

某铁尾矿还原焙烧试验研究^{*}

王威^{1,2,3}, 刘红召^{1,2,3}, 高照国^{1,2,3}, 曹耀华^{1,2,3}, 柳林¹, 张博^{1,2,3}

(1. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所, 河南 郑州 450006; 2. 国家非金属矿资源综合利用工程技术研究中心, 河南 郑州 450006; 3. 河南省黄金资源综合利用重点实验室, 河南 郑州 450006)

摘要:对某铁尾矿用煤粉作还原剂进行了还原焙烧试验研究。通过对尾矿中铁的物相分析表明,褐铁矿是矿石中主要的有用矿物,其在矿石中含量为 67.8%。主要研究了还原剂加入量、焙烧温度和焙烧时间对尾矿中铁的金属化率的影响。结果表明,以煤粉为还原剂通过还原焙烧可以获得金属铁,在煤粉添加量 15%、还原焙烧温度 1 200 ℃、还原焙烧时间 60 min 的条件下,铁的金属化率可以达到 94% 以上,经过一段磁选可以得到铁品位 88.90%、铁回收率 93.14% 的铁精矿。96.22% 的铅和 95.19% 的锌在焙烧过程中以烟尘的形式挥发,可以在烟尘中进一步综合回收。

关键词:铁尾矿;还原焙烧;金属化率;磁选

中图分类号:TD926.4⁺2 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0076(2015)02-0059-04

DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2015.02.014

Reduction Roasting Research on an Iron Tailing

WANG Wei^{1,2,3}, LIU Hongzhao^{1,2,3}, CAO Yaohua^{1,2,3}, GAO Zhaoguo^{1,2,3}, LIU Lin¹, ZHANG Bo^{1,2,3}

(1. Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Zhengzhou 450006, China; 2. National Research Center of Multipurpose Utilization of Non-metallic Mineral Resources, Zhengzhou 450006, China; 3. Comprehensive utilization key laboratory of gold resource in Henan province, Zhengzhou 450006, China)

Abstract: In this paper, the reduction roasting research on an iron tailings using coal dust as reduction agent was conducted. The iron in the tailings existed mainly as limonite through phase analysis of ferric compounds, and the content of limonite in the ore is 67.80%. The effect of quantity of coal addition, roasting temperature and roasting time on the iron metallization ratio were studied. The experimental results showed that the metallic iron could be obtained through reduction roasting with coal as a reduction agent. The beset reduction roasting conditions are the addition of coal being 15%, the reduction temperature 1 200 ℃ and reduction time 60 min. In these conditions, the iron metallization ratio is higher than 94%. The iron concentrates with iron content 88.90% at a recovery rate of 93.14% could be obtained though one step magnetic separation. 96.22% of Pb and 95.19% of Zn were volatilized in the form of smoke during roasting, and could be comprehensive recovered in further treatment.

Key words: iron ore tailing; reduction roasting; metallization ratio; magnetic separation

自 1996 年以来,我国钢铁产量一直位居世界第一。受到我国铁矿石资源量和禀赋特征的制约,我

* 收稿日期:2015-03-19

基金项目:国土资源部地质调查项目(12120114021901)

作者简介:王威(1983-),男,助理研究员,博士,主要从事金属矿资源综合利用研究。

国铁精矿生产量远远无法满足钢铁生产的需要,每年需进口大量铁矿石。这种状况严重影响了我国铁矿市场的稳定和钢铁工业的健康、稳定发展^[1]。

受到我国铁矿石禀赋特征和现有开采技术的影响,我国部分铁矿资源开发地堆存有大量高铁尾矿,这些堆存的尾矿占用土地、污染环境,不仅是一种资源浪费,也是一种环境安全隐患^[2-4]。近年来,从铁尾矿中回收铁的研究受到人们的关注。刘占华等研究了内蒙古某硫铁矿铁回收技术,通过磁选、摇床、磁选—反浮选和直接还原焙烧—磁选等试验对比,认为直接还原焙烧—磁选方法是最佳工艺,采用该工艺获得了铁品位为 93.57%、硫含量 0.39%、对弱磁精矿的回收率为 82.01% 的还原铁产品^[5]。李芸邑等以鞍山市齐大山风水沟铁尾矿为研究对象,通过磁化焙烧—磁选工艺,得到回收率大于 80%、精矿铁品位 58% 的铁精矿^[6]。李保卫等采用微波还原—弱磁选工艺处理包钢稀土尾矿,得到铁品位 63.00%、铁回收率 54.80% 的铁精矿^[7]。薛伟等采用离析焙烧—磁选工艺处理七宝山铁尾矿,得到铁精矿的品位和回收率都稳定在 65% 以上,并且其中铜、铅、锌 90% 以上挥发进入烟尘^[8]。刘红召等采用还原焙烧—弱磁选工艺处理七宝山铁尾矿,得到品位 88.80% 的铁精矿,铁回收率达到 92.28%^[9]。由以上文献可知,采用深度还原的方法处理铁尾矿是铁尾矿综合利用的重要手段。

本文采用还原焙烧的工艺处理某铁尾矿,重点研究各焙烧条件对铁尾矿中铁金属化率的影响,为焙烧条件的选择提供指导依据,并在试验过程中关注伴生元素铜、铅、锌的走向,为铜、铅、锌等伴生元素的综合回收提供参考。

1 试验原料

1.1 铁尾矿性质

尾矿呈土红色,粉状,原有的结构、构造大部分已经被破坏殆尽,残留的构造为块状构造,残留的结构主要包括葡萄状结构和微细粒结构。尾矿化学分析结果、主要矿物组成分别见表 1 和表 2,由结果可以看出,矿石中铁含量为 38.74%,是主要的有用元素,尾矿中还含有少量铜、铅、锌。

表 1 原矿化学分析结果								/%
成分	TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	Pb	Zn	Cu	K ₂ O
含量	38.74	15.74	4.68	4.05	1.63	1.47	0.23	0.58
成分	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	CaO	As	Ni	S	P
含量	0.40	0.32	0.31	0.28	0.22	0.012	0.10	0.037

表 2 铁尾矿主要矿物组成						/%
矿物	褐铁矿	黑云母	粘土矿物	铅硬锰矿	石英	其他
含量	67.8	11.3	8.9	4.4	7.5	0.1

1.2 煤粉

试验用还原剂为山西某焦煤,细度为 - 0.074 mm 含量 80%,工业分析结果见表 3。

表 3 煤粉工业分析结果					
成分	发热量 /(kcal·kg ⁻¹)	全水 /%	灰分 /%	挥发分 /%	固定碳 /%
含量	7 193	2.10	10.43	8.96	78.51

2 试验方法

取一定量铁尾矿与一定量的煤粉混合,压制成型后烘干。待 DC - B15/26 马弗炉升至设定温度后,将称有矿样的石墨坩埚放入马弗炉中进行还原焙烧一定时间,取出水淬、得到焙烧矿;将焙烧矿放入电热鼓风干燥箱 95 ℃ 烘干(101 - 3AB 型);用 XMB - 70 型三辊四筒棒磨机(滚筒容积 500 mL)进行磨矿试验,矿浆质量分数固定为 50%;焙烧矿磨好后直接进行磁选,磁选设备为 XCGS - 50 型磁选管。

本文研究的还原焙烧过程,是把尾矿中的铁矿物还原为金属铁的过程,因此,金属化率是影响后续磁选指标的重要参数。

$$\text{金属化率} = \frac{\text{金属铁质量分数}}{\text{全铁质量分数}} \times 100\%$$

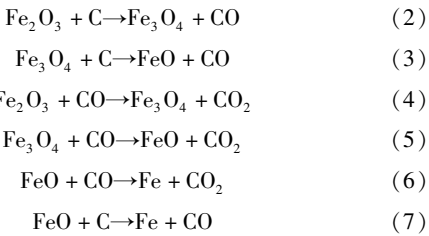
(1)

3 试验结果与讨论

3.1 铁尾矿煤基还原提铁机理

以煤作为还原剂还原铁氧化物的过程比较复杂,即存在煤和铁矿物接触面上发生的固—固相反应,也存在由煤燃烧生成的 CO 与铁矿物之间发生的气—固相反应。相关研究表明,铁的氧化物还原是从高价态向低价态逐级进行的。当焙烧温度低于

570 ℃时,铁氧化物按照 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}$ 的顺序被还原,当焙烧高于 570 ℃ 的温度时,铁的氧化物以 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ 顺序被还原^[10]。本文研究铁尾矿中的铁主要以褐铁矿的形式存在,深度还原焙烧过程中可能发生的反应主要有:



3.2 煤粉添加量对铁金属化率的影响

试验研究了还原焙烧温度为 1 250 ℃,还原焙烧时间为 60 min,不同煤粉加入量对铁金属化率的影响,试验结果如图 1 所示。

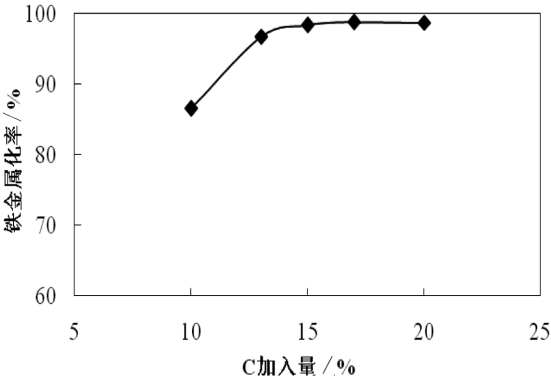


图 1 煤粉添加量对铁金属化率的影响

从图 1 可以看出,在 1 250 ℃ 温度条件下,焙烧样中铁的金属化率随煤粉添加量呈增长趋势,并且铁金属化率的增长程度随着煤粉添加量的增加逐渐减小,当煤粉添加量超过 15% 后,铁金属化率趋于平衡。综合考虑,选择煤的最佳加入量为 15%。

3.3 焙烧温度对铁金属化率的影响

固定煤粉添加量为 15%,还原焙烧时间为 60 min,研究焙烧温度对铁金属化率的影响,试验结果如图 2 所示。

从图 2 可以看出,铁金属化率随着焙烧温度增加呈增加趋势,当温度达到 1 200 ℃,铁的金属化率达到 94.16%,继续升高温度,铁金属化率几乎不再增加。综合考虑,选择最佳焙烧温度为 1 200 ℃。

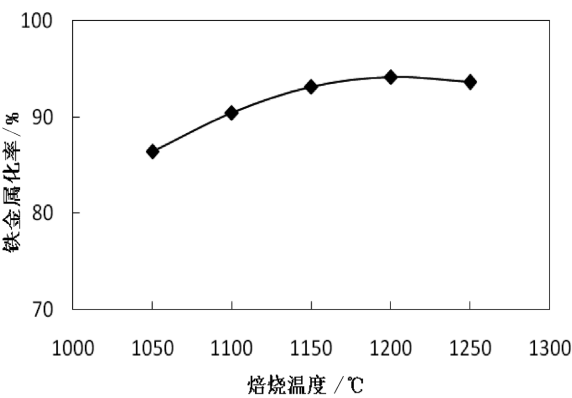


图 2 焙烧温度对铁金属化率的影响

3.4 焙烧时间对铁金属化率的影响

固定煤粉添加量为 15%,还原焙烧温度为 1 200 ℃,研究了还原焙烧时间对铁金属化率的影响,试验结果如图 3 所示。

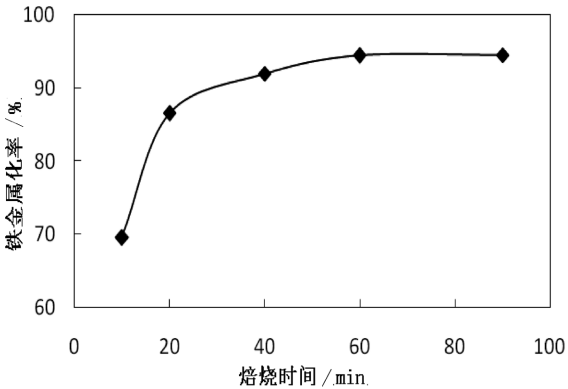


图 3 焙烧时间对铁金属化率的影响

从图 3 可以看出,随着反应时间的延长,铁的金属化率呈先快后慢的上升趋势。当焙烧时间超过 60 min,铁金属化率没有明显增加。综合考虑,确定最佳焙烧时间为 60 min。

3.5 磨矿细度对磁选指标的影响

综合以上试验结果,选取焙烧温度为 1 200 ℃、焙烧时间 60 min,煤粉添加量为 15% 为最佳焙烧条件,并且对在最佳焙烧条件下的焙烧样进行一段磁选试验,磁选场强为 88 kA/m。磨矿细度对铁精矿品位和铁回收率的影响见图 4。由图 4 可知,随着磨矿细度的增加,铁精矿品位呈增长趋势,而随着磨矿细度的增加,铁回收率呈减少趋势,综合考虑铁精矿品位和铁回收率,选择磨矿细度为 -0.044 mm 含量 67.60%。在此条件下可得到铁品位 88.90%、铁

回收率为 93.14% 的铁精矿。表 4 给出了铁精矿多元素分析结果,由结果可以看出,通过深度还原—磁化焙烧工艺制备出的铁精矿品位可以达到 88% 以上(符合(YB/T 4170 - 2008)质量标准),但其中的 S、P、Cu 含量高于炼钢用直接还原铁的要求,需要进一步控制铁精矿中 S、P、Cu 含量。

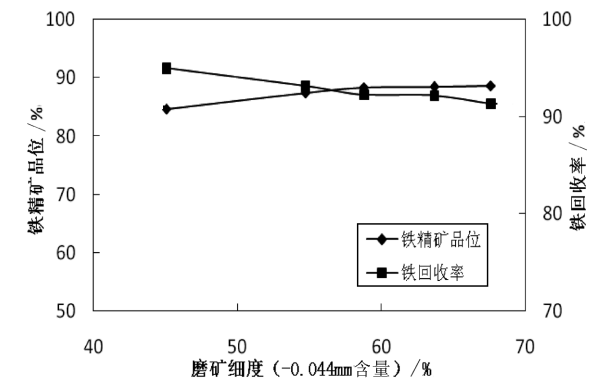


图 4 磨矿细度对铁精矿品位影响

表 4 铁精矿多元素分析								/%
成分	TFe	Mn	SiO ₂	S	P	Cu	Pb	C
含量	88.90	0.50	2.70	0.054	0.11	0.49	0.28	1.02

3.5 伴生元素铜、铅、锌的走向

根据铁尾矿多元素分析结果,原料中除了含有铁元素以外,还含有少量 Cu、Pb、Zn 等有色金属,在深度还原—磁选过程中,也关注了这些元素的走向。表 5 给出了在最佳焙烧条件下焙砂中铜、铅、锌的烟化率。由表 5 可以看出,在焙烧过程中 95% 以上铅和锌以烟尘的形式挥发,而铜的烟化率较低。因此,铅、锌可以在烟尘中得到进一步综合回收。结合表 4 铁精矿中铜的含量可以看出,焙砂中的铜在铁精矿中得到富集,回收率达到 90% 以上。

表 5 最佳焙烧条件下铜、铅、锌烟化率				/%
元素	铜	铅	锌	
焙砂中含量	0.26	0.46	0.16	
烟化率	27.07	96.22	95.19	

4 结论

对某铁尾矿进行还原焙烧—磁选工艺条件的研究,采用煤粉作为还原剂可以将尾矿中的褐铁矿还原为金属铁。还原焙烧的条件为:焙烧温度 1 200 ℃、焙烧时间 60 min,煤粉添加量为尾矿重量的 15%。尾矿中 94% 以上的铁矿物被还原为金属铁。经磁选可以得到铁品位为 88.90% 的铁精矿,铁回收率为 93.14% (TFe 品位达到了炼钢用直接还原铁(YB/T 4170 - 2008)质量标准要求)。在焙烧过程中 95% 以上的铅、锌挥发进入烟尘,可以考虑从烟尘中综合回收铅、锌,焙砂中的铜在铁精矿中得到富集,回收率达到 90% 以上。

参考文献:

[1] 郭华,张天柱. 中国钢铁与铁矿石资源需求预测[J]. 金属矿山,2012(1):5-9.

[2] 鲍负,丁兴华. 浅议当前我国尾矿综合利用工作的难点及重点[J]. 金属矿山,2000(8):48-49.

[3] 岳铁兵,周文雅,吕良,等. 鞍本地区选铁尾矿资源现状与利用前景[J]. 矿产保护与利用,2007(6):52-54.

[4] 贾清梅,张锦瑞,李凤久. 铁尾矿的资源化利用研究及现状[J]. 矿业工程,2006,4(3):7-9.

[5] 刘占华,孙体昌,孙昊,等. 从内蒙古某高硫铁尾矿中回收铁的研究[J]. 矿冶工程,2012,32(1):46-49.

[6] 李芸邑,梁嘉良,刘阳生. 从铁尾矿中回收铁的磁化技术研究[J]. 环境工程,2014,32:634-638.

[7] 李保卫,张邦文,赵瑞超,等. 用微波还原-弱磁选工艺从包钢稀土尾矿回收铁[J]. 金属矿山,2008(6):45-48.

[8] 薛伟. 江西七宝山铁尾矿多金属分离新工艺研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2009.

[9] 刘红召,王威,王守敬,等. 七宝山铁尾矿还原焙烧—弱磁选回收铁试验[J]. 金属矿山,2014(9):172-176.

[10] 王长龙,王爽,乔春雨,等. 煤种对高硅酸铁尾矿深度还原回收铁的影响[J]. 材料热处理学报,2014,35(9):6-22.