

# 转炉低碱度渣系研究与应用

李洪涛，范富华，王立国

（建龙西林钢铁有限公司，黑龙江伊春 153025）

## Research and application of Converter low-basiscity slag system

Li Hongtao, Fan fuhua, Wang liguo

### 1. 研究基础及目的

炉渣碱度是评价熔渣碱性强弱的指标。脱磷、脱硫、脱除夹杂物和防止钢液吸收气体都与熔渣碱度密切相关。碱度是影响渣钢反应的重要因素。在转炉脱磷过程中,由于渣系熔点较高,固体 CaO 很难在短时间溶解进入液态渣中。因此,为了追求脱磷率,就会不断地向渣中加入 CaO,导致其在冶炼结束后仍有大量自由 CaO 剩余。这不仅增加了生产成本,也造成了资源浪费,而且渣中自由 CaO 的大量存在也会使废渣处理变得困难。本次研究针对炉渣碱度偏低（平均  $R < 2.3$ ）转炉冶炼过程脱磷、硫率低,甚至炉内及出钢过程发生“回磷”现象,使补吹时间较长,石灰消耗高造成吹损及耗氧量偏大、一倒双命中率低,使生产节奏受到限制、恶化生产成本等现象进行具体研究,转炉炉渣低碱度控制条件下提高转炉脱磷、硫率。

目前国外先进的转炉脱磷工艺是采用少渣进行冶炼,即在炉渣碱度较低的情况下,取得较好的脱磷效果,该工艺不仅可以降低生产成本,还可减少废渣的排放,是未来转炉脱磷工艺的发展方向。

炉渣是炼钢过程金属料(铁水和废钢等)中的杂质被氧化剂氧化而生成的氧化物再与造渣剂和炉衬发生物理化学反应而形成的产物的总称。炼钢过程中炉渣具有下列功能:(1)去除有害杂质元素和非金属夹杂物,达到精炼目的;(2)在氧化期能保证从炉气到钢液有一定的传氧速度;(3)能阻止炉气和大气中的  $N_2$ 、 $O_2$  和  $H_2$  向钢液传递。

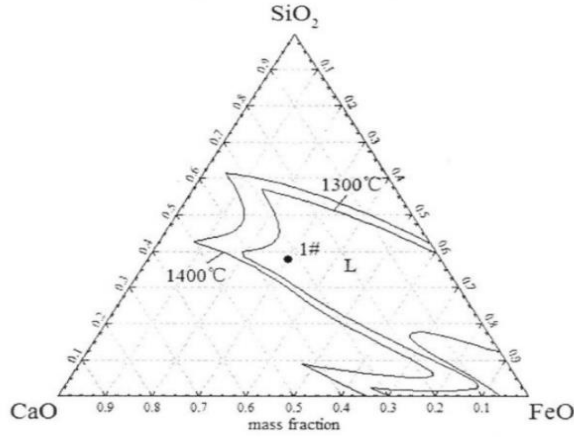
### 2. 转炉渣系基础研究

为了更有效利用 CaO 进行脱磷,了解低碱度条件下脱磷反应机理及其影响因素。研究了低碱度条件下 CaO 比例和温度对渣中磷富集相生成的影响;建立了 CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 脱磷渣的活度计算模型,利用该模型对渣中各组元的活度进行了计算,并考察了初始 FeO 含量、温度以及碱度对熔渣中各组元活度的影响;选取转炉冶炼用 CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 渣系和固相 CaO 为研究对象,通过实验和理论分析的方法,研究了 2CaO-SiO<sub>2</sub>-3CaO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 固溶体的形成过程和机理;对 CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 渣系的脱磷动力学进行了分析,确定了脱磷的限制性环节,之后建立了 CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 渣系的脱磷动力学方程;分析了温度和渣系相平衡关系和液相线的影响规律。获得主要结论如下:

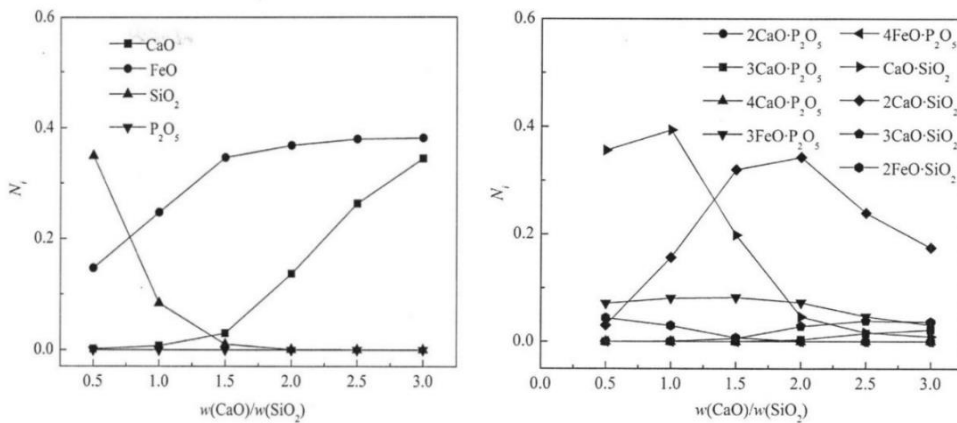
(1) 当渣中 CaO 的含量较低时,增大 CaO 的加入比例可促进渣中大颗粒含磷固溶体的形成并减少渣中磷的含量,但当粒状 CaO 的含量较高时,2CaO-SiO<sub>2</sub>-3CaO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 固溶体的生成量减少;适当提高温度有利于脱磷反应的进行;随着反应时间的延长,2CaO-SiO<sub>2</sub>-3CaO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 固溶体增加,而且固溶体中磷的含量也不断升高。

(2) 当  $w(\text{CaO})/w(\text{SiO}_2)$  小于 2.0 时,随着炉渣碱度的增大,2CaO-SiO<sub>2</sub> 的活度升高,3FeO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的活度变化不大;当  $w(\text{CaO})/w(\text{SiO}_2)$  大于 2.0 时,随炉渣碱度的增大,2CaO-SiO<sub>2</sub> 和 3FeO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的活度降低,而 3CaO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的活度升高,2CaO-SiO<sub>2</sub> 与 3CaO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的反应基本达到平衡

(3) CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 渣系中组元主要以 2CaO-SiO<sub>2</sub> 和 3FeO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 化合物的形态存在；当固相 CaO 和炉渣接触时，渣中的 2CaO-SiO<sub>2</sub> 首先在固相 CaO 表面析出并形成 2CaO-SiO<sub>2</sub> 固相层；随着 CaO 和 3FeO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 化合物向反应界面的不断扩散，最终生成 2CaO-SiO<sub>2</sub>-3CaO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 CaO-FeO 固溶体。



渣在 CaO-FeO-(SiO+PO5)三元系中的组成



渣中  $w(\text{CaO})/w(\text{SiO})$  对组元活度的影响

### 3. 低碱度渣熔化性能

(1) 在脱磷渣 TFe 或 MgO 质量分数基本一致的情况下，随着渣碱度的降低，在碱度为 1.4~1.8 范围时，炉渣温度基本可以控制，在 1380°C 以下（与冶炼温度基本一致），较低的炉渣温度使得炉渣黏度进一步降低，提高了炉渣的流动性能，从而改善了炉渣脱磷的动力学条件，并为脱磷阶段结束的倒渣环节提供了前提条件。

(2) 随着炉渣碱度的降低，炉渣中游离 CaO 质量分数不断降低，当炉渣碱度控制在 1.8 以内时，炉渣中的游离 CaO 质量分数基本可以控制在 0.7% 的较低水平，由于炉渣碱度的降低，炉渣熔化温度会进一步降低，在脱磷阶段冶炼温度条件下，炉渣流动性仍然可以保持在较好水平，保证了石灰的溶解速率，从而降低了脱磷渣中游离 CaO 的质量分数，因此，为了提高石灰利用效率，进一步降低转炉渣量，应当降低脱磷阶段炉渣碱度。

### 4. 低碱度渣的脱磷效果

随着渣料加入量的减少，脱磷渣碱度的降低，当炉渣碱度控制在 2.0 左右时，炉渣量会降低，为脱碳阶段进一步脱磷提供了有利条件，同时采取全留渣冶炼技术使得进一步提高渣中 P 的分配系数，提高转炉脱磷率。

## 5. 化渣速溶剂的开发与使用

为改善冶炼过程化渣能力，降低转炉炼钢渣料及钢铁料消耗成本，炼钢厂进行了化渣速溶剂研发并进行了相关实验。

### 5.1. 化渣速溶剂理化指标

化渣速溶剂理化指标			
项目	CaO	MgO	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
指标	≤10%	≤10%	≥50%

### 5.2. 化渣速溶剂使用效果

使用助熔剂炉次，减少了渣料加入量，过程渣容易化透、升温快，粘度低；过程炉渣极其活跃，对渣料的熔化起到积极作用，减少未熔解渣料对各阶段炉渣性能的影响。通过实际跟踪，冶炼过程不易发生炉渣返干问题，渣铁容易分离，利于终点渣的倒出，脱磷率平均为 87%，较同钢种 80%正常水平有所提高。降低吨钢石灰用量 9kg/t，降低钢铁料消耗 2.6kg/t

## 6. 结语

通过实验和理论分析的方法，对炉渣形成过程及机理进行研究，对渣系脱磷动力学条件进行具体分析，确定了脱磷限制性环节，优化渣系组成并进行系统验证，炉渣碱度控制在 1.8~2.4 之间，有效降低石灰消耗量，通过统计，该技术应用后，转炉平均脱磷率达到 87%，冶炼终点平均 C 含量为 0.087%，平均 Mn 含量为 0.015%，平均 P 含量为 0.026%，平均 S 含量为 0.020%，转炉一倒“双命中”率达到 90%，控制指标均无劣化现象，石灰消耗降低灰耗降低 9kg/t，钢铁料降低 3kg/t，综合效益 3.71 元/t，解决了低碱度渣系控制下，转炉脱磷难度大、冶炼终点 P 含量不能符合钢种要求、需进行补充供氧及补加造渣材料造渣的问题，具有一定的创新点，创效明显，具有一定的经济效益和社会效益，符合目前国家主导减少碳排放和碳中和的大环境要求。

## 参考文献

- [5] 张汉山;转炉低温渣系冶炼研究[J];中国金属通报;2019 年 06 期  
 [6] 彭可武;刘奎仁;韩庆;王兆文;马贺利;;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-CaF<sub>2</sub> 渣系性能的研究[J];铁合金;2010 年 06 期  
 [7] 葛永肖;二元碱度对四元渣系(CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO-SiO<sub>2</sub>)物理性能的影响[A];河北省 2011 年炼钢连铸生产技术与学术交流会议论文集[C];2011 年