

中国化学矿业协会团体标准

T/HSK0004-2025

磷石膏充填采矿技术规范

Technical specification for phosphogypsum filling

(报批稿)

20YY-MM-DD 发布

20YY-MM-DD 实施

中国化学矿业协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 充填材料	4
5 充填试验	5
6 充填系统设计	6
6.1 充填制备站选址和平面布置	6
6.2 原材料给料系统	6
6.3 充填料浆搅拌制备	7
6.4 充填料浆输送	7
6.5 充填系统智能控制	8
6.6 充填系统安全设施	9
7 充填作业	9
7.1 充填准备	9
7.2 充填作业	10
7.3 充填质量检测	10
8 区域水质监测	11
参考文献	12

前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第一部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由云南磷化集团有限公司提出。

本文件由中国化学矿业协会标准化委员会归口。

本文件起草单位：云南磷化集团有限公司、中国化学矿业协会、贵州磷化（集团）有限责任公司、湖北兴发化工集团股份有限公司、德阳昊华清平磷矿有限公司、湖北宜安实业有限责任公司、河北省矾山磷矿有限公司、中蓝长化工程科技有限公司、四川龙蟒磷化工有限公司、新洋丰农业科技股份有限公司、贵州福麟矿业有限公司。

起草人：王宗勇、李锡斌、罗朋志、杜家海、杨步雷、李防、左海军、王光明、马晓博、丁红霞、段峰、王良杰、李子军、王孟来、李树建、袁明礼、高远、赵雨、田春满、张剑、高本铭、吕书平、黄柯、何丰、付兴全、彭世刚、张润。

磷石膏充填采矿技术规范

1 范围

本文件规定了磷石膏充填采矿的充填材料、充填试验、充填系统设计、充填作业和磷石膏充填水质监测的技术要求。

本文件适用于采用磷石膏或半水磷石膏进行矿山充填采矿。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰

GB/T 6678 化工产品采样总则

GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准

GB/T 23456 磷石膏

GB/T 26751 用于水泥和混凝土的粒化电炉磷渣粉

GB 50771 有色金属采矿设计规范

GB/T 51450 金属非金属矿山充填工程技术标准

HJ 488 水质 氟化物的测定 氟试剂分光光度法

HJ 557 固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法

HJ 670 水质 磷酸盐和总磷的测定 连续流动-钼酸铵分光光度法

HJ 1147 水质 pH值的测定 电极法

HJ 1415 磷石膏利用和无害化贮存污染控制技术规范

JC/T 479 建筑用生石灰

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 矿山充填 mine backfill

采用充填材料对地下采空区充填的作业过程。

[来源：GB/T51450-2022，2.0.1]

3.2 磷石膏 phosphogypsum

湿法磷酸生产时的副产品，主要化学成分为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。

3.3 半水磷石膏 **hemihydrate phosphogypsum**

半水法磷酸生产时的副产品，主要化学成分为 $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ 。

3.4 充填材料 backfill material

包括充填集料（3.5）、胶凝材料（3.6）、水，以及改善充填料浆性能的外加剂。

[来源：GB/T51450-2022，2.0.2]

3.5 充填集料 fill aggregate

充填体（3.9）中起填充和骨架作用的材料。

[来源：GB/T51450-2022，2.0.3]

3.6 胶凝材料 binder

在物理、化学作用下，能从浆体变成坚固的石状体，并能胶结其它物料，形成有一定机械强度复合固体的物质。

[来源：GB/T51450-2022，2.0.8]

3.7 粉煤灰 fly ash

电厂煤粉炉烟道气体中收集的灰末。

注：粉煤灰不包括以下情形：（1）和煤一起煅烧城市垃圾和其他废弃物时；（2）在焚烧炉中煅烧工业或城市垃圾时；（3）循环硫化床锅炉燃烧收集的粉末。

[来源：GB/T1596-2017，3.1]

3.8 充填料浆 backfill slurry

充填集料（3.5）、胶凝材料（3.6）等与水的混合物。

[来源：GB/T51450-2022，2.0.9]

3.9 料浆配比 the mixing ratio of slurry

充填料浆（3.8）中各种固体物料的质量比例。

[来源：DB52/T1179-2017，3.4]

3.10 料浆质量浓度 slurry concentration

固体物料在整个充填料浆（3.8）中的质量百分比。

[来源：DB52/T1179-2017，3.5]

3.11 充填体 backfill

充填料浆（3.8）经过脱水、固结、硬化等过程形成的固体物或散体物。

[来源：GB/T51450-2022，3.0.13]

3.12 充填倍线 the pipe length-backfilling depth ratio

充填制备站到充填工作面的管线总距离与充填制备站到充填工作面的总高差的比值。

[来源：T/CIECCPA008-2024，3.5]

3.13 充填系统 backfill system

用于采集、加工、贮存充填材料,制备成充填料浆（3.8）,输送至采空区的设备、设施、构筑物的总称。

[来源：GB/T51450-2022，2.0.17]

3.14 充填作业点 Filling operation location

充填料浆（3.8）输送到达的最后作业地点。

[来源：T/CIECCPA008-2024，3.8]

3.15 充填泌出水 backfilling bleeding

充填料浆（3.8）进入充填区域养护固化后从料浆中溢出的多余水。

[来源: DB52/T1179-2017, 3.7]

3.16 充填渗滤水 backfilling leachate

流经充填体(3.11)的地下水和从充填体中泌出水的总称。

[来源: DB52/T1179-2017, 3.8]

3.17 充填体强度 backfill strength

充填体(3.11)抵抗外力时保持自身不被破坏的极限应力。

[来源: GB/T51450-2022, 2.0.16]

4 充填材料

4.1 磷石膏充填充填材料以湿法磷酸副产磷石膏-半水磷石膏为主, 辅以其他充填充粗骨料、胶凝材料、碱性激发剂、外加剂及拌合水组成。

4.2 充填充集料宜采用尾砂、废石等矿山固体废弃物或一般工业废弃物, 按照 HJ557 规定方法获得的浸出液中氨氮、化学需氧量、总铅、总镉、总砷、总汞和总铬的浓度应满足 GB18599 中界定的第I类一般工业固体废物的要求。

含硫量超过 8%, 有机质含量超过 0.5% (干基重量百分比) 的集料不宜用于胶结充填。

4.3 磷石膏、半水磷石膏应以每批次不超过 3000t, 每批抽样数量不少于 3 个, 进行 pH 值、水溶性 P_2O_5 、水溶性 F⁻、氨氮、化学需氧量、总铅、总镉、总砷、总汞和总铬检测。检测结果取 3 个试样的算术平均值, pH 值、水溶性 P_2O_5 、水溶性 F⁻ 试验结果作为调整碱性激发剂的种类和添加量的依据; 氨氮、化学需氧量、总铅、总镉、总砷、总汞和总铬试验结果应符合 4.2 的要求。

4.4 充填充粗骨料可根据矿山情况选择是否采用, 宜采用粒度在 5mm~300mm 以内的碎石或其他固体废弃物, 其添加体积比例一般不超过磷石膏的 120%。

4.5 胶凝材料宜采用普通硅酸盐水泥、半水磷石膏、粉煤灰、粒化电炉磷渣粉, 也可根据工程需求选用特种水泥。粉煤灰质量应符合 GB/T 1596 的要求, 粒化电炉磷渣粉质量应符合 GB/T26751 的要求。

4.6 碱性激发剂为必需添加剂, 碱性激发剂与磷石膏中的游离酸和水溶性磷、氟等杂质反应生成不溶或难溶物质, 去除其酸性和水溶性杂质。碱性激发剂宜采

用生石灰，生石灰质量应符合 JC/T 479 的要求。

4.7 外加剂根据需要选择早强剂、减水剂、泵送剂等其中的一种或多种，适量添加。

4.8 拌合用水宜采用矿坑水或选矿尾水。拌合用水 pH 值应不小 5， SO_4^{2-} 不得超过 2700mg/L。拌合水采用同一水源时应每年检测 1 次成分和 pH 值。

5 充填试验

5.1 充填系统建设方案初步设计前应完成充填材料试验。充填材料变更应重新进行相应的充填材料试验。

5.2 充填试验宜参照 GB/T51450 的方法进行。

5.3 充填采用的磷石膏、半水磷石膏应进行化验，试样应具有代表性，采样应按照 GB/T 6678 的方法执行。重点化验项目为 pH 值、水溶性五氧化二磷(P_2O_5)、水溶性氟离子(F^-)，以确定碱性激发剂的添加量。pH 值、水溶性五氧化二磷(P_2O_5)、水溶性氟离子 (F^-) 的试验方法应按照 GB/T 23456 执行。

5.4 磷石膏胶结充填可选充填料配比为水泥:粉煤灰:磷石膏=1:1:2~1:1:10，常用配比范围为 1:1:6~1:1:8。矿山在选择充填料配比时，应首先依据充填体所需强度（如 3d、7d、28d 单轴抗压强度指标）、采空区地质条件（围岩稳定性、采深等）确定基础配比范围，再结合降低充填成本、简化制备工艺的原则进行优化。

5.5 充填试验充填体在自然条件下养护 28d 后，单轴抗压强度范围为 0.5MPa~5 MPa。针对不同矿山特点和充填体强度要求，矿山可根据实际情况选择充填料配比及料浆浓度。

5.6 充填泌出水应进行 pH 值、磷酸盐（以 P 计）、氟化物、氨氮、化学需氧量、总铅、总镉、总砷、总汞和总铬监测，其试验结果应符合 HJ 1415 要求。

5.7 充填试验应做充填体毒性浸出试验，按照 HJ557 规定方法获得的浸出液中氟化物、磷酸盐（以 P 计）、氨氮、化学需氧量、总铅、总镉、总砷、总汞和总铬的浓度应满足 GB18599 中界定的第 I 类一般工业固体废物的要求。

5.8 充填试验应得到充填料配比、充填料浆比重、充填料浆质量浓度、扩散度、凝结时间、泌水率等设计参数。料浆比重宜控制在 1.38~1.42，pH 值 ≥ 8 ；料浆

的质量浓度宜 $\geq 48\%$ ；自流输送时充填料浆的扩散度宜控制在 440mm~780mm，加压泵送时充填料浆的扩散度宜控制在 350mm~420mm；充填料浆的凝结时间：初凝时间宜大于 8h，终凝时间宜小于 16h；充填料浆的泌水率宜控制在 20%~50%。

6 充填系统设计

6.1 充填制备站选址和平面布置

6.1.1 充填站设计充填能力宜参照 GB/T 51450 方法计算,并适当考虑增大充填能力的空间。

6.1.2 充填制备站选址宜位于开采移动带之外,避开地表岩石移动范围和其他不稳定区域。

6.1.3 充填制备站选址宜充分利用地形坡度,方便充填集料、凝胶材料运输,充填料浆输送和稳定的水、电供应,宜采用双回路供电。

6.1.4 充填制备站宜集中布置,当矿体走向长度大或多矿体分散时,可采用分散布置。

6.1.5 充填制备站场地应进行工程地质勘察。

6.2 原材料给料系统

6.2.1 原材料给料系统包括充填集料贮存和输送系统、胶凝材料贮存和输送系统、其他添加材料贮存和输送系统、拌合水贮存和输送系统。

6.2.2 胶凝材料宜采用仓式贮存,含干粉料的料仓顶部应安装除尘装置。

6.2.3 料仓设计应按 GB 50771 的有关规定执行。

6.2.4 料仓应有避免仓内蓬料的设施。

6.2.5 拌合用水宜采用高位水池贮存。

6.2.6 给料系统应具有计量和输送功能,严格按设计配比精准给料,宜采用双螺旋给料机和单螺旋计量秤,宜采用变频速控装置。

6.3 充填料浆搅拌制备

6.3.1 将充填集料、胶凝材料、碱性激发剂、拌合水和外加剂应按设计配比送入搅拌机中均匀混合，不应采用难以打散的物料进行膏体制备。

6.3.2 充填料浆搅拌宜采用两段连续搅拌流程，宜采用卧式-卧式联合搅拌或卧式-立式联合搅拌，二段搅拌宜采用高速活化搅拌机。

6.3.3 充填搅拌装置的有效容积应满足 2min~5min 的输送流量，搅拌机料位宜控制在搅拌筒高度的 2/3~3/4 处，卧式搅拌装置的搅拌料位宜不低于传动轴轴心位置。

6.3.4 制备好的膏体或浆体料浆浓度超出设计最大值的 1%或少于设计最小值的 2%时，应及时调整浓度。

6.3.5 制备好的料浆应通过安装磁吸装置网格尺寸 30mm 的滚筒筛系统，将大颗粒及铁属性杂物筛除，防止堵管。

6.4 充填料浆输送

6.4.1 充填料浆输送应优先采用自流的输送方式，在无法满足自流输送条件时采用加压泵送方式。

6.4.2 充填倍线小于 6 且浆体本身因高差所具有的势能大于输送阻力损失的 1.2 倍时，宜采用自流输送的方式；充填倍线大于 6 或浆体本身因高差所具有的势能小于输送阻力损失的 1.2 倍时，应采用加压泵送的输送方式。

6.4.3 输送管道的重力势能和输送阻力应按 GB/T 51450 方法计算。

6.4.4 自流输送时，管道内充填料浆的流动速度应大于浆体的临界流速，宜在 3m/s~3.5m/s；加压泵送时，管道内充填料浆的流动速度应在经济流速范围，宜在 1.2m/s~1.8m/s。

6.4.5 充填管道的内径需与充填能力匹配，保障充填料浆的流速稳定。宜根据下式计算充填管道内径 D_1 ：

$$D_1 = \sqrt{\frac{4Q_h}{\pi v}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Q_h —充填系统小时充填能力， m^3/h ；

v —管道工作流速， m/h 。

6.4.6 管道壁厚根据管道承压计算，受内压直管的厚度计算公式为：

$$t_s = \frac{P \cdot D_0}{2([\sigma]^t E_j + P \cdot Y)} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

t_s ——直管计算厚度，mm；

P——设计压力；取管道最大承压的 1.5 倍，MPa；

D_0 ——管道外径，取无缝钢管常用的外径系列，mm；

$[\sigma]^t$ ——在设计温度下材料的许用应力，16Mn 耐磨无缝钢管，室温下许用应力为 163MPa；

E_j ——焊接接头系数，无缝钢管取 0.9；

Y——温度修正系数，取 0.4。

6.4.7 不同区段充填管道选型应符合下列规定：

- a)主充填管竖直段和孔底弯管宜采用双金属复合管或耐磨性能不低于双金属复合管的其他管材，宜在弯管处设计增大直径的缓冲管；
- b)主充填管水平段宜采用耐磨无缝钢管或共挤耐磨层增强塑料复合管等耐磨管材；
- c)临近采空区的充填管宜采用钢编复合管或聚乙烯塑料管等。

6.4.8 管道敷设应符合下列规定：

- a)主充填管应不设在提升井内，宜采用充填钻孔方式，充填钻孔应按 GB 50771 规定执行。服务年限长的大型矿山宜设专用充填井。
- b)充填料浆管道及下料口应固定牢靠，远距离输送宜增设排气阀。
- c)充填管道连接件耐压等级应不低于连接管耐压等级，充填井套管宜采用焊接和管箍连接，不经常拆卸的管段宜采用法兰盘连接或焊接，经常拆卸且易堵的管段宜采用快速接头。

6.4.9 采用深井管道输送且水平输送距离较短时，应采取减压或消能措施。

6.5 充填系统智能控制

6.5.1 充填系统应具备自动监测、自动控制、自动报警功能，宜设集中控制室。关键设备宜配套视频监控设备。

6.5.2 充填系统应对供料仓料位、水池水位、搅拌装置料位自动监测、自动控制。

6.5.3 充填系统应对充填集料、胶凝材料、搅拌水、碱性激发剂和其他添加剂计量进行自动监测和控制。

6.5.4 充填系统应对充填料浆浓度、充填料浆流量、调浓水流量、泵送压力进行自动监测和控制。

6.5.5 充填钻孔底部管道、主管道等关键位置宜进行压力自动监测。

6.5.6 充填设备发生故障时，应能够自动报警。

6.6 充填系统安全设施

6.6.1 充填制备站应配备事故池及事故泵送系统，事故池有效容积宜不小于 2h 充填料浆量。在智能化控制系统（具备实时监测、自动报警、快速切断进料等功能）保障下，事故池有效容积宜不小于 15min 充填料浆量，且应不小于 10m³。

6.6.2 充填制备站应配置用于清洗管路的静压水源。

6.6.3 充填钻孔底部应设置应急排料装置和事故池。事故池有效容积不宜小于主充填管道总体积。

6.6.4 主充填管道沿线宜布设应急水源。

7 充填作业

7.1 充填准备

7.1.1 充填前应编制充填计划，计划内容包括：

- a)应绘制采空区实测图及相邻采场工程实测图；
- b)应计算采空区总充填量、充填次数和单次充填量；
- c)应编制充填管路、封闭挡墙、脱水、接顶等施工方案；
- d)应编制安全事故处理预案。

7.1.2 充填作业前应预先清除采空区及周边巷道浮石、架设充填管、预设充填滤水管和构筑封闭挡墙。

7.1.3 封闭挡墙应设在采空区进路的围岩稳固地段。封闭挡墙构筑方式宜采用金

属构件装配式、混凝土挡墙、砖砌挡墙或木挡墙。封闭挡墙参数和分次充填高度应通过力学计算确定。

封闭挡墙构筑完成后，封闭挡墙与周边围岩接触处应做防漏浆处理。

7.1.4 充填管道应采取措施紧固，其出料口宜位于空区相对较高位置。充填管悬挂应尽量平直，减少拐弯，应不反向悬挂。

7.1.5 空场嗣后充填宜采用滤水管脱水，数量宜不少于 2 条；分层充填或进路式充填宜采用脱水管、滤水挡墙、滤水井等脱水方式。脱水管布设位置应远离充填料浆下料口。

7.1.6 充填区应设置沉淀池，收集充填作业渗滤水。

7.2 充填作业

7.2.1 充填开始前应检查电力供应情况、设备完好情况和人员到位情况。

7.2.2 充填开始前应对充填管道引流。

7.2.3 充填制备站与充填工作面之间通信应畅通。

7.2.4 充填作业时应对管路和封闭挡墙进行巡视，发现漏浆、跑浆等异常情况及时处理。

7.2.5 充填作业完毕后应对充填管道进行清洗。

7.2.6 引流水、清洗水、充填渗水应通过排水沟排放至集水仓。

7.2.7 充填宜接顶。充填接顶宜多点、多次下料，充填料浆下料口和排气管进气口应设置在采空区顶板高处。

7.2.8 充填接顶方式宜采用加压泵压注料浆、膨胀充填材料等。

7.3 充填质量检测

7.3.1 充填料浆的质量浓度宜采用在线自动监测，当偏离设计范围的上下限时，应及时调整至设计范围。

7.3.2 充填料浆流量偏差应控制设计值的 $\pm 10\%$ 范围内，当超出该范围时应及时调整至设计值。

7.3.3 充填作业中充填制备站每班充填料浆应取样浇注试模不少于 3 个，并应对浇注充填体试件进行规定龄期单轴抗压强度试验。养护龄期为 3d 的充填体单轴抗压强度连续 3 班低于指标时，应调整充填料配比参数。连续 3d 均达到指标要

求，可 3d 充填料浆应取样浇注试模不少于 3 个，并应对浇注充填体试件进行规定龄期单轴抗压强度试验。

7.3.4 采场充填体应进行质量检测，质量检测、取芯试件的平均强度和标准差计算应按 GB/T51450 规定执行。

7.3.5 充填渗滤水检测频率按每天一次，进行 pH 值、磷酸盐（以 P 计）、氟化物检测。试验结果应符合 HJ1415 要求。

7.3.6 充填产物应留校进行毒性浸出试验，采样数量、监测频次、浸出方法、浸出液特征污染物控制指标应按 HJ1415 规定执行。

8 区域水质监测

8.1 在与充填区域相同的水文地质单元（含地层岩性、含水层类型、地下水埋深等）内，选取距离充填区 $\geq 1000\text{m}$ 且无磷石膏堆积、无采矿活动影响的区域，设置 3 处及以上对照监测点，连续监测 3 个水文期（丰、平、枯水期），取其平均值作为该地区水质背景值。

8.2 充填工程应结合现有设施合理布设地下水监测井。地下水监测井布设位置、布设数量、监测频次、监测因子应符合 HJ1415 的规定。

参考文献

- DB52/T1179-2017 磷矿开采磷石膏充填采矿技术规范
Q/CHHG17-2023 半水磷石膏基膏体充填技术规范
T/CIECCPA008-2024 磷石膏综合利用矿山充填技术规程
-