

## 120 t 转炉强化冶炼技术的应用

陈爱梅<sup>1</sup> 李炯伟<sup>2</sup> 乔林琐<sup>1</sup> 王爱兰<sup>1</sup>

(包钢钢联股份有限公司, 1 技术中心, 2 炼钢厂, 包头 014010)

**摘要** 炼钢厂新建的 120 t 顶底复吹转炉, 通过采用 TBM 底吹深脱磷技术和新型 6 孔大流量氧枪, 与 80 t 转炉比较, 加快了熔池内钢-渣反应速度, 使转炉钢-渣反应更趋于平衡, 一倒脱磷率平均提高 48.9%, 供氧时间平均缩短 3.5 min, 冶炼周期平均降低 5 min; 转炉终点(FeO)降低 2.93%; 钢铁料消耗平均降低 1 kg/t。

**关键词** 底吹脱磷 大流量氧枪 转炉

## Application of Strengthening Melting Technology for an 120 t Converter

Chen Aimei<sup>1</sup>, Li Jiongwei<sup>2</sup>, Qiao Linsuo<sup>1</sup> and Wang Ailan<sup>1</sup>

(1 Technical Center, 2 Steelmaking Plant, Steel Union Co Ltd of Baotou Steel Corp, Baotou 014010)

**Abstract** A new 120 t top and bottom combined blown converter with TBM bottom blowing dephosphorization technology and new 6 bore great flow rate oxygen lance is built at steelmaking plant. As compared with original 80 t converter, the speed of reaction between liquid steel and slag increases, the reaction is easily tending towards balance, the average dephosphorization rate increases by 48.9%, the average time of blowing oxygen decreases by 3.5 min, the average tap to tap time reduces by 5 min, the percentage of converter end (FeO) decreases by 2.93% and the average consumption of iron-scrap charging decreases by 1 kg/t.

**Material Index** Dephosphorization by Bottom Blowing, Great Flow Rate Oxygen Lance, Converter

包钢炼钢厂在 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup> 铸机精炼跨车侧新建了 2 座 120 t 顶底复吹转炉。新转炉采用了世界上较先进的工艺技术, 如底吹深脱磷工艺、高强度供氧技术等, 缩短了冶炼周期, 提升了产品质量。

### 1 底吹深脱磷技术

TBM 是由蒂森-克虏博炼钢厂转炉炼钢的一种冶炼工艺, 该技术主要通过独特的环形布置的底枪提高供气强度, 为脱磷提供良好的动力学条件, 从而提高转炉脱磷率。同时也使转炉终点碳-氧反应更接近平衡, 从而降低了钢中氧含量。

TBM 技术是一个喷气模型系统, 其优点: 非常高的气体喷吹速度, 完善的搅拌效果, 压力损失低, 对溅渣操作没有不良影响。炉底喷嘴的数量、尺寸及布置方式根据每一个转炉具体的容量和形状确定。总的气体流量将均匀地分布到每一个供气管线上, 在每条供气管线上均安装有流量计和调节阀, 用以精确调整底吹气体的压力和流量。

#### 1.1 TBM 底枪结构

120 t 转炉底吹供气系统共设有 12 个透气元件, 呈周柱状均匀分布在炉底直径 1/4 的同心圆上, 元件之间的夹角为 30°。炉底采用环形砌筑方式,

便于炉底枪砖的砌筑。

底吹供气元件采用了单管供气形式, 底吹的供气管路由一根总管分出 12 个支管, 总管有氩气和氮气两条管路, 根据钢种可以进行氮、氩切换。12 个单支管路可以单独调节, 同时管路上设有补偿装置, 如果有一个管路堵死, 可以选择流量补偿按钮把多余的流量平均分配到其它管路以保证供气均衡<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 TBM 底吹供气制度

TBM 底吹供气制度是根据氧步即供氧时间阶段来设定的, 气体种类是根据钢种对氮含量的要求设定的, 以 20 钢为例, 具体供气制度见表 1。

表 1 120 t 转炉底吹供气制度  
Table 1 Bottom blowing schedule for 120 t converter

工序	时间/min	供气流量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	气体种类
开吹	1	16	N <sub>2</sub>
	6	10	Ar
	10	12	Ar
	12	16	Ar
提枪		10	Ar
取样		10	Ar
点吹		16	Ar
取样		10	Ar
出钢		10	Ar
溅渣		21	N <sub>2</sub>
倒渣		21	N <sub>2</sub>
等待到开吹		7	N <sub>2</sub>

从炉底供给熔池的气体,通过元件喷出后以气泡的形式上浮,抽引钢水随之向上流动,从而使熔池得到搅拌。其目的就是改善熔池混合状态,增强物质传递速度,促进钢-渣反应接近平衡。底吹供气制度的建立,通常是以终渣全铁、钢中氧含量和磷含量的降低作为评价复吹冶金效果的条件之一。

### 1.3 TBM 冶金效果

#### 1.3.1 对转炉终点[C]-[O]平衡的影响

120 t 转炉采用 TBM 后,增强了吹炼末期的熔池搅拌强度,可以使钢液中发生的[C]-[O]反应更接近平衡,减少了冶炼低碳钢时钢水的过氧化,提高了钢水质量。对 80 t 和 120 t 转炉钢水终点氧活度的测定表明,在转炉终点碳含量相同的情况下,120 t 转炉钢水中的氧活度明显降低。如在出钢碳为 0.01% 时,80 t 转炉钢水中氧活度平均为  $700 \times 10^{-6}$ ,而 120 t 转炉钢水中氧活度平均为  $520 \times 10^{-6}$ 。

#### 1.3.2 对转炉终渣(FeO)的影响

由于熔池搅拌加强,使转炉渣-钢之间的反应更趋近于平衡,从而使(FeO)有所降低。统计 80 t 和 120 t 转炉的终点渣样各 500 炉,结果 80 t 转炉终点(FeO)平均含量为 16.49%,120 t 转炉终点(FeO)平均含量为 15.24%,平均降低 1.25%。

#### 1.3.3 对转炉吹炼操作的影响

由于底枪数量增加,采用环形布置,进一步增加了渣-钢之间的接触面积,使碳-氧反应更接近平衡,钢中残留氧有所下降,使(FeO)降低,进而减少了因(FeO)聚集而产生的爆发性喷溅的可能性,使吹炼更加平稳。另外,由于降碳速度的加快,使供氧时间缩短 2 min,氧耗降低  $4.3 \text{ m}^3/\text{t}_{\text{钢}}$ (表 2)。

表 2 80 t 和 120 t 转炉供氧时间和一倒脱磷率对比,500 炉  
Table 2 Comparison of oxygen blowing time and dephosphorization rate between 80t converter and 120 t converter, 500 heats

转炉/ t	底枪数 量/支	供氧时 间/min	总氧量/ $\text{m}^3$	铁水 [P]/%	一倒钢水 [P]/%	脱磷率/ %
80	4	15.8	4 650	0.105	0.035	66.7
120	12	13.8	4 090	0.105	0.010	90.5

#### 1.3.4 对脱磷率的影响

从热力学的观点看,TBM 使(FeO)降低,不利于脱磷反应的进行,但 TBM 之后,供气强度的增大使熔池搅拌加强,显著改善了脱磷反应的动力学条件,提高了熔池的传质速度,使脱磷反应更接近于平衡,提高了转炉脱磷率(表 2)。

从表 2 可见,120 t 转炉的一倒脱磷率较 80 t 转

炉平均提高 23.8%。由于脱磷率的提高,120 t 转炉的一次出钢率较 80 t 转炉提高 60%。

## 2 新型 6 孔大流量氧枪优化

120 t 新转炉引进德国 KUTTNER 公司的底吹脱磷技术(TBM)后,由于新转炉的炉型设计熔池液面比较浅,使用 5 孔氧枪穿透力比较强,而且底吹供气强度较大,造成(FeO)较低,化渣效果差。6 孔氧枪较 5 孔氧枪吹炼更加柔和,适合与底吹深脱磷技术(TBM)相匹配。研制开发的新型  $\Phi 245 \text{ mm}$  大流量 6 孔氧枪,设计流量为  $22 000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

### 2.1 冲击的深度、半径和面积的理论计算<sup>[2]</sup>

5 孔氧枪: $P_0 = 9.3 \times 10^5 \text{ Pa}$ , $d_* = 0.029 \text{ m}$ , $H = 1.20 \text{ m}$ ;冲击深度 =  $340 \times P_0 \times d_* / H^{(1/2)} - 38.1 = 0.817 \text{ m}$ ;冲击半径 =  $H \text{tg}(\theta_1 + \theta_2) + R = 1 200 \text{ tg}(12.5 + 7) + 122.5 = 0.547 4 \text{ m}$ ;冲击面积 =  $0.94 \text{ m}^2$ 。

6 孔氧枪: $P_0 = 9.3 \times 10^5 \text{ Pa}$ , $d_* = 0.026 5 \text{ m}$ , $H = 1.20 \text{ m}$ ;冲击深度 =  $340 \times P_0 \times d_* / H^{(1/2)} - 38.1 = 0.743 \text{ m}$ ;冲击半径 =  $H \text{tg}(\theta_1 + \theta_2) + R = 1 200 \text{ tg}(12.5 + 7) + 122.5 = 0.547 4 \text{ m}$ ;冲击面积 =  $0.94 \text{ m}^2$ 。

式中: $P_0$ -喷嘴前氧压力/Pa; $d_*$ -喉口直径/m; $H$ -喷枪高度/m; $\theta_1$ 、 $\theta_2$ -夹角/°; $R$ -喷口直径/m。通过理论计算得出,6 孔氧枪冲击深度较 5 孔氧枪降低,而冲击面积不变,说明有利于化渣和脱磷。

### 2.2 6 孔大流量氧枪的使用效果

#### 2.2.1 造渣剂消耗

各选取 500 炉铁水条件基本相同,浇铸为同一钢种、同一浇次,转炉出钢量波动范围 100 ~ 105 t,分别采用 5 孔和 6 孔氧枪转炉造渣剂消耗(表 3),6 孔氧枪造渣剂消耗较 5 孔氧枪略少。

表 3 5 孔和 6 孔氧枪造渣剂消耗,500 炉 /kg  
Table 3 Consumption of slag making materials by using 5 bore lance and 6 bore lance, 500 heats /kg

氧枪	白灰	白云石	污泥球	铁皮	镁球
5 孔枪	5 524	920	527	560	461
6 孔枪	5 468	896	501	519	458

#### 2.2.2 转炉冶炼工艺参数

各选取 500 炉铁水条件基本相同,选取 5 孔和 6 孔氧枪冶炼同浇次、钢种炉次进行对比,见表 4。

从表 4 可以看出,在相同铁水条件下,6 孔氧枪比 5 孔总供氧时间缩短 1.5 min,氧耗降低  $3.6 \text{ m}^3/\text{t}_{\text{钢}}$ ,点吹次数降低 70%。另外使用 6 孔氧枪后,由于点吹次数降低,一次出钢率的提高,冶炼周期缩

表4 120 t 转炉使用5孔和6孔氧枪时主要冶炼参数,500炉  
Table 4 Main steelmaking parameters for 120 t converter using 5-bore lance and 6-bore lance, 500 heats

氧枪	铁水量/ t	废钢量/ t	一倒温 度/℃	终点温 度/℃	总供氧时 间/min	总氧量/ m <sup>3</sup>	点吹 次数
5孔枪	90.1 ~	12 ~	1 573 ~	1 608 ~	16 ~	4 571 ~	0 ~ 2
	101.2	18	1 668	1 679	19	5 374	
6孔枪	90.4 ~	12 ~	1 581 ~	1 611 ~	15 ~	4 275 ~	0 ~ 2
	102.7	18	1 674	1 688	18	5 075	

短3 min。

### 2.2.3 转炉终点脱磷率

各选取500炉铁水条件基本相同,选取5孔和

6孔氧枪冶炼同浇次、钢种炉次进行对比。转炉一倒和终点脱磷率见表5。

在冶炼同浇次、钢种炉次进行对比时,6孔氧枪转炉终点温度比5孔氧枪平均提高2℃,终点碳平均提高0.03%,一倒脱磷率平均提高25.1%,终点脱磷率平均提高4.9%。

### 2.2.4 转炉终点炉渣性能

各选取500炉铁水条件基本相同,使用6孔和5孔氧枪转炉终点炉渣成分见表6。由表6可见,使用6孔氧枪的(FeO)较使用5孔氧枪的(FeO)平均

表5 120 t 转炉使用5孔和6孔氧枪时钢水成分及脱磷率,500炉

Table 5 Rate of dephosphorization and chemical composition of liquid steel in 120 t converter using 5-bore lance and 6-bore lance, 500 heats

氧枪	一倒成分/%				终点成分/%				脱磷率/%	
	C	Mn	P	S	C	Mn	P	S	$\eta_{一倒}$	$\eta_{终点}$
5孔枪	0.02 ~	0.06 ~	0.008 ~	0.017 ~	0.01 ~	0.05 ~	0.005 ~	0.015 ~	33.9 ~	69.1 ~
	0.35	0.38	0.065	0.059	0.21	0.32	0.028	0.053	93.7	95.5
6孔枪	0.03 ~	0.06 ~	0.003 ~	0.015 ~	0.01 ~	0.07 ~	0.005 ~	0.014 ~	42.8 ~	72.8 ~
	0.34	0.36	0.042	0.057	0.14	0.18	0.031	0.047	96.7	97.7

表6 5孔和6孔氧枪炉渣性能,300炉

Table 6 Ingredient and basicity of slag in 120 t converter using 5-bore lance and 6-bore lance, 300 heats

氧枪	渣样	炉渣成分/%							碱度
		SiO <sub>2</sub>	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO	TFe	FeO	MnO	
5孔枪	拉碳	10.90 ~ 21.07	39.97 ~ 53.09	1.35 ~ 3.20	5.17 ~ 12.96	7.62 ~ 20.01	6.04 ~ 18.57	3.83 ~ 5.68	2.5 ~ 3.9
	终点	10.50 ~ 18.22	39.75 ~ 52.98	1.43 ~ 2.78	6.12 ~ 13.00	11.20 ~ 26.20	9.75 ~ 26.30	3.62 ~ 4.69	3.0 ~ 4.4
6孔枪	拉碳	11.30 ~ 21.07	40.60 ~ 53.09	1.91 ~ 3.92	5.30 ~ 12.55	7.59 ~ 19.87	5.68 ~ 16.53	3.01 ~ 5.16	2.6 ~ 3.9
	终点	10.50 ~ 18.22	39.75 ~ 52.98	1.63 ~ 3.59	6.12 ~ 13.00	10.56 ~ 25.20	9.65 ~ 18.11	3.28 ~ 4.07	3.1 ~ 4.2

降低1.68%,炉渣碱度二者相当。

### 2.2.5 转炉钢铁料消耗和转炉氧枪烧枪比率

使用6孔氧枪,由于点吹次数降低70%,钢铁料消耗由原来的平均1 090 kg降低到平均1 089 kg,每吨钢平均降低1 kg。

经统计,在枪龄低于300炉的烧枪比率中,5孔氧枪烧枪比率为15%,而6孔氧枪为10%,烧枪比率降低5%。这是由于6孔氧枪的化渣效果优于5孔氧枪,返干时间减少所致。

## 3 结论

(1)底吹深脱磷工艺应用后,使转炉终点碳-氧反应更接近平衡,比较80 t转炉,转炉终点钢水氧活性在碳含量相同的情况下明显降低,(FeO)明显降低。

(2)新型6孔大流量氧枪的优化,提高了化渣速度,使TBM底吹脱磷作用更好地发挥,转炉终点

钢-渣反应更趋于平衡,比较80 t转炉,一倒脱磷率平均提高48.9%。

(3)通过对底吹深脱磷和新型6孔大流量氧枪的工艺优化,提高了转炉终点C、P和温度的命中率,比较80 t转炉,点吹次数降低70%,供氧时间和冶炼周期分别平均缩短3.5 min和5 min。

### 参考文献

- 1 杨富强,李炯伟,宋江波. TBM工艺在包钢120吨转炉应用. 包钢科技,2008,34(5):26
- 2 袁张福,攀怡芳. 炼钢氧枪技术. 北京:冶金工业出版社,2007

陈爱梅(1967-),女,高级工程师,1989年鞍山钢铁学院毕业,炼钢工艺研究。

收稿日期:2009-04-02