

强化调浆技术及设备在西藏甲玛某选矿厂的应用

达娃卓玛¹, 刘子龙¹, 解钊¹, 李磊¹, 益西康卓¹, 袁喜振²

(1. 西藏华泰龙矿业开发有限公司, 西藏 拉萨 850212; 2. 中国有色矿业集团 非洲矿业有限公司, 赞比亚 基特韦 22592)

摘要: 针对传统轴流型调浆搅拌槽剪切能力不足, 西藏甲玛某选矿厂采用了强化调浆技术及设备(调浆改质机), 使矿浆中矿物颗粒与浮选药剂充分接触并混合。实验室对比实验可知, 适当地提高浮选前搅拌调浆的转速及适当地延长浮选前搅拌调浆的时间, 可在一定范围内提高浮选回收率。生产指标对比表明, 在两个系列处理相同矿石, 同时保持相同浓度、细度、药剂制度及流程的情况下, 使用该设备的系列 Cu、Au、Ag、Mo 回收率比不使用的系列分别高 0.53%、3.92%、1.04% 及 6.25%。该设备强化了叶轮剪切作用, 增加了药剂与矿物颗粒的碰撞机会, 充分发挥了药剂效果, 在一定程度上提高了选矿指标。

关键词: 有色金属浮选; 矿浆预处理; 搅拌调浆; 调浆改质机

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2023.02.008

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2023)02-0041-04

为缩短浮选所需时间及降低浮选药剂消耗, 浮选前通常需要在搅拌桶内对矿浆进行搅拌, 以使浮选药剂与矿浆相互作用, 此过程称为调浆。合适的预处理设备能够显著提高后续浮选作业指标^[1]。目前金属矿山浮选前矿浆预处理设备主要为调浆搅拌槽, 通常采用轴流型叶轮, 存在调浆时间短、药剂和矿浆混合不均匀, 剪切能力不足且难溶性的药剂很难有效分散的弊端^[2]。

近年来预处理设备有了很大的发展, 在能耗、调浆效果和设备结构等方面相对于早期机型都有了很大的提升。调浆改质机采用强搅拌调浆, 在选煤行业使用广泛, 生产应用表明, 浮选前充分调浆是改善后续浮选效果的关键^[3-4]。强搅拌调浆可使煤泥颗粒表面的疏水性增强, 有效改善煤泥浮选效果, 达到节约药剂耗量、提高浮选速度和回收率的目的, 从而获得浮选工艺的较佳经济效益^[5]。

在金属矿物浮选中, 矿物往往以细粒、微细粒进入浮选作业段, 存在粒度细、选择性差以及微粒互凝等问题, 因此需要创造必要的矿化条件实现良好的界面行为, 可见调浆技术是影响后续分选段作业效率的关键之一^[6]。

目前, 有色金属浮选中高强度搅拌调降矿浆预处理作业在实验室研究已较成熟, 但在工业应用暂无较好的设备。冯博等^[7]通过研究发现, 高强度搅拌调浆能够脱附硫化矿物表面罩盖的矿泥, 提高金川硫化铜镍矿的浮选回收率, 调浆强度越高、时间越长, 硫化铜镍矿选别指标越好。董英择^[8]等研究发现, 表面氧化的磁黄铁矿可浮性差, 强机械搅拌调浆产生的流体力场能够在一定程度上恢复被氧化的磁黄铁矿的可浮性, 脱除磁黄铁矿表面的氧化物质, 浮选回收率变化与流体力场强度呈正相关性。冯程^[9]等通过研究发现, 浮选前的强搅拌调浆与硫化矿物的疏水聚团粒度的变化呈正相关性, 能提高矿物的浮选速率, 使得硫化矿物的回收率显著提高。

由此可见, 浮选前的强搅拌调浆可脱除矿物表面罩盖的矿泥, 在一定程度上脱除矿物表面氧化物质, 增大疏水聚团粒度, 进而提高浮选速率, 提升选矿指标。

1 调浆改质机工作原理及参数对比

1.1 调浆改质机工作原理

目前调浆改质机仅应用于煤矿, 西藏甲玛某

收稿日期: 2021-02-21

作者简介: 达娃卓玛(1990-), 女, 硕士, 研究方向为有色金属选矿。

选矿厂首次引进该设备,并针对金属矿山的特殊情况进行了部分结构及材质的更改,填补了高强度搅拌调浆在金属矿山矿浆预处理的空白。

调浆改质机是煤矿选矿厂比较热门的矿浆预处理设备。其通过外加高剪切力场的方法,使矿物表面受到充分摩擦,剔除表面氧化层。其高剪切力场能够将药剂充分分散,同时还能够对细颗粒产生活化和均质的作用,进而提高矿物表面的疏水性。调浆改质机基本结构为槽体内带有多层水平孔状隔板,将槽体分为多个腔体,后掠式梳齿状叶轮位于相邻的两块隔板之间。

在浮选入料前,矿浆从设备顶部、沿切线入料口进入设备内部筒体,与捕收剂、起泡剂进行强制调浆混合,经旋转叶轮进行逐级分散、混合、擦洗、剪切改质并充分搅拌、碰撞吸附,在调浆改质机强剪切力场的作用下,有效地清除矿物颗粒的表面氧化层,改善了物料颗粒的润湿性,从而实现药剂与矿物颗粒高效强力亲和,达到提高浮选效率和节约药剂的目的。改质处理的矿浆,从底部出料口排出、进入浮选机。

此调浆改质机与轴流型搅拌槽相比,具有以下特点:1)其叶轮直径与筒体直径的比值大,在相同转速下能够产生更强的紊流场;2)采用后掠式梳齿状叶轮,增加了叶轮与矿浆的接触面积,强化了叶轮壁面剪切作用,使得叶轮区的混合效果得到强化;3)添加隔板使药剂与矿物颗粒有更多的碰撞机会,充分发挥药剂效果^[10]。

1.2 设备主要参数对比

西藏甲玛某选矿厂引进的调浆改质机 KGJ2.5/750 及传统轴流型搅拌槽参数对比见表 1。

表 1 调浆改质机及传统轴流型搅拌槽参数对比
Table 1 Parameter comparison of ore pulp refiner and conventional axial-flow agitator

型号参数	调浆改质机 KGJ2.5/750	传统轴流型搅拌桶
筒体直径/mm	2500	2000
有效容积/m ³	13	2.5
叶轮直径/mm	1200	1000
电机功率/kw	75	7.5
外形尺寸/mm	2883×2674×4649	2000×2000
转速/(r·min ⁻¹)	150	120
矿浆停留时间/min	约 2.5	约 0.5

由表 1 参数对比可见,调浆改质机虽然能耗较高,但在筒体容积、转速及矿浆停留时间都有

较明显的优势。

2 对比实验

2.1 转速对比实验

调浆改质机的转速为 150 r/min 高于传统轴流型搅拌桶的转速,且调浆改质机由 3 组叶轮构成,叶轮直径与筒体直径的比值大,能够形成强大的搅拌力。为了明确浮选前搅拌调浆转速对后期浮选效果的影响,在实验室开展了转速的对比实验,在相同的药剂制度条件下开展实验,区别仅在于浮选前搅拌调浆的转速变化,实验流程见图 1,实验结果见图 2。

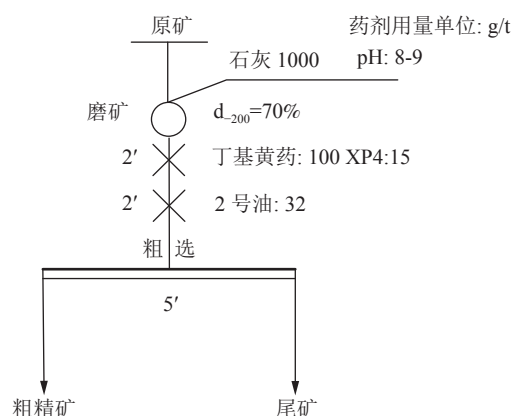


图 1 实验流程

Fig.1 Test flow chart

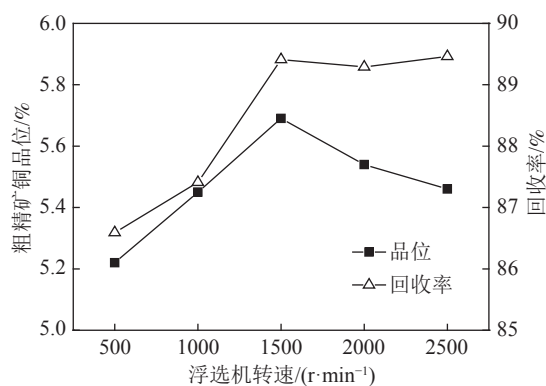


图 2 转速对比实验结果

Fig.2 Test result graph of speed comparison

由实验结果可知,在相同的浮选流程的情况下,随着浮选前搅拌调浆转速的升高,浮选回收率为逐渐上升后趋于平缓的趋势,粗精矿品位为先上升后趋于平缓的趋势。由此可见,适当地提高浮选前搅拌调浆的转速,即适当地加大浮选前搅拌调浆的强度,可在一定范围内提高浮选回收率。

2.2 矿浆停留时间对比实验

调浆改质机的矿浆停留时间与传统轴流型搅拌桶的矿浆停留时间也存在差距，因此在浮选前搅拌调浆相同转速（1500 r/min）的条件下，添加药剂后搅拌不同的时间，即模拟在搅拌桶内不同的矿浆停留时间，进行浮选对比实验，实验流程见图3，实验结果见图4。

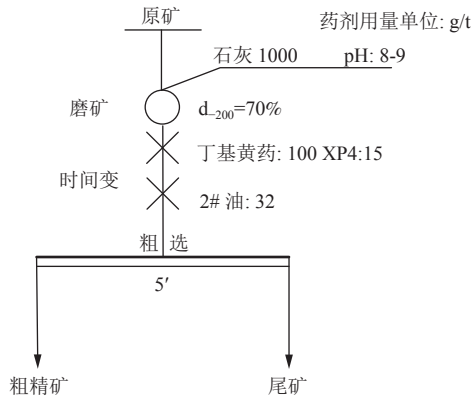


图3 实验流程
Fig.3 Test flow chart

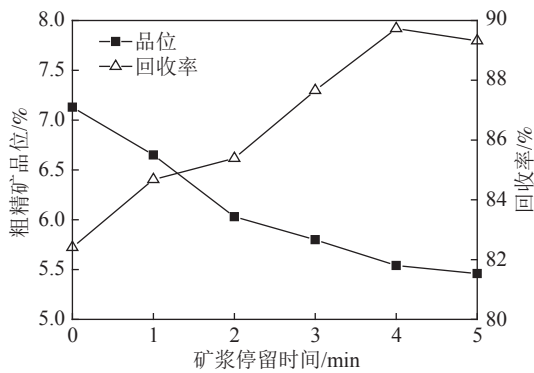


图4 矿浆停留时间实验结果
Fig.4 Test result graph of slurry retention time

由实验结果可知，在相同的浮选流程及相同的浮选前搅拌调浆转速的情况下，随着浮选前搅拌调浆时间的升高，浮选回收率为逐渐上升后趋于平缓的趋势，粗精矿品位的趋势为逐渐下降后趋于平稳。由此可见，适当地延长浮选前搅拌调浆的时间，可在一定范围内提高浮选回收率。

3 工业实验及效果分析

西藏甲玛某选矿厂为改善矿浆预处理效果，于2020年采用了调浆改质机 KGJ2.5/750 进行高强度搅拌调浆。该选矿厂主要处理铜钼矿石，日处理量为 6800 t/d，分两个系列，每个系列处理矿量为 3400 t/d，一系列使用调浆改质机进行矿浆预处理，加强药剂与矿物的作用，二系列采用原有的轴流型调浆搅拌槽作为对照组。简要的设备联系见图5。

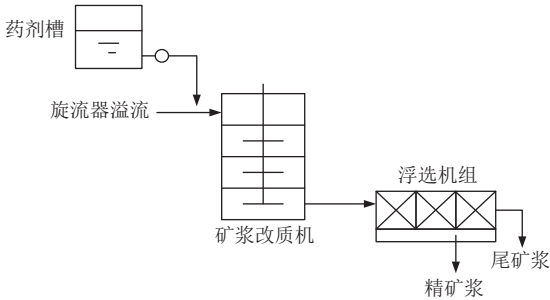


图5 设备联系
Fig.5 Equipment contact

针对该矿山两个系列处理相同矿石，同时保持相同浓度、细度、药剂制度及流程的情况下，分析系列之间的选矿指标差异及调浆改质机对浮选的影响效果。表2为连续使用调浆改质机1个月的工业实验累计生产指标对比。

表2 工业实验选矿指标对比
Table 2 Comparison of ore dressing indexes in industrial test

系列	产品名称	产率/%	品位/%				回收率/%			
			Cu	Au*	Ag*	Mo	Cu	Au	Ag	Mo
一系列	混合精矿	4.22	19.69	7.08	409.00	0.34	91.26	90.49	64.78	71.70
	尾矿	95.78	0.08	0.03	9.79	0.01	8.74	9.51	35.22	28.30
	原矿	100.00	0.91	0.33	26.63	0.02	100.00	100.00	100.00	100.00
二系列	混合精矿	4.31	18.68	5.74	395.00	0.31	89.37	74.89	61.87	46.03
	尾矿	95.69	0.10	0.09	10.95	0.02	10.63	25.11	38.13	53.97
	原矿	100.00	0.90	0.33	27.49	0.03	100.00	100.00	100.00	100.00

*单位为g/t。

由工业实验生产指标对比可知，在选矿厂两个系列处理相同矿石，同时保持相同浓度、细

度、药剂制度及流程的情况下，一系列 Cu、Au、Ag、Mo 回收率比二系列分别高 0.53%、3.92%、

1.04% 及 6.25%。

经过生产实践验证, 高强度搅拌调浆矿浆预处理技术在金属矿物浮选中有较好的效果, 该设备的应用弥补了金属矿山浮选前高强度搅拌矿浆预处理技术的空白。

4 结 论

(1) 调浆改质机虽然能耗较高, 但在筒体容积、转速及矿浆停留时间都有较明显的优势。通过使用调浆改质机, 强化叶轮剪切作用, 增加了药剂与矿物颗粒的碰撞机会, 充分发挥了药剂效果。

(2) 由实验室对比实验可知, 适当地提高浮选前搅拌调浆的转速, 即适当地加大浮选前搅拌调浆的强度, 可在一定范围内提高浮选回收率; 适当地延长浮选前搅拌调浆的时间, 可在一定范围内提高浮选回收率。

(3) 由工业实验生产指标对比可知, 在选矿厂两个系列处理相同矿石, 同时保持相同浓度、细度、药剂制度及流程的情况下, 采用调浆改质机的各金属回收率比不采用调浆改质机的各金属回收率高。

参考文献:

- [1] 周胜, 李茂林, 崔瑞, 等. 物料性质对搅拌混合影响的数值模拟研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(1):177-183.
- ZHOU S, LI M L, CUI R, et al. Numerical simulation of the effect of material properties on mixing[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(1):177-183.
- [2] 张福亚. 矿浆预处理设备的应用进展[J]. *金属矿山*, 2019(1):1-6.
- ZHANG F Y. Application and development of pulp pre-processing equipment[J]. *Metal Mine*, 2019(1):1-6.
- [3] 程万里, 邓政斌, 刘志红, 等. 煤泥浮选中矿物颗粒间相互作用力的研究进展[J]. *矿产综合利用*, 2020(3):48-55.
- CHENG W L, DENG Z B, LIU Z H, et al. Research progress of interaction force between mineral particles in coal slurry flotation[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(3):48-55.
- [4] 马力强, 孙先凤, 黄根, 等. 煤泥调浆机理与设备发展历程

及应用[J]. *洁净煤技术*, 2018, 24(1):1-5.

MA L Q, SUN X F, HUANG G, et al. Mechanism of coal slime conditioning and equipment development history and industrial application[J]. *Clean Coal Technology*, 2018, 24(1):1-5.

[5] 谢国龙, 雷同, 郭小慧, 等. M-COL2100 型表面改质机在司马煤业有限公司选煤厂的应用[J]. *选煤技术*, 2008(5):39-40.

XIE G L, LEI T, GUO X H, et al. Application of M-COL2100 surface modification machine in Sima coal preparation plant[J]. *Coal Preparation Technology*, 2008(5):39-40.

[6] 李振, 刘炯天, 闫小康, 等. 浮选过程中搅拌调浆特性研究[J]. *中国矿业大学学报*, 2011, 40(1):133-139.

LI Z, LIU J T, YAN X K, et al. Research on the characteristics of stirred pulp-mixing in the flotation process[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2011, 40(1):133-139.

[7] 冯博, 冯其明, 卢毅屏. 强搅拌调浆在金川硫化铜镍矿浮选中的作用机理研究[J]. *稀有金属*, 2014(5):861-867.

FENG B, FENG Q M, LU Y P. The effect and mechanism of high intensity conditioning on the flotation of Jinchuan nickel sulphide ore[J]. *Chinese Journal of Rare Metals*, 2014(5):861-867.

[8] 董英择, 卢毅屏, 马忠鑫, 等. 调浆强度对磁黄铁矿表面组分的影响[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2017, 48(2):277-281.

DONG Y Z, LU Y P, MA Z X, et al. Effect of mixing intensity on surface components of pyrrhotite[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2017, 48(2):277-281.

[9] 冯程, 卢毅屏, 冯其明, 等. 强搅拌调浆对硫化镍矿浮选的作用[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2016, 47(11):3621-3626.

FENG C, LU Y P, FENG Q M, et al. Effect of high intensity conditioning on flotation of nickel sulfide mineral[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2016, 47(11):3621-3626.

[10] 袁嘉振, 苏敏, 邓林欣, 等. 谦比希铜矿的选矿指标优化实验[J]. *矿产综合利用*, 2021(6):185-189.

YUAN X Z, SU M, DENG L X, et al. Optimization test of beneficiation index of Chambishi Copper Mine[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(6):185-189.

(下转第 51 页)

Washing and Processing Department of Shanxi Coking Coal Group Co., Ltd, Taiyuan, Shanxi, China)

Abstract: The surface oxygen content of low rank coal is high and the surface hydrophobicity is poor. It is difficult for diesel oil to adsorb on the coal surface efficiently. The reagent consumption is large and the flotation effect is not ideal. In this paper, diesel oil and carboxylic acid of oleic acid, lauric acid, decanoic acid and octanoic acid were combined to carry out flotation test on Datong Jurassic low rank coal. The results show that the addition of oleic acid, lauric acid and decanoic acid can effectively improve the flotation effect, and oleic acid and lauric acid have the most obvious effect. Compared with diesel oil alone, the oil rate can reach 50%. In addition, the addition of oleic acid and lauric acid can effectively increase the contact angle of coal sample surface and make the coal sample more hydrophobic. The effect of n-decanoic acid is weaker than that of oleic acid and lauric acid. Among the four carboxylic acids with 10% mass fraction and diesel oil, oleic acid has the smallest particle size in slurry, followed by lauric acid; and through XPS analysis, it is found that oleic acid can effectively increase the C-C, C-H hydrophobic oxygen-containing functional groups of coal samples, and reduce the C-O hydrophilic oxygen-containing functional groups. The dispersion of the reagent is improved effectively, and the hydrophilicity of the coal sample is weakened, and the hydrophobicity is enhanced, which improves the flotation effect.

Keywords: Low rank coal; Flotation; Compound reagent; Carboxylic acid; Contact angle; Reagent dispersion; Oxygen containing functional groups

////////////////////////////////////
(上接第 44 页)

Application Research of High-intensity mixing Technology and Equipment in a Concentrator of Jiama, Tibet

Da Wazhuoma¹, Liu Zilong¹, Xie Zhao¹, Li Lei¹, Yi Xikangzhuo¹, Yuan Xizhen²

(1.Tibet Huatailong Mining Development Co., Ltd., Lhasa, Tibet, China; 2.Africa Mining Co., Ltd., of China
Nonferrous Metals Group, Kitwe, Zambia)

Abstract: In order to solve the shortage of shear capacity of the conventional axial-flow agitator, a concentrator of Jiama in Tibet has adopted a new type of high-intensity mixing technology and equipment. The mineral particles in the pulp and flotation agents can be fully contacted and mixed. The laboratory comparison test shows that appropriately increasing the speed of stirring and adjusting slurry before flotation and appropriately extending the time of stirring and adjusting slurry before flotation can increase the flotation recovery rate within a certain range. The comparison of production indexes shows that the recovery rates of Cu, Au, Ag and Mo with the equipment are 0.53%, 3.92%, 1.04% and 6.25% higher than those without the equipment when the two series treat the same ore with the same concentration, fineness, reagents system and process. The equipment strengthens the shearing effect of impeller, increases the chance of collision between reagents and mineral particles, gives full play to the effect of reagents and improves the beneficiation index.

Keywords: Flotation of non-ferrous metals; Pulp pretreatment; Stirring mixing; High-intensity mixing equipment