

云南某堆积型高铁铝土矿铝、硅、铁分离工艺试验研究^①

杨林^{1,2,3}, 张锦仙⁴, 阚赛琼^{1,3}, 吕超^{1,3}

(1.昆明冶金研究院有限公司,云南昆明 650031; 2.中南大学资源加工与生物工程学院,湖南长沙 410083; 3.云南省选冶新技术重点实验室,云南昆明 650031; 4.昆明有色冶金设计研究院股份公司,云南昆明 653030)

摘要: 云南某堆积型高铁铝土矿 Al_2O_3 含量 42.13%、 SiO_2 含量 15.73%、TFe 含量 17.44%、铝硅比 2.68。采用正浮选分离铝和硅,研究了 pH 值调整剂用量、抑制剂种类与用量、捕收剂用量及磨矿细度等对浮选脱硅效果的影响,适宜工艺条件下的浮选闭路试验获得了 Al_2O_3 品位 52.16%、铝硅比 7.69、 Al_2O_3 回收率 70.30%、TFe 含量 20.89% 的浮选铝精矿。采用磁化焙烧-磁选对浮选铝精矿开展铝铁分离探索试验研究,最终获得铝硅比 8.70、 Al_2O_3 品位 69.34% 的铝精矿以及 TFe 品位 52.34%、作业回收率 76.03% 的铁粗精矿。

关键词: 高铁铝土矿; 浮选; 铝硅比; 铝精矿; 磁化焙烧; 磁选; 脱硅; 铝铁分离

中图分类号: TD92

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2023.03.017

文章编号: 0253-6099(2023)03-0075-04

Separation and Recovering of Aluminum, Silicon and Iron from Accumulative High-Iron Bauxite in Yunnan

YANG Lin^{1,2,3}, ZHANG Jinxian⁴, KAN Saiqiong^{1,3}, LÜ Chao^{1,3}

(1. Kunming Metallurgical Research Institute Co Ltd, Kunming 650031, Yunnan, China; 2. School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China; 3. Yunnan Key Laboratory for New Technology of Beneficiation and Metallurgy, Kunming 650031, Yunnan, China; 4. Kunming Engineering & Research Institute of Nonferrous Metallurgy Co Ltd, Kunming 653030, Yunnan, China)

Abstract: An accumulative bauxite ore in Yunnan containing 42.13% Al_2O_3 , 15.73% SiO_2 and 17.44% TFe, namely, with an Al/Si ratio of 2.68, was taken in a flotation for Al/Si separation, and the effects of pH regulator dosage, type and dosage of depressant, collector dosage and grinding fineness on desilication performance of flotation were all investigated. A closed-circuit flotation test performed with the optimized parameters produced an aluminum concentrate with Al_2O_3 grade and recovery of 52.16% and 70.30%, Al/Si ratio of 7.69, and TFe grade of 20.89%, respectively. Then, a flowsheet consisting of magnetic roasting and magnetic separation was introduced to treat this aluminum concentrate for Al/Fe separation, which produced a final aluminum concentrate containing 69.34% Al_2O_3 with Al/Si ratio of 8.70, and a rough iron concentrate grading 52.34% TFe with a process recovery of 76.03%.

Key words: high-iron bauxite; flotation; Al/Si ratio; aluminum concentrate; magnetic roasting; magnetic separation; desilication; Al/Fe separation

铝土矿是拜耳法生产氧化铝的主要原料,铝土矿主要分为三种类型:一水硬铝石型、一水软铝石型及三水铝石型^[1]。我国铝土矿以一水硬铝石为主,主要特点是铝硅比低,部分地区铝土矿硫含量高^[2]、铁钛含量高^[3]。拜耳法生产氧化铝对铝土矿的基本要求为铝硅比达 7 以上,因此,我国大部分地区铝土矿资源不能直接进入拜耳法生产氧化铝,需要进行选矿预脱硅,

提高铝硅比及 Al_2O_3 含量。

铝土矿预脱硅的主要方法包括物理脱硅、化学脱硅及生物脱硅^[4],其中物理脱硅又包括机械擦洗脱泥、正浮选及反浮选等。机械擦洗脱泥主要针对堆积型铝土矿,通过圆筒洗矿机擦洗脱泥后的精矿铝硅比能提高至 7 以上^[5],可以满足拜耳法要求。正浮选脱硅是铝土矿选矿研究与实践较多的方法^[6],关键在于

① 收稿日期: 2022-12-01

基金项目: 云南省科技厅基础研究专项面上项目(202101AT070026)

作者简介: 杨林(1985—),男(苗族),贵州安顺人,硕士,高级工程师,主要研究方向为浮选药剂开发及二次资源综合利用。

通信作者: 张锦仙(1985—),女,云南昆明人,高级工程师,主要研究方向为选矿设计、选矿工艺及矿业经济。

捕收剂的开发,铝土矿常用的正浮选捕收剂包括脂肪酸及皂类、磺酸盐类、羟肟酸类及螯合捕收剂,目前研究较多的捕收剂包括油酸、妥尔油、十二烷基苯磺酸钠、氧化石蜡皂、羟肟酸及733等^[7]。反浮选脱硅药剂分为阳离子型及阴离子型,阳离子捕收剂主要包括胺类、醚胺及酰胺类等^[8-9]。化学脱硅主要方法为焙烧-碱浸工艺^[10],通过高温焙烧使一水硬铝石及高岭石等矿物进行矿相转化,再通过碱浸脱硅。生物脱硅的机制是通过微生物或其代谢物与铝土矿发生酸解、络解、氧化还原及絮凝分散等作用,从而脱除其中的硅或硅酸盐^[11]。

本文针对云南某堆积型高铁铝土矿,采用正浮选方法脱硅,并针对铝精矿含铁高的特性,探索了强磁选及磁化焙烧-磁选进行铝铁分离的可行性,研究成果可为高铁铝土矿开发利用提供技术借鉴。

1 矿样性质

试验矿样取自云南文山某堆积型铝土矿,铝硅比为2.68,矿石化学多元素分析结果见表1,铝与铁的赋存状态见表2及表3,铝矿物嵌布特征关系见图1。

表1 矿石化学多元素分析结果(质量分数) %

Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	TFe	S	P	MgO	CaO
42.13	15.73	3.89	17.44	0.057	0.045	0.77	0.14

表2 铝矿物赋存状态

矿物名称	矿物质量/%	矿物中铝含量/%	矿物中铝分配量/%	铝在各矿物中的分配比/%
一水硬铝石	31.90	44.98	14.35	64.38
一水软铝石	3.52	44.98	1.58	7.09
高岭石	31.64	20.09	6.36	28.53
合计	65.87		22.29	100.00

表3 铁矿物赋存状态

矿物名称	矿物质量/%	矿物中铁含量/%	矿物中铁分配量/%	铁在各矿物中的分配比/%
褐铁矿	18.12	62.86	11.39	65.31
赤铁矿	8.32	69.94	5.82	33.37
其他含铁矿物	—		0.23	1.32
合计	26.44		17.44	100.00

表1结果表明,该矿石Al₂O₃含量低、铁含量高,矿石铝硅比低,属于低铝低硅高铁钛型铝土矿。表2~3结果表明,矿石中铝主要以一水硬铝石及高岭石形态存在,一水软铝石较少;铁主要以褐、赤铁矿形态存在。图1表明,一水硬铝石以鲕状或浸染状形态与铁矿物及高岭石等矿物相互连生或包裹,嵌布粒度较细。

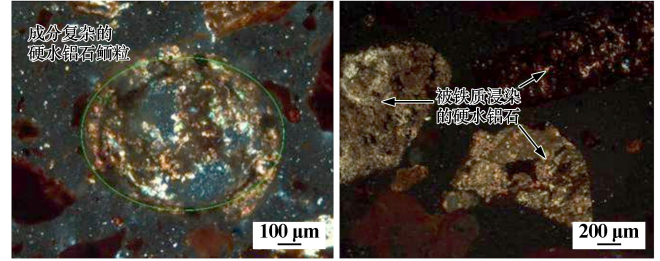


图1 铝矿物嵌布特征关系

2 试验方案与方法

2.1 试验药剂与设备

试验所用碳酸钠、硅酸钠、六偏磷酸钠及氟硅酸钠均为试剂纯药剂,购自麦克林试剂网;捕收剂KMY为自主研发的药剂,它是以亚油酸、羟肟酸、煤油及烷基酚与环氧乙烷缩合物按一定比例组成的复合物。

试验所用设备包括XFDIV型温控单槽浮选机(1.0、1.5 L)、XMQ-Φ240 mm×90 mm锥形球磨机、XCRS-400×240鼓式磁选机、高温箱式电炉RX-25-13及SLon-750(实验型)强磁选机等。

2.2 试验方法

矿样先进行浮选脱硅。浮选精矿经压团造块后与一定质量无烟煤混合后在电炉中进行磁化焙烧,焙烧矿密闭冷却至常温后再磨、弱磁选。

3 结果与讨论

3.1 浮选试验

3.1.1 碳酸钠用量试验

在铝土矿浮选脱硅过程中,碳酸钠具有调节矿浆pH值及分散作用。磨矿细度-0.074 mm 粒级占80%,抑制剂硅酸钠用量300 g/t、捕收剂KMY用量800 g/t条件下,考察了pH值调整剂碳酸钠用量对浮选脱硅效果的影响,试验流程见图2,结果见图3。图3结果表明,浮选粗精矿Al₂O₃回收率及铝硅比均随着碳酸

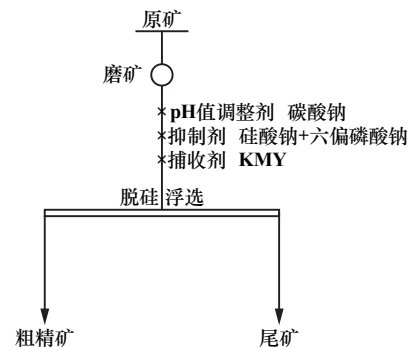


图2 浮选试验流程

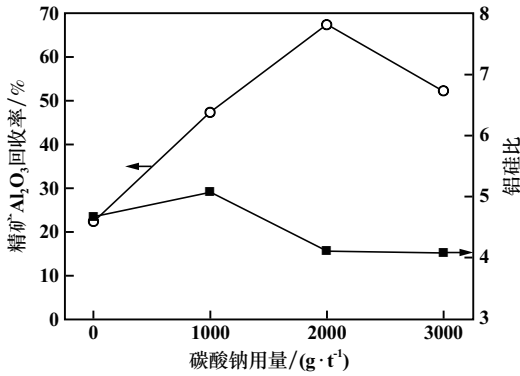


图3 碳酸钠用量试验结果

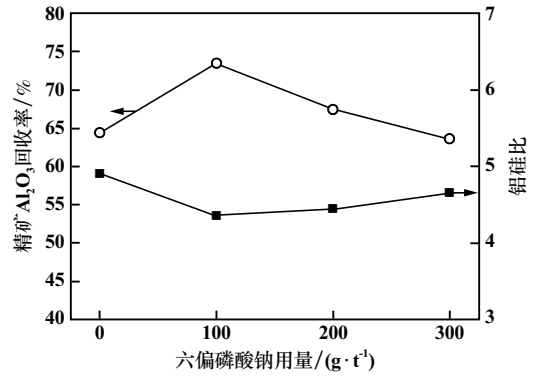


图5 六偏磷酸钠用量试验结果

钠用量增大呈先提高后降低的趋势。不添加碳酸钠时,Al₂O₃回收率较低;碳酸钠用量2000 g/t(pH值9左右)时Al₂O₃回收率达到峰值,随后再增加碳酸钠用量,Al₂O₃回收率下降。表明矿浆pH值对脱硅浮选效果影响较大,适宜的碳酸钠用量为2000 g/t。

3.1.2 硅酸钠用量试验

碳酸钠用量2000 g/t,其他条件不变,考察了抑制剂硅酸钠用量对浮选脱硅效果的影响,结果见图4。图4结果表明,硅酸钠用量增加,精矿Al₂O₃回收率逐渐降低,铝硅比在硅酸钠用量500 g/t时达到峰值。硅酸钠对高岭石抑制作用明显,但对一水硬铝石与高岭石的连生体也具有抑制作用。综合考虑铝硅比与回收率,适宜的硅酸钠用量为500 g/t。

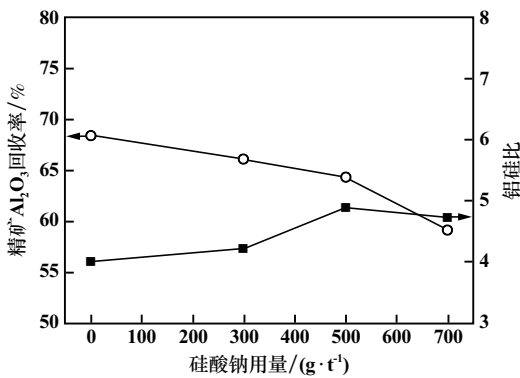


图4 硅酸钠用量试验结果

3.1.3 六偏磷酸钠用量试验

硅酸钠用量500 g/t,其他条件不变,考察了抑制剂六偏磷酸钠用量对浮选脱硅效果的影响,结果见图5。图5结果表明,六偏磷酸钠用量100 g/t时,Al₂O₃回收率达到峰值,说明添加一定量六偏磷酸钠能强化矿浆分散,促进捕收剂选择性吸附,但此时铝硅比较低。粗选段从强化一水硬铝石回收角度考虑,应添加一定量六偏磷酸钠,适宜用量为100 g/t。

3.1.4 KMY用量试验

六偏磷酸钠用量100 g/t,其他条件不变,考察了捕收剂KMY用量对浮选脱硅效果的影响,结果见图6。图6结果表明,随着KMY用量增加,精矿Al₂O₃回收率不断提高并在KMY用量超过1000 g/t后趋于稳定,铝硅比则呈逐渐降低趋势。综合考虑回收率、铝硅比及药剂成本,适宜的KMY用量为1000 g/t。

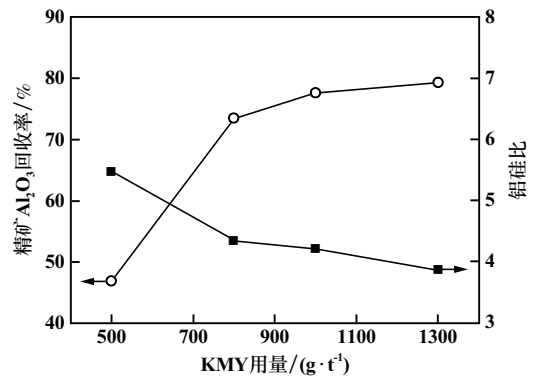


图6 KMY用量试验结果

3.1.5 磨矿细度试验

pH值调整剂碳酸钠用量2000 g/t,抑制剂硅酸钠用量500 g/t、六偏磷酸钠用量100 g/t,捕收剂KMY用量1000 g/t条件下,考察了磨矿细度对浮选脱硅效果的影响,结果见图7。图7结果表明,随着磨矿细度提

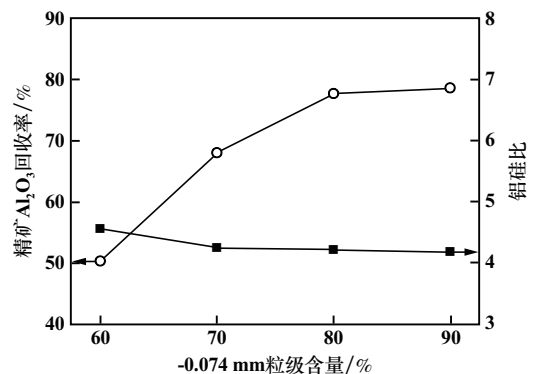


图7 磨矿细度试验结果

高,精矿 Al_2O_3 回收率不断提高并在 -0.074 mm 粒级占 80% 后趋于稳定,铝硅比则呈总体下降趋势,但下降不明显。说明磨矿细度增加,提高了一水硬铝石与高岭石的解离度,有利于捕收剂的选择性吸附与捕收,浮选回收率提高,但粒度过细,泥化严重,反而不利于浮选回收。适宜的磨矿细度为 -0.074 mm 粒级占 80%。

3.1.6 浮选闭路试验

在条件试验及开路试验基础上,开展了浮选闭路试验,试验流程见图 8,结果见表 4。浮选闭路试验可获得铝硅比 7.69、 Al_2O_3 回收率 70.30% 的铝精矿,铁主要富集在精矿中,品位有一定提升,尾矿铝硅比降到了 1.12。

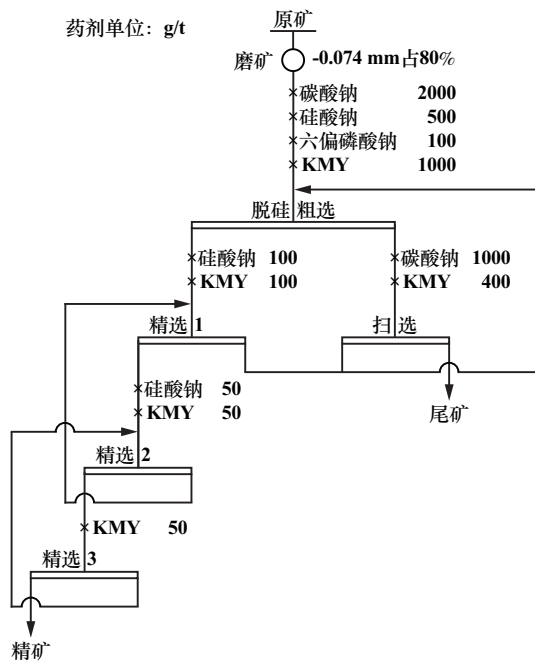


图 8 浮选闭路试验流程

表 4 浮选闭路试验结果

产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%			铝硅比
		Al_2O_3	SiO_2	TFe	Al_2O_3	SiO_2	TFe	
精矿	57.67	52.16	6.78	20.89	70.30	25.57	65.68	7.69
尾矿	42.33	30.02	26.89	14.87	29.70	74.43	34.32	1.12
原矿	100.00	42.79	15.29	18.34	100.00	100.00	100.00	2.80

3.2 磁化焙烧-磁选试验

矿石中铁主要以褐、赤铁矿形态存在,且嵌布粒度较细,针对浮选闭路试验获得铝精矿,采用磁化焙烧方法,使铁物相由弱磁性褐、赤铁矿转化为强磁性磁铁矿,再通过弱磁选进行铝铁分离,试验流程见图 9,结果见表 5。结果表明,磁化焙烧-磁选可获得铁品位 52.34%、铁回收率 76.03% 的铁粗精矿;最终铝精矿 Al_2O_3 含量提高到了 69.34%,铝硅比提高到了 8.70,实

现了铝铁分离,铁精矿产品具有一定销售价值,铝精矿产品 Al_2O_3 品位明显提高且铁含量明显降低,这对降低拜耳法生产成本及降低赤泥产出量意义较大。

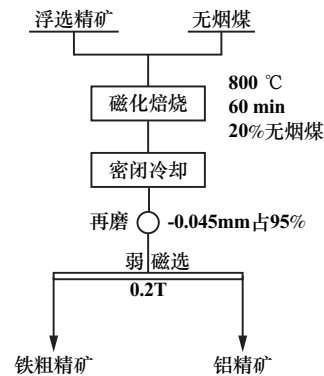


图 9 磁化焙烧-磁选流程

表 5 磁化焙烧-磁选结果

产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%			铝硅比
		Al_2O_3	SiO_2	Fe	Al_2O_3	SiO_2	Fe	
铁粗精矿	32.45	27.89	4.98	52.34	16.19	23.09	76.03	5.60
铝精矿	67.55	69.34	7.97	7.93	83.81	76.91	23.97	8.70
焙烧矿	100.00	55.89	7.00	22.34	100.00	100.00	100.00	7.98

4 结 论

- 1) 云南某堆积型高铁铝土矿 Al_2O_3 含量 42.13%、 SiO_2 含量 15.73%、TFe 含量 17.44%、铝硅比为 2.68;需开展铝、硅及铁的分选工艺研究,提高精矿铝硅比,以满足拜耳法生产要求并实现铁的综合回收利用。
- 2) 采用正浮选工艺进行铝硅分离,研究了 pH 值调整剂用量、抑制剂种类与用量、捕收剂用量及磨矿细度等工艺条件,最终浮选闭路试验可获得铝精矿铝硅比 7.69、 Al_2O_3 品位和回收率分别为 52.16% 和 70.30%、TFe 品位 20.89%、铁回收率 65.68%。
- 3) 采用磁化焙烧-磁选工艺对浮选精矿进行铝铁分离探索研究,最终铝精矿 Al_2O_3 含量提高到了 69.34%,铝硅比提高到 8.70,铁含量降到了 7.93%,同时能产出 TFe 品位 52.34% 的铁粗精矿。

参考文献:

[1] 荆东生,管永诗. 我国铝土矿资源及氧化铝工业的现状与分析[J]. 采矿技术, 2001,1(2):53-55.
 [2] 杨林,梁溢强,简胜. 新型活化剂在高硫铝土矿浮选脱硫中的应用研究[J]. 矿产保护与利用, 2018(2):87-94.
 [3] 王振杰,刘安荣,刘洪波,等. 贵州某高硫铝土矿浮选脱硫试验研究[J]. 矿冶工程, 2020,40(5):39-41.
 [4] 邱廷省,吴紧钢,吴承优. 铝土矿脱硅技术及其发展现状[J]. 矿山机械, 2015,43(4):8-13.

79.09%; 锌精矿品位 50.05%、锌回收率 87.51%; 硫精矿品位 42.09%、硫回收率 58.45%。

参考文献:

- [1] 刘晓,张宇,王楠,等.我国铅锌矿资源现状及其发展对策研究[J].中国矿业,2015(S1):6-9.
- [2] 孙明俊.我国铜铅锌多金属硫化矿选矿工艺研究现状[J].中国矿山工程,2022,51(1):98-100.
- [3] 罗仙平,杨思琦,何坤忠,等.“十三五”期间我国铅锌硫化矿选矿技术进展[J].有色金属科学与工程,2022,13(3):117-129.
- [4] 方荣,杨森,英亚歌,等.陕县宽平金银铅锌多金属矿石优先浮选技术探讨[J].湖南师范大学学报(自然科学版),2021,44(5):128-135.

- [5] 杨宏焱.锡铁山铅锌矿提高伴生金银经济效益研究[J].现代矿业,2021,37(7):165-166.
- [6] 毛志丹,谢克强,孔德全,等.云南某复杂硫、氧混合铅锌矿浮选实验研究[J].矿冶工程,2021,41(6):34-37.
- [7] 王妍,王旭,薛凯,等.内蒙古某含银多金属硫化矿强化选别试验研究[J].矿冶工程,2021,41(5):49-52.
- [8] 颜顺德,黄安平.某含金银铅锌矿石选矿试验研究[J].黄金,2022,43(9):68-72.
- [9] 陈章鸿,刘四清,陈思雨,等.基于硫酸调浆的铜铅锌多金属矿浮选分离工艺研究[J].矿产综合利用,2022(2):79-85.

引用本文:聂世华.某铅锌矿床伴生金银在精矿产品中的分布及药剂制度优化试验[J].矿冶工程,2023,43(3):79-83.

(上接第74页)

3) 采用阶段磨矿-阶段选别工艺,经两段磨矿及一粗一精磁选,所得精矿(精矿2)TFE品位65.45%、TFE回收率65.98%、mFe回收率95.69%,产品指标较好。精矿2细磨至 $-30.8\mu\text{m}$ 粒级占97.59%,经弱磁选可得到TFE品位71.90%、回收率60.20%的超纯铁精矿;中矿扫选后可得到TFE品位69.87%、回收率35.21%的超级铁精矿。矿石可选性较好。

参考文献:

- [1] 温子龙.2019年中国铁矿供需现状及未来发展建议[J].冶金经济与管理,2020(1):28-31.
- [2] 常艳,杜晓慧,张百忍.国外低品位铁矿发展现状分析[C]//第二届地学文献学术研讨会论文集.2013:297-300.

- [3] 段希祥,宦秉炼,曹亦俊.自然矿块抗压强度测定研究[J].有色金属,2000,52(3):11-14.
- [4] 刘瑜.柿竹园多金属矿1500吨/日选矿厂磨矿过程优化试验研究[D].江西:江西理工大学资源与环境工程学院,2015.
- [5] 黄晓毅,杨平伟,陈晓博,等.青海某低品位金矿邦德球磨功指数测定研究[J].有色金属设计,2020,47(4):28-30.
- [6] 罗帆.哈氏易磨性与邦德功指数的换算验证及其评价[J].水泥,2007(10):34-36.
- [7] 胡芳,陈泽宗.某微细粒难选铁矿尾矿选矿工艺研究[J].矿冶工程,2021,41(6):81-83.
- [8] 徐彪,李肖,胡敏捷,等.本溪某铁矿制备超级铁精矿试验研究[J].矿冶工程,2019,39(3):67-69.

引用本文:肖硕,黄自力,黄涛,等.澳洲某铁矿石可磨可选性研究[J].矿冶工程,2023,43(3):72-74.

(上接第78页)

- [5] 周杰强,严峥,梅光军,等.重庆某铝土矿反浮选脱硫脱硅工艺技术研究[J].矿冶工程,2022,42(1):61-63.
- [6] 马智敏,陈兴华,王玉才,等.铝土矿选矿脱硅技术研究现状及前景展望[J].矿产综合利用,2015(1):1-6.
- [7] 吴边华,周长春.铝土矿浮选脱硅捕收剂研究现状及发展前景[J].矿业研究与开发,2009,29(2):41-44.
- [8] 凌石生,张文彬.铝土矿反浮选脱硅药剂研究概述[J].国外金属选矿,2008(2):20-24.
- [9] 胡岳华.铝硅矿物浮选化学与铝土矿脱硅[M].北京:科学出版社,2004.

- [10] 范晓慧,姜涛,邱冠周,等.铝土矿焙烧-碱浸脱硅新工艺[J].矿冶工程,2002,22(3):83-85.
- [11] 周培富,潘碟,杨成.微生物对低品位铝土矿生物浸矿的应用潜力[J].生物技术,2019,29(1):96-99.

引用本文:杨林,张锦仙,阚赛琼,等.云南某堆积型高铁铝土矿铝、硅、铁分离工艺试验研究[J].矿冶工程,2023,43(3):75-78.