袁家村铁矿尾矿再选试验研究

唐志东，韩跃新，李艳军，高鹏，栗艳锋

（东北大学资源与土木工程学院，辽宁　沈阳　110819）

摘要：袁家村铁矿选矿厂综合尾矿 TFe 品位 17.50%，主要含铁矿物为赤（褐）铁矿和磁铁矿，有害元素硫、磷含量很低，铁矿物嵌布粒度细小，回收难度较大。为了给该尾矿的综合利用提供技术支持，对其进行了预富集 - 磁化焙烧 - 磁选工艺研究。结果表明：在磨矿细度为 -0.037 mm75%（不磨），强磁选粗选背景磁场强度为 478 kA/m，强磁选精选背景磁场强度为 398 kA/m 的条件下，可获得铁品位为 23.24%、铁作业回收率为 86.38% 的强磁选预富集精矿；强磁选预富集精矿在气体流量 5 m^3/h、CO 浓度 30%、磁化焙烧温度 560℃、焙烧时间 15 min、焙烧产物磨矿细度为 -0.037 mm90%、弱磁选磁场强度为 88 kA/m 的条件下，可获得铁品位 61.82%、铁作业回收率 80.91%、对原矿回收率 55.98% 的铁精矿产品。

关键词：铁矿尾矿；强磁选预富集；磁化焙烧，弱磁选

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2018.01.023

中图分类号:TD951　**文献标志码**：A　**文章编号**：1000-6532（2018）01-0106-05

随着原生矿产资源的不断开发利用与渐进枯竭，从尾矿中回收利用有价资源已成为全球关注的热点问题[1-4]。我国铁矿资源品位低，每生产 1 t 铁精矿平均需要排出 2.5 t 尾矿[5]。太钢袁家村地区铁矿资源量丰富，生产排放大量铁尾矿，造成占用土地、环境污染等后果[6-7]，因此，推进尾矿的综合利用已迫在眉睫。磁化焙烧 - 磁选工艺是处理弱磁性难选铁矿石或铁尾矿的有效方法之一，可使铁得到较充分的回收[8-10]。本文以袁家村铁矿尾矿作为研究对象，进行预富集 - 磁化焙烧 - 磁选试验研究，为该尾矿的综合利用提供了新的途径。

1　试验原料、方法及原理

1.1　试验原料

本试验矿样为太钢袁家村铁矿选矿厂综合尾矿，其中包含重选尾矿、磁选尾矿和反浮选尾矿。经沉淀、晾晒、筛分、混匀、缩分后制备出试验和检测所需样品。化学多元素分析结果见表 1，铁物相分析结果见表 2。

表 1 试样的化学成分分析结果 /%

Table 1 Chemical composition of the sample

TFe	FeO	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	S	P
17.50	1.40	71.01	0.98	0.65	0.53	0.027	0.10

表 2 试样的铁物相分析结果

Table 2 Iron phase analysis of the sample

铁物相	赤褐铁矿中的铁	磁性铁中的铁	碳酸铁中的铁	硫化铁中的铁	硅酸铁中的铁	总铁
含量/%	15.84	1.07	0.03	0.09	0.19	17.22
分布率/%	91.99	6.21	0.17	0.52	1.10	100.00

该试样为土红色，粉状，细度为 -0.037 mm 75%。由表 1~3 可知，该试样中主要回收成分为铁，含量为 17.50%，有害元素硫、磷含量很低；铁主要以赤（褐）铁矿形式存在，其次赋存于磁铁矿中；SiO_2 含量高达 71.01%，初步判断该矿石中主要脉石矿物为石英；铝、钙、镁含量不高，推测脉石矿物中有碳酸盐类矿物；有用矿物赤铁矿和磁铁矿粒度较细，在 -0.037 mm 粒级分布率较高。

收稿日期：2016-09-14；**改回日期**：2016-10-26

基金项目：中央高校基本科研业务费重大科技创新项目 (N160106001、N140108001)；国家自然科学基金项目（51674065）

作者简介：唐志东（1992-），男，博士研究生。

万方数据

表 3 试样中赤铁矿和磁铁矿粒度统计结果

Table 3 Grain statistics of hematite and magnetite of the sample

粒度	赤铁矿		磁铁矿	
/mm	分布率/%	累计/%	分布率/%	累计/%
+0.037	17.72	17.72	0.00	0.00
−0.037+0.010	58.86	76.58	21.43	21.43
−0.010	23.42	100.00	78.57	100.00
合计	100.00	100.00	100.00	100.00

1.2 试验方法

（1）通过磨矿 - 强磁选试验确定适宜的强磁选预富集工艺参数。

（2）将强磁选预富集精矿在 TCW-32B 管式炉中进行磁化焙烧试验。先将 15 g 试样加入到管式炉中，用氮气排尽管式炉中的空气，再将管式炉加热到预定温度后通入 CO，并开始计时，多余的少量 CO 从管式炉排气口排放到室外。当反应结束后，再次用氮气排尽管内 CO，关闭氮气并取出物料，经水淬、烘干、称重后得到焙烧样品。

（3）将焙烧样品细磨至一定细度，取 10 g 样品在 XCGS 型 Φ50 mm 磁选管中进行弱磁选试验，得到最终精矿。试验流程见图 1。

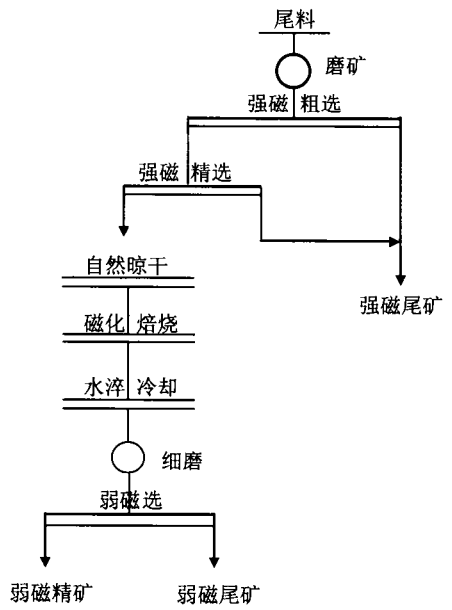

图 1 预富集 - 磁化焙烧 - 磁选原则流程

Fig.3 The principle flowsheet of pre-concentration-magnetic roasting-magnetic separation

1.3 试验原理

强磁选预富集精矿中主要的铁矿物为赤铁矿和磁铁矿，在焙烧过程中可能发生的反应如下 [11]：

$$3Fe_2O_3(s)+CO(g)=2Fe_3O_4(s)+CO_2(g) \quad (1)$$

$$Fe_3O_4(s)+4CO(g)=3Fe(s)+4CO_2(g) \quad (2)$$

$$Fe_3O_4(s)+CO(g)=3FeO(s)+CO_2(g) \quad (3)$$

$$FeO(s)+CO(g)=Fe(g)+CO_2(g) \quad (4)$$

在焙烧过程中最理想的结果是 Fe_2O_3 全部以反应（1）转化为 Fe_3O_4，但如果焙烧温度控制的不好，将出现下面两种情况。在反应温度小于 570℃时，新生磁铁矿可能发生反应（2）直接转化为金属铁；当反应温度大于 570℃时，新生磁铁矿也可能发生反应（3）过还原转化为弱磁性的富士体（FeO）。

2 结果与讨论

2.1 强磁选预富集试验

该尾矿中的铁主要以赤铁矿形式存在，磁性铁含量较低，故无需经过弱磁选进行处理，拟通过一粗一精强磁选工艺实现预富集分选效果。强磁选采用 SLon-500 立环脉动高梯度磁选机，磁介质为 Φ2 mm 棒介质，脉动冲程为 25 mm，冲次为 150 r/min。

2.1.1 高梯度强磁粗选试验

高梯度强磁粗选试验流程见图 2。

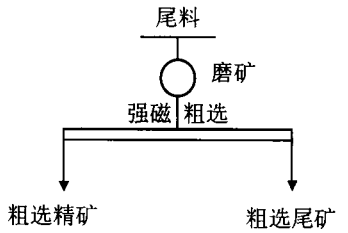

图 2 强磁粗选试验流程

Fig.2 Flowsheet of high-intensity magnetic roughing test

2.1.1.1 磨矿细度试验

在高梯度强磁选磁场强度为 478 kA/m 时，进行磨矿细度试验，结果见图 3。

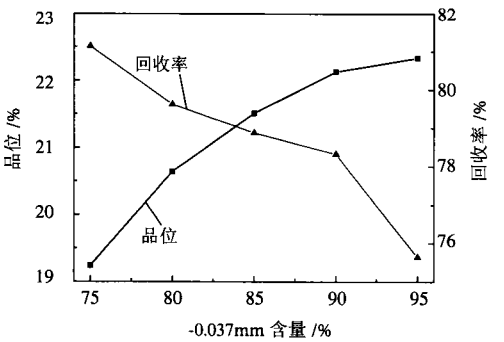

图 3 磨矿细度试验结果

Fig.3 Test results of different grinding fineness

万方数据

从图 3 可知，随着磨矿细度的增加，强磁粗选精矿铁品位上升、铁回收率下降。综合考虑，确定强磁粗选磨矿细度为 -0.037 mm 75%（不磨）。

2.1.1.2 高梯度强磁粗选磁场强度试验

在磨矿细度为 -0.037 mm 75%，进行粗选磁场强度试验，结果见图 4。

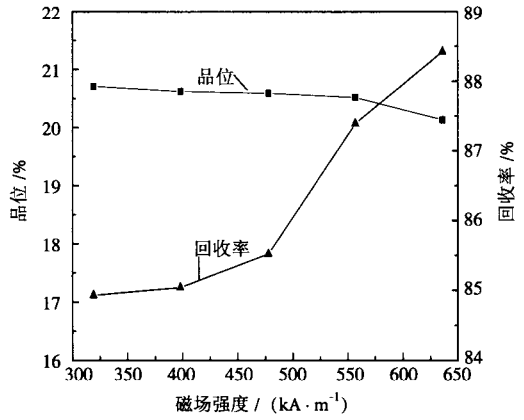

图 4　粗选试验结果

Fig. 4　The result of high gradient high intensity magnetic roughing magnetic test

从图 4 可知，提高背景磁场强度，强磁粗选精矿铁品位下降、铁回收率上升。综合考虑，确定高梯度强磁粗选背景磁场强度为 478 kA/m。

2.1.2 高梯度强磁精选磁场强度试验

高梯度强磁精选磁场强度试验的给料细度为 -0.037 mm 75%，精选试验流程见图 5，试验结果见图 6。

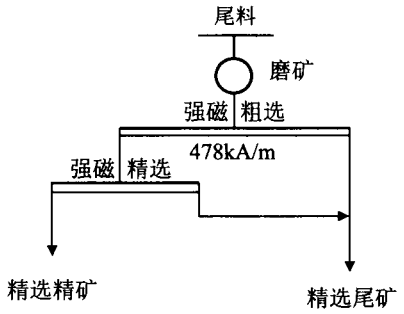

图 5 强磁精选试验流程

Fig.5　Flowsheet of high intensity magnetic cleaning test

从图 6 可知，提高强磁精选背景磁场强度，强磁精矿铁品位下降、回收率上升。综合考虑，确定强磁精选背景磁场强度为 398 kA/m，对应的精矿铁品位为 23.24%，作业回收率 86.38%，对原矿回收率为 69.19%。

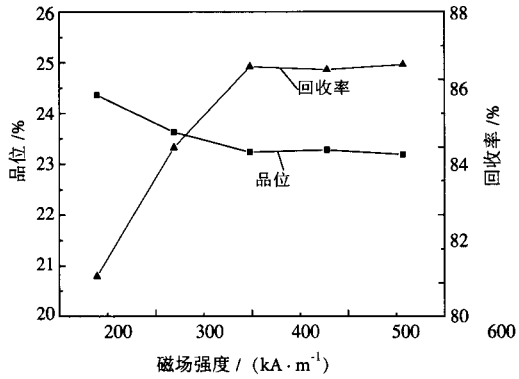

图 6 精选磁场强度试验结果

Fig.6 The result of high-gradient high-intensity magnetic cleaning magnetic test

2.2　磁化焙烧试验

试验固定焙烧产物磨矿细度为 -0.037 mm 90%，1 次弱磁选磁场强度为 104 kA/m。

2.2.1 焙烧温度试验

在总气量 5 m^3/h、CO 浓度 20%、焙烧时间 10 min 的条件下进行磁化焙烧试验。焙烧产品磁选试验结果见图 7。

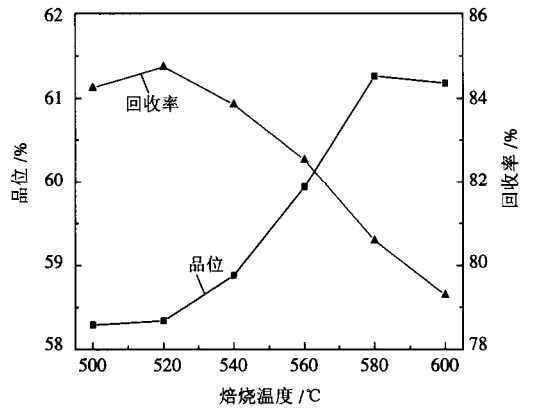

图 7 焙烧温度对磁选指标的影响

Fig.7 Effect of roasting temperature on indexes of magnetic separation

由图 7 可知，随着焙烧温度的提高，精矿铁品位先上升后微幅下降、铁回收率呈下降趋势，特别是在焙烧温度超过 560℃后，铁回收率下降明显，可能是因为 Fe_3O_4 与 CO 继续反应发生过还原现象，生成弱磁性 FeO，降低精矿铁回收率。综合考虑，确定较佳焙烧温度为 560℃，此时获得的精矿铁品位和回收率分别为 59.94%、82.53%。

2.2.2 CO 浓度试验

在焙烧温度 560℃、总气体流量 5 m^3/h、焙烧

万方数据

时间 10 min 的条件下进行磁化焙烧试验。焙烧产品磁选试验结果见图 8。

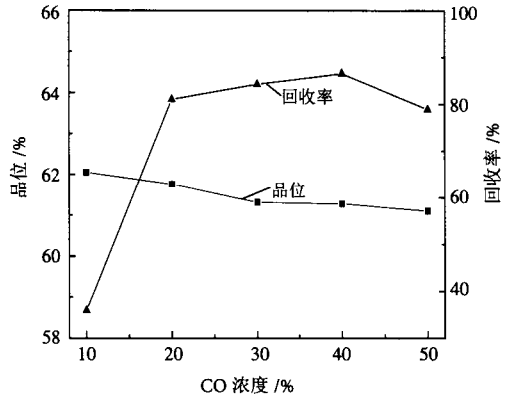

图 8　CO 浓度对磁选指标的影响

Fig. 8　Effect of CO concentration on indexes of magnetic separation

由图 8 可知，随着 CO 浓度的增加，精矿铁品位在较小的范围内逐渐下降，铁回收率则先大幅度提高，但在 CO 浓度超过 40% 后铁回收率呈现下降趋势。CO 浓度较低时，还原反应不充分，精矿回收率较低；CO 浓度过高时会发生过还原现象，降低精矿指标。综合考虑，确定较佳 CO 浓度为 30%，此时获得的精矿铁品位和回收率分别为 61.31%、84.27%。

2.2.3 焙烧时间试验

在焙烧温度 560℃、总气量 5 m^3/h、CO 浓度 30% 的条件下进行磁化焙烧试验。焙烧产品磁选试验结果见图 9。

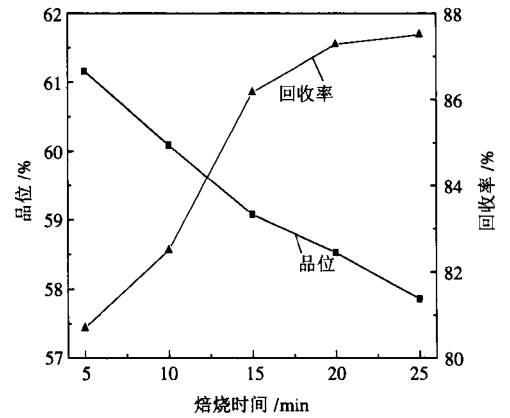

图 9　焙烧时间对磁选指标的影响

Fig. 9 Effect of roasting time on indexes of magnetic separation

由图 9 可知：随着焙烧时间的延长，弱磁性铁矿物的比例不断降低，逐步生成强磁性铁矿物，磁选精矿铁品位从 61.16% 逐渐降低至 57.86%，而精矿铁回收率则呈先大幅增加后缓慢上升的趋势。综合考虑，确定最佳焙烧时间为 15 min，此时获得的精矿铁品位和回收率为别为：59.08%、86.16%。

2.3　磨矿 - 弱磁选试验

2.3.1 磨矿细度试验

在确定了强磁选预富集和磁化焙烧工艺条件的情况下对焙烧产品进行磨矿细度试验，1 次弱磁选磁场强度为 104 kA/m，试验结果见图 10。

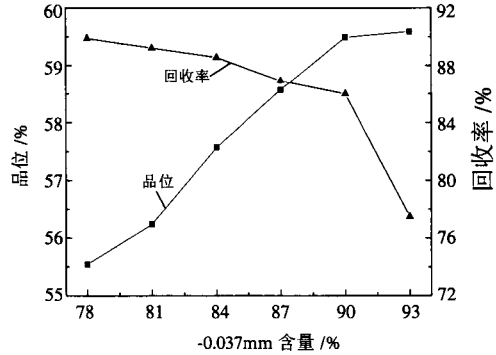

图 10　磨矿细度对磁选指标的影响

Fig.10　Effect of grinding fineness on indexes of magnetic separation

由图 10 可知：随着磨矿细度的提高，磁选精矿铁品位上升、铁回收率缓慢下降，当磨矿细度达到 -0.037 mm 90% 后，精矿铁回收率大幅下降。综合考虑，确定磨矿细度为 -0.037 mm 90%，此时获得的精矿铁品位和回收率为别为 59.49%、86.00%。

2.3.2 弱磁选磁场强度试验

试验的磨矿细度为 -0.037 mm 90%，试验结果见图 11。

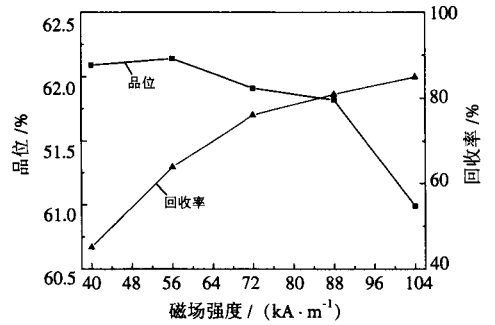

图 11　焙烧时间对磁选指标的影响

Fig. 11 Effect of roasting time on indexes of magnetic separation

万方数据

由图 11 可知，随着磁场强度的提高，磁选精矿铁品位小幅下降、铁回收率大幅上升。综合考虑，确定弱磁选磁场强度为 88 kA/m，此时获得的精矿铁品位和回收率为别为 61.82%、80.91%，对原矿回收率为 55.98%。

3　结　论

（1）袁家村铁矿选矿厂综合尾矿铁品位为 17.50%，主要有用元素为铁，有害元素硫、磷含量很低；铁主要以赤（褐）铁矿形式存在，其次赋存于磁铁矿中；SiO_2 含量高达 71.01%，主要脉石矿物为石英；该尾矿中铁矿物嵌布粒度较细，回收难度较大。

（2）在磨矿细度为 -0.037 mm 75%（不磨），强磁选粗选背景磁场强度为 478 kA/m，强磁选精选背景磁场强度为 398 kA/m 的条件下，对试样中的铁矿物进行预富集试验，可获得铁品位为 23.24%、铁作业回收率为 86.38%、对原矿回收率 69.19% 的强磁选预富集精矿。

（3）预富集精矿在气体流量为 5 m^3/h、CO 浓度为 30%、焙烧温度为 560℃、焙烧时间为 15 min，焙烧产物在磨矿细度为 -0.037 mm 90%，弱磁选磁场强度为 88 kA/m 的条件下，可获得铁品位 61.82%、铁作业回收率 80.91%、对原矿回收率 55.98% 的铁精矿产品。

（4）采用预富集 - 磁化焙烧 - 磁选试验流程处理该综合尾矿获得了较为理想的选别指标，为该尾矿的综合利用提供了新的途径。

参考文献：

[1] 苏涛，陈铁军，汪博 . 甘肃某镜铁矿尾矿磁化焙烧—弱磁选试验 [J]. 金属矿山，2015（2）：173-176.

[2] 毛益平，黄礼富，赵福刚 . 我国铁矿山选矿技术成就与发展展望 [J]. 金属矿山，2005(2):1-5.

[3] 张淑会，薛向欣，金在峰 . 我国铁尾矿的资源现状及其综合利用 [J]. 材料与冶金学报，2004，3(4)：241-244.

[4] 陈禄政，熊大和，任南琪，等 . 采用连续离心分离技术回收细铁尾矿中铁 [J]. 中南大学学报：自然科学版，2008，39(6)：1257-1261.

[5] 韩跃新，孙永升，李艳军，等 . 我国铁矿选矿技术最新进展 [J]. 金属矿山，2015(2)：1-7.

[6] 胡义明，张永 . 袁家村铁矿石选矿技术研究进展 [J]. 金属矿山，2007（6）：25-29.

[7] 王秋林，张立刚，陈雯，等 . 太钢袁家村铁矿选矿技术及工业应用 [J]. 矿冶工程，2015（8）：35-39.

[8] 余永富，张汉泉 . 我国钢铁发展对铁矿石选矿科技发展的影响 [J]. 武汉理工大学学报，2007，29（1）：1-6.

[9] 朱德庆，赵强，邱冠周，等 . 安徽褐铁矿的磁化焙烧—磁选工艺试验研究 [J]. 北京科技大学学报，2010（6）：713-718.

[10] 张汉泉 . 多级动态磁化焙烧技术及其应用 [J]. 金属矿山，2012（9）：121-122.

[11] 王儒，韩跃新，李艳军，等 . 东鞍山含菱铁矿浮选中矿悬浮焙烧磁选试验研究 [A]. 中国矿业科技文汇 [C]；2013 年 .

Experimental Study on Reelection for Yuanjiacun Iron Tailings

Tang Zhidong, Han Yuexin, Li Yanjun, Gao Peng, Li Yanfeng

(College of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang, Liaoning , China)

Abstract: Iron grade of Yuanjiacun iron synthetic tailings is 17.50%, in which iron exists mainly in form of hematite-limonite and magnetite. The content of harmful elements such as sulfur, phosphorus is very low. In order to provide technical basis for comprehensive utilization of the tailing, the process of pre-concentration-magnetizing roast- magnetic separation was carried out. The results indicated that: at the grinding fitness of -0.037mm 75%, roughing background field intensity at 478 kA/m and cleaning background magnetic induction intensity at 398 kA/m, the high intensity pre-concentration concentrate with iron grade of 23.24% and recovery of 86.38% was obtained. With gas flow rate of 5 m^3/h, CO concentration 30%, roasting temperature at 560℃ for 15 min, roasted product grinding fineness of 90% -0.037 mm and low intensity magnetic field intensity at 88 kA/m, the iron grade of 61.82% and operation recovery of 80.91%(General iron recovery was 55.98%) can be obtained.

Keywords: Iron tailing; High-intensity magnetic pre-concentration; Magnetizing roasting; Low-intensity magnetic separation

万方数据