

## 120 t 转炉第一次倒渣脱磷参数计算与工艺试验

张天旭<sup>1</sup> 宋劲松<sup>1</sup> 周东东<sup>2</sup> 刘翔宇<sup>1</sup>

(1 承德石油高等专科学校工业技术中心,承德 067000;2 北京科技大学钢铁共性技术协同创新中心,北京 100083)

**摘要** 通过脱磷与还原磷的平衡热力学研究,确定了 120 t 转炉双渣法冶炼低磷钢时最佳一次倒渣温度与碱度之间的关系。通过对磷分配比  $L_p$  计算,得到了 1 450 °C 下,碱度、(FeO) 对其影响。结合热力学软件 Factsage, 得到最佳的脱磷渣碱度和 (FeO)。计算表明,随着炉渣碱度的增大,最佳脱磷温度区间向高温区移动;1 450 °C 下,最佳的第一次倒渣碱度为 2,最佳 (FeO) 为 20% ~ 25%。

**关键词** 双渣法 脱磷 温度 碱度 (FeO)

## Calculation and Process Test for Dephosphorization Parameter of 120 t Converter

Zhang Tianxu<sup>1</sup>, Song Jingsong<sup>1</sup>, Zhou Dongdong<sup>2</sup> and Liu Xiangyu<sup>1</sup>

(1 Industrial Technology Centre, Chengde Petroleum College, Chengde 067000;

2 Collaborative Innovation Center of Steel Technology, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083)

**Abstract** According to thermodynamics studying on the balance of dephosphorization and phosphorus reduction, the relationship between pouring temperature and slag basicity at first deslagging for double slag process in 120 t converter semelting low phosphorus steel has been defined. According to calculating phosphorus partition ratio  $L_p$ , it gets the influence of basicity, (FeO) on  $L_p$  at 1 450 °C and obtains the optimal dephosphorization slag basicity and (FeO) value through Factsage software. The calculation shows that with the increase of slag basicity, the optimal temperature ranges for dephosphorization move to high; the optimal basicity is 2 and (FeO) is 20% ~ 25% at 1 450 °C for first deslagging process.

**Material Index** Double Slag Method, Dephosphorization, Temperature, Basicity, (FeO)

近年来需求量大增的表面硬化优质合金钢、深冲钢、超低碳 IF 钢、石油管线钢和海洋用钢等钢种要求钢中磷含量小于 0.01% 甚至 0.005%<sup>[1]</sup>。生铁中的磷除了在铁水预处理时除去一部分外,主要是通过炼钢氧化作用去除<sup>[2]</sup>。

国内外钢厂开发了不同的脱磷工艺<sup>[3]</sup>,具有代表性的如住友鹿岛厂的 SARP 法、新日铁名古屋厂的 LD-ORP 工艺、新日铁室兰厂的 (MURC) 工艺、宝钢的 BRP<sup>[4]</sup> 工艺。它们的操作方式有两种:第 1 种是采用两座转炉双联作业,1 座脱磷,1 座接受来自脱磷炉的低磷铁水脱碳;第 2 种是在同一座转炉内进行铁水脱磷和脱碳,即双渣工艺,图 1 是转炉双渣工艺流程图<sup>[5]</sup>。温度、碱度、(FeO) 是影响转炉脱磷的主要因素。本文主要针对双渣法冶炼工艺,结合热力学软件 Factsage,通过试验得到第一次倒渣最佳冶炼参数。

### 1 脱磷温度

根据脱磷和碳还原磷的计算方法<sup>[6]</sup>,得到碱度 ( $R$ ) 在 1.5 (图

2a)、2(图 2b)、3(图 2c) 下的计算结果。由图 2(a) 中得出:温度从 1 330 °C 开始,碳还原磷反应开始发生,同时伴有脱磷反应。在 1 420 °C 左右,两个反应趋于平衡,此时脱磷量达到最大值。温度再升高,还原磷含量大于氧化量,此时回磷发生。同理,当碱度 ( $R$ ) 增大到 2 时,碳还原反应发生的温度在 1 375 °C 左右,脱磷和还原磷在 1 460 °C 趋于平衡;当碱度 ( $R$ ) 进一步增大到 3 时,碳还原反应发生的温度在 1 430 °C 左右,脱磷和还原磷在 1 520 °C 趋于平衡。因此,随着炉渣碱度的增大,脱磷和还原磷的温度区间向高温区移动,实际生产中应协同控制温度与石灰加入量。

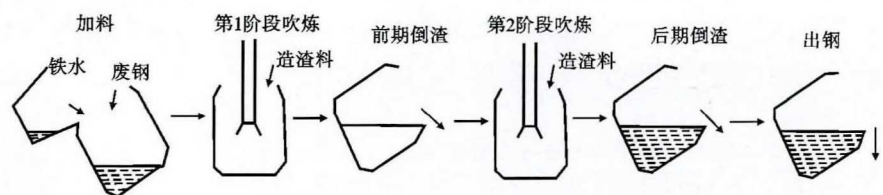


图 1 转炉双渣法工艺流程

Fig. 1 Double slag method process of converter

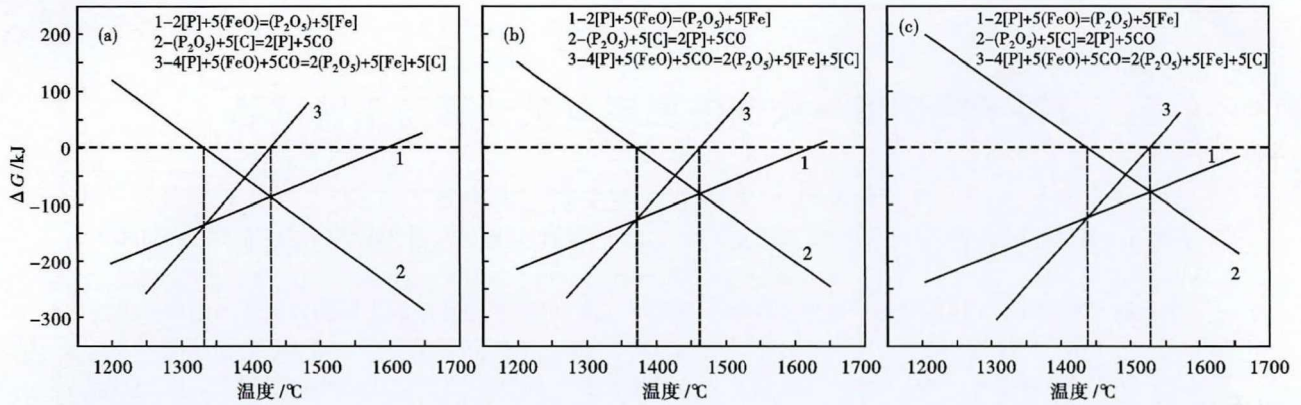


图 2 转炉脱磷和还原磷与温度的关系,炉渣碱度 1.5(a),2(b),3(c)

Fig. 2 Relation of BOF dephosphorization and phosphorus reduction with temperature, slag basicity 1.5(a), 2(b) and 3(c)

### 2 脱磷碱度与(FeO)

本试验在 1450 °C 下运用下式计算不同条件下的磷分配比  $L_p$  值。为了保证计算的合理性,扩大计算范围,如表 1。

$$\lg \frac{(P)/\%}{[P]\%} = \frac{22\ 350}{T} - 24.0 + 7 \lg(\text{CaO})/\% + 2.5 \lg(\Sigma \text{Fe})/\%$$

从图 3(a, b) 中可以得出结论: $L_p$  随着(FeO)浓度提高呈现先增大后减小的趋势。 $L_p$  在(FeO)浓度处于 20% ~ 25% 时最

大。结合图 3(a, b),对于渣中同等浓度(FeO)时,碱度( $R$ )由 1.5 升高到 2.9,  $L_p$  也随之升高,也就是说碱度越高,  $L_p$  越大。这是因为渣中 CaO 首先与  $\text{SiO}_2$  结合生成  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  (以下简称  $\text{C}_2\text{S}$ ) 以及  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  (以下简称  $\text{C}_3\text{S}$ ),降低了 CaO 在渣中的活度,此时增大渣中 FeO 含量可以减少  $\text{C}_2\text{S}$ 、 $\text{C}_3\text{S}$  的生成,增大石灰溶解度,这一点可通过 CaO- $\text{SiO}_2$ -FeO 渣系相图(图 4)运用杠杆定律得出;当(FeO)进一步升高,在渣量一定时,(CaO)相对含量就会减少,从而不利于脱磷。但在实际生产中,不可能将第一次倒渣碱度无限升高,过高的碱度,势必引起液态炉渣中析出固相,增大炉渣粘度,反而恶化脱磷效果。

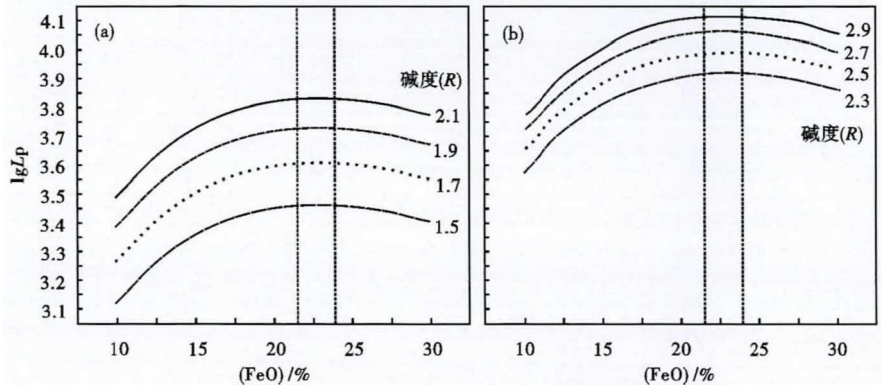


图 3 第一次倒渣(FeO)和碱度对 120 t 转炉脱磷的影响

Fig. 3 Influence of (FeO) and basicity on dephosphorization of 120 t BOF at first deslagging

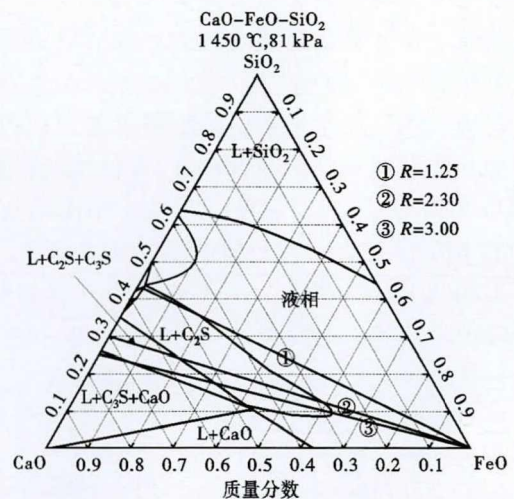


图 4 CaO- $\text{SiO}_2$ -FeO 渣系 1450 °C 相图

Fig. 4 Phase diagram of CaO- $\text{SiO}_2$ -FeO slag system at 1450 °C

表 1 120 t 转炉第一次倒渣参数

Table 1 Parameters of 120 t BOF at first deslagging process

时期	温度/°C	碱度( $R$ )	(FeO)/%
第一次倒渣	1450	1.5 ~ 3.0	10 ~ 30

利用 FactSage 软件,在渣金比 1:10, 1450 °C 下从 CaO- $\text{SiO}_2$ -FeO 渣系相图可知:在(FeO) = 20% ~ 25% 时,当  $R > 1.25$  后,液相炉渣中开始析出固相

C<sub>2</sub>S,并随着碱度的升高,C<sub>2</sub>S 析出量逐渐增加;当 R > 2.30 后,液相渣中不仅析出 C<sub>2</sub>S 相,同时 C<sub>3</sub>S 相开始析出;当 R > 3.00 后,渣中 CaO 就会达到饱和状态。图 5 为 CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO 渣系初始总质量 100 g,渣中(FeO) = 10% ~ 30% 时,不同碱度下的固相析出总质量。

从图 5 看出,在 R = 1.5 ~ 3.0,固体析出物质量随着碱度提高大致呈增高趋势。在(FeO)处于 22% 时(前面计算得到的最佳(FeO)范围内),碱度 R = 1.9 左右,固体析出物质量在 15 g,约占初始炉渣总量的 15%,当碱度增加到 2.3,固体析出物总质量达到了 30 g 左右,这必然引起炉渣粘度的增加,恶化脱磷,因此第一次倒渣碱度应控制在 2 左右。此外适当增加(FeO)含量可以降低固体析出物质量。

### 3 结果与讨论

常规转炉冶炼工艺,仅能满足一般低磷钢种

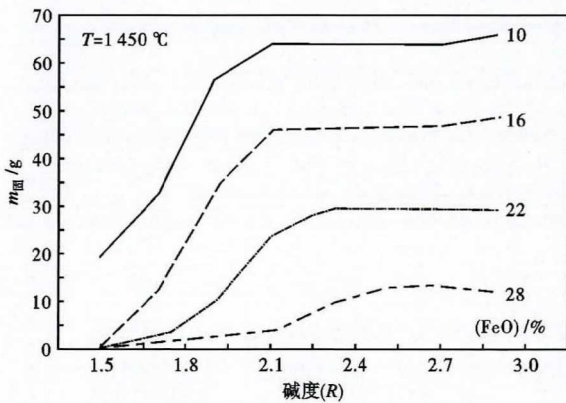


图 5 固体析出物质量与炉渣碱度关系

Fig. 5 Relationship between Solid deposition amount and basicity of slag

表 2 第一次倒渣炉渣组分和碱度

Table 2 Ingredient and basicity of slag at first deslagging

项目	第一次倒渣炉渣组分 /%						碱度 (R)
	CaO	MgO	MnO	FeO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	
范围	25.4 ~ 40.9	5.7 ~ 8.1	4.2 ~ 6.2	14.3 ~ 18.4	2.9 ~ 3.9	12.6 ~ 22.9	1.64 ~ 2.25
平均	33.1	6.5	5.7	17.2	3.3	14.9	2.2

表 3 第一次倒渣铁水成分

Table 3 Composition of molten iron at first deslagging

项目	温度/°C	铁水化学成分/%				
		C	Si	Mn	P	S
范围	1 397 ~ 1 446	2.7 ~ 3.5	0.06 ~ 0.10	0.09 ~ 0.18	0.020 ~ 0.032	0.012 ~ 0.036
平均	1 435	3.0	0.08	0.12	0.025	0.027

(0.010% < [P] < 0.020%) 对磷含量的控制要求,尚不能进行超低、极低磷钢种的稳定生产。

酒钢 120 t 顶底复吹转炉冶炼炉次入炉铁水中 Si、Mn 含量相对较高,因此吹炼中渣量大。为防止喷溅的发生以及实现终点低磷目标该厂采用了双渣法冶炼。对第一次倒渣取样、半钢铁水测温取样,并测得渣样、铁水成分如表 2、表 3。

由表 2、表 3 可见,几炉次双渣冶炼的第一次倒渣平均碱度为 2.2,(FeO + MnO) 为 23%,第一次倒渣温度 1 435 °C,与计算值基本吻合,实现了铁水磷脱至 0.032% 以下和第一次倒渣脱磷率 > 70% 的良好脱磷效果。实际第一次倒渣碱度与计算值 2 相比偏高,可能由于 CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO 渣系相图计算的结果没有考虑(MnO) 等物质的加入对液相区的影响。此外,实际生产中萤石的加入也会改善渣的流动性。

### 4 结论

(1) 第一次倒渣温度在 1 450 °C 时,(FeO) 为 20% ~ 25%、碱度为 2 左右,脱磷效果最佳。

(2) 随着炉渣碱度的增大,脱磷和还原磷的温度区间向高温区移动。适当增加(FeO) 含量可以降低固体析出物质量。

(3) 第一次倒渣碱度理论计算值较实际生产值偏低,这与 CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO 渣系相图计算的结果没有考虑(MnO) 等物质的加入对液相区的影响有关。

河北省高等学校科学技术研究项目(QN2019227)

### 参考文献

- [1] 张强,黄登华,李清春,等.攀钢低磷钢生产实践[J].炼钢,2013,29(3):10-13.
- [2] 孙礼明.转炉双联法冶炼工艺及其特点[J].上海金属,2005,27(2):44-46.
- [3] 郝旭东,李建新,张临峰,等.转炉脱磷工艺的发展[J].钢铁研究,2008,36(5):52-55.
- [4] 康复,陆志新,蒋晓放,等.宝钢 BRP 技术的研究与开发[J].钢铁,2005,40(3):25-28.
- [5] 刘飞,管挺,杨肖,等.沙钢转炉双渣冶炼低磷钢的工艺研究[C].2012 年全国炼连铸生产技术会论文集.重庆:中国金属学会炼钢分会,2012:333-336.
- [6] 张天旭,徐晓东,王晶.120 t 转炉双渣法脱磷热力学研究[J].承德石油高等专科学校学报,2016,18(5):31-35.

张天旭(1987-),男,硕士(2015 年北京科技大学),讲师,2012 年河北科技大学(本科)毕业,转炉炼钢研究。

E-mail:yejintx@163.com

收稿日期:2019-10-15