

搅拌参数对尾盐充填料浆流动特性及强度的影响*

郑伯坤^{1,2,3}, 石勇^{1,2,3}, 黄腾龙^{1,2}, 郑博洋^{1,2}, 彭亮^{1,2,3}, 尹旭岩^{1,2}, 江科^{1,2}

(1.长沙矿山研究院有限责任公司, 湖南长沙 410012;

2.金属矿山安全技术国家重点实验室, 湖南长沙 410012;

3.湖南省矿山固废综合利用工程技术研究中心, 湖南长沙 410012)

摘要:为了提高尾盐充填料浆的质量,实现矿山尾盐低成本、高质量充填,研究了机械搅拌因素对尾盐充填料浆质量的影响。通过分析不同搅拌时间和不同搅拌转速下尾盐料浆的扩展度、塌落度以及试块的3 d、7 d和28 d强度测试结果,探究了不同搅拌条件下充填料浆的搅拌效果。结果表明:随着搅拌转速和搅拌时间的增加,尾盐料浆的均质性有所提升,料浆中的大块颗粒明显减少;机械搅拌强度的增加能够提高充填料浆的流动性,当搅拌转速为1120 r/min、搅拌时间为150 s时,搅拌叶轮对充填料浆的搅拌效率最高,此时料浆的流动性较好;搅拌时间和搅拌转速的增大可以提高料浆中物料颗粒的碰撞次数,从而强化尾盐和氧化钙之间的反应效果,在一定范围内提高尾盐充填体的强度。

关键词:钾盐尾矿料浆;流动特性;充填体强度;搅拌时间;搅拌转速

中图分类号:TD853.34 **文献标识码:**A

文章编号:1005-2763(2024)06-0049-07

0 引言

我国钾盐资源存在储量低、质量差、品位低以及可选性差等问题。为了解决钾资源严重不足的现状,政府支持企业到我国周边老挝、泰国等地区开发开采钾盐资源^[1-4]。老挝作为重点投产开发的钾盐开采生产基地,其钾盐资源赋存形式主要以光卤石矿为主,大部分矿场采用固采的方式开采钾盐,开采后的盐矿经浮选提质后,得到氯化钾、尾盐和老卤^[5]。尾盐和老卤的大量堆积破坏了当地的生态环境,而尾盐低成本充填则是解决此困境的有效手段^[6-8]。

目前针对尾盐充填的研究,主要集中在尾盐充填方式、工艺、低成本尾盐胶凝材料以及尾卤制备工艺等^[9-11]方面。研究表明,相较于传统的充填料浆,

机械搅拌能够改变料浆的均质性,从而提高充填体的强度^[12]。栾黎明等^[13]利用流体仿真模拟软件对双层叶轮加螺带的复合结构的搅拌过程进行了模拟,发现该结构可以增强料浆在搅拌设备中的流动,消除设备中的搅拌低效区,提升搅拌效率。杨柳华^[14]针对搅拌过程中的剪切作用进行了研究,优化了搅拌叶片的参数,并提出了膏体流变特性的搅拌剪切效应。熊有为等^[15]采用DEM与SPH耦合的仿真模拟方法,研究了不同搅拌结构对料浆的搅拌效果,发现叶片直径、叶片数以及搅拌轴数的变化均会影响搅拌效果。杨超峰等^[16]利用EDEM仿真模拟软件模拟了充填高速搅拌机工作过程中物料颗粒的运动状态,对高速搅拌机的搅拌效果进行了分析,发现高转速下物料颗粒在轴向和径向方向高速运动,提高了物料颗粒间的碰撞次数,增强了物料之间的反应。以上研究主要针对传统的充填料浆,而关于机械搅拌对尾盐充填料浆影响的研究相对较少。

为探究搅拌因素对尾盐料浆质量的影响,采用不同的搅拌条件处理尾盐充填料浆,分析不同搅拌参数下尾盐料浆的流动性和充填体的强度变化,确定尾盐料浆均质化充填最佳的搅拌条件。

1 尾盐物料化学性质分析

1.1 尾盐化学成分

现场采集的尾盐经烘干处理后,采用X射线荧光光谱分析仪(XRF)分析其化学成分,结果见表1。

由表1可知,尾盐中的主要元素为Cl、Na、O和Mg,含量分别为47.35%、31.71%、10.20%和4.77%,根据XRF测试结果推断,尾盐的主要化学

* 收稿日期:2023-09-06

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFC2904003,2023YFC2907203);湖南省高新技术产业科技创新引领计划项目(2022GK4057);湖南省自然资源厅科技项目(2022-40)。

作者简介:郑伯坤(1984—),男,广东汕头人,硕士,高级工程师,主要从事充填采矿及固废利用研究,E-mail:413778846@qq.com。

成分为 NaCl 和 MgCl₂。研究表明,当尾砂中 S 含量超过 11% 时,会严重影响充填体后期强度的增

长。而本文尾盐中的 S 含量仅为 0.44%,不会对充填的后期强度产生影响,可作为充填骨料进行充填。

表 1 尾盐化学成分

Table 1 Chemical composition of tail salt

Cl	Na	O	Mg	K	Ca	S	Si	Al	Fe	Rb	%
47.35	31.71	10.20	4.77	4.70	0.59	0.44	0.15	0.06	0.02	0.01	

1.2 尾盐粒度分析

采用马尔文 MS3000 型激光粒度分析测试仪测定尾盐的粒径,测试结果如图 1 所示。由图 1 可知,尾盐的平均粒径为 489.28 μm,其中颗粒粒径在 200 目以下的颗粒含量仅为 1.07%,由此可知,本试验采用的尾盐属于极粗尾盐。

尾盐的 $d_{10}=218.74 \mu\text{m}$ 、 $d_{30}=518.88 \mu\text{m}$ 、 $d_{60}=1096.59 \mu\text{m}$,根据式(1)和式(2)可计算得到尾盐的不均系数 C_u 和曲率系数 C_c 分别为 5.01 和 1.12。当尾盐试样同时满足 C_u 大于 5 且 C_c 在 1~3 之间时,表明其颗粒配级良好,可以作为膏体充填的骨料。

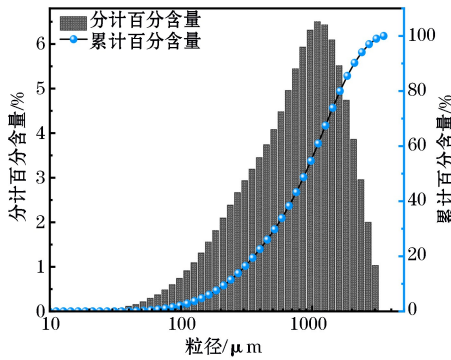


图 1 尾盐粒径分布

Fig.1 Partiole size distribution of tail salt

$$C_u = d_{60} / d_{10} \quad (1)$$

式中, d_{60} 为 60% 颗粒能通过的筛孔直径, μm; d_{10} 为 10% 颗粒能通过的筛孔直径, μm。

$$C_c = \frac{d_{30} \times d_{30}}{d_{60} \times d_{10}} \quad (2)$$

式中, d_{30} 为 30% 颗粒能通过的筛孔直径, μm。

2 搅拌活化试验

2.1 试验材料

试验材料主要为尾盐、氧化钙、卤晶和水等。为减小试验结果与矿山实际工程应用的误差,本研究中所用的尾盐试样均取自老挝甘蒙省龙湖矿区,且开展试验前对尾盐进行了烘干和还原粒径处理。

矿区在开采钾盐的过程中会产生尾液,即主要

成分为氯化镁的老卤。由于矿区的尾液难以运输,本试验采用卤晶 ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 配置饱和氯化镁溶液,替换现场的尾液作为配制充填料浆的卤水。室温 25 °C 状态下, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 的溶解度为 300 g, 配制后饱和氯化镁溶液的体积密度为 1.318 t/m³。

2.2 试验设计

为探究活化搅拌对尾盐充填料浆性质的影响,试验采用氧化钙作为胶凝剂,灰砂比设置为 1:15,尾盐充填料浆质量浓度为 70%。测试不同搅拌转速和搅拌时间下料浆的塌落度、塌落扩展度,以及充填体的 3 d 强度、7 d 强度、28 d 强度。

共设置两组试验,第一组试验分析搅拌时间对尾盐充填料浆性质的影响,搅拌转速设定为 1120 r/min,设置 5 组不同的搅拌时间,分别为 60 s、90 s、120 s、150 s、180 s,具体试验方案见表 2。

第二组试验分析搅拌转速对尾盐充填料浆性质的影响,搅拌的时间设定为 120 s,搅拌转速分别为 280 r/min、700 r/min、1120 r/min、1540 r/min、1960 r/min,具体试验方案见表 3。

表 2 搅拌时间对尾盐充填料浆性质影响的试验方案

Table 2 Test schemes for influence of stirring time on properties of tail salt filling slurry

方案	搅拌转速/(r/min)	搅拌时间/s	尾盐/kg	氧化钙/kg	卤水/kg
1	1120	60	2.00	0.13	0.92
2	1120	90	2.00	0.13	0.92
3	1120	120	2.00	0.13	0.92
4	1120	150	2.00	0.13	0.92
5	1120	180	2.00	0.13	0.92

表 3 搅拌转速对尾盐充填料浆性质影响的试验方案

Table 3 Test schemes for influence of stirring speed on properties of tail salt filling slurry

方案	搅拌转速/(r/min)	搅拌时间/s	尾盐/kg	氧化钙/kg	卤水/kg
1	280	120	2.00	0.13	0.92
2	700	120	2.00	0.13	0.92
3	1120	120	2.00	0.13	0.92
4	1540	120	2.00	0.13	0.92
5	1960	120	2.00	0.13	0.92

2.3 试验步骤

称取 6.9 kg 的 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 用于配置饱和卤水,按试验方案配比称取相应质量的尾盐和氧化钙,称取好的样品用搅拌棒充分混匀,加入配置好的饱和卤水,在不同的搅拌条件下配置成质量浓度为 70% 的尾盐料浆,进行塌落度和扩展度的试验并记录数据。回收试验后的料浆灌入 $7.07\text{ cm} \times 7.07\text{ cm} \times 7.07\text{ cm}$ 的试块模具,观察料浆的状态,当料浆基本成型后进行刮模处理。待浇筑试块初凝后,将试块脱模并放入养护室进行养护(温度 $20\text{ }^\circ\text{C}$,湿度 95%),养护至 3 d、7 d、28 d 时分别测量试块对应的强度。

3 试验结果分析

3.1 扩展度试验结果分析

充填料浆的流动性在膏体充填中至关重要,流动性好的充填料浆才能够从地面泵送或自流至井下采空区进行充填。为了研究搅拌因素对尾盐料浆流动性的影响,测试了不同搅拌条件下尾盐料浆的扩展度。

图 2 为不同搅拌时间下尾盐料浆塌落扩展情况。由图 2 可知,随着搅拌时间的增加,尾盐料浆中的大块颗粒明显减少,料浆的均质性逐步提高。图 3 为不同搅拌时间下尾盐料浆扩展度拟合分析结果。由图 3 可知,尾盐料浆的扩展度随搅拌时间的增加逐渐提高,搅拌时间从 60 s 增加到 180 s,尾盐料浆的扩展度从 320 mm 增长到 380 mm。对扩展度的数据进行拟合发现,尾盐料浆的扩展度随搅拌时间的增加呈线性增长,说明搅拌时间的变化会影响料浆的流变特性。

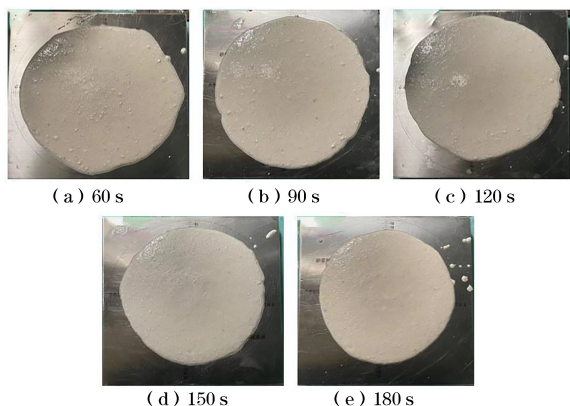


图 2 不同搅拌时间下尾盐料浆塌落扩展情况
Fig.2 The situation of slump expansion of tail salt slurry under different stirring time

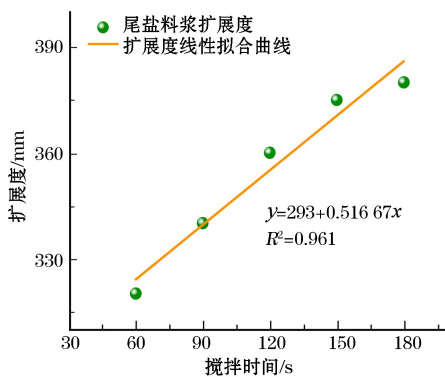


图 3 不同搅拌时间下尾盐料浆扩展度拟合分析
Fig.3 Fitting analysis of expansion degree of tail salt slurry under different stirring time

图 4 为不同搅拌转速搅拌 120 s 后尾盐料浆的塌落扩展情况。由图 4 可知,当搅拌转速为 280 r/min 时,尾盐料浆呈水砂分离的状态,料浆中的大块结团颗粒占比较高,大部分结团颗粒呈堆积状态;随着搅拌转速的增加,料浆中的成团颗粒明显减少,尾盐料浆逐渐均匀。图 5 为不同搅拌转速搅拌 120 s 后尾盐料浆扩展度拟合分析结果。由图 5 可知,当转速从 280 r/min 增大至 1960 r/min 时,尾盐料浆的扩展度从 295 mm 增大到 380 mm。对比不同搅拌转速和搅拌时间下尾盐料浆塌落扩展情况发现,尾盐料浆扩展度与搅拌转速的线性关系更强,线性拟合曲线的 R^2 达到了 0.997 74。搅拌转速越大,搅拌过程中搅拌叶片产生的机械冲击力更大,对尾盐料浆剪切作用力更强,更容易将大块成团颗粒打散,提升料浆的均质性。

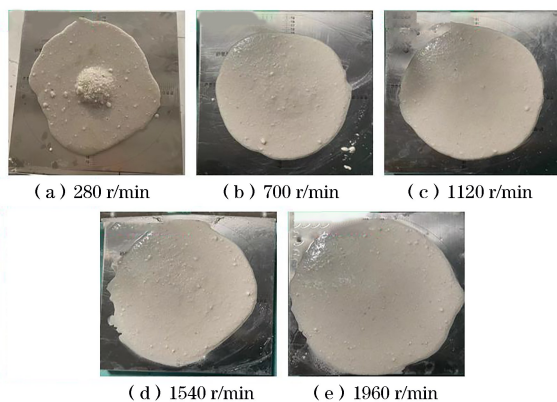


图 4 不同搅拌转速下尾盐料浆塌落扩展情况
Fig.4 The situation of slump expansion of tail salt slurry at different stirring speeds

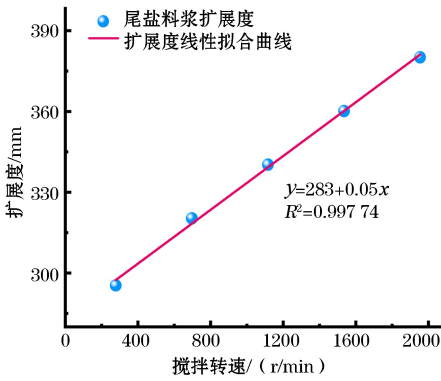


图5 不同搅拌转速下尾盐料浆扩展度拟合分析

Fig.5 Fitting analysis of expansion of tail salt slurry under different stirring speeds

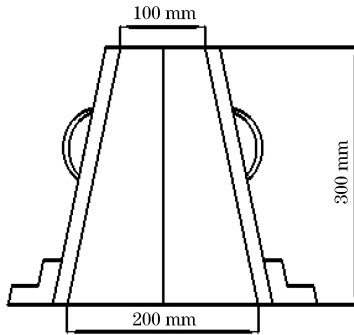


图6 塌落度测试示意

Fig.6 slump test

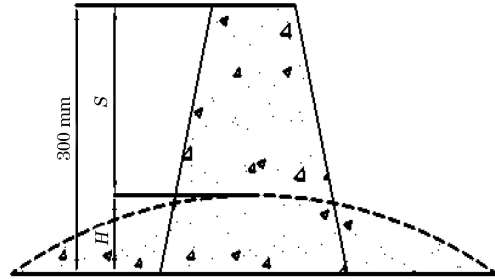


图7为不同搅拌时间下尾盐料浆的塌落度试验结果。由图7可知,尾盐料浆的塌落度随搅拌时间的增加逐渐增大,说明料浆的流动性在逐步提升。

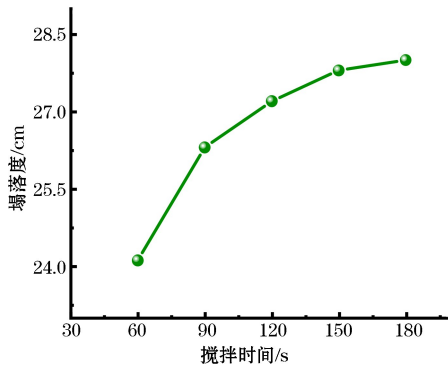


图7 不同搅拌时间下尾盐料浆塌落度分析

Fig.7 Slump analysis of tail salt slurry under different stirring time

根据曲线的斜率变化发现,随着搅拌时间的增加,料浆塌落度的增长速度逐渐减缓,当搅拌时间达到150 s时,尾盐料浆的塌落度达到了27.8 cm,继续增加搅拌时间,料浆的塌落度提高效果不明显。

由扩展度试验可知,调整尾盐料浆的搅拌参数可以改变料浆的流动特性,且随着输入料浆搅拌能量的增大,料浆的扩展度呈线性增大,料浆的流动性和均质性得到提升。

3.2 塌落度试验结果分析

塌落度也是反应料浆流动性的重要指标,料浆的流动性主要与其质量浓度、灰砂比、胶固材料以及尾砂粒度有关。有关研究表明,机械搅拌强度也能改变充填料浆的流动性^[17-21],因此,本试验通过测定不同搅拌强度下尾盐料浆的塌落度来研究搅拌因素对尾盐料浆流动性的影响,塌落度试验工具和方法如图6所示。

由文献[22]至文献[24]可知,当料浆的塌落度为25~29 cm时,料浆具有较好的保水性和输送性。根据现场充填系统运行参数和实际经验得知,当料浆的塌落度为27~29 cm时,可通过料浆自流的方式进行输送;当料浆塌落度为25~27 cm时,可采用泵送的方式进行输送。综合尾盐料浆的塌落度和搅拌能耗分析,确定尾盐料浆的最佳搅拌时间为150 s。

图8为不同搅拌转速下尾盐料浆的塌落度试验结果。由图8可知,随着搅拌转速的增大,尾盐料浆的塌落度呈逐渐增长的趋势。根据尾盐料浆塌落度的增长速度变化可将曲线分为两个部分:当转速在1120 r/min及以下时,尾盐料浆塌落度随转速的增大基本呈线性增长,此阶段搅拌转速的提升明显增强了料浆的流动性,能量传递的效率较高;当转速大于1120 r/min时,尾盐料浆塌落度的增长速度变慢,塌落度与搅拌转速不再呈线性增长关系,搅拌效率逐步降低。当搅拌转速为1120 r/min时,尾盐料浆的塌落度为27.2 cm,料浆已达到较好的输送性和保水性。因此,尾盐料浆在搅拌转速为1120

r/min,搅拌时间控制在 150 s 时,搅拌设备对尾盐料浆的搅拌效率最高,搅拌效果最好。

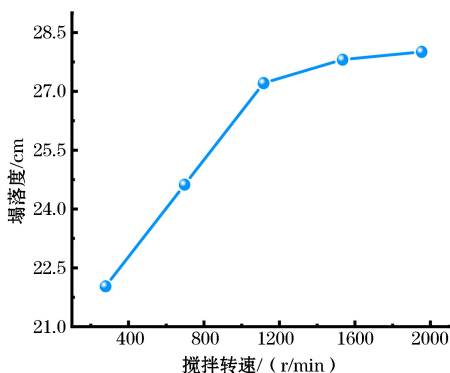


图 8 不同搅拌转速下尾盐料浆塌落度分析

Fig.8 Slump analysis of tail salt slurry under different stirring speeds

3.3 尾盐胶结充填体强度试验结果分析

为了探究搅拌对尾盐料浆充填体强度的影响,将不同搅拌条件下的尾盐料浆进行灌模,进行强度测试。图 9 为不同搅拌时间下尾盐料浆胶固试块的强度测试结果。以试块 3 d 强度为例,随着尾盐料浆搅拌时间的增加,试块的 3 d 强度逐渐增大。搅拌时间为 60 s 时,尾盐试块的强度为 0.75 MPa;当搅拌的时间增加至 180 s 时,试块的强度增长到 0.84 MPa,试块强度提高了 12%。由试验结果可知,增加搅拌时间可以提高试块的强度。对比试块 3 d、7 d 和 28 d 强度,试块 7 d 强度相比于 3 d 强度有较大的增长,而试块 28 d 和 7 d 强度几乎相同,表明试块前期强度增长较快,后期强度增长缓慢。因此,当试块养护至 7 d 时,试块强度基本固定,达到最佳强度值。

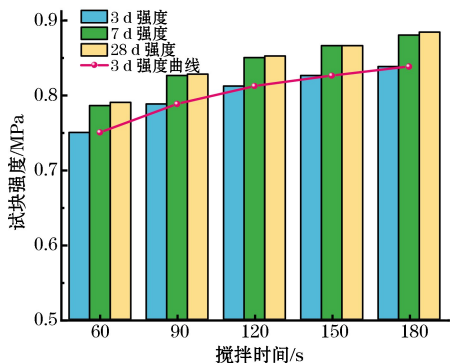


图 9 不同搅拌时间下试块强度

Fig.9 The strength diagram of test block under different stirring time

图 10 为不同搅拌转速下尾盐料浆胶固试块的强度测试结果。试验结果规律与不同搅拌时间下试

块强度变化规律相似,由试块的 3 d 强度曲线可知,试块的 3 d 强度随搅拌转速的增加而增大。搅拌转速较低时,尾盐料浆搅拌不均匀,料浆中未分散的结团颗粒较多,胶凝材料分布不均,导致尾盐和氧化钙反应不充分,试块的抗压强度低。随着搅拌转速的逐步提高,料浆的均质性得到改善,胶凝材料在料浆中基本均匀分布,增加了物料颗粒之间的碰撞次数,强化了尾盐和氧化钙的反应效果,试块的抗压强度逐步提升。相比于搅拌转速为 280 r/min,当搅拌转速增大至 1960 r/min 时,试块强度提高了 15.3%。但随着搅拌转速的持续提高,试块 3 d 强度曲线的斜率逐渐减小,搅拌转速对试块强度的提升效果逐渐降低。

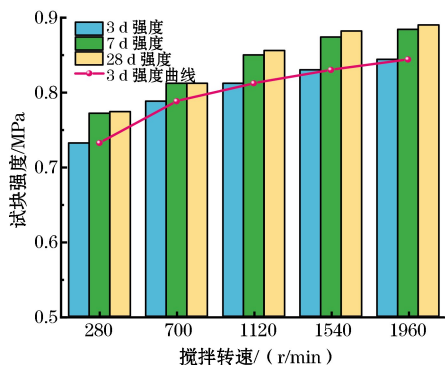


图 10 不同搅拌转速下试块强度

Fig.10 The strength diagram of test block under different stirring speeds

由试块强度试验结果可知,机械搅拌的强度会影响尾盐充填体的强度,通过改变尾盐料浆的搅拌条件,在一定范围内可以提高尾盐充填体的强度。

4 结论

通过开展不同搅拌条件下尾盐料浆流动特性和强度试验,研究了搅拌因素对尾盐料浆特性的影响,得到了以下主要结论。

(1) 提高搅拌转速和增加搅拌时间能够提高尾盐料浆的均质性,减少料浆中的大块成团颗粒。

(2) 机械搅拌强度的变化能够影响尾盐料浆的流动特性,尾盐料浆的扩展度和塌落度随着搅拌时间的增加和搅拌转速的提高有不同程度的提升,综合搅拌能耗与尾盐料浆的流动性进行分析,尾盐料浆最佳的搅拌条件为:搅拌转速为 1120 r/min、搅拌时间为 150 s。

(3) 提高搅拌强度可以强化尾盐料浆和胶凝材料的反应效果,搅拌转速的提高和搅拌时间的增加,

可以在一定范围内提高尾盐充填体的强度,搅拌转速由 280 r/min 提高至 1960 r/min 时,尾盐充填体强度提高了 15.3%;搅拌时间由 60 s 增加至 180 s 时,尾盐充填体强度提高了 12%。

参考文献(References):

- [1] 商朋强,祁才吉,焦森,等.中国钾盐矿产预测评价模型和资源潜力分析[J].地质通报,2019,38(10):1758-1767.
SHANG Pengqiang, QI Caiji, JIAO Sen, et al. Potash assessment models and resource potential analysis in China[J]. Geological Bulletin of China, 2019, 38(10): 1758-1767.
- [2] 张永生,郑绵平.中国钾盐矿产基地成矿规律与深部探测技术示范[J].地学前缘,2021,28(6):1-9.
ZHANG Yongsheng, ZHENG Mianping. Metallogenic models of potassium ore deposits in China and demonstration of deep exploration technology [J]. Earth Science Frontiers, 2021, 28(6): 1-9.
- [3] 刘艳,朱祥开.云南中寮矿业老挝钾盐资源开发前景研究[J].云南化工,2023,50(5):98-100.
LIU Yan, ZHU Xiangkai. Study on the development prospect of potash resources in Zhongliao[J]. Yunnan Chemical Technology, 2023, 50(5): 98-100.
- [4] 黎明明,郑绵平,王晨光,等.泰国钾盐资源及其开发前景[J].科技导报,2021,39(9):114-121.
LI Mingming, ZHENG Mianping, WANG Chenguang, et al. Potash resources and development prospect in Thailand [J]. Science & Technology Review, 2021, 39(9): 114-121.
- [5] 徐盛.老挝钾盐矿制钾后的卤水处理工艺研究[J].盐科学与化工,2020,49(2):33-35.
XU Sheng. Process study on disposal brine of sylvite after extraction potassium salt in Laos[J]. Journal of Salt Science and Chemical Industry, 2020, 49(2): 33-35.
- [6] 左迪,姚俊耀.国外某钾盐矿开采工艺的探讨[J].采矿技术,2019,19(6):13-14.
ZUO Di, YAO Junyao. Discussion on the mining technology of a foreign potash mine[J]. Mining Technology, 2019, 19(6): 13-14.
- [7] 张峰堂.钾盐矿开采的地质勘查与地质环境保护探讨[J].工程技术研究,2020,5(24):42-43.
ZHANG Haotang. Discussion on geological exploration and geological environment protection of potash mining [J]. Engineering and Technological Research, 2020, 5(24): 42-43.
- [8] 李鑫,杜剑.氯化钾浮选尾盐回收研究探索[J].盐科学与化工,2020,49(4):40-42.
LI Xin, DU Jian. Study on the recovery of tail salt from flotation of KCl[J]. Journal of Salt Science and Chemical Industry, 2020, 49(4): 40-42.
- [9] 高红波,李涛.老挝固体钾盐矿床开采尾矿低成本充填技术研究[J].中国矿业,2020,29(3):140-143+148.
GAO Hongbo, LI Tao. Study on low cost filling technology of tailings on Laos solid sylvite deposit mining[J]. China Mining Magazine, 2020, 29(3): 140-143+148.
- [10] 张超,耿佃凯.尾盐水力充填技术在老挝某固体钾盐矿的应用实践[J].中国矿业,2020,29(增刊2):297-299.
ZHANG Chao, GENG Diankai. The application of hydraulic filling in Laos sylvite mine[J]. China Mining Magazine, 2020, 29(S2): 297-299.
- [11] 郭雷,翟建波,施士虎,等.固体钾盐矿地下开采充填工艺研究[J].中国矿山工程,2017,46(3):46-48+51.
GUO Lei, ZHAI Jianbo, SHI Shihu, et al. Research on filling technology of underground mining of solid potash mine[J]. China Mine Engineering, 2017, 46(3): 46-48+51.
- [12] 宋泽普,郑伯坤,黄腾龙,等.充填料浆活化搅拌因素研究[J].矿业研究与开发,2020,40(12):48-51.
SONG Zepu, ZHENG Bokun, HUANG Tenglong, et al. Study on the activation stirring mechanism of filling slurry[J]. Mining Research and Development, 2020, 40(12): 48-51.
- [13] 黎黎明,寇云鹏,张军童.基于复合搅拌结构的充填料浆流场数值模拟研究[J].矿业研究与开发,2021,41(4):43-47.
LIU Liming, KOU Yunpeng, ZHANG Juntong. Research on numerical simulation of filling slurry flow based on composite mixing structure [J]. Mining Research and Development, 2021, 41(4): 43-47.
- [14] 杨柳华.膏体搅拌过程流变特性及剪切作用机制研究[D].北京:北京科技大学,2020.
YANG Liuhua. Research on the rheological characteristics and the mechanism of shear action during paste mixing[D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2020.
- [15] 熊有为,刘福春,刘恩彦,等.基于DEM-SPH耦合的高浓度充填料浆搅拌仿真[J].矿业研究与开发,2022,42(1):162-167.
XIONG Youwei, LIU Fuchun, LIU Enyan, et al. Stirring simulation for high-concentration filling slurry based on the coupled DEM-SPH method [J]. Mining Research and Development, 2022, 42(1): 162-167.
- [16] 杨超峰,吉万健.基于EDEM的矿山充填用高速搅拌机的仿真分析[J].现代矿业,2019,35(2):160-162+180.
YANG Chaofeng, JI Wanjian. Simulation analysis of high-speed mixer for mine filling based on EDEM[J]. Modern Mining, 2019, 35(2): 160-162+180.
- [17] 华超.基于扩散度方法的全尾砂充填料浆流动性影响因素研究[J].现代矿业,2021,37(8):188-190.
HUA Chao. Study on influencing factors of full tailings filling slurry fluidity based on diffusion method[J]. Modern Mining, 2021, 37(8): 188-190.
- [18] 张少鹏,杜翠凤,戚伟.碱激发矿渣胶结剂对尾砂充填料浆流动性和抗压强度的影响[J].矿业研究与开发,2020,40(3):87-92.
ZHANG Shaopeng, DU Cuifeng, QI Wei. Effects of alkali-activated slag binder on the fluidity and compressive strength of cement paste backfill[J]. Mining Research and Development, 2020, 40(3): 87-92.
- [19] 吴炜,张朋,邱剑辉,等.某金矿全尾砂-人工砂高浓度胶结充填料浆工作特性的试验研究[J].矿业研究与开发,2020,40(3):62-66.

- WU Wei, ZHANG Peng, QIU Jianhui, et al. Experimental study on the working characteristics of high-concentration cemented filling slurry with full Tailings and artificial sand in a gold mine [J]. Mining Research and Development, 2020, 40(3): 62-66.
- [20] 邵兴隆,肖益盖,何伟,等.某铅锌矿全尾砂充填料浆输送性能试验研究[J].矿业研究与开发,2019,39(8):106-110.
- SHAO Xinglong, XIAO Yigai, HE Wei, et al. Experimental study on transport properties of unclassified tailing filling slurry in a lead-zinc mine[J]. Mining Research and Development, 2019, 39(8): 106-110.
- [21] 王富林,杨仕教,苏帅,等.高浓度全尾砂充填料浆流变特性试验研究[J].长江科学院院报,2019,36(2):87-90+96.
- WANG Fulin, YANG Shijiao, SU Shuai, et al. Experimental study on rheological properties of high-density slurry of full tailings [J]. Journal of Changjiang River Scientific Research Institute, 2019, 36(2): 87-90+96.
- [22] 许爱荣.矿山膏体充填低压满管流输送技术改造实例[J].新疆有色金属,2021,44(1):50-51.
- XU Airong. Example of technical transformation of low-pressure full pipe flow transportation for mine paste filling [J]. Xinjiang Nonferrous Metals, 2021, 44(1): 50-51.
- [23] 仵锋锋,姚中亮,张峰,等.低胶凝性尾砂充填高效胶结剂研究[J].矿业研究与开发,2020,40(3):72-75.
- WU Fengfeng, YAO Zhongliang, Zhang Feng, et al. Study on high-efficiency cementitious agent for low-cementitious tailings filling[J]. Mining Research and Development, 2020, 40(3): 72-75.
- [24] 邱晓伟.膏体管道输送现状分析与技术研究[J].中国矿山工程,2019,48(1):51-53.
- QIU Xiaowei. Analysis of paste pipeline transportation status and technology research[J]. China Mine Engineering, 2019, 48(1): 51-53.

Effect of Stirring Parameters on Flow Characteristics and Strength of Potash Salt Filling Slurry

ZHENG Bokun^{1,2,3}, SHI Yong^{1,2,3}, HUANG Tenglong^{1,2}, ZHENG Boyang^{1,2},
PENG Liang^{1,2,3}, YIN Xuayan^{1,2}, JIANG Ke^{1,2}

(1.Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd., Changsha, Hunan 410012, China;
2.State Key Laboratory of Safety Technology of Metal Mine, Changsha, Hunan 410012, China;
3.Hunan Provincial Engineering Research Center for Comprehensive Utilization
of Mine Solid Waste, Changsha, Hunan 410012, China)

Abstract: In order to improve the quality of the tailing salt filling slurry and achieve the low-cost and high-quality filling of tailing salt in the mine, the influence of mechanical stirring factors on the quality of tailing salt filling slurry was studied. The stirring effect of filling slurry under different stirring conditions was investigated by analyzing the expansion degree, slump and the strength test results of 3 d, 7 d and 28 d under different stirring time and different stirring speed. The results show that with the increase of stirring speed and stirring time, the homogeneity of the tailing salt slurry is improved, and the large particles in the slurry are obviously reduced. The increase of mechanical stirring intensity can improve the fluidity of filling slurry. When the stirring speed is 1120 r/min and the stirring time is 150 s, the stirring efficiency of the stirring impeller to the filling slurry is the highest, and the fluidity of the slurry is better. The increase of stirring time and stirring speed can increase the number of collisions of material particles in the slurry, thus strengthening the reaction effect between tailing salt and calcium oxide, and improving the strength of tailing salt filling body within a certain range.

Key words: Tailing salt filling slurry, Flow characteristics, Filling body strength, Stirring time, Stirring speed