

江西省某伴生放射性矿开发利用企业辐射环境监测与分析

张江旭¹ 胡跨越^{2*} 赵瑞超³

1 核工业二〇八大队 2 内蒙古科技大学 矿业与煤炭学院 3 内蒙古科技大学 分析测试中心

DOI:10.32629/etd.v6i5.16884

[摘要] 对江西省某伴生放射性矿开发利用企业2023-2024年度的辐射环境开展监测与分析,旨在判断其工业活动过程对周围辐射环境质量的影响。结果表明:厂界最大风频下风向500米内最近2处居民点氡浓度水平在8~11Bq/m³之间,平均氡浓度17.75Bq/m³,与对照点的空气氡浓度处于同一水平,说明该伴生放射性矿企业生产过程中氡对公众和环境的潜在影响是可以接受的。厂界四周及居民点 γ 辐射空气吸收剂量率均值与对照点均值处于同一水平。土壤测点中放射性核素²³⁸U、²³²Th、²²⁶Ra的活度浓度与1984~1989年江西省土壤中天然放射性核素调查结果相比,所有测点数据均属同一水平。地表水与地下水中核素浓度与历史测值无明显差异,说明周边环境和公众受到该伴生放射性矿开发利用企业生产活动造成的辐射影响不显著。

[关键词] 伴生放射性矿; 辐射环境监测; 氡浓度

中图分类号: X83 文献标识码: A

Radiation environment monitoring and analysis of a company engaged in the development and utilization of an associated radioactive mine in Jiangxi Province

Jiangxu Zhang¹ Kuayue Hu^{2*} Ruichao Zhao³

1 No. 208 Brigade of the Nuclear Industry

2 School of Mining and Coal, Inner Mongolia University of Science and Technology

3 Analysis and Testing Center, Inner Mongolia University of Science and Technology

[Abstract] The purpose of monitoring and analyzing the radiation environment of an associated radioactive mine development and utilization enterprise in Jiangxi Province in 2023-2024 is to judge the impact of its industrial activities on the quality of the surrounding radiation environment. The results show that the radon concentration level in the last two residential sites within 500 meters of the maximum wind frequency at the plant boundary is between 8~11Bq/m³, and the average radon concentration is 17.75Bq/m³, which is at the same level as the air radon concentration at the control point, indicating that the potential impact of radon on the public and the environment in the production process of the associated radioactive mining enterprise is acceptable. The average absorbed dose rate γ of radiant air around the plant boundary and in residential areas was at the same level as the average value of the control point. Compared with the survey results of natural radionuclides in the soil of Jiangxi Province in 1984~1989, the activity concentrations of radionuclides ²³⁸U, ²³²Th and ²²⁶Ra in the soil were at the same level. There was no significant difference between the nuclide concentrations in surface water and groundwater and the historical measurements, indicating that the surrounding environment and the public were not significantly affected by the radiation caused by the production activities of the associated radioactive mine development and utilization enterprise.

[Key words] associated radioactive minerals; radiation environment monitoring; radon concentration

伴生放射性矿产开发利用指在矿产采选、冶炼及主矿种深加工过程中,伴生天然放射性物质(铀、钍系核素)被活化迁移的工业活动。根据《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录》^[1],我国明确将16类矿产纳入辐射环境重点监管范畴,按矿种类

型可划分为:稀有/稀散金属:稀土、锆及氧化锆、铌/钽、锆、钼、镍;有色金属:铜、铅/锌、锡、铝、钛、金;黑色金属:铁、钒;能源与化工原料:煤、磷酸盐。在此类矿产开发的全产业链中(探矿→开采→选矿→冶炼→废渣处置),铀(钍)衰变

表 1 某伴生放射性矿开发利用企业辐射环境监测内容

介质	采样点或监测点	监测项目	频次
空气	最大风频下风向 500 米内最近居民点 1、最大风频下风向 500 米内最近居民点 2、厂区内、对照点。	氡浓度、氡子体	1 次/半年
陆地γ	厂界北、厂界东、厂界南、厂界西、厂界北侧土壤、厂界东侧土壤、厂界南侧土壤、厂界西侧土壤、厂区内道路 1#-10#、最大风频下风向 500 米内最近居民点 1、最大风频下风向 500 米内最近居民点 2、对照点、废水排放口旁农田土壤	γ 辐射剂量率	1 次/半年
地表水	排放口上游 500 米、排放口处、排放口下游 500 米、	铀、钍、镭-226	1 次/半年
地下水	厂区水井、最大风频下风向 500 米内最近居民点 2 水井、最大风频下风向 500 米内最近居民点 1 水井	铀、钍、镭-226	1 次/年
土壤	厂界北侧、厂界东侧、厂界南侧、厂界西侧、废水排放口旁农田土壤、最大风频下风向 500 米内最近居民点 1 土壤、最大风频下风向 500 米内最近居民点 2 土壤、对照点土壤	铀、钍、镭-226	1 次/年

表 2 某伴生放射性矿开发利用企业辐射环境监测仪器与方法

监测类别	监测项目	依据的标准(方法名称)及编号(含年号)	检出限	单位	仪器名称及编号
电离辐射	环境γ辐射剂量率	HJ 1157-2023《环境γ辐射剂量率测量技术规范》	1	nGy/h	FH40G+FHZ672E-10 环境级环境γ剂量率仪
	氡	HJ 1212-2023《环境空气中氡的测量方法》	4	Bq/m ³	RAD7 α能谱氡气检测仪
	氡子体	EJ 378-1989《铀矿空气中氡及氡子体测定方法》	1.0	nJ/m ³	BWLM-PLUS-S 氡及其子体测量仪
土壤	铀	GB/T 14506.30-2010《硅酸盐岩石化学分析方法 44 个元素量测定》	0.003	mg/kg	Ne xION300X 电感耦合等离子体质谱仪
	钍		0.8	mg/kg	
	镭-226	GB/T 11743-2013《土壤中放射性核素的γ能谱分析方法》	1.0	Bq/kg	BH1936 环境γ谱仪
地下水、地表水	钍	HJ 700-2014《水质 65 种元素的测定电感耦合等离子体质谱法》	0.00005	mg/L	Ne xION300X 电感耦合等离子体质谱仪
	铀		0.00004	mg/L	
	镭-226	GB 11214-1989《水中镭-226 的分析测定》	0.002	Bq/L	PC-2100 镭钍分析仪

链核素(如Ra-226等)会通过工艺过程迁移、三废排放和副产品富集等途径向环境释放,此类核素的环境释放可导致区域性辐射剂量率升高、水土介质放射性污染及生态系统生物富集效应,对公众健康构成潜在风险,并可能引发矿区周边环境介质中放射性核素本底水平的不可逆改变^[2]。

依据生态环境部2018年颁布的《伴生放射性矿开发利用企业辐射环境监测及信息公开办法(试行)》^[3],我国对伴生放射性

矿企业实施分级管控:当企业生产过程中的原矿、中间产物或固体残留物中铀(钍)系任一核素活度浓度超过1Bq/g时,即被纳入法定辐射环境监测与信息公开范围。江西省某企业以锂矿石为原料,锂矿石不在《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录》^[1]的16类矿产行列,但是其产品之一的钽铌锡精矿中铀系核素活度浓度已经超过1 Bq/g的管理限值,故企业也开展了辐射环境监测工作。

表3 空气中氡及其子体浓度监测结果

点位	监测时段	氡(Bq/m ³)		氡子体(nJ/m ³)	
		2023年	2024年	2023年	2024年
最大风频下风向500米内最近居民点1	上半年	8	8	17.8	18.8
	下半年	9	10	19.3	21.2
	均值	8.5	9	18.6	20
最大风频下风向500米内最近居民点2	上半年	10	7	19.6	17.3
	下半年	11	8	21.5	18.6
	均值	10.5	7.5	20.6	17.9
厂区内	上半年	17	36	32.8	51.4
	下半年	20	34	35.6	49.5
	均值	18.5	35.5	34.2	50.45
对照点	上半年	8	13	16.7	21.7
	下半年	8	12	15.6	22.8
	均值	8	12.5	16.2	22.25

本文收集并报道了以江西某锂矿石为原料的伴生矿开发利用企业2023-2024年度辐射环境监测结果,并重点对厂界内外空气氡及其子体浓度、厂界内外 γ 辐射空气吸收剂量率、土壤、地表水和地下水放射性核素含量进行了评价分析,以掌握此类中间产品超过管理限值的企业在工业活动对周围辐射环境质量的影响。

1 监测内容及方法

1.1 监测内容

监测内容及方法依据《伴生放射性矿开发利用企业辐射环境监测及信息公开办法(试行)》^[3]中的要求进行,包括流出物监测和辐射环境监测两个部分,具体内容见表1。

1.2 监测仪器与方法

本项目测量仪器均检定/校准合格,并在有效期内,监测方法均依据现行国家标准或行业标准。监测项目、测量仪器和监测方法依据标准见表2。

1.3 质量保证

为了保证监测结果的正确性,本次现场监测、取样和室内分析均严格进行全方位质量控制。监测取样人员培训合格上岗,工作中使用的分析、测量仪器均经检定合格,并在有效期内使

用。严格按照规范要求检查仪器性能,使工作中测量仪器满足长期稳定性、短期稳定性及一致性的要求,分析测试数据满足“五性”要求。

2 结果与分析

2.1 空气中氡及其子体浓度

2023-2024年度,在厂区内、厂界最大风频下风向500米内最近2处居民点和对照点进行了空气中氡及其子体浓度的布点监测。表3氡及其子体浓度监测结果表明:厂区内监测点空气中氡浓度水平在17~36Bq/m³之间,平均氡浓度27Bq/m³,平均氡子体浓度42.32nJ/m³,厂界最大风频下风向500米内最近2处居民点氡浓度水平在8~11Bq/m³之间,平均氡浓度17.75Bq/m³,平均氡子体浓度38.55nJ/m³。厂区内平均氡浓度约为对照点的2.6倍,2处居民点与对照点的空气氡浓度处于同一水平,说明该伴生放射性矿企业生产过程中氡对公众和环境的潜在影响是可以接受的。参照《我国部分地区空气中氡及其子体 α 潜能浓度调查研究(1983~1990)》中的调查结果^[4],室外平均氡子体浓度均值范围为15.4~114nJ/m³,厂区内及厂界最大风频下风向500米内最近2处居民点氡子体浓度均处于该范围,属于环境正常水平。

2.2 γ 辐射空气吸收剂量率

表4 γ 辐射空气吸收剂量率结果

测量地点	2023年度			2024年度		
	上半年 (nGy/h)	下半年 (nGy/h)	均值 (nGy/h)	上半年 (nGy/h)	下半年 (nGy/h)	均值 (nGy/h)
厂界北	92±2	94±3	93	94±3	91±5	92.5
厂界东	85±3	99±3	92	84±3	105±2	94.5
厂界南	81±4	94±2	87.5	97±3	107±4	102
厂界西	84±3	82±2	83	107±4	95±4	101
厂界北侧土壤	88±2	86±3	87	91±2	110±5	100.5
厂界东侧土壤	75±3	92±2	83.5	84±3	90±4	87
厂界南侧土壤	80±2	87±4	83.5	85±4	105±4	95
厂界西侧土壤	76±2	87±3	81.5	89±4	87±3	88
厂区内道路1#	86±3	85±2	85.5	74±3	81±3	77.5
厂区内道路2#	78±3	82±3	80	79±3	83±2	81
厂区内道路3#	94±2	108±2	101	84±3	91±3	87.5
厂区内道路4#	97±3	91±3	94	96±4	84.2±3	90
厂区内道路5#	80±3	81±3	80.5	97±4	102.±3	99.5
厂区内道路6#	90±2	85±3	87.5	87±4	99±4	93
厂区内道路7#	101±3	93±3	97	84±4	91±4	87.5
厂区内道路8#	79±3	75±3	77	103±3	80±3	91.5
厂区内道路9#	78±3	83±3	80.5	96±3	83±3	89.5
厂区内道路10#	90±2	80±3	85	100±4	88±3	94
最大风频下风向500米内最近居民点1	83±3	100±3	91.5	87±3	94±3	90.5
最大风频下风向500米内最近居民点2	79±2	83±2	81	85±3	105±4	95
对照点	91±3	90±4	90.5	87±5	88±5	87.5
1984~1989江西省环境天然贯穿辐射水平调查值				13.7~340.8		

注:表中监测结果未扣除仪器对宇宙射线响应值。

2023-2024年度,在厂界四周最近地面及厂区道路、最大风频下风向500米内最近居民点和对照点进行了 γ 辐射空气吸收剂量率的布点监测。表3的 γ 辐射空气吸收剂量率结果表明:厂区道路、居民点、对照点及厂界四周,两个监测年度内 γ 辐射空

气吸收剂量率没有明显变化,部分监测点位 γ 辐射空气吸收剂量率在两个年度的测值存在细微差异,可能是由于两个测试年度监测人员选择的监测点位距离厂界有所不同,或者是监测点位的地表介质的不同,如监测点位介质由土壤变为水泥地。

表5 土壤中放射性核素含量监测结果

测量地点	U-238(Bq/kg)		Th-232(Bq/kg)		²²⁶ Ra(Bq/kg)	
	测量范围	平均值	测量范围	平均值	测量范围	平均值
厂界北侧	56.81-81.76	69.28	86.18-138.78	112.48	35.9-37.3	36.60
厂界东侧	72.87-83.12	77.99	78.09-96.7	87.39	37.1-49.8	43.45
厂界南侧	93.12-247	170.06	80.92-88.2	84.56	46.9-108	77.45
厂界西侧	57.18-80.03	68.60	82.94-97.51	90.23	25.1-44.8	34.95
废水排放口旁农田土壤	70.89-96.33	83.61	82.13-94.68	88.41	41.7-55.9	48.80
最大风频下风向500米内最近居民点1土壤	111.4-123.13	117.26	81.73-102.77	92.25	41.5-57.9	49.70
最大风频下风向500米内最近居民点2土壤	161.79-176.61	169.20	97.91-108.84	103.38	96.3-106	101.15
对照点土壤	106.95-129.68	118.31	83.35-89.01	86.18	61.9-81.4	71.65
1984~1989年江西省土壤中天然放射性核素调查结果	17.0~354.4		10.2~199.5		13.0~425.8	

厂界外环境γ辐射空气吸收剂量率为75~110nGy/h,各监测点γ辐射空气吸收剂量率均值与厂区最大风频下风向500米内最近居民点和对照点均值基本为同一水平,处于对照点监测结果87~91nGy/h的3倍水平范围内,处于1984~1989江西省环境天然贯穿辐射水平调查值范围内^[5]。

2.3 土壤中放射性核素含量

两监测年度内企业厂界四周及废水排放口旁农田土壤中²³⁸U的活度浓度范围为56.81~247Bq/kg,²³²Th的活度浓度范围为78.09~138.78Bq/kg,²²⁶Ra的活度浓度范围为25.1~108Bq/kg。放射性核素²³⁸U、²³²Th、²²⁶Ra的活度浓度与1984~1989年江西省土壤中天然放射性核素调查结果相比^[6],所有测点数据均属同一水平。厂区最大风频下风向500米内最近居民点和对照点的²³⁸U、²³²Th、²²⁶Ra的活度浓度基本处于同一水平,说明两处居民点基本没有受到伴生放射性矿开发利用企业工业活动的辐射环境影响,但企业应根据相关辐射环境源项特点持续关注周边土壤中的天然放射性核素活动浓度^[7]。

2.4 地表水中放射性核素含量

在厂区处理后废水排放的河流排放口上游500米(对照断面)、排放口下游500米(污染断面)和排放口下游1000米(消减断面)进行了地表水采样监测,检测结果见表6。排放口处地表水中铀的含量范围为0.30~0.70 μg/L,钍的含量范围为0.09~0.51 μg/L,²²⁶Ra的活度浓度范围为0.007~0.014Bq/L,较排放口上游500米(对照断面),铀、钍和²²⁶Ra的含量基本处于同一水平。对比排放口处核素含量,排放口下游500米(污染断面)和排放口下游1000米(消减断面)核素含量相差不大,呈现轻度的核素含量衰减趋势,说明厂区排放废水进入受纳水体后流经下游500米处

已经混合均匀。四个监测点位反映出厂区废水排放口及排放口上下游4个监测断面的铀、钍核素含量总体处于受纳河流核素本底水平^[8],²²⁶Ra的含量较历史本底数据有微弱的上升,可能是河流全境内如矿山开采等人类工业活动造成的。

表6 地表水中核素含量监测结果

测量地点	时间	U(μg/L)	Th(μg/L)	²²⁶ Ra(Bq/L)
排放口上游500米	2023年	0.39	1.16	0.019
	2024年	0.69	0.44	0.005
排放口处	2023年	0.30	0.09	0.014
	2024年	0.70	0.51	0.007
排放口下游500米	2023年	0.36	0.51	0.012
	2024年	0.69	0.42	0.005
排放口下游1000米	2023年	0.21	0.71	0.018
	2024年	0.62	0.39	0.006
受纳河流本底水平		0.52-1.07	0.02-1.08	0.001-0.006

2.5 地下水中放射性核素含量

在厂区内水井和厂区最大风频下风向500米内最近居民点水井进行了地下水采样监测,检测结果见表7。居民点地下水中铀的含量范围为0.09~0.42 μg/L,钍的含量范围为0.05~0.70 μg/L,²²⁶Ra的活度浓度范围为0.003~0.011Bq/L,所有核素测值均

在《2022年全国辐射环境质量报告》^[9]地下水监测结果范围内。两处居民点地下水水质在监测年度内满足《生活饮用水卫生标准》^[10]中铀: 0.03mg/L、镭-226: 1Bq/L的限值要求。厂区最近居民点井水中钍、铀和镭-226与1984~1989年江西省农村井水中天然放射性调查相比, 无显著差异。

表7 地下水中核素含量监测结果

测量地点	时间	U ($\mu\text{g/L}$)	Th ($\mu\text{g/L}$)	²²⁶ Ra(Bq/L)
厂区水井	2023年	0.39	0.19	0.003
	2024年	0.36	0.62	0.006
最大风频下风向500米内 最近居民点1	2023年	0.42	0.10	0.004
	2024年	0.12	0.38	0.005
最大风频下风向500米内 最近居民点2	2023年	0.33	0.05	0.003
	2024年	0.09	0.70	0.011
1984~1989年江西省农村井水中天然 放射性调查结果		0.01-13.6	0.02-1.2	0.001-0.038

3 结论

对江西省某伴生放射性矿开发利用企业2023-2024年度辐射环境的监测结果表明:

(1) 该企业下风向2处居民点与对照点的空气氡浓度处于同一水平, 说明该伴生放射性矿企业生产过程中氡对公众和环境的潜在影响是可以接受的; 厂界四周及居民点 γ 辐射空气吸收剂量率均值与对照点均值基本为同一水平。

(2) 两监测年度内, 企业周边土壤中²³⁸U、²³²Th及²²⁶Ra活度浓度与江西省历史本底值无显著差异, 且厂区下风向居民点核素水平与对照点一致, 表明当前伴生矿开发未引发区域性放射性污染扩散。

(3) 厂区废水排放未显著改变受纳河流中铀、钍本底水平, 周边地下水放射性指标符合饮用水标准且与历史数据一致, 表明伴生矿开发未引发水环境放射性污染扩散。

【基金项目】

科研课题立项单位: 教育部供需对接就业育人项目, 课题名称: 地质化学实验室岩矿分析测试人才能力提升的途径探究。(编号: 2023122866571)。

【参考文献】

[1] 生态环境部. 矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录(公告2020年第54号)[EB]. 北京, 2020.

[2] 高思旂, 杨春, 谢树军, 等. 我国伴生放射性矿辐射环境监管的思考[J]. 核技术, 2023, 46(01): 4-10.

[3] 生态环境部. 伴生放射性矿开发利用企业环境辐射监测及信息公开办法(试行)[Z]. 北京: 生态环境部办公厅, 2018.

[4] 全国环境天然放射性水平调查总结报告编写小组. 我国部分地区空气中氡及其子体 α 潜能浓度调查研究(1983-1990)[J]. 辐射防护, 1992(2): 164-170.

[5] 李莹, 郑水红, 吴向荣, 等. 江西省环境天然贯穿辐射水平调查研究[J]. 辐射防护, 1991, (02): 107-123.

[6] 李新德, 郑水红, 吴向荣, 等. 江西省土壤中天然放射性核素含量调查[J]. 辐射防护, 1993, (04): 291-294.

[7] 李录峰. 甘肃省某伴生放射性矿开发利用企业辐射环境监测与分析[J]. 科技创新与生产力, 2025, 46(02): 103-106+112.

[8] 孙翊如, 郑水红, 吴向荣, 等. 江西省水体中天然放射性核素浓度调查研究[J]. 辐射防护, 1991, (05): 358-364.

[9] 生态环境部辐射环境监测技术中心. 2022年全国辐射环境质量报告[R]. 北京, 2022.

[10] 国家市场监督管理总局与国家标准化委员会. 生活饮用水卫生标准: GB5749-2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.

作者简介:

张江旭(1987--), 男, 汉族, 陕西省延川县人, 工学硕士, 副高职称, 研究方向: 地球物理与环境科学方向。

*通讯作者:

胡跨越(2001--), 女, 汉族, 江西省九江市人, 工学硕士, 研究方向: 多金属难选矿综合利用。