## 试验用小型沸腾炉焙烧硫铁矿试验研究

徐建林,史光大,李元坤,钟庆文,余平 (中国地质科学院矿产综合利用研究所,四川 成都 610041)

摘要:用小型沸腾炉对硫含量 50% 的硫精矿进行了模拟沸腾焙烧试验,经过对焙烧温度、焙烧时间和进气压力的试验,确定了较佳工艺条件为:焙烧温度 800℃,焙烧时间为 5min,进气压为 0.5MPa,得到的烧渣中硫含量低于 0.30%,全铁含量大于 64%。实验室模拟焙烧试验产出的烧渣质量较好,达到了高品位铁精矿的质量要求。

关键词:小型沸腾炉; 焙烧; 硫铁矿

中图分类号: TF046 文献标识码: A 文章编号: 1000-6532 (2012) 01-0043-03

对试验用小型沸腾炉的设计制造进行了初步探 索<sup>[1]</sup>,设计制造的小型沸腾炉炉床直径0.16m,炉体 容积约0.1m<sup>3</sup>,用耐热不锈钢管作为沸腾炉的炉膛, 用电炉外部预热沸腾炉炉膛,上部加料,下部进气和 出料<sup>[1-2]</sup>。用该小型沸腾炉在实验室中对硫含量 50%的硫精矿模拟了沸腾焙烧试验。模拟试验产出 的硫铁矿烧渣中硫含量低于0.3%,全铁含量大于 64%,烧渣的质量较好。

1 试验原料

试验的主要原料为通过选矿得到的硫铁矿精 矿,硫铁矿精矿的化学成分和粒度分布分别见表1 和表2。

从表1可看出,硫铁矿精矿中硫含量为50.61%,

表1 硫铁矿精矿化学组成/%

S	TFe	SiO <sub>2</sub>	$Al_2O_3$	CaO	С	MgO	TiO <sub>2</sub>	Pb	Zn	V205
50.61	43.48	2.26	1.63	0.045	0.56	0.027	0.38	0.028	0.06	0.0073

表2 硫铁矿精矿的粒度分布

粒度范围 /mm	+0.154	-0.154 +0.096	-0.096 +0.074	-0.074 +0.043	-0.043
分布率/%	2.5	7.2	31.3	20.7	38.3

属于高纯硫精矿,杂质主要为二氧化硅和氧化铝。

从表2可看出,+0.154mm 仅占2.5%,-0. 096mm占90%,-0.074mm占59%,硫精矿的粒度 较细。

2 焙烧反应原理

硫铁矿焙烧主要是矿石中的 FeS<sub>2</sub> 与空气中的 O<sub>2</sub> 反应,焙烧反应可分为两步进行<sup>[3-4]</sup>。第一步是 FeS<sub>2</sub> 受热分解,生成 FeS 与单体硫。

 $2\text{FeS}_2 = 2\text{FeS} + S_2 \tag{1}$ 

收稿日期:2011-03-10

温度越高,对 FeS<sub>2</sub> 的分解反应越有利,生成的 单体硫会变为硫磺蒸汽与 FeS 继续进行燃烧反应。

$S_{2(g)} + 2O_2 = 2SO_2 \uparrow$	(2)
$4\text{FeS} + 7\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{SO}_2 \uparrow$	(3)
$3\text{FeS} + 5\text{O}_2 = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 3\text{SO}_2 \uparrow$	(4)

综合以上各反应,硫铁矿焙烧反应总的反应式:

- $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2\uparrow$ (5)
- $3 \text{FeS}_2 + 8 \text{O}_2 = \text{Fe}_3 \text{O}_4 + 6 \text{SO}_2 \uparrow$  (6)

硫铁矿焙烧属于多相反应,焙烧物料中还含有 不同的固相物,如  $FeS_2$ 、 $FeS_5E_2O_3$ 、 $Fe_3O_4$ 、FeO等, 反应极其复杂,某些固相也能直接进行反应。

3 焙烧试验

#### 3.1 焙烧温度试验

**基金项目**:国土资源地质大调查项目(1212010816037) 作者简介:徐建林(1976 - ),男,硕士,主要从事冶金技术研究工作。

焙烧条件为硫铁矿加料量100g,试验压力 0.5MPa,焙烧时间为加完料后续吹5min,进行了不 同温度的试验,试验结果见表3。

试验 编号	FT - 001	FT - 002	FT - 003	FT - 004	FT 005	FT 006
焙烧温度/℃	550	600	650	700	750	800
硫含量/%	4.31	2.89	2.40	1.17	0.33	0.25

表3 焙烧温度对焙硫渣含量的影响

从表3可看出,焙烧温度对硫含量的影响比较 显著,当温度低于750℃时,随着焙烧温度升高,烧 渣中硫含量的降低速率较快;当焙烧温度高于 750℃,烧渣中硫含量的降低速率变慢,800℃烧渣中 的硫含量较750℃时仅降低0.08%。如果要将烧渣 作炼铁原料,要求其中的硫含量小于0.3%,因此, 焙烧温度选择为800℃。

刚从沸腾炉中取出烧渣时,烧渣表面大部分呈 灰黑色,红色颗粒较少,大部分呈球形,表面疏松,磁 性较强。在空气中放置后全部变为红色。

#### 3.2 焙烧时间试验

试验条件为硫铁矿加料量 100g, 焙烧温度 800℃,进气压力为0.5MPa,焙烧时间分别为加完料 后续吹5 min 和15min,试验结果见表4。

表 4	焙烧时间对烧渣含量的影响

试验编号	FT - 007	FT – 008	FT – 009	FT – 010
焙烧时间/min	15	15	5	5
硫含量/%	0.25	0.22	0.13	0.21

从表4可看出,延长焙烧时间,对降低焙烧中硫 含量的影响不大。硫铁矿在沸腾炉中焙烧时,反应 速度很快,燃烧反应也相当剧烈,反应时间一般以秒 为单位计算。在实际的工业生产中,粒径小于 60μm的硫铁矿颗粒达到脱硫率98%所需的时间很 短,不足7s<sup>[5]</sup>。

在试验过程中,加入硫铁矿焙烧时,烟气管会冒 出白色的烟气,持续时间大约 20s,由此可确定,硫 铁矿中的硫绝大部分是在这大约 20s 的时间内除去 的。因此,延长续吹时间主要起到保持炉内氧化气 氛和排出残留二氧化硫气体的作用,对降低烧渣中 硫含量帮助不大。同时,续吹进入炉膛的气体还会 使炉内温度逐渐下降,对硫酸盐的分解不利。综合 考虑,焙烧时间选择为加完料后 5min。

#### 3.3 进气压力试验

试验条件为硫铁矿加料量 100g, 焙烧温度 800℃, 焙烧时间为加完料后 5min, 进气压力分别为 0.4MPa 和 0.5MPa, 试验结果见表 5。

表 5 进气压力对烧渣含硫量的影响

试验编号	FT - 011	FT - 012	FT - 013	FT – 014
进气压力/MPa	0.4	0.4	0.5	0.5
硫含量/%	0.40	0.49	0.24	0.25

从表5可看出,减少进气压力,烧渣中硫含量会 增高,主要原因是进气压力降低影响了物料的沸腾。 由于供气的空气压缩机供出的气体最大压力只有 0.5MPa,无法进行更高压力的焙烧试验。因此,进 气压力选择为0.5MPa。

#### 3.4 综合条件试验

经过对焙烧温度,焙烧时间和进气压力的试验, 确定了焙烧试验的较佳工艺参数,即硫铁矿重 100g,焙烧温度为800℃,焙烧时间为5min,进气压 力为0.5MPa,然后进行综合条件试验。为了验证最 佳焙烧工艺条件的准确性,进行了5组综合条件试 验,试验结果见表6。

表6 综合条件试验结果

试验 编号	FT - 015	FT - 016	FT - 017	FT - 018	FT -019	平均
TFe/%	64.47	65.35	64.35	65.27	64.75	64.84
S/%	0.24	0.24	0.29	0.23	0.33	0.266

从表 6 可看出,经过 5 组综合条件验证试验,表 明采用该小型沸腾炉焙烧硫铁矿确定的最佳工艺条 件稳定,可重复性高。烧渣中全铁含量平均为 64. 84%,硫含量平均为 0.266%。

#### 3.5 烧渣的成分组成

按照最佳工艺条件制取烧渣,其化学多项分析 的结果见表7。

TFe	FeO	S	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Р	Cu	Со
64.54	4.28	0.17	3.95	2.94	< 0.01	< 0.01	0.0064	0.039	0.022
Pb	Zn	TiO <sub>2</sub>	F	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> 0	MnO <sub>2</sub>	Ni	As	
0.022	0.018	0.16	0.068	0.016	0.0040	0.039	0.039	0.0022	·····

表7 烧渣的化学多项分析结果/%

从表 7 的烧渣化学多项分析结果可看出,烧渣中 全铁含量为 64.45%, FeO 质量百分含量为 4.28%, 推算出烧渣中 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 质量百分含量为 13.79%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的质量百分含量为 77.93%,则烧渣中铁氧化 物的质量百分含量为 91.72%。烧渣中主要杂质为 SiO<sub>2</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,铁氧化物、SiO<sub>2</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 三者总和为 98.61%,硫含量较低,为 0.17%。根据铁精矿质量 标准,在实验室中用小型沸腾炉模拟的沸腾焙烧试 验产出的烧渣质量达到了高品位铁精矿的要求。

#### 4 结 论

在实验室中,用自行设计制造的小型沸腾炉对 硫含量 50%的硫精矿进行了模拟沸腾焙烧试验,经 过对焙烧温度、焙烧时间和进气压力的试验,确定了 试验较佳条件。在硫铁矿重为 100g,焙烧温度为 800℃,焙烧时间为 5min,进气压力为 0.5MPa 的焙 烧条件下,烧渣中硫含量低于 0.30%,全铁含量大 于64%。

烧渣中大部分铁以  $Fe_2O_3$  形式存在,质量百分 含量为77.93%, $Fe_3O_4$  的质量百分含量为13.79%, 铁氧化物、SiO<sub>2</sub> 和  $Al_2O_3$  三者总和为 98.61%,实验 室模拟焙烧试验产出的烧渣质量较好,达到了高品 位铁精矿的要求。

参考文献:

- [1]徐建林,史光大,李元坤. 试验用小型沸腾炉的设计与实 践[J]. 甘肃冶金,2011(2):30-32.
- [2]徐建林,李元坤. 一种试验用小型沸腾炉[P]. 中国. ZL201020157305.0. 2010.04.13.
- [3]陈五平.无机化工工艺学[M].北京:化学工业出版社, 1981.
- [4] 邓履富. 粒度差大的硫铁矿混烧制酸问题探讨[J]. 贵州 化工,1993(3):51-52.
- [5] 袁精华. 100kt/a 硫酸装置沸腾炉的设计[J]. 硫酸工业, 2006(3):36-39.

### Experimental Research on Roasting Pyrite in Small Fluidized-bed Roaster

XU Jian-lin, SHI Guang-da, LI Yuan-kun, ZHONG Qing-wen, YU Ping

(Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: The simulated fluidized roasting experiment in a small fluidized-bed roaster was carried on the pyrite concentrate containing 50% of sulfur. Through the experiment, the optimal technological conditions were determined: the roasting temperature was  $800^{\circ}$ C, the roasting time was 5min and the intake pressure was 0.5MPa. At last, the content of sulfur in the cinder is less than 3%, while the iron grade is over 64%. The quality of the cinder produced from the simulated experiment is good, reaching the requirements of high grade iron concentrate.

Key words: Small fluidized-bed roaster; Roasting; Pyrite

# Experimental Research on Comprehensive Recovery of the Windimurra Vanadium-containing Titanomagnetite Ore

CHEN Da, YAN Wu (Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Recourse, CAGS, Chengdu, Sichuan, China) Abstract: The occurrence of the main metal elements, the main mineral composition and content of the Windimurra vanadium-containing titanomagnetite were stated. The magnetic intensity (280kA/m for the roughing flotation and 350kA/m for the scavenging) and the particle size( -0.5mm) were determined by the magnetic condition experiments. At the same time, the closed-circuit experiment was conducted by adopting the flowsheet of one roughing, one scavenging and one cleaning and magnetic separation after the combination of scavenging concentrate and cleaning tailings. The vanadium(iron) concentrate was obtained with the yield of 41.93%, and the grade of TFe, TiO<sub>2</sub> and V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> as 52.14%, 18.52% and 1.04% and the recovery of TFe, TiO<sub>2</sub> and V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> as72.26%, 83.30% and 85. 46% respectively. For the minerals in the titanium magnetite(titanium maghematite, titanium hematite and titanomagnetite) and ilmentite ore, the recovery was 84.32% and 84.85% respectively, effectively recovering iron, titanium and vanadium of the resources.

Key words: Vanadium-containing titanomagnetite ore; Magnetic Separation; Iron (vanadium) concentrate