# $TiO_2$ 对烧结矿质量的影响研究*

刘周利，白晓光，李玉柱

（内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心，内蒙古 包头 014010）

**摘 要**：利用微型烧结和烧结杯两种方法研究了不同 $TiO_2$ 含量对烧结基础特性和烧结矿质量指标的影响，研究结果表明：随着铁料中 $TiO_2$ 含量的增加，同化性温度升高，液相流动性指数和铁酸钙生成能力下降，黏结相强度呈降低的趋势，连晶强度呈增加的趋势；烧结矿成品率和转鼓强度降低，固体燃耗呈增加的趋势；烧结矿矿物组成中磁铁矿含量呈增加趋势，且晶粒明显增大，铁酸钙生成量降低，钙钛矿含量呈增加的趋势，赤铁矿变化不明显；烧结矿低温还原粉化指数有变差的趋势，熔融区间变窄。

**关键词**：$TiO_2$；烧结矿；质量；研究

**中图分类号**：TF046.4 **文献标识码**：B **文章编号**：1009－5438(2020)05－0029－05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.05.011

# Study on Effects of $TiO_2$ on Sinter Quality

*Liu Zhou－li, Bai Xiao－guang, Li Yu－zhu*

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

**Abstract**: The effects of different $TiO_2$ contents on the basic characteristics of sintering and quality index of sinter are studied with small sintering method and sintering cup. The study results showed that the liquid phase fluidity index and generative capacity of calcium ferrite decreased, the strength of binder phase tended to decrease and strength of crystal stock tended to increase with the increases of $TiO_2$ content in iron charge and assimilative temperature; the yield and drum strength of sinter decreased as well as solid fuel consumption tended to increase; the magnetite content in mineral composition of sinter tended to increase, crystal obviously increased, production of calcium ferrite decreased, perovskite content tended to increase and the change of hematite was not obvious; the low－temperature reduction degradation index of sinter tended to get worse and melting range became narrower.

**Key words**: $TiO_2$; sinter; quality; study

包钢烧结生产主要以白云鄂博铁精矿为主，该矿属于磁铁精矿，F、K、Na 等有害元素含量较高，由于这三种元素的存在导致烧结矿转鼓强度低，软化开始温度低，熔融区间宽。有研究表明，高炉炉渣中配入少量的 $TiO_2$ 可以改善高炉炉渣性能，主要表现为流动性以及脱硫能力改善[1]。本文以白云鄂博铁精矿为基础，通过配加不同比例的钛矿，系统的研究不同 $TiO_2$ 含量对烧结矿质量指标、显微结构以及冶金性能的影响，为包钢烧结合理配矿提供理论依据。

* **收稿日期**：2020－06－22

**作者简介**：刘周利(1984－)，男，陕西省凤翔县人，硕士，高级工程师，现从事炼铁原料及工艺研究工作。

## 1 试验原料及方法

试验用白云鄂博铁精矿(简称铁精矿)、钛矿、熔剂化学成分见表1,燃料工业分析见表2。采用微型烧结法[2-4]和烧结杯两种方法对不同 $TiO_2$ 含量烧结矿的性能进行了研究。

**表1 原料化学成分(质量分数)** %

| 原料名称 | TFe | FeO | CaO | $SiO_2$ | MgO | $Al_2O_3$ | P | $TiO_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 铁精矿 | 65.90 | 27.77 | 1.08 | 2.48 | 0.85 | 0.124 | 0.063 | 0.21 |
| 钛矿 | 48.87 | 29.08 | 1.95 | 6.95 | 3.67 | 7.79 | 0.41 | 12.80 |
| 轻烧白云石 | | | 37.45 | 1.01 | 21.74 | | | |
| 石灰石 | | | 48.90 | 3.33 | 1.29 | | | |
| 生石灰 | | | 81.59 | 2.19 | 2.30 | 0.61 | | |

**表2 燃料工业分析(质量分数)** %

| 名称 | $F_{cad}$ | $A_{ad}$ | $V_{ad}$ | $S_t$ | $M_t$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 焦粉 | 82.00 | 16.18 | 2.17 | 0.90 | 2.40 |

由表2可以看出,焦粉的固定碳为82.00%,灰分较高,为16.18%,硫含量较高,为0.9%。

## 2 烧结基础特性试验

### 2.1 试验方案

以100%白云鄂博铁精矿为基准点(T0),通过添加钛矿,使混合矿中 $TiO_2$ 含量分别为0.5%(T05)、1.0%(T1)、2.0%(T2),研究 $TiO_2$ 含量对铁矿粉烧结基础特性的影响。

### 2.2 试验结果及分析

不同 $TiO_2$ 含量对应烧结基础特性试验结果见表3。

**表3 烧结基础特性试验结果**

| 试验编号 | 同化性温度/℃ | 液相流动性指数 | 黏结相强度/N | 连晶强度/N |
|---|---|---|---|---|
| T0 | 1 272 | 0.87 | 569 | 3 456 |
| T05 | 1 274 | 0.80 | 552 | 3 466 |
| T1 | 1 275 | 0.27 | 550 | 3 625 |
| T2 | 1 280 | 0.13 | 540 | 3 649 |

由表3可以看出,随着混合矿 $TiO_2$ 含量的增加,同化性温度升高,主要是因为 $TiO_2$ 易形成高熔点物质,不利于液相生成,影响烧结混合料的熔化黏结,降低了固体颗粒间的浸润、包裹、黏结的效果,影响强度;烧结过程中 $TiO_2$ 与CaO反应生成钙钛矿等结构致密的物质,抑制了与CaO反应的热力学、动力学条件,降低了同化性能[2-3]。

液相流动性指数呈降低的趋势,主要是因为 $TiO_2$ 属于高熔点物质,在烧结温度一定时,随着 $TiO_2$ 含量的升高,烧结液相的形成温度必然升高,生成液相量减少且液相黏度增大,流动性降低。烧结过程中,$TiO_2$ 不断与CaO反应生成高熔点物质,结构致密,不利于液相的流动;CaO量减少,降低了CaO与铁氧化物的接触面积,恶化了生成低熔点液相的反应热力学、动力学条件,不利于低熔点物质的形成,因此,混合矿的液相流动性降低。

随着混合矿 $TiO_2$ 含量的增加,烧结过程中 $TiO_2$ 与CaO不断反应生成高熔点的钙钛矿,提高了同化性温度;致密的钙钛矿结构恶化了低熔点液相生成的反应热力学、动力学条件,不利于液相流动;$TiO_2$ 与CaO反应消耗了大量的CaO,减少了游离CaO与其他物质接触几率,不利于铁酸钙的形成。

随着混合矿 $TiO_2$ 含量的增加,降低了熔蚀交织结构的铁酸钙和其他高强度矿物的形成,对黏结相强度影响较大,钙钛矿结构硬而脆,作为黏结相,不利于矿粉之间结合,降低强度。

随着混合矿 $TiO_2$ 含量的增,加连晶强度升高,主要是因为 $TiO_2$ 易与CaO反应形成钙钛矿等高强度的物质,对铁精矿连晶强度提高有一定作用。

## 3 烧结杯试验

### 3.1 试验方案及参数

试验以100%白云鄂博铁精矿为基准,通过配加钛矿,开展不同 $TiO_2$ 含量烧结杯试验。烧结矿中 $TiO_2$ 含量按照0、0.5%、1.0%、2.0%控制。试验方案见表4。

**表 4　试验方案**

| 试验编号 | 铁料配置( 质量分数) /% | |
|---|---|---|
| | 混合精矿 | 钛矿 |
| T0 | 100 | 0 |
| T05 | 95 | 5 |
| T1 | 88 | 12 |
| T2 | 75 | 25 |

试验采用直径 200 mm 烧结杯,料层厚度 700 mm,点火负压为 4.9 kPa,烧结负压 9.8 kPa。

烧结矿碱度按照 2.00 ±0.08 控制,烧结矿 MgO 含量按照 2.0% ±0.1% 控制。

### 3.2　试验结果及分析

#### 3.2.1　化学成分

不同 $TiO_2$ 含量烧结矿化学成分见表 5。

**表 5　烧结矿化学成分( 质量分数)**　　%

| 试验编号 | TFe | FeO | CaO | $SiO_2$ | MgO | $Al_2O_3$ | P | S | $K_2O$ | $Na_2O$ | $TiO_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T0 | 58.50 | 11.44 | 9.14 | 4.47 | 2.08 | 0.82 | 0.050 | 0.033 | 0.114 | 0.092 | 0.21 |
| T05 | 57.94 | 11.68 | 8.84 | 4.48 | 1.91 | 0.74 | 0.086 | 0.092 | 0.100 | 0.160 | 0.61 |
| T1 | 57.80 | 12.08 | 9.22 | 4.52 | 1.94 | 0.85 | 0.086 | 0.046 | 0.109 | 0.168 | 0.96 |
| T2 | 56.55 | 11.71 | 8.95 | 4.58 | 1.91 | 1.45 | 0.128 | 0.102 | 0.124 | 0.158 | 2.16 |

由表 5 可以看出,随着烧结矿中 $TiO_2$ 含量的增加,烧结矿品位呈降低趋势,FeO 含量呈增加的趋势。

#### 3.2.2　工艺指标

含钛烧结工艺指标见表 6。

**表 6　烧结工艺指标**

| 试验编号 | 成品率 /% | 利用系数 /( $t \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$) | 垂速 /( $mm \cdot min^{-1}$) | 燃耗 /( $kg \cdot t^{-1}$) | 烧结矿强度转鼓 ( +6.3 mm) /% |
|---|---|---|---|---|---|
| T0 | 71.19 | 1.33 | 20.0 | 65.9 | 64.4 |
| T05 | 69.43 | 1.45 | 22.2 | 66.9 | 64.6 |
| T1 | 68.43 | 1.49 | 22.9 | 67.4 | 64.8 |
| T2 | 68.69 | 1.45 | 22.2 | 67.0 | 57.9 |

由表 6 可以看出,与基准点相比,当烧结矿 $TiO_2$ 含量小于 1% 时,烧结矿转鼓强度基本保持不变,随着 $TiO_2$ 含量的增加,成品率降低,利用系数增加,当 $TiO_2$ 含量为 2% 时,烧结矿转鼓强度急剧下降。

#### 3.2.3　冶金性能

烧结矿冶金性能试验结果见表 7。

**表 7　烧结矿冶金性能**

| 试验编号 | $RDI_{+3.15\ mm}$ /% | 软融性能 /℃ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $T_4$ | $T_{10}$ | $T_{40}$ | $T_{40} - T_{10}$ | $T_S$ | $T_D$ | $T_D - T_S$ |
| T0 | 84.6 | 1 149 | 1 196 | 1 289 | 93 | 1 287 | 1 533 | 246 |
| T05 | 69.1 | 1 104 | 1 147 | 1 249 | 102 | 1 248 | 1 496 | 248 |
| T1 | 53.5 | 1 097 | 1 132 | 1 244 | 112 | 1 236 | 1 476 | 240 |
| T2 | 53.6 | 1 119 | 1 158 | 1 254 | 96 | 1 254 | 1 449 | 193 |

由表7可以看出，当烧结矿 $TiO_2$ 含量升高，烧结矿的低温还原粉化指数有变差的趋势。产生这种现象的原因：一是钒钛烧结矿中存在菱形钛赤铁矿对还原粉化起主要影响作用，$TiO_2$ 含量升高则烧结矿中的赤铁矿相增多，烧结矿在低温下还原时发生体积膨胀，从而使烧结矿产生应力集中，导致烧结矿中出现裂纹，进一步使烧结矿粉化；另一个原因是随着烧结矿 $TiO_2$ 含量的增大，在高碱度烧结矿中会与CaO结合形成钙钛矿，这种物质主要分布在烧结矿的玻璃相中，在玻璃相中形成脆性质点，从而降低烧结矿强度，导致烧结矿产生低温还原粉化。因此，从低温还原粉化性能的角度看，$TiO_2$ 含量不宜过大。

3.2.4 *矿物组成及显微结构*

不同 $TiO_2$ 含量烧结矿矿物组成见表8。

**表8 烧结矿矿物组成**(体积分数) %

| 试验编号 | 磁铁矿 | 赤铁矿 | 铁酸钙 | 硅酸二钙 | 玻璃 | 钙钛矿 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| T0 | 47 | 9 | 28 | 4 | 12 | |
| T05 | 40 | 12 | 27 | 4 | 14 | 3 |
| T1 | 43 | 8 | 23 | 3 | 17 | 6 |
| T2 | 47 | 6 | 17 | 3 | 17 | 10 |

由表8可以看出，随着烧结矿 $TiO_2$ 含量的增加，烧结矿矿物组成中铁酸钙含量降低，钙钛矿含量增加，由于钙钛矿硬而脆的特性，作为黏结相含量显著提高后使得烧结矿转鼓强度呈降低的趋势[4]。

为了进一步摸清钛在烧结过程中的走向和在各个矿物中的分布情况，对 $TiO_2$ 含量为2.16%的烧结矿矿物组成中的铁酸钙、玻璃相以及钙钛矿分别进了扫描电镜微区分析，见图1—3。

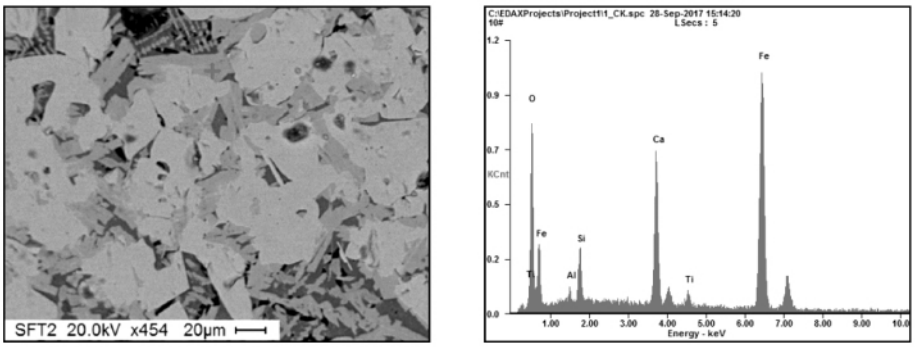



图1 铁酸钙能谱分析

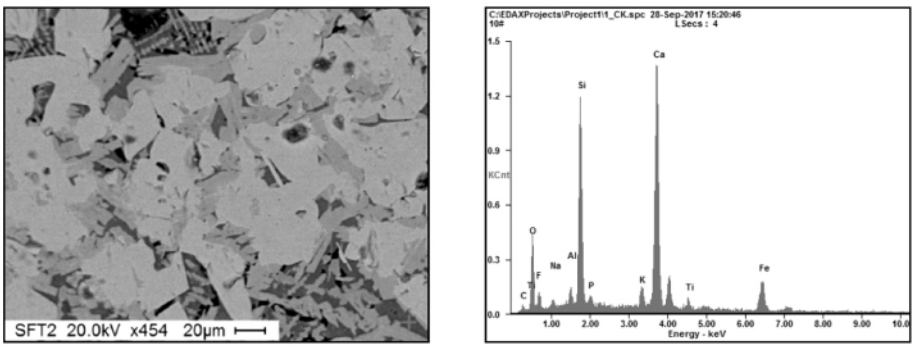



图2 玻璃相能谱分析

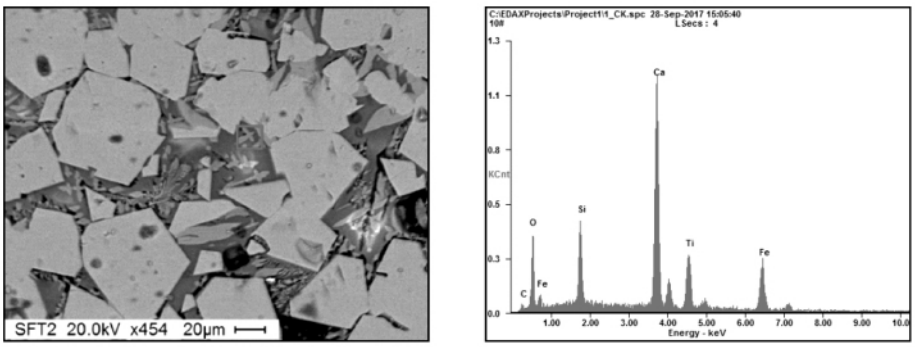



图 3　钙钛矿能谱分析

由图 1—3 可以看出，Ti 在烧结过程中进入磁铁矿形成钛磁铁矿，分布在玻璃相中，在玻璃相中与 CaO 反应生成钙钛矿。

## 4　结论

(1) 随着混合矿 $TiO_2$ 含量的增加，同化性变差，液相流动性指数降低，铁酸钙生成量减少，黏结相强度呈降低的趋势，连晶强度呈增加的趋势。

(2) 烧结配加钛矿后，烧结矿转鼓强度较基准点有下降的趋势，并且随着 $TiO_2$ 含量的增加，烧结矿矿物组成中钙钛矿的含量增加，固体燃耗呈增加的趋势，低温还原粉化性能恶化，熔滴性能略有改善。

### 参　考　文　献

[1] 信自成，李杰，张玉柱，等. 钒钛高炉渣的流动性 [J]. 钢铁研究学报，2017，29 (10)：787－791.

[2] 吕庆，刘旭升，刘小杰，等. 钛对烧结矿基础性能的影响 [J]. 钢铁，2015，50(5)：13.

[3] 罗果萍，孙国龙，赵艳霞，等. 包钢常用铁矿粉烧结基础特性 [J]. 过程工程学报，2008，8 (S1)：198－201.

[4] 刘然，刘朝卿，刘小杰，等. 钙钛矿含量对钒钛磁铁矿烧结性能的影响 [J]. 过程工程学报，2015，15(1)：62－67.

(上接第 10 页)

## 3　结束语

通过改进措施的实施，搅拌装置减速机使用寿命提高 3 倍以上，搅拌叶片使用寿命提高 4 倍以上，提高了矿浆搅拌槽整体使用寿命，保证了系统运行稳定。

### 参　考　文　献

[1] 李星明. 大型搅拌槽叶轮形状对矿浆浓度分布影响的研究 [D]. 沈阳：沈阳工业大学，2017.

[2] 吴宗泽. 机械设计手册(下册) [M]. 北京：机械工业出版社，2019.

[3] 张福臣. 液压与气压传动 [M]. 北京：机械工业出版社，2006.