

小型模块化钍基熔盐堆研究设施

环境影响报告书

（选址阶段）

中国科学院上海应用物理研究所

二〇二六年一月

小型模块化钍基熔盐堆研究设施

环境影响报告书

（选址阶段）

中国科学院上海应用物理研究所

法定代表人：戴志敏

地址：上海市嘉定区嘉罗公路 2019 号

邮编：201800

小型模块化钍基熔盐堆研究设施

环境影响报告书

（选址阶段）

上海核工程研究设计院股份有限公司 编制

目 录

第一章 概述

1.1 建设项目名称和建设性质

1.1.1 建设项目名称

1.1.2 建设性质

1.2 建设项目的规模和规划

1.3 建设项目的建设目的

1.4 环境影响报告书的编制依据

1.4.1 依据的法律法规、导则标准以及专题报告

1.4.2 许可文件和批准文件

1.4.3 场址所在区域规划

1.4.4 建设项目与所在地相关规划的符合性

1.5 评价标准

1.5.1 辐射环境影响评价准则

1.5.2 非放射性环境影响评价标准

1.6 工程组成

1.7 生态环境保护设施和措施

1.7.1 生态环境保护设施

1.7.2 生态环境保护措施

1.8 评价范围

1.8.1 辐射环境影响评价范围

1.8.2 非放射性环境影响评价的范围

第二章 场址与环境

2.1 场址位置和地形地貌

2.1.1 场址位置

2.1.2 地形地貌

- 2.1.3 非居住区
- 2.2 人口分布与生活习性
 - 2.2.1 场址半径 5km 范围内的人口分布
 - 2.2.2 场址半径 20km 范围内的人口分布
 - 2.2.3 人口分布预测
 - 2.2.4 居民的年龄构成和生活习性
- 2.3 土地利用和资源概况
 - 2.3.1 土地和水体的利用
 - 2.3.2 环境保护目标和生态现状
 - 2.3.3 工业和交通
- 2.4 气象
 - 2.4.1 区域气候
 - 2.4.2 当地气象条件
 - 2.4.3 大气稳定度
 - 2.4.4 联合频率
 - 2.4.5 混合层高度及扩散参数值
 - 2.4.6 场址气象观测
- 2.5 水文
 - 2.5.1 地表水
 - 2.5.2 地下水
 - 2.5.3 洪水

第三章 环境质量现状

- 3.1 辐射环境质量现状
 - 3.1.1 辐射环境本底调查
 - 3.1.2 辐射环境质量评价
- 3.2 大气环境质量现状调查与评价
- 3.3 声环境质量现状调查与评价

3.4 受纳水体环境质量现状调查与评价

第四章 研究堆

4.1 场区规划及平面布置

4.1.1 场区规划

4.1.2 场区平面布置

4.1.3 排放口布置

4.2 反应堆

4.2.1 概述

4.2.2 核燃料

4.2.3 安全系统

4.3 实验系统

4.3.1 研究堆

4.3.2 钍基燃料盐研究系统

4.3.3 实验发电系统

4.4 其他支持性系统

4.4.1 供排水系统

4.4.2 散热系统

4.4.3 送排风系统

4.4.4 供电系统

4.5 放射性废物管理系统和源项

4.5.1 放射性源项

4.5.2 放射性废液管理系统及排放源项

4.5.3 放射性废气管理系统及排放源项

4.5.4 放射性固体废物管理系统及废物量

4.6 乏燃料贮存系统

4.7 放射性热室

4.8 非放射性废物处理系统

- 4.8.1 化学污染物
- 4.8.2 废水
- 4.8.3 其他废物
- 4.9 放射性物质场内转移

第五章 施工期环境影响预测与评价

- 5.1 陆域施工的环境影响
 - 5.1.1 工程概况
 - 5.1.2 施工活动对环境的影响
- 5.2 水域施工的环境影响
 - 5.2.1 水资源利用
 - 5.2.2 建造施工期排水工程对环境的影响
- 5.3 施工影响控制
- 5.4 施工期环境监测

第六章 运行期环境影响预测与评价

- 6.1 辐射环境影响
 - 6.1.1 流出物排放源项
 - 6.1.2 照射途径
 - 6.1.3 计算模式与参数
 - 6.1.4 大气弥散和水体稀释
 - 6.1.5 环境介质中的放射性核素浓度
 - 6.1.6 公众剂量
 - 6.1.7 非人类物种的辐射剂量
 - 6.1.8 辐射影响评价
- 6.2 散热系统的环境影响
 - 6.2.1 散热系统冷却方式
 - 6.2.2 散热系统的物理影响和生物影响

6.3 非放射性环境影响

6.3.1 废水排放的环境影响

6.3.2 废气排放的环境影响

6.3.3 固体废物的环境影响

6.3.4 噪声的环境影响

6.4 初步退役计划

第七章 事故环境风险

7.1 研究堆放射性事故和后果评价

7.1.1 事故描述和事故源项

7.1.2 事故后果计算

7.1.3 事故后果评价

7.2 场内转移事故

7.2.1 新燃料运输事故

7.2.2 乏燃料运输事故

7.2.3 放射性固体废物转移事故

7.3 其他事故

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

8.1.2 辐射环境监测

8.1.3 应急监测

8.2 其他监测

8.2.1 废水监测

8.2.2 热影响监测

8.2.3 噪声监测

8.2.4 非放射性废气监测

8.3 监测设施

8.3.1 流出物实验室

8.3.2 环境监测系统

8.4 质量保证

第九章 环境影响经济损益分析

第十章 结论与承诺

10.1 研究堆项目概况

10.2 生态环境保护设施

10.3 放射性排放

10.4 辐射环境影响评价结论

10.5 非放射性环境影响评价结论

10.6 公众参与和调查结论

10.7 承诺

第一章 概述

1.1 建设项目名称和建设性质

1.1.1 建设项目名称

本项目名称为：小型模块化钍基熔盐堆研究设施。

本项目建设单位及营运单位为：中国科学院上海应用物理研究所。

中国科学院上海应用物理研究所(以下简称“上海应物所”)成立于1959年，原名中国科学院上海原子核研究所，2003年6月改为现名。拥有嘉定园区(约26.7公顷/400亩)和武威园区(约66.7公顷/1000亩)。上海应物所是国立综合性核科学技术研究机构，以钍基熔盐堆核能系统、高效能源存储与转换等先进能源科学技术为主要研究方向，同时兼顾核技术在环境、健康、材料领域的若干前沿应用研究，致力于熔盐堆、钍铀燃料循环、核能综合利用等领域的关键技术研发，成为国际领先的钍基熔盐堆核能系统研究中心、原始创新策源地和科技人才高地，为我国能源长期稳定供应(能源独立)和实现“双碳”目标提供重要的解决方案。

1.1.2 建设性质

本项目为新建项目。

本项目为“十四五”国家重大科技基础设施建设项目。

1.2 建设项目的规模和规划

本项目十兆瓦电功率(10MWe)小型模块化钍基熔盐堆(简称“研究堆”，热功率30MWt)和十升级干法分离批处理研究装置为核心的钍基燃料盐研究系统及公共配套设施拟选址上海应物所武威园区。本项目拟建设研究堆主体建筑、钍基燃料盐研究中心、放射性废物整备中心、研究堆发电机房(含电控楼及35kV升压站)、应急指挥中心、材料在役检测实验室、35kV变电站、保卫控制中心、柴发机房、消防泵房、除盐水及气站等，并共用上海应物所武威园区部分已建成投运的现有设施，包括部分公用设施(如综合实验大厅、学术活动中心、消防水泵房、净水站、园区综合服务中心、试剂仓库、园区基础设施、园区绿化)以及部分环保设施(如放射性废物处理中心、危险废物贮存设施等)。

上海应物所武威园区位于甘肃省武威市民勤红沙岗能源化工工业集中区（以下简称“红沙岗场址”）。武威园区隶属于甘肃省武威市民勤县红砂岗镇，场址位于红砂岗镇镇区以东12~13km处，距民勤县城约60km（场址SE方位），距金昌市约60km（场址SW方位），距武威市约120km（场址SE方位）。

武威园区场址规划包括：（1）本项目十兆瓦电功率（10MWe）小型模块化钍基熔盐堆（热功率30MWt）和十升级干法分离批处理研究装置为核心的钍基燃料盐研究系统及配套设施；（2）已建成投运的2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）及其相关的配套设施。

上海应物所武威园区已完成2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）及其相关的配套设施的建设，内容包括主体装置厂房、放废处理中心，其建设由国家发展改革委立项的中国科学院“十三五”科教基础设施建设项目“新能源技术与材料综合研发平台——钍基熔盐堆核能系统实验平台”支持，项目已于2019年3月取得国家发改委的可研批复。2019年10月开展并完成了实验堆主体装置厂房及放射性废物处理中心基坑负挖，2020年3月底开展主体装置厂房底板混凝土浇筑，2022年1月完成堆本体整体吊装，2022年5月完成设备安装，2023年6月取得运行许可证并于2023年10月首次达到临界。

本项目拟建设十兆瓦电功率（10MWe）小型模块化钍基熔盐堆（热功率30MWt）和十升级干法分离批处理研究装置为核心的钍基燃料盐研究系统及配套设施（具体见本报告第4章4.1节），具体建设按照2026年年内本项目破土动工、2030年首次临界为目标推进工作。

1.3 建设项目的建设目的

能源和资源的稳定供应是保障我国长期可持续发展的必要基础，核能是一种能量密度高、洁净、低碳的能源，是保障国家能源安全、促进节能减排的重要手段。我国的能源供应以化石能源为主，正面临着越来越严峻的能源需求持续增长和CO₂减排的双重压力，核能占能源比重远低于工业化国家，可以预计，未来几十年我国核能将大规模发展。

作为第四代反应堆的候选堆型之一，除具备四代堆的优点外，熔盐堆可以使用我国丰富的钍作为核燃料，降低对于铀的对外依存度。因其以熔盐为冷却剂，

还具有常压工作、无水冷却特性，可建于地下和干旱地区。熔盐堆输出温度为700度以上，可用于高温制氢、二氧化碳加氢制甲醇等高温热利用领域，对减少温室气体排放有重要意义。此外，熔盐堆适合于发展小型模块化堆技术，具有扩展核能多领域、多环境应用的极大潜力。

正是由于熔盐堆的优点，美国橡树岭国家实验室（ORNL）二十世纪七十年代建造了熔盐实验堆（MSRE）并运行了4年之久；MSRE的成功运行证明了液态燃料钍基实验堆的可行性。我国上海应用物理研究所也曾在二十世纪六、七十年代进行过钍铀燃料循环和熔盐堆的研究，但由于材料限制，当时只建成了常温情况下的零功率实验装置。

近年来，钍铀燃料循环和熔盐堆研究重新成为先进核裂变能领域的热点。美国于2011年底重新启动了熔盐堆的研究计划，2015年加大了支持力度，鼓励并支持企业直接参与研发工作。2016年，美国南方电力、比尔盖兹的泰拉能源等公司与ORNL合作，在美国能源部支持下开展氯化物熔盐快堆研究。尤其值得一提的是，近年来印度尼西亚和马来西亚等具有丰富钍资源的东南亚国家将钍基熔盐堆作为其核能发展的重大战略首选，积极推进相关研究与产业化计划。

鉴于其适合我国“富钍贫铀”的国情（我国已查明的钍工业储量约为28万吨左右，仅次于居世界第一位的印度——约34万吨），在保障国家能源安全和促进节能减排方面具有重要意义，2011年初，钍基熔盐堆核能系统（TMSR）成功入选中国科学院首批启动的5项战略性先导科技专项。2013年，TMSR入选国家能源局“十二五”拟重点推进的25个“国家能源重大应用技术创新及工程示范专项”之一。此外，TMSR研发被列入《能源技术革命创新行动计划（2016-2030）》（发改能源〔2016〕513号）。

人类半个多世纪的研究认识到，熔盐堆与钍基乏燃料盐在线干法后处理相结合才能实现钍铀循环。小型模块化钍基熔盐堆是加快实现钍铀循环的创新技术路线，对确保国家能源安全和实现“双碳”目标具有重大意义。“小型模块化钍基熔盐堆研究设施”是我国在国际上率先实现TMSR工业应用的承上启下的关键一环。

基于TMSR先导专项研究成果的基础上及2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）建设和运行经验，上海应物所拟开展建设国际首座十兆瓦电功率

(10MWe)小型模块化钍基熔盐堆(热功率30MWt),实现研究堆的系统集成以及验证,为大型商业堆的建设提供必要的技术、数据以及经验。同时通过研究堆及相关设施的建设,带动一大批涉及材料及高端装备制造技术的发展。

1.4 环境影响报告书的编制依据

1.4.1 依据的法律法规、导则标准以及专题报告

1) 主要法律法规、条例办法

- 《中华人民共和国环境保护法》(2015.01.01)
- 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018.12.29)
- 《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003.10.01)
- 《中华人民共和国核安全法》(2018.01.01)
- 《中华人民共和国原子能法》(2026.01.15)
- 《中华人民共和国大气污染防治法》(2018.10.26)
- 《中华人民共和国水污染防治法》(2018.01.01)
- 《中华人民共和国噪声污染防治法》(2022.06.05)
- 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2020.09.01)
- 《中华人民共和国土壤污染防治法》(2018.08.31)
- 《中华人民共和国土地管理法》(2019.08.26)
- 《中华人民共和国水土保持法》(2011.03.01)
- 《建设项目环境保护管理条例》(国务院令第 682 号, 2017.10.01)
- 《放射性物品运输安全管理条例》(国务院令第 562 号, 2010.01.01)
- 《放射性废物安全管理条例》(国务院令第 612 号, 2012.03.01)
- 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 710 号, 2019.03.02)
- 《中华人民共和国核材料管制条例》(国务院发布, 1987.06.15)
- 《危险化学品安全管理条例》(国务院令第 591 号, 2011.12.01)
- 《中华人民共和国自然保护区条例》(国务院令第 687 号, 2017.10.07)
- 《生态环境监测条例》(国务院令第 820 号, 2026.01.01)
- 《放射性物品运输安全许可管理办法》(第二次修正版, 2021.01.08)
- 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(原环境保护部第 18

号令，2011.05.01)

- 《建设项目环境影响评价分类管理名录》(生态环境部令第 16 号，2021.01.01)
- 《放射性废物分类》(原环境保护部公告 2017 年第 65 号，2018.01.01)
- 《环境影响评价公众参与办法》(生态环境部令第 4 号，2019.01.01)
- 《核动力厂、研究堆、核燃料循环设施安全许可程序规定》(生态环境部令第 8 号，2019.10.01)
- 《关于切实加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》(环发〔2012〕98 号)
- 《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》(环发〔2012〕77 号)
- 《关于涉及自然保护区开发建设项目环境管理工作有关问题的通知》(环发〔1999〕197 号)
- 《研究堆设计安全规定》(HAF201，1995.10.01)
- 《研究堆运行安全规定》(HAF202，1995.10.01)
- 《放射性废物安全监督管理规定》(HAF401，1997.11.05)
- 《甘肃省环境保护条例》(2019.09.26)
- 《甘肃省大气污染防治条例》(2018.11.29)
- 《甘肃省水污染防治条例》(2020.12.03)
- 《甘肃省固体废物污染环境防治条例》(2021.11.26)
- 《甘肃省自然保护区条例》(2018.09.21)
- 《甘肃省实施<中华人民共和国野生动物保护法>办法》(2018.11.29)
- 《甘肃省实施<中华人民共和国土地管理法>办法》(2021.11.26)
- 《甘肃省水土保持条例》(2023.12.01)
- 《甘肃省实施<中华人民共和国突发事件应对法>办法》(2011.09.29)
- 《甘肃省辐射污染防治条例》(2021.01.01)
- 《甘肃省人民政府办公厅关于进一步加强再生水利用的实施意见》(甘政办发[2024]33 号)
- 《武威市大气污染防治条例》(2021.07.28)
- 《武威市建筑工地扬尘污染防治管理办法》(武威市人民政府令第 2 号)

同时参考：

- 《核电厂核事故应急管理条例》（HAF002，2011.01.08）
- 《核动力厂厂址评价安全规定》（HAF101，2023）

2) 导则标准

（1）综合

- 《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 研究堆》（HJ5.1-2025）
- 《研究堆厂址选择》（HAFJ0005-1992）

（2）辐射

- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）
- 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）
- 《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》（GB11216-1989）
- 《核设施流出物监测的一般规定》（GB11217-1989）
- 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）
- 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）
- 《放射性物质运输包装质量保证》（GB/T15219-2009）
- 《放射性物质安全运输货包泄漏检验》（GB/T17230-1998）
- 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）
- 《核设施退役安全要求》（GB/T19597-2004）
- 《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011）
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）
- 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）
- 《乏燃料运输容器技术条件》（EJ/T565-1991）
- 《核级容器制造质量保证》（EJ/T619-1991）
- 《研究堆营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/06-2019）

（3）大气

- 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）
- 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年第 29 号）

— 《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB37822-2019）

— 《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）

（4）水

— 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）

— 《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2022）

— 《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）

— 《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）

— 《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）

（5）噪声与振动

— 《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）

— 《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）

— 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）

（6）固废

— 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）

（7）电磁

— 《辐射环境保护管理导则-电磁辐射环境影响评价方法与标准》
（HJ/T10.3-1996）

— 《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）

— 《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ24-2020）

（8）环境风险

— 《危险化学品重大危险源辨识》（GB18218-2018）

— 《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）

（9）生态

— 《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022）

（10）其它

— 《水土保持监测技术规程》（SL277-2002）

同时参考：

— 《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2025）

— 《反应堆流出物排放所致公众剂量的估算方法》（GB/T42144-2022）

- 《城镇燃气设计规范》（GB50028-2006（2020 版））
- 《核电厂工程水文技术规范》（GB/T50663-2011）
- 《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02-1987）
- 《核电厂厂址选择及评价的人口分布问题》（HAD101/03-1987）
- 《核动力厂厂址评价中的外部人为事件》（HAD101/04-2025）
- 《核电厂厂址选择与水文地质的关系》（HAD101/06-1991）
- 《滨河核电厂厂址设计基准洪水位的确定》（HAD101/08-1989）
- 《核电厂厂址选择的极端气象现象》（HAD101/10-1991）
- 《环境影响评价技术导则 核电厂环境影响报告书的格式和内容》（HJ808-2016）
- 《核电厂运行状态下气载放射性流出物辐射环境影响评价技术规范》（NB/T20181-2012）
- 《核电厂事故工况气载放射性物质释放辐射环境影响评价技术规范》（NB/T20182-2012）
- 《婴幼儿辅食添加营养指南》（WS/T678-2020）

3) 专题报告

本项目针对场址区域社会环境、气象条件、放射性本底等方面开展了专题研究，本报告主要依据以下专题成果编制：

- 苏州热工研究院有限公司，《小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目前期技术服务可行性研究阶段环境资料调查专题报告》（2022.05）
- 苏州热工研究院有限公司，《TMSR-LF1 运行前环境辐射本底调查总结报告》（2021.11）
- 浙江国辐环保科技有限公司，《小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目放射性环境现状调查报告》（2022.06）
- 上海核工程研究设计院股份有限公司，《小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目厂址气象资料调查与分析专题报告（2024 年度）》（2025.12）
- 北京中气辉光科技有限公司，《小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目常规气象、极端气象调查专题报告》（2022.06）
- 南京水利科学研究院，《小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目可能最大降雨和可能最大洪水专题报告》（2022.08）

- 国核电力规划设计研究院有限公司，《小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目可行性研究阶段厂址附近范围水文地质调查报告》（2022.05）
- 中国地震局地质研究所，《小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目地震安全性评价专题报告》（2022.08）
- 国核电力规划设计研究院有限公司，《小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目可行性研究阶段岩土工程勘察总报告》（2022.05）

4) 检测专题报告

- 甘肃云腾环境科技检测有限公司，《TMSR-LF1 项目环境质量委托检测报告》（2023.06~2025.09）
- 甘肃三泰绿色科技有限公司，《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区环境质量现状检测》（2024）
- 甘肃云腾环境科技检测有限公司，《TMSR-LF1 施工期环境质量现状委托检测报告》（2020.07、2020.10、2021.02、2021.05、2021.08）
- 甘肃云腾环境科技检测有限公司，《TMSR-LF1 非放射性本底调查委托检测报告》（2019.09）

1.4.2 许可文件和批准文件

- 甘肃省发展和改革委员会，《甘肃省发展和改革委员会关于开展钍基熔盐堆核能系统实验平台项目前期工作的函》（甘发改产业〔2017〕1002号）。
- 武威市人民政府，《武威市人民政府关于请求将民勤红砂岗工业集聚区确定为钍基熔盐堆核能系统战略性先导科技专项项目场址的函》（武政函〔2017〕28号）。
- 民勤县人民政府，《民勤县人民政府关于确定钍基熔盐堆核能系统（TMSR）项目场址的函》（民政函发〔2017〕330号）。
- 民勤县文化体育广播影视局，《民勤县文化体育广播影视局关于 TMSR（热）基地选址属非文物保护区的复函》（民文广函发〔2017〕11号），判定本项目实施范围内无田野文物遗存。
- 甘肃民勤连古城国家级自然保护区管理局，《甘肃民勤远古城国家级自然保护区管理局关于中科院 TMSR 项目征求选址意见的复函》（甘民连

函字〔2017〕93号），判定本项目建设区域范围不在保护区范围内。

- 原武威市环境保护局，《关于民勤县红沙岗工业集聚区规划环境影响报告书的审查意见》（武市环开发〔2012〕134号）。
- 甘肃水务民勤供水有限责任公司，《甘肃水务民勤供水有限责任公司关于红砂岗镇生活污水处理厂污水排入标准情况说明的函》（甘水务民勤发〔函〕〔2017〕3号）。
- 中国民用航空西北地区空中交通管理局甘肃分局，《关于对小型模块化钽基熔盐堆实施项目所涉民航空管资料有关情况的复函》（民航甘肃空局函〔2025〕18号）。

1.4.3 场址所在区域规划

1) 主要规划

- 《能源技术革命创新行动计划（2016-2030）》（发改能源〔2016〕513号）
- 《甘肃省人民政府关于印发甘肃省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的通知》（甘政发〔2021〕18号）
- 《甘肃省国土空间规划（2021-2035年）》（甘政发〔2024〕18号）
- 《甘肃省主体功能区规划》（2012年）
- 《甘肃省生态功能区划》（2004年）
- 《甘肃省“十四五”生态环境保护规划》（甘政办发〔2021〕105号）
- 《甘肃省推进绿色生态产业发展规划》（甘政发〔2018〕17号）
- 《武威市人民政府关于印发武威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的通知》（武政发〔2021〕17号）
- 《民勤县人民政府关于印发民勤县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的通知》（民政发〔2021〕35号）
- 《武威市国土空间总体规划（2021-2035年）》（甘政函〔2024〕28号）
- 《武威市生态环境局关于实施“三线一单”生态环境分区管控动态更新成果的通知》（武环发〔2024〕48号）
- 《民勤县“十四五”能源发展规划》
- 《民勤县“十四五”节约能源与循环经济发展规划》（民发改发〔2022〕131号）

- 《民勤县经济产业结构调整规划（2024-2030年）》
- 《民勤县国土空间总体规划（2021-2035年）》（武政函〔2024〕38号）
- 《民勤县城乡统筹总体规划（2015-2030）调整方案两规一致性处理批复稿》（2020年12月）
- 《民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021-2035年）》
- 《民勤县红砂岗镇总体规划（2018-2030）》
- 《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区发展规划（2020-2035）》
- 《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区红沙岗工业园控制性详细规划》（2021.10）
- 《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区精细化工园区总体规划（2022-2035）》

1.4.4 建设项目与所在地相关规划的符合性

1.4.4.1 规划的符合性

本项目位于甘肃省武威市民勤县境内。

（1）区域发展规划

本项目已纳入本项目所在省、市、县各级区域发展规划。具体如下：

● 《甘肃省推进绿色生态产业发展规划》（甘政发〔2018〕17号）

加快发展核能产业。立足甘肃核能产业、清洁能源发展现状，紧扣能源强省战略，充分发挥钍、盐等关键原材料资源优势，加强与中科院上海分院应物所合作，以**钍基熔盐堆核能系统项目**为龙头，带动原材料、装备制造等上下游配套产业发展。加强熔盐储热、高温制氢等技术研发应用，促进核能技术与风光电产业、煤化工产业深度融合，形成新的经济增长极。

重点建设**武威钍基熔盐堆核能系统实验基地**、高温熔盐储能示范与应用推广项目、低碳新能源系统示范项目、钍基乏燃料盐干法批处理示范项目等重点项目。

● 《武威市人民政府关于印发武威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的通知》（武政发〔2021〕17号）

依托中科院上海应物所与上海联合日环（注：上海联合日环能源科技有限公司）联合申报国内首个“风光氢储”一体化综合能源基地，并争取纳入国家相关发展规划。**加快建设10MWe小型模块化钍基熔盐研究堆、钍基燃料盐研究设施，**

建设世界的多能互补示范基地，推动风光多能融合技术示范与应用。实施百万千瓦光伏、百万立方电解制氢、十万千瓦熔盐储热、十万吨加氢催化等新能源及利用项目，建成多能融合技术与应用国家级创新平台。

- 《民勤县人民政府关于印发民勤县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的通知》（民政发〔2021〕35号）

加快中科院钍基熔盐堆建设进度，建成2兆瓦钍基熔盐实验堆项目；推进2兆瓦高温制氢示范、**小型模块化钍基熔盐堆研究项目**和**红沙岗68兆瓦并网光伏发电**等项目建设；争取落地实施“陇电入鲁”配套电源民勤县350万千瓦风光发电项目，打造“风光氢储”一体化示范基地。

- 《民勤县“十四五”能源发展规划》

借助中国科学院上海应用物理研究所实施钍基熔盐堆核能系统和高温制氢项目的契机，争取在红沙岗工业园区建设低碳新能源产业与示范园，推动申报全国第二个能源革命示范区，建设红沙岗多能融合发展示范区。加快推进中科院上海应用物理研究所**10兆瓦高温熔盐储能发电项目**和武威翌氢新能源科技有限公司红沙岗可再生能源制氢等项目建设。

- 《民勤县“十四五”节约能源与循环经济发展规划》（民发改发〔2022〕131号）

加快推动能源结构优化：立足能源优势，以提升风光电利用效率，提高煤炭清洁利用水平，加快钍基熔盐堆核能系统项目建设为重点，着力推动全县形成以低碳清洁安全高效为特征的能源消费保障体系。

- 《民勤县经济产业结构调整规划（2024-2030年）》

推进钍基核能商业化：加快钍基熔盐反应堆的研发和应用，提高其技术成熟度和经济性，抢抓**钍基熔盐堆二期项目**机遇，实现钍资源的高效利用。在降低核废料排放，提高防核扩散新能基础上，逐步推进钍基核能关键技术研发，实现钍利用性能逐渐提升。在核安全的前提下，推动核电站的数字化转型，利用人工智能技术提高核电站的效率。稳步推进熔盐试验堆产生高温余热为周边区域商业供热，探索高温核热综合利用和小型模块化应用，制定科学合理商业开发模式。

（2）环保相关区划、规划

本项目位于城镇开发边界内，与本项目所在区域环保相关区划、规划相容。

具体如下：

- 《民勤县国土空间总体规划（2021-2035年）》（武政函〔2024〕38号）

根据该规划，本项目位于城镇开发边界内。

- 《民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021-2035年）》

根据该规划，本项目位于城镇开发边界内。

- 《甘肃省主体功能区规划》（2012年）

根据该规划，本项目所在民勤县处于国家重点生态功能区——祁连山冰川与水源涵养生态功能区范围内。

- 《甘肃省生态功能区划》（2004年）

根据该规划，本项目所在区域属于内蒙古中西部干旱荒漠生态区，腾格里沙漠生态亚区，民勤绿洲农业及沙漠化控制生态功能区。

- 其他环境功能区划

依据《武威民勤红砂岗工业集中区总体规划（2018-2030）环境影响报告书》确定，执行标准见1.5.2节。

1.4.4.2 “三线一单”的符合性

根据《关于印发<“十三五”环境影响评价改革实施方案>的通知》（环评〔2016〕95号）的要求，需要“在项目环评中建立‘三线一单’约束机制，强化准入管理”，其中“三线一单”是指生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单。对于生态保护红线，应按照中共中央办公厅及国务院办公厅印发的《关于划定并严守生态保护红线的若干意见》执行。

1) “三线一单”生态环境分区

武威市生态环境局于2024年4月8日发布《武威市生态环境局关于实施“三线一单”生态环境分区管控动态更新成果的通知》（武环发〔2024〕48号），包括武威市各县区生态环境管控单元划定汇总、武威市生态环境管控单元分布图、武威市生态环境准入清单。武威市“三线一单”生态环境分区见图1.4-1。

根据武威市生态环境分区管控动态更新成果以及甘肃省生态环境分区管控公众服务网站（<https://zwfw.sthj.gansu.gov.cn/partitionControl/#/home>），场址位于重点管控单元02（ZH62062120002）——红沙岗工业园区，与该管控单元的管控要求相符，生态环境分区管控要求相符性分析见本报告第二章2.3.1.3节。

2) 生态保护红线

《民勤县国土空间总体规划（2021-2035）》已于2024年6月15日获批，相关文件为《武威市人民政府关于<民勤县国土空间总体规划（2021-2035）>的批复》（武政函〔2024〕38号）。根据《民勤县国土空间总体规划（2020-2035）》，本项目场址区域不涉及生态保护红线，场址半径10km仅涉及1处生态保护红线，为甘肃民勤连古城国家级自然保护区，与生态保护红线的最近距离约3km。民勤县生态保护红线见图1.4-2。根据《民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021-2035年）》，本项目场址区域不涉及生态保护红线，场址半径10km仅涉及1处生态保护红线，为甘肃民勤连古城国家级自然保护区，与生态保护红线的最近距离约3km。民勤县生态保护红线见图1.4-3。国土空间总体规划相符性分析见本报告第二章2.3.1.4节。

结合甘肃民勤连古城国家级自然保护区（图1.4-4），甘肃民勤连古城国家级自然保护区位于本项目所在上海应物所武威园区东北侧约3km，本项目所在上海应物所武威园区不涉及生态保护红线。

3) 环境质量底线、资源利用上线及环境准入清单

根据环境现状调查结果（参见本报告第三章），本项目周边区域的环境质量基本满足各自的区划要求，本项目的建设运行特点及环境影响预测结果（参见本报告第六章）也表明其不会对当地环境质量产生较大影响。本项目属于新能源产业，符合《武威市生态环境局关于实施“三线一单”生态环境分区管控动态更新成果的通知》（武环发〔2024〕48号）中的武威市管控单元准入清单相关要求。

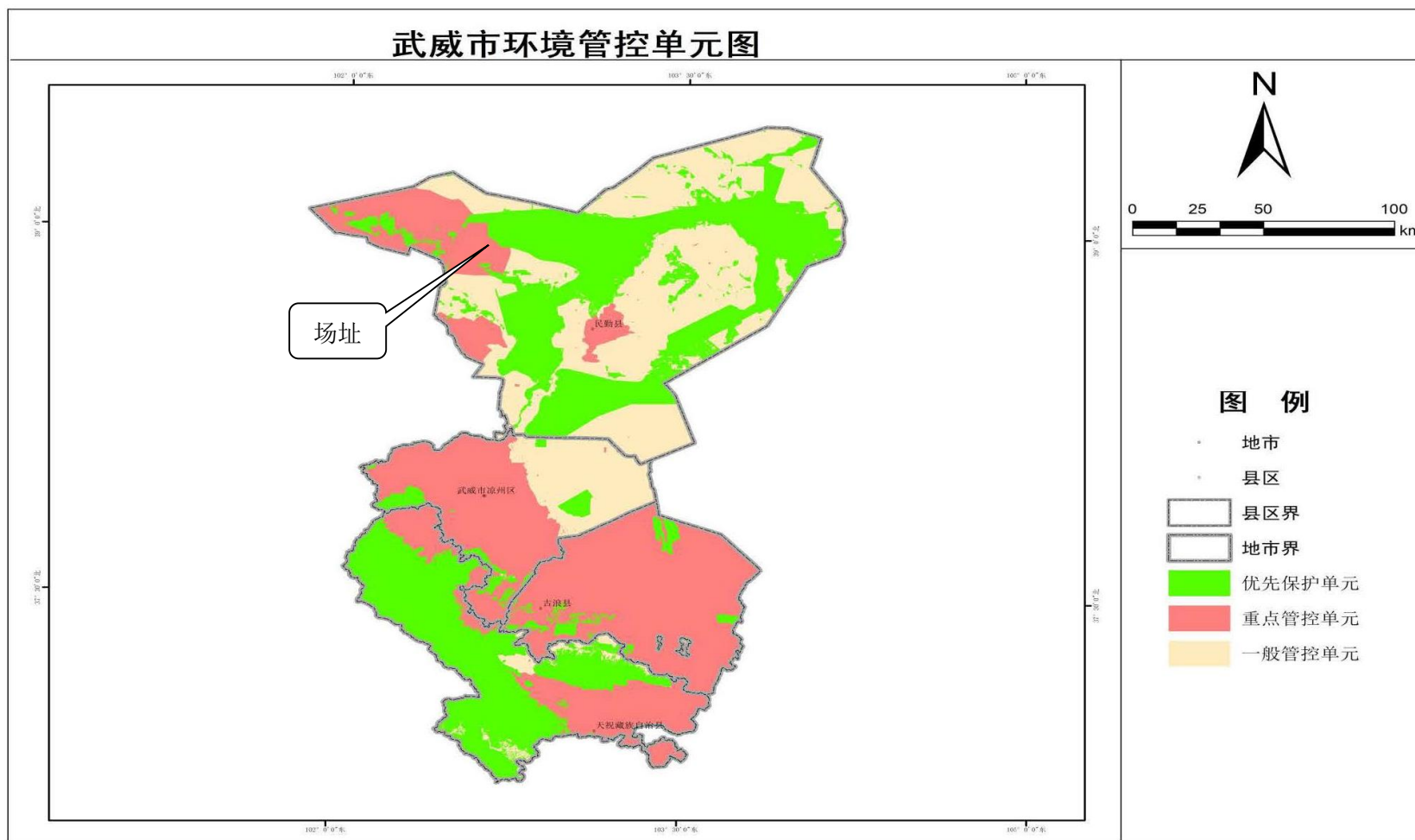


图 1.4-1 武威市环境管控单元图

民勤县国土空间总体规划（2021-2035年）

TERRITORY SPATIAL MASTER PLAN OF MINQIN, 2021-2035

县域生态保护红线图

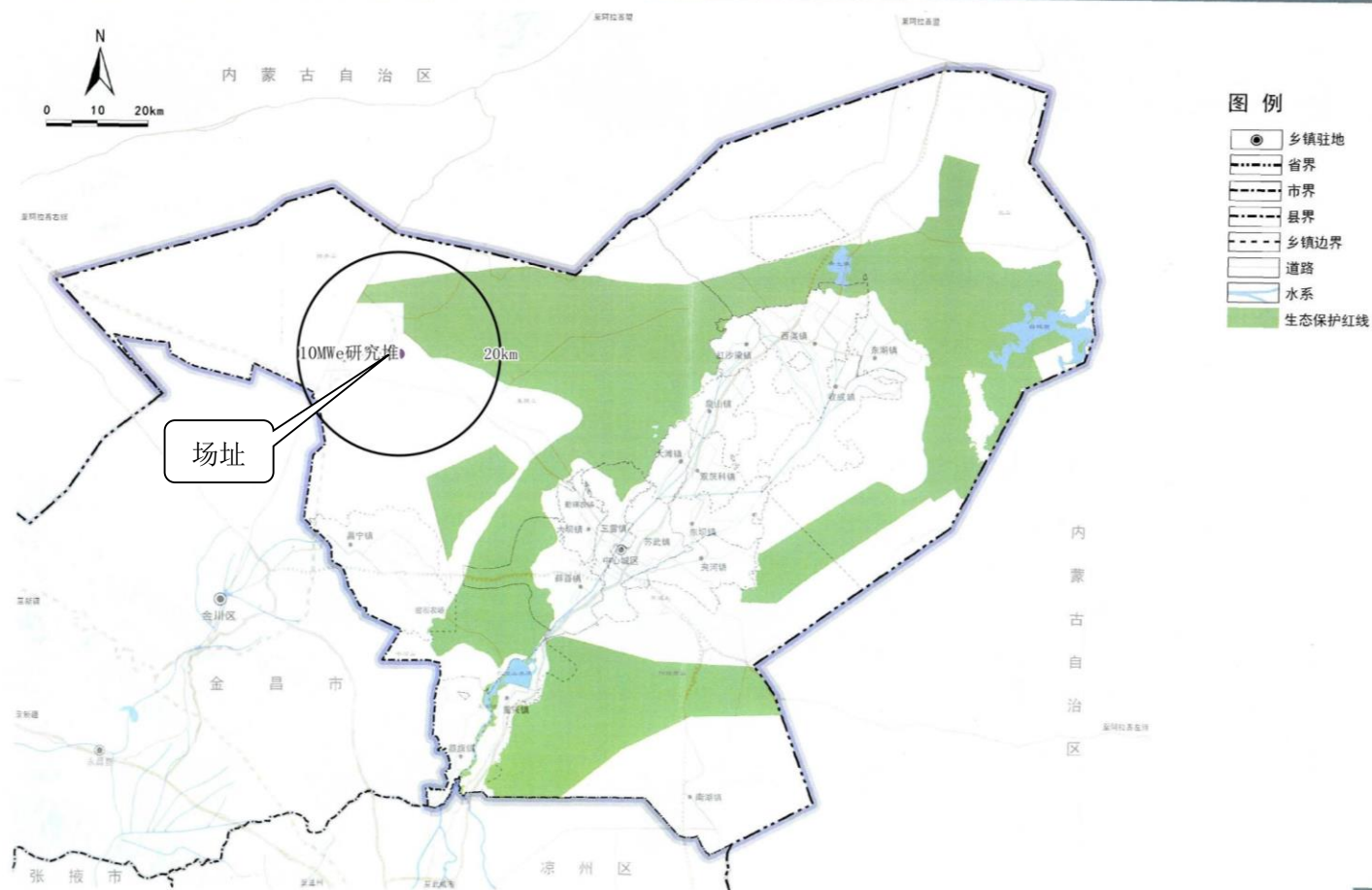


图 1.4-2 民勤县生态保护红线分布图

I-15

民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021—2035年）

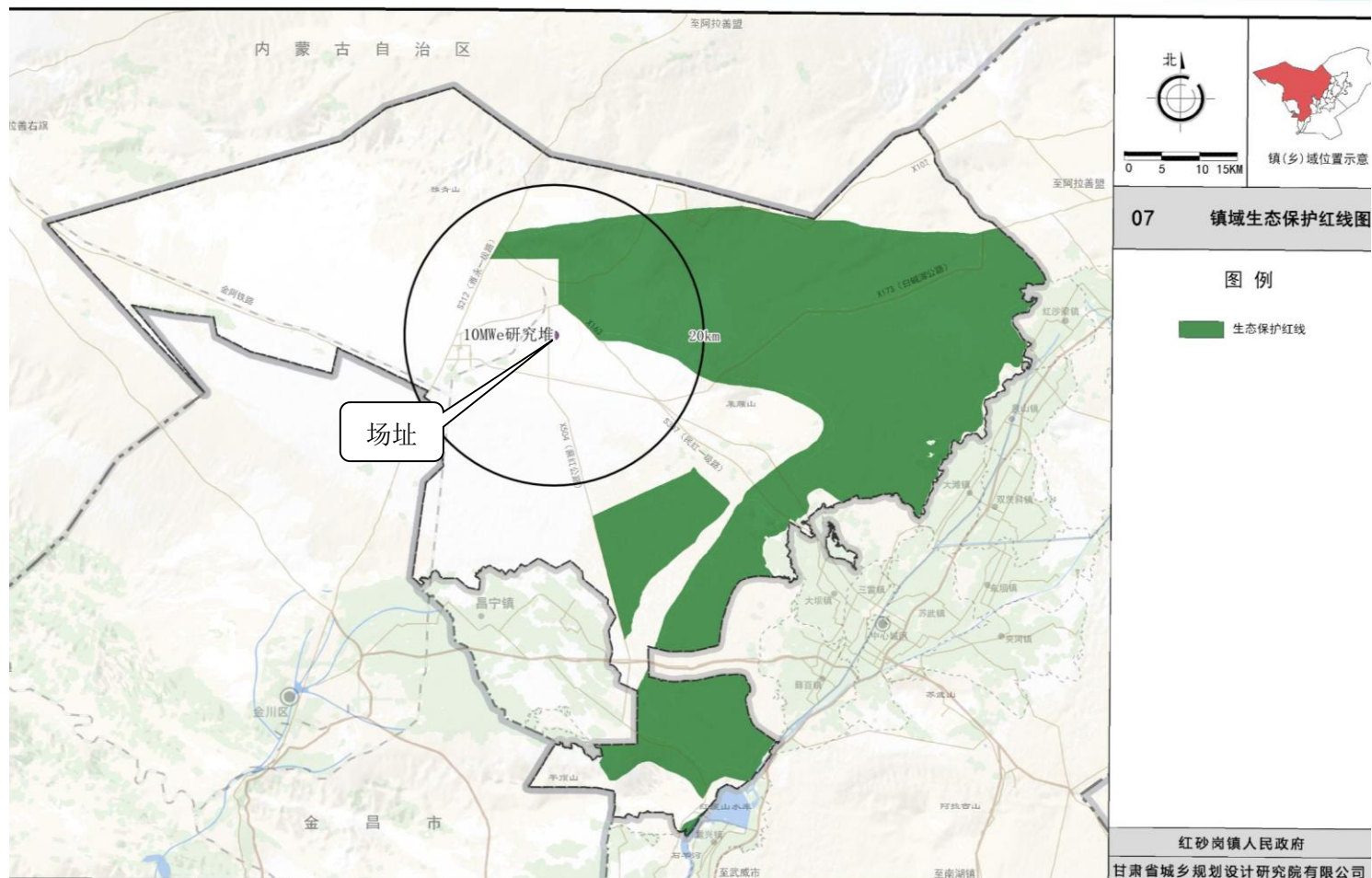
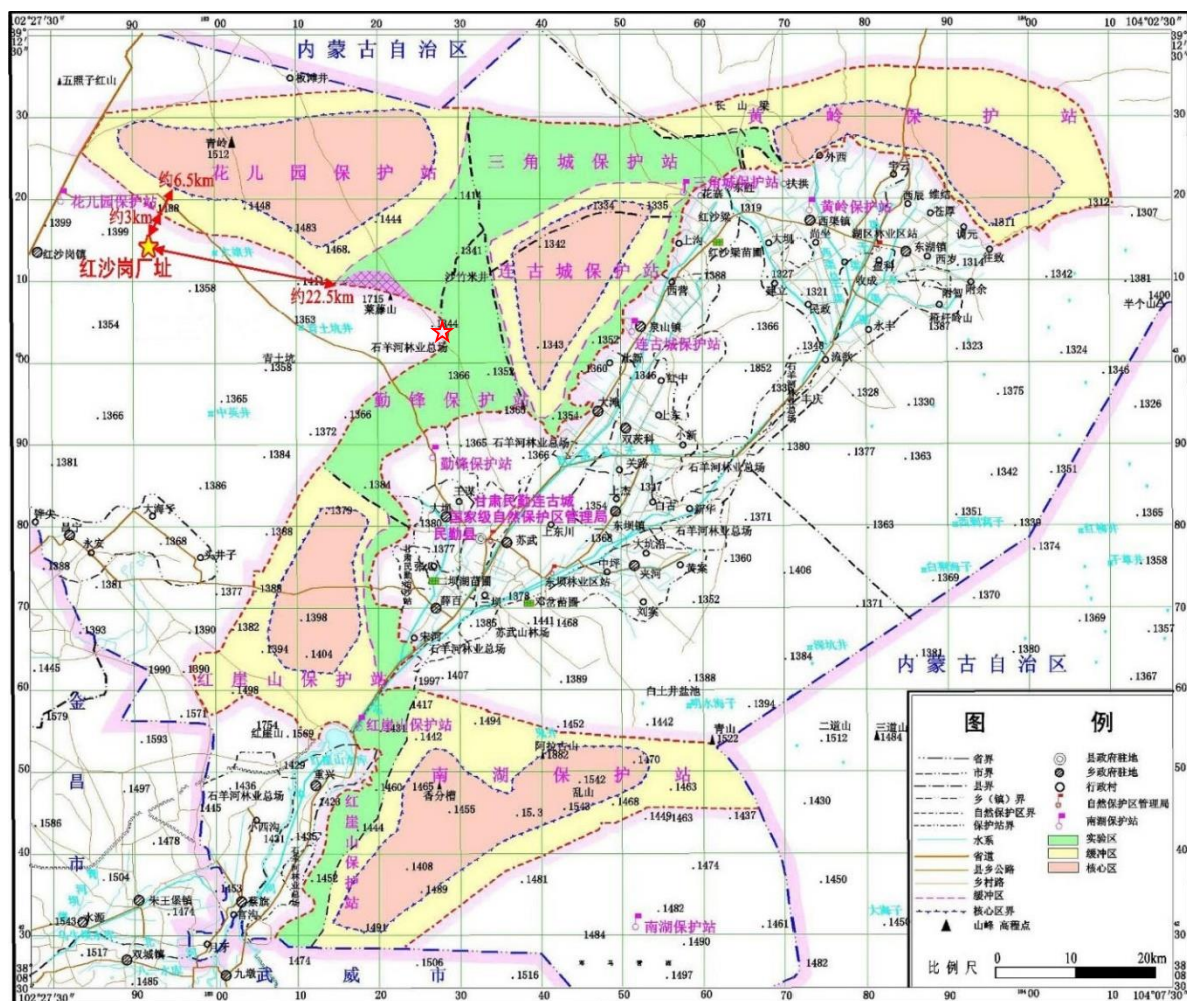


图 1.4-3 民勤县红砂岗镇生态保护红线分布图



1.5 评价标准

1.5.1 辐射环境影响评价准则

1.5.1.1 公众剂量约束

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)对剂量限值及剂量约束值的规定如下:“对于一项实践中的任一特定的源,其剂量约束和潜在照射危险约束应不大于审管部门对这类源规定或认可的值,并不大于可能导致超过剂量限值和潜在照射危险限值的值。”“剂量约束值通常在公众照射剂量限值10%~30%(即0.1mSv/a~0.3mSv/a)的范围之内。但剂量约束的使用不应取代最优化要求,剂量约束值只能作为最优化值的上限。”

《环境影响评价技术导则 研究堆》(HJ5.1-2025)第4.4.1条款“辐射环境影响评价准则”规定:“a)应限制研究堆所在场址所有核设施及活动排放的流出物对公众造成的辐射影响。场址内所有核设施及活动向环境释放的放射性核素对公众中任何个人造成的有效剂量,每年不得超过0.25mSv。b)研究堆相关的实践应考虑剂量约束,以保证研究堆及任何实践对公众任何个人造成的有效剂量不超过有关标准的规定。”

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和《环境影响评价技术导则 研究堆》(HJ5.1-2025),参照《公众与环境辐射防护》(国际原子能机构安全标准丛书第GSG-8号)中所推荐的“剂量约束值应高于审管部门规定的豁免水平,并低于公众个人剂量限值,即在0.1mSv/a和<1mSv/a之间”,并参考2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆项目的剂量约束值0.1mSv/a,确定本项目的剂量约束值为0.1mSv/a。

本项目所在武威园区各堆(源)公众剂量约束值见表1.5-1。

1.5.1.2 流出物排放量和排放浓度

《环境影响评价技术导则 研究堆》(HJ5.1-2025)第4.4.1条款“辐射环境影响评价准则”规定:“d)根据研究堆的设计和排放源项以及场址环境条件,明确流出物排放的相关控制要求,包括排放总量和活度浓度等。”

1) 年排放量控制值

本项目评估正常运行期间的流出物排放对周围环境的辐射影响,分析本项目对周围环境的辐射影响是否符合本项目的剂量约束值要求,以及本项目与2MWt

液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）项目共同对周围环境的辐射影响是否符合本项目所在武威园区的剂量限值要求，并根据评估结果确定本项目正常运行期间的年排放量控制值。

本项目正常运行工况下液态流出物不通过液态途径排放。本项目通过研究堆主体建筑、钍基燃料盐研究中心、放射性废物整备中心和放射性废物处理中心顶部的烟囱排放气态流出物，其中放射性废物整备中心和放射性废物处理中心采用空气载带方式将经处理达到排放要求后的液态流出物向大气环境排放。

2) 排放浓度控制值

参考2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆采用的载带排放活度浓度控制值10Bq/L，本项目载带排放废液的活度浓度控制值按10Bq/L执行。

1.5.1.3 事故工况下的剂量控制值

《环境影响评价技术导则 研究堆》（HJ5.1-2025）第4.4.1条款“辐射环境影响评价准则”规定：“c）事故工况下公众的辐射防护要求应满足GB18871的相关规定。在评价最大假想事故后果时，应考虑保守大气弥散条件和烟云浸没外照射、吸入内照射和地面沉积外照射等途径，非居住区边界外公众在事故的整个持续时间内通过上述照射途径所接受的有效剂量应小于10mSv。”

1.5.2 非放射性环境影响评价标准

1.5.2.1 建设项目施工建造和运行期间的环境影响评价因子

1) 本项目施工建造期间的环境影响评价因子

大气：SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}、CO、TSP、O₃、VOCs。

噪声：昼间等效声级（L_d）、夜间等效声级（L_n）。

生态：生态敏感区（甘肃民勤连古城国家级自然保护区）的主要保护对象、生态功能等。

本项目施工建造期间不向地表水体和地下水排放水污染物，不涉及地表水、地下水和土壤环境影响评价因子。

2) 本项目运行期间的环境影响评价因子

放射性：惰性气体、碘、粒子、碳-14、氚。

大气：Ar、N₂、H₂、HF和微量熔盐颗粒。

声环境：昼间等效声级（L_d）、夜间等效声级（L_n）。

本项目运行期间不向地表水体和地下水排放水污染物，不涉及地表水、地下水和土壤环境影响评价因子。本项目运行期间的研究堆发电机房（含电控楼及35kV升压站）属于环评豁免范围，不涉及电磁环境影响评价因子。

1.5.2.2 建设项目所在区域的环境功能区划

本项目所在武威园区位于甘肃省武威市民勤红沙岗能源化工工业集中区，依据《武威民勤红砂岗工业集中区总体规划（2018-2030）环境影响报告书》：

（1）本项目环境空气质量功能区的类别为二类功能区。甘肃民勤连古城国家级自然保护区位于本项目所在上海应物所武威园区东北侧约3km，环境空气质量功能区的类别为一类功能区。

（2）本项目声环境功能区的类别为3类声环境功能区。

1.5.2.3 建设项目非放射性环境影响评价标准

本项目建设期及运行期需执行的环境标准如下：

1) 大气

环境空气质量：依据《武威民勤红砂岗工业集中区总体规划（2018-2030）环境影响报告书》，执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告2018年第29号）中的二级标准。

大气污染物排放：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标准，运行期大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的二级标准。

2) 生产废水、生活污水

根据《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区发展规划（2020-2035）》和《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区红沙岗工业园控制性详细规划》，园区企业的生活污水经处理达到《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级标准后接入园区污水管网，最终排入红砂岗镇生活污水处理厂。本项目施工期和运行期生产废水经处理达到《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级标准后接入园区污水管网，最终排入红砂岗镇生活污水处理厂。

《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）标准和《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准均不包括总磷，总磷执行《甘肃水务民勤供水有限责任公司关于红砂岗镇生活污水处理厂污水排入标准情况说明的函》（甘水务民勤发〔函〕〔2017〕3号）：园区企业的生活污水经处理达到红砂岗镇生活

污水处理厂进水水质设计标准($\text{COD}_{\text{Cr}} \leq 500\text{mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5 \leq 250\text{mg/L}$ 、 $\text{SS} \leq 380\text{mg/L}$ 、 $\text{TN} \leq 66\text{mg/L}$ 、 $\text{NH}_4^+-\text{H} \leq 45\text{mg/L}$ 、 $\text{TP} \leq 5\text{mg/L}$)后接入园区污水管网,最终排入红砂岗镇生活污水处理厂。

3) 声

声环境质量:依据《武威民勤红砂岗工业集中区总体规划(2018-2030)环境影响报告书》,声环境执行《声环境质量标准》(GB3096-2008)中的3类标准:昼间65dB(A)、夜间55dB(A)。

噪声排放:施工期噪声排放执行《建筑施工噪声排放标准》(GB12523-2025):昼间70dB(A)、夜间55dB(A),运行期厂界噪声排放执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中的3类标准:昼间65dB(A)、夜间55dB(A)。

4) 固体废物

本项目建设和运行期间,危险废物处置执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023)。

5) 电磁辐射

本项目建设和运行期间,电磁辐射执行《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)要求:

- 工频电场限值:4kV/m;
- 工频磁场限值:0.1mT。

表 1.5-1 本项目所在武威园区各堆（源）公众剂量约束值

单位：mSv/a

项目	剂量约束值
2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目	0.1
小型模块化钍基熔盐堆研究设施（本项目）	0.1

注：本项目包括小型模块化钍基熔盐堆和十升级干法分离批处理研究装置。

1.6 工程组成

本项目主体工程为十兆瓦电功率（10MWe）小型模块化钍基熔盐堆（热功率30MWt）和十升级干法分离批处理研究装置为核心的钍基燃料盐研究系统，配套工程为辐射安全、核应急、放射性废物处理、化学安全等安全环保工程和土建、公用设施、实物保护等建安工程。

本项目十兆瓦电功率（10MWe）小型模块化钍基熔盐堆（热功率30MWt）位于本项目拟新建研究堆主体建筑，十升级干法分离批处理研究装置为核心的钍基燃料盐研究系统位于本项目拟新建钍基燃料盐研究中心。此外，本项目拟新建放射性废物整备中心、研究堆发电机房（含电控楼及35kV升压站）、应急指挥中心、材料在役检测实验室、35kV变电站、保卫控制中心、柴发机房、消防泵房、除盐水及气站等。本项目部分配套工程共用上海应物所武威园区部分现有设施，包括部分公用设施（如综合实验大厅、学术活动中心、消防水泵房、净水站、园区综合服务中心、试剂仓库、园区基础设施、园区绿化）以及部分环保设施（如放射性废物处理中心、危险废物贮存设施等），上述共用设施已建成投运。

本项目位于上海应物所武威园区，园区已建和在建设施情况及环评批复如下：

（1）上海应物所武威园区2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）的主体装置厂房、放射性废物处理中心及部分室外配套工程（控制区出入口、保护区出入口、保卫控制中心）已建成，《2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）环境影响报告书（选址阶段）》、《2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）环境影响报告书（建造阶段）》和《2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）环境影响报告书（运行阶段）》均已获批，批文分别为《关于2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆环境影响报告书（选址阶段）的批复》（环审〔2018〕121号）、《关于2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆环境影响报告书（建造阶段）的批复》（环审〔2019〕149号）和《关于2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆环境影响报告书（运行阶段）的批复》（环审〔2023〕46号，于2023年6月7日批复）。

（2）上海应物所武威园区综合实验大厅、学术活动中心、消防水泵房、净水站、园区综合服务中心、试剂仓库、园区基础设施、园区绿化已建成，中水生产站处于在建状态，《钍基熔盐堆核能系统实验平台配套项目建设项目环境影响登记表》备案已完成（备案号：201862062100000055）。

1.7 生态环境保护设施和措施

1.7.1 生态环境保护设施

1.7.1.1 生态环境保护设施组成和建设进度

本项目利用新建放射性废物整备中心以及上海应物所武威园区2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）项目的放射性废物处理中心，用于处理、暂存本项目运行期间产生的放射性废液、放射性固体废物；此外本项目研究堆主体建筑内配置尾气处理系统，用于工艺废气处理，本项目不同区域的通风系统用于通风废气处理。对于非放污染物，本项目也采取了系列的环保措施，如化学废气处理设施、危险废物贮存设施等，以确保本项目运营过程中产生的非放污染物规范处置，达标排放。

建设单位将依据《中华人民共和国环境保护法》（2015）、《中华人民共和国水污染防治法》（2018）、《中华人民共和国噪声污染防治法》（2022）、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020）、《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第682号，2017）要求，确保上述生态环境保护设施与本项目主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

1.7.1.2 生态环境保护设施经费估算及占总经费比例

本项目资金来源于中央和企业支持。

本项目投入总资金约393186万元人民币，其中环保设施总投资为37742万元，约占总投资的9.6%。

1.7.2 生态环境保护措施

根据《民勤县国土空间总体规划（2020-2035）》和《民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021-2035年）》，本项目场址区域不涉及生态保护红线，与生态保护红线（甘肃民勤连古城国家级自然保护区）的最近距离约3km，本项目施工期采取各项施工影响控制措施（见本报告第五章）以确保不会对生态环境造成不利影响，本项目运行期对非人类物种的辐射影响可接受（见本报告第六章）。

已建成投运的2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）及其相关的配套设施所在武威园区的放射性环境现状监测结果处于放射性环境本底水平，非放射性环境现状监测结果符合生态环境标准规范要求（见本报告第三章）。

1.8 评价范围

1.8.1 辐射环境影响评价范围

辐射环境影响评价范围为以本项目研究堆为中心，半径20km的区域。

辐射环境影响评价的子区划分如下：按半径为1km、2km、3km、5km、10km、20km划分为同心圆，再将这些同心圆划分成22.5°扇形段，以正北向左右各划分11.25°为起始段，共分96个评价子区。辐射环境影响评价范围子区划分图见图1.8-1。

1.8.2 非放射性环境影响评价的范围

非放射性环境影响评价的评价等级和评价范围为：

（1）环境空气：评价等级为三级，考虑项目特点，评价范围设置为以场址为中心点、以2.5km为半径的圆，包括施工场界。

（2）噪声：评价等级为三级，评价范围为本项目所在场址边界向外200m、满足3类声环境功能区标准值的距离范围。

（3）生态环境：评价范围主要为受影响的场区永久占地和临时施工占地范围，并考虑附近生态敏感区范围。

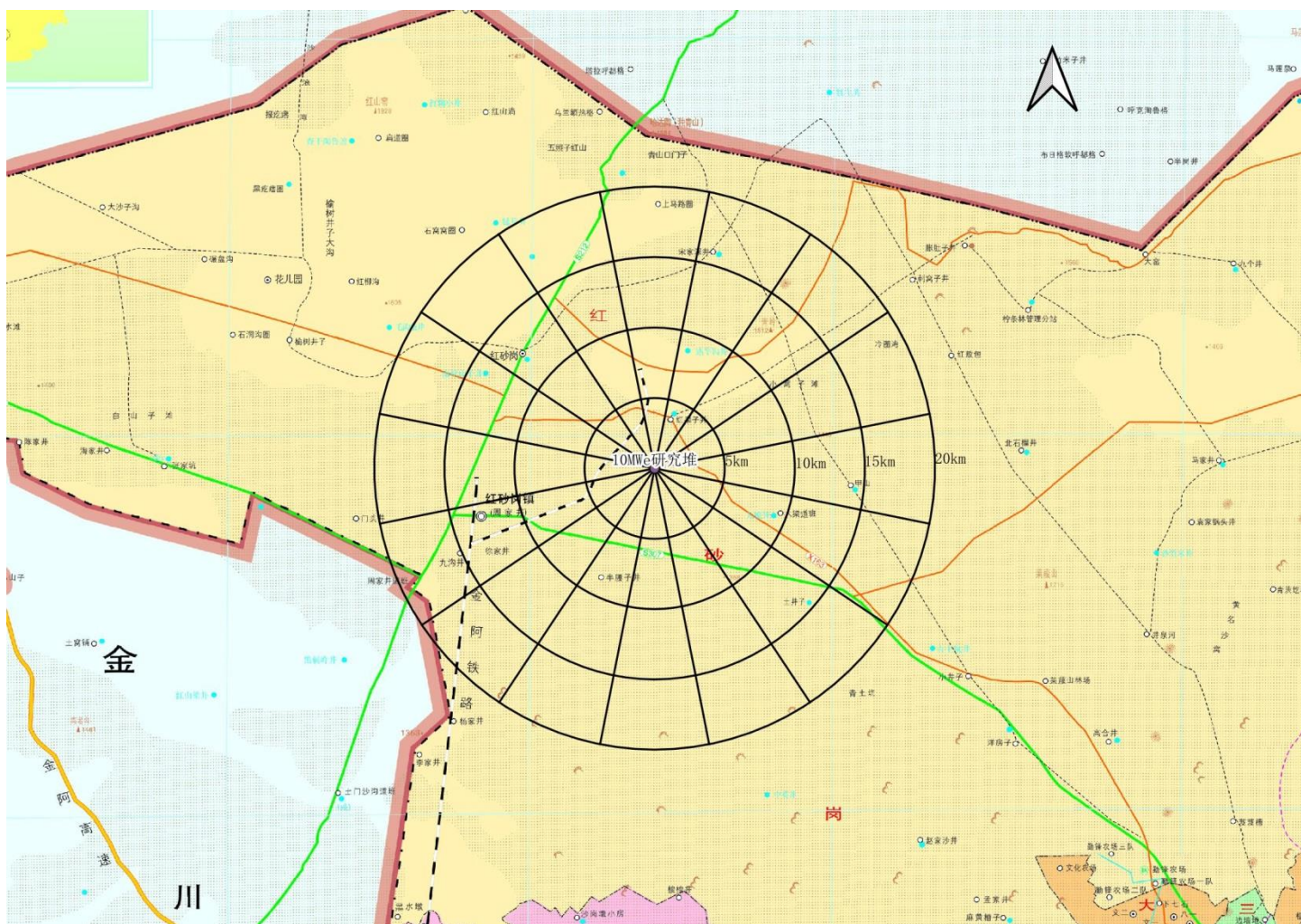


图 1.8-1 辐射环境影响评价范围子区划分图

第二章 场址与环境

2.1 场址位置和地形地貌

2.1.1 场址位置

本项目位于上海应物所甘肃武威园区（即红沙岗场址），该园区位于甘肃省武威市民勤红沙岗能源化工工业集中区（以下简称民勤红沙岗能源化工工业集中区）。场址位于甘肃省武威市民勤县红砂岗镇镇区以东12~13km处，距民勤县城约60km（场址SE方位），距金昌市约60km（场址SW方位），距武威市约120km（场址SE方位）。

场址地理位置见图2.1-1。本项目场址半径20km范围内绝大部分位于红砂岗镇行政区划范围内，SW方位和WSW方位涉及金昌市金川县极小部分区域。本项目场址所在民勤红沙岗能源化工工业集中区处于本项目场址半径20km范围内。

2.1.2 地形地貌

场址半径 5km 范围内地形整体较为平缓，高程为 1370~1460m，南北向整体坡度不足 1%，地貌成因类型主要为山前冲洪积缓平原，仅在县道 X163 以北山前区域地势略有起伏，成因类型为剥蚀残丘。

场址半径 5km 范围内主要为民勤红沙岗能源化工工业集中区范围，在场址西南侧已建好部分厂矿企业，并修建东西向和南北向道路，在道路两侧设置条带状绿化带，在场址附近范围内其他区域则主要为荒漠戈壁景观，地表植被极为稀疏，生长少量耐旱的梭梭树等。

场址区地形平坦、开阔，地面标高在 1412.0~1421.5m 之间，高差约 9.5m，地面坡度小于 1°，整体呈东北高、西南低之势。依据地形地貌特征以及成因，场址区原始地貌类型属山前冲洪积缓平原，主要为戈壁滩（砾漠），另外还零星发育一些诸如人工开挖的土坑等微地貌。目前场址区场地已进行平整，本项目紧邻已建成的 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）及其配套设施。

2.1.3 非居住区

本项目以场址边界作为非居住区边界。根据《环境影响评价技术导则 研究堆》（HJ5.1-2025）要求以及本报告第七章的分析结果，本项目场址边界处的最

大个人受照剂量结果符合《环境影响评价技术导则 研究堆》(HJ5.1-2025)“非居住区边界外公众在事故的整个持续时间内通过上述照射途径所接受的有效剂量应小于10mSv”的规定。本项目场址边界和非居住区边界见图2.1-2。

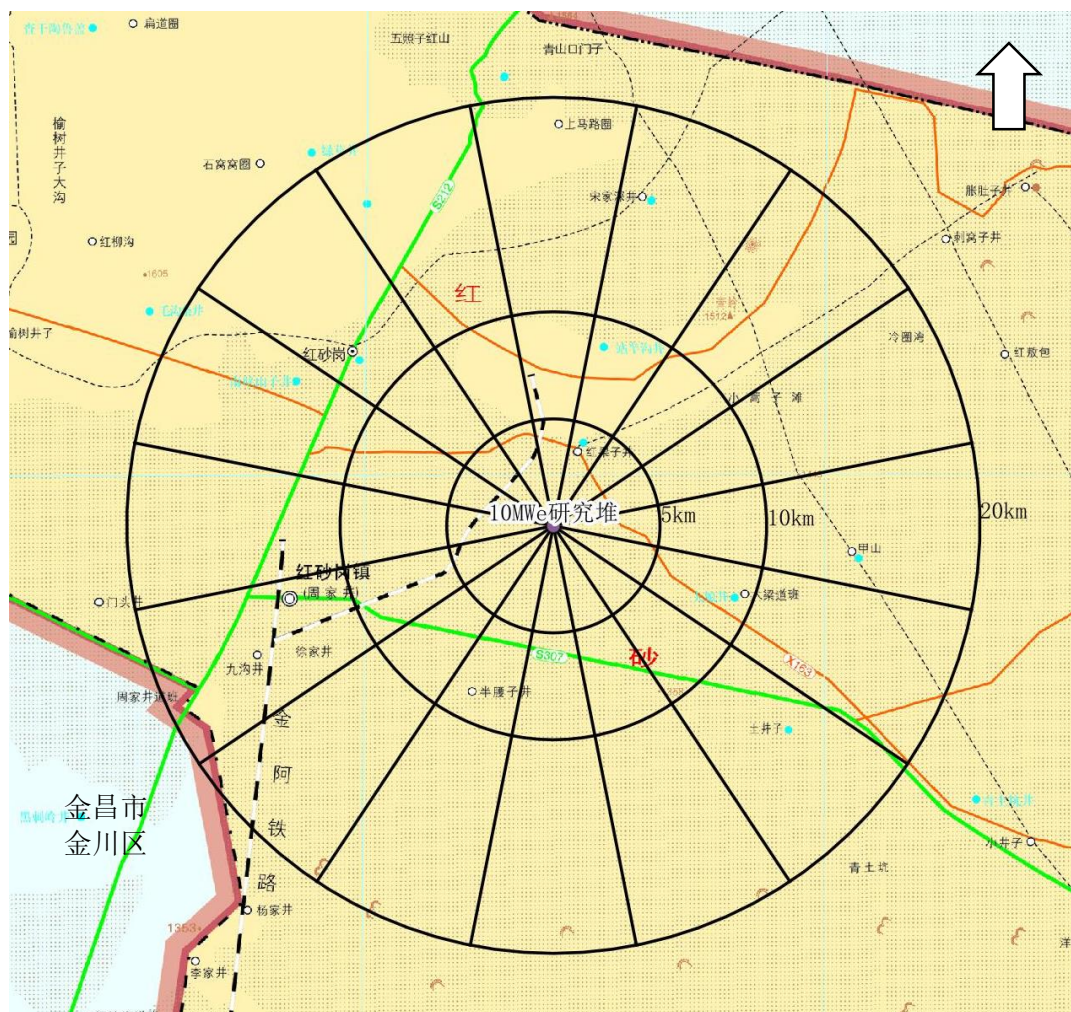


图 2.1-1 场址地理位置图

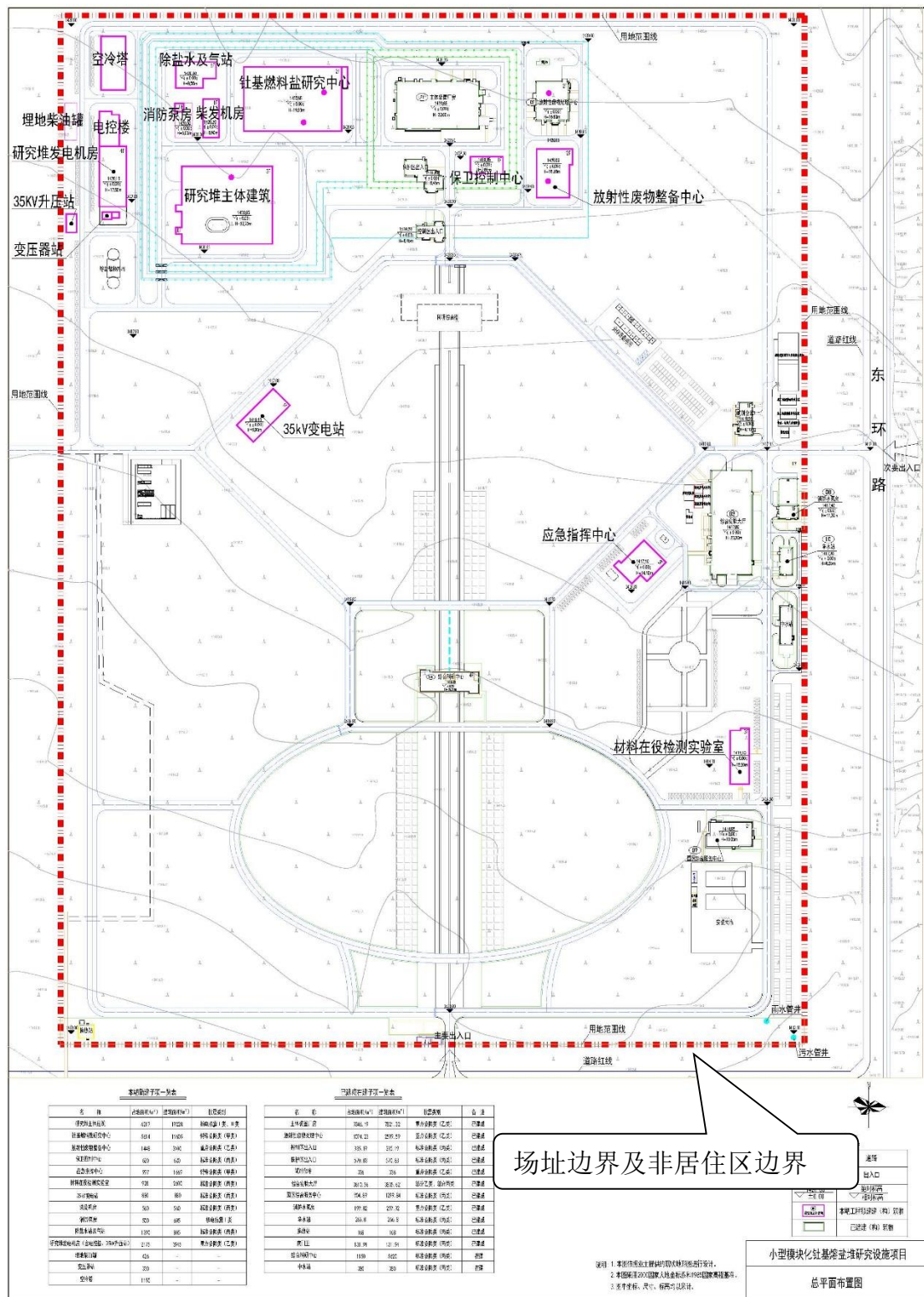


图 2.1-2 场址边界及非居住区图

2.2 人口分布与生活习性

场址半径20km范围内的人口统计与生活习性数据来自苏州热工研究院有限公司2022年编制的《小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目前期技术服务可行性研究阶段环境资料调查专题报告》以及场址所在红砂岗镇、民勤县的2024年统计年鉴、统计数据。

本报告评价区域为以场址中心半径20km范围。

本项目场址半径20km范围内涉及甘肃省武威市民勤县、金昌市金川区。

2.2.1 场址半径5km范围内的人口分布

本项目场址位于上海应物所甘肃武威园区（即红沙岗场址），该园区位于甘肃省武威市民勤红沙岗能源化工工业集中区（以下简称民勤红沙岗能源化工工业集中区）。

场址半径1km范围、半径5km范围无居民点分布。

场址半径5km范围内无风景旅游区分布。

场址半径5km范围内涉及10家民勤红沙岗能源化工工业集中区内工业企业，其中距离场址最近的企业为民勤县玉通商贸有限公司，位于场址WSW方位约2.5km处；距离场址最近的规模以上企业为武威金仓生物科技有限公司，位于场址WSW方位约2.7km处。职工人数最多的企业为太西煤集团民勤实业有限公司，主要从事煤炭开采，该公司分为两个厂区，分别位于场址NW方位5km和N方位3.7km处。

2.2.2 场址半径20km范围内的人口分布

2.2.2.1 人口分布

场址半径20km范围内仅有一个集中居住区，为红砂岗镇镇区，位于场址W方位12~13km处。除红砂岗镇镇区外，场址半径20km范围内无居民点分布。

民勤红沙岗能源化工工业集中区内无常住人口，各企业的职工主要居住在场址W方位约13km的花儿园社区。太西煤矿设有职工宿舍，部分职工居住在宿舍（场址NNW方位约6km），各企业职工一般在春年前后会有一定的人员返乡。同时，本项目场址周边各光伏、风电项目建设阶段会带来部分建筑工人，太西煤矿的生产也会带来一定的临时性外委人员，临时性工作人员部分住在工地临时板

房，部分租住在花儿园社区，在项目完成后即去往别处。

场址半径20km范围无万人以上人口集中地区。根据《民勤县红砂岗镇总体规划（2018-2030）》，至2030年，全镇产业人口达到21230人。截止2024年，红砂岗能源化工工业集中区没有新增工业企业，由于受政策及市场影响，各化工企业也只维持现状，各企业职工没有增多。

2.2.2.2 文化、医疗卫生设施

1) 监狱

场址半径20km范围内无监狱。

2) 学校设施

场址半径10km范围内无学校。

场址半径20km范围内仅有1所小学和1所幼儿园，为民勤县红砂岗镇完全小学和民勤县实验幼儿园红砂岗镇分园，位于场址W方位约13km。民勤县红砂岗镇完全小学和民勤县实验幼儿园红砂岗镇分园位于红砂岗镇。

3) 医疗设施

场址半径10km内无医院。场址半径20km范围内的医疗设施仅有1家卫生院，为民勤县红砂岗镇卫生院，位于场址W方位约13km。民勤县红砂岗镇卫生院位于红砂岗镇。

4) 养老院

场址半径20km范围内无养老院分布。

2.2.3 人口分布预测

场址半径20km范围内仅一个集中居住区，为位于场址W方位12~13km的红砂岗镇镇区。

根据《民勤县红砂岗镇总体规划（2018-2030）》，规划2030年达到镇区人口8670人。根据《民勤县国土空间总体规划（2021-2035年）》，民勤县按规划城镇人口规模，形成四级城镇规模体系。红砂岗镇属于II级镇，城镇人口规模0.4~1万人。2021、2022、2023年民勤县常住人口的人口自然增长率为-6.83‰、-8.64‰、-10.45‰，民勤县人口整体呈负增长趋势，场址半径20km范围人口增长率保守按照零增长考虑。

2.2.4 居民的年龄构成和生活习性

1) 居民的年龄构成

场址半径5km范围内无居民点。

场址半径20km范围内仅一个集中居住区，为位于场址W方位12~13km的红砂岗镇镇区。红砂岗镇居民年龄构成如下：≤1岁占1.27%，1~6岁人口占5.64%、7~17岁人口占12.71%，18岁以上人口占80.3%。

2) 居民的生活习性

民勤县当地居民的食物消费是以面食为主，其次为大米，辅以少量薯类；肉类消费以猪肉最多，其次为羊肉，牛肉消费较少；水产品很少消费。

对于红砂岗镇居民的食物消费量及生活习惯，主要通过实地调查红砂岗镇当地居民情况。针对场址最近的居民点的红砂岗镇镇区（W方位约12~13km）采用发放调查表的方式开展居民饮食习惯调查，调查时间为2022年3月。

根据现场调查，场址附近居民食物消费以面食为主，其次为大米；蔬菜中叶类消费相对多，根茎类、果实类消费量相仿；极少消费水生类；肉类消费中猪肉相对较多，其次是羊肉。场址附近居民食物消费与民勤县城城镇居民统计数据大体接近，基本能反映当地饮食消费习惯。

由于儿童和青少年样本较少，对于场址附近可能有的儿童、青少年食物消费量采用《中国居民营养与健康状况调查报告之十-营养与健康状况数据集》中的青少年、儿童食物消费占成人的比例推算得出。对于婴儿消费量，参考国家卫健委《婴幼儿辅食添加营养指南》（WS/T678-2020）。

场址半径10km范围内为民勤红砂岗能源化工工业集中区范围，该范围内无常住居民，主要为园区企业职工；红砂岗镇当地居民居住在场址W方位12~13km处的红砂岗镇区。本项目所在红砂岗镇以经济作物种植为主，无粮食、蔬菜类等农业种植，主要食物均外购自周边大型乡镇（昌宁镇、大坝镇和薛百镇）或民勤县城，民勤县城的城区范围以及薛百镇镇区与本项目距离超过50km，昌宁镇镇区距本项目约39km，大坝镇镇区距本项目约50km。本项目场址半径10km范围内无畜牧场分布，本项目所在红砂岗镇的畜牧场养殖品种主要销往民勤、金昌市、新疆等地。

场址所在红砂岗镇各水井主要用于红砂岗镇居民生活用水、牧民生活及牲畜用水、工业集中区和红砂岗镇周边绿化用水以及工矿企业生活和生产用水，主要

开采井有沙漠边缘开采井、分散的牧民供水井、红砂岗镇周边绿化供水井及红砂岗二矿疏干排水井，各水井均未划定水源保护区，地下水开采量不大。本项目场址半径10km范围无地表饮用水源地以及集中生活用水井分布，红砂岗镇区机井和徐家井主要用于红砂岗镇居民生活用水、牧民生活及周边绿化用水。红砂岗镇区机井位于场址W方位约12km；徐家井位于场址WSW方位约13.5km。

2.3 土地利用和资源概况

场址半径20km范围内的土地利用和资源概况数据来自苏州热工研究院有限公司2022年编制的《小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目前期技术服务可行性研究阶段环境资料调查专题报告》以及厂址所在红砂岗镇、民勤县及周边区域的2024年统计年鉴、统计数据。

2.3.1 土地和水体的利用

2.3.1.1 土地利用

本项目场址位于民勤县红砂岗镇，根据《民勤县城乡统筹总体规划（2015-2030）调整方案两规一致性处理批复稿》（2020年12月），调整后红砂岗城镇开发边界规模为62.15km²，城镇集中建设区面积5.06km²（镇区0.637km²，园区4.423km²），城镇弹性发展区面积49.76km²（镇区5.723km²，园区44.037km²），特定功能区面积7.33km²。民勤红砂岗能源化工工业集中区特定功能区总面积733ha，该区域为规划期末独立于城镇建设区的省级以上重点项目建设区，主要为钍基熔盐堆核能项目及其配套项目建设用地。本项目所在武威园区位于民勤红砂岗能源化工工业集中区东北侧的特定功能区内，规划用地范围东西向长约694m，南北向长度约961m，总用地面积约为66.67ha。

根据《民勤县红砂岗镇总体规划（2018-2030）》，远期至2030年，规划区用地总规模为6515.93ha，其中建设用地1006.13ha（镇区建设用地156.05ha，工业集中区建设用地850.08ha）；弹性用地4776.47ha（镇区弹性用地480.18ha，工业集中区弹性用地4296.29ha）；钍基熔盐堆项目用地733.06ha。

根据总平面规划方案，本期工程新建建（构）筑物占地面积2.3235hm²，全部位于本项目所在武威园区的已征地范围内。根据《民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021-2035年）》，本项目所在武威园区用地现状为工业用地（1001）。

综上所述，本项目位于民勤红沙岗能源化工工业集中区特定功能区内，为规划期末独立于城镇建设区的省级以上重点项目建设区，主要为钼基熔盐堆核能项目及其配套项目建设用地，因此，本项目的建设符合土地利用规划。

2.3.1.2 水体利用

1) 地表水

本项目不占用地表水体。

民勤县境内无常年地表径流产生，发育一些近南北向冲沟，仅暴雨时节有季节性洪水形成的短暂洪流，向南汇入潮水盆地中央低地。北大山南麓山前见有井泉分布，有第四系潜水溢出地表。石羊河是县境内唯一地表水河流。石羊河水量流经蔡旗水文站断面注入民勤县红崖山水库，多年平均径流量为2.36亿 m^3 。现状供水条件下，民勤县的地表水资源量为2.436亿 m^3 。

场址半径10km范围内无常年地表径流产生，发育一些近南北向冲沟，仅暴雨时节有季节性洪水形成的短暂洪流，向南汇入潮水盆地中央低地。

2) 地下水

红砂岗区域处于潮水盆地内，整个潮水盆地位于甘肃省中北部和内蒙古自治区西南部。盆地范围西起合黎山，东至腾格里沙漠，北起北大山，南抵龙首山。地形呈南北高，中间低。盆地控制面积14334 km^2 ，集水面积（扣除了金昌盆地后的面积）11588 km^2 。其中潮水东盆地夹峙于北山和潮水山之间，地处潮水盆地的平原区，是潮水盆地地表水的汇集区，地下水的储存区。盆地东西长约114km，南北宽34km，面积约2423 km^2 。

场址处于四方墩滩潮水盆地内，整个潮水盆地位于甘肃省中北部和内蒙古自治区西南部。盆地范围西起合黎山，东至腾格里沙漠，北起北大山，南抵龙首山，盆地控制面积14334 km^2 ，集中面积（扣除了金昌盆地后的面积）11588 km^2 ，根据《潮水东盆地水资源调查评价报告》相关结论，确定潮水东盆地为具有补给、径流、排泄系统的独立水文地质单元，其地下水资源与石羊河流域其它水文地质单元基本无水力联系。

（1）矿井疏干水

随着民勤红沙岗能源化工工业集中区内太西煤集团一矿、二矿的开采，矿井内有疏干水涌出。疏干水中氯离子、总硬度、总碱度、总溶解性固体等指标较高，以红沙岗一矿矿井疏干水为主要水源，建设预处理水厂、净水厂及输水管线，处

理后的疏干水水质达到《石油化工给水排水水质标准》（SH3099-2000）中生产水水质指标的要求，目前作为矿区内部生产用水、生态用水。

（2）饮用水

场址所在红砂岗镇地区人烟稀少，地下水开采量不大，各水井主要用于红砂岗镇居民生活用水、牧民生活及牲畜用水、工业集中区和红砂岗镇周边绿化用水以及工矿企业生活和生产用水。主要开采井有沙漠边缘开采井、分散的牧民供水井、红砂岗镇周边绿化供水井及红沙岗二矿疏干排水井，各水井均未划定水源保护区。

集中生活用水井为红砂岗镇区机井和徐家井，主要用于红砂岗镇居民生活用水、牧民生活及周边绿化用水。红砂岗镇区机井位于场址W方位约12km；徐家井位于场址WSW方位约13.5km。

根据《武威市人民政府关于民勤县乡镇集中式饮用水水源保护区划分技术报告的批复》（武政发〔2013〕294号），场址半径50km范围内涉及的乡镇集中式饮用水水源保护区有昌宁镇供水站、大坝镇祁润供水站以及大坝镇文化供水站，水源均为地下水。根据《甘肃省人民政府同意撤销和划定武威市民勤县部分集中式饮用水水源保护区的批复》（甘政函〔2018〕103号），2013年划定的民勤县城区集中式饮用水水源地已不具备供水能力，同意撤销民勤县城区集中式饮用水水源保护区，并划定民勤县城第二供水水源地保护区，保护区为孔隙水承压水型水源保护区，位于场址SSE方位约65km。

金昌市城市集中式饮用水水源地有2个，分别为金川峡水库（迎山坡）和大泉水库，水源地均在金昌市永昌县境内，位于场址半径50km外。本项目半径50km范围内涉及金昌市下辖的双湾镇，双湾镇境内的水源地主要分布在几个乡村周边。

2.3.1.3 生态环境分区管控方案

武威市生态环境局于2024年4月8日发布《武威市生态环境局关于实施“三线一单”生态环境分区管控动态更新成果的通知》，包括武威市各县区生态环境管控单元划定汇总、武威市生态环境管控单元分布图、武威市生态环境准入清单。根据武威市生态环境分区管控动态更新成果以及甘肃省生态环境分区管控公众服务网站（<https://zwfw.sthj.gansu.gov.cn/partitionControl/#/home>），场址位于重点管控单元02（ZH62062120002）——红沙岗工业园区，与优先保护单元01（ZH62062110001）——甘肃民勤连古城国家级自然保护区的最近距离为3km，

位于NE方位，与优先保护单元07（ZH62062110007）——一般生态空间的最近距离为3km，位于NW方位。本项目符合上述环境管控单元的管控要求。

2.3.1.4 国土空间规划

根据《民勤县国土空间总体规划（2021-2035）》和《民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021-2035年）》，本项目所在武威园区位于城镇开发边界内，与生态保护红线的最近距离约3km，与最近的永久基本保护农田保护区约33km。

根据《民勤县国土空间总体规划（2021-2035）》和《民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021-2035年）》，本项目场址半径10km仅涉及1处生态保护红线，为甘肃民勤连古城国家级自然保护区，与生态保护红线的最近距离约3km。本项目场址不涉及生态保护红线，本项目建设期和运行期间不占用生态保护红线，与《民勤县国土空间总体规划（2021-2035）》和《民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021-2035年）》生态保护红线管理要求相符。

2.3.2 环境保护目标和生态现状

本项目不涉及由液态途径向受纳水体排放液态流出物。

本项目场址半径10km范围内无地表水体及水产养殖区域分布。

本项目场址半径10km范围内陆域环境敏感区和生态敏感区以及陆域生态现状描述如下。

2.3.2.1 环境敏感区概况

场址半径10km范围内无国家公园、风景名胜区、文化和自然遗产地、饮用水水源保护区、基本农田分布。

场址半径10km范围内有1处国家级自然保护区，甘肃民勤连古城国家级自然保护区。

甘肃民勤连古城国家级自然保护区是在1982年建立的省级沙生植物保护区的基础上，经甘肃省人民政府批准将面积扩大28倍后，于2002年7月经国务院批准晋升为国家级荒漠生态系统类型自然保护区。保护区地处民勤县境内，石羊河流域下游，南北长约90km，东西宽约6.5~125km不等，批复面积389882.5公顷，实际管理图示面积396493.29公顷，约占民勤县国土面积的1/4、武威市国土面积的1/8，因区内有汉代连城、古城遗址而得名。

保护区作为河西走廊北部生态屏障的重要组成部分，从北、西、南三面屏障

护卫着民勤绿洲，扼守着河西走廊的腰部，是民勤天然植被群落最完整、分布最多的区域。其生态区位的重要性主要体现在四个方面：一是阻挡巴丹吉林和腾格里两大沙漠合拢；二是保卫民勤绿洲；三是维系区域生态平衡；四是保护荒漠生态系统及其生物多样性和重要的物种基因库。由于特殊的地理环境和位置，决定了保护区对于维护甘肃西部的生态平衡乃至中国西部的国土安全，保护、保存珍贵的荒漠物种基因及生物多样性，加快丝绸之路经济带建设都具有极其重要的作用。

保护区的核心区距场址最近处位于NNE方位约6.5km，缓冲区距场址最近处位于NNE方位约3km，实验区距场址最近处位于ESE方位约22.5km。

根据《中华人民共和国自然保护区条例》（2017年10月7日修订），自然保护区的核心区禁止任何单位和个人进入，除依照该条例第二十七条的规定经批准外，也不允许进入从事科学研究活动。核心区外围的缓冲区，只准进入从事科学研究观测活动。缓冲区外围划定的实验区，可以进入从事科学试验、教学实习、参观考察、旅游以及驯化、繁殖珍稀、濒危野生动植物等活动。在自然保护区的核心区和缓冲区内，不得建设任何生产设施。在自然保护区的实验区内，不得建设污染环境、破坏资源或者景观的生产设施；建设其他项目，其污染物排放不得超过国家和地方规定的污染物排放标准。

目前，甘肃民勤连古城国家级自然保护区正在进行范围及功能区调整报批工作，国家林业和草原局于2024年10月15日发布《关于全国自然保护地整合优化调整情况的公示》，甘肃民勤连古城国家级自然保护区在“全国自然保护地整合优化调整清单”范围内。在保护区调整获得批复前，现行资料有效。根据连古城保护区管理部门提供的保护区拟调整图，调整后本项目距离甘肃民勤连古城国家级自然保护区一般控制区最近约NE方位3km，距离核心保护区最近约NE方位4km，最终调整结果以国家相关部门批复为准。

根据《民勤县国土空间总体规划（2020-2035）》，甘肃民勤连古城国家级自然保护区禁止开发建设，防止人为生态破坏，保护荒漠生态系统及动植物资源，强化生物多样性生态服务功能。为推进自然保护地健康发展，需以自然恢复为主，辅以必要的人工措施，加强自然保护地生态修复力度，促进重点野生动植物栖息地恢复。加强自然保护地基础设施建设，提升保护能力。科学界定范围和管控分区，组织勘界立标。加强保护协作，稳妥解决历史遗留问题和现实矛盾冲突。落

实国家自然公园监测、生态保护监管、自然资源管理等制度办法，不断提高国家自然公园保护、管理能力，有效保护国家自然公园重要自然生态系统原真性、完整性。

本项目建设、运行期间不占用甘肃民勤连古城国家级自然保护区，本项目建设、运行期间产生的环境影响符合法规标准要求，不会对自然保护区造成不利影响。

2.3.2.2 陆生资源概况

根据2023年国土“三调”变更数据成果，民勤县共有林草资源1275.19万ha，其中林地802.16万ha，草地453.15万ha，湿地19.88万ha。“十四五”以来民勤县持续推进“三北”工程，坚持科技治沙，完成工程固沙1.46万ha，森林覆盖率达18.28%，草原植被盖度达到18.56%。

场址所占区域目前无林业资源，场址半径10km范围内除东北侧约3km的甘肃民勤连古城国家级自然保护区内有天然灌木林，其余区域主要为戈壁滩(砾漠)。

1) 植物

场址所在民勤县由于地形和水文地质条件的差异，植被分为荒漠草原植被和绿洲人工自然植被两大类型。

(1) 荒漠草原植被

分布在绿洲以外的广大地区。主要有：

- 分布在石质剥蚀残丘和山前倾斜地上的红砂群系、珍珠群系、刺叶柄棘豆群系、蒙古包大宁群系，泡泡刺群系等。覆盖度差异较大，多在20%左右。
- 戈壁地带主要有黑沙蒿群系、狭叶金鸡儿群系、梭梭群系、毛条群系。
- 固定、半固定沙丘及平沙地上多数是唐古特白刺群系，形成地带性优势群落。以上三类地区各群系中，各种植物交错分布，只是优势种不同。
- 底洼盐碱地带多分布马蔺群系、芨芨芦苇群系及藜海盐爪爪群系。覆盖度在50%以上。

(2) 绿洲人工自然植被

绿洲内部不连续斑块状分布的自然植被与荒漠地带的植被类型基本相同。

- 耕地，渠旁主要杂草有赖草、苦豆子、芨芨、甘草、苦蒿、车前子、苍耳、蒲公英、野苣荬、野苣荬、苦卖菜、田旋花、芦苇、马刺盖、灰条、

野燕麦、冰草、马板肠、花儿菜、白刺等。

- 种植作物：粮食作物有小麦、青稞、大麦、谷子、糜子、玉米和少量碗豆、大豆、洋芋等，油料作物有大麻、胡麻、葵花；糖料作物有甜菜；经济作物有茴香，种植面积较大；绿肥饲料作物有紫花苜蓿、草木栖、毛苕子、箭舌碗豆、香豆子等。适宜北方种植的蔬菜瓜类亦有零星少量种植。
- 人工林及果树：成片人工林主要是沙枣，四旁主要栽植各种杨树、榆树，柳树，护岸林主要是毛柳，果树有杏、梨，桃、李、苹果、葡萄等。除苹果外，其它果树只有零散种植，成片的无几。

2) 动物

场址所在地区的野生动物是能适应严寒沙漠生活的种类。主要是：鸟类有天鹅、百灵鸟、沙鸡、雉鸡、乌鸦、老鹰、喜鹊、麻雀等；兽类有沙狐狸，沙豺狼、石貂、黄羊、青羊、刺猬、蒙古兔等；鼠类有三趾跳鼠、五趾跳鼠、长耳跳鼠，大沙鼠、子午沙鼠和沙漠毛鼠等；爬虫类有沙蜥蜴等。

场址厂区及半径5km范围的区域主要为荒漠戈壁景观，地表植被极为稀疏，生长有少量耐旱的梭梭草等植物，无珍稀保护动植物分布。

2.3.3 工业和交通

2.3.3.1 工业

场址半径15km范围内涉及民勤红沙岗能源化工工业集中区。场址附近工矿企业大多集中在该区内，本项目所在武威园区也位于该区内。

1) 工矿企业

(1) 工矿企业现状

- 民勤红沙岗能源化工工业集中区内工矿企业现状

《民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021-2035年）》规划确定“一心、两轴、五区”的空间布局结构。其中五区包括低碳新能源产业区、装备制造产业区、物流产业区、资源精深加工产业区和综合配套服务区（镇区）。

本项目场址位于低碳新能源产业区。低碳新能源产业区现状企业包括武威杰达科技有限公司、武威联硕生物科技有限公司、武威金仓生物科技有限公司、武威西武生物科技有限公司、甘肃福润生物科技有限公司、武威艾诺化学科技有限

公司、民勤县玉通商贸有限公司、民勤县民勤红沙岗能源化工工业集中区制汽站有限责任公司、武威广达科技有限公司。

装备制造区现状企业包括甘肃雨禾节水灌溉设备有限公司、甘肃水务投资有限责任公司、民勤陇能重工有限公司、甘肃远景能源有限公司、民勤博泰石材开发有限公司（场地租赁给甘肃兴业太阳能科技有限公司用于太阳能光伏组建及烘烤箱设备生产）。

资源精深加工产业区现状企业包括民勤县明大矿业水选厂。

民勤红沙岗能源化工工业集中区现有规模以上企业为低碳能源产业区的武威联硕生物科技有限公司、武威金仓生物科技有限公司、武威西武生物科技有限公司、武威杰达科技有限公司、甘肃福润生物科技有限公司、武威艾诺化学科技有限公司、武威广达科技有限公司，这些企业主要从事化学农药或试剂的制造，其中民勤县玉通商贸有限公司是距离场址最近的企业，位于场址WSW方位约2.5km处；武威金仓生物科技有限公司是距场址最近的规模以上企业，位于场址WSW方位约2.7km处。职工人数最多的企业为太西煤集团民勤实业有限公司，该公司分为两个厂区，分别位于场址NW方位5km和N方位3.7km处，主要从事煤炭开采。

场址半径15km范围内还有光伏发电等企业。

（2）工矿企业规划

民勤红沙岗能源化工工业集中区浙能武威2×1000MW调峰火发电机组工程（坑口电厂）处于在建状态，位于场址NW方位约4.2km，该工程所使用的燃料类型为煤炭。

民勤红沙岗能源化工工业集中区相关规划描述如下：

● 民勤红沙岗能源化工工业集中区规划

根据《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区发展规划（2020-2035）》，民勤红沙岗能源化工工业集中区总体目标为：依托武威红砂岗区域丰富矿石及能源资源，借助钍基熔盐堆核能研发基地，以风光核能氢多能互补的新能源技术示范与应用，打造新能源新智造产业链条，建设新能源绿色产业示范区。

该区形成“一心、两轴、五区”的功能结构。

其中五区分别是低碳新能源产业区、装备制造产业区、物流产业区、资源精深加工产业区和综合配套服务区（镇区）。

1) 低碳新能源产业区：本项目场址位于该区域内。低碳新能源产业区处于规划区东部，以第四代反应堆核能系统—钍基熔盐堆核能系统（TMSR）项目为基础，拓展高温制氢、布雷顿循环发电和二氧化碳资源利用，建成模块化钍基熔盐示范堆、大规模低碳新能源示范系统等，形成以模块化钍基熔盐堆为核心的低碳高效复合能源系统研发、示范与产业化基地。该产业区规划面积30.22平方公里，由6个组团构成，分别为核能产业基地组团、核技术应用产业基地组团、新材料及零部件加工产业组团、绿色精细化工组团、综合利用产业组团、物流仓储组团、低碳新能源产业组团。

- 核能产业基地组团：位于产业区北部，围绕钍基熔盐堆（TMSR）实验堆和低碳新能源示范系统的研发和建设，建成以小型模块化钍基熔盐堆为核心的国家重大科技基础设施、100MW级模块化钍基熔盐示范堆、大规模熔盐储能和风电制氢示范系统等，形成以模块化钍基熔盐堆为核心的低碳高效复合能源系统研发、示范与产业化基地。
- 核技术应用产业基地组团：位于产业区北部，为TMSR相关技术产业基地，包括同位素与放射性药物、辐照加工与辐照新材料、熔盐制备与生产、锂-7分离与生产等。
- 精细化工组团：位于产业区西部，以可再生能源高温制氢为龙头，重点发展加氢还原、石油化工产品后续加氢利用产业等，并向下游延伸加氢精细产业链，发展医药、染料和农药中间体等精细化工产品。
- 综合利用产业组团：位于产业区东部，形成风光核热氢示范，包括10MWt熔盐储能示范；2MWe高温制氢示范；10MW新一代风力发电；2MW钙钛矿型太阳能电池；30MWe高温制氢；10MWe第三代光热发电，实现多能融合。
- 物流仓储组团：位于金阿铁路沿线，主要为规划区提供钍基熔盐堆系统相关核能燃料、冷却剂、慢化剂等原料，煤炭、钛铁精粉等大宗原材料供应，以及相关产品的仓储、中转等功能。
- 低碳新能源产业组团：为引入其他新能源新材料产业项目预留空间。重点发展储能材料、储氢材料、固体氧化物电池材料等，同时结合精细化工产业链发展化工新材料。

2) 装备制造产业区：位于场址WSW方位约11.7km，处于镇区南侧，将重点

发展风能、太阳能装备制造业，延长上下游产业链，扩大产业规模，提升产业发展水平。

3) 物流产业区：位于场址WSW方位约15km，处于金阿铁路专线南侧，河雅公路(S212)东侧，主要依托规划金阿铁路专线设置的货运站点以及河雅公路、民红一级路等区域交通，加快发展大宗物流，构建工业型物流中心和区域性煤炭、钛铁精粉资源中转物流中心。

4) 资源精深加工产业区：位于场址SW方位约10.5km，钛铁资源加工点处于规划区北部，依托钛铁矿、油页岩储量资源，主要发展钛、铁精粉深加工、油页岩深加工等产业。煤炭资源精深加工点处于金阿铁路西侧，红沙岗二矿北侧，利用红砂岗煤炭资源，开展煤电化工产业。

5) 综合配套服务区：位于场址W方位11.3km，通过完善公共配套，优化居住环境，使该区成为规划区最重要的居住生活、休闲娱乐服务平台。

同时，民勤红沙岗能源化工工业集中区管理委员会于2021年10月编制了《民勤红沙岗能源化工工业集中区控制性详细规划》，该规划范围为《武威民勤县红沙岗能源化工工业集中区发展规划（2020-2035）》民勤红沙岗能源化工工业集中区装备制造产业区及低碳新能源产业区中的两个片区八个地块，用地总面积为442.3公顷，全部为建设用地。

● 装备制造产业区控制性详细规划

装备制造产业区位于场址WSW方位约11.7km，处于镇区南侧，占地76.7ha，重点发展风能、太阳能装备制造业和石材加工，实时引入熔盐储热装备制造，为钎基熔盐堆系统项目提供硬件支撑。主要包括：

化工设备制造：结合化工产业，积极发展化工机械、化工容器、反应器、加热器等，以及仪表仪器、电气设备等，逐步形成精细化工配套完善的产业体系。

熔盐储热装备研发及制造：积极引入新型熔盐储热装置等具有产业化潜力的储能技术和装备，实现对弃风弃光的电能或夜间廉价的低谷电的充分利用。

机械加工制造：积极引入采矿产品、新能源产品加工、制造项目，如风电装备制造、太阳能设备、采矿装备制造及其加工零部件制造等。

石材加工：依托区域内丰富的矿石资源，拓展石材生产加工产业，从标准化大板逐步拓展石材成片、规格板、异型石材等。

辅助加工制造：结合规划区各项产业，发展包装加工、运输设备等辅助性制

造产业，结合化工材料适当发展电子设备、五金产品等简易加工类项目。

● 低碳新能源产业区的精细化工产业区控制性详细规划

低碳新能源产业区的精细化工产业区位于场址SW方位约1.3km，处于规划范围东部，占地365.59ha，基于现有精细化工基础和熔盐堆的复合能源系统，以高温制氢为基础原材料，围绕加氢产业及其延伸，以已入驻联硕、杰达、广达等企业为龙头，形成精细化工与核能利用的循环产业链条。

生物农药产业链：依托现状农药中间体的生产，积极向上游原药和中下游农药制剂等高附加值方向延伸（农药产业链中制剂盈利占到50%以上）。

加氢还原产业链：利用氢气进行工艺处理，实现精细化工原料的清洁生产，主要包括不饱和键加氢、芳环化合物加氢、含氧化合物加氢、含氮化合物加氢和氢解等，精细化工的有机原料及中间体生产。

综合精细化工：利用周边炼化（兰州、新疆等周边区域）产品延伸产业链，发展石油炼化产品后续加氢精深加工，生产加氢洁净汽油、柴油、煤油、润滑油、果蔬催化剂、合成树脂、合成橡胶、合成乙醇等高附加值、低耗能、低耗水、低污染产品。

● 民勤红砂岗能源化工工业集中区环保配套设施规划

红砂岗镇镇区排水体制为雨污合流制，镇区主干道路敷设有排水管网，低碳新能源区排水体制为雨污分流制，已建成TMSR项目污水管网及雨水干管工程。其中污水可通过污水收集管道汇入红砂岗镇污水处理厂。红砂岗镇污水处理厂位于红砂岗镇区西南角（场址WSW方位约13.6km），占地4.17ha，污水处理厂规模为7500m³/d。

污水处理规划：工业园区污水通过管道收集后，分别送入红砂岗镇污水处理厂、中部污水处理厂集中处理。污水处理厂规划：工业园区规划建成污水处理厂2座，总设计规模2.75万m³/d。其中：保留改造镇区污水厂，规模为0.75万m³/d，占地面积4.2ha；新建中部污水厂（场址SW方位约5km），规模为2万m³/d，占地面积6ha。近期精细化工产业区利用现状至红砂岗镇污水处理厂的污水管将污水排至红砂岗镇污水处理厂处理，适时新建中部污水处理厂，待污水厂建成后精细化工产业区的污水主要由中部污水处理厂处理。

工业园区垃圾量预测为生活垃圾产生量近期7.5t/d，远期39t/d，工业垃圾由企业自行解决。垃圾收运处理系统：垃圾（居民分类）→投放点（分类投放）→

收集站（分类收集）→转运站（分类转运）→垃圾填埋场（填埋）。根据垃圾分类情况，针对不同垃圾采取不同处理措施。一般垃圾近期以填埋为主，远期实现资源化利用：生活垃圾、一般工业固废中可用作燃料的垃圾用于热电厂焚烧发电，可用作建材原料的垃圾用于建材加工，不能利用的生活垃圾运入规划生活垃圾填埋场处理，在建红砂岗镇区垃圾填埋场距镇区太近，且在上风向，规划远期取消，并另选址于红砂岗镇区北部，远离居民区。一般工业固废运入园区南部一般工业固废填埋场处理，包括民勤红沙岗能源化工工业集中区一般工业固废填埋场（设计规模 $2\times 10^6\text{m}^3$ ，目前 10^6m^3 的填埋场已建设完成并投入使用，位于场址S方位约8.5km）和杰达一般工业固废填埋场（设计规模 $2\times 10^6\text{m}^3$ ，位于场址SSW方位约6.6km）。危险废物集中送往民勤红沙岗能源化工工业集中区外甘肃省确定的区域规划危险废物处理中心进行综合处理。

武威民勤红沙岗能源化工工业集中区管理委员会于2022年委托甘肃省化工研究院有限责任公司针对武威民勤红沙岗能源化工工业集中区红沙岗工业园的精细化工功能区块进行单独编制《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区精细化工园区总体规划（2022-2035）》，用以指导园区精细化工的安全发展。

根据《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区精细化工园区总体规划（2022-2035）》：

（1）规划位置：武威民勤红沙岗能源化工工业集中区精细化工园区位于民勤县红砂岗镇红沙岗工业园内低碳能源产业区内。

（2）规划时序：近期规划发展化工1区、化工2区、化工3区；中远期规划发展化工4区、化工5区，同时有条件限制性发展化工6区（安全环境风险控制区）。

（3）规划范围：精细化工园区规划面积 13.0412km^2 ，位于武威民勤红沙岗能源化工工业集中区红沙岗工业园的低碳新能源产业区，北至纬七路、东至经六路、南至南环路、西至西环路（西环一路、西环二路）。化工园区规划各区块四至范围如下：

- 化工1区：位于化工园区西北侧区块，北至纬七路，南至纬五路，西至西环一路，东至经二路，规划面积约 2.461km^2 。位于场址WSW方位约3.3km。
- 化工2区：位于化工园区东北侧区块，北至纬七路，南至纬五路，西至经二路，东至经六路。规划面积约 2.347km^2 。位于场址WSW方位约2.5km。

- 化工3区：位于化工园区中部东侧区块，北至纬五路，南至纬三路，西至经二路，东至经六路。规划面积约2.068km²。位于场址SW方位约3km。
- 化工4区：位于化工园区中部西侧区块，北至纬五路，南至纬三路，西至西环二路，东至经二路。规划面积约1.618km²。位于场址SW方位约3.5km。
- 化工5区：位于化工园区3区和4区的南侧区块，北至纬三路，南至安全环境风险控制线，西至西环二路，东至经六路。规划面积约2.608km²。位于场址SSW方位约4km。
- 化工6区（安全环境风险控制区）：位于化工园区南侧区块，北至安全环境风险控制线，南至南环路，西至西环二路，东至经六路。规划面积约1.284km²。位于场址SSW方位约5km。

（4）规划发展产业：重点发展精细化工产业和能源化工产业，构建“无机化工、精细化工、化工新材料、能源化工和绿电绿氢耦合化工”上下游化工产业链，调整优化武威民勤红沙岗能源化工工业集中区精细化工园区的产业结构，大力改造提升传统化工产业，完善无机化工、精细化工、化工新材料、能源化工、氢能等产业间的耦合体系，加快培育发展化工新材料、专用精细化学品和钍基熔盐堆核能系统配套化学品等高端化工产品。各产业分区的工业发展规划如下：

- 化工1区、化工2区和化工4区重点发展化工产业（不包含钍基熔盐堆核能系统发展配套的高端化工产业链及熔盐储能的全产业链等能源化工产业方向）和绿电绿氢耦合化工两个产业方向。重点发展无机化工、精细化工、化工新材料、能源化工及其资源综合利用产业链。
- 化工3区：重点发展钍基熔盐堆核能系统发展配套的高端化工产业链及熔盐储能的全产业链能源化工产业方向。
- 化工5区：重点发展化工产业（包含钍基熔盐堆核能系统发展配套的高端化工产业链及熔盐储能的全产业链等能源化工产业方向）、绿电绿氢耦合化工和现代物流产业三个产业方向。重点发展无机化工、精细化工、化工新材料、能源化工及其资源综合利用产业链。
- 化工6区（安全环境风险控制区）：属于有条件限制性发展化工功能区，重点发展安全环境可控的化工产业，禁止发展涉及甲乙类装置或设施的化工产业、禁止发展涉及爆炸物的化工产业、禁止发展涉及环境污染较

大或产生恶臭气体的化工产业等。

（5）配套设施规划：

● 排水工程规划

精细化工园区内排水管网沿道路单侧布置，收集各地块污水。工业污水、生活污水和雨水排水系统规划与民勤红沙岗能源化工工业集中区规划一致。

● 燃气工程规划

红沙岗工业园现状无管道天然气供应，仅镇区少部分居民采用瓶装液化石油气为气源，液化石油气从民勤县城区运过来，其它区域居民使用煤作为生活燃料。本次规划在园区规划液化天然气站，近期气源采用液化气，未来根据天然气输配站或管道敷设的实际情况，逐步发展为天然气。

规划燃气管网沿红沙岗工业园主要道路布设，管网按远期需求统一规划、分期实施；靠近用户、环状管网与支状管道相结合，管道选线遵循先人行道、绿化带，后支路和次干路，再主干路的原则；规划园区燃气供气系统分为次高压、中压、低压三级，形成天然气次高压管线—储配站/高中压调压站—中压天然气管道—中低压公共调压站/专用调压站—用户段的燃气输配系统。

● 环卫工程规划

垃圾收集、垃圾转运和垃圾处理相关规划与民勤红沙岗能源化工工业集中区规划一致。

2) 矿产资源

根据《甘肃省国土资源厅关于民勤县红砂岗加氢暨电石精细化工智慧产业园项目压覆矿产资源情况的审查意见》（甘国土资储发〔2017〕56号），民勤县红砂岗加氢暨电石精细化工智慧产业园项目选址用地范围内未设矿业权，也无查明矿产资源被压覆。本项目位于民勤县红砂岗加氢暨电石精细化工智慧产业园项目选址用地范围内，本项目未压占矿产资源。

2024年场址所在红砂岗镇范围内有部分有采矿权的工矿企业和拟设采矿权，距本项目最近的矿区范围为红沙岗一号煤矿矿区，红沙岗一号煤矿矿区位于场址N方位最近距离约3.7km，本项目不涉及压占煤矿矿区。

根据《民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021-2035年）》，本项目与红砂岗镇矿产能源发展区的最近距离为3.7km。

根据《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区发展规划》（2020-2035），红

砂岗区域矿产资源情况如下：

（1）煤炭及油页岩资源

红砂岗区域现已探明煤炭地质储量4.8亿t。其中，红沙岗矿区4亿t，唐家沟5000万t，青苔泉3000万t，另外在莱蕨山马家井、张家坑一带有推断煤炭储量2亿t。该区域煤炭种类属于中等发热量（5000大卡）的长焰煤，品质好，赋存条件好，煤层稳定，倾角在7-15度之间，属近水平和缓倾煤层，适于建设大中型矿井。

探明油页岩地质储量6.5亿t，并有相当规模的远景储量，经工业分析试验，油页岩的发热量和焦油含率等指标均达到工业品位，极具工业开采利用价值。

（2）其他矿产资源

已探明钛铁矿储量7178.56万t，铁平均品位18%，钛平均品位3%，适于综合回收利用。探明石墨地质储量667.7万t，共发现6个矿体，矿石品位9.11%。

在独青山一带探明花岗岩资源，该区花岗岩具有结构完整、色泽均一、强度高的特点，适于作为建筑饰面板材原料，具有很好的开发利用前景。

3）风电、光伏产业

根据《民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021-2035年）》，本项目以东区域为光电规划区，东侧厂界与光电规划区相邻；最近的风电规划区位于场址西北方位，距离10km外。

2.3.3.2 交通

1）陆上交通

（1）交通现状

场址半径15km范围内的公路现状如下：

场址所在民勤县公路总里程已达到4004.298km（其中：国道125km，省道459km，县乡公路1207.198km，村道2213.1km）。场址半径15km范围内主要干线公路情况如下：

- 民红一级路（S307省道）：起点位于红砂岗镇，与S212省道相接，终点位于民勤县城东，与北仙高速公路相接，全线按一级公路技术标准建设，路基宽26m，路面宽24.5m，距场址最近距离为S方位约5.7km。
- 河雅公路（S212省道）：该道路由金昌市交通运输局管养，金昌至红砂岗段按一级公路技术标准建设，宽24.5m，红砂岗至雅布赖段为三级公

路，距场址最近距离为WNW方位约12km。

- 民西公路（X163县道）：路全长75km，起点位于民勤县城西侧，与县城西环路相接，终点位于红砂岗镇，与S212省道相接，目前道路为四级公路，路基宽7.5m，路面宽6m，距场址最近距离为NE方位约3.4km。
- X504县道：起点位于红崖山水库，途径民昌公路、民红一级公路，终点位于民勤红沙岗能源化工工业集中区（即X504县道穿越工业集中区），其中，民红一级公路至民西公路段为工业集中区内部道路，名称为经六路，由民勤红沙岗能源化工工业集中区管委会建设，宽24.5m，距场址最近距离为W方位约0.8km。
- X501县道：红砂岗镇至东湖镇（白碱湖）公路，距场址最近距离为SE方位约15km。

同时，本项目所在工业集中区内道路采用方格网形式，目前场址南侧与纬七路相邻；场址东侧与东环路相邻；场址西侧与经六路（X504县道位于工业集中区内部道路区段）相距约0.8km。

场址半径15km范围内的铁路现状如下：

场址半径15km范围内的铁路为金阿铁路红金段，该线路为内蒙古太西煤集团专用铁路，为红沙岗矿区总体规划中铁路交通基础设施配套项目，主要服务于红沙岗矿区开发利用。

金阿铁路专用线位于场址所在园区西侧由南向北经过，金阿铁路专用线从兰新铁路金昌火车站接轨，向北以延伸到红沙岗二矿，距离工业园区西侧边缘最近距离为280m，该铁路距场址最近距离为NW方位约3km。

（2）交通规划

● 公路规划

根据《民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021-2035年）》，省道307线（民红一级路）、省道212线（雅永一级路）、县道163为镇域对外联系通道，进一步改善交通条件。镇区内部道路系统形成主干路、次干路、支路三级路网结构。

根据《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区发展规划（2020-2035）》，场址附近相关道路规划有：

河雅公路（S212）：从区域内南北纵贯而过，向南连接金昌，向北依次串联规划区和独青山、红砂岗风力发电区，是区域对外联系最重要的一条纵向干道，

根据规划，考虑北侧接向G307，南侧接往G312，实现规划区与内蒙、金昌的便捷交通。

民红一级路：近期实现红砂岗与民勤县城的快速联系，远期向西通往阿拉善右旗。民红一级路贯穿镇区与高端装备制造产业园，与G569线北仙高速公路相连，向南连接武威市，并与金色大道、连霍高速、京藏高速相连；向北连接阿拉善盟，并与京新高速相连。

额周公路：从独青山、红砂岗风力发电区内南侧擦边而过，向西连接巴丹吉林镇，向东与河雅公路相交，并紧邻规划区。规划考虑拓宽，提升规划区与阿拉善右旗的交通，该公路距离场址最近约西南侧16km。

场址附近道路规划均在原有道路基础上进行改扩建，无新规划路段。

根据《民勤红沙岗能源化工工业集中区控制性详细规划》（2021.10），场址所在工业集中区内道路采用方格网形式，道路等级分为主干路、次干路、支路三个等级。

主干路：经二路、经六路、纬五路、纬七路。

次干路：装备制造产业区的繁荣路、装备一路、装备三路、幸福路、朝阳路，精细化工产业区的西环一路、东环路、北环路、纬六路、经五路。

支路：装备制造产业区的人民路、尚学路，精细化工产业区的经一路、经一支路、经三路，支路可根据实际开发需要适当调整。

考虑到红沙岗工业集中区位条件，集中区中不单独设置公交线路。规划建议在经二路东侧靠近公园绿地处集中设置一处集中换乘用地（不独立占地），安排布置工业集中区至红砂岗镇区和民勤县的通勤班车，具体可由各企业单独配置或集中区统一配置。

根据《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区精细化工园区总体规划（2022-2035）》，精细化工园区道路规划如下：

化工园区道路系统采用功能区块布局，在整体上形成“一环两纵三横”的主要路网结构，在各功能区块中呈方格网状道路系统，最终形成“功能分层、路网分级、有序衔接”的园区道路网络。

一环：即沿化工园区四至边界周边形成的纬七路（园区北侧边界）—西环一路（园区西侧边界）—西环二路（园区西侧边界）—南环路（园区南侧边界）—经六路（园区东侧边界）的区域性干路交通系统。

两纵：经二路与经六路形成贯通化工园区内南北向的两大主纵轴。

三横：以“纬五路”为主横轴，以“纬二路”和“纬七路”为两个副横轴，形成贯通化工园区内各功能区块的东西向干路交通系统。

根据化工园区用地规模与布局结构，园区道路等级分为三级：主干路、次干路、支路。

主干路：化工园区主干道为交通性主干道，是园区对外联系的主要通道，分两种。南北贯通化工园区的经六路道路红线宽度为60米，作为化工园区最主要的运输通道，其余主干道红线宽度为40米，连接各化工产业功能区。

次干路：化工园区各功能区内部在交通中起集散作用的主要道路，次干路红线宽度40米或30米，可结合实际需要适当调整断面形式，次干道联系主干道，并与主干道形成化工园区的主要路网骨架。

支路：化工园区各功能区块中对局部交通系统起集散作用的辅助道路，支路红线宽度为25米，可结合实际需要适当调整断面形式。

● 铁路规划

金阿铁路专用线从兰新铁路金昌火车站接入规划区，规划考虑在低碳新能源产业区西侧引入铁路货运支线；规划设置三个货运站，除保留的两个货运站外，在低碳新能源产业区西侧结合物流运输预留一处铁路货运站，强化民勤红沙岗能源化工工业集中区铁路运输功能。

金阿铁路专用线由兰新铁路金昌火车站接入，运输能力近期500万t、远期900万t、远景2000万t，项目分两期实施。一期工程由金昌火车站至民勤红沙岗能源化工工业集中区，现已投运；二期工程由民勤红沙岗能源化工工业集中区延伸至内蒙古阿右旗常山工业园（根据《民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021-2035年）》，规划建设金阿铁路二期，提高其未来货运能力，为未来公铁联运打下基础。）。一期工程设计运输能力600万t/年。民勤红沙岗能源化工工业集中区通过金阿铁路实现与国家铁路网互联，铁路运输可通达全国各地，特别是工业园区的产品可利用铁路运输，从新疆出境，运至中亚、西亚和欧洲等世界其他地方。

2) 机场及航空线

(1) 现状

建设单位向中国民用航空西北地区空中交通管理局甘肃分局取得本项目所涉民航空管资料有关情况的复函（民航甘肃空局函〔2025〕18号），本项目半径

4km范围内无民航航路、航线及规划的航路航线；10km范围内无民航机场；20km范围内无较大的民航机场。可见，场址半径16km范围内无民用机场，场址半径4km范围内无民用飞机航线通过。

距场址最近的民航机场为金昌金川机场，位于场址SSW方位约50km处。民勤通用机场（民勤县苏武机场）为A1类通用机场，位于民勤县以东23km的苏武镇，距场址约72km，于2024年3月11日正式通航运营。

根据民航高空航路分布情况，距离本项目最近的航线为J101航线，距本项目场址NW方位约32.5km。

（2）规划

场址半径16km范围内无规划民用机场，场址半径4km内无规划航线。

2.3.3.3 危险品设施

1) 固定危险源

场址半径15km范围内固定危险源主要为本项目附近的化学制剂企业的危化品储存仓库。危化品储存仓库位于核安全导则《核动力厂厂址评价中的外部人为事件》（HAD101/04，2025）推荐的10km筛选距离值内，最近的仓库为距离本项目WSW方位约2.7km的武威金仓生物科技有限公司的储罐区。

（1）化学品爆炸

距场址最近的危险品存储设施为位于场址WSW方位约2.7km处的武威金仓生物科技有限公司的储罐区。另外再选取位于场址SW方位约3.4km处的武威杰达科技有限公司计算爆炸的安全距离。

查阅《危险化学品安全评价》（国家安全生产监督管理局编，中国石化出版社），蒸汽云爆炸的冲击波的伤害半径：

$$R = C_s (NE)^{\frac{1}{3}} \quad (2.3-1)$$

R：伤害半径，m。

E：爆炸能量，kJ。

$$E = VH_c \quad (2.3-2)$$

V：参与反应的可燃气体的体积，m³。

H_c：可燃气体的高燃烧热值，kJ/m³。

N：效率因子，其值与燃烧浓度持续展开所造成损耗的比例和燃料燃烧所得

机械能的数量有关，一般取 10%。

C_s : 经验常数，取决于损害等级，取 0.06（损坏建筑物外表，可修复性破坏）。

计算得到冲击波损害半径小于危险品储存设施距场址的最短距离，危险品存储设施的存在或运行不会影响本项目的建设和安全运行。

场址半径 5km 内无天然气管线。

（2）有毒化学品泄漏

上海应物所甘肃武威园区周边有毒化学品释放不会对园区控制室可居留性造成威胁。

综上，场址附近的危险品储存设施的存在或运行不会影响本项目的建设和安全运行。

2）移动危险源

汽、柴油运输路线距离场址最近约东北侧 3.4km（民西公路）。

场址附近的金阿铁路专用线现状为运煤专用线，无危险品运输。

同时，红沙岗工业集中区内相关企业的危险化学品经河雅公路（S212）、民红公路、民西公路调入产业园，再通过园区内各道路运至各厂区。园区内规划危险品运输路线距场址最近处为经六路与纬五路路口，距离本项目西南侧最近约 2.5km，县道 X504（纬五路以北段）不涉及危险品运输。危险化学品专用通道尽量做到专车专用，至少满足一进一出，最好做到一进多出。如果做不到上述要求，应采取危险化学品车辆限时通行措施，并对园区道路实行限速。危险化学品专用通道上应设置消防、应急救援设施，安装明显危险化学品车辆行驶指示标志等。危险化学品专用通道应建立一整套的 IC 卡门禁制度，掌握车辆的基本信息，在关键路段设置视频监控，车辆需配置定位系统，及时掌握车辆的行车路线。

场址附近的移动危险源不会对本项目的安全运行构成潜在威胁。

3）油气管线

● 现状

天然气管线主要分布在民勤县城周边的城东工业园，场址半径 5km 范围内无天然气管线，场址半径 15km 范围内没有地下油气管线及天然气站场。

● 规划

根据《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区总体规划（2020-2035）》，规划红砂岗镇区及南侧的装备制造产业区通过规划天然气气化站实现管道气供应，

天然气气化站未建成之前，可采用液化石油气、清洁电力资源等作为过渡燃料；对于低碳新能源产业区，考虑其生产工艺不同，对用气需求较大，规划由用气企业自行协调气源满足生产用气需求。

燃气设施规划：规划天然气气化站 1 座，供气规模 1.5 万 Nm³/d，气源由鄯善县奇克台镇境内的天然气工厂通过专用集装箱运输车运至气化站，再由气化站气化后经输配管网送至用户。

管网规划：规划管网采用环枝状相结合的形式布置，沿规划主、次干道布置主干管，支管沿干管两侧引出，满足用户需要。中压干管采用螺旋缝焊接钢管（加强级防腐），中压支管采用聚乙烯燃气用塑料管（PE 管）。燃气管道除穿越工程外，均埋地敷设，原则上敷设在道路西（或北）侧的人行道下，根据用户分布预留过路管。对于单侧有用户的地区，管线靠近负荷侧布置。

规划的天然气管线距离本项目最近约西侧 11km。

根据《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区精细化工园区总体规划（2022-2035）》，规划燃气管网沿工业园主要道路布设，管网按远期需求统一规划、分期实施；规划园区燃气供气系统分为次高压、中压、低压三级，形成天然气次高压管线—储配站/高中压调压站—中压天然气管道—中低压公共调压站/专用调压站—用户段的燃气输配系统。规划燃气管线位于场址 SW 方位约 1.2km。

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018），管线气体泄漏的气体流动类型按如下判定：

$$\text{临界流: } \frac{P_0}{P} \leq \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (2.3-3)$$

$$\text{次临界流: } \frac{P_0}{P} > \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (2.3-4)$$

式中：

P_0 ——环境压力，Pa。

P ——容器压力，Pa。

γ ——气体的绝热指数（比热容比，即定压比热容 C_p 与定容比热容 C_v 之比），这里取 1.309。

假定气体特性为理想气体，其泄漏速率 Q_G 按下式计算：

$$Q_G = Y C_d A P \sqrt{\frac{M \gamma}{R T_G} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \quad (2.3-5)$$

式中：

Q_G ——气体泄漏速率，kg/s。

P ——容器压力，Pa。

C_d ——气体泄漏系数，当裂口形状为圆形时取 1.00，三角形时取 0.95，长方形时取 0.90。

M ——物质的摩尔质量，kg/mol。

R ——气体常数，J/（mol K）。

T_G ——气体温度，K；保守取 273.15K。

A ——裂口面积，m²。

Y ——流出系数，对于临界流 Y=1.0；对于次临界流按下式计算：

$$Y = \left[\frac{P_0}{P} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \times \left\{ 1 - \left[\frac{P_0}{P} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\}^{\frac{1}{2}} \times \left\{ \left[\frac{2}{\gamma-1} \right] \times \left[\frac{\gamma+1}{2} \right]^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2.3-6)$$

参考核安全导则《核动力厂厂址评价中的外部人为事件》(HAD101/04, 2025) 附录III中对于易燃气体连续释放，能达到点燃浓度限值的距离 X (km)，可由下式计算：

$$X = 2R^{0.8} \quad (2.3-7)$$

式中：

R ——释放率，t/s。

对于单一喷放，假定气云在整个飘移期间保持在同一高度。在风速约为 1m/s 情况下，浓度仍高于点燃极限值的距离 X 可由下列关系式求得：

$$X = 0.22T^{0.45} \quad (\text{式 } 2.3-8)$$

式中：

X ——在风速约为 1m/s 情况下，浓度仍高于点燃极限值的距离，km。

T ——总释放量，t。

根据上述方法，计算规划燃气管线连续释放和单一喷放的影响。达到最小点燃浓度限值的距离小于规划燃气管线到场址的距离。

根据《民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021-2035）》，规划燃气管网沿工业园主要道路布设，距离场址最近的规划燃气管线布设于厂区南侧纬七路。

根据上述方法，计算规划燃气管线连续释放和单一喷放的影响。达到最小点

燃浓度限值的距离小于规划燃气管线到场址的距离。

因此，场址附近的油气管线不会对本项目的安全运行构成潜在威胁。

2.4 气象

2.4.1 区域气候

2.4.1.1 区域气候特征

场址位置处在极地高压、副热带高压和青藏高原高压（或南亚高压）之间的相对低压带内，大气环流的槽、脊及高低压系统活动频繁，冷空气活跃，季节变化明显。

冬季环流特征：对流层下层蒙古高压—西伯利亚高压处于强盛时期，场址位于高压的底部或偏西南部。高空新疆脊强盛，受其影响天气晴好干冷，空气干燥，降水稀少，当脊前冷空气东移入侵时常有西北大风并伴随降温。

春季环流特征：因为地面得到的太阳辐射能增加，陆面升温较快，蒙古高压势力减弱并逐渐北移。高空西风环流强度减弱，新疆脊强度减弱东移，地面西伯利亚冷空气随高空气流向东南移动。受祁连山地形阻挡，冷空气堆积加强而易于形成冷锋，当强冷锋过境时就造成降温、大风、扬沙、沙尘暴等天气。一般影响该区域的冷空气路径主要有：西北路径、西方路径和北方路径。西北路径和西方路径冷空气的锋面过境后多为西北风。北方路径的冷空气的锋面过境后多为偏东风。春季气温回升较快，降水较冬季虽有增加，但仍然偏少。

夏季环流特征：环流形势发生了根本变化。蒙古高压进一步减弱甚至消失，高空新疆脊强度减弱西退，西风急流北退，锋区明显减弱北移。由于气压梯度较小，地面风速低于冬、春季。受东亚季风和高原季风的影响，本区高空盛行西南气流，当暖湿空气与西北到来的冷空气相遇时即可形成降水。我国夏季盛行的东南季风一般不易影响到达本地，但夏季仍是当地降水集中的时期，夏季降水占年降水量的60%左右，偶尔也会出现暴雨。

秋季环流特征：大气环流形势为夏季到冬季的过渡型。秋季环流形势的变化较快，西太平洋高压脊明显南移收缩，对流层下层蒙古高压开始建立。高空环流形势也发生了相应变化，东亚槽西移并加深，新疆脊强度逐渐加强，北风分量加大，为小股冷空气南下提供较好的高空条件。秋季地面降温迅速，地面风速逐步加大，降水减少。

2.4.1.2 区域气象的平均值和极端值

在本项目中搜集了场址附近80km范围内的甘肃省民勤站和内蒙古雅布赖站历年常规气象观测资料进行统计分析。

根据场址气象代表站民勤站多年（1953~2021年）的气象资料，统计区域常规气象参数如下：

1) 气温

民勤站累年平均气温为8.6℃，最热月7月平均气温为23.7℃，最冷月1月平均气温为-8.7℃。

极端最高温度为41.7℃，出现在2010年7月30日，对应湿球温度22.8℃。极端最低温度为-29.5℃，出现于2008年2月1日。

2) 气压

民勤站累年平均气压为863.7hPa，累年月平均最高气压出现在12月，为869.5hPa，累年月平均最低气压出现在7月，为856.3hPa。

极端最高气压为888.8hPa，出现于1955年1月15日；极端最低气压为839.1hPa，出现于1955年4月13日。

3) 水汽压

民勤站累年平均水汽压为5.8hPa，累年月平均最高水汽压出现在7月，为12.7hPa，累年月平均最低水汽压出现在1月，为1.5hPa。

累年各月最高水汽压为25.2hPa，出现在7月；最低水汽压为0hPa，出现在1月。

4) 相对湿度

民勤站累年平均相对湿度为44%，累年月平均最大相对湿度出现在8月和9月，为52%，累年月平均最小相对湿度出现在4月，为32%。最小相对湿度为1%。

5) 日照

民勤站累年平均日照小时数为3099.3h，累年各月平均日照时数最大值为295.1h，出现在5月，最小值为223.0h，出现在2月。

6) 蒸发

民勤站累年平均蒸发量为2462.5mm，6月蒸发量最大，为348.0mm，1月最小，为45.1mm。

7) 降水

民勤站累年平均降水量为115.0mm，最大年降水量为202.0mm，出现在1994年。8月份平均降水量最大，为30.0mm，最大月降水量为87.8mm，出现在1973年8月。一日最大降水量为48.0mm，出现在1994年6月14日。

1992~2021年，一小时最大降水量为28.3mm，出现于1994年6月14日19时，当时风向NE，风速约3.0m/s；连续一次最大降水量为48.3mm，持续时间为5h，起始时间1994年6月14日18时。

最大连续日降水量（日降水量 $>0.1\text{mm}$ ）为50.5mm，自2006年8月10日~8月13日，持续4天。这4日风向变化较大，前两日偏W风为主，后两日为偏NE风，风速平均为2.2m/s。

8) 风速、风向

民勤站累年平均风速为2.7m/s。累年各月平均最低风速为2.2m/s，出现在1月和10月，4月风速最大，为3.3m/s。1971~2021年，民勤站最大风速为23.0m/s，出现时间为1971年5月13日和1977年5月19日，风向均为WNW；1994~2021年，民勤站极大风速为28.5m/s，出现日期为2004年6月19日，当时风向为W。

民勤站年主导风向不明显，最多风向为E，频率为10%。年静风频率为14.3%；自2005年自动站单轨运行后，年静风频率为2.3%。

2.4.2 当地气象条件

本项目采用TMSR-LF1气象站作为场址气象站，该气象站位于场址内东北角，于2022年6月9日开始建设，2022年7月8日安装验收。四周地形开阔，场地内采用10m风杆和地面气象观测设施，观测要素包括10m风向、10m风速、地面气压、地面温度、地面相对湿度、地面降水、地面总/净辐射。气象观测设施由民勤县气象局负责建设、运行和维护，气象观测数据实时传输到民勤县气象局、上海应物所甘肃武威园区应急指挥中心和备用应急指挥中心。

当地气象条件使用场址气象站观测获得的一整年（2024年1月~2024年12月）观测资料进行描述，气象数据联合获取率98.4%，满足核安全导则《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02，1987）规定的不低于90%的要求。

根据TMSR-LF1气象站2024年度的观测资料，结合场址气象代表站民勤站长期（1953~2021年）气象资料，计算分析场址区域的气温、降水、风向、风速等气象要素值。

1) 气温

2024年平均温度为10.2℃，在气温变化方面，一整年最高气温出现在2024年7月，最低气温出现在2024年1月。2024年7月的最高气温为37.3℃，2024年1月最低气温为-22.8℃。由气温日变化可知，通常在下午15:00~17:00达到日最高气温，在清晨06:00~08:00达到日最低气温。

民勤站累年平均气温为8.6℃，最热月7月平均气温23.7℃，最冷月1月平均气温-8.7℃；极端最高温度为41.7℃，出现在2010年7月30日，极端最低温度为-29.5℃，出现于2008年2月1日。

2) 降水

根据本项目所在地气象局反馈，2024年1月~2024年3月、2024年10月~12月降水收集器关闭，主要考虑因素为该时段降水稀少且风沙很大，因此2024年只存有4-9月的降水观测数据。

2024年降水量为79.3mm，降水小时数140h，一日最大降水量为29.0mm，出现在2024年8月24日。最大过程降水量为28.2mm，持续2h，起始时间为2024年8月24日22时。最长降水过程持续1天（2024年8月24日），过程降水量为29.0mm。2024年8月降水量最大，达32.7mm。一小时最大降水量为21.9mm，出现在2024年8月24日22时，当时风向为NW，风速约为5.3m/s。

民勤站累年平均降水量为115.0mm，最大年降水量为202.0mm，出现在1994年；一日最大降水量为48.0mm，出现在1994年6月14日；最大连续日降水量（日降水量>0.1mm）为50.5mm，自2006年8月10日~8月13日，持续4天。民勤站（1992~2021年）一小时最大降水量为28.3mm，出现于1994年6月14日19时，当时风向NE，风速约3.0m/s；连续一次最大降水量为48.3mm，持续时间为5h，起始时间1994年6月14日18时。

3) 相对湿度

2024年平均相对湿度为48%，相对湿度最低值为0%，出现在2024年4月。

民勤站累年平均相对湿度44%，最小相对湿度为1%；累年月平均最大相对湿度出现在8月和9月，为52%，累年月平均最小相对湿度出现在4月，为32%。

4) 气压

2024年平均气压为858.2hPa，最高大气压出现在2024年12月，为878.2hPa，最低大气压出现在2024年2月，为840.2hPa。

民勤站累年平均气压为863.7hPa，累年月平均最高气压出现在12月（869.5hPa），累年月平均最低气压出现在7月（856.3hPa）；极端最高气压为888.8hPa，出现于1955年1月15日，极端最低气压为839.1hPa，出现于1955年4月13日。

5) 风速、风向

2024年平均风速为4.1m/s，最大风速为19.8m/s，出现在2024年2月，最大风速时刻风向为W。

2024年风向频率最高为E方位，风频为13.7%，全年静风频率0.7%。

民勤站累年平均风速为2.7m/s。累年各月平均最低风速2.2m/s，出现在1月和10月，4月风速最大，为3.3m/s。民勤站（1971~2021年）最大风速23.0m/s，出现时间为1971年5月13日和1977年5月19日，风向均为WNW。民勤站（1994~2021年）极大风速为28.5m/s，出现日期为2004年6月19日，当时风向为W。

民勤站年主导风向不明显，最多风向为E，频率为10%，年静风频率为14.3%（自2005年自动站单轨运行后，年静风频率为2.3%）。

2.4.3 大气稳定度

大气稳定度是表征大气系统垂直运动能力的物理量，反映了局地大气的湍流状态。按照帕斯奎尔（Pasquill）稳定度分类法分为强不稳定、不稳定、弱不稳定、中性、较稳定和稳定六类，分别由A、B、C、D、E和F表示。

根据太阳辐射法计算得到，中性天气类（D）出现频率为44.7%，稳定天气类（E、F）出现频率为29.2%，不稳定天气类（A、B、C）出现频率为26.1%。

2.4.4 联合频率

根据TMSR-LF1气象站2024年1月至2024年12月的气象数据计算得到地面10m高度三维联合频率、地面10m高度有降水 and 无降水四维联合频率。

2.4.5 混合层高度及扩散参数值

边界层中的空气明显的受地面摩擦或热力作用影响，因而在某个高度的稳定层下会出现显著的垂直混合，形成混合层。污染气象学定义混合层为湍流特征不连续界面以下湍流充分发展的大气层，其厚度就是混合层厚度，它表征了污染物

在垂直方向上被热力湍流稀释的范围。

根据《2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）环境影响报告书（运行阶段）》（C版）确定A~D类稳定度的混合层高度。

扩散参数采用《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02, 1987）中推荐的P-G扩散参数，根据《空气污染气象学教程》（蒋维楣等编著）中给出的P-G扩散参数拟合得到的横向及垂直扩散参数幂函数表达式系数值，拟合时不考虑距离分段。本项目所在区域位于西北地区，地形平坦，符合扩散参数的适用条件。

2.4.6 场址气象观测

TMSR-LF1气象站位于园区东北角（于2022年6月9日开始建设、7月8日安装验收），四周地形开阔，场地内采用10m风杆和地面气象观测设施，观测要素包括10m风向、10m风速、地面气压、地面温度、地面相对湿度、地面降水、地面总/净辐射。气象观测设施由民勤县气象局负责建设、运行和维护，气象观测数据实时传输到民勤县气象局、上海应物所甘肃武威园区应急指挥中心和备用应急指挥中心。

综上所述，TMSR-LF1气象站观测要素基本完备，数据来源稳定可靠，能够反映场址气象特征，因此能够满足场址气象观测的要求。

2.5 水文

2.5.1 地表水

本节主要根据南京水利科学研究院2022年8月完成的《小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目可能最大降雨和可能最大洪水专题报告》编制。

本项目位于甘肃省武威市民勤县，武威市境内所属黄河流域与内陆河的石羊河流域两大河流。黄河流域在武威境内过界水量23.15亿 m^3 ，通过长度68km，主要有流域的大通河、金强河、松山、新堡河、石门河5条水系10条河流的一级沟22条，291km，二级沟1049条，1023km，三级沟1248条，769km，沟壑密度每平方千米1.95km，黄河流域面积3620.22 km^2 ，占武威土地总面积的11%。石羊河流域总面积4.16万 km^2 。石羊河流域武威属区面积2.91万 km^2 ，占武威土地面积的87.7%。从东到西有大靖河、古浪河、黄羊河、杂木河、金塔河、西营河、东大

河、西大河8条河流，8条一级河流总长717km，二级河流118条1804km，三级河流3149条5503km，四级河流4641条4084km，河网平均密度1.57km²。

场址半径10km范围内无常年地表径流产生，场址处于内流区红沙岗河与昌宁河之间，场址距红沙岗河与昌宁河直线距离均约8km，但是红沙岗河与昌宁河在卫星影像中仅有流痕冲沟存在。

根据《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区总体规划（2020-2035年）》，场址所在园区外围约8km处规划修建防洪设施，在镇区北部，保留防洪坝和整治泄洪沟；在低碳新能源产业区，结合该区域东环路等外部道路设置泄洪沟渠；建设防洪坝、泄洪沟，将北部的山洪进行疏导，引至下游泄洪区，以保证园区安全。

根据《民勤红沙岗工业聚集区防洪工程可行性研究报告（2021年）》，防洪工程新建堤防15.64km，分工业园区东、西两侧实施，东侧堤防型式以沙土堤结合格宾石笼护坡进行治理，局部段进行河道疏浚治理，堤防工程起点位于工业园区经六路与北环路十字东侧，末点位于东环路南短；西侧以上游坡面洪水疏导为主，堤防型式以沙土堤结合河道疏浚治理，堤防工程起点位于工业园区经六路与北环路十字西侧，末点位于园区西环一路与纬五路十字附近。

2.5.2 地下水

2.5.2.1 场址附近范围地下水条件

1) 水文地质单元划分

场址附近范围地形较为平缓，区内并无明显的地表分水岭，地表也并无稳定的地表径流，水文地质条件较为简单单一，区域内的地下水补给、径流及排泄方式较为一致，因此场址附近范围均属于同一水文地质单元。场址区附近范围内的地下水流向整体为自东北向西南方向径流，结合附近已有水文地质资料，该区域的地下水最终汇至场址区西南侧潮水盆地内地势稍低处。

2) 地下水类型和特征

场址附近范围内地下水类型主要为松散岩类孔隙潜水、基岩裂隙水及基岩层间承压水。在水文地质调查过程中，通过对场址附近范围内的民井进行调查，对场址附近范围内的10孔民井内的地下水位进行了测量。

松散岩类孔隙水主要分布在场址附近范围南侧，其含水层主要为新近系砾质砂岩层，富水性较弱，其补给来源主要为大气降水，排泄方式为向西南侧潮水盆

地腹地径流，水力坡度为 7~10%左右；基岩裂隙水则主要分布在场址附近范围北侧，含水层主要为华力西期正长花岗岩，富水性较弱，其补给来源主要为山区散流洪水补给，同时还接受大气降水的下渗补给，排泄方式则为人工取水及向西南侧潮水盆地腹地径流；基岩层间承压水主要分布在西北侧下伏侏罗系中统的砂岩、砾岩层中，具有含水层和隔水层交互沉积的特点，含水层埋深一般较大，富水性的强弱主要受介质颗粒粗细影响，其补给来源较为贫乏，主要为基岩裂隙水下渗补给，同时由于该岩层裂隙发育程度低，其富水性较差，水量小。

场址区及其北侧大部分区域地下水类型主要为基岩裂隙水，为单层结构；在场址区南侧范围内的地下水则既存在松散岩类孔隙潜水，深部又存在基岩裂隙水，该区域的地下水为 2 层结构；在场址区西北侧太西煤矿附近区域，除存在薄层松散岩类孔隙潜水外，同时在侏罗系中统下部粗粒砂岩及砂、砾岩裂隙含水层组中还存在层状的层间承压水，同时还存在基岩裂隙水，该区域的地下水为 3 层结构。

3) 地下水补给、径流、排泄

场址附近范围位于潮水东盆地北缘，北侧紧邻北山山麓，南侧与潮水东盆地内地势低洼的盐碱滩相邻，其地下水补给既有北山山区散流洪水的补给，同时还接受大气降水的下渗补给，整体而言，场址区属潮水盆地的径流补给区。由于该区域气候干燥，多年平均降水量 82mm 左右，其补给来源极为匮乏，从而也导致该区域地下水水位埋藏较深、水量较小。

地下水径流方向主要为自北侧山区向西南侧盆地腹地方向径流，整体呈东北-西南径流方向。

4) 水力联系

场址区附近范围内并无重要的取水点及水源点，场址区西南侧的四方墩水源地位于潮水盆地中心靠南侧位置，与场址最近距离约 13km，与场址附近范围分属不同水文地质单元，相互之间不存在水力联系。

基岩裂隙水补给来源主要为山区散流洪水补给及大气降水的下渗补给，最终向西南侧潮水盆地腹地径流补给到盆地中央的孔隙潜水之中。基岩层间承压水补给来源较为贫乏，主要为基岩裂隙水下渗补给。

根据经验数据，花岗岩中放射性核素铯 Cs 的 K_d 值为 300mL/g、锶 Sr 的 K_d 值为 12mL/g。

5) 地下水的渗透性

场址区分布的主要地层岩性的渗透性系数及渗透性分级如下：新近系浅表层砾质砂岩密度为 1.92g/cm^3 ，渗透系数为 $3.9\times 10^{-4}\text{cm/s}\sim 2.6\times 10^{-3}\text{cm/s}$ ($0.33\text{m/d}\sim 2.20\text{m/d}$)，属中等透水，局部地段属弱透水；强风化正长花岗岩密度为 2.15g/cm^3 ，渗透系数为 $1.41\times 10^{-5}\text{cm/s}\sim 1.65\times 10^{-5}\text{cm/s}$ ，属弱透水；微风化正长花岗岩密度为 2.64g/cm^3 ，渗透系数为 $8.89\times 10^{-6}\text{cm/s}$ ，属微透水。

根据本项目可行性研究阶段岩土工程勘察成果，场址区内砾质砂岩的孔隙率约为 27.9%，微风化正长花岗岩的孔隙率约为 0.81%。

6) 地下水腐蚀性

由于场址区内地下水类型主要为基岩裂隙水，且并无稳定的地下水位，其水位埋深为 44.90~62.60m，标高 1356.84~1374.26m，场址区内拟建构筑物中最大基础埋深为 30m，在基坑开挖范围内不会揭露地下水，不用考虑地下水对基础的腐蚀性。

7) 地下水化学特性

场址附近范围常年气候干燥，场址附近范围内并无稳定的地表水，其地下水水位埋深较深，选择有代表性的机民井采集水样分析样品 5 组，其中深井水样 4 组、民井浅井水样 1 组，进行室内水质分析试验。根据水质分析结果对其化学特征进行描述分析，本次地下水化学类型分类方法选用舒卡列夫分类，据离子成分及矿化度划分地下水类型。

松散岩类孔隙水在场址附近范围分布范围最为广泛，水井 4、水井 5、水井 7 及水井 9 中的水样均属松散岩类孔隙水类别，根据其试验分析成果，其水化学类型以 Cl-Na 型为主，兼有 $\text{SO}_4\text{-Cl-Na}$ ， $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl-Na}$ 型水；其中 pH 值一般为 7.62~8.30，弱碱性水；其矿化度 $566\text{mg/L}\sim 1023\text{mg/L}$ ，以淡水为主，局部微咸水。

基岩裂隙水主要分布在北部基岩出露区或靠近山前微倾斜平原基岩之中，水井 3 中水样取自基岩区一民井，其水化学类型为 $\text{SO}_4\text{-Cl-Na-Ca}$ 型，pH 值为 7.60，为弱碱性水；矿化度 1593mg/L ，为微咸水；硬度 518mg/L ，为极硬水。

2.5.2.2 地下水的影响

在场址附近范围内不存在大规模地下水开采活动。

由于场址区内地下水类型主要为基岩裂隙水，且并无稳定的地下水位，其水位埋深为 44.90~62.60m，标高 1356.84~1374.26m，场址区内拟建构筑物中最

大基础埋深为 30m，在基坑开挖范围内不会揭露地下水，不用考虑地下水对基础的腐蚀性，地下水对工程建设无不利影响。此外，熔盐泄漏后会冷却凝固，对地下水环境无影响。

场址位于工业园内，该园区内已经铺设完善的供水和排水系统，因此后期无论是施工废水或生活废水，都会通过排污管道系统进行排放，不会无序排放，因此也不存在生产生活废水排放导致地下水污染。

2.5.3 洪水

本节主要根据南京水利科学研究院2022年8月完成的《小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目可能最大降雨和可能最大洪水专题报告》编制。

本项目位于甘肃河西内陆河水系，参考《滨河核电厂厂址设计基准洪水位的确定》（HAD101/08，1989）和《核电厂工程水文技术规范》（GB/T50663-2011）中关于洪水类型的相关要求，分析下列独立事件和可能组合事件及其相应的外界条件，选择其最大值作为场址的可能最大洪水：

- （1）由降雨产生的可能最大洪水。
- （2）可能最大降雨引起的上游水库溃坝。
- （3）可能最大降雨引起的上游水库溃坝与可能最大降雨引起的区间洪水相遇。
- （4）可能最大积雪与频率1%的雪季降雨相遇。
- （5）频率1%的积雪与雪季的可能最大降雨相遇。
- （6）由相当运行基准地震震动引起的上游水库溃坝与1/2可能最大降雨引起的区间洪水相遇。
- （7）由相当极限安全地震震动引起的上游水库溃坝与频率4%的区间洪水相遇。
- （8）频率1%的冰堵与相应季节的可能最大洪水相遇。
- （9）上游水坝由操作失误开启所有闸门与由1/2可能最大降雨引起的洪峰相遇。
- （10）上游水坝因操作失误开启所有泄水底孔与由1/2可能最大降雨引起的洪峰相遇。

根据本项目场址的地理位置和流域地形地貌情况，区域内无水利工程影响场

址即无水利工程溃堤溃坝风险存在，排除上述（2）、（3）、（6）、（7）、（9）、（10）项；该区域处干旱内流区内无常年径流不会形成冰堵，排除第（8）项；根据水文气候分区特征，区内暴雨洪水发生在每年的6~9月，8月最多，冬季积雪、冰堵等洪水远远小于汛期洪水和由可能最大暴雨引起的可能最大洪水，排除上述第（4）、（5）项。

因此本项目场址仅需考虑由降雨产生的可能最大洪水。

在发生可能最大降雨PMP时，研究堆主体建筑附近最大积水高度为0.13m，小于研究堆主体建筑室内外设计高差0.6m，因此场址防洪是安全的。

第三章 环境质量现状

3.1 辐射环境质量现状

中国科学院上海应用物理研究所委托苏州热工研究院有限公司于 2020 年 7 月至 2020 年 10 月在上海应物所武威园区（以下简称“场址”）周围进行了为期一个季度的放射性环境本底调查，形成《TMSR-LF1 运行前环境辐射本底调查总结报告》（B 版），监测内容包括场址半径 10km 范围内辐射剂量率、累积剂量等及环境介质放射性活度的监测工作。

2022 年 1 月至 2022 年 6 月，浙江国辐环保科技有限公司对本项目所在区域及其周边环境开展了以本项目为中心、场址半径 20km 范围内辐射剂量率、累积剂量等放射性环境现状调查，形成《小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目放射性环境现状调查报告》，作为 2020 年环境辐射本底调查的补充。

本节内容中，辐射剂量率、累积剂量等根据《小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目放射性环境现状调查报告》进行编制，环境介质放射性活度根据《TMSR-LF1 运行前环境辐射本底调查总结报告》（B 版）进行编制。

上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）已于 2023 年投入运行，上海应物所于 2024 年 5 月~2025 年 9 月开展 γ 辐射剂量率和环境介质放射性活度自主监测。本报告将 2024 年 5 月~2025 年 9 月监测结果用于对比 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）运行前后的辐射环境质量变化。

3.1.1 辐射环境本底调查

3.1.1.1 调查内容及范围

1) 原野贯穿辐射剂量率资料收集

调查收集场址所在的武威市、民勤县的原野贯穿辐射剂量率资料。

2) γ 辐射剂量率

(1) γ 辐射剂量率

在以本项目研究堆为中心半径为 2km、5km、10km、20km 的圆与 16 个方位所形成的各扇形区域内陆地上进行布点，监测频次为 2 次。调查监测点位 90 个。在可能的关键居民组、人口集中的居民区域、环境敏感区和主导风下风向等

适当增加针对性布点。

(2) γ 辐射累积剂量

γ 辐射累积剂量监测点位与 γ 辐射剂量率监测点位一致。

监测频次为 1 次，因疫情原因，持续监测 3.5 个月。

(3) 宇宙射线响应值测量

在测量环境 γ 辐射剂量率时，X- γ 辐射剂量当量率仪读数中包含探测器对宇宙射线电离成分的响应值；热释光剂量片在野外环境布放期间，无法避免宇宙射线电离成分的辐射，热释光读出器的测量值中也包含了宇宙射线响应值。

为了使不同类型探测器、剂量片的监测数据可以比较，也方便用来剂量评价，应当选取合适监测点位进行宇宙射线响应值的测量。

甘肃武威民勤县内湖泊共 4 个，分别为红崖山水库、青土湖、东湖和清泉湖，综合考虑拟选取民勤县红崖山水库作为测量宇宙射线响应值的点位。红崖山水库位于场址 SSE 方位 66.7km 处，海拔高度约 1360m，远离场址。红崖山水库设计总库容量 1.27 亿立方米，水库面积 30 平方公里，估算平均水深 4.2m。宇宙射线监测点位地理位置距离岸边 1.06km，符合宇宙射线响应值测点要求（水深大于 3m）。另外选取红崖山水库岸边作为对照点点位。

3) 空气中放射性

(1) 气溶胶

气溶胶监测点位布设于场址 WSW 方位约 3km 处的工业企业厂界（金仓公司南门）。

气溶胶中放射性监测项目为 γ 核素和 ^{90}Sr 。气溶胶中放射性监测次数为 1 次。

4) 水中放射性

水中氚监测点位为园区供水点（地下水）和红砂岗镇饮用水，其中园区供水点为项目所在工业园区水源，红砂岗镇为场址最近居民组。

水中 ^3H 监测次数为 1 次。

5) 土壤放射性

在场址中心半径 10km 范围内 8 个方位的扇形区域布点，共采集土壤样品 8 个。监测项目包括 γ 核素、 ^{90}Sr 。土壤监测次数为 1 次。

2022 年陆域 γ 辐射剂量率调查方案见表 3.1-1；2020 年本底调查监测项目类别、点位、频次、样品数等统计见表 3.1-2。

3.1.1.2 监测与分析方法

1) 监测设备

2020 年辐射环境本底调查测量设备见表 3.1-3。

2022 年调查的主要设备为 2 台便携式 γ 辐射剂量率仪和 1 套热释光测量系统，用于环境放射性测量。测量仪器名称及型号列于表 3.1-4，仪器技术参数列于表 3.1-5。

2) 监测方法

(1) γ 辐射剂量率

选用 FH40G+FHZ672E-10X- γ 辐射剂量当量率仪测量了 γ 辐射剂量率。FH40G+FHZ672E-10X- γ 辐射剂量当量率仪具有较高的灵敏度、合适的量程范围、良好的温度特性、角响应和能量响应（36keV~4.4MeV，相对响应之差 $<\pm 15\%$ ，相对于 ^{137}Cs γ 辐射参考源）。

仪器测量前预热 15 分钟以上，采用多次瞬时读数取平均值的方法，每个测点一般每次读 10 个数，每间隔 10s 读一个数。

野外测量时，雨天、雪天、雨后和雪后 6h 内不开展测量。

(2) γ 辐射累积剂量

环境 γ 辐射累积剂量测量采用热释光剂量计测量法。热释光剂量片采用 $\phi 4.5 \times H 0.8\text{m}$ 的 LiF (Mg、Cu、P) 圆片形。此种元件具有较好的抗破损性，并有较好的能量响应特性和对工作环境要求不苛刻等优点。每批次布放的热释光剂量计经严格筛选，分散性小于 5%。热释光剂量计在布放到监测点之前，对其进行多重包装，包装达到足够的厚度，以便达到电平衡及消除 β 辐射干扰，包装材料为塑料，以防止水或水汽的渗入，包装的外层采用白色透明塑料，以防止阳光照射后吸热使热释光信息衰退。为提高监测数据的准确度，在监测点布放热释光剂量计的同时，在低本底铅室和已知剂量率的环境中布放本底和对照组。

剂量计退火温度控制在 $(240 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，退火时间为 10 分钟。剂量读出仪为 V 型热释光远红外精密退火炉。退火程序：先以 15°C/s 升温速率升温至 140°C ，在此温度下恒温 10s；然后以同样的升温速率升温至 240°C ，在此温度下恒温 10s。

(3) 宇宙射线响应值的测量

➤ γ 辐射剂量率

在红崖山水库水面（距岸边大于 1km）上测量，仪器应放置于对读数干扰小

的木制、玻璃钢或橡胶船体上，船体内无压舱石。测量仪器的宇宙射线响应及其自身本底时，在读数间隔为 10s 时应至少读取或选取 50~100 个读数，也可选取仪器自动给出的平均值，或使读数平均值统计涨落小于 1%。

➤ γ 辐射累积剂量

采用与环境监测时同样的热释光剂量片，经辐射照射选出均匀性在 3% 以内的片子，数量至少 50 片。将这批热释光剂量片退火后分组装入具有防水、防潮、防尘的密封盒内，并装入运输铅罐中，快速运至选定的红崖山水库水面上布放（如固定浮标），布放点水深大于 3m，距岸边大于 1km，布放时间至少 3 个月。收样时也要将热释光剂量片装入铅罐，立即运回实验室用热释光读出器测量。

γ 辐射剂量率和 γ 辐射累积剂量采用现行有效的国家标准和行业标准以进行陆地 γ 辐射的监测，监测方法见表 3.1-6。

（4）环境介质放射性监测

环境介质放射性监测涉及的项目均使用国家和行业标准方法。方法依据见表 3.1-6。

3）探测下限

对放射性核素分析的探测限表示为：

$$LLD = 2.71 + 4.65\sqrt{n_b t_b} \quad (3.1-1)$$

在考虑到样品量、回收率、探测效率等参数后，探测限（LLD）可表示为最小可探测活度浓度（MDC）。

根据上述探测限的计算方法，放化分析各项目典型最小可探测活度浓度见表 3.1-7， γ 核素分析项目最小可探测活度浓度见表 3.1-8~表 3.1-10。

3.1.1.3 质量保证

1）浙江国辐环保科技有限公司

（1）资质认定

调查单位具备质量技术监督局颁发的有效资质认定书，并在资质认定允许范围内开展本项目监测工作。

（2）组织机构

调查单位成立了项目组以保证调查工作的质量。由质量负责人和技术负责人全面负责调查工作，并按资料收集、现场监测等进行分工，确定每项工作的责任

人。

（3）调查方案评审

开展调查前，项目组编制了工作大纲和质保大纲，专题单位根据专家函审意见进行了修改、补充、修订后的“两纲”是调查工作的主要技术依据，开展现场调查监测。

（4）仪器检定

仪器检定按照调查单位仪器年度检定计划进行。调查涉及的主要监测仪器清单及检定信息见表 3.1-3~表 3.1-4。

（5）现场调查质量控制

- 现场监测严格按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中要求进行。
- 测量仪器每年由国家法定计量检定单位检定一次，每次测量前和测量后均检查仪器的工作状态是否正常、仪器设备是否稳定。定期在稳定辐射场进行仪器检验，检查仪器的长期稳定性；选择红崖山水库进行宇宙射线响应值的测定。
- 监测人员经考核合格并持有合格证书上岗，所有野外测量均要求有两个或以上人员参加。

（6）实验室测量控制指标

调查布放热释光剂量片的平行片不少于 10%。

（7）数据处理

➤ 数据记录

①依据实施细则，每个监测项目均编制了原始记录表，对每个监测项目实施记录制度。

②根据需要记录测量点位的地理信息，拍摄测量现场照片，必要时记录海拔、经纬度、宇宙射线扣除等信息。

③记录表格不得随意涂改，如必须修改，则由监测人员在修改处盖章或签名并注明修改日期。

➤ 数据报告

①对记录的原始数据进行适当的处理，包括统计分析和单位换算，按规范要求给出均值和标准差。

②对数值的修约和异常数据的处理采用标准方法，减少处理过程中产生的误差。

③监测结果一般取 2~3 位有效数字,结果的不确定度一般取 1~2 位有效数字,同时监测结果末位与不确定度末位要对齐。

④对原始数据进行必要的整理、检查;检查监测结果的趋势是否符合一般规律,如不符合,查找原因;对于偏离正常值的异常结果,及时向技术负责人报告,并进行核查。

➤ 数据保存

所有原始记录、计算和导出数据和质量保证编制文件都归档保存,对于本调查项目的数据,保存时间为 6 年。

➤ 数据评价

①对监测数据进行统计、整理后与评价标准、场址所在的甘肃省、武威市的天然辐射水平、本底数据进行比较,分析场址区域及周围环境辐射环境现状水平。

②对不符合标准或与历史数据有较大差异的监测结果,采用溯源、复测、复核等方式进行原因分析并核准。

2) 苏州热工研究院有限公司

(1) 组织机构和人员配备

专题单位设置调查项目组,项目组成员均资格合格,同时项目管理的管理人员和关键岗位人员全面了解项目的专门要求,包括项目管理方面和技术方面的要求,以及项目质保大纲和项目管理程序的相关要求。

(2) 现场调查质量控制

➤ 现场调查工作的确认

根据项目工作方案内容,由本项目现场监测与采样组负责收集相关的调查资料后移交采购与文档管理组负责标识、保存。

现场监测与采样组在收集资料时首先对收集的资料进行验收,对于已通过验收的委托方提供的基础资料,项目组文档管理员按规定要求予以保存。

➤ 监测环境条件的控制

在现场调查时,监测人员应根据环境条件文件中的要求,客观、真实地记录抽样/选样、监测过程中的环境条件及其变化,确保整个过程环境条件符合要求。

监测人员在采样、监测时,注意观察、检查有关技术活动涉及的环境条件,当发现已危及到监测结果或不符合监测标准方法的要求时,立即停止监测,并报告项目技术负责人或项目经理。

➤ 现场监测设备控制

开展现场监测前，设备管理员负责核查相关仪器设备，并做好核查记录，确保所有仪器均能正常使用。在项目进行过程中，设备管理员负责设备的检定、校准、维修、报废工作，并做好相应的记录，保证设备在计量检定或校准的有效范围内使用。工作人员每次使用设备均按要求填写使用记录。设备管理员制定设备维护保养计划，设备使用责任人对设备定期维护，保证设备正常使用。

➤ 样品采集、保存、运输

现场监测与采样组根据环境检测中心采样作业指导书进行采样，并按要求对样品进行现场标识。现场监测与采样组负责人根据监测要求组织组员对样品进行分类保存、运输。具体按相关的现场采样作业指导书执行。

现场样品采集和保存过程中，应做好样品信息记录、平行样采集、保存条件等相关的要求，具体按环境检测中心《样品处置程序》（RG/CX34-2016）执行。

（3）采样质量控制

➤ 采样工作开始之前，根据调查的目的和要求，决定采集样品的种类，对各类样品的采集和预处理，制定操作程序，采样出发前，对每个参加采样的人员进行培训，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。

➤ 现场采样人员在现场真实的填写采样记录表，利用 GPS、数码照相的方式对现场采样情况进行记录，以保证定位的可重复性。同时填写样品标签，采取措施保证样品标签在样品保存、运输过程中不会丢失、损坏。

➤ 为保证样品的代表性，采集类样品选择合适的采样地点，采集的样品尽量保证足够的余量，以备复查。

➤ 采样人员负责对样品编号，加贴唯一性识别标识，注明样品的详细信息。样品管理员在接收样品时，应及时登记后保存。

（4）放化分析质量控制

对土壤中 γ 核素、土壤中总 α /总 β 以及土壤中 ^{90}Sr 开展了平行样品测量，对气溶胶中 γ 核素开展了仪器间比对测量。并通过 E_n 法对高于探测限的测量结果进行一致性判定。 E_n 值均小于 1，即评价结果均为合格。 E_n 值计算公式如下：

$$E_n = \frac{|y_1 - y_2|}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}} \quad (3.1-2)$$

式中： E_n 为标准化误差指标； y_1 、 y_2 为两次测量值； U_1 、 U_2 为两次测量值

得扩展不确定度，实际计算时，不确定度只保守考虑测量计数统计误差和刻度源不确定度，即：

$$U_n = \sqrt{U_{n1}^2 + U_{n2}^2} \quad (3.1-3)$$

U_n 为平行样 n 的测量结果扩展不确定度， U_{n1} 为测量结果 n 的 2 倍计数统计误差， U_{n2} 为刻度源活度扩展不确定度（ $k=2$ ）。

（5）数据记录和处理质量控制

项目组制定关于原始数据记录、数据处理、监测结果报告与审核程序。针对不同的监测项目，编制专用的原始记录单（包括采样记录，分析测量记录等），监测结果报告单。要求监测人员严格按照分析测量程序规定，真实、准确、完整地记录分析测量过程中的相关信息。在对原始数据进行必要的整理之前，逐一检查原始记录是否按规定的要求填写完全、正确。监测人员要按规范的监测结果报告单及时写出监测报告，项目负责人审核原始记录及运算过程是否规范、完整、准确。项目质量员组织质保人员对各分项目组的报告数据进行核实评审。

3.1.2 辐射环境质量评价

3.1.2.1 调查区域现有辐射源分布情况

除本项目所在上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆外，场址半径 50km 范围内无核设施，半径 30km 范围内无铀钍矿，半径 15km 范围内无生产放射性同位素和使用 I 类、II 类放射性源及非密封源的情况。场址半径 15km 范围内存在 2 处“人为活动引起天然辐射照射增加”有关设施，分别为太西煤民勤红砂岗矿区一矿和二矿。

综上，对调查区域现有辐射源分布进行如下评价：

（1）场址半径 30km 范围内无核设施，无铀、钍矿设施。

（2）场址半径 15km 范围内无同位素生产设施，不涉及非密封放射性同位素应用，存在 2 处“人为活动引起天然辐射照射增加”有关设施，分别为太西煤民勤红砂岗矿区一矿和二矿。

（3）场址半径 5km 范围内无 I 类和 II 类放射源的应用。

3.1.2.2 调查监测结果

1) γ 辐射剂量率（2022 年监测结果）

（1）仪器宇宙射线响应测量

选取了距场址东南方位约 65km 处的红崖山水库进行了宇宙射线响应值的测量，测量值为 10.6nGy/h。

（2） γ 辐射剂量率

分别于 2022 年 2 月 15 日~2 月 19 日（其中 6 个点位监测于 2022 年 1 月 21 日）和 2022 年 6 月 2 日~6 月 7 日对本项目半径 20km 范围内进行了 2 次 γ 辐射剂量率监测，共设置 90 个监测点位。

在场址 SSE 方位距离约 66.7km 的红崖山水库进行了 X- γ 剂量率仪（FH40G+FHZ672E-10）对宇宙射线响应值的测量，测量值为 10.6nGy/h（n=50），数值偏低可能是由于 X- γ 辐射剂量率仪对宇宙射线响应较低。2022 年结果与浙江省东钱湖宇宙射线响应值测量结果基本相当（浙江省辐射环境监测网络宇宙射线响应比对监测项目报告，2021.12）。

未测量仪器对宇宙射线的响应值时，陆地 γ 辐射剂量率测值范围为 52.1~92.7nGy/h，测量平均值为（72.7 \pm 6.4）nGy/h。扣除宇宙射线响应值后，陆地 γ 辐射剂量率测值范围为 41.5~82.1nGy/h，测量平均值为（62.1 \pm 6.4）nGy/h（已扣除宇宙射线响应值 10.6nGy/h）。

根据《中国环境天然放射性水平》（原国家环境保护总局，1995 年），武威地区原野 γ 辐射剂量率（已扣除仪器对宇宙射线的响应值）介于 36.2~85.8nGy/h 之间，按面积、人口和网格点加权的平均值分别为（62.6 \pm 15.0）nGy/h、（62.8 \pm 15.1）nGy/h 和（59.8 \pm 9.9）nGy/h；武威地区道路 γ 辐射剂量率（已扣除宇宙射线响应值）介于 40.8~126.0nGy/h 之间，按网格点加权的平均值为（72.6 \pm 26.1）nGy/h；甘肃省原野 γ 辐射剂量率（已扣除宇宙射线响应值）范围为 16.9~128.4nGy/h，按面积、人口和网格点加权的平均值分别为（62.6 \pm 11.8）nGy/h、（62.9 \pm 12.5）nGy/h 和（64.5 \pm 19.8）nGy/h；甘肃省道路 γ 辐射剂量率（已扣除宇宙射线响应值）介于 20.1~129.7nGy/h 之间，按网格点加权的平均值为（60.8 \pm 15.6）nGy/h。

根据《中国辐射环境质量报告》（2018~2020 年），2018 年、2019 年和 2020 年甘肃省内距场址最近的金昌市公园路自动站 γ 辐射剂量率小时均值范围（未扣除仪器对宇宙射线的响应值）分别为 93.3~120.7nGy/h、93.7~123.2nGy/h 和 93.3~118.7nGy/h，年均值分别为 97.9nGy/h、98.1nGy/h 和 98.2nGy/h。2018 年、2019 年和 2020 年甘肃省武威市海藏村监测点位累积剂量范围（未扣除宇宙射线

响应值)分别为 114~134nGy/h、109~115nGy/h 和 114~124nGy/h, 年均值分别为 123nGy/h、112nGy/h 和 118nGy/h。

γ 辐射剂量率结果(已扣除宇宙射线响应值)与武威地区原野 γ 辐射剂量率(36.2~85.8nGy/h, 按面积加权平均值为 (62.6 ± 15.0) nGy/h)、武威地区道路 γ 辐射剂量率(40.8~126.0nGy/h, 按网格点加权平均值为 (72.6 ± 26.1) nGy/h)、甘肃省原野 γ 辐射剂量率(16.9~128.4nGy/h, 按面积加权平均值为 (62.6 ± 11.8) nGy/h)及甘肃省道路 γ 辐射剂量率(20.1~129.7nGy/h, 按网格点加权平均值为 (60.8 ± 15.6) nGy/h)处于同一水平。

根据《TMSR-LF1 运行前环境辐射本底调查总结报告》(苏州热工研究院有限公司, 2020 年), 2017 年场址半径 20km 范围内 γ 辐射剂量率(未扣除宇宙射线响应值)范围为 75~121nGy/h, 平均值为 (96 ± 6) nGy/h; 2020 年场址半径 10km 范围内, γ 辐射剂量率(未扣除宇宙射线响应值)范围为 75~111nGy/h, 平均值为 (92 ± 6) nGy/h。2017 年(场址半径 20km 范围内, 75~121nGy/h, 平均值为 (96 ± 6) nGy/h)和 2020 年(场址半径 10km 范围内, 75~111nGy/h, 平均值为 (92 ± 6) nGy/h)场址区域环境辐射调查结果均未扣除仪器对宇宙射线的响应值, 与本次测量结果(未扣除仪器对宇宙射线的响应值, 陆地 γ 辐射剂量率测值范围为 52.1~92.7nGy/h, 测量平均值为 (72.7 ± 6.4) nGy/h)相比, 本次测量结果, 低于 2017 年和 2020 年监测结果, 均处于放射性环境本底水平范围。

(3) γ 辐射累积剂量监测(2022 年监测结果)

场址半径 20km 范围内, 于 2022 年 2 月 15 日~2 月 19 日(其中 6 个点位监测于 2022 年 1 月 21 日)布设 90 个热释光剂量率片, 并于 6 月 2 日~6 月 7 日进行了回收。其中, 6 个点位的热释光剂量率片由于厂区施工、风力大及骆驼误食等原因丢失, 实际回收 84 个点位热释光剂量率片, 回收率为 93.3%。

于 2 月 15 日在红崖山水库布放了热释光剂量片以便测量宇宙射线响应值。2 月 16 日复查时发现该批次剂量片丢失, 于 2 月 16 日在红崖山水库再次布放热释光剂量片, 并于 6 月 6 日进行了回收。

γ 辐射累积剂量测得的 γ 辐射空气吸收剂量率(未扣除宇宙射线响应值)测值范围为 82.3~119nGy/h, 平均值为 (98.8 ± 7.3) nGy/h。扣除宇宙射线响应值后, 陆地 γ 辐射累积剂量测得的 γ 辐射空气吸收剂量率测值范围为 38.2~74.9nGy/h, 测量平均值为 (54.7 ± 7.3) nGy/h。

2018年、2019年和2020年甘肃省武威市海藏村监测点位累积剂量水平(2018年、2019年和2020年累积剂量范围分别为114~134nGy/h、109~115nGy/h和114~124nGy/h,年均值分别为123nGy/h、112nGy/h和118nGy/h,均未扣除宇宙射线响应值)。另外,根据2017年场址区域环境辐射调查结果,累积剂量小时平均值测量结果为101.5~158.1nGy/h,平均值为 (126.1 ± 7.9) nGy/h;根据2020年场址区域环境辐射调查结果,累积剂量小时平均值测量结果为132~178nGy/h,平均值为 (154 ± 11) nGy/h。

2022年调查的 γ 辐射累积剂量测得的 γ 辐射空气吸收剂量率(未扣除宇宙射线响应值)平均值较2017年低22%,较2020年低36%,较2018年~2020年武威市海藏村累积剂量平均值低17%。

2022年累积剂量测得的 γ 辐射空气吸收剂量率与以往数据的差异性可能来源于现场环境条件的差异,包括监测时段宇宙射线的强度、气象条件等。

2) 空气中放射性(2020年调查结果)

空气中放射性监测项目有气溶胶中 γ 核素、 ^{90}Sr

气溶胶中 γ 核素除 ^7Be 外,其余人工放射性核素测量结果均小于探测限, ^7Be 测量结果为 (8.550 ± 0.017) mBq/m³,与2017年空气气溶胶中 γ 核素监测结果(^7Be : 9.09mBq/m³)相比,变化较小;气溶胶中 ^{90}Sr 测量结果小于探测限。

3) 水中放射性(2020年调查结果)

本项目水中放射性共设置两个采样点位,监测项目为水中氚。水中氚 ^3H 测量结果均小于探测限。

4) 土壤中放射性(2020年调查结果)

在场址周围10km范围内8个方位共布置土壤采样点位8个,监测项目包括土壤中 γ 核素、土壤中总 α /总 β 和土壤中 ^{90}Sr 。

土壤中总 α 、总 β 测量结果范围分别为341~706Bq/kg和813~1015Bq/kg。

土壤中 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 测量结果范围分别为23.5~42.1Bq/kg、15.5~32.5Bq/kg、21.7~38.9Bq/kg和562~808Bq/kg。土壤中 ^{90}Sr 测量结果均高于探测限,测量结果范围为0.28~0.97Bq/kg。与本项目2017年的调查结果($<0.14\sim 1.27\text{Bq/kg}$)在同一水平。 ^{137}Cs 除一个点位低于探测限外,其余点位测量结果均高于探测限,测量结果范围为 $<0.47\sim 6.17\text{Bq/kg}$;其余人工放射性核素测量结果均小于探测限。

对照 2017 年场址区域开展的辐射环境调查结果(^{238}U : 20.2~68.0Bq/kg、 ^{226}Ra : 18.82~31.50Bq/kg、 ^{232}Th : 29.34~42.21Bq/kg、 ^{40}K : 478~688Bq/kg、 ^{137}Cs : <0.56~6.99Bq/kg), 两次调查结果在同一水平。

3.1.2.3 辐射环境评价

1) γ 辐射剂量率 (2022 年监测结果)

场址半径 20km 范围内 γ 辐射剂量率监测结果与甘肃省武威地区道路和原野 γ 辐射剂量率处于同一水平, 未见异常。

2) γ 辐射累积剂量率 (2022 年监测结果)

场址半径 20km 范围内 γ 辐射累积剂量略低于 2018 年~2020 年甘肃省武威市海藏村监测点位累积剂量水平, 未见异常。

3) 空气中放射性 (2020 年调查结果)

空气中放射性监测项目有气溶胶中 γ 核素、 ^{90}Sr 。

气溶胶中 γ 核素除 ^7Be 外, 其余人工放射性核素测量结果均小于探测限, ^7Be 测量结果为 $(8.550 \pm 0.017) \text{ mBq/m}^3$; ^{90}Sr 测量结果小于探测限。

4) 水中放射性 (2020 年调查结果)

水中氚共设置两个监测点位, 均为地下水, 测量结果均小于探测限。

5) 土壤中放射性 (2020 年调查结果)

土壤中监测项目包括土壤中总 α 、总 β 、土壤中 ^{90}Sr 和土壤中 γ 核素。

土壤中总 α 、总 β 测量结果范围分别为 341~706Bq/kg 和 813~1015Bq/kg; 土壤中 ^{90}Sr 测量结果范围为 0.28~0.97Bq/kg; 土壤中 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 测量结果范围分别为 23.5~42.1Bq/kg、15.5~32.5Bq/kg、21.7~38.9Bq/kg 和 562~808Bq/kg, ^{137}Cs 测量结果范围为 <0.47~6.17Bq/kg, 其余人工放射性核素测量结果均小于探测限。

对照 2017 年场址区开展的辐射环境调查结果, 2020 年调查期间土壤中放射性核素调查结果与 2017 年开展的调查结果相差较小, 均处于正常的环境辐射本底水平。

3.1.2.4 武威园区放射性环境监测

上海应物所武威园区已完成 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆 (TMSR-LF1) 及其相关的配套设施的建设, 于 2023 年 6 月取得运行许可证并于 2023 年 10 月首次达到临界。上海应物所已开展武威园区放射性环境监测工作, 本节描述 2024

年 5 月~2025 年 9 月的武威园区及场址半径 10km 范围内 γ 辐射剂量率和环境介质放射性活度统计结果。

1) 监测内容及范围

(1) 环境 γ 辐射监测

环境 γ 辐射监测内容为 2024 年 9 月~2025 年 9 月每个季度的瞬时 γ 辐射剂量率，监测范围是以 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆 (TMSR-LF1) 为中心半径 10km 范围内进行布点，共 32 个点位。其中，1-10 号点位位于园区内，11-20 号点位位于园区外、半径 2km 以内，21-32 号点位位于半径 2km 外、半径 10km 以内。

(2) 环境介质监测

环境介质监测内容为空气、水体和土壤环境介质取样以及放射性活度的测量和分析。具体调查内容和范围如下：

➤ 空气中放射性

空气 ^3H 、 ^{14}C 和 ^{131}I 。空气 ^{14}C 监测点位共 1 个，位于场址 WSW 方位约 3km 处的金仓公司厂界处（简称“金仓公司”），监测点位图见 3.1-17。空气 ^3H 监测点位共 5 个，分别为金仓公司以及厂区内的 03 大厅、保护区门口、放废中心和 01 堆厂房。空气 ^3H 、 ^{14}C 的监测时段为 2024 年 5 月~2025 年 7 月，监测频次为 1 次/季。空气 ^{131}I 在 2024 年 2~4 季度监测点位共 1 个，为金仓公司。监测频次为 1 次/季。

气溶胶 ^{90}Sr 、 γ 能谱。气溶胶 ^{90}Sr 在 2024 年 2~4 季度监测点位共 1 个，为厂区内综合实验大厅；2025 年 1~2 季度监测点位共 2 个，分别位于金仓公司以及厂区内的综合实验大厅附近。气溶胶 γ 能谱测量核素为人工核素 ^{134}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{137}Cs 、 ^7Be 和 ^{58}Co ，在 2024 年 2~4 季度监测点位共 2 个，分别位于金仓公司以及厂区内的综合实验大厅附近。监测频次为 1 次/季。

沉降物 γ 能谱。在 2024 年 3 季度在金仓公司开展监测，测量核素为人工核素 ^{134}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{137}Cs 和 ^{58}Co 。

➤ 水中放射性

降水样 ^{90}Sr 、 ^3H 及 γ 能谱。2024 年分别于 8 月和 9 月对环境降水样 ^{90}Sr 、 ^3H 进行 1 次采样监测，2024 年 8 月对降水 γ 能谱进行 1 次监测。其中，降水 γ 能谱测量核素为 ^{134}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{137}Cs 、 ^{58}Co 和 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 。2025 年 8 月仅对环境

降水样 ^3H 进行 1 次监测。降水样取样点均为金仓公司。

饮用水 ^3H 。监测点位共 2 个，为园区供水点（地下水）和红砂岗镇饮用水点。分别于 2024 年 3 季度和 2025 年 2 季度对两个点位进行监测，监测频次为 1 次/年。

➤ 土壤放射性

土壤 ^{90}Sr 、 γ 核素分析、总 α 和总 β 。园区外设置 8 个土壤采样点，分别于 2024 年 9 月和 2025 年 6 月开展监测，监测频次为 1 次/年。其中，土壤 γ 能谱测量核素为 ^{40}K 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 和 ^{226}Ra 。2024 年土壤中 γ 核素分析、总 α 和总 β 均开展 8 个点位的监测工作，土壤 ^{90}Sr 对除 30#点位外的其余 7 个点位进行监测。2025 年土壤总 α 和总 β 仅监测 8 个点位中的 19#点位、26#点位、30#点位和 31#点位，土壤 ^{90}Sr 仅监测 8 个点位中的 19#点位和 31#点位。

2) 监测与分析方法

武威园区放射性环境监测所使用到的测量设备均在检定/校准有效期内，各项目的测量方法和测量设备详细信息见表 3.1-11。

对于 γ 辐射剂量率，使用 6150AD5/H 便携式 γ 剂量率仪定点监测瞬时 γ 辐射剂量率。

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆气态流出物、环境介质样品由辐射监测实验室进行测量分析，实验室拥有环境样品处理、流出物样品处理、测量分析、样品存放等场所、配置了超低本底液闪测量仪 LSA3000、低本底 α/β 测量仪 SIM-MAX LLB1000 和 γ 能谱分析仪，具备 γ 能谱分析、总 α/β 放射性活度测量分析、液闪放射性活度测量分析项目。

3) 监测结果

(1) γ 辐射剂量率

包括了 2024 年 9 月 25 日-9 月 26 日、2024 年 12 月 30 日-12 月 31 日、2025 年 3 月 31 日-4 月 7 日、2025 年 6 月 30 日-7 月 1 日和 2025 年 9 月 26 日-28 日五个季度的武威园区及场址半径 10km 范围内的 32 个 γ 辐射剂量率监测点位的监测数据。各季度监测结果如下：

2024 年 9 月 γ 辐射剂量率的测值范围为 112.35~159.705nGy/h，测值平均值为 137.059nGy/h。所有点位中最大值位于园区内部东北侧的 4#点位，测量值为 159.705nGy/h。其次为厂区外 32#点位、园区内保护区门口 3#点位和主体厂房北

侧 1#点位测量值，分别为 156.66nGy/h、156.345nGy/h、154.77nGy/h。 γ 辐射剂量率最低的点位为场址 SE 方位约 9km 的 31#点位，测量值为 112.35nGy/h。

2024 年 12 月 γ 辐射剂量率的测值范围为 127.05~151.2nGy/h，测值平均值为 137.092nGy/h。所有点位中最大值位于园区外 N 方位的 11#点位，测量值为 151.2nGy/h。其次厂区外 SE 方位 16#点位、厂区外 NNE 方位 21#点位、园区内放废处理中心 2#点位和综合实验大厅 5#点位，分别为 145.95nGy/h、143.85nGy/h、143.85nGy/h 和 143.85nGy/h。 γ 辐射剂量率最低的点位为园区 W 方位次入口 9#点位，测量值为 127.05nGy/h。

2025 年 3 月 γ 辐射剂量率的测值范围为 94.85~159.6875nGy/h，测值平均值为 113.23nGy/h。所有点位中最大值位于园区内保护区门口处，测量值为 159.6875nGy/h。其他所有点位测量值均小于 125nGy/h，其中 γ 辐射剂量率最低的点位为园区外 S 方位 25#点位，测量值为 94.85nGy/h。

2025 年 6-7 月 γ 辐射剂量率的测值范围为 94~125nGy/h，测值平均值为 107.59nGy/h，测量最大值位于园区外 W 方位的 19#点位和园区内综合科研中心 7#点位，测量值均为 125nGy/h。 γ 辐射剂量率最低值出现在园区外 SE 方位 31#点位，测量值为 94nGy/h。

2025 年 9 月 γ 辐射剂量率的测值范围为 102~127nGy/h，测值平均值为 110.41nGy/h。测量最大值位于园区外 NNE 方位 21#点位，测量值为 127nGy/h。 γ 辐射剂量率最低值出现在园区外 W 方位 27#点位和 SE 方位 31#点位，测量值均为 102nGy/h。

2024 年测值范围为 112.35~159.705nGy/h，测值平均值为 137.0755nGy/h。2025 年测值范围为 94~159.6875nGy/h，测值平均值为 110.41nGy/h。2024 年的测值范围和测值平均值略高于 2025 年。

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）临界后，武威园区以及场址半径 10km 范围内的环境 γ 辐射剂量率监测结果处于放射性环境本底水平范围内，该监测结果高于 2017 年、2020 年、2022 年监测结果。

（2）空气中放射性

2024 年空气中放射性监测项目包括空气中 ^3H 、 ^{14}C 和 ^{131}I ，气溶胶中 ^{90}Sr 、 γ 能谱以及沉降物 γ 能谱。2025 年空气中放射性监测项目包括空气中 ^3H 、 ^{14}C 和气溶胶中 ^{90}Sr 。空气中放射性监测结果总结如下：

空气中 ^3H 在 2024 年 5 月~2025 年 7 月测量值范围为 $2.01\times 10^{-2}\sim 2.98\times 10^{-1}\text{Bq/m}^3$ ，最大值出现在 2025 年 2 季度的 03 大厅，最小值出现在 2024 年 4 季度的金仓公司。空气中 ^{14}C 在调查时间范围内的测量值范围为 $1.01\times 10^{-2}\sim 5.80\times 10^{-2}\text{Bq/m}^3$ ，最大值出现在 2024 年 2 季度，最小值出现在 2025 年 1 季度。2024 年空气中 ^{131}I 测量值范围为 $<1.37\times 10^{-4}\sim <1.92\times 10^{-4}\text{Bq/m}^3$ ，均小于探测限。气溶胶中 ^{90}Sr 的测量值范围在 $1.00\times 10^{-6}\sim 3.13\times 10^{-5}\text{Bq/m}^3$ ，最大值出现在 2024 年 4 季度的综合实验大厅，最小值出现在 2025 年 2 季度的金仓公司。

气溶胶中 γ 核素，除 ^7Be 外的其余人工放射性核素测量结果均小于探测限， ^7Be 测量结果范围为 $2.640\sim 5.660\text{mBq/m}^3$ ，最大值出现在 2024 年 3 季度的综合实验大厅，最小值出现在 2024 年 4 季度的金仓公司。测量结果范围小于 2020 年空气气溶胶中 γ 核素监测结果 (^7Be : $(8.550\pm 0.017)\text{mBq/m}^3$)。

2024 年空气沉降物中 γ 核素测量结果均小于探测限，分别为 ^{58}Co : $<3.71\times 10^{-4}\text{Bq/g}$ 、 ^{60}Co : $<3.74\times 10^{-4}\text{Bq/g}$ 、 ^{134}Cs : $<5.20\times 10^{-4}\text{Bq/g}$ 、 ^{137}Cs : $<5.27\times 10^{-4}\text{Bq/g}$ 、 ^{54}Mn : $<4.14\times 10^{-4}\text{Bq/g}$ 。

(3) 水中放射性

水中放射性监测项目包括降水中 ^3H 、 ^{90}Sr 、 γ 核素以及饮用水及地下水中 ^3H 。2024-2025 年环境降水中的 ^3H 分别为 1.31Bq/L 和 2.31Bq/L 。2024 年环境降水中的 ^{90}Sr 分别为 $3.57\times 10^{-3}\text{Bq/L}$ 和 $8.97\times 10^{-3}\text{Bq/L}$ 。此外，2024 年降水中 γ 核素测量值均小于探测限，分别为 ^{134}Cs : $<5.91\times 10^{-2}\text{Bq/L}$ 、 ^{60}Co : $<4.25\times 10^{-2}\text{Bq/L}$ 、 ^{54}Mn : $<4.79\times 10^{-2}\text{Bq/L}$ 、 ^{137}Cs : $<5.65\times 10^{-2}\text{Bq/L}$ 、 ^{58}Co : $<3.52\times 10^{-2}\text{Bq/L}$ 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$: $<5.16\times 10^{-2}\text{Bq/L}$ 。

地下水设置园区供水站采样点位，饮用水设置红砂岗镇采样点位，监测项目为水中氚。 ^3H 测量结果分别为 $<0.94\text{Bq/L}$ 和 $<1.17\text{Bq/L}$ 。

(4) 土壤中放射性

在土壤中放射性监测项目包括土壤中 γ 核素、土壤中总 α /总 β 和土壤中 ^{90}Sr 。

其中 2024 年土壤中总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 测量结果范围分别为 $10.6\sim 29.6\text{Bq/kg}$ 、 $1950\sim 2300\text{Bq/kg}$ 和 $0.226\sim 2.8\text{Bq/kg}$ 。2025 年土壤中总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 测量结果范围分别为 $45.5\sim 115\text{Bq/kg}$ 、 $485\sim 512\text{Bq/kg}$ 和 $0.323\sim 1.98\text{Bq/kg}$ 。与 2020 年调查结果相比，2024-2025 年总 α 略低，2024 年总 β 略高，2025 年总 β 略低， ^{90}Sr 测量值与 2020 年调查结果处于同一水平。

土壤中 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 测量结果范围分别为 73.8~132Bq/kg、19.4~26.6Bq/kg、29.5~35.6Bq/kg 和 495~717Bq/kg。与 2020 年调查结果相比， ^{238}U 测量值略高， ^{40}K 测量值略低， ^{226}Ra 和 ^{232}Th 的测量值范围与 2020 年相比，处于同一水平。

4) 质量保证

中国科学院上海应用物理研究所自主开展辐射环境监测，监测过程中的质量保证与质量控制严格按《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》（GB11216-1989）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的相关规定执行。监测分析方法均采用国家颁布的有效标准分析方法，监测仪器均经过计量部门检定/校准并在有效期内。

5) 辐射环境评价

（1） γ 辐射剂量率

2024 年 9 月~2025 年 9 月，场址半径 10km 范围内 γ 辐射剂量率监测结果范围为 94~159.705nGy/h，在 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）临界后，环境 γ 辐射剂量率监测结果处于放射性环境本底水平范围内。

（2）空气中放射性

2024 年 5 月~2025 年 9 月，空气中放射性监测项目包括空气中 ^3H 、 ^{14}C 和 ^{131}I ，气溶胶中 γ 核素、 ^{90}Sr 以及沉降物中 γ 核素。空气中 ^3H 、 ^{14}C 和气溶胶中 ^{90}Sr 的测量值范围分别为 $2.01 \times 10^{-2} \sim 2.98 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 、 $1.01 \times 10^{-2} \sim 5.80 \times 10^{-2} \text{Bq/m}^3$ 和 $1.00 \times 10^{-6} \sim 3.13 \times 10^{-5} \text{Bq/m}^3$ 。空气中 ^{131}I 和沉降物 γ 核素的测量值均小于探测限。气溶胶中 γ 核素除 ^7Be 外，其余人工放射性核素测量结果均小于探测限， ^7Be 测量结果范围为 2.640~5.660mBq/m³，略低于 2020 年空气气溶胶中 γ 核素监测结果（ ^7Be : $(8.550 \pm 0.017) \text{mBq/m}^3$ ）。

（3）水中放射性

2024~2025 年，水中放射性监测项目包括降水中 ^3H 、 ^{90}Sr 、 γ 核素以及饮用水及地下水。2024~2025 年环境降水中 ^3H 的测量值分别为 1.31Bq/L 和 2.31Bq/L。2024 年环境降水中 ^{90}Sr 的测量值分别为 $3.57 \times 10^{-3} \text{Bq/L}$ 和 $8.97 \times 10^{-3} \text{Bq/L}$ 。2024 年降水中 γ 核素测量值均小于探测限。地下水中氡和饮用水中氡各设置 1 个监测点位，测量结果均小于探测限。

（4）土壤中放射性

2024~2025 年，土壤中监测项目包括土壤中总 α 、总 β 、土壤中 ^{90}Sr 和土壤中 γ 核素。土壤中总 α 的监测结果范围为 10.6~115Bq/kg，略低于 2020 年调查结果。2024 年总 β 监测结果范围为 1950~2300Bq/kg，略高于 2020 年监测结果。2025 年总 β 监测结果范围为 485~512Bq/kg，略低于 2020 年监测结果。土壤中 ^{90}Sr 的监测结果范围为 0.226~2.8Bq/kg，与 2020 年调查结果处于同一水平。土壤中 γ 核素 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 监测结果范围分别为 73.8~132Bq/kg、19.4~26.6Bq/kg、29.5~35.6Bq/kg 和 495~717Bq/kg，与 2020 年调查结果相比， ^{238}U 测量值略高， ^{40}K 测量值略低， ^{226}Ra 和 ^{232}Th 处于同一水平。

表 3.1-1 陆域 γ 辐射剂量率调查方案（2022 年）

监测项目	调查范围	频次	点位数	拟设监测点位	备注
γ 辐射剂量率	0~2km	2 次	44	见表 3.1-1	/
	2~5km	2 次	20		/
	5~10km	2 次	12		/
	10~20km	2 次	13		/
	红崖山水库	2 次	1		
γ 辐射累积剂量	0~20km、 红崖山水库	1 次	90	同 γ 辐射剂量率	连续布放 3.5 个月

表 3.1-2 环境介质放射性监测项目统计表（2020 年）

监测对象		监测项目	调查频次	调查点位	点位数	分析样品数	采样量/样品	质量样品
气溶胶	空气气溶胶	γ 核素	1 次	金仓公司南侧大门	1	1	10026.71m ³	仪器间比对
		⁹⁰ Sr	1 次			1		—
土壤	表层土	γ 核素	1 次	以反应堆为中心，8 个方位 与半径为 2km、5km、10km 的圆 所形成的各扇形区域内	8	9	2kg	1 个平行样
		总 α 、总 β	1 次			9		1 个平行样
		⁹⁰ Sr	1 次			9		1 个平行样
水	地下水/饮用水	³ H	1 次	园区供水点（地下水）、红砂岗镇饮用水	2	3	1L	1 个平行样

表 3.1-3 测量设备一览表（2020 年）

序号	仪器名称	型号	用途	校准/检定有效期
1	P 型高纯锗 γ 谱仪	GEM50P4-83	γ 能谱分析、空气 ¹³¹ I 测量	2018.9.7-2020.9.6 2020.5.7-2022.5.6
2	N 型高纯锗 γ 谱仪	GMX50P4-83	γ 能谱分析、空气 ¹³¹ I 测量	2020.4.7-2022.4.6
3	超低本底液体闪烁谱仪	Quantulus1220	³ H、 ¹⁴ C 测量	2020.5.8-2022.5.7
4	低本底液体闪烁谱仪	LB7	³ H、 ¹⁴ C 测量	2020.5.8-2022.5.7
5	低本底 α 、 β 测量仪	MPC9604	总 α 、总 β 、 ⁹⁰ Sr	2020.1.3-2022.1.2

表 3.1-4 测量仪器一览表（2022 年）

序号	名称	数量	型号规格	有效期
1	X-γ 辐射剂量当量率仪	2	FH40G+FHZ672E-10	2021.7.19~2022.7.18
				2022.5.7~2023.5.6
2	热释光测量系统	1	RGD-3D	2022.6.2~2023.6.1

表 3.1-5 γ 辐射测量仪器技术参数（2022 年）

序号	名称	数量	型号规格	主要技术指标
1	X-γ 辐射 剂量当量率仪	2	FH40G+FHZ672E-10	主机（内置探头）： FH40G 量程：10nSv h ⁻¹ ~1Sv h ⁻¹ 能量响应：36keV~1.3MeV 探头（外置探头）： FHZ672E-10 量程： 1nSv h ⁻¹ ~100μSv·h ⁻¹ ； 能量响应：40keV~4.4MeV
2	热释光测量系统	1	RGD-3D	量程：10 ⁻⁸ Gy~9.999Gy 连续 10 次读数，标准偏差<1μGy

表 3.1-6 测量方法依据

序号	监测项目	方法依据
1	土壤、沉降物中 γ 核素	GB/T11743-2013 土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法
2	水中 γ 核素	GB/T16140-2018 水中放射性核素的 γ 能谱分析方法
3	气溶胶中 γ 核素	WS/T184-2017 空气中放射性核素的 γ 能谱分析方法
4	土壤、沉积物、沉降物中 ^{90}Sr	EJ/T1035-2011 土壤中锶-90 分析方法
5	水中总 α	HJ898-2017 水质 总 α 放射性的测定 厚源法
6	水中总 β	HJ899-2017 水质 总 β 放射性的测定 厚源法
7	水中	HJ1126-2020 水中氚的分析方法
8	γ 辐射剂量率	HJ1157-2021 环境 γ 辐射剂量率测量技术规范
9	γ 辐射累积剂量	GB/T10264-2014 个人和环境监测用热释光剂量测量系统

表 3.1-7 放化分析项目典型最小可探测活度浓度（2020 年）

项目	介质	样品量	测量时间, min	本底, cpm	探测效率	回收率	MDC
总 β	土壤	0.25g	1000	0.80	37%	—	24Bq/kg
^{90}Sr	水	40L	1000	0.80	43%	80%	0.18mBq/L
	土壤	50g 干	1000	0.80	43%	80%	0.14mBq/g
	气溶胶	10000m ³	1000	0.80	43%	80%	0.71 μ Bq/m ³
^3H	水、空气水	100ml	1000	3.5	20%	—	0.25Bq/L

表 3.1-8 土壤中 γ 核素测量典型最小可探测活度浓度（2020 年）

仪器型号		GMX50P4-83		测量时间		80000s
样品尺寸		$\Phi 75*70\text{cm}$		分析样品量		0.33kg 干样
核素名称	特征峰 KeV	分支比 %	探测效率 %	本底计数	探测限 Bq/kg	
^{238}U	63.29	3.665	2.415	4232	13	
^{232}Th	238.63	43.6	2.640	2546	0.77	
^{226}Ra	351.93	35.6	1.978	2282	1.2	
^{40}K	1460.82	1.66	0.722	1158	7.8	
^{134}Cs	604.72	97.62	2.189	654	0.35	
^{137}Cs	661.66	85.1	2.058	565	0.38	
^{58}Co	810.76	99.45	1.797	483	0.37	
^{54}Mn	834.85	99.976	1.763	502	0.38	
^{60}Co	1332.49	99.826	1.322	246	0.37	

表 3.1-9 气溶胶中 γ 核素测量典型最小可探测活度浓度（2020 年）

仪器型号		GMX50P4-83	测量时间		80000s
样品尺寸		Φ75*35cm	分析样品量		10000m ³
核素名称	特征峰 KeV	分支比 %	探测效率 %	本底计数	探测限 μBq/m ³
⁷ Be	477.61	10.52	2.590	759	58
⁵⁴ Mn	834.85	99.98	1.763	502	7.4
⁵⁸ Co	810.76	99.45	1.797	483	7.1
⁶⁰ Co	1332.49	99.83	1.322	246	6.9
¹³⁴ Cs	604.72	97.62	2.189	654	7.0
¹³⁷ Cs	661.66	85.10	2.058	565	7.9

表 3.1-10 淡水中 γ 核素测量典型最小可探测活度浓度（2020 年）

仪器型号		GEM50P4-83	测量时间		80000s
样品尺寸		1L 马林杯	分析样品量		40L
核素名称	特征峰 KeV	分支比 %	探测效率 %	本底计数	探测限 mBq/L
¹³⁴ Cs	604.72	97.62	2.326	518	1.4
^{110m} Ag	657.76	95.3	2.199	417	1.4
¹³⁷ Cs	661.66	85.1	2.059	463	1.8
⁵⁸ Co	810.76	99.45	1.868	360	1.5
⁵⁴ Mn	834.85	99.976	1.82	389	1.6
⁶⁰ Co	1332.49	99.826	1.061	219	2.0

表 3.1-11 测量方法依据和测量仪器

监测项目	测量方法依据	仪器设备名称和型号	校准/检定有效期
γ 辐射剂量率	HJ61-2021 《辐射环境监测技术规范》 HJ1157-2021 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》	便携式 γ 剂量率仪 6150AD5/H	——
空气 ^{14}C	EJ/T1008-1996 《空气中 ^{14}C 的取样与测定方法》	超低本底液闪测量仪 LSA3000 050CE100123 超低本底液闪测量仪 LSA3000 10CKHCR202	2026.5.21
空气 ^3H	HJ1126-2020 《水中氚的分析方法》	超低本底液闪测量仪 LSA3000 050CE100123 超低本底液闪测量仪 LSA3000 10CKHCR202	2026.5.21
空气 ^{131}I	WS/T184-2017 《空气中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	γ 能谱分析仪	2026.5.10
气溶胶 γ 能谱	WS/T184-2017 《空气中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	γ 能谱分析仪	2026.5.10
气溶胶 ^{90}Sr	EJ/T1035-2011 《土壤中锶-90 的分析方法》	滤气式低本底 α 、 β 计数器 SIM-MAX LLB1000 10CKHCR301 滤气式低本底 α 、 β 计数器 SIM-MAX LLB1000 093CD 400026 低本底 α/β 测量仪 SIM-MAX LLB1000 10CKHCR302	2026.4.2
沉降物 γ 能谱	GB11743-2013 《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	γ 能谱分析仪	2026.5.10
降水 ^{90}Sr	HJ815-2016 《水和生物样品灰中锶-90 的放射化学分析方法》	滤气式低本底 α 、 β 计数器 SIM-MAX LLB1000 093CD 400026	2026.4.2
降水 ^3H	HJ1126-2020 《水中氚的分析方法》	超低本底液闪测量仪 LSA3000 050CE100123 超低本底液闪测量仪 LSA3000 10CKHCR202	2026.5.21
降水 γ 能谱	GB/T16140-2018 《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	γ 能谱分析仪	2026.5.10
饮用水 ^3H	HJ1126-2020 《水中氚的分析方法》	超低本底液闪测量仪 LSA3000 050CE100123	2026.5.21

监测项目	测量方法依据	仪器设备名称和型号	校准/检定有效期
		超低本底液闪测量仪 LSA3000 10CKHCR202	
土壤 ^{90}Sr	EJ/T1035-2011 《土壤中锶-90 的分析方法》	滤气式低本底 α 、 β 计数器 SIM-MAX LLB1000 093CD 400026 滤气式低本底 α 、 β 计数器 SIM-MAX LLB1000 10CKHCR302 低本底 α/β 测量仪 SIM-MAX LLB1000 10CKHCR302	2026.4.2
土壤 γ 能谱	GB11743-2013 《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	γ 能谱分析仪	2026.5.10
土壤总 α	HJ61-2021 《辐射环境监测技术规范》	滤气式低本底 α 、 β 计数器 SIM-MAX LLB1000 093CD 400026 低本底 α/β 测量仪 SIM-MAX LLB1000 10CKHCR302	2026.4.2
土壤总 β	HJ61-2021 《辐射环境监测技术规范》	滤气式低本底 α 、 β 计数器 SIM-MAX LLB1000 093CD 400026 低本底 α/β 测量仪 SIM-MAX LLB1000 10CKHCR302	2026.4.2

3.2 大气环境质量现状调查与评价

场址环境空气质量功能区的类别为二类功能区，厂区区域环境空气质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）中二级标准。场址以北有甘肃民勤连古城国家级自然保护区，环境空气质量功能区的类别为一类功能区，环境空气质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告2018年第29号）中一级标准。

2022年，甘肃创翼检测科技有限公司对本项目周边区域的精细化工园区的环境空气质量现状进行了监测。

监测时间及频率：2022年8月3日至2022年8月9日，连续7天。监测频率见表3.2-1所示。

监测点位：选取4个环境空气质量现状监测点位进行区域环境空气质量评价。1#点作为上风向背景点，2#监测点位于精细化工园区规划区域内，3#监测点为园区下风向监测点，4#监测点作为敏感目标连古城自然保护区的监测点。

监测点位信息见表3.2-2，点位分布见图3.2-1。

监测项目：（1）日均值：SO₂、NO₂、CO、NO_x、PM₁₀、PM_{2.5}、TSP；（2）小时值：SO₂、NO₂、CO、NO_x、O₃、NH₃、H₂S、氯化氢、氯气、苯、甲苯、甲醇、甲醛、硫酸雾、非甲烷总烃。

监测统计结果显示，监测因子均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）中二级标准及《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）附录D中表D.1其他污染物空气质量浓度参考限值，连古城自然保护区除TSP以外的监测因子均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）中一级标准。

甘肃三泰绿色科技有限公司于2024年对红沙岗能源化工工业集中区大气环境质量进行了监测，本报告引用红沙岗工业园区及周边区域（自然保护区）的监测结果。

监测点位：自然保护区、红沙岗工业园区上风向各布设1个监测点位，红沙岗工业园区下风向布设3个监测点位，监测点位见图3.2-2。

监测项目：（1）日均值：SO₂、NO₂、CO、NO_x、PM₁₀、PM_{2.5}、TSP、O₃（8h）；（2）小时值：SO₂、NO₂、CO、NO_x、NH₃、H₂S、非甲烷总烃。

监测时段：2024年8月，每个点位监测1天，日均值监测24h，小时值监测1天中的02:00、08:00、14:00、20:00的四个小时段。

红沙岗工业园区及周边区域（自然保护区）环境空气的监测依据及仪器见表3.2-3。

对大气环境质量现状监测结果进行统计分析，红沙岗工业园区及周边区域（自然保护区）监测点位的SO₂、NO₂、NO_x、CO小时值监测结果均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）二级标准浓度限值；NH₃、H₂S小时值监测结果均符合《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018）附录D中表D.1其他污染物空气质量浓度参考限值，非甲烷总烃小时值监测结果符合《大气污染综合排放标准详解》小时浓度限值的要求。红沙岗工业园区及周边区域（自然保护区）监测点位的SO₂、NO₂、NO_x、PM₁₀、PM_{2.5}、TSP、O₃（8h）和CO的日均值监测结果均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）二级标准浓度限值。

上海应物所武威园区已完成2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）及其相关的配套设施的建设，于2023年6月取得运行许可证并于2023年10月首次达到临界。上海应物所已开展武威园区非放射性环境监测工作，甘肃云腾环境科技检测有限公司于2023年6月~2025年9月（共10个季度）对本项目场址（武威园区）周围开展大气环境质量监测。

本项目场址（武威园区）环境空气质量功能区的类别为二类功能区，厂区区域环境空气质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）中二级标准。

甘肃云腾环境科技检测有限公司于2023年6月到2025年9月对本项目场址（武威园区）周围的环境空气质量进行了监测，环境空气质量监测严格按照《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）中的规定进行。

监测时段：2023年6月27日~6月29日；2023年9月19日~9月21日；2023年12月19日~12月22日；2024年3月20日~3月22日；2024年6月11日~6月13日；2024年9月23日~9月25日；2024年12月29日~12月31日；2025年3月19日~3月21日；2025

年6月17日~6月19日，2025年9月10日~9月12日。

监测项目及频次：（1）小时浓度：包括氟化物、铍。氟化物以50L/min流量至少采样45min，连续监测3天；铍每次采样体积不少于10m³，连续监测3天。（2）日均浓度：包括氟化物、铍，不小于20小时/天，连续监测3天。每季度监测一次。

（1）2023年6月至2025年6月监测结果

监测点位：LF1主体装置厂房西北侧、LF1主体装置厂房东侧10m处（南大门旁）、LF1主体装置厂房南大门东侧20m处、LF1主体装置厂房南大门东侧30m处、LF1主体装置厂房南大门东侧40m处，共5个监测点位。点位分布见图3.2-3。

采样点、监测项目及频次见表3.2-4，环境空气监测项目分析方法见表3.2-5。

对大气环境质量现状监测结果进行统计分析，5个监测点位均未检出铍及其化合物，氟化物的日均值和小时值均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）中规定的二级标准。

（2）2025年9月监测结果

监测点位（2025年9月）：共布设5个大气环境监测点位，分别为1#LF1主体装置厂房西北侧、2#LF1主体装置厂房南大门东侧30m处、3#LF1主体装置厂房南大门东侧60m处、4#LF1主体装置厂房南大门东侧90m处、5#LF1主体装置厂房东南侧。点位分布见图3.2-4。

采样点、监测项目及频次见表3.2-6，环境空气监测项目分析方法见表3.2-5。

对大气环境质量现状监测结果进行统计分析，5个监测点位均未检出铍及其化合物，氟化物的日均值和小时值均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）中规定的二级标准。

综上所述，本项目场址（武威园区）大气环境质量状况符合大气环境功能区划。

监测单位——甘肃云腾环境科技检测有限公司具备中国计量认证证书（CMA编号212812051252）。监测期间采用的监测分析方法均采用国家颁布的有效标准分析方法，监测仪器均经过计量部门检定/校准并在有效期内。依据质控措施，对监测全过程包括采样、实验室分析、数据处理等各个环节均进行严格的质量控制。监测分析数据及报告严格执行三级审核制度。

表 3.2-1 环境空气现状监测频率表（2022 年）

监测项目	平均时间	监测频率
SO ₂ 、NO ₂ 、CO、NO _x 、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、TSP	24 小时平均	连续监测 7 天，每日至少有 24h 的采样时间
SO ₂ 、NO ₂ 、CO、NO _x 、NH ₃ 、H ₂ S、O ₃ 、氯化氢、氯气、苯、甲苯、甲醇、甲醛、硫酸雾、非甲烷总烃	1 小时平均	小时平均浓度连续监测 7 天，小时浓度采样时间至少为每日 02:00、08:00、14:00、20:00 四个小时质量浓度值，每小时至少有 45min 的采样时间

表 3.2-2 环境空气现状监测点位信息表（2022 年）

序号	监测点位	监测因子	备注
1	规划区西侧边界 1000m	SO ₂ 、NO ₂ 、CO、NO _x 、O ₃ 、汞及其化合物、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、TSP、NH ₃ 、H ₂ S、氯化氢、氯气、苯、甲苯、甲醇、甲醛、硫酸雾、非甲烷总烃	二类区
2	化工三区		二类区
3	园区下风向		二类区
4	连古城自然保护区		一类区

表 3.2-3 2024 年红沙岗工业园区环境空气监测依据及仪器

监测项目	依据标准及标准号	仪器设备名称及编号	方法检出限	溯源有效期
SO ₂	环境空气 二氧化硫的测定 甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法 HJ 482-2009	紫外可见分光光度计 TU-1901 STHJ-YQ-071	0.007 mg/m ³	2024.9.26
			0.004 mg/m ³	
NO _x	环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法 HJ 479-2009	紫外可见分光光度计 TU-1901 STHJ-YQ-071	0.005 mg/m ³	2024.9.26
			0.003 mg/m ³	
NO ₂	环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法 HJ 479-2009	紫外可见分光光度计 TU-1901 STHJ-YQ-071	0.005 mg/m ³	2024.9.26
			0.003 mg/m ³	
一氧化碳	空气质量 一氧化碳的测定 非分散红外法 GB 9801-1988	便携式红外线气体分析器 GXH-3010/3011AE STZJ-YQ-050 GXH-3011A1、便携式红外一氧化碳分析仪 LB3015A、 一氧化碳红外气体分析仪 H129717	0.3 mg/m ³	2025.1.29 /2024.9.6 /2025.7.2
H ₂ S	《空气和废气监测分析方法》（第四版）亚甲基蓝分光光度法	紫外可见分光光度计 TU-1901 STHJ-YQ-071	0.001 mg/m ³	2024.9.26
NH ₃	环境空气和废气 氨的测定 纳氏试剂分光光度法 HJ 533-2009	紫外可见分光光度计 TU-1901 STHJ-YQ-071	0.01 mg/m ³	2024.9.26
O ₃	环境空气 臭氧的测定 靛蓝二磺酸钠分光光度法 HJ 504-2009	紫外可见分光光度计 TU-1901 STHJ-YQ-071	0.010 mg/m ³	2024.9.26
非甲烷总烃	环境空气 总烃、甲烷和非甲烷总烃的测定 直接进样-气相色谱法 HJ 604-2017	气相色谱仪 GC7900 STZJ-YQ-066	0.07 mg/m ³	2026.4.14
TSP	环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法 HJ1263-2022	电子天平 XS105 STHJ-YQ-004	7 µg/m ³	2024.9.26
PM ₁₀	环境空气 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 的测定 重量法 HJ618-2011	电子天平 XS105 STHJ-YQ-004	0.010 mg/m ³	2024.9.26
PM _{2.5}	环境空气 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 的测定 重量法 HJ618-2011	电子天平 XS105 STHJ-YQ-004	0.010 mg/m ³	2024.9.26

表 3.2-4 环境空气质量监测项目及频次一览表（2023 年 6 月-2025 年 6 月）

序号	采样点名称	监测项目及频次
1	1#LF1 主体装置厂房西北侧	小时浓度：氟化物、铍。 氟化物以 50L/min 流量至少采样 45min，连续监测 3 天。 铍每次采样体积不少于 10m ³ ，连续监测 3 天。 日均浓度：氟化物、铍，不小于 20 小时/天，连续监测 3 天。
2	2#LF1 主体装置厂房东侧 10m 处（南大门旁）	
3	3#LF1 主体装置厂房南大门东侧 20m 处	
4	4#LF1 主体装置厂房南大门东侧 30m 处	
5	5#LF1 主体装置厂房南大门东侧 40m 处	

表 3.2-5 环境空气监测项目分析方法一览表（2023 年 6 月-2025 年 6 月）

监测项目	分析方法	方法依据	检出限（ug/m ³ ）	主要仪器设备型号及编号
氟化物	氟离子 选择电极法	HJ955-2018	2023.6-2024.3: 0.2 2024.6: 日均值: 0.1, 小时值: 0.2 2024.9-2025.3、2025.9: 日均值: 0.06, 小时值: 0.5 2025.6: 日均值: 0.072, 小时值: 0.25	2023.6-2024.3: PXSJ-216F 型离子计 (YTJC-23) 2024.04.11 2024.6-2025.3: PXSJ-216F 型离子计 (YTJC-23) 2025.04.06 2025.6-2025.9: PXSJ-216F 型离子计 (YTJC-23) 2026.04.01
铍	等离子体 发射光谱法	HJ777-2015	2023.6-2023.9、2025.3: 日均值: 0.004, 小时值: 0.04 2023.12: 日均值: 0.003, 小时值: 0.03 2024.03-2025.12、2025.06: 日均值: 0.005, 小时值: 0.04 2025.09: 日均值: 0.005, 小时值: 0.05	2023.6: 电感耦合等离子体发射光谱仪 Icap7200Duo (YTJC-60) 2023.08.24 2023.09-2025.06: 电感耦合等离子体发射光谱仪 Icap7200Duo (YTJC-60) 2025.08.07 2025.09: 电感耦合等离子体发射光谱仪 Icap7200Duo (YTJC-60) 2027.07.30

表 3.2-6 环境空气质量监测项目及频次一览表（2025 年 9 月）

序号	采样点名称	监测项目及频次
1	1#LF1 主体装置厂房西北侧	小时浓度： 氟化物、铍。 氟化物以 50L/min 流量至少采样 45min，连续监测 3 天。 铍每次采样体积不少于 10m ³ ，连续监测 3 天。 日均浓度： 氟化物、铍，不小于 20 小时/天，连续监测 3 天。
2	2#LF1 主体装置厂房南大门东侧 30m 处	
3	3#LF1 主体装置厂房南大门东侧 60m 处	
4	4#LF1 主体装置厂房南大门东侧 90m 处	
5	5#LF1 主体装置厂房东南侧	

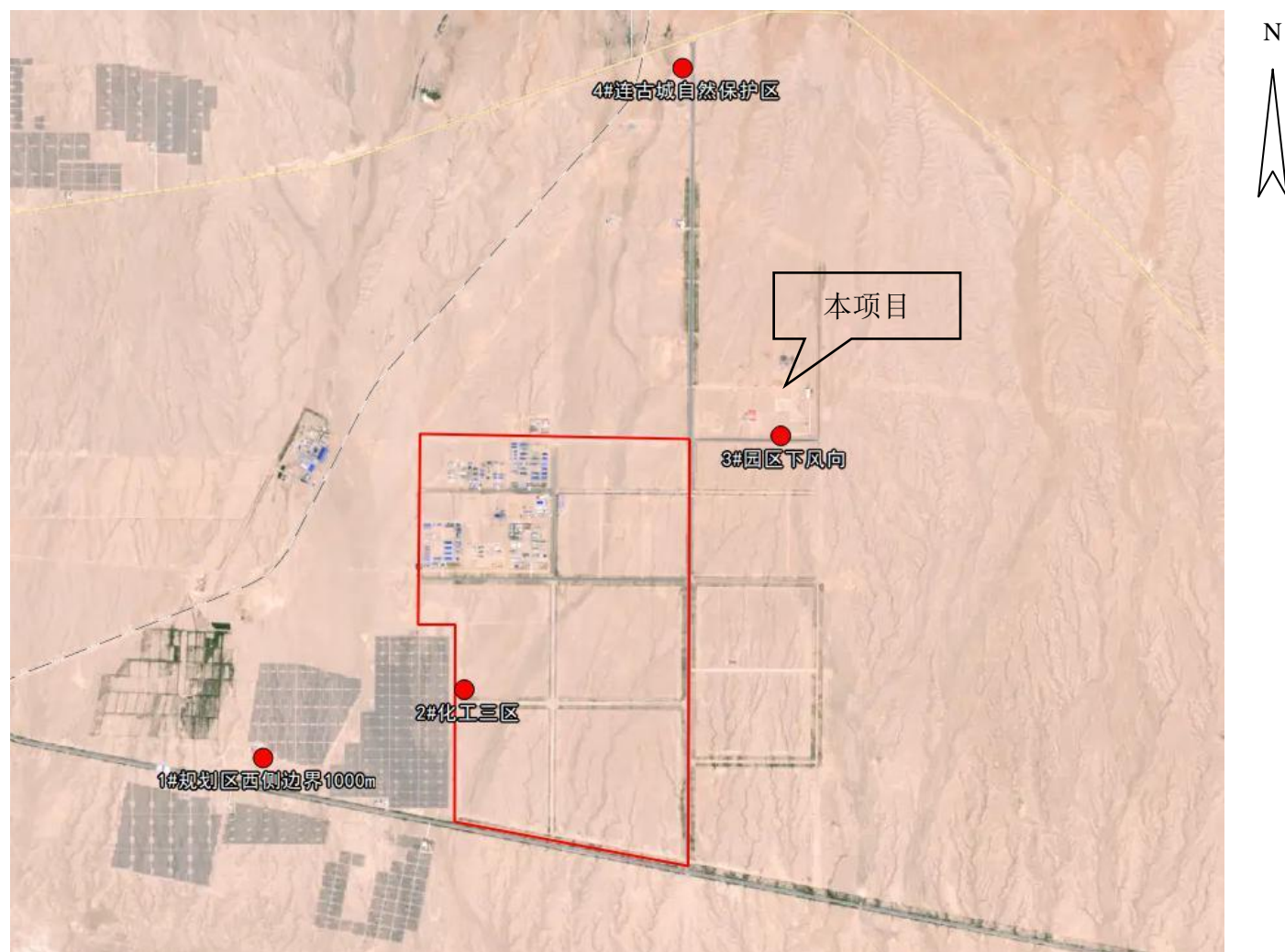


图 3.2-1 环境空气现状监测点位示意图（2022 年）

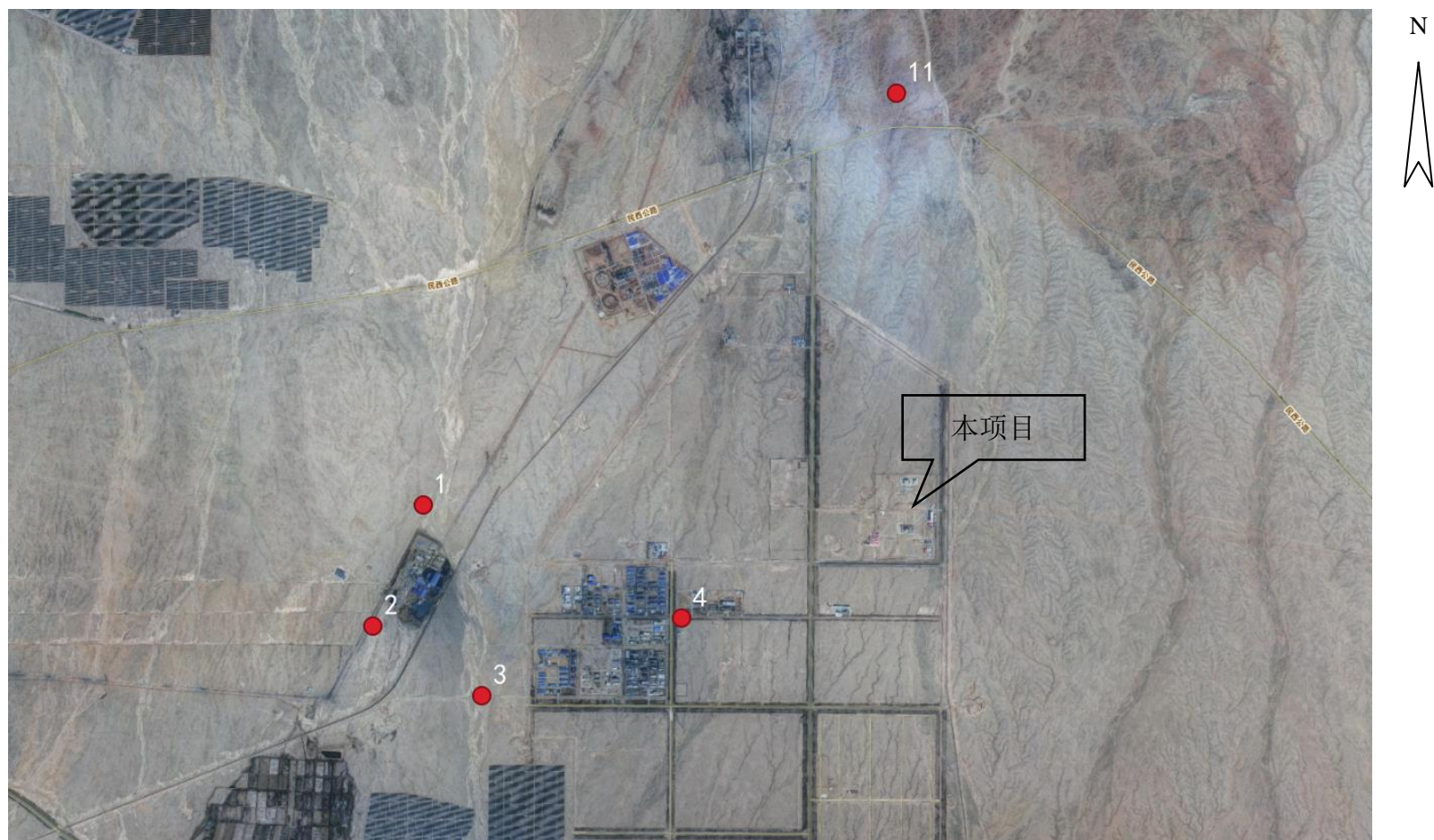


图3.2-2 2024年红沙岗工业园区环境空气现状监测点位示意图



图 3.2-3 环境空气质量监测点位图（2023 年 6 月~2025 年 6 月）



图 3.2-4 环境空气质量监测点位图（2025 年 9 月）

3.3 声环境质量现状调查与评价

根据《声环境质量标准》（GB3096-2008）声功能划分方法，工业区为3类功能区，居住、商业及行政办公用地为功能的为2类功能区，交通干线两侧一定距离为4a类声环境功能区（相邻区域为2类功能区，距离为 $35\pm5\text{m}$ ；相邻区域为3类功能区，距离为 $20\pm5\text{m}$ ），阿金铁路两侧为4b类声环境功能区（相邻区域为2类功能区，距离为 $35\pm5\text{m}$ ；相邻区域为3类功能区，距离为 $20\pm5\text{m}$ ）。场址半径5km范围内无声环境敏感目标。

2019年9月11~12日，甘肃云腾环境科技检测有限公司对场址区域声环境质量进行了监测。

声环境质量监测布设4个监测点，分别位于场址的东、南、西、北厂界。监测点位布置见表3.3-1，点位分布见图3.3-1。

声环境质量监测方法按照《声环境质量标准》（GB3096-2008）的相关要求进行，监测等效连续A声级。每天监测2次，昼间（6:00~22:00）和夜间（22:00~次日6:00）各1次，连续监测2天。

场址边界处监测点的环境噪声昼间为25.3~32.1dB(A)，夜间为25.1~31.0dB(A)，均满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的3类标准，即昼间65dB(A)、夜间55dB(A)。

2022年，甘肃创翼检测科技有限公司对本项目周边区域的精细化工园区的声环境质量现状进行了监测。

共布设6个监测点位。

监测项目为等效连续A声级。

监测时间为2022年8月5日~8月6日，共计两天，昼间（06:00-22:00）、夜间（22:00-6:00）各监测一次，连续监测2天。

根据监测结果，园区区域声环境质量均能达到《声环境质量标准》（GB3096-2008）3类标准和4a类标准，区域声环境质量状况良好。

上海应物所武威园区已完成2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）及其相关的配套设施的建设，于2023年6月取得运行许可证并于2023年10月首次达到临界。上海应物所已开展武威园区非放射性环境监测工作，甘肃云腾环境科

技检测有限公司于2023年6月~2025年9月（共10个季度）对本项目场址（武威园区）周围开展声环境质量监测。

本项目场址（武威园区）声环境功能区的类别为三类功能区，厂界环境噪声监测结果评价执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的3类标准限值。

甘肃云腾环境科技检测有限公司于2023年6月至2025年9月对本项目场址（武威园区）边界环境噪声进行了监测。厂界环境噪声监测方法按照《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）的相关要求进行。厂界环境噪声监测结果评价执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的3类标准限值（昼间65dB(A)；夜间55dB(A)）。

监测时段：2023年6月28日；2023年9月20日；2023年12月21日；2024年3月21日；2024年6月13日；2024年9月25日；2024年12月30日；2025年3月21日；2025年6月19日；2025年9月12日。

监测点位：共设置三个监测点位，包括1#LF1主体装置厂房（靠近厂界处）、2#综合实验大厅（靠近厂界处）、以及3#园区生活服务中心（靠近厂界处），共3个监测点。监测点位分布见图3.3-2。

监测项目及频率：等效连续A声级。监测频次为1次/季。噪声监测每次于昼、夜间各监测1次，每次监测20分钟。

每个季度的噪声监测结果显示：1#LF1主体装置厂房（靠近厂界处）的昼间噪声值在37.2~50.5dB(A)之间，夜间噪声值在35.5~49.9dB(A)之间，2#综合实验大厅（靠近厂界处）的昼间噪声值在35.8~44.3dB(A)之间，夜间噪声值在33.7~41.3dB(A)之间，3#园区生活服务中心（靠近厂界处）的昼间噪声值在35~46.8dB(A)之间，夜间噪声值在29.3~41.1dB(A)之间，昼、夜间噪声均符合《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的3类标准限值。

综上所述，本项目场址（武威园区）声环境质量状况符合声环境功能区划。

监测单位——甘肃云腾环境科技检测有限公司具备中国计量认证证书（CMA编号212812051252）。监测期间采用的监测分析方法均采用国家颁布的有效标准分析方法，监测仪器均经过计量部门检定/校准并在有效期内。依据质控措施，

对监测全过程包括采样、实验室分析、数据处理等各个环节均进行严格的质量控制。监测分析数据及报告严格执行三级审核制度。

表 3.3-1 噪声监测点位列表（2019 年）

监测点位
6#场址北侧
7#场址东侧
8#场址西侧
9#场址南侧

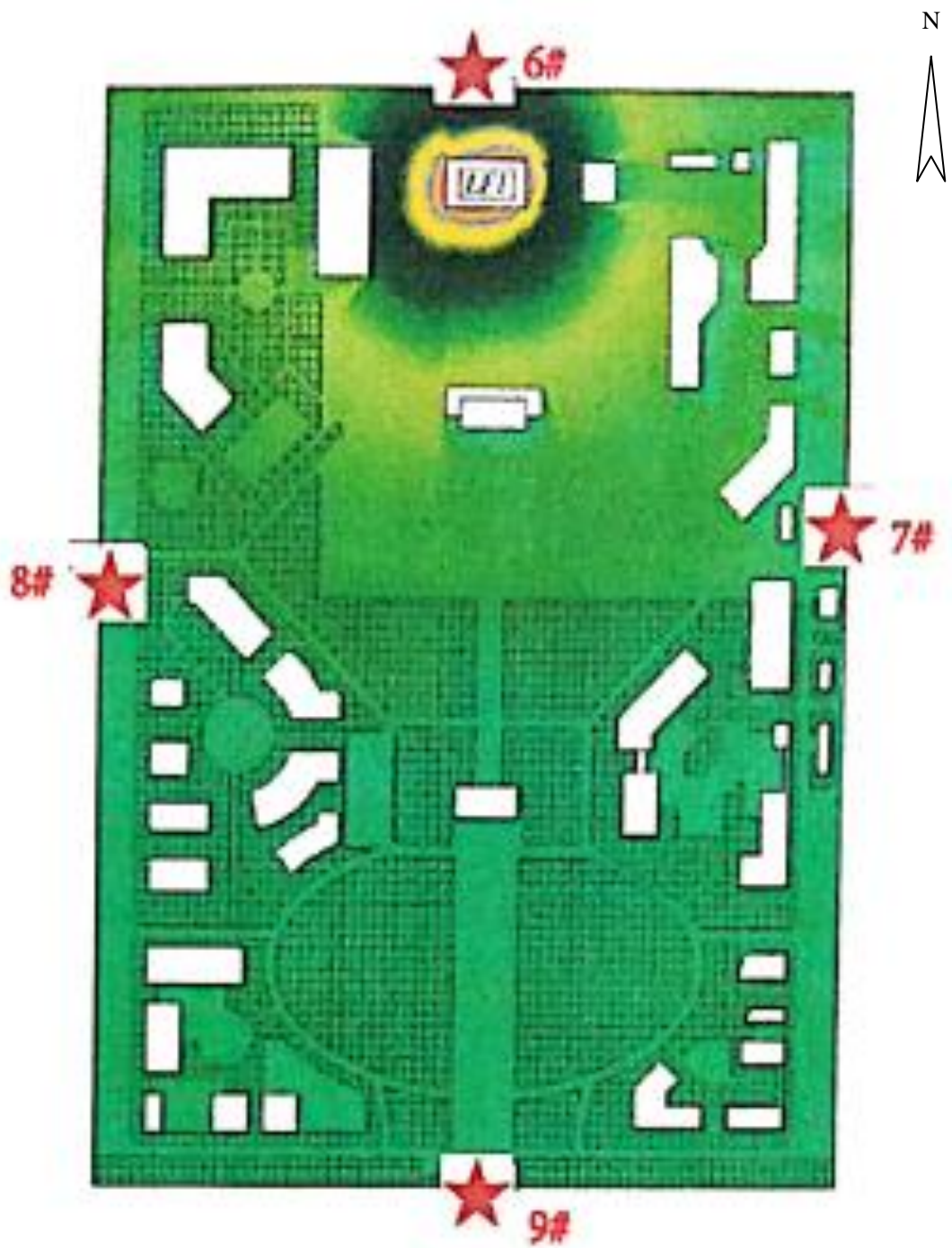


图 3.3-1 噪声监测布点图（2019 年）

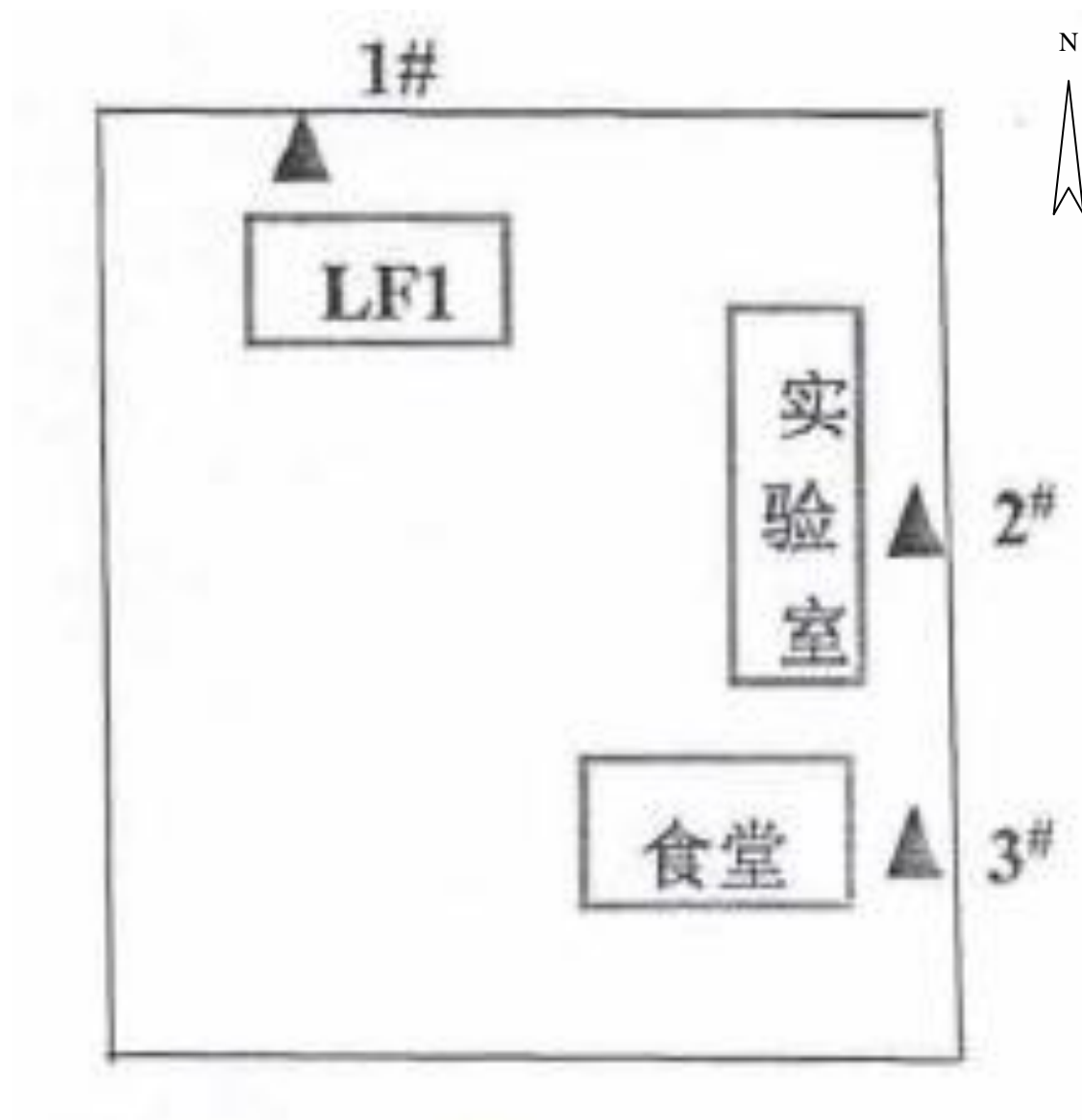


图 3.3-2 噪声监测点位图（2023 年 6 月~2025 年 9 月）

3.4 受纳水体环境质量现状调查与评价

本项目不涉及由液态途径向受纳水体排放液态流出物。经调查，场址半径30km范围内未发现地表水系。因此，本项目不开展地表水体环境质量监测。

上海应物所武威园区已完成2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）及其相关的配套设施的建设，于2023年6月取得运行许可证并于2023年10月首次达到临界。上海应物所已开展武威园区非放射性环境监测工作，甘肃云腾环境科技检测有限公司于2023年6月~2025年9月（共10个季度）对本项目场址（武威园区）周围开展生活污水监测。

甘肃云腾环境科技检测有限公司于2023年6月至2025年9月对本项目场址（武威园区）的生活污水进行了监测。生活污水采样及监测分析方法严格按照《污水监测技术规范》（HJ91.1-2019）进行。生活污水监测结果执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级标准（《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）标准和《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准均不包括总磷，总磷执行《甘肃水务民勤供水有限责任公司关于红砂岗镇生活污水处理厂污水排入标准情况说明的函》，满足要求）。

监测时段：2023年6月26日；2023年9月20日；2023年12月20日；2024年3月22日；2024年6月12日；2024年9月24日；2024年12月30日；2025年3月20日；2025年6月18日；2025年9月11日。

监测点位：设置一个生活污水排放口采样点。

监测项目及频率：pH值、悬浮物、五日生化需氧量、化学需氧量、氨氮、总磷、石油类、动植物油、氟化物、总钍。监测频次为1次/季。监测项目及频次见表3.4-1。生活污水分析方法见表3.4-2。

监测结果显示，监测期间除2024年9月24日样品的pH值略低于标准外，其余各项指标均满足《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级标准（《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）标准和《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准均不包括总磷，总磷执行《甘肃水务民勤供水有限责任公司关于红砂岗镇生活污水处理厂污水排入标准情况说明的函》，满足要求）。

监测单位——甘肃云腾环境科技检测有限公司具备中国计量认证证书（CMA 编号212812051252）。监测期间采用的监测分析方法均采用国家颁布的有效标准分析方法，监测仪器均经过计量部门检定/校准并在有效期内。依据质控措施，对监测全过程包括采样、实验室分析、数据处理等各个环节均进行严格的质量控制。监测分析数据及报告严格执行三级审核制度。

表 3.4-1 生活污水监测项目及频次一览表

监测点位	监测项目	监测频次
生活污水排放口	PH值、悬浮物、五日生化需氧量、化学需氧量、氨氮、总磷、石油类、动植物油、氟化物、总铍	1次/季

表 3.4-2 生活污水监测项目分析方法一览表

监测项目	分析方法	方法来源	检出限 (mg/L)	主要仪器设备型号及编号
pH 值（无量纲）	电极法	HJ1147-2020	——	PHSJ-3FpH 计（YTJC-58） DZB-718L 便携式多参数分析仪（YTJC-62-2）
悬浮物	重量法	GB/T11901-1989	4	FA1204N 电子天平（YTJC-03）
氟化物	离子选择电极法	GB/T7484-1987	0.05	PXSJ-216F 型离子计（YTJC-23）
五日生化需氧量	稀释与接种法	HJ505-2009	0.5	SPX-70BIII生化培养箱（YTJC-11-2） HWS-150 生化培养箱（YTJC-11-3）
化学需氧量	快速消解分光光度法	HJ/T399-2007	3	化学需氧量快速测定仪
氨氮	纳氏试剂分光光度法	HJ535-2009	0.025	T6 新世纪紫外可见分光光度计 （YTJC-05-1）（YTJC-05-2）
总磷	钼酸铵分光光度法	GB/T11893-1989	0.01	
石油类/动植物油	红外分光光度法	HJ637-2018	0.06	MH-6 型红外测油仪（YTJC-04）
总铍	石墨炉原子吸收分光光度法	HJ59-2000	0.00002	原子吸收分光光度计 AA-7003（YTJC-07）
	《水质 65 种元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》	HJ700-2014	0.04ug/L	7800ICP-MS（YQ-128）

第三章 环境质量现状

3.1 辐射环境质量现状

中国科学院上海应用物理研究所委托苏州热工研究院有限公司于 2020 年 7 月至 2020 年 10 月在上海应物所武威园区（以下简称“场址”）周围进行了为期一个季度的放射性环境本底调查，形成《TMSR-LF1 运行前环境辐射本底调查总结报告》（B 版），监测内容包括场址半径 10km 范围内辐射剂量率、累积剂量等及环境介质放射性活度的监测工作。

2022 年 1 月至 2022 年 6 月，浙江国辐环保科技有限公司对本项目所在区域及其周边环境开展了以本项目为中心、场址半径 20km 范围内辐射剂量率、累积剂量等放射性环境现状调查，形成《小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目放射性环境现状调查报告》，作为 2020 年环境辐射本底调查的补充。

本节内容中，辐射剂量率、累积剂量等根据《小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目放射性环境现状调查报告》进行编制，环境介质放射性活度根据《TMSR-LF1 运行前环境辐射本底调查总结报告》（B 版）进行编制。

上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）已于 2023 年投入运行，上海应物所于 2024 年 5 月~2025 年 9 月开展 γ 辐射剂量率和环境介质放射性活度自主监测。本报告将 2024 年 5 月~2025 年 9 月监测结果用于对比 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）运行前后的辐射环境质量变化。

3.1.1 辐射环境本底调查

3.1.1.1 调查内容及范围

1) 原野贯穿辐射剂量率资料收集

调查收集场址所在的武威市、民勤县的原野贯穿辐射剂量率资料。

2) γ 辐射剂量率

(1) γ 辐射剂量率

在以本项目研究堆为中心半径为 2km、5km、10km、20km 的圆与 16 个方位所形成的各扇形区域内陆地上进行布点，监测频次为 2 次。调查监测点位 90 个。在可能的关键居民组、人口集中的居民区域、环境敏感区和主导风下风向等适当

增加针对性布点。

(2) γ 辐射累积剂量

γ 辐射累积剂量监测点位与 γ 辐射剂量率监测点位一致。

监测频次为 1 次，因疫情原因，持续监测 3.5 个月。

(3) 宇宙射线响应值测量

在测量环境 γ 辐射剂量率时，X- γ 辐射剂量当量率仪读数中包含探测器对宇宙射线电离成分的响应值；热释光剂量片在野外环境布放期间，无法避免宇宙射线电离成分的辐射，热释光读出器的测量值中也包含了宇宙射线响应值。

为了使不同类型探测器、剂量片的监测数据可以比较，也方便用来剂量评价，应当选取合适监测点位进行宇宙射线响应值的测量。

甘肃武威民勤县内湖泊共 4 个，分别为红崖山水库、青土湖、东湖和清泉湖，综合考虑拟选取民勤县红崖山水库作为测量宇宙射线响应值的点位。红崖山水库位于场址 SSE 方位 66.7km 处，海拔高度约 1360m，远离场址。红崖山水库设计总库容量 1.27 亿立方米，水库面积 30 平方公里，估算平均水深 4.2m。宇宙射线监测点位地理位置距离岸边 1.06km，符合宇宙射线响应值测点要求（水深大于 3m）。另外选取红崖山水库岸边作为对照点点位。

3) 空气中放射性

(1) 气溶胶

气溶胶监测点位布设于场址 WSW 方位约 3km 处的工业企业厂界（金仓公司南门）。

气溶胶中放射性监测项目为 γ 核素和 ^{90}Sr 。气溶胶中放射性监测次数为 1 次。

4) 水中放射性

水中氚监测点位为园区供水点（地下水）和红砂岗镇饮用水，其中园区供水点为项目所在工业园区水源，红砂岗镇为场址最近居民组。

水中 ^3H 监测次数为 1 次。

5) 土壤放射性

在场址中心半径 10km 范围内 8 个方位的扇形区域布点，共采集土壤样品 8 个。监测项目包括 γ 核素、 ^{90}Sr 。土壤监测次数为 1 次。

2022 年陆域 γ 辐射剂量率调查方案见表 3.1-1；2020 年本底调查监测项目类别、点位、频次、样品数等统计见表 3.1-2。

3.1.1.2 监测与分析方法

1) 监测设备

2020 年辐射环境本底调查测量设备见表 3.1-3。

2022 年调查的主要设备为 2 台便携式 γ 辐射剂量率仪和 1 套热释光测量系统，用于环境放射性测量。测量仪器名称及型号列于表 3.1-4，仪器技术参数列于表 3.1-5。

2) 监测方法

(1) γ 辐射剂量率

选用 FH40G+FHZ672E-10X- γ 辐射剂量当量率仪测量了 γ 辐射剂量率。FH40G+FHZ672E-10X- γ 辐射剂量当量率仪具有较高的灵敏度、合适的量程范围、良好的温度特性、角响应和能量响应（36keV~4.4MeV，相对响应之差 $<\pm 15\%$ ，相对于 ^{137}Cs γ 辐射参考源）。

仪器测量前预热 15 分钟以上，采用多次瞬时读数取平均值的方法，每个测点一般每次读 10 个数，每间隔 10s 读一个数。

野外测量时，雨天、雪天、雨后和雪后 6h 内不开展测量。

(2) γ 辐射累积剂量

环境 γ 辐射累积剂量测量采用热释光剂量计测量法。热释光剂量片采用 $\phi 4.5 \times H 0.8\text{m}$ 的 LiF (Mg、Cu、P) 圆片形。此种元件具有较好的抗破损性，并有较好的能量响应特性和对工作环境要求不苛刻等优点。每批次布放的热释光剂量计经严格筛选，分散性小于 5%。热释光剂量计在布放到监测点之前，对其进行多重包装，包装达到足够的厚度，以便达到电平衡及消除 β 辐射干扰，包装材料为塑料，以防止水或水汽的渗入，包装的外层采用白色透明塑料，以防止阳光照射后吸热使热释光信息衰退。为提高监测数据的准确度，在监测点布放热释光剂量计的同时，在低本底铅室和已知剂量率的环境中布放本底和对照组。

剂量计退火温度控制在 $(240 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，退火时间为 10 分钟。剂量读出仪为 V 型热释光远红外精密退火炉。退火程序：先以 15°C/s 升温速率升温至 140°C ，在此温度下恒温 10s；然后以同样的升温速率升温至 240°C ，在此温度下恒温 10s。

(3) 宇宙射线响应值的测量

➤ γ 辐射剂量率

在红崖山水库水面（距岸边大于 1km）上测量，仪器应放置于对读数干扰小

的木制、玻璃钢或橡胶船体上，船体内无压舱石。测量仪器的宇宙射线响应及其自身本底时，在读数间隔为 10s 时应至少读取或选取 50~100 个读数，也可选取仪器自动给出的平均值，或使读数平均值统计涨落小于 1%。

➤ γ 辐射累积剂量

采用与环境监测时同样的热释光剂量片，经辐射照射选出均匀性在 3% 以内的片子，数量至少 50 片。将这批热释光剂量片退火后分组装入具有防水、防潮、防尘的密封盒内，并装入运输铅罐中，快速运至选定的红崖山水库水面上布放（如固定浮标），布放点水深大于 3m，距岸边大于 1km，布放时间至少 3 个月。收样时也要将热释光剂量片装入铅罐，立即运回实验室用热释光读出器测量。

γ 辐射剂量率和 γ 辐射累积剂量采用现行有效的国家标准和行业标准以进行陆地 γ 辐射的监测，监测方法见表 3.1-6。

（4）环境介质放射性监测

环境介质放射性监测涉及的项目均使用国家和行业标准方法。方法依据见表 3.1-6。

3) 探测下限

对放射性核素分析的探测限表示为：

$$LLD = 2.71 + 4.65\sqrt{n_b t_b} \quad (3.1-1)$$

在考虑到样品量、回收率、探测效率等参数后，探测限（LLD）可表示为最小可探测活度浓度（MDC）。

根据上述探测限的计算方法，放化分析各项目典型最小可探测活度浓度见表 3.1-7， γ 核素分析项目最小可探测活度浓度见表 3.1-8~表 3.1-10。

3.1.1.3 质量保证

1) 浙江国辐环保科技有限公司

（1）资质认定

调查单位具备质量技术监督局颁发的有效资质认定书，并在资质认定允许范围内开展本项目监测工作。

（2）组织机构

调查单位成立了项目组以保证调查工作的质量。由质量负责人和技术负责人全面负责调查工作，并按资料收集、现场监测等进行分工，确定每项工作的责任

人。

（3）调查方案评审

开展调查前，项目组编制了工作大纲和质保大纲，专题单位根据专家函审意见进行了修改、补充、修订后的“两纲”是调查工作的主要技术依据，开展现场调查监测。

（4）仪器检定

仪器检定按照调查单位仪器年度检定计划进行。调查涉及的主要监测仪器清单及检定信息见表 3.1-3~表 3.1-4。

（5）现场调查质量控制

- 现场监测严格按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中要求进行。
- 测量仪器每年由国家法定计量检定单位检定一次，每次测量前和测量后均检查仪器的工作状态是否正常、仪器设备是否稳定。定期在稳定辐射场进行仪器检验，检查仪器的长期稳定性；选择红崖山水库进行宇宙射线响应值的测定。
- 监测人员经考核合格并持有合格证书上岗，所有野外测量均要求有两个或以上人员参加。

（6）实验室测量控制指标

调查布放热释光剂量片的平行片不少于 10%。

（7）数据处理

➤ 数据记录

①依据实施细则，每个监测项目均编制了原始记录表，对每个监测项目实施记录制度。

②根据需要记录测量点位的地理信息，拍摄测量现场照片，必要时记录海拔、经纬度、宇宙射线扣除等信息。

③记录表格不得随意涂改，如必须修改，则由监测人员在修改处盖章或签名并注明修改日期。

➤ 数据报告

①对记录的原始数据进行适当的处理，包括统计分析和单位换算，按规范要求给出均值和标准差。

②对数值的修约和异常数据的处理采用标准方法，减少处理过程中产生的误差。

③监测结果一般取 2~3 位有效数字，结果的不确定度一般取 1~2 位有效数字，同时监测结果末位与不确定度末位要对齐。

④对原始数据进行必要的整理、检查；检查监测结果的趋势是否符合一般规律，如不符合，查找原因；对于偏离正常值的异常结果，及时向技术负责人报告，并进行核查。

➤ 数据保存

所有原始记录、计算和导出数据和质量保证编制文件都归档保存，对于本调查项目的数据，保存时间为 6 年。

➤ 数据评价

①对监测数据进行统计、整理后与评价标准、场址所在的甘肃省、武威市的天然辐射水平、本底数据进行比较，分析场址区域及周围环境辐射环境现状水平。

②对不符合标准或与历史数据有较大差异的监测结果，采用溯源、复测、复核等方式进行原因分析并核准。

2) 苏州热工研究院有限公司

(1) 组织机构和人员配备

专题单位设置调查项目组，项目组成员均资格合格，同时项目管理的管理人员和关键岗位人员全面了解项目的专门要求，包括项目管理方面和技术方面的要求，以及项目质保大纲和项目管理程序的相关要求。

(2) 现场调查质量控制

➤ 现场调查工作的确认

根据项目工作方案内容，由本项目现场监测与采样组负责收集相关的调查资料后移交采购与文档管理组负责标识、保存。

现场监测与采样组在收集资料时首先对收集的资料进行验收，对于已通过验收的委托方提供的基础资料，项目组文档管理员按规定要求予以保存。

➤ 监测环境条件的控制

在现场调查时，监测人员应根据环境条件文件中的要求，客观、真实地记录抽样/选样、监测过程中的环境条件及其变化，确保整个过程环境条件符合要求。

监测人员在采样、监测时，注意观察、检查有关技术活动涉及的环境条件，当发现已危及到监测结果或不符合监测标准方法的要求时，立即停止监测，并报告项目技术负责人或项目经理。

➤ 现场监测设备控制

开展现场监测前，设备管理员负责核查相关仪器设备，并做好核查记录，确保所有仪器均能正常使用。在项目进行过程中，设备管理员负责设备的检定、校准、维修、报废工作，并做好相应的记录，保证设备在计量检定或校准的有效范围内使用。工作人员每次使用设备均按要求填写使用记录。设备管理员制定设备维护保养计划，设备使用责任人对设备定期维护，保证设备正常使用。

➤ 样品采集、保存、运输

现场监测与采样组根据环境检测中心采样作业指导书进行采样，并按要求对样品进行现场标识。现场监测与采样组负责人根据监测要求组织组员对样品进行分类保存、运输。具体按相关的现场采样作业指导书执行。

现场样品采集和保存过程中，应做好样品信息记录、平行样采集、保存条件等相关的要求，具体按环境检测中心《样品处置程序》（RG/CX34-2016）执行。

（3）采样质量控制

➤ 采样工作开始之前，根据调查的目的和要求，决定采集样品的种类，对各类样品的采集和预处理，制定操作程序，采样出发前，对每个参加采样的人员进行培训，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。

➤ 现场采样人员在现场真实的填写采样记录表，利用 GPS、数码照相的方式对现场采样情况进行记录，以保证定位的可重复性。同时填写样品标签，采取措施保证样品标签在样品保存、运输过程中不会丢失、损坏。

➤ 为保证样品的代表性，采集类样品选择合适的采样地点，采集的样品尽量保证足够的余量，以备复查。

➤ 采样人员负责对样品编号，加贴唯一性识别标识，注明样品的详细信息。样品管理员在接收样品时，应及时登记后保存。

（4）放化分析质量控制

对土壤中 γ 核素、土壤中总 α /总 β 以及土壤中 ^{90}Sr 开展了平行样品测量，对气溶胶中 γ 核素开展了仪器间比对测量。并通过 E_n 法对高于探测限的测量结果进行一致性判定。 E_n 值均小于 1，即评价结果均为合格。 E_n 值计算公式如下：

$$E_n = \frac{|y_1 - y_2|}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}} \quad (3.1-2)$$

式中： E_n 为标准化误差指标； y_1 、 y_2 为两次测量值； U_1 、 U_2 为两次测量值得

扩展不确定度，实际计算时，不确定度只保守考虑测量计数统计误差和刻度源不确定度，即：

$$U_n = \sqrt{U_{n1}^2 + U_{n2}^2} \quad (3.1-3)$$

U_n 为平行样 n 的测量结果扩展不确定度， U_{n1} 为测量结果 n 的 2 倍计数统计误差， U_{n2} 为刻度源活度扩展不确定度（ $k=2$ ）。

（5）数据记录和处理质量控制

项目组制定关于原始数据记录、数据处理、监测结果报告与审核程序。针对不同的监测项目，编制专用的原始记录单（包括采样记录，分析测量记录等），监测结果报告单。要求监测人员严格按照分析测量程序规定，真实、准确、完整地记录分析测量过程中的相关信息。在对原始数据进行必要的整理之前，逐一检查原始记录是否按规定的要求填写完全、正确。监测人员要按规范的监测结果报告单及时写出监测报告，项目负责人审核原始记录及运算过程是否规范、完整、准确。项目质量员组织质保人员对各分项目组的报告数据进行核实评审。

3.1.2 辐射环境质量评价

3.1.2.1 调查区域现有辐射源分布情况

除本项目所在上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆外，场址半径 50km 范围内无核设施，半径 30km 范围内无铀钍矿，半径 15km 范围内无生产放射性同位素和使用 I 类、II 类放射性源及非密封源的情况。场址半径 15km 范围内存在 2 处“人为活动引起天然辐射照射增加”有关设施，分别为太西煤民勤红砂岗矿区一矿和二矿。

综上，对调查区域现有辐射源分布进行如下评价：

（1）场址半径 30km 范围内无核设施，无铀、钍矿设施。

（2）场址半径 15km 范围内无同位素生产设施，不涉及非密封放射性同位素应用，存在 2 处“人为活动引起天然辐射照射增加”有关设施，分别为太西煤民勤红砂岗矿区一矿和二矿。

（3）场址半径 5km 范围内无 I 类和 II 类放射源的应用。

3.1.2.2 调查监测结果

1) γ 辐射剂量率（2022 年监测结果）

(1) 仪器宇宙射线响应测量

选取了距场址东南方位约 65km 处的红崖山水库进行了宇宙射线响应值的测量，测量值为 10.6nGy/h。

(2) γ 辐射剂量率

分别于 2022 年 2 月 15 日~2 月 19 日（其中 6 个点位监测于 2022 年 1 月 21 日）和 2022 年 6 月 2 日~6 月 7 日对本项目半径 20km 范围内进行了 2 次 γ 辐射剂量率监测，共设置 90 个监测点位。

在场址 SSE 方位距离约 66.7km 的红崖山水库进行了 X- γ 剂量率仪（FH40G+FHZ672E-10）对宇宙射线响应值的测量，测量值为 10.6nGy/h（n=50），数值偏低可能是由于 X- γ 辐射剂量率仪对宇宙射线响应较低。2022 年结果与浙江省东钱湖宇宙射线响应值测量结果基本相当（浙江省辐射环境监测网络宇宙射线响应比对监测项目报告，2021.12）。

未测量仪器对宇宙射线的响应值时，陆地 γ 辐射剂量率测值范围为 52.1~92.7nGy/h，测量平均值为 (72.7 ± 6.4) nGy/h。扣除宇宙射线响应值后，陆地 γ 辐射剂量率测值范围为 41.5~82.1nGy/h，测量平均值为 (62.1 ± 6.4) nGy/h（已扣除宇宙射线响应值 10.6nGy/h）。

根据《中国环境天然放射性水平》（原国家环境保护总局，1995 年），武威地区原野 γ 辐射剂量率（已扣除仪器对宇宙射线的响应值）介于 36.2~85.8nGy/h 之间，按面积、人口和网格点加权的平均值分别为 (62.6 ± 15.0) nGy/h、 (62.8 ± 15.1) nGy/h 和 (59.8 ± 9.9) nGy/h；武威地区道路 γ 辐射剂量率（已扣除宇宙射线响应值）介于 40.8~126.0nGy/h 之间，按网格点加权的平均值为 (72.6 ± 26.1) nGy/h；甘肃省原野 γ 辐射剂量率（已扣除宇宙射线响应值）范围为 16.9~128.4nGy/h，按面积、人口和网格点加权的平均值分别为 (62.6 ± 11.8) nGy/h、 (62.9 ± 12.5) nGy/h 和 (64.5 ± 19.8) nGy/h；甘肃省道路 γ 辐射剂量率（已扣除宇宙射线响应值）介于 20.1~129.7nGy/h 之间，按网格点加权的平均值为 (60.8 ± 15.6) nGy/h。

根据《中国辐射环境质量报告》（2018~2020 年），2018 年、2019 年和 2020 年甘肃省内距场址最近的金昌市公园路自动站 γ 辐射剂量率小时均值范围（未扣除仪器对宇宙射线的响应值）分别为 93.3~120.7nGy/h、93.7~123.2nGy/h 和 93.3~118.7nGy/h，年均值分别为 97.9nGy/h、98.1nGy/h 和 98.2nGy/h。2018 年、2019 年和 2020 年甘肃省武威市海藏村监测点位累积剂量范围（未扣除宇宙射线

响应值)分别为 114~134nGy/h、109~115nGy/h 和 114~124nGy/h, 年均值分别为 123nGy/h、112nGy/h 和 118nGy/h。

γ 辐射剂量率结果(已扣除宇宙射线响应值)与武威地区原野 γ 辐射剂量率(36.2~85.8nGy/h, 按面积加权平均值为 (62.6 ± 15.0) nGy/h)、武威地区道路 γ 辐射剂量率(40.8~126.0nGy/h, 按网格点加权平均值为 (72.6 ± 26.1) nGy/h)、甘肃省原野 γ 辐射剂量率(16.9~128.4nGy/h, 按面积加权平均值为 (62.6 ± 11.8) nGy/h)及甘肃省道路 γ 辐射剂量率(20.1~129.7nGy/h, 按网格点加权平均值为 (60.8 ± 15.6) nGy/h)处于同一水平。

根据《TMSR-LF1 运行前环境辐射本底调查总结报告》(苏州热工研究院有限公司, 2020 年), 2017 年场址半径 20km 范围内 γ 辐射剂量率(未扣除宇宙射线响应值)范围为 75~121nGy/h, 平均值为 (96 ± 6) nGy/h; 2020 年场址半径 10km 范围内, γ 辐射剂量率(未扣除宇宙射线响应值)范围为 75~111nGy/h, 平均值为 (92 ± 6) nGy/h。2017 年(场址半径 20km 范围内, 75~121nGy/h, 平均值为 (96 ± 6) nGy/h)和 2020 年(场址半径 10km 范围内, 75~111nGy/h, 平均值为 (92 ± 6) nGy/h)场址区域环境辐射调查结果均未扣除仪器对宇宙射线的响应值, 与本次测量结果(未扣除仪器对宇宙射线的响应值, 陆地 γ 辐射剂量率测值范围为 52.1~92.7nGy/h, 测量平均值为 (72.7 ± 6.4) nGy/h)相比, 本次测量结果, 低于 2017 年和 2020 年监测结果, 均处于放射性环境本底水平范围。

(3) γ 辐射累积剂量监测(2022 年监测结果)

场址半径 20km 范围内, 于 2022 年 2 月 15 日~2 月 19 日(其中 6 个点位监测于 2022 年 1 月 21 日)布设 90 个热释光剂量率片, 并于 6 月 2 日~6 月 7 日进行了回收。其中, 6 个点位的热释光剂量率片由于厂区施工、风力大及骆驼误食等原因丢失, 实际回收 84 个点位热释光剂量率片, 回收率为 93.3%。

于 2 月 15 日在红崖山水库布放了热释光剂量片以便测量宇宙射线响应值。2 月 16 日复查时发现该批次剂量片丢失, 于 2 月 16 日在红崖山水库再次布放热释光剂量片, 并于 6 月 6 日进行了回收。

γ 辐射累积剂量测得的 γ 辐射空气吸收剂量率(未扣除宇宙射线响应值)测值范围为 82.3~119nGy/h, 平均值为 (98.8 ± 7.3) nGy/h。扣除宇宙射线响应值后, 陆地 γ 辐射累积剂量测得的 γ 辐射空气吸收剂量率测值范围为 38.2~74.9nGy/h, 测量平均值为 (54.7 ± 7.3) nGy/h。

2018年、2019年和2020年甘肃省武威市海藏村监测点位累积剂量水平(2018年、2019年和2020年累积剂量范围分别为114~134nGy/h、109~115nGy/h和114~124nGy/h,年均值分别为123nGy/h、112nGy/h和118nGy/h,均未扣除宇宙射线响应值)。另外,根据2017年场址区域环境辐射调查结果,累积剂量小时平均值测量结果为101.5~158.1nGy/h,平均值为 (126.1 ± 7.9) nGy/h;根据2020年场址区域环境辐射调查结果,累积剂量小时平均值测量结果为132~178nGy/h,平均值为 (154 ± 11) nGy/h。

2022年调查的 γ 辐射累积剂量测得的 γ 辐射空气吸收剂量率(未扣除宇宙射线响应值)平均值较2017年低22%,较2020年低36%,较2018年~2020年武威市海藏村累积剂量平均值低17%。

2022年累积剂量测得的 γ 辐射空气吸收剂量率与以往数据的差异性可能来源于现场环境条件的差异,包括监测时段宇宙射线的强度、气象条件等。

2) 空气中放射性(2020年调查结果)

空气中放射性监测项目有气溶胶中 γ 核素、 ^{90}Sr

气溶胶中 γ 核素除 ^7Be 外,其余人工放射性核素测量结果均小于探测限, ^7Be 测量结果为 (8.550 ± 0.017) mBq/m³,与2017年空气气溶胶中 γ 核素监测结果(^7Be : 9.09mBq/m³)相比,变化较小;气溶胶中 ^{90}Sr 测量结果小于探测限。

3) 水中放射性(2020年调查结果)

本项目水中放射性共设置两个采样点位,监测项目为水中氚。水中氚 ^3H 测量结果均小于探测限。

4) 土壤中放射性(2020年调查结果)

在场址周围10km范围内8个方位共布置土壤采样点位8个,监测项目包括土壤中 γ 核素、土壤中总 α /总 β 和土壤中 ^{90}Sr 。

土壤中总 α 、总 β 测量结果范围分别为341~706Bq/kg和813~1015Bq/kg。

土壤中 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 测量结果范围分别为23.5~42.1Bq/kg、15.5~32.5Bq/kg、21.7~38.9Bq/kg和562~808Bq/kg。土壤中 ^{90}Sr 测量结果均高于探测限,测量结果范围为0.28~0.97Bq/kg。与本项目2017年的调查结果($<0.14\sim 1.27\text{Bq/kg}$)在同一水平。 ^{137}Cs 除一个点位低于探测限外,其余点位测量结果均高于探测限,测量结果范围为 $<0.47\sim 6.17\text{Bq/kg}$;其余人工放射性核素测量结果均小于探测限。

对照 2017 年场址区域开展的辐射环境调查结果(^{238}U : 20.2~68.0Bq/kg、 ^{226}Ra : 18.82~31.50Bq/kg、 ^{232}Th : 29.34~42.21Bq/kg、 ^{40}K : 478~688Bq/kg、 ^{137}Cs : <0.56~6.99Bq/kg)，两次调查结果在同一水平。

3.1.2.3 辐射环境评价

1) γ 辐射剂量率 (2022 年监测结果)

场址半径 20km 范围内 γ 辐射剂量率监测结果与甘肃省武威地区道路和原野 γ 辐射剂量率处于同一水平，未见异常。

2) γ 辐射累积剂量率 (2022 年监测结果)

场址半径 20km 范围内 γ 辐射累积剂量略低于 2018 年~2020 年甘肃省武威市海藏村监测点位累积剂量水平，未见异常。

3) 空气中放射性 (2020 年调查结果)

空气中放射性监测项目有气溶胶中 γ 核素、 ^{90}Sr 。

气溶胶中 γ 核素除 ^7Be 外，其余人工放射性核素测量结果均小于探测限， ^7Be 测量结果为 $(8.550 \pm 0.017) \text{ mBq/m}^3$ ； ^{90}Sr 测量结果小于探测限。

4) 水中放射性 (2020 年调查结果)

水中氚共设置两个监测点位，均为地下水，测量结果均小于探测限。

5) 土壤中放射性 (2020 年调查结果)

土壤中监测项目包括土壤中总 α 、总 β 、土壤中 ^{90}Sr 和土壤中 γ 核素。

土壤中总 α 、总 β 测量结果范围分别为 341~706Bq/kg 和 813~1015Bq/kg；土壤中 ^{90}Sr 测量结果范围为 0.28~0.97Bq/kg；土壤中 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 测量结果范围分别为 23.5~42.1Bq/kg、15.5~32.5Bq/kg、21.7~38.9Bq/kg 和 562~808Bq/kg， ^{137}Cs 测量结果范围为 <0.47~6.17Bq/kg，其余人工放射性核素测量结果均小于探测限。

对照 2017 年场址区开展的辐射环境调查结果，2020 年调查期间土壤中放射性核素调查结果与 2017 年开展的调查结果相差较小，均处于正常的环境辐射本底水平。

3.1.2.4 武威园区放射性环境监测

上海应物所武威园区已完成 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆 (TMSR-LF1) 及其相关的配套设施的建设，于 2023 年 6 月取得运行许可证并于 2023 年 10 月首次达到临界。上海应物所已开展武威园区放射性环境监测工作，本节描述 2024

年 5 月~2025 年 9 月的武威园区及场址半径 10km 范围内 γ 辐射剂量率和环境介质放射性活度统计结果。

1) 监测内容及范围

(1) 环境 γ 辐射监测

环境 γ 辐射监测内容为 2024 年 9 月~2025 年 9 月每个季度的瞬时 γ 辐射剂量率，监测范围是以 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆 (TMSR-LF1) 为中心半径 10km 范围内进行布点，共 32 个点位。其中，1-10 号点位位于园区内，11-20 号点位位于园区外、半径 2km 以内，21-32 号点位位于半径 2km 外、半径 10km 以内。

(2) 环境介质监测

环境介质监测内容为空气、水体和土壤环境介质取样以及放射性活度的测量和分析。具体调查内容和范围如下：

➤ 空气中放射性

空气 ^3H 、 ^{14}C 和 ^{131}I 。空气 ^{14}C 监测点位共 1 个，位于场址 WSW 方位约 3km 处的金仓公司厂界处（简称“金仓公司”），监测点位图见 3.1-17。空气 ^3H 监测点位共 5 个，分别为金仓公司以及厂区内的 03 大厅、保护区门口、放废中心和 01 堆厂房。空气 ^3H 、 ^{14}C 的监测时段为 2024 年 5 月~2025 年 7 月，监测频次为 1 次/季。空气 ^{131}I 在 2024 年 2~4 季度监测点位共 1 个，为金仓公司。监测频次为 1 次/季。

气溶胶 ^{90}Sr 、 γ 能谱。气溶胶 ^{90}Sr 在 2024 年 2~4 季度监测点位共 1 个，为厂区内综合实验大厅；2025 年 1~2 季度监测点位共 2 个，分别位于金仓公司以及厂区内的综合实验大厅附近。气溶胶 γ 能谱测量核素为人工核素 ^{134}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{137}Cs 、 ^7Be 和 ^{58}Co ，在 2024 年 2~4 季度监测点位共 2 个，分别位于金仓公司以及厂区内的综合实验大厅附近。监测频次为 1 次/季。

沉降物 γ 能谱。在 2024 年 3 季度在金仓公司开展监测，测量核素为人工核素 ^{134}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{137}Cs 和 ^{58}Co 。

➤ 水中放射性

降水样 ^{90}Sr 、 ^3H 及 γ 能谱。2024 年分别于 8 月和 9 月对环境降水样 ^{90}Sr 、 ^3H 进行 1 次采样监测，2024 年 8 月对降水 γ 能谱进行 1 次监测。其中，降水 γ 能谱测量核素为 ^{134}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{54}Mn 、 ^{137}Cs 、 ^{58}Co 和 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 。2025 年 8 月仅对环

境降水样 ^3H 进行 1 次监测。降水样取样点均为金仓公司。

饮用水 ^3H 。监测点位共 2 个，为园区供水点（地下水）和红砂岗镇饮用水点。分别于 2024 年 3 季度和 2025 年 2 季度对两个点位进行监测，监测频次为 1 次/年。

➤ 土壤放射性

土壤 ^{90}Sr 、 γ 核素分析、总 α 和总 β 。园区外设置 8 个土壤采样点，分别于 2024 年 9 月和 2025 年 6 月开展监测，监测频次为 1 次/年。其中，土壤 γ 能谱测量核素为 ^{40}K 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 和 ^{226}Ra 。2024 年土壤中 γ 核素分析、总 α 和总 β 均开展 8 个点位的监测工作，土壤 ^{90}Sr 对除 30#点位外的其余 7 个点位进行监测。2025 年土壤总 α 和总 β 仅监测 8 个点位中的 19#点位、26#点位、30#点位和 31#点位，土壤 ^{90}Sr 仅监测 8 个点位中的 19#点位和 31#点位。

2) 监测与分析方法

武威园区放射性环境监测所使用到的测量设备均在检定/校准有效期内，各项目的测量方法和测量设备详细信息见表 3.1-11。

对于 γ 辐射剂量率，使用 6150AD5/H 便携式 γ 剂量率仪定点监测瞬时 γ 辐射剂量率。

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆气态流出物、环境介质样品由辐射监测实验室进行测量分析，实验室拥有环境样品处理、流出物样品处理、测量分析、样品存放等场所、配置了超低本底液闪测量仪 SIM-MAX LSA3000、低本底 α/β 测量仪 SIM-MAX LLB1000 和 γ 能谱分析仪 SIM-MAX HPGe1600，具备 γ 能谱分析、总 α/β 放射性活度测量分析、液闪放射性活度测量分析项目。

3) 监测结果

(1) γ 辐射剂量率

包括了 2024 年 9 月 25 日-9 月 26 日、2024 年 12 月 30 日-12 月 31 日、2025 年 3 月 31 日-4 月 7 日、2025 年 6 月 30 日-7 月 1 日和 2025 年 9 月 26 日-28 日五个季度的武威园区及场址半径 10km 范围内的 32 个 γ 辐射剂量率监测点位的监测数据。各季度监测结果如下：

2024 年 9 月 γ 辐射剂量率的测值范围为 93.6~133.1nGy/h，测值平均值为 114.2nGy/h。所有点位中最大值位于园区内部东北侧的 4#点位，测量值为 133.1nGy/h。其次为厂区外 32#点位、园区内保护区门口 3#点位和主体厂房北侧

1#点位测量值，分别为 130.6nGy/h、130.3nGy/h、129.0nGy/h。 γ 辐射剂量率最低的点位为场址 SE 方位约 9km 的 31#点位，测量值为 93.6nGy/h。

2024 年 12 月 γ 辐射剂量率的测值范围为 105.9~126.0nGy/h，测值平均值为 114.2nGy/h。所有点位中最大值位于园区外 N 方位的 11#点位，测量值为 126.0nGy/h。其次厂区外 SE 方位 16#点位、厂区外 NNE 方位 21#点位、园区内放废处理中心 2#点位和综合实验大厅 5#点位，分别为 121.6nGy/h、119.9nGy/h、119.9nGy/h 和 119.9nGy/h。 γ 辐射剂量率最低的点位为园区 W 方位次入口 9#点位，测量值为 105.9nGy/h。

2025 年 3 月 γ 辐射剂量率的测值范围为 94.9~159.7nGy/h，测值平均值为 113.2nGy/h。所有点位中最大值位于园区内保护区门口处，测量值为 159.7nGy/h。其他所有点位测量值均小于 125.0nGy/h，其中 γ 辐射剂量率最低的点位为园区外 S 方位 25#点位，测量值为 94.9nGy/h。

2025 年 6-7 月 γ 辐射剂量率的测值范围为 94.0~125.0nGy/h，测值平均值为 107.6nGy/h，测量最大值位于园区外 W 方位的 19#点位和园区内综合科研中心 7#点位，测量值均为 125.0nGy/h。 γ 辐射剂量率最低值出现在园区外 SE 方位 31#点位，测量值为 94.0nGy/h。

2025 年 9 月 γ 辐射剂量率的测值范围为 102.0~127.0nGy/h，测值平均值为 110.4nGy/h。测量最大值位于园区外 NNE 方位 21#点位，测量值为 127.0nGy/h。 γ 辐射剂量率最低值出现在园区外 W 方位 27#点位和 SE 方位 31#点位，测量值均为 102.0nGy/h。

2024 年测值范围为 93.6~133.1nGy/h，测值平均值为 114.2nGy/h。2025 年测值范围为 94.0~159.7nGy/h，测值平均值为 110.4nGy/h。

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）临界后，武威园区以及场址半径 10km 范围内的环境 γ 辐射剂量率监测结果处于放射性环境本底水平范围内，该监测结果略高于 2017 年、2020 年、2022 年监测结果。

（2）空气中放射性

2024 年空气中放射性监测项目包括空气中 ^3H 、 ^{14}C 和 ^{131}I ，气溶胶中 ^{90}Sr 、 γ 能谱以及沉降物 γ 能谱。2025 年空气中放射性监测项目包括空气中 ^3H 、 ^{14}C 和气溶胶中 ^{90}Sr 。空气中放射性监测结果总结如下：

空气中 ^3H 在 2024 年 5 月~2025 年 7 月测量值范围为 $2.01 \times 10^{-2} \sim 2.98 \times 10^{-2}$

^{14}C 最大值出现在 2025 年 2 季度的 03 大厅，最小值出现在 2024 年 4 季度的金仓公司。空气中 ^{14}C 在调查时间范围内的测量值范围为 $1.01 \times 10^{-2} \sim 5.80 \times 10^{-2} \text{Bq/m}^3$ ，最大值出现在 2024 年 2 季度，最小值出现在 2025 年 1 季度。2024 年空气中 ^{131}I 测量值范围为 $<1.37 \times 10^{-4} \sim <1.92 \times 10^{-4} \text{Bq/m}^3$ ，均小于探测限。气溶胶中 ^{90}Sr 的测量值范围在 $1.00 \times 10^{-6} \sim 3.13 \times 10^{-5} \text{Bq/m}^3$ ，最大值出现在 2024 年 4 季度的综合实验大厅，最小值出现在 2025 年 2 季度的金仓公司。

气溶胶中 γ 核素，除 ^7Be 外的其余人工放射性核素测量结果均小于探测限， ^7Be 测量结果范围为 $2.64 \sim 5.66 \text{mBq/m}^3$ ，最大值出现在 2024 年 3 季度的综合实验大厅，最小值出现在 2024 年 4 季度的金仓公司。测量结果范围小于 2020 年空气气溶胶中 γ 核素监测结果 (^7Be : $(8.550 \pm 0.017) \text{mBq/m}^3$)。

2024 年空气沉降物中 γ 核素测量结果均小于探测限，分别为 ^{58}Co : $<3.71 \times 10^{-4} \text{Bq/g}$ 、 ^{60}Co : $<3.74 \times 10^{-4} \text{Bq/g}$ 、 ^{134}Cs : $<5.20 \times 10^{-4} \text{Bq/g}$ 、 ^{137}Cs : $<5.27 \times 10^{-4} \text{Bq/g}$ 、 ^{54}Mn : $<4.14 \times 10^{-4} \text{Bq/g}$ 。

(3) 水中放射性

水中放射性监测项目包括降水中 ^3H 、 ^{90}Sr 、 γ 核素以及饮用水及地下水中 ^3H 。2024-2025 年环境降水中的 ^3H 分别为 1.31Bq/L 和 2.31Bq/L 。2024 年环境降水中的 ^{90}Sr 分别为 $3.57 \times 10^{-3} \text{Bq/L}$ 和 $8.97 \times 10^{-3} \text{Bq/L}$ 。此外，2024 年降水中 γ 核素测量值均小于探测限，分别为 ^{134}Cs : $<5.91 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ 、 ^{60}Co : $<4.25 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ 、 ^{54}Mn : $<4.79 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ 、 ^{137}Cs : $<5.65 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ 、 ^{58}Co : $<3.52 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$: $<5.16 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ 。

地下水设置园区供水站采样点位，饮用水设置红砂岗镇采样点位，监测项目为水中氚。水中氚 ^3H 测量结果分别为 $<0.94 \text{Bq/L}$ 和 $<1.17 \text{Bq/L}$ 。

(4) 土壤中放射性

在土壤中放射性监测项目包括土壤中 γ 核素、土壤中总 α /总 β 和土壤中 ^{90}Sr 。

其中 2024 年土壤中总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 测量结果范围分别为 $10.6 \sim 29.6 \text{Bq/kg}$ 、 $1950 \sim 2300 \text{Bq/kg}$ 和 $0.226 \sim 2.8 \text{Bq/kg}$ 。2025 年土壤中总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 测量结果范围分别为 $45.5 \sim 115 \text{Bq/kg}$ 、 $485 \sim 512 \text{Bq/kg}$ 和 $0.323 \sim 1.98 \text{Bq/kg}$ 。与 2020 年调查结果相比，2024-2025 年总 α 略低，2024 年总 β 略高，2025 年总 β 略低， ^{90}Sr 测量值与 2020 年调查结果处于同一水平。

土壤中 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 测量结果范围分别为 $73.8 \sim 132 \text{Bq/kg}$ 、

19.4~26.6Bq/kg、29.5~35.6Bq/kg 和 495~717Bq/kg。与 2020 年调查结果相比， ^{238}U 测量值略高， ^{40}K 测量值略低， ^{226}Ra 和 ^{232}Th 的测量值范围与 2020 年相比，处于同一水平。

4) 质量保证

中国科学院上海应用物理研究所自主开展辐射环境监测，监测过程中的质量保证与质量控制严格按《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》（GB11216-1989）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的相关规定执行。监测分析方法均采用国家颁布的有效标准分析方法，监测仪器均经过计量部门检定/校准并在有效期内。

5) 辐射环境评价

（1） γ 辐射剂量率

2024 年 9 月~2025 年 9 月，场址半径 10km 范围内 γ 辐射剂量率监测结果范围为 93.6~159.7nGy/h，在 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）临界后，环境 γ 辐射剂量率监测结果处于放射性环境本底水平范围内。

（2）空气中放射性

2024 年 5 月~2025 年 9 月，空气中放射性监测项目包括空气中 ^3H 、 ^{14}C 和 ^{131}I ，气溶胶中 γ 核素、 ^{90}Sr 以及沉降物中 γ 核素。空气中 ^3H 、 ^{14}C 和气溶胶中 ^{90}Sr 的测量值范围分别为 $2.01 \times 10^{-2} \sim 2.98 \times 10^{-1} \text{Bq/m}^3$ 、 $1.01 \times 10^{-2} \sim 5.80 \times 10^{-2} \text{Bq/m}^3$ 和 $1.00 \times 10^{-6} \sim 3.13 \times 10^{-5} \text{Bq/m}^3$ 。空气中 ^{131}I 和沉降物 γ 核素的测量值均小于探测限。气溶胶中 γ 核素除 ^7Be 外，其余人工放射性核素测量结果均小于探测限， ^7Be 测量结果范围为 $2.64 \sim 5.66 \text{mBq/m}^3$ ，略低于 2020 年空气气溶胶中 γ 核素监测结果（ ^7Be : $(8.550 \pm 0.017) \text{mBq/m}^3$ ）。

（3）水中放射性

2024~2025 年，水中放射性监测项目包括降水中 ^3H 、 ^{90}Sr 、 γ 核素以及饮用水及地下水。2024~2025 年环境降水中 ^3H 的测量值分别为 1.31Bq/L 和 2.31Bq/L 。2024 年环境降水中 ^{90}Sr 的测量值分别为 $3.57 \times 10^{-3} \text{Bq/L}$ 和 $8.97 \times 10^{-3} \text{Bq/L}$ 。2024 年降水中 γ 核素测量值均小于探测限。地下水中氡和饮用水中氡各设置 1 个监测点位，测量结果均小于探测限。

（4）土壤中放射性

2024~2025 年，土壤中监测项目包括土壤中总 α 、总 β 、土壤中 ^{90}Sr 和土壤

中 γ 核素。土壤中总 α 的监测结果范围为 10.6~115Bq/kg, 略低于 2020 年调查结果。2024 年总 β 监测结果范围为 1950~2300Bq/kg, 略高于 2020 年监测结果。2025 年总 β 监测结果范围为 485~512Bq/kg, 略低于 2020 年监测结果。土壤中 ^{90}Sr 的监测结果范围为 0.226~2.8Bq/kg, 与 2020 年调查结果处于同一水平。土壤中 γ 核素 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 监测结果范围分别为 73.8~132Bq/kg、19.4~26.6Bq/kg、29.5~35.6Bq/kg 和 495~717Bq/kg, 与 2020 年调查结果相比, ^{238}U 测量值略高, ^{40}K 测量值略低, ^{226}Ra 和 ^{232}Th 处于同一水平。

表 3.1-1 陆域 γ 辐射剂量率调查方案（2022 年）

监测项目	调查范围	频次	点位数	拟设监测点位	备注
γ 辐射剂量率	0~2km	2 次	44	见表 3.1-1	/
	2~5km	2 次	20		/
	5~10km	2 次	12		/
	10~20km	2 次	13		/
	红崖山水库	2 次	1		
γ 辐射累积剂量	0~20km、 红崖山水库	1 次	90	同 γ 辐射剂量率	连续布放 3.5 个月

表 3.1-2 环境介质放射性监测项目统计表（2020 年）

监测对象		监测项目	调查频次	调查点位	点位数	分析样品数	采样量/样品	质量样品
气溶胶	空气气溶胶	γ 核素	1 次	金仓公司南侧大门	1	1	10026.71m ³	仪器间比对
		⁹⁰ Sr	1 次			1		—
土壤	表层土	γ 核素	1 次	以反应堆为中心，8 个方位 与半径为 2km、5km、10km 的圆 所形成的各扇形区域内	8	9	2kg	1 个平行样
		总 α 、总 β	1 次			9		1 个平行样
		⁹⁰ Sr	1 次			9		1 个平行样
水	地下水/饮用水	³ H	1 次	园区供水点（地下水）、红砂岗镇饮用水	2	3	1L	1 个平行样

表 3.1-3 测量设备一览表（2020 年）

序号	仪器名称	型号	用途	校准/检定有效期
1	P 型高纯锗 γ 谱仪	GEM50P4-83	γ 能谱分析、空气 ¹³¹ I 测量	2018.9.7-2020.9.6 2020.5.7-2022.5.6
2	N 型高纯锗 γ 谱仪	GMX50P4-83	γ 能谱分析、空气 ¹³¹ I 测量	2020.4.7-2022.4.6
3	超低本底液体闪烁谱仪	Quantulus1220	³ H、 ¹⁴ C 测量	2020.5.8-2022.5.7
4	低本底液体闪烁谱仪	LB7	³ H、 ¹⁴ C 测量	2020.5.8-2022.5.7
5	低本底 α 、 β 测量仪	MPC9604	总 α 、总 β 、 ⁹⁰ Sr	2020.1.3-2022.1.2

表 3.1-4 测量仪器一览表（2022 年）

序号	名称	数量	型号规格	有效期
1	X-γ 辐射剂量当量率仪	2	FH40G+FHZ672E-10	2021.7.19~2022.7.18
				2022.5.7~2023.5.6
2	热释光测量系统	1	RGD-3D	2022.6.2~2023.6.1

表 3.1-5 γ 辐射测量仪器技术参数（2022 年）

序号	名称	数量	型号规格	主要技术指标
1	X-γ 辐射 剂量当量率仪	2	FH40G+FHZ672E-10	主机（内置探头）： FH40G 量程：10nSv h ⁻¹ ~1Sv h ⁻¹ 能量响应：36keV~1.3MeV 探头（外置探头）： FHZ672E-10 量程： 1nSv h ⁻¹ ~100μSv·h ⁻¹ ； 能量响应：40keV~4.4MeV
2	热释光测量系统	1	RGD-3D	量程：10 ⁻⁸ Gy~9.999Gy 连续 10 次读数，标准偏差<1μGy

表 3.1-6 测量方法依据

序号	监测项目	方法依据
1	土壤、沉降物中 γ 核素	GB/T16145-2022 环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法
2	水中 γ 核素	GB/T16145-2022 环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法
3	气溶胶中 γ 核素	GB/T16145-2022 环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法
4	土壤、沉积物、沉降物中 ^{90}Sr	EJ/T1035-2011 土壤中锶-90 分析方法
5	水中总 α	HJ898-2017 水质 总 α 放射性的测定 厚源法
6	水中总 β	HJ899-2017 水质 总 β 放射性的测定 厚源法
7	水中	HJ1126-2020 水中氚的分析方法
8	γ 辐射剂量率	HJ1157-2021 环境 γ 辐射剂量率测量技术规范
9	γ 辐射累积剂量	GB/T10264-2014 个人和环境监测用热释光剂量测量系统

表 3.1-7 放化分析项目典型最小可探测活度浓度（2020 年）

项目	介质	样品量	测量时间, min	本底, cpm	探测效率	回收率	MDC
总 β	土壤	0.25g	1000	0.80	37%	—	24Bq/kg
^{90}Sr	水	40L	1000	0.80	43%	80%	0.18mBq/L
	土壤	50g 干	1000	0.80	43%	80%	0.14mBq/g
	气溶胶	10000m ³	1000	0.80	43%	80%	0.71 μ Bq/m ³
^3H	水、空气水	100ml	1000	3.5	20%	—	0.25Bq/L

表 3.1-8 土壤中 γ 核素测量典型最小可探测活度浓度（2020 年）

仪器型号		GMX50P4-83		测量时间		80000s
样品尺寸		$\Phi 75*70\text{cm}$		分析样品量		0.33kg 干样
核素名称	特征峰 KeV	分支比 %	探测效率 %	本底计数	探测限 Bq/kg	
^{238}U	63.29	3.665	2.415	4232	13	
^{232}Th	238.63	43.6	2.640	2546	0.77	
^{226}Ra	351.93	35.6	1.978	2282	1.2	
^{40}K	1460.82	1.66	0.722	1158	7.8	
^{134}Cs	604.72	97.62	2.189	654	0.35	
^{137}Cs	661.66	85.1	2.058	565	0.38	
^{58}Co	810.76	99.45	1.797	483	0.37	
^{54}Mn	834.85	99.976	1.763	502	0.38	
^{60}Co	1332.49	99.826	1.322	246	0.37	

表 3.1-9 气溶胶中 γ 核素测量典型最小可探测活度浓度（2020 年）

仪器型号		GMX50P4-83	测量时间		80000s
样品尺寸		Φ75*35cm	分析样品量		10000m ³
核素名称	特征峰 KeV	分支比 %	探测效率 %	本底计数	探测限 μBq/m ³
⁷ Be	477.61	10.52	2.590	759	58
⁵⁴ Mn	834.85	99.98	1.763	502	7.4
⁵⁸ Co	810.76	99.45	1.797	483	7.1
⁶⁰ Co	1332.49	99.83	1.322	246	6.9
¹³⁴ Cs	604.72	97.62	2.189	654	7.0
¹³⁷ Cs	661.66	85.10	2.058	565	7.9

表 3.1-10 淡水中 γ 核素测量典型最小可探测活度浓度（2020 年）

仪器型号		GEM50P4-83	测量时间		80000s
样品尺寸		1L 马林杯	分析样品量		40L
核素名称	特征峰 KeV	分支比 %	探测效率 %	本底计数	探测限 mBq/L
¹³⁴ Cs	604.72	97.62	2.326	518	1.4
^{110m} Ag	657.76	95.3	2.199	417	1.4
¹³⁷ Cs	661.66	85.1	2.059	463	1.8
⁵⁸ Co	810.76	99.45	1.868	360	1.5
⁵⁴ Mn	834.85	99.976	1.82	389	1.6
⁶⁰ Co	1332.49	99.826	1.061	219	2.0

表 3.1-11 测量方法依据和测量仪器

监测项目	测量方法依据	仪器设备名称和型号	校准/检定有效期
γ 辐射剂量率	HJ61-2021 《辐射环境监测技术规范》 HJ1157-2021 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》	便携式 γ 剂量率仪 6150AD5/H	2026.04.26
空气 ^{14}C	EJ/T1008-1996 《空气中 ^{14}C 的取样与测定方法》	超低本底液闪测量仪 SIM-MAX LSA3000	2026.05.21
空气 ^3H	HJ1126-2020 《水中氚的分析方法》	超低本底液闪测量仪 SIM-MAX LSA3000	2026.05.21
空气 ^{131}I	GB/T16145-2022 《环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	γ 能谱分析仪 SIM-MAX HPGe1600	2026.05.10
气溶胶 γ 能谱	GB/T16145-2022 《环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	γ 能谱分析仪 SIM-MAX HPGe1600	2026.05.10
气溶胶 ^{90}Sr	EJ/T1035-2011 《土壤中锶-90 的分析方法》	低本底 α/β 测量仪 SIM-MAX LLB1000	2026.04.02
沉降物 γ 能谱	GB/T16145-2022 《环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	γ 能谱分析仪 SIM-MAX HPGe1600	2026.05.10
降水 ^{90}Sr	HJ815-2016 《水和生物样品灰中锶-90 的放射化学分析方法》	低本底 α/β 测量仪 SIM-MAX LLB1000	2026.04.02
降水 ^3H	HJ1126-2020 《水中氚的分析方法》	超低本底液闪测量仪 SIM-MAX LSA3000	2026.05.21
降水 γ 能谱	GB/T16145-2022 《环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	γ 能谱分析仪 SIM-MAX HPGe1600	2026.05.10
饮用水 ^3H	HJ1126-2020 《水中氚的分析方法》	超低本底液闪测量仪 SIM-MAX LSA3000	2026.05.21
土壤 ^{90}Sr	EJ/T1035-2011 《土壤中锶-90 的分析方法》	低本底 α/β 测量仪 SIM-MAX LLB1000	2026.04.02
土壤 γ 能谱	GB/T16145-2022 《环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	γ 能谱分析仪 SIM-MAX HPGe1600	2026.05.10
土壤总 α	HJ61-2021 《辐射环境监测技术规范》	低本底 α/β 测量仪 SIM-MAX LLB1000	2026.04.02
土壤总 β	HJ61-2021 《辐射环境监测技术规范》	低本底 α/β 测量仪 SIM-MAX LLB1000	2026.04.02

3.2 大气环境质量现状调查与评价

场址环境空气质量功能区的类别为二类功能区，厂区区域环境空气质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）中二级标准。场址以北有甘肃民勤连古城国家级自然保护区，环境空气质量功能区的类别为一类功能区，环境空气质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告2018年第29号）中一级标准。

2022年，甘肃创翼检测科技有限公司对本项目周边区域的精细化工园区的环境空气质量现状进行了监测。

监测时间及频率：2022年8月3日至2022年8月9日，连续7天。监测频率见表3.2-1所示。

监测点位：选取4个环境空气质量现状监测点位进行区域环境空气质量评价。1#点作为上风向背景点，2#监测点位于精细化工园区规划区域内，3#监测点为园区下风向监测点，4#监测点作为敏感目标连古城自然保护区的监测点。

监测点位信息见表3.2-2，点位分布见图3.2-1。

监测项目：（1）日均值： SO_2 、 NO_2 、 CO 、 NO_x 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、TSP；（2）小时值： SO_2 、 NO_2 、 CO 、 NO_x 、 O_3 、 NH_3 、 H_2S 、氯化氢、氯气、苯、甲苯、甲醇、甲醛、硫酸雾、非甲烷总烃。

监测统计结果显示，监测因子均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）中二级标准及《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）附录D中表D.1其他污染物空气质量浓度参考限值，连古城自然保护区除TSP以外的监测因子均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）中一级标准。

甘肃三泰绿色科技有限公司于2024年对红沙岗能源化工工业集中区大气环境质量进行了监测，本报告引用红沙岗工业园区及周边区域（自然保护区）的监测结果。

监测点位：自然保护区、红沙岗工业园区上风向各布设1个监测点位，红沙岗工业园区下风向布设3个监测点位，监测点位见图3.2-2。

监测项目：（1）日均值： SO_2 、 NO_2 、 CO 、 NO_x 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、TSP、 O_3 （8h）；（2）小时值： SO_2 、 NO_2 、 CO 、 NO_x 、 NH_3 、 H_2S 、非甲烷总烃。

监测时段：2024年8月，每个点位监测1天，日均值监测24h，小时值监测1天中的02:00、08:00、14:00、20:00的四个小时段。

红沙岗工业园区及周边区域（自然保护区）环境空气的监测依据及仪器见表3.2-3。

对大气环境质量现状监测结果进行统计分析，红沙岗工业园区及周边区域（自然保护区）监测点位的SO₂、NO₂、NO_x、CO小时值监测结果均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）二级标准浓度限值；NH₃、H₂S小时值监测结果均符合《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018）附录D中表D.1其他污染物空气质量浓度参考限值，非甲烷总烃小时值监测结果符合《大气污染综合排放标准详解》小时浓度限值的要求。红沙岗工业园区及周边区域（自然保护区）监测点位的SO₂、NO₂、NO_x、PM₁₀、PM_{2.5}、TSP、O₃（8h）和CO的日均值监测结果均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）二级标准浓度限值。

上海应物所武威园区已完成2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）及其相关的配套设施的建设，于2023年6月取得运行许可证并于2023年10月首次达到临界。上海应物所已开展武威园区非放射性环境监测工作，甘肃云腾环境科技检测有限公司于2023年6月~2025年9月（共10个季度）对本项目场址（武威园区）周围开展大气环境质量监测。

本项目场址（武威园区）环境空气质量功能区的类别为二类功能区，厂区区域环境空气质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）中二级标准。

甘肃云腾环境科技检测有限公司于2023年6月到2025年9月对本项目场址（武威园区）周围的环境空气质量进行了监测，环境空气质量监测严格按照《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）中的规定进行。

监测时段：2023年6月27日~6月29日；2023年9月19日~9月21日；2023年12月19日~12月22日；2024年3月20日~3月22日；2024年6月11日~6月13日；2024年9月23日~9月25日；2024年12月29日~12月31日；2025年3月19日~3月21日；2025年6

月17日~6月19日，2025年9月10日~9月12日。

监测项目及频次：（1）小时浓度：包括氟化物、铍。氟化物以50L/min流量至少采样45min，连续监测3天；铍每次采样体积不少于10m³，连续监测3天。（2）日均浓度：包括氟化物、铍，不小于20小时/天，连续监测3天。每季度监测一次。

（1）2023年6月至2025年6月监测结果

监测点位：LF1主体装置厂房西北侧、LF1主体装置厂房东侧10m处（南大门旁）、LF1主体装置厂房南大门东侧20m处、LF1主体装置厂房南大门东侧30m处、LF1主体装置厂房南大门东侧40m处，共5个监测点位。点位分布见图3.2-3。

采样点、监测项目及频次见表3.2-4，环境空气监测项目分析方法见表3.2-5。

对大气环境质量现状监测结果进行统计分析，5个监测点位均未检出铍及其化合物，氟化物的日均值和小时值均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）中规定的二级标准。

（2）2025年9月监测结果

监测点位（2025年9月）：共布设5个大气环境监测点位，分别为1#LF1主体装置厂房西北侧、2#LF1主体装置厂房南大门东侧30m处、3#LF1主体装置厂房南大门东侧60m处、4#LF1主体装置厂房南大门东侧90m处、5#LF1主体装置厂房东南侧。点位分布见图3.2-4。

采样点、监测项目及频次见表3.2-6，环境空气监测项目分析方法见表3.2-5。

对大气环境质量现状监测结果进行统计分析，5个监测点位均未检出铍及其化合物，氟化物的日均值和小时值均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）中规定的二级标准。

综上所述，本项目场址（武威园区）大气环境质量状况符合大气环境功能区划。

监测单位——甘肃云腾环境科技检测有限公司具备中国计量认证证书（CMA编号212812051252）。监测期间采用的监测分析方法均采用国家颁布的有效标准分析方法，监测仪器均经过计量部门检定/校准并在有效期内。依据质控措施，对监测全过程包括采样、实验室分析、数据处理等各个环节均进行严格的质量控制。监测分析数据及报告严格执行三级审核制度。

表 3.2-1 环境空气现状监测频率表（2022 年）

监测项目	平均时间	监测频率
SO ₂ 、NO ₂ 、CO、NO _x 、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、TSP	24 小时平均	连续监测 7 天，每日至少有 24h 的采样时间
SO ₂ 、NO ₂ 、CO、NO _x 、NH ₃ 、H ₂ S、O ₃ 、氯化氢、氯气、苯、甲苯、甲醇、甲醛、硫酸雾、非甲烷总烃	1 小时平均	小时平均浓度连续监测 7 天，小时浓度采样时间至少为每日 02:00、08:00、14:00、20:00 四个小时质量浓度值，每小时至少有 45min 的采样时间

表 3.2-2 环境空气现状监测点位信息表（2022 年）

序号	监测点位	监测因子	备注
1	规划区西侧边界 1000m	SO ₂ 、NO ₂ 、CO、NO _x 、O ₃ 、汞及其化合物、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、TSP、NH ₃ 、H ₂ S、氯化氢、氯气、苯、甲苯、甲醇、甲醛、硫酸雾、非甲烷总烃	二类区
2	化工三区		二类区
3	园区下风向		二类区
4	连古城自然保护区		一类区

表 3.2-3 2024 年红沙岗工业园区环境空气监测依据及仪器

监测项目	依据标准及标准号	仪器设备名称及编号	方法检出限	溯源有效期
SO ₂	环境空气 二氧化硫的测定 甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法 HJ 482-2009	紫外可见分光光度计 TU-1901 STHJ-YQ-071	0.007 mg/m ³	2024.9.26
			0.004 mg/m ³	
NO _x	环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法 HJ 479-2009	紫外可见分光光度计 TU-1901 STHJ-YQ-071	0.005 mg/m ³	2024.9.26
			0.003 mg/m ³	
NO ₂	环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法 HJ 479-2009	紫外可见分光光度计 TU-1901 STHJ-YQ-071	0.005 mg/m ³	2024.9.26
			0.003 mg/m ³	
一氧化碳	空气质量 一氧化碳的测定 非分散红外法 GB 9801-1988	便携式红外线气体分析器 GXH-3010/3011AE STZJ-YQ-050 GXH-3011A1、便携式红外一氧化碳分析仪 LB3015A、一氧化碳红外气体分析仪 H129717	0.3 mg/m ³	2025.1.29 /2024.9.6 /2025.7.2
H ₂ S	《空气和废气监测分析方法》（第四版）亚甲基蓝分光光度法	紫外可见分光光度计 TU-1901 STHJ-YQ-071	0.001 mg/m ³	2024.9.26
NH ₃	环境空气和废气 氨的测定 纳氏试剂分光光度法 HJ 533-2009	紫外可见分光光度计 TU-1901 STHJ-YQ-071	0.01 mg/m ³	2024.9.26
O ₃	环境空气 臭氧的测定 靛蓝二磺酸钠分光光度法 HJ 504-2009	紫外可见分光光度计 TU-1901 STHJ-YQ-071	0.010 mg/m ³	2024.9.26
非甲烷总烃	环境空气 总烃、甲烷和非甲烷总烃的测定 直接进样-气相色谱法 HJ 604-2017	气相色谱仪 GC7900 STZJ-YQ-066	0.07 mg/m ³	2026.4.14
TSP	环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法 HJ1263-2022	电子天平 XS105 STHJ-YQ-004	7 µg/m ³	2024.9.26
PM ₁₀	环境空气 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 的测定 重量法 HJ618-2011	电子天平 XS105 STHJ-YQ-004	0.010 mg/m ³	2024.9.26
PM _{2.5}	环境空气 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 的测定 重量法 HJ618-2011	电子天平 XS105 STHJ-YQ-004	0.010 mg/m ³	2024.9.26

表 3.2-4 环境空气质量监测项目及频次一览表（2023 年 6 月-2025 年 6 月）

序号	采样点名称	监测项目及频次
1	1#LF1 主体装置厂房西北侧	小时浓度：氟化物、铍。 氟化物以 50L/min 流量至少采样 45min，连续监测 3 天。 铍每次采样体积不少于 10m ³ ，连续监测 3 天。 日均浓度：氟化物、铍，不小于 20 小时/天，连续监测 3 天。
2	2#LF1 主体装置厂房东侧 10m 处（南大门旁）	
3	3#LF1 主体装置厂房南大门东侧 20m 处	
4	4#LF1 主体装置厂房南大门东侧 30m 处	
5	5#LF1 主体装置厂房南大门东侧 40m 处	

表 3.2-5 环境空气监测项目分析方法一览表（2023 年 6 月-2025 年 6 月）

监测项目	分析方法	方法依据	检出限（ug/m ³ ）	主要仪器设备型号及编号
氟化物	氟离子 选择电极法	HJ955-2018	2023.6-2024.3: 0.2 2024.6: 日均值: 0.1, 小时值: 0.2 2024.9-2025.3、2025.9: 日均值: 0.06, 小时值: 0.5 2025.6: 日均值: 0.072, 小时值: 0.25	2023.6-2024.3: PX SJ-216F 型离子计 (YTJC-23) 2024.04.11 2024.6-2025.3: PX SJ-216F 型离子计 (YTJC-23) 2025.04.06 2025.6-2025.9: PX SJ-216F 型离子计 (YTJC-23) 2026.04.01
铍	等离子体 发射光谱法	HJ777-2015	2023.6-2023.9、2025.3: 日均值: 0.004, 小时值: 0.04 2023.12: 日均值: 0.003, 小时值: 0.03 2024.03-2025.12、2025.06: 日均值: 0.005, 小时值: 0.04 2025.09: 日均值: 0.005, 小时值: 0.05	2023.6: 电感耦合等离子体发射光谱仪 Icap7200Duo (YTJC-60) 2023.08.24 2023.09-2025.06: 电感耦合等离子体发射光谱仪 Icap7200Duo (YTJC-60) 2025.08.07 2025.09: 电感耦合等离子体发射光谱仪 Icap7200Duo (YTJC-60) 2027.07.30

表 3.2-6 环境空气质量监测项目及频次一览表（2025 年 9 月）

序号	采样点名称	监测项目及频次
1	1#LF1 主体装置厂房西北侧	小时浓度： 氟化物、铍。 氟化物以 50L/min 流量至少采样 45min，连续监测 3 天。 铍每次采样体积不少于 10m ³ ，连续监测 3 天。 日均浓度： 氟化物、铍，不小于 20 小时/天，连续监测 3 天。
2	2#LF1 主体装置厂房南大门东侧 30m 处	
3	3#LF1 主体装置厂房南大门东侧 60m 处	
4	4#LF1 主体装置厂房南大门东侧 90m 处	
5	5#LF1 主体装置厂房东南侧	

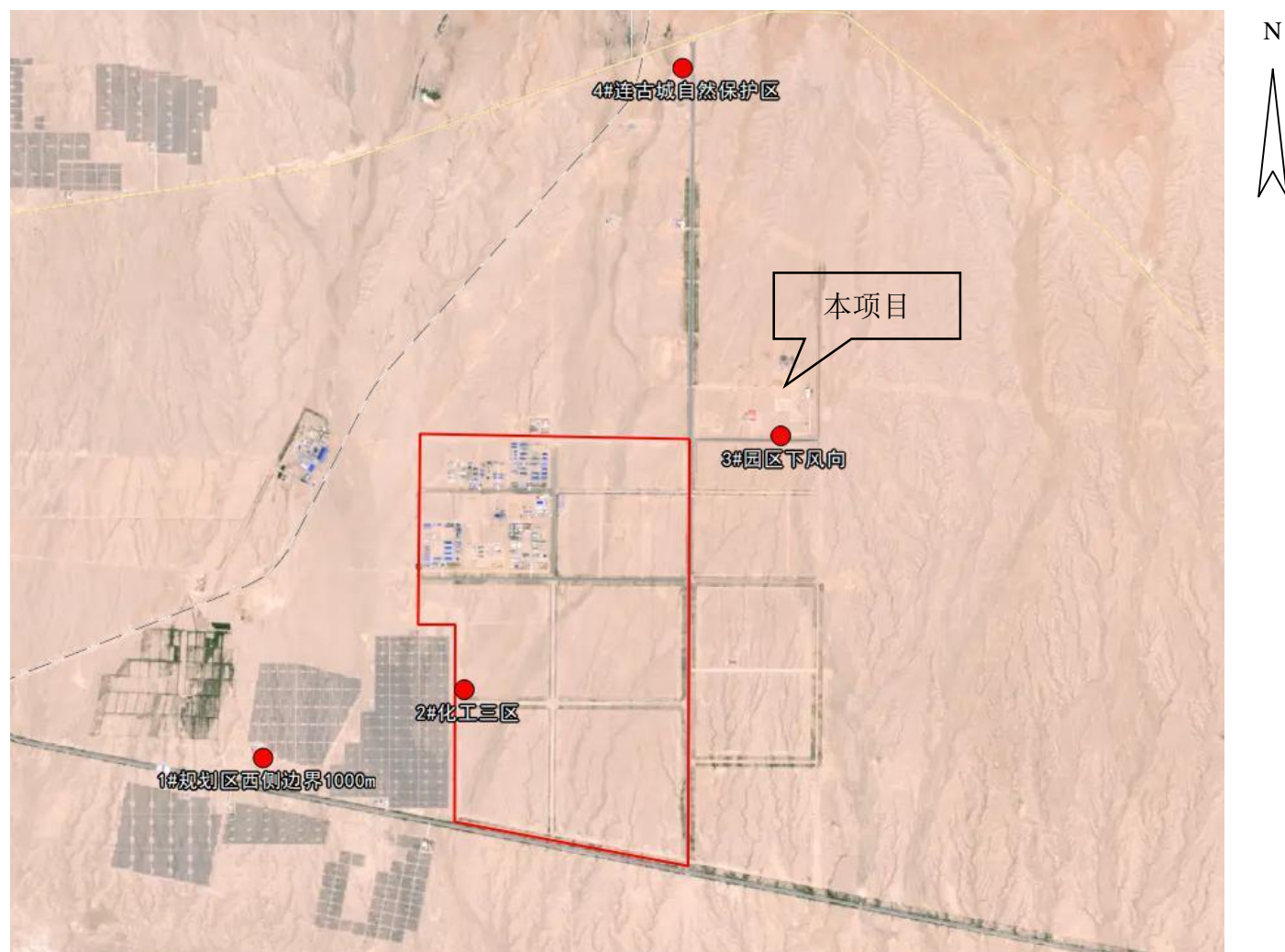


图 3.2-1 环境空气现状监测点位示意图（2022 年）

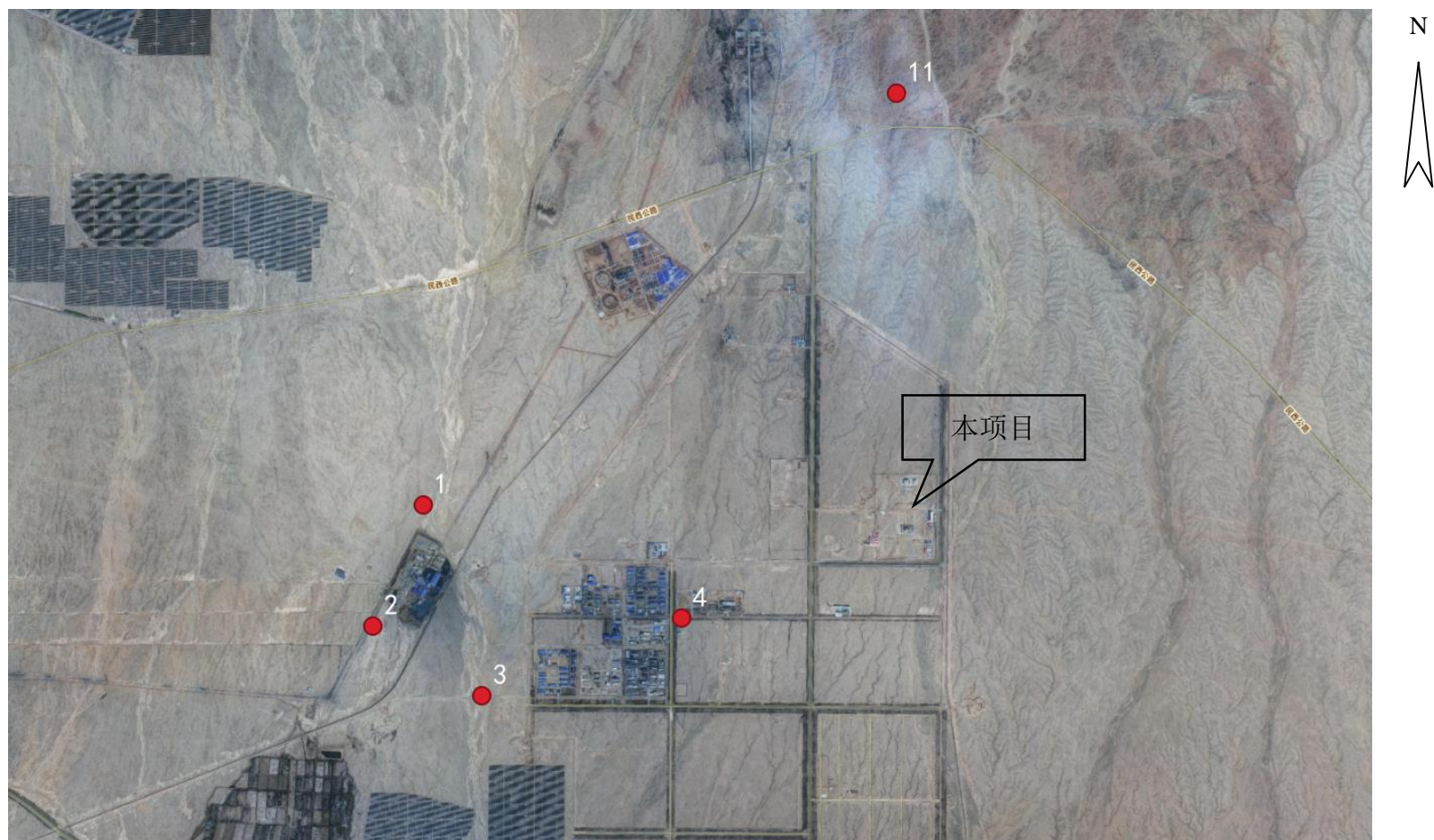


图3.2-2 2024年红沙岗工业园区环境空气现状监测点位示意图



图 3.2-3 环境空气质量监测点位图（2023 年 6 月~2025 年 6 月）



图 3.2-4 环境空气质量监测点位图（2025 年 9 月）

3.3 声环境质量现状调查与评价

根据《声环境质量标准》（GB3096-2008）声功能划分方法，工业区为3类功能区，居住、商业及行政办公用地为功能的为2类功能区，交通干线两侧一定距离为4a类声环境功能区（相邻区域为2类功能区，距离为 $35\pm5\text{m}$ ；相邻区域为3类功能区，距离为 $20\pm5\text{m}$ ），阿金铁路两侧为4b类声环境功能区（相邻区域为2类功能区，距离为 $35\pm5\text{m}$ ；相邻区域为3类功能区，距离为 $20\pm5\text{m}$ ）。场址半径5km范围内无声环境敏感目标。

2019年9月11~12日，甘肃云腾环境科技检测有限公司对场址区域声环境质量进行了监测。

声环境质量监测布设4个监测点，分别位于场址的东、南、西、北厂界。监测点位布置见表3.3-1，点位分布见图3.3-1。

声环境质量监测方法按照《声环境质量标准》（GB3096-2008）的相关要求进行，监测等效连续A声级。每天监测2次，昼间（6:00~22:00）和夜间（22:00~次日6:00）各1次，连续监测2天。

场址边界处监测点的环境噪声昼间为25.3~32.1dB(A)，夜间为25.1~31.0dB(A)，均满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的3类标准，即昼间65dB(A)、夜间55dB(A)。

2022年，甘肃创翼检测科技有限公司对本项目周边区域的精细化工园区的声环境质量现状进行了监测。

共布设6个监测点位。

监测项目为等效连续A声级。

监测时间为2022年8月5日~8月6日，共计两天，昼间（06:00-22:00）、夜间（22:00-6:00）各监测一次，连续监测2天。

根据监测结果，园区区域声环境质量均能达到《声环境质量标准》（GB3096-2008）3类标准和4a类标准，区域声环境质量状况良好。

上海应物所武威园区已完成2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）及其相关的配套设施的建设，于2023年6月取得运行许可证并于2023年10月首次达到临界。上海应物所已开展武威园区非放射性环境监测工作，甘肃云腾环境科技

检测有限公司于2023年6月~2025年9月（共10个季度）对本项目场址（武威园区）周围开展声环境质量监测。

本项目场址（武威园区）声环境功能区的类别为三类功能区，厂界环境噪声监测结果评价执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的3类标准限值。

甘肃云腾环境科技检测有限公司于2023年6月至2025年9月对本项目场址（武威园区）边界环境噪声进行了监测。厂界环境噪声监测方法按照《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）的相关要求进行。厂界环境噪声监测结果评价执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的3类标准限值（昼间65dB(A)；夜间55dB(A)）。

监测时段：2023年6月28日；2023年9月20日；2023年12月21日；2024年3月21日；2024年6月13日；2024年9月25日；2024年12月30日；2025年3月21日；2025年6月19日；2025年9月12日。

监测点位：共设置三个监测点位，包括1#LF1主体装置厂房（靠近厂界处）、2#综合实验大厅（靠近厂界处）、以及3#园区生活服务中心（靠近厂界处），共3个监测点。监测点位分布见图3.3-2。

监测项目及频率：等效连续A声级。监测频次为1次/季。噪声监测每次于昼、夜间各监测1次，每次监测20分钟。

每个季度的噪声监测结果显示：1#LF1主体装置厂房（靠近厂界处）的昼间噪声值在37.2~50.5dB(A)之间，夜间噪声值在35.5~49.9dB(A)之间，2#综合实验大厅（靠近厂界处）的昼间噪声值在35.8~44.3dB(A)之间，夜间噪声值在33.7~41.3dB(A)之间，3#园区生活服务中心（靠近厂界处）的昼间噪声值在35~46.8dB(A)之间，夜间噪声值在29.3~41.1dB(A)之间，昼、夜间噪声均符合《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的3类标准限值。

综上所述，本项目场址（武威园区）声环境质量状况符合声环境功能区划。

监测单位——甘肃云腾环境科技检测有限公司具备中国计量认证证书（CMA编号212812051252）。监测期间采用的监测分析方法均采用国家颁布的有效标准分析方法，监测仪器均经过计量部门检定/校准并在有效期内。依据质控措施，对

监测全过程包括采样、实验室分析、数据处理等各个环节均进行严格的质量控制。
监测分析数据及报告严格执行三级审核制度。

表 3.3-1 噪声监测点位列表（2019 年）

监测点位
6#场址北侧
7#场址东侧
8#场址西侧
9#场址南侧

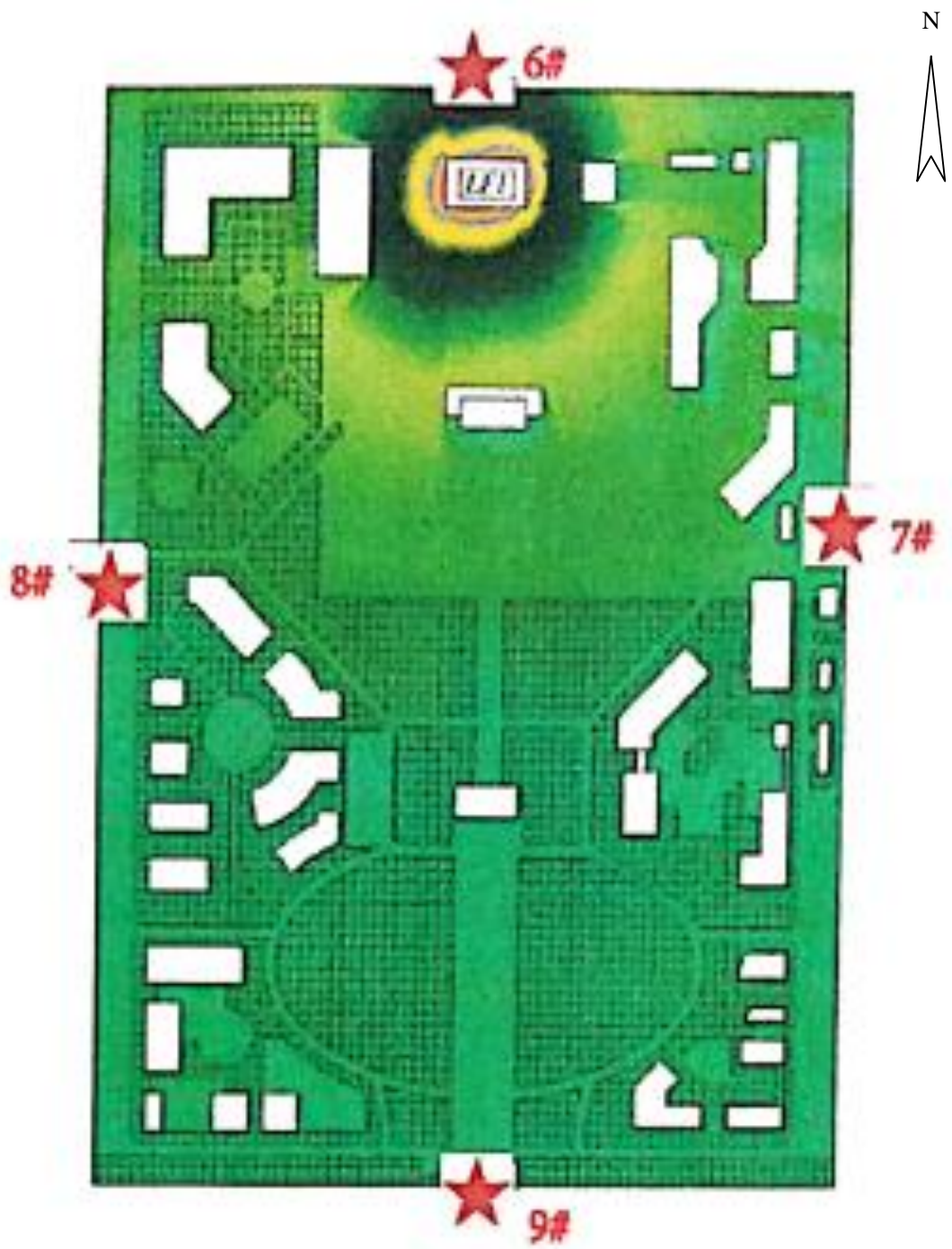


图 3.3-1 噪声监测布点图（2019 年）

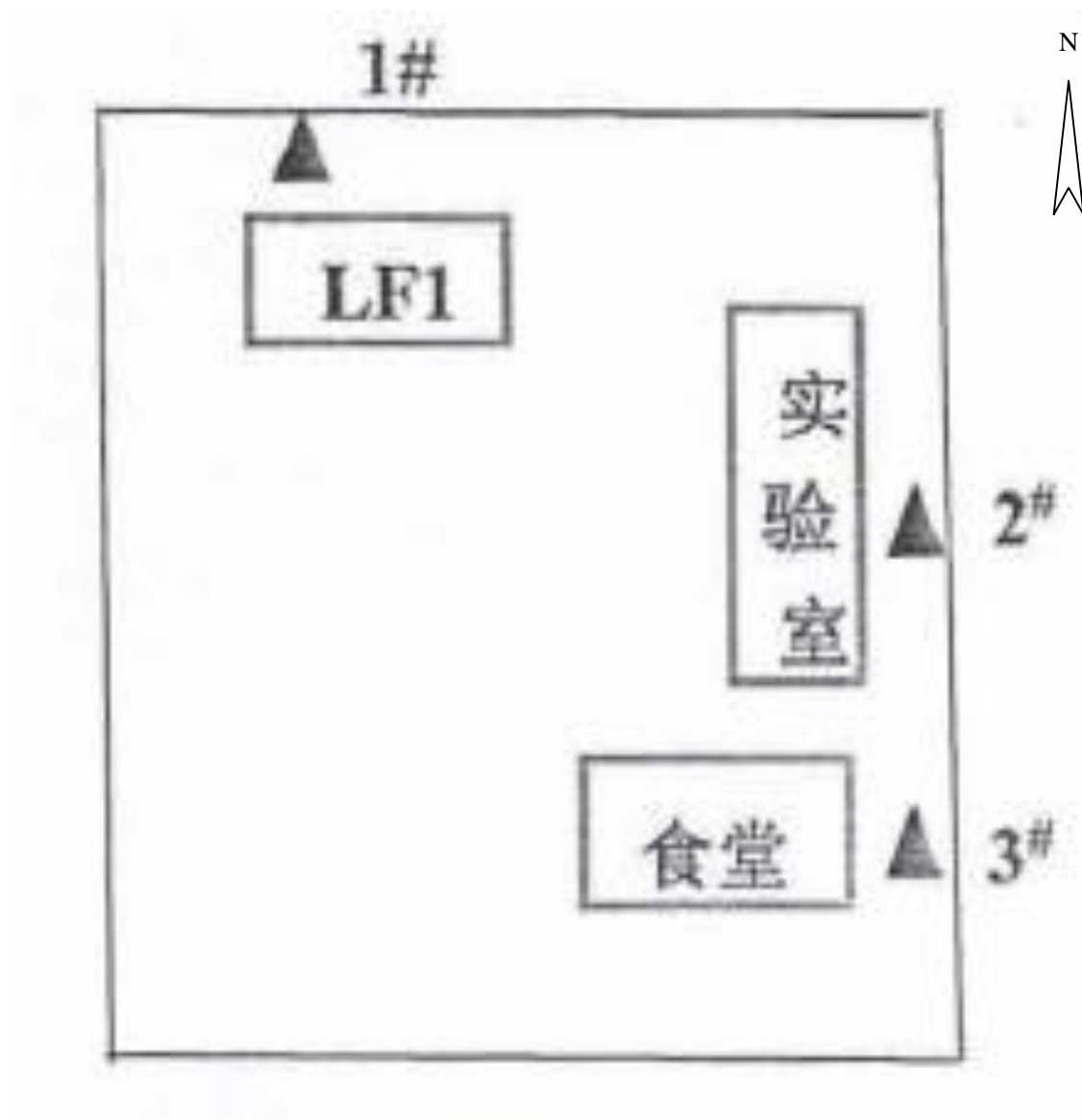


图 3.3-2 噪声监测点位图（2023 年 6 月~2025 年 9 月）

3.4 受纳水体环境质量现状调查与评价

本项目不涉及由液态途径向受纳水体排放液态流出物。经调查，场址半径30km范围内未发现地表水系。因此，本项目不开展地表水体环境质量监测。

上海应物所武威园区已完成2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）及其相关的配套设施的建设，于2023年6月取得运行许可证并于2023年10月首次达到临界。上海应物所已开展武威园区非放射性环境监测工作，甘肃云腾环境科技检测有限公司于2023年6月~2025年9月（共10个季度）对本项目场址（武威园区）周围开展生活污水监测。

甘肃云腾环境科技检测有限公司于2023年6月至2025年9月对本项目场址（武威园区）的生活污水进行了监测。生活污水采样及监测分析方法严格按照《污水监测技术规范》（HJ91.1-2019）进行。生活污水监测结果执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级标准（《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）标准和《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准均不包括总磷，总磷执行《甘肃水务民勤供水有限责任公司关于红砂岗镇生活污水处理厂污水排入标准情况说明的函》，满足要求）。

监测时段：2023年6月26日；2023年9月20日；2023年12月20日；2024年3月22日；2024年6月12日；2024年9月24日；2024年12月30日；2025年3月20日；2025年6月18日；2025年9月11日。

监测点位：设置一个生活污水排放口采样点。

监测项目及频率：pH值、悬浮物、五日生化需氧量、化学需氧量、氨氮、总磷、石油类、动植物油、氟化物、总钍。监测频次为1次/季。监测项目及频次见表3.4-1。生活污水分析方法见表3.4-2。

监测结果显示，监测期间除2024年9月24日样品的pH值略低于标准外，其余各项指标均满足《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级标准（《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）标准和《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准均不包括总磷，总磷执行《甘肃水务民勤供水有限责任公司关于红砂岗镇生活污水处理厂污水排入标准情况说明的函》，满足要求）。

监测单位——甘肃云腾环境科技检测有限公司具备中国计量认证证书(CMA 编号212812051252)。监测期间采用的监测分析方法均采用国家颁布的有效标准分析方法,监测仪器均经过计量部门检定/校准并在有效期内。依据质控措施,对监测全过程包括采样、实验室分析、数据处理等各个环节均进行严格的质量控制。监测分析数据及报告严格执行三级审核制度。

表 3.4-1 生活污水监测项目及频次一览表

监测点位	监测项目	监测频次
生活污水排放口	PH值、悬浮物、五日生化需氧量、化学需氧量、氨氮、总磷、石油类、动植物油、氟化物、总铍	1次/季

表 3.4-2 生活污水监测项目分析方法一览表

监测项目	分析方法	方法来源	检出限 (mg/L)	主要仪器设备型号及编号
pH 值（无量纲）	电极法	HJ1147-2020	——	PHSJ-3FpH 计（YTJC-58） DZB-718L 便携式多参数分析仪（YTJC-62-2）
悬浮物	重量法	GB/T11901-1989	4	FA1204N 电子天平（YTJC-03）
氟化物	离子选择电极法	GB/T7484-1987	0.05	PXSJ-216F 型离子计（YTJC-23）
五日生化需氧量	稀释与接种法	HJ505-2009	0.5	SPX-70BIII生化培养箱（YTJC-11-2） HWS-150 生化培养箱（YTJC-11-3）
化学需氧量	快速消解分光光度法	HJ/T399-2007	3	化学需氧量快速测定仪
氨氮	纳氏试剂分光光度法	HJ535-2009	0.025	T6 新世纪紫外可见分光光度计 （YTJC-05-1）（YTJC-05-2）
总磷	钼酸铵分光光度法	GB/T11893-1989	0.01	
石油类/动植物油	红外分光光度法	HJ637-2018	0.06	MH-6 型红外测油仪（YTJC-04）
总铍	石墨炉原子吸收分光光度法	HJ59-2000	0.00002	原子吸收分光光度计 AA-7003（YTJC-07）
	《水质 65 种元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》	HJ700-2014	0.04ug/L	7800ICP-MS（YQ-128）

第四章 研究堆

4.1 场区规划及平面布置

4.1.1 场区规划

本项目拟选址中国科学院上海应物所武威园区，上海应物所武威园区位于甘肃省武威市民勤红沙岗能源化工工业集中区内。

武威园区整体规划方案以“国际视野、百年眼光、西部文化、绿色理念”为原则，综合考虑场地与环境，将建筑与环境紧密结合，以功能为主进行园区布局。布局在满足功能需求的前提下尊重本土自然机理，合理运用科技手段，使得建筑与环境融合，在戈壁滩中建绿洲，在维持生态平衡的前提下与自然互惠共生，做到功能与形式相互交融。园区布局通过虚实相间、小中见大、刚柔并济、群体和局部相结合等方法营造出一种整体视觉效果，使人们在科研工作中感受建筑与环境的融合。

武威园区规划采用“一轴、三区”的布局形式。其中“一轴”指“核心中央轴”；“三区”指园区由南至北的生活区、科研区和装置区。本项目十兆瓦电功率（10MWe）小型模块化钍基熔盐堆（热功率30MWt）和十升级干法分离批处理研究装置均位于园区北部的装置区。

4.1.2 场区平面布置

4.1.2.1 布置原则

- 1) 园区总平面布置需满足总体规划的要求。
- 2) 以研究堆主体建筑及其相关配套设施进行总平面布置。
- 3) 研究堆主体建筑宜坐落在均匀和稳定的地基上。
- 4) 功能分区明确，合理划分放射区和非放射区。
- 5) 园区总平面布置应集约用地、提高土地利用率。
- 6) 园区总平面布置应充分结合地形地貌。
- 7) 满足运输、防火、卫生、安全、管网布置及施工安装的要求。
- 8) 近远期建设应统一规划，本期工程应集中、紧凑，且与已建工程合理衔接。

4.1.2.2 园区平面布置

武威园区内 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆主体装置厂房、放射性废物处理中心、综合实验大厅、控制区出入口、保护区出入口、净水站、消防水泵房、试剂仓库、园区综合服务中心、控制区围墙和保护区围墙等设施已经建成。园区西南侧规划建设综合利用技术实验室、高温制氢验证装置、蓄热储能示范装置、低碳新能源示范装置；园区东北侧规划建设放化实验室，东南侧规划建设材料实验室、机电实验室、宿舍等。

本期工程拟建设研究堆主体建筑、钍基燃料盐研究中心、放射性废物整备中心、研究堆发电机房（含电控楼及35kV升压站）、应急指挥中心、材料在役检测实验室、35kV变电站、保卫控制中心、柴发机房、消防泵房、除盐水及气站等。根据园区现状、工艺方案等要求，结合园区地形、地质条件，同时参考类似工程总平面布置经验，进行总平面布置。本期工程新建建（构）筑物占地面积2.3235hm²，建筑面积4.5617hm²，新建绿化面积2.4000hm²。本期工程建设子项一览表见表4.1-1。

园区自然地形标高自南向北约为1412m~1421.5m，园区用地范围已进行统一的场地平整，设计标高为1412.00~1421.00m。园区竖向采用平坡式布置，东北高、西南低。本项目厂区场地基本不产生土石方工程量，建（构）筑物、道路、管线施工的挖方工程量约为27.8万m³（松散方量），填方工程量约为10.4万m³，余方工程量约为17.4万m³，余方初步考虑外弃至民勤红沙岗能源化工工业集中区管理委员会指定地点。本期工程的东侧已建成2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆主体装置厂房，该区域室外设计标高范围为1418.70~1420.55m（东北高、西南低）。本期工程研究堆主体建筑和钍基燃料盐研究中心的室外设计标高定为1420.05m，室内设计标高高于室外0.60m。该标高可保证园区地坪高于园区外围东、西、南三侧的自然地形，但略低于西北侧自然地形，且能保证可能由降水引起的场地积水不会引发厂房内积水。

参照园区地层岩性及分布特征，规划将研究堆主体建筑和钍基燃料盐研究中心尽量靠近园区西北侧布置，钍基燃料盐研究中心布置在研究堆主体建筑北侧。该区域地形相对较高，利于场地排水；同时，两个厂房的基础尽可能坐落在均匀和稳定的地基上，便于建造和维护。研究堆主体建筑的室外地坪设计标高为1420.05m，基础埋深为30m，基底地层均为新近系半成岩的砾质砂岩，并无软弱

岩土层分布，地基土的整体均匀性较好；钍基燃料盐研究中心的基础埋深为2.0m~7.7m，基底地层均为新近系半成岩的砾质砂岩，并无软弱岩土层分布，地基土的整体均匀性较好。

规划将研究堆发电机房（含电控楼及35kV升压站）布置在研究堆主体建筑西侧，便于管线衔接；放射性废物整备中心考虑布置在现有放射性废物处理中心南侧。35kV变电站靠近园区西侧边缘，便于衔接外部电源。保卫控制中心布置在实验堆主体装置厂房南侧。应急指挥中心和材料在役检测实验室布置在整个园区中部东侧区域，应急指挥中心位于已建的综合实验大厅西南侧，靠近园区主干道，材料在役检测实验室位于已建的综合实验大厅南侧，靠近园区主干道。柴发机房、消防泵房、除盐水及气站布置在钍基燃料盐研究中心西侧。

本项目所在武威园区总体规划及总平面布置详见图4.1-1、图4.1-2。

除了上述主要建、构筑物外，规划将整个园区主要出入口设置在园区南侧，对外衔接纬七路；园区东、西侧分别设置次要出入口，与东环路和经七路衔接。东环路向南可接民红高速，民红高速向西与省道S212相接。园区四周和保护区内均设置环通道路与主干道和次干道衔接，以便内外部交通联络和兼顾消防通道，同时在环路外侧设置围墙，便于形成独立区域进行管理。

4.1.3 排放口布置

本项目4个气态流出物排放口分别位于研究堆主体建筑（排放口标高约28.7m（相较于地坪高度，下同）、钍基燃料盐研究中心（排放口标高约24.5m）、放射性废物整备中心（排放口标高约23.3m）以及放射性废物处理中心（排放口标高约20m），均通过烟囱排放；钍基燃料盐研究中心另设有一个普通实验室非放废气排放口（排放口标高约6m）；上述排放口位置分布详见图4.1-2。气态流出物排放口和非放废气排放口分别根据各建构筑物内的设施、工艺特点设置对应的排放口，其中研究堆主体建筑排放口为主要气态流出物排放口，按高于研究堆主体建筑5m设置。

本项目不排放液态流出物；非放射性废水排放口为污废水排放口（1个，污废水纳管排放至园区污水管网）；雨水排放口1个，排放至园区雨水管网；非放射性废水排放口和雨水排放口均已建成。本项目利用现有排放口，可满足“雨污分流”的设置原则和工业园区纳管排放的要求。

表 4.1-1 建设子项一览表

本项目新建子项

名称	占地面积 (m ²)	建筑面积 (m ²)	抗震类别	备注
研究堆主体建筑	6217	19228	核电抗震 I 类、II 类	本期 新建 子项
钍基燃料盐研究中心	5614	11605	特殊设防类（甲类）	
放射性废物整备中心	1448	3100	重点设防类（乙类）	
保卫控制中心	620	620	标准设防类（丙类）	
应急指挥中心	997	1669	特殊设防类（甲类）	
材料在役检测实验室	928	2600	标准设防类（丙类）	
35kV 变电站	880	880	标准设防类（丙类）	
柴发机房	560	560	标准设防类（丙类）	
消防泵房	500	605	核电抗震 I 类	
除盐水及气站	1390	805	标准设防类（丙类）	
研究堆发电机房 （含电控楼、35kV 升压站）	2175	3945	重点设防类（乙类）	
埋地柴油罐	426	—	—	
变压器站	330	—	—	
空冷塔	1150	—	—	
本期工程新建子项合计	23235	45617	—	

园区已建和在建子项

名称	占地面积 (m ²)	建筑面积 (m ²)	抗震类别	备注
主体装置厂房	3346.19	7821.32	重点设防类（乙类）	已建 子项
放射性废物处理中心	1074.23	2599.59	重点设防类（乙类）	
控制区出入口	335.19	335.19	标准设防类（丙类）	
保护区出入口	570.83	570.83	标准设防类（丙类）	
试剂仓库	336.0	336.0	重点设防类（乙类）	
综合实验大厅	3610.56	3835.62	部分乙类、部分丙类	
园区综合服务中心	904.89	1299.84	标准设防类（丙类）	
消防水泵房	199.82	259.32	重点设防类（乙类）	
净水站	266.8	266.8	标准设防类（丙类）	
换热站	168	168	标准设防类（丙类）	
南门卫	131.94	131.94	标准设防类（丙类）	
综合科研中心	1150	5620	标准设防类（丙类）	在建 子项
中水站	380	380	标准设防类（丙类）	

注：中水站回用处理的生活污水仅包括综合科研中心（在建）、园区综合服务中心（已建）以及园区后续拟建科研办公配套建筑，不包括本项目建设子项。

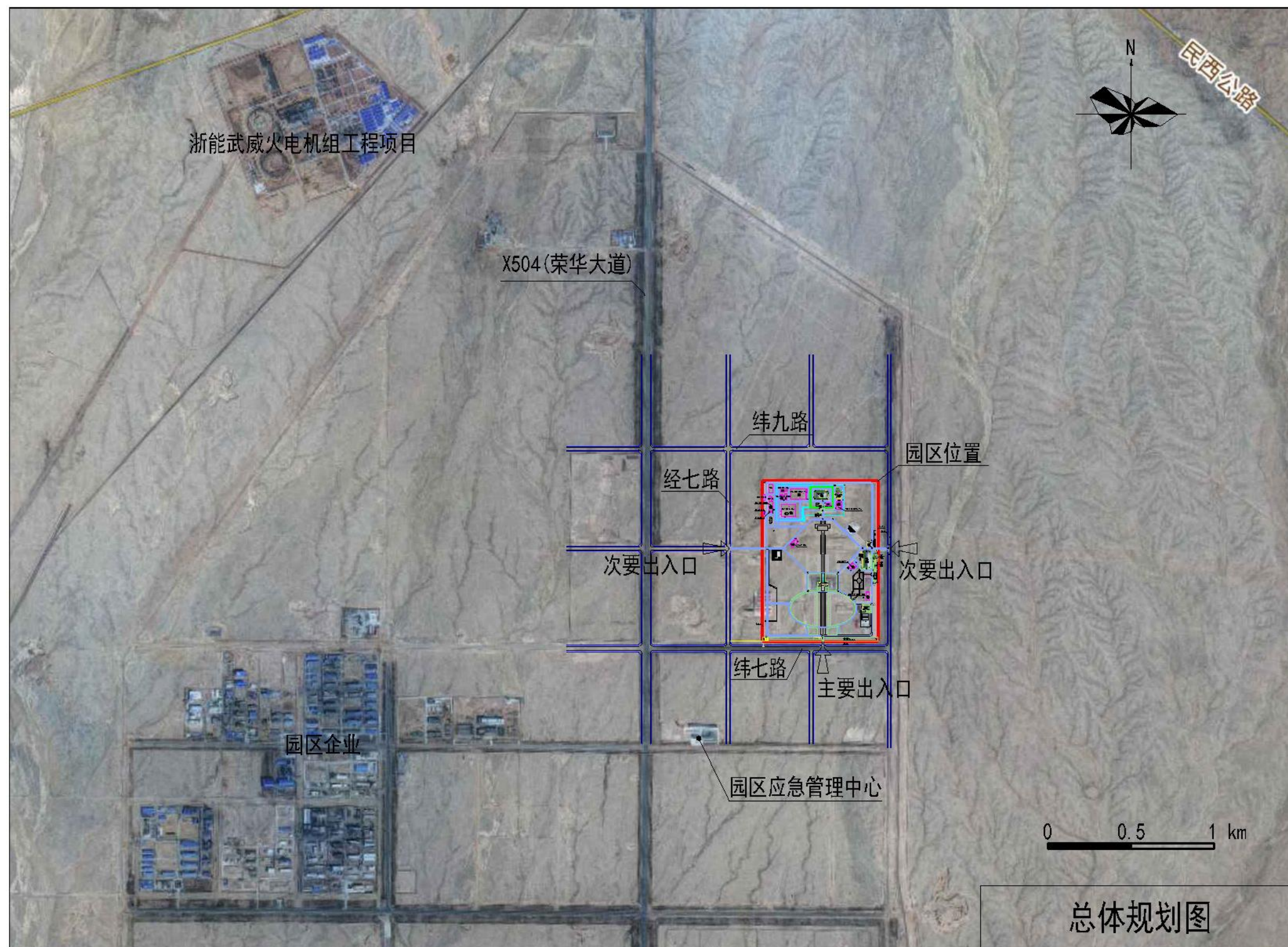


图 4.1-1 总体规划图

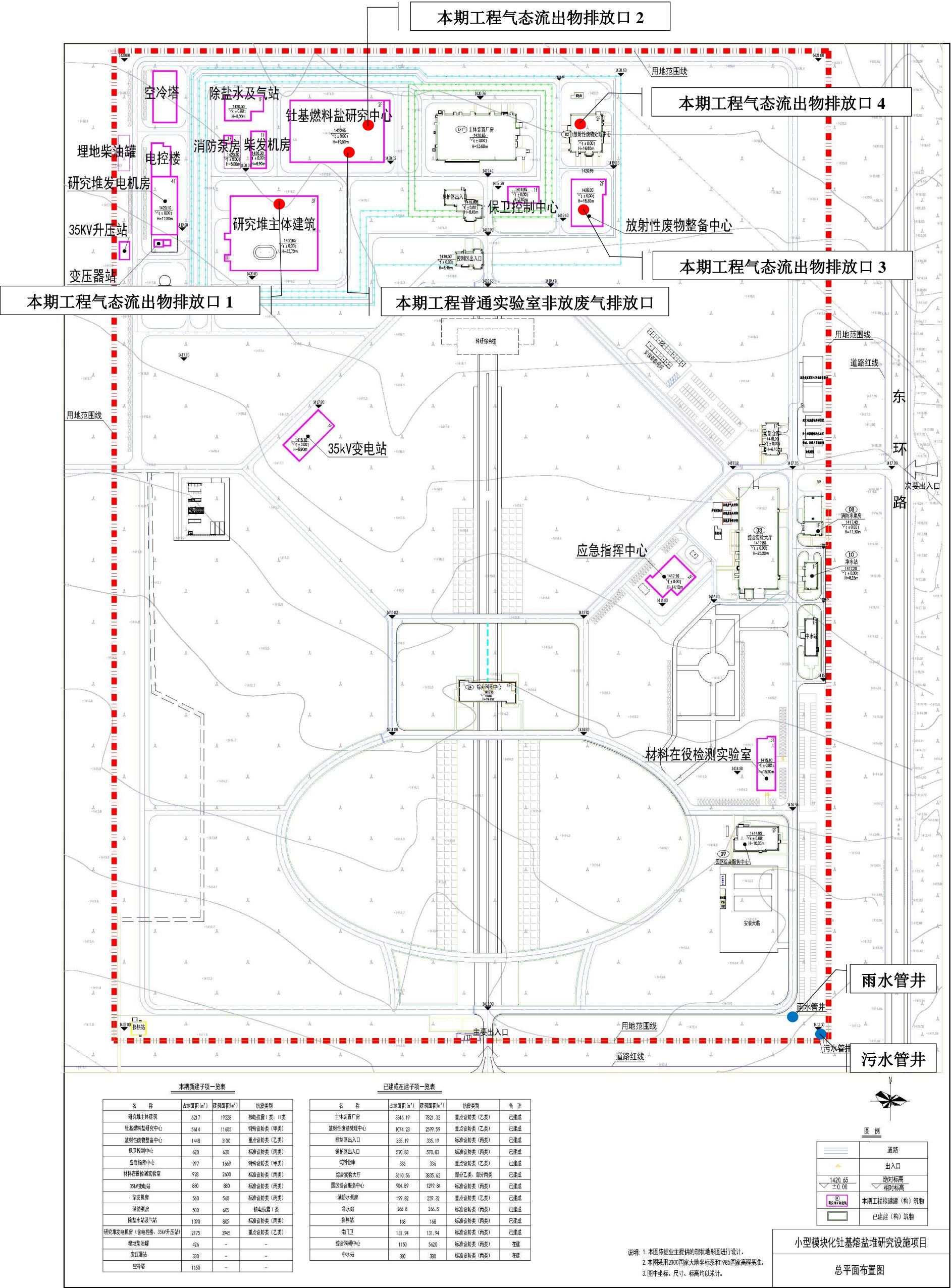


图 4.1-2 总平面布置图

4.2 反应堆

本项目反应堆为10MWe小型模块化钍基熔盐堆（以下简称“研究堆”），位于本项目拟新建研究堆主体建筑。

4.2.1 概述

本项目研究堆设计热功率为30MWt，电功率为10MWe，堆芯出口温度为700℃。研究堆由堆本体、熔盐回路、熔盐与燃料、气路与氦控、堆仪控等系统组成。

以下为研究堆主要构成与功能说明：

1) 堆本体

堆本体是研究堆的产热核心，主要由主容器模块、堆芯模块及堆内构件、一体化堆顶模块等组成。燃料盐从主容器底部的一回路进口管嘴，途经下腔室流道管向上进入下腔室中，通过下腔室内部设置的分流板进行分流后，进入堆芯模块支承底板的对应流道中，进而继续向上流入堆芯石墨组件的流道孔内，通过核反应升温后，向上流动途经堆芯石墨上压板的流道进入上腔室进行汇流，随后通过上腔室构件中的汇流管，穿过堆芯围筒壁，进入到主容器的一回路出口管嘴中，进入到一回路管道内部，继续途经燃料盐泵增压、熔盐-熔盐换热器热交换后，再次进入主容器底部的一回路进口管嘴内，实现完整循环。

主容器模块主要由主容器筒体组件、主容器支承和主容器螺栓螺母等设备组成。主容器由主容器筒体组件、主容器顶盖组件和顶盖组件上各通道套管组件等组成。其中，主容器顶盖组件和顶盖组件上各通道套管组件是一体化堆顶模块中的重要组成部分。主容器内径约3.6m，筒体组件高约10.2m。考虑到主容器内的堆芯模块可更换，主容器筒体组件与顶盖组件之间采用方便拆卸的螺栓+金属密封圈密封的结构形式。在主容器内部，堆芯上方设置有热屏蔽层和辐射屏蔽层，保证主容器法兰密封处的温度环境和堆顶结构的低辐照环境。

堆芯模块及堆内构件位于主容器内，主要由可更换的堆芯模块、侧反射层石墨、堆芯围筒组件和下腔室相关构件等结构组成。其活性区的堆芯石墨直径约2.8m、高度约3.0m。在堆中使用8根控制棒作为第一停堆系统，使用另外4根控制棒作为第二停堆系统。堆芯结构采用模块化设计，堆芯模块在外部进行组装，安

装时整体吊装进入堆舱就位，堆芯模块可更换。

一体化堆顶模块主要由一体化堆顶设备、主容器顶盖组件模块等组成。一体化堆顶设备主要由一体化堆顶主体和堆顶各设备组成，堆顶各设备包括停堆系统、中子源机构、辐照装置等。一体化堆顶主体及堆顶各设备以顶盖组件为定位基础，坐落在顶盖组件上，通过螺栓连接紧固。主容器顶盖组件模块则主要由主容器顶盖组件、顶盖上各通道套管组件、下部附属构件等组成。

2) 熔盐回路

熔盐回路包括燃料盐回路（又称一回路）、冷却盐回路（又称二回路）和隔离回路（又称三回路），上述回路均使用熔盐作为传热介质。

其中燃料盐回路主要由1台燃料盐循环泵、1台一/二回路熔盐-熔盐换热器和熔盐管道等设备组成。其主要功能是通过燃料盐循环泵驱动燃料盐循环，将堆芯核裂变产生的热量带出，并通过一/二回路熔盐-熔盐换热器将热量传输给冷却盐回路系统。

冷却盐回路包括冷却盐回路主循环系统和冷却盐装载排放系统两部分。冷却盐回路主循环系统主要由1台冷却盐循环泵、1台二/三回路熔盐-熔盐换热器、熔盐管道及支承件等构成。通过冷却盐循环泵将高温冷却盐输送至二/三回路熔盐-熔盐换热器，经热交换后的低温冷却盐重新进入堆内一/二回路熔盐-熔盐换热器二次侧，与燃料盐换热以后往复循环。冷却盐装载排放系统主要由冷却盐储罐、冷却盐隔离阀、冷却盐装载排放管道及支承件组成。在系统运行前，通过气压方式将冷却盐储罐中的熔盐加载至回路中；系统停机后，当需要排盐时，通过自重排盐方式将大部分熔盐卸载至冷却盐储罐中。

隔离回路主要用于研究堆与发电系统解耦和隔离。隔离回路主要由二/三回路熔盐-熔盐换热器管程、长距离熔盐传输管道、高温和低温储热罐、熔盐循环泵等组成。研究堆堆芯产生的热量通过一/二回路熔盐-熔盐换热器和二/三回路熔盐-熔盐换热器换热，先进入高温储热罐进行暂存。然后通过熔盐泵驱动循环至后端发电系统换热，换热后的熔盐首先进入低温蓄热罐暂存，然后再由熔盐泵驱动返回二/三回路熔盐-熔盐换热器管程重新换热。在隔离回路中设置一台疏盐罐，疏盐罐相对位于低于隔离回路，并通过熔盐装载排放管道与隔离回路进行连接。当需要排盐时，打开熔盐装载排放管路上的熔盐隔离阀，熔盐可通过自重排放到

疏盐罐中储存。

一回路熔盐成分见本报告第四章4.2.2节，二回路熔盐成分为 NaF-BcF_2 ，隔离回路熔盐成分为硝酸盐。

3) 气路与氦控

研究堆的气路与氦控主要功能为：为高温熔盐提供保护气，为熔盐装卸与转运提供动力气，以及为熔盐产生的放射性杂质提供载带气，并完成相关设备尾气的放射性处理，以及堆运行时产生氦的控制。气路与氦控系统包括覆盖气气路系统，尾气处理系统和氦控制系统三个部分。

①覆盖气气路系统

覆盖气系统的主要作用：控制熔盐中的水、氧含量，对运行中产生的放射性核素进行吹扫，以及作为熔盐转运所需的动力气。

覆盖气气路供气的主要设备有燃料盐泵、冷却盐泵、燃料盐装卸料及尾气吹扫气等。覆盖气气路主要由气源、气体纯化系统、气体供给系统、气体管道及仪表阀门等组成。气源由研究堆厂房的气站提供。气站出来气体首先进入纯化柜，纯化柜内安装有三组气体纯化器，用于去除气体中的杂质，气体纯化器一用两备，每组纯化器均能单独满足气体纯化要求。气体在经过纯化器处理后使用微量水氧分析仪监测水、氧的含量，净化后的气体进入供气柜，供气柜中设置有气体流量控制器、压力传感器和阀门等，实现对气体流量的调节、压力显示和分配。供气柜分配出来的高纯气体，通过气体管道输送到各用气设备，通过压力流量和阀门的控制，满足不同工况的用气需求。

②尾气处理系统

燃料盐回路内产生的放射性气体以及氦，通过氦气吹扫，进入覆盖气尾气处理系统中。覆盖气尾气处理系统包括熔盐颗粒物过滤器、滞留衰变设备、固定式衰变罐系统、碘吸附床、氦吸附床、氦分离装置、多个放射性粒子去除装置，以及尾气管道上截止阀、流量计、传感器、放射性监测仪等气体控制与监测设备。

由于刚出堆芯的尾气中含有大量短半衰期核素及放射性颗粒物。先对尾气进行初步过滤，过滤后的尾气通过滞留衰变，去除大部分的放射性核素和衰变热。之后进入到碘吸附床和氦吸附床，用于较长半衰期放射性碘和氦的滞留衰变，进一步将放射性碘及氦去除到更低水平。氦分离床采用低温吸附和解吸的方法，去

除长半衰期的⁸⁵Kr，降低尾气排放中的放射性活度。在尾气处理过程中，通过放射性监测仪监测尾气中的活度，如果放射性活度异常，通过支路返回到衰变罐中进行二次衰变，如果活度已达到可接受水平，则进入粒子去除和氙控制系统，达标后返回到燃料盐回路覆盖气中进行循环利用或再进入控制区通风系统。

冷却盐覆盖气尾气中有熔盐蒸汽、润滑油脂和少量的氙，通过覆盖气吹扫杂质脱除出来进入尾气。在尾气处理工艺中经过滤器去除熔盐蒸汽，和油雾过滤器去除油雾后，进入氙控系统。经除氙处理后，排入厂房通风系统。其它工艺尾气（冷却盐储罐覆盖气、基盐储罐覆盖气、添加盐储罐覆盖气等）采用过滤器进行过滤后，排入厂房通风系统。

③氙控制系统

在研究堆中，除堆芯石墨吸附外，氙的分布主要有以下四部分：进入覆盖气尾气；通过一回路管道和换热器渗透到安全容器；少量通过二回路和气体回路的管道及容器壁渗透到厂房；滞留于气体回路。

根据研究堆中氙的行为及分布特征，同时从熔盐堆的发展规划和氙控需求，以及尽可能降低熔盐堆向环境排放氙的原则出发，采用的氙控方案主要为尾气中的氙控制和安全容器里的氙控制。对于尾气中氙控制，采用覆盖气吹扫的方式将氙载入燃料盐回路和冷却盐回路尾气中，采用熔融碱吸附、合金吸附和氧化吸附的方式，进行氙的吸附和去除。对于安全容器和其他关键区域里的氙控制，采用氧化吸附的方式，对氙进行氧化吸附去除。

4) 熔盐与燃料系统

熔盐与燃料系统包括熔盐储运与燃料预处理、燃料盐装卸、燃料盐在线监测与调控和乏燃料暂存与分装四个子系统。熔盐储运与燃料预处理子系统包括高纯熔盐转运装置、新燃料储存设备和燃料预处理装置三大部分，实现冷却盐、基盐等高纯熔盐的转运，以及核材料（UF₄、ThF₄）的储存、提纯与低熔点化，使得其可用于液态燃料钍基熔盐堆的冷却剂与核燃料的加载。燃料盐装卸子系统包括燃料盐混合加载、燃料定量补给和燃料盐排放三大部分，能够实现研究堆临界加料、运行期间的燃料（Th\U）在线补给和燃料盐任意工况的排放功能。燃料盐在线监测与调控子系统包括在线监测与分析、在线取样及调控和颗粒物在线净化三个部分，能够实现研究堆运行过程中燃料盐的质量监测、氧化还原性调控和在线

颗粒物净化功能。乏燃料暂存与分装子系统包括乏燃料分装缓存、乏燃料定量分装和乏燃料转运接口装置三大部分，能够转运及暂存研究堆所产生的乏燃料，并为钍铀循环燃料盐后处理设施提供乏燃料分装服务。

5) 堆仪控系统

研究堆仪控系统的主要功能包括控制功能、保护功能以及信息功能。控制功能主要用于反应堆正常启动、功率调节、常规运行控制及正常停堆控制，同时控制汽轮机正常运行，实现核功率与热功率的稳定转移。保护功能在反应堆出现异常状态时，用于执行紧急停堆、专设安全设施驱动和事故后监测，以防止事故发生，或在事故发生后减轻事故后果。信息功能主要监测反应堆及全厂设备运行状态参数，并实时提供给操纵员，使操纵员全面了解反应堆的运行状态、以利于更好地控制反应堆的运行，同时对数据进行处理和存储，支持反应堆运行。

堆仪控系统设计建造过程中按测量仪表系统、全厂控制系统、保护系统、运行控制中心、仪控电气和智能化运行支持系统等设备功能划分来开展。其中测量仪表系统对反应堆的中子注量率、熔盐/气体回路的流量、压力、液位和温度等过程参量进行测量，并将各种参数传递给全厂控制系统、保护系统等上游系统，供反应堆及全厂运行控制和保护使用。全厂控制系统采用数字化分布式控制技术，主要用于反应堆正常启动、功率调节、常规运行控制及正常停堆，同时控制和保障汽轮机正常运行。保护系统主要实现紧急停堆、专设安全设施驱动和事故后监测功能。运行控制中心集成了多个安全级和非安全级的系统和设备，为运行人员提供控制和监视反应堆运行所需的设施和人机接口资源，包括主控制室及控制盘台、技术支持中心、远程停堆站和厂级信息系统等；其中主控室在事故工况下可为运行人员提供可居留环境。仪控电气主要包括不间断电源、动力和控制电气贯穿件等；不间断电源用于失去厂外电时对测量仪表系统、全厂控制系统、保护系统、运行控制中心等系统设备进行供电；电气贯穿件为需贯穿堆坑混凝土墙体及内部结构的各种设备电缆提供贯穿通道，并保证建筑体及内部结构的安全边界完整性。智能运行支持系统基于数字化控制系统产生的运行状态大数据与厂级信息系统结合，部署智能化运行支持技术。通过实时数据采集和分析处理，以人工智能为核心，结合机器学习、专家经验知识等数字信号处理技术，开展智能化的设备运行状态监测、控制策略优化、故障智能诊断及报警等，辅助操作员进行运行

决策，提升反应堆及全厂设备运行的高效性、安全性、经济性。

4.2.2 核燃料

研究堆使用液态的熔盐作为燃料盐，燃料盐流入堆芯达到临界，发生裂变反应产生热量，流出堆芯后通过熔盐/熔盐热交换器将热量传递给冷却盐回路冷却剂。

4.2.3 安全系统

1) 非能动余热排出系统

①主换热器二次侧非能动余热排出系统

在不需要排盐的事故工况下，主换热器二次侧非能动余热排出系统利用燃料盐在一回路中建立自然循环，首先将均匀分布在一回路中的燃料盐衰变热传递至主换热器，然后通过设置在主换热器二次侧的熔盐自然循环余热排出系统将燃料盐衰变热传递至熔盐-空气余热排出换热器，并最终将衰变热传递至大气热阱。

②紧急排盐及其非能动余热排出系统

紧急排盐及其非能动余热排出系统包含燃料盐紧急排放系统和燃料盐排放罐非能动余热排出系统两部分。在必须排盐的事故工况下，燃料盐紧急排放系统的冷冻阀开启，燃料盐在重力作用下通过冷冻阀及排盐管线注入燃料盐排放罐。燃料盐排放罐中设置余热排出换热器，利用燃料盐在排盐罐中的自然对流，将燃料盐衰变热通过余热排出换热器传热管束传递至熔盐自然循环余热排出系统，并最终将衰变热通过熔盐-空气余热排出换热器传递至大气热阱。

2) 安全容器及其隔离系统

为贯彻纵深防御原则，研究堆设置安全容器作为堆芯放射性物质释放的一道实体屏障。发生可能引起堆芯放射性物质释放的假想事故时，安全容器可有效阻止放射性物质向环境的不可控释放，保护工作人员、公众和环境免受过量的放射性危害。

为实现上述要求，研究堆安全容器具有以下特点：①在寿期内始终保持完整性，如可承受事故引起的压力和温度等不利环境条件、可抵御设计基准地震的破坏作用；②贯穿件数量尽可能的少且满足安全容器同等设计要求；③贯穿安全容

器的熔盐管道和直接与安全容器联通的管道，需至少串联设置两个隔离阀或止回阀；不直接与安全容器内大气相通的管线，需至少设置一个适当的隔离阀。隔离阀或止回阀尽可能靠近安全容器。

为保证安全容器及其隔离系统正常运行，其附属设备包括：上安全容器冷却系统、下安全容器保温、堆舱屏蔽、压力控制和气体排放系统。

3) 主控室应急可居留系统

事故工况下，研究堆主控室应急可居留系统功能可为主控室提供可居留环境，保护运行人员和设备免受气态放射性物质的危害，保证主控室运行人员对研究堆的操作不受影响。

主控室应急可居留系统可保证在发生事故后，主控室区域在没有外部支持的情况下实现以下基本功能：①具有事故期间的应急可居留能力；②能够提供足够的辐射防护，使运行人员在事故期间全身接受的照射剂量低于国家标准限值；③保持可居留区相对于外界环境微正压，防止外部放射性污染空气向居留区的渗入；④设置专门探测仪器，能够探测应急可居留区域的放射性等。

4.3 实验系统

本项目实验系统包括研究堆、钍基燃料盐研究系统和实验发电系统，研究堆位于本项目拟新建研究堆主体建筑，钍基燃料盐研究系统位于本项目拟新建钍基燃料盐研究中心，实验发电系统位于本项目拟新建研究堆发电机房。

4.3.1 研究堆

研究堆是综合性的熔盐堆试验平台，可以开展堆物理、热工流体力学、安全、钍铀循环等实验验证，开展熔盐堆关键材料与核燃料的辐照考验等多方面的实验研究。

在研究堆上开展熔盐堆关键材料（结构材料、慢化材料、熔盐等）与核燃料的实验和辐照考验实验。为满足辐照考验和试验需求，在堆芯和反射层设置了辐照通道，并设计了开展核材料、核燃料辐照的辐照舱和进行燃料盐取样的取样装置。

4.3.2 钍基燃料盐研究系统

钍基燃料盐研究系统由四个系统组成，分别是干法批处理工艺试验线、钍铀循环化学评估系统、材料辐照后检测系统和热室系统。研究系统建成后主要开展干法批处理和热室技术的工程验证，以及堆内高放燃料盐化学状态监测、钍铀循环关键核素行为与规律验证、材料辐照后性能表征与评估等研究。

以下为钍基燃料盐研究系统的主要系统构成及功能：

1) 干法批处理工艺试验线

研究堆采用含钍低富集铀启堆、在线添加 LEU 燃料的运行模式。出堆乏燃料中仍有大量的钍、铀和极有价值的载体盐，因此分离裂变产物、回收钍、铀和载体盐并且周期性回堆循环，是实现钍资源有效利用和放射性废物最小化的必要措施。干法批处理工艺试验线的建设目标是建成十升级干法批处理研究装置，完成以铀、钍、载体盐分离及燃料盐重构为核心的工艺热验证。

干法批处理工艺试验线的建设基于以下燃料盐干法批处理工艺流程：（1）出堆燃料盐通过物料转运系统转移至热室内暂存；（2）燃料盐首先进行预处理及钍铀分离；（3）分离钍铀后的燃料盐进入载体盐分离装置，回收绝大部分载体盐；（4）将分离获得的铀、钍、载体盐进行还原重构，获得重构燃料盐；（5）对重构燃料盐进行组分调制整备，获得可回堆使用的再生燃料盐；（6）对干法批处理过程中产生的少量高放废盐进行暂存处理。基于上述工艺流程，干法批处理工艺试验线的建设内容主要包括燃料盐接收与暂存、钍铀分离、载体盐回收、燃料盐重构、燃料盐调制整备等单元。系统建成后燃料盐批次处理能力为 10L，铀、钍总回收率 $\geq 85\%$ ，载体盐回收率 $\geq 90\%$ ，重构后燃料盐满足回堆使用需求。

2) 钍铀循环化学评估系统

钍铀循环化学评估系统以高放射性燃料盐及相关核素为对象，建立相应的化学和放射性分析方法与实验条件，并基于此开展高放射性燃料盐中锕系、裂变产物、氧以及腐蚀产物等元素和核素在钍铀循环过程中的行为评估，进而评估其对研究堆运行和干法处理效果的影响。

钍铀循环化学评估系统中高放实验样品的处理、分析和研究设备安置于氩气和空气热室中。根据不同阶段燃料盐的分析评估需求，钍铀循环化学评估系统可分为堆运行化学评估和工艺试验线评估两大类装置单元。堆运行化学评估装置面

向研究堆运行后堆内的高放燃料盐开展化学和放射化学分析，评估其中铀系、裂变产物、氧以及腐蚀产物等元素和核素的化学行为及其对研究堆运行化学状态的影响，其建设内容为放射性燃料盐前处理及分析技术评估装置、燃料盐中氧行为评估装置和燃料盐氧化还原性评估装置等；工艺试验线评估装置面向出堆的乏燃料盐开展化学和放射化学分析，评估干法批处理全流程热试验过程中铀系、裂变产物、氧以及腐蚀产物等元素和核素的化学行为及其对热试验过程的影响，其建设内容为先进干法分离技术评估装置、燃料盐重构技术评估装置、高温熔盐结构分析技术评估装置。

3) 材料辐照后检测系统 (PIE)

材料辐照后检测系统用于开展材料中子辐照后测试和表征工作，需要实现如下功能：（1）辐照装置无损检测；（2）辐照装置解体与样品制备；（3）高温力学测试；（4）高温热学测试；（5）微观结构表征；（6）试样和放射性废物存储。该系统的建设目标是建成开放性材料辐照后检测平台，具备最高温度为 1200℃ 的宽温度区间的材料性能测量能力，为开展研究堆工况下材料服役性能研究提供支撑。

材料辐照后检测系统的建设内容包括探伤检测子系统、制样子系统、力学性能测试子系统、热学性能测量子系统、微观结构表征子系统五部分。探伤检测子系统负责材料辐照后无损探伤以及大尺寸辐照装置的解体工作，主要包含切割机、X 射线成像仪和轮廓仪等，建立热室中探伤工艺。制样子系统负责为材料的微观结构表征制备样品，包括精密切割机、镶样机、磨抛机、清洗装置等，建立研究堆特有的热室制样工艺与样品操作工艺流程。力学性能测试子系统负责对合金及碳材料标准试样进行拉伸、压缩、弯曲、冲击、蠕变、硬度测试，主要包括万能力学试验机，冲击实验机，蠕变实验机，硬度仪等。考虑到研究堆用材料的高温服役环境，主要的力学测试设备均配备高温炉，以实现最高温度 1200℃ 的高温测试，同时发展热室力学性能测试技术。热学性能测量子系统负责热导率、热膨胀系数等的测量，包含激光热导仪和热膨胀仪等，并发展热室中热学性能测试技术。微观结构表征子系统负责对样品辐照后微观结构表征，以研究材料微观结构在辐照过程中的演化规律，解释材料的宏观力学热学性能的变化，揭示材料的失效机制。

4) 热室系统

热室系统的建设是为研究堆乏燃料干法批处理工艺热验证、钍铀循环化学评估、辐照后材料性能检测（PIE）提供技术支撑和条件保障。

热室系统由放化热室子系统、辐照后材料检测（PIE）热室子系统、物料转运子系统、气氛控制子系统、辅助设备子系统组成。

4.3.3 实验发电系统

实验发电系统采用超临界二氧化碳闭式布雷顿循环热功转换系统，即超临界二氧化碳发电系统，将堆芯产生的热能高效、安全地转变成电能。布雷顿循环又称燃气轮机循环，以气体为工质，能充分利用热源的高温进而获得更高的热-电转换效率。超临界二氧化碳循环发电技术具有应用领域广泛、循环效率高、设备结构紧凑（同等功率，核心设备透平尺寸仅为蒸汽轮机 1/6-1/10）、安全性高、介质储量丰富、模块化设计精简整体系统、与水蒸汽循环比单位造价低、运行简单且具备快速启动功能等优势。

4.4 其他支持性系统

4.4.1 供排水系统

4.4.1.1 供水

本项目供水系统主要包括生活水、生产水和消防系统。原水取自民勤红沙岗能源化工工业集中区西北侧的工业水厂，供水水质为工业水，供水水量可满足本项目所有淡水用水量需求。原水经上海应物所武威园区内净水站处理后，可满足本项目的水质要求。

生活水主要包括日常饮用、卫生间用水、洗涤用水等，水质符合《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2022）的要求。生产水主要包括研究堆主体建筑、放射性废物整备中心、钍基燃料盐研究中心等生产用水以及除盐水制备用原水。生活水及生产水等淡水最高日用水量为277.6m³/d，最大小时用水量23.1m³/h，用水量与季节变化无关。

本工程设置一套独立的稳高压消防供水系统，为研究堆主体建筑室内外提供消防用水。该系统包含消防水池、消防泵房、消防稳压系统以及室外消防管道。

水泵及泵房内的阀门、管道均按抗震Ⅰ类设计，泵房和水池为抗震Ⅰ类建构筑物。研究堆主体建筑一次火灾最大消防用水量为216m³。

除研究堆主体建筑外，其余单体的消防水源来自园区内已建消防水泵房，与园区室外环状消防给水干管连通，以满足消防用水要求。一次火灾最大消防用水量为396m³。

4.4.1.2 排水

排水系统主要包括生活污水排水系统、非放射性生产废水排水系统、园区雨水排水系统。

本项目污废水重力流排出，接入园区生活污水管网，最终排入红砂岗镇生活污水处理厂。污废水排放执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级标准，满足红砂岗镇生活污水处理厂进水水质要求。

园区雨水排水系统用于收集园区各建筑屋面和道路上的雨水，根据地形地势条件，本着由高向低、就近分散的原则布置园区雨水管网，最后排放至本项目所在园区雨水排水管网。

4.4.2 散热系统

本项目散热系统采用带机械通风的直接空冷系统，对发电的高温二氧化碳介质进行冷却，换热后的超临界二氧化碳通过管道输送回发电系统。散热系统主要由直接空冷换热器、风机和管道组成。散热系统的排热量为20MWt，废热最终排入大气环境中。

4.4.3 送排风系统

本项目主要的建筑单体送排风系统描述如下：

1) 研究堆主体建筑

研究堆主体建筑的监督区和控制区分别设送风系统，送风经过风沙过滤、初高效过滤、冷却（夏季）加热（冬季）、加湿后送入房间。监督区、常规工作区、间断工作区、限定工作区和特许工作区等分别设排风系统，保证区域内的正常换气并排出厂房内的余热及有害气体；保证通风系统的气流方向从低污染区到高污染区，并使各个控制区相对室外和监督区保持相对负压。

控制区送风量取工艺要求换气次数、消除余热中的大值，排风量按照保证区域的负压来确定，控制区的排风经预过滤器和高效空气粒子过滤器过滤后经排风烟囱高空排放。

部分发热量较高的设备需单独设置局部冷却降温系统，以保证设备正常运行的环境温度要求，如冷却盐泵等。

部分产生有害气体的设备需单独设置局部排风系统，以保证有害气体不会扩散到厂房环境中。需要局部排风的主要有气路与氙控设备处理后的气体、放废处理的罐体及手套箱排气等。

2) 钚基燃料盐研究中心

钚基燃料盐研究中心实验室级别为甲级放化实验室，按监督区、常规工作区、间断工作区和限定工作区原则布置。进风应当经过初、中或高效过滤器过滤，并且防止吸进来自实验室其它部位排出的气体。排风设置按照区域独立设置，每套系统排风风机设置备用，排风经预过滤器和高效空气粒子过滤器过滤后经排风烟囱高空排放。热室的通风系统主要功能是排除热室内余热和放射性气溶胶，在正常工况维持室内相对于外围房间的相对负压。

排风的气流流向应是从放射性污染可能性小的方向流向污染可能性大的方向，各区之间维持一定的压差。

3) 放射性废物整备中心

放射性废物整备中心根据辐射分区分别设置送排风系统：新风经雨沙分离器和新风处理机组处理后送入房间，满足所必须的风量和温湿度要求。控制区房间内以及工艺设备的排风，经预过滤器和高效空气粒子过滤器过滤后经排风烟囱高空排放。

4) 应急指挥中心

应急指挥中心可居留区设正常通风系统，同时设应急通风系统，内含一用一备两套应急新风净化过滤设备，用于事故下使用，每套应急新风净化过滤设备包括1台净化机组、1台应急新风机，两套设备共用净化新、回风管线。净化机组内设有碘吸附过滤器、气溶胶过滤器。

应急通风系统正常情况下是停运且被隔离的，应急情况下场区受到辐射危害进入核事故应急响应状态时投入运行，净化过滤新风及回风，同时自动连锁停运

可居留区范围内的部分正常通风系统，并关闭正常通风系统与外界联通的所有风口，维持可居留区微正压。

4.4.4 供电系统

4.4.4.1 本项目供电

本项目规划建设35kV变电站作为研究堆电力配套设施，用于保障本项目正常用电。

4.4.4.2 主要厂房供电

本项目中重要的装置、设备，如研究堆主体建筑等采用两路独立电源供电。为确保重要设备的正常运行，武威园区在两路独立供电基础上采用备用柴油发电机组以及UPS作为备用电源。其中，在研究堆主体建筑和钍基燃料盐研究中心附近设置了柴油发电机房一座，为研究堆主体建筑、钍基燃料盐研究中心、实保系统等提供备用电源。同时，在应急指挥中心内单独设置柴油发电机，为应急指挥中心需柴发供电的用电设备提供备用电源。此外，在研究堆主体建筑内设置两套1E级交流不间断电源和1套非1E级交流不间断电源为相关重要控制设备提供电源保障，钍基燃料盐研究中心、放射性废物整备中心、应急指挥中心也分别设置了1套非IE级交流不间断电源为其内部重要控制设备提供电源保障。

4.5 放射性废物管理系统和源项

4.5.1 放射性源项

本项目的放射性物质来源于研究堆燃料盐裂变产生的放射性核素和燃料盐及其杂质受到中子照射而产生的活化产物。燃料盐对裂变产物有滞留作用，但部分以气态形式存在的放射性核素会通过燃料盐扩散进入到覆盖气中。

1) 堆芯源项

堆芯积存量计算中，假设燃料盐在整个燃料盐回路中循环流动并发生裂变反应，按照反应堆热功率 30MWt、寿期等效满功率天数 3600 天进行计算。

根据研究堆的设计运行参数计算研究堆堆芯放射性核素的种类及其活度。

2) 燃料盐回路的活化产物源项

燃料盐被中子活化会产生放射性核素，熔盐中的N、O等杂质也会受到中子

照射而发生活化反应。根据本项目研究堆的物理设计参数及熔盐装量计算得到燃料盐及其杂质中活化产物的量。

3) 覆盖气源项

研究堆覆盖气为氩气，位于主容器上方。研究堆运行时，供气系统使用氩气对覆盖气进行吹扫进入尾气处理系统，流量为20L/min。

覆盖气体在中子的照射下会生成放射性的氩同位素。氩气活化后产生的放射性核素主要是³⁷Ar、³⁹Ar和⁴¹Ar。按照设计，研究堆正常运行时，覆盖气以20L/min的速度进行流通。

根据MSRE运行经验，燃料盐对裂变产物有滞留作用，Ru、Sr、Cs等裂变产物滞留在熔盐内，100%的惰性气体、10%的碘从燃料盐中释放出来进入到覆盖气中。保守考虑，假设燃料盐杂质活化产生的¹⁴C以气态形式存在，并且100%从燃料盐中释放出来进入到覆盖气中。

4.5.2 放射性废液管理系统及排放源项

4.5.2.1 系统功能

放射性废液系统主要用于收集、暂存、处理本项目正常运行工况下产生的放射性废液。

4.5.2.2 系统描述

放射性废液根据放射性活度水平，全部分类收集和暂存。低放废液分别在研究堆主体建筑、钍基燃料盐研究中心和放射性废物整备中心集中收集后，通过特排管网转运至放射性废物处理中心内暂存并采用蒸发工艺进行处理，蒸发产生的二次蒸汽经检测合格后在放射性废物处理中心进行空气载带排放，检测不合格的输送至低放废液暂存罐，蒸发产生的浓缩液采用桶内干燥技术进行处理，最后采用水泥固定技术对盐桶进行固定。洗涤废液分别在研究堆主体建筑、钍基燃料盐研究中心和放射性废物整备中心集中收集后，通过特排管道输送至放射性废物整备中心洗涤废液罐，检测合格的洗涤废液进行空气载带排放，检测不合格的洗涤废液输送至放射性废物整备中心的低放废液收集罐。产生的有机废液收集后利用转运车转运至放射性废物处理中心内暂存，之后转运至放射性废物整备中心暂存于有机废液罐，采用超临界水氧化技术进行处理，处理后废液进行空气载带排放。

中放废液收集到一定量后，通过屏蔽运输容器将其转运至放射性废物处理中心，中放废液采用桶内干燥技术进行处理。产生的高放废液暂存于钍基燃料盐研究中心内热室的暂存阱内。含氚废液收集、暂存在研究堆主体建筑内。各类废液的收集罐、暂存罐至少有1个备用罐，中、低放废液暂存间地面均敷设不锈钢覆面。

废液处理系统主要包括中、低放废液暂存罐、有机废液暂存罐、蒸发系统、桶内干燥系统、水泥固定系统、超临界水氧化系统及空气载带排放系统等，其中中、低放废液暂存罐已在2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆项目中建设完成。

1) 低放废液

本项目各工艺间产生的低放废液通过工艺管道自流至废液产生设施内的低放废液收集罐，待收集罐中的废液收集至一定量后，经特排管道过滤后输送至放射性废物处理中心的低放废液暂存罐内；低放废液采用蒸发工艺进行处理，蒸发产生的二次蒸汽经检测合格（ $\leq 10\text{Bq/L}$ ）后在放射性废物处理中心进行空气载带排放，检测不合格的输送至低放废液暂存罐；蒸发产生的浓缩液采用桶内干燥技术进行处理，干燥后的盐桶进行水泥固定。

2) 洗涤废液

本项目产生的洗涤废液，通过工艺管道输送至废液产生设施内的洗涤废液收集罐，待洗涤废液收集罐中废液收集至一定量后，经特排管道输送至放射性废物整备中心，检测合格的洗涤废液在放射性废物整备中心采用空气载带排放系统进行排放，检测不合格的洗涤废液输送至放射性废物整备中心的低放废液收集罐。

3) 有机废液

本项目产生的有机废液收集至有机废液收集罐中，待收集至一定量后通过转运容器转运至放射性废物整备中心的有机废液暂存罐内进行暂存；有机废液采用超临界水氧化技术进行处理，处理后废液进行空气载带排放。

4) 中放废液

中放废液采用中放废液收集罐收集，收集的废液达到一定体积后，通过中放废液接收罐和屏蔽运输容器转运至放射性废物处理中心；在放射性废物处理中心，通过中放废液转运手套箱输送至中放废液暂存罐。中放废液采用桶内干燥工艺进行处理，产生的盐桶转运至水泥固定系统灌浆固定后送废物库暂存。

5) 高放废液

钍基燃料盐研究中心产生的高放废液暂存于钍基燃料盐研究中心内热室的暂存阱内。

6) 含氚废液

研究堆主体建筑产生的含氚废液收集至含氚废液收集罐中，待收集至一定体积后通过管道运输至研究堆内的含氚废液暂存罐中暂存。

本项目产生的放射性废液不通过液态途径向环境排放，因此不考虑设置液态流出物排放监测仪表。

4.5.2.3 排放源项

本项目产生的放射性废液不通过液态途径向环境排放。处理后达标废水通过空气载带方式向大气环境排放。

4.5.3 放射性废气管理系统及排放源项

4.5.3.1 系统功能

尾气处理系统的功能是处理熔盐堆运行中产生的气态放射性核素，满足环境排放要求，保障环境和公众的安全。尾气处理系统处理后的放射性废气经过控制区通风净化，然后由烟囱向环境排放。

4.5.3.2 系统描述

燃料盐回路内产生的放射性气体以及氚，通过氩气吹扫，进入覆盖气尾气处理系统中。覆盖气尾气处理系统包括熔盐颗粒物过滤器、固定式衰变罐系统、碘吸附床、氩吸附床、氩分离装置、放射性粒子去除装置、氩处理装置以及尾气管道上截止阀、流量计、传感器、放射性监测仪等气体控制与监测设备。

由于刚出堆芯中的尾气中含有大量短半衰期核素及放射性颗粒物。先对尾气进行初步过滤，过滤后的尾气进行衰变，去除大部分的放射性核素和衰变热。之后进入到碘吸附床和氩吸附床，用于较长半衰期放射性碘和氩的滞留衰变，进一步将放射性碘及氩去除到更低水平。氩分离装置采用低温吸附和解吸的方法，去除长半衰期的⁸⁵Kr，降低尾气排放中的放射性活度。在尾气处理过程中，通过放射性监测仪监测尾气中的活度，如果放射性活度异常，通过支路返回到衰变罐中进行二次衰变，如果活度已达到可接受水平，则进入粒子去除和氩处理装置，满足要求后再进入控制区通风净化系统。氩处理装置采用熔融碱吸附、合金吸附和

氧化吸附的方式，对尾气中的氙进行吸附去除处理；采用氧化和吸附的方式，对安全容器和关键区域里的氙进行氧化吸附去除。

在尾气处理系统出口处设置放射性气溶胶/碘监测仪、惰性气体监测仪，通过测量尾气处理系统出口管道内的气体放射性活度浓度，监测尾气处理系统的工作状态。取样管道将尾气处理系统出口管道内的气体取出，进入放射性气溶胶/碘监测仪、惰性气体监测仪进行测量，监测仪实时给出气溶胶、碘、惰性气体的活度浓度，并将数据传输至辐射监测系统和主控室DCS系统。

控制区通风系统采用空气过滤器对放射性气溶胶进行过滤处理。空气过滤器包括箱体、预埋件、压紧固定装置、支撑件、密封垫片及压差传感器等，箱体材质为不锈钢，箱体内设置初效过滤器芯和高效过滤器芯。

在厂房烟囱处设置气态流出物监测系统，用于监测流出物的放射性活度浓度，校验流出物的排放是否符合相关要求，并为环境影响评价提供源项数据。气态流出物监测系统由放射性气溶胶/碘监测仪、惰性气体监测仪、氙取样器、碳14取样器、气溶胶/碘/惰性气体取样器等组成，在厂房烟囱内设置取样管路对气态流出物进行取样，取样及测量完成之后返回到厂房烟囱内。采用单嘴等速取样技术对气态排出流进行取样，取样点设置在排放烟囱内，取样点位置处的排放气体混合相对均匀，以使得取样的气体样品具有代表性。取样管道连接到烟囱流出物监测间，经过流量分配和系统控制后进入各监测回路或取样回路。

4.5.3.3 排放源项

1) 研究堆

研究堆气态放射性排放源项的主要来源是研究堆覆盖气吹扫产生的放射性尾气。研究堆运行时，供气系统使用氩气对主容器内覆盖气进行吹扫（吹扫流量为20L/min），吹扫出来的覆盖气进入尾气处理系统。尾气处理系统采用熔盐颗粒物过滤器、衰变罐、碘吸附床、氙吸附床、氦分离装置、氙处理装置等对尾气中的气态放射性物质进行处理。

研究堆气态流出物的排放口高度、排气速率见本报告第六章 6.1.1 节。

2) 钍基燃料盐研究中心

钍基燃料盐研究中心放射性热室操作的燃料源项为：（1）10L燃料盐干法后处理（冷却1年后再转移至热室），放射性总活度为 $7.59\text{E}+13\text{Bq}$ ，按每年10次，

则每年操作的燃料盐的放射性核素总活度为 $7.59\text{E}+14\text{Bq}$ 。(2) 10mL燃料盐分析(随取随用), 放射性总活度为 $3.94\text{E}+12\text{Bq}$, 按每年50次, 则每年操作的燃料盐的放射性核素总活度为 $1.97\text{E}+14\text{Bq}$ 。

钍基燃料盐研究中心尾气处理后经烟囱排放, 气态流出物的排放口高度、排气速率见本报告第六章6.1.1节。

3) 放射性废物处理中心

放射性废物处理中心已建成了一套空气载带排放系统, 用于载带排放2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆产生的洗涤废液和低放废液蒸发处理后的达标废液; 该系统将同时载带排放研究堆主体建筑、钍基燃料盐研究中心和放射性废物整备中心产生的低放废液蒸发处理后的达标废液。放射性废物处理中心已建载带排放系统能够覆盖处理后达标的低放废液。气态流出物的排放口高度、排气速率见本报告第六章6.1.1节。

4) 放射性废物整备中心

放射性废物整备中心的放射性废气主要考虑中低放固体废物拆解去污和破碎减容过程产生的气溶胶, 主要是 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 等。假设中低放固体废物拆解去污过程有1%的放射性进入气溶胶, 拆解、去污操作箱尾气采用高效过滤器(99.99%)净化处理。

破碎减容在200L桶内进行, 过程中产生的粉尘浓度参考《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)中颗粒物的浓度限值, 保守假设气体中颗粒物浓度为 $100\text{mg}/\text{m}^3$, 破碎减容装置尾气采用高效过滤器(99.99%)净化处理。

此外, 洗消废液和有机废液处理后采用载带排放方式向大气环境排放, 活度浓度低于 $10\text{Bq}/\text{L}$ 。气态流出物的排放口高度、排气速率见本报告第六章6.1.1节。

4.5.4 放射性固体废物管理系统及废物量

4.5.4.1 系统功能

放射性固体废物系统设计用于收集、转运、处理和整备在正常运行以及预期运行事件中产生的低中水平放射性固体废物、熔盐废物和堆内组件拆解分割去污等过程产生的放射性固体废物等。

4.5.4.2 系统描述

1) 废物收集

研究堆运行期间产生的放射性固体废物主要为低中放射性固体废物、熔盐废物和大件放射性废物拆解分割去污等过程产生的放射性固体废物等。

本项目各类废物按照《放射性废物分类》（原环境保护部公告 2017年第65号）为原则开展，按照放射性水平、物理特性和处理方式等分类。本项目的放射性固体废物分类及来源如下：

极低水平放射性废物：包括工作服、口罩、手套等软质可压缩固体废物；厂房通风过滤器芯。

低水平放射性废物：包括工作服、口罩、手套等软质可压缩固体废物；金属废物、玻璃等废物（不可压）；运维检修废物（不可压）；辐照装置组件（不可压）；热室废过滤器芯；厂房通风过滤器芯（拆解压缩）。

中水平放射性废物：包括燃料盐分析产生的滤芯、熔盐废物；部分辐照装置组件；堆芯、堆顶设备维修更换固废；尾气处理过滤器废物；碘床和氩氙床废物。

高水平放射性废物：熔盐分析等产生的相关废物；热室产生废盐（主要为裂变产物和载体盐）、运维检修废熔盐。

其中，低放固体废物按照可压缩废物、不可压缩废物和过滤器芯等进行分类，收集后暂存在研究堆主体建筑内的固体废物暂存间或钍基燃料盐研究中心的废物暂存区。中放固体废物收集于专用的中放固体废物收集容器内。高放熔盐废物收集于热室专用的暂存阱内。大件放射性废物拆解分割去污等过程产生的放射性废物按照放射性活度、尺寸等分为低、中放废物和大件放射性废物，大件放射性固体废物收集、暂存在放射性废物整备中心。

2) 废物转运

放射性固体废物的转运由场区转运系统完成。低放固体废物在200L桶封盖后，吊装至场区放射性废物转运车，后转运至放射性废物处理中心。中放固体废物和熔盐废物通过专用的安全屏蔽转运容器转运，中放固体废物装屏蔽转运容器后转运至放射性废物处理中心，熔盐废物转运至放射性废物整备中心。废过滤器芯等废物桶转运至放射性废物处理中心。钢箱就地暂放于放射性废物整备中心拆解分割去污区。

3) 废物处理、整备

放射性固体废物的处理整备措施包括分拣、压缩和水泥固定、钢箱固定等工

艺，在遵循废物最小化的基础上，将其转变为稳定的固定体，满足外运和最终处置的要求。低放废物转运至放射性废物处理中心后，可压废物运转分拣压缩间，对废物进行二次分拣，并同时可对可压废物进行压缩处理，压缩后的废物桶转运至放射性废物整备中心进行超压处理，然后压缩饼装入钢箱。分拣出的不可压缩废物达到装桶率要求后封盖，转运至水泥固定区进行水泥固定。钢箱内的压缩饼或大件放射性废物进行钢箱水泥固定整备。

4) 大件放射性废物拆解分割与去污

研究堆运行后，部分设备需要进行检修更换，更换下来的设备将作为大件放射性废物。放射性废物整备中心设置有废物拆解分割系统，用于大件放射性废物的切割与分解，废物拆解分割系统主要包括屏蔽转运容器、拆解升降平台、拆解切割装置、拆解操作箱等。拆解分割后产生的部件根据其来源及放射性活度，分别按照低放、中放固体废物进行收集。

放射性废物整备中心设有放射性去污系统，用于对切割后的部件进行放射性去污。去污后的设备、部件经放射性检测后，根据需要进行复用、解控或水泥固定。

5) 中低放熔盐废物固化

熔盐废物处理系统用于对研究堆和钍基燃料盐研究中心产生的中低放熔盐废物进行预处理与固化处理。中低放熔盐废物在屏蔽手套箱内进行粉碎、研磨、混料等预处理，通过真空灌装密封单元完成罐体密封，密封后的波纹罐送至熔盐废物热压烧结系统处理形成稳定的固化体，处理后的罐体在放射性废物整备中心内暂存。

6) 废物的贮存

本项目研究堆及附属设施产生的放射性固体废物在放射性废物处理中心和放射性废物整备中心进行统一处理与贮存。

整备后的固体废物桶暂存于放射性废物处理中心的废物暂存库内，废物钢箱暂存在放射性废物整备中心钢箱暂存区内。其中，固体废物暂存库设置在放射性废物处理中心内，按废物的辐射水平、包装形式等分别贮存在不同的区域，包括待解控废物暂存区、低放废物暂存区和中放废物暂存区等。低放废物暂存区尺寸为14450×6200mm，面积约67m²，其内废物桶按四层码放，贮存能力约为600个

200L标准桶；中放废物暂存区尺寸为5700×2500mm，面积约14m²，贮存能力为72个200L标准桶。待解控废物暂存区尺寸为4760×3250mm，面积约15m²。放射性废物整备中心钢箱暂存区尺寸为14000×6000mm，钢箱按两层码放，贮存能力为60个FA-V标准钢箱。本项目放射性固体废物暂存设施的设计容量能够满足至少暂存5年的使用需求。

按照国家相关规定，上述放射性固体废物暂存五年后送西北放射性废物处置场。

7) 放射性固体废物最小化

本项目充分贯彻废物最小化原则，通过废物的源头控制、再循环与再利用、清洁解控、优化废物处理和强化管理等措施，经过代价利益分析，使最终放射性固体废物产生量（体积和活度）可合理达到尽量低。

（1）优化管理

制定本项目所在武威园区放射性废物管理规程，并严格按照《中科院上海应用物理研究所武威园区放射性废物管理规程》执行。严格废物分类，将园区的放射性废液按照洗涤废液、低放废液、有机废液、中放废液、高放废液进行分类收集和管理；将放射性固体废物按照低放废物、中放废物和高放废物进行分类和管理，其中低放废物又按照可压缩废物、不可压缩废物和废过滤器芯进行分类和管理。建造独立的放射性废物处理中心和放射性废物整备中心，用于接收、暂存和处理园区产生的中、低放射性固体废物和各类放射性废液，并进行分区存放，在热室内设置专门的贮存井，用于暂存高放废物。

（2）减少源项

减少源项是实现废物最小化重要和有效的做法，从源头抓起，减少废物的产生，故本项目所在武威园区采取了多种有效的措施。一是严格废物分类收集与存放处理，防止交叉污染；二是严格辐射分区制度，将放射性区域分为监督区和控制区，合理设置气流、物流、人流走向；三是减少污染区数目和范围，严格控制进入污染区的人员、工具和材料，尽量减少现场工作人员，如在放射性废物处理中心和放射性废物整备中心设置远程操控行车，减少直接操作的受照和废防护衣物的产生及去污所产生的废物。

（3）再循环和再利用

再循环/再利用不仅可以减少废物量，还可以节省资源，适应可持续发展要求。脏衣物经表面污染监测仪对衣物进行平铺检测，对表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的外衣，小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的内衣进行洗消、脱水、烘干、整理折叠后复用。屏蔽转运容器和检修工具将进行多次使用。

(4) 减容处理

采用改进的处理工艺和管理方法减少废物的体积。

- 新建大件废物拆解工艺线和过滤器芯破碎减容装置，减少固体废物的体积。
- 分别在废物的产生点和放射性废物处理中心对不同污染水平的废物进行分拣，分拣出可解控的废物从而减少放射性废物的体积。
- 已在放射性废物处理中心设置20t分拣压缩系统，并将在放射性废物整备中心配置2000t的超压系统，用于可压缩废物和拆解后废物的压实，减少废物的体积。
- 新建熔盐去污工艺线，用于熔盐沾污部件的去污，降低废物的放射性水平或作为非放射性废物处理，减少废物的数量和体积等。

4.6 乏燃料贮存系统

乏燃料暂存的对象为反应堆一回路卸出的包含乏燃料的熔盐（即乏燃料盐）以及对卸料后堆容器及一回路管道冲洗所用的熔盐（即冲洗熔盐）。反应堆停堆卸料时，乏燃料熔盐由堆芯首先卸料至熔盐排放罐，冷却存放一定时间后再通过熔盐转运管道转运至乏燃料暂存间内的乏燃料盐贮存罐内。冲洗熔盐含有的裂变产物、锕系元素不超过乏燃料盐中的1%，因此不需要进行冷却，在反应堆一回路冲洗之后直接排入至贮存罐内。

为了带出乏燃料的衰变余热，暂存间内设置通风冷却系统，可以根据暂存间内温度调节通风量。此外，在乏燃料暂存间内还设置温度监测、辐射监测、临界报警等系统，以监测和掌握乏燃料暂存状态。通过对乏燃料的热工安全分析、临界安全分析及屏蔽计算分析，确保满足安全要求。

4.7 放射性热室

本项目放射性热室为钍基燃料盐研究系统的组成部分，位于钍基燃料盐研究中心。钍基燃料盐研究中心见本报告第四章4.3.2节描述，钍基燃料盐研究中心放射性热室操作燃料源项、放射性核素总活度见本报告第四章4.5.3.3节描述。

4.8 非放射性废物处理系统

4.8.1 化学污染物

新试剂均存放于化学仓库（05子项）新试剂库区域（位于化学仓库东半侧）内，气体钢瓶依照需求就近搭设气瓶间进行存放。按照上海应物所武威园区《危险化学品管理制度》的要求，化学试剂单次最大采购量不得超过三个月使用量，使用完再采购，已建设完成的化学试剂仓库能满足本项目和2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆项目同时存放三个月使用量的暂存需要，废弃物厂内暂存按照最多存放废弃物仓库库存量的三分之二的要求执行，达到库存量的三分之二时交具有危险废物运输资质的公司进行转运、处理。因此，该试剂仓库能够满足实验堆和研究堆所需新废试剂在园区的暂存需求。

1) 化学废气

本项目中主要的化学废气来自钍基燃料盐研究中心的放化实验室。其主要化学成分为 Ar_2 、 N_2 、 H_2 （<10%）、HF和微量熔盐颗粒。每年产生量约 200m^3 。工艺尾气经过除尘系统去除微量熔盐颗粒，通过多重碱液处理吸收HF， H_2 经稀释到1%以下，处理工艺去除效率达到99%，通过钍基燃料盐研究中心为放化实验室设置的烟囱排放。

2) 化学废液

本项目运行期产生的非放化学废液来自钍基燃料盐研究中心的放化实验室，主要是分析试剂溶液，成分为0.001~1%金属氟化物，年产生量约为 $0.1\text{m}^3/\text{a}$ 。化学废液不排放，先暂存于放化实验室，经统一收集暂存至化学仓库（05子项）危险废物库区域（位于化学仓库西半侧），待达到一定数量后，由具有危险废物运输资质的公司进行转运、处理。

3) 化学固废

见4.8.3节“危险废物”描述。

4.8.2 废水

本工程运行期产生的污废水主要来源于人员综合办公、食堂等，卫生间等生活污水通过化粪池进行处理后通过管道集中至沉淀池，厨房废水通过隔油池进行过滤处理后通过管道集中至沉淀池。

本项目污废水排水量按 $249.8\text{m}^3/\text{d}$ 计，重力流排出，接入园区生活污水管网，最终排入红砂岗镇生活污水处理厂。污废水排放执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级标准，满足红砂岗镇生活污水处理厂进水水质要求。

4.8.3 其他废物

本项目运行期间非放射性固体废物产生量、处理及处置等情况如下：

1) 危险废物

本项目运行期间产生的化学固废属于危险废物。化学固废主要为分析固废和化学实验固废，包括固体熔盐和含盐材料（坩埚、手套、滴管、容器和个人防护用品等），年产量 $160\text{kg}/\text{a}$ 。主要来自钍基燃料盐研究中心的放化实验室。

危险废物产生后先暂存于钍基燃料盐研究中心，经统一收集后暂存至化学仓库（05子项）危险废物库区域（位于化学仓库西半侧），达到一定数量后，由具有危险废物运输资质的公司进行转运、处理。

2) 一般工业废物

本项目运行期间产生的一般工业固体废物年产生量约 1000kg 。一般工业废物按照工业垃圾固体废物进行处置，按规定在民勤红沙岗能源化工工业集中区管理委员会应急和生态环境部工作人员见证下，运送至民勤红沙岗能源化工工业集中区一般工业固体废弃物填埋场处置。民勤红沙岗能源化工工业集中区一般工业固体废弃物填埋场位于民红路以南，规划库容 20万m^3 ，目前 10万m^3 的填埋场已建设完成并投入使用。

3) 含油废物

本项目的含油废物主要来源于柴发机房、应急指挥中心、消防水泵房中存储的燃油泄漏，以及发电机房内油站、油浸式变压器事故排油及消防含油废水。其中，含油废水排至室外含油废水储存池，并根据储水池的储水情况不定期地进行

清理及外运处置；其余含油废物按危险废物处置，由具有危险废物运输资质的公司进行转运、处理。

4) 生活垃圾

本项目科研人员和其他工作人员产生的生活垃圾按规定在园区设置垃圾收集暂存箱，并委托红砂岗镇环卫部门定期外运处理。

4.9 放射性物质场内转移

1) 燃料厂内运输

(1) 燃料盐运送

运进厂内的放射性物品为燃料原料，经专用运输容器运入厂内。运输容器满足《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令 第562号）和《放射性物质运输包装质量保证》（GB/T15219-2009）等规定，使用前应向国家核安全监管部门备案。厂外运输由供货方负责，并遵循国家相关法律法规执行。

研究堆需要运输的含核材料的熔盐是燃料原料和添加盐。燃料盐由添加盐和基盐液混合后直接进堆，无需贮存和运输。

燃料原料和添加盐的运输容器即为贮存容器。燃料原料的运输容器，使用前向国家核安全局备案，其运输包含厂外运输和厂内运输两个部分。厂外运输由供货方提供并遵循国家相关的法律法规进行，当到厂后，贮存在新燃料储存间。添加盐制备时，燃料原料由专用运输小车转运至添加盐制备间的混配装料区。

添加盐制备完成后注入添加盐储罐内，贮存在新燃料储存间，当进行燃料装载时，由专用运输小车通过厂内运输至研究堆装料区。添加盐储罐为立式圆柱形容器，配置温度、压力检测仪表。经临界安全计算，添加盐储罐的有效增殖因子 k_{eff} 满足国家规定的临界安全限值要求。上述过程中的专用运输小车配置容器固定装置。

(2) 燃料盐装卸

研究堆燃料装卸系统由燃料盐混合-加料装置、燃料定量补给装置和燃料盐排放装置三个部分构成。所有设备均临近堆容器布置，其中燃料盐排放罐和燃料补给罐与堆容器直接相连。

燃料排放通过燃料盐排放罐实现。燃料盐排放罐通过冷冻阀与堆容器相连。

燃料盐排放罐配置非能动冷却装置，以确保余热能安全排出。

2) 乏燃料厂内转运

乏燃料的厂内运输由吊车、转运轨道车、专用远程操作机械手及相应操作工具组成。乏燃料外运前需要完成罐体密封、检测及辐射剂量测量，以保证乏燃料贮存罐罐体的密封性及辐射剂量低于外运要求限值。检测合格的乏燃料罐使用暂存间内吊车吊至转运车上，转移至外运容器吊装处，使用吊车将乏燃料贮存罐吊入外运容器内。当外运容器表面污染水平及表面剂量率满足国家规定的要求时才允许外运。

3) 放射性废物的运输

本项目废物运输遵照《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）与《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）中的相关要求执行。

运输容器满足《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）规定的有关要求，包括容器的设计、制造、试验和标识；运输废物表面剂量率水平要求小于2mSv/h；场内运输采用废物转运车转运，设置1套最大载重量3t的固体废物屏蔽转运容器用于低中水平放射性废物中的小尺寸废物运输。设置一辆载重量不小于10t的废物转运车用于大件废物的转运，驾驶室有屏蔽设施。场外运输根据货包的特性和运输条件选择合适的运输车辆。

放射性废物经暂存后拟运往中低放废物处置场进行最终处置。

第五章 施工期环境影响预测与评价

5.1 陆域施工的环境影响

本项目十兆瓦电功率（10MWe）小型模块化钍基熔盐堆（简称“研究堆”，热功率 30MWt）和十升级干法分离研究装置为核心的钍基燃料盐研究系统及公共配套设施拟选址上海应物所武威园区。上海应物所武威园区位于甘肃省武威市民勤红沙岗能源化工工业集中区（以下简称“红沙岗场址”）。武威园区距 SE 方位的民勤县约 60km，距 SW 方位的金昌市约 60km，距 SE 方位的武威市约 120km，距连古城国家级自然保护区各块核心区中最近距离为 NNE 方位约 6.5km，距各块缓冲区中最近距离为 NNE 方位约 3km，距各块实验区中最近距离为 ESE 方位约 22.5km。武威园区占地约 66.7 公顷（1000 亩），本项目拟在武威园区建设研究堆主体建筑、钍基燃料盐研究中心、放射性废物整备中心、研究堆发电机房、应急指挥中心、材料在役检测实验室、35kV 变电站和保卫控制中心等单体。本项目所在武威园区总体规划及总平面布置详见本报告第四章图 4.1-1、图 4.1-2。

5.1.1 工程概况

5.1.1.1 用地概况

根据总平面规划方案，本期工程新建建（构）筑物占地面积 2.3235hm²，全部位于本项目所在武威园区的已征地范围内，均为永久性占地，无临时占地。根据《民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021-2035 年）》，本项目所在园区用地现状为工业用地（1001），本项目的土地利用满足地方土地利用规划要求。

本项目征地均位于民勤红沙岗能源化工工业集中区特定功能区内。

本项目征地范围内无工业、商业和矿产资源，也无公共娱乐设施、无名胜古迹及风景旅游区。

5.1.1.2 主要出入通道

由于主要出入通道已于上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目完成规划，本项目将与该项目共用主要出入通道。主出入口设置在厂区南侧，与纬七路衔接，辅助出入口设置在厂区东、西两侧，与东环路和经七路衔接。

5.1.1.3 土石方平衡

本项目厂区自然地形标高自南向北约为 1412m~1421.5m, 场地在上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目建设期间已基本进行了统一的场地平整, 设计标高为 1412.00~1421.00m, 厂区竖向采用平坡式布置, 东北高、西南低。本项目厂区场地基本不产生土石方工程量, 建(构)筑物、道路、管线施工的挖方工程量约为 27.8 万 m³ (松散方量), 填方工程量约为 10.4 万 m³, 余方工程量约为 17.4 万 m³, 余方初步考虑外弃至民勤红沙岗能源化工工业集中区管理委员会指定地点。本期工程研究堆主体建筑和钍基燃料盐研究中心的室外设计标高定为 1420.05m, 室内设计标高高于室外 0.60m。该标高可保证场址区域地坪高于厂区外围东、西、南三侧的自然地形, 但略低于西北侧自然地形, 且能保证可能由降水引起的场地积水不会引发厂房内积水。

5.1.2 施工活动对环境的影响

5.1.2.1 社会环境及环境敏感区域的影响

本项目建设期间需入驻工程施工人员, 施工人员将在该地区居住和生活, 这将增加该地区的消费能力, 提供众多的就业岗位, 一定程度上将促进该地区经济的发展, 对当地居民的物价指数带来一定影响。

本项目半径 5km 范围内涉及连古城国家级自然保护区, 距其缓冲区的最近距离为 NNE 方位约 3km。本项目施工期间在采取合适的防护措施后不会对连古城国家级自然保护区产生影响。本项目施工活动对连古城国家级自然保护区影响分析见 5.1.2.6 节。

5.1.2.2 大气环境的影响

本项目建设将永久占用土地, 场地的开挖和填充以及相关构筑物的建设将改变当地的局部地形和下垫面粗糙度, 但与当地地形相比, 还不足以影响本项目厂区边界以外的大气环境。

本项目施工期间的主要大气污染物包括扬尘和汽车尾气。施工产生的地面扬尘主要来自于施工机械和运输车辆的行驶、爆破、土石方开挖和填筑、物料堆放和运输以及施工建筑材料的搅拌等环节, TSP 产生量与施工方式、车辆数量、道路路面状况以及天气情况相关。

施工过程中, 由于爆破、开挖、填充、道路的修建以及车辆运输会造成施工

区域尘土飞扬，大气中粉尘含量增高。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，并可将 TSP 污染距离缩小到 20~50m 范围。因此，在施工活动中，在采取覆盖、定期洒水等减少扬尘的措施后，施工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。土石方施工完成后，当地的大气环境质量将很快得以恢复。

对于大型施工车辆、设备排放尾气的影响，由于施工时现场车辆较多，特别是大型工程车和施工机械设备（挖掘机、铲土机等），在施工运输过程中会产生一定量汽车尾气，主要成分为 CO、NO_x 和碳氢化合物。一般情况下汽车尾气对道路中心线 20m 范围之外不产生 NO₂ 超标污染影响，装卸机械等排放的少量废气对环境空气影响也仅限于排放点 50m 范围内。

此外，本项目施工期涉及油漆、喷砂、切割、焊接等工序。油漆工序（包括喷涂、油漆涂刷以及烘干）产生非甲烷总烃（VOCs），拟在专用场所内实施并设置排风管道、活性炭等吸附过滤设备等进行处理后排放。喷砂工序会产生含尘废气（主要成分为金属氧化物、砂粒等），拟在专用场所内实施并设置排风管道、布袋除尘设备等进行处理后排放。切割工序主要产生金属粉尘，焊接工序主要产生焊接烟尘（主要包含金属氧化物、氟化物等），拟在专用场所内实施并设置局部集气罩、除尘设备等进行处理后排放，对于施工工棚内的相关施工采用移动式烟尘净化器处理。上述所有工序拟从源头上减少污染物产生，包括优先选用环保型水性涂料、焊接材料等；此外，拟加强环保设备维护与管理，定期维护和保养，确保设备正常运行，处理效率满足要求。

因此，施工行为给大气环境带来的影响是局部的、短期的，在采取必要的防护措施后即可降低扬尘、非甲烷总烃（VOCs）和含尘废气等的影响，并随着工程竣工而消失，对环境空气质量影响较小。

2020年10月至2021年8月，甘肃云腾环境科技检测有限公司对2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）施工期大气环境质量现状进行了监测。施工期厂界监测结果执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中无组织排放监控浓度限值，环境敏感点监测结果执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）

及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）中二级标准的要求。

监测点位：共布设 5 个大气环境监测点位，分别为 1#大临办公生活区、2#施工区域边界东侧 10m 处、3#施工区域边界西侧 10m 处、4#施工区域边界北侧 10m 处、5#施工区域边界南侧 10m 处。

监测项目及频率：日均值 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 、甲苯（ C_7H_8 ）每天 20 小时连续采样，共监测 7 天。小时值 SO_2 、 NO_2 、 CO 、 TSP 、 O_3 、甲苯（ C_7H_8 ）每天监测 4 个小时浓度值（具体时段为 2:00 时、8:00 时、14:00 时、20:00 时），采样时间不小于 45min，共监测 7 天。监测频次为每季度一次。监测项目及频次见表 5.1-1。

监测时段：2020年10月17日~10月23日；2021年1月25日~1月31日；2021年4月24日~5月1日；2021年7月30日~8月5日。

统计结果显示，监测期间2#、3#、4#、5#施工区域厂界监控点 SO_2 、 TSP 、甲苯等指标均符合《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996，2000年修订）中无组织排放监控浓度限值的要求，1#大临办公生活区 SO_2 、 NO_2 、 CO 、 O_3 和 PM_{10} 浓度均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）中规定的二级标准要求，甲苯（ C_7H_8 ）浓度满足《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）中规定的标准，个别时段的 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 和 TSP 日均值略高于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）的二级标准浓度限值。 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 和 TSP 的超标估计为施工活动以及施工车辆运输产生的扬尘所致。根据本报告第三章3.2节的2024年红沙岗工业园区环境空气监测结果，所有监测点位的 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 TSP 检测结果均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）二级标准浓度限值，2024年2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）施工作业已结束，可见本项目施工期间的大气环境影响是暂时的，预计施工结束后大气环境质量能够恢复并满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018年第29号）要求。

由于本项目与上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目的土建工程施工量相近，且可借鉴上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目的经验总结，进一步强化物料堆放覆盖防尘布、在满足节水的前提下

喷水成雾减少扬尘等防尘措施，通过改进和落实各项环保措施以确保施工期大气环境质量达标，因此预计本项目施工期间不会对大气环境产生明显影响。

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）施工期未开展 VOCs 监测，进一步采用某核电厂项目主体工程施工期 VOCs 监测结果进行类比。某核电厂项目施工量大于本项目，且主体工程施工区形状与本项目较为类似，类比分析具有代表性与保守性。

某核电厂项目主体工程施工期间，根据厂址地区的地形条件、风频分布，在某核电厂项目主体工程厂界周边布设了 5 个 VOCs 监测点位，监测频次为每季度监测 1 期、1 期监测 7 天、每天监测 4 次（08:00、11:00、14:00、17:00）。

监测开展期间，主体工程厂界 VOCs 的检测项目中，10 个检测项目（二氯甲烷，三氯甲烷，苯，甲苯，四氯乙烯，乙苯，间、对二甲苯，邻二甲苯，苯乙烯，氯苯）有检出。其中苯、甲苯、四氯乙烯、间、对二甲苯、邻二甲苯的检出结果远小于《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表 2 中的无组织排放限值，其余检出项无排放限值要求。

通过上述类比分析，本项目通过采取环保措施，并严格遵循施工管理的有关要求，本项目施工期间产生的 VOCs 不会对大气环境产生明显影响。

5.1.2.3 水环境的影响

本项目建设期间排放的废水主要包括施工废水、生活污水，施工活动对水环境的影响主要来自施工人员生活污水的排放。

生产废水：施工期间生产废水主要为混凝土结构养护水及场地冲洗水、车辆及设备洗涤用水。以上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目的生产废水产生量为参考，预计施工生产废水产生量约为 6000t/a。施工生产废水含有一定量的油污和泥沙，采用临时施工废水沉淀池以去除施工废水的固体污染物，上清液回用，不外排。

生活污水：施工期大临生活办公区的卫生间、淋浴等生活污水通过化粪池进行处理后通过管道集中至沉淀池；厨房废水通过隔油池进行过滤处理后通过管道集中至沉淀池，通过管线排至园区下游市政污水管网，最终排入红砂岗镇生活污水处理厂，生活污水排放执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B 级标准，满足红砂岗镇生活污水处理厂进水水质要求。以上海应物所武威园区

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目的生活污水排放量为参考，预计施工人员产生的生活污水排放量为 14100t/a。

本项目调试期间会产生的调试废水主要为少量的非加药管道冲洗水，主要污染物为悬浮物，上述冲洗水经收集沉淀后回用于降尘与绿化；本项目调试期间不涉及加药调试废水。

2020年10月至2021年8月，甘肃云腾环境科技检测有限公司对2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）施工期废水进行了监测。施工期废水监测结果执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级标准。

监测点位：共设一个废水排放采样点（6#），位于大临办公生活区域沉淀池旁的检查井。

监测项目及频率：pH、悬浮物、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、石油类、动植物油、磷酸盐。监测频次为每季度一次。每次监测 1 天，一天采样 4 次。监测项目及频次见表 5.1-2。

监测时段：2020年10月19日；2021年1月30日；2021年4月27日；2021年8月2日。

监测期间各项指标均满足《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级标准（《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）标准和《污水综合排放标准》（GB8978-1996）三级标准均不包括总磷，总磷执行《甘肃水务民勤供水有限责任公司关于红砂岗镇生活污水处理厂污水排入标准情况说明的函》，满足要求）。

由于本项目与上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目工程量相近，且可借鉴上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目的经验总结进一步改进各项预防措施，将影响降到最低程度。预计施工期间排放的废水将符合《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B 级标准。随着施工的结束，水环境质量将得到恢复。

5.1.2.4 噪声影响

本项目建设期间的主要噪声污染源为不同施工阶段所使用的各类施工机械设备运行噪声和运输车辆的交通噪声，参照上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目建造阶段施工，本项目主要施工作业基本安排在昼间完成，

极少部分施工作业涉及夜间施工，夜间施工需申请并获得许可后方可开展。基础施工阶段主要施工机械是各种打桩机、空压机等，基本上都是固定噪声源，其中主要噪声源为打桩机，其声级为 95-105dB(A)；结构施工阶段主要施工机械是混凝土搅拌机和振捣棒，其声级为 75-88dB(A)；工程建设期运送材料的汽车等运行噪声为随机移动声源，施工期大型运输设备正常行驶时噪声最大可达 80dB(A)，鸣笛时可达 85dB(A)。实际施工过程中，往往是多台机械设备同时作业，各台设备产生的噪声会互相叠加，叠加后的噪声增值约 3-8dB(A)，一般不超过 10dB(A)。

2020年10月至2021年7月，甘肃云腾环境科技检测有限公司对2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）施工期噪声环境进行了监测。施工期厂区噪声监测结果评价执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中的限值，敏感区监测结果与《声环境质量标准》（GB3096-2008）2类声环境功能区限值（昼间60dB(A)；夜间50dB(A)）进行比较。

监测点位：共设置三个监测点位，包括 LF1 主体装置厂房（7#）、放射性废物处理中心南侧（8#）各一个，以及大临办公生活区（1#），共 3 个监测点。

监测项目及频率：等效连续 A 声级。监测频次为每季度一次，共持续 4 个季度（2020 年 10 月~2021 年 7 月）。施工噪声监测每次于昼、夜间各监测 1 次，每次监测 20 分钟；敏感区噪声每次 24 小时连续监测。监测项目及频次见表 5.1-3。

监测时段：2020年10月21日；2021年1月30日；2021年4月30日；2021年7月31日。

监测期间7#与8#的施工场界环境噪声满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）规定的限值要求（同时满足现行有效标准《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）要求），1#大临办公生活区的环境噪声符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）2类环境功能区标准限值要求。

由于本项目与上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目的土建工程施工量相近，结合对噪声污染的控制措施（选用低噪声的施工机械、合理安排施工进度和时间、禁止夜间开展高噪声施工作业等），预计施工期间昼间与夜间噪声值均不会高于上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目施工期间噪声值，因此结合上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目施工经验优化施工方式，预计本项目施工期间场界噪声符合《建筑施

工噪声排放标准》（GB12523-2025）建筑施工场界噪声排放标准限值要求，本项目周边区域的声环境符合《声环境质量标准》（GB3096-2008）标准限值要求。

5.1.2.5 固体废物影响

本工程施工建设期间指定承包单位负责建筑垃圾和生活垃圾的收集、堆放和外运，由人工收集后堆放至施工现场垃圾池，定期送至建筑垃圾消纳场进行集中处理。

1) 一般工业固体废物

本项目建设期间产生的工业固废主要为建筑类固体废物，主要分为弃土、废渣、废钢材、废木材、废塑料、废纸等 6 类，各类固体废物产生量均较小。

对施工过程产生的弃渣弃土进行分类，能回收利用的尽量合理利用，达到建筑固废的减量化；不能回收利用的则及时清运至合适地点实施回填或进行临时堆存，不得长期堆积或随意丢弃。对于建设期间产生的其他工业固废，以上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目的其他工业固废产生量为参考，预计年产生量约 750t。

2) 危险废物

本项目建设期间产生的危险废物一般为废物桶/罐（柴油、润滑油、油漆），以及废旧材料（日光灯管、石棉瓦等），以上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目的危险废物产生量为参考，预计年产生量约 1125kg。

本项目建设期间产生的危险废物送至上海应物所武威园区化学仓库（05 子项）危险废物库区域（位于化学仓库西半侧）暂存，贮存场所满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）中的相关规定。

3) 生活垃圾

本项目建设期间，施工人员产生的生活垃圾由委托的地方环卫单位进行垃圾清运，生活垃圾统一收集至生活区定点放置的垃圾箱中，由其定期采用垃圾车对现场生活垃圾运出进行集中处理。采用定期机械和人工清理、平整和覆盖，避免对地下水产生影响；采用专用运输车辆（或外运车辆加盖篷布）及时外运，避免运输过程中的遗撒等。

5.1.2.6 生态环境影响

本项目建设期间将在建设规划区内占用大量土地，改变原土地利用类型，破

坏原地貌和该地区动植物的生境。本项目附近的环境敏感区为连古城国家级自然保护区。根据《中华人民共和国自然保护区条例》（2017 年 10 月 7 日修订）中的规定，在自然保护区的核心区和缓冲区内，不得建设任何生产设施。在自然保护区的实验区内，不得建设污染环境、破坏资源或者景观的生产设施；建设其他项目的，其污染物排放超过国家和地方规定的排放标准的，应当限期治理；造成损害的，必须采取补救措施。同时根据原国家环保总局《关于涉及自然保护区开发建设项目环境管理工作有关问题的通知》（环发〔1999〕197 号）中规定，凡涉及自然保护区的开发项目，不得安排在自然保护区的核心区、缓冲区内；需占用实验区的，不得破坏当地生态，其污染物排放不得超过国家和地方规定的污染物排放标准；在自然保护区外围地带进行的项目建设，不得损害自然保护区内的环境质量和生态功能。对此，本项目施工期间将做好建筑材料堆放等场所的面源排放控制，合理控制施工及车辆运输范围，加强管理等，以此避免对连古城国家级自然保护区产生影响。同时连古城国家级自然保护区各块核心区中距场址最近处位于 NNE 方位约 6.5km，各块缓冲区中距场址最近处位于 NNE 方位约 3km，各块实验区中距场址最近处位于 ESE 方位约 22.5km，总体而言，本项目的建设不会对当地的陆生生态环境造成不良影响。

5.1.2.7 水土流失影响

本项目建设期间的地表开挖和填筑产生裸露面，由于裸露面表层结构疏松，植物覆盖度较低，使本项目所在区域内土壤抗侵蚀能力下降，产生水土流失；同时，土石方的搬运和堆置加剧本项目工程区及其附近施工区域的局部水土流失。本项目施工结束后，因施工引起水土流失的各项因素逐渐消失，地表扰动也基本停止，施工区域的水土流失将明显减少。因此，本项目水土流失的重点时段为工程施工期。

表 5.1-1 施工期环境空气质量现状监测项目及频次一览表

采样点名称	检测项目及频次
1# 大临办公生活区	小时浓度：二氧化硫、二氧化氮、一氧化碳、TSP、臭氧、甲苯（C ₇ H ₈ ），4 次/天，每次不小于 45min，连续检测 7 天。
2# 施工区域边界东侧 10m 处	
3# 施工区域边界西侧 10m 处	
4# 施工区域边界北侧 10m 处	日均浓度：PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、二氧化硫、二氧化氮、甲苯（C ₇ H ₈ ）、臭氧（8h），不小于 20 小时/天，连续检测 7 天。
5# 施工区域边界南侧 10m 处	

表 5.1-2 施工期废水监测项目点位及频次

监测点位	监测项目	监测频次
6#大临办公生活区域沉淀池旁的检查井	pH、悬浮物（SS）、化学需氧量（COD）、五日生化需氧量（BOD ₅ ）、氨氮、石油类、动植物油、磷酸盐	每季度一次，共持续 4 个季度（2020 年 10 月-2021 年 8 月），每天采样 4 次

表 5.1-3 施工期噪声监测点位（2020 年 10 月~2021 年 7 月）

监测点位	监测频次
大临办公生活区（1#）	监测频次为每季度一次，共持续 4 个季度（2020 年 10 月~2021 年 7 月）。施工噪声监测每次于昼、夜间各监测 1 次，每次监测 20 分钟；敏感区噪声每次 24 小时连续监测。
LF1 主体装置厂房（7#）	
放射性废物处理中心南侧（8#）	

5.2 水域施工的环境影响

本项目不涉及水域工程施工活动。本项目建设期间利用现有的取排水工程，因此对所在该区域内水体环境和水资源利用的影响主要来自于施工期取排水活动。

5.2.1 水资源利用

以上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目的用水量为参考，本项目建设期间用水量预计为 28000t/a，其中现场工人生活用水量 20000t/a；生产用水主要为现场结构施工时养护用水及其他冲洗用水，用水量为 8000t/a。本项目所在区域目前有由工业水厂铺设至用地范围内的管径 DN100 的供水管道，可满足本项目建设期间生产用水需求。

在本项目严格执行民勤县最严格水资源管理制度“三条红线”控制指标前提下，本项目建设期间用水不会对周围环境及其他水资源用户产生影响。

5.2.2 建造施工期排水工程对环境的影响

本项目建设期间产生的废水主要包括施工生产废水和施工生活污水，产生量以上海应物所武威园区2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆项目产生的废水量为参考。

1) 施工生产废水

施工期间生产废水主要为混凝土结构养护水及场地冲洗水、车辆及设备洗涤用水，以上海应物所武威园区2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆项目的用水量为参考，施工生产废水产生量约为6000t/a。施工生产废水含有一定量的油污和泥沙，采用临时施工废水沉淀池以去除施工废水的固体污染物，上清液回用，不外排。

2) 施工生活污水

施工期大临生活办公区的卫生间、淋浴等生活污水通过化粪池进行处理后通过管道集中至沉淀池，厨房废水通过隔油池进行过滤处理后通过管道集中至沉淀池，上述施工生活污水通过管线排至园区下游市政污水管网，最终排入红砂岗镇生活污水处理厂，生活污水排放执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级标准，满足红砂岗镇生活污水处理厂进水水质要求。以

上海应物所武威园区2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆项目的用水量为参考，施工人员产生的生活污水排放量为14100t/a。生活污水经红砂岗镇生活污水处理厂处理后回用，不会对水环境产生影响。

5.3 施工影响控制

1) 大气污染的控制

本项目建设期间对大气污染的防治主要是减少扬尘和尾气的释放，相应的防治措施包括：

- 施工区和车辆运输相关道路上散落的灰土应及时清扫，道路路面上经常洒水，保持路面湿润。
- 在连古城国家级自然保护区附近，应使用隔离板使施工区与周围环境隔离。
- 建设过程中使用的建筑材料，在装卸、堆放、拌和过程中会产生扬尘，应加强施工区的规划管理，设置挡板隔离外环境。
- 开挖出的土方应尽可能及时运至填方地段充填，尽量减少土方的堆置时间，弃渣、弃土堆放点应注意防止二次扬尘。
- 渣土临时堆放点应加盖布条进行防护。
- 水泥等粉状建筑材料应妥善保管，不得露天随意存放。
- 加强施工管理，合理调度运输车辆等。
- 加强对施工人员的环保教育，坚持文明施工、科学施工、减少施工期的大气污染。

通过上述措施，确保本项目施工期大气污染物排放满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）要求。

2) 水污染的控制

本项目建设期间对水污染的防治主要是施工生产废水、施工生活污水和雨水径流的防治措施。

- 施工生产废水、施工生活污水及雨水径流的排放遵循清污分流、雨污分流的原则。
- 施工生产废水含有一定量的油污和泥沙，采用临时施工废水沉淀池以去

除施工废水的固体污染物，上清液回用，不外排；施工期大临生活办公区的卫生间、淋浴等生活污水通过化粪池进行处理后通过管道集中至沉淀池；厨房废水通过隔油池进行过滤处理后通过管道集中至沉淀池，通过管线排至园区下游市政污水管网，最终排入红砂岗镇生活污水处理厂，生活污水排放执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B 级标准，满足红砂岗镇生活污水处理厂进水水质要求。

- 各种施工废油、废液集中储积，集中处理，严禁乱流乱淌，污染水源，破坏环境。
- 现场厕所及化粪池采用封闭式设计，并定期冲洗。
- 废弃垃圾中不得含有有毒有害物质，避免雨水冲洗后对施工场地及周边区域造成污染。
- 施工期间，施工物料如水泥、油料、化学品等堆放应严格管理，防止物料随降雨形成的雨水径流在施工场地及周边区域扩散而造成污染。
- 各类施工机械、设备应防止严重漏油，禁止机械在运转中和维修时产生的含油污水未经处理直接排放，应对含油污水进行隔油处理后再行排放。
- 下雨期间施工应保持道路畅通、无积水。雨量大时，没做护坡处理的边坡部分应用彩条布覆盖，防止边坡坍塌及雨水冲刷造成的水土流失。
- 施工场地范围内做好集水、排水工作，不阻塞地面径流自然通道，防止壅水和场地冲刷。

通过上述措施，确保本项目施工期生活污水排放满足《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）要求，生产废水不外排。

3) 生态污染的控制

本项目建设期间的场地开挖、车辆运输等会对陆生生态造成一定的不利影响，建设过程中将通过恢复当地植物、增设水土保持设施等措施减少对陆生生态的影响。

- 应制定详尽的恢复当地植物实施计划，说明栽种位置，种植范围和植物种类等。在恢复当地植物过程中，应尽量保护用地范围外的现有当地植物不受破坏，否则必须在拆除临时工程时等量予以恢复。施工中修建的临时设施，必须在本项目交验后规定时间内予以拆除，尽可能恢复原有

地形地貌。

- 对于距离场址最近的 NNE 方位约 3km 的连古城国家级自然保护区缓冲区，以及距离场址最近的 NNE 方位约 6.5km 的保护区核心区，本项目建设期间将做好建筑材料堆放等场所的面源排放控制，严格控制施工界面和施工范围，尽可能减少当地地表植物和地表结构的扰动，加强管理等，以此避免对连古城国家级自然保护区产生影响。
- 加强针对施工人员的日常管理工作，禁止施工人员采集野生植物，追逐和捕捉野生动物、进行狩猎活动等。施工人员在施工中如遇到鸟类的幼鸟、鸟卵、幼兽，尤其是濒危物种，应妥善保护并及时送交有关部门，不得擅自处理。
- 在本项目开展施工作业前组织全体施工人员认真学习自然保护区内与环境保护、水土保持等有关法律、法规，增强施工人员的环保观念，提高文明施工意识。

通过上述措施，确保本项目施工不造成生态环境影响。

4) 噪声污染的控制

本项目建设期间可以通过以下措施来降低噪声水平或减少噪声对敏感点的影响：

- 使用低噪声的施工设备。
- 合理安排施工进度，施工期间加强对高噪声设备的管理，避免同时使用多个高噪声设备。
- 车辆的运输作业应尽量避免安排在夜间进行，运输路线应尽量避免避开连古城国家级自然保护区等环境敏感点。
- 尽可能减少夜间施工作业活动，禁止夜间开展高噪声施工作业。
- 关注连古城国家级自然保护区等噪声敏感点，采用距离衰减的方式，必要时建立隔声屏障以降低施工噪声对周围公众及保护区内野生动物的影响。
- 对建设期间产生噪声大的设备要进行适当降噪措施，如对大功率机泵加隔声罩，进行隔声处理；对打桩机、混凝土搅拌机和振捣棒等进行基础减振、吸声等综合治理。

- 施工期加强昼/夜间噪声影响监测。

通过上述措施，确保本项目施工期噪声满足《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）要求。

5) 固体废弃物的控制

本项目建设期间将产生工业固体废物及施工人员生活垃圾，如果不合理处置将对环境造成破坏，对上述固体废弃物的控制措施主要包括：

- 对建设期间产生的弃渣弃土进行分类，能回收利用的尽量回用于陆域回填，达到建筑固废的减量化；不能回收利用的则及时清运至合适地点实施回填或进行临时堆存，不得长期堆积或随意丢弃。
- 在施工场地和施工人员临时生活区指定地点设置垃圾桶和垃圾箱，禁止随意丢弃，定时清运，并运输当地垃圾处理场进行统一处理。
- 设置专门的贮存设施（如危险品库、危险废物库等）贮存剩余燃料、润滑剂、含油废物及其他化学废物等废弃物质。

通过上述措施，确保本项目施工期固废处置满足《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020）、《甘肃省固体废物污染环境防治条例》（2021）、《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）等要求以及本项目所在地弃渣弃土、建筑固废、生活垃圾处置相关规定。

6) 水土流失的控制

本项目建设期间对水土流失的控制措施主要包括：

- 严格遵守水土保持法律、法规和合同规定，做好施工活动范围内的水土保持工作，避免由于施工造成的水土流失。依照国家、地方和业主有关规定制定切实可行的措施和管理制度，做好水土保持实施、监督、管理工作。
- 严格执行“三同时”制度。施工期的水土保持设施与主体工程同时设计、同时施工、同时竣工验收和投产使用。各生产部门在布置生产的同时，按“三同时”的要求，同时布置水土保持工作。
- 自觉接受建设单位、监理单位和当地相关管理部门对水土保持的监督、指导和管理，积极改进施工过程中存在的问题，提高水土保持水平。
- 弃渣、弃土堆放点的选择必须征得当地管理部门的认可。堆放点应保持

弃渣、弃土堆放整齐有序，并进行稳固压实，采取有效的防护措施，避免造成水土流失。

- 弃渣、弃土应征得当地管理部门和土地使用者的同意后，才可拉运出作业带或堆放在作业带之外的表层土上。
- 施工现场生产、生活房屋的修建，料具、石料堆放和材料加工场等一切临时生产、生活设施的布置，做到分布合理，整洁有序，满足有关标准的要求，避免因临时工程修建的随意性而多占土地，破坏其水土保持功能。

通过上述措施，确保本项目施工期水土流失不造成生态环境影响。

5.4 施工期环境监测

本项目开工建设后将开展施工期环境监测，监测计划见表 5.4-1，具体如下：

（1）大气环境

以《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）与《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单（生态环境部公告 2018 年第 29 号）为执行标准和评价依据。依据本项目施工活动、所在地的气象条件以及施工区域北部临近自然保护区缓冲区，除了本项目所在上海应物所武威园区四周边界布设大气环境监测点外，建议在靠近自然保护区边界处布设 1 个监测点，园区边界外上风向处布设 1 个监测点，进行施工期大气环境监测。

监测因子：

SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}、CO、TSP、O₃、VOCs 共 8 项。

监测频率：

日均值：PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂ 每天 20 小时连续采样，共监测 7 天；

小时值：SO₂、NO₂、CO、TSP、O₃、VOCs 每天监测 4 个小时浓度值（具体时段为 2:00 时、8:00 时、14:00 时、20:00 时），采样时间不小于 45min，共监测 7 天。监测频次为每季度一次。

（2）地表水环境

经调查，场址半径 30km 范围内未发现地表水系，因此不开展地表水环境监测。

（3）噪声

建筑施工噪声监测按照《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）的相关要求进行。一天内监测 2 次，昼夜间各一次，监测频次为每季度一次。监测因子包括等效 A 声级 $L_{eq}(A)$ 、 L_N （ L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} ）和最大声级 L_{max} 等指标。在本项目所在上海应物所武威园区四周边界和靠近自然保护区一侧设置监测点。

（4）施工生活污水

施工期生产废水不外排，对施工生活污水进行定期监测，监测项目包括 pH 值、化学需氧量、五日生化需氧量、悬浮物、氨氮、石油类、动植物油、磷酸盐，1 季度开展 1 次监测工作，监测点位设置在生活污水接入园区市政污水管网处。

表 5.4-1 施工期环境监测计划

序号	监测内容	监测因子	监测频次	监测点位
1	施工废气、扬尘	SO ₂ 、NO ₂ 、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、CO、TSP、O ₃ 、VOCs	每季度一次，每次 7 天，根据现场施工活动及其对环境影响的程度做灵活安排。	本项目所在上海应物所武威园区四周边界处、北侧自然保护区边界处、园区边界外上风向处各设置 1 处监测点。
2	施工噪声	L _{eq} (A)、L _N (L ₁₀ 、L ₅₀ 、L ₉₀)、L _{max}	每季一次，一天内监测 2 次，昼夜间各一次。	本项目所在上海应物所武威园区四周边界处、北侧自然保护区边界处。
3	施工生活污水	pH 值、化学需氧量、五日生化需氧量、悬浮物、氨氮、石油类、动植物油、磷酸盐	每季一次。	施工生活污水接入园区污水管网处。

第六章 运行期环境影响预测与评价

6.1 辐射环境影响

6.1.1 流出物排放源项

本项目产生的气态流出物经放射性废气系统处理后分别从研究堆主体建筑、钍基燃料盐研究中心、放射性废物整备中心和放射性废物处理中心顶部的烟囱排放，其中以研究堆主体建筑排放的气态流出物排放量占主导。

根据第四章第4.5.2.2节的描述，本项目产生的高放废液暂存在钍基燃料盐研究中心内热室的暂存阱内；中放废液收集到一定量后通过屏蔽运输容器转运至放射性废物处理中心，进行桶内干燥处理；低放废液在研究堆主体建筑、钍基燃料盐研究中心和放射性废物整备中心集中收集后通过特排管网转运至放射性废物处理中心，经处理和检测放射性活度浓度满足排放要求后进行空气载带排放；少量的有机废液收集后利用转运车转运至放射性废物处理中心内暂存，再转运至放射性废物整备中心超临界水氧化处理，经处理和放射性检测满足排放要求后进行空气载带排放；含氚废液收集暂存在研究堆主体建筑内；洗涤废液通过经特排管道输送至放射性废物整备中心，经处理和放射性检测满足排放要求后进行空气载带排放。

研究堆主体建筑、钍基燃料盐研究中心、放射性废物整备中心和放射性废物处理中心顶部的烟囱相关参数见表6.1-1。

本报告估算环境介质中的放射性核素浓度、公众最大个人剂量、关键人群组、关键核素、关键照射途径和非人类生物的辐射剂量时，采用本项目流出物排放设计值。

6.1.2 照射途径

6.1.2.1 气态途径

本项目正常运行过程中主要为气态流出物通过气态途径对公众产生辐射影响。场址半径 10km 范围内没有农业种植和畜牧业，场址附近工业园区人员的食物均来自外购，本项目所在红砂岗镇以经济作物种植为主，无粮食、蔬菜类等农业种植，主要食物均外购自周边大型乡镇（昌宁镇、大坝镇和薛百镇）或民勤县城（民勤县城的城区范围以及薛百镇镇区与本项目距离超过 50km，昌宁镇镇区

距本项目约 39km，大坝镇镇区距本项目约 50km，均位于场址半径 20km 范围外）。因此辐射影响评价不考虑食入内照射剂量。本项目在正常运行工况下，通过气态途径释放到大气中的流出物在大气弥散过程中对公众造成辐射照射的途径如图 6.1-1 所示。在估算对周围公众造成的辐射剂量时考虑了如下的照射途径：

1) 气态流出物排放至大气中后，人员吸入含放射性核素的空气造成的内照射。

2) 气态流出物排放至大气中后，人员浸没于含放射性核素的空气中受到的烟云淹没外照射。

3) 气态流出物排放至大气中后，放射性核素由于干、湿沉降导致地面沉积，人员在该区域内活动受到的地面沉积外照射。

6.1.2.2 液态途径

根据第四章第 4.5.2.2 节的描述，本项目产生的高放废液暂存在钍基燃料盐研究中心内热室的暂存阱内；中放废液收集到一定量后通过屏蔽运输容器转运至放射性废物处理中心，进行桶内干燥处理；低放废液在研究堆主体建筑、钍基燃料盐研究中心和放射性废物整备中心集中收集后通过特排管网转运至放射性废物处理中心，经处理和检测放射性活度浓度满足排放标准后进行空气载带排放；少量的有机废液收集后利用转运车转运至放射性废物处理中心内暂存，再转运至放射性废物整备中心超临界水氧化处理，经处理和放射性检测满足要求后进行空气载带排放；含氟废液收集暂存在研究堆主体建筑内；洗涤废液通过经特排管道输送至放射性废物整备中心，经处理和放射性检测满足要求后进行空气载带排放。

此外，经调查，场址半径 15km 范围内无地表水系分布，即无接纳地表水体。因此本项目正常运行期间不会通过液态途径产生环境影响。

6.1.3 计算模式与参数

本项目正常运行过程中主要为气态流出物通过气态途径对公众产生辐射影响，无液态途径影响。

6.1.3.1 大气弥散估算

本项目运行期间产生的放射性物质通过气态途径对公众所致剂量的计算采用《核电厂运行状态下气载放射性流出物辐射环境影响评价技术规范》（NB/T20181-2012）推荐的计算模式，计算模式、主要输入参数和计算结果见下

面的描述。

1) 烟云抬升

计算中考虑了动力抬升，对于高架排放，根据下式确定有效烟囱高度：

$$H_e = H_s + \Delta H \quad (6.1-1)$$

式中：

H_e ：有效烟羽高度，m。

H_s ：烟囱高度，m。

ΔH ：烟羽抬升高度，m。

对于中性和不稳定条件，分别由下面两式计算 ΔH 值，取其最小值为抬升值：

$$\Delta H = 1.44D \left(\frac{W_0}{u} \right)^{2/3} \left(\frac{\chi}{D} \right)^{1/3} - C \quad (6.1-2)$$

$$\Delta H = 3 \frac{W_0}{u} D \quad (6.1-3)$$

式中：

W_0 ：烟气出口处烟气流速，m/s。

D ：烟囱出口处内径，m。

χ ：下风向距离，m。

u ：烟囱顶部处的风速，m/s。

C ： $W_0 < 1.5u$ 时的下洗校正因子（ $W_0 \geq 1.5u$ ，不作下洗校正，取 $C=0$ ）， $C = 3 \left(1.5 - \frac{W_0}{u} \right) D_0$ 。

对于稳定条件，比较由式（6.1-2）和下述两式计算的 ΔH 值，取它们中的最小值为抬升值：

$$\Delta H = 4 \left(\frac{F_m}{S} \right)^{1/4} \quad (6.1-4)$$

$$\Delta H = 1.5S^{-1/6} \left(\frac{F_m}{S} \right)^{1/3} \quad (6.1-5)$$

式中：

F_m ：动量通量参数，其值为 $F_m = W_0^2 \left(\frac{D}{2} \right)^2$ 。

s ：稳定度参数。其值为 $S = \begin{cases} 8.7 \times 10^{-4} & \text{— 对 E 类天气} \\ 1.75 \times 10^{-3} & \text{— 对 F 类天气} \end{cases}$ 。

2) 烟云的扩散

程序计算高架和地面连续排放导致的浓度，如果是混合排放，需要同时计算高架和地面排放，计算结果根据排放类型发生的时间分配比相加。

地面释放条件下大气弥散因子基本公式由下式给出：

$$(\chi/Q)_G = \frac{2.032}{X \cdot U_G \cdot \sum_z} \cdot f_{Gd} \cdot f_{Gw} \cdot f_{GR} \quad (6.1-6)$$

式中：

$(\chi/Q)_G$ ：地面释放条件下的大气弥散因子， s/m^3 。

X ：计算点与释放点之间的距离， m 。

U_G ：地面 10m 高度风速， m/s 。

\sum_z ：经建筑物尾流校正后的垂直扩散参数， m 。

f_{Gd} ：地面释放条件下干沉降引起的烟羽耗减校正因子，无量纲。

f_{Gw} ：地面释放条件下湿沉降引起的烟羽耗减校正因子，无量纲。

f_{GR} ：地面释放条件下核素衰变引起的烟羽耗减校正因子，无量纲。

地面释放条件下，应考虑建筑物的下风向尾流效应对各类大气稳定度下的垂直扩散参数进行修正，修正方法由下式给出：

$$\sum_z = \min \left(\left(\sigma_z^2 + \frac{0.5}{\pi} D_z^2 \right)^{0.5}, \sqrt{3} \sigma_z \right) \quad (6.1-7)$$

式中：

D_z ：邻近建筑物的高度， m 。

σ_z ：场址垂直扩散参数， m 。

高架释放应考虑混合层的反射作用，根据 $H_e + 2.15 \sigma_z(x) = H_m$ 确定混合层对烟羽影响的起始距离 X_b ，并根据计算点 X 与 X_b 的距离关系，按以下计算模型确定高架释放条件下的大气弥散因子：

当 $X < X_b$ 时，假定混合层对烟羽扩散没有影响，大气弥散因子由下式给出：

$$(\chi/Q)_H = \frac{2.032}{X \cdot U_H \cdot \sigma_z} \cdot f_{Hd} \cdot f_{Hw} \cdot f_{HR} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H_e}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (6.1-8)$$

当 $X_b \leq X < 2X_b$ 时，假定烟羽在地面与混合层之间进行多次反射，大气弥散因

子由下式给出：

$$(x/Q)_H = \frac{2.032}{X \cdot U_H \sigma_Z} \cdot f_{Hd} \cdot f_{Hw} \cdot f_{HR} \cdot \sum_{n=-2}^2 \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{2nH_m - H_e}{\sigma_Z} \right)^2 \right] \quad (6.1-9)$$

当 $X \geq 2X_b$ 时，假定烟羽在地面与混合层之间已均匀混合，大气弥散因子由下式给出：

$$(x/Q)_H = \frac{2.032}{\sqrt{2/\pi} \cdot X \cdot U_H \cdot H_m} \cdot f_{Hd} \cdot f_{Hw} \cdot f_{HR} \quad (6.1-10)$$

式中：

$(x/Q)_H$ ：高架释放条件下的大气弥散因子， s/m^3 。

U_H ：烟羽有效高度处的风速， m/s 。

f_{Hd} ：高架释放条件下干沉降引起的烟羽耗减校正因子，无量纲。

f_{Hw} ：高架释放条件下湿沉降引起的烟羽耗减校正因子，无量纲。

f_{HR} ：高架释放条件下核素衰变引起的烟羽耗减校正因子，无量纲。

其中：

$$U_H = U_{10} \cdot \left(\frac{H_g}{10} \right)^m \quad (6.1-11)$$

U_{10} ：为 10m 高度的风速， m/s 。

H_g ：烟囱几何释放高度， m 。

m ：风廓线指数，无量纲。

3) 沉积

● 干沉积

干沉积地面放射性物质的干沉积速率可以用下式表示：

$$A_p = V_d \chi \quad (6.1-12)$$

式中

A_p ：干沉积速率， $(Bq/s)/m^2$ 。

χ ：地面空气浓度， Bq/m^3 。

V_d ：沉积速度， m/s ，对于碘取 $0.01m/s$ ，对于其他粒子取 $0.001m/s$ 。

● 湿沉积

引入湿沉积校正因子 F_w ，来修正在实际降雨期间湿沉积造成烟羽浓度的损

耗，即：

$$\dot{\chi} = \chi F_W \quad (6.1-13)$$

$$F_W = \exp\left(-\Lambda \frac{\chi}{u}\right) \quad (6.1-14)$$

式中：

χ , $\dot{\chi}$: 校正前后的浓度。

Λ : 冲洗系数, 1/s。通常假定 Λ 近似于降雨率 I (mm/h) 成正比: $\Lambda = \alpha I$ 。

4) 高、低架排放的时间分配

当烟囱高度高于邻近建筑物, 且低于其 2.5 倍时, 视为混合排放, 即部分时间为高架排放, 部分时间为地面源排放, 两者的分配由计算值 E_t 决定。

按如下关系式确定烟羽高架排放和地面排放的份额:

$$\begin{aligned} E_t &= 1.0 && \text{当 } W_0 / \bar{u} \leq 1.0 \\ E_t &= 2.58 - 1.58(W_0 / \bar{u}) && \text{当 } 1.0 < W_0 / \bar{u} \leq 1.5 \\ E_t &= 0.3 - 0.06(W_0 / \bar{u}) && \text{当 } 1.5 < W_0 / \bar{u} \leq 5.0 \\ E_t &= 0.0 && \text{当 } W_0 / \bar{u} \geq 5.0 \end{aligned} \quad (6.1-15)$$

式中：

E_t : 排放为地面的时间份额。

W_0 : 烟羽排出速度, m/s。

\bar{u} : 出口处平均风速, m/s。

计算年均长期大气弥散因子值时:

1) 气象观测数据采用 TMSR-LF1 气象站 2024 年 1 月至 2024 年 12 月 10m 高度气象观测数据 (三维联合频率和混合层高度见第 2 章 2.4.4 节和 2.4.5 节), TMSR-LF1 气象站位于场址内东北角。

2) 大气扩散参数采用《核电厂厂址选择的大气弥散问题》(HAD101/02) 中推荐的 P-G 扩散参数, 根据《空气污染气象学教程》(蒋维楣等编著) 中给出的 P-G 扩散参数进行拟合, 得到的横向及垂直扩散参数幂函数表达式系数值, 详见第 2 章 2.4.5 节, 拟合时不考虑距离分段。本项目所在区域位于西北地区, 地形

平坦，符合 P-G 扩散参数的适用条件。

6.1.3.2 内、外照射估算

本项目在正常运行时，按照图 6.1-1 所示照射途径计算气态流出物通过气态途径释放对人的受照剂量。

气态流出物对居民所致的剂量计算模式描述如下：

1) 空气浸没外照射剂量

$$D_{Bi} = 3.15 \times 10^7 S_F \dot{Q} \left(\frac{\bar{x}}{\dot{Q}} \right)_i g_B \quad (6.1-16)$$

式中：

D_{Bi} ：对应风向的下风向扇形的年有效剂量，Sv/a。

S_F ：建筑物屏蔽产生的剂量减弱因子，根据文献的推荐，对于个人，取 $S_F=0.7$ ，对于群体，取 $S_F=0.5$ 。

g_B ：烟云浸没外照射剂量转换因子，(Sv/s) / (Bq/m³)。

\dot{Q} ：释放源项，Bq/a。

$(\bar{x}/\dot{Q})_i$ ：大气弥散因子，s/m³。

2) 地面沉积外照射剂量

$$D_{Bi}^G = 3.15 \times 10^7 S_F C_i^G g_B^G \quad (6.1-17)$$

式中：

D_{Bi}^G ：沉积外照射的年有效剂量，Sv/a。

g_B^G ：污染地表面上的外照射剂量转换因子，(Sv/s) / (Bq/m²)。

C_i^G ：i方向下风向扇形内地表面的放射性核素浓度，Bq/m²。 C_i^G 由下式计算：

$$C_j^G = \frac{3.15 \times 10^7 (\bar{W}_{Di} + \bar{W}_{wi})}{\lambda_e^s} (1 - e^{-\lambda_e^s t_b}) \quad (6.1-18)$$

式中：

\bar{W}_{Di} ， \bar{W}_{wi} ：分别为i风向下风向的年平均干沉积因子和湿沉积因子，1/m²。

t_b ：放射性核素在地面的累积时间（近似取核设施开始气态流出物释放至待计算年份的时间），1/a。

λ_e^s ：放射性核素由地表清除的有效速率常数，1/a。 $\lambda_e^s = \lambda + \lambda_s$ ， λ 为物理衰变参数， λ_s 为除衰变外其他清除过程的速率常数。

$$\lambda_s = \begin{cases} 1 \times 10^{-1} a^{-1} & (\text{对于碘}) \\ 1 \times 10^{-2} a^{-1} & (\text{对于其他粒子}) \end{cases}$$

3) 吸入内照射剂量

$$D_{Ai}^a = R_a \dot{Q} \left(\frac{\bar{x}}{\bar{Q}} \right)_i g_{Aa} \quad (6.1-19)$$

式中,

D_{Ai}^a : i风向下风向扇形内a年龄组个人的年吸入生产的待积有效剂量当量或器官的剂量当量, Sv/a。

R_a : a年龄组个人的年空气摄入量, $1/(\text{m}^3 \text{ a})$ 。

计算气态流出物所致最大个人有效剂量及集体剂量时:

1) 气态流出物源项见第4章4.5节。

2) 气态途径剂量计算采用的剂量转换因子引用自《反应堆流出物排放所致公众剂量的估算方法》(GB/T42144-2022)、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)、国际原子能机构(IAEA)第19号安全报告、美国联邦导则12号报告《空气、水和土壤中核素导致的外照射》、美国联邦导则15号报告《空气、水和土壤中核素导致的外照射》、《放射性同位素手册》(马崇智等编著)。

3) 模式中部分参数引用自《中国核工业三十年辐射环境质量评价文集》,综合了国外参考文献并根据国内情况对部分参数进行了修正。

4) 场址半径20km范围内居民点分布见第2章2.2节,场址半径20km范围内工业企业人口分布见第2章2.3节。

6.1.4 大气弥散和水体稀释

本项目正常运行过程中主要为气态流出物通过气态途径对公众产生辐射影响,无液态途径影响。

6.1.5 环境介质中的放射性核素浓度

半径20km范围内各子区代表性放射性核素 ^{85}Kr 、 ^{133}Xe 、 ^{137}Cs 、 ^3H 和 ^{14}C 混合释放情况下空气中的平均活度浓度最大值出现在W方位0~1km处。

6.1.6 公众剂量

本项目所在上海应物所武威园区所有核设施向环境释放的放射性物质对周边工业企业人员中任何个人造成的有效剂量占本项目和 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）项目剂量约束值之和 0.2mSv/a 的 29.9%，满足要求。

6.1.7 非人类物种的辐射剂量

本项目正常运行对非人类物种的影响评价采用欧共体非人类生物辐射评价模式，该模式采用了危害商的定义，危害商的定义是剂量估算值与参考值的比值，具体公式如下：

$$RQ = \frac{\text{预测的生物剂量率}}{\text{认定安全的剂量率基准值}} \quad (6.1-20)$$

由上述公式可知，如果危害商小于1，说明不可能对环境产生危害。

欧共体非人类生物辐射评价模式由三级筛选组成：一级筛选中只需输入要评价的生态系统、选择核素、输入核素在介质中的活度浓度，导出危害商，若危害商大于1则进入二级筛选；二级筛选在一级筛选的基础上增加了生物种类的选择，同时程序还允许用户进行核素参数设置（包括分布系数、生物参数设置等）；三级筛选的特点是用户在进行核素参数设置时，不但可以输入或采用程序提供的默认值，也可以根据选择的分布类型计算其分布值（可选择7种，包括指数分布、正态分布、三角分布、均匀分布、对数正态分布、对数三角分布、对数均匀分布）。

采用欧共体非人类生物辐射评价模式对本项目所在场址陆生生物的辐射剂量进行了计算。本次计算采用二级筛选模式，模式中陆生生物辐射剂量计算模式和参数如下所述：

1) 浓度平衡比

$$CR = \frac{\text{放射性核素在生物体中的浓度} (Bq/kg \text{干重})}{\text{放射性核素在介质中的浓度} (Bq/kg \text{或} Bq/m^3)} \quad (6.1-21)$$

2) 剂量转换因子

单能源的剂量转换因子：

（1）内照射剂量转换因子

$$DCC_{int} = 5.77 \times 10^{-4} \times E \times \Phi_E \quad (6.1-22)$$

(2) 外照射剂量转换因子

$$DCC_{ext} = 5.77 \times 10^{-4} \times E \times (1 - \Phi_E) \quad (6.1-23)$$

式中：

DCC—剂量转换因子（ $\mu\text{Gy h}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$ ）。

E—单能源的能量（MeV）。

Φ_E —特定能量的吸收系数。

5.77×10^{-4} —转换因子。

多能源的剂量转换因子：

$$DCC_{int} = wf_{low\beta} \times DCC_{int, low\beta} + wf_{\beta+\gamma} \times DCC_{int, \beta+\gamma} + wf_{\alpha} \times DCC_{int, \alpha} \quad (6.1-24)$$

$$DCC_{ext} = wf_{low\beta} \times DCC_{ext, low\beta} + wf_{\beta+\gamma} \times DCC_{ext, \beta+\gamma} \quad (6.1-25)$$

式中：

wf—各能源的权重因子（ β ， $\beta+\gamma$ 和 α ）。

3) 陆生生物辐射剂量

内照射剂量率：

$$D_{int}^b = \sum_i C_i^b \times DCC_{int,i}^b \quad (6.1-26)$$

式中：

D_{int}^b —生物体b的内照射吸收剂量率。

C_i^b —核素i在生物体b内的平均浓度（Bq/kg干重）。

$DCC_{int,i}^b$ —内照射剂量转换因子。

外照射剂量率：

$$D_{ext}^b = \sum_z V_z \sum_i C_{zi}^{ref} \times DCC_{ext,Zi}^b \quad (6.1-27)$$

式中：

V_z —居留因子，即生物体b在介质Z所停留时间的份额。

C_{zi}^{ref} —核素i在介质Z中的平均浓度（Bq/kg干重或Bq/L）。

$DCC_{ext,Zi}^b$ —外照射剂量转换因子。

总照射剂量：

$$D = D_{\text{int}} + D_{\text{ext}} \quad (6.1-28)$$

本次评价保守的采用欧共体非人类生物辐射评价模式中默认的剂量率基准值：10 μ Gy/h。

本项目所在上海应物所武威园区所有核设施正常运行对陆生生物造成的危害商最大值小于1，不会对场址周边陆生生物产生影响。

本项目场址半径15km范围内涉及1处自然保护区，为民勤连古城国家级自然保护区。本项目为I类研究堆，该研究堆正常运行期间向外排放的气态流出物带来的辐射影响有限，且不向外排放液态放射性物质；同时该实验堆具有固有安全特性。本项目距离民勤连古城国家级自然保护区核心区最近距离为6.5km，距离缓冲区最近距离为3km。该距离远大于本项目至场址边界处距离，因此不会对自然保护区陆生生物产生影响。

6.1.8 辐射影响评价

1) 流出物排放对公众辐射影响

《环境影响评价技术导则 研究堆》(HJ5.1-2025)规定：场址内所有核设施及活动向环境释放的放射性核素对公众中任何个人造成的有效剂量，每年不得超过 0.25mSv。

本项目所在上海应物所武威园区所有核设施向环境释放的放射性物质对周边工业企业人员中任何个人造成的有效剂量占本项目和 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆 (TMSR-LF1) 项目剂量约束值之和 0.2mSv/a 的 29.9%，满足要求。

2) 流出物排放对非人类物种辐射影响

采用本项目流出物排放设计值进行非人类生物的辐射剂量评估，本项目正常运行时，以及本项目与已投运的 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆 (TMSR-LF1) 项目正常运行期间气态流出物排放对陆生生物造成的危害商小于 1 (即辐射剂量率小于辐射剂量率基准值 10 μ Gy/h)，气态流出物排放不会对陆生生物产生影响。

表6.1-1 气态流出物排放烟囱参数

排放位置	放射性排风量 (m ³ /h)	烟囱高度 (m)	烟囱尺寸 (m)
研究堆主体建筑	240000	28.7	3
钍基燃料盐研究中心	186000	24.5	2.5
放射性废物整备中心	30000	23.3	1
放射性废物处理中心	27500	20	1.2*0.9

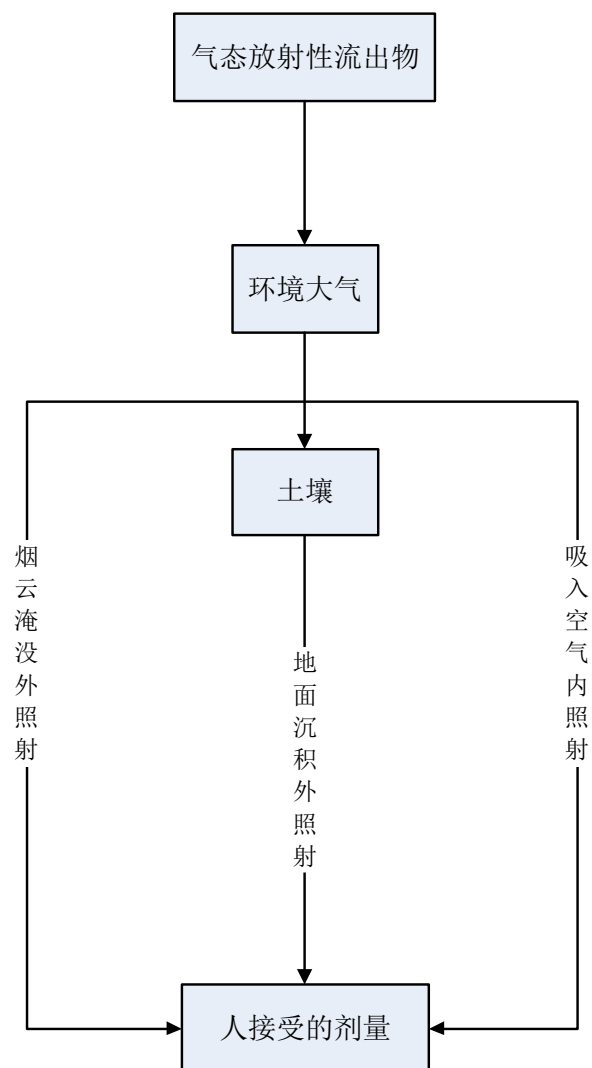


图6.1-1 正常运行气态流出物对人体的照射途径

6.2 散热系统的环境影响

6.2.1 散热系统冷却方式

散热系统采用直接空冷的冷却方式，散热系统的排热量为20MWt，直接空冷换热器的冷却管束采用钢管铝翅片结构，风机采用低噪音轴流式风机，每台风机采用变频控制。散热系统的运行模式是自适应调节，通过智能控制风机集群，应对环境温度与机组负荷的双重变化。

6.2.2 散热系统的物理影响和生物影响

散热系统工作原理基于空气与热流体的间接对流换热。其运行流程为：来自发电系统的废热流体，通过管道引至直接空冷换热器，分配到各散热管束中。风机驱动的大量冷空气与管束内的热二氧化碳进行对流换热，空气被加热后上升排入环境，热二氧化碳则被降温至所需状态后返回系统，从而完成一个循环。

散热系统会产生局部热效应，由于本项目反应堆功率仅为 30MWt，其通过散热系统排放的热量远低于百万千瓦的核电厂或火电厂，因此可以认为其对环境影响较小。为减轻热效应影响，拟通过合理设计系统高度与间距，优化进排气通道等针对性措施，有效避免热风再循环。

散热系统的噪声影响见本报告第六章6.3.4节。

6.3 非放射性环境影响

6.3.1 废水排放的环境影响

1) 化学废液

本项目运行期产生的非放化学废液来自钍基燃料盐研究中心的放化实验室，主要是分析试剂溶液，成分为0.001~1%金属氟化物，年产生量约为0.1m³/a。化学废液不排放，先暂存于放化实验室，经统一收集暂存至化学仓库（05子项）危险废物库区域（位于化学仓库西半侧），待达到一定数量后，由具有危险废物运输资质的公司进行转运、处理。

2) 污废水

本项目运行期产生的污废水主要来源于人员综合办公、食堂等，卫生间等生活污水通过化粪池进行处理后通过管道集中至沉淀池，厨房废水通过隔油池进行

过滤处理后通过管道集中至沉淀池。

本项目污废水排水量按 $249.8\text{m}^3/\text{d}$ 计，重力流排出，接入园区生活污水管网，最终排入红砂岗镇生活污水处理厂。污废水排放执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级标准，满足红砂岗镇生活污水处理厂进水水质要求。

6.3.2 废气排放的环境影响

本项目运行期间产生的非放废气来源为钍基燃料盐研究中心的放化实验室，其主要化学成分为 Ar_2 、 N_2 、 H_2 （ $<10\%$ ）、HF和微量熔盐颗粒。每年产生量约 200m^3 。工艺尾气经过除尘系统去除微量熔盐颗粒，通过多重碱液处理吸收HF， H_2 经稀释到1%以下，处理工艺去除效率达到99%，通过钍基燃料盐研究中心为放化实验室设置的烟囱排放。

本项目的非放废气排放不会对当地的大气环境产生不良影响。

6.3.3 固体废物的环境影响

1) 一般工业固体废物

本项目运行期间产生一般工业固体废物，其年产生量约 1000kg 。

一般工业固体废物按照工业垃圾固体废物进行处置，按规定在民勤红沙岗能源化工工业集中区管理委员会应急和生态环境部工作人员见证下，运送至民勤红沙岗能源化工工业集中区一般工业固体废弃物填埋场处置。红沙岗工业集聚区一般工业固体废弃物填埋场位于民红路以南，规划库容 20万m^3 ，目前 10万m^3 的填埋场已建设完成并投入使用。

2) 化学固废

本项目运行期间产生的化学固废主要为分析固废和化学实验固废，包括固体熔盐和含盐材料（坩埚、手套、滴管、容器和个人防护用品等），年产量 160kg/a 。主要来自钍基燃料盐研究系统的放化实验室，固废产生后先暂存于钍基燃料盐研究系统，经统一收集后暂存至化学仓库（05子项）危险废物库区域（位于化学仓库西半侧），达到一定数量后，由具有危险废物运输资质的公司进行转运、处理。

3) 含油废物

本项目运行期间产生的含油废物主要来源于柴发机房、应急指挥中心、消防

水泵房中存储的燃油泄漏，以及发电机房内油站、油浸式变压器事故排油及消防含油废水。其中，含油废水排至室外含油废水储存池，并根据储水池的储水情况不定期地进行清理及外运处置；其余含油废物按危险废物处置，由具有危险废物运输资质的公司进行转运、处理。

4) 生活垃圾

本项目科研人员和其他工作人员产生的生活垃圾按规定在园区设置垃圾收集暂存箱，并委托红砂岗镇环卫部门定期外运处理。

6.3.4 噪声的环境影响

本项目位于民勤红沙岗能源化工工业集中区。民勤红沙岗能源化工工业集中区声环境执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的3类标准：昼间65dB(A)、夜间55dB(A)，因此本项目所在民勤红沙岗能源化工工业集中区属于3类声环境功能区，本项目所在上海应物所武威园区边界执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的3类标准：昼间65dB(A)、夜间55dB(A)。

本项目运行期间产生噪声的设备主要为设置在研究堆主体建筑、钍基燃料盐研究中心以及放射性废物整备中心内部的空调机组和各类排风机以及散热系统。

本项目空调机组和各类排风机等设备均为标准设备，设备选型设计中优先选用标准系列产品中的节能、高效、低噪声的设备，并采取必要的减震和消声措施，从声源上进行控制，同时建筑方面采用减震基础、隔间封闭并进行隔音处理等措施，进行降噪处理，将厂房内部噪声控制在职业安全与卫生相关标准规范的规定水平。

本项目的噪声影响主要以研究堆主体建筑内的风机产生的噪声影响为主，针对风机的噪声影响进行预测及评价。

考虑到风机尺寸远小于风机距离本项目场址边界距离，因此可视风机为点源，采用点声源几何发散衰减公式，计算得到 $L(r)=53.9\text{dB(A)}$ 。保守将3个风机在场址边界处噪声叠加，取 59.9dB(A) 。

对上述预测结果加以考虑风机通风口消声降噪措施（保守不考虑厂房墙体隔声降噪，通风口消声降噪可达 10dB(A) 以上），则场址边界处的实际噪声水平低于 50dB(A) ，满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类标准的噪声限值要求；在叠加环境现状噪声（见本报告第3章3.3节）和2MWt液态燃料

钍基熔盐实验堆项目对厂界噪声的贡献值（引用《2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆环境影响报告书（运行阶段）》C版6.2.4节，对北侧厂界贡献值为41.1dB(A)，对西厂界、东厂界和南厂界的贡献值分别是24.7dB(A)、24.2dB(A)和17.1dB(A)。）后本项目所在民勤红沙岗能源化工工业集中区的声环境亦满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）3类标准的噪声限值要求。

本项目散热系统采用空冷方式，现阶段正在开展设计。散热系统在设计过程中应采取低噪音风机、设置声屏障等针对性措施，对厂址边界处的噪声贡献值应低于 50dB(A)，与本项目空调机组和各类排风机等设备对厂址边界处的贡献值以及 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目对厂址边界处的噪声贡献值叠加后符合《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）。

经分析可见，本项目主要系统及设备对本项目周边环境的噪声影响较小，本项目场址边界满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类标准的噪声限值要求，同时本项目所在民勤红沙岗能源化工工业集中区的声环境亦满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）3类标准的噪声限值要求。本项目处于民勤红沙岗能源化工工业集中区内，周边的企业人数较少，预计本项目正常运行期间产生的噪声不会对当地生产生活造成干扰。

6.4 初步退役计划

随着本项目研究堆及配套设施运行时间的增长，设备会出现老化现象，当其完成相应的科研任务后，最终将中止使用，并实施退役。对核设施来说，退役是继选址、建造和运行之后的最后一个阶段，包括源项调查、去污、厂内设备和系统的拆除、建筑物和结构的拆毁及对产生的废物进行处理、整备、处置等操作的过程。上述活动均要考虑操作人员和普通公众的健康和安全要求，也要考虑对环境产生的任何影响。越来越多的反应堆退役研究和经验表明，必须在设计、建造和运行阶段就对研究堆及配套设施的退役进行充分考虑。选择合适的退役策略，尽可能在厂址选择、总图布置、材料选择、系统设计、建（构）筑物设计及设备布置等方面考虑退役因素，可以有效减少退役期间工作人员和公众的受照剂量，将退役对环境的影响和废物产生量降至可合理达到尽量低的水平，尽可能降低将来退役施工的难度和费用。

本节主要对本项目将来退役时的退役目标、退役策略、退役技术研究、废物管理措施、退役经费安排、知识管理、记录保存等提出了考虑和设想，辐射环境水平现状调查见本报告第3章3.1节描述。

1) 退役目标和策略

根据《核设施退役安全要求》(GB/T19597-2004)的规定，核设施退役的最终目标是使核设施和(或)场址获得有限制或无限制开放和使用。经监管机构批准，核设施可实施立即拆卸或延迟拆卸的退役策略。

- 立即拆除：核设施设备、构筑物 and 局部含有的放射性污染物被转移或去污到设施允许无限制使用或由监管部门规定的有限制使用的水平。
- 延迟拆除：即安全贮存或安全封存，核设施局部含有的放射性污染物被处理或达到安全贮存的状态，直到能被随后去污和拆除到设施允许被解控他用的水平。

本项目将在设计阶段考虑退役工作，包括制订有退役技术方案、退役策略、组织机构、经费预算、质量保证等。

2) 退役技术研究

本项目退役计划的内容、范围和详细程度应根据设施的复杂性和潜在危害的不同进行调整。本项目退役计划分三个阶段制定和提交，即：初始计划、中期计划和最终计划。三个阶段计划的内容应逐步深入、完善、细化和优化。其中安全分析和环境影响评价是退役计划安全实施的关键。

(1) 初始退役计划：初始计划的制定要考虑以下几方面的问题：退役可行性的一般分析；退役涉及到的安全问题的基本考虑；退役实施对环境影响方面的考虑；退役费用及筹资方式；明确退役期间需使用的现有设施、系统和设备。

(2) 中期退役计划：本项目运行期间需要对初始退役计划进行定期审核、更新和细化，以制定中期退役计划(若发生重大事故时应立即升版)。需要更新和细化的内容包括：国家有关退役政策和法规的变化；退役技术的发展；退役实施时可能发生的异常事件；对影响退役计划的系统和结构的重大修改；退役费用的估算及落实情况。

(3) 最终退役计划：本项目研究堆及配套设施安全关闭前要提交详细的最终退役计划，作为关闭申请和退役申请的支持性文件，其内容深度应符合国家核

安全监管部门的相关规定。

本项目研究堆及配套设施退役是一项新的复杂的技术工作，尤其对第四代钍基熔盐堆，其全部退役活动将在充分保护从事退役工作的人员和周围公众的健康，以及保护环境和保证安全的情况下进行。根据《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003）的要求，核设施营运单位在进行核设施退役活动前应当编制环境影响报告书报国务院生态环境保护行政主管部门审查。因此，将根据技术经济的发展情况，在退役阶段的专门可行性研究和环境影响评价工作后再行确定并分阶段实施。

本项目的退役需要经历安全关闭——退役拆除——场址清理等几个主要步骤，简要介绍如下：

（1）安全关闭期：进行必要的系统倒空、系统去污等工作，有效降低待拆除物项的放射性水平。退役开始前建立手段妥善处理运行时存放和退役产生的废液。

（2）退役拆除：按照确定的退役顺序，对存在放射性的厂房内物项进行拆除。拆除时对于放射性水平较高的部件采取远距离遥控解体的拆除方式；对于受污染较重设备可将其整体移至适当位置进行解体，尽量选择冷切割工具，当冷切割不能满足切割要求时，辅以热切割方式，并在热切割工位旁设置移动式通风装置，为了减少工作人员受照剂量或降低工作人员劳动强度，可选择使用机器人或自动切割设备进行切割拆除等操作；对于轻微污染的设备，经必要的擦拭去污后进行拆除，经检测达到解控标准后暂存，经审管部门认可后解控；对于电缆及其架桥等物项，经表面擦拭去污后，进行剥离等处理，达到解控标准的可解控。当厂房内物项全部拆除完毕后，对建（构）筑物墙、地面的放射性进行调查，根据调查结果制定相应的去污方案。最后对整个厂房建（构）筑物进行表面剥离去污，直至解控，然后进行建（构）筑物拆毁。

（3）场址清理：对场址内污染地面的土壤进行清理及分类收集，直至达到清理目标值。

由于核设施选址需考虑多项因素，为了尽可能利用适宜的场址，建议在本场址退役后尽可能仍作为核设施基地继续使用。随着核设施中长期发展规划的后续制定及升版，若明确了本场址在退役后的用途，则应将本核设施的退役方案进行

升版，届时退役目标、退役范围等也应根据场址利用计划有针对性地进行调整。

3) 废物管理措施

本项目退役过程中应根据《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011）、《放射性废物分类》（原环境保护部公告 2017年第65号）等废物管理相关标准的规定对各类废物进行检测、分类、处理。

（1）放射性固体废物

高放废物：考虑包装后送往钍基燃料盐研究中心内的暂存阱或待处理技术成熟时进行处理处置。

中放固体废物：判断是否经暂存一定期限衰变后成为低放固体废物，若是，则送放射性废物处理中心或放射性废物整备中心进行检测、处理、整备，最终送近地表处置场处置；若否，包装后暂存，等待中等深度处置场建成及确定接收标准后整备送往中等深度处置场处置。

低放固体废物：送放射性废物处理中心或放射性废物整备中心进行检测、处理、整备，最终送往近地表处置场处置。

极低放废物：根据其材质及放射性水平分别进行收集和包装，检测贴标签后送至极低放填埋场填埋。其中可解控废物集中暂存，经审管部门审批后按国家相关规定执行解控并按非放射性固体废物处置。

（2）液态放射性废物

本项目运行期间产生的低放废液进行蒸发处理，蒸残液以及中放废液桶内干燥处理后进行盐桶水泥固定，高放废液进行长期暂存，退役开始前建立手段妥善处理或存放废液，保证退役过程中产生的放射性废液以及运行期暂存的放射性废液都得到良好安全的管理。

（3）气态放射性废物

产生于退役过程中使用热切割工具的拆除过程，对厂房构筑物进行表面剥离去污的过程以及厂房的维护排风过程。在进行热切割时，在切割工位旁设置移动式通风装置，对产生的放射性粉尘及气溶胶进行过滤，过滤后的气体进入厂房排风系统；表面剥离机与高效工业吸尘器配套使用，过滤后的气体也将进入厂房排风系统通过空气净化装置过滤后排放。退役过程中厂房的通排风利用厂房原有的通风系统。

4) 退役经费安排

退役资金的筹集方法包括：

(1) 在寿期末（或退役开始时）再筹集支付。

(2) 设计一个退役基金，在整个运行寿期内，每年支付一定的数额，逐年累积，将寿期末的总累积值作为退役资金。

(3) 在开始运行时就一次拨出一笔费用供退役用。

鉴于本项目属于研究堆，建议参考2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）项目退役资金的筹措方式，即在寿期末再筹集支付。

5) 知识管理

运行阶段应及时完善更新退役计划，特别是有重大变化时应有相关部门负责完成此项工作。

从设施运行到退役主要拆除活动实施之前，组织机构与生产运行阶段的组织机构相对应，在这一阶段将进行一系列的计划和调整，使本项目从管理构架和硬件状态等方面都适应退役的目标和要求。

这个阶段是经历人员编制从适于运行到适于退役调减的主要过程，人员编制首先满足这一阶段工作的需要，并且在这一阶段活动结束的时候人员编制应调整到适合退役期拆除活动的技术、实施和管理需求。

6) 记录保存

记录保存文件包括：本项目竣工文件、所要求的运行文件以及一些其他的相关文件。完整的文件资料可以确保退役工作效率并减少退役期间出现的意外情况。本项目运行期间，因本项目的变更和改进，这些文件与本项目的真实状况的吻合性有所降低。为避免在退役和拆卸作业中出现麻烦，应该避免这种情况。相对应的措施包括：

- 工程设计文件应随时更新。
- 应确保在本项目寿期内这些文件的可用性。必须采取措施防止数据丢失（例如，保存副本）。
- 应记录可能对未来有影响的非常规事件（如，有关污染物溢出或泄漏的信息）。

应采取措施来确保可以储存和查阅的退役所需的文件，主要包括：

- 与运行相关的图纸和图表，包括：机械和电气图、电缆敷设图、管道等轴图、布置图、贯穿件图、部件详细资料、钢筋图、组装专用工具图和所有设备以及本项目研究堆及配套设施的数字模型图。
- 对于选择性操作，允许使用和修改设备和构筑物的其他文件（例如吊装机械的设计、专用工具、地板、承载结构、制造和设备规格书、土工技术试验结果）。
- 照片和录像（有字幕、日期和注释），有利于说明设备的组装和安装，土方工程和埋入地下的部分结构的施工，部件吊装方法，道路规划，同时关注那些将承受高放射性和污染的部件。
- 数量清单：混凝土量、钢筋吨数、电缆长度等验收文件，施工中使用的材料样本，这些样本可用来检查杂质，受辐照材料的强度数据、耐腐蚀能力等，同时也能够用来区分初始放射性和由于本项目运行导致增加的放射性，特别是对于施工中采用的有初始人工放射性的材料。
- 保留本项目施工材料（钢材，混凝土等）的样本和标本。
- 所有运行事件的记录及其评价，以及对原设备所做的所有改造的记录。
- 所有能够追踪放射性清洁和放射性数量的文件（方位图、涂片检测、各种取样等等）。

第七章 事故环境风险

7.1 研究堆放射性事故和后果评价

7.1.1 事故描述和事故源项

本项目最大假想事故考虑为本项目研究堆堆芯覆盖气尾气处理系统泄漏。

本项目研究堆正常运行过程中，以一定速率对堆芯覆盖气进行吹扫。吹扫出的堆芯覆盖气进入尾气处理系统，经衰变和吸附等过程后达标排放。尾气处理系统发生泄漏事故时，辐射监测系统报警自动停堆或提示操纵员手动停堆。由于尾气处理系统泄漏不影响停堆系统功能和停堆后余热排出系统功能，因此该事故不会影响堆芯结构完整性，其放射性释放源仅来自尾气处理系统本身。

本项目研究堆尾气处理系统发生泄漏时，除安全停堆外，对发生泄漏的设备段进行隔离，以减少放射性气体的释放。此外，尾气处理系统外设置安全容器，且安全容器所在房间形成包容小室，进一步缓解事故后果。泄漏的放射性气体首先进入安全容器，随后以一定泄漏率向包容小室泄漏。进入包容小室的放射性气体继续以一定的泄漏率向外释放，最终泄漏出厂房并达到场区边界。

7.1.2 事故后果计算

7.1.2.1 事故大气弥散条件

采用《核电厂事故工况气载放射性物质释放辐射环境影响评价技术规范》（NB/T20182-2012）中推荐的计算模式计算短期大气弥散因子。

短期大气弥散因子采用下列一组地面释放轴线浓度公式计算：

$$(x/Q)_x = \frac{1}{u_{10}(\pi\sigma_y\sigma_z + CA)} \quad (7.1-1)$$

$$(x/Q)_x = \frac{1}{u_{10}(3\pi\sigma_y\sigma_z)} \quad (7.1-2)$$

$$(x/Q)_x = \frac{1}{u_{10}\pi\sigma_y\sigma_z} \quad (7.1-3)$$

式中：

$(\chi/Q)_x$ ：释放点下风向 x 米距离处烟羽中心线上的地面相对浓度，即大气弥散因子， s/m^3 。

u_{10} : 地面上方 10m 高度处的风速, m/s。

σ_y : 烟羽水平弥散参数, m。

σ_z : 烟羽垂直弥散参数, m。

A: 反应堆建筑物最小迎风截面积, 研究堆厂房距离场址边界较近, 周围无高大建筑, 保守不考虑建筑物下洗对弥散因子的减弱, 取 0m^2 。

C: 反应堆建筑物几何修正因子, 0.5。

Σ_y : 考虑烟羽弯曲和建筑物尾流效应的烟羽水平弥散参数, m。

使用以上各公式进行大气弥散因子计算时, χ/Q 按下述条件取值:

1) 对中性 (D) 和稳定 (E、F) 类大气稳定度, 且 $u_{10} < 6\text{m/s}$ 的天气条件, 考虑烟羽弯曲效应, χ/Q 由 (7.1-1) 与 (7.1-2) 两式计算结果的较大者再与 (7.1-3) 式的计算结果比较取较小者, 即其取值表达式为:

$$\chi/Q = \min \left\{ \frac{1}{u_{10} \pi \Sigma_y \sigma_z}, \max \left[\frac{1}{u_{10} (\pi \sigma_y \sigma_z + CA)}, \frac{1}{u_{10} (3 \pi \sigma_y \sigma_z)} \right] \right\} \quad (7.1-4)$$

2) 对不稳定 (A、B、C) 类大气稳定度或 $u_{10} > 6\text{m/s}$ 的天气条件, 不考虑烟羽弯曲效应, χ/Q 取 (7.1-1) 与 (7.1-2) 两式计算结果的较大者, 即其取值表达式为:

$$\chi/Q = \max \left[\frac{1}{u_{10} (\pi \sigma_y \sigma_z + CA)}, \frac{1}{u_{10} (3 \pi \sigma_y \sigma_z)} \right] \quad (7.1-5)$$

用上列诸式计算释放点下风向不同距离处的逐时大气弥散因子 (χ/Q) 值, 把算得的每个方位某给定距离处的所有逐时 (χ/Q) 值由大到小顺序排列, 则可截取相应于某累积概率水平的 χ/Q 值。对 16 个方位的某个给定距离, 可得到 16 个相应于某概率水平的小时短期大气弥散因子。取其最大者, 用于短期释放 (持续时间在 1h 以内) 的后果评价。

对持续时间长于 1h 的事故释放, 按事故过程划分不同的时间段。各时间段的短期大气弥散因子, 可由小时短期大气弥散因子与长期大气弥散因子对数线性内插求取。

对于最大假想事故, 先逐一计算场址边界处每个方位 99.5% 累积概率水平的大气弥散因子, 并从对应于 16 个方位的数值中取出最大者与相应位置的全场址 95% 累积概率水平的大气弥散因子相比较, 择其大者作为评价用的短期大气弥散因子进行个人剂量评价, 采用全场址 95% 概率水平的大气弥散因子作为集体剂量

评价的短期大气弥散因子。

本项目以场址边界作为非居住区边界，其中研究堆距离场址边界最近距离为 W 方位 150m。

场址边界的短期大气弥散因子如下：假设本项目最大假想事故工况下产生的放射性核素在 24h 内全部释放，因此计算得到 0-8h、8-24h 内场址边界处分时段的短期大气弥散因子。

7.1.2.2 事故剂量

考虑本项目最大假想事故期间对公众产生辐射照射的主要途径包括：

- 浸没于放射性烟云中所受的外照射。
- 吸入放射性烟云中所受的内照射。
- 地面沉积外照射。

公众可能受到的照射剂量与受照个人的年龄有关。对个人剂量评价，假定受照者是处在场址边界上的个人，个人剂量是释放核素通过上述途径所致剂量的总和；对集体剂量评价，受照者为场址半径 20km 评价区域内的工业企业员工和红砂岗镇居民。

1) 个人剂量的计算模式

(1) 浸没于半无限放射性烟云中所受外照射剂量 D^o ：

$$D^o = \sum_i Q_i \cdot (\chi/Q)_x \cdot (DCF)_i^o \quad (7.1-6)$$

式中：

D^o ：烟云浸没对个人所致的外照射有效剂量，Sv。

Q_i ：评价时间内核素 i 的释放量，Bq。

$(\chi/Q)_x$ ：评价时间内，离释放点 x 米距离处的短期大气弥散因子，s/m³。

$(DCF)_i^o$ ：核素 i 对个人的外照射有效剂量转换因子，(Sv/s) / (Bq/m³)。

(2) 吸入放射性物质所受内照射剂量 D^i ：

$$D^i = \sum_i Q_i \cdot (\chi/Q)_x \cdot Ba \cdot (DCF)_i^i \quad (7.1-7)$$

式中：

Ba：a 年龄组个人的呼吸率，m³/s。

$(DCF)_i^i$: 核素 i 对组个人的内照射剂量(有效剂量或甲状腺剂量)转换因子, Sv/Bq。

(3) 地面沉积外照射剂量 D^g :

由于干沉积产生的地面沉积因子如下:

$$D/Q = (\chi/Q) \times V_d \quad (7.1-8)$$

式中:

D/Q —地面沉积因子, $1/m^2$ 。

V_d —放射性物质干沉积速度 m/s ; 元素碘 0.01, 颗粒物和粒子碘取 0.0015, 有机碘取 0.0001。

地面沉积外照射产生的剂量:

$$D^g = \sum_i Q_i \cdot (D/Q) \cdot [1 - \exp(-\lambda_i t)] \cdot \lambda_i^{-1} \cdot (DCF)_i^g \quad (7.1-9)$$

式中:

D^g —由于地面沉积外照射产生的个人有效剂量, Sv。

$(DCF)_i^g$ —核素 i 对个人的地面沉积外照射有效剂量转换因子, $(Sv \cdot m^2)/(Bq \cdot s)$ 。

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。

2) 集体剂量的计算模式

$$D_J = \sum_{mn} P_{mn} D_{mn} \cdot f_n \quad (7.1-10)$$

式中:

D_J : 评价区域内的公众集体有效剂量或集体器官剂量, 人 Sv。

P_{mn} : (mn) 子区域内人数, 人。

D_{mn} : (mn) 子区域内个人有效剂量或甲状腺剂量, Sv。

f_n : n 方位的风向频率, %。

7.1.3 事故后果评价

《环境影响评价技术导则 研究堆》(HJ5.1-2025)规定, 在评价最大假想事故后果时, 应考虑保守大气弥散条件和烟云浸没外照射、吸入内照射和地面沉积外照射等途径, 非居住区边界外公众在事故的整个持续时间内通过上述照射途

径所接受的有效剂量应小于 10mSv。

本项目最大假想事故的整个持续时间（24h），场址边界处任何个人所受的最大个人有效剂量满足规定的事故个人有效剂量（10mSv）的要求。

本项目开始建造前，必须确定在本项目运行前不存在妨碍制定核应急预案的根本问题。

《研究堆设计安全规定》（HAF201，1995）2.1 节中规定了研究堆安全总目标：“建立并维持一套有效的防御措施，以保护工作人员、公众和环境免受过量的放射性危害。”

研究堆属于《核动力厂、研究堆、核燃料循环设施安全许可程序规定》（生态环境部令第 8 号，2019）I 类研究堆，I 类研究堆的定义如下：“功率、剩余反应性和裂变产物总量都较高的研究堆，热功率范围 10MW~300MW。这类研究堆一般在强迫循环下运行，通常必须设置高度可靠的停堆系统，需要设置应急冷却系统以保证堆芯余热的有效排出；对反应堆厂房或者其他包容结构需要有特殊的密封要求。”

《研究堆营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/06-2019）对于研究堆应急准备和响应的规定包括：“在烟羽应急计划区之外，对于各种设计基准事故和大多数超设计基准事故序列（或经论证的特定的严重事故），相应于特定紧急防护行动的预期剂量在数值上一般应不大于 GB18871 所规定的相应的通用优化干预水平。”《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 E 规定的掩蔽通用优化干预水平为 10mSv。本项目最大假想事故所致场址边界处最大个人剂量满足小于 10mSv 的要求，因此在本项目具备从设计上消除大规模放射性物质释放、简化应急行动技术可行性。

本项目运营单位将按照《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003）、《中华人民共和国核安全法》（2017）、《研究堆营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/06-2019）等的要求，并参考 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆场内核事故应急预案，制定本项目场内核事故应急预案，并进一步完善现有的场内应急组织、应急设施和设备，做好应急响应准备。在进入核事故应急状态时，立即采取有效的应急措施控制事故进程，并向核设施主管部门和生态环境行政主管部门、卫生行政部门、公安部门以及其他有关部门报告。

7.2 场内转移事故

7.2.1 新燃料运输事故

研究堆使用的液态熔盐燃料在熔盐制备车间制备，燃料原料（固体）通过外购获得，燃料原料的运输货包应符合《放射性物质运输包装质量保证》（GB/T15219-2009）的要求。燃料盐制备后通过转运罐进行贮存和转运。

根据国内核电厂和核燃料制备厂的运输经验，在严格遵循国家标准和技术规范下运输燃料原料时，组件的抗震和密封性能可确保不对环境产生任何有害的影响。此外燃料原料未经辐照，放射性水平很低。

总体而言，在新燃料运输过程中，切实遵循《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令第 562 号，2010）、《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）和《放射性物质运输包装质量保证》（GB/T15219-2009）等标准的要求，采用合格的包装容器和运输车辆，加上合理可行的运输方案、应急措施和完善的质量保证，新燃料运输事故是可以避免的，即使发生了事故，其对环境的影响也是极小的。

7.2.2 乏燃料运输事故

乏燃料运输容器的安全可靠是实现安全运输的前提。乏燃料运输必须遵循《中华人民共和国核材料管制条例》（HAF501，1987）、《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）、《放射性物质安全运输货包泄漏检验》（GB/T17230-1998）、《乏燃料运输容器技术条件》（EJ/T565-1991）、《核级容器制造质量保证》（EJ/T619-1991）和《放射性物品运输安全管理条例》（国务院令第 562 号，2010）等准则。应证实容器在承受正常运输条件下和运输事故条件下的各项试验后，仍能符合密封性能和屏蔽性能的要求，以消除或减小运输事故发生后的辐射后果。

除了运输容器本身具有的高安全性外，乏燃料的运输还依靠运输过程中的正确操作和严格管理。因此，容器的设计制造和运输的操作管理均应履行规定的审批程序。

7.2.3 放射性固体废物转移事故

放射性固体废物转移事故是指在放射性固体废物的运输、临时中转或交接过程中，发生的导致放射性物质意外释放或潜在释放的事件，可能对人员、环境或设施造成辐射危害或安全风险。包括源于设备故障（如包装容器破损）、操作失

误（如装卸不当）或人为因素（如违规操作）导致放射性固体废物的异常转移或失控。

经验表明，场内转运事故发生率以及预计事故次数都是极低的。另外，废物包装和运输容器的设计和制造符合《低、中放水平放射性固体废物包装安全标准》（GB12711-2018）、《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）等标准的要求，即使厂内转运过程中发生事故，废物也不会从运输容器中扩散造成环境污染。

7.3 其他事故

本项目建设和运行时的主要环境风险为核事故的辐射环境影响和使用的各类易燃易爆和有毒化学品泄漏造成的环境影响。

根据本报告第七章 7.1 节的分析结论，本项目发生核事故的事故后果可控，因此其环境风险是可接受的。

针对钚基燃料盐干法批处理事故，放射性废液贮存设施泄漏事故以及化学品事故等其它事故进行分析。

1) 钚基燃料盐干法批处理事故

钚基燃料盐研究系统位于钚基燃料盐研究中心，主要由干法批处理工艺试验线、钚铀循环化学评估系统、材料辐照后检测系统和热室系统组成，开展干法批处理和热室技术的工程验证，以及堆内高放燃料盐化学状态监测、钚铀循环关键核素行为与规律验证、材料辐照后性能表征与评估等研究。

以下对钚基燃料盐研究系统可能存在的事故分别进行分析。

（1）在干法批处理过程中，可能出现的事故工况为反应器破裂并导致高放燃料熔盐泄漏。当其泄漏至干法批处理热室内会迅速降至室温从而凝固成固态，不会从热室内渗透至地下而导致扩散。

（2）高放燃料盐干法批处理的批次处理能力为 10L，在该批次处理量下，燃料盐干法批处理工艺试验线无论在正常操作还是事故工况下，燃料盐干法批处理工艺试验线都不会发生临界事故。

（3）在不发生燃料临界事故的情况下，燃料盐干法批处理工艺试验线事故产生的放射性气体处在较低水平，不会对外界环境造成明显辐射影响。

2) 放射性废液贮存设施泄漏事故

本项目充分考虑了放射性废液贮存期间的泄漏可能并采取了相应的设计与措施。本项目产生的放射性废液根据放射性活度水平，全部集中收集暂存。高放废液暂存在钚基燃料盐研究中心内热室的暂存阱内，含氚废液暂存在研究堆主体建筑内。中放废液收集到一定量后通过屏蔽运输容器转运至放射性废物处理中心，进行桶内干燥处理。低放废液在研究堆主体建筑、钚基燃料盐研究中心和放射性废物整备中心集中收集后通过特排管网转运至放射性废物处理中心内处理并经放射性检测满足排放要求后通过空气载带进行排放。少量的有机废液收集后利用转运车转运至放射性废物处理中心内暂存，再转运至放射性废物整备中心超临界水氧化处理并经放射性检测满足排放要求后通过空气载带进行排放。洗涤废液集中收集并通过特排管网转运至放射性废物整备中心并经放射性检测满足排放要求后通过空气载带进行排放。室外特排管道设置在带有不锈钢覆面的半通行地下管沟内，管沟两侧及地面敷设有不锈钢覆面。管沟的最低点设置有地漏，管道泄漏的废水可经地漏及管道自流至放射性废物处理中心内的低放废液地坑内。低放废液收集罐及低放废液暂存罐可通过观察液位是否正常下降来判断罐体是否发生泄漏，此外上述罐体所在房间内设有地漏，即使罐体泄漏，低放废液也将会经地漏排向专门设置的地坑内。

通过上述措施降低放射性废液贮存设施出现泄漏事故时的可能，以此减小其造成辐射环境影响。

3) 化学品事故

本项目中可能存在的危险化学品包括 H_2 、HF 和铍、氟化合物。使用场所主要为燃料制备车间、化学仓库（05 子项）。

针对本项目以上特点，在本项目规划、设计、建造、运行的全过程中，应满足：

（1）厂区总平面布置要根据功能分区布置，将研究堆、钚基燃料盐研究系统、辅助设施和工作人员办公区域相对集中分别布置，以减少危险、有害因素的交叉影响。将散发可燃气体、有毒、有害物质的危险化学品贮存、使用场所布置在全年最大频率风向的下风侧，并避免布置在窝风地带。

（2）生产、贮存和使用易燃、易爆、有毒、有害物质，可能造成泄漏或散发的场所的布置应远离工作人员办公区域。

（3）在工艺设计中尽可能将所使用的易燃物质限制在密闭空间（容器、管

道)内, 尽量防止泄漏, 并设有有害气体探测器, 有害物质意外释放时发出报警, 信号直接进入独立报警系统。同时还应设置火灾自动报警系统和早期火灾探测监测系统。

(4) 必须严格按《危险化学品安全管理条例》(国务院令第 591 号, 2011) 的要求, 加强对本项目危险化学品的管理; 制定危险化学品安全操作规程, 要求工作人员严格按操作规程作业; 对工作人员定期进行安全培训教育; 经常性对危险化学品作业场所进行安全检查, 所有进入储存、使用危险化学品的人员, 都必须严格遵守上海应物所武威园区《危险化学品管理制度》。同时, 在满足本项目正常运行的前提下, 尽可能减少危险品储存量。

(5) 为了保证各危险化学品贮存场所的储运和使用安全, 本项目危险化学品的贮存条件和设施应严格按照有关标准规范要求执行。贮存场所以及需要提醒人员注意的地点均应按标准设置各种安全标志, 凡需要迅速发现并引起注意以防止发生事故的场所、部位, 均按要求涂安全色。

(6) 应建立完善事故应急预案, 针对本项目涉及的有毒化学品采取相应的应对措施, 加强环境监测。在此基础上定期举行有毒化学品泄漏事故相关的专项应急演练。

综上所述, 在满足上述要求的前提下, 本项目化学品泄漏事故的环境风险是可接受的。

本项目在建设和运行中将使用各类易燃易爆和有毒的油与化学品, 如果处理不善可能出现爆炸、火灾以及危险品泄漏等事故, 为此, 本项目的建设和管理部门制定严格的管理程序, 合理地运输、贮存和使用这些危险品, 采用合理可行及有效的措施实现与安全相关设施的隔离, 并将其发生事故的概率降至最低程度; 同时设置应急防护措施, 在万一出现事故的情况下也可以将事故的危害降低到最小。

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

1) 流出物监测的目的

本项目运营单位应制定本项目运行期间的流出物监测方案，并在运行期间对流出物进行监测。本项目流出物监测的目的是：

- 测量流出物中放射性物质的种类和数量，为判断流出物排放是否遵守管理限值或运行限值提供依据。
- 为评价环境质量、估算公众受照剂量提供源项数据。
- 为判断三废处理系统和排放系统工作是否正常提供依据。
- 迅速发现和鉴别非计划排放的性质和规模。

2) 流出物监测的内容

本项目流出物监测对象为通过研究堆主体建筑和钍基燃料盐研究中心顶部的烟囱排放的气态流出物中的放射性气溶胶、碘、惰性气体、 ^3H 和 ^{14}C ，监测内容包括排放总量、排放活度浓度及主要核素分析，监测方式包括在线连续监测和取样测量。

气态流出物排放口描述见第六章 6.1 节。

3) 流出物监测系统描述

本项目气态流出物净化处理后经由烟囱释入大气环境。研究堆烟囱气态流出物监测系统由放射性气溶胶、碘、惰性气体监测仪（PIG 监测仪）、高量程惰性气体监测仪、氡取样装置、 ^{14}C 取样装置、气溶胶/碘取样装置、惰性气体取样装置以及取样管道、阀门、泵和辐射监测计算机等组成，钍基燃料盐研究中心气态流出物排放在线监测系统由放射性气溶胶、碘监测仪、气溶胶/碘取样装置以及取样管道、阀门、泵和辐射监测计算机等组成。对气溶胶、碘和惰性气体的监测采用连续监测和取样测量两种方式；对 ^3H 和 ^{14}C 的监测采用取样测量方式。

（1）气态流出物排放口在线监测系统的设计

研究堆气态流出物排放在线监测系统主要为 PIG 监测仪及高量程惰性气体监测仪，钍基燃料盐研究中心气态流出物排放在线监测系统主要为放射性气溶胶、碘监测仪。取样流量数据、测量数据就地显示、报警、控制，同时将监测仪的数

据传输到辐射监测计算机，实现远程集中显示、报警、控制和存储。

（2）气态流出物排放口取样监测方案

本项目气态流出物排放取样监测主要是在烟囱内排放气态混合相对均匀的位置处设置取样点，将具有代表性的排放气体引入取样回路管道，经过流量分配和系统控制后进入取样回路，其中研究堆取样设备主要包括氙取样装置、 ^{14}C 取样装置、气溶胶/碘取样装置和惰性气体取样装置等，钍基燃料盐研究中心取样设备主要包括气溶胶/碘取样装置等，完成气溶胶、碘、惰性气体、 ^3H 和 ^{14}C 取样，取样后送往辐射监测实验室进行测量分析。

气态流出物样品中，气溶胶、碘、惰性气体、 ^3H 和 ^{14}C 样品定期送实验室进行测量分析。其中，气溶胶、碘、惰性气体样品可以直接进行测量， ^3H 样品需经浓缩、蒸馏等制样处理后测量； ^{14}C 样品经氧化-吸收-沉淀等制样处理后测量。

（3）流出物监测系统的冗余性及取样代表性

研究堆气态流出物监测设置了 2 套独立的在线监测系统，均为安全级设备，确保了监测系统的冗余性。钍基燃料盐研究中心气态流出物监测设置了 2 套独立的在线监测系统，确保了监测系统的冗余性。除了在线连续监测外，还设置了取样监测，对气溶胶、碘、惰性气体、 ^3H 和 ^{14}C 等进行取样送至实验室测量分析，以确保监测手段的多样。

对气态流出物取样位置进行流体动力学分析，确保取样点位置为排出流混合均匀处，采用单嘴取样头设计以确保取样的穿透比符合标准要求，除此之外，在取样管道的布置上，尽量减少水平管段和弯头数量，采用内壁光滑管道，减少管道损失。

（4）流出物排放量的统计方法

本项目气态流出物测量方法包括在线连续测量和取样测量两种，气态流出物的排放总量、排放浓度以及各核素的排放总量统计以取样测量为主。

- 在线连续测量：通过 PIG 连续监测仪对烟囱内的气态流出物进行在线监测，测量气溶胶、碘及惰性气体的放射性活度浓度，根据烟囱排放体积计算得到排放总量。
- 取样测量：定期对气态流出物的气溶胶、碘、惰性气体、 ^3H 和 ^{14}C 进行取样，样品送至实验室对核素测量分析，测量各核素的活度浓度，根据烟囱排放体积计算得到各核素的排放总量。对于低于探测限的测量结果，

将按照国家辐射监测标准规范要求进行合理估算。

8.1.2 辐射环境监测

按照国家相关部门规章和标准对辐射监测的要求，本项目所在上海应物所武威园区应实施统一的辐射环境监测。

本项目运行期间环境监测范围、监测项目及布点情况将以上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆环境监测大纲为基础，结合本项目运行前辐射环境调查结果制定。采样点在覆盖 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆运行期间辐射环境监测布点的前提下，考虑与本项目运行前环境调查保持适当比例的同点位，并充分利用本项目运行前环境调查所获得的资料进行设置。

1) 监测目的、范围、布点原则及监测项目

(1) 监测目的

- 测定环境介质中核素浓度及大气中 γ 辐射水平的变化，以评估本项目排放的放射性物质对周围环境的影响情况。
- 及时发现环境介质中放射性活度的变化，并查找原因，以便采取预防措施。
- 事故应急响应期间执行应急监测。

(2) 监测范围

- 环境 γ 辐射/贯穿辐射剂量率的调查范围：以反应堆为中心半径 10km 范围内。
- 环境介质的调查范围：以反应堆为中心半径 10km 范围内，重点为半径 5km 范围内。

(3) 监测布点原则

在进行环境监测采样和监测点的布设中主要考虑的原则有：

- 覆盖本项目以及 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆运行期间辐射环境监测布点。
- 对环境敏感点进行布点，如关键居民组区域和最大风频下风向场址边界附近区域。
- 监测点的布置尽可能与放射性环境现状调查的布点一致。
- 监测点以气态流出物排放点为中心，成辐射状布置监测点，近密远疏。

(4) 环境监测项目

- 环境介质监测。
- 环境 γ 辐射监测。

2) 监测内容

结合 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆运行期间辐射环境监测布点，本项目的运行期间辐射环境监测方案设想见表 8.1-1。

(1) 环境 γ 监测

环境 γ 监测对象为环境 γ 射线，进行剂量率测量和累积剂量测量。监测内容如下：

- 瞬时 γ 辐射剂量率

用便携式 γ 剂量率仪定点监测瞬时 γ 辐射剂量率。瞬时环境 γ 辐射剂量率参照本项目运行前的布点，监测频次为 1 次/季。

- 固定式 γ 环境监测

设置环境 γ 辐射监测站，通过 γ 辐射剂量率仪连续监测 γ 辐射剂量率。

- 累积剂量监测

在上述的所有环境 γ 监测点位进行热释光累积剂量监测，采用定期放置热释光剂量计、定期回收测量的方式实现对环境 γ 累积剂量的监测。监测频次为 1 次/季。

(2) 环境介质监测

环境介质监测是对环境介质进行取样，然后将样品送辐射监测实验室进行测量和分析，以评价本项目运行对环境造成的影响和影响范围。本项目的环境介质放射性核素浓度监测主要包括：

- 空气中放射性

气溶胶： γ 核素分析、 ^{90}Sr 。

沉降物： γ 核素分析、 ^{90}Sr 。

空气中 ^3H 、 ^{14}C 和 ^{131}I 。

以上监测项目已在金仓公司南侧大门处设置监测点位，监测频次为 1 次/季，拟在玉通商贸补充设置监测点位。

此外，在园区内设 5 个 ^3H 取样监测点（现有点位 4 个，拟新增点位 1 个），监测频次为 1 次/季。

- 水中放射性

降水： ^{90}Sr 、 ^3H 及 γ 核素分析。

以上监测项目已在金仓公司南侧大门处设置监测点位，监测频次为 1 次/年，拟在玉通商贸补充设置监测点位。

● 土壤放射性

土壤：总 β 、 ^{90}Sr 和 γ 核素分析。

在厂外设置 8 个土壤采样点，监测频次为 1 次/年。

3) 测量方法

根据监测任务和样品的种类，采取以下不同的测量方法，具体测量项目和方法见表 8.1-2。

(1) γ 辐射剂量率非连续监测

用便携式 γ 剂量率仪定点监测瞬时 γ 辐射剂量率。

(2) γ 辐射剂量率连续监测

设置固定式环境 γ 辐射监测仪，连续监测 γ 辐射剂量率。

(3) 累积剂量监测

采用定期放置热释光剂量计、定期回收测量的方式实现对环境 γ 累积剂量的监测。

(4) 环境介质放射性核素浓度监测

本项目设置了辐射监测实验室，配置了取样、制样设备及测量分析设备。取样设备包括便携式空气取样仪、大流量气溶胶取样器、氡取样仪、 ^{14}C 取样仪等，制样设备包括鼓风式干燥箱、箱式电阻炉、离心机等，测量分析设备包括低本底 α/β 测量仪、 γ 能谱分析仪、超低本底液体闪烁分析仪等。

8.1.3 应急监测

辐射应急监测在场所辐射监测、辐射环境监测等连续在线监测的基础上，配置便携式辐射监测、移动应急监测等宽量程、快响应的监测及取样设备，实现辐射水平、放射性浓度水平等的快速准确监测，其中便携式辐射监测主要包括便携式 γ 剂量率仪、便携式长杆剂量率仪、便携式气溶胶碘取样器、便携式表面污染监测仪、个人剂量报警仪、手持式核素识别仪、移动式气溶胶监测仪、移动式惰性气体监测仪、移动式碘监测仪等；移动应急监测装置以容纳 7~10 人的车辆为基础，配置 γ 辐射连续测量仪、快速采样与储存系统、便携式 γ 剂量率监测仪、

便携式中子剂量率监测仪、表面污染监测仪、移动式气溶胶监测仪、移动式 γ 谱仪、自动气象仪和个人防护设备等，并通过数据通讯模块接入应急评价与决策平台。

表 8.1-1 运行期间辐射环境监测方案设想

监测介质		监测内容	调查频次	监测点位
环境贯穿辐射	地表	γ 辐射剂量率	1 次/季	园区内及园区外以TMSR-LF1主体装置厂房为中心， 16个方位与半径为2km、5km、10km的圆所形成的各扇形区域内
		TLD累积剂量	1 季度	与 γ 辐射剂量率监测点位共点
		γ 辐射剂量率	连续	研究堆主体建筑西北角、TMSR-LF1主体装置厂房西北角、放射性废物处理中心东北角、 TMSR-LF1主体装置厂房南侧偏东、综合实验大厅西北角、 综合科研中心西北侧、园区西侧等7个位置
气溶胶	空气气溶胶	γ 能谱	1 次/季	金仓公司南侧大门、玉通商贸
		^{90}Sr	1 次/季	
空气	空气中放射性	^3H	1 次/季	TMSR-LF1主体装置厂房北侧、放射性废物处理中心南侧、控制区门口西侧、 综合实验大厅附近、园区中部、金仓公司南侧大门、玉通商贸等7个位置
		^{14}C	1 次/季	金仓公司南侧大门、玉通商贸
		^{131}I	1 次/季	
沉降物	沉降物	γ 能谱	1 次/季	金仓公司南侧大门、玉通商贸
		^{90}Sr	1 次/季	
降水	雨水	^3H	1 次/年	金仓公司南侧大门、玉通商贸
		γ 能谱		
		^{90}Sr		
土壤	表层土	γ 能谱	1 次/年	以TMSR-LF1主体装置厂房为中心， 16个方位与半径为2km、5km、10km的圆所形成的各扇形区域内
		总 β	1 次/年	
		^{90}Sr	1 次/年	

表 8.1-2 辐射环境监测方法汇总表

监测对象	监测项目	监测分析方法	参考探测限
环境贯穿辐射	γ 辐射剂量率	HJ61-2021 《辐射环境监测技术规范》 HJ1157-2021 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》	0.01 μ Gy/h
	累积剂量	GB/T10264-2014 《个人和环境监测用热释光剂量测量系统》	10 μ Gy
气溶胶	γ 核素分析	GB/T16145-2022 《环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	^{137}Cs : 5.0 $\times 10^{-6}$ Bq/m ³
	^{90}Sr	EJ/T1035-2011 《土壤中锶-90 的分析方法》	2.0 $\times 10^{-6}$ Bq/m ³
空气	^3H	HJ1126-2020 《水中氚的分析方法》	5.0 $\times 10^{-1}$ Bq/L
	^{14}C	EJ/T1008-1996 《空气中 ^{14}C 的取样与测定方法》	5.0 $\times 10^{-2}$ Bq/g
	^{131}I	GB/T16145-2022 《环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	2.0 $\times 10^{-3}$ Bq/m ³
土壤	γ 核素分析	GB/T16145-2022 《环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	^{137}Cs : 5.0 $\times 10^{-1}$ Bq/kg
	^{90}Sr	EJ/T1035-2011 《土壤中锶-90 的分析方法》	2.0 $\times 10^{-1}$ Bq/kg
	总 β	HJ61-2021 《辐射环境监测技术规范》	2.0 $\times 10^1$ Bq/kg
沉降物	γ 核素分析	GB/T16145-2022 《环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	^{137}Cs : 3.0 $\times 10^{-3}$ Bq/ (m ² d)
	^{90}Sr	EJ/T1035-2011 《土壤中锶-90 的分析方法》	1.0 $\times 10^{-3}$ Bq/ (m ² d)
降水	γ 核素分析	GB/T16145-2022 《环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	^{137}Cs : 3.0 $\times 10^{-3}$ Bq/L
	^{90}Sr	HJ815-2016 《水和生物样品灰中锶-90 的放射化学分析方法》	1.0 $\times 10^{-3}$ Bq/L
	^3H	HJ1126-2020 《水中氚的分析方法》	2.0Bq/L

8.2 其他监测

8.2.1 废水监测

本项目污废水监测项目包括 pH 值、化学需氧量 (COD_{cr})、五日生化需氧量 (BOD_5)、悬浮物 (SS)、石油类、氨氮 (NH_4^+-N)、动植物油、总磷、氟化物和总铍等指标，在污废水接入园区污水管网处设置监测点位，1 季度开展 1 次监测工作。

采样地点和频次、监测项目、分析方法见表 8.2-1。

8.2.2 热影响监测

根据第六章 6.2 节分析结果，本项目散热系统的最终热阱是空气，且其环境影响较小，因此不开展热影响监测。

8.2.3 噪声监测

噪声监测共布设 4 个点位，包括研究堆主体建筑（西侧厂界外 1m 处）以及上海应物所武威园区 2MWt 液态燃料钍基熔盐所在主体装置厂房（北侧厂界外 1m 处）、综合实验大厅（东侧厂界外 1m 处）、园区生活服务中心（东侧厂界外 1m 处），监测因子为等效连续 A 声级。监测频次为每季度一次，每次于昼、夜间各监测 1 次，每次监测 20 分钟。

监测地点、监测频次和监测方法见表 8.2-2。

8.2.4 非放射性废气监测

气态非放射性物质的来源为钍基燃料盐研究中心的放化实验室，产生的非放射性化学废气主要成分为 H_2 (10%) 和微量熔盐颗粒（含铍、氟）。废气会经过专门的化学废气处理设备，处理达标满足《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 后通过钍基燃料盐研究中心的烟囱统一排放。

为保证满足《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 的规定，在废气处理工艺的出口管道上安装检测仪，实时监测非放射性废气；并在出口管道上设置单独的取样口，用于废气的采样分析监测。

此外，本项目对园区环境空气中的铍、氟浓度进行安全监测。监测频次为 1 次/季度，采样后在化学分析实验室内对采样膜进行预处理，由 ICP-MS 测量铍浓

度(参照《空气和废气颗粒物中铅等金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》(HJ657-2013)),由离子色谱或氟离子选择电极测量氟浓度(参照《环境空气颗粒物中水溶性阴离子(F⁻、Cl⁻、Br⁻、NO₂⁻、NO₃⁻、PO₄³⁻、SO₃²⁻、SO₄²⁻)的测定离子色谱法》(HJ799-2016)或《环境空气氟化物的测定滤膜采样氟离子选择电极法》(HJ955-2018))。

采样点根据本项目及所在园区的布局,参照《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)关于监测布点的规定进行布置。

化学应急监测在化学监测等连续在线监测的基础上,配置铍/氟采样监测等监测及取样设备,实现铍/氟浓度水平等的快速准确监测。移动应急监测装置配置化学气体探测器、化学污染物储箱和个人防护设备等,并通过数据通讯模块接入应急评价与决策平台。

表 8.2-1 废水采样地点和频次、监测项目、分析方法

监测类别	采样地点	采样频次	监测项目	分析方法	方法来源
污废水	污废水接入园区污水管网处	1 次/季度	pH 值	电极法	HJ1147-2020
			化学需氧量 (COD)	快速消解分光光度法	HJ/T399-2007
			五日生化需氧量 (BOD ₅)	稀释与接种法	HJ505-2009
			悬浮物 (SS)	重量法	GB/T11901-1989
			氟化物	离子选择电极法	GB/T7484-1987
			总铍	石墨炉原子吸收分光光度法	HJ59-2000
				电感耦合等离子体质谱法	HJ700-2014
			氨氮	纳氏试剂分光光度法	HJ535-2009
			总磷	钼酸铵分光光度法	GB/T11893-1989
			石油类/动植物油	红外分光光度法	HJ637-2018

表 8.2-2 厂界噪声监测地点、监测频次和监测方法

监测类别	监测地点	监测频次	监测方法
厂界噪声	研究堆主体建筑 (西侧厂界外 1m 处)	1 次/季度	《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)
	2MWt 液态燃料钍基熔盐所在主体装置厂房 (北侧厂界外 1m 处)		
	综合实验大厅 (东侧厂界外 1m 处)		
	园区生活服务中心 (东侧厂界外 1m 处)		

8.3 监测设施

8.3.1 流出物实验室

流出物实验室布置在本项目所在武威园区辐射监测实验室内。

辐射监测实验室位于中国科学院上海应用物理研究所武威园区综合实验大厅内，实验室面积约270平方米，配备流出物样品处理、流出物样品测量分析、样品存放、标准源存放、档案存放等房间。

8.3.2 环境监测系统

1) 环境实验室

环境实验室布置在本项目所在武威园区材料在役检测实验室内，实验室面积约 1000 平方米，配备环境介质样品处理、样品测量分析、样品存放、环境监测、仪表存放、标准源与标准物质存放、资料存放等房间。

2) 辐射与气象监测

环境 γ 连续监测数据和气象监测数据等收集、处理、共享中心设置在环境监测间。

(1) 辐射监测系统及移动监测设备

辐射环境监测子站的布点考虑如下：综合考虑园区周边的社会环境、气象条件和地理条件等因素确定本项目所在园区环境剂量率监测点的位置，环境 γ 辐射监测站固定点位（现有点位 5 个，拟新增点位 2 个）用 7 台 γ 辐射剂量率仪（包括已建 5 台固定式环境 γ 监测仪，分别位于 TMSR-LF1 主体装置厂房东南侧、TMSR-LF1 主体装置厂房西北侧、放射性废物处理中心东北侧、综合实验大厅西侧及武威园区西侧。

移动监测设备拟配备氚/碳-14 采样仪、便携式气溶胶/碘采样仪、环境 γ 剂量率仪、中子剂量率仪等。

(2) 气象观测系统

气象观测的主要目的是为评价本项目的放射性物质释放对环境的影响提供气象资料，为事故工况时提供实时的气象参数。

本项目所在武威园区已建设 TMSR-LF1 气象站。TMSR-LF1 气象站位于园区东北角（于 2022 年 6 月 9 日开始建设、2022 年 7 月 8 日安装验收），四周地形开阔，场地内采用 10m 风杆和地面气象观测设施（包括风速仪、风向仪、温湿

度计、气压计、雨量计、总辐射表和净辐射表等气象参数观测设备，各种设备均一用一备），观测要素包括 10m 风向、10m 风速、地面气压、地面温度、地面相对湿度、地面降水、地面总/净辐射。TMSR-LF1 气象站由民勤县气象局进行维护，观测数据参与考核，观测仪器定期检定，气象观测数据实时传输到民勤县气象局、上海应物所武威园区应急指挥中心和备用应急指挥中心。

3) 地下水监测井

本项目不设置地下水监测井。

8.4 质量保证

本项目需要进行流出物、环境和应急监测以保障公众的安全，确保对环境不会造成不可接受的影响。因此流出物、环境和应急监测质量保证是至关重要的，其目的是通过有计划/system行动，对监测过程进行全面控制，使测量结果具有适当置信度，保证测量结果的可信性、有效性和可比性。

1) 质量控制

针对各项监测任务制定管理规程，对监测工作全过程（样品采集、运输和贮存、样品处理、分析和测量、数据处理等）实行质量控制。通过与外部权威实验室样品监测比对，实施有效的质量监督，实现计量标准的可追溯性，保证测量结果的准确性，对监测工作进行质量检查和评估。

（1）样品采集、运输和贮存中的质量控制

样品采集、运输和贮存中的质量控制目的在于确保采集到具有代表性的样品，并保持放射性核素在样品处理之前的原始浓度，为了达到此目的，采取以下质量控制措施：

- 制定作业指导书，包括选择合适的采样位置、采样频次和采样方式等，以保证采集到具有代表性的样品。
- 采样人员应严格遵守规定，确认采样设备处于正常使用状态后，按照作业指导书或标准要求进行采样、包装、运输和存储等，并全面、翔实的记录该过程的信息，采样信息记录的内容尽可能详尽，并与样品一起保存，防止丢失、失效或篡改。
- 进行样品的处理时，采取一定的措施防止样品交叉污染。
- 对需要保存的常规样品按年度清理、归类入库、记录存档，每年对保存

样品的状态进行一次检查。

- 环境样品采集一定的平行样品以进行平行样测量分析和复检。

(2) 样品处理、分析测量中的质量控制

样品处理、分析测量中的质量控制措施包括：

- 各类常规样品应妥善保存，直至得出最终分析结论。样品处理、分析测量均采用标准的方法，或者经过鉴定和验证过的方法，任何操作人员均不得擅自修改常规采用的方法。在对样品的处理中采取有效措施以防止核素损失和使样品受到污染。准确地配制载体和标准溶液、注意检查载体和标准溶液的质量。严格制备供放射性测量的样品。
- 在分析测量的操作过程中注意防止样品之间的交叉污染。
- 为了确定分析测量过程中产生的不确定度，采取相应的校正措施，比如采用平行样品分析测量确定分析测量的精密度等。
- 为了验证监测设备的可靠性，确保监测数据的精确性和可比性，积极参加本地区或国家组织的实验室之间的分析对比，并加强与地方生态环境保护部门间的技术交流，不定期外部送检部分环境样品。
- 分析测量装置的性能应定期进行校准和性能核查，所使用的标准源应定期进行标定，包括如下措施：
 - ◆ 建立 γ 谱仪、低本底 α/β 测量仪、超低本底液体闪烁分析仪等的仪器档案，定期对设备的本底计数率和效率进行稳定性性能核查。
 - ◆ 仪器定期核查时，如超过质控范围，应查明原因，采取相应措施。
 - ◆ 当仪器部件维修后，需做好仪器维修纪录，对于影响仪器性能的部件维修（如探头等）和导致重要参数更改的维护需要重新检定或标定后方可使用。

(3) 数据处理中的质量控制

- 每个样品从采样、预处理、分析测量到结果计算，其全过程中的每一步都应按规定有清楚、详细、准确的记录。
- 采样原始记录应由采样人、制样人、分析人填写并签字。
- 测量原始记录应由分析人、校核人、审核人填写并签字。
- 质量控制方法包括分析仪器刻度记录、维修记录、标准源（参考物质）、实验室之间及内部测量的对比情况。

- 对于偏离正常值的异常结果，应及时向负责人报告，分析原因、进行检查。

2) 质量管理

(1) 组织管理

建立流出物及环境监测实验室组织机构，样品采集、处理及测量分析人员应严格遵守实验室各项规章制度及管理体系文件的规定，严格按照作业指导书或标准要求进行测量分析，按操作规程正确使用仪器和设备，做好使用前后记录，负责使用仪器设备的保养，按时完成测量任务，如实填写原始记录，确保检测数据准确可靠。

(2) 人员资格和培训

监测结果准确度与工作人员的经验、知识和技术水平有关，因此，制定下列措施：

- 从事辐射环境监测的人员应掌握辐射防护基础知识和辐射环境监测技术，熟悉有关环境保护和环境监测的法规和标准。
- 工作人员对监测工作要有高度的责任心和严谨的科学态度，爱护仪器设备，对所获得的数据按要求及时上报、归档，严禁伪造数据、弄虚作假。
- 监测人员应经培训合格后方能参加实验室测量分析工作。
- 监测人员应严格遵守规定，严格按照作业指导书或标准要求进行采样、测量及数据处理，确保监测数据准确可靠。
- 保证测量过程中样品不受损坏，不变质，不丢失。
- 按操作规程正确使用仪器和设备，做好使用前后记录，负责使用仪器设备的保养，当仪器出现故障时，应及时向负责人反映，并停止检测，直至纠正完毕。
- 按时完成监测任务，如实填写检测原始记录，不得任意涂改数据，认真仔细检查检测内容、数据及相关信息。检测报告应进行审核签发，并按要求进行归档。
- 认真遵守实验室各项规章制度，保证实验室水、电等安全，防止事故发生。
- 不定期进行岗位培训以提高监测人员专业水平。

第九章 环境影响经济损益分析

本项目环境影响经济损益分析如下：

1) 利益分析

本项目拟建设十兆瓦电功率（10MWe）小型模块化钍基熔盐堆（热功率30MWt）和十升级干法分离批处理研究装置为核心的钍基燃料盐研究系统及配套设施，拟在武威园区建设研究堆主体建筑、钍基燃料盐研究中心、放射性废物整备中心、研究堆发电机房、应急指挥中心、材料在役检测实验室、35kV 变电站和保卫控制中心等单体。本期工程新建建（构）筑物占地面积 2.3235hm²，全部位于本项目所在武威园区的已征地范围内。

核能作为技术密集、资金密集、人才密集型的产业，是经济社会发展所必需的战略性资源。核能产业链的各个环节都具有丰富的科学、技术和工程内涵，是高新技术的集成。当前我国已成为世界核能大国，核能科技创新正处于可以大有作为的重要战略机遇期。与国际传统核能大国相比，我国核能基础研究能力薄弱，很大程度上限制了自主创新能力，必须加强核能领域的基础和应用研究，促进核能产业的优化升级，推动核事业高质量发展。

发展核能研究堆是实现核工业产业链持续发展的重要保障。核能研究堆是支撑核领域科技研发工作最基础的重大科研设施，可以应用到核物理和粒子物理学，材料科学，核能和核医学等研究领域。研究堆还是生产高科技产品的有力工具，如放射性同位素、辐射改性材料等。研究堆还可以用来测试核反应堆的燃料以及进行辐射电阻等新材料的研究。迄今为止，全球累计建成及计划在建的各类研究堆共计 840 余座。美国是研究堆数量最多的国家，共计建成 307 座，多数为原型堆，基本覆盖了所有反应堆类型，为海陆空天各类核动力型号的建设积累了丰富的研究经验和实验数据。

另一方面，核技术应用的发展深刻影响着世界各国的科技进步、经济发展和人民健康，已成为世界大国必争的战略制高点和优先发展的重要方向。发展核能研究堆和核技术应用是保障核工业产业链持续发展的重要途径，有利于加速核材料、核燃料的研发进程，推进先进核能系统自主创新，将有效带动并提升国家重大装备及关键材料等领域的创新发展，进而提高整个核能产业链的核心竞争力。

此外，能源和资源的稳定供应是保障我国长期可持续发展的必要基础，核能是一种能量密度高、洁净、低碳的能源，是保障国家能源安全、促进节能减排的重要手段。我国的能源供应以化石能源为主，正面临着越来越严峻的能源需求持续增长和CO₂减排的双重压力，核能占能源比重远低于工业化国家，可以预计，未来几十年我国核能将大规模发展。

因此，作为第四代反应堆的候选堆型之一，熔盐堆除具备四代堆的优点外，还可以使用我国丰富的钍作为核燃料，降低对于铀的对外依存度。因其以熔盐为冷却剂，还具有常压工作、无水冷却特性，可建于地下和干旱地区。熔盐堆输出温度为700度以上，可用于高温制氢、二氧化碳加氢制甲醇等高温热利用领域，对减少温室气体排放有重要意义。此外，熔盐堆适合于发展小型模块化堆技术，具有扩展核能多领域、多环境应用的极大潜力。

可以看出，本项目的建设是必要的，能获得显著的社会效益，预计本项目建成后对当地发展将会产生较大的推动作用。

2) 代价分析

(1) 直接代价

本项目投入总资金约 393186 万元人民币，其中环保设施总投资为 37742 万元，约占总投资的 9.6%。

本项目资金来源于中央和企业支持。

本项目建成运行后，每年需核燃料费、折旧费、摊销费、修理费、运行维护费，退役及后处理费等运行成本。同时，对于本项目运行中产生的放射性废物的处理，将根据与放射性废物处理和处置单位的合同支付相关费用，并计入运行成本。

(2) 间接代价——社会代价

本项目的建设和运行，不仅要解决本项目职工的饮食、居住、交通和子女受教育、就业等实际问题，而且还会给当地带来一定的社会问题。

——交通运输问题

本项目的运输包括施工期间设备、建筑材料的运输；生产期间的换料、乏燃料、固体废物运输；正常的人员进出等，其运输量较大，将对当地的交通运输造成一定的运输负担。

本项目所在武威园区已建成投运，武威园区周边公路的建设，包括新建、改造道路等已完成，本项目的运输预计不会对当地的交通运输造成较大影响。

——对当地市政建设设施产生的影响

本项目的建设和运行，使场址所在地区的人口数量有所增加，将对场址所在区域的医疗、学校、商业和基础设施如道路、供排水等市政工程和生活服务设施的需要有所增加。

本项目所在武威园区已建成投运，武威园区所在武威民勤红砂岗能源化工工业集中区道路、供排水等配套设施已建成投运，距离最近的居民点为场址 W 方位 12~13km 的红砂岗镇区，位于场址半径 10km 外。本项目的建设和运行预计不会对当地的市政工程和生活服务设施造成较大影响。

——对当地社会安全、稳定的影响

本项目建设期间将带动当地第三产业的发展，导致场址周围区域流动人口数量增加，一定程度上将增加当地政府在治安、社会服务等方面的投入和管理负担。这需要本项目建设单位、承包商以及当地政府共同努力，适当增加相应的设施和投入，以消除不利影响，共创和谐社会。

(3) 间接代价——环境代价

本项目在正常运行工况下液态流出物不向液态途径排放，排放气态流出物主要来源于研究堆主体建筑、钍基燃料盐研究中心的烟囱排放以及放射性废物整备中心、放射性废物处理中心的液态流出物载带蒸发排放。本项目正常运行期间的流出物排放对周围环境的辐射影响符合本项目的剂量约束值要求。

本项目场址半径20km范围内无省级以上文物保护单位、省级及以上风景名胜区。甘肃民勤连古城国家级自然保护区的核心区距场址最近处位于NNE方位约6.5km，缓冲区距场址最近处位于NNE方位约3km，实验区距场址最近处位于ESE方位约22.5km。本项目正常运行期间的流出物排放对场址周边陆生生物影响可接受。

本项目最大假想事故所致场址边界处的最大个人剂量小于 10mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）所规定的通用优化干预水平，本项目从设计上消除大规模放射性物质释放、简化应急行动具备技术可行性。

本项目场址半径 10km 范围无居民点分布，距离最近的居民点为场址 W 方

位 12~13km 的红砂岗镇区，位于场址半径 10km 外；距离场址最近的企业为民勤县玉通商贸有限公司，位于场址 WSW 方位约 2.5km 处；距离场址最近的规模以上企业为武威金仓生物科技有限公司，位于场址 WSW 方位约 2.7km 处。场址非居住区按本项目所在武威园区的厂区边界范围考虑，无搬迁工业企业以及居民点。本项目厂界噪声满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）的 3 类标准。因此，本项目的建设对本项目所在区域的工业企业以及居民生活无影响。

因此，本项目对场址周边的环境影响可接受。

第十章 结论与承诺

10.1 研究堆项目概况

项目名称为“小型模块化钍基熔盐堆研究设施”，属于“十四五”国家重大科技基础建设项目，拟选址上海应物所武威园区。上海应物所武威园区位于甘肃省武威市民勤红沙岗能源化工工业集中区（以下简称“红沙岗场址”）。红沙岗场址隶属于甘肃省武威市民勤县红砂岗镇，场址位于红砂岗镇镇区以东12~13km处，距民勤县城约60km（场址SE方位），距金昌市约60km（场址SW方位），距武威市约120km（场址SE方位）。

上海应物所武威园区已完成2MWt液态燃料钍基熔盐实堆（TMSR-LF1）及其相关的配套设施的建设，2023年6月取得运行许可证并于2023年10月首次达到临界。本项目拟建设十兆瓦电功率（10MWe）小型模块化钍基熔盐堆（以下简称“研究堆”，热功率30MWt）和十升级干法分离批处理研究装置为核心的钍基燃料盐研究系统及公共配套设施，具体建设按照2026年年内本项目破土动工、2030年首次临界为目标推进工作。

本项目所在场址的大气扩散条件较好，场址周边危险源不会对场址安全构成潜在威胁，人口分布现状可满足场址条件要求，具备项目建设条件。

本项目位于城镇开发边界内，本项目满足《民勤县国土空间总体规划（2021-2035年）》（武政函〔2024〕38号）、《民勤县红砂岗镇国土空间总体规划（2021-2035年）》的生态保护红线管理要求以及《武威市生态环境局关于实施“三线一单”生态环境分区管控动态更新成果的通知》（武环发〔2024〕48号）的生态环境分区管控要求。

10.2 生态环境保护设施

本项目利用新建放射性废物整备中心以及上海应物所武威园区2MWt液态燃料钍基熔盐实堆（TMSR-LF1）项目的放射性废物处理中心，用于处理、暂存本项目运行期间产生的放射性废液、放射性固体废物；此外本项目研究堆主体建筑内配置尾气处理系统，用于工艺废气处理，本项目不同区域的通风系统用于通风废气处理。

对于非放污染物，本项目也采取了系列的环保措施，如化学废气处理设施、

危险废物贮存设施等，以确保本项目运营过程中产生的非放污染物规范处置，达标排放。

10.3 放射性排放

本项目产生的中、放废液以及经处理后不满足空气载带排放浓度要求的低放废液暂存，不向环境排放；低放废液转运至放射性废物处理中心，经处理后达到排放要求后采用空气载带方式通过排气筒向大气环境排放；有机废液和洗涤废液转运至放射性废物整备中心，经处理后达到排放要求后采用空气载带方式通过排气筒向大气环境排放。

10.4 辐射环境影响评价结论

1) 正常工况下的个人剂量

(1) 民勤红沙岗能源化工工业集中区工业企业人员

本项目所在上海应物所武威园区所有核设施向环境释放的放射性物质对周边工业企业人员中任何个人造成的有效剂量占本项目和 2MWt 液态燃料钍基熔盐实堆（TMSR-LF1）项目剂量约束值之和 0.2mSv/a 的 29.9%，满足要求。

(2) 非人类生物辐射剂量

本项目正常运行时，以及本项目与已投运的 2MWt 液态燃料钍基熔盐实堆（TMSR-LF1）项目正常运行期间气态流出物排放对陆生生物造成的危害商小于 1（即辐射剂量率小于辐射剂量率基准值 10 μ Gy/h），气态流出物排放不会对陆生生物产生影响。

2) 事故工况剂量后果

本项目以场址边界作为非居住区边界。

(1) 研究堆：最大假想事故的整个持续时间（24h），场址边界处任何个人所受的最大个人有效剂量能满足规定的事故个人有效剂量（10mSv）的要求。

研究堆最大假想事故所致场址边界处个人有效剂量低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 E 规定的掩蔽通用优化干预水平（10mSv），因此在本项目从设计上消除大规模放射性物质释放、简化应急行动具备技术可行性。

(2) 钍基燃料盐研究系统：在不发生燃料临界事故的情况下，钍基燃料盐

研究中心燃料盐干法批处理事故不会对外界环境造成明显辐射影响。

(3) 放射性废液贮存设施采取了相应的设计与措施以降低放射性废液贮存设施出现泄漏事故时的可能，以此减小其造成辐射环境影响。

10.5 非放射性环境影响评价结论

本项目建设期间给环境带来的影响是局部的、短期的，对环境影响较小。

本项目运行期间的非辐射环境影响评价结论如下：

1) 非放气态化学物质排放的环境影响

本项目工艺过程中的非放气态化学物质排放不会对当地的大气环境产生不良影响。

2) 非放废水排放的环境影响

本项目设置专门场所集中暂存本项目工艺过程中的非放化学废液，非放化学废液收集达到一定数量后，由具有危险废物运输资质单位的公司进行转运、处理，不会对周围环境产生影响。

本项目运行期产生的污废水接入园区污水管网，最终排入红沙岗镇生活污水处理厂。排放执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）B级标准（总磷执行《甘肃水务民勤供水有限责任公司关于红砂岗镇生活污水处理厂污水排入标准情况说明的函》（甘水务民勤发〔函〕〔2017〕3号）要求），满足红沙岗镇生活污水处理厂进水水质要求，不会对周围环境产生影响。

3) 非放固废的环境影响

本项目运行期间产生的一般工业废物按照工业垃圾固体废物进行处置，按规定在民勤红沙岗能源化工工业集中区管理委员会应急和生态环境部工作人员见证下，运送至民勤红沙岗能源化工工业集中区一般工业固体废弃物填埋场处置。

本项目运行期间产生的危险废物收集并送至化学仓库（05子项）危险废物库区域（位于化学仓库西半侧）暂存，贮存场所满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）中的相关规定。危险废物收集达到一定数量后，由具有危险废物运输资质单位的公司进行转运、处理，不会对周围环境产生影响。

本项目运行期间产生的含油废水排至室外含油废水储存池，并根据储水池的储水情况不定期地进行清理及外运处置；其余含油废物按危险废物处置，由具有危险废物运输资质的公司进行转运、处理，不会对周围环境产生影响。

本项目运行期间产生的生活垃圾定点收集，由环卫部门统一清运。

4) 噪声的环境影响

本项目场址边界满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）3类标准的噪声限值要求。本项目处于武威民勤红沙岗能源化工工业集中区内，周边的企业人数较少，预计本项目正常运行期间产生的噪声不会对当地生产生活造成干扰。

10.6 承诺

本项目属于“十四五”国家重大科技基础建设项目，其初步设计正在开展阶段，建议在后续工作中：

- 1) 从设计上确保本项目研究堆达到I类研究堆的安全标准。
- 2) 从设计上进一步深化源项（尤其是氙的排放）的分析。
- 3) 从设计上进一步论证本项目所在上海应物所武威园区环保设施（包括放射性三废处理设施、化学仓库（05子项）危险废物库区域等）共用的技术可行性，特别是有机废液和洗涤废液通过空气载带排放进入大气环境的处理能力和效率，应确保其排放满足国家及地方生态环境标准相关要求。
- 4) 进一步明确放射性废液的最终处置，落实本项目产生的放射性废液及放射性固体废物的最终去向。
- 5) 从设计上进一步深化施工及运行期生产废水及生活污水处理方式，确保达标排放。