

# 我国伴生放射性矿辐射环境监管的思考

高思旖<sup>1</sup> 杨春<sup>2</sup> 谢树军<sup>1</sup> 张爱玲<sup>1</sup> 廖运璇<sup>1</sup> 郑国峰<sup>1</sup>

1(生态环境部核与辐射安全中心 北京 102455)

2(生态环境部辐射源安全监管司 北京 100006)

**摘要** 我国的伴生放射性矿分布广泛,行业众多且工艺技术复杂,与公众关系密切,对辐射环境的影响大,是核与辐射安全监管的相对薄弱环节。《中华人民共和国放射性污染防治法》《国务院关于核安全与放射性污染防治“十三五”规划及2025年远景目标的批复》(国函(2017)29号)等法规对伴生放射性矿的辐射环境监管有原则的要求,但在实施过程中仍然有一些具体的问题需要面对,如伴生放射性矿的定义、伴生放射性矿开发利用的范畴等。在辐射环境监管领域有流出物及辐射环境监测的规范等问题需要解决,尤其是对于伴生放射性固体废物处理与处置,是目前制约伴生放射性矿开发利用可持续发展的关键问题,建立系统的监管制度需要在实践中予以探索和研究。本文针对于伴生放射性矿的范畴以及辐射环境监管中遇到的一些问题,根据科学的管理方法,结合伴生放射性矿监管的实践,提出完善辐射环境监管制度的建议。

**关键词** 伴生放射性矿, 辐射环境, 监管

**中图分类号** TL75

**DOI:** 10.11889/j.0253-3219.2023.hjs.46.010001

## Consideration on radiation environmental supervision of associated radioactive mines

GAO Siyi<sup>1</sup> YANG Chun<sup>2</sup> XIE Shujun<sup>1</sup> ZHANG Ailing<sup>1</sup> LIAO Yunxuan<sup>1</sup> ZHENG Guofeng<sup>1</sup>

1(Nuclear and Radiation Safety Center, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 102455, China)

2(Department of Radiation Source Safety Regulation, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100006, China)

**Abstract** Associated radioactive mines are widely distributed in China, with many industries, complex processes and technologies, close relationship with the public, and great impact on the radiation environment. They are relatively weak links in nuclear and radiation safety supervision. In the process of implementing the upper level document, some specific problems have to be faced, such as the definition of associated radioactive ore, the scope of associated radioactive ore development and utilization, etc. In the field of radiation environment supervision, there are issues such as effluent and radiation environment monitoring specifications that need to be solved. In particular, the treatment and disposal of associated radioactive solid waste is the key problem that currently restricts the sustainable development of associated radioactive ore development and utilization. The second national census of pollution sources reported the cumulative storage of associated radioactive solid waste in the country, and the radiation environment supervision situation is grim. In the scope of associated radioactive mines and some problems encountered in the supervision of radiation environment, this study aims to formulate a reasonable and feasible supervision system for associated radioactive mines, standardize supervision and management activities, and ensure the safety of the radiation environment according to scientific management methods, combined with the practice of supervision of associated radioactive mines. Suggestions on the definition of the scope and development and

第一作者: 高思旖, 女, 1986年出生, 2011年毕业于南京航空航天大学, 研究领域为辐射防护与环境保护

通信作者: 郑国峰, E-mail: zhenggf163\_lzu@163.com

收稿日期: 2022-10-13, 修回日期: 2022-11-23

First author: GAO Siyi, female, born in 1986, graduated from Nanjing University of Aeronautics and Astronautics in 2011, focusing on radiation protection and environmental protection

Corresponding author: ZHENG Guofeng, E-mail: zhenggf163\_lzu@163.com

Received date: 2022-10-13, revised date: 2022-11-23

utilization of associated radioactive mines and the management of the inventory are put forward for solving the radiation environment supervision system with consideration on the storage period of associated radioactive solid waste, the management of nearby centralized disposal and disposal facilities. As the radiation environmental supervision of associated radioactive mines is still a relatively weak area in nuclear and radiation safety supervision system in China, radiation environmental impact assessment and environmental radiation self-monitoring need to be strengthened.

**Key words** Associated radioactive mines, Radiation environment, Supervision

各种矿产资源都伴生有天然放射性。在矿山的采选和冶炼过程中,铀(钍)系放射性核素会发生迁移、聚集,释放到环境中会造成环境辐射水平升高,甚至造成放射性污染,影响公众健康和生态环境安全。

《中华人民共和国放射性污染防治法》和《国务院关于核安全与放射性污染防治“十三五”规划及2025年远景目标的批复》(国函(2017)29号)中虽然都包含了伴生放射性矿开发利用的放射性污染防治要求,但是与核设施、核技术利用以及铀矿冶相比,对伴生放射性矿开发利用的监管一直是核与辐射安全监管的薄弱环节。相关的法规标准还不完善,没有自成体系。国际上天然放射性物质(Naturally Occurring Radioactive Material, NORM)的辐射环境监管也是近年来的热点,相关国际组织也提出了NORM辐射环境监管的一些建议:如国际辐射防护委员会(International Commission on Radiological Protection, ICRP)出版了《工业过程中天然存在的放射性物质(NORM)的辐射防护》<sup>[1]</sup>;国际原子能机构(International Atomic Energy Agency, IAEA)出版了《铀生产及其他活动中含有天然放射性物质(NORM)的残留物管理》<sup>[2]</sup>,对NORM工业残留物的安全管理进行了规定;我国在近年来也加快了伴生放射性矿辐射环境安全法规标准的制定,笔者通过对我国伴生放射性矿辐射环境监管中的相关问题进行探讨,对我国伴生放射性矿辐射环境安全监管提出了建议。

## 1 伴生放射性矿的现状

从20世纪90年代开始,我国开始对伴生放射性矿开发利用进行调研摸底,先后开展了广东等7省(市)伴生放射性矿开发利用辐射水平调查<sup>[3]</sup>。在2007年,开展了第一次全国污染源普查<sup>[4-5]</sup>,2017年开展了第二次全国污染源普查伴生放射性矿普查,对于全国伴生放射性矿开发利用企业的分布情况以及伴生放射性固体废物的调查结果有了全面的统计<sup>[6]</sup>。根据《第二次全国污染源普查公报》(公告2020年第33号)<sup>[7]</sup>,通过对全国2.97万家采选、冶炼

和加工单位的检测筛查,确定我国伴生放射性矿开发利用单位共464家,主要分布在湖南、广东、广西、江西、云南、贵州、内蒙古等省(区),以锆石和氧化锆、稀土等矿产为主。2017年末,全国伴生放射性固体废物累积贮存量为20.30亿吨,其中放射性活度浓度超过 $10 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ 的固体废物主要为稀土、铀/钍、锆石和氧化锆、铅/铋、镅/钷、铁等矿产,总量为224.95万吨。

由于伴生放射性矿数量多,分布行业广,除稀土、铀钍、锆等行业普遍带有伴生放射性外,其他行业的伴生放射性矿与地域或成矿条件有关,这样更增加了伴生放射性矿监管的难度,加上绝大部分的伴生放射性矿开发利用企业缺少辐射环境安全管理的专业人才,对放射性危害知之甚少,相关的法规标准也未成体系,导致伴生放射性矿开发利用对环境的辐射影响可能会超过核工业。

## 2 伴生放射性矿的范畴

### 2.1 关于界定方法

《中华人民共和国放射性污染防治法》对伴生放射性矿的定义是指:含有较高水平天然放射性核素浓度的非铀矿(如稀土矿和磷酸盐矿等),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,导致实践中难以落实。2013年,原环境保护部发布了《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录(第一批)》<sup>[8]</sup>,根据《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》<sup>[9]</sup>,将原矿、中间产品、尾矿(渣)或者其他残留物中铀(钍)系单个核素含量超过 $1 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ 的稀土、铀/钍、锆及氧化锆、钒、石煤等5类矿产资源开发利用项目纳入辐射环境监督管理。

在实践中,根据固体物料而不是废水或废气中的放射性核素含量来界定伴生放射性矿更为稳妥,对于企业和监管部门都更具可操作性。另外,虽然有意见认为,以 $1 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ 来鉴定是否纳入辐射环境监管过于严格,应该提高到 $10 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ ,甚至更高,但笔者认为, $1 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ 作为监管的起点是合适的,大于

1 Bq·g<sup>-1</sup>可以采取分级管理,我国应该开展分级监管的研究工作,这样,既能有效防治伴生放射性矿开发利用的辐射污染,又能减轻企业和监管的成本。IAEA已经出版的《铀生产及其他活动中含有天然放射性物质(NORM)的残留物管理》中对残留物提出了豁免(从部分或所有的监管要求中)、通知、登记、许可4种分级管理的建议,但并未提出具体的分级要求,此文件中还列举了比利时对NORM残留物分级管理的实践:豁免水平为<sup>238</sup>U和<sup>232</sup>Th及其长期平衡子体活度浓度为0.5 Bq·g<sup>-1</sup>,超过该水平的残留物以公众的年剂量0.3 mSv为界,低于0.3 mSv·a<sup>-1</sup>则采取注册或许可管理,高于0.3 mSv·a<sup>-1</sup>的NORM残留物就会被当作放射性废物处理,并由比利时国家废物管理局管理。

## 2.2 关于《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录》

根据自然资源部发布的《中国矿产资源报告》(2020)<sup>[10]</sup>,我国已发现173种矿产。基于伴生放射性矿普查成果,生态环境部对《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录(第一批)》进行了增补修订,发布了《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录》<sup>[11]</sup>,将稀土、锆及氧化锆、铌/钽、锡、铝、铅/铋、铜、铁、钒、钼、镍、锆、钛、金、磷酸盐、煤共16类矿产纳入辐射环境监督管理。

有研究发现,钨矿、石油天然气开采的物料中放射性核素活度浓度也超过1 Bq·g<sup>-1</sup><sup>[12]</sup>,是否纳入《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录》需要予以关注和更广泛深入地调查,建议我国相关部门进一步开展这些矿产资源的专项调查,如果这些矿产资源开发利用过程中物料大于1 Bq·g<sup>-1</sup>,则应该在修订《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录》时,将这些矿种纳入名录管理。

## 2.3 关于开发利用

在《中华人民共和国放射性污染防治法》释义中,伴生放射性矿的“开发利用”就是指“开采和选冶”。调查研究发现,在制造混凝土、陶瓷、首饰、钟表等产品,甚至生产消费品(如负离子粉保健品、负离子卫生巾等)等活动中都有利用或者掺杂伴生放射性物料的现象。铀矿的开发利用(铀矿冶)只是包括铀矿的开采和选冶,不包括后续的铀产品纯化、分离和产品制造。同理,伴生放射性矿开发利用也只是到选冶阶段,后续的产品再使用等均不属于开发利用。在《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录》中,对每一种矿产都明确了纳入辐射环境监管的工业活动,这也是对“开发利用”的释义。

对开发利用进行限制,一方面有法律依据,另一方面也是针对伴生放射性矿开发利用放射性污染的主要环节,集中精力解决好主要矛盾。

## 2.4 关于伴生放射性矿开发利用企业名录

对于已纳入《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录》,并且原矿、中间产品、尾矿、尾渣或者其他残留物中铀(钍)系单个核素活度浓度超过1 Bq·g<sup>-1</sup>的矿产资源开发利用企业,各省级生态环境主管部门应当建立伴生放射性矿开发利用企业名录,向社会公开并动态更新。2021年7月,生态环境部发布了《关于2020年全国伴生放射性矿开发利用企业名录的公告》<sup>[13]</sup>,并抄送海关总署,向伴生放射性矿开发利用企业的清单式管理迈进了一步。这是生态环境部第一次发布全国伴生放射性矿开发利用企业名录,共计363家,各省的企业数量分布情况见表1。按照矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录中的16类矿产的企业数量分布情况见表2,需要说明的是,有部分企业不止有一类矿产,如海南省很多企业属于锆及氧化锆与钛共伴生的企业,表2中进行了重复累计的统计。对于那些完成放射性污染治理、妥善处置伴生放射性固体废物的单位,可以申请调出该名录,形成可进可出的闭环。

伴生放射性矿开发利用企业实行名录管理,是精准、公开监管和简政放权的体现,有效减少了相关企业在进口伴生放射性矿产资源时因信息不畅通导致增加通关时间,提高了监管效率,减少了企业的成本。

## 3 辐射环境监管

### 3.1 关于辐射环境影响评价

《中华人民共和国放射性污染防治法》第34条明确要求,开发利用伴生放射性矿的单位应当在申请领取采矿许可证前编制环境影响报告书,此处的环境影响报告书应当包含辐射环境影响评价。但在实践中,伴生放射性矿开发利用企业容易忽略辐射环境影响,也未建设配套的放射性污染防治设施。

为落实企业主体责任,建设单位应当在环境影响报告书(表)中给出原矿、中间产品、尾矿、尾渣或者其他残留物中铀(钍)系单个核素活度浓度是否超过1 Bq·g<sup>-1</sup>的结论,判断是否属于伴生放射性矿开发利用。需要明确的是,辐射环境影响评价专篇不是独立的环境影响评价文件,而是作为环境影响评价文件的组成部分同步报批。

建设单位在竣工环境保护验收时,应当同时组织对配套建设的放射性污染防治设施进行验收,组



表1 2020年全国伴生放射性矿开发利用企业名录  
各省企业数量

Table 1 Number of enterprises in each province in the national directory of associated radioactive ore development and utilization enterprises in 2020

省份 Province	企业数量 Number of enterprises	省份 Province	企业数量 Number of enterprises
天津 Tianjin	1	湖南 Hunan	20
河北 Hebei	7	广东 Guangdong	62
山西 Shanxi	1	广西 Guangxi	17
内蒙古 Inner Mongolia	20	海南 Hainan	18
辽宁 Liaoning	13	四川 Sichuan	16
江苏 Jiangsu	25	贵州 Guizhou	27
浙江 Zhejiang	1	云南 Yunnan	27
安徽 Anhui	8	陕西 Shaanxi	22
福建 Fujian	12	甘肃 Gansu	7
江西 Jiangxi	32	宁夏 Ningxia	2
山东 Shandong	7	新疆 Xinjiang	4
河南 Henan	14	总计 Total	363

表2 2020年全国伴生放射性矿开发利用企业名录16类矿产资源企业数量

Table 2 Number of mineral resource enterprises of 16 categories in the national list of associated radioactive mineral development and utilization enterprises in 2020

矿产类别 Mineral category	企业数量 Number of enterprises	矿产类别 Mineral category	企业数量 Number of enterprises
稀土 Rare earth	79	钒 Vanadium	13
锆及氧化锆 Zirconium and zirconia	106	钼 Molybdenum	12
铌/钽 Niobium/tantalum	13	镍 Nickel	4
锡 Tin	17	锗 Germanium	17
铝 Aluminium	12	钛 Titanium	68
铅/锌 Lead/zinc	14	金 Gold	2
铜 Copper	9	磷酸盐 Phosphate	1
铁 Iron	33	煤 Coal	37

织编制辐射环境保护验收监测报告并纳入验收监测报告。

通过明确辐射环境影响评价专篇制度,有效解决了由于以往伴生放射性矿开发利用建设项目缺少辐射环境影响评价的问题,从源头上预防放射性污染;辐射环境保护验收监测制度,将放射性污染防治纳入了“三同时”管理,使伴生放射性矿开发利用的放射性污染和其他的非放射性污染防治一样得到

落实。

### 3.2 关于流出物和辐射环境监测

《土壤污染防治行动计划》(国发〔2016〕31号)要求加强对矿产资源开发利用活动的辐射安全监管,有关企业每年要对本矿区土壤进行环境辐射监测。《核安全与放射性污染防治“十三五”规划及2025年远景目标》(国函〔2017〕29号)要求督促伴生放射性矿开采、利用企业加强周边辐射环境监测和流出物监测。生态环境部据此发布了《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)》,这份伴生放射性矿辐射环境管理的规范性文件在监管制度上作了许多探索创新,如将伴生放射性矿开发利用企业纳入重点排污单位名录、企业应当制订环境辐射监测方案、定期开展流出物和辐射环境监测、监测信息向社会公开等。

办法实施以来,各地生态环境主管部门对伴生放射性矿开发利用企业的辐射环境监管逐步规范化,确保达标排放。生态环境部核与辐射安全中心已经建设了铀矿冶和伴生放射性矿的辐射环境管理系统,汇总整理企业自行监测和监督性监测的数据,未来将成为反映我国辐射环境质量变化的重要依据。

### 3.3 关于伴生放射性固体废物

《中华人民共和国放射性污染防治法》中的“放射性废物”包含伴生放射性矿开发利用产生的废物。《放射性废物分类》<sup>[14]</sup>认为与核设施产生的放射性废物的管理相比,矿物开采、加工处理过程中产生的含有较高水平天然放射性核素的废物数量巨大,需要采取不同的管理方式。

#### 3.3.1 贮存期限

目前核设施放射性废物和危险废物都设置了贮存期限。基于核设施废物贮存容器的寿命,贮存期限一般不超过5a。但是伴生放射性固体废物一般不采用容器贮存,需要根据贮存设施的具体情况具体分析。有自行处置条件的,应该建库进行暂存和处置,有区域集中处置地区的企业,废渣在企业暂存的时间不宜超过2a,在没有外送处置以前,应该做好安全暂存。图1和图2给出了目前伴生放射性固体废物的暂存现状,由于这些设施是在2020年前建设的,与《伴生放射性物料贮存及固体废物填埋辐射环境保护技术规范(试行)》<sup>[15]</sup>的要求还有差距。

#### 3.3.2 就近原则

与核设施产生的废物都送往西北处置场不同,伴生放射性固体废物量大,分布在全国各地,不适宜



图1 某伴生放射性矿企业固体废物暂存现状  
Fig.1 Status quo of temporary storage of solid waste in an associated radioactive mine



图2 某伴生放射性矿企业固体废物暂存库情况  
Fig.2 Temporary storage of solid waste in an associated radioactive mine

采用全国集中处置的模式,更适合参照危险废物就近处置的原则,这样既可以减少废物运输的辐射环境风险,又减少废物的运输成本。区域集中处置设施由省级地方人民政府统筹规划,但处置设施建设和经营应该由企业负责,考虑设施关闭后需要长时间进行监护,建设和经营集中处置设施的应该是国有控股企业,但应该也鼓励社会资本参与处置设施的建设。图3是包头市集中处置包头地区稀土冶炼产生的伴生放射性固体废物的处置场。



图3 包头市伴生放射性固体废物处置场  
Fig.3 Baotou associated radioactive solid waste disposal site

### 3.3.3 处置设施共享

伴生放射性固体废物与铀矿冶废物都属于天然放射性固体废物,利用闲置的铀尾矿(渣)库来处置伴生放射性固体废物在经济和技术上都可行,由于南方硬岩铀矿冶企业关停,有的铀矿冶尾矿库的废物量不到设计库容的一半,如图4为某公司的尾矿库,设计库容约数百万 $m^3$ ,但目前只堆存了约20%库容的尾渣。这样将尾矿库关停退役,将造成巨大的资源浪费。由于行业政策限制,伴生放射性固体废物目前还不能送到铀矿冶尾矿库处置,建议国家相关部门能够统筹协调,实现军民融合,资源共享。



图4 某公司尾矿库  
Fig.4 Tailings pond of a company

## 4 结语

与核工业/核技术应用领域不同,伴生放射性矿分布广泛、行业众多、工艺技术复杂、与公众关系密切,是我国辐射环境安全监管的不可忽视的领域。通过对伴生放射性矿的范畴和辐射环境监管相关问题的思考和分析,得出如下结论:

1)  $1\text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ 应该是伴生放射性矿监管的起点,但不应该是“一刀切”,应该研究制定分级监管办法。伴生放射性矿“开发利用”限于“采矿、选矿和冶炼”是有法律依据,也可以集中现有的资源聚焦伴生放射性矿污染防治中的主要矛盾。

2) 实行行业和企业双名录动态管理,可以提高监管效率,符合简政放权、精准监管的原则。

3) 实行辐射环境影响评价专篇和辐射环境保护验收制度,从源头上预防了伴生放射性矿的放射性污染,从根本上堵住了伴生放射性矿开发利用放射性污染防治的漏洞,有效提高了伴生放射性矿开发利用的辐射环境安全。实行自行环境辐射监测制度,压实企业的辐射环境安全主体责任。

4) 伴生放射性固体废物处置是目前制约伴生放射性矿开发利用可持续发展的关键问题,利用铀矿



治设施处置伴生放射性固体废物可以实现资源共享,符合军民融合的国家政策。实现区域集中处置符合伴生放射性矿的特点,处置设施的建设和经营应该由国有控股企业负责,同时应鼓励社会资本积极参与。

**作者贡献声明** 高思旖:文章统筹规划,文章执笔人;杨春:提供文章整体思路,提供相关论点;谢树军:整体把握文章框架,提供相关论点;张爱玲、廖运璇:对文章进行审阅修改;郑国峰:负责收集图片和相关数据。

### 参考文献

- IAEA Specific Safety Guide No.SSG-60. Management of residues containing naturally occurring radioactive material from uranium production and other activities[M]. Vienna : International Atomic Energy Agency, 2021.
- Lecomte J F, Shaw P, Liland A, *et al.* ICRP publication 142: radiological protection from naturally occurring radioactive material (NORM) in industrial processes[J]. *Annals of the ICRP*, 2019, **48**(4): 5 - 67. DOI: [10.1177/0146645319874589](https://doi.org/10.1177/0146645319874589).
- 帅震清,温维辉,赵亚民,等.伴生放射性矿物资源开发利用中放射性污染现状与对策研究[J].*辐射防护通讯*, 2001, **21**(2): 3 - 7. DOI: [10.3969/j.issn.1004-6356.2001.02.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-6356.2001.02.001).  
SHUAI Zhenqing, WEN Weihui, ZHAO Yamin, *et al.* The status of radioactive pollution due to associated minerals and countermeasures study[J]. *Radiation Protection Bulletin*, 2001, **21**(2): 3 - 7. DOI: [10.3969/j.issn.1004-6356.2001.02.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-6356.2001.02.001).
- 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, **6**(3): 16 - 21. DOI: [10.16432/j.cnki.1672-5360.2007.03.010](https://doi.org/10.16432/j.cnki.1672-5360.2007.03.010).  
LUO Jianjun, WU Hao. The discussion on the radioactive pollution source in the first China pollution source census [J]. *Nuclear Safety*, 2007, **6**(3): 16 - 21. DOI: [10.16432/j.cnki.1672-5360.2007.03.010](https://doi.org/10.16432/j.cnki.1672-5360.2007.03.010).
- 刘华,罗建军,马成辉.第一次全国污染源普查伴生放射性污染源普查及结果初步分析[J].*辐射防护*, 2011, **31**(6): 334 - 341.  
LIU Hua, LUO Jianjun, MA Chenghui. Investigation and analysis of NORMs based on the first nationwide pollution source survey[J]. *Radiation Protection*, 2011, **31**(6): 334 - 341.
- 郑国峰,廖运璇,柏学凯,等.全国伴生放射性矿普查结果分析及监管建议[J].*环境保护*, 2020, **48**(18): 38 - 41. DOI: [10.14026/j.cnki.0253-9705.2020.18.007](https://doi.org/10.14026/j.cnki.0253-9705.2020.18.007).  
ZHENG Guofeng, LIAO Yunxuan, BAI Xuekai, *et al.* Analysis of the results of the second national pollution source census of NORMs and suggestions for supervision [J]. *Environmental Protection*, 2020, **48**(18): 38 - 41. DOI: [10.14026/j.cnki.0253-9705.2020.18.007](https://doi.org/10.14026/j.cnki.0253-9705.2020.18.007).
- 生态环境部.第二次全国污染源普查公报(公告2020年第33号)[EB].北京,2020.  
Ministry of Ecology and Environment. Bulletin of the second national pollution source census (announcement No.33 in 2020)[EB]. Beijing, 2020.
- 环境保护部.《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录(第一批)》(环办(2013)12号)[EB].北京,2013.  
Ministry of Environmental Protection. Directory of radiation environment supervision and administration for the development and utilization of mineral resources (the first batch)(HB[2013] No.12)[EB]. Beijing, 2013.
- 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度:GB 27742—2011[S].北京:中国标准出版社,2012.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Activity concentration for material not requiring radiological regulation: GB 27742—2011[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.
- 自然资源部.《中国矿产资源报告(2020)》发布[J].*黄金科学技术*, 2020(5): 711.  
Ministry of Natural Resources. China Mineral Resources Report (2020) was released[J]. *Gold Science and Technology*, 2020(5): 711.
- 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.  
Ministry of Ecology and Environment. Directory of radiation environment supervision and management for the development and utilization of mineral resources (announcement No.54 in 2020)[EB]. Beijing, 2020.
- 姜国良,单广波.石油化工企业放射性污染防治管理难点分析及对策建议[J].*当代化工*, 2020, **49**(7): 1537 - 1540, 1547. DOI: [10.13840/j.cnki.cn21-1457/tq.2020.07.066](https://doi.org/10.13840/j.cnki.cn21-1457/tq.2020.07.066).  
JIANG Guoliang, SHAN Guangbo. Analysis on difficulties and countermeasures of the prevention and management of radioactive pollution in petrochemical enterprises[J]. *Contemporary Chemical Industry*, 2020, **49**

- (7): 1537 - 1540, 1547. DOI: [10.13840/j.cnki.cn21-1457/tq.2020.07.066](https://doi.org/10.13840/j.cnki.cn21-1457/tq.2020.07.066).
- 13 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)(国环规辐射(2018)1号)[EB]. 北京, 2018.  
Ministry of Ecology and Environment. Measures for environmental radiation monitoring and information disclosure of enterprises engaging in the development and utilization of associated radioactive mines (trial) (GHGRH [2018] No.1)[EB]. Beijing, 2018.
- 14 生态环境部. 关于发布《放射性废物分类》的公告(公告2017年第65号)[EB]. 北京, 2017.  
Ministry of Ecology and Environment. Announcement on issuing the classification of radioactive waste (announcement No.65 in 2017)[EB]. Beijing, 2017.
- 15 生态环境部辐射源安全监管司. 伴生放射性物料贮存和固体废物填埋辐射环境保护技术规范(试行): HJ 1114—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.  
Ministry of Ecology and Environment. Technical code for environmental protection of associated radioactive materials storage and solid waste landfill (trial): HJ 1114—2020[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.