

# 应用低磁场自重介跳汰机生产高质量铁精矿试验研究

秦煜民<sup>1,2</sup>, 张 强<sup>2</sup>, 王化军<sup>2</sup>

(1. 河北理工大学 资源环境学院, 河北 唐山 063009; 2. 北京科技大学, 北京 100083)

**摘要:** 低磁场自重介跳汰机是一种融磁选、跳汰和重介质分选原理于一体的磁铁矿精选设备, 应用该设备在磁铁矿选别中以提高铁精矿品位。在首钢水厂选厂应用该设备, 处理给矿品位为 61% ~ 64% 的铁矿, 可得品位为 68% 以上的铁精矿。在包钢选厂给矿品位为 59% 的情况下, 可得品位为 64% 以上的铁精矿。实践表明该设备对磁铁矿有较好的精选效果。

**关键词:** 铁精矿; 跳汰; 选矿设备

**中图分类号:** TD92

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-6099(2006)01-0037-03

## Experimental Study on Producing High-quality Iron Concentrate by Autogenous Heavy-media Jig with Low-magnetic Field Strength

QIN Yu-min<sup>1,2</sup>, ZHANG Qiang<sup>2</sup>, WANG Hua-jun<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environment, Hebei Polytechnic University, Tangshan 063009, Hebei, China; 2. Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The Autogenous heavy-media Jig with low-magnetic field strength is a separating equipment for magnetite with magnetic separating, jigging and heavy-media separating theory integrated together. It is used in magnetite separation so as to improve the grade of iron concentrate. It has been used in Shuichang Concentration Plant of Shougang Group, obtaining iron concentrate with grade over 68% at feed grade of 61% ~ 64%. Concentrate with grade of 64% at feed grade of 59% was also obtained with such separating equipment in Baogang Concentration Plant. The practical application shows that such separating equipment can improve quality of iron concentrate.

**Key words:** iron concentrate; jig; separation machine

2003 年我国钢铁产量超过 2 亿 t, 随着国民经济的高速发展, 钢铁产量在今后几年将会继续增长。与此同时, 钢铁工业对高质量铁精矿的需求也不断增长。实践证明铁精矿品位提高 1%, 高炉产量可增加 3%, 焦比下降 2%, 石灰石熔剂减少 2%, 经济效益十分显著<sup>[1~2]</sup>。

我国铁矿床类型多, 品位低, 赋存条件和矿石类型复杂, 硫、磷、硅等有害组分含量高<sup>[1]</sup>, 多组分共生铁矿石储量大, 有用组分嵌布粒度细, 造成铁选矿难度大、效率低、产品质量差。随着铁矿资源的大量开采, 易选矿石锐减, 贫、细、杂、难选矿石日趋增多。我国已探明铁矿石储量的 97.5% 是需要选矿加工的贫铁矿。我国许多铁选厂, 生产工艺设备相对落后, 难以稳定高效地生产高质量铁精矿。

为了确保钢铁生产, 2003 年我国进口铁矿石高达

1.4 亿 t。我国加入 WTO 后, 国内铁选厂直接面临进口富矿的冲击挑战, 因此, 积极研究开发高效选矿技术设备, 经济高效地生产高质量铁精矿已成为迫在眉睫的重大课题。

北京科技大学矿物加工室经过多年研究, 开发了低磁场自重介跳汰机。该设备将磁电、跳汰和重介质选矿结合在一起, 充分利用磁铁矿和脉石之间性质的差异, 可经济、高效地生产高质量铁精矿<sup>[3~4]</sup>。

### 1 低磁场自重介跳汰机结构及分选原理

低场强自重介跳汰机如图 1 所示。电磁磁系磁场强度可调, 在机体内由磁力、重力和水流联合作用, 可有效去除连生体和夹杂的脉石, 生产高质量铁精矿。

维尔霍夫斯基等人采用近代示踪观测技术, 第一

① 收稿日期: 2005-04-10

基金项目: 国家“十五”攻关课题(2001-BA609A-14)

作者简介: 秦煜民(1971-), 男, 江苏无锡人, 博士, 副教授, 主要从事矿物加工和环境方面研究。

次直观地揭示了跳汰过程的重介质作用,并提出了扇形分层假说。在跳汰过程重矿物的颗粒沿床层垂直方向的运动速度是变化的,在中间部位速度最低,表示该区域穿透性最小;而轻矿物的颗粒下落到中间层后,不能穿过中间层,复又上升,具有跳跃运动的性质。它好似一道栅栏,起着分割轻重矿物的作用。可以将该“中间层”看成是“重介质层”。

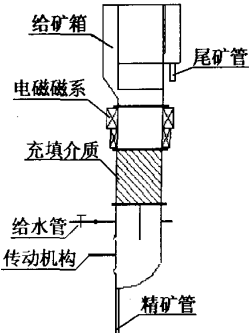


图1 低场强自重介跳汰机结构示意图

低磁场自重介跳汰机在结构设计上特别突出了中间层(重介质层)的作用。首先,跳汰的冲程、冲次与“中间层”的结构以及松散度关系密切。调节控制跳汰的冲程、冲次,造成恰当的水流速度和加速度,就有可能造成“中间层”的合适密度,从而强化重介质分选作用。其次,跳汰机中的充填介质层对矿浆具浓密、滞流的作用,有利于自重介质层的迅速形成及密度的提高;充填介质构成的斜波通道在水流作用下具有类似流膜选矿的补充分选作用。最后,在充填介质层上方的低磁场可使磁铁矿形成弱磁团聚,有利于重介质层的形成和加密,在充填介质区形成高密度的重介质层<sup>[5-6]</sup>。

在有(无)磁场的情况下,磁铁矿颗粒间相互作用的凝聚力为<sup>[7]</sup>:

$$f = -\frac{8}{3}\pi\mu_0 m_1 m_2 \frac{r_1^3 r_2^3}{r^4} \quad (1)$$

式中  $m_1$ 、 $m_2$  为颗粒的磁化强度(或剩余磁化强度); $\mu_0$  为介质导磁率; $r_1$  和  $r_2$  为颗粒半径; $r$  为颗粒中心的间距。

由式(1)可知,在磁场有效作用区域内,由于磁铁矿颗粒的磁化强度大于颗粒无磁场的剩余磁化强度,所以磁场作用区磁铁矿更容易相互聚结成团,微细磁铁矿聚团后,粒度增加,向下运动。无磁场凝聚力降低,聚团在跳汰脉动水流作用下易被破坏,单个微细磁铁矿粒随着上升水流运动不易沉降。微细磁铁矿上下均较困难,在充填介质层形成积累,成为稳定的重介质

层。由于跳汰脉动水流的反复剪切,脉石和连生体难于夹杂在磁铁矿聚团中下沉,有助于提高精矿品位。

## 2 低磁场自重介跳汰机在首钢水厂选矿厂的工业分流试验

首钢水厂选矿厂处理的矿石属鞍山式磁铁矿石类型。矿石的铁矿物以磁铁矿为主,其次为假象赤铁矿、褐铁矿和少量黄铁矿;脉石矿物以石英、角闪石为主,还有方解石、绿泥石、黑云母,此外尚有极少量的磷灰石、尖晶石等。

磁铁矿和脉石连生形态简单,矿石多为原生贫磁铁矿,少量矿带被氧化,但氧化程度不深。矿石磁性率为36%~42%,地质品位28%左右。磁铁矿结晶粒度0.5~0.062 mm左右,矿石硬度8~10<sup>[8]</sup>。

水厂选矿厂现场低磁场自重介跳汰机分流试验工艺流程如图2所示。根据多次试验结果,确定低磁场自重介跳汰机分选的最佳组合工艺条件为充填介质采用斜波正交迭置方式,冲程  $L = 7 \text{ mm}$ ,冲次  $n = 264 \text{ 次/min}$ ,给矿量  $Q = 2.83 \text{ t/h}$ ,磁场强度  $H = 4.0 \text{ kA/m}$ (激磁电流  $I = 0.6 \text{ A}$ ),补加水量  $V = 6.4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。进行连续试验时,底流浓度控制在70%左右,溢流流量控制在6.8~7.2 m<sup>3</sup>/h。

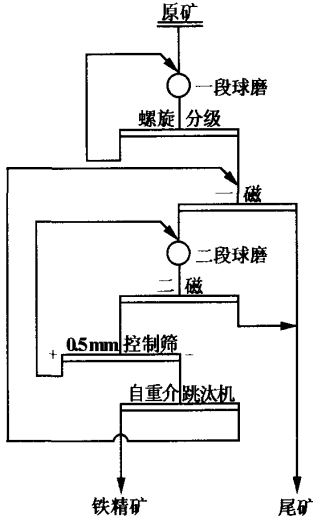


图2 水厂选矿厂低磁场自重介跳汰机试验工艺流程

稳定性试验流程按图2原则流程进行,设备连续运行直到稳定后,再进行取样。运行8 h,每30 min取一次样,每1 h二次样作为1个样。试验总共取得6批样品,结果见表1。由表1可知,采用低磁场自重介跳汰机处理-0.5 mm 粒级产物,经一次分选就能稳定产出TFe品位大于68%的高质量铁精矿,达到了“十五”攻关的要求。

表 1 水厂低磁场自重介跳汰机工业分流试验结果					
试验批次	产品名称	产率/%	TFe 品位/%	回收率/%	实测溢流流量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )
1	精矿	84.91	68.00	92.41	7.2
	尾矿	15.09	31.42	7.59	
	给矿	100.00	62.48	100.00	
2	精矿	85.40	68.82	92.00	7.1
	尾矿	14.60	34.70	8.00	
	给矿	100.00	63.32	100.00	
3	精矿	83.83	68.56	92.19	7.1
	尾矿	16.17	30.09	7.81	
	给矿	100.00	62.34	100.00	
4	精矿	85.71	68.28	91.11	6.5
	尾矿	14.29	39.93	8.89	
	给矿	100.00	64.23	100.00	
5	精矿	81.20	68.14	89.66	6.9
	尾矿	18.80	33.93	10.34	
	给矿	100.00	61.71	100.00	
6	精矿	85.36	67.86	91.56	7.2
	尾矿	14.64	26.32	8.44	
	给矿	100.00	61.78	100.00	
平均	精矿	84.16	68.27	91.72	7.0
	尾矿	15.84	32.73	8.28	
	给矿	100.00	62.64	100.00	

### 3 低磁场自重介跳汰机在包钢选矿厂的稳定性试验

为了进一步验证低磁场自重介跳汰机实际运行的可靠性与对不同性质矿石的适用性,又在包钢选矿厂进行了工业分流试验,处理该选矿厂的永磁精矿。

包头白云鄂博矿床系沉积变质—热液交代的铁、稀土、铌多金属共生大型矿床,已发现有 71 种元素、170 多种矿物,有用矿物之间共生关系密切,嵌布粒度细小,稀土矿物粒度一般在 0.074~0.01 mm 之间。矿石中有用矿物主要有磁铁矿、赤铁矿、氟碳铈矿、独居石、铌矿物等,主要脉石矿物有钠辉石、钠闪石、方解石、白云石、重晶石、磷灰石、石英、长石等。包钢选矿厂有三个系列处理白云鄂博磁铁矿石,应用低磁场自重介跳汰机,处理白云鄂博磁铁矿石的永磁铁精矿。生产现场设备运行的具体条件为给矿量  $Q=1.4\text{ t/h}$ ,补加水量  $W=3\text{ m}^3/\text{h}$ ,磁场强度  $H=4.0\text{ kA/m}$ (激磁电流  $I=1.0\text{ A}$ ),冲程  $L=7\text{ mm}$ ,冲次  $n=320\text{ 次/min}$ ,排矿口直径  $d=11\text{ mm}$ 。设备运行稳定后,每 20 min 取样一次,1 h 合并成 1 个样。试验结果见表 2。

由于受到棒磨机检修停车的影响,指标略受影响,在给矿品位 59.20% 的条件下,取得铁精矿品位 64.02%,产率 87.74%,回收率 94.88%,尾矿品位 24.69% 的较好指标。与现场反浮选作业相比,在产出铁精矿品位基本不变的情况下,铁精矿产率、回收率比现场反浮选作业分别提高 2.31%、3.26%。试验证明低磁场自重介跳汰机可以有效提高包钢铁精矿品位。

万方数据

表 2 包钢选矿厂低磁场自重介跳汰机工业分流试验结果					
试验编号	产品名称	TFe 品位/%	产率/%	回收率/%	浓度/%
1	精矿	64.20	87.09	93.42	48.1
	尾矿	30.50	12.91	6.58	2.8
	给矿	59.85	100.00	100.00	29.0
2	精矿	64.50	86.28	93.85	46.3
	尾矿	26.60	13.72	6.15	2.5
	给矿	59.30	100.00	100.00	29.8
3	精矿	63.95	88.00	95.38	49.0
	尾矿	22.70	11.80	4.62	2.4
	给矿	59.00	100.00	100.00	29.9
4	精矿	63.55	86.98	94.41	56.6
	尾矿	25.15	13.02	5.59	3.1
	给矿	58.55	100.00	100.00	29.4
5	精矿	63.90	89.87	96.84	52.4
	尾矿	18.50	10.13	3.16	2.4
	给矿	59.30	100.00	100.00	31.5
平均	精矿	64.02	87.74	94.88	50.5
	尾矿	24.69	12.26	5.12	2.7
	给矿	59.20	100.00	100.00	29.9

### 4 分析与讨论

传统的筒式磁选机磁场恒定,筒体表面的磁场力大,在磁铁矿的选别过程中存在强大的磁团聚作用。磁团聚使磁选过程的选择性降低,产生“磁性夹杂”和“非磁性夹杂”,磁选机无法将磁团聚中夹杂的连生体和单体脉石有效地剔除,导致筒式磁选机难以生产高质量铁精矿。我国大多数磁选厂,均应用筒式磁选机,难以稳定经济地生产高质量铁精矿。

磁铁矿本身和脉石之间存在着密度和磁性差异,在低磁场条件下,磁铁矿形成弱磁团聚,在跳汰脉动水流的作用下,磁团聚容易被破坏,磁团聚体中夹杂的连生体和单体脉石可以有效地清除,低磁场自重介跳汰机充分利用矿石性质的差异,在磁重联合作用下实现了磁铁矿与脉石的高效分选。

在试验室利用小型低磁场自重介跳汰机处理程潮铁矿-0.15 mm 的磁选铁精矿(程潮铁矿选矿厂处理大冶式砂卡岩型磁铁矿),当磁场强度为 4.0 kA/m、补加水量为 670 mL/min、跳汰冲程为 3 mm、冲次为 380 次/min 时,产出铁精矿 TFe 品位为 68.46%,回收率为 92.42%,也达到了厂方和“十五”攻关目标的要求。

上述工业分流试验和试验室试验结果表明,低磁场自重介跳汰机在首钢水厂和包钢选矿厂应用,可以稳定经济地提高铁精矿质量,应用该设备简化了现有选厂的生产工艺流程,影响深远。

### 5 结 语

应用低磁场自重介跳汰机分别成功处理了我国  
(下转第 44 页)

- mineral adsorption[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2000, 64(4): 609–617.
- [13] M I Sampson. Influence of the attachment of acidophilic bacteria during the oxidation of mineral sulfides[J]. *Minerals engineering*, 2000, 13(4): 373–389.
- [14] Blake II R C, Shute E A, Howard G T. Solubilization of minerals by bacteria; electrophoretic mobility of *Thiobacillus ferrooxidans* in the presence of iron, pyrite and sulfur[J]. *Applied and environmental microbiology*, 1994, 60(9): 3349–3357.
- [15] Devasi P, Natarajan K A, Sathyanarayana D N, *et al.* Surface chemistry of *Thiobacillus ferrooxidans* relevant to adhesion on mineral surfaces[J]. *Applied and environmental microbiology*, 1993, 59(12): 4051–4055.
- [16] Santhiya D, Subramanian S, Natarajan K A. Surface chemical studies on galena and sphalerite in the presence of *Thiobacillus thiooxidans* with reference to mineral beneficiation[J]. *Minerals engineering*, 2000, 13(7): 747–763.
- [17] 傅建华. 硫化铜矿浸矿细菌超微结构与吸附机理及 SFORase 的纯化[D]. 长沙: 中南大学, 2003.
- [18] Busscher H J, Weerkamp A H. Specific and non-specific interactions in bacterial adhesion to solid substrate. *FEMS microbiology reviews*, 1987, 46: 165–173.
- [19] Ohmura N, Tsugita K, Koizumi J, *et al.* Sulfur-binding protein of flagella of *Thiobacillus ferrooxidans*[J]. *Journal of bacteriology*, 1996, 178(19): 5776–5780.
- [20] Fowler T A, Holmes P R, Crundwell F K. Mechanism of pyrite dissolution in the presence of *Thiobacillus ferrooxidans*[J]. *Appl Environ Microbiol*, 1999, 65(7): 2987–2993.
- [21] Gehrke T, Telegdi J, Thierry D, *et al.* Importance of extracellular polymeric substances from *Thiobacillus ferrooxidans* for bioleaching[J]. *Appl Environ Microbiol*, 1998, 64(7): 2743–2747.
- [22] Michael Lehman R, Seán P, O'Connell. Comparison of Extracellular Enzyme Activities and Community Composition of Attached and Free-Living Bacteria in Porous Medium Columns[J]. *Appl Environ Microbiol*, 2002, 68: 1569–1575.
- [23] Kinzler K, Gehrke T, Telegdi J, *et al.* Bioleaching—a result of interfacial processes caused by extracellular polymeric substances (EPS) [J]. *Hydrometallurgy*, 2003, 71: 83–88.
- [24] Crundwell F. The formation of biofilms of iron-oxidising bacteria on pyrite [J]. *Minerals engineering*, 1996, 9(10): 1081–1089.
- [25] Nikolov L, Karamanev D, Mamartkova V, *et al.* Properties of the biofilm of *Thiobacillus ferrooxidans* formed in rotating biological contactor [J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2002, 12: 43–48.
- [26] Katrina J. Edwards Bo Hu, Robert J Hamers *et al.* A new look at microbial leaching patterns on sulfide minerals[J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2001, 34: 197–206.
- [27] Wolfgang Sand, Tilman Gehrke, Peter–Georg Jozsa, *et al.* (Bio)chemistry of bacterial leaching—direct vs. indirect bioleaching[J]. *Hydrometallurgy*, 2001, 59: 159–175.
- [28] Helmut Tributsch. Direct versus indirect bioleaching[J]. *Hydrometallurgy*, 2001, 59: 177–185.
- [29] 柳建设, 邱冠周, 王淀佐. 硫化矿物细菌浸出机理探讨[J]. *湿法冶金*, 1997(3): 1–3.
- [30] 方兆珩. 硫化矿细菌氧化浸出机理[J]. *黄金科学技术*, 2002, 10(5): 26–31.
- [31] 张英杰, 杨显万. 硫化矿细菌浸出机理[J]. *有色金属*, 1997, 49(4): 39–44.
- [32] Crundwell F K. How do bacteria interact with minerals? [J]. *Hydrometallurgy*, 2003, 71: 75–81.
- [33] Holmes P R, Crundwell F K. Kinetic aspects of galvanic interactions between mineral during dissolution[J]. *Hydrometallurgy*, 1995, 39: 353–375.
- [34] Cecilia M V, Almeida B, Biagio F. Giannetti. The electrochemical behavior of pyrite-pyrrhotite mixtures [J]. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2003, 553: 27–34.
- [35] 王夔. 生物界面上的化学过程——关于化学生物学研究前沿的讨论[J]. *化学进展*, 2003, 15(5): 428–435.

(上接第39页)

有代表性的鞍山式、白云鄂博式和大冶式磁铁矿石, 证明低磁场自重介跳汰机是一种高效稳定适应性强的磁铁矿精选设备, 可以稳定提高铁精矿品位, 并对不同类型的磁铁矿石具有一定的适应能力。该设备的推广应用, 可以提高我国选矿和冶金企业的经济效益。

#### 参考文献:

- [1] 袁志涛, 徐新阳, 郑龙熙. 磁团聚与弱磁选设备[J]. *有色矿冶*, 2001, 17(1): 17–19.
- [2] 袁怀雨, 胡永平, 李克庆. 采用高效选矿技术提高和优化铁精矿品位[J]. *金属矿山*, 2001(12): 12–14.
- [3] 秦煜民, 张强, 王化军, 等. 低场强自重介跳汰机的研制与应用[J]. *金属矿山*, 2003(5): 25–27.
- [4] 秦煜民, 张强, 王化军. 高质量铁精矿生产设备的研究进展[J]. *中国矿业*, 2003(11): 38–40.
- [5] 秦煜民, 张强, 王化军, 等. 用低场强自重介跳汰机制取海绵铁原料的研究[J]. *金属矿山*, 2003(10): 34–36.
- [6] 秦煜民, 张强, 王化军, 等. 低场强自重介跳汰机在磁铁矿选矿中的应用[J]. *矿山机械*, 2003(10): 52–53.
- [7] 林潮, 孙传尧, 徐建民. 强磁性粒子间磁团聚力的研究[J]. *矿冶*, 2003(3): 25–30.
- [8] 秦煜民, 张强, 王化军, 等. 水厂选矿厂“提质降硅”磁重选联合工艺流程研究[J]. *矿产综合利用*, 2003(6): 1–6.