

# 银山矿全尾砂料浆絮凝沉降特性试验研究\*

林金山,熊泽华

(江西铜业集团银山矿业有限责任公司, 江西 德兴市 341000)

**摘要:**随着银山矿浅部矿体资源的逐渐枯竭,高效安全地回采深部矿体是接替和延续矿山产能的主要途径,而充填采矿法是深部矿体开采的主要采矿方法,确定充填骨料特征及其沉降特性是优化充填工艺的主要环节。为探究银山矿全尾砂的絮凝沉降特性,开展了全尾砂的静态浓密沉降试验研究,通过对比分析6种不同絮凝剂对全尾砂沉降的影响,优选出效果最优的絮凝剂及其最佳用量,进而分析得出絮凝剂对应的矿浆最佳给料浓度。研究表明:适用于银山矿全尾砂絮凝沉降的絮凝材料为AN-910-SH型絮凝剂,最优絮凝剂添加量为40 g/t,进入立式砂仓或深锥浓密机最佳的浆体给料质量浓度为10%。研究结果可为全尾砂浓缩沉降设施选型设计提供依据。

**关键词:**深部开采;全尾砂;絮凝沉降;充填采矿法

## 0 引言

我国是全球最大的矿产资源消费国,未来相当长时期对资源的需求将保持不断增长的态势<sup>[1-2]</sup>,特别是多数矿山浅部资源面临着日益枯竭的严峻问题,即将进入深部矿体开采阶段,为保证深部矿体的安全高效开采,采场充填已是矿山必要进行的工序之一<sup>[3-6]</sup>。充填开采可以有效控制采空区形成后的地压变化,同时可消耗尾废资源,是实现安全、绿色、高效开采的方法之一<sup>[7-8]</sup>。

江西铜业集团银山矿业有限责任公司(简称“银山矿”)是江西铜业集团公司旗下主力矿山之一,按照矿山计划,矿山北部浅部资源开采于2021年结束转入深部开采。深部主体采矿方法为分段空场嗣后充填采矿法。由于尚未进行深入的充填技术研究,所采用的充填配比参数和工艺流程仅是根据类似条件矿山经验,并结合银山矿充填采矿工艺要求及尾砂特性类比确定的,存在进一步优化的空间。考虑到银山矿尾砂产率达到84.5%,拟计划采用全尾砂作为充填骨料,与分级尾砂相比,全尾砂浓缩沉降速度慢<sup>[9-12]</sup>,因此,全尾砂充填的关键技术之一是实现全尾砂的快速浓缩沉降,其自然沉降和絮凝沉降速度是全尾砂浓缩沉降设施设计的主要依据<sup>[13]</sup>,应通

过沉降试验加以确定。

为确定银山矿全尾砂浆的絮凝沉降速度,通过添加不同絮凝剂测定尾砂沉降速度,进而确定絮凝剂种类和添加制度,优选出适用于银山矿全尾砂充填的絮凝剂类型及使用工况,并与银山矿选矿厂现用的2种絮凝剂进行对比优选。

## 1 银山矿全尾砂物理力学特征

全尾砂粒级组成是充填料浆特性分析亟需确定的参数,也是影响充填尾砂浓缩沉降特性及充填体强度的主要指标<sup>[14-15]</sup>,在开展全尾砂沉降特性分析前,需对全尾砂粒级组成进行详细分析。为确保试验的合理性,通过对现场尾砂的多次取样,利用激光粒度分析仪及水筛筛分法开展了全尾砂级配测定<sup>[16]</sup>,全尾砂粒径组成及粒径性状参数分别见表1和表2,全尾砂粒径组成曲线见图1。由表1、表2、图1可以看出,全尾砂的不均匀系数较小,仅为6.76,同时粒径较细,-37 μm的粒径占比可达到72.91%,对管道磨损较小,有利于长距离的管道输送,作为矿山充填骨料的可行性较好。

表1 全尾砂料粒径组成 %

+150 μm	-150~ +74 μm	-74~ +45 μm	-45~ +37 μm	-37 μm
10.48	8.05	6.15	2.41	72.91

\* 收稿日期: 2023-03-26

作者简介: 林金山(1995—),男,江西赣州人,助理工程师,主要从事采矿技术管理工作,E-mail:1549962684@qq.com。

表 2 全尾砂粒径性状参数

土粒密度 $G_s/(g/cm^3)$	$d_{60}/\mu m$	$d_{50}/\mu m$	$d_{30}/\mu m$	$d_{10}/\mu m$	不均匀系数 $C_u$	曲率系数 $C_c$
2.85	17.45	11.56	6.21	2.58	6.76	0.86

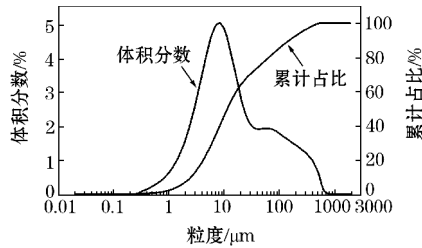


图 1 全尾砂粒级组成

## 2 银山矿全尾砂静态浓密沉降试验

为确定尾砂浆在深锥浓密机内的絮凝沉降速度,开展静态浓密沉降试验研究,主要研究内容包括几个方面。

(1) 絮凝剂选型试验研究。分别开展添加苏州昊诺、BASF、NT-108A、AN-910-SH、AH-912-SH、AN-926-SHV 等 6 种不同絮凝剂的全尾砂沉降对比试验,分析比较不同絮凝剂加工况下全尾砂的沉降规律,确定出适合全尾砂特性的最佳絮凝剂类型。

(2) 絮凝剂最佳用量研究。在确定优选絮凝剂类型的基础上,通过加入不同浓度的絮凝剂,比较分析不同浓度絮凝剂对尾砂沉降速度的影响,确定出絮凝剂的最佳添加量。

(3) 最佳矿浆稀释浓度研究。根据优选的絮凝剂及添加浓度,为了确定适用于银山矿全尾砂絮凝沉降的两种絮凝剂的最佳稀释浓度,分别采用质量浓度为 6%、8%、10%、12%、14%、16%、25% (矿山原尾砂浆体浓度) 的 7 种全尾砂浆,对比分析最佳矿浆稀释浓度。

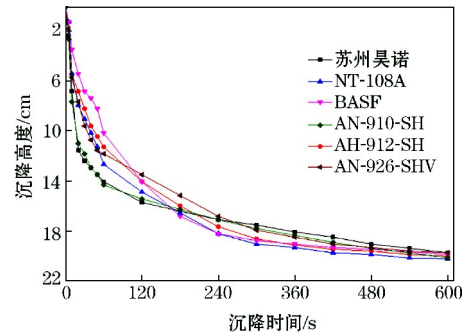
(4) 优选絮凝剂与银山矿现用絮凝剂对比研究。根据优选的絮凝剂及其添加剂量,与银山矿现用两种絮凝剂(DRYEOL-b025 与聚丙烯酰胺)对全尾砂沉降特性的影响进行对比分析。

### 2.1 絮凝剂选型试验

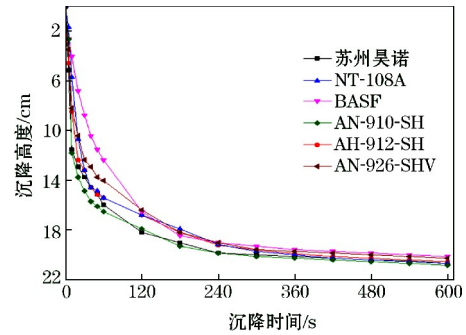
选型试验的主要目的是优选出适合银山矿全尾砂特性的絮凝剂。全尾砂按 20 g/t、40 g/t、60 g/t 的絮凝剂用量,分别添加苏州昊诺、BASF、NT-108A、AN-910-SH、AH-912-SH、AN-926-SHV 等 6 种絮凝剂,试验中尾砂浆浆质量浓度初步选为 10%。

试验结果如图 2 所示。分析试验结果可得,添

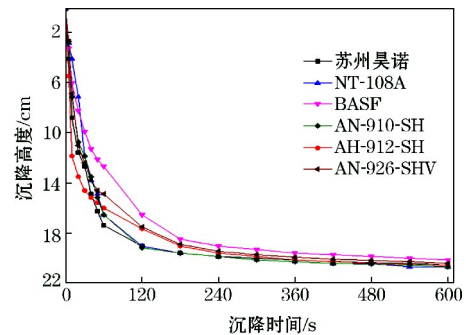
加絮凝剂后,尾砂的沉降效果得到明显改善,对比各絮凝剂在 20 g/t、40 g/t、60 g/t 三种不同用量下的尾砂沉降高度情况,使用 AH-910-SH 和 AN-912-SH 两种絮凝剂的沉降效果明显较优,尾砂沉降速度最快,絮凝剂效果好。



(a) 20 g/t



(b) 40 g/t



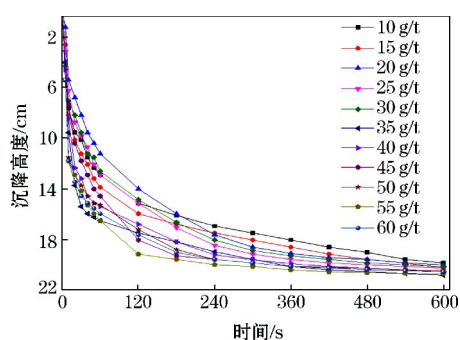
(c) 60 g/t

图 2 不同絮凝剂选型试验结果

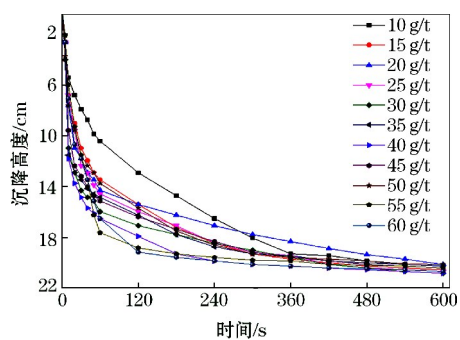
### 2.2 絮凝剂用量试验

根据所优选的絮凝剂试验结果,将 AN-910-SH 和 AH-912-SH 型两种絮凝剂作为初选絮凝剂,进一步开展不同絮凝剂用量下的尾砂沉降试验比较研究,试验采用质量浓度为 10% 全尾砂浆浆,按 10 g/t、15 g/t、20 g/t、25 g/t、35 g/t、40 g/t、45 g/t、50 g/t、55 g/t、60 g/t 的比例分别加入 AN-910-SH 和 AH-912-SH 型絮凝剂,观察两种絮凝剂在不同添加量情况下的全尾砂沉降速度及沉降特性,分析比

较出两种不同絮凝剂的最佳添加量,试验结果如图3所示。



(a) AN-910-SH



(b) AH-912-SH

图3 不同絮凝剂用量试验结果

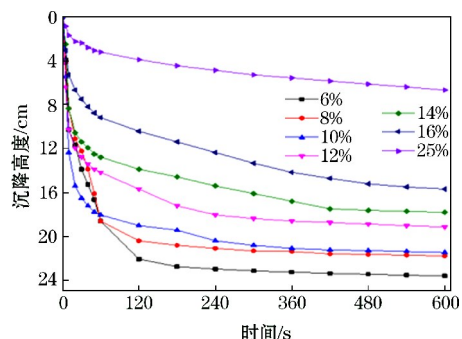
由图3可以看出,在矿浆质量浓度保持为10%的条件时,全尾砂料浆的沉降速度随着两种不同絮凝剂添加量的增加而加快。值得注意的是,当AH-912-SH型絮凝剂添加量达到55 g/t以及AN-910-SH型絮凝剂添加量达到40 g/t时,全尾砂料浆的沉降效果最好,后续随着絮凝剂添加量的增加,尾砂沉降速度的增加效果不明显,甚至对尾砂的沉降高度起到负作用。因此,根据结果可以确定AN-910-SH型絮凝剂的最佳添加量为40 g/t,而AH-912-SH型絮凝剂的最佳添加量为55 g/t。

### 2.3 最佳矿浆稀释浓度

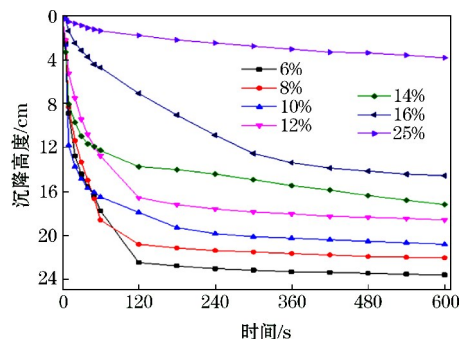
为了进一步确定适用于全尾砂絮凝沉降的两种絮凝剂的最佳稀释浓度,试验采用质量浓度为6%、8%、10%、12%、14%、16%、25%的7种全尾砂浆,按前述试验优选出两种絮凝剂的最佳添加量,进一步观察其沉降速度、清液澄清度、底流浓度,从而确定进入立式砂仓或深锥浓密机最佳的尾砂浆体浓度,以及最终的絮凝剂种类及其添加比例。不同质量浓度下,两种絮凝剂在其最佳添加量下的全尾砂的沉降试验结果如图4所示。

由图4可以看出,无论添加AH-912-SH还是添

加AN-910-SH,当全尾砂浆质量浓度为10%时,其沉降速度明显优于其他浓度,对比两种絮凝剂同一时间的沉降高度,发现其作用的差别可以忽略。



(a) AN-910-SH



(b) AN-912-SH

图4 不同质量浓度浆体添加絮凝剂沉降试验结果

### 2.4 银山矿选厂所用絮凝剂沉降对比试验

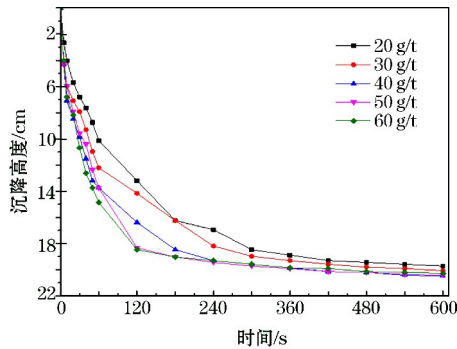
由于银山矿选厂亦有絮凝剂使用,为探讨矿山选厂所用絮凝剂与所有优选的絮凝剂及添加量对于银山矿全尾砂浓缩的适应性,选择使用银山矿选厂的两种絮凝剂进行了全尾砂(质量浓度为10%)絮凝沉降试验,结果如图5所示。

由图5可以看出,银山矿选厂使用的两种絮凝剂对银山矿全尾砂的沉降效果也有显著作用,均可加快银山矿全尾砂的沉降速度。

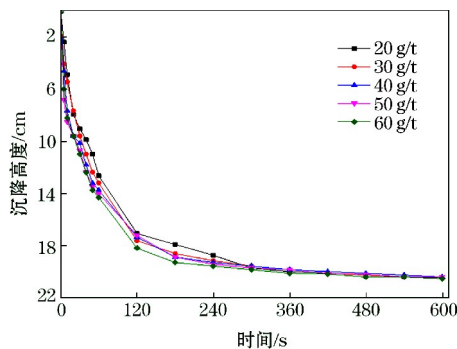
(1) 絮凝效果分析。银山矿选厂两种絮凝剂与推荐的絮凝剂的沉降效果对比如图5(c)所示,由图5(c)可看出,推荐使用絮凝剂的沉降时间在0~2 min内,明显优于银山矿选厂两种絮凝剂的沉降速度。故而推荐使用的絮凝剂的沉降效果更佳。

(2) 经济性分析。根据确定的添加比例,银山矿选厂现用的两种絮凝剂的最佳添加量均为60 g/t,价格均为20 000元/t,则每吨尾砂消耗的絮凝剂成本为1.2元;而推荐絮凝剂的最佳添加量为40 g/t,价格为18 000元/t,则每吨尾砂消耗的絮凝剂成本为0.72元。综合絮凝效果和性价比,建议银山矿全

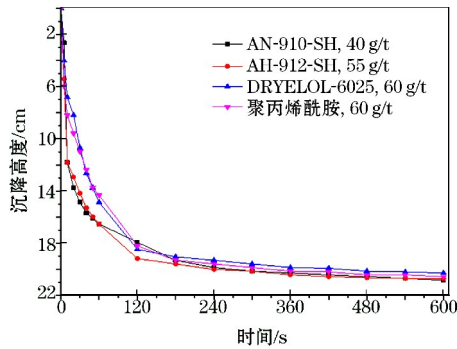
尾砂浓缩采用 AN-910-SH 型絮凝剂,最佳添加量为 40 g/t。



(a) DRYEOL-b025



(b) 聚丙烯酰胺



(c) 对比分析

图 5 不同种类絮凝剂最佳添加量下的沉降效果

### 3 结论

(1) 开展了絮凝剂选型试验研究,根据苏州吴诺、BASF、NT-108A、AN-910-SH、AH-912-SH、AN-926-SHV 等 6 种不同絮凝剂的全尾砂沉降规律,确定 AN-910-SH、AH-912-SH 两种絮凝剂的全尾砂沉降效果较好。

(2) 基于优选的 AN-910-SH、AH-912-SH 两种絮凝剂,开展了不同絮凝剂用量下的全尾砂沉降特性研究,结果表明:AH-912-SH 型絮凝剂的最佳添加量为 55 g/t,AN-910-SH 型絮凝剂的最佳添加量

为 40 g/t。

(3) 基于优选的两种絮凝剂及其最佳用量,开展了不同全尾砂浓度下的沉降特性研究,当全尾砂浆质量浓度为 10% 时,使用絮凝剂的沉降速度明显最优,因此,可确定进入立式砂仓或深锥浓密机最佳的尾砂浆质量浓度为 10%。

(4) 基于优选的絮凝剂及其最佳用量,与银山矿选厂现用两种絮凝剂进行全尾砂沉降特性的对比分析,AN-910-SH 型絮凝剂的效果最优,考虑到 AN-910-SH 型絮凝剂的最佳添加量为 40 g/t,且单位全尾砂絮凝剂成本为 0.72 元/t,综合考虑成本、沉降效果等因素,最终推荐选用 AN-910-SH 型絮凝剂,添加量为 40 g/t。

### 参考文献:

- [1] 冯帆,孟宪伟,李鹏杰,等. 下向进路分层无分段巷道充填法采场间柱回采技术研究[J]. 矿业研究与开发,2023,43(2):1-4.
- [2] 苗磊刚,牛园园,潘洪波. 某矿尾砂胶结充填体强度演化特征及力学效应研究[J]. 金属矿山,2023(3):52-58.
- [3] 史誉州,郑晓燕,房世龙. 基于正交试验设计的全尾砂浆絮凝沉降参数选择及优化[J]. 有色金属工程,2023,13(2):116-126.
- [4] 胡建钊. 某铜矿采场结构参数优化[J]. 采矿技术,2023,23(1):7-11.
- [5] 冯涛,余锦柱,江科,等. 某矿细粒尾砂胶结充填技术研究[J]. 采矿技术,2023,23(2):148-152.
- [6] 李夕兵,黄麟淇,周健,等. 硬岩矿山开采技术回顾与展望[J]. 中国有色金属学报,2019,29(9):1828-1847.
- [7] 万飞,宋卫东,高玉杰,等. 深部破碎矿体二步矿柱安全回采技术研究[J]. 矿业研究与开发,2019,39(6):1-5.
- [8] 童炎,韩亚民,王进,等. 程潮铁矿深部接续工程采矿方案研究[J]. 采矿技术,2018,18(4):18-21.
- [9] 杨官涛,袁梅芳. 深部复杂难采砂页岩矿体低贫损采矿方法研究与实践[J]. 矿业研究与开发,2013,33(4):4-6.
- [10] 秦帅,李辉,梁权宇,等. 谦比希铜矿全尾砂静态絮凝沉降试验及充填参数优化[J]. 采矿技术,2023,23(1):219-222.
- [11] 宋泽普,付有,林顺才,等. 分级细尾砂充填试验研究[J]. 矿业研究与开发,2022,42(11):29-33.
- [12] 王石,刘武,宋学朋,等. 基于水分迁移的不同质量分数全尾砂浆浑液面沉降规律[J]. 中国矿业大学学报,2023,52(1):63-75.
- [13] 盛宇航,李广波,王增加,等. 粒级组成对尾砂絮凝沉降性能的影响[J]. 矿冶工程,2022,42(5):58-64.
- [14] 尹升华,闫泽鹏,严荣富,等. 全尾砂-废石膏体流变特性及阻力演化[J]. 工程科学学报,2023,45(1):9-18.
- [15] 吴再海. 基于超细尾砂絮凝沉降浓密试验及应用分析[J]. 有色金属工程,2022,12(10):117-125.
- [16] 张儒学,王谦源,王孟来,等. 磷矿浮选超细全尾砂胶结充填的试验研究[J]. 矿业研究与开发,2022,42(9):39-43.