

伴生放射性矿放射性污染现状及其防治管理对策

刘永¹, 陈逸凡¹, 丁悦², 洪昌寿³, 李向阳⁴, 卢湘浓⁵
(南华大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 衡阳 421001)

[摘要] 文章结合第一次全国伴生放射性污染源普查数据,对几种主要伴生放射性矿(磷酸盐、锆石、铀/钍、煤、钒、铝、铁、铜、稀土等)及其放射性核素情况展开分析。分析了伴生放射性矿在开采、开发过程中形成的放射性环境污染问题及现状。运用数据处理、图像统计对比等分析方法,探讨原矿/精矿与其固体废物的核素水平差异曲线,得出了不同伴生放射性矿中所含核素具有异质性,伴生放射性矿固体废物是引起放射性污染的重要原因等结论。在此基础上,对相关问题及目前防治措施的局限性进行探讨,提出建议,为我国核安全与放射性污染防治管理部门提供决策参考。

[关键词] 伴生放射性矿; 放射性污染; 辐射防护对策

[中图分类号] TL752 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2020)04-0001-05

DOI:10.13967/j.cnki.nhxb.2020.0055

伴生放射性矿是指含有较高水平的天然放射性核素浓度的非铀矿。我国伴生放射性矿产资源丰富,种类繁多。本文对磷酸盐、锆石、铀/钍、煤、钒、铝、铁、铜、稀土等几种主要伴生放射性矿的放射性核素污染进行了调查研究。近年来,随着我国经济建设的快速发展,伴生放射性矿产资源的开发利用强度也在加大。刘晓超、杜娟等在研究中发现,在这些伴生放射性矿产资源的开发利用过程中,伴生放射性矿产资源中较高水平的天然放射性核素的释放,其会产生大量的伴生放射性废物,给周围的辐射环境带来一定的压力,对环境造成一定程度的辐射污染与核污染^[1]。同时,核工业安全离不开对伴生放射性矿辐射环境的有效管理。如今,伴生放射性矿辐射是我国核与辐射安全监管体系中较为薄弱的领域。因此,研究伴生放射性矿辐射污染情况将对伴生放射性矿资源开发利用项目的辐射安全监督管理及我国核安全与辐射环境状况的改善具有极其重要的意义,显示出国家保护重要核燃料资源和防止伴生放射性矿的放射性污染的重要性^[2]。

伴生放射性矿放射性核素主要来源于原矿/精矿及其固体废物,现有研究主要侧重于通过调研后描述其核素水平的大小,如罗建军、吴浩等通过第一次全国污染普查验证各矿产核素水平^[3],但较少有相关研究涉及两者间的比较。由于固体废物所释放的放射性核素对环境将造成不可忽视的影响,因此,探讨伴生放射性矿与其固体废物间核素水平的大小关系便至关重要,通过比较两者间在核素水平上的关系,能够为后续辐射环境治理提供新思路与新方法。

一 伴生放射性矿环境污染现状

(一) 放射性核素对周围环境造成严重污染

伴生放射性矿环境污染问题的主要成因是伴生放射性矿的放射性核素的核辐射。据调查,我国部分地区的稀土伴生放射性矿中放射性核素的含量总浓度范围达2 817 Bq/kg ~ 67 000 Bq/kg,高浓度的核素是造成严重辐射环境问题的主要原因。就伴生放射性矿的固体废物而言,我国很多伴生放射性矿开发利用企业每年产生的固体废物较多^[4],对周围

[收稿日期] 2020-05-29

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目“基于地震应力多维耦合因素作用下退役铀尾矿库滩面氡析出机理与智能预测”资助(编号:11875164);湖南省自然科学基金项目“地震作用对退役铀尾矿库滩面覆土控氡效果的影响及其机制”资助(编号:2019JJ50489);湖南省教育厅科研重点项目“深部洞室围岩多场耦合氡析出机理及计算模型构建研究”资助(编号:18A232)

[作者简介] 刘永(1971—),男,辽宁建昌人,南华大学资源环境与安全工程学院教授。

1 南华大学资源环境与安全工程学院博士研究生。2 南华大学经济管理与法学院本科生。3 南华大学资源环境与安全工程学院讲师。4 南华大学资源环境与安全工程学院教授。5 南华大学资源环境与安全工程学院本科生。

地区环境造成了重大污染。

(二) 伴生放射性矿放射性污染威胁人类健康

伴生放射性矿在开发利用的时候,会导致矿物质中的天然放射性核素的迁移和扩散,导致环境中的辐射水平上升,从而增加了人类日常生活工作中的照射剂量。伴生放射性矿主要污染核素有 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 和 ^{222}Rn 及其子体 ^{220}Rn 以及 ^{220}Rn 的子体等,特别是 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn 及其子体对人类内照射剂量影响更大。

(三) 伴生放射性矿开发利用的其他污染现状

伴生放射性矿的开发一般都是露天作业,在开发过程中形成了大量的粉尘,造成粉尘污染。此外,生产单位的原料堆放场所,扬尘和生产工艺中产生的尾渣等都是造成大气放射性污染的源项。同时,我国仅有部分国有大中型企业将生产产生的固废进行专门堆存和贮存堆库,而很多中小企业都存在乱堆乱放问题,废渣污染的问题十分严峻。

二 我国伴生放射性矿环境管理存在的主要问题

(一) 伴生放射性矿的定义不明确,分类治理功能未落实到位

我国高度重视伴生放射性矿产的管理。1990年,国家环境保护局颁布了《放射性环境管理办法》,明确将“伴生放射性矿产资源”纳入监管范围。同时,《中华人民共和国放射性污染防治法》也规定,“有关矿物是指天然放射性核素浓度高的非铀矿”。然而,这些法律法规只有基本定义,即海基“指定水平”的定义,没有明确量化“高”,导致矿山辐射环境管理难度较大。

(二) 伴生放射性矿放射性环境管理指标不明确,管理体系不清晰

目前,在伴生放射性三废方面,国家只对放射性废水排放有比较明确的管理限值要求,废气排在《稀土工业污染物排放标准》中只有“钍、铀总量限值”的要求,各伴生放射性矿生产行业均未出台相应标准;对由伴生放射性矿开发利用产生的三废,也没有明确的分类和处置规定,这样极不利于放射性污染的治理。

(三) 伴生放射性矿研究数据缺失,综合治理体系不健全

我国有关伴生放射性矿的数据较少,没有一个较为全面的普查数据。在伴生放射性矿放射性污染管理方面,近年来我国环保部门出台了关于放射性矿环境管理的办法以及相关的条例,但是在实际的环境管理过程中,相关条例并不适合他们赖以生存

的实际性背景。比如,在我国颁布的《中华人民共和国职业病防治法》中,对于放射性场所关于放射性同位素的运输、储存等等只是作了简单的规定,实际背景运用却没有说清楚,对于应该明确的相关环境管理法律条例没有进行严格的规定^[5]。此外,对违反相关规定应做出的处罚也比较笼统,没有细分。

(四) 伴生放射性矿退役,放射性固废、废渣等管理不完善

目前,我国的法律法规没有明确规定伴生放射性矿退役治理与其固体废物的辐射环境管理范围。虽然《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》对放射性核素的活性浓度和活性予以界定,但仅适用于小批量的概念,许多规定存在较大漏洞。例如,在实际管理中,将比活度大于 $2\times 10^{-4}\text{ Bq/kg}$ 的尾矿储存在大坝中,对伴生放射性矿石尾矿或比活度小于 $2\times 10^{-4}\text{ Bq/kg}$ 的矿石不采取措施。根据《放射性环境管理措施》的规定,当存在大量建筑废弃物时,应将其存放在大坝内或送到核工业管理部门的尾坝内存放。但在实际管理过程中,一些大型废弃物在储存时,没有修建大坝进行储存,导致辐射环境无法得到有效控制,给关联矿山的环境管理带来了巨大的挑战。

三 伴生放射性矿放射性污染研究分析

通常,我们将监测重点放在了伴生放射性矿的开采过程,专注于原矿/精矿,忽视了对其产生的固体废物的监测。已有研究表明,在开采利用伴生放射性矿的过程中,其产生的一系列固体废物同样含有大量的污染核素,会对环境造成危害。因此,本文将通过研究伴生放射性矿开采与其固体废物的相关核素水平来进行进一步的实证检验。

研究表明,伴生放射性矿所含的主要污染核素有 ^{226}Ra 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{222}Rn 及其子体 ^{220}Rn 以及 ^{220}Rn 的子体等。结合第一次全国污染源普查放射性污染数据和已有理论水平,再分别对伴生放射性矿产品及其固体废物中的三类放射性核素总 U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 进行调查分析(数据的比值由原矿产列数值/固体废物类数值,保留三位小数后得到)。

对于不同种类的矿物资源的 γ 辐射空气辐射剂量率不同,同时,不同核素的活度浓度会呈现出不同的分布,且分布范围较广。其中,稀土、钼/铌等产品的总 U 、 ^{232}Th 和 ^{226}Ra 平均活度浓度均大于 1000 Bq/kg ,平均 γ 辐射空气吸收剂量率均大于 1500 nGy/h (如表1、表2、表3所示)。

表 1 总 U 含量

矿产名称	平均活度浓度 (Bq/kg)			平均 γ 辐射空气吸收剂量率 (nGy/h)		
	原矿产	固体废物	比值	原矿产	固体废物	比值
稀土	3972	2081	1.909	2578	3308	0.779
锆石	1289	1026	1.256	1592	1500	1.061
钽/铌	4476	7725	0.579	3263	7634	0.427
锌/铅	649	118	5.500	173	130	1.331
煤	383	225	1.702	153	162	0.944
钒	1036	813	1.274	280	264	1.061
铝	482	402	1.199	323	300	1.077
铁	270	246	1.098	162	189	0.857
铜	142	142	1.000	170	1500	0.113
磷酸盐	396	123	3.220	273	144	1.896

数据来源:第一次全国伴生放射性污染源普查^[4],结合相关政府统计数据得出

表 2 ²³²Th 含量

矿产名称	平均活度浓度 (Bq/kg)			平均 γ 辐射空气吸收剂量率 (nGy/h)		
	原矿产	固体废物	比值	原矿产	固体废物	比值
稀土	5782	4876.3	1.186	5709	3249	1.757
锆石	1733	327	5.300	1592	358	4.447
钽/铌	2015	4191	0.481	3263	1624	2.009
锌/铅	69	38.4	1.797	173	130	1.331
煤	51	91	0.560	153	162	0.944
钒	1501	73	20.562	280	264	1.061
铝	240	349	0.688	323	300	1.077
铁	68	135	0.504	162	189	0.857
铜	34	36	0.944	170	153	1.111
磷酸盐	26	35.3	0.737	273	144	1.896

数据来源同表 1

表 3 ²²⁶Ra 含量

矿产名称	平均活度浓度 (Bq/kg)			平均 γ 辐射空气吸收剂量率 (nGy/h)		
	原矿产	固体废物	比值	原矿产	固体废物	比值
稀土	2529	1240	2.040	5709	3249	1.757
锆石	3510	945	3.714	1592	358	4.447
钽/铌	18131	7212	2.514	3263	1624	2.009
锌/铅	465	195	2.385	173	139	1.245
煤	212	326	0.650	153	162	0.944
钒	908	675	1.345	280	264	1.061
铝	289	280	1.032	323	300	1.077
铁	288	247	1.166	162	189	0.857
铜	163	155	1.052	170	153	1.111
磷酸盐	404	191	2.115	273	144	1.896

数据来源同表 1

磷酸盐中的总 U 和²²⁶Ra 平均辐射空气吸收剂量率均大于 250 nGy/h,钒矿中的总 U、²³²Th 和²²⁶Ra 平均 γ 辐射空气吸收剂量率均大于 280 nGy/h,而铝矿中的总 U、²³²Th 和²²⁶Ra 平均 γ 辐射空气吸收剂量率都超过了 300 nGy/h。

伴生放射性矿及其固体废物 U 含量、²³²Th、²²⁶Ra 含量平均活度浓度、 γ 辐射空气吸收剂量率比值图如图 1、图 2、图 3 所示。

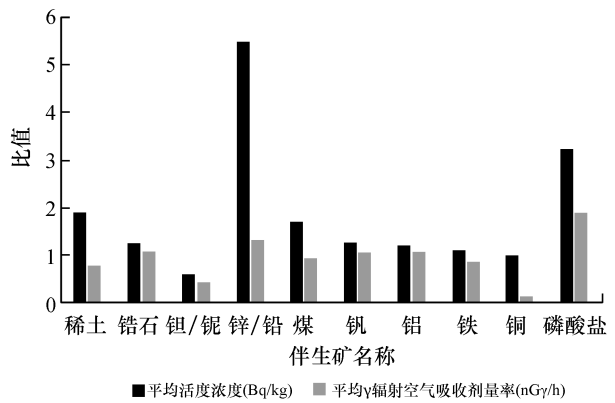


图 1 伴生放射性矿及其固体废物 U 含量平均活度浓度、 γ 辐射空气吸收剂量率比值图

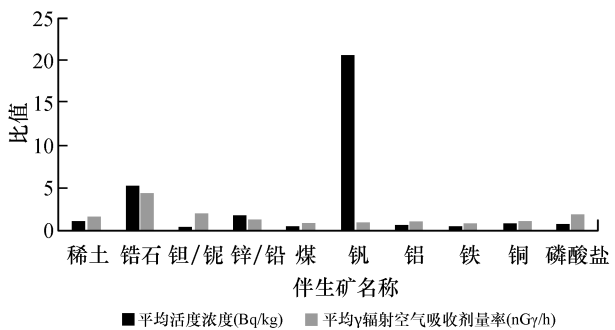


图 2 伴生放射性矿及其固体废物²³²Th 含量平均活度浓度、 γ 辐射空气吸收剂量率比值图

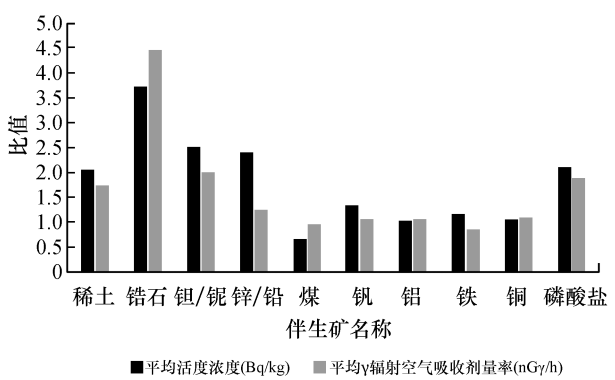


图 3 伴生放射性矿及其固体废物²²⁶Ra 含量平均活度浓度、 γ 辐射空气吸收剂量率比值图

由图1、图2、图3可知,一般情况下,在原始伴生放射性矿中所含有的放射性核素要大于固体废物中所含的放射性核素,有些达到了较高倍数。如,钷的 ^{232}Th 含量平均活度浓度(Bq/kg),原始伴生放射性矿是其固体废物的20倍。因此,在治理工作中,应该将重心放在原始伴生放射性矿。

与此同时,部分原始伴生放射性矿中所含有的放射性核素与固体废物中所含的放射性核素持平,比值维持在1左右。另外,在少数情况下,固体废物所产生的核素水平要大于原始伴生放射性矿,例如煤的 ^{226}Ra 含量,铁的 ^{232}Th 含量。值得注意的是,在治理原始伴生放射性矿的放射性污染的同时,还应加大对产生的固体废物的处理。

四 对策建议

(一)推动综合治理与保障伴生放射性矿辐射环境安全建议

对于相关矿山研究数据缺乏,有关部门应加快对矿山现状和辐射现状的调查,选择具有代表性的产业和企业进行,在评估原料、废水、废渣,工厂周围的辐射环境,废液排放造成的污染等放射性核素含量及其辐射水平的同时,也调查矿山开发利用的辐射安全监督和辐射环境标准。还应促进伴生放射性矿物资源的分类管理,制定不同的管理标准。此外,为进一步加强我国伴生放射性矿山的综合管理,相关部门应监督伴生放射性矿山的开采,加强对矿区周围辐射环境和废水的监测。同时,要建立系统的放射性污染预防政策体系和完善法律法规,促进放射性废物实施^[6]清洁净化和实施最小化管理政策。

(二)加快推进伴生放射性矿产资源精准化分类

目前,“伴生放射性矿”的定义是“含有较高水平天然放射性核素浓度的非铀矿”,但未明确如何界定“较高水平”以及哪些矿产纳入辐射环境监督管理等问题,在实际工作中难以确定某种矿产是否属于伴生放射性矿,不利于全国放射性污染普查与相关调查研究。针对上述情况,必须加快推进伴生放射性矿产资源精准化分类。结合我国伴生放射性矿开发利用和污染现状,确定一个基本管理限值,并以此限值来定义伴生放射性矿,同时对伴生放射性矿实行分类管理,按照天然放射性核素含量和职业、公众照射剂量评价结果等进行分级管理。

(三)完善伴生放射性矿退役与放射性废物管理制度,制定环境管理标准

在利用过程中,伴生放射性矿产生的废物会进

一步污染整个环境,因此需要加快早期伴生放射性矿设施的退役和废物治理,推动放射性废物处理能力建设,根据伴生放射性废物的活度、数量等采取不同的处置方法,加强对伴生放射性废物排放和处置的研究,基本完成历史遗留中低放废液固化处理,处置一批中低放固体废物。建立伴生放射性废物处置的相关制度,制定伴生放射性尾矿(渣)库设计、建造和使用的相关标准,对固废排放与处理结果指标化,探索创新型固体废物的处置方式,同时明确环境影响评价制度。

(四)构建一整套完善的伴生放射性矿放射性环境管理指标体系

不同伴生放射性矿中所含核素具有异质性,在不同程度上对工作场所和周围环境造成污染。放射性核素活度范围宽,分类管理一刀切会导致资源浪费。同时,部分伴生放射性矿企业退役非标准化导致许多退役企业不达标退役,其释放的核素继续污染环境。因此,可从两个方面来考虑。第一,健全安全辐射指标规范^[7],明确伴生放射性矿开发利用项目污染物排放的标准要求、监测和管理的相关规定。第二,制定伴生放射性企业的退役及环境整治标准。根据我国实际情况,制定相关退役治理技术标准,包括土壤中的允许残留水平^[8]、废渣场的整治要求等。

五 结 论

在已有研究基础上,通过发掘第一次全国伴生放射性污染源普查的相关数据,结合数据、图像进行直观的统计对比,得出如下结论:

(一)不同伴生放射性矿中所含核素具有异质性,同一伴生放射性矿中原始矿产与其固体废物所含核素同样具有异质性,不同核素的活度浓度, γ 辐射空气辐射剂量率分布不同,且分布范围较大,其将对核安全产生重要且不同程度的影响。

(二)伴生放射性矿固体废物是引起放射性污染问题的一大原因。研究表明原始伴生放射性矿中所含有的放射性核素水平一般情况下要高于固体废物中所含的放射性核素水平,但在少数情况下,固体废物所产生的核素水平要高于原始伴生放射性矿的核素水平。

(三)在推进生态文明建设、建设美丽中国的大背景下,必须立即改变伴生放射性矿原有的不合理开采、治理等方式,提高相关治理与管理服务水平,推动综合治理,加快推进伴生放射性矿产资源精准化分类,完善伴生放射性矿退役与放射性废物管理

制度,着手构建一套完善的伴生放射性矿放射性环境管理指标体系。

[参考文献]

- [1] 刘晓超,杜娟.伴生放射性矿山辐射安全管理现状与对策[J].铀矿冶,2013(2):104-108.
- [2] 环境保护部(国家核安全局)有关负责人就《核安全与放射性污染防治“十三五”规划及2025年远景目标》答记者问[J].中国应急管理,2017(3):24-27.
- [3] 罗建军,吴浩.第一次全国污染源普查放射性污染源普查的一些思考[J].核安全,2007(3):16-21.
- [4] 刘新华,马成辉,孔祥金,等.对人为活动引起的天然放射性明显增加设施辐射监管技术体系的几点建议[J].辐射防护,2011(6):328-333;347.
- [5] 苏永杰,罗建军,金建中.伴生放射性环境管理体系构建的探讨[J].辐射防护,2010(4):254-258.
- [6] 郑婷,卞兆娥.第二次全国伴生放射性矿污染源普查方法[J].污染防治技术,2018(6):37-39.
- [7] 冯晓.伴生放射性矿及其矿产品分类管控指标的探讨[J].硅酸盐通报,2018(8):2687-2692.
- [8] 戴轩宇,徐爱兰,姚颖.南通平原河网地区典型农田系统地下水硝态氮污染调查[J].环境监控与预警,2017(3):53-55;61.

The Current Situation of Radioactive Pollution of Associated Radioactive Minerals and its Countermeasures of Prevention and Management

LIU Yong, CHEN Yi-fan, DING Yue, HONG Chang-shou, LI Xiang-yang, LU Xiang-nong
(University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: Based on the data of the first national survey of associated radioactive pollution sources, the situation of several major associated radioactive minerals (phosphate, zircon, zinc / lead, coal, vanadium, aluminum, iron, copper, rare earth, etc.) and their radionuclides are analyzed. The present situation and problems of radioactive environmental pollution in the process of mining and developing associated radioactive ore are analyzed. By means of data processing, image statistical comparison and other analysis methods, the difference curve of nuclide level between raw ore / concentrate and its solid waste is obtained. It is concluded that the nuclides in different associated ores are heterogeneous, and the solid waste of associated ore is a major cause of radioactive pollution. On this basis, the related problems and prevention measures were studied in depth, and the solutions were put forward. It can provide reference for the nuclear safety and radioactive pollution control and management department in China.

Key words: associated radioactive minerals; radioactive pollution; radiation protection countermeasures

(本文编辑:魏月华)