

附件 3

《磷石膏利用和贮存污染控制技术规范
(征求意见稿)》
编 制 说 明

《磷石膏利用和贮存污染控制技术规范》编制组

2024 年 11 月

目 录

1 项目背景.....	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 工作过程.....	1
2 标准制订的必要性分析.....	1
3 标准制订基本原则和技术路线.....	2
3.1 标准制订基本原则.....	2
3.2 标准制订技术路线.....	2
4 国内外相关标准情况.....	3
4.1 国外相关标准.....	3
4.2 国内相关标准.....	3
5 标准的主要内容.....	6
5.1 标准结构框架.....	6
5.2 适用范围.....	7
5.3 规范性引用文件.....	7
5.4 术语和定义.....	7
5.5 标准主要技术内容确定的依据.....	8
6 制订标准后的经济和环境效益分析.....	13
6.1 经济效益分析.....	13
6.2 环境效益分析.....	13

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》《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《中华人民共和国土壤污染防治法》等法律法规，防治环境污染，改善生态环境质量，规范和指导磷石膏利用和贮存过程的环境保护管理。生态环境部固体司于 2023 年下达了《磷石膏贮存和综合利用污染控制技术规范》（后修改为《磷石膏利用和贮存污染控制技术规范》）的研究工作，由中国环境科学研究院承担该标准的研究工作。

1.2 工作过程

任务下达后，中国环境科学研究院与中南大学、云南省生态环境科学研究院和中国磷复肥工业协会组成联合编制组，开展研究工作。编制组成立后，先后开展了国内外磷石膏的相关管理现状调研，以及废物特性调查和利用过程风险评估等工作，并召开多次行业和管理专家研讨会，对编制思路、编制原则和标准文本进行讨论，形成建议稿及编制说明。

2024 年 7 月，标准通过开题报告专家技术论证会和征求意见稿专家技术审查会。

2024 年 9 月-10 月，编制组根据专家审查意见，修改完善，编制完成《磷石膏利用和贮存污染控制技术规范》（征求意见稿）及编制说明，提请向社会公开征求意见。

2 标准制订的必要性分析

化肥工业是化学工业和国民经济的重要产业之一，关系国家粮食安全、农业发展、农民利益以及资源、环境可持续发展，历来受到国家的高度重视。磷肥是三大化肥之一，对化肥工业的稳定和发展具有举足轻重的作用。磷石膏作为湿法磷酸浸出过程的工业副产物，由于具有低 pH 值，高氟化物和总磷等污染物，不规范利用和贮存会向周边环境排放大量污染物，造成大气、土壤和地下水污染。磷石膏利用和贮存污染控制技术规范制订的必要性分析如下。

（1）国家层面污染控制技术规范缺乏，磷石膏多元化利用不畅

一是目前磷石膏贮存过程的污染控制执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）的相关规定，但是由于磷石膏产生量巨大且高应力作用下具有低渗透系数等独特的力学特性，其贮存过程的污染控制要求需制定专用的污染控制技术规范。二是磷石膏充填、回填等土地整理、石漠化治理过程的环境风险评估步骤缺乏，目前多通过设置防渗系统方式控制风险。各地在相关项目审批方面缺乏依据，制约了其综合利用。

（2）磷石膏保持长期高位增长态势，磷石膏库陆续接近服役年限

2022 年全国磷石膏综合利用率为 51%，不能综合利用磷石膏仍将以贮存方式进行处理。《关于做好“三磷”建设项目环境影响评价与排污许可管理工作的通知》（环办环评〔2019〕65 号）明确，长江干流 3 公里范围内、主要支流岸线 1 公里范围内禁止新建、扩建尾矿库和磷石膏库。但是据不完全统计，目前磷石膏库的堆存周期平均为 4.7 年，使用周期在三年

以内的有 20 家。鉴于 2022 年全国磷石膏综合利用率为 51%，不能综合利用磷石膏的贮存成为难题。因此，如何有效防范现有磷石膏库的环境风险以及提升新建磷石膏库的环境管理要求，对于长江大保护的意义重大。

3 标准制订基本原则和技术路线

3.1 标准制订基本原则

本标准制订工作遵循以下原则：

(1) 风险防控原则。筑路、回填、充填等利用过程以磷石膏作为主要物料，同时使用量巨大，可能对土壤、地下水和地表水造成污染，需针对不同利用过程的污染排放节点及其利用产物的风险进行评估，分别提出相应的污染控制措施，确保利用过程的环境风险可控。

(2) 经济技术可行性原则。本标准在环境风险可控的前提下，研究提出污染控制措施；同时结合磷石膏产生区域经济、市场、产业发展情况，进行技术经济可行性评估；确保污染控制技术具有可操作性，成本具备市场竞争力，促进磷化工企业的可持续发展。

(3) 规模化消纳原则。本标准重点聚焦磷石膏的规模化消纳路径，如筑路、回填、充填等利用途径，在环境风险可控的前提下，尽可能为这些综合利用过程减负，为此类综合利用项目的环境审批提供依据，有效消纳历史遗留和新增磷石膏，提升其综合利用水平。

3.2 标准制订技术路线

本标准制订的技术路线如图 3.1 所示。

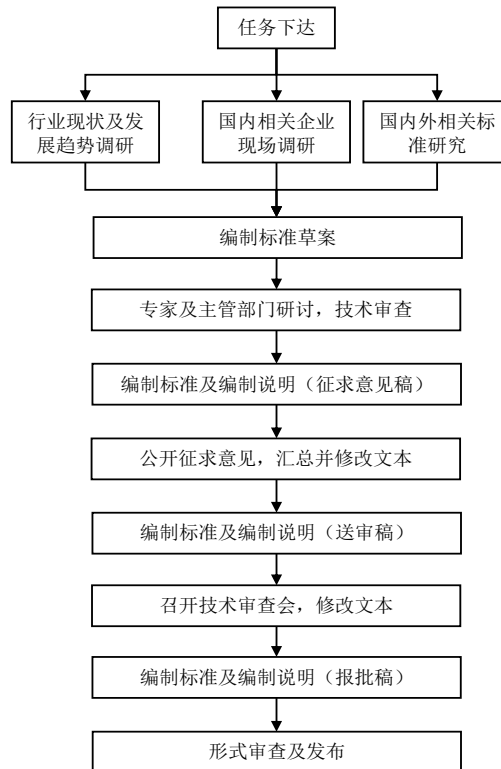


图 3.1 标准制订技术路线

4 国内外相关标准情况

4.1 国外相关标准

(1) 筑路材料利用领域

印度磷石膏利用过程主要控制放射性元素含量，对重金属等指标没有明确规定。美国磷石膏利用过程亦主要控制铀、钍和镭等放射性元素含量。应根据利用场景，对其中的放射性元素含量进行暴露风险评估。欧盟未对此应用场景下磷石膏中污染物进行控制。

(2) 农业利用领域

美国磷石膏利用过程主要控制铀、钍和镭等放射性元素含量，对重金属、氟化物和磷等指标没有明确规定。欧盟未对此应用场景下磷石膏中污染物进行控制。

4.2 国内相关标准

目前国内出台了磷石膏分级和处理处置的国家标准，用于建筑材料、土壤改良、充填、筑路材料等方面的地方标准及团体标准，国内磷石膏相关标准汇总情况如表 4.1 所示。这些标准对氟化物的限定多引用《磷石膏》（GB/T 23456-2018）或《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）中第 I 类一般工业固体废物的规定。

表 4.1 国内磷石膏相关标准汇总情况

时间	标准名称	标准类型	主要内容
2015	磷石膏的处理处置规范	国家标准	规定了磷石膏制备硫酸的处理处置流程。
2018	磷石膏	国家标准	根据附着水、二水硫酸钙、氟、磷和镁含量差异，将磷石膏分为三级。
2006	泥生产用磷石膏	行业标准	规定了用于制备水泥缓凝剂的磷石膏，并根据二水硫酸钙含量将磷石膏分为两级。
2011	磷石膏土壤调理剂	行业标准	规定了磷石膏土壤调理剂的产品指标，主要包括钙、硫、pH、游离水、水溶性氟离子（ $\leq 0.3\%$ ）、砷、镉、铅、铬和汞的含量。
2017	制品用过硫磷石膏矿渣水泥混凝土	行业标准	规定了制品用过硫磷石膏矿渣水泥混凝土的性能要求、分类、标记、试验方法、检测规则以及包装、标志、运输、贮存等，磷石膏应为 GB/T 23456 规定的一级指标。
2012	改性磷石膏水泥缓凝剂	地方标准	规定产品的试验方法、检验规则、标志、运输和贮存等。

时间	标准名称	标准类型	主要内容
2014	蒸压磷石膏砖	地方标准	规定蒸压磷石膏实心砖、多孔砖的分类、原材料、技术要求、试验方法、检验规则等，磷石膏满足 GB/T 23456 要求即可。
2015	磷石膏空心砌块	地方标准	规定了实心砌块的分类、原材料、技术要求、试验方法、检验规则等，磷石膏满足 GB/T 23456 要求即可。
2015	磷石膏改良碱化土壤技术规程	地方标准	规定了磷石膏改良碱化土壤技术流程，未对其中氟化物进行限定。
2017	磷矿开采磷石膏充填采矿技术规范	地方标准	规定了磷石膏充填采矿系统布置、充填系统、采场充填工艺和充填体水质监测，未对充填材料中污染物进行限定。
2019	磷石膏及其综合利用产品质量标准	地方标准	规定了磷石膏等级划分、质量要求以及利用产品（石膏建材、混凝土、水泥缓凝剂和土壤调理剂）的质量要求。
2021	轻钢龙骨-混合相磷石膏喷筑墙体技术规程	地方标准	规定了墙体材料及墙体的性能、设计、施工及质量验收。
2022	磷石膏基自流平砂浆/抹灰砂浆/模盒通用技术要求	地方标准	规定了磷石膏基材料的性能要求、分类、标记、试验方法、检测规则以及包装、标志、运输、贮存等。
2023	公路水泥稳定磷石膏基层应用技术规范	地方标准	规定了路面结构及防排水、材料、配合比设计、施工、施工质量管理、环境管理与质量监测等要求，其中磷石膏中水溶性氟离子含量 $\leq 0.1\%$ ，水溶性五氧化二磷含量 $\leq 0.2\%$ 。
2023	公路磷石膏复合稳定基层材料应用技术规程	地方标准	规定了路面结构及防排水、配合比设计、施工、施工质量和环境管理与质量监测等要求。其中磷石膏中总磷、F、Cr、Pb、Cd、As、Hg 分别小于等于 40、20、1.5、1、0.1、0.5、0.05 mg/L，稳定基层材料破碎样中总磷、F、Cr ⁶⁺ 、Pb、Cd、As、Hg 分别小于等于 0.3、2、0.1、0.1、0.01、0.05、0.002 mg/L。

时间	标准名称	标准类型	主要内容
2023	磷石膏无害化处理技术规范	地方标准	规定了磷石膏无害化处理工艺，并针对不同利用途径和贮存的磷石膏指标进行控制。
2024	改性磷石膏用于矿山废弃地生态修复回填技术规范	地方标准	规定了磷石膏用于矿山废弃地回填和生态修复的基本要求及工作流程，包括场地选址要求、本底调查、磷石膏及改性要求、回填和生态修复要求、生态环境质量监测等。改性后磷石膏中污染物满足 I 类固废要求。
2021	公路路面基层用磷石膏矿渣水泥稳定材料应用技术规程	团体标准	规定了原材料质量要求、混合料的生产、施工、稳定层的养护等要求，其中磷石膏中水溶性氟离子含量 $\leq 0.2\%$ 、水溶性五氧化二磷含量 $\leq 0.3\%$ 。
2021	磷石膏预处理技术规范	团体标准	规定了不同用途磷石膏预处理、生产工艺环境、存放、处置和运输、质量验收等要求，其中磷石膏中水溶性氟离子和水溶性五氧化二磷含量分别 $\leq 0.3\%$ 和 0.5% ，预处理后磷石膏中水溶性氟离子和水溶性五氧化二磷含量分别 $\leq 0.2\%$ 和 0.3% ，此外还应满足相关产品质量标准。
2022	道路过硫磷石膏胶凝材料稳定基层技术规程	团体标准	规定了原材料要求、混合料的生产、施工、稳定层的养护等要求，其中预处理后磷石膏中水溶性氟离子含量 $\leq 0.1\%$ 、水溶性五氧化二磷含量 $\leq 0.2\%$ ，砷、镉、铅、铬和汞的含量分别小于等于 0.005、0.001、0.02、0.05 和 0.0005%。
2022	公路磷石膏复合稳定碎石基层应用技术规范	团体标准	规定了路面结构及防排水、配合比设计、施工、施工质量和环境管理与质量监测等要求。其中磷石膏中 F、Cr、Pb、Cd、As、Hg 分别小于等于 20、1.5、1、0.1、0.5、0.05 mg/L，稳定基层材料破碎样中 F、Cr、Pb、Cd、As、Hg 分别小于等于 2、0.1、0.2、0.01、0.1、0.001 mg/L。

时间	标准名称	标准类型	主要内容
2022	用于生产水泥中的改性球状磷石膏	团体标准	规定了水泥中改性球状磷石膏的等级、技术要求、试验方法、检测规则以及包装、标志、运输、贮存等。其中，改性球状磷石膏中水溶性氟离子和水溶性五氧化二磷含量分别 $\leq 0.5\%$ 和 0.8% 。
2024	改性磷石膏混合料道路稳定基层应用技术规程	团体标准	规定了混合料配合比设计、施工、质量管理、环境影响量监测等要求，未体现污染控制要求。
2024	磷石膏无害化处理指南（试行）	团体标准	规定了磷石膏无害化处理工艺，并针对不同利用途径和贮存的磷石膏提出了控制要求。充填和生态修复材料污染物满足 GB 8978 一级指标，筑路材料所用磷石膏中水溶性氟离子和水溶性五氧化二磷含量分别 $\leq 0.1\%$ 和 0.2% ，土壤调理剂中水溶性氟离子含量 $\leq 0.2\%$ 。

目前国外对磷石膏利用过程中污染物控制主要体现在放射性元素含量控制方面。国内现有标准体系对利用过程中磷石膏污染物控制存在以下两方面问题：一是缺乏统一的管理尺度。现有标准规定的内容和要求差异较大，如湖北省稳定基层材料破碎样中氟化物浓度 $\leq 2 \text{ mg/L}$ ，四川省水泥稳定磷石膏基层所用磷石膏中水溶性氟离子含量 $\leq 0.1\%$ ，不利于行业技术发展。二是标准限值制定的方法不科学、完善。未考虑筑路、充填、回填利用的实际场景，如对氟化物控制限值的确定多引用《磷石膏》（GB/T 23456-2018）或《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599-2020）中第 I 类一般工业固体废物的规定，缺乏科学的风险评估。

5 标准的主要内容

5.1 标准结构框架

标准文本包括 8 个章节，具体内容如表 5.1 所示。

表 5.1 标准章节内容汇总

章	节	主要内容
1		适用范围
2		规范性引用文件

章	节	主要内容
3		术语和定义
	3.1	磷石膏无害化处理
	3.2	回填
	3.3	充填
	3.4	土地利用
	3.5	长江流域
4		总体要求
5		磷石膏利用过程污染控制技术要求
	5.1	水泥缓凝剂和石膏粉利用
	5.2	筑路利用
	5.3	回填利用
	5.4	充填利用
	5.5	土地利用
6		磷石膏贮存过程污染控制技术要求
7		环境和污染物监测要求
8		环境管理要求

5.2 适用范围

本标准规定了磷石膏在利用和贮存过程中的污染控制要求以及监测和环境管理要求。

本标准适用于磷石膏在利用和贮存过程中的污染控制,可作为与磷石膏利用和贮存有关建设项目的环境影响评价、环境保护设施设计、竣工环境保护验收、排污许可管理、清洁生产审核等的技术参考依据。

5.3 规范性引用文件

本部分共列举了本标准引用的全部 23 个规范性引用标准和文件,其中包括 10 个国家标准,8 个行业标准,2 个行业技术指南和 3 个国家文件。这些标准和文件的有关条文通过引用成为本标准的组成部分。

5.4 术语和定义

本部分为执行本标准制定的专门术语和对容易引起歧义的名词进行的定义,包括磷石膏无害化处理、回填、充填、土地利用以及长江流域。

磷石膏无害化处理：运用水洗、固化稳定化、浮选、焙烧等工艺或工艺组合的方法，降低磷石膏中污染物含量的释放，使其满足本规范关于利用或贮存指标要求的过程。该条款对目前磷石膏无害化处理技术进行归纳得到。

回填：在复垦、景观恢复以及防止地表塌陷的地貌保护等地表工程中，以土地复垦为目的，利用无害化处理后的磷石膏替代土、砂、石等生产材料填充露天开采地表挖掘区、取土场以及天然坑洼区的活动。该条款引自 GB 18599。

充填：为满足采矿工艺需要，以支撑围岩、防止岩石移动、控制地压为目的，利用无害化处理后的磷石膏为充填材料填充采空区的活动。该条款引自 GB 18599。

土地利用：以无害化处理后的磷石膏为原料制备的，可用于障碍土壤改良、石漠化治理、矿山复垦、边坡治理、园林绿化等领域的材料。该条款对目前磷石膏在此领域的应用情况进行归纳得到。

长江流域：由长江干流、支流和湖泊形成的集水区域所涉及的青海省、四川省、西藏自治区、云南省、重庆市、湖北省、湖南省、江西省、安徽省、江苏省、上海市，以及甘肃省、陕西省、河南省、贵州省、广西壮族自治区、广东省、浙江省、福建省的相关县级行政区域。该条款引自中华人民共和国长江保护法。

5.5 标准主要技术内容确定的依据

5.5.1 总体要求

2023 年，工业和信息化部等八部门联合印发了《推进磷资源高效高值利用实施方案》（工信部联原〔2023〕259 号），提出推广新型选矿工艺、新型药剂及新型技术装备，实现磷矿资源的高效利用。4.1 条从源头减少磷石膏中污染物含量，规定磷化工企业应使用先进适用的工艺技术，提高氟化物和磷的回收率，减少磷石膏中污染物含量。

受地理位置和经济技术发展水平等多方面因素影响，导致磷石膏的综合利用途径差异化显著。4.2 条规定，磷石膏利用和贮存前应进行无害化处理并满足本标准规定，利用技术的选择应结合当地需求，因地制宜。

通过对磷石膏筑路、回填和充填利用进行实地调研，通常会添加碱性的一般固体废物对磷石膏中的污染物进行固化稳定化处理。4.3 条规定，磷石膏可与粉煤灰、电石渣等一般工业固体废物协同利用，磷石膏的质量占比应至少超过 85%，掺加的固体废物按照 HJ 557 制备浸出液中污染物浸出浓度不超过 GB 8978 最高允许排放浓度（第二类污染物最高允许排放浓度按照一级标准执行）（pH 除外）。

由于筑路、回填和充填工程消纳磷石膏量巨大，从风险防控角度考虑。4.4 条规定，磷石膏用于符合本规范规定的筑路、回填和充填工程时，应避免饮用水水源和其他特殊水体保护区。

对磷石膏利用和贮存过程产生水污染物的排放进行了规定，4.5 条提出，磷石膏利用和贮存过程产生的水污染物的排放应符合国家发布的污染物排放标准；地方污染物排放标准、环境影响评价批复文件或排污许可证有更严格要求的，从其规定。

4.6 条规定，磷石膏用于本标准以外的利用途径时，应按照 HJ 1091 的要求进行环境风险评估。

为了明确不同管理部门间的边界。4.7 条规定，磷石膏利用和贮存过程应满足环境保护相关要求。国家安全生产、职业健康、交通运输和消防等法律法规标准另有规定的，适用其规定。

5.5.2 磷石膏利用过程污染控制技术要求

随着 2018 年加强对长江经济带的生态环境保护，国家积极推进磷石膏的综合利用，逐步明确了磷石膏利用方向，即在符合环境质量标准和要求前提下畅通其规模化消纳路径。本标准通过实地调研和专家研讨，确定了水泥缓凝剂和石膏粉利用、筑路材料利用、回填利用、充填利用以及土地利用途径。此外，根据《2023 年中国生态环境状况公报》，我国酸雨主要分布在浙江大部分地区、福建北部、江西中部、湖南中东部、广西东北部和南部，以及重庆、广东、上海、江苏部分区域，未在磷石膏产地分布区域，同时考虑磷石膏作为筑路材料利用、回填利用和充填利用具有显著的地域特性，难以运输至产地之外的区域进行利用，故选择《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》（HJ 557）对无害化处理后的磷石膏物料进行浸提。

（1）水泥缓凝剂和石膏粉利用

目前，以磷石膏为原料生产水泥缓凝剂和石膏粉的技术成熟，已经得到了广泛应用，并形成了配套的产品质量标准。本标准从生产水泥缓凝剂和石膏粉的磷石膏品质和生产过程的污染控制提出相关要求。

水泥缓凝剂和石膏粉主要用于室内装修，5.1.1 对其中的放射性元素含量进行了规定，生产水泥缓凝剂和石膏粉的磷石膏的放射性比活度应满足 GB 6566 中关于建筑主体材料的相关要求。

水泥缓凝剂和石膏粉的生产过程主要涉及粉尘和气体污染。5.1.2 规定，石膏粉生产过程中有组织排放的 SO₂、颗粒物等的排放应符合 GB 9078 要求，NO_x 的排放应符合 GB 16297 要求。5.1.3 规定，生产过程的无组织排放应满足 GB 16297 要求，工作场所空气中的粉尘等应符合 GBZ 2.1 要求。

（2）筑路利用

磷石膏筑路材料利用过程中，通常作为道路水稳层时，并具有一定强度，故考虑其中的特征污染物随降雨水淋溶经过包气带进入地下水或者侧面淋溶导致污染物随雨水迁移至地表水两种暴露途径。同时筑路材料位于面层下部，因此直接接触，如意外摄入、皮肤接触或

吸入灰尘等暴露途径可以排除；另一方面，其中大多数检测到的污染物是不挥发的，因此蒸汽吸入的暴露途径也可以预先排除。最后基于人体健康风险评估、污染物稀释衰减分析结果，开展模型反演研究，计算得出磷石膏用于筑路材料场景下污染物含量和浸出浓度阈值等。

5.2.1 规定，利用无害化处理的磷石膏进行筑路利用时，经养生后的筑路物料按照 HJ 557 制备浸出液中 pH 值、氨氮、化学需氧量、总铜、总铅、总镉、总铍、总砷、总汞、总铬、磷酸盐（以 P 计）和氟化物浸出浓度不超过 GB 8978 最高允许排放浓度（第二类污染物最高允许排放浓度按照一级标准执行）。

筑路物料临时存放和应用时，扬尘和雨水淋溶会导致相应大气和水体污染，5.2.2 规定，筑路物料临时存放和利用时应采取相应防渗漏、防雨淋、防扬尘措施。

（3）回填利用

对不适宜回填利用的场景、回填场地的地质条件进行限制，防控回填利用的环境风险。

5.3.1 规定，a) 应避开活动断层，泉域保护范围以及岩溶强发育、存在较多落水洞和岩溶漏斗的区域，湿地，江河、湖泊、运河、渠道、水库最高水位线以下的滩地和岸坡，以及国家和地方长远规划中的水库等人工蓄水设施的淹没区和保护区；b) 回填场地底部高程应高于地下水年最高水位；c) 天然基础层饱和渗透系数应不大于 $1.0 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ ，且厚度不小于 0.75 m，当天然基础层局部不能满足上述要求时，可采用天然或改性粘土类衬层进行局部补强，使其隔水效力应至少相当于渗透系数为 $1.0 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 且厚度为 0.75 m 的天然基础层。

雨污分流措施可以有效减少渗滤液的产生，降低回填工程的环境风险。5.3.2 规定，回填工程应采取雨污分流等措施减少渗滤液产生量，渗滤液应进行收集处理，如需排放应满足 4.5 条规定。

磷石膏作为回填材料时，其上部会进行土地复垦，直接接触，如意外摄入、皮肤接触或吸入灰尘等暴露途径可以排除；另一方面，其中大多数检测到的污染物是不挥发的，因此蒸汽吸入的暴露途径也可以预先排除。综合考虑污染物类型和回填场景，仅考虑污染物从回填材料中浸出渗透到地下水这一暴露途径。最后计算得到该暴露场景下的污染物稀释系数，进而提出环境风险可控条件下回填材料中的污染控制要求。5.3.3 规定，利用无害化处理的磷石膏进行回填利用时，回填物料按照 HJ 557 制备浸出液中 pH 值、氨氮、化学需氧量、总铜、总铅、总镉、总铍、总砷、总汞、总铬、磷酸盐（以 P 计）和氟化物浸出浓度不超过 GB 8978 最高允许排放浓度（第二类污染物最高允许排放浓度按照一级标准执行）。

由磷石膏回填利用过程的环境风险评估结果可知，回填工期越长渗滤液产生量越大，污染风险越高，同时为了体现标准之间的衔接性。5.3.4 规定，回填作业时间应不宜超过 3 年，回填结束后应按照 GB18599 中 II 类场的要求进行封场覆盖和土地复垦。

（4）充填利用

5.4.1 规定，应优先用于磷矿地下采空区充填，充填作业操作应符合 GB/T 51450 相关技术要求。

满足采矿需求的充填过程可以对充填工程产生的泌出水进行收集,并方便采取相应工程措施,本规范鼓励符合该场景条件下的充填应用。磷石膏充填材料在磷矿采空区中的实际应用通常位于地下深处,因此直接接触,如蒸汽吸入、意外摄入、皮肤接触或吸入灰尘等暴露途径可以排除。同时正常开采时,会对矿区地下水进行疏浚处理,保证开采区域维持干燥状态,而当开采作业完成后,地下水疏浚工程结束,周围地下水回流至原开采区域,导致充填体直接浸泡在地下水中。综合考虑污染物类型和充填场景,仅考虑污染物从充填材料中浸出迁移扩散至地下水这一暴露途径。最后计算得到该暴露场景下的污染物稀释系数,进而提出环境风险可控条件下充填材料中的污染控制要求。5.4.2 规定,利用无害化处理的磷石膏进行充填利用时,经养护后的充填物料按照 HJ 557 制备浸出液中氨氮、化学需氧量、总铜、总铅、总镉、总镍、总砷、总汞、总铬、磷酸盐(以 P 计)和氟化物浸出浓度不超过 GB 8978 最高允许排放浓度(第二类污染物最高允许排放浓度按照一级标准执行)。

此外,对于充填过程还提出了相应的污染控制。5.4.3 规定,充填作业现场应采取必要的隔离措施,防止充填料浆泄漏到充填区外。5.4.4 规定,充填作业泌出液应进行收集处理,如需排放应满足 4.5 条规定。

(5) 土地利用

磷石膏用于土地利用过程的污染主要来自磷石膏中污染物(主要是重金属和氟化物,总磷、氨氮和耗氧量可作为营养物质,故未进行限定)的淋溶,规范对于其中污染物的限值规定主要参考已有关于建设用地和土壤调理剂的相关规定。

5.5.1 规定,用于石漠化治理、矿山复垦、边坡治理和园林绿化的用地性质为建设用地时,铜、铅、铬(六价)、镉、镍、砷、汞的含量应满足 GB 36600 中筛选值要求,用于石漠化治理、矿山复垦、边坡治理和园林绿化的用地性质为农用地时,不应种植食用农产品,且镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍、锌的含量应满足 GB 15618 中筛选值要求。总氟化物含量不应高于区域性土壤环境背景含量,按照 HJ 557 制备浸出液中氟化物浓度不超过 5mg/L。

5.5.2 规定,用于障碍土壤改良时,其中镉、汞、砷、铅、铬、铊的含量应满足 GB 38400 中无机肥料相关要求,含盐量应符合 CJ/T 340 要求,氟含量应符合 NY/T 3936 要求。

5.5.3 磷石膏贮存过程污染控制技术要求

为了体现标准之间的衔接性,6.1 条规定,磷石膏贮存场的选址、入场、运行、封场、土地复垦和监测应符合 GB 18599 相关要求,贮存场的设计应符合 GB 18599 中 II 类场技术要求。

6.2 条规定,长江流域贮存场的磷石膏按照 JC/T 2073 测得的水溶性五氧化二磷和水溶性氟离子含量还应不大于 0.2% 和 0.1%。根据现场采样检测数据可知,与 GB18599 中 II 类场入场要求相比,该规定可削减磷和氟化物浓度约 70%,有效降低贮存场的环境污染风险。

磷石膏尾矿库防渗衬层渗漏监测系统对于防渗层破损监测具有重要作用,有助于快速识

别防渗层破损并及时采取控制措施避免污染土壤和地下水。目前填埋场防渗衬层渗漏监测系统的形式有防渗衬层渗漏监测设备、地下水监测井等。其中，防渗衬层渗漏监测设备可以实时监测 HDPE 膜破损情况，地下水监测井则是通过监测地下水水质判断防渗系统破损情况，但具有一定的滞后性。故 6.3 条规定，新建贮存场应设置防渗衬层渗漏监测设备，监控防渗衬层的完整性。

基于控制磷石膏尾矿库渗漏环境风险的需要，6.4 条规定，贮存场运行、封场及后期维护与管理期间，应根据入场检测、地下水监测数据变化趋势等定期评估其环境风险，并根据评估结果确定是否采取 6.5 条规定的应急处置措施，评估频次不得低于三年一次。

通过明确发生地下水污染时所采取的应急处置措施和污染防治措施，使其更具有操作性。6.5 条规定，贮存场运行、封场及后期维护与管理期间，当发现地下水有被污染的迹象时，应及时查找原因，发现渗漏位置并尽快启动应急处置措施和污染防治措施。应急处置措施和污染防治措施可采用地下水抽提处理、堆体内渗滤液抽排处理、垂直防渗工程管控、防渗衬层漏洞修补等方式。

5.5.4 监测要求

7.1 条和 7.2 条为一般性要求，7.1 条规定，企业应按照有关法律、《排污许可管理条例》《环境监测管理办法》、HJ 819 和 HJ 1250 等规定，建立企业监测制度，制定自行监测方案，对污染物排放状况及其对周边环境质量的影响开展自行监测，保存原始监测记录，并按照信息公开管理办法公布监测结果。

7.2 条规定，企业应按有关法律和《污染源自动监控管理办法》的要求，安装、运维污染物排放自动监控设备。

7.3 条对磷石膏利用过程的污染物监测提出要求，包括地下水监测井布设、污染物监测等。

7.3.1 规定，回填作业结束后在地下水流场上游应布置 1 个监测井，在可能出现污染扩散区域至少应布置 1 个监测井。

7.3.2 规定，充填作业结束后应结合现有生产设施合理布设地下水监测井，在可能出现污染扩散区域至少应布置 1 个监测井。

7.3.3 规定，充填或回填工程地下水监测井的监测频次至少每季度 1 次，充填或回填作业结束后，当地下水水质连续 2 年不超出地下水本底水平时可停止监测。

7.3.4 规定，对于地下水含水层埋藏较深或地下水监测井较难布设的区域，经环境影响评价确认地下水不会受到污染时，可不设置地下水监测井。

按照 HJ 1091 的相关要求，明确了利用产物中污染物的监测频次。7.3.5 规定，磷石膏回填利用和土地利用产物中污染物的监测频次应不低于每周 3 次；连续 2 周监测结果均不超出规定限值时，在磷石膏来源及投加量稳定的前提下，频次可减为每月 1 次；连续 3 个月监

测结果均不超出规定限值，频次可减为每年 2 次。若在此期间监测结果出现超标，或磷石膏来源发生变化，或利用活动中断 3 个月以上，则监测频次重新调整为每周 3 次，依次重复。每次采样数量应不少于 10 份，每份样品不小于 0.5 kg，混合均匀后进行分析测试。7.3.6 规定，应对磷石膏筑路利用和充填利用产物进行留样监测，监测频次和采样数量应满足 7.3.5 规定。

7.3.7 规定，其他污染物的监测应执行相关国家和行业标准的规定。

7.4 条对磷石膏贮存过程的地下水监测提出要求。7.4 条规定，地下水监测因子应根据磷矿和辅料中存在对环境可能产生污染的元素确定，特征污染物测定项目至少包括：pH 值、钡、砷、铊、耗氧量（CODMn 法）、氨氮、总磷、氟化物和硫酸盐。

5.5.5 环境管理要求

结合现有固体废物相关管理规定及政策，本标准制定了磷石膏利用和贮存的环境管理相关要求。具体包括：应急预案制度、培训制度、台账制度等，以确保对磷石膏利用和贮存的全过程污染控制和环境管理。

8.1 条规定，磷石膏贮存企业应按照 HJ 740 及《尾矿库环境应急预案编制指南》的要求编制应急预案，定期开展培训和演练。

8.2 条规定，企业应按照《一般工业固体废物管理台账制定指南（试行）》的要求建立固体废物环境管理台账。

8.3 条规定，应对运行管理人员定期组织磷石膏危害特性、环境保护要求、环境应急处理、职业健康等培训。

8.4 条规定，应保存利用和贮存过程的相关资料，包括培训记录、管理台账等，保存时间不得少于 5 年。

6 制订标准后的经济和环境效益分析

6.1 经济效益分析

该标准实施后，可以为磷石膏综合利用项目的审批提供参考，将有力推动磷石膏产生区域的综合利用，避免磷石膏因长期堆存而导致的污染问题以及高昂修复费用。同时明确磷石膏贮存过程的入场要求，也可以为磷石膏贮存项目的审批提供参考，可以节约磷石膏的预处理费用，为磷化工企业创造较好的经济效益。

6.2 环境效益分析

本标准明确了磷石膏在水泥缓凝剂和石膏粉利用、筑路利用、回填利用、充填利用以及土地利用过程的排污节点和关键污染环节，并提出了相应的污染控制技术要求以及监测和环境管理要求。同时结合磷石膏特定的物理化学特性，提出了贮存过程的污染控制技术要求以

及监测和环境管理要求。该标准的实施将有利于企业根据实际情况采取相应的污染防治措施，确保环境风险可控，环境效益显著。