

某氯化稀土分选项目辐射环境监测与分析

刘明海

山东省辐射环境管理站, 山东 济南 250117

摘要: 目的 对某氯化稀土分选项目工艺过程中对周围环境所造成的辐射影响分析。方法 依据国家相关标准规定的限值及监测方法作为评价标准和监测手段。结果 稀土原料包表面 γ 剂量率范围在 3366.0 ~ 3514.0 nSv/h, 低品位稀土精矿包表面 γ 剂量率范围在 14 671.0 ~ 20 298.0 nSv/h; 办公区及车间 β 表面污染水平最大为 0.265 Bq/cm² 和 4.281 Bq/cm²。结论 根据监测结果, 在各项环保措施落实到位的前提下, 该氯化稀土项目对环境公众所致辐射剂量为环境本底水平, 对职业人员所致辐射剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871 - 2002) 要求, 对周围环境介质未造成显著辐射影响, 符合国家相关标准要求。

关键词: 稀土; 辐射环境; 监测; 影响分析

中图分类号: X145 文献标识码: B 文章编号: 1004 - 714X(2015)05 - 04 - 0510

DOI:10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2015.05.025

稀土矿物资源中常伴有高于天然本底水平的放射性核素。对稀土资源的开发和利用使其中的放射性核素被迁移、浓集、扩散和重新分布, 因此开采、冶炼、加工和利用稀土资源可能对周围环境产生辐射影响。分选是稀土行业的重要环节, 是介于采矿和冶炼加工之间必要的工艺过程。通过分选可获得所需的稀土矿物, 但同时也产生大量具有伴生放射性的污染物。掌握分选过程中的放射性污染源项及其辐射水平, 对于稀土行业辐射环境保护工作具有积极意义。

1 概况

稀土的用途十分广泛。目前, 稀土已广泛应用于冶金、石油、化工、轻纺、医药、农业等数十个行业。稀土钢能显著提高钢的耐磨性、耐磨蚀性和韧性; 稀土铝盘条在缩小铝线细度的同时可提高强度和导电率; 将稀土农药喷洒在果树上, 即能消灭病虫害, 又能提高挂果率; 稀土复合肥既能改善土壤结构, 又能提高农产品产量; 稀土元素还能抑制癌细胞的扩散。

作者简介: 刘明海(1982 -) 男, 山东淄博人, 工程师, 从事辐射环境监测与评价工作。

山东省某稀土分选企业氯化稀土产能达到25 000吨/年。稀土原料由内蒙古包钢稀土(集团) 高科技股份有限公司提供, 稀土原料成分均匀, 天然放射性水平稳定。该项目稀土中含有一定的天然放射性核素, 使其工作场所 γ 辐射环境高于当地天然放射性本底水平。

2 污染因素分析

2.1 放射性固体废物 本项目放射性污染源主要是原料和低品位稀土精矿中伴生的天然放射性核素产生的 γ 辐射, 稀土原料中伴有的天然放射性核素 U、Th、Ra、K, 产生的放射性外照射, 原料经化选、碱解、水洗、优溶、回调、洗渣等生产工序后, 转移到废水、产品和废渣中。废水经中和、沉淀后, 放射性核素转移到沉淀污泥中。

2.2 放射性废水 产生的废水主要来自生产废水, 废水中含有少量的锌、镉、铅等金属离子。该项目废水中伴有 U、Th、Ra、K 等天然放射性核素。

2.3 土壤 正常工况下该项目不会对周围土壤造成影响, 为了保证周围环境安全, 对土壤进行取样监测。

参考文献

- [1] 王尔奇, 张天祝, 徐广震, 曹健. 我国核设施退役和放射性废物治理现状[J]. 铀矿冶, 2013, 32(3): 158 - 164.
- [2] 商照荣. 对核设施开展环境影响后评价的探讨[J]. 核安全, 2013, 12(1): 99 - 103.
- [3] 刘国伟, 田青青, 陈晓琼. 浅谈核设施退役过程中的辐射监测[J]. 研究与探讨, 2013, 3: 17 - 24.
- [4] 黄治俭, 腾慧洁. 核设施退役过程中辐射测量的一般问题[J]. 辐射防护, 1996, 16(2): 103 - 108.
- [5] 张建国, 鲁永杰, 杨翊方. 核设施退役辐射监测与质量控制要求[J]. 海军医学杂志, 2002, 23(4): 294 - 296.
- [6] 汪洋, 廖运旋, 刘新华, 吴浩. 核设施退役中若干环境相关问题的探讨[J]. 核安全, 2012, 1: 51 - 55.

收稿日期: 2015 - 02 - 17 修回日期: 2015 - 05 - 15

2.4 放射性废气 生产过程中产生的废气主要为精矿化选择发的 HCl、优溶挥发的 HCl、回调产生的 CO₂ ,该项目不产生放射性废气。

综上所述 ,该项目的评价因子: 环境 γ 辐射剂量率; β 表面污染; 稀土精矿、低品位稀土精矿和污泥中天然放射性核素的活度浓度。

表 1 山东省土壤中天然放射性核素含量 (Bq/kg)

参数	²³⁸ U	²³² Th	²²⁶ Ra	⁴⁰ K
范围	15. 7 ~ 90. 1	20. 8 ~ 202	9. 79 ~ 50. 0	391. 7 ~ 1870
均值	33. 6	45. 2	30. 3	671. 0
标准偏差	8. 25	14. 5	7. 31	135. 2

注: 摘自《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》,1989 年。

3.2 放射性固体废物 固体废物处理处置执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》^[1] (GB 18871 – 2002) 和《城市放射性废物管理办法》,含人工放射性核素、活度浓度大于 2 × 10⁴ Bq/kg(5 × 10⁻⁷ Ci/kg) ,或含天然放射性核素、活度浓度大于 7. 4 × 10⁴ Bq/kg (2 × 10⁻⁶ Ci/kg) 的污染物 ,应作为放射性废物看待。小于此水平的放射性污染物应妥善收集、处理、整备、运输、存储和处理处置 ,确保: ①放射性废物对工作人员与公众的健康及环境可能造成的危害降低到可以接受的水平。②使放射性废物对后代健康的预计影响不大于当前可以接受的水平; ③不给后代增加不适当的负担。

同时应根据所产生废物中放射性核素的种类、含量、半衰期、浓度以及废物的体积和其他物理化学性质的差别 ,对不同类型的放射性废物进行分类收集和分别处理 ,以利于废物管理的优化。

3.3 水污染物排放控制要求 根据《稀土工业污染物排放标准》^[2] (GB 26451 – 2011) 规定 ,现有企业水污染物排放浓度限值铀、钍总量为 0. 1 mg/L。

3.4 放射性核素豁免水平 依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871 – 2002) ,判定稀土、低

3 评价标准

3.1 土壤及污泥评价标准 土壤评价标准参照《山东省环境天然放射性水平调查研究报告》,山东省土壤中环境天然放射性核素含量见表 1。

品位稀土精矿以及污泥是否符合豁免活度浓度与豁免活度。稀土中主要放射性核素的豁免水平见表 2。

表 2 放射性核素的豁免活度浓度

放射性核素	活度浓度(Bq/g)
²²⁶ Ra	10. 0
天然 Th(包括 ²³² Th)	1. 0
⁴⁰ K	100
天然 U	1. 0

3.5 工作场所的放射性表面污染控制水平依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中的表 B11 见表 3。

表 3 工作场所的放射性表面污染控制水平(Bq/cm²)

表面类型	β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 4 × 10
	监督区 4
工作服、手套、工作鞋	控制区 4
	监督区

3.6 用于建材的放射性核素限量 依据《建筑材料放射性核素限量》^[3] (GB 6566 – 2001) ,合理利用沉淀池污泥。沉淀池污泥中主要放射性核素限量见表 4。

表 4 建筑材料放射性核素限量

材料类型	内照射指数 I _{Ra}	外照射指数 I _γ
建筑主体材料	≤1. 0	≤1. 0
对于空心率大于 25% 的建筑主体材料	≤1. 0	≤1. 3
A 类	≤1. 0	≤1. 3
装修材料 B 类(只可用于 I 类民用建筑的外饰面及其他一切建筑物的内、外饰面)	≤1. 3	≤1. 9
C 类(只可用于建筑物的外饰面及室外其他用途)	/	≤2. 8
其他(只可用于碑石、海堤、桥墩等人类很少涉及到的地方)	/	> 2. 8

注: 内照射指数表达式为: I_{Ra} = C_{Ra} /200

外照射指数表达式为: I_γ = C_{Ra} /370 + C_{Th} /260 + C_K /4200

注: 外表达式中 ,C_{Ra}、C_{Th}、C_K 分别为建筑材料中天然放射性核素镭 – 226、钍 – 232 及钾 – 40 的放射性活度浓度(Bq/kg) ; 370、260、4200 分别为标准规定的建筑材料中天然放射性核素镭 – 226、钍 – 232 及钾 – 40 单独存在时标准规定的限量(Bq/kg) 。

4 监测结果与评价

4.1 监测方法 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》^[4](GB/T 14583 - 1993);《辐射环境监测技术规范》^[5](HJ/T 61 - 2001);《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》(GB/T 16140 - 1995);《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》(GB 11743 - 1989);《表面污染测定 第 1 部分: β 发射体($E_{\beta \max} > 0.15 \text{ MeV}$) 和 α 发射体》(GB/T 14056.1 - 2008)。

4.2 质量保证 监测人员均经过考核,所有监测仪器均经过计量部门检定并在有效期内,监测仪器在使用前经过校准或检验。

4.3 监测内容

4.3.1 环境 γ 辐射剂量率工作场所及周围环境 γ 剂量率

4.3.2 表面污染工作场所表面污染监测

4.3.3 天然放射性核素 稀土精矿、低品位稀土精矿、沉淀池污泥、土壤、地表水、地下水: ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 等天然放射性核素含量。

4.4 监测仪器 BH 3103A 型便携式 X - γ 剂量率仪; XH - 3206 α 、 β 表面污染测量仪; digiDART 型高纯锗 γ 谱仪。

4.5 监测结果

4.5.1 周围环境 γ 剂量率以及表面污染 监测结果,见表 5 和表 6。

由监测结果可知,①厂区道路 γ 剂量率监测范围($6.4 \sim 17.02$) $\times 10^{-8} \text{ Gy/h}$;办公区域内 γ 剂量率监测范围($8.12 \sim 15.40$) $\times 10^{-8} \text{ Gy/h}$,处于山东省环境天然放射性本底水平的正常范围内。②稀土精矿仓库周围环境 γ 剂量率监测范围($24.32 \sim 351.40$) $\times 10^{-8} \text{ Gy/h}$ 。③低品位稀土精矿仓库周围环境 γ 剂量率监测范围($11.72 \sim 2029.80$) $\times 10^{-8} \text{ Gy/h}$ 。

以上监测结果可以看出,①办公区域地面、工作台 β 放射性表面污染水平最大为 0.265 Bq/cm^2 ,远低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871 - 2002) 中监督区 4 Bq/cm^2 。②西稀土车间地面 β 放射性表面污染水平为 0.813 Bq/cm^2 ,东车间地面 β 放射性表面污染水平为 2.134 Bq/cm^2 ,低于监督区 4 Bq/cm^2 的控制水平。③精矿仓库内地面 β 放射性表面污染水平为 2.777 Bq/cm^2 ,低于监督区 4 Bq/cm^2 的控制水平。④低品位稀土精矿仓库地面 β 放射性表面污染水平为 4.281 Bq/cm^2 ,低于控制区 40 Bq/cm^2 的控制水平。

表 5 周围环境 γ 辐射剂量率监测结果

编号	监测点位	监测结果($\times 10^{-8} \text{ Gy/h}$)
A1	办公楼 2 层走廊	8.52
A2	办公楼 1 层走廊	9.52
A3	办公楼 1 层分析室	8.12
A4	办公楼北侧道路	6.40
A5	稀土原料仓库内稀土原料包表面	351.40
A6	原料仓库内西侧稀土原料包表面	336.60
A7	稀土原料仓库内距原料包 1.5 m 处	99.30
A8	稀土原料仓库东侧门口内	102.40
A9	稀土原料仓库门外	24.32
A10	稀土原料仓库南侧道路	17.02
A11	厂区中心道路	8.22
A12	西车间生产办公室内	15.40
A13	西车间生产办公室南侧道路	15.42
A14	厂区道路	7.42
A15	东车间办公室内	9.30
A16	东车间办公室外道路	9.80
A17	低品位稀土精矿仓库东侧吨包表面	1467.10
A18	低品位稀土精矿仓库距吨包 1.5 m	228.00
A19	低品位稀土精矿仓库西侧吨包表面	2029.80
A20	低品位稀土精矿仓库东侧门口	22.02
A21	低品位稀土精矿仓库北墙外(东) 30 cm	11.72
A22	低品位稀土精矿仓库西墙外 30 cm	24.22
A23	厂区西侧道路	7.72

表 6 表面污染监测结果

编号	监测点位	监测结果(Bq/cm^2)
B1	办公楼 2 层环保科内地面	0.222
B2	办公楼 2 层走廊地面	0.145
B3	办公楼 1 层化验室地面	0.011
B4	精矿仓库内地面	2.777
B5	精矿仓库门口地面	2.356
B6	西稀土车间地面	0.813
B7	车间生产办公室地面	0.265
B8	东车间地面	2.134
B9	东车间办公室地面	0.165
B10	低品位稀土精矿仓库地面	4.281

4.5.2 样品中放射性核素活度浓度 该项目稀土原料、低品位精矿、污泥、土壤等固体样品中 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 活度浓度分析结果见表 7。地下水、地表水、污水等液体样品中 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 活度浓度及 ^{238}U 、 ^{232}Th 总质量浓度分析结果见表 8。

4.6 监测结果的分析

4.6.1 天然放射性核素含量 由表中数据可知,该公司稀土原料中, ^{238}U 活度浓度范围为 $149.8 \sim 230.79 \text{ Bq/kg}$, ^{232}Th 活度浓度范围为 $5739.7 \sim 6739.64 \text{ Bq/kg}$, ^{226}Ra 活度浓度范围为 $15.5 \sim 77.25 \text{ Bq/kg}$, ^{40}K 活度浓度范围为 $478.9 \sim 561.6 \text{ Bq/kg}$ 。该公司低品位稀土精矿

中²³⁸U 活度浓度范围为54.43 ~ 1588.12 Bq/kg ,²³²Th 活度浓度范围为5932 ~ 79 782.18 Bq/kg ,²²⁶Ra活度浓度范围为20.1 ~ 211.2 Bq/kg ,⁴⁰K活度浓度范围为591.0 ~ 701.68 Bq/kg。该公司产生污泥中²³⁸U活度浓度范围为45.0 ~ 49.1 Bq/kg ,²³²Th 活度浓度范围为399 ~ 417.4 Bq/kg ,²²⁶Ra活度浓度范围为0 ~ 6.8 Bq/kg ,⁴⁰K 活度浓度范围为55.6 ~ 62.9 Bq/kg。

表 7 固体样品中²³⁸U、²³²Th、²²⁶Ra、⁴⁰K 的活度浓度(Bq/kg)

编号	样品名称	²³⁸ U	²³² Th	²²⁶ Ra	⁴⁰ K
C1	厂区内土壤	39.6	77.5	16.4	611.3
C2	厂区内土壤	59.3	63.6	23.5	688.6
C3	车间东侧污泥	49.1	399	6.8	62.9
C4	车间西侧污泥	45.0	417.4	0	55.6
C5	低品位稀土精矿	54.43	78 710.62	146.22	650.08
C6	低品位稀土精矿	1588.12	79 782.18	211.2	701.68
C7	低品位稀土精矿	128.7	5932	20.1	591.0
C8	厂区内土壤	14.8	50.5	28.9	743.1
C9	厂区内土壤	62.8	44.5	17.3	544.5
C10	稀土原料	213.4	5739.7	15.5	478.9
C11	稀土原料	230.79	6739.64	77.25	508.06
C12	稀土原料	149.8	6387.2	16.4	561.6

表 8 液体样品中²³⁸U、²³²Th、²²⁶Ra、⁴⁰K 的活度浓度及²³⁸U、²³²Th 总质量浓度

编号	样品名称	²³⁸ U (mBq/L)	²³² Th (mBq/L)	²²⁶ Ra (mBq/L)	⁴⁰ K (mBq/L)	²³⁸ U、 ²³² Th 总量 (mg/L)
D1	厂区总排污口水样	529.1	77.2	38.6	249.4	0.06
D2	西车间排污口水样	940.6	70.7	53.4	221.7	0.09
D3	东车间排污口	560.4	17.56	27.87	595.1	0.05
D4	厂区内地下水	176.6	46.1	59.8	658.9	-
D5	地表水	764.3	57.9	47.4	166.3	-
D6	氯化稀土产品	35.3	1270.1	28.7	325.2	-

4.6.2 ²³⁸U、²³²Th 总量质量浓度水平 该公司西车间排污口样品²³⁸U、²³²Th 总量为0.09 mg/L ,东车间排污

口样品²³⁸U、²³²Th 总量为0.05 mg/L ,厂区总排污口样品²³⁸U、²³²Th 总量为0.06 mg/L ,均低于《稀土工业污染物排放标准》(GB 26451 - 2011) 中水污染物排放浓度限值铀、钍总量为0.1mg/L 的要求。

5 结论

通过对某氯化稀土分选项目辐射环境监测与分析 ,按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中放射性核素免于管理的限值 ,稀土原料中天然放射性核素²³²Th 的活度浓度大于豁免水平 ,低品位稀土精矿中天然放射性核素²³⁸U、²³²Th 的活度浓度大于豁免水平 ,该公司所使用的稀土原料和低品位稀土精矿会对辐射环境带来影响。

根据监测结果 ,在各项环保措施落实到位的前提下 ,该氯化稀土项目对环境公众所致辐射剂量为环境本底水平 ,对职业人员所致辐射剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871 - 2002) 要求 ,对周围环境介质未造成显著辐射影响 ,符合国家相关标准要求。

参考文献

[1] 国家质量监督检验检疫总局. GB 18871 - 2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S]. 北京: 中国标准出版社 2002.

[2] 环境保护部. GB 26451 - 2011 稀土工业污染物排放标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社 2011.

[3] 环境保护部. GB 6566 - 2001 建筑材料放射性核素限量[S]. 北京: 中国环境科学出版社 2001.

[4] 环境保护部. GB/T 14583 - 1993 环境地表 γ 辐射剂量率测定规范[S]. 北京: 中国环境科学出版社 ,1993.

[5] 环境保护部. HJ/T 61 - 2001 辐射环境监测技术规范[S]. 北京: 中国环境科学出版社 2001.

收稿日期: 2015 - 03 - 12 修回日期: 2015 - 05 - 23

DOI:10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2015.05.026

作者设计表格须知(二)

表中尽量不用非公知公用的缩写 ,如果必须用时 ,要在表下注明其中文含义。数据后面一事实上要用法定计量单位。例如现在有的作者的文章中 ,尿铅还用 μg/dl ,尿铅还用 mg/L 表示 ,这是已经废除的法定单位 ,现在血铅和尿铅都用 μmol/L 表示; 还有放射性活度单位不能用居里(Ci) ,而应该用贝克(勒尔)(Bq) ; 表示面积的亩应改为公顷; 离心机的转数 rpm 应该为 r/min; 能量(功、热) 不能再用卡(cal) ,而应该用焦耳(J) 等等。作者如不清楚法定单位 ,可参考《法定计量单位医学上的应用》一书。

本刊编辑部