

转炉氧枪顶吹工艺的水力学模拟

包丽明 刘 坤 吕国成 杨晶晶
(辽宁科技大学材料学院, 鞍山 114044)

摘 要 根据鞍钢 180 t 氧气转炉生产情况, 进行氧气顶吹转炉 1/15 模型的水力学模拟实验, 以得出吹炼工艺参数对熔池的影响。结果表明, 当模型顶吹气体流量 $\geq 15.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 时, 枪位和流量变化对熔池均混时间影响较小; 熔池的喷溅量随枪位降低和顶吹气体流量的增加而增加; 当气体流量为 $16.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 时, 熔池的喷溅量较大。

关键词 氧气转炉 顶枪流量 枪位 均混时间 冲击深度

Hydraulic Simulation of Oxygen Lance Top Blown Process of Converter

Bao Liming, Liu Kun, Lü Guocheng and Yang Jingjing
(Material School, Liaoning University of Science and Technology, Anshan 114044)

Abstract According to production condition of an 180 t oxygen converter, the hydraulic simulation test of 1/15 model of oxygen top blown converter has been carried to get the effect of blown process parameters on bath. Results showed that as top blown gas flow rate was $\geq 15.5 \text{ m}^3/\text{h}$ the change of oxygen lance position and gas flow rate have little influence on mixed time of bath; with lowering top lance position and increasing top blown gas flow rate the splash amount of bath increased; and as gas flowing rate was $16.0 \text{ m}^3/\text{h}$, the splash amount of bath was larger.

Material Index Oxygen Converter, Top Lance Flow Rate of Gas, Lance Position, Mixed Time, Impact Depth

顶吹转炉熔池均匀混合时间是吹气设备用来表示其熔池内混合特性的一个重要参数^[1,2]。均匀混合时间的测量方法有 3 种: 电导电极法、激光-光电测匀法、酸度 (pH 值) 变化测定法, 本实验采用第一种方法。氧枪枪位是指从喷头端面到铁水熔池表面之间的垂直高度, 冶炼过程中的最佳枪位难以确定, 主要凭经验来控制^[3]。

射流冲击液面的 3 种基本模式为凹洼、飞溅和穿入, 是以冲击速度的大小来定限。射流冲击熔池液面有 3 种基本的运动形式即环流、喷溅和振荡。

1 物理模型的建立

模拟的实际转炉主要技术参数为:

转炉产量 $N = 180 \text{ t}$; 氧气流量 $Q = 32\,000 \text{ m}^3/\text{h}$; 炉膛压力 $p_c = 1.033 \times 10^5 \text{ Pa}$; 熔池铁水深度 $h = 1.688 \text{ m}$; 枪位 $H = 1.2 \sim 2.2 \text{ m}$ 。

建立复吹转炉物理模型时, 主要考虑原型与模型的几何相似和动力相似。

对于几何相似, 主要考虑选择合适的相似比, 几何相似比可以表示为 (实验时取 15:1):

$$m = L_p / L_m \quad (1)$$

式中: L_p - 实物几何尺寸/m; L_m - 模型几何尺寸/m。

动力相似则以射流冲击熔池液面产生的冲击深度为例, 推导实验的相似准数, 射流冲击液面的各个参数如图 1 所示。其函数形式为:

$$f(n_0, \rho_g, \rho_L, g, H, \mu_g, \mu_L, d_0, v_g, \sigma) = 0 \quad (2)$$

式中: n_0 - 冲击深度/m; ρ - 密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$); μ - 粘性系数/($\text{Pa} \cdot \text{s}$); σ - 液体表面张力/($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$); g - 重力加速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$); H - 枪位/m; d_0 - 氧枪喷头出口直径/m; v_g - 气体流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

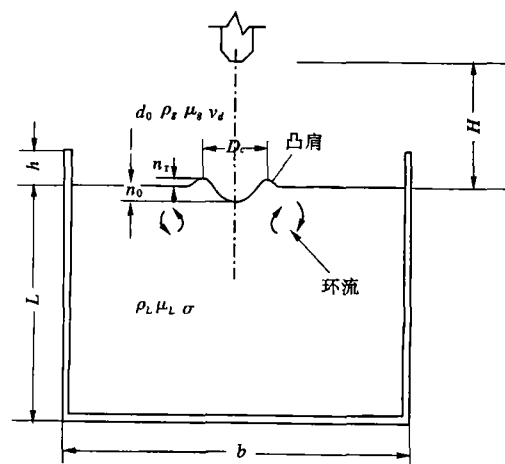


图 1 气体射流冲击熔池液面示意图
Fig. 1 Schematic of jet gas impacting bath liquid surface

忽略对冲击深度影响较小的液体表面张力 σ 和液体与气体的粘性系数 μ_L 和 μ_g 。以 d_0 、 v_g 、 ρ_L 为量纲独立量,根据量纲分析法得到的准数方程式为:

$$\frac{n_0}{d_0} = f\left(\frac{\rho_g}{\rho_L}, \frac{H}{d_0}, Fr\right) \quad (3)$$

可见,在保证几何相似条件下,对射流冲击熔池液面起着决定性作用的影响因素为 $\frac{\rho_g}{\rho_L} \cdot Fr$ 。其中

$$Fr = \frac{v_g^2}{gd_0}$$

表示重力与惯性力之比。

定义 $Fr' = \frac{v_g^2 \rho_g}{gd_0 \rho_L}$ 为修正的 Froude 准数。

式中: v_g - 气流速度/($m \cdot s^{-1}$); d_0 - 特征尺寸/m; ρ_L 、 ρ_g - 液体密度、气体密度/($kg \cdot m^{-3}$)。

在建立物理模型时,要保证模型与原型动力相似,则模型的修正 Froude 准数 (Fr'_m) 与原型的修正 Froude 准数 (Fr'_p) 相等。

$$\frac{v_{gm}^2}{gd_{0m}} \cdot \frac{\rho_{gm}}{\rho_{Lm}} = \frac{v_{gp}^2}{gd_{0p}} \cdot \frac{\rho_{gp}}{\rho_{Lp}} \quad (4)$$

$$Q_m = v_{gm} \left(n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{0m}^2 \right) 3\,600 \quad (5)$$

$$Q_p = v_{gp} \left(n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{0p}^2 \right) 3\,600 \quad (6)$$

由(4)~(6)式得到 Q_m 与 Q_p 的关系:

$$\frac{Q_m}{Q_p} = \left(\frac{d_{0m}}{d_{0p}} \right)^{5/2} \cdot \left(\frac{\rho_{gp}}{\rho_{gm}} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{\rho_{Lm}}{\rho_{Lp}} \right)^{1/2} \quad (7)$$

式中: v_{gm} 、 v_{gp} - 模型与原型氧枪喷头气流特征速度/($m \cdot s^{-1}$); ρ_{gm} 、 ρ_{gp} 、 ρ_{Lm} 、 ρ_{Lp} - 模型与原型的气体密度和液体密度/($kg \cdot m^{-3}$); d_{0m} 、 d_{0p} - 模型与原型的特征尺寸/m; Q_m 、 Q_p - 模型和原型的气体流量/($m^3 \cdot h^{-1}$)。

通过(1)及(7)式计算得到实验时应用的几何和动力参数,列入表 1、表 2 中。

表 1 原型和模型的几何相似

Table 1 Geometry similarity of prototype and model

类别	熔池直径/m	熔池深度/m	氧枪喉口直径/ $10^{-3}m$	氧枪出口直径/ $10^{-3}m$	氧枪枪位/m
原型	5.15	1.688	34.00	44.20	1.20~2.20
模型	0.34	0.113	2.27	2.95	0.08~0.15

实验中采用的枪位值分别为 0.08, 0.09, 0.10, 0.12, 0.14 m, 流量值分别为 14.0, 14.5, 15.0, 15.5, 16.0 m^3/h 。

表 2 原型和模型的顶吹动力相似

Table 2 Dynamic similarity of top blowing of prototype and model

吹气方式	熔池液体	顶吹气体	气体密度/ $(kg \cdot m^{-3})$	液体密度/ $(kg \cdot m^{-3})$	气体流量/ $(m^3 \cdot h^{-1})$
原型	钢液	氧气	1.43	7 000	30 000~35 000
模型	水	空气	1.29	1 000	13.7~16.0

2 水模型实验

在水模型实验中,用水模拟钢水,用压缩空气模拟顶吹氧气。确定在不同的吹炼工艺条件下熔池的均混时间、冲击坑的深度,并观察喷溅量的大小。实验设备见图 2。

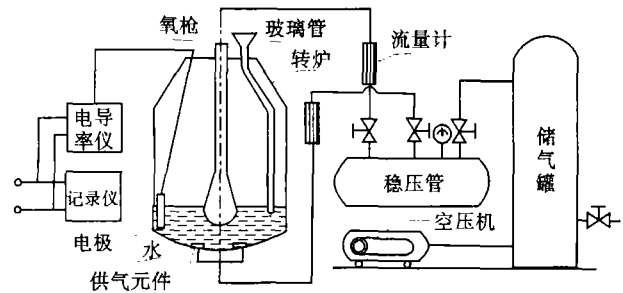


图 2 鞍钢 180 t 复吹转炉模拟实验装置

Fig. 2 Simulated experiment device for an 180 t top and bottom combined blown converter at Anshan Steel

2.1 转炉单纯顶吹条件下的水力学模拟实验结果

本实验中模拟现场的实际流量范围是 30 000 ~ 35 000 m^3/h ,吹炼枪位范围是 1.2 ~ 2.2 m。实验结果如图 3、图 4 所示。

2.2 结果分析

从图 4(a) 可见,当顶吹气体流量 $\leq 14.5 m^3/h$ 时,熔池搅拌均匀时间有一个极值。当流量 $\geq 15.5 m^3/h$ 时,随着枪位的变化,均混时间波动不是太大。这表明在大流量的条件下,枪位对均混时间的影响不是很大。由图 3(a) 可知,当氧枪枪位为 0.08 m 和 0.10 m 时,随着气体流量的变化,均混时间的波动不是很大,这说明在这两个枪位的条件下,顶吹气体流量对均混时间的影响不是很大。当枪位为 0.09, 0.12, 0.14 m 时,随着流量的不同,均混时间都有一个极值。

实际操作中主要是看冲击深度到达熔池深度的百分比,故本次实验中已把冲击深度作了进一步处理,将其换算成与熔池深度的百分比。由于实验过程中熔池深度固定,故讨论冲击深度的变化情况与讨论二者百分比的变化情况相同,为了简便起见,文

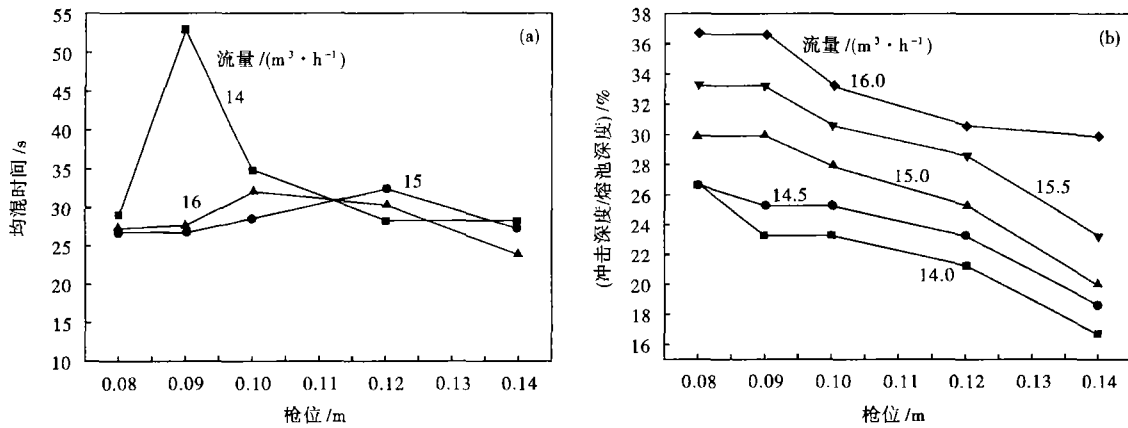


图3 枪位对熔池均混时间(a)和冲击深度(b)的影响
Fig.3 Effect of lance position on mixed time (a) and impact depth (b) of bath

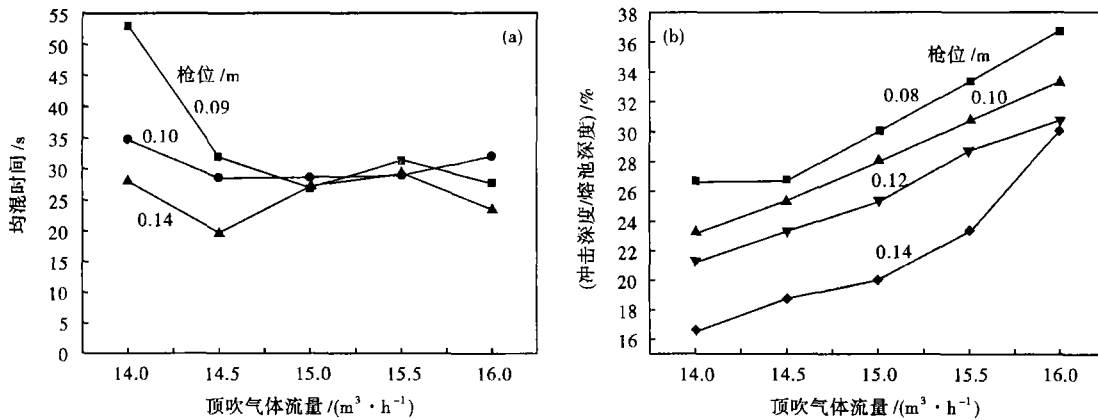


图4 顶吹气体流量对熔池均混时间(a)和冲击深度(b)的影响
Fig.4 Effect of gas flow rate on mixed time (a) and impact depth (b) of bath

中均用冲击深度来进行讨论。

由图3(b)可知,随着氧枪枪位升高,熔池冲击深度将呈现减少的趋势。当顶吹气体流量为14.0, 14.5, 16.0 m³/h时,不同枪位下的冲击深度随枪位的增加而减小的速率要小于气体流量为15.0, 15.5 m³/h时的冲击深度的减少速率。由图4(b)可知,随着气体流量的增加,熔池冲击深度将呈现出增加的趋势,当气体流量为16.0 m³/h,枪位为0.08 m时,熔池的冲击深度最大。

通过对喷溅量的观察可知,当流量为14.0 m³/h,喷溅量较小,在转炉器壁上仅有很少的水珠;当流量为16.0 m³/h时,熔池的喷溅量较大,在转炉顶部会看见有“白雾”生成。并且随着流量的增大和枪位的降低,喷溅量逐渐增大。

由于实验设备有限,只能对射流冲击液面的基本模式进行定性分析。随着流量的增加、枪位的降低,凹坑的深度也将逐渐加深,喷溅量逐渐增加。这样冲击模式也将逐渐发生变化。实验过程中的凹洼

模式不是很明显。

3 结论

当模型顶吹气量≥15.5 m³/h时,枪位和流量的变化对熔池均混时间影响很小。在模型枪位为0.10~0.14 m时,枪位高低对均混时间影响不显著。熔池的喷溅量随枪位降低和顶吹气体流量的增加而增加,当模型气体流量为16.0 m³/h时,熔池的喷溅量较大。

参考文献

- 1 刘漠川,金光南,郝宝升,等.侧底复吹转炉的水力学研究.首届全国青年冶金学术交流会论文集.北京:冶金工业出版社,1990:260
- 2 刘爱华,李强,冯明霞,等.LBE转炉优化吹炼工艺参数的水模实验研究.材料与冶金学报,2003,2(1):21
- 3 徐文派.转炉炼钢学.北京:冶金工业出版社,1986

包丽明(1983-),女,硕士研究生,辽宁科技大学,从事冶金传输方向研究。