

附件 5

《伴生放射性矿开发利用环境辐射限值(征求意见稿)》编制说明

生态环境部核与辐射安全中心
中核第四研究设计工程有限公司
中国辐射防护研究院
核工业北京化工冶金研究院
二〇一九年十月

目 录

1 项目背景	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 工作过程.....	1
2 行业概况	2
2.1 相关行业在我国的发展概况.....	2
2.2 相关行业在其他国家和地区发展概况.....	12
3 标准编制的必要性分析	14
3.1 辐射环境监管的要求.....	14
3.2 行业发展带来的辐射环境问题.....	15
3.3 现行环保标准存在问题.....	15
4 行业产排污情况及污染控制技术分析	16
4.1 行业主要产污环节及排放现状.....	16
4.2 污染防治技术分析.....	17
5 标准编制的原则和技术路线	21
5.1 标准编制的原则.....	21
5.2 标准编制的技术路线.....	22
6 标准主要技术内容	22
6.1 标准结构框架.....	22
6.2 适用范围.....	23
6.3 规范性引用文件.....	23
6.4 术语和定义.....	23
6.5 流出物排放要求.....	23
6.6 公众照射剂量限制.....	25
6.7 环境整治.....	26
6.8 流出物和环境整治监测要求.....	26
6.9 实施与监督要求.....	26
7 国内外相关标准及排放控制水平对比分析	27
7.1 主要国家（地区）及国际组织相关标准.....	27
7.2 国内相关标准.....	29
7.3 本标准与国内外相关标准的对比分析.....	32
8 实施本标准的环境效益及经济技术分析	33

1 项目背景

1.1 任务来源

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国放射性污染防治法》和《建设项目环境保护管理条例》，进一步强化伴生放射性矿开发利用过程中的辐射环境管理与放射性污染防治工作，规范、指导和推动伴生放射性矿开发利用的环境辐射保护工作，完善伴生放射性矿开发利用环境辐射管理标准体系，需要编制《伴生放射性矿开发利用环境辐射限值》标准。

为了《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）》（国环规辐射〔2018〕1号）的顺利实施，规范和指导伴生放射性矿开发利用辐射环境管理，需要科学合理地确定伴生放射性矿开发利用环境辐射限值，让伴生放射性矿开发利用企业辐射环境管理有规可循，生态环境主管部门监督检查有据可依，生态环境部辐射源安全监管司在2018年部署开展了伴生放射性矿开发利用流出物排放限值研究，2019年向生态环境部核与辐射安全中心、中核第四研究设计工程有限公司、中国辐射防护研究院和核工业北京化工冶金研究院下达了《伴生放射性矿开发利用环境辐射限值》标准制定任务。2019年7月，生态环境部法规与标准司通过了《伴生放射性矿开发利用环境辐射限值》标准的立项。

1.2 工作过程

2018年3月-12月，生态环境部核与辐射安全中心组织开展了伴生放射性矿开发利用流出物排放限值研究，对伴生放射性矿开发利用液态流出物的污染控制水平及处理技术、气载流出物的处理技术及排放现状等进行了研究，初步确定了流出物的控制项目和排放限值等。

2019年1月，生态环境部核与辐射安全中心、中核第四研究设计工程有限公司、中国辐射防护研究院和核工业北京化工冶金研究院联合成立了标准编制组（以下简称“编制组”），制定了标准编制计划。

2019年2月，生态环境部辐射源安全监管司组织召开了《伴生放射性矿开发利用环境辐射限值》标准启动会，明确了标准编制的技术路线，确定标准的主要内容包括流出物排放限值、公众剂量限制和环境整治目标值三个部分，流出物排放限值中铀、钍的控制指标分别设置。鉴于镭-228、钋-210、铅-210暂时没有国家或行业标准监测

方法，暂不设定上述三个污染因子的排放限值；鉴于放射性污染因子为一类污染因子，只设定放射性废水处理车间排放口的限值。

2019年2月-5月，编制组在原有研究的基础上，补充收集了伴生放射性矿开发利用流出物排放现状，调研了有关国家环境保护和产业发展法规和政策，以及美国、英国、日本、印度等国家流出物排放限值，调研了伴生放射性矿开发利用在我国的发展状况以及纳入第一批管理名录的稀土、铈/钼、锆及氧化锆、石煤和钒等五个行业的工艺等；在2016年原环境保护部核与辐射安全中心《伴生放射性矿开发利用辐射环境影响评价专篇审评原则》研究报告的基础上，进一步论证了伴生放射性矿开发利用公众剂量限值，在此基础上，起草了《伴生放射性矿开发利用环境辐射限值（草稿）》和编制说明初稿。

2019年5月，生态环境部辐射源安全监管司在北京组织了《伴生放射性矿开发利用环境辐射限值（草稿）》专家咨询，对标准文本和编制说明初稿进行了讨论，认为标准编写基本规范，框架结构合理，层次清晰，内容基本合理。建议规定污染设备、器材清洁解控水平，进一步论证气载流出物排放限值，研究土壤修复后的钍-232的目标值。2019年6月-9月，编制组调研了部分伴生放射性矿开发利用企业气载流出物的排放现状和除尘工艺；论证了增加土壤修复后钍-232的目标值，认为由于缺少足够的资料，目前设定土壤修复后钍-232的目标值还不成熟；增加了污染设备、器材清洁解控水平，并对标准文本进行了进一步修改，完善了编制说明。

2019年9月，生态环境部辐射源安全监管司在北京组织了《伴生放射性矿开发利用环境辐射限值（草稿）》第二次专家咨询，对标准文本和编制说明初稿进行了讨论，认可了标准的技术指标，同意暂不设定土壤修复后钍-232的目标值，并建议相关部门尽快研究制定镭-228、钋-210、铅-210的标准监测方法，在监测标准颁布后，及时修订标准，增加镭-228、钋-210、铅-210的相关限值，同时建议对标准文本和编制说明修改完善后，尽快征求意见。编制组对标准文本和编制说明进行了修改完善，形成了《伴生放射性矿开发利用环境辐射限值（征求意见稿）》及征求意见稿编制说明。

2 行业概况

2.1 相关行业在我国的发展概况

2.1.1 伴生放射性矿开发利用基本概念

关于伴生放射性矿，《中华人民共和国放射性污染防治法》第 62 条有明确定义：伴生放射性矿，是指含有较高水平天然放射性核素浓度的非铀（钍）矿（如稀土矿和磷酸盐矿等）。但这个定义只是定性地规定了伴生的天然放射性水平。随着伴生放射性矿辐射环境监管的实践，目前，一般认为除铀（钍）矿外所有矿产资源开发利用活动的原矿、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 贝可/克（Bq/g）的活动即是伴生放射性矿开发利用。当前，伴生放射性矿开发利用已成为辐射环境管理的重要领域，是各级生态环境主管部门辐射环境监管的重点。

2.1.2 我国伴生放射性矿开发利用行业分布及放射性水平

我国伴生放射性矿开发利用主要包括伴生放射性矿的采选及冶炼加工。在生产过程中，矿物中的天然放射性物质会迁移、浓集和扩散，含有天然放射性核素的产品、废物也会对环境造成一定程度的放射性影响。

我国自 20 世纪 70 年代开始关注伴生放射性矿开发利用中的辐射环境管理问题。到目前为止，国家针对伴生放射性矿开发利用进行过三次较大范围的调查：原国家环境保护总局在 2000 年对四川等 7 个省市的稀土矿、铝矿、磷矿、煤矿、铅锌矿等伴生放射性矿开发利用项目的辐射环境影响进行了调查，掌握了一定的基础数据；2007 年，国务院组织开展了第一次全国污染源普查，伴生放射性矿普查是其中的一项重要内容；2017 年，国务院组织开展了第二次全国污染源普查，扩展了伴生放射性矿普查的范围。

根据《第一次全国污染源普查技术规定之二 放射性污染源普查监测技术规定》以及《伴生放射性污染源普查监测有关问题的说明》，我国在全国范围内对 11 个可能引起天然放射性水平升高的工业行业开展了放射性污染调查，包括稀土、铌/钽、锆石和氧化锆工业、锡、铅/锌、铜、钢铁、磷酸盐工业、煤、铝、钒，不同行业调查范围见表 2-1。

表 2-1 第一次全国污染源普查伴生放射性矿普查行业范围一览表

序号	行业	调查范围
1	稀土	稀土矿（包括独居石、氟碳铈矿、磷钇矿、离子型稀土矿）的开采、选矿、冶炼（包括酸法和碱法冶炼）和分离；生产稀土氧化物和碳酸稀土。
2	铌/钽	开采铌/钽矿、选矿； 利用烧绿石通过高温化学处理生产铌和铁铌；

		用钶铁矿、钽铁矿提取铌和钽； 利用铌/钽精矿生产氧化铌、氧化钽或其他产品。
3	锆石和氧化锆工业	锆石砂开采和选矿；利用锆石生产氧化锆和金属锆。
4	锡	锡矿开采，选矿和冶炼。
5	铅/锌	铅/锌矿开采，选矿和冶炼（包括湿法冶炼和火法冶炼）。
6	铜	铜矿（包括铜氧化物、硫化物和碳酸盐）的开采、选矿、冶炼和精炼。
7	钢铁	铁矿石（ Fe_3O_4 和 Fe_2O_3 ）开采和冶炼。
8	磷酸盐工业	磷酸盐矿的开采；用酸处理磷酸盐生产磷酸或直接生产磷肥；用磷酸盐高温焚烧形成磷，再用来生产高纯度磷酸。
9	煤	煤和煤矸石的开发利用、燃煤电厂。
10	铝	铝（铝矾土）的开采和冶炼。
11	钒	钒矿的开采、冶炼。

根据第一次普查的结果，原环境保护部从 11 个行业中选取了 5 个重点行业纳入辐射环境监管名录，于 2013 年 2 月发布了《关于发布<矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录（第一批）>的通知》（环办〔2013〕12 号），见表 2-2。

表 2-2 矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录（第一批）

序号	行业	工业活动
1	稀土	各类稀土矿（包括独居石、氟碳铈矿、磷钇矿和离子型稀土矿）的开采、选矿和冶炼
2	铌、钽	含铌、钽矿石的开采、选矿和冶炼
3	锆及氧化锆	锆英石（砂）、斜锆石的开采、选矿和冶炼
4	钒	钒矿的开采和冶炼
5	石煤	石煤的开采和使用

2017 年，根据《全国污染源普查条例》（国务院令第 508 号），原环境保护部启动了第二次全国污染源普查工作，根据国际原子能机构（IAEA）关于天然放射性物质（NORM）管理的最新文件，第二次全国污染源普查伴生放射性矿普查对象在第一次 11 类矿产资源的基础上，新增了钼、金、锆/钽、镍。伴生放射性矿普查相关行业、企业类别和对象见表 2-3。

表 2-3 第二次全国污染源普查伴生放射性矿普查行业范围一览表

序号	矿产种类	相关企业类别	普查对象
1	稀土	稀土矿（包括独居石、氟碳铈矿、磷钇矿、离子型稀土矿）的开采、选矿、冶炼（包括酸法和碱法冶炼）和分离；稀土氧化物和碳酸稀土的生产。	开采：原矿和废石； 选矿：原矿、尾渣、精矿和废水； 冶炼和分离：废渣和废水。
2	铌/钽	铌/钽矿开采、选矿； 利用烧绿石通过高温化学处理生产铌和铁铌； 用铌铁矿、钽铁矿提取铌和钽； 利用铌/钽精矿生产氧化铌、氧化钽和其他产品。	开采：原矿和废石； 选矿：原矿、尾渣、精矿和废水； 冶炼：废渣和废水。
3	锆石和氧化锆	锆石砂开采和选矿； 利用锆石生产氧化锆和金属锆。	开采和分离：原矿和废渣； 化学法生产氧化锆：废渣和废水。
4	锡	锡矿开采、选矿和冶炼。	开采：原矿、废石和废水； 选矿：原矿、尾渣、精矿和废水； 冶炼：炉渣和废水。
5	铅/锌	铅/锌矿开采、选矿和冶炼（包括湿法冶炼和火法冶炼）。	开采：原矿和废石； 选矿：精矿、尾渣和废水； 冶炼：炉渣和废水。
6	铜	铜矿（包括铜氧化物、硫化物和碳酸盐）的开采、选矿、冶炼和精炼。	开采：原矿和废石； 浮选、生物浸出（堆浸）：精矿、尾矿、残渣和废水； 冶炼：炉渣、废渣和废水。
7	钢铁	铁矿开采、选矿和冶炼。	开采：原矿和废石； 选矿：原矿、尾矿、精矿和废水； 冶炼：铁矿渣、高炉矿渣和钢渣，熔炼炉的底灰，废水。
8	钒	钒矿开采、选矿和冶炼。	开采：原矿和废石； 选矿：原矿、尾矿、精矿和废水； 冶炼：钒矿渣、冶炼渣，熔炼炉的底灰，废水。
9	磷酸盐	磷酸盐矿开采；用酸处理磷酸盐生产磷酸或者直接生产磷肥；用磷酸盐高温焚烧形成磷，再用来生产高纯度磷酸。	开采：原矿和废石； 磷酸湿法生产：磷石膏和废水； 磷酸盐热处理：矿渣和废水。
10	煤	煤、石煤和煤矸石的开发利用。	煤和煤矸石煤矿开采过程中产生的固体物料（原矿、废渣）和废水； 石煤开采和开发利用过程中产生的固体物料（原矿、精矿、废渣等）和废水。

11	铝	铝矿开采和冶炼。	开采：原矿和废石； 冶炼：赤泥和废水。
12	钨	钨矿开采、选矿和冶炼。	开采：原矿和废石； 选矿：原矿、尾矿、精矿和废水； 冶炼：废渣和废水。
13	镍	镍矿开采、选矿和冶炼。	开采：原矿和废石； 选矿：原矿、尾矿、精矿和废水； 冶炼：废渣和废水。
14	锆/钛	锆/钛矿开采、选矿和冶炼。	开采：原矿和废石； 选矿：原矿、尾矿、精矿和废水； 冶炼：废渣和废水。
15	金	金矿开采、选矿和冶炼。	开采：原矿和废石； 选矿：原矿、尾矿、精矿和废水； 冶炼：废渣和废水。

2.1.3 典型伴生放射性矿行业概况

2.1.3.1 稀土行业

1、基本情况

稀土因其独特的物理化学性质，广泛应用于新能源、新材料、节能环保、航空航天、电子信息等领域，是现代工业中不可或缺的重要材料。

我国稀土矿产资源丰富，已探明的稀土工业储量为 5200 万吨，约占世界的 45%，是稀土资源最丰富的国家，同时资源分布广，矿物种类齐全，经济效益可观，全国稀土矿探明储量的矿区有 60 多处，主要分布在内蒙古、四川、江西、山东、广东、广西、福建、湖南等省区。

稀土生产过程中产生流出物的环节主要为稀土开采、精矿冶炼分离环节。目前大量开采的稀土矿床主要以内蒙古包头为代表的混合型稀土矿（氟碳铈矿和独居石）、以四川冕宁为代表的氟碳铈矿、以江西和广东为代表的离子吸附型稀土矿等，针对以上三大稀土矿产资源，我国形成了各自独立又相互关联的稀土矿采选和冶炼分离技术。此外，部分企业采用独居石作为原料进行稀土冶炼分离，制备稀土化合物。

2、稀土矿类型及主要采选、冶炼加工工艺

1) 包头混合型稀土矿

包头白云鄂博矿为我国探明的最大的稀土矿，属于铁、稀土、铈共生矿，同时伴生约 4%左右的钍。包头白云鄂博矿露天开采得到原矿，原矿经破碎后，进入选矿厂，采用弱磁—强磁—浮选联合选矿工艺生产铁精矿及稀土精矿。

稀土精矿冶炼分为酸法和碱法两种冶炼工艺，目前主要为酸法工艺，工艺为浓硫酸高温分解—水浸—中和除杂—萃取转型—皂化萃取分离得到单一稀土化合物。

2) 氟碳铈矿

我国的氟碳铈矿主要分布于四川省以及山东省等地，四川稀土矿是我国第二大稀土资源，与铁、钛、钙、磷、钍等伴生。氟碳铈矿以四川牦牛坪为代表，矿山开采为露天开采，选矿工艺基本采用重选—磁选法或重选—浮选法两种工艺。

氟碳铈矿主要采用氧化焙烧—盐酸浸出法为主干流程而衍生出来的化学处理工艺生产稀土产品，主要流程为氧化焙烧—盐酸浸出—过滤—中和除铁铅—皂化萃取—沉淀—焙烧，过滤产生的固体经碱转—洗涤除氟—盐酸优溶—还原浸出处理。

3) 离子型稀土矿

我国风化淋积型（离子吸附型）稀土矿床，主要分布在南方七省区，主要包括江西、广东、广西、福建等地，离子吸附型稀土矿中一般伴生少量铀、钍。

目前离子型稀土矿主要鼓励采用原地浸出工艺进行采矿，典型的冶炼工艺一般为盐酸溶解—净化除杂—皂化萃取分离—沉淀—焙烧。

4) 独居石

独居石矿是生产稀土的原料之一，目前国家已经禁止开采单一独居石矿，我国现有独居石矿并不是从单一独居石矿开采而来，主要来源包括国内选矿企业将进口或国内含锆英砂较高的砂矿提炼锆英石、金红石和钛铁矿后形成的副产品矿，包括磷钇矿和独居石。

独居石冶炼通常采用烧碱液常压分解法，工艺为精矿分解—过滤洗涤—优溶—除镭—皂化萃取分离—沉淀—焙烧。

2.1.3.2 铌钽行业

1、基本情况

铌和钽都属于稀有金属，铌钽新材料广泛应用于相关高技术产业领域，在化学工业、电子工业、特种合金、真空技术以及尖端技术方面都具有非常重要的地位。铌钽矿物的赋存形式和化学成分复杂，其中除铌、钽外，往往还含有稀土金属、钛、锆、钨、铀、钍和锡等。

我国钽矿主要分布在江西、内蒙古、广东、湖南、广西、四川等地；铌矿主要分布在内蒙、湖北、广东、江西、陕西、四川等地。钽矿床规模小，矿石品位低，多

金属伴生或共生，造成难采、难分、难选，回收率低，赋存状态差，大规模露采的矿山较少；我国没有独立的铌矿山，铌往往与稀土、钽伴生或共生。

2、铌钽矿类型及主要采选、冶炼加工工艺

1) 采选工艺

铌钽开采多采用露天开采，采用钻孔爆破、电铲装运、汽车—溜井—电机车联运的开采流程，地下开采相对较少。最常用的三个主要选矿方法是重力选矿、浮选选矿和电磁选矿。因为重选比较简单，成本低于其他选矿方法，所以只要矿石的重选可选性好，一般首先考虑重选。

2) 冶炼工艺

铌钽的提取和分离分湿法和火法两种方法。湿法包括有机萃取、离子交换、分步结晶等方法，火法主要是氯化法，当前国际和国内主要采取的是湿法，湿法中又以萃取法为主。已经形成了包括氢氟酸体系，MIBK（甲基异丁酮）-HF-H₂SO₄-H₂O 萃取体系，仲辛醇、辛醇萃取体系，草酸溶液萃取体系等。铌钽冶炼基本工艺流程为矿石—磨矿—酸溶（HF 或硫酸）—萃取分离—氨中和沉淀—过滤洗涤—烘干—焙烧—包装。

2.1.3.3 锆及氧化锆行业

1、基本情况

锆及氧化锆行业是我国国民经济和现代化的重要组成部分。锆是我国现代化和国防建设的重要战略材料，我国已建成比较完整的锆材料产业体系，包括锆矿物勘探体系，锆砂的采选工业，锆矿物的深加工工业，原生锆、核级锆的生产和锆管板棒丝及各种锆材的生产。按专业特点可将锆及氧化锆行业分为五大产业，分别为锆英砂采选、硅酸锆（锆英粉）加工、化学锆制品生产、电熔二氧化锆生产、锆冶炼和加工等五个单元。我国目前已成为世界上锆英砂消耗量最大、氧氯化锆产量和出口量最大的国家，而高附加值化学锆等产品还需进口。

锆的优异性能使其具有广泛的用途。作为氧化物及其衍生的化学锆产品，被大量地用于陶瓷、耐火材料、化学、冶金、轻纺和化妆品行业等。金属锆产品则大量地用于各种高温合金、耐腐蚀设备、军事工业等。经过锆、钪分离的核级金属锆则大量用作核反应堆中的核燃料包壳，核级金属钪则用作核反应堆的控制组件。目前主要以硅酸锆、氧化锆的形式应用于陶瓷、耐火材料等领域，这部分的应用占锆消费的90%以

上。

2、锆英砂采选、锆及氧化锆加工工艺

1) 锆英砂采选

我国的锆英砂以进口为主，截至2016年，对外依存度达到了97.7%，主要进口国为澳大利亚、南非。我国锆资源储量为50万吨，仅占全球的1%。我国的锆矿分为两大类型，即岩矿和砂矿。锆岩矿主要分布在内蒙古、辽宁、云南、新疆等地，虽然储量较多，但尚未具有工业开采价值。锆砂矿分布在以海南为首的七个省区。海南是我国砂矿蕴藏量最多的地区，占全国砂矿总量的71%，目前国内也只有海南滨海砂矿能被开采利用。海南省政府在《关于加强矿产资源开发管理工作的通知》（琼府〔2014〕66号）中严格规定“停止新设探矿权采矿权审批，在生态保护区严禁矿产资源开发”，未来不会再批准锆英砂探矿权和采矿权。

国内外锆英砂的采选目前基本都采用重—电—磁联合选矿的工艺。锆英砂选矿过程一般为螺旋分离—磁选—摇床重选—烘干—电选—磁选，然后得到锆英砂成品矿。

2) 硅酸锆（锆英粉）生产

硅酸锆和锆英粉的组成都是 $ZrSiO_4$ ，是由锆英砂磨细而成的。它们的性能相同，只是粒度不同。硅酸锆不但是建筑卫生陶瓷的主要原料，同时也是结构陶瓷、部分特种陶瓷、日用陶瓷等的重要原材料。硅酸锆应用于陶瓷行业，包括色料、釉料、熔块、化妆土、陶瓷坯体、陶瓷中坯。锆英粉的用途包括铸型涂料及陶瓷，还用作水泥、食品防腐、制革、纤维的材料。

硅酸锆的生产工艺有气流粉碎、干法粉碎和湿法研磨等。但主要是采用干法和湿法，国外以干法为主，国内以湿法为主。两者各有特点，与所选择的加工设备有直接关系。干法工艺简单、流程短、运行费用低、生产投资较少、经济效益显著，但干法生产的粉尘和噪声较大、环境污染不易控制。湿法工艺流程长、设备投资大，但产出的产品质量稳定、粒度均匀。生产陶瓷用硅酸锆是我国锆英砂最主要的消费，约占全年消费的65%~70%。

3) 化学锆生产

锆英砂是生产锆、钪及其化合物的主要原料。因锆英砂非常稳定，首先要使锆英砂分解除去其中的主要杂质二氧化硅，制取所需的锆和锆化合物。我国目前主要是用氢氧化钠分解锆英砂的方法生产氧氯化锆，电熔法生产氧化锆。氧氯化锆是化工生产

锆盐和金属的基础原料。有时也通过碳氯化生产四氯化锆，电弧熔炼生产氧化锆和稳定氧化锆。

(1) 氧氯化锆生产

以锆英砂为原料，采用一酸一碱法，其生产过程为碱熔融分解—水洗转型—酸化—一次结晶—水溶—浓缩二次结晶—酸洗—离心脱水等。

(2) 碳酸锆、硫酸锆生产

以氧氯化锆、硫酸、盐酸、纯碱等为原料，采用两步法，氧氯化锆和浓硫酸反应转化生成硫酸锆，经洗涤、过滤生成硫酸锆产品，滤液再与碳酸钠反应，经调酸、洗涤、离心后得到碳酸锆产品。

4) 电熔氧化锆生产

电熔稳定型氧化锆工艺按原料分为两种：一种是采用锆英砂为原料，在电弧炉内通过一次熔炼，完成脱硅和稳定化两道工序，称为一次熔炼法；另一种是用电熔脱硅锆为原料，与稳定剂一起混合后在电炉内熔炼形成稳定型氧化锆，称为二次熔炼法。

电熔氧化锆的生产方法主要有两个工序：电弧炉熔炼脱硅工序和产品后处理加工工序。借助于锆英砂在高温下碳化还原除硅的原理，熔炼过程控制好碳、还原剂的量和工艺条件，可使硅完全脱去。耐火材料、陶瓷色料和磨料是电熔氧化锆的三大主要市场，三者消耗电熔氧化锆的总量占总消耗量的 70%以上。

2.1.3.4 钒行业

1、基本情况

钒是一种过渡金属元素，在自然界中分布极为分散，故也称为稀散元素。钒的应用十分广泛，在钢铁、有色金属、化工、合金、超导材料、汽车等工业领域都是不可或缺的重要元素。

我国钒资源类型有 3 种，钒钛磁铁矿、石煤（含钒）、钒矿。目前，钒资源被大规模工业化有效利用的原料形式是由钒钛磁铁矿经过烧结、冶炼和吹炼而成的钒渣；石煤（含钒）属于低品位钒资源，目前没有大规模应用；其他主要是石油和化工工业的含钒废催化剂。

钒钛磁铁矿是我国钒矿的主要原料形式，平均品位约 1.5%，我国钒钛磁铁矿储量居世界第三位，储量近 100 亿吨；主要分布在四川、陕西、湖南、甘肃等省。

2、钒矿采选及冶炼工艺简介

1) 钒矿采选现状

目前钒矿的选矿工艺主要有以下 5 种：

(1) 重选工艺：包括跳汰选钒、摇床选钒、溜槽选钒、圆锥选矿机选钒、螺旋选矿机选钒和离心选钒等。

(2) 磁选工艺：包括干式弱磁、湿式弱磁、干式强磁、湿式强磁等。

(3) 焙烧工艺：包括闪速焙烧、沸腾炉焙烧、回转窑焙烧、平炉焙烧、钠化钙化焙烧、直接焙烧等。

(4) 浸出工艺：包括酸浸、碱浸、水浸、助浸剂浸出等。

(5) 其他提钒工艺：包括超细磨工艺、水淬工艺、高炉炼铁—雾化提钒工艺等。

2) 钒矿冶炼工艺

(1) 钒的提取来源

钒钛磁铁矿提钒：50%~60%的钒初级产品来自这种方式，具体方法是从铁水中提取含 10%~25%的 V_2O_5 的钒渣，钒渣经过焙烧、浸出等工艺处理，生产出钒酸盐或氧化钒，再进一步深加工。我国目前处理含钒铁水的方法有三种，分别为吹炼钒渣法、含钒钢渣法以及钠化渣法。其中吹炼钒渣法是从钒磁铁矿生产钒的主要方法。

含钒矿石或石煤等提钒：直接采用焙烧、浸出处理含 V_2O_5 的矿石，生产钒酸盐或钒氧化物。

残渣废物提钒：主要为回收电厂灰尘、废催化剂以及其他残渣中的钒，再通过焙烧、浸出工艺，生成钒酸盐或钒的氧化物，这种方法实现了资源化，有较高的经济效益。

(2) 钒冶炼工艺

提钒工艺大致分为碱法、酸法、钠化法三种，国内目前的提钒工艺，多为食盐钠化焙烧工艺，主要工艺流程见图 2-1。

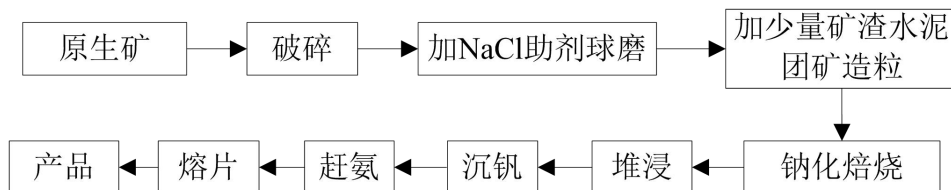


图2-1 钒冶炼工艺图

2.1.3.5 石煤行业

1、基本情况

石煤是一种含碳少、发热值低的劣质无烟煤，又是一种低品位多金属共生或伴生矿。我国是少数几个拥有石煤资源的国家之一，主要分布在湖南、湖北、安徽、江西、浙江等省份。

石煤矿区石煤中伴生的天然放射性核素含量明显高于普通煤和土壤。石煤的开采和燃烧会导致放射性核素向环境少量释放，同时大部分富集在煤燃烧后的煤渣、煤灰中。

2、石煤开采及利用主要工艺

我国石煤资源的主要利用途径是石煤发电、石煤提钒以及建材工业。石煤发电燃烧产生烟尘以及石煤灰渣，放射性核素主要富集在石煤灰渣中，石煤灰渣的露天堆放产生氦及其子体，同时降雨淋渗有渗滤液产生，废水中放射性核素活度浓度有超标的现象。

由于部分石煤伴生钒、钼、镍等金属，可以从石煤中提取钒等有价金属，其中石煤提取钒的工艺及产污环节同钒行业的相关介绍，传统工艺是钠盐焙烧—酸浸，目前国内也有从石煤发电的电炉渣、烟灰中提取钒的研究，剩余的冶炼渣中仍存在一定的放射性核素。

2.2 相关行业在其他国家和地区发展概况

2.2.1 国外伴生放射性矿分类现状

国际上通常将伴生放射性矿归入NORM或TENORM（强调了人为活动），其范围更加广泛一些。联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）、国际原子能机构

（IAEA）、欧盟委员会（EC）等国际组织和一些国家都列出了可能存在辐射问题的NORM工业行业清单。

《UNSCEAR2000 报告》附录 B 中总结了引起天然辐照水平升高的主要工业活动，包括：（1）处理金属矿，如锡石、钽铁矿、钶铁矿、褐钨铌矿、重烧绿石、铌钶矿和烧绿石（铌、铁、锰和其他）等；（2）处理磷酸盐，包括湿法处理、热处理和生产磷肥；（3）锆英砂工业活动；（4）生产钛白粉；（5）化石燃料应用工业活动，如煤、天然气和石油的燃烧；（6）石油和天然气的提取；（7）建筑材料工业活动；（8）钍合成物工业活动，如焊接电极、汽灯罩以及特殊合金；（9）废旧金属处理工业活动。

IAEA 发布的 SRS49 文件中给出的可能需要进行辐射监管的行业有(按优先递减顺序排列)：(1) 稀土元素的提取；(2) 钍及其化合物的生产和使用；(3) 铀和铀铁合金的生产；(4) 非铀矿的开采；(5) 石油和天然气的生产；(6) 钛白粉的加工；(7) 磷酸盐工业；(8) 锆石和氧化锆工业；(9) 锡、铜、铝、锌、铅、铁的生产；(10) 煤的燃烧利用；(11) 水处理。

对比国际上的分类，我国的伴生放射性矿指的是非铀(钍)矿伴生天然放射性水平较高、超出国家规定水平(目前国际及国内的标准限值为铀、钍系单个核素1Bq/g)需要纳入管理的那部分TENORM。

2.2.2 国外典型伴生放射性矿发展概况

2.2.2.1 稀土行业

从稀土资源的全球分布来看，存在明显的不均衡现象。全球稀土主要分布在中国、美国、独联体国家、澳大利亚、印度和巴西等国。

美国稀土资源十分丰富，1989年国内开采一度停滞，目前又恢复了部分开采；2002年后，美国稀土主要依赖进口；2010年以后，稀土的全球化供应正式拉开帷幕，美国和澳大利亚开始重振其稀土矿业；目前，美国的稀土政策包括：研发新技术、授权并资助美国地质勘探局(USGS)进行全球稀土资源评估、支持并鼓励稀土矿的勘探、储备，旨在推动充足、稳定且可靠的稀土供应，并特别强调稀土材料的国内供应以及私营部门对这些材料的生产 and 加工。2013年，美国国内对进口稀土的消费量为10500t。

2.2.2.2 铌钽行业

全球铌储量为15.3万吨，主要分布在巴西、澳大利亚、莫桑比亚、卢旺达、刚果等国家，在中国、加拿大、东南亚等国家和地区也有分布，以钽铁矿为主。钽矿的资源矿物种类繁多，各国储量品位标准差异较大。

全球钽资源来源分为钽精矿、锡渣、废碎料等，目前主要的来源还是钽精矿。世界钽消费可划分为电容器级钽粉、碳化钽、钽化合物、冶金级钽粉和钽材以及超合金五个领域。

2.2.2.3 锆及氧化锆行业

锆资源储量丰富、供应集中。据美国地质调查局(USGS)统计，全球锆储量500万吨、基础储量77万吨(以 ZrO_2 计)，其中澳大利亚和南非拥有世界上最大的锆英砂储量，储量占比分别为44.6%和25.0%，基础储量占比分别为45.4%、18.2%。我国资源

储量相对比较缺乏。

锆英砂主要产地集中于澳大利亚、南非、美国、莫桑比克、印度尼西亚、越南、印度等国。目前世界年产锆英砂在125万吨~130万吨之间。澳大利亚是世界第一大锆英砂生产国，目前占世界市场份额总量1/3以上。南非是世界第二大锆英砂生产国，产量仅次于澳大利亚，目前占世界市场份额总量约1/3。我国对外的依存度逐年增加，几乎达到完全依赖的程度。

3 标准编制的必要性分析

3.1 辐射环境监管的要求

针对伴生放射性矿开发利用带来的辐射环境影响，我国从上世纪八十年代开始逐步加强了伴生放射性矿开发利用辐射环境监管。《中华人民共和国放射性污染防治法》中有伴生放射性矿开发利用辐射环境监管的相关内容。《国务院办公厅关于印发第二次全国污染源普查方案的通知》（国办发〔2017〕82号）中明确将稀土、铌/钽、锆石和氧化锆、锡、铅/锌、铜、镍、铁、钒、磷酸盐、煤、铝、钼、金、锆/钛等15类矿产纳入伴生放射性矿普查范围。《国务院关于印发土壤污染防治行动计划的通知》（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。《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）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”。

2013年原环境保护部发布了《关于发布<矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录（第一批）>的通知》（环办〔2013〕12号），其中规定：已纳入《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录（第一批）》，并且原矿、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贝可/克（Bq/g）的矿产资源开发利用项目，建设单位应当委托具有核工业类评价范围的环境影响评价机构编制辐射环境影响评价专篇和辐射环境竣工验收专篇。

为了促进伴生放射性矿开发利用的可持续发展，切实加强土壤污染防治，逐步改善土壤环境质量，规范相关企业环境辐射监测及信息公开工作，指导地方各级生态环境主管部门对相关企业提供辐射环境监管，生态环境部发布了《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）》（国环规辐射〔2018〕1号）。办法

中要求“企业环境辐射监测发现污染物排放超标的，应立即停止排放，分析原因，并向省级生态环境主管部门报告”，但目前只有稀土工业规定了流出物的排放限值，其他伴生放射性矿开发利用行业均未制定流出物排放限值。

虽然我国已将伴生放射性矿开发利用纳入辐射环境监管体系，制定了一些法规标准，明确了监管职责，取得了一些成绩，但仍不是很完善，需要尽快制定相关的辐射环境保护标准以满足辐射环境监管的需要。为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国放射性污染防治法》，进一步强化伴生放射性矿开发利用的辐射环境监管工作，规范、指导和推动伴生放射性矿开发利用的辐射环境保护工作，完善辐射环境管理标准体系，需要编制《伴生放射性矿开发利用环境辐射限值》标准，该标准将与其他正在编制的相关标准规范共同构成伴生放射性矿开发利用辐射环境管理标准体系。

3.2 行业发展带来的辐射环境问题

放射性污染贯穿伴生放射性矿开发利用的全流程。伴生放射性矿的采选、冶炼等过程产生大量的伴生放射性废物，尤其是固体废物，给环境带来的放射性污染也日趋严重。研究指出，在人为活动引起的辐射照射中，天然辐射照射增加是当前我国国民所受人为活动照射的最大者。此外，天然放射性在伴生放射性矿开发利用的产品、副产品、中间产品和废物中不同程度的浓集，进一步扩大了放射性污染的范围。另一方面，部分企业不科学的生产、不合规的废水和废气排放、不恰当的废物处理处置造成的辐射水平升高和环境污染事件时有发生。据第二次全国污染源普查伴生放射性矿普查的初步统计，我国一些企业废水中放射性核素或总 α 等的放射性水平超过了《稀土工业污染物排放标准》（GB 26451-2011）或《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）规定的要求。

3.3 现行环保标准存在问题

目前为止，稀土工业在《稀土工业污染物排放标准（GB 26451-2011）》中规定了流出物排放标准，其他伴生放射性矿开发利用行业均未制定流出物排放标准。按照我国标准化法的规定，未制定行业标准的伴生放射性矿开发利用企业应执行《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）中流出物的排放限值，即总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ ，总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ，但该标准颁布20多年来，由于限值存在不足，一直没有得到很好地执行，主要存在的问题包括：一是该标准总 $\alpha \leq 1\text{Bq/L}$ 对于伴生放射性矿开发利用企业来说太严格，以伴生

放射性铀系为例，伴生放射性矿开发利用液态流出物中包含的 α 放射性核素有铀-238、铀-234、镭-226、钍-230、钋-210等，如果这些核素处于平衡状态，铀-238的活度浓度应该 $\leq 0.16\text{Bq/L}$ ，相当于天然铀 $\leq 0.012\text{mg/L}$ ，目前的放射性废水处理技术如离子交换、反渗透等尚不能达到这个水平，如执行这个标准，很多伴生放射性矿开发利用企业不能做到达标排放；二是总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ 已经不符合辐射防护理念，在天然放射性核素中，铀系、钍系和镭系衰变链的核素主要是 α 放射性核素， β 放射性核素很少，在天然放射性核素中， β 放射性核素主要是钾-40，但钾-40现在归于排除范畴，不需要进行控制；三是控制具体核素的排放指标比控制总 α 更科学，掌握废水中单个核素的活度浓度有利于评价放射性影响，而总 α 在评价放射性的影响时没有具体的价值，只是一个筛选水平。

综上所述，应该尽快制定《伴生放射性矿开发利用环境辐射限值》标准，科学指导、规范伴生放射性矿开发利用放射性污染防治工作。

4 行业产排污情况及污染控制技术分析

4.1 行业主要产污环节及排放现状

4.1.1 液态流出物产污环节及放射性水平

根据行业现状调研汇总，伴生放射性矿开发利用不同行业之间原料放射性水平不同，生产工艺不同，放射性水平差别很大。如稀土矿采选过程通常产生选矿废水或尾矿废水，冶炼过程产生的废水一般包括洗涤废水、转型废水、萃余废水、沉淀废水和尾气喷淋废水等，废水中含有铀、钍、镭-226、钋-210、铅-210等核素；部分废水中铀的浓度达到 $1\text{mg/L} \sim 2\text{mg/L}$ ，钍的浓度达到 0.6mg/L ，镭-226的活度浓度达到 $2\text{Bq/L} \sim 3\text{Bq/L}$ ；铀钼冶炼放射性废水主要包括萃余废水、洗涤废水、结晶母液、沉淀废水等，萃余废水和洗涤废水中放射性水平较高，铀、钍的浓度在 $0.8\text{mg/L} \sim 9\text{mg/L}$ ，镭-226的活度浓度在 $1\text{Bq/L} \sim 9\text{Bq/L}$ ；氧氯化锆生产工艺由于放射性物质全部溶解到溶液中，废水中放射性水平很高，如某企业结晶母液中铀的浓度达到 1020mg/L ，钍的浓度达到 519mg/L ，镭-226的活度浓度达到 3122Bq/L 。

根据第二次全国污染源普查伴生放射性矿普查的初步统计，伴生放射性矿开发利用排放废水中铀的浓度一般小于 0.4mg/L ，个别达到 6.1mg/L ，钍浓度最高在 $0.1\text{mg/L} \sim 0.18\text{mg/L}$ ，但大部分废水没有经过放射性废水处理车间单独处理放射性物质，一般

与非放射性废水混合后一起处理排放，企业的放射性废水处理不完全，导致排放浓度较高。经调研，部分建有放射性废水处理设施的稀土企业废水处理后铀、钍为 0.01mg/L~0.2mg/L，一些放射性水平较高的废水经多级处理后也能小于 0.3mg/L。

4.1.2 气载流出物产污环节及放射性水平

根据行业现状调研汇总，伴生放射性矿开发利用气载流出物主要有氡及其子体、钍射气、气溶胶以及在矿石破碎、煅烧、溶解等工序随着排气筒中颗粒物一起排放到大气中的放射性物质。伴生放射性矿开发利用气载流出物的监测数据不多，据有关资料介绍，个别采用地下开采的排风井氡的浓度达到数千 Bq/m³，生产场所的氡的浓度在几十到一百多 Bq/m³，粉尘处理前的颗粒物浓度和铀、钍浓度没有监测，处理后颗粒物一般在几十 mg/m³，最低能够在 10mg/m³ 以下，除个别行业磨矿工序外，气载流出物中铀、钍的浓度一般小于 0.1mg/m³。

4.2 污染防治技术分析

4.2.1 液态流出物防治现状分析

目前大多数伴生放射性矿开发利用企业未针对液态流出物中的放射性物质进行单独处理。生产过程产生的放射性废水除部分回用外，其他排入厂区废水处理站，统一处理后排放。废水中放射性物质的去除效果取决于企业非放射性废水处理工艺的放射性附加去除效率。目前，废水中天然放射性物质的处理技术包括化学沉淀法、离子交换法、蒸发浓缩法、吸附法、膜处理法、微生物法、离子浮选法以及多技术联用等。

1、离子交换法

离子交换法是处理放射性废水中铀、钍的经典方法。在没有非放射性离子（少数是阴离子）干扰的情况下，离子交换能够长时间有效工作。离子交换法可以采用有机离子交换树脂和无机离子交换材料两种，无机离子交换材料耐酸、耐辐照、耐高温，并且很多无机离子交换材料也能对特定核素有好的选择性，广泛应用于铀矿冶、核燃料循环及伴生放射性矿废水中铀的处理，且有利于资源回收，可以通过控制末端塔尾溶液中铀的浓度来控制排放浓度，除铀效率能达到 90%以上。其缺点是不能用于伴生放射性矿开发利用成分复杂的放射性废水处理。根据铀矿冶放射性废水处理实践经验，处理后废水中铀的浓度小于 0.3mg/L。

2、化学沉淀法

化学沉淀法是向废水中投加某些化学物质，使其和废水中放射性物质发生直接的

化学反应，生成难溶于水的沉淀物而使放射性物质从废水中转移到固体废物中分离去除的方法，包括中和沉淀、钡盐沉淀、絮凝沉淀和共沉淀等，一般是通过用石灰石中和含硫酸根的酸性废水，铀、钍、镭等放射性物质与硫酸钙等物质共沉淀，去除废水中放射性物质，有的通过加入絮凝剂，增强沉淀效率。该方法除铀效率 70%~90%，除镭效率 80%~90%，是目前伴生放射性矿开发利用企业天然放射性废水处理主要的方法。

3、蒸发浓缩法

蒸发浓缩法是指通过加热的方法，将放射性废水中的水分蒸发掉，放射性物质保留在浓缩液中。使用单效蒸发器处理只含有非挥发性放射性污染物的废水时，可达到 10^4 以上（在许多情况下超过 10^5 ）的去污系数，而使用多效蒸发器和带有除泡沫装置的蒸发器能达到更高的去污系数（ $10^6\sim 10^8$ ）。蒸发法的优点是处理废水所达到的去污系数一般比化学沉淀和离子交换法要高。但是，该方法动力消耗大，费用也高，常用于处理高盐度、高活度的化学废液，不适合废水量大、成分复杂的伴生放射性矿开发利用放射性废水的处理。

4、吸附法

吸附法是用多孔性的固体吸附剂来处理放射性废水，使其中所含的一种或数种核素吸附在吸附剂的表面上，从而达到去除的目的。吸附法的价格低廉，吸附能力大，净化效果好，大多数一次性使用后废弃，一般不考虑再生，如硫酸锰吸附法除镭，该法处理放射性废水的盐度范围较宽，在伴生放射性矿开发利用放射性废水的处理中有广泛的应用。

5、膜处理法

膜处理法是利用选择透过性膜为分离介质分离污染物的方法。处理效果最好的是反渗透技术。膜分离技术处理放射性废水多与其他废水处理技术相结合，如混凝沉淀、过滤、吸附等。膜处理法在伴生放射性矿开发利用废水的处理中有一定应用，通常在除盐的同时将废水中放射性物质保留在浓水中。膜处理法处理效率高，但能耗高、成本大。

由于化学沉淀法技术和设施都比较完善，且该方法处理费用低廉，可用于处理净化要求不高、活度浓度低、体积较大的低水平放射性废水。当前针对液态流出物中的放射性物质单独处理的企业多采用这种方法，即在待处理放射性废水中加入絮凝剂，

使放射性核素与絮凝剂结合沉淀，或是絮凝剂凝聚成细小的可沉淀颗粒并与水中悬浮物结合为疏松绒粒，从而吸附水中的放射性核素。处理后废水中的放射性核素转移并浓集到污泥中，从而使废水中放射性核素达到排放标准。

4.2.2 气载流出物防治现状分析

伴生放射性矿开发利用活动在矿石破碎、煅烧、溶解等工序，铀、钍等放射性物质随着粉尘或气体排放到环境中，目前对伴生放射性矿开发利用气载流出物中放射性污染物的污染防治措施没有特殊的工艺，与非放废气的防治措施相似，首先是从源头上进行治理，例如采用散料覆盖或包装存放、湿式作业、围挡等方式抑制含尘废气的产生；对于已产生的含尘废气，则采取收集除尘措施减少放射性物质随着粉尘排放到大气环境中的量。以下主要介绍气载流出物的除尘工艺、除尘效果等。

4.2.2.1 除尘工艺简述

目前，矿产资源开发利用除尘的工艺或设备主要有以下几类：

1、重力除尘器

重力除尘器是通过尘粒自身的重力作用使其从气流中分离的简易除尘装置。优点是阻力小、动力费用低、结构简单、投资少、性能可靠、维修管理容易。缺点是设备庞大、效率低。该方法适用于净化密度和粒径大的粉尘，特别是磨损强的粉尘；不适用于净化 $20\mu\text{m}$ 以下的粉尘。一般作为多级除尘系统的第一级处理设备。

2、旋风除尘器

旋风除尘器利用旋转气流的离心力使尘粒从气流中分离的装置，结构简单、体积小、不需要特殊的附属设备，因而造价低，适应粉尘负荷变化性能好，无运动部件，运行管理简便。通常用于分离粒径大于 $5\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 的尘粒，旋风除尘效率一般在 90% 左右。

3、电除尘器

电除尘器是利用静电力实现粒子（固体或液体粒子）与气流分离沉降的一种除尘装置。压力损失小，仅 $100\text{Pa}\sim 200\text{Pa}$ ；能捕集 $1\mu\text{m}$ 以下的细微粉尘；处理气量大，可以用于高温（可高达 500°C ）、高压和高湿（相对湿度可达 100%）的场合，能连续运行，并能完全实现自动化，除尘效率高，可达 99.99%。

4、布袋除尘器

布袋除尘器是一种利用织物将粉尘从气流中过滤分离出来的设备，与电除尘器相

比，附属设备少，投资省，技术要求相对低，而且能捕集电除尘器难以回收的比电阻高的粉尘；动力消耗少，无泥浆处理等问题；性能稳定可靠，对负荷变化适应性好，运行管理简单，特别适宜捕集细微而干燥的粉尘，收集的干尘便于处理和回收利用，是目前主要的除尘方法，颗粒物的浓度最低可以小于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。布袋除尘器是一种高效除尘器，效率可达 99% 以上。

5、文丘里洗涤器

文丘里洗涤器是一种高效湿式洗涤器，常用于除尘和高温烟气降温，也可以用于吸收气态污染物。对 $0.5\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 的尘粒，除尘效率可达 99% 以上。

4.2.2.2 根据颗粒物排放标准和铀、钍品位计算的浓度

铀、钍等放射性物质随着粉尘排放到大气中，虽然只有《稀土工业污染物排放标准》（GB 26451-2011）规定了气载流出物中铀、钍的浓度，但所有的伴生放射性矿开发利用行业均有颗粒物的排放标准，没有行业标准的执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）。根据颗粒物排放标准和铀、钍在矿石中的品位计算出的气载流出物中铀、钍浓度见表 4-1。

表 4-1 根据颗粒物浓度计算的铀、钍最大理论排放值

行业	排放标准 (mg/m^3)	铀、钍的最大品位(%)	可能的最大排放浓度 (mg/m^3)	备注
稀土采选	50	U:0.05, Th:0.05	U:0.025, Th:0.025	—
稀土冶炼	40	U:0.1, Th:0.1	U:0.04, Th:0.04	—
独居石	40	U:0.6, Th:5	U:0.24, Th:2.0	—
锆英砂	30	U:0.1, Th:0.1	U:0.03, Th:0.03	—
石煤发电	30	U:0.05, Th:0.05	U:0.015, Th:0.015	—
石煤冶炼	100	U:0.05, Th:0.05	U:0.05, Th:0.05	执行钒工业标准
铌钽	30	U:1, Th:1	U:0.03, Th:0.3	精矿
钒	100	U:0.05, Th:0.05	U:0.05, Th:0.05	—

从表 4-1 可以看出，根据颗粒物的排放标准和物料中铀、钍等放射性物质的可能含量计算出来的铀、钍可能排放浓度，除独居石和铌钽矿冶炼行业外，大部分伴生放

射性矿开发利用气载流出物中铀、钍的浓度小于 0.1mg/m³。独居石和铌钽矿冶炼行业需要采取更严格的抑尘及除尘措施，以降低颗粒物的排放浓度，从而降低气载流出物中铀、钍的排放浓度。

4.2.2.3 伴生放射性矿开发利用除尘工艺及效果

虽然我国相关标准中颗粒物排放限值在 30mg/m³~100mg/m³ 之间，但是除尘技术已经有了长足的发展，目前在水泥和煤矸石发电行业的颗粒物排放浓度能够降到 10mg/m³ 以下。为了进一步了解伴生放射性矿开发利用企业气载流出物的实际排放浓度，对部分企业进行取样分析，或根据相关资料中颗粒物的排放浓度值和矿石中铀、钍的品位，计算气载流出物中铀、钍的理论排放值。目前典型的伴生放射性矿开发利用行业常用的除尘工艺及效果见表 4-2。

表 4-2 典型伴生放射性矿开发利用行业除尘工艺及效果

行业	除尘工艺	颗粒物浓度 (mg/m ³)	铀/钍排放浓度 (mg/m ³)	备注
某稀土工业企业	旋风除尘、湿法除尘和布袋除尘组合使用	4~10	0.006~0.02	来自环评资料
某独居石工业企业	旋风除尘、脉冲布袋和湿法除尘组合使用	40~50	2.4~3.0	来自环评资料
某铌钽工业企业	在回收去除 HF 的过程中湿法除尘	30	1.3	来自环评资料
某锆工业企业	湿法除尘	11~26	0.02~0.05	某项目验收实测值
		—	0.003	某公司实测值
某电熔锆企业	布袋除尘	2.8	0.003	实测值，铀、钍浓度根据颗粒物实测值和最大品位计算
某锆英砂选矿企业	布袋除尘	4.2	0.0045	
	二级旋风除尘	4.2	0.0045	

5 标准编制的原则和技术路线

5.1 标准编制的原则

1、与我国现行有关的环境法律法规、标准协调配套，与环境保护的方针政策相一致。

2、依据目前的行业技术水平、污染控制技术水平以及污染危害程度，结合成本

代价利益分析，确定排放限值和控制要求，以保证标准的科学性。

3、体现国内外伴生放射性矿开发利用及辐射环境保护的最新进展和技术水平，以保证标准的先进性。

4、力求使标准做到科学合理、技术可行、经济合理和具有可操作性。

5.2 标准编制的技术路线

1、调研国内外天然放射性管理相关法规、标准、导则等，主要针对铀矿冶和伴生放射性矿开发利用相关行业的辐射环境管理要求及流出物排放限值。

2、补充调研国内外伴生放射性矿开发利用行业的放射性污染状况，主要调查不同行业各个工艺过程的液态流出物和气载流出物中的放射性核素来源、活度浓度水平、处理措施等；同时调研主要流出物处理技术以及可达到的水平。

3、对一些伴生放射性矿开发利用行业的流出物放射性排放情况辅以实地监测、分析，重点关注《关于发布<矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录（第一批）>的通知》（环办〔2013〕12号）中规定的五个行业，即稀土、铀/钍、锆及氧化锆、钒、石煤等。

4、根据前期调研结果，就伴生放射性矿开发利用行业流出物中需要重点关注的污染物因子和排放限值、公众剂量限值（约束值）、环境整治目标值及相关的流出物监测方法、环境整治监测方法等进行研究，并开展相关利益代价分析。

5、在不同阶段组织专家咨询会，对标准编制的关键问题进行研讨。

6、参照有关的基础标准或者技术规范要求，编制标准文本草案和编制说明，提交标准文本和编制说明的征求意见稿，公开征求意见。

7、对征求的意见进行处理，根据采纳的意见进行修改完善。提交标准文本和编制说明的送审稿，报核与辐射法规专家委员会审查。

8、按照送审稿专家审查意见进行修改，形成标准和编制说明报批稿初稿，报核与辐射法规专家委员会审查。审查通过后，形成报批稿，按照程序进行发布。

6 标准主要技术内容

6.1 标准结构框架

本标准主要包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、流出物排放要求、公众剂量限制、环境整治、流出物监测要求、环境整治监测要求、实施与监督九个部分，

其中流出物排放要求、公众剂量限制和环境整治是标准的主体。

6.2 适用范围

1、本标准规定了伴生放射性矿开发利用企业流出物排放限值、公众剂量限制、辐射环境整治目标值、监测和监督等要求。

2、本标准适用于除铀（钍）矿外所有矿产资源开发利用活动中原矿、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贝可/克（Bq/g）的企业。

6.3 规范性引用文件

本标准共有20个规范性引用文件，其中国家标准10个，生态环境部行业标准7个，核工业行业标准3个。

6.4 术语和定义

本标准共有6个定义和术语，分别是流出物、剂量约束值、环境整治、车间排放口、直接排放和间接排放。

6.5 流出物排放要求

流出物排放主要参考《稀土工业污染物排放标准》（GB 26451-2011），主要考虑到稀土行业是典型的伴生放射性矿行业，GB 26451是伴生放射性矿开发利用行业第一个有放射性污染物排放限值的标准，从2011年实施以来，在稀土工业放射性污染防治方面得到初步的验证。

6.5.1 流出物排放控制项目的选择

6.5.1.1 气载流出物

伴生放射性矿开发利用过程中的气载流出物有氡及其子体、钍射气及其子体、粉尘（含铀、钍、镭等核素）。由于氡及其子体、钍射气及其子体目前没有经济有效的处理方式，而且多为无组织排放，因此本标准不对氡及其子体、钍射气进行控制。GB 26451中有排气筒气载流出物中铀、钍总量的排放限值，考虑到气载流出物中的放射性物质主要是随着颗粒物一起流出，控制方式为除尘，控制铀、钍排放情况下，也能控制镭-226、钋-210等核素，另外目前尚没有气载流出物中钋-210、铅-210的国家或行业标准分析方法，因此，确定铀、钍为气载流出物的控制指标。

6.5.1.2 液态流出物

伴生放射性矿开发利用中，铀、钍、镭等核素进入到溶液中。在废水中的放射性物质主要有铀系和钍系核素。考虑到镭-228和铅-210目前没有国家或行业标准分析方

法，同时钍-210、铅-210在和铀、钍以及其他重金属的共沉淀中也能得到去除，暂时不考虑对这三个核素进行控制，待相关标准方法制定后，再对本标准进行修订，增加铀系的钍-210、铅-210以及钍系的镭-228的控制限值。因此液态流出物中伴生铀系控制项目为铀和镭-226，伴生钍系控制项目为钍。

6.5.2 流出物排放限值的确定

6.5.2.1 气载流出物的排放限值

在GB 26451中，气载流出物铀、钍的排放限值为铀、钍总量 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ ，考虑到铀和钍是分别监测的，按照铀、钍总量一起控制的方式对主要伴生铀、主要伴生钍或铀钍共同伴生的矿产的管理是不科学的，也不利于评价气载流出物中放射性物质对环境的影响。因此，对铀、钍的排放限值分别进行控制。参照GB 26451，并结合伴生放射性矿开发利用企业除尘工艺的调研和气载流出物中铀、钍的监测结果，伴生放射性矿开发利用气载流出物中铀、钍的排放限值为 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 。

6.5.2.2 液态流出物的排放限值

确定液态流出物的排放限值主要考虑4个方面：

1、液态流出物放射性水平

某些伴生放射性矿开发利用由于工艺的特点，放射性核素基本全部溶解到溶液中，加上部分伴生放射性矿如独居石和铈钍精矿中铀、钍的含量远超一般的铀矿石，一些伴生放射性矿开发利用废水中铀的浓度远超过铀矿冶废水中铀的浓度：如在锆英砂生产氧氯化锆、独居石生产稀土和铈钍精矿加工行业中，废水中铀、钍的浓度达到 $100\text{mg}/\text{L}$ ，个别母液中铀、钍的浓度甚至达到 $1000\text{mg}/\text{L}$ ，而铀矿冶废水在处理前的浓度一般为几到十几 mg/L 。由于铀冶炼过程中90%的镭-226残留在尾矿中，只有不到10%的镭-226进入到溶液中，因此部分伴生放射性矿开发利用废水中镭-226的放射性水平也远大于铀矿冶的废水中镭-226的放射性水平。

2、天然放射性废水的处理技术

天然放射性废水铀、钍的处理技术主要有离子交换法、沉淀法、吸附法和反渗透法等，根据对国内外放射性废水处理技术的调研，核燃料循环铀加工行业废水成分比较简单，处理前的铀浓度低，采用氟化钙共沉淀能够将废水中的铀处理到低于 $0.1\text{mg}/\text{L}$ ，铀矿冶工艺废水经各种方法处理后一般在 $0.1\text{mg}/\text{L}\sim 0.3\text{mg}/\text{L}$ 之间，蒸馏法虽然可以经过多级蒸馏将废水中核素降到很低的水平，但成本太高，不适合伴生放射性

矿开发利用产生废水中放射性物质的处理，反渗透法虽然在处理天然放射性废水处理中也有应用，但不适合水量大、盐分高、成分复杂的废水。

废水中镭-226的处理技术主要是硫酸钡共沉淀法和吸附法。根据铀矿冶废水处理实践，经处理后，废水中镭-226的活度浓度一般能够小于1.1Bq/L。

3、我国液态流出物的排放现状

目前，大部分伴生放射性矿开发利用企业没有开展流出物监测，且大部分废水没有经过放射性废水处理车间单独处理放射性物质，通常与非放射性废水混合后一起处理排放，放射性因子处理不完全，导致排放浓度较高。根据《第二次全国污染源普查伴生放射性矿普查》的初步统计，伴生放射性矿开发利用废水总排放口中铀的浓度一般小于0.4mg/L，最高达6.1mg/L，钍的浓度在0.1mg/L~0.18mg/L之间。经调研，部分建有放射性废水处理设施的稀土企业废水处理后铀、钍在0.01mg/L~0.2mg/L之间，一些放射性水平较高的废水经多级处理后也能小于0.3mg/L。

4、国外同类废水天然放射性核素的限值

经调研，国外没有单独对伴生放射性矿开发利用液态流出物设置排放限值，一般与铀矿冶的废水排放限值基本一致。美国、日本、印度等8个国家废水中铀的排放限值为0.4mg/L~2mg/L，镭-226的排放限值为0.37Bq/L~5Bq/L，美国、法国、印度3个国家废水中钍的排放限值为0.1mg/L~2.5mg/L。

综合以上几个方面的考虑，结合伴生放射性矿开发利用废水量大、成分复杂的特点，建议伴生放射性矿开发利用废水中铀和镭-226的排放限值与铀矿冶的排放限值一致，为0.3mg/L和1.1Bq/L，钍的排放限值为0.3mg/L。

6.6 公众照射剂量限制

6.6.1 公众剂量限值

公众剂量限值按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求，关键居民组的成员受到的年平均有效剂量限值不超过1mSv，但不设置眼睛和皮肤器官剂量限值，与《铀矿冶辐射防护和环境保护》（GB 23727-2009）的规定一致。

6.6.2 公众剂量约束值

按照GB 18871中要求：任何实践使公众中有关关键人群组成员所受的平均剂量估计值不应超过1mSv。考虑到其他厂址或其他照射存在的可能性，单个厂址剂量约束值

通常应在公众照射剂量限值（1mSv/a）10%~30%范围之内，即原则上不超过0.3mSv/a。铀矿冶的源项主要是氡及其子体，铀矿冶设施的公众剂量约束值为0.5mSv/a。伴生放射性矿开发利用源项性质和铀矿冶相似，只是源项比铀矿冶小，经过近几年伴生放射性矿开发利用辐射环境影响评价的实践，以及与铀矿冶辐射环境影响的比较，确定伴生放射性矿开发利用运行阶段的公众剂量约束值为0.3mSv/a。

伴生放射性废渣处置场所在关闭后为有限制开放场所，覆盖治理的标准氡的析出率为0.74Bq/m²·s，氡、钍射气的源项仍不可忽视，参考铀矿冶退役治理后剂量约束值为0.3mSv/a，伴生放射性矿开发利用环境整治后的剂量约束值为0.2mSv/a。

6.7 环境整治

6.7.1 表面污染清洁解控水平

对于伴生放射性矿开发利用过程中受污染设备、器材和废旧钢铁的清洁解控水平按照GB 18871的原则确定，与修订后的GB 23727一致，即去污处理后，其 α 、 β 表面污染水平分别低于0.08Bq/cm²和0.8Bq/cm²时，可作为普通物品（食品工业除外）使用。

6.7.2 污染土壤治理目标值

伴生放射性矿开发利用土壤去污整治后的目标值与修订后的GB 23727一致，即任何平均100m²范围内土层中²²⁶Ra的比活度扣除当地本底值后不超过0.18Bq/g，场址可无限制开放。

6.7.3 覆盖治理后的表面氡析出率

伴生放射性矿开发利用过程中的尾矿（渣）库、放射性水平超过限值的废石堆或者露天采矿废墟，在环境整治时需要用粘土覆盖以减少氡或钍射气的析出，由于钍射气暂时没有标准监测方法，暂不设置钍射气的表面析出率。氡的析出率与修订后的GB 23727一致，为0.74Bq/m²·s。

6.8 流出物和环境整治监测要求

本标准中无新建立的监测方法或特殊监测要求，所有的监测和取样方法均采用国家或行业的标准分析方法或技术规范。

6.9 实施与监督要求

规定了本标准的实施与监督要求。

7 国内外相关标准及排放控制水平对比分析

7.1 主要国家（地区）及国际组织相关标准

7.1.1 国外水污染物排放控制限值

1、美国

美国环保局根据核管会的要求制订了核素排入污水管道的相关导则，导则规定， ^{226}Ra 及 ^{228}Ra 浓度大于 22.2Bq/L 和 $U_{\text{天然}}$ 浓度大于 111Bq/L 的废水禁止排入污水管道。对于含有两种或三种以上核素的废水，其排放必须满足：

$$\frac{C_{^{226}\text{Ra}}}{22.4} + \frac{C_{^{228}\text{Ra}}}{22.4} + \frac{C_{U_{\text{天然}}}}{111} < 1$$

对于 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 以及 $U_{\text{天然}}$ 浓度不能满足以上要求的废水，不能通过污水管道排入公共污水处理厂，直接排放到环境的废水中 $U_{\text{天然}}$ 的浓度为 0.4mg/L。

2、加拿大

加拿大于 2000 年发布了《加拿大天然放射性物质管理导则》（以下简称《导则》），其中按照对公众及相关从业者造成的年剂量小于 0.3mSv 的限值要求，明确给出了废水核素浓度导出释放限值，见表 7-1。

需要指出的是，《导则》中给出的排放限值为加拿大饮用水标准中相应值的 10 倍。《导则》还指出，任何含天然放射性物质废水的排放，都不能导致饮用水中核素的含量高于饮用水水质标准中的相关规定。

表 7-1 加拿大废水中核素浓度导出释放限值

序号	核素	导出释放限值 (Bq/L) ¹⁾
1	^{238}U	10
2	^{234}U	10
3	^{226}Ra	5
4	^{232}Th	1
5	^{228}Ra	5

注 1：将 ^{238}U 、 ^{234}U 换算为 $U_{\text{天然}}$ ，得出 $U_{\text{天然}}$ 的指导值约为 0.8mg/L。

3、英国

英国于 2011 年发布了《关于放射性物质范围和豁免的指导》，按照对造成公众剂量不高于 0.3mSv/a 的限值要求，明确给出了废水核素浓度导出排放限值，见表 7-2。

表 7-2 英国废水中核素浓度排放限值

Bq/L¹⁾

序号	核素	排放限值
1	²³⁸ U	10
2	²³⁴ U	10
3	²²⁶ Ra	1
4	²³² Th	10
5	²²⁸ Ra	0.1

注 1: 将 ²³⁸U、²³⁴U 换算为 U_{天然}, 得出 U_{天然} 的指导值约为 0.8mg/L。

7.1.2 国外大气污染物排放限值

1、加拿大

《导则》中按照对公众年剂量限值 0.3mSv/a, 同样给出了废气中核素浓度导出释放限值, 见表 7-3。

表 7-3 加拿大废气核素浓度导出释放限值

序号	核素	导出释放限值 (Bq/m ³)	换算限值 (mg/m ³)
1	²³⁸ U	0.05	0.0041
2	²³⁴ U	0.05	0.0041
3	²²⁶ Ra	0.05	—
4	²³² Th	0.006	0.0015
5	²²⁸ Ra	0.005	—

根据上述数据, 加拿大气载天然放射性物质的铀、钍总量合计约为 0.01 mg/m³, 较之国内《稀土工业污染物排放标准》(GB 26451-2011) 中 0.1mg/m³ 的要求要严格。

2、荷兰

荷兰没有给出气载流出物中铀、钍的排放浓度限值, 《荷兰辐射防护条令》给出行业活动中气体排放的豁免/解控水平, 见表 7-4。

表 7-4 荷兰气体排放的豁免/解控水平

GBq/a

序号	核素名称	核素释放量
1	²³⁸ U	10
2	²³² Th	1
3	²²⁸ Ra	1
4	²²⁶ Ra	10

5	^{210}Pb	10
6	^{210}Po	10

对比国内铀矿冶回风井或破碎车间等主要的气态源项，各个核素的年排放量一般在 $10^5\sim 10^8\text{Bq}$ ，通常不会达到 1GBq/a ，因此，荷兰气载流出物排放控制水平相比我国较宽松。

7.2 国内相关标准

7.2.1 国内液态流出物排放相关标准

目前国内与伴生放射性矿开发利用液态流出物排放相关的标准有《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）、《稀土工业污染物排放标准》（GB 26451-2011）、《钒工业污染物排放标准》（GB 26452-2011）、《无机化学工业污染物排放标准》（GB 31573-2015）等。

《稀土工业污染物排放标准》（GB 26451-2011）明确规定了车间或设施排放口废水中铀和钍的总量排放限值为 0.1mg/m^3 ，但没有规定镭-226 排放限值；《无机化学工业污染物排放标准》（GB 31573-2015）执行的标准和《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）一致；《钒工业污染物排放标准》（GB 26452-2011）未规定具体的排放限值，要求执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的规定，而 GB 18871 只是原则性规定应该符合排放要求，并未规定具体的排放限值。《铀矿冶辐射防护和环境保护规定》（GB 23727-2009）规定了铀矿冶废水中铀的排放标准，按照是否有稀释能力（稀释倍数 5 倍以上）分别为 0.3mg/L 和 0.05mg/L ，镭-226 的排放限值均为 1.1Bq/L ，修订后改为 0.3mg/L ，没有 5 倍稀释能力的水体不能排放。这些标准的排放限值见表 7-5。

表 7-5 国内液态流出物排放限值相关标准

序号	标准名称	废水	说明
1	《稀土工业污染物排放标准》 (GB 26451-2011)	钍、铀总量不超过 0.1mg/L	没有规定镭-226 的限值
2	《无机化学工业污染物排放标准》 (GB 31573-2015)	总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ ， 总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$	相当于 $U\leq 0.04\text{mg/L}$
3	《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)	总 $\alpha\leq 1\text{Bq/L}$ ， 总 $\beta\leq 10\text{Bq/L}$	相当于 $U\leq 0.04\text{mg/L}$
4	《锡、锑、汞工业污染物排放标准》 (GB 30770-2014)	未做具体规定	—

5	《钒工业污染物排放标准》 (GB 26452-2011)	执行 GB 18871 的规定	—
6	《铀矿冶辐射防护和环境保护规定》 (GB 23727-2009)	U:0.05 (0.3) mg/L; ²²⁶ Ra:1.1Bq/L	修订后的标准为 0.3mg/L
7	《铀加工与核燃料制造辐射防护规定》 (EJ 1056-2005)	U:0.05(0.1) mg/L	总排放口 0.05mg/L, 车间排放口 0.1mg/L

由以上数据可以看出,铀矿冶废水排放标准中有稀释能力的铀排放浓度最高,《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)中铀排放浓度最低。

7.2.2 国内气载流出物排放限值

目前,国内规定了伴生放射性矿开发利用气载流出物排放相关的标准只有《稀土工业污染物排放标准》(GB 26451-2011),其他标准只规定了颗粒物的排放限值,这些标准的排放限值见表 7-6。铀矿冶颗粒物应该执行《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996),按照铀矿石品位为 0.05%~0.5%计算,铀矿冶排气筒中铀的排放浓度在 0.075mg/m³~0.75mg/m³ 之间。

表 7-6 国内气载流出物排放限值相关标准 mg/m³

序号	标准名称	废气
1	《稀土工业污染物排放标准》(GB 26451-2011)	钍、铀总量不超过 0.1
2	《无机化学工业污染物排放标准》(GB 31573-2015)	颗粒物 30
3	《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)	颗粒物 150
4	《锡、锑、汞工业污染物排放标准》(GB 30770-2014)	颗粒物 80, 120
5	《钒工业污染物排放标准》(GB 26452-2011)	颗粒物 100
6	铀矿冶行业按照 GB 16297 颗粒物排放标准和铀的品位在 0.05%~0.5%之间换算	铀浓度在 0.075~0.75 之间
7	本标准	铀或钍不超过 0.1

7.2.3 国内公众个人剂量控制相关标准

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中规定实践所致公众的有效剂量限值为 1mSv/a,并对剂量约束值的取值和优化的要求进行了规定,为限值的 10%~30%,即年有效剂量为 0.1mSv~0.3mSv。各个不同的行业,根据自己的行业特点制定了各自的标准,如《核动力厂环境辐射防护规定》(GB 6249-2011)、《铀矿冶辐射防护和环境保护规定》(GB 23727-2009)、《铀加工与核燃料制造辐射防

护规定》（EJ 1056-2005）等，见表 7-7。

表 7-7 国内公众个人剂量控制相关标准

mSv/a

序号	标准名称	公众剂量约束值
1	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》 (GB 18871-2002)	0.10~0.30
2	《核动力厂环境辐射防护规定》 (GB 6249-2011)	0.25
3	《铀加工与核燃料制造辐射防护规定》 (EJ 1056-2005)	0.20
4	《铀矿冶辐射防护和环境保护规定》 (GB 23727-2009)	0.50
5	本标准	0.30

7.2.4 国内环境整治相关标准

国内环境整治的相关标准有《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）、《辐射源和实践的豁免管理原则》（GB 13367-1992）、《铀矿冶辐射防护和环境保护规定》（GB 23727-2009）及其修订版和《铀矿冶设施退役环境管理技术规定》（GB14586-1993）等，见表 7-8。

表 7-8 国内环境整治相关标准

序号	标准名称	表面污染清洁解控值 (Bq/cm ²)	土地去污目标值 (Bq/g)	氡析出率 (Bq/m ² ·s)
1	电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）	总 α 、总 β 控制水平的五分之一	—	—
2	《铀矿冶辐射防护和环境保护规定》（GB 23727-2009）	一般工业：总 α 、 $\beta \leq 0.08$ 无限制使用：总 α 、 $\beta \leq 0.04$	0.56, 0.18（均不扣本底值）	0.74
3	铀矿冶辐射防护与辐射环境保护规定》（GB 23727 修订版）	总 $\alpha \leq 0.08$, 总 $\beta \leq 0.8$	0.18（扣除本底值）	0.74
4	《铀矿冶设施退役环境管理技术规定》（GB 14586-1993）	一般工业：总 α 、 $\beta \leq 0.08$ 无限制使用：总 α 、 $\beta \leq 0.04$	0.56, 0.18（均不扣本底值）	0.74
5	本标准	总 $\alpha \leq 0.08$, 总 $\beta \leq 0.8$	0.18（扣除本底值）	0.74

7.3 本标准与国内外相关标准的对比分析

7.3.1 流出物排放限值相关标准对比分析

本标准与国内外相关标准的对比见表7-9。

表 7-9 废水排放限值汇总及简要说明

依据	核素及数值			备注
	U _{天然} (mg/L)	²³² Th (Bq/L)	²²⁶ Ra (Bq/L)	
国内相关标准	0.3	—	1.1	《铀矿冶辐射防护和环境保护规定》(GB 23727-2009)中的废水排放限值(排放至有稀释能力的受纳水体),是在对国内铀矿冶废水处理工艺水平现状进行全面调查并对比国外标准后给出的。
	0.1		—	《稀土工业污染物排放标准》(GB 26451-2011)中,废水中钍、铀总量不超过 0.1mg/L,为车间或生产设施排放口限值。
	总 α ≤1Bq/L, 总 β ≤10Bq/L;			《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)。
国外相关标准	2 (最大 4)	—	0.37 (最大 1.11)	美国相关排放标准。
	4.4	—	22.2	美国环保局根据核管会的要求制定,大于限值的废水禁止排入污水管道,含多种核素的废水,加权求和应后小于 1。
	2.5 (最大 5)	—	0.37 (最大 1.11)	加拿大相关排放标准。
	0.8	1	5	《加拿大天然放射性物质管理导则》(2000)对废水核素浓度导出限值的要求。
	0.8	10	1	英国《关于放射性物质范围和豁免的指导》(2011)对废水核素浓度免管限值的要求。
	1.8	—	0.37	法国相关排放标准。
	0.88	—	0.37	日本相关排放标准。
	0.8	—	1	乌克兰相关排放标准。
2	—	1.1	匈牙利相关排放标准。	

	—	—	0.4	印度相关排放标准。
本标准	0.3	0.3	1.1	本标准。

从以上国外标准及与我国现行GB 26451、GB 23727等标准对比情况来看，本标准确定的液态流出物铀、钍的排放限值比国外相关标准均要严格，和国内铀矿冶标准一致，虽然相比GB 26451较为宽松，但本标准要考虑到所有的伴生放射性矿行业。本标准的镭-226的活度水平与铀矿冶行业一致，和国外的排放标准相比，处于中间的位置。

国外气载流出物中铀、钍的排放限值标准不多，国内铀矿冶行业也未设置气载流出物中铀的排放限值，本标准气载流出物中铀、钍的排放限值与《稀土工业污染物排放限值》（GB 26451-2011）中单独伴生铀或钍时的铀或钍的排放限值一致。

7.3.2 公众剂量控制值和环境整治目标值相关标准对比分析

1、公众剂量控制值

本标准公众剂量限值和国内外的标准一致，均为年有效剂量1mSv。运行阶段公众剂量约束值为0.3mSv/a，比铀矿冶行业的0.5mSv/a低，比核设施的0.2（0.25）mSv/a高，是因为伴生放射性矿开发利用行业的主要源项有氡及其子体的存在。

2、环境整治目标值

本标准环境整治土壤中镭-226残留活度浓度、污染场所经覆盖治理后表面氡析出率和污染器材等 α 、 β 表面污染清洁解控水平与国内外相关标准一致。

8 实施本标准的环境效益及经济技术分析

本标准对伴生放射性矿开发利用过程的辐射环境流出物排放限值、公众剂量限制和辐射环境整治目标值等进行了规定，其效益主要体现在社会效益和环境效益上。本标准的实施对我国伴生放射性矿开发利用辐射环境管理具有较强的指导意义和实用价值，有利于辐射环境改善，同时有利于生态环境主管部门开展监管工作，对伴生放射性矿开发利用的可持续发展起到有力的保障作用，进而保障社会经济的可持续发展，促进人与环境的和谐发展。