

# ① 威远菱铁矿选矿和烧结性能的研究

99-105

文光远 欧阳奇<sup>✓</sup> 周培土  
(重庆大学材料科学与工程学院, 重庆, 400044)

TD 951.1  
TF 521.2

**摘要** 在实验室对威远菱铁矿进行了焙烧、选矿、烧结和冶金性能的试验研究, 提出了威远菱铁矿各种可供选择的利用流程与方法。

**关键词** 菱铁矿; 焙烧; 选矿; 烧结 / 冶金性能

**中国图书资料分类法分类号** TD951; TF521

## 0 引言

四川威远地区有较丰富的菱铁矿资源, 其数量有数百万吨之多。开采和利用此菱铁矿不仅可以解决威远钢铁厂的铁矿石矿源问题, 而且有利于威钢经济效益的提高和促进矿产地区经济的发展。为此, 对威远菱铁矿进行了焙烧、选矿、烧结和冶金性能的试验研究, 以期找到利用威远菱铁矿的合理流程与方法。

## 1 试验内容、方法与结果

### 1.1 原矿理化性质的测定

1.1.1 化学成分 对威远送来的菱铁矿进行了两次取样和分析, 其结果例于表1。

表1 威远菱铁矿化学成份 (%)

化学成份	Fe	S	P	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	FeO	LOSS
第一次	38.30	0.066	0.169	28.57	0.36	0	0	3.26		11.69
第二次	42.10	0.215	0.172	23.64	2.42	0.30	0.22	2.09	0.51	11.42
平均	40.20	0.141	0.171	25.11	1.39	0.15	0.11	2.68	0.51	11.55

1.1.2 堆密度 对原矿(粒度 < 100 mm 部分)的堆密度进行了测定, 其结果为 1.34 t/m<sup>3</sup>。

### 1.2 焙烧试验

#### 1.2.1 小型试验

为了摸索适宜的焙烧温度和时间, 进行了小型的焙烧试验。将 < 100 mm 的菱铁矿装于金属丝吊兰里, 挂于天平上, 在高温电炉进行氧化焙烧试验。分别进行随炉升温到 700℃ 和 500℃、700℃ 及 900℃ 下的焙烧试验, 其结果列于表2。

• 收文日期 1997-12-31  
第一作者: 男, 1939年生, 教授

表2 小型氧化焙烧试验条件与结果

编号	试样质量/g	焙烧温度/℃	焙烧时间/h	失重/%
1	1096.6	随炉升到700	3.33	11.29
2	1056.1	500	1.23	10.70
3	965.1	500	1.33	9.41
4	1098.6	700	0.95	12.86
5	1085.6	900	0.50	11.29

## 1.2.2 大型试验

为了测定氧化焙烧矿的性质和烧结试验的需要,在井式加热炉中(随热处理部件一起)进行了大型氧化焙烧试验,其结果列于表3.

表3 大型氧化焙烧试验条件与结果

试样粒度/mm	试样质量/kg	焙烧温度/℃	焙烧时间/h	失重/%
<100	170	随炉加热到800 随炉冷到150 (加热和冷却)	6	11.76

## 1.2.3 焙烧矿理化性质测定

1) 化学成份 对小型和大型氧化焙烧矿进行破碎和取样分析,其结果列于表4.

表4 粒度为6~30 mm的氧化焙烧矿的化学成份 %

分析次第	Fe	S	P	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	FeO
第一次	49.70			18.25					
第二次	41.30	0.066	0.110	31.62	3.15	1.00	0.21	2.48	9.77
平均	45.45	0.066	0.110	24.94	3.15	1.00	0.21	2.49	9.77
第一次	45.20			22.86					
第二次	37.40	0.094	0.100	34.96	3.96	1.00	0.21	3.75	7.71
平均	41.30	0.094	0.100	28.91	3.96	1.00	0.21	3.75	7.71

## 2) 粒度组成和堆密度

对大型氧化焙烧矿进行了破碎(用颚式破碎机)和筛分,并测定了6~30 mm部分的堆密度,其结果为:6~30 mm部分为85.63%; <6 mm部分为14.37%; 6~30 mm部分的堆密度为1.32 t/m<sup>3</sup>.

## 1.3 选矿试验

根据威远菱铁矿的性质和铁矿石选矿的原理<sup>[1]</sup>,并从经济效益考虑,对其进行了洗选、跳汰选和磁选试验。

## 1.3.1 洗选

对<6 mm的焙烧矿进行了洗选,即将1000 g的焙烧矿在盆内用水清洗,直到水不再浑浊为止,倒出烘干,而后取分析样。其洗选结果列于表5.

表 5 粒度 &lt; 6 mm 焙烧矿洗选试验结果

试样质量/g	矿石种类	选矿比例/%	化 学 成 分/%	
			Fe	SiO <sub>2</sub>
1000	原 矿	100	37.40	34.96
	6~0.8 mm 精矿	76.88	47.40	24.00
	<0.8 mm 尾矿	14.38	13.12	61.45
	水洗走尾矿	8.75		

## 1.3.2 跳汰选

在跳汰机上进行了 < 6 mm 焙烧矿跳汰选矿试验。其结果列于表 6。

表 6 粒度 &lt; 6 mm 焙烧矿跳汰选试验结果

试样质量/g	矿石种类	选矿比例/%	化 学 成 分/%	
			Fe	SiO <sub>2</sub>
1000	原 矿	100	37.40	34.96
	水带走部分	1.1		
	第二个槽筛下部分	1.0		
	第一个槽筛下部分	61.06	36.00	
	两个槽筛上部分	23.5	44.40	

## 1.3.3 磁选

## 1) 氧化焙烧矿的磁选

在小型磁选机(磁场强度 0.12 MA/m)上对 < 6 mm 的氧化焙烧矿进行了磁选试验。结果表明, 氧化焙烧矿的磁选效果极差(见表 7)。

## 2) 还原焙烧矿的磁选

为了增强焙烧矿的磁性, 将菱铁矿在还原条件下进行焙烧, 以获取还原焙烧矿, 然后对其 < 6 mm 部分进行了磁选试验。菱铁矿的还原焙烧是在铅丝电炉上进行的, 即将菱铁矿和一定比例的混合煤(无烟煤 + 焦粉)装于电炉上的粘土石墨坩锅中, 盖上封罩, 然后加热焙烧。

先后进行了两次菱铁矿的还原焙烧和相应还原焙烧矿的磁选试验。结果表明, 还原焙烧矿的磁选效果较好(见表 7)。

表 7 氧化和还原焙烧矿磁选试验结果

矿石种类	焙烧温度/℃	配煤量/%	试样粒度/目	试样质量/g	精矿出率/%	精矿化学成分/%		
						Fe	SiO <sub>2</sub>	FeO
氧化焙烧矿	700		-80	100	4.4	51.8	13.91	5.92
还原焙烧矿(1)	700	15	-80	100	35.6	57.1	10.48	9.39
还原焙烧矿(2)	700	25	-80	100	20.0	58.2		

## 1.4 烧结试验

按项目合同的要求是, 对 < 6 mm 而含铁量 ≥ 50% 的焙烧矿(即选矿后得到的精矿)进行

烧结试验。但由于烧结试验的矿粉需要量大,每次试验要用 10 kg 左右,显然,选矿试验是不可能满足如此需要的。因此,只好将氧化焙烧矿约 100 kg 全部破碎到 <6 mm,用来代替精矿进行了烧结试验。

烧结试验是在抽风烧结杯上进行。烧结杯上口直径 200 mm,下口直径 180 mm,高 400 mm,可装料约 14 kg。装料时先装粒度 10~12.5 mm 重量为 600 g 的铺底料,最后在表面装点火焦粉 150 g。用汽油喷灯点火,时间 1.5 min。点火前将真空度调到 800 mm H<sub>2</sub>O(7.85 kPa)。烧结终点后继续抽风使烧结矿冷却,当废气温度降到 200℃ 时停止抽风,再自然冷却到室温。然后,倒出烧结矿进行下一步试验。

以 >10 mm 部分所占烧结物的百分比作为烧结矿的成品率;将 >10 mm 的全部烧结矿装于一个 2 m 高的箱合里,然后落下,连续落下三次后进行筛分,以 >5 mm 部分所占的百分比作为落下指数;取作完落下试验后 >10 mm 的烧结矿 2 kg,装于 Φ400 mm × 300 mm 的转鼓中,以 25 r/min 转 4 min,然后进行筛分,以 >5 mm 所占的百分比作为转鼓指数。

分别进行了自然碱度、1.3 碱度和 1.8 碱度烧结矿的烧结试验。每次试验均先烧结返矿,而后烧结正样。烧结试验及其烧结矿理化性质测试结果列于表 8。为了进行比较,表中列入了重钢烧结试验的烧结矿。

表 8 烧结试验及其烧结矿理化性质测试结果 %

烧结矿种类	烧结料中 焦粉配比	烧结矿化学成分				烧结矿 成品率	烧结矿落 下指数	烧结矿转 鼓指数
		Fe	FeO	S	P			
自然碱度	8	44.57	12.47	0.11	0.132	63.31	87.90	72.50
1.3 碱度	8	32.40	6.43	0.202	0.081	77.46	92.73	90.50
1.8 碱度	8	29.60	5.14	0.230	0.103	78.82	84.38	89.25
重钢 1.7 碱度	6.5	48.80	11.06	0.126		70.60	89.10	86.10

### 1.5 铁矿石冶金性能测试

按照铁矿石质量和冶金性能检验的通常准则<sup>[2]</sup>,对 6~30 mm 氧化焙烧矿和三个烧结矿的还原性、低温还原粉化性和软化性进行了测试。

#### 1.5.1 还原性试验

试样粒度为 10~12.5 mm,质量为 500 g;还原气体由压缩空气在 900℃ 与木炭反应制取获得;还原温度 900℃;还原时间 180 min。

#### 1.5.2 低温还原粉化性试验

采用静态法,试样先经过还原,而后再作转鼓试验。试样粒度为 10~12.5 mm,质量为 500 g;还原剂成份和流量与还原性试验相同;还原温度为 500℃;还原时间为 60 min。还原试样冷却后,将其装入冷转鼓内,以 30 r/min 的转速转 10 min;然后取出进行筛分,以 <3 mm 部分作为低温还原粉化率,即 RDI 指数。

#### 1.5.3 软化试验

试样的粒度 0.8~2 mm;将试样装入刚玉坩埚(Φ35 mm × 50 mm,底部有 5 个均布的 Φ1 mm 的通气孔)内,使其料柱高度为 25 mm;将装好试样的坩埚置于电炉内;然后,在荷重(~200 kPa)、还原气体(H<sub>2</sub>,流量为 5 × 10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup>/min)和加热的条件下测定试样的软化性能。以

试样料柱高度的压缩率为原高度的4%时试样的温度,作为试样的开始软化温度( $t_{\text{开}}$ );以压缩率为原高度的40%时试样温度,作为度样的软化終了温度( $t_{\text{终}}$ );以( $t_{\text{终}} - t_{\text{开}}$ )作为试样的软化温度区间( $t_{\text{区}}$ )。

铁矿石冶金性能的测试结果列于表9。为了便于比较,表中列入了重钢的烧结矿。

表9 铁矿石冶金性能测试结果

铁矿石种类	还原度/%	低温还原粉 化率 RDI/%	软 化 性 能/℃		
			$t_{\text{开}}$	$t_{\text{终}}$	$t_{\text{区}}$
6~30 氧化焙烧矿	100.00	18.37	890	1 038	148
自然碱度烧结矿	75.92	38.84	992	1 098	106
1.3 碱度烧结矿	87.50	27.89	1 010	1 095	85
1.8 碱度烧结矿	60.26	14.00	1 028	1 105	77
重钢 1.7 碱度烧结矿	82.19		1 130	1 175	45

## 2 分析讨论

### 2.1 威远菱铁矿的理化性质

威远菱铁矿为灰而略带黄色,质地松软,易破碎,其堆密度为 $1\ 340\ \text{kg}/\text{m}^3$ 。由表1可见,此种矿石含铁量较高,约为40%;含S、P较低。但是,烧损(Loss)低,只有约11.5%,这表明只有约1/3的Fe以 $\text{FeCO}_3$ 的形式存在,而其余约2/3的铁是以 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的形式存在,所以,这实际上是一种赤铁矿与菱铁矿的复合矿,而不是单一的菱铁矿。 $\text{SiO}_2$ 的含量高达26%左右,这是此种铁矿的最大缺陷,显然,在冶炼之前的准备处理过程中,能否将其 $\text{SiO}_2$ 的含量降低,是此种铁矿石能否有效利用的一个关键问题。

### 2.2 威远菱铁矿的焙烧性能

氧化焙烧试验结果表明(见表2),威远菱铁矿中的 $\text{FeCO}_3$ 易于分解,即LOSS易除去。在 $900^\circ\text{C}$ 下,只需30 min LOSS就可全部除掉;在 $700^\circ\text{C}$ 下约需60 min,而在 $500^\circ\text{C}$ 下也只需要约90 min。

由表2还可以看出,菱铁矿在 $500^\circ\text{C}$ 下焙烧时,尚有1%~2%的LOSS(即 $\text{CO}_2$ )未被除去。这是由于剩下的 $\text{CO}_2$ 是 $\text{MnCO}_3$ 、 $\text{MgCO}_3$ 和 $\text{CaCO}_3$ 中的 $\text{CO}_2$ ,这些碳酸盐要在更高的温度下才能分解,故这部分 $\text{CO}_2$ 需要在更高的温度下才能除掉。由此可以认为威远菱铁矿适宜的氧化焙烧温度是 $700^\circ\text{C}$ 。假设实际生产中菱铁矿焙烧时热的利用率为50%,焙烧温度为 $700^\circ\text{C}$ ,则根据威远菱铁矿的化学成分和有关物理化学数据,计算出氧化焙烧的热耗量和相应配煤量为:热耗量 $1.72 \times 10^6\ \text{kJ}/\text{t}$ ;配煤量 $58.78\ \text{kg}(\text{标煤})/\text{t}$ 。

综上所述,威远菱铁矿氧化焙烧的适宜条件和参数如表10所列。

表10 威远菱铁矿氧化焙烧的条件和参数

矿石粒度/mm	焙烧温度/℃	焙烧时间/h	热耗量/ $\text{GJ}\cdot\text{t}^{-1}$	配煤量(标煤)/ $\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$
<100	700	1	1.72	58.78

### 2.3 焙烧矿的可选性能

选矿试验结果(表5~7)表明,威远菱铁矿的氧化焙烧矿由于Fe主要以 $Fe_2O_3$ 存在,故磁性弱,不适宜磁选;跳汰选矿的效果也欠佳。但是由于质地疏松,泥沙含量大,用水洗选矿可以取得较好的效果。 $<6\text{ mm}$ 氧化焙烧矿水洗试验显示,用水冲洗可以去掉松软的泥质土壤等比重轻粒度细的物质,而烘干后再筛去 $<0.8\text{ mm}$ 部分,可去除大量石英沙粒,因而可获得较为理想的选矿效果;精矿含铁量比原矿提高了10%,达到47.4%;而 $SiO_2$ 比原矿降低了约10%,即降到了25%以下。

由水洗选矿的结果可以设想,菱铁矿氧化焙烧后,假如将其破碎到 $<20\text{ mm}$ ,而不是 $<30\text{ mm}$ ,再对 $<6\text{ mm}$ 部分进行水洗,可以断定将获得Fe含量更高而 $SiO_2$ 含量更低的精矿;若将焙烧矿全部破碎到 $<6\text{ mm}$ ,而后全部进行水洗,其选矿效果将更佳,可以预期其精矿的Fe含量将达到50%左右,而 $SiO_2$ 含量将降到20%以下。

$<6\text{ mm}$ 还原焙烧矿的磁选试验表明,还原焙烧的条件控制适当时可以获得很好的磁选效果,其精矿的铁含量将达到58%左右, $SiO_2$ 含量将降到约10%。可以象土法炼焦法一样进行还原焙烧,即将煤粉和菱铁矿掺和在一起,在隔绝空气的条件下加热和冷却;然后筛去煤粉,进行下一步处理;筛出的煤粉可作民用燃料。表11是根据试验结果推荐的菱铁矿土法还原焙烧及其焙烧矿磁选的条件和参数。

表11 菱铁矿还原焙烧及其焙烧矿磁选的条件和参数

还原焙烧条件和参数					选矿条件和参数	
矿石粒度 /mm	焙烧温度 /°C	焙烧时间 /h	焙烧耗热 /GJ·t <sup>-1</sup>	还原配煤量 /kg·t <sup>-1</sup>	矿石粒度 /目	磁场强度 /MA·m <sup>-1</sup>
<50	70	1.5	1.72	150	<100	~0.12

威远菱铁矿还原焙烧后的磁选效果比较好,这说明铁氧化物和 $SiO_2$ 的晶粒粗,容易磁选分离,而不象普通矿那样不容易分离。因此,若菱铁矿藏量大,应采用现代的磁化焙烧-磁选法,从而获得更好的选矿效果和更佳的经济效益。

### 2.4 氧化焙烧矿的烧结性能

烧结试验结果表明(见表8),氧化焙烧矿破碎到 $<6\text{ mm}$ 以后,有很好的烧结性能,与重钢的铁矿粉比较,其烧结性能相差无几,甚至更好;因为威钢焦粉的固定C含量低而重钢焦粉固定C含量高,故两者的配C量实际上是差不多的。

在同样的燃料配比条件(8%)下,随着碱度的提高,氧化焙烧矿的烧结矿其成品率和强度提高,这与一般的规律是相符合的。但1.8碱度烧结矿的强度有所下降,这可能是由于铁矿粉 $SiO_2$ 含量高,因而石灰石粉用量太高所致。

### 2.5 氧化焙烧矿和其烧结矿的冶金性能

由铁矿石冶金性能的测试结果(表9)可见,总的来看,6~30mm氧化焙烧矿和烧结矿的冶金性能较好。氧化焙烧矿的还原性特别好,其还原度达到100%;低温还原粉化率低;但软化性差。烧结矿随着碱度的提高,其冶金性能显著改善;但需要指出的是1.8碱度烧结矿的还原性异常,反而显著降低,这可能是由于测试时条件未控制准确所致。

### 3 结 论

- 1) 威远菱铁矿 Fe 含量高, S、P 含量较低; 烧损低, 实际上是赤铁矿和菱铁矿的复合矿, 而不是单一的菱铁矿;
- 2) 威远菱铁矿  $\text{SiO}_2$  含量高达 26% 左右, 是该种矿石的最大缺陷;
- 3) 威远菱铁矿氧化焙烧后, 用水洗选矿法可以获得 Fe 含量高而  $\text{SiO}_2$  含量低的精矿。若全部破碎到  $<6 \text{ mm}$ , 经过水洗  $\rightarrow$  干燥  $\rightarrow$  筛去  $<0.8 \text{ mm}$  部分, 可获得 Fe 含量 50% 左右,  $\text{SiO}_2$  含量  $<20\%$  的精矿, 其精矿选出率可达 70%;
- 4) 威远菱铁矿通过土法还原焙烧-磁选可获得 Fe 含量为 58% 左右、 $\text{SiO}_2$  含量约 10% 的精矿, 其精矿选出率可达 35% ~ 40%。若采用现代的磁化焙烧-磁选法, 其选矿效果和经济效益将更佳;
- 5) 6~30 mm 氧化焙烧矿的还原性特别好, 在冶金部颁布的测试条件下, 还原度达到 100%; 低温还原粉化率低, RDI 只有 18.37%; 但软化性能差, 开始软化温度只有  $890^\circ\text{C}$ , 而软化温度区间高达  $148^\circ\text{C}$ ;
- 6) 威远菱铁矿的氧化焙烧矿的烧结性能好, 在 8% 燃料配比条件下, 烧结矿的成品率高, 机械强度高, 冶金性能好。总的来看, 随着碱度由自然碱度提高 1.8, 其烧结矿的成品率、机械强度、还原性、低温还原粉化性和软化性均逐步提高和改善。

### 参 考 文 献

- 1 Г. Г. ЕФИМЕНКО И ДР. *Металлургия чугуна*. Киев: Головное издательство издательского объединения «Вища школа», 1981, 70~81
- 2 王筱留. *钢铁冶金学(炼铁部分)*. 北京: 冶金工业出版社, 1991, 66~71

## Study on the Properties on Beneficiation and Sintering of WeiYuan Siderite

Wen Guangyuan      Ou Yangqi      Zhou Peitu  
(College of Material Science and Engineering, Chongqing University)

**ABSTRACT** Roasting, beneficiation, sintering and metallurgical properties of WeiYuan siderite are experimentally studied in the Lab, and all kinds of the utilizing circuits and methods which can be choosed for WeiYuan siderite are posed.

**KEYWORDS** siderite; roasting; beneficiation; sintering / metallurgical properties

(责任编辑 吕赛英)