

130 t 钢包底吹氩喷嘴布置模式优化的水模型试验

幸 伟 倪红卫 沈巧珍 张 华 何环宇

(武汉科技大学钢铁冶金及资源利用省部共建教育部重点实验室, 武汉 430081)

摘 要 通过建立的 130 t 钢包水力学模型, 用电导法测定了单喷嘴、双喷嘴垂直分布和对称分布时不同供气量下钢水混匀时间。结果表明, 双喷嘴喷吹的混匀时间较单喷嘴的混匀时间短, 搅拌效果优于单喷嘴。单喷嘴底吹氩, 喷嘴距钢包底部中心 0.55R (钢包底半径) 时混匀时间最短; 双喷嘴间距由 0.40R 增至 0.70R 时混匀时间明显减少。

关键词 钢包 底吹氩搅拌 水模型 混匀时间

Experiment on Optimum Location of Bottom Nozzle in an 130 t Argon Stirred Ladle by Water Model

Xing Wei, Ni Hongwei, Shen Qiaozhen, Zhang Hua and He Huanyu
(Key Laboratory for Ferrous Metallurgy and Resources Utilization of Ministry of Education, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081)

Abstract The mixing time of steel in an 130 t ladle with single nozzle blowing, double nozzle blowing in right angle location and symmetry location with different gas rate was measured by established water model using conductivity method. Results showed that the mixing time with double nozzle blowing was shorter than that with single nozzle blowing and stirring effect was better than that of single nozzle blowing. As nozzle location distance from center of ladle bottom for single nozzle blowing was 0.55R (ladle bottom radius), the mixing time was shortest; and as distance between double nozzle for double nozzle blowing increased from 0.40R to 0.70R, the mixing time obviously decreased.

Material Index Ladle, Bottom Argon Stirring, Water Model, Mixing Time

钢包底吹氩工艺作为一种较为有效的二次精炼方式而广泛得到应用。它通过安装在钢包底部的透气砖向钢液吹入氩气, 产生大量小气泡; 并带动钢液运动, 从而均匀钢液温度和成分, 减少钢中的夹杂^[1]。本研究对 130 t 钢包精炼底吹氩进行了无顶渣的水力模型试验, 针对现场实际情况, 确定了合理的喷嘴布置模式。

1 试验原理

应用相似原理建立模型和进行试验时, 必须保证两系统几何、物理相似。对于钢包底吹氩系统来说, 引起体系内流动的动力主要是气泡浮力而不是湍流的粘性力, 因此保证模型与原型的修正弗鲁德准数相等, 就能基本上保证它们的动力相似, 根据这一原则, 选用修正的 Fr' ^[2]。通过计算采用 1:4 的水模型。可得出:

$$Q_m = 0.014 Q_f$$

式中: Q_m - 模型气体体积流量; Q_f - 实物气体体积流量。

2 试验方法

试验中, 直接测量搅拌能较为困难。据文献

[3] 报道, 混匀时间与搅拌能力成反比的关系。因此, 可用混匀时间来判定钢液的搅拌能力, 混匀时间越短, 钢液搅拌能力越强。试验中以水模拟钢液, 压缩空气模拟氩气, 用电导法测量钢液的混匀时间。试验装置如图 1。

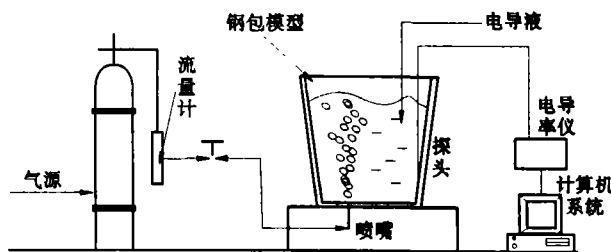


图 1 钢包水模型试验装置

Fig. 1 Experiment equipment of ladle water model

2.1 测量

测量混匀时间分布, 通常采用“刺激-响应”技术。其方法是: 在钢包中钢液活跃处输入一个刺激信号, 信号一般使用示踪剂来实现, 然后在钢包滞留处测量该输入信号的输出, 即所谓响应, 从响应曲线可得到混匀时间。

试验中,将模型中注入水,通过调整流量计来控制吹气量。预先吹 3 min 后,待模型中流动稳定,将定量的 KCl 溶液缓慢注入,用电导率仪测量模型中水的电导率变化。混匀时间最终根据电导率的波动不超过稳定值的 5% 来确定^[4-6]。并用函数记录仪记录变化曲线,然后计算混匀时间。每组试验测量 3 次取时间平均值,将记录下来数据绘制成曲线,进行数据分析比较,得出各项评价指标。

2.2 试验

100 t 以上钢包多采用单喷嘴或双喷嘴喷吹,综合前人的试验结果,偏心喷吹的效果好于中心喷吹^[1]。因此在钢包底部沿直径方向选择 3 个不同位置安装喷嘴,喷嘴到底部中心间距 L 分别为 0.40R、0.55R、0.70R。试验中采用 3 种方式进行吹气搅拌(如图 2),分别为单喷嘴喷吹、双喷嘴垂直分布的喷吹(喷吹夹角 90°)及双喷嘴对称分布在同一直径上的喷吹(喷嘴夹角 180°)。改变送入气量的大小,测出混匀时间,挑选最佳喷嘴布置方式及气量。

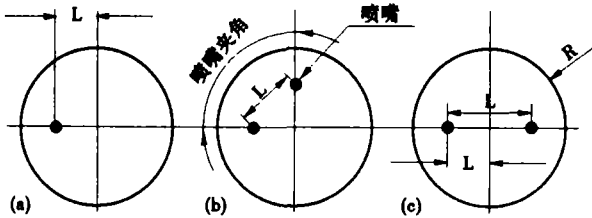


图 2 喷嘴的布置方式:(a)单嘴喷吹;(b)、(c)双嘴喷吹
Fig.2 Layout of nozzle: single nozzle blowing (a); double nozzle blowing (b) and (c)

3 试验结果分析

3.1 单喷嘴布置

单喷嘴喷吹时,随着吹气量的增加,混匀时间逐渐缩短。原因在于底部吹气时,吹入的气体是搅拌功的来源,当供气量小时,透气元件出口为弥散型气泡,气泡所作的功主要用于推动液体流动,形成环流,增加供气量可使气泡搅拌能增加,增加环流速度,缩短环流周期,从而使混匀时间明显缩短(图 3)。从图 3 可以看出,供气量达到 0.75 m³/h 时,混匀时间随供气量的变化不明显。因为当供气量超过某一临界值后,相当一部分能量消耗于液面隆起和翻滚,随气-液界面交换能量而损失。因此,尽管总能量增大,但用于液体环流的能量增加不多,使供气量增大,混匀时间变化不明显,该试验结果与其他学者研究结果相一致^[7]。

增加吹气量有利于快速混匀,但在实际生产中

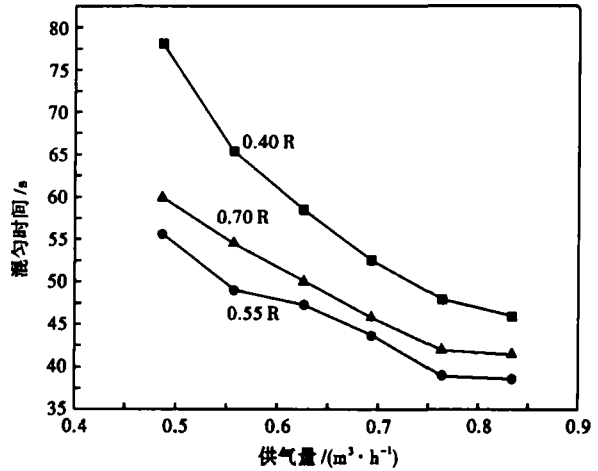


图 3 单喷嘴位置和供气量对钢水混匀时间的影响
Fig.3 Effect of single nozzle blowing location and gas rate on mixing time of steel

有一个临界喷吹量,超过临界喷吹量钢液剧烈翻滚,易发生卷渣及喷溅事故。该临界喷吹量主要取决于钢液深度、钢渣厚度等^[8]。

3.2 双喷嘴布置

由表 1 可以看出,在 6 种双喷嘴喷吹方案中,喷嘴布置方式不同,对混匀时间有较大的影响。双喷嘴垂直分布时搅拌效果不如双喷嘴对称分布在同一直径上的搅拌效果^[3]。

表 1 双喷嘴吹气位置对混匀时间的影响/s
Table 1 Effect of double nozzle blowing location on mixing time /s

喷嘴位置	供气量/(m ³ ·h ⁻¹)					
	0.487	0.556	0.626	0.695	0.765	0.834
0.40R90°	57.2	49.5	45.0	42.0	40.6	35.0
0.55R90°	55.5	46.5	44.0	40.0	38.0	34.0
0.70R90°	53.8	44.0	41.9	38.0	37.0	33.0
0.40R180°	52.0	48.4	43.5	40.5	38.0	34.0
0.55R180°	46.7	41.1	39.0	37.5	36.0	33.0
0.70R180°	45.5	38.4	36.1	35.0	34.0	32.0

双喷嘴 0.70R 对称分布时混匀时间最短(表 1)。0.55R 对称分布方案次之,双喷嘴 0.40R 垂直布置方案效果最差。双喷嘴间距 L (图 2)见表 2。图 4 表明混匀时间与喷嘴间距成反比的关系。双喷嘴条件下,无论是垂直布置还是在同一直径上对称布置,随着双喷嘴间距的逐渐增大,混匀时间均逐渐减少。因此,双喷嘴条件下,适当增大双喷嘴间距 L ,有助于缩短混匀时间,提高搅拌效果。

因双喷嘴相距越远,在搅拌过程中两气柱相邻流股的干扰和抵消作用小,流动能量损失越少;相反,双喷嘴相距越近,流股的干扰和抵消作用大,流

表2 不同喷吹模式的喷嘴间距

Table 2 Distance between nozzle blowing location for various blowing model

喷吹模式	喷嘴间距 L
0.40R90°	0.57R
0.55R90°	0.78R
0.70R90°	0.99R
0.40R180°	0.80R
0.55R180°	1.10R
0.70R180°	1.40R

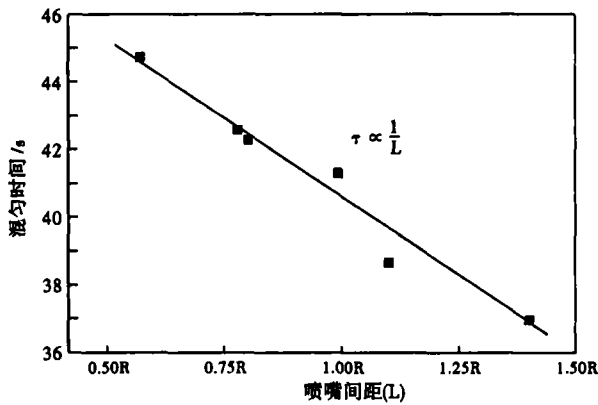


图4 喷嘴间距对钢水混匀时间的影响

Fig.4 Effect of distance between double blowing nozzle on mixing time of steel

动能损失越多,越不利于混匀。

3.3 单喷嘴与双喷嘴喷吹的对比

将单喷嘴及双喷嘴垂直分布和双喷嘴对称分布在同一直径上的最优方案进行对比,如图5。在相同的吹气量时,双喷嘴喷吹的混匀时间均要比单喷嘴喷吹短。这也说明,在试验中,对于130 t钢包,采用双喷嘴喷吹,搅拌效果要优于单喷嘴。

采用单喷嘴偏心喷吹,在喷嘴上方形成很强的

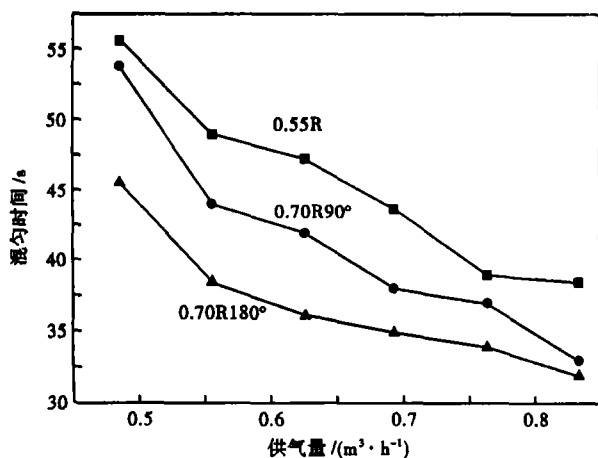


图5 喷吹模式对钢水混匀时间的影响

Fig.5 Effect of nozzle blowing location mode on mixing time of steel

上升气流,气柱附近的液体也被上浮的气泡带动,形成强烈的向上流股。但远离气柱的液体,受到气体运动的影响小,扰动相对不活跃,易形成死区,不利于混匀。采用双喷嘴喷吹,在钢包内形成了两股上升气流。虽然吹气量相同,相对于单喷嘴喷吹,搅拌更为充分,从缩短钢包的混匀时间考虑,对本试验条件的钢包,双喷嘴喷吹优于单喷嘴喷吹。

4 结论

(1)单喷嘴喷吹时,在一定范围内,增大气流量有利于缩短混匀时间。同时,吹气位置对混匀时间的影响十分明显。0.55R 搅拌效果最好,时间最短。

(2)双喷嘴喷吹时,增大气流量有利于缩短混匀时间。双喷嘴对称分布在同一直径上的搅拌效果优于双喷嘴垂直分布的搅拌效果。

(3)双喷嘴间距对混匀时间影响较大。双喷嘴相距越远,在搅拌过程中两气柱相邻流股的干扰和抵消作用小,流动能量损失越少;相反,双喷嘴相距越近,流股的干扰和抵消作用大,流动能量损失越多,越不利于混匀。

(4)在相同的吹气量下,双喷嘴喷吹搅拌效果较单喷嘴好,混匀时间短。两喷嘴对称分布在同一直径上,双喷嘴间距由0.40R 增至0.70R,有利于缩短钢水混匀时间和提高搅拌效果。

湖北省教育厅科研基金资助项目(编号2004BC13)

参考文献

- 张 鉴. 炉外精炼的理论与实践. 北京:冶金工业出版社,1991
- 朱苗勇,萧泽强. 钢的精炼过程数学物理模拟. 北京:冶金工业出版社,1998
- 李碧霞,高文芳,颜正国. 大包底吹氩水模实验研究. 炼钢,2001,17(4):44
- Jonsson L. Modeling of Fluid Flow Conditions Around the Slag/Metal Interface in a Gas-stirred Ladle. ISIJ International,1996,36(9):1127
- Pan Y, Bjrkman B. Numerical Analysis on the Similarity Between Steel Ladles and Hot-water Models Regarding Natural Convection Phenomena. ISIJ International,2002,42(1):53
- Han J W, Heo S H. Transient Fluid Flow Phenomena in a Gas Stirred Liquid Bath with Top Oil Layer-Approach Numerical Simulation and Water Model Experiments. ISIJ International,2001,41(10):1165
- 谢蕴国. 小型钢包吹氩搅拌混合现象研究. 昆明工学院学报,1989,14(1):41
- 张俊锡,罗建军,张际辉. 第三炼钢厂90吨钢包吹氩水模型试验研究. 首钢科技,1996(16):12

幸伟(1979-),男,博士研究生,2001年武汉科技大学毕业,从事炼钢数学模拟研究。

收稿日期:2006-12-30