

# 细粒尾砂絮凝沉降与均质化搅拌设备在某矿应用的研究\*

任国园<sup>1</sup>, 石勇<sup>2,3</sup>, 李创起<sup>1</sup>, 赖伟<sup>2,3</sup>, 彭亮<sup>2,3</sup>, 祝鑫<sup>2,3</sup>

(1.平顶山工业职业技术学院, 河南 平顶山市 467001;

2.长沙矿山研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012;

3.金属矿山安全技术国家重点实验室, 湖南 长沙 410012)

**摘要:**针对某矿山粒径两极分化的细粒级尾砂浆不易沉降、溢流水浑浊及料浆均质性较差等问题,提出了添加絮凝剂和电石渣的快速絮凝沉降方法,并利用数值模拟研究了强力搅拌机的搅拌效果。首先,通过试验测定尾砂的基本物理性质,确定电石渣的最佳掺量;其次,利用数值仿真技术分析了细粒级尾砂在强力搅拌机中搅拌后料浆的均质性;最后,利用工业试验对充填效果进行验证。结果表明:最佳絮凝剂为BKY10,最佳絮凝剂掺量为40 g/t,最佳尾矿浆入料质量浓度为10%,最佳电石渣掺量为4000 g/t;DQJ01双轴卧式强力搅拌机能将物料充分打散,搅拌效果较好,制备的充填料浆均质性强;矿山充填系统建好并经调试后,已经能正常使用,并且充填效果较好,为降低矿石损失贫化、提高矿山的经济效益及保护生态环境奠定了基础。

**关键词:**细尾砂;絮凝沉降;均质化搅拌设备;电石渣;充填体强度

**中图分类号:**TD853.34 **文献标识码:**A

**文章编号:**1005-2763(2024)06-0165-07

## 0 引言

随着人口的增加和经济的发展,对各种资源的需求也不断增加。在矿产资源开采领域,传统的采矿方法不仅存在着安全隐患和破坏环境等问题,在资源回收和利用方面也存在着很大的浪费。为了解决这些问题,充填采矿法应运而生<sup>[1-8]</sup>。充填采矿法可以有效地降低矿山地表沉降和地震等灾害的风险,同时可最大程度地回收和利用矿产资源。此外,充填采矿法还可以有效地减少对环境的影响,保护生态环境,提高矿山企业的社会形象和竞争力。因此,充填采矿法已成为当今矿产资源开采领域的重要发展方向,得到了越来越多的关注和应用<sup>[9-13]</sup>。

某矿矿脉呈条带状分布,大矿脉少,小矿脉多且

集中,夹石不易剔除。矿山采用崩落法采矿,开采过程中矿石贫化、损失大。选矿尾砂需全部排入尾矿库,在不久的将来,需要新建尾矿库或对现有尾矿库加高扩容,增加尾矿库投资。因此,为降低矿石损失、贫化率,提高矿山经济效益及减小尾矿排放,该矿拟转为充填法开采。

学者们针对细粒级尾砂的高效脱水、快速提高底流浓度等开展了一系列研究,并取得了较好的成果。杨晴等<sup>[14]</sup>针对萤石矿超细尾砂难以沉降问题,提出了一种快速絮凝沉降的方法,结合多参量优选试验,确定了絮凝剂的最佳类型及单耗。寇云鹏等<sup>[15]</sup>为探究分级细尾砂胶结充填体强度特性,通过开展强度试验、SEM试验等,从宏观角度揭示了充填体强度的变化规律及力学特性。宋泽普等<sup>[16]</sup>针对细尾砂充填存在尾砂浓密效果及充填体强度会发生改变的问题,以某金矿为例,开展了充填试验研究,结果表明:细尾砂的浓密效果不如全尾砂,浓度会降低2.65个百分点,充填体强度会降低30%以上。吴再海<sup>[17]</sup>为探究不同尾砂给料浓度、絮凝剂类型及单耗对尾砂浓密的影响,开展了超细尾砂浓密试验,并将试验得到的物理参数与回归分析数据相结合,优选出最佳的絮凝沉降参数。林之岳等<sup>[18]</sup>针对银山矿超细尾砂经深锥浓密机浓密后流动性差的问题,选用3种类型的絮凝剂进行试验,探究絮凝剂的掺量对料浆流动性的影响规律,结果表明:絮凝剂掺量控制在5%以内,充填料浆的流动性效果最好。

某矿的尾砂颗粒极具特殊性,尾砂粒级出现两极分化现象,中间粒级的尾砂较少,致使絮凝剂形成的絮网结构稀疏,不能全部吸附细粒级尾砂,絮凝效果不好,溢流水出现跑混等现象,并且两极分化的细

\* 收稿日期:2023-07-16

基金项目:湖南高新技术产业科技创新引领计划资助项目(2022GK4057)。

作者简介:任国园(1986—),女,河南南召人,硕士,讲师,主要从事机械设计及自动化相关教学与科研工作,E-mail:0510010123@163.com。

粒级尾砂料浆底流浓度低,搅拌的料浆均质性较差。基于此,本文探究了电石渣+絮凝剂组合对细粒级尾砂沉降及充填体强度的影响,并借助数值模拟方法研究了两级分化的细粒级尾砂与多介质物料在强力搅拌机中搅拌后料浆的均质性。最后,通过工业试验进行验证,证实了这种组合絮凝剂的絮凝效果显著,较好地解决了细粒级尾砂难以沉降、料浆均质性较差的问题。

### 1 充填材料试验研究

#### 1.1 全尾砂基本物理性质测试

为了解该矿尾砂的粒级组成及物理性质参数,采用马尔文激光粒度测试仪和简单的物理试验进行测试,得到该尾矿的密实容重为  $1.48 \text{ g/cm}^3$ ,松散空隙率为  $66.67\%$ 。尾矿的粒径分布如图 1 所示。

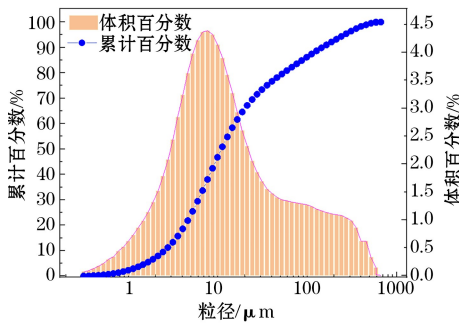


图 1 尾砂的粒径分布

Fig.1 Particle size distribution of tailings

由图 1 可知,粒径小于  $74 \mu\text{m}$ (-200 目)的颗粒所占比例为  $83\%$ ,尾砂偏细,属于细粒级尾砂,且尾砂颗粒出现两极分化现象,中间过渡段粒径的尾砂颗粒占比较小,不利于尾砂絮凝沉降,溢流水容易跑混。

尾砂的组成成分是影响充填体力学特性的重要因素,为确保尾砂中不含影响充填工艺和充填体质量的化学成分,需对尾砂的成分进行检测,检测结果见表 1。

表 1 全尾砂的主要化学成分

Table 1 The main chemical composition of whole tailings

						%
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	MgO	SiO <sub>3</sub>	
62.41	16.71	5.444	4.114	2.18	0.875	

由表 1 可知,尾砂中 SiO<sub>2</sub> 的含量达到了  $62.41\%$ ,硅含量的增加有利于提高充填体的强度,且尾砂主要成分中不含有毒有害物质,可以用作充填骨料。

#### 1.2 絮凝剂掺量优选试验

首先,用质量浓度为  $10\%$ 的细尾砂料浆开展絮凝沉降试验,并设定絮凝剂用量为  $30 \text{ g/t}$ ,以便确定最佳絮凝剂种类。不同絮凝剂种类的沉降试验结果如图 2 所示。

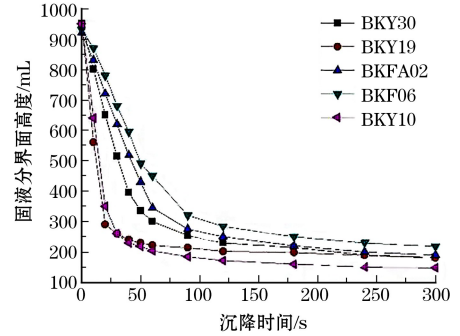


图 2 不同絮凝剂的尾砂絮凝沉降效果曲线

Fig.2 The flocculating setting effect of whole tailings by different flocculants

从图 2 中可以看出,使用絮凝剂 BKY10,沉降速度较慢,且上层清夜相对浑浊。使用其他絮凝剂时,沉降速度较快,且以 BKY10 的效果最优,因此,确定 BKY10 为最优絮凝剂。

采用 BKY10 絮凝剂,固定全尾砂浆质量浓度为  $10\%$ ,进行絮凝剂最佳用量试验。絮凝剂用量试验结果如图 3 所示。

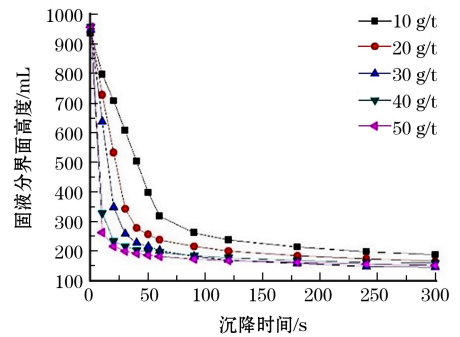


图 3 絮凝剂掺量试验结果对比

Fig.3 Comparison of setting test results for flocculant dosage

从图 3 中可以发现,当絮凝剂掺量从  $10 \text{ g/t}$  增加到  $40 \text{ g/t}$  时,全尾砂浆的沉降速度不断加快,均在  $120 \text{ s}$  时达到平稳状态。当絮凝剂掺量从  $40 \text{ g/t}$  增加到  $50 \text{ g/t}$  时,全尾砂浆的沉降速度几乎没有变化,出现这种情况的原因是:由于絮凝剂掺量较大时,形成的絮团也更大,在下沉时所受阻力也越大,沉降速度会减小。因此,从沉降速率和经济角度考虑,确定絮凝剂最优掺量为  $40 \text{ g/t}$ 。

在确定最优种絮凝剂类和最优掺量的基础上,通过单因素变量法来确定尾砂浆的最佳稀释浓度。

尾砂浆质量浓度过高将导致尾砂颗粒不能充分与絮凝剂分子接触,不但会影响浓密机的处理能力,还会引起放砂质量浓度波动,对井下充填体质量发展不利。但尾砂浆质量浓度过低又会降低浓密机的处理效率,所以,本次试验设定了5个不同的尾砂浆浓度进行试验,试验结果如图4所示。

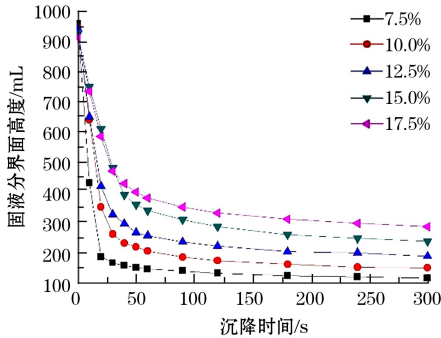


图4 不同浓度尾砂浆的沉降效果对比

Fig.4 Comparison of setting results of whole tailings slurry with different concentrations

由图4知,随着尾砂浓度的增大,絮凝沉降的速度变慢,全尾砂浆的质量浓度为7.5%和10%时,固液分离界面的高度随时间的变化速率都比较大,但浓度高能提高浓密机对尾砂的处理能力。综上所述,确定10%的全尾砂质量浓度为最佳的进砂质量浓度。

由于该矿尾砂的特殊性,在上述絮凝剂最佳种类、絮凝剂最佳掺量和尾矿浆最佳进砂质量浓度的基础上进行试验时,仍存在溢流水跑混的现象,说明加入絮凝剂BKY10只能将尾砂料浆中的较大颗粒快速沉降下来,细颗粒依然存在于溢流水中。研究发现,电石渣的加入能够实现尾砂料浆中的细颗粒快速沉降。基于此,开展了3种电石渣掺量(2000 g/t、3000 g/t、4000 g/t)和絮凝剂BKY10(40 g/t)共同作用下的试验,试验结果如图5所示。

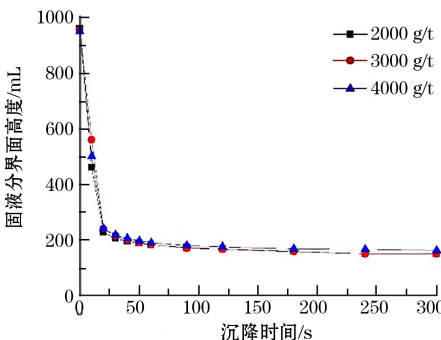


图5 不同电石渣掺量下的沉降曲线

Fig.5 Setting curves under different dosages of calcium carbide slag

当加入电石渣时,上层溢流水澄清晰度明显比未加入电石渣高很多。另外,在絮凝剂BKY10的共同作用下,随着电石渣的掺量从2000 g/t提到4000 g/t,絮凝沉降速率相差不大,但溢流水澄清晰度提高。所以,推荐选用BKY10(掺量40 g/t)和电石渣(掺量4000 g/t)来共同进行絮凝沉降。

### 1.3 塌落度试验

针对灰砂比为1:4和1:12、质量浓度分别为64%、66%、68%、70%、72%、74%和76%的充填料浆开展了塌落度试验,试验结果见表2。

表2 塌落度试验结果

Table 2 Slump test results

cm

灰砂比	质量浓度						
	76%	74%	72%	70%	68%	66%	64%
1:4	3.1	7.5	17.3	24.0	26.1	27.5	28.5
1:12	3.0	6.9	17.5	24.5	25.5	28.0	28.4

考虑到矿山充填站的建设地点在采场平硐下面,高差45 m,输送过程中料浆所受阻力较大,故需通过泵送的方式进行料浆输送,为保证料浆安全输送,推荐充填料浆塌落度为25~27 cm,充填料浆质量浓度为66%~68%。

### 1.4 充填体强度配比试验

充填材料为全尾砂、9种不同G料、水泥、电石渣及自来水。首先,在灰砂比为1:6,料浆质量浓度为66%的条件,通过试验比较胶固料为水泥和不同型号G料(H1#至H9#)的充填体强度,试验结果见表3。由表3可知,选用H3#G料作胶固粉时,充填体的强度最高。为与充填现场实际情况保持一致,在料浆质量浓度为66%、胶凝材料为H3#G料的条件下,再加入电石渣进行不同灰砂比的充填体强度试验,试验结果见表4。

表3 G料选型试验结果

Table 3 The test results of the G material selection

胶固料	充填体抗压强度/MPa		
	3 d	7 d	28 d
水泥	0.50	0.72	0.97
H1#	1.37	2.13	4.21
H2#	1.70	2.74	4.02
H3#	1.88	3.08	4.63
H4#	1.17	2.06	3.39
H5#	1.54	1.95	3.45
H6#	1.34	2.58	3.50
H7#	1.02	1.74	3.96
H8#	1.38	2.14	3.89
H9#	1.46	2.78	4.55



表 4 不同灰砂比的充填体强度试验结果

Table 4 The strength test results of backfill body with different cement-tailings ratios

灰砂比	抗压强度/MPa		
	3 d	7 d	28 d
1:6	1.94	2.96	4.34
1:8	1.29	2.03	3.52
1:10	1.03	1.48	2.73
1:12	0.77	1.20	2.10
1:15	0.57	0.98	1.55
1:20	0.36	0.50	0.96
1:25	0.25	0.38	0.61

由表 3 可知,充填体强度随龄期增大而增大,胶凝材料为水泥时,3 d 到 28 d 充填体强度约增长了 2 倍;胶凝材料为 G 料时,3 d 到 28 d 充填体强度约增长了 3 倍。G 料为胶凝材料的充填体强度明显好于水泥,其平均 28 d 的充填体强度是水泥的 4 倍,尤其当 G 料是 H3<sup>#</sup> 时,效果最为显著,28 d 强度为 4.63 MPa,是水泥的 4.8 倍,可满足井下充填的要求。

由表 4 可知,当灰砂比为 1:6,料浆浓度为 66% 时,添加电石渣后,充填体 3 d、7 d、28 d 的强度分别为 1.94 MPa、2.96 MPa 和 4.34 MPa。由表 3 可知,没有添加电石渣时,充填体 3 d、7 d、28 d 的强度分别为 1.88 MPa、3.08 MPa 和 4.63 MPa。通过对比发现,电石渣的加入使充填体强度略微降低,但影响较小,说明电石渣不会影响充填的效果。综上所述,若使用长矿院自主研发的 G 料 H3<sup>#</sup> 来替代水泥时,在满足充填效果的同时,可大量节省充填的水泥用量,从而节省充填成本。

## 2 均质化搅拌设备研究

搅拌的目的是使多物料之间达到充分融合。目前工程上使用的搅拌设备大致可分为立轴式和卧轴式两种类型,根据搅拌轴的数量,又可分为单轴式和双轴式。双卧轴搅拌机是目前常用的卧式搅拌机,双叶片轴设计,可充分利用整个搅拌槽空间,叶片搅拌能量完全释放,物料运动剧烈,相较于单轴式,其搅拌时间更短,搅拌更均匀,效率更高。因此,搅拌设备选用 DQJ01 型双卧轴强力搅拌机。本研究主要基于 CFD 仿真,对料浆混合过程进行模拟。

### 2.1 仿真模型

DQJ01 强力搅拌机的搅拌机搅拌槽长为 3274 mm,宽为 1520 mm,高为 930 mm;搅拌桨长为 185 mm,宽为 179 mm,厚为 16 mm;搅拌轴直径为 190

mm。在 Solidworks 中建立比例为 1:1 的三维模型,如图 6 所示。

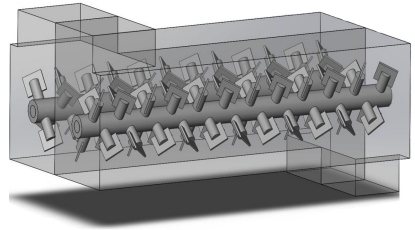


图 6 整体三维模型

Fig.6 Monolithic 3D model

建立好三维模型后,进行网格划分。网格的质量直接决定计算的收敛性和结果的精度。该模型浆叶周围流场复杂,选用非结构化六面体网格,并在浆叶周围进行网格加密处理,最后生成的网格数量超过 765 万,网格平均质量为 0.84,网格质量良好。模型的网格划分如图 7 所示。

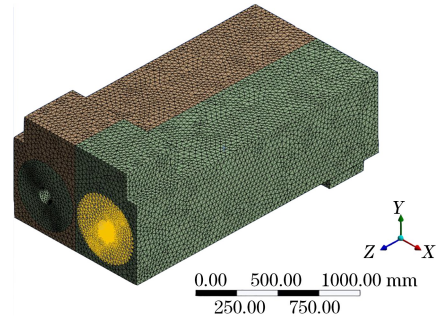


图 7 网格划分模型

Fig.7 Meshing model

### 2.2 仿真结果分析

由于模型中物料分散相分布较广,颗粒大小不一,搅拌桨旋转运动时,流体扰动大。因此,采用  $k-\epsilon$  湍流模型。选用压力基求解器求解参数,选择定常流动,考虑重力影响,重力取值为 Y 轴负方向 9.81  $m^2/s$ ,采用多参考系进行计算,搅拌域设置为动域,其他流体域设为静域,曳力使用 Syamlal-O'Brien 模型。通过参数的设置,仿真研究了不同料浆填充高度和转速下出口处的混合程度,料浆填充高度分别占搅拌槽高的 50%、70% 和 90%,转速分别为 60 r/min 和 30 r/min。仿真结果如图 8 所示。

由图 8 可知,料浆在搅拌轴的搅拌下,围绕轴旋转运动。由于是双轴搅拌,速度矢量图上在搅拌槽内部形成的流场具有典型的“双循环”流动形态,分别围绕两个搅拌轴射流,使得物料之间相互碰撞、对流和扩散,保证了物料之间充分融合,料浆均质性较

好。通过对比图 8(a)和图 8(d)可以发现,不同转速下最大速度存在较大差异,转速越高,速度值越大,最大速度值在 60 r/min 和 30 r/min 时分别达到 6

m/s 和 3 m/s。此外,通过观察图 8(a)、图 8(b)和图 8(c)发现,料浆填充高度主要影响充料浆在不同位置处的最大速度和充料浆最大速度的比例。

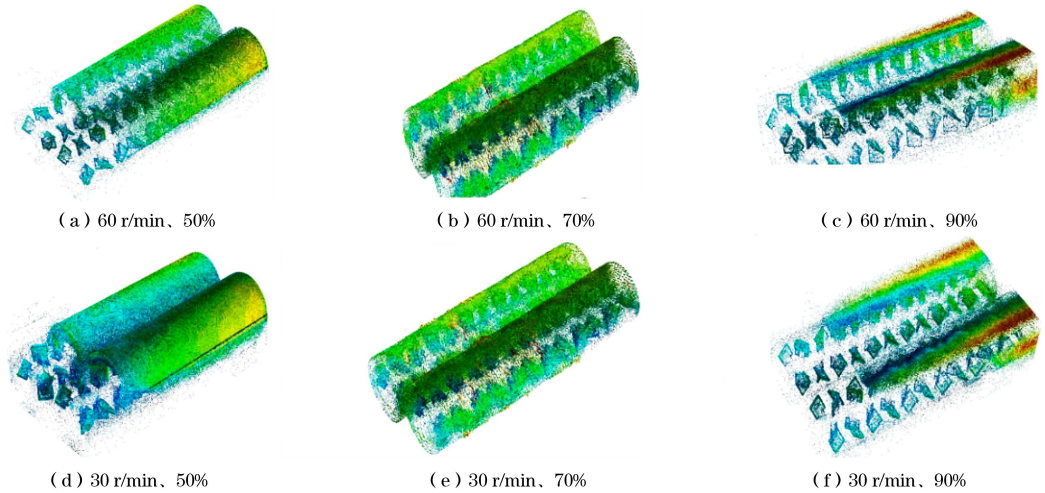


图 8 双卧轴式搅拌机内速度矢量图

Fig.8 Vector diagram of the speed inside a twin-shaft mixer

由图 9 和图 10 可知,水泥和尾砂除了入口处分布不均匀外,水泥和尾砂在搅拌槽内搅拌较为均匀。出现入口处不均匀的原因可能是:由于多物料进入搅拌器的速度较快,引起流体动力学的影响,造成入口处局部流体湍动,导致料浆在此处的均质性略差,但当料浆进入搅拌桶内部后,在“双循环”的流动形态下,料浆均质性显著提高。所以,料浆在搅拌桶内被放出之前,其均质性会发生一个由差向好的转变,致使最终放出的料浆均质性效果较好。

仿真结果表明,选用 DQJ01 双轴卧式强力搅拌机搅拌粒径两极分化严重的细粒级尾砂,搅拌效果好,能制备出均质性较好的充填料浆。

### 3 应用效果

某矿完成了充填站系统的建设后,对系统进行了调试。在进行整套系统的调试之前,先对各个子系统进行了单独的调试,以确保每个子系统都能够独立稳定运行。

充填系统调试期间,灰砂比在(1:4)~(1:20)之间可调,充填量为 60 m<sup>3</sup>/h,最大充填能力达 80 m<sup>3</sup>/h。实测的充填料浆质量浓度为 64.5%~65.5%,料浆均质性较好,充填浆体泌水及沉缩率低。絮凝剂自动配备质量浓度为 0.8%,加药量控制在 30 g/t,电石渣掺量为 4000 g/t,溢流水澄清,絮凝效果较好。一次连续充填时间可达 14 h(按照选厂连续进砂的方式组织生产),日最大充填量可达 940 m<sup>3</sup>。充填站在上述参数范围内运行时,料浆质量浓度波动小于 1%,料浆均质性较好且充填体强度能够满足井下采矿的要求。

该矿采用充填采矿法后,贫化率从 25%降低至 11%,按 70 万 t/a 的处理量计,每年可多产出钨精矿 175.00 t,增加利润 290.50 万元;可回收现有矿柱量达 118.20 万 t,金属量达 3557.60 t,按 70%实际回收计算,可多出矿量 82.74 万 t,金属量 2490.32 t。

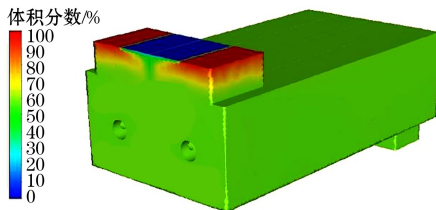


图 9 搅拌槽内水泥浆的体积分数云图

Fig.9 Contour of the volume fraction of cement slurry in the mixing tank

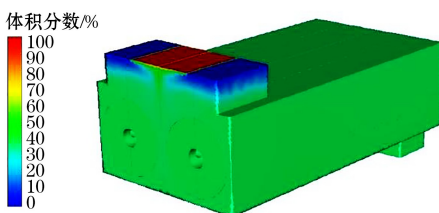


图 10 搅拌槽内尾砂的体积分数云图

Fig.10 Contour of the volume fraction of tailings in the stirring tank

再按选厂综合回收率 70%、钨精矿品位 65% 算,可多产出钨精矿 2681.88 t,增加利润 4451.92 万元。

#### 4 结论

(1) 通过开展充填工艺试验,利用单因素变量法确定了絮凝剂最佳种类为 BK Y10,絮凝剂最佳掺量为 40 g/t,尾矿浆最佳入料质量浓度为 10%,电石渣最优掺量为 4000 g/t。

(2) 运用 CFD 技术模拟了不同搅拌机转速和不同搅拌槽内料浆填充高度下料浆在搅拌桶内的运动状态,发现 DQJ01 双轴卧式强力搅拌机能充分将物料打散,搅拌效果较好,制备的充填料浆均质性高。

(3) 该矿山充填系统建好后,经过对充填系统的调试,已经能正常使用,充填效果较好,为降低矿石损失贫化、提高矿山的经济效益及保护生态环境奠定了基础。

#### 参考文献(References):

[1] 司呈斌,张超,景洋印,等.金属矿充填法开采对地表构筑物稳定性影响模拟[J].科学技术与工程,2023,23(17):7264-7270.  
SI Chengbin, ZHANG Chao, JING Panyin, et al. Simulation of the influence of metal ore filling method on the stability of surface structures[J]. Science, Technology and Engineering, 2023, 23(17): 7264-7270.

[2] 孙光华,王玥,任伟成,胶结充填技术在金属矿山中的应用现状与发展趋势[J].有色金属(矿山部分),2022,74(4):26-33.  
SUN Guanghua, WANG Yue, REN Weicheng. Application status and development trend of cemented filling technology in metal mines[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2022, 74(4): 26-33.

[3] 郭进平,卢皎旭,张文革,等.四方金矿崩落法转嗣后充填关键隔离层厚度研究[J].金属矿山,2023(6):51-60.  
GUO Jinping, LU Jiaoxu, ZHANG Wenge, et al. Study on the thickness of the key isolation layer after the conversion of the Sifang gold mine caving method[J]. Metal Mines, 2023(6): 51-60.

[4] 刘殿华,吴贤振.全尾砂充填技术的应用与发展[J].世界有色金属,2012,404(8):44-45.  
LIU Dianhua, WU Xianzhen. Application and development of full tailings filling technology[J]. World Nonferrous Metals, 2012, 404(8): 44-45.

[5] 张士岭.矿山充填技术及其发展方向[J].煤炭科技,2011,126(2):36-38.  
ZHANG Shiling. Mine filling technology and its development direction[J]. Coal Science & Technology Magazine, 2011, 126(2): 36-38.

[6] 吴爱祥,王勇,王洪江.膏体充填技术现状及趋势[J].金属矿山,2016,481(7):1-9.  
WU Aixiang, WANG Yong, WANG Hongjiang. Status quo and trend of paste filling technology[J]. Metal Mines, 2016, 481(7): 1-9.

[7] 程海勇,吴爱祥,吴顺川,等.金属矿山固废充填研究现状与发展趋势[J].工程科学学报,2022,44(1):11-25.  
CHENG Haiyong, WU Aixiang, WU Shunchuan, et al. Research status and development trend of solid waste filling in metal mines[J]. Chinese Journal of Engineering, 2022, 44(1): 11-25.

[8] 周志龙,孟祥瑞,许东升,等.深锥浓密机在某铅锌矿充填系统的技术改造与应用[J].采矿技术,2021,21(4):175-177.  
ZHOU Zhilong, MENG Xiangrui, XU Dongsheng, et al. Technical transformation and application of deep cone thickener in a lead-zinc mine filling system[J]. Mining Technology, 2021, 21(4): 175-177.

[9] 周佳琦,李景波,尹旭岩.上向水平分层干式充填采矿法在大柳行金矿的应用[J].采矿技术,2017,17(4):6-8.  
ZHOU Jiaqi, LI Jingbo, YIN Xuyan. Application of upward horizontal stratified dry fill mining method in Daliuhang gold mine[J]. Mining Technology, 2017, 17(4): 6-8.

[10] 李辉,张晋军,施发伍,等.上向水平进路分层膏体充填采矿法在谦比希铜矿的应用[J].现代矿业,2016,32(10):1-3+10.  
LI Hui, ZHANG Jinjun, SHI Fawu, et al. Application of stratified paste-and-fill mining method in Chambich copper mine with upward horizontal approach[J]. Modern Mining, 2016, 32(10): 1-3+10.

[11] 王正辉,高谦.胶结充填采矿法充填作用机理与稳定性研究[J].金属矿山,2003(10):18-20.  
WANG Zhenghui, GAO Qian. Study on the mechanism and stability of filling by cemented backfill mining method[J]. Metal Mines, 2003(10): 18-20.

[12] 张刚,张浩强,帕鲁特金矿膏体充填采矿技术研究与工程实践[J].矿业研究与开发,2020,40(33):5-9.  
ZHANG Gang, ZHANG Haoqiang. Research and engineering practice of paste-filled mining technology in Parut gold mine[J]. Mining Research and Development, 2020, 40(33): 5-9.

[13] 温震江,杨晓炳,李立涛,等.基于RSM-BBD的全尾砂浆絮凝沉降参数选择及优化[J].中国有色金属学报,2020,30(6):1437-1445.  
WEN Zhenjiang, YANG Xiaobing, LI Litao, et al. Selection and optimization of flocculation and sedimentation parameters of full tailings mortar based on RSM-BBD[J]. Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2020, 30(6): 1437-1445.

[14] 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 Qing, YANG Shijiao, ZHANG Ranyue. Ultrafine tailings flocculation and sedimentation test based on turbidity of upper clarifier[J]. Gold Science and Technology, 2022, 30(6): 948-957.

- [15] 寇云鹏,韩冲冲,齐兆军,等.分级细尾砂胶结充填体长期力学特征研究[J].矿业研究与开发,2023,43(2):43-49.  
KOU Yunpeng, HAN Chongchong, QI Zhaojun, et al. Study on long-term mechanical characteristics of graded fine tailings cemented backfills [J]. Mining Research and Development, 2023,43(2):43-49.
- [16] 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.  
SONG Zepu, FU You, LIN Shunca, et al. Experimental study on the filling of graded fine tailings [J]. Mining Research and Development, 2022,42(11):29-33.
- [17] 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.  
WU Zaihai. Based on the flocculation and settlement concentration test of ultrafine tailings and its application analysis [J]. Nonferrous Metals Engineering, 2022,12(10):117-125.
- [18] 林之岳,陈思源,涂欣强,等.絮凝剂对超细尾砂胶结充填料浆流动性影响研究[J].采矿技术,2022,22(3):175-177.  
LIN Zhiyue, CHEN Siyuan, TU Xinqiang, et al. Study on the effect of flocculant on the fluidity of cemented filling slurry of ultrafine tailings [J]. Mining Technology, 2022,22(3):175-177.

### Research on Flocculation and Settlement of Fine-Grained Tailings and the Application of Homogenization Mixer in a Mine

REN Guoyuan<sup>1</sup>, SHI Yong<sup>2,3</sup>, LI Chuangqi<sup>1</sup>, LAI Wei<sup>2,3</sup>, PENG Liang<sup>2,3</sup>, ZHU Xin<sup>2,3</sup>

(1.Pingdingshan Polytechnic College, Pingdingshan, Henan 467001, China;

2.Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd., Changsha, Hunan 410012, China;

3.State Key Laboratory of Safety Technology of Metal Mine, Changsha, Hunan 410012, China)

**Abstract:** In response to the issues of poor settling of fine-grained tailings, turbidity of water overflow, and inadequate homogeneity of slurry caused by polarization of particle size in a specific mine, a method of rapid flocculation and sedimentation using a combination of flocculant and carbide slag was proposed. The stirring effect of a high-power mixer was investigated through numerical simulations. Firstly, the basic physical properties of tailings were determined through experiments to determine the optimal dosage of carbide slag. Secondly, the homogeneity of slurry after mixing fine-grained tailings in a high-power mixer was analyzed using numerical simulation technology. Finally, industrial experiments were conducted to verify the filling effect. The results are concluded as follows. The optimal flocculant is BKY10, the optimal flocculant dosage is 40 g/t, the optimal tailings slurry feed mass concentration is 10%, and the optimal carbide slag dosage is 4000 g/t. The DQJ01 dual axis horizontal high-power mixer can fully disperse the materials, with good mixing effect and high homogeneity of the prepared filling slurry. After the completion and debugging of the mine filling system, it can be used normally and the filling effect is good, laying the foundation for reducing ore loss and impoverishment, improving the economic benefits of the mine, and protecting the ecological environment.

**Key words:** Fine-grained tailings, Flocculation and settlement, Homogenization mixer, Carbide slag, Strength of filling body