

疏水团聚-磁种法回收赤泥中微细粒铁矿试验

徐淑安¹, 邵延海¹, 熊述清², 闫武², 李明明¹, 蒋丰祥¹

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093;

2. 中国地质科学院矿产综合利用研究所 中国地质调查局金属矿产资源综合利用技术研究中心
国土资源部钒钛磁铁矿综合利用重点实验室, 四川 成都 610041)

摘要:云南文山铝业所产生的拜耳法赤泥铁品位为 21.39%, 铁主要以赤褐铁矿形式存在, 分布率为 76.16%, 嵌布粒度微细, 采用常规磁选方法难以有效回收。本文拟采用选择性疏水絮凝-磁种磁选方法对赤泥中的铁矿进行回收, 选择性疏水团聚可以实现细粒弱磁性矿物选择性絮凝成颗粒较大且磁性较强的絮团, 然后通过高梯度强磁选实现赤褐铁矿与脉石矿物分离。在六偏磷酸钠用量为 3 kg/t、油酸用量为 1.8 kg/t、煤油与油酸的体积比为 2.2、聚磁介质直径为 1.5 mm、矿浆流速为 6 L/min、冲次为 300 r/min、磁感应强度为 0.85 T 的优化条件下, 获得的精矿铁品位为 40.65%、回收率为 50.93%。对在最佳选择性疏水絮凝条件下获得的矿浆, 经一粗一精磁选, 获得了铁品位为 45.13%、回收率为 39.77% 的精矿。疏水团聚-磁种法作用过程不仅包括各种物理化学作用而且是利用综合力场来处理微细粒弱磁性矿物的新选别技术, 其具体作用原理有待进一步的深入研究, 试验指标也存在进一步提升的空间。

关键词:赤泥; 微细粒选别; 高梯度强磁选; 选择性疏水絮凝-磁种法

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2015.06.016

中图分类号:TD923 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2015)06-0062-05

钢铁是社会工业化发展的重要物质基础, 尤其在 2020 年前是我国完成工业化的关键时期, 然而我国铁矿资源具有“贫、细、杂、散”的特点, 进口铁矿石所占的比例总体上呈上升趋势, 对外依存度从 2001 年的 46% 增长到 2013 年的 70%^[1-2], 严重影响国家经济的安全运行。如果能实现从二次资源中回收铁, 不仅可以缓解铁矿石短缺的现状, 更能降低其对环境的污染与破坏。而赤泥就是一种产量巨大的二次资源, 且其主要化学组成之一是 Fe_2O_3 , 如何实现对其进行回收具有重要的意义。

赤泥中微细粒弱磁性矿物具有质量小、比表面积大、比磁化系数小的特点, 难以采用常规选矿方法获得有效回收, 获得的精矿品位低且含杂量高^[3]。目前对赤泥中铁进行回收的方法主要有物理选矿技术富集铁矿、熔炼技术回收生铁、直接还原回收海绵铁、磁化焙烧。其中物理选矿技术具有操作简单、成本较低、对原料要求较低等优势, 但传统的磁选工艺对赤泥中的微细粒弱磁性铁矿分选效率很低, 显得

无能为力。本文拟采用选择性疏水团聚-磁种法, 通过分散、选择性疏水化、疏水絮凝、磁种磁化 4 个阶段实现细粒弱磁性矿物选择性絮凝形成颗粒较大且磁性较强的絮团, 然后通过高梯度强磁选实现赤褐铁矿与脉石矿物分离。针对用疏水团聚-磁种法从拜耳法赤泥中提取微细粒弱磁性矿物的可行性进行了试验研究。

1 试样性质

试验矿样由文山铝业公司提供, 多元素分析及铁物相分析结果分别见表 1、2。

由表 1 可见, 赤泥主要有价元素为铁, 其含量为 21.39%; 杂质成分主要为 Al_2O_3 、 SiO_2 、 CaO 、 TiO_2 含量为 13.35%, 具有一定的回收价值。由表 2 可见, 赤泥中铁主要以赤褐铁矿和硅酸铁的形式存在, 分布率分别为 76.16% 和 18.00%, 而其他形式的铁矿物含量较少不具备回收价值。

收稿日期:2015-06-08

基金项目:中国地质调查局地质调查工作项目(12120113086800)

作者简介:徐淑安(1989-), 男, 研究生在读。

通讯作者:邵延海(1978-), 男, 副教授, 研究方向为矿物加工、二次资源综合利用, 邮箱:csusyh@126.com。

表 1 赤泥化学多元素分析结果/%

Table 1 Multi-element analysis results of red mud					
Fe	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	SiO ₂
21.39	16.29	17.69	15.4	13.35	12.86
Na ₂ O	K ₂ O	MgO	S	Sc *	LOS
3.11	0.07	0.25	0.1	54.46	9.08

* 单位为 g/t。

表 2 赤泥铁物相分析结果

Table 2 Analysis results of red mud iron phase

相别	菱铁矿	赤褐铁矿	硫铁矿	硅酸铁	合计
含量/%	1.04	16.29	0.21	3.85	21.39
分布率/%	4.86	76.16	0.98	18.00	100.00

粒度是影响絮凝磁选回收铁矿物的关键因素之一,因此对原矿进行了水筛分级,结果见表 3。

表 3 赤泥粒度组成分析结果

Table 3 Grain size distribution analysis results of red mud

粒度/mm	产率/%	铁品位/%	铁回收率/%
+0.075	4.42	27.42	5.67
-0.075+0.045	6.36	30.88	9.19
-0.045+0.038	2.75	29.22	3.76
-0.038+0.028	8.38	22.54	8.84
-0.028	78.09	19.84	72.54
合计	100.00	21.36	100.00

由表 3 可知,试验赤泥粒度微细,-0.028 mm 72.54%, -0.074 mm 94.33%。细粒弱磁性矿物因磁性弱且易受矿浆流体的作用导致不容易吸附到磁选介质上而随矿浆流失成为尾矿,因此试验拟采用选择性疏水团聚絮凝-磁种磁化的方法实现细粒矿物的选择性絮凝和磁性增强,分选赤泥中弱磁性矿物。

2 试验方法

选择性疏水团聚-磁种法磁选是将选择性疏水絮凝法和磁种团聚法叠加在一起的复合聚团磁种磁选技术。该方法的基本原理是通过分散、选择性疏水化和疏水絮凝使弱磁性矿物形成絮团^[4-6],然后借助磁种法使磁性种子选择性地粘附、罩盖在弱磁性矿物上,提高其磁性,从而能够在磁场中实现分选。其中以六偏磷酸钠为矿浆分散剂,油酸煤油混合药剂为选择性疏水絮凝剂。

每次试验称取矿样 500 g,用自来水进行调浆,先往矿浆加入配好的六偏磷酸钠,以 1300 r/min 的强转速进行强搅拌 3 min 进行分散,之后加入用超声波震动乳化后的油酸煤油混合液,再以相同转速进行 15 min 强搅拌,使赤泥中的细粒赤褐铁矿发生选择性疏水团聚。然后,加入 5% (指磁种质量占赤泥质量的百分比表示) 磁种以 300 r/min 进行磁种磁化,磁化后用自来水将矿浆浓度稀释到 45% 左

右,最后利用高梯度磁选机进行磁选试验。所用的磁选机是赣州有色冶金研究所设计的湿式 SLON 高梯度磁选机。试验流程见图 1。

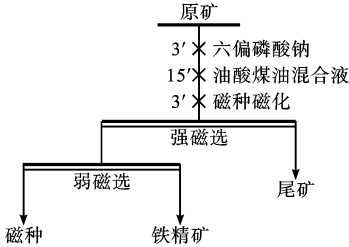


图 1 选择性疏水絮凝磁种法工艺流程

Fig. 1 Flowsheet of the magnetic separation of magnetic seeding with selective hydrophobic flocculation

3 结果与讨论

固定条件为原矿调浆浓度为 45%, 冲次为 300 r/min, 磁种添加量为原矿质量的 5%。分别进行了磁感应强度、冲次、六偏磷酸钠用量、非极性油用量、油酸煤油混合药剂用量、磁种添加量、磁介质以及矿浆流速对赤泥中铁矿物分选效率的影响研究。

3.1 磁选磁场强度试验

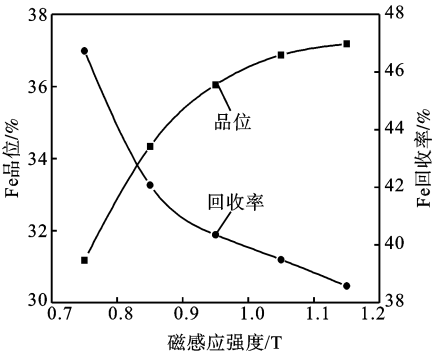


图 2 磁感应强度试验结果

Fig. 2 Results of magnetic intensity

磁感应强度是磁选的重要参数,其大小直接影响赤泥中铁矿物的分选效率。固定六偏磷酸钠用量为 2 kg/t、油酸为 2 kg/t、煤油油酸体积比为 2、聚磁介质直径为 2 mm、矿浆流速为 6 L/min,进行磁场强度试验,结果见图 2。

由图 2 可知,随着磁感应强度的增加,精矿中铁回收率逐渐增加,而铁品位则迅速降低。综合考虑铁的品位和回收率,磁场强度定为 0.85 T 较合适。

3.2 六偏磷酸钠用量试验

在试验的分散阶段,要保证细矿粒稳定分散,以

防止发生异相凝结。本试验所采用分散剂六偏磷酸钠为一种离子型高分子分散剂,其吸附活性很强,与水玻璃相比,六偏磷酸钠更有利于赤铁矿与石英等脉石矿物的分散^[7-8]。六偏磷酸钠条件试验固定油酸用量为 2 kg/t、煤油油酸体积比为 2、聚磁介质直径为 2 mm、矿浆流速为 6 L/min、磁感应强度为 0.85 T,试验结果见图 3。

由图 3 可知,随着六偏磷酸钠用量的增加,精矿铁品位和回收率均呈先升高后降低的趋势,六偏磷酸钠用量为 3 kg/t 时,赤泥的选别指标较佳。

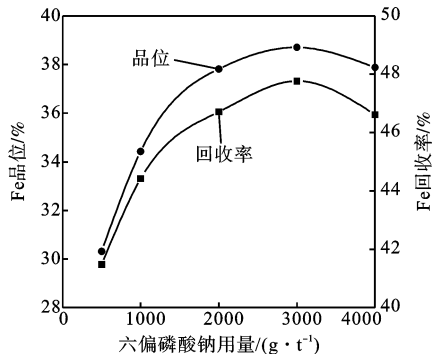


图 3 六偏磷酸钠用量试验结果

Fig. 3 Results of sodium hexametaphosphate dosage

3.3 油酸用量试验

颗粒的疏水性是影响微细颗粒在水悬浮液中疏水絮凝的主要因素,这是因为亲水颗粒不会进入到疏水的絮团中,从而疏水性絮凝具有很高的选择性。而油酸具有使赤铁矿疏水的性能,为考察油酸用量对试验分选效率的影响,在固定油酸与煤油的体积比为 2、六偏磷酸钠用量为 3 kg/t、聚磁介质直径为 2 mm、矿浆流速为 6 L/min、磁感应强度为 0.85 T 的条件下进行油酸用量试验,结果见图 4。

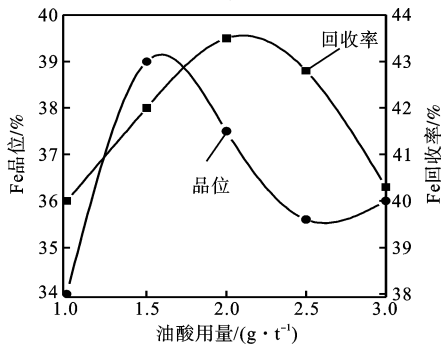


图 4 油酸用量试验结果

Fig. 4 Results of oleic acid dosage

由图 4 可知,随着油酸用量的增加,精矿铁品位和回收率都呈先升高后降低的趋势。油酸用量为

1.8 kg/t 时,其分选效率达到较佳。油酸的吸附可以使赤铁矿疏水,在形成吸附双电层前,油酸的用量越大,其吸附量越大,赤铁矿的疏水性越强^[9]。然而并非油酸的用量越大越好,由图可知,当用量超过一定值后,铁精矿的品位和回收率均下降。

3.4 煤油油酸混合药剂用量配比试验

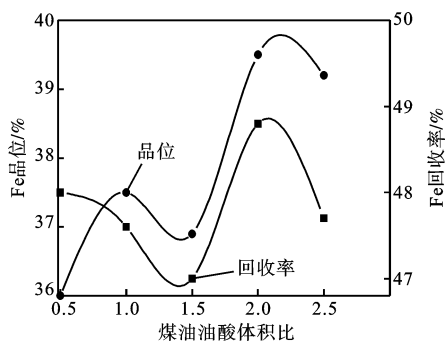


图 5 煤油与油酸体积比试验结果

Fig. 5 Results of volume ratio of kerosene to oleic acid

颗粒疏水性的增强有利于疏水絮凝过程,而非极性油(如煤油)的疏水性比矿物颗粒的疏水性要强,且非极性油滴在水的悬浮液中会与疏水性颗粒一起团聚,并在颗粒表面上形成油膜,从而使颗粒的疏水性增强。同时,非极性油的加入使疏水絮团中的疏水颗粒之间形成油桥,油桥的存在急剧地增大了颗粒之间的附着力,从而使絮团抵抗涡流对其破坏的能力增强^[4]。为考察煤油用量对分选的影响,固定油酸用量 1.8 kg/t、六偏磷酸钠用量 3 kg/t、聚磁介质直径为 2 mm、矿浆流速为 6 L/min、磁感应强度为 0.85 T,改变煤油油酸用量体积比进行试验,结果见图 5。由图 5 可知,当煤油与油酸体积比为 2.2 时,赤泥的分选指标较佳,因此确定煤油与油酸用量体积比为 2.2。

3.5 聚磁介质试验

选择适宜原矿的聚磁介质可以提高磁选的分选效率,而影响磁场梯度的聚磁介质属性包括磁介质的种类、形状及直径的大小。试验所用的聚磁介质是由铁棒连接组合而成,均匀平行放置在分选槽内。在六偏磷酸钠用量为 3 kg/t、油酸为 1.8 kg/t、煤油油酸体积比为 2.2、矿浆流速为 6 L/min、磁感应强度为 0.85 T 条件下,进行聚磁介质铁棒不同直径试验,结果见表 4。

由表 4 可知,随着磁介质直径的增加,精矿铁品位变化不明显,铁回收率先升高后降低,选定聚磁介

质的直径为 1.5 mm 进行试验。

表 4 聚磁介质试验结果

Table 4 Results of magnetic matrices				
介质直径/mm	产品名称	产率/%	品位/%	回收率/%
1.5	精矿	25.76	36.19	43.59
	尾矿	74.24	16.25	56.41
	给矿	100.00	21.39	100.00
2.0	精矿	27.89	35.49	46.27
	尾矿	72.11	15.94	53.73
	给矿	100.00	21.39	100.00
3.0	精矿	25.26	35.74	42.20
	尾矿	74.74	16.54	57.80
	给矿	100.00	21.39	100.00

3.6 矿浆流速试验

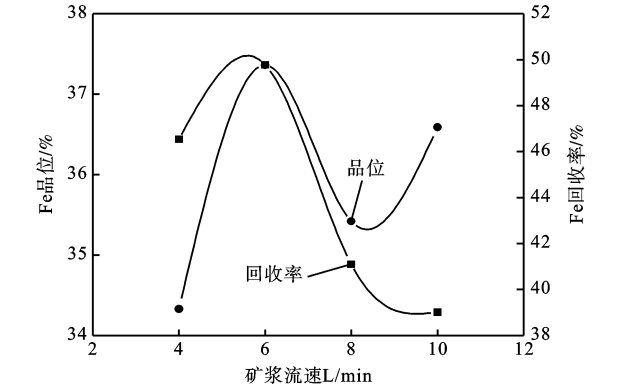


图 6 矿浆流速试验结果

Fig 6 Results of slurry flow-rate on scaling

矿浆流速试验固定六偏磷酸钠用量为 3 kg/t、油酸为 1.8 kg/t、煤油油酸体积比为 2.2、聚磁介质直径为 1.5 mm、磁感应强度为 0.85 T,矿浆流速试验结果见图 6。由图 6 可知,随着矿浆流速的增加,精矿铁回收率先升高后降低,在矿浆流速达到 6 L/min 时,精矿铁回收率最高。综合考虑,选定矿浆流速为 6 L/min。

3.7 优化条件试验和对比试验

在条件试验的基础上,进行选择性疏水团聚-磁种磁选较佳条件(六偏磷酸钠用量为 3 kg/t、油酸为 1.8 kg/t、煤油与油酸的体积比为 2.2、聚磁介质直径为 1.5 mm、矿浆流速为 6 L/min、冲次为 300 r/min、磁感应强度为 0.85 T)试验,并与直接磁选、加入 5% 磁种不添加任何药剂磁选试验结果进行对比,见表 5。

由表 5 可知,直接磁选获得的磁选指标低,效率很低,如果只添加磁种磁选指标仍较差,这是由于原

矿粒度太细和磁力太弱而不能吸附到磁介质直接随矿浆进入尾矿所引起的。而选择性疏水团聚-磁种法较好的解决了上述问题,因而磁选指标较好。

表 5 常规磁选法和选择性疏水絮凝-磁种法分选结果

Table 5 Results of normal magnetic separation and the magnetic separation of magnetic seeding with selective hydrophobic flocculation				
选别方法	产品名称	产率/%	铁品位/%	铁回收率/%
直接磁选	精矿	35.54	25.99	30.17
	尾矿	64.46	22.25	60.83
	原矿	100.00	23.58	100.00
添加 5% 的磁种	精矿	32.06	31.27	42.60
	尾矿	67.94	19.88	57.40
	原矿	100.00	23.53	100.00
选择性疏水絮凝磁种法	精矿	29.61	40.65	50.93
	尾矿	70.39	16.47	49.07
	原矿	100.00	23.63	100.00

3.8 磁选流程试验

表 6 1 粗 1 精磁选流程试验结果

Table 6 Results of one coarse and one fine magnetic separation			
产品名称	产率/%	铁品位/%	铁回收率/%
精矿	18.85	45.13	39.77
尾矿	81.15	15.88	60.23
原矿	100.00	23.50	100.00

先将赤泥在上述的综合优化条件下进行选择性疏水絮凝-磁种粗选试验,粗选试验磁感应强度定为 1.6 T,然后将粗选所得精矿在磁感应强度为 0.85 T 的条件下直接进行高梯度精选试验。通过将文山赤泥经选择性疏水絮凝-磁种磁化处理后,进行 1 粗 1 精磁选,结果见表 6。回收率达到了 39.77%。与直接进行高梯度磁选相比,磁选指标在保证回收率不下降的前提下,精矿品位提升了 20 个百分点。

4 结 论

(1) 云南文山铝业所产生的拜耳法赤泥中全铁品位为 21.39%,铁主要以赤褐铁矿形式存在,分布率为 76.16%;试样颗粒微细,-0.028 mm 72.54%,-0.075 mm 94.33%,采用常规磁选方法难以有效回收。

(2) 试验确定的赤泥选择性疏水絮凝-磁种磁化较佳条件为六偏磷酸钠用量为 3 kg/t、油酸为 1.8 kg/t、煤油与油酸的体积比为 2.2、聚磁介质直径为

1.5 mm、矿浆流速为 6 L/min、冲次为 300 r/min、磁感应强度为 0.85 T,获得的精矿铁品位为 40.65%、回收率为 50.93%。

(3) 试验赤泥经选择性疏水絮凝-磁种磁化-1 粗 1 精磁选流程试验,可以得到铁品位为 45.13%、回收率为 39.77% 的精矿,指标较低,但疏水团聚-磁种法作用过程不仅包括各种物理化学作用而且是利用综合力场来处理微细粒弱磁性矿物的新选别技术,其具体作用原理有待进一步的深入研究,试验指标也存在进一步提升的空间。

参考文献:

- [1] 陈雯. 贫细杂难选铁矿石选矿技术进展[J]. 金属矿山, 2010(5):55-56.
- [2] 郑梅. 钢铁企业铁矿石供应链管理模式的创新研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2014.
- [3] 鲁军,陈庆根,孔晓薇,等. 微细粒弱磁性铁矿选矿研究

现状[J]. 国外金属矿选矿,2006(7):13.

- [4] 宋少先. 细粒矿物絮团浮选的理论 and 应用[J]. 国外金属矿选矿,2007(5):4-8.
- [5] 何平波,周艳飞,胡岳华. 选择性疏水絮凝法分选平果铝拜耳法赤泥的试验研究[J]. 有色金属:选矿部分,2008(6):1-5.
- [6] 韩兆元,高玉德,王国生,等. 疏水团聚-磁种法回收赤泥中铁的试验研究[J]. 金属矿山,2011(3):154-156.
- [7] 卢寿慈,翁达. 界面分选原理及应用[M]. 北京:冶金工业出版社,1992.
- [8] 幸伟中. 磁种分选理论与实践[M]. 北京:冶金工业出版社,1994.
- [9] Song S, Lu S, Lopez Valdivieso A. Magnetic separation of hematite and limonite fines as hydrophobic flocc from iron ores[J]. International Journal of Minerals Engineering,2002(15):415-422.

Experimental Study on Magnetic Separation of Hematite and Limonite Fines Using Magnetic Seeding with Selective Hydrophobic Flocculation from Red Mud

Xu Shuan¹, Shao Yanhai¹, Xiong Shuqing², Yan Wu², Li Mingming¹, Jiang Fengxiang¹

(1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, China;

2. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Research Center of Multipurpose Utilization of Metal Mineral Resources of China Geological Survey, Key Laboratory of Multipurpose Utilization of Vanadium-titanium Magnetite of Ministry of Land and Resources, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: The red-mud iron grade of Bayer process produced by Wenshan aluminum industry is 21.39% and the iron mainly exists in the form of hematite and limonite, which accounts for 76.16%. Due to the superfine dissemination, it is difficult to realize effective recovery of iron minerals. In this paper, magnetic seeding with selective hydrophobic flocculation was employed to recover fine hematite and limonite which exists in red mud. This method can flocculate large amounts of fine grain and let the flocculation's magnetism stronger than before. Then, by using high-gradient magnetic separators, the aim of separating hematite and limonite from gangue mineral can be achieved. On the condition of that sodium hexametaphosphate addition is 3 kg/t, oleic acid addition 1.8 kg/t, the volume ratio of kerosene to oleic acid 2.2, diameter of magnetic matrices 1.5 mm, slurry flow-rate on scaling 6 L/min, number of punching 300 r/min, magnetic intensity 0.85 T, a concentrate containing 40.65% Fe can be obtained with the recovery of 50.93%. Under colligating optimum experimental conditions in this method, the iron concentrate grade is up to 45.13% and the recovery reaches 39.77% with the process conditions of a coarse fine magnetic separation. The interaction process of magnetic seeding with selective hydrophobic flocculation not only includes all kinds of physical and chemical action, but also is a kind of new separation technique which using multi-force field to process weak magnetic minerals. The main reaction mechanism of this technique remains to be further studied and the experiment index also existing room for improvement.

Keywords: Red mud; Fine particle processing; High gradient magnetic separation; Magnetic seeding with selective hydrophobic Flocculation