

国家自然科学基金

某铅锌矿立磨机与球磨机磨矿效果对比试验研究

任英东¹, 肖庆飞^{1,2,3}, 周强¹, 谢浩松¹, 张志鹏¹

1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093;
2. 矿冶过程自动控制技术国家(北京市)重点实验室, 北京 100070;
3. 省部共建复杂有色金属资源清洁利用国家重点实验室, 云南 昆明 650093

中图分类号: TD921.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2023)01-0073-06
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2022.07.017

摘要 立磨机和球磨机都是大型工业磨粉设备,被广泛应用于选矿、冶金、化工和煤炭等行业。本文针对某铅锌矿对比两种磨机的磨矿效果,采用立磨机与球磨机进行磨矿试验,并对试验产品进行筛分分析、单体解离度分析及浮选试验。试验结果表明:立磨机磨矿试验产品中粗粒级含量较球磨机试验产品下降了 0.6 百分点,方铅矿和闪锌矿单体解离度分别提高 2.28 和 1.60 百分点;立磨一浮选试验产品中铅精矿中铅品位及累计回收率较球磨机分别提高 0.65 和 0.61,锌精矿中锌品位及累计回收率较之分别提高 0.34 和 1.03 百分点,硫精矿中铅和锌含量分别下降 0.02、0.06 百分点。综上所述针对该铅锌矿立磨机磨矿效果均优于球磨机。

关键词 立磨机;球磨机;磨矿;单体解离度;铅锌矿;浮选

1 引言

随着我国经济的高速发展,对铅锌矿的需求逐年增加^[1-2]。虽然,我国铅锌矿资源丰富,分布广泛,但存在着贫矿多富矿少、共伴生复杂且嵌布粒度过细、有用矿物浸染粒度分布不均匀等特征^[3-4]。自然界中单一硫化铅或硫化锌矿较少,大多是与其它矿物共生或伴生浸染在一起,使矿物之间解离难度增加^[5-9]。磨矿作为矿石入选前最为重要的预处理作业,对于矿物的单体解离乃至后续浮选都有着至关重要的影响,磨矿产品的好坏将直接影响整个选矿厂的收益。因此,通过提高磨矿产品质量来改善矿物解离度及浮选效果是不可忽视的一环^[10-11]。杨树权等^[12]对某胶磷矿通过检测不同磨矿细度下矿物的单体解离度,并结合浮选试验,确定最佳入浮的磨矿细度,将选矿厂精矿回收率提高 2.33 百分点。不同的磨矿设备对磨矿产品粒度特性、分选效果均会产生不同的影响。因此,在实际生产过程中应结合矿石特性选择磨矿设备^[11]。张跃军等^[13]采用青海某钾石盐矿对比球磨机和立磨机磨矿效果的试验中发现,在磨矿浓度 1.2 g/mL 及磨矿时间 1 min 条件下,立磨机较球磨机磨矿产品中粗粒级含

量下降了 8 个百分点以上,在对细粒级的研磨上立磨机的性能优于球磨机。董天龙等^[14]采用 ETM-1000 塔磨机替换选厂原有的铜精矿再磨球磨机,使得磨矿细度提升的同时还降低了过磨粒级的占比,提高了铜的回收率。陈来保等^[15]在某铜矿通过将选厂原有球磨机替换成塔磨机后,使得磨矿产品-0.037 mm 粒级含量提高至 95% 以上,提高了铜矿物的单体解离度,提高了选厂铜精矿品位及回收率。

传统的球磨机主要依靠介质冲击矿石来进行破碎^[16-17],如图 1 所示。介质之间多以点接触为主,当介质作用在矿石上的冲击力过大时,矿石的破碎行为往往以贯穿性破碎为主,矿物单体解离差。但磨矿的目的不单纯是提高产品细度,更主要是最大程度地将有用矿物与伴生的脉石矿物解离^[18]。相较于球磨机,立磨机则主要表现为介质与矿石之间的摩擦磨损,磨机内颗粒在螺旋搅拌装置的带动下呈现周期性运动,靠近搅拌装置的内侧的颗粒向上运动,而靠近搅拌装置外缘及衬板处的颗粒则向下运动,这些运动差异产生了介质-介质、介质-螺旋叶片、介质-衬板、物料与物料之间相对运动,通过这些剧烈的摩擦促使物料表面的韧性丧失而剥离,使得颗粒表面光滑且具有丰富的

收稿日期: 2022-08-25

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金(51964044); 云南省地方高校(部分)联合专项(2018FH001-051); 云南省教育厅基金(2019J0738)

作者简介: 任英东(1997—),男,硕士研究生。主要研究方向为碎磨理论与工艺, E-mail: r13204761215@163.com。

通信作者: 肖庆飞(1981—),博士,教授。主要研究方向为碎磨理论与工艺, E-mail: 13515877@qq.com。

裂纹^[19-21], 见图 2。摩擦磨损更利于矿物的单体解离^[22-23]。同时在介质对矿石剧烈磨擦的作用下, 会将包裹于有用矿物外层的脉石逐渐剥离, 增强矿物沿界面破裂更有助于矿物暴露, 进一步强化浮选药剂在矿物表面上的附着, 进而可以提高精矿回收率及品位^[18]。本文以某铅锌矿二段入磨铅硫混合精矿为试验原料, 对比立磨机与球磨机磨矿产品在粒度分布、矿物解离度及浮选效果上的差异, 较为全面地对比球磨机与立磨机的磨矿效果, 为该铅锌矿磨矿设备选择提供一定的技术与理论支持。

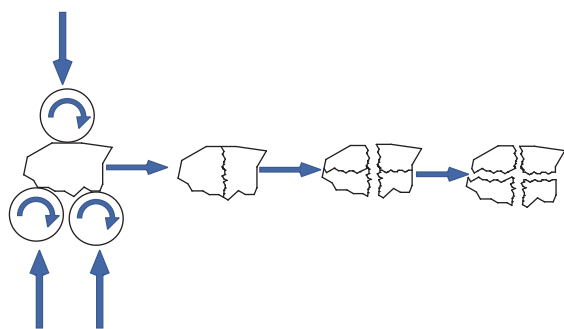


图 1 球磨机破碎原理
Fig. 1 Ball mill crushing

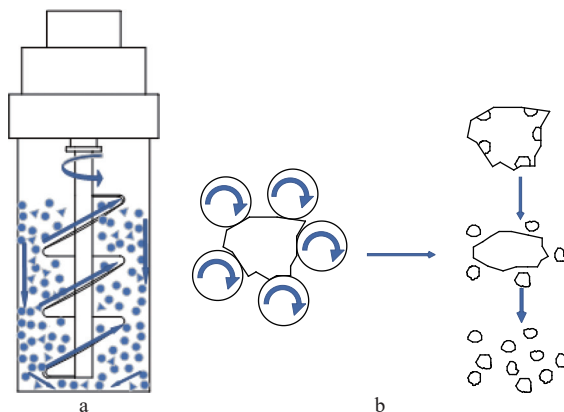


图 2 a、b 立磨机工作原理
Fig. 2 Working principle of vertical mill

2 试验

2.1 试验矿样和试验方法

试验矿样取自某铅锌矿铅硫混合精矿, 并对原料筛分、水析, 计算得出各粒级含量, 结果见图 3。

由图 3 可知, 磨矿试验原料-0.045 mm 粒级含量 56.94%, 可确定磨矿过粗粒级为+0.10 mm^[22]。+0.10 mm 粗粒级含量为 5.42%, -0.045+0.019 mm 易选粒级含量为 35.08%, -0.045+0.010 mm 可选粒级含量为 42.83%, -0.010 mm 过磨粒级含量为 14.11%。

2.2 磨矿对比试验

固定磨矿产品-0.045 mm 含量与现场一致(为

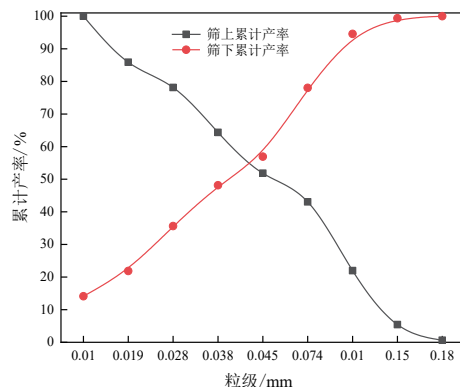


图 3 磨矿试验原料粒度特性曲线

Fig. 3 Particle size characteristic curve of raw material for grinding tests

70%左右), 分别在立磨机及球磨机中开展磨矿试验。

(1)立磨试验: 仪器型号 JM-260 型立式螺旋搅拌磨矿机, 搅拌机构转速为 270 r/min, 筒体直径 260 mm, 处理能力 10~100 kg/h, 筒体有效容积 0.04 m³。试验条件: 介质充填率为 35%, 介质尺寸为 φ15 mm, 装球量 67.9 kg, 矿料 10 kg, 磨矿质量浓度为 50%。(2)球磨试验: 在 φ450 mm×450 mm 实验室球磨机, 转速率 75%, 有效容积 7.15×10⁻³ m³。试验条件: 介质配比使用与现场相同的钢段配比 $m(35 \times 40) : m(25 \times 30) : m(20 \times 25) = 20 : 45 : 35$, 介质充填率 20%, 矿样 10 kg; (3)对所得磨矿产品粒度筛分、水析、烘干称重、计算各粒级产率。

2.3 MLA 颗粒分析

试验条件: 将矿样分别混匀缩分后采用树脂二次镶嵌, 电压 25 kV、电流 40 μA、束斑 6.5。对立磨机及球磨机磨矿产品分别进行 MLA 矿物解离度特征分析, 对比立磨机及球磨机在相同磨矿细度下磨矿产品的矿物解离特征, 并加以分析比较。

2.4 同等磨矿细度下浮选对比试验

对立磨机及球磨机的磨矿产品进行相同条件下的浮选对比试验, 浮选流程与现场一致(见图 4), 采用的药剂包括石灰、松醇油、丁基黄药、硫酸铜、硫酸锌、乙硫氮, 试验在 XFD-1.5 L 单槽浮选机内进行, 对所得的浮选产品进行化验分析, 并对主要浮选产品中的金属品位及回收率对比分析, 最终选出最佳试验方案。

3 试验结果与讨论

3.1 磨矿对比试验

通过试验探索最终确定立磨机磨矿时间为 100 s, 磨矿产品-0.045 mm 粒级含量 69.47%。球磨机磨矿时间为 35 min, -0.045 mm 粒级含量 69.21%。磨矿试验产品粒度分析结果见图 5。

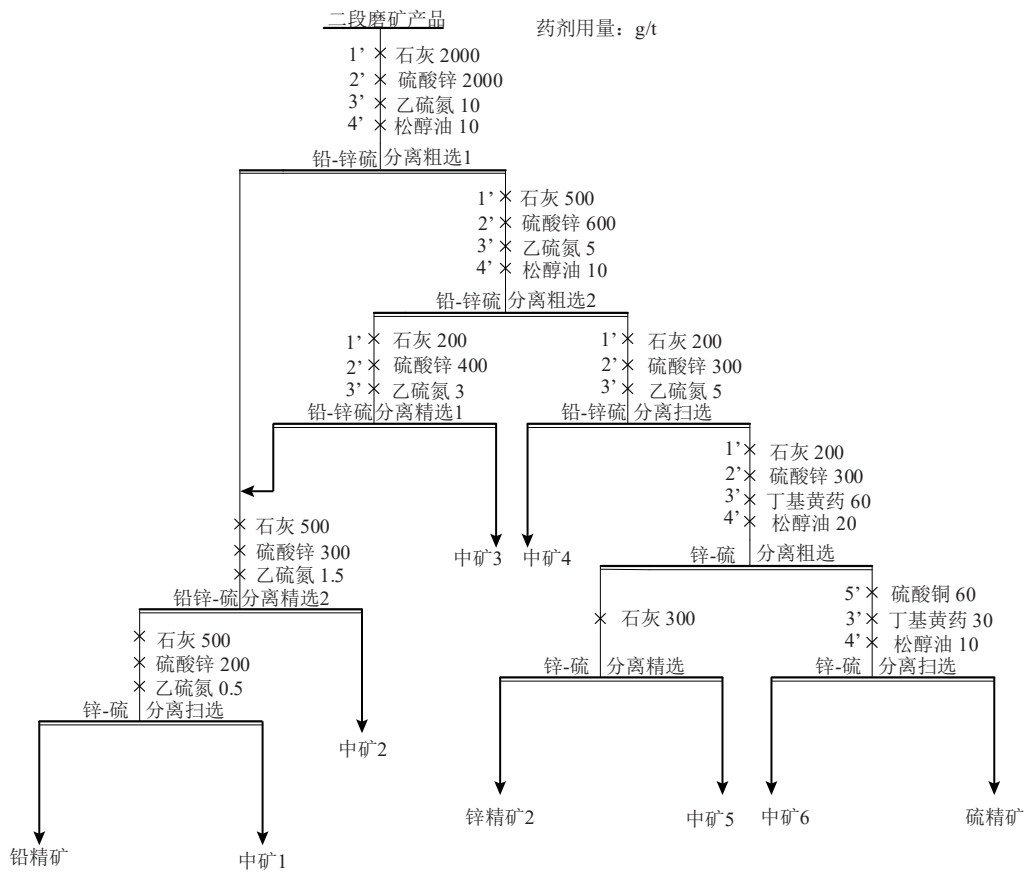


图 4 浮选试验流程

Fig. 4 Flowsheet of flotation test

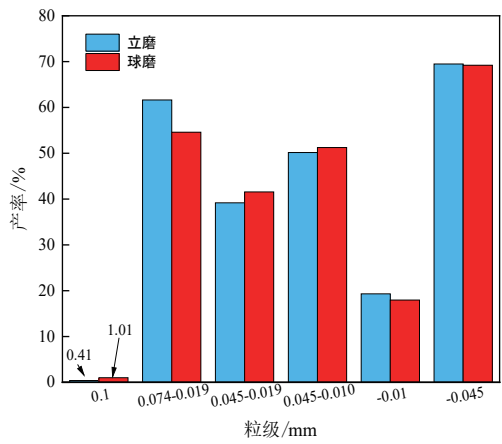


图 5 试验结果综合指标

Fig. 5 Comprehensive index of test results

由图 5 可知, (1)立磨试验产品较球磨试验产品过粗粒级下降 0.60 个百分点, 说明立磨机研磨性能较好, 可有效减少粗粒级含量; (2)-0.045+0.019 mm 易选粒级产率及-0.045+0.010 mm 可选粒级产率球磨产品较立磨产品分别提高 2.39 和 1.08 百分点; (3)其中-0.10 mm 过磨粒级产率立磨产品较球磨高 1.34 百分点; (4)但-0.074+0.019 mm 粒级立磨较球磨磨矿产品提高了 7.04 百分点, 同时由表 1 所示, 在-0.074+0.019 mm 粒级范围内立磨产品的其他粒级分布较球磨产品相对均匀, 这可能对后续浮选具有较好的影响。

表 1 -0.074+0.045 mm 粒级中其他粒级占比 /%

Table 1 Other size classes proportion in -0.074+0.019 mm size class

粒级/mm	立磨方案	球磨方案
-0.074+0.045	30.92	20.26
-0.045+0.028	26.98	51.02
-0.028+0.019	26.98	13.68
-0.019	15.12	15.04
总计	100.00	100.00

3.2 单体解离度测试结果分析

立磨与球磨磨矿产品单体解离度颗粒分析结果分别见图 6 和图 7。

通过对 MLA 分析结果统计得表 2, 可见立磨机磨矿试验产品中的方铅矿、闪锌矿和黄铁矿解离度较球磨试验产品分别提高了 2.28、1.60 和 2.37 百分点。这表明立磨机能够较好地将矿物解离出来, 研磨效果较球磨机有所提升, 同时较好的矿物解离度也会对浮选产生正面影响, 增加有用矿物的回收率减少金属流失所带来的损失。

3.3 浮选对比试验

在相同条件下对立磨机及球磨机磨矿试验产品

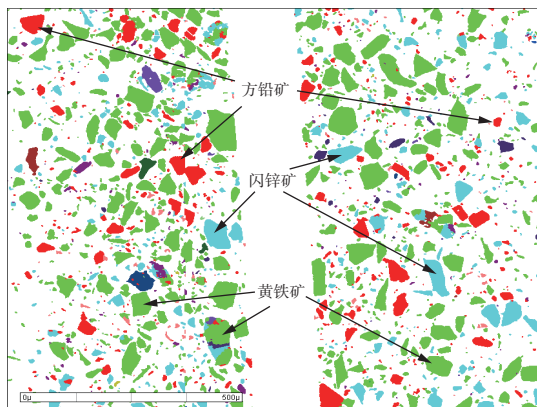


图 6 立磨试验产品 MLA 分析总图(部分区域)
Fig. 6 General diagram of MLA analysis of vertical mill test products (some areas)

进行浮选对比试验,对所得浮选产品化验分析,结果见表 3。

由上表可知:(1)立磨试验产品的铅精矿品位及累计回收率较球磨试验产品分别提高 0.65 和 0.61 百分点;(2)立磨试验产品中锌精矿品位及累计回收率均高于球磨试验产品,分别提高 0.34 和 1.03 百分点;(3)立磨试验产品的硫精矿中铅锌的互含也较之分别

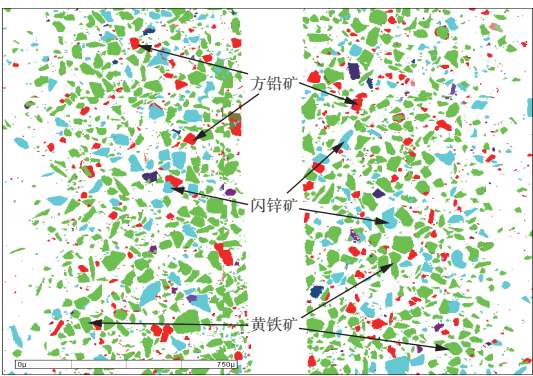


图 7 球磨试验产品 MLA 分析总图(部分区域)
Fig. 7 General diagram of MLA analysis of ball mill test products (some areas)

表 2 立磨和球磨试验产品 3/4 解离~完全解离累计解离度 /%

Table 2 Dissociation characteristics of vertical mill and ball mill test products

矿物名称	立磨机试验方案	球磨机试验方案
方铅矿	90.74	88.46
闪锌矿	92.33	90.73
黄铁矿	96.46	94.09

表 3 立磨及球磨磨矿产品浮选对比试验指标

Table 3 Comparative flotation test indexes of vertical and ball mill products

试验方案	产品名称	产率/%		品位/%				回收率/%			
				Pb		Zn		Pb		Zn	
		个别	累计	个别	累计	个别	累计	个别	累计	个别	累计
立磨试验	铅精矿	12.62	12.62	62.56	62.56	3.51	3.51	74.73	74.73	4.15	4.15
	中矿 1	3.78	16.40	34.69	56.14	11.21	5.28	12.40	87.13	3.97	8.12
	中矿 2	3.40	19.80	14.59	49.01	11.49	6.35	4.69	91.82	3.66	11.78
	中矿 3	1.08	20.88	10.45	47.01	13.12	6.7	1.07	92.89	1.33	13.11
	中矿 4	0.87	21.75	5.02	45.32	15.83	7.07	0.42	93.31	1.30	14.41
	锌精矿	14.8	36.55	1.38	27.53	54.35	26.21	1.93	95.24	75.44	89.85
	中矿 5	3.92	40.47	2.36	25.1	9.90	24.63	0.87	96.11	3.64	93.49
	中矿 6	3.45	43.92	0.98	23.20	6.79	23.23	0.32	96.43	2.20	95.69
	硫精矿	56.08	100.00	0.67	10.57	0.82	10.66	3.57	100.00	4.31	100.00
	给矿	100.00	—	10.57	—	10.66	—	100.00	—	100.00	—
球磨试验	铅精矿	12.9	12.90	61.91	61.91	3.77	3.77	74.13	74.13	4.48	4.48
	中矿 1	3.71	16.61	34.24	55.74	11.83	5.57	11.77	85.90	4.03	8.51
	中矿 2	3.63	20.24	14.22	48.3	11.7	6.67	4.78	90.68	3.90	12.41
	中矿 3	1.20	21.44	9.88	46.14	13.81	7.07	1.10	91.78	1.53	13.94
	中矿 4	1.01	22.45	6.02	44.33	15.22	7.44	0.57	92.35	1.42	15.36
	锌精矿	14.98	37.43	1.65	27.25	54.01	26.07	2.29	94.64	74.41	89.77
	中矿 5	4.22	41.65	3.36	24.83	9.83	24.43	1.32	95.96	3.82	93.59
	中矿 6	3.41	45.06	1.65	23.08	6.26	23.05	0.52	96.48	1.96	95.55
	硫精矿	54.94	100.00	0.69	10.78	0.88	10.87	3.52	100.00	4.45	100.00
	给矿	100.00	—	10.78	—	10.87	—	100.00	—	100.00	—

降低了0.02和0.06百分点;(4)在铅锌精矿互含上立磨产品的浮选试验结果也同样优于球磨的试验结果,既提高了铅精矿及锌精矿的品位也减少有用矿物的流失。可见立磨机具有较好的研磨效果,可以最大程度地将矿物单体解离出来减少其他矿物的嵌布,提高矿物回收率及品位,验证了MLA解离度的检验结果。立磨试验产品的浮选指标在各方面均优于球磨的浮选指标,原因也在于-0.074+0.019 mm中各粒级的分布比较均匀,同时验证了前文磨矿对比试验的筛析结果。

4 结论

(1)在相同-0.045 mm含量下,立磨机磨矿试验产品较球磨机试验产品-0.074+0.019 mm粒级含量提高了7.04百分点,在-0.074+0.019 mm粒级范围内其他粒级的分布也相对均匀。

(2)通过MLA颗粒单体解离度分析得出立磨机磨矿试验产品在方铅矿、闪锌矿、黄铁矿的解离度较球磨机磨矿试验产品分别提高了2.28、1.60和2.37百分点,可见立磨机较球磨机具有更好的磨矿效果,可以提高矿物的单体解离度。

(3)通过对两种磨矿试验产品在相同条件下的浮选对比试验得出,立磨磨矿产品在铅精矿、锌精矿中目标矿物的品位及累计回收率均优于球磨磨矿产品,铅精矿品位及回收率分别提升0.65和0.61百分点,锌精矿品位及回收率分别提升0.34和1.03百分点,立磨产品较球磨机方案硫精矿中的铅锌含量也有所下降,分别下降0.02和0.06百分点。在铅锌精矿互含上立磨产品试验指标同样优于球磨产品,验证了-0.074+0.019 mm中其他粒级分布均匀对浮选产生较为积极的影响。

(4)通过上述试验最终确定立磨机磨矿试验产品优于球磨机,验证了立磨机的优越性及使用的合理性,为现场选型提供了理论基础。

参考文献:

- [1] 程武忠. 铅锌硫化矿选矿工艺及机理浅析[J]. *世界有色金属*, 2019(21): 52-53.
CHENG W Z. A brief analysis of the beneficiation process and mechanism of lead-zinc sulfide ore[J]. *World Nonferrous Metals*, 2019(21): 52-53.
- [2] 王潇,文文明,韩广,等. 硫化铅锌矿石浮选分离技术研究进展[J]. *矿产保护与利用*, 2021, 41(5): 168-178.
WANG X, WEN S M, HAN G, et al. Research progress of flotation separation technology for lead-zinc sulfide ores[J]. *Mineral Conservation and Utilization*, 2021, 41(5): 168-178.
- [3] 周源,陈江安. 铅锌选矿技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 20-21.
ZHOU Y, CHEN J A. Lead-zinc beneficiation technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2012: 20-21.
- [4] JIA Y, HUANG XP, HUANG K, et al. Synthesis, flotation performance and adsorption mechanism of 3-(ethylamino)-N-phenyl-3-thioxopropanamide onto galena/sphalerite surfaces[J]. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2019, 77(C): 416-425.
- [5] 唐攀科,王春艳,梅友松,等. 中国铅锌矿产资源成矿特征与资源潜力评价[J]. *地学前缘*, 2018, 25(3): 31-49.
TANG P K, WANG C Y, MEI Y S, et al. Evaluation of metallogenic characteristics and resource potential of lead-zinc mineral resources in China[J]. *Geological Foreground*, 2018, 25(3): 31-49.
- [6] 唐攀科,王春艳. 中国铅锌矿资源潜力评价及其成矿远景预测[J]. *矿床地质*, 2014, 33(S1): 819-820. DOI:10.1611/j.0258-7106.2014.s1.412.
TANG P K, WANG C Y. Evaluation of the resource potential of lead-zinc ore in China and its prospective prediction of mineralization[J]. *Mineral Deposit Geology*, 2014, 33(S1): 819-820. DOI: 10.1611/j.0258-7106.2014.s1.412.
- [7] NWOYE C I. Model for predicting the initial solution pH at pre-assumed final pH and concentration of dissolved lead during leaching of galena in butanoic acid solution[J]. *Journal of Engineering Science and Technology*, 2010, 5(2): 176.
- [8] ZHANG, G. W., ZHAO, et al. Research and application of vertical screw stirred mill. XXV. In: *International Mineral Processing Congress*, Brisbane, Australia, 1437-1443.
- [9] X. XIAO, G. W. ZHANG, Y. G. LI, et al. Intensifying separation of reverse flotation tailings from concentrator of baogang group by fine grinding with the stirred mill. *Min. Metall. Eng.*, 2011, 31 (2), 32-34.
- [10] 段希祥. 提高磨矿过程矿物单体解离度及改善磨矿产品质量研究[J]. *有色金属(选矿部分)*, 1998(3): 33-38+43.
DUAN X X. Research on improving the dissociation degree of mineral monomer in grinding process and improving the quality of grinding products[J]. *Non-ferrous Metals (Mineral Processing)*, 1998(3): 33-38+43.
- [11] XIE H, LIU Y, RAO B, et al. Selective passivation behavior of galena surface by sulfuric acid and a novel flotation separation method for copper-lead sulfide ore without collector and inhibitor[J]. *Separation and Purification Technology*, 2021, 267(1/2): 118621.
- [12] 杨稳权,方世祥,庞建涛,等. 胶磷矿不同磨矿细度单体解离度测定及其浮选应用[J]. *武汉工程大学学报*, 2014, 36(4): 31-34.
YANG Y Q, FANG S X, PANG J T, et al. Determination of monomer dissociation degree of colloidal phosphate ore with different grinding fineness and its flotation application[J]. *Journal of Wuhan Engineering University*, 2014, 36(4): 31-34.
- [13] 张跃军,陈东,余悦. 立磨机与球磨机对钾石盐矿的磨矿性能对比研究[J]. *矿产保护与利用*, 2013(6): 33-36.
ZHANG Y J, CHEN D, YU Y. A comparative study on the grinding performance of vertical mill and ball mill for potash salt ore[J]. *Mineral Conservation and Utilization*, 2013(6): 33-36.
- [14] 董天龙,薛春华. 塔磨机在铜精矿细磨中的应用[J]. *云南冶金*, 2017, 46(1): 19-22.
DONG T L, XUE C H. Application of tower mill in fine grinding of copper concentrate[J]. *Yunnan Metallurgy*, 2017, 46(1): 19-22.
- [15] 陈来保,谢蔼祥,阚延松. TM系列塔磨机在某铜矿细磨再选工艺中的应用[J]. *现代矿业*, 2017, 33(3): 191-192.
CHEN L B, XIE A X, KAN Y S. Application of TM series tower mill in a copper ore fine grinding and re-election process[J]. *Modern Mining*, 2017, 33(3): 191-192.
- [16] 段希祥. 碎矿与磨矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2012: 210-213.
DUAN X X. Ore crushing and grinding [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2012: 210-213.

- [17] 李腾飞, 林蜀勇, 张博, 等. 不同转速率下球磨机内钢球的碰撞研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2019, 50(2): 251–256.
LI T F, LIN S Y, ZHANG B, et al. Study on the collision of steel balls in ball mills at different rotation rates[J]. Journal of Central South University (Natural Science Edition), 2019, 50(2): 251–256.
- [18] XIAO X, ZHANG G W, FENG Q M, et al. The liberation effect of magnetite fine ground by vertical stirred mill and ball mill, Minerals Engineering, 2012, 34: 63–69.
- [19] 陈彦如, 王腾宇, 纪鸿, 等. 超细搅拌磨的研发现状及发展趋势[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2013(3): 46–48+20.
CHEN Y R, WANG T Y, JI H, et al. Current status and development trend of ultrafine stirred mill[J]. China Nonmetallic Mining Industry Journal, 2013(3): 46–48+20.
- [20] 张国旺, 黄圣生, 李自强, 等. 超细搅拌磨机的研究现状和发展[J]. 有色矿冶, 2006(S1): 123–125+127.
ZHANG G W, HUANG S S, LI Z Q, et al. Research status and development of ultrafine stirred mill[J]. Nonferrous Mining and Metallurgy, 2006(S1): 123–125+127.
- [21] GAO M W, E. FORSSBERG, Prediction of product size distributions for a stirred ball mill powder technol. , 1995, 84: 101–106.
- [22] R. HOGG, Breakage mechanisms and mill performance in ultrafine grinding Powder Technology, 1999, 105: 135–140.
- [23] 曾桂忠, 段希祥. 立式球磨机在铝土矿选择性磨矿的试验研究[J]. 矿山机械, 2009, 37(17): 58–60.
ZENG G Z, DUAN X X. Experimental study of vertical ball mill in selective grinding of bauxite ore[J]. Mining Machinery, 2009, 37(17): 58–60.

Comparative Experimental Study on the Grinding Effect of a Lead-zinc Mine Through Vertical Mill and Ball Mill

REN Yingdong¹, XIAO Qingfei^{1,2,3}, ZHOU Qiang¹, XIE Haosong¹, ZHANG Zhipeng¹

1. School of Land and Resource Engineering, Kunming University of Technology, Kunming 650093, Yunnan, China;

2. State (Beijing) Key Laboratory of Automatic Control Technology of Mining and Metallurgical Processes, Beijing 100070, China;

3. State Key Laboratory of Clean Utilization of Complex Nonferrous Metal Resources, jointly built by the Ministry and the Province, Kunming 650093, Yunnan, China

Abstract: Both vertical mills and ball mills are large grinding equipment in industry, which are widely used in mineral processing, metallurgy, chemical engineering, coal, and other fields. The vertical mill and ball mill were used for grinding tests to compare the grinding effect on certain lead-zinc ore, meanwhile sieve analysis, monomer dissociation analysis and froth flotation tests on above products were also conducted. The results of sieve analysis and monomer dissociation analysis showed that the content of coarse fraction in the product after vertical mill grinding decreased by 0.6 percentage compared with the test results of ball mill. In addition, the liberation degree of galena and sphalerite increased by 2.28 and 1.60 percentage respectively. The froth flotation tests demonstrated that compared with the ball mill-flotation test results, the grade and cumulative recovery of lead in the lead concentrate increased by 0.65 and 0.61 respectively, and the grade and cumulative recovery of zinc in the zinc concentrate increased by 0.6 and 0.6 respectively. The lead and zinc content in the sulfur concentrate decreased by 0.02 and 0.06 percentage. In summary, the grinding effect of the vertical mill for this lead-zinc ore is better than that of the ball mill.

Keywords: vertical mill; ball mill; grinding; single liberation degree; lead-zinc ore; flotation

引用格式: 任英东, 肖庆飞, 周强, 谢浩松, 张志鹏. 某铅锌矿立磨机与球磨机磨矿效果对比试验研究[J]. 矿产保护与利用, 2023, 43(1): 73–78.

REN Yingdong, XIAO Qingfei, ZHOU Qiang, XIE Haosong, ZHANG Zhipeng. Comparative experimental study on the grinding effect of a lead-zinc mine through vertical mill and ball mill[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2023, 43(1): 73–78.

投稿网址: <http://hcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn