

# 银山矿超细全尾砂精细化絮凝沉降实验研究

丁家铎<sup>1</sup>, 李红鹏<sup>1</sup>, 宋子安<sup>2</sup>, 陈秋松<sup>2</sup>

- 江西铜业集团银山矿业有限责任公司, 江西 德兴 334200;
- 中南大学 资源与安全工程学院, 湖南 长沙 410083

中图分类号: TD926 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2024)06-0071-09  
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2024.06.006

**摘要** 银山矿全尾砂-19  $\mu\text{m}$  颗粒约占 51%, 属于超细全尾砂, 处理过程中面临浓密脱水难度大的问题, 且深锥浓密效果受到季节变化以及尾砂入料质量浓度的显著影响。因此, 为提升银山矿深锥浓密机沉降效果, 通过室内物化性质检测、室内絮凝沉降实验、现场半工业实验, 开展了超细全尾砂精细化絮凝实验研究。结果表明: 优选出的 DR1030 絮凝剂, 在尾砂浆质量浓度 10% 时絮凝剂单耗为 30.0 g/t(夏季)、33.0 g/t(其他季节), 尾砂浆质量浓度 15% 时絮凝剂单耗为 35.0 g/t(夏季)、38.0 g/t(其他季节)。半工业实验条件下, DR1030 絮凝剂的实际单耗 34.0 g/t, 与现场絮凝剂相比, 低 4.4 g/t; DR1030 对应的底流质量浓度波动性更小, 质量浓度更高, 平均值提高 2.6 百分点; 扩展度测试表明 DR1030 对料浆流动性无明显影响。本次实验为提升银山矿充填质量提供了重要的工艺参数, 对其他相似矿山也具有一定的借鉴意义。

**关键词** 膏体充填; 超细尾砂; 絮凝沉降; 底流浓度; 深锥浓密机

## 引言

随着我国经济的快速发展, 矿产资源持续的开发利用, 导致浅部高品位资源逐渐消耗殆尽, 资源开发逐步向深部、低品位延伸<sup>[1]</sup>。为提高低品位矿石的回收率和精矿品质, 需要将矿石磨至较细的粒度, 以实现矿物的单体解离, 但不可避免会带来更多、更细的废石和尾矿, 给当地生态环境带来负面影响<sup>[2]</sup>。因此, 充填采矿技术凭借“一充治三废, 一废治两害”的优势成为绿色和无废矿山建设的重要手段和基础<sup>[3]</sup>。充填采矿技术核心在于尾砂絮凝沉降、充填料浆管道输送及充填体凝结硬化。其中, 尾砂絮凝沉降技术则是决定底流浓度是否满足充填要求的关键所在。当前尾砂絮凝沉降主要以深锥浓密机为核心, 利用絮凝剂架桥、脱稳等作用与细颗粒尾砂团聚成较大的絮团, 进而通过重力作用沉降于深锥底部, 形成高浓度底流<sup>[4-6]</sup>。因此, 设计合适的絮凝沉降参数包括给料稀释浓度、絮凝剂种类、絮凝剂单耗、絮凝温度等是决定充填工艺连续、安全、高效运转的关键环节。

一般认为, -19  $\mu\text{m}$  颗粒含量超过 50% 的尾砂属于超细尾砂<sup>[7]</sup>。相较于粗尾砂, 超细尾砂在浓密过程

中, 常存在脱水难度大、沉降速度慢、底流浓度低、絮凝剂单耗高等问题, 已成为制约超细尾砂膏体绿色处置技术应用的关键因素<sup>[8-9]</sup>。刘奇等人<sup>[10]</sup>发现尾砂底流浓度及絮凝剂用量与尾砂粒径有关, 尾砂粒径越细, 底流浓度越低, 絮凝剂用量越多。郭佳宾等<sup>[11]</sup>针对某铅锌矿超细尾砂, 开展了絮凝剂离子型及分子量对于絮凝效果影响的研究, 结果表明非离子型絮凝剂浓密效果远优于离子型絮凝剂, 在一定分子量范围内, 随着絮凝剂分子量的增加, 浓密效果提升。王洪江等<sup>[12]</sup>针对超细尾砂浓密效果不佳, 开展了双重絮凝实验, 结果表明在尾砂不同絮凝阶段采用“阳离子+阴离子”的双重絮凝工艺相较于单一絮凝工艺, 可以实现更快的尾砂沉降速度和更高的底流浓度。杨晴等人<sup>[13]</sup>基于超细尾砂上清液浊度, 提出了一种超细尾砂浓密沉降的絮凝剂优选方法。王新民等<sup>[14]</sup>利用 BP 神经网络, 通过对比分析及正交实验探究了最佳絮凝沉降参数, 为超细全尾砂絮凝沉降参数优选提供了新思路。吴再海<sup>[15]</sup>通过 Solidworks 软件论证了动态沉降的可靠性, 建设性地提出了超细尾砂高浓度浓密充填。王洪江等<sup>[16]</sup>通过小型及半工业动态浓密实验, 发现底流浓度受泥层高度影响, 底流浓度随泥层高度增加呈

收稿日期: 2024-08-01

基金项目: 国家重点研发计划青年科学家项目(2021YFC2900400)

作者简介: 丁家铎(1993—), 男, 江西赣州人, 工程师, 主要从事金属矿山采矿技术研究工作, E-mail: 738615783@qq.com。

通信作者: 陈秋松(1988—), 男, 福建福州人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事充填理论与技术研究工作, E-mail: qiusong.chen@csu.edu.cn。

DoseResp 函数增长。总体而言,目前国内外学者对超细尾砂的研究主要集中在室内静态实验,对于半工业动态浓密实验研究较少,同时在文献中也很少看到考虑季节温度变化差异的半工业化超细全尾砂动态絮凝沉降实验研究。为此,对于半工业实验条件下考虑季节温度因素影响的超细尾砂絮凝沉降研究显得尤为必要。

银山矿业有限责任公司(以下简称“银山矿”)是江西铜业集团公司旗下主力矿山之一,井下采矿主要采用分段空场嗣后充填法。银山矿充填尾砂属于超细尾砂,-19 μm 粒径的尾砂含量约为 51%,明显小于多数矿山的充填尾砂粒度(如武山铜矿-19 μm 粒径的尾砂含量仅为 40% 左右<sup>[17]</sup>),不利于尾砂的快速浓密脱水。银山矿深锥浓密机应用过程中存在以下问题:(1)在选厂同一入料质量浓度下(33% 左右),深锥浓密机沉降效果随季节波动,夏季平均底流浓度为 66.8%,最低底流浓度为 60.5%,最高为 71.4%,差值为 10.9 百分点,而其他季节差值约为 6.9~8.4 百分点,夏季底流浓度波动较大不仅影响充填质量,也不利于矿山的连续生产;(2)深锥浓密机底流受选厂入料影响,极易出现底流浓度不足(<63%)的情况,不利于后续充填料浆制备过程中的浓度稳定。

因此,为解决矿山超细全尾砂浓密脱水难题,提升银山矿深锥浓密机絮凝沉降效果,实现精细化充填成本控制,本研究通过室内及半工业化超细全尾砂絮凝沉降实验研究,构建综合考虑季节温度变化差异、沉降速度、固体通量、底流浓度情况下的絮凝沉降效果评价体系及多因素耦合作用机制,为絮凝剂单耗确定提供有效的理论基础与技术指导,实现超细全尾砂絮凝沉降效率的动态调节,为后续“一键充填”提供理论与技术支撑。

## 1 实验材料与方案

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 银山矿全尾砂

采用银山矿选厂排出的铅锌全粒级尾矿砂浆为实验材料。使用激光粒度分析仪对全尾砂粒径进行分析,粒径分布结果如图 1 所示,由此可见尾砂粒径<19 μm 约占 51%,属于超细尾砂,不利于快速沉降浓缩。通过 X 射线衍射仪(XRD)和 X 射线荧光光谱仪(XRF)确定了尾砂的矿物成分和化学组成,结果见图 2 及表 1。根据测试结果,尾砂主要化学组成是 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O、SO<sub>3</sub> 等,主要矿物为石英、黄铁矿、绿泥石、高岭石、石膏、叶蜡石及云母。结果显示,尾砂矿物成分与化学组成基本均为惰性物质,不会对尾砂沉降效果带来较大干扰。

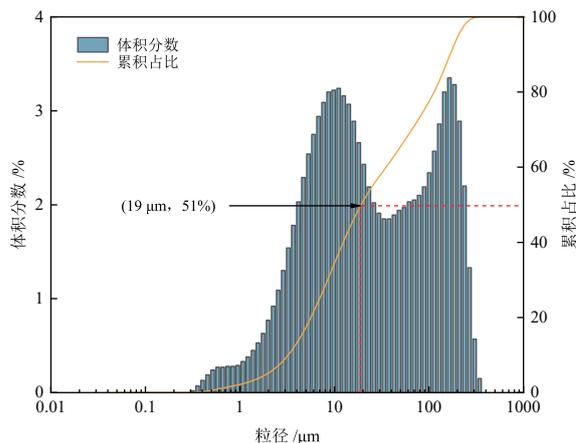


图 1 银山矿全尾砂粒级分布曲线

Fig. 1 Particle size distribution of the unclassified tailings of Yinshan Mine

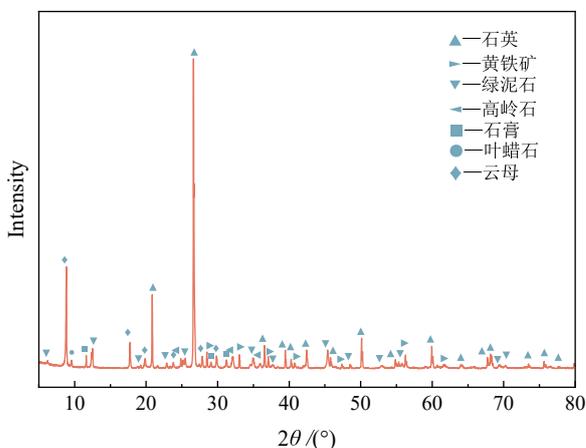


图 2 XRD 衍射分析结果

Fig. 2 XRD diffraction analysis results

表 1 银山矿全尾砂化学成分

Table 1 Chemical composition of the unclassified tailings of Yinshan Mine

化学成分	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MnO	其他
含量/%	58.80	23.10	7.02	6.15	3.10	0.78	0.36	0.15	0.55

#### 1.1.2 絮凝剂

银山矿尾矿料浆 pH 在 7~10 之间,且尾砂颗粒中含有较多带正电的金属氧化物和二氧化硅胶团。因此,本次实验控制絮凝剂类型为阴离子型<sup>[18]</sup>,以不同分子量作为实验组,选取巴斯夫三款不同型号的絮凝剂,分别为 DR1030(分子量 1 700 万)、10AP(分子量 1 300 万)和 919(分子量 1 100 万),均为高分子量(1 000 万~1 500 万)~超高分子量(1 500 万以上)絮凝剂。同时以选厂现用絮凝剂爱森 715s(分子量为 1 500 万,爱森,中国)作为对照组。

### 1.2 絮凝沉降实验方案

本次絮凝沉降实验分为室内絮凝沉降实验和现场半工业实验,具体实验方案如表 2 所示,实验步骤如图 3 所示。

表 2 絮凝沉降实验方案

Table 2 Test program of flocculation and settlement

絮凝剂	料浆质量浓度 /%	絮凝剂单耗 /(g·t <sup>-1</sup> )	温度 /℃	目的
爱森 715s	10	30、40、50、60	-	尾砂絮凝沉降现况
	15	30、40、50、60、70	-	
爱森 715s	10/15	45/65	-	絮凝剂优选
DR1030	10/15	45/65		
10AP	10/15	45/65		
919	10/15	45/65		
DR1030	10	20、30、40	15、27、45	优选絮凝剂添加量确定
	15	20、30、40	15、27、45	
爱森 715s	10~15	40	20~30	半工业实验验证
DR1030	10~15	35	20~30	

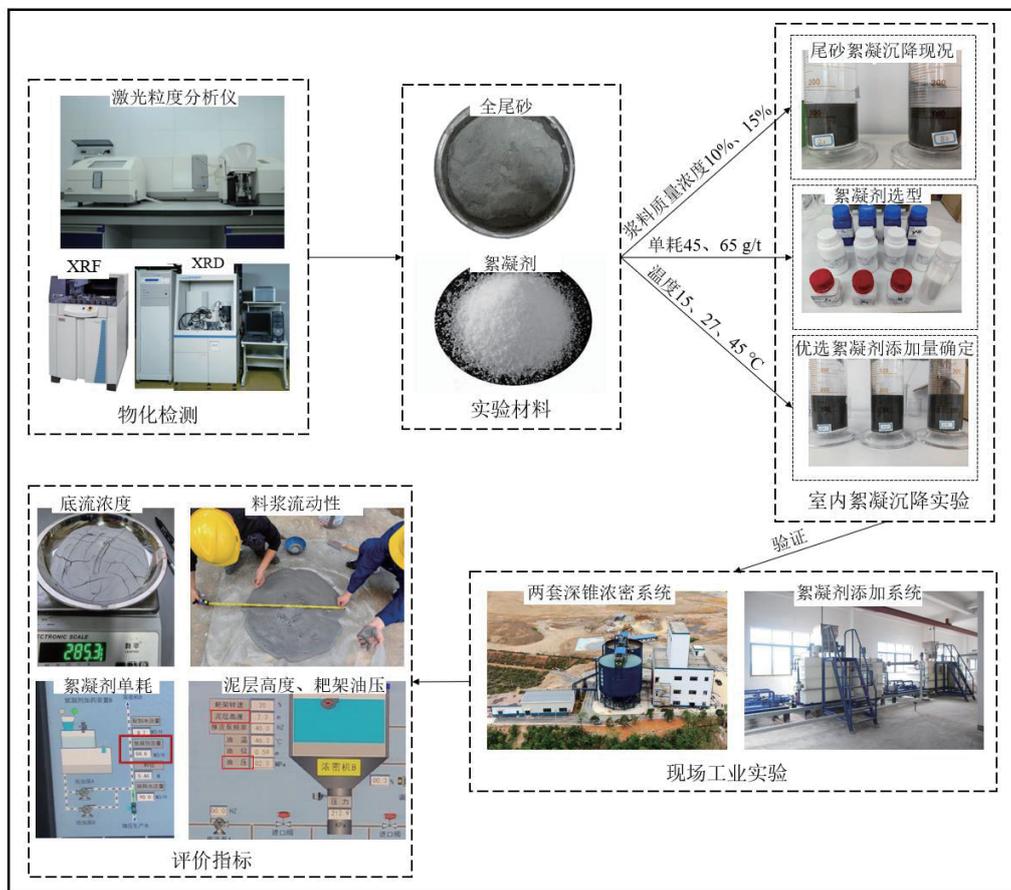


图 3 实验步骤示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the test steps

### 1.2.1 室内絮凝沉降实验

通过考察絮凝剂种类、料浆质量浓度、絮凝剂单耗、絮凝温度这 4 个因素,开展室内絮凝沉降实验。如图 4 所示,银山矿尾砂浆入料质量浓度通常在 29%~35% 之间波动,尾砂浆质量浓度过高会降低颗粒的分散稳定限度,为保证絮凝沉降效果,现场添加稀释水将质量浓度降低至 10%~15%,因此室内絮凝沉降实验设计料浆质量浓度为 10%、15%;单浓密池平均

干砂流量为 153 t/h,集中在 129~177 t/h 波动,现用絮凝剂(爱森 715s)单耗为 40~50 g/t;季节变化通过调整温度进行实验,温度选取 15 °C、27 °C、45 °C。

### 1.2.2 絮凝沉降现场半工业实验

根据室内絮凝沉降实验结论,开展现场半工业实验验证。尾砂浆质量浓度通过溢流水稀释控制在 10% 左右范围,控制泥层高度在 3~5 m,维持底流浓度

在 63% 以上,以保持浓密机的沉降效果,同时根据底流质量浓度和耙架扭矩调整泵速度和絮凝剂用量,逐步调整并观察效果。

## 2 实验结果与分析

### 2.1 尾砂絮凝沉降现况

图 5 展示了银山矿目前正在使用的絮凝剂(爱森 715s)对应 10% 和 15% 料浆质量浓度的不同单耗沉降曲线。由图可知,随着絮凝剂单耗的提高,沉降速率逐渐提高,而随着料浆质量浓度增加,絮凝沉降速率逐渐降低。根据凯奇沉降理论<sup>[9]</sup>,计算出爱森 715s 对应的固体通量如图 6 所示,为满足现场干砂处理能力(150 t/h 为例),10% 料浆质量浓度时,推荐爱森 715s 单耗为 40~45 g/t,15% 质量浓度时推荐爱森 715s 单耗为 65 g/t,实验结果符合现场生产实际。

### 2.2 絮凝剂选型

根据实验方案,选取 DR1030、10AP、919 和爱森 715s 合计 4 种阴离子絮凝剂,在料浆质量浓度为 10%

和 15% 下开展絮凝沉降对比实验,根据 2.1 节,絮凝剂单耗分别定为 45 g/t 和 65 g/t。

由图 7 和表 3 可知,絮凝剂对该矿超细全尾砂絮凝沉降具有促进作用,沉降速度在沉降初期达到最大,随后随着沉降时间的推移而逐渐趋于平缓;DR1030 沉降效果明显优于其他絮凝剂,且在 15% 料浆质量浓度下 DR1030 沉降效果更为显著。不同料浆质量浓度下沉降速度及固体通量均为 DR1030>爱森 715s>10AP>919。因为 DR1030 分子量最大,其分子链长、形成的溶液黏度大,单个分子链与尾砂颗粒吸附触点密度更高,能够更有效地捕捉和聚集悬浮颗粒以形成更大、更稳定的絮体,从而加速其沉降效率<sup>[20-21]</sup>。综合考虑沉降速度以及固体通量,优选 DR1030 作为备选新絮凝剂。

### 2.3 絮凝剂添加量优选

为确定不同料浆质量浓度及温度下 DR1030 絮凝剂的最佳用量。根据图 8 的 DR1030 沉降结果,进一步计算出 DR1030 的固体通量(如图 9 所示),图 9 展示了 10%、15% 质量浓度下,DR1030 对应不同温度、

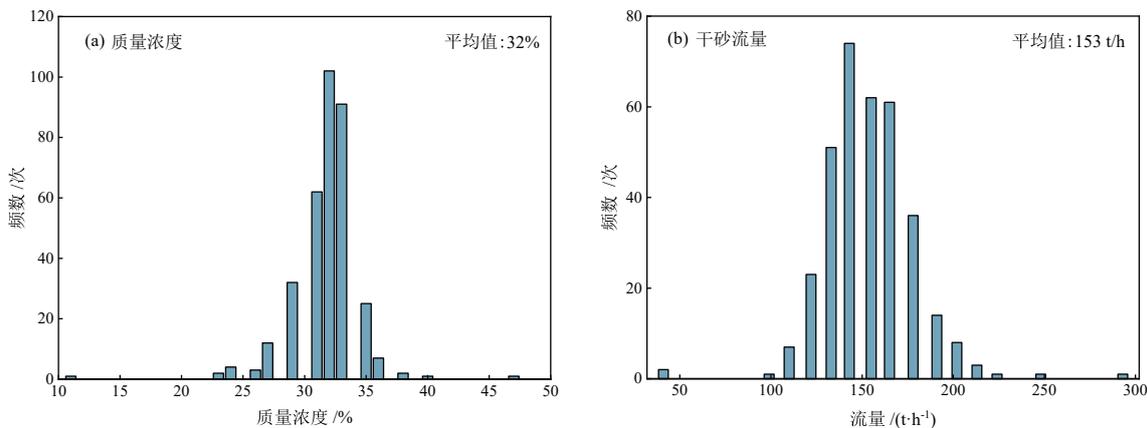


图 4 2023 年 7 月银山矿选厂入料质量浓度及干砂流量分布  
Fig. 4 Histogram of frequency distribution of feed mass concentration and dry tailings flow rate at Yinshan Mine processing plant, July 2023

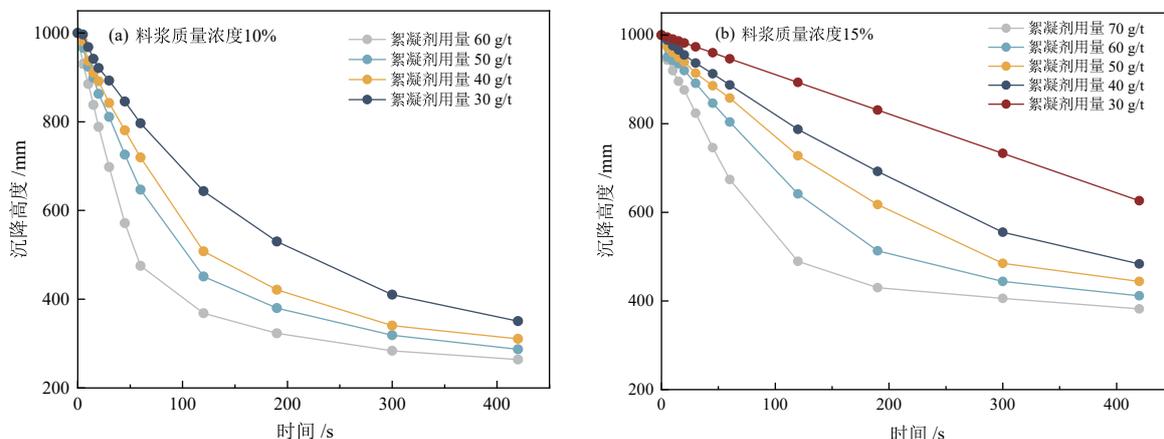


图 5 不同絮凝剂单耗下沉降曲线  
Fig. 5 Settling curves of different flocculant additions

单耗的固体通量值, 考虑到料浆级配导致的沉降速率差异, 选取现用絮凝剂(爱森 715s)45 g/t 单耗对应的固体通量值作为对照。如图 9a 所示, 随着絮凝剂单耗增加, 固体通量值呈近线性增加, 随着温度提高, 固体通量值呈略微增加趋势。温度在影响絮凝剂的溶解度及活性的同时, 还影响着颗粒之间的布朗运动等动力学行为, 适当的高温可以促进絮凝剂与颗粒之间的吸附架桥, 絮凝效率增加<sup>[22]</sup>。例如, 10% 料浆质量浓度在温度 45 °C 和 27 °C 时, DR1030 的 30 g/t 单耗即

可满足要求, 而在温度 15 °C 时, 33 g/t 单耗可满足要求; 15% 料浆质量浓度、45 °C 温度时, DR1030 的 35 g/t 单耗可满足要求, 而在 27 °C 和 15 °C 时, 38 g/t 单耗可满足要求。

如图 10 所示, 料浆质量浓度越高, 底流质量浓度也越高。随着絮凝剂单耗增加, 底流质量浓度逐渐降低。这是由于阴离子型絮凝剂通过分子长链上的负电荷活性集团与尾砂颗粒带正电的金属氧化物和二氧化硅胶团发生较强电中和, 以实现电荷中和、吸附桥接和絮体压缩等作用, 从而达到絮凝沉降效果。当絮凝剂单耗合理时, 尾砂颗粒之间存在的孔隙水在重力的作用下, 可被慢慢挤出, 压缩沉降速度快, 则底流质量浓度偏高, 而絮凝剂单耗过高时, 尾砂颗粒之间主要为絮团水, 在絮团水的保护和包裹作用下, 水被挤出的速度变慢, 则底流质量浓度偏低<sup>[23]</sup>。

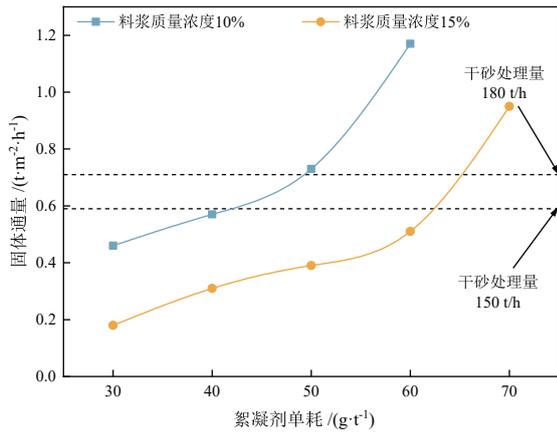


图 6 现用絮凝剂(爱森 715s)对应的固体通量  
Fig. 6 Solids fluxes corresponding to the current flocculant (SNF 715s)

### 3 现场半工业实验

基于室内絮凝沉降实验结果, 为进一步验证 DR1030 絮凝剂的实际生产效果, 在两套深锥浓密系统中分别投加现用絮凝剂(爱森 715s)和优选的新絮凝剂(DR1030), 矿山于 2023 年 10 月 18—19 日同步开展絮凝沉降对比半工业实验。半工业实验日期的预测气温在 20~30 °C 之间, 为保证实验顺利开展, 暂

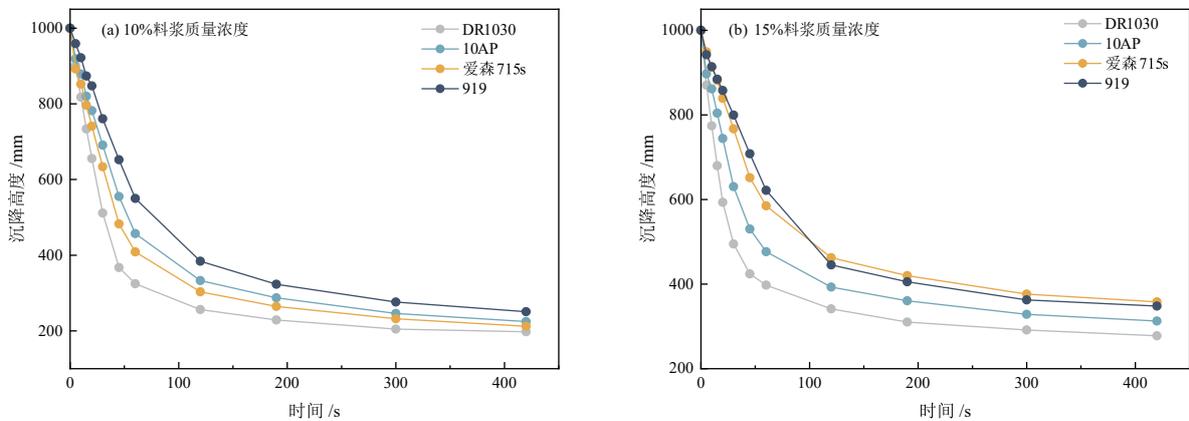


图 7 不同絮凝剂沉降曲线  
Fig. 7 Settling curves of different flocculants

表 3 不同絮凝剂沉降结果  
Table 3 Settling results of different flocculants

絮凝剂型号	砂浆密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	沉降速率/(cm·min <sup>-1</sup> )	固体通量/(t·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	料浆质量浓度/%	絮凝剂单耗/(g·t <sup>-1</sup> )
爱森 715s	1.07	22.42	1.43	10	45
DR1030	1.07	31.03	1.99	10	45
10AP	1.07	18.69	1.20	10	45
919	1.07	15.51	0.99	10	45
爱森 715s	1.10	23.03	2.29	15	65
DR1030	1.10	30.75	3.05	15	65
10AP	1.10	14.34	1.42	15	65
919	1.10	11.28	1.12	15	65

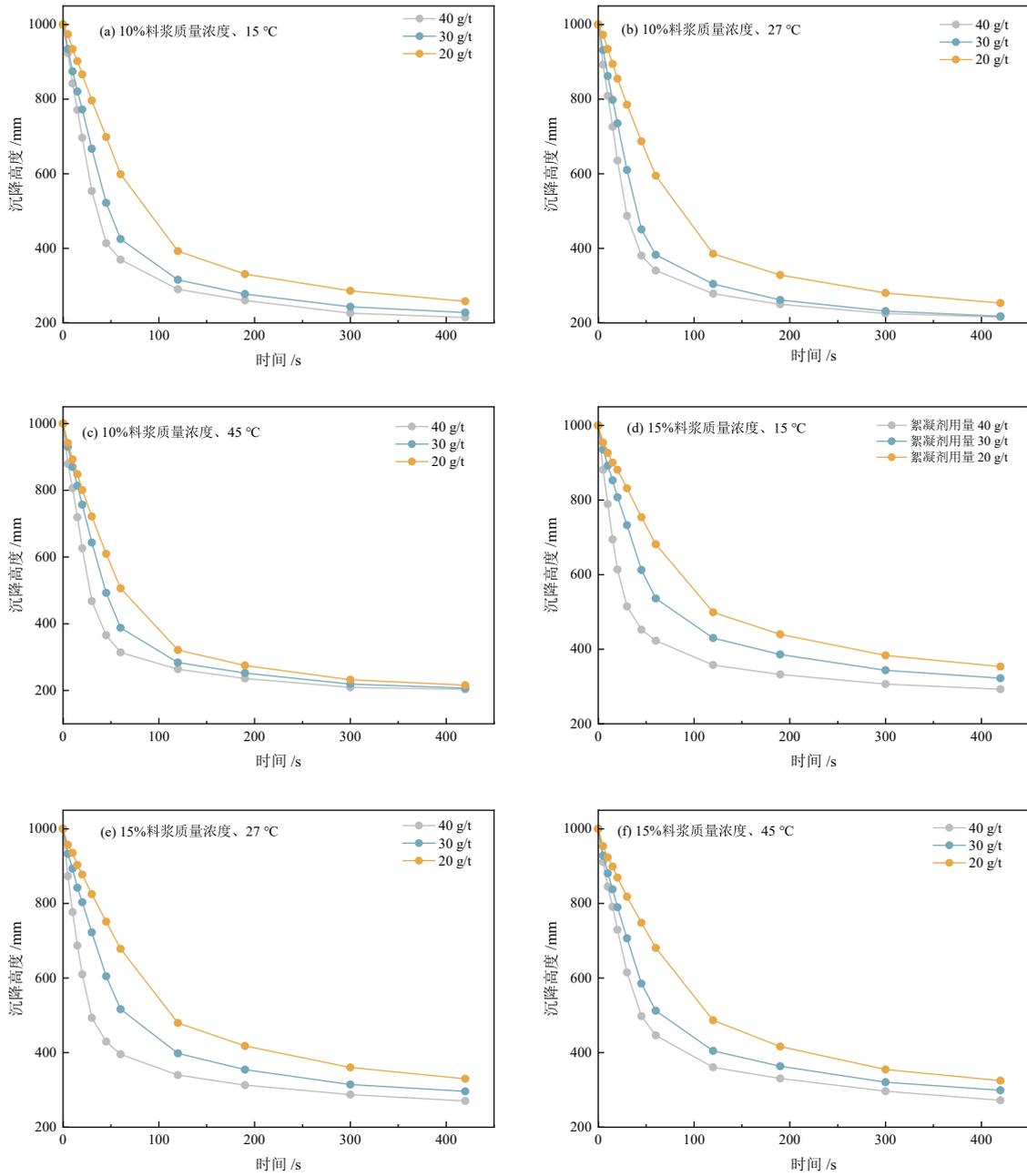


图 8 絮凝剂 DR1030 沉降曲线  
Fig. 8 Settling curve of DR1030 flocculant

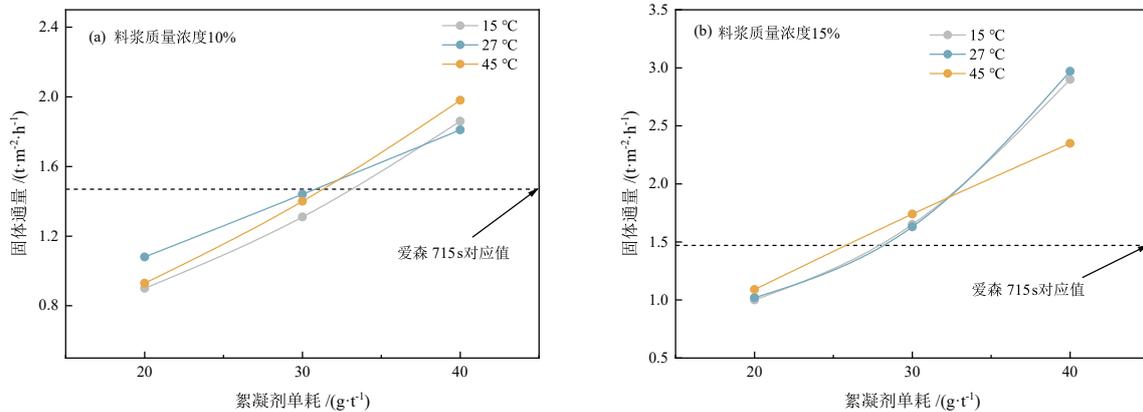


图 9 不同料浆质量浓度下 DR1030 絮凝剂对应固体通量  
Fig. 9 Solids fluxes corresponding to DR1030 flocculant at different slurry concentrations

定初始单耗为 35 g/t。

现场半工业实验期间尾砂底流质量浓度如图 11 和表 4 所示, DR1030 絮凝剂对应的尾砂底流质量浓度明显高于爱森 715s, 平均值差 2.6 百分点(68.5% 对 65.9%), 最高值差 5.5 百分点(68.8% 对 63.3%)。DR1030 絮凝剂对应底流质量浓度的波动区间为 3.0 百分点(69.7%~66.7%), 爱森 715s 对应的波动区间为 6.5 百分点(68.8%~62.3%), 并且具有较好的一致性, 均在 18 日早班最高, 18 日中班次之, 19 日早班质量浓度最低。在同等入料质量浓度条件下, 实验初期, DR1030 对应泥层高度比爱森 715s 低 0.2 m, 而实验末期低 0.8 m, 说明 DR1030 更利于矿山生产过程中的连续充填。然而过高的底流质量浓度可能会影响料浆的流动性, 增加堵管爆管风险, 料浆扩展度是衡量料浆流动性的一个重要指标, 对加入胶固粉搅拌后的充填料浆测试其料浆扩展度, 测试按照 GB/T 50080—2002《普通混凝土拌合物性能实验方法标准》进行<sup>[24]</sup>。料浆扩展度结果如图 12 所示, 从趋势上来看 DR1030 对料浆扩展度(流动性)无显著影响。

本次半工业实验爱森 715s 总计单耗约为 38.4 g/t, DR1030 约为 34.0 g/t, 符合 DR1030 室内实验推荐的单

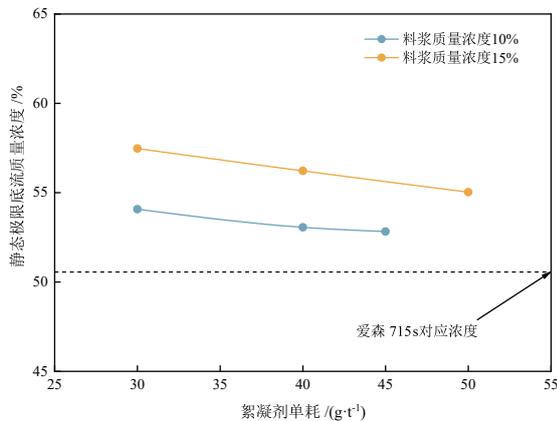


图 10 新絮凝剂的静态极限底流质量浓度结果(>48 h)  
Fig. 10 Static limiting underflow concentration of the new flocculants(>48 h)

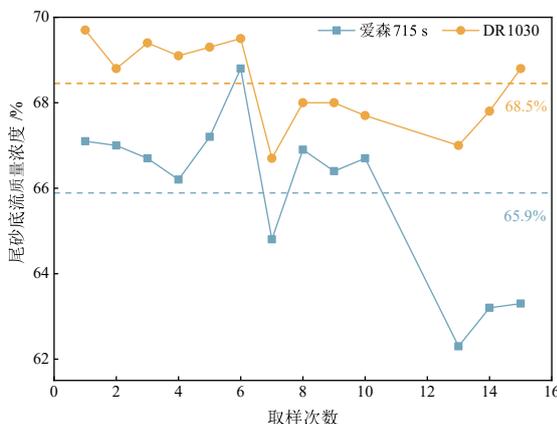


图 11 尾砂底流质量浓度结果  
Fig. 11 Tailings underflow concentration detection results

表 4 絮凝剂综合情况对比

Table 4 Comparison of flocculant syntheses

日期	10月18日	10月18日	10月19日	
班次	早	中	早	
测量前 7.5 h 内选厂平均入料质量浓度 / %	33.6	30.0	31.8	
200 目以上比例 / %	46.7	37.8	42.5	
泥层高度 / m	爱森 715s	1.7	2.8	2.6
	DR1030	1.5	2.2	1.8
耙架油压 / MPa	爱森 715s	1.7	1.7	1.6
	DR1030	1.6	1.5	1.6
测量前 7.5 h 内絮凝剂单耗 / (g·t <sup>-1</sup> )	爱森 715s	40.6	41.8	36.4
	DR1030	37.9	33.9	31.5
尾砂平均底流质量浓度 / %	爱森 715s	66.8	66.7	62.9
	DR1030	69.3	68.0	67.9

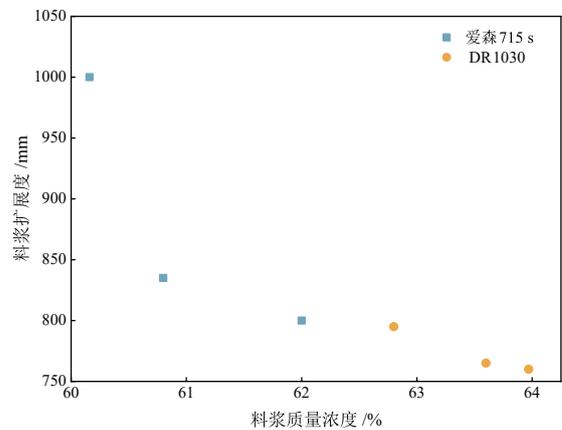


图 12 充填料浆扩展度  
Fig. 12 Expansion of cemented paste backfill slurry

耗 33~38 g/t, 实验期间没有发生跑浑, 沉降速度满足现场实际要求, 验证了室内实验结论, 同时, DR1030 在低单耗(31.5 g/t)情况下也能正常满足使用要求, 底流质量浓度可以维持在 67.9% 左右。此外, 本次实验期间, 选厂入料尾砂 pH 值在 10 左右, 说明絮凝剂在碱性环境中适应性良好。

### 4 结论

(1) 在絮凝剂选型实验中, 由于 DR1030 分子量最大, 与尾砂颗粒吸附触点密度更高, 能够更有效地捕捉和聚集悬浮颗粒以形成更大、更稳定的絮体, 较其他三种絮凝剂沉降效果更好, 为此选用 DR1030 作为絮凝剂。通过对 DR1030 添加量优选的研究发现, 随着料浆质量浓度增加, 絮凝沉降速率降低; 絮凝剂单耗提高, 沉降速率逐渐提高, 但底流质量浓度逐渐降低。DR1030 推荐单耗为: 在 10% 尾砂浆质量浓度下, 夏季为 30 g/t, 其他季节为 33 g/t; 在 15% 尾砂浆质量浓度下, 夏季为 35 g/t, 其他季节为 38 g/t。

(2) 在深锥浓密系统的半工业实验中, 新絮凝剂

(DR1030)相比现用絮凝剂(爱森 715s),实际单耗低 4.4 g/t; DR1030 对应的底流质量浓度更高,且波动性更小,底流质量浓度的平均值为 68.5%,比现用絮凝剂高出 2.6 百分点; DR1030 未导致深锥浓密机出现跑浑现象,也未对充填料浆流动性产生显著影响。

### 参考文献:

- [1] 赵兴东,朱乾坤,曾楠.三山岛金矿深部高应力节理化巷道围岩控制技术[J].黄金,2023,44(9):5-12.  
ZHAO X D, ZHU Q K, ZENG N. Study on the control technology of deep high-stress jointed surrounding rock in Sanshandao Gold Mine[J]. Gold, 2023, 44(9): 5-12.
- [2] 胡亚军,陈彦亭,赖伟,等.超细全尾砂似膏体绿色胶凝充填关键技术研究[J].黄金,2023,44(5):12-15+20.  
HU Y J, CHEN Y T, LAI W, et al. Study of key technology of paste-like green cemented filling with ultra-fine ungraded tailings[J]. Gold, 2023, 44(5): 12-15+20.
- [3] 吴爱祥,王勇,张敏哲,等.金属矿山下开采关键技术新进展与展望[J].金属矿山,2021(1):1-13.  
WU A X, WANG Y, ZHANG M Z, et al. New development and prospect of key technology in underground mining of metal mines[J]. Metal Mine, 2021(1): 1-13.
- [4] 吴爱祥,王勇,王洪江.膏体充填技术现状及趋势[J].金属矿山,2016(7):1-9.  
WU A X, WANG Y, WANG H J. Status and prospects of the paste backfill technology[J]. Metal Mine, 2016(7): 1-9.
- [5] 陈述文,陈启文.HRC 高压浓缩机的原理、结构及应用[J].金属矿山,2002(12):34-37.  
CHEN S W, CHEN Q W. Principle, structure and application of HRC high pressure thickener[J]. Metal Mine, 2002(12): 34-37.
- [6] 冯胜利.谈全尾矿膏体制备与沉降的关系[J].铜业工程,2013(6):42-44.  
FENG S L. Discussion on the relationship between preparation and sedimentation of whole-tailing paste[J]. Copper Engineering, 2013(6): 42-44.
- [7] 吴爱祥,杨盛凯,王洪江,等.超细全尾膏体处置技术现状与趋势[J].采矿技术,2011,11(3):4-8+18.  
WU A X, YANG S K, WANG H J, et al. Current status and trends of ultra-fine tailings disposal technology[J]. Mining Technology, 2011, 11(3): 4-8+18.
- [8] Li C H, Shi Y Q, Liu P, et al. Analysis of the sedimentation characteristics of ultrafine tailings based on an orthogonal experiment[J]. Advances in Materials Science and Engineering, 2019(1): 1-13.
- [9] 卞继伟,王新民,肖崇春.全尾砂动态絮凝沉降试验研究[J].中南大学学报(自然科学版),2017,48(12):3278-3283.  
BIAN J W, WANG X M, XIAO C C. Experimental study on dynamic flocculating sedimentation of unclassified tailings[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2017, 48(12): 3278-3283.
- [10] 刘奇,岑佑华,唐鸣东,等.不同尾砂物理性质对尾砂浓密性能的影响[J].矿业研究与开发,2021,41(5):124-130.  
LIU Q, CEN Y H, TANG M D, et al. Influence of different physical properties of tailings on thickening performance[J]. Mining Research and Development, 2021, 41(5): 124-130.
- [11] 郭佳宾,王洪江,田志刚,等.不同类型絮凝剂对超细尾砂浓密性能的影响[J].矿业研究与开发,2021,41(4):141-145.  
GUO J B, WANG H J, TIAN Z G, et al. Effect of different types of flocculant on the thickening property of superfine tailings mining[J]. Research and Development, 2021, 41(4): 141-145.
- [12] 王洪江,杨亚楠,郭佳宾.基于双重絮凝的超细尾砂浓密脱水性能及絮凝机制[J].中南大学学报(自然科学版),2023,54(9):3597-3608.  
WANG H J, YANG Y N, GUO J B. Thickening dehydration performance and flocculation mechanism of ultrafine tailings based on dual flocculation[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2023, 54(9): 3597-3608.
- [13] 杨晴,杨仕教,张冉玥.基于上澄清液浊度的超细尾砂絮凝沉降试验[J].黄金科学技术,2022,30(6):948-957.  
YANG Q, YANG S J, ZHANG R Y. Optimal flocculating sedimentation parameters of unclassified tailings slurry[J]. Gold Science and Technology, 2022, 30(6): 948-957.
- [14] 王新民,刘吉祥,陈秋松,等.超细全尾砂絮凝沉降参数优化模型[J].科技导报,2014,32(17):23-28.  
WANG X M, LIU J X, CHEN Q S, et al. Optimal flocculating sedimentation parameters of unclassified tailings[J]. Science & Technology Review, 2014, 32(17): 23-28.
- [15] 吴再海.超细尾砂充填料浆絮凝沉降特性与浓密机理研究[D].北京:北京科技大学,2022.  
WU Z H. Study on flocculation settling characteristics and thickening mechanism of ultrafine tailing slurry[D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2022.
- [16] 王洪江,王小林,张玺,等.超细全尾砂深锥动态絮凝浓密试验[J].工程科学学报,2022,44(2):163-169.  
WANG H J, WANG X L, ZHANG X, et al. Deep cone dynamic flocculation thickening of ultrafine full tailings[J]. Chinese Journal of Engineering, 2022, 44(2): 163-169.
- [17] 田长林.武山铜矿全尾砂沉降浓缩试验研究[J].铜业工程,2023(1):127-131.  
TIAN C L. Sedimentation and concentration of unclassified tailings in Wushan Copper Mine[J]. Copper Engineering, 2023(1): 127-131.
- [18] 陈格仲,李翠平,阮竹恩,等.膏体充填中絮凝条件对絮团结构及固液分离效率的影响[J].中国有色金属学报,2022,32(10):3169-3182.  
CHEN G Z, LI C P, RUAN Z E, et al. Influence of flocculation conditions on floc structure and solid-liquid separation in cemented paste filling[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2022, 32(10): 3169-3182.
- [19] 李公成,王洪江,吴爱祥,等.基于动态沉降压密实验的深锥浓密机关键参数确定[J].中国有色金属学报,2017,27(8):1693-1700.  
LI G C, WANG H J, WU A X, et al. Key parameters determination of deep cone thickener based on dynamical settling and compaction experiments[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2017, 27(8): 1693-1700.
- [20] 谢广元.选矿学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2016.  
XIE G Y. Mineral processing[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2016.
- [21] 刘克爽,康长科,崔宝玉,等.黑龙江某铜钼混合精矿絮凝沉降性能及机理研究[J].中国矿业,2024,33(7):1-9.  
LIU K S, KANG Z K, CUI B Y, et al. Flocculation and settling performance and mechanism of a copper-molybdenum mixed concentrate in Heilongjiang Province[J]. China Mining Magazine, 2024, 33(7): 1-9.
- [22] OWEN M. The effect of temperature on the settling velocities of an estuary mud[R]. Wallingford: Hydraulics Research station, 1972.

[23] 张钦礼, 王石, 王新民. 絮凝剂单耗对全尾砂浆液面沉速的影响规律[J]. 中国有色金属学报, 2017, 27(2): 318–324.

ZHANG Q L, WANG, WANG X M. Influence rules of unit consumptions of flocculants on interface sedimentation velocity of unclassified tailings slurry[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2017, 27(2): 318–324.

[24] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 普通混凝土拌合物性能试

验方法标准: GB/T 50080—2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.

Ministry of Housing and Urban–Rural Development of the People's Republic of China. Standard for test method of performance on ordinary fresh concrete: GB/T 50080—2016[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2017.

## Experimental Study on Refined Flocculation and Settlement Parameters of Ultrafine Unclassified tailings from Yinshan Mine

DING Jiaduo<sup>1</sup>, LI Hongpeng<sup>1</sup>, SONG Zian<sup>2</sup>, CHEN Qiusong<sup>2</sup>

1. Yinshan Mining Co., Ltd, Jiangxi Copper Group, Dexing 334200, Jiangxi, China;

2. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hu'nan, China

**Abstract:** The tailings from the Yinshan Mine contain approximately 51% ultrafine particles of less than 19  $\mu\text{m}$ , presenting significant challenges to the thickening and dewatering processes. In particular, the effectiveness of deep cone thickeners is particularly affected by seasonal variations and the quality and concentration of the tailings feed. In order to improve the settlement performance of the deep cone thickener at the Yinshan Mine. Comprehensive experiments were conducted, including physical and chemical property tests, laboratory–scale flocculation settlement experiments, and semi–industrial experimental focusing on the flocculation of ultrafine unclassified tailings. The results showed that DR1030 proved to be the optimal flocculant. At a tailings slurry concentration of 10%, the consumption of DR1030 was 30.0 g/t in summer and 33.0 g/t in other seasons; at a 15% slurry concentration, the consumption was 35.0 g/t in summer and 38.0 g/t in other seasons. Under semi–industrial experimental conditions, the actual consumption of DR1030 was 34.0 g/t, which was 4.4 g/t less than that of the existing flocculants. Furthermore, the underflow concentration with DR1030 exhibited more stable and higher mass concentration, which was improved by 2.6%. Slump flow measurement demonstrated that DR1030 had no significant effect on the fluidity of the slurry. This study provides critical process parameters that can improve cemented paste backfill quality at the Yinshan Mine, as well as valuable insights for similar mining operations.

**Keywords:** cemented paste backfill; ultrafine tailings; flocculation settlement; underflow concentration; deep cone thickener

引用格式: 丁家铎, 李红鹏, 宋子安, 陈秋松. 银山矿超细全尾砂精细化絮凝沉降实验研究[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(6): 71–79.

DING Jiaduo, LI Hongpeng, SONG Zian, CHEN Qiusong. Experimental study on refined flocculation and settlement parameters of ultrafine unclassified tailings from yinshan mine[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2024, 44(6): 71–79.

投稿网址: <http://kcbhyly.xml-journal.net>

E-mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)