

2017—2024 年广西某离子型稀土分离企业周围 环境放射性水平分析

彭文斌, 向辉云, 林明媚, 林 晨, 江 岳, 黄彬丽

(广西壮族自治区辐射环境监督管理站, 广 西 南 宁 530222)

摘要: 为掌握离子型稀土矿分离企业周边的放射性水平及其变化趋势, 评估冶炼分离过程对周边环境的潜在影响, 以广西某典型稀土分离企业为对象, 在 2017—2024 年期间, 连续 8 年系统监测企业周边环境, 获取了时空分布数据, 掌握了企业周围辐射环境的动态特征及变化趋势。企业周边 γ 剂量率最大值为 104 nGy/h, 氡浓度最大值为 69.0 Bq/m³; 固态环境样品中 ²³⁸U、²³²Th、²²⁶Ra、⁴⁰K 比活度分别为 36.8~88.9、28.9~180、27.7~107、452~479 Bq/kg; 气态环境样品中 ²³⁸U、²³²Th、²²⁶Ra、⁴⁰K 比活度分别为 <29.8、<6.95~27.6、<6.28~27.6、<19.3~33.5 Bq/kg; 液态环境样品中铀、钍质量浓度分别为 0.057~3.7、0.019~0.948 μ g/L, ²²⁶Ra、总 α 、总 β 活度浓度分别为 2.01~21.9 mBq/L、0.017~0.123 Bq/L、0.027~0.099 mBq/L; 液态流出物样品中 U、Th 总量为 0.241~168 μ g/L, ²²⁶Ra、²¹⁰Po、²¹⁰Pb 活度浓度为 16.2~1 870、1.35~89.1、2.56~96.8 mBq/L。结果表明, 2017—2024 年, 该离子型稀土分离企业周围环境 γ 辐射剂量率、氡浓度水平、地表水、地下水、气溶胶、土壤、底泥的放射性指标基本符合标准要求, 企业周边辐射环境总体稳定, 部分指标的明显波动与污水处理工艺调整密切相关。

关键词: 离子型稀土; 伴生放射性矿; 辐射监测; 放射性; 环境影响; 流出物

中图分类号: X591; TL75 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2026)01-0154-09

DOI: 10.13426/j.cnki.yky.2025.04.16

稀土作为重要战略资源, 是新一代国防军工、新能源、信息技术、高端制造等关键领域的核心材料。中国稀土资源储量丰富, 广泛分布于广东、广西、江西、内蒙古、新疆等地区^[1]。广西拥有储量丰富、品质稀缺且保护较好、开发强度较低的稀土资源^[2-3], 是国内珍贵的离子型稀土资源基地之一, 具有重要的战略价值和发展潜力^[4-5]。

在稀土资源开发过程中, 矿石开采、选矿、冶炼和深加工等工艺流程中涉及的原料、半成品及废料都可能含有超过 1 Bq/g 的铀(钍)系放射性核素, 这些放射性核素可能通过气溶胶、废水、固体废物等途径扩散到环境中。根据国家相关法规, 这类企业被列入重点辐射环境监管对象, 也是第二次全国污染源普查中伴生放射性矿专项普查的重点^[6-9]。

为全面评估离子型稀土矿冶炼分离过程中放射性物质对周边环境的影响, 以广西某典型离子型稀土矿分离企业为研究对象, 开展连续 8 年的放射性水平监测, 旨在掌握离子型稀土矿分离企

业周边的放射性水平及其变化趋势, 评估冶炼分离过程对周边环境的潜在影响, 为伴生放射性矿企业的辐射环境管理提供可靠的参考依据。

1 企业概况

该离子型稀土分离企业位于广西某市, 2017 年 1 月投入试生产, 2020 年启动项目终期环境保护竣工验收。该稀土企业主要采用无氨氮、非皂化萃取分离稀土技术及模糊萃取分离技术, 处理南方离子型稀土氧化矿和碳酸轻稀土。生产工艺流程主要分为酸溶、萃取分离、沉淀、灼烧 4 个工序, 生产工艺: 1) 酸溶车间工序。将外购的碳酸轻稀土和南方离子型稀土氧化矿按一定比例混合, 加入盐酸并在酸溶罐中通入蒸汽加热溶解, 同时加入少量辅助试剂以强化杂质去除, 加入絮凝剂静置使其澄清, 虹吸上清液, 并与经板框机过滤得到的混合氯化稀土溶液调配后转到料液储槽供萃取工序使用; 底流经洗涤过滤回收水料后, 酸溶干渣进入酸溶渣库贮存。2) 萃取分离工序。经酸溶净化制得的混

收稿日期: 2025-04-23; 修回日期: 2025-06-13

通信作者: 向辉云

合氯化稀土溶液进入萃取工序,采用模糊萃取和非皂化工艺(萃取分离钇采用钠皂工艺)实现单一稀土元素的分离。以 P507、环烷酸(用于萃取分离钇)为萃取剂,盐酸为反萃剂,经萃取分离得到的单一氯化稀土溶液送沉淀工序。3)沉淀工序。萃取分离后的氯化稀土溶液,经草酸或碳酸钠沉淀,得到各稀土单一元素的中间产品(草酸盐或碳酸盐),沉淀脱水后进入灼烧工序。4)灼烧工序。将经沉淀得到的各稀土元素的草酸盐或碳酸盐,经过高温

灼烧、分解得到氧化镧、氧化铈、氧化镨、氧化钕等产品。

2 监测方案与质量保证

2.1 监测方案

根据《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)》^[10],结合企业及周边环境特征制定监测方案(表 1),监测方法与测量仪器信息见表 2,监测点位布设见图 1。

表 1 监测方案
Table 1 Monitoring plan

介质	监测项目	监测/采样点位
空气	γ 辐射剂量率	厂界四周、周围敏感点(最近的居民点)
	氡浓度	厂界四周、周围敏感点(最近的居民点)、市区对照点等
气溶胶	²³⁸ U、 ²³² Th、 ²²⁶ Ra、 ⁴⁰ K	上风向厂区边界处、下风向厂区边界处、居民点
水 ^{①②}	总 U、总 Th、 ²²⁶ Ra、总 α、总 β、 ²¹⁰ Pb、 ²¹⁰ Po	总排口、总排口上游和下游地表水,最近的居民点井水等
固体	²³⁸ U、 ²³² Th、 ²²⁶ Ra	厂界周边与总排口附近农田土壤、总排口上游和下游底泥

注:①2021、2022 年所采集的部分水样开展²¹⁰Pb、²¹⁰Po 分析;②2017、2020 年所采集的部分水样开展总 α、总 β 分析。

表 2 监测方法与测量仪器
Table 2 Monitoring methods and measurement instruments

监测项目	监测对象	监测方法	测量仪器	主要技术参数
γ 辐射空气吸收剂量率	γ 辐射	GB/T 14583—93 HJ 1157—2021	FH40G+FHZ672E-10 型 X-γ 辐射剂量率仪	探测限:1 nGy/h
氡浓度	空气	GB/T 14582—1993 HJ 1212—2021	RAD-7 型测氡仪 NRM-P01 型测氡仪	探测限:3.7 Bq/m ³ 探测限:2.0 Bq/m ³
			BE3830 型高纯锗 γ 谱仪 GEM-C7080-LB-C 型 高纯锗 γ 谱仪	本底:0.92 cps 本底:1.97 cps
²³⁸ U、 ²³² Th、 ²²⁶ Ra、 ⁴⁰ K	气溶胶、土壤、底泥	GB/T 11713—2015 GB/T 11743—2013 GB/T 16145—2022 WS/T 184—2017	GEM-C94100-LB-C 型 高纯锗 γ 谱仪 BE5030P 型高纯锗 γ 谱仪 GR6022 型高纯锗 γ 谱仪	本底:2.62 cps 本底:0.67 cps 本底:2.62 cps
U	水(地表水、地下水)	HJ 840—2017 (3. 激光荧光法)	WGJ-Ⅲ 型微量铀分析仪	探测限:0.02 μg/L
	水(地下水、流出物)	HJ 840—2017 (4. N235 萃取—分光光度法)	TU-1950 型、UV-2600 型 分光光度计	探测限:0.02 μg/L
Th	水	参照 HJ 840—2017 (4. N235 萃取—分光光度法)	TU-1950 型、UV-2600 型 分光光度计	探测限:0.018 μg/L
²¹⁰ Po	水	《水中钋-210 的分析方法 电镀制样法》(HJ 813—2016)	Alpha-Ensemble-4 型 α 谱仪	探测限:0.2 mBq/L
²¹⁰ Pb	水	《水中铅-210 的分析方法》 (EJ/T859—94)		探测限:1 mBq/L
²²⁶ Ra	水	GB 11218—89	LB4200 型低本底 α、β 测量仪	探测限:4.0 mBq/L
总 α	水	HJ 898—2017		探测限:50 mBq/L
总 β	水	HJ 899—2017		探测限:30 mBq/L

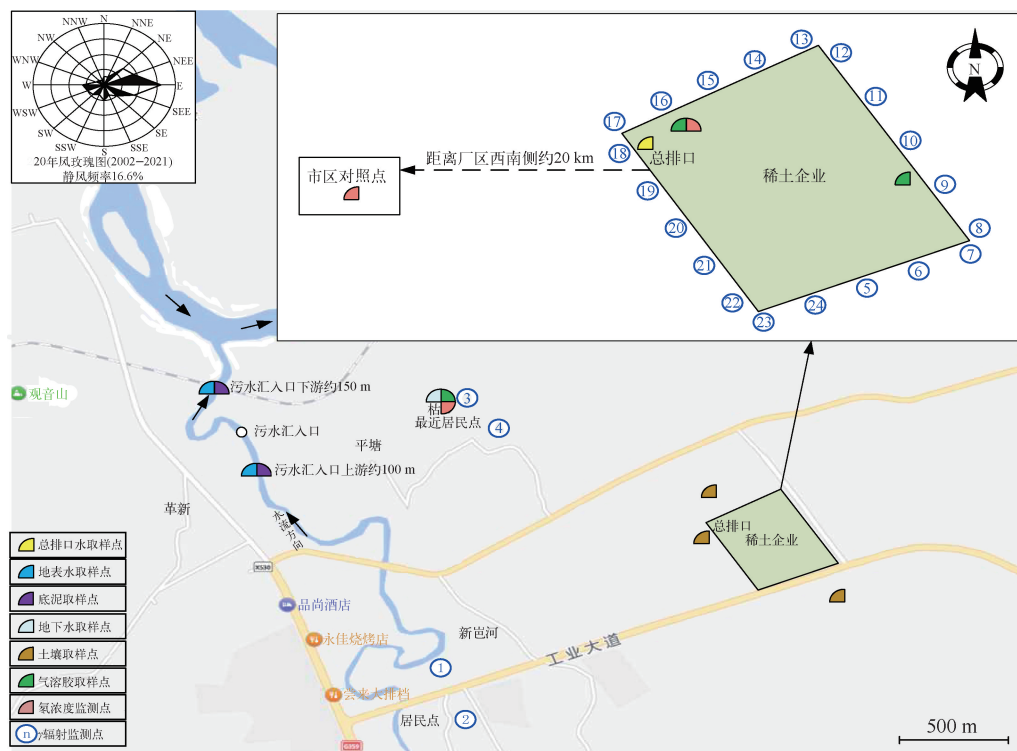


图1 监测点位布设示意图

Fig. 1 Schematic diagram of monitoring points layout

2.2 质量保证

2.2.1 现场监测质量控制

为确保监测数据的准确性和可靠性,现场监测工作严格遵循现行相关标准^{[11]1-65}。所有测量设备均按年度送国家法定计量机构检定,并定期在稳定辐射场进行性能测试,以验证仪器的长期稳定性。针对陆地 γ 辐射空气吸收剂量率监测,每年需测定宇宙射线响应值,确保数据修正的准确性。同时,监测机构定期参与上级部门组织的仪器比对,并通过期间核查等手段保障设备正常运行。监测人员均需通过考核并持证上岗,所有野外测量及采样工作须至少由2人共同完成,以保证操作规范和数据可追溯性。

2.2.2 样品采集和保存

样品采集过程的质量控制包括前期准备、现场采样及样品管理。前期准备阶段,系统收集项目相关资料,并组织团队进行现场踏勘,全面掌握实地环境特征;基于踏勘结果,科学制定监测方案,优化设计采样计划,明确规范采样方式、合理设置监测频次、确定布点位置及数量要求,确保监测数据的代表性和准确性。现场采样阶段,选用

符合技术要求的采样设备和辅助器材,避免交叉污染;使用辅助设备(GPS、相机等)记录现场情况及采样过程信息,核实监测点位及环境条件。水样采集前,使用待测水样润洗采样容器3次,按照不同水体的取样位置要求采集水样,必要时按分析要求添加固定剂(HNO_3 等);土壤样品采集时,结合地形特征选用梅花型布点,采集样品时尽量避免沙石、杂草等异物混入;底泥样品与地表水取样点位一致;气溶胶采样点避开公路与建筑物、高大树木等,进气口设置在离地约1.5 m处。现场按10%~20%的比例采集平行样作为质控样,以密码方式送检。采样完成后,严格按照质量管理规范对样品编号,并在采样容器上清晰标注唯一性标识,保证样品运输和交接过程符合标准操作流程^{[11]33}。

2.2.3 实验室质量控制

样品进入实验室后,严格按照质量管理的要求进行样品的交接,并按要求妥善保存样品。实验室质量控制体系覆盖整个分析流程,分析人员通过实施监测仪器设备的检定校准、质控图的绘制、定期作泊松分布检验等,测定空白实验值、平行双样值以及密码样值等^{[11]40-43},确保每一批次样品的分析结果可控。

3 监测结果分析

3.1 辐射环境监测结果

3.1.1 γ 辐射空气吸收剂量率

分别在企业厂区边界处布设 20 个监测点,在周围环境敏感点(居民点)布设 4 个监测点,测量 γ 辐射空气吸收剂量率。公司厂区边界及周围环境敏感点 2017—2024 年的 γ 辐射空气吸收剂量率水平(最大值)见图 2。

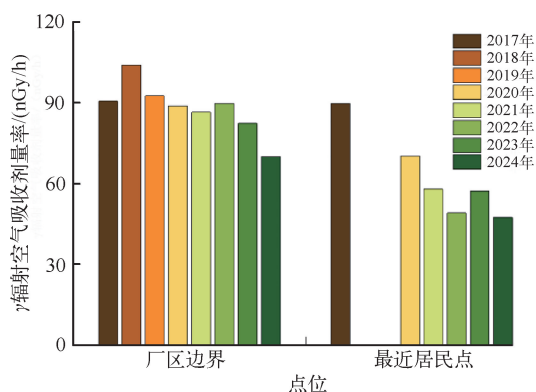


图2 2017—2024年 γ 辐射空气吸收剂量率水平

Fig. 2 Level of gamma radiation air absorption dose rate from 2017 to 2024

2017—2024年期间,企业厂区边界的 γ 剂量率为23.4~104 nGy/h(均值为55.2 nGy/h),最近居民点的 γ 剂量率为27.3~89.8 nGy/h(均值为45.7 nGy/h),与当地 γ 辐射10.7~238.7 nGy/h范围水平一致^[12],表明公司周围 γ 辐射剂量率水平未见异常。

3.1.2 氡浓度

结合企业生产厂区平面布置与周围环境敏感点分布情况,监测点分别布设于厂区边界、最近居民点以及市区对照点。公司周围2017—2024年氡浓度水平(最大值)监测结果见图3。其中,厂区边界氡活度浓度测值为4.66~35.1 Bq/m³(均值19.7 Bq/m³),市区对照点氡活度浓度测值为7.20~69.0 Bq/m³(均值27.8 Bq/m³),企业周边最近的居民点氡活度浓度为2.92~48.4 Bq/m³(均值16.0 Bq/m³),厂区周围全部测点氡活度浓度均值为20.3 Bq/m³,与全国部分城市室外平均氡活度浓度3.3~40.8 Bq/m³水平一致^[13],表明公司周围氡浓度水平未见异常。

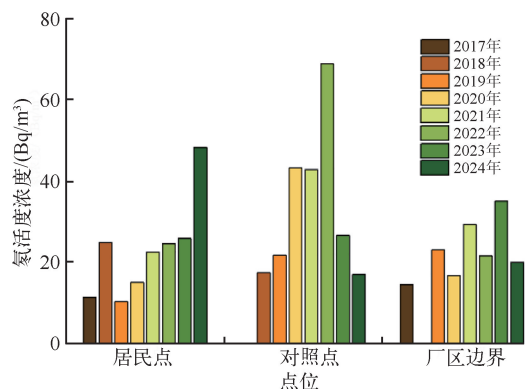


图3 2017—2024年氡活度浓度水平

Fig. 3 Radon concentration levels from 2017 to 2024

3.1.3 液态环境样品

该企业位于某城市的工业园区,园区的工业污水和生活污水经处理后排放至最近的河流中。在工业园区所处河段,地表水不作为居民日常饮用水的供给来源;沿河村庄居民日常饮用水,主要依靠自来水供应。结合公司厂区周围的自然环境条件情况,地表水的监测点位于河流排放口上游100 m、排放口下游150~200 m,地下水的监测点设置于最近居民点井水。地表水与地下水的监测项目为总U、总Th、²²⁶Ra,部分年份加测总 α 、总 β ;总排口水样的监测项目为总U、总Th、²²⁶Ra。2017—2024年水样分析结果(各年均值)见图4。

2017—2024年期间,污水汇入口上游、下游水中的铀质量浓度分别为0.135~0.769、0.137~3.7 μ g/L,钍质量浓度分别为0.019~0.662、0.029~0.948 μ g/L;²²⁶Ra活度浓度分别为2.01~21.9、1.89~19.5 mBq/L,总 α 分别为0.027~0.071、0.028~0.099 Bq/L,总 β 分别为0.053~0.107、0.054~0.116 Bq/L。污水汇入口上游与下游测值范围基本一致,铀、钍、²²⁶Ra测值与1983—1990年调查^[14]中广西江河水的测值范围一致,低于GB 5749—2022^[15]中饮用水铀(0.03 mg/L)、²²⁶Ra(1 Bq/L)、总 α (0.5 Bq/L)、总 β (1 Bq/L)等放射性指标。

2017—2024年期间,居民点井水中的铀质量浓度为0.057~0.938 μ g/L,钍质量浓度为0.030~0.341 μ g/L,²²⁶Ra活度浓度为2.01~11.7 mBq/L,总 α 为0.017~0.123 Bq/L、总 β 为0.027~0.078 mBq/L;与1983—1990年调查中广西井水的测值范围一致,低于GB/T 14848—2017^[16]中Ⅲ类地下水标准(总 α 0.5 Bq/L、总 β 1 Bq/L)。

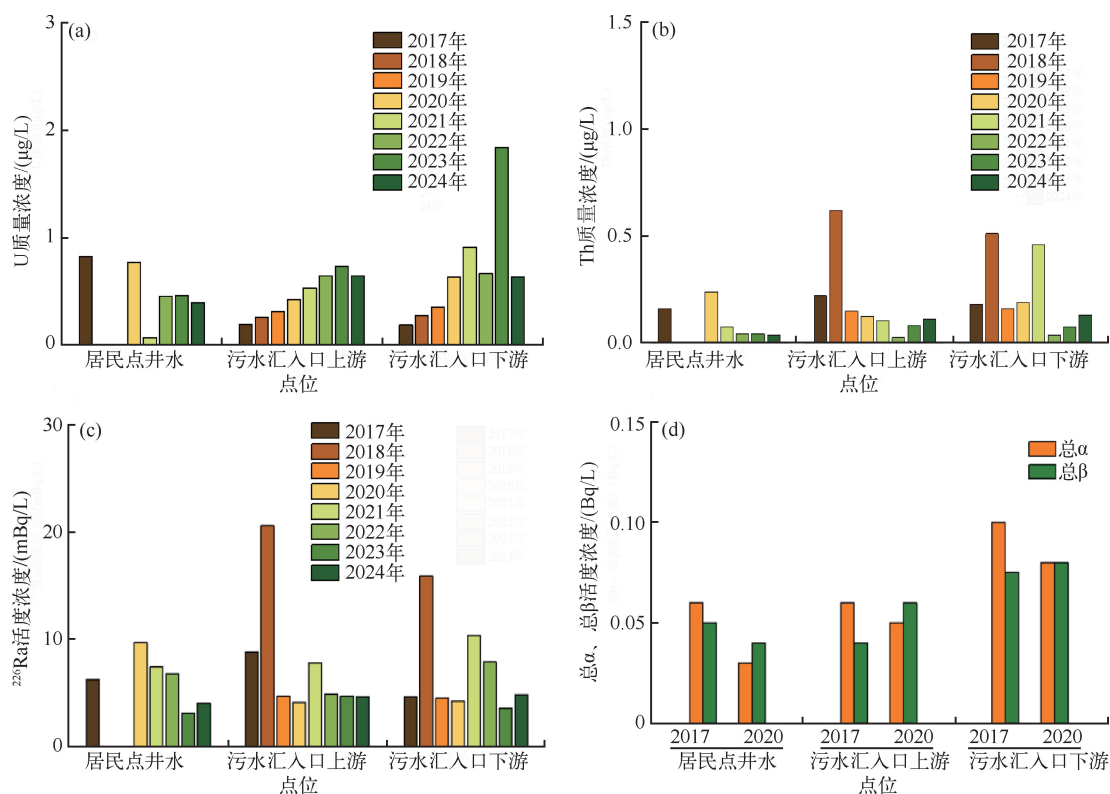


图4 2017—2024年水样分析结果

Fig. 4 Analysis results of water samples from 2017 to 2024

3.1.4 固态环境样品

1) 土壤。土壤采样点布设于厂址及周围环境,即企业厂区边界东侧与南侧、厂区边界西侧与北侧、总排口附近农田等。2017—2019年每年采集一次样品。公司周围2017—2024年土壤样品分析结果见图5(a)~图5(c)。可以看出,土壤中 ^{238}U 比活度为36.8~88.9 Bq/kg、 ^{232}Th 比活度为28.9~180 Bq/kg、 ^{226}Ra 比活度为27.7~107 Bq/kg。土壤中放射性核素含量处于广西全区土壤中放射性核素含量范围内^[17]。

2) 底泥。底泥监测点位与地表水监测断面一致,在河流排放口上游100 m、河流排放口下游150~200 m取样,2017与2021年底泥分析结果见图5(d)。可以看出,监测断面底泥中 ^{238}U 比活度为31.7~59.9 Bq/kg、 ^{232}Th 比活度为42.9~160 Bq/kg、 ^{226}Ra 比活度为29.6~89.9 Bq/kg、 ^{40}K 比活度为452~479 Bq/kg。底泥中放射性核素比活度处于广西全区土壤中放射性核素含量范围内,且2017年与2021年均

均没有显著变化。

3.1.5 气态环境样品

生产作业环节中产生的工业粉尘,包括作业场所的扬尘及烟囱排放的烟尘等,若缺乏适当的防尘和通风措施,可能导致周边环境受到放射性物质污染。 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 衰变产生的氡及其子体能够形成放射性气溶胶,经呼吸道进入人体,造成体内照射,从而危害身体健康。在公司边界及距公司最近的环境敏感点布设3个监测点:上风向厂区边界处、下风向厂区边界处、居民点。公司2012年环评现状监测、2017年阶段竣工环境保护验收、2020年终期环境保护竣工验收监测时分别进行了气溶胶分析,结果见表3。可以看出,厂区上风向边界与厂区下风向边界所采集的气溶胶中, ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 含量未发现显著变化。2020年终期验收与2017年阶段验收时分析数据相比,气溶胶中 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 含量无显著差异;与2012年环评阶段监测结果相比,属同一水平。

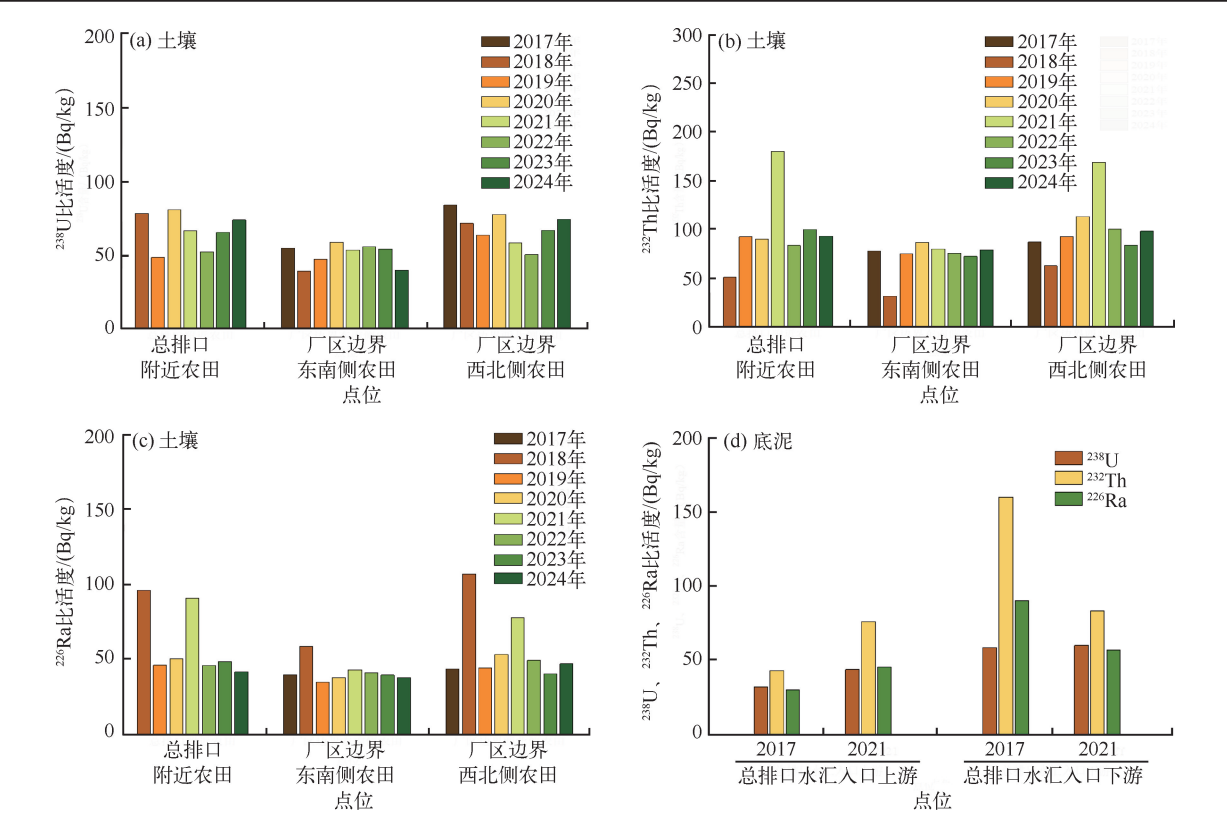


图 5 2017—2024 年土壤、底泥样品分析结果

Fig. 5 Analysis results of soil and mud samples from 2017 to 2024

表 3 2012 至 2020 年气溶胶分析结果					
Table 3 Aerosol analysis results from 2012 to 2020					
采样点	采样时间	放射性核素活度浓度/(μBq/m ³)			
		²³⁸ U	²³² Th	²²⁶ Ra	⁴⁰ K
最近居民点	2012	52(ND)	21(ND)	18(ND)	130(ND)
	2017	<42.9	18.6	27.6	<19.3
	2020	<28.9	<9.26	<6.70	— ^①
上风向厂区边界处	2017	<46.8	<6.95	18.0	<19.3
	2020	<32.5	<10.4	<6.28	—
下风向厂区边界处	2017	<38.2	17.9	17.6	33.5
	2020	<29.8	<9.63	<6.75	—

注:①2020 年所采集的气溶胶样品未开展⁴⁰K 分析。

3.2 流出物监测结果

企业排水采用雨、污分流制:雨水直接外排;生产污水排入污水处理站,经处理达标后外排;生活污水经化粪池处理后外排。所有污水经约 3 km 污水渠道排入响水河,汇入左江。总排口的水样监测项目为 U、Th、²²⁶Ra,部分年份加测 ²¹⁰Po、²¹⁰Pb。2017—2024 年总排口水样分析结果见图 6。

目前,对于伴生放射性矿开发利用企业液态流出物的评价标准尚存在争议^[18-19],在本项目中使用 GB 26451—2011^[20]、GB 23727—2020^[21]对总排口水样监测数据进行评价。

2021—2022 年,总排口 ²¹⁰Po 活度浓度为 1.35~89.1 mBq/L、²¹⁰Pb 活度浓度为 2.56~96.8 mBq/L,低于 GB 23727—2020 废水排放口处的限值要求(²¹⁰Po 0.5 Bq/L、²¹⁰Pb 0.5 Bq/L)。

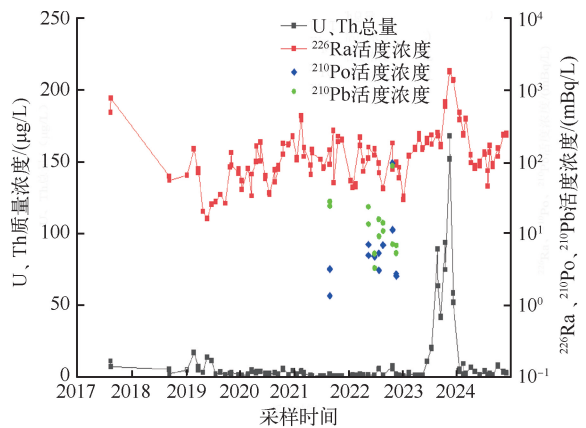


图 6 2017—2024 年总排口水样分析结果

Fig. 6 Analysis results of total discharge water samples from 2017 to 2024

2017—2024年,企业生产废水总排口水样中U、Th总量测值范围为 $0.241\sim 168\text{ }\mu\text{g/L}$, ^{226}Ra 的测值范围为 $16.2\sim 1870\text{ mBq/L}$ 。其中,2023年11月总排口水样中U、Th总量为 $0.152\sim 0.168\text{ mg/L}$, ^{226}Ra 活度浓度为 $1.84\sim 1.87\text{ Bq/L}$,高于GB 26451—2011中U、Th总量(0.1 mg/L)及GB 23727—2020中 ^{226}Ra 活度浓度(1.1 Bq/L)的限值要求;其余时间段内(2017年8月至2023年10月、2023年12月至2024年12月),总排口中U、Th总量和 ^{226}Ra 测值均低于限值要求。

2023年11月,在总排口水样中发现U、Th总量及 ^{226}Ra 含量异常升高。公司立即停止生产废水的排放,并展开相关核查。经核查,异常原因为原料来源改变,导致水中U、Th总量及 ^{226}Ra 含量异常升高,而配套的废水处理工艺参数未进行相应调整。查明原因后,企业立即采取措施,通过优化pH调节、调整氯化钡和硫酸钠投加量等工艺参数,使处理效果显著改善。后续2023年12月至2024年12月的跟踪监测结果表明,废水排放指标已稳定达标,整改措施取得实效。

4 结论和建议

4.1 结论

1)厂界周边环境的 γ 辐射剂量率测值稳定。近年来对厂界周围环境的监测结果表明, γ 辐射空气吸收剂量率水平未见异常变化,处于本底水平范围内。表明当前企业功能划分合理,生产车间及放射性废物暂存场所远离厂区边界,未导致厂界外围剂量率明显升高。

2)环境水体中放射性水平总体可控。自2017年企业建成投产以来,连续8年企业周边地表水、地下水中总U、总Th、 ^{226}Ra 、总 α 、总 β 测值范围均与环境本底水平相当,表明企业运行期间未造成周边水体中放射性指标显著上升;但在2017年与2020年的测量数据中,总排口下游的总 α 、总 β 放射性活度浓度略均高于上游,可能受总排口出水影响所致,可结合水文地质条件、降雨量等自然因素开展进一步研究。

4.2 建议

1)公司应加强原材料的使用管理。鉴于每批次原料中放射性核素含量差异较大,建议公司在生产前对每批次的生产原料进行采样分析,并根据原料中放射性核素含量的变化,优化pH调节

及调整氯化钡和硫酸钠等药剂的投加量,动态调整废水处理工艺参数,以持续改善废水处理效果,确保达标排放。

2)公司应做好“三废”处置的管理。在离子型稀土的开发过程中,公司应继续做好“三废”处置,不断优化污水处理工艺,升级处理设施,持续加强对废水处理环节的监督管理。针对废水中伴生放射性物质浓度及时监控,进一步探究工艺调整与放射性指标数据波动之间的关联性。

参考文献:

- [1] 李童斐,夏庆霖,汪新庆,等.中国稀土矿资源成矿地质特征与资源潜力分析[J].地学前缘,2018,25(3):95-106.
LI Tongfei, XIA Qinglin, WANG Xinqing, et al. Metallogenic geological characteristics and mineral resource potential of rare earth element resources in China[J]. Earth Science Frontiers, 2018, 25(3): 95-106.
- [2] 黄伊林,何贤文,冯亮亮,等.广西伴生放射性矿开发利用中的放射性水平初步调查[J].辐射防护,2020,40(4):278-285.
HUANG Yilin, HE Xianwen, FENG Liangliang, et al. Investigation for radioactivity level during the exploitation and utilization of mines associated with radioactivity in Guangxi[J]. Radiation Protection, 2020, 40(4): 278-285.
- [3] 吴伟宏,于银杰,姜琳,等.广西矿产资源综合利用现状及对策[J].中国国土资源经济,2016,29(1):24-27.
WU Weihong, YU Yinjie, JIANG Lin, et al. Current situation and countermeasure of mineral resources comprehensive utilization in Guangxi Province[J]. Natural Resource Economics of China, 2016, 29(1): 24-27.
- [4] 程胜,林龙勇,李俊春,等.离子吸附型稀土矿区生态环境问题与土壤修复技术研究进展[J].地球化学,2024,53(1):17-29.
CHENG Sheng, LIN Longyong, LI Junchun, et al. Research progress on eco-environmental problems and soil remediation technologies of ion-adsorption type rare earth mining areas[J]. Geochimica, 2024, 53(1): 17-29.
- [5] 刘畅,罗育池,韩奕彤,等.华南典型离子型稀土矿区地下水污染特征及成因分析[J].环境保护科学,

- 2024, 50(6):68-74.
- LIU Chang, LUO Yuchi, HAN Yitong, et al. Characteristics and causes analysis of groundwater pollution of typical ionic rare earth mining area in South China[J]. Environmental Protection Science, 2024, 50(6):68-74.
- [6] 中华人民共和国生态环境部. 第二次全国污染源普查公报[EB/OL]. (2020-06-09) [2025-04-30] https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202006/t20200610_783547.html.
- [7] 中华人民共和国生态环境部. 关于发布《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录》的公告[EB/OL]. (2020-11-25) [2025-04-30]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202011/t20201127_810163.html.
- [8] 杜娟, 张贺飞, 柏学凯, 等. 中国稀土废渣时空分布与区域处置策略研究[J]. 铀矿冶, 2024, 43(2):90-95.
- DU Juan, ZHANG Hefei, BAI Xuekai, et al. Spatio-temporal distribution and regional disposal strategy of rare earth waste residue in China[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2024, 43(2):90-95.
- [9] 王亚兰, 仇月双. 某离子型稀土矿山辐射水平现状调查[J]. 铀矿冶, 2018, 37(2):154-160.
- WANG Yalan, QIU Yueshuang. Present situation investigation on radioactivity of ion adsorption type rare ores[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2018, 37(2):154-160.
- [10] 中华人民共和国生态环境部. 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)[EB/OL]. (2018-07-05) [2025-04-30]. http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/201807/t20180711_630057.html.
- [11] 生态环境部. 辐射环境监测技术规范: HJ 61—2021[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2021.
- [12] 杨名生, 李国保. 广西壮族自治区环境天然贯穿辐射水平调查研究[J]. 辐射防护, 1992(5):377-388.
- YANG Mingsheng, LI Guobao. Investigation of environmental natural penetrating radiation level in Guangxi Zhuangzu Autonomous Region[J]. Radiation Protection, 1992(5):377-388.
- [13] 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):164-171.
- National Environmental Natural Radiation Level Survey Summary Report Writing Team. Survey of concentrations of radon and α potential energy of Rn daughter productes in air in some regions of China(1983—1990)[J]. Radiation Protection, 1992(2):164-171.
- [14] 杨名生, 明川宝, 戴国志, 等. 广西壮族自治区水体中天然放射性核素浓度调查研究[J]. 辐射防护, 1993(1):37-42.
- YANG Mingsheng, MING Chuanbao, DAI Guozhi, et al. Investigation and study on the concentration of natural radionuclides in water bodies of Guangxi Zhuangzu Autonomous Region[J]. Radiation Protection, 1993(1):37-42.
- [15] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 生活饮用水卫生标准: GB 5749—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [16] 全国国土资源标准化技术委员会. 地下水质量标准: GB/T 14848—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [17] 杨名生. 广西壮族自治区土壤中天然放射性核素含量调查研究[J]. 辐射防护, 1993(4):299-302.
- YANG Mingsheng. Survey of natural radio nuclide contents in soil in Guangxi Zhuangzu Autonomous Region[J]. Radiation Protection, 1993(4):299-302.
- [18] 吕彩霞, 谢树军, 廖运璇, 等. 伴生放射性矿开发利用辐射环境安全监管法规体系的现状[J]. 中国矿业, 2021, 30(8):36-40.
- LYU Caixia, XIE Shujun, LIAO Yunxuan, et al. Current situation of the regulatory system of radiation environmental safety for the development and utilization of associated radioactive mines[J]. China Mining Magazine, 2021, 30(8):36-40.
- [19] 邓飞, 陈志东, 陈文涛, 等. 伴生矿含放射性废水排放应执行标准的探讨[J]. 辐射防护通讯, 2017, 37(4):25-29.
- DENG Fei, CHEN Zhidong, CHEN Wengtao, et al. Discussion on complying with the national standards on discharging wastewater arising from mines with NORMs[J]. Radiation Protection Bulletin, 2017, 37(4):25-29.
- [20] 稀土工业污染物排放标准: GB 26451—2011[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [21] 铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定: GB 23727—2020[S]. 北京: 中国环境出版集团, 2020.

Radioactive Level in the Surrounding Environment of Ionic Rare Earth Separation Enterprise in Guangxi(2017—2024)

PENG Wenbin, XIANG Huiyun, LIN Mingmei, LIN Chen, JIANG Yue, HUANG Binli

(Radiation Environment Management and Monitoring Station of Guangxi Zhuang Autonomous Region,
Nanning 530222, China)

Abstract: In order to grasp the radioactive level and its changing trend around the ionic rare earth ore separation enterprise, and evaluate the potential impact of smelting separation process on the surrounding environment, this study takes a typical rare earth separation enterprise in Guangxi as an example. From 2017 to 2024, a systematic tracking and monitoring was carried out for 8 consecutive years, and the spatial and temporal distribution data of the radiation environment were obtained, and the dynamic characteristics and changing trends of the radiation environment around the enterprise were grasped. The maximum gamma dose rate around the enterprise is 104 nGy/h, and the maximum radon concentration is 69.0 Bq/m³. The specific activities of ²³⁸U, ²³²Th, ²²⁶Ra, and ⁴⁰K in solid-state environmental samples are 36.8-88.9, 28.9-180, 27.7-107 Bq/kg, and 452-479 Bq/kg, respectively. The specific activities of ²³⁸U, ²³²Th, ²²⁶Ra, and ⁴⁰K in gaseous environmental samples are <29.8, <6.95-27.6, <6.28-27.6, and <19.3-33.5 Bq/kg, respectively. The mass concentrations of uranium and thorium in liquid environmental samples are 0.057-3.7 and 0.019-0.948 μg/L, respectively. The activity concentrations of ²²⁶Ra, total alpha, and total beta are 2.01-21.9 mBq/L, 0.017-0.123 Bq/L, and 0.027-0.099 mBq/L, respectively. The total amount of U and Th in the liquid effluent sample is 0.241-168 μg/L, and the activity concentrations of ²²⁶Ra, ²¹⁰Po, and ²¹⁰Pb are 16.2-1 870, 1.35-89.1, 2.56-96.8 mBq/L. According to the analysis of monitoring results, from 2017 to 2024, the gamma radiation dose rate and radon concentration level in the surrounding environment of the ion type rare earth separation enterprise, as well as the radioactive indicators of surface water, groundwater, aerosols, soil, and sediment, basically meet the standard requirements. The overall radiation environment around the enterprise is stable, and the obvious fluctuations in some indicators are closely related to the adjustment of sewage treatment processes. The results provide a reliable reference for the radiation environment management of associated radioactive mining enterprises.

Key words: ionic rare earth; associated radioactive ore; radiation monitoring; radioactivity; environment impact; effluent