

180 t 转炉底吹气体与熔池相互作用的水模型实验

包丽明 刘坤 吕国成 苏东磊

(辽宁科技大学材料学院, 鞍山 114044)

摘要 通过10:1水模型研究了转炉底吹流量0.55~0.75 m³/h和底吹喷嘴4孔对称、2孔对称、2孔不对称分布以及喷嘴位置 $d/D=0.1\sim 0.9$ (d -喷嘴所在同心圆直径, D -转炉熔池直径)对熔池均混时间的影响。结果表明, $d/D=0.3$,底吹流量0.70 m³/h,4孔对称底吹时熔池搅拌效果最佳;2孔不对称喷吹时,最佳流量为0.60~0.70 m³/h,最佳喷嘴位置 $d/D=0.3\sim 0.5$;2孔对称喷吹时最佳流量与喷嘴位置分别为0.65 m³/h和 $d/D=0.7$ 。

关键词 180 t 转炉 底吹气体流量 喷嘴位置 均混时间 水模型

Water Modelling Test on Interaction between Bottom Injection Gas and Bath for an 180 t Converter

Bao Liming, Liu Kun, Lü Guocheng and Su Donglei

(Material School, Liaoning University of Science and Technology, Anshan 114044)

Abstract The effect of converter bottom gas flow rate 0.55~0.75 m³/h, distribution of bottom nozzle with 4 hole symmetry, 2 hole symmetry and 2 hole non-symmetry and blowing location $d/D = 0.1\sim 0.9$ (d - diameter of concentric circles of located nozzle; D - diameter of converter bath) on bath mixing time has been studied by 10:1 water modelling. Results showed that the stirring effect for 4 hole symmetry bottom blowing with $d/D = 0.3$ and flow rate 0.70 m³/h was optimum, the stirring effect for 2 hole symmetry bottom blowing with 0.60~0.70 m³/h and $d/D = 0.3\sim 0.5$ was optimum, and that for 2 hole non-symmetry was respectively 0.65 m³/h and $d/D = 0.7$.

Material Index 180 t Converter, Bottom Blowing Gas Flow Rate, Nozzle Location, Mixing Time, Water Modelling

转炉底吹主要是加强熔池的搅拌,缩短熔池的均匀混合时间^[1,2]。本次实验主要研究底吹气体对熔池搅拌的均混时间的影响。实验时采用电导电极法进行测量。

1 物理模型和实验方案

模拟的实际转炉底吹的主要技术参数为:转炉产量 $N=180\text{ t}$; 气体流量 200~650 m³/h; 炉膛压力 $p_c = 1.033 \times 10^5\text{ Pa}$; 熔池铁水深度 $h = 1.688\text{ m}$ 。

对于原型与模型的几何相似,主要考虑选择合适的相似比(实验时取为10:1):

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

式中: L_p 、 L_m -实物及模型几何尺寸/m。

实验的定性准数为修正的 Froude 准数 Fr' 。即模型的修正弗鲁德准数 Fr'_m 与原型的修正弗鲁德准数 Fr'_p 相等^[3]。模型与原型气体流量之比为:

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

式中: ρ_{gm} 、 ρ_{gp} -模型与原型的气体密度/(kg·m⁻³); ρ_{lm} 、 ρ_{lp} -模型与原型的液体密度/(kg·m⁻³); d_{0m} 、 d_{0p} -模型与原型的特征尺寸/m; g -重力加速度/

(m·s⁻²); n -喷嘴数目; Q_m 、 Q_p -模型和原型的气体流量/(m³·h⁻¹)。

通过(1)及(2)式计算得到实验时应用的几何参数和动力参数见表1和表2。

表1 几何相似参数

Table 1 Geometry similarity parameters

类别	熔池直径/mm	熔池深度/mm	底枪孔数
原型	5 150	1 688	8
模型	515.0	168.8	4

表2 动力相似参数

Table 2 Dynamic similarity parameters

类别	熔池液体	喷吹气体	气体密度/(kg·m ⁻³)	液体密度/(kg·m ⁻³)	气体流量/(m ³ ·h ⁻¹)
原型	钢液	氮气	1.251	7 000	200~650
模型	水	空气	1.29	1 000	0.55~0.75

转炉炉底吹孔位置见图1。喷嘴位置 d/D : d -喷嘴所在同心圆直径; D -转炉炉体熔池直径。

2 实验结果及分析

2.1 4孔对称底吹

图2(a)可见, d/D 为0.9的均混时间较长,只在

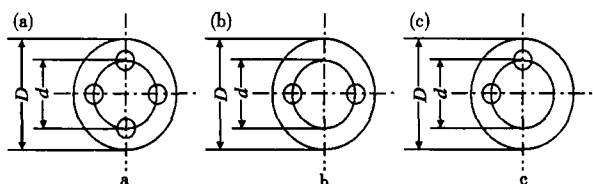


图 1 转炉底部平面示意图:喷嘴 4 孔对称(a);2 孔对称(b);2 孔不对称(c)

Fig. 1 Schematic of bottom of converter: blowing nozzle with 4 hole symmetry (a), 2 hole symmetry (b) and 2 hole non-symmetry (c)

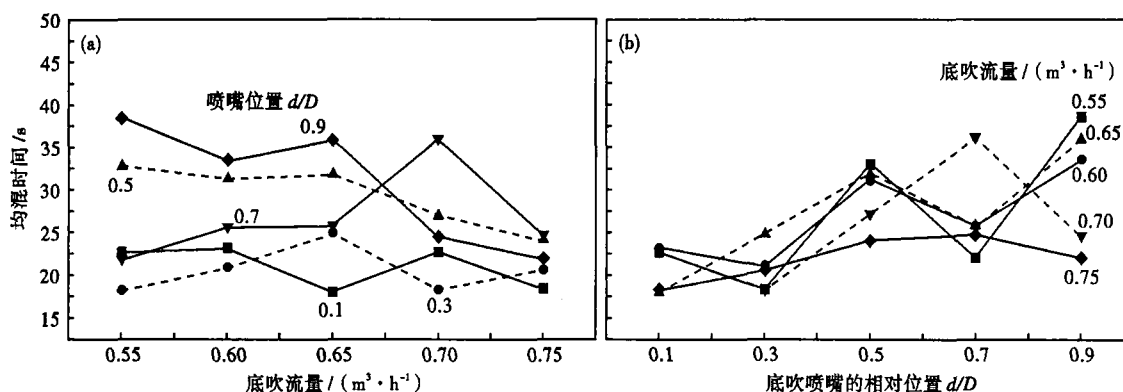


图 2 4 孔对称时气体流量(a)和底吹喷嘴位置 d/D (b) 对熔池均混时间的影响

Fig. 2 Effect of gas flowing rate (a) and bottom nozzle location d/D (b) for nozzle with 4 hole symmetry on mixing time of bath

而减小,但整个曲线反而较平缓;其余三个流量一直随相对位置的增大而增大,且过程变化较大。这说明在小流量时喷嘴的相对位置起主要作用;而在较大流量时则是流量与喷嘴位置共同影响均混时间的变化。

可以看出,4 孔对称喷吹时底吹的最佳位置是 $d/D=0.3$,最佳流量是 $0.70 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

2.2 2 孔对称底吹

图 3(a) 可见, $d/D=0.7$ 曲线的波动最大,为 V 形;其余随着喷嘴相对位置的增大,波形逐渐平缓,为平缓的 W 形; $d/D=0.7$ 曲线在 $0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ 的均混时间最短,为最佳的喷嘴位置;除 $d/D=0.9$ 外其余 4 个喷嘴位置的极值都不在始末位置。 $d/D=0.9$ 的曲线变化最缓慢,也最单调,这可能是因为 $d/D=0.9$ 时的相对位置最大,接近于 1。

图 3(b) 可见,除 $0.55 \text{ m}^3/\text{h}$ 以外的 4 个流量的曲线都相对的比较平缓,只有 $0.55 \text{ m}^3/\text{h}$ 在 d/D 为 0.7 位置上有较明显的增大;在 2 孔对称底吹时 $d/D=0.7$ 位置对流量的变化比较敏感,其余 4 个位置相对迟钝;流量为 $0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ 的曲线在喷嘴位置 $d/D=0.3$ 和 0.7 时,均混时间都最小,且在所有的喷嘴位置中其均混时间也都比较小,因此 $0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ 是 2 孔对称底吹最佳的流量。

可见,2 孔对称底吹的最佳流量是 $0.65 \text{ m}^3/\text{h}$,最佳喷嘴位置是 $d/D=0.7$ 。

大流量 $0.70, 0.75 \text{ m}^3/\text{h}$ 时才相差不大;在 d/D 为 $0.3, 0.5$ 的曲线上流量处于 $0.70 \text{ m}^3/\text{h}$ 时有一极值点,且该点的均混时间在曲线中最小,因此为最佳的流量; $d/D=0.1$ 曲线的波动最小,最佳的喷嘴位置在 d/D 为 0.3 曲线上,流量为 $0.70 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

图 2(b) 可见,总的趋势都是随喷嘴的相对位置的增大均混时间增大;在 $0.70, 0.75 \text{ m}^3/\text{h}$ 这两个流量下开始时 (d/D 为 $0.1, 0.3$) 随相对位置的增大反

2.3 2 孔不对称底吹

图 3(c) 可见,2 孔不对称同 2 孔对称一样,也是喷嘴位置为 $d/D=0.75$ 时的曲线较特殊,在整个流量范围内除 $d/D=0.75$ 外其它喷嘴位置的均混时间均随流量的增加略有增大;当流量 $\geq 0.60 \text{ m}^3/\text{h}$ 时随流量的增大均混时间减小较缓慢,在 $0.70 \text{ m}^3/\text{h}$ 时达到极小值后开始增大,且增大的趋势比较明显。

图 3(d) 可见,对于相同的流量来说均混时间都是随喷嘴相对位置的增大而缓慢增加;在 $0.75, 0.55 \text{ m}^3/\text{h}$ 两条曲线中当喷嘴的相对位置 d/D 临近 0.7 时均混时间的波动突然变大,除此之外,其它流量下的均混时间仍是在平缓的趋势中逐渐增大。

可以看出,2 孔不对称的最佳喷嘴位置 d/D 为 $0.3, 0.5$ 处,最佳流量则是处于 $0.60 \sim 0.70 \text{ m}^3/\text{h}$ 之间的某一流量。

2.4 3 种方案的比较

对比图 4(a)(b)(c) 得到:(1) 在小流量 ($0.55 \text{ m}^3/\text{h}$) 时 3 种情况的均混时间都随喷嘴的相对位置由 $d/D=0.1$ 到 $d/D=0.7$ 的过程中逐渐缓慢的变大,但在 $d/D=0.7$ 到 $d/D=0.9$ 的过程中则有所不同,其中 2 孔的均混时间有所减小,4 孔的仍旧增加,且趋势变大。故小流量时喷嘴位置对 2 孔的影响不明显,对 4 孔影响较大;(2) 小流量时 2 孔对称与不对称对均混时间基本上没有影响;(3) 在 0.65

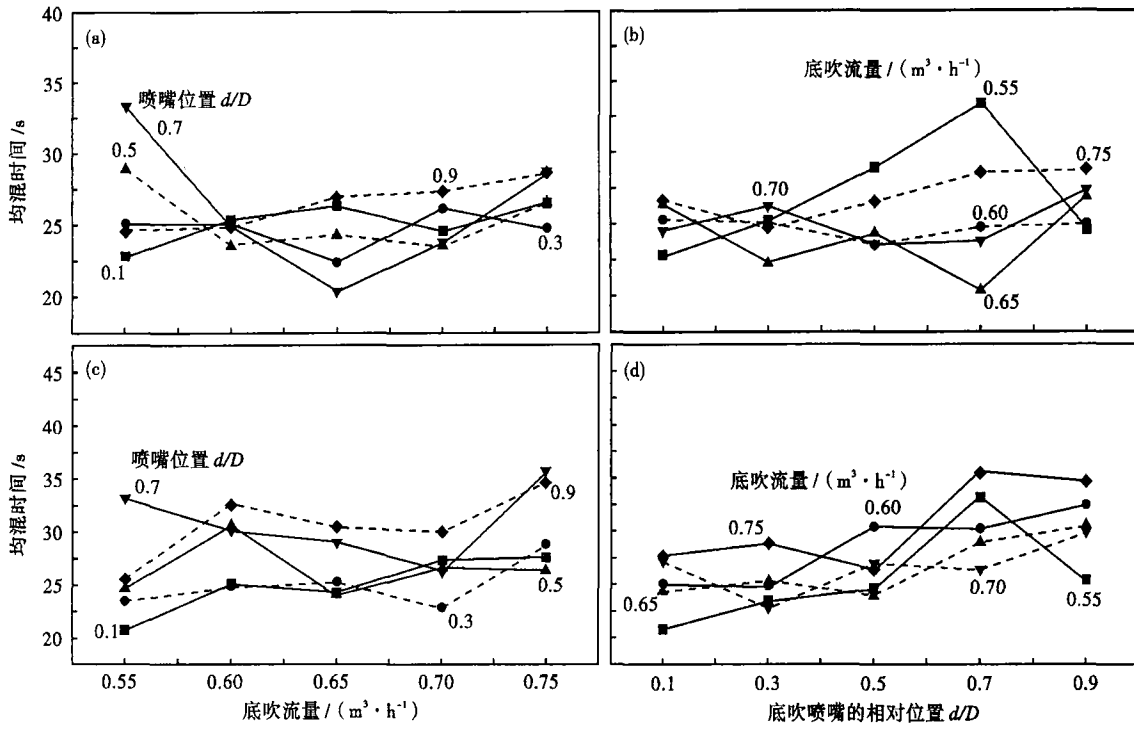


图 3 2 孔对称(a,b)和不对称(c,d)时气体流量(a,c)和底吹喷嘴位置 d/D (b,d)对熔池均混时间的影响

Fig. 3 Effect of gas flowing rate (a,c) and bottom nozzle location d/D (b,d) for nozzle with 2 hole symmetry (a,b) and non-symmetry (c,d) on mixing time of bath

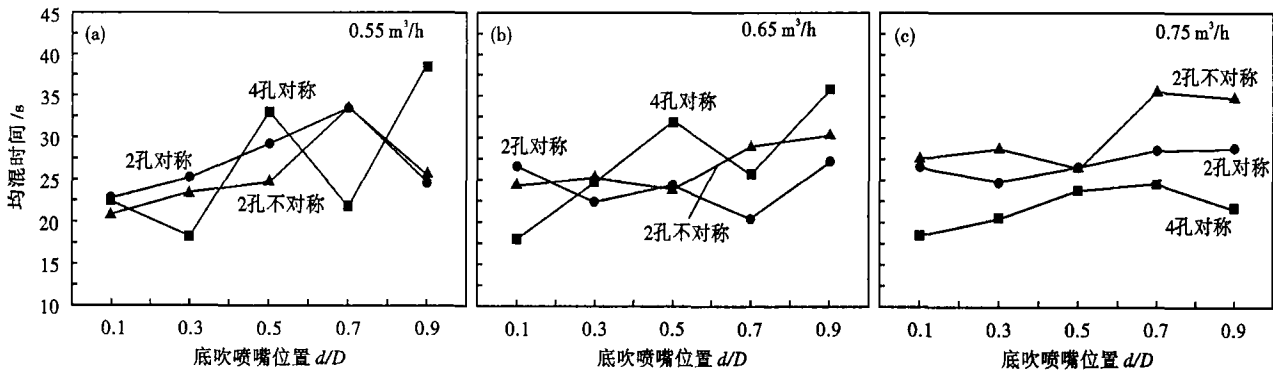


图 4 流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$ 为 0.55 (a); 0.65 (b); 0.75 (c)时三种方案的喷嘴位置-均混时间曲线比较

Fig. 4 Comparison of nozzle location - mixing time curves with gas flowing rate 0.55 (a), 0.65 (b) and 0.75 (c) m^3/h

m^3/h 时喷嘴位置对 2 孔的均混时间的影响不明显,对 4 孔的影响较大。但 2 孔对称的趋势发生变化,变为上下波动,且 $d/D = 0.7$ 位置的均混时间最短;(4)在流量为 $0.75 \text{ m}^3/\text{h}$ 时三者的均混时间曲线发生了较大的变化,最显著的变化是 4 孔的均混时间明显的要比 2 孔的均混时间短。2 孔的均混时间跟 $0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ 比并没太大的变化,只略微的增大;(5)4 孔对称与 2 孔对称的趋势基本相同,较为平缓,且都是在 $d/D = 0.3$ 处有一最小值。

3 结论

(1)在 $d/D = 0.3$ 位置处最大流量为 $0.70 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,4 孔对称底吹时得到最佳的熔池搅拌效果。

(2)2 孔不对称喷吹时,最佳流量在 $0.60 \sim$

$0.70 \text{ m}^3/\text{h}$ 之间,最佳喷嘴位置则在 $d/D = 0.3$ 和 $d/D = 0.5$ 两处;2 孔对称底吹的最佳工艺参数流量为 $0.65 \text{ m}^3/\text{h}$ 时的 $d/D = 0.7$ 位置处。

国家自然科学基金资助项目(50574007)

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
- 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 包丽明,刘坤,吕国成,等.转炉氧枪顶吹工艺水力学模拟.特殊钢,2007,28(5):13

包丽明(1983-),女,在读硕士研究生,辽宁科技大学毕业,从事冶金传输方向的研究。

收稿日期:2007-09-16