

王家滩菱铁矿焙烧选矿试验研究

罗良飞¹ 陈 雯¹ 罗明发²

(1. 长沙矿冶研究院; 2. 昆明钢铁集团股份有限公司)

摘 要 菱铁矿为复杂难选矿种之一,采用常规选矿方法难以得到较高铁品位的铁精矿。针对昆钢王家滩菱铁矿资源,进行了焙烧和闪速焙烧试验研究。试验结果表明,常规的焙烧导致弱磁选精矿硫含量超标,而采用闪速焙烧可达到降硫目的,铁精矿硫含量低于 0.20%,同时可获得比常规焙烧高 4.72 个百分点的回收率。

关键词 菱铁矿 闪速焙烧 磁选

Test Research on Beneficiation of Wangjiantan Siderite Ore by Roasting

Luo Liangfei¹ Chen Wen¹ Luo Mingfa²

(1. Changsha Institute of Metallurgical and Mining Research; 2. Kunming Steel Group Co., Ltd.)

Abstract Siderite ore is one of the complex and refractory ores, from which it is difficult to obtain high grade iron concentrate. In light of the conditions of the siderite resource in Wangjiantan, Kun Steel, tests on its roasting and flash roasting were carried out. The results showed that the conventional roasting could lead to an over-standard sulfur content in the concentrate of low intensity of magnetic separation while the flash roasting could realize the sulfur reduction. It obtained an iron concentrate that had a sulfur content of below 0.2% and recovery 4.72 percent points lower than that by conventional roasting.

Keywords Siderite, Flash roasting, Magnetic separation

随着近几年来我国钢铁行业的迅猛发展,我国国产铁矿石已远远不能满足钢铁公司的需求。2005 年我国钢产量为 3.493 6 亿 t,消耗成品铁矿石 5.12 亿 t。由于增速太快,给国内外铁矿石生产带来了始料不及的巨大压力,导致铁矿石供应紧张,铁矿石价格大幅上涨。2005 年国外铁矿石价格上涨了 71.50%,2006 年在 2005 年涨价的基础上又上涨了 19.00%,这势必会导致我国钢铁公司的生产成本大幅度升高^[1]。国内各大钢铁公司为了应对这一局面,纷纷加大了对国内难选矿的研究力度。

菱铁矿为复杂难选矿种之一,我国菱铁矿资源十分丰富,已探明储量 18 亿多 t,占铁矿石总量的 14%,主要分布在陕西、云南、甘肃、青海、新疆等地^[2-3]。由于理论铁品位低 (TFe48.27%),各地产出差异大,且常与钙、镁、锰发生类质同像,导致其铁品位更低。此外,菱铁矿的密度小 (3.8 ~ 3.9 g/cm³)、磁性弱等原因使得常规选矿方法难以得到较高品位的铁精矿,同时由于菱铁矿精矿成球性能差,生球强度不大,烧结时分解放出 CO₂,导致烧结矿强度差,容易粉化,给冶金带来许多问题。因此,

目前菱铁矿的利用不到其总量的 10%。但各大钢铁公司为了增大矿石自给量,把如何合理开发利用我国的菱铁矿资源已经摆上日程,如陕西大西沟采用长沙矿冶研究院焙烧磁选-反浮选工艺已设计建厂。昆钢王家滩在烧结时菱铁矿的配矿量不能超过原料总量的 5%。随着昆钢的发展扩大,铁矿石的供应远不能满足自身发展的需求,王家滩菱铁矿的开发重新提上了日程。提高铁矿石的品位、降低有害杂质含量对开发王家滩菱铁矿有着重要的意义。

1 原矿性质

1.1 原矿的化学成份

原矿的多元素化学分析结果列于表 1,铁物相分析结果列于表 2。

从表 1、2 可看出,矿石中可供选矿回收的主要组分是铁,铜可作为综合利用的对象,硫的含量达 2.00%,可见必须采用降硫作业才能保证铁精矿的质量。铁的赋存状态较为简单,分布在碳酸盐中的

罗良飞 (1971—),男,长沙矿冶研究院,工程师,410012 湖南省长沙市麓山南路 966 号。

铁占 85.88%,加上分布在磁铁矿和赤(褐)铁矿中的铁,分布率合计为 87.13%,这即为选矿分选矿石中铁矿物时铁的最大理论回收率。

表 1 原矿的多元素化学分析结果 %

组分	TFe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO
含量	27.98	33.01	3.32	23.41	1.27	0.47	6.18	1.54
组分	Na ₂ O	K ₂ O	Cu	As	S	P	g	(CaO + MgO) / (SiO ₂ + Al ₂ O ₃)
含量	0.15	0.52	0.31	0.084	2.00	0.012	28.65	0.27

表 2 矿石铁物相分析结果 %

铁物相	磁铁矿	赤(褐)铁	碳酸盐	硫化物	硅酸盐	合计
金属量	0.14	0.21	24.03	1.70	1.90	27.98
分布率	0.50	0.75	85.88	6.08	6.79	100.00

1.2 主要矿物的产出特征

矿石在肉眼下多呈灰白-淡黄色,具致密块状构造,部分呈网脉状或斑状产出。经镜下鉴定和 X 射线衍射分析,矿石的组成矿物种类较为简单,铁矿物主要是菱铁矿、偶见褐铁矿零星分布;金属硫化物以黄铁矿为主,其次是黄铜矿和闪锌矿;脉石矿物含量较高的是石英,其次为绢云母和绿泥石,其它微量矿物包括白云石、方解石、锆石、磷灰石和独居石等。表 3 列出矿石中主要矿物的质量含量。

表 3 矿石中主要矿物的含量 %

矿物名称	菱铁矿	褐铁矿	黄铜矿	黄铁矿	石英	绢云母	绿泥石	其它
含量	65.4	0.6	0.9	3.2	19.3	5.4	4.7	0.5

菱铁矿分为细粒(颗粒直径小于 0.2 mm)和中粗粒两种类型。前者多为自形、半自形粒状,部分呈竹叶状,晶体粒度较为均匀,大多在 0.02~0.15 mm 之间,晶粒相互紧密镶嵌构成集合体或以浸染状的形式与石英、绢云母和绿泥石等脉石矿物混杂共生;中粗粒菱铁矿形成时间晚于细粒菱铁矿,形态亦较为规则,但晶体粒度变化较大,部分可至 2.0 mm 左右而向粗粒过渡,其集合体常为不规则团块状或细脉状,并交代早期形式的细粒菱铁矿,局部亦可包裹石英等脉石矿物。上述两种产出形式的菱铁矿数量上以第一种为主,二者矿物含量比大致为 75:25。表 4 列出了纯度大于 98% 的菱铁矿单矿物的多元素化学分析结果。

从表 4 可见,菱铁矿铁品位仅 37.69%,其中金

属阳离子除 Fe^{2+} 以外,还因类质同像作用含较高的 Mg^{2+} 和少量 Mn^{2+} ,这种菱铁矿焙烧过程中随着 CO_2 的分解,MgO 的含量还将有一定程度的升高,从而造成铁精矿品位偏低,焙烧矿弱磁选铁精矿品位最高只能达到 TFe59.80% 左右。

表 4 菱铁矿的多元素化学分析结果 %

元素	TFe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
含量	37.69	46.78	1.90	0.93	0.59
元素	CaO	MgO	MnO	S	g
含量	0.32	10.48	2.56	0.015	36.27

2 实验室试验设备

- (1) SX-8 箱式电阻炉。
- (2) 闪速焙烧炉。
- (3) 球磨机。XMB-67 ϕ 200 mm \times 240 mm。
- (4) 鼓型湿式弱磁选机。 ϕ 300 mm \times 200 mm, 表面磁场强度 ≤ 127 kA/m。
- (5) XCGS-73 型磁选管。 ϕ 50 mm, 磁场强度 ≤ 240 kA/m。
- (6) XFD-63 型系列单槽浮选机。
- (7) XFD-76 型挂槽式浮选机。
- (8) 粒度检查筛。16 目,孔径 1.16 mm; 150 目,孔径 0.1 mm; 200 目,筛孔 0.074 mm; 325 目,筛孔 0.045 mm。

3 试验研究及主要结果

焙烧试验是在箱式电阻炉中进行,待炉膛温度升到试验设定的温度后,将盛矿的不锈钢盒子放入炉膛中,关上炉门,等达到恒定的温度后开始计算焙烧时间;焙烧矿出炉采用水淬冷。焙烧试验指标的考查方法是将焙烧矿磨矿至 97.54% - 0.074 mm (92.23% - 0.045 mm),采用 XCGS-73 型磁选管进行选别,磁场强度为 143.23 kA/m。

3.1 焙烧条件试验

焙烧条件对焙烧矿的选矿指标起着关键的决定作用。焙烧的气氛是否合适,焙烧的温度、时间,以及焙烧给矿层厚度都是重要因素。

3.1.1 焙烧气氛试验

在焙烧温度 750 $^{\circ}\text{C}$ 、焙烧时间 80 min 的条件下,考查了不同气氛下对焙烧指标的影响,试验结果见表 5。

从表 5 可见,弱氧化和中性的焙烧气氛下焙烧指标较好,可以获得较高的金属回收率,而加煤还原焙烧的指标最差。但是焙烧指标仍然是不理想的,

表 5 焙烧气氛试验结果

焙烧气氛	精矿产率 /%	品 位 /%			精矿回 收率 /%
		焙烧矿	尾 矿	精 矿	
中 性	42.41	34.67	21.62	52.39	64.09
煤 5%	36.18	34.42	23.40	52.37	55.08
煤 8%	34.69	33.83	24.23	51.91	53.24
煤 15%	25.64	32.29	25.36	52.38	41.59
弱氧化	43.50	34.80	19.97	54.06	67.58

因此焙烧条件仍然需要进一步优化。

3.1.2 焙烧温度试验

理论上菱铁矿 400 ℃开始分解,到 560 ℃分解完全,其化学反应为 $3\text{FeCO}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 2\text{CO}_2 + \text{CO}$ 。温度过高会导致富氏体和弱磁性的硅酸铁的生成,温度愈高生成量愈多^[43]。选择中性焙烧气氛,固定焙烧时间为 80 min,考查了焙烧温度对焙烧指标的影响,试验结果见表 6。

表 6 焙烧温度试验结果

焙烧温度 /℃	精矿产率 /%	品 位 /%			精矿回 收率 /%
		焙烧矿	尾 矿	精 矿	
600	33.33	31.75	24.76	45.73	48.00
750	42.41	34.67	21.62	52.39	64.09
850	44.93	36.46	20.57	55.94	68.92
1 000	21.76	38.38	33.84	54.70	31.11

从表 6 可见,焙烧 80 min 的条件下,以 850 ℃的焙烧温度下获得的焙烧指标较好,弱磁选精矿产率为 44.93%,品位为 TFe 55.94%,金属回收率为 68.92%。当焙烧温度达到 1 000 ℃时,尾矿品位大幅度升高,铁的回收率大幅度下降,属于明显的过烧特征。

3.1.3 不同矿层厚度焙烧试验

在 850 ℃焙烧温度与 80 min 焙烧时间的条件下,考查了不同焙烧矿层厚度对指标的影响,试验结果见表 7。

表 7 矿层厚度焙烧试验结果

矿层厚度 /mm	精矿产率 /%	品 位 /%			精矿回 收率 /%
		焙烧矿	尾 矿	精 矿	
8.3	57.02	38.96	14.34	57.52	84.18
16.7	56.82	38.82	14.10	57.60	84.31
25.0	56.85	38.73	14.56	57.08	83.79
50.0	55.28	36.34	17.20	51.58	78.45

从表 7 可见,矿层厚度在 8.3 mm ~ 16.7 mm 焙烧指标好;当厚度达到 50 mm 时,指标很快变差,这主要是由于矿层太厚导致其透气性差,焙烧时所产生的气体难以及时排出,影响到反应相变的进行程度。

3.1.4 焙烧时间试验

选择矿层厚度为 8.3 mm、焙烧温度 850 ℃,在中性焙烧气氛中进行了焙烧时间试验,考查焙烧时间对指标的影响,结果见表 8。

表 8 焙烧时间试验结果

焙烧时间 /min	精矿产率 /%	品 位 /%			精矿回 收率 /%
		焙烧矿	尾 矿	精 矿	
40	52.41	37.94	15.67	58.16	80.34
80	57.55	39.00	13.42	57.87	85.38
100	57.52	38.96	12.99	58.14	85.84

从表 8 可见,随着焙烧时间的延长,精矿的铁品位变化不大,但铁的回收率增加。这主要是菱铁矿的磁铁矿矿化进行得比较完全。

3.2 焙烧矿选矿试验

3.2.1 磨矿细度对磁选的影响试验

对焙烧矿进行了磨矿细度对弱磁选指标影响的试验,试验结果列于表 9。

表 9 磨矿细度试验结果

磨矿细度 /(-0.074 mm)	精矿产率 /%	品 位 /%			精矿回 收率 /%
		焙烧矿	尾 矿	精 矿	
74.15	57.86	37.39	11.50	56.24	87.03
91.58	56.42	37.59	12.04	57.32	86.03
97.54	55.28	37.74	12.87	57.87	84.76
98.54	54.68	37.57	12.74	58.16	84.64
99.27 (-0.045 mm)	53.03	37.89	15.37	57.83	80.94

从表 9 可见,精矿品位随着磨矿细度增加而提高;但磨矿细度达到 99.27% - 0.045 mm 后,尾矿品位大幅度升高,回收率大幅度下降。这主要是由于在分选的磁场下是不能有效地捕获过于微细的颗粒。

3.2.2 弱磁选精矿提铁降杂试验

对弱磁选精矿进一步提铁降杂,探索铁精矿所能达到的最高品位,分别采用阳离子、阴离子捕收剂对弱磁选精矿进行了反浮选试验,试验结果见表 10。

表 10 弱磁选精矿反浮选试验结果

试验条件	精矿产率 /%	品 位			精 矿 回收率
		弱磁 精矿	浮选 尾矿	浮选 精矿	
阳离子反浮选	65.67	57.39	54.70	58.79	67.28
阴离子反浮选	22.11	57.41	57.05	58.64	22.59

注:①阳离子反浮选药剂种类及用量:GE 阳离子捕收剂 300 g/t,淀粉 500 g/t;②阴离子反浮选药剂种类及用量:NaOH 调整剂 800 g/t,淀粉抑制剂 600 g/t,CaO 活化剂 600 g/t,RA-715 阴离子捕收剂 800 g/t。

从表 10 可见,弱磁选精矿提铁降杂的效果不明

显。当精矿的作业产率低至 22.11%~65.67%,浮选精矿铁的品位只能提高到 58.64%~58.79%。

为了查明浮选精矿的主要化学成分,对阳离子反浮选的精矿进行了多元化学分析,结果见表 11。

表 11 反浮选精矿的多元化学分析结果 %

元 素	TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S
含 量	58.79	0.89	0.29	0.39	12.05	3.41	1.08

从表 11 可看出反浮选精矿达 58.79%,其杂质 SiO₂、Al₂O₃、CaO 的含量均较低,可以进一步降低的可能性不大;而精矿中 MgO、MnO 的含量较高,这与原菱铁矿的矿石性质有关,属于晶格取代的类质同像现象,目前通过选矿工艺是无法除去的,但 MgO 是高炉炼铁的造渣成分,可以降低高炉炼铁时配入的造渣剂量;精矿中硫的含量偏高,经镜下观察主要为磁黄铁矿,由于原矿在焙烧时发生一系列的复杂的物理化学变化,由原矿中的黄铁矿转化而成,并呈微细粒浸染状分布,降低的难度较大。

3.2.3 弱磁选精矿降硫试验

为了降低焙烧矿弱磁选精矿中的硫含量,采用 SA 作活化剂,BA 为主要浮硫捕收剂,考查了不同黄药对降硫的效果,试验结果见表 12。

从表 12 可见,SA 活化剂加入对降硫的效果是很明显的。加入后可以大幅度降低精矿中的硫含量,以 BA+丁黄药用量 300 g/t 的降硫效果最好,铁精矿中的硫含量可以降低至 0.63%。但是这仍然高于 0.30% 的要求。

表 12 弱磁选精矿降硫试验结果

药剂及用量 (g/t)	精矿 产率 /%	品 位 /%			精矿中 S 分布率 /%
		弱磁 精矿	尾 矿	精 矿	
SA 0,BA+戊黄药 300	92.69	1.37	3.52	1.19	80.30
SA 4 000,BA+戊黄药 300	70.22	1.41	3.18	0.66	32.62
SA 4 000,BA+Y89 300	70.62	1.45	3.27	0.69	33.79
SA 4 000,BA+丁黄药 300	70.63	1.38	3.20	0.63	31.88
SA 4 000,BA+乙黄药 300	73.18	1.48	3.74	0.66	32.43

注:Y89 为黄药类阴离子捕收剂的一种。

3.3 闪速焙烧试验

闪速焙烧是余永富院士主持下的国家攻关项目,是针对难处理铁矿行之有效的焙烧工艺。细粒矿物在全悬浮的状态下,在极短的时间内可以实现传热传质,达到磁化焙烧的目的。为了考查闪速焙烧对王家滩菱铁矿焙烧降硫的影响,采用闪速焙烧炉进行了闪速焙烧试验,焙烧给矿磨矿细度 65.14% - 0.074 mm,焙烧矿的再磨细度为 90.30% - 0.074 mm,磁选管分选磁场强度为 143.24 kA/m,试验结果见表 13。

从表 13 可见,闪速焙烧同样可以达到常规焙烧的弱磁选精矿铁品位,并且铁的回收率提高到 90.75%,而且弱磁选精矿中硫的含量降低的幅度是很大的,可以降低至 0.15%,这是常规焙烧所不能达到的。主要是由于在焙烧过程中,原矿中的黄铁矿中的硫在短时间内发生反应而进入气相,随尾气排出,黄铁矿中的铁则转化为磁铁矿,故增加了铁的回收率。

表 13 闪速焙烧试验结果

试 验 条 件	精矿产率	品 位						回 收 率	
		焙烧矿		尾 矿		精 矿		TFe	S
		TFe	S	TFe	S	TFe	S		
温度 955~1016℃ O ₂ 0.1×10 ⁻⁶ ,CO 3%~3.6%	59.58	37.51	0.13	8.59	0.10	57.13	0.15	90.75	72.39

4 结 论

(1)王家滩菱铁矿属于镁锰类质同像菱铁矿,其焙烧矿选矿所得铁精矿品位最高为 59.80%。

(2)采用常规焙烧工艺处理王家滩菱铁矿会导致铁精矿的硫含量较高。

(3)闪速焙烧可以实现在焙烧过程中降硫的目的,铁精矿硫含量低于 0.20%,同时可以获得比常规焙烧高 4.72 个百分点的回收率。

参 考 文 献

- [1] 余永富.我国铁矿石选矿技术进步及亟待解决的问题[J].矿业工程,2006(8):1-7.
- [2] 姚培慧.中国铁矿志[M].北京:冶金工业出版社,1993.
- [3] 菱铁矿床学术会议论文集编辑组.菱铁矿床学术会议论文集[M].北京:科学出版社,1983.
- [4] 黑色金属矿石选矿试验编写组.黑色金属矿石选矿试验[M].北京:冶金工业出版社,1978.
- [5] 罗立群.菱铁矿的选矿开发研究与发展前景[J].金属矿山,2006(1):68-72.

(收稿日期 2006-11-25)