，第一次收集 138 天（2021.10.11-2022.2.26），第二次收集 94 天（2022.2.27-2022.6.1），第三次收集 93 天（2022.6.2-2022.9.3），第四次收集 284 天（2022.9.6-2023.6.17）。沉降物分析项目包括：总 α、总 β 和总 U。

表 3.1-3 气溶胶采样点信息统计表

采样点名称	方位	距离(km)	经度 E	纬度 N	采样日期	采样量（m^3）
厂界下风向	SSW	0.2	112°15′55″	21°44′27″	2022.2.21~2.25	10506
					2022.5.29~6.4	10431
					2022.9.3~9.8	10893
					2023.6.19-6.22	10087
厂界下风向（平行样）	SSW	0.2	112°15′55″	21°44′27″	2022.2.25~2.27	10254
					2022.5.30~6.3	10431
					2022.9.3~9.8	10215
					2023.6.19-6.21	10133
那心村	W	0.6	112°15′31″	21°44′27″	2022.2.17~2.19	10350
					2022.5.26~5.30	10366
					2022.9.3~9.8	10721
					2023.6.19-6.22	10031
瓦北新村（新村仔）	SW	1.2	112°15′36″	21°44′15″	2022.2.19~2.25	10271
					2022.5.23~5.29	10480
					2022.9.3~9.8	11732
					2023.6.22-6.24	10499

表 3.1-4 沉降物采样点信息统计表

采样点名称	方位	距离(km)	经度 E	纬度 N	采样日期
厂界下风向	SSW	0.2	112°15′55″	21°44′27″	2022.2.27-2022.6.1
					2022.6.2-2022.9.3
					2022.9.6-2023.6.17
那心村	W	0.6	112°15′31″	21°44′27″	2021.10.11-2022.2.26
					2022.2.27-2022.6.1
					2022.6.2-2022.9.3
新村仔	SW	1.2	112°15′36″	21°44′15″	2021.10.11-2022.2.26
					2022.2.27-2022.6.1
					2022.6.2-2022.9.3
					2022.9.6-2023.6.17

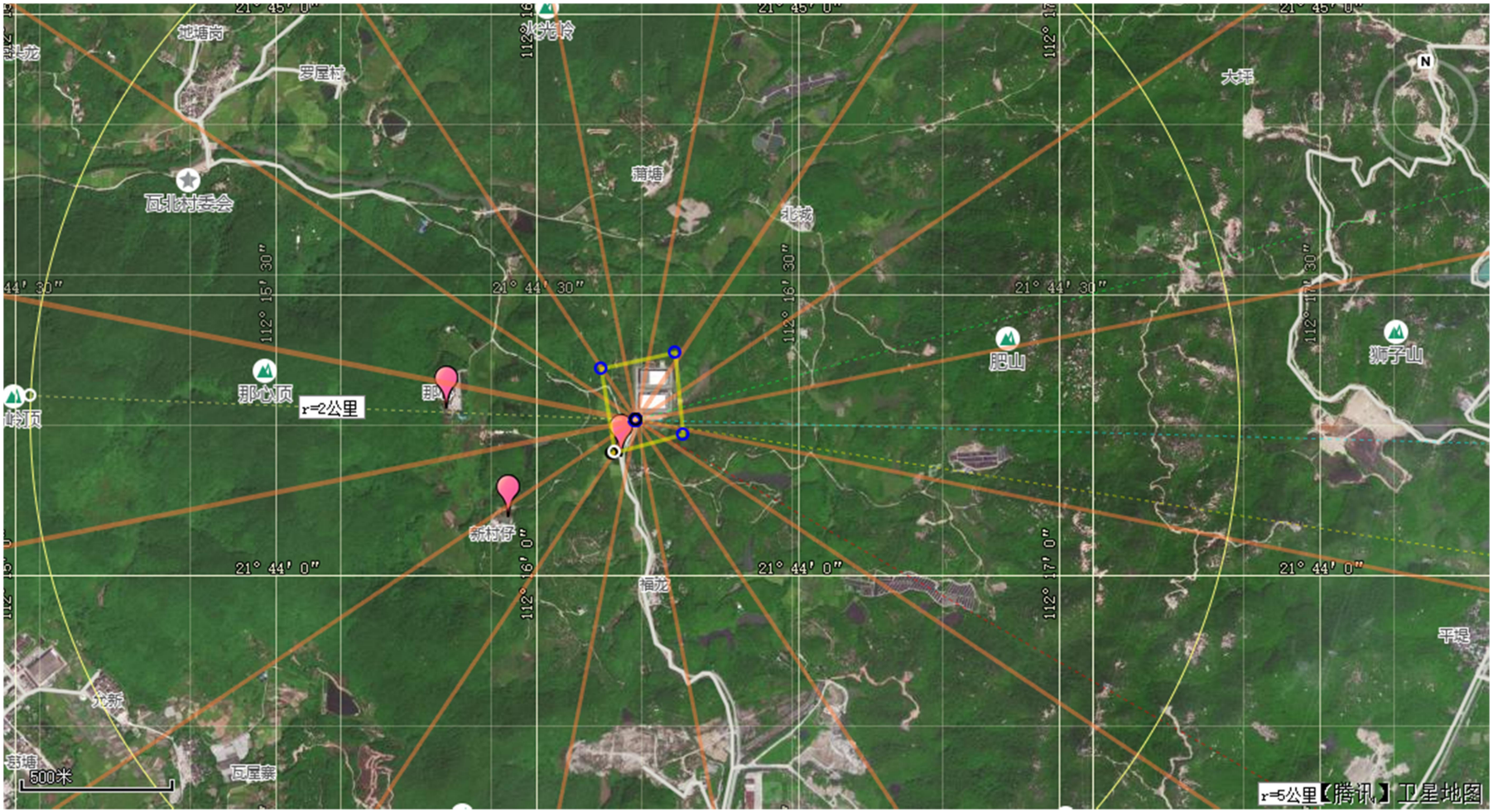


图 3.1-3 气溶胶和沉降物监测点位示意图

3）土壤

土壤共设 9 个采样点，其中厂区边界内布设 3 个采样点，分别为厂址西边界、厂址南边界、厂址东边界；厂区外布设 6 个采样点，分别位于北城村、瓦北新村、大澳村、口洋村、允泊村、光星村，均与瞬时 γ 剂量率监测点共点。采样点见图 3.1-4。

土壤样品的监测频次 1 次，监测项目包括：γ 核素和总 U。

土壤采样点位信息见表 3.1-5。

表3.1-5 土壤采样点信息

编号	采样点名称	方位	距离（km）	经度 E	纬度 N	采样日期	采样量（kg）	备注
1	厂址南边界	SW	0.2	112°15′54″	21°44′26″	2021.10.10	3	
2	厂址西边界	W	0.11	112°15′50″	21°44′28″	2021.10.10	3	
3	厂址东边界	NE	0.15	112°15′57″	21°44′28″	2021.10.10	3	
4	北城村	NE	0.83	112°15′53″	21°44′55″	2021.10.10	3	
5	新村仔	SW	0.5	112°15′36″	21°44′15″	2021.10.11	3	
6	大澳村	SW	3.7	112°14′29″	21°42′40″	2021.10.11	3	
7	口洋村	W	6.1	112°12′9″	21°45′22″	2021.10.11	3	
8	允泊村	SW	1.8	112°14′31″	21°43′50″	2021.10.11	3	
9	光星村	S	0.5	112°15′53″	21°44′14″	2021.10.10	6	含平行样

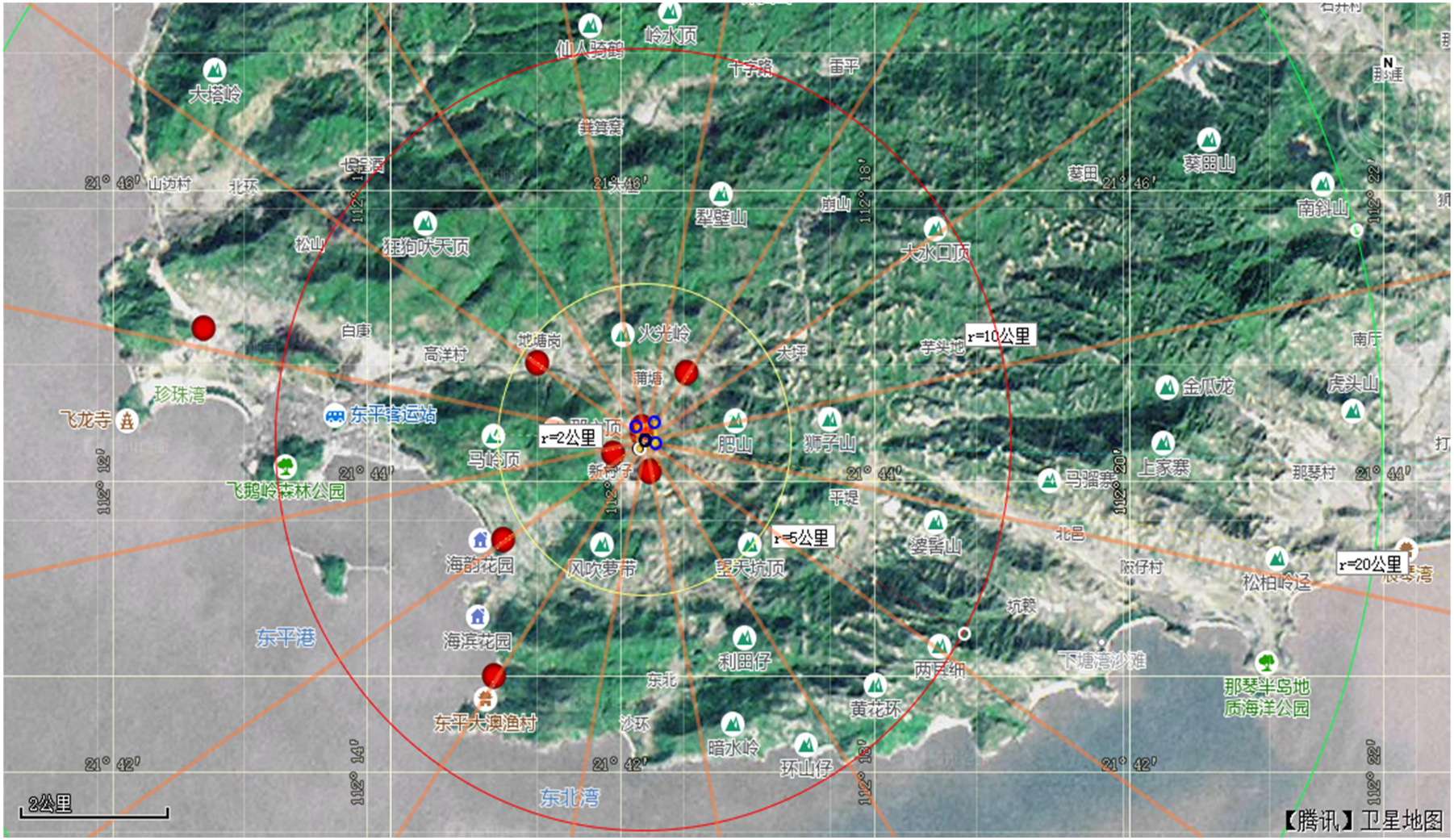


图 3.1-4 土壤采样点位示意图

4）水体和沉积物

- 地表水和沉积物

地表水和沉积物采样点共选取 3 处，分别为东平海荫河、金山水库和平堤水库。

地表水分枯水期和丰水期 2 次采集，监测项目包括：γ 核素和总 U。

地表水沉积物采集 1 次，监测项目包括：γ 核素和总 U。

- 饮用水

在最近居民点光星村地下水井设饮用水采样点；葛塘村是阳江核电厂饮用水采样点，也作为本项目饮用水采样点。

饮用水监测频次为 2 次/年，枯水期和丰水期各 1 次，监测项目包括：总 α、总 β 和总 U。

- 海水和沉积物

本项目废水运至阳江核电厂，通过阳江核电厂排放口排放，在阳江核电厂排放口、以及珍珠湾各布设 1 个采样点。

海水每半年采集 1 次，监测项目包括：γ 核素和总 U。

海洋沉积物采集 1 次，监测项目包括：γ 核素和总 U。

水体采样点位信息见表 3.1-6，沉积物采样点位信息见表 3.1-7。

水体采样点位示意图见图 3.1-5，沉积物采样点位示意图见图 3.1-6。

表 3.1-6 水体采样点信息表

编号	采样点名称	方位	距离（km）	经度 E	纬度 N	采样日期	采样量（L）	水样类型	备注
1	东平海蔸河	NW	1	112°15′52″	21°44′40″	2021.10.12	100	地表水	
						2022.5.29	100		
2	金山水库	NE	3.3	112°16′29″	21°46′6″	2021.10.12	200	地表水	含平行样
						2022.5.31	200		
3	平堤水库	E	2.9	112°17′56″	21°44′14″	2021.10.13	100	地表水	
						2022.5.29	100		
4	光星村水井	S	0.5	112°15′53″	21°44′14″	2021.10.13	100	饮用水	
						2022.5.30	100		
5	葛塘村水井	WSW	2.3	112°14′31″	21°43′52″	2021.10.13	100	饮用水	
						2022.5.30	100		
6	阳江核电厂出水口	S	4.3	112°16′17″	21°42′14″	2021.10.15	100	海水	
						2022.5.29	100		
7	珍珠湾	SSW	4.3	112°12′32″	21°44′36″	2021.10.15	100	海水	含平行样
						2022.5.29	100		

表 3.1-7 沉积物采样点信息表

编号	采样点名称	方位	距离（km）	经度 E	纬度 N	采样日期	采样量（kg）	沉积物类型	备注
1	东平海蔸河	NW	1	112°15′52″	21°44′40″	2021.10.12	6	地表水沉积物	含平行样
2	金山水库	NE	3.3	112°16′29″	21°46′6″	2021.10.12	3	地表水沉积物	
3	平堤水库	E	2.9	112°17′56″	21°44′14″	2021.10.12	3	地表水沉积物	
4	阳江核电厂出水口	S	4.3	112°16′17″	21°42′14″	2021.10.15	3	海水沉积物	含平行样
5	珍珠湾	SSW	4.3	112°12′32″	21°44′36″	2023.6.21	3	海水沉积物	

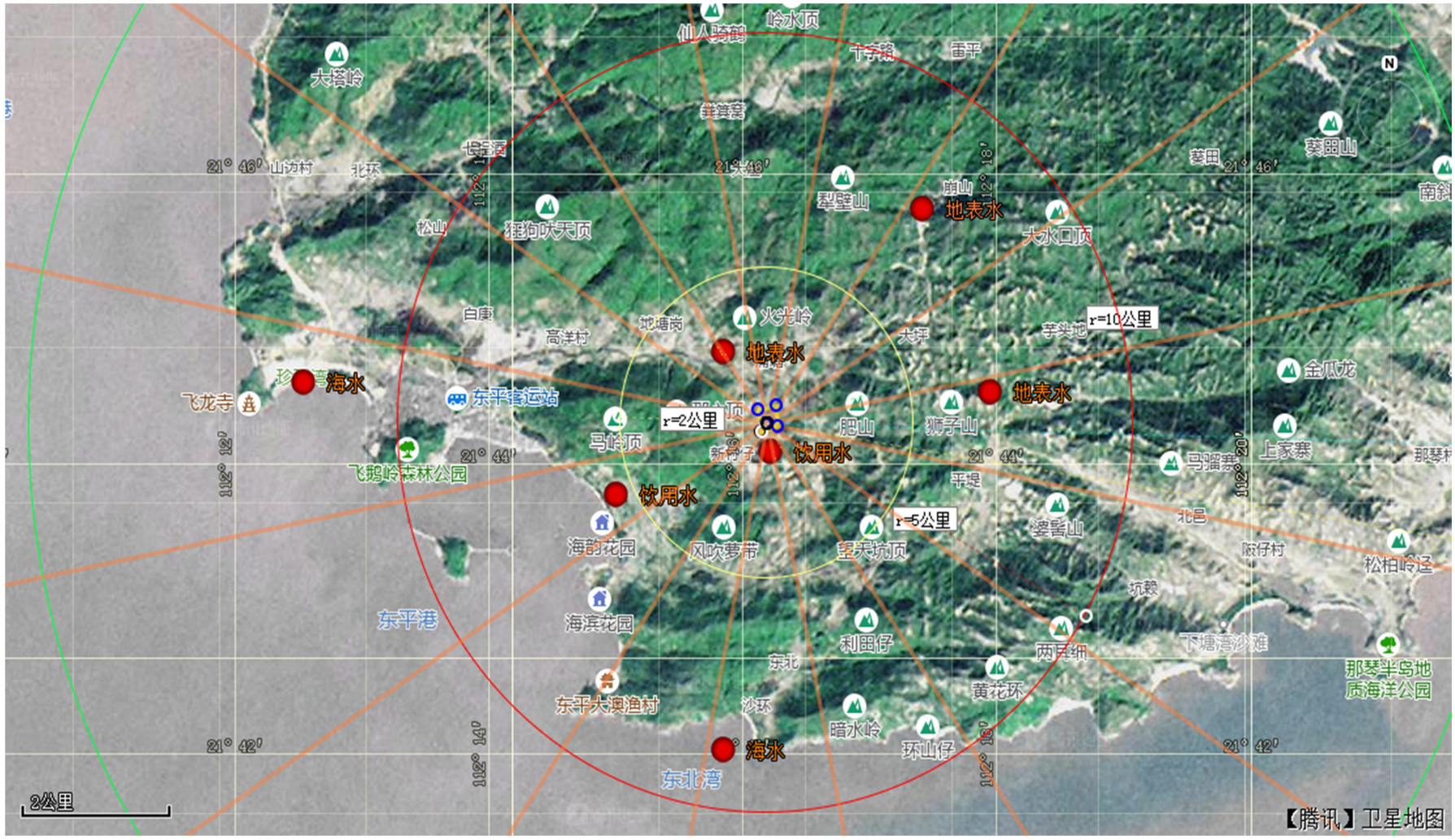


图 3.1-5 水体采样点示意图

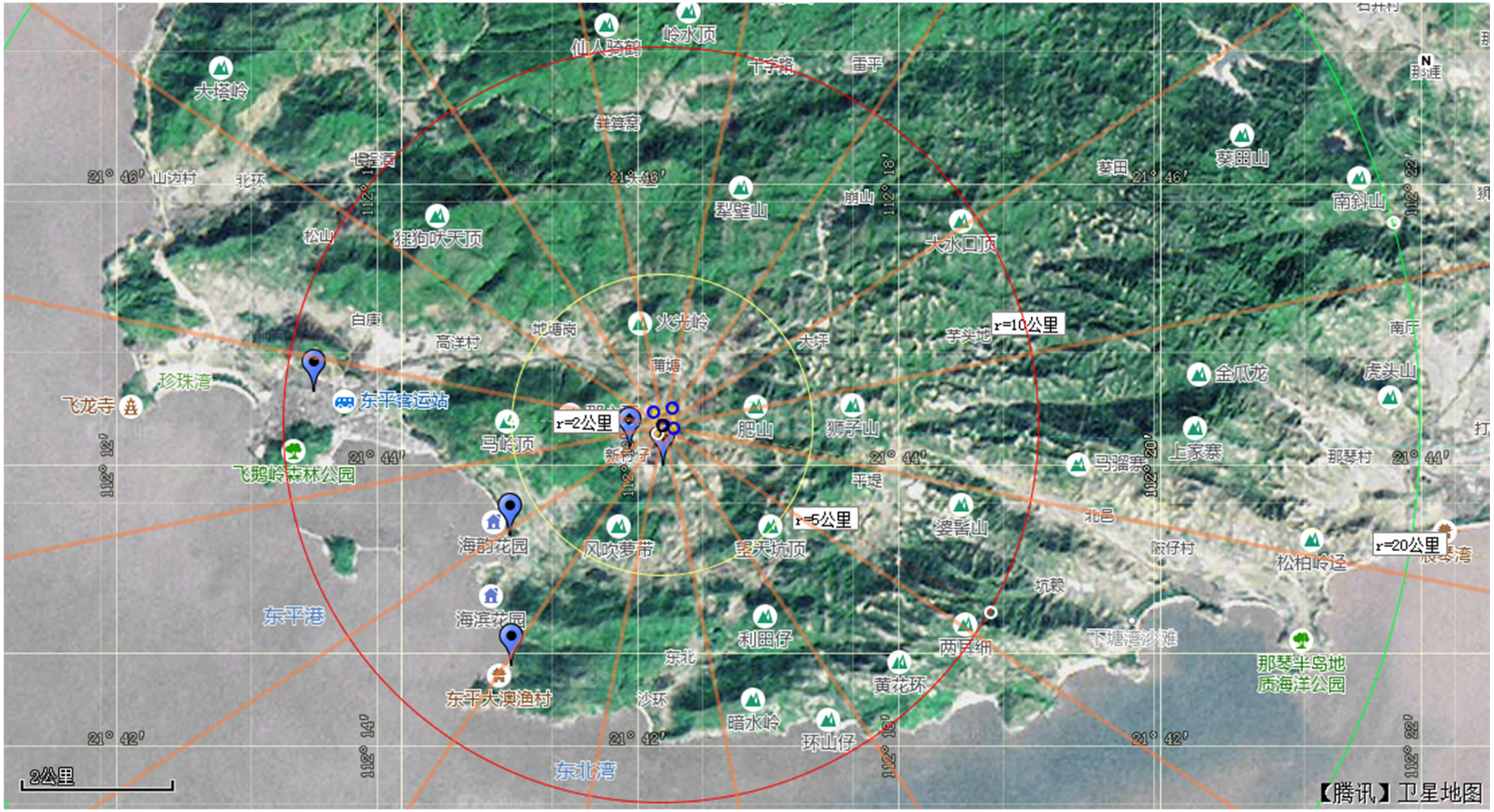


图 3.1-6 沉积物采样点示意图

5）生物

生物样品共采集 5 个点位的样品，采集当季最大风频下风向及设施边界附近来源于光星村、瓦北新村的空心菜、苦瓜，以及来源于阳江核电厂附近海域皮皮虾、牡蛎、鲳鱼。每类样品鲜样量约 20kg。

本次调查共设置 5 个点位，布点情况参见表 3.1-8。

表 3.1-8 生物采样点信息表

编号	生物样名称	方位	距离（km）	经度 E	纬度 N	采样日期	采样量（kg）
1	空心菜	W	3.4	112°14′6″	21°44′22″	2021.10.14	20
2	苦瓜	W	3.4	112°14′6″	21°44′22″	2021.10.14	20
3	皮皮虾	W	3.4	112°14′6″	21°44′22″	2021.10.14	20
4	牡蛎	W	3.4	112°14′6″	21°44′22″	2021.10.14	40
5	鲳鱼	W	3.4	112°14′6″	21°44′22″	2021.10.14	20

（4）监测仪器设备、分析方法和探测下限

本项目辐射环境调查过程中使用的监测设备、标准方法及典型探测限情况见表 3.1-9。本次调查相应监测项目将采用的监测设备见表 3.1-10。

— 气溶胶和沉降物总铀、总放分析方法

气溶胶和沉降物总铀测量按照《环境样品中微量铀的分析方法》（HJ840-2017）中激光荧光法，空气样品揭开并弃去滤膜纱布，将过氯乙烯树脂合成纤维滤布放入铂坩埚置于马福炉 700℃灼烧 1h，取出坩埚冷却后，加 5ml 硝酸，加热冒烟后，滴加氢氟酸 0.5ml，加热至近干。取下坩埚再加入 2ml 硝酸，蒸发至近干；用硝酸酸化水洗涤坩埚三次，合并于 10ml 容量瓶中，用氢氧化钠和硝酸调节 pH 值，达到铀荧光剂增强使用要求。

气溶胶和沉降物总 α、总 β 测量参考《水中总 α 活度的测量 厚源法》（HJ898-2017）、《水质 总 β 放射性的测定 厚源法》（HJ899-2017），气溶胶样品可采样直接从膜上按需要尺寸大小切取，烘干后直接测量，或将气溶胶样品放入马弗炉灰化，后续步骤参考水中总 α、总 β 前处理过程。最后在预先用标准源刻度过的低本底计数器上测量 α 和 β 的计数。

— 水中总 α、总 β、总铀和 γ 核素分析方法

水中总 α 的测量按照《水中总 α 活度的测量 厚源法》（EJ/T1075-1998），将水蒸干灰化后制成厚样，用低本底 α、β 测量仪进行测量。

水中总 β 的测量按照《水中总 β 放射性测定 蒸发法》（EJ/T900-1994），将水蒸干灰化后制样，用低本底 α、β 测量仪进行测量。

水中 γ 核素的测量方法按照《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（GB16140-2018），对水样品进行蒸发浓缩后使用 HPGe γ 谱仪进行直接测量。

水中总铀测量按照《环境样品中微量铀的分析方法》（HJ840-2017）中激光荧光法，向样品中加入铀荧光增强剂与样品中铀酰离子形成稳定络合物，在紫外脉冲光源照射下能被激发产生荧光，荧光强度与铀含量成正比，通过测量荧光强度计算获得铀含量。

— 土壤和沉积物中总铀和 γ 核素

土壤和沉积物中 γ 核素分析方法按照《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（GB/T11743-2013），采集的土壤样预处理后装盒密封制成与标准源形状、体积相同的样品，然后将制备好的样品放置于 HPGe γ 能谱仪上测量。

土壤和沉积物总铀测量《环境样品中微量铀的分析方法》（HJ840-2017）中激光荧光法，通过 140 目筛的土壤样品 105~110℃烘烤 2h 后，称取 0.01~0.1g 样品于聚四氟乙烯坩埚中，用少许润湿，家硝酸、高氯酸、氢氟酸摇匀，加盖加热 1h 至完全分解；取下坩埚，稍冷后再加硝酸加热至样品呈湿盐状，取下坩埚稍冷后再加入 5ml 硝酸，加热至溶液清亮时取下，用水冲洗坩埚壁，放置室温，转于 50ml 容量瓶中，用水洗涤坩埚三次，洗涤合并于容量瓶中。称取澄清样品调节 pH 至合适范围。

— 生物样中总铀和 γ 核素

生物中 γ 谱分析方法参照《生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（GB/T16145-2020），称取样品灰 240g 装入样品盒中密封制成与标准源形状、体积相同的样品，放置于 HPGeγ 能谱仪上测量，分析 U-238、Th-232、Ra-226、K-40 等天然放射性核素。

生物样总铀测量按照《环境样品中微量铀的分析方法》（HJ840-2017）中激光荧光法，称取定量生物样品灰于 50ml 的瓷坩埚中置于马福炉 450℃灼烧至完全灰化，取出稍冷后加入 20ml 水和 2.0g 过硫酸钠，加热直至蒸干；取下坩埚冷至室温加入 15ml 水，固体溶解后，稍加热后转入离心管离心或过滤。用水洗涤容器与不溶物，收集滤

液与洗涤液于 25ml 容量瓶中，弃去不溶物。调节滤液 pH，并定容至容量瓶标线。

— 仪器设备、测量方法及探测下限

本次调查中检出限的计算将根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）等规范要求，根据实际情况下进行表述。检出限一般情况作以下两种表述约定：

1）探测下限（LLD）

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

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

式中：n_b 为本底计数率，cps；t_b 为本底测量时间，s。

2）最小可探测活度浓度（MDC）

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

— γ 能谱的检出限（MDC）采用以下公式：

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

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

对 γ 谱测量，实际情况下可能采用多条 γ 射线进行测量，采用各计算用的 γ 射线分别计算 MDC，取 MDC_{min} 作为表征量。

— 对总 α、总 β 测量，MDC（单位为 Bq/L）表达式为：

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

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

表 3.1-9　测量项目所采用的仪器、测量方法依据标准

测量项目	监测对象	方法探测下限 或量程下限	依据标准	测量仪器
瞬时剂量	陆地环境γ辐射	10nGy/h	HJ1157-2021	6150AD、FH40G-L10
累积剂量		1E-07Gy	GB10264-2014	TLD 热释光测量仪
连续监测		10nGy/h	HJ1157-2021	RMO500HA 型 连续γ剂量率仪
总α	水	2E-02Bq/L	HJ898-2017	低本底 α、β 测量仪
总β		5E-02Bq/L	HJ899-2017	
γ核素 (Cs-137)	土壤	5E-01Bq/kg	GB/T11743-2013	HPGeγ谱仪
	生物	2E-03Bq/g	GB/T16145-2020	
	水	2E-03Bq/L	GB16140-2018	
总铀	气溶胶	2E-11g/ml	HJ840-2017	铀分析仪
	沉降物			
	土壤			
	沉积物			
	水			
	生物			

表 3.1-10 本次调查所采用的仪器设备

仪器名称	型号	编号	检定日期	检定周期	性能参数
便携γ剂量率仪	6150AD	YQ-01-009	2023.3.1	1 年	10 nSv/h~100 μSv/h
	FH40G-L10	YQ-02-011	2023.3.9	1 年	10 nSv/h~100 μSv/h
连续γ剂量率仪	RMO500HA	YQ-01-062	2023.2.2	1 年	量程：10 nGy/h~1 Gy/h
低本底 α、β 测量仪	MPC9604	YQ-01-034	2021.4.25	2 年	β 探测效率≥ 35% α 探测效率≥ 65%
HPGeγ谱仪	GMX50P4-83	YQ-01-001	2021.4.25	2 年	能量分辨率： 2.2 keV@1332.5 keV
TLD 热释光测量仪	RG 2000	YQ-01-005	2023.3.10	1 年	量程：10^{-7} Gy~12 Gy
铀分析仪	MUA-III	YQ-02-016	2021.5.26	1 年	0.02ng/mL~20ng/mL

3.1.1.2 调查区域内电离辐射类污染源调查结果

项目附近有阳江核电厂 1~6 号机组已建成运行，最近的 5 号机组位于本项目 S 方位约 3.3km 处，此外项目 5km 范围内还有阳江核电环保配套工程和中广核热室项目已开工建设。

3.1.1.3 辐射环境现状检测结果

（1）环境γ辐射水平

— 瞬时γ辐射剂量率

由于阳江周围区域湖泊中放射性核素含量较高，不适合宇宙射线响应值的测量，因此，采用广东省环境辐射监测中心粤西分部建造的辐射场进行测量并计算获得本次本底调查两台便携γ剂量率仪的宇宙射线响应值。

2021 年 10 月 15 日，在广东辐射监测中心粤西分部监测 15 个放射源点位辐射场的γ辐射剂量率进行监测，经计算确定现场所使用的 6150AD 便携γ剂量率仪的宇宙射线响应值为 24.4nSv/h，FH40G-L10 便携γ剂量率仪的宇宙射线响应值为 13.6nSv/h。

瞬时γ辐射剂量率分别于 2021 年 10 月、2022 年 2 月、2022 年 5 月和 2022 年 9 月开展现场季度监测，实测点位共 62 个，监测结果详见表 3.1-11。

根据监测，厂区内四个季度的环境瞬时γ辐射剂量率范围分别为 124~180nSv/h、113~178nSv/h、146~283nSv/h 和 100~151nSv/h；厂区周围四个季度的环境瞬时γ辐射剂量率范围分别为 104~259nSv/h、58~285nSv/h、97~270nSv/h 和 81~239nSv/h。

— γ累积剂量

γ辐射累积剂量 TLD 实际布设 14 个点位，共回收 12 个，回收率为 85.7%。从 2021 年 10 月 11 日至 2022 年 9 月 6 日结束，累计布放时间 329~330 天。检测结果详见表 3.1-12。

根据检测，厂区内 γ 辐射累积剂量率现场共累积约 329 天，累积剂量范围为 53.4~66.6mGy，小时平均值范围为 68~84nGy/h；厂区周围γ辐射累积剂量率现场共累积 229~330 天，累积剂量范围为 54.2~84.2mGy，小时平均值范围为 69~106nGy/h。

— 连续γ辐射剂量率

连续γ辐射剂量率测量结果采用了辐射监测系统专题成果，选取了 2021 年 12 月 23 日~2022 年 2 月 23 日连续 2 个月的监测结果。测量结果显示，图 3.1-7 给出了该时

段内γ剂量率数据连续监测结果。

连续γ辐射剂量率结果显示，厂区γ辐射剂量率日均值变化范围为176~192nGy/h。

（2）气溶胶和沉降物中放射性

— 气溶胶

气溶胶共设置3个采样点位，于2022年2月至2023年6月，分4个季度现场采集空气气溶胶进行监测，监测结果见表3.1-13。

厂区门卫室位置的气溶胶中总α监测结果变化范围为0.08~3.79mBq/m^3，总β监测结果变化范围为0.27~4.84mBq/m^3，总U监测结果变化范围为（1.60~22.1）×10^{-5}μg/m^3；那心村位置的气溶胶中总α监测结果变化范围为0.03~1.39mBq/m^3，总β监测结果变化范围为0.20~1.97mBq/m^3，总U监测结果变化范围为（1.09~9.52）×10^{-5}μg/m^3；新村仔位置的气溶胶中总α监测结果变化范围为0.04~3.97mBq/m^3，总β监测结果变化范围为0.28~1.86mBq/m^3，总U监测结果变化范围为（1.24~14.4）×10^{-5}μg/m^3。

— 沉降物

沉降物共设置3个采样点位，下风向厂界厂区门卫室位置前三个季度共采样分析1次，第四季度采样分析1次，那心村和新村仔位置前两个季度共采样分析1次，第三、四季度各采样分析1次，监测结果见表3.1-14。

厂区门卫室位置的沉降物中总α监测结果变化范围为0.014~0.233Bq/m^2·d，总β监测结果变化范围为0.039~0.351Bq/m^2·d，总U监测结果变化范围为0.023~1.30μg/m^2·d；那心村位置的气溶胶中总α监测结果变化范围为0.090~0.141Bq/m^2·d，总β监测结果变化范围为0.153~0.606Bq/m^2·d，总U监测结果变化范围为0.303~2.32μg/m^2·d；新村仔位置的气溶胶中总α监测结果变化范围为0.080~0.184Bq/m^2·d，总β监测结果变化范围为0.168~0.499Bq/m^2·d，总U监测结果变化范围为0.162~4.01μg/m^2·d。

（3）水中放射性

— 地表水

地表水共布设3个采样点位（东平海萌河、金山水库和平堤水库），2021年10月至2022年5月期间共开展2次监测工作，监测结果见表3.1-15。

地表水中Cs-137的监测结果为（<2.57~3.50）mBq/L，K-40的监测结果为（<41~232）mBq/L，其余人工和天然放射性核素均未检出；地表水中总铀的监测结果为（0.05~0.85）μg/L。

— 饮用水

饮用水共布设 2 个采样点位（光星村和葛塘村），2021 年 10 月至 2022 年 5 月期间共开展 2 次监测工作，监测结果见表 3.1-16。

光星村水井饮用水中两次总 α 监测结果分别为 0.39Bq/L 和 0.63Bq/L，总 β 监测结果分别为 1.59Bq/L 和 1.24Bq/L，总铀监测结果分别为 0.77μg/L 和 1.02μg/L。

葛塘村水井饮用水中两次总 α 监测结果分别为 0.07Bq/L 和 0.05Bq/L，总 β 监测结果分别为 0.86Bq/L 和 0.73Bq/L，总铀监测结果分别为 2.14μg/L 和 1.44μg/L。

— 海水

海水布设 2 个采样点位（阳江核电厂排水口和珍珠湾），2021 年 10 月至 2022 年 5 月期间共开展 2 次监测工作，监测结果见表 3.1-17。

阳江核电厂排水口海水中人工 γ 核素（除 Cs-137）均未检出，2022 年 5 月采样检测的 Cs-137 活度浓度为 9.94mBq/L，天然 γ 核素（除 K-40）均未检出，K-40 两次采样检测结果分别为 5.78Bq/L 和 4.86Bq/L；两次总铀监测结果分别为 2.5μg/L 和 2.2μg/L。

珍珠湾海水中人工 γ 核素（除 Cs-137）均未检出，Cs-137 两次采样检测结果分别为 12.4mBq/L 和 10.3mBq/L，天然 γ 核素（除 K-40）均未检出，K-40 两次采样检测结果分别为 7.34Bq/L 和 5.51Bq/L；两次总铀监测结果分别为 2.5μg/L 和 0.6μg/L。

（4）土壤和沉积物中放射性

— 土壤

土壤采样点共布设 9 个，于 2021 年 10 月 11 日进行现场采样，采用梅花五点采样法采集地表以下 0~5 cm 的表层土壤。土壤样品的监测结果见表 3.1-18。

根据监测结果：北城村和新村仔土壤中人工 γ 核素 ^{137}Cs 的活度浓度分别为 0.981Bq/kg·干和 1.23Bq/kg·干，其它点位 ^{137}Cs 及其它人工 γ 核素（^{134}Cs、^{58}Co、^{60}Co、^{54}Mn）的测量结果均小于探测限；天然核素 ^{238}U、^{232}Th、^{226}Ra、^{40}K 的活度浓度范围分别为（24~160）Bq/kg·干、（28~199）Bq/kg·干、（29~161）Bq/kg·干和（216~1371）Bq/kg·干；总 U 的浓度范围为（3.4~13.2）μg/g。

– 地表水沉积物

地表水沉积物共布设 3 个采样点位（东平海蔭河、金山水库和平堤水库），监测结果见表 3.1-18。

地表水沉积物中人工 γ 核素（^{134}Cs、^{137}Cs、^{58}Co、^{60}Co、^{54}Mn）均低于探测限；

天然核素 ^{238}U、^{232}Th、^{226}Ra、^{40}K 的活度浓度范围分别为（65~186）Bq/kg·干、（57~316）Bq/kg·干、（70~266）Bq/kg·干和（760~1636）Bq/kg·干；总 U 的浓度范围为（5.8~13.1）μg/g。

- 海洋沉积物

海洋沉积物采样点包括阳江核电厂排水口和珍珠湾，监测结果见表 3.1-18。海洋沉积物中人工 γ 核素（^{134}Cs、^{137}Cs、^{58}Co、^{60}Co、^{54}Mn）均低于探测限；阳江核电厂排水口天然核素 ^{238}U、^{232}Th、^{226}Ra、^{40}K 的活度浓度分别为 63Bq/kg·干、58Bq/kg·干、37Bq/kg·干、627Bq/kg·干，总 U 的浓度为 2.9μg/g；珍珠湾天然核素 ^{238}U、^{232}Th、^{226}Ra、^{40}K 的活度浓度分别为 14Bq/kg·干、9.2Bq/kg·干、9.7Bq/kg·干、335Bq/kg·干，总 U 的浓度为 8.0μg/g。

（5）生物中放射性

生物样品共 5 个，其中陆域生物样有 2 个（空心菜、苦瓜）、海域生物样 3 个（皮皮虾、牡蛎、鲳鱼），生物样中 γ 核素和总 U 监测结果见表 3.1-19。

生物样品中人工核素除空心菜中 ^{137}Cs 的活度浓度为 0.0208 Bq/kg·鲜样，各生物样中其它人工核素（^{134}Cs、^{137}Cs、^{58}Co、^{60}Co、^{54}Mn）的活度浓度均低于探测限；空心菜中天然核素（^{238}U、^{232}Th、^{226}Ra）的活度浓度均低于探测限，^{40}K 的活度浓度为 54.4Bq/kg·鲜样，其它各生物样中天然核素 ^{238}U 的活度浓度均低于探测限，^{232}Th 的活度浓度范围为 0.0373~0.155Bq/kg·鲜样，^{226}Ra 的活度浓度范围为 0.0349~0.235Bq/kg·鲜样，^{40}K 的活度浓度范围为 1.48~156Bq/kg·鲜样；生物样中总 U 的浓度范围为 1.41~2.72μg/g。

表 3.1-11 2021 年 10 月至 2022 年 9 月瞬时 γ 辐射剂量率监测结果

点位编号	点位名称	未扣除宇响监测结果(nGy/h)				扣除宇响监测结果(nGy/h)			
		2021.10	2022.2	2022.5	2022.9	2021.10	2022.2	2022.5	2022.9
1	厂址北边界	124±4	113±2	146±3	123±2	100	89	122	99
2	厂址南边界	156±5	129±4	191±7	125±2	132	105	167	101
3	厂址西边界	134±3	178±3	200±4	100±3	110	154	176	76
4	厂址东边界	158±3	147±4	283±9	151±2	134	123	259	127
5	厂区内 1	180±7	163±5	234±7	149±4	156	139	210	125
6	厂区内 2	139±6	176±4	174±3	145±3	115	152	150	121
7	NNE 方向 0.8km 处	134±3	136±4	182±4	141±5	110	112	158	117
8	蒲塘	138±3	163±4	187±5	132±3	114	139	163	108
9	北城村	137±2	91±2	190±7	118±3	113	67	166	94
10	竹仔村	153±6	187±5	210±6	138±3	129	163	186	114
11	SE 方向 0.4km 处	127±3	146±4	142±2	167±2	103	122	118	143
12	SSE 方向 1.2km 处	200±3	92±6	208±3	172±3	176	68	184	148
13	光星村	154±2	153±5	176±3	147±3	130	129	152	123
14	2km 内 SSW 监测点	166±1	158±6	177±3	154±3	142	134	153	130
15	瓦北新村（新村仔）	151±3	158±3	181±5	160±4	127	134	157	136
16	允新村	138±2	175±3	163±4	119±3	114	151	139	95
17	那心村	152±4	178±4	204±6	207±3	128	154	180	183
18	瓦北村	183±3	145±4	190±4	175±3	159	121	166	151
19	地塘岗村	166±2	183±4	238±4	136±4	142	159	214	112
20	大湴村	138±3	116±3	156±4	150±3	114	92	132	136
21	NW 方向 4.8km 处	159±2	174±4	179±3	179±3	135	150	155	165
22	金山水库（1）	191±2	243±4	221±4	239±3	167	219	197	215

点位编号	点位名称	未扣除宇响监测结果(nGy/h)				扣除宇响监测结果(nGy/h)			
		2021.10	2022.2	2022.5	2022.9	2021.10	2022.2	2022.5	2022.9
23	响水水库	139±2	196±8	201±4	157±4	115	172	177	133
24	平堤水库	147±4	210±7	253±4	150±3	123	186	229	126
25	平堤村	145±2	143±7	195±5	138±3	121	119	171	114
26	SE 方向 2.3km 处	175±2	236±4	211±3	184±4	151	212	187	170
27	SSE 方向 2.1km 处	153±3	156±3	202±3	159±3	129	132	178	145
28	阳江核电厂厂界	156±2	213±4	185±3	128±1	132	189	161	104
29	大澳村	141±5	138±5	231±4	166±5	117	114	207	142
30	允泊村	203±5	155±4	206±5	217±5	179	131	182	193
31	葛塘村	181±2	192±2	216±6	175±4	157	168	192	151
32	滨海大道	188±2	171±3	266±6	150±3	164	147	242	126
33	白庚村	133±3	232±4	178±4	136±3	109	208	154	112
34	NW 方向 4km 处	204±3	235±4	238±5	202±3	180	211	214	178
35	金山水库（2）	190±4	174±4	217±5	239±3	166	150	193	215
36	三家村	117±4	166±6	157±5	106±3	103	142	133	92
37	更口岗	122±3	135±4	163±5	164±2	108	111	139	150
38	NE 方向 6.6km 处	259±3	255±10	198±5	222±3	245	231	174	208
39	马头铃水库	224±2	254±3	270±10	无法到达	210	230	246	无法到达
40	水岸丽舍度假酒店	174±2	285±10	209±4	189±4	160	261	185	175
41	尾角老人堂	183±2	260±4	97±3	203±5	169	236	73	189
42	海滨公园	128±2	146±5	157±4	122±5	114	122	133	108
43	口洋村	118±4	186±5	199±5	153±2	94	162	175	139
44	北政二村	130±1	164±5	203±4	149±4	116	140	179	135
45	莲北小学	111±3	89±1	215±4	178±4	97	65	191	164
46	北股村	131±5	175±4	164±8	111±3	117	151	140	97

点位编号	点位名称	未扣除宇响监测结果(nGy/h)				扣除宇响监测结果(nGy/h)			
		2021.10	2022.2	2022.5	2022.9	2021.10	2022.2	2022.5	2022.9
47	小么村道	110±1	170±6	163±3	123±4	96	146	139	109
48	中城村	106±2	148±3	256±3	167±4	92	124	232	153
49	寨门小学	130±2	143±5	233±5	167±4	116	119	209	153
50	盘石村	196±2	106±3	246±5	207±3	182	82	222	193
51	浮沙村道	113±2	141±6	162±5	172±3	99	117	138	158
52	新梨村	164±2	110±2	215±6	133±3	150	86	191	119
53	高峒村	104±2	158±4	152±4	81±2	90	134	128	67
54	那关村	120±2	58±0	211±9	95±3	106	34	187	81
55	园山村	175±2	175±4	126±4	136±3	161	151	102	122
56	沙溪村	148±3	172±4	158±5	149±3	134	148	134	135
57	高朗村	131±2	128±4	171±6	158±2	117	104	147	144
58	信水寨	142±3	137±4	145±4	144±4	128	113	121	130
59	笏朝小学	109±2	116±3	175±4	177±4	95	92	151	163
60	利屋村	153±2	153±4	243±6	167±4	139	129	219	153
61	白石湾	169±3	58±1	171±4	119±2	155	34	147	105
62	ENE 方向 0.6km 处	119±3	131±4	141±6	114±3	95	107	117	90

表 3.1-12 γ 辐射累积剂量测量结果（未扣除宇宙射线响应）

点位编号	点位	布放天数	累积剂量（10^{-4} Gy）		TLD 按小时平均值（nGy/h）	
			测量值	不确定度	测量值	不确定度
1	沙溪村	329	5.74	0.53	73	7
2	白庚村	329	7.42	0.83	94	11
3	沙溪村（平行）	空盒				
4	利屋村	329	6.91	0.64	87	8
5	新梨村	329	7.53	1.05	95	13
6	北城村	330	8.42	1.19	106	15
7	厂区内 2	329	6.66	0.95	84	12
8	厂区内 1	329	6.32	0.62	80	8
9	厂区内 2 平行样	329	5.34	0.70	68	9
10	水岸丽舍平行样	330	8.03	0.87	101	11
11	厂区东边界	329	7.28	0.78	92	10
12	寨门小学	空盒				
13	水岸丽舍	330	7.70	0.92	97	12
14	高朗村	329	5.42	0.60	69	8

表 3.1-13 气溶胶中放射性监测结果

点位名称	采样季度	监测结果		
		总 α (mBq/m^3)	总 β (mBq/m^3)	总铀 ($\mu g/m^3$)
下风向厂界（门卫室位置）	第一次（2022.2.18~2.27）	3.79	4.84	1.60×10^{-5}
	第二次（2022.5.25~6.4）	0.50	1.94	1.39×10^{-4}
	第三次（2022.9.3-9.8）	1.69	2.62	2.21×10^{-4}
	第四次（2023.6.19-6.22）	0.08	0.27	7.40×10^{-5}
那心村	第一次（2022.2.18~2.27）	0.80	1.40	1.09×10^{-5}
	第二次（2022.5.25~6.4）	0.62	1.18	9.52×10^{-5}
	第三次（2022.9.3-9.8）	1.39	1.97	6.53×10^{-5}
	第四次（2023.6.19-6.22）	0.03	0.20	4.95×10^{-5}
新村仔	第一次（2022.2.18~2.27）	3.97	1.35	7.57×10^{-5}
	第二次（2022.5.25~6.4）	0.53	1.21	4.58×10^{-5}
	第三次（2022.9.3-9.8）	1.32	1.86	1.44×10^{-4}
	第四次（2023.6.22-6.23）	0.04	0.28	1.24×10^{-5}

表 3.1-14 沉降物中放射性监测结果

点位名称	采样季度	监测结果		
		总 α ($Bq/m^2 \cdot d$)	总 β ($Bq/m^2 \cdot d$)	总铀 ($\mu g/m^2 \cdot d$)
下风向厂界（门卫室位置）	第一次（2022.2.27-2022.6.1）	0.014	0.039	1.30
	第二次（2022.6.2-2022.9.3）	0.233	0.351	0.635
	第三次（2022.9.6-2023.6.17）	0.068	0.084	0.023
那心村	第一次（2021.10.11-2022.2.26）	0.141	0.187	0.303
	第二次（2022.2.27-2022.6.1）	0.090	0.606	2.32
	第三次（2022.6.2-2022.9.3）	0.090	0.153	0.352
新村仔	第一次（2021.10.11-2022.2.26）	0.097	0.168	0.788
	第二次（2022.2.27-2022.6.1）	0.184	0.499	4.01
	第三次（2022.6.2-2022.9.3）	0.154	0.294	0.846
	第四次（2022.9.6-2023.6.17）	0.080	0.337	0.162

表 3.1-15 地表水中放射性监测结果

点位名称		东平海蔺河		金山水库		平堤水库	
		2021.10.12	2022.5.29	2021.10.12	2022.5.31	2021.10.13	2022.5.29
γ 核素 (mBq/L)	Mn-54	<1.92	<2.16	<1.97	<1.95	<1.99	<2.03
	Co-58	<1.68	<1.92	<2.08	<1.99	<2.08	<2.09
	Co-60	<2.61	<2.64	<2.96	<2.61	<2.80	<2.64
	Cs-134	<2.23	<2.32	<2.15	<2.09	<2.15	<2.32
	Cs-137	2.90	3.40	<2.57	<2.51	3.50	<2.42
	U-238	<65.3	<65.3	<65.8	<65.2	<64.3	<63.6
	Th-232	<6.08	<6.21	<6.79	8.57	<64.8	<6.36
	Ra-226	<6.85	<7.00	<6.84	<6.84	<66.7	<6.90
	K-40	232	163	86	<41	62	55
总铀（μg/L）		0.13	0.85	0.14	0.27	0.05	0.16

表 3.1-16 饮用水中放射性监测结果

点位名称	光星村水井		葛塘村水井	
	2021.10.13	2022.5.30	2021.10.13	2022.5.30
总 α（Bq/L)	0.39	0.63	0.07	0.05
总 β（Bq/L)	1.59	1.24	0.86	0.73
总铀（μg/L）	0.77	1.02	2.14	1.44

表 3.1-17 海水中放射性监测结果

项目		阳江核电厂排水口		珍珠湾	
		采样日期	采样日期	采样日期	采样日期
		2021.10.15	2022.5.29	2021.10.15	2022.5.29
γ 谱分析（Bq/L）	Mn-54	$< 8.43\times10^{-3}$	$< 6.67\times10^{-3}$	$< 7.56\times10^{-3}$	$< 6.65\times10^{-3}$
	Co-58	$< 7.86\times10^{-3}$	$< 6.09\times10^{-3}$	$< 6.96\times10^{-3}$	$< 6.60\times10^{-3}$
	Co-60	$< 1.19\times10^{-2}$	$< 1.03\times10^{-3}$	$< 1.14\times10^{-2}$	$< 1.07\times10^{-3}$
	Cs-134	$< 7.62\times10^{-3}$	$< 6.01\times10^{-3}$	$< 7.26\times10^{-3}$	$< 6.30\times10^{-3}$
	Cs-137	$< 8.53\times10^{-3}$	9.94×10^{-3}	1.24×10^{-2}	1.03×10^{-2}
	U-238	$<1.68\times10^{-1}$	$< 1.38\times10^{-1}$	$< 1.65\times10^{-1}$	$< 1.43\times10^{-1}$
	Th-232	2.45×10^{-2}	$< 1.75\times10^{-2}$	3.19×10^{-2}	$< 1.81\times10^{-2}$
	Ra-226	$<2.08\times10^{-2}$	$< 1.68\times10^{-3}$	$< 1.89\times10^{-2}$	$< 1.66\times10^{-2}$
	K-40	5.78	4.86	7.34	5.51
总铀（μg/L）		2.5	2.2	2.5	0.6

表 3.1-18 土壤和沉积物中放射性监测结果

点位名称		采样时间	γ 谱分析（Bq/kg·干）									总铀（μg/g）
			Mn-54	Co-58	Co-60	Cs-134	Cs-137	U-238	Th-232	Ra-226	K-40	
土壤	厂址南边界	2021.10.10	< 0.753	< 0.638	< 1.18	< 0.752	< 0.774	153	78	161	1371	5.3
	厂址西边界	2021.10.10	< 0.836	< 0.642	< 0.944	< 0.842	< 0.892	132	152	113	216	13.2
	厂址东边界	2021.10.10	< 0.909	< 0.705	< 1.23	< 0.888	< 1.11	160	199	159	1290	3.4
	北城村	2021.10.10	< 0.877	< 0.696	< 1.03	< 0.879	0.981	151	179	107	335	5.4
	光星村	2021.10.10	< 0.633	< 0.530	< 0.708	< 0.540	< 0.641	70	94	80	518	5.9
	瓦北新村（新村仔）	2021.10.11	< 0.621	< 0.512	< 0.796	< 0.642	1.23	61	87	80	472	6.9
	大澳村	2021.10.11	< 0.756	< 0.621	< 1.00	< 0.742	< 0.711	59	130	71	677	7.9
	允泊村	2021.10.11	< 0.639	< 0.533	< 0.949	< 0.633	< 0.609	70	68	71	753	6.7
	口洋村	2021.10.11	< 0.425	< 0.382	< 0.660	< 0.447	< 0.410	24	28	29	429	4.7
地表水沉积物	东平海蔭河	2021.10.12	< 0.580	< 0.532	< 0.912	< 0.625	< 0.584	65	57	70	760	5.8
	金山水库	2021.10.12	< 0.924	< 0.781	< 1.37	< 0.938	< 0.935	186	103	266	1636	9.9
	平堤水库	2021.10.12	< 0.983	< 0.765	< 1.16	< 0.990	< 0.961	120	316	142	785	13.1
海洋沉积物	阳江核电排水口	2021.10.15	< 0.659	< 0.555	< 0.988	< 0.680	<0.707	63	58	37	627	2.9
	珍珠湾	2023.6.21	< 0.311	<0.292	<0.441	<0.296	<0.308	14	9.2	9.7	335	8.0

表 3.1-19 生物中放射性监测结果

点位名称	采样时间	γ 谱分析（Bq/kg·鲜）									总铀（μg/g）
		Mn-54	Co-58	Co-60	Cs-134	Cs-137	U-238	Th-232	Ra-226	K-40	
空心菜	2021.10.14	< 0.0163	< 0.0152	< 0.0283	< 0.0113	0.0208	< 0.315	< 0.0403	< 0.0264	54.4	2.43
苦瓜	2021.10.14	< 0.0119	< 0.0116	< 0.0225	< 0.00804	< 0.00961	< 0.239	0.0373	0.0604	77.8	2.02
皮皮虾	2021.10.14	< 0.0120	< 0.0110	< 0.0154	< 0.00878	< 0.0102	< 0.214	0.0963	0.0955	11.3	2.72
牡蛎	2021.10.14	< 0.00390	< 0.00368	< 0.00483	< 0.00315	< 0.00367	< 0.0765	0.0553	0.0349	1.48	1.97
鲳鱼	2021.10.14	<0.0539	< 0.0511	<0.0931	< 0.0387	< 0.0446	< 1.03	0.155	0.235	156	1.41

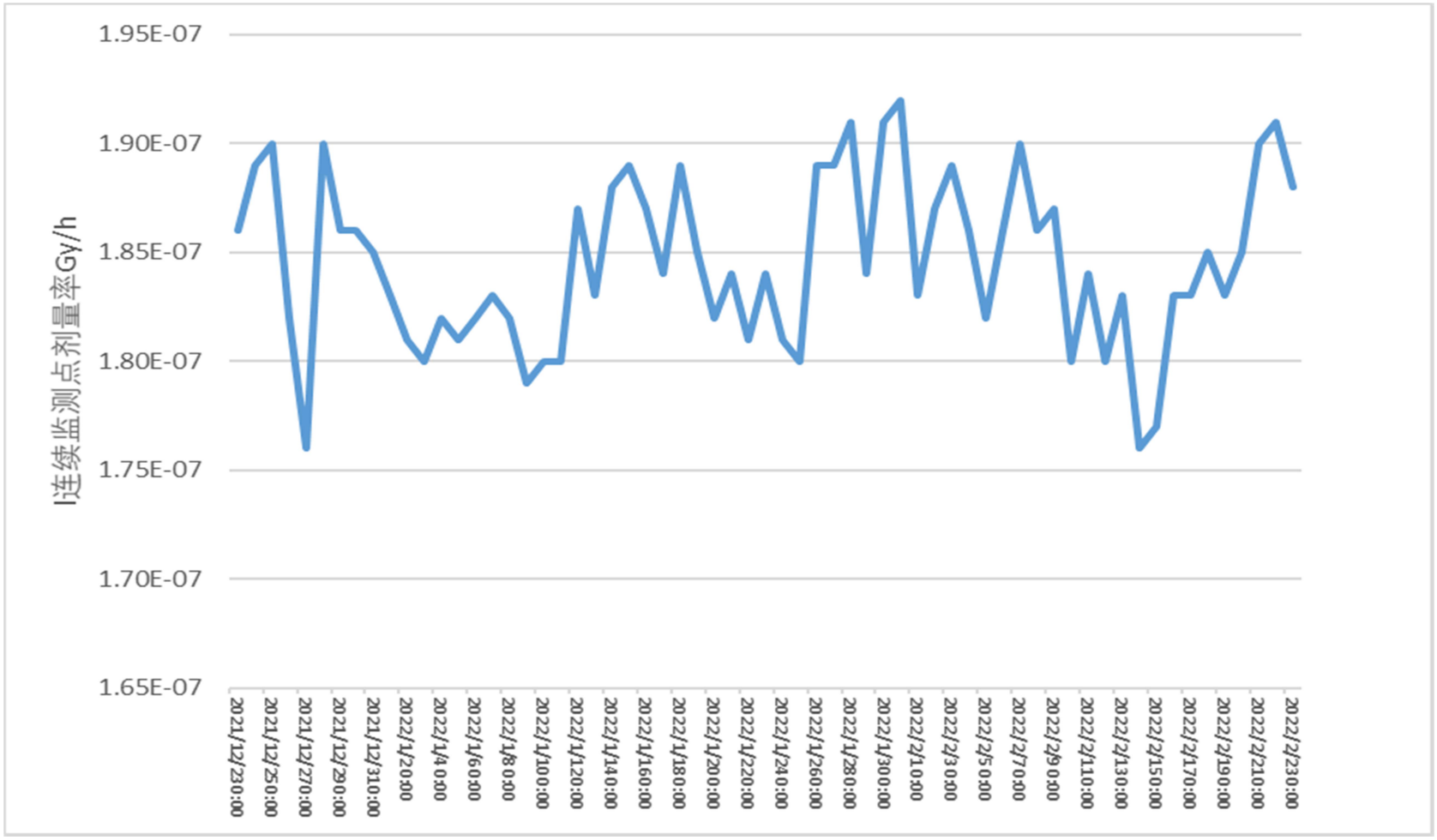


图 3.1-7 连续监测点 γ 剂量率数据日均值变化曲线图（未扣除宇宙射线响应）

3.1.2 辐射环境质量评价

3.1.2.1 环境γ辐射水平

厂区周围的环境γ剂量率在（58~285）nSv/h范围内，与《中广核先进燃料研制中心项目建造阶段环境影响报告书》给出的厂址周边的放射性水平（111~228nGy/h，未扣除宇宙射线响应）基本在同一水平，并且和阳江核电厂长期监测结果辐射水平一致。累积剂量测量结果以及厂区γ辐射剂量率日均值（176~192）nGy/h与上述其他来源的测量结果在同一水平。

3.1.2.2 环境介质中核素的放射性水平

（1）气溶胶

气溶胶总α活度浓度范围为0.44~3.97mBq/m^3，总β活度浓度范围为0.35~4.84mBq/m^3，总铀浓度范围为0.000011~0.000221μg/m^3，处于正常环境本底水平。

厂区气溶胶总α、总β第二次监测结果略高于2018~2019年阳江核电厂周边空气中总α（<0.041~1.736mBq/m^3）、总β（<0.130~3.721mBq/m^3）。

（2）沉降物

沉降物总α活度浓度范围为0.0354~0.203Bq/m^2·d，总β活度浓度范围为0.0903~0.605Bq/m^2·d，总铀浓度范围为0.3~0.846μg/m^2·d，处于正常环境本底水平。

（3）水体

地表水除Cs-137、K-40、Th-232活度浓度在探测限附近外，其余伽马核素监测结果均低于探测限，与2018~2019年阳江核电厂地表水总铀浓度范围在0.049~0.14μg/L，处于正常环境本底水平。

饮用水总α活度浓度范围为0.0466~0.633Bq/L，总β活度浓度为0.727~1.59Bq/L，光星村水井总α、总β水平略高于《生活饮用水标准》（GB5749-2022）中关于总α、总β的指导水平。总铀浓度为0.77~2.14μg/L。

海水Cs-137、Th-232和K-40活度浓度在探测限附近，其他关注核素的γ谱分析结果都小于探测限；总铀浓度在0.6~2.5μg/L。

（4）土壤、地表水沉积物和海水沉积物

土壤中^{238}U的活度浓度范围为24.1~160Bq/kg，^{232}Th的活度浓度范围为27.8~199Bq/kg，^{226}Ra的活度浓度范围为28.5~161Bq/kg，^{40}K的活度浓度范围为

77.8~1371Bq/kg，Cs-137的活度浓度范围为<LLD~1.23Bq/kg，其他关注核素的γ谱分析结果都小于探测限，与阳江核电厂2018年、2019年土壤底泥中放射性监测结果在同一水平。总铀的浓度范围分别在3.41~13.2μg/g范围内。

地表水沉降物中U-238的活度浓度范围为64.9~186Bq/kg，Th-232的活度浓度范围为56.5~316Bq/kg，Ra-226的活度浓度范围为70.2~266Bq/kg，K-40的活度浓度范围为760~1636Bq/kg，其他关注核素的γ谱分析结果都小于探测限，与阳江核电厂2018年、2019年土壤底泥中放射性监测结果在同一水平。总铀浓度范围为5.83~13.1μg/g。

海水沉积物U-238、Th-232、Ra-226、K-40分别为62.8Bq/kg、58Bq/kg、37.3Bq/kg、627Bq/kg，其他关注核素的γ谱分析结果都小于探测限，与阳江核电厂2018年、2019年土壤底泥中放射性监测结果在同一水平。总铀2.95μg/g。

（5）生物

生物样品中Cs-137的活度浓度范围为<LLD~0.0208Bq/kg，Th-232的活度浓度范围为<LLD~0.155Bq/kg，Ra-226的活度浓度范围为<LLD~0.235Bq/kg，K-40的活度浓度范围为1.477~156Bq/kg，其他关注核素的γ谱分析结果都小于探测限。总铀浓度范围为1.41~2.72μg/g。

综上所述，本次调查所有监测结果均处于正常环境本底水平。

3.1.3 辐射本底调查质量保证

本项目运行前辐射环境本底调查承担单位生态环境部核与辐射安全中心辐射环境监测实验室质量保证体系已通过 CMA 认证和 CNAS 认证，本项目在执行该质量保证体系的基础上，严格按照质保大纲的要求开展工作。

（1）人员资质

本项目运行前辐射环境现状调查承担单位在开展工作期间共投入了 17 名技术人员，其中监测人员 8 人，质保人员 9 人，人员分工明确，结构合理，具有较强的技术力量，能力满足本项目需要。

本项目监测人员均持有生态环境部核与辐射安全中心颁发的上岗证，每个人员上岗证内容至少涵盖 1 项本项目分析内容，所有人员上岗证内容涵盖本项目全部分析内容。

根据工作进度与实际需要，从事对质量活动有影响的人员，应具备从事该任务必

需的学历、经历和业务熟练程度，并按质量保证相关要求定期进行质保培训与考核。

项目负责人及所有工作人员由有相关资质的人员承担，项目组定期组织质保和技术培训。

（2）量值溯源

为了保证量值溯源，环境γ剂量率仪、低本底α、β测量仪HPGeγ谱仪液闪测量仪TLD热释光测量仪均按检定周期进行计量检定，并根据使用情况进行期间核查。

（3）调查过程的控制

1）样品的控制

- 采样的质量控制

对各类样品的采集和预处理，辐射环境监测部制定了作业指导书，要求参加采样的人员在实施采样前充分了解，并在采样过程中严格执行。

采样过程中记录的信息应全面、准确。应保证现场测量和样品采集位置的可重复性，必要时，可用卫星定位、拍照、摄像或设标识等方式记录现场。

确定采样量时应考虑现场预处理、运输以及实验室处理等过程中可能造成的损失，以保证分析测量的样品用量。

- 样品的标识

采样人员负责对样品编号，加贴唯一性识别标志，注明样品的调查状态。样品管理员在接收样品时，应及时登记后保存。

- 样品的流转

本底调查的样品按照分析顺序流转，交接签收时应检查样品的状况。分析人员对分析完毕的样品，加贴状态标识以免发生混淆，使样品具有可追溯性。

本底调查的样品在制备、测试、传递过程中应加以防护，严格遵守有关样品的程序，避免受到非正常损坏。样品如遇意外损坏或丢失，应详细记录其情况，及时采取补救措施。

- 样品的贮存

分析完成后的样品应及时通知样品管理员送回样品库保存，为了避免分析的样品在存储、处置和监测过程中发生非正常损坏，样品分类存放，以保证分析结果的准确可靠。

- 样品的运输

样品在现场采集完成后，进行性妥善处理和包装后运送回实验室，严防交叉污染和其它污染，防止样品形状改变对代表性的影响。保证运输过程中不发生漏、洒，同时防止被渗入、混入其他物质，保证样品标识的完好和唯一性。

气溶胶样品，将滤纸折叠（收集面向内），密封到塑料包装袋中；热释光剂量计布放前、后均放入专用铅罐中运输。气溶胶样品和热释光样品由监测人员随身携带。

土壤（沉积物沥出水份）样品用塑料包装袋包装密封后装箱托运，内衬防水袋。

水样酸化后，用10L塑料桶装好后托运，注意塑料桶装满，桶盖封帖好防止途中意外打开。氚用玻璃瓶密封并封帖好后放入泡沫模具中妥善装箱托运。

2）环境条件的控制

对用于本底调查的设施和环境条件按照《设施和环境条件控制程序》（NRSC-CX17-6/0）进行有效的控制，以保证调查结果有效和对所要求的测量质量没有不良影响。

实验室设施满足调查的需要，其内、外环境不应影响监测质量。凡标准有要求或环境对结果有影响的实验室，对环境条件进行监测、控制、记录和内部整理。将监测区域与非监测区域严格分离，并对监测区域进行有效控制，防止无关人员进入和使用监测区域。配置必要的消防设备和其它设施，确保监测区域整洁、安全、舒适。

3）样品测量的质量控制

抽取10%的样品（质控样）进行质控样的测定，包括平行样、比对样、加标样、复测样、外检样等。

空白样品的分析测量：为检查实验用水和化学试剂的放射性本底水平，在样品分析过程中插入空白样品分析。样品检测结果应消除空白造成的影响，高于接受限的试剂空白表示与空白同时分析的这批样品可能受到污染，检测结果不能被接受。检测方法对空白有具体规定时，应满足方法要求。空白样分析的样品由检测人员自行实施，在检测报告中给出空白样的检测结果。

平行样品的分析测量：水、土壤、生物样品按每批样品总数 10%加采平行样品，样品数较少时，每批样品应至少进行一次平行双样测量。平行样分析由检测人员自行实施，在检测报告中给出平行样测量结果。

加标样品的分析测量：水样按 10%加采加标样品，凡能进行加标分析的项目，每批样品均做 10％的加标样，样品数较少时，每批样品至少做一个加标样。加标样分析

由检测人员自行实施，在检测报告中给出加标样测量结果。

留样复测：使用高纯锗γ谱仪进行放射性核素γ能谱分析时，同一类介质的每批样品均做10%的留样复测，样品数较少时，每批样品应至少进行一次留样复测。留样复测由检测人员自行实施，并在检测报告中给出测量结果。

4）数据处理质量控制

针对不同的检测项目，执行相应的作业指导书（包括现场测量、现场采样、样品预处理和实验室分析测量的作业指导书），并使用作业指导书中的原始记录单(包括采样记录，分析测量记录等)，检测结果报告单。要求检测人员严格按照分析测量程序规定，真实、准确、完整地记录分析测量过程中的相关信息。

在对原始数据进行必要的整理之前，逐一检查原始记录是否按规定的要求填写完全、规范。检测人员要按规范的检测结果报告单及时写出检测报告，任务组长审核原始记录及运算过程是否规范、完整、准确。质量管理人组织质保人员和部分专家对各分项目组的报告数据进行核实评审,最后编写成总报告提交给委托方。

5）记录控制

质量管理体系和技术运作中形成的各种记录均应及时收集、标识、编目、存档。凡是应归档的各种记录在未归档前,均由项目责任人按档案管理的要求收集、管理。质量记录应包括：内部审核和管理评审记录，纠正、预防和改进措施的记录，人员培训和考核记录等、本底调查原始记录，实验室间比对或能力验证记录，运行检查记录，报告及副本等。

本底调查过程中产生的记录要内容完整、清晰，并保存在具有防止损坏、变质、丢失的环境中，保存期限根据质量文件的要求确定。记录中出现错误时，应按规定的方式进行更正。

6）不符合项的控制

为保证质量管理体系的有效运行，必须对本底调查工作中出现的不符合项进行识别和控制，包括对不符合质量管理体系管理和技术要求的调查活动、不符合报告的识别和控制，防止不符合调查活动的开展，防止不符合的报告、文件发放或使用。

技术管理组负责对调查过程的各环节中所出现的不符合项进行分析识别，并做出处理结果。质量管理人负责对质量活动中所出现的不符合项进行评价，并做出处理决定。质量监督员负责调查工作中和质量活动中的不符合的识别，将所发现的不符合工

作汇总后报质量负责人。报告签发人负责报告的质量控制。

调查人员应主动识别和纠正调查工作的各个环节的不符合项。不能明确识别的，应及时向相关质量监督员报告。各调查部门负责对不符合工作采取纠正措施。

经检查评定为体系运行中存在的系统性缺陷，或直接影响到报告质量的不符合活动为严重不符合项。对报告的质量未产生影响的不符合活动为一般不符合项。不符合规定或业主要求的调查报告为不符合产品。

3.2 非辐射环境质量现状

3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

本项目大气环境质量现状调查项目包括：SO_2、NO_2、CO、O_3、$PM_{2.5}$、PM_{10}。监测点位考虑厂址半径 5km 范围内的主要环境保护目标：1）厂址位置；2）厂址附近那心村和光星村；3）主导风下风向的新村仔和允泊村；3）临近厂址的人口聚集区东平镇。对环境空气污染物基本项目（SO_2、NO_2、CO、O_3、$PM_{2.5}$、PM_{10}）在厂址位置、新村仔、那心村布设检测点位，对本项目特征污染物在厂址位置、新村仔、光星村、那心村、允泊村和东平镇均布设检测点位。图 3.2-1 给出了大气检测点位示意图。

建设单位委托江苏中衍检测技术有限公司于 2022 年 10 月 1 日至 10 月 7 日对本项目场址及周围区域进行了大气环境质量检测。表 3.2-1 给出了本项目大气环境检测点位、检测项目及检测方法，表 3.2-2~表 3.2-4 给出了各检测点位的检测结果，表 3.2-5 对检测结果进行了统计。

由表 3.2-5 可知：厂址周围 3 个检测点位的 PM_{10} 的 24 小时平均浓度值在（32~36）$\mu g/m^3$ 范围内，$PM_{2.5}$ 的 24 小时平均浓度值在（14~18）$\mu g/m^3$ 范围内，SO_2 的 1 小时平均浓度值在（5~12）$\mu g/m^3$ 范围内，24 小时平均浓度值在（7~14）$\mu g/m^3$ 范围内，NO_2 的 1 小时平均浓度值在（10~19）$\mu g/m^3$ 范围内，24 小时平均浓度值在（9~18）$\mu g/m^3$ 范围内，CO 的 1 小时平均浓度值在（ND~0.91）mg/m^3 范围内，24 小时平均浓度值在（0.72~0.88）mg/m^3 范围内，O_3 的 1 小时平均浓度值在（119~148）$\mu g/m^3$ 范围内，24 小时平均浓度值在（110~135）$\mu g/m^3$ 范围内。上述检测结果均低于环境空气污染物基本浓度二级限值，满足本项目厂址区域环境空气质量要求。

表 3.2-1 大气环境监测点位、监测项目及监测方法

检测点位名称	检测项目	方法名称及方法标准号	检出限（ND）
厂址位置 那心村 新村仔	PM_{10}、$PM_{2.5}$、SO_2、NO_2、CO、O_3	$PM_{2.5}$：HJ 618-2011 PM_{10}：HJ618-2011 SO_2：HJ482-2009 NO_2：HJ479-2009 CO：HJ 965-2018 O_3：HJ 504- 2009	$PM_{2.5}$：0.010mg/m^3 PM_{10}：0.010mg/m^3 SO_2：0.007mg/m^3 NO_2：0.005mg/m^3 CO：0.07mg/m^3 O_3：0.010mg/m^3

表 3.2-2 大气环境质量检测结果（厂址位置）

检测时间	风速 m/s	风向	SO_2、NO_2、CO、O_3 检测结果					$PM_{2.5}$、PM_{10} 检测结果		
			采样时间	SO_2 mg/m³	NO_2 mg/m³	CO mg/m³	O_3 mg/m³	采样时间	PM_{10} mg/m³	$PM_{2.5}$ mg/m³
2022.10.1	2.1~3.0	东北	02:00-03:00	0.008	0.011	ND	0.133	08:00-06:00（第二天）	0.035	0.015
			08:00-09:00	0.011	0.010	0.85	0.142			
			14:00-15:00	0.010	0.013	0.78	0.139			
			20:00-21:00	0.006	0.014	0.78	0.132			
			24 小时平均	0.008	0.010	0.74	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.122			
2022.10.2	2.6~3.1	东北	02:00-03:00	0.011	0.017	0.91	0.144	08:00-06:00（第二天）	0.035	0.018
			08:00-09:00	0.012	0.015	0.85	0.148			
			14:00-15:00	0.008	0.016	0.86	0.143			
			20:00-21:00	0.011	0.013	0.87	0.136			
			24 小时平均	0.007	0.012	0.72	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.118			
2022.10.3	2.3~2.6	东	02:00-03:00	0.012	0.015	0.82	0.126	08:00-06:00（第二天）	0.035	0.015
			08:00-09:00	0.008	0.014	0.78	0.130			
			14:00-15:00	0.010	0.013	0.74	0.128			
			20:00-21:00	0.009	0.015	0.74	0.133			
			24 小时平均	0.009	0.011	0.82	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.128			
2022.10.4	2.4~3.1	东	02:00-03:00	0.008	0.015	0.74	0.139	08:00-06:00（第二天）	0.033	0.016
			08:00-09:00	0.009	0.015	0.74	0.143			
			14:00-15:00	0.010	0.017	0.72	0.139			
			20:00-21:00	0.011	0.014	0.72	0.145			
			24 小时平均	0.011	0.015	0.88	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.112			

检测时间	风速 m/s	风向	SO_2、NO_2、CO、O_3 检测结果					$PM_{2.5}$、PM_{10} 检测结果		
			采样时间	SO_2 mg/m^3	NO_2 mg/m^3	CO mg/m^3	O_3 mg/m^3	采样时间	PM_{10} mg/m^3	$PM_{2.5}$ mg/m^3
2022.10.5	2.4~2.7	东	02:00-03:00	0.010	0.010	0.76	0.139	08:00-06:00（第二天）	0.032	0.016
			08:00-09:00	0.009	0.013	0.76	0.144			
			14:00-15:00	0.007	0.013	0.70	0.139			
			20:00-21:00	0.008	0.015	0.70	0.136			
			24 小时平均	0.010	0.012	0.83	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.131			
2022.10.6	2.5~2.8	东北	02:00-03:00	0.009	0.016	0.76	0.137	08:00-06:00（第二天）	0.033	0.015
			08:00-09:00	0.010	0.017	0.79	0.143			
			14:00-15:00	0.008	0.017	0.76	0.147			
			20:00-21:00	0.011	0.016	0.78	0.135			
			24 小时平均	0.009	0.013	0.72	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.125			
2022.10.7	2.3~2.7	北	02:00-03:00	0.011	0.017	0.76	0.135	08:00-06:00（第二天）	0.030	0.015
			08:00-09:00	0.010	0.015	0.76	0.145			
			14:00-15:00	0.009	0.013	0.72	0.147			
			20:00-21:00	0.012	0.014	0.72	0.148			
			24 小时平均	0.014	0.014	0.79	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.135			

表 3.2-3 大气环境质量检测结果（新村仔）

检测时间	风速 m/s	风向	SO_2、NO_2、CO、O_3 检测结果					$PM_{2.5}$、PM_{10} 检测结果		
			采样时间	SO_2 mg/m³	NO_2 mg/m³	CO mg/m³	O_3 mg/m³	采样时间	PM_{10} mg/m³	$PM_{2.5}$ mg/m³
2022.10.1	2.1~3.0	东北	02:00-03:00	0.010	0.010	0.87	0.120	08:00-06:00（第二天）	0.036	0.014
			08:00-09:00	0.007	0.011	0.87	0.119			
			14:00-15:00	0.009	0.013	0.75	0.123			
			20:00-21:00	0.010	0.011	0.74	0.123			
			24 小时平均	0.008	0.009	0.74	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.122			
2022.10.2	2.6~3.1	东北	02:00-03:00	0.009	0.014	0.85	0.122	08:00-06:00（第二天）	0.033	0.016
			08:00-09:00	0.010	0.016	0.82	0.126			
			14:00-15:00	0.007	0.015	0.74	0.130			
			20:00-21:00	0.008	0.016	0.72	0.124			
			24 小时平均	0.007	0.013	0.82	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.125			
2022.10.3	2.3~2.6	东	02:00-03:00	0.010	0.015	0.74	0.120	08:00-06:00（第二天）	0.033	0.015
			08:00-09:00	0.010	0.018	0.74	0.123			
			14:00-15:00	0.007	0.013	0.78	0.128			
			20:00-21:00	0.008	0.015	0.78	0.122			
			24 小时平均	0.009	0.015	0.88	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.112			
2022.10.4	2.4~3.1	东	02:00-03:00	0.006	0.014	0.72	0.132	08:00-06:00（第二天）	0.033	0.016
			08:00-09:00	0.010	0.015	0.72	0.128			
			14:00-15:00	0.012	0.015	0.70	0.131			
			20:00-21:00	0.008	0.015	0.70	0.134			
			24 小时平均	0.013	0.018	0.72	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.122			

检测时间	风速 m/s	风向	SO_2、NO_2、CO、O_3 检测结果					$PM_{2.5}$、PM_{10} 检测结果		
			采样时间	SO_2 mg/m^3	NO_2 mg/m^3	CO mg/m^3	O_3 mg/m^3	采样时间	PM_{10} mg/m^3	$PM_{2.5}$ mg/m^3
2022.10.5	2.4~2.7	东	02:00-03:00	0.010	0.011	0.85	0.128	08:00-06:00（第二天）	0.032	0.015
			08:00-09:00	0.011	0.015	0.85	0.127			
			14:00-15:00	0.008	0.015	0.74	0.124			
			20:00-21:00	0.009	0.017	0.74	0.126			
			24 小时平均	0.012	0.011	0.82	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.125			
2022.10.6	2.5~2.8	东北	02:00-03:00	0.007	0.015	0.82	0.121	08:00-06:00（第二天）	0.034	0.017
			08:00-09:00	0.008	0.017	0.82	0.120			
			14:00-15:00	0.009	0.017	0.82	0.125			
			20:00-21:00	0.010	0.016	0.76	0.127			
			24 小时平均	0.008	0.013	0.81	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.123			
2022.10.7	2.3~2.7	北	02:00-03:00	0.009	0.015	0.79	0.120	08:00-06:00（第二天）	0.032	0.014
			08:00-09:00	0.008	0.015	0.78	0.125			
			14:00-15:00	0.006	0.017	0.82	0.124			
			20:00-21:00	0.009	0.017	0.82	0.121			
			24 小时平均	0.012	0.012	0.72	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.134			

表 3.2-4 大气环境质量检测结果（那心村）

检测时间	风速 m/s	风向	SO_2、NO_2、CO、O_3 检测结果					$PM_{2.5}$、PM_{10} 检测结果		
			采样时间	SO_2 mg/m³	NO_2 mg/m³	CO mg/m³	O_3 mg/m³	采样时间	PM_{10} mg/m³	$PM_{2.5}$ mg/m³
2022.10.1	2.1~3.0	东北	02:00-03:00	0.005	0.010	0.75	0.120	08:00-06:00（第二天）	0.035	0.014
			08:00-09:00	0.006	0.010	0.71	0.123			
			14:00-15:00	0.009	0.012	0.86	0.126			
			20:00-21:00	0.008	0.010	0.85	0.129			
			24 小时平均	0.009	0.010	0.78	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.115			
2022.10.2	2.6~3.1	东北	02:00-03:00	0.006	0.017	0.78	0.132	08:00-06:00（第二天）	0.036	0.015
			08:00-09:00	0.005	0.015	0.72	0.126			
			14:00-15:00	0.007	0.016	0.89	0.125			
			20:00-21:00	0.009	0.016	0.85	0.128			
			24 小时平均	0.009	0.012	0.82	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.114			
2022.10.3	2.3~2.6	东	02:00-03:00	0.006	0.014	0.85	0.125	08:00-06:00（第二天）	0.032	0.015
			08:00-09:00	0.011	0.016	0.85	0.123			
			14:00-15:00	0.010	0.019	0.72	0.130			
			20:00-21:00	0.006	0.014	0.72	0.124			
			24 小时平均	0.009	0.011	0.75	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.121			
2022.10.4	2.4~3.1	东	02:00-03:00	0.006	0.016	0.85	0.124	08:00-06:00（第二天）	0.033	0.015
			08:00-09:00	0.010	0.016	0.85	0.124			
			14:00-15:00	0.009	0.013	0.74	0.131			
			20:00-21:00	0.007	0.015	0.74	0.126			
			24 小时平均	0.012	0.013	0.77	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.120			

检测时间	风速 m/s	风向	SO_2、NO_2、CO、O_3 检测结果					$PM_{2.5}$、PM_{10} 检测结果		
			采样时间	SO_2 mg/m^3	NO_2 mg/m^3	CO mg/m^3	O_3 mg/m^3	采样时间	PM_{10} mg/m^3	$PM_{2.5}$ mg/m^3
2022.10.5	2.4~2.7	东	02:00-03:00	0.006	0.015	0.78	0.120	08:00-06:00（第二天）	0.032	0.014
			08:00-09:00	0.007	0.011	0.78	0.123			
			14:00-15:00	0.005	0.013	0.78	0.125			
			20:00-21:00	0.009	0.013	0.82	0.121			
			24 小时平均	0.014	0.011	0.82	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.110			
2022.10.6	2.5~2.8	东北	02:00-03:00	0.006	0.017	0.84	0.131	08:00-06:00（第二天）	0.035	0.016
			08:00-09:00	0.009	0.016	0.84	0.129			
			14:00-15:00	0.007	0.015	0.75	0.123			
			20:00-21:00	0.005	0.014	0.75	0.126			
			24 小时平均	0.007	0.013	0.75	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.117			
2022.10.7	2.3~2.7	北	02:00-03:00	0.007	0.016	0.80	0.131	08:00-06:00（第二天）	0.032	0.015
			08:00-09:00	0.008	0.016	0.80	0.130			
			14:00-15:00	0.005	0.015	0.78	0.128			
			20:00-21:00	0.010	0.015	0.78	0.129			
			24 小时平均	0.013	0.012	0.77	—			
			日最大 8 小时平均	—	—	—	0.122			

表 3.2-5 非辐射环境质量检测结果统计

检测指标		检测点位	检测结果范围 ($\mu g/m^3$)	GB3095-2012 二级限值
PM_{10}	24 小时平均浓度	厂址位置	32~35	150μg/m³
		新村仔	32~36	
		那心村	32~36	
$PM_{2.5}$	24 小时平均浓度	厂址位置	15~18	75μg/m³
		新村仔	14~17	
		那心村	14~16	
SO_2	1 小时平均浓度	厂址位置	6~12	500μg/m³
		新村仔	6~12	
		那心村	5~11	
	24 小时平均浓度	厂址位置	7~14	150μg/m³
		新村仔	7~13	
		那心村	7~14	
NO_2	1 小时平均浓度	厂址位置	10~17	200μg/m³
		新村仔	10~18	
		那心村	10~19	
	24 小时平均浓度	厂址位置	10~15	80μg/m³
		新村仔	9~18	
		那心村	10~13	
CO	1 小时平均浓度	厂址位置	ND~0.91 mg/m³	10mg/m³
		新村仔	0.70~0.87 mg/m³	
		那心村	0.71~0.89 mg/m³	
	24 小时平均浓度	厂址位置	0.72~0.88 mg/m³	4mg/m³
		新村仔	0.72~0.88 mg/m³	
		那心村	0.72~0.82 mg/m³	
O_3	1 小时平均浓度	厂址位置	126~148	200μg/m³
		新村仔	119~134	
		那心村	120~131	
	24 小时平均浓度	厂址位置	112~135	160μg/m³
		新村仔	112~134	
		那心村	110~122	



图 3.2-1 非辐射环境质量检测布点图

3.2.2 声环境质量现状调查与评价

为了了解厂址区域的环境噪声现状，建设单位委托江苏中衍检测技术有限公司依据相关导则和要求，于 2022 年 10 月 1 日和 10 月 2 日开展了噪声监测。

本项目厂址周边区域属于 2 类声环境功能区，其中的居民区属于 1 类声环境功能区，评价范围为厂址边界外 1m，适当扩大至附近敏感点光星村。江苏中衍检测技术有限公司对厂界四周、厂址周围声环境敏感点（光星村）以及附近其它距离较近的居民点（新村仔、那心村和蒲塘村）进行了噪声监测。监测点位布置情况见图 3.2-1，监测结果见表 3.2-6。

根据《声环境质量标准》（GB3096-2008），在厂址区域内外的环境敏感点处进行噪声现状监测。本项目噪声环境监测选择昼间（6:00~22:00）和夜间（22:00~6:00）两个时段进行噪声监测，采用 1min 的等效声级，监测两天。

根据表 3.2-6 监测结果可知，本项目厂界昼间噪声为（49~53）dB（A），夜间噪声为（40~44）dB（A），满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 2 类功能区限值（昼间 60 dB（A），夜间 50 dB（A））。厂址周围环境敏感点和居民点昼间噪声为（50~52）dB（A），夜间噪声为（41~44）dB（A），满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 1 类功能区限值（昼间 55dB（A），夜间 45 dB（A））。

综上，本项目厂址边界和厂址周围的噪声监测结果均可满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中相应声环境功能区限值的要求，厂址所在区域声环境状况良好。

表 3.2-6 厂址边界及周围区域噪声监测结果

监测日期	风速(m/s)	检测点位	检测时间	检测结果 dB(A)
2022.10.1 昼间	3.0	东厂界外 1 米处	13:00-13:10	52
		南厂界外 1 米处	13:20-13:30	52
		西厂界外 1 米处	13:35-13:45	50
		北厂界外 1 米处	13:54-14:04	51
		光星村	14:20-14:30	50
		新村	14:49-14:59	50
		那心村	15:12-15:22	50
		蒲塘村	15:35-15:45	50
2022.10.1 夜间	2.9	东厂界外 1 米处	22:00-22:10	44
		南厂界外 1 米处	22:17-22:27	44
		西厂界外 1 米处	22:35-22:45	44
		北厂界外 1 米处	22:55-23:05	40
		光星村	23:20-23:30	44
		新村	23:41-23:51	43
		那心村	00:07-00:17	43
		蒲塘村	00:30-00:40	44
2022.10.2 昼间	3.0	东厂界外 1 米处	13:00-13:10	49
		南厂界外 1 米处	13:18-13:28	49
		西厂界外 1 米处	13:34-13:44	50
		北厂界外 1 米处	13:56-14:06	53
		光星村	14:20-14:30	52
		新村	14:48-14:58	51
		那心村	15:11-15:21	50
		蒲塘村	15:34-15:44	51
2022.10.1 夜间	2.6	东厂界外 1 米处	22:01-22:11	43
		南厂界外 1 米处	22:17-22:27	44
		西厂界外 1 米处	22:35-22:45	43
		北厂界外 1 米处	22:55-23:05	44
		光星村	23:20-23:30	43
		新村	23:42-23:52	43
		那心村	00:07-00:17	41
		蒲塘村	00:28-00:38	43

3.2.3 受纳水体环境质量

本项目放射性废水经处理达到《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2022）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。

生活废水经厂区污水处理站处理达到广东省地方标准《水污染物排放限值》

（DB44/26-2001）二时段一级排放标准的相关要求后，经管道输送至阳江核电原施工准备区内的污水管网中，经阳江核电现有生活污水处理设施处理后排放。

本项目受纳水体为阳江核电厂排放口海水。阳江核电厂定期对核电厂排放口海水开展海水水质相关指标的监测工作，根据 2021 年 1 月监测结果，核电厂排放口（H3）的 pH 值为 8.17，化学需氧量（COD）为 1.45mg/L，五日生化需氧量（BOD_5）为 0.8 mg/L，悬浮物浓度为 11.3 mg/L，氨含量为 0.200 mg/L，亚硝酸盐氮含量为 0.025 mg/L，硝酸盐氮含量为 0.099mg/L 无机氮含量为 0.324 mg/L，活性磷酸盐含量为 0.088 mg/L，石油类含量为 0.0148 mg/L。上述检测结果中，除氨含量和活性磷酸盐含量外，均满足《海水水质标准》（GB 3097-1997）中的三级标准，满足本项目排放口的水质要求。

3.2.4 非辐射环境调查质量保证

为了保证本项目非辐射环境调查质量，监测调查采取了如下质保措施：

（1） 制定和提交了本项目质保大纲。

（2） 为了确保调查质量，本项目成立了项目领导小组；建立质保小组。

（3） 质保小组承担质量保证和监督职责；质量保证和监督组由本项目经理、外业调查负责人、质量主管部门、数据校对人、质量监督员组成。

（4） 质量保证和监督组成员名单将随实施计划向项目领导小组报告。

（5） 每次监测，所有测量仪器都经质检合格；本项目所使用的仪器设备其技术指标应能满足调查的要求。

（6） 仪器设备均在检定、校准证书有效期内使用。为保证调查数据质量，仪器设备应在至少调查前后各进行一次校验，可采用实验室或外业现场自校、互校、比对及校准等方式。无法溯源到国家计量标准的仪器设备，则应按照程序化的、并经项目负责人审核认可的自校或互校方法进行自校或互校。

（7） 所有检测环节应严格按照规范要求操作。

（8） 为了检查项目是否根据调查大纲要求实施开展，本项目还制定了详细的实施计划和调查操作规程。

（9） 检测项目（环境空气、水、土壤）均包给有资质机构或分包给有资质机构进行检测。

（10） 在检测过程中都进行质量控制，加入质控样检查，并全部合格。

第四章　项目工程分析

4.1 项目建设内容及总平面布置

4.1.1 项目建设内容

中广核铀业发展有限公司于 2016 年在本项目厂址建设了中广核先进燃料工程试验中心项目，并于 2018 年 12 月完成工程移交接产，是中国广核集团自主品牌系列组件的研发和试制平台。工程试验中心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，并于 2018 年 9 月 30 日试制出 STEP-12 第一组无铀模拟组件（工程试验中心为非核项目，无核材料操作工作）。

经过中广核集团请示，国防科工局于 2019 年 12 月 24 日发文《国防科工局关于中广核先进燃料研制中心项目核准的批复》（科工二司[2019]1504 号）批复同意在现有工程试验中心的基础上建设涉核设施，即中广核先进燃料研制中心。

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 33333.33m^2（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、应急指挥中心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、危废品库和应急指挥中心等新建设施，建筑面积共计 9964.51m^2。

本项目的建设内容为充分利用工程试验中心原有厂房和设备设施，在满足核安全相关法律法规的基础上，新增芯块研制和相关组件生产能力，补充部分零部件试制与组件组装必需的工艺设备。同时，增加涉核相关的实物保护、临界安全、辐射防护、三废处理等设施，以满足 STEP 系列、事故容错燃料（ATF）等先进燃料组件研制需求。

表 4.1-1　本项目建设内容

子项	建筑/设施	建设类型	建设内容
01	零部件研制实验室	改建	在工程试验中心的零部件研制实验室补充部分机加工设备，完善零部件加工制造能力。
02	骨架组装实验室	改建	对原工程试验中心的组件组装实验室进行改造，形成完整的骨架研制线和相关组件研制线。
03	综合研制室	新建	a）建设常规芯块、含钆芯块研制生产线，以 UO_2 为原料采用粉末冶金工艺制备燃料芯块； b）将原工程试验中心组件组装实验室的燃料棒生产线设备搬迁至综合研制室，新增芯块装管、燃料棒端塞焊接等设备，改造形成两条单独的常规燃料棒、含钆燃料棒的研制线； c）将原工程试验中心的组件组装实验室的组件组装设备搬迁至综合研制室，形成组件研制线； d）建设 ATF 实验室，满足小批量、多样化的研制需求； e）建设配套的理化检测分析实验室，满足组件研制过程控制需求； f）建设辐射区域含铀废水初步处理及暂存间、固废暂存间。
04	污水处理站	接入	生产、洗衣等废液经过滤、吸附处理后，铀含量达到饮用水标准后排放至现有的污水处理站。
05	供氢站	新建	新建 H_2 存储和配气设施，满足芯块研制用气需求。
06	洗衣房	新建	新建洗衣房。
07	危险品库	新建	新建危险品库。
08	危废品库	新建	新建危废品库。
09	门卫一	改建	根据实体需求改造门卫一。
10	门卫二	改建	根据实体需求改造门卫二。
11	应急指挥中心	新建	应急指挥办公场所

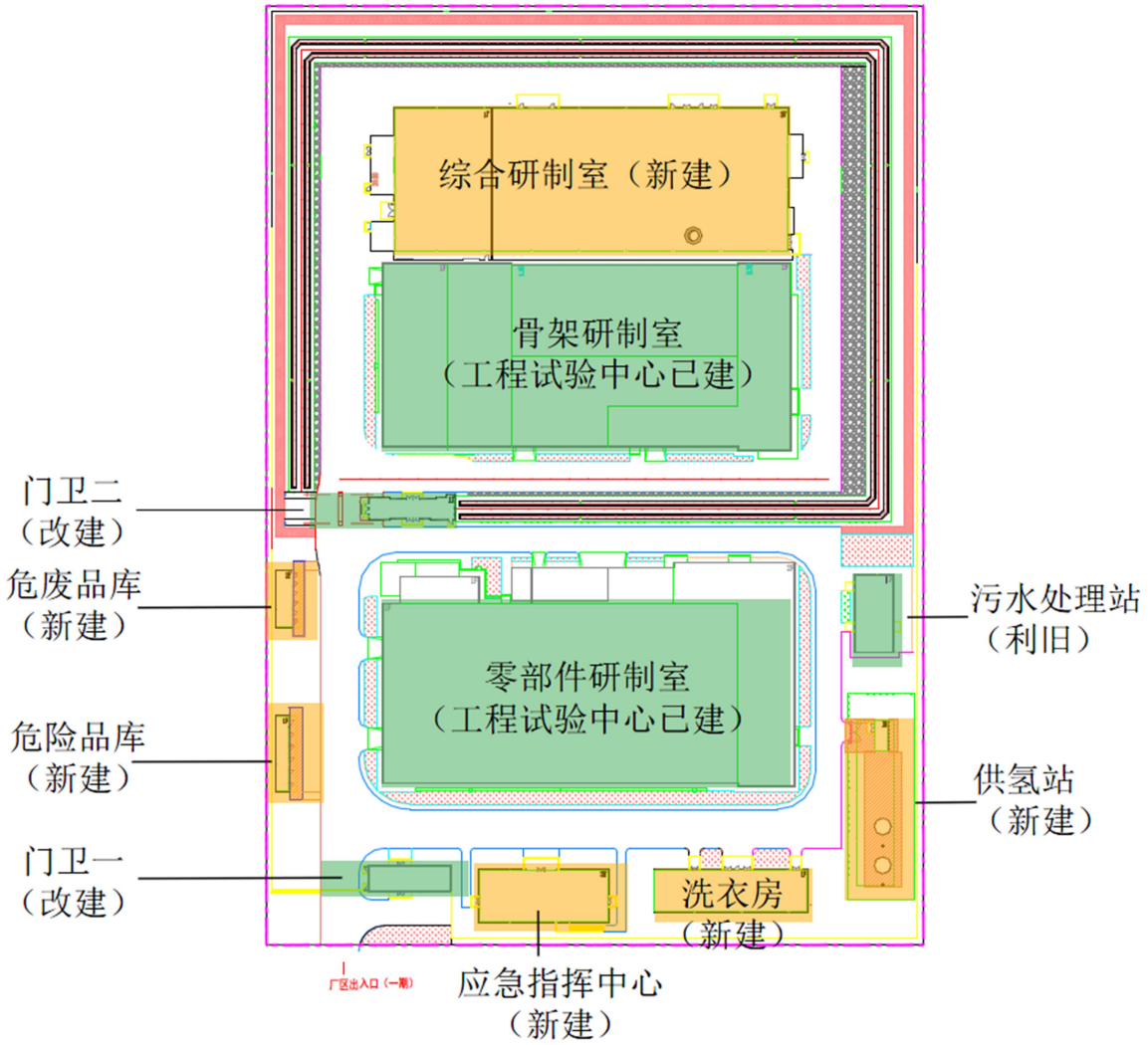


图 4.1-1　本项目各子项与工程试验中心的位置关系

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

本项目是在已规划用地范围内新建子项，根据实物保护区的不同可分为两个区域，北区位于保护区内，南区位于保护区外（控制区内）。

综合研制室（03 子项）位于用地范围的北侧，保护区范围内，其南侧为骨架组装实验室（02 子项，已建），紧邻综合研制室（03 子项）西侧、北侧和东侧为厂区内部道路，道路宽度分别为 9m、6m 和 6m，可满足交通运输及消防需求。

供氢站（05 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）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 H2 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。

应急指挥中心（11 子项）位于用地范围南侧用地边界，其与北侧零部件研制室（01 子项）的间距为 20.00m，与东侧洗衣房（06 子项）供氢站（05 子项）的间距为 10.50m，与西侧门卫一（09 子项，已建）的间距为 25.02m。应急指挥中心（11 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。

本项目范围内，区域的主要出入口位于南区的西南侧，两个区内部分别布置了环形道路，并通过北区西南侧的出入口连通，可满足交通运输需求。

图 4.1-2 给出了本项目总平面布置。

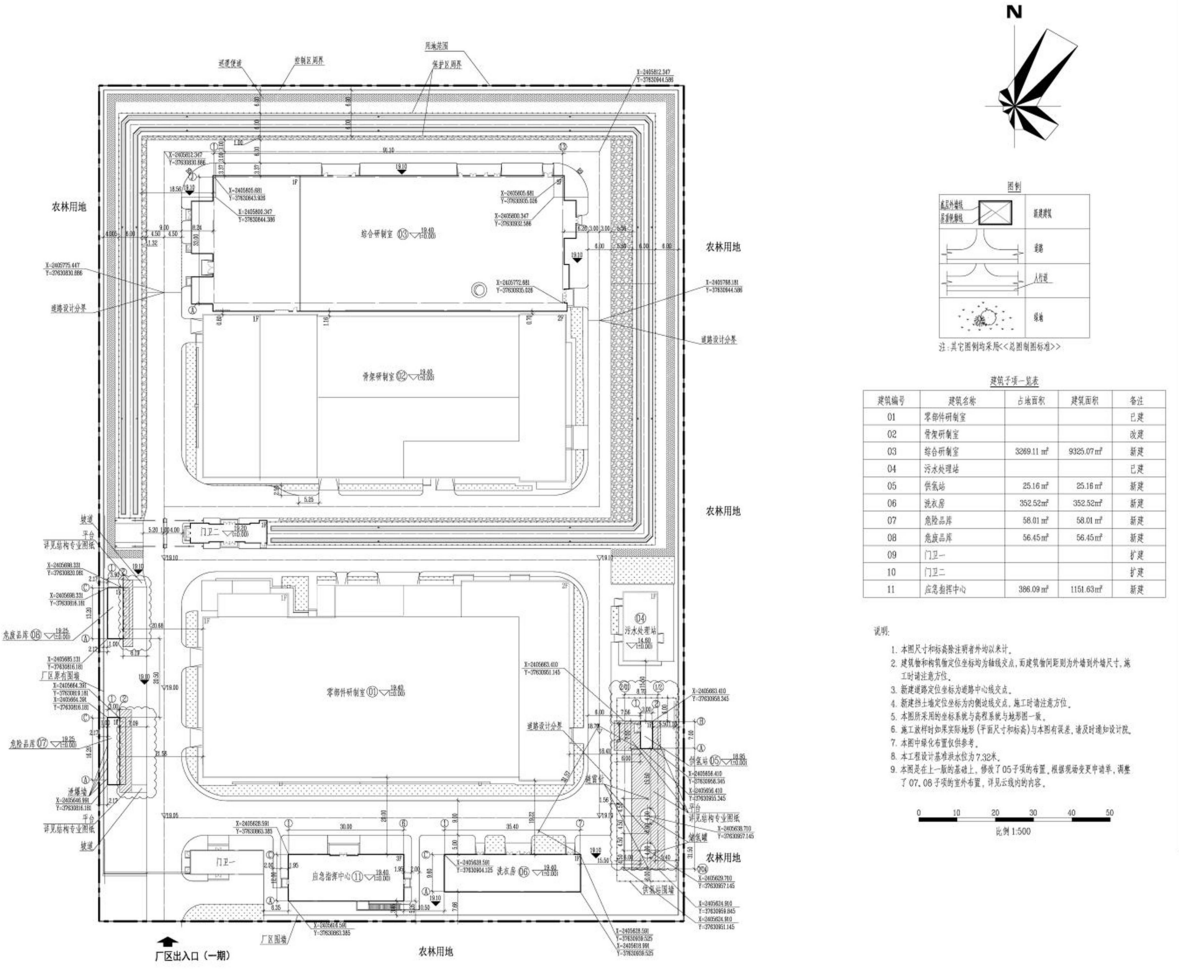


图 4.1-2　总平面布置图

4.1.2.3 厂房布置

（1）非核厂房

本项目新建的非核厂房包括供氢站（05 子项）、洗衣房（06 子项）、危险品库（07 子项）、危废品库（08 子项）和应急指挥中心（11 子项）。

供氢站（05 子项）用于氢气罐贮存，为钢筋混凝土框架结构。

洗衣房（06 子项）用于工作服和工作鞋的清洗、烘干和平整处理，为钢筋混凝土框架结构。

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。

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。

应急指挥中心（11 子项）为一幢三层的钢筋混凝土框架结构建筑。该子项长 30.24m，宽 12.24m，屋面为钢筋混凝土现浇板，采用檐沟排水方式。总建筑面积 1144.21m^2。

（2）涉核厂房

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 100.42m，宽约 35.42m，地上三层，局部地下一层，建筑高度约 18.5m，总建筑面积约 9623.46m^2。该子项贴邻骨架组装实验室（02 子项）的北侧扩建，并在原骨架组装实验室（02 子项）内设置柴油机房、实物保护控制中心、实物保护设备间等辅助功能。

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、钆芯块在线检验间、含钆芯块贮存间等。

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 4.1-3 给出了综合研制室的厂房平面布置图（一至三层）。

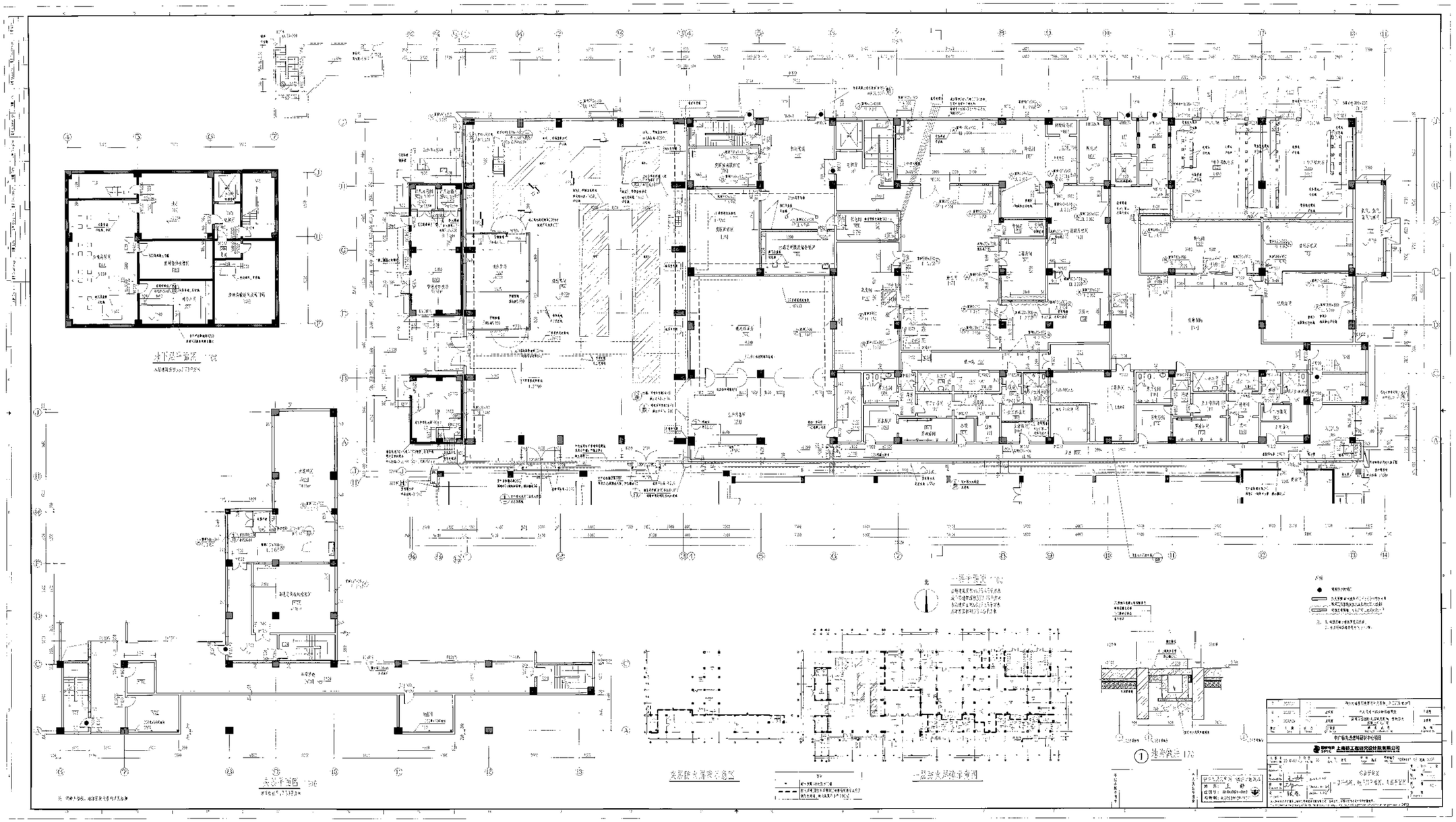


图 4.1-3（1/3）　综合研制室厂房平面布置图（一层）（含地下层和夹层）

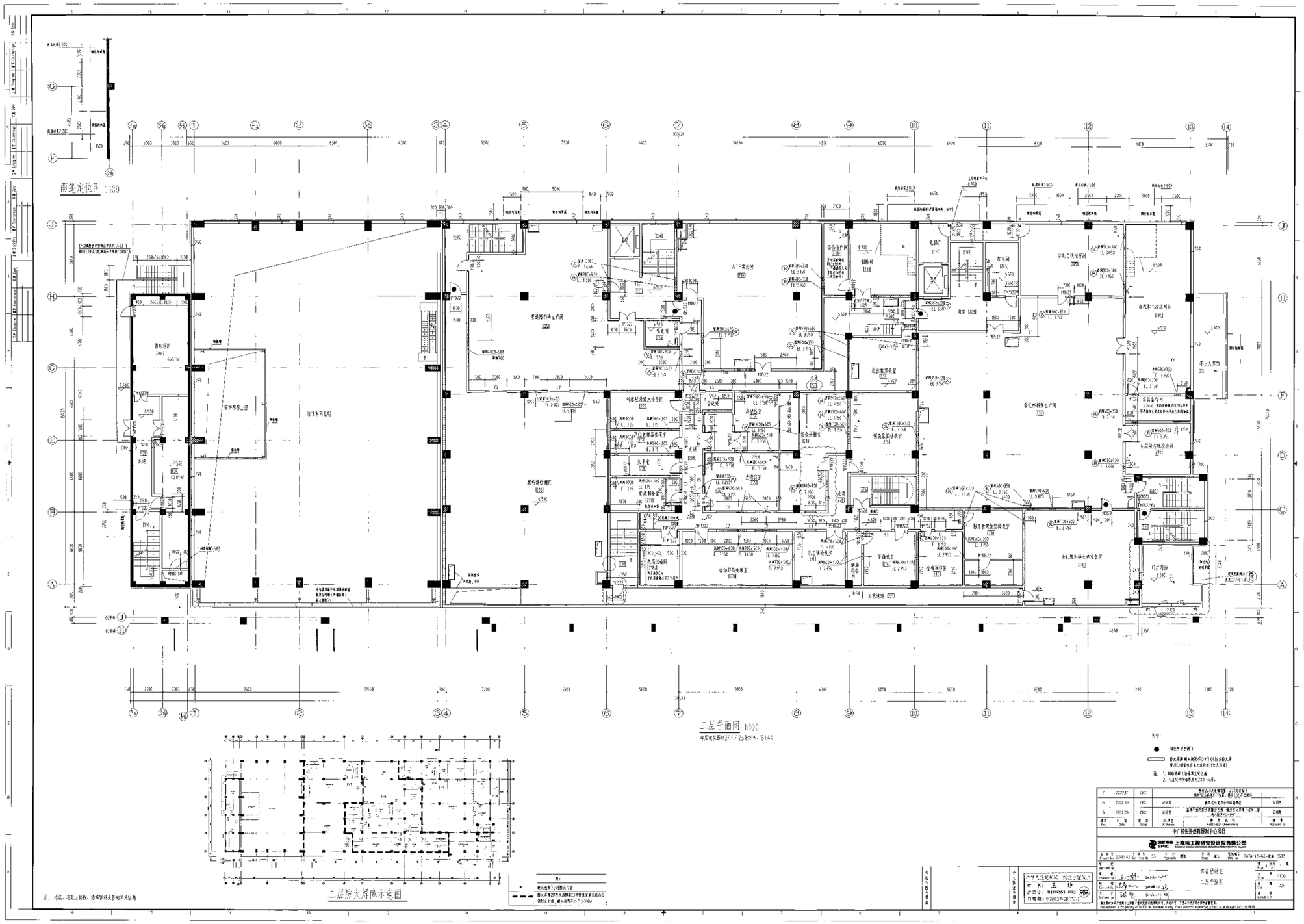


图 4.1-3（2/3）　综合研制室厂房平面布置图（二层）

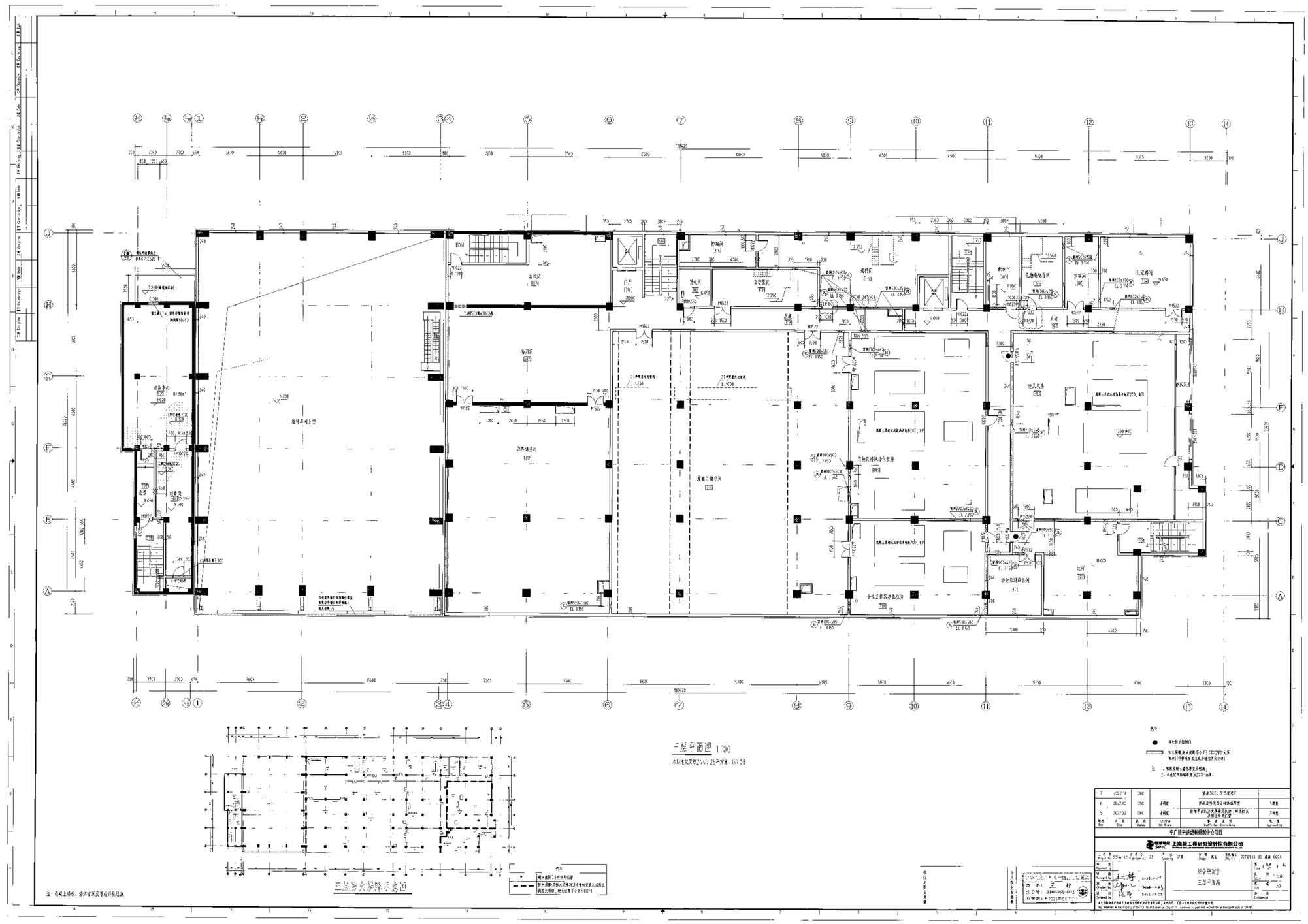


图 4.1-3（3/3）　综合研制室厂房平面布置图（三层）

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6 个部分：芯块研制、燃料棒研制、燃料组件研制、相关组件研制、零部件及骨架研制。年操作量 15t 金属铀，生产产品包括 UO_2 芯块、含钆芯块、常规燃料棒、含钆燃料棒、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 芯块和含钆芯块。

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。

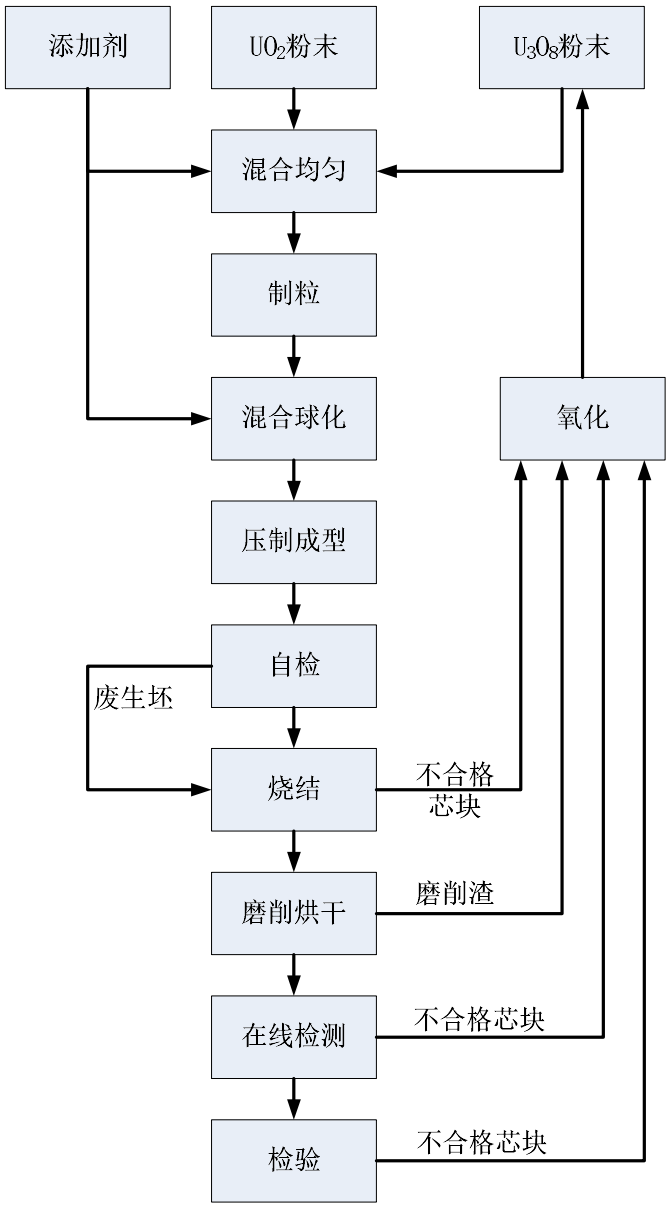


图 4.2-1　UO_2 芯块制备工艺流程

（1）粉末混料与均匀化

原料 UO_2 粉末采用可移动料桶分装，存放于 11m 层的原料储存间。芯块生产时，将 UO_2 粉末料桶运至 11m 层的混料间的真空上料系统（3103）旁，采用真空上料的方式将 UO_2 粉末送入单锥双螺旋混料器（主混）（3104-02）；将适量的 U_3O_8 粉末通过 3103 设备送入单锥单螺旋混料器（预混）（3104-01），同时装有添加剂的容器与 3104-01 设备对接，将添加剂放入 3104-01 设备中，先进行预混，然后打开阀门使预混后的 U_3O_8 粉末和添加剂自流入下方 3104-02 设备。启动 3104-02 设备，按特定程序进行粉末混合均匀化。粉末混合均匀化工序单次可最多操作 350kg 的粉末物料。

（2）轧辊制粒、混合球化

单锥双螺旋混料器（主混）（3104-02）内混合均匀的粉末经振动给料器（3104-03）向安装在 6.5m 层上的制粒装置（3105）定量供料。3105 设备对 UO_2 粉末进行轧辊制粒，经过制粒后的粉末以其自然配比落入 3.5m 层上的混料料桶（3108-01）中。3108-01 设备装料量≤360kg。用电子天平称量一定量（<1wt%）的硬脂酸锌或阿克蜡，加入 3108-01 设备。人工将 3108-01 设备推运并安装于二次混料器（3108-02）上，提升并启动控制程序，按设定的时间、转速进行混合，粉末颗粒在混合中同时进行滚磨球化，完成后 3108-02 设备提升机构启动，将 3108-01 设备移动至缓存料仓（3110-01）上方。混合好的粉末倒入 3110-01 设备送往成型压制工序。混合球化工序单次可最多操作 360kg 的粉末物料。

（3）成型压制

缓存料仓（3110-01）布置安装在旋转成型压机（3111）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。启动旋转成型压机进行压制操作，压制成的芯块生坯由生坯芯块装舟装置（3112）装入钼舟，钼舟内生坯芯块整齐排列。钼舟中生坯芯块装载到规定的高度后，生坯芯块装舟装置将钼舟转移至生坯芯块暂存装置（3121-01）中，生坯芯块暂存装置对装有芯块的钼舟有序排列、存放。生坯密度经取样检测合格后送往烧结工序。成型压制工序在混合球化后的粉末到位后，以不高于 240 块/min 的生产节奏开展生产工作。

（4）高温烧结

AGV 转运小车（3121-03）按烧结工序的进料节拍，定时自动到生坯芯块暂存装置（3121-01）中接取装有生坯芯块的钼舟，接取后自动转运到连续推舟炉（3113）的进料口。烧结炉进料机构自动将装有生坯块的钼舟送入炉内进行高温烧结。烧结时炉内通 H_2 保护，H_2 气流方向与物料运动方向相反，H_2 纯度不低于 99.9%，保证烧结炉内呈微正压。H_2 尾气通过烧结炉上方排气口设置的电阻式线圈点火器点燃。烧结好的芯块通过烧结炉出料口的出料装置自动推送出来，烧结后的芯块在连续推舟炉出料口短暂存放后，AGV 转运小车（3121-04）定时自动到该处接取钼舟，接取后由 AGV 转运小车（3121-04）将装有烧结芯块的钼舟转运到烧结芯块暂存装置（3121-02）中进行存放。高温烧结工序单批次可最多对约 1t 的 UO_2 芯块进行烧结。

（5）芯块磨削、烘干

烧结芯块翻转倒料装置（3114）根据磨削线生产能力需要按周期自动将暂存装置（3121-02）钼舟中的芯块倒入磨削线的振动给料装置（3115-02）中。在振动过程中将芯块排成单列并连续向无心磨床（3115-04）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（3115-05）进行冲洗、烘干；烘干后的芯块经芯块光学直径检测及在线剔除装置（3115-06）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（3115-07）上，自动装入芯块料盘（V 型）。装满芯块的料盘（V 型）转运到外检平台（3115-08）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储存柜内暂存。芯块磨削工序在烧结芯块到位后，以约 148 块/min 的生产节奏开展生产工作。

（6）渣水分离

无心磨床（3115-04）的冷却液采用磨削渣水分离系统（3116）进行渣水分离。磨削渣水分离系统包括离心机、泵、中间水箱、管道、阀门等。

从无心磨床（3115-04）设备流出的磨削液首先用水泵送至离心机，经过两级离心机进行渣水分离，渣水分离后的磨削液再流入中间水箱中由水泵重新打上去重复使用。在这个过程中磨渣被分离出来，因此不需要为掏渣而将水排放。采用离心分离工艺进行渣水分离，极小尺寸磨削渣颗粒也可以可靠地分离出来。

离心分离后的清液循环使用，按照一定的时间周期（定期检测废液浓度确定周期时间）将循环使用后的冷却液用泵通过管道输送到废液接收箱暂存。分离后的磨削渣装盘后人工送往氧化工序进行烘干、氧化处理。

（7）返料氧化

芯块生产过程中产生的物理不合格芯块及磨削渣水通过渣水分离系统分离出的磨削渣送到连续氧化制备装置（3125）内进行氧化处理，得到 U_3O_8 粉末。在出料工作箱内进行筛分，筛分后粉末粒度<200μm 的 U_3O_8 粉末装桶，然后送至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送至粉末混合均匀化工序。返料氧化工序在废芯块、磨削渣等到位后，以每批次约 30kg 的生产节奏开展生产工作。

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。

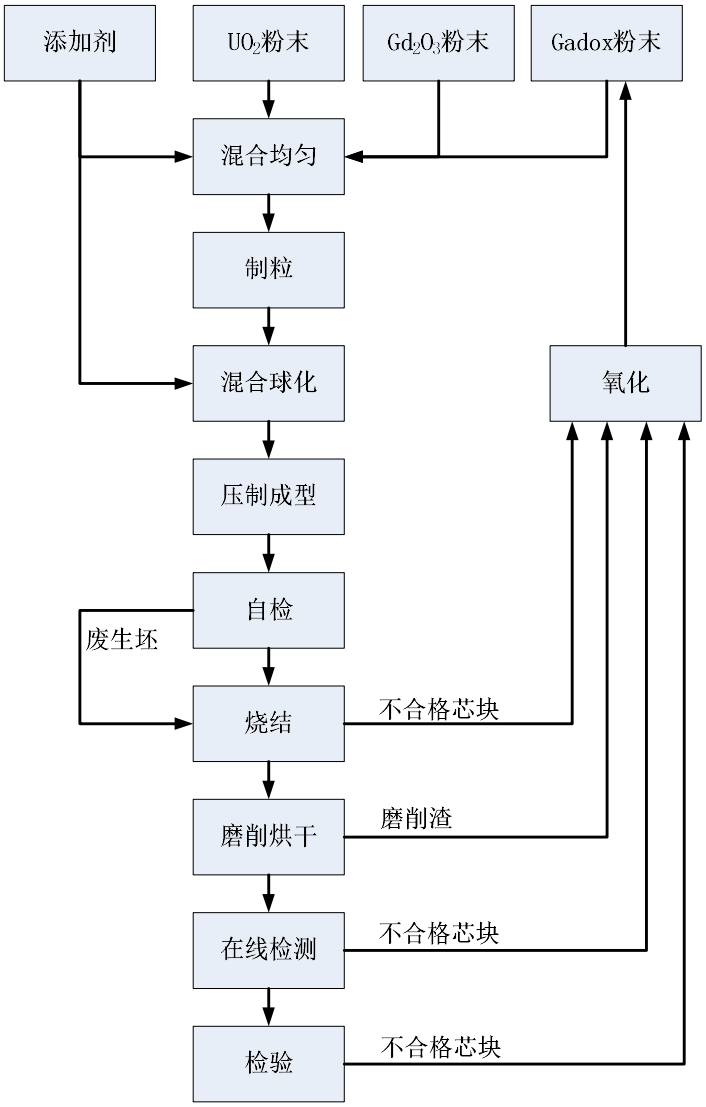


图 4.2-2　含钆芯块制备工艺流程

（1）粉末混料与均匀化

原料 UO_2 粉末采用可移动料桶分装，存放于 11m 层的原料储存间（318 房间）。芯块生产时，将 UO_2 粉末料桶运至钆混料间（315 房间）的 UO_2 粉末送料小室中，通过真空输送器将粉末输送至钆物料储存间（306 房间）的 UO_2 粉末接料小室中的 UO_2 粉末料桶中，然后通过料桶转运至钆混料间（304 房间）的犁铧混料装置（3304）旁，通过加料手套箱（3303-1）将 UO_2 粉末、Gadox 粉末、Gd_2O_3 粉末和添加剂送入 3304 设备。启动 3304 设备，按特定程序进行粉末混合均匀化。混合均匀化工序单次可最多操作 107.1kg 的粉末物料。

（2）轧辊制粒、混合球化

犁铧混料装置（3304）内混合均匀的粉末向安装在 6.5m 层上的制粒装置（3305）供料。3305 设备对含钆 UO_2 粉末进行轧辊制粒，经过制粒后的粉末落入下方的混料料桶（3308-01）中，3308-01 设备位于 6.5m 层。3308-01 设备装料量≤180kg。用电子天平称量约~0.20%wt 的硬脂酸锌，加入 3308-01 设备。人工将 3308-01 设备推运并安装于二次混料器（3308-02）上，提升并启动控制程序，按设定的时间、转速进行混合，粉末颗粒在混合中同时进行滚磨球化，完成后 3308-02 设备提升机构启动，将 3308-01 设备移动至缓存料仓（3308-03）上方。混合好的粉末倒入 3308-03 设备送往成型压制工序。混合球化工序单次可最多操作 180kg 的粉末物料。

（3）成型压制

缓存料仓（3308-03）布置安装在旋转成型压机（3309）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。启动旋转成型压机进行压制操作，压制成的芯块生坯由生坯芯块装舟装置（3310）装入钼舟，钼舟内生坯芯块整齐排列。钼舟中生坯芯块装载到规定的高度后，生坯芯块装舟装置将钼舟转移至生坯芯块暂存装置（3318-01）中，生坯芯块暂存装置对装有芯块的钼舟有序排列、存放。生坯密度经取样检测合格后送往烧结工序。成型压制工序在混合球化后的粉末到位后，以不高于 240 块/min 的生产节奏开展生产工作。

（4）高温烧结

根据钆芯块烧结炉进度，将生坯芯块暂存装置（3318-01）中的生坯钼舟通过转运小车人工转运至钆芯块烧结炉（3311）的进料口处。

钆芯块烧结炉按照一定的升温规程升温至 1700~1800℃，装在钼舟内的生坯芯块通过升降机构推入钆芯块烧结炉（3311）进料口，炉门开启，钼舟运输到烧结炉内进行高温烧结。烧结时炉内通 H_2，并且保证高温烧结炉内呈微正压。尾气通过长明灯及电阻丝点火方式点燃。

烧结好的芯块由炉体底部出料口的升降机构推送下来，芯块在钆芯块烧结炉出料口短暂存放后，通过转运小车人工转运至烧结芯块暂存装置（3318-02）中进行存放。高温烧结工序单批次可最多对约 100kg 的含钆 UO_2 芯块进行烧结。

（5）芯块磨削

根据磨削线生产能力需要按周期将烧结芯块暂存装置（3318-02）中的钼舟倒入磨削线的振动给料装置（3312-02）中。在振动过程中将芯块排成单列并连续向无心磨床

（3312-04）输送进行外圆磨削；磨削后的芯块先通过输送带传送到淋洗、烘干装置（3312-05）进行清洗、烘干；烘干后的芯块经芯块光学直径检测及在线剔除装置（3312-06）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（3312-07）上，自动装入芯块料盘（V 型）。装满芯块的料盘（V 型）人工转运到外检平台（3312-08）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储存柜内暂存。芯块磨削工序在烧结芯块到位后，以约 148 块/min 的生产节奏开展生产工作。

（6）渣水分离

无心磨床（3312-04）的冷却液采用磨削渣水分离系统（3313）进行渣水分离。磨削渣水分离系统包括离心机、泵、中间水箱、管道、阀门等。

从无心磨床（3312-04）设备流出的磨削液首先用水泵送至离心机，经过两级离心机进行渣水分离，渣水分离后的磨削液再流入中间水箱中由水泵重新打上去重复使用。在这个过程中磨渣被分离出来，因此不再需要为掏渣而将水排放。采用离心分离工艺进行渣水分离，极小尺寸磨削渣颗粒也可以可靠地分离出来。

离心分离后的清液循环使用，按照一定的时间周期（定期检测废液浓度确定周期时间）将循环使用后的冷却液用泵通过管道输送到废液接收箱暂存。分离后的磨削渣装盘后人工送往氧化工序进行烘干、氧化处理。

（7）返料氧化

芯块生产过程中产生的物理不合格芯块及磨削渣水通过渣水分离系统分离出的磨削渣送到连续氧化装置（3322）内进行氧化处理，得到 Gadox 粉末。在出料工作箱内进行筛分，筛分后粉末粒度<200μm 的 Gadox 粉末装桶，然后送至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送至粉末混合均匀化工序。返料氧化工序在废芯块、磨削渣等到位后，以每批次约 30kg 的生产节奏开展生产工作。

4.2.2 燃料棒研制

本工艺流程共设置 2 条燃料棒生产线和 1 条燃料棒检测线：含钆可燃毒物的燃料棒（以下简称“钆棒”）生产线和常规燃料棒生产线，两种燃料棒共用 1 条燃料棒检测线。

钆棒生产线位于 03 子项二楼 10 轴-12 轴/C 轴-H 轴区域内的含钆燃料棒生产间，

房间号 202，占地 19m×19m。

常规燃料棒生产线位于 03 子项二楼 4 轴-6 轴/F 轴-J 轴区域内的普通燃料棒生产间，房间号 225，占地 15m×15m。

燃料棒检测线位于 03 子项二楼 4 轴-6 轴/A 轴-F 轴区域内的燃料棒检测间，房间号 226，占地 15m×19m。

钆棒生产线和常规燃料棒生产线主要完成装芯块至上端塞堵孔焊工序，02 子项车间完成包壳管与下端塞焊接后，合格的包壳管部件输送到 03 子项，并由输送通道送至 03 子项二楼，开始燃料棒制造。

合格的包壳管空管输送至芯块装管装置（3201）。经烘干箱烘干、冷却的芯块转至芯块装管装置（3201），将芯块装入空管；芯块装管装置（3201）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（3202）上人工插入弹簧。进入压塞机（3203）进行上端塞压塞，进入上端塞环焊机（3204）焊接上端塞，进入堵孔焊机（3205）进行燃料棒内抽真空、充氦堵孔焊，完成燃料棒生产。

燃料棒生产完成后进行擦拭清洁，然后送入氦检漏装置（3207）、上端塞 X 射线检查装置（3206）、燃料棒批称量设备（3209）、有源/无源检查设备（3208）、外观检查操作台（3210）进行检查，检查完成后成品转运入库。

钆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钆的 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钆芯块装管间，经烘干箱烘干、冷却的含钆芯块转至芯块装管装置（3401），将含钆芯块装入空管中；芯块装管装置（3401）每次装管 25 根。芯块装入空管后，进行含钆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（3402）上人工插入弹簧。进入压塞机（3403）进行上端塞压塞，进入上端塞环焊机（3404）进行上端塞焊接，进入堵孔焊机（3405）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燃料棒检测线开展检查和入库。

含有三氧化二钆的 UO_2 芯块装填性能比二氧化铀芯块略差。必须严格避免芯块的错装和沾污，因此，对于含钆芯块装管、焊接生产线设置独立封闭的区域。

燃料棒和钆棒制造工艺流程中，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。芯块装管在装管装置（3201、3401）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。

钆棒生产线和常规燃料棒生产线在芯块、包壳管、上端塞、弹簧等相关零部件到位后，按照 60s~70s/棒的生产节奏开展生产工作。

燃料棒研制工艺流程如图 4.2-3 所示。

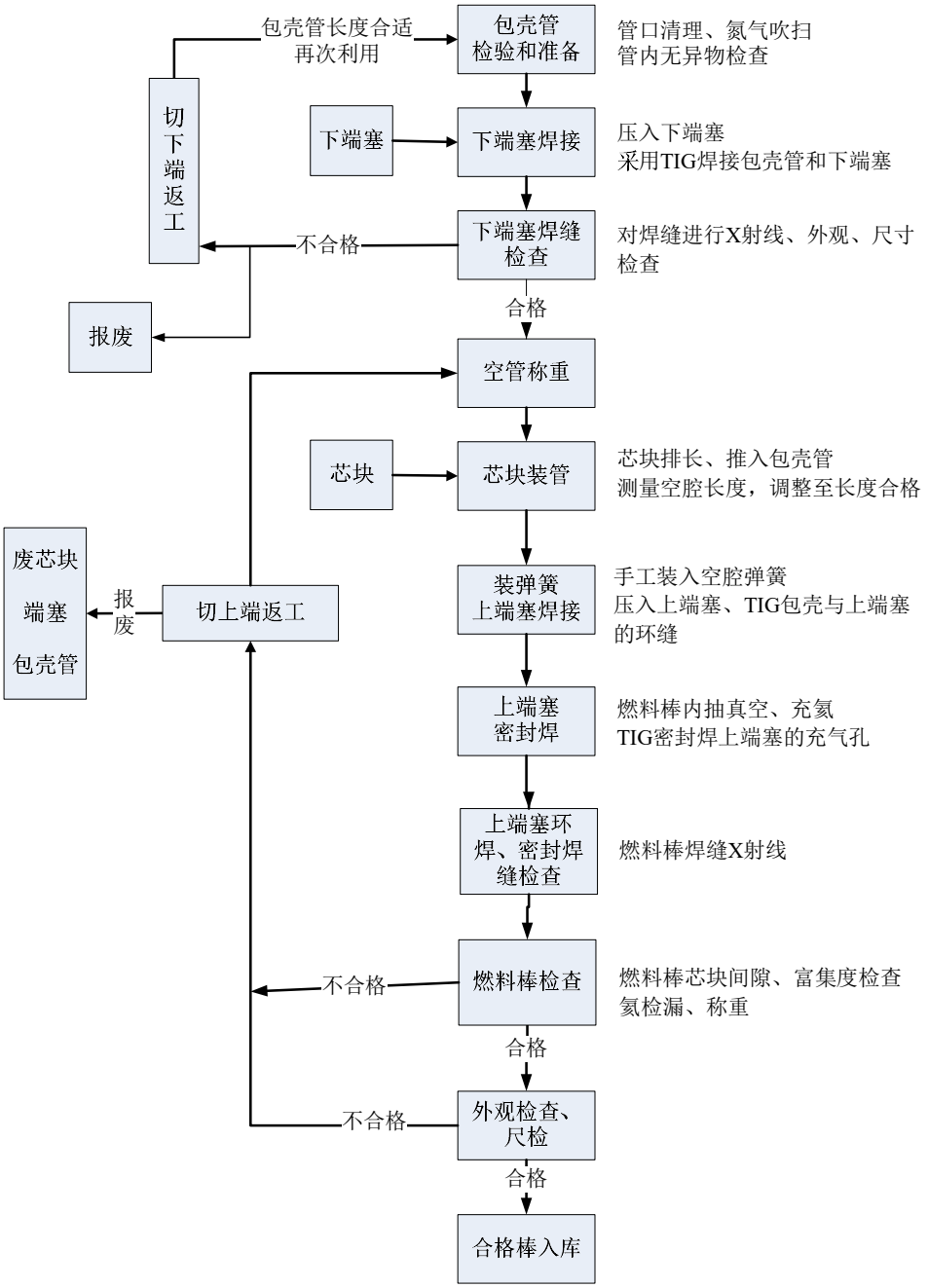


图 4.2-3　燃料棒研制工艺流程

4.2.3 燃料组件研制

燃料组件制造车间位于综合研制室 1 轴-3 轴线区域内，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 1 个，工作人员由常规燃料研制区的控制区出入口进入后经缓冲间进入组件研制车间。设物流出入口 3 个，分别用于骨架和空管的运入，空运输容器的

运入，已装入燃料组件的运输容器转出。

放置于贮存槽（3001）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 1 台拉棒机，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，将快拆件与上管座锁紧。

拉棒机转至垂直位置，用吊车（3609）进行组件转运，依次经过组件检查仪（3603）、组件清洗槽组（3604）、组件抽插力仪（3605），最终放入组件存放架（3606）。

组件清洗槽组（3604）包括三个单组件清洗水槽（3604-1~3）、干燥槽（3604-4）、吹渣槽（3604-5）。三个清洗水槽内放置去离子水，组件清洗时水槽内水的温度为 85℃，干燥槽通压缩空气对组件进行吹干。

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。

组件组装工位在燃料棒、上下管座、骨架等相关零部件到位后，按照一天 1~2 个组件的生产节奏开展生产工作。

燃料组件研制工艺流程如图 4.2-4 所示。

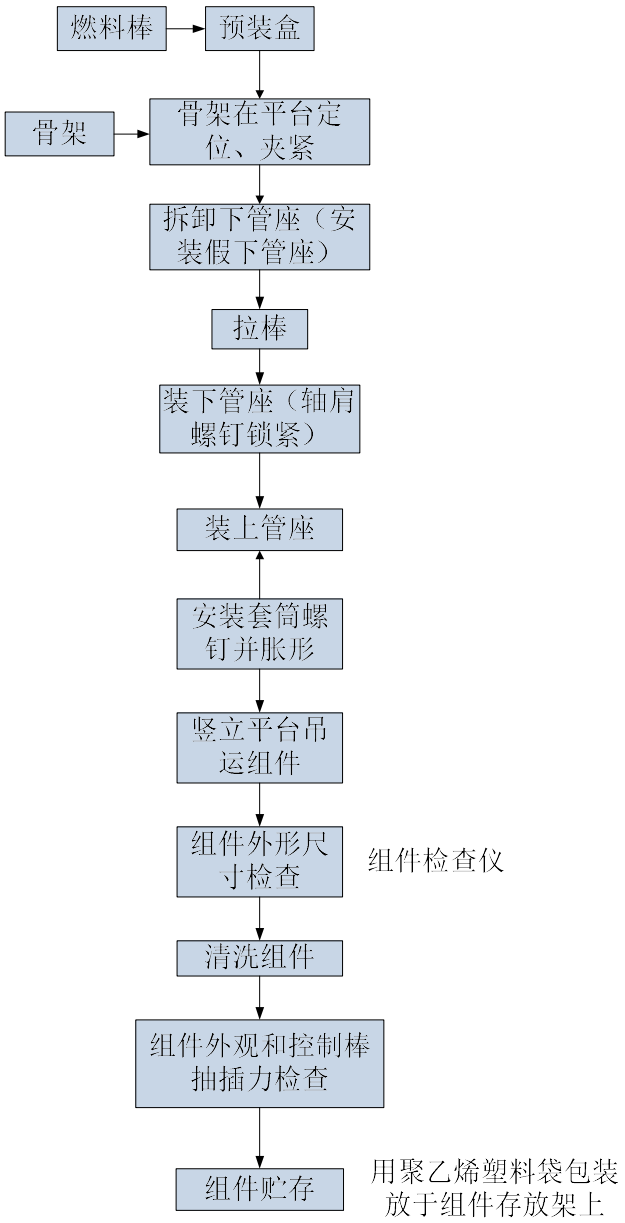


图 4.2-4　燃料组件研制工艺流程

4.2.4 零部件研制

零部件研制主要包括导向管、仪表管、端部结构格架、搅混翼格架、中间搅混翼格架、轴肩螺钉、上管座、下管座等骨架零部件，以及上端塞、下端塞、弹簧等燃料棒零部件。

这些零部件通常在对应的机械加工车间经过精密加工、焊接、热处理等工序完成。虽然不同型号燃料组件使用的零部件的结构形式存在差异，但其制造原理基本相同，

工艺略有差异。

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。

（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。

二次中子源棒内装锑-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。

4.2.6 骨架研制

燃料组件的骨架是支撑燃料棒束的结构部件，由 24 根导向管、1 根仪表管、2 层端部结构格架、6 层搅混翼格架、3 层中间搅混翼格架以及 1 个下管座组成。骨架研制工艺过程见图 4.2-5。

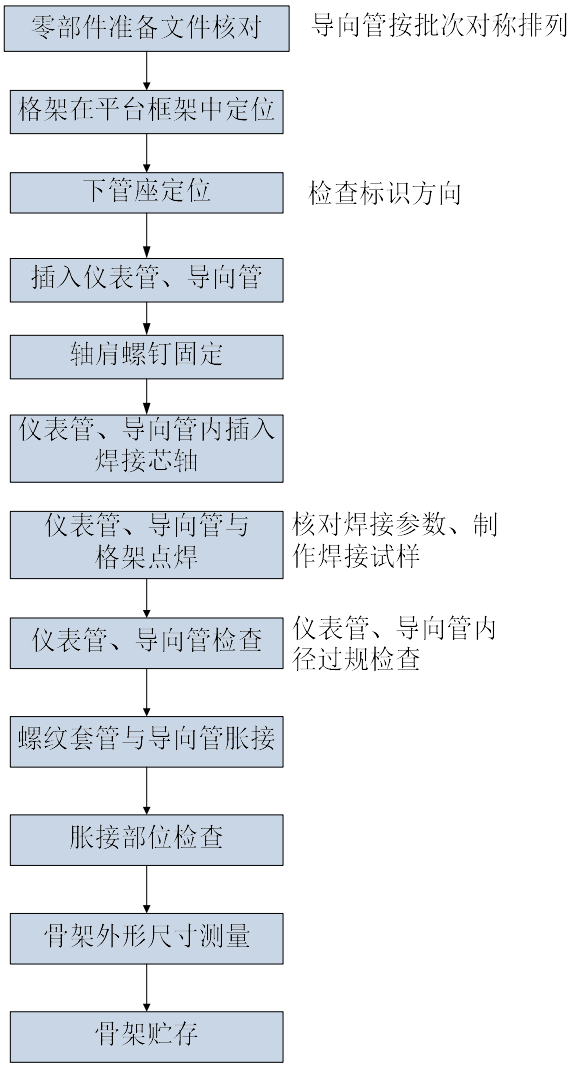


图 4.2-5　骨架研制工艺过程步骤

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。该子项长约 7m，宽约 3m，地上一层，建筑

高度约 4.45m，总建筑面积约 25.16m^2。建筑物设计使用年限 50 年，火灾危险性分类为甲类。耐火等级为一级，屋面防水等级 I 级，屋面采用有组织排水。

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 6MPa、容积为 59.5m^3 的筒型储氢罐，可以满足烧结炉 14 天的正常用氢量（日用氢量为 429Nm^3）。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。

由制氮装置为氢气系统提供氮气置换和吹扫，高压汇流排使用氮气瓶置换。

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

压缩空气系统用气从压缩空气站一期总管上引入先进燃料研制中心，为各个用户提供压缩空气。

目前压缩空气站一期设计负荷无法满足先进燃料研制中心的用气需求，故需在原压缩空气站内增加一台空气压缩机及配套干燥装置，空气压缩机为风冷无油螺杆式空气压缩机，排气量为 7.9Nm³/min，排气压力为 0.86MPa。

压缩空气系统用气品质：颗粒直径≤0.01μm，压力露点-30℃；管道设计压力为 0.9MPa，温度为常温。

4.3.3 洗衣房

本项目新建一座洗衣房（06 子项）。洗衣房位于地上一层，长约 35.64m，宽约 9.84m，高约 6.3m，总建筑面积约 350.70m^2。

洗衣房内设有洗衣间、烘干间、环境实验室（内设独立配套源库）。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。

洗衣间内设四台前后开门的洗衣机，其中两台专用于铀生产线衣物和工作鞋的清洗，另外两台专用于钆生产线衣物和工作鞋的清洗，用于铀生产线的洗衣机、洗鞋机和钆生产线洗衣机、洗鞋机不混用。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。不区分铀线和钆线。

洗衣房执行一洗两漂的洗衣工序。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统一收集，废液存储箱间设一个废液收集地坑（设两台废液地坑泵，一用一备），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（实验室内建有配套源库）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 17.7m，宽约 3.3m，地上一层，建筑高度约 3.65m，总建筑面积约 58.41m^2。建筑物设计使用年限 50 年，耐火等级为一级，屋面防水等级 I 级，屋面采用有组织排水。

根据危险品库储存物品的物化特性，危险品库分为 6 个独立隔间，分别为还原剂库（丙类）、酸库（丙类）、双氧水库（甲类）、高氯酸库（甲类）、氧化剂库（甲类）和易燃液体库（甲类）。

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。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 55.64m^2。建筑物设计使用年限 50 年，耐火等级为一级，屋面防水等级

I 级，屋面采用有组织排水。

根据危废品库储存物品的物化特性，危废品库分为 6 个独立隔间，分别为废弃包装间（丙类）、废弃感光废物(丙类)、废弃切削液、乳化液房间（丙类）、废树脂间（丙类）、废酸间（丙类）和废有机物间（甲类）。

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。给水系统包括室内生活给水、室内生产给水和室外给水。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。

本工程日用水量为 132.1 m^3/d，最大时用水量 31.54 m^3/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，洗衣废液和漂洗废液合并收集，检验分析铀浓度，达标废液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。

综合研制室控制区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，暂存后用槽车运至阳江核电排放口排放；若仍未达标，则继续进行膜处理和活性炭吸附处理。

生活废水和达标的洗衣废水送往生活污水处理站，经处理达标后通过管线接入阳江核电管网，生活污水排水量为 55.5m^3/天。目前，排水管线已经修建完工。

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循环冷却水。为了避免冷却水管路结垢，提高设备运行可靠性和运行寿命，工艺设备冷却用水均要求循环使用，要求供水水压为 0.30~0.60MPa，水质为去离子水。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）冷却用水量 18 m^3/h；

— 含钆芯块烧结炉（批次炉）冷却用水量 5 m^3/h；

— U_3O_8 氧化炉冷却用水量 5 m^3/h；

— 钆芯块氧化炉冷却用水量 5 m^3/h；

— 高温复烧炉（带湿氢）冷却用水量 8 m^3/h；

— 工艺试验炉冷却用水量 8 m^3/h。

循环水系统选用冷却循环泵 2 台，1 用 1 备，循环冷却水管全部采用 304L 不锈钢管，管道及管件之间采用焊接连接。选用 FBS-100 冷却塔 1 套，流量 Q=100m^3/h，换热器为 FP31M-10-15-E 型可拆板式换热器，换热负荷 687kW。循环冷却水系统按照一级负荷中特别重要的负荷供电，在两路厂外电源丧失的情况下仍可由厂内应急电源系统支持运行。

常规 UO_2 芯块烧结炉（推舟炉）、含钆芯块烧结炉（批次炉）、高温复烧炉、工艺试验炉的运行温度高，在紧急停炉情况下仍需要较长的冷却时间，为了确保循环冷却水系统故障时烧结炉设备的设备安全，另外设置有应急冷却水。应急冷却水直接由厂房内的自来水管路供应，设备的冷却管道为密闭式结构，应急冷却水不会被放射性物质污染，应急冷却水出水直接排往非放射性排水系统。

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 m^3/h

— 综合废水：1.0 m^3/h

— 生活污水：1.0 m^3/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 0.13m^3/h，保守按 0.2m^3/h 考虑，剩余 0.8m^3/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。

4.3.8 应急指挥中心

应急指挥中心（11 子项）为相对独立的建筑物，用于紧急情况下按照应急计划规定的程序，全面指挥、决策和组织场内应急响应行动的场所。根据设计要求，应急指挥中心为一幢三层的钢筋混凝土框架结构建筑。该子项长 30.24m，宽 12.24m，屋面为钢筋混凝土现浇板，采用檐沟排水方式。建筑占地面积 374.39m^2，总建筑面积 1144.21m^2，建筑高度 13.300m（室外地坪至女儿墙）。

根据功能要求一层设置入口门厅、应急宣讲中心、应急办公区域、应急物资库房以及相关设备用房等，层高为 4.2m；二层布置应急办公区、应急指挥室以及强弱电间和卫生间等附属设施，层高为 4.5m；三层布置调度办公室、保密室、档案室、大办公室、会议室、文印室以及强弱电间设备用房等，层高为 3.5m。

建筑物设计使用年限 50 年，建筑物耐火等级为二级，屋面防水等级 I 级，屋面采用有组织排水。

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 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，且射线检查装置会产生一定强度的 X 射线，从而造成外照射危害。因此，γ/X 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，主要考虑外照射对人员安全的影响。

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，综合研制室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。综合研制室为全封闭厂房，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。综合研制室的控制区、监督区均挂当心电离辐射的警告标志牌，防止无关人员进入，以免造成不必要的照射。

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：控制 I 区为常规工作区，职业人员可常规进人的区域，控制 I 区的剂量率限值由年有效剂量限值 20mSv（基于 GB18871-2002 规定的连续 5 年平均每年低于 20mSv），常规工作 2000h 计算得到，即 10μSv/h。包括去污间、过厅、废固贮存区、水滤芯更换及储存隔间、废固废液操作室、工器具间、废树脂输送泵及阀门间、废液箱泵间、废树脂接收槽间、树脂床间、芯块区排风净化机房、控制区内的走道、配电间、门厅、楼梯间等。

控制 II 区：控制 II 区内工作人员可以定期进入，该区剂量率限值为 100μSv/h。包括组件库房、组件车间、生产准备区、氧化间、磨削间、烧结间、旋转压机间、钆磨削间、实验室、钆烧结间、二次混料间、芯块在线检验间、燃料棒生产间、芯块储存间、燃料棒检测间、废滤芯储存间、混料间、原料储存间、钆物料储存间等。

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，监督区是基于工作人员每周居留 40 小时，每年工作 50 周，其所受年有效剂量不超过 5mSv 的区域（即剂量率≤2.5μSv/h），包括加压送风机房、电梯机房、设备冷却水泵房、常服间、淋浴间、工作服间、卫生间等。

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		剂量率限值（μSv/h）	气载放射性活度浓度限值（DAC）	居留特性
监督区		≤2.5	≤0.05	停留时间不超过 40h/周
控制区	控制 I 区	≤10	≤0.3	常规工作区，职业人员可常规进入
	控制 II 区	≤100	≤0.5	职业人员可定期进入

（2）密封、通风和净化

1）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。

2）通风

综合研制室设计为全封闭建筑，按 5Pa 压差控制围护结构的气密性指标，所采用密闭门的单位长度缝隙的渗透风量不应超过 $4m^3/(h·m^2)$，密闭钢窗的单位长度缝隙的渗透风量不应超过 $3.5m^3/(h·m^2)$。外墙上的贯穿件留洞，进行气密性封堵。

厂房内部根据《核动力厂辐射防护设计》(HAD102/12-2019)要求组织各个区域的通风气流，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。干净区（无放射性含铀气溶胶）相对于低污染区（低放射性含铀气溶胶浓度）保持 5Pa 左右微正压，低污染区相对于高污染区保持 5Pa 左右微正压，低污染区向高污染区的转送风口设置余压阀，当压差过小时，阀门关闭，防止气流逆流。局部排风、全面排风气体经过高效过滤系统处理后，通过烟囱统一排放。

控制区内气溶胶浓度比较高的岗位，采取密闭措施，并加强局部排风，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。

3）净化

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。厂房的全面排风和设备的局部排风，均经净化设施（高效粒子过滤器等）处理后排放。排风通过烟囱进行排放。

表 4.4-2 给出了本工程主要产污工序、气态污染物及所采取的净化措施。

表 4.4-2　主要产污工序、气态污染物及净化措施

	工序/区域	主要污染源	主要污染物	净化措施
粉末进厂	粉末分装倒料	粉末分装手套箱	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤
15 吨常规线	制粒	UO_2 粉末真空输料系统吸料端	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤
		U_3O_8 粉末真空输料系统吸料端	U_3O_8 气溶胶	初效+高效过滤
		真空吸料系统	含铀气溶胶	初效+高效过滤
		单锥双螺旋混料器	含铀气溶胶	初效+高效过滤
		轧辊制粒	含铀气溶胶	初效+高效过滤
		轧辊制粒与制粒粉末料桶	含铀气溶胶	初效+高效过滤

		物料接口		
	压制成型	制粒粉末料桶与中间料箱接口	含铀气溶胶	初效+高效过滤
		旋转成型压机 和生坯芯块自动装盘装置	含铀气溶胶	初效+高效过滤
	生坯芯块暂存	生坯芯块储存舟	含铀气溶胶	初效+高效过滤
	烧结	烧结炉（推舟式）	含铀气溶胶	初效+高效过滤
	磨削	磨削线	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤
	外检	外检工作台	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤
	磨削渣烘干	磨削渣烘箱	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤
		磨削渣分装手套箱	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤
	氧化	进料工作箱	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤
		氧化装置	含铀气溶胶	初效+高效过滤
		出料工作箱	U_3O_8 气溶胶	初效+高效过滤
		松装振实筛分手套箱	U_3O_8 气溶胶	初效+高效过滤
	芯块烘干	烘箱	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤
	烧结芯块储存	烧结芯块储存柜	UO2 气溶胶	初效+高效过滤
	芯块装管	装管机	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤
2 吨 钆线	制粒	UO_2 粉末上料口	含铀气溶胶	初效+高效过滤
		U_3O_8 粉末上料口	含铀气溶胶	初效+高效过滤
		犁铧式混料器	含铀气溶胶	初效+高效过滤
		轧辊制粒	含铀气溶胶	初效+高效过滤
		轧辊制粒与制粒粉末料桶物料接口	含铀气溶胶	初效+高效过滤
	压制成型	制粒粉末料桶与中间料桶接口	含铀气溶胶	初效+高效过滤
		旋转成型压机 和生坯芯块自动装盘装置	含铀气溶胶	初效+高效过滤
	生坯芯块暂存	生坯芯块储存舟	含铀气溶胶	初效+高效过滤
	烧结	烧结炉（批次炉）	含铀气溶胶	初效+高效过滤
	磨削	磨削线	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤
	外检	外检工作台	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤
	磨削渣烘干	磨削渣烘箱	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤
		磨削渣分装手套箱	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤
	氧化	进料工作箱	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤
		氧化装置	含铀气溶胶	初效+高效过滤
		出料工作箱	U_3O_8 气溶胶	初效+高效过滤
		松装振实筛分手套箱	U_3O_8 气溶胶	初效+高效过滤
	芯块烘干	烘箱	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤
	烧结芯块储存	烧结芯块储存柜	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤
	芯块装管	装管机	UO_2 气溶胶	初效+高效过滤

（3）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。

进入辐射控制区的工作人员必须持有经授权的工作卡，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，在控制区出入口脱家常服、穿工作服、佩带个人防护用品、进入控制区。工作人员离开辐射控制区时流程为：在控制区出入口 C2 门进行表面污染检测，若检测发现人体污染超标时，则前往去污间脱工作服，根据人体沾污的具体情况，在去污间采用擦拭或冲淋方式去污，被沾染衣服和擦拭用清洁布作放射性废固处理，冲淋去污水通过房间独立的疏排管线排至放射性废水处理系统；若无表面污染则前往工作服间脱工作服，然后根据个人需求前往淋浴间进行常规的淋浴清洁，最后穿家常服离开。

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。

（4）检修

设备设计时，设备应表面光滑、易去污；密封性要求高的设备满足密封要求，密封材料耐腐蚀、耐高温、抗老化，能有效包容放射性物质；所有需检修的设备应能将物料排空，管道有一定的坡度，阀门和管道的连接死区少，拆卸方便，易于检修和更换，减少物料的滞留量，以减少维修时放射性物质的释放。按照最少维修原则采用高可靠性设备或增加备用。放射性液流尽量利用自流、负压输送或空气提升，以减少泵阀，从而减少维修工作量。工艺系统和设备进行维修前，首先将物料排空，进行多次擦拭、清洗。污染水平不同的岗位之间，或用实体隔离避免交叉污染，或通过合理组织气流、保证气流定向流动防止污染扩散。工作人员在检修工艺系统和设备时，要特

别注意内照射的防护，根据维修设备的不同，穿戴防护用品，进行个人剂量监测，并记录在案。另外，当检修设备时，在检修区域采用移动式空气自净器，增加检修区域换气次数，降低气溶胶浓度。

（5）去污措施

放射性污染面主要采用高效吸尘器吸尘和擦拭去污。

在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机，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。

（6）污染和辐射水平控制

本项目设有辐射监测系统，该系统用于监测本项目正常运行和事故情况下的区域、气载、工艺、流出物、人员剂量、表面污染、环境的辐射水平。

本项目主要的放射性危害为内照射危害，因此，应加强对工作人员呼吸道的防护。个人防护用品主要包括：口罩、手套、工作服、鞋、防酸工作服、空气呼吸器、半面防护罩、全面防护罩、防护眼镜、热释光个人剂量计和个人剂量报警器等。

在正常运行时，卫生出入口为工作人员配备的防护用品主要有口罩、手套、工作服、鞋、热释光个人剂量计等。在检修或事故时，除常规防护用品外，根据不同情况，工作人员配备的防护用品主要有防酸工作服、空气呼吸器、半面防护罩、全面防护罩、防护眼镜、个人剂量报警器等。在检修设备时，首先排空物料，对设备进行擦洗降低表面污染，并用便携式空气取样装置对检修场所空气中的气溶胶进行取样。当超过相应的参考水平时，根据核事故应急预案采取相应的处理措施。

（7）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

中广核铀业发展有限公司生产安全实行统一管理，公司总经理为安全生产第一责任者，并建立了安全质量环境管理委员会，研究解决安全生产中的重大问题。根据中广铀公司《安全生产责任制》规定，公司安全质量环境管理委员会在辐射防护方面主要职责是贯彻执行与辐射防护有关的法律、法规、规章、标准、规范。每年定期召开安全质量环境管理委员会会议，讨论和确定辐射防护重大工作决策、重大辐射事故的处理等。中广铀公司辐射防护机构归属安全质保部。安全质保部下设有安健环管理模块、核安全与执照模块和质量模块。

（8）辐射监测系统

辐射监测系统用于监测本项目内区域、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。

– 区域辐射监测

设置固定式区域γ辐射监测仪，对厂房特定区域的辐射强度进行测量；对厂房非预期的放射性物质转移发出警告；在对人员有直接影响的要害区域的辐射通量发生实质变化时，提供周围环境γ辐射的就地和远程指示和报警；为辐射巡检提供信息；日常维护和校准期间，最大限度减少操作人员的时间、精力和接受的辐射。

设置固定式区域γ辐射监测仪的位置包括：工作人员停留时间较长的工作岗位，这些岗位需严格监控工作人员所受剂量率水平，如磨削/烧结/氧化（1#、2#），燃料棒制造（5#、6#）等岗位；物料量较大的区域，该区域辐射剂量率有可能增到足以要求工作人员撤离，如原料储存间（7#），燃料组件车间（3#），燃料棒库房（4#）；容易发生物料洒落的区域，如钆混料间（8#）。

此外，还配置4台便携式γ剂量率仪，用于测量上述固定监测不能覆盖到的区域，并承担事故应急时巡测工作。

根据GB18871-2002附录B规定，工作场所放射性表面污染控制水平见表4.4-3。

表 4.4-3　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

- 气载辐射监测

设置移动式连续气溶胶辐射监测仪，连续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

通过临界监测与报警系统连续测量该区域的 γ 剂量以监测可能存在发生的核临界事故。临界监测与报警系统由 3 套核临界事故监测仪（RMS-JS-201、RMS-JS-202、RMS-JS-203）组成，分别布置于 UO_2 粉末和芯块储存区（原料储存间 318）、燃料棒存储区（燃料棒库房 144）、组件存放区（组件库房 155）。每套临界监测仪包括 3 个辐射探测器、1 个控制和测量装置（含就地声光报警装置）、1 个远程报警灯。辐射探测器布置于可能发生核临界事故的区域，控制和测量装置（含就地声光报警装置）与远程报警灯位于附近。

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。本项目在辐射控制中心设置有一台辐射监测计算机，可实时显示核临界事故监测仪的测量值、故障/失效报警、高值、高高值等信号，并进行集中显示、报警、处理和储存。

布置在就地的临界事故探测与报警系统探测器和就地辐射处理器由设备自带的 UPS 电源供电，该 UPS 电源同时接入本项目不间断电源系统。当失去外部供电后，设备自带的 UPS 电源可以确保：在报警信号装置不动作的情况下具备至少 16 小时的连

续运行能力，然后还能在报警信号装置动作的情况下继续工作至少 30 分钟。

- 流出物辐射监测

针对气态流出物，通过气溶胶取样和监测系统实现对气态排出流中气溶胶放射性的监测。气溶胶取样和监测系统由流量计（流量计变送器 RMS-JE-FT101、流量传感器 RMS-JE-FE101）和取样装置 RMS-JE-PB101、取样管道和安装在厂房内的固定式气溶胶监测仪 RMS-JS-101（探测器 RMS-JE-RE101）组成，设计满足 ISO 2889-2010。

流量计 RMS-JE-FT101 布置于烟囱内，连续测量通过综合研制室烟囱向环境的排风量，RMS-JE-FT101 信号送往位于辐射监测设备间 301 内的固定式气溶胶监测仪 RMS-JS-101。监测仪在正常工况下连续运行，当探测到放射性活度浓度超过报警阈值时，辐射监测仪提供就地报警，该报警信号还送往辐射监测专用计算机。该监测仪具有气溶胶自动连续取样功能，设备配有真空泵，通过取样管道连续抽取排风烟囱中气溶胶样品，并由设备自带的气溶胶取样装置收集风管内的气溶胶样品到滤纸上。根据生产计划，工作人员可定期（每周）人工收集取样装置中的滤纸，并将滤纸送往实验室进行制样后监测总放和总铀。人工收集滤纸样品过程中，设备停止工作；收集完成后，设备恢复连续取样，确保设施对外排放过程中取样不间断。

对于液态流出物，废液通过槽式排放，排放前废水样品送往实验室测量总放。

- 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。

在本项目运行期间，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 2 台全身式表面污染监测仪（RMS-JS-301 布置在过渡间 124，RMS-JS-302 布置在过渡间 108）和 4 台便携式 α/β 表面污染测量仪，用于对离开控制区工作人员全身各部位（包括手，脚和头等）可能存在的放射性污染进行监测，实时显示个人污染情况；当污染超过允许标准时，发出指示和报警信号，并禁止开启出口通道闸门；当污染源被清除并重新测量低于预置阈值时，通道闸门才会自动打开，防止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 RMS-JS-311、RMS-JS-312，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 测量仪和 1 台衣物分拣仪，用于对清洗前后的衣物进行表面放射性污染水平检测和清洗前衣物分拣。

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。

- 环境监测

在本项目运行期间，营运单位需要委托有资质机构，定期采取周围空气中气溶胶、大气沉降物、地表水、动植物和土壤等样品，送往实验室测量其中 U 的含量，评价对环境产生的影响。

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安全系数，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：旋

转压机、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桶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火栓，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或阿克蜡，这些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、阿克蜡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有监督人员或者其他监督措施。

- 核材料质量控制

对于需要采取质量控制的系统或者设备严格执行相关的控制措施。贮存有大量粉末物料的设备通过称重来实现质量控制的目的，例如：UO_2 粉末料桶、U_3O_8 粉末料桶

等的称重；单锥双螺旋混料器下设置称重装置结合 UO_2 粉末料桶和 U_3O_8 粉末料桶下方平台秤的双秤连锁控制方式实现 UO_2、U_3O_8 粉末添加量的控制。

燃料棒、燃料组件等已经加工成型的产品通过限制数量的方式来实现质量控制的目的，例如：限制燃料棒数量或者燃料组件的数量不超过规定贮存的数量。

- 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：UO_2 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4.4-4。

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。本项目在存有大量易裂变物质的位置设置 3 套临界监测与报警系统，分别位于UO_2粉末和芯块储存间、燃料棒存储区、组件存放区。

（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。

（5）临界应急撤离

临界报警后，人员应从最近的疏散通道立即撤离。

表 4.4-4　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	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	
粉末贮存	UO_2 粉末料桶	圆柱倒锥形原料桶，200L	UO_2 粉末	质量控制和慢化控制	UO_2 粉末含水率≤1%，单个原料桶最大装载质量≤340kg	UO_2. 粉末含水率≤3%，单个原料桶装载质量≤600kg	keff≤0.935	1.贮存阵列支撑设备不发生形变或者位移，强度满足要求； 2.原料桶满足密封要求，不发生进水或者粉末泄漏。
	U_3O_8 粉末料桶	圆柱锥形原料桶，50L	U_3O_8 粉末	质量控制和慢化控制	U_3O_8 粉末含水率≤1%，单个原料桶最大装载质量≤75kg	U_3O_8 粉末含水率≤3%，单个原料桶装载质量≤100kg	keff≤0.935	1.贮存阵列支撑设备不发生形变或者位移，强度满足要求； 2.原料桶满足密封要求，不发生进水或者粉末泄漏。
	Gadox 粉末料桶	圆柱锥形原料桶，50L	Gadox 粉末	质量控制和慢化控制	Gadox 粉末含水率≤1%，单个原料桶最大装载质量≤75kg	Gadox 粉末含水率≤3%，单个原料桶装载质量≤100kg	keff≤0.935	1.贮存阵列支撑设备不发生形变或者位移，强度满足要求； 2.原料桶满足密封要求，不发生进水或者粉末泄漏。
	暂存料桶	圆柱倒锥形料桶，200L	UO_2 粉末	质量控制和慢化控制	UO_2 粉末含水率≤1%，单个原料桶最大装载质量≤600kg。	UO_2，粉末含水率≤3%，单个原料桶装载质量≤600kg	keff≤0.935	1.贮存阵列支撑设备不发生形变或者位移，强度满足要求； 2.原料桶满足密封要求，不发生进水或者粉末泄漏。
混合、制粒（常规、含钆）	单锥单螺旋混料器（预混）	倒锥体，几何容积100L	U_3O_8 粉末	慢化控制和质量控制	U_3O_8 含水率≤1%，粉末总质量＜102kg；草酸铵添加量≤1.02kg，硬脂酸锌或阿克蜡添加量≤0.051kg	U_3O_8 含水率≤2.52%，粉末总质量＜250kg；草酸铵添加量≤12kg，硬脂酸锌或阿克蜡添加量≤0.525kg	U_3O_8 含水率≤3%，粉末总质量＜750kg；草酸铵添加量≤12kg，硬脂酸锌或阿克蜡添加量≤0.525kg	1.加强管理措施，控制草酸添加量，通过双秤连锁设计控制 U_3O_8 添加量，防止投多批料； 2.严格控制慢化剂引入，不发生设备进水。
	UO_2 粉末料桶	圆柱倒锥形原料桶，200L	U_3O_8 粉末	质量控制和慢化控制	UO_2 粉末含水率≤1%，单个原料桶最大装载质量≤340kg	UO_2. 粉末含水率≤3%，单个原料桶装载质量≤600kg	keff≤0.935	1.贮存阵列支撑设备不发生形变或者位移，强度满足要求； 2.原料桶满足密封要求，不发生进水或者粉末泄漏。
	U_3O_8 粉末料桶	圆柱锥形原料桶，50L	U_3O_8 粉末	质量控制和慢化控制	U_3O_8 粉末含水率≤1%，单个原料桶最大装载质量≤75kg	U_3O_8 粉末含水率≤3%，单个原料桶装载质量≤100kg	keff≤0.935	1.贮存阵列支撑设备不发生形变或者位移，强度满足要求； 2.原料桶满足密封要求，不发生进水或者粉末泄漏。
	Gadox 粉末料桶	圆柱锥形原料桶，50L	Gadox 粉末	质量控制和慢化控制	Gadox 粉末含水率≤1%，单个原料桶最大装载质量≤75kg	Gadox 粉末含水率≤3%，单个原料桶装载质量≤100kg	keff≤0.935	1.贮存阵列支撑设备不发生形变或者位移，强度满足要求； 2.原料桶满足密封要求，不发生进水或者粉末泄漏。
	单锥双螺旋混料器（主混）	倒锥体，几何容积500L	UO_2 粉末	慢化控制和质量控制	UO_2 粉末含水率≤1%，U_3O_8 含水率≤1%，粉末总质量＜510kg；草酸铵添加量≤5.1kg，硬脂酸锌或阿克蜡添加量≤0.255kg	UO_2 粉末含水率≤2.52%，U_3O_8 含水率≤2.52%，粉末总质量＜750kg；草酸铵添加量≤12kg，硬脂酸锌或阿克蜡添加量≤0.525kg	UO_2 粉末含水率≤3%，U_3O_8 含水率≤3%，粉末总质量＜750kg；草酸铵添加量≤12kg，硬脂酸锌或阿克蜡添加量≤0.75kg	1.加强管理措施，通过双秤连锁设计控制 UO_2 添加量，防止投多批料。 2.严格控制慢化剂引入，不发生设备进水。
	犁铧混料器	90L	UO_2 粉末	慢化控制和质量控制	粉末总质量≤108kg，含水率小等于 1%，草酸铵添加量≤1.05kg，硬脂酸锌或阿克蜡添加量≤0.06kg	UO_2 粉末含水率≤2.52%，U_3O_8 含水率≤2.52%，粉末总质量＜225kg；草酸铵添加量≤12kg，硬脂酸锌或阿克蜡添加量≤0.225kg	U_3O_8 含水率≤3%，粉末总质量＜750kg；草酸铵添加量≤12kg，硬脂酸锌或阿克蜡添加量≤0.525kg	1.加强管理措施，控制草酸添加量，并防止投多批料。 2.严格控制慢化剂引入，不发生设备进水和水淹，且严格控制设备周围人员数量和距离。
	混料料桶	200L	UO_2 粉末	慢化控制、质量控制和间	UO_2 粉末含水率≤1%，U_3O_8 含水率≤1%，粉末总质量＜	UO_2 粉末含水率≤2.52%，U_3O_8 含水率≤2.52%，粉末总质量＜	UO_2 粉末含水率≤3%，U_3O_8 含水率≤3%，粉末	1.加强管理措施，控制草酸添加量，并防止投多批料。

				距控制	360kg；草酸铵添加量≤1.0wt%，硬脂酸锌或阿克蜡添加量≤0.05wt%	500kg；草酸铵添加量≤12kg，硬脂酸锌或阿克蜡添加量≤0.525kg	总质量＜750kg；草酸铵添加量≤12kg，硬脂酸锌或阿克蜡添加量≤0.525kg	2.严格控制慢化剂引入，不发生设备进水，且混料料桶表面间距大于 60cm。
压制	缓存料仓	200L	UO_2 粉末	慢化控制和质量控制	UO_2 粉末含水率≤1%，U_3O_8 含水率≤1%，粉末总质量＜480kg；草酸铵添加量≤4.8kg，硬脂酸锌或阿克蜡添加量≤0.96kg	UO_2 粉末含水率≤2.52%，U_3O_8 含水率≤2.52%，粉末总质量＜550kg；草酸铵添加量≤4.9kg，硬脂酸锌或阿克蜡添加量≤2.2kg	UO_2 粉末含水率≤3%，U_3O_8 含水率≤3%，粉末总质量＜550kg；草酸铵添加量≤4.9kg，硬脂酸锌或阿克蜡添加量≤2.2kg	1.加强管理措施，控制草酸添加量，并防止投多批料。 2.严格控制慢化剂引入，不发生设备进水。
	生坯芯块暂存装置（1 个）	4 层	UO_2 芯块	质量控制、慢化控制	每个钼舟存放最多 30kg 芯块，最多 36 个钼舟。	每个钼舟存放最多 30kg 芯块，最多 36 个钼舟。	1） 每个钼舟存放最多 30kg 芯块，最多 48 个钼舟。	1.确保生坯芯块暂存装置结构完整性；2.生坯芯块暂存装置内用格架来和结构材料确定钼舟的间距并确保钼舟的个数。3.避免引入慢化材料；4.生坯芯块暂存装置安全分析见燃料芯块暂存核临界安全分析相关章节。
磨削	振动上料仓	10L	UO_2 粉末	几何控制	10L	≤10L	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_2O 混合物	几何安全	7.2L	≤7.2L	19.5L	参考《核临界安全指南》
	磨削渣液贮槽	在档板的一端开有一个溢流口，溢流口高度为 9cm，档板全高 13cm	UO_2-H_2O 水混合物	几何安全	沉降渣厚度≤9cm	沉降渣厚度≤9cm	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＜9.8cm
	芯块柜	外尺寸 896mm×685mm×1441mm，内尺寸 650mm×440mm×1289mm	UO_2 芯块	质量控制、慢化控制和间距控制	单个芯块柜 UO_2 芯块质量≤166.29kg，W 型波纹盘 20 个，单盘芯块质量≤8.31kg。	单芯块柜 UO2 芯块质量≤166.29kg，芯块柜行间距≥224mm。 每个芯块柜 20 个 W 型盘，单盘芯块质量≤8.31kg，每 5 个 W 型盘为一组，层中心间距为 4.5cm；W 型盘芯块 25 行，间距为 15.24cm	keff≤0.935	1.确保芯块柜结构完整性；2.芯块柜内用导轨和格架来确定 W 型盘的间距并确保 W 型盘的个数。3.避免引入慢化材料；4.芯块柜暂存于芯块库房，芯块柜临界安全分析见芯块库房。
芯块工艺试验线	工艺试验用三维混料机	10L	UO_2 粉末	几何控制	10L	≤10L	19.5L	GB15146.2-2008 中图 4 的规定
	工艺试验用上料提升机	料桶 Φ240×220，10L	UO_2 粉末	几何控制	10L	≤10L	19.5L	1.GB15146.2-2008 中图 4 的规定
	工艺试验用双锥混料机	10L	UO_2 粉末	几何控制	10L	≤10L	19.5L	1.GB15146.2-2008 中图 4 的规定
	芯块柜	外尺寸 896mm×685mm×1441mm，内尺寸 650mm×440mm×	UO_2 芯块	质量控制、慢化控制和间距控制	单个芯块柜 UO_2 芯块质量≤166.29kg，W 型盘 20 个，单盘芯块质量≤8.31kg	单芯块柜 UO_2 芯块质量≤166.29kg，芯块柜行间距≥224mm。20 个 W 型盘，单盘芯块质量≤8.31kg，每 5 个 W 型盘	keff≤0.935	1.确保芯块柜结构完整性；2.芯块柜内用导轨和格架来确定 W 型盘的间距并确保 W 型盘的个数。3.避免引入慢化材料；4.芯块柜暂存于芯块库房，芯块柜临界安全分析见芯块库房。

		1289mm				为一组，层中心间距为 4.5cm；W 型盘芯块 25 行，间距为 15.24cm		
	粉料桶	圆形料桶，50L	UO_2 粉末	质量控制和慢化控制	UO_2 粉末含水率≤1%，单个原料桶最大装载质量≤85kg	UO_2. 粉末含水率≤3%，单个原料桶装载质量≤125kg	keff≤0.935	1.贮存阵列支撑设备不发生形变或者位移，强度满足要求； 2.原料桶满足密封要求，不发生进水或者粉末泄漏。
ATF 试验线	工艺试验用三维混料机	10L	UO_2 粉末	几何控制	10L	≤10L	19.5L	1.GB15146.2-2008 中图 4 的规定
	工艺试验用上料提升机	料桶 Φ240×220，10L	UO_2 粉末	几何控制	10L	≤10L	19.5L	1.GB15146.2-2008 中图 4 的规定
	工艺试验用双锥混料机	10L	UO_2 粉末	几何控制	10L	≤10L	19.5L	1.GB15146.2-2008 中图 4 的规定
	芯块柜	外尺寸 958mm×733mm×1619mm，内尺寸 658mm×414mm×1401mm，UO_2 芯块	UO_2 芯块	质量控制、慢化控制和间距控制	单个芯块柜 UO_2 芯块质量≤166.29kg，W 型盘 20 个，单盘芯块质量≤8.31kg	单芯块柜 UO_2 芯块质量≤166.29kg，芯块柜行间距≥224mm。20 个 W 型盘，单盘芯块质量≤8.31kg，每 5 个 W 型盘为一组，层中心间距为 4.5cm；W 型盘芯块 25 行，间距为 15.24cm	keff≤0.935	1.确保芯块柜结构完整性；2.芯块柜内用导轨和格架来确定 W 型盘的间距并确保 W 型盘的个数。3.避免引入慢化材料；4.芯块柜暂存于芯块库房，芯块柜临界安全分析见芯块库房。
	粉料桶	圆形料桶，50L	UO_2 粉末	质量控制和慢化控制	UO_2 粉末含水率≤1%，单个原料桶最大装载质量≤85kg	UO_2. 粉末含水率≤3%，单个原料桶装载质量≤125kg	keff≤0.935	1.贮存阵列支撑设备不发生形变或者位移，强度满足要求； 2.原料桶满足密封要求，不发生进水或者粉末泄漏。
常规燃料棒生产线	芯块装管后燃料棒暂存工位	燃料棒单层并排摆放在传输线上	UO_2 芯块	质量控制、慢化控制	≤50 根燃料棒	≤50 根燃料棒	keff≤0.935	1.存放不超过规定数量的燃料棒； 2.避免燃料棒发生破损，导致芯块泄露堆积在一起； 3.避免引入水等慢化材料。
	钆棒上端塞堵空焊后燃料棒暂存工位	燃料棒单层并排摆放在传输线上	UO_2 芯块	质量控制、慢化控制	≤100 根燃料棒	≤100 根燃料棒	keff≤0.935	1.存放不超过规定数量的燃料棒； 2.避免燃料棒发生破损，导致芯块泄露堆积在一起； 3.避免引入水等慢化材料。
燃料棒检测线	氦检漏工位前燃料棒暂存工位	燃料棒单层并排摆放在传输线上	UO_2 芯块	质量控制、慢化控制	≤100 根燃料棒	≤100 根燃料棒	keff≤0.935	1.存放不超过规定数量的燃料棒； 2.避免燃料棒发生破损，导致芯块泄露堆积在一起； 3.避免引入水等慢化材料。
	氦检漏后燃料棒暂存工位	燃料棒单层并排摆放在传输线上	UO_2 芯块	质量控制、慢化控制	≤50 根燃料棒	≤50 根燃料棒	keff≤0.935	1.存放不超过规定数量的燃料棒； 2.避免燃料棒发生破损，导致芯块泄露堆积在一起； 3.避免引入水等慢化材料。
	X 射线检查后燃料棒暂存工位	燃料棒单层并排摆放在传输线上	UO_2 芯块	质量控制、慢化控制	≤50 根燃料棒	≤50 根燃料棒	keff≤0.935	1.存放不超过规定数量的燃料棒； 2.避免燃料棒发生破损，导致芯块泄露堆积在一起； 3.避免引入水等慢化材料。
	燃料棒尺寸外观前暂存工位	燃料棒单层并排摆放在传输线上	UO_2 芯块	质量控制、慢化控制	≤50 根燃料棒	≤50 根燃料棒	keff≤0.935	1.存放不超过规定数量的燃料棒； 2.避免燃料棒发生破损，导致芯块泄露堆积在一起； 3.避免引入水等慢化材料。
芯块库房	芯块柜	外尺寸 896mm×685mm×1441mm，内尺寸	UO_2 芯块	质量控制、慢化控制和间距控制	单个芯块柜 UO_2 芯块质量≤166.29kg，W 型盘 20 个；芯块柜阵列行间距≥	单个芯块柜 UO_2 芯块质量≤166.29kg。20 个 W 型盘，每 5 个 W 型盘为一组，层中心间距	keff≤0.935	1.确保芯块柜结构完整性；2.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。3.避免引入慢化材料；4.芯块柜暂存于芯块库房，芯块柜

		650mm×420mm×1289mm			224mm	为 4.5cm；W 型盘芯块 25 行，间距为 15.24cm；芯块柜阵列行间距≥224mm		临界安全分析见芯块库房。
燃料棒贮存	燃料棒存放架		UO_2 芯块	质量控制、慢化控制和间距控制	≤141 根燃料棒每贮槽	层间距≥45.0cm	keff≤0.935	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≤0.935	正四棱柱排列
组件库房	—	—	UO_2 芯块	质量控制、慢化控制和间距控制	≤48 组组件	组件基本贮存阵列：162mm（列）×282mm（行）	keff≤0.935	避免引入慢化材料

4.5 三废处理系统及排放源项

4.5.1 放射性废液处理及排放

（1）废液分类

放射性废液处理系统设计用于控制、收集、处理、输送和贮存本项目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。对于这两类废液，通过废液接收箱分类收集。

— 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、废液接收箱的溢流水及洗衣房废水排放过程中极小概率产生的超标废液、热淋浴水及综合研制室空调系统冷凝水。

各类放射性废液预期产生量见表 4.5-1。其中磨削废液主要成份包括 UO_2 小颗粒和少量的 UO_2^{2+}，放射性水平较高；金相及理化分析废液则以 HF 酸和 UO_2^{2+}为主，也具有较高的放射性水平；地坑废液含有极少量的 UO_2 小颗粒和微量的 UO_2^{2+}，放射性水平较低。系统共设置 2 个废液接收箱，分别用于接收研制废液（废液接收箱 A）和其他废液（废液接收箱 B）。每个接收箱的有效容积为 $5m^3$，两类废液实现分类收集，接收管网不连通。同时设置 1 个疏水地坑，尺寸 2m×3m×2m，主要接收废液接收箱的溢流废液、厂房内产生的地面泄漏水、超标热淋浴等。地坑内废液最终由地坑泵输送到废液接收箱 B 中进行后续处理。

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）	处理方式
磨削废液	4.8	＜60	分类收集，经过滤、膜处理、活性炭吸附、离子交换处理达标后，免管释放，暂存后用槽车运至阳江核电排放口排放
金相及理化分析废液	12	＜60	分类收集，经过滤、膜处理、活性炭吸附、离子交换处理达标后，免管释放，暂存后用槽车运至阳江核电排放口排放

地面疏水	6	＜1	分类收集，经过滤、膜处理、活性炭吸附、离子交换处理达标后，免管释放，暂存后用槽车运至阳江核电排放口排放
超标热淋浴、洗衣废液及空调冷凝水	—	＜0.5Bq/L	经辐射监测后，未超标废液送至生活污水处理站处理后排放
		≥0.5Bq/L	排往综合研制室进行过滤处理

（2）废液处理

放射性废液处理系统的处理过程主要分成几个步骤，过滤、膜处理、介质床吸附和离子床交换。

①废液先由给水泵输送到前过滤器对其中的固体 UO_2 小颗粒进行过滤。一般情况下，UO_2 颗粒的粒径大约在 5~10μm。前过滤器滤网精度采用 5μm，以过滤掉超过 90% 的 UO_2 颗粒。

②前过滤器后设置 1 台膜处理模块，包含两个不同模式的膜处理单元。1#膜单元为低能耗模式，采用两支 6040 膜并联形式，以应对正常运行下绝大多数的处理工况。2#膜单元为高能耗模式，配备一台高压泵，采用四支 4040 膜串联的形式，用于应对经低能耗模式处理后仍无法达标的超标废液。2#膜单元具备比 1#膜单元更好的截留能力。

经膜处理模块的产水和浓水分别进入废液暂存箱（$5m^3$）和介质床模块。

③介质床模块配置两台串联的介质床，以吸附介质为主，对浓水中的固体 UO_2 小颗粒进行吸附操作。浓水采用循环模式，经介质床处理的废液返回废液接收箱中，再次被给水泵输送到膜处理模块，直至所有废液通过膜处理模块进入废液暂存箱。

④废液暂存箱中的产水可由废液输送泵输送到离子交换床模块进一步处理。离子交换床采用两台床串联的形式，同时连接方式满足 Merry-Go-Round 运行模式，可调整床的进口顺序，使每台床达到最大程度上的工作交换容量，以减少年废树脂产生量。

⑤离子交换床模块后端设置一台后过滤器，过滤器精度 20μm，用于过滤运行过程中可能漏出的被压碎的废树脂。

⑥经离子交换床模块和后过滤器的液态流出物流入流出物暂存箱中。

（3）取样检测

废液处理工艺的中间水箱：废液接收箱 A/B 和废液暂存箱出口都设置了取样口。经过至少 2 个体积循环后，可由取样口取样分析。

废液暂存箱后取样如果满足 GB5749-2022 的排放限值，则无需进行下一步的离子

交换，由旁通管路直接输送到流出物暂存箱中等待转运排放。

流出物暂存箱后取样如果满足 GB5749-2022 的排放限值，则可执行转运排放；如果不满足 GB5749-2022 的排放限值，则送回废液接收箱中，再次低能耗处理，亦可采用高能耗膜处理。

所有取样管线均为在线取样，取样口朝下设置，下端配置取样收集槽，收集槽底部由管道连接到就近地漏处。

取样前应适当排出原管道内积水以保证取样准确性；取样时调节阀门开度，防止水流过大造成不必要的溅射和放射性沾污。

（4）达到豁免水平的液态流出物暂存与转运

流出物暂存箱的有效容积为 5m^3，预计可以接纳约 2~3 个月的容量。处理后的液态流出物应满足GB5749-2022标准规定的总α放射性（<0.5Bq/L）、总β放射性（<1Bq/L）要求，且达到豁免水平。流出物暂存箱出口设置快速接头，可与转运槽车匹配，暂存后由排水泵输送到槽车并运至阳江核电排放口排放。

（5）洗衣废液接收与处理

洗衣房执行一洗两漂的洗衣工序。废液暂存箱设置于洗衣房建筑内，共有三个，两用一备，一个用于接收洗衣废液，一个存放待检测排放洗衣废液，最后一个废液暂存箱备用。废液暂存箱内的待排放洗衣废液经检测后，满足免管要求的洗衣废液通过管道送至生活污水站处理后排放，超标废液送往放射性废液处理系统进行处理。

（6）空调冷凝水接收与处理

综合研制室中若干 HVAC 系统（常规燃料线及 ATF 研制间、含钆燃料线、理化实验室等）的冷凝水将在室内地漏收集，经检测后，满足免管要求的空调冷凝水送至生活污水站处理后排放，超标冷凝水送往放射性废液处理系统进行处理。

（7）人体去污废液接收与处理

在含铀与含钆操作区域控制区出入口分别设置了两个去污间，经检测发现人体污染超标，则根据人体沾污的具体情况，采用擦拭或冲淋方式去污。去污水通过房间地漏单独收集，并通过独立的疏排管线排至地下室的放射性废水地坑，再通过地坑泵排放到废液接收箱 B，后续开展取样、过滤、吸附、膜处理、离子交换等工艺操作，处理后进行取样监测，确保满足免管释放要求。

废液处理系统工艺流程图见图 4.5-1 和图 4.5-2。

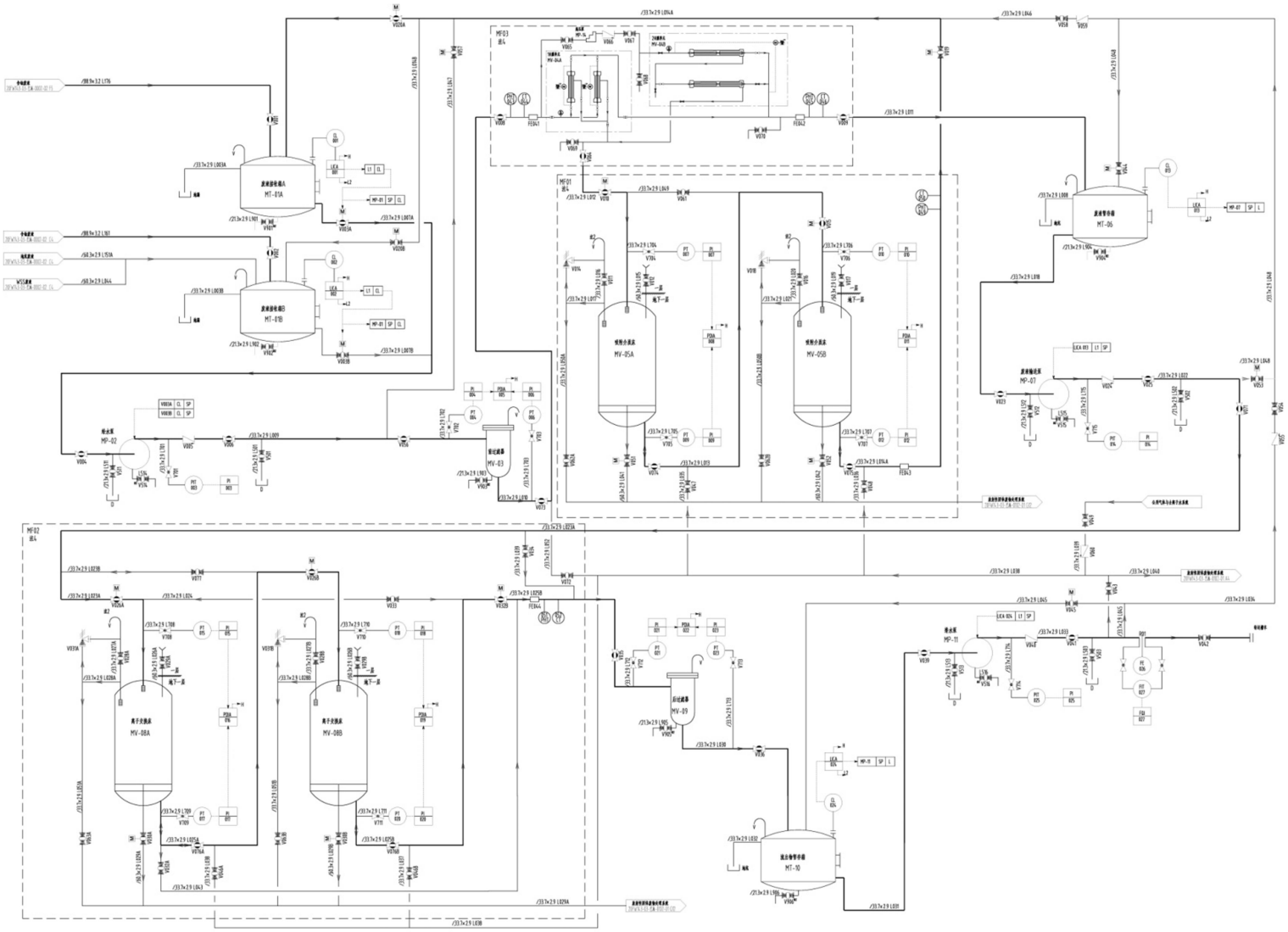


图 4.5-1　放射性废液处理系统工艺流程简图（一）

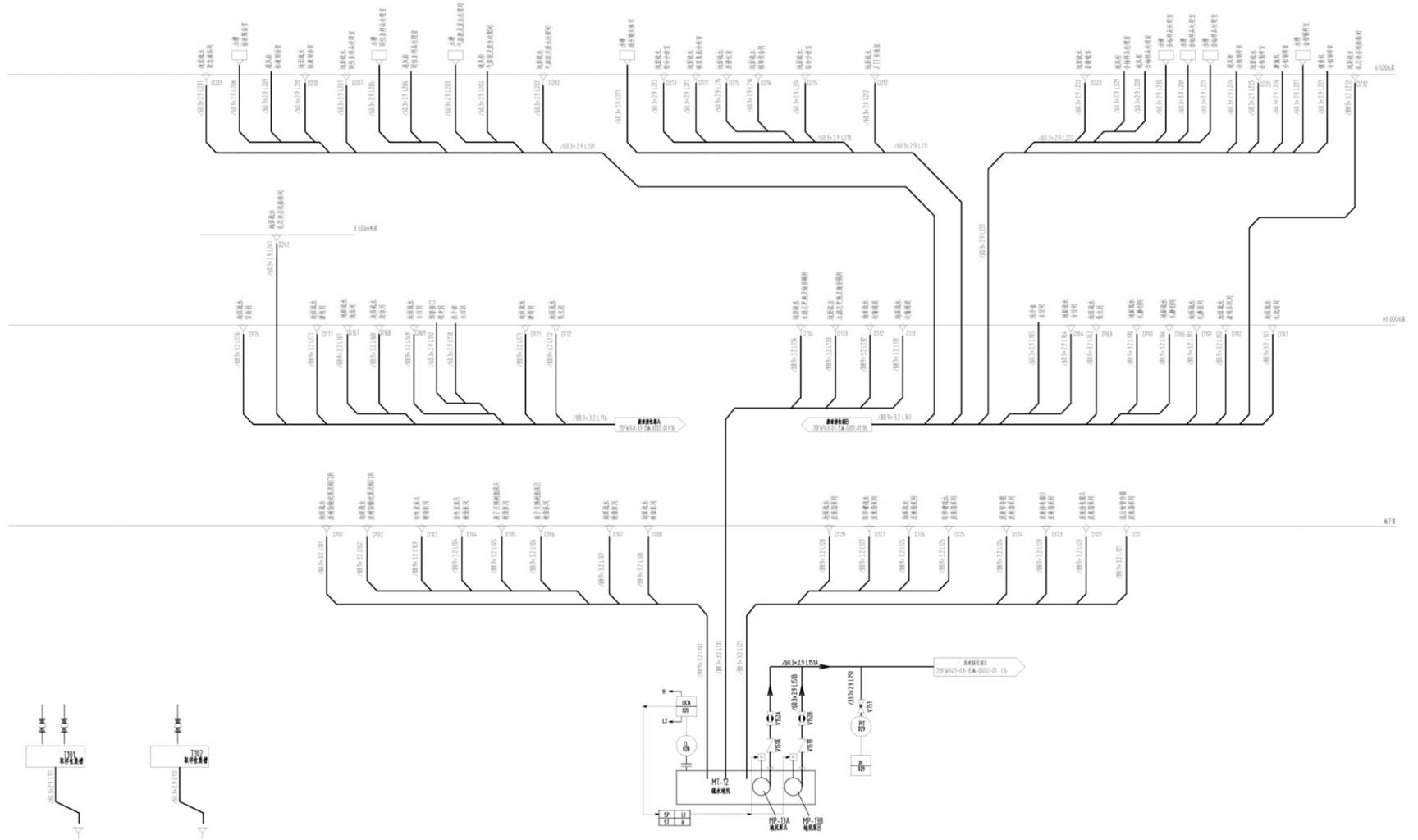


图 4.5-2　放射性废液处理系统工艺流程简图（二）

（7）系统设备

放射性废液处理系统工艺设备清单见表 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 90m
3	前过滤器	1	精度 5μm
4	膜处理模块	1	1#膜单元：工作压力 0.85MPa，产水流量 1m^3/h 2#膜单元：工作压力 3.0MPa，产水流量 1m^3/h 高压泵：出口压力 3.1MPa，出口流量 3m^3/h
5	介质床	2	处理流量 2m^3/h，有效装载量 200L/个
6	废液暂存箱	1	有效容积 5m^3
7	废液输送泵	1	流量 1~3m^3/h，扬程 80m
8	离子交换树脂床	2	处理流量 1m^3/h，有效装载量 120L/个
9	后过滤器	1	精度 20μm
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）废气产生工艺

放射性废气主要产生于如下工序过程中：

— 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：制粒粉末料桶与中间料箱接口的排风；

— 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尾气和磨削渣分装手套箱产生的含铀气溶胶工艺尾气；

— 氧化工序：进出料手套箱产生的含铀气溶胶工艺尾气；

— 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。

厂房内设有全面排风系统，厂房全面排风经预过滤器、HEPA 过滤器处理达到排放标准后通过高空烟囱外排，总净化效率＞99.9%。厂房内设有工艺废气局部排风系统，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。各排风净化系统中滞留放射性粒子的主要部件为预过滤器和 HEPA 过滤器，过滤介质为玻璃纤维。中效过滤器的过滤效率大于 85%，HEPA 过滤器大于 99.9%。空调通风系统工艺流程图见图 4.5-3。烟囱位于综合研制室（03 子项）屋顶，高度 40m、出口内径 2m、排风量 130000m^3/h、出口速率 11.5m/s。

（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，由混合球化物料（粒径 100~300μm）压制而成，具有一定的机械强度，在容器翻转倾倒等操作过程中不会发生破碎，同烧结芯块一样也属于固体类材料。考虑到生坯芯块未经过烧结，不是陶瓷态，其材料散失或挥发可能性高于烧结芯块。所以，生坯芯块释放因子可取 1.0E-05~1.0E-04，为保守地进行包络分析，取 1.0E-04；对于烧结芯块属于陶瓷态固体，参考《电离辐射环境监测与评价》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。

放射性废气处理系统的主要设备见表 4.5-4。

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	核材料类型	主要污染物	总操作量（kg U/a）	操作次数	材料释放/倍乘系数	核材料释放量（kg U/a）	初始活度	过滤效率	排风系统	预计排放量（Bq/a）
粉末进厂	粉末分装倒料	粉末分装手套箱	粉料	UO_2 气溶胶	16271.6	NA	1.00E-03	16.272	2.25E+09	99.9%	EAF-01	2.25E+06
15 吨常规线	制粒	UO_2 粉末真空输料系统吸料端	粉料	UO_2 气溶胶	15066.3	150	1g/每次操作	0.150	2.07E+07	99.9%	EAF-01	2.07E+04
		U_3O_8 粉末真空输料系统吸料端	粉料	U_3O_8 气溶胶	1205.3	150	1g/每次操作	0.150	2.07E+07	99.9%	EAF-01	2.07E+04
		真空吸料系统	粉料	含铀气溶胶	16271.6	NA	1.00E-03	16.272	2.25E+09	99.9%	EAF-01	2.25E+06
		单锥双螺旋混料器	粉料	含铀气溶胶	16271.6	NA	1.00E-03	16.272	2.25E+09	99.9%	EAF-01	2.25E+06
		轧辊制粒	粉料+混合球化物料	含铀气溶胶	16271.6	NA	1.00E-03	16.272	2.25E+09	99.9%	EAF-01	2.25E+06
		轧辊制粒与制粒粉末料桶物料接口	混合球化物料	含铀气溶胶	16256.2	100	1g/每次操作	0.100	1.38E+07	99.9%	EAF-01	1.38E+04
	压制成型	制粒粉末料桶与中间料箱接口	混合球化物料	含铀气溶胶	16256.2	100	1g/每次操作	0.100	1.38E+07	99.9%	EAF-01	1.38E+04
		旋转成型压机和生坯芯块自动装盘装置	混合球化物料+生胚芯块	含铀气溶胶	16241.5	NA	1.00E-04	1.624	2.24E+08	99.9%	EAF-01	2.24E+05
	生坯芯块暂存	生坯芯块储存舟	生坯芯块	含铀气溶胶	16109.9	NA	1.00E-04	1.611	2.22E+08	99.9%	EAF-01	2.22E+05
	烧结	烧结炉（推舟式）	生坯芯块+烧结芯块	含铀气溶胶	16109.9	NA	1.00E-04	1.611	2.22E+08	99.9%	EAF-01	2.22E+05
	磨削	磨削线	烧结芯块	UO_2 气溶胶	15626.6	NA	1.00E-06	0.016	2.16E+06	99.9%	EAF-01	2.16E+03
	外检	外检工作台	烧结芯块	UO_2 气溶胶	15001.5	NA	1.00E-06	0.015	2.07E+06	99.9%	EAF-01	2.07E+03

	磨削渣烘干	磨削渣烘箱	粉料	UO_2 气溶胶	611.0	NA	1.00E-03	0.611	8.43E+07	99.9%	EAF-01	8.43E+04
		磨削渣分装手套箱	粉料	UO_2 气溶胶	611.0	NA	1.00E-03	0.611	8.43E+07	99.9%	EAF-01	8.43E+04
	氧化	进料工作箱	粉料	UO_2 气溶胶	1212.7	NA	1.00E-03	1.213	1.67E+08	99.9%	EAF-01	1.67E+05
		氧化装置	粉料	含铀气溶胶	1212.7	NA	1.00E-03	1.213	1.67E+08	99.9%	EAF-01	1.67E+05
		出料工作箱	粉料	U_3O_8 气溶胶	1212.7	NA	1.00E-03	1.213	1.67E+08	99.9%	EAF-01	1.67E+05
		松装振实筛分手套箱	粉料	U_3O_8 气溶胶	1212.7	NA	1.00E-03	1.213	1.67E+08	99.9%	EAF-01	1.67E+05
	芯块烘干	烘箱	烧结芯块	UO_2 气溶胶	15001.5	NA	1.00E-06	0.015	2.07E+06	99.9%	EAF-01	2.07E+03
	烧结芯块储存	烧结芯块储存柜	烧结芯块	UO2 气溶胶	15001.5	NA	1.00E-06	0.015	2.07E+06	99.9%	EAF-01	2.07E+03
	芯块装管	装管机	烧结芯块	UO_2 气溶胶	15001.5	NA	1.00E-06	0.015	2.07E+06	99.9%	EAF-01	2.07E+03
2 吨钆线	制粒	UO_2 粉末上料口	粉料	含铀气溶胶	2008.8	80	1g/每次操作	0.080	1.10E+07	99.9%	EAF-01	1.10E+04
		U_3O_8 粉末上料口	粉料	含铀气溶胶	160.7	80	1g/每次操作	0.080	1.10E+07	99.9%	EAF-01	1.10E+04
		犁铧式混料器	粉料	含铀气溶胶	2169.5	NA	1.00E-03	2.170	2.99E+08	99.9%	EAF-01	2.99E+05
		轧辊制粒	粉料+混合球化物料	含铀气溶胶	2169.5	NA	1.00E-03	2.170	2.99E+08	99.9%	EAF-01	2.99E+05
		轧辊制粒与制粒粉末料桶物料接口	混合球化物料	含铀气溶胶	2167.5	40	1g/每次操作	0.040	5.52E+06	99.9%	EAF-01	5.52E+03
	压制成型	制粒粉末料桶与中间料桶接口	混合球化物料	含铀气溶胶	2167.5	40	1g/每次操作	0.040	5.52E+06	99.9%	EAF-01	5.52E+03
		旋转成型压机和生坯芯块自动装盘装置	混合球化物料+生胚芯块	含铀气溶胶	2167.5	NA	1.00E-04	0.217	2.99E+07	99.9%	EAF-01	2.99E+04
	生坯芯	生坯芯块储存舟	生胚芯块	含铀气溶胶	2148.0	NA	1.00E-04	0.215	2.96E+07	99.9%	EAF-01	2.96E+04

	块暂存											
	烧结	烧结炉（批次炉）	生胚芯块+烧结芯块	含铀气溶胶	2148.0	NA	1.00E-04	0.215	2.96E+07	99.9%	EAF-01	2.96E+04
	磨削	磨削线	烧结芯块	UO_2 气溶胶	2083.5	NA	1.00E-06	0.002	2.88E+05	99.9%	EAF-01	2.88E+02
	外检	外检工作台	烧结芯块	UO_2 气溶胶	2000.2	NA	1.00E-06	0.002	2.76E+05	99.9%	EAF-01	2.76E+02
	磨削渣烘干	磨削渣烘箱	粉料	UO_2 气溶胶	81.5	NA	1.00E-03	0.081	1.12E+07	99.9%	EAF-01	1.12E+04
		磨削渣分装手套箱	粉料	UO_2 气溶胶	81.5	NA	1.00E-03	0.081	1.12E+07	99.9%	EAF-01	1.12E+04
	氧化	进料工作箱	粉料	UO_2 气溶胶	161.7	NA	1.00E-03	0.162	2.23E+07	99.9%	EAF-01	2.23E+04
		氧化装置	粉料	含铀气溶胶	161.7	NA	1.00E-03	0.162	2.23E+07	99.9%	EAF-01	2.23E+04
		出料工作箱	粉料	U_3O_8 气溶胶	161.7	NA	1.00E-03	0.162	2.23E+07	99.9%	EAF-01	2.23E+04
		松装振实筛分手套箱	粉料	U_3O_8 气溶胶	161.7	NA	1.00E-03	0.162	2.23E+07	99.9%	EAF-01	2.23E+04
	芯块烘干	烘箱	烧结芯块	UO_2 气溶胶	2000.2	NA	1.00E-06	0.002	2.76E+05	99.9%	EAF-01	2.76E+02
	烧结芯块储存	烧结芯块储存柜	烧结芯块	UO_2 气溶胶	2000.2	NA	1.00E-06	0.002	2.76E+05	99.9%	EAF-01	2.76E+02
	芯块装管	装管机	烧结芯块	UO_2 气溶胶	2000.2	NA	1.00E-06	0.002	2.76E+05	99.9%	EAF-01	2.76E+02

表 4.5-4　放射性废气处理系统的主要设备

检验区 HVAC 系统		芯块和钆棒车间 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，m3/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%

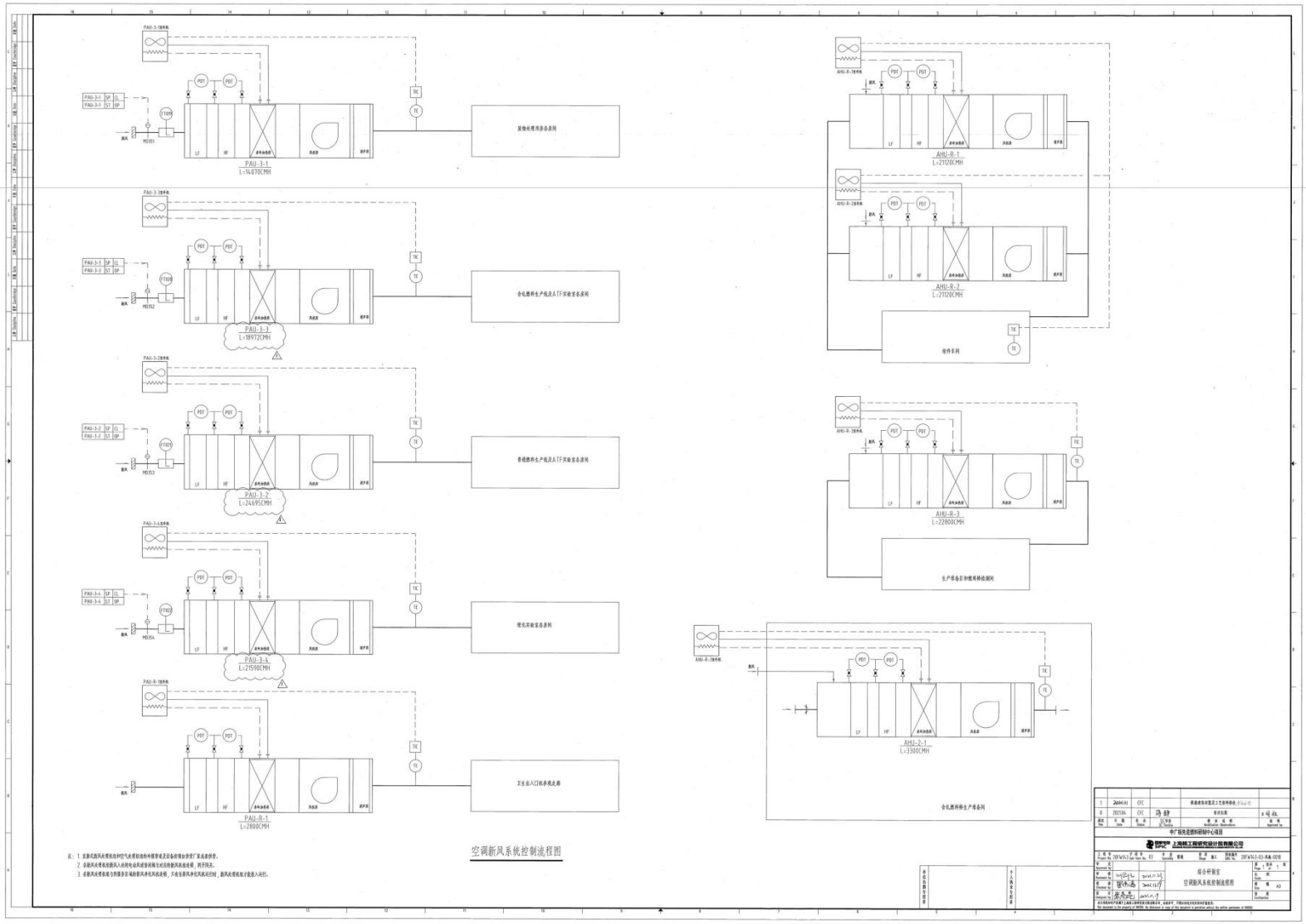


图 4.5-3　空调通风系统工艺流程简图

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 1.14E+07Bq，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）
1.01E+07	3.31E+05	9.73E+05	1.14E+07

4.5.3 放射性固废处理及固废产生量

（1）放射性固废处理系统

放射性废固处理系统主要功能是收集、整备和贮存本项目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）。

废树脂：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，可贮存本项目 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：水过滤器正上方楼板有吊装孔，水过滤器滤芯的更换时，滤芯直接吊出至上方房间，房间内设有水滤芯贮存格架，用于临时贮存水过滤器滤芯。水过滤器滤芯在贮存格架上贮存一段时间后，装桶送往废固贮存区，可提供足够的容量和屏蔽。

通风过滤器滤芯：对通风过滤器滤芯优先进行辐射监测与分拣，其中活度水平较低的滤芯分类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，装入包装容器中，送往废滤芯存储间进行暂存。

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，采用擦拭进行去污，监测确定金属废物表面沾污合格，装入相应的贮存容器中，送往废固贮存区进行暂存。对于研制过程中所产生的可燃废物，装入相应的包装容器中，送往废固贮存区进行暂存。

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见表 4.5-6。

表 4.5-6　放射性固体废物预计产量

废物类型	废物产量（每年）
废树脂	0.19 m^3
水过滤器滤芯	2 个
活性炭	0.11 m^3
膜组件	2 支（1.5m）/3 年（预期） 4 支（1m）/3 年（最大）
金属废物	200kg
可燃废物	400kg
通风过滤器滤芯	40 个

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。

放射性固废处理系统流程简图见图 4.5-4。

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	可容纳 12 个水过滤器滤芯

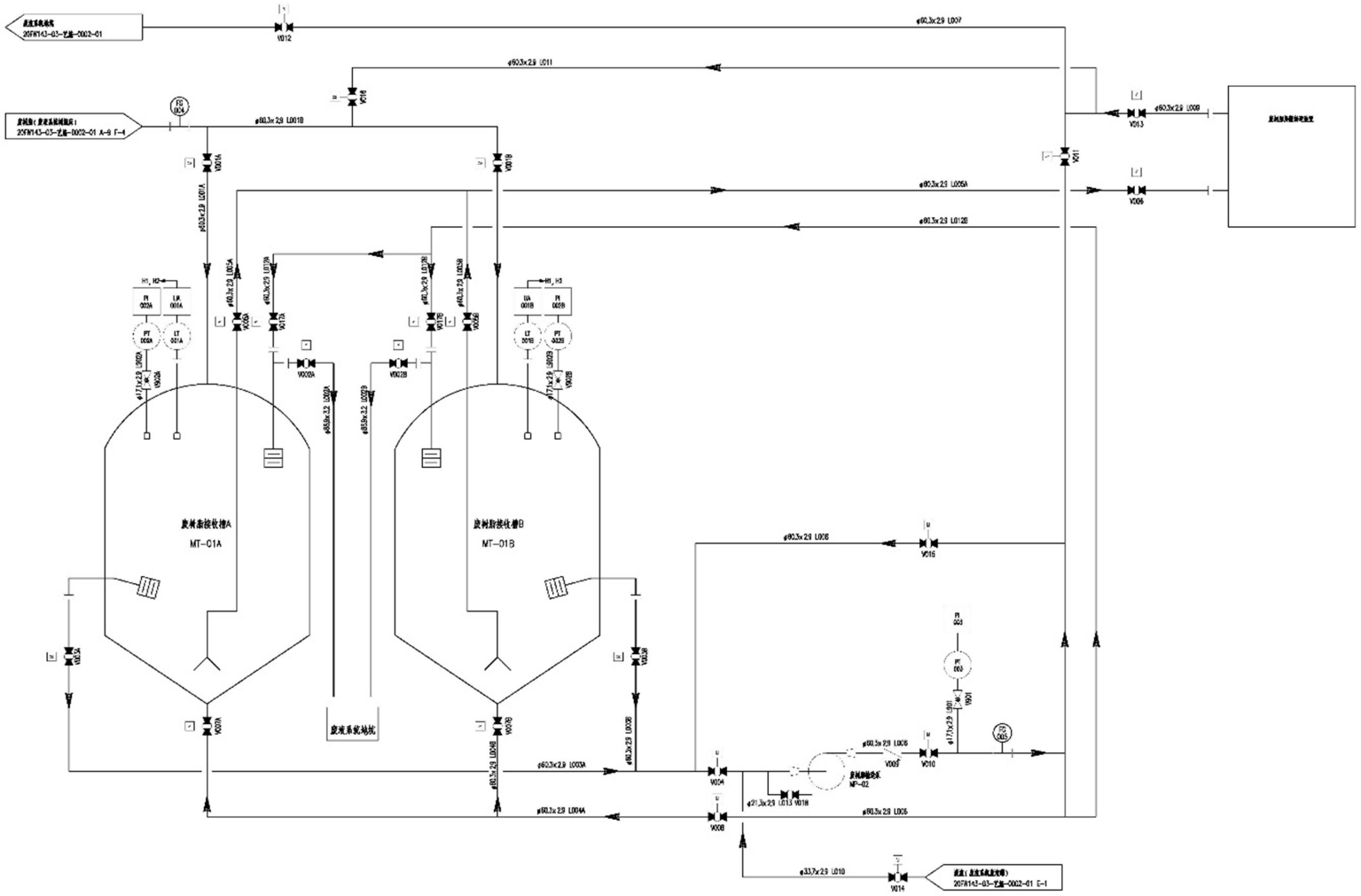


图 4.5-4　放射性固废处理系统流程简图

（2）放射性废物贮存

本项目建设了废物贮存设施和贮存区以贮存核燃料研制时产生的放射性固体废物，共设四个放射性固废贮存区：一个在地下室，用于贮存废树脂；两个在一层运输通道西侧和南侧，用于接收固体废物包装桶和水过滤器滤芯；一个在三层通风机房西侧，用于接收通风过滤器滤芯。

所有的废固贮存区均有专用设备或运输通道通往转运通道，以方便放射性固体废物外运处理。系统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。废树脂接收槽具备足够的容量，可贮存燃料研制中心 20 年内产生的废树脂。为防止槽内废树脂结块，可定期通过废树脂输送泵进行混合，也可以通过去离子水或者压缩空气进行混合；废树脂输送泵为离心泵，用于将废树脂接收槽内的废树脂转运到屏蔽转运容器并外运，也可用于混合废树脂接收槽内的废树脂；通风过滤器滤芯预压打包装置设在废滤芯存储间内，转运至废滤芯存储间的通风过滤器滤芯先通过该装置进行压实，装入包装容器后，送废滤芯存储间进行暂存；水过滤器滤芯贮存格架布置于厂房内水滤芯更换及储存隔间内，邻近水滤芯更换工位，以方便换下的水过滤器滤芯就近暂存。

（3）放射性废物最终去向

各类放射性固体废物经过分类收集、包装后，送往对应的废物暂存房间进行暂存。暂存后将送往具备相应资质的单位进行进一步处理和处置。

4.6 非放射性废物处理系统

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生产研制过程中非放射性废水和工作人员的生活污水，生活废水和研制过程中非放射性废水经处理达标后排放。

非放射性固体废物主要包括危险废物、一般工业固废物两类。其中危险废物包括机加工段的危化品废包装物、废（显）定影液、废胶片、废切削液、乳化液残渣、离子交换树脂、含理化酸废液废物、废含丙酮废物等，将在危废品库暂存，暂存后交由有资质的外部单位集中处理。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。

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，混合收集后送入废液暂存箱暂存。废液暂存箱设置于洗衣房建筑内，共有三个，两用一备，有效容积 20m^3。废液暂存箱内的洗衣废液经检测后，总 α<0.5Bq/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。

厂区噪声主要来自厂房中的生产线设备、风机、发电机组等运转设备，为以下三个方面：燃料生产线设备运行产生的噪声；不停运转的直膨式新风处理机组和排风机；柴油发电机组等电气系统的部分设备产生的噪声。

燃料生产线设备运行产生产生的最大噪声级预计为 85dB(A)。

根据国家标准对噪声的控制要求，采取的噪声控制措施如下：

- 对于真空泵，采用降噪产品，除了刚启动时正常运转时噪音水平应低于 80dB(A)。
- 泵的安装位置远离人员操作岗位，并且设置减震降噪安装基础。
- 设置隔音罩，配置消音装置等。
- 通风机采取隔振措施，设置减振器或减振垫。
- 通风机与风管连接采用软管接头。
- 操作人员佩戴防噪音耳塞。

4.7 退役初步考虑

（1）退役方案初步设想

本项目初步考虑采用立即拆除的退役策略。本项目初步退役计划包括退役前准备和退役实施两个方面，具体计划工作内容如下：

（1）退役前准备

该阶段主要包括组织准备和技术准备两个方面。

a）组织准备：将以本项目为基础建立项目退役组织管理体系并成立项目退役工作组。

b）技术准备：项目退役工作组将依据国家实时相关法律法规及规章制度编制核设施退役申请书、安全分析报告、环境影响评价报告、质量保证大纲等文件，并按照相

关要求组织专家评审并报送相应国家主管部门批准；组织对本项目的源项调查及退役工作中风险识别及评估；退役工作所需设备、工器具的研制及采购。

（2）退役实施

该阶段主要包括评价、开发、作业、终结四个阶段。

①评价阶段：该阶段主要进行本项目的特性调查（如化学、物理、辐射等方面的特性调查），进而确定退役方案。

②开发阶段：依据前述退役方案编制本项目核设施退役计划（其中包括特性调查收资情况、退役方案评论、遵守相关管制条款、退役后预期的人员接受剂量值、放射性废物提及和处置费用计划等），并将核设施退役计划报送国家主管部门批准。

③作业阶段：按照已批准的核设施退役计划进行本项目分割、拆除、去污及环境保护、废物处置运输工作，并在作业过程中持续对项目周边剂量值进行监测，按照适用法规加强管理。

④终结阶段：作为本项目投资建设主体，中广核铀业发展有限公司将在本项目退役结束后进行最终的化学和辐射普查测量，并将退役工作过程形成最终报告抄报国家主管部门。

本项目最终关闭前就将开始退役前准备工作，根据国际相关退役设施经验，经初步分析和整理，整个退役过程（包括前期准备）预计将在 10 年内完成。

（2）退役的初步考虑

1）便于退役的设计原则

参考 IAEA 安全要求和国际设施退役经验反馈，本项目已尽早地考虑未来退役的问题。本项目便于退役的考虑以不影响安全运行和维护为前提，设计贯彻废物最小化的原则，使本项目从运行开始直至退役终止的整个过程中，放射性废物的数量和活度合理可行尽量低。除废物最小化原则外，还需要贯彻纵深防御措施，以减少因疏忽而造成的放射性物质泄漏的风险。

本项目对设计进行综合考虑，以便于在退役期间：

a）尽可能降低人员和公众风险；

b）尽可能减少环境影响；

c）易于去污、拆除；

d）尽可能减少废物产生量；

e）节省退役相关费用等。

本项目设计中，设计者已充分了解退役有关的问题、策略和技术，参考核电厂放射性废物管理以及核电厂退役和拆除的特性，结合退役相关法规标准中对材料的选取、必要的可达性和可操作性、放射性废物管理等方面的要求，在设计中从工艺设计、共用支持系统等方面开展了便于退役的设计考虑。

2）工艺设计便于退役的考虑

工艺系统是退役关键系统，退役时，先于其他支持性系统退役。主要包括混料系统、压制烧结系统、磨削系统、氧化系统、芯块工艺和 ATF 试验系统、各类铀材料容器，各子系统均从便于去污、便于拆除以及废物最小化等方面考虑了便于退役的设计。

a）混料系统由设备、管道和阀门组成，管道和阀门连接均采用快拆结构，布置时已预留足够的安装和检修空间。使用手拉葫芦等简单起重设备即可将整个系统就地拆散，部分大型设备，例如制粒机，也可以拆解成多个部件。配套的压缩空气和负压吸尘系统可将整个系统和拆解后的各部件均清理干净，部分核材料残留较多的部件，可运至 311 房间内清洁，必要时可使用擦拭方式去污，产生的废物分类收集后暂存。系统使用的各个房间均设置出入口，检测合格后，可利用手拉葫芦、手推车通过电梯或楼板开孔将设备和部件运输至一楼废物出口（5-6 轴间），使用行车装车、外运。

b）压制烧结系统由旋转压机、自动装舟装置、烧结炉及配套芯块容器组成，各设备基本独立，并预留足够的安装和检修空间。各设备可拆解成多个部件，配套的压缩空气和负压吸尘系统可将各部件清理干净，部分核材料残留较多的部件，可运至 311 房间中的负压小室中清洁，必要时可使用擦拭方式去污，产生的废物分类收集后暂存。系统位于一楼，方便连续推舟炉等大、重型设备的检维修和退役外运，使用的各个房间均设置出入口，门和通道尺寸已根据最大部件尺寸考虑，满足通过需求。各部件检测合格后，可利用手拉葫芦、手推车运输至一楼废物出口（5-6 轴间），使用行车装车、外运。

c）磨削系统由磨床、淋洗烘干传输线、磨削渣水分离、磨削渣烘干箱等设备组成，各设备基本独立，期间由可拆的传输线和少量管道连接。使用手拉葫芦等简单起重设备即可将整个系统就地拆散，磨床砂轮可使用水清洁，废水排入废水收集系统，其他部件可使用配套的压缩空气和负压吸尘系统清理干净，必要时可使用擦拭方式去污，

产生的废物分类收集后暂存。系统位于一楼，使用的各个房间均设置出入口，门和通道尺寸已根据最大部件尺寸考虑，满足通过需求。各部件检测合格后，可利用手拉葫芦、手推车运输至一楼废物出口（5-6 轴间），使用行车装车、外运。

d）氧化系统为成套装置，氧化炉、破碎设备、过筛设备等由传输线连接，整个装置布置有局部排风。退役拆除前，可使用配套的压缩空气和负压吸尘系统将装置内部尽量清理干净，使用手拉葫芦等简单起重设备即可将整个系统就地拆散，使用配套的压缩空气和负压吸尘系统再次清洁零部件，必要时可使用擦拭方式去污，产生的废物分类收集后暂存。系统位于一楼，使用的各个房间均设置出入口，门和通道尺寸已根据最大部件尺寸考虑，满足通过需求。各部件检测合格后，可利用手拉葫芦、手推车运输至一楼废物出口（5-6 轴间），使用行车装车、外运。

e）芯块工艺和 ATF 试验系统均采用公斤级小规模生产设备，包括三维混料机、轧辊制粒机、单工位成型压机、试验用高温炉、双锥混料机等，设备独立布置，可拆解成多个部件，配套的压缩空气和负压吸尘系统可将各部件清理干净，使用手拉葫芦等简单起重设备即可将整个系统就地拆散，使用配套的压缩空气和负压吸尘系统再次清洁零部件，必要时可使用擦拭方式去污，产生的废物分类收集后暂存。系统位于一楼和二楼，使用的各个房间均设置出入口，门和通道尺寸已根据最大部件尺寸考虑，满足通过需求。各部件检测合格后，可利用手拉葫芦、手推车和电梯运输至一楼废物出口（5-6 轴间），使用行车装车、外运。

f）各类铀材料容器：包括 UO_2 粉末料桶、U_3O_8 粉末料桶、芯块柜、废芯块柜等。压缩空气和负压吸尘系统清洁，必要时可使用擦拭方式去污，产生的废物分类收集后暂存。各类容器可通过各层的门和通道，利用手拉葫芦、手推车、电梯运输至一楼废物出口（5-6 轴间），使用行车装车、外运。

各工艺设备采用结构简单、便于排空、去污、拆解的设计，系统、设备及管道的布置设计结合建（构）筑物、系统和设备的设计要求，考虑了便于去污、便于拆除等方面因素。为便于去污、拆卸及实现废物最小化，选取的材料最大范围内满足低活化特性、耐高温、抗辐照、耐锈蚀、耐腐蚀、机械加工性能良好、化学性质稳定、结构完整性，结合废物最小化原则，减少废物的产生，统筹考虑退役废物最终去向。

3）共用支持系统便于退役的考虑

本项目各个共用支持系统在设计阶段均考虑了便于退役和支持退役操作的考虑。

（1）总图和相关建（构）筑物布置

本项目总图布置方面，设置有宽度为 6m-9m 的环形道路，可满足退役时的道路运输需求。

本项目涉及放射性的工作场所全部布置在综合研制室，综合研制室的建筑布置设计兼顾了便于退役时去污、拆除和运输等工作的考虑：

a）竖向布置：各层建筑层高满足各设备的拆卸空间需求。

b）平面布置：三层主要布置有核材料库房、粉末操作工艺设备、通风系统和用于存储通风系统废滤芯储存间，其中废滤芯储存间设有吊车系统以支持废物转运；二层主要布置有燃料棒生产区域和理化实验间，退役去污和拆卸工作相对较易开展，各设备拆解部件检测合格后，可利用手拉葫芦、手推车运输至一层；大、重型工艺设备，例如连续推舟炉、组件组装设备等，均布置在一楼以便于退役外运，放射性废液处理系统、废固处理和存储区就近布置废物出口（北向，5-6 轴间），两个北向出口和燃料组件运输通道均布置有吊车等相应设备可用于支持退役工作。

c）建筑结构：综合研制室为混凝土框架结构，跨距 6-10m 不等，跨间多为轻质填充墙体，减少容易产生放射性沉积的结构。当退役设备外运时，轻质填充墙拆除方便，且不影响主体结构，便于设备（部件）的移除或就地拆解，可以满足大、重型工艺设备的退役外运。

（2）通风和三废系统

通风系统、废物处理系统是退役的关键支撑系统，设计上考虑以下几个方面以便于退役和支持退役操作：

a)通风系统设计考虑在退役阶段的功能需求，满足退役操作阶段的通风能力需求。

b）通风系统设计选用易于更换并不易散落、飞扬放射性物质的空气粒子过滤器，过滤器滤芯的更换采用袋进袋出快速更换方式，以减少放射性物质逸出。

c)所有设备及管道材料具备足够的稳定性和可靠性，在设计寿期内维持材料特性，针对易损、易老化部件，均考虑可更换的手段。

d）厂房、设备布置均考虑足够的维修空间，为后续设备的维修与维护提供便利。

e）潜在污染区的地面、墙面和设备表面均使用易清洗、易更换且耐腐蚀、耐辐射的材料。

f）合理安排废物运输路线，并设置相应的废物转运手段，确保退役所产生的废物

便于外运，防止放射性物质泄漏。

g）放射性废液处理系统能够用于接收并处理退役阶段去污、清洗所产生的放射性废液，满足相应的排放标准。

h）放射性废固系统具备足够的贮存空间，可以接收、贮存并外运退役阶段所产生的放射性固体废物。

i）废物管理系统均留有可更换的手段，确保放射性较高的废物，如废树脂、废滤芯、废活性炭等，均可远距离进行更换，减少人员辐射照射。

j）针对放射性废水地坑，均设有钢衬里，降低放射性废液向混凝土渗透，同时也便于退役阶段进行去污与清洁。

除上述各个方面便于退役的设计考虑外，本项目还考虑了其他便于退役的措施，包括但不限于：

a）设立辐射监测点，有利于了解退役时被污染的放射性区域；

b）设置辐射防护措施，不仅有利于运行期间的维护和保养，还有利于退役期间的去污和拆除活动；

c）持续收集和学习其他类似项目退役的经验反馈。

（3）退役经费

从退役经费上说，本项目将按照国家相关法规标准考虑退役经费，以保证项目最终退役前有足够的费用，以有利于退役的实施。作为本项目投资建设主体，中广核铀业发展有限公司计划在项目投入运营后预提本项目所需核设施退役费，费用来源为中广核铀业发展有限公司自有资金。根据并参考中国广核集团有限公司《集团会计核算制度》（001-GN-P-MC-D12-006）对于核电站核设施退役费计取规定“核电站核设施退役费占核电站竣工决算生产在线固定资产原值的比例约 10%”，本项目核设施退役费初步按照项目投资总额 10%、按照 30 年进行折现、折现率参照同期银行长期贷款利率确定（区间 6%-12%），预计残值 5%，待国家核设施退役费政策确定后，再按照实际收费标准调整已确认的预计负债。计取的核设施退役费将用于本项目在后续退役时中广核铀业发展有限公司作为建设单位对外承担的环境保护及生态恢复等义务所需支出以及为保证工作人员和公众不受放射性影响而有计划的采取各类必要行动所需支出，确保本项目安全、永久退役。

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 月完成工程移交接产，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，已于 2021 年 9 月开工，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 9964.51m^2，两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 12298m^2，本工程新建建筑面积为 9964.51m^2，建设场地内土石方工程量为：挖方 3.7 万 m^3，填方 0.7 万 m^3。

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。

本项目厂址占地 50 亩，南北长 219m、东西宽 153m，项目新建建筑物小于 1 万 m^2，土石方不超过 5 万 m^3，总体建设施工规模较有限。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。

场地施工是阶段性和局部性的，施工时间总体较短，其影响时间也较短。厂址半径 500m 范围内没有居民点，因此施工期不会对周围环境产生不利影响。严格控制施工作业条件并做好防尘措施，通过覆盖、洒水抑尘等方式能削减 80%以上的起尘量，随着施工的结束，大气污染随之结束。

（2）水环境影响

施工期产生的废水主要包括施工废水和施工人员的生活污水等。施工期施工废水主要是施工机械清洗废水、混凝土养护、基坑废水等，主要污染物为 SS，其值为 400~1000mg/L。冲洗废水经沉淀池沉淀后回用于施工场地洒水降尘，不外排，对区域水环境无影响。

本工程项目施工人数按 100 人考虑，施工天考虑 700 天，生活用水按 120L/人·d 考虑，则总用水量约 8400t。生活污水排放系数取 0.9，则施工期生活污水排放总量为 7560m^3，施工期生活废水产生量为 0.45m^3/h。

本工程厂区内已建一座污水处理站（04 子项），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 0.5m^3/h、综合废水 1.0m^3/h、生活污水 1.0m^3/h，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。

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 0.13m^3/h，保守按 0.2m^3/h 考虑，剩余 0.8m^3/h 处理能力较多，因此污水处理站可满足本工程施工期间的生活污水处理需求。

（3）噪声环境影响

本项目施工期的噪声主要来源于建筑过程及装修期间产生的机械噪声。施工过程中，厂区内主要是挖掘机、推土机等机械开展土石方和建筑工程而产生的噪声，其声级一般在75~105dB（A），在底板与结构阶段，混凝土输送泵、振捣机、电锯、电焊机等产生的声级可在90~100dB（A），在装修安装阶段，车间内部装修时电钻、电锤、手工钻、无齿锯产生的噪声可在100~110dB（A），而外部装修期间由升降机、吊车等产生的噪声级较小，车辆运输期间的噪声一般在75~95 dB（A）。

施工机械作业时可视为点声源，距离加倍时噪声降低 6dB，如果考虑空气吸收，则附加衰减 0.5dB~1dB/100m，经过项目周边围墙的阻隔、距离的自然衰减，一般在 50m 外所有机械设备施工可达到《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中标准要求。

项目所在地周围主要是山坡空地，距离厂址最近的居民点位于厂址 S 方位 500m 处，距离施工区域较远，施工规模较小。因此，通过对噪声源采取距离衰减、隔声、消声和减震等综合治理措施后，项目施工不会出现噪声扰民的现象，项目施工噪声对周围环境影响不大。

（4）固体废物环境影响

施工期间的固体废弃物主要是施工人员生活垃圾，以及施工建筑垃圾等。施工人员按 100 人计算，施工人员人均生活垃圾产生量取 0.7kg/人·日，则项目施工期垃圾产生量为 70kg/d，产生总量为 49t（施工期按 700 天计）。施工人员产生的生活垃圾由环卫部门统一运送到垃圾处理场集中处理。

本工程土石方开挖量约 3.2 万方，将运至东平镇政府指定的填海场。参考同类项目建设期固体排放情况类比，每平方米建筑面积产生建筑垃圾约 50kg，本项目新建厂房总建筑面积 9964.51m^2，本项目在建设期产生建筑垃圾约 500t。建筑垃圾除部分用于回收外，剩余部分及时清运到城市市容卫生管理部门指定地点消纳。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。

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 m^3，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

5.2.1 施工环境影响减缓措施

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。

5.2.2 施工期环境监测

结合项目场地施工条件和施工计划，建设单位已委托相关阳江市康荣环境检测有限公司等单位针对本项目定期开展施工期间环境监测，内容主要包括：

（1）环境空气监测：在厂区施工区周界设置无组织排放监控点，监测指标为二氧化硫（SO_2）、氮氧化物（NO_x）、总悬浮颗粒物（TSP）、苯、甲苯和二甲苯，监测频次为每季度一次。

（2）废水排放监测：在厂区内生活污水处理站进出口均设置采样点，监测 pH、

化学需氧量（COD）、五日生化需氧量（BOD_5）、悬浮物（SS）、氨氮、色度和石油类等。监测频次为每季度一次。

（3）噪声监测：点位布设于西侧、南侧和东侧厂界外 1m 处，监测等效连续 A 声级（LeqA）。监测频次为每季度一次，每次分昼间和夜间监测。

图 5.2-1 给出了施工期监测布点图。表 5.2-1、表 5.2-2 和表 5.2-3 分别给出了 2023 年度开展的两个季度施工期环境空气、废水和噪声监测结果。结果显示，施工期间各项监测指标均低于相应标准规定的限值要求，本项目施工对周边环境的影响很小。

表 5.2-1 施工期环境空气监测结果

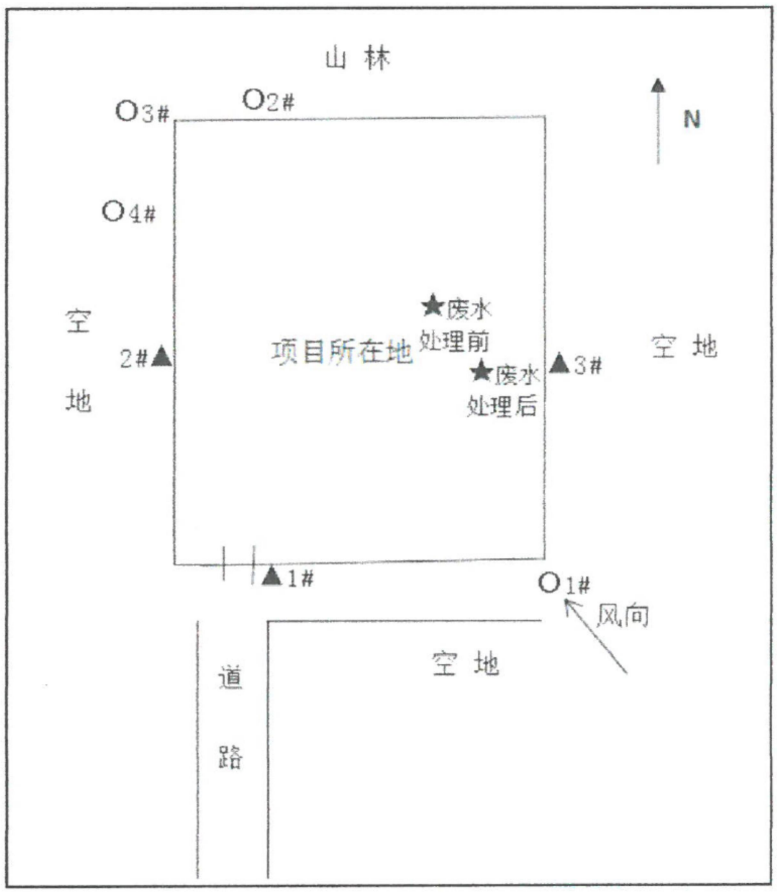
检测项目	日期	检测点位（mg/m^3）				
		Q1#（参照点）	Q2#	Q3#	Q4#	周界外监控点最高浓度
SO_2	2023-3-27	0.008	0.013	0.017	0.016	0.017
	2023-6-26	0.026	0.051	0.040	0.045	0.051
NO_x	2023-3-27	0.019	0.040	0.047	0.045	0.047
	2023-6-26	0.028	0.036	0.049	0.042	0.049
TSP	2023-3-27	0.243	0.339	0.400	0.375	0.400
	2023-6-26	0.200	0.334	0.326	0.314	0.334
备注：1、广东省地方标准《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）第二时段无组织排放监控浓度标准限值为：SO_2 0.4mg/m^3、NO_x 0.12mg/m^3、TSP 1.0mg/m^3 2、苯、甲苯和二甲苯的各点位检测结果均为未检出或低于检出限。						

表 5.2-1 施工期废水排放监测结果

采样点位	检测项目及结果（mg/L，pH 无量纲）						
废水处理后排放口	pH 值	悬浮物	COD	BOD_5	氨氮	色度	石油类
2023-3-27	7.0	21	43	17.2	8.99	5	1.19
2023-6-26	7.0	30	44	16.7	5.14	3	0.88
《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）标准限值	6~9	60	90	20	10	40	5.0

表 5.2-3 施工期噪声监测结果

检测项目	日期	检测点位（dB（A））					
		1# 南场界外 1m		2# 西场界外 1m		3# 东场界外 1m	
		昼间	夜间	昼间	夜间	昼间	夜间
噪声	2023-3-27	52.4	41.6	51.3	43.2	52.6	41.7
	2023-6-26	52.6	43.5	51.4	42.9	51.8	41.8
标准限值：昼间 70dB（A），夜间 55dB（A）							



★为废水检测点，○为无组织废气检测点，▲为噪声检测点

图 5.2-1 施工期环境监测布点图

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免管浓度水平，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
1.01E+07	3.31E+05	9.73E+05	1.14E+07

本项目核材料年最大操作量不大于 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 1.14×10^{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。

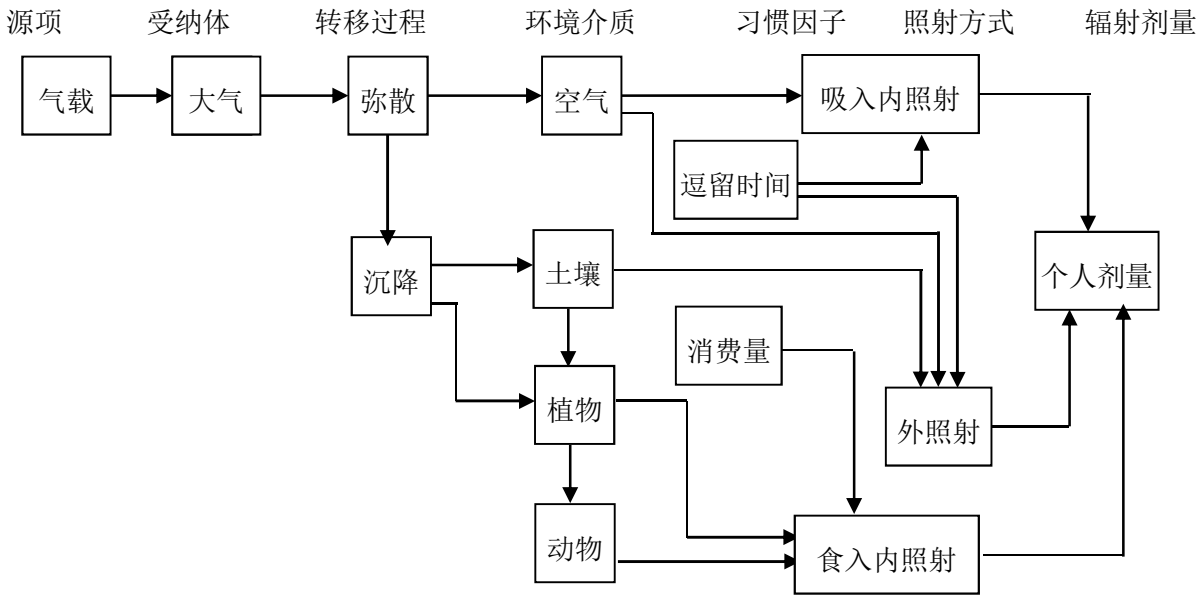


图 6.1-1　气载放射性流出物排放对公众造成辐射的照射途径示意图

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 2021 年 1 月到 2022 年 12 月两整年 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 40m，周边建筑物高度 16m，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：

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

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_{tm} — 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/Us＜1时， Et=1
- 当1≤W_0/Us≤1.5时， Et=2.58-1.58（W_0/Us）
- 当1.5＜W_0/Us≤5时，Et=0.3-0.06（W_0/Us）
- 当W_0/Us＞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+2.15σ_z（x）=Hm 确定考虑混合层的影响起始距离 Xb，其中 He=Hs+ΔH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≤X＜2Xb 时，假定烟流在地面和混合层之间的多次反射：

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

当 X≥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；

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

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。

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

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）；

Im — 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}；

Hs — 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，$S=8.7\times10^{-4}$；

对于F类稳定度，$S=1.75\times10^{-3}$。

（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；

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

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；

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

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。

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

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/π）$^{0.5}$/（π/8）的值。

（2）长期地面沉积因子

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

式中：

(D/Q) — 混合释放情况下计算点处的长期地面沉积因子，m^{-2}；

N — 全年中总的有效测量小时数，无量纲；

E_{tm}— 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/m^3；

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/m^3，；

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 20km 范围各子区放射性核素的长期大气弥散因子（^{234}U、^{235}U、^{238}U）、长期地面干沉积因子（^{234}U、^{235}U、^{238}U）和长期地面湿沉积因子（^{234}U、^{235}U、^{238}U）。

表 6.1-2 厂址长期大气弥散因子（^{234}U、^{235}U、^{238}U）

单位：s/m^3

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	5.17E-06	9.44E-07	4.78E-07	2.54E-07	1.04E-07	3.57E-08
NNE	2.45E-06	5.00E-07	2.72E-07	1.51E-07	6.39E-08	2.23E-08
NE	3.07E-06	5.86E-07	3.01E-07	1.61E-07	6.59E-08	2.28E-08
ENE	1.85E-06	3.91E-07	2.15E-07	1.20E-07	5.15E-08	1.83E-08
E	9.24E-07	2.35E-07	1.34E-07	7.63E-08	3.28E-08	1.17E-08
ESE	3.68E-07	9.02E-08	5.38E-08	3.18E-08	1.42E-08	5.13E-09
SE	3.03E-07	6.69E-08	3.84E-08	2.24E-08	1.01E-08	3.74E-09
SSE	1.26E-07	2.36E-08	1.19E-08	6.30E-09	2.60E-09	9.32E-10
S	6.50E-08	2.67E-08	2.43E-08	1.79E-08	9.12E-09	3.34E-09
SSW	5.45E-06	9.54E-07	5.07E-07	2.88E-07	1.28E-07	4.68E-08
SW	7.49E-06	1.50E-06	8.55E-07	5.04E-07	2.28E-07	8.35E-08
WSW	5.73E-06	1.30E-06	7.85E-07	4.72E-07	2.15E-07	7.85E-08
W	4.03E-06	1.02E-06	6.53E-07	4.03E-07	1.86E-07	6.82E-08

WNW	4.38E-06	9.32E-07	5.45E-07	3.22E-07	1.44E-07	5.20E-08
NW	4.31E-06	8.92E-07	5.03E-07	2.89E-07	1.26E-07	4.47E-08
NNW	3.88E-06	7.69E-07	4.21E-07	2.36E-07	1.01E-07	3.55E-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/m^2

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	1.03E-08	1.89E-09	9.56E-10	5.07E-10	2.07E-10	7.15E-11
NNE	4.89E-09	1.00E-09	5.43E-10	3.02E-10	1.28E-10	4.47E-11
NE	6.15E-09	1.17E-09	6.03E-10	3.22E-10	1.32E-10	4.57E-11
ENE	3.71E-09	7.82E-10	4.30E-10	2.41E-10	1.03E-10	3.65E-11
E	1.85E-09	4.69E-10	2.69E-10	1.53E-10	6.57E-11	2.33E-11
ESE	7.36E-10	1.80E-10	1.08E-10	6.36E-11	2.84E-11	1.03E-11
SE	6.06E-10	1.34E-10	7.67E-11	4.49E-11	2.02E-11	7.48E-12
SSE	2.53E-10	4.72E-11	2.38E-11	1.26E-11	5.21E-12	1.86E-12
S	1.30E-10	5.33E-11	4.87E-11	3.58E-11	1.82E-11	6.69E-12
SSW	1.09E-08	1.91E-09	1.01E-09	5.76E-10	2.55E-10	9.36E-11
SW	1.50E-08	2.99E-09	1.71E-09	1.01E-09	4.56E-10	1.67E-10
WSW	1.15E-08	2.61E-09	1.57E-09	9.45E-10	4.30E-10	1.57E-10
W	8.06E-09	2.05E-09	1.31E-09	8.06E-10	3.72E-10	1.36E-10
WNW	8.76E-09	1.86E-09	1.09E-09	6.43E-10	2.88E-10	1.04E-10
NW	8.62E-09	1.78E-09	1.01E-09	5.77E-10	2.52E-10	8.95E-11
NNW	7.76E-09	1.54E-09	8.43E-10	4.73E-10	2.02E-10	7.10E-11

表 6.1-4　厂址长期地面湿沉积因子（^{234}U、^{235}U、^{238}U）

单位：$1/m^2$

距离(km) 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	7.75E-09	2.58E-09	1.55E-09	9.69E-10	5.17E-10	2.58E-10
NNE	4.00E-09	1.33E-09	7.99E-10	4.99E-10	2.66E-10	1.33E-10
NE	3.52E-09	1.17E-09	7.05E-10	4.40E-10	2.35E-10	1.17E-10
ENE	2.14E-09	7.13E-10	4.28E-10	2.67E-10	1.43E-10	7.13E-11
E	1.10E-09	3.68E-10	2.21E-10	1.38E-10	7.36E-11	3.68E-11
ESE	6.48E-10	2.16E-10	1.30E-10	8.10E-11	4.32E-11	2.16E-11
SE	1.78E-10	5.95E-11	3.57E-11	2.23E-11	1.19E-11	5.95E-12
SSE	8.02E-11	2.67E-11	1.60E-11	1.00E-11	5.35E-12	2.67E-12
S	7.86E-11	2.62E-11	1.57E-11	9.82E-12	5.24E-12	2.62E-12
SSW	3.35E-09	1.12E-09	6.71E-10	4.19E-10	2.24E-10	1.12E-10
SW	6.84E-09	2.28E-09	1.37E-09	8.55E-10	4.56E-10	2.28E-10
WSW	1.07E-08	3.58E-09	2.15E-09	1.34E-09	7.16E-10	3.58E-10
W	8.27E-09	2.76E-09	1.65E-09	1.03E-09	5.51E-10	2.76E-10
WNW	8.44E-09	2.81E-09	1.69E-09	1.05E-09	5.62E-10	2.81E-10
NW	6.63E-09	2.21E-09	1.33E-09	8.29E-10	4.42E-10	2.21E-10
NNW	5.69E-09	1.90E-09	1.14E-09	7.12E-10	3.80E-10	1.90E-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

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

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/m^3）；

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/m^3：

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

式中：

χ_i — 地面空气中放射性核素i的浓度，Bq/m^3；

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/m^3；

3.17×10^{-8} — a/s的换算系数。

（2） 地面沉积外照射剂量

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

式中：

D_{EG} — 公众个人逗留在污染的地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/（m^2.d）：

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

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}：

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

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

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

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_{EIi} — 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

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

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；

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

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。

$$\begin{aligned}U_{Ei}&=U_V\cdot\left(F_{Vi}\cdot C_{V1i}+F_{V2}\cdot C_{V2i}\right)\cdot\exp\left(-\lambda_i\cdot T_V\right)\\&+U_L\cdot\left(F_{Li}\cdot C_{L1i}+F_{L2}\cdot C_{L2i}\right)\cdot\exp\left(-\lambda_i\cdot T_L\right)\\&+U_F\cdot\left(F_{Vi}\cdot C_{F1i}+F_{F2}\cdot C_{F2i}\right)\cdot\exp\left(-\lambda_i\cdot T_F\right)\\&+U_M\cdot\left(F_{Mi}\cdot C_{M1i}+F_{M2}\cdot C_{M2i}\right)\cdot\exp\left(-\lambda_i\cdot T_M\right)\end{aligned} \qquad (6.1\text{-}4\text{-}1\text{-}1)$$

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）；

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

（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/（$m^2\cdot d$）；

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$\lambda_v$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/m^2；

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$\lambda_G$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）/m^2；

1/365 — a/d的换算系数。

C_{L1i} — 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；

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

（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/（m^2·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$\lambda_L$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/m^2；

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_{F1i} — 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）；

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

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_{M1i}— 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）；

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

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。根据国际原子能机构 IAEA 19 号安全报告，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 • 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（M 呼吸类别）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

注：依据 GB18871 附录表 B8，对于铀的吸入剂量转换因子，取缺省的中速（M）呼吸类别。

（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 20km 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 SW 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 2.40×10^{-6}Bq/m^3、7.86×10^{-8}Bq/m^3、2.31×10^{-7}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/m^3

距离(km) 方位	0 ~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	1.66E-06	3.02E-07	1.53E-07	8.12E-08	3.32E-08	1.14E-08
NNE	7.83E-07	1.60E-07	8.70E-08	4.83E-08	2.04E-08	7.15E-09
NE	9.84E-07	1.88E-07	9.65E-08	5.15E-08	2.11E-08	7.31E-09
ENE	5.94E-07	1.25E-07	6.88E-08	3.85E-08	1.65E-08	5.85E-09
E	2.96E-07	7.51E-08	4.30E-08	2.44E-08	1.05E-08	3.73E-09
ESE	1.18E-07	2.89E-08	1.72E-08	1.02E-08	4.55E-09	1.64E-09
SE	9.70E-08	2.14E-08	1.23E-08	7.18E-09	3.23E-09	1.20E-09
SSE	4.05E-08	7.55E-09	3.80E-09	2.02E-09	8.34E-10	2.99E-10
S	2.08E-08	8.53E-09	7.79E-09	5.72E-09	2.92E-09	1.07E-09
SSW	1.74E-06	3.06E-07	1.62E-07	9.21E-08	4.08E-08	1.50E-08
SW	2.40E-06	4.79E-07	2.74E-07	1.61E-07	7.30E-08	2.67E-08
WSW	1.83E-06	4.18E-07	2.51E-07	1.51E-07	6.88E-08	2.51E-08
W	1.29E-06	3.28E-07	2.09E-07	1.29E-07	5.96E-08	2.18E-08
WNW	1.40E-06	2.98E-07	1.75E-07	1.03E-07	4.61E-08	1.66E-08
NW	1.38E-06	2.86E-07	1.61E-07	9.24E-08	4.03E-08	1.43E-08
NNW	1.24E-06	2.46E-07	1.35E-07	7.57E-08	3.24E-08	1.14E-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/m^3

距离(km) 方位	0 ~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	5.42E-08	9.91E-09	5.02E-09	2.66E-09	1.09E-09	3.75E-10
NNE	2.57E-08	5.25E-09	2.85E-09	1.58E-09	6.70E-10	2.34E-10
NE	3.23E-08	6.15E-09	3.16E-09	1.69E-09	6.92E-10	2.40E-10
ENE	1.95E-08	4.10E-09	2.25E-09	1.26E-09	5.41E-10	1.92E-10
E	9.69E-09	2.46E-09	1.41E-09	8.01E-10	3.45E-10	1.22E-10
ESE	3.86E-09	9.47E-10	5.64E-10	3.34E-10	1.49E-10	5.38E-11
SE	3.18E-09	7.02E-10	4.03E-10	2.35E-10	1.06E-10	3.92E-11
SSE	1.33E-09	2.48E-10	1.25E-10	6.61E-11	2.73E-11	9.78E-12
S	6.82E-10	2.80E-10	2.55E-10	1.88E-10	9.56E-11	3.51E-11
SSW	5.71E-08	1.00E-08	5.32E-09	3.02E-09	1.34E-09	4.91E-10
SW	7.86E-08	1.57E-08	8.98E-09	5.29E-09	2.39E-09	8.77E-10
WSW	6.01E-08	1.37E-08	8.24E-09	4.96E-09	2.25E-09	8.24E-10
W	4.23E-08	1.08E-08	6.85E-09	4.23E-09	1.95E-09	7.16E-10
WNW	4.59E-08	9.78E-09	5.72E-09	3.38E-09	1.51E-09	5.46E-10
NW	4.52E-08	9.36E-09	5.28E-09	3.03E-09	1.32E-09	4.70E-10
NNW	4.07E-08	8.07E-09	4.42E-09	2.48E-09	1.06E-09	3.73E-10

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/m^3

距离(km) 方位	0 ~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	1.59E-07	2.91E-08	1.47E-08	7.82E-09	3.20E-09	1.10E-09
NNE	7.54E-08	1.54E-08	8.38E-09	4.65E-09	1.97E-09	6.89E-10
NE	9.48E-08	1.81E-08	9.29E-09	4.96E-09	2.03E-09	7.04E-10
ENE	5.72E-08	1.21E-08	6.63E-09	3.71E-09	1.59E-09	5.64E-10
E	2.85E-08	7.24E-09	4.15E-09	2.35E-09	1.01E-09	3.60E-10
ESE	1.14E-08	2.78E-09	1.66E-09	9.81E-10	4.38E-10	1.58E-10
SE	9.34E-09	2.06E-09	1.18E-09	6.92E-10	3.11E-10	1.15E-10
SSE	3.90E-09	7.28E-10	3.66E-10	1.94E-10	8.03E-11	2.88E-11
S	2.00E-09	8.22E-10	7.50E-10	5.51E-10	2.81E-10	1.03E-10
SSW	1.68E-07	2.94E-08	1.56E-08	8.88E-09	3.93E-09	1.44E-09
SW	2.31E-07	4.62E-08	2.64E-08	1.56E-08	7.03E-09	2.58E-09
WSW	1.77E-07	4.02E-08	2.42E-08	1.46E-08	6.63E-09	2.42E-09
W	1.24E-07	3.16E-08	2.01E-08	1.24E-08	5.74E-09	2.10E-09
WNW	1.35E-07	2.87E-08	1.68E-08	9.92E-09	4.44E-09	1.60E-09
NW	1.33E-07	2.75E-08	1.55E-08	8.90E-09	3.88E-09	1.38E-09
NNW	1.20E-07	2.37E-08	1.30E-08	7.29E-09	3.12E-09	1.10E-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 20km 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成人、青少年、儿童组公众造成的受照剂量最大的子区均为 WSW 方位 0~1km 子区，造成个人剂量分别为 1.87E-07Sv/a、2.00E-07Sv/a、1.63E-07Sv/a；对婴儿组公众造成的受照剂量最大的子区为 N 方位 0~1km 子区，造成个人剂量为 1.32E-07Sv/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 5.96E-04 人•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	10~20
N	1.57E-07	—	—	1.13E-08	3.29E-09	1.36E-09
NNE	7.66E-08	—	—	6.21E-09	1.83E-09	7.82E-10
NE	—	—	—	—	—	7.43E-10
ENE	—	—	—	—	—	5.28E-10
E	—	—	—	—	7.72E-10	3.14E-10
ESE	—	—	1.96E-09	—	3.81E-10	4.14E-10
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	1.89E-09	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	4.59E-08	2.67E-08	1.59E-08	—	—
WSW	1.87E-07	—	2.96E-08	—	—	—
W	1.35E-07	—	—	7.47E-09	—	—
WNW	—	3.65E-08	2.18E-08	—	4.00E-09	1.75E-09
NW	—	3.21E-08	1.87E-08	—	3.37E-09	1.44E-09
NNW	—	—	—	—	2.76E-09	1.18E-09

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	10~20
N	1.70E-07	—	—	1.17E-08	3.61E-09	1.49E-09
NNE	8.25E-08	—	—	6.49E-09	2.03E-09	8.88E-10
NE	—	—	—	—	—	8.52E-10
ENE	—	—	—	—	—	6.31E-10
E	—	—	—	—	9.25E-10	3.99E-10
ESE	—	—	2.12E-09	—	4.77E-10	—
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	2.11E-09	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	4.96E-08	2.88E-08	1.72E-08	—	—
WSW	2.00E-07	—	3.12E-08	—	—	—
W	1.44E-07	—	—	8.86E-09	—	—
WNW	—	3.83E-08	2.28E-08	—	4.46E-09	1.93E-09
NW	—	3.40E-08	1.96E-08	—	3.79E-09	1.60E-09
NNW	—	—	—	—	3.10E-09	1.32E-09

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	10~20
N	1.39E-07	—	—	9.38E-09	3.03E-09	1.27E-09
NNE	6.73E-08	—	—	5.22E-09	1.69E-09	7.89E-10
NE	—	—	—	—	—	7.63E-10
ENE	—	—	—	—	—	5.87E-10
E	—	—	—	—	8.44E-10	3.98E-10
ESE	—	—	1.78E-09	—	4.62E-10	—
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	1.81E-09	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	4.06E-08	2.36E-08	1.41E-08	—	—
WSW	1.63E-07	—	2.50E-08	—	—	—
W	1.17E-07	—	—	7.70E-09	—	—
WNW	—	3.07E-08	1.84E-08	—	3.77E-09	1.64E-09
NW	—	2.75E-08	1.59E-08	—	3.21E-09	1.38E-09
NNW	—	—	—	—	2.64E-09	1.14E-09

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	10~20
N	1.32E-07	—	—	1.17E-08	6.84E-09	4.39E-09
NNE	6.52E-08	—	—	—	3.03E-09	3.61E-09
NE	—	—	—	—	—	3.55E-09
ENE	—	—	—	—	—	3.26E-09
E	—	—	—	—	3.54E-09	2.98E-09
ESE	—	—	4.17E-09	—	3.07E-09	3.17E-09
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	4.16E-09	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	4.02E-08	2.44E-08	1.56E-08	—	—
WSW	—	—	2.64E-08	—	—	—
W	1.12E-07	—	—	9.06E-09	—	—
WNW	—	3.18E-08	2.24E-08	—	7.65E-09	4.86E-09
NW	—	2.86E-08	1.76E-08	—	6.84E-09	4.45E-09
NNW	—	—	—	—	6.07E-09	4.12E-09

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	10~20	合　计
N	2.10E-05	—	—	7.29E-06	1.72E-05	3.35E-05	7.89E-05
NNE	1.89E-05	—	—	9.85E-07	4.20E-07	7.66E-06	2.79E-05
NE	—	—	—	—	—	8.07E-06	8.07E-06
ENE	—	—	—	—	—	4.54E-06	4.54E-06
E	—	—	—	—	2.04E-06	9.06E-07	2.95E-06
ESE	—	—	1.24E-06	—	1.53E-06	1.15E-07	2.88E-06
SE	—	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—	—
S	9.36E-07	—	—	—	—	—	9.36E-07
SSW	—	—	—	—	—	—	—
SW	—	2.51E-05	3.70E-05	1.12E-06	—	—	6.32E-05
WSW	2.29E-05	—	2.85E-05	—	—	—	5.14E-05
W	3.09E-05	—	—	1.78E-04	—	—	2.09E-04
WNW	—	5.31E-06	5.55E-06	—	1.43E-05	1.77E-05	4.29E-05
NW	—	1.25E-05	3.80E-06	—	3.29E-06	4.34E-05	6.29E-05
NNW	—	—	—	—	9.54E-06	3.11E-05	4.07E-05
合　计	9.45E-05	4.29E-05	7.61E-05	1.88E-04	4.83E-05	1.47E-04	5.96E-04

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 2.00E-07Sv/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 1.17E-07 Sv/a，占个人总有效剂量的 58.25%。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 1.78E-07Sv/a，占个人总有效剂量的 89.09%。关键人群组个人受到的有效剂量为 2.00E-07Sv/a，占本项目剂量管理目标值（0.01mSv）的 2%，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	3.46E-16	1.76E-10	7.40E-08	1.04E-07	1.78E-07	89.09
U-235	1.03E-14	1.03E-09	2.17E-09	3.28E-09	6.48E-09	3.24
U-238	1.53E-17	1.27E-11	5.94E-09	9.22E-09	1.52E-08	7.59
合计	1.07E-14	1.22E-09	8.21E-08	1.17E-07	2.00E-07	100.00
占比%	0.00	0.61	41.06	58.25	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 2.00E-07 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 2%，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。

此外，从区域环境容量的角度，根据《阳江核电厂 5、6 号机组环境影响报告书（运

行阶段）》，阳江核电厂六台机组运行对周边公众造成的最大有效剂量为 9.79×10^{-6}Sv/a。根据《中广核先进能源研究与创新中心环境影响报告书》，先进能源研究与创新中心项目运行对周边公众造成的最大有效剂量为 7.99×10^{-6}Sv/a。根据《阳江核电环保配套工程项目安全分析报告》，环保配套工程运行期间场外居民不会受到处置场废物辐照和放射性核素迁移的影响。本项目运行对周边公众造成的最大有效剂量为 2.00×10^{-7}Sv/a。

综合上述评价结果，可以看出场址所在区域内各核设施对周边公众所造成的最大剂量之和不会超出 0.25mSv 的年剂量约束值要求。

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；焊接废气的排放方式有室内排放和室外排放。如格架焊接室产生的焊接废气收集后经水过滤，排至室外。弹簧插装及点焊装置、骨架焊接区焊接尾气排至室内。管座阻焊产生的焊接废气通过单机粉尘处理器收集处理后排至室内。同时对整个车间进行通风换气。

废气处理措施详见表 6.2-1。

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，排至室外
弹簧插装及点焊自动线	焊接废气	1 套	粉尘	排至室内
管座阻焊	焊接废气	1 台	粉尘	尾气收集处理后，排至室内
骨架焊接区	焊接废气	2 台	颗粒物	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）的第二时段二级排放标准后排放。

本项目相对原工程试验中心（即 01、02 子项）内新增的可能产生废气的设备有 3 台，相关组件下端塞环焊焊接装置、相关组件上端塞环焊焊接装置、二次中子源手套箱带装料平台（含抽空箱）。焊接设备的废气为氩气，排放量非常微小，直接排放在室内。手套箱的通风排气系统接入 03 子项的排放系统统一处理。03 子项排风系统中的净化设施过滤效率较原工程试验中心中的处理效率高（99.9%的过滤效率），预计排出的非放废气较少，对环境影响有限。

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），处理正常运行产生的生产废水和生活废水等非放射性废水。本项目运行后污水处理站接收的生产生活废水包括：

— 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 天，则年总排放量为 2075t/a。

— 项目预计员工总人数 100 人，项目不设食堂和宿舍。根据《广东省用水定额》（DB44/T1461-2014）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 4t/d。年工作 250 天，总用水量约 1000t/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 900t/a。污水中主要含 COD_{Cr}、BOD_5、SS、NH_3-N 等。

— 此外，本项目洗衣房的热淋浴及洗衣废液产生量不大于 400m^3/a，经辐射监测合格（总 α<0.5Bq/L）后作为非放废水泵往现有的污水处理站进行处理后排放，超标废水则送至综合研制室废液处理系统处理达标后定期外运排放。

本项目已投运的污水处理站设计处理能力为：乳化液废水：0.5m^3/h；综合废水：1.0m^3/h；生活污水：1.0m^3/h，处理能力较为充裕。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）二时段一级排放标准的相关要求后，经管道输送至阳江核电原施工准备区内的污水管网中，经阳江核电现有生活污水处理设施处理后排放。

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、废日光灯管等，目前全部在工程试验中心内指定位置存放，并定期交由有资质单位外运处理。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。

建设单位已建立的危险废物相关管理程序包括：

- 建立危险废物管理责任制，包括危险废物产生、收集、贮存、运输和处置等；
- 建立工业固体废物管理台账，如实记录产生工业固体废物的种类、数量、流向、贮存、利用、处置等信息；
- 危险废物产生后进行分类收集、形成标识、填写记录和暂存点分类分区贮存等，定期由有资质的单位进行运输和处理；
- 加强日常运维管理，确保危险废物暂存点和相关设施正常运行；
- 在《广东省固体废物管理信息平台》做好注册、转移申报、台账等工作。

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、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	设备	数量	源强 dB(A)
1	综合研制室三层屋顶	直膨式空气处理机组（室外型）	3	单台噪声源强 80dB(A)
2	综合研制室三层屋顶	直膨式新风处理机组	1	单台噪声源强 80dB(A)
3	综合研制室 303 房间	直膨式新风处理机组	4	单台噪声源强 80dB(A)
4	综合研制室 309 房间	排风机	4	单台噪声源强 85dB(A)
5	综合研制室 310 房间	排风机	2	单台噪声源强 85dB(A)
6	综合研制室 201 房间	直膨式空气处理机组	1	单台噪声源强 80dB(A)
7	综合研制室 147a/b 房间	排风机	2	单台噪声源强 61dB(A)
8	综合研制室 149 房间	排风机	1	单台噪声源强 60dB(A)
9	综合研制室 151 房间	排风机	1	单台噪声源强 65dB(A)
10	综合研制室 157 房间	排风机	2	单台噪声源强 60dB(A)
11	综合研制室 160 房间	排风机	1	单台噪声源强 52dB(A)
12	综合研制室 902a/b 房间	排风机	1	单台噪声源强 54dB(A)

序号	噪声源	设备	数量	源强 dB(A)
13	综合研制室 903 房间	排风机	1	单台噪声源强 60dB(A)
14	综合研制室 906 房间	排风机	2	单台噪声源强 60dB(A)
15	供氢站汇流排间	排风机	2	单台噪声源强 55dB(A)
16	洗衣房废液贮存箱间	排风机	1	单台噪声源强 70dB(A)
17	洗衣房衣物烘干间、洗涤间	排风机	1	单台噪声源强 78dB(A)
18	洗衣房源库	排风机	1	单台噪声源强 60dB(A)

在上述噪声源，除综合研制室三层屋顶上布置 3 台室外型直膨式新风处理机组外，其余设备均位于厂房内部。一般情况下，厂房墙壁、门窗的隔声量为 20~40 左右，保守假设本项目厂房对室内设备噪声隔声量为 10dB。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 54.5dB（A），对东厂界造成的噪声贡献值最大为 51.5dB（A），对西厂界造成的噪声贡献值最大为 48.8dB（A），对南厂界造成的噪声贡献值最大为 48.0dB（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 2 类排放限值中昼间 60dB（A），夜间 50dB（A）标准。

离厂址最近的噪声环境敏感点为 S 方位 0.5km 处的光星村，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。

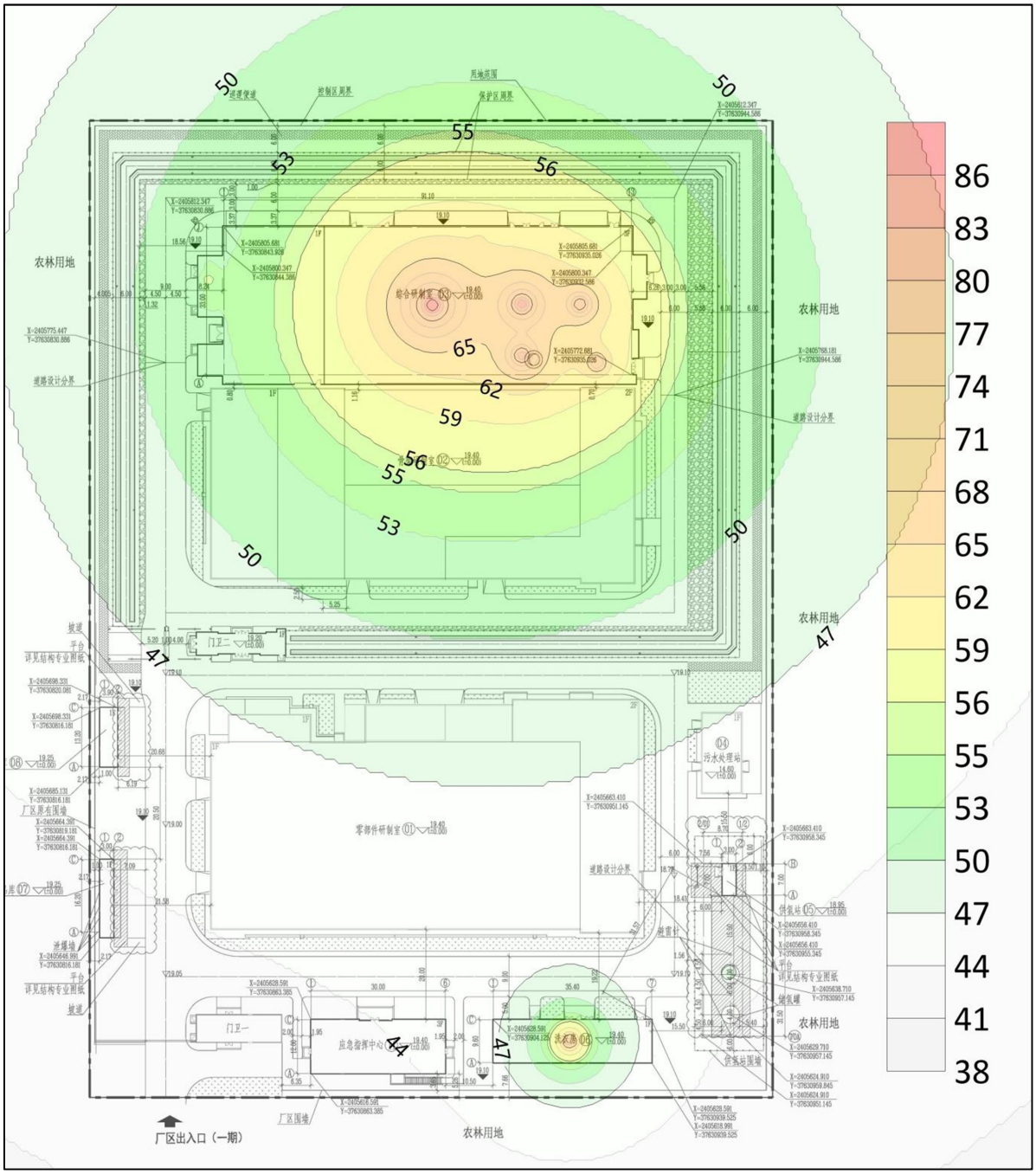


图 6.2-1　本工程运行期间噪声影响预测分布图

第七章　事故的环境影响和环境风险

本项目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、钆芯块烧结炉氢气爆炸事故、工艺试验炉氢气爆炸事故、连续推舟氢气爆炸事故和临界事故。

根据本项目最终安全分析报告，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。UO_2 粉末装在 200L 容器内，每桶≤340kg/桶，偏保守取粉末料桶最大装载量 340kg；U_3O_8 粉末装在 50L 容器内，每桶≤75kg/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＜1.5m；50L 容器置于地面上，出料口离地面的高度＜0.8m。

真空上料方式有上吸料和下吸料两种，选取其中更为保守的上吸料过程进行分析：UO_2 粉末物料容器上出料口距地面高度＜1.5m；50L 容器置于地面上，上出料口离地面的高度＜0.8m。分析时保守地按 340kg 的 UO_2 粉末从 1.5m 高度洒落。

（2）事故源项

参考 DOE-HDBK-3010-94，气载源项采用下式计算：

$$Q = MAR \times DR \times ARF \times RF \times LPF$$

式中，

Q——事故源项，g；

MAR——危险物质的量，299681gU；

DR——损失率，按全部洒落考虑，1；

ARF——气溶胶释放份额，0.2%；

RF——可被吸入的份额，30%；

LPF——泄漏路径因子。

这里，危险物质 UO_2 的质量为 340kg（340000g），对应铀质量为 299681g。参照《Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook》（NUREG-6410）中的表 3-1，粉末从小于 3m 高度的自由下落，气溶胶释放份额 ARF 为 0.2%、可被吸入的份额 RF 为 30%。

在排放量计算中，保守的取 LPF 为 1，而 RF 不适用，则气溶胶产生量为 340kg×0.2%=680gUO_2（即 600gU）。该事故发生后，产生的铀气溶胶经过排风系统的预过滤器、HEPA 过滤器过滤后，通过烟囱外排，过滤效率保守取 99%，排入外环境的量约为 600×（1-99%）=6.00gU，即 8.28E+05Bq。其中，^{234}U 为 7.34E+05Bq、^{235}U 为 2.40E+04Bq、^{238}U 为 7.06E+04Bq。

7.1.1.2 钆芯块烧结炉氢气爆炸事故

（1）事故情景

钆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。

批次炉炉体由筒体和封头两部分组成，总的内部腔体容积约 0.8m^3，正常运行时，炉内相对于外界处于 1500~2000Pa 微正压状态，温度在 1700~1800℃之间，经计算炉内 H_2 的量约为 0.24Nm^3。当烧结炉内发生 H_2 爆炸时，可能破坏所有生坯芯块，生坯芯块总质量为 90kg。

（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 H_2 爆炸燃烧热 E=3060kJ=3.06E+13erg。进一步假设 H_2 爆炸时作用于物料的能量 E_1 为燃烧热的 10%，则 E_1=3.06E+12erg。

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：

$$\log A = -2.6 + \sqrt{18.8 \times (\log \frac{E_1}{MAR}) - (\log \frac{E_1}{MAR})^2 - 67.2} = 1.604$$

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 gUO_2。

经计算，爆炸产生的气溶胶份额为 40.15%。

3）气载源项

参考 DOE-HDBK-3010-94，气载源项采用下式计算：

$$Q=MAR\times DR\times A\times RF\times LPF$$

式中，

Q　　事故源项，g；

MAR　受冲击的物料质量，90000g UO_2；

DR　　损失率，100%；

A　　爆炸产生的气溶胶份额，40.15%；

RF　　可被吸入的份额，参照 NUREG-6410 中 D.3.5.2 取 20%；

LPF　泄漏路径因子。

在排放量计算中，保守取 LPF 为 1，RF 不适用，则气溶胶产生量=90000g×1×40.15%×0.2=7.23E+03gUO_2。H_2 爆炸后引起空气压力增加，导致 UO_2 气溶胶逸出炉外，偏保守按全部经过烟囱排入大气，过滤器的过滤效率取 99%，则排入大气的量为 72.27gUO_2，即 63.70gU（8.80E+06Bq）。其中，^{234}U 为 7.80E+06Bq、^{235}U 为 2.55E+05Bq、^{238}U 为 7.50E+05Bq。

7.1.1.3 工艺试验炉氢气爆炸事故

（1）事故情景

工艺试验炉以 H_2 为还原剂，在微正压状态下运行，避免空气进入。当炉内 H_2 供应不足，可能导致空气进入，H_2 与空气混合浓度达到爆炸限（爆炸范围为 4.1%~74.1%）时，由于炉内温度较高，可发生 H_2 爆炸事故。

工艺试验炉炉筒尺寸为直径 540mm×高 495mm，正常运行时，炉内处于 0-1000Pa 的正压，温度在 1700~1800℃之间，经计算炉内 H_2 的量约为 0.02Nm^3。当炉内发生 H_2 爆炸时，可能破坏所有生坯芯块，生坯芯块总质量为 5kg。

（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 H_2 爆炸燃烧热 E=255kJ=2.55E+12erg。进一步假设 H_2 爆炸时作用于物料的能量 E1 为燃烧热的 10%，则 E1=2.55E+11erg。

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：

$$\log A=-2.6+\sqrt{18.8\times(\log\frac{E_1}{MAR})-(\log\frac{E_1}{MAR})^2-67.2}=1.678$$

式中，

A　氢气爆炸产生的气溶胶份额，%；

MAR　受冲击的物料质量，5000 gUO_2。

经计算，爆炸产生的气溶胶份额为 47.60%。

3）气载源项

参考 DOE-HDBK-3010-94，气载源项采用下式计算：

$$Q=MAR\times DR\times A\times RF\times LPF$$

式中，

Q　事故源项，g；

MAR　受冲击的物料质量，5000g UO_2；

DR　损失率，100%；

A　爆炸产生的气溶胶份额，47.60%；

RF　可被吸入的份额，参照 NUREG-6410 中 D.3.5.2 取 20%；

LPF　泄漏路径因子。

在排放量计算中，保守取 LPF 为 1，RF 不适用，则气溶胶产生量=5000g×1×47.60%×0.2=4.76E+02gUO_2。H_2 爆炸后引起空气压力增加，导致 UO_2 气溶胶逸出炉外，偏保守按全部经过烟囱排入大气，过滤器的过滤效率取 99%，则排入大气的量为 4.76gUO_2，即 4.20gU（5.79E+05Bq）。其中，^{234}U 为 5.14E+05Bq、^{235}U 为 1.68E+04Bq、^{238}U 为 4.94E+04Bq。

7.1.1.4 连续推舟炉氢气爆炸事故

（1）事故情景

常规芯块烧结所用的连续推舟炉以 H_2 为还原剂，该炉在微正压状态下运行，避免空气进入。当炉内 H_2 供应不足，可能导致空气进入，H_2 与空气混合浓度达到爆炸限（爆炸范围为 4.1%~74.1%）时，由于炉内温度较高，可发生 H_2 爆炸事故。

炉筒尺寸为 350mm 宽×350mm 高×8525mm 长，正常运行时，炉内相对于外界处于 0~1000Pa 微正压状态，温度在 1700~1800℃之间，经计算炉内 H_2 的量约为 0.16Nm^3。

当炉内发生 H_2 爆炸时，对固体状的烧结芯块基本不产生破坏，主要破坏生坯芯块。推舟炉内部总共有 27 个钼舟舟位，生坯芯块进入炉内，在预热段有大部分变为固体。保守假设炉类发生 H_2 爆炸时，预热段前半部分 6 个钼舟的芯块仍为生坯芯块，每个钼舟满载芯块质量为 30kg，被冲击破坏的生坯芯块总质量为 180kg。

（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 H_2 爆炸燃烧热 E=2040kJ=2.04E+13erg。进一步假设 H_2 爆炸时作用于物料的能量 E1 为燃烧热的 10%，则 E1=2.04E+12erg。

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：

$$\log A = -2.6 + \sqrt{18.8 \times (\log \frac{E_1}{MAR}) - (\log \frac{E_1}{MAR})^2 - 67.2} = 0.889$$

式中，

A　　氢气爆炸产生的气溶胶份额，%；

MAR　受冲击的物料质量，810000gUO_2。

其余参数物理意义同上。

经计算，爆炸产生的气溶胶份额为 7.74%。

3）气载源项

参考 DOE-HDBK-3010-94，气载源项采用下式计算：

$$Q=MAR\times DR\times A\times RF\times LPF$$

式中，

Q　　事故源项，g；

MAR　受冲击的物料质量，810000gUO_2；

DR　　损失率，6/27；

A　　爆炸产生的气溶胶份额，7.74%；

RF　　可被吸入的份额，参照 NUREG-6410 中 D.3.5.2 取 20%；

LPF　泄漏路径因子，取 1。

在排放量计算中，保守取 LPF 为 1，RF 不适用，则气溶胶产生量=810000g×6/27×7.74%×0.2=2.79E+03gUO_2。H_2 爆炸后引起空气压力增加，导致 UO_2 气溶胶逸出推舟炉炉外，偏保守按全部经过烟囱排入大气，过滤器的过滤效率取 99%，则排入大气的量为 27.9gUO_2，即 24.6gU（3.39E+06Bq）。其中，^{234}U 为 3.01E+06Bq、^{235}U 为 9.82E+04Bq、^{238}U 为 2.89E+05Bq。

7.1.1.5 核临界事故

（1）事故情景

本项目操作物料是 ^{235}U 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以及设备间距超过限值时，在有足够质量的易裂变材料区域的慢化和反射达到核闪变条件时，可能会发生核临界事故。各子项可能的事故原因分析如下：

a）芯块研制的粉末混合均匀化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。混合均匀化工序需向 UO_2 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。

b）芯块研制的芯块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。

c）厂房原材料储存间、燃料棒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，但是当核材料存放失序且存在大量水等慢化剂的条件下仍然会发生核临界事故。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情况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。同时，根据《核燃料循环前段设施安全分析报告标准格式与内容》（HAD301/01-2021）给出的事故分类，临界事故属于设计扩展工况。

（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”中核临界事故内容，并针对本项目特点，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}~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。

对于公众的影响，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/T988-1996）中的假设：

a）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；

b）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/T988-1996 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，确定排入环

境的主要放射性核素及其活度。

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 ^{235}U 富集度为 5%铀比活度 1.38E+05Bq/g 考虑，即 2.76E+04Bq。其中，^{234}U 为 2.45E+04Bq、^{235}U 为 8.00E+02Bq、^{238}U 为 2.35E+03Bq。

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

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。本项目烟囱释放高度为 40m，周围建筑物不超过 16m，采用高架释放公式计算小时大气弥散因子。

事故短期大气弥散因子的计算模式如下：

$$\chi/Q = \frac{1}{\pi \bar{U}_{\mathrm{h}} \sigma_y \sigma_z} \exp\left[\frac{-{h_e}^2}{2{\sigma_z}^2}\right] \qquad （式 1）$$

上述式中：

χ/Q —短期大气弥散因子，s/m^3；

σ_{y}，σ_{z} —分别为横向和垂向的大气扩散参数；

$\bar{U}_{\mathrm{h}}$ —风速，单位 m/s；

h_e —有效高度，单位 m。

本次评价采用阳江核电厂气象观测系统 2021 年 1 月至 2022 年 12 月两整年的逐时气象观测数据进行事故大气弥散因子的计算。

— 分方位大气弥散因子：计算得到厂址周围 16 个方位、99.5%概率水平的高斯烟羽轴线浓度的小时大气弥散因子作为 0~2h 的事故大气弥散因子。

— 全厂址大气弥散因子：计算得到厂址周围各距离全厂址 95%概率水平的高斯烟羽轴线浓度的小时大气弥散因子作为 0~2h 的事故大气弥散因子。

表 7.1-2 给出了厂址边界上的大气弥散因子。表 7.1-3 给出了采用高架释放模式下主导风向下风向不同距离处的大气弥散因子，可以看出最大落地浓度在距离厂址边界 800m 处。

表 7.1-2 事故期间的厂界处大气弥散因子（s/m^3）

方位	距离	0-2h	2-8h
N	50m	1.62E-05	5.86E-06
E	80m	2.45E-05	1.02E-05
S	100m	1.32E-12	3.33E-26
W	80m	4.54E-05	1.90E-05

表 7.1-3 事故期间主导风向（NNE）的大气弥散因子（s/m^3）

距离	0-2h	2-8h
50	1.64E-06	6.94E-07
80	3.01E-05	1.10E-05
100	5.23E-05	1.96E-05
200	1.08E-04	4.74E-05

300	1.38E-04	6.48E-05
500	1.37E-04	6.71E-05
700	1.43E-04	6.92E-05
800	**1.51E-04**	**7.22E-05**
1000	1.47E-04	6.96E-05
1200	1.40E-04	6.56E-05

7.1.2.2 事故剂量

7.1.2.2.1 事故剂量估算模式

本项目事故期间，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；

— 沉积在地面的放射性物质外照射。

（1）烟云浸没剂量

$$(D_{AE})_{dkn}=\sum_i Q_{ni}\cdot(\chi/Q)_{dkn}\cdot DF_{AEi})$$（式 2）

$$(D_{AT})_{dkn}=\sum_i Q_{ni}\cdot(\chi/Q)_{dkn}\cdot DF_{ATi}$$（式 3）

式中：

$(DAE)_{dkn}$、$(DAT)_{dkn}$ nT 分别为事故发生后第 n 个释放时段在扇形区 d 方向上第 k 个区段内由于烟云浸没外照射产生的个人有效剂量和个人甲状腺当量剂量，Sv。

Q_{ni} 段内事故发生后第 n 个释放时段中核素 i 的释放量，Bq。

$(\chi/Q)_{dkn}$ kn 扇形区 d 方向上第 k 个区段在第 n 个释放时段中 99.5%概率水平的大气弥散因子，s/m^3。

DF_{AEi} i 平浸没在半无限烟云中核素 i 的有效剂量转换因子，$Sv.m^3/Bq.s$。

DF_{ATi} i.浸没在半无限烟云中核素 i 对甲状腺当量剂量转换因子，$Sv.m^3/Bq.s$。

（2）空气吸入剂量

$$(D_{IE})_{dkn}=\sum_i Q_{ni}\cdot(\chi/Q)_{dkn}\cdot Br\cdot DF_{IEi})$$（式 4）

$$(D_{IT})_{dkn}=\sum_i Q_{ni}\cdot(\chi/Q)_{dkn}\cdot Br\cdot DF_{ITi}$$ （式 5）

式中：

$(DIE)_{dkn}$、$(DIT)_{dkn}$ kn 分别为事故发生后第 n 个释放时段在扇形区 d 方向上第 k 个区段内由于吸入内照射产生的个人有效剂量和个人甲状腺当量剂量，Sv。

Br　　r 是成人的呼吸率：

$DF_{IE}i$　— 吸入核素 i 的有效剂量换算因子，Sv/Bq。

DF_{ITi}　T 吸入核素 i 对甲状腺的剂量换算因子，Sv/Bq。

（3）地面沉积外照射剂量

$$(D_{GE})_{dkn}=\sum_i Q_{ni}\cdot(D/Q)_{dkn}\cdot[1-\exp(-\lambda_i t)]\lambda_i^{-1}\cdot DF_{GEi}$$ （式 6）

$$(D_{GT})_{dkn}=\sum_i Q_{ni}\cdot(D/Q)_{dkn}\cdot[1-\exp(-\lambda_i t)]\cdot\lambda_i^{-1}\cdot DF_{GTi}$$ （式 7）

式中：

$(DGE)_{dkn}$、$(DGT)_{dkn}$ — 分别为事故发生后第 n 个释放时段在扇形区 d 方向上第 k 个区段内由于地面沉积外照射产生的个人有效剂量和个人甲状腺当量剂量，Sv。

$(D/Q)_{dkn}$　k 扇形区 d 方向上第 k 个区段在第 n 个释放时段中 99.5%概率水平的地面沉积因子，$1/m^2$。

DF_{GEi}　E 沉积在地面的核素 i 的有效剂量转换因子，（Sv/h）/（Bq/m^2）。

DF_{GTi}　T 沉积在地面的核素 i 对甲状腺的剂量转换因子，（Sv/h）/（Bq/m^2）。

λ_i　。 核素 i 的放射性衰变常数，h^{-1}。

t　　地面沉积放射性积累时间，h，t 取为 1 年，即 8760 小时。

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；烟云浸没外照射和地面沉积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

烟云浸没外照射和地面沉积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）	地面沉积外照射（Sv/s）/（Bq/m^2）	吸入内照射（Sv/Bq）	甲状腺吸入（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-131	有机碘	9.98E-07	1.84E-14	3.81E-16	1.50E-08	3.10E-07
	粒子碘				7.40E-09	1.50E-07
	元素碘				2.00E-08	3.90E-07
I-132	有机碘	8.37E-05	1.14E-13	2.28E-15	1.90E-10	3.20E-09
	粒子碘				9.40E-11	1.40E-09
	元素碘				3.10E-10	3.60E-09
I-133	有机碘	9.26E-06	3.00E-14	6.33E-16	3.10E-09	6.00E-08
	粒子碘				1.50E-09	2.80E-08
	元素碘				4.00E-09	7.60E-08
I-134	有机碘	2.20E-04	1.33E-13	2.63E-15	5.00E-11	7.00E-10
	粒子碘				4.50E-11	2.60E-10
	元素碘				1.50E-10	7.00E-10
I-135	有机碘	2.91E-05	8.25E-14	1.52E-15	6.80E-10	1.30E-08
	粒子碘				3.20E-10	5.70E-09
	元素碘				9.20E-10	1.50E-08

（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： $B_r=3.5\times10^{-4}$ m^3/s；

— 8~24h时间段： $B_r=1.8\times10^{-4}$ m^3/s；

— 24~720h时间段： $B_r=2.3\times10^{-4}$ m^3/s。

（3） 干沉积速率（V_d）

干沉积速率取自联邦德国辐射防护委员会第十七卷出版物（SSK No.17）：

— 气溶胶：$V_d=1.5\times10^{-3}$ m/s；

— 分子碘：$V_d=1\times10^{-2}$ m/s；

— 有机碘：$V_d=1\times10^{-4}$ m/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，本项目在发生物料洒落、烧结炉氢气爆炸、临界工况下，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7.1-5 事故造成的公众个人（成人）受照剂量

方位	距离（m）	物料洒落事故	钆芯块烧结炉氢气爆炸事故	工艺试验炉氢气爆炸事故	连续推舟氢气爆炸事故	临界事故*	
		有效剂量（Sv）				有效剂量（Sv）	甲状腺剂量（Sv）
N	50m	1.64E-08	1.75E-07	1.15E-08	6.74E-08	1.37E-04	2.63E-04
E	80m	2.49E-08	2.64E-07	1.74E-08	1.02E-07	2.22E-04	4.24E-04
S	100m	1.34E-15	1.42E-14	9.38E-16	5.49E-15	6.07E-12	1.19E-11
W	80m	**4.61E-08**	**4.89E-07**	**3.22E-08**	**1.89E-07**	**4.12E-04**	**7.88E-04**

*该部分为临界事故惰性气体和碘造成的公众个人（成人）受照剂量

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4.61×10^{-8}Sv；

— 钆芯块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4.89×10^{-7}Sv；

— 工艺试验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3.22×10^{-8}Sv；

— 连续推舟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1.89×10^{-7}Sv；

— 临界事故持续时间，厂界处公众个人（成人）由惰性气体和碘受照造成的有效剂量和甲状腺剂量最大值分别为4.12×10^{-4}Sv和7.88×10^{-4}Sv，主导风向下风向800m处公众个人（成人）由惰性气体和碘受照造成的有效剂量和甲状腺剂量分别为1.47×10^{-3}Sv和2.80×10^{-3}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：

$$D_r=2.1\times10^{-22}Nd^{-2}e^{-3.4d} \qquad （式 8）$$

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：

$$D_n=7\times10^{-22}Nd^{-2}e^{-5.2d} \qquad （式 9）$$

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 7.1-6 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 7.1-6　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 80cm 厚的混凝土墙（密度 2.4g/cm^3），以使对瞬发 γ 射线的减弱因子达到 75.625；对瞬发中子的减弱因子达到 920。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 2.81×10^{-3}Sv 和 7.04×10^{-4}Sv，两者之和为 3.52×10^{-3}Sv。

7.1.3 事故后果评价

发生物料洒落事故、钆芯块烧结炉氢气爆炸事故、工艺试验炉氢气爆炸事故、连续推舟氢气爆炸事故情况下，厂区边界上造成的公众个人（成人）最大有效剂量分别为 4.61×10^{-8}Sv、4.89×10^{-7}Sv、3.22×10^{-8}Sv、1.89×10^{-7}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 4.12×10^{-4}Sv，由瞬发 γ、中子所致有效剂量为 3.52×10^{-3}Sv，总计为 3.93×10^{-3}Sv，满足 5mSv 的评价标准。

临界事故持续时间，厂界处公众个人（成人）由惰性气体和碘受照造成的甲状腺剂量最大值为 7.88×10^{-4}Sv，NNE 方位 800m 处公众个人（成人）由惰性气体和碘受照造成的甲状腺剂量为 2.80×10^{-3}Sv，满足 10mSv 的评价标准。

7.2 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。

（1）应急组织

中广核铀业发展有限公司对研制中心的核安全负有全面的责任。研制中心的场内应急响应组织由应急指挥部及其领导下的应急响应行动小组组成，负责核事故情况下的应急处置与响应工作。

研制中心场内应急响应组织中的岗位分为三个层次，D 层为指挥岗位，包括应急总指挥和各响应组组长；AD 层为助理岗位，包括指挥部和各响应组的助理岗位；I 层

为执行岗位，除 D 层和 AD 层以外的其他应急岗位。

（2）应急分级及行动

按照研制中心可能发生的事故或事件的性质和特征、事故或事件的后果或潜在后果及其严重程度，将应急状态分为应急待命、厂房应急、场区应急三个级别，研制中心应急初始条件分为事件或事故始发、辐射水平或放射性流出物异常、影响核燃料循环设施安全的危害和其他和系统故障四个类别，针对每一类别均制定有具体的应急行动水平条款。

（3）应急响应行动与防护措施

研制中心发生事件或事故情况下，发现人或值班人员按照应急信息报告流程向应急指挥部报告事故情况，经应急总指挥核实批准进入应急状态后，命令发布应急通知信息，启动应急响应组织，根据应急状态级别实施应急响应。应急情况下的防护措施主要包括集合清点、失踪人员的搜寻、出入通道的控制、应急照射控制和医学救护等。

（4）应急响应能力保持

应急培训和训练是保持和提高应急响应能力的重要手段，研制中心开展的应急培训根据应急响应功能划分为基础培训、应急响应专项培训和专项技术培训三个层次；应急演习分为单项演习、场内综合演习和场内外联合演习三种类型，具体工作计划的制定与实施由相关部门负责。

上述详细的内容见单独上报审评的执照申请文件《中广核先进燃料研制中心场内核事故应急预案》。

7.3 环境风险评价

7.3.1 环境风险分析

本项目运行期间危险化学品有硝酸、高锰酸钾、重铬酸钾、高氯酸等，存储量较小。非放射性事故防范主要考虑火灾，本项目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。

7.3.2 环境风险识别与评价

本项目将在厂区西南侧新建面积 58.41m^2 的危险品库（07 子项），用以贮存厂区内的危险化学品。根据本项目的设计资料，在项目运行过程中，危险化学品年使用量、储存量如表 7.3-1 所示。

表 7.3-1 本项目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	HJ169-2018 临界量（t）
硝酸	液体	500ml/瓶	40	60	7.5
高锰酸钾	固体	500g/瓶	10	20	50
重铬酸钾	固体	500g/瓶	10	20	50
高氯酸	液体	500ml/瓶	10	20	50
双氧水	液体	500ml/瓶	20	30	50
尿素	固体	500g/瓶	10	20	50
钼酸铵	固体	500g/瓶	10	20	0.25
盐酸	液体	500ml/瓶	20	30	7.5
硫酸	液体	500ml/瓶	20	30	10
丙酮	液体	500ml/瓶	100	150	10
钒酸铵	固体	500g/瓶	10	20	0.25
亚硝酸钠	固体	500g/瓶	10	20	50
氢氟酸	液体	500ml/瓶	10	20	1
无水乙醇	液体	500ml/瓶	100	150	50
异丙醇	液体	500ml/瓶	20	30	10
氢氧化钠	固体	500g/瓶	100	150	50
二甲苯	液体	500ml/瓶	30	50	10
WD-40 防锈油（带枪头）	液体	440ml/瓶	50	100	50
WD-40 防锈油	液体	350ml/瓶	50	100	50
NEOLUBENO.2 核级石墨润滑剂	液体	950ml/瓶	10	20	50
清洗剂	液体	500ml/瓶	15	30	50
显像剂	液体	500ml/瓶	10	20	50
渗透剂	液体	500ml/瓶	10	20	50
脱模剂	液体	500ml/瓶	5	10	50
氢气	气体	75m^3/罐（5MPa）	/	2	50
过硫酸钠	固体	500g/瓶	2	2	50

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）中的危险性分级方法。当

存在多种危险物质时，计算物质总量与其临界量比值 Q。

$Q=q_1/Q_1+q_2/Q_2+\cdots\cdots+q_n/Qn$

式中：q_1，q_2，……，q_n——每种危险物质的最大存在总量，t；

Q1，Q2，……，Qn.险每种危险物质的临界量，t。

根据上述计算公式和表 1 中的数据，计算得出 Q＝0.131<1，环境潜在风险为 I 级。根据 HJ169-2018 第 4.3 节的要求，可开展简单分析。表 7.3-2 给出了本项目环境风险简单分析的内容。

表 7.3-2　本项目环境风险简单分析表

建设项目名称	中广核先进燃料研制中心项目			
建设地点	广东省	阳江市	阳东区	东平镇
地理坐标	经度	112°15′53″E	纬度	21°44′26″N
主要危险物质及分布	硝酸、高锰酸钾、重铬酸钾、高氯酸、双氧水、尿素、钼酸铵、盐酸、硫酸、丙酮、钒酸铵、亚硝酸钠、氢氟酸、无水乙醇、异丙醇、氢氧化钠、二甲苯、WD-40 防锈油、核级石墨润滑剂、清洗剂、显像剂、渗透剂、脱模剂、氢气、过硫酸钠等，贮存在厂区内新建的供氢站（05 子项）和危险品库（07 子项）			
环境影响途径及危害后果	本项目环境风险类型为泄漏及燃烧、爆炸伴/次生污染物排放。本项目酸、碱等物质泄漏可能影响土壤、地下水和地表水环境，本项目距周边敏感居民点较远，也无敏感的地下和地表水体，因此总体影响不大；发生火灾、爆炸事故时，少量挥发性气体及次/伴生一定的 CO、CO_2 和烟尘等燃烧废气会进入大气环境，因释放量少且持续时间短，不会对大气环境和周边环境敏感目标造成危害；本项目氢气储量较小，预计发生爆炸事故时对周边敏感目标不会造成影响。			
风险防范措施要求	已制定《研制中心专项应急预案》，对于危险化学品的运输和装卸、贮存及使用做出严格规定，详见环评报告 7.2.2 节。			
填表说明（列出项目相关信息及评价说明）：综上所述，本项目危险物质使用量和储存量均少，环境风险潜势为I，环境风险类型为泄漏及燃烧、爆炸伴/次生污染物排放，其环境风险可能对大气、地表水、土壤、地下水环境造成一定危害但危害较小，在采取环境风险防范措施和应急要求后，其环境风险可防控。				

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《危险货物品名表》进行分类、分项存放；仓库管理单位必须建立安全操作、发放和回收制度，确保包装完好、标签清楚，配备相应的安全技术说明书供用户查阅；危险化学品仓库的管理人员、搬运人员必须经过专项安全培训和授权才能上岗工作；

— 厂房管理方需对所辖范围内储存的危险化学品进行定期检查，督促存放人落实相关管理措施，保证存放的危险化学品不威胁厂房的安全；

（3）危险化学品使用

— 使用危险化学品或在相关系统上操作、取样、检修的工作人员，必须经过培训授权，了解相关化学品的特性及应急防护措施；

— 领取危险化学品时，以满足当天工作需要为准，限量领取；

— 对于易燃品的使用必须采取防火措施，远离热源和火源，防止发生火灾；

— 使用时，应根据危险化学品的种类、特性及工作情况采取相应隔离、清扫、通风、检测、防火、防爆、防毒等安全措施，并使用相应的安全防护用具。

第八章　流出物监测与环境监测

8.1　辐射监测

8.1.1　流出物监测

中广核先进燃料研制中心流出物监测工作主要监测研制中心向环境排放的气载流出物和液态流出物，监测内容包括流出物中的总铀、总α和总β、排放总量。

8.1.1.1 气载流出物监测系统及排放控制

中广核先进燃料研制中心的气载流出物厂房内设有工艺废气局部排风系统，各工艺/区域产生的含有放射性气溶胶的工艺尾气排入废气处理系统，经一级或多级中、高效过滤器净化处理后，经综合研制室（03 子项）中部南侧的烟囱（高度 40m）向环境排放，气溶胶取样和监测系统通过对气态排放的流出物中气溶胶放射性进行连续监测和采样监测，气载流出物取样监测系统不考虑冗余设置。气态流出物监测系统流程图见图 8.1-1。

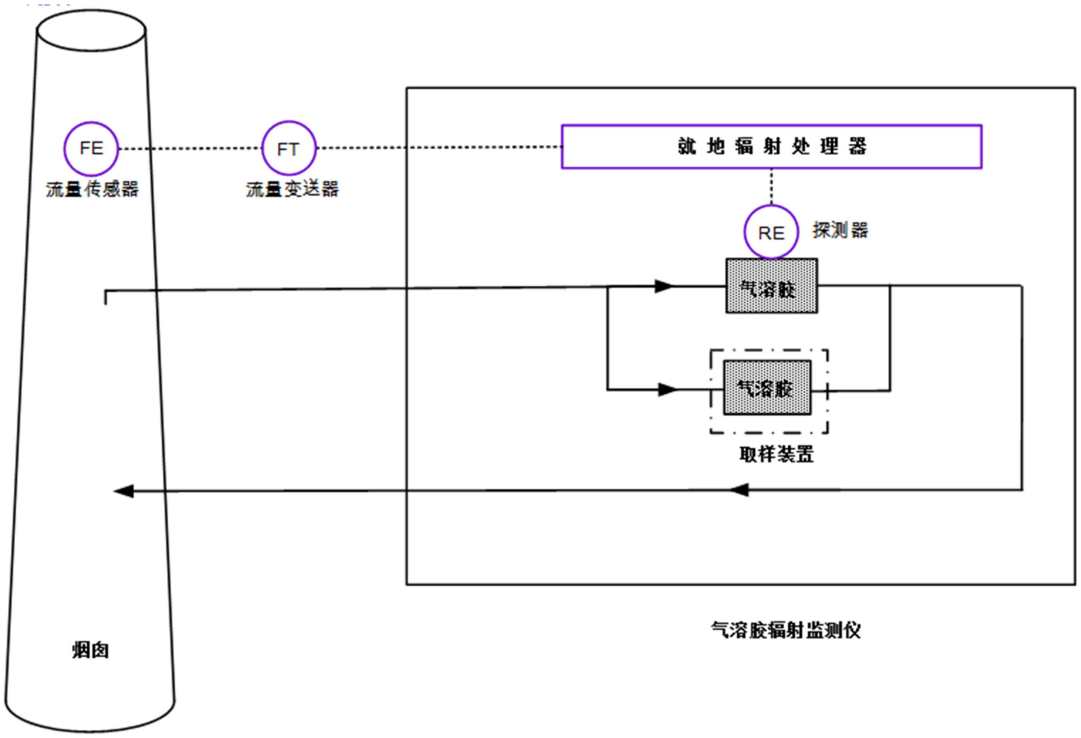


图 8.1-1　流出物辐射监测系统流程图

气态流出物的监测系统安装在综合研制室（03 子项）烟囱内，设置有 1 套气溶胶

取样和监测系统，由流量计（流量计变送器 RMS-JE-FT101、流量传感器 RMS-JE-FE101）和取样装置 RMS-JE-PB101、取样管道和安装在厂房内的固定式气溶胶监测仪 RMS-JS-101（探测器 RMS-JE-RE101）组成。设备相关参数见表 8.1-1。

表 8.1-1 流出物辐射监测系统设备参数

序号	设备	监测项目	测量对象	主要技术参数
1	流量计 RMS-JE-FT101 RMS-JE-FE101	风量	综合研制室烟囱	量程范围：0 m^3/h ~$2.0\times10^5 m^3/h$
2	固定式气溶胶监测仪 RMS-JS-101	α 核素	综合研制室烟囱（气溶胶）	量程范围：1.0×10^{-2} Bq/m^3 ~ $3.7\times10^6 Bq/m^3$
3	气溶胶取样装置 RMS-JE-PB101	气溶胶	综合研制室烟囱	取样流量：35L/min

流量计 RMS-JE-FT101 布置于烟囱内，连续测量通过 03 子项烟囱向环境的排风量，RMS-JE-FE101 信号送往位于辐射监测设备间 301 内的固定式气溶胶监测仪 RMS-JS-101。

固定式气溶胶监测仪 RMS-JS-101 采用一个面对着固定的气溶胶过滤器的 α 灵敏硅半导体探测器，其测量主要核素为 ^{235}U 和 ^{238}U，监测仪在正常工况下连续运行，当探测到放射性活度浓度超过报警阈值时，辐射监测仪提供就地报警，并将报警信号传送至辐射监测专用计算机。

取样装置 RMS-JE-PB101 具有气溶胶自动连续取样功能，配有真空泵，通过取样管道连续抽取排风烟囱中气溶胶样品，并由设备自带的气溶胶取样装置将风管内的气溶胶样品收集在采样滤纸上。气态流出物的气溶胶采样将根据生产计划，由工作人员定期更换和收集取样装置中的滤纸，并将滤纸送往流出物实验室进行分析，分析项目包括总铀和总放。人工更换和收集滤纸样品过程中，设备停止工作；滤纸更换完成后，设备恢复连续取样，确保设施对外排放过程中取样不间断。

8.1.1.2 液态流出物监测及排放控制

（1）放射性废液

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两类废液：研制废液和其他废液。两类废液预期接收量见表 8.1-2。

— 研制废液：主要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，主要通管道管连接排放到废液收集管中。

— 其他废液：主要来源于地坑接收到的地面疏水、废液接收箱的溢流水及洗衣房废水排放过程中极小概率产生的超标废液，主要通过管道收集到废液接收地坑中收集后由地坑泵输送到废液接收箱。

表 8.1-2　废液产生源及其排放量

废液来源	预期产生量（m^3/a）	铀浓度（mg/L）	处理方式
磨削废液	4.8	＜60	分类收集，经过滤、膜处理、活性炭吸附、离子交换处理达标后，免管释放，暂存后用槽车运至阳江核电排放口排放
金相及理化分析废液	12	＜60	分类收集，经过滤、膜处理、活性炭吸附、离子交换处理达标后，免管释放，暂存后用槽车运至阳江核电排放口排放
地面疏水	6	＜1	分类收集，经过滤、膜处理、活性炭吸附、离子交换处理达标后，免管释放，暂存后用槽车运至阳江核电排放口排放
超标热淋浴及洗衣废液	—	＜0.1	达标废液送至生活污水处理站处理，不达标废液返回至综合研制室进行处理。
		≥0.1	排往综合研制室进行过滤处理

放射性废液处理系统共设置 2 个废液接收箱，分别用于接收由于生产燃料棒产生的废液（废液接收箱 A）和生产毒棒产生的废液（废液接收箱 B），同时设置 1 个疏水地坑，主要接收废液接收箱的溢流废液、厂房内产生的地面泄漏水、超标热淋浴等。地坑内的废液最终由地坑泵输送到废液接收箱 B 中进行后续处理。

两类废液实现分类收集，接收管网不连通，每个接收箱的有效容积为 5m3。

废液接收箱 A/B 内放射性废液经处理后进入废液暂存箱内暂存，暂存箱的有效容积为 5m^3，预计可以容纳约 2~3 个月的容量。

废液暂存箱出口设置了取样口，通过取样口进行取样，并送回流出物实验室进行分析，测量总铀浓度、以及总 α 和总 β 活度浓度。

测量结果满足 GB 5749-2022 标准规定的总 α 放射性<0.5Bq/L、总 β 放射性<1Bq/L 后，通过流出物暂存箱出口设置的快速接头，由排水泵输送到槽车并运至阳江核电排放口排放。若废液中总 α 、总 β 活度浓度不符合上述要求，则返回废液处理装置继续处理，直至满足要求。

（2）洗衣废水

洗衣房内设置三个废液暂存箱，两用一备，一个用于接收洗衣废液，一个存放待检测排放洗衣废液，最后一个废液暂存箱备用。

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，达标废水送至生活污水处理站处理，超标废水送至液态流出物处理系统废液接收箱 B，进行净化处理。

8.1.1.3 固体废物监测

中广核先进燃料研制中心正常运行时，通过放射性废固处理系统收集、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和活性炭、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，送往对应的废物暂存房间进行暂存。

本项目共建设了四个放射性固废贮存区用于暂存各类放射性固体废物：一个在地下室，用于贮存废树脂；两个在一层运输通道西侧和南侧，用于接收固体废物包装桶和水过滤器滤芯；一个在三层通风机房西侧，用于接收通风过滤器滤芯。

对于换下的通风滤芯，运至废滤芯储存间后对其不锈钢框架进行检测，若放射性活度满足 GB 27742-2011 中表 B.1 中限值，则钢框架就近拆除后解控。

对于放射性固体废物的检测，通过配置便携式 γ 剂量率仪和便携式 α/β 表面污染测量仪监测废物桶表面的剂量率和表面污染水平。

此外，考虑到铀衡算，通过对废树脂、清洁抹布等零散放射性固体废物，从废固容器的上、下部位各取 1 个试样，通过化学方法溶解掉废固上沾污的核材料物质进行铀含量分析；对废旧空气滤芯，随机选取一个可代表滤芯更换的平均压差水平的滤芯，根据其活度水平计算其中的铀含量，代表达到此更换压差水平的滤芯铀材料含量。

8.1.1.4 流出物监测大纲

本项目气态流出物通过气溶胶取样装置进行不间断连续采样，将每周收集的取样滤膜作为一个试样，送流出物实验室进行分析，分析项目包括：总 α、总 β 和总铀。

液态流出物经处理后由废液暂存箱暂存，外运排放前经充分混合后均匀后，进行取样分析，分析项目包括：总 α、总 β 和总铀。总 α 和总 β 放射性指标满足排放标准后外运排放。

洗衣废液在排入下一环节前进行取样分析，分析项目包括：总 α、总 β 和总铀。

放射性固体废物包括：废树脂（含废活性炭）、水过滤器滤芯、通风过滤器滤芯、干废物等，产生后按批次进行取样分析，分析项目总铀。

本项目开展的气态流出物、液态流出物和放射性固体废物的监测项目、监测频次、分析项目及测量方法见表 8.1-3。

8.1.1.5 年排放量统计

放射性核素总 U 年排放量的统计计算公式如下：

$$Q = C_1V_1 + C_2V_2 + \cdots\cdots + C_nV_n = \sum_{i=1}^{n} C_iV_i$$

式中：Q 为放射性核素总 U 的年排放量，g/a；C_i 为一年中第 i 次放射性废物取样分析的总铀浓度，气态、液态单位为 g/m^3、固体单位为 g/kg；V_i 为一年中第 i 次分析放射性废物对应的处置量，气态、液态单位为 m^3、固体单位为 kg；n 一年中放射性核素总 U 的取样分析总次数。

测量结果取值：

— 样品的测量结果大于方法探测限（A_{LLD}），分析结果取实测值；

— 样品的测量结果小于或等于方法探测限（A_{LLD}），无特别说明时取$(A_{LLD})/2$ 进行统计计算。

表 8.1-3　流出物监测项目及方法

种类	取样点	介质	监测项目	监测频次	分析方法	测量仪器
气态流出物	烟囱	滤膜	总 α、总 β	每周一次	灰化后参考 HJ 898-2017 和 HJ 899-2017	低本底 α、β 分析仪
			总铀		HJ 840-2017	微量铀分析仪
液态流出物	废液罐	水	总 α、总 β	转运外排前	HJ 898-2017 和 HJ 899-2017	低本底 α、β 分析仪
			总铀		HJ 840-2017	微量铀分析仪
洗衣废液	洗衣房	水	总 α、总 β	排入下一环节前	HJ 898-2017 和 HJ 899-2017	低本底 α、β 分析仪
			总铀		HJ 840-2017	微量铀分析仪
放射性固体废物	固废贮存区地下室	废树脂和活性炭	总铀	每批次	HJ 840-2017	微量铀分析仪
	固废贮存区	空气滤芯	总铀	每批次	HJ 840-2017	微量铀分析仪
	一层运输通道西侧和南侧	水过滤芯	总铀	每批次	HJ 840-2017	微量铀分析仪
		干废物	总铀	每批次	HJ 840-2017	微量铀分析仪

8.1.2 辐射环境监测

8.1.2.1 监测目的

运行期间环境监测方案的目的为：

— 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。

8.1.2.2 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。

8.1.2.3 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气态流出物最大落地浓度点。

— 排放口及附近区域；

— 尽可能与本底调查时的监测布点一致。

8.1.2.4 监测内容

正常运行期间开展的辐射环境监测参考《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）、《铀加工与燃料制造设施辐射防护规定》（EJ 1056-2018）的要求和本项目辐射环境本底调查相关内容制定监测大纲，详见表8.1-4。具体监测内容如下：

（1）环境γ辐射水平

— 瞬时γ辐射剂量率监测

厂址半径10km范围内共设置25个瞬时γ辐射剂量率监测点，其中厂址边界处

4 个，其余 21 个监测点设置在厂区外，按 8 个方位，0~2km、2~5km 和 5~10km 距离进行设置，监测频率为每年 1 次。点位信息详见表 8.1-5，点位分布情况见图 8.1-2。

— 连续 γ 辐射剂量率监测

在四周厂区边界处布设 4 个连续监测站点，点位分布情况见图 8.1-3，点位信息见表 8.1-5。

（2）气溶胶和沉降物

气溶胶和沉降物设置 2 个监测点位，分别位于厂址西侧监测子站和厂址南侧监测子站，点位信息见表 8.1-5，点位分布情况见图 8.1-3。

气溶胶为月度样，每月连续采样 7 天，空气采集体积不少于 1 万 m^3。

沉降灰为季度样，进行季度累积采样。

气溶胶和沉降灰样品的分析项目包括：总 U、总 α 和总 β。

（3）土壤和沉积物

土壤设置 6 个监测点位，分别位于北城村、厂址西侧监测子站、厂址南侧监测子那心村、新村仔、光星村和蒲塘村，采样点位分布情况见图 8.1-3。

地表水沉积物设置海茆河 1 个监测点位，海水沉积物设置阳江核电排放口附近海域 1 个监测点位。点位信息见表 8.1-5。

土壤和沉积物为年度样，采样频率为每年 1 次。

土壤和沉积物分析项目包括：总 U 和 γ 核素（^{234}U、^{235}U、^{238}U）。

（4）水体

地表水设置海茆河 1 个监测点位，海水设置阳江核电排放口附近海域 1 个监测点位。地表水和海水开展总 U 和 γ 能谱（^{234}U、^{235}U、^{238}U）监测，地表水监测频次为 2 次/年（丰水期和枯水期），海水监测频次为 1 次/半年，点位信息见表 8.1-5。

饮用水（地下水）设置新村仔和光星村 2 处采样点位，点位信息见表 8.1-5。

饮用水（地下水）采样频率为每年 1 次，分析项目包括：总 U、总 α 和总 β。

（5）生物

生物样品包括叶菜和水生生物，采样点位信息见表 8.1-5。

— 叶菜

设新村仔和光星村 2 处采样点，采集当季成熟期叶类蔬菜，每年采集 1 次，分析项目包括：总 U 和 γ 核素（^{234}U、^{235}U 和 ^{238}U）。

— 水生生物

设海荫河捕捞的淡水鱼和阳江核电排放口海域捕捞的海水鱼 2 个水生生物样，每年采集 1 次，分析项目包括：总 U 和 γ 核素（^{234}U、^{235}U 和 ^{238}U）。

表 8.1-4　辐射环境监测大纲

介质			频次	点位数	采样点	分析项目
陆域环境	空气	γ 辐射	连续	4	4 个监测子站	γ 辐射空气吸收剂量率（瞬时）
			1 次/年	25	厂址半径 10km 范围	γ 辐射空气吸收剂量率（连续）
		气溶胶	1 次/月	2	监测子站（西、南）	总 U、总 α、总 β
		沉降物	1 次/季度	2	监测子站（西、南）	总 U、总 α、总 β
	土壤	表层土壤	1 次/年	6	南侧厂界、西侧厂界那心村、新村仔、光星村、蒲塘村	总 U、γ 谱
		地表水沉积物	1 次/年	1	海荫河	总 U、γ 谱
	水	饮用水/地下水	1 次/年	2	新村仔、光星村	总 U、总 α、总 β
		地表水	2 次/年	1	海荫河	总 U、γ 谱
	生物	叶菜	1 次/年	2	光星村、新村仔	总 U、γ 谱
		淡水鱼	1 次/年	1	海荫河	总 U、γ 谱
海域环境	海水	海水	1 次/半年	1	排放口附近海域	总 U、γ 谱
	生物	海鱼	1 次/年	1	排放口附近海域	总 U、γ 谱
	土壤	海水沉积物	1 次/年	1	排放口附近海域	总 U、γ 谱

表 8.1-5　辐射环境监测点位信息

点位类别		序号	名称	方位	距离（km）	经纬度
连续监测		1	厂址北侧监测子站	N	0.11	112°16′14″E，21°44′24″N
		2	厂址东侧监测子站	E	0.06	112°16′15″E，21°44′20″N
		3	厂址南侧监测子站	SW	0.45	112°16′10″E，21°44′16″N
		4	厂址西侧监测子站	W	0.13	112°16′9″E，21°44′19″N
瞬时监测		1	厂址北侧边界	N	/	112°15′53″E，21°44′32″N
		2	厂址东侧边界	E	/	112°15′57″E，21°44′28″N
		3	厂址南侧边界	S	/	112°15′54″E，21°44′26″N
		4	厂址西侧边界	W	/	112°15′50″E，21°44′28″N
		5	蒲塘村	N	0.8	112°15′37″E，21°44′58″N
		6	北城村	NE	0.8	112°15′53″E，21°44′55″N
		7	E0.5 监测点	E	0.5	112°16′31″E，21°44′20″N
		8	SE0.4 监测点	SE	0.4	112°15′43″E，21°44′30″N
		9	光星村	S	0.7	112°15′53″E，21°44′14″N
		10	新村仔	SW	1.8	112°15′36″E，21°44′15″N
		11	那心村	W	0.6	112°15′31″E，21°44′27″N
		12	上瓦村民小组	NW	1.8	112°15′7″E，21°45′4″N
		13	大涎村	N	4.3	112°15′49″E，21°46′51″N
		14	金山水库	NE	3.3	112°16′29″E，21°46′6″N
		15	平堤水库	E	2.9	112°17′56″E，21°44′14″N
		16	SE2.3 监测点	SE	2.3	112°16′40″E，21°431′48″N
		17	核电大门	S	2.2	112°16′7″E，21°43′19″N
		18	盐灶村	SW	2.4	112°14′31″E，21°43′50″N
		19	滨海大道	W	4.4	112°13′0″E，21°44′48″N
		20	NW4.0 监测点	NW	4.0	112°14′15″E，21°45′58″N
		21	三家村	N	8.7	112°16′30″E，21°49′11″N
		22	NE6.6 监测点	NE	6.6	112°17′51″E，21°47′8″N
		23	江门旧圩	E	9.7	112°21′32″E，21°44′11″N
		24	海滨公园	W	7	112°11′46″E，21°44′56″N
		25	北政二村	NW	8.2	112°12′45″E，21°48′7″N
气溶胶沉降物		1	厂址西侧监测子站	W	0.13	112°16′9″E，21°44′19″N
		2	厂址南侧监测子站	SSW	0.45	112°16′10″E，21°44′16″N
土壤		1	厂址西侧边界	W	/	112°15′50″E，21°44′28″N
		2	厂址南侧边界	SSW	/	112°15′54″E，21°44′26″N
		3	那心村	W	0.6	112°15′31″E，21°44′27″N
		4	新村仔	SW	1.8	112°15′36″E，21°44′15″N
		5	光星村	S	0.7	112°15′53″E，21°44′14″N
		6	蒲塘村	N	0.8	112°15′37″E，21°44′58″N
沉积物		1	海荫河	/	/	/
		2	阳江核电排放口附近海域	/	/	/
水	地表水	1	海荫河	/	/	/
	饮用水	2	新村仔	SW	1.8	112°15′36″E，21°44′15″N
	地下水	3	光星村	S	0.7	112°15′53″E，21°44′14″N
	海水	4	阳江核电排放口附近海域	/	/	/
生物	叶菜	1	新村仔	SW	1.8	112°15′36″E，21°44′15″N
		2	光星村	S	0.7	112°15′53″E，21°44′14″N
	淡水鱼	3	海荫河	/	/	/
	海鱼	4	阳江核电排放口附近海域	/	/	/

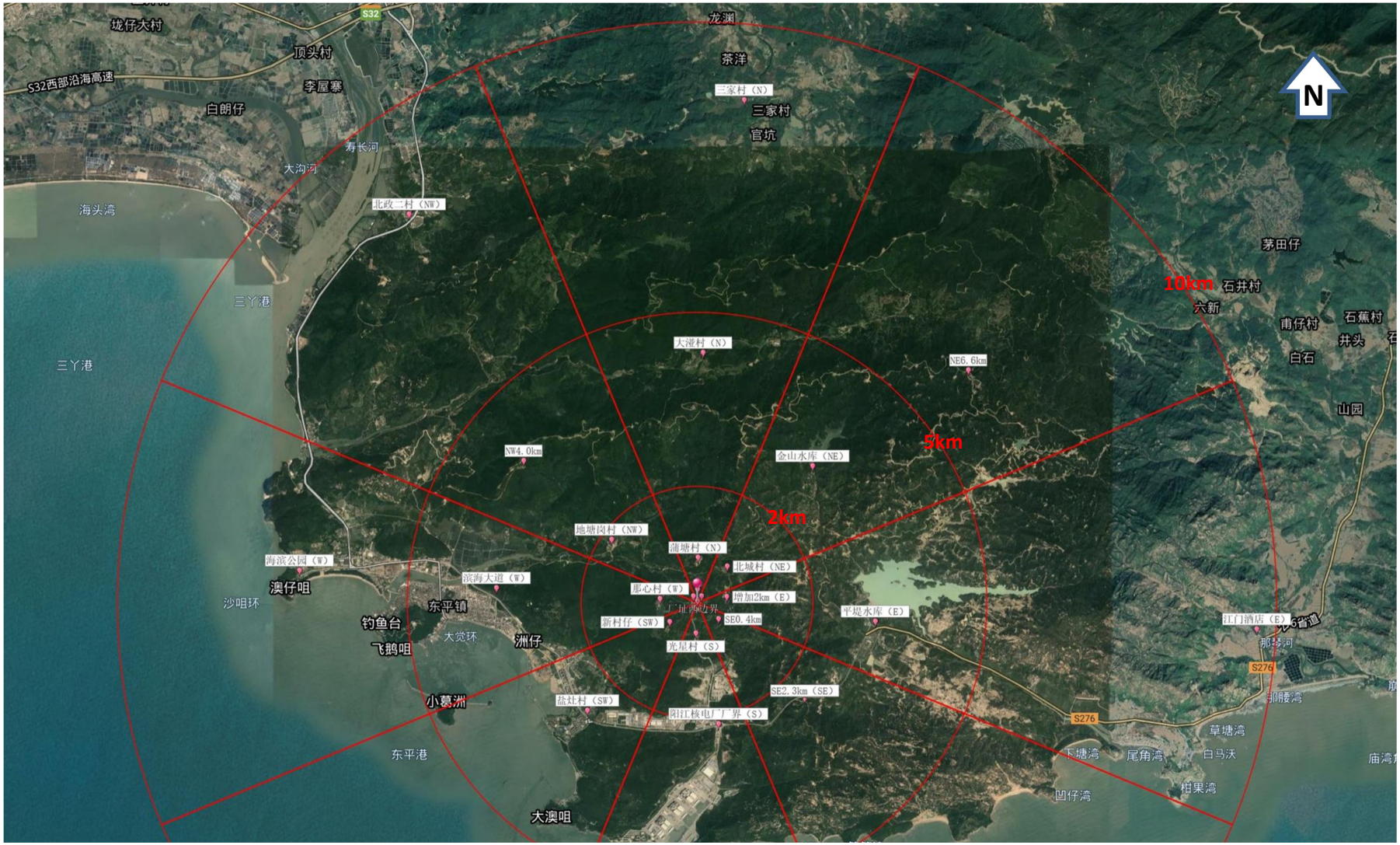


图 8.1-2　瞬时环境 γ 辐射剂量率监测点位分布示意图

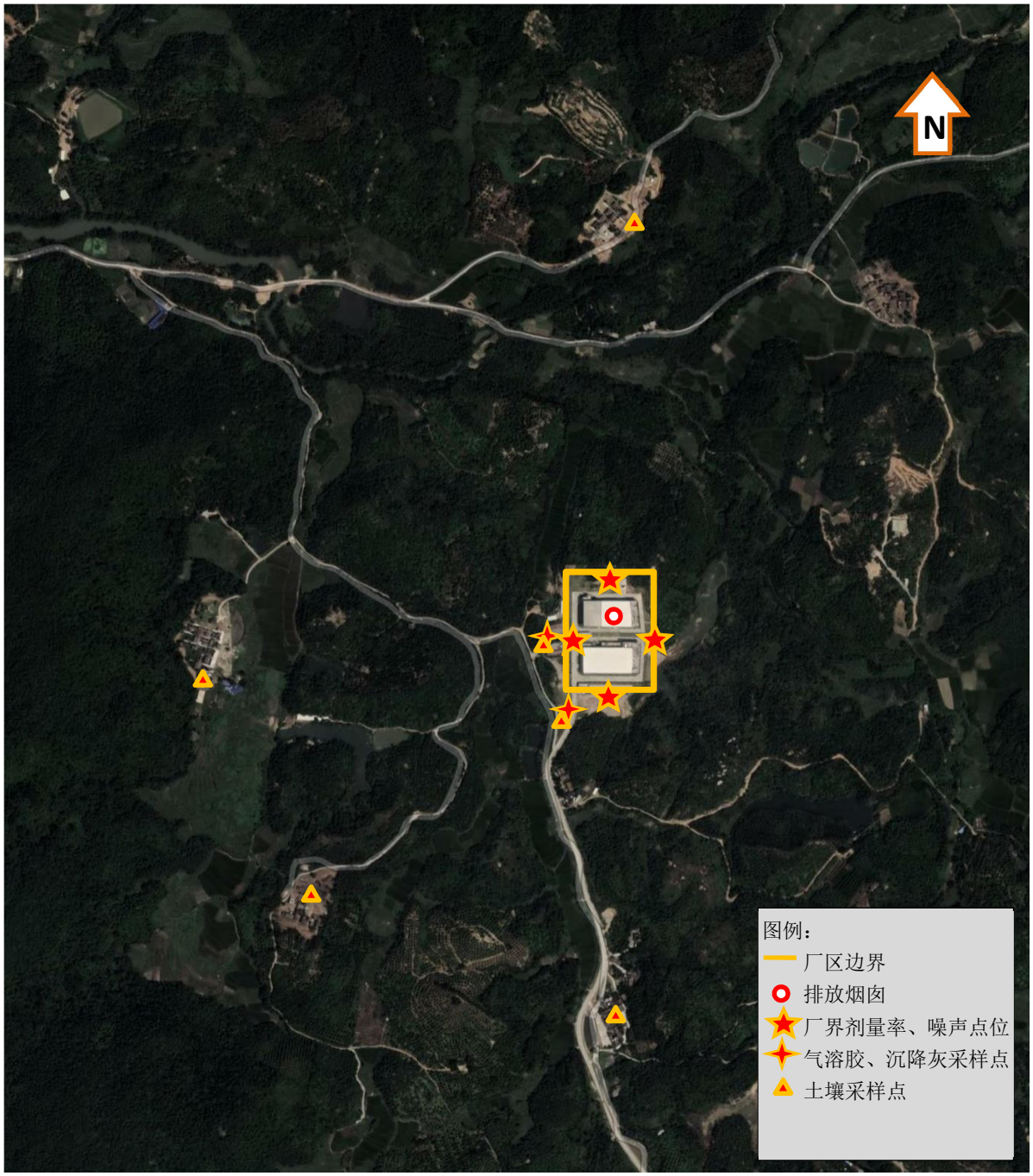


图 8.1-3　辐射环境监测采样及噪声监测点位布置图

8.1.2.5 监测方法

本项目辐射环境监测分析方法和探测下限见表 8.1-6。

（1）测量方法

环境 γ 辐射剂量率采用固定点连续监测系统进行在线、连续、实时监测，采用便携式 γ 剂量率仪进行现场瞬时监测。

环境介质样品中总 U 依据《环境样品中微量铀的分析方法》（HJ840-2017）进行测定，测量仪器使用微量铀分析仪；总 α 依据《水质 总 α 放射性的测定 厚源法》（HJ 898-2017）、总 β 依据《水质 总 β 放射性的测定 厚源法》（HJ 899-2017）进行测量，测量仪器使用低本底 α、β 测量仪；γ 能谱委托具备 CMA 资质的相关单位开展相关分析测量工作。

（2）探测下限

本项目中样品中核素活度浓度的探测下限的计算根据《环境辐射监测技术规范》（HJ 61-2021）等规范要求，根据实际情况进行表述。

— 仪器探测下限（LLD）

LLD 是用于表征仪器检测能力的量。在 γ 剂量率和总 U 测量中，仪器探测下限由设备说明书直接给出；在低本底测量（总 α、总 β 和 γ 能谱）条件下，假定样品测量时间与本底测量时间相同，则 LLD 根据下式进行计算：

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

式中：n_b 为本底计数率，cps；t_b 为本底测量时间，s。

— 方法探测下限（MDC）

MDC 一般用于表征方法的检出限水平，与 LLD 及样品灰鲜比、回收率等因素有关。γ 剂量率和总 U 测量中，方法探测下限与仪器探测下限相同，在低本底测量（总 α、总 β 和 γ 能谱）条件下：

1）γ 能谱的方法探测下限（MDC）采用以下公式计算：

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

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

2）总 α、总 β 的方法探测下限 MDC（单位为 Bq/L）采用以下公式计算：

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

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

表 8.1-6　辐射环境监测分析方法和探测限

项目	介质	分析测量方法	测量装置	样品量	探测下限
环境 γ 辐射剂量率		连续测量	γ 辐射连续检测仪	/	10nGy/h
		瞬时测量	便携式 γ 辐射剂量率仪	/	10nGy/h
总 α	气溶胶	灼烧法，α 测量	低本底 α、β 分析仪	$10^4\ m^3$	15 $\mu Bq/m^3$
	沉降物	蒸发灼烧法，α 测量		20 $m^2\cdot d$	30 $mBq/(m^2\cdot d)$
	饮用水	蒸发灼烧法，α 测量		2~5 L	50 mBq/L
总 β	气溶胶	灼烧法，β 测量		$10^4\ m^3$	10 μBq/m^3
	沉降物	蒸发灼烧法，β 测量		20 $m^2\cdot d$	20 $mBq/(m^2\cdot d)$
	饮用水	蒸发灼烧法，β 测量		2~5 L	30 mBq/L
总 U	气溶胶	激光荧光法，测量总铀	微量铀分析仪	$10^4\ m^3$	1×10^{-4} μg/m^3
	沉降物	激光荧光法，测量总铀		10 $m^2\cdot d$	0.3 μg/$(m^2\cdot d)$
	地表水	激光荧光法，测量总铀		5ml	0.05 μg/L
	海水	激光荧光法，测量总铀		5ml	0.2 μg/L
	土壤	激光荧光法，测量总铀		1g	0.5 μg/g
	生物	激光荧光法，测量总铀		0.5g（灰）	0.03 μg/g（灰）
γ 能谱 ^{137}Cs	淡水	蒸发法	高纯锗 γ 谱仪	30 L	3.0 mBq/L
	海水	共沉淀法		30 L	3.0 mBq/L
	土壤类	直接测量细干土		300 g 干	1.0 Bq/kg（干）
	生物	灰化法		20 kg 鲜	10mBq/kg（鲜）

8.1.3 应急监测

为保证研制中心在进入核事故应急状态下能够迅速有效地开展应急环境辐射监测，及时确定周围环境放射性污染范围和水平，为采取防护行动决策提供依据，研制中心制定了事故期间环境应急监测方案。应急监测方案主要包括应急监测内容、应急监测线路和应急监测组织响应。应急环境监测方案根据批复的电厂最新版核事故应急预案执行。

8.1.3.1 应急监测内容

根据核电厂事故放射性释放对公众的照射途径，确定事故后不同阶段应急环境辐射监测的任务和内容，从而制定应急环境辐射监测方案。

（1）早、中期阶段应急监测要点

早期阶段监测，是指预计放射性物质即将释放或者放射性物质已经开始释放至释放完毕。

中期阶段监测，是指早期阶段监测结束至应急响应行动终止。

早、中期阶段监测的要点如下：

— 优先采用γ辐射连续自动测量的方式，固定式自动站发生故障或方位距离无法满足监测要求时，应采用人工巡测方式开展监测。

— 早、中期阶段监测还应关注大气放射性水平。

— 沉降物、土壤和生物等按要求采样，必要时进行分析。

早、中期阶段监测方案见表 8.1-7。

1）场区巡测组的主要应急监测内容

— 场区边界4个固定监测站连续测量γ辐射水平；

— 携带便携式仪表沿场区边界开展γ辐射剂量率和中子剂量率监测，没有特别要求时（如针对幼儿的外照射评价），监测对象为探测器中心离地表1米处的周围剂量当量率（H*（10）），如测量高度不等于1米时，应将监测结果修正到1米处的值，并在监测报告中注明实际测量高度；

— 收取和更换固定点（场址南和场址西）的气溶胶样品和沉降物样品；

— 在下风向场址边界处和烟羽最大浓度落地点处利用移动式采样装置采集气溶胶样品、气态碘样品和沉降物样品。

2）场外巡测组主要应急监测内容

— 根据放射性物质释放情况和气象条件选择一条巡测路线（详见附件7）开展环境γ辐射水平巡测，选择方法见附件8，或根据应急响应行动要求选择巡测路线。巡测路线上的关注点位应定点监测，监测方法同早、中期便携式仪表监测方法；

— 根据需要，在场外烟羽最大浓度落地点（预测评价结果）处采集表层土壤；

— 根据需要，在平堤水库采集水样；

— 根据需要，在下风向农作物种植点采集当季的农作物样品。

3）环境实验室测量分析组应急监测行动

— 及时分析气溶胶、沉降物中的铀，主要利用γ能谱确定样品活度；

— 需要时，及时分析空气中、沉降物中的碘，主要利用γ能谱确定样品活度；

— 需要时，分析土壤中、饮用水中和农作物中的铀和碘。

表 8.1-7 早、中期阶段应急监测方案

监测对象	分析项目/核素	点位	分析或采样频次
环境γ辐射水平	周围剂量当量	场址边界四周，场区巡测，场外巡测	连续定点监测，根据需要人工巡测
中子辐射水平	中子剂量率（核临界事故）	场址边界四周，场区巡测	根据需要人工巡测
大气	气溶胶中铀，空气中碘（核临界事故）	在厂区边界处、烟羽最大浓度落地点处	连续采样，每天换样分析
沉降物	铀， 碘（核临界事故）	在厂区边界处、烟羽最大浓度落地点处	采集每次沉降（湿沉降）
表层土壤活度浓度	铀， 碘（核临界事故）	场外烟羽最大浓度落地点处	每天采集一次，必要时分析
饮用水水源	铀， 碘（核临界事故）	平堤水库	每天采集和分析一次
陆生生物	铀， 碘（核临界事故）	当季的农作物种植点	每天到每周采集，必要时分析

（2）后期阶段应急监测内容

后期阶段监测是事故后恢复阶段的场外辐射环境监测活动，需进行环境恢复地区的监测按照环境恢复相关要求单独制定监测方案，后期阶段辐射环境监测方案见表8.1-8。具体监测内容为：

1）环境γ辐射水平

场区边界 4 个固定监测站连续测量 γ 辐射水平；

根据需要，携带便携式仪表在关注点位开展人工巡测。

2）大气

在场址南和场址西两个自动监测站采集气溶胶样品和沉降物样品，分析气溶胶和沉降物中铀、总 α、总 β。

3）土壤

下风向场址边界附近采集土壤样品，分析土壤中铀。

4）饮用水水源

在平堤水库采集饮用水源，分析铀、总 α、总 β。

5）地表水

在距离场址最近的海荫河采集地表水，分析铀。

6）陆生生物

根据当季农作物种植情况，采集农作物，分析铀。

7）水生生物

采集地表水中水生生物，分析铀。

8）指示生物

采集松针，分析铀。

表 8.1-8 后期阶段应急监测方案

监测对象	分析项目/核素*	点位	分析或采样频次
环境 γ 辐射水平	周围剂量当量	场址边界四方位	连续
大气	铀，总 α，总 β	场址南和场址西	1 次/月
表层土壤活度浓度	铀	按常规监测要求	1 次/年
沉降物	铀，总 α，总 β	场址南和场址西	1 次/季度
饮用水水源	铀，总 α，总 β	平堤水库	1 次/半年
地表水	铀	海荫河	1 次/年
陆生生物	铀	同常规监测点位	1 次/年
鱼、沉积物、水生植物	铀	同常规监测点位	1 次/年
指示生物	铀	同常规监测点位	1 次/半年

*根据事故类型和总 α、总 β 、U 的结果，视情况分析 U 的各种同位素和碘。

8.1.3.2 应急监测线路

根据应急环境辐射监测的要求，研制中心制定了应急巡测路线，包括 4 条陆路监测路线。应急巡测路线见表 8.1-9，路线分布见图 8.1-4。

路线 1#：研制中心→新村仔→光星村→热室设施→十字路口→允泊村→东平镇东

路线 2#：研制中心→光星村→热室设施→十字路口→平堤

路线 3#：研制中心→那心北→瓦北村南→高洋村南

路线 4#：研制中心→那心北→蒲塘村南→北城

表 8.1-9 应急巡测路线

序号	风向	相应路线	关注点位
1	N、NNE、NE、ENE、E	1#	新村仔、光星村、热室设施、十字路口、允泊村、东平镇东
2	NWN、NW、WNW、W	2#	光星村、热室设施、十字路口、平堤
3	S、SSE、SE、ESE	3#	那心北、瓦北村南、高洋村南
4	SSW、SW、WSW	4#	那心北、蒲塘村南、北城

8.1.3.3 应急监测响应

研制中心应急监测组织由厂区巡测组、场外巡测采样组和环境实验室分析测量组组成，另外配备数据收集汇总人员（应急监测组助理）负责数据的处理和传递。

— 场区巡测组主要由辐射防护人员组成，共2人；

— 场外巡测采样组共3人（含1名司机）；

— 环境实验室分析测量组由日常环境监测人员组成。

（1）监测人员的应急响应

应急环境监测人员在事故状态下按照研制中心相关程序的要求进行启动和响应。

（2）环境监测车的应急响应

当进入应急待命状态时，环境监测车的岗位人员立即奔赴监测车就位，穿戴好防护服，佩戴好个人剂量计，按照指令做好监测车巡测前的准备工作。

（3）环境实验室的应急响应

在事故应急状态时，环境实验室应急人员按照实验室应急程序检查仪器清单，查看仪器是否正常，并做好检查记录。同时，准备应急监测所需的备品备件，准备就绪后向应急监测组助理报告。

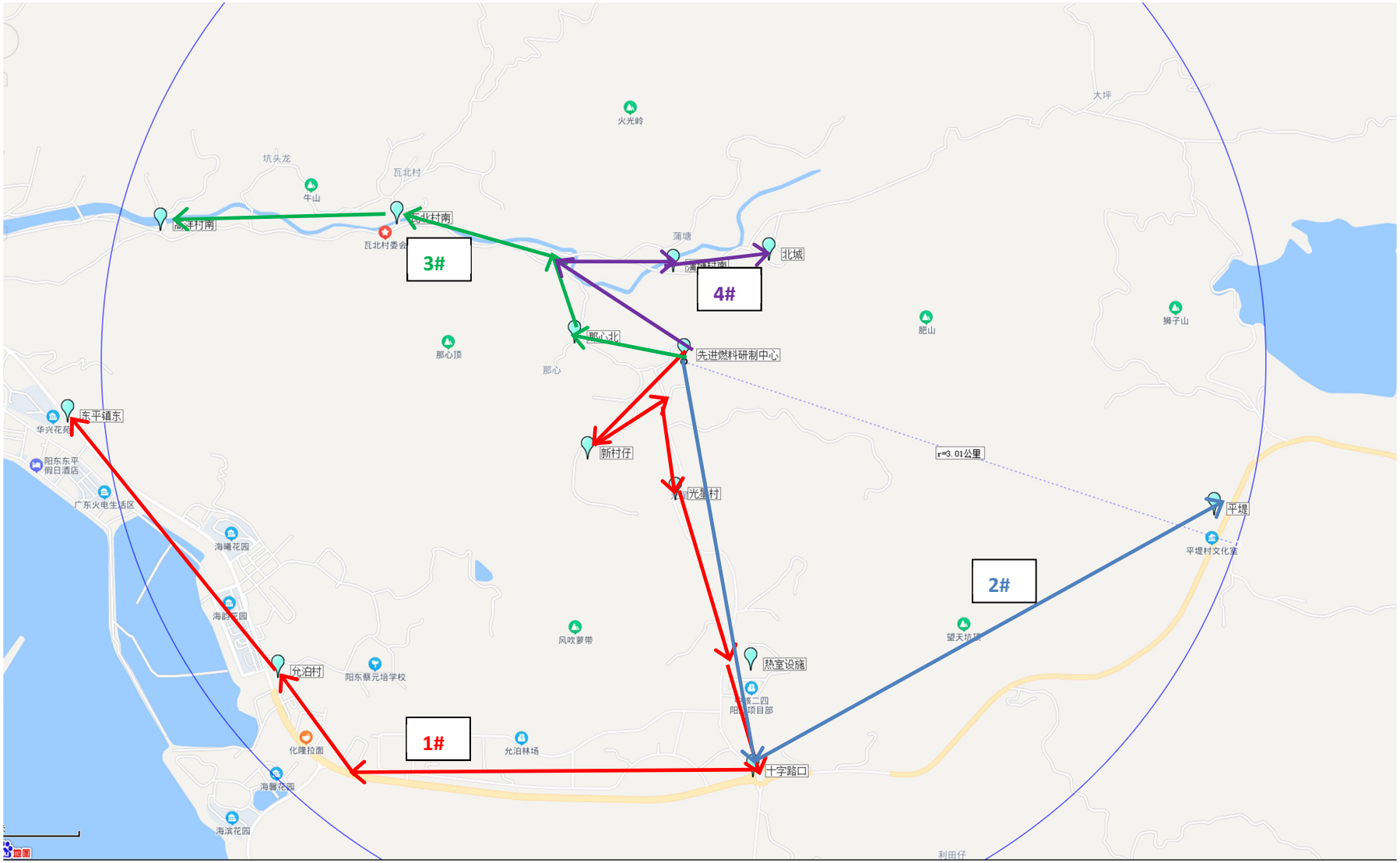


图 8.1-4 应急环境巡测路线图

8.2 其它监测

8.2.1 化学污染物和生活污水监测

研制中心根据《排污单位自行监测技术指南 水处理》（HJ 1083-2020）的要求，委托相关资质单位对厂区污水站出水中的化学污染物开展水质监测，每季度监测 1 次，监测指标包括 pH 值、水温、化学需氧量（COD）、氨氮、总磷、总氮、悬浮物、色度、BOD_5、动植物油、石油类、阴离子表面活性剂、粪大肠菌群数。

8.2.2 气象观测

本项目建设 1 座气象监测站，位于厂界外西侧（兼顾关键居民组），经纬度为 E112°16′9.05″、N21°44′19.31″，距离骨架研制室边界约 40m，距离烟囱的距离 135m。

气象监测站观测的气象要素包括温度、湿度、风速、风向和雨量。风速、风向观测高度为 10m，为观测场地面高度，温湿度计高度为 1.5m。气象监测站进行 24 小时实时观测，气象数据通过各自数据采集箱采集后，通过无线和有线的传输方式，发送至 KRS 中央站中的气象数据采集工作站，进行处理和运算。

气象系统内的设备都采用工业级设备，并配置 72 小时备用电源以保证设备的稳定工作。上述气象观测系统的联合数据获取率应达到 HAD101/02 不低于 90%的要求。

8.2.3 噪声监测

依据《排污单位自行监测技术指南 总则》（HJ 819-2017）和《工业企业厂界环境噪声排放标准》（HJ 12348-2008），研制中心委托有资质单位对厂界四周 1m 处开展噪声监测工作，监测因子为 1 分钟等效声级，监测时间为昼间及夜间，监测频次为每季度 1 次，监测点位图见图 8.1-3。

8.3 监测系统

8.3.1 流出物实验室

流出物实验室主要承担研制中心运行期间气态放射性流出物、液态放射性流出物以及放射性固体废物的测量与分析任务，位于厂区 03 子项厂房二楼理化区，包括 209 房间（流出物实验室），面积 29.17m^2；222 房间（气溶胶及废水处理间），面积 20.76m^2。流出物实验室厂房平面位置详见图 8.3-1。主要仪器设备配置见表 8.3-1。

209 房间（流出物实验室）主要用于总铀和总放的测量分析，主要配备烘箱、马弗炉、分析天平、总铀分析仪、低本底 α、β 计数器以及制备样品所需设备。

222 房间（气溶胶及废水处理间）用于流出物样品预处理，主要配备通风柜、电热板以及制备样品所需设备。

8.3.2 环境实验室

环境实验室主要承担研制中心正常运行期间的环境介质的测量与分析任务。环境实验室位于厂区东南角，为独立的一层房间，面积约 50m^2。环境实验室平面布置见图 8.3-2。主要仪器设备见表 8.3-1。

环境实验室内配备有通风柜、烘箱、马弗炉、分析天平、总铀分析仪、低本底 α、β 计数器以及制备样品所需设备。环境实验室内还设置标准物质库，用于存放测量分析过程中使用的标准物质。

8.3.3 厂区辐射和气象监测系统

研制中心厂区辐射和气象监测系统由 1 个中央站、4 个辐射监测子站和 1 个气象监测站组成。

8.3.1.1 中央站

中央站位于研制中心应急指挥中心办公楼内，其功能为连续采集、处理和记录气象和环境 γ 辐射数据，接收并处理传感器故障报警、电源故障报警及阈值报警信号，并将处理后的数据发送到应急指挥中心。

中央站数据汇总处理中心接收来自各监测子站、10 米气象风杆在线监测的数据信息，数据处理中心包括工作站、服务器和网络设备或者是集成以下工作站功能的功能强大的多处理机服务器和网络设备：

- 辐射和气象数据采集工作站 1 台（虚拟服务器）；
- 应用服务器 1 台（虚拟服务器）；
- 数据监控工作站 1 台（物理机）；
- 数据服务器 2 台（双机热备/虚拟服务器）；
- 物理服务器 2 台（宿主服务器）；
- 短信报警设备 1 台；
- 大屏幕显示器 1 台；
- 网络互联设备和网络安全设备 1 套；
- 服务器机柜及 UPS 不间断电源 1 套。

中央站设备详细清单见表 8.3-2。

8.3.1.2 气象监测站

气象监测站与厂址西侧子站共站，安装自动气象系统设备（10m 气象风杆），实现环境气象要素的自动监测。气象监测站进行 24 小时实时观测，气象数据及设备故障报警通过各自的数据采集箱采集后，经无线和有线的传输方式，发送至中央站数据汇总处理中心。

（1）10m 气象风杆

在气象风杆 10m 高度处安装风速、风向传感器。

（2）地面气象站

厂址专用地面气象站的 1.5m 高度处安装了温湿度计，地面高度处安装了雨量计。

（3）数据采集机柜

数据采集机柜内配置的气象数据采集/处理计算机的作用是处理自动气象站传感器送来的风速、风向、温度、湿度、雨量等信息，并对其进行处理计算，同时将数据传送至中央站数据汇总处理中心。

8.3.1.3 环境 γ 辐射监测站

研制中心共设 4 个环境 γ 辐射监测子站，分别位于厂址四周边界附近，监测子站所测数据和报警信号通过无线或有线的数据传输方式传送至中央站数据汇总处理中心。监测子站分布见图 8.3-3，设备配备情况详见表 8.3-3，性能参数见表 8.3-4。

（1）厂址东侧监测子站

位于厂区内污水处理站北侧，厂区最大风频风向的侧风位，距离烟囱位置约 70 米，距离零部件研制室边界约 20m。

厂址东侧监测子站配备有环境γ辐射监测装置、雨量计，设置 1 台监测子站主机，用于对环境γ剂量率仪、雨量计进行数据采集、显示、传输、存储、自动控制及状态监测等，同时部署 LED 屏，实时显示监测子站测量的环境γ剂量率数据。

（2）厂址南侧监测子站

临近厂区南侧大门，位于烟囱所在位置最大风频下风向，距离零部件研制室厂房边界 20m，距离烟囱的距离约 160m。

厂址南侧监测子站配备有环境γ辐射监测装置、大流量采样器、干湿沉降采样器、雨量计，实时监测环境γ辐射剂量率和雨量数据，并承担气溶胶和沉降灰样品的采样工作。子站内设置 1 台监测子站主机，用于对环境γ剂量率仪、雨量计进行数据采集、显示、传输、存储、自动控制及状态监测等，同时部署 LED 屏，实时显示监测子站测量的环境γ剂量率数据。

（3）厂址西侧监测子站

位于厂界西侧，处于烟囱排放的侧风位，距离骨架研制室边界约 40m，距离烟囱的距离 135m。

厂址西侧监测子站配备有环境γ辐射监测装置、大流量采样器、干湿沉降采样器、雨量计、风速/风向仪、温湿度计，实时监测环境γ辐射剂量率、雨量数据以及相关气象要素的数据，并承担气溶胶和沉降灰样品的采样工作。子站内设置 1 台监测子站主机，用于对环境γ剂量率仪、雨量计进行数据采集、显示、传输、存储、自动控制及状态监测等，同时部署 LED 屏，实时显示监测子站测量的环境γ剂量率数据。

（4）厂址北侧监测子站

位于厂界北侧，临近释放点，位于烟囱所在位置最大风频上风向，距离约 60m。

厂址北侧监测子站配备有环境γ辐射监测装置和雨量计，主要承担环境γ辐射剂量率和雨量数据的实时监测。

子站内设置 1 台监测子站主机，用于对环境γ剂量率仪、雨量计进行数据采集、显示、传输、存储、自动控制及状态监测等，同时部署 LED 屏，实时显示监测子站测量的环境γ剂量率数据。

8.3.4 监督性监测系统

按照阳江核电基地统一监督性监测的要求，研制中心辐射环境现场监督性监测系统在阳江核电监督性监测系统基础上，进行适应性调整，新增研制中心项目相关的监督性监测内容。

研制中心辐射环境现场监督性监测系统由前沿站、流出物实验室和监测子站组成。其中，前沿站和流出物实验室利用广东省环境辐射监测中心粤西分部已建成的实验室，监测子站充分利用阳江核电厂已建成的辐射环境现场监督性监测系统监测子站，并增加1个监测子站（新村站）。

研制中心辐射环境现场监督性监测系统共有6个监测子站，分别为东平、平堤水库、气象塔、允泊、新洲中学和新村站，其中新村站为新建子站，其余子站与阳江核电监督性监测系统子站共用，子站分布图见图8.3-4。按照站点的配置来分，有1个增强型子站（允泊），2个标准型子站（新洲中学和新村），3个基本型子站（东平、平堤水库和气象塔）。

上述系统预计2023年9月份建成，2023年10月底前通过预验收，2024年10月通过最终验收。

研制中心辐射环境现场监督性监测子站信息见表8.3-5，子站设备配置见表8.3-6和表8.3-7。子站地理位置分布见图8.3-6。

表 8.3-1　流出物实验室和环境实验室主要仪器设备

房间	设备名称	数量	备注
209 房间 (流出物实验室)	马弗炉	1 台	型号：SX2-12-10N；精度：±3℃
	烘箱	1 台	型号：DHG-9145A
	实验室高纯水机	1 台	型号：GREEN-Q3-40T
	分析天平	2 台	型号：梅特勒 ME-204E；量程：0.1mg-220g
	移液枪	3 把	2μL-20μL、0.5mL-5mL、100μL-1000μL 各 1 把
	pH 计	2 台	型号：PHS-3E；精度：±0.001
	铀分析仪	1 台	检出下限：≤0.02ng/mL (以标准偏差三倍定义)； 量程：0~20ng/mL； 精密精度：＜5%。
	低本底 α、β 计数器	1 台	本底：α≤0.1cpm，β≤1cpm 效率：α≥37% @210Po；β≥45% @90Sr-90Y
222 房间 (气溶胶及废水处理间)	电热板	2 台	型号：MS10-H500-Pro；范围：50℃-500℃； 带磁力搅拌
	电热板	3 台	型号：HP500-Pro；范围：50℃-500℃
	通风柜	1 套	/
环境实验室	马弗炉	1 台	型号：SX2-12-10N；精度：±3℃
	烘箱	1 台	型号：DHG-9145A
	实验室高纯水机	1 台	型号：GREEN-Q3-40T
	分析天平	2 台	型号：梅特勒 ME-204E；量程：0.1mg-220g
	移液枪	3 把	2μL-20μL、0.5mL-5mL、100μL-1000μL 各 1 把
	pH 计	2 台	型号：PHS-3E；精度：±0.001
	铀分析仪	1 台	检出下限：≤0.02ng/mL (以标准偏差三倍定义)； 量程：0~20ng/mL； 精密精度：＜5%。
	低本底 α、β 计数器	1 台	本底：α≤0.1cpm，β≤1cpm 效率：α≥37% @210Po；β≥45% @90Sr-90Y
	电热板	2 台	型号：MS10-H500-Pro；范围：50℃-500℃； 带磁力搅拌
	电热板	3 台	型号：HP500-Pro；范围：50℃-500℃
	通风柜	1 套	/

表 8.3-2　中央站数据中心设备清单

序号	设备名称	厂家	型号	数量	备注
1	服务器	联想	ThinkSystem SR588 2U 机架式服务器	2 台	组双机热备
2	操作系统	微软	win server 2016 标准版	2 套	
3	数据库软件	微软	SQL SERVER 2019 标准版	1 套	
4	工作站	联想	ThinkStationP318 工作站	1 台	
5	杀毒软件	火绒	火绒终端安全管理系统 1.0 版	1 套	
6	大屏幕显示器	国产	65 寸液晶显示器	1 台	
7	交换机	华为	华为 S5720S-28P-LI-A	2 台	
8	防火墙	华为	华为 USG6525E-AC	1 台	
9	短信报警设备	四信	F2A16	1 个	
10	KVM 切换器	国产	1U 上架式	1 台	
11	NAS 存储设备	群晖	群晖（Synology）DS220+	1 台	
12	服务器机柜	图腾	G3.6042 42U	1 套	
13	UPS 电源	山特	山特 C3KS	1 套	
14	机柜 PDU	公牛	GNE-1080	4 个	
15	数据中心有线专线	运营商	2M MSTP 专线	1 条	和监测子站组专线局域网
16	数据中心无线专线	运营商	2M MPLS 专线	1 根	和监测子站组移动数据专网

表 8.3-3　环境γ辐射监测站布设情况及监测项目

名称	环境γ监测子站位置及配置			
	厂址东侧	厂址南侧	厂址西侧	厂址北侧
经纬度	E112°16′14.95″ N21°44′19.67″	E112°16′10.71″ N21°44′16.23″	E112°16′9.05″ N21°44′19.31″	E112°16′14.33″ N21°44′23.70″
γ辐射剂量率测量仪	√	√	√	√
雨量计	√	√	√	√
就地数据采集系统	√	√	√	√
通信、供电、防雷设备	√	√	√	√
大流量气溶胶采样器		√	√	
干湿沉降自动采样器		√	√	
10 米气象站（包括地面气象站，设风速、风向、温度观测设备）			√	

表 8.3-4　环境γ辐射监测站主要设备及性能指标

序号	设备名称	技术指标	数量
1	环境γ辐射监测器	能量补偿型 GM 管（RAMRD-02/RAMRD-02L） 测量范围：$l\times l0^{-2}$μGy/h~$l\times10^{7}$μGy/h 被测射线能量范围：50keV~3MeV 能量响应：≤30%@662keV(Cs-137)	4 台
2	雨量计	测量范围：雨强 0mm/min~4mm/min 分辨率：0.1mm 准确度：±0.4mm(≤10mm)，±4%(>10mm)	4 台
3	大流量气溶胶取样器 RAIS-1003	气溶胶过滤效率：≥99% 气溶胶最大取样流量：1400L/min 有效采样面积：不小于 400cm^2 气溶胶取样流量示值误差：不超过±2%	2 台
4	干湿沉降采样器	收集器口径：560mm±10mm 收集器面积：0.25m^2，深度 70cm 降水采样器面积：700cm^2，存水箱容积：20L 棚盖运转时间：50s 雨感器灵敏度：0.4mm/h 降雨量或 0.4mm 直径的雨滴	2 台
5	风速传感器	测量范围：0 m/s ~60m/s 分辨力：0.05m/s 最大允许误差：±（0.5+0.03V)m/s	1 台
6	风向传感器	测量范围：0°~360° 分辨力：3° 最大允许误差：±5°	1 台
7	温度传感器	测量范围：　-50℃ ~+50℃ 分辨力：　0.1℃ 最大允许误差：±0.2℃	1 台
8	气象数据采集器	数据的存储周期为 10 分钟或 1 小时，存储容量为不少千 96 小时的每小时一次的各个气象要素的瞬时值、平均值和极值等，存储内容为时间、各测量值、最高值和最低值等	1 套
9	监测子站主机	含就地数据采集系统	4 套
10	户外 LED 屏	尺寸 1950*730*220	4 台

表 8.3-5　监测子站信息表

序号	站点名称	方位	距离（km）	经纬度	布点原因	站点类型	备注
1	东平	W	5.1	N21°44’46” E112°12’37”	东平镇是 5km 范围内镇，代表了 W 方位人口比较密集的居民点	基本站	共用阳江核电监测子站
2	平堤水库	E	3.0	N21°44’32” E112°17’37”	E 方位有代表性的点位	基本站	共用阳江核电监测子站
3	气象塔	S	1.8	N21°43’29” E112°15’58”	S 方位有代表性的点位	基本站	共用阳江核电监测子站
4	允泊	SSW	2.3	N21°43’29” E112°15’10”	主导风向 NNE 的下风向； 与阳江核电 KRS 系统允泊站共址，可进行数据比对	增强站	共用阳江核电监测子站
5	新洲中学	N	12.7	N21°51’35” E112°16’49”	N 方位有代表性的点位	标准站	共用阳江核电监测子站
6	新村	WSW	0.7	N21°44’17” E112°15’41”	关键居民组点位	标准站	新建监测子站

表 8.3-6　子站设备配置一览表

子站类型	数量	设备配置					
		γ 剂量率仪	气象设备	数采及基础设施	大流量气溶胶取样器	干湿沉降收集器	超大流量气溶胶取样器
基本型	3	✓	✓	✓			
标准型	2	✓	✓	✓	✓	✓	
增强型	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓

表 8.3-7　新建监测子站配置

序号	设备名称	监测子站主要性能指标	数量
1	高压电离室	- 用于环境γ辐射空气吸收剂量率的自动连续在线监测。 - 环境温度：-25℃~+50℃ - 相对湿度：≤95% - 量程范围：10nGy/h~1Gy/h - 能量响应：60keV~3.0MeV 相对于 ^{137}Cs 参考γ辐射源响应之差＜30% - 具有联网功能	1
2	大流量气溶胶采样器	- 气溶胶流量：60-120m^3/h，有效采样面积：不小于 400cm^2 - 滤膜尺寸：>180mm x 230mm； - 具有联网功能，能实现启动、停止，定时采样远程控制功能 - 流量 30 至 60 m^3/h 可调，具备全年连续采样的能力	1
3	干湿沉降自动采集器	- 采样器：采用双桶模式，每个采集桶的采样面积大于 0.25m^2，深度大于 30cm。雨水采样桶容量：20L±5%，能防止沉降物随水从盘中溢出。采样器上口离基础面 1.5m - 感雨器灵敏度：＜1mm/min - 感雨时间：＜15s - 收集器直径：560mm±3% - 收集器深度：3mm±3% - 沉降物与降雨交叉采集、存储，即下雨时沉降物采集桶封闭，只采集雨水、雨量等；不下雨时，雨水采集桶封闭，只采集空气中沉降物	1
4	感雨计	- 测量范围：（0~10）mm/min； - 分辨率：0.2mm；	1
5	雨量计	- 测量范围：（0~4）mm/min；分辨率：0.1mm； - 准确度：±0.4mm（≤10mm），±4%mm（＞10mm）	1
6	风向仪	- 风向：0-360°	1
7	风速仪	- 风速：0-60m/s	1
8	温度计	- 温度：负 40-80℃	1
9	气压仪	- 大气压：10-1100hpa	1
10	湿度计	- 湿度：0-100%RH	1

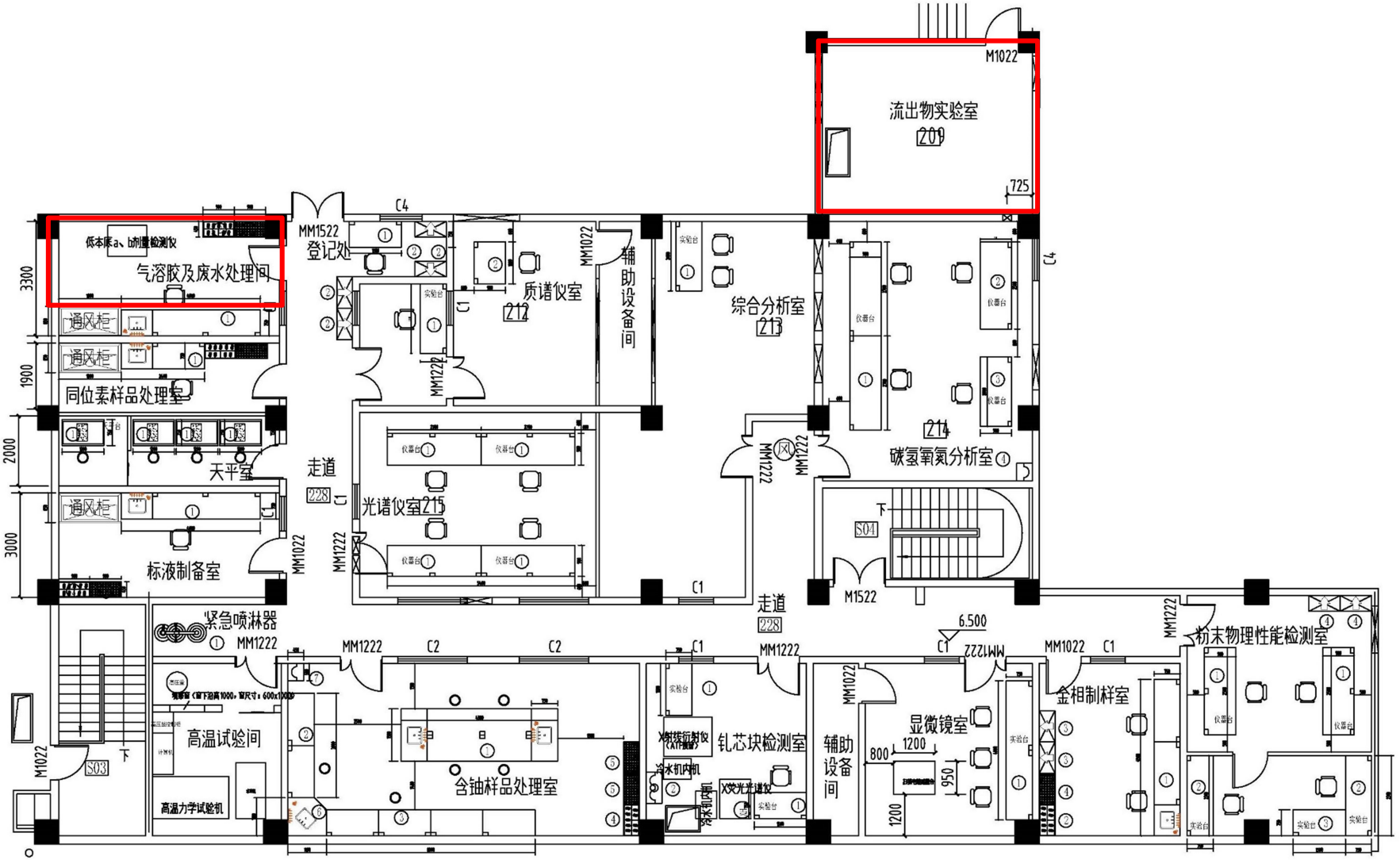


图 8.3-1　流出物实验室厂房平面位置示意图

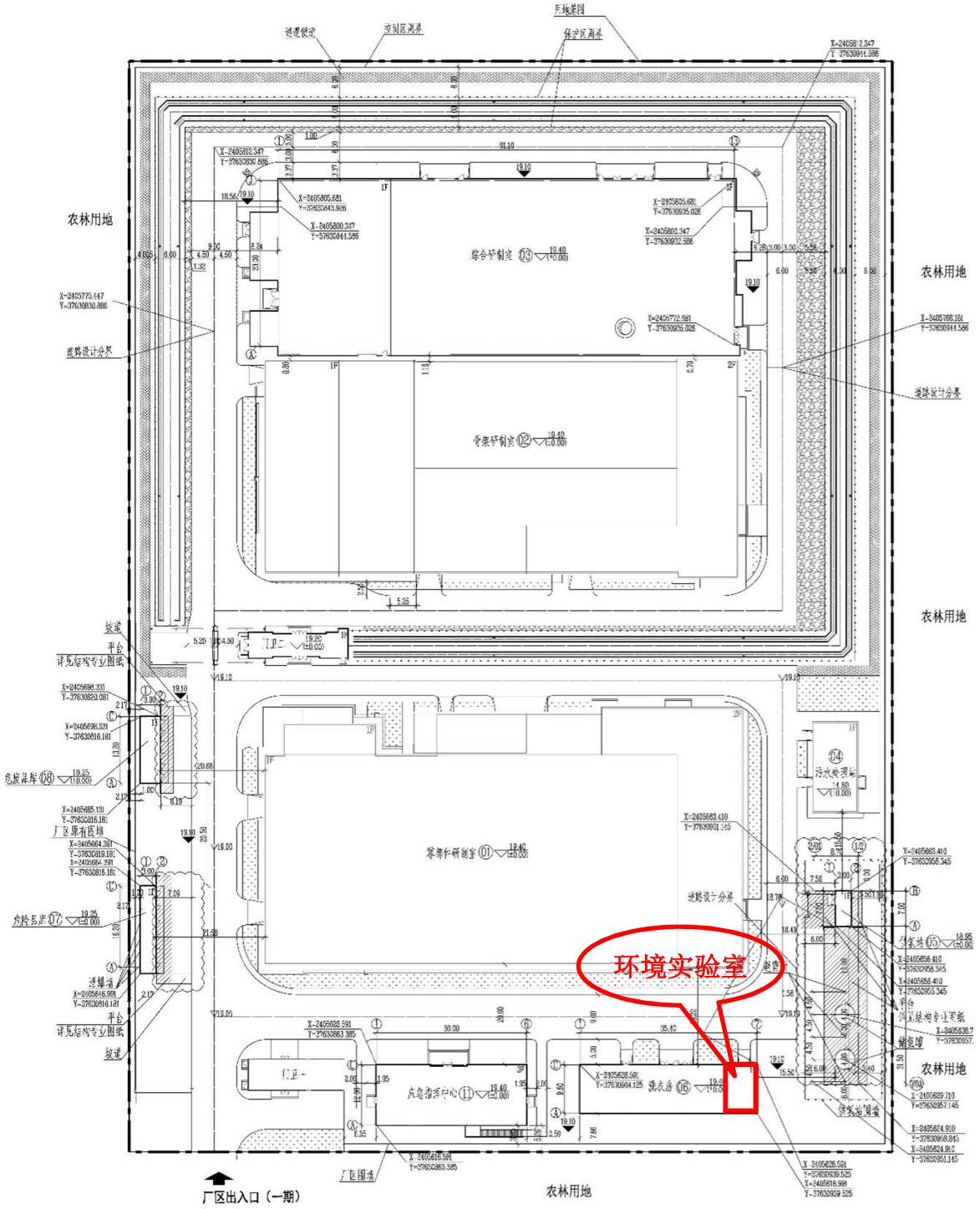


图 8.3-2　环境实验室厂区位置平面示意图

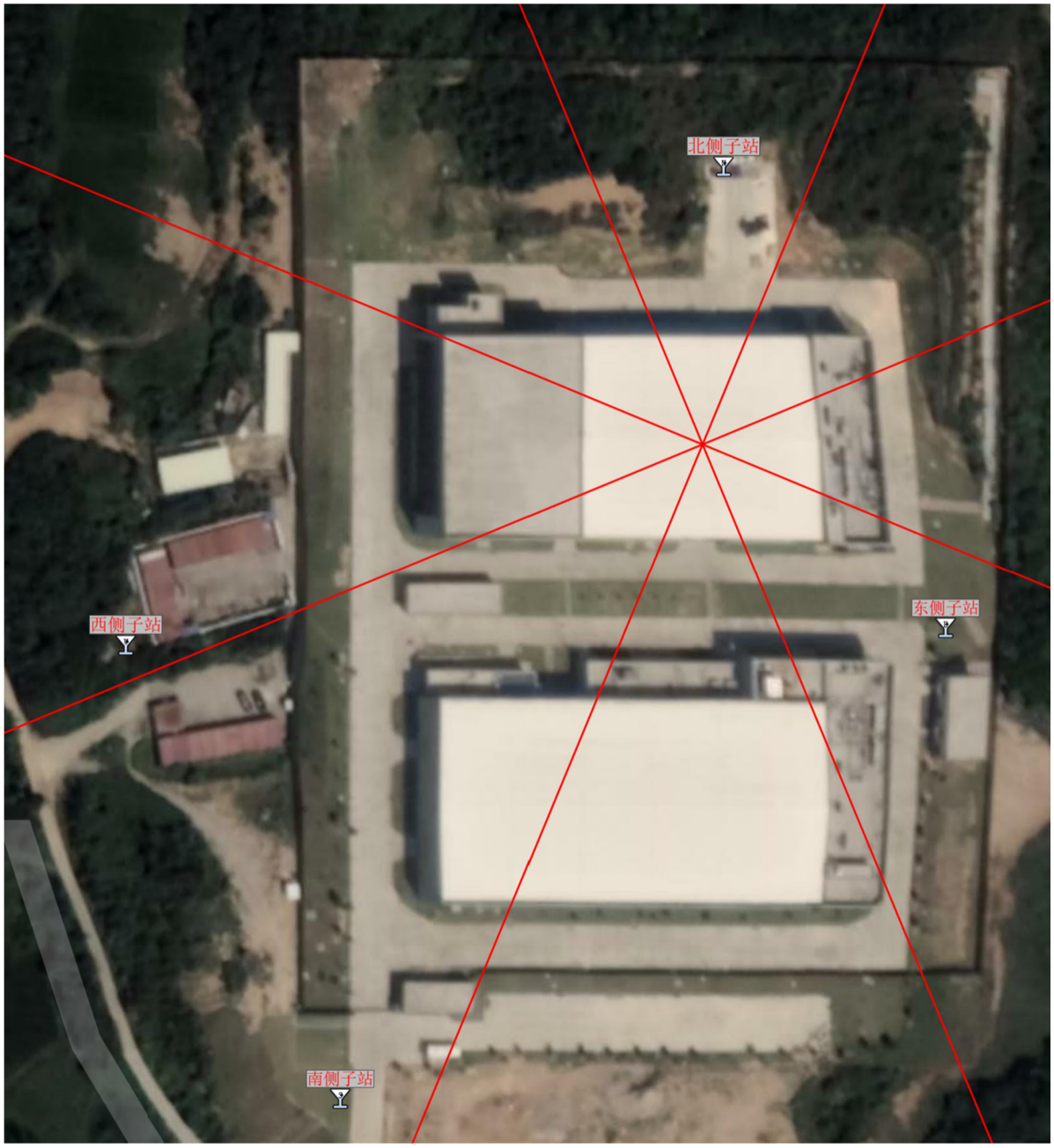


图 8.3-3　监测子站位置示意图



图 8.3-4　监督性监测系统子站分布图

8.4 质量保证

为了保证研制中心流出物监测和环境监测设备的可靠性，确保流出物监测和环境监测数据的精确性、可比性，依据国家有关标准，研制中心制订了《流出物和环境监测质量保证大纲》。

8.4.1 质量管理

质量保证体系是环境和流出物监测工作管理水平的集中表现，它对从外部到内部，从组织机构设立到人员素质保证，从工作环境和测试方法到工作方法标准和管理制度等各种可能影响监测质量的活动进行严格和有效地控制。研制中心环境和流出物监测质量保证体系见图 8.4-1，环境监测和流出物监测质量保证文件目录见表 8.4-1。

8.4.1.1 组织机构

铀业公司安全质量环保部统筹协调本项目的质量保证相关工作的实施，具体工作由安健环管理模块实施。安健环管理模块设置了以下岗位：

— 安健环管理高级工程师

负责监督质量保证措施的有效实施；为环境和流出物监测质量保证工作的开展提供足够资源；监督岗位人员的培训和岗位考核工作；监督和检查环境和流出物监测岗位责任的履行。

— 安健环管理工程师

负责统筹安排研制中心环境和流出物监测工作，负责环境和流出物监测质量保证和质量控制工作的监督、管理及实施。

— 监测（作业）人员

根据安健环管理工程师的安排，及时完成环境和流出物排放监测相关工作。熟悉技术程序，严格执行环境和流出物监测质量控制措施，完成流出物工作岗位上的取样、测量和分析任务。

8.4.1.2 人员的资格与培训

研制中心建立并执行《实验室人员管理程序》，规定了实验室（含环境和流出物）各个岗位要求、培训要求和授权流程，所有参加取样、监测分析、数据统计和审核的

人员均须按培训计划的要求，参加相应的理论和实践培训，培训合格后经授权上岗。

8.4.1.3 数据审查制度

研制中心建立并执行《实验室检测工作控制程序》、《实验室结果报告管理程序》和《实验室记录管理程序》，对流出物和环境实验室的工作过程以及记录、结果报告等内容实施控制。

1）数据审查：实验过程记录和原始测量数据，严格执行“三级”检查制，即测量、校核、审核。在进行分析检测时，检测人员应严格按照分析测量程序规定，真实、准确、完整地记录分析测量过程中的相关信息。在对原始数据进行必要的整理之前，逐一检查原始记录是否按规定的要求填写正确。校核和审核人员根据程序规定，对检测的全流程记录和结果进行确认、校核和审核。

2）异常情况的处理：如有异常情况，应严格按照建立的《不符合工作控制程序》中的相关规定进行处理。

8.4.2 质量保证计划

为了保证流出物和环境监测工作的质量，质保工作必须从样品采集、运输、处理、测量、分析、保存等环节，以及文件控制、量值溯源、制订质量保证大纲、样品比对等方面展开。

8.4.2.1 环境监测质量保证计划

8.4.2.1.1 内部质量控制

（1）环境监测方案

研制中心辐射环境监测工作严格按照经审批认可的《环境监测大纲》执行，定期对大纲进行修订，保证大纲与实际情况相符。

（2）样品采集、运输、保存

样品采集的代表性和可比性是整个监测工作的起点，也是关系到监测数据能否客观反映核电站运行对环境影响的关键。研制中心建立并执行《采/抽样控制程序》，对样品的采集、运输和保存进行了规范性要求，建立并执行《样品处置程序》，对样品的接收、标识、流转、储存条件、期限等内容进行了规范性要求，采样人员和样品管

理人员必须按照《采/抽样控制程序》和《样品处置程序》的相关要求进行采样和样品管理工作。

环境样品必须由负责对应实验的环境监测人员来接收，并填写好样品交接单。存放到相应的环境实验室或者贮存室，样品应按照类别分开放置，防止交叉污染。为了准确地测量样品，在采样的过程中应详细的记录与采样相关的参数。

（3）实验室分析测量的质量控制

— 样品预处理与分析

所有样品预处理和分析测量必须采用已出版且最新的程序，任何操作人员不得擅自修改常规采用的方法和程序，如有修改的必要，应先经研究确定，修改程序生效后，再按新方法执行。

— 质量控制样品

环境实验室分析质控样品数不少于 10%。

— 仪器设备和标准溶液的管理

研制中心建立并执行《计量溯源性管理程序》和《标准溶液配置和标定管理程序》。仪器设备和标准溶液必须按程序规定溯源至国家计量标准。标准溶液必须准确配制，并确保在使用期限内使用。对于采购、领用的仪器设备、标准溶液、试剂等，应进行验收检查，对于使用中的试剂，设置开封标签，并标明使用有效期，确保不使用过期或不合格产品。

— 防止样品交叉污染

环境样品前处理中采取严格措施防止交叉污染。在事故情况下，按照实验室样品放射性级别来分别存放样品，将低放射性活度样品和高放射性活度样品分开存放，测量时需要将探头用防沾污塑料布包裹住探头，防止探头沾污。

（4）数据处理质量控制

— 异常数据处理

对于偏离正常值异常结果，应及时向主管报告，进行核查、复测、分析原因。

发现测量数据有疑问或异常时，应及时分析查找原因、确认仪器有无异常，并进行独立验证（复测或重新取样等），证实数据无误后再提交或上报。

数据的记录：每个样品从采样、预处理、分析测量到数据处理过程要有清楚、详细、准确的记录，记录不得随意涂改。

— 数据的检查

原始测量数据和监测记录，严格执行“三级”审查制，即记录、校核、审核，其中任何两级不能为同一人。经各级检查签字后，将测量记录和报告及时归档。

— 数据的保存

对于所有的监测记录和质量保证编制文件均应妥善保存，保存期限不少于研制中心退役后十年。对于环境监测结果将永久保存。

（5）内部比对

— 不定期地组织实验室内部比对工作。

— 不定期发放环境样品（盲样），对实验室工作人员考核。

8.4.2.1.2 外部质量控制

- 尽可能参加国内外机构组织的实验室之间比对；比较鉴别本实验室的测量误差是否在合格范围内，从中发现可能存在的系统误差，及时采取措施加以改进，确保测量的准确性；
- 加强与地方环保部门之间的技术交流，不定期地与地方环保部门的实验室进行样品比对；
- 加强与其他核电环境监督部门之间的技术交流，不定期地与其他核电环境实验室进行样品比对；
- 每年KRS系统与辐射环境现场监督性监测系统的监测站进行比对测量。

8.4.2.2 流出物监测质量保证计划

8.4.2.2.1 内部质量控制

（1）流出物排放的取样规定

- 对所有流出物排放的取样，应严格按照相应的取样程序要求执行；
- 样品取好后，及时贴上标签，记录和标识要清晰、完整。

（2）流出物样品制样与测量规定

- 取回样品应及时测量；测量前，首先确认仪器处于可用状态；
- 所有样品预处理和分析测量必须采用已出版且最新的程序，任何操作人员不得擅自修改常规采用的方法和程序，如有修改的必要，应先经研究确定，修

改程序生效后，再按新方法执行；

- 确保平行样数量大于 10%；

（3）流出物样品处理规定

- 流出物样品测量完毕后需暂存，待负责人完成数据审核且无特殊要求后再进行处理。

（4）测量数据记录规定

测量数据的记录严格按照《记录管理程序》执行：

- 在记录测量数据前，先进行自查，确认数据无误后，在原始数据表格内做好记录；
- 修改错误数据时，在原数字上画一条横线表示删除，同时应保留数据字迹清晰可辨，并签注修改人姓名及修改日期；
- 当需要另行整理或誊抄原始记录时，应保留对应的原始记录；
- 检测工作完成后，应由原始记录审核人对原始记录进行复核，检查记录是否完整、正确，并签字负责；检测结果或报告在发出前，报告审核人员对报告内容进行审核，检查内容是否完整、正确。

（5）测量项目正常值参考范围及预警值

- 研制中心正常运行以后，进行测量数据统计，给出流出物监测各项目的正常值参考范围。

（6）测量数据的检查及异常情况处理

- 为确保流出物分析数据准确、无误，数据校核或审核人员需仔细审查所有数据，并对其签字后的数据负责；流出物数据统计报表实行三级检查，各级对其签字后的数据负责。

（7）仪器性能定期测试

用正常工作状态下的性能检验数据，对 α/β 测量仪的本底、效率值做仪器质控图，若仪器本底、效率超过质控图的质控范围，应查明原因，及时采取措施，确保测量仪器处于正常的工作状态。

（8）仪器刻度

每年对流出物实验室各类测量仪器进行一次效率刻度。

（9）内部比对

- 不定期地组织实验室内部比对工作；
- 不定期发放流出物样品（盲样），对实验室工作人员考核。

8.4.2.2.2 外部质量控制

- 尽可能参加国内外机构组织的实验室之间比对；比较鉴别本实验室的测量误差是否在合格范围内，从中发现可能存在的系统误差，及时采取措施加以改进，确保测量的准确性；
- 加强与地方环保部门之间的技术交流，不定期地与地方环保部门的实验室进行样品比对；
- 加强与其他核电流出物监测部门之间的技术交流，不定期地与其他核电流出物实验室进行样品比对。

表 8.4-1 流出物和环境监测质量保证文件目录

工作指导文件		
1	《流出物监测大纲》	
2	《环境监测大纲》	
3	《环境监测和流出物监测质量保证大纲》	
程序文件		
1	《人员管理程序》	
2	《检测工作控制程序》	
3	《设施和环境条件控制程序》	
4	《内务管理程序》	
5	《仪器设备控制程序》	
6	《标准物质管理程序》	
7	《期间核查程序》	
8	《计量溯源性管理程序》	
9	《采/抽样控制程序》	
10	《样品处置程序》	
11	《不符合工作控制程序》	
12	《数据控制和信息管理程序》	
13	《文件控制程序》	
14	《记录管理程序》	
15	《内部审核程序》	
16	《标准溶液配置和标定管理程序》	
17	《放射源管理程序》	
作业指导书		
类别	序号	文件名称
采样	1	《放射性气溶胶采样作业指导书》
	2	《沉降物采样作业指导书》
	3	《土壤、沉积物等类似固体采样作业指导书》
	4	《水质采样作业指导书》
	5	《植物采样作业指导书》
	6	《动物采样作业指导书》
	7	《气态流出物采样作业指导书》
	8	《液态流出物采样作业指导书》
	9	《放射性固体废物采样作业指导书》
	10	《洗衣废液采样作业指导书》
环境和流出物监测	1	《X-γ 辐射剂量率测量作业指导书》
	2	《空气中 U 测量作业指导书》
	3	《空气中总 α 测量作业指导书》
	4	《空气中总 β 测量作业指导书》
	5	《沉降物中 U 测量作业指导书》
	6	《沉降物中总 α 测量作业指导书》
	7	《沉降物中总 β 测量作业指导书》

	8	《土壤、沉积物等固体中总 α 测量作业指导书》
	9	《土壤、沉积物等固体中总 β 测量作业指导书》
	10	《土壤、沉积物等固体中 U 测量作业指导书》
	11	《水中总 α 测量作业指导书》
	12	《水中总 β 测量作业指导书》
	13	《水中 U 测量作业指导书》
	14	《海水中去 ^{40}K 总 β 测量作业指导书》
	15	《生物中 U 测量作业指导书》
	16	《生物中总 α 测量作业指导书》
	17	《生物中总 β 测量作业指导书》
	18	《放射性固体废物中 U 测量作业指导书》
	19	《组件产品表面污染测量作业指导书》
仪器设备操作规程		
1	《低本底 α/β 测量仪操作规程》	
2	《微量铀分析仪操作规程》	
3	《气象与辐射环境自动监测站日常巡检手册》	

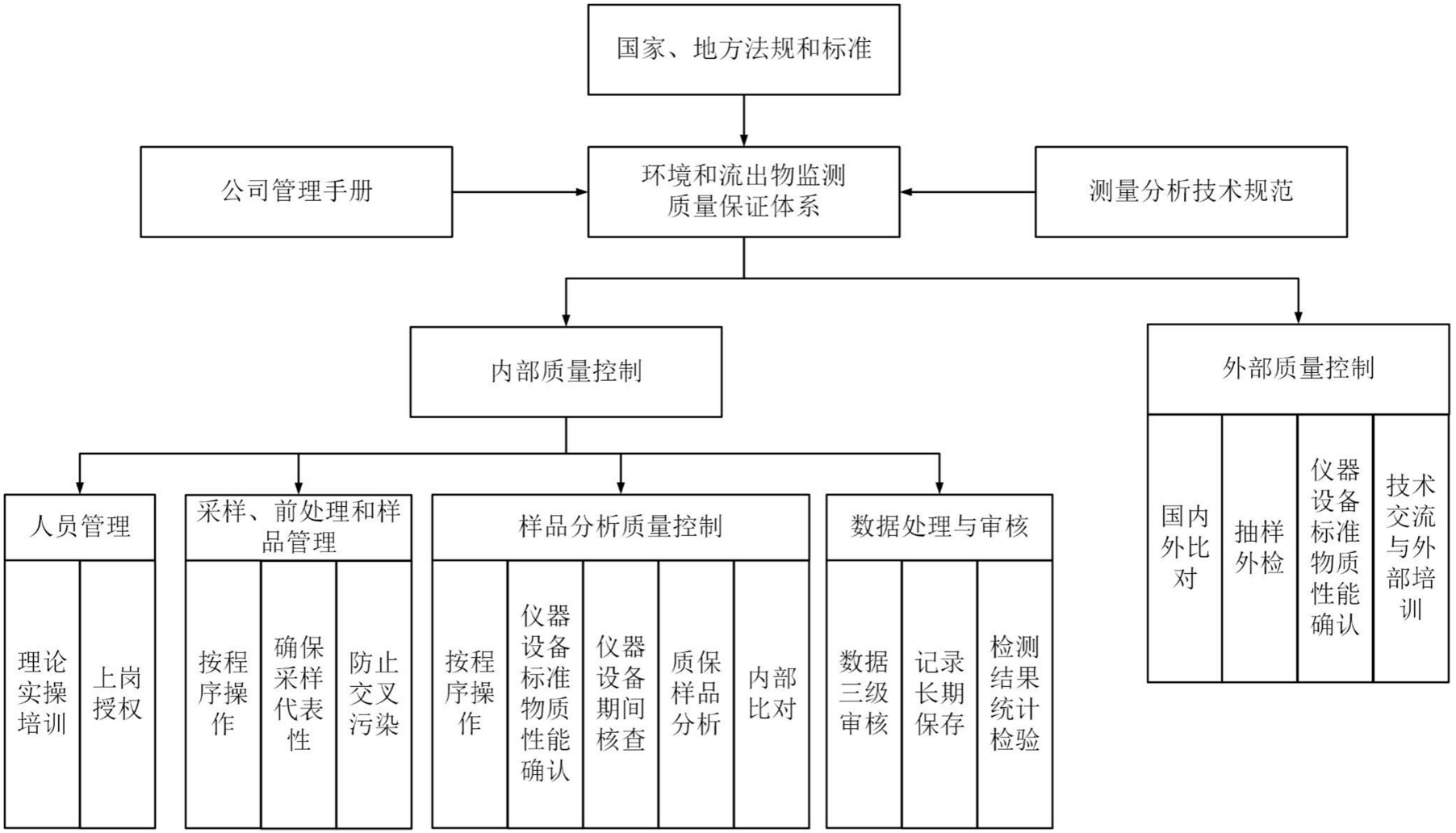


图 8.4-1 研制中心流出物和环境监测质量保证体系

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（33333.7m^2），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

本工程的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），通过烟囱排入大气。排放点位于综合研制室（03 子项）屋顶，高度 40m、出口内径 2m、排风量 130000m^3/h、出口速率 11.5m/s。

本工程放射性气载流出物申请排放量为 1.14×10^7Bq/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 m^3/a，金相及理化分析废液 12m^3/a，地面疏水 6m^3/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》（GB5749-2022）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。此外，热淋浴、洗衣废液及空调冷凝水经监测后如总 α≥0.5Bq/L，也将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。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。

（4）非放射性废物

本项目运行产生的非放射性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阳江核电污水管网，通过阳江核电生活污水处理设施处理后排放。非放射性固废将在研制中心内暂存，定期交有资质处置单位外运处置。

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排放。

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 处的光星村，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 2.00×10^{-7}Sv/a，占本工程剂量管理目标值（0.01mSv/a）的 2%，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，直接排放到室内或室外。

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）的相关要求后排入阳江核电污水管网，通过阳江核电生活污水处理设施处理后排放。

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

发生物料洒落事故、钆芯块烧结炉氢气爆炸事故、工艺试验炉氢气爆炸事故、连续推舟氢气爆炸事故情况下，厂区边界上造成的公众个人（成人）最大有效剂量分别

为 4.61×10^{-8}Sv、4.89×10^{-7}Sv、3.22×10^{-8}Sv、1.89×10^{-7}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 4.12×10^{-4}Sv，由瞬发 γ、中子所致有效剂量为 3.52×10^{-3}Sv，总计为 3.93×10^{-3}Sv，满足 5mSv 的评价标准。临界事故持续时间，厂界处公众个人（成人）由惰性气体和碘受照造成的甲状腺剂量最大值为 7.88×10^{-4}Sv，NNE 方位 800m 处公众个人（成人）由惰性气体和碘受照造成的甲状腺剂量为 2.80×10^{-3}Sv，满足 10mSv 的评价标准。

综上所述，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

在本项目运行期间在厂址半径 10km 范围内设置环境监测点，监测内容包括：γ 辐射空气吸收剂量率瞬时和连续监测、气溶胶和沉降物、表层土壤和沉积物、地表水和地下水、陆生和海样生物中的总 U 及 γ 核素。

（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，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 结论

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。

9.8 承诺

（1）由于本项目正在开展各工艺设备的空载调试和公辅系统的投运调试（A 阶段调试），尚未完成贫铀物料调试（B 阶段调试），建设单位将在调试完成后，对本项目相关废物处理系统的运行效能进行复核，以确保各环保设施满足本项目污染防控要求。

（2）根据现有设计资料，本项目运行预期产生的空调冷凝水在水量及水质方面存在较大不确定性，设计单位应根据调试结果，依据保守原则确定本项目空调冷凝水的产生量，进一步明确其收集、处理、厂内贮存及排放前监测方式，并据此确定厂外运输排放内容。

（3）本项目已自建 10 米气象桅杆并投入运行，但尚未获取到足够时长的气象数据，建设单位将关注气象观测系统运维，以持续获取厂址现场有效气象数据。

（4）本项目工艺废水和生活污水分别采用槽车运输和管线输送的方式送入阳江核电相应设施进行处理或排放，建设单位将采取必要管理手段，保证上述废物运输方式的安全可靠。

附件 A 本次环境影响评价相关文件

CGN	文件编号	019-GN-A-2021-RU-0114
	收文日期	2021年9月7日

中华人民共和国生态环境部

环审〔2021〕74号

关于中广核先进燃料研制中心环境影响报告书（建造阶段）的批复

中广核铀业发展有限公司：

你公司《关于恳请审查〈中广核先进燃料研制中心环境影响报告书〉（建造阶段）的请示》（广核铀〔2020〕18号）收悉。经研究，批复如下。

一、本项目是在工程试验中心项目基础上新建综合研制室（用于芯块贮存、装配，燃料棒生产以及理化分析等）、供氢站、危险品库等设施，改造已有的燃料棒和组件组装实验室及零部件研制实验室，以满足STEP系列燃料组件和ATF燃料组件科研试制需求，年操作量不大于15tU（以金属铀计）。

你公司《中广核先进燃料研制中心环境影响报告书（建造阶段）》（以下简称《报告书》）的格式与内容满足相关法规标准的要求，使用的评价模式和参数合理，评价结论可信。《报告书》对源项的描述清楚，项目环保措施可行。在落实《报告书》提出的各项污染防治措施后，正常运行和事故工况下对环境的影响是可以接受的。我部同意你公司按照《报告书》所列建设项目的性质、地点、规模以及采取的环境保护措施开展工作。

二、项目建设必须严格执行环境保护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的环境保护“三同时”制度。项目竣工后，应按照有关规定进行竣工环境保护验收。

三、我部委托广东省生态环境厅配合生态环境部华南核与辐射安全监督站，负责该项目的环境保护监督检查工作。

四、你公司应在收到本批复后20个工作日内，将批准后的环境影响报告书分送生态环境部华南核与辐射安全监督站和广东省生态环境厅。

中华人民共和国生态环境部

生态环境部

2021年9月5日

（此件社会公开）

抄　送：广东省生态环境厅，生态环境部华南核与辐射安全监督站、核与辐射安全中心。

生态环境部办公厅　　2021 年 9 月 6 日印发

阳江市生态环境局阳东分局

关于中广核阳江元件厂非放射性环境影响评价执行有关标准的复函

中广核铀业发展有限公司：

你公司《关于恳请同意中广核阳江元件厂非放射性环境影响评价执行有关标准的函》（广核铀函〔2022〕94号）已收悉，经研究，现函复如下：

一、建议将项目非放射性污染物排放标准中的项目施工期大气污染物排放标准改为执行《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）第二时段无组织监控浓度限值要求。

二、我局原则上同意来文中选用的环境质量评价标准和其他非放射性污染物排放标准（除施工期大气污染物排放标准之外的），同时建议在开展项目环境影响评价过程中要结合项目生产废水的特性以及废水的排放去向进一步论证后确定水污染物的排放标准。

阳江市生态环境局阳东分局

2022年10月28日

拍摄文件快

广核铀函〔2022〕94号附件

中广核阳江元件厂环境影响评价拟执行的非放射性评价标准

一、环境质量评价标准

1. 厂址区域环境空气

质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级浓度限值；氨气执行《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018）中附录表D.1其他污染物空气质量浓度参考限值。

2. 厂址区域海水水质

按排放口附近近岸海域环境功能区划的要求执行《海水水质标准》（GB3097-1997）相应标准。

3. 厂址区域声环境

执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的2类声环境功能区环境噪声限值，其中声环境保护目标执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的1类声环境功能区环境噪声限值。

二、非放射性污染物排放标准

1. 项目运营和施工期间生活污水和生产废水水质

执行《水污染物排放限值》(DB44/26-2001)第二时段一级标准。

2. 项目运营期间大气污染物排放

执行《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）第二时段二级

排放标准，施工期大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的无组织排放监控浓度限值。

3. 项目运营期间厂界环境噪声

执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中2类排放限值：施工期场界噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）规定的排放限值。

4. 项目运营和施工期间一般固体废物的处置和贮存

执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020），危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）及其修改单中相关要求，并交由有资质单位处置。

拍摄文件快照

编号：2022-6047（核）

广东省生态环境厅

粤环审〔2022〕306号

广东省生态环境厅关于中广核铀业发展有限公司核技术利用扩建项目环境影响报告表的批复

中广核铀业发展有限公司：

你单位报批的《核技术利用建设项目环境影响报告表》（以下简称报告表，编号为22DLFSHP012）等材料收悉。经研究，批复如下：

一、你单位核技术利用扩建项目位于广东省阳江市阳东区东平镇瓦北村中广核铀业发展有限公司厂区内。项目主要内容为：在厂区综合研制车间二层的燃料棒检测间内安装使用1台工业X射线探伤机（XYG-3205/2型，最大管电压320千伏，最大管电

流5毫安，设备带自屏蔽体，属II类射线装置）用于燃料棒锆合金焊缝的无损探伤。探伤类型属于探伤室探伤。

二、广东省环境辐射监测中心组织专家对报告表进行了技术评审，出具的评估意见认为，报告表有关该项目建设可能造成的环境影响分析、预测和评价内容，以及提出的辐射安全防护措施合理可行，环境影响评价结论总体可信。你单位应按照报告表内容组织实施。

三、项目在建设和运行中应严格落实报告表提出的各项辐射安全防护措施以及安全责任，确保辐射工作人员有效剂量约束值低于5毫希沃特/年，公众有效剂量约束值低于0.25毫希沃特/年。

四、项目建设应严格执行配套建设的环境保护设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的环境保护“三同时”制度。项目建成后，你单位应按规定程序向生态环境部申领辐射安全许可证。

广东省生态环境厅

2022年11月30日

公开方式：主动公开

抄送：生态环境部，阳江市生态环境局，广东省环境辐射监测中心，广东智环创新环境科技有限公司。

广东省生态环境厅办公室　　2022年11月30日印发

— 2 —

拍摄文件快照

关于中广核先进燃料研制中心项目液态放射性流出物排放的说明

为满足中广核先进燃料研制中心项目建设的环境保护要求，铀业公司拟将研制中心产生的经处理达标的液态放射性流出物通过阳江核电进行排放，阳江核电同意上述排放方式，铀业公司与阳江核电承诺按照国家相关法律法规要求办理相关安全和环保手续。

中广核铀业发展有限公司

年 月 日

阳江核电有限公司

2016年10月26日

拍摄文件快照

关于中广核先进燃料研制中心项目

非放废水处理排放的说明

为满足中广核先进燃料研制中心项目运行期间的环境保护要求，铀业公司拟将本项目产生的经处理达标后的非放废水通过阳江核电进行处理排放，阳江核电同意上述处理排放方式，铀业公司和阳江核电承诺按照国家相关法律法规要求办理相关安全和环保手续。

中广核铀业发展有限公司

2021年3月15日

阳江核电有限公司

2021年3月15日

附录 B　厂址周围部分环境数据

B.1　厂址周围居民的食物消费数据

B.2　厂址周围农副业生产数据

B.1 厂址周围居民的食物消费数据

表

表 B.1-1 厂址评价区范围内各子区居民人均粮食年消费量
表 B.1-2 厂址评价区范围内各子区居民人均蔬菜年消费量
表 B.1-3 厂址评价区范围内各子区居民人均肉类年消费量
表 B.1-4 厂址评价区范围内各子区居民人均蛋类年消费量
表 B.1-5 厂址评价区范围内各子区居民人均水果年消费量
表 B.1-6 厂址评价区范围内各子区居民人均水产品年消费量
表 B.1-7 厂址评价区范围内各子区居民人均奶类年消费量
表 B.1-8 厂址评价区范围内各子区居民消费本子区内粮食份额
表 B.1-9 厂址评价区范围内各子区居民消费外子区内粮食份额
表 B.1-10 厂址评价区范围内各子区居民消费本子区内蔬菜份额
表 B.1-11 厂址评价区范围内各子区居民消费外子区内蔬菜份额
表 B.1-12 厂址评价区范围内各子区居民消费本子区内肉类份额
表 B.1-13 厂址评价区范围内各子区居民消费外子区内肉类份额
表 B.1-14 厂址评价区范围内各子区居民消费本子区内蛋类份额
表 B.1-15 厂址评价区范围内各子区居民消费外子区内蛋类份额
表 B.1-16 厂址评价区范围内各子区居民消费本子区内水产品份额
表 B.1-17 厂址评价区范围内各子区居民消费外子区内水产品份额
表 B.1-18 厂址评价区范围内各子区居民消费本子区内水果份额
表 B.1-19 厂址评价区范围内各子区居民消费外子区内水果份额
表 B.1-20 厂址评价区范围内各子区居民消费本子区内奶类份额
表 B.1-21 厂址评价区范围内各子区居民消费外子区内奶类份额

表 B.1-1　厂址评价区范围内各子区居民人均粮食年消费量

距离：km；消费量：kg

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	153.5	—	—	153.5	112.78	106.61
NNE	153.5	—	—	153.5	153.5	112.78
NE	—	—	—	—	—	88.67
ENE	—	—	—	—	—	112.78
E	—	—	—	—	112.78	112.78
ESE	—	—	153.5	—	112.78	111.14
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	153.5	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	153.5	153.5	153.5	—	—
WSW	153.5	—	153.5	—	—	—
W	153.5	—	—	152.89	—	—
WNW	—	153.5	153.5	—	153.5	112.78
NW	—	153.5	153.5	—	153.5	109.19
NNW	—	—	—	—	153.5	123.34

表 B.1-2　厂址评价区范围内各子区居民人均蔬菜年消费量

距离：km；消费量：kg

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	112.5	—	—	112.5	104.97	103.97
NNE	112.5	—	—	112.5	105.04	104.44
NE	—	—	—	—	—	100.68
ENE	—	—	—	—	—	105.04
E	—	—	—	—	105.04	105.04
ESE	—	—	112.5	—	105.04	105.68
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	112.5	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	112.5	112.5	112.41	—	—
WSW	112.5	—	112.5	—	—	—
W	112.5	—	—	111.86	—	—
WNW	—	112.5	112.5	112.5	102.99	104.89
NW	—	112.5	112.5	—	104.67	104.21
NNW	—	—	—	—	104.63	105.24

表 B.1-3　厂址评价区范围内各子区居民人均肉类年消费量

距离：km；消费量：kg

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	65.1	—	—	65.1	41.61	41.47
NNE	65.1	—	—	65.1	41.62	41.54
NE	—	—	—	—	—	41.01
ENE	—	—	—	—	—	41.62
E	—	—	—	—	41.62	41.62
ESE	—	—	65.1	—	41.62	41.71
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	65.1	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	65.1	65.1	64.58	—	—
WSW	65.1	—	65.1	—	—	—
W	65.1	—	—	61.55	—	—
WNW	—	65.1	65.1	65.1	41.33	41.6
NW	—	65.1	65.1	—	41.57	41.5
NNW	—	—	—	—	41.56	41.65

表 B.1-4　厂址评价区范围内各子区居民人均蛋类年消费量

距离：km；消费量：kg

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	17.70	—	—	17.70	6.97	7.06
NNE	17.70	—	—	17.70	6.96	7.02
NE	—	—	—	—	—	7.37
ENE	—	—	—	—	—	6.96
E	—	—	—	—	6.96	6.96
ESE	—	—	17.70	—	6.96	6.9
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	17.70	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	17.70	17.70	18.53	—	—
WSW	17.70	—	17.70	—	—	—
W	17.70	—	—	23.42	—	—
WNW	—	17.70	17.70	17.70	7.16	6.97
NW	—	17.70	17.70	—	7.00	7.04
NNW	—	—	—	—	7.00	6.94

表 B.1-5　厂址评价区范围内各子区居民人均水果年消费量

距离：km；消费量：kg

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	48.80	—	—	48.80	27.20	30.00
NNE	48.80	—	—	48.80	27.01	28.67
NE	—	—	—	—	—	39.14
ENE	—	—	—	—	—	27.01
E	—	—	—	—	27.01	27.01
ESE	—	—	48.80	—	27.01	25.23
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	48.80	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	48.80	48.80	49.27	—	—
WSW	48.80	—	48.80	—	—	—
W	48.80	—	—	52.02	—	—
WNW	—	48.80	48.80	48.80	32.72	27.43
NW	—	48.80	48.80	—	28.05	29.32
NNW	—	—	—	—	28.16	26.47

表 B.1-6　厂址评价区范围内各子区居民人均水产品年消费量

距离：km；消费量：kg

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	94.7	—	—	94.7	19.82	20.33
NNE	94.7	—	—	94.7	19.79	20.09
NE	—	—	—	—	—	21.98
ENE	—	—	—	—	—	19.79
E	—	—	—	—	19.79	19.79
ESE	—	—	94.7	—	19.79	19.47
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	94.7	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	94.7	94.7	94.7	—	—
WSW	94.7	—	94.7	—	—	—
W	94.7	—	—	94.7	—	—
WNW	—	94.7	94.7	94.7	20.82	19.87
NW	—	94.7	94.7	—	19.98	20.21
NNW	—	—	—	—	20.00	19.69

表 B.1-7　厂址评价区范围内各子区居民人均奶类年消费量

距离：km；消费量：kg

方位＼距离	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	9.40	—	—	9.40	4.06	5.10
NNE	9.40	—	—	9.40	3.99	4.61
NE	—	—	—	—	—	8.52
ENE	—	—	—	—	—	3.99
E	—	—	—	—	3.99	3.99
ESE	—	—	9.40	—	3.99	3.32
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	9.40	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	9.40	9.40	10.56	—	—
WSW	9.40	—	9.40	—	—	—
W	9.40	—	—	17.38	—	—
WNW	—	9.40	9.40	9.40	6.12	4.15
NW	—	9.40	9.40	—	4.38	4.85
NNW	—	—	—	—	4.42	3.79

表 B.1-8　厂址评价区范围内各子区居民消费本子区粮食份额

距离：km；份额：无量纲

方位＼距离	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	1.00	—	—	1.00	1.00	1.00
NNE	1.00	—	—	1.00	1.00	1.00
NE	—	—	—	—	—	1.00
ENE	—	—	—	—	—	1.00
E	—	—	—	—	1.00	1.00
ESE	—	—	1.00	—	1.00	1.00
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	1.00	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	1.00	1.00	1.00	—	—
WSW	1.00	—	1.00	—	—	—
W	1.00	—	—	0.07	—	—
WNW	—	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
NW	—	1.00	1.00	—	1.00	1.00
NNW	—	—	—	—	1.00	1.00

表 B.1-9　厂址评价区范围内各子区居民消费外子区内粮食份额

距离：km；份额：无量纲

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	0.00	—	—	0.00	0.00	0.00
NNE	0.00	—	—	0.00	0.00	0.00
NE	—	—	—	—	—	0.00
ENE	—	—	—	—	—	0.00
E	—	—	—	—	0.00	0.00
ESE	—	—	0.00	—	0.00	0.00
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	0.00	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	0.00	0.00	0.00	—	—
WSW	0.00	—	0.00	—	—	—
W	0.00	—	—	0.93	—	—
WNW	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NW	—	0.00	0.00	—	0.00	0.00
NNW	—	—	—	—	0.00	0.00

表 B.1-10　厂址评价区范围内各子区居民消费本子区蔬菜份额

距离：km；份额：无量纲

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	1.00	—	—	1.00	1.00	1.00
NNE	1.00	—	—	1.00	1.00	1.00
NE	—	—	—	—	—	1.00
ENE	—	—	—	—	—	1.00
E	—	—	—	—	1.00	1.00
ESE	—	—	1.00	—	1.00	1.00
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	1.00	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	1.00	1.00	1.00	—	—
WSW	1.00	—	1.00	—	—	—
W	1.00	—	—	0.05	—	—
WNW	—	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00
NW	—	1.00	1.00	—	1.00	1.00
NNW	—	—	—	—	0.97	1.00

表 B.1-11　厂址评价区范围内各子区居民消费外子区内蔬菜份额

距离：km；份额：无量纲

距离	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	0.00	—	—	0.00	0.00	0.00
NNE	0.00	—	—	0.00	0.00	0.00
NE	—	—	—	—	—	0.00
ENE	—	—	—	—	—	0.00
E	—	—	—	—	0.00	0.00
ESE	—	—	0.00	—	0.00	0.00
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	0.00	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	0.00	0.00	0.00	—	—
WSW	0.00	—	0.00	—	—	—
W	0.00	—	—	0.95	—	—
WNW	—	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
NW	—	0.00	0.00	—	0.00	0.00
NNW	—	—	—	—	0.03	0.00

表 B.1-12　厂址评价区范围内各子区居民消费本子区肉类份额

距离：km；份额：无量纲

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	0.62	—	—	1.00	1.00	1.00
NNE	0.62	—	—	1.00	1.00	1.00
NE	—	—	—	—	—	0.39
ENE	—	—	—	—	—	0.68
E	—	—	—	—	1.00	1.00
ESE	—	—	0.28	—	0.25	1.00
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	0.62	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	0.28	0.28	0.23	—	—
WSW	0.62	—	0.28	—	—	—
W	0.62	—	—	0.13	—	—
WNW	—	0.62	0.35	1.00	0.70	1.00
NW	—	0.54	0.62	—	1.00	1.00
NNW	—	—	—	—	1.00	1.00

表 B.1-13　厂址评价区范围内各子区居民消费外子区内肉类份额

距离：km；份额：无量纲

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	0.38	—	—	0.00	0.00	0.00
NNE	0.38	—	—	0.00	0.00	0.00
NE	—	—	—	—	—	0.61
ENE	—	—	—	—	—	0.32
E	—	—	—	—	0.00	0.00
ESE	—	—	0.72	—	0.75	0.00
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	0.38	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	0.72	0.72	0.77	—	—
WSW	0.38	—	0.72	—	—	—
W	0.38	—	—	0.87	—	—
WNW	—	0.38	0.65	0.00	0.30	0.00
NW	—	0.46	0.38	—	0.00	0.00
NNW	—	—	—	—	0.00	0.00

表 B.1-14　厂址评价区范围内各子区居民消费本子区内蛋类份额

距离：km；份额：无量纲

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	0.09	—	—	1.00	1.00	1.00
NNE	0.09	—	—	0.54	1.00	1.00
NE	—	—	—	—	—	0.07
ENE	—	—	—	—	—	0.09
E	—	—	—	—	0.09	0.09
ESE	—	—	0.04	—	0.00	0.08
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	0.09	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	0.04	0.04	0.03	—	—
WSW	0.09	—	0.04	—	—	—
W	0.09	—	—	0.39	—	—
WNW	—	0.09	0.04	0.05	0.38	0.48
NW	—	0.08	0.09	—	0.64	0.73
NNW	—	—	—	—	0.31	1.00

表 B.1-15　厂址评价区范围内各子区居民消费外子区内蛋类份额

距离：km；份额：无量纲

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	0.91	—	—	0.00	0.00	0.00
NNE	0.91	—	—	0.46	0.00	0.00
NE	—	—	—	—	—	0.93
ENE	—	—	—	—	—	0.91
E	—	—	—	—	0.91	0.91
ESE	—	—	0.96	—	1.00	0.92
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	0.91	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	0.96	0.96	0.97	—	—
WSW	0.91	—	0.96	—	—	—
W	0.91	—	—	0.61	—	—
WNW	—	0.91	0.96	0.95	0.62	0.52
NW	—	0.92	0.91	—	0.36	0.27
NNW	—	—	—	—	0.69	0.00

表 B.1-16　厂址评价区范围内各子区居民消费本子区内水产品份额

距离：km；份额：无量纲

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	0.00	—	—	0.00	0.00	0.67
NNE	0.00	—	—	0.00	0.04	0.01
NE	—	—	—	—	—	1.00
ENE	—	—	—	—	—	1.00
E	—	—	—	—	1.00	1.00
ESE	—	—	0.00	—	1.00	1.00
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	0.00	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	0.00	0.00	0.00	—	—
WSW	0.00	—	0.00	—	—	—
W	0.00	—	—	1.00	—	—
WNW	—	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
NW	—	0.00	0.00	—	1.00	1.00
NNW	—	—	—	—	1.00	1.00

表 B.1-17　厂址评价区范围内各子区居民消费外子区内水产品份额

距离：km；份额：无量纲

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	1.00	—	—	1.00	1.00	0.33
NNE	1.00	—	—	1.00	0.96	0.99
NE	—	—	—	—	—	0.00
ENE	—	—	—	—	—	0.00
E	—	—	—	—	0.00	0.00
ESE	—	—	1.00	—	0.00	0.00
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	1.00	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	1.00	1.00	1.00	—	—
WSW	1.00	—	1.00	—	—	—
W	1.00	—	—	0.00	—	—
WNW	—	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NW	—	1.00	1.00	—	0.00	0.00
NNW	—	—	—	—	0.00	0.00

表 B.1-18　厂址评价区范围内各子区居民消费本子区内水果份额

距离：km；份额：无量纲

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	1.00	—	—	1.00	1.00	1.00
NNE	1.00	—	—	1.00	1.00	1.00
NE	—	—	—	—	—	1.00
ENE	—	—	—	—	—	1.00
E	—	—	—	—	1.00	1.00
ESE	—	—	0.64	—	0.80	1.00
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	1.00	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	0.64	0.64	0.52	—	—
WSW	1.00	—	0.64	—	—	—
W	1.00	—	—	0.04	—	—
WNW	—	1.00	0.74	1.00	1.00	1.00
NW	—	1.00	1.00	—	1.00	1.00
NNW	—	—	—	—	0.71	1.00

表 B.1-19　厂址评价区范围内各子区居民消费外子区内水果份额

距离：km；份额：无量纲

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	0.00	—	—	0.00	0.00	0.00
NNE	0.00	—	—	0.00	0.00	0.00
NE	—	—	—	—	—	0.00
ENE	—	—	—	—	—	0.00
E	—	—	—	—	0.00	0.00
ESE	—	—	0.36	—	0.20	0.00
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	0.00	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	0.36	0.36	0.48	—	—
WSW	0.00	—	0.36	—	—	—
W	0.00	—	—	0.96	—	—
WNW	—	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00
NW	—	0.00	0.00	—	0.00	0.00
NNW	—	—	—	—	0.29	0.00

表 B.1-20　厂址评价区范围内各子区居民消费本子区内奶类份额

距离：km；份额：无量纲

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	0.00	—	—	1.00	0.00	0.00
NNE	0.00	—	—	1.00	1.00	0.00
NE	—	—	—	—	—	0.00
ENE	—	—	—	—	—	0.00
E	—	—	—	—	0.00	0.00
ESE	—	—	0.00	—	0.00	0.00
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	0.00	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	0.00	0.00	0.00	—	—
WSW	0.00	—	0.00	—	—	—
W	0.00	—	—	0.08	—	—
WNW	—	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00
NW	—	0.00	0.00	—	0.00	0.00
NNW	—	—	—	—	0.00	0.00

表 B.1-21　厂址评价区范围内各子区居民消费外子区内奶类份额

距离：km；份额：无量纲

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	1.00	—	—	0.00	1.00	1.00
NNE	1.00	—	—	0.00	0.00	1.00
NE	—	—	—	—	—	1.00
ENE	—	—	—	—	—	1.00
E	—	—	—	—	1.00	1.00
ESE	—	—	1.00	—	1.00	1.00
SE	—	—	—	—	—	—
SSE	—	—	—	—	—	—
S	1.00	—	—	—	—	—
SSW	—	—	—	—	—	—
SW	—	1.00	1.00	1.00	—	—
WSW	1.00	—	1.00	—	—	—
W	1.00	—	—	0.92	—	—
WNW	—	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00
NW	—	1.00	1.00	—	1.00	1.00
NNW	—	—	—	—	1.00	1.00

B.2 厂址周围农副业生产数据

表

表 B.2-1 厂址评价区范围内各子区大牲畜出栏量
表 B.2-2 厂址评价区范围内各子区猪出栏量
表 B.2-3 厂址评价区范围内各子区家禽出栏量
表 B.2-4 厂址评价区范围内各子区产肉量
表 B.2-5 厂址评价区范围内各子区粮食种植面积
表 B.2-6 厂址评价区范围内各子区粮食产量
表 B.2-7 厂址评价区范围内各子区油料种植面积
表 B.2-8 厂址评价区范围内各子区油料产量
表 B.2-9 厂址评价区范围内各子区蔬菜种植面积
表 B.2-10 厂址评价区范围内各子区蔬菜产量
表 B.2-11 厂址评价区范围内各子区果园种植面积
表 B.2-12 厂址评价区范围内各子区水果产量

表 B.2-1　厂址评价区范围内各子区大牲畜出栏量

距离：km；出栏量：头

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	合计
N	1	0	0	5	62	229	297
NNE	2	0	0	1	2	111	116
NE	0	0	0	0	0	39	39
ENE	0	0	0	0	0	9	9
E	0	0	0	0	3	3	6
ESE	0	0	5	0	2	0	7
SE	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0
S	4	0	0	0	0	0	4
SSW	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	4	11	0	0	0	15
WSW	1	0	8	0	0	0	9
W	2	0	0	25	0	0	27
WNW	0	1	2	0	28	47	78
NW	0	3	2	0	8	150	163
NNW	0	0	0	0	27	229	256
合计	10	8	28	31	132	817	1026

表 B.2-2　厂址评价区范围内各子区猪出栏量

距离：km；出栏量：头

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	合计
N	19	0	0	93	7533	38546	46191
NNE	35	0	0	23	32	12827	12917
NE	0	0	0	0	0	1485	1485
ENE	0	0	0	0	0	1684	1684
E	0	0	0	0	2909	2909	5818
ESE	0	0	89	0	233	13	335
SE	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0
S	70	0	0	0	0	0	70
SSW	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	78	198	0	0	0	276
WSW	17	0	138	0	0	0	155
W	33	0	0	460	0	0	493
WNW	0	21	37	0	503	7137	7698
NW	0	56	29	0	137	19169	19391
NNW	0	0	0	0	484	31940	32424
合计	174	155	491	576	11831	115710	128937

表 B.2-3　厂址评价区范围内各子区家禽出栏量

距离：km；出栏量：只

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	合计
N	2028	0	0	9882	96389	375800	484099
NNE	3752	0	0	2425	3447	165063	174687
NE	0	0	0	0	0	128108	128108
ENE	0	0	0	0	0	84381	84381
E	0	0	0	0	51480	51480	102960
ESE	0	0	9501	0	30860	257	40618
SE	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0
S	7412	0	0	0	0	0	7412
SSW	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	8327	21045	0	0	0	29372
WSW	1861	0	14716	0	0	0	16577
W	3477	0	0	48922	0	0	52399
WNW	0	2227	3904	0	53512	97138	156781
NW	0	5917	3111	0	14594	260884	284506
NNW	0	0	0	0	51560	384280	435840
合计	18530	16471	52277	61229	301842	1547391	1997740

表 B.2-4　厂址评价区范围内各子区产肉量

距离：km；产肉量：t

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	合计
N	4	0	0	21	783	3765	4573
NNE	8	0	0	5	7	1334	1354
NE	0	0	0	0	0	232	232
ENE	0	0	0	0	0	263	263
E	0	0	0	0	454	454	908
ESE	0	0	20	0	36	1	57
SE	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0
S	16	0	0	0	0	0	16
SSW	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	18	45	0	0	0	63
WSW	4	0	31	0	0	0	35
W	7	0	0	105	0	0	112
WNW	0	5	8	0	114	790	917
NW	0	13	7	0	31	2122	2173
NNW	0	0	0	0	110	3232	3342
合计	39	36	111	131	1535	12193	14045

表 B.2-5　厂址评价区范围内各子区粮食种植面积

距离：km；面积：亩

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	合计
N	105	0	0	511	4742	18250	23608
NNE	194	0	0	125	178	8203	8700
NE	0	0	0	0	0	11345	11345
ENE	0	0	0	0	0	11496	11496
E	0	0	0	0	4788	4788	9576
ESE	0	0	491	0	2071	82	2644
SE	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0
S	383	0	0	0	0	0	383
SSW	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	430	1088	55	0	0	1573
WSW	96	0	761	0	0	0	857
W	180	0	0	2528	0	0	2708
WNW	0	115	202	0	2765	12291	15373
NW	0	306	161	0	754	33009	34230
NNW	0	0	0	0	2665	24753	27418
合计	958	851	2703	3219	17963	124217	149911

表 B.2-6　厂址评价区范围内各子区粮食产量

距离：km；产肉量：t

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	合计
N	38	0	0	186	1572	6048	7844
NNE	71	0	0	46	65	2721	2903
NE	0	0	0	0	0	3830	3830
ENE	0	0	0	0	0	3879	3879
E	0	0	0	0	1616	1616	3232
ESE	0	0	179	0	699	27	905
SE	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0
S	139	0	0	0	0	0	139
SSW	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	157	396	26	0	0	579
WSW	35	0	277	0	0	0	312
W	65	0	0	920	0	0	985
WNW	0	42	73	0	1006	4199	5320
NW	0	111	59	0	274	11278	11722
NNW	0	0	0	0	970	8468	9438
合计	348	310	984	1178	6202	42066	51088

表 B.2-7　厂址评价区范围内各子区油料种植面积

距离：km；产肉量：亩

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	合计
N	9	0	0	43	1452	5669	7173
NNE	16	0	0	11	15	2500	2542
NE	0	0	0	0	0	3673	3673
ENE	0	0	0	0	0	2328	2328
E	0	0	0	0	1452	1452	2904
ESE	0	0	42	0	1022	16	1080
SE	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0
S	33	0	0	0	0	0	33
SSW	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	37	92	0	0	0	129
WSW	8	0	65	0	0	0	73
W	15	0	0	215	0	0	230
WNW	0	10	17	0	235	2963	3225
NW	0	26	14	0	64	7957	8061
NNW	0	0	0	0	226	5888	6114
合计	81	73	230	269	4466	32446	37565

表 B.2-8　厂址评价区范围内各子区油料产量

距离：km；产肉量：t

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	合计
N	1	0	0	7	227	886	1121
NNE	3	0	0	2	2	389	396
NE	0	0	0	0	0	404	404
ENE	0	0	0	0	0	256	256
E	0	0	0	0	160	160	320
ESE	0	0	6	0	112	3	121
SE	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0
S	5	0	0	0	0	0	5
SSW	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	6	14	0	0	0	20
WSW	1	0	10	0	0	0	11
W	2	0	0	33	0	0	35
WNW	0	2	3	0	37	402	444
NW	0	4	2	0	10	1079	1095
NNW	0	0	0	0	35	872	907
合计	12	12	35	42	583	4451	5135

表 B.2-9　厂址评价区范围内各子区蔬菜种植面积

距离：km；产肉量：亩

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	合计
N	29	0	0	141	2545	9978	12693
NNE	53	0	0	35	49	4382	4519
NE	0	0	0	0	0	6288	6288
ENE	0	0	0	0	0	3986	3986
E	0	0	0	0	2486	2486	4972
ESE	0	0	135	0	1751	39	1925
SE	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0
S	105	0	0	0	0	0	105
SSW	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	118	299	0	0	0	417
WSW	26	0	209	0	0	0	235
W	49	0	0	696	0	0	745
WNW	0	32	56	0	761	2777	3626
NW	0	84	44	0	208	7459	7795
NNW	0	0	0	0	734	9142	9876
合计	262	234	743	872	8534	46537	57182

表 B.2-10　厂址评价区范围内各子区蔬菜产量

距离：km；产肉量：t

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	合计
N	33	0	0	163	4781	18520	23497
NNE	62	0	0	40	57	8212	8371
NE	0	0	0	0	0	9433	9433
ENE	0	0	0	0	0	5980	5980
E	0	0	0	0	3729	3729	7458
ESE	0	0	157	0	2626	48	2831
SE	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0
S	122	0	0	0	0	0	122
SSW	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	137	347	0	0	0	484
WSW	31	0	243	0	0	0	274
W	57	0	0	808	0	0	865
WNW	0	37	64	0	883	3268	4252
NW	0	98	51	0	241	8776	9166
NNW	0	0	0	0	851	14407	15258
合计	305	272	862	1011	13168	72373	87991

表 B.2-11　厂址评价区范围内各子区果园种植面积

距离：km；产肉量：亩

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	合计
N	40	0	0	192	4444	18447	23123
NNE	73	0	0	47	67	7668	7855
NE	0	0	0	0	0	9630	9630
ENE	0	0	0	0	0	8121	8121
E	0	0	0	0	4581	4581	9162
ESE	0	0	185	0	2223	5	2413
SE	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0
S	144	0	0	0	0	0	144
SSW	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	162	410	0	0	0	572
WSW	36	0	287	0	0	0	323
W	68	0	0	953	0	0	1021
WNW	0	43	76	0	1042	4132	5293
NW	0	115	61	0	284	11097	11557
NNW	0	0	0	0	1004	15890	16894
合计	361	320	1019	1192	13645	79571	96108

表 B.2-12　厂址评价区范围内各子区水果产量

距离：km；产肉量：亩

距离 方位	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20	合计
N	10	0	0	46	4408	17073	21537
NNE	18	0	0	11	16	7531	7576
NE	0	0	0	0	0	1434	1434
ENE	0	0	0	0	0	1156	1156
E	0	0	0	0	906	906	1812
ESE	0	0	45	0	65	6	116
SE	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0
S	35	0	0	0	0	0	35
SSW	0	0	0	0	0	0	0
SW	0	39	99	0	0	0	138
WSW	9	0	69	0	0	0	78
W	16	0	0	229	0	0	245
WNW	0	10	18	0	251	4190	4469
NW	0	28	15	0	68	11254	11365
NNW	0	0	0	0	242	13137	13379
合计	88	77	246	286	5956	56687	63340