



甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段
地浸采铀试验研究项目
环 境 影 响 报 告 表

中核通辽铀业有限责任公司
2025 年 5 月

甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段
地浸采铀试验研究项目
环 境 影 响 报 告 表



甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段
地浸采铀试验研究项目
环境影响报告表



中核通辽铀业有限责任公司

法人代表：汤庆四

通讯地址：内蒙古自治区通辽市科尔沁区高林屯种畜场

邮政编码：028000

打印编号: 1745993912000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	4j5meg		
建设项目名称	甘肃镇原铀矿BSK1矿段地浸采铀试验研究		
建设项目类别	55--169铀矿开采、冶炼; 其他方式提铀		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	中核通远铀业有限责任公司		
统一社会信用代码	91150500676935578E		
法定代表人 (签章)	汤庆四		
主要负责人 (签字)	李喜龙		
直接负责的主管人员 (签字)	闫纪帆		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	中核第四研究设计工程有限公司		
统一社会信用代码	911301001043361316		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
柏学凯	2013035130352013133194000082	BH018164	柏学凯
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
柏学凯	第1、13章	BH018164	柏学凯
刘艳梅	第2、3章	BH018145	刘艳梅
尹冉	第5、8章	BH059857	尹冉
葛佳亮	第4、6、7、9、10、11、12章	BH018159	葛佳亮

1 建设项目基本情况

项目名称	甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地浸采铀试验研究项目				
建设单位	中核通辽铀业有限责任公司				
法人代表	汤庆四		联系人	闫纪帆	
通讯地址	内蒙古自治区通辽市科尔沁区高林屯种畜场				
联系电话	0475-8990008	传 真	/	邮政编码	028000
建设地点	甘肃省庆阳市镇原县庙渠镇境内				
立项审批部门	中核铀业有限责任公司		批准文号	中核铀发〔2025〕198 号	
建设性质	新建 ☒ 扩建 ☐ 改建 ☐ 技改 ☐		行业类别及代码	M7320 工程和技术研究和试验发展	
占地面积（平方米）	35509 （含临时占地）		绿化面积（平方米）	26470	
总投资（万元）	6629		环保投资（万元）	731	
环保投资占总投资比例	11.03%		预期投产日期	2025 年	

1.1 建设单位概况

中核通辽铀业有限责任公司（以下简称“通辽铀业公司”）隶属于中国铀业股份有限公司（以下简称“中国铀业公司”），成立于 2008 年 7 月，主要从事天然铀的开采、加工和铀产品销售。经过多年的理论研究及实践积累，通辽铀业公司在地浸砂岩型铀矿采冶工艺方面取得了长足发展，对地浸采铀多项关键技术进行了攻克并取得了多项创新性技术，逐步形成并完善了 CO₂+O₂地浸采铀工艺体系，为本项目地浸试验的实施提供了扎实技术基础。

通辽铀业公司现有员工 124 人，中层以上管理人员 26 人，一般管理及专业技术人员 60 人，技能人员 38 人。通辽铀业公司以大力培养技术型人才为导向，目前高级职称以上 12 人，中级职称 28 人，初级职称 23 人。其中，中国铀业公司青年地矿英才 7 人，35 岁以下员工占比 47%，生产技术人员的结构和年龄适宜，为本项目的实施提供了有力保障。

1.2 项目由来及必要性

近年来，基于我国铀资源勘查战略、勘查方式和勘查成果的变化，深地砂岩型铀资源开发已成为我国铀矿采冶发展的必然方向。目前，我国已经在鄂尔多斯盆地、伊犁盆地和松辽盆地发现了数个具有战略意义的深部砂岩型铀矿床，这类资源已经成为地浸技术攻关的主要对象，如何高效经济开发此类型铀资源，已经成为提升并保障我国天然铀产能的重要举措。

甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地处鄂尔多斯盆地西南部，行政区划隶属于甘肃省庆阳市镇原县。该矿段的主要矿体赋存于环河组下段，埋深可达 784m 以上，大大提高了钻井工程井斜控制及施工难度。此外，该矿段矿体平均厚度大且品位低，也增大了矿石高效浸出的难度。因此，亟需开展相关研究，从井网布局、钻成井技术、矿石高效浸出、非典型浸出液处理等方面突破制约该矿床开发技术难题，开发适应于镇原铀矿 BSK1 矿段的地浸工艺流程，为该铀矿床的地浸开发提供技术支持。

2025 年 4 月 30 日，中核铀业有限责任公司印发了《关于甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地浸采铀试验研究科研项目立项的批复》（中核铀发〔2025〕198 号），对本项目实施方案进行了批复。根据《中华人民共和国环境影响评价法》《建设项目环境影响评价分类管理名录》及《建设项目环境保护管理条例》的有关规定，本项目需开展环境影响评价并编制环境影响报告表。通辽铀业公司委托中核第四研究设计工程有限公司承担本项目的环境影响评价工作。接受委托后，环境影响评价小组赴现场进行了实地踏勘，收集了项目的工程资料和环境资料，委托有资质单位开展了环境质量现状监测，最终于 2025 年 5 月完成了环境影响报告表的编制工作，现提交生态环境部审查。

1.3 项目概况

1.3.1 项目概况

项目名称：甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地浸采铀试验研究项目。

建设性质：新建。

建设单位：中核通辽铀业有限责任公司。

建设地点：甘肃省庆阳市镇原县庙渠镇。

研究周期：研究周期为 2 年。

工作制度：试验期年工作 330d。

项目投资：本项目总投资 6629 万元，其中环保投资 731 万元。

1.3.2 项目建设进度计划

本项目研究周期为 2 年。根据研究内容，进度安排见表 1.3-1。

表 1.3-1 项目建设进度计划表

项目内容	2025 年				2026 年			
	1	2	3	4	1	2	3	4
实施方案编制及现场试验选点								
现场试验征借地手续办理								
工程材料采购								
环境影响评价及批复								
条件试验钻孔工程施工								
条件试验设施建设及安装								
条件试验调试								
条件试验运行								
工业指标论证								
二阶段试验（扩大试验）钻孔施工								
二阶段试验（扩大试验）设施安装								
二阶段试验（扩大试验）运行与总结								

1.3.3 项目内容

本项目拟在甘肃省庆阳市镇原铀矿 BSK1 矿段开展地浸采铀试验研究，研究内容包括五个专题：①基于复杂地貌形态的地浸井场科学开拓技术研究；②深部钻成井技术与井斜控制技术研究；③低品位厚大矿层高效浸出技术研究；④非典型水化学条件下浸出液处理技术研究；⑤镇原铀矿 BSK1 矿段二阶段试验研究。通过以上研究，获取镇原铀矿 BSK1 矿段地浸开采的工艺技术参数和技术经济可行性，为该矿床的地浸开发提供技术支持。

1.3.4 建设内容

根据研究需求，本项目现场试验分为试验井场和水冶厂两部分，具体建设内容见表 1.3-2。

表 1.3-2 项目建设内容概况

类别	建设内容	
试验井场	条件试验	试验单元 2 组， 包括试验井 8 个（抽出井 2 个，注入井 6 个）。
	扩大试验	试验单元 6 组（包含条件试验 2 组）， 包括试验井 18 个（包含条件试验井，共计抽出井 6 个，注入井 12 个）
	监测井 5 个（包括新建 4 个，利旧 1 个）	
水冶厂	试验厂房 1 座（包括试验生产区：过滤区、吸附塔区、离子交换区、压滤区、储罐区和化工原料间，及功能房间：集控间、化验间、固体废物间、危废间和备品备件间等）	
	蒸发池 2 个、蒸发池监测井 1 个、MVR 蒸发装置 1 套、化粪池 1 个等	
	柴油发电机房、消防水泵房、气体站等辅助设施	

1.4 与项目有关的原有污染情况及主要环境问题

镇原铀矿 BSK1 矿段仅开展过铀矿勘探，勘探期间采取了有效的环境保护措施和场地恢复措施，无环境污染情况发生。勘探钻孔施工完毕后，进行了合理有效的废物处理及场地恢复。其采取的主要措施如下：

1) 施工过程中产生的废弃泥浆全部储存在废浆罐内，并委托专业化公司进行固液分离，滤液回用于钻井泥浆的配置，最终不能利用的滤液由庆阳市供排水集团有限公司水处理技术服务分公司处置，分离后固体由专业化公司运送至甘肃陇润天泽环保科技有限公司进行处置。

2) 勘探结束后，勘探钻孔采用水泥全孔封孔，可有效切断地下各含水层之间在孔内产生水力联系，隔断地下水含水层之间的相互导通，预防可能产生的水质污染。

3) 勘探结束后，拆除了现场施工设备、物资和临时设施，清除各类杂物及垃圾等固体废物。并对施工现场进行清理，按原始地形地貌平整场地，并对施工场地进行植被恢复。

综上所述，项目所在地不存在原有遗留环境污染问题。

1.5 评价等级与评价范围

1.5.1 辐射环境

本项目辐射环境评价范围为：以集液罐为中心，半径 20km 的地域范围。子区划分方法为以集液罐为圆心，1km、2km、3km、5km、10km、20km 为半径画 6 个同心圆，再与圆心角 22.5° 的 16 个方位相交划分为扇形区，共 96 个评价子区。

1.5.2 非放射性环境

1) 大气环境影响评价等级与评价范围

试验期非放射性大气污染物为盐酸罐产生的 HCl 气体。根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）规定，评价等级由项目中主要污染物的最大占标率 P_i ，即第 i 个污染物的地面浓度达标准限值 10% 时所对应的最远距离 $D_{10\%}$ 进行等级划分。其中， P_i 定义为：

$$P_i = \frac{C_i}{C_{0i}} \times 100\% \quad (1.5-1)$$

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， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

C_{0i} —第 i 个污染物的环境空气质量标准， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

本项目产生的 HCl 执行《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018）中附表

D.1—其他污染物空气质量参考限值，即 HCl 环境空气质量标准为 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。评价工作等级按表 1.5-1 的分级判据进行划分。

表 1.5-1 大气评价工作等级划分判据

评价工作等级	分级判据
一级	$P_{\max} \geq 10\%$
二级	$1\% \leq P_{\max} < 10\%$
三级	$P_{\max} < 1\%$

采用导则推荐的 AERSCREEN 估算模式，相关参数见表 1.5-2，估算结果见 1.5-3。

表 1.5-2 估算模式参数一览表

名称	污染物	源强 (kg/h)	排气量 (m^3/h)	排放高度 (m)	出口内径 (m)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)
盐酸罐	HCl	2.41E-5	12	3.5	0.3	9.7

表 1.5-3 大气环境影响估算结果

污染源名称	污染物	C_i ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	C_{oi} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	P_i (%)	距离 (m)
盐酸罐	HCl	0.21	50	0.41	10

经计算，本项目主要大气污染物最大占标率 $P_{\max}$ 为 0.41%。根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018），本项目非放射性大气环境影响评价工作等级为三级。

2) 地表水环境影响评价等级与评价范围

本项目试验产生的废水不外排，根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018），地表水评价等级为三级 B，可不进行地表水环境影响预测，仅进行简单分析。

3) 地下水环境影响评价等级与范围

《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ 610-2016）中附录 A-地下水环境影响评价行业分类表中没有对该行业的地下水环境影响评价项目类别进行分类。参照附录 A 中行业类别“H 有色金属中第 48 项（冶炼）”，其对应的地下水环境影响评价项目类别为“I 类”。本项目不涉及集中式水源地，项目周边有居民水井，取水层位为潜水含水层，其周边较敏感区距离计算如下式所示：

$$L = \alpha \times K \times I \times T / n_e \quad (1.5-2)$$

式中：

L —下游迁移距离，m；

α —变化系数，取 2；

K —渗透系数，潜水含水层渗透系数为 0.14~0.46m/d，保守取 0.46m/d；

I —水力坡度，根据区域水文地质条件，约为 1%；

T —质点迁移参数，取值不小于 5000d，保守取 5000d；

n_e —有效孔隙度，取经验值 0.25。

根据上式计算，本项目周边分散式水源地 153m 范围内为较敏感区。本项目距离最近居民水井约 300m，因此属不敏感区域。参照（HJ 610-2016）中表 2 评价工作等级分级表，本项目地下水评价等级确定为二级。

本项目为地浸采铀试验项目，地下水环境影响主要涉及含矿含水层，根据场址区域水文地质条件，并结合地浸采铀中地下水环境影响范围，本次评价采用自定义法确定评价范围：以试验井场为中心，向地下水下游（东南方向）延伸 1km，上游（西北方向）延伸 0.5km，两侧延伸 0.5km，模拟总面积 1.76km²。

4）土壤环境影响评价

根据《环境影响评价技术导则 土壤环境（试行）》（HJ964-2018），其不适用核与辐射建设项目的土壤环境影响评价，考虑到本项目的建设及实施可能会对周边土壤环境产生一定影响，本次评价仅参照《环境影响评价技术导则 土壤环境（试行）》（HJ964-2018）相关要求开展土壤环境预测与评价，不再进行评价等级和评价范围的划定。

5）声环境影响评价等级与范围

本项目所处区域为声环境 2 类功能区，根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）原则，确定本项目声环境影响评价工作等级为二级，声环境影响评价范围为钻孔施工场界外 200m 及水冶厂厂界外 200m。

6）环境风险评价等级与范围

根据风险识别，本项目涉及的主要危险物质为工业盐酸（37%），参照《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）附录 B、C、D 中盐酸（37%）相关参数，本项目所涉及的危险物质临界量、危险物质及工艺系统危险性分级见下表 1.5-4，行业及生产工艺、危险物质及工艺系统危险性分级见表 1.5-5，各环境要素环境敏感程度分级见表 1.5-6，各环境要素的环境风险潜势划分及评价工作等级的确定见表 1.5-7。

表 1.5-4 危险物质的临界量、危险物质及工艺系统危险性分级相关参数

项目	临界量（t）	最大存量（t）	物质总量与临界量比值 Q	Q 值划分
盐酸（工业级）	7.5	17.7	2.36	1≤Q<10

表 1.5-5 危险物质的临界量、危险物质及工艺系统危险性等级判断

行业	评估依据	M 分值	M 划分	P 划分
有色冶炼	危险物质贮存罐区（盐酸罐）	5/套（罐区）	M=5，M4	P4

表 1.5-6 各环境要素环境敏感程度分级

环境要素	环境敏感性	分级
大气	本项目周边 5km 范围内居住区、医疗卫生、文化教育、科研、行政办公等机构人口总数小于 1 万人；周边 500m 范围内人口总数小于 500 人；油气、化学品输送管线管段周边 200m 范围内，每千米管段人口数小于 100 人。	E3
地表水	本项目新建盐酸罐四周设围堰，围堰内侧进行防腐防渗处理；如发生泄漏可通过泵等对盐酸进行回收，不外排。此外，盐酸罐周围无地表水水体，事故情况下盐酸不会进入地表水体。	/
地下水	本项目新建盐酸罐均不在集中式饮用水水源地准保护区及补给径流区，分散式饮用水水源地或特殊地下水资源保护区及以外的分布区等敏感区范围内，地下水功能按照不敏感 G3 考虑；根据区域地勘资料，包气带厚度 $Mb \geq 1m$ ，渗透系数 $1.0 \times 10^{-6} cm/s < K < 1.0 \times 10^{-4} cm/s$ ，包气带分布连续、稳定，防污性能为 D2；因此，地下水环境敏感程度为 E3。	E3

表 1.5-7 各环境要素的环境风险潜势划分及评价工作等级

环境要素	环境敏感程度 (E)	危险性等级 (P)	环境风险潜势	评价工作等级
大气	E3	P4	I	简单分析
地表水	/		/	/
地下水	E3		I	简单分析

综上，大气和地下水环境风险评价等级均为简单分析。

7) 生态评价等级与范围

本项目占地面积 $35509m^2$ ，根据《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目相关内容不属于其 6.1.2 条中“a)~f)”内容，因此确定生态评价为三级，评价范围为本项目占地区域。

1.6 产业政策与“三线一单”相符性

1.6.1 产业政策相符性分析

本项目属于地浸采铀试验，对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令 第 7 号），不属于产业政策指导目录规定的限制类和淘汰类项目，属于鼓励类“六、核能”中“5 核燃料生产加工”中“铀矿地质勘查和铀矿采冶、铀精制、铀转化”，符合我国现行产业政策。

1.6.2 与生态环境分区管控的符合性分析

2020 年 12 月 30 日，甘肃省人民政府发布了《甘肃省人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的意见》（甘政发〔2020〕68 号），对“三线一单”（生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单）实施生态环境分区管控。根据实施意

见，全省共划定环境管控单元 842 个，包括优先保护单元、重点管控单元、一般管控单元三类，实施分类管控。经“甘肃省生态环境分区管控公众服务平台”查询，本项目所在环境管控单元类别为镇原县一般管控单元，管控单元编码为 ZH62102730001，具体管控要求及本项目相符性分析见表 1.6-1。由表可知，本项目的实施可满足镇原县一般管控单元的相关管控要求。

表 1.6-1 本项目与所属管控单元相符性分析

管控类别	管控要求	相符性分析
空间布局约束	执行甘肃省和庆阳市生态环境总体准入清单中一般管控单元的空间布局约束要求。	甘肃省和庆阳市一般管控单元对畜禽养殖行业、石油勘探开发行业进行了空间布局约束要求，本项目不涉及该行业。
污染物排放管控	执行甘肃省和庆阳市生态环境总体准入清单中一般管控单元污染物排放管控要求；切实加大对城镇、农村等重点领域的水污染防治，提高城镇、农村生活污水、生活垃圾收集率、处理率。	甘肃省和庆阳市一般管控单元要求落实污染物总量控制和《甘肃省石油勘探开发生态环境保护条例》等要求，本项目不涉及以上要求；本项目生活污水依托租用民宅以及化粪池收集后外运处理，不外排。蒸发池采取双层人工防渗结构，并通过抽注比和监测井来防治地下水污染。生活垃圾集中收集后外运处理。因此，本项目可满足污染物排放管控的要求。
环境风险防控	执行甘肃省和庆阳市生态环境总体准入清单中一般管控单元的环境风险防控要求。相关的有：矿山企业应当防止废气、废水、尾矿、尾渣等污染土壤环境，加强对废物贮存设施和废弃矿场的管理，采取防渗漏、封场、闭库、生态修复等措施，安全处置“石油开采产生的油泥和油脚、废弃钻井液处理产生的污泥”等危险废物，严禁随意倾倒和就地掩埋。	本项目采取了有效的防治措施以免废气、废水及固体废物污染土壤，固体废物暂存间和危废间内地面作防渗处理，钻机泥浆在施工中循环利用，最终交由专业化公司处理，废机油交由具备处置资质的单位处置，可满足环境风险防控的要求。
资源利用效率要求	执行甘肃省和庆阳市生态环境总体准入清单中一般管控单元的资源利用效率要求。	甘肃省和庆阳市一般管控单元对优化能源结构，提高能源利用效率，以及水资源利用效率、地下水开采及禁燃区等提出要求。本项目属于地浸采铀试验，试验过程中大部分（约 95.5%）吸附尾液返回井场回用，可满足资源利用效率相关要求。

1.6.3 “三线一单”相符性分析

1) 生态保护红线符合性

本项目占地不涉及生态保护红线、自然保护区、风景名胜区、国家级森林公园、地质公园、湿地公园、饮用水源保护区等特别保护的区域，满足生态保护红线控制要求。

2) 资源利用上线符合性

本项目建设运行过程中，主要资源消耗有土地、能源（电能）和水。本项目总占地面积约 35509m²，其中井场临时占地 26470m²，施工完毕后恢复地表原始地貌形态，占用土地资源较少。本项目附近电力、高压电网设施齐全，可引线至试验区，本项目不涉及使用高耗电设备，供电总功率可满足试验及生活用电负荷要求；本项目试验用仅在第一次配制淋洗剂时需要少量生产水，用水量较小，通过引项目附近自来水管线至试验区，可满足试验及生活用水要求。因此，本项目水、电、土地资源使用符合资源配置要求，总体符合资源利用上线的要求。

3) 环境质量底线符合性

根据《2023 年甘肃省生态环境状况公报》，庆阳市 2023 年 PM_{2.5}年均浓度 27μg/m³，PM₁₀年均浓度 53μg/m³，SO₂年均浓度 7μg/m³，NO₂年均浓度 14μg/m³，CO 第 95 百分位 24h 平均浓度为 0.9mg/m³，O₃第 90 百分位最大 8 小时平均浓度为 138μg/m³。由此可知，本项目所在区域大气基本污染物浓度均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2012）的二级标准要求，为空气达标区。

本项目废气达标排放，废水不外排，固体废物得到合理处置，噪声经采用低噪声设备、合理安排作业时间等措施后影响较小。因此，本项目“三废”排放对周围环境影响较小，不会出现环境质量降级，本项目的建设符合环境质量底线要求。

4) 负面清单符合性

本项目位于甘肃省庆阳市，属于地浸采铀试验研究项目，未被列入《甘肃省国家重点生态功能区产业准入负面清单（试行）》中“镇原县产业准入负面清单”，符合环境功能区负面清单控制要求。

综上所述，本项目符合国家及地方产业政策和环保政策的相关要求，满足国家“三线一单”要求。

2 编制依据

法规 标准	1) 法规 (1) 《中华人民共和国环境保护法》2015 年 1 月 1 日； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》2018 年 12 月 29 日； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》2003 年 10 月 1 日； (4) 《中华人民共和国大气污染防治法》2018 年 10 月 26 日； (5) 《中华人民共和国水污染防治法》2018 年 1 月 1 日； (6) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》2020 年 9 月 1 日； (7) 《中华人民共和国噪声污染防治法》2022 年 6 月 5 日； (8) 《中华人民共和国土壤污染防治法》2019 年 1 月 1 日； (9) 《建设项目环境保护管理条例》2017 年 10 月 1 日； (10) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》2021 年 1 月 1 日； (11) 《国家危险废物名录（2025 年版）》2025 年 1 月 1 日； (12) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》2024 年 2 月 1 日； (13) 《基本农田保护条例》（中华人民共和国国务院令第 257 号）2011 年 1 月 8 日； (14) 《危险废物转移管理办法》2022 年 1 月 1 日； (15) 《自然资源部、农业农村部关于加强和改进永久基本农田保护工作的通知》（自然资规〔2019〕1 号）2019 年 1 月 3 日； (16) 《甘肃省国家重点生态功能区产业准入负面清单（试行）》2017 年 8 月 22 日； (17) 《甘肃省人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的意见》（甘政发〔2020〕68 号）2020 年 12 月 29 日。 2) 标准规范 (1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）； (2) 《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018）； (3) 《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ 610-2016）； (4) 《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ 2.3-2018）； (5) 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ 2.4-2021）；
----------	---

- | | |
|--|--|
| | <p>(6) 《环境影响评价技术导则 生态影响》 (HJ 19-2022) ;</p> <p>(7) 《建设项目环境风险评价技术导则》 (HJ 169-2018) ;</p> <p>(8) 《环境影响评价技术导则 铀矿冶》 (HJ 1015.1-2019) ;</p> <p>(9) 《危险废物管理计划和管理台账制定技术导则》 (HJ 1259-2022) ;</p> <p>(10) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB 18871-2002) ;</p> <p>(11) 《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》 (GB 23727-2020) ;</p> <p>(12) 《铀矿冶辐射环境监测规定》 (GB 23726-2009) ;</p> <p>(13) 《铀、钍矿冶放射性废物安全管理技术规定》 (GB 14585-2024) ;</p> <p>(14) 《环境空气质量标准》 (GB 3095-2012) ;</p> <p>(15) 《地下水质量标准》 (GB/T 14848-2017) ;</p> <p>(16) 《声环境质量标准》 (GB 3096-2008) ;</p> <p>(17) 《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准 (试行) 》 (GB 15618-2018) ;</p> <p>(18) 《大气污染物综合排放标准》 (GB 16297-1996) ;</p> <p>(19) 《城市污水再生利用 城市杂用水水质》 (GB/T 18920-2020) ;</p> <p>(20) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》 (GB 12523-2011) ;</p> <p>(21) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》 (GB 12348-2008) ;</p> <p>(22) 《食品中放射性物质限制浓度标准》 (GB14882-94) ;</p> <p>(23) 《危险废物贮存污染控制标准》 (GB18597-2023) 。</p> |
|--|--|

相关文件	1) 环境影响评价委托书; 2) 《甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地浸采铀试验研究实施方案》, 中核通辽铀业有限责任公司, 2025 年 4 月; 3) 《关于甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地浸采铀试验研究科研项目立项的批复》, 中核铀发〔2025〕198 号, 中核铀业有限责任公司, 2025 年 4 月; 4) 《甘肃省镇原铀矿 BSK1 矿段 M5~M49 线普查报告》, 核工业二〇八大队, 2024 年 12 月。 5) 《甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地浸采铀试验研究环境质量现状监测(2024HYAFX-01803)》, 核工业北京化工冶金研究院, 2024 年 10 月; 6) 《甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地浸采铀试验研究环境质量现状监测(2025HYAFX-01272)》, 核工业北京化工冶金研究院, 2025 年 2 月。
-------------	--

3 建设项目所在地自然环境社会环境简况

3.1 地理位置

本项目位于甘肃省庆阳市镇原县，行政隶属庆阳市镇原县庙渠镇管辖，北距镇原县 18km，西距庆阳市 44km，东距兰州市 300km。项目所在地附近有 202 省道和 005 县道，部分黄土残塬和大的梁峁之间有简易公路相通，交通条件较为便利。

3.2 地形地貌

本项目场址位于陇东黄土高原西部，地势整体呈南高北低，海拔约 1230~1430m，相对高差约 200m。本项目场址及周边区域地形均为黄土台地，场地东侧最低处为时家河及河流冲刷形成的河谷、漫滩及冲切沟，场址周边黄土残塬发育，沟壑切割较深，地表全部为第四系松散地层覆盖，厚度大。

3.3 气候气象

1) 区域气候特征

本项目所在的镇原县地处大陆深处，属北温带大陆性气候，四季变化较大，冬季主要受西伯利亚冷气团影响，严寒而少雪；春季因冷气团交替频繁出现，气温日差较大，寒潮霜冻不时发生，并多有大风；夏季暑热，雨量增多，多以暴雨出现，同时常有夏旱和伏旱；秋季多雨，降温快，早霜冻频繁。

根据镇原县气象站多年气象资料统计，多年平均气温 9.7℃，一天之内的平均温度差 11℃，极端最高温度为 37.4℃，极端最低温度为-21.2℃。年平均气压 884.9hPa，年平均相对湿度 62.0%。年平均降水量为 469.6mm，年平均蒸发量 1564.5mm。年均日照时数 2368.9h。区内风向随季节变化，平均风速为 1.6m/s。

2) 气象资料

本次评价的地面气象数据采用距离本项目最近的镇原气象站 2023 年逐时气象数据，该站点编号 53925，地理坐标为东经 108.183°，北纬 35.683°，与试验区距离约 18.92km，地形和气象特征与试验区基本一致。地面气象参数为逐时数据，包括观测时间、风向、风速和温度等。

本次评价采用的高空气象数据采用中尺度气象模拟软件 WRF-ARW 模拟得到，模拟区域中心的地理坐标为东经 107.14°，北纬 35.56°，与本项目距离约 32.16km。高空气象要素包括日期、气压、高度、干球温度、露点温度、风向和风速等，模拟时间段为每日 8 时、20 时两次。评价采用的云量数据也通过尺度气象模拟软件 WRF-ARW 模拟得到，其利用不

同层位高度的全球气象实测值作为初始场并进行数据同化，提取本项目点位对应的逐时云量数据。

项目所在地区全年温度、风速月平均变化情况见表 3.3-1 和图 3.3-1，全年风频风向见表 3.3-2，全年和各季风向玫瑰图见图 3.3-2。

表 3.3-1 温度、风速月平均变化值

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
温度（℃）	-3.0	-0.2	7.4	10.4	14.9	20.5
风速（m/s）	3.2	2.7	2.9	3.8	2.8	2.7
月份	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
温度（℃）	22.5	20.5	16.5	11.2	4.8	-1.2
风速（m/s）	2.8	2.5	2.3	2.1	2.9	2.8

表 3.3-2 全年各风向风频

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
频率（%）	10.8	7.8	4.2	2.5	2.4	2.7	6.8	11.6	14.6
风向	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C	/
频率（%）	11.8	4.8	2.1	2.0	2.3	3.8	8.8	1.0	/

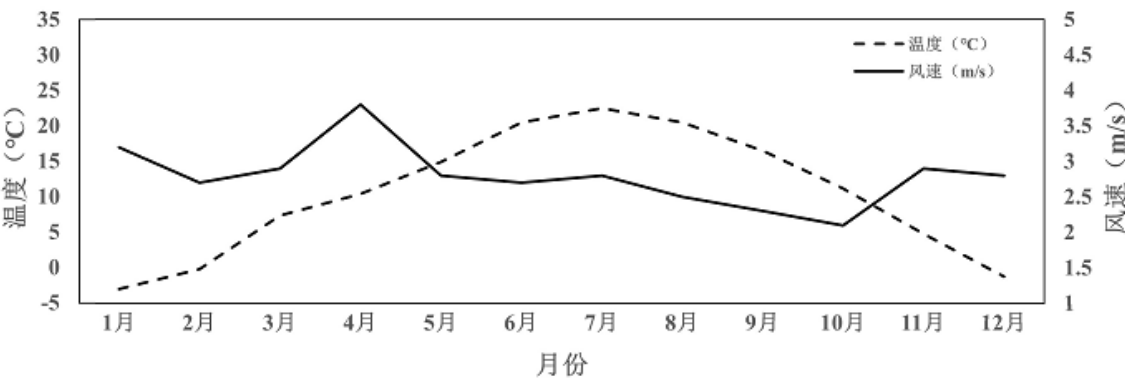


图 3.3-1 温度、风速月变化曲线

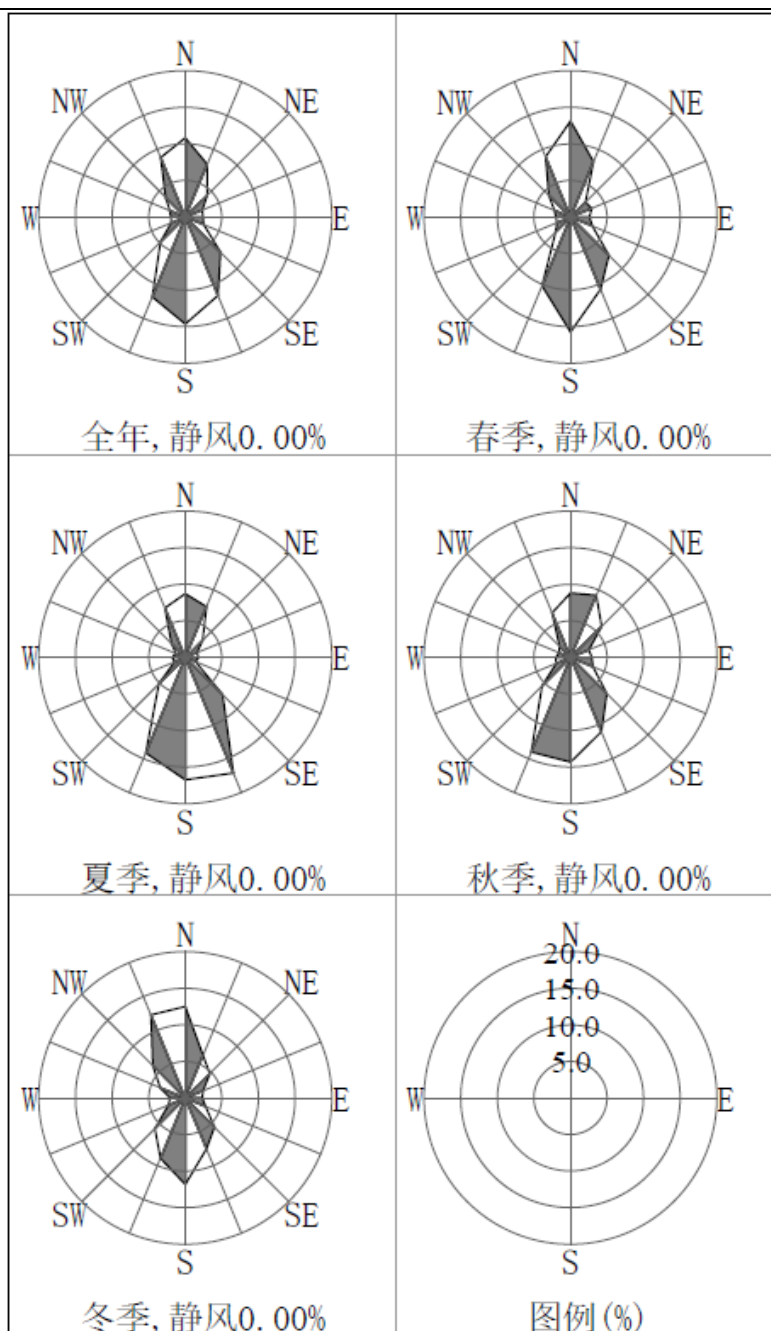


图 3.3-2 全年和各季风向玫瑰图

3.4 地表水系

镇原县境内主要河流为蒲河、洪河、茹河和交口河，均自西北向东南流，最终汇入泾河。其中，蒲河流域面积最大，流经三岔镇、城关镇等地，是镇原县最主要的河流；洪河全长 96km，流经新城镇、平泉镇等区域，是镇原县与庆城县的界河之一；茹河全长 77km，流经郭原乡、城关镇等地，是镇原县重要的农业灌溉水源；交口河全长 83km，流经孟坝镇、太平镇等，与蒲河交汇后汇入泾河。

本项目周边水系为时家河，该河流为交口河的支流，位于项目东北方向直线距离 500m

处的沟谷内，与项目所在地高差可达 150m。时家河为季节性河流，丰水期有水，枯水期断流。

3.5 地质

3.5.1 地质构造

鄂尔多斯盆地可划分为伊盟隆起、伊陕斜坡、渭北隆起、晋西挠褶带、天环坳陷以及西缘冲断带六个一级构造单元。其中，天环坳陷位于鄂尔多斯盆地西部，其东界始于盐池—环县，西邻西缘逆冲带，南北长 600km，东西宽 50~60km。

本项目所在的镇原铀矿 BSK1 矿段位于鄂尔多斯盆地西南部，属于天环坳陷南部与陕北斜坡西南部过渡部位，构造特征为东翼缓西翼陡的不对称向斜，向斜轴线近南北向。

3.5.2 地层特征

本项目所在的镇原铀矿 BSK1 矿段地层自下而上依次为三叠统（ T ）、侏罗统（ J ）、白垩统（ K ）和第四系（ Q ）。其中，白垩统（ K ）自下而上依次为泾川组（ K_{1j} ）、罗汉洞组（ K_{1lh} ）、环河组（ K_{1h} ）、洛河组（ K_{1l} ）。根据地层结构、岩性组合及沉积组合特征，环河组（ K_{1l} ）又分为环河组上段（ K_{1h^2} ）和环河组下段（ K_{1h^1} ）。

本项目试验目的层为环河组下段（ K_{1h^1} ），该地层厚度 150~250m，厚度变化较小，总体呈现北厚南薄的特征。地层碎屑岩以长石岩屑砂岩为主，长石石英砂岩和长石砂岩次之。碎屑粒度以细粒、中细和细中为主，其次为中粒，少见中粗及粗中粒。该地层分为三个岩段，最下层的第一岩段以浅灰色、灰绿色中细砂岩和灰红色粉砂质泥岩为主，中间第二岩段以灰红色粉砂岩质泥岩、泥质粉砂岩为主，最上层为第三岩段，以灰色、杂色中细砂岩为主。

3.5.3 矿体地质

镇原铀矿 BSK1 矿段的矿体主要赋存于环河组下段（ K_{1h^1} ）砂体中，自下而上分为I号、II号、III号和IV号四个铀矿层，II号铀矿层又可分为II₁和II₂，II₁包括II₁-1、II₁-2 和II₁-3，其中II₁-1 为镇原铀矿 BSK1 矿段主矿体，也是本项目试验目的矿体，以下着重介绍。

1) 矿层特征

平面上，II₁-1 号铀矿体整体北西-南东分布，呈“弓”字形，矿体长 4.5km，平均宽 600m；剖面上，该铀矿体赋存在环河组下段（ K_{1h^1} ）第一岩段灰色砂体中，矿层连续性好，矿体产状与地层产状基本一致，矿体形态为板状，矿体平均厚度 17.5m。从倾向剖面上看矿体呈西部薄，中间厚，东部薄的特点，从走向剖面上看，呈中间厚，向南、向北逐渐减小的

特点。矿层顶板埋深为 681.25~925.85m，平均 784.35m；底板埋深为 690.25~931.75m，平均 807.57m。顶、底板埋深变化特征基本一致，整体呈现从西到东由深变浅再变深的特征。

2) 岩性特征

镇原铀矿 BSK1 矿段矿石主要由灰色长石石英砂岩和长石岩屑砂岩构成，碎屑成分以石英为主，长石和岩屑次之，另外还含有少量云母。矿石粒度以细中砂岩、中细砂岩和细砂岩为主，中砂岩和粗中砂岩次之。矿石化学成分中 SiO_2 含量较高，平均值为 83.97%。 Al_2O_3 含量次之，平均值为 4.95%。铀矿石化学成分统计见表 3.5-1。

表 3.5-1 甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段铀矿石化学成分统计表 单位：%

化学成分	烧失量	SiO_2	FeO	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	P_2O_5	K_2O	Na_2O
极小值	0.35	65.76	0.26	0.01	3.03	0.05	0.01	0.67	0.34	0.01	0.82	0.38
极大值	8.25	90.50	9.19	0.55	9.89	0.32	0.06	9.19	2.96	0.50	2.99	1.72
平均值	3.18	83.97	0.99	0.17	4.95	0.11	0.02	2.36	1.16	0.05	1.45	0.94

3.6 水文地质

3.6.1 区域水文地质

鄂尔多斯盆地中部白于山一线的区域分水岭将盆地分割为南北两个相对独立的水文地质单元，即南部的黄土高原水文地质区（I）和北部的鄂尔多斯高原水文地质区（II）。其中，南部的黄土高原水文地质区（I）又可分为陕北黄土高原水文地质亚区（I₁）与陇东黄土高原水文地质亚区（I₂），本项目位于陇东黄土高原水文地质亚区（I₂）。鄂尔多斯盆地可划分为五个地下水系统，即新生界断陷盆地孔隙含水系统、白垩系裂隙孔隙含水系统、石炭—侏罗系基岩裂隙含水系统、寒武—奥陶系裂隙岩溶含水系统、前寒武系基岩裂隙含水层系统，本项目位于白垩系裂隙孔隙含水系统。

3.6.2 矿床水文地质

1) 地下水类型及含水层分布

项目所在的镇原铀矿 BSK1 矿段赋存的地下水类型主要有松散岩类孔隙水和碎屑岩类裂隙孔隙水，各含水层的详细特征如下：

（1）松散岩类孔隙水

该含水层赋存第四系松散岩类孔隙潜水，根据分布区域划分为大塬区黄土潜水、小残塬区潜水、梁峁斜坡黄土潜水和掌杖形洼地潜水。其中，大塬区黄土潜水分布在区内大部

分大塬区域，塬心一带水位埋深为 30~45m，塬边一带水位埋深为 60~80m；小残塬区潜水分布在马渠塬、庙渠塬的小残塬区域，塬心一带水位埋深为 70~90m，塬边一带水位埋深为 100~110m；梁峁斜坡黄土潜水分布于新集、孟坝及开边以南塬侧一带，水位埋深一般大于 100m；掌杖形洼地潜水分布在新集、孟坝及开边以北地区的洼地，水位埋深一般 30~90m。

松散岩类孔隙水的主要补给来源是大气降水，地下水径流方向基本上与地形坡向一致，径流特征总体由水位较高的塬中心向水位较低的塬边径流，径流相对缓慢，排泄除人为开采以外，主要通过塬侧泉水排泄，多沿隔水层顶面溢出。该含水层在各区的地下水均为无色、无味、透明、无嗅，水温 10~15℃，pH 值一般大于 7，为弱碱性水，阴离子类型主要是 HCO_3^- 型，阳离子类型主要为 $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$ ，地下水水化学类型主要为 $\text{HCO}_3-\text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型水，其次为 HCO_3-Na 型和 $\text{HCO}_3-\text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型水。

（2）碎屑岩类裂隙孔隙水

①罗汉洞泾川组含水层

该含水层在区内广泛分布，由罗汉洞组和泾川组组成，含水层岩性以中细、中粗砂岩为主，含水层厚度一般为 100~250m，向北、西逐渐变薄。顶板埋深在河谷中较浅，为 40~80m，在黄土梁峁塬区较深，大于 200m。地下水类型为裂隙孔隙承压水，承压水水头普遍较低，一般小于 10m。富水性主要受砂岩的厚度、胶结程度、颗粒大小等控制，单井涌水量差异性较大，为 100~1000 m^3/d ，pH 值 7.15~7.79，水化学类型以 $\text{HCO}_3-\text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型为主，地下水径流方向受泾河、蒲河影响，总体上为由西北向东南径流。

②环河组含水层

该含水层下伏于罗汉洞泾川组含水层，在区内广泛分布，埋深较大，地下水类型为裂隙孔隙承压水，承压水头较大。该含水层垂向上分为环河组上段含水层和环河组下段含水层。环河组上段含水层由砂质泥岩、泥岩及粉细砂岩组成，厚度一般为 100~200m，自北向南递减。该含水层的砂岩层次多，泥岩与砂质泥岩分布不稳定，富水性普遍较弱；环河组下段含水层发育砂岩型铀矿床，岩性为胶结较差的粉细、中细、中粗砂岩与砂质泥岩互层，富水性同样普遍较差，单井涌水量在 100~500 m^3/d 。其含（隔）水层及地下水详细特征将在“含矿含水层特征”一节中详细论述。

③宜君洛河组含水岩组

该含水岩组位于环河组含水层之下，与环河组由一层厚度不等的泥岩相隔离，无水力联系。该含水层在区内均有分布，岩性为中粗、中细砂岩和砂砾岩，厚度与地层厚度基本

一致，一般在 200~400m 之间。地下水类型为裂隙孔隙承压水，承压水头较大，含水层富水性普遍较强，单井涌水量大部分地段为 500~1000m³/d。地下水径流受马莲河的控制较明显，径流方向总体上由西北向东南。

2) 含矿含水层特征

环河组下段 (K_1h^1) 含水层包括上亚段 (K_1h^{1-3}) 和下亚段 (K_1h^{1-1}) 两个含水亚层，其间分布隔水层中亚段 (K_1h^{1-2})，隔水层厚度较大且稳定连续，隔水性能良好。其中，下亚段 (K_1h^{1-1}) 含水层为镇原铀矿 BSK1 矿段含矿含水层，含矿层具体特征如下：

(1) 岩性特征

该含水层岩性主要为灰色细砂岩及少量的中、粗砂岩，为细、中粒砂状结构，层理弱发育。碎屑物成分以石英为主，长石与岩屑次之，磨圆度次棱角状-次圆状，分选性中等，固结程度总体较疏松，透水性中等，具有较好的储水条件，富水性、渗透性较强。

(2) 厚度及水位埋深

该含水层总体泛联通状、连续性好，呈北西-南东向展布。该含水层厚度为 84.61~117.44m，具有自北西向南东逐渐变薄的特点。该含水层分布稳定，承压性较强，埋藏深度较大，水位埋深 137.1m~131.90m。

(3) 渗透性及水力特征

本项目试验目的含矿含水层水文孔抽水试验成果汇总表见表 3.6-2。可以看出，该含矿含水层富水性较好，最大涌水量为 9.81L/s，最大水位降深 12.45m，单位涌水量为 0.79~0.81L/s.m，含矿含水层渗透系数为 1.19~1.28m/d，导水系数 126.66m²/d。

含矿含水层赋存孔隙承压水，在静水压力作用下，地下水总体流向为由西北向东南径流，由于地层倾角较小，含矿含水层埋藏深，地下水径流缓慢，水动力相对较弱，地下水循环交替相对缓慢。

表 3.6-2 含矿含水层水文孔抽水试验成果汇总表

钻孔编号	降深(m)	涌水量(L/s)	单位涌水量(L/s·m)	导水系数(m ² /d)	渗透系数(m/d)	
M-SW-1	12.45	9.81	0.79	126.66	1.28	1.24
	9.23	7.51	0.81		1.26	
	5.92	4.67	0.79		1.19	

(4) 水化学特征

含矿含水层地下水埋深大，水交替缓慢，矿化度相对较高。矿化度一般<1g/L，pH 值

7.46~7.56, 属弱碱性水, 水化学类型为 $\text{SO}_4\cdot\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}\cdot\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 型, 水温 28°C ; Eh 值 -65.3~-108.6mV, 溶解氧 5.74~6.98mg/L, 水文地球化学环境处于还原环境。

(5) 隔水层特征

①隔水顶板: 由环河组下段中亚段 (K_1h^{1-2}) 灰色粉砂质泥岩、灰色粉砂岩、灰色泥岩组成, 顶板埋深 636.86~887.93m, 底板埋深 663.08~928.15m, 厚度 10.51~55.67m。该段岩层在评价区内连续分布, 整体致密不透水, 隔水性能良好, 厚度较大, 稳定性较好, 阻隔了含矿层与上层含水层之间的水力联系。

②隔水底板: 由洛河组顶部 (K_1l) 顶部浅红灰色粉砂质泥岩、灰色粉砂岩组成, 顶板埋深 766.65~1038.42m, 厚度 2.5~32.99m, 试验区域厚度约 10m。该隔水底板在评价区内分布连续稳定, 整体致密不透水, 岩石完整, 节理裂隙不发育, 隔水性能良好, 阻隔了含矿层与下层含水层之间的水力联系。

3.7 土地和水体利用

1) 土地利用

根据镇原县第三次国土调查结果, 镇原县总土地面积 3500km^2 。其中, 耕地面积 1367.4126km^2 , 园地面积 18.9035km^2 , 林地 698.9561km^2 , 草地 833.1781km^2 , 湿地 6.5372km^2 , 城镇村及工矿用地 287.9688km^2 , 交通运输用地 43.3983km^2 , 水域及水利设施用地 12.3922km^2 , 其他未利用地 231.2532km^2 。

2) 水体利用

镇原县水资源总量 15672 万 m^3 , 人均可利用量不足 306m^3 , 是甘肃省人均水资源占有量的 23.5%。地下水分布不均, 主要集中在中南部, 塬区水源埋藏较深, 北部丘陵区水源贫乏。地表水有蒲河、洪河、茹河和交口河 4 条较大河流, 太阳池、白马池和翟池 3 大池水和西杨、吴家沟 2 座水库。

3.8 生态环境概况

1) 动植物资源

镇原县野生动物以温带常见物种为主, 包括野兔、狐狸、刺猬等小型哺乳动物, 麻雀、喜鹊、啄木鸟等鸟类, 以及棒花鱼、拉氏鲃、泥鳅等鱼类。国家二级保护动物雕鸮、灰林鸮在县域内偶有分布; 镇原县植被属温带灌草植被带类型, 境内植被稀疏, 现状植被为经济林 (以苹果、杏树为主)、人工水土保持乔木林、灌木林以及零星人工草地和天然草地。草本植物主要为沟坡上的针茅、蒿类、胡枝子、地椒和长梁上的本氏针茅、蒿类以及陡坡

狼牙刺灌木。

通过现场走访调查，本项目评价区内植被以小麦、玉米等粮食作物为主，林木主要为苹果树、杏树、梨树等经济林木，还有种植特色作物黄花菜。在田埂、地头、荒地、山坡等地，有酸枣、狼牙刺等野生灌木，以及蒲公英、狗尾草等多种野生草本植物；评价区野生动物主要有野兔、野鸡、刺猬等常见小型哺乳动物，麻雀、喜鹊、啄木鸟等常见鸟类，以及鼠类、蛇类等常见爬行动物。家禽主要以饲养牛、猪、羊为主，无珍稀野生动植物资源。

2) 资源开发利用状况

镇原县已探明的矿产资源有石油、煤炭、石英砂等 16 种。矿产资源在全县分布很不均匀，石油主要分布在新集、方山、三岔、屯字、城关等地，石英砂主要分布在茹河和蒲河两岸，煤炭主要分布在武沟、新集、方山、殷家城、三岔等乡镇，建筑用砂主要分布在蒲河、交口河、茹河、洪河、杨涧河两岸，砖瓦用粘土在全县范围内均有分布，砖瓦用砂岩仅在城关路坡有出露，建筑用河砂主要分布在茹河流域开边、城关段。

经调查，本项目现场试验占地区域未压覆石油、天然气等其他可开采矿产资源。

3) 生态敏感区

本项目位于甘肃省庆阳市镇原县境内，项目占地不涉及生态保护红线，项目周边不涉及水源保护区、各类自然保护地、风景名胜区等需要特别保护的区域。

3.9 社会环境简况

1) 社会经济

根据《镇原县 2023 年国民经济和社会发展统计公报》，2023 年镇原县完成地区生产总值 112 亿元，同比增长 6.7%。其中第一产业完成 38.7 亿元，同比增长 6.2%；第二产业完成 32.33 亿元，增长 7.0%；第三产业完成 40.98 亿元，增长 7.0%。第一、第二、第三次产业增加值比重为 34.5:28.9:36.6。

2) 人口

根据《镇原县 2023 年国民经济和社会发展统计公报》，2023 年年末，镇原县常住人口 35.01 万人。根据 2025 年实地调查，评价中心 5km 范围内总人口为 9138 人。根据镇原县第七次人口普查数据，项目周边年龄组比例分别为：婴儿组（≤1 岁）2.3%，幼儿组（1-7 岁）8.5%，少年组（7-17 岁）14.5%，成人组（>17 岁）74.7%。

表 3.9-1 评价中心 5km 范围内居民点

居民点	方位	距离 (km)	人口 (人)	居民点	方位	距离 (km)	人口 (人)
北山	N	3.8	319	王川	SSW	4.4	146
南庄	NNE	1.5	399	慕塬	SW	2.2	269
何范	NNE	3.6	462	九亩坪	SW	3.3	136
沟畔	NE	2.6	430	瓦院	WSW	4	365
吊珍	NE	4.7	123	段坪	WSW	4.5	213
董咀	ENE	1.7	312	扬洼	W	1.5	200
赵咀	ENE	2.9	514	文庄	W	2.6	336
王咀	ENE	4.5	334	文夏	W	3.8	338
陈寨	ENE	4.3	588	陈咀	WNW	4.7	331
周洼	ESE	2.1	363	阴山	WNW	4.9	254
姜塬头	ESE	4.6	302	范新庄	NW	0.3	30
安山	SSE	1.8	153	杨家圪	NW	0.8	10
姚山	SSE	2.8	166	时河	NW	2.4	254
川口	SSE	3.6	222	塬头	NW	4.2	266
罗塬	S	4.8	321	挂山	NW	4.8	306
韩山	SSW	0.3	218	塬畔	NNW	4.8	278
王塬	SSW	2.5	180	合计	/	/	9138

评价中心半径 20km 范围涉及庙渠镇、孟坝镇、新集乡、方山乡、三岔镇、马渠镇、武沟镇、郭原乡、开边镇、临泾镇、太平镇和城关镇，总人口 146202 人。根据《镇原县国民经济和社会发展统计公报》，镇原县 2019 年~2023 年人口自然增长率见表 3.9-2，保守考虑，人口自然增长率取最大值 3.43‰。2025 年和 2026 年（试验投入运行第一年）人口分布情况分别见表 3.9-3 和表 3.9-4。

表 3.9-2 人口自然增长率（2019~2023 年）

年份	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
人口自然增长率 (‰)	3.43	-0.6	1.2	-0.56	-4.86

表 3.9-3 本项目评价中心 20km 范围内人口分布（2025 年）

距离 (km)	年龄组	方位															
		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0~1	婴儿	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
	幼儿	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	3	0
	少年	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	4	0
	成人	0	0	0	0	0	0	0	0	0	176	0	0	0	0	33	0
1~2	婴儿	0	9	0	7	0	0	0	4	0	0	0	0	5	0	0	0
	幼儿	0	34	0	27	0	0	0	13	0	0	0	0	17	0	0	0
	少年	0	40	0	31	0	0	0	15	0	0	0	0	20	0	0	0
	成人	0	316	0	247	0	0	0	121	0	0	0	0	158	0	0	0
2~3	婴儿	0	0	10	12	0	8	0	4	0	4	6	0	8	0	6	0
	幼儿	0	0	37	44	0	31	0	14	0	15	23	0	29	0	22	0
	少年	0	0	43	51	0	36	0	16	0	18	27	0	33	0	25	0
	成人	0	0	340	407	0	288	0	132	0	143	213	0	266	0	201	0
3~5	婴儿	7	11	3	21	0	7	0	5	7	3	3	13	8	13	13	6
	幼儿	27	39	10	78	0	26	0	19	27	12	12	49	29	50	49	24
	少年	32	46	12	91	0	30	0	22	32	14	13	57	33	58	57	28
	成人	253	366	98	732	0	239	0	176	255	117	108	459	268	464	454	220
5~10	婴儿	35	76	52	0	115	117	0	32	0	64	40	0	40	0	31	0
	幼儿	130	279	192	0	425	433	0	120	0	238	147	0	148	0	114	0
	少年	151	326	224	0	495	504	0	139	0	277	171	0	172	0	133	0
	成人	1210	2607	1796	0	3966	4036	0	1117	0	2218	1368	0	1377	0	1067	0
10~20	婴儿	76	94	132	106	75	338	33	300	321	169	211	108	132	74	274	107
	幼儿	279	346	488	393	276	1250	121	1109	1185	623	781	401	488	273	1013	396
	少年	326	403	569	458	322	1456	141	1292	1380	726	909	467	569	318	1180	462
	成人	2607	3230	4558	3668	2578	11665	1134	10350	11056	5811	7282	3741	4558	2545	9451	3697

表 3.9-4 本项目评价中心 20km 范围内人口分布（2026 年）

距离 (km)	年龄组	方位															
		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0~1	婴儿	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
	幼儿	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	3	0
	少年	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	4	0
	成人	0	0	0	0	0	0	0	0	0	177	0	0	0	0	33	0
1~2	婴儿	0	9	0	7	0	0	0	4	0	0	0	0	5	0	0	0
	幼儿	0	34	0	27	0	0	0	13	0	0	0	0	17	0	0	0
	少年	0	40	0	31	0	0	0	15	0	0	0	0	20	0	0	0
	成人	0	317	0	248	0	0	0	121	0	0	0	0	159	0	0	0
2~3	婴儿	0	0	10	12	0	8	0	4	0	4	6	0	8	0	6	0
	幼儿	0	0	37	44	0	31	0	14	0	15	23	0	29	0	22	0
	少年	0	0	43	51	0	36	0	16	0	18	27	0	33	0	25	0
	成人	0	0	341	408	0	289	0	132	0	143	214	0	267	0	202	0
3~5	婴儿	7	11	3	21	0	7	0	5	7	3	3	13	8	13	13	6
	幼儿	27	39	10	78	0	26	0	19	27	12	12	49	29	50	49	24
	少年	32	46	12	91	0	30	0	22	32	14	13	57	33	58	57	28
	成人	254	367	98	735	0	240	0	177	256	117	108	461	269	466	456	221
5~10	婴儿	35	76	52	0	115	117	0	32	0	64	40	0	40	0	31	0
	幼儿	130	280	193	0	426	434	0	120	0	239	148	0	149	0	114	0
	少年	152	327	225	0	497	506	0	139	0	278	172	0	173	0	133	0
	成人	1214	2616	1802	0	3980	4050	0	1121	0	2226	1373	0	1382	0	1071	0
10~20	婴儿	76	94	132	106	75	339	33	301	322	170	212	108	132	74	275	107
	幼儿	280	347	490	394	277	1254	121	1113	1189	625	784	402	490	274	1016	397
	少年	327	404	571	460	323	1461	141	1296	1385	728	912	469	571	319	1184	464
	成人	2617	3242	4575	3682	2588	11706	1139	10387	11094	5831	7307	3754	4574	2554	9483	3710

4 评价适用标准

表 4-1 本项目执行环境质量标准信息表						
环境 质量 标准	类别	标准名称	执行标准	项目名称及标准值		
	环境 空气	《环境空气质量标准》	(GB 3095-2012) 二级	TSP	24 小时平均 0.3mg/m ³	
				SO ₂	1 小时平均 0.5mg/m ³	
				NO _x	1 小时平均 0.25mg/m ³	
		《环境影响评价技术 导则 大气环境》	(HJ 2.2-2018) 附录 D	HCl	24 小时平均 0.05mg/m ³	
	地下 水 环 境	《地下水质量标准》	(GB/T 14848-2017) III 类标准	pH	6.5~8.5	
				Na ⁺	200mg/L	
				Cl ⁻	250mg/L	
				SO ₄ ²⁻	250mg/L	
				NH ₄ -N	0.50mg/L	
				NO ₃ ⁻	20.0mg/L	
				NO ₂ ⁻	1.00mg/L	
				As	10μg/L	
				Hg	1μg/L	
				Cr ⁶⁺	0.05mg/L	
				Zn	1000μg/L	
				Fe	0.3mg/L	
				Cu	1000μg/L	
				Pb	10μg/L	
				Cd	5μg/L	
				Mn	100μg/L	
				Mo	70μg/L	
				总硬度	450mg/L	
				总溶解 性固体	1000mg/L	
				COD _{Mn}	3.0mg/L	
				F ⁻	1.0mg/L	
				总 α	≤0.5Bq/L	
				总 β	≤1Bq/L	
	土 壤 环 境	《土壤环境质量 农用地 土壤污染风险管控 标准（试行）》	(GB 15618-2018) 土壤污染风险筛选值	pH	>7.5	
				As	25mg/kg	
				Cd	0.6mg/kg	
				Hg	3.4mg/kg	
				Pb	170mg/kg	
				Cr	250mg/kg	
				Zn	300mg/kg	
				Ni	190mg/kg	
	声 环	《声环境质量标准》	(GB 3096-2008) 2 类	Leq(A)	昼	60dB(A)
					夜	50dB(A)

污 染 物 排 放 标 准	表 4-2 本项目执行污染物排放标准信息表					
	类别	标准名称	执行标准	项目名称及标准值		
	废气	《大气污染物综合排放标准》	(GB 16297-1996) 新污染源二级	SO ₂	最高排放浓度	550mg/m ³
					周界外浓度最高点	0.4mg/m ³
				NO _x	最高排放浓度	240mg/m ³
					周界外浓度最高点	0.12mg/m ³
				颗粒物	最高排放浓度	120mg/m ³
					周界外浓度最高点	1.0mg/m ³
	HCl	周界外浓度最高点	0.2 mg/m ³			
	噪 声	《建筑施工场界环境噪声排放标准》	(GB 12523-2011)	Leq(A)	昼	70dB(A)
					夜	55dB(A)
《工业企业厂界环境噪声排放标准》		(GB 12348-2008) 2 类标准	Leq(A)	昼	60dB(A)	
				夜	50dB(A)	
辐 射 控 制 指 标	根据《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》（GB 23727-2020），铀矿冶企业实践所致的公众关键居民组成员所受的年平均剂量约束值不应超过 0.5mSv/a。 本项目处于试验阶段，规模较小，确定本项目的公众剂量约束值为 0.01mSv/a。					

5 环境质量状况

5.1 监测目的

为了了解和掌握评价区域环境质量现状，保留本项目试验前的环境背景资料，以便试验开展后，为环境影响评价提供比对依据，从而开展了此次环境质量现状调查与评价。

5.2 本底数据

5.2.1 区域天然放射性本底

根据《中国环境天然放射性水平》（中国原子能出版社，2015 年 7 月）及甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地勘资料，BSK1 矿段区域本底值见表 5.2-1。

表 5.2-1 项目所在地环境本底值

监测项目				监测范围值
地下水	庆阳地区潜水含水层		$U_{\text{天然}}$ ， $\mu\text{g/L}$	3.15~10.66
			^{226}Ra ， mBq/L	8.7~17.8
	BSK1 矿段 地勘资料	潜水含水层	$U_{\text{天然}}$ ， $\mu\text{g/L}$	2.32~12.6
		含矿含水层	$U_{\text{天然}}$ ， mg/L	0.74~2.99
土壤	庆阳地区		$U_{\text{天然}}$ ， mg/kg	2.13~5.33
			^{226}Ra ， Bq/kg	17.9~37.8
庆阳地区 γ 辐射剂量率， nGy/h				51.1~122.4

注： γ 辐射剂量率监测数据已扣除宇宙射线。

5.3 监测方案

5.3.1 布点原则

根据《铀矿冶辐射环境监测规定》（GB23726-2009），结合地浸试验特点开展辐射环境本底调查布点、现场取样和监测。非放射性环境现状调查根据本项目所排放的非放射性污染物特征，参照各评价要素导则（HJ2.2-2018、HJ2.4-2021、HJ610-2016 和 HJ19-2022 等）中的相关规定进行布点。

5.3.2 监测内容

本项目监测由核工业北京化工冶金研究院（以下简称“核化冶院”）分析测试中心开展，共开展两次，监测时间分别为 2024 年 10 月和 2025 年 2 月。该分析测试中心是具有计量认证合格证的环境监测机构，CMA 证书编号为[220020343086]，有效期至 2028 年 8 月 1 日。因此，所出具的监测报告是有效的。本项目监测方案见表 5.3-1。

表 5.3-1 监测方案

环境介质	监测项目	监测位置	点位数量 (个)	监测频次 及要求
空气	氡及其子体	①拟建场址布置 1 个监测点位； ②范新庄、韩山各布置 1 个监测点； ③对照点：塔李村。	4	连续监测 3 天，范新庄和韩山每日 24h，其余点位每日 1 次。
	HCl、TSP、SO ₂ 、NO _x	①范新庄和韩山各布置 1 个监测点。	2	连续监测 3 天，每天 1 次。记录监测时气象状况。
氡析出率		①拟建场址布置 1 个监测点位。	1	连续监测 3 天，每日 1 次。
γ 辐射空气吸收剂量率		同氡及其子体监测点位。	4	监测 1 次
地下水	U _{天然} 、 ²²⁶ Ra、 ²¹⁰ Pb、 ²¹⁰ Po、总 α、总 β、pH、K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 、CO ₃ ²⁻ 、HCO ₃ ⁻ 、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 、氨氮、NO ₃ ⁻ 、NO ₂ ⁻ 、As、Hg、Cr ⁶⁺ 、Zn、Cu、Pb、Cd、Fe、Mn、Mo、总溶解性固体、总硬度、F ⁻ 、COD _{Mn} 。	①潜水含水层：范新庄、慕源村、杨家坨、韩山各布设 1 个监测点； ②潜水含水层对照点：塔李村； ③含矿含水层：水文孔 SW1 和 SW2。	潜水层：5 含矿层：2	监测 1 次
土壤	U _{天然} 、 ²²⁶ Ra、pH、As、Cd、Hg、Pb、Cr、Cr ⁶⁺ 、Zn、Ni、Cu	①拟建场址布置 1 个监测点位； ②范新庄布置 1 个监测点； ③对照点：塔李村。	3	每个监测点位取 1 个混合样。
生物	U _{天然} 、 ²²⁶ Ra、 ²¹⁰ Pb、 ²¹⁰ Po	同土壤监测点位。	3	粮食（玉米），监测一次
噪声	等效声级 L _{Aeq}	①拟建场址布置 1 个监测点位； ②范新庄布置 1 个监测点位。	2	连续监测 2 天，每日昼夜各 1 次。

5.3.3 监测方法和测量仪器

为保证测量数据的准确性，测量方法采用国家和核工业领域颁布或推荐的标准测量方法。本项目监测内容和测量分析及监测仪器见表 5.3-2。

表 5.3-2 监测方法、仪器及检出限

监测项目		监测方法依据	监测仪器	仪器型号	检出限
空气	^{222}Rn	HJ 1212-2021	测氦仪	RAD7	3.7Bq/m ³
	^{222}Rn 子体	EJ 378-1989	氦子体测量仪	PRM-FF01	10.2nJ/m ³
	TSP	HJ1263-2022	电子天平	崂应 2050	0.01mg/m ³
	HCl	HJ 549-2016	离子色谱仪	ICS-5000	0.758 μg/m ³
	SO ₂	HJ 482-2009	分光光度计	722N	28.0μg/m ³
	NO _x	HJ 479-2009			5.0μg/m ³
氦析出率		EJ/T 979-1995	测氦仪	RAD7	0.004 Bq/(m ² ·s)
γ 辐射剂量率		HJ 1157-2021	γ 辐射剂量率仪	FH40G+FHZ672E-10	10 nGy/h
地下水	U _{天然}	HJ 700-2014	质谱仪	NexION 350X	1.0 μg/L
	^{226}Ra	GB/T 11214-1989	氡钍分析仪	FD125/057	0.006 Bq/L
	^{210}Po	HJ 813-2016	α 能谱仪	Alpha Ensemble	0.5 mBq/L
	^{210}Pb	HJ 1323-2023	低本底 α、β 测量仪	LB6008	0.01Bq/L
	总 α	HJ 898-2017			0.02 Bq/L
	总 β	HJ 899-2017			0.06 Bq/L
	K ⁺	HJ 776-2015	电感耦合等离子发射光谱仪	ICAP 7400 Duo	0.1 mg/L
	Na ⁺				0.03 mg/L
	Ca ²⁺				0.02 mg/L
	Mg ²⁺				0.02 mg/L
	Fe				0.5 mg/L
	CO ₃ ²⁻	JS/FX/8.2-04/N/2004	滴定管	FX10-02	0.05 g/L
	HCO ₃ ⁻				0.05 g/L
	F ⁻	HJ 84-2016	离子色谱仪	ICS-5000	0.006mg/L
	Cl ⁻				0.007mg/L
	SO ₄ ²⁻				0.018mg/L
	NO ₃ ⁻				10 mg/L
	NO ₂ ⁻				10 mg/L
	Hg	HJ 694-2014	原子荧光光谱仪	AFS-230E	0.2 μg/L
	As				2 μg/L

	Cr ⁶⁺	GB 7467-1987	分光光度计	722G	0.004 mg/L
	Zn	HJ 700-2014	质谱仪	NexION 350X	0.05 mg/L
	Cu				1 µg/L
	Pb				5 µg/L
	Cd				1 µg/L
	Mn	HJ 700-2014	质谱仪	NexION 350X	0.5 µg/L
	Mo				1 µg/L
	氨氮	HJ 536-2009	分光光度计	722G	0.025mg/L
	溶解性总固体	GB/T 5750.4-2023 (11.1)	滴定管	FX10-18	1mg/L
	总硬度	GB/T 5750.4-2023 (10.1)			4mg/L
	COD _{Mn}	GB/T 5750.7-2023			0.5 mg/L
	pH	GB/T 5750.4-2023(8.1)	pH 酸度计	pHs-3E	0.01
土 壤	U _{天然}	GB/T 14506.30-2010	质谱仪	NexION 350X	0.25 mg/kg
	²²⁶ Ra	GB/T 16145-2022	高纯锗多道 γ 能谱仪	GMX50P4-83	0.2 Bq/kg
	As	GB/T 22105.2-2008	原子荧光光度计	AFS230E	0.1 mg/kg
	Hg	GB/T 22105.1-2008			0.01 mg/kg
	Cd	GB/T 14506.30-2010	质谱仪	NexION 350X	0.01 mg/kg
	Pb				0.1 mg/kg
	Zn				0.1 mg/kg
	Ni				0.1 mg/kg
	Cu				0.1 mg/kg
	Cr				0.05 mg/kg
	pH	HJ 962-2018	酸度计	pHs-3E	0.01
生 物	U _{天然}	GB/T 14506.30-2010	质谱仪	NexION 350X	0.03mg/kg 鲜
	²²⁶ Ra	GB/T 16145-2022	高纯锗多道 γ 能谱仪	GMX50P4-83	0.1 Bq/kg 鲜
	²¹⁰ Pb				0.5 Bq/kg 鲜
	²¹⁰ Po	HJ 813-2016	α 能谱仪	Alpha Ensemble	0.2 Bq/kg 鲜
噪声		GB 3096-2008	多功能声级计	AWA6228+	35dB

5.4 调查结果与分析

5.4.1 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

本项目拟建场址及周边居民点 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果如表 5.4-1 所示。由该表可知，拟建场址及周边居民点 γ 辐射空气吸收剂量率为（66.4~78.1）nGy/h，与对照点基本处于同一水平，但处于庆阳地区本底水平范围内。

表 5.4-1 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

监测点位	监测结果（nGy/h）	
	第一次	第二次
拟建场址	77.5	78.1
范新庄	66.4	70.5
韩山	66.5	67.7
塔李村（对照点）	47.0	52.5
《中国环境天然放射性水平》（2015 年）庆阳地区	51.1~122.4	

注：监测数据已扣除宇宙射线。

5.4.2 环境空气监测结果

1) 氡及氡子体浓度监测结果

本项目拟建场址及周边居民点的空气中氡及氡子体浓度监测结果见表 5.4-2。由表可知，氡浓度范围值为（4.98~22.9）Bq/m³，氡子体浓度范围值为（21.9~48.8）nJ/m³，与对照点基本处于同一水平，且处于全国本底范围内。

表 5.4-2 空气中氡及氡子体浓度监测结果

监测点位	氡浓度均值（Bq/m ³ ）		氡子体浓度均值（nJ/m ³ ）	
	第一次	第二次	第一次	第二次
拟建场址	4.98~17.4	6.54~22.9	40.7~44.4	41.0~48.8
范新庄	8.33~16.1	10.7~19.9	23.4~25.9	25.6~30.3
韩山	10.1~14.9	12.9~17.8	21.9~23.8	26.1~29.3
塔里村（对照点）	5.99~20.3	8.30~24.5	66.4~68.6	65.9~68.9
《中国环境天然放射性水平》 （2015）全国	3.3~40.8		15.4~114.0	

2) 非放射性监测结果

本项目拟建场址周边居民点空气中 TSP、SO₂、NO_x和 HCl 浓度监测结果见表 5.4-3。由表可知，TSP 浓度监测范围值为（31~121）μg/m³，SO₂浓度监测范围值为（99.6~138）μg/m³，NO_x浓度监测范围值为（70.8~80.9）μg/m³，均满足《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中二级标准限值要求；HCl 未检出，满足《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ

2.2-2018) 中附录 D 中标准限值要求。

表 5.4-3 非放射性环境空气监测结果

监测地点		范新庄	韩山	GB3095-2012 标准限值	HJ 2.2-2018 附录 D
TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	第一次	31~39	39~121	300	/
	第二次	32~36	49~55		
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	第一次	113~115	114~138	500	/
	第二次	101~124	99.6~126		
NO _x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	第一次	73.0~80.0	74.0~79.0	250	/
	第二次	73.5~80.9	70.8~76.3		
HCl ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	第一次	ND	ND	/	50
	第二次	ND	ND		

5.5.3 氡析出率监测结果

本项目拟建场址地表氡析出率监测结果见表 5.4-4。由表可知，地表氡析出率范围值为 (0.00224~0.0258) Bq/($\text{m}^2\cdot\text{s}$)。

表 5.4-4 氡析出率监测结果

监测点位	氡析出率 Bq/($\text{m}^2\cdot\text{s}$)	
	第一次	第二次
拟建场址	0.0226~0.0258	0.0224~0.0246

5.5.4 地下水环境监测结果

1) 放射性指标监测结果

(1) 潜水含水层

本项目附近居民点潜水含水层地下水放射性核素监测结果见表 5.4-5。由表可知，潜水含水层地下水中 $\text{U}_{\text{天然}}$ 浓度为 (3.37~14.3) $\mu\text{g}/\text{L}$ ， ^{226}Ra 浓度为 (ND~18.6) mBq/L，处于区域本底范围内。 ^{210}Pb 浓度为 (ND~21.2) mBq/L， ^{210}Po 浓度为 (3.02~17.9) mBq/L，与对照点水平相当。总 α 浓度范围为 (0.138~0.301) Bq/L，总 β 浓度范围为 (0.0639~0.6430) Bq/L，与对照点水平相当，且满足地下水 III 类标准值。

表 5.4-5 潜水含水层地下水放射性核素含量监测结果

监测项目	监测时间	范新庄	慕源村	韩山	杨家孤山	塔李村 (对照点)	本底值/ III 类标准值
$\text{U}_{\text{天然}}$ ($\mu\text{g}/\text{L}$)	第一次	3.42	9.61	4.23	9.74	8.02	2.32~12.6
	第二次	3.48	14.3	3.37	7.96	9.12	
^{226}Ra (mBq/L)	第一次	17.6	17.4	ND	ND	ND	8.7~17.8
	第二次	14.0	18.6	ND	ND	ND	

^{210}Pb (mBq/L)	第一次	ND	ND	16	15.4	34.6	/
	第二次	14.6	11.0	12.1	21.2	42.6	
^{210}Po (mBq/L)	第一次	13.7	5.47	3.02	13.7	4.97	/
	第二次	17.9	6.99	4.15	14.2	5.33	
总 α (Bq/L)	第一次	0.168	0.273	0.138	0.272	0.365	≤ 0.5
	第二次	0.177	0.301	0.158	0.289	0.436	
总 β (Bq/L)	第一次	0.0865	0.1610	0.0639	0.1440	0.2080	≤ 1.0
	第二次	0.2170	0.6400	0.0777	0.6430	0.2780	

(2) 含矿含水层

本项目含矿含水层地下水监测结果见表 5.4-6。由表可知，含矿含水层地下水中 $\text{U}_{\text{天然}}$ 浓度范围为 (21.4~55.8) $\mu\text{g/L}$ ，低于勘察阶段本底值。 ^{226}Ra 浓度范围为 (1.12~5.72) Bq/L， ^{210}Pb 浓度范围为 (26.4~63.1) mBq/L， ^{210}Po 浓度范围为 (12.0~56.7) mBq/L；总 α 浓度范围为 (8.27~14.5) Bq/L，总 β 浓度范围为 (2.54~7.93) Bq/L，均高于地下水 III 类标准值。

表 5.4-6 含矿含水层地下水放射性核素含量监测结果

监测项目	监测时间	BSK-1	BSK-2	勘探阶段本底值	III 类标准值
$\text{U}_{\text{天然}}$ ($\mu\text{g/L}$)	第一次	21.4	14.2	740~2990	/
	第二次	55.8	28.1		
^{226}Ra (Bq/L)	第一次	4.65	1.12	/	/
	第二次	5.72	3.33		
^{210}Pb (mBq/L)	第一次	47.3	63.1	/	/
	第二次	26.4	48.1		
^{210}Po (mBq/L)	第一次	12.0	39.3	/	/
	第二次	28.1	56.7		
总 α (Bq/L)	第一次	14.5	10.8	/	≤ 0.5
	第二次	11.9	8.27		
总 β (Bq/L)	第一次	7.93	3.89	/	≤ 1.0
	第二次	2.94	2.54		

2) 非放射性指标监测结果

(1) 潜水含水层

本项目附近居民点潜水含水层地下水非放射性核素监测结果见表 5.4-7。由表可知，潜水含水层地下水中非放射性指标均满足《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017) 中 III 类标准。

表 5.4-7 潜水含水层地下水非放射性指标分析结果

监测项目	监测时间	范新庄	慕塬村	韩山	杨家孤山	塔李村 (对照点)	标准值 III 类
pH	第一次	8.28	8.42	8.36	8.42	8.45	6.5~8.5
	第二次	8.49	8.48	8.50	8.38	8.59	
Cl ⁻ (mg/L)	第一次	5.73	6.27	6.38	6.31	14.6	250
	第二次	5.45	6.10	6.02	6.05	13.1	
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	第一次	19.6	16.4	20.6	17.6	118	250
	第二次	18.5	15.5	20.1	15.3	112	
CO ₃ ²⁻ (mg/L)	第一次	ND	ND	ND	ND	ND	/
	第二次	ND	ND	ND	ND	ND	
HCO ₃ ⁻ (g/L)	第一次	0.336	0.425	0.349	0.425	0.463	/
	第二次	0.312	0.404	0.366	0.410	0.437	
K ⁺ (mg/L)	第一次	1.29	1.37	1.27	1.50	3.11	/
	第二次	1.15	1.20	1.10	1.35	2.54	
Na ⁺ (mg/L)	第一次	30.5	130	32.2	129	182	200
	第二次	25.1	112	30.0	105	166	
Ca ²⁺ (mg/L)	第一次	43.9	17.4	44.1	17.8	21.5	/
	第二次	40.5	16.2	40.4	16.1	22.4	
Mg ²⁺ (mg/L)	第一次	28.1	7.53	28.2	7.55	13.2	/
	第二次	25.1	7.66	25.3	7.78	12.6	
Cr ⁶⁺ (mg/L)	第一次	0.033	ND	0.033	ND	0.019	0.05
	第二次	0.030	ND	0.030	ND	0.018	
氨氮 (mg/L)	第一次	0.12	ND	0.08	ND	0.09	0.50
	第二次	0.11	ND	0.08	ND	0.08	
NO ₃ ⁻ (mg/L)	第一次	1.60	0.20	1.68	0.22	0.30	20.0
	第二次	1.45	0.21	1.52	0.20	0.31	
NO ₂ ⁻ (mg/L)	第一次	ND	ND	ND	ND	ND	1.00
	第二次	ND	ND	ND	ND	ND	
Cu (μg/L)	第一次	ND	ND	ND	ND	ND	1000
	第二次	ND	ND	ND	ND	ND	
Pb (μg/L)	第一次	ND	ND	ND	ND	ND	10
	第二次	ND	ND	ND	ND	ND	
Zn (μg/L)	第一次	ND	ND	ND	ND	ND	1000
	第二次	ND	ND	ND	ND	ND	
Fe (mg/L)	第一次	ND	ND	ND	ND	ND	0.3
	第二次	ND	ND	ND	ND	ND	
Mn (μg/L)	第一次	ND	ND	ND	ND	ND	100
	第二次	ND	ND	ND	ND	ND	
Mo (μg/L)	第一次	ND	8.25	ND	7.55	ND	70
	第二次	ND	7.15	ND	7.02	ND	
Cd	第一次	ND	ND	ND	ND	ND	5

($\mu\text{g/L}$)	第二次	ND	ND	ND	ND	ND	
As	第一次	ND	8.08	ND	8.24	4.20	10
($\mu\text{g/L}$)	第二次	ND	7.65	ND	7.78	4.12	
Hg	第一次	ND	ND	ND	ND	ND	1
($\mu\text{g/L}$)	第二次	ND	ND	ND	ND	ND	
F ⁻	第一次	ND	1.14	ND	ND	ND	1.0
(mg/L)	第二次	ND	ND	ND	ND	ND	
总硬度	第一次	235	90.0	250	83.0	120	450
(mg/L)	第二次	228	89.2	244	81.2	125	
总溶解性固体	第一次	0.256	0.410	0.452	0.483	0.131	1
(g/L)	第二次	0.245	0.382	0.431	0.474	0.125	
COD _{Mn}	第一次	0.89	1.75	1.37	1.72	1.24	3.0
(mg/L)	第二次	0.81	1.60	1.27	1.66	1.20	

(2) 含矿含水层

本项目含矿含水层地下水非放射性核素监测结果见表 5.4-8。由表可知，含矿含水层地下水中非放射性指标总体满足《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中Ⅲ类标准，个别因子背景值较高，包括 SO_4^{2-} 、Mo、As 和总溶解性固体。

根据地勘报告，项目所在区域含矿含水层中地下水埋深大，水交替缓慢，矿化度相对较高，普遍大于 2g/L 。含矿含水层地下水化学类型为 $\text{SO}_4\text{.HCO}_3\text{.Cl-Na.Mg}$ 型水，可见水中 SO_4^{2-} 含量较高，与本次含矿含水层地下水监测结果类似。

表 5.4-8 含矿含水层地下水非放射性核素含量监测结果

监测项目	BSK-1		BSK-2		标准值 Ⅲ类
	第一次	第二次	第一次	第二次	
pH	8.19	8.40	8.18	8.43	6.5~8.5
Cl ⁻ (mg/L)	163	158	180	177	250
SO_4^{2-} (mg/L)	379	355	403	378	250
CO_3^{2-} (mg/L)	ND	ND	ND	ND	/
HCO_3^- (g/L)	0.190	0.201	0.305	0.296	/
K ⁺ (mg/L)	4.73	4.05	4.62	4.24	/
Na ⁺ (mg/L)	180	158	172	163	200
Ca ²⁺ (mg/L)	52.4	45.4	76.8	73.1	/
Mg ²⁺ (mg/L)	69.3	65.1	80.7	75.1	/
Cr ⁶⁺ (mg/L)	ND	ND	ND	ND	0.05
氨氮 (mg/L)	0.20	0.17	0.24	0.21	0.50
NO_3^- (mg/L)	ND	ND	ND	ND	20.0
NO_2^- (mg/L)	ND	ND	ND	ND	1.00
Cu ($\mu\text{g/L}$)	ND	ND	ND	ND	1000
Pb ($\mu\text{g/L}$)	ND	ND	ND	ND	10
Zn ($\mu\text{g/L}$)	ND	ND	ND	ND	1000

Fe (mg/L)	ND	ND	ND	ND	0.3
Mn (μg/L)	ND	ND	ND	ND	100
Mo (μg/L)	233	212	35.6	32.1	70
Cd (μg/L)	ND	ND	ND	ND	5
As (μg/L)	13.6	13.0	63.2	60.5	10
Hg (μg/L)	ND	ND	ND	ND	1
F ⁻ (mg/L)	ND	ND	ND	ND	1.0
总硬度 (mg/L)	415	402	532	515	450
总溶解性固体 (g/L)	5.40	5.12	1.21	1.13	1
COD _{Mn} (mg/L)	1.01	0.95	0.82	0.85	3.0

5.5.5 土壤环境质量

本项目拟建场址及其周边居民点土壤中 $U_{\text{天然}}$ 和 ^{226}Ra 监测结果见表 5.4-9，由表可知，土壤中 $U_{\text{天然}}$ 范围值为 (2.30~3.19) mg/kg， ^{226}Ra 范围值为 (25.1~42.1) Bq/kg，与对照点水平相当，且处于庆阳地区土壤本底范围内；非放射性因子监测结果见表 5.4-10，由表可知，拟建场址及其周边土壤中非放监测指标监测结果均满足《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 15618-2018）中的污染风险筛选值标准。

表 5.4-9 土壤放射性核素含量分析结果

序号	监测点位	$U_{\text{天然}}$ (mg/kg)		^{226}Ra (Bq/kg)	
		第一次	第二次	第一次	第二次
1	拟建场址	3.19	2.30	25.1	27.6
2	范新庄	3.05	2.49	42.1	30.8
3	塔李村（对照点）	3.24	2.17	35.1	28.2
《中国环境天然放射性水平》（2015 年）庆阳		2.13~5.33		17.9~37.8	

表 5.4-10 土壤非放射性监测结果

监测项目	监测时间	拟建场址	范新庄	塔李村 (对照点)	GB15618-2018 污染风险筛选值
pH	第一次	8.65	8.48	8.45	>7.5
	第二次	8.85	8.71	9.00	
As (mg/kg)	第一次	11.8	11.7	12.2	25
	第二次	10.2	11.1	11.7	
Hg (mg/kg)	第一次	0.02	0.02	0.01	3.4
	第二次	0.02	0.02	0.01	
Cd (mg/kg)	第一次	0.09	0.09	0.08	0.6
	第二次	0.08	0.08	0.08	
Cu (mg/kg)	第一次	18.9	19.0	20.2	100
	第二次	17.5	18.1	19.5	

Pb (mg/kg)	第一次	19.8	19.5	19.3	170
	第二次	19.2	18.5	19.1	
Cr (mg/kg)	第一次	25.9	26.9	26.4	250
	第二次	25.1	25.7	25.7	
Zn (mg/kg)	第一次	45.7	50.1	49.9	300
	第二次	44.2	46.1	48.7	
Ni (mg/kg)	第一次	43.1	42.9	43.8	190
	第二次	42.7	41.0	41.9	

5.5.6 生物

本次监测植物样品为玉米，监测结果见表 5.4-11。本项目拟建场址及其周边范新庄玉米中 $U_{\text{天然}}$ 范围值为（38.6~39.0） $\mu\text{g/kg}$ ， ^{226}Ra 范围值为（3.40~3.62） Bq/kg ， ^{210}Po 范围值为（0.586~0.731） Bq/kg ， ^{210}Pb 范围值为（0.701~0.703） Bq/kg ，均与对照点水平相当。其中， $U_{\text{天然}}$ 、 ^{226}Ra 和 ^{210}Po 均满足《食品中放射性物质限制浓度标准》（GB 14882-94）中的要求。

表 5.4-11 陆生生物放射性核素含量监测结果

监测项目	拟建场址	范新庄	塔李村 (对照点)	GB 14882-94 标准限值
$U_{\text{天然}}$ ($\mu\text{g/kg}$)	38.6	39.0	33.6	1900
^{226}Ra (Bq/kg)	3.62	3.40	3.44	14
^{210}Pb (Bq/kg)	0.701	0.703	0.689	6.4
^{210}Po (Bq/kg)	0.586	0.731	0.791	/

5.5.7 声环境质量

本项目拟建场址边界声环境监测结果见表 5.4-12。由表可知，昼间声级范围值为（42~50） dB (A) ，夜间声级范围值为（38~45） dB (A) ，均满足《声环境质量标准》（GB 3096-2008）中 2 类标准要求。

表 5.4-12 声环境监测结果

监测点位	噪声范围值 dB (A)			
	昼间		夜间	
	第一次	第二次	第一次	第二次
拟建场址	42~43	43~44	38~39	38~39
范新庄	48~49	49~50	43~44	44~45
GB 3096-2008 标准限值	60		50	

5.5 主要环境保护目标

根据项目性质和周围环境特征，确定本项目各要素保护对象，大气环境保护对象主要为盐酸罐周边 5km 边长矩形范围内居民点，水环境保护对象为项目周围潜水含水层、含矿含水层及其上、下含水层地下水；声环境保护对象为施工场界外 200m 声环境及水冶厂外 200m 声环境；生态环境保护对象为项目建设占地区域；辐射环境保护对象为集液罐周围 20km 范围内公众。本项目具体环境保护目标见表 5.5-1。

表 5.5-1 环境保护目标一览表

要素	保护目标	方位	距离（km）	性质	人口（人）	保护目标
大气环境	南庄	NNE	1.5	居民点	399	《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级。
	沟畔	NE	2.6		430	
	董咀	ENE	1.7		312	
	周洼	ESE	2.1		363	
	安山	SSE	1.8		153	
	姚山	SSE	2.8		166	
	韩山	SSW	0.3		218	
	王塬	SSW	2.5		180	
	慕塬	SW	2.2		269	
	九亩坪	SW	3.3		136	
	扬洼	W	1.5		200	
	范新庄	NW	0.3 ^①		30	
	杨家圪	NW	0.8		10	
时河	NW	2.4	254			
水环境	周围潜水含水层、含矿含水层及其上下含水层地下水					地下水环境总体执行《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）III 类标准，个别因子背景值较高。
声环境	范新庄	NW	0.1 ^②	居民	30	《声环境质量标准》（GB3096-2008）2 类。
生态环境	本项目占地区域					防止生态环境破坏、水土流失等。
辐射环境	评价中心周边 20km 评价范围内公众					本项目确定的公众剂量约束值。

注：①大气环境保护目标中，范新庄与盐酸罐距离为 300m；

② 保护目标中，范新庄与施工钻孔的最短距离为 100m。

6 建设项目工程分析

6.1 项目组成及内容

6.1.1 研究内容

本项目为甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地浸采铀试验研究，研究内容主要包括以下四个研究专题，具体研究内容见表 6.1-1。

表 6.1-1 本项目研究内容一览表

专题	专题名称	研究内容分析
一	基于复杂地貌形态的地浸井场科学开拓技术研究	1) 地浸井场井网布局与模型技术研究 构建精细非均质地质模型，以该模型为基础进行抽注浸出流场运算，指导井网布局与设计，评价优选最佳溶浸范围控制方案。 2) 现场试验选点研究 开展镇原铀矿 BSK1 矿段试验井场的选点工作，以及工艺流程、试验厂房和配套设施的设计工作。
二	深部钻成井与井斜控制技术研究	1) 深部铀矿高强度耐腐蚀套管性能研究 通过资料调研或室内试验研究确定适用深部铀矿开采的经济合理、方便易得的套管材料。 2) 深部铀矿钻成井技术研究 开展二次成井工艺研究，一次成井主要包括裸眼钻进、测井、套管安装和水泥固井等，二次成井主要包括溶浸通道位置设计、开启、过滤器安装和洗井等工艺。 3) 深部铀矿定向钻成井工艺研究 镇原铀矿 BSK1 矿段地貌形态复杂，可供地表作业的空间有限，如现场实际条件不能满足直井成井工艺施工，部分钻孔拟采用定向井钻成井工艺施工。
三	低品位厚大矿层高效浸出技术研究	1) 浸出工艺室内试验研究 在核化冶院实验室开展浸出工艺室内试验研究，包括搅拌浸出试验、柱浸试验等，综合评价铀矿石的浸出特性。 2) 现场水文地质试验研究 开展现场水文地质试验工作，查明含矿含水层的渗透系数、影响半径等水文地质参数，评价钻孔的出水能力，为现场浸出试验提供指导。 3) 现场浸出条件试验研究 拟采用 CO_2+O_2 地浸采铀技术，进行 2 个抽注单元的现场浸出条件试验，考察含矿层化学堵塞、钻孔抽注液量变化及其机理，检验并完善井场浸出工艺，获取浸出原材料及动力消耗等主要技术经济指标。
四	非典型水化学条件下浸出液处理技术研究	1) 浸出液处理工艺室内试验研究 在核化冶院实验室开展吸附树脂选型、吸附参数、淋洗参数及产品沉淀试验研究，确定树脂选型、吸附参数、淋洗参数及沉淀过程参数等，为现场条件试验推荐工艺流程。 2) 现场水冶工艺试验研究 开展现场水冶工艺试验研究，水冶工艺流程拟采用过滤—吸附—淋洗—转型—合格液酸化—沉淀—压滤等工序得到“111”产品。

专题	专题名称	研究内容分析
五	镇原铀矿 BSK1 矿段二阶段试验研究	开展镇原铀矿 BSK1 矿段第二阶段试验研究，新增 4 组五点型单元，形成 6 组抽注单元的扩大试验采区，充分利用现有的设备设施，开展井场浸出和浸出液处理全流程试验，进一步检验钻孔结构与施工成井工艺、井型与井距的合理性，优化井场浸出和浸出液处理工艺技术，获取现场试验各种技术参数，系统评价地浸开采的技术可行性。

专题一为井网布局设计及现场试验井场选点研究，不涉及现场内容。

专题二为深部钻成井与井斜控制技术研究，建设内容为试验钻孔的施工。

专题三和专题四均分为室内试验研究和现场试验研究两部分，其中室内试验研究在核化冶院实验室开展，核化冶院为专门从事铀矿采冶技术研究的单位，在核化冶院进行的铀矿采冶科研项目均涵盖在军工基础能力建设项目中，且已经履行了环境影响评价手续，取得了原国家环境保护总局环评的批复《关于核工业北京化工冶金研究院军工基础能力建设环境影响报告书的批复》（环审（2006）165 号）。现场试验研究为在 BSK1 矿段开展 2 组抽注单元的条件试验，建设试验井场和水冶厂，为本次环境影响评价的重点。

专题五为二阶段试验研究，在 BSK1 矿段新增 4 组抽注单元，形成 6 组单元的扩大试验规模，为本次环境影响评价的重点。

6.1.2 建设内容

根据研究内容，本项目现场建设内容主要包括试验井场和水冶厂，建设内容见表 6.1-2。

表 6.1-2 建设内容一览表

类别	项目	建设内容
试验井场	试验井	条件试验单元为 2 组，包括试验井 8 个，其中抽出井 2 个，注入井 6 个；扩大试验单元为 6 组（包含条件试验），包括试验井 18 个，其中抽出井 6 个，注入井 12 个，抽注井间距为 30m~40m，采用“五点型”井型，单孔深度 850~900m。抽出井的单孔抽液量约 6.0m ³ /h，总抽液量约 36m ³ /h。
	监测井	井场共设置 5 个监测井。其中，新建监测井 4 个，分别为扩大试验井场上游 70m、西侧 100m 和下游 120m 的含矿含水层监测井，以及井场内部的上层含水层监测井；利旧监测井 1 个，为井场东侧 95m 处的 SW-1 水文孔。
水冶厂	试验厂房	试验厂房为地上一层建筑，门式钢架结构，长 70.8m、宽 12m，其包括试验生产区和功能房间。厂房中间为试验区，高 10.5m，布置吸附塔区、离子交换区、试剂配置区、化工原料间和压滤间；两侧为功能房间，高均为 3.5m，北侧布置淋浴间、集控间、控制室和配电室等，南侧布置空压机房、风机房、供暖泵房、化验间、卫生间、固体废物间（长 4.8m，宽 3m，高 3m）、危废间（4.8m，宽 2.2m，高 3m）等。厂房内地面做防水处理，并设置地沟、地坑（1.2m³）、事故罐（38m³）及化粪池等环保设施。 试验厂房外紧邻露天布置集配罐区（围堰长 12.5m，宽 7m，高 1m）、盐酸罐区（围堰长 5m，宽 4m，高 1m）和 MVR 蒸发装置 1 套（处理规模为 0.5m³/h）。

	蒸发池	蒸发池 2 座，尺寸均为长 27m，宽 15m，深 1.5m。池底及边坡铺设膨润土防水毯及双层 HDPE 土工膜进行防渗，自下至上依次为钠基膨润土垫（4800g/m ² ）、HDPE 土工膜(膜厚 1.5mm)、长丝无纺土工布（500g/m ² ）、HDPE 土工膜(膜厚 1.5mm)、长丝无纺土工布（500g/m ² ）、0.3m 厚回填土保护层，并在蒸发池内壁及堤顶铺设水泥毯，防止回填土保护层被冲刷破坏。在两层 HDPE 土工膜之间设置渗漏检测装置，下游 10m 处布设地下水监测井 1 个。
	柴油发电机房	柴油发电机房为地上一层建筑，钢框架结构，长 11.7m、宽 10m、高 4.9m，其内布置变配电所、发电机房、油库及油箱间。
	消防泵房	消防泵房为地上一层建筑，门式钢架结构，长 24m、宽 10m、高 4.9m，内布置生活水箱间、消防水箱间。
	气体站	气体站布置在试验厂房北侧，露天布置，周围设栅栏围挡，长 15m、宽 9m。气体站内为液氧、液态二氧化碳存储及气化设备。

6.2 工艺流程

6.2.1 井场施工工艺

1) 直井钻成井工艺

本项目拟采用二次成井工艺，一次成井主要包括裸眼钻进、测井、套管安装和水泥固井等，二次成井主要包括溶浸通道位置设计、开启、过滤器安装和洗井等工艺。

(1) 钻井工艺技术

首先采用不小于 $\Phi 269\text{mm}$ 钻头开孔，泥浆钻进至 780m，更换 $\Phi 113\text{mm}$ 钻头钻进至 870m，采用螺杆进行钻进轨迹控制，钻孔偏斜不得超过 7m。然后进行综合测井，确定矿体位置，并确保钻孔孔斜符合要求。采用不小于 $\Phi 269\text{mm}$ 钻头扩孔至设计位置，然后用新鲜泥浆冲孔，将孔内泥沙带出地表。按要求配管、下管，配制合格水泥浆逆向注浆封住套管至井口，完成固井。

(2) 成井工艺技术

成井工艺采用聚能射孔成井工艺或水力喷砂成井工艺，现场试验将根据套管材质和井身结构参数来确定具体射孔完井工艺技术。聚能射孔成井工艺是在射孔过程中将射孔弹穿透套管、水泥环和地层的一种成井工艺技术。本试验钻孔的聚能射孔成井工艺参数为：射孔密度为每米 16 弹或 32 弹，射弹直径 10mm，射孔深度 1m。

水力喷砂成井利用高压混砂水射流射穿套管，在地层内喷射形成梨形空间，扩大单井波及面积，改善近井地带导流面积，构建人造裂缝的增产增渗完井工艺。其利用高压软管将混好磨料的高压水流传递至井底射流装置，在井下形成高压淹没射流，切割开套管和水泥环，并在地层中形成径向孔眼，达到井壁内外联通的目的。水力喷砂成井后通过井口返

出物、电流测井、井下电视检查等方式检测切割效果，利用洗井水量、水文试验等方式对切割进行效果评价。

2) 定向钻成井工艺

镇原铀矿 BSK1 矿段地貌形态复杂，深切沟发育、黄土台地规模小，可供地表作业的空间有限，如现场实际条件部分钻孔不能满足直井成井工艺施工，将采用定向井钻成井工艺施工，其具体工艺如下：

(1) 钻井工艺技术

本项目施工的定向井水平位移约 30~50m。首先采用 $\phi 215\text{mm}$ PDC 钻头钻进至设计矿层处。待冲孔、测井完成后，再次利用 $\Phi 215\text{mm}$ 牙轮钻头扫孔至设计深度。钻进过程中保持井径一致，按规定进行测斜，发现轨迹漂移，及时采取措施，确保井身轨迹按设计钻达目标靶区。

(2) 成井工艺技术

采用逆向注浆方法成井，在套管内下入注浆管至套管底端以上 1~2m 处，将孔口封闭并通过注浆泵将水泥浆注入井内，当水泥浆由井口返出并固化后完成固井封孔。在固井 18~24h 内通知测井人员进行质量检测，然后采用压缩空气进行洗井，洗井后在钻孔套管中进行电流测井，确定成井质量后下入过滤器。

6.2.2 井场浸出工艺

本项目采用 CO_2+O_2 原地浸出采铀技术。由于采区内所有单元均为边界单元，采区整体抽大于注的比例为 0.5%。本项目井场浸出工艺流程主要包含吸附尾液过滤、二氧化碳注入、集控室注液分配和混氧、溶浸液注入含矿含水层、浸出液输送集液等环节，井场浸出工艺流程见图 6.2-2。

井场工艺流程主要环节如下：

(1) 吸附尾液过滤：水冶吸附后的尾液汇流至配液罐，通过注液泵增压过滤后送至集控室。

(2) 二氧化碳注入：二氧化碳气体经计量后注入注液主管。溶于水中的二氧化碳气体与水结合生成碳酸，随着水中 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 增多，铀便以碳酸铀酰形式稳定存在于水中，通过泵增压后流入井场集控室。

(3) 集控室注液分配和混氧：通过集控室内注液分配器把吸附尾液分配给每个注入井。来自供氧系统的氧气通过氧气分配器，经气体流量计计量后直接流入每个注入井支管

道内。

(4) 溶浸液注入含矿含水层：从集控室中流出的含氧和二氧化碳的溶浸液通过井场地表管线和注液钻孔注入地下含矿含水层。

(5) 浸出液输送集液：浸出液通过各抽液钻孔支管路在集控室经计量后汇集到集液主管，通过集液泵作用进入集液罐，之后进入试验厂房处理。

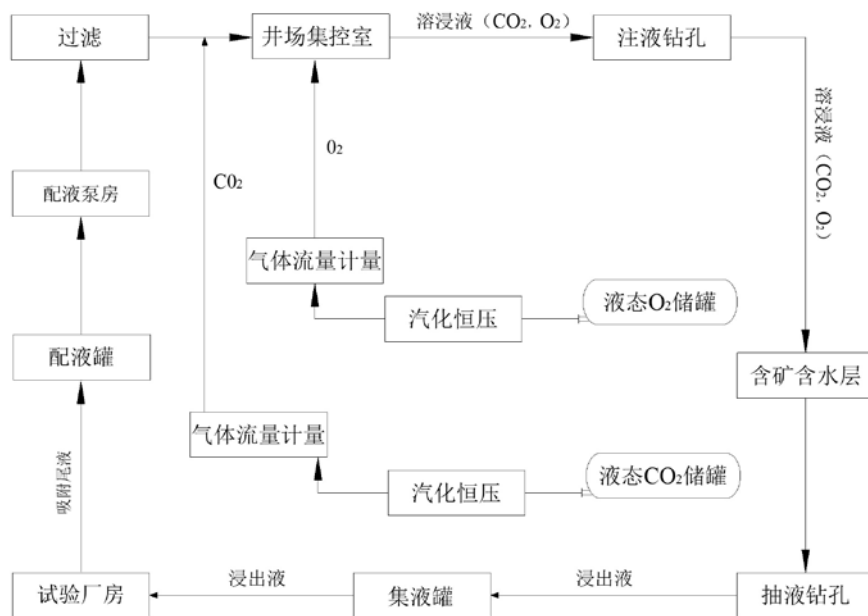


图 6.2-2 井场工艺流程图

6.2.3 浸出液处理工艺

本项目浸出液处理工艺流程包括：过滤、吸附、淋洗、转型、合格液酸化、沉淀、压滤等工序得到“111”产品。浸出液处理工艺流程示意图见图 6.2-3，具体浸出液处理工艺流程简述如下：

1) 过滤

来自集控间的浸出液通过袋式过滤器去除其中的固体颗粒后进入集液罐，然后浸出液经集液泵加压、并补加二氧化碳后进入离子交换塔。

2) 吸附

经过滤处理的浸出液从离子交换塔顶部压入，自上而下与塔内树脂接触后，由塔底排出。浸出液经过 2 塔串联吸附后，吸附尾液先通过袋式过滤器去除其中碎树脂后流入吸附尾液贮罐。然后 99.5% 的吸附尾液由注液泵加压、并补加二氧化碳和氧气后，经集控间返回井场。剩余 0.5% 的吸附尾液输送至转型剂配制罐作为转型剂配制用水，或作为离子交换塔反冲洗用水。

3) 淋洗

采用单塔淋洗模式，在淋洗剂配制罐内用沉淀母液、碳酸氢钠和氯化钠混合配制淋洗剂，经离心泵由离子交换塔顶部压入，淋洗合格液或贫液由塔底部排出。淋洗结束后，先用压缩空气将树脂间隙存液排出，再切换至树脂转型模式。

4) 转型

转型过程为单塔转型，在转型剂配制罐内用吸附尾液和碳酸氢钠混合配制转型剂，经离心泵由离子交换塔顶部压入，塔底部排出的转型液去蒸发池处理。转型结束后，先用压缩空气将树脂间隙存液排出，再切换至树脂吸附模式。条件试验阶段反冲废水和转型尾液排入蒸发池，扩大试验阶段部分反冲废水和转型尾液排入蒸发池，部分废水通过 MVR 蒸发装置处理。

5) 酸化

淋洗合格液流入淋洗合格液贮罐后，经泵送至淋洗合格液酸化罐，加入盐酸调节至 pH 为 2.5~3.0。

6) 沉淀压滤

酸化后的合格液经泵送至沉淀搅拌罐，加固体氢氧化钠沉淀，沉淀清液返回配制淋洗剂，沉淀浆体用浓浆泵送入厢式隔膜压滤机进行压滤，压缩空气压榨，得到“111”产品装入产品桶。沉淀母液和压滤机滤液均返回配制淋洗剂。

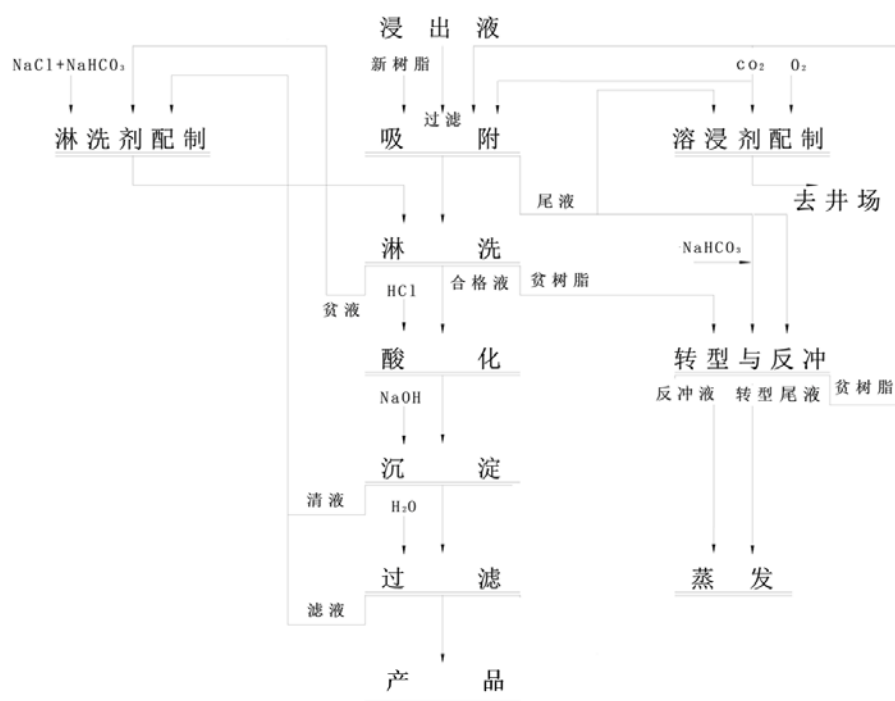


图 6.2-3 水冶工艺流程示意图

6.3 总平面布置

本项目根据工艺生产流程、地形地貌及周边环境现状将总平面布置划分为试验井场和水冶厂。

1) 试验井场

(1) 试验井

本项目拟在 BSK1 矿段II₁-1-8 (KZ) 块段开展现场地浸试验, 以 M-37-21 矿体为中心布置试验井场。结合矿体形态和试验规模, 本项目试验井场的钻孔布置主要采用“五点型”井型。条件试验布置抽注单元 2 组, 包括试验钻孔 8 个, 其中抽出井 2 个, 注入井 6 个; 扩大试验布置抽注单元 6 组, 包括试验钻孔 18 个, 其中抽出井 6 个, 注入井 12 个。

(2) 监测井

根据《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》(GB23727-2020) 要求, 并结合本项目地下水环境影响评价预测结果, 布设井场监测井 5 个, 包括含矿层监测井 4 个和上层监测井 1 个。含矿层监测井布置在井场上游 70m (G2)、西侧 100m (G3)、东侧 95m (G4, 利旧水文孔 SW-1) 和下游 120m (G5); 上层含水层监测井 (G1) 布置在井场内部偏下游方向。

(3) 井场设施

主要包括移动式集控室、集配液罐、盐酸罐、氧气站以及抽注液管线、气体供应管线等设施。集控室位于试验井场东侧的地形平坦区域, 集配液罐和盐酸罐位于集控室北部; 氧气站位于试验厂房外北部。

2) 水冶厂

水冶厂主要包括试验区和蒸发池, 试验区包括试验厂房、气体站、MVR 蒸发装置、柴油发电机房和消防泵房。

试验区紧邻井场布置, 位于井场南侧地势较高、地形平坦的台阶之上。自北向南依次布置气体站、试验厂房 (包括室外紧邻的集配液罐、盐酸罐和 MVR 蒸发装置)、柴油发电机房和消防泵房。集配液罐、盐酸罐和 MVR 蒸发装置布置在试验厂房外北侧, 集配液罐和盐酸罐配备围堰。试验区四周设围栏防止工作人员跌落及无关人员误入。

蒸发池布置于井场和试验区东侧较为平坦开阔的台阶之上, 该场址建设条件较好且周边居民较少。蒸发池四周设围堤及围栏, 下游 10m 处设潜水含水层地下水监测井 1 个。

6.4 主要设备材料

本项目主要设备材料见表 6.4-1。

表 6.4-1 主要设备材料一览表

序号	设备/材料名称	规格型号	单位	数量
一	试验井场			
1	抽出井	Φ269×128mm	个	6
2	注入井	Φ269×128mm	个	12
3	井场监测井（新建）	Φ269×128mm	个	4
4	井场监测井（利旧）	/	个	1
5	不锈钢潜水泵	H=172m, P=7.5kW	台	6
6	地表抽液管道	Φ63×5.8 mm PE 管	m	1000
7	地表注液管道	Φ40×4.5 mm PE 管	m	2000
8	潜水提升管	Φ63×10 mm PE 管	m	1200
9	井下注液管	Φ32×4.5mm PE 管	m	2400
二	试验厂房	/		
1	集液罐	DN4000×5910	台	1
2	集液泵	Q=90m ³ /h, H=50m	台	2
3	吸附尾液贮罐（配液罐）	DN4000×5910	台	1
4	注液泵	Q=80m ³ /h, H=140m	台	2
5	原液过滤器	316L	台	2
6	尾液过滤器	316L	台	2
7	离子交换塔	DN2000×5500	台	4
8	淋洗剂配制罐	DN2500×3000	台	2
9	淋洗合格液贮罐	DN2500×9000	台	1
10	一次淋洗贫液贮罐	DN2500×9000	台	1
11	二次淋洗贫液贮罐	DN2500×9000	台	1
12	转型尾液罐	DN2500×3310	台	1
13	转型剂配制罐	DN2500×3000	台	1
14	反冲水贮罐	DN2500×5340	台	1
15	合格液酸化罐	DN2500×3000	台	1
16	沉淀搅拌罐	DN2500×3000	台	1
17	沉淀母液贮罐	DN2500×9000	台	1
18	事故罐	DN3500×4000	台	1

19	地坑	1m×1m×1.2m	台	1
20	厢式隔膜压滤机	F=20m ²	台	1
21	盐酸罐	DN2500×3310	台	1
22	卸酸泵	Q=25m ³ /h, H=20m	台	1
23	盐酸输送泵	Q=3.2m ³ /h, H=20m	台	2
三	气体站	/		
1	液氧储罐	DN2920×9110	台	1
2	氧气储气罐	15m ³	台	1
3	氧气空温式汽化器	200Nm ³ /h	台	2
4	氧气减压稳压装置	/	套	1
5	低温液体泵	100-450L/h	台	2
6	液二氧化碳储罐	DN2950×9130	台	1
7	二氧化碳储气罐	15m ³	台	1
8	二氧化碳空温式汽化器	200m ³ /h	台	2
9	二氧化碳减压稳压装置	/	套	2
四	柴油发电机房	/		
1	柴油发电机组	400kW 380V	台	1
2	变压器	630kVA 10/0.4kV	台	1
3	环网柜	10kV	台	3
五	消防泵房	/		
1	消防水箱	13.0（长）×8.0（宽）×3.0m（高）	座	1
2	立式消防泵	XBD5.0/20G-G	台	2
3	加压泵	Q=20L/s, H=50m, N=18.5kW	台	2
4	消防稳压设备	Q=1.5L/s, H=38m, N=1.0kW	套	1
六	蒸发池	/		
1	蒸发池	27m（长）×15m（宽）×1.5m（深）	座	2
2	蒸发池监测井	Φ269×128mm	个	1
七	MVR 蒸发装置			
1	MVR 装置	0.5m ³ /h	套	1

6.5 主要辅助设施

6.5.1 供电工程

本项目试验区附近电力、高压电网设施齐全，附近已有 10kV 架空线路，可引线至试验区。本项目在试验厂房旁设一座 10/0.4kV 变电所，内设 3 台 10kV 环网柜，1 台 630kVA

10/0.4kV 变压器及低压配电柜，可满足本项目的用电需求。此外，为保证试验顺利进行，本项目在试验厂房旁设置一座柴油发电机房，内设 1 台 400kW 380V 柴油发电机组，作为备用电源。

6.5.2 供水工程

本项目附近居民村有自来水，试验人员生活起居租用民宅，可满足其用水要求。

6.6 主要原辅材料来源及用量

本项目现场试验所需要的主要原辅材料是树脂、液氧、液态二氧化碳、工业盐酸、氢氧化钠、氯化钠等，外购于庆阳、兰州等周边城市，原辅材料用量见表 6.6-1。

表 6.6-1 主要原辅材料一览表

序号	原辅材料	单位	用量
1	盐酸（工业级）	t/a	55
2	氢氧化钠	t/a	17
3	氯化钠	t/a	40
4	碳酸氢钠	t/a	15
5	液氧	t/a	220
6	液态二氧化碳	t/a	220
7	树脂	t/a	2

6.7 污染物产生及治理

6.7.1 施工期

6.7.1.1 废气

本项目施工期产生的大气污染物主要为扬尘和燃油废气。

1) 扬尘

在施工期试验井场及水冶厂建设、场地平整及恢复时可能产生局部扬尘。施工扬尘的多少及影响程度的大小与施工场地条件、管理水平、机械化程度和天气条件等诸多因素有关。根据项目周边勘探环评资料，施工场地扬尘影响范围基本在下风向 100~150m 范围内。本项目采取的减少扬尘措施有：

（1）合理安排施工计划，尽量减少开挖过程中土方裸露时间，施工现场土方开挖后应尽快回填，若不能及时回填的裸露场地应及时覆盖；

（2）施工现场采用洒水等措施降低扬尘的产生；

（3）运输车辆保持合理车速，减少施工车辆飘洒扬尘。

2) 燃油废气

本项目施工期钻孔施工以柴油发电机为动力，运行时将产生燃油废气，主要污染物为 SO_2 、 NO_x 和颗粒物。本项目施工期最多 2 台钻机同时运行，每台柴油发电机功率为 110kW，单位时间耗油体积约 8L/h，柴油密度按 0.85kg/L 计，则发电机单位时间耗油量约 6.8kg/h。根据《环境影响评价工程师执业资格登记培训教材（社会区域）》，每升柴油的 SO_2 、 NO_x 和颗粒物的排放系数分别为 4g/L、2.56g/L 和 0.714g/L，故柴油发电机 SO_2 、 NO_x 和颗粒物的排放速率分别为 32g/h、20.48g/h 和 5.712g/h。发电机单位耗油废气产生量约 20m³/kg，耗油量约 6.8kg/h，则单位时间排气量约 136m³/h，故 SO_2 、 NO_x 和颗粒物的排放浓度分别为 235mg/m³、151mg/m³ 和 42mg/m³。

在施工期采取以下措施减少燃油废气排放：

(1) 在施工过程中选择使用工况良好的机械，并加强日常维护及检修，尽量避免由于机械老化而导致的燃料燃烧不完全现象的发生，以减少烟气的产生；

(2) 选择高品质的燃料，以降低机械排放烟气中有害成分的含量。

6.7.1.2 废水

本项目施工期产生的废水主要为施工废水和生活污水。

1) 施工废水

施工废水主要为设备清洗废水和水泥养护排水，主要污染物为泥沙，产生量很少，用于场地洒水抑尘及绿化用水。

2) 生活污水

本项目施工期生活污水主要为生活杂用水及盥洗废水，主要污染物包括 BOD、COD 和 SS。钻探施工人员配备寝车，施工期同时施工人数最多为 30 人，生活用水按 20L/人天计算，排污系数取 0.80，则施工期生活污水最大产生总量为 0.48m³/d，在寝车收集后外运处理。

6.7.1.3 噪声

本项目施工期噪声主要来源于钻井机、泥浆泵和柴油发电机等在运行、作业过程中产生的各种噪声。本项目在施工机械的选择上选择低噪声设备，并加强各机械设备的检修维护。在采取以上措施后，各噪声源强均小于 90dB（A）。本项目主要设备、声功率及控制措施见表 6.7-1。

表 6.7-1 主要设备声功率表

序号	设备	控制措施	声功率 dB (A)
1	钻机	基础减振	<90
2	柴油发电机	自带消音装置、减振	<85
3	泥浆泵	基础减振	<65
4	搅拌机	自带消音装置、减振	<85

6.7.1.4 固体废物

本项目施工期固体废物主要为钻孔施工时产生的钻井泥浆、废机油以及施工人员的生活垃圾。

1) 钻井泥浆

本项目钻孔施工会产生一定量的钻井泥浆,类比项目附近勘探钻孔钻井泥浆实测数据,钻机泥浆中 $U_{\text{天然}}$ 含量为 52.4~69.1Bq/kg, 平均单个钻孔产生钻井泥浆量约 6.52m^3 , 则本项目钻井泥浆产生总量约 143.44m^3 。

本项目钻探过程中产生的钻井泥浆采用循环利用及不落地技术, 钻井泥浆首先经机台设置的导流槽进入沉砂罐, 沉淀后的上清液泵入泥浆罐, 并回用于钻探作业, 沉砂罐底部含岩屑较多的废弃泥浆无法回用, 全部进入废浆罐暂存。在每个钻井施工场地均配置 1 个废浆罐, 暂存于施工场地内的泥浆罐区, 罐体位于地面之上, 采用钢材料罐体, 罐体与地面之间均做 HDPE 膜防渗处理。当钻孔施工完成后, 废弃泥浆委托专业化公司定期拉运处理。

2) 废机油

本项目在施工过程中使用的钻机、泥浆泵等机械设备在正常运转过程中几乎不产生废机油, 仅在设备维修保养过程中可能会产生少量废机油。

根据《国家危险废物名录》(2025 年版), 废机油属于危险废物中废矿物油 (HW08), 其废物代码为 900-249-08。本项目废机油产生量较少, 约为 $0.5\text{kg}/\text{孔}$, 总量约为 11kg 。根据危险废物的减量化和资源化原则, 由施工单位设专用桶收集, 尽可能利用于钻机设备传动、润滑等资源化再利用过程, 若废机油仍有剩余时, 由施工单位交由具备危险废物处置资质的单位处置。同时, 建设单位应履行监督管理、定期检查施工单位各项危险废物防范措施落实情况等责任。

3) 生活垃圾

本项目施工期同时施工人数最多为 30 人，生活垃圾产生量按照每人 0.5kg/d 计算，则最大产生量约 15kg/d。本项目在寝车设置生活垃圾收集箱，对产生的各类生活垃圾按照相关要求收集，定期外运处理。

6.7.2 试验期

6.7.2.1 废气

1) 气载流出物

试验期气载流出物主要为集液罐、试验厂房和蒸发池排放的氡气。

(1) 集液罐废气

集液罐用于收集和暂存浸出液，浸出液自抽出井抽出时，挟带和溶解了一定量的 ^{222}Rn 气体，经管道集中于集液罐时， ^{222}Rn 气体通过集液罐排气孔自由释放于大气。

类比同为鄂尔多斯盆地铀矿床的巴音青格利地浸试验，其集液罐排气孔 ^{222}Rn 浓度监测结果为 (5.91~9.11) kBq/m³，排气量为 113~294m³/h，保守考虑取最大值，则集液罐 ^{222}Rn 排放量为 2.35×10^{10} Bq/a。

(2) 试验厂房废气

本项目试验厂房在试验过程中会产生一定量的 ^{222}Rn 气体，通过厂房整体通风排入大气稀释扩散。本项目试验厂房总排风量为 20800m³/h，类比同工艺的纳岭沟扩大试验厂房内不同生产区域处开展的氡浓度监测结果，试验厂房氡浓度范围为 68.8~113.0Bq/m³，保守考虑取 113.0Bq/m³，则试验厂房氡气释放量约为 2.06×10^{10} Bq/a。

(3) 蒸发池废气

蒸发池废液蒸发时，其中溶解的 ^{222}Rn 随之挥发，析出一定量的 ^{222}Rn ，试验期间，蒸发池中 ^{222}Rn 释放主要来自生产废水蒸发时水中吸附的 ^{222}Rn 的释放。

根据生态环境部核基地项目对蒸发池水面氡析出率的监测数据，地浸矿山蒸发池水面氡析出率范围值为 0.035~0.060Bq/m²·s，保守考虑取 0.060Bq/m²·s。本项目蒸发池蒸发面积为 810m²，则本项目蒸发池释放的 ^{222}Rn 量为 1.53×10^9 Bq/a。

2) HCl 气体

本项目试验厂房在酸化工序会产生少量 HCl 气体，由于酸化工序盐酸全部密闭在罐体和管线中，且为保持盐酸管道的密闭性，管线上设流量计，确保物料始终处于安全控制中。另外，装置设备管线连接处采用密封垫片，以减少 HCl 的无组织排放。总体来看，厂房中

的 HCl 气体排放量较小。

此外，本项目露天盐酸罐也会产生 HCl 气体，其盐酸的无组织排放主要为呼吸排放和物料装卸过程中的工作损失，根据《工业污染源调查与研究》（第二辑 美国环境保护局），储罐大小呼吸估算公式见公式 6.7-1 和公式 6.7-2。

（1）呼吸排放量

呼吸排放是由于温度和大气压力变化引起蒸汽的膨胀和收缩而产生的废气，是非人为干扰的自然排放方式，其估算公式如下：

$$LB = 0.191 \times M \left(\frac{P}{100910 - P} \right)^{0.68} \times D^{1.73} \times H^{0.51} \times \Delta T^{0.45} \times FP \times C \times KC \quad (6.7-1)$$

式中：LB—固定顶罐的呼吸排放量，kg/a；

M—储罐内蒸气的分子量，36.5g/mol；

P—在大量液体状态下，真实的蒸汽压力，根据《环境统计手册》（四川科学技术出版社，1985 年），保守取 29Pa；

D—罐的直径，2.5m；

H—平均蒸气空间高度，取 $3.31 \times 0.2 = 0.662\text{m}$ ；

ΔT —一天之内的平均温度差，11℃；

FP—涂层因子，无量纲，根据油漆状况取值在 1~1.5 之间，取 1.25；

C—用于小直径罐的调节因子，无量纲；直径在 0~9m 之间的罐体， $C = 1 - 0.0123 (D - 9)^2$ ，罐径大于 9m 的 $C = 1$ 。经计算为 0.48；

KC—产品因子，石油原油 KC 取 0.65，其他有机液体取 1.0。

经计算，1 个盐酸罐呼吸排放量为 0.19kg/a，即 $2.17 \times 10^{-5}\text{kg/h}$ 。

（2）工作损失排放量

工作损失排放量为盐酸液体补充过程中，液面逐渐升高，一定量的酸雾从呼吸阀排出，其估算公式如下：

$$LW = 4.188 \times 10^{-7} \times M \times P \times KN \times KC \times Q \div \rho \quad (6.7-2)$$

式中：LW—工作损失排放量，kg/a；

M—储罐内蒸气的分子量，36.5g/mol；

P—在大量液体状态下，真实的蒸汽压力，根据《环境统计手册》（四川科学技术出版社，1985 年），保守考虑取 29Pa；

KC —产品因子，石油原油 KC 取 0.65，其他有机液体取 1.0；

KN —周转因子，无量纲，取值按年周转次数 K 确定： $K \leq 36$ ， $KN=1$ ； $36 < K \leq 220$ ， $KN=11.467 \times K^{-0.7026}$ ； $K > 220$ ， $KN=0.26$ ；本项目 K 为 4， KN 取 1；

Q —物料投入量，55t/a；

ρ —物料相对密度，1.16g/cm³。

经计算，盐酸罐工作损失排放量为 0.021kg/a，即 2.40×10^{-6} kg/h。因此，两种方式盐酸无组织排放量合计为 2.41×10^{-5} kg/h。具体参数见表 6.7-2。

表 6.7-2 盐酸罐呼吸排放估算参数

参数	M	P	D	H	ΔT	FP
单位	g/mol	Pa	m	m	°C	/
取值	36.5	29	2.5	0.4	11	1.25
参数	C	KC	周转次数	KN	投入量	密度
单位	/	/	次	/	t/a	g/cm ³
取值	0.48	1	4	1	55	1.16

（3）排气量

本项目向储罐补充盐酸时补充速率约 12m³/h。在盐酸液体补充过程中，盐酸罐内的气体经呼吸阀排出，其排气量与液体补充速率一致，为 12m³/h。

6.7.2.2 废水

1) 放射性废水

试验期放射性废水包括工艺废水、实验废水和流散浸出液。

（1）工艺废水和实验废水

本项目 99.5%的吸附尾液直接返回配制浸出剂，剩余 0.5%的吸附尾液回用为转型剂配制用水及离子交换塔反冲洗用水，最终转为反冲废水和转型尾液。因此，本项目工艺废水为反冲废水和转型废水，反冲废水中 $U_{\text{天然}}$ 浓度约为 0.10mg/L，转型废水中 $U_{\text{天然}}$ 浓度约为 0.47mg/L。

本项目条件试验阶段工艺废水产生量约 1.44m³/d，即 475.2m³/a，排入蒸发池处理。扩大试验阶段产生量约 4.32m³/d，即 1425.6m³/a，其中部分约 1.44m³/d（475.2m³/a）排入蒸发池处理。剩余部分约 2.88m³/d（950.4m³/a）采用 MVR 蒸发装置处理，该设备处理规模为 0.5m³/h，处理后的淡水满足《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）

相关限值要求后用于抑尘、绿化。

此外，本项目分析室可进行操作简单的分析测试，分析过程会产生少量废水，产生量约 1L/d（0.33m³/a），在废水桶收集至一定量后排入蒸发池处理。

综上所述，排入蒸发池处理的水量合计为 475.53m³/a。

①蒸发池

本项目建设蒸发池 2 座，蒸发面积均为 405m²，合计 810m²。年实际蒸发水量计算公式见式 6.7-3：

$$E = (e \times \alpha - r) \times s \quad (6.7-3)$$

式中：

E ——年实际蒸发量，m³/a；

e ——年均蒸发量，当地年均蒸发量为 1564.5mm；

α ——蒸发皿观测数据用于大面积水体蒸发量计算时折算系数，取经验值 0.85；

r ——年均降水量，当地年均降水量为 469.6mm；

s ——蒸发池净蒸发面积，取 810m²。

经过计算可知，本项目蒸发池年蒸发量为 696.78m³，大于排入蒸发池的废水量（475.53m³/a），可以满足试验废水的处理要求。

②MVR 蒸发装置

a. MVR 蒸发装置处理工艺

本项目采用的 MVR 蒸发装置处理工艺主要包括预处理及进水、预热、强制循环蒸发结晶、蒸汽压缩、离心出盐五个流程，整个处理工艺流程中无气体排出。

预处理及进水：废水进入缓冲罐，经过进水泵输送到冷凝水预热器预热，然后进入强制循环换热器，当蒸发结晶器液位达到设计液位时，启动强制循环泵。

开机预热：开启生蒸汽阀门，向强制循环换热器通入生蒸汽给废水加热，当废水温度达到设定的蒸发温度时，开启蒸汽压缩机，系统开始进入蒸发状态，压缩机电流升高并负载，切断生蒸汽阀门。

蒸发过程中预热：常温的废水经过进水泵，首先进入冷凝水预热器和 90℃的高温冷凝水换热，废水温度由 25℃预热到 55℃以上后进入强制循环换热器。

强制循环蒸发结晶：废水与循环水混合，再进入强制循环换热器，以约 1.5~2m/s 的流速满管流过换热器每一根换热管，与此同时，与换热器壳程内 100~110℃的加热蒸汽（来

自压缩机出口) 进行换热, 受热后的混合废水在蒸发结晶器底部沿切线进入蒸发结晶器进行蒸发 (0.07MPa 、 90°C)。受热废水进入蒸发结晶器后, 沿着结晶器内的切线减速上升的过程也是消除过热度 (即过饱和度) 的过程, 在这个过程中细小的晶体被溶化, 颗粒大的晶体逐步长大, 当废水由过饱和变为饱和, 部分结晶颗粒析出, 析出的晶体在强制循环系统进行循环、沉降、生长, 蒸发结晶器内废水的过饱和度完全用于晶体的生长, 在蒸发结晶器底部收集的盐浆自流排入离心机进行固液分离。

蒸汽压缩: 蒸发结晶器蒸发出的二次蒸汽 (0.07MPa 、 90°C) 进入蒸汽压缩机, 经压缩做功后蒸汽压力和温度得以提升, 二次蒸汽由低位能的蒸汽转化为高位能的蒸汽, 二次蒸汽的压力由 0.07MPa 升高至 $0.10\sim 0.14\text{MPa}$, 温度由 90°C 升高至 $100\sim 110^{\circ}\text{C}$ (饱和温度), 再进入强制循环换热器给废水加热, 整个蒸发过程由压缩机建立起一个完整的热能循环。

离心出盐: 过饱和溶液通过重力自流入离心机, 离心出 MVR 结晶盐。母液自流排入缓冲罐, 一路返回 MVR 继续蒸发。

MVR 蒸发装置处理工艺图 6.7-1。

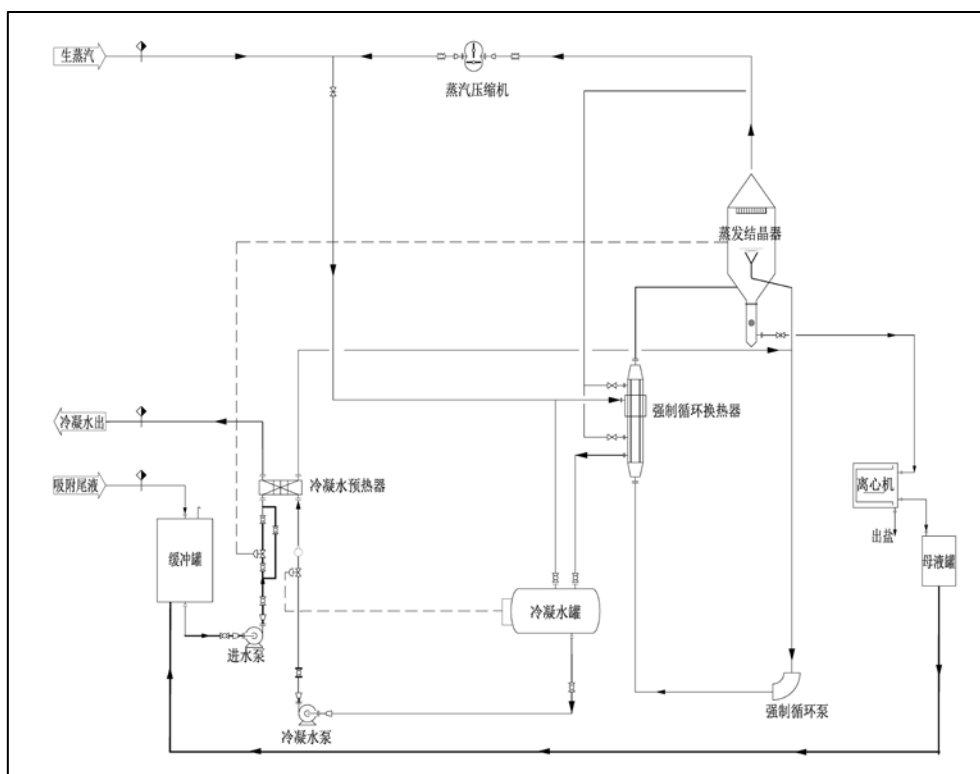


图 6.7-1 MVR 蒸发装置处理工艺流程图

b. MVR 蒸发装置处理可行性分析

本项目周边电力、高压电网设施齐全, 可满足 MVR 蒸发装置的用电需求; 本项目扩

大试验阶段需要 MVR 蒸发处理的工艺废水产生量约 2.88m³/d，MVR 蒸发装置处理规模为 12m³/d，可以满足本项目废水处理量的要求；在铀矿冶行业，中核第四研究设计工程有限公司在钱家店铀矿床钱II块地浸采铀工程采用 MVR 蒸发装置处理采铀工艺废水，废水处理过程中 MVR 设备稳定性较好，出水水质稳定，其处理前后废水检测结果见表 6.7-3。从表中数据可见，废水中各种污染物的处理效率均可达 95%以上。现场实践证明，MVR 蒸发装置处理采铀工艺废水效果良好，且本项目产生的淡水可用于抑尘、绿化，实现废水的回收利用和废物最小化。因此，该技术用于处理本项目扩大试验阶段新增的工艺废水是可行的。

表 6.7-3 废水处理前后监测结果

序号	监测因子	处理前	处理后	处理效率
1	pH	9.56	6.65	/
2	电导率	>20000μS/cm	94μS/cm	/
3	Cl ⁻	11740mg/L	<5 mg/L	100%
4	SO ₄ ²⁻	3168mg/L	39mg/L	98.77%
5	HCO ₃ ⁻	2598mg/L	38mg/L	98.54%

此外，为确保 MVR 装置处理后的淡水水质满足《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）相关限值要求，应定期对处理后的淡水进行水质监测，监测频次为 1 次/半年，监测因子为 U_{天然}、²²⁶Ra、²¹⁰Pb、²¹⁰Po、pH、氨氮、溶解性总固体、Cl⁻和 SO₄²⁻。

（2）流散浸出液

在地浸项目正常运行过程中，由于井场抽液量大于注液量，井场的抽出井和注入井之间形成规则的水位降落漏斗，浸出剂及浸出液在含矿含水层中由注入井向抽出井流动，一般不会发生向井场外流散的现象。但由于地质条件的复杂性和地下水动力的影响，不可避免地会出现部分浸出剂流散至井场外。

为了避免流散浸出液在含矿含水层中的逸散，在试验期采取了如下的技术措施：

①严格控制抽注液的区域平衡，设置试验井场抽大于注的比例为 0.5%，以保障区域地下水由注入井向抽出井流动。

②设置监测井

根据《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》（GB 23727-2020）要求，并结合试验井场周围浸出液扩散特征及地下水模拟预测结果，在试验井场上游 70m、西侧 100m、下游 120m 各布设 1 个含矿含水层监测井，并在东侧 95m 利旧监测井 1 个。此外，在试验井场

内上层含水层布设 1 个监测井。

2) 非放射性废水

试验期生活污水主要为试验人员生活污水，即生活杂用水及盥洗废水，主要污染物为 BOD、COD 和 SS。本项目试验人员约 5 人，生活用水按 20L/人天计算，排污系数取 0.80，则试验期生活污水最大产生总量为 $0.08\text{m}^3/\text{d}$ 。本项目试验人员的生活起居租用周围村民的房屋，产生的生活污水依托民宅处理。此外，本项目在水冶厂建设化粪池 1 座，试验人员在水冶厂内产生的生活污水收集在化粪池，定期外运处理。

6.7.2.3 噪声

本项目噪声源主要为试验厂房内的风机、水泵及空压机等，单机噪声源强均小于 90dB (A)。

对于噪声的防治，各种设备均选用低噪声环保设备，对风机、水泵及空压机等均采取了有效的隔声、减振措施。噪声源强经处理后在厂界可以达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 2 类标准，即昼间 $\leq 60\text{dB}(\text{A})$ ，夜间 $\leq 50\text{dB}(\text{A})$ 。

6.7.2.4 固体废物

1) 放射性固体废物

本项目试验期产生的放射性固体废物主要是蒸发池残渣、浸出液过滤残渣、废旧设备及零配件和 MVR 结晶盐等。

(1) 蒸发池残渣

蒸发池残渣是蒸发池蒸发放射性废水后遗留在池底的固体废物渣，其主要为防渗膜上铺设的 30cm 厚回填土，其中放射性核素来源主要为废水中核素残留。蒸发池底面积为 810m^2 ，则回填土量为 243m^3 ，残渣比重按 $1.5\text{t}/\text{m}^3$ 计，计算得到残渣质量约为 364.5t。根据蒸发池蒸发的水量及蒸发池结构，估算生产结束后由于废水蒸发遗留的 $U_{\text{天然}}$ 的总活度，计算方法如下：

$$Q = W \times C_w \times 25.2 \times 1000 \quad (6.7-4)$$

式中：

Q：试验期间放射性废水蒸发遗留的 $U_{\text{天然}}$ 总活度，Bq；

W：试验期间各类放射性废水量， m^3 ，本试验废水量为 $475.53\text{m}^3/\text{a}$ ，试验期 2a；

C_w ：蒸发废水中 $U_{\text{天然}}$ 的浓度，mg/L，保守取 $0.47\text{mg}/\text{L}$ ；

25.2： $1\text{mg}U_{\text{天然}}$ 对应的活度， $\text{Bq}/1\text{mg}U_{\text{天然}}$ ；

计算可知，本项目蒸发池放射性废水蒸发遗留底泥的 $U_{\text{天然}}$ 的总活度为 $1.13 \times 10^7 \text{Bq}$ ，质量为 364.5t，计算可得到试验期末时，蒸发池残渣中 $U_{\text{天然}}$ 比活度为 30.90Bq/kg ，换算为质量浓度约为 $1.23 \text{mg} (U_{\text{天然}}) / \text{kg} (\text{土壤})$ ，低于项目所在区域本底水平 ($2.30 \sim 3.19 \text{mg/kg}$)。

(2) 浸出液过滤残渣

浸出液处理过程中过滤工序会产生少量残渣，产生量约 $0.005 \text{m}^3/\text{a}$ ，装桶收集在固体废物暂存间。

(3) 废旧设备及零配件

试验过程中，设备检修会产生少量的废旧管道、阀门、水泵、过滤器等废旧设备及零配件。由于试验期较短，规模较小，废旧设备及零配件产生量较少，经简单去污收集在固体废物暂存间。

(4) MVR 结晶盐

试验过程中，MVR 蒸发装置处理工艺废水会产生结晶盐，装桶收集在固体废物暂存间。本项目 MVR 蒸发装置处理工艺废水量为 $2.88 \text{m}^3/\text{d}$ ，吸附尾液中总溶解性固体取含矿层地下水最大监测浓度 5.40g/L ，则结晶盐产生量约 15.6kg/d ，即 5148kg/a 。结晶盐密度约 2.16g/cm^3 ，则产生的结晶盐体积约 $2.38 \text{m}^3/\text{a}$ 。工艺废水中 $U_{\text{天然}}$ 浓度保守取 0.47mg/L ， ^{226}Ra 浓度类比纳岭沟扩大试验浸出液浓度 7.63Bq/L 。根据核素平衡，结晶盐中 $U_{\text{天然}}$ 含量为 0.09mg/g ， ^{226}Ra 比活度为 1.41Bq/g 。

2) 非放射性固体废物

试验期非放射性固体废物主要为实验室废物和生活垃圾。

(1) 实验室废物

本项目设有分析室，在日常分析检测过程中会产生少量的手套、口罩等一次性实验用品，作为一般固体废物处置。

(2) 生活垃圾

本项目试验人员 5 人，生活垃圾产生量按照每人 0.5kg/d 计算，生活垃圾产生量约 2.5kg/d ，依托租用的民宅处理。此外，本项目在水冶厂设置垃圾收集点，生活垃圾按相关要求收集后定期外运处理。

7 项目主要污染物产生及预计排放情况

	排放源（编号）		污染物名称	处理前产生浓度及产生量	排放浓度及排放量
废气	施工期	柴油发电机	SO ₂	排放量：0.032kg/h 排放浓度：235mg/m ³	排放量：0.032kg/h 排放浓度：235mg/m ³
			NO _x	排放量：0.020kg/h 排放浓度：151mg/m ³	排放量：0.020kg/h 排放浓度：151mg/m ³
			颗粒物	排放量：0.0057kg/h 排放浓度：42mg/m ³	排放量：0.0057kg/h 排放浓度：42mg/m ³
		施工场地	颗粒物	/	场地洒水抑尘
	试验期	集液罐废气	²²² Rn	2.35×10 ¹⁰ Bq/a	罐口稀释扩散
		试验厂房废气	²²² Rn	2.06×10 ¹⁰ Bq/a	厂房换气通风
		蒸发池废气	²²² Rn	1.53×10 ⁹ Bq/a	自然稀释扩散
		盐酸罐	HCl	最大落地浓度： 0.21μg/m ³	罐口稀释扩散
废水	施工期	施工废水	悬浮物、泥沙	少量	场地洒水抑尘
		生活污水	COD、NH ₃ -N	0.48m ³ /d	收集后外运处理
	试验期	工艺废水	U _{天然} 、 ²²⁶ Ra 等	1425.6m ³ /a	蒸发池及 MVR 装置处理
		流散浸出液	U _{天然} 、 ²²⁶ Ra 等	—	抽注比例控制、监测井监控
		实验废水	U _{天然} 、 ²²⁶ Ra 等	0.33m ³ /a	排入蒸发池处理
		生活污水	COD、NH ₄ -N	0.08m ³ /d	依托民宅或排入化粪池处理
固体废物	施工期	钻井泥浆	—	143.44m ³	施工中循环利用， 最终交由专业化公司处理
		废机油	—	11kg	交由具备危险废物 处置资质的单位处置
		施工人员	生活垃圾	15kg/d	收集后外运处理
	试验期	蒸发池底泥	U _{天然} 、 ²²⁶ Ra 等	243m ³	蒸发池堆存
		浸出液过滤残渣		0.005m ³ /a	收集在固体废物间
		MVR 结晶盐		2.38m ³ /a	
		废旧设备及零配件		少量	
		实验室废物	手套、口罩等	少量	作为一般固体废物处置
		试验人员	生活垃圾	2.5kg/d	依托民宅或收集外运处理
噪声	施工期	钻机、发电机等	设备运行时产生的噪声值<90dB（A）		
	试验期	风机、增压泵等			

主要生态影响(不够时可附另页)

本项目生态影响主要来自以下几方面：1）项目施工对土地的占用，以及由此带来的与被占用土地相关的生态系统的破坏；2）项目施工会不同程度地破坏地表植被，使得地表现有植物资源受到一定的负面影响，同时影响区域自然体系的生产力；3）项目施工噪声和振动会对周边野生动物产生一定负面影响；4）项目施工过程中涉及土地平整及土方开挖，可能会带来一定的水土流失；5）项目建设对周边永久基本农田的影响。

8 环境影响分析

8.1 施工期环境影响分析

8.1.1 大气环境影响分析

1) 施工扬尘影响分析

本项目施工期在进行试验井场及水冶厂建设、场地平整和蒸发池开挖过程中会产生一定量的施工扬尘，在施工过程中通过合理安排施工计划、施工场地洒水抑尘、运输车辆保持合理车速等措施，降低施工扬尘对周围环境空气质量产生影响。此外，由于建设工程量较小，施工区地形开阔，空气流通、扩散条件好，因此施工期扬尘对环境的影响较小。

2) 燃油废气影响分析

根据工程分析，本项目柴油发电机 SO_2 、 NO_x 和颗粒物的排放速率分别为 0.032kg/h 、 0.020kg/h 和 0.0057kg/h ，排放浓度分别为 235mg/m^3 、 151mg/m^3 和 42mg/m^3 ，满足《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 新污染源最高允许排放浓度限值 550mg/m^3 、 240mg/m^3 和 120mg/m^3 的要求。

8.1.2 水环境影响分析

1) 地下水环境影响分析

本项目在钻孔施工过程中采用膨润土为护壁剂，对地下水环境无害。膨润土遇水后具有吸附性、膨胀性和造浆性，钻探过程中可以快速在孔壁表面形成致密坚硬、隔水性能强、薄而润的保护膜，实现钻孔护壁堵漏。在试验孔钻孔结束后，将过滤器和沉沙管安装至设计矿层段，采用逆向水泥注浆进行固井封孔，注浆完毕后采用物探温度测井和物探电流测井技术，来确定止水层稳定状况及水泥浆固孔质量，可有效切断地下各含水层之间在孔内产生水力联系，预防可能产生的水质污染。因此，施工期基本不会对上含水层地下水水质产生影响。

2) 地表水环境影响分析

施工废水主要为设备清洗废水和水泥养护排水，主要污染物为泥沙，产生量很少用于场地洒水抑尘及绿化用水；生活污水主要为生活杂用水及盥洗废水，在施工人员配备的寝车中收集后外运处理。

因此，本项目施工期废水不外排，不会对项目周边的地表水环境产生不良影响。

8.1.3 噪声环境影响分析

1) 预测模式

本项目所处区域为声环境 2 类功能区，根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）原则，确定本项目声环境影响评价工作等级为二级，确定声环境影响评价范围为施工场界外 200m。

本项目利用三捷环境工程咨询有限公司开发的 BREEZE NOISE 软件进行噪声环境影响预测，该软件以《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）中的相关模式要求编制，适用于噪声领域的各个级别的评价。本次评价采用工业噪声预测计算模式，考虑点源几何发散衰减和地面反射，预测情景为距离居民点范新庄（100m）最近的钻孔施工时对周围环境的影响。采取有效的降噪措施后，噪声预测参数见表 8.1-1。

表 8.1-1 噪声预测参数

序号	声源名称	数量	空间相对位置/m			声源源强	声场种类	声源控制措施	运行时段
			X	Y	Z	声功率级/dB(A)			
1	钻机	1	0	0	1.0	90	半自由声场	选用低噪声环保设备、自带消音装置和设置减振处理。	施工期
2	柴油发电机	1	10	3	1.0	85			
3	搅拌机	1	0	-5	1.0	85			
4	泥浆泵	1	10	-3	1.0	65			

2) 预测结果

本项目施工井场周围 200m 处噪声贡献值见表 8.1-2。

由表 8.1-2 可知，噪声贡献值随着距施工钻孔距离增大而明显衰减，距离施工场地 3m 处噪声贡献值为 70dB(A)，满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中昼间噪声排放标准要求；距离施工场地 15m 处噪声贡献值为 55dB(A)，满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）中夜间噪声排放标准要求。

本项目钻孔施工时距周边居民点范新庄最近距离为 100m，由预测结果可知，该处噪声贡献值为 23.98dB(A)，叠加背景值后的最大预测值分别为昼间 50.01dB(A) 和夜间 45.03dB(A)，均满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中昼间≤60dB(A)、夜间≤50dB(A) 的 2 类标准要求。

表 8.1-2 距离施工井场周围 200m 处噪声贡献值

序号	距离	噪声贡献值, dB (A)
1	3m	70
2	15m	55
3	50m	35.09
4	100m	23.98
5	200m	15.29

8.1.4 固体废物环境影响分析

施工期固体废物主要为钻孔施工时产生的钻井泥浆、废机油以及施工人员产生的生活垃圾。

1) 钻井泥浆

施工期产生的钻井泥浆主要为钻进过程中产生的泥浆，泥浆产生总量约 143.44m^3 ，其 $U_{\text{天然}}$ 含量约 $52.4\sim 69.1\text{Bq/kg}$ 。本项目采用循环利用及不落地技术处理钻井泥浆，在钻井机台设置泥浆罐、沉砂罐及废浆罐，各罐体均采用钢结构，罐体外侧均做 HDPE 膜防渗处理。施工区机台至各个泥浆设施之间均设置泥浆导流槽，流道平整，保障泥浆不外溢。钻井泥浆首先经机台设置的导流槽进入沉砂罐，沉淀后的上清液泵入泥浆罐，并回用于钻探作业，沉砂罐底部含岩屑较多的废弃泥浆无法回用，全部进入废浆罐暂存。废弃泥浆委托专业化公司进行固液分离，滤液回用于钻井泥浆的配置，固体由专业化公司处置。因此，钻井泥浆基本不会对环境产生影响。

2) 废机油

本项目在施工过程中可能会产生少量废机油，约 11kg 。根据《国家危险废物名录》(2025 年版)，废机油属于危险废物，其废物类别 HW08。根据危险废物的减量化、资源化和无害化原则，施工单位应积极采取以下防治措施：

(1) 为避免油污散落地表，机械维修过程中在底部铺设高强度塑料布承接油污，并在操作完成后由废机油专用桶收集；

(2) 收集的旧机油尽量回收利用于钻机设备传动、润滑等。若废机油仍有剩余时，交由具备危险废物处置资质的单位处置；

(3) 在施工场地内设置废机油暂存区，暂存区设置在围堰内，围堰内部及暂存区底部做防渗处理，防渗材料应采用抗渗混凝土、高密度聚乙烯膜、钠基膨润土防水毯或其他防渗性能等效的材料。暂存区四周设置围堰和危险废物标识牌，禁止无关人员接近，日常安

全巡视检查，保障废机油专用桶及底部防渗膜完好无破损；

（4）严格按照《危险废物转移管理办法》（2022 年 1 月 1 日）、《危险废物收集贮存运输技术规范》（HJ 2025-2012）及《危险废物管理计划和管理台账制定技术导则》（HJ 1259-2022）中相关要求，落实危险废物分类、收集、暂存、转移和处置管理措施，制定并采取有效防范、应急措施，避免环境污染。建立危险废物管理台账，并根据危险废物产生、贮存、利用、处置等环节的动态流向，如实更新各环节的危险废物管理台账。

同时，建设单位应履行监督管理、定期检查施工单位各项危险废物防范措施落实情况等责任。

3) 生活垃圾

施工期会产生少量生活垃圾，最大产生量约 15kg/d。本项目寝车设置生活垃圾箱，对产生的各类生活垃圾按相关要求收集后定期外运处理，不会对周围环境产生明显影响。

8.1.5 生态环境影响分析

1) 生态环境影响因素

本项目施工期生态影响主要来自以下几方面：1) 项目施工对土地的占用，以及由此带来的与被占用土地相关的生态系统的破坏；2) 项目施工会不同程度地破坏地表植被，使得地表现有植物资源受到一定的负面影响，同时影响区域自然体系的生产力；3) 项目施工噪声和振动会对周边野生动物产生一定负面影响；4) 项目施工过程中涉及土地平整及土方开挖，可能会带来一定的水土流失；5) 项目建设对周边永久基本农田产生的不利影响。

2) 生态环境影响分析与评价

（1）生态环境影响评价等级及评价范围

本项目占地不涉及生态保护红线以及生态敏感区，根据《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目相关内容不属于其 6.1.2 条中“a)~f)”内容，确定生态评价为三级，评价范围为本项目占地区域。

（2）生态环境现状调查与评价

本项目位于陇东黄土高原西部，场址周边黄土残塬发育，沟壑切割较深，地表全部为第四系松散地层覆盖。评价区内植被以小麦、玉米等粮食作物为主，林木主要为苹果树、杏树、梨树等经济林木，还有种植特色作物黄花菜。在田埂、地头、荒地、山坡等地，有酸枣、狼牙刺等野生灌木，以及蒲公英、狗尾草等多种野生草本植物；评价区野生动物主要有野兔、野鸡、刺猬等常见小型哺乳动物，麻雀、喜鹊、啄木鸟等常见鸟类，以及鼠类、

蛇类等常见爬行动物。家禽主要以饲养牛、猪、羊为主，未发现有重点保护野生动植物分布。

（3）生态环境影响分析及保护措施

①占地影响分析及保护措施

本项目占地情况见表 8.1-3。由表可见，项目占地面积较小，且多为施工期的临时占地。此外，本项目施工时间短，在施工各个时段严格管理临时用地，最大限度降低临时占地面积。施工结束后，及时对占地区域进行植被恢复，做好生态恢复和环境保护工作，不会影响占地区域土地原有利用性质，项目施工对生态系统的影响是有限的、局部的。

表 8.1-3 项目占地情况表

项目		占地面积（m ² ）	
		施工期	试验期
试验井场		25522	22
水冶厂	水冶区	7475	6931
	蒸发池	2512	2086
总计		35509	9039

②对植物资源的影响分析及保护措施

本项目土地占用会不同程度地破坏地表植被，使得地表现有植物资源受到一定的负面影响，同时影响区域自然体系的生产力。本项目占地区域的植被均为当地一般常见种，生长范围广泛，适应性强，不存在因局部植被破坏而导致植物种群灭绝或消失。由于施工影响植被范围、影响面积相对于整个区域的面积很小，施工结束后，将对施工扰动的地表进行植被恢复，选用植被为当地土生自然植被，随时间推移，植被的逐步恢复，不会改变区域植被状况。

此外，本项目在施工期加强管理，严格控制人员和机械的活动区域，尽量避免施工人员进入施工范围以外活动，减少对施工场地外土壤与植被的破坏。在采取以上措施后，本项目基本不会对区域内的植物资源产生明显影响。

③对动物资源的影响分析及保护措施

本项目在施工期对周边动物资源的影响主要表现为施工噪声和振动对动物活动及栖息地的影响。本项目施工期使用的大型机械应安装必要的减震降噪设施，减小噪声的源强，减少施工噪声和振动对动物栖息地的影响。同时，本项目周边野生动物数量较少，无珍稀动植物资源。野生动物为鸟类、啮齿类、昆虫类等一般常见物种，适应能力和抗干扰能力

较强，项目影响区域外有大面积适宜的生境，野生动物会迁徙栖息地，且施工结束后，随着干扰源的消失，不利影响也将逐渐消失。

此外，施工前与周边居民沟通，提前告知施工计划，使养殖的动物远离施工场地。采取以下有效保护措施后，项目的建设不会对动物的数量和种群多样性造成明显影响。

④水土流失影响分析及保护措施

本项目施工将扰动地表，破坏原有水土保持设施，由此引起的人为加速土壤流失将改变周边环境，使水土资源流失，可能加剧土地荒漠化，对生态环境造成不良影响。本项目施工期较短，施工期造成的水土流失是暂时的，施工过程中采取以下水土流失及土地荒漠化防治措施。

本项目施工过程中，严格控制临时占地面积，施工完成后立即恢复临时占地处的植被。施工过程中，剥离的表土集中堆放，并设置苫盖措施，避免风蚀或水蚀造成的土壤流失。施工结束后，在顶部铺设剥离的表层土，并翻松土层，进行植被恢复。本项目施工过程中还应合理安排施工进度，避免在大风天和大雨天施工。提高工程施工效率，缩短施工时间，减少水土流失发生的可能。采取以下有效保护措施后，项目的建设不会造成明显水土流失。

⑤对永久基本农田的影响分析及保护措施

本项目占地涉及永久基本农田，项目施工过程可能对耕地产生不利影响。本项目施工周期尽量避开耕作期，并尽量减少占地面积。施工过程中首先将表层耕植土剥离，表土分层开挖、分层堆放，并加以养护以保持其肥力，同时加以覆盖，以便于后期分层回填。施工结束后，根据土层堆放顺序采用分层回填，回填后对场地进行平整，待土地平整后，将前期剥离的表土均匀覆盖在表面，覆土厚度满足农业生产要求。

此外，建设单位应根据《基本农田保护条例》（中华人民共和国国务院令第 257 号）、《自然资源部、农业农村部关于加强和改进永久基本农田保护工作的通知》（自然资规〔2019〕1 号）等法律法规中相关要求开展用地申请等相关工作。

4) 生态影响评价结论

综上所述，本项目施工期较短，项目施工过程中严格控制施工占地面积，针对永久基本农田，施工周期尽量避开耕作期，并将耕作层土壤剥离分层堆放遮盖，施工结束后分层回填并及时复垦恢复原种植条件。同时，项目施工期使用的大型机械安装必要的减震降噪设施，减少施工噪声和振动对动物栖息地的影响。此外，本项目合理安排施工进度，避免在大风天和大雨天施工，提高施工效率，缩短施工时间，减少水土流失发生的可能。因此，本项目的建设不会对周边生态环境造成明显影响。

8.2 试验期环境影响分析

8.2.1 大气环境影响分析

8.2.1.1 大气辐射环境影响分析

1) 排放源项

本项目生产过程中对公众产生附加照射剂量的途径主要为气态流出物的释放，关键核素为氡，氡释放源项主要为集液罐、试验厂房和蒸发池，各气态流出物源强见表 8.2-1。从表中可见，集液罐氡释放量最大，蒸发池释放量最小。本项目气态源项排放参数见表 8.2-2。

表 8.2-1 本项目放射性废气的排放情况一览表

序号	设施	氡释放量 (Bq/a)
1	集液罐	2.35E+10
2	试验厂房	2.06E+10
3	蒸发池	1.53E+09

表 8.2-2 本项目气态源项排放参数

序号	排放点名称	相对坐标		出口内径 (m)	排放高度 (m)	等效半径 (m)	源项类型
		X, m	Y, m				
1	集液罐	0	0	0.5	5.91	—	点源
2	试验厂房	9.7	-48.6	0.6	10.5	—	点源
3	蒸发池	91.9	37.3	—	—	16.06	面源

2) 环境影响途径

根据项目特点，本次预测仅包括气载流出物所致辐射环境影响，气态照射途径为吸入内照射，核素为 ^{222}Rn 。

3) 辐射评价基本参数设置

①评价方法

本次辐射环境影响评价的基本评价指标是以集液罐为中心的周围居民最大个人有效剂量和半径 20km 范围内的集体有效剂量。评价方法是以模式计算为主，选择放射性核素在环境中迁移和剂量估算模式以及相应计算参数，利用预测软件完成个人有效剂量及集体有效剂量的估算，并对设施所致最大个人剂量进行分析。

②评价中心

本次评价选取集液罐为评价中心。

③评价子区及年龄组设置

本次评价以集液罐为中心，以 20km 为半径，按照 1km、2km、3km、5km、10km、20km 划分同心圆，再将这些同心圆划分成 22.5°扇形段，以正北 N 向左右各划分 11.25°为起始段，共 96 个评价子区。各评价子区人口数按年龄划分为四个组：婴儿组≤1 岁，幼儿组 1~7 岁，少年组 7~17 岁，成人组>17 岁。

④评价年份

根据地浸生产特点，试验期间各源项基本不变。因此，评价年份选取扩大试验第一年，即 2026 年。

⑤评价计算模式及参数

本项目预测采用中核第四研究设计工程有限公司开发的 UAIR-FINE 软件，该软件基于最新大气边界层理论和剂量估算方法创建，内置的大气扩散模型为美国 EPA 开发的法规扩散模式 AERMOD，剂量计算模式根据 IAEA 和 ICRP 推荐剂量模式和参数创建，具体模式与参数详见附录 1。

4) 估算结果与分析

(1) 居民点辐射环境影响

①氡浓度及公众个人剂量

本项目试验期气态源项释放的 ^{222}Rn 所致 5km 范围内各居民点 ^{222}Rn 浓度分布情况如表 8.2-3 所示。

由该表可知，气态源项对各居民点的最大辐射影响出现在韩山，其 ^{222}Rn 浓度贡献值为 $8.87 \times 10^{-3} \text{Bq/m}^3$ ，公众最大个人剂量为 $1.90 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ 。

表 8.2-3 试验期气态源项所致 5km 范围内各居民点 ^{222}Rn 浓度

方位	距离 (km)	居民点	^{222}Rn 浓度, Bq/m^3	公众个人剂量, mSv/a
N	3.8	北山	3.60E-04	7.69E-06
NNE	1.5	南庄	2.35E-03	5.02E-05
NNE	3.6	何范	2.60E-04	5.56E-06
NE	2.6	沟畔	2.80E-04	5.98E-06
NE	4.7	吊珍	1.20E-04	2.56E-06
ENE	1.7	董咀	2.70E-04	5.77E-06
ENE	2.9	赵咀	1.50E-04	3.21E-06
ENE	4.5	王咀	8.00E-05	1.71E-06
ENE	4.3	陈寨	1.00E-04	2.14E-06

ESE	2.1	周洼	3.60E-04	7.69E-06
ESE	4.6	姜堰头	1.20E-04	2.56E-06
SSE	1.8	安山	6.50E-04	1.39E-05
SSE	2.8	姚山	2.80E-04	5.98E-06
SSE	3.6	川口	1.70E-04	3.63E-06
S	4.8	罗堰	1.30E-04	2.78E-06
SSW	0.3	韩山	8.87E-03	1.90E-04
SSW	2.5	王堰	3.10E-04	6.63E-06
SSW	4.4	王川	1.70E-04	3.63E-06
SW	2.2	慕堰	1.50E-04	3.21E-06
SW	3.3	九亩坪	2.70E-04	5.77E-06
WSW	4	瓦院	8.00E-05	1.71E-06
WSW	4.5	段坪	1.10E-04	2.35E-06
W	1.5	扬洼	1.90E-04	4.06E-06
W	2.6	文庄	4.00E-05	8.55E-07
W	3.8	文夏	3.00E-05	6.41E-07
WNW	4.7	陈咀	4.00E-05	8.55E-07
WNW	4.9	阴山	2.00E-05	4.27E-07
NW	0.3	范新庄	6.94E-03	1.48E-04
NW	0.8	杨家坨	2.90E-03	6.18E-04
NW	2.4	时河	3.60E-04	7.69E-06
NW	4.2	堰头	9.00E-05	1.92E-06
NW	4.8	挂山	7.00E-05	1.50E-06
NNW	4.8	堰畔	4.10E-04	8.76E-06

②个人剂量

本项目试验期各污染源项释放的 ^{222}Rn 对韩山的个人有效剂量的贡献见表 8.2-4。由该表可知，集液罐对韩山的最大个人有效剂量贡献率最大，为 67.9%。

表 8.2-4 各气态源项对韩山的贡献值

排放点	氡浓度, Bq/m ³	个人剂量, mSv/a	份额 (%)
集液罐	6.02E-03	1.29E-04	67.9%
试验厂房	2.69E-03	5.75E-05	30.3%
蒸发池	1.60E-04	3.42E-06	1.8%
合计	8.87E-03	1.90E-04	100

（2）评价区域辐射环境影响

①氡浓度

本项目试验期气态源项释放的 ^{222}Rn 所致各子区 ^{222}Rn 浓度分布情况见表 8.2-5。

由该表可知，气态源项对周边各子区 ^{222}Rn 贡献值最大值出现在 N 方位、0~1km 子区， ^{222}Rn 贡献值为 $1.04\times 10^{-2}\text{Bq/m}^3$ ，该子区为无人子区。在有人子区内， ^{222}Rn 贡献值最大值出现在 WSW 方位、0~1km 子区， ^{222}Rn 贡献值为 $8.87\times 10^{-3}\text{Bq/m}^3$ 。

表 8.2-5 试验期气态源项所致各子区 ^{222}Rn 浓度 (Bq/m^3)

方位	距离 (km)					
	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	1.04E-02	2.72E-03	8.28E-04	3.60E-04	1.56E-04	6.60E-05
NNE	9.71E-03	2.35E-03	2.98E-04	2.60E-04	1.00E-04	8.20E-05
NE	5.65E-03	1.33E-03	2.80E-04	1.20E-04	8.60E-05	5.20E-05
ENE	3.01E-03	2.70E-04	1.50E-04	1.00E-04	4.00E-05	2.60E-05
E	2.37E-03	4.78E-04	1.40E-04	9.60E-05	2.00E-05	1.40E-05
ESE	2.34E-03	6.12E-04	3.60E-04	1.20E-04	5.00E-05	1.80E-05
SE	2.16E-03	4.62E-04	1.96E-04	1.02E-04	3.80E-05	1.20E-05
SSE	3.48E-03	6.50E-04	2.80E-04	1.70E-04	7.00E-05	2.20E-05
S	4.86E-03	1.16E-03	3.70E-04	1.30E-04	9.40E-05	3.00E-05
SSW	8.87E-03	1.10E-03	3.10E-04	1.70E-04	8.00E-05	3.00E-05
SW	1.58E-03	4.20E-04	1.50E-04	2.70E-04	4.60E-05	2.20E-05
WSW	1.97E-03	3.52E-04	1.08E-04	1.10E-04	3.00E-05	1.40E-05
W	1.52E-03	1.90E-04	4.00E-05	3.00E-05	3.40E-05	6.00E-06
WNW	1.67E-03	3.56E-04	1.08E-04	4.00E-05	2.80E-05	1.00E-05
NW	6.94E-03	6.78E-04	3.60E-04	9.00E-05	3.20E-05	1.40E-05
NNW	7.47E-03	1.89E-03	8.00E-04	4.10E-04	1.00E-04	4.20E-05

注：表中阴影子区为无人子区。

②个人剂量

本项目试验期气态源项所致评价区域内各子区的个人剂量见表 8.2-6。

由该表可知，评价范围内各子区内最大个人有效剂量为 $2.21\times 10^{-4}\text{mSv/a}$ ，出现在 N 方位，0~1km 子区内，该子区为无人子区。在有人子区内，最大个人有效剂量为 $1.90\times 10^{-4}\text{mSv/a}$ ，出现在 WSW 方位，0~1km 的子区内。

表 8.2-6 试验期评价范围各子区公众个人剂量 (mSv/a)

方位	距离 (km)					
	0~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~20
N	2.21E-04	5.81E-05	1.77E-05	7.69E-06	3.33E-06	1.41E-06
NNE	2.07E-04	5.02E-05	6.37E-06	5.56E-06	2.14E-06	1.75E-06
NE	1.21E-04	2.83E-05	5.98E-06	2.56E-06	1.84E-06	1.11E-06
ENE	6.44E-05	5.77E-06	3.21E-06	2.14E-06	8.55E-07	5.56E-07
E	5.07E-05	1.02E-05	2.99E-06	2.05E-06	4.27E-07	2.99E-07
ESE	5.01E-05	1.31E-05	7.69E-06	3.08E-06	1.07E-06	3.85E-07
SE	4.62E-05	9.87E-06	4.19E-06	2.18E-06	8.12E-07	2.56E-07
SSE	7.44E-05	1.39E-05	5.98E-06	3.63E-06	1.50E-06	4.70E-07
S	1.04E-04	2.48E-05	7.91E-06	2.78E-06	2.01E-06	6.41E-07
SSW	1.90E-04	2.36E-05	6.63E-06	3.63E-06	1.71E-06	6.41E-07
SW	3.38E-05	8.98E-06	3.21E-06	5.77E-06	9.83E-07	4.70E-07
WSW	4.21E-05	7.52E-06	2.31E-06	2.35E-06	6.41E-07	2.99E-07
W	3.24E-05	4.06E-06	8.55E-07	6.41E-07	7.27E-07	1.28E-07
WNW	3.56E-05	7.61E-06	2.31E-06	8.55E-07	5.98E-07	2.14E-07
NW	1.48E-04	1.45E-05	7.69E-06	1.92E-06	6.84E-07	2.99E-07
NNW	1.60E-04	4.04E-05	1.71E-05	8.76E-06	2.14E-06	8.98E-07

注：表中阴影子区为无人子区。

③居民集体有效剂量

本项目试验期间气态源项对评价区域内居民产生的集体剂量见表 8.2-7。由表可知，气态源项对评价区域居民产生的集体剂量为 1.75×10^{-4} 人·Sv/a。

表 8.2-7 试验期气态源项所致 20km 范围内的集体有效剂量

距离 (km)	0~1	0~2	0~3	0~5	0~10	0~20
集体剂量 (人·Sv/a)	2.33E-05	5.04E-05	6.07E-05	7.80E-05	1.13E-04	1.75E-04
份额 (%)	13.3	28.8	34.6	44.5	64.3	100

5) 公众辐射环境影响评价

本项目试验期气态源项主要是集液罐、试验厂房和蒸发池释放的 ^{222}Rn ，照射途径为吸入内照射。

本项目试验期气态源项所致评价区域最大个人有效剂量为 1.90×10^{-4} mSv/a，出现在 SSW 方位、0~1km 子区，关键居民点为韩山，最大个人剂量小于本项目设定的剂量约束值。20km 范围内的集体剂量为 1.75×10^{-4} 人·Sv/a。

8.2.1.2 非放射性大气环境影响分析

本项目试验期产生的非放射性大气污染物主要是盐酸罐产生的 HCl 气体，采用《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）推荐的估算模型 AREScreen 进行预测与评价，参数见表 8.2-8。

表 8.2-8 估算模型参数表

参数		取值
城市/农村选项	城市/农村	农村
	人口数（城市选项时）	—
最高环境温度		310.55K
最低环境温度		251.95K
输入烟气温度		281.85K
土地利用类型		耕地
区域湿度条件		平均

盐酸罐 HCl 源项参数见表 8.2-9，经 AREScreen 大气估算模式计算，结果如表 8.2-10 和表 8.2-11 所示。由估算结果可知，HCl 的最大落地浓度出现在 10m 处，HCl 的最大落地浓度为 $0.21\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，贡献值较低，满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）周界外浓度最高点限值要求，即 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。距离盐酸罐最近居民点范新庄处贡献值较小，为 $0.03\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，背景值未检出，叠加以后仍为 $0.03\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，满足《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018）附录 D 中参考限值要求，即 1h 平均 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

表 8.2-9 HCl 废气源项参数

名称	污染物	源强 (kg/h)	排气量 (m^3/h)	排放高度 (m)	出口内径 (m)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)
盐酸罐	HCl	2.41E-5	12	3.31	0.3	9.7

表 8.2-10 大气环境影响估算结果

污染源名称	污染物	Ci ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Coi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pi (%)	距离 (m)
盐酸罐	HCl	0.21	50	0.41	10

表 8.2-11 不同距离处 HCl 浓度贡献值

序号	距离, m	HCl 浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	占标率, %
1	10	0.21	0.415
2	50	0.08	0.169
3	100	0.06	0.119
4	300	0.03	0.057

5	500	0.02	0.044
6	1000	0.01	0.026
7	2000	0.007	0.014
8	3000	0.005	0.009

8.2.2 地下水环境影响分析

8.2.2.1 含矿含水层地下水环境影响分析

1) 地下水影响途径分析

地浸采铀是通过注入井将浸出剂溶液注入含矿含水层，然后从抽出井将浸出液抽至地表进行处理达到回收天然铀的目的。在生产过程中，为了有效控制溶浸范围，需保持抽液量大于注液量，维持一个总体上流向井场中心的降落漏斗，使地浸溶液始终流向抽出井。但由于溶质弥散和扩散作用的影响，不可避免地会出现浸出剂少量流散至井场外的情况。因此，本项目对地下水环境产生影响的主要途径为原地浸出井场中浸出剂向矿体浸出范围之外流散污染地下水。

2) 地下水模拟预测参数设置

本次地下水模拟预测在整理分析试验井场地勘报告、水文地质试验报告的基础上，结合井场试验方案，建立试验井场的水文地质概念模型，利用 GMS 软件进行数值建模与求解，最终完成地浸井场地下水流场和溶质运移场的模拟预测。

(1) 模型范围的确定

本模型建模范围为试验井场及其周边地区，结合地浸采铀试验地下水影响范围及区域水文地质条件，确定本模型的模拟范围为：以试验井场为中心，向地下水下游（东南方向）延伸 1km，上游（西北方向）延伸 0.5km，两侧延伸 0.5km，模拟总面积 1.76km²。

(2) 边界条件的概化

侧向边界：根据评价区水文地质条件，目标含水层的东北和西南两侧边界平行于地下水流方向，无水流交换，概化为零流量边界；东南侧边界和西北两侧边界垂直于地下水流向，概化为通用水头边界。

垂向边界：模型垂向上边界为环河组下段中亚段（ K_1h^{1-2} ）灰色粉砂质泥岩、灰色粉砂岩、灰色泥岩等组成的隔水顶板；下边界为洛河组顶部（ K_{1l} ）顶部浅红灰色粉砂质泥岩、灰色粉砂岩组成的隔水底板。

(3) 含水层结构的概化

根据地质勘探结果，BSK1 矿段含矿含水层为环河组下段下亚段（ K_1h^{1-1} ）含水层，含水层岩性主要为细砂岩及少量的中、粗砂岩，分选性中等，固结程度较疏松，是较好的储水介质。此外，含矿含水层顶、底板均为稳定连续展布的隔水层，隔水性能良好，有效地隔断了与上、下含水层的水力联系，可不考虑越流的影响。因此，本次地下水模拟层位为环河组下段下亚段（ K_1h^{1-1} ）含水层，将其概化为三维水动力流场和三维溶质弥散场。

（4）源汇项概化

本项目源汇项主要为扩大试验井场的试验井，试验共布置 6 组试验单元，包括试验井 18 个，其中抽出井 6 个，注入井 12 个，抽注井间距为 30~40m，单孔抽液量为 $6.0\text{m}^3/\text{h}$ ，模拟试验井场抽大于注比例大于 0.5%。

（5）模拟区剖分

本次预测将模拟区域离散成正交网格，为了更加精确地刻画核素在井场附近的运移情况，在网格剖分的过程中对试验井场区域进行了加密，加密网格的大小为 $5\text{m}\times 5\text{m}$ ，外围非加密网格的大小为 $10\text{m}\times 10\text{m}$ 。本模型共剖分 27891 个网格。网格剖分情况见图 8.2-3。

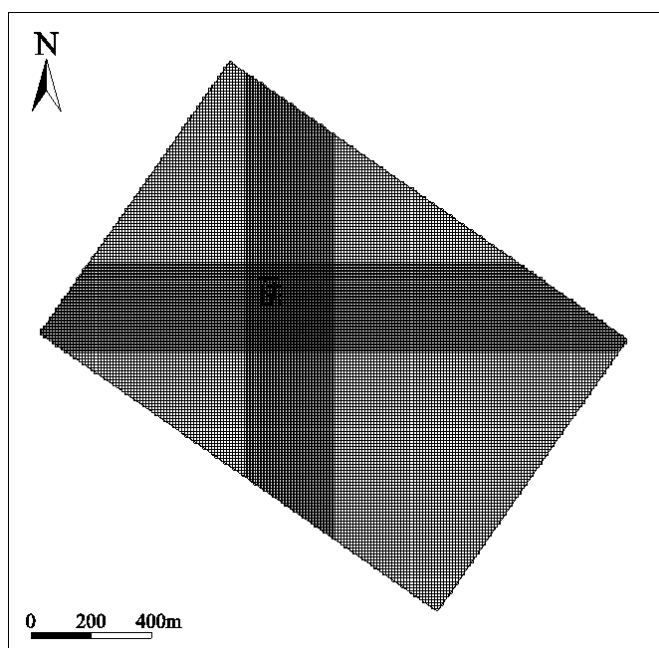


图 8.2-3 模型网格剖分图

（6）顶底板高程

根据收集的模拟区水文地质资料，结合模拟区以往地质、水文地质、地形地貌等资料，获取含矿含水层顶底板高程数据，并将各含水层顶底板高程数据赋值到数值模型中。

（7）参数选取

根据地勘报告，含矿含水层渗透系数为 $1.19\sim 1.28\text{m/d}$ ，保守取最大值 1.28m/d ；有效孔

隙度采取经验值 0.25；弥散度参考 Gelhar L W 等关于纵向弥散度与观测尺度关系的理论计算，纵向弥散度可根据以下经验公式计算：

$$\alpha_m = 0.83 (\log L_s)^{2.414} \quad (8.2-1)$$

$$L_s = \alpha \times K \times I \times T / n_e \quad (8.2-2)$$

式中：

α_m —纵向弥散度，m；

L_s —下游迁移距离，m；

α —变化系数，取 2；

K —渗透系数，保守取最大值 1.28m/d；

I —水力坡度，根据区域水文地质条件，约为 5%；

T —质点迁移参数，取值不小于 5000d，保守取 5000d；

n_e —有效孔隙度，取经验值 0.25。

经计算，下游迁移距离 L_s 为 358m，纵向弥散度 α_m 为 8.0m。此外，横向弥散度的取值通常比纵向弥散度小一个数量级，因此横向弥散度参数值取 0.80m。

（8）评价年限

本次评价对试验期间井场浸出液对地下水的影响进行预测评价，模拟时间为试验期 2a 和试验结束后 3a。

（9）预测因子

本项目地浸试验与纳岭沟扩大试验均采用 $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ 中性地浸工艺，铀矿石同为砂岩类矿石，矿石碎屑物成分均以石英、长石为主，矿石的化学成分类似，主要成分均为 SiO_2 ，其次为 Al_2O_3 、 K_2O 等，因此本次地下水评价的预测源强参考纳岭沟扩大试验浸出液监测数据（表 8.2-12），按照放射性核素、非放射性污染物进行分类确定预测因子。其中，放射性核素选取特征核素 $U_{\text{天然}}$ ，非放射性因子参照《环境影响评价技术导则地下水环境》（HJ610-2016），按照重金属、持久性有机污染物和其他类别进行分类，并对每一类别中的各项因子采用标准指数法进行排序，分别取标准指数最大的因子作为预测因子，最终确定非放射性污染物为 Mn 和 Cl^- 。本试验 $U_{\text{天然}}$ 浓度技术指标值为 $\geq 20\text{mg/L}$ ，预估最大值为 30mg/L ，保守考虑 $U_{\text{天然}}$ 源项浓度取 30mg/L 。Mn 和 Cl^- 源项浓度采用浸出液监测数据，即 1.64mg/L 和 471.8mg/L 。

表 8.2-12 纳岭沟扩大试验浸出液样品监测结果

监测项目	浓度	地下水III类标准	占标率	排序
Mn (mg/L)	1.64	0.1	16.4	1
Cl ⁻ (mg/L)	471.8	250	1.89	2
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	103.7	250	0.41	3
F ⁻ (mg/L)	0.05	1	0.05	4
Cu (mg/L)	0.03	1	0.03	5
Zn (mg/L)	0.009	1	0.01	6
NO ₃ ⁻ (mg/L)	ND	20	0	/
Hg (mg/L)	ND	0.001	0	/
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	2676.4	/	/	/
CO ₃ ²⁻ (mg/L)	ND	/	/	/

3) 预测结果分析

在地下水流场的基础上，对试验期地下水中污染物迁移模拟进行了预测，预测结果如下：

U_{天然}：以 0mg/L 为边界浓度，绘制了试验期末和试验结束后第 3 年时含矿含水层的 U_{天然} 浓度分布图，见图 8.2-5（a）和见图 8.2-6（a）。由图可知，试验期末，U_{天然} 在含矿含水层向下游、侧向及上游的运移距离分别为 65m、53m 和 33m。试验结束后第 3 年，U_{天然} 在含矿含水层向下游、侧向及上游的运移距离分别为 99m、76m 和 43m。

Mn：以 0.1mg/L（III类标准值 0.1 mg/L-最大本底值 0mg/L）为边界浓度，绘制了试验期末和试验结束后第 3 年时含矿含水层的 Mn 浓度分布图，见图 8.2-5（b）和见图 8.2-6（b）。由图可知，试验期末，Mn 在含矿含水层向下游、侧向及上游的运移距离分别为 47m、39m 和 23m。试验结束后第 3 年，Mn 在含矿含水层向下游、侧向及上游的运移距离分别为 76m、55m 和 34m。

Cl⁻：以 70mg/L（III类标准值 250 mg/L-最大本底值 180 mg/L）为边界浓度，绘制了试验期末和试验结束后第 3 年时含矿含水层的 Cl⁻浓度分布图，见图 8.2-5（b）和见图 8.2-6（b）。由图可知，试验期末，Cl⁻在含矿含水层向下游、侧向及上游的运移距离分别为 42m、31m 和 20m。试验结束后第 3 年，Cl⁻在含矿含水层向下游、侧向及上游的运移距离分别为 66m、46m 和 30m。

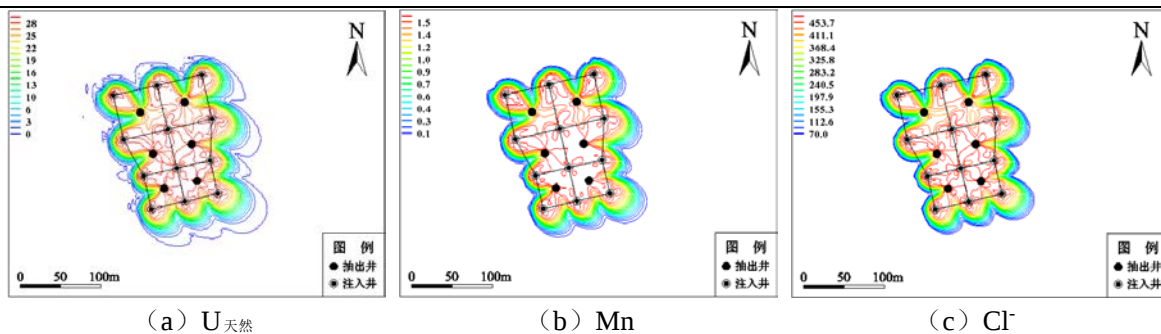


图 8.2-5 试验期末各污染物在含矿含水层的浓度分布图

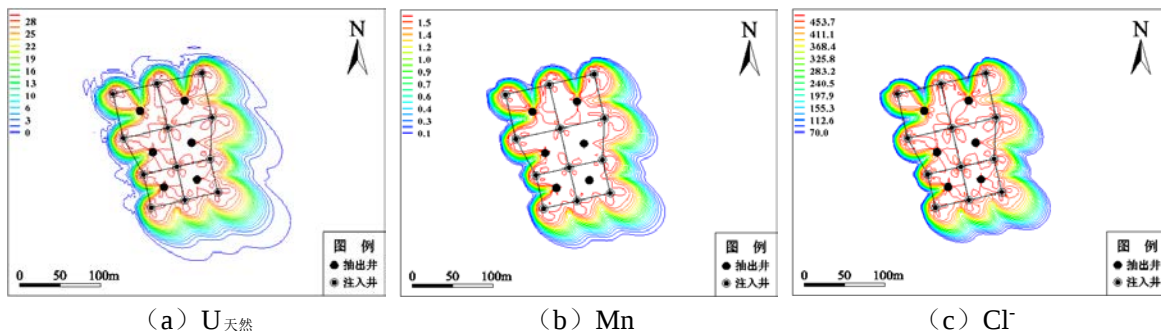


图 8.2-6 试验结束 3a 后各污染物在含矿含水层的浓度分布图

综上所述，在试验结束第 3a 时，含矿含水层中特征污染物 $U_{\text{天然}}$ 、Mn 和 Cl^- 向下游最大迁移距离分别为 99m、76m 和 66m，侧向最大迁移距离分别为 76m、55m 和 46m，上游最大迁移距离分别为 43m、34m 和 30m。此外，由于本项目含矿含水层顶底板均相对稳定，含矿含水层中的地下水越流至潜水层或其他承压水层的可能性很小，对环境的影响不大，也不会对公众造成附加照射剂量。

8.2.2.2 潜水含水层地下水影响分析

本项目可能对潜水含水层产生影响的地表设施主要为蒸发池，为了防止蒸发池废水渗透而污染地下水，蒸发池池底、池壁做防渗漏处理，防渗结构由膨润土防水毯、双层 HDPE 土工膜和 30cm 厚的粘土保护层组成，双层土工膜之间设置网状检漏层，蒸发池结构见图 8.2-7。通过以下计算蒸发池中废水在试验期间的下渗距离：

$$X = K_s \times \frac{(h + L)}{L} \times t \quad (8.2-3)$$

$$K_s = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{M_1 / K_1 + M_2 / K_2 + M_3 / K_3} \quad (8.2-4)$$

式中：

X——蒸发池废水在蒸发池底部防渗层的垂直入渗距离，m；

K_s ——等效渗透系数，cm/s；

h——蒸发池中废水水深，m，保守取最大值 1.5m；

L——等效渗透厚度，m，为 $M_1+M_2+M_3$ ，即 0.007m；

M_1 ——上层 HDPE 土工膜厚度，m，取 0.0015m；

M_2 ——下层 HDPE 土工膜厚度，m，取 0.0015m；

M_3 ——膨润土防水毯厚度，m，取 0.005m；

K_1 ——上层 HDPE 土工膜渗透系数，m/a，取 1×10^{-12} cm/s；

K_2 ——下层 HDPE 土工膜渗透系数，m/a，取 1×10^{-12} cm/s；

K_3 ——膨润土防水毯渗透系数，m/a，根据《钠基膨润土防水毯应用技术规程》（CECS457-2016），取 5.0×10^{-11} cm/s。

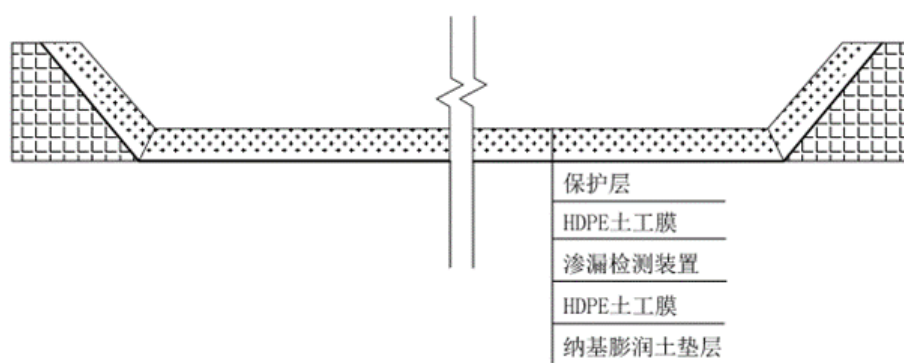


图 8.2-7 蒸发池防渗结构示意图

通过计算可知，防渗层等效渗透系数为 2.58×10^{-12} cm/s，蒸发池中废水在试验期内垂直入渗的距离约为 0.00035m，远小于本项目防渗层等效厚度（0.007m）。因此，在试验期蒸发池溶液不会穿透蒸发池底部人工防渗层，也不会进入地下水。此外，本项目在蒸发池防渗层下设置了渗漏检测装置以便及时发现渗漏，并在蒸发池下游设置了潜水地下水监测井，定期对监测井中的地下水进行取样监测。通过以上多重防御系统，蒸发池对地下水产生污染的可能非常小。

8.2.2.3 上、下层含水层地下水影响分析

本项目地浸钻孔施工过程中采取了严格的质量保证，仅在含矿段设计安装滤水管，并将滤水管以上环状间隙全段水泥封堵。在施工完毕后，将通过物探检测等手段，保证井管的完整性和水泥封堵的可靠性。因此，地浸试验抽注活动中浸出液不会通过井管进入上、下层含水层。含矿含水层顶、底板隔水性能良好，切断了含矿含水层与上、下层含水层之间的水力联系，试验过程中浸出液不会通过隔水层越流对上、下层含水层产生影响。此外，本项目在矿床上层含水层布置了监测井，一旦监测数据异常，可及时停止附近试验井运行，对破损的试验井进行修复或全孔封闭。

综上所述，本项目在施工期和试验期对上、下层含水层均采取了可行有效的污染防范措施，不会对上、下层含水层产生明显影响。

8.2.3 地表水环境影响分析

本项目试验期地表废水包括工艺废水、实验废水和生活污水，试验期产生的地表废水不外排，不会对项目周边的地表水环境产生不良影响。

8.2.4 土壤环境影响分析

1) 预测情景

本项目可能对土壤环境产生影响的设施主要为井场管道和蒸发池，其中井场管道均采用具有足够强度的 PE 管，且各管线埋于冻土层之下，防止管道冻裂。在管线铺设完成后，开展压力测试以保证管线整体的密封性，因此正常工况下不会发生管道破裂泄漏；本项目为了防止蒸发池废水渗透而污染土壤，蒸发池池底、池壁做防渗漏处理，防渗结构由膨润土防水毯、双层 HDPE 土工膜和 30cm 厚的粘土保护层组成，因此正常工况下蒸发池也不会发生废水泄漏。

本项目试验井场和水冶厂紧邻，井场管道较短，发生泄漏概率极小。因此，在非正常工况下，保守考虑假设蒸发池发生泄漏，预测评价其对土壤环境的影响。

2) 预测源强

(1) 泄漏量

非正常工况下，假定蒸发池防渗膜断裂，防渗层被破坏，废水通过裂缝泄漏进入土壤环境造成污染。废水泄漏计算如下式所示：

$$Q = K \times I \times A \quad (8.2-5)$$

式中：

Q —污染物泄漏量 (m^3/d)；

K —垂向渗透系数，根据区域地勘资料为 $0.046\text{m}/\text{d}$ ；

I —垂向水力坡度，此处取 1；

A —泄漏面积，为防渗面积的 1%，即 8.1m^2

综上，通过计算得出蒸发池因防渗层破损发生非正常状况泄漏，泄漏量为 $0.4\text{m}^3/\text{d}$ 。

(2) 预测因子及浓度

根据地浸采铀工艺废水特点，放射性因子选取特征核素 $\text{U}_{\text{天然}}$ ，其浓度保守取 $0.47\text{mg}/\text{L}$ 。

针对非放射性因子的选取，类比纳岭沟扩大试验浸出液监测数据（见表 8.2-12），浸出液中含有较高的因子包括 Cl⁻、Mn 等，《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 15618-2018）中未包含该部分因子的风险筛选值，因此不再选取非放射性评价因子。

3) 预测模型

本次事故工况入渗土壤污染预测方法采用《环境影响评价技术导则 土壤环境（试行）》（HJ964-2018）附录 E 中推荐的预测方法二，即一维非饱和溶质运移模型预测方法。

（1）土壤水流运动模型-Richards 方程

包气带水流运动模型为一维垂向饱和-非饱和土壤水中水分运动方程，如下：

$$\frac{\partial \theta(h)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - s \quad (8.2-6)$$

式中：

$\theta(h)$ ——土壤体积含水率；

h ——压力水头，饱和带大于零，非饱和带小于零；

z 、 t ——分别为垂直方向坐标变量、时间变量；

$K(h)$ ——垂直方向的水力传导度；

s ——源汇项。

（2）土壤溶质运移模型

根据多孔介质溶质运移理论，土壤溶质运移选取一维非饱和溶质运移的数学模型为：

$$\frac{\partial(\theta c)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho s)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta D \frac{\partial c}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial z} (cq) - Asc \quad (8.2-7)$$

式中：

c ——土壤水中污染物浓度；

s ——土壤吸附态污染物浓度；

ρ ——土壤容重；

θ ——土壤体积含水率；

D ——土壤水动力弥散系数；

q ——垂直渗流速率；

Asc ——化学反应项。

4) 预测软件

HYDRUS 可用于模拟水、热、溶质运动在二维和三维非饱和带介质的软件，它可以进行 Richards 非饱和带水流方程及对流—弥散方程的数值计算。一般认为，水在包气带中运移符合活塞流模式。污染物的弥散、吸附和降解作用所产生的侧向迁移距离远远小于垂向迁移距离。本次评价利用 HYDRUS 软件建立垂向一维模型模拟污染物在包气带中的垂向运移情况。

5) 预测参数

根据地勘资料，本项目包气带主要为第四系地层。土壤水力特征参数的确定是研究土壤水分运移的基础，本项目包气带土壤水分特征参数部分来自区域地质资料，部分参考 HYDRUS 软件中 UNSODA 数据库经验值，具体见表 8.2-13。此外，出于保守考虑，不考虑地层对污染物的迁移阻滞作用。

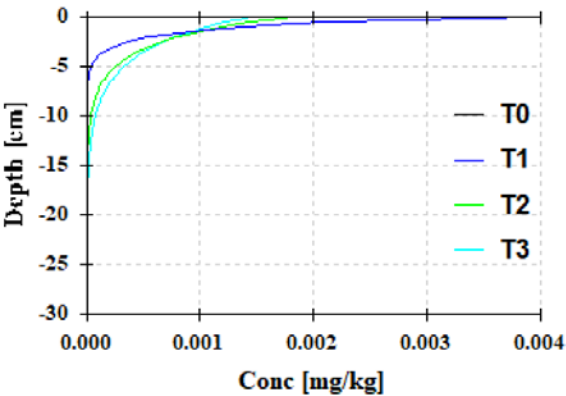
表 8.2-13 土壤水分特征曲线参数一览表

土层类型	H (m)	θ_r	θ_s	$\alpha(1/cm)$	n	$K_s(cm/d)$	l	ρ
第四系沙壤土层	30	0.065	0.41	0.075	1.89	4.6	0.5	1.75g/cm ³

6) 预测结果及评价

将以上参数代入模型计算，时间节点选取 100d、730d（试验期）和 1825d（试验结束后 3a），预测各时间节点下 $U_{\text{天然}}$ 入渗深度。具体预测结果如下：

非正常工况，蒸发池泄漏后 $U_{\text{天然}}$ 在土壤中迁移预测结果见图 8.2-8。由模拟结果可知，污染物发生泄漏后， $U_{\text{天然}}$ 随时间不断向土壤深部迁移，100d、913d 及 2008d 迁移深度依次为 6cm、13cm 和 16cm，未穿透包气带进入地下水。土壤中 $U_{\text{天然}}$ 最大贡献浓度为 0.004mg/kg，远低于本底（2.30~3.19）mg/kg，环境影响较小。



T0: 初始; T1: 100d; T2: 730d; T3: 1825d

图 8.2-8 $U_{\text{天然}}$ 模拟预测结果

综上所述，本项目在非正常状况下发生蒸发池泄漏后，对项目周边土壤环境产生一定程度的影响，但影响程度和影响范围有限，且未穿透包气带进入地下水，也不会对区域地下水环境产生明显影响。

8.2.5 固体废物环境影响分析

8.2.5.1 放射性固体废物环境影响分析

本项目试验期产生的放射性固体废物主要为蒸发池底泥、浸出液过滤残渣、MVR 结晶盐和废旧设备及零配件。蒸发池底泥堆存在蒸发池，浸出液过滤残渣、MVR 结晶盐、废旧设备及零配件收集在固体废物间，不会对项目周边的环境产生不良影响。

8.2.5.2 非放射性固体废物环境影响分析

本项目试验期非放射性固体废物主要为实验室废物和生活垃圾，实验室废物作为一般固废处理，生活垃圾按相关要求收集后定期外运处理，不会对周边环境产生明显影响。

8.2.6 噪声环境影响分析

1) 预测模式

本项目利用三捷环境工程咨询有限公司开发的 BREEZE NOISE 软件进行试验期噪声环境影响预测，该软件以《环境影响评价技术导则声环境》（HJ2.4-2021）中的相关模式要求编制，适用于噪声领域的各个级别的评价。本次评价采用工业噪声预测计算模式，考虑点源几何发散衰减和地面反射。

试验期噪声设备主要为各种风机、空压机、泵等，主要集中在试验厂房内，均属于室内声源。本项目各种设备均选用低噪声环保设备，对风机、泵类及空压机等均采取了有效的隔声、减振措施。本项目风机和空压机噪声 $\leq 90\text{dB(A)}$ ，泵类设备噪声 $\leq 80\text{dB(A)}$ ，噪声预测参数见表 8.2-14。

表 8.2-14 试验期噪声预测参数一览表

序号	声源名称	数量	相对位置, m			声源源强 声功率级 dB(A)	声源类型	控制措施	运行 时段
			X	Y	Z				
1	风机	14	3	-30	10.5	90	室外声源	选用低噪声设备、并进行隔声和减振处理。	试验期
2	泵类	10	0	0	0.5	80	室内声源		
3	空压机	1	-5	20	1.0	90	室内声源		

2) 预测结果

经预测，本项目试验期厂界噪声见表 8.2-15。由预测结果可以看出，试验期噪声源在

厂界处的贡献值为(36.1~41.4)dB(A)，满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中2类标准。本项目水冶厂房最近居民点为范新庄，距离约300m，叠加背景值后的最大预测值分别为昼间50dB(A)和夜间45dB(A)，均满足《声环境质量标准》(GB3096-2008)中昼间≤60dB(A)、夜间≤50dB(A)的2类标准要求。

表 8.2-15 试验期厂界噪声贡献值

单位：dB(A)

预测结果	厂界噪声			
	东	西	南	北
贡献值	41.02	41.05	27.71	29.12
执行标准	《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 昼间 60dB(A)，夜间 50dB(A)			
达标情况	达标	达标	达标	达标

8.2.7 事故环境影响分析

1) 事故的环境影响

本项目放射性气态流出物主要来自试验厂房和集液罐中²²²Rn的排放，²²²Rn的排放量较小，且水冶厂房中各设备、管线均处于密闭状态，气态流出物处于可控状态，不会发生较大的事故。因此，在事故情况下，本项目仅考虑液态流出物的影响。

根据地浸采铀试验的特点及当地环境条件，确定液态流出物的事故排放可能存在以下几种情况：

(1) 事故性的停止试验

试验过程中，除设备维护保养时有计划暂时性停止试验，其余时间并不安排停止试验。由于临时停电、设备故障等事故不可避免还会造成暂时性、非正常停止试验。根据生产经验统计，单次因临时停电、设备故障维修等暂时性停止试验时间最长一般不超过4h，全年累计停产时间不超过5d。在长期的抽大于注试验运行过程中，试验井场地下水已形成地下水降落漏斗。因此，暂时性停止试验，试验井场地下水位处于恢复阶段，试验井场地下水降水漏斗依然存在，抢修时间内基本可以控制浸出液不向外迁移。

(2) 非控制性的抽注失衡

试验过程中，采用抽液量略大于注液量的负不平衡来控制或避免地下浸出液的流散。由于生产控制的波动性，试验中可能发生短暂的抽注失衡。首先，本项目抽、注液管道均设有流量自动检测装置，一旦出现抽注失衡可及时发现。其次，在区域地下水降落漏斗的

水力控制下，短暂的抽注失衡不会使得浸出液流散，即使发生少量的浸出液流散到井场外，也可通过及时增大边界处的抽液量收回流散液。因此，此类事故完全可以在短时间内得到控制，对周围地下水环境影响较小。

（3）事故性的跑、冒、滴、漏

试验过程中，试验厂房内可能发生的事故为出现冒槽或管道的跑、冒、滴、漏等。本项目试验过程中定期对相关区域进行巡视，试验厂房内的各类储池、储罐、管道均设有液位、压力或流量自动检测、报警系统，一旦发生冒槽或管道的跑、冒、滴、漏等情况可及时发现并得到有效控制。此外，厂房内设置了地沟、地坑和事故罐，事故情况下，可将漏失的液体经地沟收集至地坑，然后通过泵返回事故罐中，因此在事故性的冒槽或跑、冒、滴、漏情况下，浸出液对外环境的影响很小。

本项目地坑容积为 1.2m^3 ，事故罐容积为 38m^3 ，主要收集试验厂房内各类管线或槽罐泄漏的液体。根据《建设项目环境风险技术导则》（HJ 169-2018）附录 F 推荐的方法，保守考虑体积最大的沉淀母液贮罐（DN2500×9000）发生泄漏，本项目废水泄漏速率为 6.14kg/s ，废水泄漏时间为 10min ，则泄漏液体体积约 3.68m^3 ，因此本项目设置地坑和事故罐有效容积合计 39.2m^3 ，可满足泄漏液体的收集要求。

（4）井场管道断裂

井场管道断裂一般分为两种情况，一种情况为冰冻冻裂管道，一种情况为受压断裂和破坏断裂。

本项目开采的含矿含水层埋藏较深，浸出液水温可达 28°C ，且各类输送总管道埋深位于最大冻土深度以下，因此冰冻期不会因冰冻造成地下管道破裂。本项目井下管道安装在钻孔中，孔壁与管壁之间用水泥砂浆充填，钻孔特定的设计结构使钻孔管道不存在被破坏的可能。此外，本试验抽注液管道采用具有足够强度的 PE 管，具有足够的抗压能力，不会因受压而断裂。

此外，试验过程中定期检查各类管道，即使因意外原因造成管道泄漏，也可及时发现与更换，采取相应的处理措施，对周围环境的影响很小。

（5）上、下层含水层污染事故

在试验过程中，若发生上、下层监测井数据异常，首先确定与含矿含水层发生水力联系的区域，检查各抽注孔的水位、流量和压力等参数数据及变化情况，若发现某试验井的生产参数存在异常波动，如某水位明显变化、注液量显著增加、注液压力明显降低等，则

提示该孔处可能发生井管破裂，应立即停止该孔的抽注活动及附近试验井的抽注活动，并及时进行井管检修或全孔封闭，隔离其与上含水层之间的水力联系。

（6）蒸发池泄漏事故

由于蒸发池池底土工膜破损，可能造成蒸发池内废水发生少量的泄漏，蒸发池内废水下渗可能对地下水环境造成污染。本项目蒸发池防渗膜下设有渗漏检测系统，一旦发生渗漏可及时检测发现，对于发生泄漏的蒸发池，首先将其中的废水输送至另一蒸发池暂存，然后对泄漏点进行修补，对泄漏产生的池底污染土壤进行清挖、回填新土，然后重新敷设土工膜，经鉴定无渗漏后恢复蒸发池的使用。

2）环境风险评价

本项目涉及的主要危险物质为盐酸，盐酸储存于盐酸罐（15m³），盐酸罐露天布置，四周设 1m 高围堰，围堰内侧做防酸防渗处理。由 1.5.2 小节中 5）可知，本项目大气环境和地下水的环境风险评价工作等级均为简单分析。

（1）环境风险识别

本项目危险物质为试验井场浸出剂配制过程中使用的盐酸。盐酸为无色或微黄色发烟液体，有刺鼻的酸味，具有腐蚀性、强刺激性，可致人体灼伤。浓盐酸具有极强的挥发性，挥发出的氯化氢与空气中的水蒸气作用形成酸雾。接触盐酸蒸气或烟雾，可引起急性中毒，出现眼结膜炎，鼻及口腔膜有烧灼感，鼻孔、牙龈出血，气管炎等。眼和皮肤接触可致灼伤。

（2）环境风险分析

①大气环境风险分析

本项目设有值班人员，盐酸罐如发生泄漏可以在短时间内发现，并对泄漏的盐酸进行收集处理，不会出现盐酸雾长时间在空气中扩散的情况。由于有围堰的阻挡，及时将泄漏的盐酸收集后硫酸雾即停止外排，再通过大气稀释扩散，其产生的影响将会在短时间内得到消散，对周围环境和人员造成的影响是可以接受的。

②地下水环境风险分析

本项目盐酸罐建设在围堰之内，围堰内侧进行防渗层处理，如发生泄漏可通过泵等对盐酸进行回收，泄漏的盐酸不会出现外流或下渗影响地下水的情况，不会对周围地下水环境造成影响。

（3）环境风险防范措施及应急措施

本项目盐酸罐围堰尺寸为 5m×4m×1m，围堰内侧壁及地面均作防渗、防腐处理。除去储罐基础所占空间外，围堰内的有效容积为 15.29m³，可以满足一个盐酸罐（15m³）泄漏溶液贮存量。此外，本项目配有专用的个人防护设施，如空气呼吸器、过滤式防毒面具、化学防护服、安全眼镜、防护手套等；盐酸罐周边设置醒目的安全警示标志、职业危害告知牌、危险源告知牌等。

9 建设项目拟采用的防治措施及预期治理效果

	排放源（编号）		污染物名称	防治措施	预期治理效果	
废气	施工期	柴油发电机	SO ₂ 、NO _x 、颗粒物	环保设备、轻质柴油	满足《大气污染物综合排放标准》限值要求。	
		施工场地	颗粒物	场地洒水抑尘		
	试验期	盐酸罐	HCl	罐口处稀释扩散		满足公众剂量约束值要求。
		集液罐	²²² Rn	罐口处稀释扩散		
		试验厂房	²²² Rn	厂房换气通风		
		蒸发池废气	²²² Rn	自然稀释扩散		
废水	施工期	施工废水	悬浮物、泥沙	场地洒水抑尘	得到恰当处置	
		生活污水	COD、NH ₃ -N	收集后外运处理		
	试验期	工艺废水	U _{天然} 、 ²²⁶ Ra 等	排入蒸发池处理		
		流散浸出液	U _{天然} 、 ²²⁶ Ra 等	抽注比例控制、监测井监控		
		实验废水	U _{天然} 、 ²²⁶ Ra 等	排入蒸发池处理		
		生活污水	COD、NH ₄ -N	依托民宅或化粪池收集外运处理		
固体废物	施工期	钻井泥浆	—	施工中循环利用，最终交由专业化公司处理	得到恰当处置	
		废机油	—	交由具备危险废物处置资质的单位处置		
		施工人员	生活垃圾	收集后外运处理		
	试验期	蒸发池底泥	U _{天然} 、 ²²⁶ Ra 等	蒸发池堆存		
		浸出液过滤残渣		收集在固体废物间		
		MVR 结晶盐				
		废旧设备及零配件				
		实验室废物	手套、口罩等	作为一般固体废物处置		
		试验人员	生活垃圾	依托民宅或收集外运处理		
噪声	施工期选用低噪声设备，并加强各机械设备的检修维护，施工期满足《建筑施工厂界噪声排放标准》（GB12523-2011）要求；试验期选用低噪声设备，并采取隔声减振措施，试验期满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 2 类标准要求。					

生态保护措施及预期效果：

本项目施工过程中严格控制施工占地面积，针对耕地，施工周期尽量避开耕作期，并将耕作层土壤剥离分层堆放遮盖，施工结束后分层回填并及时复垦恢复原种植条件。同时，项目施工大型机械安装必要减震降噪设施，减少施工噪声和振动对动物资源的影响。此外，本项目合理安排施工进度，避免在大风天和大雨天施工，提高施工效率，缩短施工时间，

减少水土流失发生的可能。因此，本项目的建设不会对周边生态环境造成明显影响。

10 环境保护设施及环境保护投资一览表

序号	分类	环境保护设施	内容	投资估算（万元）
一	废气	环保设备、轻质柴油、洒水抑尘	扬尘处理	1
		厂房通风	氨气处理	30
二	地下水	井场监测井	浸出液流散预防措施	460
		蒸发池监测井	蒸发池废水泄漏预防措施	10
三	废水	MVR 蒸发设备	吸附尾液处理	100
		蒸发池	工艺废水处理	32
		化粪池	生活污水处理	1
四	噪声	低噪设备、隔声挡板、设备维护保养	噪声防治	10
五	固体废物	泥饼池	钻井泥浆处置	10
		废机油桶、防渗膜、处置	废机油处置	2
		固体废物间	暂存浸出液过滤残渣、洗井残渣、废旧设备及零配件和 MVR 结晶盐等固体废物。	3
		危废间	暂存危险废物	2
六	生态恢复	绿化、复垦	钻孔施工场地及管线施工后的植被恢复	10
七	监测	流出物及环境监测	施工期环境监测、 试验期流出物及环境监测	60
合计				731

11 环境管理与监测计划

11.1 环境管理机构

中核通辽铀业有限责任公司作为本项目的建设单位，该公司配有安全环保管理人员，全面负责本项目施工期和试验期的管理、监测和检查等工作，并确保各项环保设施的正常运行。其主要职责包括：

- 1) 合理安排施工计划，确保文明施工。
- 2) 对项目实施过程中存在的环境污染问题予以及时纠正，确保各项环保措施的落实。
- 3) 制定环境管理规章制度，定期检查环保设施的运行情况，维护环保设施的正常运转。
- 4) 定期开展项目的流出物及环境监测工作。

11.2 监测计划

11.2.1 施工期监测计划

本项目施工期不涉及流出物监测，施工期环境监测计划见表 11.2-1。

表 11.2-1 施工期环境监测方案

序号	监测介质	监测位置	监测频次	监测项目
1	空气	施工场界四周	1 次/季度（施工时）	TSP、NO _x 、SO ₂
2	地下水	①试验井； ②井场监测井。	试验开展前，开展 1 次地下水取样监测。	U _{天然} 、pH、Cl ⁻ 、Mn
			试验开展前，开展第 2 次地下水取样监测，与第一次至少间隔 1 个月。	U _{天然} 、 ²²⁶ Ra、 ²¹⁰ Pb、 ²¹⁰ Po、总 α、总 β、pH、K ⁺ 、Na ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 、CO ₃ ²⁻ 、HCO ₃ ⁻ 、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 、氨氮、NO ₃ ⁻ 、NO ₂ ⁻ 、As、Hg、Cr ⁶⁺ 、Zn、Cu、Pb、Cd、Fe、Mn、Mo、总溶解性固体、总硬度、F ⁻ 、COD _{Mn} 。
3	噪声	施工场界四周	1 次/季度（施工时）	昼夜等效连续 A 声级

11.2.2 试验期监测计划

根据《铀矿冶辐射环境监测规定》（GB 23726-2009）要求，试验期监测计划如下：

1) 流出物监测

为及时掌握和控制流出物排放对环境的影响，对产生放射性流出物的设施、部位实施监测。本项目流出物监测计划详见表 11.2-2。

表 11.2-2 流出物的监测计划

序号	监测介质	监测点位	监测项目	监测频次
1	废气	集液罐排气孔	²²² Rn及其子体	1次/季度
2		试验厂房排风口		
3		盐酸罐下风向 10m 处	HCl气体	1次/年

2) 常规环境监测

本项目试验期环境监测计划见表 11.2-3。

表 11.2-3 试验期常规环境监测计划

序号	监测介质	监测位置	监测项目	频次
1	空气	①水冶厂下风向边界处； ②居民点：范新庄、韩山； ③对照点：塔李村。	^{222}Rn 及其子体	1 次/季度
2	陆地 γ	同 ^{222}Rn 监测点位。	γ 辐射空气吸收剂量率	1 次/半年
3	地下水	①居民点：韩山； ②对照点：塔李村。	$\text{U}_{\text{天然}}$ 、 ^{226}Ra 、 ^{210}Pb 、 ^{210}Po 、 总 α 、总 β	1 次/半年
		①井场监测井；	$\text{U}_{\text{天然}}$ 、pH、Mn、 Cl^-	1 次/季度
		②蒸发池监测井。	^{226}Ra 、 ^{210}Pb 、 ^{210}Po	1 次/半年
4	土壤	①居民点：韩山； ②对照点：塔李村。	$\text{U}_{\text{天然}}$ 、 ^{226}Ra 、Cu、Zn	1 次/半年
5	生物 (玉米)	①居民点：韩山； ②对照点：塔李村。	$\text{U}_{\text{天然}}$ 、 ^{226}Ra 、 ^{210}Pb 、 ^{210}Po	1 次/年

11.3 测量方法及仪器设备

监测方法应优先选用国家标准和生态环境部发布的行业标准中监测方法，若行业标准中明确标明代替国家标准，则采用该行业标准（HJ）；若无行业标准，则采用核工业标准（EJ），本项流出物和环境监测方法见表 11.3-1。

表 11.3-1 推荐监测方法及仪器设备

监测项目		监测方法	仪器设备
空气	氡气浓度	HJ 1212-2021	测氡仪
	氡子体浓度	EJ 378-1989	氡子体测量仪
	HCl	HJ 549-2016	离子色谱仪
γ 辐射空气吸收剂量率		H1157-2011	γ 辐射剂量率仪
地下水	$\text{U}_{\text{天然}}$	HJ 700-2014	激光荧光铀分析仪/微量铀分析仪
	^{226}Ra	GB/T 11214-1989	镭氡分析仪
	^{210}Po	HJ 813-2016	α 能谱仪
	^{210}Pb	HJ 1323-2023	α/β 测量仪
	总 α	HJ 898-2017	低本底 α 、 β 测量仪
	总 β	HJ 899-2017	
	pH	GB/T 6920-1986	酸度计
	Cl^-	HJ 84-2016	离子色谱仪
	Mn	HJ 700-2014	质谱仪
土壤	$\text{U}_{\text{天然}}$	GB/T 14506.30-2010	质谱仪
	^{226}Ra	GB/T 16145-2022	高纯锗多道 γ 能谱仪

	Cu	GB/T 14506.30-2010	质谱仪
	Zn		
生物	U _{天然}	GB/T 14506.30-2010	质谱仪
	²²⁶ Ra	GB/T 16145-2022	高纯锗多道 γ 能谱仪
	²¹⁰ Pb		
	²¹⁰ Po	HJ 813-2016	α 能谱仪

11.4 监测机构

本项目试验期间流出物及环境监测工作由通辽铀业公司委托有资质单位开展监测。

11.5 监测质量保证

环境监测质量保证是环境监测计划的必不可少的重要组成部分，为了保证监测数据准确可靠，监测过程严格执行《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和各环境要素监测技术规范，以保证获得的测量结果和评价结论使当时的和以后的主管部门和使用部门确信是正确的。

针对本项目特点，在监测过程中应注意：

1) 人员

对于从事监测的人员在工作作风、专业知识、技术水平等方面予以规定，通过培训和考核并获得合格证后才能上岗。

2) 采样的质量控制

样品采集尽量采用标准方法或公认方法，采样布点合理、有代表性，部分样品采集平行样。

采样方法、采样设备调整、样品包装、运输、保存、现场处理、贮存以及采样记录资料，严格执行有关规定。

3) 样品的分析测试

分析测量方法尽量采用国家已颁布的标准方法；没有国家标准的，采用行业通用方法或经实际样品考核成熟的分析方法，并用标准物质进行校验。

分析测量仪器和设备按规定定期送计量部门进行校验和刻度。对于监测仪器，若发现异常情况，随时进行校验；对有质疑的样品，进行双样分析测定或重新取样测定。

为提高分析结果的可靠性，定期或不定期与其他权威实验室进行样品分析比对；有的样品必要时送出外检，以保证样品分析测量结果的质量和准确性。

分析结果均用专用表格填报，分析数据报表均经采样人员、制样人员、分析测量人员

签字，最后经审核人签字后留存和上报。

采集的样品要有一部分长期保留，以便随时抽检。

4) 实验室分析质量的内部控制中包括空白试验、校正曲线核查、仪器设备校正、平行样测定、加标样和密码样测定、质量控制图编制。外部控制包括实验室之间的分析比对或交叉核查，参加可以溯源到国家标准的实验室间的比对。

5) 监测报告中要完整和准确地保留全部原始数据，保留样品容量的信息。数据处理应采用标准方法，所有计算步骤、计算机程序都经过复审和验证，并载入记录文件。

6) 监测计划和采取的质量保证措施应有书面执行程序，并经审核批准后才能实施。文件的格式、术语应具备后人可读性；文件内容应包括从监测方案到结论各部分的详尽描述；并建立文档备份、呈交、保存制度。

7) 设立质量保证机构，配备专职或兼职监测人员。质量保证机构的职权包括审查监测计划和质量保证的书面程序；监督实施监测过程的质量保证措施；复查监测数据；建立完整的文件档案等项任务。

12 退役治理与长期监护

本项目的实施，存在试验成功与失败两种情形。

1) 如果试验成功，需采取以下环保措施：

(1) 本项目试验成功后，在地浸工程前的可行性研究阶段及施工阶段，会继续保持本项目的运行，一方面可充分回收铀，另一方面通过井场运行来控制浸出液迁移扩散范围，并严格按照相关环保要求，保留并维持所有环境保护设施正常运行。

(2) 在地浸采铀工程的设计阶段，将统筹考虑镇原铀矿整体开发事宜，在满足资源高效利用的同时，尽可能紧挨本试验场地选址，试验的设施尽量用于地浸采铀工程的建设。

(3) 在地浸工程开始后，本试验将会被纳入其中。本试验拆除的设施及设备尽量用于地浸工程的设施建设，无法利用的暂存于地浸工程的固体废物库。

(4) 本项目试验井场将纳入地浸工程的井场，与地浸工程井场的退役治理统筹考虑。

2) 如果试验失败，需采取以下环保措施：

如果试验失败，由中核通辽铀业有限责任公司对地表设施和环境进行全面污染调查，确定其是否受到污染或污染范围及程度，并在源项调查期间和正式退役治理前，继续采取抽大于注的措施，以控制浸出液迁移扩散范围。根据源项调查的污染情况立即进行退役治理。

12.1 退役治理

1) 退役目标

根据原地浸出采铀的工艺特点，退役管理目标值主要根据《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》（GB23727-2020）确定。

(1) 土壤中 ^{226}Ra 残留量控制值：土地去污整治后，任何 100m^2 范围内土层中 ^{226}Ra 的平均活度浓度扣除当地本底值后不超过 0.18Bq/g ，可无限制开放或使用。

(2) 地下水修复控制值：本试验井场地下水修复后，地下水水质达到国家相关标准要求。

(3) 放射性表面污染控制水平：项目中无利用价值的金属设备、管线等经去污处理后，其表面 α 、 β 放射性水平分别降低至 0.08Bq/cm^2 和 0.8Bq/cm^2 时，经防护部门监测许可后，可在一般工业中使用（食品工业除外）；设备、管线在运输过程中，根据《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》（GB23727-2020），其包装容器和运输车辆外 α 表面污染水平 $\leq 4\text{Bq/cm}^2$ 、 β 表面污染水平 $\leq 40\text{Bq/cm}^2$ 。

2) 退役治理方案

退役治理分为地表工程退役治理和地下水修复两个部分。

(1) 地表工程

①井场钻孔的封闭：拆除各井孔上的设备，对钻孔进行清理，最后用混凝土注浆由下往上进行全孔封堵。井场地下水修复完成和钻孔封闭后，达到无限制开放使用深度。

②试验场地的治理：本项目试验厂房内地面做防渗处理，集配液罐和盐酸罐均坐落在防渗围堰内，试验过程中不会对试验场地土壤产生影响。退役治理过程中，首先对试验场地进行全面源项调查，根据调查结果，将不满足“任何 100m²范围内土层中 ²²⁶Ra 的平均活度浓度扣除当地本底值后不超过 0.18Bq/g”要求区域的污染土壤挖除，并覆土和植被，恢复生态环境，实施后达到无限制开放使用深度。

③蒸发池的治理：本项目试验期较短，蒸发池底泥放射性水平较低。退役治理过程中，首先对蒸发池区域进行全面源项调查，根据调查结果，将少部分不满足“任何 100m²范围内土层中 ²²⁶Ra 的平均活度浓度扣除当地本底值后不超过 0.18Bq/g”要求的底泥挖除，然后对蒸发池区域进行覆土和植被，恢复生态环境，实施后达到无限制开放使用深度。

④污染建构筑物的治理：主要为试验厂房，先进行建构筑物去污，然后拆除地面基础及地上建筑，产生的放射性废物送至相关管理部门许可的放射性废旧金属处理单位处理，非放射性废物后作为一般建筑垃圾运至垃圾填埋场处理。

⑤污染设施及设备治理：退役治理产生的设施及设备尽量用于其他地浸工程的设施建设，无利用价值的设施及设备经去污处理后，其表面 α 、 β 放射性水平分别降低至 0.08Bq/cm²和 0.8Bq/cm²时，可在一般工业中使用（食品工业除外）；对于去污治理后，仍不能满足上述限值时，非金属材质设施及设备运至就近废物集中堆放场所，金属设施及设备送至相关管理部门许可的放射性废旧金属处理单位处理。

(2) 地下水修复

地下水修复是指采用合适的物理、化学以及生物等方法，使地下水环境得到恢复或接近原有水平。本项目在试验过程中，将开展镇原铀矿的地下水修复前期研究工作，定期整理分析相关生产参数，开展相关室内试验，为地下水退役治理提供资料支撑和技术支持。此外，本项目还将适时跟进国内外地浸采铀地下水修复相关研究进展，并及时制定地下水修复计划。若试验失败，则意味着该项目试验期铀矿浸出效果不佳，试验对地下水环境影响较小，则地下水修复工艺相对简单。结合国内外地浸采铀修复研究进展和本试验环境特点，选择技术经济可行的地下水修复方案开展地下水修复。

12.2 长期监护

本项目退役后，应按照《铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定》（GB 23727）和《铀矿冶设施退役环境管理技术规定》（GB 14586），以废物集中化和最小化为原则，通过工程技术手段尽可能减少放射性固体废物的产生量，对于最终产生的少量放射性固体废物运至就近废物集中堆放场所。因此，本项目退役后无需进行长期监护。

13 结论与建议

1、结论

1) 项目概况

本项目为甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地浸采铀试验研究项目,位于甘肃省庆阳市镇原县,研究周期为 2 年。项目总投资 6629 万元,其中环保投资 731 万元。现场建设内容主要为地浸采铀试验。

2) 工程分析结论

(1) 工艺流程

本项目采用原地浸出采铀工艺,浸出工艺为中性浸出,浸出剂为 CO_2+O_2 。井场工艺流程主要包括吸附尾液过滤、二氧化碳注入、集控室注液分配和混氧、溶浸液注入含矿含水层、浸出液输送集液等环节;浸出液处理工艺流程主要包括过滤、吸附、淋洗、转型、合格液酸化、沉淀、压滤等工序,最终得到“111”产品。

(2) 污染物的产生及处理

废气:本项目气载流出物主要来自集液罐、试验厂房和蒸发池, ^{222}Rn 的释放量分别为 $2.35\times 10^{10}\text{Bq/a}$ 、 $2.06\times 10^{10}\text{Bq/a}$ 和 $1.53\times 10^9\text{Bq/a}$ 。集液罐释放的氡气在罐口处稀释扩散,试验厂房主要通过厂房整体通风后排入大气稀释扩散,蒸发池通过大气自然稀释扩散;本项目非放射性废气主要为施工扬尘和试验期盐酸罐盐酸挥发产生的 HCl 气体,经预测, HCl 的最大落地浓度出现在 10m 处, HCl 的最大落地浓度为 $0.21\mu\text{g}/\text{m}^3$,贡献值较低,满足《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)周界外浓度最高点限值要求,且对最近居民点范新庄处贡献值较小,满足《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ 2.2-2018)附录 D 中参考限值要求。

废水:本项目废水主要为工艺废水、流散浸出液和实验废水。工艺废水中采用蒸发池和 MVR 装置处理,实验废水排入蒸发池处理;流散浸出液通过设置井场抽大于注比例来控制,并设置监测井及时发现浸出液在含矿含水层中的逸散;非放射性废水主要为施工废水、施工人员和试验人员生活污水,分别通过场地洒水抑尘、外运或依托民宅处理。

固体废物:本项目产生的固体废物主要为钻井泥浆、蒸发池底泥、浸出液过滤残渣、废旧设备及零配件、MVR 结晶盐、废机油、实验室废物以及生活垃圾。钻井泥浆委托专业化公司定期拉运处理;蒸发池底泥暂存于蒸发池,浸出液过滤残渣、废旧设备及零配件和 MVR 结晶收集在固体废物暂存间;实验室废物作为一般固体废物处理,废机油通过专用桶

收集后定期交由具备危险废物处置资质的单位处置；生活垃圾集中收集后外运处理。

噪声：本项目噪声源主要为施工期钻机、柴油发电机，以及试验期水冶厂的风机、水泵及空压机等，单机噪声源强均小于 90dB（A）。对于噪声的防治，各种设备均选用低噪声环保设备，并采取有效的隔声、减振措施。

3) 环境质量现状调查结论

本项目环境质量现状 γ 辐射空气吸收剂量率、空气中氡及其子体、地下水以及土壤中放射性水平与区域本底水平基本相当；生物指标均满足《食品中放射性物质限制浓度标准》（GB14882-94）的限值要求；农用地土壤非放射性监测因子满足《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB15618-2018）标准要求；声环境满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类标准要求；含矿含水层地下水中非放射性指标总体满足《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017）中 III 类标准。

4) 环境影响分析结论

（1）施工期环境影响分析

施工期产生的废气、废水、噪声、固体废物等对周围环境的影响较小，且施工期的环境影响只是暂时的，随着施工期的结束，影响即会消失。

（2）试验期环境影响分析

大气环境影响：本项目 ^{222}Rn 释放所致周边关键居民点为评价中心 SSW 方位 0.3km 处的韩山，空气中 ^{222}Rn 为 $8.87 \times 10^{-3} \text{Bq/m}^3$ ，公众个人剂量最大值为 $1.90 \times 10^{-4} \text{mSv/a}$ ，远低于 0.01mSv/a 剂量约束值的要求，不会对该居民点造成明显影响；盐酸罐排放的 HCl 气体最大落地浓度占标率为 0.41%，出现在 10m 处，非放射性污染物排放对环境的影响较小。

地下水环境影响：在试验结束后 3a 时，含矿含水层中特征污染物 $\text{U}_{\text{天然}}$ 、Mn 和 Cl^- 向下游最大迁移距离分别为 99m、76m 和 66m，侧向最大迁移距离分别为 76m、55m 和 46m，上游最大迁移距离分别为 43m、34m 和 30m。此外，由于本项目含矿含水层顶底板均相对稳定，含矿含水层中的地下水越流至潜水层或其他承压水层的可能性很小，对环境的影响不大，也不会对公众造成附加照射剂量。

地表水环境影响：试验期产生废水不外排，不会对项目周边地表水环境产生不良影响。

土壤环境影响：在蒸发池泄漏发生后， $\text{U}_{\text{天然}}$ 在 100d、730d（试验期）和 1825d（试验结束后 3a）迁移深度依次为 6cm、13cm 和 16cm，最大贡献浓度为 0.004mg/kg，均低于本底值，环境影响较小。

固体废物环境影响：本项目试验过程中产生的浸出液过滤残渣、废旧设备及零配件和MVR 结晶盐收集在固体废物暂存间，蒸发池底泥暂存在蒸发池，实验室废物作为一般固废处理，生活垃圾集中收集后外运处理，不会对周围环境产生影响。

声环境影响：本项目试验期噪声源位于室内，在采取各种减震降噪措施，并经过房屋阻隔和距离衰减后，厂界可以达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 2 类标准，且不会对居民点声环境产生明显影响。

5) 项目可行性结论

本项目产生的污染物均采取了有效的防治措施，污染物处置措施合理，生态保护措施可行。试验项目运行过程中对地下水、大气、声环境、生态等环境的影响可以接受，公众受照剂量满足剂量管理目标值的要求。项目正常运行情况下，对环境的影响很小，事故情况下环境的影响可以接受。因此，从环境保护角度分析，本项目的实施是可行的。

2、建议

1) 项目建设应严格执行工程基本建设程序和“三同时”制度，环保设施做到与主体工程同时设计、同时施工、同时投产。

2) 按照本项目实施方案要求，实施监测井的施工，在生产过程中，确保抽大于注并定期对监测井进行取样监测，发现地下水异常立即采取相应措施。

附录 1 估算模式计算公式及参数

一、大气扩散模式

UAIR-FINE 软件大气扩散模式采用美国 EPA 开发、生态环境部推荐使用的 AERMOD 模型，该模型为基于新一代边界层理论的高斯扩散模型。

AERMOD 中既适用于 CBL 也适用于 SBL 的通用浓度公式为：

$$C_{\tilde{u}}\{x, y, z\} = (Q / u) p_y\{y, x\} p_z\{z, x\}$$

式中：

Q—源强，即污染物单位时间排放量；

$\tilde{u}$ —有效风速；

p_y 、 p_z —概率密度函数 pdf，分别表示横向和垂直方向的浓度分布。

1) 对流条件下 CBL 中的浓度

对于本项目来说，主要考虑地面直接源对下风向浓度的影响，其浓度计算公式为：

$$c_d\{x_r, y_r, z_r\} = \frac{Q f_p}{\sqrt{2\pi}\tilde{u}} F_y \cdot \sum_{j=1}^2 \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\lambda_i}{\sigma_{zj}} \left[\exp\left(-\frac{(z - \Psi_{dj} - 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + \Psi_{dj} + 2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right) \right]$$

式中：

$$\Psi_{dj} = h_s + \Delta h_d + \frac{\bar{w}_j x}{u}$$

u—排气筒出口处风速；

F_y —考虑烟羽迂回的横向分布函数， $F_y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_v} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_v^2}\right)$ ；

j=1 或 2，分别代表上升和下沉部分。

2) 稳定条件下 SBL 中的浓度

$$c_s\{x_r, y_r, z\} = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}\tilde{u}\sigma_{zs}} F_y \cdot \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left[\exp\left(-\frac{(z - h_{es} - 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zs}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + h_{es} + 2mz_{ieff})^2}{2\sigma_{zs}^2}\right) \right]$$

式中：

z_{ieff} —有效机械混合层高度；

h_{es} —烟羽高度（烟囱高度加烟气抬升高度）；

F_y —横向分布函数（有迂回）。

在机械混合层高度之上，湍流一般较弱，因此，烟羽的垂直混合也比较小。

AERMOD 定义了一个有效机械混合层高度 z_{ieff} ，按下式限定烟羽反射的最大高度：

$$z_{ieff} = MAX[h_{es} + 2.15\sigma_{zs}\{h_{es}\}, z_{im}]$$

当 $z_r \geq z_{ieff}$ 时，不考虑有效反射面。

3) 污染物扩散过程中的衰减作用

本项目排放的污染物为放射性核素，在扩散过程中由于放射性衰变会造成核素浓度的衰减，其衰减作用公式如下：

$$D = \exp\left[-\psi \frac{x}{u_s}\right] \quad (\psi > 0)$$

$$\text{或 } D = 1 \quad (\psi = 0)$$

$$\psi = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

式中：

ψ —污染物的衰减系数；

$T_{1/2}$ —污染物的半衰期，s。

4) 面源计算模式

对于面源，AERMOD 采用数值积分的处理方法，计算公式如下：

$$\chi = \frac{Q_A K V D}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-0.5\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]$$

式中：

Q_A —面源释放率， $g/m^2 \cdot s$ ；

K —单位转换系数；

D —污染物衰减项；

σ_y —水平扩散系数，m；

σ_z —垂直扩散系数，m；

u_s —排放源高度处的风速，m/s；

V —垂直扩散项，与污染源高度、受体点高度、烟气抬升、混合层高度、重力沉降与干沉降等因素有关。

根据面源与计算点的距离，AERMOD 采用三重优化整合 Romberg 积分、两点高斯数值积分、点源趋近这三种方法进行积分运算。

二、剂量估算模式

本项目照射途径主要为空气吸入内照射，计算考虑的放射性核素主要为 ^{222}Rn 。

1) 公众个人剂量

$$D_{Rn}^a = T \cdot C_{Rn} \cdot DF_{Rn}$$

式中：

C_{Rn} — ^{222}Rn 浓度， Bq/m^3 ；

T — 受照时间，h，全年取 8760h；

DF_{Rn} — ^{222}Rn 及其子体剂量转换因子，取 $2.44 \times 10^{-6} \text{mSv/Bq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

2) 公众集体剂量

集体剂量估算与评价范围及评价范围内的人口数有关，计算公式如下：

$$S = \sum_{i=1}^{96} (E_i \times R_i)$$

式中：

S — 集体剂量， $\text{Sv} \cdot \text{人/a}$ ；

E_i — i 子区的个人剂量代表值， Sv/a ；

R_i — i 子区的人口数，人。

预审意见：

公 章

经办人：

年 月 日

下一级环境保护行政主管部门审查意见：

公 章

经办人：

年 月 日

审批意见：

经办人：

公 章

年 月 日

注 释

一、本报告表应附以下附件、附图：

附件 1 立项批准文件

附件 2 其他与环评有关的行政管理文件

附图 1 项目地理位置图（应反映行政区划、水系、标明排污口位置和地形地貌等）

附图 2 项目平面布置图

二、如果本报告表不能说明项目产生的污染及对环境造成的影响，应进行专项评价。根据建设项目的特点和当地环境特征，应选下列 1--2 项进行专项评价。

1.大气环境影响专项评价

2.水环境影响专项评价（包括地表水和地下水）

3.生态影响专项评价

4.声影响专项评价

5.土壤影响专项评价

6.固体废物影响专项评价

以上专项评价未包括的可另列专项，专项评价按照《环境影响评价技术导则》中的要求进行。

附件

附件 1: 《关于甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地浸采铀试验研究科研项目立项的批复》，中核铀发〔2025〕198 号，中核铀业有限责任公司，2025 年 4 月；

附件 2: 环境影响评价委托书；

附件 3: 《甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地浸采铀试验研究环境质量现状监测（2024HYYFX-01803）》，核工业北京化工冶金研究院，2024 年 10 月；

附件 4: 《甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地浸采铀试验研究环境质量现状监测（2025 HYYFX-01272）》，核工业北京化工冶金研究院，2025 年 2 月。

中核铀业有限责任公司文件

中核铀发〔2025〕198号

关于甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段 地浸采铀试验研究科研项目立项的批复

中核通铀业有限责任公司：

你公司上报的《关于开展镇原铀矿 BSK1 矿段地浸采铀试验研究的请示》（通铀发〔2025〕33 号）收悉。经专家会审查和中核铀业第三次司务会审议，决定同意项目立项，现将有关事项批复如下：

一、研究目标

针对镇原铀矿 BSK1 矿段砂岩型铀矿地质条件和赋矿特性，从井网布局、钻成井技术、矿石高效浸出等方面突破制约该矿床开发技术难题。充分论证矿床开发工艺的可行性，降低

-1-

技术与投资风险。项目研究工作分为两个阶段。第一阶段研发基于复杂地貌形态地浸井场科学开拓技术、深部钻成井技术与井斜控制、厚大矿层高效浸出技术和浸出液处理技术，初步评价镇原铀矿 BSK1 矿段地浸开采的技术可行性。第二阶段根据前期研究结果适当扩大试验规模，对镇原铀矿 BSK1 矿段砂岩型铀矿地浸采铀工艺进行技术评价，获取工业生产所需要的技术指标及运行控制参数，为工业化开采提供技术支持。

二、主要研究内容及实施方案

(一) 基于复杂地貌形态的地浸井场科学开拓技术研究

结合地质及水文地质条件、矿体空间结构、地形地貌等，研究复杂地貌形态控制的井网布置技术，构建基于深部矿层精准控制条件下的地表非规则井网结构；研究复杂地貌形态控制的地表管网及井场控制技术；研究深部矿层浸出条件下精细地质-水文地质结构模型、地浸井场溶浸过程模型，构建基于铀溶浸过程关联关系模型，预测铀浸出、溶浸范围、铀浓度和浸出率的关系。

(二) 深部钻成井技术与井斜控制技术研究

BSK1 矿段矿体埋藏深度大，地质结构复杂，项目拟采用二次成井工艺，一次成井主要包括裸眼钻进、测井、套管安装和水泥固井等，二次成井主要包括溶浸通道位置设计、开启、过滤器安装和洗井等工艺。针对该矿床复杂地貌形态，开展深部钻成井与井斜控制技术研究。从钻进安全、钻进与成井效率

和孔斜控制等方面,研究适合深部矿层的地浸工艺钻孔钻具组合。综合考虑钻具的损耗、关键设备、燃料动力消耗等指标,设计深部钻孔施工整体配套方案,优选一套适用于深部地浸井场快速成井的工艺方法和配套工艺设备。

(三) 低品位厚大矿层高效浸出技术研究

开展岩矿工艺矿物学研究,对岩心样品进行分析,得到相关矿物形态、赋存形式等物理化学特征,通过化学成分及特征元素化学分析,研究其中不同矿物元素含量,查明矿石中四六价铀比值及放射性平衡系数。开展岩矿物性参数测试研究,分析岩心样品孔隙度、气体渗透率、孔喉半径及其分布等渗透特性性质。利用扫描电镜、电子探针技术,从微观上研究矿石中铀的存在形式及赋存特征,次生矿物及与地浸密切的相关矿物赋存状况。

开展酸法和 CO_2+O_2 搅拌浸出试验研究。通过搅拌浸出试验,初步评价矿石的酸法和 CO_2+O_2 浸出性能,根据浸出率、矿岩和吨金属原材料消耗等指标,基本确定柱浸试验浸出剂及其配方。开展柱浸试验研究,根据搅拌浸出试验结果确定开展酸法柱浸试验或 CO_2+O_2 柱浸试验。通过柱浸试验,依据浸出技术指标结合矿石特性和工艺矿物学研究综合评价矿石的浸出特性。

开展高效浸出试验研究,针对低品位厚度矿层开展氧气、二氧化碳高效利用技术研究。根据现场试验铀浸出效果针对性

开展氧化剂协同浸出试验研究。根据现场试验水动力场变化及钻孔抽注液能力开展高效快采技术研究,系统评价矿石高效浸出性能。

CO₂+O₂原地浸出采铀工艺注入气体作溶浸剂,生产过程仍然会对地下水环境造成一定影响。自然衰减技术已被众多学者当作 CO₂+O₂地浸铀矿山地下水修复的潜在方案,本次研究将综合利用室内实验、现场监测与数值模拟等手段,研究区内砂岩矿物组成特点与水化学特征,确定典型地下水污染组分类型与空间分布特点;识别典型组分迁移规律及时间变化趋势;揭示典型组分自然衰减主控过程;量化预测自然衰减修复时间,研究特定场地条件下自然衰减技术的可行性。

(四) 非典型水化学条件下浸出液处理技术研究

针对非典型水化学条件下矿石浸出液,开展实验室吸附树脂选型试验研究、吸附参数试验研究,绘制吸附曲线,验证树脂吸附交换容量、饱穿比等参数。开展淋洗参数试验研究,绘制淋洗曲线,确定树脂淋洗体积、合格液铀浓度、淋洗率等参数。开展产品沉淀试验,确定沉淀过程酸化 pH 值、沉淀 pH、沉淀温度、老化时间等条件,考察不同条件对产品沉淀效率、杂质元素含量的影响。为现场试验推荐工艺流程。开展现场浸出液处理应用与工艺流程验证试验,基本流程采用浸出液—过滤—吸附—淋洗—转型—合格液酸化—沉淀—压滤等工序得到“111”产品。

(五) 二阶段试验研究

构建一定规模的试验井场，充分利用现有的设备设施，开展井场浸出和浸出液处理全流程试验，进一步检验钻孔结构与施工成井工艺、井型与井距的合理性，优化井场浸出和浸出液处理工艺技术，研究群孔工作条件下井场抽注平衡控制技术，确定未来工业性生产主要材料设备选型，获取现场试验各种技术参数，系统评价地浸开采的技术可行性。

三、主要成果及技术指标

(一) 主要技术指标

1. 单孔抽液量： $\geq 6\text{m}^3/\text{h}$ 。
2. 浸出液铀浓度： $\geq 20\text{mg/l}$ 。

(二) 成果形式

1. 推荐 BSK1 矿段地浸工艺流程；
2. 推荐 BSK1 矿段地浸工艺参数；
3. 现场试验总结报告。

四、研究周期及重要节点

项目研究周期：2025 年 1 月～2026 年 12 月。

2025 年度主要开展方案编制、试验选区，现场地浸试验方案通过评审后，完成现场试验运行和工业指标论证。

2026 年度完成现场试验运行，开展二阶段钻孔工程、二阶段试验设施安装和二阶段试验运行，并于本年度完成项目的成果总结编制及档案整理。

环 评 委 托 书

中核第四研究设计工程有限公司：

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《建设项目环境保护管理条例》的有关规定，现委托贵单位承担《甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地浸采铀试验研究环境影响报告表》的编制工作，请根据国家法律法规要求尽快开展工作。

特此委托。


中核通辽铀业有限责任公司
2024年9月2日



检测报告

(编号: 2024HYYFX-01803)

委托单位: 中核第四研究设计工程有限公司

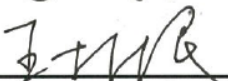
检测对象: 空气、氡析出率、 γ 剂量率、地下水、
土壤、生物、噪声

检测类别: 委托检测

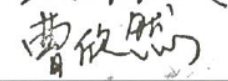
签发



审核



编制





中核化学计量检测中心

核工业北京化工冶金研究院分析测试中心

签发日期: 2025年 01 月 23 日

注意事项

1. 原始记录在本中心只保存六年。
2. 报告无检测专用章无效。
3. 复制报告未重新加盖检测专用章无效。
4. 报告无签发人签字无效。
5. 对报告若有异议，应于收到报告之日起十五日内向本中心提出。
6. 报告仅对委托样品负责。

单位名称： 中核化学计量检测中心

核工业北京化工冶金研究院分析测试中心

单位地址：北京市通州区九棵树 145 号

通讯地址：北京 234 信箱 102 分箱

联系人： 龚明明 李 梁

电话：（010）51674334 、 51674270

项 目 名 称	甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地浸采铀试验研究环境质量现状监测		
检 测 地 点	北京市通州区九棵树 145 号 101 楼和实验现场及周边		
检 测 内 容	空气中 HCl、TSP、SO ₂ 、NO _x ；水样中 Fe、K、Na、Ca、Mg、总硬度、As、Hg、Cr ⁶⁺ 、COD、pH、溶解性总固体、F ⁻ 、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 、亚硝酸盐、硝酸盐、氨氮、U、Mo、Zn、Cu、Pb、Cd、Mn、总α、总β、 ²²⁶ Ra、 ²¹⁰ Pb、 ²¹⁰ Po、CO ₃ ²⁻ 、HCO ₃ ⁻ ；土壤中 U、 ²²⁶ Ra、pH、Cd、Pb、As、Hg、Zn、Cu、Cr、Ni、Cr ⁶⁺ ；陆生生物中 U、 ²²⁶ Ra、 ²¹⁰ Pb、 ²¹⁰ Po；土壤表面氨析出率；γ辐射空气吸收剂量率；噪声；空气中氨浓度及氡子体		
采 样 日 期	2024-10-16~2024-10-22		
现场监测日期	2024-10-15~2024-10-22		
样品分析日期	2024-10-29~2025-01-15		
检 测 仪 器	仪器名称	仪器型号	仪器编号
	质谱仪	NexION 350X 型	YQ-SP-0115
	原子荧光光谱仪	AFS-230E 型	YQ-KY-0091
	离子色谱仪	ICS-5000 型	YQ-HJ-0114
	高纯锗多道γ能谱仪	GMX50P4-83 型	YQ-HJ-0133
	低本底α、β测量仪	LB6008 型	YQ-HJ-0135
	氡钍分析仪	FD-125/FH463B 型	YQ-HJ-0134
	α谱仪	Alpha Ensemble 型	YQ-HJ-0129
	电子天平	GL224-1SCN 型	YQ-KY-0078
	滴定管	10mL	FX10-02
	分光光度计	722G 型	YQ-KY-0092
	pH 酸度计	pHs-3E 型	YQ-KY-0010
	电热恒温培养箱	DHP-500S 型	YQ-SP-0142
	多功能声级计	AWA6228+型	YQ-HJ-0020
	声校准器	AWA6021A 型	YQ-HJ-0021
	便携式γ辐射剂量率仪	FH40G+FHZ672E-10 型	YQ-HJ-0002
	分光光度计	721G 型	YQ-KY-0128
	测氦仪	RAD7 型	YQ-HJ-0013
	测氦仪	RAD7 型	YQ-HJ-0012
	氡子体测量仪	PRM-FF01 型	YQ-HJ-0082

监 测 项 目	监测方法标准
空气中 SO ₂	《环境空气 二氧化硫的测定 甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法（及修改单）》（HJ 482-2009）
空气中 HCl	《环境空气和废气 氯化氢的测定 离子色谱法》（HJ 549-2016）
空气中 NO _x	《环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法（及修改单）》（HJ 479-2009）
空气中 TSP	《环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》（HJ 1263-2022） 《环境空气质量手工监测技术规范》（HJ 194-2017）
水中 U、Zn、Cu、Pb、Cd、Mn、Mo	《水质 65 种元素的测定 电感耦合等离子质谱法》（HJ 700-2014）
水中 Fe、K、Na、Ca、Mg	《水质 32 种元素的测定电感耦合等离子体发射光谱法》（HJ 776-2015）
水中 pH	《生活饮用水标准检验方法 第 4 部分：感官性状和物理指标 8.1 玻璃电极法》（GB/T 5750.4-2023）（8.1）
水中 Cr ⁶⁺	《水质 六价铬的测定 二苯碳酰二肼分光光度法》（GB7467-1987）
水中 COD _{Mn}	《生活饮用水标准检验方法 第 7 部分：有机物综合指标》（GB/T 5750.7-2023）
水中 F ⁻ 、Cl ⁻ 、NO ₂ ⁻ 、NO ₃ ⁻ 、SO ₄ ²⁻	《水质 无机阴离子（F ⁻ 、Cl ⁻ 、NO ₂ ⁻ 、Br ⁻ 、NO ₃ ⁻ 、PO ₄ ³⁻ 、SO ₃ ²⁻ 、SO ₄ ²⁻ ）的测定 离子色谱法》（HJ 84-2016）
水中 As、Hg	《水质汞、砷、硒、铋和锑的测定 原子荧光法》（HJ 694-2014）
水中总溶解性固体	《生活饮用水标准检验方法第 4 部分：感官性状和物理指标 11.1 称量法》（GB/T 5750.4-2023）（11.1）
水中总硬度	《生活饮用水标准检验方法 第 4 部分：感官性状和物理指标 10.1 乙二胺四乙酸二钠滴定法》（GB/T 5750.4-2023）（10.1）
水中氨氮	《水质 氨氮的测定 水杨酸分光光度法》（HJ 536-2009）
水中 CO ₃ ²⁻ 、HCO ₃ ⁻	《铀工艺过程溶液中 OH ⁻ 、HCO ₃ ⁻ 、CO ₃ ²⁻ 的测定》（JS/FX/8.2-04/N/2004）

编号：2024HYFYX-01803

监 测 项 目	监测方法标准
水中 ²²⁶ Ra	《水中镭-226 的分析测定》（GB 11214-1989）
水中 ²¹⁰ Pb	《水中铅-210 的分析方法》（EJ/T 859-1994）
水中 ²¹⁰ Po	《水中钋-210 的分析方法》（HJ 813-2016）
水中总α	《水质总α放射性的测定厚源法》（HJ 898-2017）
水中总β	《水质总β放射性的测定厚源法》（HJ 899-2017）
土壤中 pH	《土壤 pH 值测定 电位法》（HJ 962-2018）
土壤中 As	《土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第 2 部分 土壤中总砷的测定》（GB/T 22105.2-2008）
土壤中 Hg	《土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第 1 部分 土壤中总汞的测定》（GB/T 22105.1-2008）
土壤中 U、Cd、Pb、Cr、Ni、Cu、Ni	《硅酸盐岩石化学分析方法 第 30 部分：44 个元素量测定》（GB/T 14506.30-2010）
土壤中 ²²⁶ Ra	《环境及生物样品中放射性核素的γ能谱分析方法》（GB/T16145-2022）
空气中氡浓度	《环境空气中氡的测量方法》（HJ 1212-2021）
空气中氡子体	《铀矿山空气中氡及氡子体测定方法》（EJ 378-1989）
等效 A 声级	《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）
氡析出率	《表面氡析出率测定 积累法》（EJ/T 979-1995）
γ辐射空气吸收剂量率	《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）

检测结果：

表 1 空气中 SO₂ 浓度检测水平

序号	点位名称	样品编号	SO ₂ (μg/m ³)
1	韩山	WG24101601	138
2	韩山	WG24101701	114
3	韩山	WG24101801	115
4	范新庄	WG24101901	115
5	范新庄	WG24102001	115
6	范新庄	WG24102101	113

备注：无。

表 2 空气中 HCl 浓度检测水平

序号	点位名称	样品编号	HCl (μg/m ³)
1	韩山	WG24101602	<30.3*
2	韩山	WG24101702	<30.3*
3	韩山	WG24101802	<30.3*
4	范新庄	WG24101902	<30.3*
5	范新庄	WG24102002	<30.3*
6	范新庄	WG24102102	<30.3*

备注：*-检测结果为 HCl 的检出限。

表 3 空气中 NO _x 浓度检测水平			
序号	点位名称	样品编号	NO _x (μg/m ³)
1	韩山	WG24101603	74.0
2	韩山	WG24101703	77.0
3	韩山	WG24101803	79.0
4	范新庄	WG24101903	80.0
5	范新庄	WG24102003	73.0
6	范新庄	WG24102103	75.0
备注：无。			

表 4 空气中 TSP 浓度检测水平			
序号	点位名称	样品编号	TSP (μg/m ³)
1	韩山	WG24101705	105
2	韩山	WG24101905	121
3	韩山	WG24102105	39.0
4	范新庄	WG24101704	39.0
5	范新庄	WG24101904	31.0
6	范新庄	WG24102104	34.0
备注：无。			

表 5 水样中放射性核素或元素浓度检测水平								
序号	点位名称	样品编号	Fe (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	总硬度 (mg/L)
1	范新庄	WW24102201	<0.1*	1.29	30.5	43.9	28.1	235
2	慕源村	WW24102202	<0.1*	1.37	130	17.4	7.53	90.0
3	韩山	WW24102203	<0.1*	1.27	32.2	44.1	28.2	250
4	塔李村	WW24102204	<0.1*	3.11	182	21.5	13.2	120
5	杨家坨	WW24102205	<0.1*	1.50	129	17.8	7.55	83.0
6	水文孔 BSK1	M-SW-1B	<0.1*	4.73	180	52.4	69.3	415
7	水文孔 BSK2	M-SW-2B	<0.1*	4.62	172	76.8	80.7	532
序号	点位名称	样品编号	As (μg/L)	Hg (μg/L)	Cr ⁶⁺ (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	pH (无量纲)	溶解性总 固体(g/L)
1	范新庄	WW24102201	<2.0*	<0.2*	0.033	0.89	8.28	0.256
2	慕源村	WW24102202	8.08	<0.2*	<0.004*	1.75	8.42	0.410
3	韩山	WW24102203	<2.0*	<0.2*	0.033	1.37	8.36	0.452
4	塔李村	WW24102204	4.20	<0.2*	0.019	1.24	8.45	0.131
5	杨家坨	WW24102205	8.24	<0.2*	<0.004*	1.72	8.42	0.483
6	水文孔 BSK1	M-SW-1B	13.6	<0.2*	<0.004*	1.01	8.19	5.40
7	水文孔 BSK2	M-SW-2B	63.2	<0.2*	<0.004*	0.82	8.18	1.21
序号	点位名称	样品编号	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	氨氮 (mg/L)
1	范新庄	WW24102201	<1.0*	5.73	<1.0*	1.60	19.6	0.12
2	慕源村	WW24102202	1.14	6.27	<1.0*	0.20	16.4	<0.025*
3	韩山	WW24102203	<1.0*	6.38	<1.0*	1.68	20.6	0.08
4	塔李村	WW24102204	<1.0*	14.6	<1.0*	0.30	118	0.09
5	杨家坨	WW24102205	<1.0*	6.31	<1.0*	0.22	17.6	<0.025*

6	水文孔 BSK1	M-SW-1B	<1.0*	163	<1.0*	<0.1*	379	0.20
7	水文孔 BSK2	M-SW-2B	<1.0*	180	<1.0*	<0.1*	403	0.24
序号	点位名称	样品编号	U (μg/L)	Mo (μg/L)	Zn (μg/L)	Cu (μg/L)	Pb (μg/L)	Cd (μg/L)
1	范新庄	WW24102201	3.42	<5.0*	<100*	<5.0*	<5.0*	<0.5*
2	慕源村	WW24102202	9.61	8.25	<100*	<5.0*	<5.0*	<0.5*
3	韩山	WW24102203	4.23	<5.0*	<100*	<5.0*	<5.0*	<0.5*
4	塔李村	WW24102204	8.02	<5.0*	<100*	<5.0*	<5.0*	<0.5*
5	杨家坨	WW24102205	9.74	7.55	<100*	<5.0*	<5.0*	<0.5*
6	水文孔 BSK1	M-SW-1B	21.4	233	<100*	<5.0*	<5.0*	<0.5*
7	水文孔 BSK2	M-SW-2B	14.2	35.6	<100*	<5.0*	<5.0*	<0.5*
序号	样品编号	样品编号	Mn (μg/L)	总α (Bq/L)	总β (Bq/L)	²²⁶ Ra (mBq/L)	²¹⁰ Pb (mBq/L)	²¹⁰ Po (mBq/L)
1	范新庄	WW24102201	<5.0*	0.168	0.0865	17.6	<6.97*	13.7
2	慕源村	WW24102202	<5.0*	0.273	0.161	17.4	<10.3*	5.47
3	韩山	WW24102203	<5.0*	0.138	0.0639	<13.0*	16.0	3.02
4	塔李村	WW24102204	<5.0*	0.365	0.208	<13.1*	34.6	4.97
5	杨家坨	WW24102205	<5.0*	0.272	0.144	<9.09*	15.4	13.7
6	水文孔 BSK1	M-SW-1B	<5.0*	14.5	7.93	4.65×10 ³	47.3	12.0
7	水文孔 BSK2	M-SW-2B	<5.0*	10.8	3.89	1.12×10 ³	63.1	39.3
序号	样品编号	样品编号	HCO ₃ ⁻ (g/L)	CO ₃ ²⁻ (g/L)	/	/	/	/
1	范新庄	WW24102201	0.336	<0.006*	/	/	/	/
2	慕源村	WW24102202	0.425	<0.006*	/	/	/	/
3	韩山	WW24102203	0.349	<0.006*	/	/	/	/

编号：2024HYFFX-01803

4	塔李村	WW24102204	0.463	<0.006*	/	/	/	/
5	杨家坨	WW24102205	0.425	<0.006*	/	/	/	/
6	水文孔 BSK1	M-SW-1B	0.190	<0.006*	/	/	/	/
7	水文孔 BSK2	M-SW-2B	0.305	<0.006*	/	/	/	/
备注：*--检测结果为各核素的探测下限或各元素的检出限。								

表 6 土壤样品中放射性核素或元素检测水平								
序号	点位名称	样品编号	U (mg/kg)	pH (无量纲)	²²⁶ Ra (Bq/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cd (mg/kg)
1	拟建场址附近农田	WS24102201	3.19	8.65	25.1	11.8	0.02	0.09
2	范新庄	WS24102202	3.05	8.48	42.1	11.7	0.02	0.09
3	塔李村	WS24102203	3.24	8.45	35.1	12.2	0.01	0.08
序号	点位名称	样品编号	Cr (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cr ⁶⁺ (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cu (mg/kg)
1	拟建场址附近农田	WS24102201	25.9	19.8	<2*	45.7	43.1	18.9
2	范新庄	WS24102202	26.9	18.9	<2*	50.1	42.9	19.0
3	塔李村	WS24102203	26.4	19.3	<2*	49.9	43.8	20.2
备注：*--检测结果为各核素的探测下限或各元素的检出限。								

表 7 生物样品中放射性核素或元素检测水平						
序号	点位名称	样品编号	$U_{\text{天然}}$ ($\mu\text{g/kg}$ 鲜)	^{226}Ra (Bq/kg 鲜)	^{210}Pb (Bq/kg 鲜)	^{210}Po (Bq/kg 鲜)
1	拟建场址 附近农田	WS24102204	38.6	3.62	0.701	0.586
2	范新庄	WS24102205	39.0	3.40	0.703	0.731
3	塔李村	WS24102206	33.6	3.44	0.689	0.791
备注：无。						

表 8 土壤表面氡析出率检测水平		
序号	点位名称	氡析出率 $\text{Bq}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$
1	拟建场址中心位置（2024.10.23）	0.0246
2	拟建场址中心位置（2024.10.24）	0.0258
3	拟建场址中心位置（2024.10.24）	0.0226
备注：无。		

表 9 空气中氡浓度及氡子体检测结果			
序号	点位名称	氡浓度 (Bq/m ³)	氡子体(nJ/m ³)
1	范新庄 (2024.10.19~2024.10.20)	8.33	23.9
2	范新庄 (2024.10.20~2024.10.21)	8.77	25.9
3	范新庄 (2024.10.21~2024.10.22)	16.1	23.4
4	韩山 (2024.10.16~2024.10.17)	10.1	23.8
5	韩山 (2024.10.17~2024.10.18)	14.9	21.9
6	韩山 (2024.10.18~2024.10.19)	12.2	22.8
7	拟建场址中心位置 (2024.10.16~2024.10.17)	4.98	44.4
8	拟建场址中心位置 (2024.10.17~2024.10.18)	8.71	42.4
9	拟建场址中心位置 (2024.10.18~2024.10.19)	17.4	40.7
10	塔李村 (2024.10.19~2024.10.20)	5.99	66.4
11	塔李村 (2024.10.20~2024.10.21)	9.95	67.7
12	塔李村 (2024.10.21~2024.10.22)	20.3	68.6
备注：无。			

表 10 γ 辐射空气吸收剂量率检测水平			
序号	点位名称	γ 辐射空气吸收剂量率*(nGy/h)	
		结果	标准差
1	拟建场址东南侧	77.5	0.3
2	范新庄	66.4	0.2
3	韩山	66.5	0.2
4	塔里村	47.0	0.4
备注：*---检测结果已扣除仪器对宇宙射线的响应值。			

表 11 噪声（等效 A 声级）检测水平			
序号	点位名称	检测结果（dB(A)）	
		昼间	夜间
1	拟建场址中心位置 (2024.10.22)	42	38
2	范新庄（2024.10.22）	49	44
3	拟建场址中心位置 (2024.10.23)	43	39
4	范新庄（2024.10.23）	48	43

——以下无正文——



检测报告

(编号: 2025HYFYX-01272)

委托单位: 中核第四研究设计工程有限公司

检测对象: 空气、 γ 剂量率、地下水、土壤、噪声

检测类别: 委托检测

签发

李果

审核

王林根

编制

曹欣然



中核化学计量检测中心

核工业北京化工冶金研究院分析测试中心

签发日期: 2025年05月07日

注意事项

1. 原始记录在本中心只保存六年。
2. 报告无检测专用章无效。
3. 复制报告未重新加盖检测专用章无效。
4. 报告无签发人签字无效。
5. 对报告若有异议，应于收到报告之日起十五日内向本中心提出。
6. 报告仅对委托样品负责。

单位名称： 中核化学计量检测中心

核工业北京化工冶金研究院分析测试中心

单位地址： 北京市通州区九棵树 145 号

邮政编码： 101149

联系人： 刘志超 李 梁

电话： (010) 51674319 、 51674270

传真： (010) 51674371

编号：2025HYFYX-01272

项 目 名 称	甘肃镇原铀矿 BSK1 矿段地浸采铀试验研究环境质量现状监测		
检 测 地 点	北京市通州区九棵树 145 号 101 楼和实验现场及周边		
检 测 内 容	空气中 HCl、TSP、SO ₂ 、NO _x ；水样中 Fe、K、Na、Ca、Mg、总硬度、As、Hg、Cr ⁶⁺ 、COD、pH、溶解性总固体、F ⁻ 、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 、亚硝酸盐、硝酸盐、氨氮、U、Mo、Zn、Cu、Pb、Cd、Mn、总α、总β、 ²²⁶ Ra、 ²¹⁰ Pb、 ²¹⁰ Po、CO ₃ ²⁻ 、HCO ₃ ⁻ ；土壤中 U、 ²²⁶ Ra、pH、Cd、Pb、As、Hg、Zn、Cu、Cr、Ni、Cr ⁶⁺ ；γ辐射空气吸收剂量率；噪声；空气中氡浓度及氡子体		
采 样 日 期	2025-02-25~2025-03-01，收样日期为 2025-03-05		
样品分析日期	2025-03-05~2025-04-24 现场监测日期：2025-02-23~2025-03-03		
检 测 仪 器	仪器名称	仪器型号	仪器编号
	质谱仪	NexION 350X 型	YQ-SP-0115
	原子荧光光谱仪	AFS-230E 型	YQ-KY-0091
	离子色谱仪	ICS-5000 型	YQ-HJ-0114
	高纯锗多道γ能谱仪	GMX50P4-83 型	YQ-HJ-0133
	低本底α、β测量仪	LB6008 型	YQ-HJ-0135
	氦钍分析仪	FD-125/FH463B 型	YQ-HJ-0134
	α谱仪	Alpha Ensemble 型	YQ-HJ-0129
	电子天平	GL224-1SCN 型	YQ-KY-0078
	滴定管	10mL	FX10-02
	分光光度计	722G 型	YQ-KY-0092
	pH 酸度计	pHs-3E 型	YQ-KY-0010
	电热恒温培养箱	DHP-500S 型	YQ-SP-0142
	多功能声级计	AWA6228+型	YQ-HJ-0020
	声校准器	AWA6021A 型	YQ-HJ-0021
	便携式γ辐射剂量率仪	FH40G+FHZ672E-10 型	YQ-HJ-0002
	分光光度计	721G 型	YQ-KY-0128
	测氧仪	RAD7 型	YQ-HJ-0013
	氡子体测量仪	PRM-FF01 型	YQ-HJ-0082

编号：2025HYFYX-01272

监测项目	监测方法标准
水中 U、Zn、Cu、Pb、Cd、Mn、Mo	《水质 65 种元素的测定 电感耦合等离子质谱法》（HJ 700-2014）
水中 Fe、K、Na、Ca、Mg	《水质 32 种元素的测定电感耦合等离子体发射光谱法》（HJ 776-2015）
水中 pH	《生活饮用水标准检验方法 第 4 部分：感官性状和物理指标 8.1 玻璃电极法》（GB/T 5750.4-2023）（8.1）
水中 Cr^{6+}	《水质 六价铬的测定 二苯碳酰二肼分光光度法》（GB7467-1987）
水中 COD_{Mn}	《生活饮用水标准检验方法 第 7 部分：有机物综合指标》（GB/T 5750.7-2023）
水中 F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-}	《水质 无机阴离子（ F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} ）的测定 离子色谱法》（HJ 84-2016）
水中 As、Hg	《水质 汞、砷、硒、铋和锑的测定 原子荧光法》（HJ 694-2014）
水中总溶解性固体	《生活饮用水标准检验方法第 4 部分：感官性状和物理指标 11.1 称量法》（GB/T 5750.4-2023）（11.1）
水中总硬度	《生活饮用水标准检验方法 第 4 部分：感官性状和物理指标 10.1 乙二胺四乙酸二钠滴定法》（GB/T 5750.4-2023）（10.1）
水中氨氮	《水质 氨氮的测定 水杨酸分光光度法》（HJ 536-2009）
水中 CO_3^{2-} 、 HCO_3^-	《铀工艺过程溶液中 OH^- 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 的测定》（JS/FX/8.2-04/N/2004）
空气中 SO_2	《环境空气 二氧化硫的测定 甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法（及修改单）》（HJ 482-2009）
空气中 HCl	《环境空气和废气 氯化氢的测定 离子色谱法》（HJ 549-2016）
空气中 NO_x	《环境空气 氮氧化物（一氧化氮和二氧化氮）的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法（及修改单）》（HJ 479-2009）
空气中 TSP	《环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》（HJ 1263-2022） 《环境空气质量手工监测技术规范》（HJ 194-2017）

编号：2025HYFYX-01272

监 测 项 目	监测方法标准
水中 ^{226}Ra	《水中镭-226 的分析测定》（GB 11214-1989）
水中 ^{210}Pb	《水中铅-210 的分析方法》（EJ/T 859-1994）
水中 ^{210}Po	《水中钋-210 的分析方法》（HJ 813-2016）
水中总 α	《水质总 α 放射性的测定厚源法》（HJ 898-2017）
水中总 β	《水质总 β 放射性的测定厚源法》（HJ 899-2017）
土壤中 pH	《土壤 pH 值测定 电位法》（HJ 962-2018）
土壤中 As	《土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第 2 部分 土壤中总砷的测定》（GB/T 22105.2-2008）
土壤中 Hg	《土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第 1 部分 土壤中总汞的测定》（GB/T 22105.1-2008）
土壤中 U、Cd、Pb、Cr、Ni、Cu、Ni	《硅酸盐岩石化学分析方法 第 30 部分：44 个元素量测定》（GB/T 14506.30-2010）
土壤中 ^{226}Ra	《环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（GB/T 16145-2022）
空气中氡浓度	《环境空气中氡的测量方法》（HJ 1212-2021）
空气中氡子体	《铀矿山空气中氡及氡子体测定方法》（EJ 378-1989）
等效 A 声级	《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）
氡析出率	《表面氡析出率测定 积累法》（EJ/T 979-1995）
γ 辐射空气吸收剂量率	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）

编号：2025HYFFX-01272

检测结果：			
表 1 空气中 TSP 浓度检测水平			
序号	点位名称	样品编号	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	韩山	WG20251272-01	49.0
2	韩山	WG20251272-02	55.0
3	韩山	WG20251272-03	49.0
4	范新庄	WG20251272-04	32.0
5	范新庄	WG20251272-05	36.0
6	范新庄	WG20251272-06	36.0
备注：无。			

表 2 空气中 SO ₂ 浓度检测水平			
序号	点位名称	样品编号	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	韩山	WG20251272-07	112
2	韩山	WG20251272-08	126
3	韩山	WG20251272-09	99.6
4	范新庄	WG20251272-10	114
5	范新庄	WG20251272-11	101
6	范新庄	WG20251272-12	124
备注：无。			

编号：2025HYAFX-01272

表 3 空气中 NO _x 浓度检测水平			
序号	点位名称	样品编号	NO _x (μg/m ³)
1	韩山	WG20251272-13	76.3
2	韩山	WG20251272-14	74.6
3	韩山	WG20251272-15	70.8
4	范新庄	WG20251272-16	80.9
5	范新庄	WG20251272-17	73.5
6	范新庄	WG20251272-18	77.8
备注：无。			

表 4 空气中 HCl 浓度检测水平			
序号	点位名称	样品编号	HCl (μg/m ³)
1	韩山	WG20251272-19	<30.3*
2	韩山	WG20251272-20	<30.3*
3	韩山	WG20251272-21	<30.3*
4	范新庄	WG20251272-22	<30.3*
5	范新庄	WG20251272-23	<30.3*
6	范新庄	WG20251272-24	<30.3*
备注：无。			

编号：2025HYFFX-01272

表 5 水样中放射性核素或元素浓度检测水平

序号	点位名称	样品编号	^{226}Ra (mBq/L)	^{210}Pb (mBq/L)	^{210}Po (mBq/L)	总 α (Bq/L)
1	范新庄	WL20251272-01	14.0	14.6	17.9	0.177
2	慕源村	WL20251272-04	18.6	11.0	6.99	0.301
3	韩山	WL20251272-02	<10.4*	12.1	4.15	0.158
4	塔李村	WL20251272-05	<8.84*	42.6	5.33	0.436
5	杨家坨	WL20251272-03	<9.25*	21.2	14.2	0.289
6	水文孔 BSK1	WL20251272-06	5.72×10^3	26.4	28.1	11.9
7	水文孔 BSK2	WL20251272-07	3.33×10^3	48.1	56.7	8.27
序号	点位名称	样品编号	总 β (Bq/L)	U ($\mu\text{g/L}$)	pH(无量纲)	Fe(mg/L)
1	范新庄	WL20251272-01	0.217	3.48	8.49	<0.1*
2	慕源村	WL20251272-04	0.640	14.3	8.48	<0.1*
3	韩山	WL20251272-02	0.0777	3.37	8.50	<0.1*
4	塔李村	WL20251272-05	0.278	9.12	8.59	<0.1*
5	杨家坨	WL20251272-03	0.643	7.96	8.38	<0.1*
6	水文孔 BSK1	WL20251272-06	2.94	55.8	8.40	<0.1*
7	水文孔 BSK2	WL20251272-07	2.54	28.1	8.43	<0.1*
序号	点位名称	样品编号	K(mg/L)	Na(mg/L)	Ca(mg/L)	Mg(mg/L)
1	范新庄	WL20251272-01	1.15	25.1	40.5	25.1
2	慕源村	WL20251272-04	1.20	112	16.2	7.66
3	韩山	WL20251272-02	1.10	30.0	40.4	25.3
4	塔李村	WL20251272-05	2.54	166	22.4	12.6
5	杨家坨	WL20251272-03	1.35	105	16.1	7.78
6	水文孔 BSK1	WL20251272-06	4.05	158	45.4	65.1
7	水文孔 BSK2	WL20251272-07	4.24	163	73.1	75.1

编号：2025HYFFX-01272

序号	点位名称	样品编号	总硬度(mg/L)	As(μg/L)	Hg(μg/L)	Cr ⁶⁺ (mg/L)
1	范新庄	WL20251272-01	228	<2.0*	<0.2*	0.030
2	慕源村	WL20251272-04	89.2	7.65	<0.2*	<0.004*
3	韩山	WL20251272-02	244	<2.0*	<0.2*	0.030
4	塔李村	WL20251272-05	125	4.12	<0.2*	0.018
5	杨家坨	WL20251272-03	81.2	7.78	<0.2*	<0.004*
6	水文孔 BSK1	WL20251272-06	402	13.0	<0.2*	<0.004*
7	水文孔 BSK2	WL20251272-07	515	60.5	<0.2*	<0.004*
序号	点位名称	样品编号	溶解性总固体(g/L)	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)
1	范新庄	WL20251272-01	0.245	<1.0*	5.45	<1.0*
2	慕源村	WL20251272-04	0.382	<1.0*	6.10	<1.0*
3	韩山	WL20251272-02	0.431	<1.0*	6.02	<1.0*
4	塔李村	WL20251272-05	0.125	<1.0*	13.1	<1.0*
5	杨家坨	WL20251272-03	0.474	<1.0*	6.05	<1.0*
6	水文孔 BSK1	WL20251272-06	5.12	<1.0*	158	<1.0*
7	水文孔 BSK2	WL20251272-07	1.13	<1.0*	177	<1.0*
序号	点位名称	样品编号	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	氨氮(mg/L)	Mo(μg/L)
1	范新庄	WL20251272-01	1.45	18.5	0.11	<5.0*
2	慕源村	WL20251272-04	0.21	15.5	<0.025*	7.15
3	韩山	WL20251272-02	1.52	20.1	0.08	<5.0*
4	塔李村	WL20251272-05	0.31	112	0.08	<5.0*
5	杨家坨	WL20251272-03	0.20	15.3	<0.025*	7.02
6	水文孔 BSK1	WL20251272-06	<0.1*	355	0.17	212
7	水文孔 BSK2	WL20251272-07	<0.1*	378	0.21	32.1
序号	点位名称	样品编号	Zn(μg/L)	Cu(μg/L)	Pb(μg/L)	Cd(μg/L)

编号：2025HYFYX-01272

1	范新庄	WL20251272-01	<100*	<5.0*	<5.0*	<0.5*
2	慕源村	WL20251272-04	<100*	<5.0*	<5.0*	<0.5*
3	韩山	WL20251272-02	<100*	<5.0*	<5.0*	<0.5*
4	塔李村	WL20251272-05	<100*	<5.0*	<5.0*	<0.5*
5	杨家坨	WL20251272-03	<100*	<5.0*	<5.0*	<0.5*
6	水文孔 BSK1	WL20251272-06	<100*	<5.0*	<5.0*	<0.5*
7	水文孔 BSK2	WL20251272-07	<100*	<5.0*	<5.0*	<0.5*
序号	点位名称	样品编号	Mn(μg/L)	HCO ₃ ⁻ (g/L)	CO ₃ ²⁻ (g/L)	COD _M (mg/L)
1	范新庄	WL20251272-01	<5.0*	0.312	<0.006*	0.81
2	慕源村	WL20251272-04	<5.0*	0.404	<0.006*	1.60
3	韩山	WL20251272-02	<5.0*	0.366	<0.006*	1.27
4	塔李村	WL20251272-05	<5.0*	0.437	<0.006*	1.20
5	杨家坨	WL20251272-03	<5.0*	0.410	<0.006*	1.66
6	水文孔 BSK1	WL20251272-06	<5.0*	0.201	<0.006*	0.95
7	水文孔 BSK2	WL20251272-07	<5.0*	0.296	<0.006*	0.85
备注：*--检测结果为各核素的探测下限或各元素的检出限。						

编号：2025HYAFX-01272

表 6 土壤样品中放射性核素或元素检测水平					
序号	点位名称	样品编号	U(mg/kg)	pH (无量纲)	²²⁶ Ra(Bq/kg)
1	拟建场址附近农田	WS20251272-03	2.30	8.85	27.6
2	范新庄	WS20251272-01	2.49	8.71	30.8
3	塔李村	WS20251272-02	2.17	9.00	28.2
序号	点位名称	样品编号	As(mg/kg)	Hg(mg/kg)	Cd(mg/kg)
1	拟建场址附近农田	WS20251272-03	10.2	0.02	0.08
2	范新庄	WS20251272-01	11.1	0.02	0.08
3	塔李村	WS20251272-02	11.7	0.01	0.08
序号	点位名称	样品编号	Cr(mg/kg)	Pb(mg/kg)	Cr ⁶⁺ (mg/kg)
1	拟建场址附近农田	WS20251272-03	25.1	19.2	<2*
2	范新庄	WS20251272-01	25.7	18.5	<2*
3	塔李村	WS20251272-02	25.7	19.1	<2*
序号	点位名称	样品编号	Zn(mg/kg)	Ni(mg/kg)	Cu(mg/kg)
1	拟建场址附近农田	WS20251272-03	44.2	42.7	17.5
2	范新庄	WS20251272-01	46.1	41.0	18.1
3	塔李村	WS20251272-02	48.7	41.9	19.5
备注：*--检测结果为各核素的探测下限或各元素的检出限。					

表 7 γ 辐射空气吸收剂量率检测水平			
序号	点位名称	γ 辐射空气吸收剂量率*(nGy/h)	
		结果	标准差
1	拟建场址东南侧	78.1	0.5
2	范新庄	70.5	0.4
3	韩山	67.7	0.5
4	塔里村	52.5	0.5
备注：*---检测结果已扣除仪器对宇宙射线的响应值。			

表 8 噪声（等效 A 声级）检测水平			
序号	点位名称	检测结果（dB(A)）	
		昼间	夜间
1	拟建场址中心位置 (2025.02.26)	43	38
2	范新庄（2025.02.26）	50	45
3	拟建场址中心位置 (2025.02.27)	44	39
4	范新庄（2025.02.27）	49	44

编号：2025HYFYX-01272

表 9 空气中氡浓度及氡子体检测结果			
序号	点位名称	氡浓度 (Bq/m ³)	氡子体(nJ/m ³)
1	范新庄 (2025.02.28~2025.03.01)	10.7	26.7
2	范新庄 (2025.03.01~2025.03.02)	12.1	30.3
3	范新庄 (2025.03.02~2025.03.03)	19.9	25.6
4	韩山 (2025.02.25~2025.02.26)	12.9	29.3
5	韩山 (2025.02.26~2025.02.27)	17.8	26.1
6	韩山 (2025.02.27~2025.02.28)	16.8	26.5
7	拟建场址中心位置 (2025.02.25~2025.02.26)	6.54	48.7
8	拟建场址中心位置 (2025.02.26~2025.02.27)	12.1	48.8
9	拟建场址中心位置 (2025.02.27~2025.02.28)	22.9	41.0
10	塔李村 (2025.02.28~2025.03.01)	8.30	68.9
11	塔李村 (2025.03.01~2025.03.02)	13.0	65.9
12	塔李村 (2025.03.02~2025.03.03)	24.5	67.2
备注：无。			



表 8 土壤表面氡析出率检测水平		
序号	点位名称	氡析出率 Bq/(m ² •s)
1	拟建场址中心位置 (2025.02.23)	0.0224
2	拟建场址中心位置 (2025.02.24)	0.0246
3	拟建场址中心位置 (2025.03.03)	0.0229
备注：无。		

——以下无正文——