

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)

中国科学院上海应用物理研究所

二〇二〇年十二月

目录

第一章 概述

- 1.1 项目名称和建设性质
 - 1.1.1 项目名称与营运单位
 - 1.1.2 建设性质和资金来源
- 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
- 1.5 评价标准和评价范围
 - 1.5.1 辐射环境影响评价标准
 - 1.5.2 非辐射环境影响评价标准
 - 1.5.3 评价范围
- 1.6 环境影响报告书批复的落实情况

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 厂址边界、非居住区和规划限制区
- 2.2 人口分布与居民食谱
 - 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 居民的年龄构成及食谱
 - 2.2.4 流动人口
- 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 农副业生产及陆生资源概况
 - 2.3.4 水产资源及生态概况
- 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 大气稳定度
- 2.4.5 联合频率
- 2.4.6 混合层高度及扩散参数
- 2.4.7 运行前的厂址气象观测
- 2.5 水文
 - 2.5.1 地表水
 - 2.5.2 地下水
 - 2.5.3 洪水
- 2.6 地形地貌
- 2.7 地质地震
 - 2.7.1 地质特征
 - 2.7.2 地震
- 第三章 环境质量现状**
 - 3.1 辐射环境质量现状
 - 3.1.1 辐射环境现状调查
 - 3.1.2 辐射环境质量评价
 - 3.2 非辐射环境质量现状
 - 3.2.1 大气环境质量现状调查与评价
 - 3.2.2 声环境质量现状调查与评价
 - 3.2.3 受纳水体环境质量现状调查与评价
- 第四章 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆**
 - 4.1 厂区规划及平面布置
 - 4.1.1 厂区规划
 - 4.1.2 厂区平面布置
 - 4.1.3 排放口布置
 - 4.2 反应堆工程概况
 - 4.2.1 概述
 - 4.2.2 燃料
 - 4.2.3 安全系统
 - 4.3 实验系统
 - 4.4 主体装置厂房用水和排热系统

- 4.4.1 供排水系统
- 4.4.2 排热系统
- 4.5 通风系统
- 4.6 供电系统
- 4.7 放射性废物系统和源项
 - 4.7.1 放射性贮量
 - 4.7.2 放射性废气管理系统及排放源项
 - 4.7.3 放射性废液管理系统及排放源项
 - 4.7.4 放射性固体废物管理系统及废物量
 - 4.7.5 乏燃料贮存系统
- 4.8 化学物质排放
 - 4.8.1 化学污染物
 - 4.8.2 生活废物
 - 4.8.3 其他废物
- 4.9 放射性物质厂内运输
- 4.10 退役考虑

第五章 反应堆施工建设过程的环境影响

- 5.1 土地利用
 - 5.1.1 施工建设对土地利用的影响
 - 5.1.2 施工建设占用土地情况
 - 5.1.3 施工活动对自然环境的影响
 - 5.1.4 施工活动对社会环境的影响
- 5.2 水的利用
- 5.3 施工影响控制
 - 5.3.1 水土保持方案
 - 5.3.2 节水措施
 - 5.3.3 建设期间生产和生活废物的控制
 - 5.3.4 施工扬尘的控制措施
 - 5.3.5 施工噪声的控制措施
- 5.4 施工期监测
 - 5.4.1 环境空气监测

5.4.2 噪声监测

5.4.3 废水排放监测

第六章 反应堆运行的环境影响

6.1 正常运行的辐射影响

6.1.1 流出物排放源项

6.1.2 照射途径

6.1.3 计算模式与参数

6.1.4 大气弥散

6.1.5 环境介质中的放射性核素浓度

6.1.6 公众的最大个人剂量

6.1.7 非人类生物的辐射剂量

6.1.8 关键人群组、关键核素、关键照射途径

6.1.9 辐射影响评价

6.2 正常运行的非辐射环境影响

6.2.1 化学污染物的环境影响

6.2.2 生产废水和生活污水的影响

6.2.3 非放废气的环境影响

6.2.4 噪声的影响

6.2.5 固体废物的环境影响

第七章 反应堆事故的环境影响和环境风险

7.1 事故描述和事故源项

7.1.1 事故描述

7.1.2 事故源项

7.2 事故剂量估算和评价

7.2.1 事故大气弥散条件

7.2.2 事故剂量估算

7.2.3 事故剂量评价

7.3 燃料盐制备车间及放射性废液贮存设施泄漏事故

7.3.1 燃料盐制备车间泄漏事故

7.3.2 放射性废液贮存设施泄漏事故

7.4 场内运输事故

7.5 其它事故

7.6 事故应急

第八章 流出物监测与环境监测

8.1 辐射监测

8.1.1 流出物监测

8.1.2 辐射环境监测

8.1.3 应急监测

8.2 其它监测

8.2.1 生活污水监测

8.2.2 气象观测

8.2.3 生态监测

8.2.4 噪声监测

8.3 监测设施

8.3.1 流出物实验室

8.3.2 环境监测设施

8.4 质量保证

第九章 结论与承诺

9.1 工程概况

9.2 环境保护设施

9.3 放射性排放

9.4 辐射环境影响评价结论

9.5 非辐射环境影响评价结论

9.6 承诺

第一章 概述

1.1 项目名称与建设性质

1.1.1 项目名称与营运单位

1.1.2 建设性质和资金来源

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

1.5 评价标准和评价范围

1.5.1 辐射环境影响评价标准

1.5.2 非辐射环境影响评价标准

1.5.3 评价范围

1.6 环境影响报告书批复的落实情况

表

表 1.2-1 钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地建设内容

表 1.5-1 本项目气载流出物年排放量申请值(Bq/a)

1.1 项目名称与建设性质

1.1.1 项目名称与营运单位

项目名称：2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）。

营运单位：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于 1959 年 8 月正式成立，时称中国科学院上海理化研究所，2003 年 6 月经国家批准定为现名。拥有两大园区，分别坐落于上海市科技卫星城嘉定区和浦东张江高科技园区，占地面积共约 700 亩。该所是专业从事民用核技术科学研究的国立研究所，以光子科学、核科学技术及相关交叉学科研究为主，同时积极推进科研成果产业化。

上海应物所承担中国科学院战略性先导科技专项“未来先进核裂变能——钍基熔盐堆核能系统（TMSR）”，研究和发​​展相关核能科学与技术，打造 TMSR 全产业链，目标是成为拥有最先进、最完备实验设施和条件，以工业应用为目标的世界级钍基熔盐堆核能系统的研究中心。

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）。

1.1.2 建设性质和资金来源

本项目属于国家重大科技基础建设项目，为新建项目。

本项目属于科学研究项目，资金来源于国家各类财政支持。

本项目总投资暂定 7.7145 亿元，其中环保投资 4860 万元，占比 6.3%。

1.2 建设规模和规划

本项目所在钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地位于甘肃省武威市民勤红沙岗工业集聚区（以下简称“红沙岗厂址”）。红沙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"。

本项目近期建设项目主要有 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）及其相关的配套设施（见表 1.2-1），规划建设 10MWt 固态燃料熔盐实验堆（TMSR-SF1）、干法后

处理中心及配套设施。

本项目于 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，主体装置厂房自 2020 年 3 月底开展底板混凝土浇筑，计划于 2021 年 2 月启动堆容器吊装、2021 年 4 月完成所有设备安装、2021 年 7 月开展首次装料。配套项目已于 2018 年 10 月 25 日取得建设项目施工许可证。

主体装置厂房、放废处理中心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。

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）。

我国首个液态燃料钍基熔盐堆将实现钍基熔盐堆的系统集成和验证，为模块化示范堆及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）
- 《甘肃省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》（甘政发[2016]23 号）
- 《甘肃省主体功能区规划》（2012 年）
- 《甘肃省生态功能区划》（2004 年）
- 《甘肃省生态保护与建设规划（2014-2020 年）》（甘政办发[2015]36 号）
- 《甘肃省建设国家生态安全屏障综合试验区“十三五”实施意见》（甘政办发[2016]131 号）
- 《甘肃省“十三五”战略性新兴产业发展规划》（甘政办发[2016]124 号）
- 《甘肃省推进绿色生态产业发展规划》（甘政发[2018]17 号）
- 《民勤县城乡统筹总体规划（2015-2030 年）》（2016.10）
- 《民勤县城乡统筹总体规划（2015-2030 年）红沙岗镇分册》（2016.10）
- 《武威民勤红砂岗工业集中区总体发展规划（2018-2030）》（2019.06）

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“十三五”战略性新兴产业发展规划》（甘政办发[2016]124 号）

该规划针对新能源提出：依托资源禀赋，结合发展需要，坚持稳增风光电装机，强化新能源消纳和转化利用，加大电力外送，稳步开发生物质能，有序发展核应用产业，不断提升新能源开发利用水平，推进新能源装备集成化发展。开展“互联网+智慧能源”行动，发展智能电网，促进新能源就地消纳，培育新能源关联产业，实现新能源优势资源有效转化。

- 《甘肃省推进绿色生态产业发展规划》（甘政发[2018]17号）

加宽发展核能产业。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。

重点建设中科院核创院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。

- 《武威民勤红砂岗工业集中区总体发展规划（2018-2030）》

借助钍基熔盐堆核能系统项目的落地实施和示范应用，以构建循环经济产业链条、创新型工业园区为目标，结合区域发展趋势与规划区自身项目机遇，规划区功能定位为：

国家级循环经济产业示范区：以现有新能源及煤炭产业为基础，依托钍基熔盐堆系统项目积极引进培育新能源、新材料、高端装备制造、信息技术、节能环保产业，着力建设产业关联度较高的国家级循环经济示范园区，最大限度地高效利用资源和能源，减少污染物排放，促进环境与经济的和谐发展。

（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《民勤红砂岗工业集聚区规划环境影响报告书》确定。

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 修订）
- 《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 修订）
- 《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》（2018.12.29 修订）
- 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2020年9月1日）
- 《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 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）
- 《放射性废物安全监督管理规定》（HAF401，1997.11.05）
- 《中华人民共和国自然保护区条例》（国务院令第 687 号，2017.10.07）
- 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部第 44 号令，2017.10.01）
- 《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）
- 《研究堆安全分类（试行）》（国核安发[2013]165 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）
- 《甘肃省辐射污染防治条例》（2015.01.01）
- 《甘肃省自然保护区管理条例》（1999.09.26）

2) 技术标准和导则

- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）
- 《核设施流出物监测的一般规定》（GB11217-1989）
- 《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》（GB12379-1990）

- 《放射性物品安全运输规程》（GB11806-2019）
 - 《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）
 - 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单
 - 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）
 - 《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）
 - 《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）；
 - 《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）；
 - 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）
 - 《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）
 - 《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599-2001，环境保护部公告 2013 年第 36 号修改单）
 - 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18957-2001，环境保护部公告 2013 年第 36 号修改单）
 - 《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）
 - 《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 大气环境》（HJ2.2-2018）
 - 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2009）
 - 《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2011）
 - 《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169-2004）
 - 《研究堆营运单位的应急准备和应急响应》（HAD002/06-2019）
 - 《研究堆安全分析报告的格式和内容》（HAD201/01）
 - 《研究堆厂址选择》（HAFJ0005，1992.04.06）
- 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：

- 国电环境保护研究院，《TMSR 先进核能实验基地选址项目可行性研究阶段环境资料调查报告》（2017.10）
- 苏州热工研究院有限公司，《TMSR 先进核能实验基地选址项目厂址环境辐射本底调查专题调查报告》（2017.10）
- 上海核工程研究设计院有限公司，《厂址气象资料调查与分析专题报告》（13FW043-02-气 KY-BG01，2017.10）
- 北京中气京诚环境科技有限公司，《TMSR 先进核能实验基地选址项目可行性研究阶段常规气象、极端气象调查专题报告》（2017.09）
- 中国地震局地质研究所，《TMSR 先进核能实验基地选址项目工程场地地震安全性评价报告》（2017.11）
- 国核电力规划设计研究院有限公司，《TMSR 先进核能实验基地选址项目可行性研究岩土工程勘察总报告》（2017.11）
- 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）
- 苏州热工研究院有限公司，《TMSR-LF1 运行前环境辐射本底调查项目总结报告》（2020.11）

1.4.3 许可文件和批准文件

- 中国科学院，《中国科学院关于同意钍基熔盐堆核能系统先导专项 2MWt 钍基熔盐实验堆实施方案的函》（科发函字[2017]552 号）。
- 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）。

— 国家核安全局，《关于钍基熔盐实验堆以 II 类研究堆开展前期工作有关问题的复函》（国核安函[2015]128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，《关于民勤县红砂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）。

— 《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》（备案号：201862062100000055）。

— 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-LF1 运行阶段环境影响评价》技术服务合同，2020.6。

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。

甘肃省已发布了《甘肃省建设国家生态安全屏障综合试验区“十三五”实施意见》（甘政办发[2016]131号），目前甘肃省“三线一单”的划定工作已完成，本项目位于甘肃省武威市民勤红砂岗工业集聚区，不在生态红线内；根据《产业结构调整指导目录》（2011年

本，2013年修订）中“六、核能”的“2 先进核反应堆建造与技术开发”，本项目属于鼓励类项目，没有列入甘肃省环境准入负面清单；根据环境现状调查结果（参见第三章），本项目周边区域的环境质量基本满足各自的区划要求，本项目的建设运行特点及环境影响预测结果（参见第六章）也表明其不会对当地环境质量产生较大影响。因此本项目可以满足甘肃省“三线一单”管理要求。

1.5 评价标准和评价范围

根据《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》，对近期工程的9个子项，包括综合实验大厅、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、园区绿化的主要环境影响进行了备案（备案号：201862062100000055）。因而本次环境影响评价对象为近期工程中的剩余子项，即：主体装置厂房、放射性废物处理中心以及一些室外配套工程（见表1.2-1），以下简称为本项目。

对本项目的评价标准和评价范围描述如下：

1.5.1 辐射环境影响的评价标准

1) 运行状态的剂量约束值

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，“对于一项实践中的任一特定的源，其剂量约束和潜在照射危险约束应不大于审管部门对这类源规定或认可的值，并不大于可能导致超过剂量限值和潜在照射危险限值的值”，考虑到我国尚未对钍基熔盐堆规定相关的剂量约束值，参考《核动力厂环境辐射防护规定》（GB6249-2011）6.1条款规定“任何厂址的所有核动力堆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，每年必须小于0.25 mSv的剂量约束值”，同时参照IAEA安全标准GSG-8《Radiation Protection of the Public and the Environment》中所推荐的“剂量约束值应高于审管部门规定的豁免水平，并低于公众个人剂量限值，即在0.1 mSv/a和<1 mSv/a之间”。综合上述要求，确定本项目的剂量约束值为0.1 mSv/a。

2) 事故状态下的剂量控制值

由于目前没有针对钍基熔盐堆的事故剂量评价准则，因此现阶段参考《研究堆安全分类（试行）》中关于II类研究堆的要求和《研究堆营运单位的应急准备和应急响应》中对于研究堆应急状态的规定，对于TMSR-LF1的稀有事故和极限事故，其个人剂量限值分别确定为：在每发生一次稀有事故时，场址边界上公众个人（成人）在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在5 mSv以下；在每发生一次极限事故时，场址边界上公众个

人（成人）在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应小于 10 mSv。

3) 气载流出物的设计排放量

由于国内尚没有同类型反应堆的运行实践，2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆在运行状态下气载流出物排放量申请值暂按设计值考虑，见表 1.5-1。

1.5.2 非辐射环境影响评价标准

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）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) 污废水

施工期生活污水排至园区下游市政污水管网，排放执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015），最终排入红砂岗镇生活污水处理厂。运行期一部分生活污水排至厂区内的中水生产站（已填备案表），经处理达标后回用。运行期其余生活污水排至园区下游市政污水管网，排放执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015），最终排入红砂岗镇生活污水处理厂。

施工期生产废水排放执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015），最终排入红砂岗镇生活污水处理厂。

运行期非放射性生产废水排放执行《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015），最终排入红砂岗镇污水处理厂。

以上污废水排放标准均满足红砂岗镇生活污水处理厂进水水质要求。

3) 噪声

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》（GB 12523-2011）：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

本项目建造和运行期间，危险废物处置执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB

18957-2001，环境保护部公告2013年第36号修改单），一般工业废物处置执行《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599-2001，环境保护部公告2013年第36号修改单）。

1.5.3 评价范围

1) 辐射环境影响评价范围

本项目建设研究堆，参考 HJ/T5.1-1993 的要求，辐射环境影响评价的范围为以基地为中心，半径 50km 的区域。考虑到 TMSR-LF1 为 II 类研究堆，热功率只有 2MW，具有较高的固有安全性，包括：具有良好的负反馈特性；具有非能动余热排出系统；系统工作在近常压下；燃料盐能够限制放射性物质的释放；具有在线气体净化功能；具有防止放射性物质释放的多道屏障。且本项目周围 10km 范围内无常住居民，对本项目 10km 范围内的企业职工（10km 范围内无常住居民）进行剂量评价（见第 6 章），在保守假设下，最大个人剂量仅占本项目个人剂量约束值（0.1mSv/a）的 0.53%。综合考虑，辐射环境影响评价范围以主体装置厂房气体排放口（烟囱）为中心，半径 50km 的区域，重点关注半径 10km 的区域。

2) 非放射性环境影响评价范围

（1）大气环境

根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018）第 5.3.2 节确定大气的评价等级。选择氟化氢（HF）作为主要污染物，计算其最大地面浓度占标率 P_{max} 。最大地面浓度采用估算模式计算，考虑实验堆产生的化学废气 HF 经处理后通过实验堆所在厂房顶部的烟囱排放，排放速率为 0.17kg/h，烟囱高度为 26m，出口内径为 1.2m，排放速度为 11m/s，邻近建筑物高度低于 23m，环境空气质量标准 GB3095 附录中氟化物 1 小时平均取样时间的二级标准浓度限值 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，计算得到 $P_{max}=9.13\%$ ，因此本项目大气评价等级为二级。根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018）第 5.4 节确定大气的评价范围，本项目大气评价范围为以排放源为中心点，以 5km 为边长的矩形。

（2）声环境

根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2009）规定，本项目所处声环境功能区为 3 类地区，确定本项目声环境影响评价工作等级为三级，评价范围为拟征地边界外 1m。

1.6 环境影响报告书批复的落实情况

2019年11月29日，生态环境部《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）要求在工程建造阶段及今后一个时期应做好工作如下：

（1）做好辐射环境本底水平监测。

中科院上海应物所委托苏州热工研究院有限公司于2020年7月开展了TMSR-LF1运行前辐射本底调查。

（2）确保场址区域气象数据的准确性和可用性。

为确保场址现场气象站资料的准确性和可用性，2019年11月28日，中科院上海应物所与民勤县气象站签订《2019年至2024年CAMS620-SR辐射观测站（总辐射和净辐射）建设服务及辐射观测站维护和技术保障服务》合同，以确保TMSR-LF1环评所需大气稳定度等资料的准确性和可用性。2020年4月起，红砂岗气象站的总辐射和净辐射开始启动测量。

（3）未来如需开展钍材料的应用，应重新进行分析评价工作。

现阶段无开展钍材料应用的计划，后续如开展将重新进行分析评价工作。

（4）按照法规要求做好公众参与工作。

现阶段已按照《环境影响评价公众参与办法》开展公众参与工作，并完成了公众参与第一次公示工作，后续将继续按照法规要求做好公众参与工作。

表 1.2-1 钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地建设内容

序号	子项代号	建、构筑物名称
1	LF1	主体装置厂房
2	02	放射性废物处理中心
3	03	综合实验大厅※
4	04	学术活动中心※
5	05	试剂仓库※
6	06	消防水泵房※
7	07	园区综合服务中心※
8	10	净水站※
9	11	中水生产站※
10	室外工程	控制区出入口
11		保护区出入口
12		保卫控制中心

说明：标注※的子项已经填写建设项目环境影响登记表，在甘肃省生态环境厅备案，备案号 201862062100000055。

表 1.5-1 本项目气载流出物年排放量申请值(Bq/a)

核素	排放量
总惰性气体	5.62E+12
总气载碘	2.07E+06
粒子（半衰期 $\geq 8d$ ）	1.74E+04
C-14	1.46E+08
H-3	1.44E+14

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 厂址边界、非居住区和规划限制区

2.2 人口分布与居民食谱

2.2.1 评价区人口分布

2.2.2 居民的年龄构成及食谱

2.2.3 流动人口

2.3 土地利用和资源概况

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 农副业生产及陆生资源概况

2.3.4 水产资源及生态概况

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 大气稳定度

2.4.5 联合频率

2.4.6 混合层高度及扩散参数

2.4.7 运行前的厂址气象观测

2.5 水文

2.5.1 地表水

2.5.2 地下水

2.5.3 洪水

2.6 地形地貌

2.7 地质地震

2.7.1 地质特征

2.7.2 地震

表

表 2.4-1 厂址周边气象站基本信息

图

图 2.1-1 厂址地理位置图

图 2.1-2 厂址区域位置图

图 2.1-3 厂址边界图

图 2.4-1 民勤站全年及各月风频玫瑰图

图 2.4-2 2018~2019 年红砂岗站 10m 高度年风玫瑰图

图 2.5-1 水文地质柱状图

图 2.6-1 厂址地形地貌图

2.1 厂址地理位置

2.1.1 厂址位置

厂址坐落于甘肃省武威市民勤县红砂岗工业集聚区（以下简称“园区”），位于民勤县城西北方位约 60km 处，厂址西南距金昌市直线距离约 60km，厂址东南距武威市直线距离约 120km，厂址处地理位置坐标为北纬 38°57'31"，东经 102°36'55"。

厂址地理位置见图 2.1-1；厂址区域位置见图 2.1-2。

2.1.2 厂址边界、非居住区和规划限制区

2.1.2.1 厂址边界

厂址位于园区西北部，南侧紧邻纬七路、东侧紧邻东环路。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 66.67hm²。本项目厂址边界即为用地红线边界。用地红线四角坐标分别为（X=4314321.967，Y=552590.978）、（X=4314321.967，Y=553284.810）、（X=4313360.953，Y=553284.810）、（X=4313360.953，Y=552590.978）。

厂址边界见图 2.1-3。

2.1.2.2 非居住区和规划限制区

由于目前没有针对研究堆非居住区和规划限制区范围的规定，因此，现阶段参考《研究堆安全分类（试行）》中关于 II 类研究堆的要求和《研究堆营运单位的应急准备和应急响应》中对于研究堆应急状态的规定，在设计基准事故下，每发生一次稀有事故时，场址边界上公众个人（成人）在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下；在每发生一次极限事故时，场址边界上公众个人（成人）在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应

2.2 人口分布与居民食谱

本节内容参考国电环境保护研究院于 2017 年 10 月完成的《TMSR 先进核能实验基地选址项目环境资料调查报告》进行编制。

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆厂址半径 50km 范围内涉及甘肃省武威市（包括民勤县的红砂岗镇、昌宁镇、大坝镇、薛百镇）、金昌市（包括双湾镇）以及内蒙古阿拉善右旗。厂址半径 10km 范围内涉及甘肃省武威市的民勤县的红砂岗镇。厂址半径 50km 范围内的人口统计数据来源于厂址半径 50km 范围有关市（县）各级政府 2015 年国民经济统计年报以及当地派出所提供的统计资料。

2.2.1 评价区人口分布

厂址半径 50km 范围内截止到 2015 年底的常住总人口数为三万九千余人，各子区的人

口分布详见表 2.2-1 和图 2.2-1。厂址半径 50km 范围内 2015 年平均人口密度为 5 人/km²，低于甘肃省同期平均人口密度 57 人/km²。

厂址半径 50km 范围内涉及甘肃省武威市（包括民勤县的红砂岗镇、昌宁镇、大坝镇、薛百镇）、金昌市（包括双湾镇）以及内蒙古阿拉善右旗。厂址半径 50km 范围内没有万人以上城镇，仅有 2 个千人以上村镇。其中，最大的村镇在厂址 SSW、SW 方位约 43.8km 处的金昌市金川区双湾镇，2015 年底有人口一千八百余人；其次为厂址 SE 方位约 38.7km 处的武威市民勤县大坝镇，2015 年底有人口一千余人。

距厂址最近及最大的万人以上城镇为位于厂址 SSW、SW 方位约 53km 处的金昌市金川区城区，2015 年底有人口十五余万人。其次为位于厂址 SE 方位约 54km 处的武威市民勤县，2015 年底有人口六万九千余人。

2.2.2 厂址附近的重要居民点

厂址半径 5km 范围内无固定的居民点。

厂址半径 15km 范围内仅有 3 个行政村，分别为位于厂址 W 方位约 12.6km 处的武威市民勤县红砂岗村，2015 年底有人口一百八十余人；位于厂址 W 方位约 12.6km 处的武威市民勤县红砂岗镇管委会，2015 年底有人口二十多人，均为管委会工作人员；位于厂址 W 方位约 13.1km 处的武威市民勤县花儿园村（新村），2015 年底有人口一百余人。厂址半径 15km 范围内无千人以上村镇。

2.2.3 流动人口

厂址半径 5km 范围内无暂住人口，流动人口则主要为红沙岗工业集聚区企业的工人。2016 年度红沙岗工业集聚区流入人口 1100 人。厂址 5km 半径范围内无流出人口。

流入人口主要聚集居住区在红砂岗镇镇区。红沙岗工业集聚区现有工业企业内均无职工宿舍等居住设施，企业公租房位于红砂岗镇区内；红砂岗镇管委会（即民勤县红沙岗工业集聚区管委会）属于民勤县政府派出机构，其办公驻地也位于红砂岗镇区内，驻地内仅有当班工作人员。红砂岗镇政府在镇区内建有移民安置小区 1 处，为红砂岗镇花儿院社区，位于厂址 W 方位 13.6km 处，2015 年尚无人居住，2017 年年初陆续有集聚区企业人员入住，截止 2017 年 10 月共有约四百余人。红沙岗工业集聚区内无常住人口，区内均无职工宿舍等居住设施，不存在人口机械增长。

2.3 土地利用及资源概况

本节内容参考国电环境保护研究院于 2017 年 10 月完成的《TMSR 先进核能实验基地选址项目环境资料调查报告》进行编制。

2.3.1 工业、交通和文化设施

2.3.1.1 工业设施

厂址半径 10km 范围内涉及 1 处工业园区——民勤县红沙岗工业集聚区，厂址附近工矿企业大多集中在该工业园区内，本项目也位于该工业园区内。

厂址半径 10km 内工业企业共有 19 家，经营产品主要为煤炭、化工产品、电力供应等，最近的为厂址 WSW 方位约 2.7km 处的武威金仓生物科技有限公司，职工人数为 8 人。

厂址半径 5km 范围内无矿产资源，厂址不存在压覆矿现象。厂址半径 10km 范围内矿产资源分布中，矿产资源分布区上层有油页岩矿产，下层有煤炭分布。厂址半径 10km 范围内有两个矿区：太西煤民勤红沙岗矿区一矿，位于厂址 W 方位 5.5km，煤炭储量 1.7 亿吨，设计年产原煤 240 万吨；太西煤民勤红沙岗矿区二矿，位于厂址 NNW 方位 6.5km，煤炭储量 1.4 亿吨，设计年产原煤 150 万吨。

厂址半径 10km 内无天然气管线。

根据《武威民勤红砂岗工业集中区总体规划（2018-2030）说明书》（2019.6 出版），（后面简称《规划》），明确红沙岗工业集中区用地总规模为 65.15 平方公里，规划形成“一心、一环、多点”的镇域空间格局。“一心”即镇区作为全镇经济发展的核心，是全镇的经济、政治、文化中心，是全镇的经济增长极；“一环”指以民红高速和彩虹大道为全镇经济发展轴，联通镇区、建材产业区与县城；“多点”指规划村民聚居点及红沙岗工业集中区，起到辐射和带动周边其他居民点。整体构建“2+2+2”的产业体系，即重点发展 2 大主导产业：新能源与新材料产业、装备制造产业；巩固发展 2 大基础产业：精细化工产业、资源深加工产业；引导发展 2 大配套产业：物流产业和综合服务产业。

精细化工产业：基于熔盐堆的复合能源系统，以核能制氢为基础原材料，围绕加氢产业及其延伸，以已入驻金仓、联硕、杰达、广达等企业为龙头，形成精细化工与核能利用的循环产业链条。其中石油化工产品后续加氢还原产业链：利用周边炼化（兰州、新疆等周边区域）产品延伸产业链，发展石油炼化产品后续加氢精深加工，生产加氢洁净汽油、柴油、煤油、润滑油、果蔬催化剂、合成树脂、合成橡胶、合成乙醇等高附加值、低耗能、低耗水、低污染产品。

物流产业：以构建高效的工业供应链体系为目标，利用铁路专线重点发展大宗原材料货运，如煤炭、矿物质等，同时发展工业物流为企业进行货物仓储运输、化学危险品仓储、工业零部件配送、制成品中转运输等，完善规划区供应链体系。

燃气工程规划：规划天然气气化站 1 座，供气规模 1.5 万 Nm³/d，气源由鄯善县奇克

台镇境内的天然气工厂通过专用集装箱运输车运至气化站，再由气化站气化后经输配管网送至用户。

供热工程规划：规划建成区域锅炉房 2 座，总热水规模为 50MW，蒸汽规模为 425t/h。

根据红砂岗镇总体规划可知，规划区内涉及危险源的生产、运输及储存，建议后续企业在入驻前开展与本项目相容性的相关评价。

厂址半径 10km 范围内有油、气等危险品仓储设施，其中，距厂址最近的为位于厂址 SW 方位约 3.5km 处的武威杰达科技有限公司，该公司丙烯腈、乙醇、甲苯贮存量均为 80m³，单罐储存量也均为 80m³，同时也是厂址附近单罐储量最大的危险化学品。对于上述易燃危险品，按照核安全导则 HAD101/04 附录 III 中对于过冷液化气罐破裂后，单一喷放浓度高于点燃极限值距离的计算公式，据计算，上述易燃液体均不会对本项目安全构成潜在危险。

厂址半径 10km 范围内的有毒有害危险品为 SW 方位 4.2km 处武威广达科技有限公司内 50m³ 液氨储罐和 SW 方位约 3.2km 处的武威杰达科技有限公司的 80m³ 丙烯腈储罐，经过高斯扩散模型和 SLAB 模型计算分析，有毒有害危险品不会对本项目运行和安全造成较大不利影响。

厂址半径 10km 范围内的移动危险源主要为运送危险化学品的运输车辆。危险化学品运输车辆行驶路线距厂址最近距离为 2.6km，单次运输量不超过 5t。根据分析计算，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。

综上，厂址附近现有的危险品储存设施不会影响厂址安全，后续需关注红沙岗工业集中区内规划的涉及危险源生产及储存的企业与本项目的相容性。

2.3.1.2 交通

厂址半径 10km 范围内的公路涉及两条县道和一条省道：X500 县道（原 X163 县道）、X508 县道和 S307 省道。X500 县道（原 X163 县道）：民勤县城至红砂岗镇公路，相对厂址最近处位于厂址 NE 方位，距离 3.4km；X508 县道：红砂岗镇至红崖山水库公路，相对厂址最近处位于厂址 W 方位，距离 1.3km，目前正在建设中；S307 省道：民勤县城至红砂岗镇公路，相对厂址最近处位于厂址 S 方位，距离 5.7km。

根据《规划》，规划二级长途客运站一处，位于镇区民红路北侧、支三路西侧，设计客运发送能力按 1500-3000 人/日预留。

厂址半径 10km 范围内的铁路为金（昌）阿（拉善右旗）铁路红（沙岗）金（昌）段。金阿铁路红金段是内蒙古太西煤集团专用铁路，为红砂岗矿区总体规划中铁路交通基础设施

施配套项目，主要服务于红砂岗矿区开发利用。铁路相对厂址最近处位于厂址 NW 方位，距离 3.6km。据《规划》，依托金阿铁路专线，规划设置三个货运站，除保留的两个货运站外，在低碳新能源产业园西侧结合物流运输设置一处铁路货运站，强化规划区整体铁路运输功能。

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。距厂址最近的民航机场为金昌金川机场，位于厂址 SSW 方位约 50km 处。

根据《民勤县“十三五”综合交通运输发展规划》，在民勤县规划新建民勤通用机场项目，机场等级为一类机场，主要服务于低空旅游、农业作业、森林管护、灾害监测、应急救援等领域。该规划中，民勤通用机场选址尚不明确。

2.3.1.3 文化设施

厂址半径 10km 范围内无监狱、学校、医院和养老院。

厂址半径 10km 范围内无省级以上文物保护单位、风景名胜区。

厂址半径 10km 范围涉及 1 处国家级自然保护区，即甘肃民勤连古城国家级自然保护区，主要保护对象为荒漠天然植被群落、珍稀濒危野生动植物、古人类文化遗址和极端脆弱的荒漠生态系统。该保护区的核心区、缓冲区、实验区均不连续分布，根据《甘肃民勤连古城国家级自然保护区管理局 2019 年《关于“2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆厂址与连古城保护区相关边界最近距离”的情况说明》，厂址距离保护区边界（缓冲区界）约 1.1km，距离核心区界约 4.7km。

2.3.2 居民点和农牧场

厂址半径 10km 范围内没有居民点。

厂址半径 10km 范围内无菜田、农田、奶牛场、养殖场。

2.3.3 农副业生产及陆生资源概况

2.3.3.1 农副业生产

厂址周围地区涉及民勤县。民勤县 2016 年度农业用地总面积为 59537ha。至 2016 年底，全县累计建成日光温室 2933ha、养殖暖棚 6333ha，发展特色林果业 33133ha；主要畜禽饲养量达到 485.33 万头只（牛 1.98 万头、羊 203 万只、猪 14.35 万头、鸡 266 万只），出栏量达到 193.78 万头只（牛 0.78 万头、羊 80 万只、猪 7 万头、鸡 106 万只）；累计发展各类农民合作组织 2464 家，筛选认定家庭农场 182 个。

2.3.3.2 陆生资源概况

厂址周边区域地貌类型主要为戈壁滩（砾漠），无森林、草场分布。

厂址半径 10km 范围不涉及农业种植及林业。

厂址所在民勤县地处三面环沙，隔离条件好、环境污染少、病虫危害轻、光照充足、日较差大，具有发展天然绿色农业得天独厚的自然条件。民勤县大力调整优化农业内部结构，持续发展以日光温室、暖棚养殖为主的设施农牧业和以酿造葡萄、红枣、枸杞为主的特色林果业，积极推行农业标准化生产，加快出口农产品基地建设，着力打造民勤特色优质农产品品牌，已稳定形成了以番茄、西甜瓜、人参果、辣椒、小乳瓜、沙葱等为主的温室瓜菜产业，以肉羊等为主的暖棚养殖业，以酿酒葡萄、红枣、枸杞为主的特色林果业，以梭梭接种肉苁蓉、白刺接种锁阳等为主的沙产业，以及以甜瓜、辣椒、食葵、籽用葫芦、茴香等为主的大田高效节水种植业等特色优势产业。

2.3.4 水产资源及生态概况

厂址半径 10km 范围内无地表水系分布，因此不存在水产资源及水生态。

2.4 气象

2.4.1 区域气候

厂址区域属于温带大陆性干旱气候，东、西、北三面被腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠包围，大陆性沙漠气候特征明显，冬冷夏热、降水稀少、光照充足、昼夜温差大，灾害天气主要有干旱、冰雹、暴雨、沙尘暴、霜冻等。

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：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。春季气温回升较快，降水较之冬季虽有增加，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。夏季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。

作为常规气象、极端气象参数资料收集的厂址周边气象站主要有：民勤、雅布赖和红砂岗三个气象站。各气象站的地理位置和基本状况见表 2.4-1。

根据民勤、雅布赖和红砂岗站三个气象站的多年气象要素统计资料，厂址区域年平均气温为 8.5~10.0℃，极端最高气温为 44.2℃（雅布赖站），极端最低气温为-32.6℃（雅布赖站）；年平均气压为 863.7~876.8hPa；年平均相对湿度为 37~45%，最小相对湿度为 1%；年平均风速为 2.7~3.8m/s，最大风速为 23.0m/s（民勤站），极大风速为 28.5m/s（民勤站）；年平均水汽压为 5.8hPa；年平均日照时数为 3099.3~3160.1h；年平均降雨量为 85.1~114.6mm，一日最大降雨量为 82.3mm（雅布赖站）；年平均蒸发量为 2477.1~3219.7mm，一日最大蒸发量为 41.2mm。

2.4.2 设计基准气象参数

2.4.2.1 常规气象

根据民勤气象站 1953~2016 年 64 年的气象要素统计结果，对其气象要素统计值分析如下：

1) 风向、风速

年平均风速为 2.7m/s，其中 4 月份的平均风速最大，为 3.3m/s，1 月和 10 月风速最小，为 2.2m/s。最大风速为 23.0m/s（1971.5.13、1977.5.19，WNW），资料记录范围内出现的极大风速为 28.5m/s（2004.6.19，W）。

累年各季的风向频率见图 2.4-1。可见，全年最多风向为 E，频率为 10%，次多风向为 WNW，频率为 9%。混合统计的年静风频率为 15%，自 2006 年启动单轨观测以后，年静风频率为 1%。

2) 气温

年平均气温为 8.5℃，最热月 7 月的平均气温为 23.5℃，最冷月 1 月的平均气温为-8.8℃。极端最高气温为 41.7℃（2010.7.30），极端最低气温为-29.5℃（2008.2.1）。

3) 相对湿度

年平均相对湿度为 45%，月平均最大值出现在 8、9 月，为 52%，月平均最低值出现在 4 月，为 33%。年最小相对湿度为 1%。

年平均水汽压为 5.8hPa，月平均最小值出现在 1 月份，为 1.5hPa，月平均最大值出现

在 7 月份，为 12.7hPa。水汽压最大值为 25.2hPa。

4) 降水

年平均降水量为 114.6mm，年平均降水日数为 40d。月平均降水量最大出现在 8 月份，为 30.1mm，最小出现在 12 月份，仅 0.4mm。历年记录中一日最大降水量为 48.0mm（1994.6.14）。

5) 气压

年平均气压为 863.7hPa，其中 11、12 月份平均气压最高，为 869.4hPa，7 月份最低，为 856.3hPa。建站以来极端最高气压为 888.8hPa（1955.1.15），极端最低气压为 839.1hPa（1955.4.13）。

6) 日照

年平均日照时数为 3099.3h，日照时数最多月份是 6 月，为 296.3h，最少月份是 2 月，为 221.6h。

7) 蒸发

年平均蒸发量为 2477.1mm。累年平均蒸发量最多月份是 6 月，为 357.3mm，最少月份是 1 月，只有 45.3mm。一日最大蒸发量为 30.0mm。

2.4.2.2 极端气象

1) 龙卷风

调查 1949~2016 年间以厂址为中心，半径 100km 范围内的所有龙卷风资料，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，仅有一场龙卷风有灾害描述，该次龙卷风风速达到 11 级，没有飞射物对设施构筑物和设备的冲击的描述。进而将调查半径适当扩大到 250km，仅找到另外两个龙卷风实例，分别发生在张掖（1953 年）和高台（1955 年），均无灾害描述。

根据上述调查结果，从偏保守角度考虑，确定龙卷风的基准为 F1，风速取 33.0m/s。设计基准特征参数值如下：

——最大旋转风速半径 $R_m=50\text{m}$ ；

——最大旋转风速 $V_m=26.6\text{m/s}$ ；

——平移速度 $V_t=6.4\text{m/s}$ ；

——压降速率 $dp/dt=0.12\text{kPa/s}$ ；

——总压力降 $\Delta P=0.92\text{kPa}$ 。

2) 极端风速

收集民勤、雅布赖两个气象站的历年实测最大、极大风速资料，其中民勤站最大风速

资料为 1971~2016 年，极大风速资料为 2004~2016 年；雅布赖站最大风速资料为 1990~2016 年，极大风速资料为 2008~2016 年。采用耿贝尔函数做极值拟合，确定厂址区域百年一遇最大风速为 28.2m/s，对应的极大风速为 39.2m/s。

3) 极端气温

收集民勤、雅布赖两个气象站自建站~2016 年的极端气温的观测资料。采用耿贝尔函数做极值拟合，确定厂址区域百年一遇极端最高气温为 44.2℃，百年一遇极端最低气温为 -34.1℃。

4) 极端降雪

收集民勤、雅布赖两个气象站的历年积雪资料和冬季 48h 降水资料，其中民勤站为 1953~2016 年，雅布赖站为 1957~2016 年。采用耿贝尔函数和 P-III 函数分别对各站的极端雪深序列做极值拟合，采用 P-III 函数对各站的 48h 降水序列做极值拟合，并对上述两者所推荐的百年一遇拟合结果进行叠加，确定厂址区域百年一遇设计基准极端积雪为 232.3Pa。

5) 沙尘暴

厂址区域累年平均沙尘暴日数在 8~25d 之间，民勤各月都有沙尘暴发生的可能性，3~7 月为沙尘暴的高发期，该时段沙尘暴出现的次数占全年的 61.5%，其中以 4 月为鼎盛时期，其它月份出现频数较少。一般来说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。

厂址区域沙尘暴日数呈下降趋势，90 年代以来明显减少。2010 年以来，民勤共有 19d 沙尘暴的记录，雅布赖仅有 8d。这是由于厂址区域及附近地区近年气温升高，降水增多，同时积极改善生态环境，增加植被覆盖率，使得沙尘暴天气明显减少。

2.4.3 当地气象条件

以下根据红砂岗站 2018~2019 年两整年的观测资料，分析厂址的当地气象条件。

1) 气温

厂址年平均气温为 9.6℃，最热月 7 月的平均气温为 25.3℃，最冷月 1 月的平均气温为 -9.3℃。观测期间出现的极端最高气温为 40.6℃（2018.7.17），极端最低气温为 -24.0℃（2018.2.2）。

2) 降水

2018 年和 2019 年厂址年降水量分别为 102.8mm 和 89.2mm，两年平均降水量为 96.0mm。降水主要集中在夏季的 7、8 月份，冬季未见降水。一日最大降水量为 15.5mm（2019.7.7）。观测期间厂址各风向降水分布多集中在偏西北和偏东南风向上。

3) 风速、风向

厂址年平均风速为 3.5m/s，其中 5 月份的平均风速最大，为 4.1m/s，11 月份的平均风速最小，为 2.9m/s，观测期间出现的最大风速为 17.3m/s（2018.5.18）。

厂址年最多风向为 ESE，风频为 12.4%，次多风向为 WNW，风频为 12.3%，年静风频率为 3.3%，10m 高度年风玫瑰图见图 2.4-2。

4) 相对湿度

厂址年平均相对湿度为 38.7%，月平均最大值出现在 1 月，为 51.6%，月平均最低值出现在 3 月，为 20.3%。观测期间出现的最小相对湿度为 1%（2018.4.7）。

5) 气压

厂址年平均气压为 864.1hPa，其中 12 月份平均气压最高，为 870.1hPa，7 月份最低，为 856.0hPa。观测期间出现的极端最高气压为 882.6hPa（2018.12.27），极端最低气压为 845.1hPa（2019.7.26）。

2.4.4 大气稳定度

采用帕斯奎尔(Pasquill)稳定度分类法进行大气稳定度分类，选用红砂岗站 2018~2019 年两整年的逐时刻风向、风速、降水观测资料，结合民勤站对应时刻的总云量、低云量观测数据计算大气稳定度。得到厂址区域大气稳定度以中性 D 类占主导，为 44.4%，其次为稳定的 E、F 类，占 33.3%，不稳定的 A~C 类最少，为 22.3%。

2.4.5 联合频率

根据上述风向、风速、降水观测资料和大气稳定度计算结果，统计得到厂址区域 10m 高度风向-风速-大气稳定度三维联合频率和 10m 高度风向-风速-大气稳定度-降水四维联合频率。

2.4.6 混合层高度及扩散参数

2.4.6.1 混合层高度

在大气稳定度为 A、B、C 和 D 类时：

$$L_b = a_s \frac{u_{10}}{f}$$

式中： L_b 为混合层高度，单位为 m；

u_{10} 为 10m 高度上平均风速，单位为 m/s，大于 6m/s 时取 6m/s；

a_s 为混合层系数，无量纲；

f 为地转力参数。

根据上述方法计算得到 A~D 类稳定度的混合层高度分别为 1260m、1213m、1455m、769m。

2.4.6.2 扩散参数值

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，本项目所在区域地处中国西北地区，地形平坦，符合上述扩散参数的适用条件。

2.4.7 运行前的厂址气象观测

厂址所在的红砂岗镇设有区域站（2007年2月1日启用，无迁站记录），位于厂址以西约14km处，周边地形相对平坦。红砂岗站使用天津气象仪器厂的DZZ-6型自动气象站，观测内容有：气温、降水、风向、风速。观测数据参与考核，观测仪器定期检定。

红砂岗站下垫面条件和厂址相似，地形也一致，因此本项目将红砂岗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，2020年5月已在红砂岗气象站增设总辐射和净辐射传感器。

2.5 水文

2.5.1 地表水

经调查，厂址半径30km范围内无地表水系分布。

2.5.2 地下水

2.5.2.1 地下水类型及分布规律

根据厂址区的地形地貌、含水介质（岩组）、地下水成因及赋存条件结合厂址区地下水位观测结果可知，厂址区新近系砾质砂岩内无地下水，地下水主要赋存于华力西期第二次侵入的正长花岗岩风化带中，地下水类型为基岩裂隙水，含水层主要为强~中等风化状态的正长花岗岩。

根据新近系砾质砂岩单环注水试验结果可知，新近系浅表层砾质砂岩渗透系数在 $3.9 \times 10^{-4} \text{cm/s} \sim 2.6 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ （0.33m/d~2.20m/d）之间，属中等透水岩层。水文地质柱状图见图2.5-1。

2.5.2.2 地下水的补给、径流、排泄条件

厂址区地下水补给来源有大气降水和侧向补给，由于厂址区砾质砂岩厚度大，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量可忽略不计，厂址附近区域侧向补给为其主要补给来源。厂址区地下水沿地形由东北向西南径流，径流速度、途径受地形、构造条件控制，当地下水渗入到裂隙中时，地下水沿裂隙向低处径流，直至裂隙发育段下界。地下水的排泄主要为流出厂址范围。

2.5.2.3 地下水动态变化

根据钻孔地下水位观测结果，钻孔水位埋深56.80~62.60m，标高1356.84~1361.81m。

2.5.2.4 地下水的开采和利用

厂址区及其附近范围现状未开采利用地下水。根据水文地质调查及水位观测、水文地质试验结果综合分析，厂址区地下水不具备大规模开采和利用条件。

2.5.2.5 工程运行对地下水的影响

项目厂址区及其附近没有大的供水水源地，不存在对供水水源的影响问题。

项目运行期间，生活污水一部分处理后回用，另一部分排至下游市政污水管网，最终汇至当地污水处理站处理；设备冲洗水、含油废水等生产废水排入室外含油废水池，定期对储水池内的含油废水进行清理及外运处置，不外排。厂址区地下水埋深大于建筑物基础埋深，且新近系砾质砂岩厚度大且渗透系数较小，因此工程运行不会对地下水造成影响。

2.5.3 洪水

经调查，厂址半径 30km 范围内无地表水系分布，无需考虑陆域洪水。暴雨引起的局部洪水可通过排水设施排离厂区。

2.6 地形地貌

厂址区地形平坦、开阔，地面标高在 1412.0~1421.5m 之间，高差约 9.5m，地面坡度小于 1°，整体呈东北高西南低之势。厂址区地貌类型主要为戈壁滩（砾漠）。

厂址地形地貌见图 2.6-1。

2.7 地质地震

2.7.1 地质特征

2.7.1.1 区域地质特征

在大地构造特征上，区域及其邻近地区涉及到祁连山加里东褶皱带和华北地台二个一级构造单元。厂址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），中北部为阿拉善弱隆起区（III）。在现今地壳运动特征上，厂址所在的阿拉善弱隆起区属于相对稳定的地区，现今构造变形微弱。

区域范围内主要断裂有 14 条，走向以北西向和近东西向为主。区域范围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厂址附近范围。

2.7.1.2 厂址近区域范围地质

厂址近区域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，近区域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，厂址近区域范围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。

区内的断裂构造主要有 NNE—NE 和近 EW 向 2 组，共 5 条，它们均发育在前新生代地层中，未发现对新生代地层、尤其是第四纪地层断错关系。这些断裂没有第四纪以来有过活动的地质地貌形迹，均为前第四纪断裂。

综合近区域地震构造环境特征，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。

2.7.1.3 厂址附近范围地质特征

厂址附近范围主要发育 2 条断裂，即红果子井断裂（f1）和徐家井断裂（f5），均为前第四纪断裂。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，也没有仪器记录到的地震。厂址附近范围内不存在潜在地表断裂可能性。

2.7.1.4 厂址地质特征

本节厂址地质特征内容引自《钍基熔盐堆（TMSR）专项武威基地（LF1）工程岩土工程详勘报告》（中国核电工程有限公司，2018.3）。

根据工程地质钻探揭露情况，厂址区地层自地表向下主要有：①第四系上更新统洪积（ Q_3^{pl} ）砾石夹粉土，该层厚度为 0.50~2.00m，平均厚度为 1.16m；②新近系中新统（ N_1 ）砾质砂岩，该层厚度为 41.30-55.10m，平均厚度 46.57m；③华力西期第二次侵入的正长花岗岩（ $\kappa\gamma_4^{3b}$ ）。

厂址区范围内地势平缓，未发现地质构造存在的迹象；厂址区主要地层为新近系地层，属半成岩状的砾质砂岩，未发现节理裂隙、断层地质构造。

根据勘察测试，厂址地基主要持力层为新近系中新统（ N_1 ）砾质砂岩，地基土承载力特征值 400kPa，压缩模量 E_s 为 45MPa，剪切波速 V_s 为 438m/s。

厂址区内无崩塌、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 5m 的盐渍土类特殊土，但盐渍土无盐胀性和溶陷性。

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花

岗岩裂隙中，含水层主要为强~中等风化状态的花岗岩。根据勘察对厂址区钻孔地下水位观测结果可知，地下水埋深 56.80~62.60m，标高 1356.84~1361.81m。厂址区基岩裂隙水补给来源为大气降水补给。地下水径流速度、途径受地形、构造条件控制。当地下水深入到裂隙中时，地下水沿裂隙向低处径流，直至裂隙发育段下界。地下水的排泄主要为径流排泄。

厂址土层深度小于 5.0m 时，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；厂址土层深度 5.0~20.0m 时，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

区域范围地处青藏高原的东北缘，地震活动较强，但分布不均，总体表现为南强北弱。1970 年以来区域范围内仪器记录小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。区域范围内曾发生过多历史破坏性地震，最大地震为 1927 年 5 月 23 日的甘肃古浪 8 级地震，距厂址约 162km 处。在厂址外延 150km 范围内另有 2 次 7-7¼ 级地震记载：1954 年 2 月 11 日山丹 7¼ 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以东约 138km 处。

从公元 362 年至今，区域范围内共记录到破坏性地震（ $M \geq 4.7$ 级）66 次，其中 4.7-4.9 级地震 18 次、5.0-5.9 级地震 38 次、6.0-6.9 级地震 7 次、7.0-7.9 级地震 2 次、8.0-8.9 级地震 1 次。近区域范围，历史上未记载到 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（ $M_L 1.0-4.9$ ）87 次，其中 $M_L 2.0-2.9$ 级地震 37 次、 $M_L 3.0-3.9$ 级地震 9 次，最大地震震级只有 $M_L 3.7$ 级。近区域范围内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。因此，总体而言，近区域地震活动水平较低。

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

根据《TMSR 先进核能试验基地选址项目工程场地地震安全性评价报告》（中国地震局地质研究所，2017.11），工程场地 50 年超越概率 10% 的基岩水平向峰值加速度值为 93gal，考虑《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）建议的基岩峰值加速度与中硬场地地震动加速度转换方法，确定场地 50 年超越概率 10% 的中硬场地峰值加速度为 114gal，厂址 50 年超越概率 10% 的 II 类场地（中硬土）地震动加速度峰值分档为 0.10g 区，综合评定场地地震烈度为 VII 度。

表 2.4-1 厂址周边气象站基本信息

站号	站名	纬度	经度	海拔高度(m)		级别	自动站单轨 运行时间	与厂址相对位置	
				水银槽	观测场			方位	距离(km)
52681	民勤	38°38'	103°05'	1367.5	1368.7	基准站	2005-1-1	SE	54.4
52575	雅布	39°25'	102°47'	1239.5	1240.9	一般站	2009-1-1	N	53.0
W2507	红砂	38°57'	102°27'	--	1369.0	区域站	2007-2-1	W	13.9



图 2.1-1 厂址地理位置图

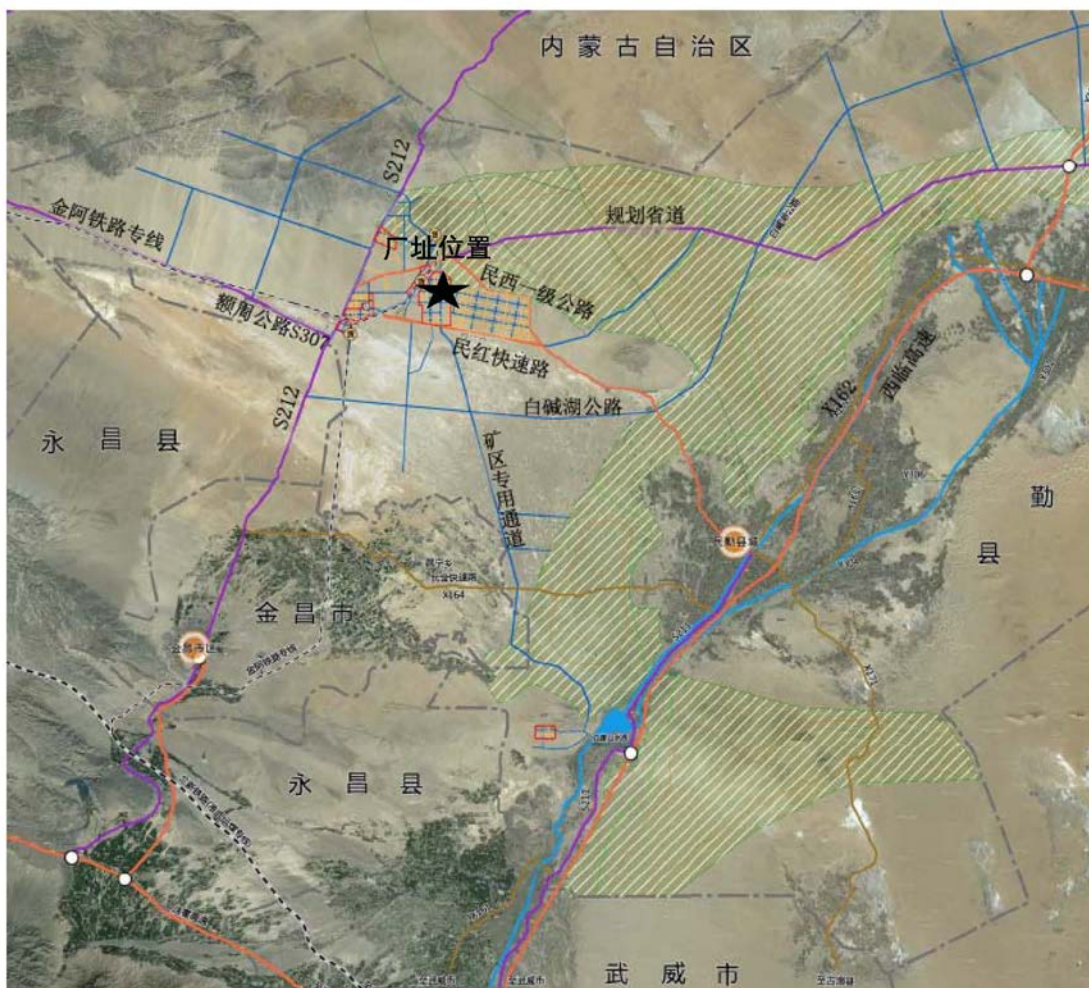


图 2.1-2 厂址区域位置图

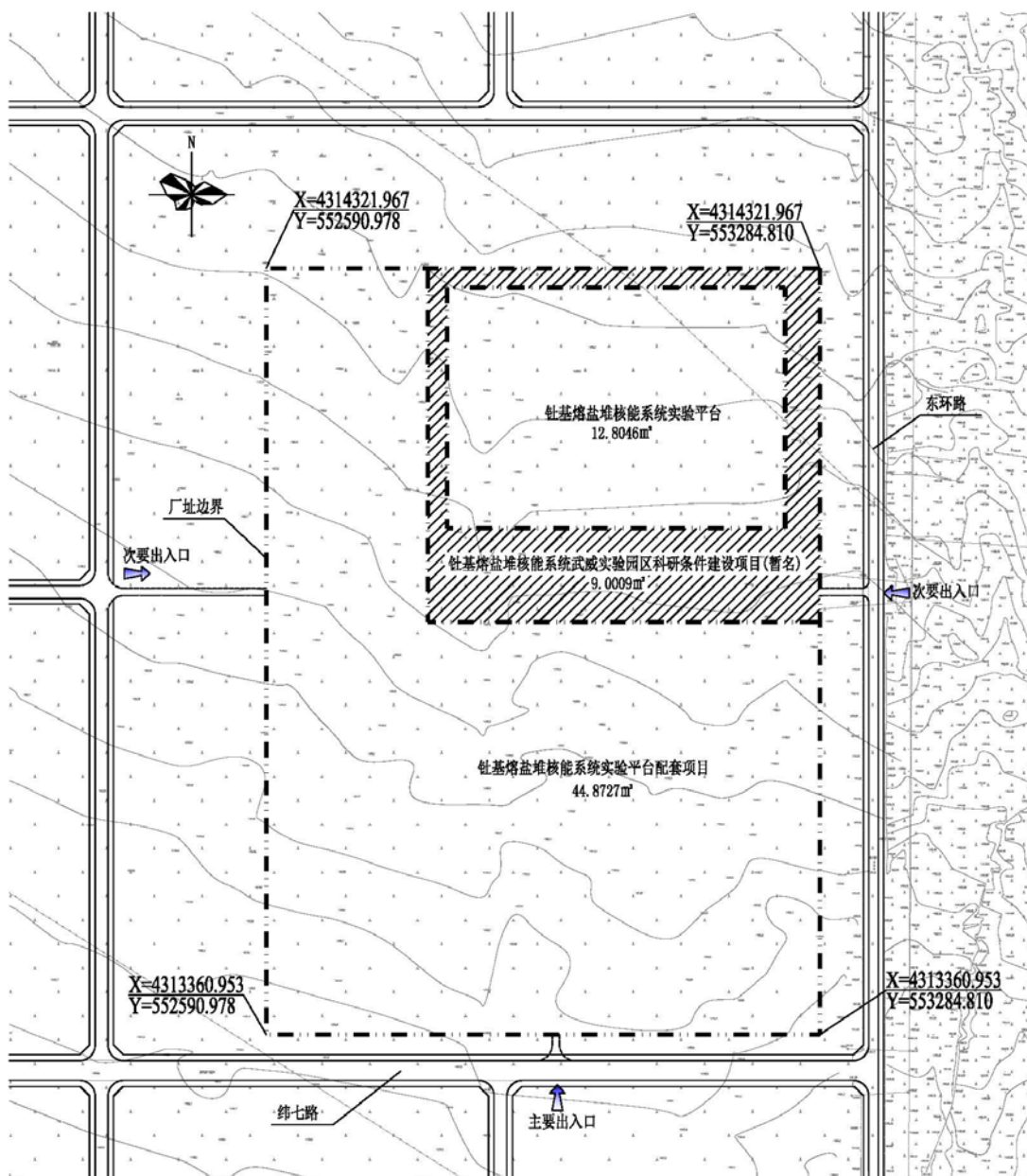


图 2.1-3 厂址边界图

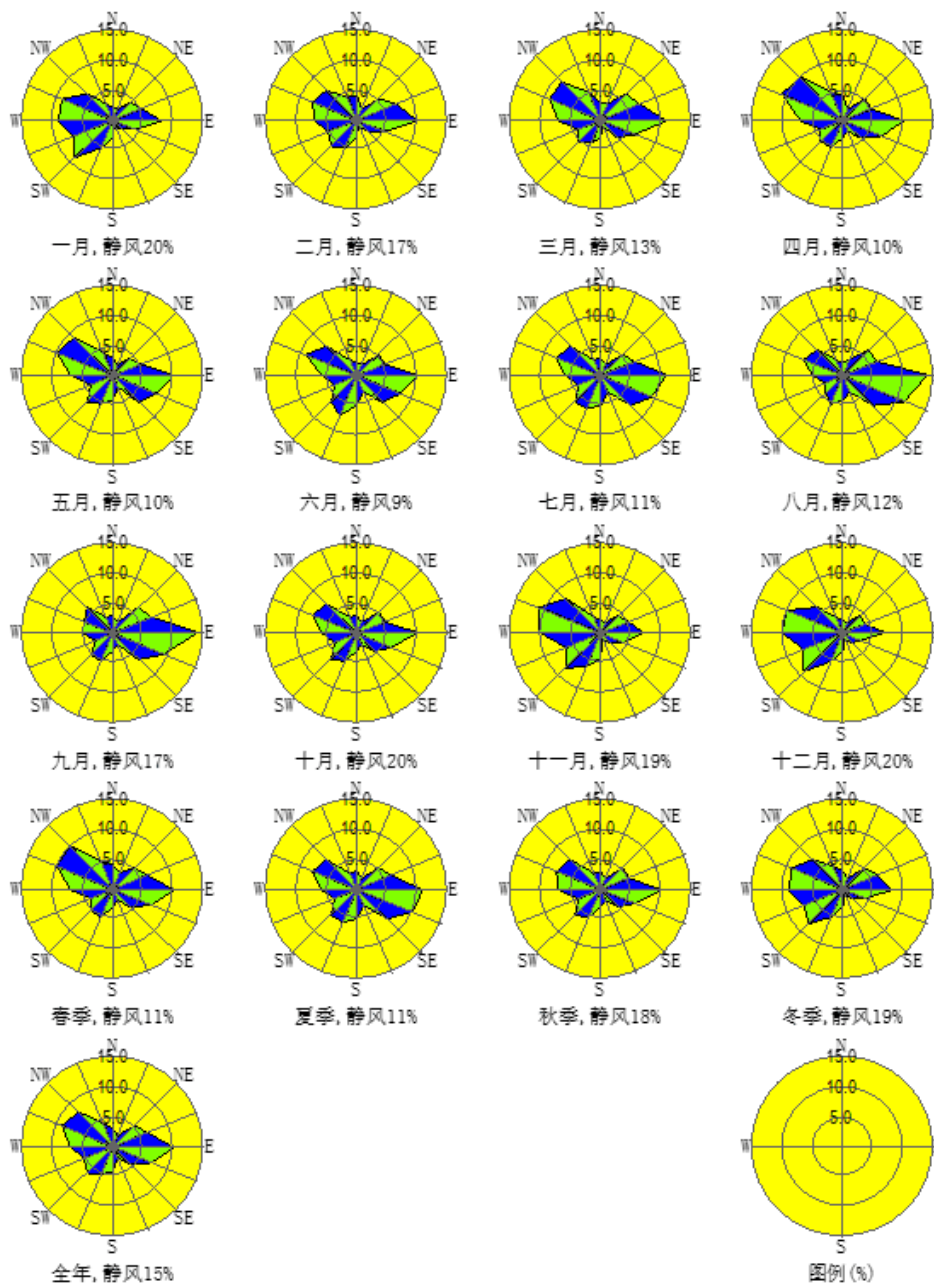
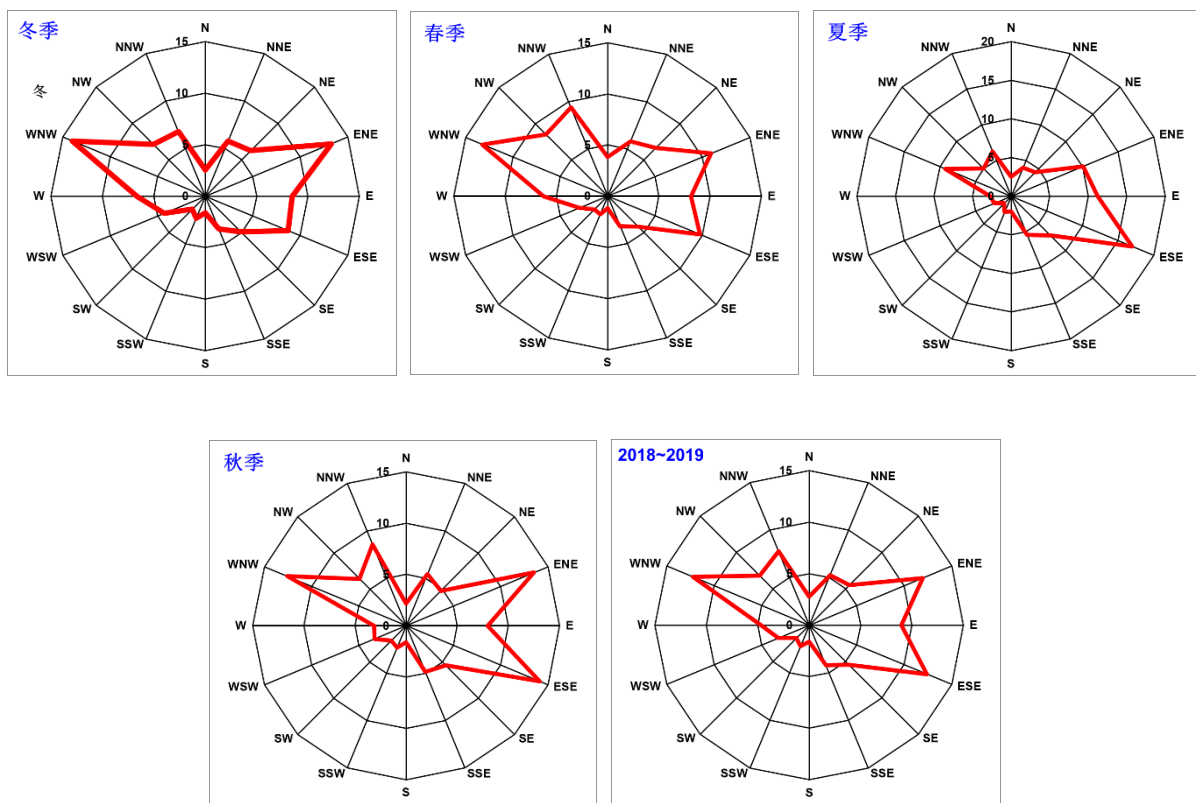


图 2.4-1 民勤站全年及各月风频玫瑰图



单位：%

图 2.4-2 2018~2019 年红砂岗站 10m 高度年风玫瑰图

系	统	层号	时代成因	岩性	最大层厚 (m)	柱状图	岩性描述	备注	
第四系	全新统	①	Q_4^{nl}	人工填土	2.00		成分主要为角砾土，为厂址区临建施工基坑开挖堆积而成，在厂址区零星分布。		
	上更新统	②	Q_3^{pl}	角砾	2.00		表层以粉土为主，下部以角砾为主，粉土呈松散状，稍湿，厚度一般为0.20~0.40m，局部地段缺失；角砾成分主要为长石、石英，呈棱角状，粒径多为2~5mm，少量为10~30mm，稍湿，中密~密实状。该层厚度为0.50~2.00m，平均厚度为1.16m，在厂址区地表广泛分布。根据工程经验，该层渗透系数在 $1 \times 10^{-4} \text{cm/s} \sim 1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 之间，属中等透水岩层。		
新近系	中新统	③	N_1	砾质砂岩	55.10		砖红、红褐色；砾状结构，巨厚层状构造；角砾成分以石英、长石为主，直径3~10mm，最大约40mm，泥质胶结，微~弱胶结，底部为中等胶结。该层厚度为41.30~55.10m，平均厚度46.57m，在厂址区广泛分布。本厂址区砾质砂岩为半成岩，属陆相碎屑岩系，处于土和岩石之间的过渡类型。	砾质砂岩内无地下水赋存，渗透系数在 $3.9 \times 10^{-4} \text{cm/s} \sim 2.6 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ ($0.33 \text{m/d} \sim 2.20 \text{m/d}$) 之间，属中等透水岩层，局部地段属弱透水岩层。	
华力西期		④	$K V_4^{jb}$	正长花岗岩	>54.70		肉红色；中粗粒结构，块状构造；矿物成分以石英、钾长石为主，含少量黑云母，钾长石呈半自形粒状，颗粒内包含石英、斜长石等矿物包裹体，钾长石粒径一般为2.0~12.0mm，石英粒径一般为0.3~2.0mm，斜长石粒径一般为0.4~3.6mm，钾长石含量约64%，石英含量约20%，斜长石含量约10%，黑云母含量约4%，角闪石含量约1%，还有绿泥石、磷灰石、磁铁矿零星分布。	强风化正长花岗岩呈灰黄色，岩芯呈碎块状、砂土状，厚度为2.10~33.90m，平均厚度为12.80m；中风化正长花岗岩呈浅黄~灰白色，岩芯呈块状，少量呈短柱状，厚度为1.50~30.00m，平均厚度为11.29m；微风化正长花岗岩呈灰白色，岩芯呈短~长柱状，该层在厂址区无露头分布。	地下水主要赋存于该层，地下水类型为基岩裂隙水，含水层主要为强~中等风化状态的正长花岗岩，根据可研阶段对厂址区钻孔地下水观测结果可知，钻孔水位埋深56.80~62.60m，标高1356.84~1361.81m。

图 2.5-1 水文地质柱状图



图 2.6-1 厂址地形地貌图

第三章 环境质量现状

3.1 辐射环境质量现状

3.1.1 辐射环境本底调查

3.1.2 辐射环境质量评价

3.2 非辐射环境质量现状

3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

3.2.2 声环境质量现状调查与评价

3.2.3 受纳水体环境质量现状调查与评价

表

表 3.1-1 运行前环境辐射本底调查方案

表 3.1-2 γ 辐射剂量率监测点位置

表 3.1-3 空气中氡采样点位置

表 3.1-4 土壤采样点位置

表 3.1-5 水质样品采样点位

表 3.1-6 测量方法依据

表 3.1-7 放化分析项目最小可探测活度浓度

表 3.1-8 土壤中 γ 核素测量最小可探测活度浓度

表 3.1-9 气溶胶中 γ 核素测量最小可探测活度浓度

表 3.1-10 沉降灰中 γ 核素测量最小可探测活度浓度

表 3.1-11 水中 γ 核素测量最小可探测活度浓度

表 3.1-12 γ 辐射剂量率监测结果

表 3.1-13 TLD 累积剂量小时均值监测结果

表 3.1-14 气溶胶中 γ 核素、 ^{90}Sr 测量结果

表 3.1-15 空气中 ^{131}I 测量结果

表 3.1-16 空气中 ^{14}C 测量结果

表 3.1-17 空气中 ^3H 测量结果

表 3.1-18 沉降灰、降雨中放射性测量结果

表 3.1-19 土壤中总 α 、总 β 、 ^{90}Sr 测量结果

表 3.1-20(1/2) 土壤中 γ 核素活度浓度

表 3.1-20(2/2) 土壤中 γ 核素活度浓度

表 3.1-21 水中 ^3H 测量结果

表 3.1-22 本次调查使用主要仪器设备及检定一览表

表 3.1-23 本次调查使用标准物质一览表

表 3.1-24 平行样、仪器比对测量结果高于探测限的数值及评价结果

表 3.1-25 江苏省辐射比对测量结果

表 3.2-1 环境空气评价标准一览表

表 3.2-2 环境空气质量现状检测项目及频次一览表

表 3.2-3 环境空气质量检测项目及分析方法一览表

表 3.2-4 环境空气质量检测结果表

表 3.2-5 环境空气质量检测结果表

表 3.2-6 环境空气质量检测结果表

表 3.2-7 声环境质量标准限值

表 3.2-8 监测点位列表

表 3.2-9 环境噪声现状监测结果

图

图 3.1-1 厂区内环境 γ 辐射剂量率监测点布置图

图 3.1-2 2km 范围内 γ 辐射剂量率监测点布置图

图 3.1-3 2~10km 范围内 γ 辐射剂量率监测点布置图

图 3.1-4 空气样品采样点位布置图

图 3.1-5 厂区空气中氡监测点位布置图

图 3.1-6 土壤采样点位布置图

图 3.1-7 水质样品采样点位布置图

图 3.1-8 项目组织结构图

图 3.1-9 高纯锗 γ 谱仪长期稳定性质控图

图 3.1-10 LB7 型液体闪烁体谱仪长期稳定性质控图

图 3.1-11 1220 型液体闪烁体谱仪长期稳定性质控图

图 3.1-12 MPC9604 型低本底 α 、 β 测量仪 α 本底长期稳定性质控图

图 3.1-13 MPC9604 型低本底 α 、 β 测量仪 β 本底长期稳定性质控图

图 3.1-14 MPC9604 型低本底 α 、 β 测量仪 α 效率长期稳定性质控图

图 3.1-15 MPC9604 型低本底 α 、 β 测量仪 β 效率长期稳定性质控图

图 3.1-16 厂址 1km 范围内相同区域两次调查结果对比图

图 3.2-1 环境空气质量监测点位图

图 3.2-2 声环境监测点位布设图

3.1 辐射环境质量现状

3.1.1 辐射环境本底调查

为了解本项目厂址周围辐射环境本底情况，编制本章节部分内容，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）。本节主要采用该报告中的调查数据，对本项目周围环境的放射性本底情况进行说明。

3.1.1.1 参考标准规范

GB 12379-90	《环境核辐射监测规定》
GB 6249-2011	《核动力厂环境辐射防护规定》
GB/T 14583-93	《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》
GB 8999-88	《电离辐射监测质量保证一般规定》
GB/T 14584-93	《空气中碘-131 的取样与测定》
GB/T 11743-2013	《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》
HJ 969-2018	《核动力厂运行前辐射环境本底调查技术规范》
HJ 22-1998	《气载放射性物质采样一般规定》
HJ 1126-2020	《水中氚的分析方法》
HJ/T 61-2001	《辐射环境监测技术规范》
EJ/T 1035-2011	《土壤中锶-90 的分析方法》
EJ/T 1008-1996	《空气中 ^{14}C 的取样与测定方法》

3.1.1.2 调查内容

环境辐射本底调查主要分为资料收集和实地调查两部分：

- (1) 相关数据和资料收集
 - 10km 范围内核设施概况
 - 10km 范围内铀钍矿概况
 - 10km 范围内同位素生产、I类和II类放射源及非密封源应用概况
- (2) 现场实际调查
 - 厂址半径 10km 范围内的陆地环境 γ 辐射剂量率
 - 厂址半径 10km 范围内的陆地环境 γ 辐射累积剂量率
 - 厂址周围大气中气溶胶放射性核素活度浓度

- 厂址周围空气中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I 的放射性核素活度浓度
- 厂址周围沉降物、降水的放射性核素活度浓度
- 厂址周围陆地水体（饮用水、地下水）放射性核素活度浓度
- 厂址周围土壤（表层土）放射性核素活度浓度

上述调查对象的相关监测项目、监测点位以及监测频度等信息详见表 3.1-1。

3.1.1.3 布点方案

（1）环境 γ 辐射剂量率

以 TMSR-LF1 反应堆为中心、半径 2km、5km、10km 的 16 个方位角内布点，监测频次为 1 次。本次调查点位共 32 个，其中厂区内布设 10 个点，并在人员集中区、厂区边界及重点关注区域布点，其点位布置图见图 3.1-1~3.1-3。

（2）环境 γ 辐射累积剂量

环境 γ 辐射累积剂量与环境 γ 辐射剂量率的调查范围相同，点位布设与环境 γ 辐射剂量率相同，共布设 32 个监测点位，各点位布置图见图 3.1-1~3.1-3。

（3）气溶胶

气溶胶设置 1 个监测点位，布设于场址 WSW 方位约 2.7km 处的金仓公司南门，监测点位见图 3.1-4。

（4）空气中 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I

空气中 ^{14}C 、 ^{131}I 监测点位同气溶胶，布设于场址 WSW 方位约 2.7km 处的金仓公司南门，监测点位见图 3.1-4。空气中 ^3H 监测点位为厂区重点关注区域和场址 WSW 方位最近工业企业厂界处，共设置 5 个监测点位，厂区重点关注区域监测点位布设见图 3.1-5。

（5）沉降物

沉降物监测点位同气溶胶，布设于场址 WSW 方位约 2.7km 处的金仓公司南门，监测点位见图 3.1-4。

（6）降雨

降雨监测点位同气溶胶，布设于场址 WSW 方位约 2.7km 处的金仓公司南门，监测点位见图 3.1-4。

（7）土壤

以厂址为中心半径 10km 的区域内 8 个方位的扇形区域内布点，采样点位与 γ 辐射剂量率监测点位共点，土壤采样点位布置情况见图 3.1-6，共采集土壤样品 8 个。

（8）饮用水、地下水

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。监测点位布设见图 3.1-7。

3.1.1.4 测量方法

具体测量方法依据详见表 3.1-2。各分析测量项目在选定分析测量方法时优先采用国家标准，在没有国家标准情况下选用行业标准。

3.1.1.5 探测下限

本次调查中各调查项目测量方法的探测下限见表 3.1-3~表 3.1-7。

3.1.1.6 调查结果

（1）厂址周围核设施及放射源情况

经调查，目前厂址半径 10km 范围内无核设施，无铀（钍）矿核伴生放射性矿开发利用，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。

（2）环境 γ 辐射剂量率

环境 γ 辐射剂量率测量点位选择在地势平坦、开阔、无积水、有裸露土壤或有植被覆盖的地表上，避免周围其他一些天然或人为因素对测量结果的影响，测量时探测器距地面高度约 1m，记录 10 个数据，以平均值作为最终结果。

本次调查在厂址 10km 范围内共设置 32 个监测点位，环境 γ 辐射剂量率监测结果范围为 75~111nGy/h，平均值为 92 ± 6 nGy/h。

（3）环境 γ 辐射累积剂量

由于本项目厂址地区为戈壁地形，现场小树极少，因此大部分剂量片绑扎于定制的竹片上，固定在距地约 1m 高处。

γ 辐射累积剂量率监测点位与瞬时剂量率监测点位相同，共布设 32 个监测点。TLD 现场累积测量时间为 86.1~90.1 天。累积剂量小时均值监测结果范围为 132~178nGy/h，平均值为 154 ± 11 nGy/h。

（4）气溶胶

气溶胶在金仓公司南门设置 1 个采样点。采用 HY-1000E 型大流量采样器进行空气气溶胶采样，取样高度距地面约 1.5m 处，空气采样标况体积为 10026.71m³。

气溶胶样品中 ⁷Be 测量结果为 8.550 ± 0.017 mBq/m³，其它人工 γ 放射性核素（⁵⁸Co、⁶⁰Co、⁵⁴Mn、¹³⁴Cs、¹³⁷Cs）均低于探测限，气溶胶样品中 ⁹⁰Sr 的测量结果也低于探测限。

（5）空气中 ³H、¹⁴C、¹³¹I

空气中 ³H 采用干燥剂吸附法采样；空气中 ¹⁴C 采样设备为 HAGUE 7000 碳-14 取样

器，进气口距地约 1m，总取样空气标况体积为 3.6092m³；空气中 ¹³¹I 采用 CF-1001BRL-DIG/230 型空气碘取样器进行取样，总取样体积为 210.4m³。

空气中氙除综合实验大厅北侧检测结果为 16.7±8.5 mBq/m³（1.58±0.80 Bq/L 水），其余点位空气中氙检测结果均小于探测限；空气中 ¹⁴C 测量结果为 44.2±4.6 mBq/m³（0.20±0.02 Bq/g·碳）；空气中 ¹³¹I 测量结果小于探测限。

（6）沉降物和雨水

沉降灰、降雨均采用开口面积为 0.264m² 的塑料桶，桶口距地面约 1m。沉降灰中 ¹³⁷Cs、⁹⁰Sr 测量结果分别为 2.6±0.8mBq/(m²·d) 和 1.85±0.18mBq/(m²·d)，⁷Be 测量值为 6.293±0.073Bq/(m²·d)。雨水中 ⁹⁰Sr 测量结果为 1.93±0.15mBq/L，⁷Be 测量结果为 1.68±0.12Bq/L，³H 测量结果为 3.74±0.40Bq/L。

（7）土壤

土壤样品采样时选取和 γ 剂量率同一点位采集表层土壤，在 10m×10m 范围内，采用梅花型布点采集。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 ⁹⁰Sr 测量结果范围为 0.28~0.97Bq/kg。土壤中 ²³⁸U、²²⁶Ra、²³²Th、⁴⁰K 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；¹³⁷Cs 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 <0.47~6.17Bq/kg；其余人工放射性核素测量结果均小于探测限。

（8）饮用水、地下水

饮用水和地下水样品检测项目为水中氙，水中氙测量结果均小于探测限。

3.1.1.7 质量保证措施

为了对调查过程进行全面控制，以保证调查结果的代表性、准确性和可靠性，在本次环境放射性调查过程中采取了一系列质量保证措施。在调查过程中质量保措施主要有以下几个方面：

（1）组织机构和人员配备

为了保证本次调查工作的质量控制，调查单位成立了项目组，其组织机构见图 3.1-8。本次调查中主要检测人员必须通过内部专业技能考核合格后授权上岗。负责检测过程内部质量监督的人员需经环境检测中心授权任命，负责检测数据审核和成果报告审核的人员需具备高级工程师资格。检测人员资格和培训具体按相关要求执行，并保存相关的培训、考核及授权记录。

（2）仪器设备的质量控制

为保证调查结果的可靠性，检测过程中所使用的仪器设备均按规定进行周期检定/校准，保证检定/校准结果能够溯源到国家计量基准，本次调查涉及的主要仪器设备见表 3.1-8，所有仪器均在检定/校准的合格期内。本实验室所使用标准物质均溯源到国家计量基准，本次调查中仪器设备刻度所使用的标准物质均由中国计量科学研究院提供，本次调查中使用的标准物质见表 3.1-9。放射性测量装置每月进行 1 次本底测量和效率检验，以确定测量装置的长期稳定性，并依据检验结果绘制本底质控图和效率质控图。近一年来主要测量设备的本底和效率质控图见图 3.1-9~图 3.1-15，由质控图可以看出，所有质控点基本上在 $\pm 2\sigma$ 以内，监测设备长期运行稳定。

（3）采样的质量控制

1) 采样准备，采样工作开始之前，根据本次调查的目的和要求，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) 采样记录，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) 样品的采集，为保证样品的代表性，采集类样品选择合适的采样地点，采集的样品尽量保证足够的余量，以备复查。

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

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

（4）放化分析过程的质量控制

本次调查对空气中 ^3H 、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 3.1-10，并通过 En 法对高于探测限的测量结果进行一致性判定（表 3.1-10 中“±”号后的数值为 2 倍计数统计误差，在进行 En 值计算时考虑了刻度源引入的不确定度）。En 值均小于 1，即评价结果均为合格。En 值计算公式如下：

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

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：

$$U_n = \sqrt{U_{n1}^2 + U_{n2}^2}$$

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）数据记录和处理的质量控制

本次调查制定了关于原始数据记录、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。质量管理人组织质保人员对各分项目组的报告数据进行核实评审。

（6）实验室比对

2019年11月和2020年10月，参加了江苏省辐射比对测量，比对测量结果见表3.1-11，室内、道路、原野 γ 辐射剂量率比对评价结果均为满意。

2019年8-12月，参加了中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所组织的2019年度放射卫生技术机构检测能力考核-放射性核素 γ 能谱分析能力考核，考核结果为合格。

2019年8-11月，参加国际原子能机构（IAEA）组织的能力验证计划，能力验证结果均为“通过”。

3.1.2 辐射环境质量评价

3.1.2.1 厂址周围核设施及放射源情况

目前厂址半径 10km 范围内无核设施，半径 10km 范围内无铀钍矿，半径 10km 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。

3.1.2.2 环境 γ 辐射水平和环境介质放射性核素活度浓度

通过与 2017 年调查中数据进行对比，本次调查区域内的环境 γ 辐射水平和环境介质放射性核素活度浓度未发现明显异常，属于环境本底水平。

3.2 非辐射环境质量现状

3.2.1 大气环境质量现状调查与评价

本节资料取自甘肃云腾环境科技检测有限公司提供的 2019 年《TMSR-LF1 非放射性本底调查委托检测报告》中大气环境质量的监测结果。

监测点位：环境空气质量检测布设 3 个检测点位，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，监测点见图 3.2-1。

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》（GB 3095-2012）中二级标准。厂址北部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》（GB 3095-2012）中一级标准。评价标准见表 3.2-1。

环境空气日均值检测项目：SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}、铍及其化合物、氟化物；小时均值检测项目：SO₂、NO₂、CO、O₃、TSP、铍及其化合物、氟化物。检测项目及频次见表 3.2-2，检测分析方法见表 3.2-3。

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，具体见表 3.2-4、3.2-5 和 3.2-6。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）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）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）中规定的一级、二级标准。

根据《环境空气质量标准》（GB3095-2012）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，其中 1#、3#监测点 PM_{2.5} 的超标率分别为 257% 和 260%；PM₁₀ 的超标率分别为 207% 和 221%；TSP 的超标率分别为 198% 和 287%。根据《环境空气质量标准》（GB3095-2012）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，PM_{2.5} 的超标率分别为 2.9%、614%、31.4%、17.1%；PM₁₀ 的超标率分别为 24%、912%、6.5%、26%、44%、56%、80%、12%；TSP 的超标率分别为 20.4%、655%、6.5%、1.7%；其中超标率最高的情况均出现在 9 月 7 日。

本次监测中氟化物存在少量短期超标，超标项目主要是 PM_{2.5}、PM₁₀、TSP，其中 9 月 7 日存在短期严重超标。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。

3.2.2 声环境质量现状调查与评价

本小节依据甘肃云腾环境科技检测有限公司 2019 年 9 月编制的《TMSR-LF1 非放射

性本底调查委托检测报告》进行编制。

1) 执行标准和评价依据

- 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2009）；
- 《声环境质量标准》（GB 3096-2008）。

《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中噪声标准限值见表 3.2-7。

2) 厂址边界噪声现状

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。监测点位布置见表 3.2-8 及图 3.2-2。

声环境质量检测方法按照《声环境质量标准》（GB 3096-2008）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。

监测结果如表 3.2-9 所示。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》（GB 3096-2008）中的 3 类标准，即昼间 65dB（A）、夜间 55dB（A）。

3.2.3 受纳水体环境质量现状调查与评价

经调查，厂址半径 30km 范围内未发现地表水系。

表 3.1-1 运行前环境辐射本底调查方案

监测对象		监测项目	调查频次	调查点位	点位数	采样量/样品
环境贯穿辐射	地表	γ 辐射剂量率	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	32	—
		γ 辐射累积剂量	1 季度	与 γ 辐射剂量率监测点位共点	32	—
气溶胶	气溶胶	γ 核素	1 次	金仓公司南侧大门	1	10026.71m ³
		⁹⁰ Sr	1 次			
空气	空气	³ H	1 次	场内 4 个重点关注区域和金仓公司南门	5	>50mL 水量
		¹⁴ C	1 次	金仓公司南门	1	3.6092m ³
		¹³¹ I	1 次			210.4m ³
沉降物	沉降物	γ 核素	1 次	金仓公司南侧大门	1	23.5m ² ·d
		⁹⁰ Sr	1 次			
降水	雨水	³ H	1 次	金仓公司南侧大门	1	23.5m ² ·d (共 6.7L 水量)
		γ 核素	1 次			
		⁹⁰ Sr	1 次			
土壤	表层土	γ 核素	1 次	以反应堆为中心，8 个方位与半径为 2km、5km、10km 的圆所形成的各扇形区域内	8	2kg
		总 α 、总 β	1 次			
		⁹⁰ Sr	1 次			
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	1L

表 3.1-2 测量方法依据

序号	监测项目	方法依据
1	γ 辐射剂量率	GB/T 14583-1993 环境地表 γ 辐射剂量率测定规范
2	累积剂量	GB 10264-2014 个人和环境监测用热释光剂量测量系统
3	土壤、沉降物中 γ 核素	GB/T 11743-2013 土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法
4	水中 γ 核素	GB/T 16140-2018 水中放射性核素的 γ 能谱分析方法
5	气溶胶中 γ 核素	WS/T 184-2017 空气中放射性核素的 γ 能谱分析方法
6	土壤、沉积物、沉降物中 ^{90}Sr	EJ/T 1035-2011 土壤中锶-90 分析方法
7	水中总 α	HJ 898-2017 水质 总 α 放射性的测定 厚源法
8	水中总 β	HJ 899-2017 水质 总 β 放射性的测定 厚源法
9	水中、空气中 ^3H	HJ 1126-2020 水中氚的分析方法
10	空气中 ^{14}C	EJ/T 1008-1996 空气中 ^{14}C 的取样与测定方法
11	空气中 ^{131}I	GB/T 14584-93 空气中碘-131 的取样与测定

表 3.1-3 放化分析项目最小可探测活度浓度

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
	沉降灰	0.25m ² •90d	1000	0.80	43%	80%	0.32mBq/d•m ²
	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
^{14}C	空气	3.5m ³	1000	2.5	60%	90%	2.3Bq/m ³
^{131}I	空气	100m ³	1000	0.966	3.78%	—	0.59mBq/m ³

表 3.1-4 土壤中 γ 核素测量最小可探测活度浓度

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

表 3.1-5 气溶胶中 γ 核素测量最小可探测活度浓度

仪器型号	GMX50P4-83		测量时间	80000 s	
样品尺寸	$\Phi 75*35\text{cm}$		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 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$
⁷ Be	477.61	10.52	2.590	759	58
⁵⁴ Mn	834.85	99.98	1.763	502	7.4
⁵⁸ Co	810.76	99.45	1.797	483	7.1
⁶⁰ Co	1332.49	99.83	1.322	246	6.9
¹³⁴ Cs	604.72	97.62	2.189	654	7.0
¹³⁷ Cs	661.66	85.10	2.058	565	7.9

表 3.1-6 沉降灰中 γ 核素测量最小可探测活度浓度

仪器型号	GMX50P4-83		测量时间	80000 s	
样品尺寸	$\Phi 75*0.5\text{cm}$		分析样品量	0.25m ² •90d	
核素名称	特征峰 KeV	分支比 %	探测效率 %	本底计数	探测限 $\mu\text{Bq}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$
⁵⁴ Mn	834.85	99.98	3.79	502	1.5
⁵⁸ Co	810.76	99.45	3.87	483	1.5
⁶⁰ Co	1332.49	99.83	2.03	246	2.0
¹³⁴ Cs	604.72	97.62	4.33	654	1.6
¹³⁷ Cs	661.66	85.10	4.24	565	1.7

表 3.1-7 水中 γ 核素测量最小可探测活度浓度

仪器型号	GEM50P4-83		测量时间	80000 s	
样品尺寸	1L 马林杯		分析样品量	40 L	
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
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	657.76	95.3	2.199	417	1.4
^{137}Cs	661.66	85.1	2.059	463	1.8
^{58}Co	810.76	99.45	1.868	360	1.5
^{54}Mn	834.85	99.976	1.82	389	1.6
^{60}Co	1332.49	99.826	1.061	219	2.0

表 3.1-8 本次调查使用主要仪器设备及检定一览表

序号	仪器名称	型号	用途	校准/检定有效期
1	X-γ 辐射剂量率仪	FH40G+(627E-10)	γ 辐射瞬时剂量率测量	2020.4.2-2021.4.1
2	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
3	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
4	超低本底液体闪烁谱仪	Quantulus1220	³ H、 ¹⁴ C 测量	2020.5.8-2022.5.7
5	低本底液体闪烁谱仪	LB7	³ H、 ¹⁴ C 测量	2020.5.8-2022.5.7
6	低本底 α、β 测量仪	MPC9604	总 α、总 β、 ⁹⁰ Sr	2020.1.3-2022.1.2
7	热释光测量系统(HJ-27)	Harshow 5500	环境累积剂量	2020.4.14-2021.4.13

表 3.1-9 本次调查使用标准物质一览表

序号	标准物质名称	用途	生产单位	标准编号
1	KCl 粉末(总 β)	总 β 测量刻度	中国计量院	FM40-010
2	²⁴¹ Am 粉末(总 α)	总 α 测量刻度	中国计量院	FM241-020
3	⁹⁰ Sr 标准溶液	⁹⁰ Sr 分析刻度	中国计量院	D131021
4	土壤中铯	⁹⁰ Sr 分析	中国计量院	TRS110311
5	氚水标准溶液	³ H 分析刻度	中国计量院	F120605
6	土壤标准源	γ 能谱刻度	中国计量院	6NHH-521
7	马林杯水体监测效率校准源	水中 γ 能谱刻度	中国计量院	STI0263
8	气溶胶监测效率校准源	γ 能谱刻度	中国计量院	LM10261
9	有机碳标准溶液	¹⁴ C 分析刻度	中国计量院	CE120612
10	活性炭测碘效率校准源	空气中碘-131 刻度	中国计量院	HBC120709

表 3.1-10 平行样、仪器比对测量结果高于探测限的数值及评价结果

项目	核素	25 号点位土壤	25 号点位土壤 平行样	En 值
土壤 γ 核素 Bq/kg	^{238}U	23.9±7.3	26.8±7.2	0.24
	^{232}Th	21.7±0.7	20.0±0.7	0.69
	^{226}Ra	15.5±0.9	14.2±0.9	0.56
	^{40}K	740±13	728±13	0.17
土壤总 β , Bq/kg		864±34	876±34	0.11
土壤总 α , Bq/kg		341±65	366±64	0.22
土壤 ^{90}Sr , Bq/kg		0.51±0.09	0.56±0.08	0.32
空气中 ^7Be , mBq/m ³	气溶胶 (HJ26 仪器)		气溶胶 (HJ124 仪器)	En 值
		8.550±0.017	8.320±0.017	0.37
水中 ^3H	金仓公司南门雨水		金仓公司南门雨水 平行样	En 值
		3.74±0.40	3.68±0.39	0.07

表 3.1-11 江苏省辐射比对测量结果

比对项目	2019 年 γ 辐射剂量率 (FH40G)		
点位	天目湖宾馆大厅	东侧停车场道路	东侧停车场草地
监测值	81.1 nSv·h ⁻¹	66.3 nSv·h ⁻¹	103 nSv·h ⁻¹
中位值	68.5 nSv·h ⁻¹	56.9 nSv·h ⁻¹	88.3 nSv·h ⁻¹
标准 IQR	8.75	10.4	11.9
Z 值	1.4	0.9	1.2
比对结果	满意	满意	满意
比对项目	2020 年 γ 辐射剂量率 (FH40G)		
点位	天鹅湖酒店大堂	彭祖大道辅路	彭祖达到南侧农田
监测值	79.3 nSv·h ⁻¹	57.6 nSv·h ⁻¹	62.1 nSv·h ⁻¹
中位值	74.3 nSv·h ⁻¹	53.3 nSv·h ⁻¹	58.9 nSv·h ⁻¹
相对偏差	6.73%	8.07%	5.43%
比对结果	满意	满意	满意

表 3.2-1 环境空气评价标准一览表

序号	项目	评价依据	标准限值			
			一级标准		二级标准	
			日均值	小时值	日均值	小时值
1	SO ₂ (μg/m ³)	《环境空气质量标准》 (GB3095-2012)	50	150	150	500
2	NO ₂ (μg/m ³)		80	200	80	200
3	PM ₁₀ (μg/m ³)		50	—	150	—
4	PM _{2.5} (μg/m ³)		35	—	75	—
5	TSP (μg/m ³)		120	—	300	—
6	O ₃		—	160	—	200
7	CO		—	10	—	10
8	氟化物		7	20	7	20
9	铍及其化合物	无相关标准	—	—	—	—

表 3.2-2 环境空气质量现状检测项目及频次一览表

序号	采样点名称	检测项目及频次
1	1# 武威金仓生物科技有限公司	SO ₂ 、NO ₂ 、CO、O ₃ 、TSP、铍及其化合物、氟化物：小时浓度，4次/天，连续检测7天。 SO ₂ 、NO ₂ 、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、铍及其化合物、氟化物：日均浓度，20小时/天，连续检测7天。
2	2# 甘肃民勤连古城国家级自然保护区	
3	3# 项目厂址	

表 3.2-3 环境空气质量检测项目及分析方法一览表

检测项目	分析方法	分析方法依据	检出限 (ug/m ³)
一氧化碳 (CO)	非分散红外法	GB 9801-1988	—
二氧化氮 (NO ₂)	盐酸萘乙二胺分光光度法	HJ 479-2009	小时值：7 日均值：5
二氧化硫 (SO ₂)	甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法	HJ 482-2009	小时值：7 日均值：4
TSP	重量法	GB/T 15432-1995	1
PM _{2.5}		HJ 618-2011	10
PM ₁₀			10
O ₃	靛蓝二磺酸钠分光光度法	HJ 504-2009	10
氟化物	滤膜采样/氟离子选择电极法	HJ955-2018	小时值：0.5 日均值：0.06
铍及其化合物	电感耦合等离子体发射光谱法	HJ 777-2015	小时值：0.130 日均值：0.005

表 3.2-4 环境空气质量检测结果表

单位：μg/m³

检测点位	项目	检测时间	污染物浓度						
			9月6日	9月7日	9月9日	9月10日	9月11日	9月12日	9月13日
1# 武威金仓 生物科技 有限公司	SO ₂	2:00	7L	7L	7	7L	7L	7	9
		8:00	7L	7L	8	7L	7L	7L	7
		14:00	7L	7L	7L	7L	7L	7L	8
		20:00	7L	7	7	7L	7L	7L	7
		日均值	4L	6	6	4	4	5	8
	NO ₂	2:00	7L	7L	7L	7L	7L	7L	7L
		8:00	7L	7L	7L	8	7L	7L	7L
		14:00	7L	7	7L	7	7L	7L	7L
		20:00	7L	7L	7L	7L	7L	7L	7L
		日均值	5L	5L	5L	5	5L	5L	5L
	CO	2:00	8.4	7.3	3.5	4.4	5.2	1.2	3.0
		8:00	4.2	5.8	3.8	3.2	4.9	3.6	3.1
		14:00	3.8	3.2	3.4	3.8	3.7	3.0	2.5
		20:00	4.0	3.6	3.7	4.0	4.3	2.2	2.2
	O ₃	2:00	81	68	79	64	83	67	87
		8:00	101	125	94	145	107	94	98
		14:00	92	126	138	119	94	133	112
		20:00	85	92	45	98	104	88	120
	TSP	2:00	111	1844	111	89	89	133	89
		8:00	133	1089	89	111	89	111	89
		14:00	133	333	89	89	133	111	111
		20:00	156	311	111	133	111	133	111
	PM ₁₀	日均值	73	460	59	69	90	81	59
	PM _{2.5}	日均值	41	268	30	37	54	38	33
	氟化物	2:00	10.2	10.8	9.4	9.8	10.7	8.5	10.2
		8:00	10.0	6.6	10.2	8.6	8.8	10.7	9.4
		14:00	12.6	9.4	9.0	7.3	9.3	10.2	10.5
		20:00	6.4	8.8	7.1	10.2	8.0	8.5	11.3
		日均值	6.71	7.00	8.07	8.24	9.16	9.23	9.79
	铍及其化合物	2:00	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L
		8:00	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L
		14:00	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L
20:00		0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	
日均值		0.005L	0.005L	0.005L	0.005L	0.005L	0.005L	0.005L	

注：1、“L”表示未检出，未检出结果按方法检出限加“L”填报；
2、CO浓度单位为 mg/m³。

表 3.2-5 环境空气质量检测结果表

单位：μg/m³

检测点位	项目	检测时间	污染物浓度						
			9月6日	9月7日	9月9日	9月10日	9月11日	9月12日	9月13日
2# 甘肃民勤 连古城国家 级自然保护区	SO ₂	2:00	7L	7L	8	7L	7L	7L	7
		8:00	7L	7	7	7L	7L	7	9
		14:00	7L	7	7	7L	7L	7L	8
		20:00	7L	7L	7L	7L	7L	7L	7
		日均值	4L	6	7	5	5	6	8
	NO ₂	2:00	7L	7L	7L	7L	7L	7L	7L
		8:00	7L	7L	7L	7L	7L	7L	7L
		14:00	7L	7L	7L	7L	7L	7L	7L
		20:00	7L	7L	7L	7L	7L	7L	7L
		日均值	5L	5L	5L	5L	5L	5L	5L
	CO	2:00	0.8	1.0	0.6	0.5	0.9	7.7	0.2
		8:00	0.7	0.5	0.8	0.4	0.8	1.9	0.1
		14:00	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	1.3	0.3
		20:00	0.5	0.5	1.7	0.3	0.7	0.5	0.1
	O ₃	2:00	82	86	101	82	93	111	65
		8:00	89	114	89	128	86	119	96
		14:00	80	85	143	124	99	125	80
		20:00	62	96	74	145	92	74	84
	TSP	2:00	111	1644	89	111	133	133	111
		8:00	133	1289	111	133	89	111	111
		14:00	178	311	89	156	111	111	133
		20:00	156	378	67	111	111	133	89
	PM ₁₀	日均值	62	506	63	72	78	90	56
	PM _{2.5}	日均值	36	250	28	32	46	41	29
	氟化物	2:00	12.1	5.6	6.2	7.5	6.4	7.2	7.0
		8:00	5.2	6.1	5.6	5.9	5.4	6.5	7.9
		14:00	7.7	4.9	4.5	4.9	4.9	6.1	6.2
		20:00	4.0	5.1	6.2	5.6	5.4	5.2	5.4
		日均值	4.72	5.55	5.83	5.25	5.31	6.10	5.91
	铍及其化合物	2:00	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L
		8:00	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L
		14:00	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L
		20:00	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L
		日均值	0.005L	0.005L	0.005L	0.005L	0.005L	0.005L	0.005L

注：1、“L”表示未检出，未检出结果按方法检出限加“L”填报；
2、CO浓度单位为 mg/m³。

表 3.2-6 环境空气质量检测结果表

单位：μg/m³

检测点位	项目	检测时间	污染物浓度						
			9月6日	9月7日	9月9日	9月10日	9月11日	9月12日	9月13日
3# 项目厂址	SO ₂	2:00	7L	7L	7L	7L	7L	7	7
		8:00	7L	7L	7L	7L	7L	7L	7L
		14:00	7L	7L	7	8	7L	7L	7L
		20:00	7	8	8	7L	7L	7	7L
		日均值	4	6	7	7	5	6	6
	NO ₂	2:00	7L	7L	7L	7L	7L	7L	7L
		8:00	7L	7L	7L	7L	7L	7L	7L
		14:00	7L	7L	7L	7L	7L	7L	7L
		20:00	7L	7L	7L	7L	7L	7L	7L
		日均值	5L	5L	5L	5L	5L	5L	5L
	CO	2:00	2.1	3.8	1.2	1.0	1.3	2.6	0.8
		8:00	1.3	0.8	1.3	1.1	1.4	2.8	0.7
		14:00	1.2	1.0	1.0	1.2	1.1	0.7	1.0
		20:00	1.3	1.1	1.2	1.0	1.3	0.9	0.5
	O ₃	2:00	78	107	124	76	100	69	74
		8:00	81	125	90	141	90	82	85
		14:00	125	104	132	108	124	98	123
		20:00	129	70	74	59	111	107	111
	TSP	2:00	111	2400	89	133	111	133	111
		8:00	133	1467	89	89	111	111	111
		14:00	156	400	89	111	89	133	89
		20:00	178	378	111	156	133	133	89
	PM ₁₀	日均值	69	482	72	63	85	94	71
	PM _{2.5}	日均值	34	270	32	38	45	40	30
	氟化物	2:00	5.1	4.2	5.3	5.2	4.2	4.6	5.9
		8:00	7.0	5.5	4.7	4.5	4.5	6.2	5.2
		14:00	3.4	3.2	4.3	4.7	5.3	5.0	5.0
		20:00	4.2	5.4	4.9	5.4	4.2	4.5	5.4
		日均值	4.22	5.01	4.67	4.63	5.04	5.76	5.21
	铍及其化合物	2:00	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L
		8:00	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L
		14:00	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L
		20:00	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L	0.130L
日均值		0.005L	0.005L	0.005L	0.005L	0.005L	0.005L	0.005L	

注：1、“L”表示未检出，未检出结果按方法检出限加“L”填报；
2、CO浓度单位为mg/m³。

表 3.2-7 声环境质量标准限值

单位：dB(A)

声环境功能区类别		时段	
		昼间	夜间
0 类		50	40
1 类		55	45
2 类		60	50
3 类		65	55
4 类	4a 类	70	55
	4b 类	70	60

0 类声环境功能区：指康复疗养区等特别需要安静的区域。

1 类声环境功能区：指以居民住宅、医疗卫生、文化教育、科研设计、行政办公为主要功能，需要保持安静的区域。

2 类声环境功能区：指以商业金融、集市贸易为主要功能，或者居住、商业、工业混杂，需要维护住宅安静的区域。

3 类声环境功能区：指以工业生产、仓储物流为主要功能，需要防止工业噪声对周围环境产生严重影响的区域。

4 类声环境功能区：指交通干线两侧一定距离之内，需要防止交通噪声对周围环境产生严重影响的区域，包括 4a 类和 4b 类两种类型。4a 类为高速公路、一级公路、二级公路、城市快速路、城市主干路、城市次干路、城市轨道交通（地面段）、内河航道两侧区域；4b 类为铁路干线两侧区域。

表 3.2-8 监测点位列表

监测点位	经度	纬度
6# 厂址北侧	102°36'45"	38°57'39"
7# 厂址东侧	102°36'58"	38°57'26"
8# 厂址西侧	102°36'30"	38°57'26"
9# 厂址南侧	102°36'43"	38°57'8"

表 3.2-9 环境噪声现状监测结果

单位：dB（A）

编号	检测点位	9月11日		9月12日	
		昼间 [dB (A)]	夜间 [dB (A)]	昼间 [dB (A)]	夜间 [dB (A)]
6#	厂址北方位边界中点	27.2	26.6	28.5	27.1
7#	厂址东方位边界中点	31.0	28.9	32.1	31.0
8#	厂址西方位边界中点	25.3	25.1	26.6	25.9
9#	厂址南方位边界中点	27.4	26.2	29.1	28.2

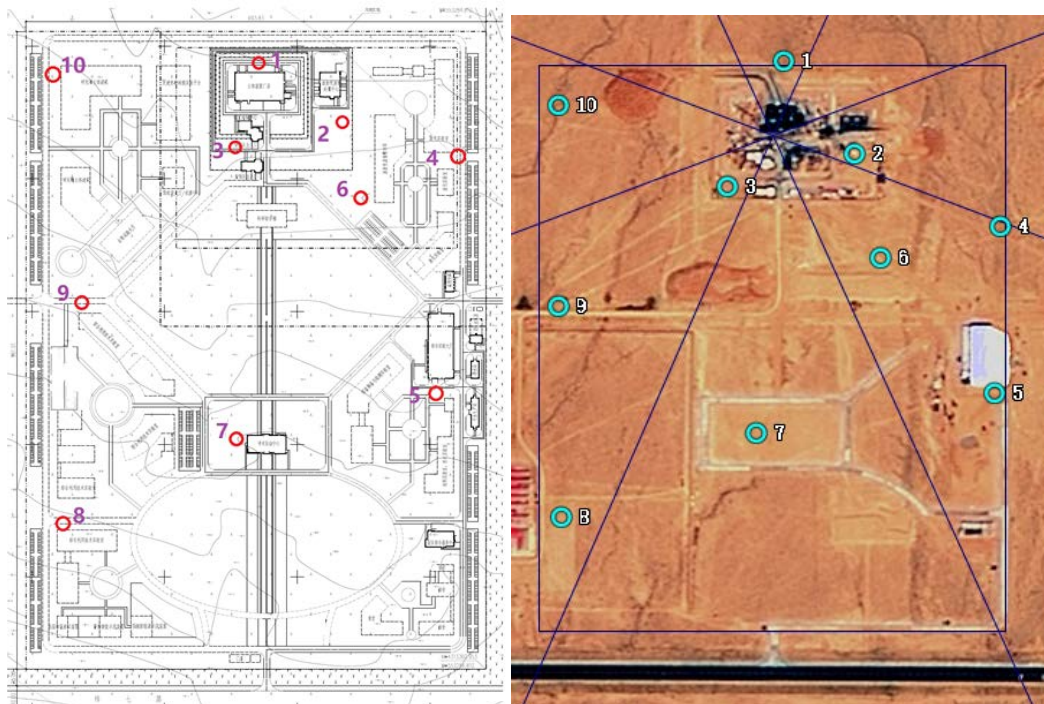


图 3.1-1 厂区内环境 γ 辐射剂量率监测点布置图

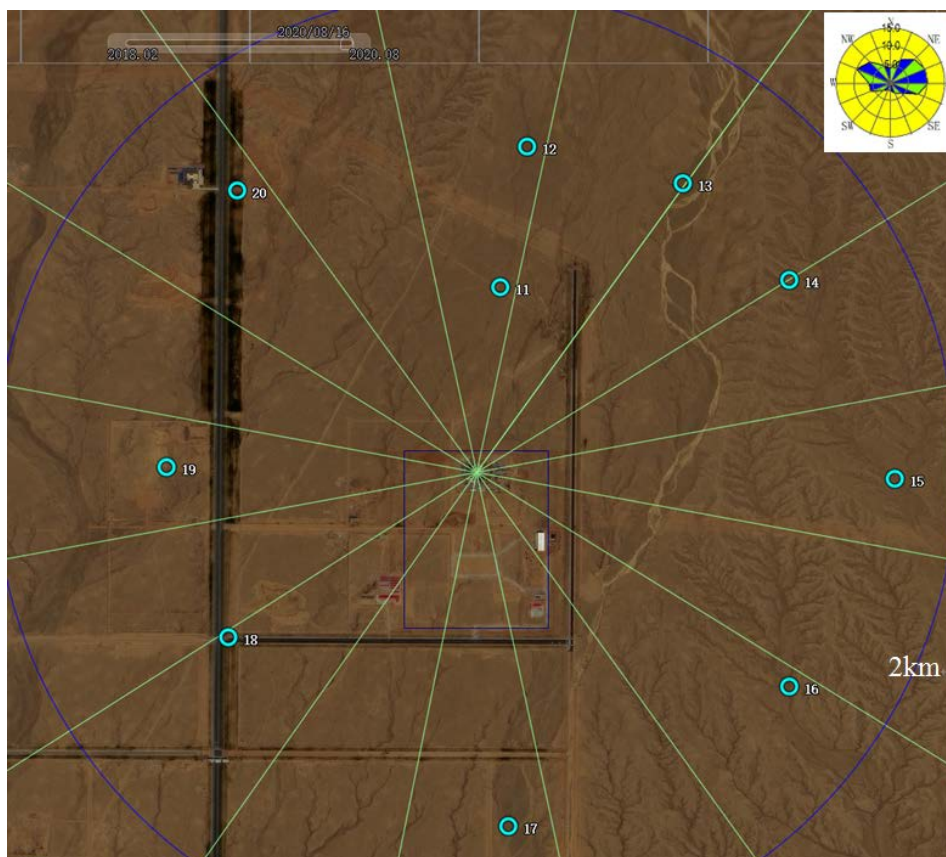


图 3.1-2 2km 范围内 γ 辐射剂量率监测点布置图

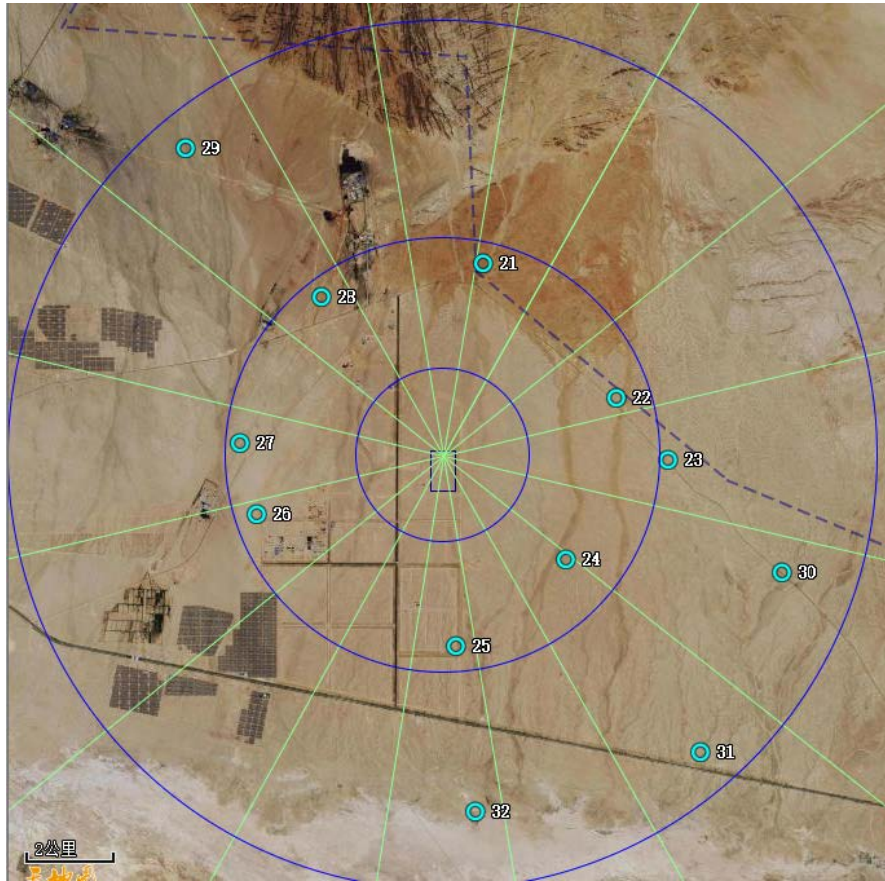


图 3.1-3 2~10km范围内 γ 辐射剂量率监测点布置图

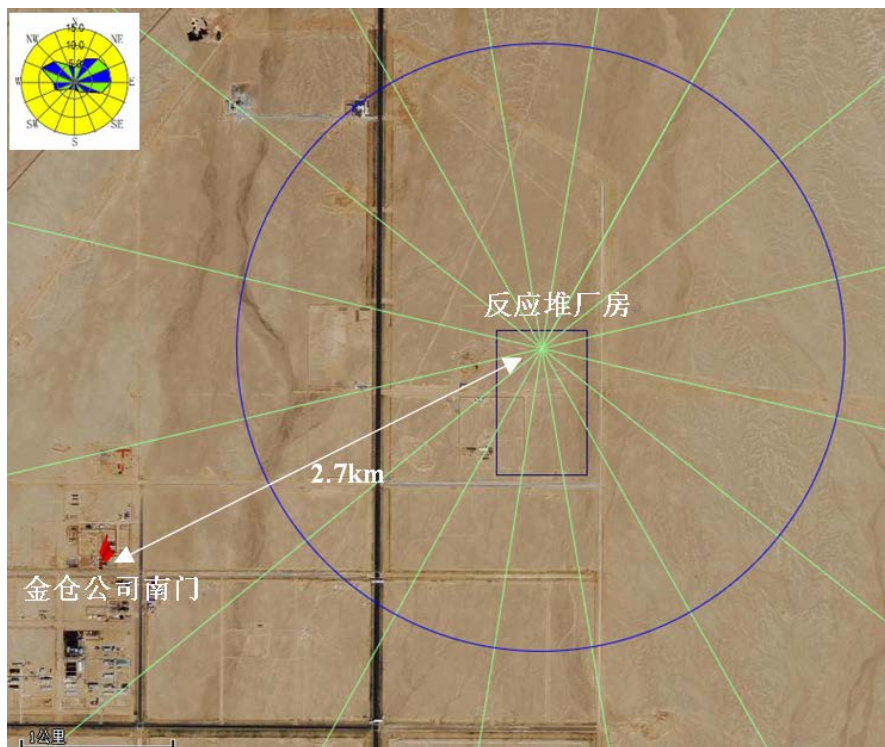


图 3.1-4 空气样品采样点位布置图

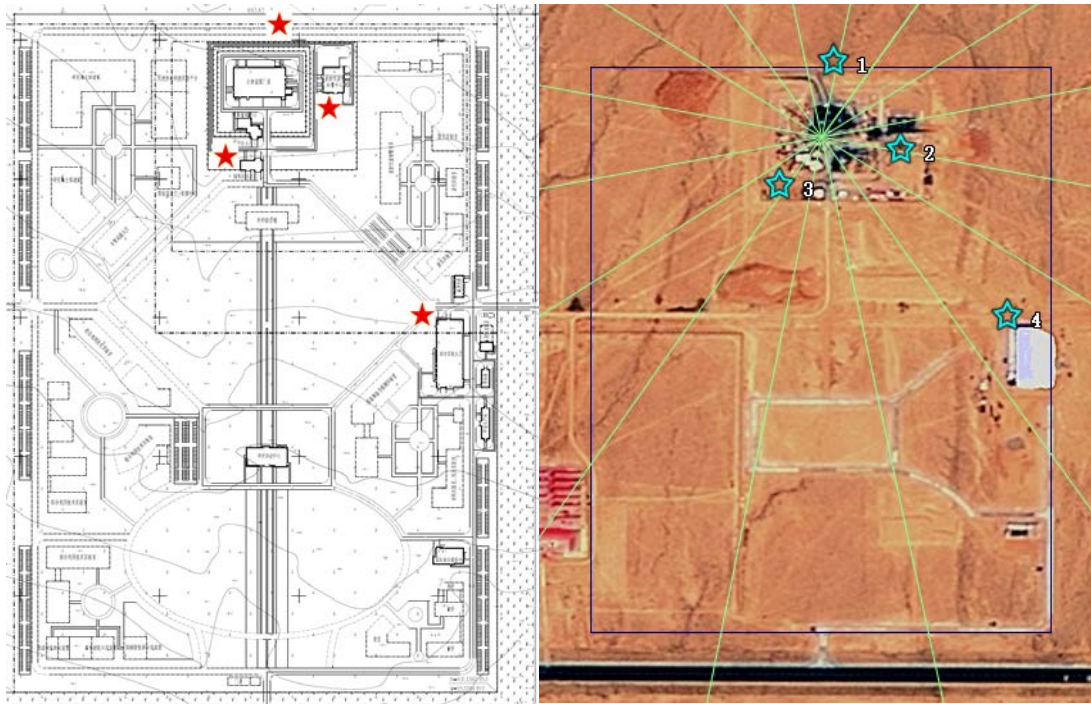


图 3.1-5 厂区空气中氡监测点位布置图

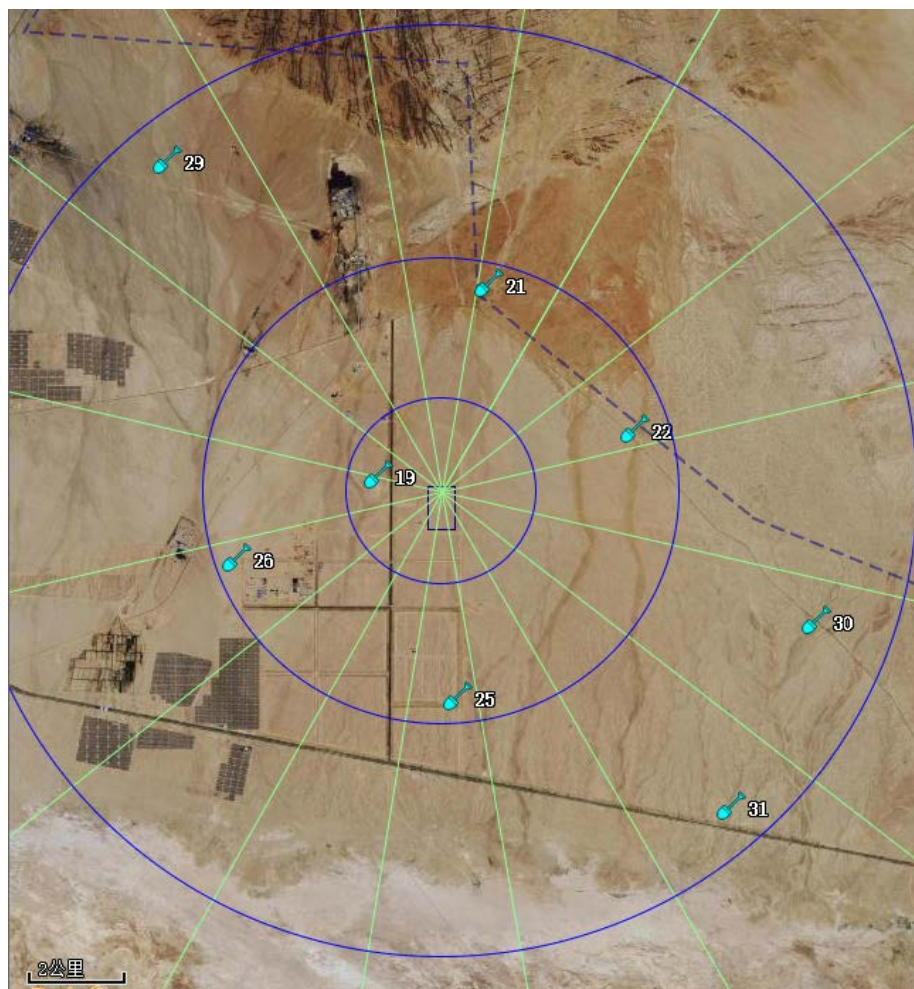


图 3.1-6 土壤采样点位布置图

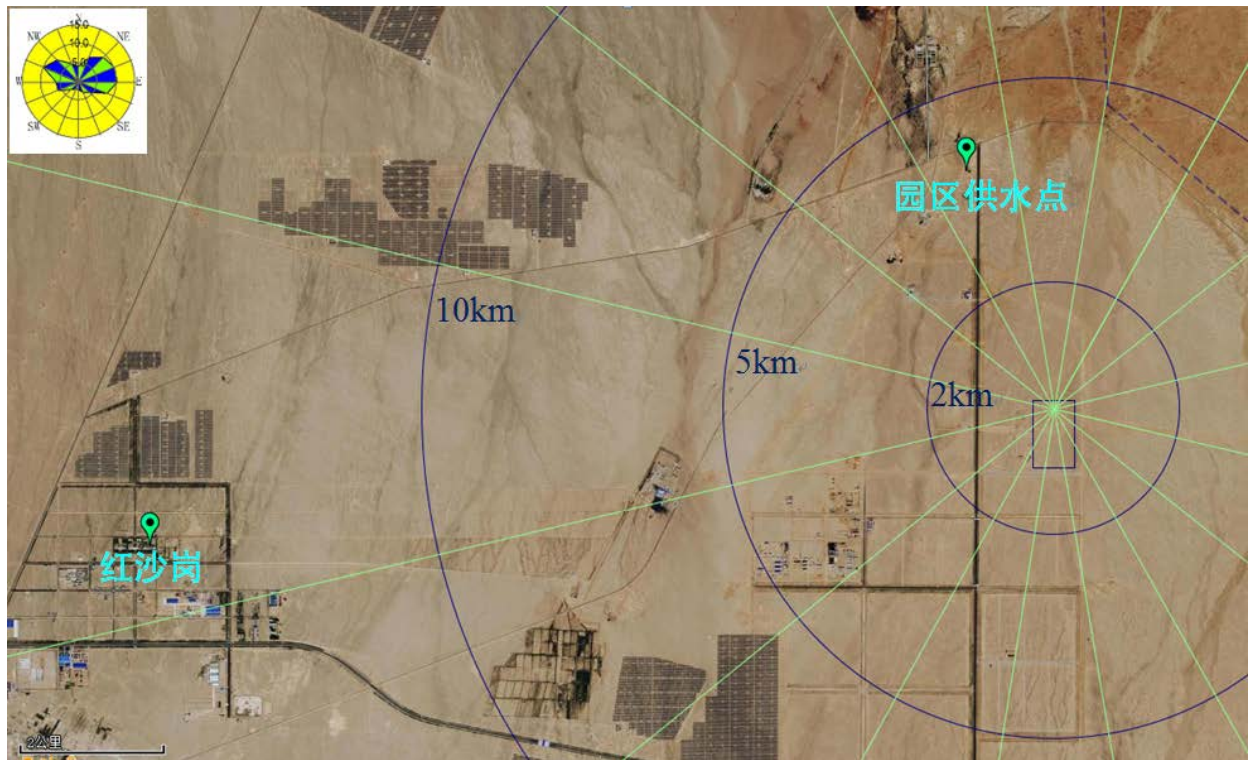


图 3.1-7 水质样品采样点位布置图

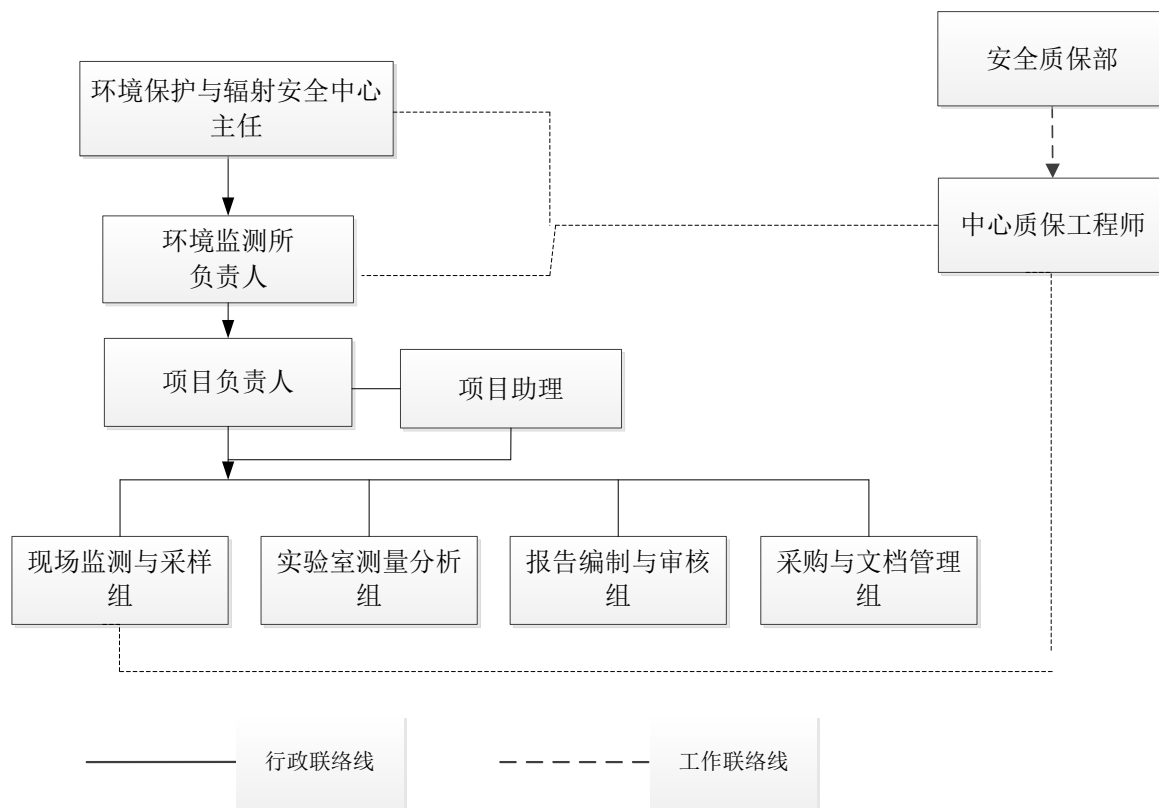


图 3.1-8 项目组织结构图

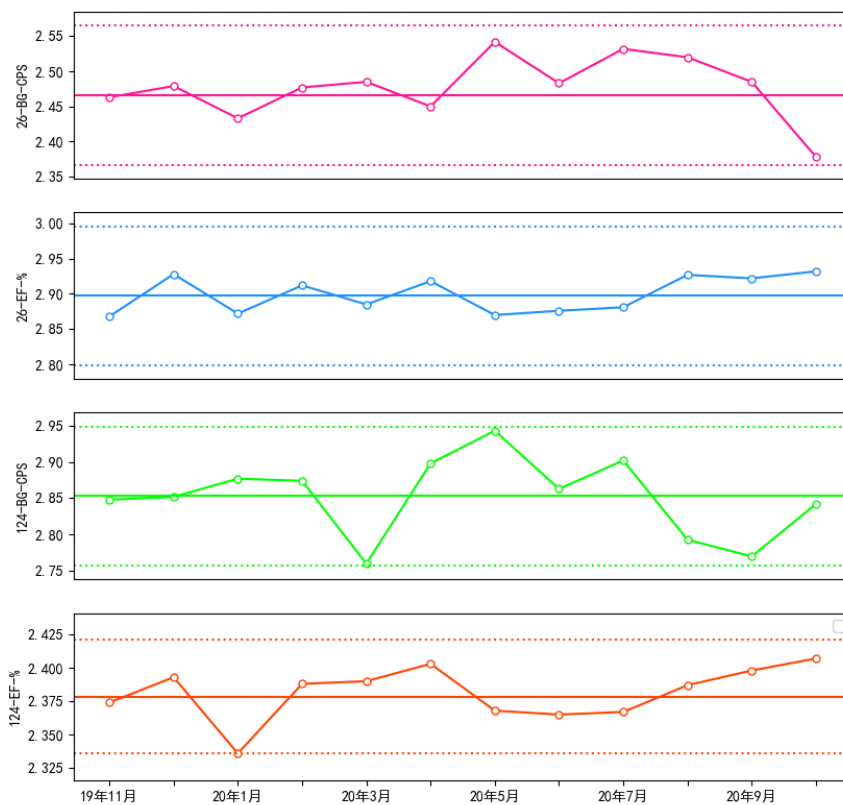


图 3.1-9 高纯锆 γ 谱仪长期稳定性质控图

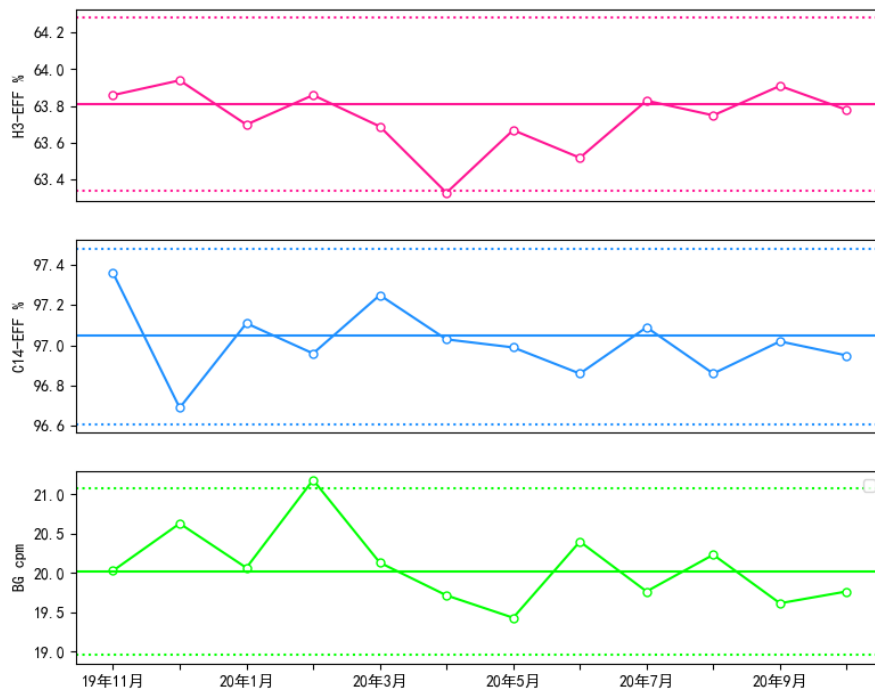


图 3.1-10 LB7 型液体闪烁体谱仪长期稳定性质控图

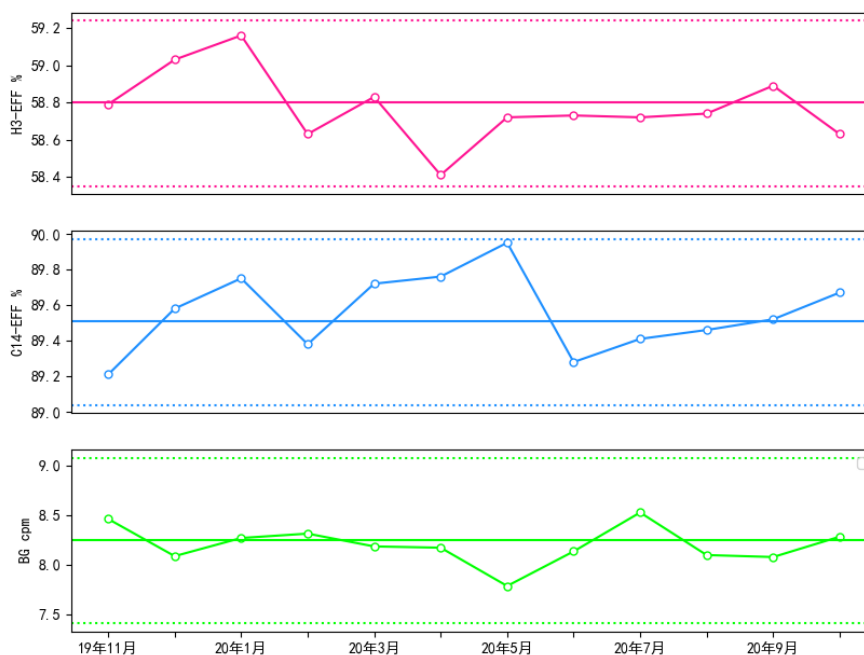


图 3.1-11 1220 型液体闪烁体谱仪长期稳定性质控图

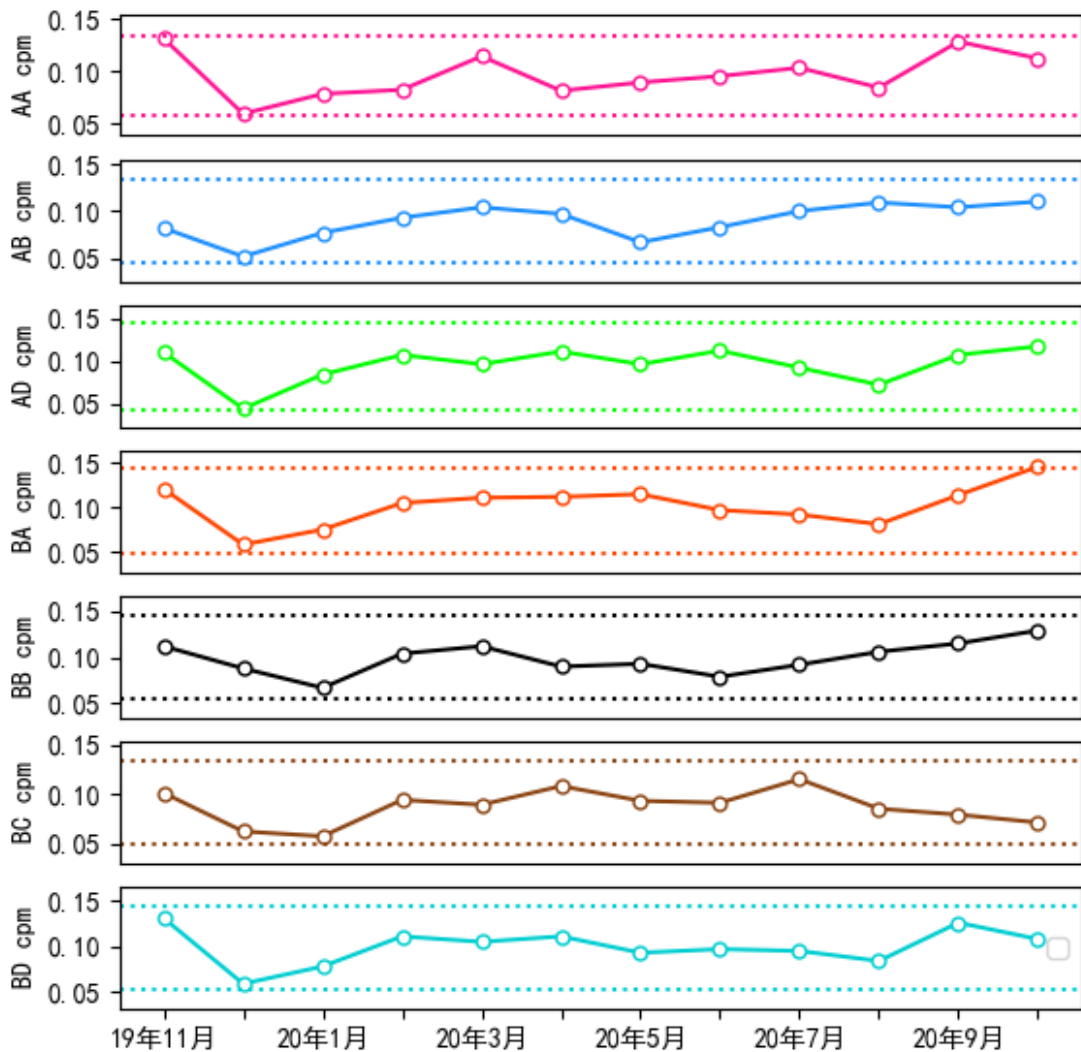


图 3.1-12 MPC9604 型低本底 α 、 β 测量仪 α 本底长期稳定性质控图

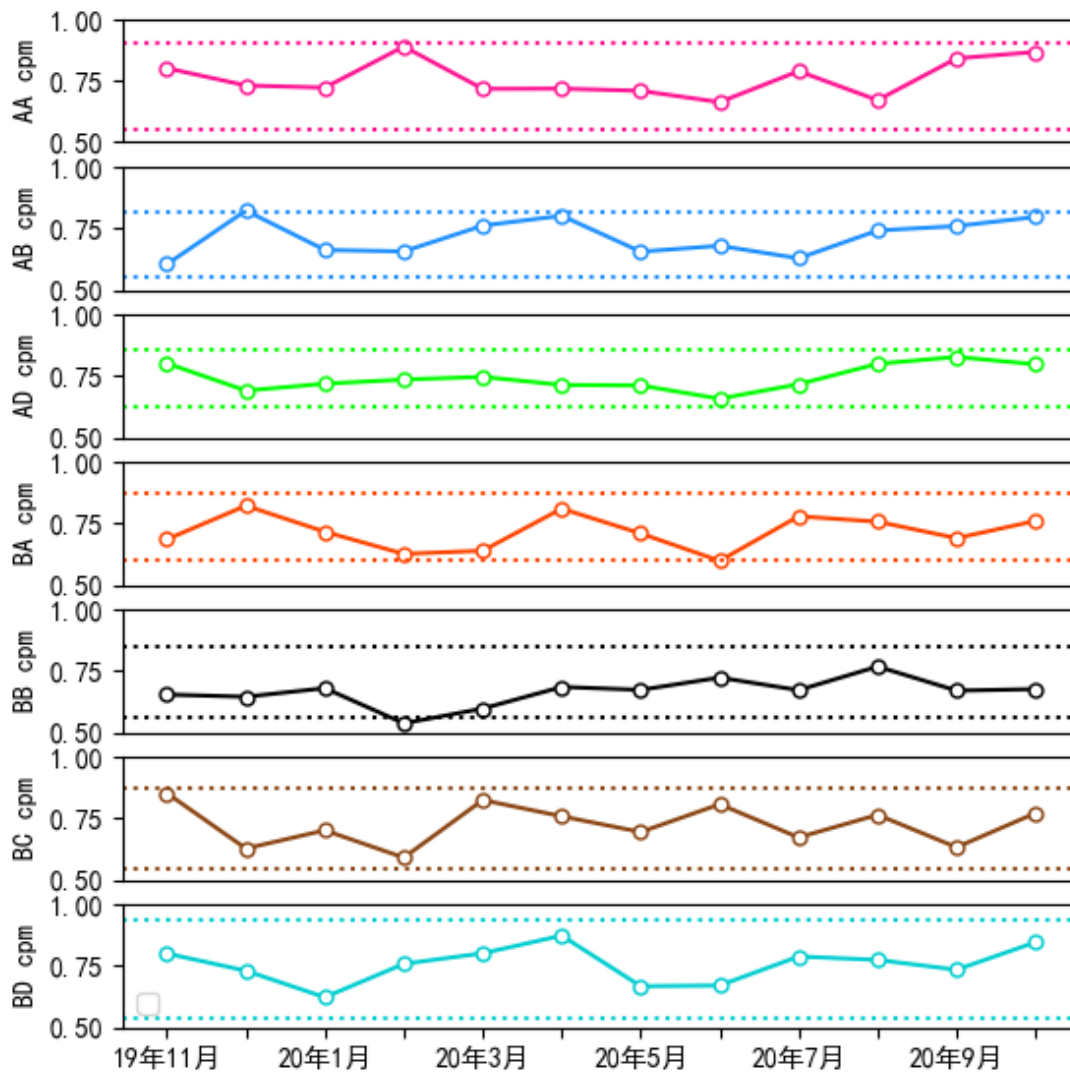


图 3.1-13 MPC9604 型低本底 α 、 β 测量仪 β 本底长期稳定性质控图

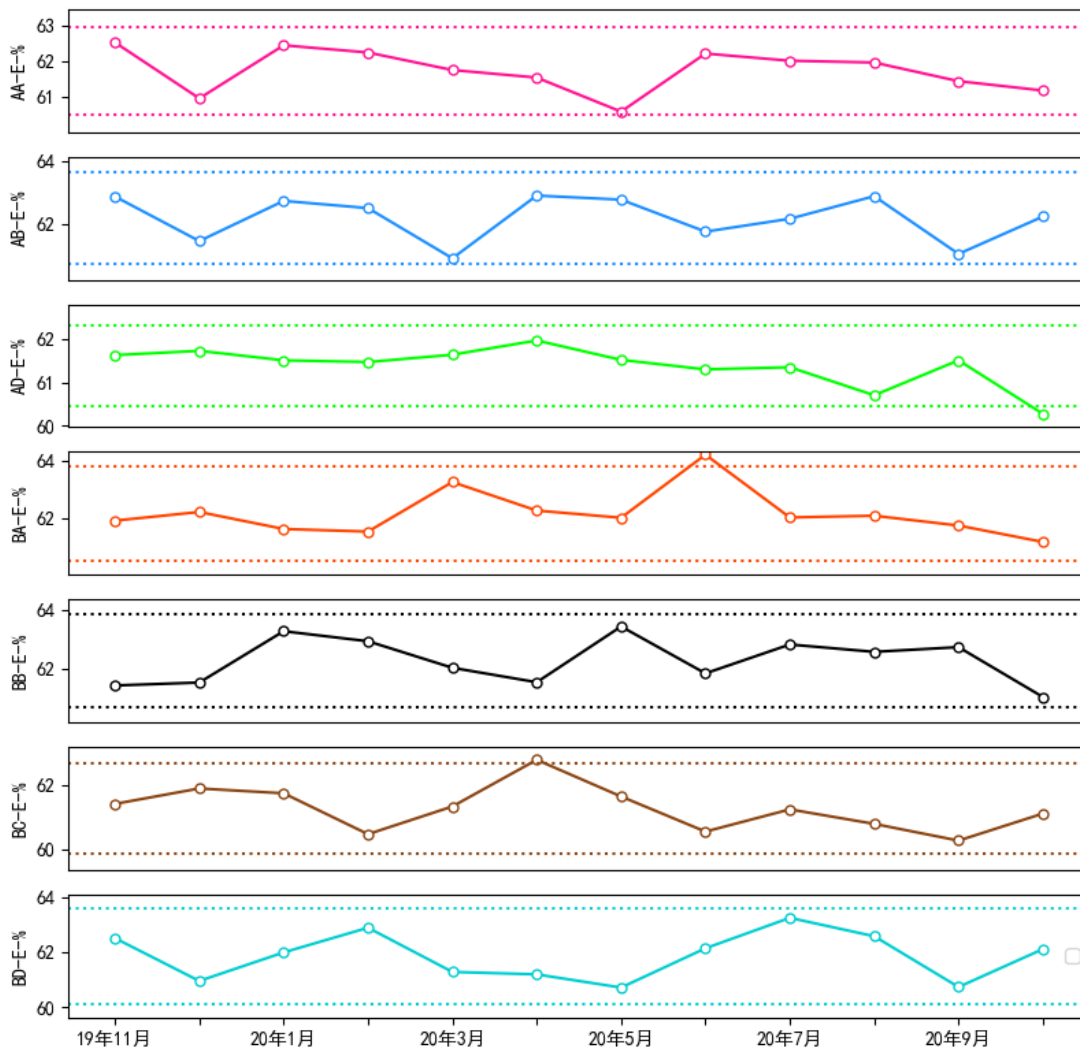


图 3.1-14 MPC9604 型低本底 α 、 β 测量仪 α 效率长期稳定性质控图

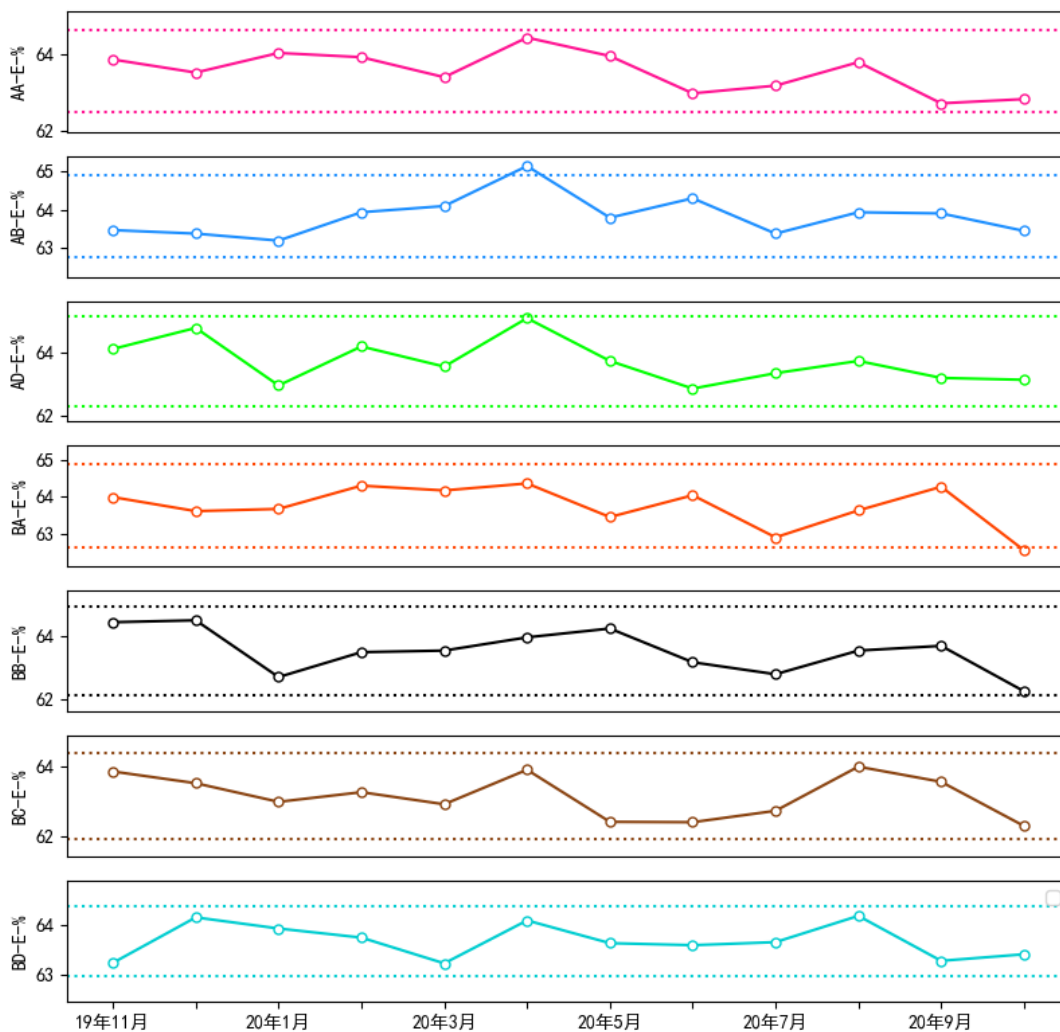


图 3.1-15 MPC9604 型低本底 α 、 β 测量仪 β 效率长期稳定性质控图

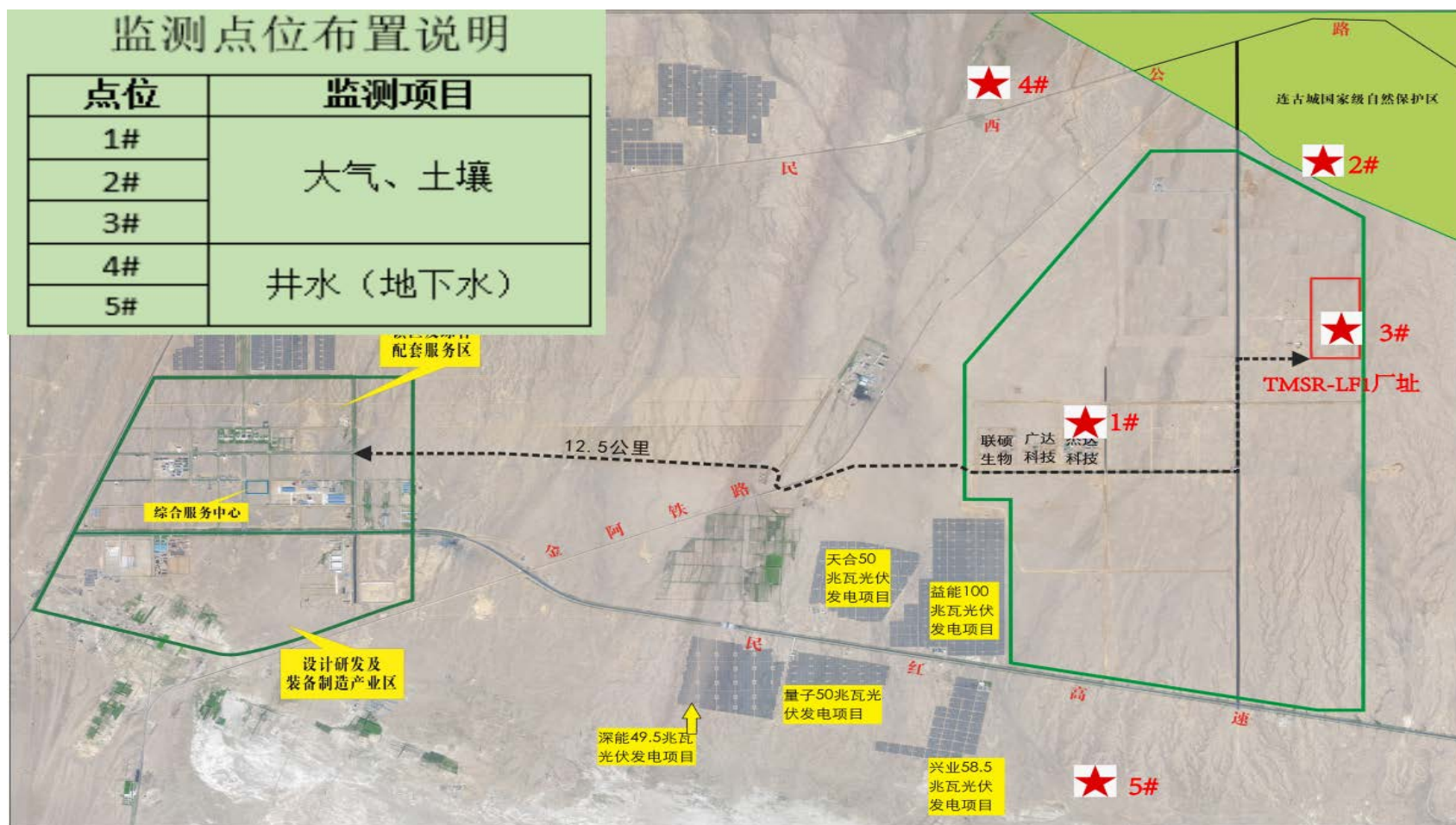


图 3.2-1 环境空气质量监测点位图

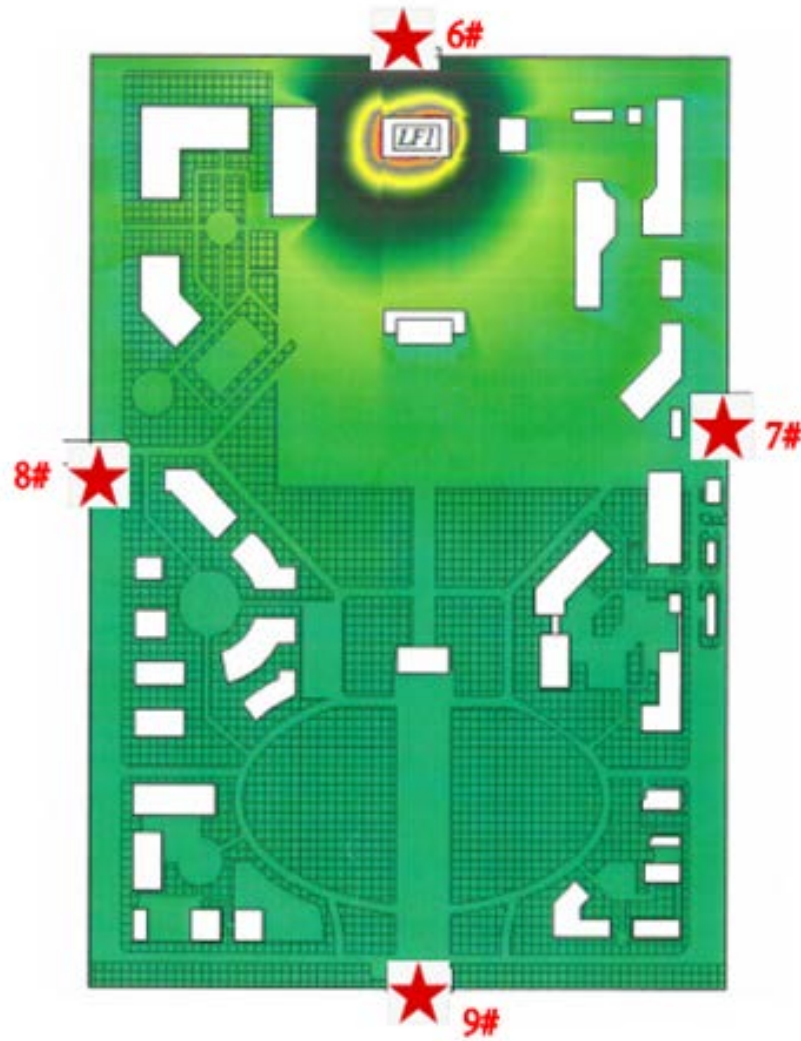


图 3.2-2 声环境监测点位布设图

第四章 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆

4.1 厂区规划及平面布置

4.1.1 厂区规划

4.1.2 厂区平面布置

4.1.3 排放口布置

4.2 反应堆工程概况

4.2.1 概述

4.2.2 燃料

4.2.3 安全系统

4.3 实验系统

4.4 主体装置厂房用水和排热系统

4.4.1 供排水系统

4.4.2 排热系统

4.5 通风系统

4.5.1 通风系统的设计目的

4.5.2 通风系统设计特性

4.5.3 通用要求

4.5.4 系统设计

4.6 供电系统

4.7 放射性废物系统和源项

4.7.1 放射性贮量

4.7.2 放射性废气管理系统及排放源项

4.7.3 放射性废液管理系统及排放源项

4.7.4 放射性固体废物管理系统及废物量

4.8 化学物质排放

4.8.1 化学物质排放

4.8.2 生活废物

4.8.3 其他废物

4.9 放射性物质厂内运输

4.9.1 新燃料厂内运输

4.9.2 乏燃料厂内运输

4.10 退役考虑

4.10.1 概述

4.10.2 退役策略选择

4.10.3 退役计划的制定

4.10.4 退役方案简述

4.10.5 退役前环境辐射水平调查

4.10.6 退役废物管理

4.10.7 便于退役的考虑

4.10.8 运行阶段的设计、运行资料的收集和管理

4.10.9 退役费用的考虑

4.10.10 退役管理设想

4.10.11 结论

表

表 4.1-1 主要技术经济指标表

4.1 厂区规划及平面布置

4.1.1 厂区规划

4.1.1.1 总体规划原则

- 1) 总平面规划应与总体规划相协调。
- 2) 远近期工程统一规划，近期工程应集中、紧凑、合理布置，并与远期工程合理衔接。
- 3) 应满足预留发展用地的要求。
- 4) 厂区功能分区明确，根据功能分区合理地确定通道宽度。
- 5) 厂区各建、构筑物尽量紧凑布置，以节约、集约用地。
- 6) 应满足交通、防火、卫生、安全、管网布置的要求。
- 7) 因地制宜确定竖向布置方式，充分结合地形条件，减少土石方工程量。

4.1.1.2 厂区总体规划

厂区拟规划建设 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）、10MWt 固态燃料熔盐实验堆（TMSR-SF1）及其相关的配套设施。

近期拟建设 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）及其相关的配套设施，主要包括主体装置厂房（LF1）、放射性废物处理中心（02）、综合实验大厅（03）、学术活动中心（04）、试剂仓库（05）、消防水泵房（06）、园区综合服务中心（07）、净水站（10）、中水生产站（11）以及室外工程（包括控制区出入口、保护区出入口、保卫控制中心等）。

根据厂区总体规划，结合工程建设需求，将厂区分为北部装置区（包括西侧研究堆装置区、中间实验堆装置区、东侧放化区）、中部科研区（包括西侧能源综合利用区、东侧核能技术区）和南部生活区三大功能分区。

根据厂址周边道路系统规划条件，厂区设立三个出入口，主要出入口位于厂区南侧，与纬七路相连；次要出入口分别位于厂区东侧和西侧，与东环路、经七路相连。

给水接入点位于厂区东侧的东环路，生活污水接入点和供暖接入点位于厂区南侧的纬七路，10KV 电力电缆可由厂区西侧道路次要出入口架空方式接入厂区。

4.1.2 厂区平面布置

4.1.2.1 项目组成及规模

本项目主要由主体装置厂房（LF1）、放射性废物处理中心（02）以及室外工程（包括控制区出入口、保护区出入口、保卫控制中心等）组成。

4.1.2.2 总平面布置

根据厂区总体规划以及功能分区划分，将主体装置厂房和放射性废物处理中心布置在厂区北侧装置区中部。

根据实物保护要求，设置控制区出入口、保护区出入口和保卫控制中心，布置在主体装置厂房的南侧。主体装置厂房外围设置保护区围栏，主体装置厂房和放射性废物处理中心外围设置控制区围栏。为便于厂区后续工程的建设，本项目子项周围预留发展用地。

4.1.2.3 竖向设计

结合厂址区域地形条件、厂区周边道路系统规划条件，对厂区可用地范围进行统一的场地平整及竖向设计。厂区场地平整设计标高为 1412.00~1421.00m，厂区土石方量约为：挖方量 5.21 万 m³（实方），填方量 11.76 万 m³（实方），欠方 6.55 万 m³，考虑厂区拟建建、构筑物基础、道路及室外管线的基槽余土、厂区土石方量基本平衡。厂区竖向采用平坡式布置，东北高、西南低。

本项目室外设计标高范围为 1418.70~1420.55m。

4.1.2.4 道路交通

为满足本项目内部货流和人流交通运输需要，厂内设主干路、次干路、车间引道和人行道。主干路宽度为 9m、7m，次干路宽度为 4m，人行道用于各建筑物之间及各建筑物与其它道路的连接，路面宽度除与建筑物出入口宽度一致外，其它均为 2m。主干路、次干路最小转弯内半径为 9m，车间引道最小转弯内半径为 6m。

上述各级道路均可满足生产运输安全保卫要求，其中主、次干路均可兼作消防道路。

4.1.2.5 绿化景观

绿化景观依托厂区的装置区、科研区和生活区，在厂区中部形成中央景观带以及主干道两侧集中进行绿化，形成点、线、面相结合的绿化网络。在道路边栽种行道树、花木及加铺草坪等，以改善环境，做到生态保护和美化环境的有机统一。

厂区绿地率为 30%。

4.1.2.6 主要技术经济指标

本项目主要技术经济指标见表 4.1-1。

4.1.3 排放口布置

本项目排放口有气载流出物排放口和非放射性物质排放口，不涉及液态流出物排放口。

气载流出物排放口为主体装置厂房气体排放口（烟囱），相对标高为 26m，排放点坐标为：X=4314236.500，Y=552961.159。气载流出物排放口位于厂区北侧边缘最小风频上风

向，最大程度减少流出物对厂区的影响。

非放射性物质排放口主要包括生活污水、生产废水等。运行期的一部分生活污水排入园区内的中水生产站处理达标后回用，施工期的生活污水和运行期其余的生活污水排入园区下游的市政污水管网，最终排至红砂岗镇生活污水处理厂。施工期和运行期的生产废水排至园区下游的市政污水管网，最终排至红砂岗镇生活污水处理厂。

4.2 反应堆工程概况

4.2.1 概述

TMSR-LF1 设计热功率为 2MW，燃料盐兼做堆芯冷却剂，成分为 $\text{LiF-BeF}_2\text{-ZrF}_4\text{-UF}_4$ ，燃料盐流经堆芯时产生热量，流经熔盐-熔盐换热器时放出热量。TMSR-LF1 为一体式反应堆，石墨堆芯和燃料盐回路系统都位于反应堆堆容器中。

1) 总体方案和功能

(1) 燃料、冷却剂与材料：运行时燃料盐为 $\text{LiF-BeF}_2\text{-ZrF}_4\text{-UF}_4$ ，其中 ${}^7\text{Li}$ 丰度大于 99.95at%， ${}^{235}\text{U}$ 富集度为 19.75wt%。冷却盐回路冷却剂使用高 ${}^7\text{Li}$ 丰度的 FliBe 盐。使用石墨作为燃料通道的结构件材料。使用 UNS N10003 合金作为主容器及堆内构件的主要合金结构材料。

燃料盐的制备合成路线是将符合原料质量标准的 UF_4 、 ZrF_4 、 ${}^7\text{LiF}$ 、 BeF_2 粉料分别按照一定比例混合后，经历熔融共晶和净化工艺流程后，获得高纯的基盐（ F^7LiBeZr ）和添加盐（ F^7LiU ）；再以基盐为溶剂，添加盐为溶质进行堆外液液溶解混合形成燃料盐（ $\text{F}^7\text{LiBeZrU}$ ）后注入堆芯使用。

(2) 燃料盐装卸：a.通过覆盖气使得堆芯和储罐产生压力差，实现燃料盐的装卸，向临界过渡时则采用胶囊加料的方式。在反应堆装料区，通过气压向堆本体装载燃料，将添加盐储罐内的添加盐（ F^7LiU ）注入装有基盐（ F^7LiBeZr ）的基盐储罐内，然后将熔盐在基盐储罐和燃料盐排放罐之间来回倒料，混合均匀，形成均相的燃料盐

（ $\text{F}^7\text{LiBeZrU}$ ）后通过燃料盐装卸管道注入堆芯，燃料盐装卸通道布置于侧反射层中，由堆顶进入，管道出口位于堆底。燃料盐卸载通过气压将燃料盐从堆芯压入燃料盐排放罐。b. TMSR-LF1 设有胶囊加料与取样系统，提供向堆内添加燃料和从堆内提取燃料盐样品的功能。

(3) 反应性控制及堆芯功率控制：反应性的控制和停堆是通过控制棒的移动来实现的。使用控制棒设置两套停堆系统，两套停堆系统的控制棒驱动机构不同。堆芯功率控制系统主要实现反应堆的功率控制。堆芯功率控制系统的设计遵守以下原则：反应堆的

启动及小于 20% 功率运行时，采用手动控制；在正常运行工况下，反应堆功率在 20%-100% 额定满功率范围内时，可自动控制；在任何功率水平运行时，均可采用手动控制方式或者由自动控制切换为手动控制；当反应堆处于自动控制时，反应堆可自动跟踪冷却盐回路负荷变化或者克服堆芯反应性扰动。

（4）热量产生及传输：堆芯、主泵、熔盐/熔盐换热器位于堆容器内，燃料盐流经堆芯时产生热量。正常运行情况下，燃料盐回路燃料盐受循环泵驱动，通过熔盐/熔盐换热器将裂变能从燃料盐回路传递到冷却盐回路，然后冷却盐回路冷却盐受循环泵驱动，通过熔盐/空气换热器将热量排出到空气环境中。正常停堆情况下，余热经由回路系统最终释放到大气中；回路正常工作事故情况下，余热经由回路系统最终释放到大气中；回路不能正常工作事故情况下，利用非能动余热排出系统进行余热排出。

（5）燃料管理方式：调试及运行阶段使用铀燃料。

2) 堆本体系统

采用强迫循环一体式布局，燃料盐回路整体位于堆本体中，堆本体由内向外主要由以下部分组成：堆芯活性区、反射层、主容器。熔盐/熔盐换热器位于侧反射层内，由上向下依次是：气空间、主泵、上腔室、上支撑板、堆芯、下支撑板、下腔室及流量分配装置。堆芯采用打有燃料盐流道的大块石墨构筑，堆内金属结构件使用 UNS N10003 镍基合金材料。控制棒、中子源、实验与测量装置、燃料盐装卸通道等布置于堆芯相应的功能通道中。

堆本体的功能是容纳整个燃料盐回路，包容燃料盐，在反应堆正常运行期间负责将液态燃料产生的裂变能通过强迫循环经热交换器有效传递到冷却盐回路热力系统，在停堆状态下能够有效的把反应堆余热通过非能动余热排出系统转移到环境热阱中。

4.2.2 燃料

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）采用四氟化铀（ UF_4 ，U-235 的富集度为 19.75wt%）作为核燃料，使用时首先将其进行预处理形成添加盐（ $LiF-UF_4$ ，72-28 mol.%），然后将添加盐溶解在基盐（ $LiF-BeF_2-ZrF_4$ ，65-30-5 mol.%）内形成均相燃料盐，形成的燃料盐作为堆芯燃料兼冷却剂使用。反应堆寿期内，燃料盐一直处于堆内运行，不进行处理和回收。

按照 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆的运行阶段，燃料使用共经历反应堆的加料阶段、反应堆的运行阶段和反应堆的停堆检修阶段。在反应堆的加料阶段，按照反应堆装料方案，核燃料经过预处理后获得的添加盐（ $LiF-UF_4$ ）逐次与基盐（ $LiF-BeF_2-ZrF_4-UF_4$ ）在

燃料装卸系统的储罐内混合形成均相的燃料盐，形成的燃料盐经检测合格后注入堆内。在反应堆运行阶段，堆内的燃料盐始终处于主容器的压力边界内运转，不进行任何的加料、处理或回收等操作。在反应堆停堆检修阶段，与燃料相关的操作是燃料的取样及卸载。整个过程不涉及燃料的添加、处理或回收等操作，不会产生任何废弃物。

4.2.3 安全系统

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆的固有安全性如下：（1）反应堆具有较大负的反应性温度系数，在反应堆温度上升的情况下可以引入负的反应性，温度升高到一定程度可自动停堆；（2）反应堆包含大量的石墨与熔盐，有很大的热容量，堆芯有很大的热惰性，对瞬变有很强的适应能力，事故进程缓慢；（3）在事故工况下，反应堆采用非能动余热排出系统，利用热辐射、热传导、空气自然循环带出堆内余热；（4）对于放射性具有多重实体包容屏障，包括：燃料盐和覆盖气边界、安全容器；（5）熔盐对于部分放射性物质有滞留作用，如 ^{137}Cs 等，防止其扩散到大气中。

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆专设安全系统包括非能动余热排出系统和安全容器。

1. 非能动余热排出系统

非能动余热排出系统的安全功能是在发生事故下（燃料盐、冷却盐回路无法正常运转），不能通过熔盐-空气换热器将热量排出的情况下，将反应堆的余热排至最终的大气热阱，保证燃料盐边界处于可接受的温度限制范围内。事故前期的堆内热量可依靠堆本体与回路系统自身的热容包容。事故分析表明反应堆满功率的 2% 作为非能动余热排出系统的余热排出能力，可实现事故全程堆内余热的持续导出，使燃料盐边界温度在限值内，从而保证反应堆的安全。

非能动余热排出系统的运行不需要借助能动部件的动作，只依靠非能动的方式即可将反应堆余热从堆容器壁面带到最终热阱——大气，具有结构简单，安装维修方便，故障率低等特点。非能动余热排出系统由进风管、换热装置、出风管、排气塔组成。在事故工况下，首先借助热传导、自然对流换热和热辐射等非能动的自然机制，依次通过石墨反射层和堆容器，将反应堆余热排出到堆舱中；然后，绝大部分热量通过堆舱内非能动余热排出系统的换热装置排向最终热阱。

非能动余热排出系统的设计满足以下设计准则：1）系统容量：系统容量的设计应保证系统发生单一故障、失去厂外电源的前提下，完成反应堆的停堆冷却，并将余热排出到最终热阱。同时，将燃料盐压力边界主要参数（温度、压力）控制在限值以下并保证堆舱的完整性；2）环境和动态影响设计准则：非能动余热排出系统的设计必须考虑在规定的各

类运行、维护、试验及假想事故状态下实际温度及有关因素对其影响和作用。

2. 安全容器

安全容器是包容反应堆及有关相连系统并在反应堆事故状态下，防止不可接受的放射性物质向环境释放的容器，是包容反应堆堆芯放射性物质的最后一道屏障。将失效后会致放射性物质不可控释放的系统和部件置于安全容器内，将释放到环境的放射性核素限制在可接受的限值内，以满足国家规定剂量限值要求，尽量减少正常运行工况和事故工况时附近人员受到的照射。

安全容器的设计考虑：（1）安全容器的泄漏率保证出现放射性物质最大释放事故时不需要采取厂区应急行动；有关管道、电缆贯穿件的安装应保证这一要求的实现；（2）安全容器结构设计根据安全容器承受的载荷和各种载荷的组合以及厂址所在地区的地质地震条件进行，设计应满足相关法规要求。

4.3 实验系统

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）的实验装置为“堆内实验样品输送装置”，其功能为将实验样品通过传输机构送到深入堆本体内部的套管中进行辐照（样品本身位于大气环境，通过“堆本体部件——套管”与堆内熔盐隔绝）。

装置主要包括实验样品提升组件和气路系统等结构。进堆时，样品从测量间装入管道，在正压气体作用下，样品通过气动输送管道滑落至接样装置，到达接样装置后，卷筒钢丝绳将样品输送至辐照位置；出堆时，钢丝绳将接样装置提升到接样装置，气动管道通入气体，将样品吹入气动输送管道，进而将样品输送至测量间。装置本身具有气密性，不对反应堆的包容边界构成影响，不造成计划外的反应性引入，不对反应堆的运行构成影响。

4.4 主体装置厂房用水和排热系统

4.4.1 供排水系统

4.4.1.1 供水

本项目主体装置厂房供水系统主要包括生活给水系统、除盐水分配系统以及消防系统。

生活给水系统的水源及供水压力来自厂区生活给水系统。从室外给水管网引入主体装置厂房内的供水管道，主要用于卫生间、控制区出入口去污室、开水间、蓄电池间等。水质符合《生活饮用水卫生标准》（GB 5749-2006）的要求。最高日用水量为 55m³/d。

除盐水分配系统主要设置一个除盐水箱，两台除盐水泵（一用一备）。水箱补水采用外购式，通过配水管网向用户供水，主要用于冷冻水系统和设备冷却水系统补水、热室操作前区直供水、试验用水以及通风系统空调加湿器补水等。

消防系统水源主要来自厂区消防水泵房，通过厂区管网接入主体装置厂房。消防系统主要包括消火栓系统、水喷雾灭火系统、超细干粉灭火系统和移动式灭火器等。消火栓系统包括室内消火栓、室外消火栓、管道、阀门及其附件等，室内消火栓系统用水量不小于 30L/s，室外消火栓用水量不小于 20L/s，火灾延续时间按照 2h 计。水喷雾灭火系统用于扑救主体装置厂房柴油发电机油箱间可能发生的火灾，其用水量不小于 15L/s。采用悬挂式超细干粉灭火系统保护控制区冷却盐回路泵稀油站油箱间可能发生的火灾，灭火装置自带感温元件，当环境温度上升至 68℃时，灭火装置自动启动并释放超细干粉灭火剂。

4.4.1.2 排水

排水系统主要包括非放射性工艺系统排水、卫生间排水、设备冲洗排水、含油废水等。主体装置厂房非放射性区域的排水全部位于 0m 层及以上，通过重力排水接至室外管网。根据水质不同，生活污水排入室外生活污水管网，柴油发电机油箱间的含油废水及喷淋消防水排入室外含油废水池，定期对储水池内的含油废水进行清理及外运处置。发生火灾后，消防水通过地面和高层楼梯间汇入负一层的边沟后，进入-14m 层地面排水储存池收集。

4.4.2 排热系统

设备冷却水系统是一个非安全级的闭式回路冷却系统，将 LF1 主体装置厂房各类发热设备的热量通过设冷水系统传递到冷冻水，并通过冷冻水系统的冷冻机组最终传递到环境中。需要设备冷却水系统导出热量的设备包括：燃料盐回路/冷却盐回路真空系统泵、气路系统尾气处理设备、熔盐制备系统真空泵和冷却盐回路稀油站。

设备冷却水系统设有两个机械系列，每个系列包含一台设备冷却水泵和一台设备冷却水热交换器。两个系列共用一台波动箱，从公共的回水母管上吸水。波动箱连接在两台泵公共的取水母管上。每台泵与各自的热交换器直接连接，中间设交叉管线，可根据需要实现交叉供水。当波动箱液位偏低时，通过除盐水分配系统从纯水箱进行补水。

4.5 通风系统

4.5.1 通风系统的设计目的

通风系统的目的是提供适宜质量的空气以保证工作人员的舒适、健康和设备安全有效的运行。

4.5.2 通风系统设计特性

在污染区内，空气要排出前，正常的气流路线是从低潜在污染区依次向高潜在污染区；每个厂房的通风系统，一般排风管路的铺设应使得向新风进风口短路循环回流的可能性减到最小；

从潜在放射性区域排放的空气不能进行再循环；

没有污染的空气可以从屋顶或墙上的通风口直接排至室外大气中；

所有可能来自污染区的空气，在排放之前要进行监测，并通过过滤器过滤后排放至室外环境中。

设备安全可靠运行并应具有运行、安装和维修空间。

4.5.3 通用要求

通风设计中所采用的最小换气次数是由以下受控区的类别确定的：

- a) 控制 I 区换气次数 1~1.5 次/h；
- b) 控制 II 区换气次数 1.5~2.5 次/h；
- c) 控制 III 区换气次数 2.5~3 次/h。

一些高度危险区的排风量计算依据如下：

- a) 设有电气蓄电池的房间事故通风每小时换气次数为 12 次/h；
- b) 控制区有 HF 危险的房间每小时换气次数为 12 次/h。

4.5.4 系统设计

LF1 厂房的温湿度、通风换气及洁净要求通过以下不同的供热、通风与空调系统（HVAC）来完成的，这些系统如下：

- a) 监督区
 - 主控制室空调系统（KLA）
 - 电气柜及控制柜间通风系统（KLK）
 - 蓄电池通风系统（KLC）
 - 监督区排烟系统（KLL）
 - 人员卫生出入口通风系统（KLM）
 - 压缩机房通风系统（KLF）
 - 柴油发电机房通风系统（KLG）
 - 设备间通风系统（KLH）

b) 控制区

➤ 控制区通风系统（KLN）

4.5.4.1 主控制室空调系统（KLA）

a) 系统功能

主控室空调系统（KLA）服务于主控室、辐射办公室，通信机房以及卫生设施各房间。KLA 系统用以保证所服务房间内的温度和湿度在所规定的限值内以满足设备运行和人员长期停留的要求；保证最小的新风量；维持服务区域内压力略高于出入口区域的压力。

b) 系统描述

系统包括：新风口（与 KLM 系统共用）两台冗余设置容量为 100% 的空调机组（10KLA AH001/002）及相应送风管网和排风管网。每台机组内均设置一组预过滤器、一组高效过滤器、一台加热器、一台冷却盘管，一台加湿器以及一台送风机，卫生间设置一台排风机，室外新风与室内回风经混合经过空调机组处理后送入所服务房间。

主要设备布置在 5.00m 层（LF1402 房间内）。

钍基熔盐实验堆正常运行期间，系统是连续运行的，系统运行由操纵员控制。在停运期间，主控室空调系统可以停止运行，相关房间布置了民用型电加热器来维持冬季房间的温度。系统由主控室进行控制。通过计算机及控制系统对相关信息进行采集并处理。

4.5.4.2 电气柜及控制柜间通风系统（KLK）

a) 系统功能

电气设备间通风系统（KLK）服务于变配电室、UPS 间，保护系统房间、仪控间等房间。维持电气设备运行所要求的温度和湿度要求。

b) 系统描述

系统包括：新风口（与 KLM 系统共用），两台冗余设置容量为 100% 的空调机组（K10KLK AH001/002）及相应送风管网和排风管网。每台机组内均设置一组预过滤器、一台加热器、一台冷却盘管，一台加湿器以及一台风机，系统设置一台排风机，室外新风与室内回风经混合经过空调机组处理后送入所服务房间。

主要设备布置在+5.00m 层（LF1403 房间内）。

钍基熔盐实验堆正常运行期间，系统是连续运行的，系统运行由操纵员控制。在停运期间，电气柜及控制柜间通风系统可以停止运行，相关房间布置了民用型电加热器来维持冬季房间的温度。系统由主控室进行控制。通过计算机及控制系统对相关信息进行采集并处理。

4.5.4.3 蓄电池通风系统（KLC）

a) 系统功能

为了防止氢气积聚设计提供每小时至少 12 次换气次数。维持设备正常运行所允许的室内温度。

b) 系统描述

系统包括：新风口（与 KLM 系统共用），一台送风机的，两台并联的 100% 容量的排风机和送、排风管道。系统送风量略小于排风量，以保证室内微小的负压，从而防止氢气外溢。

在钍基熔盐实验堆正常运行期间，通风系统是连续运行的。系统运行由操纵员控制。两台排风机布置在蓄电池排风机房内（LF1404 房间内）当一台排风机发生故障时，启动另一台。钍基熔盐实验堆在停运期间，系统可以停止运行，蓄电池间布置了防爆型电加热器冬季来维持房间的温度。

4.5.4.4 监督区排烟系统（KLL）

a) 系统功能

KLL 系统的设计功能：排除监督区电气火灾而产生的烟雾；

b) 系统描述

监督区的排烟系统由排烟风机，排烟风管，排烟防火阀，排烟阀组成。当发生火灾时根据需要相关排烟阀打开，并在主控室手动启动排烟风机。每台风机前设置 280℃ 排烟阀防火阀，用以保证系统排烟超温时自动停运，排烟风机也可在消防控制室进行手动关闭。KLL 系统由消防控制室控制，通过消防控制室对相关信息进行采集并处理。系统设置一台排烟风机，布置在 LF1507 房间。

4.5.4.5 人员卫生出入口通风系统（KLM）

a) 系统功能

系统服务于现场辐射办公室、污染工作服存放间、仪表工具间、卫生间、淋浴间、冷（热）更衣室和办公室，门厅，值班室等房间，控制运行服务区域的温度和相对湿度，保证更衣室周围的环境温度，为设备运行提供良好的环境条件。

b)系统描述

冷区和热区的送风由 KLM 系统的新风机组完成，冷区的排风由排风机单独排出到室外，热区的排风接到 KLN 系统（控制区通风系统），经过 KLN 系统控制 I、II 区的过滤装置处理后经过烟囱排放室外。KLM 系统包括：一个新风除沙过滤机组、一台新风空调机组、一台排风机和送、排风管道。其中送风机组包括一台预过滤器、一台加热器，一台加湿器，一台冷却器和一台 100% 容量的送风机。新风除沙过滤机组主要包括主送风机、排沙风机及相应的过滤装置，为监督区各空调系统（KLA、KLG、KLH、KLC、KLM）新风取风所共用。当钍基熔盐实验堆停运期间，KLM 系统可以停止运行，冬季由布置在房间内的民用型电加热器维持室内的温度。

4.5.4.6 压缩机房通风系统（KLF）

a)系统功能

保证室内温度达到设备运行和人员维修的要求；

保证空压机运行所需冷却风量。

b)系统描述

系统由防沙百叶，预过滤器，进风口，排风机，排风管道和民用型电加热器组成。

钍基熔盐实验堆正常运行期间，房间排风机在夏季和过渡季连续运行，冬季根据需要间歇运行；空压机排风机与空压机连锁启停；冬季房间最低温度由民用型电散热器维持。钍基熔盐实验堆在停运期间，KLF 系统可以停止运行。KLF 通风系统就地控制。

4.5.4.7 柴油发电机房通风系统(KLG)

a)系统功能

保证冬季室内最低温度要求；

保证油罐间换气次数；

保证柴油发电机运行所需风量。

b)系统描述

系统由防沙百叶、排风机、排风管道、排风机和民用型电加热器组成。

钍基熔盐实验堆正常运行期间，油罐间排风机在夏季和过渡季连续运行，冬季根据需要间歇运行；冬季各房间最低温度由民用型电散热器维持。钍基熔盐实验堆在停运期间，KLG 系统可以停止运行。由就地仪表盘控制 KLG 系统的设备。所有故障和报警信号均发至主控室。

4.5.4.8 设备间通风系统（KLH）

a) 系统功能

保证除盐水冷冻水罐及泵间，消防设备及管道间，冷水泵间温度达到设备运行和人员维修的要求。

b) 系统描述

系统包括下列部件：新风口（与 KLM 系统共用），一台正常送风机，一台排风机。钍基熔盐实验堆正常运行期间，设备间排风机连续运行。冬季相关房间布置了民用型电加热器来维持房间的温度，KLH 系统就地控制。所有故障和报警信号均发至主控室。

4.5.4.9 控制区通风系统（KLN）

a) 系统功能

KLN 系统为直流式通风系统，连续运行，并设计成：

——实验堆正常运行期间，维持控制区厂房的室内温度在规定的范围内，以满足设备运行和工作人员的健康要求；

——为便于工作人员进入，限制房间的放射性水平，以符合保健物理分类的要求；

——控制气流方向，使空气从潜在低污染区向潜在高污染区流动；

——减少释放到大气环境中的放射性污染物的浓度；

——当实验堆运行时，维持控制区内的压力略低于大气压力，使厂房中泄漏的放射性物质减至最少，并保证通过烟囱排放；

——保证分析间等相关房间的洁净度要求。

——满足气瓶间通风换气要求，

——满足 HF 房间通风换气要求，

房间的空气流量是根据设备和照明的散热量以及最小换气次数计算而得。

在夏季，送风由冷却盘管冷却，由 KAD 冷冻水系统提供冷冻水。在冬季，送风由电加热器加热，维持室内的温度要求。

b) 系统描述

KLN 系统由送风子系统、控制 I / II 区排风子系统、控制 III 区排风子系统及通风烟囱组成。排风系统的烟囱设在 LF1 监督区屋顶上，烟囱高出反应堆厂房屋顶至+26m 标高。在烟囱中设有监测放射性气体和记录废气排放水平的系统。

送风子系统包括：防沙处理机组，两台冗余设置容量为 100% 的新风机组及相应送风管网。每台机组内均设置一组预过滤器、一台加热器、一台冷却盘管及一台送风机。

控制 I，II 区排风子包括：设置两台 2X50% 过滤箱体（包括预过滤器，高效空气粒子过滤器）。2X100% 设置的排风机两台及相应的排风管网。

控制 III 区排风子包括：设置两台 2X100% 过滤箱体（包括预过滤器，高效空气粒子过滤器）。2X100% 设置的排风机两台及相应的排风管网。

钍基熔盐实验堆正常运行期间，控制区送风子系统系统有一台新风机组运行，控制 I，II 区排风子系统一台排风机运行，控制 III 区排风子系统一台风机运行。在夏季，送风由 KAD 冷冻水系统进行冷却，以防止室内温度过高超过允许值，冬季新风经过电加热器加热，同时相关房间布置了民用型电加热器，维持房间温度要求。

所有的排风均经过预过滤器和高效空气粒子过滤器过滤。

当钍基熔盐实验堆停运期间，KLN 系统可以停止运行，冬季由布置在房间内的民用型电加热器维持室内的温度。在正常运行时，KLN 系统由设在受控设备附近的就地控制盘进行控制。

根据其重要性，相关信息通过计算机及控制系统采集并进行处理。在主控室显示主要通风设备的所有状态。

➤ LF1 厂房所有通风系统均属于非核级系统，所属设备均为非核级设备。

4.6 供电系统

本项目采用两路 10kV 市电电源作为正常工作电源，为回路系统、堆本体测量、堆本体控制棒、辐射安全、仪控系统、化学安全、消防水泵、实体保卫、除盐水制备、采暖通风、冷冻水、气体、熔盐制备、放废管理、给排水等工艺设备的用电负荷供电。为确保消防类和生产重要负荷的正常运行，基地在双路供电基础上采用柴油发电机作为备用电源。

柴油发电机组的容量较大，持续供电时间长，不受电网故障的影响，可靠性较高。同时，对于全厂断电后仍需供电 1 或 2 小时的辐射安全监测仪表、熔盐制备中控柜、仪控系统保护及控制柜等负荷采用 UPS1 供电，对于全厂断电后仍需供电 12 小时的事后监测仪、堆外核测柜、保护主处理柜、保护系统安全屏等负荷采用 UPS2、UPS3 供电。每套 UPS 的充电器上游电源引自柴油机应急母线段，旁路变压器上游电源引自正常低压母线段。如果全厂断电，每套蓄电池组仍能提供满足负荷需求的电源，可靠性较高。

本项目主体装置厂房内布置有变配电室、蓄电池间、柴油发电机间等设施，用于保障本项目正常用电。

4.7 放射性废物系统和源项

4.7.1 放射性贮量

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验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。主要的放射性源项包括：堆芯裂变产物源项、燃料盐回路的活化产物源项、冷却盐回路源项、覆盖气源项等。源项计算分析所用参数主要来自总体设计参数及各系统的设计参数。

4.7.2 放射性废气管理系统及排放源项

放射性废气管理系统用于收集、处理 TMSR-LF1 产生的气载放射性惰性气体、碘、氙及气溶胶颗粒等，从而将废气的年释放量以及厂区工作人员在控制区与非控制区内的受照剂量降低到合理可行尽量低的水平。

放射性废气管理系统包括主体装置厂房和放废处理中心的放射性废气处理系统，其中主体装置厂房内放射性废气处理系统包括：

- 控制区通风系统
- 覆盖气尾气处理系统

4.7.2.1 控制区通风系统

（1）系统功能

主体装置厂房设置送风系统。本设计保证通风系统的气流方向从低污染区到高污染区，控制区通风系统分为控制 I 区、控制 II 区、控制 III 区和禁止进入区域通风系统。控制 I 区负压保持 10~30Pa，控制 II 区负压保持 30~50Pa，控制 III 区和禁止进入区域（安全容器除外）负压保持 100~200Pa。控制 I 区换气次数 1~1.5 次/h，控制 II 区换气次数 1.5~2.5 次/h，

控制 III 区换气次数 2.5~3 次/h。控制 I、II、III 区和禁止进入区域的排风经空气过滤器净化处理后，在堆厂房经烟囱进行大气排放。

（2）设计基准

控制区通风系统的设备设计了合理冗余，采取了一用一备双风机设计，能够处理在主要工艺设备停运检修期间和产生过多废气期间的废气。

系统提供足够的处理能力，使气态排出物能以低于国家相关研究堆设计规定中控制值所限定的废气浓度排到环境中去。

（3）系统组成

按照辐射防护分区和功能设置，堆厂房控制区通风系统分为控制 I 区、控制 II 区、控制 III 区和禁止进入区域通风系统。

- TMSR-LF1 控制 I、II、III 区通风系统

a、在核设施正常运行时，确保人员健康及设备正常运行，保持核设施控制区所限定的室内温度。

b、按辐射分区的要求，限制房间内空气中的放射性水平。

c、控制气流经由厂房内的低污染区域流向高污染区，并在排向大气之前将污染空气的向外泄漏降至最低。

d、正常工况下，维持整个厂房负压以尽可能地将污染空气的向外泄漏降至最低。

- TMSR-LF1 禁止进入区域通风系统

a、降低各工艺间内气体裂变产物的浓度。

b、维持禁止进入区域工艺间与控制 I、II 区之间的负压。

控制区通风系统配套有 4 台空气过滤器，设备安装在堆厂房二楼的排风机房。控制 I、II 区通风系统设有空气过滤器（10KLNAT103、10KLNAT104）；控制 III 区和禁止进入区域通风系统设有空气过滤器（10KLNAT101、10KLNAT102），一备一用。

空气过滤器是由预过滤器和高效过滤器组成，预过滤器设在高效过滤器之前，除去气流中的中粗颗粒，以提高高效过滤器的使用寿命；高效过滤器用来捕集气流中的细小颗粒。空气过滤器由不锈钢材料制成的密封箱体和过滤器芯组成，过滤器芯安装在箱体内部。气体进出口方向采用左进右出。空气过滤器正常运行工况下的温度范围为 0℃~60℃，相对湿度为≤100%，安全等级为 NS（非安全级），质保等级为 QAN（非核质保级），抗震类别为一般抗震要求类。

（4）系统运行

- 1) 控制 I、II、III 区和禁止进入区域的通风经就地设置的空气过滤器（10KLNAT101、10KLNAT102、10KLNAT103、10KLNAT104）净化处理后，在堆厂房由烟囱进行大气排放。
- 2) 覆盖气尾气处理后的放射性废气接入控制 III 区通风管道，经空气过滤器（10KLNAT101 或 10KLNAT102）处理后经堆厂房烟囱排放。
- 3) 临堆分析热室的排风通过局排管道汇入到排风小室，在堆厂房经烟囱排放。
- 4) 添加盐混配区尾气经化学安全系统处理后接入控制 I 区通风管道，经空气过滤器（10KLNAT103、10KLNAT104）净化处理后在堆厂房经烟囱排放。
- 5) 低放废水暂存罐排气通过控制 I 区的空气过滤器（10KLNAT103、10KLNAT104）净化处理后在堆厂房经烟囱排放。
- 6) 核测孔道强制冷却气接入控制 III 区通风管道，经空气过滤器（10KLNAT101 或 10KLNAT102）净化处理后在堆厂房经烟囱排放。
- 7) 正常工况下，上安全容器循环通风冷却气体不排放；检修工况下，上安全容器检修通风接入控制 III 区通风管道，经空气过滤器（10KLNAT101 或 10KLNAT102）净化处理后在堆厂房经烟囱排放。

4.7.2.2 覆盖气尾气处理系统

（1）系统功能

尾气处理系统用于处理各工艺设备排放出来的尾气，包括主容器、冷却盐循环泵、燃料盐排放罐、冷却盐排放罐、添加盐储罐、基盐储罐等。尾气主要来自于堆芯内燃料盐产生的惰性气体、碘、碳-14 等，在循环流动时进入熔盐覆盖气，通过气体吹扫进入覆盖尾气处理系统，处理后排入控制区通风系统。

（2）设计基准

- 覆盖气尾气处理系统能提供足够的容量，关键设备碘吸附床考虑了 2 倍的设计裕度，活性炭吸附床的设计裕度为 3 倍。
- 覆盖气尾气处理系统中的隔离阀、燃料盐回路尾气过滤器、滞留盘管、碘吸附床、活性炭吸附床及以上设备之间的气体管道为安全级。
- 系统提供足够的处理能力，使气态排出物能以低于国家相关研究堆设计规定中控制值所限定的废气浓度排到环境中去。

- 系统中的承压设备尽可能采用焊接结构。只有因维修或运行需要才考虑法兰连接或快速拆卸接头。对不适用焊接的仪表采用螺纹、卡套或快速插头连接，但需保证其密封性。
- 承压设备的材料根据使用要求，从我国材料规格中选用。设备材料的规格应满足设备在制造、检验、维修、试验等方面的要求。
- 尾气处理系统在安装后，要对整个系统进行压力试验及气密性试验，在使用前需要使用高纯氩气进行吹扫，当系统某设备进行修改时，对系统重新进行压力试验和气密封性试验，并进行吹扫。
- 利用主控室的控制系统对废气处理进行监测和控制；
- 安全级隔离阀在控制室设置操作台盘，操纵员能手动操作关闭隔离阀。

（3）系统组成

根据工艺设备排出气体的不同，设置不同的尾气处理工艺，包括主容器覆盖气尾气处理工艺、冷却盐覆盖气尾气处理工艺和其它工艺尾气处理工艺。

1) 主容器覆盖气尾气处理工艺

主容器中覆盖气体由于与燃料盐相接触，运行中产生的放射性气体通过扩散进入覆盖气中。实验堆运行过程中，需对主容器上方的覆盖气进行在线处理。使用氩气吹扫，将覆盖气载带进入覆盖气尾气处理系统处理。吹扫气流量为 10L/min。

覆盖气尾气首先进入熔盐蒸汽过滤器（10KRCAT201），过滤器（10KRCAT201）用于过滤去除覆盖气尾气中的熔盐盐雾和放射性粒子，其过滤效率为 95%。之后进入气体滞留盘管（气体在盘管内滞留时间为 2h），滞留盘管出口的气体进入碘吸附床，用于滞留衰变放射性碘核素，碘在床体内的滞留衰变时间为 90d。碘吸附床出口的气体进入活性炭吸附床，用于滞留衰变放射性氦及氡核素，根据氦氡在活性炭上的动态吸附系数的不同，氦在活性炭吸附床内的滞留衰变时间为 60d，氡在活性炭吸附床内的滞留衰变时间为 2d。活性炭吸附床出口的气体经过过滤器（10KRCAT202 和 10KRCAT203），过滤去除固体粒子，过滤器（10KRCAT202 和 10KRCAT203）对粒子的总过滤效率为 99.98%，过滤器（10KRCAT203）出口的气体排入控制区通风系统。气体从进入处理系统到离开处理系统共需时 8h，也即覆盖气尾气处理系统对氦的衰变时间为 8h。

为避免熔盐蒸汽降温后沉积在管道内，在主容器出气管出口到过滤器（10KRCAT201）前的管道上进行伴热和保温处理。

覆盖气尾气处理系统管路及与管路相连的支路上设置有多个安全级隔离阀

（10KRCAA201—206），这些安全级隔离阀采用电磁阀结构，失电关闭设计。尾气管路上的隔离阀 10KRCAA201 和隔离阀 10KRCAA202 位于安全容器外，两阀串联，并与安全容器上的机械贯穿件焊接相连，在事故工况下关闭，可避免放射性气体向安全容器外释放。气体滞留盘管与碘吸附床之间设置有隔离阀 10KRCAA205，当发生安全容器外覆盖气体泄漏事故时，关闭此隔离阀，用于事故的应对缓解措施。另外，燃料盐取样时，取样器内腔室排放的尾气也接入尾气处理系统，在此管路上设置隔离阀 10KRCAA204；与覆盖气管路相连的支路上还设置有隔离阀 10KRCAA203 和隔离阀 10KRCAA206。隔离阀 10KRCAA202 到碘吸附床之间的气体管道采用双层管道，在双层管道之间设有压力监测，可监测到可能的管道气体泄漏。气体滞留盘管设备本身为双层结构，内部为金属管道，外部设有密封金属壳体，满足双层屏障要求。

主容器覆盖气尾气处理系统的主要设备有过滤器、滞留盘管、碘吸附床、活性炭吸附床等。

a) 尾气过滤器

尾气过滤器用于去除尾气中的熔盐颗粒物、放射性粒子等，防止管道、阀门等的堵塞，满足尾气排放中放射性粒子排放的要求。

尾气处理系统过滤器共设置 7 台，分别位于：主容器覆盖气尾气处理系统进口 1 台（10KRCA201）；活性炭吸附床出口 2 台（10KRCA202、10KRCA203）；冷却盐泵覆盖气尾气处理系统 1 台（10KRCA204）；燃料盐罐、基盐罐、冷却盐罐覆盖气尾气处理系统各设置 1 台（10KRCA205、10KRCA206、10KRCA207）。

覆盖气尾气进口温度为 600℃左右，尾气中夹杂有熔盐盐雾，覆盖气尾气进口到过滤器（10KRCA201）的管道采用伴热保温处理，以避免气体温度降低后气体中的熔盐盐雾沉降到气体管道内。

过滤器（10KRCA201）采用两级设计，第一级为冷凝沉降段，第二级为固体过滤段。气体在过滤器第一级通过自然冷却降温，温度降低到 100 度以下，熔盐蒸汽凝固为固态并沉积到腔体下方。过滤器第二级选用不锈钢金属烧结网作为滤材，满足对颗粒物过滤效率 >95% 的要求。

过滤器（10KRCA204、10KRCA205、10KRCA206、10KRCA207）结构与过滤器（10KRCA201）相同，只是安全分级不同，过滤器（10KRCA201）为 SC 级，过滤器（10KRCA204）为 NS（S）级，过滤器（10KRCA205、10KRCA206、10KRCA207）为 NS 级。

过滤器（10KRCAT202、10KRCAT203）为高效粒子过滤器。

b) 气体滞留盘管

气体滞留盘管用于覆盖气尾气中短寿命核素的衰变，同时去除衰变热，降低其后碘吸附床和活性炭吸附床的温度。气体在滞留盘管中的滞留时间为 2h，设备设计裕量为 1.5 倍。

滞留盘管采用 DN100 的 316L 材料盘制而成，滞留盘管筒体直径为 2.3m，筒体总高 4.75m，管道总长度约为 210m。

c) 碘吸附床

碘吸附床用于覆盖气尾气中放射性碘的吸附滞留衰变。覆盖气尾气中碘的化学形态可为元素碘和甲基碘，保守设计，在碘吸附床里考虑甲基碘的吸附。选择 TEDA 浸渍的活性炭作为甲基碘的吸附材料，对碘的吸附滞留时间为 90d。

碘吸附床为八段床体呈蛇形串联，入口与滞留盘管相连，出口与活性炭滞留床相连。每台碘吸附床进出口安装热电阻进行温度监测，在系统出入口处安装差压计，监测床体压损。碘吸附床第一段筒体直径为 60mm，第二至八段筒体为 120mm。第一段碘吸附床的筒体半径较小，可将衰变热迅速带离，第二至八段碘吸附床衰变热很小，基本不影响床体温度，故采用较大的床体直径。

d) 活性炭吸附床

活性炭吸附床用于对覆盖气尾气中放射性氦、氙的吸附滞留衰变。活性炭吸附床内填充椰壳活性炭作为吸附材料，吸附床对氦的滞留时间为 2d，对氙的滞留时间为 60d。

活性炭吸附床共分四级，每级四段，共 16 段床体呈蛇形串联，入口与碘吸附床相连，出口与高效过滤器（10KRCAT202）相连。第 1 至 4 段筒体直径为 127mm，第 5 至 8 段筒体为 180mm，第 9 至 12 段筒体直径为 356mm，第 12 至 16 段筒体直径为 1000mm，活性炭总装填量为 5100kg。每台活性炭吸附床进出口安装热电阻进行温度监测，在系统出入口处安装差压计，监测床体压损。第一级活性炭吸附床的筒体半径较小，可将衰变热迅速带离，第二至四级活性炭吸附床衰变热很小，基本不影响床体温度，故采用较大床体直径。

2) 冷却盐覆盖气尾气处理工艺

用于冷却盐泵排放出来的覆盖气体的处理。正常运行工况下，冷却盐回路覆盖气尾气中不含放射性气体，在尾气处理工艺中只设置过滤器去除熔盐颗粒物，然后通过管道排入

控制区通风系统。

3) 其它工艺尾气处理工艺

其它工艺尾气（添加盐罐覆盖气、基盐罐覆盖气、排放盐罐覆盖气、冷却盐储罐覆盖气）不连续排放，只是在熔盐装卸的过程中会有气体排出，并且放射性活度低，设计上将其通过过滤器过滤后排入控制区通风系统。

（4）系统运行

此处主要介绍主容器覆盖气尾气处理。

TMSR-LF1 采用在线吹扫的方式将覆盖气体吹扫进入尾气处理系统进行处理。在系统设备安装完毕后，需要进行全系统的气密性检测。然后用纯化后的氩气进行吹扫置换。

在主容器装料前，需要对堆本体进行除水氧操作，由于吹扫出来的气体中的水易被吸附床中的活性炭吸附，从而影响吸附床性能，故吹扫出来的气体不能经由吸附床管道排放，这时应关闭吸附床前阀门，吹扫气体由支路排放管道排放。

吹扫气进气口位于燃料盐循环泵上，吹扫气在泵轴环面沿轴向下持续吹扫（流量为 10L/min），由于 TMSR-LF1 堆本体采用一体化设计，燃料盐循环泵泵体坐落于主容器泵坑中，泵气腔与主容器上方气腔是相通的，因而燃料盐循环泵入口的吹扫气最终会进入主容器上方气腔内。主容器顶盖上方设有 DN25 规格的出气管，覆盖气体由此出气管进入尾气处理系统进行在线处理。

主容器上方覆盖气体总体积为 1.6m^3 ，吹扫气流量为 10L/min，在吹扫气进入主容器气腔后，由于气体的高扩散性，吹扫进入的氩气会与覆盖气体均匀混合。由于气体的吹扫是持续在线进行的，随着吹扫时间的增加，覆盖气体的放射性浓度会达到动态平衡，这时，随着气体在线吹扫和废气处理的进行，除了达到平衡浓度的 1.6m^3 覆盖气体外，其它产生的放射性气体均能得到有效地净化。

覆盖气尾气首先进入过滤器（10KRCAT201），过滤器（10KRCAT201）用于过滤去除覆盖气尾气中的熔盐盐雾，其对熔盐盐雾的过滤效率为 95%。之后进入气体滞留盘管（气体在盘管内滞留时间为 2h），衰变短寿命核素；滞留盘管出口的气体进入碘吸附床，碘吸附床用于滞留衰变放射性碘核素，碘吸附床对碘的滞留衰变时间为 90d。碘吸附床出口的气体进入活性炭吸附床，用于滞留衰变放射性氦及氙核素，活性炭吸附床对氦的滞留衰变时间为 60d，对氙的滞留衰变时间为 2d。活性炭吸附床出口的气体经过高效过滤器（10KRCAT202、10KRC AT203），用于过滤去除放射性粒子，高效过滤器（10KRCAT202、10KRCAT203）对放射性粒子的总的过滤效率为 99.98%。高效过滤器

（10KRCAT203）出口的气体排入控制区通风系统。气体从进入处理系统到离开处理系统共需时 8h，也即覆盖气尾气处理系统对氙的衰变时间为 8h。

系统设置有 2 个衰变罐，用于事故工况下覆盖气体的储存衰变。

实验堆正常运行时，工艺尾气经过滤、吸附衰变等处理后排入控制区通风系统，当工艺尾气无法达到排放要求时，降低反应堆运行功率，使其达到排放要求。若降低功率仍无法使工艺尾气排放满足排放要求，切断排放阀门，同时手动停堆检查。

实验堆停堆时，将主容器上方覆盖气静置衰变。然后运行卸料程序，卸料完成后使用氙气对主容器进行吹扫。

在实验堆停堆时，定期对尾气处理设备进行检查维护，并对压损超过设计范围的尾气过滤器进行更换。

对于事故工况，根据预报警或异常报警信号，操纵员手动停堆，并关闭燃料盐泵吹扫气隔离阀、覆盖气尾气隔离阀（10KRCAA201—AA206）。

4.7.2.3 放射性废物处理中心通风系统

（1）系统功能

放废处理中心分为监督区和控制区，监督区自然通风，控制区负压保持 10~30Pa。放废处理中心控制区设送风系统，送风经过过滤，加热（冬季）送入房间。通风系统保证区域内的正常换气并使控制区和暂存库区保持相对负压。放废处理中心控制区和暂存库区排风经空气过滤器（10KPLAT501-502）过滤后，在放废处理中心经排气筒向外排放。

（2）设计基准

- 降低放废处理中心控制区放射性气体的浓度。
- 维持放废处理中心监督区与控制区之间的负压，控制区负压保持 10~30Pa。

（3）系统组成

放射性废物处理中心通风系统配套有 2 台空气过滤器，设备安装在放废处理中心二楼的排风机房。控制区通风系统设有空气过滤器（10KPLAT501）；暂存库区通风系统设有空气过滤器（10KPLAT502）。

空气过滤器由 06Cr19Ni10 材料制成的密封箱体和过滤器芯（包含初效过滤器芯+高效过滤器芯，圆筒式）组成，过滤器芯安装在箱体内部。气体进出口方向采用左进右出。空气过滤器正常运行工况下的温度范围为 0℃~60℃，相对湿度为≤100%，安全等级为 NS（非安全级），质保等级为 QAN（非核质保级），抗震类别为一般抗震要求类。

（4）系统运行

1) 放废处理中心控制区和暂存库区的正常排风经空气过滤器（10KPLAT501、10KPLAT502）净化处理后，在放废处理中心由排气筒进行大气排放。

2) 呼排系统和分拣压缩装置的排气接入控制区排风管道，经空气过滤器（10KPLAT501）净化处理后在放废处理中心经排气筒排放。

3) 空气载带排放系统的排风通过局排管道汇入到排风小室，在放废处理中心经排气筒排放。空气载带排放系统描述详见 4.7.3.2。

4.7.2.4 排放源项

（1）尾气中的放射性

TMSR-LF1 正常运行时，供气系统使用氩气（流量为 10L/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、活性炭吸附床等对气载放射性物质进行处理。

（2）尾气处理间中的放射性

尾气处理设备存在一定的泄漏情况，泄漏出来的放射性气体释放到尾气处理系统设备隔间内，由通风管道接入厂房排风系统，过滤后经主体装置厂房烟囱排放到环境中。正常运行情况下，碘吸附床的漏率为 $10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ，活性炭床的泄漏率为 $10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。碘吸附床隔间内空气体积约为 40 m^3 ，活性炭床隔间内空气体积约为 100 m^3 。正常运行情况下，碘吸附床隔间和活性炭吸附床隔间为禁止进入区域，每小时换气 2.5~3 次。

（3）安全容器中的放射性

安全容器中的放射性物质主要来源于安全容器内空气活化和覆盖气泄漏两个方面。

TMSR-LF1 反应堆正常运行时，安全容器中的空气会受到堆芯中子的照射而发生活化反应，生成 ^{37}Ar 、 ^{39}Ar 和 ^{41}Ar 等活化产物。覆盖气通过气路设备、反应堆主容器、燃料盐泵和尾气处理设备等接口泄漏的总漏率为 $5.09\text{E}-08 \text{ m}^3/\text{s}$ ；安全容器内放射性气体的泄漏率为 10^{-9} L/s 。安全容器内的空气体积约为 173 m^3 。

（4）厂房大厅中的放射性

从安全容器泄漏出来的气载放射性物质将扩散到厂房大厅内，厂房大厅为控制 II 区，通风换气次数为每小时 1.5-2.5 次。按设计，厂房大厅空气有效体积约 2000 m^3 。

（5）非能动余热排出系统中的放射性

TMSR-LF1 在安全容器内设有非能动余热排出系统，非能动余热排出系统工作时，空气流经安全容器内，空气受到中子照射而活化产生放射性。

（6）探测器孔道中的辐射源项

TMSR-LF1 设置有堆外探测系统对反应堆参数进行探测，共计布置 6 个探测器，从 0m 层厂房大厅起始，止于下堆舱底部。其中 3 个探测器孔道位于保温层与蛇纹石混凝土之间（孔道类型 I），3 个探测器孔道位于蛇纹石混凝土层内（孔道类型 II）。孔道内使用流通空气对探测器进行冷却。

（7）停堆检修期间的气载放射性

TMSR-LF1 停堆后，安全容器及尾气处理间内的放射性气体静置衰变，使其中的短寿命核素衰变，此后安全容器内进行换气。与此同时，尾气处理系统使用氩气对堆芯覆盖气进行吹扫置换，同时覆盖气中的放射性物质发生衰变。拆除设备时，残余的覆盖气会释放到安全容器中，释放量不超过 0.01vol%。

TMSR-LF1 每年满功率连续运行 60 天，钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地气载流出物年排放量：惰性气体排放量为 $5.62\text{E}+12\text{Bq/a}$ ，气载碘的排放量为 $2.07\text{E}+06\text{Bq/a}$ ，气载粒子的排放量为 $1.74\text{E}+04\text{Bq/a}$ ，气态氙的排放量为 $1.44\text{E}+14\text{Bq/a}$ ，气态 C-14 的排放量为 $1.46\text{E}+08\text{Bq/a}$ ；

4.7.3 放射性废液管理系统及排放源项

4.7.3.1 设计基准

放射性液体废物管理系统的设计基准如下：

（1）本系统用于管理以下几种液体废物：

- 人员清洁和洗衣产生的洗涤废液；
- 热室、添加盐混配间和清洗间产生的低放废水；
- 熔盐泵检修过程和设备清洗产生的有机废液；
- 热室内燃料盐分析过程产生的中、高放废液。

（2）主体装置厂房产生的低放废液和洗涤废液通过管网转运至放射性废物处理中心内。

（3）本系统根据液体废物的来源、放射性浓度及化学组成等，对废液进行分类收集、处理。

（4）本系统所有的放射性液体废物不以液态形式向环境排放。

（5）本系统洗涤废水尽可能复用，少量不能复用的洗涤废液采用空气载带方式排放。

（6）高放液体废物暂存在临堆分析热室内的专用贮存井内，退役时再统一处理。

4.7.3.2 系统描述

TMSR-LF1 主体装置厂房的放射性废液包括高放废液、中放废液、低放废水、洗涤废液和有机废液。

高放废液来源于热室内燃料盐质量分析过程中产生的燃料盐溶解液、稀释液等；

中放废液来源于热室内燃料盐质量分析过程产生的燃料盐稀释液、样品残留液、分析废液等；

低放废水来源于热室区域的热室 B（LF1308）、热室 C（LF1309）、从动手清洗室（LF1305），以及清洗间（LF1318）、添加盐混配尾气处理间（LF1326）和分析间（LF1334）。

洗涤废液来源于主体装置厂房的男女去污室（LF1352 和 LF1340）、热室操作区（LF1302）、添加盐混配尾气处理间（LF1326）与分析间（LF1334），以及放废处理中心的男女去污室（02-262 和 02-369）与洗衣房（02-377）。

有机废液来源于熔盐泵检修过程产生的废润滑油和设备清洗产生的废有机去污剂等。

根据废液的放射性水平和性质，设置低放废水、有机废液的收集、转运和暂存系统，洗涤废液的转运、暂存和处理系统，以及中放废液、高放废液的收集和暂存系统。

（1）低放废水收集、转运和暂存系统

本系统由 2 个 1m^3 低放废水收集罐（V0101A/B）、1 台低放废水砂过滤器（S0101）、2 台低放废水转运泵（P0201A/B）、2 个 50m^3 低放废水暂存罐（V0201A/B）和相应的阀门、管道组成。

（2）洗涤废液收集、转运和暂存系统

本系统由 2 台洗涤废液转运泵（P0202A/B）、2 台洗涤废液砂过滤器（S0203A/B）、3 个 3m^3 洗涤废液暂存罐（V0202A/B/C）、空气载带排放系统（M0201A/B）和相应的阀门、管道组成。

（3）空气载带排放系统

洗涤废液进行集中收集并经检测合格后，采用空气载带方式将其“液转气”排放。洗涤废液年产量为 10m^3 ，活度浓度低于 10Bq/L ，经计算，洗涤废液载带年排放的总活度低于 $1\text{E}+05\text{Bq/a}$ ，相对于 TMSR-LF1 气态流出物年排放量，其影响可以忽略。空气载带排放系统由载带设备、暂存罐、空气过滤器、轴流风机、设备仪控、管道阀门以及配套附件等组成。在洗涤废液接收罐到一定量时，采用空气载带排放系统对这些废液进行连续运行处理。

（4）有机废液收集、转运和暂存系统

本系统由 2 个 60L 的有机废液收集罐（V0104A/B）、2 个 250L 的有机废液暂存罐（V0211A/B）和相应的阀门、管道组成。

（5）中放废液收集、暂存系统

本系统由 10 个 5L 的中放废液收集罐（V0212）组成。

（6）高放废液收集、暂存系统

本系统由 2 个高放废液暂存阱组成。

4.7.3.3 系统运行

4.7.3.3.1 低放废液

TMSR-LF1 主体装置厂房内各点产生的低放废水，通过所在区域手套箱内的排水口自流至 2 个 1m³ 低放废水收集罐（V0101A/B）。待收集罐中的低放废水收集至一定量后，通过低放废水转运泵（P0201A/B）经砂过滤器（S0101）和室外特排管道输送至放射性废物处理中心 2 个 50m³ 低放废水暂存罐（V0201A/B）进行暂存。

4.7.3.3.2 洗涤废液

TMSR-LF1 主体装置厂房各点产生的洗涤废液，通过室外特排管道自流至放射性废物处理中心内的 3 个 3m³ 洗涤废液暂存罐（V0202A/B/C）。放射性废物处理中心男女去污室和洗衣房产生的洗涤废液，通过管道自流至放射性废物处理中心内的洗涤废液暂存罐（V0202A/B/C）。待暂存罐内废液积累至一定量后，经检测，对于放射性活度浓度 ≤ 10 Bq/L 的废液通过转运泵（P0202A/B）经砂过滤器（S0203A/B）过滤后，通过空气载带排放系统（M0201A/B）将其“液转气”排放。对于放射性活度浓度 > 10 Bq/L 的废液通过转运泵（P0202A/B）经砂过滤器（S0203A/B）过滤后输送至低放废水暂存罐（V0201A/B）进行暂存。

4.7.3.3.3 有机废液

TMSR-LF1 主体装置厂房产生的有机废液人工收集至 2 个 60L 的有机废液收集罐（V0104A/B）。收集至一定量后，采用废物转运车（10KPAAD007）转运至放射性废物处理中心内的 2 个 250L 有机废液暂存罐（V0211A/B）内暂存。

4.7.3.3.4 中放废液

TMSR-LF1 热室产生的中放废液集中收集于热室内 5L 的中放废液收集罐（V0212）内，收集的中放废液达到一定体积后，通过屏蔽运输容器（Padirac 容器）将中放废液收集罐（V0212）转出热室并转移至主体装置厂房内进行暂存。

4.7.3.3.5 高放废液

TMSR-LF1 热室内产生的高放废液在热室内就地暂存，热室内设置 2 个暂存阱用于暂存高放废液。

4.7.3.4 排放源项

TMSR-LF1 产生的放射性废液不通过液态途径向环境排放。其中高放废液暂存在 TMSR-LF1 热室内专门设置的暂存阱内；中放废液暂存在 TMSR-LF1 主体装置厂房内；低放废水和有机废液分别暂存在放射性废物处理中心的低放废水暂存罐和有机废液暂存罐内。经检测合格的洗涤废液通过空气载带排放方式向大气环境排放，其排放量与 TMSR-LF1 主体装置厂房气载流出物年排放量相比可忽略。

TMSF-LF1 主体装置厂房产生的放射性废液包括高放废液、中放废液、低放废水、洗涤废液和有机废液。

(1) 高放废液，产生于热室内燃料盐分析过程产生的燃料盐溶解液、稀释液等。

(2) 中放废液，产生于热室内燃料盐分析过程产生的燃料盐稀释液、样品残留液、分析废液等。

(3) 低放废水，产生于热室区域的热室 B (LF1308)、热室 C (LF1309)、从动手清洗室(LF1305)，以及清洗间(LF1318)、添加盐混配尾气处理间(LF1326)和分析间(LF1334)。

(4) 洗涤废液，产生于主体装置厂房的男女去污室 (LF1352 和 LF1340)、热室操作区 (LF1302)、添加盐混配尾气处理间 (LF1326) 与分析间 (LF1334)，以及放废处理中心放射性废物处理中心的男女去污室 (02-262 和 02-369) 与洗衣房 (02-377) 产生的人体去污和洗衣废液；

(5) 有机废液，产生于熔盐泵检修过程产生的废润滑油和设备清洗去污产生的有机去污剂等。

4.7.4 放射性固体废物管理系统及废物量

放射性固体废物管理系统用于收集和暂存 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆在正常运行以及预期运行事件中产生的放射性固体废物。

TMSR-LF1 放射性固体废物根据其放射性水平分为低放固体废物、中放固体废物和高放固体废物。其中，低放废物根据其类型分为低放可压缩废物、低放不可压缩废物和废通风过滤器滤芯。本项目产生的放射性固体废物主要有以下几种类型：

- 1) 可压缩性低放废物：如更换下来的软质非金属设备及部件，运行和检修过程中被放射性沾污的各种纸张、擦拭布、废弃的工作服、手套、口罩、鞋、塑料布等。
- 2) 不可压缩性低放废物：主要指废弃的小型金属设备及零部件、废玻璃器皿等杂项废物。
- 3) 废过滤器芯：来自废气处理系统的预过滤器、高效过滤器。

- 4) 中放固体废物：主要是临堆分析热室产生的镍质滤芯、氟化钠、氟化物熔盐、报废设备等。
- 5) 高放固体废物：临堆分析热室产生的极少量废熔盐、废滤芯、废锡囊等。

4.7.4.1 设计基准

放射性固体废物管理系统的设计基准如下：

- (1) 本系统用于管理以下几种固体废物：
 - 可压缩性低放废物；
 - 不可压缩性低放废物；
 - 废过滤器芯；
 - 热室产生的中放和高放固体废物。
- (2) 本系统中低放固体废物的暂存和处理在放废处理中心内进行，放废处理中心为一独立建筑，主体装置厂房产生的放射性固体废物收集后转运至放废处理中心内。
- (3) 本系统根据固体废物的种类及放射性水平，对废物进行分类收集、处理与暂存。
- (4) 本系统固体废物包装容器采用 200L 标准桶。
- (5) 可压缩固体干废物装桶后进行压缩减容，其它固体干废物装桶后暂存。
- (6) 废通风过滤器滤芯首先进行暂存衰变，达标后可清洁解控，剂量较高的装桶整备后暂存。
- (7) 本系统废物暂存库容量能够满足 5 年贮存需求，定期送往国家指定的放射性废物处置场处置。
- (8) 高放固体废物暂存在分析热室内的专用贮存井内，退役时再统一处理。

4.7.4.2 系统描述

(1) 系统组成

放射固体废物处理系统包括固体废物收集转运、废物分拣压缩、洗衣房和固体废物暂存库。

固体废物收集转运包括：主体装置厂房内设置的固体废物收集间、转运间；园区内的废物转运车和屏蔽转运容器。

固体废物分拣压缩主要包括低放固体废物分拣压缩装置和配套电子称。

洗衣房包括洗脱烘干一体机、分拣平台、平板推车等。

(2) 工艺描述

放射固体废物处理系统包括固体废物收集转运、废物分拣压缩、洗衣房和固体废物暂存库。

● 固体废物收集转运

固体废物收集转运包括 1) 主体装置厂房内设置的固体废物收集间（LF1-321）、转运间（LF1-322）；2) 园区内的废物转运车（10KPAAD007）和屏蔽转运容器（BB901）；

工艺流程：低放固体废物按可压缩废物和杂项废物进行分类收集，在固体废物收集点设置废物袋，不同种类的废物装入不同的废物袋内。各种废物袋设置标识，注明袋内应放置的废物类别、表面剂量率、主要核素及其放射性活度浓度。废物袋集中存放在固体废物收集间（LF1-321）。

固体废物收集间（LF1-321）内的废物待收集至一定数量后通过转运间（LF1-322）集中转运至放废处理中心。固体废物可利用废物转运车（10KPAAD007）在园区内转运。表面辐射水平较高的固体废物和中放固体废物在产生点采用收集容器收集，待收集一定数量后将收集容器放入屏蔽转运容器（BB901）内，利用废物转运车（10KPAAD007）转运至放废处理中心。

分类收集后的固体废物最终通过厂区废物转运车、吊装设备和远程操作系统等转移至放废处理中心指定位置。

● 固体废物分拣压缩

固体废物分拣压缩装置的主要功能是把混杂在可压缩废物中的少量不可压缩废物分拣出来，并通过桶内压缩的方式对可压缩废物进行压缩减容处理，以达到减少放射性固体废物的体积，合理优化库容的目的。最终产生满足暂存、外运及最终处置要求的放射性废物包。

工艺流程描述如下：

a) 使用废物转运车（10KPAAD007）将废物运输至放废处理中心的分拣压缩区（02-316），待废物收集至一定量后进行压缩处理。

b) 废物桶空桶准备与输送：首先利用抱桶叉车（10KPAAD003）将空桶放置在辊道上，开盖后通过辊道将空桶输送至压缩工位，定位后辊道停止。将第二个空桶通过抱桶手推车（10KPAAD004/005）运输至分拣工作箱的液压平台上，移除抱桶手推车（10KPAAD004/005）后通过触摸屏操作启动液压升降平台将空桶与分拣箱废物下料口自动对接；

c) 待分拣废物袋开袋：通过手推车将装载废物收集袋的废物桶运输至准备工位。操作触摸屏开启分拣箱加料口，将废物收集袋放至开袋分拣平台上。关闭加料口，操作人员通过手套孔，用剪刀将废物袋开袋，将废物倾倒平摊在分拣平台上。

d) 废物分拣：操作人员在通过手套孔利用辅助分拣工具，按照可压缩废物和不可压缩废物分类，将不可压缩废物通过废物下料口放入不可压缩废物收集桶内，将可压缩废物通过下料溜槽放至可压缩废物桶内。

e) 废物压缩：当可压缩废物桶内装载达到一定量后，启动压缩机，对废物桶内的可压缩废物压缩。压缩完成后，关闭压缩机并将压缩机复位，继续向废物桶内装可载压缩废物。重复压缩、装载操作，直至废物桶内的可压缩废物装载量达到要求。

f) 废物桶封盖：可压缩废物桶装满后，通过辊道将废物桶从压缩工位运输至转运工位，定位后关闭辊道，再关闭提升门，封盖并拧紧桶盖螺栓。不可压缩废物桶装满后，通过抱桶手推车（10KPAAD004/005），将废物桶降低后移出分拣工位，封盖并拧紧桶盖螺栓。

g) 废物桶转运：废物桶封盖后，测量表面污染水平及 1m 处辐射水平，通过抱桶叉车（10KPAAD003）将压缩废物桶取下，并放置在电子秤（10KPACW001）上承重记录，再运输至废物暂存库，通过吊车（10KPAAF001）吊运至低放废物暂存区（02-323）暂存。

● 洗衣房

洗衣房用于对工作人员的工作服进行清洗处理，洗衣房设置在放废处理中心内，洗衣房设置有分拣台、衣物检测仪、洗衣机、烘干机等设备。经过洗涤后大部分工作服可以复用，无法复用的工作服直接作为可压实固体废物进行处理。

● 固体废物暂存库

固体废物暂存库设置在放废处理中心内，系统按废物的辐射水平、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。低放废物暂存区内废物桶按两层码放，能够贮存约 250 桶废物；中放废物暂存区贮存能力为 30 个 200L 标准桶。待解控废物包存放于待解控废物暂存区。

暂存库设置有 1 台 10t 双梁数控吊车，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，减少工作人员在废物暂存库内工作时间。吊运监控系统和废物信息管理系统设置在吊运控制室内，可对吊车进行远程操作，和对废物出入库信息进行统计记录。系统贮存固体废物包的周期为 5 年。

4.7.4.3 系统运行

低放固体废物按可压缩废物和杂项废物进行分类收集，在固体废物收集点设置废物袋，不同种类的废物装入不同的废物袋内。各种废物袋设置标识，注明袋内应放置的废物类别、表面剂量率、主要核素及其放射性活度浓度。废物袋集中存放在固体废物收集间。

固体废物收集间内的废物待收集至一定数量后通过转运间集中转运至放废处理中心。固体废物可利用废物转运车在园区内转运。表面辐射水平较高的固体废物和中放固体废物在产生点采用收集容器收集，待收集一定数量后将收集容器放入屏蔽转运容器内，利用废物转运车转运至放废处理中心。

低放固体废物经分拣后，将少量不可压缩废物从可压缩废物中分离出来。对可压缩废物进行压缩减容处理，最终产生满足暂存、外运及最终处置要求的放射性废物包。

主体装置厂房产生的脏衣物进行分类收集，定时通过园区废物转运车由主体装置厂房物流通道转运至放废处理中心的洗衣房。将脏衣物平铺在分拣平台，使用分拣仪对衣物进行监测，对表面污染超过 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的外衣，超过 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的内衣，则直接将其作为固体可压缩（放射性）废物进行处理。对表面污染低于上述限值的衣物，则进行洗消、脱水、烘干、整理折叠后复用。经洗涤、烘干后外衣的表面污染水平低于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、内衣的表面污染水平低于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 时则可作为劳动保护用品继续穿戴，超过上述限值的作为固体废物处理。

固体废物暂存库设置在放废处理中心内，系统按废物的辐射水平、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。低放废物暂存区内废物桶按两层码放，能够贮存约 250 桶废物；中放废物暂存区贮存能力为 30 个 200L 标准桶。待解控废物包存放于待解控废物暂存区。系统贮存固体废物包的周期为 5 年。

4.7.4.4 放射性废物最小化

废物最小化，是指使放射性废物的体积及其放射毒性实现合理可达的最小化。实现核废物的最小化，可以大大减少需要处置的废物体积，从而带来巨大的经济效益、社会效益和环境效益。所以废物最小化成为当今放射性废物管理的重要目标。

（1）优化管理

制定园区放射性废物管理规程，并严格按照规程执行，已编制了《中科院上海应用物理研究所武威园区放射性废物管理规程》。严格废物分类，将园区的放射性废液按照洗涤废液、低放废水、有机废液、中放废液、高放废液进行分类收集和管理；将放射性固体废

物按照低放废物、中放废物和高放废物进行分类和管理，其中低放废物又按照可压缩废物、不可压缩废物和废过滤器芯进行分类和管理。建造独立的放废处理中心用于接收、暂存园区产生的中、低放射性固体废物，并进行分区存放，在 LF1 堆厂房热室内设置有专门的贮存井，用于暂存高放废物。

（2）减少源项

减少源项是实现废物最小化重要和有效的做法，从源头抓起，减少废物的产生，故园区采取了多种有效的措施。一是严格废物分类收集与存放处理，防止交叉污染；二是严格辐射分区制度，将放射性区域分为监督区、控制区（I、II、III）和禁止进入区，合理设置气流、物流、人流走向；三是减少污染区数目和范围，严格控制进入污染区的人员、工具和材料，尽量减少现场工作人员，如在放废处理中心设置远程操控行车，减少直接操作的受照和废防护衣物的产生及去污所产生的废物。

（3）再循环和再利用

再循环/再利用不仅可以减少废物量，还可以节省资源，适应可持续发展要求。TMSR-LF1 建设所在地为西部干旱地区，运行过程中产生的洗涤废液和一次蒸汽冷凝水将进行再循环和再利用。脏衣物经分拣仪对衣物进行平铺监测，对表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的外衣，小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的内衣进行洗消、脱水、烘干、整理折叠后复用。屏蔽转运容器和检修工具将进行多次使用。

（4）减容处理

采用改进的处理工艺和管理方法减少废物的体积。一是对废物进行分拣，分别在废物的产生点和放废处理中心对不同污染水平的废物进行分拣，分拣出可解控的废物从而减少放射性废物的体积；二是压实减容，在放废处理中心设置 20t 分拣压缩系统，用于脏衣物、手套等可压缩废物的压实，降低废物的体积；三是去污，在 TMSR-LF1 设置了清洗去污间（LF1318），去污间内设有清洗手套箱（V0105）用于废物的去污，降低废物的放射性水平或作为非放射性废物处理，减少废物的数量和体积。

4.7.5 乏燃料贮存系统

在 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆寿期内，燃料盐一直在堆内运行，不形成另外的乏燃料盐，在反应堆退役前，无需考虑乏燃料的贮存问题。

4.8 化学物质排放

4.8.1 化学物质排放

本项目基盐和添加盐制备产生的工艺尾气包括 H_2 ，HF 和微量熔盐气溶胶，需设置专

门的化学废气处理工艺。其产生的化学废气通过冷凝气体缓冲罐去除微量的熔盐气溶胶，通过稀释处理 H_2 ，通过两重碱液处理吸收 HF ，处理工艺去除效率达到 99%，经处理后的化学废气采用独立管道排放至烟囱，烟囱高度为 26m。

本项目运行期间化学品使用主要来自熔盐分析与质量控制、堆运行化学检测、化学安全监测与应急等任务。化学品统一采购后按照国家规定分类分区存放于试剂仓库（05），专人管理。

本项目运行期产生的化学废液主要来自化学实验产生的无机、有机废液，以及应急状态下熔盐沾污设备和场所去污产生的含铍、氟废液，年产生量 $6m^3/a$ 。产生的化学废液不排放，使用 20L 废液桶收集并暂存在试剂仓库（05），每年交由具有相关资质的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）（持综合许可证，编号 G3620102005）进行统一处理处置。

4.8.2 生活废物

生活废物包括 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆配套项目园区产生的生活垃圾、生活污水。

园区内科研人员和其他工作人员产生的生活垃圾按规定在园区设置垃圾收集暂存箱，并委托红砂岗镇环卫部门定期外运处理。本项目运行期间生活垃圾产生量约为 0.5 吨/天。

部分来自学术活动中心、园区综合服务中心等处卫生设备的生活污水汇集至园区的中水生产站（已填表备案）经处理达标后，回用于绿化、道路浇洒和洗车等。园区中水生产站的设计规模为 $50m^3/d$ ，其容量满足上述生活污水的处理需要。

其余生活污水通过园区相应污水管网汇集，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。此类生活污水排放执行《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。

4.8.3 其他废物

运行期产生的其他废物主要为非放射性含油废水、固体废物等。

本项目非放射性含油废水为柴油发电机间及相邻油罐间的含油废水及消防后含油消防排水，排至室外含油废水储存池，消防后对含油废水储存池内的含油废水进行清理及外运处置。

本项目运行期产生的固体废物主要包括危险废物和一般工业废物。一般工业废物主要为净水站处理过程中产生的污泥和用过的不含有游离液体或有害物质的废弃膜元件，污泥产生量与原水水质和药剂添加量有关。一般工业废物按照工业垃圾固体废物进行处置，按

规定在红沙岗工业集聚区管理委员会安全环保科工作人员见证下，运送至红沙岗工业集聚区一般工业固体废弃物填埋场处置。红沙岗工业集聚区一般工业固体废弃物填埋场位于民红路以南，规划库容 20 万立方，目前 10 万立方的填埋场已建设完成并投入使用。危险废物主要为有毒废物（废熔盐、熔盐泊污的设备耗材等非放射性有毒固体废物）和空瓶（空试剂瓶等），每年产生量约 5t。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），待达到一定数量后，委托经甘肃省危险废物处置中心许可的具有化学品运输、处置资质的单位（甘肃金创绿丰环境技术有限公司）统一外运、处理和处置。

4.9 放射性物质厂内运输

4.9.1 新燃料厂内运输

本项目新燃料运输仅涉及添加盐，燃料盐由添加盐和基盐在临堆燃料装卸区混合后直接入堆，无需运输。

添加盐在场内经历两次输运，包括：从添加盐混配主反应区输运至添加盐及四氟化铀储存间；从添加盐及四氟化铀储存间输运至添加盐加载点。

4.9.2 乏燃料厂内运输

在 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆寿期内，燃料盐一直在堆内运行，不形成另外的乏燃料盐，在反应堆退役前，无需考虑乏燃料的厂内运输问题。

4.10 退役考虑

4.10.1 概述

对反应堆来说，退役是继选址、设计、建造、试运行和运行之后的最后一个阶段。它是一个包括源项调查、去污、厂内设备和系统的拆除、建筑物和结构的拆毁及对产生的废物进行处理、整备、处置等操作的过程。所有这些活动均要考虑操作人员和普通公众的健康和安全要求，也要考虑对环境产生的任何影响。目前越来越多的反应堆退役研究和经验表明，必须在设计、建造和运行阶段就对将来反应堆的退役进行充分考虑。选择合适的退役策略，尽可能在厂址选择、总图布置、材料选择、系统设计、建（构）筑物设计及设备布置等方面考虑退役因素，可以有效减少退役期间工作人员和公众的受照剂量，将退役对环境的影响和废物产生量降至可合理达到的尽量低，尽可能降低将来退役施工的难度和费用。本节主要对 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）项目将来退役时的策略选择和阶段划分、退役计划的制定提出了初步设想，阐述了在设计阶段应考虑的有关因素和要求，并在退役费用和管理方面提出了考虑和设想。

4.10.2 退役策略选择

目前国际原子能机构推荐的退役策略分为两种：立即拆除和延迟拆除。

- 1) 立即拆除是将被放射性污染的设备、结构和设施的污染部分移除或者去污至允许设施开放用于无限制使用或者由监管机构进行有限制使用水平的策略。在这种情况下，退役执行活动在运行停止后的短时间内就开始进行。这个策略隐含指出退役项目应该立即完成，包括将设施中的所有放射性材料移除至另一个新的或者已经存在的有资质的设施中进行长期贮存或者处置。
- 2) 延迟拆除是将设施被放射性污染的部分处理或者放置在一定条件下一段足够的时间，直到可以进行后续的去污和/或拆除等操作，从而最终达到允许设施开放用于无限制使用或者由监管机构进行有限制使用水平的策略。

立即拆除策略要求在反应堆停止运行后的短时间内就开始进行退役，在这种情况下，反应堆内部分区域的放射性水平较高，要求采用更为先进的技术并对工作人员提供更为严格的保护以降低工作人员所将受到的辐射照射；延迟拆除也许会减少退役所产生的放射性废物的量，并减少对现场人员的辐射照射，但有可能因延迟拆除导致出现系统包容性恶化、档案资料散失、人员流失及长期监督维护需要高额费用支撑等缺陷。

上述两种策略各有利弊，具体选择何种策略需要充分考虑反应堆所在国家有关退役的法规政策、放射性废物管理能力、从事退役的工作人员、退役费用估算和筹资方式、退役技术发展及其对安全及环境的影响等方面的因素，满足反应堆所在国家的放射性废物管理和核能发展战略要求。

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）项目在设计中考虑将低、中、高水平放射性废液收集暂存以及高放固体废物暂存，并留待退役时统一处理，未考虑在运行寿命内进行上述放射性废物的处理整备，如果采取立即拆除策略，需要考虑对上述废物的处理、长期安全存放或外运等相关手段的规划并预留经费。

综合比较各策略并考虑到国际上退役领域的发展趋势以及退役拆除技术的水平，针对 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）项目推荐选择立即拆除的退役策略。理由如下：

- 实行立即拆除策略可最大程度实现工作人员的平稳过渡并避免人才及资料流失等情况的发生。
- 通过已完成的核设施退役工程，我国积累了大量的核设施退役经验，结合国内外退役技术的发展及国内外交流合作的日益紧密，可保证待 2MWt 液态燃料钍基熔

盐实验堆（TMSR-LF1）退役时有可利用的技术及设备满足立即拆除的要求。

综合上述分析，2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）退役选择立即拆除的退役策略是合适的。

4.10.3 退役计划的制定

退役最终目标的实现取决于周密和有组织的计划。国家核安全监管部门要求新建核设施要制定退役计划。计划的内容、范围和详细程度应根据设施的复杂性和潜在危害的不同进行调整。反应堆退役计划分三个阶段制定和提交，即：初始计划、中期计划和最终计划。三个阶段计划的内容应逐步深入、完善、细化和优化。其中安全分析和环境影响评价是退役计划安全实施的关键。

4.10.3.1 初始退役计划

初始计划的制定要考虑以下几方面的问题：退役可行性的一般分析；退役涉及到的安全问题的基本考虑；退役实施对环境影响方面的考虑；退役费用及筹资方式；明确退役期间需使用的现有设施、系统和设备。

4.10.3.2 中期退役计划

反应堆运行期间需要对初始退役计划进行定期审核、更新和细化，以制定中期退役计划（若发生重大事故时应立即升版）。需要更新和细化的内容包括：国家有关退役政策和法规的变化；退役技术的发展；退役实施时可能发生的异常事件；对影响退役计划的系统和结构的重大修改；退役费用的估算及落实情况。

4.10.3.3 最终退役计划

反应堆安全关闭前要提交详细的最终退役计划，作为关闭申请和退役申请的支持性文件，其内容深度应符合国家核安全监管部门的相关规定。

4.10.4 退役方案简述

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）的退役，考虑需要经历安全关闭期——厂房内放射性物项拆除——建（构）筑物去污、拆毁——场址清理等几个主要步骤，下面对退役方案简要介绍如下：

在安全关闭期进行必要的系统倒空、系统去污等工作，有效降低待拆除物项的放射性水平。退役开始前建立手段妥善处理运行时存放和退役产生的废液。

退役拆除阶段，按照确定的退役顺序，对存在放射性的厂房内物项进行拆除。拆除时对于放射性水平较高的部件（如反应堆容器、堆内构件、石墨组件等）采取远距离遥控解体的拆除方式；对于受污染较重设备（如熔盐-熔盐换热器、主泵等），可将其整体移至适

当位置进行解体，尽量选择冷切割工具，当冷切割不能满足切割要求时，辅以热切割方式，并在热切割工位旁设置移动式通风装置，为了减少人员辐照剂量或降低工作人员劳动强度，可选择使用机器人或自动切割设备进行切割拆除等操作；对于轻微污染的设备，经必要的擦拭去污后进行拆除，经检测达到解控标准后暂存，经审管部门认可后解控；对于电缆及其架桥等物项，经表面擦拭去污后，进行剥离等处理，达到解控标准的可解控。

当厂房内物项全部拆除完毕后，对建（构）筑物墙、地面的放射性进行调查，根据调查结果制定相应的去污方案。最后对整个厂房建（构）筑物进行表面剥离去污，直至解控。

根据退役目标对厂房建（构）筑物进行去污，然后进行建（构）筑物拆毁。

最后进行场址清理工作，对场址内污染地面的土壤进行清理及分类收集，直至达到清理目标值。

4.10.5 退役前环境辐射水平调查

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）项目考虑建立一套能够覆盖整个厂址区域的环境监测设施进行运行期间的环境监测，拟制定详细的辐射环境监测大纲，按照监测大纲进行日常的环境监测，以实现对整个厂址环境进行统一监测。主要环境监测设施有环境 γ 辐射监测站、气象站、辐射监测实验室等，用于反应堆周围环境的辐射水平及环境介质中的放射性活度浓度测量和分析。上述环境监测设施和设备需在 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）退役前执行环境监测工作，进行退役前环境辐射水平的调查，并在退役结束时仍维持原有功能。调查内容包括：

- 记录厂址区域及周围大气 γ 辐射水平数据及降雨量。此外，还获取气溶胶、碘、H-3、C-14 和降水的样品。
- 收集环境 γ 辐射水平数据和气象数据。
- 对反应堆周围进行环境监测和环境介质采样。

4.10.6 退役废物管理

在 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）退役过程中，应根据《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742-2011）、《放射性废物分类》（公告 2017 年第 65 号）等废物管理相关标准的规定对各类废物进行检测、分类、处理。

4.10.7 便于退役的考虑

目前越来越多的反应堆退役研究和经验表明，必须在设计、建造和运行阶段就对将来反应堆的退役进行充分考虑。尽可能在厂址选择、总图布置、材料选择、系统设计、建（构）物设计及设备布置等方面考虑利于退役的因素，以有效减少退役期间工作人员和公众的受

照剂量，从退役废物产生源头进行控制，贯彻废物最小化原则，有效减少退役施工难度和费用。

4.10.8 运行阶段的设计、运行资料的收集和管理

需要提供的基本文件包括：反应堆竣工文件、所要求的运行文件以及一些其他的相关文件。完整的文件资料可以确保退役工作效率并减少退役期间出现的意外情况。

在反应堆运行的十年期间，因反应堆的变更和改进，这些文件与反应堆的真实状况的吻合性有所降低。为避免在退役和拆卸作业中出现麻烦，应该避免这种情况。相对应的措施包括：

- 工程设计文件应该随时更新；
- 应确保在反应堆寿期内这些文件的可用性。必须采取措施防止数据丢失（例如，保存副本）；
- 应记录可能对未来有影响的非常规事件（如，有关污染物溢出或泄漏的信息）。

已经采取措施来确保可以储存和查阅的退役所需的文件，主要包括：

- 与运行相关的图纸和图表，包括：机械和电气图、电缆敷设图、管道等轴图、布置图、贯穿件图、部件详细资料、钢筋图、组装专用工具图和所有设备以及反应堆装置的 3D 数字模型图；
- 对于选择性操作，允许使用和修改设备和构筑物的其他文件（例如吊装机械的设计，专用工具，地板，承载结构，制造和设备规格书，土工技术试验结果）；
- 照片和录像（有字幕、日期和注释），有利于说明设备的组装和安装，土方工程和埋入地下的部分结构的施工，部件吊装方法，道路规划，同时关注那些将承受高放射性和污染的部件；
- 数量清单：混凝土量、钢筋吨数、电缆长度等验收文件，施工中使用的材料样本，这些样本可用来检查杂质，受辐照材料的强度数据、耐腐蚀能力等，同时也能够用来区分初始放射性和由于反应堆运行导致增加的放射性，特别是对于施工中采用的有初始人工放射性的材料；
- 保留反应堆施工材料（钢材，混凝土等）的样本和标本；
- 所有运行事件的记录及其评价，以及对原设备所做的所有改造的记录；
- 所有能够追踪放射性清洁和放射性数量的文件（方位图、涂片检测、各种取样等等）。

最后两点特别需要通过监查清洁/废物分区的演变来确保。

厂址放射性生态参考调查也有益于形成最终退役报告。

4.10.9 退役费用的考虑

鉴于 TMSR-LF1 是一座实验反应堆，建议退役资金的筹措采用第一种方案，即在寿期末再筹集支付。

4.10.10 退役管理设想

运行阶段应及时完善更新退役计划，特别是有重大变化时应有相关部门负责完成此项工作。

从设施运行到退役主要拆除活动实施之前，组织机构与生产运行阶段的组织机构相对应，在这一阶段将进行一系列的计划和调整，使反应堆从管理构架和硬件状态等方面都适应退役的目标和要求。

这个阶段是经历人员编制从适于运行到适于退役调减的主要过程，人员编制首先满足这一阶段工作的需要，并且在这一阶段活动结束的时候人员编制应调整到适于退役期拆除活动的技术、实施和管理需求。

退役期主要活动是将设施内所有放射性物项进行拆卸、解体、包装、处理以使所有设施内不再存有不符退役终态要求的放射性物项，并且最终进行建（构）筑物拆毁和厂址清理，使厂址最终无限制开放或有限制开放。

4.10.11 结论

通过上述分析，得出如下结论：

- 1) 反应堆退役策略选择受多种因素影响，在本反应堆建造可行的前提下，从目前的国家政策以及退役技术方面来看，建议将来采用立即拆除策略。
- 2) 本项目中低放废液、有机废液、中放废液、高放废液，以及高放固体废物均未考虑在运行寿期内进行处理，如计划将上述废物推迟到退役阶段集中处理处置，应考虑规划废物长期安全存放、废物处理或外运等相关手段并预留经费。
- 3) 在反应堆安全关闭期，建议指定有关责任部门负责考虑、实施退役的前期工作。

反应堆退役受国家政策、法规、经济和科学技术条件等多方面因素影响，在反应堆运行寿期末，需根据当时的国情及技术经济发展等情况，在专门的退役报告中确定最终采用的退役策略和退役方案，并按计划实施。

表 4.1-1 主要技术经济指标表

序号	名 称		单位	数量	备注
1	总用地面积		hm ²	12.80	
2	总建筑面积	地上面积	m ²	9031.11	
		地下面积	m ²	2561.12	
3	建、构筑物占地面积		m ²	5342.00	
4	绿地率		%	30	厂区
5	围栏长度	控制区围栏	m	761.10	
		保护区围栏	m	973.10	双围栏总长度
注：道路广场面积计入钍基熔盐堆核能系统实验平台配套项目中。					

第五章 反应堆施工建设过程的环境影响

5.1 土地利用

5.1.1 施工建设对土地利用的影响

5.1.2 施工建设占用土地情况

5.1.3 施工活动对自然环境的影响

5.1.4 施工活动对社会环境的影响

5.2 水的利用

5.3 施工影响控制

5.3.1 水土保持方案

5.3.2 节水措施

5.3.3 建设期间生产和生活废物的控制

5.3.4 施工扬尘的控制措施

5.3.5 施工噪声的控制措施

5.4 施工期监测

5.4.1 环境空气监测

5.4.2 噪声监测

5.4.3 废水排放监测

表

表 5.3-1 水土保持实施情况表

表 5.4-1 环境空气监测项目分析方法一览表

表 5.4-2 评价标准

表 5.4-3 1#点环境空气质量检测结果表

表 5.4-4 2#点环境空气质量检测结果表

表 5.4-5 3#点环境空气质量检测结果表

表 5.4-6 4#点环境空气质量检测结果表

表 5.4-7 5#点环境空气质量检测结果表

表 5.4-8 噪声监测点位列表

表 5.4-9 噪声监测结果

表 5.4-10 废水检测结果

图

图 5.4-1 施工期环境质量现状检测布点图

5.1 土地利用

5.1.1 施工建设对土地利用的影响

施工建设对土地利用的影响主要包括厂区土石方的开挖与回填、建构筑物的建造等陆域施工活动所产生的影响。

5.1.2 施工建设占用土地情况

厂区规划总用地面积为 66.6782hm² 为，主要包括钍基熔盐堆核能系统实验平台项目、钍基熔盐堆核能系统实验平台配套项目和钍基熔盐堆核能系统武威实验园区科研条件建设项目（暂名），用地范围详见图 4.1-1 厂区总体规划图。

钍基熔盐堆核能系统实验平台项目于 2020 年 6 月 29 日取得民勤县自然资源局签发的中华人民共和国国有建设用地划拨决定书[甘民划拨(2020)4 号]，划拨建设用地 12.8045hm² 源，用地性质为科研用地。本项目建设子项均位于钍基熔盐堆核能系统实验平台项目用地范围内。

5.1.3 施工活动对自然环境的影响

5.1.3.1 对地形地貌的影响

在工程建设期间，需要按设计要求对原地形地貌进行相应的改造，通过必要的工程及植物措施防护、优化施工工序等方法，防止水土流失。同时结合厂区绿化美化、施工场地使用完毕后还绿等措施，减少对地形地貌改造的影响。通过上述施工措施，本项目对地形地貌及周围环境的影响较小。

5.1.3.2 水土流失

在工程建设过程中，水土流失主要发生在施工期。期间将有开挖和填筑裸露面产生，裸露面表层结构疏松，植被覆盖度较低，使区域内土壤抗侵蚀能力下降；同时，大量土方搬运和堆置，也将造成工程区及其附近施工区域的局部水土流失加剧。工程施工结束后，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。通过有效的工程措施、植被种植、临时防护等措施，可有效缓解施工建设期间的水土流失现象。

5.1.3.3 对生态环境的影响

本项目施工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。厂址距离保护区边界（缓冲区界）约 1.1km，距离核心区界约 4.7km，总体而言，本项目的建设不会对当地的陆生生态环境造成不良影响。

5.1.3.4 对大气环境的影响

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

施工过程中，由于爆破、开挖、填充、道路的修建以及车辆运输会造成施工区域尘土飞扬，大气中粉尘含量增高，造成大气环境质量局部恶化。施工中可采用覆盖、定期洒水等措施减少扬尘的产生。有资料表明，在施工期内对车辆行驶的路面实施洒水抑尘，每天洒水 4~5 次，可使扬尘减少 70% 左右；对施工场地实施每天洒水 4~5 次进行抑尘，可有效地控制施工扬尘，并可将 TSP 污染距离缩小到 20~50m 范围。因此，在施工活动中，在采取覆盖、定期洒水等减少扬尘的措施后，施工粉尘及扬尘的影响将局限于施工场地周围，对大气环境影响范围有限。土石方施工完成后，当地的大气环境质量将很快得以恢复。

大型施工车辆、设备排放的尾气也对环境空气质量造成一定的影响，由于施工时现场车辆较多，特别是大型工程车和施工机械设备（挖掘机、铲土机等），在施工运输过程中会产生一定量汽车尾气，主要成分为 CO、NO_x 和碳氢化合物。一般情况下汽车尾气对道路中心线 20m 范围之外不产生 NO₂ 超标污染影响，装卸机械等排放的少量废气对环境空气质量影响也仅限于排放点 50m 范围内。

因此，施工行为给大气环境带来的影响是局部的、短期的，并随着工程竣工而消失，对环境空气质量影响较小。

5.1.3.5 对声环境的影响

本工程建造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，打桩机为主要噪声源，其声级为 95-105dB(A)，结构施工阶段主要施工机械是混凝土搅拌机和振捣棒，其声级为 75-88dB(A)。工程建设期运送材料的汽车等运行噪声为随机移动声源，施工期大型运输设备正常行驶时噪声最大可达 80dB(A)，鸣笛时可达 85dB(A)。实际施工过程中，往往是多台机械设备同时作业，各台设备产生的噪声会互相叠加，叠加后的噪声增值约 3~8dB(A)，一般不超过 10dB(A)。

5.1.3.6 对水环境的影响

本项目建设期间产生的废水主要包括生产废水、生活污水，施工活动对水环境的影响主要来自施工人员生活污水的排放。

生产废水：施工期间生产废水主要为混凝土结构养护水及场地冲洗水、车辆及设备洗涤用水，施工生产废水产生量约为 1800t/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。施工人员产生的生活污水排放量为 7200t/a。生活污水经红砂岗镇生活污水处理厂处理后回用，不会对水环境产生影响。

5.1.3.7 产生的固体废弃物对环境的影响

施工期间的固体废弃物主要是建筑垃圾和生活垃圾，建筑垃圾年产生量约 360 吨，生活垃圾年产生量约 1800 吨。建筑垃圾如钢筋、模板、方木废料作为可回收垃圾由专人回收处理，混凝土、砖瓦、试块、施工用材料品包装袋由人工收集后堆放至施工现场垃圾池，定期送至金川区北环路建筑垃圾消纳场进行集中处理。施工现场设立垃圾堆放区，并根据施工垃圾分类堆放。生活垃圾由委托的地方环卫单位（民勤县宏程市政服务有限公司）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。

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），年产生量约 750kg。钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验平台配套项目园区内设置临时危险废物贮存设施，用于贮存建设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。

因此，本项目施工期间固体废弃物对环境的影响是局部的、暂时的，是可以接受的。

5.1.4 施工活动对社会环境的影响

5.1.4.1 对厂区周围历史古迹的影响

根据国电环境保护研究院 2017 年 10 月完成的《TMSR 先进核能实验基地选址项目环境资料调查报告（B 版）》，厂址半径 15km 范围内无省级以上文物保护单位。

5.1.4.2 对风景名胜区的影响

本工程半径 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。

5.1.4.3 对居民生产生活的影响

本项目建设期间需大量的工程施工人员，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。

5.2 水的利用

（1）施工期用水

施工期用水主要为淡水，主要包括施工生产用水和施工生活用水。施工生产用水供给混凝土养护、砌筑、施工机械用水及工程安装及调试用水等施工用水。施工生活用水供给施工人员生活用水。

（2）施工期用水量

本项目施工期用水量约为 11000t/a，其中：现场工人生活用水量为 9000t/a；生产用水主要为现场结构施工时养护用水及其他冲洗用水，用水量为 2000t/a。

（3）供水水源

施工期间用水原水取自工业园区西北侧的红砂岗工业水厂，水厂年供水能力 500 万吨。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 DN100 的供水管道，可满足本项目施工期间生产用水需求。生活用水部分采用外购商品桶装水，同时自建了蓄水净水装置，确保生活用水水质符合《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2006）。

（4）施工期用水对周围水用户的影响

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，本项目施工期用水不会对周围环境及其他水资源用户产生影响。

综上所述，本项目施工期用水是合理的，对水资源利用无影响。

5.3 施工影响控制

5.3.1 水土保持方案

5.3.1.1 防治标准及目标值

根据《甘肃省人民政府关于划定省级水土流失重点预防区和重点治理区的公告》（甘政发[2016]59号，2016年6月27日），项目区属内陆河流域省级水土流失重点治理区。该项目为建设生产类项目，依据《开发建设项目水土流失防治标准》（GB50434-2008），本水土保持方案总体防治目标按照二级防治标准执行。

水土流失防治目标为：扰动土地整治率达到 95%、水土流失总治理度 85%、土壤流失控制比 0.7、拦渣率 95%、林草植被恢复率 95%、林草植被覆盖率 15%。

5.3.1.2 水土流失防治责任范围及防治分区

水土流失防治责任范围面积为 5.29hm²，其中建设区为 3.27hm²，直接影响区为 2.02hm²，均属武威市民勤县红砂岗镇。水土流失防治区划分为主体工程防治区、道路防治区 2 个防治分区。

5.3.1.3 水土保持防治措施

（1）主体工程防治区

工程措施：土地整治面积 0.90hm²，覆土 3520m³；植物措施：主体已列造林种草、绿化美化 0.88hm²；临时措施：装土草袋 60 个，防尘网苫盖 2200m²，洒水 8395m³。

（2）道路防治区

工程措施：主体已列雨水管网 260m，方案新增土地整治 0.03hm²；临时措施：洒水 1898m³。

5.3.1.4 水土保持监测措施

（1）监测内容

1) 项目区水土流失动态监测。主要包括水土流失面积变化情况，水土流失量的变化情况，水土流失程度变化情况，对下游和周边地区造成的危害及其趋势等。

2) 水土保持措施防治效果监测，主要围绕水土保持方案防治目标进行监测。包括防治措施的数量和质量，林草措施成活率、保存率、生长状况及覆盖度，防护工程的稳定性、

完好程度和运行情况，各项防治措施的减蚀效果。

（2）监测时段

从施工准备期开始至设计水平年结束，2019年8月~2021年12月。

（3）监测方法

采用实地测量、调查与定位监测、无人机航拍监测及巡查监测相结合的方法进行监测。

（4）监测点位

全线共布设水土保持监测（临时）监测点3处，其中主体工程区1处、道路防治区1处，原始未扰动地貌对照点1处。

5.3.1.5 水土保持实施情况

截止2020年7月31日，本项目主体工程进度为LF1回填至-2.14m标高，02子项回填至-2.14m标高，进行-0.06m筏板钢筋绑扎，水土保持实施情况见表5.3-1。

5.3.2 节水措施

施工期节水措施主要是淡水的节水措施，如下：

- 采用用水量少、耗水量低的施工工艺，降低用水量。
- 采用新型管材，推广节水器具。
- 提高水的重复利用率。
- 加强节水管理，对用水量加以控制和计量。

5.3.3 建设期间生产和生活废物的控制

施工期间将产生施工人员的生活垃圾和一些工业固体废物，如果不合理处置也将对环境造成破坏，对固体废弃物的控制措施主要包括：

（1）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。

（2）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，建筑垃圾总量约360吨/年，由人工收集后堆放至施工现场垃圾池，定期送至金川区北环路建筑垃圾消纳场进行集中处理。生活垃圾由委托的地方环卫单位（民勤县宏程市政服务有限公司）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。

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，施工生产废水产生量约为 1800 吨/年，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。

施工期大临生活办公区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。

5.3.4 施工扬尘的控制措施

施工期间采用如下措施控制扬尘：

- 施工区和相关道路上散落的灰土及时清扫，道路路面上经常洒水，保持路面湿润；
- 改善道路路面；
- 严格控制行车速度；
- 在环境保护目标附近，使用隔离板使施工区与周围环境隔离；
- 开挖出的土方及时运输，减少土方的临时堆置时间；
- 渣土临时堆放场应加苫布等措施进行防护；
- 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；
- 在施工过程中对易引起飞尘的操作如钻机打孔，采用干式或湿式除尘方法，以减少粉尘。
- 运输、装卸、贮存能够散发粉尘物质时，必须采取密闭措施或其他防护措施；
- 运送渣土的车辆行车时，加盖防尘罩；
- 在施工现场存放砂石、干粉水泥、灰土等物料，必须采取防尘措施，防止污染大气。

通过对比 3.2.1 环境现状数据和 5.4.1 施工期环境数据可知，施工期内只有短期局部地区扬尘超标，总体而言施工扬尘得到了良好的控制，因此项目施工对当地的影响是有限的。

5.3.5 施工噪声的控制措施

施工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。

— 对施工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。

5.4 施工期监测

5.4.1 环境空气监测

本节有关资料和数据取自甘肃云腾环境科技检测有限公司提供的 2020 年大气环境质量的监测结果。

（1）执行标准和评价依据

——《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）；

——《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）。

（2）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，环境空气检测点位布设见图 5.4-1。

（3）监测因子及监测频率

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，根据本项目施工计划，共持续 3 个季度（2020 年 4 月-12 月）。

（4）监测项目分析方法

各监测项目分析方法见表 5.4-1。

（5）大气环境质量监测结果

根据《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中规定的二级标准和《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018）中规定的标准（详见表 5.4-2），对施工期间的大气环境进行评价，表 5.4-3—表 5.4-7 分别列出了环境空气质量监测结果。

2020 年监测期 SO₂、NO₂、PM_{2.5}、CO、O₃ 浓度均满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）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》（HJ 2.2-2018）中规定的标准。

项目总体数据只有 PM₁₀、TSP 存在三次超标的情况，其中 1#监测点 TSP 出现一次超标情况，日均值为 344.5 ug/m³，超标率为 14.8%；3#监测点 PM₁₀ 出现一次超标情况，日均值为 213 ug/m³，超标率为 42%；4#监测点 TSP 出现一次超标情况，日均值为 455.5ug/m³，超标率为 51.8%。以上三次超标均为短时大气环境扬尘超标，待施工完成后能够恢复。因此本项目的环境影响是有限且符合国家相关标准的，但是施工期也应加强防尘措施。

5.4.2 噪声监测

本节依据甘肃云腾环境科技检测有限公司 2020 年 7 月编制的《TMSR-LF1 施工期环境质量现状委托检测报告》编制。

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。每天监测 2 次，昼夜间各一次。噪声监测点位布设见表 5.4-8 和图 5.4-1。监测结果见表 5.4-9。

由监测结果可知，东厂界和北厂界昼间噪声范围为 47.7~50.2dB(A)，夜间噪声范围为 37.8~38.3 dB(A)，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。

5.4.3 废水排放监测

施工期对大临办公生活区域排放的生活污水进行定期监测，监测项目包括 pH 值、化学需氧量、五日生化需氧量、悬浮物、氨氮、石油类、动植物油、磷酸盐，1 季度开展 1 次监测工作，监测点位设置在生活污水接入园区市政污水管网处。2020 年 7 月监测结果见表 5.4-10。

表 5.3-1 水土保持实施情况表

指标		设计总量	累计	
扰动土地面积 (hm ²)	合计	3.27	2.44	
	主体工程区	3.01	2.27	
	道路区	0.26	0.17	
取土场数量 (个)		0	0	
弃土场数量 (个)		0	0	
取土情况 (万 m ³)		0	0	
弃土情况 (万 m ³)		0	0	
拦渣率 (%)		0.00	99.99	
水土保持工程进度	工程措施	雨水排水管 (m)	260	0
		土地整治 (hm ²)	0.93	0.11
		覆土 (m ³)	3520	0
	植物措施	绿化美化 (hm ²)	0.88	0
	临时措施	临时苫盖 (m ²)	2200	400
		洒水抑尘 (m ³)	10293	2175
		装土编织袋 (个)	60	0
水土流失影响因子	降雨量 (mm)		114.6	\
	最大 24 小时降雨 (mm)		82.3	\
	最大风速 (m/s)		18	\
	平均风速 (m/s)		2.7	\
	气温 (°C)		8.5	\
	最高气温 (°C)		41.7	\
	最低气温 (°C)		-29.5	\
	大雪天数 (d)		\	\
	大风天数 (d)		22	\
	大雾天数 (d)		2.7	\
	霜降天数 (d)		\	\
土壤流失量 (万 t)		土壤流失量	21	
		弃土潜在土壤流失量	0	
水土流失危害事件		无		

表 5.4-2 环境空气监测项目分析方法一览表

检测项目	分析方法	方法依据	检出限 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	主要仪器设备 型号及编号
二氧化硫	甲醛吸收-副玫瑰苯胺 分光光度法	HJ 482-2009	小时值：7 日均值：4	T6 新世纪紫外可见 分光光度计 (YTJC-05)
二氧化氮	盐酸萘乙二胺分光光 度法	HJ 479-2009	小时值：5 日均值：3	
臭氧	靛蓝二磺酸钠分光光 度法	HJ 504-2009	小时值：10 日均值：4	
一氧化碳	非分散红外法	GB 9801-1988	—	GXH-3011A1 型便携式红 外线气体分析仪 (YTJC-50)
TSP	重量法	GB/T 15432-1995 (2018)	小时值：1	FA1204N 电子天平 (YTJC-03-1)
PM _{2.5}		HJ 618-2011	日均值：10	
PM ₁₀			日均值：10	
甲苯	气相色谱法	HJ 584-2010	小时值：0.67 日均值：0.0625	GC-4000A 型 气相色谱仪 (YTJC-41)

表 5.4-3 评价标准

序号	项目	评价依据	标准限值			
			一级标准		二级标准	
			日均值	小时值	日均值	小时值
1	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	《环境空气质量标准》 (GB3095-2012)	50	150	150	500
2	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		80	200	80	200
3	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		100*	160	160*	200
4	CO (mg/m^3)		4	10	4	10
5	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		50	—	150	—
6	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		35	—	75	—
7	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		120	—	300	—
8	甲苯 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	《环境影响评价技术导则 大 气环境》 (HJ 2.2-2018)	200*			

注*：1. 臭氧日平均为日最大 8 小时平均；

2. 甲苯限值不分级。

表 5.4-4 1#点环境空气质量检测结果表

检测 点位	项目	检测 时间	污染物浓度 (ug/m ³)							
			7月9日	7月10日	7月11日	7月12日	7月13日	7月14日	7月15日	7月16日
1# 大临 办公 生活区	二氧化 硫	2:00	—	20	28	26	19	17	23	25
		8:00	—	12	22	17	15	9	25	28
		14:00	29	20	16	7	24	9	29	—
		20:00	14	23	15	10	22	15	32	—
		日均值	15	14	16	18	19	11	25	—
	二氧化 化氮	2:00	—	25	24	47	36	25	25	31
		8:00	—	30	22	10	55	24	16	24
		14:00	32	14	21	13	47	18	22	—
		20:00	7	49	13	18	23	23	18	—
		日均值	22	20	15	18	25	19	21	—
	甲苯	2:00	—	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L
		8:00	—	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L
		14:00	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	—
		20:00	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	—
		日均值	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	—
	一氧 化碳	2:00	—	0.625	0.750	0.625	0.750	0.625	0.500	0.625
		8:00	—	0.625	0.500	0.375	0.500	0.375	0.375	0.500
		14:00	0.500	0.375	0.250	0.250	0.250	0.125	0.125	—
		20:00	0.375	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	—
	臭氧	2:00	—	65	80	53	76	64	92	103
		8:00	—	85	101	81	100	81	107	81
		14:00	87	127	129	115	135	108	138	—
		20:00	62	63	66	66	79	75	74	—
		日均值	—	—	—	81	92	85	91	—
	TSP	2:00	—	111	89	111	133	111	89	467
		8:00	—	133	111	67	44	156	111	222
		14:00	133	67	89	156	156	111	67	—
		20:00	111	111	111	133	89	89	133	—
日均值		122	105.5	100	116.75	105.5	116.75	100	344.5	
PM ₁₀	日均值	89	55	68	55	75	69	88	—	
PM _{2.5}	日均值	58	51	30	32	32	21	61	—	

注：1、“L”表示未检出，未检出结果按方法检出限加“L”填报；
2、一氧化碳单位为 mg/m³。

表 5.4-5 2#点环境空气质量检测结果表

检测 点位	项目	检测 时间	污染物浓度 (ug/m ³)							
			7月9日	7月10日	7月11日	7月12日	7月13日	7月14日	7月15日	7月16日
2# 施工区 域边界 西侧 10m 处	二氧化 化硫	2:00	—	16	14	17	7	25	28	15
		8:00	—	13	21	26	15	22	14	13
		14:00	28	19	27	32	10	12	15	—
		20:00	36	28	26	17	19	26	17	—
		日均值	30	20	18	21	14	15	20	—
	二氧化 化氮	2:00	—	32	8	43	23	15	18	19
		8:00	—	12	10	12	41	10	23	22
		14:00	29	24	19	18	33	21	22	—
		20:00	17	6	23	15	20	13	21	—
		日均值	18	21	17	17	26	19	19	—
	甲苯	2:00	—	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L
		8:00	—	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L
		14:00	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	—
		20:00	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	—
		日均值	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	—
	一氧 化碳	2:00	—	0.750	0.500	0.500	0.625	0.500	0.625	0.750
		8:00	—	0.500	0.375	0.375	0.375	0.250	0.500	0.375
		14:00	0.250	0.250	0.250	0.125	0.125	0.125	0.250	—
		20:00	0.500	0.250	0.250	0.125	0.250	0.250	0.250	—
	臭氧	2:00	—	61	63	69	66	59	88	73
		8:00	—	78	96	104	113	82	104	68
		14:00	104	111	131	130	142	107	144	—
		20:00	66	64	80	71	63	56	79	—
		日均值	—	—	—	85	83	76	90	—
	TSP	2:00	—	133	133	156	133	156	178	311
		8:00	—	67	111	89	89	133	489	133
		14:00	89	133	111	111	156	89	156	—
		20:00	111	111	89	133	89	156	222	—
		日均值	100	111	111	122.25	116.75	133.5	261.25	222
	PM ₁₀	日均值	77	81	78	47	83	42	161	—
PM _{2.5}	日均值	61	52	49	30	24	16	83	—	

注：1、“L”表示未检出，未检出结果按方法检出限加“L”填报；
2、一氧化碳单位为 mg/m³。

表 5.4-6 3#点环境空气质量检测结果表

检测 点位	项目	检测 时间	污染物浓度 (ug/m ³)							
			7月9日	7月10日	7月11日	7月12日	7月13日	7月14日	7月15日	7月16日
3# 施工区域 边界北侧 10m 处	二氧化 化硫	2:00	—	37	13	11	15	11	19	23
		8:00	—	21	12	20	14	15	24	16
		14:00	15	18	19	26	8	22	22	—
		20:00	9	15	24	28	18	20	27	—
		日均值	11	22	17	19	11	19	22	—
	二氧化 化氮	2:00	—	13	26	20	16	20	18	17
		8:00	—	35	21	14	22	15	20	22
		14:00	5L	30	16	16	26	13	15	—
		20:00	19	23	24	29	16	25	23	—
		日均值	12	22	20	20	23	20	21	—
	甲苯	2:00	—	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L
		8:00	—	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L
		14:00	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	—
		20:00	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	—
		日均值	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	—
	一氧 化碳	2:00	—	0.500	0.625	0.625	0.500	0.500	0.375	0.500
		8:00	—	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.250	0.250
		14:00	0.250	0.250	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	—
		20:00	0.375	0.125	0.125	0.250	0.250	0.250	0.125	—
	臭氧	2:00	—	56	59	64	89	73	87	67
		8:00	—	98	84	94	117	97	98	65
		14:00	100	110	114	113	138	110	149	—
		20:00	77	70	67	66	86	72	73	—
		日均值	—	—	—	77	87	88	81	—
	TSP	2:00	—	67	67	67	67	67	111	244
		8:00	—	111	133	133	133	156	178	289
		14:00	111	89	156	111	200	222	133	—
		20:00	311	67	133	111	178	111	156	—
		日均值	211	83.5	122.25	105.5	144.5	139	144.5	266.5
	PM ₁₀	日均值	87	40	77	76	51	51	213	—
	PM _{2.5}	日均值	53	33	44	38	29	22	91	—

注：1、“L”表示未检出，未检出结果按方法检出限加“L”填报；
2、一氧化碳单位为 mg/m³。

表 5.4-7 4#点环境空气质量检测结果表

检测 点位	项目	检测 时间	污染物浓度 (ug/m ³)							
			7月9日	7月10日	7月11日	7月12日	7月13日	7月14日	7月15日	7月16日
4# 施工区域 边界东侧 10m 处	二氧化 化硫	2:00	—	11	18	10	15	15	16	13
		8:00	—	20	20	13	15	20	15	11
		14:00	9	25	21	23	23	23	15	—
		20:00	24	22	29	16	17	26	22	—
		日均值	12	21	19	18	16	20	20	—
	二氧化 化氮	2:00	—	15	15	25	14	21	31	24
		8:00	—	38	22	24	18	34	30	19
		14:00	19	15	23	17	24	27	29	—
		20:00	25	30	20	21	22	34	24	—
		日均值	12	21	19	21	22	24	26	—
	甲苯	2:00	—	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L
		8:00	—	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L
		14:00	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	—
		20:00	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	—
		日均值	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	—
	一氧 化碳	2:00	—	0.625	0.625	0.500	0.375	0.500	0.500	0.625
		8:00	—	0.375	0.375	0.250	0.250	0.375	0.375	0.375
		14:00	0.125	0.125	0.125	0.250	0.125	0.250	0.125	—
		20:00	0.375	0.250	0.250	0.125	0.125	0.250	0.250	—
	臭氧	2:00	—	63	54	65	69	58	59	83
		8:00	—	79	64	101	106	82	84	80
		14:00	93	116	102	127	141	123	123	—
		20:00	57	62	52	72	72	77	75	—
		日均值	—	—	—	92	77	94	91	—
	TSP	2:00	—	44	89	111	89	111	222	689
		8:00	—	89	133	111	111	89	200	222
		14:00	67	67	89	111	111	89	89	—
		20:00	67	67	111	89	156	67	289	—
		日均值	67	66.75	105.5	105.5	116.75	89	200	455.5
	PM ₁₀	日均值	34	58	73	74	57	45	64	—
PM _{2.5}	日均值	23	37	67	52	18	15	28	—	

注：1、“L”表示未检出，未检出结果按方法检出限加“L”填报；
2、一氧化碳单位为 mg/m³。

表 5.4-8 5#点环境空气质量检测结果表

检测 点位	项目	检测 时间	污染物浓度 (ug/m ³)							
			7月9日	7月10日	7月11日	7月12日	7月13日	7月14日	7月15日	7月16日
5# 施工区域 边界南侧 10m 处	二氧化 化硫	2:00	—	30	15	9	16	14	20	10
		8:00	—	13	8	21	8	7	19	9
		14:00	7L	8	17	15	12	9	20	—
		20:00	17	7L	14	16	14	20	11	—
		日均值	14	18	15	18	12	14	18	—
	二氧化 化氮	2:00	—	13	24	26	23	23	21	
		8:00	—	30	23	22	7	11	18	18
		14:00	26	32	27	8	24	16	24	23
		20:00	12	18	15	17	18	12	26	—
		日均值	20	21	19	20	17	17	24	—
	甲苯	2:00	—	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L
		8:00	—	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L
		14:00	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	—
		20:00	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	0.67L	—
		日均值	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	0.0625L	—
	一氧 化碳	2:00	—	0.500	0.500	0.500	0.500	0.375	0.625	0.500
		8:00	—	0.500	0.250	0.375	0.375	0.500	0.500	0.375
		14:00	0.250	0.250	0.500	0.125	0.125	0.125	0.250	—
		20:00	0.625	0.250	0.125	0.250	0.250	0.250	0.250	—
	臭氧	2:00	—	57	49	66	65	91	88	71
		8:00	—	82	92	97	98	104	104	65
		14:00	90	133	128	131	122	121	133	—
		20:00	66	65	56	69	68	88	81	—
		日均值	—	—	—	85	85	71	87	—
	TSP	2:00	—	89	111	44	111	156	200	178
		8:00	—	155	133	67	133	89	111	289
		14:00	156	111	67	44	178	89	156	—
		20:00	111	156	133	111	156	111	133	—
		日均值	133.5	127.75	111	66.5	144.5	111.25	150	233.5
	PM ₁₀	日均值	97	50	42	44	68	43	66	—
PM _{2.5}	日均值	64	26	31	22	29	25	23	—	

注：1、“L”表示未检出，未检出结果按方法检出限加“L”填报；
2、一氧化碳单位为 mg/m³。

表 5.4-9 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"
7# LF1 主体装置厂房	102°36'44"	38°57'39"
8# 放射性废物处理中心南侧	102°36'49"	38°57'37"

表 5.4-10 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

表 5.4-11 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

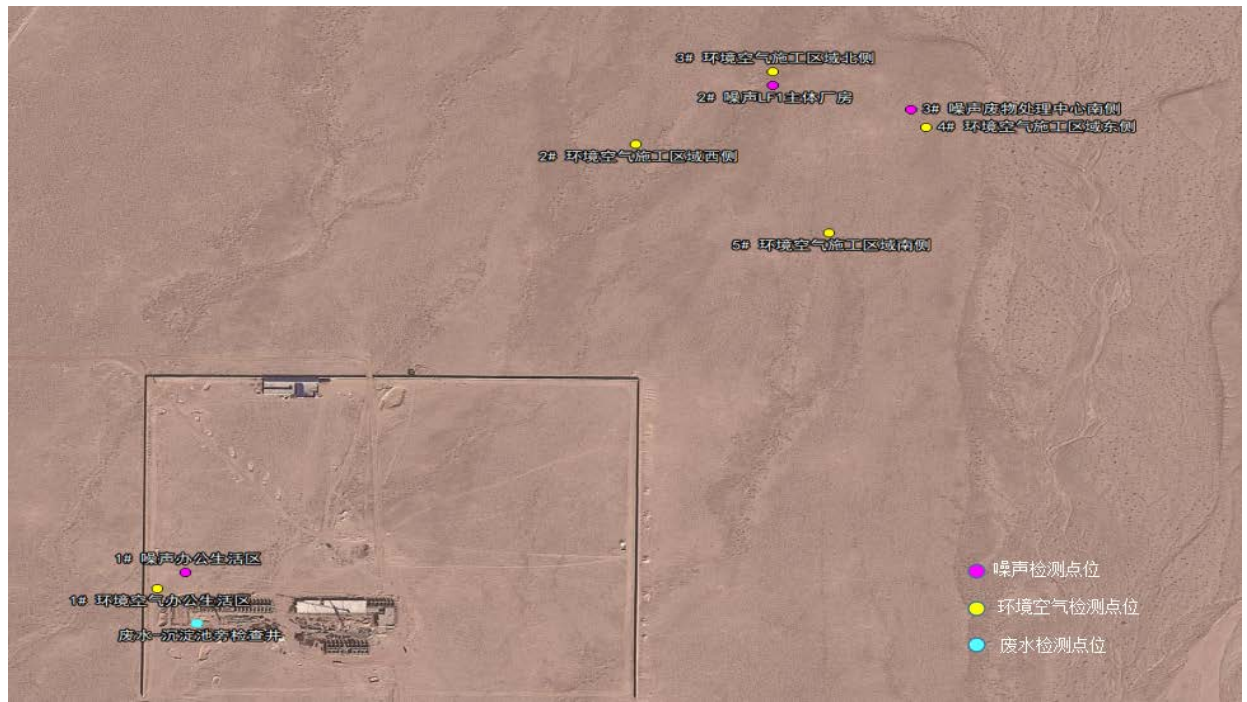


图 5.4-1 施工期环境质量现状检测布点图

第六章 反应堆运行的环境影响

6.1 正常运行的辐射影响

- 6.1.1 流出物排放源项
- 6.1.2 照射途径
- 6.1.3 计算模式与参数
- 6.1.4 大气弥散
- 6.1.5 环境介质中的放射性核素浓度
- 6.1.6 公众的最大个人剂量
- 6.1.7 非人类生物的辐射剂量
- 6.1.8 关键人群组、关键核素、关键照射途径
- 6.1.9 辐射影响评价

6.2 正常运行的非辐射环境影响

- 6.2.1 化学污染物的环境影响
- 6.2.2 生产废水和生活污水的影响
- 6.2.3 非放废气
- 6.2.4 噪声的影响
- 6.2.5 固体废物的环境影响

附录

附录 1 大气弥散的计算模式及参数

附录 2 核设施运行状态下气载流出物排放的辐射剂量计算模式及参数

表

表 6.1-1 本项目运行状态下气载流出物排放对厂址周围 50km 范围公众所致有效剂量

表 6.1-2 本项目运行状态下气载流出物排放对厂址周围 10 ~50km 范围公众个人所致有效剂量

表 6.1-3 本项目气载流出物排放的各核素通过各途径对关键居民组剂量的贡献

表 6.2-1 大气污染物最高允许排放浓度及速率

表 6.2-2 环境空气质量标准

表 6.2-3 环境空气评价等级判别依据

表 6.2-4 估算模式计算结果

图

图 6.2-1 氟化物占标率和浓度与距离曲线

6.1 正常运行的辐射影响

6.1.1 流出物排放源项

（1）气载流出物排放源项

本项目运行状态下，气载流出物主要通过高 26m 的烟囱排入大气。在正常运行评价中，随空气散热器的空气排放到环境中的氡按照无组织排放（面源）考虑，其余的氡从烟囱释放，氡的无组织排放按照高 23m、面积为 3220m²（LF1 主体装置厂房的占地面积）的面源考虑。本工程气载流出物排放申请值暂按设计值考虑。

（2）液态流出物排放源项

本项目产生的放射性废液分成高、中、低放废液，全部集中收集暂存。高放废液和中放废液暂存在主体装置厂房内，低放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处置中心内暂存，少量的有机废液收集后利用转运车转运至放射性废物处置中心内暂存。本项目产生的放射性废液不通过液态途径向环境排放。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 TMSR-LF1 主体装置厂房气载流出物年排放量相比可忽略。因此，本项目不考虑液态流出物对环境的辐射影响。

6.1.2 照射途径

6.1.2.1 气载途径

本节辐射环境影响评价范围以基地为中心，半径 50km 的区域，重点关注 10km 范围内工业园区工作人员受照射情况。距厂址最近的居民点是位于厂址 W 方位约 12.6km 处的武威市民勤县红砂岗村和红砂岗镇管委会，本项目运行状态下，对公众的辐射影响仅考虑气载途径，包括气载流出物通过空气浸没、地面沉积、吸入空气途径和农产品与动物产品食入对人体产生的辐射影响。由于厂址半径 10km 范围内没有农业种植和畜牧业，厂址附近的工业园区人员的食物均来自外购，因此评价中不考虑对工业园区工作人员的食入内照射剂量。

6.1.2.2 液态途径

由于本项目放射性废液不直接向环境排放，所以不考虑液态流出物对环境的辐射影响。

6.1.2.3 其它途径

厂址周围区域不存在其它照射途径。

6.1.3 计算模式与参数

本项目气载流出物在大气中迁移和扩散及其对公众的辐射剂量的计算采用的是核环境影响评价程序包的正常气态流出物评价模块。该程序的正常气态流出物评价模块已于 2007 年通过国家环保总局的验收，可以用来计算核设施运行状态下排放的气载流出物对

环境的影响。

该程序可以进行大气弥散计算以及剂量估算。在大气弥散计算中考虑了风摆效应、静风的分配、大气稳定度、混合层高度、建筑物尾流以及不同地形特征的修正；同时还根据排放口的特征对排放源类型进行了分类考虑，包括高架排放、地面排放、混合排放以及面源排放；该程序可以计算出评价区内各子区的大气弥散因子和核素浓度。在剂量估算中，该程序可以进行多源排放的剂量估算，对放射性核素衰变及地表沉积、清除和转移进行了考虑，并根据食谱、生活习性以及剂量转换因子的不同对各年龄组进行分别考虑，计算了空气浸没外照射、地面沉积外照射和吸入空气内照射三种途径的辐射剂量。

在使用核环境影响程序包计算气载流出物在大气中迁移和弥散时，使用了本报告 2.4 节中给出的 10m 高度风向、风速、稳定度、雨况四维联合频率，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 曲线，根据 P-G 曲线拟合得到的 P-G 大气扩散参数。在计算运行状态下气载流出物对公众的辐射剂量中，所使用的参数如下：剂量估算中所使用的惰性气体空气浸没外照射剂量转换因子取自《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），其余核素的空气浸没外照射剂量转换因子和地表沉积外照射剂量转换因子（包括空气中和水中）取自美国联邦导则 12 号报告（1993）《空气、水和土壤中核素导致的外照射》，吸入内照射剂量转换因子取自 GB18871-2002 中的表 B7 和表 B9；各核素的转移系数和浓集因子取自 IAEA 安全丛书 19 号报告。

厂址周边 10km 范围内无常住居民，重点关注 10km 范围内工业园区工作人员受辐射影响。剂量评价时，从保守角度考虑，假设厂址半径 10km 范围内企业职工的居留因子为 0.5（即使按照工作人员的日均工作时间为 8 小时，全年工作 365 天来考虑使用 0.5 作为居留因子也是保守的）。

6.1.4 大气弥散

厂址位于我国西北地区，地形平坦，东、西、北三面被腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠包围，大气弥散条件较好。

对于烟囱排放，厂址半径 50km 范围内 Cs-137 的年平均大气弥散因子在 $1.13\text{E}-09 \text{ s/m}^3 \sim 2.17\text{E}-06 \text{ s/m}^3$ 之间，I-131 的年平均大气弥散因子在 $1.09\text{E}-09 \text{ s/m}^3 \sim 2.17\text{E}-06 \text{ s/m}^3$ 之间，Kr-85 的年平均大气弥散因子在 $1.13\text{E}-09 \text{ s/m}^3 \sim 2.17\text{E}-06 \text{ s/m}^3$ 之间，最大年平均大气弥散因子均出现在厂址 ESE 方位 0~1km 处。对于 LF1 主体装置厂房屋顶的面源排放，面源排放的大气因子最大值为 $1.62\text{E}-06 \text{ s/m}^3$ ，位于厂址 ESE 方位 0~1km 处。

厂址半径 50km 范围内 Cs-137 的年平均相对干沉积因子在 $2.55\text{E}-11 \text{ m}^{-2} \sim 3.26\text{E}-09 \text{ m}^{-2}$ 之间，I-131 年平均相对干沉积因子在 $1.69\text{E}-10 \text{ m}^{-2} \sim 2.17\text{E}-08 \text{ m}^{-2}$ 之间，最大年平均干沉

积因子均出现在厂址 ESE 方位 0~1km 处。

厂址半径 50km 范围内 Cs-137 和 I-131 的年平均相对湿沉积因子在 $5.71\text{E-}14\text{ m}^{-2}$ ~ $2.70\text{E-}11\text{ m}^{-2}$ 之间，最大年平均相对湿沉积因子均出现在厂址 NNW 方位 0~1km 处。

6.1.5 环境介质中的放射性核素浓度

代表性放射性核素 Cs-137、I-131、和 Kr-85 年均放射性活度浓度的最大值均出现在厂址 ESE 方位 0~1km 处，分别为 $1.11\text{E-}11\text{ Bq/m}^3$ 、 $8.34\text{E-}08\text{ Bq/m}^3$ 和 $1.30\text{E-}02\text{ Bq/m}^3$ 。

6.1.6 公众的最大个人剂量

本项目位于民勤县红砂岗工业集聚区内，厂址 10km 范围内无常住居民。本工程运行状态下，气载途径释放的放射性物质对公众造成的最大个人有效剂量是 $5.33\text{E-}07\text{ Sv/a}$ ，约占本项目个人剂量约束值（ 0.1mSv/a ）的 0.53%，出现在场址 WSW 方位 1~2km 处（为工业园区内人员）。

6.1.7 非人类生物的辐射剂量

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 II 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的安全特性。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 4.7km，预计本项目正常运行期间向外排放的气载放射性物质对该保护区内动植物的辐射影响很小。

为了解本项目对厂址周边非人类生物的辐射影响，使用 ERICA 程序保守的对两栖动物、鸟类、食腐类节肢动物、飞行类昆虫、腹足纲软体动物、草本植物、苔藓类植物、大型哺乳动物、小型掘穴类哺乳动物、爬行动物、灌木、环节动物、乔木 13 类陆生生态系统的参考生物进行计算。ERICA 程序提供了元素 I、Sr、Y、Cs、H、C 相应核素对应的不同陆生生物的浓集比、内照射剂量率转换因子和外照射剂量率转换因子，Kr、Ar 相应核素采用 EA R&D128 出版物中的数据，Xe 由于没有数据，暂取 0。

经计算，厂址附近陆域范围内 13 类生物受到的总剂量率都在 $10^{-1}\mu\text{Gy/h}$ 以下，其中两栖动物、环节动物、食腐类节肢动物、草本植物、灌木和乔木受到的总剂量率最大，为 $1.21\times 10^{-2}\mu\text{Gy/h}$ ，贡献最大的核素为 H-3，该核素对两栖动物、环节动物、食腐类节肢动物、草本植物、灌木和乔木造成的总剂量率均为 $1.03\times 10^{-2}\mu\text{Gy/h}$ ，上述各类陆生生物所受的总剂量率均小于 ERICA 推荐的筛选值（ $10\mu\text{Gy/h}$ ）。古城国家级自然保护区核心区距厂址最近距离为 4.7km，由于该处的大气弥散因子及干、湿沉积因子均小于近区（5km），因此保护区内非人类生物受到的辐射剂量小于近区。综上，厂址附近陆域范围内及古城国家级

自然保护区内陆生生物是安全的。

6.1.8 关键人群组、关键核素、关键照射途径

气载流出物排放对厂址半径 10km 范围内工业园区个人所致有效剂量见表 6.1-1，对厂址半径 10~50km 范围内公众个人所致有效剂量见表 6.1-2，本项目运行状态下，厂址半径 50km 范围内居民所受的集体剂量为 $2.44E-03$ 人·Sv/a。

由表 6.1-1 及 6.1-2 可知，厂址半径 50km 范围内最大个人有效剂量出现在厂址 WSW 方位 1~2km 处，为工业园区工作人员，受到的最大个人有效剂量为 $5.33E-07$ Sv/a。

气载流出物对关键人群组各途径、各核素的剂量贡献见表 6.1-3。从表 6.1-3 可以看出，气态途径的主要途径为吸入内照射途径，约占气态途径总剂量的 87.14%；空气浸没外照射途径占气态途径的 12.86%。气态途径的主要核素为 H-3，它所致的剂量约占气态剂量的 87.12%；其它贡献较大的核素为 Ar-41，占气态途径总剂量的 12.86%。

6.1.9 辐射影响评价

综合上述计算分析，本项目运行状态下，气态途径排放总量和公众最大个人有效剂量均满足相应国标要求。本项目正常运行期间向外排放的气载放射性物质对连古城国家级自然保护区内动植物的辐射影响很小。

6.2 正常运行的非辐射环境影响

6.2.1 化学污染物的环境影响

本项目运行期产生的化学废液含有 Be 离子、F 离子等成分，年产生量 $6m^3/a$ 。化学废液不排放，统一收集至试剂仓库（05），待达到一定数量后，由具有化学品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）（持综合许可性，编号 G3620102005）进行统一处理处置。本项目运行对环境的其它影响主要是净水站和中水生产站产生的化学物质向水体的排放，以及由此造成的水体水质变化对水体生物的影响，净水站和中水生产站已在甘肃省生态环境厅填表备案。

6.2.2 生产废水和生活污水的影响

其它生产废水主要为 LF1 子项的非放射性含油废水。LF1 子项柴油发电机间排出非放射性含油废水，为冲洗地面废水和消防后含油消防排水，排至室外含油废水储存池，含油废水外运处置。

运行期净水站及综合试验大厅的生产废水符合《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962—2015），排入市政污水管网，最终排至红砂岗镇污水处理厂。

一部分生活污水为学术活动中心、园区综合服务中心、倒班宿舍等子项的生活污水通

过相应污水管网汇集至园区的中水生产站。中水生产站收集的生活污水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/T18920-2002）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）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。

另一部分生活污水为除学术活动中心、园区综合服务中心、倒班宿舍之外的子项排水，这些子项的生活污水通过园区相应污水管网汇集，生活污水排水接南侧 DN400 污水管网，管网走向由东至西，最终排入市政污水管网。市政污水管网排至红砂岗镇污水处理厂，污水处理厂已建成，日处理污水 1.5 万立方米，满足园区要求。

中水生产站处理后的再生水回用于绿化、道路浇洒等，由于再生水产生高峰时段和再生水回用高峰时段不完全一致，可能出现再生水溢流排放的情况。但溢流排放的再生水量很小，排入市政雨水管网，不会对周围环境产生不良影响。

6.2.3 非放废气

6.2.3.1 废气排放及达标情况

基盐和添加盐制备产生的工艺尾气包括 H_2 ，HF 和微量熔盐气溶胶，需设置专门的化学废气处理工艺（具体工艺流程见图 4.8-1 和图 4.8-2）。其产生的化学废气通过冷凝气体缓冲罐去除微量的熔盐气溶胶，通过稀释处理 H_2 ，通过两重碱液处理吸收 HF，处理工艺去除效率达到 99%，经处理后的化学废气采用独立管道排放至烟囱，烟囱高度为 26m，邻近建筑物高度低于 23m，烟气排放温度为 $50^{\circ}C$ ，其排放浓度和速率限值见表 6.2-1，铍的浓度不超过 $12\mu g/m^3$ （排放速率 $5.37E-04kg/h$ ），氟化物的浓度不超过 $3.8mg/m^3$ （排放速率 $0.17kg/h$ ），满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）的规定。

6.2.3.2 废气排放对环境的影响

（1）评价等级与评价范围

选择排放量较大的氟化物进行评价，大气污染物排放标准见表 6.2-1，大气环境质量标准见表 6.2-2。按照《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）规定，计算排放主要污染物的最大地面浓度占标率 P_i 及污染物的地面浓度达标准限值 10% 时所对应的最远距离 $D_{10\%}$ ，其中 P_i 定义为：

$$P_i = (C_i / C_{0i}) \times 100\%$$

式中： P_i —第 i 个污染物的最大地面浓度占标率，%；

C_i —采用估算模式计算出的第 i 个污染物的最大地面浓度， mg/m^3 ；

C_{0i} —第 i 个污染物的环境空气质量标准， mg/m^3 ；

评价工作等级的判定依据见表 6.2-3。通过 SCREEN3 估算模式计算环境影响评价工作等级，计算结果见表 6.2-4 和图 6.2-1。由表 6.2-4 可知，本设施运行后，氟化物最大 1 小时浓度为 $1.83\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最大占标率为 9.13%，对应的距离为下风向 45m 处。根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）规定，确定本项目大气评价工作等级为二级，二级评价项目不进行进一步预测与评价，只对污染物排放量进行核算。本项目评价范围为以厂址为中心边长为 5km 的矩形范围。

本项目评价范围内无其他排放氟化物和铍化物的污染源，本项目通过烟囱排放的铍的浓度不超过 $12\mu\text{g}/\text{m}^3$ （排放速率 $5.37\text{E}-04\text{kg}/\text{h}$ ），氟化物的浓度不超过 $3.8\text{mg}/\text{m}^3$ （排放速率 $0.17\text{kg}/\text{h}$ ）；排放速率和排放浓度均满足标准限值。

6.2.4 噪声的影响

采用 Cadna/A 程序进行预测，一般采用声源的倍频带声功率级、A 声功率级或靠近声源某一参考位置的倍频带声压级、A 声级来预测计算距声源不同距离的声级。

如已知声源的 A 声功率级，则预测点位置的 A 声级 $L_A(r)$ 可采用如下公式计算：

$$L_A(r) = L_{Aw} + D_C - (A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc})$$

式中： L_{Aw} ——声源的 A 声功率级，dB(A)；

D_C ——指向性指数，dB；

A_{div} ——几何发散引起的衰减，dB；

A_{atm} ——大气吸收引起的衰减，dB；

A_{gr} ——地面效应引起的衰减，dB；

A_{bar} ——声屏障引起的衰减，dB；

A_{misc} ——其他多方面效应引起的衰减，dB。

如第 i 个声源在预测点产生的 A 声级为 L_{Ai} ，在 T 时间内该声源工作时间为 t_i ，则拟建工程声源对预测点产生的贡献值 L_{eqg} 可采用如下公式计算：

$$L_{eqg} = 10\lg\left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N t_i 10^{0.1L_{Ai}}\right)$$

式中： t_i ——在 T 时间内 i 声源工作时间，s；

T ——用于计算等效声级的时间，s；

N ——声源个数。

采用 Cadna/A 程序进行噪声的预测计算。钍基熔盐堆运行后，北厂界所受影响较大，

声源对北厂界的贡献值为 41.1dB(A)，对西厂界、东厂界和南厂界的贡献值分别是 24.7dB(A)、24.2 dB(A) 和 17.1 dB(A)。因此，钍基熔盐堆运行后，声源对各厂界的噪声贡献值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中规定 3 类标准限值，即昼间 65 dB(A)和夜间 55 dB(A)。

根据甘肃云腾环境科技检测有限公司 2019 年 9 月编制的《TMSR-LF1 非放射性本底调查委托检测报告》，北厂界昼间噪声范围为 27.2~28.5 dB(A)，夜间噪声范围为 26.6~27.1 dB(A)，叠加噪声贡献值后，北厂界昼夜间噪声约为 41.3dB(A)，工程正常运行对厂界的影响可忽略不计。

综上所述，钍基熔盐堆运行后，对厂址周围声环境质量影响满足标准要求。

6.2.5 固体废物的环境影响

本项目产生的固体废物主要包括一般工业废物、危险废物和生活垃圾。

一般工业固体废物主要为净水站和中水生产站处理过程中产生的污泥、膜组件等，一般工业废物按照工业垃圾固体废物进行处置，按规定在红砂岗工业集聚区管理委员会安全环保科工作人员见证下，运送至红砂岗工业集聚区一般工业固体废弃物填埋场处置，不会对周围环境产生不良影响。一般工业固体废物贮存设施必须满足《一般工业固体废物贮存、处置场所污染控制标准》(GB18599-2001，2013 年修订)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。

危险废物主要为有毒废物（废熔盐、熔盐泊污的设备耗材等非放射性有毒固体废物）和空瓶（空试剂瓶等）。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），待达到一定数量后，由具有化学品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）（持综合许可性，编号 G3620102005）进行统一处理处置，不会对周围环境产生不良影响。

工作人员产生的生活垃圾按规定在园区设置垃圾收集暂存箱，并委托红砂岗镇环卫部门定期外运处理，不会对环境产生不良影响。

表 6.1-1 本项目运行状态下气载流出物排放对厂址周围 10km 范围工业园区个人所致有效剂量

单位：Sv/a

方位/半径 km	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10
N					
NNE					
NE					
ENE					
E					
ESE					
SE					
SSE					
S			9.40E-08	5.10E-08	
SSW			1.61E-07	8.60E-08	
SW		2.98E-07	1.57E-07	8.45E-08	3.52E-08
WSW		5.33E-07	2.74E-07	1.45E-07	5.95E-08
W				9.30E-08	3.80E-08
WNW				1.22E-07	4.98E-08
NW				7.90E-08	3.31E-08
NNW					

表 6.1-2 (1/4) 本项目运行状态下气载流出物排放对厂址周围 10~50km 范围公众个人所致有效剂量（成人）

单位：Sv/a

方位/半径 km	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50
N									
NNE								2.24E-08	
NE									
ENE									
E									
ESE									
SE									1.82E-08
SSE									
S								1.64E-08	1.11E-08
SSW								2.87E-08	1.95E-08
SW									2.02E-08
WSW						1.80E-07			
W						1.14E-07			
WNW									
NW									
NNW									

表 6.1-2 (2/4) 本项目运行状态下气载流出物排放对厂址周围 10~50km 范围公众个人所致有效剂量（青少年）

单位：Sv/a

方位/半径 km	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50
N									
NNE								2.87E-08	
NE									
ENE									
E									
ESE									
SE									2.34E-08
SSE									
S								2.11E-08	1.42E-08
SSW								3.69E-08	2.50E-08
SW									2.60E-08
WSW						2.30E-07			
W						1.46E-07			
WNW									
NW									
NNW									

表 6.1-2 (3/4) 本项目运行状态下气载流出物排放对厂址周围 10~50km 范围公众个人所致有效剂量（儿童）

单位：Sv/a

方位/半径 km	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50
N									
NNE								1.50E-08	
NE									
ENE									
E									
ESE									
SE									1.22E-08
SSE									
S								1.10E-08	7.39E-09
SSW								1.92E-08	1.30E-08
SW									1.35E-08
WSW						1.21E-07			
W						7.66E-08			
WNW									
NW									
NNW									

表 6.1-2 (4/4) 本项目运行状态下气载流出物排放对厂址周围 10~50km 范围公众个人所致有效剂量（婴儿）

单位：Sv/a

方位/半径 km	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50
N									
NNE								1.42E-08	
NE									
ENE									
E									
ESE									
SE									1.15E-08
SSE									
S								1.04E-08	6.99E-09
SSW								1.82E-08	1.23E-08
SW									1.28E-08
WSW						1.15E-07			
W						7.26E-08			
WNW									
NW									
NNW									

表 6.1-3 本项目气载流出物排放的各核素通过各途径对关键居民组剂量的贡献

单位：Sv/a

核素	空气浸没	地面照射	吸入	途径合计	核素的贡献
Ar-37	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00%
Ar-39	1.31E-18	0.00E+00	0.00E+00	1.31E-18	0.00%
Ar-41	6.85E-08	0.00E+00	0.00E+00	6.85E-08	12.86%
C-14	8.00E-17	2.28E-13	2.19E-11	2.21E-11	0.00%
Cs-135	2.83E-29	4.57E-26	3.30E-24	3.35E-24	0.00%
Cs-137	3.13E-21	4.08E-17	1.17E-16	1.58E-16	0.00%
H-3	9.40E-12	0.00E+00	4.65E-07	4.65E-07	87.12%
I-131	4.63E-15	9.55E-13	2.18E-13	1.18E-12	0.00%
I-132	2.01E-17	4.83E-17	7.05E-18	7.54E-17	0.00%
I-133	2.20E-16	5.10E-15	1.47E-15	6.79E-15	0.00%
I-134	1.40E-16	1.27E-16	2.08E-17	2.88E-16	0.00%
I-135	1.36E-14	8.75E-14	1.46E-14	1.16E-13	0.00%
Kr-83m	1.09E-21	0.00E+00	0.00E+00	1.09E-21	0.00%
Kr-85	9.80E-12	0.00E+00	0.00E+00	9.80E-12	0.00%
Kr-85m	1.78E-14	0.00E+00	0.00E+00	1.78E-14	0.00%
Kr-87	3.10E-12	0.00E+00	0.00E+00	3.10E-12	0.00%
Kr-88	5.90E-11	0.00E+00	0.00E+00	5.90E-11	0.01%
Sr-89	1.55E-18	2.26E-15	7.70E-15	9.96E-15	0.00%
Sr-90	4.59E-22	3.11E-18	6.00E-17	6.31E-17	0.00%
Xe-131m	2.36E-18	0.00E+00	0.00E+00	2.36E-18	0.00%
Xe-133	3.04E-15	0.00E+00	0.00E+00	3.04E-15	0.00%
Xe-133m	1.75E-16	0.00E+00	0.00E+00	1.75E-16	0.00%
Xe-135	3.53E-13	0.00E+00	0.00E+00	3.53E-13	0.00%
Xe-135m	7.90E-16	0.00E+00	0.00E+00	7.90E-16	0.00%
Y-91	5.90E-20	7.50E-17	2.36E-16	3.11E-16	0.00%
合计	6.86E-08	1.28E-12	4.65E-07	5.33E-07	100.00%
份额	12.86%	0.00%	87.14%	100.00%	

表 6.2-1 大气污染物最高允许排放浓度及速率

内容 排放标准	HF 最高允许排放 浓度 (mg/m ³)	排气筒高度 m	最高允许排放速率 (二级) (kg/h)
氟化物	9.0	20	0.17
		30	0.59
		26	0.211*
铍及其化合物	0.012	20	1.8×10 ⁻³
		30	6.2×10 ⁻³
		26	2.22×10 ⁻³ *

*通过标准附录 B 内插法，并严格 50% 计算得到

表 6.2-2 环境空气质量标准

功能区划分	标准名称	标准级别	取值时间	氟化物(μg/m ³)
二类地区	环境空气质量标准 (GB3095-2012)	二级	1 小时平均	20
			24 小时平均	7

表 6.2-3 环境空气评价等级判别依据

评价工作等级	评价工作等级的判别依据
一级	$P_{\max} \geq 10\%$
二级	$1\% \leq P_{\max} < 10\%$
三级	$P_{\max} < 1\%$

表 6.2-4 估算模式计算结果

距源中心 下风向距离 D(m)	氟化物	
	下风向预测浓度 C_i ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	浓度占标率 P_i (%)
10	3.17E-02	0.16
45	1.83E+00	9.13
50	1.80E+00	8.98
100	1.32E+00	6.61
150	1.47E+00	7.36
200	1.37E+00	6.84
250	1.20E+00	6.01
300	1.32E+00	6.58
350	1.30E+00	6.51
400	1.22E+00	6.11
450	1.16E+00	5.78
500	1.12E+00	5.59
550	1.13E+00	5.66
600	1.12E+00	5.62
650	1.10E+00	5.51
700	1.07E+00	5.35
750	1.03E+00	5.16
800	9.92E-01	4.96
850	9.80E-01	4.9
900	9.73E-01	4.87
950	9.62E-01	4.81
1000	9.47E-01	4.74
1050	9.30E-01	4.65
1100	9.11E-01	4.55
1150	8.91E-01	4.45
1200	8.70E-01	4.35
1250	8.49E-01	4.24
1300	8.27E-01	4.14
1350	8.06E-01	4.03
1400	7.85E-01	3.93
1450	7.67E-01	3.84
1500	7.65E-01	3.83
1550	7.63E-01	3.81
1600	7.59E-01	3.79
1650	7.54E-01	3.77
1700	7.49E-01	3.74
1750	7.43E-01	3.71
1800	7.36E-01	3.68
1850	7.29E-01	3.65

距源中心 下风向距离 D(m)	氟化物	
	下风向预测浓度 C_i ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	浓度占标率 P_i (%)
1900	7.22E-01	3.61
1950	7.14E-01	3.57
2000	7.06E-01	3.53
2050	6.98E-01	3.49
2100	6.90E-01	3.45
2150	6.82E-01	3.41
2200	6.74E-01	3.37
2250	6.66E-01	3.33
2300	6.57E-01	3.29
2350	6.49E-01	3.24
2400	6.41E-01	3.2
2450	6.32E-01	3.16
2500	6.24E-01	3.12

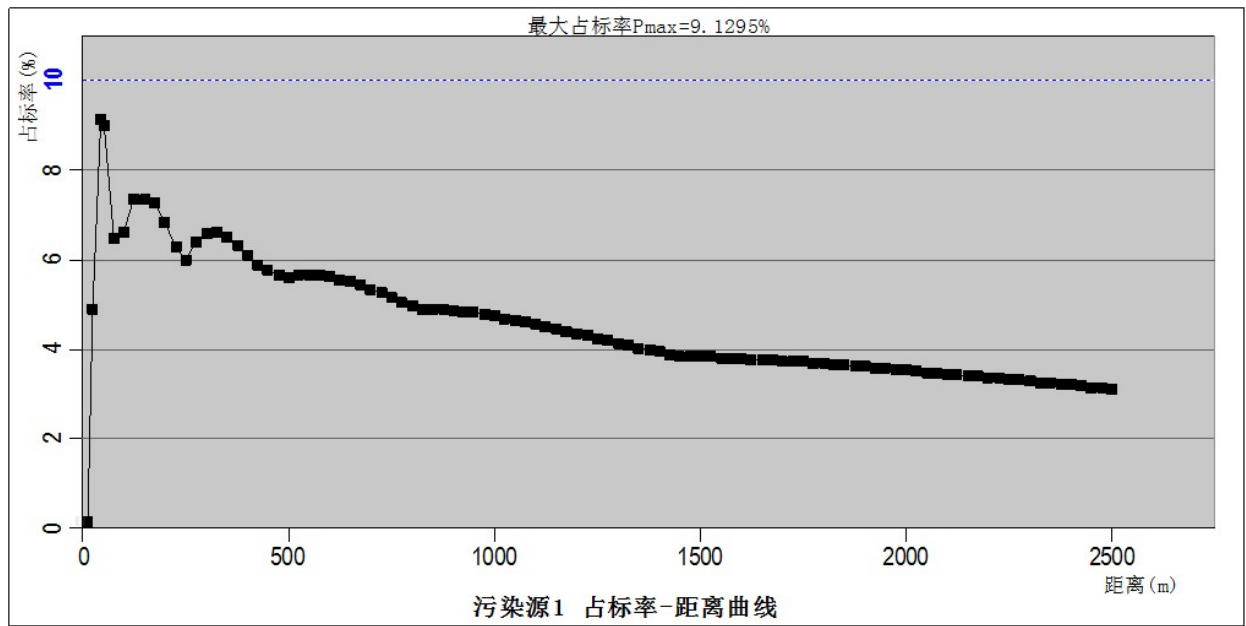


图 6.2-1 氟化物占标率和浓度与距离曲线

第七章 反应堆事故的环境影响和环境风险

7.1 事故描述

7.1.1 燃料盐覆盖气体系统边界泄漏

7.1.2 熔盐-熔盐换热器管侧泄漏

7.2 事故剂量估算和评价

7.2.1 事故大气弥散条件

7.2.2 事故剂量估算

7.2.3 事故剂量评价

7.3 严重事故

7.4 场内运输事故

7.4.1 新燃料运输事故

7.4.2 乏燃料运输事故

7.5 其他事故

7.6 事故应急

7.6.1 制定场内应急预案的依据

7.6.2 应急组织及职责

7.6.3 应急状态分级

7.6.4 应急设施设备

7.1 事故描述

现行核安全法规及其导则并没有针对液态燃料熔盐堆工况分类的具体要求和指导，所以，在满足 HAF201、HAD201/01 和 HAD002/06 的相关要求下，通过安全分析和工程判断相结合并参考其他堆型经验，基于 TMSR-LF1 堆型进行运行工况分类。TMSR-LF1 运行工况划分为五类：即正常运行、预计运行事件、稀有事故、极限事故、超设计基准事故。

● 正常运行—工况 I

反应堆经常性或定期出现的各种状态和过程。工况 I 事件引起的物理参数变化不会达到触发保护动作的整定值。

● 预计运行事件—工况 II

可能发生的偏离正常运行的状态或故障。当物理参数变化达到整定值时，保护系统能够实现紧急停堆，在采取纠正措施后，反应堆能恢复运行，放射性物质释放不超过正常范围。不会发展为稀有事故和极限事故。

● 稀有事故—工况 III

此工况下的事件造成反应堆停堆，并使反应堆在短时间内不能恢复运行。不会发展成极限事故。

● 极限事故—工况 IV

反应堆在规定寿期内预计不会发生但应采取针对性设计措施的假想事故。它代表了设计的极限情况，是最严重的工况。在此工况下，释放到厂区边界的放射性物质使任何个人（成人）可能受到的有效剂量可能实施厂房应急，但不足以实施厂区应急。

● 超设计基准事故—工况 V

比设计基准事故发生后果可能更严重的一类假想事故工况，它可能由多重故障引起。该工况有可能导致实施厂房应急行动，但对于选定的、可信的超设计基准事故，仍不足以实施厂区应急行动。对于预计运行事件迭加一个或一个以上安全系统失效的事故，均按该类状态考虑。

根据 FSAR 的分析结果，TMSR-LF1 可能造成放射性释放的设计基准事故主要有：

- 燃料盐覆盖气体系统边界泄漏事故；
- 熔盐-熔盐换热管侧泄漏事故；

7.1.1 燃料盐覆盖气体系统边界泄漏

堆芯覆盖气与燃料盐回路燃料盐直接接触，燃料盐回路中的气态放射性物质在正常运行时持续进入覆盖气内。若覆盖气边界出现泄漏，气态放射性物质会泄漏到安全容器中，并通过安全容器释放到环境中，对公众产生放射性威胁。

该事故中，安全容器内的覆盖气体尾气段破裂最为不利。尾气管段发生假想破裂后，约 10 分钟触发辐射监测系统报警，提示操纵员干预，且操纵员干预时间为 30 分钟。保守假设操纵员干预前尾气吹扫功能完全丧失。

该事故属于 IV 类工况。

7.1.2 熔盐-熔盐换热器管侧泄漏

发生熔盐-熔盐换热器管侧泄漏假想事故时，TMSR-LF1 控制棒停堆系统的功能和非能动余热排出系统的功能不受影响，因此，反应堆可安全停堆。

在反应堆正常运行时，TMSR-LF1 冷却盐回路的压力高于燃料盐回路的压力。因此，当发生熔盐-熔盐换热器传热管假想泄漏时，冷却盐向燃料盐回路系统泄漏。当冷却盐泄漏进入燃料盐回路系统时，反应性下降，堆芯燃料盐液位升高，覆盖气压力升高，冷却盐泵罐液位下降。当燃料盐回路中液位下降至预定值时，液位监测系统提示操纵员干预。即使操纵员没有及时采取措施，冷却盐向燃料盐回路泄漏引起燃料盐回路裂变燃料浓度下降，进而引起反应性下降。当调节棒不足以补偿反应性的持续降低时，链式反应自动停止，反应堆安全停堆。该事故情景中，反应堆非能动余热排出系统始终处于工作状态，余热被安全导出。

熔盐-熔盐换热器管侧泄漏事故属于 IV 类工况。

7.2 事故剂量估算和评价

7.2.1 事故大气弥散条件

采用红砂岗气象站 2018~2019 年 10m 高度的风向、风速、大气稳定度三维联合频率计算厂址的保守和现实条件下的短期大气弥散因子。

7.2.2 事故剂量估算

7.2.2.1 计算模式

对各类设计基准事故计算了厂址边界处的个人剂量。照射途径考虑了事故期间起主要作用的三个途径：

- 放射性烟云浸没外照射；
- 沉积在地面的放射性物质外照射；
- 从烟云中吸入放射性物质内照射。

考虑上述三种照射途径，计算厂址边界处公众在各设计基准事故持续期间受到的有效剂量以及甲状腺当量剂量。

外照射剂量转换因子取自 GB18871-2002 和美国联邦导则第 12 号报告中的推荐值。

吸入内照射剂量转换因子取自于 GB18871-2002，甲状腺内照射剂量转换因子取自于 ICRP71 号报告；对于 ICRP71 号报告缺少的核素的甲状腺剂量转换因子，则取用美国联邦导则 11 号报告中的推荐值。

7.2.3 事故剂量评价

由于目前没有针对液态钍基熔盐堆的事故剂量评价准则，因此现阶段参考《研究堆安全分类（试行）》中关于 II 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》中对于研究堆应急状态的规定，针对 TMSR-LF1 的稀有事故和极限事故，其个人剂量限值分别确定为：在每发生一次稀有事故时，场址边界上公众个人（成人）在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下；在每发生一次极限事故时，场址边界上公众个人（成人）在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应小于 10mSv。

TMSR-LF1 各类事故中，放射性后果最严重的是燃料盐覆盖气体系统边界泄漏事故，当采用保守的大气弥散因子时，事故期间 24h 内厂址边界处的最大个人总有效剂量满足极限事故个人有效剂量（10mSv）的要求。

7.3 严重事故

TMSR-LF1 是 II 类研究堆，无严重事故。

7.4 场内运输事故

7.4.1 新燃料运输事故

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆新燃料运输仅涉及添加盐。

添加盐的转运为厂区内运输，添加盐储存在专用储罐内，该储罐通过专用转运车进行运输，保证了运输过程中的安全。运输过程中，添加盐储罐内的熔盐处于凝固状态，罐内充满氩气作为覆盖气，罐体具备密封的功能。

经过临界安全计算表明，添加盐储罐内的 LiF-UF_4 在常温（300K）条件下，有效增值因子 k_{eff} 为 0.64，在 LiF-UF_4 熔点（761K）条件下，有效增值因子 k_{eff} 为 0.58（考虑了保守假设，包括所有可能的不确定因素）。在添加盐运输过程中，凝固的添加盐不会发生形状变化，因此始终处于临界安全状态。

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，新燃料及其运输容器的减震和密封性能能在正常运输条件下确保运输的安全，对环境不会产生任何有害影响。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）和《放射性物品安全运输规程》（GB 11806-2019）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，也不会对周围环境和人员造成危害和污染。

7.4.2 乏燃料运输事故

在 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆寿期内，不产生乏燃料盐，在反应堆退役前，无需考虑乏燃料运输事故。

7.5 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险降低到最小。

根据《危险化学品重大危险源辨识》（GB18218-2018）的规定，各类危化品的贮存量均小于临界值，本项目不存在重大危险源。

7.6 事故应急

7.6.1 制定场内应急预案的依据

- 《中华人民共和国核安全法》
- 《国家核应急预案》
- 《研究堆营运单位的应急准备与应急响应》（HAD 002/06-2019）
- 《电离辐射防护和辐射源安全的基本安全标准》（GB 18871-2002）
- 《研究堆安全分类（试行）》（国核安发[2013]165 号）

7.6.2 应急组织及职责

7.6.2.1 应急准备组织与职责

TMSR-LF1 的应急准备工作由应急办负责，应急办依托综合办公室开展 TMSR-LF1 应急准备和应急教育培训的管理工作，负责管理建设、调试和运行期间应急准备和人员培训的归口管理部门，对应急预案的准备与实施进行统一管理，具体职责包括：

(1)组织编写和修订 TMSR-LF1 应急预案和应急准备程序，管理和协调场内应急准备工作；

(2)定期核查各应急设施的应急准备情况，包括设施、设备、器材和文件资料，试验通讯和报警系统；

(3)对基地所有员工和外协单位人员进行基本的应急培训；

(4)编制应急响应人员专项培训计划，组织对应急人员进行应急启动与应急响应培训、专业技术培训；

(5)组织编写应急演习的演习方案与总结报告，编制应急准备年度计划与总结报告；对单项应急演习进行监督和考评；

(6)定期根据实际情况改进应急预案并跟踪执行。

(7)承担应急指挥部日常办事机构职能。

7.6.2.2 应急响应组织与职责

TMSR-LF1 应急响应组织拟由应急指挥部和 5 个应急行动组组成，如图 7.6-1 所示。5 个应急行动组分别是应急运行组、应急维保组、应急公设组、应急监测组、应急信息组。其中应急指挥部人员由所长、主管副所长、武威分部负责人、运行负责人等组成；应急运行组人员主要由堆运行组人员构成；其他应急行动组由组长、专家、发言人等构成。

——应急指挥部

TMSR-LF1 应急指挥部负责统一指挥、协调和安排应急状态下场内的应急响应行动，以及与国务院核工业主管部门、核安全监督管理部门和甘肃省指定的部门进行报告和联系。应急总指挥的主要职责为：

- (1) 全面指挥场内应急响应行动；
- (2) 批准和宣布进入和终止应急待命和厂房应急状态；
- (3) 全面指挥场区内恢复行动；
- (4) 作为代表向国家核安全局报告和联系；
- (5) 与地方核应急组织、主管部门等部门报告和联系。

应急副总指挥的职责是在应急总指挥未到位的情况下代替总指挥的职责，以及协助应急总指挥开展应急响应行动，参与应急决策。应急指挥之间的指挥替代顺序依次为总指挥、第一副总指挥、第二副总指挥、第三副总指挥。

——应急运行组

TMSR-LF1 的应急运行组负责本项目的运行，评价宣布应急所依据的情况和资料，并向应急总指挥报告。应急运行组的主要职责为：

- (1)对应急状态进行初步判断，按规定程序将异常情况和判断结果及时报告应急指挥部，向应急指挥部提供应急等级的建议；
- (2)执行应急运行规程、控制并维持本项目的安全状态；
- (3)在应急指挥部启动前，值班组长负责现场应急指挥，发布应急通知和事故报警信号，

组织实施厂房内的应急行动，控制事故和减轻事故的后果；

(4)应急指挥部启动到位后，向应急指挥部提供事故有关的资料，并随时向应急指挥部报告事故发展情况，同时按照应急指挥部要求发布应急通知。

——应急公设组

应急公设组主要负责提供和保障应急状态下的生活物资和工作物资的可靠供应和顺畅使用以及场区内的保卫、交通管理、消防和医疗救护工作，主要职责如下：

- (1)提供通讯设备，保障应急指挥部与上级和地方相关部门的通讯联络，保障应急指挥部和各应急小组之间的通讯联络，保障各小组内部人员之间的通信联络和数据信息的传输；
- (2)保障主体厂房内和场区内的应急通知和应急警报的发布；
- (3)保障各应急组织和人员的办公条件，提供办公用品、器材；
- (4)负责应急响应人员和临时增援人员的设备、材料和生活物资供应；
- (5)记录、整理和保存应急过程中的重要通信、文件和资料。
- (6)场区的保卫和出入控制，场内交通控制，保持道路畅通；
- (7)组织并实施防火与灭火行动；
- (8)负责组织厂房内非应急人员集合、清点和撤离；
- (9)负责厂房内失踪人员的搜索和救援；
- (10)根据监测评价结果对场内污染区域进行标记和控制；
- (11)向应急工作人员提供防护工具和防护指导；
- (12)组织对主体厂房内和场内的受辐照污染人员或伤员的救护、去污或外送；
- (13)应急状态下的常规医疗救护工作；
- (14)参与其它抢险抗灾行动。

——应急维保组

应急维保组主要承担 TMSR-LF1 反应堆系统及配套设施和设备在应急状态下的故障探查、控制、维修和维护工作。其主要职责如下：

- (1)实验堆设备与系统故障的探查、排除、控制与抢修；
- (2)制定应急维修方案，组织应急维修队伍和应急维修行动，确保维修方案得到实施；
- (3)负责应急设施和设备，及系统的抢修和维护；
- (4)参加其它工程抢险维修行动。应急维修组应在厂房应急状态信号发布后，全组人员自动启动到岗；或在应急指挥部的要求下部分或全部人员启动到岗。

——应急监测组

应急监测组主要承担应急状态下场内设施设备和人员的辐射监测以及剂量评价工作，为应急决策提供依据，其主要职责如下：

- (1) 应急状态下，组织对主体厂房内和场内的人员实施辐射监测和化学监测；
- (2) 预测事故后果，并结合辐射监测结果对厂房内受污染的区域进行评价和划分；
- (3) 监督和控制应急工作人员的受照剂量；
- (4) 向应急指挥部提出采取应急防护措施的建议；
- (5) 将监测和评价结论提供给其他应急行动组作为行动依据和参考。

——应急信息组

应急信息组主要负责为应急状态下对应急指挥部提出技术建议，对应急运行组和其他应急小组人员提供技术支持以及应急期间公众信息管理工作，其主要职责如下：

- (1) 掌握事故工况，分析评价反应堆状态，预估事故发展，向应急指挥部和应急运行组提出事故缓解措施的建议；
- (2) 根据周围环境监测结果或辐射后果计算，向应急指挥部给出污染评价和应采取的防护行动建议；
- (3) 为反应堆设备系统状态诊断提供技术支持，向应急指挥部和应急维修组提供或推荐应急维修方案的建议；
- (4) 负责关键应急响应行动的核安全监督。
- (5) 收集公众、社会的反映，以便开展适当的沟通；
- (6) 准备和提供有关资料；
- (7) 为应急指挥部和应急行动组提供技术支持；
- (8) 根据授权，做好新闻发布会的准备。

7.6.3 应急状态分级

根据 TMSR-LF1 事故分析结果，将 TMSR-LF1 的应急状态分为应急待命和厂房应急两级：

1) 应急待命。出现可能危及实验堆安全运行的工况或事件，表明实验堆安全水平处于不确定或可能有明显降低时，TMSR-LF1 进入应急待命状态，此时出现少量的放射性物质释放，或者出现少量的化学有毒物质释放，此时事故后果影响范围仅限于厂房内局部区域，需采取预防性措施以防止向更高级别的应急状态演变。

2) 厂房应急。实验堆的安全水平有实际的或潜在的大的降低，出现或可能出现少量的放射性物质释放时，TMSR-LF1 进入厂房应急状态，此时事故后果影响范围仅限于主体

装置厂房和场区局部区域，不会对场内其它区域或场外产生威胁。

7.6.4 应急设施设备

TMSR-LF1 的主要应急设施设备包括：主控制室、应急指挥中心、应急通信系统、应急监测系统等。

——主控制室

正常运行情况下，主控制室是实施 TMSR-LF1 实验堆集中运行控制和监测的场所，事故工况下，主控制室是应急运行组的工作场所。

TMSR-LF1 主控制室在应急响应期间的主要功能包括：

- (1) 对 TMSR-LF1 运行状态进行集中控制和监测；
- (2) 分析和诊断实验堆事故状态，对应急状态进行初步评价，在应急指挥部启动到位之后，向应急指挥部提供事故有关的资料，并提供应急状态分级的建议，随时向应急指挥部报告事故发展情况；
- (3) 执行应急运行规程、控制并维持本项目在安全状态，缓解事故后果；
- (4) 在应急指挥部启动到位之前，履行应急启动和指挥的功能，组织实施厂房内的应急措施，发出应急通知和警报。

——应急指挥中心

TMSR-LF1 应急指挥中心具备以下功能：

- (1) 可供应应急指挥部的成员在其中全面管理、指挥、协调和监督场内的应急响应行动；
- (2) 供技术支持组的成员在其中进行反应堆安全状况分析、事故后果评价及辐射防护管理，为主控制室人员提供技术支持和支援；
- (3) 为应急人员和其他抢险救援人员提供待命场所；
- (4) 保证应急期间场内各应急组织之间及与场外主管部门、核安全监督管理部门和地方应急组织的通讯联络畅通无阻；
- (5) 部分应急设备和物资的储存；
- (6) 供应急演习、培训时使用。

——应急通信系统

在与日常通信系统兼容的基础上，TMSR-LF1 应急期间可以保障场内各应急组织之间、场内与场外核安全监督管理部门和其他相关职能部门之间的通信联络畅通无阻，同时保障应急期间的数据信息传输。TMSR-LF1 应急通信的主要功能包括：

- (1) 保障主控制室与堆本体之间的数据信息传输、与应急工作人员之间的通信联络；

- (2) 保障应急指挥部和各应急行动组工作人员之间的通信联络；
- (3) 保障场内应急广播通知和应急警报的覆盖和发布；
- (4) 应急期间向国家核安全局、西北核与辐射安全监督站实时在线传输实验堆重要安全参数；
- (5) 记录 TMSR-LF1 应急期间的重要信息和通讯。

在日常通信系统的基础上，TMSR-LF1 应急期间主要启用的通信设备有综合布线系统、对讲机系统、有线广播系统等。

——应急监测系统

TMSR-LF1 的应急监测系统具有以下功能：

- (1) 应急响应期间监测实验堆运行参数，诊断和预测事故状态；
- (2) 监测实验堆事故状态下的气载放射性释放；
- (3) 监测实验堆事故状态下的有毒化学物质释放；
- (4) 监测事故状态下主体装置厂房内的辐射水平和化学污染水平；
- (5) 为应急响应期间对环境和人员的辐射剂量和化学毒性评价提供数据。

第八章 流出物监测与环境监测

8.1 辐射监测

8.1.1 流出物监测

8.1.2 辐射环境监测

8.1.3 应急监测

8.2 其它监测

8.2.1 生活污水监测

8.2.2 气象观测

8.2.3 非放射性废气监测

8.2.4 噪声监测

8.3 监测设施

8.3.1 固定式环境 γ 辐射监测仪

8.3.2 辐射监测实验室

8.4 质量保证

8.4.1 质量控制

8.4.2 质量管理

表

表 8.1-1 气载流出物监测方案

表 8.1-2 气载流出物监测系统主要监测道情况

表 8.1-3 气载流出物取样测量项目情况

表 8.1-4 运行期间辐射环境监测方案

表 8.1-5 辐射环境监测方法汇总表

表 8.3-1 固定式环境 γ 监测仪性能指标

表 8.3-2 辐射监测实验室房间信息表

表 8.3-3 辐射监测实验室设备信息表

图

图 8.1-1 气载流出物监测系统示意图

图 8.1-2 气载流出物监测点平面示意图

图 8.1-3 气载流出物监测控制流程图

图 8.1-4 厂区内 γ 辐射剂量率监测点布置图

图 8.1-5 2km 范围内 γ 辐射剂量率监测点布置图

图 8.1-6 2~10km 范围内 γ 辐射剂量率监测点布置图

图 8.1-7 γ 辐射剂量率连续监测点位示意图

图 8.1-8 厂界内氡监测位置示意图

图 8.1-9 土壤取样点位示意图

图 8.3-1 辐射监测实验室位置

图 8.3-2 辐射监测实验室平面示意图

8.1 辐射监测

8.1.1 流出物监测

流出物监测一般包括液态流出物监测和气载流出物监测，2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）在正常运行期间不会排放液态流出物，因此流出物监测的主要对象是气载流出物。运行期间气载流出物监测方案根据我国有关法规和工程的实际情况制定，主要包括流出物的放射性浓度、排放总量和核素的种类等。

8.1.1.1 参考标准

制定流出物监测方案参照了下列标准：

GB 18871-2002	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》
GB 11217-89	《核设施流出物监测的一般规定》
GB 11216-89	《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》
HJ/T 22-1998	《气载放射性物质取样一般规定》
GB/T 7165.1-2005	《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第 1 部分：一般要求》
GB/T 7165.2-2008	《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第 2 部分：放射性气溶胶（包括超铀气溶胶）监测仪的特殊要求》
GB/T 7165.3-2008	《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第 3 部分：放射性惰性气体监测仪的特殊要求》
GB/T 7165.4-2008	《气态排出流（放射性）活度连续监测设备 第 4 部分：放射性碘监测仪的特殊要求》

8.1.1.2 监测目的

运行期间流出物监测目的：

- （1）监测释放到环境中的流出物的浓度，判断其是否符合国家核安全监管部门的相关规定要求；
- （2）为判明本项目的运行以及放射性废物的处理和装置的工作是否正常有效提供数据和资料；
- （3）迅速发现有无计划外排放和事故排放，为鉴别排放性质、种类及其程度提供监测数据，以便及时采取措施；
- （4）给出报警信息，以控制不合理的排放，可为本项目在事故期间的应急响应提供信

息。

8.1.1.3 监测内容

本项目流出物监测对象为烟囱排放的气溶胶、碘、惰性气体、氙和 C-14，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。

8.1.1.4 监测系统

气载流出物监测系统由气溶胶/碘/惰性气体监测仪（PIG 监测仪）、高量程惰性气体监测仪、氙取样回路、C-14 取样回路、气溶胶/碘取样回路、惰性气体取样回路及取样管道、阀门、取样泵及辐射监测计算机等组成，见图 8.1-1。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；对氙和 C-14 的监测采用取样测量方式。气载流出物监测方案见表 8.1-1。

气载流出物监测设备主要布置在烟囱流出物监测间内（LF1412），具体位置见图 8.1-2，在厂房烟囱内设置取样管路对气载流出物进行取样，取样及测量完成之后返回到厂房烟囱内。采用单嘴等速取样技术对气态排出流进行取样，取样点位置处的排放气态混合相对均匀，以使得取样的气体样品具有代表性。取样管道连接到流出物监测间，经过流量分配和系统控制后进入各监测回路或取样回路。气载流出物在线监测数据达到或超过报警时，通过取样在辐射监测实验室进行测量，核实气载流出物的放射性浓度值，如确认排放的气载流出物的放射性浓度达到运行限值，则将手动停堆，具体监测控制流程见图 8.1-3。

气载流出物的在线监测主要使用 PIG 连续监测仪对烟囱内取样的惰性气体、碘及粒子进行监测，在事故情况下，启动高量程惰性气体监测仪，对惰性气体进行连续监测。PIG 连续监测通道和高量程惰性气体监测通道都是非安全级设备，连续监测通道具有应急电源供电。PIG 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，实现远端集中显示、报警、控制、保存等功能。在线监测系统中各监测道情况见表 8.1-2。

气载流出物取样分析主要是对气溶胶、碘、H-3 和 C-14 进行连续取样，对惰性气体进行定期取样，样品定期送至实验室进行测量分析。取样分析核素主要有惰性气体(Ar-41、Kr-85、Kr-88、Xe-133)、碘(I-131)、气溶胶粒子(Sr-90、Cs-137)、H-3 及 C-14。气溶胶进行低本底 α/β 测量仪分析、 γ 能谱分析；惰性气体、碘进行 γ 能谱分析；C-14、氙样品进行液闪测量分析。各监测项目的测量仪器和探测限见表 8.1-3。

8.1.2 辐射环境监测

本项目规划建设 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）、10MWt 固态燃料熔盐实验堆（TMSR-SF1）、干法后处理中心及配套设施，先期拟建设 2MWt 液态燃料钍基

熔盐实验堆（TMSR-LF1）及其相关的配套设施。按照国家法律法规和相关标准要求，钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验堆基地运行期间应进行环境监测。本项目运行期间环境监测范围、监测项目及布点情况将结合运行前本底调查结果制定，项目采样点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。

8.1.2.1 参考标准

制定环境监测方案主要参照下列标准：

GB 18871-2002	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》
GB 12379-90	《环境核辐射监测规定》
GB 11216-89	《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》
GB/T 14583-93	《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》
HJ/T 61-2001	《辐射环境监测技术规范》

8.1.2.2 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。

8.1.2.3 监测范围

- （1）环境 γ 辐射/贯穿辐射剂量率的调查范围：以实验堆基地为中心半径 10km 范围内；
- （2）环境介质的调查范围：以实验堆基地为中心半径 10km 范围内，重点为半径 5km 范围内。

8.1.2.4 布点原则

运行期间环境监测布点结合运行前的放射性本底调查结果具体制定。同时为了使采样和监测点的选取具有充分的代表性，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：

- （1）依据相关标准及技术规范，并结合厂址区域附近地区的地形等条件；
- （2）与运行前本底调查保持适当比例的同位点；
- （3）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；
- （4）对居民密集地区、主导风下风向及环境敏感点布设监测点。

8.1.2.5 监测内容

（1）环境 γ 辐射剂量率监测

- γ 辐射剂量率的非连续监测，瞬时环境 γ 辐射剂量率的测量点位见图 8.1-4~8.1-6；
- γ 辐射剂量率的连续监测，TMSR-LF1 厂区环境 γ 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，设置 5 台固定式环境 γ 剂量率监测仪，具体位置见图 8.1-7；
- 累积剂量的监测。

（2）环境介质放射性核素浓度监测

- 大气
 - ◆ 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 4 个氡取样监测点，监测频次为 1 次/季，监测点布置见图 8.1-8。
- 水监测
 - ◆ 降水： ^{90}Sr 、 ^3H 及 γ 核素分析。
- 土壤，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 8.1-9。
 - ◆ 总 β 、 ^{90}Sr 和 γ 核素分析。

本项目的详细监测方案见表 8.1-4。

8.1.2.6 测量方法

根据监测任务和样品的种类，采取以下不同的测量方法，具体测量项目和方法见表 8.1-5。

（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、C-14 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。

8.1.3 应急监测

应急监测的主要内容包括：

1) 流出物监测

通过气态流出物监测系统对烟囱排出的放射性惰性气体进行连续监测，同时对烟囱排放流进行采样分析。

2) 辐射环境监测

- 通过环境 过环监测系统对各监测点的 测系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。

8.2 其它监测

8.2.1 生活污水监测

本项目生活污水监测项目包括 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，在生活污水接入园区市政污水管网处设置监测点位。1 季度开展 1 次监测工作。

8.2.2 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。

8.2.3 非放射性废气监测

非放射性废气中的特征污染物是氟化氢和微量熔盐气溶胶（含铍、氟），主要来自基盐和添加盐制备产生的工艺尾气。其中，基盐制备产生的尾气通过专门的化学废气处理工艺，处理达标（GB16297-1996）后通过排气管道排放；添加盐制备产生的尾气通过专门的化学废气处理工艺，处理达标（GB16297-1996）后汇入 LF1 主体装置厂房通风系统。

根据《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）的规定，铍的浓度不超过 $12\mu\text{g}/\text{m}^3$ （排放速率小于 $2.16\text{E}-06\text{kg}/\text{h}$ ），氟化物的浓度不超过 $3.4\text{mg}/\text{m}^3$ （排放速率小于 $0.17\text{kg}/\text{h}$ ）。为了保证排放达标，在废气处理工艺的出口管道上安装氟化氢浓度检测仪，实时监测非

放射性废气中氟化氢的浓度；并在出口管道上设置单独的取样口，用于废气中铍、氟浓度的采样分析监测。

8.2.4 噪声监测

噪声监测共布设 3 个点位，包括 LF1 主体装置厂房、综合实验大厅、园区生活服务中心，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。

8.3 监测设施

8.3.1 固定式环境 γ 辐射监测仪

固定式环境 γ 辐射监测仪采用 TCP/IP 网络通讯方式，将辐射探测器的实时监测数据传送至辐射监测控制室的监测计算机。计算机可以显示各监测点的实时数据，并可以存储、回调历史数据，以及生成、打印各种报表。固定式环境 γ 辐射监测仪表主要性能指标见表 8.3-1。固定式环境 γ 监测系统用于实时监测 TMSR-LF1 厂区环境中的 γ 辐射水平，共设有 5 台监测仪，分布于在厂区环境的各位置处，详见图 8.1-7。

8.3.2 辐射监测实验室

在综合实验大厅内设置辐射监测实验室进行环境监测，辐射监测实验室兼顾流出物监测实验室的功能，总面积约 210m²，实验室位置见图 8.3-1。辐射监测实验室的主要功能为环境介质样品的处理与存放、总 α 测量、总 β 测量、 γ 能谱分析、 α 能谱分析、个人剂量监测等。在辐射监测实验室设置样品预处理间、样品处理间、样品存放间、低本底 α/β 测量间、能谱测量间、液闪测量间、便携式仪表存放间、个人剂量档案间等，以满足环境监测的要求。辐射监测实验室房间信息见表 8.3-2，辐射监测实验室的平面示意图见图 8.3-2。

为防止测量样品的交叉污染问题，制样时，环境样品和流出物样品分开制样，制好的样品分开存放，并采取相应的屏蔽隔离措施。测量时，采用测量范围宽、受放射性沾污小的设备进行测量，环境样品测量完成后再进行流出物样品测量，完成流出物样品测量的设备采用酒精进行擦拭和静置，设备测量计数率达到环境本底水平后，才进行下一次测量，测量前使用不同活度的检验源对设备进行校准。

辐射监测实验室配置的设备主要包括 1 套低本底 α/β 测量仪、1 套 α 能谱仪、1 套反康谱仪、1 套低本底液闪测量仪、样品前处理设备、样品制样和分析设备等，这些设备计划在 2021 年 3 月到货，2021 年 5 月完成安装并开始测试，实验室设备信息见表 8.3-3。

8.4 质量保证

本项目需要进行流出物、环境和应急监测以保障公众的安全，确保对环境不会造成不

可接受的影响。因此流出物、环境和应急监测质量保证是至关重要的，其目的是通过有计划的系统行动，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。

8.4.1 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。

8.4.1.1 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±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。

8.4.1.2 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。

8.4.2 质量管理

8.4.2.1 组织机构

本项目将建立合适的辐射监测机构并实施管理，对管理和实施质量计划的人员设置及其职责、权利进行明确的规定。

8.4.2.2 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应具备相关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。

表 8.1-1 气载流出物监测方案

监测项目	监测方式	取样分析项目	取样频度
粒子（半衰期 $\geq 8d$ ）	连续监测、取样监测	γ 核素	7-10 天
碘	连续监测、取样监测	I-131	7-10 天
惰性气体	连续监测、取样监测	γ 核素	7-10 天
H-3	取样监测	H-3	7-10 天
C-14	取样监测	C-14	7-10 天

表 8.1-2 气载流出物监测系统主要监测道情况

序号	监测道名称	测量范围	一级报警 阈值	二级报警 阈值	探测器类型
1	气溶胶活度监测道	α : $3.7 \times 10^{-2} \sim 3.7 \times 10^4$ Bq/m ³ β : $3.7 \sim 3.7 \times 10^6$ Bq/m ³	3.2×10^1 Bq/m ³	3.2×10^2 Bq/m ³	半导体探测器
2	碘活度监测道	$3.7 \sim 3.7 \times 10^6$ Bq/m ³	1.0×10^1 Bq/m ³	1.0×10^2 Bq/m ³	NaI(Tl)闪烁体探测器
3	惰性气体活度监测道	$3.7 \times 10^4 \sim 3.7 \times 10^{10}$ Bq/m ³	2.6×10^5 Bq/m ³	2.6×10^6 Bq/m ³	塑料闪烁体探测器
4	高量程惰性气体活度监测道	$3.7 \times 10^6 \sim 3.7 \times 10^{12}$ Bq/m ³	-	-	电离室探测器

表 8.1-3 气载流出物取样测量项目情况

监测项目	测量仪器	参考探测限
粒子中 γ 核素、I-131	高纯锗 γ 谱仪	2.0×10^{-4} Bq/m ³
惰性气体 γ 核素	高纯锗 γ 谱仪	2.0×10^2 Bq/m ³
H-3、C-14	液体闪烁仪	4 Bq/m ³

表 8.1-4 运行期间辐射环境监测方案

序号	监测对象	监测项目	布点原则	频次/时间
1	环境贯穿辐射	γ 辐射剂量率	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
		累积剂量		1 次/季
		剂量率	在厂区内设置 5 个固定式的连 续监测点	连续
2	气溶胶	γ 核素分析、 ^{90}Sr	重点关注区域	1 次/季
3	空气	^3H 、 ^{14}C 、 ^{131}I	重点关注区域	1 次/季
4	土壤	γ 核素、总 β 、 ^{90}Sr	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
5	沉降物	γ 核素、 ^{90}Sr	重点关注区域	1 次/季
6	降水	γ 核素、 ^{90}Sr 、 ^3H	重点关注区域	降水期间

表 8.1-5 辐射环境监测方法汇总表

序号	监测对象	监测项目	监测分析方法	参考探测限
1	环境贯穿辐射	γ 辐射剂量率	HJ/T61-2001《辐射环境监测技术规范》 GB/T14583-1993《环境地表外照射剂量率测定规范》	0.01 μ Sv/h
		累积剂量	GB 10264-2014《个人和环境监测用热释光剂量测量系统》	/
2	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/T 1035-2011《土壤中锶-90的分析方法》	/
3	空气	^3H	HJ 1126-2020《水中氚的分析方法》	5.0×10^{-1} Bq/L
		^{14}C	EJ/T 1008-1996《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
4	土壤	γ 核素	GB 11743—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
		总 β	HJ/T61-2001《辐射环境监测技术规范》	2.0×10^1 Bq/kg
		^{90}Sr	EJ/T 1035-2011《土壤中锶-90的分析方法》	2.0×10^{-1} Bq/kg
5	沉降物	γ 核素	GB 11743—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/T 1035-2011《土壤中锶-90的分析方法》	2.0×10^{-3} Bq/(m ² ·d)
6	降水	γ 核素	GB/T 16140-2018《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
		^3H	HJ 1126-2020《水中氚的分析方法》	5.0×10^{-1} Bq/L
		^{90}Sr	HJ815-2016《水和生物样品灰中锶-90的放射化学分析方法》	3.0×10^{-4} Bq/L

表 8.3-1 固定式环境 γ 监测仪性能指标

设备名称	量程范围	能量响应范围	相对误差	工作温度范围	工作湿度范围	通讯方式
固定式环境 γ 监测仪	10nGy/h~1.0Gy/h	50keV-3MeV	$\leq \pm 15\%$	-10-40℃	$\leq 60\%$	TCP/IP

表 8.3-2 辐射监测实验室房间信息表

序号	房间名称	主要用途
1	样品预处理间	放置烘干机、搅拌机、灰化炉等环境样品的预处理设备，用于环境样品的烘干、烧样、研磨等预处理
2	样品处理间	放置氧化处理装置、电解浓缩处理装置、离心机等样品处理设备，对预处理的样品进一步处理
3	样品存储间	存放各类样品
4	α/γ 能谱测量间	用于样品的能谱分析测量，放置高纯锗能谱仪及其辅助设备
5	液闪测量间	用于样品的氡、C-14 的测量，放置超低本底液闪测量仪及其辅助设备
6	便携式仪表存放间	存放各类便携式环境监测仪表、便携式空气取样设备以及便携式设备设施
7	个人剂量测量间	放置热释光剂量监测设备及其辅助设备
8	个人剂量档案间	放置个人剂量档案
9	样品及标准源存放间	用于标准源及已测完的样品存放

表 8.3-3 辐射监测实验室主要设备信息表

序号	设备名称	主要技术指标或要求	单位	数量
1	低本底 α 、 β 测量仪	探测器：四路流气式正比计数管 能量范围： α ：4 MeV ~8MeV； β ：0~2MeV；	套	1
2	γ 谱仪	探测器：N 型同轴高纯锗； 相对探测效率： $\geq 50\%$ ； 能量分辨率：2.2keV（对于 1332keV）； 能量范围：3keV~10MeV；	套	1
3	低本底液闪测量仪	探测下限：1.0Bq/L（测量时间 =1000min）	台	1
4	环境介质制样设备	包括氡制样设备、氧化炉、烘箱、灰化设备、粉碎机等	套	1
5	化学分析设备	包括小型烘箱、离心机、搅拌器、玻璃器皿等	套	1

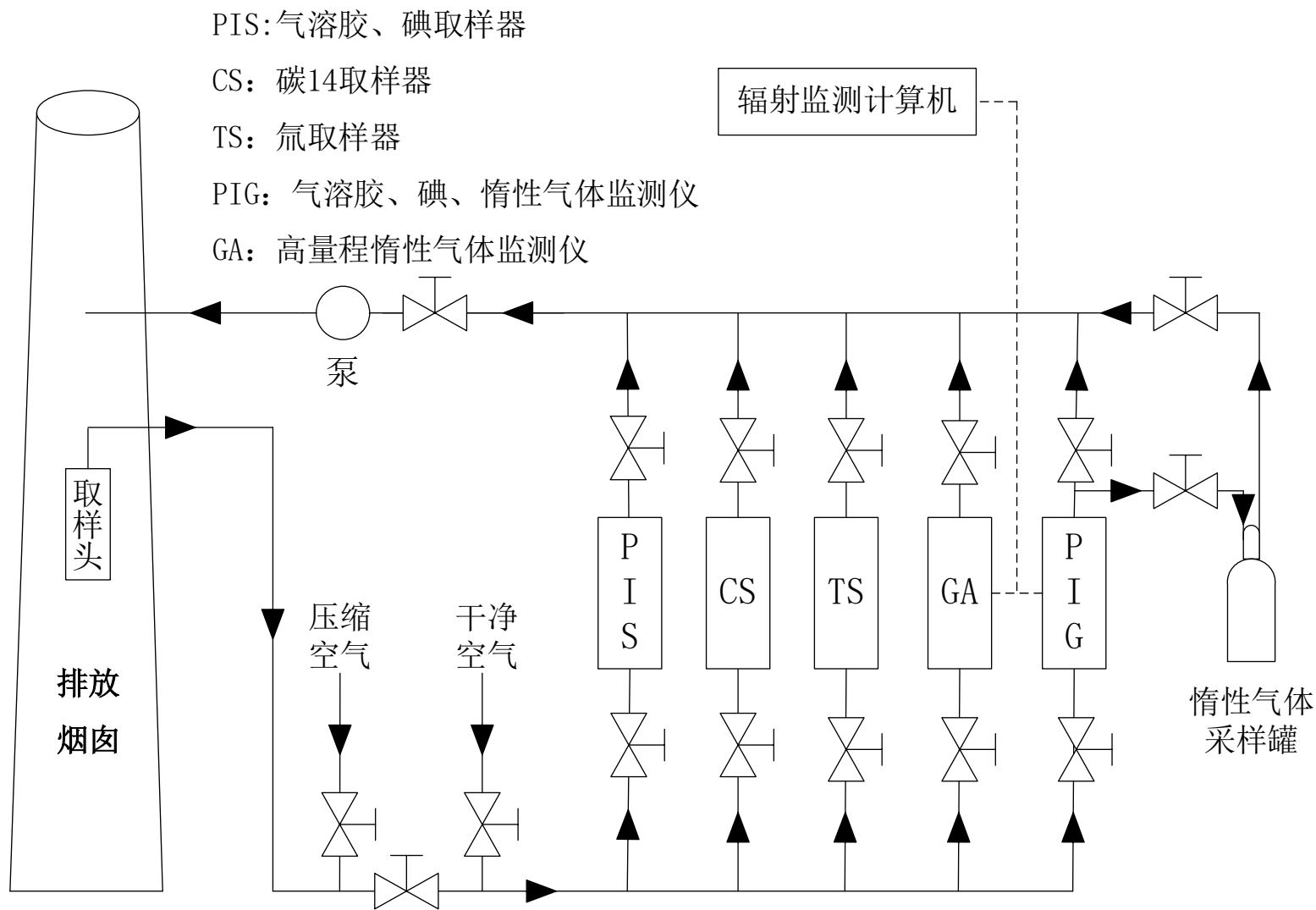


图 8.1-1 气载流出物监测系统示意图

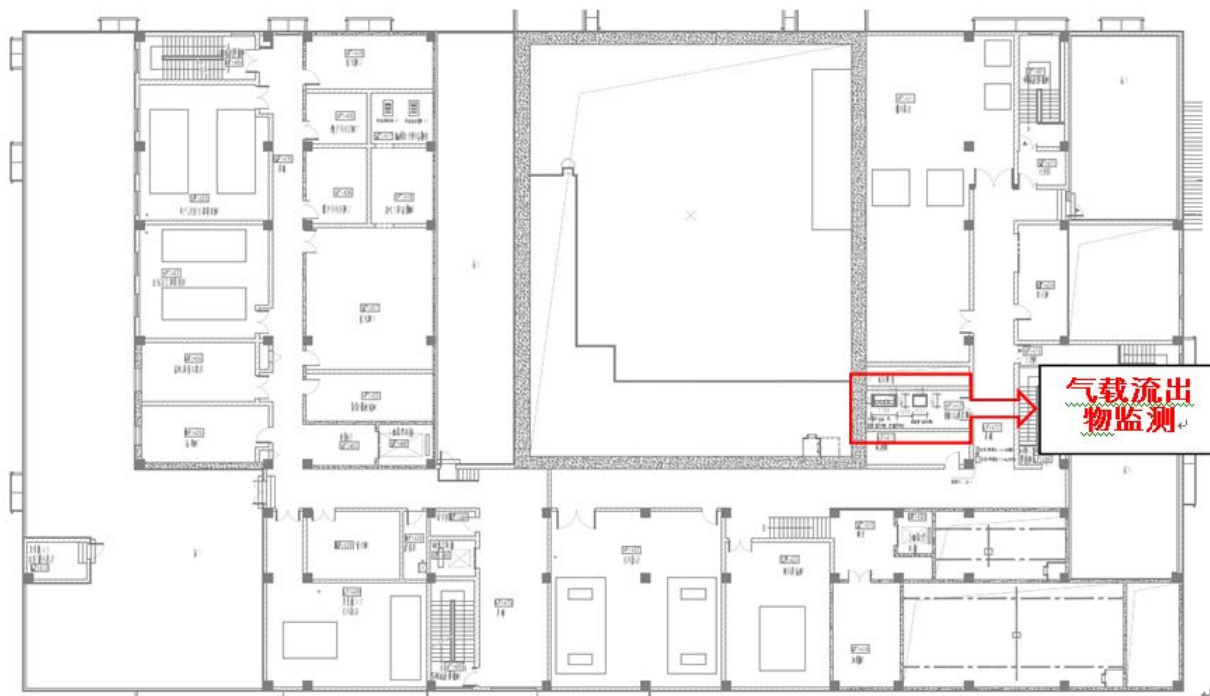


图 8.1-2 气载流出物监测点平面示意图

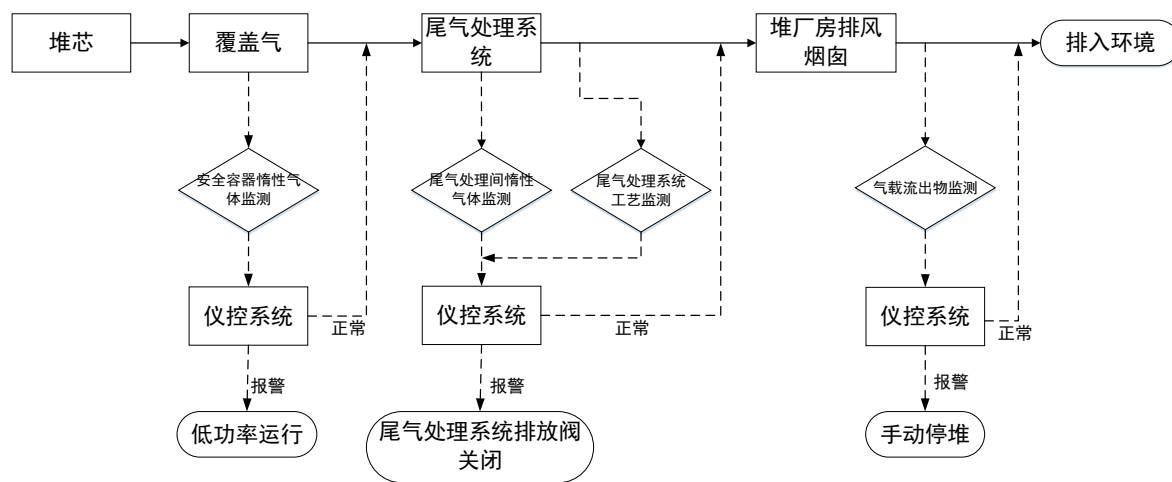


图 8.1-3 气载流出物监测控制流程图

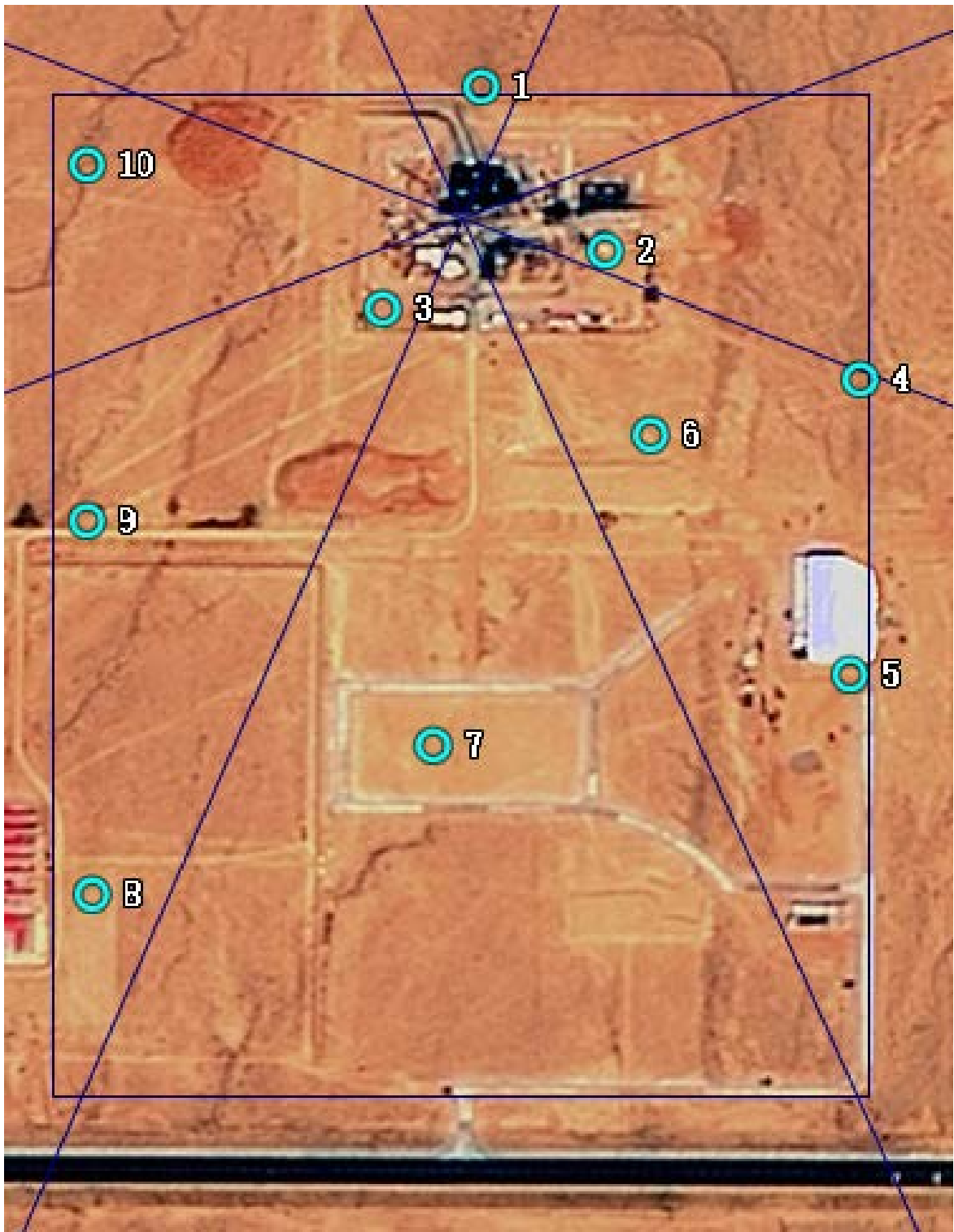


图 8.1-4 厂区内 γ 辐射剂量率监测点布置图

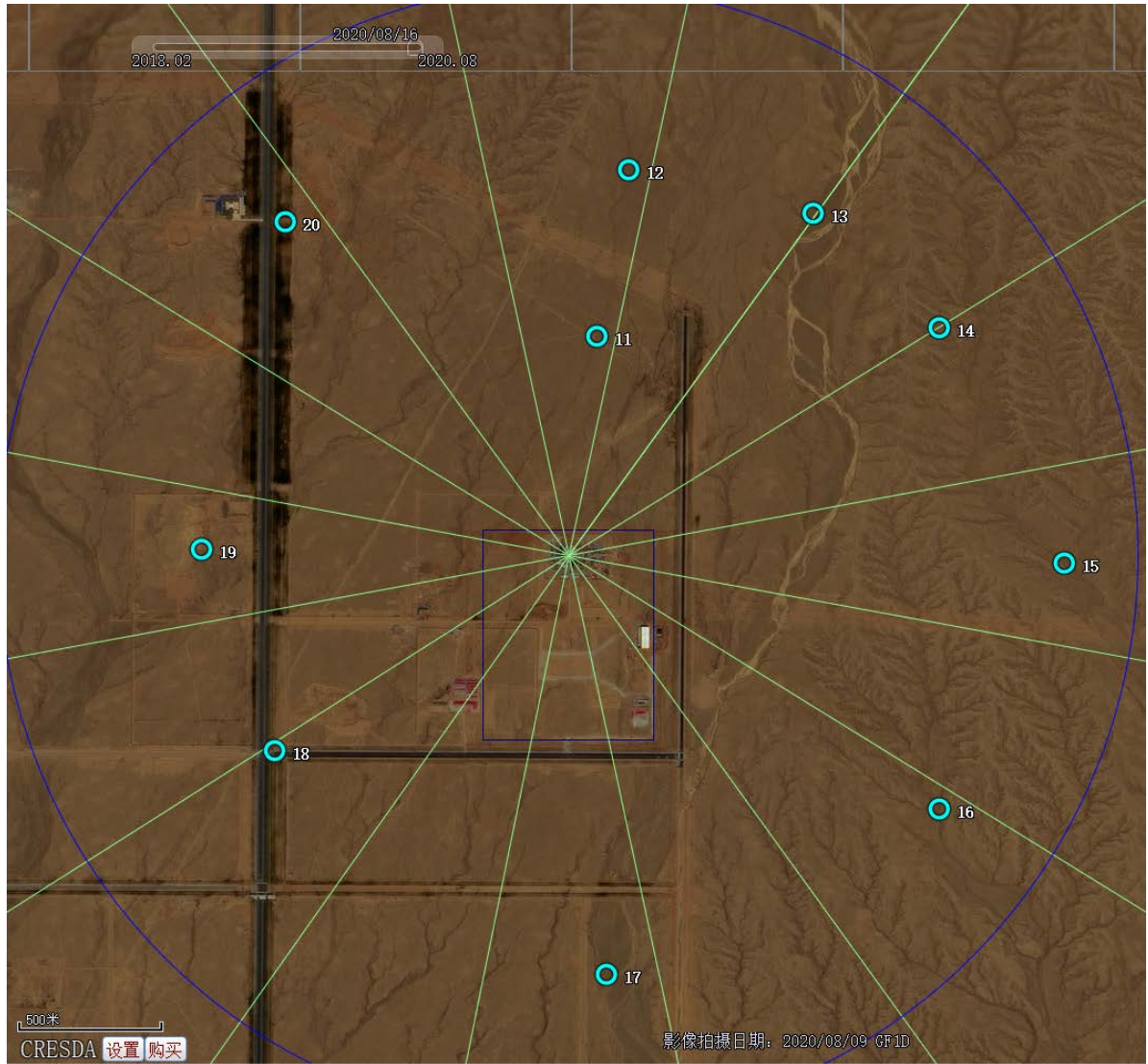


图 8.1-5 2km 范围内 γ 辐射剂量率监测点布置图

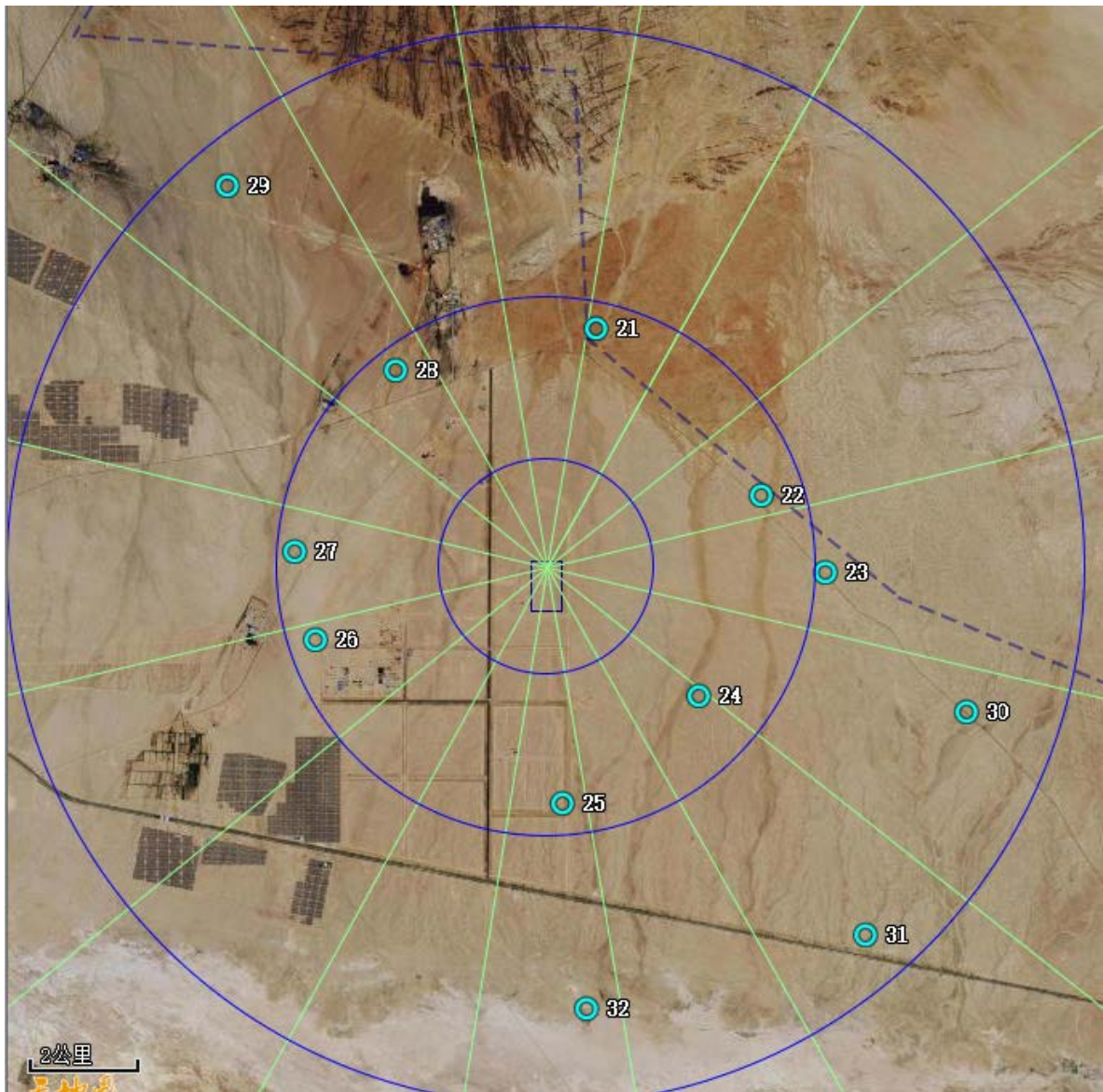


图 8.1-6 2~10km 范围内 γ 辐射剂量率监测点布置图

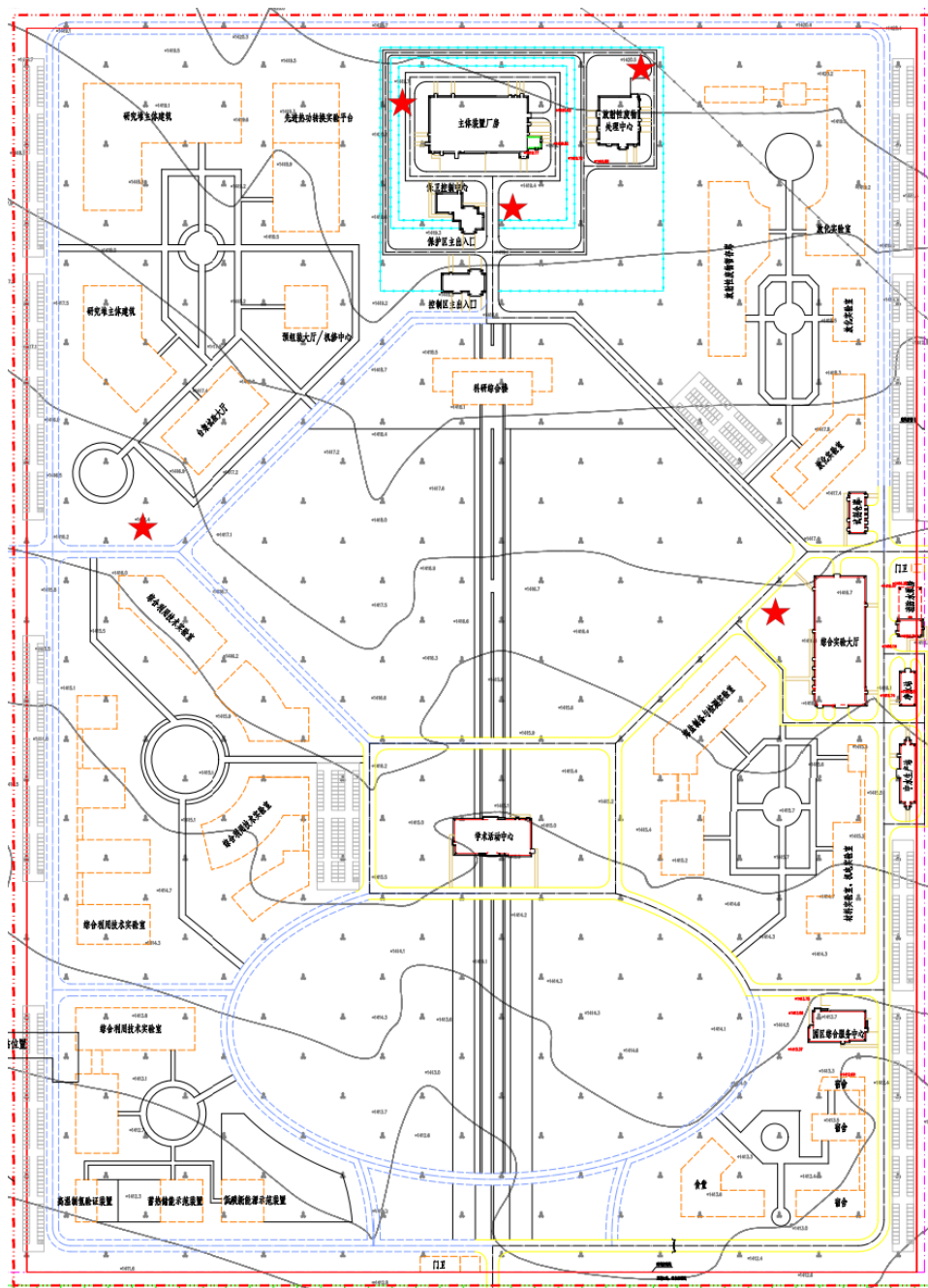


图 8.1-7 γ 辐射剂量率连续监测点位示意图

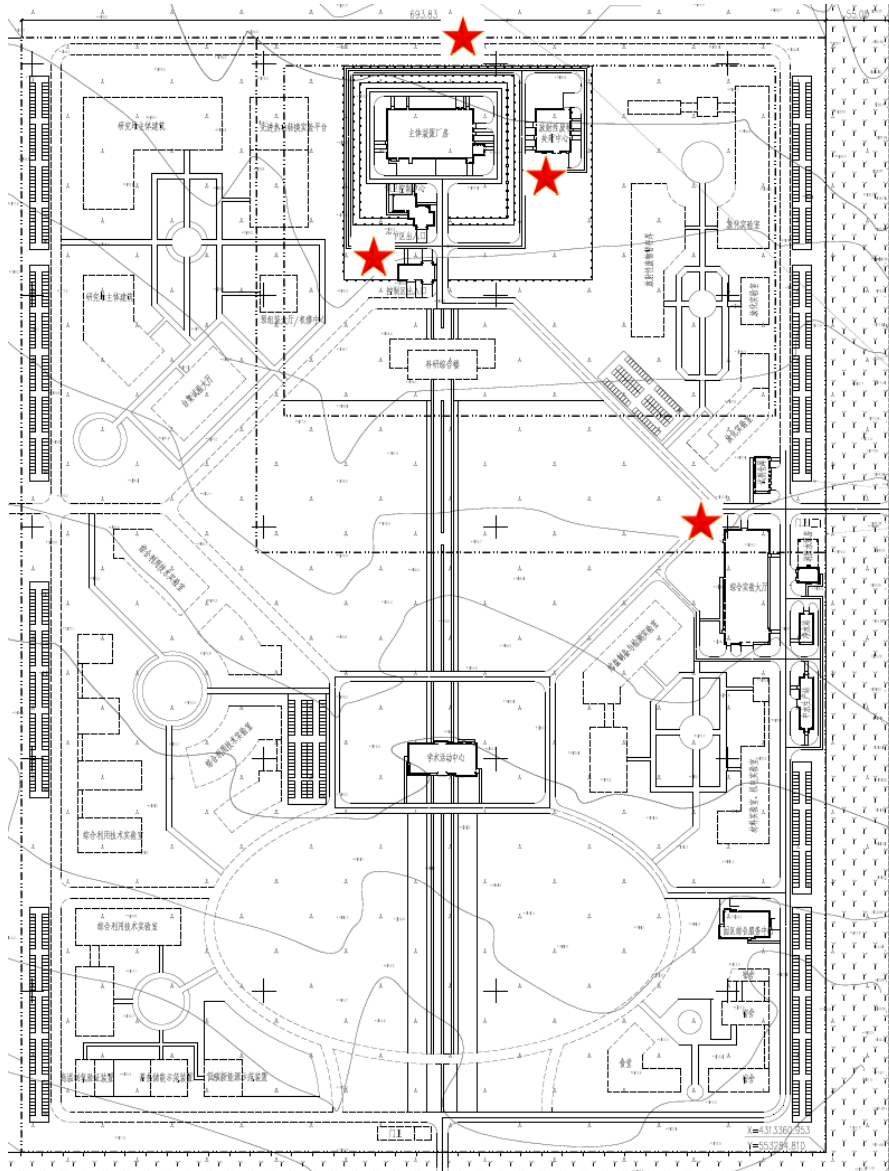


图 8.1-8 厂界内氡监测位置示意图

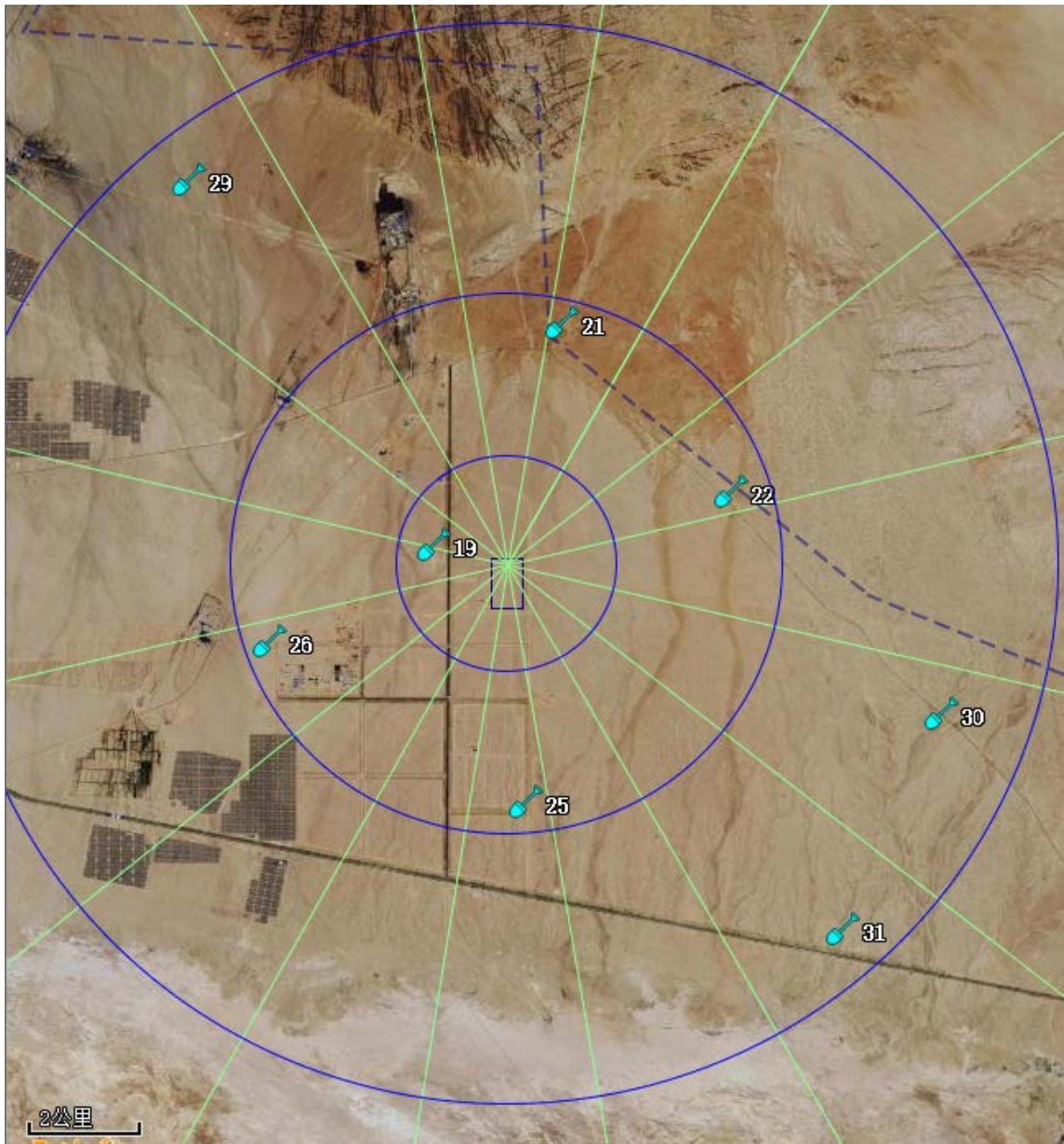


图 8.1-9 土壤取样点位示意图

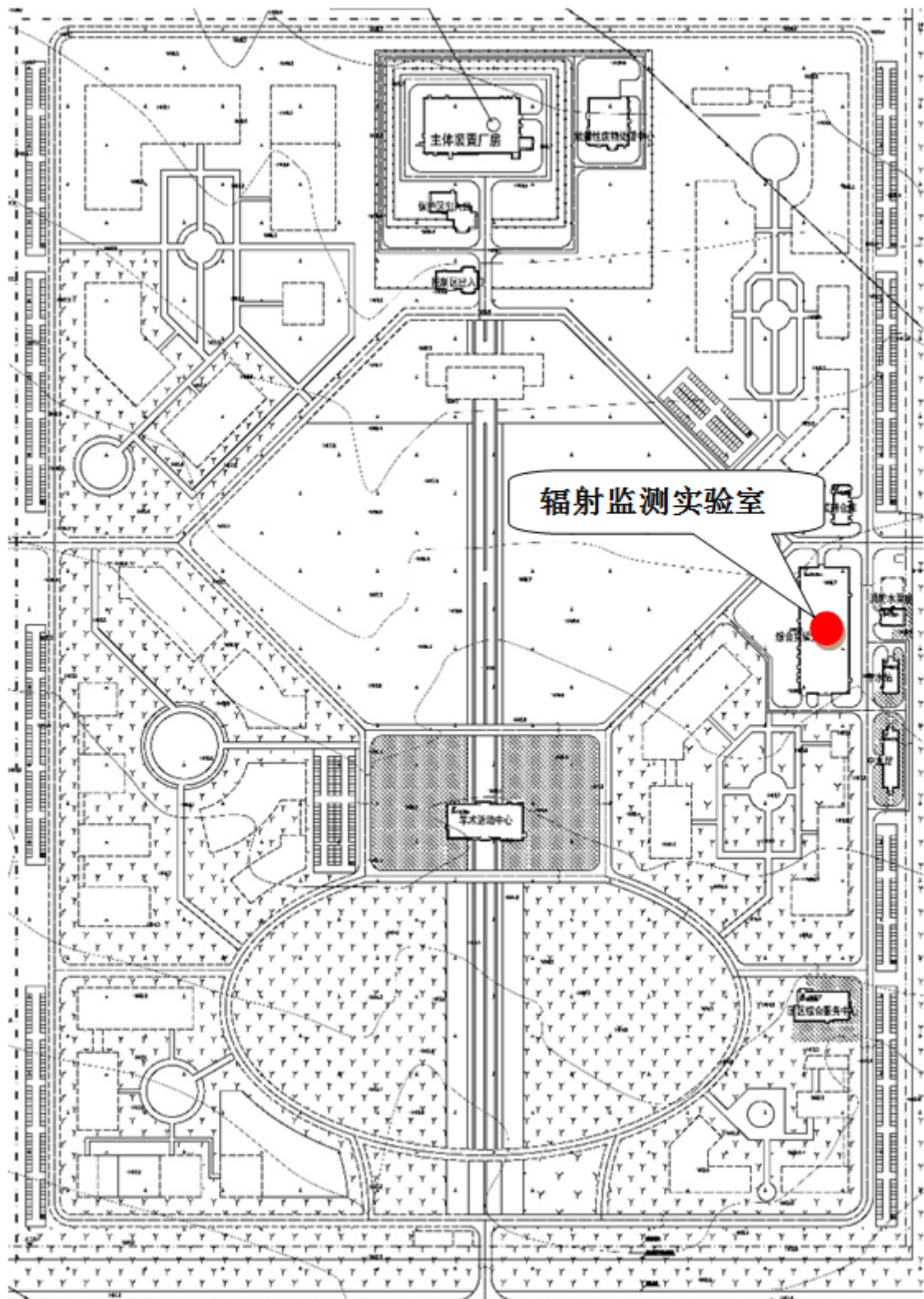


图 8.3-1 辐射监测实验室位置

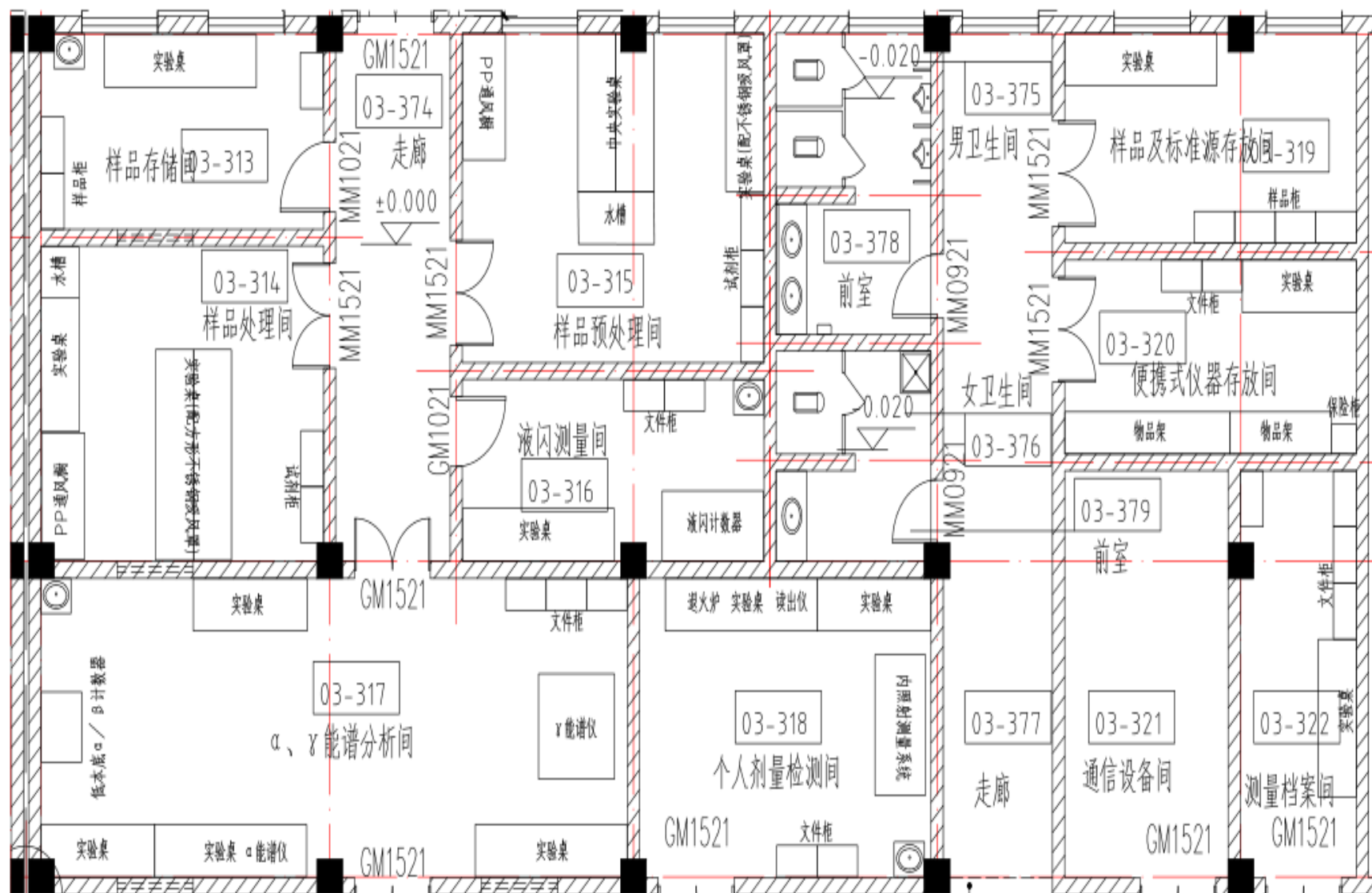


图 8.3-2 辐射监测实验室平面示意图

第九章 结论与承诺

9.1 工程概况

9.2 环境保护设施

9.2.1 放射性废气管理系统

9.2.2 放射性废液管理系统

9.2.3 放射性固体废物管理系统

9.2.4 其它环境保护设施

9.3 放射性排放

9.4 辐射环境影响评价结论

9.4.1 运行状态下的辐射环境影响

9.4.2 事故工况下的辐射环境影响

9.5 非辐射环境影响评价结论

9.5.1 大气污染物影响

9.5.2 污废水影响

9.5.3 固体废物的影响

9.5.4 噪声影响

9.6 承诺

9.1 工程概况

2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）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）实验堆基地位于甘肃省武威市民勤红沙岗工业集聚区（以下简称“红沙岗厂址”）。红沙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北纬 38°57'31"，东经 102°36'55"。

钍基熔盐堆核能系统（TMSR）实验基地规划建设 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）、10MWt 固态燃料熔盐实验堆（TMSR-SF1）、干法后处理中心及配套设施，近期拟建设 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆（TMSR-LF1）及其相关的配套设施。本项目评价对象为主体装置厂房、放射性废物处理中心以及一些室外配套工程，一期工程其他子项的环境影响登记表已在甘肃省生态环境厅备案。

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，从环境保护角度考虑，本项目的建设和运行是可以接受的。

9.2 环境保护设施

9.2.1 放射性废气管理系统

放射性废气管理系统用于收集、处理 TMSR-LF1 产生的惰性气体、气载碘、氙及气溶胶颗粒等，从而将废气的年释放量以及厂区工作人员在控制区与非控制区内的受照剂量以及公众所受辐射影响降低到合理可行尽量低的水平。

放射性废气管理系统包括主体装置厂房和放废处理中心的放射性废气处理系统，其中主体装置厂房内放射性废气处理系统包括控制区通风系统、覆盖气尾气处理系统。

9.2.2 放射性废液管理系统

放射性废液管理系统主要用于收集、转运和暂存 TMSR-LF1 主体装置厂房正常运行及预期运行事件下产生的液体放射性废物。

本项目产生的放射性废液分为高放废液、中放废液、低放废水、洗涤废液和有机废液。其中高放废液暂存在临堆分析热室内专门设置的贮存阱内；中放废液暂存于堆厂房中放废液暂存罐内，待条件成熟或退役时进行处理；低放废水和有机废液收集、转运、暂存；洗涤废液收集、转运后，采用过滤+监测排放的处理技术，对于放射性活度浓度 $\leq 10\text{Bq/L}$ 的洗涤废液，过滤后经空气载带装置进行空气载带排放，放射性活度浓度 $> 10\text{Bq/L}$ 的洗涤

废液过滤后输送至低放废液贮存罐内暂存。

9.2.3 放射性固体废物管理系统

用于收集和暂存 TMSR-LF1 主体装置厂房 2MWt 液态燃料钍基熔盐实验堆在正常运行以及预期运行事件中产生的可压缩性低放废物、不可压缩性低放废物、废过滤器芯、热室产生的中放和高放固体废物。中低放固体废物的暂存和处理在放废处理中心内进行，主体装置厂房产生的放射性固体废物收集后转运至放废处理中心内。高放固体废物暂存在分析热室内的专用贮存井内，退役时再统一处理。

本系统固体废物包装容器采用 200L 标准桶。可压缩固体干废物装桶后进行压缩减容，其它固体干废物装桶后暂存。废通风过滤器滤芯首先进行暂存衰变，达标后可清洁解控，剂量较高的装桶整备后暂存。

本系统废物暂存库容量能够满足 5 年贮存需求，定期送往国家指定的放射性废物处置场处置。

9.2.4 其它环境保护设施

园区的一部分生活污水通过相应污水管网汇集至中水生产站，经处理达标后，用于道路浇洒和洗车等，回用剩余水量排入厂区雨水管网；园区的其余的生活污水排入市政污水管网。施工期间生活临建区的生活污水由承包商接临时管线排入市政污水管网。市政污水管网最终排至红砂岗镇污水处理厂。

本项目非放射性含油废水为柴油发电机间及相邻油罐间的含油废水及消防后含油消防排水，排至室外含油废水储存池，消防后对含油废水储存池内的含油废水进行清理及外运处置。

本项目工艺过程中产生的非放化学废液由具有化学品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）（持综合许可证，编号 G3620102005）进行统一处理处置。

本项目设置专门场所集中暂存工业固体废物，其中危险废物暂存达到一定数量后交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）（持综合许可证，编号 G3620102005）进行统一处理处置。

工作人员产生的生活垃圾定点收集，由环卫部门统一清运。

本项目正常运行产生的噪声污染和各类固体废物也都设置了相应的防治措施，可以满足要求。

9.3 放射性排放

本项目运行状态下，气载流出物主要通过高 26m 的烟囱排入大气，由于国内尚未有同类型反应堆运行经验，拟定的排放申请值与设计排放源项相同，具体如下：

惰性气体： $5.62\text{E}+12\text{Bq/a}$ 。

总气载碘： $2.07\text{E}+06\text{ Bq/a}$ 。

粒子（半衰期 $\geq 8\text{d}$ ）： $1.74\text{E}+04\text{Bq/a}$ 。

碳 14： $1.46\text{E}+08\text{Bq/a}$ 。

氚： $1.44\text{E}+14\text{Bq/a}$ 。

本项目产生的放射性废液不通过液态途径向环境排放。其中高放废液暂存在 TMSR-LF1 热室内专门设置的暂存阱内；中放废液暂存于 TMSR-LF1 主体装置厂房内；低放废水和有机废液分别暂存于放废处理中心的低放废水暂存罐和有机废液暂存罐内；经检测合格的洗涤废液通过空气载带排放方式向大气环境排放，其排放量与 TMSR-LF1 主体装置厂房气载流出物年排放量相比可忽略。

9.4 辐射环境影响评价结论

9.4.1 运行状态下的辐射环境影响

（1）对公众的辐射影响

本项目辐射环境影响评价范围为 50km，重点关注 10km 范围内工业园区工作人员受照射情况。本项目运行状态下，对公众的辐射影响仅考虑气载途径，包括气载流出物通过空气浸没、地面沉积、吸入空气途径和农产品与动物产品食入对人体产生的辐射影响。根据民勤县红砂岗镇 2018-2030 年总体规划图中的规划企业位置，保守假定企业职工的居留因子为 0.5，得到本项目由气载途径所致工业区内人员最大个人剂量出现在厂址 WSW 方位 1~2km 处，为 $5.33\text{E}-07\text{ Sv/a}$ ，约占本项目个人剂量约束值（ 0.1mSv/a ）的 0.53%。主要贡献途径为吸入内照射途径，约占气态途径总剂量的 87.14%；空气浸没外照射途径占气态途径的 12.86%。气态途径的主要核素为 H-3，它所致的剂量约占气态剂量的 87.12%；其它贡献较大的核素为 Ar-41，占气态途径总剂量的 12.86%。

本项目运行状态下，厂址半径 50km 范围内居民所受的集体剂量为 $2.44\text{E}-03\text{ 人}\cdot\text{Sv/a}$ 。

（2）对生物的辐射影响

厂址附近陆域范围内 13 类生物受到的总剂量率都在 $10^{-1}\mu\text{Gy/h}$ 以下，古城国家级自然保护区核心区距厂址最近距离为 4.7km，保护区内非人类生物受到的辐射剂量小于近区。厂址附近陆域范围内及古城国家级自然保护区内陆生生物是安全的。

9.4.2 事故工况下的辐射环境影响

由于目前没有针对液态钍基熔盐堆的事故剂量评价准则，因此现阶段参考《研究堆安全分类（试行）》中关于 II 类研究堆的要求和《研究堆营运单位的应急准备和应急响应》中对于研究堆应急状态的规定对于 TMSR-LF1 的稀有事故和极限事故，其个人剂量限值分别确定为：在每发生一次稀有事故时，场址边界上公众个人（成人）在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应控制在 5mSv 以下；在每发生一次极限事故时，场址边界上公众个人（成人）在整个事故持续时间内可能受到的有效剂量应小于 10mSv。

当采用现实大气弥散因子或保守大气弥散因子时，TMSR-LF1 的设计基准事故所导致的剂量后果均能满足事故个人有效剂量（10mSv）的要求。TMSR-LF1 各类事故中，放射性后果最严重的是燃料盐覆盖气体系统边界泄漏事故，当采用保守的大气弥散因子时，事故期间 24h 内厂址边界处的最大个人总有效剂量为 1.09 mSv，占剂量控制值的 10.9%，满足事故个人有效剂量（10mSv）的要求。

9.5 非辐射环境影响评价结论

9.5.1 大气污染物影响

施工期间，通过采取施工扬尘控制措施，施工过程中粉尘对大气环境的影响是局部的和暂时的。

本项目运行期间产生的非放大气污染物，在经过尾气处理系统和放射性废气处理系统后，非放污染物（如铍、氟）也得到了很好的去除，铍的浓度不超过 $12\mu\text{g}/\text{m}^3$ （排放速率 $5.37\text{E}-04\text{kg}/\text{h}$ ），氟化物的浓度不超过 $3.8\text{mg}/\text{m}^3$ （排放速率 $0.17\text{kg}/\text{h}$ ），均满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）的规定。对于排放量较大的氟化物，本设施运行后，氟化物最大 1 小时浓度为 $1.83\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最大占标率为 9.13%，对应的距离为下风向 45m 处，对周围环境影响很小。

9.5.2 污废水影响

施工期间生活临建区的生活污水由承包商接临时管线排入市政污水管网，对环境不会造成不利影响。

来自学术活动中心、园区综合服务中心等处卫生设备的生活污水汇集至园区的中水生产站（已填表备案）经处理达标后，回用于绿化、道路浇洒和洗车等。园区中水生产站的设计规模为 $50\text{m}^3/\text{d}$ ，其容量满足上述生活污水的处理需要，不会对周围环境产生不良影响。

其余生活污水通过园区相应污水管网汇集，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。此类生活污水排放执行《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。红砂岗镇污水处理厂

已建成，日处理污水 1.5 万立方米，满足本项目污水处理需求，不会对周围环境产生不良影响。

9.5.3 固体废物的影响

本项目工艺过程中产生的非放化学废液由具有化学品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）（持综合许可证，编号 G3620102005）进行统一处理处置。不会对周围环境产生不良影响。

本项目设置专门场所集中暂存工业固体废物，其中危险废物暂存达到一定数量后交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）（持综合许可证，编号 G3620102005）进行统一处理处置。不会对周围环境产生不良影响。

工作人员产生的生活垃圾定点收集，由环卫部门统一清运，不会对环境产生不良影响。

9.5.4 噪声影响

本项目施工期间的主要噪声污染源为各类施工机械设备运行噪声和运输车辆的交通噪声。施工期间采取多种控制措施来降低噪声水平或减少噪声对敏感点的影响，施工噪声对环境的影响是可以接受的。

本项目正常运行后，北厂界所受影响相对较大，声源对北厂界的贡献值为 41.1dB(A)，对西厂界、东厂界和南厂界的贡献值分别是 24.7dB (A)、24.2 dB (A) 和 17.1 dB (A)。本工程声环境现状调查期间，北厂界昼间噪声范围为 27.2~28.5 dB (A)，夜间噪声范围为 26.6~27.1 dB (A)，叠加项目正常运行噪声贡献值后，北厂界昼夜间噪声约为 41.3dB (A)，工程正常运行对厂界的影响可忽略不计。

可见，声源对各厂界的噪声贡献值均满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中规定 3 类标准限值，即昼间 65 dB(A)和夜间 55 dB(A)。对厂址周围声环境质量影响满足标准要求。

9.6 承诺

本工程运行期间，营运单位上海应用物理研究所将确保环保设施安全有效地运行，严格进行流出物监测和环境监测，加强设备维护和保养，并积极配合国家有关部门推动后续工程的建设。