



中华人民共和国国家标准

GB/T 39489—2020

全尾砂膏体充填技术规范

Technical specification for the total tailings paste backfill

2020-11-19 发布

2021-10-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国黄金标准化技术委员会(SAC/TC 379)提出并归口。

本标准起草单位:北京科技大学、中国恩菲工程技术有限公司、中南大学、飞翼股份有限公司、北京金诚信矿山技术研究院有限公司、长春黄金研究院有限公司、山东黄金矿业科技有限公司、伽师县铜辉矿业有限责任公司、贵州川恒化工股份有限公司、中国有色矿业集团有限公司、金川集团股份有限公司。

本标准主要起草人:吴爱祥、王勇、王洪江、王贻明、尹升华、王少勇、周勃、李翠平、朱瑞军、陈秋松、张泽武、王先成、严鹏、齐兆军、杨锡祥、李子军、胡国斌、王玉山、黄士兵、王国立、寇云鹏、周发陆、王佳才、李剑秋。



全尾砂膏体充填技术规范

1 范围

本标准规定了全尾砂膏体材料构成与储存要求、全尾砂膏体充填工艺要求、全尾砂膏体充填技术要求及其检测方法。

本标准适用于金属、非金属矿山的全尾砂膏体充填。

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 8978 污水综合排放标准
- GB 18599 一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
- GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准
- GB/T 50123 土工试验方法标准
- HJ 943 黄金行业氰渣污染控制技术规范
- JGJ/T 70 建筑砂浆基本性能试验方法标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

全尾砂 total tailings

金属、非金属矿山进行矿石选别后排出的未经分选的全粒级尾砂。

3.2

胶凝材料 cementitious materials

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，制成有一定机械强度的复合固体的物质。

3.3

质量浓度 mass concentration

固体质量占固体与液体质量之和的百分比，表示成式(1)：

$$C_m = \frac{m_s}{m_s + m_w} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- C_m —— 质量浓度；
- m_s —— 固体质量，单位为千克(kg)；
- m_w —— 液体质量，单位为千克(kg)。

3.4

塌落度 slump

自重状态下,膏体自然塌落的最终高度与塌落度筒高度的差值。

3.5

屈服应力 yield stress

膏体从静止状态变化到流动状态需克服的临界剪切应力。

3.6

泌水率 bleeding rate

析出水量与料浆用水的质量百分比。

3.7

絮凝剂 flocculant

带有正(负)电性的基团和水中带有负(正)电性的难于分离的一些粒子或者颗粒相互靠近,降低其电势,使其处于不稳定状态,并利用其聚合性质使得这些颗粒集中,并通过物理或者化学方法分离出来的药剂。

3.8

充填倍线 stowing gradient

充填管路总长度与充填管路起止口的垂直高差之比,表示成式(2):

$$N = \frac{L}{H} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

N —— 充填倍线;

L —— 充填管路的总长度,单位为米(m);

H —— 充填管路起止口的垂直高差,单位为米(m)。

3.9

充填挡墙 filling-retaining wall

使膏体料浆密闭在指定充填区域内所构筑的墙体或密封体。

3.10

引流水 lubricating water

采场充填前后用于清洗管道、起到牵引膏体和降低输送阻力的生产用水。

3.11

洗管水 flushing water

采场充填完毕用于清理管道遗留充填料浆和杂物的生产用水。

3.12

全尾砂膏体 total tailings paste

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。

3.13

膏体充填 cemented paste backfill

在外力或自重作用下,将膏体充填料浆输送到井下进行采空区充填的过程。

3.14

膏体凝结时间 paste setting time

充填物料加水拌和起,至膏体完全失去塑性并开始产生强度所需的时间。

3.15

单轴抗压强度 uniaxial compressive strength

充填体在单向受压至破坏时,单位面积上所能承受的荷载。

3.16

线缩率 linear shrinkage ratio

养护时间为 0 天时充填体高度减去养护时间 28 天时高度后,再除以养护时间为 0 天时充填体高度所得的值,表示成式(3):

$$\gamma = \frac{h_0 - h_{28}}{h_0} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

γ ——线缩率;

h_0 ——养护时间为 0 天时充填体高度,单位为毫米(mm);

h_{28} ——养护时间为 28 天时充填体高度,单位为毫米(mm)。

4 全尾砂膏体材料构成与储存要求

4.1 全尾砂膏体材料构成

4.1.1 膏体材料通常由全尾砂、骨料、胶凝材料、外加剂和水构成。

4.1.2 全尾砂粒径组成中小于 20 μm 的尾砂含量应大于 15%。

4.1.3 胶凝材料应采用水泥、其他部分或全部替代水泥的具有胶凝作用的材料。

4.1.4 骨料分为粗骨料和细骨料,粗骨料粒径范围应在 4.75 mm~20 mm;细骨料粒径范围应在 0.075 mm~<4.75 mm。

4.1.5 外加剂一般包括絮凝剂、泵送剂、减水剂和早强剂等。

4.2 全尾砂膏体原材料储存

4.2.1 储存设施

全尾砂膏体原材料储存设施应满足下列要求:

- a) 全尾砂宜采用浓密机或砂仓短期存储;
- b) 胶凝材料应采用仓式存储;
- c) 粗骨料应采用仓式存储或者地面堆存;
- d) 粉状外加剂应采用仓式存储,液体外加剂应采用罐装储存。

4.2.2 储存条件

膏体原材料储存条件应满足下列要求:

- a) 全尾砂储存设施环境温度应大于 0 $^{\circ}\text{C}$,否则应采取保温措施;
- b) 水泥和粉状外加剂应密封存储,防止受潮;
- c) 骨料储存应进行顶部遮挡,防止雨雪天气造成骨料含水量变化。

5 全尾砂膏体充填工艺要求

5.1 全尾砂膏体充填工艺流程

5.1.1 全尾砂膏体充填按照图 1 所示的典型工艺流程实施。

5.1.2 全尾砂膏体充填典型工艺流程包括必选项和可选项,在必选项的基础上,应结合矿山实际情况按需选择其他工艺流程及其仪器设备等。

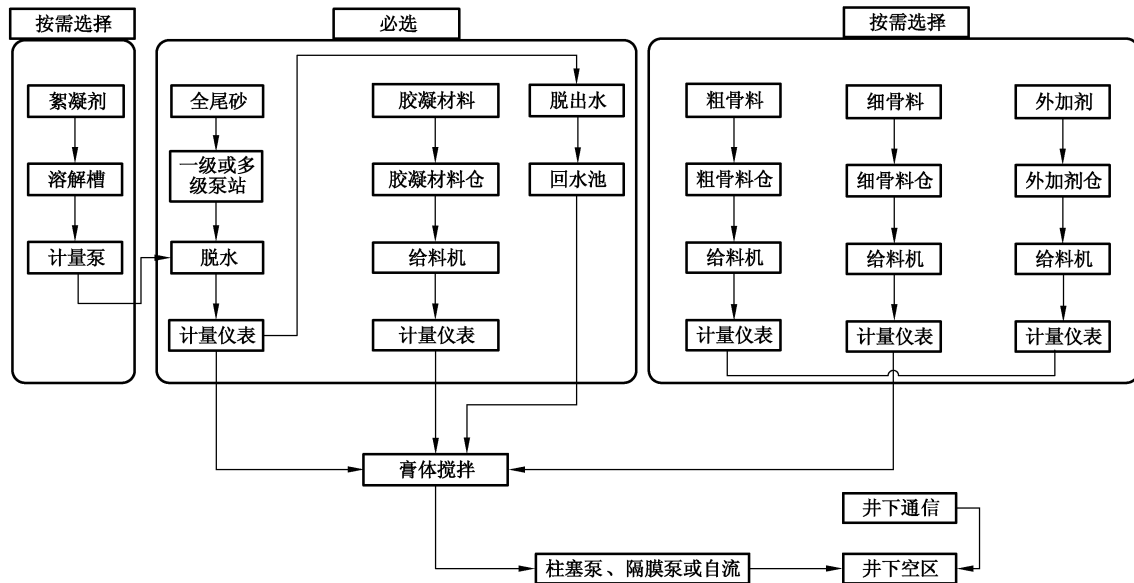


图 1 全尾砂膏体充填典型工艺流程图

5.2 全尾砂脱水

5.2.1 全尾砂脱水应采用重力浓密和机械压滤两种方式。

5.2.2 重力浓密设备应采用立式砂仓、普通耙式浓密机、高效浓密机或深锥浓密机,底流浓度范围应满足膏体制备要求。

5.2.3 浓密机内应添加絮凝剂,添加前 4 h~12 h 开始配置絮凝剂溶液,质量浓度应控制在 0.1%~1%,宜经二次稀释至 0.01%~0.1%。

5.2.4 全尾砂料浆入料稀释浓度、絮凝剂溶液浓度、底流浓度、处理能力、设备选型等应通过静态及动态沉降实验确定。

5.3 全尾砂膏体搅拌制备

5.3.1 将浓密全尾砂、骨料、胶凝材料、水及外加剂按照配比送入搅拌机中均匀混合,不应采用难以打散的物料制备膏体。

5.3.2 输送至搅拌槽的所有物料应严格定量控制,搅拌机料位应高于搅拌叶片的 1/2 处。

5.3.3 制备好的膏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,应及时调整至目标浓度范围。

5.3.4 膏体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。

5.4 全尾砂膏体管道输送

5.4.1 膏体管道输送流速应控制在 1 m/s~2 m/s,输送管道内径应控制在 100 mm~200 mm。

5.4.2 充填料浆管道输送宜采取定浓度、定流量的输送方式。

5.4.3 充填系统减阻应采取增加管道直径、添加外加剂、调整充填配比、降低输送浓度等措施。

5.4.4 根据式(4)计算系统重力势能,当系统重力势能大于系统沿程阻力损失的 1.2 倍时,宜采用自流输送方式。膏体能否自流输送应严格按照沿程阻力计算来判定,充填倍线可作为参考,但不应作为能否

自流的判定依据。

$$P = \rho gh \dots\dots\dots (4)$$

式中：
P —— 充填位置到采场的系统重力势能，单位为帕(Pa)；
ρ —— 膏体料浆密度，单位为千克每立方米(kg/m³)；
g —— 重力加速度，单位为牛每千克(N/kg)；
h —— 系统垂直高差，单位为米(m)。

5.4.5 宜采用活塞泵进行泵压输送，额定泵压应为系统沿程阻力与系统重力势能之差的 1.2 倍以上，且能克服充填站至充填钻孔之间所需的管道阻力。

5.4.6 管道铺设前，应分析管道压力分布，为确保膏体在管道出口良好的流动性，充填采场处压力宜设定为 0.5 MPa，管道某一位置的承压 P₃，由式(5)确定：

$$P_3 = | L \times P_1 + 0.5 - P_2 | \dots\dots\dots (5)$$

式中：
P₃ —— 管道某一位置承压，单位为帕(Pa)；
L —— 管道某一位置与采场距离，单位为米(m)；
P₁ —— 管道某一位置至采场摩阻损失，单位为帕每米(Pa/m)；
P₂ —— 管道某一位置至采场的系统重力势能，单位为帕(Pa)。

5.4.7 井下管道敷设在顶板时，应采用锚杆、钢绳悬挂；敷设在巷道底板时，主干管道应有管道支架。

5.4.8 管道实际承压能力应为式(5)计算值的 1.5 倍以上，管道选型遵循以下原则：

- a) 宜采用双金属复合管、双层耐磨锰钢管或贝氏体管道作为充填钻孔中的充填管；
- b) 宜采用缓冲壶或双金属复合弯管作为充填钻孔底部的充填管；
- c) 宜采用耐磨无缝钢管作为主充填管路中的充填管；
- d) 宜采用普通无缝锰钢管、钢编管作为充填道和充填小井至出矿分层道的充填管；
- e) 宜采用聚乙烯增强塑料管、钢编管作为一次性使用的充填进路中的充填管。

5.4.9 充填管道连接方式：

- a) 充填钻孔套管的连接宜采用管箍接头；
- b) 不需经常拆卸且不经常发生堵管的管段的连接宜采用法兰盘接头；
- c) 中段间充填钻孔深度不超过 100 m 套管的连接宜采用焊接接头；
- d) 需经常拆卸且易发生堵管的管段的连接宜采用快速接头。

5.5 全尾砂膏体采场充填

- 5.5.1 应确保充填站水、电、气路通畅，并制定充填计划。
- 5.5.2 充填作业前应做好地表设备、井下管路及采场的准备工作，准备妥当后再进行充填作业。
- 5.5.3 充填采场附近应设置沉淀池，用于引流水和洗管水的排放。
- 5.5.4 矿石清理完毕后，应在采场所有出口架设充填挡墙，宜采用密封性好、可重复利用、制作快捷的不脱水挡墙，周围围岩破碎时，应对破碎严重的岩层进行喷射混凝土处理，防止充填料外泄污染环境。
- 5.5.5 应在采场附近架设充填管道，连通井下主干管道，通向待充采场。
- 5.5.6 充填过程中，应保证管路及采场有人巡视，搅拌站内操作人员应监测管路上的压力表及站内仪表监控运行状况。
- 5.5.7 充填过程中，应保证地表充填站和井下的通信畅通。
- 5.5.8 到达采场的膏体料温度宜大于 10 ℃，确保良好的水化反应和凝结性。
- 5.5.9 充填作业完毕以后，应进行设备及管路的清洗工作。
- 5.5.10 采场充填应注意以下其他事项：

- a) 井下管道阀门处于关闭状态,地面输送引流水灌满管道,检查无问题后开始输送膏体。
- b) 充填过程遇有故障停止充填时,管道料浆停留时间不应超过 4 h,具体时间应根据膏体料中水泥添加量以及实际凝结时间而定。
- c) 流动性较好的膏体料浆,宜单点自然排入充填区;流动性较差的膏体料浆或者尺寸较长的采场,应采用多点充填。
- d) 应根据力学计算和经验数据确定合理的一次充填高度,待充填料浆表面超过挡墙 2 m 以上并凝固具有强度后,应根据现场实际情况加大单次充填高度或连续充填。
- e) 在采空区即将充满时,应注意充填压力过大造成浆体喷射事故。
- f) 充填过程中每班应取样检测充填料浆浓度,浓度检测宜采用烘干法,并取样制作试块检测充填体强度,充填体强度应满足设计或采矿工艺要求。
- g) 充填结束时,应采用大流量洗管水冲洗管道,洗管时间应大于 30 min。管道冲洗应使用洁净水,冲洗不锈钢、镍及镍合金管道时,水中氯离子含量不得超过 25×10^{-6} ,洗管水流速不低于 1.5 m/s,冲洗管道的截面积不小于被冲洗管道截面积的 60%。

5.6 全尾砂膏体充填自动控制

5.6.1 自动控制目标包括下述内容:

- a) 应对膏体充填物料供给、流量大小、设备启停等进行自动控制;
- b) 应对膏体充填过程中的故障发出报警。

5.6.2 工艺检测与控制内容包括下述内容:

- a) 宜对水泥仓、骨料仓、外加剂仓、水仓等的料位进行检测与监控,并实行料位下限报警;
- b) 应对尾砂給料浓度、給料流量及浓密机放砂浓度、放砂流量进行检测;
- c) 应对尾砂、骨料、水泥、外加剂与水等实现定量控制与配比计算;
- d) 宜采用料位传感器和摄像头联合监测搅拌机液位,宜通过增减給料量和充填泵流量控制实现液位动态平衡;
- e) 应对输送泵出口处的膏体浓度、流量进行检测和控制。

6 全尾砂膏体充填技术要求及其检测方法

6.1 全尾砂膏体充填技术指标应符合表 1 的规定。

表 1 全尾砂膏体充填技术指标范围值

名称	泌水率 %	塌落度 mm	屈服应力 Pa	凝结时间 h	单轴抗压强度 MPa	线缩率 %
技术指标	1.5~5	180~260	100~200	>8	0.2~5	<5

6.2 全尾砂膏体检测应采用如下方法:

- a) 按照 GB/T 50123 的规定测试全尾砂相对密度;
- b) 按照 GB/T 50123 的规定测试全尾砂粒级组成;
- c) 按照 JGJ/T 70 的规定测试膏体料浆密度;
- d) 按照 GB/T 50123 的规定测试膏体料浆质量浓度;
- e) 按照 GB/T 50080 的规定测试膏体料浆泌水率;
- f) 按照 GB/T 50080 的规定测试膏体料浆塌落度;

- g) 全尾砂膏体料浆的屈服应力测试方法见附录 A;
 - h) 按照 GB/T 50080 的规定测试膏体凝结时间,贯入阻力达到 0.5 MPa 即为膏体凝结时间,膏体凝结时间不应低于 8 h;
 - i) 膏体线缩率按照式(3)计算,采用精度不小于 0.1 mm 的长度测量工具对试模内侧高度进行测量,作为试块 0 天高度 h_0 ;待膏体养护 28 天时,将其取出测量高度 h_{28} ;
 - j) 按照 JGJ/T 70 的规定测试固结膏体单轴抗压强度,试块养护龄期为 3 天、7 天和 28 天。
- 6.3 全尾砂膏体充填原材料、充填体应符合 GB 18599、GB 8978 的规定。黄金氰渣膏体充填料浆同时应符合 HJ 943 的规定。

附 录 A (规范性附录)

全尾砂膏体料浆的屈服应力测试方法

A.1 仪器及原理

采用 R/S 桨式转子流变仪(软固流变仪)控制剪切速率法测试全尾砂膏体屈服应力,测试原理如图 A.1。桨叶克服浆体的屈服应力转动,使周围一定区域内的浆体发生剪切作用,转子转动时剪切应力与扭矩关系如式(A.1)所示。

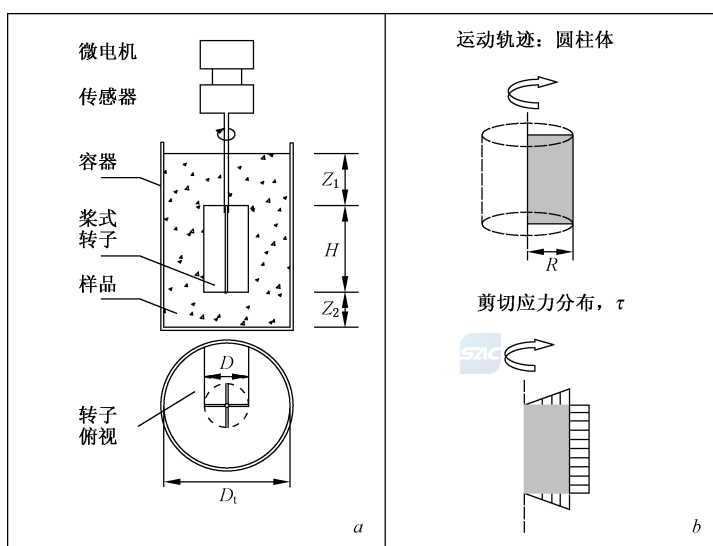


图 A.1 桨式流变仪控制剪切速率法测量原理

$$T = \left(\frac{1}{2} \pi D^2 H + \frac{1}{6} \pi D^3 \right) \cdot \tau \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

T ——桨叶所受扭矩,单位为牛米(N·m);

D ——转子直径,单位为米(m);

H ——转子高度,单位为米(m);

τ ——浆体所受的剪切应力,单位为帕(Pa)。

A.2 测试步骤

A.2.1 根据矿山实际膏体流速范围 $v_1 \sim v_2$ 和管道内径 D ,按照式(A.2)计算膏体管道输送剪切速率,得到膏体管道输送剪切速率范围 $\gamma_1 \sim \gamma_2$ 。

$$\gamma = 8v/D \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

γ ——膏体在管道内剪切速率,单位为每秒(s^{-1});

v ——膏体流速,单位为米每秒(m/s);

D ——管道内径,单位为米(m)。

A.2.2 根据膏体管道输送剪切速率范围 $\gamma_1 \sim \gamma_2$, 设置测试仪器剪切速率由 $0 \text{ s}^{-1} \sim \gamma_3$ 线性增加, 剪切时间 $t_3 = \gamma_3 / (1 \text{ s}^{-1})$, 其中 $\gamma_3 \geq \gamma_2$ 。形成剪切应力-剪切速率曲线, 典型剪切应力-剪切速率曲线如图 A.2 所示。

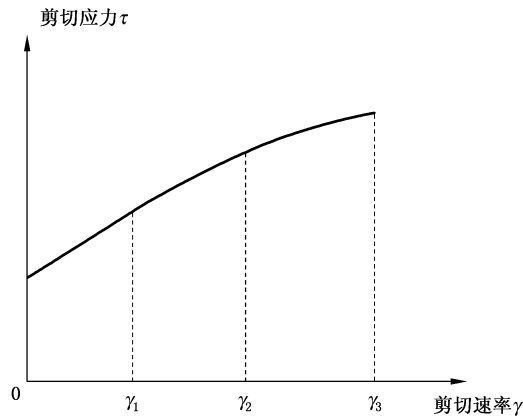


图 A.2 典型剪切应力-剪切速率曲线

A.2.3 在搅拌容器内配置不同配比的测试料浆, 并搅拌不少于 5 min。将搅拌好的料浆快速倒入测试容器, 启动仪器开始测试。容器的尺寸与转子插入的深度应符合式(A.3)。

$$\begin{cases} D_t/D > 2.0 \\ Z_1/D > 1.0 \\ Z_2/D > 0.5 \end{cases}$$

.....(A.3)

- 式中：
- D_t ——容器内径, 单位为米(m)；
 - D ——转子直径, 单位为米(m)；
 - Z_1 ——转子上端距离浆体表面的距离, 单位为米(m)；
 - Z_2 ——转子下端距离浆体底部的距离, 单位为米(m)。

A.2.4 选取图 A.2 中剪切速率为 $\gamma_1 - \gamma_2$ 时的剪切应力-剪切速率, 根据宾汉姆(Bingham)模型, 按照式(A.4)回归计算膏体屈服应力。

$$\tau = \tau_0 + \mu_B \gamma$$

.....(A.4)

- 式中：
- τ ——剪切应力, 单位为帕(Pa)；
 - τ_0 ——屈服应力, 单位为帕(Pa)；
 - μ_B ——塑性黏度, 单位为帕秒(Pa · s)；
 - γ ——剪切速率, 单位为每秒(s^{-1})。

