

## 100 t 转炉留渣双渣法治炼高硅高磷铁水试验

高琦<sup>1</sup> 智建国<sup>2</sup> 吴伟<sup>1</sup> 张志兵<sup>3</sup> 张晓峰<sup>4</sup> 关键<sup>4</sup>

(1 钢铁研究总院冶金工艺研究所,北京 100081;2 包钢钢联股份有限公司总工室,包头 014010;

3 包钢钢联股份有限公司炼钢厂,包头 014010;4 包钢技术中心,包头 014010)

**摘要** 针对钢厂铁水硅和磷含量较高的特点,采用转炉留渣双渣冶炼工艺以获得稳定的铁水脱磷率。吹炼 3 min 后加入石灰和污泥球等造渣材料,供氧强度 0 ~ 3 min 时为  $2.5 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$ , 3 ~ 4.5 min 时为  $3.2 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$ ,温度控制在约  $1320 \text{ }^\circ\text{C}$ 。转炉一次倒渣后,继续吹炼,加入后期造渣料,待一氧化碳体积分数稳定时,适当提高氧枪枪位,促进化渣,并进行终点碳控制。试验结果表明:脱磷期铁水平均脱磷率为 58.09%,脱碳期钢水平均脱磷率为 85.56%;当半钢温度为  $1320 \text{ }^\circ\text{C}$ ,炉渣碱度为 2.0,炉渣 TFe 含量为 18% 时,在脱磷期能获得较好的铁水脱磷效果;当转炉钢水一倒温度为  $1580 \text{ }^\circ\text{C}$ ,终渣碱度为 3.5,炉渣 TFe 含量为 20% 时,在脱碳期能够获得较好的脱磷效果;转炉终点  $[\text{P}]_0/[\text{P}]_1$  为 0.90;试验中得到脱磷期和脱碳期炉渣的岩相组成适合铁水脱磷。

**关键词** 100 t 转炉 留渣双渣工艺 高硅高磷铁水 脱磷率 磷分配比

## Test of High Silicon and High Phosphorus Hot Metal Smelted by Retaining Slag and Double Slag Method at 100 t BOF

Gao Qi<sup>1</sup>, Zhi Jianguo<sup>2</sup>, Wu Wei<sup>1</sup>, Zhang Zhibing<sup>3</sup>, Zhang Xiaofeng<sup>4</sup> and Guan Jian<sup>4</sup>

(1 Department of Metallurgical Technology Research, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081;

2 Chief Engineer Office of Baotou Iron & Steel (Group) Co Ltd, Baotou 014010; 3 Steelmaking Plant, Baotou Steel (Group) Corp, Baotou 014010; 4 Technical Center of Baotou Steel (Group) Corp, Baotou 014010)

**Abstract** In view of the high silicon and phosphorus content of hot metal in a steel works, a converter slag-retaining double-slag smelting process is used to obtain a stable dephosphorization rate of hot metal. The specific process is to add slag-forming materials such as lime and sludge balls after the start of the blowing process for 3 min. The oxygen supply intensity is  $2.5 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$  at 0 ~ 3 min, and  $3.2 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$  at 3 ~ 4.5 min. The temperature is controlled at about  $1320 \text{ }^\circ\text{C}$ . After the converter has first deslagging, it starts to blow and adds the late slag forming material. When the carbon monoxide in the furnace rises to a stable level, the oxygen lance position is raised appropriately to improve slagging and control the end-point carbon. The test results show that the average dephosphorization rate of hot metal in the dephosphorization period is 58.09%, and the average dephosphorization rate of molten steel in the decarburization period is 85.56%; When the temperature of the semi-steel is  $1320 \text{ }^\circ\text{C}$ , the basicity of the slag is 2.0, and the TFe content in the slag is 18%, a better dephosphorization effect can be obtained in the dephosphorization period. When the molten steel temperature of the converter liquid after first deslagging is  $1580 \text{ }^\circ\text{C}$ , the basicity of the final slag is 3.5, and the TFe content in the final slag is 20%, a better dephosphorization effect can be obtained in the decarburization period.  $[\text{P}]_0/[\text{P}]_1$  ratio at the end of the converter is 0.90. The petrographic composition of the slag during dephosphorization and decarburization period from the experiment is suitable for dephosphorization of hot metal.

**Material Index** 100 t BOF, Retaining Slag and Double Slag Processes, High Silicon and High Phosphorus Hot Metal, Dephosphorization Rate, Phosphor Partition Ratio

转炉单渣冶炼周期短,生产组织简单,但渣料消耗大,难以冶炼磷含量较高的铁水<sup>[1]</sup>。采用留渣双渣冶炼工艺<sup>[2-5]</sup>能显著降低钢铁料消耗和转炉渣料消耗,大幅提高铁水脱磷率从而有助于转炉终点碳的控制,降低钢中的溶解氧,对于夹杂物的控制起到至关重要的作用。

在转炉留渣双渣冶炼工艺方面,张旭等人<sup>[6]</sup>采用高-低-高氧枪枪位控制模式、供氧强度为  $3.6 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$  和底吹强度为  $0.03 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$  工艺试验留渣双渣工艺,倒渣温度控制在  $1380 \sim$

$1450 \text{ }^\circ\text{C}$ ,炉渣碱度为 1.3 ~ 1.8,渣中氧化铁含量 15% ~ 25%,获得前期平均脱磷率为 45.57%,磷分配比为 65.23 的脱磷效果。王新华等<sup>[7]</sup>在脱磷阶段采用碱度为 1.3 ~ 1.5, MgO 为 7.5% 的渣系,形成流动性良好和适度泡沫化炉渣,解决了脱磷阶段结束时,难以快速足量倒渣和渣中金属铁含量高的问题。邓南阳等<sup>[8,9]</sup>研究了脱磷渣物相,结果表明,磷在反应过程中会生成 C3P, C3P 与炉渣中的 C2S 会结合生成 C2S-C3P 固溶体,形成固溶体的方式有扩散和析出两种形式,且在转炉脱磷反应过程中,扩散和析

出形式是同时发生的。管挺等<sup>[10]</sup>认为,转炉冶炼前期炉渣中 MgO 含量控制在 6% ~ 8%, 碱度控制在 1.6 ~ 1.8, 终点碱度控制在 3.5 ~ 4.0, 转炉终点磷含量基本可控制在 0.02% 以下。

钢厂铁水磷含量高(平均 0.15% ~ 0.18%), 硅含量高且波动大(在 0.4% ~ 1.0% 范围内波动, 有 4% 炉次硅含量在 1% 以上), 造成转炉冶炼过程渣量大, 脱磷过程喷溅严重, 钢铁料消耗大, 炼钢成本高, 同时造成炼钢过程控制困难, 钢水过氧化严重, 钢中夹杂物偏高。本研究针对转炉生产高硅、高磷铁水进行留渣双渣工艺的试验研究, 探求最佳的造渣工艺, 以获得稳定铁水脱磷率, 为转炉炼钢降低成本、增加效率创造条件。

## 1 试验设备及方法

### 1.1 试验设备及留渣双渣脱磷工艺

试验炉次是在 100 t 转炉内进行, 铁水平均装入量为 94.6 t, 废钢平均加入量为 8.1 t, 顶吹供氧强度为  $3.2 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$ , 底吹供气强度为  $(0.05 \sim 0.15) \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$ 。铁水条件为: C 4.1% ~ 5.7%, Si 0.41% ~ 1.10%, Mn 0.49% ~ 0.75%, P 0.112% ~ 0.178%, S 0.019% ~ 0.057%, T 1 215 ~ 1 335 °C。

本试验采用留渣双渣工艺, 把整个吹炼过程分为脱磷期和脱碳期。脱磷期时主要加入石灰、污泥球、铁矿石或少量白云石等造渣材料。当氧枪下枪点火后再加入一定量的镁球, 加入本炉次需要石灰总量 70% 左右, 根据冶炼温度, 在吹炼 3 min 后加入石灰、污泥球等造渣材料进行降温化渣。供氧强度 0 ~ 3 min 时为  $2.5 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$ , 3 ~ 4.5 min 时为

$3.2 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$ 。

转炉脱碳期控制, 当转炉一次倒渣结束后, 下枪进行吹氧脱碳。吹炼开始后, 吹氧流量应慢慢加强, 同时加入后期造渣材料, 待烟气中一氧化碳体积分数稳定时, 适当提高氧枪枪位。吹炼 0 ~ 4.5 min 时供氧强度为  $(2.5 \sim 3.2) \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$ , 4.5 ~ 10 min 时为  $2.5 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$ , 10 ~ 14 min 时为  $2.5 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$ 。

### 1.2 取样和分析方法

对转炉脱磷期和脱碳期倒渣时的铁水和炉渣进行取样分析。炉渣检测主要包括化学成分分析和岩相分析。岩相分析是利用金相显微镜, 主要观察炉渣的岩相结构及组成物的大小和分布。实验中对渣样进行镶嵌, 抛光, 并采用  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{HCl}$  等溶液浸蚀, 然后在光学显微镜下进行观察和鉴定, 进行岩相分析。

## 2 试验结果讨论与分析

### 2.1 转炉脱磷期和脱碳期终点的冶炼效果

共进行 31 炉试验, 具体试验结果如表 1 所示。由表 1 可知, 铁水中硅含量和磷平均含量分别为 0.69% 和 0.152%, 半钢的脱磷率平均为 46.45%, 半钢平均温度为 1 318 °C。转炉终点一倒脱磷率平均为 85.56%, 一倒温度为 1 577 °C。

试验结果得出, 转炉脱磷期, 铁水脱磷率平均为 46.45%, 磷分配比平均为 12.78。转炉脱碳期, 脱磷率平均为 85.56%, 磷分配比平均为 59.71。

表 2 为试验中加料情况。由表 2 可知, 脱磷期石灰平均消耗量为 8.48 kg/t, 白云石平均消耗量

表 1 留渣双渣工艺试验时铁水、钢水成分和温度

Table 1 Composition and temperature of hot metal and molten steel by slag-retaining and double-slag process test

项目	铁水成分/%		脱磷期结束成分/%			温度 $T_{\text{中}}/^\circ\text{C}$	脱磷率 $\eta_{\text{P中}}/\%$	脱碳末期成分/%		温度 $T_{\text{末}}/^\circ\text{C}$	脱磷率 $\eta_{\text{P末}}/\%$
	$\text{Si}_{\text{始}}$	$\text{P}_{\text{始}}$	$\text{Si}_{\text{中}}$	$\text{Mn}_{\text{中}}$	$\text{P}_{\text{中}}$			$\text{C}_{\text{末}}$	$\text{P}_{\text{末}}$		
平均值	0.69	0.152	0.05	0.11	0.082	1 318	46.45	0.20	0.020	1 577	85.56
最大值	1.10	0.196	0.19	0.16	0.130	1 330	76.03	0.48	0.037	1 633	95.54
最小值	0.40	0.135	0.01	0.01	0.035	1 310	22.29	0.03	0.007	1 522	75.66

注: 其中下标“始”表示冶炼开始时铁水成分; 下标“中”表示脱磷结束时成分、温度; 下标“末”表示脱碳结束时成分、温度。

表 2 留渣双渣工艺试验的加料情况

Table 2 Quantity of slag-forming materials added during slag-retaining and double-slag process test

项目	脱磷期加料量				脱磷、脱碳期总量			
	石灰/ $(\text{kg} \cdot \text{t}^{-1})$	白云石/ $(\text{kg} \cdot \text{t}^{-1})$	污泥球/ $(\text{kg} \cdot \text{t}^{-1})$	耗氧量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$	石灰/ $(\text{kg} \cdot \text{t}^{-1})$	白云石/ $(\text{kg} \cdot \text{t}^{-1})$	污泥球/ $(\text{kg} \cdot \text{t}^{-1})$	耗氧量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1})$
平均值	8.48	13.53	29.40	16.03	41.44	28.54	55.08	53.20
最大值	11.90	25.00	50.64	19.04	55.11	40.20	117.73	56.35
最小值	3.08	3.14	17.61	12.43	33.28	12.21	18.05	50.35

表 3 留渣双渣工艺时的炉渣成分

Table 3 Slag ingredient during slag-retaining and double-slag process

冶炼阶段	项目	炉渣成分/%					碱度(R)
		CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	TFe	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
脱磷期	平均值	38.34	21.38	7.84	18.98	2.16	1.83
	最小值	30.25	15.47	3.20	8.85	0.70	1.24
	最大值	43.52	27.05	9.40	27.27	4.37	2.60
脱碳期	平均值	46.00	14.10	8.46	19.52	2.39	3.27
	最小值	41.29	12.20	6.75	14.70	1.20	2.94
	最大值	49.46	15.67	9.62	26.96	2.84	3.70

为 13.53 kg/t, 污泥球平均消耗量为 29.0 kg/t, 氧气平均消耗量为 16.03 m<sup>3</sup>/t。脱碳期石灰平均总消耗量为 41.44 kg/t, 白云石平均总消耗量为 28.54 kg/t, 污泥球平均总消耗量为 55.08 kg/t, 总耗氧量平均为 53.2 m<sup>3</sup>/t。

表 3 为试验中炉渣成分。由表 3 可知, 脱磷期炉渣 TFe 含量平均为 18.98%, 炉渣碱度平均为 1.83, 炉渣中 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 平均含量为 2.16%; 脱碳期炉

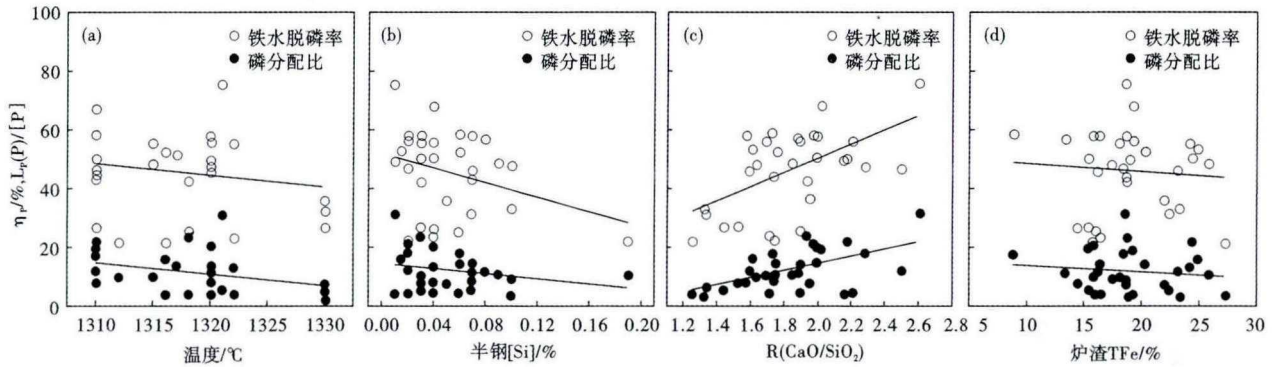


图 1 半钢温度(a)半钢硅质量分数(b)炉渣碱度(c)和炉渣全铁质量分数(d)对铁水脱磷率和磷分配比的影响

Fig. 1 Effect of temperature of semi-steel (a), silicon content in semi-steel (b), slag basicity (c), and total iron content in slag (d) on dephosphorization rate of hot metal and phosphorus partition ratio

渣 TFe 平均含量为 19.52%, 炉渣碱度平均为 3.27, 炉渣 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 平均含量为 2.39%。

### 2.2 影响转炉脱磷期铁水脱磷率和磷分配比的因素

影响转炉脱磷期铁水脱磷率主要因素是半钢温度、半钢硅含量、炉渣碱度及炉渣氧化铁含量, 具体影响关系如图 1 所示。由图 1 可知, 随着半钢温度的降低, 铁水脱磷率和磷分配比增加。当温度为 1320 °C 时, 铁水脱磷率和磷分配比最大; 随着半钢硅含量降低, 铁水脱磷率和磷分配比增加。随着炉渣碱度的增加, 铁水脱磷率和磷分配比增加。当炉渣碱度为 2.0 左右时, 炉渣具有较好的脱磷效果。随着炉渣全铁含量的增加, 铁水脱磷率和磷分配比有所降低, 主要原因是氧化铁含量过高, 稀释了石灰的浓度。当炉渣 TFe 为 18% 左右时, 炉渣具有较好的脱磷效果。

回归得到脱磷期铁水脱磷率的影响因素公式如下:

$$\eta_p = -0.26T - 73.12[Si] + 20.34\left(\frac{CaO}{SiO_2}\right) - 0.26(TFe) + 358.67 \quad (1)$$

$$R = 0.50 \quad N = 31$$

回归得到渣钢间磷分配比的影响因素公式如下:

$$L_p = -0.355T - 19[Si] + 10.30\left(\frac{CaO}{SiO_2}\right) - 0.08(TFe) + 234.05 \quad (2)$$

$$R = 0.57 \quad N = 31$$

### 2.3 影响转炉终点钢水脱磷率和磷分配比的因素

影响转炉脱碳期钢水脱磷率主要因素是一倒温度、一倒碳含量、终渣碱度、终渣全铁含量, 具体影响关系如图 2 所示。由图 2 可知, 随着一倒温度的降低, 铁水脱磷率和磷分配比增加。当温度为在 1580 °C 以下时, 铁水脱磷率和磷分配比较大; 随着一倒碳含量降低, 铁水脱磷率和磷分配比增加。随着炉渣碱度的增加, 铁水脱磷率和磷分配比增加。当炉渣碱度为 3.5 左右时, 脱磷效果良好。随着炉渣全铁含量的增加, 铁水脱磷率和磷分配比有所增加。但炉渣中全铁含量的增加会导致钢铁料消耗增加, 控制炉渣 TFe 为 20% 左右时, 可获得较高的金属收的率及良好的脱磷效果。

回归得到脱碳期铁水脱磷率的影响因素公式如下:

$$\eta_p = -0.042T - 21.37[Si] + 5.76\left(\frac{CaO}{SiO_2}\right) -$$

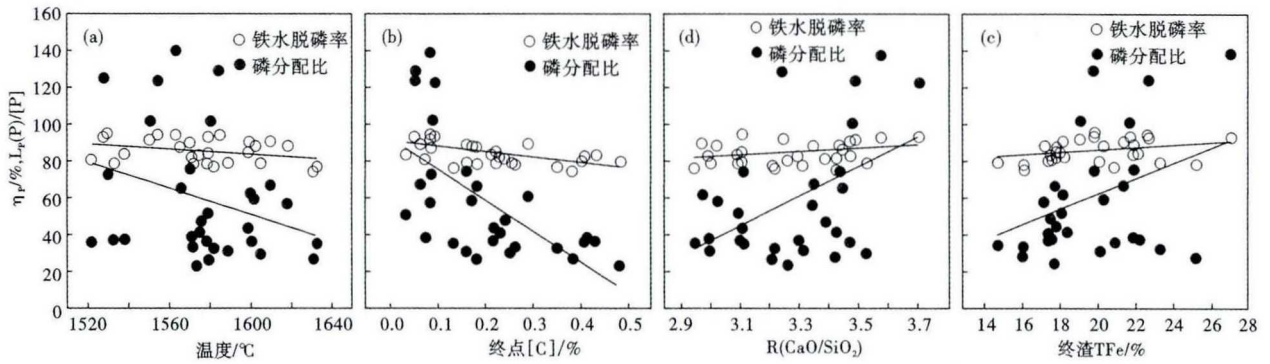


图 2 一倒温度(a)和一倒碳含量(b),终渣碱度(c),终渣全铁含量(d)对铁水脱磷率和磷分配比的影响

Fig. 2 Effect of temperature (a) and carbon content (b) of molten steel after first deslagging, slag basicity (c) and total iron content in final slag (d) on the dephosphorization rate of molten steel and phosphor partition ratio

$$0.29(\text{TFe}) + 132.16 \quad (3)$$

$$R = 0.60 \quad N = 31$$

回归得到脱碳期渣钢间磷分配比的影响因素公式如下:

$$L_p = -0.20T - 129.26[\text{Si}] + 53.52 \left( \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} \right) +$$

$$1.83(\text{TFe}) + 190.91 \quad (4)$$

$$R = 0.73 \quad N = 31$$

### 2.4 转炉终点渣-钢间磷平衡状况

应用 BELAF 程序计算了 31 炉试验炉次的转炉终点磷平衡值,如表 4 所示。由表 4 可知,转炉终点  $[P]_e/[P]_r$  为 0.90,渣钢间磷分配比的平衡值和实际值相差 5.8。两个指标更接近平衡值,说明转炉终点磷含量更接近于平衡值。

### 2.5 转炉脱磷期和脱碳期炉渣岩相组成分析

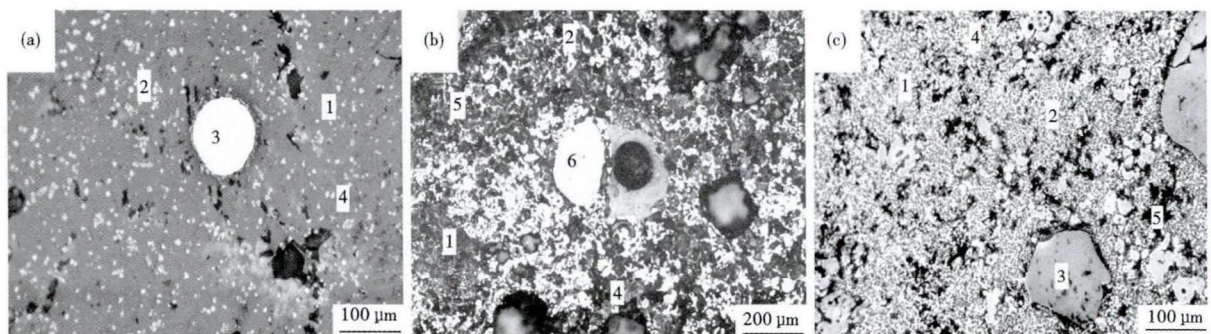
图 3 为脱磷期和脱碳期时炉渣的岩相组成。由图 3 可知,脱磷期时炉渣中主要岩相是玻璃相占

表 4 转炉终点渣钢间磷平衡值

Table 4 Equilibrium value of phosphorus between slag-steel at end-point of BOF smelting

项目	$[P]_r/\%$	$[P]_e/\%$	$[P]_r/[P]_e/\%$	$[P]_e/[P]_r/\%$	$(P)_r/[P]_r$	$(P)_e/[P]_e$
平均值	0.02	0.018	0.002	0.9	52.18	57.97
标准差	0.0043	0.0011	0.0047	0.25	21.5	22.6

注:  $[P]_r$  为实际冶炼终点钢水磷含量;  $[P]_e$  为计算冶炼终点钢水磷含量;  $(P)_r$  为实际冶炼终点炉渣磷含量;  $(P)_e$  为计算冶炼终点炉渣磷含量。



脱磷期炉渣岩相名称(a)	—玻璃相		2—RO	3—MFe	4—C <sub>2</sub> MS <sub>2</sub>	
各项占比/%	50~55		30~35	3~5	3~5	
脱磷期炉渣岩相名称(b)	1—C <sub>2</sub> S	2—C <sub>2</sub> S	3—RO	4—C <sub>2</sub> F	5—fCaO	6—MFe
各项占比/%	30~35	8~10	8~10	8~10	25~30	3~5
转炉终点炉渣岩相名称(c)	1—C <sub>2</sub> S	2—C <sub>2</sub> S	3—RO	4—C <sub>2</sub> F	5—fCaO	
各项占比/%	30~35	20~25	15~20	10~15	3~5	

图 3 脱磷期(a)脱碳期(b)和转炉终点(c)炉渣的岩相组成

Fig. 3 Phase ingredient of BOF slag in dephosphorization (a) and decarbonization period (b) and BOF end (c)

50% ~ 55% ; RO 相(以 MgO 和 FeO 等二价金属氧化物为主的连续固溶体)为 30% ~ 35% ,以及少量的 MFe(金属铁)和 C<sub>3</sub>MS<sub>2</sub>(镁硅钙相)。拉碳时炉渣中主要岩相是 C<sub>3</sub>S(硅酸三钙相)占 30% ~ 35% ; C<sub>2</sub>S(硅酸二钙相)占 8% ~ 10% ; RO 相占 8% ~ 10% ; C<sub>2</sub>F(铁酸钙相)占 8% ~ 10% ; fCaO(游离氧化钙相)占 25% ~ 30% 以及 3% ~ 5% 的 MFe。转炉终点炉渣中主要岩相是 C<sub>3</sub>S 占 30% ~ 35% ; C<sub>2</sub>S 占 20% ~ 25% ; RO 相占 15% ~ 20% ; C<sub>2</sub>F 占 10% ~ 15% ; fCaO 占 3% ~ 5% ,游离氧化钙含量适中,可见冶炼炉渣发育良好。

### 3 结论

(1) 转炉脱磷期,铁水脱磷率平均为 58.09% ,磷分配比平均为 12.78 ;转炉脱碳期,脱磷率平均为 85.56% ,磷分配比平均为 59.71。

(2) 影响转炉脱磷期铁水脱磷率主要因素是半钢温度、半钢硅含量、炉渣碱度、炉渣氧化铁含量。

当半钢温度为 1 320 ℃ ,炉渣碱度为 2.0 ,炉渣 TFe 含量为 18% 时,在脱磷期能获得较好的铁水脱磷效果。影响转炉脱碳期钢水脱磷率主要因素是一倒温度、一倒碳含量、终渣碱度、终渣全铁含量。一倒温度为 1 580 ℃ ,终渣碱度为 3.5 ,炉渣 TFe 含量为 20% 时,在脱碳期能够获得较好的脱磷效果。

(3) 转炉终点 [P]<sub>o</sub> / [P]<sub>r</sub> 为 0.90 ,渣钢间磷分配比的平衡值和实际值相差 5.8 ,转炉终点磷含量更接近于平衡值。

(4) 冶炼不同阶段炉渣的岩相成分差别较大,脱磷期炉渣中主要岩相是玻璃相、RO 相;一倒拉碳时炉渣中主要岩相是硅酸三钙相、硅酸二钙相、RO 相、铁酸钙相、游离氧化钙相;终点炉渣中主要岩相是硅酸三钙相、硅酸二钙相、RO 相、铁酸钙相。

内蒙古自治区应用技术与开发资金计划;北京市自然科学基金面上项目(201801001)(2172057)资助

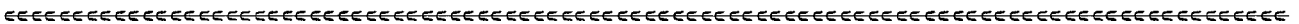
### 参考文献

[1] 叶玉奎,王向红,秦福同,等.复吹转炉双渣脱磷工艺实践[J].中国冶金,2018,28:40-44.  
 [2] 王林珠,包燕平,李翔.转炉留渣双渣工艺两阶段脱磷对比[J].钢铁,2019,54(8):37-42.  
 [3] 李翔,包燕平,王敏.转炉留渣双渣工艺脱磷阶段成渣路线研究[J].炼钢,2016,32(1):6-11.  
 [4] 王杰,曾加庆,杨利彬.复吹转炉双渣法脱磷冶炼工艺一次倒炉温度最优化选择[J].炼钢,2015,31(4):34-37.  
 [5] 刘南,赵保国,辛广胜.包钢炼钢厂转炉工艺优化[J].中国冶金,2017,27(9):38-40.  
 [6] 张旭,潘军,薛顺,等.70 t 顶底复吹转炉“留渣 + 双渣”前期脱磷工艺研究与实践[J].上海金属,2018,40(6):73-77.  
 [7] 王新华,朱国森,李海波,等.氧气转炉“留渣 + 双渣”炼钢工艺技术研究[J].中国冶金,2013,23(4):40-46.

[8] 邓南阳,范鼎东,夏云进,等.转炉双渣留渣法脱磷渣物相对渣中磷富集的影响[J].炼钢,2018,34(3):5-12.  
 [9] 夏云进,郭鑫,马伟杰,等.炉渣物相变化对“双渣 + 留渣”冶炼工艺脱磷的影响[J].钢铁研究学报,2018,30(6):434-440.  
 [10] 管挺,孙凤梅,王建华.转炉双渣冶炼工艺优化[J].炼钢,2015,31(3):5-8.

高琦(1986-),男,硕士生,工程师,2009年北京科技大学(本科)毕业,转炉炼钢研究。  
 E-mail:gaoqi\_61617664@126.com

收稿日期:2020-05-17



## “全民抗疫树新风”公益广告

弘扬抗疫精神  
 建设美丽家园