

300 t 铁水包双枪喷吹脱硫均混时间的水模型研究

庞在刚 张炯明 叶凡新 任 菟

(北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083)

摘要 通过1:3.5水模型研究了宝钢300 t铁水包双枪喷吹脱硫时,喷枪插入深度、气体流量、喷吹位置对均混时间的影响。结果表明,偏心喷吹的搅拌效果优于中心喷吹;喷枪插入越深,均混时间越小,但对底部耐火材料冲击加大;气体流量增加,铁水包内回流区增加,均混时间减小;喷枪弯曲时均混时间比同一工况直喷枪喷吹减少10%~30%。

关键词 铁水包 水模型 双枪喷吹脱硫 均混时间

A Study of Water Modelling on Mixing Time for a 300 t Hot Metal Desulphurization-Pretreated by Double-Lance Injection Process

Pang Zaigang, Zhang Jiongming, Ye Fanxin and Ren Wei

(School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract Effect of lance inserting depth, gas flow rate and injection location on mixing time for a 300 t hot metal desulphurization-pretreated by double-lance injection process at Baosteel has been studied by 1:3.5 water modelling. Results showed that the effect of stirring by off-centre injection was better than that by centre injection; the deeper the insertion lance, the shorter the mixing time, but the impact to refractory in bottom increased; with increasing gas flow rate the return flow zone increased and the mixing time decreased; and the mixing time for injection by bending lance decreased by 10%~30% as compared with that by straight lance.

Material Index Hot Metal Ladle, Water Modelling, Double Lance Injection for Desulphurization, Mixing Time

对于钢中硫含量的控制,铁水预处理是关键的一步。用镁基脱硫剂脱硫一直是生产低硫钢的重要方法^[1-4]。对于鱼雷罐喷粉中的均混时间已有人作过研究^[5-7]。本研究采用水模型实验对铁水包中的混合情况进行模拟,为下步脱硫工艺的改进提供理论依据。

1 试验原理及装置

1.1 几何相似和动力学相似

双枪喷吹时铁水包内铁水的流动是在气泡浮力和重力的作用下流动的,可视为粘性不可压缩流动。因此系统只要满足几何相似和动力学相似就可以满足模型和原型的相似。

试验模型按照实际模型1:3.5缩小,所有的几何尺寸与原型成比例,保证模型与原型的几何相似(表1)。

根据流体力学知识,研究钢包内钢液的流动只要满足修正弗鲁德数相等即可满足动力学相似。修正的弗鲁德数可以定义为:

$$F'_r = \frac{\rho_g u^2}{\rho_l g H} \quad (1)$$

式中: u -表示特征速度/($m \cdot s^{-1}$); H -熔池深度/

表1 水模型与300 t铁水包原型的主要参数

Table 1 Main parameters of water model and prototype of a 300 t hot metal ladle

模型类别	铁水包/mm			熔池高度/mm	装入量/t
	上口直径	下口直径	高度		
原型	3 800	3 460	5 520	4 095	290
模型	1 086	989	1 577	1 170	0.98

mm; ρ_l, ρ_g -液体和气体的密度/($kg \cdot m^{-3}$)。

$$\text{特征速度可以由(2)式给出 } u = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (2)$$

式中: Q -气体体积流量/($m^3 \cdot h^{-1}$); d -喷嘴直径/mm。

将(2)式代入到(1)式,可得

$$F'_r = \frac{1.621 \rho_g Q^2}{\rho_l d^4 g H} \quad (3)$$

由 $(F'_r)_m = (F'_r)_p$ 可得:

$$Q_m = \left[\frac{\rho_{g,p}}{\rho_{g,m}} \cdot \frac{\rho_{l,m}}{\rho_{l,p}} \left(\frac{d_m}{d_p} \right)^4 \left(\frac{H_m}{H_p} \right) \right]^{1/2} Q_p \quad (4)$$

计算得: $Q_m = 0.0165 Q_p$; Q_m, Q_p -分别为模型和原型的气体流量。

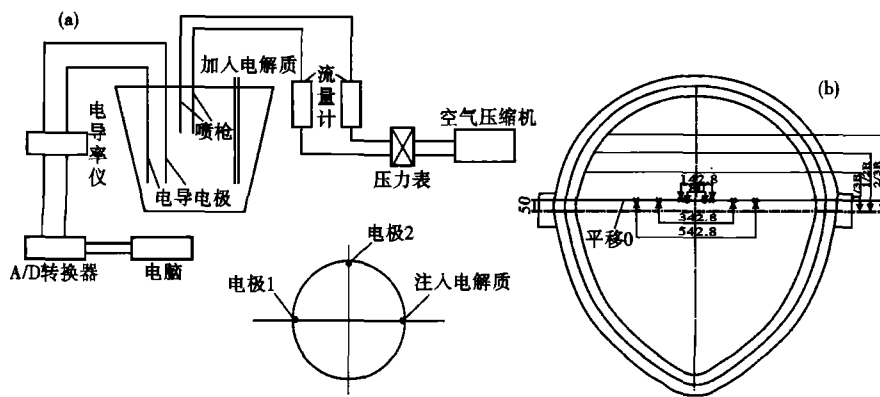


图 1 实验装置(a)和喷枪布置(b)示意图

Fig.1 Schematic drawing of experimental apparatus (a) and layout of double-lance injection (b)

1.2 均混时间的测量

图 1(a) 实验在由有机玻璃制成的模型中进行, 通过刺激-响应实验来测量均混时间。先喷吹 3 min, 等到流场稳定了将 400 mL 盐酸由漏斗中加入, 电导电极放在距离包底和包壁 50 mm 的地方 (基本上在死区的位置)。只要铁水包中的电导率值变化在稳态值的 $\pm 5\%$, 即可认为铁水包内达到了混匀。重复 3 次测定, 取 3 次两测点中数值最大的平均值来表征铁水包内的均混时间。

1.3 喷枪位置布置示意图

现场喷枪布置在铁水包耳轴中心线稍偏包嘴侧, 由于铁水包的对称性, 在设计实验时移动了 50 mm。以 50 mm 处的作为平移 0。对称移动时两喷枪的位置对称分布, 图 1(b) 只示出两枪距离 142.8 mm 的位置, 其它位置用“x”来表示。

2 实验结果及分析

2.1 直喷枪喷吹时各种参数对均混时间的影响

研究了喷枪插入深度、间距、气体流量和径向平移等参数对均混时间的影响, 当研究某一参数影响时固定其他参数。

2.1.1 喷枪插入深度

从图 2(a) 中可以看到, 随着插入深度的增加均混时间整体上减小。进入铁水的气体形成很多的气泡, 气泡在上升的过程中受热膨胀, 对铁水产生强烈的搅拌作用。气泡所做的功, 主要用于推动铁水流动形成流场。增加插入量, 出口气体的压力就增大, 可使气泡搅拌能增加, 被气流吹动的铁水量就增加, 循环区域增大, 表面水平流的速度增加, 加快了流场速度, 缩短周期, 从而使均混时间缩短。实际情况下喷枪距离包底 350 ~ 400 mm, 均混时间较小。

2.1.2 喷枪间距

从图 2(b) 中可以看出, 整体上随着喷枪间距的增大, 均混时间是一个先减小后增大的过程。当枪间距比较小时, 气体主要分布在枪的周围, 两流股之间的相互影响比较大; 当枪间距增大时两流股相互作用减弱, 流股得到充分发展, 受包壁的影响流股的角速度增加了, 对铁水的搅拌作用加强; 当进一步增加间距, 此时包壁对流场的限制作用加强, 对铁水的搅拌减弱, 均混时间增加。通过试验得实际情况下枪间距在 700 ~ 1 200 mm 比较好, 在距离中心较近喷吹时, 枪间距应大些。

2.1.3 气体流量

从图 2(c) 中可以看到, 随着气体流量的增加, 均混时间减小。这是因为载气在熔池内起主要的搅拌作用, 加大载气流量, 单位时间内进入到铁水内的气体增多, 铁水的环流量增加, 形成的环流区域面积也就增大了, 加速了熔池内的传质, 使得粉剂在很短

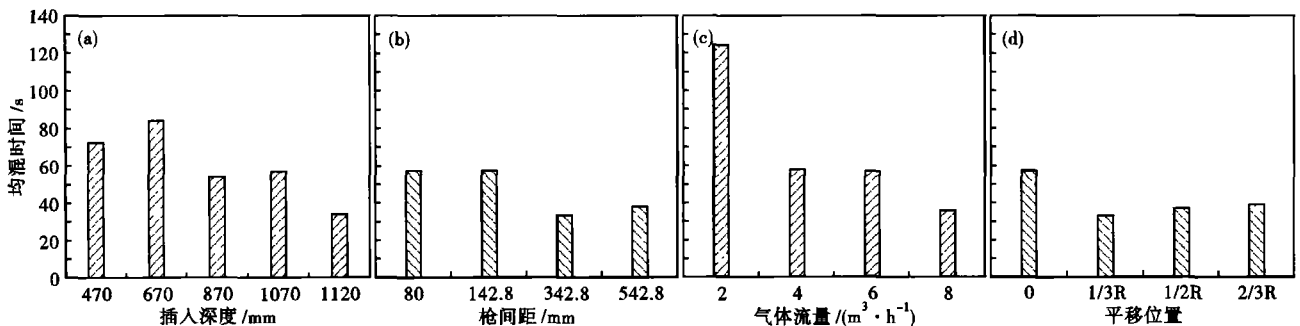


图 2 喷枪插入深度(a), 喷枪间距(b), 气体流量(c) 和平移位置(d) 对均混时间的影响

Fig.2 Effect of lance inserting depth (a), lance spacing (b), gas flow rate (c) and advection distance (d) on mixing time

的时间内达到混匀。

2.1.4 径向平移

从图2(d)中可以看到,平移在 $0 \sim 1/3R$ 之间,均混时间急剧变化;在 $1/3R \sim 2/3R$ 之间,均混时间是增加的,但是增加的幅度不是很大。

平移距离增加时,非对称的喷吹可以增大流场的角速度,铁水包中出现的旋流增多,紊流特性加强,对铁水的搅拌也会增强。此时,形成的一个非对称的混合环流,气体的动能得到了很好的利用;平移距离进一步增大时,使得铁水的流动极其不对称,局部流动不畅,混合效率变差,均混时间会有所增加。

2.2 喷枪弯曲时各种因素对均混时间的影响

无论喷枪是否弯曲,均混时间都是随着喷枪插入深度和喷吹气体流量的增加而减小的。对于喷吹来说,偏心喷吹比在中心喷吹有着更好的混匀效果。因此研究喷枪弯曲时对均混时间的影响只考虑不同弯曲方式和不同弯曲程度对均混时间的影响。

2.2.1 不同弯曲方式

在做弯曲时,采用了不弯曲、微小弯曲、较弯曲3种不同弯曲程度的喷枪。在做弯曲方式对均混时间的影响时采用较弯曲的一种喷枪。流量固定在 $6 \text{ m}^3/\text{h}$ 、两喷枪间距 142.8 mm 、喷枪插入深度 1070 mm 、平移距离 0 。

从表2中可以看到,两喷枪同时向一边弯曲时,均混时间最小为 38 s ,当两枪不发生弯曲时,在同样的工况下,均混时间只有 57 s 。弯曲方式不同均混时间不同,均混时间有大有小,没有一定的规律。当喷枪同时向外弯曲时,由于喷枪的弯曲,此时喷出来的气流股相互混合,混合成一股,增大了气体的动能,气体在水平方向上的运动距离增加,铁水环流量增加,搅拌强度也增加了,因此均混时间会减小。

表2 弯曲方式对均混时间的影响
Table 2 Effect of bending ways on mixing time

工况序号	弯曲方式	均混时间/s
1	两喷枪同时向外弯曲	85
2	两喷枪一前一后弯曲	75
3	两喷枪同时向内弯曲	67
4	两喷枪同时朝向包壁	50
5	两喷枪同时向一边弯曲	38
6	喷枪出口与水平成一定角度且喷枪出口平行	39

2.2.2 不同弯曲程度

在做弯曲程度对均混时间影响的时候,固定的参数有枪间距 142.8 mm 、载气流量 $6 \text{ m}^3/\text{h}$ 、径向平移到 $1/3R$ 。弯曲程度分别为不弯曲(直枪)、微弯

(弯曲1)、较弯(弯曲2)。

从表3可知,喷枪在弯曲情况下的均混时间较小,随着弯曲程度的增大均混时间有减小的趋势。那是因为随着弯曲程度增大,气体在水平方向上速度的分量增大,气泡能够到达的范围增加了,在铁水包内停留的时间增加了,搅拌能增加,对铁水的搅拌加强,因此有一个很好的混匀效果。

表3 弯曲程度对均混时间的影响/s
Table 3 Effect of bending degrees on mixing time /s

枪插入深度/ mm	枪弯曲程度		
	直枪	弯曲1	弯曲2
670	63	79	66
870	58	44	40
1070	33	36	33

3 结论

(1)对均混时间影响的因素按影响大小依次为:插入深度>气体流量>平移距离>枪间距。

(2)喷枪不同弯曲方式的均混时间相对于不弯曲时的均匀时间,其有大有小没有一定的规律;两喷枪同时向一边弯曲时,均混时间最小为 38 s 。

(3)整体上看,喷枪弯曲时的均混时间较直枪喷吹时的均混时间要小,随插入深度越大,弯曲对均混时间的影响就越小。

(4)喷枪在铁水包上口 $1/3R \sim 1/2R$ 之间喷吹时,均混时间比较小。

参考文献

- 程 煌,任 彤.铁水深脱硫及其发展趋势.钢铁,2001,36(4):18
- 徐 阳,孙本良,李成威,等. Mg/CaO 脱硫剂在铁水脱硫中的试验研究.中国稀土学报,2004,22(专辑):156
- Lpvold K. Desulphurization by Injection of Magnesium Into Hot Metal. Ironmaking and Steelmaking,1980,7(1):42
- Recknagel W, Hater M. Desulphurization of Hot Metal to Produce Low Sulphur Contents in Steel. Ironmaking and Steelmaking,1981,8(2):81
- 王 楠,张利兵,邹宗树. 决定铁水包喷吹脱硫效率的三个基本参数. 钢铁研究学报,2000,12(增刊):11
- 王 楠,邹友生,张利兵,等. 铁水包喷吹镁基粉剂脱硫模拟研究. 钢铁,2000,35(增刊):62
- 欧俭平,陈兆平,罗志国,等. 鱼雷罐喷粉预处理传输动力学物理模拟(I):混匀时间和粉剂穿透比研究. 包头钢铁学院学报,2001,20(3):197

庞在刚(1985-),男,硕士生,从事铁水预处理过程中铁水流场、温度场以及脱硫动力学的研究。

收稿日期:2008-09-16