

夏甸金矿细颗粒尾砂充填技术研究与应用

董国强^{1,2},于涛¹,童玉升³

(1. 招金矿业股份有限公司; 2. 北京科技大学土木与资源工程学院; 3. 招金矿业股份有限公司夏甸金矿)

摘要:为解决夏甸金矿充填存在的细颗粒尾砂处理困难、充填浓度低、充填体强度低等技术难题,开展了充填材料物理化学性质研究、细颗粒尾砂沉降特性研究、细颗粒尾砂强度配比试验研究、细颗粒尾砂充填料浆流动性能研究等,提出了夏甸金矿充填系统技术改造方案,并完成了现场技术改造。现场应用结果表明:细颗粒尾砂($-74\ \mu\text{m}$)在灰砂比1:7~1:8,充填能力 $\geq 60\%$ 时,充填体3 d强度 $\geq 1\ \text{MPa}$,满足夏甸金矿开采要求,不仅解决了细颗粒尾砂排放问题,减轻尾矿库库容压力,而且还提高了矿山尾砂利用率。

关键词:细颗粒尾砂;充填系统;充填体强度;料浆流动性;充填倍线

中图分类号:TD853.34

文章编号:1001-1277(2024)03-0009-06

文献标志码:A

doi:10.11792/hj20240303

引言

招金矿业股份有限公司夏甸金矿(下称“夏甸金矿”)采矿生产规模为4 000 t/d,主要包括1[#]、7[#]和北耩3个矿段,主要回采7[#]矿段,采用明竖井、盲竖井联合开拓。矿石经深部主井提升至-652 m水平,经24中段皮带道运输至1号矿段主竖井提升至地表,经皮带运输至选矿厂;废石经深部副井提升至-652 m水平,再由-652 m水平电机车运输至7[#]矿段538明竖井提升至地表,汽车外运。-652 m水平以下设有盲主井和盲副井,分别担负深部矿体开采的矿(废)石提升和人员、材料升降。夏甸金矿采用充填采矿法开采。尾矿产率93.94%,密度 $2.75\ \text{t}/\text{m}^3$,松散密度 $1.72\ \text{t}/\text{m}^3$,细度 $\geq 74\ \mu\text{m}$ 占比为38%。矿山在北耩矿段设有地表充填站,充填系统采用分级尾砂充填,分为表层胶结充填和全胶结充填2种充填方式,采用胶固粉作为胶凝材料^[1-2]。

目前,夏甸金矿充填系统主要面临3方面技术问题:一是细颗粒尾砂处理困难,对选矿厂至充填站尾砂进行旋流器分级后,粗尾砂用于充填,细颗粒尾砂直接排至尾矿库,现有尾矿库服务时间短,新尾矿库又难以审批,矿山将面临细颗粒尾砂无处可排的严重问题;二是充填浓度低,现有充填站采用分级粗尾砂充填,充填浓度为65%~68%,浓度较低,井下泌水量大,严重影响井下作业环境;三是充填体强度低,现有充填浓度不高、灰砂比不均匀(给料不稳定),因此充填料浆制备质量不高,充填体强度偏低^[3-4]。

为解决夏甸金矿充填系统存在的问题,对夏甸金矿细颗粒尾砂充填进行研究,对充填系统进行优化改造,确保夏甸金矿可实现细颗粒尾砂全部用于充填,粗尾砂进行外售,打造无尾排放矿山的目的。

1 充填材料物理化学性质研究

1.1 充填材料

充填试验的骨料选用夏甸金矿全尾砂(含水10%~20%),该全尾砂经200目标标准筛人工筛析(水筛)后,烘干、混匀,形成细颗粒尾砂。胶凝材料为1[#]胶固粉、2[#]胶固粉、3[#]胶固粉、4[#]胶固粉及5[#]胶固粉。

1.2 尾砂物理性能

测定尾砂试样的密度, $-74\ \mu\text{m}$ 尾砂密度为 $2.648\ \text{t}/\text{m}^3$, $+74\ \mu\text{m}$ 尾砂密度为 $2.673\ \text{t}/\text{m}^3$ 。通过测定全尾砂粒度分布可知,全尾砂粒径 $-5\ \mu\text{m}$ 、 $-10\ \mu\text{m}$ 、 $-20\ \mu\text{m}$ 、 $-50\ \mu\text{m}$ 、 $-74\ \mu\text{m}$ 、 $-100\ \mu\text{m}$ 、 $-200\ \mu\text{m}$ 、 $-500\ \mu\text{m}$ 的颗粒占比分别为24.15%、32.76%、42.36%、55.04%、62.25%、78.10%、85.32%、100.00%。 $-74\ \mu\text{m}$ (200目以下)占比62.25%,尾砂的密实程度较好,有利于充填体的密实。尾砂pH测定分析后,细颗粒尾砂料浆pH值约为7。细颗粒尾砂堆密度为 $0.688\ \text{g}/\text{cm}^3$,空隙率为74.03%。

1.3 尾砂化学成分分析

夏甸金矿全尾砂中含硅、铝较多, SiO_2 为66.62%, Al_2O_3 为12.43%。尾砂中主要矿物为石英、钾长石、斜长石、绢云母。其中,石英、钾长石、斜长石和绢

云母主要嵌布在 $+38\ \mu\text{m}$ 粒级中,在 $-38\ \mu\text{m}$ 各粒级含量明显降低。

2 细颗粒尾砂沉降特性研究

2.1 静态絮凝沉降试验

试验充填骨料为夏甸金矿尾矿筛析的 $-74\ \mu\text{m}$ 细颗粒尾砂,添加絮凝剂配成质量分数 0.5% 的溶液,用水为实验室水,尾矿浆配制用水为选矿厂水。实验室絮凝剂回水能够降低精矿产率,提高精矿品位,对回收率基本无影响。

1) 絮凝剂种类试验。固定絮凝剂用量为 $30\ \text{g/t}$,矿浆浓度为 10% ,进行絮凝剂种类单因素条件试验,试验结果见图 1。由图 1 可知:采用 F02 絮凝剂,沉降速度较慢,且上层清液相对浑浊;其他絮凝剂沉降速度较快,以 F05 絮凝剂效果最优。因此,选择 F05 絮凝剂进行后续条件试验。

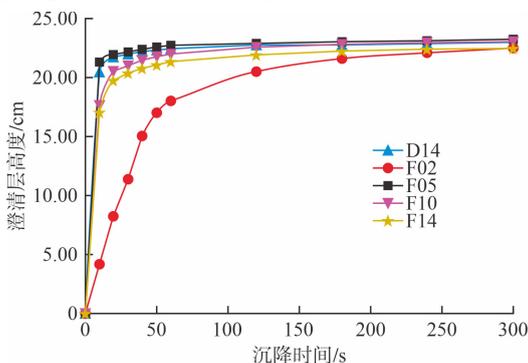


图 1 絮凝剂种类沉降曲线

Fig. 1 Settling curve of different types of flocculants

2) 絮凝剂用量试验。采用 F05 絮凝剂,固定矿浆浓度为 10% ,进行絮凝剂用量单因素条件试验,试验结果见图 2。由图 2 可知:当絮凝剂用量较小时,上层清液较为浑浊,漂浮着较多的细颗粒;随着絮凝剂用量的增多,上层清液逐渐变得清澈,沉降速度先增大后减小;当絮凝剂用量为 $40\ \text{g/t}$ 时,沉降速度最快,上层清液较为清澈,且最终的沉降底流浓度为 58.65% 。

3) 矿浆浓度试验。采用 F05 絮凝剂,固定用量为 $40\ \text{g/t}$,进行矿浆浓度单因素条件试验,试验结果见图 3。当矿浆浓度为 10% 时,沉降速度最快,继续增加矿浆浓度,沉降速度逐渐降低。

2.2 动态絮凝沉降试验

1) 絮凝剂的配制。絮凝剂采用 F05 絮凝剂,在室温 $15\ ^\circ\text{C}$ 下配制成质量分数 0.1% 的溶液,溶解时间为 $2\ \text{h}$,动态絮凝沉降试验稀释成质量浓度 $0.05\ \text{g/L}$ 的溶液待用。

2) 样品分析及预处理。给料矿浆及每次得到的底流固体样品,经过抽滤、水洗、烘干后,记录相关数

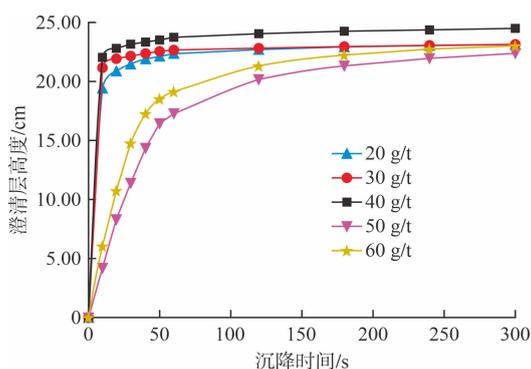


图 2 絮凝剂用量沉降曲线

Fig. 2 Settling curve of different dosage of flocculant

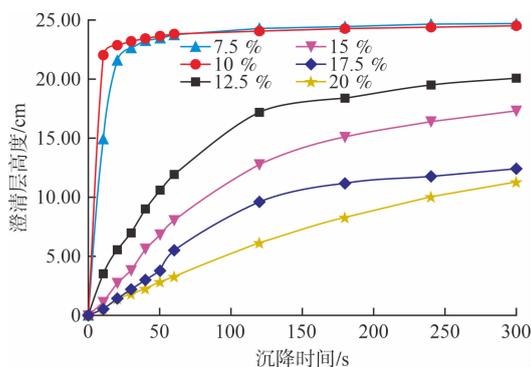


图 3 矿浆浓度沉降曲线

Fig. 3 Settling curve of slurry concentration

据再进行浓度分析。溢流样含固量分析首先采用真空过滤装置过滤溢流样,同样经水洗、烘干再进行分析。

3) 水质试验。采用生活水、回水、地下水 3 种水进行水质试验,分别采用 3 种水配制 F05 絮凝剂,然后采用 3 种不同水质配制的絮凝剂及相应的水对夏甸金矿 $-74\ \mu\text{m}$ 尾砂进行絮凝沉降对比试验。使用生活水的上层清液比其他两种水质的上层清液浑浊。3 种水质中,地下水沉降速度最快,回水次之,生活水最慢。

4) 动态浓密试验。动态浓密试验采用 4 个蠕动泵,分别用于泵送稀释水、絮凝剂、分级细颗粒尾砂矿样进入浓密试验装置的给料系统中,从试验装置底部泵出底流矿样。稀释水采用自来水;絮凝剂通过 2 个不同的给药点添加,添加量以静态试验所得数据为参考;将分级细颗粒尾砂配成浓度为 8% 左右的溶液,然后放入 $100\ \text{L}$ 的桶内用电动搅拌机充分搅拌均匀,最后泵入管道。通过计算调整蠕动泵转速,使絮凝剂、尾矿矿样达到静态试验的最佳添加比并模拟不同情况下的浓密试验。当泥层高度为 $200\ \text{mm}$ 时开始取样测溢流水,当泥层高度为 $350\ \text{mm}$ 时开始取样测底流浓度。尾砂动态浓密试验结果见表 1。

表1 尾砂动态浓密试验结果

Table 1 Test results of dynamic thickening of tailings

试验序号	固体负荷/ [$t \cdot (m^{-2} \cdot h^{-1})$]	给料浓度/ %	絮凝剂用量/ ($g \cdot t^{-1}$)	密度/ ($t \cdot m^{-3}$)	底流浓度/ %	扩展度/ cm	溢流水上升速度/ ($m \cdot h^{-1}$)	溢流水含固量/ 10^{-6}
1	0.20	10	34.10	1.56	57.70	13	2.45	61.3
2	0.36	10	31.08	1.54	56.29	13	3.79	84.8
3	0.48	10	32.01	1.49	52.66	19	4.98	86.8
4	0.59	10	30.08	1.47	51.35	20	6.16	131.1
5	0.75	10	29.80	1.46	50.73	23	7.42	162.7

由表1可知:尾砂固体负荷为0.20~0.75 t/(m²·h)时,底流浓度为57.70%~50.73%;溢流水上升速度主体趋势随固体负荷的加快而增大;从稳定底流浓度、溢流水含固量满足小于300×10⁻⁶ 2个方面考虑,推荐的尾砂固体负荷为0.36 t/(m²·h),该条件下底流浓度为56.29%,矿浆密度为1.54 t/m³,扩展度为13 cm,溢流水含固量为84.8×10⁻⁶。

3 细颗粒尾砂强度配比试验

胶结充填材料及配比既是决定充填体强度的关键指标,又是影响充填成本的主要因素,合理的充填材料和配比应该是以最低成本使胶结充填体满足采矿工艺要求^[5-8]。

3.1 胶固粉种类强度试验

试验的充填材料:1[#]胶固粉、2[#]胶固粉、3[#]胶固粉、4[#]胶固粉及5[#]胶固粉,夏甸金矿-74 μm细颗粒尾砂,实验室用水。开展胶固粉种类试验,2种灰砂比(1:6,1:15),5种胶固粉,进行全面组合试验,测试3个龄期(3 d、7 d、28 d)抗压强度。试验结果表明:灰砂比1:6,浓度63%时,5种胶固粉的3 d强度为0.64~1.39 MPa,其中,1[#]胶固粉3 d强度1.39 MPa,5[#]胶固粉3 d强度1.28 MPa,3[#]胶固粉3 d强度1.22 MPa,符合3 d强度≥1 MPa的强度要求。灰砂比1:15,浓度63%时,5种胶固粉的3 d强度为0.1~0.22 MPa,均不符合3 d强度≥1 MPa的强度要求。

3.2 充填料浆泌水率及沉缩性能

随着充填料浆浓度的减小,充填料浆泌水率明显增大,从而引起充填料浆沉缩量增大,导致每立方米充填料浆实际充填井下采空区的体积减小。因此,在保证充填料浆顺利输送的前提下,充填料浆浓度越高越好,不但可以减少泌水量,同时也可以减少充填体的沉缩量。充填料浆泌水率较小,全部在3%以下,表明-74 μm细颗粒尾砂充填料浆浓度合理,泌水率和充填料浆的沉缩率小,有利于矿山采空区充填接顶。

3.3 充填体强度配比试验

开展充填强度配比试验,选择5种灰砂比(1:4,1:6,1:8,1:10,1:15),3种胶固粉(4[#]胶固粉、1[#]胶固粉、5[#]胶固粉),3个浓度(59%、61%、63%)进行全面组合试验,测试3个龄期(3 d、7 d、28 d)抗压强度。1[#]胶固粉充填试块不同龄期抗压强度见表2。

通过不同胶固粉种类的强度配比试验结果可知:各种胶固粉强度效果顺序为1[#]胶固粉>5[#]胶固粉>3[#]胶固粉>2[#]胶固粉>4[#]胶固粉。在灰砂比1:6,浓度63%时,5种胶固粉的3 d强度为0.64~1.39 MPa,其中,1[#]胶固粉3 d强度1.39 MPa,5[#]胶固粉3 d强度1.28 MPa,3[#]胶固粉3 d强度1.22 MPa,均达到3 d强度≥1 MPa的强度要求。

4 细颗粒尾砂充填料浆流动性能研究

4.1 坍落度试验

坍落度试验是测定充填料浆拌和物的稠度大小、评价充填料浆变形性能或抵抗流动变形性能的试验方法。将脱水尾砂配制成不同灰砂比、不同浓度的料浆,进行坍落度试验,试验设计从浓度68%开始,不断降低料浆浓度,当料浆完全摊开时试验结束。灰砂比1:6的细颗粒尾砂料浆坍落度试验结果见图4。

由图4可知:当灰砂比1:6的细颗粒尾砂料浆浓度为68%时,坍落度为25 cm,需采用泵送加压方可进行管道输送;当浓度在60%以下时,坍落度在28 cm以上,料浆流动性好,可实现管道自流输送;浓度在60%以上时,料浆的和易性较好,保水性良好,只有少量泌水,不易分层离析,更利于输送。

4.2 L型管道自流半工业试验

L型管道输送小型模拟试验装置见图5,管道倍线3.2,管道内径65 mm,灰砂比1:6,浓度为58%、60%、62%。实验室内L型管道输送小型模拟试验是利用该试验装置,将按照一定配比和浓度的充填料浆充分搅拌均匀后,倒入上部试验漏斗中,料浆借助自重通过与漏斗连接的L型管道向下流动,从L型管道的下端出口流出^[9]。通过料浆流量、静止料柱高度等数值的测量,确定料浆输送相关参数。

表2 1#胶固粉充填试块不同龄期抗压强度结果

Table 2 Uniaxial compressive strength of different ages of 1# cemented solidification powder fill test blocks

编号	浓度/%	灰砂比	3 d 强度/MPa	7 d 强度/MPa	28 d 强度/MPa	备注
1	59		1.65	2.52	3.13	
2	61	1:4	2.30	2.82	3.93	
3	63		2.61	3.31	4.31	
4	59		0.63	1.24	1.67	
5	61	1:6	0.96	1.30	1.92	
6	63		1.20	2.10	2.56	
7	59		0.50	1.02	1.11	
8	61	1:8	0.65	1.18	1.31	养护条件:温度 25 °C ~ 30 °C,湿度 ≥ 90 %
9	63		0.86	1.49	1.69	
10	59		0.42	0.75	0.80	
11	61	1:10	0.52	1.03	1.08	
12	63		0.61	1.07	1.11	
13	59		0.20	0.41	0.46	
14	61	1:15	0.26	0.49	0.51	
15	63		0.33	0.57	0.63	

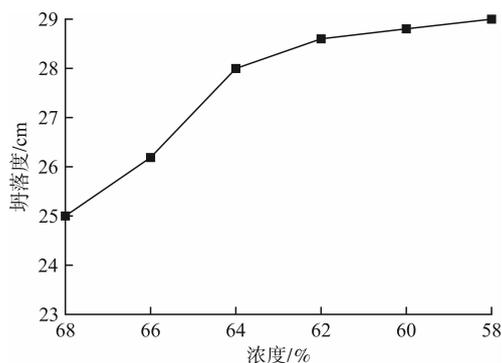


图4 细颗粒尾砂料浆坍落度曲线

Fig. 4 Slurry slump curve of fine tailings slurry

在试验中,灰砂比 1:6,浓度为 58 %、60 %、62 % 进行 L 型管道试验。夏甸金矿细颗粒尾砂试样充填料浆流动性能试验参数见表 3。由表 3 可知:灰砂比 1:6,充填料浆的浓度自 62 % 降到 58 % 时,



图5 L型管道试验装置

Fig. 5 L-shaped tube test device

屈服剪切应力从 11.780 Pa 降至 3.347 Pa。但屈服剪切应力过大,管道输送时静摩擦力增大,从而加大输送阻力,不利于料浆管道自流输送。浓度低于 60 % 时,屈服剪切应力显著降低,输送阻力较低。

表3 充填料浆流动性能参数

Table 3 Flowability performance parameters of filling slurry

灰砂比	浓度/%	料浆静止高度/cm	料浆容重/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	料浆密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	料浆流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	料浆流变参数		剪切应力/Pa
						屈服剪切应力/Pa	黏性系数/($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	
1:6	62	10.95	18.732	1.911	0.864	11.780	0.652	84.995
1:6	60	7.20	18.032	1.840	1.213	7.556	0.464	79.322
1:6	58	3.25	17.444	1.780	2.337	3.347	0.205	63.410

4.3 结构流体的流动阻力

充填料浆在管道中的流速与制备输送量成正比,与管道内径的平方成反比,由于细尾砂可实现低速输

送,所以为了降低输送阻力,可适当加大输送管径。例如:灰砂比为 1:6,浓度为 60 %,管径 100 mm,当料浆流量从 $40 \text{ m}^3/\text{h}$ 提高至 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,流速从

1.415 m/s 提高到 3.539 m/s, 输送阻力从 2.5 kPa/m 增大至 5.65 kPa/m, 可顺利实现自流输送的充填倍线从 6.26 降至 2.77。

充填料浆浓度和输送管道内径是决定输送阻力的 2 个核心因素。加大管道内径可极大地降低管道输送阻力。例如: 灰砂比为 1:6, 浓度为 60%, 流量为 60 m³/h 时, 管道内径从 80 mm 增大至 150 mm, 输送阻力可从 6.91 kPa/m 降至 0.79 kPa/m, 相应地充填倍线可从 1.91 增大至 17.6。

5 细颗粒尾砂充填系统改造与应用

5.1 充填系统改造

目前, 夏甸金矿充填系统设计采用分级粗尾砂非胶结或分级粗尾砂胶结充填。选矿厂的尾砂直接泵送到旋流器组进行分级, 旋流器溢流及砂仓溢流泵送至尾矿库。需要充填时, 向砂仓内通入高压水进行造浆, 浓缩后的尾砂通过放砂管自流进入高浓度搅拌槽中。需要胶结充填时添加胶凝材料、水搅拌成充填料浆, 最后通过充填钻孔和充填管网输送至井下采空区充填。

本次主要改造夏甸金矿尾砂仓、搅拌系统、造浆系统, 并对夏甸金矿尾砂输送管道进行调整。利用原有尾砂输送系统将夏甸金矿尾砂泵送至砂仓顶部的旋流器中, 分级粗尾砂进入高频振动筛脱水制成机制砂外售; 分级细尾砂进入改造后的砂仓, 通过絮凝剂自动加药机在絮凝沉降模块中多点添加絮凝剂, 结合强制稀释絮凝沉降, 实现细尾砂的高效浓密和溢流澄清。溢流水先进入溢流水缓存池, 然后泵送至高位水池; 浓密机内沉砂高度达到要求后打开浓密机底部阀门进行放砂, 为保证精确的充填浓度, 待砂面下降到

一定高度后停止放砂, 等待泥层上升到设定值 (10 m) 后进行下一轮放砂工作。通过控制系统自动打开放砂阀, 进行高浓度料浆稳态放砂, 底流在流量计和阀门协同控制下流入高速柔性搅拌机^[10]。

胶固粉通过散装粉料罐车运送至充填站, 压风卸入水泥仓中。通过给料和计量装置, 将水泥卸入搅拌设备与细尾砂浆混合。同时, 根据充填需要添加适量调浓水。浓密全尾砂浆、胶凝材料、水在充填料搅拌制备系统中经过高速旋转链条的剪切、分散作用制备成合格的充填料浆, 制备好的充填料浆经斜钻孔和井下管网系统自流输送至采场。改造后的充填工艺流程见图 6。

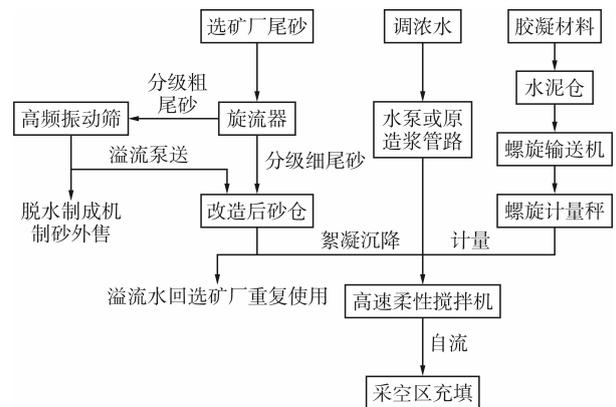


图 6 改造后的充填工艺流程

Fig. 6 Renovated filling process flow chart

5.2 细颗粒尾砂充填工业试验

开展了连续进砂连续充填工业试验, 测定了不同充填采场、不同放砂时间下的泥层高度、底流浓度、充填料浆流量及不同灰砂比情况下不同取样制样方式充填体强度的变化趋势。充填采场垂深 470 m, 充填倍线 3~4 时的连续进出砂情况见表 4。

表 4 连续进砂连续充填试验数据

Table 4 Test data of continuous sand feeding and continuous filling

序号	进料浓度/ %	细尾砂进料量/ (t · h ⁻¹)	絮凝剂用量/ (g · t ⁻¹)	放砂时间/ h	泥层高度/m	底流浓度/ %	充填料浆浓度/ %	充填流量/ (m ³ · h ⁻¹)
1	20~25	80	30	0	7.5	61	64	82
2	20~25	80	30	1.5	7.4	60	63	84
3	20~25	80	30	2.0	7.2	60	63	84
4	20~25	80	30	3.5	7.1	60	61	82
5	20~25	80	30	4.5	7.4	61	61	80
6	20~25	80	30	5.0	7.1	60	61	83

不同灰砂比不同取样制样方式下充填体强度见表 5。

进料浓度为 20%~25%、全尾砂进入旋流器的量为 4 000 t/d, 通过泥层高度的上升进行计算, 细尾砂进入砂仓的量约为 80 t/d; 絮凝剂用量控制在

30~40 g/t, 可保证溢流水澄清, 溢流水含固量 < 300 × 10⁻⁶; 根据连续进砂连续充填试验结果, 当实现进出平衡, 泥层高度稳定时, 可保证底流浓度 ≥ 60%; 当放砂大于进砂, 泥层高度下降至 5 m 时, 无足够的压缩层高度, 底流浓度会有所下降。根据充填数据, 充

表5 不同取样制样方式下充填体强度

Table 5 Strength of filling body under different sampling and preparation methods

取样制样方式	灰砂比	浓度/ %	3 d 强度/ MPa	7 d 强度/ MPa
底流取样	1:6	60	1.615	2.11
	1:8	60	1.165	1.60
	1:10	60	0.75	1.02
搅拌桶取充填料浆	1:6	63	1.45	1.79
	1:6	61	1.18	1.38
	1:6	60	1.01	1.25
井下取岩芯	1:6		1.25	2.04
	1:6		1.36	2.25
	1:6		1.18	1.93

填系统能力完全大于 $60 \text{ m}^3/\text{h}$,但同时考虑到搅拌机有效容积为 3 m^3 ,充填料浆均质化搅拌需满足在搅拌桶搅拌 2 min 左右。根据充填流量 $80 \text{ m}^3/\text{h}$,充填料浆在搅拌桶搅拌时间为 2.25 min ,可实现均质化搅拌。根据底流取样配制充填料浆、搅拌桶取充填料浆及井下岩芯取样 3 种取样试块强度数据,浓度 60% 、灰砂比 $1:6$,细颗粒尾砂充填体的 3 d 强度均大于 1 MPa 。

6 结论

通过对夏甸金矿细颗粒尾砂实验室试验及工业试验论证可知:

1) 通过实验室及工业试验进行双向论证,改造后细颗粒尾砂 ($-74 \mu\text{m}$),在灰砂比 $1:7 \sim 1:8$,充填能力 $\geq 60\%$ 时,充填体 3 d 强度 $\geq 1 \text{ MPa}$,满足夏甸金矿采矿要求。

2) 改造后砂仓可实现溢流水澄清,含固量 $< 300 \times 10^{-6}$,同时溢流水对矿山选矿基本无影响。

3) 细颗粒尾砂 ($-74 \mu\text{m}$) 浓缩后砂仓底流浓度 $\geq 60\%$,同时在连续进砂连续充填的过程中,底流浓度稳定在 $59\% \sim 61\%$ 。

4) 根据矿山目前 4000 t/d 的选矿生产能力,当 4000 t/d 全尾砂进入旋流器分级后, 85% 左右的分级细尾砂 ($-74 \mu\text{m}$) 可进入技改砂仓,单个技改砂仓细颗粒尾砂处理能力 $\geq 80 \text{ t/h}$ 。

5) 夏甸金矿采用技改砂仓,可进行 2 种模式的充填作业,当充填流量 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右时,充填作业制度为 2 班充填,1 班进砂;当充填流量 $80 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右时,充填作业制度为 3 班连续作业充填。在 2 种模式的充填流量下,充填系统制备能力完全满足要求。

6) 夏甸金矿实现了细颗粒尾砂充填,同时可满足矿山生产要求,不仅可以解决细颗粒尾砂排放问题,减轻尾矿库库容压力,同时还提高了矿山尾砂利用率。

[参考文献]

- [1] 唐占信,王金波,周东良,等. 夏甸金矿分级尾砂充填材料试验研究[J]. 黄金,2016,37(6):43-45.
- [2] 杨悦增,许国良,何少博,等. 夏甸金矿上向水平分层充填法结构参数优化的数值模拟[J]. 金属矿山,2017(7):42-46.
- [3] 王洪江,王小林,寇云鹏,等. 全尾砂高浓度胶结充填的环管试验[J]. 工程科学学报,2021,43(2):215-222.
- [4] 付建勋,贺茂坤,江国建,等. 绿色无尾矿山优化充填技术与关键装备研究[J]. 中国矿山工程,2022,51(3):58-61.
- [5] 杨波. 高浓度全尾砂胶结充填管道输送数值模拟及应用研究[D]. 衡阳:南华大学,2016.
- [6] 袁世伦,陈金平,程战明,等. 极细颗粒全尾砂胶结充填工艺系统优化及应用[J]. 黄金,2022,43(5):43-47.
- [7] 冯胜洋,崔宇,许田贵,等. 尾砂膏体充填材料的流动性能研究[J]. 矿冶工程,2019,39(2):1-5.
- [8] 彭志华,陈鑫政,郭利杰,等. 国内某铁矿充填工艺技术优化[J]. 有色金属(矿山部分),2022,74(5):25-30.
- [9] 任建平,焦华喆. 全尾砂半工业环管输送试验与数值模拟研究[J]. 矿业研究与开发,2020,40(12):23-27.
- [10] 李成伟,祝鑫,彭亮,等. 某铁矿全尾砂充填系统技改设计及应用研究[J]. 矿业研究与开发,2022,42(3):158-162.

Research and application of fine tailings filling technology in Xiadian Gold Mine

Dong Guoqiang^{1,2}, Yu Tao¹, Tong Yusheng³

(1. Zhaojin Mining Industry Co., Ltd.;

2. School of Civil and Resource Engineering, University of Science and Technology Beijing;

3. Xiadian Gold Mine, Zhaojin Mining Industry Co., Ltd.)

Abstract: In order to address the technical challenges of difficult processing of fine particle tailings, low filling concentration, and poor filling body strength in Xiadian Gold Mine, experimental research was conducted on the physical and chemical properties of filling materials, settling characteristics of fine tailings, strength ratio of fine tailings, and flowability performance of fine tailings filling slurry. A technical renovation plan for the filling system in Xiadian Gold Mine was proposed and implemented on-site. The goal was achieved to have the filling body strength of $\geq 1 \text{ MPa}$ at 3 d for fine tailings ($-74 \mu\text{m}$) with a cemented sand ratio of $1:7 \sim 1:8$ and a filling capacity $\geq 60\%$. This improvement met the requirements of the Xiadian Gold Mine, not only solving the discharge issues of fine tailings but also reducing the pressure on tailings storage capacity while increasing the utilization rate of mine tailings.

Keywords: fine tailings; filling system; filling body strength; slurry flowability; filling multiplication line