

小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目

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

二〇二二年八月

小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目

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项目

环境影响报告书

(选址阶段)

上海核工程研究设计院有限公司 编制

目 录

第一章 概述

1.1 项目名称

1.1.1 项目名称及其业主

1.1.2 建设性质

1.1.3 资金来源

1.2 建设规模和规划

1.3 建设目的

1.4 报告书的编制依据

1.4.1 厂址所在区域规划

1.4.2 遵循的主要法规、标准和导则以及专题报告

1.4.3 许可文件和批准文件

1.4.4 “三线一单”符合性

1.4.5 TMSR 基地子项环评批复情况

1.5 评价标准及评价范围

1.5.1 评价标准

1.5.2 评价范围

第二章 厂址与环境

2.1 厂址地理位置

2.1.1 厂址位置

2.1.2 厂址非居住区和规划限制区

2.1.3 厂址附近居民点

2.2 人口分布和居民食谱

2.2.1 评价区人口分布

2.2.2 厂址附近的重要居民点

2.2.3 居民的年龄构成和食谱

- 2.2.4 流动人口
- 2.2.5 人口分布情况
- 2.3 土地利用及资源概况
 - 2.3.1 工业、交通、军事和文化设施
 - 2.3.2 居民点和农牧场
 - 2.3.3 农牧业生产及陆生资源概况
 - 2.3.4 土地和水体利用
- 2.4 气象
 - 2.4.1 区域气候
 - 2.4.2 设计基准气象参数
 - 2.4.3 当地气象条件
 - 2.4.4 联合频率
 - 2.4.5 混合层高度
 - 2.4.6 扩散参数
 - 2.4.7 厂址气象观测计划
- 2.5 水文
 - 2.5.1 地表水
 - 2.5.2 地下水
 - 2.5.3 洪水
- 2.6 地形地貌
- 2.7 地质地震
 - 2.7.1 地质特征
 - 2.7.2 地震
- 2.8 环境质量现状
 - 2.8.1 大气环境
 - 2.8.2 水环境
 - 2.8.3 环境噪声
 - 2.8.4 工业集中区现有工业企业排污情况

第三章 小型模块化钍基熔盐堆

3.1 厂区规划及平面布置

3.1.1 总平面布置原则

3.1.2 厂区总平面布置

3.2 工程概况

3.2.1 概况

3.2.2 核燃料

3.2.3 专设安全系统

3.3 实验系统

3.3.1 小型模块化钍基熔盐研究堆

3.3.2 钍基燃料盐研究设施

3.3.3 实验发电系统

3.4 反应堆用水和排热系统

3.4.1 供排水系统

3.4.2 排热系统

3.5 通风系统

3.6 供电系统

3.6.1 基地供电

3.6.2 主要厂房供电

3.7 放射性废物系统和源项

3.7.1 放射性贮量

3.7.2 放射性废气系统和源项

3.7.3 放射性废液系统和源项

3.7.4 放射性固体废物系统和源项

3.7.5 钍基燃料盐循环设施及放射性废物整备中心的排放

3.8 化学物质排放

3.9 放射性物质运输

3.9.1 燃料厂内运输

3.9.2 乏燃料厂内转运

3.9.3 放射性废物的运输

3.10 退役考虑

第四章 施工建设过程对环境的影响

4.1 土地利用

4.1.1 工程概况

4.1.2 施工活动对环境的影响

4.2 水的利用

4.2.1 水资源利用

4.2.2 建造施工期排水工程对环境的影响

4.3 施工影响的控制措施

4.3.1 大气污染的控制

4.3.2 水污染的控制

4.3.3 生态污染的控制

4.3.4 噪声污染的控制

4.3.5 固体废弃物的控制

4.3.6 水土流失的控制

4.3.7 辐射污染的控制

4.3.8 施工期间的环境管理措施和监测计划

第五章 正常运行的环境影响

5.1 正常运行的辐射影响

5.1.1 照射途径

5.1.2 气载途径的剂量估算

5.1.3 液态途径的剂量估算

5.1.4 年辐射剂量汇总和评价

5.2 正常运行的非放射性影响

5.2.1 非放废气

5.2.2 非放废水

5.2.3 固体废物

5.2.4 噪声

5.3 正常运行对环境敏感区的影响

第六章 事故的环境影响及环境风险评价

6.1 事故描述和事故源项

6.1.1 事故描述

6.1.2 事故源项

6.2 事故剂量估算和评价

6.2.1 事故大气弥散条件

6.2.2 事故剂量估算

6.2.3 事故剂量评价

6.3 配套设施运行事故

6.3.1 钍基燃料盐干法批处理事故

6.3.2 放射性废液贮存设施泄漏事故

6.4 场内运输事故及其它事故

6.4.1 新燃料运输事故

6.4.2 乏燃料运输事故

6.4.3 其他事故

6.5 应急响应

6.6 环境风险评价

第七章 流出物监测和环境监测

7.1 运行前的环境监测

7.1.1 调查内容及范围

7.1.2 监测与分析方法

- 7.1.3 调查监测结果
- 7.1.4 质量保证
- 7.1.5 辐射环境评价
- 7.2 运行期间的环境监测方案
 - 7.2.1 辐射环境监测
 - 7.2.2 应急监测
 - 7.2.3 非放射性环境监测
- 7.3 运行期间的流出物监测方案
 - 7.3.1 流出物监测的目的
 - 7.3.2 流出物监测的内容
 - 7.3.3 流出物监测系统描述
- 7.4 质量保证
 - 7.4.1 质量控制
 - 7.4.2 质量管理

第八章 结论

- 8.1 工程概述
- 8.2 环境保护设施
- 8.3 放射性排放
- 8.4 辐射环境影响评价结论
- 8.5 非辐射环境影响评价结论
- 8.6 承诺

第一章 概述

1.1 项目名称

1.1.1 项目名称及其业主

本项目名称为：小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目。

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（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，长期从事核科学技术研究及相关工程建设。

上海应物所曾完成了上海光源国家重大科技基础设施的建设与运行任务。上海光源是一台高性能的中能第三代同步辐射光源，于2004年底开工，按期于2009年4月竣工。上海光源运行十年来，取得了丰硕的研究成果。

上世纪七十年代初，应物所曾参加我国“七二八”核电大会战，并先后在所嘉定园区内建成了零功率熔盐实验堆和轻水零功率实验堆。2011年，根据中科院总体部署，应物所重启核能科技研发，承担钍基熔盐堆核能系统（TMSR）战略性先导科技专项，已突破核心关键科学技术，建立了系列实验台架，启动了TMSR实验堆工程建设。

2018年，上海光源划转至中国科学院上海高等研究院，应物所聚焦主责主业，集中科研团队专攻钍基熔盐堆核能系统。目前，应物所拥有上海嘉定和甘肃武威两个园区，其中嘉定园区约400亩，武威园区约1000亩。应物所拥有世界上规模最大、专业齐全的钍基熔盐堆科研与工程队伍（约500人，主要骨干曾参与上海光源和TMSR实验堆建设），积累了丰富的大科学装置工程建设与运行管理经验。

1.1.2 建设性质

本项目为新建项目。

本项目为“十四五”国家重大科技基础建设项目。

1.1.3 资金来源

本项目属于大科学工程项目，资金来源于中央和地方政府支持。

1.2 建设规模和规划

本项目钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地拟选址甘肃省武威市民勤红砂岗能源化工工业集中区（以下简称“红砂岗厂址”）。红砂岗厂址隶属于甘肃省武威市民勤县，厂址坐落于民勤县城西北方位约60km处，与金昌市（厂址西南侧方位）的直线距离约60km，与武威市（厂址东南侧方位）的直线距离约120km，厂址处地理位置坐标为N38°57'31"，E102°36'55"。

钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地规划建设2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）、10MWe小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率60MWt）、钍基燃料盐研究设施及配套设施。

2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）及其相关的配套设施，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，计划2022年底取得核设施运行许可证并装料达到临界，2023年2月满功率运行。配套项目于2018年10月25日取得建设项目施工许可证。

本项目拟建设10MWe小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率60MWt）、钍基燃料盐研究设施及配套设施（具体见第3章3.1节），具体建设按照2025年年内基地破土动工、2029年首次临界并满功率运行为目标推进工作。

1.3 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，熔盐堆因为具有高固有安全性、核废料少、物理防止核扩散和更好的经济性等特点成为热点之一。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。二十世纪七十年代后，由于众多因素的影响，国际上对于熔盐堆的研究终止。

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橡树岭国家实验室（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年钍基熔盐堆核能系统（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。近期，钍基熔盐堆核能系统（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）。

基于2MWe液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）建设和运行的示范效应，中国科学院上海应用物理研究所拟开展建设第四代核能系统的我国首个10MWe

小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率60MWt），实现10MWe钍基熔盐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。同时通过实验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 报告书的编制依据

1.4.1 厂址所在区域规划

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）
- 《民勤县城乡统筹总体规划（2015-2030年）》修改方案（2020）
- 《民勤县红沙岗镇总体规划（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）

2) 规划描述

本项目位于甘肃省武威市民勤县境内。

（1）区域发展规划

- 《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**中科院上海应物所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**，建设世界级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。

（2）环保相关区划、规划

- 《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《民勤红沙岗工业集聚区规划环境影响报告书》确定，执行标准见1.5.1.3

节。

1.4.2 遵循的主要法规、标准和导则以及专题报告

1) 主要法规、条例

- 《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）
- 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》（2021.12.24 发布，2022.06.05 实施）
- 《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）
- 《中华人民共和国海洋环境保护法》（2017.11.05）
- 《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》（2019.03.02）
- 《中华人民共和国自然保护区条例》（国务院令第 687 号，2017.10.07）
- 《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)
- 《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》(2012.08.10)
- 《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》(2015.01.01)
- 《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)
- 《核电厂厂址选择安全规定》(HAF101, 1991)

2) 技术标准和导则

(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 生态影响》(HJ19-2022)
- 《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018)
- 《核设施环境保护管理导则 研究堆环境影响报告书的格式与内容》(HJ/T5.1-1993)

- 《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）
 - 《核设施流出物和环境放射性监测质量保证计划的一般要求》（GB11216-89）
 - 《环境核辐射监测规定》（GB12379-90）
 - 《核设施流出物监测的一般规定》（GB11217-89）
 - 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）
 - 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）
 - 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）
 - 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）
- （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）
 - 《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）
 - 《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）
 - 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）
 - 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）
- （6）固废
 - 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）
 - 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18957-2001）及修改单（原环境保护部公告，2013 年第 36 号）

（7）电磁

- 《高压交流架空线路无线电干扰限值》（GB15707-1995）
- 《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 输变电工程》（HJ24-2020）

（8）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》（GB6249-2011）
- 《核电厂厂址选择中的地震问题》（HAD101/01）
- 《核电厂厂址选择的大气弥散问题》（HAD101/02）
- 《核电厂厂址选择及评价的人口分布问题》（HAD101/03）
- 《核电厂厂址选择的外部人为事件》（HAD101/04）
- 《核电厂厂址选择与水文地质的关系》（HAD101/06）
- 《核电厂厂址选择的极端气象现象》（HAD101/10）
- 《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）

3）专题报告

本项目针对厂址区域社会环境、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》（21FW225-02D00CY03BG，2022.05）

- 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 施工期环境质量现状委托检测报告》（2020.07）
- 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）

1.4.3 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），判定项目建设区域范围不在保护区范围内。

- 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）。

1.4.4 “三线一单”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

根据《甘肃省人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的意见》（甘政发[2020]68号），全省共划定环境管控单元842个，分为优先保护单元、重点管控单元和一般管控单元三类，实施分类管控。甘肃省武威市“三线一单”生态环境分区见图1.4-1。

根据《武威市人民政府关于印发<武威市“三线一单”生态环境分区管控实施方案>的通知》（武政发[2021]38号），全市共划定环境管控单元51个，分为优先保护单元、重点管控单元和一般管控单元三类，实施分类管控。本项目所在TMSR基地所在的武威民勤红沙岗能源化工工业集中区属于重点管控单元，重点管控单元是经济社会高质量发展的主要承载区，主要从空间布局约束、污染物排放管控、环境风险防控和资源利用效率要求四个方面，解决突出生态环境问题。

2) 生态保护红线

民勤县生态保护红线报批文件已于2020年11月向省级部门报批，目前未批复，报批中的民勤县生态保护红线分布图见图1.4-2。生态保护红线图件及相关保护要求以最终发布的国土空间规划为准。结合甘肃民勤连古城国家级自然保护区（图1.4-3），甘肃民勤连古城国家级自然保护区位于本项目所在TMSR基地东北侧约3km，本项目所在TMSR基地不涉及生态红线。

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（参见第二章），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（参见第五章）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《武威市生态环境准入清单（试行）》相关要求。

1.4.5 TMSR 基地子项环评批复情况

TMSR 基地 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）：《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）》正在受理审查中。《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)》和《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）》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）和《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）。

TMSR 基地综合实验大厅、学术活动中心、消防水泵房、净水站、中水生产站、园区综合服务中心、试剂仓库、园区基础设施、园区绿化：完成《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（备案号：201862062100000055）。

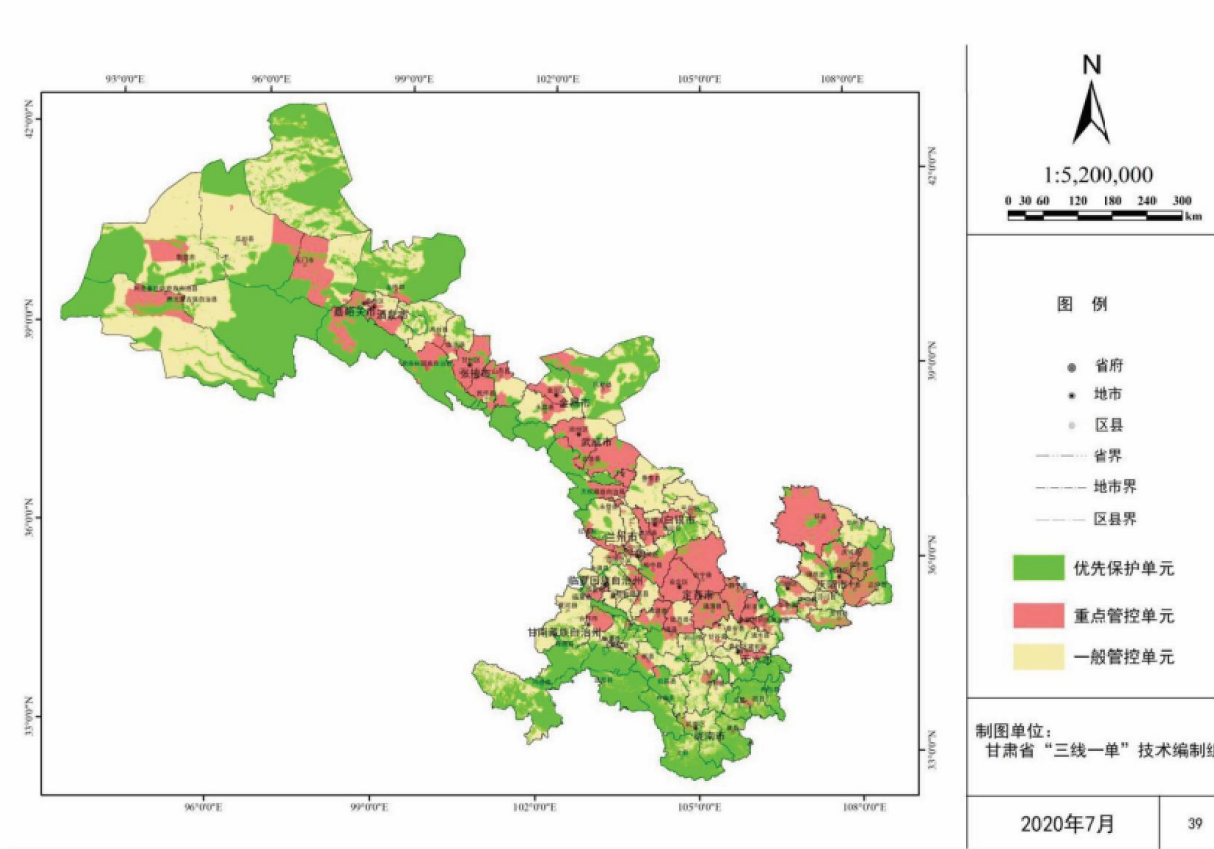


图 1.4-1 甘肃生态环境管控单元分布

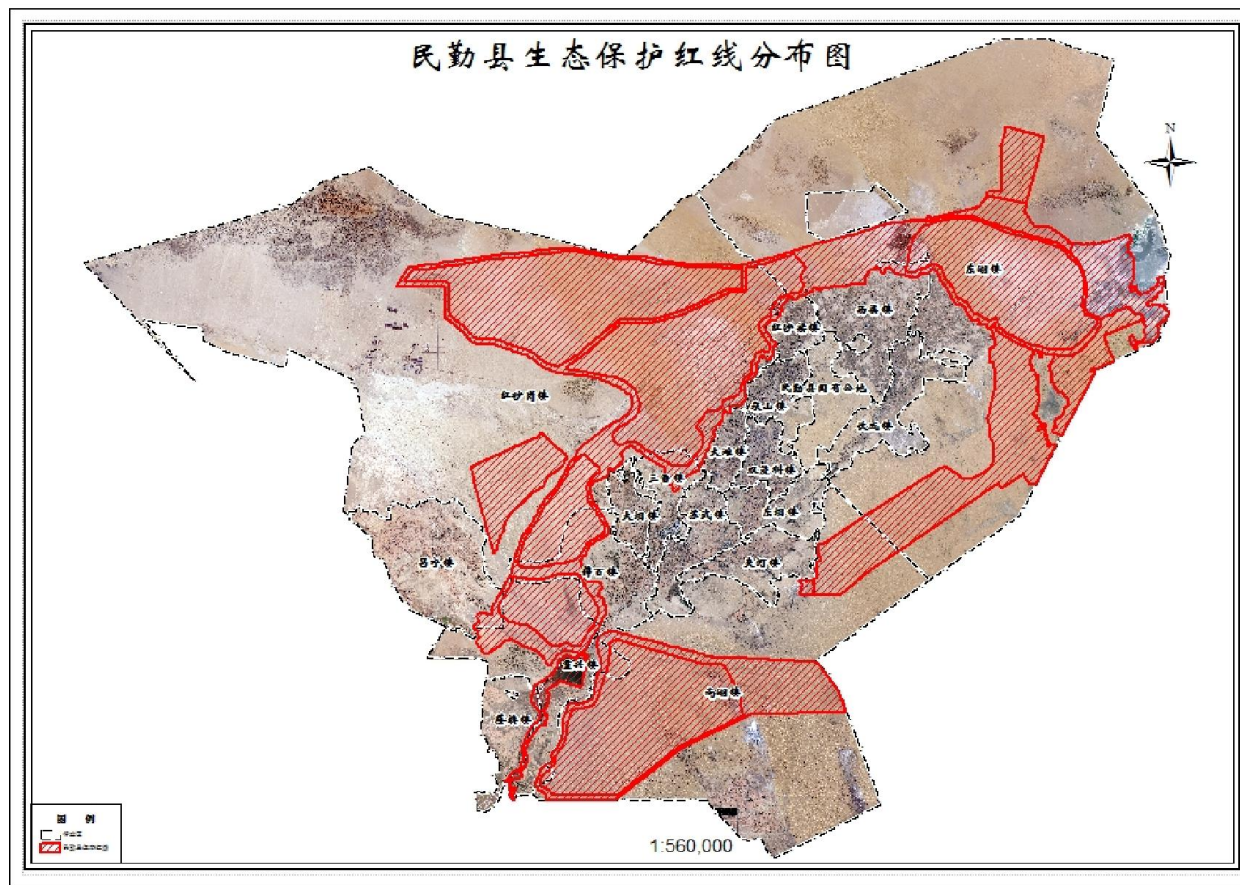


图 1.4-2 民勤县生态保护红线分布图

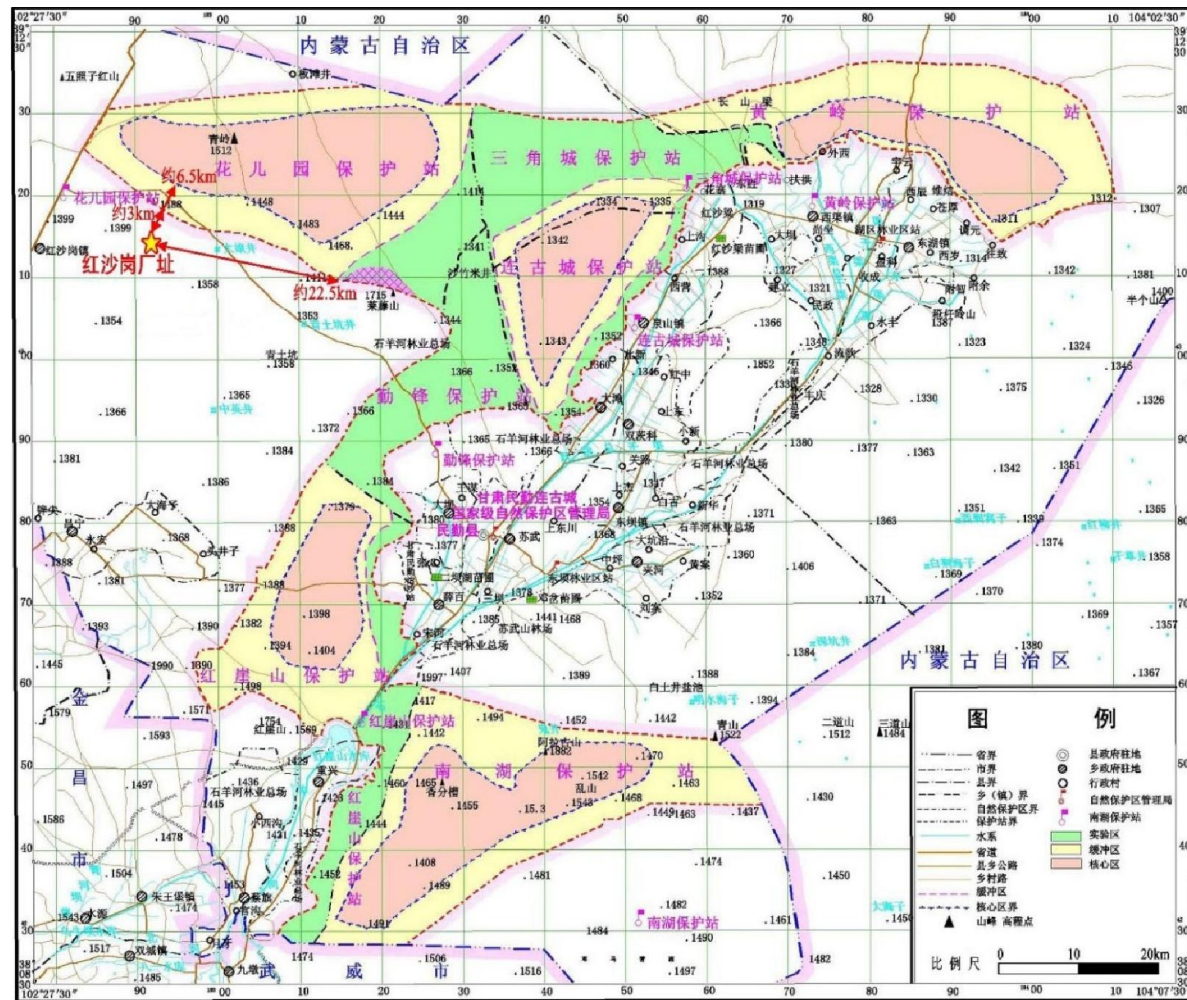


图 1.4-3 厂址与甘肃民勤连古城国家级自然保护区的相对位置关系图

1.5 评价标准及评价范围

1.5.1 评价标准

1.5.1.1 辐射环境影响评价标准

1) 正常运行状态（包括预计运行事件）的剂量约束值

依据《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并结合参考《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）6.1 条款规定的核动力厂正常运行期间的剂量约束值，本次环境影响评价确定本项目所在钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地所有核设施向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量将小于 0.25mSv/a。

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）》，2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目的剂量约束值为 0.1mSv/a。

本项目的剂量约束值拟定为 0.1mSv/a。

2) 事故状态下的剂量控制值

依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《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）关于 I 类研究堆的要求以及《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，并参考《小型压水堆核动力厂安全审评原则（试行）》（国核安发[2016]1 号）关于超设计基准事故重要事件序列所致场址边界个人（成人）有效剂量小于 10mSv 的要求，本项目选址假想事故后果评价的剂量接受准则如下：事故工况期间厂区边界个人通过烟云浸没外照射和吸入内照射途径所接受的有效剂量小于 10mSv。

1.5.1.2 年排放量控制值

对于本项目正常运行期间的流出物排放，本项目将评估本项目产生的流出物排放期间对周围环境的辐射影响以及本项目与 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的剂量约束值。

1.5.1.3 与非放射性有关的环境影响评价标准

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《民勤红沙岗工业集聚区规划环境影响报告书》，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。

根据《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(COD_{Cr}≤500mg/L、BOD₅≤250mg/L、SS≤380mg/L、TN≤66mg/L、NH⁴⁺-H≤45mg/L、TP≤5mg/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。TMSR基地中水生产站投运后，本项目产生的生活污水排至TMSR基地中水生产站并经处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T18920-2020)中车辆冲洗水质标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002, 2006年修订)中一级A标准后要求后回用，再生水回用剩余水量溢流排入市政雨水管网。

3) 声

声环境质量：依据《民勤红沙岗工业集聚区规划环境影响报告书》，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《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)：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》

（GB18957-2001）及修改单（原环境保护部公告，2013年第36号），一般工业废物处置执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）。

1.5.2 评价范围

辐射环境影响评价的评价范围为以基地为中心，半径 10km 的区域。

非辐射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；（2）噪声：评价等级为三级，评价范围为满足 3 类声环境功能区标准值的距离范围。

第二章 厂址与环境

2.1 厂址地理位置

2.1.1 厂址位置

小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目位于 TMSR 基地（即红砂岗厂址），该基地位于甘肃省武威市民勤红砂岗能源化工工业集中区（以下简称民勤红砂岗能源化工工业集中区）。厂址位于甘肃省武威市民勤县，距民勤县城约 57km（厂址 SE 方位），距金昌市约 61km（厂址 SW 方位），距武威市约 120km（厂址 SE 方位）。小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目的地理位置坐标为 N38° 57' 33"、E102° 36' 33"。厂址地理位置见图 2.1-1。

2.1.2 厂址非居住区和规划限制区

《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003.10.01）第二十三条要求核动力厂等重要核设施外围地区应当划定规划限制区。《中华人民共和国核安全法》（2018.01.01）第二十一条规定省、自治区、直辖市人民政府应当在核动力厂等重要核设施周围划定规划限制区，经国务院核安全监督管理部门同意后实施。

根据《核设施环境保护管理导则研究堆环境影响报告书的格式与内容》（HJ/T5.1-1993）要求以及本报告第六章的分析结果，本项目以厂址边界作为非居住区和规划限制区边界。

本项目厂址边界、非居住区边界和规划限制区边界见图 2.1-2。

2.1.3 厂址附近居民点

厂址半径 5km、10km 范围内无固定的居民点。

厂址半径 15km 范围内均位于红砂岗镇，该镇 2021 年户籍人口为 1278 人。

红砂岗镇共有 3 个行政村，分别为花儿园村、红砂岗村、周家井村。周家井村位于厂址 WSW 方位约 18km 处；花儿园村、红砂岗村、花儿园社区（镇区内的 1 个住宅小区）位于厂址半径 12~13km 的红砂岗镇区（合并为一个居民点考虑），该居民点 2021 年户籍人口总数为 1046 人。



图 2.1-1 厂址地理位置图

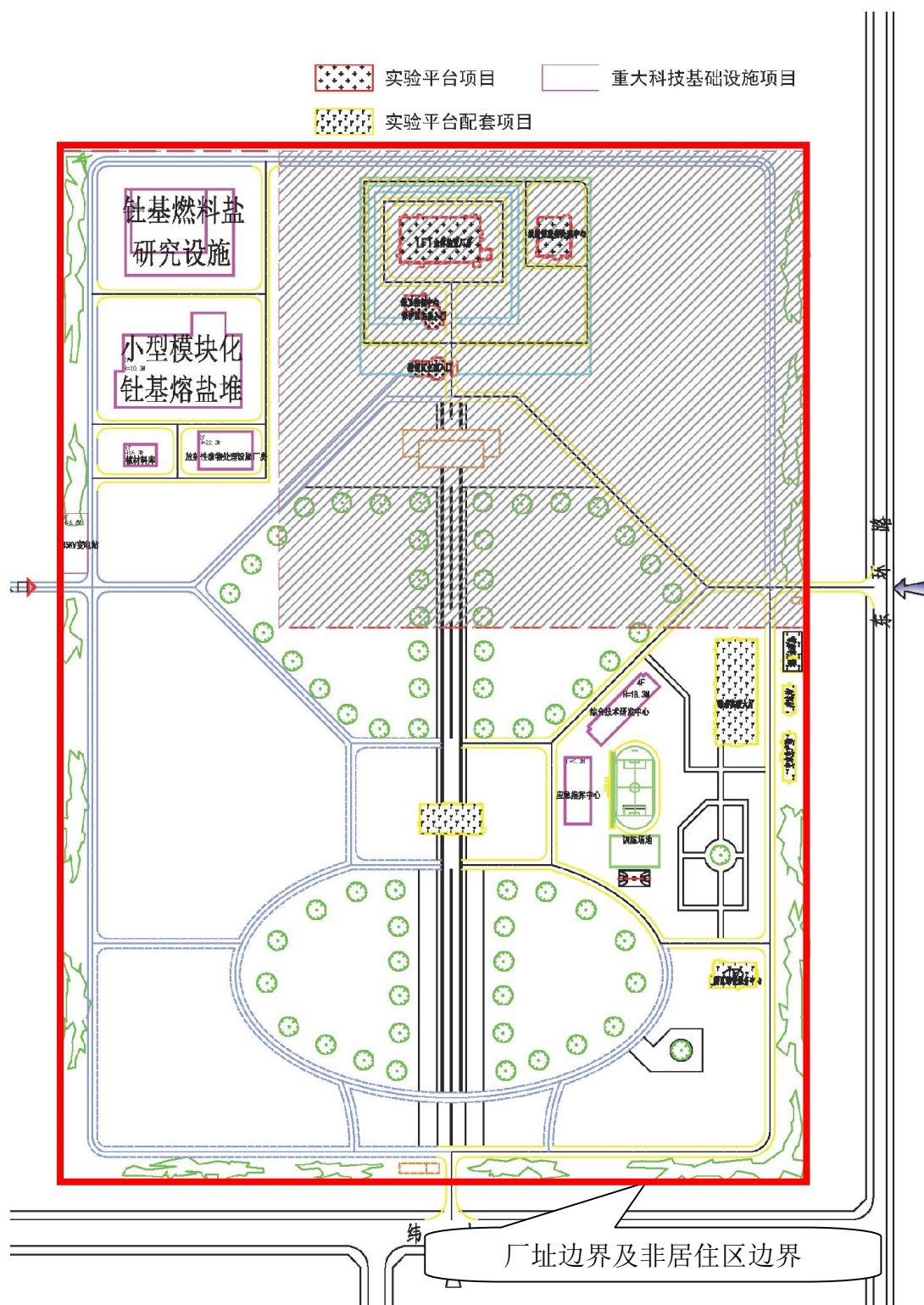


图 2.1-2 厂址边界及非居住区图

2.2 人口分布和居民食谱

苏州热工研究院有限公司于 2022 年 2 月至 2022 年 5 月对本项目所在区域及其周边开展了人口分布和居民食谱调查工作。

2.2.1 评价区人口分布

厂址半径 50km 范围内的人口统计数据来源于厂址半径 50km 范围内的市、县统计部门和 15km 范围内的街道、乡镇政府部门、公安局。人口数据为调查区域 2021 年（厂址半径 15~50km 数据的统计年份为 2020 年）官方人口统计数据。

本报告评价区域为以厂址中心半径 50km 范围，并以厂址中心划分半径为 1、2、3、5、10、15、20、30、40、50km 的同心圆，轴向的罗盘方位为扇形区中心线，划分为 16 个方位，共 160 个子区。

本项目厂址半径 50km 范围内涉及甘肃省武威市民勤县、金昌市以及内蒙古自治区阿拉善盟右旗部分区域。

2.2.1.1 厂址半径 50km 范围内的现有人口分布

厂址半径 50km 评价区范围内，总人口数为 28179 人，平均人口密度为 3.6 人/km²，低于于甘肃省同期平均人口密度 59 人/km²；低于民勤县同期平均人口密度 11.3 人/km²。

- 厂址半径 50km 范围内：人口主要分布在 SE 和 SSW 方位，其中 SE 方位 50km 范围内共有人口 7034 人，SSW 方位 50km 范围内共有人口 9353 人。
- 厂址半径 20km 范围内：人口主要分布在 W 方位，W 方位 20km 范围内共有人口 1046 人。
- 厂址半径 5km、10km 范围内：无常住人口分布。

参照《核电厂选择及评价的人口分布问题》（HAD101/03）中推荐的人口密度法对厂址的现有人口分布进行评价，其结果如下：

- 环形地带评价：均为 I 类厂址。
- 扇形地带评价：2~5km、5~20km 均为 I 类厂址。

综上，厂址周围人口分布符合甘肃省 I 类厂址。

2.2.1.2 厂址半径 50km 范围内的预期人口

本项目计划于 2023 年底建设，建设周期 66 个月，设计寿期不小于 30 年，由此推算本项目运行第一年（2029 年）以及寿期内每隔 10 年即 2039 年、2049 年、2059 年厂址半径 50km 范围内各子区的预期人口分布。

（1）民勤县人口规划

2020 年民勤县的人口自然增长率为-0.15%，2020 年全县人口 178470 人，2021 年 178234 人，2025 年预计 177290 人，2030 年预计 176000 人，民勤县人口整体呈负增长趋势，保守按照零增长考虑。

（2）金昌市人口规划

根据金昌市人民政府 2021 年印发的《金昌市“十四五”人口发展规划》，规划到 2025 年，全市户籍人口超过 46 万（预期性指标），到 2035 年，全市户籍人口达到 48 万（预期性指标）。根据近年金昌市人口变化情况来看，人口总量呈小幅下降趋势，成为人口流出型城市，近年来随着全面二孩政策的实施，新出生人口在 2016 年、2017 年连续增加，随后逐年递减，户籍人口年均自然增长率 2.2%。

考虑未来人口迁入迁出及规划预期性指标的不确定性，暂采用金昌市近年户籍人口年均自然增长率 2.2%作为 2021 年以后的人口预测值。

同时，根据育娲人口研究智库 2021 年发布的《中国人口预测报告 2021 版》，按照目前人口生育鼓励政策的高方案考虑，中国人口在 2030 年左右也达到顶峰，后续逐渐减少，图 2.2-3 给出中国人口预测情况。根据该结论，考虑金昌市人口在 2030 年达到顶峰，之后按照零增长处理。

（4）内蒙古人口发展情况

2021 年末，内蒙古出生人口继续减少，自然增长率下降 1.18%，根据阿拉善盟右旗近年人口统计数据，人口总体呈减少趋势。因此，保守考虑厂址半径 50km 范围内涉及的内蒙阿拉善盟右旗部分区域人口按照零增长考虑。

根据上述人口增长率预测资料，以 2021 年作为基准年，人口预测采用指数增长模式计算。在 2029 年本项目投产时，厂址半径 50km 范围内的总人口数为 28429 人，本项目寿期内 2030 年及之后厂址半径 50km 范围内的人口数为 28461 人。

2.2.2 厂址附近的重要居民点

2.2.2.1 厂址半径 5km、10km 范围内的居民点

厂址半径 5km、10km 范围内无固定的居民点。

2.2.2.2 厂址半径 15km 范围内的重要居民点

本项目厂址半径 15km 范围包含红砂岗镇区中的 2 个行政村，分别为花儿园村、红

砂岗村，另外，镇区内有 1 个住宅小区花儿园社区。他们均位于厂址半径 12~13km 的红砂岗镇区，按照一个集中居民点考虑，该居民点位于厂址 W 方位，常住人口为 1046 人，平均人口密度为 1.5 人/km²。。

2.2.2.3 厂址半径 50km 范围内的城镇

厂址半径 50km 范围内无城镇人口超过万人以上人口中心。

2.2.3 居民的年龄构成和食谱

2.2.3.1 居民的年龄构成

厂址所在民勤县居民年龄构成情况，采用民勤县公安局提供截止 2021 年度最新资料；对于民勤县以外的甘肃地区，采用《甘肃发展年鉴 2021》中各年龄组人口数据进行统计；对于内蒙古地区，采用《2021 年内蒙古统计年鉴》中各年龄组人口数据进行统计。

厂址近区的红砂岗镇≤1 岁占 0%，1~6 岁人口占 3.5%、7~17 岁人口占 3.5%，18 岁以上人口占 93.0%。按上述年龄组构成比例，计算得到厂址半径 50km 范围内各子区各年龄组的人口分布情况。

2.2.3.2 居民的食谱

厂址半径 50km 范围涉及甘肃省武威市民勤县、金昌市以及内蒙古自治区阿拉善盟右旗部分区域。对于厂址远区食物消费资料，主要从有关县（市）统计部门收集城乡居民的饮食消费资料；对于厂址附近资料，主要通过实地调查红砂岗镇当地居民消费情况。

（1）厂址远区资料收集

根据民勤县统计局提供的居民食物消费量数据（2021 年），表 2.2-12 给出了民勤县居民各年龄组的食物消费量。根据民勤县食物消费量统计数据，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。

由于金昌市统计年鉴中无食物消费量统计数据，对于民勤县以外的甘肃地区（金昌市）采用《甘肃发展年鉴 2021》中的食物消费量。

内蒙古区域采用《2021 内蒙古统计年鉴》中的居民食物消费情况。

对于青少年及儿童的食物消费量根据《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》（2002）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）。

（2）厂址近区现场调查

厂址半径 10km 范围内无常住居民居住，本次调查主要针对厂址最近的居民点的红砂岗镇镇区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。

食谱调查共发放 65 份调查问卷，共收回 57 份有效调查表，其中成人 53 份，青少年、儿童各 2 份。成人样本由当地城镇居民、农民以及企业工人。由于红砂岗镇没有在正常运营的学校，故调查到的青少年、儿童样本主要在县城上学，平时一般居住在县城，调查数据由其家属填写。

目前当地牧民很少，食谱调查未调查到牧民样本，厂址附近无有特殊食物消费人群。

根据现场调查，厂址附近居民食物消费是以面食为主，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。厂址附近居民食物消费与民勤县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。同时，由于红砂岗镇无农业种植，主要食物均外购自周边大型乡镇或民勤县城。

2.2.4 流动人口

暂住人口是指持有公安局发放的暂住证的人员，流动人口指包括旅游者和季节性居住人员以及未持有常住和暂住证的人员，流动人口既包括流入人口也包括流出人口。

由于厂址所在的民勤红砂岗能源化工工业集中区近 5 年没有入驻其他企业，相关企业规模也没有扩大。厂址半径 5km 范围暂住人口和流动人口无变化。截止 2021 年，民勤红砂岗能源化工工业集中区内各企业共 1036 人，其余流入人口为周边煤矿企业、光伏企业建设及运维人员。

民勤红砂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厂址 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（厂址 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，本项目建设阶段及厂址周边各光伏、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，这部分临时性工人最多可达五千多人，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。

2.2.5 人口分布变化

● 厂址半径 15km 范围：

采用《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）》描述的 2015 年人口统计资料以及《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）》评审问题回答单提供的 2020 年红砂岗镇人口统计资料与本报告调查人口统计资料进行对比，本次调查厂址半径 15km 范围人口数比前次调查结果多，主要是由于花儿园社区户籍人口增加了 501 人，之前统计数据未将花儿园社区人口作为户籍人口进行统计。

● 厂址半径 50km 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）》评审问题回答单提供的 2020 年人口统计资料，截止 2020 年厂址半径 50km 范围总人口为 27122 人。本次调查厂址半径 50km 范围人口数为 28179 人（厂址半径 15km 数据的统计年份为 2021 年，厂址半径 15~50km 数据的统计年份为 2020 年）。总体上本次调查结果较 2020 年调查结果略有增多，但总体变化不大。

根据《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）》描述的 2015 年人口统计资料，截止 2015 年厂址半径 50km 范围总人口为 39908 人。本次调查厂址半径 50km 范围人口数为 28179 人，相比 2015 年厂址半径 50km 总人口减少了 11729 人。

截止 2015 年厂址半径 50km 范围没有超过万人的城镇，距厂址最近及最大的万人以上城镇为位于厂址 SW 方位约 61km 处的金昌市金川区城区。其次为位于厂址 SE 方位约 57km 处的武威市民勤县城区。

本次调查厂址半径 50km 范围没有超过万人的城镇，厂址半径 80km 范围内城镇人口超过万人以上人口中心有 3 个，其中，最大的人口中心为金昌市金川区；其次为民勤县县城所在地。

2.3 土地利用及资源概况

苏州热工研究院有限公司于2022年2月至2022年5月对本项目所在区域及其周边开展了土地利用及资源调查工作。

2.3.1 工业、交通、军事和文化设施

2.3.1.1 工业

厂址半径15km范围内涉及民勤红砂岗能源化工工业集中区。厂址附近工矿企业大多集中在该区内，本项目也位于该区内。

1) 工矿企业

(1) 工矿企业现状

● 民勤红砂岗能源化工工业集中区内工矿企业现状

厂址所在民勤红砂岗能源化工工业集中区根据功能规划划分为几个产业区，其中：

本项目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、民勤县民勤红砂岗能源化工工业集中区区制汽车站有限责任公司、武威广达科技有限公司。

装备制造区共入驻企业3家，甘肃雨禾节水灌溉设备有限公司、甘肃九翌重工设备有限公司（已停运），甘肃水务投资有限责任公司。

资源精深加工产业区企业2家，分别为甘肃铅钨冶金有限公司（已停运）、民勤鑫铅矿业有限公司（已停运）。

民勤红砂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。厂址半径15km范围内还有光伏发电和煤炭开采企业。

(2) 工矿企业规划

● 民勤红砂岗能源化工工业集中区规划

根据《武威民勤红砂岗能源化工工业集中区发展规划（2020-2035）》，民勤红砂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：位于规划区东部，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：选址位于镇区南侧，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：钛铁资源加工点位于规划区北部，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位于金阿铁路西侧，红砂岗二矿北侧，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：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，民勤红砂岗能源化工工业集中区管理委员会于2021年10月编制了《民勤红砂岗能源化工工业集中区控制性详细规划》，该规划范围为《武威民勤县红砂岗能源化工工业集中区发展规划（2020-2035）》民勤红砂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。

截止目前，红砂岗能源化工工业集中区内工业企业相对5年前没有新增，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，整个规划区产业人口相对最新规划还有很大的差距，建议后续需持续关注该规划的进展情况。

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（厂址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：本规划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：本规划建成污水处理厂 2 座，总设计规模 2.75 万 m³/d，均位于本次规划范围外。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，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，包括民勤红砂岗能源化工工业集中区一般工业固废填埋场（设计规模 2×10 万 m³），位于厂址 S 方位约 8.5km 和杰达一般工业固废填埋场（设计规模 2×10 万 m³），位于厂址 SSW 方位约 6.6km。危险废物集中送往民勤红砂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。

2) 矿产资源

根据《武威民勤红砂岗能源化工工业集中区发展规划》（2020-2035），厂址范围内无煤炭，油页岩资源、钛铁矿和花岗岩资源等压覆矿。

2.3.1.2 交通

1) 陆上交通

(1) 交通现状

厂址半径15km范围内的公路现状如下：

厂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）。厂址半径 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。
- 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，红砂岗至雅布赖段为三级公路。
- 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。
- X504 县道：起点位于红崖山水库，途径民昌公路、民红一级公路，终点位于民勤红砂岗能源化工工业集中区。
- X501 县道：红砂岗镇至东湖镇（白碱湖）公路。

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

厂址半径 15km 范围内的铁路为金阿铁路红金段。

（2）交通规划

● 公路规划

根据《武威民勤红砂岗能源化工工业集中区发展规划（2020-2035）》，厂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，该公路距离厂址最近约西南侧 16km。

厂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《民勤红砂岗能源化工工业集中区控制性详细规划》（2021.10），厂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。

考虑到红砂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。

● 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，强化民勤红砂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500万吨、远期900万吨、远景2000万吨，项目分两期实施。一期工程由金昌火车站至民勤红砂岗能源化工工业集中区，现已投运；二期工程由民勤红砂岗能源化工工业集中区延伸至内蒙古阿右旗常山工业园。一期工程设计运输能力600万吨/年。民勤红砂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

厂址半径 16km 范围内无民用机场，厂址半径 4km 范围内无民用飞机航线通过。

(2) 规划

根据《民勤县国民经济和社会发展第十四个五年规划》，计划建成投用民勤

通用机场，通用机场距离厂址 60km 外。

2.3.1.3 危险品设施

1) 固定危险源

厂址半径 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，其中危险性较大的主要为液氯、氨水、丙烯腈、甲苯等危险化学品储存设施。7 家危化品储存仓库位于核安全导则《核电厂厂址选择的人为外部事件》（HAD101/04）推荐的 10km 筛选距离值内，最近的仓库为距离本项目 SW 方位约 2.9km 的武威艾诺化学科技有限公司的液氯库。

（1）化学品爆炸

选取位于厂址 SW 方位约 3.4km 处的武威杰达科技有限公司，该公司甲苯、丙烯腈的最大储量分别为 83 吨和 155 吨；单罐储存量分别为 83 吨和 77.5 吨。保守以武威杰达科技有限公司的甲苯和丙烯腈最大储量来计算爆炸的安全距离。

计算得到甲苯蒸汽云爆炸的冲击波损害半径 $R=900\text{m}$ ；丙烯腈爆炸的冲击波损害半径 $R=1035\text{m}$ 。可见该距离小于危险品储存设施距厂址的最近距离，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。

厂址半径 5km 内无天然气管线。

（2）有毒化学品泄漏

(i) 选取厂址 SW 方位 2.9km 处武威艾诺化学科技有限公司内 30t 液氯储罐（单罐）泄露作为释放源项。液氯储罐泄露时，在距离储存地点 2.9km 处的氯气浓度未超过 RG1.78 规定的 10ppm 毒性限值 RG1.78 中的毒性限值引用自美国国家职业安全卫生研究所危险化学物质指南手册（NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards, 1997）中的瞬时生命和健康危险限值（Immediately Dangerous to Life and Health, IDLH）。

(ii) 选取厂址 SW 方位 3.4km 处武威杰达科技有限公司丙烯腈储罐泄露作为释放源项。丙烯腈储罐泄露时，在距离储存地点 3.4km 处的丙烯腈浓度低于 IDLH 规定的毒性限值。

综上，厂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

（1）道路移动危险源

红砂岗镇各加油站运输情况如下：

红砂岗加油站（厂址 W 方位约 15km）：汽油，最大 30 吨，1 月 8 次；柴油，最大 30 吨，1 月 8 次。

周家井加油站（厂址 WSW 方位约 18km）：汽油，最大 32 吨，2 月 1 次；柴油，最大 32 吨，1 月 2 次。

上述汽、柴油运输路线距离厂址最近约东北侧 3.4km（民西公路）。

厂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，红砂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。园区内规划将纬六路作为民勤红砂岗能源化工工业集中区危险品专用通道。根据规划，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。

综上所述，各企业危险化学品运输车辆行驶路线距本项目反应堆西南侧最近距离约 1.5km，对于储存量较大液态危化品（如液氯、盐酸等）采用槽车运输，一般单车最大运输量不超过 25 吨。

对于煤矿采用的炸药运输，单次运输量不超过 5 吨，由于煤矿位于民勤红砂岗能源化工工业集中区西北侧，故考虑其最近的运输路线为距厂址最近距离为 NE 方位约 3.4km 的民西公路。

假设运输爆炸危险化学品（以甲苯为例）的车辆刚好在距离厂址最近处发生爆炸，则其蒸汽云爆炸的冲击波损害半径 $R=610\text{m}$ ，远小于厂址与公路的最近距离 1.5km。

假设运输柴油的车辆刚好在距离厂址最近处发生爆炸，则其蒸汽云爆炸的冲击波损伤半径 $R=64.2\text{m}$ ，柴油运输路线与厂址的最小距离 3.4km。

假设运输危险化学品（以液氯和丙烯腈为例）的车辆刚好在距离厂址最近处发生泄露。液氯储罐泄露时，在距离泄露地点 1.5km 处的氯气浓度低于 RG1.78 规定的毒性限值。丙烯腈储罐泄露时，在距离泄露地点 1.5km 处的氯气浓度低于

IDLH 规定的毒性限值。

（2）地下危险品管线

● 现状

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

● 规划

根据《武威民勤红砂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。

因此，厂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。

2.3.1.4 文化、医疗卫生设施

1) 监狱

厂址半径 10km 范围内无监狱。

2) 学校设施

厂址半径 10km 范围内无学校，15km 范围内仅有民勤县红砂岗镇完全小学，目前无在校学生。

3) 医疗设施

厂址半径 10km 内无医院。厂址半径 15km 范围内的医疗设施只有民勤县红砂岗镇卫生院，位于厂址 W 方位约 13km，共有床位 15 张，医务人员 21 人，具体情况见表 2.3-5。

同时，表 2.3-5 也给出了民勤县二级医院的分布情况，其中，距离厂址最近及规模最大的医院为位于厂址 SE 方位 55km 处的民勤县人民医院，共有床位 550 张，医务人员 544 人。

4) 养老院

厂址半径 10km 范围内无养老院，距离厂址最近的养老院为位于厂址 SE 方位约 64m 处的苏武敬老院，目前有 200 位老人。

2.3.1.5 名胜古迹、风景旅游区、自然保护区、生态红线及三线一单

1) 文物保护单位

厂址半径15km范围内无省级以上文物保护单位。

2) 风景旅游区

厂址半径15km范围内无省级及以上风景名胜区。

3) 自然保护区

厂址半径15km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。

该保护区位于甘肃省武威市民勤县境内，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389882.5ha，实际管理图示面积396493.29ha，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。

甘肃民勤连古城国家级自然保护区划分为核心区、缓冲区、实验区三个功能区，其中：核心区面积121058.5ha，缓冲区面积151664.3ha，实验区面积117159.7ha，分别占保护区总面积的31.05%、38.9%、30.05%。保护对象：极端脆弱的荒漠生态系统、荒漠天然植被群落、珍稀濒危野生动植物、古人类文化遗址。

甘肃民勤连古城国家级自然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。保护区内资源状况如下：

(1) 植物资源：保护区内共有植物物种64科227属474种，列入《国家重点保护野生植物名录》的有13种，其中：一级保护植物有裸果木、绵刺、发菜3种，二级保护植物有蒙古扁桃、沙冬青、肉苁蓉、草麻黄、斑种草、沙拐枣、朝天委陵菜、甘草、沙芦草、短芒披碱草等10种。保护区内还有保存完好的绵刺、柠条、怪柳、白刺、霸王、猫头刺、沙拐枣、麻黄等天然灌木林184832.4公顷。

(2) 动物资源：保护区内共有野生动物24目43科89种，属国家重点保护野

生动物的有12种，其中：一级保护动物有金雕1种，二级保护动物有鸢、苍鹰、雀鹰、白头鹞、灰背隼、游隼、纵纹腹小鸮、长耳鸮、短耳鸮、荒漠猫、鹅喉羚等11种。

（3）文化遗址：保护区文化遗址主要有沙井文化遗址（柳湖墩遗址、火石滩遗址、小井子滩遗址）、古城遗址（连城遗址、古城遗址、三角城遗址）、堡寨遗址（红砂、东岸、黑山、红崖堡、青松堡）；古墓葬（汉墓葬等）、古建筑（明长城等）。

（4）脆弱的荒漠生态系统：保护区多年平均降水量110mm，而蒸发量却为降水量的24倍。温度变化剧烈，温差较大。保护区地处巴丹吉林沙漠和腾格里两大沙漠的夹缝之中，荒漠环境严酷，属脆弱的荒漠类型生态系统。

本项目厂址与甘肃民勤连古城国家级自然保护区的相对位置关系图见图2.3-13。保护区的核心区距厂址最近处位于NNE方位约6.5km，缓冲区距厂址最近处位于NNE方位约3km，实验区距厂址最近处位于ESE方位约22.5km。

根据《中华人民共和国自然保护区条例》，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，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。图2.3-14给出甘肃民勤连古城国家级自然保护区拟调整布局图。

4) 生态红线

民勤县生态保护红线报批文件已于2020年11月向省级部门报批，目前未批复，最终生态保护红线图件及相关保护要求以最终发布的国土空间规划为准。

根据报批文件中的生态保护红线分布图，本项目厂址位于生态保护红线外。厂址半径15km涉及的生态敏感目标为厂址东北侧的连古城自然保护区的部分区域，根据《武威市人民政府关于印发〈武威市“三线一单”生态环境分区管控实施方案〉的通知》（武政发[2021]38号），甘肃民勤连古城国家级自然保护区划分为生态红线，图2.3-15中的生态保护红线区域的范围，其保护范围与连古城自然保护区基本一致，本项目厂址与生态保护红线最近距离为东北侧约3km。

5) “三线一单”生态环境管控单元

(1) 甘肃省

根据《甘肃省人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的意见》（甘政发〔2020〕68号）：

全省共划定环境管控单元842个，分为优先保护单元、重点管控单元和一般管控单元三类，实施分类管控。

优先保护单元。共491个，主要包括生态保护红线、自然保护地、集中式饮用水水源保护区等生态功能重要区和生态环境敏感区。该区域严格按照国家生态保护红线和省级生态空间管控区域管理规定进行管控。依法禁止或限制大规模、高强度的工业开发和城镇建设，严禁不符合国家有关规定的各类开发活动，确保生态环境功能不降低。

重点管控单元。共263个，主要包括中心城区和城镇规划区、各级各类工业园区及工业集聚区等开发强度高、环境问题相对集中的区域。该区域是经济社会高质量发展的主要承载区，主要推进产业结构和能源结构调整，优化交通结构和用地结构，不断提高资源能源利用效率，加强污染物排放控制和环境风险防控，解决突出生态环境问题。

一般管控单元。共88个，主要包括优先保护单元、重点管控单元以外的区域。该区域以促进生活、生态、生产功能的协调融合为主要目标，主要落实生态环境保护基本要求，加强生活污染和农业面源污染治理，推动区域生态环境质量持续改善和区域经济社会可持续发展。

本项目所在武威市共划定环境管控单元51个，分为优先保护单元29个，重点管控单元18个和一般管控单元4个。

图2.3-16给出甘肃省生态环境管控单元分布图。厂址所处区域为重点管控单元，为红砂岗工业集聚区，该区域是经济社会高质量发展的主要承载区，主要推

进产业结构和能源结构调整，优化交通结构和用地结构，不断提高资源能源利用效率，加强污染物排放控制和环境风险防控，解决突出生态环境问题。

（2）武威市

根据《武威市人民政府关于印发〈武威市“三线一单”生态环境分区管控实施方案〉的通知》（武政发[2021]38号），全市共划定环境管控单元51个，分为优先保护单元、重点管控单元和一般管控单元三类，实施分类管控。

厂址所在武威民勤红砂岗能源化工工业集中区属于重点管控单元，重点管控单元是经济社会高质量发展的主要承载区，主要从空间布局约束、污染物排放管控、环境风险防控和资源利用效率要求四个方面，解决突出生态环境问题。图2.3-17给出武威市“三线一单”环境管控单元分布图。

根据武威市生态环境准入清单（试行），厂址所在红砂岗能源化工工业集中区管控要求见表2.3-6。本项目属于新能源产业，符合准入清单相关要求。

同时，厂址半径10km范围涉及的优先管控单元为甘肃民勤连古城国家级自然保护区，其管控要求见表2.3-7。

2.3.2 居民点和农牧场

2.3.2.1 距离最近的居民点

距厂址最近的居民点是位于厂址W方位约12~13km处的武威市民勤县红砂岗红砂岗镇区，2021年常住人口为1046人。

厂址各个方位距离最近的居民点列于表2.3-8。

2.3.2.2 距离最近的农牧场

厂址半径15km范围没有菜园、农田、奶牛场，在红砂岗镇区有4家生猪养殖场，均位于厂址W方位约12~13km，情况统计见表2.3-8。

2.3.3 农牧业生产及陆生资源概况

2.3.3.1 农牧业生产

1) 民勤县农牧业生产概况

近年来，民勤县累计发展以葡萄、红枣、枸杞为主的经济林业3.14万ha，棉花、辣椒、葵花种植面积均在0.66万ha以上；畜禽饲养量达450万头只。建成出口农产品生产基地1万ha，先后有43个农畜产品获得“三品一标”认证，“民勤

羊肉”获批实施国家地理标志保护，民勤县荣获“中国肉羊之乡”称号。甘草、锁阳、苁蓉等沙生药材资源丰富，已有27个农畜产品获得无公害、绿色食品、有机食品、地理标志产品认证。

厂址所在民勤县全县农作物播种面积5.72万ha，其中，粮食作物播种面积2.39万ha；经济作物播种面积3万ha。粮食作物中，小麦播种面积0.57万ha，玉米播种面积1.69万ha，薯类播种面积0.127万ha，蔬菜种植面积0.74万ha，瓜类种植面积0.73万ha，茴香种植面积0.47万ha。全年蔬菜产量47.13万吨，瓜类产量40.07万吨，茴香产量2.18万吨，水果产量4.38万吨，药材产量1.36万吨。蜜瓜、果蔬、茴香三大主导产业产值占种植业总产值的65.7%。全年肉类总产量2.43万吨，年末牛存栏2.35万头，出栏1.39万头。羊存栏125.76万只，出栏96.02万只。猪存栏8.05万头，出栏9.35万头，鸡存栏195.33万只，出栏131.7万只。

2) 红砂岗镇农牧业生产概况

厂址所在的红砂岗镇范围内无实际种植面积，截止2021年底，红砂岗镇各规模养殖场情况见表2.3-9。除规模养殖场外，当地居民还有少量散户养殖家禽和羊。各养殖场均位于红砂岗镇区附近，距离厂址W方位约12~13km。

3) 其他区域农牧业生产情况

(1) 金昌市

截至2020年底，金昌市有市级以上农业产业化龙头企业50家、示范性农民专业合作社148家、家庭农场140家，建成粤港澳大湾区“菜篮子”生产基地、优质牧草生产加工基地和奶绵羊良种繁育基地、优质奶源供应基地等精品产业基地10个，农作物播种面积达到8.72万ha。近年来，金昌市蔬菜产业标准化水平逐年提升，蔬菜产品供应稳定增加，截止2020年底面积和产量分别达到1.67万ha、109.65万吨；草食畜牧业发展强劲，创建国家级肉羊核心育种场和国家级肉羊标准化示范场1个、国家级动物疫病净化场2个，建成省级种羊场5家，规模化舍饲养殖畜禽饲养量占全市畜禽饲养总量的60%以上，畜禽总饲养量达275万头只，肉蛋奶总产量达到9.35万吨；以紫花苜蓿为主的优质牧草种植规模大幅增长，建成牧草种植基地1.67万ha，牧草年产量达22.5万吨。

(2) 内蒙古阿拉善盟

根据阿拉善右旗围绕全盟“有机农业、高端畜牧业、特色沙产业、精品林果业、休闲农牧业”农牧业产业发展方向，结合全旗农牧业资源分布及发展方向，

对应打造形成五大优势特色农牧业产业结构。

● 有机农业

粮食作物，以巴彦高勒苏木陈家井、曼德拉苏木板滩井、阿拉腾朝格苏木陆家井、白芨芨为重点区域，建设高产玉米与葵花等作物轮作生产基地、有机高效设施农业示范基地，优质牧草生产基地。

经济作物，以巴彦高勒苏木陈家井、阿拉腾朝格苏木白芨芨、陆家井为重点，打造有机高效设施农业示范基地，发展特色精品果菜、茴香、沙葱、中药材等有机生产。

优质饲草，以巴彦高勒苏木陈家井为重点区域，加强标准化规模养殖场配套建设，扶持发展“种养加”循环农业模式，种植优质苜蓿、青贮玉米。

● 高端畜牧业

双峰驼产业。以塔木素布拉格苏木、阿拉腾敖包镇、阿拉腾朝格苏木、巴丹吉林镇为重点，划定建立阿拉善双峰驼保护区，完善以保种场为中心、核心群为骨干、保种群为基础的三级扩繁体系，选育高产奶量性状的阿拉善双峰驼。

白绒山羊产业。在雅布赖镇伊和呼都格、努日盖嘎查希尼呼都格、巴音笋布尔、巴彦高勒苏木乌兰塔塔拉等地划定建立阿拉善白绒山羊保护区，严禁导入外血杂交改良，保护国家珍贵的遗传种质资源。

精优畜产品。以巴彦高勒、阿拉腾朝格、雅布赖等留牧区为重点。

● 精品林果业

以巴彦高勒苏木为重点区域，引导企业、合作社和农牧民利用农耕地发展骏枣、沙漠有机葡萄、黑枸杞等林果经济，尝试引进推广红枸杞等中药材种植。

2.3.3.2 陆生资源概况

厂址所在民勤县共有林草资源 85.31 万 ha，其中林地面积 53.5 万 ha，草地面积 30.5 万 ha，湿地面积 1.3 万 ha；民勤县 2020 年森林资源管理“一张图”数据显示，民勤县林地总面积 39.54 万 ha，森林面积 28.95 万 ha，森林覆盖率 18.28%，森林蓄积 5.10258 万 m³。

厂址所占区域目前无林业资源，厂址半径 15km 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

厂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、野苜蓿、野苜蓿、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

厂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。野生珍贵动物极少，属国家二级保护动物有石貂、盘羊、鹅猴羚和天鹅。

厂址厂区及半径 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。

厂址半径 15km 范围涉及的保护性动植物资源位于甘肃民勤连古城国家级自然保护区，具体资源状况见 2.3.1.5 节描述。

2.3.4 土地和水体利用

2.3.4.1 水体利用

1) 地表水

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 。

半径 15km 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 。根据甘肃省水文水资源局于 2012 年 11 月编制的《潮水东盆地水资源调查评价报告》的结论，潮水东盆地地下水可开采量为 5061 万 m^3 /年，即 13.9 万 m^3 /d。四方墩滩水源地处于潮水东盆地内。

厂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

随着民勤红砂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，根据矿区地质勘察报告提供的数据和实际抽取量计算，红砂岗一矿涌水量 $120\text{万m}^3/\text{a}$ 。疏干水中氯离子、总硬度、总碱度、总溶解性固体等指标较高，以红砂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，每年可提供 100万m^3 的工业用水。目前作为矿区内部生产用水、生态用水。

（2）饮用水

根据甘肃省人民政府甘政函[2018]103号文“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”，2013年划定的民勤县城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，保护区面积 2.515km^2 。民勤县城第二供水水源地保护区位于厂址SSE方位约 65km 。

根据武威市人民政府武政发[2013]294号文“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”，厂址半径 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。

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，位于厂址半径 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。

厂址半径 50km 范围内集中式饮用水源地具体信息如表2.3-10所示。

厂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砂岗二矿疏干排水井，各水井均未划定水源保护区。图2.3-18给出厂址半径 15km 范围内地下水井分布情况。

其中，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。红砂岗镇区机井井深 200m ，供水量 $800\text{m}^3/\text{d}$ ，

位于厂址W方位约12km；徐家井机井深70m，供水量200m³/d，位于厂址SW方位约13.5km。

2.3.4.2 土地利用

厂址半径15km范围均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。图2.3-19给出了红砂岗镇工业集中区范围及用地类型现状情况。

目前，武威市、民勤县国土空间规划尚未发布，根据现行有效的《民勤县红砂岗镇总体规划（2018-2030）》，近期至2020年，镇区城镇建设用地规模控制在80.76ha以内；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。

综上所述，本项目位于民勤红砂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，主要为钍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。

图2.3-20给出红砂岗镇工业集中区范围及用地类型规划情况。

表 2.3-5 厂址周边及民勤县城医院情况

序号	单位名称	地址	病床数 (张)	医务人员 数 (人)	方位	距离 (km)
1	民勤县红砂岗镇卫生院	民勤县红砂岗镇镇区	15	21	W	13
2	民勤县人民医院	民勤县县城	550	544	SE	55
3	民勤县中医院	民勤县县城	410	190	SE	55

表 2.3-6 红砂岗能源化工工业集中区环境管控单元准入清单

环境管控单元编码	环境管控单元名称	行政区划			管控单元分类	空间布局约束	污染物排放管控	环境风险防控	资源利用效率要求	备注
		省	市	县						
ZH62062120002	武威民勤红砂岗能源化工工业集中区	甘肃省	武威市	民勤县	重点管控单元2	1.严格执行园区规划环评及其审查意见对空间布局、选址的要求。 2.不得开展违反国家法律、法规、政策要求的开发建设活动。 3.执行《关于加强高耗能、高排放建设项目生态环境源头防控的指导意见》（环环评[2021]45号）等相关要求。 4.将规划的煤炭资源区研石发电厂、灰渣建材厂等重点项目，煤电化工区煤制甲醇转烯烃厂、离子膜烧碱厂等重点生产线向南侧集中，将有较大防护距离的企业尽量远离连古城自然保护区布置，设置一定的过渡带。 5.园区应大力发展风力发电、太阳能光伏发电等新能源产业，重点发展装备制造、建材化工产业，精细化工业产业适度发展煤炭深加工产业链。	1.按照规划环评及其审查意见相关要求加强污染物排放管控，执行总量控制相关要求。 2.开展重点行业、工业园区污染限期整治，升级改造环保设施，确保稳定达标排放。 3.规范企业及园区固体废物管理、处置。 4.执行《关于加强高耗能、高排放建设项目生态环境源头防控的指导意见》（环环评（2021）45号）中对污染物排放管控的要求。	1.加强产业园区环境风险防控体系建设并编制应急预案，细化明确产业园区及区内企业环境风险防范责任，与地方政府应急预案做好衔接联动，切实做好环境风险防范工作。 2.加强应急救援队伍、装备和设施建设，储备必要的应急物资。定期开展突发环境事件应急演练，提高突发环境事件联防联控能力。 3.强化土壤和地下水环境风险防控，按照《关于印发强化危险废物监管和利用处置能力改革实施方案的通知》（国办函（2021）47号）《关于提升危险废物环境监管能力、利用处置能力和环境风险防范能力的指导意见》（环固体（2019）92号）等相关要求加强危险废物环境风险管控。	1.执行全省和武威市总体准入清单中重点管控单元的资源利用效率要求。 2.继续实施能源消耗总量和强度双控行，提高非化石能源消费比重。	高排放区、水环境工业重点管控区（含城东片区，原城东工业园区）

表 2.3-7 甘肃民勤连古城国家级自然保护区环境管控单元准入清单

环境管控单元编码	环境管控单元名称	行政区划			管控单元分类	空间布局约束	污染物排放管控	环境风险防控	资源利用效率要求	备注
		省	市	县						
ZH62062110001	甘肃民勤连古城国家级自然保护区	甘肃省	武威市	民勤县	优先保护单元1	生态保护红线内，自然保护区核心保护区原则上禁止人为活动，其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规前提下，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。	自然保护区应严格执行《中华人民共和国自然保护区条例》（中华人民共和国国务院令687号）、《甘肃省自然保护区条例》（甘肃省第十三届人民代表大会常务委员会第五次会议于2018年9月21日修订通过，甘肃省人民代表大会常务委员会公告（第10号））相关要求。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。	加强区域内环境风险防控，不得损害生物多样性维持与生境保护、水源涵养、营养物质保持等生态服务功能。在进行各类建设开发活动前，应加强对生物多样性影响的评估，任何开发建设活动不得破坏珍稀野生动植物的重要栖息地，不得阻隔野生动植物的迁徙通道。	鼓励使用清洁能源，提高水资源综合利用效率，推进污水资源化利用。	生态红线；大气环境优先保护区

表 2.3-8 厂址半径 15km 范围内各方位最近的居民点、菜园、农田、养殖场和自然保护区统计情况表（1/2）

方位	居民点			菜园				农田				奶牛场				家畜养殖场						
	地名	距离 (km)	人口 (人)	距离 (km)	面积 (ha)	主要作物	年产量 (t)	距离 (km)	面积 (ha)	主要作物	年产量 (t)	名称	距离 (km)	饲养量 (头)	年奶产量 (kg/年)	本地消费量 (kg/年)	名称	距离 (km)	饲养品种	年存栏量 (头)	本年上市量 (头)	
N																						
NNE																						
NE																						
ENE																						
E																						
ESE																						
SE																						
SSE																						
S																						
SSW																						
SW																						
WSW																						
W	红砂岗镇区	12-13	1046														盛康农牧有限公司养殖场、东部养殖园区 3 家养殖场	12~13	猪	16260	5400	
WNW																						
NW																						
NNW																						

表 2.3-8 厂址半径 15km 范围内各方位最近的居民点、菜园、农田、养殖场和自然保护区统计情况表（2/2）

方位	家禽养殖场				自然保护区					珍稀动物生长、栖息地										
	名称	距离 (km)	饲养品种	年家禽上市量 (kg)	年禽蛋上市量 (kg)	地名	距离 (km)	保护区名称	保护对象	面积、范围	保护区等级	名称	距离 (km)	珍稀动植物种类	面积、范围	生长、繁殖期	珍稀动植物量			
N	无																			
NNE									连古城自然保护区	3.0	连古城自然保护区	极端脆弱的荒漠生态系统、荒漠天然植被群落、珍稀濒危野生动植物、古人类文化遗址	389882.5 公顷	国家级	连古城自然保护区	3.0	见 2.3.1.5 节	389882.5 公顷	见 2.3.1.5 节	见 2.3.1.5 节
NE																				
ENE																				
E																				
ESE																				
SE																				
SSE																				
S																				
SSW																				
SW																				
WSW																				
W																				
WNW																				
NW																				
NNW																				

表 2.3-9 红砂岗镇各规模养殖场情况

养殖场名称	养殖类型	存栏量（只）	出栏量（只）	销往地
盛康农牧有限公司	生猪	14300	4900	主要销往金昌市、新疆等
益源养殖小区	生猪	650	240	主要销往金昌市
红昌养殖小区	生猪	210	110	主要销往金昌市
红欣养殖小区	生猪	1100	150	主要销往金昌市

表 2.3-10 厂址半径 50km 范围内集中式饮用水源地情况

序号	所在地市	水源地名称	水源地类型	级别	服务人口区域	供水能力 (m ³ /d)	与本项目位置关系
1	武威市民勤县	昌宁镇昌宁供水站	地下水型	乡镇级	昌宁镇	900	SSW 37km
2	武威市民勤县	大坝镇祁润供水站	地下水型	乡镇级	大坝镇	998.28	SE 50km
3	武威市民勤县	大坝镇文化供水站	地下水型	乡镇级	大坝镇	5260	SE 50km
4	金昌市	双湾镇天生坑饮用水水源地	地下水型	乡镇级	天生坑村	451	SSW 46km
5	金昌市	双湾镇天生陈家沟饮用水水源地	地下水型	乡镇级	陈家沟村	1325	SW 45km

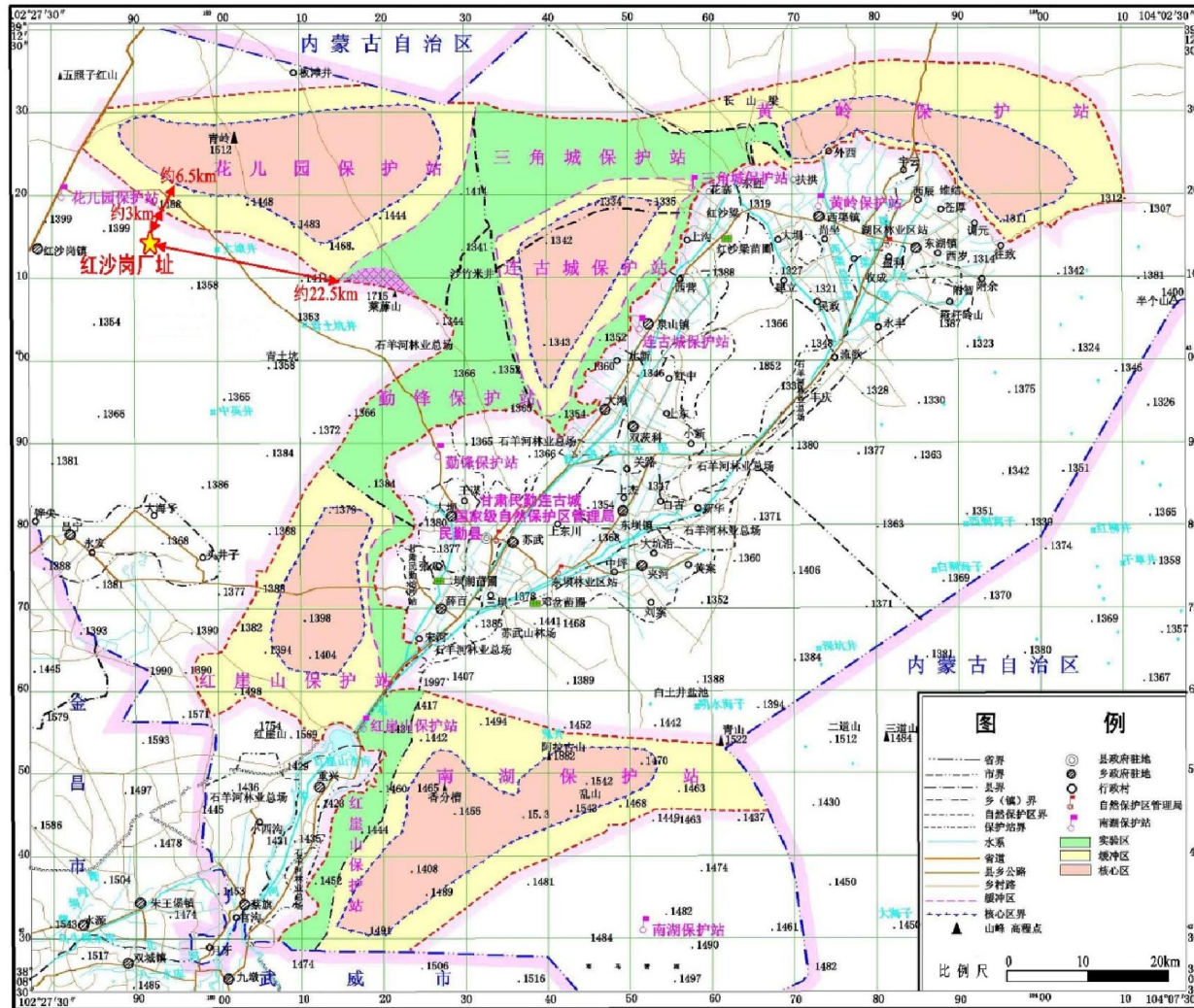


图 2.3-13 厂址与甘肃民勤连古城国家级自然保护区的位置关系示意图

甘肃民勤连古城国家级自然保护区整合优化前后对比图

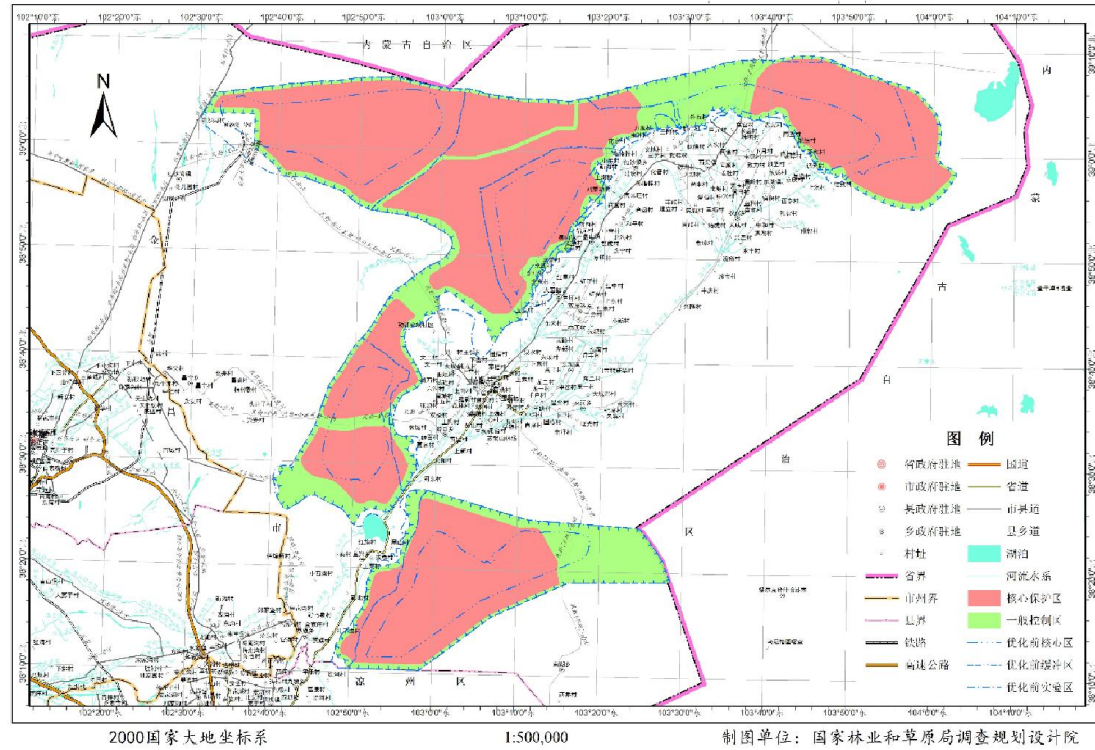


图 2.3-14 甘肃民勤连古城国家级自然保护区拟调整布局图

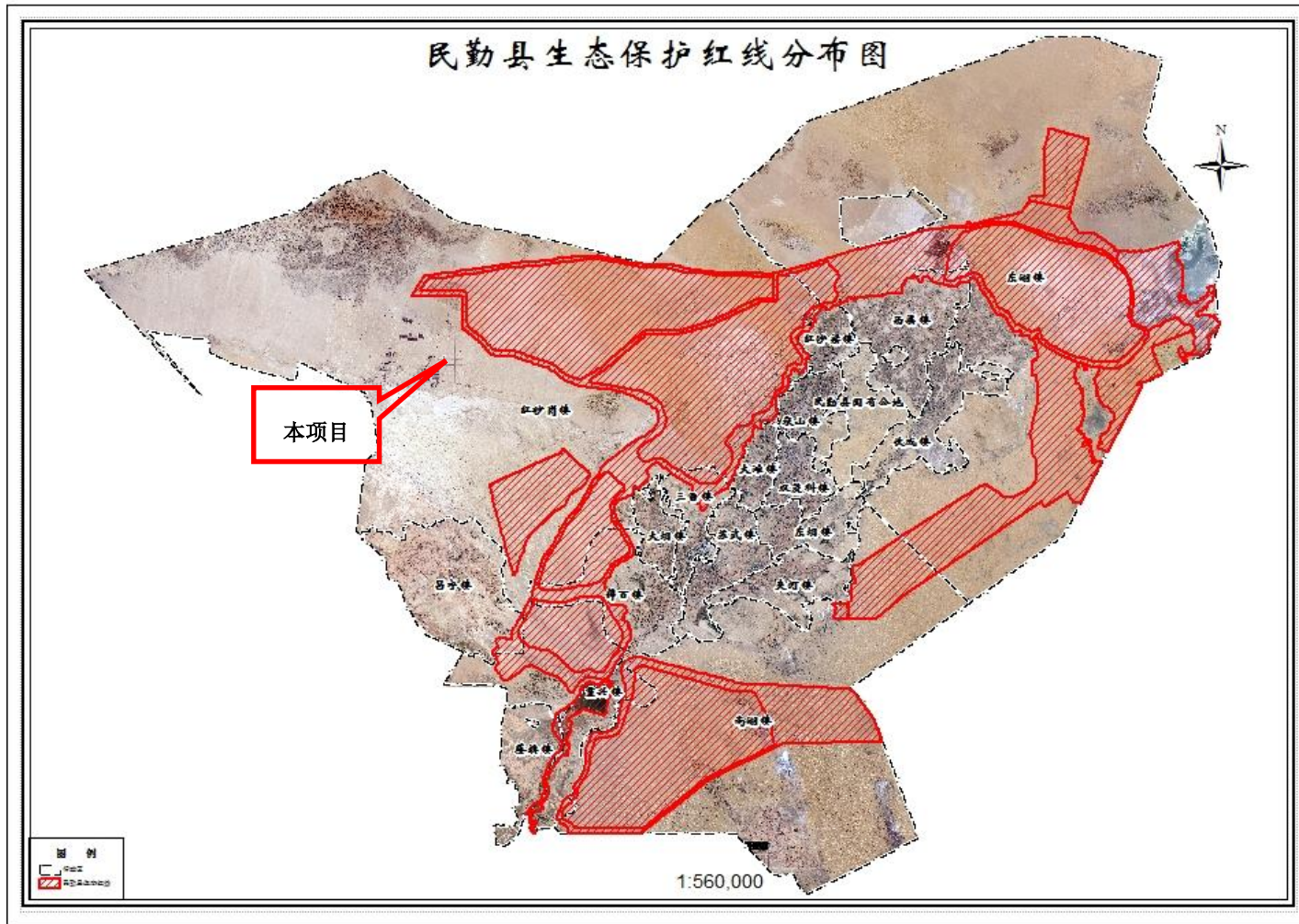


图 2.3-15 民勤县生态保护红线分布图

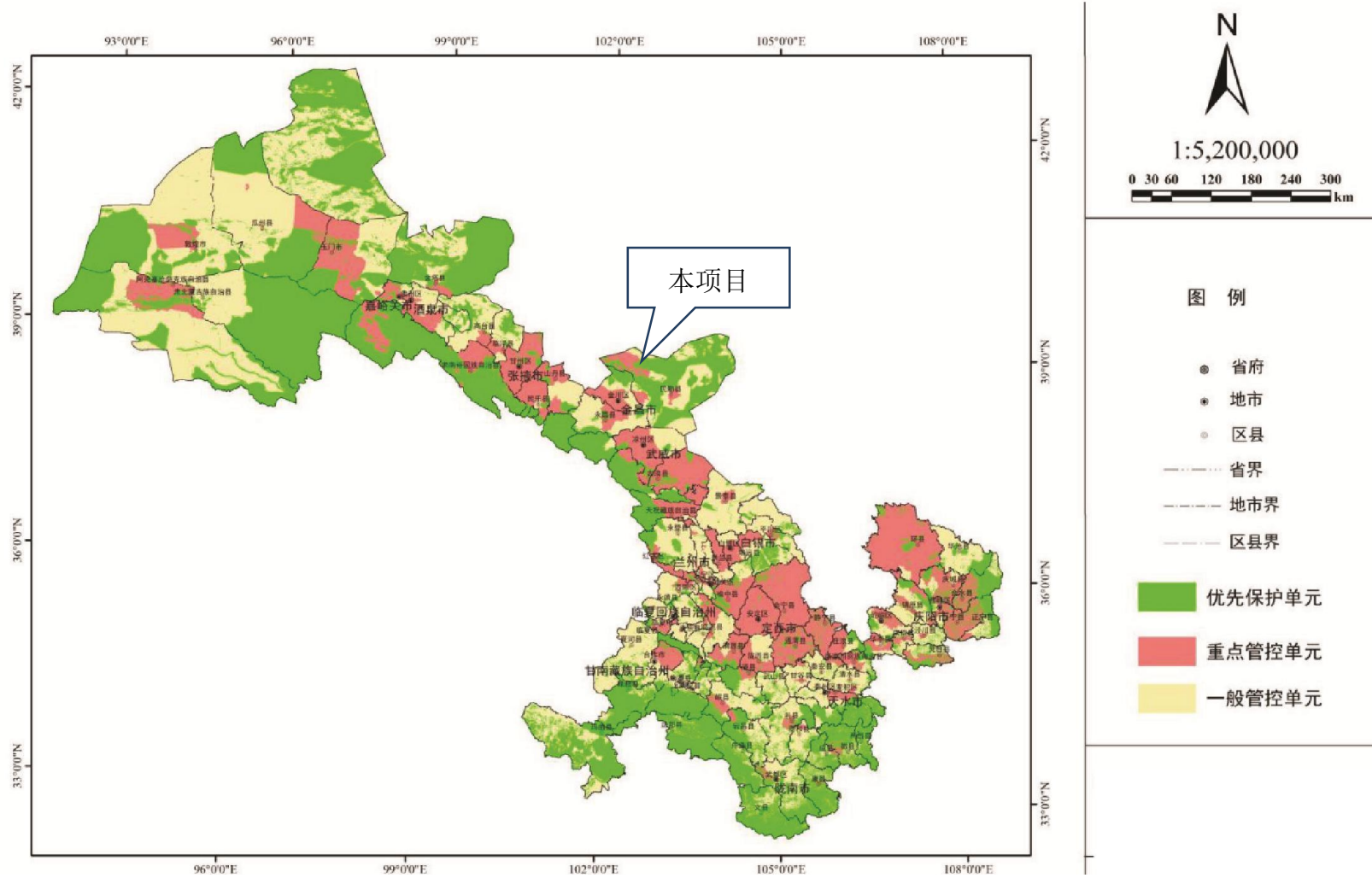


图 2.3-16 甘肃省生态环境管控单元分布图

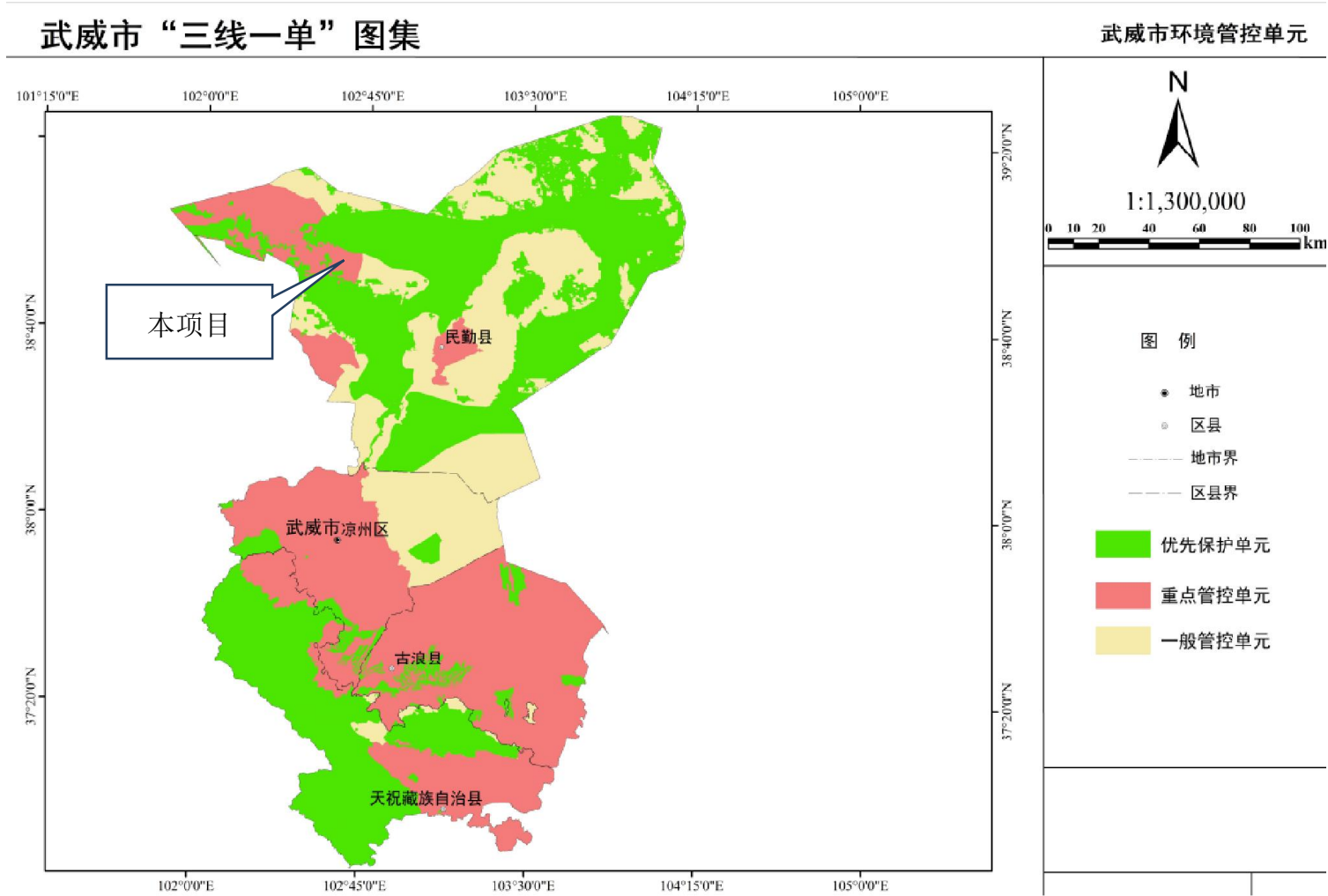


图 2.3-17 武威市“三线一单”环境管控单元分布图

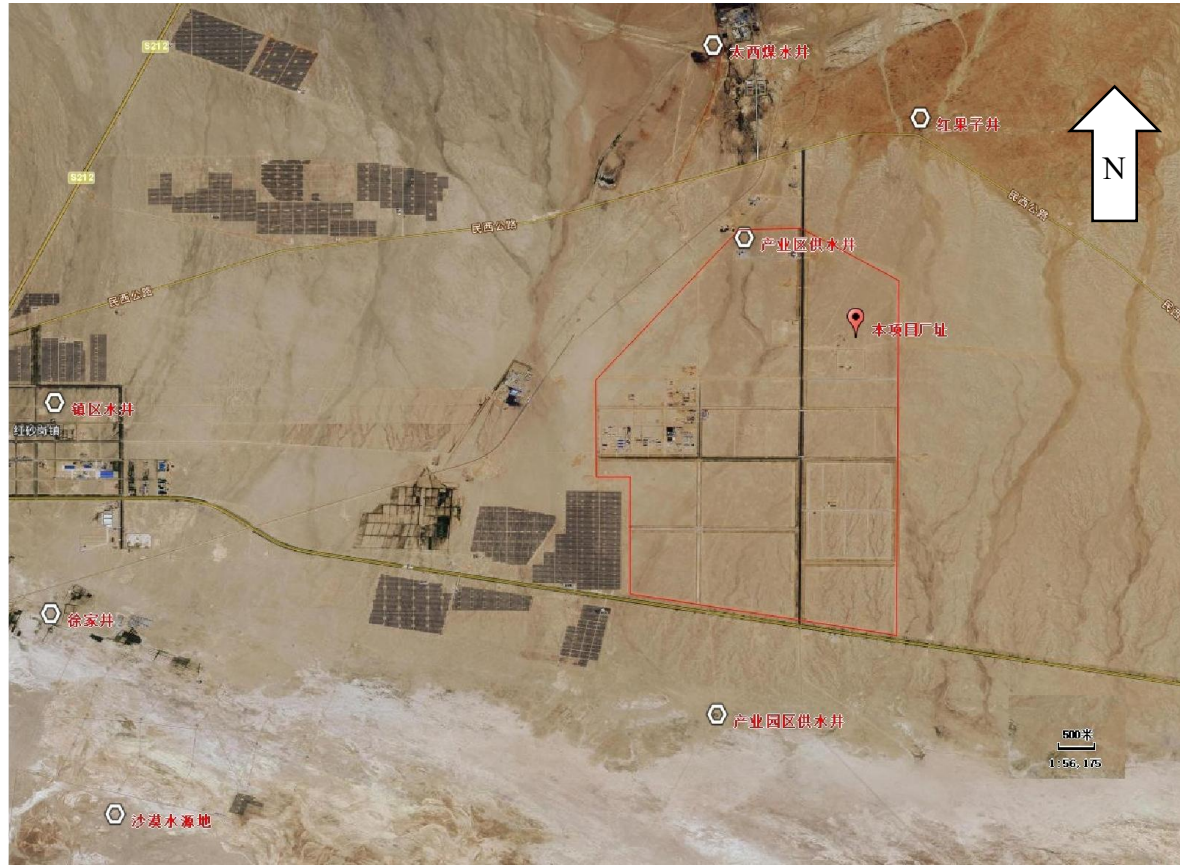


图 2.3-18 厂址半径 15km 范围主要地下水井分布情况

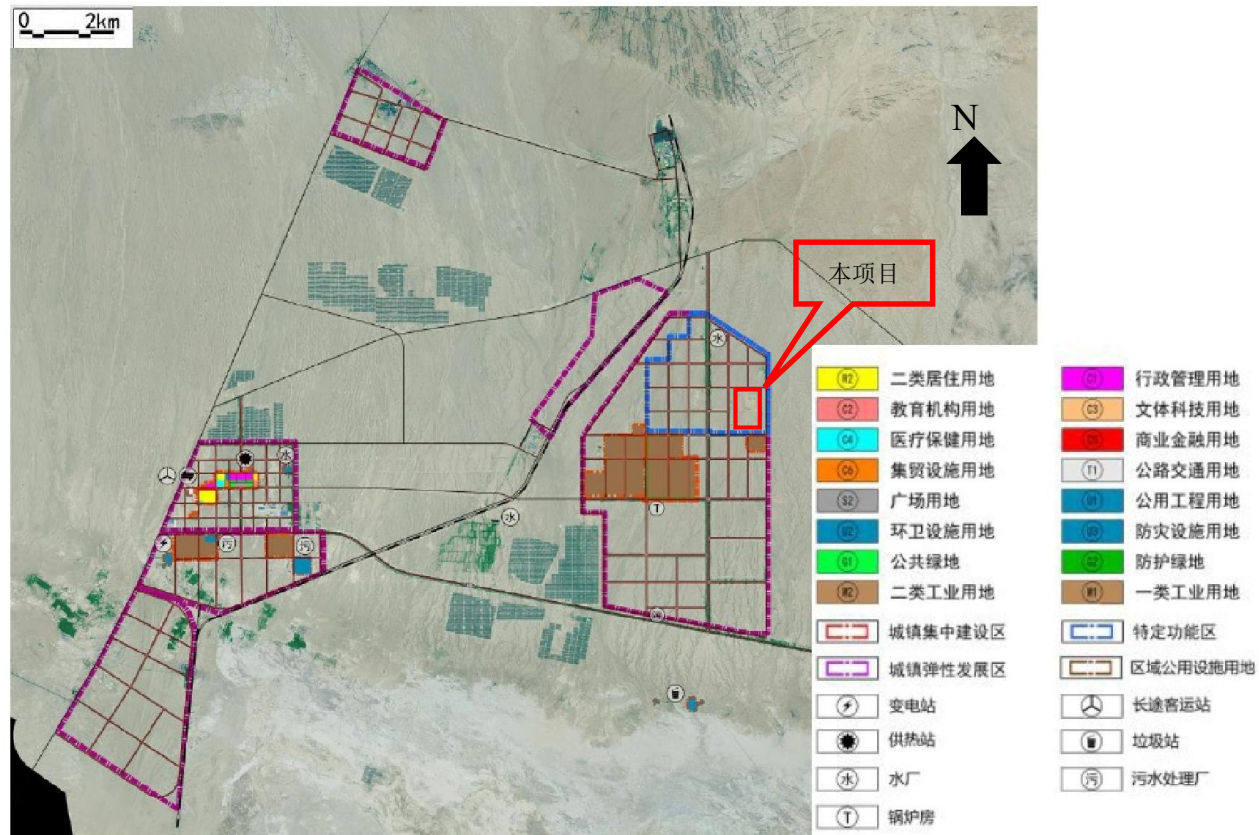


图 2.3-19 民勤红砂岗能源化工工业集中区用地现状情况

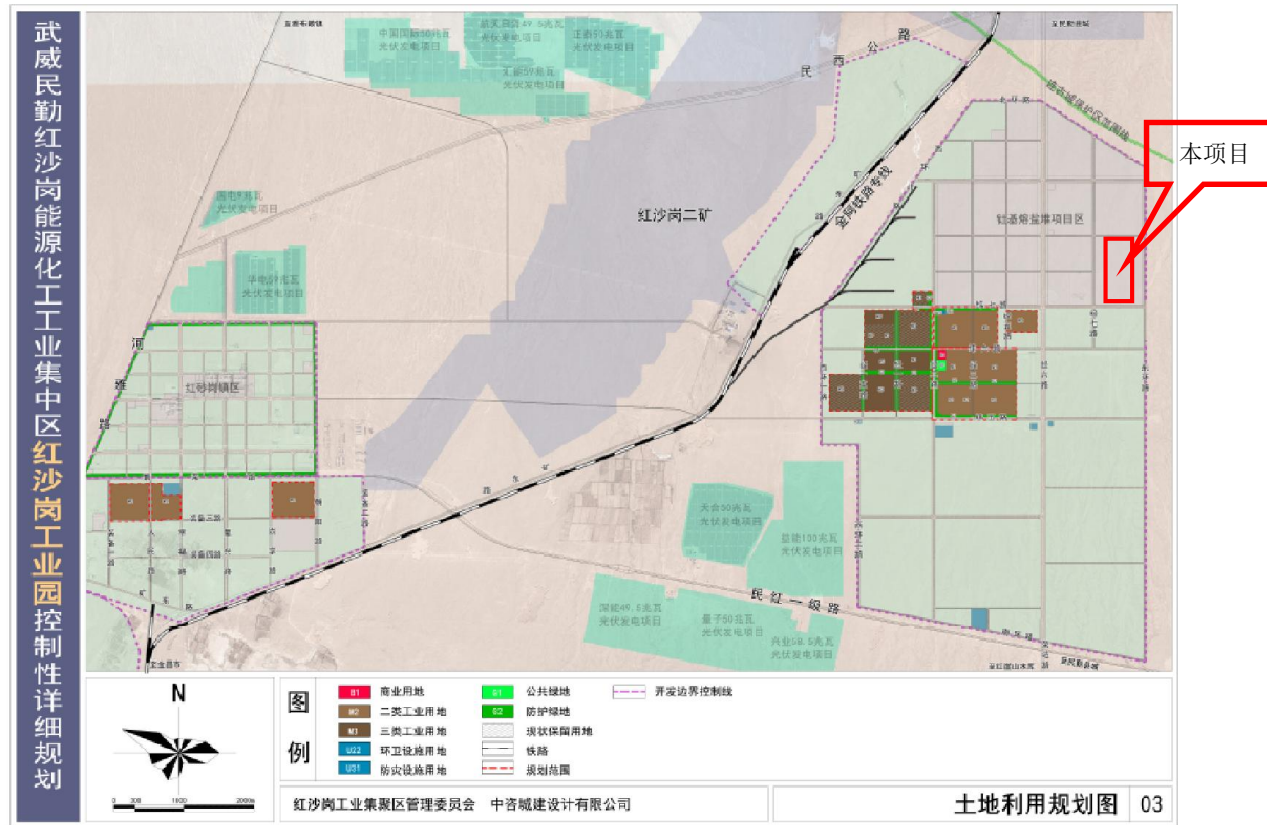


图 2.3-20 民勤红沙岗能源化工工业集中区土地利用规划情况

2.4 气象

厂址在 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）可研阶段曾开展常规气象、极端气象调查专题研究，搜集截至 2016 年的气象资料，2017 年 9 月完成《TMSR 先进核能实验基地选址项目常规气象、极端气象调查专题报告》（以下简称“2017 版成果”），为厂址确定极端气象事件与参数提供了依据。在 10MWe 小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率 60MWt）、世界首个具备 10 升/批次干法批处理热验证能力的钍基燃料盐研究系统及配套设施项目可研阶段，2022 年 6 月完成《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》（以下简称“2022 版成果”），其中气象资料序列延长至 2021 年。基于合理偏保守原则，对于 2022 版成果的“强度”不变或变弱的参数，维持原设计基准；对于 2022 版成果的“强度”略有增强的参数，采用新参数作为设计基准。结果表明，极端温度和最大风速的极端气象事件和参数均等于或略弱于原设计基准，维持原设计基准；龙卷风、极大风速、极端降水和极端积雪的极端气象事件和参数均等于或略强于原设计基准，采用新参数作为设计基准。

2.4.1 区域气候

2.4.1.1 区域气候特征

厂址位置处在极地高压、副热带高压和青藏高原（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，厂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

在本项目中搜集了厂址附近 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。

根据厂址气象代表站民勤站 1953~2021 年的多年气象资料，统计区域常规气象参数如下：

1) 气温

民勤站累年平均气温 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，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 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 888.8hPa，出现于 1955 年 1 月 15 日；极端最低气压 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 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 25.2hPa，出现在 7 月；最低水汽压 0hPa，出现在 1 月。

4) 相对湿度

民勤站累年平均相对湿度 44%，累年月平均最大相对湿度出现在 8、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 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 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 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 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 设计基准气象参数

设计基准气象参数资料年限均至 2021 年。

2.4.2.1 龙卷风

按照《研究堆厂址选择》（HAFJ0005）的规定，龙卷风调查范围为以厂址为中心，半径 100km 的区域（图 2.4-2）。龙卷风资料调查年限为 1949~2021 年，共 73 年。收集的龙卷风以有气象站正式记录的龙卷风为主，此外，从《中国气象灾害大典》（甘肃、内蒙古分卷）、地方志、全国气候影响评价等文献资料以及近年来媒体的相关报导等收集补充龙卷风个例。

调查结果显示，调查范围内自 1949 年至 2021 年期间只发现武威（1952、2013 年）、民勤（2003 年）和永昌（1988 年）共 4 个龙卷风的记录。相关资料表明，建国之前，调查区域没有龙卷风的记载。

调查区内龙卷风样本数少（4 个），且其中仅有 2 例龙卷风有灾害描述。本次调查区域龙卷风个数与 2017 版成果相同，但 2017 版成果仅调查到 2003 年 5 月 25 日一场龙卷风描述，按其最大风速推荐了设计基准；本次调查经过核实，增加了对 2013 年 7 月 31 日发生在武威的龙卷风的描述，且本次灾情描述比前一版仅有描述的一例更为严重，因此需要重新评价设计基准。对 2003 年和 2013 年两次有灾害描述的龙卷风级别进行了评定，评级结果分别为 F0.0 级和 F1.4 级。

基于上述调查结果，并从偏保守角度考虑，推荐龙卷风的基准为 F1.4 级，龙卷风设计基准风速 39.5m/s。

2.4.2.2 沙尘暴

根据民勤（1954~2021 年）、雅布赖（1956~2021 年）两站的资料对厂址区域内沙尘暴进行统计分析。民勤气象站自建站到 2021 年累年平均发生沙尘暴 23 天，累年最多沙尘暴日数为 58 天（1963 年）。雅布赖气象站自建站到 2021 年累年平均发生沙尘暴 8 天，累年最多沙尘暴日数为 27 天（1979 年）。相比之下雅布赖沙尘暴次数较少，民勤较多。3~7 月是民勤沙尘暴的高发期，该时段沙尘暴出现的次数占全年的 67.4%。

在民勤出现过的沙尘暴中，风速多次在 20m/s 以上。1971 年 7 月 12 日出现在民勤的沙尘暴最大瞬时风速达 31m/s，是民勤站沙尘暴天气中记录到的瞬时风速最大值。此外，1993 年 5 月 5 日的强沙尘暴天气过程中，最大瞬时风速为 37.9m/s，出现在宁夏中卫，厂址附近 100km 内的金昌记录到的最大瞬时风速为 34m/s。

沙尘暴易于在中午以后出现，由于午后太阳辐射，地面温度升高，当有冷空气经过时，高低空对流加强，有利于沙尘暴的发生。6 月 3 日下午 16 时，风速大约在 2.0~3.0m/s，17 时以后急剧变大。至 20 时，风速增加到 12.0m/s 以上，

然后风速有所下降，至 23 时，降低至 5.0m/s 作用。按照风速大于 7.0m/s 的标准，18~22 时风速均在 7.0m/s 以上，持续时间超过 4 个小时。

民勤和雅布赖气象站（1959~2021 年）逐年沙尘暴日数的统计表明，民勤和雅布赖沙尘暴出现最多的年份分别是 1963 年和 1979 年，分别为 58 天和 27 天。80 年代以前民勤和雅布赖沙尘暴出现的日数较多，从 90 年代开始，沙尘暴出现的日数明显减少，民勤由 80 年代以前的 300 多天减少到 100 天左右；雅布赖由 80 年代以前的 100 多天减少到 50 天。2010 年以后就更少，民勤共有 32 天沙尘暴的记录，雅布赖只有 19 天。民勤和雅布赖站沙尘暴发生次数呈逐渐减少趋势。

2.4.2.3 设计基准气温

根据民勤（1953~2021 年）、雅布赖（1957~2021 年）建站以来历年极端最高、最低温度资料，利用耿贝尔（Gumbel）分布进行统计分析。推荐厂址 100 年、50 年一遇极端最高气温分别为 44.2℃、42.8℃；厂址 100 年、50 年一遇极端最低气温分别为 -34.1℃、-32.4℃。

2.4.2.4 设计基准风速

选择民勤、雅布赖建站以来历年最大、极大风速资料，应用概率论方法评价厂址区域的极端风速。民勤站最大风速资料序列为 1971~2021 年，极大风速资料序列为 2004~2021 年。雅布赖站最大风速资料序列为 1990~2021 年，极大风速资料序列为 2008~2021 年。

民勤、雅布赖测定的风向、风速均为距地面 10m 处，符合《地面气象观测规范》的规定，无需订正高度。

由于年极大风速资料较少，因此首先建立年极大风速和年最大风速之间关系的线性方程。U 为极大风速，V 为最大风速，单位均为 m/s。

民勤： $U=0.89V+10.12$ ；雅布赖： $U=1.25V+1.36$ 。

上述两式均可通过显著性为 0.05 的相关系数检验。

订正风速后，利用耿贝尔（Gumbel）分布分别计算不同频率下的极端风速。推荐厂址 100 年、50 年一遇最大风速分别为 28.2m/s、26.3m/s；厂址 100 年、50 年一遇极大风速分别为 40.9m/s、38.4m/s。

2.4.2.5 设计基准降水

选择民勤、雅布赖建站以来的降水资料，应用概率论方法评价厂址区域的极端降水。民勤站收集资料序列为 1992~2021 年，由于雅布赖站 6h 及以下分钟降

水资料很少，雅布赖站仅统计 12h 和 24h 的降水资料，资料序列为 1957~2021 年。利用 Pearson-III 型分布进行统计分析，结果见表 2.4-6。推荐厂址 10min、1h、24h 的 50 年一遇极端降水分别为 17.9mm、47.7mm、80.2mm；100 年一遇极端降水分别为 21.8mm、59.2mm、96.2mm；1000 年一遇极端降水分别为 35.1mm、99.2mm、150.8mm。

2.4.2.6 设计基准降雪

选择民勤、雅布赖建站以来的极端积雪厚度、雪压、冬季 48h 降水资料，应用概率论方法评价厂址区域的极端积雪。首先选择民勤、雅布赖站建站以来的历年最大积雪厚度资料，应用耿贝尔（Gumbel）分布和 Pearson-III 型分布评价厂址区域的极端积雪厚度。其次使用 Pearson-III 分布计算民勤、雅布赖两站 50 年、100 年等再现间隔的冬季 48h 降水量。分别取两项结果中偏保守地数值进行叠加，得到极端降雪设计基准。推荐厂址区域 100 年、50 年一遇积雪设计基准分别为 286.2Pa 和 235.2Pa。

2.4.2.7 其他极端气象现象

1) 雷暴和闪电

民勤站年平均雷暴日天数为 9.9 天，其中 7、8 月雷暴日数出现最多，两月合计达全年的 57.6%，最多月雷暴日数达 14 天，出现在 8 月份，累年最多雷暴日数为 29 天。相比之下雅布赖站雷暴日数较少。

民勤站年平均闪电日天数为 9.5 天，雅布赖站雷暴日数相对较少。与雷暴日分布情况相似，每年 6~9 月是厂址附近地区闪电的高发期，其中以 7、8 两月为最多。

2) 冰雹

民勤和雅布赖站自建站到 2021 年，冰雹天气出现的较少。民勤站累年各月最多冰雹日数发生在 9 月份，为 2 天，也是累年的最高冰雹日数；雅布赖站累年最多出现的冰雹日数也为 2 天。冰雹天气主要集中出现在 5~9 月，其它月份出现的较少。

3) 飏线

民勤站自建站到 2021 年，年最多出现飏线 4 次，发生在 1978 年，累年共出现过 24 次，7 月份最高出现过 3 次。一年内，飏线主要出现在 4~9 月。

4) 干旱

利用标准降水指数（SPI）公式，在 12 个月时间尺度下计算民勤和雅布赖站自建站以来各类干旱的频率，得出两站自建站以来无旱发生比率相差无几，各类干旱所占比例也大致相同。

5) 寒潮

寒潮是指冷空气影响时，出现日平均气温 24 小时降温幅度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 或 48 小时降温幅度 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ ，并且最低气温 $\leq 4^{\circ}\text{C}$ 时的天气过程。

建站至 2021 年，民勤站累计出现寒潮 64 次，平均每年出现寒潮 0.93 次，最多出现过 4 次，发生在 1963 年、1971 年和 2000 年。主要出现在 10 月至来年的 5 月，其中，1 月、3 月和 4 月出现较多，合计约占 65.6%。雅布赖站累计出现寒潮 66 次，平均每年出现寒潮 1.02 次，主要出现在 10 月至来年的 4 月，5-9 月份没有出现过寒潮。

6) 大风

大风是指瞬时风力 ≥ 8 级（风速 17 米/秒）的气象灾害。

民勤站自建站至 2021 年，累年共有 1400 天的大风记录，累年平均 20.6 天，4 月份出现大风日数最多为 13 天。雅布赖站累年大风记录共有 1123 天，累年平均 17.3 天，4 月份出现大风日数最多为 12 天。民勤和雅布赖站各月都有大风记录，民勤站 3~7 月份出现大风日数较多，其它月份较少。雅布赖站 4~7 月份出现大风日数较多，其它月份较少。

大风日数的年际变化较大，民勤站年最多大风日为 63 天（1959 年），最少大风为 1 天（1955 年）。雅布赖站年最多大风日数为 48 天（1959 年），最少大风日数为 3 天（2005 年）。

7) 大雾

民勤站出现大雾的日数相对雅布赖较多，累年共 116 天，11 月份出现最多，最高月雾日数出现在 10 月份，为 4 天，年平均大雾日数为 1.73 天；雅布赖年均大雾日数为 0.77 天，累年共出现过大雾 49 天，最高月雾日数出现在 2 月份，为 3 天。民勤站 4~8 月份出现雾日数较少，其它月份较多。雅布赖冬季出现较多，其它月份雾日数相对较少。

大雾日数的年际变化较大，民勤站年最多大雾日为 7 天（1989 年 7 月~1990 年 6 月），最少雾日为 0 天。雅布赖站年最多大雾日为 4 天（1967 年 7 月-1968 年 6 月），有 33 个年份没有大雾出现。

8) 低温霜冻

民勤站自建站至 2021 年, 累年平均霜冻日数为 48.9 天, 雅布赖站为 25.4 天。两站霜冻主要出现在 10~12 月份及次年的 1~4 月份, 其它月份出现的较少。

霜日数的年际变化较大, 民勤站年最多霜日天为 105 天 (1967 年 7 月~1968 年 6 月), 最少霜日数为 14 天 ((2017 年 7 月~2018 年 6 月))。雅布赖站年最多霜日数为 70 天 (1967 年 7 月~1968 年 6 月), 最少霜日数为 0 天 (2020 年 7 月~2021 年 6 月)。

9) 积雪

民勤站累年平均积雪日数为 8.5 天, 雅布赖站为 5.1 天, 主要出现在 10 月到次年的 3 月份, 4、4 月份出现的较少, 6~9 月不出现。

积雪日数的年际变化较大, 民勤站年最多积雪日数为 82 天 (1967 年 7 月~1968 年 6 月), 雅布赖站年最多积雪日数为 40 天 (2007 年 7 月~2008 年 6 月)。

10) 暴雨

民勤气象站没有暴雨的记录, 雅布赖自建站以后共有 3 个年份出现过暴雨, 其它年份均没有暴雨的记录, 且其中最大降水量仅 82.3mm, 可见暴雨对厂址区域的影响较小。

11) 冻土

冻土深度统计按照气象年度 (每年 7 月至次年 6 月) 统计。自建站至 2021 年, 民勤站年最大冻土深度为 116cm, 出现在 1984 年 2 月, 雅布赖站年最大冻土深度为 137cm, 出现在 1977 年 2 月。

2.4.3 当地气象条件

厂址以西约 14km 处设有红砂岗区域站 (2007 年 2 月 1 日启用)。红砂岗站距离厂址近, 下垫面和厂址接近, 地形相似, 因此将该站作为厂址观测站。

根据红砂岗站 2020 年 8 月 1 日至 2021 年 7 月 31 日一整年的观测资料, 计算分析厂址区域的气温、降水、风向、风速等气象参数值。

1) 气温

年平均温度为 9.3℃, 在气温变化方面, 一整年最高气温出现在 2021 年 5 月, 最低气温出现在 2021 年 1 月。2021 年 5 月的最高气温为 38.9℃, 2021 年 1 月最低气温为 -28.8℃。由气温日变化可知, 通常在下午 15:00~18:00 达到日最高气温,

在清晨 06:00~08:00 达到日最低气温。

2) 降水

年降水量为 72mm，一日最大降水量为 18mm，出现在 2020 年 9 月 21 日。最大过程降水量为 10mm，持续 7h，起始时间为 2020 年 9 月 21 日 19 时。最长降水过程持续 3 天（2020 年 9 月 20 日~9 月 22 日），过程降水量为 23mm。2020 年 9 月降雨量最大，达 27mm。一小时最大降水量为 5mm，出现在 2020 年 9 月 21 日 1 时，当时风向为 NNE，风速约为 3.1m/s。

3) 湿度

年平均相对湿度为 36%，相对湿度最低值为 1%，出现在 2021 年 2 月、3 月与 5 月。

4) 气压

年平均大气压为 864.1hPa，最高大气压出现在 2020 年 12 月、2021 年 1 月，为 882.4hPa，最低大气压出现在 2021 年 5 月，为 848.4hPa。

5) 风速、风向

红砂岗气象站 2020 年 8 月至 2021 年 7 月一整年年平均风速为 3.6m/s，最大风速为 17.6m/s（出现在 2021 年 6 月，最大风速时刻风向为 WNW）；风向频率最高为 WNW 方位，风频为 13%，全年静风频率 2%。全年的风玫瑰图见图 2.4-2。

2.4.4 联合频率

2.4.4.1 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。

考虑到红砂岗站距离厂址更近，更能代表厂址所在地的气象条件，因此选取红砂岗站观测数据计算稳定度并统计联合频率。

由于红砂岗站只提供地面常规气象数据与辐射数据，不涉及高空分层气象数据，只具备使用辐射法判断稳定度的对大气稳定度采用辐射法进行计算。计算结果得到，2020 年 8 月至 2021 年 7 月一整年中性天气类（D）出现频率为 34.0%，稳定天气类（E、F）出现频率为 34.4%，不稳定天气类（A、B、C）出现频率为 31.6%。

2.4.4.2 联合频率

选用红砂岗气象站 2020 年 8 月至 2021 年 7 月一整年的逐时刻气象观测资料，结

合辐射观测数据，统计厂址地区10m高度风向、风速、大气稳定度三维联合频率。由于红砂岗站观测的有雨时段只占一整年的0.6%，故可以把一整年当作无雨状态，不必给出四维联合频率。

2.4.5 混合层高度

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。

2.4.6 扩散参数

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。

2.4.7 厂址气象观测计划

厂址所在的红砂岗镇设有区域站（2007年2月1日启用），地理位置坐标为N38° 57′ 03″，E102° 27′ 12″，位于厂址以西约14km处，观测内容有：气温、降水、风向、风速。红砂岗站作为区域气象子站，使用自动观测设备，有专人进行维护，观测数据参与考核，观测仪器定期检定，从而保证了数据的获取率与准确性。

厂址所在甘肃省河西走廊区域属于温带大陆性干旱气候，气候干燥，光照充足，降水量少，气温日较差（注：每日最高温度和最低温度的差值）大，在广大区域内气象特征趋向一致，较少出现局地气候变化，红砂岗站距离厂址近，其下垫面条件与厂址相似，且地形与厂址区域基本一致，因此红砂岗站的气象观测数据能够代表厂址所在区域气象特征。

综上所述，红砂岗气象站观测要素基本完备，数据来源稳定可靠，能够反映厂址气象特征，因此选择厂址附近的红砂岗气象站能够满足厂址气象观测的要求。本项目将红砂岗站作为厂址气象观测代表站，不另行开展气象观测系统的建设。

2.5 水文

本章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。

2.5.1 地表水

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，见图 2.5-1。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 1.57 km^2 。

厂址处于内流区红砂岗河与昌宁河之间，见图 2.5-2，厂址距红砂岗河与昌宁河是直线距离均约 8km，但是红砂岗河与昌宁河在卫星影像中仅有流痕冲沟存在，见图 2.5-3。

根据《武威民勤红砂岗能源化工工业集中区总体规划（2020-2035 年）》，见图 2.5-4，厂址所在园区外围约 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《民勤红砂岗工业聚集区防洪工程可行性研究报告（2021 年）》，见图 2.5-5，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 地下水类型及特征

厂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，因此厂址附近范围均属于同一水文地质单元。厂址附近范围综合水文地质图见图 2.5-6。厂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厂址区西南侧潮水盆地内地势稍低处。

厂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，通过对调查区内的民井进行调查，对厂址附近范围内的 10 孔民井内的地下水位进行了测量，其测量成果见表 2.5.2-1，利用民井内地下水位测量数据，并结合厂区勘察揭露地下水位的钻孔内地下水位埋深数据，绘制厂址附近范围内等水位线图，见图 2.5.2-1。

松散岩类孔隙水主要分布在调查区南侧，其含水层主要为新近系砾质砂岩层，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及人工取水；基岩裂隙水则主要分布在调查区北侧，含水层主要为华力西期正长花岗岩，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，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。

厂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；在厂址区南侧调查区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；在厂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。

2.5.2.2 地下水补给、径流、排泄

厂址附近范围所处的水文地质单元位于潮水东盆地，为典型的西北干旱区山前洪积-湖积水文地质系统。

厂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及凝结水的下渗补给，整体而言，厂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。厂址附近范围的地下水排泄方式则主要为人工开采型，在工业园区内用于绿化的水源就是采用抽取地下水的方式解决。

根据水文地质调查成果，新近系浅表层砾质砂岩渗透系数在 $3.9 \times 10^{-4} \text{cm/s} \sim 2.6 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ($0.33 \text{m/d} \sim 2.20 \text{m/d}$) 之间，属中等透水岩层，局部地段属弱透水岩层；强风化正长花岗岩渗透系数为 $1.41 \times 10^{-5} \text{cm/s} \sim 1.65 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ ，属弱透水；微风化正长花岗岩渗透系数为 $8.89 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ ，属微透水。

2.5.2.3 地下水的影响

厂址附近范围内的地下水开采活动主要为在厂址西南侧及南侧抽取地下水用于工业园区绿化，除此以外，在厂址附近范围内不存在其他大规模地下水开采活动。

由于厂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，厂址区内拟建构筑物中最大基础埋深为 33m，在基坑开挖范围内不会揭露地下水，且不用考虑地下水对基础的腐蚀性，因此地下水对工程建设无影响。

厂址位于工业园内，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

本项目位于甘肃河西内陆河水系，也可参考《滨河核电厂厂址设计基准洪水位的确定》（HAD101/08）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，选择其最大值作为厂址的可能最大洪水：

- （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。

根据本厂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厂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。

因此本厂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，小型模块化钍基熔盐堆主体建筑附近最大积水高度为 0.13m，小于小型模块化钍基熔盐堆主体建筑室内外设计高差 0.45m，因此厂址防洪是安全的。

表 2.5-1 调查区民井调查成果表（坐标为 1980 西安坐标系）

序号	水井编号	与厂址相对方位	水位埋深 (m)	地面高程 (m)	水位高程 (m)	地下水类型
1	水井 3	厂址北侧 4.2km	1.6	1450.47	1448.87	基岩裂隙水
2	水井 5	厂址西南侧 2.8km	105.8	1400.31	1294.51	松散岩类 孔隙潜水
3	水井 6	厂址西南侧 2.5km	99.2	1395.47	1296.27	松散岩类 孔隙潜水
4	水井 7	厂址南侧 3.4km	92.6	1388.24	1295.64	松散岩类 孔隙潜水
5	水井 8	厂址南侧 4.3km	84.6	1381.10	1296.50	松散岩类 孔隙潜水
6	水井 9	厂址西侧 2.6km	39.5	1427.38	1387.88	基岩裂隙水
7	水井 10	厂址西侧 2.6km	36.0	1427.46	1391.46	基岩裂隙水
8	水井 11	厂址西侧 2.6km	35.5	1427.50	1392.00	基岩裂隙水
9	水井 12	厂址西侧 2.6km	35.8	1427.54	1391.74	基岩裂隙水
10	水井 13	厂址西侧 2.6km	41.2	1427.10	1385.90	基岩裂隙水

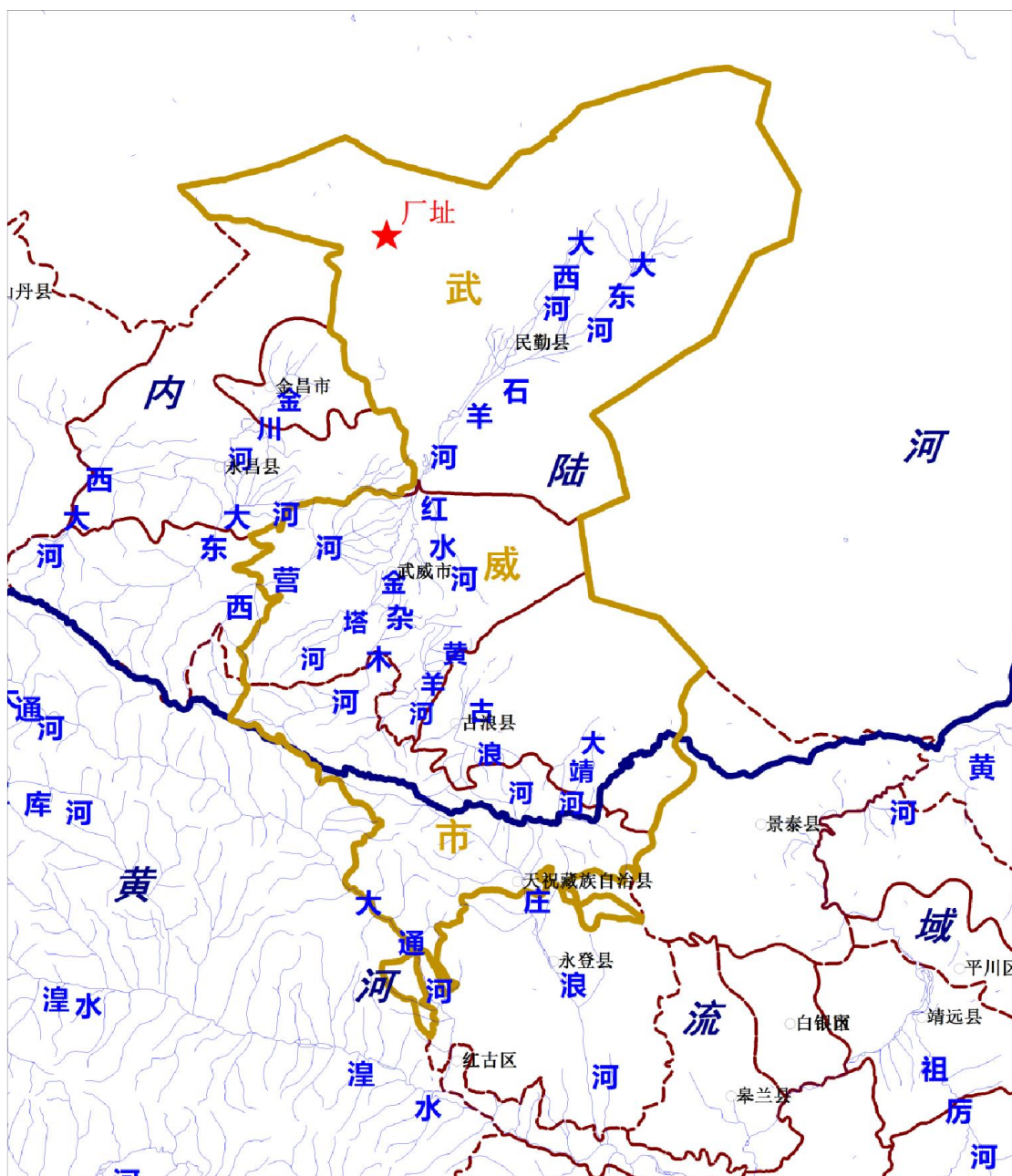


图 2.5-1 石羊河和黄河流域水系图

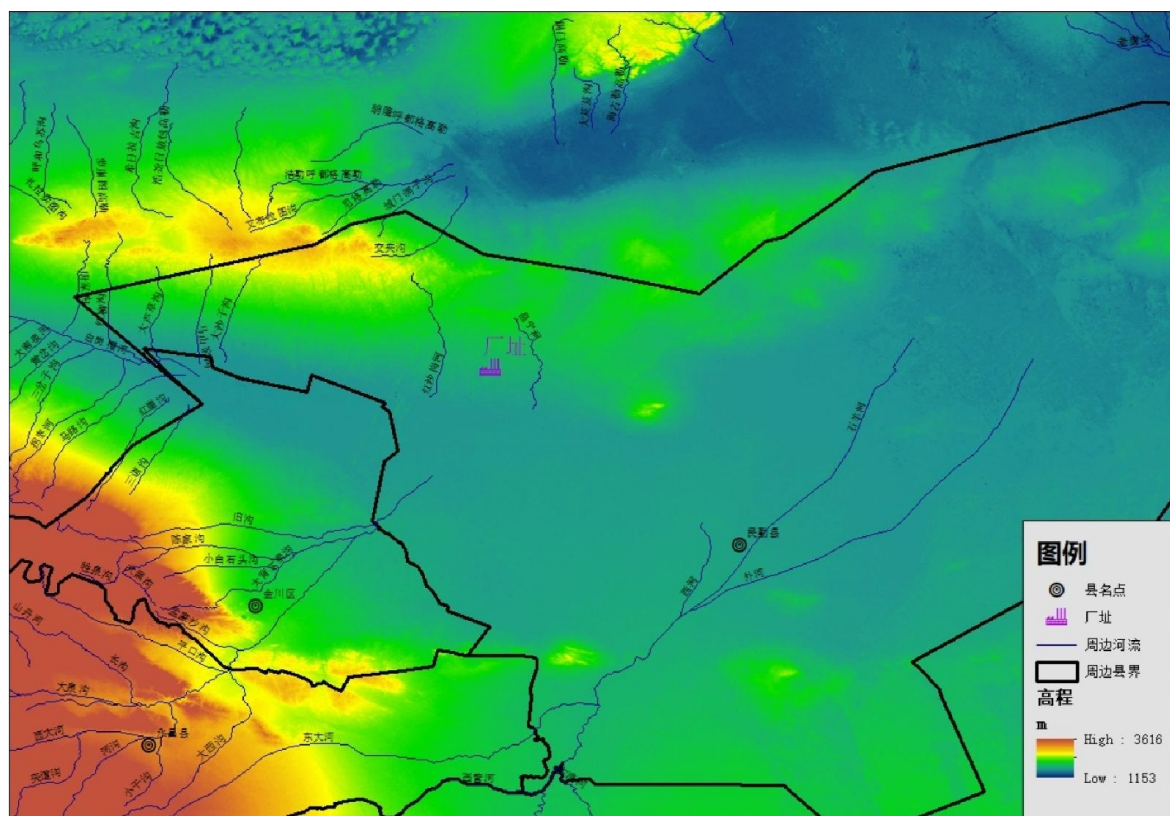


图 2.5-3 厂址附近河流洪痕遥感影像

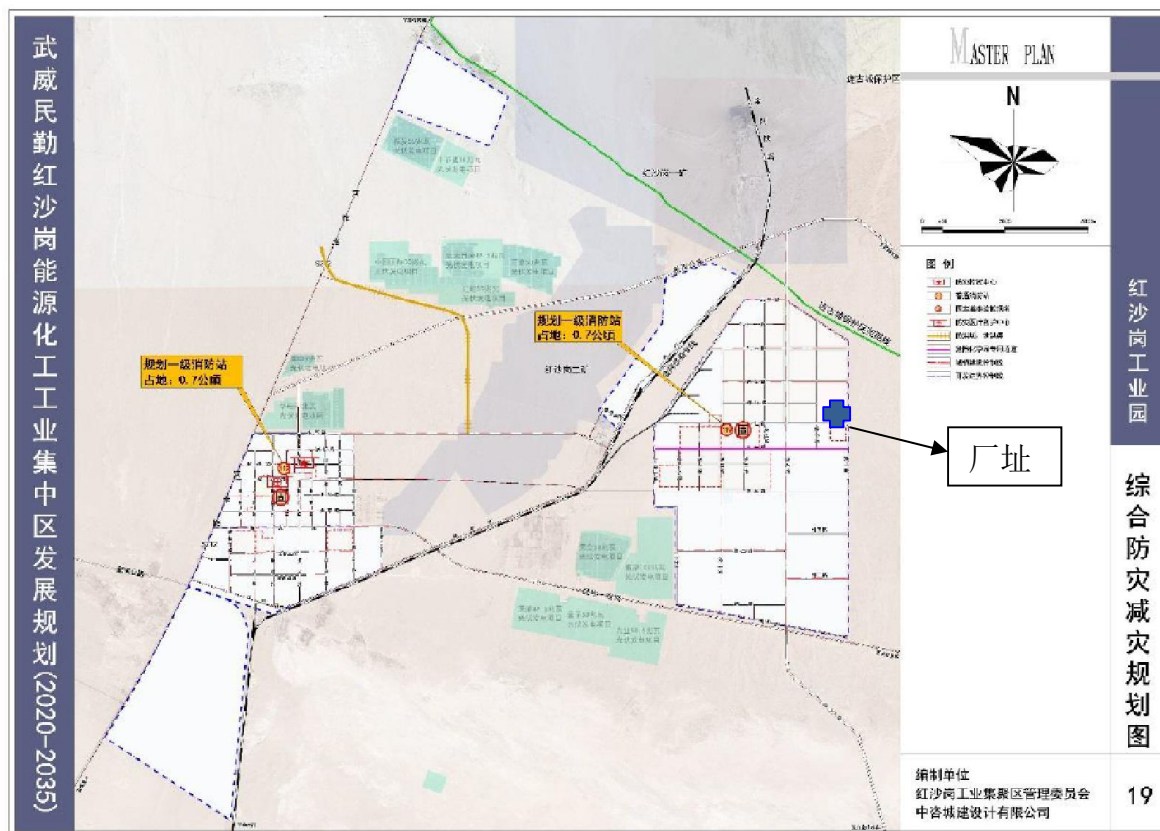


图 2.5-4 武威民勤红砂岗能源化工工业集中区总体规划图（2020~2035 年）



图 2.5-5 民勤红砂岗工业聚集规划新建区防洪工程图（2021 年）

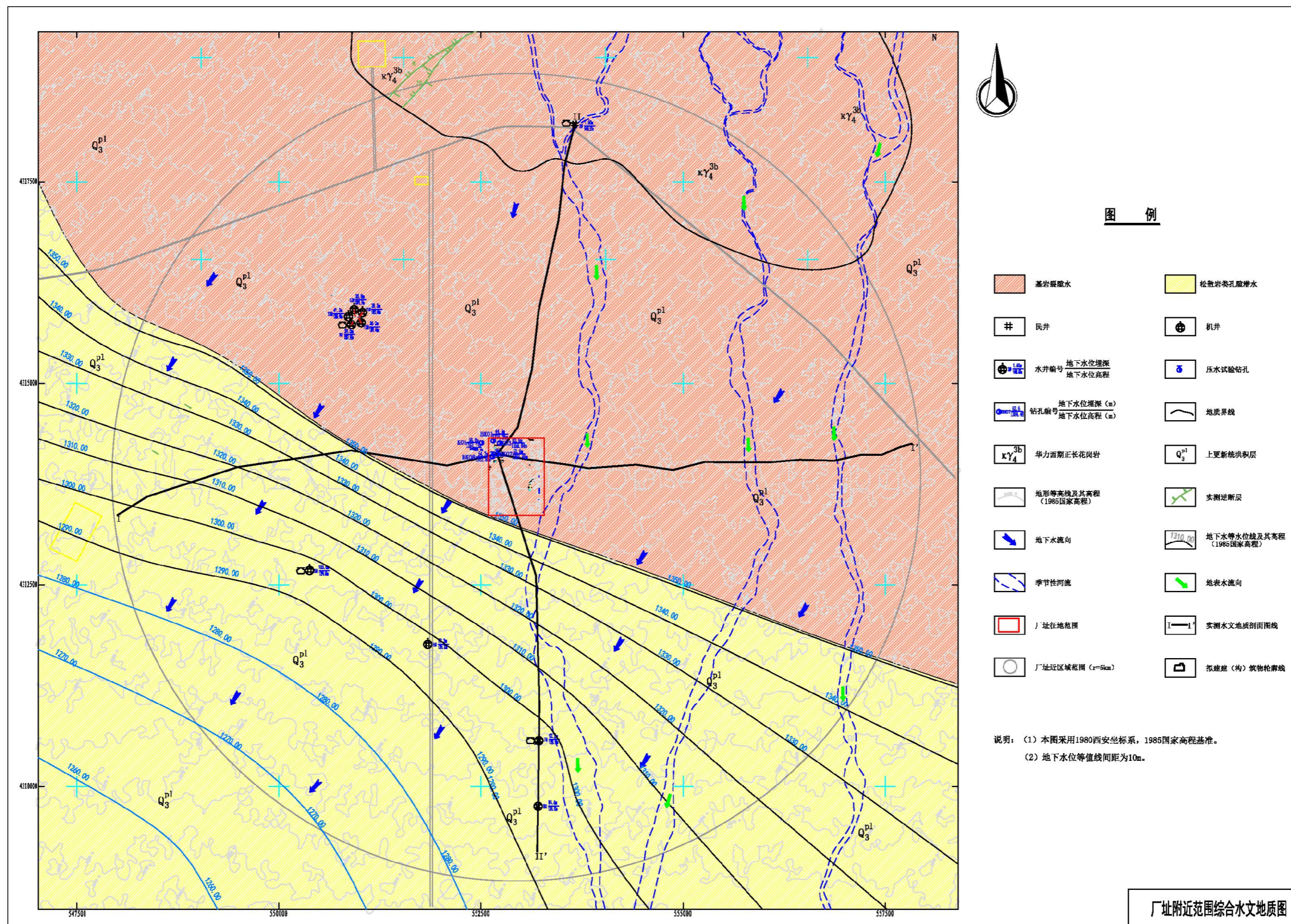


图 2.5-6 厂址附近范围综合水文地质图

2.6 地形地貌

厂址半径 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。

厂址半径 5km 范围内主要为民勤红砂岗能源化工工业集中区范围，在拟建厂址区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，在调查区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草等（图 2.6-1）。



X163 以北剥蚀残丘地貌



冲洪积平原地貌

图 2.6-1 厂址地貌图

2.7 地质地震

2.7.1 地质特征

2.7.1.1 区域地质

区域及其邻近地区涉及祁连山加里东褶皱带和华北地台二个一级构造单元。区域的南部属于祁连山褶皱带，区域中北部属华北地台的阿拉善台隆。厂址区地处华北地台阿拉善台隆上。

在新构造运动特征上，区域南部为祁连山强烈隆起区（I）和河西走廊东段差异沉降区（II），中北部阿拉善弱隆起区（III）。厂址位于阿拉善弱隆起区，新构造运动表现为整体性隆升，内部差异性运动微弱。

区内主要断裂有14条，走向以北西向和近东西向为主。区内的活动断裂主要分布在祁连山强烈隆起区和河西走廊东段差异沉降区之间，作为活动块体的边界断裂带往往是大震发生带，如祁连山北缘断裂系（皇城-双塔断裂、武威盆地南缘断裂、武威-天祝断裂等），历史上发生过1927年红古浪8级地震；龙首山北缘断裂带1954年发生了山丹7¹/₄级地震。阿拉善弱隆起区内部新构造运动较弱，活动构造不是很发育，地震活动也较弱，有零星中强地震发生。

厂址区及其邻近地区是一个构造活动相对稳定的地区，没有区域性活动断裂延伸到近场区范围。

2.7.1.2 近场区地质

厂址近场区位于阿拉善块体的潮水盆地北缘，新生代以来，受青藏高原变形的影响，盆地开始萎缩。与盆地南缘相比，近场区所在的盆地北缘新构造运动强度明显较弱，新近系向北呈超覆关系。区内第四系厚度普遍较薄，产状稳定，基本上呈水平分布状态。第四纪以来，本区处于一个缓慢的整体性抬升状态，属于新构造运动差异性活动相对较弱的地区。

近区域范围发育的断裂构造主要有NNE-NE和NW向2组，主要发育10条地表出露断裂构造和1条隐伏断裂，经地质地貌调查，他们均为前第四纪断裂。

综合近场区地震构造环境特征，厂址近区域及邻近地区地处六盘山—祁连山地震带，该地震带总体地震活动水平较强，但近区域地震活动水平不高，与断裂构造关系不明显。

2.7.1.3 厂址附近范围地质

厂址附近范围发育3条断裂：即红果子井断裂（f1）、徐家井断裂（f5）和

徐家井南侧断裂（f11），以及一个物探异常点（f2-1），断裂均为前第四纪断裂，物探异常点为发育在花岗岩内的基岩断裂。近区域范围内不存在指向厂址的晚更新世活动断裂，因而厂址附近范围的断裂不可能存在与已知能动断层直接的构造联系。厂址附近范围内历史上没有破坏性地震的记载，1970年以来，也没有仪器记录地震。红砂岗厂址附近范围内不存在能动断层。

2.7.1.4 工程地质特征

厂址区地层主要由四大部分构成：①第四系全新统人工填土（ Q_4^{ml} ），本次拟建建（构）筑物范围内并无分布；②第四系上更新统洪积（ Q_3^{pl} ）角砾层，该层厚度为0.50~2.80m，平均厚度为1.36m；③新近系中新统（ N_1 ）砾质砂岩，该层厚度为33.50-55.10m，平均厚度41.61m；④华力西期第二次侵入的正长花岗岩（ $\kappa\gamma_4^{3b}$ ）。

厂址区内被广泛分布第四系角砾层及深厚半成岩砾质砂岩，并无基岩出露，因此并无诸如断裂、节理等地质构造出露，厂址区内也并无隐伏断裂分布。

根据勘察测试，厂址主要持力层为新近系半成岩的砾质砂岩，砾质砂岩承载力特征值为400kPa，变形模量为50MPa，剪切波速 V_s 平均值为463m/s。

厂址区内地形起伏较小，地势较为平坦，地表广泛分布角砾层及半成岩的新近系砾质砂岩，厂址区内并无崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降等不良地质作用发育。厂址区分布有厚度小于4.5m的盐渍土类特殊土，可不考虑地基土的盐胀性，仅存在轻微溶陷性。

厂址区新近系砾质砂岩内无地下水赋存，地下水主要赋存于华力西期第二次侵入的强~中风化正长花岗岩裂隙中，类型为基岩裂隙水。基岩裂隙水主要以网状、支脉状赋存于强~中风化正长花岗岩裂隙中，无统一地下水位。水位埋深为44.90~62.60m，标高1356.84~1374.26m。厂址区基岩裂隙水补给来源为大气降水补给及北侧山区基岩裂隙水侧向补给，由于厂址区新近系半成岩厚度大，且厂址区年降水量极少，因此厂址区地下水直接接受大气降水补给的水量相对较小。厂址区地下水径流方向及径流速度受下部基岩顶面起伏状态以及基岩裂隙发育情况控制，地下水径流方向整体呈自东北向西南向。根据压水试验成果，其渗透系数为 $1.41 \times 10^{-5} \text{m/s} \sim 1.65 \times 10^{-5} \text{m/s}$ ，属弱透水层，并不利于形成地下水的渗流通道，因此厂址内地下水并未形成统一稳定的水位

场地内4.5m深度内的地基土对混凝土结构具有弱腐蚀性，对钢筋混凝土结构

中的钢筋具有中等腐蚀性。埋深4.5~30.0m内地基土对钢筋混凝土具有微腐蚀性，对钢筋混凝土结构中的钢筋具有微腐蚀性。

2.7.2 地震

因地处青藏高原的东北缘，本区地震活动较强，但分布不均，总体表现为南强北弱，在厂址西南部，地震总体呈北西向展布。1970年以来地震观测结果表明，区域现代小震活动极为频繁，仪器记录地震与历史破坏性地震空间分布特征基本一致，总体仍表现为南强北弱，但更多地表现为密集成群。6级以上强震均发生在北纬39度线以南，其中1927年古浪8级地震震中位于厂址以南，距厂址约162km处；在厂址外延150km范围内另有2次 $7-7\frac{1}{4}$ 级地震记载：1954年2月11日山丹 $7\frac{1}{4}$ 级地震震中位于厂址西部，距厂址约122km；1954年7月31日内蒙古腾格里沙漠北7级地震震中位于厂址东南约112km处。厂址场地多次遭受历史破坏性地震的影响中4次达到VI度或VI度以上，最大宏观影响烈度为VII度。

从公元362年至今，区域范围内共记录到破坏性地震（ $M \geq 4.7$ ）72次，其中4.7~4.9级地震20次、5.0~5.9级地震41次、6.0~6.9级地震8次、7.0~7.9级地震2次、8.0~8.9级地震1次。

近区域范围内未记录到4.7级以上破坏性地震。1970年以来近区域范围内仪器记录小震94次，其中 $M_L 2.0 \sim 2.9$ 级地震40次、 $M_L 3.0 \sim 3.9$ 级地震10次，最大地震震级只有 $M_L 3.7$ 级。近区域范围现代小震并未明显表现出北弱南强的特点，小震震中分布较为分散，集中成带性不强。在近区域的西南部，小震大体呈北西向展布。

厂址附近范围内历史上没有破坏性地震的记载，1970年以来，也没有仪器记录地震。

厂址基岩SL-2级地震动参数水平向为235gal，竖向为200gal；自由地表处SL-2级水平向峰值加速度推荐取0.36g，竖向峰值加速度推荐取0.3g；反应堆基础底面处（标高1388m）SL-2级水平向峰值加速度推荐取0.21g，竖向峰值加速度推荐取0.20g。场地自由地表处50年超越概率63%、10%、2%水平向设计地震动峰值加速度分别为50gal、140gal、250gal。场地100年超越概率10%、5%、2%水平向设计地震动峰值加速度分别为190gal、230gal、310gal。场地50年超越概率10%

的中硬场地峰值加速度为135gal，综合评定场地地震烈度均为Ⅶ度。

2.8 环境质量现状及工业集中区工业企业排污情况

甘肃华鼎环保科技有限公司于2018年对民勤红砂岗能源化工工业集中区内空气环境质量，地下水环境质量和声环境质量进行了监测。根据已批复的《武威民勤红砂岗能源化工工业集中区总体规划（2018-2030）环境影响报告书》，2018年，厂址所在工业集中区周边空气、地下水、声环境质量监测期间，工业园区投运企业为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、民勤县红砂岗工业园区制汽站有限责任公司、甘肃雨禾节水灌溉设备有限公司、甘肃省水务投资有限责任公司、红砂岗镇镇政府集中供热站。

另外，甘肃云腾环境科技检测有限公司分别于2019年对厂址周围大气环境质量、地下水环境质量和声环境质量进行了非放射性环境本底调查；于2020年10月至2021年9月对2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）施工期环境质量现状进行了四个季度的监测。

2.8.1 大气环境

厂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。厂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。

甘肃华鼎环保科技有限公司对武威民勤红砂岗能源化工工业集中区环境空气质量现状进行了监测（非采暖期与采暖期）。

非采暖期监测时间：2018年9月24日至2018年9月30日，连续7天；

采暖期监测时间：2018年12月5日至2018年12月11日，连续7天。

非采暖期监测点位：资源加工区、红砂岗镇（花儿园村社区）、低碳能源新产业区（供热站）、连古城自然保护区内现有工业水厂以北（背景点）、现代物流产业区、低碳能源产业区下风向，共6个监测点位。

采暖期监测点位：资源加工区、红砂岗镇（花儿园村社区）、低碳能源新产

业区（供热站）、连古城自然保护区内有工业水厂以北（背景点），共4个点位。

非采暖期监测项目：、NO_x（1小时平均、24小时平均）、TSP（24小时平均）。

采暖监测项目：H₂S（1小时平均）、NH₃（1小时平均）、甲醇（1小时平均、24小时平均）、HCl（1小时平均、24小时平均）、TVOC（1小时平均）、甲苯（1小时平均）、硫酸雾（1小时平均、24小时平均）、TSP（24小时均值）。

监测统计结果（表2.8-3）显示，非采暖期各监测点位NO_x的小时均浓度及TSP、NO_x的日均浓度均能满足《环境空气质量标准》（GB3096-2012）的二级标准；非采暖期TSP的日均浓度均能满足《环境空气质量标准》（GB3096-2012）的二级标准，H₂S、NH₃、甲醇、HCl、TVOC、甲苯、硫酸雾均为未检出，区域环境空气质量较好。

甘肃云腾环境科技检测有限公司于2019年对厂址周围大气环境质量进行了监测。

监测点位：环境空气质量检测布设3个监测点位，分别为1#武威金仓生物科技有限公司、2#甘肃民勤连古城国家级自然保护区和3#项目厂址。

检测项目：SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}、铍及其化合物、氟化物（日均值）；SO₂、NO₂、CO、O₃、TSP、铍及其化合物、氟化物（小时均值）。

监测时段：2019年9月6日~9月13日。

对大气环境质量现状监测结果进行统计分析，1#、3#监测点SO₂、NO₂、CO、O₃的小时值和日均值符合《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）中二级标准的要求；2#监测点SO₂、NO₂、CO、O₃的小时值和日均值符合《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）中一级标准的要求。1#、2#、3#监测点均未检出铍及其化合物。

氟化物在1#监测点位的日均值存在超标现象，超标率分别为15%，17.7%，30.9%，31.9%，39.9%；其他监测结果均满足《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）中规定的一级、二级标准。

根据《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，1#、3#监测点处PM_{2.5}、PM₁₀、TSP在9月7日存在超标现象，根据《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）中一级标准的要求，2#监测点处PM_{2.5}、PM₁₀、TSP出现多次超标现象，其中超标率最高的情况均出现在9月7日，监测中氟化物也存在少量短期超标。此情况与项目厂址所在地理位置的自然气候条件、地形状况有直接关联，厂址位于戈壁荒滩，常年较高风频明显，风速较大，沙尘天气较多；且厂区附近有分子项处于施工期，对扬尘有一定影响，因此本工程施工期更应加强防尘措施。

另外，根据2009年、2015年、2017年SO₂、NO₂、TSP、PM₁₀污染物浓度监测资料表明，项目区大气污染物呈一定下降趋势，规划区工业企业安装袋式除尘设备、场地进行硬化、洒水降尘、绿化，历年监测期污染物监测浓度均满足环境空气质量二级标准要求，规划区环境空气质量基本保持良好状态。

2020年10月至2021年9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PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂、甲苯（C₇H₈）每天24小时连续采样，共监测7天。小时值SO₂、NO₂、CO、TSP、O₃、甲苯（C₇H₈）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。

四个季度的施工期大气环境质量监测结果表明，1#监测点在2021年4月的TSP和PM_{2.5}监测结果超过《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）中二级标准的限值，其他监测时段的结果均未超过《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）中二级标准的限值；2#、3#、4#、5#监测点SO₂、TSP、甲苯的结果均符合《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的

要求，其他监测因子未列入《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中，不进行评价。

2.8.2 水环境

经调查，厂址半径30km范围内未发现地表水系。

2018年，甘肃华鼎环保科技有限公司对武威民勤红砂岗工业集中区域地下水环境质量现状进行了监测。

监测时间及频率：2018年12月7日至2018年12月8日，连续监测2天，每天采样一次。

监测点位：红果子井、规划产业园区、太西煤水源地、红砂岗镇区2号井、徐家井、沙漠水源地，共设7个点位。

监测项目包括pH、总硬度、溶解性总固体（TDS）、耗氧量、氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐、挥发性酚类、氰化物、砷、汞、六价铬、铅、氟化物、镉、锰、总大肠菌群、铁、Cl⁻、SO₄²⁻、硫化物、铜、锌、硒、镍、钡、铍、阴离子表面活性剂。

产业园地下水环境为III类功能区，根据监测点位监测结果，各监测点普遍存在Cl⁻、SO₄²⁻、F超标现象；D1红果子井、D2规划产业园区总硬度超标；D1红果子井、D2规划产业园区、D3规划产业园区、D6徐家井、D7沙漠水源地溶解性总固体超标；D2规划产业园区、D6徐家井、D7沙漠水源地的硝酸盐超标。

其余监测因子均满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）的III类水质标准相应浓度的限值要求。溶解性总固体和总硬度超过III类水质标准，达到IV类水质标准，超标可能是当地干旱区地下水的特点，SO₄²⁻、F和Cl⁻的超过III类水质标准，为V类水质，可能与当地岩石土壤的成分相关。

《武威民勤红砂岗加氢暨电石精细化工智慧产业园发展规划环境影响报告书》2016年（枯水期）监测结果表明，各监测点中均有监测因子超出III类标准现象。监测结果显示，评价区各监测点普遍存在TDS、SO₄²⁻、F超标现象，D04红果子井、D16半腰子井水样总硬度超标，D04红果子井、D11太西煤水源地和D16半腰子井的Cl⁻超标，D05大娘井水样高锰酸盐指数略有超标。2019年9月5日~6日，甘肃云腾环境科技检测有限公司对厂址地下水环境质量进行了监测。

监测时间及频率：2019年9月5日至2019年12月8日，连续监测2天，每天采样一次。

监测点位：4#厂址北侧太西煤一矿地下水和5#厂址南侧工业园供水站，共2个监测点位。

监测项目包括pH、总硬度、溶解性总固体、耗氧量、氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐、挥发性酚类、氰化物、砷、汞、六价铬、铅、氟化物、镉、锰、总大肠菌群、铁、Cl⁻、SO₄²⁻、铜、锌、硒、镍、钡、铍、阴离子表面活性剂、硫化物。

产业园地下水环境为III类功能区，根据监测点位监测结果。主要超标项目是溶解性总固体、硝酸盐、Cl⁻、SO₄²⁻，4#厂址北侧太西煤一矿地下水溶解性总固体、硝酸盐、氟化物、Cl⁻、SO₄²⁻超标；5#厂址南侧工业园供水站总硬度、溶解性总固体、硝酸盐、Cl⁻、SO₄²⁻超标。其余监测因子均满足《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）的III类水质标准相应浓度的限值要求。溶解性总固体和总硬度超过III类水质标准，达到IV类水质标准，超标可能是当地干旱区地下水的特点，SO₄²⁻、F和Cl⁻的超过III类水质标准，为V类水质，可能与当地岩石土壤的成分相关。

对比2016年、2018年监测结果发现，武威民勤红砂岗工业集中区内地下水的溶解性总固体、硫酸盐、氯化物超标量有所减小；红果子井发现水样硝酸盐略有超标。总的来说，区域地下水质量有所改善，2019年的监测结果显示武威民勤红砂岗工业集中区内地下水的超标因子和2016年、2018年的超标因子相同，区域地下水水质污染加重，三次监测结果均未达到《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）中III类水质标准。

2020年10月至2021年9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）中B级标准的限值。

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。

四个季度的施工期废水监测结果显示施工期废水均达到《污水排入城镇下水

道水质标准》（GB/T31962-2015）中B级标准的要求。

2.8.3 环境噪声

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 $35 \pm 5\text{m}$ ；相邻区域为3类功能区，距离为 $20 \pm 5\text{m}$ ），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 $35 \pm 5\text{m}$ ；相邻区域为3类功能区，距离为 $20 \pm 5\text{m}$ ）。厂址半径5km范围内无声环境敏感目标。

2018年，甘肃华鼎环保科技有限公司对武威民勤民勤红砂岗能源化工工业集中区域声环境质量现状进行了监测。

共布设8个监测点位。

监测项目为等效A声级。

监测时间为2018年9月26日~9月27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，S2、S6敏感点昼间噪声值在45.3~46.3dB(A)之间，夜间噪声值在40.0~41.8dB(A)之间，昼、夜间噪声均能满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的1类标准要求；S1、S3、S4、S8监测点昼间噪声值在44.3~46.2dB(A)之间，夜间噪声值在40.0~41.7dB(A)之间，监测点昼、夜间噪声均能满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的3类标准要求；S7监测点昼间噪声值在45.2~45.9dB(A)之间，夜间噪声值在38.4~40.7dB(A)之间，则昼、夜间噪声均能满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的4a类标准要求；S5监测点昼间噪声值在44.9~46.2dB(A)之间，夜间噪声值在39.4~40.4dB(A)之间，则昼、夜间噪声均能满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的4b类标准要求。

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

声环境质量监测布设4个监测点，分别位于厂址的东、南、西、北厂界。

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

监测结果：厂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)。

2020年10月至2021年9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。

四个季度的施工期噪声监测结果见表2.8-43~2.8-46，结果显示施工期厂区噪声均达到《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中的限值；敏感区噪声满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）2类声环境功能区限值的要求。

2.8.4 工业集中区现有工业企业排污情况

民勤红砂岗能源化工工业集中区锅炉（包括集中热源厂锅炉及企业内部自建锅炉）全部正常运行时，废气排放量为 $9.77 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{a}$ ，废气中污染物排放量分别为：二氧化硫42.16t/a，氮氧化物143.59t/a，烟尘120.36t/a。

园区现状企业废水排放量很小，自行处理达标后回用于厂区内绿化灌溉，不外排。主要废水污染物排放情况为现状企业满负荷生产运营时，企业污水站出口排放情况。园区区废水排放量为89174.779t/a，其中污染物排放量分别为：COD_{Cr} 6.515t/a，BOD₅ 2.530t/a，氨氮0.529t/a。

民勤红砂岗能源化工工业集中区现有企业在正常运营时，主要一般工业固废污染物产生量为39638.38t/a，排放量仅132.71t/a，回收利用率达99.7%；危险固废产生量为14055.3t/a，其中武威杰达科技有限公司二步裂解产生的危废用于合成

树脂，消耗危险固废量2348t/a，危废废物排放量为11707.3t/a，生活垃圾产生量为148.48t/a。一般固废根据固废类别通过返回工艺、作为建筑材料或作为产品外销等途径综合利用，危险废物（或待鉴别性质固体废物）交甘肃省危险废物中心或其他有资质的单位代为处置，生活垃圾由镇区环卫部门定期收集送至民勤县生活垃圾填埋场处置。

第三章 小型模块化钍基熔盐堆

3.1 厂区规划和平面布置

3.1.1 总平面布置原则

- 1) 厂区总平面布置需满足总体规划的要求；
- 2) 以小型模块化钍基熔盐堆厂房及其相关配套设施进行总平面布置；
- 3) 小型模块化钍基熔盐堆厂房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) 厂区总平面布置应集约用地、提高土地利用率；
- 6) 厂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。

3.1.2 厂区总平面布置

本项目厂址位于甘肃省武威市民勤县红砂岗镇东北侧，布置在甘肃省武威市民勤红砂岗能源化工工业集中区内。本项目厂区内正在建设 2MWt 熔盐堆主体装置厂房，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、中水处理站、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基本建成。厂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；厂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。

本期工程拟建设小型模块化钍基熔盐堆厂房、钍基燃料盐研究设施、放射性废物整备中心、熔盐堆实验发电机房、应急指挥中心、综合技术研发中心、35kV 变电站和保卫控制中心。根据厂区现状、工艺方案等要求，结合厂址区地形、地质条件，同时参考类似工程总平面布置经验，进行总平面规划。本期工程建设子项一览表见表3.1-1，总平面规划图见图3.1-1。

厂址区自然地形标高自南向北约为1411m~1420m，厂区用地范围已进行统一的场地平整，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。本期工程的东侧正在建设2MWt熔盐堆主体装置厂房，该区域室外设计标高范围为1418.70~1420.55m（东北高、西南低）。本期工程小型模块化钍基熔

盐堆厂房和钍基燃料盐研究设施的室外设计标高定为1420.55m，室内设计标高高于室外0.45m。该标高可保证厂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。

参照厂区地层岩性及分布特征，规划将小型模块化钍基熔盐堆厂房和钍基燃料盐研究设施尽量靠近厂区西北侧布置，钍基燃料盐研究设施布置在小型模块化钍基熔盐堆厂房北侧。该区域地形相对较高，利于场地排水；同时，利于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。本期工程室外地坪设计标高为1420.55m，小型模块化钍基熔盐堆厂房的基础埋深为33m，当基坑开挖至基底标高+1388m时，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；钍基燃料盐研究设施的基础埋深为8m，当基坑开挖至基底标高+1413m时，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。

规划将熔盐堆实验发电机房布置小型模块化钍基熔盐堆厂房西侧，便于管线衔接；放射性废物整备中心考虑布置在小型模块化钍基熔盐堆厂房南侧，便于固液废物运输。35kV变电站位于放射性废物整备中心西南侧，靠近厂区边缘，便于衔接外部电源。保卫控制中心布置在钍基燃料盐研究设施东侧。应急指挥中心和综合技术研发中心布置在整个厂区中部东侧区域，位于已建的综合实验大厅西南侧，靠近厂区主干道。

本期工程排放口分布情况如下：3个气载流出物排放口分别位于小型模块化钍基熔盐堆厂房、钍基燃料盐研究设施以及放射性废物整备中心建筑上部，通过烟囱排放；钍基燃料盐研究设施非放射性废气排放口与气载流出物排放口为同一烟囱；上述排放口位置分布详见图3.1-1。本项目不排放液态流出物；非放射性废水排放口为生活污水排放口（仅有1个，生活污水经处理达标后排放至园区污水管网）和生产废水排放口（仅有1个，生产废水经处理达标后排放至园区污水管网）；雨水排放口仅有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。

除了上述主要构筑物外，规划将整个厂区主要出入口设置在厂区南侧，对外衔接纬七路；厂区东、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。厂区四周和保护区内部均

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。

表 3.1-1 本项目建设子项一览表

子项	建筑面积 (m ²)	占地面积 (m ²)	建筑耐火等级
小型模块化钍基熔盐堆厂房	20700	7900	地上二级、地下一级
钍基燃料盐研究设施	14850	6500	地上二级、地下一级
放射性废物整备中心	4050	2000	地上二级、地下一级
熔盐堆实验发电机房	3945	2175	二级
应急指挥中心	1986	1073	二级
综合技术研发中心	3040	1460	二级
35kV 变电站	860	860	二级
保卫控制中心	600	600	二级

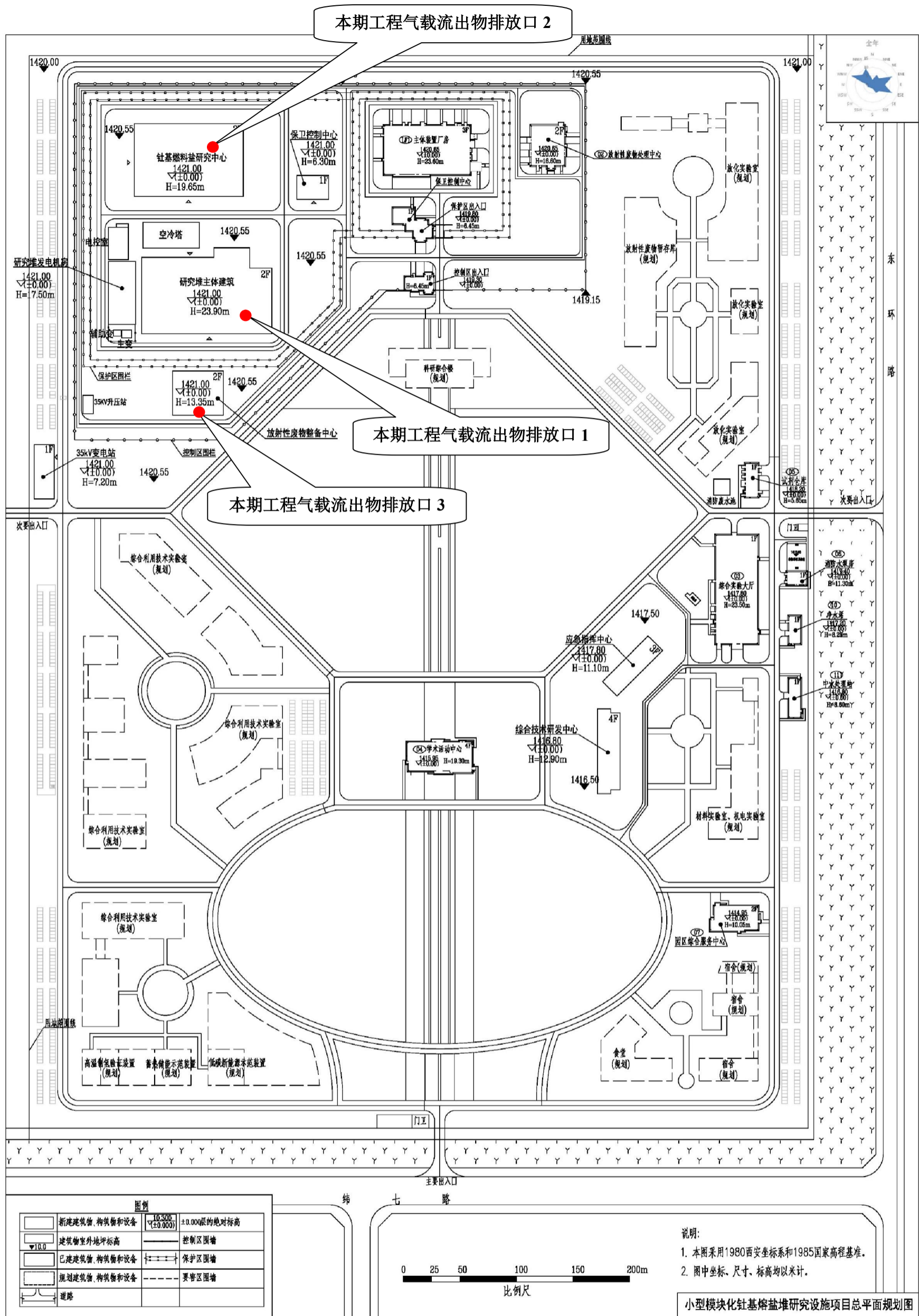


图 3.1-1 总平面规划图

3.2 反应堆工程概况

3.2.1 概况

本项目的熔盐堆的热功率设计为60MWt，电功率为10MWe，堆芯出口温度为700℃。熔盐堆由堆芯模块（含堆本体和燃料盐回路）、冷却盐回路、发电设施、堆仪控系统、堆安全系统、熔盐与燃料系统、实验设施等组成

以下为反应堆主要构成与功能说明：

1) 堆本体模块

熔盐堆作为小型模块堆，其堆芯模块具备周期性更换的能力。熔盐堆堆本体由堆容器及支承、堆内构件（含金属堆内构件和石墨堆内构件）、一体化堆顶设备（含控制棒系统）等组成，堆本体结构示意图如图3.2-2所示。与熔盐相接触的的金属构件均采用耐高温和耐熔盐腐蚀的UNS N10003合金。

堆容器及支承：堆容器由主容器和安装在顶盖上的各种套管组成。主容器由顶盖组件、筒体组件组成，是反应堆压力边界的重要组成部分，也是包容放射性物质的主要屏障之一，起着盛装燃料盐和慢化剂，容纳堆芯的作用，并保持堆芯处于被冷却状态；此外，也起着固定和支承堆内构件、控制棒驱动机构、中子源装置及辐照监督等设备的作用。主容器全部采用UNS N10003合金制造，以满足耐熔盐腐蚀和耐高温的要求。主容器设备应尽量采用环轧件焊接，避免纵缝，并应尽量减少环焊缝的数量。

堆容器支承为板壳式焊接结构的支承梁，既要限制堆容器平动和转动，又要满足堆容器的径向热膨胀要求。堆容器支承采用6至8个支承梁沿堆容器周向均布。支承梁通过其外端固定在堆舱中的固定支承平台上。支承梁的另外一端位于主容器法兰侧。主容器法兰底部设置有固定的法兰支垫，其底面坐落在支承梁上，其侧面与支承梁的侧挡块等进行配合，以满足定位和防止周向旋转的要求。

堆内构件：堆内构件主要由石墨堆内构件、金属堆内构件等组成。石墨堆内构件由上腔室石墨组件、堆芯石墨组件和下腔室石墨组件等组成。堆芯石墨活性区总高为3000mm，直径为2200mm，主要由中心开孔的六棱柱石墨紧密排布组成。金属堆内构件由堆芯围筒、堆芯底板组件和上腔室金属组件等部件组成。堆芯围筒内径3450mm、壁厚25mm，采用悬挂式结构。堆芯围筒的法兰悬挂在主容器筒体组件法兰上，堆芯围筒的底部与主容器封头的堆芯支承环相互配合，尽量减小配合间隙。

一体化堆顶设备：一体化堆顶设备主要包括一体化堆顶结构主体以及控制棒系统。相关的堆顶设备主要为控制棒系统（多套）和中子源运输机构、辐照装置等。一体化堆顶结构主体由下端带法兰的筒体、内部底端的辐射屏蔽层、中上部的抗震栅格或其他抗震结构、上部的电缆电气端接口和顶部的防砸护网等组成。控制棒系统采用8根控制棒（2根调节棒、4根补偿棒和2根安全棒）组成第一停堆系统：采用链轮链条型控制棒驱动机构，棒体可采用直棒或柔性棒的型式。第二停堆系统由4根安全棒和备用的排盐系统组成。从多样化的角度考虑，4个安全棒采用相对第一停堆系统不同原理的驱动结构：采用卷筒钢丝绳控制棒驱动机构，棒体采用直棒或柔性棒的型式。

2) 熔盐回路

熔盐回路包括燃料盐回路和冷却盐回路。燃料盐回路系统由1台燃料盐循环泵、1台熔盐-熔盐换热器和管道部件组成，位于堆容器西侧，与堆容器进出口采用下进侧出形式。该回路系统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由冷却盐循环泵、熔盐-超临界二氧化碳换热器、管道、支承件、加热保温设备构成。此系统通过冷却盐循环泵将高温冷却盐输送至熔盐-超临界二氧化碳换热器，经热交换后的低温冷却盐重新进入熔盐-熔盐换热器，获得热量以后往复循环。冷却盐装载排放系统由冷却盐排放罐、阀门及管道构成，此系统通过气压方式将冷却盐从冷却盐储罐压入至冷却盐回路主循环系统。由于排放口设置在冷却盐回路主循环系统的最低位，因此依靠自重即可进行整个冷却盐回路主循环系统的排盐。

3) 气路与氦控

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系统三部分。

覆盖气气路系统：覆盖气气路供气的主要设备有燃料盐泵、冷却盐泵、基盐制备、燃料盐预处理、燃料盐装卸料及尾气吹扫气等，用于为熔盐泵和熔盐储罐提供覆盖气体，避免熔盐与空气接触，控制熔盐中的水氧含量；为熔盐在不同容器间的转运提供动力源；提供主容器及冷却盐泵罐内覆盖气体的超压保护，并满

足部分设备的工艺需求。

尾气处理系统：燃料盐回路内产生的大量放射性惰性气体以及氙，通过鼓泡脱气的方式脱除，并且使用氩气吹扫，进入覆盖气尾气处理系统中。覆盖气尾气首先进入一级过滤器，去除熔盐蒸汽和大粒径颗粒物；然后进入金属渗透除氙器，初步脱除进入尾气中的氙；然后进入二级过滤器，通过冷凝和过滤去除小粒径的颗粒物；然后通过流动式气体滞留盘管，经过几个小时的滞留衰变去除短半衰期的核素和衰变热；通过缓冲罐后由膜压机将气体加压贮存在衰变罐里，贮存约一个月后，去除大部分的放射性核素和衰变热；之后通过填充不同活性炭的碘吸附床和氙吸附床，进一步将放射性碘及氙去除到更低水平。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，则进入粒子过滤器，去除衰变子体及其他放射性粒子；之后通过氙吸附床和后处理系统，去除尾气中的氙后，进入控制区通风系统。

氙控制系统：熔盐堆运行过程中，燃料盐和冷却盐中的Li和Be受中子照射产生氙。高温下氙容易从熔盐和堆结构材料中扩散渗透进入环境。因此，为实现熔盐堆的正常运行以及对环境的保护，必须对熔盐堆中产生的氙进行控制。根据熔盐堆中氙的行为特性和分布，对熔盐堆产生的氙进行去除，并确保向环境排放的氙符合国家生态环境保护标准的要求。

3.2.2 核燃料

10MWe小型模块化钍基熔盐堆不使用燃料元件，而使用液态的 $F^7LiBeZrU$ 共晶熔盐同时作为燃料和燃料盐回路冷却剂，燃料熔盐流入堆芯达到临界，发生裂变反应产生热量，流出堆芯反应停止，并通过熔盐/熔盐热交换器将热量传递给冷却盐回路冷却剂。反应堆寿期内，燃料盐一直在堆内运行，无需处理和回收。

3.2.3 专设安全系统

专设安全设施是熔盐堆为应对设计基准事故及缓解超设计基准事故，执行安全功能，控制事故后果而专门设置的安全系统。根据熔盐堆的安全特性，设置了四个专设安全设施：堆舱非能动余热排出系统、紧急排盐系统、安全容器及其隔离系统和主控室应急可居留系统。

1) 堆舱非能动余热排出系统

堆舱非能动余热排出系统在反应堆停堆后执行余热排出功能，具有热量排出

能力，保证堆本体、燃料盐循环系统等关键设备在燃料盐强迫循环停止后不会超温，确保熔盐堆的安全。堆舱非能动余热排出系统主要由围绕在下堆舱内壁的水冷壁、上下联箱、空冷器、空冷塔等组成。此系统采用冷却水作为冷却介质，循环方式为闭式循环，通过布置在下堆舱内、环绕反应堆本体和燃料盐循环系统一周的水冷壁管束吸收衰变热，将衰变热从水冷壁及其连接的管路系统中自然循环转移至大气热阱。堆芯衰变热通过热传导、热辐射、自然对流耦合传热方式实现完全的非能动导出。

2) 紧急排盐系统

紧急排盐系统主要执行部分事故工况下燃料盐紧急排出的功能，由燃料盐排放罐、冷冻阀、非能动余热排出系统等构成。

紧急排盐系统的非能动余热排出系统是熔盐堆在排盐情况下导出燃料盐衰变热的非能动专设安全设施，无需依靠人工干涉，借助重力实现燃料盐自然下落流入燃料盐排放罐，然后通过自然循环、自然对流等完全非能动方式将衰变余热排入最终热阱。

3) 主控室应急可居留系统

主控室应急可居留系统用于在发生熔盐堆设计基准事故时为主控室提供可居留环境，保护运行人员和设备免受气载放射性物质的危害，并使控制室环境温度等保持在规定的范围内，保证主控室运行人员对熔盐堆的操作不受影响。

主控室应急可居留系统可保证在发生事故后，控制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72小时的应急可居留能力；（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，能够探测放射性气体、烟气等；（5）能够防止火灾向可居留区域扩散，也能防止发生在可居留区域的火灾蔓延。

3.3 实验系统

3.3.1 小型模块化钍基熔盐堆

熔盐堆是综合性的熔盐堆试验平台，可以开展堆物理实验、热工水力实验、安全实验验证、钍铀循环实验验证，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，为商业示范堆积累实验数据、提供设计依据，还可以提供熔盐堆操作员培训提供条件。

在熔盐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要求，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。

3.3.2 钍基燃料盐研究设施

钍基燃料盐研究设施毗邻小型模块化钍基熔盐堆，该设施由四个系统组成，分别是干法批处理热验证系统、钍铀循环化学实验系统、材料辐照后检测系统和热室系统。该设施建成后主要用于钍基燃料盐干法批处理热验证、干法热室技术的工程验证、钍基熔盐堆运行化学状态离线监测、钍铀循环关键核素行为与规律验证、材料辐照后探伤检测、力学性能测试、热学性能测试、微观结构表征等。钍基燃料盐研究设施是一座地下 1 层、地上 2 层的建筑，如图 3.3-2 所示，总建筑面积约 14500m²。其中地面 1 层建筑面积约 6300m²，包括干法工艺热室区、放化分析热室区、材料辐照后检测热室区以及相关实验室和配套辅助设施等。地下 1 层建筑面积约 2500m²，包括辅助热室区、物料转运区和配套辅助区。地面 2 层建筑面积约 5700m²，包括热室检修大厅和配套辅助设备区等。

以下为钍基燃料盐研究设施的主要系统构成及功能：

1) 干法批处理热验证系统

小型模块钍基熔盐堆采用含钍低富集铀启堆、在线添加 LEU 燃料、运行数年后更换堆罐的模式，单炉燃料盐可持续运行 10 年。出堆乏燃料中仍有大量的钍、铀和极有价值的载体盐 (⁷LiF-BeF₂-ZrF₄)，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。干法批处理设施系统的建设目标是建成 10 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。

2) 钍铀循环化学实验系统

为了解决熔盐堆和干法处理所涉及的一系列化学问题,需要建立相应的实验系统。该实验系统从功能上主要分为两大类:专用研究子系统和放射性分析检测子系统。专用研究子系统直接面向熔盐堆和钍铀循环科学问题而设计,借助针对性研制的实验装置开展相关的研究和研发工作;而放射性分析检测子系统主要由测量分析设备构成,除了服务于专用子系统外,还可以为 10MWe 钍基熔盐堆的建设和运行提供技术支持。

钍基燃料盐科学研究主要围绕堆运行化学、后处理化学和再利用化学展开,专用研究子系统由三部分装置组成:(1)堆运行化学研究装置,包括氧行为研究装置和燃料盐行为研究装置,主要用于燃料盐体系中关键元素和氧的化学行为研究;(2)后处理化学研究装置,主要为先进分离方法研究装置,用于锕系元素和裂变产物的分离研究;(3)再利用化学研究装置,主要为燃料循环再生研究装置,用于处理后燃料盐的回堆利用研究。

放射性分析检测子系统主要用于对研究对象普适性的物理化学性质分析,为熔盐堆和钍铀循环研究提供技术支撑服务。放射性分析检测子系统内的仪器设备根据使用场景可以分为两部分,一部分是在热室内或与热室联用的设备,而另一部分是置于热室外的仪器设备,其中样品测量区域需进行放射性防护。

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,为开展特色的熔盐堆工况下材料服役性能研究提供支撑。

4) 热室系统

热室系统的建设是为钍基熔盐堆乏燃料干法批处理工艺热验证、钍铀循环化学实验、辐照后材料性能测试 (PIE) 等提供技术支撑和条件保障。

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

3.3.3 实验发电系统

本项目的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，设备尺寸仅为蒸汽轮机 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。

3.4 反应堆用水和排热系统

3.4.1 供排水系统

3.4.1.1 供水

本项目目前的供水系统主要包括生活水给系统和消防系统。原水取自民勤红砂岗能源化工工业集中区西北侧的红砂岗工业水厂，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。民勤红砂岗能源化工工业集中区内设置净水厂和除盐水厂，原水经处理后满足各用户的水质要求。

生活给水系统用于提供日常饮用、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。

另外，除盐水系统将依据小型钍基熔盐堆研究设施主要相关系统以及发电系统补水需求决定是否建设。

消防供水系统为厂区及各厂房的消防灭火设施供水，可满足主厂区火灾最小延续时间内消防系统的需水量和预期水压的需求。利用生活给水系统和市政供水为消防水池提供补水水源。

3.4.1.2 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、厂区雨水排水系统。

生活污水排水系统采用重力流管道收集厂房内卫生设施产生的生活污水，并输送至厂区生活污水排水系统，中水生产站投运前，根据《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），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（ $\text{COD}_{\text{Cr}} \leq 500\text{mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5 \leq 250\text{mg/L}$ 、 $\text{SS} \leq 380\text{mg/L}$ 、 $\text{TN} \leq 66\text{mg/L}$ 、 $\text{NH}_4^+-\text{N} \leq 45\text{mg/L}$ 、 $\text{TP} \leq 5\text{mg/L}$ ）后接入园区污水管网，最终排入红砂岗镇生活污水处理厂。中水生产站投运后，本项目产生的生活污水收集至中水生产站，经生化处理和深度处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中车辆冲洗水质标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002，2006年修订）中一级A标准后，用于绿化、道路浇洒和洗车等。再生水回用剩余水量溢流排入市政雨水管网。

本项目运行期产生的非放射性生产废水经收集并输送至厂区非放射性生产废水排水系统，非放射性生产废水经处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水

质》（GB/T18920-2020）中车辆冲洗水质标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002，2006年修订）中一级A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。

厂区雨水排水系统用于收集厂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厂区雨水管网，最后排放至本项目所在园区雨水排水管网。

3.4.2 排热系统

本项目采用三回路设计，包括燃料盐回路、冷却盐回路和发电回路。热量通过熔盐-熔盐换热器从堆本体传递到冷却盐回路，然后通过熔盐-氦气换热器将热量传输至发电机系统。采用氦气布雷顿循环发电，使用空气作为最终热阱。

3.5 通风系统

小型模块化钍基熔盐堆厂房共有五层，其中地下三层，地上两层。

地下三层主要布置有燃料盐排放相关的工艺房间，地下二层主要布置有反应堆容器、一回路、燃料加载等工艺房间。地下一层主要布置有二回路、尾气处理、氦控间，设备暂存及拆解等工艺房间。堆本体位于地下的堆仓内，贯穿地下三层，为熔盐堆的核心部位。地上一层主要布置有堆大厅、燃料预处理、人员卫生通道、仪控系统机柜、热电转换系统等工艺房间，以及配套的电气、给排水、供气设备等设备房间。地上二层主要布置有主控室、通风设备等设备用房。

厂房划分为不同的按辐射分区。控制区设置全送全排的通风系统，排风经过滤器处理达标后经烟囱排放，控制区与其他分区之间保持一定的负压梯度，使气流方向由低污染区到高污染区流动。

3.6 供电系统

3.6.1 基地供电

本项目规划建设35kV变电站作为园区熔盐堆电力配套设施，用于保障本项目正常用电。

3.6.2 主要厂房供电

本项目钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地主要厂房的反应堆装置等

重要设备采用独立双回路供电。为确保重要设备的正常运行，基地在独立双回路供电基础上采用常备应急柴油发电机组以及UPS作为备用电源。对于负荷较大的反应堆装置等采用应急柴油发电机组作为应急备用电源，柴油发电机组的容量较大，可并机运行且持续供电时间长，还可独立运行，不与地区电网并列运行，不受电网故障的影响，可靠性较高；对于对输出电压和频率等供电质量要求较高的机房、计算中心等采用UPS供电。

3.7 放射性废物系统和源项

3.7.1 放射性贮量

本项目小型模块化钍基熔盐堆的放射性物质来源于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

根据反应堆的设计运行参数，计算中考虑了60MWt的功率每年连续运行300天。

反应堆停堆后的放射性核素主要来源于反应堆运行期间产生的放射性核素，计算采用了SCALE的TRITON模块和ORIGEN-S模块。

2) 燃料盐回路的活化产物源项

燃料盐回路的活化产物的主要来源有以下两种：燃料盐及其杂质的活化产物、结构材料的腐蚀产物活化。

燃料盐被中子活化会产生放射性核素，熔盐中的C、N、O等杂质也会受到中子照射而发生活化反应。根据本项目小型模块化钍基熔盐堆的物理设计参数及熔盐装量，使用ORIGEN-S计算得到燃料盐及其杂质中活化产物的量。

此外，本项目燃料盐回路管道的腐蚀产物可以随熔盐进入堆芯，其中的关键金属元素Fe、Co、Ni、Mn、Cr等同位素，通过吸收中子活化形成放射性核素。

3) 覆盖气源项

反应堆覆盖气为氩气，位于主容器上方，体积为 1m^3 。反应堆运行时，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 $10\text{L}/\text{min}$ 。覆盖气中的放射性物质主要来源于两个方面：

- 氩气受到堆芯中子的照射发生活化反应产生的放射性核素，主要是 ^{37}Ar 、 ^{39}Ar 和 ^{41}Ar ；
- 反应堆运行中以气态形式存在的和挥发性的裂变产物会通过燃料盐扩散进入到覆盖气中。

4) 氡源项

本项目满功率连续运行300天，燃料盐受到中子照射活化产生的氡为 $5.23\text{E}+15\text{Bq}$ 。

产生的氡中14.75%吸附在堆芯石墨中，9.43%渗透到燃料盐回路堆容器中，47.7%进入燃料盐尾气处理系统排放到环境中，1.58%经由冷却盐覆盖气排放到环境中，25.53%经由熔盐/氩气换热器渗透至氩气中，1.01%则经由冷却盐回路管道和设备渗透到工艺间后经由排风系统通过烟囱排放到环境中。

其中，分布在安全容器中的氡为 $4.94\text{E}+14\text{Bq}$ ，分布在冷却盐回路间空气中的氡为 $5.29\text{E}+13\text{Bq}$ ，分布在冷却盐覆盖气中的氡为 $8.27\text{E}+13\text{Bq}$ ，渗透到氩气中的氡为 $1.34\text{E}+15\text{Bq}$ 。此外，进入燃料盐尾气处理系统的氡为 $2.50\text{E}+15\text{Bq}$ 。剩下的 $7.72\text{E}+14\text{Bq}$ 氡则吸附在堆芯石墨上。

3.7.2 放射性废气系统和源项

3.7.2.1 系统功能

小型模块化钍基熔盐堆所有与熔盐相接触的界面上均使用氩气覆盖，避免高温熔盐接触水、氧。主容器内的覆盖气体由于与燃料盐相接触，受到堆芯中子的照射发生活化反应会产生放射性核素，同时在反应堆运行中产生的以气态形式存在的和挥发性的裂变产物会通过燃料盐扩散进入覆盖气中。尾气处理系统用于处理排放出来的覆盖气体，衰变氩、氙、碘、氪等放射性核素，去除放射性粒子。

3.7.2.2 系统描述

小型模块化钍基熔盐堆供气系统使用氩气（流量为 $10\text{L}/\text{min}$ ）对主容器覆盖气进行吹扫，吹扫出来的覆盖气进入尾气处理系统。尾气处理系统采用过滤器、滞留盘管、碘吸附床、活性炭吸附床等对尾气中的气载放射性物质进行处理。

尾气处理系统的去除作用考虑如下：

- 一级过滤器和二级过滤器对盐雾颗粒进行过滤，不考虑其对放射性粒子

和气溶胶的过滤作用；

- 滞留盘管对尾气中所有放射性核素滞留衰变3小时；衰变罐对尾气中所有放射性核素滞留衰变30天；
- 碘吸附床对碘的滞留衰变时间为90天；氙吸附床对氙的滞留衰变时间为30天；
- 粒子过滤器采用高效过滤器（HEPA）和超高效过滤器（ULPA）相结合，进行逐级去除。第一级采用H14级别HEPA过滤器，对0.3微米以上颗粒物去除效率可达到99.99%，第二级采用U16或U17级超高效过滤器，对于0.12微米以上粒子过滤效率预计达到99.99%；氙吸附床对氙的吸附效率为90%。

小型模块化钍基熔盐堆满功率连续运行300天，经过尾气处理系统处理后通往排风系统。

3.7.2.3 排放源项

小型模块化钍基熔盐堆气载放射性排放源项的主要来源是反应堆覆盖气吹扫产生的放射性废气。反应堆运行时，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10L/min），吹扫出来的覆盖气进入尾气处理系统。尾气处理系统采用过滤器、滞留盘管、碘吸附床、氙吸附床、氙吸附床等对尾气中的气载放射性物质进行处理。

3.7.3 放射性废液系统和源项

3.7.3.1 系统功能

小型模块化钍基熔盐堆的放射性废液系统主要用于收集、暂存、处理小型模块化钍基熔盐堆正常运行工况下产生的放射性废液。

3.7.3.2 系统描述

小型模块化钍基熔盐堆产生的放射性废液根据放射性活度水平，全部分类收集暂存。中、高放射性水平废液暂存在小型模块化钍基熔盐堆厂房内，低放射性水平废液在小型模块化钍基熔盐堆厂房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，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。各类废液的收集罐、暂存罐至少有1个备用罐，管道按0.3%坡度坡

向放射性废物处理中心，中、低放废液暂存间地面均敷设不锈钢钢敷面。厂房设置有送风系统，保证通风系统的气流方向从“净区”到“脏区”、从低污染区到高污染区。

废液处理系统主要包括中、低放射性水平废液暂存罐、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、低放水平废液暂存罐、有机废液暂存罐、空气载带排放蒸发系统已在2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆项目中建设完成。

1) 低放射性水平废液

小型模块化钍基熔盐堆厂房内各工艺间产生的放射性水平低于 10^6Bq/L 的废液通过工艺管道自流至2个 1m^3 低放射性水平废液收集罐，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低放射性水平废液槽及泵间（02-207）内的2个 50m^3 废液暂存罐。待废液积累至一定量后采用过滤+蒸发的工艺进行处理，处理后的液态流出物输送至排放水罐间（02-206）内的3个 5m^3 排放水罐中，经检测满足排放标准后的液态流出物通过2台空气载带装置处理，不合格的废液重新输送至放射性废物处理中心的低放射性水平废液暂存罐进一步处理。蒸发产生的蒸残液暂存在蒸残液罐间（02-211）内的1个 2m^3 蒸残液罐内，后续在桶内干燥区（02-326）采用桶内干燥工艺处理，产生的盐桶转运至水泥固定区（02-322）灌浆固定后送废物库暂存。

2) 洗涤废液

小型模块化钍基熔盐堆厂房产生的洗涤废液通过工艺管道输送至2个 2m^3 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处理中心洗涤废液暂存间（02-201）内的3个 3m^3 洗涤废液暂存罐内，待接收罐内洗涤废液积累至一定量后，经检测放射性活度浓度满足排放标准的洗涤废液，经洗涤废液过滤器过滤后通过载带排放区（02-405）内的2台空气载带装置处理；对于放射性活度浓度不满足要求的洗涤废液，将其输送至低放射性水平废液暂存罐中进一步处理。

3) 有机废液

小型模块化钍基熔盐堆厂房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处理中心有机废液罐间内的2个

250L有机废液暂存罐中。采用超临界水氧化技术处理有机废液，将有机物氧化成 CO_2 和 H_2O 。若处理后废液放射性水平满足排放要求，则将其输送至排放水罐，如不满足排放标准，则将其输送至低放射性水平废液暂存罐。

4) 中放射性水平废液

小型模块化钍基熔盐堆厂房内放射性水平在 $10^6\sim 10^{10}\text{Bq/L}$ 范围的废液采用中放射性水平废液收集罐收集，收集的废液达到一定体积后，通过屏蔽运输容器将收集罐转运至放废处理中心内，再通过中放射性水平废液转运手套箱将废液转至1个 2m^3 废液暂存罐内进行暂存。中放射性水平废液采用桶内干燥工艺处理，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。

中放废液转运系统主要包括中放废液转运罐、屏蔽转运容器、转运车、液位检测报警系统和放射性剂量检测系统等。中放废液转运罐与中放废液收集罐，通过专用运输容器接口连接，采取远程机械手完成中放废液收集罐和转运罐的连接，转运罐远程吊装至屏蔽转运容器内，封盖，经表面剂量检测后吊装至废物转运车，送至放射性废物处理中心。

5) 高放射性水平废液

小型模块化钍基熔盐堆厂房内放射性水平高于 10^{10}Bq/L 的废液主要产生于燃料盐分析过程，产量为 2L/a ，暂存于热室的暂存阱内。

6) 含氡废液

小型模块化钍基熔盐堆厂房内含氡废液产生量为 $5\text{m}^3/\text{年}$ ，采用含氡废液收集罐收集在厂房内，收集废液达到一定体积后，通过管道运输至放射性废物整备中心地下一层的含氡废液暂存罐中暂存。

3.7.3.3 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。洗涤废液处理后通过空气载带方式向大气环境排放，其排放量与本项目小型模块化钍基熔盐堆厂房气载流出物年排放量相比可忽略。

3.7.4 放射性固体废物系统和源项

3.7.4.1 系统功能

小型模块化钍基熔盐堆的放射性固体废物系统设计用于收集、转运、处理和

整备小型模块化钍基熔盐堆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。

3.7.4.2 系统描述

1) 废物收集

小型模块化钍基熔盐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、熔盐废物和堆内组件拆解分割去污等过程产生的放射性固体废物等。其中，低放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，收集后暂存在小型模块化钍基熔盐堆厂房内的固体废物暂存间内。中放固体废物收集于专用的中放固体废物收集容器内，其包括远程可视化装置包含自动定位紧固机构、自动抓取机构和自动释放机构等。高放熔盐废物收集于热室专用的暂存阱内。废通风过滤器芯等收集于200L桶内。堆内组件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的熔盐废物暂存间。废过滤器芯等废物桶转运至放射性废物处理中心待解控区。钢箱就地暂放于拆解分割去污区。

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，桶内压缩机的压缩比约3:1。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。钢箱内的大件放射性废物进行钢箱水泥固定整备。

4) 堆内组件拆解分割与去污

小型模块化钍基熔盐堆在运行一段时间运行之后需进行检修维护，主要检修对象为熔盐泵和控制棒驱动机构，包括法兰、电气连接件、传感器组件等的拆装。部分拆装下来的组件和零件将作为放射性固体废物。放射性废物整备中心设置有废物拆解分割系统，用于更换后堆内组件的切割与分解，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。拆解分割后的组件根据其来源及放射性活度，分别按照低放、中放和大件放射性固废进行收集。

放射性废物整备中心同时设有放射性去污系统，对切割后的组件进行放射性去污。放射性去污系统由激光去污设备、超声波清洗设备、干冰微粒去污设备和可剥离膜去污设备等组成，主要用于设备上残留熔盐附着物的去除。去污后的设备、组件经放射性检测后，根据需要进行复用、解控或水泥固定。

5) 废物的贮存

小型模块化钍基熔盐堆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。放射性固体废物类型与年产生量见表3.7-8。由表3.7-8可见，放射性废物预计年产生量为50.2个低水平放射性废物桶、0.6个中水平放射性废物桶，10.5个FA-V标准钢箱，5年累计产生量为251个低水平放射性废物桶、3个中水平放射性废物桶，暂存在放射性废物处理中心；52.5个FA-V标准钢箱暂存在放射性废物整备中心内。

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。废物库的设计容量能够满足本项目暂存5年的使用需求。

暂存库设置有1台10t吊车，并配备相应的吊具。吊车通过设置在吊运控制室内的吊运监控系统进行远程操作，同时通过废物信息管理系统对出入库的废物信息进行管理。

按照国家和审管部门规定，上述放射性固体废物暂存五年后送国家中低放废物处置场处置。

3.7.5 钍基燃料盐循环设施及放射性废物整备中心的排放

干法批处理热验证工艺设备接头泄漏、尾气处理后出口排放，单批次操作10L，按每年5次，气态放射性物质排放源项见表3.7-9。

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，拆解去污过程产生的放射性约为 $3.43\times 10^5\text{Bq/a}$ 。

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 100mg/m^3 ，以此计算获得破碎减容过程中产生的粉尘放射性总活度不超过 $2.4\times 10^7\text{Bq/a}$ 。破碎减容装置尾气采用高效过滤器（99.99%）净化处理，破碎减容过程产生的放射性约为 $2.4\times 10^3\text{Bq/a}$ 。

此外，洗消废水处理采用载带排放方式向大气环境排放，洗消废水年产量约为 100m^3 ，活度浓度低于 10Bq/L ，一年的总活度为 $1\times 10^6\text{Bq/a}$ 。空气载带排放采用湿膜蒸发工艺，去污系数假设为 10^2 ，所采用的湿膜为一种高分子复合材料，载带排放过程中绝大部分的 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 等核素会留在湿膜上，湿膜可更换，后续作为固体废物处理。经计算，实际经过空气载带排放系统排向环境的气载流出物活度为 $1\times 10^4\text{Bq/a}$ 。

综上，放射性废物整备中心的气载流出物年排放量合计约为 $3.56\times 10^5\text{Bq/a}$ 。

放射性废物整备中心的气载流出物核素种类主要是 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr ，参考停堆后180天乏燃料中 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 的放射性活度比例，计算得到放射性废物整备中心的气载流出物 ^{137}Cs ： $7\times 10^4\text{Bq/a}$ ， ^{90}Sr ： $2.86\times 10^5\text{Bq/a}$ 。

3.8 化学物质排放

本项目非放射性化学物质的使用、贮存种类、总量见表3.8-1。新试剂均存放于化学仓库(05子项)新试剂库内,气体钢瓶依照需求就近搭设气瓶间进行存放。

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系统厂房的放化实验室。其主要化学成分为 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系统厂房为放化实验室设置的烟囱排放。

2) 化学废液

本项目中主要的化学废液来自钍基燃料盐研究系统厂房的放化实验室。其主要为分析试剂溶液,成分为0.001~1%的金属氟化物,年产生量为 $0.1m^3/a$ 。化学废液先暂存于放化实验室,经统一收集后暂存至化学仓库(05子项)危险废物库,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) 化学废固

化学固废主要为分析固废和化学固废,包括手套、滴管、个人防护用品,年产量 $160kg/a$ 。分析固废先暂存于钍基燃料盐研究系统厂房,化学固废先暂存于小型模块化钍基熔盐堆厂房,经统一收集后暂存至化学仓库(05子项)危险废物库,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。

表 3.8-1 非放射性化学物质使用量统计表

序号	名称	年使用量	序号	名称	年使用量
1	四氟化钍	1200kg	20	磷酸二氢铵	5kg
2	四氟化铀	1400kg	21	硼酸	5kg
3	氟化锂-7	1000kg	22	三氧化二铁	5kg
4	乙二醇	175kg	23	氧化钙	5kg
5	氢氧化钾	1400kg	24	硅酸钠	5kg
6	浓硝酸	50L	25	二氧化硅	5kg
7	氢氟酸	20L	26	硅酸钠	5kg
8	双氧水	20L	27	氩气	144452m ³ +2100Nm ³
9	硝酸铝	10kg	28	高纯氩气	5912m ³ +42836Nm ³
10	浓盐酸	25L	29	氟化氢	505Nm ³
11	浓硫酸	20L	30	氩气 6N	2m ³
12	氢氧化钠	5kg	31	20%F ₂ /Ar 混合气 5N	60Nm ³
13	氟化锂	10kg	32	氩氢混合气 5%	808m ³
14	氟化铍	5kg	33	Ar/10%H ₂	10Nm ³
15	氟化钠	5kg	34	氢气	2000Nm ³
16	氟化钾	5kg	35	氮气	270Nm ³
17	氟化锆	5kg	36	高纯氮气	3m ³ +100Nm ³
18	氯化锂	10kg	37	氦气	8m ³ +10Nm ³
19	氯化钾	10kg	38	氦气	8m ³

3.9 放射性物质运输

3.9.1 燃料厂内运输

1) 燃料盐运送

小型模块化钍基熔盐堆需要运输的含核材料（U）的熔盐是燃料原料和添加盐。燃料盐由添加盐和基盐液液混合后直接进堆，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。

添加盐混配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反应堆装料区。添加盐储罐为立式圆柱形容器，设计容积200L，额定装载量150L，配置温度、压力检测仪表。经临界安全计算，添加盐储罐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

熔盐堆燃料装卸系统由燃料装载、燃料排放和燃料补给三个部分构成。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。

3.9.2 乏燃料厂内转运

出堆乏燃料暂存设施位于熔盐堆地下一层，暂存小型模块化钍基熔盐堆寿期内的出堆的乏燃料。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轨道小车上，通过转运轨道转移至外运容器吊

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。

3.9.3 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小尺寸废物的运输。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，载重量不小于10t。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国家规定废物处置场进行最终处置。

3.10 退役考虑

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。

本项目属于熔盐堆，随着熔盐堆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。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、质量保证等等。

本项目的熔盐堆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污染防治法》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。

第四章 施工建设过程对环境的影响

4.1 土地利用

10MWe 小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目位于 TMSR 基地（即红沙岗厂址），该基地位于甘肃省武威市民勤红沙岗能源化工工业集中区。TMSR 基地地理位置坐标为 N38°57'31"，E102°36'55"，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。TMSR 基地占地 0.67km²，本项目拟在 TMSR 基地建设 10MWe 小型模块化钍基熔盐堆厂房、钍基燃料盐研究系统厂房、放射性废物整备厂房、应急指挥中心、综合技术研究中心和 35kV 变电站，用地范围内不涉及矿产资源和文物。项目总平面规划图见图 3.1-1。

4.1.1 工程概况

4.1.1.1 用地概况

根据总平面规划方案，本项目规划建设建筑总占地约 8.25 公顷，全部位于本项目所在 TMSR 基地的已征地范围内。

本项目征地面积均为科研用地。

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。

4.1.1.2 主要出入通道

由于主要出入通道已于 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、西侧两侧，与东环路和经七路衔接。

4.1.1.3 土石方平衡

本项目厂区自然地形标高自南向北约为 1411m~1420m，场地在 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。本项目基本不

产生土石方工程量，建（构）筑物、道路和管线施工期间产生的少量基槽余土，考虑在厂区内统筹消纳。本项目 10MWe 小型模块化钍基熔盐堆厂房和钍基燃料盐研究设施厂房的室外设计标高定为 1420.55m，室内设计标高高于室外 0.45m。该标高可保证厂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。

4.1.2 施工活动对环境的影响

4.1.2.1 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。

本项目厂址半径 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 4.1.2.6 节。

4.1.2.2 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址边界以外的大气环境。

本项目土石方工程施工过程中，由于开挖、填充、道路修建、渣土堆放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。

施工过程中产生的粉尘对大气环境的影响是局部的和暂时的。在采取必要的防护措施后即可降低粉尘的影响。施工过后，当地的大气环境质量将很快得以恢复。

在 TMSR 基地 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目建造期间，2020 年 10 月至 2021 年 8 月甘肃云腾环境科技检测有限公司开展了施工期大气环境质量的监测，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。监测结果表明：

监测期间 2#、3#、4#、5#施工区域厂界监控点 SO₂、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 SO₂、NO₂、CO、O₃ 和 PM₁₀ 浓度均满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012，2018 年修订）中规定的二级标准要求，甲苯（C₇H₈）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_{2.5} 和 TSP 日均值不符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012，2018 年修订）的限值。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，预计待施工完成后能够恢复。

由于本项目与 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 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环保措施，因此预计施工期间项目区及周边环境空气质量将符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012，2018 年修订）二级标准浓度限值要求。

4.1.2.3 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、生活污水以及雨水径流，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 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 2700t/a。施工生产废水仅含泥土等杂质，无其他特殊化学成分，因此该部分生产废水通过自然蒸发的方式处理。

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），满足红砂岗镇生活污水处理厂进水水质要求。接入市政污水管网的生活污水管线建成前，大临生活办公区的生活污水定期清运。以 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 10800t/a。生活污水经红砂岗镇生活污水处理厂处理后回用，因此不会对水环境产生影响。

雨水径流：工程施工期间，由于外界降雨的作用，容易造成开挖的土石方和

堆放的建筑材料随水扩散，形成雨水径流，主要含有泥沙及少量施工机械和运输车辆滴漏的油类。本项目所在区域的年平均降雨量 115.0mm，预计雨水径流不会对周围环境产生影响。

此外，在 TMSR 基地 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目建造期间，2020 年 10 月至 2021 年 8 月甘肃云腾环境科技检测有限公司开展了废水排放监测，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，监测点位设置在位于大临办公生活区域沉淀池旁的检查井。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）中的 B 级标准。

由于本项目与 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目工程量相近，且可借鉴 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）中的 B 级标准。随着施工的结束，水环境质量将得到恢复。

4.1.2.4 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。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)；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)。

在 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目建造阶段，2020 年 10 月至 2021 年 8 月甘肃云腾环境科技检测有限公司开展了噪声监测，建筑施工噪声检测方法按照《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的相关要求进行。检测等效连续 A 声级，昼间（6：00~22：00）和夜间（22：00~次日 6：00）各 1 次，检测 1 天。施工噪声共设置三个监测点位，分别为 LF1 主体装置厂房（7#）、放射性废物处理中心（8#）以及大临办公生活区（1#），共 3 个监测点。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，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 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目的土建工程施工量相近，预计施工期间噪声值不会高于 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 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目机组施工经验优化施工方式预计可以控制本项目施工的噪声影响仅限于施工人员。

4.1.2.5 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 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，预计年产生量约 750kg。

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 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，预计年产生量约 1125kg。

本项目建设期间，TMSR 基地内设置临时危险废物贮存设施，用于贮存本项目建造期间产生的危险废物，危险固废贮存设施符合《危险废物贮存污染物控制标准》（GB18597-2001，2013 年修订）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。

4.1.2.6 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。厂址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厂址最近处位于NNE方位约6.5km，各块缓冲区中距厂址最近处位于NNE方位约3km，各块实验区中距厂址最近处位于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。

4.1.2.7 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 4.1-1 废水检测结果

检测项目	检测结果（2020年7月10日）				
	第一次	第二次	第三次	第四次	平均值
pH 值（无量纲）	6.8	6.9	6.8	6.8	—
五日生化需氧量（mg/L）	63.5	62.5	60.5	60.0	61.6
化学需氧量（mg/L）	175	177	173	170	174
氨氮（以 N 计）（mg/L）	21.2	20.9	21.4	22.0	21.4
悬浮物（mg/L）	7	8	8	8	8
动植物油（mg/L）	3.11	3.12	3.09	3.03	3.09
石油类（mg/L）	1.18	1.15	1.16	1.18	1.17
磷酸盐（mg/L）	2.92	3.07	2.71	2.94	2.91

表 4.1-2 噪声监测点位列表

监测点位	经度	纬度
1#临办公生活区	102°36'30"	38°57'17"
2#LF1 主体装置厂房	102°36'44"	38°57'39"
3#放射性废物处理中心南侧	102°36'49"	38°57'37"

表 4.1-3 噪声监测结果

监测点位	昼间（dB(A)）	夜间（dB(A)）
1#临办公生活区	42.2	37.7
2#LF1 主体装置厂房	50.2	38.3
3#放射性废物处理中心南侧	47.7	37.8

4.2 水的利用

4.2.1 水资源利用

以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1500t/a，其中工地施工工程用水300t/a，机械用水75t/a，生活用水345t/a，生活区用水525t/a，消防用水255t/a。本项目所在区域目前有由红砂岗工业水厂铺设至用地范围内的管径100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。

4.2.2 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

本项目建设期间产生的施工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，施工生产废水年产生量预计为2700t。生产废水仅含泥土等杂质，无其他特殊化学成分，通过自然蒸发的方式处理。

2) 施工生活污水

本项目建设期间产生的施工生活污水主要来源于本项目施工人员日常作业期间，施工生活污水年产生量预计为10800t。施工期的生活污水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），满足红砂岗镇生活污水处理厂进水水质要求。生活污水经红砂岗镇生活污水处理厂处理后回用。

本项目建设期间产生的施工废水接入项目所在园区污水管网系统，其影响仅限于本项目施工区域内。

4.3 施工影响的控制

4.3.1 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、拌和过程中会产生粉尘外溢，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。

4.3.2 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。
- 施工生产废水经沉淀池沉淀并净化处理，处理后达到《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）要求后排入项目所在园区污水管网系统，最终排入园区污水处理厂。施工生活污水达到红砂岗镇生活污水处理厂进水水质设计标准标准后排入项目所在园区污水管网系统，最终排入红砂岗镇生活污水处理厂，经处理后进入中水回用系统循环利用，主要用于集聚区绿化。
- 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。

4.3.3 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。
- 对于距离厂址最近的 NNE 方位约 3km 的连古城国家级自然保护区缓冲区，以及距离厂址最近的 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、水土保持等有关的法律、法规，增强施工人员的环保观念，提高文明施工意识。

4.3.4 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。
- 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。

4.3.5 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。

4.3.6 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。

4.3.7 辐射污染的控制

本项目建设期间的辐射污染来源主要是密封放射源和射线装置进行无损检测探伤时的射线照射，不会对大气和水环境产生影响，相应的防治措施包括：

- 开展放射源和射线装置探伤作业时必须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的相关规定。
- 在使用放射源和射线装置的作业区范围内设置警示区，防止有人误入工作区。
- 根据国家颁布的《放射性同位素与射线装置放射防护条例》等相关条例制订放射源和射线装置无损检测探伤操作管理制度。
- 放射源存放区域必须是专用源库或带有屏蔽的厂房内，并设置双人双锁，并由专人看管，并严格执行源进出的登记制度。
- 无损检测探伤作业时，放射工作人员必须配备个人剂量计、个人剂量报警器和环境辐射巡测仪。

4.3.8 施工期间的环境管理措施和监测计划

1) 环境管理措施

本项目建设期间需加强施工区的管理工作，制定详细的施工计划、监测计划及管理制度，在开工建设前组织全体施工人员认真学习环保相关的法律法规，增强施工人员的环保观念。

2) 环境监测计划

本项目开工建设后将开展施工期环境监测，监测计划见表 4.3-1，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》（GB3095-2012，2018 年修订）为执行标准和评价依据。依据厂址施工活动、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 TMSR 基地四周边界布设大气环境监测点外，建议在靠近自然保护区一侧增设一个监测点，进行施工期大气环境监测。

监测因子：

SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}、CO、TSP、O₃、甲苯（C₇H₈）共 8 项。

监测频率：

日均值：PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂、甲苯（C₇H₈）每天 20 小时连续采样，共监测 7 天；

小时值：SO₂、NO₂、CO、TSP、O₃、甲苯（C₇H₈）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，厂址半径 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《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）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（L₁₀、L₅₀、L₉₀）和最大声级 L_{max} 等指标。在本项目所在 TMSR 基地四周边界和靠近自然保护区一侧设置监测点。

（4）生活污水和生产废水

施工期对施工生活污水与生产废水进行定期监测，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 4.3-1 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 、甲苯(C ₇ H ₈)	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 TMSR 基地四周边界处、北侧自然保护区边界处
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 TMSR 基地四周边界处、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
4	施工生产废水			

第五章 正常运行的环境影响

5.1 正常运行的辐射影响

5.1.1 照射途径

本项目产生的气载放射性物质经放射性废气系统处理后分别从小型模块化钍基熔盐堆厂房、钍基燃料盐研究中心和放射性废物整备中心顶部的烟囱排放，其中以小型模块化钍基熔盐堆厂房排放的气载流出物排放量占主导。

根据第三章第 3.7.3 节的描述，本项目产生的中、高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；低放废液中的有机废液和低放废水转运至放射性废物处理中心处理；低放废液中的洗涤废液经处理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。

小型模块化钍基熔盐堆厂房、钍基燃料盐研究中心和放射性废物整备中心顶部的烟囱相关参数见表 5.1-1，邻近建筑物高度低于 26m。

本项目正常运行过程中主要为气载流出物通过气载途径对公众产生辐射影响。

本项目在正常运行工况下，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：

- 浸没于空气中受到的外照射。
- 由于干、湿沉降导致地面放射性沉积物引起的外照射。
- 吸入空气造成的内照射。
- 食入因干、湿沉降导致放射性沉积的粮食、蔬菜等食物造成的内照射。
- 食入由干、湿沉降导致放射性沉积的饲料所喂养的家畜肉、奶及其制品造成的内照射。

5.1.2 气载途径的剂量估算

5.1.2.1 大气弥散估算

本项目运行期间产生的放射性物质通过气载途径对公众所致剂量的计算采用《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）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) 气载流出物在大气中弥散

(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：

$$h_e = h_s + \Delta h \quad (5.1-1)$$

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：

$$\Delta H = 1.44D \left(\frac{W_0}{u} \right)^{2/3} \left(\frac{\chi}{D} \right)^{1/3} - C \quad (5.1-2)$$

$$\Delta H = 3 \frac{W_0}{u} D \quad (5.1-3)$$

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（5.1-2）和下述两式计算的 ΔH 值，取它们中的最小值为抬升值：

$$\Delta H = 4 \left(\frac{F_m}{S} \right)^{1/4} \quad (5.1-4)$$

$$\Delta H = 1.5S^{-1/6} \left(\frac{F_m}{S} \right)^{1/3} \quad (5.1-5)$$

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：

$$(\chi/Q)_G = \frac{2.032}{X \cdot U_G \cdot \sum_z} \cdot f_{Gd} \cdot f_{Gw} \cdot f_{GR} \quad (5.1-6)$$

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：

$$\sum_z = \min \left(\left(\sigma_z^2 + \frac{0.5}{\pi} D_z^2 \right)^{0.5}, \sqrt{3} \sigma_z \right) \quad (5.1-7)$$

式中：

D_z ：邻近建筑物的高度，m。

σ_z ：厂址垂直扩散参数，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：

$$(\chi/Q)_H = \frac{2.032}{X \cdot U_H \sigma_z} \cdot f_{Hd} \cdot f_{Hw} \cdot f_{HR} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H_e}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (5.1-8)$$

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：

$$(x/Q)_H = \frac{2.032}{X \cdot U_H \sigma_z} \cdot f_{Hd} \cdot f_{Hw} \cdot f_{HR} \cdot \sum_{n=-2}^2 \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{2nH_m - H_e}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (5.1-9)$$

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：

$$(x/Q)_H = \frac{2.032}{\sqrt{2/\pi} \cdot X \cdot U_H \cdot H_m} \cdot f_{Hd} \cdot f_{Hw} \cdot f_{HR} \quad (5.1-10)$$

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：

$$U_H = U_{10} \cdot \left(\frac{H_g}{10} \right)^m \quad (5.1-11)$$

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：

$$A_p = V_d \chi \quad (5.1-12)$$

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：

$$\dot{\chi} = \chi F_W \quad (5.1-13)$$

$$F_W = \exp\left(-\Lambda \frac{\chi}{u}\right) \quad (5.1-14)$$

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:

$$\begin{aligned} E_t &= 1.0 && \text{当 } W_0 / \bar{u} \leq 1.0 \\ E_t &= 2.58 - 1.58(W_0 / \bar{u}) && \text{当 } 1.0 < W_0 / \bar{u} \leq 1.5 \\ E_t &= 0.3 - 0.06(W_0 / \bar{u}) && \text{当 } 1.5 < W_0 / \bar{u} \leq 5.0 \\ E_t &= 0.0 && \text{当 } W_0 / \bar{u} \geq 5.0 \end{aligned} \quad (5.1-15)$$

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) 气象观测数据采用红砂岗区域站 2020 年 8 月至 2021 年 7 月一整年 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 节), 红砂岗站为距离厂址最近的区域站, 位于厂址以西约 14km 处, 其下垫面条件和厂址相似, 地形也一致。

2) 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 P-G 扩散参数的适用条件。

5.1.2.2 食物链转移及内、外照射估算

本项目在正常运行时，照射途径计算气载流出物通过气载途径释放对人的受照剂量。

气载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

$$D_{Bi} = 3.15 \times 10^7 S_F \dot{Q} \left(\frac{\bar{x}}{\dot{Q}}\right)_i g_B \quad (5.1-16)$$

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

$$D_{B_i}^G = 3.15 \times 10^7 S_F C_i^G g_B^G \quad (5.1-17)$$

式中：

$D_{B_i}^G$ ：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：

$$C_j^G = \frac{3.15 \times 10^7 (\bar{W}_{D_i} + \bar{W}_{W_i})}{\lambda_e^s} (1 - e^{-\lambda_e^s t_b}) \quad (5.1-18)$$

式中：

\bar{W}_{D_i} ， \bar{W}_{W_i} ：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载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

$$D_{Ai}^a = R_a \dot{Q} \left(\frac{\bar{x}}{\bar{Q}} \right)_i g_{Aa} \quad (5.1-19)$$

式中，

D_{Ai}^a : i 风向下风向扇形内 a 年龄组个人的年吸入产生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, $l / (m^3 \cdot a)$ 。

g_{Aa} : 对应 a 年龄组的吸入剂量因子, Sv/Bq。

(4) 食入陆地动植物内照射剂量

因食入污染的食物产生的待积有效剂量当量为:

$$D_{Di}^a = g_{Da} \sum_P U_a^P f_P C_i^P \quad (5.1-20)$$

式中:

D_{Di}^a : i 风向下风向扇形内 a 年龄组的个人因食入污染食物产生的待积有效剂量当量, Sv/a。

g_{Da} : a 年龄组的食入剂量因子, Sv/Bq。

U_a^P : a 年龄组的个人对 P 类农产品的年摄入量, kg/a 或 l/a。

f_P : 食入有关地区产生的 P 类农产品的份额, %。

C_i^P : P 类农产品中的放射性核素浓度, Bq/kg 或 Bq/L。

a) 蔬菜、谷类、水果、饲料等农作物中的核素浓度 (不包括 3H 和 ^{14}C)

$$C_i^P = 3.15 \times 10^7 \dot{Q} (\bar{W}_{Di} + \bar{W}_{wi}) \left\{ \frac{RT_{iv} [1 - \exp(-\lambda_c^v t_c)]}{Y_v \lambda_c^v} + \frac{B_v [1 - \exp(-\lambda_c^v t_b)]}{P \lambda_c^v} \right\} \times \exp(-\lambda t_h) \quad (5.1-21)$$

式中:

R: 滞留份额, 即沉积放射性保留在植物中的份额。

T_{iv} : 易位因子, 即沉积于植物外部的放射性核素向植物食用部分的易位因子, 无量纲。

λ_c^v : 放射性核素由植物中清除的有效速率, $1/a$, $\lambda_c^v = \lambda + \lambda_w$, 其中 λ_w 是风化产生的物理消除速率常数。

t_c : 农作物在生长季节受污染的时间, a。

Y: 收获时农作物的有效生物质量, 即单位面积产量, kg/m^2 。

B_V : 农作物食用部分从土壤摄入核素的浓集因子, [Bq/kg (鲜作物)]/[Bq/kg (干土壤)]。

t_b : 核素在土壤中的累积时间, a。

P: 土壤的有效表面密度, kg (干土壤)/m²。

t_h : 农作物由收获到消费的时间, a。

b) 植物中 ³H 的浓度

$$C_i^T = 10^3 \dot{Q}_T (\bar{\chi}/\dot{Q})_i (0.75)(0.5/H) = 3.8 \times 10^2 \dot{Q}_T (\bar{\chi}/\dot{Q})_i \frac{1}{H} \quad (5.1-22)$$

式中:

C_i^T : i 风向下风向扇形内植物中的 ³H 浓度, Bq/kg。

H: 评价点的年平均绝对湿度, g/m³。

\dot{Q}_T : ³H 的释放率, Bq/a。

0.5: 植物中水的氚浓度与大气水中 ³H 浓度之比。

0.75: 水在植物中总质量中的份额。

c) 植物中 ¹⁴C 的浓度

$$C_{14}^T = \frac{1}{3.15 \times 10^4} \cdot Q_{14} \cdot (\chi/Q)_i \cdot p \cdot 0.11/0.16 \quad (5.1-23)$$

式中:

C_{14}^T : i 风向下风向扇形区内农作物中 ¹⁴C 浓度, Bq/kg。

Q_{14} : ¹⁴C 的年释放率, Bq/a。

p: 相对平衡比。

$(\chi/Q)_i$: i 风向下风向扇形区内在 x 距离处的大气弥散因子, s/m³。

0.11: 植物总量中天然碳所占的份额。

0.16: 大气中天然碳的浓度, g/m³。

1/(3.5×10⁴): 单位转换系数。

d) 奶、肉和蛋中的核素浓度

$$C_i^m = F_m C_i^a Q_F \exp(-\lambda t_F) \quad (5.1-24)$$

式中:

C_i^m : i 风向下风向扇形内奶中的核素浓度, Bq/L。

C_i^a : 动物饲料中的核素比活度, Bq/kg (干重)。

F_m : 动物每天摄入的放射性核素出现在每升奶中的平均份额, d/L。

Q_F : 动物每天消耗的饲料量, kg (干重) /d。

t_F : 放射性核素由奶到人的平均迁移时间, a。

肉中的核素浓度同样可表示为

$$C_i^f = F_f C_i^a Q_F \exp(-\lambda t_f) \quad (5.1-25)$$

式中:

C_i^f : 肉中的核素比活度, Bq/kg。

F_f : 动物每天摄入的放射性核素出现在每公斤肉中的份额, d/kg。

t_f : 屠宰到消费的时间, a。

关于蛋中的核素浓度的表达式及各参数的含义, 完全类同于奶中核素浓度的计算。

动物饲料核素浓度 C_i^a 由下式计算:

$$C_i^a = f_p f_s C_i^p + (1 - f_p) C_i^s + f_p (1 - f_s) C_i^s \quad (5.1-26)$$

式中:

C_i^p : 生长中的牧草的核素比活度, Bq/kg (干重)。

C_i^s : 贮存饲料的核素比活度, Bq/kg (干重)。

f_p : 动物每年放牧于牧场的时间份额。 f_s 为放牧期间饲料中鲜草的份额。

式 (5.1-26) 也可以表示为

$$C_i^a = \hat{f}_p C_i^p + \hat{f}_s C_i^s \quad (5.1-27)$$

式中: $\hat{f}_p = f_p f_s$, 为饲料中鲜牧草的份额。

$\hat{f}_s = 1 - \hat{f}_p$, 为饲料中贮存牧草的份额。

e) 食入剂量

因食入污染的食物产生的待积有效剂量当量为:

$$D_{D_i}^a = g_{D_a} \sum_P U_a^P f_P C_i^P \quad (5.1-28)$$

式中:

$D_{D_i}^a$: i 风向下扇形内 a 年龄组的个人因食入污染食物产生的待积有效剂量

当量，Sv/a。

g_{D_a} : a 年龄组的食入剂量因子，Sv/Bq。

U_a^P : a 年龄组的个人对 P 类农产品的年摄入量，kg/a 或 1/a。

f_P : 食入有关地区产生的 P 类农产品的份额，%。

C_i^P : P 类农产品中的放射性核素浓度，Bq/kg 或 Bq/L。

(6) 气载流出物释放对公众群体的集体剂量

$$D = \sum_k D_{ek} \cdot P_k \quad (5.1-29)$$

式中：

D : 评价区域内公众群体受到的集体有效剂量，人·Sv/a。

D_{ek} : 第 k 子区中公众个人受到的有效剂量，Sv/a。

P_k : 评价区域内第 k 子区中公众人口数，人。

计算气载流出物所致最大个人有效剂量及集体剂量时：

1) 气载流出物源项见第 3 章 3.7 节。

2) 气载途径剂量计算采用的剂量转换因子引用自美国联邦导则 12 号报告《空气、水和土壤中核素导致的外照射》、国际原子能机构 (IAEA) 第 19 号安全报告、《放射性同位素手册》(马崇智等编著) 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

3) 模式中部分参数 (如单位面积作物产量等) 取值引用自《中国核工业三十年辐射环境质量评价文集》收录的《用于核工业 30 年辐射环境质量评价的剂量估算模式与参数》(陈竹舟)，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) 厂址半径 50km 范围内预期最大常住人口分布见第 2 章 2.2 节。厂址半径 10km 范围内工业企业人口分布见第 2 章 2.3 节。

5) 厂址半径 5km 范围内居民的食物摄入量参见第 2 章 2.2 节，考虑到红砂岗镇区的现场调查中没有婴儿，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) 进行计算。厂址半径 10km 范围内工业企业人员的食物摄入量参照第 2 章 2.2 节的成人食物摄入量。其中红砂岗镇无农业种植，主要食物均外购自民勤县 (位于本项目 SE 方位约 56km)，少量食物外购自昌宁镇 (S 方位 37km) 和大坝镇 (SE 方位 51km)。外购比例约为 8:1:1。

5.1.2.3 剂量估算

根据本项目正常运行工况下气载流出物设计排放源项、气载流出物中各种放射性物质的平均长期大气弥散因子、地面沉积因子、食物摄入量、剂量转换因子等数据，计算了本项目正常运行工况下小型模块化钍基熔盐堆厂房、钍基燃料盐研究中心和放射性废物整备中心经气载途径所致公众最大个人有效剂量。

根据气载途径剂量计算结果，由气载途径所致最大个人剂量出现的位置为W方位12km的红砂岗镇镇区，婴儿、儿童、青少年、成人的最大个人剂量分别为 $2.76E-03\text{mSv/a}$ 、 $8.60E-03\text{mSv/a}$ 、 $3.90E-03\text{mSv/a}$ 和 $2.22E-03\text{mSv/a}$ 。（此处保守考虑本项目投运期间红砂岗镇镇区有婴儿居住）。

红砂岗工业集聚区内工作人员可能距本项目的最近位置位于本项目研究堆E方位约100m处的厂址边界，保守假设工作人员全年均在工业区内活动，则本项目气载途径所致工业区内人员最大个人剂量为 $1.38E-01\text{mSv/a}$ （目前工业区内距本项目最近的工业企业位于WSW方位2.7km处，本项目气载途径所致该工业企业内人员最大个人剂量小于 $2.09E-02\text{mSv/a}$ ）。

本项目由气载途径所致厂址半径10km范围内（主要为民勤红砂岗能源化工工业集中区的工业企业人员）集体有效剂量为 $3.16E-02$ 人·Sv/a。

5.1.3 液态途径的剂量估算

根据第三章第3.7.3节的描述，本项目产生的中、高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；低放废液中的有机废液和低放废水转运至放射性废物处理中心处理；低放废液中的洗涤废液经处理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。

此外，经调查，厂址半径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。

5.1.4 年辐射剂量汇总和评价

1) 红砂岗镇镇区各年龄组的剂量组成分析得出本项目正常运行造成公众辐射影响的“三关键”如下：

（1）关键人群组：红砂岗镇镇区的儿童所受个人有效剂量最大

($8.60E-03mSv/a$)，为关键居民组。

(2) 关键照射途径：由于本项目不排放液态流出物，因此仅有气载排放途径。气载途径中，吸入途径所致有效剂量约占总有效剂量的 95.15%，其次是食入途径。因此，所致个人有效剂量的关键照射途径为吸入途径。

(3) 关键核素：剂量贡献最大核素是 3H ，其次是 ^{131}I ， ^{14}C 和 ^{85}Kr 。

依据《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并结合参考《核动力厂环境辐射防护规定》(GB6249-2011) 6.1 条款规定的核动力厂正常运行期间的剂量约束值，本次环境影响评价确定本项目所在钍基熔盐堆核能系统(TMSR)实验堆基地所有核设施向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量将小于 $0.25mSv/a$ 。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)》，2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目的剂量约束值为 $0.1mSv/a$ 。由上文分析可见，本项目在正常运行期间放射性物质排放对个人所致最大有效剂量为 $8.60E-03mSv/a$ ，因此本项目所在钍基熔盐堆核能系统(TMSR)实验堆基地所有核设施向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量将小于 $0.1086mSv/a$ ，占规定的 $0.25mSv/a$ 的 43.44%，满足国家标准要求，给基地内后续核设施的建设留有裕量。

2) 本项目在正常运行期间放射性物质排放对本项目边界外工业区内工作人员(成人)所致最大有效剂量为 $2.09E-02mSv/a$ ，同时根据《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)》，2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目的剂量约束值为 $0.1mSv/a$ ，因此本项目所在钍基熔盐堆核能系统(TMSR)实验堆基地所有核设施向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量将小于 $0.102mSv/a$ ，占规定的 $0.25mSv/a$ 的 40.8%，满足国家标准要求。实际上工业区内工作人员不会全年在工业区内活动，本项目在正常运行期间放射性物质排放对本项目边界外工业区内工作人员(成人)所致其个人受照剂量小于 $2.09E-02mSv/a$ 。

3) 厂址半径 10km 范围内集体有效剂量(仅气载途径，主要为民勤红沙岗能源化工工业集中区的工业企业人员)为 $3.16E-02$ 人·Sv/a。

表5.1-1 气载放射性物质排放烟囱参数

排放位置	放射性排风量 (m ³ /h)	烟囱高度 (m)	烟囱尺寸 (mm×mm)
小型模块化钚基熔盐堆厂房	200000	28.9	4000×4000
钚基燃料盐研究中心	245000	24.65	5000×4000
放射性废物整备中心	27500	20	1200×900

5.2 正常运行的非放射性影响

5.2.1 非放废气

本项目运行期间产生的非放废气来源为钍基燃料盐研究系统厂房的放化实验室（本项目不涉及基盐、冷却盐和添加盐制备工艺，其产生的工艺尾气不在本项目中考虑）。

其主要化学成分为 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系统厂房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。

5.2.2 非放废水

1) 化学废液

本项目运行期产生的非放化学废液主要是分析试剂溶液，成分为 $1ppm\sim 1\%$ 金属氟化物，年产生量约为 $0.1m^3/a$ 。化学废液不排放，统一收集至化学仓库危险废物库，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) 生产废水

本项目运行期产生的生产废水主要为工艺循环水系统去离子水制备过程中产生的废水，年产生量为100t。

本项目生产废水年排放量为100t。根据《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区总体规划（2016-2030）》和《武威民勤红沙岗能源化工工业集中区控制性详细规划（2016-2030）》，生产废水经处理达标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) 生活污水

本项目运行期产生的生活污水主要来源于本项目工作人员日常工作期间，年产生量为10000t。

本项目生活污水年排放量为10000t。本项目所在钍基熔盐堆核能系统(TMSR)实验堆基地的中水生产站处于建设阶段。中水生产站投运前，根据《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），生活污水经处理达到红砂岗镇生活污水处理

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

中水生产站投运后，本项目产生的生活污水收集至中水生产站，经生化处理和深度处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中车辆冲洗水质标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002，2006年修订）中一级A标准后，用于绿化、道路浇洒和洗车等。再生水回用剩余水量溢流排入市政雨水管网，不会对周围环境产生不良影响。

本项目的非放废水排放不会对当地的水环境产生不良影响。

5.2.3 固体废物

1) 一般工业固体废物

一般工业固体废物年产生量约1000kg，收集并在基地专门场所进行贮存，贮存场所满足《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）中的相关规定（贮存设施基础必须防渗，贮存设施内一般工业固废单独收集贮存，禁止危险废物和生活垃圾混入），不会对周围环境产生不良影响。。

一般工业固体废物定期在民勤红沙岗能源化工工业集中区管理委员会安全环保科工作人员见证下，运送至民勤红沙岗能源化工工业集中区一般工业固体废物填埋场处置，不会对周围环境产生不良影响。

2) 危险废物

本工程运行期间产生的危险废物主要包括废试剂、废油、废油漆、废涂料、废电池等。由于危险废物非连续产生（产生的时间、地点变化较大），建设单位将根据实际产生情况对其进行收集并送至试剂仓库（05），贮存场所满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB18957-2001）及修改单（原环境保护部公告，2013年第36号）中的相关规定，不会对周围环境产生不良影响。

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运送至甘肃省危险废物处置中心（甘肃金创绿丰环境技术有限公司，危险废物经营许可证编号GS620102005）进行统一处理处置，不会对周围环境产生不良影响。

3) 生活垃圾

工作人员产生的生活垃圾定点收集，由环卫部门统一清运，不会对环境产生

不良影响。

5.2.4 噪声

本项目位于民勤红砂岗能源化工工业集中区。民勤红砂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砂岗能源化工工业集中区属于3类声环境功能区，本项目所在钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地边界执行《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)。

本项目主要产生噪声的设备主要为空调机组和各类排风机，主要设置在小型模块化钍基熔盐堆厂房、钍基燃料盐研究系统厂房以及放射性废物整备厂房内部。这些设备均为标准设备，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小型模块化钍基熔盐堆厂房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厂址边界距离，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 $L(r)=55\text{dB(A)}$ 。保守将3个风机在厂址边界处噪声叠加，取61dB(A)。

对上述预测结果加以考虑风机通风口的消声降噪措施或厂房墙体的隔声效果（降噪效果均可达15dB(A)以上），则厂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（见第2章2.8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）》6.2.4节，对西侧厂界贡献值为24.7dB(A)）后本项目所在民勤红砂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。

经分析可见，本项目主要系统及设备位于厂房内部，预计对本项目周边环境的噪声影响较小，本项目厂址边界满足《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砂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。本项目处于民勤红砂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。

表 5.2-1 生产废水排放执行标准

项目	标准
pH	6.5~9.5
悬浮物 SS	≤400mg/L
五日生化需氧量 BOD ₅	≤350mg/L
化学需氧量 COD	≤500mg/L
石油类	≤15mg/L

表 5.2-2 生活污水排放执行标准

项目	标准	依据
COD _{Cr}	≤500mg/L	红砂岗镇生活污水处理厂进水水质设计标准
BOD ₅	≤250mg/L	
SS	≤380mg/L	
TN	≤66mg/L	
NH ⁴⁺ -N	≤45mg/L	
TP	≤5mg/L	

5.3 正常运行对环境敏感区的影响

本项目厂址半径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，该实验堆正常运行期间向外排放的气载放射性物质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，预计本项目对正常运行期间向外排放的气载放射性物质对民勤连古城国家级自然保护区内动植物的辐射影响很小。

第六章 事故的环境影响及环境风险评价

6.1 事故描述和事故源项

6.1.1 事故描述

本项目选址假想事故考虑了堆芯覆盖气尾气处理系统泄漏。

反应堆正常运行过程中，堆芯覆盖气尾气处理系统的衰变罐发生泄漏。泄漏的放射性气体引起辐射监测系统报警，并触发自动停堆和其他动作（自动关闭滞留盘管与衰变罐之间的隔离阀等）。放射性气体自衰变罐泄漏后经过两层包容（安全容器和包容小室）后向周围环境释放。

6.2 事故剂量估算和评价

6.2.1 事故大气弥散条件

参考《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）计算短期大气弥散因子。

本项目 10MWe 小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率 60MWt）中心距离厂址边界最近距离为 W 方位 142m。

厂址边界的短期大气弥散因子如下：假设 10MWe 小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率 60MWt）选址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 内厂址边界处分时段的短期大气弥散因子。

6.2.2 事故剂量估算

考虑本项目选址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。
- 吸入放射性烟云中碘所受的内照射。

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，假定受照者是处在厂址边界上的个人，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，受照者为厂址半径 10km 评价区域内的公众群体。

6.2.3 事故剂量评价

由于没有针对熔盐堆非居住区边界和规划限制区范围以及上述区域边界处的事故潜在照射后果个人剂量限值的规定，因此依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《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）关于 I 类研究堆的要求以及《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，并参考《小型压水堆核动力厂安全审评原则（试行）》（国核安发[2016]1 号）关于超设计基准事故重要事件序列所致场址边界个人（成人）有效剂量小于 10mSv 的要求，本项目选址假想事故后果评价的剂量接受准则如下：事故工况期间厂址边界个人通过烟云浸没外照射和吸入内照射途径所接受的有效剂量小于 10mSv。

本项目 10MWe 小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率 60MWt）选址假想事故

发生后，厂址边界处的最大个人受照剂量结果以及与选址假想事故后果所致个人有效剂量限值能满足规定的事故个人有效剂量（10mSv）的要求。

6.3 配套设施运行事故

6.3.1 钍基燃料盐干法批处理事故

钍基燃料盐研究系统厂房主要用于钍基燃料盐干法批处理热验证、干法热室技术的工程验证、钍基熔盐堆运行化学状态离线监测、钍铀循环关键核素行为与规律验证、材料辐照后探伤检测、力学性能测试、热学性能测试、微观结构表征等。

燃料盐干法批处理的燃料盐批次处理能力为 10L，在设计燃料盐干法批处理系统时应保证，任何情况下（包括正常操作和事故泄漏），燃料盐制备系统不会发生临界事故。

在不发生燃料临界事故的情况下，钍基燃料盐干法批处理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。

6.3.2 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。中、高放射性水平废液暂存在主体装置厂房内，低放射性水平废液在主体装置厂房集中收集后通过特排管网转运至放射性废物整备厂房内暂存，少量的有机废液收集后利用转运车转运至放射性废物整备厂房内暂存。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整备厂房内的低放废水地坑内。低放废水收集罐及低放废水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水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。

6.4 场内运输事故及其它事故

6.4.1 新燃料运输事故

10MWe 小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率 60MWt）使用的液态熔盐燃料在熔盐制备车间制备，燃料原料通过外购获得，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表明，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）、《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。

6.4.2 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）、《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）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。

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。

6.4.3 其他事故

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将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。

6.5 应急响应

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）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、公众和环境免收过量的放射性危害。”

本项目 10MWe 小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率 60MWt）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）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。根据本报告 6.2 节的分析结果，选址假想事故所致厂址边界处的最大个人剂量可满足小于 10mSv 的要求，因此在本项目从设计上消除大规模放射性物质释放、简化场外应急行动具备技术可行性。

本项目运营单位制定 10MWe 小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目核事故场内应急预案，并建立场内应急组织，配备完善的应急设施和设备，做好应急响应准备。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》、《研究堆营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/06-2019）的要求，并参考 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆项目核事故场内应急预案，制定本项目核事故场内应急预案，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。

6.6 环境风险评价

本项目建设 and 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。

根据以上章节的分析结论，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。

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、存放化学品的化学品仓库和化学废弃物仓库。

针对本项目的以上特点，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，将熔盐堆、放射性废物处理设施、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》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《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必须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) 应建立完善的事事故应急预案，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

应急演习。

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。

第七章 流出物监测和环境监测

7.1 运行前的环境监测

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 月在厂址周围进行了为期一个季度的环境本底放射性质量调查，形成《TMSR-LF1 运行前环境辐射本底调查总结报告》（B 版），监测内容包括厂址半径 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于对本项目所在区域及其周边环境开展了厂址半径 20km 范围内辐射剂量率、累积剂量等放射性环境现状调查，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 2022 年调查结果进行编制，环境介质放射性活度根据 2020 年调查结果进行编制。

7.1.1 调查内容及范围

7.1.1.1 原野贯穿辐射剂量率资料收集

调查收集厂址所在的武威市、民勤县的原野贯穿辐射剂量率资料。

7.1.1.2 γ 辐射剂量率

1) γ 辐射剂量率

在以规划的 10MWe 小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率 60MWt）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 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。红崖山水库位于厂址 SSE 方向 66.7km 处，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作为对照点点位。红崖山水库位于厂址 SSE 方向 66.7km 处，海拔高度约 1360m，远离红砂岗厂址。

7.1.1.3 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 处的最近工业企业厂界

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。

7.1.1.4 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饮用水和灌溉水水源，红砂岗为厂址最近居民组。

水中 ^3H 监测次数为 1 次。

7.1.1.5 土壤放射性

在场址中心半径 10km 的区域内 8 个方位的扇形区域内布点，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。

本次陆域 γ 辐射剂量率调查方案见表 7.1-4；2020 年本底调查监测项目类别、点位、频次、样品数等统计见表 7.1-5。

7.1.2 监测与分析方法

7.1.2.1 监测设备

2020 年辐射环境本底调查测量设备见表 7.1-6，所有测量设备均在检定/校准有效期内。

本次调查的主要设备为便携式 γ 辐射剂量率仪 2 台和热释光测量系统 1 套，以用于环境放射性测量。测量仪器名称及型号列于表 7.1-7，仪器技术参数列于表 7.1-8。

7.1.2.2 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 $\leq\pm 15\%$ ，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 $15^\circ\text{C}/\text{s}$ 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

(1) 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，船体内不能有压舱石。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%。

(2) γ 辐射累积剂量

采用与环境监测时同样的热释光剂量片，经辐射照射选出批均匀性在 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 辐射累计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 7.1-9。

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 7.1-9。

7.1.2.3 探测下限

本次调查对放射性核素分析的探测限的计算根据《环境辐射监测技术规范》（HJ61-2021）等规范要求进行计算。探测限表示为：

$$LLD = 2.71 + 4.65\sqrt{n_b t_b} \quad (7.1-1)$$

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，本次调查放化分析各项目典型最小可探测活度浓度见表 7.1-10， γ 核素分析项目最小可探测活度浓度见表 7.1-11~表 7.1-13。

7.1.3 调查监测结果

7.1.3.1 厂址周围及原野贯穿辐射剂量率资料调查情况

经现场调查，除厂址所在钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地内正在建设的 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆外，目前厂址半径 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。厂址半径 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。

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 20.1~129.7 nGy/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 年甘肃省内距厂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 93.3~120.7 nGy/h、93.7~123.2 nGy/h 和 93.3~118.7 nGy/h，年均值分别为 97.9 nGy/h、98.1 nGy/h 和 98.2 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范围（未扣除宇宙射线响应值）分别为 114~134 nGy/h、109~115 nGy/h 和 114~124 nGy/h，年均值分别为 123 nGy/h、112 nGy/h 和 118 nGy/h。

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 年厂址 20km 范围内 γ 辐射剂量率（未扣除宇宙射线响应值）范围为 75~121 nGy/h，平均值为 (96 ± 6) nGy/h；2020 年厂址 10km 范围内， γ 辐射剂量率（未扣除宇宙射线响应值）范围为 75~111 nGy/h，平均值为 (92 ± 6) nGy/h。

7.1.3.2 γ 辐射剂量率

1) 仪器宇宙射线响应测量

本次调查选取了距厂址东南方向约 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 10.6 nGy/h。

2) γ 辐射剂量率

本次调查分别于 2 月 15 日~2 月 19 日（其中 6 个点位监测于 2022 年 1 月 21 日）和 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。

在厂址 SSE 方向距离约 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 10.6 nGy/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。本次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 $(52.1\sim 92.7)$ nGy/h，测量平均值为 (72.7 ± 6.4) nGy/h。扣除宇宙射线响应值后，

本次调查的陆地 γ 辐射剂量率测值范围为(41.5~82.1)nGy/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)。

2017年(厂址 20km 范围内, 75~121nGy/h, 平均值为(96 \pm 6) nGy/h)和 2020年(厂址 10km 范围内, 75~111nGy/h, 平均值为(92 \pm 6) nGy/h)厂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, 因此本次调查结果不具备与 2017年及 2020年监测结果分析对比的可比性。

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 \pm 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 \pm 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 \pm 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 \pm 15.6) nGy/h)处于同一水平。

3) γ 辐射累积剂量监测

本次调查在厂址 20km 范围内, 于 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%。

本次调查于 2 月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。然而, 因剂量片丢失, 本次调查的 γ 辐射累积剂量监测结果均未扣除宇宙射线响应值。

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(82.3~119) nGy/h, 平均值为(98.8 \pm 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(38.2~74.9) nGy/h, 测量平均值为(54.7 \pm 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, 2017年厂址区域环境辐射调查结果为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 \pm 7.9nGy/h); 2020年厂址区域环境辐射调查结果为累积剂量小时平均值测量结果为 132~178nGy/h, 平均值为

154±11nGy/h。

本次调查的 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%。

本次累积剂量测得的 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。

7.1.3.3 空气中放射性

2020年调查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 $8.550\pm 0.017\text{mBq/m}^3$ ，与2017年空气气溶胶中 γ 核素监测结果（ ^7Be ： 9.09mBq/m^3 ）相比，变化较小；气溶胶中 ^{90}Sr 测量结果小于探测限。

7.1.3.4 水中放射性

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

7.1.3.5 土壤中放射性

在厂址周围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年厂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 ： $<0.56\sim 6.99\text{Bq/kg}$ ），两次调查结果在同一水平。

7.1.4 质量保证

7.1.4.1 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

开展本次调查前，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”是本次调查工作的主要技术依据，开展现场调查监测。

3) 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 7.1-7~7.1-8。

4) 现场调查质量控制

(1) 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。

(2) 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。

(3) 检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。

5) 实验室测量控制指标

实验室测量过程的质量控制见表 7.1-25。调查布放热释光剂量片的平行片不少于 10%，平行片测量结果见表 7.1-26。空白片测量结果见表 7.1-27。

6) 数据处理

(1) 数据记录

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

✓ 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。

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

（2）数据报告

✓ 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；

✓ 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；

✓ 检测结果一般取 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；

✓ 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。

（3）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。

（4）数据评价

✓ 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；

✓ 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。

7.1.4.2 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

（1）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。

（2）检测环境条件的控制

在现场调查时，检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、检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。

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

（3）现场检测设备控制

开展现场检测前，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。

（4）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检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

（1）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。

（2）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。

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

（4）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

本次调查对土壤中 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。测量与评价结果见表 7.1-26，并通过 E_n 法对高于探测限的测量结果进行一致性判定（表 7.3-28 中“±”号后的数值为 2 倍计数统计误差，在进行 E_n 值计算时考虑了刻度源引入的不确定度）。 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：

$$E_n = \frac{|y_1 - y_2|}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}} \quad (7.1-2)$$

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：

$$U_n = \sqrt{U_{n1}^2 + U_{n2}^2} \quad (7.1-3)$$

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

7.1.5 辐射环境评价

1) 现有辐射源分布

- （1）厂址半径 30km 范围内无核设施，无铀、钍矿设施。
- （2）厂址半径 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) 厂址半径 5km 范围内无 I 类和 II 类放射源的应用。

2) γ 辐射剂量率

厂址 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；略低于 2017 年和 2020 年 γ 辐射剂量率结果。

3) γ 辐射累积剂量率

厂址 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。

4) 空气中放射性

本次调查空气中放射性监测项目有气溶胶中 γ 核素、 ^{90}Sr ，空气中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I ，沉降物中 γ 核素、 ^{90}Sr 和降雨中 γ 核素、 ^3H 。

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。

空气中 ^{131}I 测量结果小于探测限， ^{14}C 测量结果为 $44.2\pm 4.6\text{mBq/m}^3$ ($0.20\pm 0.02\text{Bq/g}\cdot\text{碳}$)，空气中氡除综合实验大厅北侧点位测量结果略高于探测限外 ($16.7\pm 8.5\text{mBq/m}^3$)，其余点位空气中氡测量结果均小于探测限。

沉降灰中 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 监测结果均高于探测限，测量值分别为 $2.6\pm 0.8\text{mBq}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 和 $1.85\pm 0.18\text{mBq}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ， ^7Be 测量值为 $6.293\pm 0.073\text{Bq}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。

降雨中 ^{90}Sr 测量结果高于探测限，测量值为 $1.93\pm 0.15\text{mBq/L}$ ， ^7Be 测量结果为 $1.68\pm 0.12\text{Bq/L}$ ， ^3H 测量结果为 $3.74\pm 0.40\text{Bq/L}$ 。

对比 2018 年全国辐射环境监测结果（总沉降物 ^{90}Sr : $0.32\sim 9.1\text{mBq}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ， ^{137}Cs : $0.38\sim 3.9\text{mBq}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ， ^7Be : $0.06\sim 10\text{mBq}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ；雨水中 ^3H : ($0.39\sim 3.60\text{Bq/L}$)，2020 年沉降物相应调查项目监测结果在正常环境本底水平，雨水中氡监测结果略高于全国水平。

5) 水中放射性

本次调查水中氡共设置两个监测点位，均为地下水，测量结果均小于探测限。

6) 土壤中放射性

本次调查，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 年厂址区开展的辐射环境调查结果，本次调查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。

表 7.1-4 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 4-2	/
	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 7.1-5 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
		90Sr	1 次			1		—
土壤	表层土	γ 核素	1 次	以反应堆为中心，16 个方位 与半径为 2km、5km、10km 的圆 所形成的各扇形区域内	8	9	2kg	1 个平行样
		总 α 、总 β	1 次			9		1 个平行样
		90Sr	1 次			9		1 个平行样
水	地下水/饮用水	³ H		园区供水点（地下水）、红砂岗镇饮用水	2	3	1L	1 个平行样

表 7.1-6 测量设备一览表（2020 年环境介质放射性监测）

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 7.1-7 测量仪器一览表（2022 年陆域 γ 辐射监测）

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 7.1-8 γ 辐射测量仪器技术参数

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 ~100 μ Sv·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 < 1 μ Gy

表 7.1-9 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 水中氡的分析方法
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 辐射累计剂量	GB/T10264-2014 个人和环境监测用热释光剂量测量系统

表 7.1-10 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 7.1-11 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 7.1-12 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 7.1-13 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	

7.2 运行期间的环境监测方案

7.2.1 辐射环境监测

本项目规划建设 10MWe 小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率 60MWt）、钍基燃料盐研究设施及配套设施。按照国家有关部门规章和相关标准要求，钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地应实施统一的环境监测。

本项目运行期间环境监测范围、监测项目及布点情况将以 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆运行期间辐射环境监测方案为基础，结合本项目运行前辐射环境调查结果制定，项目采样点在覆盖 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，与运行前环境调查保持适当比例的同点位，充分利用运行前环境调查所获得的资料。

7.2.1.1 监测目的、范围、布点原则及监测项目

1) 监测目的

（1）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；

（2）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；

（3）事故应急响应期间执行应急监测。

1) 监测范围

（1）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；

（2）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。

2) 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 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，如关键居民组的居住区域和最大风频下风向厂址边界附近区域。
- 监测点的布置尽可能与放射性环境现状调查的布点一致。
- 监测点以气载流出物排放点为中心，成辐射状布置监测点，近密远疏；
- 关键居民组的生活饮用水和厂址附近地下水。

- 生物的生长周期、采样品种的代表性。

3) 环境监测项目

- 环境介质监测。
- 环境 γ 辐射监测。

7.2.1.2 监测内容

1) 环境 γ 监测

环境 γ 监测对象为环境中的 γ 射线，进行剂量率测量和累积剂量测量。监测内容如下：

(1) 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 辐射剂量率可参照运行前的布点。

(2) 固定式 γ 环境监测

设置环境 γ 辐射监测站，用 11 台 γ 辐射剂量率仪连续监测 γ 辐射剂量率。本项目厂区环境剂量率监测点的位置综合考虑园区周边的人口分布、气象条件和地理条件等因素布置固定点位。

(3) 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。

2) 环境介质监测

环境介质监测是对环境介质进行取样，然后将样品送环境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：

(1) 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 ，在厂界内设 10 个氡取样监测点，监测频次为 1 次/季。

(2) 水中放射性

降水： ^{90}Sr 、 ^3H 及 γ 核素分析。

(3) 土壤放射性

在厂外设置 8 个土壤采样点，监测频次为 1 次/年，监测点布置见图 7.2-5 总 β 、 ^{90}Sr 和 γ 核素分析。

本项目的详细监测方案见表 7.2-1。

7.2.1.3 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 7.2-2。

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，制样设备包括烘箱、搅拌机等，测量分析设备包括低本底 α/β 测量仪、 γ 谱仪、低本底液闪分析仪等。

7.2.2 应急监测

辐射环境监测：

- ✓ 通过环境 γ 辐射监测系统对各监测点的 γ 辐射水平进行连续监测；
- ✓ 配备便携式监测设备对环境空气中 γ 辐射水平进行巡测；
- ✓ 通过便携式监测设备对环境空气进行采样监测。

7.2.3 非放射性环境监测

7.2.3.1 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。废气会经过专门的化学废气处理设备，处理达标（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。

7.2.3.2 生产废水、生活污水排放监测

本项目生产废水监测项目包括 pH、化学需氧量（COD）、五日生化需氧量（BOD₅）、悬浮物（SS），在生产废水接入园区污水管网处设置监测点位，半年开展 1 次监测工作。

本项目生活污水监测项目包括包括化学需氧量（COD_{cr}）、五日生化需氧量（BOD₅）、悬浮物（SS）、石油类、氨氮（NH⁴⁺-N）、动植物油、磷酸盐等指标。在生活污水接入园区污水管网处应设置监测点位，1 季度开展 1 次监测工作。

7.2.3.3 噪声监测

噪声监测共布设 4 个点位，包括 2MWt 液态燃料钍基熔盐的实验堆所在反应堆主体装置厂房、综合实验大厅、园区生活服务中心以及本项目 10MWe 小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率 60MWt）所在反应堆主体建筑，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。

7.2.3.4 气象观测

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。

由于红砂岗镇区域气象站下垫面条件和厂址相似，地形也一致，因此本项目选取红砂岗自动气象站作为厂址气象观测代表站，不另行在厂址建设气象观测系统。

红砂岗自动气象站观测的气象要素包括有温度、湿度、风速、风向、气压、降雨量、天空总辐射和净辐射。

表 7.2-1 环境介质监测内容

监测对象	布点原则	采样频次	主要分析测量项目
气溶胶	重点关注区域	1 次/季	γ 核素分析、 ^{90}Sr
空气	重点关注区域	1 次/季	^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I
沉降物	重点关注区域	1 次/季	^{90}Sr 、 γ 核素分析
降水	重点关注区域	降水期间	^3H 、 γ 核素分析、 ^{90}Sr
土壤	以气载流出物排放点为中心, 16 个方位与半径为 2km、5km、10km 的圆所形成的各扇形区域内布点	1 次/年	^{90}Sr 、 γ 核素分析、总 β
环境贯穿辐射	以气载流出物排放点为中心, 16 个方位与半径为 2km、5km、10km 的圆所形成的各扇形区域内布点	1 次/季	γ 辐射剂量率
			γ 累积剂量
	在厂区内设置 11 个固定式的连续监测点	连续	γ 辐射连续剂量率

表 7.2-2 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》 GB/T14583-1993《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》	0.01 μ Sv/h
	累积剂量	GB10264-2014《个人和环境监测用热释光剂量测量系统》	/
气溶胶	γ 核素分析	WS/T184-2017《空气中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	$^{137}\text{Cs}:5.0\times 10^{-6}$ Bq/m ³
	^{90}Sr	EJ/T1035-2011《土壤中锶-90的分析方法》	/
空气	^3H	HJ1126-2020《水中氚的分析方法》	5.0×10^{-1} Bq/L
	^{14}C	EJ/T1008-1996《空气中 ^{14}C 的取样与测定方法》	5.0×10^{-2} Bq/g
	^{131}I	WS/T184-2017《空气中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	2.0×10^{-3} Bq/m ³
土壤	γ 核素分析	GB11743—2013《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	$^{137}\text{Cs}:5.0\times 10^{-1}$ Bq/kg
	^{90}Sr	EJ/T1035-2011《土壤中锶-90的分析方法》	2.0×10^{-1} Bq/kg
	总 β	HJ61-2021《辐射环境监测技术规范》	2.0×10^{-1} Bq/kg
沉降物	γ 核素分析	GB11743—2013《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	$^{137}\text{Cs}:3.0\times 10^{-3}$ Bq/ (m ² ·d)
	^{90}Sr	EJ/T1035-2011《土壤中锶-90的分析方法》	2.0×10^{-3} Bq/(m ² ·d)
降水	γ 核素分析	GB/T16140-2018《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》	$^{137}\text{Cs}:2.0\times 10^{-3}$ Bq/L
	^{90}Sr	HJ1126-2020《水中氚的分析方法》	5.0×10^{-1} Bq/L
	^3H	HJ815-2016《水和生物样品灰中锶-90的放射化学分析方法》	3.0×10^{-4} Bq/L

7.3 运行期间的流出物监测方案

7.3.1 流出物监测的目的

本项目运营单位必须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。

7.3.2 流出物监测的内容

本项目流出物监测对象为通过小型模块化钍基熔盐堆厂房、钍基燃料盐研究中心和放射性废物整备中心顶部的烟囱排放的气载流出物中的气溶胶、碘、惰性气体、氡和¹⁴C，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。

流出物监测点平面示意图见图 7.3-1。

7.3.3 流出物监测系统描述

本项目气载流出物净化处理后经由烟囱释入大气环境。烟囱气载流出物监测系统由气溶胶、碘、惰性气体监测仪、高量程惰性气体监测仪、氡取样装置、¹⁴C 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；对氡和¹⁴C 的监测采用取样测量方式。

在烟囱排放气体混合相对均匀处对气载流出物进行取样，经过流量分配和控制系统后进入各取样回路或监测回路。高量程惰性气体监测仪用于事故后监测。

取样流量数据、测量数据就地显示、报警、控制，同时将气溶胶、碘和惰性气体监测仪、高量程惰性气体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。

气溶胶、碘、惰性气体、氡和¹⁴C 样品定期送实验室进行测量分析。

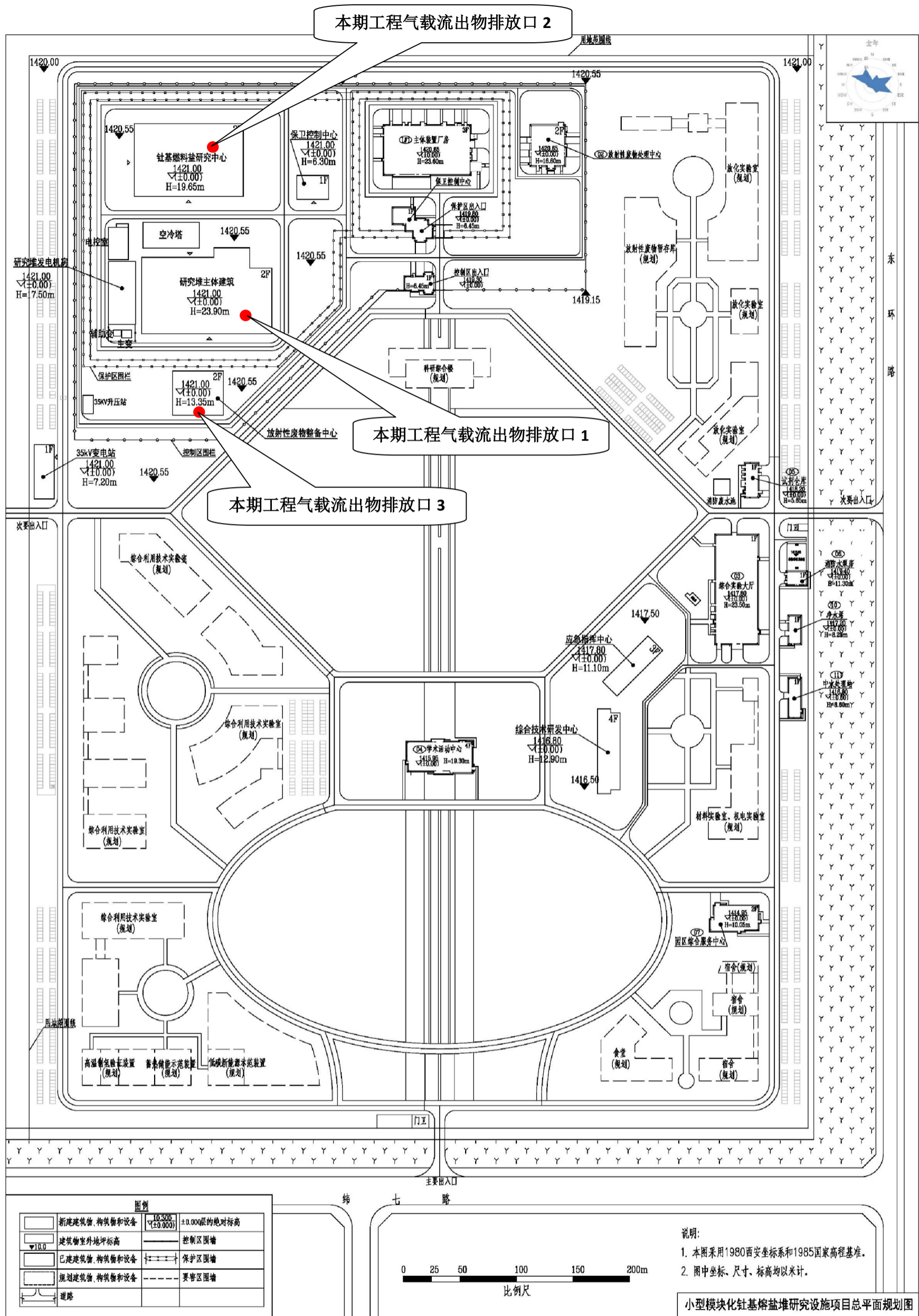


图 7.3-1 流出物监测点平面示意图

7.4 质量保证

本项目正常运行情况下，需要对流出物和环境进行监测，以保障公众的安全，确保本项目的运行对环境不会造成不可接受的影响。因此流出物和环境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。

流出物和环境监测的质量保证计划主要依据下列标准：

- 《环境核辐射监测规定》（GB12379-1990）
- 《核设施流出物和放射性环境监测质量保证计划的一般要求》（GB11216-1989）
- 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）
- 《气载放射性物质取样一般规定》（HJ/T22-1998）
- 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）

7.4.1 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。

7.4.1.1 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。为此应该准确地测定样品的质量、体积或流量，其误差一般控制在 $\pm 10\%$ 以内。为了确定采样的不确定度，应该定期采集平行的瞬时样品。

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、分析测量中的质量控制样品的预处理和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。操作人员应严格按照操作程序操作，防止样品间的交叉污染。为了确定分析测量过程中产生的不确定度，应该分析测量质量控制样品。为了发现和确定环境实验室分析测量系统的不确定性，必须参加本地区和国家组织的实验室之间的分析对比，对存在的系统误差查明原因，并采取校正措施。分析测量装置的性能应定期进行检定、校准和检验，所使用的标准源应定期进行标定。

7.4.1.2 数据处理中的质量控制

每个样品从采样、预处理到分析测量、结果计算过程中的每一步都有清楚、详细、准确的记录。数据处理尽量采用标准方法，减少处理过程中产生的误差。

对于偏离正常值的异常结果应及时向技术负责人报告，并在自己的职责范围内进行核查。监测数据的正式上报或使用，必须经有关技术负责人签发。

7.4.2 质量管理

7.4.2.1 组织机构

建立合适的辐射监测机构并实施管理是流出物和环境监测质量保证的重要因素。对管理和实施质量计划的人员设置及其职责、权利应有明确规定。

7.4.2.2 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，制定了下列措施：

1) 从事环境监测的人员必须具有大学及以上的文化程度以及核设施环境监测专业知识和工作能力。

2) 对从事环境监测的所有人员进行上岗前培训。按照人员所在岗位，要求分别熟悉有关采样、样品处理、分析测量、仪器设备维护以及数据处理和评价，经技术考核取得相应的资格方能上岗。

3) 为了保持从事环境监测人员的技术熟练程度，根据相应情况组织培训、考核、以及定期的技能评审。

第八章 结论

8.1 工程概述

10MWe小型模块化钍基熔盐堆研究设施项目属于国家重大科技基础建设项目，其所在钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地拟选址甘肃省武威市民勤红砂岗工业集聚区（以下简称“红砂岗厂址”）。红砂岗厂址隶属于甘肃省武威市民勤县，厂址坐落于民勤县城西北方位约60km处，与金昌市（厂址西南侧方位）的直线距离约60km，与武威市（厂址东南侧方位）的直线距离约120km，厂址地理位置坐标为N38°57'31"，E102°36'55"。

钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地规划建设2MWt液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）、10MWe小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率60MWt）、钍基燃料盐研究设施及配套设施。本项目拟建设10MWe小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率60MWt）、钍基燃料盐研究设施及配套设施，具体建设按照2023年年内基地破土动工、2026年首次临界并满功率运行为目标推进工作。

本项目所在厂址的大气扩散条件较好，厂址周边危险源不会对厂址安全构成潜在威胁，人口分布现状可满足厂址条件要求，具备项目建设条件。

8.2 环境保护设施

本项目利用新建放射性废物整备中心以及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；此外本项目小型模块化钍基熔盐堆研究堆所在厂房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，如生活污水处理设施、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。

8.3 放射性排放

本项目产生的中、高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；低放废液中的有机废液和低放废水转运至放射性废物处理中心处理；低放废液中的洗涤废液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。

8.4 辐射环境影响评价结论

1) 正常工况下的个人剂量

结合《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）》，本项目所在钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地所有核设施向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量满足国家标准要求，给基地内后续核设施的建设留有裕量。

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）》，本项目所在钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地所有核设施向环境释放的放射性物质对公众中任何个人造成的有效剂量满足国家标准要求。

2) 事故工况剂量后果

本项目以厂址边界作为非居住区和规划限制区边界。

（1）10MWe 小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率 60MWt）：选址假想事故的整个持续时间（24h），厂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。

10MWe 小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率 60MWt）选址假想事故所致厂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）。根据上述分析结果，本项目应急计划区设置在厂址边界处，不分烟羽应急计划区、食入应急计划区。

（2）钍基燃料盐研究系统：在不发生燃料临界事故的情况下，钍基燃料盐研究系统厂房燃料盐干法批处理车间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。

8.5 非辐射环境影响评价结论

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) 气载化学物质排放的环境影响

本项目工艺过程中的非放气载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。

中水生产站投运前，生产废水与生活污水经处理后接入厂址所在园区污水管网；中水生产站投运后，生活污水收集并经生化处理和深度处理后达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2020）中车辆冲洗水质标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002，2006年修订）中一级A标准，用于绿化、道路浇洒和洗车等，再生水回用剩余水量溢流排入市政雨水管网。生产废水与生活污水不会对周围环境产生影响。

3) 非放固废的环境影响

本项目所在钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地设置专门场所集中暂存一般工业固体废物和危险废物，一般工业固体废物定期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，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。工作人员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

本项目厂址边界满足《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。

8.6 承诺

本项目属于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 10MWe 小型模块化钍基熔盐堆（设计最大热功率

60MWt) 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基地环保设施（包括放射性三废处理设施、化学废弃物仓库等）共用的技术可行性，特别是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。