《石膏基矿井充填材料》

Gypsum-based mine filling materials

JC/T XXXX-20XX

编制说明

《石膏基矿井充填材料》标准编制组

2026 年 11 月

目　录

1 工作简况..... 1
1.1　立项背景..... 1
1.2　任务来源..... 2
1.3　主要工作过程..... 2
2 标准编制的原则和主要内容..... 3
2.1　标准制定的原则..... 3
2.2　标准的主要内容..... 4
2.2.1 标准的适用范围..... 4
2.2.2 引用文件..... 4
2.2.3 术语和定义..... 5
2.2.4 分类和标记..... 5
2.2.5 原材料要求..... 5
2.2.6 一般要求..... 6
2.2.7 技术要求..... 6
2.2.8 试验方法..... 7
2.2.9 检验规则..... 8
3 主要试验验证情况分析与指标确定..... 9
3.1　验证试验数据分析..... 9
3.2 验证试验总体情况..... 13
4 标准中涉及专利情况说明..... 14
5 产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效果等情况..... 14
6 采用国际标准和国外先进标准情况..... 17
7 与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调..... 17
8 重大意见分歧的处理依据和结果..... 19
9 标准性质的建议说明..... 19
10 贯彻标准的措施建议..... 20
11 废止现行有关标准的建议..... 20
12 其他应说明的事项..... 20

1 工作简况

1.1 立项背景

随着我国经济的快速发展，工业副产石膏堆存压力日益凸显，已成为制约行业绿色可持续发展的突出环境问题。截至2025年我国工业副产石膏累计堆存量高达10亿吨，每年新增工业副产石膏15000万吨，平均综合利用率预估为55%，未能实现产消平衡。以磷石膏为例，目前全国现存磷石膏库约97座，主要集中在贵州、湖北、云南、四川等长江中下游流域省市，大规模露天堆存不仅大量占用土地资源，还易引发土壤、水体及大气污染等生态环境问题，严重阻碍长江中下游经济带磷化工产业高质量、可持续发展，亟需拓宽磷石膏规模化无害化消纳途径。

近年来，随着我国矿产资源的大规模开采，许多地区形成了大面积、大规模的采空区。一方面，大量采空区的存在严重影响矿山安全生产，致使矿山开采条件恶化，另一方面，形成的采空区易引发覆岩大面积冒落、地表塌陷、采空区老窑积水和井下突水等灾害。为统筹解决工业固废处置与矿山安全治理两大难题，国家及地方陆续出台专项扶持政策，大力推进工业副产石膏资源化综合利用。其中，贵州省磷石膏“以用定产”工作方案中明确提出“在确保生态环保安全的前提下，支持企业对改性处理后的磷石膏进行井下采空区无害化充填”，为磷石膏井下充填技术的落地应用提供了重要政策依据。实践表明，磷石膏井下充填可实现大宗固废快速消纳与矿山采空区灾害治理的双向赋能，具备显著的应用价值与社会效益。

在井下充填工程应用场景中，复杂的地下空间环境对充填材料性能、施工技术及安全稳定性提出了严格要求。地下空间具有体量庞大、构造复杂、施工难度大、环境介质多变等特点，存在酸碱腐蚀、地下水持续冲刷、地层应力挤压等不利工况。传统充填材料以硅酸盐水泥为主，经济成本较高，一般采矿企业无力承担，且硅酸盐水泥的生产二氧化碳排放量大，与我国双碳战略发展要求相悖。石膏基矿井充填材料具备固化速度快、结构稳定性强、收缩开裂率极低等优势，且充填过程无有毒有害气体产生，安全环保、成本可控，可根据工程需求灵活调控质量浓度，能够实现“以废治废、一废治两害”的治理成效，是适配现代矿山井下充填工程的绿色优质材料，已成为矿山充填技术的主流发展方向。

当前石膏基矿井充填材料理论研究与工程应用已经相对成熟。贵州、云南、湖北、安徽等化工大省已经开始广泛的开展磷石膏和氟石膏等工业副产石膏充填材料的研究与工程试点。东南大学、南京工业大学、武汉工程大学、中南大学、贵州大学、三峡大学和北京科技大学等多所高校持续深耕相关技术研究，同时贵州磷化集团、云天化集团等行业龙头企业，

及近百家大中小型企业积极参与技术研发与产业化落地，形成了“高校科研+企业转化”的成熟技术体系，为石膏基矿井充填材料的规模化推广奠定了坚实的技术与产业基础。

但现阶段行业发展仍存在关键短板，国内尚未出台针对性的石膏基矿井充填材料产品标准与技术指标规范。行业标准的缺失直接导致材料选型、工程设计、施工验收无据可依，不仅严重制约了石膏基矿井充填材料的规模化工程应用，也无法统一规范施工质量，难以保障矿山充填工程的安全性与稳定性，极大限制了工业副产石膏大宗资源化消纳产业的规范化发展。

综上，制定石膏基矿井充填材料标准，能够有效填补行业标准空白，规范材料研发、生产、施工全流程技术要求，既能大幅拓宽工业副产石膏资源化利用渠道，高效解决工业副产石膏堆存污染、矿山采空区灾害两大行业难题，助力“无废城市”建设与双碳目标落地，又能推动矿山充填行业绿色化、标准化、规范化发展，赋能化工与矿山行业转型升级，兼具重要的生态效益、社会效益与经济效益，因此开展本标准编制工作具有极强的必要性与现实意义。

1.2 任务来源

根据 2026 年 4 月下达的“工信厅科函〔2026〕192 号”文《印发 2026 年第二批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》，由建筑材料工业技术情报研究所作为标准负责起草单位，组织 2026-0264T-JC《石膏基矿井充填材料》标准的编制工作。

1.3 主要工作过程

2026 年 4 月，中华人民共和国工业和信息化部正式下达了《石膏基矿井充填材料》的编制计划。2026 年 4 月至 2026 年 6 月，建筑材料工业技术情报研究所对湖北、贵州、云南、山东等地的石膏基矿井充填材料生产企业或施工现场进行了调研，深入了解石膏基矿井充填材料生产状况以及该产品在矿井充填工程中的使用情况，生产企业的生产规模、产品规格、产品应用情况，听取了企业对石膏基矿井充填材料标准的编制意见。同时，查询了国外石膏基矿井充填材料的生产使用情况，国外对于工业副产石膏用于井下充填的研究开始时间较早，很多西方发达国家主要是德国、意大利、前苏联和乌克兰早在 70 年代就开始了采用工业副产石膏进行井下充填的试验和工业应用，使用石膏基充填材料在巷道壁后充填、构筑平巷保护带以及砌筑防爆隔墙，并取得了良好的效果。澳大利亚昆士兰州 Phosphate Hill 磷矿、波兰、美国相关机构相继开展磷石膏充填材料室内配比与井下可行性中试研究，验证了石膏基充填材料治理采空区、消纳固废的技术可行性。但受环保审批、预处理成本、配套工

艺体系制约，国外仅实现局部小规模充填，缺少连续化充填产业化生产线。国际标准层面，全球石膏基矿井充填材料标准化体系均存在空白。因此本文件主要收集并研究国内石膏基矿井充填材料的相关标准，包括 GB/T 32124—2024《磷石膏的处理处置规范》、GB/T 45015—2024《钛石膏综合利用技术规范》、GB/T 51450—2022《金属非金属矿山充填工程技术标准》、HJ 1415—2025《磷石膏利用和无害化贮存污染控制技术规范》、MT/T 420—1995《高水充填材料》等。

2026 年 5 月至 2026 年 6 月，建筑材料工业技术情报研究所开始根据调研的资料和对石膏基矿井充填材料的了解，参考现有国内外相关文献和标准，着手起草标准的工作组讨论稿。

2026 年 7 月，建筑材料工业技术情报研究所以线上会议的形式组织召开了标准工作会，会议成立由行业专家和先进企业技术人员组成的标准编制组，参会的 12 家企业代表对标准工作组讨论稿进行了讨论，发表意见建议，初步确定了标准内容和技术指标，同时进行了标准编制工作任务分配。

2026 年 7 月至 2026 年 9 月，标准编制组根据标准工作会议讨论的内容，对标准草案进行修改完善。同时，相关参编单位提供了所需的产品质量检测数据、相关资料和验证试验样品，标准编制组开展了标准验证试验工作。

2026 年 10 月，标准编制组根据试验数据和专家、企业的修改建议，完善了标准文件内容，形成了征求意见稿。

2026 年 11 月至 2026 年 12 月，标准编制组向全行业发布征求意见稿，进行了标准的广泛的征求意见。

2　标准编制的原则和主要内容

2.1　标准制定的原则

本文件依据 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。遵从以下规则：贯彻执行国家的政策、法规，与现行其他国家标准协调一致的原则；技术指标制定先进可行、规范合理的原则；标准制定突出产品特性，促进行业健康发展和产品推广的原则。标准制定过程中参考了国内相关标准和各生产企业标准。试验方法尽量采用现行的国家标准和行业标准，以保证标准中技术指标的准确性、科学性与可操作性，各项指标值兼顾目前现状和发展需求。

2.2 标准的主要内容

2.2.1 标准的适用范围

本文件规定了石膏基矿井充填材料的分类和标记、原材料要求、一般要求、技术要求、试验方法、检验规则以及包装、标志、运输与贮存。

本文件适用于金属、非金属矿井采空区充填的石膏基材料。

2.2.2 引用文件

本标准在制定过程中主要引用和参考了以下标准：

(1)GB/T 191 包装储运图形符号标志

引用该标准作为石膏基矿井充填材料标志的要求。

(2)GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

引用该标准作为石膏基矿井充填材料单项检验结果的判定依据。

(3)GB 8978 污水综合排放标准

引用该标准作为石膏基矿井充填材料浸出液特征污染物的检测方法依据。

(4)GB/T 17669.4 建筑石膏 净浆物理性能的测定

引用该标准作为石膏基矿井充填材料凝结时间和水力充填材料流动性的检测方法依据。

(5)GB/T 23456 磷石膏

引用该标准作为石膏基矿井充填材料中原材料磷石膏的技术要求。

(6)GB/T 28627 抹灰石膏

引用该标准作为膏体充填材料流动性的检测方法依据。

(7)GB/T 37785 烟气脱硫石膏

引用该标准作为石膏基矿井充填材料中原材料烟气脱硫石膏的技术要求。

(8)GB/T 39489 全尾砂膏体充填技术规范

引用该标准作为石膏基矿井充填材料中质量浓度的检测方法依据。

(9)GB/T 45015—2024 钛石膏综合利用技术规范

引用该标准作为石膏基矿井充填材料中原材料钛石膏的技术要求和钛石膏基矿井充填材料浸出液特征污染物指标的技术要求。

(10)GB/T 51450—2022 金属非金属矿山充填工程技术标准

引用该标准作为石膏基矿井充填材料术语的编制依据。

(11)HJ 557 固体废物浸出毒性浸出方法 水平振荡法

引用该标准作为石膏基矿井充填材料浸出液浸出方法的试验依据。

(12)HJ 1415—2025 磷石膏利用和无害化贮存污染控制技术规范

引用该标准作为磷石膏基矿井充填材料浸出液特征污染物指标的技术要求。

(13)JGJ 63　混凝土用水标准

引用该标准作为石膏基矿井充填材料中原材料拌合用水的技术要求。

(14)JGJ/T 70　建筑砂浆基本性能试验方法标准

引用该标准作为石膏基矿井充填材料单轴抗压强度的检测方法依据。

(15)JC/T 2649 柠檬酸石膏

引用该标准作为石膏基矿井充填材料中原材料柠檬酸石膏的技术要求。

(16)JC/T 2967 氟石膏

引用该标准作为石膏基矿井充填材料中原材料氟石膏的技术要求。

2.2.3 术语和定义

本文件解释了矿井充填、石膏基矿井充填材料、胶凝材料和充填集料的具体含义。石膏根据相态可分为无水石膏、半水石膏、二水石膏，具有胶凝活性的无水石膏、半水石膏可做为充填胶结材料，无胶凝活性的二水石膏可做为充填集料。

2.2.4 分类和标记

2.2.4.1 分类

按矿井充填方式将石膏基矿井充填材料分为：膏体充填材料（G）、水力充填材料（S）

2.2.4.2 标记

本文件根据标准和行业惯例规定按产品名称、分类以及本文件编号进行标记并给出示例。

2.2.5 原材料要求

(1) 磷石膏应符合 GB/T 23456 的规定。

(2) 脱硫石膏应符合 GB/T 37785 的规定。

(3) 钛石膏应符合 GB/T 45015—2024 中 5.5.2 的规定。

(4) 柠檬酸石膏应符合 JC/T 2649 的规定。

(5) 氟石膏应符合 JC/T 2967 的规定。

(6) 拌合用水应符合 JGJ 63 的规定。

(7) 其他材料应符合相关标准的规定或经过试验验证后方可使用。

石膏基矿井充填材料的原材料应符合相关标准要求，是保障矿井充填结构安全、延长使

用寿命、提高施工效率、降低成本、满足环保与规范的核心前提，对工程质量和长期效益具有决定性意义。

2.2.6 一般要求

石膏基矿井充填材料应遵守国家环高和安全底线，控制有害组分浸出、有毒气体析出，保护井下作业人员与矿区地下水，同时防止杂质干扰水化反应、损害充填体长期力学性能。石膏基矿井充填材料的性能受石膏物相类型、掺合料活性、外加剂种类及掺量耦合影响显著，不同来源的工业副产石膏组分波动较大。仅依靠理论配方无法保证充填体的工作性能、力学性能与长期稳定性。因此要求原料变更或性质发生变化时，重新开展相应的充填材料试验，确保充填材料满足井下充填工艺、采场安全及长期环境稳定性要求。

2.2.7 技术要求

标准制定过程中通过召开现场工作会议、电话会议、视频会议、赴生产企业实地调研、验证试验结果分析等多种形式，最终确定了本标准的各项技术指标要求。

2.2.7.1 硫酸钙含量

硫酸钙含量不小于 60%的要求，是划定石膏基材料的准入门槛，区分低石膏掺量、仅少量石膏作为辅助组分的普通充填料，保障材料的石膏基属性统一。

2.2.7.2 料浆性能

1. 质量浓度

限定石膏基矿井充填材料的质量浓度，可在合理区间内平衡料浆管道输送性能与充填体硬化性能：浓度过高会增大浆体黏度与管路阻力，易引发堵管，过低则易出现颗粒离析沉降、泌水增多；通过浓度管控，既能保障料浆均质稳定输送，保证采空区接顶效果，又能控制充填体孔隙率、强度与收缩变形，满足井下地压控制要求。

2. 凝结时间

规定石膏基矿井充填材料凝结时间，一方面避免料浆输送过程中过早凝固引发堵管，保障管道输送安全；另一方面确保料浆充入采空区后能够按时硬化，及时形成支护结构控制围岩地压，缩短泌水周期以降低可溶性有害物质浸出的环境风险，稳定工作面施工循环，保障充填体水化均匀与长期力学稳定。

3. 流动性

流动性是保障料浆管道可泵性与自流充填效果。浆体流动性过强、易发生颗粒沉降离析，粗颗粒沉积管路底部，诱发管道淤积堵管，同时入仓后浆体易流淌，难以保证充填体均匀性；

流动性不足，泵送阻力显著升高，泵压超限，不仅能耗增加，还无法自流抵达采空区边角，接顶不充分，降低充填密实度。通过将流动性控制在合理区间，保证料浆均质稳定流动、顺利通过管路输送至采场，实现采空区充分接顶，保障充填体成型质量与地压控制效果，同时稳定现场拌合配比，便于施工快速判断料浆状态，提升充填作业的连续性与可靠性。

2.2.7.3 单轴抗压强度

单轴抗压强度是石膏基矿井充填材料最核心的力学指标，限定该指标首要目的是保证充填体硬化后具备足够承载能力，有效支撑上覆岩层、控制围岩变形，抑制顶板垮落与地表沉降，保障井下开采作业安全。若强度偏低，充填体易受压破坏，失去地压管控作用；强度过高则会大幅增加胶结材料用量，显著提升充填成本。此外，7d 单轴抗压强度表征充填材料早期硬化速率，以石膏基为胶凝材料的填料 7d 单轴抗压强度与 28d 单轴抗压强度差别不大，可满足产品出厂快速检测需要；但加入水硬性胶凝材料的填料早期强度较低，28d 单轴抗压强度可反映材料水化反应进展与长期力学性能发展趋势。因此，本文件给出 7d、28d 单轴抗压强度的指标范围，供需双方协商可根据充填材料和井下情况等协商确定单轴抗压强度的龄期。石膏基矿井充填材料的单轴抗压强度尚应符合矿山充填的安全设计指标要求。

2.2.7.4 浸出液特征污染物

石膏基矿井充填原料（磷石膏、氟石膏等）含有磷、氟、重金属等可溶性组分，限制浸出液特征污染物，核心是防控充填体在井下渗流、地下水浸泡条件下，有害物质溶出迁移造成水土污染。pH 会改变重金属、氟、磷等特征污染物的溶出特性，影响污染物迁移能力，增大地下水污染风险。若浸出污染物超标，渗滤液会进入井下涌水、地下含水层，污染矿区地下水，威胁周边水环境安全；同时溶出离子还会加速充填体微观溶蚀、钙矾石类产物异常生长，引发充填体膨胀开裂，劣化长期力学性能。对浸出特征污染物进行限值管控，可从源头控制固废充填带来的环境风险，满足固废资源化利用与矿山环保法规要求，保障矿区地下水环境安全，实现石膏固废井下充填消纳的无害化。

2.2.8 试验方法

本文件各项性能的试验方法主要是引用其他方法标准或产品标准中的相关方法。石膏基矿井充填材料的质量浓度按 GB/T 39489 中规定的试验方法进行，凝结时间按 GB/T 17669.4 中规定的试验方法进行。流动性根据充填材料料浆的流态，选择适宜的试验方法，膏体充填材料按 GB/T 28627 中规定的试验方法进行；水力充填材料按 GB/T 17669.4 中规定的试验方法进行。单轴抗压强度按 JGJ/T 70 中规定的试验方法进行，石膏基矿井充填材料的浸出

液特征污染物的浸出步骤按 HJ 557 的规定进行，特征污染物检测按 GB 8978 的规定进行。

2.2.9 检验规则

2.2.9.1 检验分类

产品检验分出厂检验和型式检验两类，出厂检验项目为硫酸钙含量、凝结时间、流动性、单轴抗压强度四项，用于逐批次控制石膏基料浆泵送、充填成型性能及硬化体承载能力，在合理检测工作量下管控充填施工安全与井下长期服役风险。型式检验的检验项目包括标准中对石膏基矿井充填材料性能的全部技术要求，以满足生产企业对产品质量控制和环境的要求。

2.2.9.2 批量与抽样

由相同原料相同工艺制成的同种类的产品以 10 000 t 为一批；不足 10 000 t 的按一批计。对于石膏基井下充填产物污染物监测，设置梯度递减的监测频次，工况不稳或超标时高频监测，长期稳定达标后降低频次，兼顾井下环境风险防控与监测成本控制。

规定石膏基矿井充填材料取样需具备代表性，可连续取样或在不少于 15 个不同部位采集等量样品，样品总量不少于 30 kg，混匀后开展检测；同时抽取两组样品，一组用于检验，另一组密封留存 6 个月作为复检备用样。该抽样要求，通过多点等量取样降低局部物料不均匀带来的取样偏差，保证样品能够真实反映整批材料质量；设置备用复检样可在检验结果存在争议时复核判定，留存质量溯源证据，有效规避检测纠纷，保障批次质量判定客观、公正。

2.2.9.3 判定规则

引用 GB/T 8170 统一数据判定规则，若受检试样的检验结果符合本文件第 7 章的要求时，则判定该批产品合格。若受检试样有一项以上不符合要求，即判该批产品不合格。若仅有一项不合格，对不合格产品可进行复验，若各项指标复检结果全部合格，则判定该批产品合格；否则判定该批产品不合格。判定规则的设置兼顾质量安全管控与检测偶然误差的合理处置，保证判定客观公正。

2.2.10 包装、标志、运输与贮存

2.2.10.1 包装

石膏基矿井充填材料一般采用防潮罐装或散装供货。

2.2.10.2 标志

产品出厂时应标明产品的相关信息，包括产品名称、商标、产品批号及批次、产品标记、生产厂名称和地址、出厂日期等内容。

2.2.10.3 运输与贮存

不同种类的产品应分开运输与贮存，石膏基矿井充填材料在运输时不应与其他物料混装，运输过程中应防雨、防撒漏。在正常运输与贮存条件下，贮存期为 6 个月。

3 主要试验验证情况分析与指标确定

为保障标准指标设置科学合理，标准编制组面向矿山企业、科研院所及施工单位开展矿山充填案例调研，同时收集石膏基矿井充填材料生产企业的产品检测数据，并对征集到的试验样品开展验证试验。

3.1 验证试验数据分析

3.1.1 硫酸钙含量

石膏基矿井充填材料硫酸钙含量验证试验结果见表 1。

表 1 硫酸钙含量验证试验结果

样品编号	硫酸钙含量/%
标准要求	≥60
1.	67
2.	72
3.	68
4.	62
5.	97
6.	90
7.	97
8.	92
9.	70
10.	86

石膏基矿井充填材料的硫酸钙含量验证数据均大于 60%，显示石膏为主要原料。

3.1.2 质量浓度

石膏基矿井充填材料质量浓度验证试验结果见表 2。

表 2 质量浓度验证试验结果

样品编号	质量浓度/%
标准要求	≥50
1.	72
2.	68
3.	70
4.	66
5.	64
6.	68
7.	64

8.	68
9.	56
10.	65

石膏基矿井充填材料质量浓度验证数据分布在 56%~72%范围内，矿井充填料浆质量浓度应依据产品级配、输送距离、采场脱水条件，经配比、流变及输送试验确定。根据工程应用经验石膏基矿井充填材料质量浓度要求不低于 50%。

3.1.3 凝结时间

石膏基矿井充填材料凝结时间验证试验结果见表 3。

表 3 凝结时间验证试验结果

样品编号	凝结时间/h	
	初凝	终凝
标准要求	供需双方协商	供需双方协商
1.	＞6	＞7
2.	＞2	＞3
3.	＞2	＞4
4.	＞3	＞4
5.	＞7	＞15
6.	＞2	＞5
7.	＞1	＞2
8.	＞2	＞6
9.	＞6	＞7
10.	＞2	＞4

石膏基矿井充填材料凝结时间可根据施工工程的需要，通过添加缓凝剂或促凝剂来调节凝结时间，因此该项指标要求由供需双方协商确定。

3.1.4 流动性

石膏基矿井充填材料流动性验证试验结果见表 4。

表 4 流动性验证试验结果

样品编号	流动性/mm
标准要求	≥160
1	183
2	245
3	235
4	260
5	195
6	190
7	195
8	158
9	250

10	151

经对案例整理分析发现，各矿山井下条件不同，对石膏基矿井充填材料的流动性要求也各不相同。石膏基矿井充填材料流动性与充填方式、矿房形态、管路长度与管径等相关，需经配比及流变试验确定。在矿井充填工程应用中，膏体充填材料的流动度一般为 160～250 mm，水力充填材料的流动度一般不低于 250 mm，验证试验中，10 个样品有 2 个样品流动性低于 160 mm，合格率为 80%，可通过调整级配或掺加外加剂改善。结合工程应用情况，本指标要求设定为≥160 mm。

3.1.5 单轴抗压强度

石膏基矿井充填材料单轴抗压强度验证试验结果见表 5。

表 5 单轴抗压强度验证试验结果

样品编号	7d 单轴抗压强度/ MPa	28d 单轴抗压强度/ MPa
标准要求	0.2~6	0.2~6
1.	1.14	1.33
2.	3.45	5.16
3.	2.90	4.54
4.	2.40	4.25
5.	0.48	0.64
6.	1.66	1.95
7.	0.79	0.96
8.	1.21	1.34
9.	0.30	0.52
10.	0.86	1.12

石膏基矿井充填材料 28d 单轴抗压强度验证数据分布在 0.30～5.16MPa。工程对比表明，井下矿房钻芯试样强度普遍高于充填站成型养护试块，井下环境温湿度稳定，加之充填体自重压实效应，水化反应更充分、结构更致密。本标准参考 MT/T 420—1995、GB/T 51450—2022、GB/T 39489—2020 中 28d 单轴抗压强度相关规定，结合不同工程工况需求，将该指标控制区间设定为 0.2～6MPa。

3.1.6 浸出液特征污染物

石膏基矿井充填材料浸出液特征污染物验证试验结果见表 6。

表 6 浸出液特征污染物验证试验结果

单位为 mg/L

样品编号	浸出特征污染物																
	总汞	总镉	总铬	总砷	总铅	化学需氧量	氨氮	氟化物	磷酸盐（以 P 计）	六价铬	总镍	总铜	总锌	总锰	总氰化物	硫化物	pH 值
标准限值要求	0.05	0.1	1.5	0.5	1.0	100	15	10	0.5	0.5	1.0	0.5	2.0	2.0	0.5	1.0	6~9
1	ND	ND	0.008	0.01	0.002	10.30	0.15-0.16	3.47-8.13	0.01-0.04	/	/	/	/	/	/	/	8.13
2	0.01	ND	0.03	＜0.002	＜0.001	/	/	0.14	/	0.004	＜0.0005	＜0.0004	0.02	＜0.001	＜0.0001	0.005	6.74
3	0.00289	0.00087	0.0169	0.0198	＜0.00009	5	0.741	1.44	0.13	0.016	0.241	0.00476	0.01638	0.0175	/	/	7.19
4	0.415	0.0004	0.00116	0.000795	＜0.00009	36	6	2.5	＜0.01	＜0.004	0.554	0.000657	0.00519	＜0.00012	/	/	12.5
5	0.07	ND	ND	ND	ND	14	0.758	3.69	0.13	ND	ND	0.015	ND	/	/	/	8.32
6	0.05	ND	0.01	ND	ND	8	3.34	7.66	ND	0.007	0.02	0.02	0.038	/	/	/	8.88
7	0.00056	0.000851	0.0222	0.00107	0.00263	7	3.88	12.7	0.11	0.020	0.410	0.00332	0.00612	0.00024	/	/	12.50
8	0.00037	0.0002	0.0061	0.000278	0.00111	15	1.51	13.6	＜0.01	0.006	0.363	0.000729	0.00503	＜0.00012	/	/	12.33

9	ND	ND	ND	ND	ND	22	0.096	0.12	0.08	ND	ND	ND	0.019	/	/	/	7.96
10	0.0002	0.007	0.087	0.0001	0.006	＜4	0.01	0.16	0.001	0.002	0.0001	0.0002	0.01	/	/	/	7.55

石膏基矿井充填材料浸出液特征污染物验证试验合格率为 60%。

3.2 验证试验总体情况

表 7 验证试验总体情况

序号	项目						合格样品
	硫酸钙含量	质量浓度	凝结时间	流动性	单轴抗压强度	浸出液特征污染物	
1.	√	√	√	√	√	√	√
2.	√	√	√	√	√	√	√
3.	√	√	√	√	√	√	√
4.	√	√	√	√	√	×	×
5.	√	√	√	√	√	×	×
6.	√	√	√	√	√	√	√
7.	√	√	√	√	√	×	×
8.	√	√	√	×	√	×	×
9.	√	√	√	√	√	√	√
10.	√	√	√	×	√	√	×
总体合格率	50%						

根据标准文本的技术要求，石膏基矿井充填材料单项产品的合格率在 60%以上，整体合格率为 50%。

4 标准中涉及专利情况说明

经检索，本标准所列技术内容没有涉及专利和知识产权的情况。

5 产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效果等情况

（1）经济效益、社会效益、产业规模、推广应用、工程应用情况、预期达到的经济、社会效益；

我国工业副产石膏（磷石膏、氟石膏、脱硫石膏等）年产生量巨大，石膏基矿井充填作为大宗固废资源化、矿山绿色开采的重要技术路径，已进入产业化示范阶段。国内贵州、湖北、山西等多地矿山已开展规模化井下胶结充填工程实践，代表性项目包括贵州川恒福麟矿业半水磷石膏井下膏体充填工程、湖北大峪口化工二水磷石膏矿山充填示范工程，同时在煤矿、非金属矿山开展了石膏基充填现场试验，技术成熟度持续提升。现有工程实践证明，石膏基充填材料可替代传统水泥基充填材料，实现工业副产石膏就地消纳，完成井下采空区地压管控。

随着绿色矿山建设、大宗固废综合利用政策持续推进，石膏基矿井充填市场需求持续增长。仅磷石膏领域，矿井充填已成为磷石膏消纳的核心途径之一，贵州地区井下充填消纳量占磷石膏综合利用总量 40%以上。未来在磷矿、煤矿、非金属矿山推广应用后，每年可实现千万吨级工业副产石膏资源化消纳。本标准发布实施后，将统一产品技术要求、检验方法、批次划分、抽样及判定规则，消除工程应用技术壁垒，推动材料生产、矿山充填工程、环境监测一体化产业链发展。

石膏基矿井充填材料以工业副产石膏为主要原料，大幅减少水泥用量，充填材料综合成本较传统水泥胶结充填可降低 30%～50%。一方面矿山企业通过充填开采提高矿产资源回采率，减少永久矿柱留设，盘活“三下”压煤、压矿资源，增加矿产资源产出；另一方面化工、火电企业解决副产石膏堆存占地、堆存运维及环保治理费用，免除固废堆存相关环保成本，实现固废就地资源化利用，减少长距离固废运输费用。标准落地后，稳定产品质量，降低工程质量风险，减少井下充填返工、病害治理成本，进一步提升矿山项目整体经济效益。

社会效益方面，一是实现“一废治两害”，消纳工业副产石膏，减少固废堆存土地占用与地下水污染风险，同时对井下采空区进行充填支护，抑制围岩垮落、地表塌陷，保障矿山开采安全；二是推动矿山由传统崩落开采向绿色充填开采转型，助力绿色矿山建设；三是构建固废循环利用产业链，带动区域固废处置、充填工程、环境监测相关产业发展；四是建立充填产物污染物动态监测机制，管控井下浸出污染物环境风险，保护矿区地下水与生态环境，

实现矿产资源开发与生态保护协同发展。

CH 半水磷石膏改性胶结材料膏体充填技术成功应用于公鸡山地质环境恢复治理示范工程，项目位于贵州省福泉市道坪镇英坪村公鸡山露天磷矿采坑，由贵州川恒化工股份有限公司实施，2018 启动建设、2019 年正式投产应用，配套建设 32 万 m³/a 膏体充填系统，总投资 870 万元。目前，该项目点共综合利用了 450 万吨半水磷石膏。



图 1 福泉市道坪镇大坡槽露天坑磷石膏综合利用项目

2024 年 9 月，全国首例二水磷石膏胶结充填矿山修复项目，采用原位改性二水磷石膏制备充填浆体，浆体管道输送固结充填；充填产物浸出污染物满足Ⅰ类固废限值，设置全过程污染物监测，项目总规模可消纳磷石膏约 200 万吨。



图 2 湖北大峪口磷矿邓子冲采区地下采空区工程

（2）本标准指标的技术先进性以及本标准的发布对行业及社会发展的促进作用，即与“宜业尚品造福人类”的相关性。

本文件针对石膏基材料自身特性，建立一套适配矿井井下服役环境的完整指标体系，设置硫酸钙含量、凝结时间、流动性、单轴抗压强度四项出厂检验指标，兼顾料浆泵送施工性能与硬化体力学性能；同时设置浸出液特征污染物指标，配套梯度动态环境监测方案，兼顾质量控制与环境风险防控。区别于现有矿山充填工程类规范侧重工艺设计，本文件聚焦石膏基充填产品本身，填补石膏基矿井充填材料产品标准空白，指标体系兼顾工程实用性、环境安全性与检测经济性，技术指标匹配当前国内已落地示范工程的技术水平，指标设置科学合理，具备前瞻性与可操作性。

石膏基矿井充填产业尚处于发展阶段，本标准的发布实施，将有利于推动石膏基矿井充填产业向规模化、绿色化的方向发展，进而促进我国石膏固废的综合利用，符合行业及市场需求，有利于我国生态文明建设。石膏基矿井充填材料作为绿色低碳产品，是减少我国碳排放的重要产品，随着国家大力推动工业固废综合利用，相关技术也更加成熟，利用石膏固废代替水泥、砂石，可大大降低生产成本，减少石膏固废堆存造成的土地占用，对于节能减排、发展循环经济、建设资源节约性社会有着极其重要的社会意义。石膏基矿井充填材料秉承物尽其用、节能环保的理念，代表着建材新型产业发展方向，符合“宜业尚品，造福人类”先进理念。

6 采用国际标准和国外先进标准情况

国际和国外无石膏基材料的矿井充填标准。

7 与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调

本标准中内容均依照国内现行各类相关法律、法规、规章、标准予以要求。与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调一致。国内目前仅有一项充填材料方面的标准，为MT/T 420-1995《高水充填材料》，该标准为高水充填材料，适用于煤矿巷旁充填。石膏基矿井充填大多参考工程标准GB/T 51450-2022《金属非金属矿山充填工程技术标准》和GB/T 39489-2020《全尾砂膏体充填技术规范》，该类标准侧重工程技术规范，对充填材料的技术要求不是很全面，本标准与充填相关标准具有良好的协调性。本标准与MT/T 420-1995、GB/T 51450-2022和GB/T 39489-2020的详细比较见表8，本标准与相关标准相比适用范围更精准，指标要求更全面合理，具有明显独立性与特点，针对石膏基材料设计了多项重要指标要求，更贴合工程实际应用需求。

表8 本标准与相关标准的比较

项目	本标准	MT/T 420-1995	GB/T 51450-2022	GB/T 39489-2020	说明
适用范围	本文件适用于金属、非金属矿井采空区充填的石膏基材料。	本标准适用于煤矿巷旁充填用高水充填材料，用于煤矿其他工程的高水充填材料亦可参照使用。	本标准适用于金属非金属地下矿山充填的工程设计、生产作业和质量检测。	本标准适用于金属、非金属矿山的全尾砂膏体充填。	本标准是针对石膏基的矿井充填材料的产品标准。
定义	以胶凝材料、充填集料、水、掺合料、外加剂等制成的用于矿山充填的材料。其中半水、无水石膏基胶凝材料或水硬性胶凝材料，在物理、化学作用下，能从浆体变成坚固的石状体，并能胶结其他物料，形成有一定机械强度复合固体的物质。充填集料以二水石膏为主，在充填体中起充填和骨架作用的惰性	使用时水固比不小于2.0的水硬性充填材料称为高水充填材料。该材料含等量的甲、乙两种组分，两种组分分别加水形成单一组分浆体时，数小时不凝结，这两种浆体一旦混合，便能快速凝结、硬化。	包括充填集料、胶凝材料、水，以及改善充填料浆性能的外加剂。	以全尾砂为主要材料，配以其他骨料、胶凝材料，并与水混合而成的膏状的不分层、不沉淀、略泌水的非牛顿结构流体。	本标准与其他标准规范的充填材料使用的原料不同，本标准主要原料为石膏。

	材料。				
硫酸钙含量	≥60%	无要求	无要求	无要求	该指标为限制石膏基的充填材料。
质量浓度	≥50%	无要求	无要求	无要求	石膏基矿井充填材料既可做膏体充填也可做水力充填，因此对凝结时间的要求无法统一，故没有提出具体指标要求。 从经济成本及大宗工业副产石膏的综合利用角度，石膏基矿井充填材料不含粗集料，因此对料浆的流动性能用流动性表示，不用塌落度。 本文件针对石膏基产品特点提出了质量浓度和流动性能指标要求。
凝结时间	供需双方协商	≤20 min	无要求	≥8 h	
泌水率	无要求	无要求	无要求	1.5%～5%	
塌落度	无要求	无要求	无要求	180～260 mm	
流动性	≥160 mm	无要求	无要求	无要求	
线缩率	无要求	无要求	无要求	＜5%	流动性用于表征充填料浆流动性与可输送性能，检测便捷，适合作为产品出厂检验指标；线缩率受井下养护、采场条件影响大、试验周期长，属于工程设计管控范畴，因此本标准不设置该指标。
7d、28d单轴抗压强度	0.2～6 MPa	4.5 MPa	0～6 MPa	0.2～5 MPa	本标准给出了单轴抗压强度的指标范围，产品应用时可根据工程情况确定抗压强度要求。
屈服应力	无要求	无要求	无要求	100～200 Pa	屈服应力是充填料浆由静止转为流动

<table>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>所需的最小剪切应力，表征膏体料浆的流动阻力。料浆流动输送性能可由流动性表征，因此本标准不设置屈服应力指标。</td></tr>
<tr><td>浸出液特征污染物</td><td>磷石膏基矿井充填材料浸出液指标符合 HJ 1415 的标准要求，钛石膏基矿井充填材料浸出液指标符合 GB/T 45015 的标准要求；其他石膏基矿井充填材料浸出液指标应符合下表的规定。<table><tr><td>污染物</td><td>最高允许排放浓度</td></tr><tr><td>总汞</td><td>0.05</td></tr><tr><td>总镉</td><td>0.1</td></tr><tr><td>总铬</td><td>1.5</td></tr><tr><td>六价铬</td><td>0.5</td></tr><tr><td>总砷</td><td>0.5</td></tr><tr><td>总铅</td><td>1.0</td></tr><tr><td>总镍</td><td>1.0</td></tr><tr><td>化学需氧量</td><td>100</td></tr><tr><td>氨氮</td><td>15</td></tr><tr><td>氟化物</td><td>10</td></tr><tr><td>磷酸盐（以 P 计）</td><td>0.5</td></tr><tr><td>总铜</td><td>0.5</td></tr><tr><td>总锌</td><td>2.0</td></tr><tr><td>pH 值</td><td>6～9</td></tr></table></td><td>无要求</td><td>无要求</td><td>无要求</td><td>从环保的角度，本标准创新提出对浸出液特征污染物的要求。</td></tr>
</table>

8 重大意见分歧的处理依据和结果

无。

9 标准性质的建议说明

建议《石膏基矿井充填材料》作为推荐性产品标准发布实施。

10 贯彻标准的措施建议

建议在本标准正式出台后，各生产厂家、科研单位、检测机构以及地方管理部门能够依据本标准中的相关规定对石膏基矿井充填材料进行统一的评价和管理。具体实施措施建议如下：

（1）加大标准宣传力度，提高认知度，建立信息公共平台，将有参考价值的案例、好的做法和经验等在行业内部公开发布，引起有关部门领导和相关企业单位的重视，使相关单位能够积极主动的购买标准和资料、参加培训、结合本单位实际情况学习研究标准并准备贯彻实施标准。

（2）标准归口单位进行贯标指导，组织标准宣贯培训班，由标准制定人员主讲。设立专门的答疑或咨询部门或网站，为贯标企业排忧解难，组织有关人员积极参加行业协会组织的各项活动，培训班等。及时了解标准制、修订信息。

（3）鼓励行业相关企业成立标准贯彻实施小组，组员由标准化技术人员、产品主管设计人员、工艺主管设计人员、检验人员、车间技术人员等工作人员组成，进行明确的分工合作，适时组织标准宣贯会，使有关人员拥有标准、了解标准、熟悉标准，执行标准。产品主管设计人员、工艺主管设计人员、检验人员、车间技术人员、操作人员均须按照细则要求进行相应工作。

（4）标准化技术人员全面负责贯标实施工作，跟踪服务对贯标中出现的技术问题进行协调处理作好贯标记录，并进行长期监督检查工作。

（5）尤其要向矿井充填设计施工行业加大宣传力度，促进矿井充填施工行业采用石膏基充填产品。

11 废止现行有关标准的建议

无。

12 其他应说明的事项

无。