

高压辊磨对大冶铁矿碎磨能耗及分选的影响^①

王中才¹, 陈兴^{2,3}, 韦东¹, 陈铁军^{2,3}, 白光星¹

(1.武钢资源集团 大冶铁矿有限公司,湖北 武汉 435000; 2.武汉科技大学 资源与环境工程学院,湖北 武汉 430081; 3.冶金矿产资源高效利用与造块湖北省重点实验室,湖北 武汉 430081)

摘要:为解决大冶铁矿入磨粒度粗、能耗高的问题,对原细碎产品进行了高压辊磨破碎试验,确定适宜的高压辊磨工艺参数为:辊间压力 10 MPa、给料水分 2%、辊面转速 0.26 m/s。高压辊磨闭路试验结果表明,高压辊磨细碎可明显降低磨矿能耗、提高矿物解离度。对高压辊磨和颚式破碎所得产品分别进行了磨矿-浮选试验,结果表明,高压辊磨能提升浮选产品回收率,铜、铁、硫回收率分别提高 2.56、1.93、1.44 个百分点。

关键词:铁矿; 高压辊磨; 破碎; 浮选

中图分类号: TD92

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2023.02.019

文章编号: 0253-6099(2023)02-0081-05

Influence of High Pressure Roller Grinding on Energy Consumption and Separation in Daye Iron Mine

WANG Zhongcai¹, CHEN Xing^{2,3}, WEI Dong¹, CHEN Tiejun^{2,3}, BAI Guangxing¹

(1.Daye Iron Mine Co Ltd, WISCO, Wuhan 435000, Hubei, China; 2.School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, Hubei, China; 3.Key Laboratory of Efficient Utilization and Agglomeration of Metallurgical Mineral Resources of Hubei Province, Wuhan 430081, Hubei, China)

Abstract: For solving the problems of coarse feed size for grinding and high energy consumption in processing Daye Iron Ore, an experiment was carried out with high pressure roller grinding (HPRG) to mill the fine crushing products. The parameters of pressure between rollers, the water content of feed and the rotational speed at roller surface were optimized correspondingly as 10 MPa, 2% and 0.26 m/s. A closed-circuit test shows that HPRG can obviously reduce grinding energy consumption and improve mineral liberation degree. Jaw crushing and HPRG products were then taken as the feed for grinding-flotation test and it is shown that HPRG can improve flotation recovery, with recoveries of Cu, Fe and S all up by 2.56, 1.93 and 1.44 percentage points, respectively.

Key words: iron ore; high pressure roller grinding; crushing; flotation

高压辊磨机是对物料进行准静压料层粉碎的设备^[1-3]。高压辊磨的优点在于产品细粒级含量高、粒度均匀,可以使破碎产品的内部产生大量微裂纹从而提高可磨度^[4-5]。马钢凹山选矿厂在 2005 年引进高压辊磨设备,相比于引进前,物料中-3 mm 粒级和-0.074 mm 粒级含量分别从 28.45%和 3.30%提高到了 68.01%和 18.45%^[6-8]。

大冶铁矿选矿厂现采用传统的三段一闭路破碎-磨前干式预选抛尾-两段球磨-旋流分级-阶段磨矿阶段返回再选工艺流程^[9]。近年随着资源日渐枯竭,供

矿能力不足,造成大冶铁矿选矿厂“大马拉小车”,因此引入高压辊磨机作为细碎设备,提高细碎产品可磨度,增加合格产品含量,从而去掉一段磨矿,形成一段细碎加一段磨矿的破磨工艺来实现多碎少磨、降低能耗的目的。本文主要研究引入高压辊磨机对大冶铁矿节能降耗、破碎解离效果以及浮选的影响,为大冶铁矿工艺流程优化改造提供参考。

1 原料性质

试验原料取自湖北黄石大冶铁矿选矿厂细碎筛下

① 收稿日期: 2022-10-19

作者简介: 王中才(1977—),男,湖北浠水人,高级工程师,主要研究方向为复杂铁矿的分选。

通信作者: 陈铁军(1973—),男,湖南株洲人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为复杂铁矿的分选、烧结球团和二次资源综合利用。

产品(以下称原矿)。对原矿进行化学全元素分析,结果见表1。由表1可知,矿石中有益金属主要为铁和铜。

表1 原矿化学元素组成(质量分数) %

TFe	MFe	FeO	Cu	MgO	Al ₂ O ₃
35.98	29.30	15.31	0.358	4.61	4.28
S	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂
2.31	18.22	0.165	0.939	0.76	0.25

原矿铁物相分析结果如表2所示。由表2可知,矿石中铁主要以磁性铁、赤褐铁、碳酸铁、硫化铁、硅酸铁形式存在,这为后续铁矿物的磁选提供了选矿依据。

表2 原矿铁物相分析结果

铁物相	含量/%	分布率/%
磁性铁中铁	29.30	81.43
赤褐铁中铁	2.02	5.61
碳酸铁中铁	1.18	3.28
硫化铁中铁	1.16	3.22
硅酸铁中铁	0.50	1.39
其他相中铁	1.74	5.07

XRD分析结果表明,该矿样中主要脉石矿物为石英、透辉石等,除磁铁矿、赤褐铁矿之外的有用矿物为黄铜矿。

对原矿进行了粒度组成分析,结果如表3所示。由表3可知,-0.074 mm 粒级占 3.32%, -0.5 mm 粒级占 18.76%, -3.2 mm 粒级占 26.85%, -5 mm 粒级占 40.90%, -0.074 mm 和 -0.5 mm 粒级产品含量较低,因此需要引入高压辊磨作为细碎设备提升细粒级产品产率。

表3 原矿粒度组成

粒级/mm	产率/%	负累积/%
+15	35.36	100.00
-15+10	15.20	64.64
-10+5	8.55	49.44
-5+3.2	14.05	40.90
-3.2+2	3.44	26.85
-2+0.9	4.18	23.41
-0.9+0.5	0.46	19.22
-0.5+0.2	3.88	18.76
-0.2+0.15	5.77	14.88
-0.15+0.074	5.79	9.11
-0.074	3.32	3.32
合计	100.00	

2 试验方法及设备

使用 CLM25/10 高压辊磨机对原矿进行细碎,细碎后的产品分别进行 3 mm 和 5 mm 闭路筛分,根据产品粒度及循环负荷确定筛孔尺寸,并对高压辊磨产品和原矿的筛下产品进行邦德球磨功指数试验(试验标准筛为 0.074 mm)和可磨度试验。对两种破碎磨矿产品进行浮选试验。邦德球磨机型号为 RK/GQM-Φ05×305 指数球磨机,球磨机为 HLXMQ-240×90 锥形球磨机,颚式破碎机型号为 60×100。高压辊磨破碎流程如图1所示。

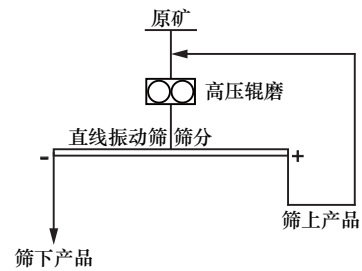


图1 高压辊磨破碎流程

3 试验结果及分析

3.1 高压辊磨操作参数条件试验

3.1.1 辊间压力对产品粒度和能耗的影响

在辊间转速 0.26 m/s、物料水分 2% 条件下,对原料进行了不同辊间压力破碎,破碎产品粒度组成见图2,不同辊间压力的单位能耗见图3。

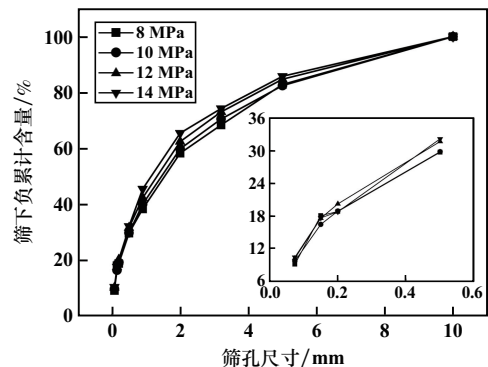


图2 辊间压力对高压辊磨产品粒度的影响

辊间压力分别为 8 MPa、10 MPa、12 MPa、14 MPa 时,比压力分别为 3.2 MPa、4.0 MPa、4.8 MPa、5.6 MPa。比压力是将液压系统提供的总压力作用于辊压侧视方向投影面积时所产生的压强,比压力和压强具有相同的量纲^[10]。

由图2~3可知,随着辊间压力增高,辊压产品细

粒级含量逐渐提高。但是随着辊间压力增大, 能耗也随之增高, 细粒级矿物新产生的量并不多, 而能耗在辊间压力 10 MPa 之后出现了激增的现象。导致这种现象的原因是矿物自身的尺寸效应, 矿物粒度越小, 机械强度越高^[10]。综合考虑能耗和产品粒度, 适宜的辊间压力确定为 10 MPa。

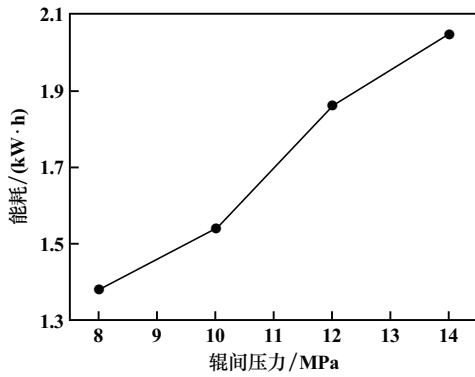


图 3 辊间压力对高压辊磨能耗的影响

3.1.2 辊面转速对产品粒度和能耗的影响

辊间压力 10 MPa、给料水分 2% 条件下, 不同辊面转速所对应产品粒度曲线见图 4, 辊面转速对单位能耗的影响见图 5。

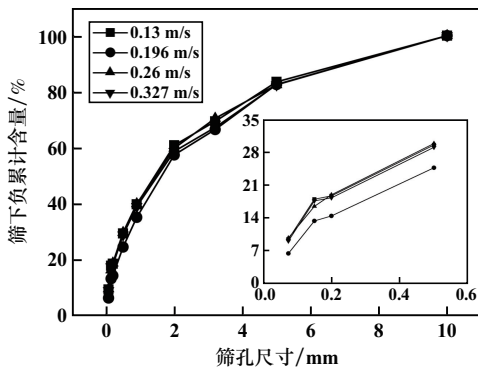


图 4 辊面转速对高压辊磨产品粒度的影响

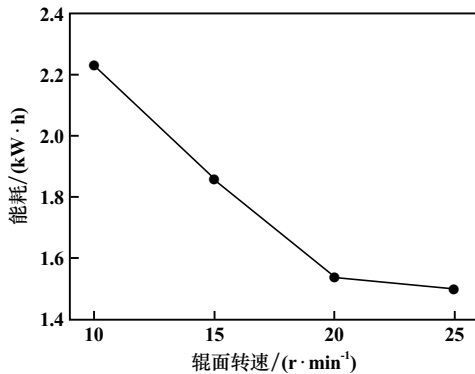


图 5 辊面转速对高压辊磨能耗的影响

由图 4~5 可知, 产品中 -5 mm 粒级含量和 -0.074 mm

粒级含量随着辊面转速升高呈下降趋势。随着辊面转速提高, 单位能耗呈下降趋势, 后趋于稳定。综合考虑, 选择辊面转速为 0.26 m/s。

3.1.3 原矿水分对产品粒度和能耗的影响

辊间压力 10 MPa、辊面转速 0.26 m/s 时, 原矿水分对高压辊磨机破碎效果和能耗的影响见图 6 和图 7。

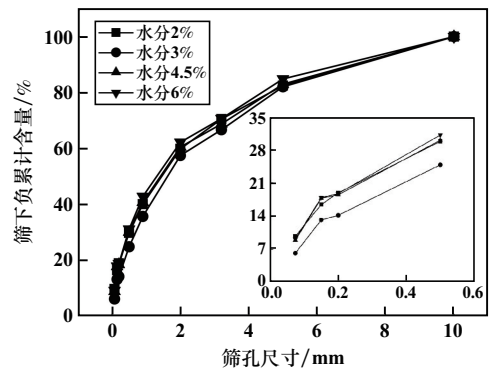


图 6 原矿水分对高压辊磨产品粒度的影响

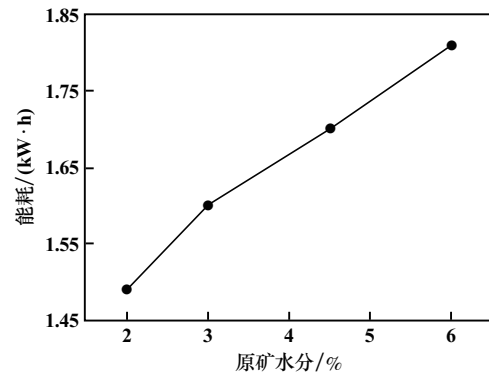


图 7 原矿水分对高压辊磨能耗的影响

由图 6~7 可知, 产品中细粒级含量没有随着原矿水分增多发生明显变化, 能耗随着原矿水分增多出现了增高。随着原矿水分增高, 物料在辊间压成饼后下落打散的效果不好, 原矿水分应控制在 2% 左右。

3.2 高压辊磨闭路试验

高压辊磨操作参数为: 辊间压力 10 MPa, 辊面转速 0.26 m/s, 原矿水分 2%。在此条件下进行高压辊磨闭路试验, 每次新给矿 10 kg, 直到给入量与筛下量相等时为止, 此时确定为循环负荷达到平衡。闭路筛分试验结果如图 8 所示。

由图 8 可知, 3 mm 和 5 mm 高压辊磨闭路筛分试验分别第 4 次和第 3 次达到平衡, 3 mm 循环负荷占给料的 49.7%, 相比原矿 -0.074 mm 粒级含量提高了 11.36 个百分点, -0.5 mm 粒级含量提高了 24.55 个百分点。5 mm 循环负荷占给料的 23.1%, 相比原矿 -0.074 mm 粒级含量提高了 9.1 个百分点, -0.5 mm 粒级含量提高了 16.31 个百分点。从破碎效果的角度

分析,3 mm 闭路筛分结果更优。

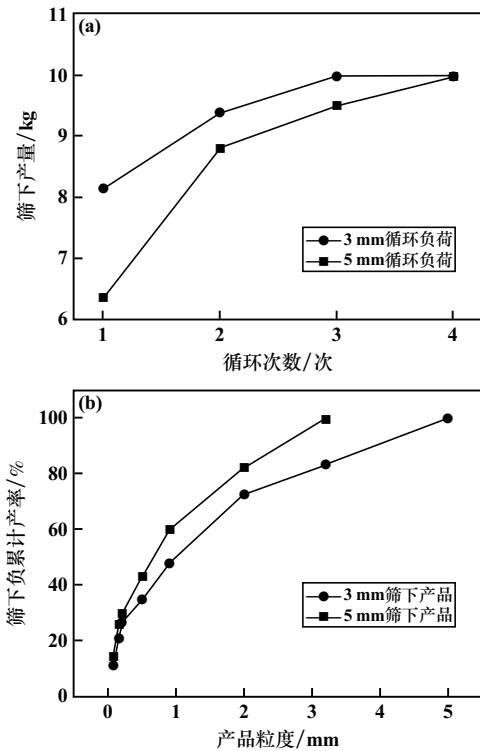
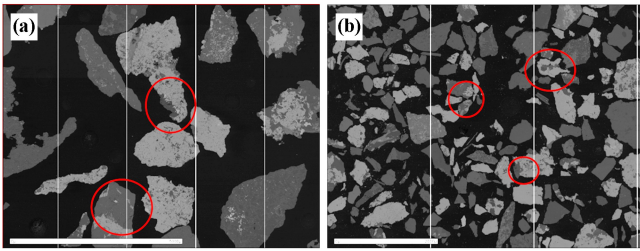


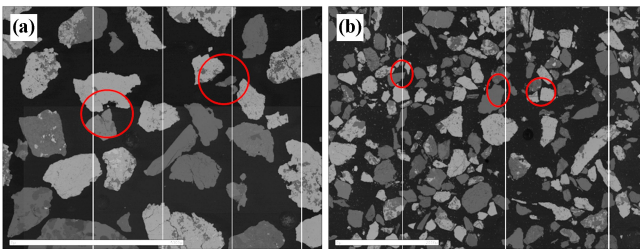
图8 高压辊磨闭路筛分试验结果

对原矿及高压辊磨 3 mm 闭路筛分 0.2~0.9 mm、+0.9 mm 粒级产品进行了 SEM 观察,结果如图 9 和图 10 所示。



(a) +0.9 mm 粒级; (b) 0.2~0.9 mm 粒级

图9 -3 mm 原矿产品 SEM 图



(a) +0.9 mm 粒级; (b) 0.2~0.9 mm 粒级

图10 -3 mm 高压辊磨产品 SEM 图

由图 9 可见,原矿存在很多不同矿物之间的连生,

没有得到充分解离,产生的微裂纹主要以穿晶裂纹和晶内裂纹为主,裂纹发育得不完全,这是因为原矿的破碎方式主要以冲击和折断为主。由图 10 可见,经高压辊磨处理过的矿物大多已经解离,而且矿物本身出现许多微小裂纹。裂纹主要为晶界裂纹和晶内裂纹,这是因为高压辊磨使料层自身相互挤压破碎,颗粒与颗粒之间进行着应力的传递,不同矿物之间沿解理面进行分离。这反映了高压辊磨的非随机性破碎方式(优先粉碎和晶界粉碎)。

对高压辊磨和原矿-0.074 mm 粒级产品进行磁铁矿和黄铜矿单体解离度分析,结果如表 4 所示。

表4 磁铁矿单体解离度

矿物名称	单体解离度/%	
	原矿	高压辊磨产品
磁铁矿	82.59	83.65
黄铜矿	79.50	83.19

从表 4 可以看出,经高压辊磨破碎后,-0.074 mm 粒级黄铜矿和磁铁矿的单体解离度相比原矿分别提高了 3.69 和 1.06 个百分点。

3.3 磨矿试验

对高压辊磨破碎-3 mm 产品和颞式破碎-3 mm 产品进行了邦德球磨功指数试验,结果见表 5。同时对 2 种破碎产品进行可磨度试验,磨矿浓度 60%,磨矿曲线见图 11。

表5 球磨功指数试验结果

检测项目	单位	检测结果	
		颞式破碎	高压辊磨
成品筛筛孔尺寸	μm	74	74
平衡时磨机每转产生的成品质量	g/r	1.009	1.326
成品 80%通过粒度	μm	51.7	51.6
试样 80%通过粒度	μm	1 790	2 500
粉磨功指数	kWh/t	15.65	12.11

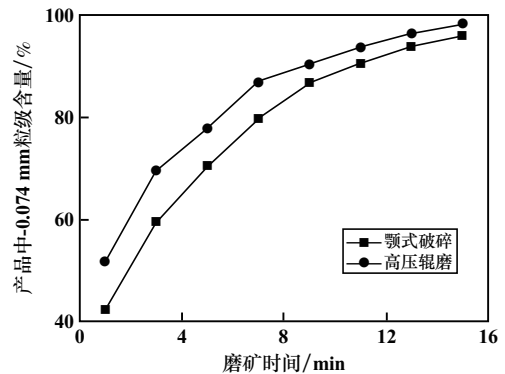


图11 磨矿曲线

由表5可知,经高压辊磨后的产品比颚式破碎后的产品可磨性更好,所需能耗平均每吨低3.54 kWh。

由图11可知,当磨矿细度-0.074 mm 粒级占60%时,高压辊磨破碎产品和颚式破碎产品磨矿所需时间分别为2.0 min和3.1 min。产品中-0.074 mm 粒级占60%时的可磨度 $K=3.1/2.0=1.55$,表明在该给料粒度情况下,高压辊磨破碎产品比颚式破碎产品可磨度提高了55.0%。当磨矿细度-0.074 mm 粒级占80%时,高压辊磨破碎产品和颚式破碎产品磨矿所需时间分别为5.4 min和7.2 min,即磨矿细度-0.074 mm 粒级占80%时的可磨度 $K=7.2/5.4=1.333$,高压辊磨破碎产品比颚式破碎产品可磨度提高了33.3%。

3.4 浮选试验

对高压辊磨磨矿产品和颚式破碎产品分别磨至-0.074 mm 粒级占75%后进行浮选试验,浮选矿浆浓度25%,pH值7.5,捕收剂乙基钾黄药用量60 g/t,起泡剂松油醇用量15 g/t,试验结果如表6所示。

表6 浮选试验结果

破碎方式	产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
			Fe	Cu	S	Fe	Cu	S
高压辊磨	精矿	21.09	27.89	1.561	8.71	15.97	81.79	79.8
	尾矿	78.81	39.28	0.093	0.59	84.03	18.21	20.2
	给矿	100.00	36.83	0.425	2.302	100.00	100.00	100.00
颚式破碎	精矿	19.09	28.7	1.504	8.75	14.04	79.23	78.36
	尾矿	80.91	41.46	0.093	0.57	85.96	20.77	21.64
	给矿	100.00	39.02	0.362	2.131	100.00	100.00	100.00

从表6可以看出,经过高压辊磨的铜回收率比颚式破碎高2.56个百分点,铁回收率高1.93个百分点,硫回收率高1.44个百分点。

4 结 论

1) 对大冶铁矿选矿厂细碎筛下产品进行了高压辊磨试验,确定适宜的工艺参数为:辊间压力10 MPa,辊面转速0.26 m/s,给料水分2%。

2) 3 mm 高压辊磨闭路试验中,在第4次循环时

达到平衡,循环负荷为49.7%,-0.074 mm 粒级占比为14.68%。5 mm 高压辊磨闭路试验中,在第3次循环时达到平衡,循环负荷为23.1%,-0.074 mm 粒级占比为11.42%。

3) 高压辊磨-3 mm 粒级产品邦德球磨功指数为12.11 kWh/t,颚式破碎-3 mm 粒级产品邦德球磨功指数为15.65 kWh/t;经过高压辊磨破碎后,黄铜矿和磁铁矿解离度分别提高了3.69和1.06个百分点;磨矿细度-0.074 mm 粒级占60%时,高压辊磨产品可磨度提高了55.0%;磨矿细度-0.074 mm 粒级占80%时,高压辊磨产品可磨度提高了33.3%;相同粒度下(-0.074 mm 粒级占75%),高压辊磨破碎后浮选的铜、铁、硫回收率比颚式破碎分别高2.56、1.93、1.44个百分点。

参考文献:

- [1] 刘建远. 再谈高压辊磨机在矿物加工领域的应用[J]. 有色金属(选矿部分), 2016(5):66-72.
- [2] 魏波,张宪伟,李丽匣,等. 高压辊磨机粉碎工艺国外应用进展与发展趋势[J]. 金属矿山, 2021(10):1-11.
- [3] 余良晖,冯丹丹,苏轶娜. 当前矿产资源形势与风险分析[J]. 国土资源情报, 2020(4):31-35.
- [4] 朱泊翰,张鹏羽,欧乐明,等. 高压辊磨对低品位金矿浮选的影响研究[J]. 矿冶工程, 2022,42(3):80-83.
- [5] 张建乐,黄业豪,王誉树,等. 单传动辊压机破碎极贫磁铁矿石产品粒度特性研究[J]. 矿冶工程, 2021,41(5):71-74.
- [6] 李晓慢,马英强,朱加乾,等. 高压辊磨技术在有色金属矿山中的应用现状及前景[J]. 现代矿业, 2015(10):63-65.
- [7] 余祖芳,谢毅龄. 提高马坑铁矿选矿生产能力的实践[J]. 福建冶金, 2019(4):1-5.
- [8] 郑明,袁永宝. 高压辊磨机在我国金属矿山的应用与前景展望[J]. 冶金管理, 2020(11):100-101.
- [9] 黄春源,董晶晶. 大冶铁矿选矿厂洗矿工艺改造实践[J]. 现代矿业, 2018(6):149-151.
- [10] 刘磊. 贫赤铁矿石高压辊磨机粉碎-高效分选技术研究[D]. 沈阳:东北大学资源与土木工程学院, 2012.

引用本文: 王中才,陈兴,韦东,等. 高压辊磨对大冶铁矿碎磨能耗及分选的影响[J]. 矿冶工程, 2023,43(2):81-85.

(上接第80页)

- [2] 彭芬兰,杨家文,周四,等. 某难选低品位铜矿的选矿工艺研究[J]. 昆明冶金高等专科学校学报, 2011,27(3):4-7.
- [3] 何庆浪,韩彬,童雄,等. 组合捕收剂浮选低品位铜矿的试验研究[J]. 矿产保护与利用, 2015(5):29-33.
- [4] 周利华. 某复杂铜硫矿浮选分离与综合回收试验研究[J]. 矿冶工程, 2020(1):77-80.
- [5] 张曙光,汤优优. 云南某高硫铜矿选矿工艺优化研究[J]. 云南冶

金, 2015,44(6):11-17.

- [6] 符剑刚,钟宏,欧乐明. 巯基乙酸在铜铅分离中的应用[J]. 矿冶工程, 2012,22(4):13-16.

引用本文: 程平轩. 某大型铜钼矿提高微细粒铜回收率试验研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(2):78-80.