

超细全尾砂深锥浓密试验研究

谭 伟

(北京金诚信矿山技术研究院有限公司, 北京 100070)

摘 要:随着膏体充填的广泛应用,超细全尾砂在膏体充填中的使用已越来越普遍,针对铅硐山矿的全尾砂,开展了实验室深锥浓密试验。试验尾砂密度为 2.879 g/cm^3 、渗透系数为 0.167 cm/h ,尾砂中 $-20\text{ }\mu\text{m}$ 颗粒含量为 46.76% 且最大粒径不到 $1\text{ }000\text{ }\mu\text{m}$,属于脱水性较差的超细全尾砂。通过对 3 种不同进料浓度的砂浆进行深锥絮凝沉降试验,得知在完成进料后 1 h 的沉降时间基本可达到最大底流浓度,随着进料浓度的增加,底流浓度无显著提升;结果分析得知,铅硐山全尾砂砂浆可实现的底流质量浓度约为 67% 。试验结果为超细全尾砂充填工艺设计及深锥浓密机选型提供了重要依据。

关键词:超细尾砂;深锥浓密试验;底流浓度;絮凝沉降

中图分类号:TD166

文献标志码:A

文章编号:1671-4172(2020)01-0102-04

Experimental study on deep cone thickening of ultrafine unclassified tailings

TAN Wei

(Beijing JCHX Mine Technology Research Institute Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: Ultrafine unclassified tailings has been more and more commonly applied with the extensive application of paste backfilling. In this paper, deep cone thickening test was carried out in laboratory by using unclassified tailings from Qiangongshang mine. Results indicated that the density of the test tailings was 2.879 g/cm^3 , the permeability coefficient was 0.167 cm/h , the content of $-20\text{ }\mu\text{m}$ particles was 46.76% and the maximum particle size was less than $1000\text{ }\mu\text{m}$; thereby, it was a kind of ultrafine unclassified tailings with poor dewatering. Flocculation sedimentation test showed that it could reach the maximum underflow concentration after the completion of feeding for 1 h with three kinds of slurry feeding concentration. The underflow concentration didn't increase significantly with the increase of feeding concentration, and the underflow mass concentration of the unclassified tailing slurry was about 67% . The research can provide significant evidence for the process design of backfilling and deep cone selection of ultrafine unclassified tailings.

Key words: ultrafine tailings; deep cone thickening test; underflow concentration; flocculation sedimentation

随着“绿色矿山”的大力推广,充填法在金属矿山的应用已越来越普遍,膏体充填作为一大趋势在国内外已得到广泛应用^[1-2],如国内的金川镍矿、会泽铅锌矿、伽师铜矿,国外的中色谦比希铜矿、坦桑尼亚 Bulyanhulu 金矿等。膏体充填的一大好处就是充分利用矿山选厂出来的尾砂,不需要进行分级处理,全部用以制作膏体充入井下采场,减少矿山尾砂的排放量,减轻尾矿库的压力。但由此也带来一

个问题,就是全尾砂的细颗粒含量多少不一,全部用于制备膏体对膏体性能有利有弊,对于很多金属矿山尾砂, $-20\text{ }\mu\text{m}$ 颗粒含量达到 40% 以上。结合国内外多数矿山全尾砂的粒级特征,可将 $-20\text{ }\mu\text{m}$ 颗粒含量达到 40% 以上全尾砂称为超细全尾砂^[3-4]。总之,超细颗粒含量越多,全尾砂的脱水性能越差。

实际应用中,膏体充填全尾砂通常采用深锥浓密机脱水,且需添加一定量的絮凝剂,以达到迅速脱水的目的^[5-6]。由此可知,超细全尾砂的脱水效果研究对矿山膏体充填的应用具有重要意义。本文主要采用试验的方式,对铅硐山铅锌矿的全尾砂开展深锥浓密试验研究。

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(2017YFC0602903)

作者简介:谭 伟(1986—),男,工程师,硕士,采矿专业,主要从事金属矿采矿工艺、充填、岩石力学等方面的研究,E-mail:tanweitw86@sina.com。

1 全尾砂特征

1.1 密度及渗透系数

1)密度

试验采用来自于铅硐山铅锌矿选厂排放的尾砂,测试得到其密度为 2.879 g/cm³。松散堆积密度为 1.345 g/cm³,密实堆积密度为 1.597 g/cm³。

2)渗透系数

渗透系数是代表尾砂渗透性强弱的定量指标,主要取决于颗粒的形状、大小、不均匀系数和水的黏滞性等。中国水工规程规定以 10℃ 为标准温度计算渗透系数。欧美许多国家以 20℃ 为标准温度计算渗透系数,美国矿物局规定,对于分层充填采矿法用的水砂充填材料≥10 cm/h。将这个规定折算到中国的 10℃ 标准≥7.7 cm/h。根据我国和其他国家的经验,水砂充填材料的 10℃ 渗透系数应大于 5~7 cm/h,具体数值按对充填工艺的要求确定。

试验采用基马式渗透仪测得的全尾砂渗透系数为 0.167 cm/h,小于充填法经验标准。由此可知,全尾砂的脱水性较差,充于井下易造成采场脱水困难。

1.2 颗粒级配

尾砂粒径分布如图 1 所示,详细的尾砂粒级组成特征值见表 1。

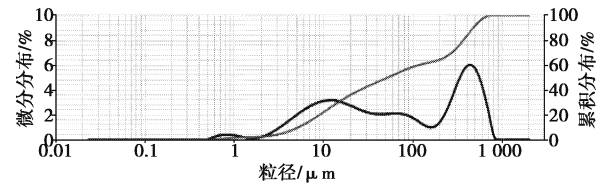


图 1 尾砂粒度分布图

Fig. 1 Grain size distribution of tailings

表 1 尾砂试样粒级组成特征值一览表

Table 1 Grain size eigenvalue of tailing sample

粒度/μm	微分分布/%	累积分布/%
—10	31.09	31.09
+10—20	15.67	46.76
+20—37	10.89	57.65
+37—74	11.72	69.37
+74	30.63	30.63
全粒级		100.0

从表 1 可知,尾砂—10 μm 含量为 31.09%,—20 μm 含量为 46.76%,—74 μm 含量为 69.37%。结合图 1 分布图可知,尾砂整体是偏细的,最大粒径不到 1 000 μm。

从膏体充填的角度出发,—20 μm 颗粒含量在 15%~25%是最佳的,超过这个范围,易造成尾砂脱水困难以及输送过程中管道阻力大的问题。

1.3 化学成分

全尾砂化学成分及其含量如表 2 所示。

从表 2 可知,尾砂中含 CaO、MgO、Al₂O₃、Fe₂O₃、S 等胶结性成分接近 50%,SiO₂ 含量较少,尾砂胶结性能较好。

表 2 全尾砂化学成分分析表

Table 2 Chemical composition analysis of unclassified tailings

化学成分	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	PbO	ZnO	S	MnO	TiO ₂	SrO	Na ₂ O	ZrO ₂	Er ₂ O ₃
含量/Wt%	24.94	24.55	20.26	4.74	1.46	1.27	1.25	0.616	0.585	0.559	0.235	0.196	0.161	0.053	0.027

2 试验方法

1)试验系统

试验装置采用的是实验室小型深锥浓密系统,主要设备包括絮凝溶液制备及添加装置、深锥浓密试验装置。深锥浓密试验装置如图 2 所示。

2)絮凝剂的添加

絮凝剂采用的是阴离子型絮凝剂,型号为 BKTG3,分子量为 1 700。利用絮凝溶液制备及添加装置进行絮凝剂溶液的制备。制备成 0.1%的絮凝剂溶液,根据进料浓度、流量自动调节添加泵的转速,从而控制絮凝剂溶液的添加量。将絮凝剂的添加量控制在 10 g/t。

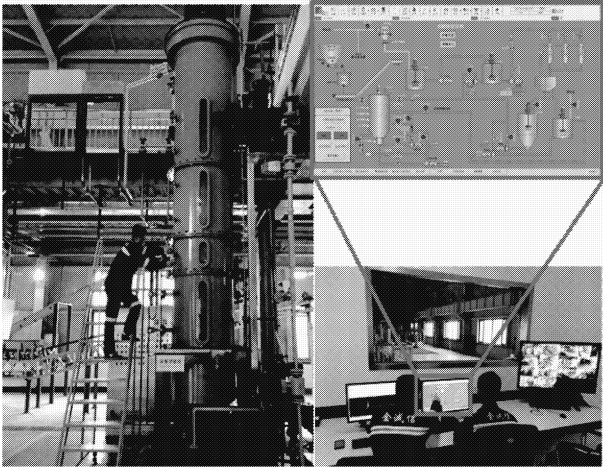


图 2 深锥浓密试验装备

Fig. 2 Equipment for deep cone thickening test

3)料浆制备及进料方式

尾砂干料由提升机提升至 5 m 平台,人工倒入尾砂储料斗,根据试验配比要求自动控制落入给料皮带和计量料斗,计量后经皮带输送机送入矿浆制备罐,同时加水搅拌制备成试验矿浆。

将试验尾砂制备成质量浓度分别为 18%、20%和 25%的料浆,进料流量均控制为 5 m³/h。

配制好的试验矿浆由矿浆储存罐经渣浆泵给料至深锥浓密机,深锥耙架转速设定为 0.1 rpm。启动加料泵,由储浆桶向深锥浓密机中喂料。

3 全尾砂浓密机理

3.1 深锥浓密机工作机理

深锥浓密机是膏体充填工艺中尾砂脱水的关键设备,使悬浮液分成澄清液和浓缩矿浆,在重力作用下,尾矿向下沉降,而清水向上运动,从而实现固液分离。深锥主机由锥筒形机体、机械耙架、进料系统、底流泵几部分构成。与传统重力浓密脱水相比,具有明显的优越性:

1)拥有特殊的给料井,带有自我稀释功能,能将进入的砂浆稀释成较低的浓度,从而达到最佳的絮凝效果。

2)具有较大的高径比和较陡的底部锥角,其底部锥角通常为 30°~45°,在颗粒沉降的同时,可增加底部砂浆的压密脱水性能。

3)深锥浓密机内设计有用于机械搅拌的耙架装置,其主要包括主轴、驱动电机、导水杆以及刮泥耙等,其中导水杆为尾矿絮团中的水分提供了溢流通

道,是提高底流浓度的关键装置。

3.2 固体颗粒沉降原理

根据斯托克斯沉降定律^[7-8],固体颗粒在浓密机中的沉降速度可用式(1)表示:

$$v = \frac{gd^2(\delta_1 - \delta_2)}{18\eta}$$

式中: v 为沉降速度, m/s; g 为重力加速度, m/s²; d 为颗粒粒径, m; δ_1 为固体颗粒的密度, kg/m³; δ_2 为液体的密度, kg/m³; η 为液体的黏度系数, kg/m³ · s。

从式(1)可知,固体颗粒的沉降速度随颗粒粒径的增大而增大。所以尾砂中细颗粒含量越多,沉降效率越慢,越难达到理想的底流浓度。

絮凝剂的添加,有效解决了尾砂中细颗粒沉降速度慢的问题。絮凝剂是长分子链的有机物质,利用其暴露在外面的基团吸附砂浆中的悬浮颗粒。其中阴离子型絮凝剂是靠阴离子基团间的静电排斥作用使分子链伸展,并以伸展状态附着在颗粒表面。絮凝剂通过架桥作用将砂浆中悬浮的细颗粒凝结成一个个大的絮团,从而达到快速沉降的目的。

4 试验结果分析

分别对进料质量浓度为 18%、20%和 25%的料浆进行深锥浓密试验,将进料流量均控制为 5 m³/h。试验采用连续进料的方式,进料完成后,每隔 15 min 进行一次取样,得到不同时段的底流浓度试验结果如表 3 所示。

表 3 深锥浓密试验结果
Table 3 Results of deep cone thickening test

编号	距进料完成后的 取样时间/min	进料浓度 18%时 底流浓度/%	进料浓度 20%时 底流浓度/%	进料浓度 25%时 底流浓度/%
1	15	60.54	61.9	65.40
2	30	64.80	62.0	65.30
3	45	66.20	63.2	64.70
4	60	66.17	64.9	67.57
5	75	65.80	58.9	64.70
6	90	66.20	64.6	63.00
7	105	66.40	63.9	63.50

不同进料浓度对应的底流浓度变化曲线如图 3 所示。

从以上试验结果可知,3 种进料浓度的砂浆沉降速度均较快,在完成进料后 1 h 的沉降时间基本可达到最大底流浓度。当进料浓度为 18%时,可实现底流浓度最大值为 66%左右;当进料浓度为 20%时,可实现的底流浓度最大值为 64%左右;当进料浓度为

25%时,可实现的底流浓度最大值为 67%左右。

数据显示,随着进料浓度的增加,底流浓度无显著提升,其原因可能为进料浓度普遍偏大,进入浓密机后很快达到沉降过程的压缩沉降阶段,随着进料浓度的增大,沉降过程无实质性的变化;另外一个原因即 67%约为尾砂沉降的最大底流浓度,其浓度很难进一步提升。

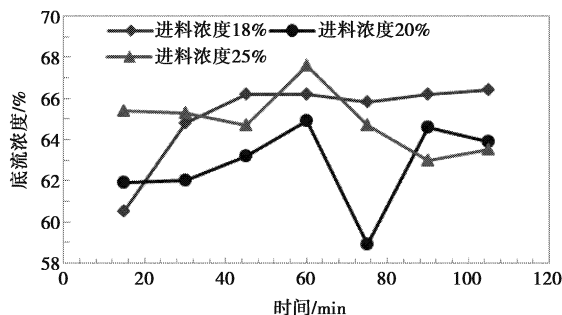


图 3 不同进料浓度条件下底流浓度变化曲线

Fig. 3 Underflow curves at different feeding concentrations

5 结语

本文以铅硐山铅锌矿全尾砂作为试验材料,开展了实验室深锥浓密试验研究,得到主要结论如下:

1)试验所用全尾砂密度为 2.879 g/cm^3 ,渗透系数为 0.167 cm/h ,尾砂中 $-10 \mu\text{m}$ 含量为 31.09% , $-20 \mu\text{m}$ 含量为 46.76% , $-74 \mu\text{m}$ 含量为 69.37% ,最大粒径不到 $1\,000 \mu\text{m}$,属于脱水性较差的超细全尾砂。

2)试验采用的是实验室小型深锥浓密系统,主要设备包括絮凝溶液制备及添加装置、深锥浓密试验装置,在絮凝剂的添加量控制为 10 g/t ,砂浆进料流量控制在 $5 \text{ m}^3/\text{h}$ 的情况下,分别开展了进料浓度为 18% 、 20% 和 25% 的深锥浓密试验。

3)试验结果显示,3种进料浓度的砂浆沉降速度均较快,在完成进料后 1 h 的沉降时间基本可达到最大底流浓度。当进料浓度为 18% 时,可实现底流浓度最大值为 66% 左右;当进料浓度为 20% 时,可实现的底流浓度最大值为 64% 左右;当进料浓度为 25% 时,可实现的底流浓度最大值为 67% 左右;随着进料浓度的增加,底流浓度无显著提升。由此可知,铅硐山全尾砂砂浆可实现的底流质量浓度约为 67% 。试验结果为超细全尾砂充填工艺设计及深锥浓密机选型提供了重要依据。

参 考 文 献

- [1] 吴爱祥,王洪江. 金属矿膏体充填理论与技术[M]. 北京:科学出版社,2015.
WU Aixiang, WANG Hongjiang. Theory and technology of paste backfilling on metal ore[M]. Beijing: Science Press, 2015.
- [2] 吴爱祥,杨莹,程海勇,等. 中国膏体技术发展现状与趋势[J]. 工程科学学报,2018,40(5):517-525.
WU Aixiang, YANG Ying, CHENG Haiyong, et al. Status and prospects of paste technology in China[J]. Chinese Journal of Engineering, 2018, 40(5): 517-525.
- [3] 付自国,乔登攀,郭忠林,等. 超细尾砂胶结充填体强度计算模型及应用[J]. 岩土力学,2018,39(9):3147-3156.
FU Ziguang, QIAO Dengpan, GUO Zhonglin, et al. A model for calculating strength of ultra-fine tailings cemented hydraulic fill and its application[J]. Rock and Soil Mechanics, 2018, 39(9): 3147-3156.
- [4] 吴爱祥,阮竹恩,王建栋,等. 基于超级絮凝的超细尾砂絮凝行为优化[J]. 工程科学学报,2019,41(8):981-986.
WU Aixiang, RUAN Zhuen, WANG Jiandong, et al. Optimizing the flocculation behavior of ultrafine tailings by ultra-flocculation[J]. Chinese Journal of Engineering, 2019, 41(8): 981-986.
- [5] 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 Jiwei, WANG Xinmin, XIAO Chongchun. Experimental study on dynamic flocculating sedimentation of unclassified tailings[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2017, 48(12): 3278-3283.
- [6] 刘志强,程海勇,王贻明,等. 絮凝剂对全尾砂沉降性能影响试验研究[J]. 中国矿山工程,2015,44(1):41-44.
LIU Zhiqiang, CHENG Haiyong, WANG Yiming, et al. Experimental research of flocculant influence on settlement characteristic of unclassified tailings [J]. China Mine Engineering, 2015, 44(1): 41-44.
- [7] 梁为民. 凝聚与絮凝[M]. 北京:冶金工业出版社,1987.
LIANG Weimin. Flocculation and condensation[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1987.
- [8] 彭乃兵,吴爱祥,王洪江,等. 全尾砂絮凝沉降工艺研究[J]. 矿业研究与开发,2015,35(7):35-38.
PENG Naibing, WU Aixiang, WANG Hongjiang, et al. Research on flocculation sedimentation technology of unclassified-tailings[J]. MINING Research & Development, 2015, 35(7): 35-38.