

# 白马钒钛磁铁精矿烧结试验研究

何木光 林千谷 张义贤

(攀枝花新钢钒公司炼铁厂)

**摘要** 通过烧结试验研究,掌握了白马钒钛磁铁精矿的烧结特性。白马精矿与攀钢目前使用的攀精矿相比,具有 TFe、V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量高, TiO<sub>2</sub>、MgO、SiO<sub>2</sub>、S 含量低等特点。配加白马精矿替代攀精矿烧结,垂直烧结速度加快,利用系数提高,烧结矿强度改善。因此,配加白马精矿烧结有利于改善料层透气性,强化生产,降低成本。

**关键词** 钒钛磁铁精矿 铁酸盐相 烧结试验

## 1 前言

白马矿作为攀钢的后续矿山,已经过几年的洞采。投产初期的白马精矿仅够攀钢生产球团之需,目前,经合理安排采掘计划、搞好采场块粉矿分离以及优化磨选工艺参数等技术攻关,其年产量明显增加,具备了年供应烧结生产 100 万 t 的能力。白马精矿与当前使用的攀精矿相比,具有 TFe、V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量高, TiO<sub>2</sub>、MgO、SiO<sub>2</sub>、S 含量低等特点,属于高品位钒钛磁铁矿。随着洞采程度的推进,尽管攀枝花钢铁研究院与炼铁厂曾就 55 品位的白马精矿烧结进行过试验<sup>[1]</sup>,但铁精矿的成分和粒度等都发生了变

化,尤其是品位提高了 3~4 个百分点,-200 目粒级比例增加了近 10 个百分点。为了用好白马矿,同时最大限度地降低企业生产成本,我们于 2008 年年初再次组织开展了白马精矿的烧结试验,以期为进一步的生产应用提供科学依据。

## 2 试验条件及方案

### 2.1 试验条件

试验所用的白马精矿取自米易的白马矿,其他原料均取自攀钢生产现场。为了减少原料理化指标波动给试验带来的影响,所有原料均一次性取回。试验所用原料的化学成分列于表 1,两种钒钛磁铁精矿的粒度组成列于表 2。

表 1 试验所用原料的化学成分 (%)

名称	TFe	CaO	SiO <sub>2</sub>	FeO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	S	P	Ig
攀精矿	53.92	1.15	3.34	32.81	2.61	4.23	0.57	12.91	0.67	0.0027	-1.13
白马精矿	58.96	0.56	1.65	27.16	1.25	3.32	0.81	10.75	0.28	0.0031	-1.27
澳矿	62.23	0.21	3.91	0.53	0.30	2.37	0	0	0.03	0.08	4.31
国高	58.72	3.27	6.47	20.61	1.86	2.20	0	0	0.69	0.068	2.69
筛加	48.29	2.19	16.63	1.97	0.51	4.51	0	0	0.17	0.072	3.59
瓦斯灰	35.54	6.08	7.12	6.27	1.61	3.41	0.21	3.72	0.34	0.039	23.71
石灰石	0.82	53.25	1.26	0	1.36	0.62	0	0	0	0	41.82
生石灰	0.63	87.15	1.82	0.21	0.53	0.51	0	0	0	0	7.91

表 2 两种钒钛磁铁精矿物理性能对比

名称	堆密度 / t·m <sup>-3</sup>	粒度组成/ %						
		>0.149mm	0.125~0.149mm	0.105~0.125mm	0.091~0.105mm	0.088~0.091mm	0.074~0.088mm	<0.074mm
攀精矿	1.99	2	4	4	6	14	17	53
白马精矿	2.02	1	1	3	5	5	16	69

收稿日期:2008-12-01 联系人:张义贤(617023)

攀枝花新钢钒公司炼铁厂

由表可知,白马精矿的含铁品位较攀精矿高 5.04 个百分点;SiO<sub>2</sub> 低 1.69 个百分点,这对于提高烧结矿品位非常有利;同时,白马精矿粒度细,-200 目粒级比攀精矿高 16%,且其颗粒边缘呈锯齿状,有利于混合料制粒。

烧结试验在  $\varnothing 250 \times 750$  mm 烧结杯中进行,根据实际生产情况,铺底料粒度为 10 ~ 20 mm,铺底料厚 20 mm;点火负压 6 860 Pa,烧结负压 13 720 Pa,点火时间 2 min。

## 2.2 试验方案

表 3 试验方案及配比(%)

序号	攀精矿	白马精矿	筛加	澳矿	国高	瓦灰	石灰石	生石灰	焦粉
基准期	53.0	0	5.0	12.0	10.0	4	7.50	7	5.00
试验 1	36.3	20	8.5	8.7	6.5	4	8.25	7	5.00
试验 2	28.0	30	10.1	6.9	5.0	4	8.5	7	5.00
试验 3	19.6	40	11.9	5.0	3.5	4	8.9	7	5.00

## 3 试验结果及分析

### 3.1 单烧试验

试验所用的两种铁精矿的单烧性能指标对比见表 4。

表 4 两种铁精矿的单烧性能对比

原料名称	TFe / %	烧结速度 / mm min <sup>-1</sup>	利用系数 / t · (m <sup>2</sup> · h) <sup>-1</sup>	成品率 / %	转鼓强度 / %	烧结矿平均粒径 / mm
攀精矿	48.25	16.42	1.429	67.76	56.00	22.03
白马精矿	54.43	17.01	1.514	69.65	57.33	23.01

由表 4 可知,碱度为 2.40 时,白马精矿的单烧品位比攀精矿高 6.28 个百分点,TiO<sub>2</sub> 含量低于攀精矿。单烧时,白马精矿的垂直烧结速度、利用系数比攀精矿分别提高了 3.59%、5.95%;烧结矿强度也有一定程度的改善,转鼓强度提高了 1.33 个百分点,成品率上升了 1.89 个百分点,烧结矿平均粒径增加 4.45%。

因白马精矿中 -200 目粒级比攀精矿高 15 个百分点,且白马精矿的颗粒边缘多呈锯齿形,外表光滑的圆形颗粒比攀精矿少,故白马精矿更利于成球。所以在用“石灰石 + 生石灰”作为熔剂时,白马精矿具有垂直烧结速度快,利用系数高的特点。

总的来看,白马精矿的单烧性能优于攀精

矿,生产中配用该矿,将有利于烧结矿质量指标的改善。

试验分单烧和配矿两部分进行。单烧试验根据现场条件和需求,采取调整石灰石配比使单烧矿的 R<sub>0</sub> 达到 2.40 ± 0.05 (倍),焦粉配比固定为 5%。

配矿试验根据攀钢的实际生产情况,在基本平衡钒钛烧结矿 TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> 比的情况下,设定烧结矿 R<sub>0</sub> 为 2.40 ± 0.05 (倍),FeO 为 7.9 ± 1.0%,用白马精矿等比例替代攀精矿进行烧结(试验配比列于表 3)。为了确保试验的稳定性、可比性,其他试验条件相对固定。

### 3.2 配矿试验

#### 3.2.1 对混合料制粒的影响

由表 5 可知,在混合料水分保持相对一致的情况下,随白马精矿配比逐步增加,混合料中 < 1 mm 的比例明显下降,混合料的平均粒径逐渐增大。可见,白马精矿对改善钒钛磁铁精矿混合料制粒效果相当明显。

表 5 烧结混合料粒度情况

序号	混合料粒度组成 / %					D <sub>90</sub> / mm
	> 8mm	8 ~ 5mm	5 ~ 3mm	3 ~ 1mm	< 1mm	
基准期	5.00	23.00	38.50	22.50	11.00	4.11
试验 1	5.00	24.50	37.60	24.30	8.60	4.19
试验 2	5.25	25.75	34.60	30.50	3.90	4.28
试验 3	5.50	24.50	38.00	27.50	4.50	4.31

#### 3.2.2 对烧结矿化学成分的影响

由表 6 可知,随白马精矿配比提高,烧结矿 TFe、V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增加,其中,TFe 分别提高了 0.54、1.02、1.44 个百分点;V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 分别提高 0.04、0.06、0.11 个百分点;而烧结矿的 FeO、SiO<sub>2</sub>、CaO、MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、S、TiO<sub>2</sub> 都有不同程度的下降,其中,FeO、SiO<sub>2</sub>、CaO 下降趋势相对明显。研究表明,由于白马精矿的 TFe、V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量高于攀精矿,故增加白马精矿配比,可降低高品位富

矿的用量,而且对提高烧结矿品位和  $V_2O_5$  含量具有显著的效果。烧结矿中  $SiO_2$ 、 $CaO$ 、 $MgO$ 、 $Al_2O_3$ 、 $S$  逐步降低与白马精矿的化学成分有直接关系。在相同配碳量情况下,烧结矿  $FeO$  下

降趋势较为明显,反映出该矿对燃料的用量十分敏感,而且白马精矿的  $FeO$  含量低,烧结时氧化放热不及攀精矿,因此,该矿烧结时所需配碳量应高于攀精矿。

表6 烧结矿主要化学成分(%)

序号	TFe	FeO	CaO	$SiO_2$	MgO	$Al_2O_3$	S	$V_2O_5$	$TiO_2$
基准期	48.54	8.31	12.35	5.16	2.04	3.62	0.043	0.38	7.56
试验1	49.08	7.98	12.07	5.05	1.82	3.54	0.035	0.42	7.45
试验2	49.56	7.74	11.71	4.93	1.65	3.47	0.031	0.44	7.21
试验3	49.98	7.23	11.34	4.76	1.48	3.36	0.027	0.49	7.08

### 3.2.3 对烧结技术经济指标的影响

配加白马精矿代替攀精矿烧结的技术经济指标列于表7。由表可知,随白马精矿配比增加,垂直烧结速度和利用系数都上升。与基准相比,垂直烧结速度分别上升了0.78%、

0.95%、2.21%;利用系数分别上升了1.85%、2.87%、4.21%(见表7)。研究表明,白马精矿粒度细,亲水性强,较之攀精矿能更好地粘附于核粒子表面,使制粒效果改善,烧结过程得到强化。

表7 烧结技术经济指标

序号	烧结速度 / $mm \cdot min^{-1}$	利用系数 / $t \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$	成品率 / %	转鼓强度 / %	抗磨指数 / %	烧结矿平均 粒径/mm	吨矿成本 /元·吨 <sup>-1</sup>
基准期	23.06	1.949	71.72	55.00	5.67	23.54	545.78
试验1	23.24	1.985	72.54	55.33	5.53	23.83	527.89
试验2	23.28	2.005	73.27	56.00	5.43	24.14	513.42
试验3	23.57	2.031	73.36	56.34	5.37	23.89	545.78

从质量指标来看,随白马精矿配比增加,烧结矿强度逐渐改善,平均粒径增大。与基准相比,转鼓强度分别上升了0.33、1.0、1.34个百分点;成品率分别上升了0.82、1.55、1.64个百分点;烧结矿平均粒径分别增大了1.23%、2.55%、1.49%;抗磨指数略有好转;烧结矿吨矿成本分别降低了2.78%、5.96%、8.54%。

综合分析认为:增加白马精矿配比,制粒效果改善明显,混合料透气性提高,烧结料层中的氧势逐渐增强,有利于促进铁酸盐粘结相的发展,抑制钙钛矿的生成。白马精矿粒度细,表面自由能高,与极性分子作用强,易与  $CaO$  反应生成低熔点液相,从而改善烧结矿质量。烧结矿中  $TiO_2$  含量的下降,减少了钙钛矿、钛

榴石等含钛物质的生成。用白马矿替代攀精矿,同时优化配料结构,能降低烧结矿成本。

## 4 烧结矿矿相分析

对具有代表性的基准烧结矿和配20%白马精矿的烧结矿进行矿相分析,各组烧结矿的主要物相及其含量列于表8。显微结构见图1、图2。

### 4.1 烧结矿物相组成

由表8可见,配加白马精矿后,烧结矿中铁酸盐相增加了3~6个百分点,钛赤铁矿增加1~1.5个百分点,钙钛矿降低1.2~1.5个百分点,玻璃相、游离  $CaO$  略有降低。另外,硅酸盐相总量降低1~2个百分点,钛磁铁矿降低1~2个百分点。

表8 烧结矿主要物相的体积含量(%)

烧结矿	钛赤铁矿	钛磁铁矿	铁酸盐相	玻璃相	钙钛矿	钛榴石	磁黄铁矿	游离 $CaO$	硅酸盐相
基准期	23~26.5	26~28	21~26	2~3	2~2.5	偶见	偶见	1.5~2.5	15~18
试验1	24~28	25~26	24~32	1~2	0.8~1.0	未见	少见	1~1.5	14~16

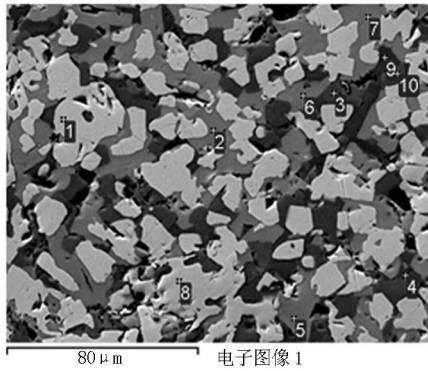


图 1 基准烧结矿的物相形貌

1、8 - 钛赤铁矿; 2 - 铁酸盐相; 2、4、9 - 钙钛矿;  
5、6、7 - 钛磁铁矿; 10 - 硅酸盐相

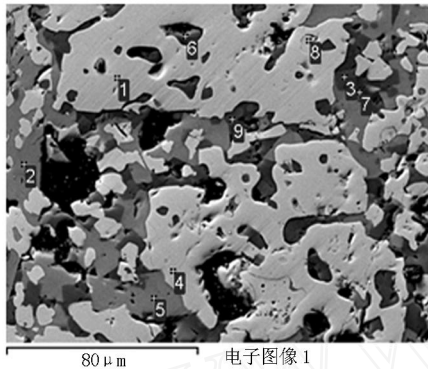


图 2 试验 1 烧结矿的物相形貌

1、4 - 钛赤铁矿; 2、5 - 铁酸盐相; 3、7、9 - 钙钛矿;  
6 - 硅酸盐相; 8 - 钛磁铁矿

#### 4.2 烧结矿矿相结构

从宏观结构来看,配攀精矿的烧结矿边部孔隙较多,以大孔厚壁结构为主,其次为大孔薄壁结构。烧结矿结构致密,残余石灰白点偶见。而配白马精矿的烧结矿边部孔隙较多,以中孔厚壁结构为主,次为大孔薄壁结构。烧结矿结构致密,残余石灰白点少见。

由显微结构可知,基准烧结矿中以半自形

晶和他形晶的钛磁铁矿(磁铁矿)为主,次为铁酸盐相和钛赤铁矿(赤铁矿)。铁酸盐相中以粒状结构、板条状结构者为主,次为柱状结构,见图 1。而配白马精矿的烧结矿中以铁酸盐相为主,次为钛赤铁矿(赤铁矿)和钛磁铁矿(磁铁矿),铁酸盐相、硅酸钙等物相较基准期有所增加。烧结矿中的含铁氧化物分布较均匀,大部分被铁酸盐相胶结,部分被硅酸盐相胶结,小部分被硅酸盐相和少许铁酸盐相胶结,烧结矿中显气孔和孔隙较多,利于针状结构铁酸盐相生成,钙钛矿含量较基准烧结矿有所减少,见图 2。矿物结构表明,配加白马精矿烧结有利于改善烧结矿的结晶能力,提高其质量指标。

## 5 结 语

(1)米易的白马精矿属于钒钛磁铁矿,较攀精矿 TFe、 $V_2O_5$  含量高, $TiO_2$ 、 $SiO_2$ 、S 含量低,其粒度细,-200 目比例达 69%。

(2)与攀精矿相比,烧结使用白马精矿后有利于强化混合料制粒,提高烧结利用系数,改善烧结矿矿物组成,提高烧结矿强度指标。

(3)增加白马精矿的配比,烧结矿的 FeO、 $SiO_2$ 、CaO、MgO、 $TiO_2$ 、S 都有下降的趋势,有利于减少高品位富矿用量,且对提高烧结矿品位和增加  $V_2O_5$  含量具有显著的效果。

(4)攀钢配加白马精矿烧结,可以降低对进口矿的依赖,同时有利于降低烧结矿成本。

### 参考文献

- 1 余文华,何群. 白马钒钛磁铁矿精矿烧结特点. 钢铁钒钛, 2000,(1):53

## Sintering Experiment on Vanadic Titanomagnetite of Bai Ma

He Muguang et al.

**Abstract** Through sintering experiment on Vanadic Titanomagnetite of Bai Ma, its sintering characteristic is revealed. Compared with the concentrates of Panzhihua's Vanadic Titanomagnetite, the Bai Ma Vanadic Titanomagnetite possess characteristics such as high content of TFe and  $V_2O_5$ , low content of  $TiO_2$ , MgO,  $SiO_2$  and S, rapid vertical sintering velocity, high productivity, good sinter strength and so on. Using Vanadic Titanomagnetite of Bai Ma was beneficial to improving permeability of sintering bed, strengthening sintering process and reducing sintering production costs.

**Keywords** Vanadic Titanomagnetite, ferrite phase, sintering experiment