

# 澳大利亚 FMG 矿粉烧结性能研究

王颖生<sup>1,2</sup> 苍大强<sup>1</sup> 赵志星<sup>2</sup> 潘文<sup>2</sup>

(1: 北京科技大学 2. 首钢总公司)

**摘 要** 在测定 FMG 矿粉与哈默斯利矿粉 HIXF 及 HIYF 烧结基础特性的基础上,通过比较分析,制定了烧结杯试验方案,以考察 FMG 矿粉取代 HIXF 及 HIYF 对首钢烧结生产技术指标的影响。结果表明:烧结矿品位增加, SiO<sub>2</sub> 含量降低, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量变化明显;烧结矿成品率上升,固体燃耗下降, RDI 指标有所改善。在首钢现有生产条件下,烧结原料中用 10% FMG 矿粉取代 HIYF 或用 15% FMG 矿粉取代 HIXF 是可行的。

**关键词** FMG 矿粉 烧结基础特性 烧结杯试验 合理配比

## 1 前 言

进入 21 世纪以来,随着钢铁工业的迅猛发展,世界铁矿资源由买方市场转向卖方市场,过去由于种种原因尚未开发的新矿藏和新矿种逐步推向市场。澳大利亚 FMG 金属集团,其属下铁矿将于 2007 年四季度开始生产,2008 年产量有望超过 3500 万 t,2009 年将升至 4500 万 t。集团目标旨在使 FMG 矿业成为世界铁矿生产和航运市场继巴西淡水河谷、力拓矿业、必和必拓之后的第四大供货商。FMG 矿所产铁块矿

与粉矿之比为 3:7,三种铁矿产品分别为:品位 61.1% 的块矿,品位 60.2% 和 58.7% 的粉矿。为了拓宽首钢烧结生产的用矿范围,由 FMG 公司提供样品,对品位为 60.2% 的粉矿(以下简称 FMGF)进行了实验室研究。

## 2 FMGF 的基础特性分析

### 2.1 物理性能

三种矿粉的化学成分和粒度组成分别见表 1 和表 2。

表 1 铁矿粉化学成分(%)

| 矿粉名称 | TFe   | FeO  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | S     | P     | 烧损    | Fe <sub>烧后</sub> | Fe <sub>单烧</sub> |
|------|-------|------|------------------|--------------------------------|------------------|-------------------|-------|-------|-------|------------------|------------------|
| FMGF | 60.14 | 0.27 | 3.05             | 1.90                           | 0.019            | 0.013             | 0.025 | 0.044 | 8.30  | 65.58            | 62.1             |
| HIYF | 58.35 | 0.36 | 4.85             | 1.26                           | 0.008            | 0.005             | 0.021 | 0.038 | 10.16 | 64.95            | 60.0             |
| HIXF | 62.28 | 0.29 | 4.22             | 2.32                           | 0.012            | 0.008             | 0.026 | 0.08  | 4.96  | 65.53            | 60.7             |

表 2 铁矿粉粒度组成(%)

| 矿粉名称 | >8mm  | 8~5mm | 5~3mm | 3~1mm | 1~0.1mm | <0.1mm |
|------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|
| FMGF | 7.70  | 15.35 | 13.40 | 18.45 | 27.65   | 17.45  |
| HIYF | 16.20 | 17.00 | 19.24 | 32.00 | 10.33   | 5.23   |
| HIXF | 0.68  | 5.37  | 12.25 | 26.80 | 31.75   | 23.15  |

由表 1 可以看出,FMGF 烧损较大,接近褐铁矿粉。与澳大利亚褐铁矿粉 HIYF(扬迪粉)相比,其焙烧后品位(Fe<sub>烧后</sub>)高于 HIYF,与

HIXF(哈默斯利混合粉)相当。由于 FMGF 的 SiO<sub>2</sub> 含量要低于 HIYF 和 HIXF,因此在 R = 1.9 时,其单烧品位(Fe<sub>单烧</sub>)比 HIYF 和 HIXF 都高。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量则介于二者之间,其它杂质含量相近,没有明显缺点。因此从化学成分考虑,可以认为 FMGF 略优于 HIYF 和 HIXF。粒度组成则 FMGF 明显比 HIXF 粗,比 HIYF 细。

### 2.2 烧结基础特性

不同铁矿粉在烧结过程中的高温行为可以通过同化性和液相流动性等烧结基础特性来衡量<sup>[1~3]</sup>。对 FMGF 与 HIYF 及 HIXF 进行了烧结最低同化温度和液相流动性对比试验。试验

收稿日期:2007-11-22 联系人:赵志星(100041)

北京市石景山区首钢技术研究院

本研究系国家科技支撑计划项目资助(2006BAE03A01)

测得 FMGF 最低同化温度为 1 145 ℃,HIYF 1 135 ℃,HIXF 1 233 ℃,三种铁矿粉同化能力都较强,其中 HIYF 最强,FMGF 次之,HIXF 最差。

三种铁矿粉的液相流动性试验结果列于表 3。由表中数据可以看出,与 HIXF 相比,FMGF 液相流动性较好,低温下 FMGF 液相流动性比 HIYF 稍差。但温度升高后两者的流动性相近。

表 3 矿粉的液相流动性

| 矿石代号 | 液相流动特性 |       |       |       |
|------|--------|-------|-------|-------|
|      | 温度/℃   | R=4.0 | R=5.0 | R=6.0 |
| HIXF | 1250   | 0.306 | 0.430 | 0.921 |
|      | 1280   | 0.498 | -     | -     |
|      | 1310   | 0.748 | -     | -     |
| HIYF | 1250   | 2.347 | 4.789 | 5.077 |
|      | 1280   | 3.127 | -     | -     |
|      | 1310   | 3.823 | -     | -     |
| FMGF | 1250   | 0.196 | 0.925 | 2.002 |
|      | 1280   | 1.795 | -     | -     |
|      | 1310   | 3.294 | -     | -     |

研究结果表明,FMGF 的烧结基础特性比 HIYF 差,比 HIXF 略好。从 HIXF 和 HIYF 的使用效果推测,烧结生产配加适量 FMGF 是可行的。

### 3 烧结杯试验

#### 3.1 试验条件

烧结杯试验条件如下:

杯径:∅300 mm

铺底料量:2 kg

料层高度:600 mm

点火温度:1000±50 ℃

点火负压:500 mm H<sub>2</sub>O

点火时间:2.5 min

烧结负压:800 mmH<sub>2</sub>O

落下:2 m 高度 2 次

返矿量:20%

返矿粒度:-5 mm

生石灰配比:3.5%

混合料含碳:3.6%

碱度:1.90±0.05

混合料水分:7.2%

#### 3.2 试验用其它原料

试验共用 9 种原燃料,其中铁料有:HIXF、HIYF、FMGF、SSF(巴西标准烧结粉)、高炉结末共五种;熔剂有:低镁灰石、白云石和白灰三种;燃料为焦末。其化学成分列于表 4。

表 4 试验用原燃料的化学成分(%)

| 原料名称  | TFe   | FeO  | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 烧损    |
|-------|-------|------|------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|
| SSF   | 64.43 | 0.47 | 3.38             | 0.26  | 0.099 | 0.91                           | 2.06  |
| 高炉结末  | 57.10 | 6.61 | 4.89             | 8.110 | 1.970 | 1.90                           | 0.92  |
| 白云石   | -     | -    | 1.55             | 32.56 | 19.45 | 0.91                           | 45.12 |
| 低镁灰石  | -     | -    | 1.62             | 47.98 | 5.23  | 0.96                           | 43.31 |
| 白灰    | -     | -    | 5.20             | 67.29 | 3.95  | 2.29                           | 19.30 |
| 焦粉灰成分 |       |      | 38.56            | 3.22  | 1.04  | 37.88                          | 76.5  |

#### 3.3 烧结杯试验方案

共安排 6 组试验,其中基准方案为首钢北京地区烧结生产当时料比,在保持澳大利亚矿粉配比合计 55%的前提下,方案 1 和方案 2 考察 FMGF 替代 HIYF 的试验效果,方案 3~方案 5 考察 FMGF 替代 HIXF 的试验效果。具体配比见表 5。

表 5 试验方案(%)

| 铁料   | 基准 | 方案 1 | 方案 2 | 方案 3 | 方案 4 | 方案 5 |
|------|----|------|------|------|------|------|
| HIXF | 30 | 30   | 35   | 25   | 20   | 15   |
| HIYF | 25 | 15   | 0    | 25   | 25   | 25   |
| SSF  | 15 | 15   | 15   | 15   | 15   | 15   |
| FMGF | /  | 10   | 20   | 5    | 10   | 15   |
| 高炉结末 | 30 | 30   | 30   | 30   | 30   | 30   |

#### 3.4 烧结杯试验与分析

烧结杯试验结果列于表 6。

表 6 烧结杯试验结果

| 方案 | 垂烧速度<br>/mm·min <sup>-1</sup> | 成品率<br>/% | 转鼓指数<br>/% | 固体燃耗<br>/kg·t <sup>-1</sup> | 利用系数<br>/t·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> | 透气性指数 |
|----|-------------------------------|-----------|------------|-----------------------------|---------------------------------------------|-------|
| 基准 | 21.88                         | 82.3      | 82         | 56.2                        | 1.70                                        | 20.73 |
| 1  | 20.46                         | 83.9      | 82         | 55.5                        | 1.64                                        | 19.37 |
| 2  | 19.23                         | 82.1      | 82         | 56.1                        | 1.51                                        | 15.47 |
| 3  | 22.16                         | 83.3      | 82         | 53.1                        | 1.72                                        | 17.20 |
| 4  | 22.44                         | 84.4      | 82         | 52.7                        | 1.75                                        | 16.87 |
| 5  | 22.61                         | 84.2      | 82         | 52.4                        | 1.69                                        | 15.76 |

1)透气性指数

与基准方案相比,用FMGF替代HIYF和HIXF后混合料透气性指数均变差。

2)垂烧速度

与基准方案相比,用FMGF替代HIYF后,一方面混合料透气性恶化,另一方面由于FMGF液相流动性较HIYF差,烧结过程中阻力有所增加,烧结时间延长,垂烧速度下降;而用FMGF替代HIXF后,虽然混合料透气性指数也在恶化,但FMGF液相流动性较HIXF好,烧结时间缩短,垂烧速度反而上升。

3)成品率和固然燃耗

与基准方案相比,方案1用10%FMGF取代10%HIYF后,烧结时间延长,烧结过程中有效液相量增加,成品率有所上升,因此固体燃耗略有下降。方案2用20%FMGF+5%HIXF替代25%HIYF,虽然烧结时间延长,但易生成液相的铁矿粉(FMGF+HIYF)含量下降5%,烧结过程中有效液相量并未增加,故成品率变化不大,固体燃耗变化也不明显。

用FMGF替代HIXF后,由于整个混合料中易生成液相的铁矿粉(FMGF+HIYF)含量增加,虽然混合料烧损增大,烧结矿生成量有所降低,烧结时间缩短,但有效液相量增加,成品率上升幅度较大,固体燃耗仍然呈下降趋势。

4)转鼓指数和利用系数

几个方案的烧结矿转鼓指数均很稳定,可以认为在本试验条件下配加20%以下的FMGF对烧结矿强度无不利影响。

与基准方案相比,用FMGF替代HIYF后成品率上升,烧损下降,但均不如垂直烧结速度下降明显,因此利用系数下降。

方案3,方案4用FMGF替代HIXF后,虽然烧损增大,但成品率上升,且烧结时间缩短,故利用系数上升。方案5中FMGF和HIYF配比增加到40%,成品率没有降低,烧损进一步增加,烧结速度增加不明显,利用系数下降,回到基准水平。说明烧结配矿中,应对液相生成量和烧损综合考虑,以免影响烧结矿产量。

烧结矿粒度组成见表7。总体来看,除方案2外,<5mm粒级明显下降。用FMGF替代

HIXF后烧结矿中>40mm的粒级明显增加,方案4尤为突出。

表7 烧结矿粒度组成表(%)

| 项目  | >40mm | 40~25mm | 25~15mm | 15~10mm | 10~5mm | <5mm  |
|-----|-------|---------|---------|---------|--------|-------|
| 基准  | 22.85 | 16.69   | 14.26   | 12.16   | 16.29  | 17.75 |
| 方案1 | 25.34 | 14.76   | 13.23   | 13.47   | 17.08  | 16.12 |
| 方案2 | 22.41 | 19.26   | 14.48   | 10.30   | 15.70  | 17.85 |
| 方案3 | 25.78 | 17.73   | 14.94   | 8.95    | 15.93  | 16.67 |
| 方案4 | 30.03 | 14.60   | 14.69   | 8.17    | 16.91  | 15.59 |
| 方案5 | 24.34 | 17.57   | 15.18   | 9.16    | 17.99  | 15.76 |

烧结矿化学成分列于表8。由表可以看出,用FMGF代替HIYF或HIXF,烧结矿中SiO<sub>2</sub>含量下降,品位上升,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>变化趋势均与理论计算结果一致。

表8 烧结矿化学成分(%)

| 项目  | TFe   | FeO  | CaO  | SiO <sub>2</sub> | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | R    |
|-----|-------|------|------|------------------|------|--------------------------------|------|
| 基准  | 56.68 | 7.18 | 9.57 | 5.12             | 2.02 | 1.83                           | 1.87 |
| 方案1 | 57.52 | 8.12 | 8.97 | 4.82             | 2.04 | 1.90                           | 1.86 |
| 方案2 | 57.65 | 7.04 | 8.91 | 4.78             | 1.97 | 1.99                           | 1.86 |
| 方案3 | 56.82 | 7.83 | 9.56 | 5.00             | 2.06 | 1.82                           | 1.91 |
| 方案4 | 57.10 | 6.86 | 9.22 | 4.76             | 1.92 | 1.77                           | 1.94 |
| 方案5 | 57.23 | 8.55 | 9.01 | 4.70             | 1.92 | 1.71                           | 1.92 |

3.5 RDI检测

对试验样品进行了低温还原粉化指数测定,结果见表9。

表9 烧结矿低温还原粉化指数

| 试样名称 | 还原粉化指数(%)           |                      |                     |
|------|---------------------|----------------------|---------------------|
|      | RDI <sub>+6.3</sub> | RDI <sub>+3.15</sub> | RDI <sub>-0.5</sub> |
| 基准   | 15.27               | 53.00                | 8.88                |
| 方案1  | 24.26               | 54.93                | 11.03               |
| 方案2  | 23.27               | 55.92                | 10.09               |
| 方案3  | 21.28               | 54.56                | 8.74                |
| 方案4  | 25.05               | 58.59                | 7.89                |
| 方案5  | 18.56               | 55.96                | 8.56                |

由表中数据可以看出,配加FMGF代替HIYF或HIXF,烧结矿RDI<sub>+3.15</sub>指标都有不同程度的改善,方案4较为突出。RDI<sub>-0.5</sub>在替代HIXF时变化不明显,替代HIYF时明显变差。

## 4 结 语

从铁矿粉烧结基础特性看,FMGF 比 HIYF 差,比 HIXF 好;从化学成分角度看,FMGF 要比 HIYF 和 HIXF 好;从矿粉造球性能看,则 FMGF 比 HIYF 和 HIXF 都差。烧结杯试验结果表明,用 FMGF 替代 HIYF 后,利用系数有所下降;用 FMGF 替代 HIXF 则利用系数上升。可以认为在本试验条件下,用 10% FMGF 取代 HIYF 或用 15% FMGF 取代 HIXF 都是可行的。需要注意的是,铁矿粉中褐铁矿比例不宜超过

40%,最好不超过 35%。该试验结果为首钢拓展烧结生产用矿范围提供了依据,为首钢烧结生产配用 FMGF 提供了技术准备。

### 参考文献

- 1 吴胜利等. 铁矿粉烧结液相流动性的试验研究. 第七届全国炼铁精料学术会议论文集(2001.9). 秦皇岛:中国金属学会,31~35
- 2 吴胜利等. 铁矿粉与 CaO 同化能力的试验研究. 北京科技大学学报,2002(3):258~261
- 3 吴胜利等. 韶钢烧结优化配矿新技术的研究开发. 全国炼铁原料学术会议论文集(2005.8)昆明:中国金属学会,73~77

## Study on Sintering Characteristics of Australian FMG Ore Fines

Wang Yingsheng et al.

**Abstract** In this paper, sintering fundamental characteristics of FMGF ore fines is compared with those of the two Australian ores named as HIXF and HIYF, on the basis of which sintering pot test plan is worked out. By sintering pot test, the effect of FMGF in place of HIXF and HIYF on sintering parameters is analyzed. It is concluded that the replacement of HIYF or HIXF with FMGF has brought about the increase of sinter grade and yield, the decrease of  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and solid fuel consumption, and the slight improvement of RDI. Under the existing sintering process in Shougang, it will be advisable that HIYF is replaced with 10% FMGF or HIXF replaced with 15% FMGF.

**Keywords** FMG ore fines, sintering fundamental characteristic, sintering pot test, rational proportioning

## 世界最大热压块铁生产设备投产

据设在奥地利林茨的西门子技术公司称,世界最大的热压块铁生产设备已经在俄罗斯投产。该生产设备位于莫斯科南方约 700km 的 Lebedinsky 采矿和加工联合企业(Lebedinsky GOK)之内,热压块铁产能为 140 万 t/a。

西门子公司与美加的米德雷克斯公司作为主供应商,向 Lebedinsky 采矿和加工联合企业提供包括材料处理设备、监视设备、米德雷克斯竖炉、热压块铁出料系统、热压块系统、热压块冷却系统等设备。此外,供货方还提供工业气体压缩机、电气系统、自动化系统以及提供人员培训等。西门子公司称,热压块机生产出的热压块金属化率为 93%,在处理过程中仅产生少量粉矿,使得热压块非常适合于运输。

Lebedinsky GOK 公司是总部设在莫斯科的金属控股公司所属企业,是俄罗斯最大的采矿集团。该公司生产铁精粉、球团、热压块铁,产品供应国内外市场。新热压块铁生产所用原料为来自 Lebedinsky GOK 公司自产的球团矿。

·邱 实·