

某地浸铀矿山辐射环境水平调查研究

王亚兰, 徐乐昌, 戴相南, 张 栋

(核工业北京化工冶金研究院, 北京 101149)

摘要: 经过四十余年的试验研究和工业应用,地浸采铀技术已成为中国铀矿采冶的重要技术之一,但长期地浸开采产生的放射性“三废”(废水、废气、固体废物)会对矿山周围生态环境产生不同程度的影响,对公众健康和环境安全产生一定的危害。为了掌握地浸铀矿山辐射环境状况,以新疆某地浸铀矿山为调查对象,通过现场调研与样品取样分析,对矿山生产运行期间的辐射环境状况开展了调查与研究工作。结果表明:该地浸铀矿山周边环境空气、陆地 γ 、地表水、地下水、土壤、动植物、土壤氡析出率等被监测介质的放射性水平基本处于新疆地区放射性本底水平或相应的标准限值内,辐射环境质量良好,辐射环境风险可控。

关键词: 铀矿地浸;辐射环境;放射性水平;地下水;调查;监测

中图分类号: TL943 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2025)03-0123-08

DOI: 10.13426/j.cnki.yky.2025.01.04

天然铀是重要的战略资源,是核能发展的重要基石。中国地浸采铀始于20世纪80年代,381地浸采铀试验项目和737工业试验的建成标志着中国已初步掌握了地浸采铀技术^[1]。经过四十余年的试验研究和工业应用,地浸采铀已成为中国天然铀生产的主流技术^[2-3]。目前在内蒙古、新疆等地已建成多个地浸采铀生产基地。地浸采铀是集采、选、冶于一体的新型铀矿采冶技术,相比常规采冶技术具有投资省、建设周期短、生产成本低、能耗低、劳动强度小、生产效率高、安全性好、不产生尾矿与废石、不破坏自然景观、地面污染小、易实现大规模自动化生产,以及有利于环境保护和安全生产等优势。因此,地浸采铀技术在国际上得到迅速发展,2022年全球地浸法生产天然铀产量达到27 773 tU,约占世界天然铀产量的56%^[4]。

地浸开采过程产生的放射性“三废”会对周围生态环境产生一定的影响。地浸采铀工艺释放的氡经大气扩散迁移,对周围生态环境的辐射影响及对工作人员的放射性职业危害不可忽视^[5]。在地浸开采过程中,由于抽注液井口密封不严、地表

输液管破裂等导致的浸出剂、浸出液泄露,对地表土壤可能造成一定的影响^[6]。地浸开采使矿区含矿含水层地下水含有不同程度的放射性核素,对地下水环境的影响较大^[7-8]。若退役区含水层污染物因修复目标值缺失导致治理滞后,致使地下水污染范围持续扩大,可能对公众健康和环境安全产生较大影响^[9],进一步增加治理难度和费用。例如捷克斯特拉日地浸铀矿,因早期对环境保护重视不足,造成了其地下水环境污染,环境与地下水恢复治理费用预计为20亿欧元,超过生产成本的26%^[10]。因此,在地浸铀矿开采阶段采取有效的环境保护措施,加大环境保护资金投入,积极开展生产运行期间辐射环境现状调查与研究,优化环境管理措施,对尽可能降低环境污染程度与后期的环境恢复治理费用,具有重要意义^[11]。

为此,以新疆某地浸铀矿山为调查对象,通过现场调研与取样分析对矿山生产运行期间的辐射环境状况开展调查与研究,掌握各种环境介质放射性水平现状,为矿山的开发利用和退役治理提供依据^[12]。

收稿日期: 2025-01-24; **修回日期:** 2025-02-27

第一作者简介: 王亚兰(1986—),女,新疆乌鲁木齐人,硕士,高级工程师,主要从事铀矿冶辐射防护与环境保护工作。

1 矿山概况

1.1 自然环境

某砂岩型地浸铀矿山矿区局部地势南高北低,自南向北依次为丘陵和洪积、冲积倾斜平原地貌单元,所在区域土地类型主要为牧草地和未利用地(荒地)。河流A由南向北流经矿区西南部,该河流为降雨、融雪型河流。

矿区属大陆性温带和干旱气候,气温变化剧烈,冬夏季长而春秋短,四季分明。矿区多年平均气温 $8.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最高气温 $39.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最低气温 $-43.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,多年平均降雨量 300 mm ,全年无霜期平均为 146 d 。矿区全年风频最大的风向为东风,风频最小的风向为西北风,东风为当地主导风向。

1.2 社会环境

矿区所在区域以牧业为主,农牧并举,牧业以牛羊养殖为主,农业以玉米、小麦为主;矿山方圆 5 km 范围内土地类型主要为农用地和牧草地。矿区所在区域地广人稀,方圆 5 km 范围内居民点为位于矿区西北方位 1.44 km 的B村以及位于西南方位 3.25 km 的C村,其余点位无居民居住, 5 km 范围外最近居民点为位于矿区东南方位 7.1 km 的D村。

2 调查内容与方法

2.1 调查布点原则

根据该铀矿山浸出工艺流程、“三废”来源及去向,及GB 23726^[13]等要求确定环境监测介质及相关监测项目,确定包含B村、C村、D村等居民点和地表水体A河上游、下游环境等监测点位。

2.2 调查内容

调查布点情况见图1,本次调查内容见表1。

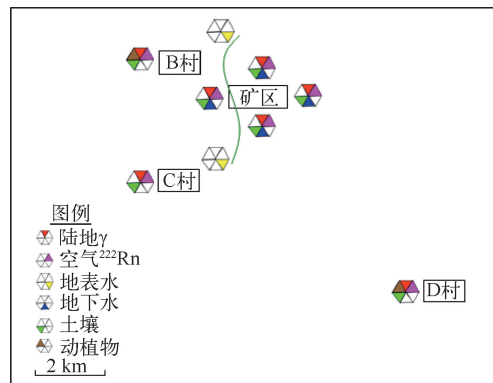


图1 调查布点示意图

Fig. 1 Investigation point distribution schematic diagram

表1 调查内容

Table 1 Investigation content

监测介质	监测项目	采样点
空气	瞬时 ^{222}Rn	矿区边界处、B村、C村、D村
	连续 ^{222}Rn	B村及D村室内外
陆地 γ	γ 辐射空气吸收剂量率	矿区边界处、B村、C村、D村
地表水	$U_{\text{天然}}$ 、 ^{226}Ra 、Th、总 α 、总 β	A河上游、下游
地下水	$U_{\text{天然}}$ 、 ^{226}Ra	矿区边界外监测孔
土壤	^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{222}Rn 析出率	矿区边界处、B村、C村、D村
动植物	^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th	B村及D村羊肉、玉米、小麦

2.3 调查方法

调查方法:1)现场监测。对地浸铀矿山及其周边环境进行现场监测,包括陆地 γ 、空气 ^{222}Rn 浓度、土壤氡析出率等放射性水平测量。2)取样分析。对监测点的介质进行取样,并进行分析,以获取详细的放射性核素种类和活度数据。3)数据

分析。对监测和取样分析的数据进行统计分析,评估辐射环境质量水平。本次调查采用的监测方法、仪器及检出限见表2。

2.4 质量保证

质量保证包括监测方案的质量保证要求、监测人员要求、监测仪器的检定/校准和检验、采样

质量保证、监测方法的选用和验证、实验室内分析测量的质量控制、实验室间的质量控制。执行现行 GB 8999^[14]和 HJ 61^[15]的质量保证要求。

为使监测结果具有代表性、准确性、完整性和可比性,按照现行 GB 12379^[16]和 HJ 61 中有关要求,对监测全过程实施质量保证。

表 2 监测方法、仪器及检出限
Table 2 Method, instrument and detection limit

监测项目	监测方法依据	监测仪器	检出限	
陆地 γ	γ 辐射空气吸收剂量率	HJ 1157—2021	BH3103-B 型 X- γ 剂量率仪	1 nGy/h
空气	^{222}Rn	HJ 1212—2021	RAD7 测氡仪	3.7 Bq/m ³
	$\text{U}_{\text{天然}}$	HJ 840—2017	MUA-D 微量铀分析仪	0.04 $\mu\text{g/L}$
	^{226}Ra	GB/T 11214—1989	FH463B (FD-125) 智能定标仪(含氡钍分析器)	2 mBq/L
水	Th	HJ 776—2015	ICAP-PRD 电感耦合等离子体发射光谱仪	0.05 $\mu\text{g/L}$
	总 α	EJ/T 1075—1998	低本底 $\alpha\beta$ 检测仪	0.02 Bq/L
	总 β	EJ/T 900—1994	低本底 $\alpha\beta$ 检测仪	0.05 Bq/L
	^{238}U			6.30 Bq/kg
土壤	^{232}Th	GB/T 16145—2022	ARL 多道伽马能谱仪	1.34 Bq/kg
	^{226}Ra			1.44 Bq/kg
	^{238}U	GB/T 16145—2022	ARL 多道伽马能谱仪	0.07 Bq/kg
生物	^{232}Th			0.04 Bq/kg
	^{226}Ra	GB 14883.6—2016	FD-125 氡钍分析仪	0.04 Bq/kg

3 结果与讨论

3.1 空气 ^{222}Rn 浓度

3.1.1 瞬时 ^{222}Rn 浓度

地浸铀矿山环境空气中瞬时 ^{222}Rn 浓度监测结果见表 3。可以看出,该地浸铀矿区边界处空气中瞬时 $C(^{222}\text{Rn})$ 为 33.5~61.0 Bq/m³,均值为 46.2 Bq/m³;距矿区 5 km 范围内(B 村、C 村)居民点空气中瞬时 $C(^{222}\text{Rn})$ 为 30.2~59.5 Bq/m³,均值为 42.3 Bq/m³;距矿区 5 km 外的居民点(D 村)空气中瞬时 $C(^{222}\text{Rn})$ 为 36.6~48.2 Bq/m³,均值为 42.1 Bq/m³。采用相同方法(固体径迹蚀刻法)针对地浸铀矿山 ^{222}Rn 浓度开展监测,得出距离铀矿冶设施 500 m 处瞬时 $C(^{222}\text{Rn})$ 为 35~52 Bq/m³^[17],研究结果与本调查矿区边界处瞬时 ^{222}Rn 浓度结果处于同一水平。该地浸铀矿山周边环境空气中瞬时 $C(^{222}\text{Rn})$ 与矿山所在地区瞬时 ^{222}Rn 浓度本底水平(29.0~68.1 Bq/m³)基本一致。

表 3 瞬时氡测量结果统计

Table 3 Statistics of instantaneous radon monitoring results

点位	测点数	瞬时 $C(^{222}\text{Rn})/(\text{Bq/m}^3)$	
		范围	均值
矿区边界处	25	33.5~61.0	46.2
B 村	20	31.1~59.5	44.0
C 村	20	30.2~53.7	40.5
D 村	20	36.6~48.2	42.1
矿山所在地区 ^{[18]55}		29.0~68.1	48.2

3.1.2 连续 ^{222}Rn 浓度

在地浸铀矿山附近居民点 B 村及 D 村分别布设了连续 ^{222}Rn 浓度监测点,在每个测点分别进行室内(外) ^{222}Rn 浓度同步监测,B 村及 D 村监测点起始监测时间分别为 18:40 及 20:30,对应横坐标轴的 0 h,使用 RAD7 每小时记录 1 个测量值,连续测量 72 h。地浸铀矿山空气中连续 ^{222}Rn 浓度测量统计结果见图 2。

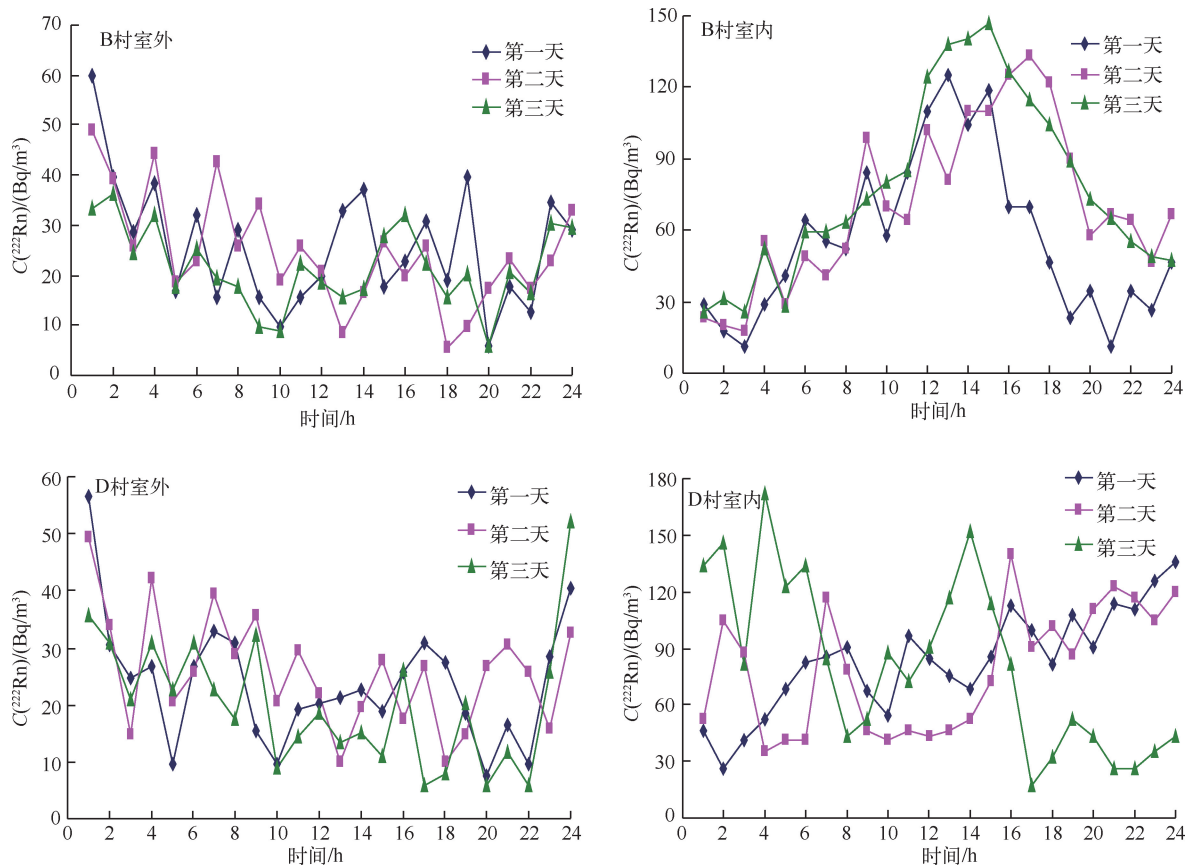


图2 B村、D村连续氡浓度监测结果

Fig. 2 Continuous radon of village B and village D

从图2可知,铀矿区B村室外测点 $C(^{222}\text{Rn})$ 为 $5.41\sim 59.7\text{ Bq/m}^3$,日均值范围为 $21.6\sim 25.9\text{ Bq/m}^3$;B村室内测点 $C(^{222}\text{Rn})$ 为 $11.6\sim 147\text{ Bq/m}^3$,日均值范围为 $56.1\sim 77.3\text{ Bq/m}^3$;D村室外测点 $C(^{222}\text{Rn})$ 为 $5.80\sim 65.7\text{ Bq/m}^3$,日均值范围为 $20.3\sim 25.9\text{ Bq/m}^3$;D村室内测点 $C(^{222}\text{Rn})$ 为 $17.5\sim 172\text{ Bq/m}^3$,日均值范围为 $79.3\sim 83.5\text{ Bq/m}^3$ 。同一测点的相同时间的室内测量值高于室外测量值,夜晚测量值高于白天测量值。分析原因为夜晚室内空间密闭且气温低,气压高,气象条件不利于空气扩散。B村室内(外)测点 ^{222}Rn 浓度与D村室内(外)测点 ^{222}Rn 浓度相差不大,B村、D村 ^{222}Rn 浓度测量值与矿山所在地区 ^{222}Rn 浓度本底值($29.0\sim 68.1\text{ Bq/m}^3$)基本处于同一水平。

3.2 γ 辐射空气吸收剂量率

地浸铀矿山环境空气 γ 辐射空气吸收剂量率监

测结果见表4。可以看出,该地浸铀矿区周边环境 γ 辐射空气吸收剂量率为 $40\sim 128\text{ nGy/h}$,B村的监测值较D村的监测值略高;该地浸铀矿区周边测点B村、C村与D村环境 γ 辐射空气吸收剂量率基本处于同一水平,也处于新疆地区 γ 辐射空气吸收剂量率本底水平($50.2\sim 403.5\text{ nGy/h}$)范围内。

表4 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果统计

Table 4 Statistics of monitoring results of gamma radiation airborne absorbed dose rate

点位	测点 数/个	γ 辐射空气吸收剂量率/(nGy/h)	
		范围	均值
矿区边界处	25	60~128	72.1
B村	20	46~115	64.0
C村	20	56~119	65.5
D村	20	40~102	59.2
新疆地区 ^{[19]671}		50.2~403.5	102.2

3.3 地表水

在地浸铀矿区周边环境地表水 A 河上游 100、300、500 m 处及下游 100、300、500 m 处分别布设地表水监测点,每个点位布设 2 个监测点,A 河上、下游共布设 12 个测点,地浸铀矿山环境地表水核素监测结果见表 5。可以看出,该地浸铀矿区周边环境地表水 A 河中 $\rho(U_{\text{天然}})$ 为 0.87~3.26 $\mu\text{g/L}$, $\rho(\text{Th})$ 为 0.39~0.58 $\mu\text{g/L}$,

$C(^{226}\text{Ra})$ 为 2.84~8.41 mBq/L,总 α 活度浓度为 0.03~0.12 Bq/L,总 β 活度浓度为 0.13~0.31 Bq/L。该地浸铀矿区周边环境地表水 A 河中 $U_{\text{天然}}$ 、Th、 ^{226}Ra 等核素浓度处于新疆地区河流核素本底水平范围内;A 河中总 α 、总 β 活度浓度与建矿前总 α 、总 β 本底值水平(总 α : 0.05~0.11 Bq/L,总 β : 0.03~0.35 Bq/L)^{[18]58} 基本一致。

表 5 地表水放射性核素监测结果统计

Table 5 Statistics of radionuclide monitoring results in surface water

监测点位	测点数/个	$\rho(U_{\text{天然}})/(\mu\text{g/L})$		$\rho(\text{Th})/(\mu\text{g/L})$		$C(^{226}\text{Ra})/(\text{mBq/L})$		$C(\text{总 } \alpha)/(\text{Bq/L})$		$C(\text{总 } \beta)/(\text{Bq/L})$	
		范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值
A 河上游	6	0.87~1.51	1.33	0.46~0.53	0.50	2.84~6.59	4.21	0.03~0.10	0.06	0.13~0.31	0.23
A 河下游	6	1.28~3.26	1.92	0.39~0.58	0.49	4.20~8.41	5.75	0.04~0.12	0.08	0.13~0.25	0.21
新疆河流 ^{[19]683}		0.45~17.18		0.05~1.12		0.83~8.62					

3.4 地下水

地浸铀矿山环境地下水监测结果见表 6。可以看出,该地浸铀矿区环境地下水中 $\rho(U_{\text{天然}})$ 为 0.05~3.76 $\mu\text{g/L}$, $C(^{226}\text{Ra})$ 为 2.12~8.45 mBq/L。根据新疆辐射环境监督站放射性本底调查结果^{[18]59}可知,该地浸铀矿山监测井终孔时地下水中 $\rho(U_{\text{天然}})$ 本底值约为 0.17~24.2 $\mu\text{g/L}$,处于矿山监测井终孔时地下水本底值范围内。新疆地区地下水 $\rho(U_{\text{天然}})$ 、 $C(^{226}\text{Ra})$ 本底水平分别为 0.44~20.40 $\mu\text{g/L}$ 、0.83~8.77 mBq/L,该地浸铀矿区环境地下水中 $U_{\text{天然}}$ 、 ^{226}Ra 等核素浓度也处于新疆地区地下水放射性本底水平范围内。

$\alpha(^{226}\text{Ra})$ 为 21.6~48.2 Bq/kg,其中矿山边界处土壤测点核素活度浓度监测值偏高;这与土壤测点核素环境本底值的空间变异性有关,属于正常波动范围^[20]。该地浸铀矿区环境土壤中 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 等核素活度浓度处于新疆地区土壤放射性本底水平范围内。

3.5 土壤

地浸铀矿山环境土壤监测结果见表 7。可以看出,该地浸铀矿区环境土壤中 $a(^{238}\text{U})$ 为 19.4~39.2 Bq/kg, $a(^{232}\text{Th})$ 为 23.2~48.6 Bq/kg,

表 6 地下水放射性核素测量结果统计

Table 6 Statistics results of radionuclide measurements in groundwater

监测点位	测点数/个	$\rho(U_{\text{天然}})/(\mu\text{g/L})$		$C(^{226}\text{Ra})/(\text{mBq/L})$	
		范围	均值	范围	均值
边界外监测孔	10	0.05~3.76	1.05	2.12~8.45	6.23
新疆地区 ^{[19]683}		0.44~20.40		0.83~8.77	

表 7 土壤放射性核素测量结果统计

Table 7 Statistics results of radionuclide measurements in soil

监测点位	测点数/个	$a(^{238}\text{U})/(\text{Bq/kg})$		$a(^{232}\text{Th})/(\text{Bq/kg})$		$a(^{226}\text{Ra})/(\text{Bq/kg})$	
		范围	均值	范围	均值	范围	均值
矿区边界处	4	26.8~39.2	35.6	34.2~48.6	42.8	23.2~48.2	38.9
B 村	5	22.7~29.7	25.9	28.9~34.3	30.4	22.4~29.3	26.1
C 村	5	25.4~32.4	27.4	24.3~31.9	27.6	25.1~30.9	28.7
D 村	5	19.4~38.1	25.7	23.2~44.2	30.1	21.6~43.8	29.4
新疆地区 ^{[19]678}		10.19~79.09		26.53~65.05		18.42~54.53	

3.6 生物

地浸铀矿山环境生物鲜样样品监测结果见表 8。可以看出,该地浸铀矿区居民点 B 村及 D 村小麦、玉米鲜样样品中 $a(^{238}\text{U})$ 为 0.07~0.52 Bq/kg, $a(^{232}\text{Th})$ 为 0.04~0.77 Bq/kg, $a(^{226}\text{Ra})$ 为 0.08~0.68 Bq/kg; 羊肉鲜样样品中 $a(^{238}\text{U})$ 为 0.22~0.56 Bq/kg, $a(^{232}\text{Th})$ 为 0.36~

0.59 Bq/kg, $a(^{226}\text{Ra})$ 为 0.25~0.59 Bq/kg, 生物样中放射性核素活度浓度均未超过《食品中放射性物质限制浓度标准》(GB 14882—1994)^[21] 相关核素活度浓度限值 [粮食: $a(^{238}\text{U}) = 23.6$ Bq/kg, $a(^{226}\text{Ra}) = 14$ Bq/kg, $a(^{232}\text{Th}) = 4.84$ Bq/kg; 肉鱼虾类: $a(^{238}\text{U}) = 67.0$ Bq/kg, $a(^{226}\text{Ra}) = 38$ Bq/kg, $a(^{232}\text{Th}) = 14.5$ Bq/kg]。

表 8 生物样品鲜样放射性核素测量结果统计

Table 8 Statistics results of radionuclide measurements in biological fresh samples

监测点位	$a(^{238}\text{U})/(\text{Bq}/\text{kg})$		$a(^{232}\text{Th})/(\text{Bq}/\text{kg})$		$a(^{226}\text{Ra})/(\text{Bq}/\text{kg})$		
	范围	均值	范围	均值	范围	均值	
B 村	小麦	0.23~0.52	0.38	0.35~0.68	0.52	0.30~0.68	0.49
	玉米	0.07~0.09	0.08	0.05~0.20	0.13	0.08~0.36	0.22
	羊肉	0.22~0.55	0.39	0.45~0.59	0.52	0.28~0.52	0.40
D 村	小麦	0.20~0.48	0.34	0.28~0.77	0.53	0.42~0.63	0.53
	玉米	0.08~0.09	0.09	0.04~0.15	0.10	0.08~0.13	0.11
	羊肉	0.34~0.56	0.45	0.36~0.46	0.41	0.25~0.59	0.42

3.7 土壤氡析出率

地浸铀矿山环境土壤氡析出率监测结果见表 9。可以看出,该地浸铀矿区矿山边界处监测点土壤氡析出率为 0.11~0.17 Bq/(m²·s), 距离地浸铀矿区 5 km 范围内的居民点 B 村及 C 村土壤氡析出率为 0.08~0.15 Bq/(m²·s), 矿山边界处测点土壤氡析出率测量值略高于 B 村及 C 村; 这与土壤氡析出率环境本底值的空间变异性有关, 属于正常波动范围。矿山边界处、B 村及 C 村监测点土壤氡析出率测量值与 D 村监测点土壤氡析出率测量值处于同一水平。

表 9 土壤氡析出率测量结果统计

Table 9 Statistics results of radon exhalation rate measurement

监测点位	测点数/个	氡析出率/[Bq/(m ² ·s)]	
		范围	均值
矿区边界处	4	0.11~0.17	0.14
B 村	3	0.08~0.11	0.09
C 村	3	0.10~0.15	0.12
D 村	3	0.06~0.12	0.08

4 结论和建议

该地浸铀矿山周边环境空气、陆地 γ 、地表水、地下水、土壤、动植物、土壤氡析出率等监测介质的放射性水平, 基本处于新疆地区放射性本底水平范围或相应的标准限值内。地浸采铀工程的运行对环境的影响很小, 是可以接受的, 地浸铀辐射环境质量良好, 辐射环境风险可控。

在后续地浸铀矿山生产运行过程中, 矿山企业应强化环境保护意识, 通过建立健全环境管理及监测计划, 制定科学有效的辐射防护措施, 控制地下水影响范围和治理已被污染的地下水, 加强铀矿开采过程中的环境管理, 确保铀矿开采活动对环境的影响最小化, 促进地浸采铀可持续发展。

参考文献:

- [1] 苏学斌, 李喜龙, 刘乃忠, 等. 环境友好型地浸采铀工艺技术与应用[J]. 中国矿业, 2016, 25(9): 97-100.
SU Xuebin, LI Xilong, LIU Naizhong, et al. Application of the environment friendly technology of in-situ leaching of uranium[J]. China Mining Magazine, 2016, 25(9): 97-100(in Chinese).

- [2] 苏学斌,杜志明.我国地浸采铀工艺技术发展现状与展望[J].中国矿业,2012,21(9):79-83.
SU Xuebin, DU Zhiming. Development and prospect of China uranium in-situ leaching technology [J]. China Mining Magazine, 2012, 21(9): 79-83 (in Chinese).
- [3] 孙占学,马文洁,刘亚洁,等.地浸采铀矿山地下水环境修复研究进展[J].地学前缘,2021,28(5):215-225.
SUN Zhanxue, MA Wenjie, LIU Yajie, et al. Research progress on groundwater contamination and remediation in in-situ leaching uranium mines [J]. Earth Science Frontiers, 2021, 28(5): 215-225 (in Chinese).
- [4] World nuclear association. World uranium mining production [EB/OL]. (2024-05-16) [2025-01-22]. <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Mining-of-Uranium/World-Uranium-Mining-Production/>.
- [5] 张学礼,徐乐昌.地浸采铀设施氡的辐射照射及其控制措施[J].核安全,2016,15(1):17-22.
ZHANG Xueli, XU Lechang. Radiation exposure and its control measures of radon from facilities for in-situ leaching of uranium [J]. Nuclear Safety, 2016, 15(1): 17-22 (in Chinese).
- [6] 阙为民,王海峰,田时丰,等.我国地浸采铀研究现状与发展[J].铀矿冶,2005,24(3):113-117.
QUE Weimin, WANG Haifeng, TIAN Shifeng, et al. Research status and development of in-situ leaching uranium techniques in China [J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2005, 24(3): 113-117 (in Chinese).
- [7] 王贤磊,李峰,张辉,等.酸法地浸采铀退役采区地下水二步修复法[J].有色金属工程,2021,11(10):136-142.
WANG Xianlei, LI Feng, ZHANG Hui, et al. The two step remediation approach for groundwater in the decommissioned mining field of acid in-situ leach uranium mining [J]. Nonferrous Metals Engineering, 2021, 11(10): 136-142 (in Chinese).
- [8] 孟华,刘涛涛.地浸采铀技术及水污染治理[J].绿色科技,2016(8):33-35.
MENG Hua, LIU Taotao. The in-situ leaching uranium technology and the treatment of water pollution problem [J]. Journal of Green Science and Technology, 2016(8): 33-35 (in Chinese).
- [9] 连国玺,孙娟,谢树军,等.地浸采铀地下水本底值确定方法研究[J].铀矿冶,2024,43(1):58-64.
LIAN Guoxi, SUN Juan, XIE Shujun, et al. Determination method of groundwater baseline of in-situ leaching of uranium [J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2024, 43(1): 58-64 (in Chinese).
- [10] 牛洁,张学礼.捷克 Straz 地浸铀矿山地下水恢复治理介绍[J].铀矿冶,2016,35(2):110-117.
NIU Jie, ZHANG Xueli. Introduction to groundwater remediation after ISL mining of uranium at Straz Pod Ralskem, Czech Republic [J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2016, 35(2): 110-117 (in Chinese).
- [11] 苏学斌,胥建军.中国铀矿山绿色安全的现状与发展思路[J].铀矿冶,2017,36(2):119-125.
SU Xuebin, XU Jianjun. The present situations and ideas on development of green security uranium mine in China [J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2017, 36(2): 119-125 (in Chinese).
- [12] 陈前远,杨维耿,赵顺平,等.我国开展的辐射环境水平调查现状与展望[J].辐射防护,2021,41(6):481-487.
CHEN Qianyuan, YANG Weigeng, ZHAO Shunping, et al. Environmental radiation surveys carried out in China and further suggestions [J]. Radiation Protection, 2021, 41(6): 481-487 (in Chinese).
- [13] 环境保护部,国家质量监督检验检疫总局.铀矿冶辐射环境监测规定:GB 23726—2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [14] 生态环境部,国家市场监督管理总局.电离辐射监测质量保证通用要求:GB 8999—2021[S].北京:中国标准出版社,2021.
- [15] 生态环境部.辐射环境监测技术规范:HJ 61—2021[S].北京:中国标准出版社,2021.
- [16] 国家技术监督局.环境核辐射监测规定:GB 12379—90[S].北京:中国标准出版社,1990.
- [17] 王亚兰,徐乐昌,张辉,等.某酸法地浸铀矿山氡释放特征研究[J].铀矿冶,2024,43(3):93-99.
WANG Yalan, XU Lechang, ZHANG Hui, et al. Investigation on radon release characteristics of an acid in-situ leaching uranium mine [J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2024, 43(3): 93-99 (in Chinese).
- [18] 新疆辐射环境监督站.新疆原地浸出采铀工业性试验基地环境放射性本底调查报告[R].乌鲁木齐:新疆辐射环境监督站,1993.
- [19] 国家环境保护总局.中国环境天然放射性水平[M].北京:国家环境保护局,1995:525-543.

- [20] 田新军,刁春娜.新疆地浸铀矿山环境影响分析与污染防治措施[J].铀矿冶,2010,29(1):29-32.
TIAN Xinjun, DIAO Chunna. Analysis of environmental impact about in-situ leaching uranium mines of Xinjiang and measures of pollution prevention [J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2010, 29(1): 29-32(in Chinese).
- [21] 中华人民共和国卫生部.食品中放射性物质限制浓度标准:GB 14882—1994[S].北京:中国标准出版社,1994:1-3.

Investigation of Radiation Environment Level in an In-situ Leaching Uranium Mine

WANG Yalan, XU Lechang, DAI Xiangnan, ZHANG Dong

(Beijing Research Institute of Chemical Engineering and Metallurgy, CNNC, Beijing 101149, China)

Abstract: In-situ leaching uranium has become one of the important techniques in uranium mining and metallurgy of China after more than 40 years of experimental research and industrial application. However, the radioactive wastewater, radioactive waste gas and radioactive solid wastewater produced by long-term in-situ leaching uranium will have impact of different extent on the ecological environment around the mine, which pose adverse effect on public health and environmental safety. In order to understand the radiation environment of in-situ leaching uranium mine, taking an in-situ leaching uranium mine in Xinjiang as the investigation object, radiation environment investigation and research during production and operation period of mine were carried out on the basis of the site investigation and sample analysis. The results show that the radioactivity levels of monitoring media such as ambient air, terrestrial gamma, surface water, groundwater, soil, biological samples, and radon exhalation rate around the in-situ leaching uranium mine are basically within the radioactive background level range of Xinjiang region or the applied standard limits, besides the radiation environmental quality meet the corresponding requirements and the radiation environmental risk is controllable. In the future production and operation period of in-situ leaching mine, mining enterprises should strengthen the awareness of environmental protection, through establishing and improving environmental management and monitoring plans, formulating scientific and effective radiation protection measures, strengthening environmental monitoring and emergency management and other measures to ensure the impact of mining activities on the environment is minimized, public health and environmental safety is guaranteed and development of in-situ leaching uranium mining is further improved.

Key words: uranium mine; in-situ leaching; radiation environment; radioactivity level; groundwater; investigation; monitor