

· 试验研究 ·

250 t 钢包精炼底吹氩吹孔位置优化的水模型试验

倪修华¹ 张才贵¹ 周俐²

(1 宝钢股份上海梅山钢铁股份有限公司技术中心, 南京 210039; 2 安徽工业大学冶金与资源学院, 马鞍山 243002)

摘要 采用几何相似比1:3水模型,对250 t钢包底吹氩位置优化进行模拟试验,用电导法测定了单孔喷吹、双孔夹角90°和180°对称喷吹在至钢包中心不同距离处(0.37~0.61 R)采用不同吹气量(5~25 m³/h)时钢水的混匀时间。试验结果表明,单孔底吹氩,吹孔距钢包底部中心0.61 R(R为钢包底部半径)时混匀时间最短;双孔喷吹对称分布的混匀时间比单孔喷吹的混匀时间短;当双孔喷嘴0.61 R对称分布时,混匀时间最短,死区最小,且双孔喷嘴间距由0.37 R增至0.61 R时混匀时间明显减小。

关键词 250 t 钢包 底吹氩 水模型 吹孔位置 混匀时间

Water Modeling Examination for Optimization of Bottom Argon Blowing Location in 250 t Ladle Refining

Ni Xiuhua¹, Zhang Caigui¹ and Zhou Li²

(1 Technology Center, Shanghai Meishan Iron and Steel Co Ltd, Baosteel, Nanjing 210039; 2 School of Metallurgical and Resources, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002)

Abstract The simulation test on optimization of 250 t ladle bottom argon blowing location has been carried out by using geometric similarity 1:3 water model, and the liquid mixing time with single nozzle blowing, 90° angle double nozzle blowing and 180° angle symmetric double nozzle blowing at different blowing rate (5~25 m³/h) and different distance from center of ladle (0.37~0.61 R) is measured by using conductivity measuring method. Test results show that with single nozzle bottom argon blowing and nozzle distance from center of ladle bottom 0.61 R (radius of ladle bottom), the mixing time of liquid is shortest; the mixing time of liquid with symmetric double nozzle blowing is shorter than that with single nozzle blowing, and with increasing the distance from center of ladle bottom form 0.37 R to 0.61 R, the mixing time of liquid obviously decreases, therefore the mixing time of liquid with 0.61 R symmetric double nozzle blowing is shortest and the dead area is minimum.

Material Index 250 t Ladle, Bottom Argon Blowing, Water Model, Blowing Nozzle Location, Mixing Time

钢包底吹氩搅拌技术是一种经济适用且简单易行的二次精炼方法,能有效的均匀钢水温度和成分,减少钢中夹杂物^[1],改善钢液质量而得到广泛的应用。在应用钢包底吹氩技术进行精炼时,要涉及到钢包底部吹孔位置、吹孔数目以及吹孔流量的选取和设定。针对钢厂250 t钢包在实际生产操作中,存在因供气量过小使搅拌不理想,供气量过大而使钢液表面覆盖的渣卷入钢液内部,造成对钢液的污染;吹孔位置不佳,钢液成分和温度不均匀等问题进行了水力模型实验,确立合理的吹孔布置模式。上海梅山钢铁股份有限公司二炼钢主要生产高强钢、冷轧用低碳钢等钢种,其主要工艺流程为:250 t转炉-钢包精炼炉(LF)-RH-连铸。针对钢包底吹的工艺参数的设计及优化工艺采用了水模拟试验研究的方法。

1 试验原理

对钢包内钢液的流动进行实验研究,由于钢包内决定性的流动是湍流流动,根据水力学原理,当流

体流动的Re数大于第二临界值时,流体的湍动程度及流速的分布不再受Re数的影响。此时流体的流动状态不再变化,且彼此相似。所以采用水模型对结晶器内的流动进行物理模拟可以只考虑弗鲁德准数Fr相等^[2-3]。

选取钢包的几何相似比为λ=1:3,根据相似原理可得到如下的水模型与实际钢包流量之间的关系式:

$$Q_m/Q_p = \lambda^{5/2} \quad (1)$$

将参数代入公式,最终得到:

$$Q_m = 0.0366 Q_p \quad (2)$$

式中:Q_m-模型气体体积流量/(m³·h⁻¹);Q_p-实物气体体积流量/(m³·h⁻¹)。

2 试验方法

混匀时间与搅拌能成反比^[4],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。试验中压缩空气模拟氩气,用电导法测

量钢液的混匀时间。实验装置如图 1 所示。

2.1 混匀时间的测量

混合时间采用一种叫“刺激响应”技术来测定,即向钢包中加入一定数量的示踪剂饱和食盐水,钢液活跃处输入一个刺激信号,然后在钢液滞留处测量该输出信号的输出,这就是响应,从响应曲线可以得到混匀时间。

试验中,向模型中注入水,达到工作液面,通过调节气体流量计大小控制吹气量。预吹 5 ~ 10 min,待钢液稳定后,将定量的饱和食盐水迅速注入,通过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^[5-6]。每次测量将 4 个电导电极探出的混匀时间取平均值,每组试验测量 3 次取平均值。

2.2 试验方案

试验中采用了 3 种喷吹方法:单孔喷吹、双孔垂直喷吹和双孔对称喷吹。试验示意图见图 2。对于单孔喷吹,主要是在钢包底部沿直径方向选择 3 个不同位置安装吹孔,吹孔到底部中心间距 L 分别为 0.37、0.49、0.61 R (R 为钢包底部半径);双孔垂直喷吹,两孔的夹角 90° ;双孔对称喷吹,两孔对称分布在同一直径上,两吹孔夹角 180° 。改变送入气量的大小,测出混匀时间,挑选最佳吹孔布置方式及气量。

3 试验结果与分析

3.1 单孔喷吹位置和吹气量对混匀时间的影响

单孔吹气的方案主要在直径位置方向上分别取 0.37、0.49、0.61 R 三个位置安装吹气孔。试验结果如图 3 所示。

从图 3 可以看到,随着吹气量的增大混匀时间逐渐减小,而且吹孔位置从 0.37 R 至 0.61 R ,混合时间逐渐减小,增大吹气量混匀时间会变小,但是在实际生产中,吹气量过大会导致钢液面翻腾厉害,形成卷渣,甚至造成喷溅事故。当吹气量达到 20 m^3/h 后,混合时间变化趋于减小,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

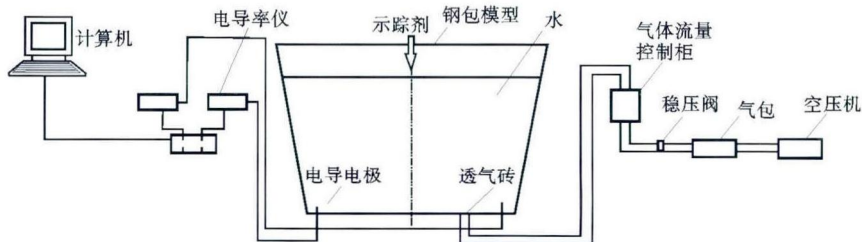


图 1 钢包水模型模拟试验装置图

Fig. 1 Schematics of device for ladle water model simulation test

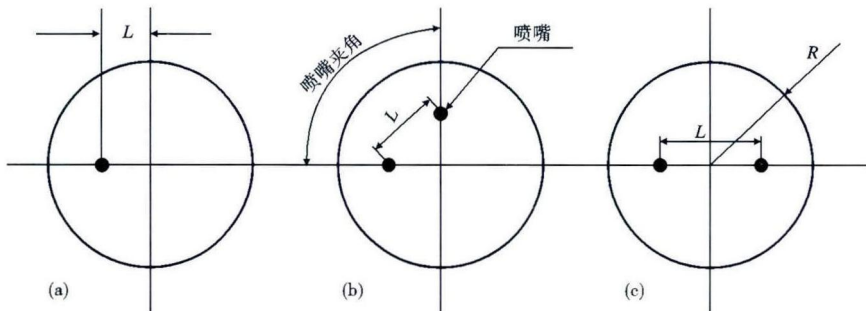


图 2 钢包底部喷嘴位置示意图

Fig. 2 Schematics of location of blowing nozzle in ladle bottom

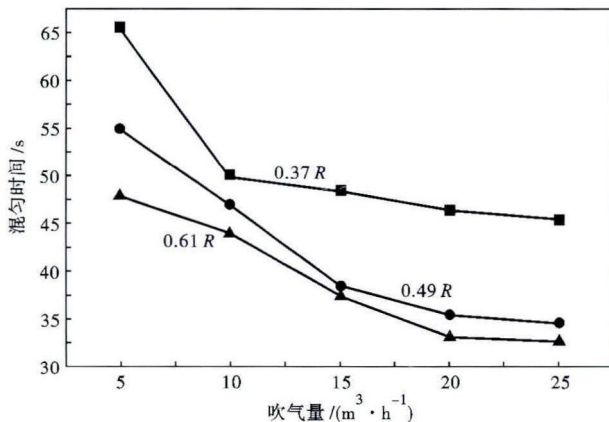


图 3 单孔吹气位置和吹气量对混匀时间的影响

Fig. 3 Effect of blowing location and blowing rate of single nozzle on liquid mixing time

量增大,混匀时间变化不明显^[7]。因此单孔喷吹时,选取 0.61 R 时最佳。

3.2 双孔喷吹位置和吹气量对混匀时间的影响

双孔吹氩方案主要采取以下两种:双孔垂直喷吹,两孔的夹角 90° ;双孔对称喷吹,两孔对称分布在同一直径上,两吹孔夹角 180° ,呈对称分布。包底示意图如图 2 所示。试验结果见表 1。

从表 1 可以得出,双孔对称分布较双孔垂直分布混匀时间短,混合效果好,这与其他学者研究结论一致^[3]。现将不同吹气模式的吹气孔的位置以及

表1 双孔吹气位置和吹气量对混匀时间的影响
Table 1 Effect of double nozzle blowing location and blowing rate on liquid mixing time

吹气模式	吹气量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)				
	5	10	15	20	25
0.37 R 90°	106.5	88	74	70	62.7
0.49 R 90°	91	72	71	68.5	51.5
0.61 R 90°	88	69	62	57.2	46.7
0.37 R 180°	87	67	56	43	42
0.49 R 180°	75	53	45	39	35.5
0.61 R 180°	64.5	49	34.3	32.5	30

表2 双孔吹气模式和孔间距的关系
Table 2 Relation between double nozzle blowing mode and nozzle spacing

吹气模式	吹孔位置	两孔之间距离
1	0.37 R 90°	0.52 R
2	0.49 R 90°	0.69 R
3	0.61 R 90°	0.86 R
4	0.37 R 180°	0.74 R
5	0.49 R 180°	0.98 R
6	0.61 R 180°	1.22 R

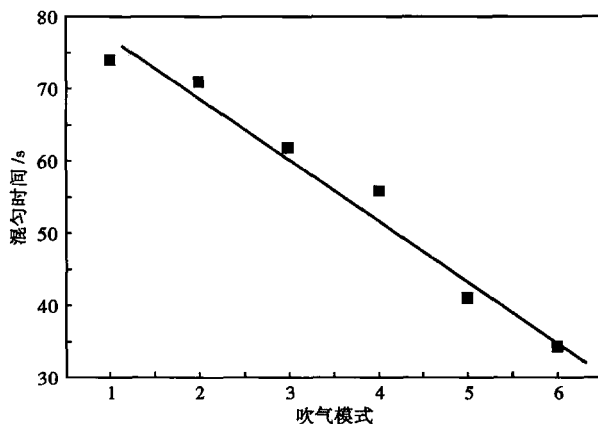


图4 双孔的吹气模式对混匀时间的影响

Fig. 4 Effect of blowing mode between double nozzle on mixing time of liquid

吹气流量为 $20 \text{ m}^3/\text{h}$ 条件下吹气模式和混匀时间的关系图分别列入表2和图4中。

由表2、图4可以看出,吹气流量为 $20 \text{ m}^3/\text{h}$ 的双孔喷吹情况下,两孔夹角 90° 的3种方案(吹气模式1,2,3)比两孔夹角 180° (吹气模式4,5,6)的钢包混匀时间长。在一定范围内,随着孔间距变大,钢包的混匀时间逐渐变小,这是因为双孔吹气的两孔相距越近,在搅拌混合过程中两气柱干扰大钢液流动的能量抵消的大,钢液流动慢,容易造成死区;相反,两孔相距越远,在混合过程中,两气柱干扰小,能量损失少,钢液混合快。其中模式6,即双孔对称分布距钢包中心 $0.61 R$ 方案下的混匀时间最小,因此在双孔对称分布选择 $0.61 R$ 是最佳位置。

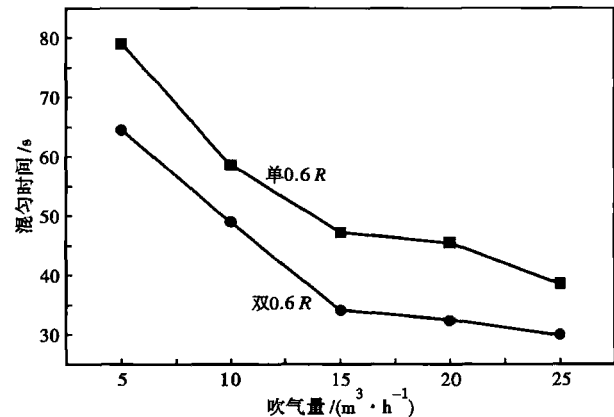


图5 单孔喷吹与双孔喷吹对混匀时间影响的比较

Fig. 5 Comparison of influence of single nozzle blowing and double nozzle blowing on liquid mixing time

3.3 单孔和双孔喷吹位置对混匀时间影响的比较

将单孔喷吹和双孔喷吹位置对混匀时间影响进行比较,见图5。

从图5可以看出,双孔喷吹的混匀时间较单孔喷吹要小,在实际生产中采用 $0.61 R$ 对称双吹是最佳的,如果因现场实际情况某一个孔出现问题,也可以采用单孔 $0.61 R$ 喷吹。

4 结论

(1)单孔喷吹时,且随着距包底中心距离越大,混匀时间逐渐减小,选取 $0.61 R$ 时最佳。

(2)在双孔对称分布喷吹时,随着喷吹半径的增大,混匀时间逐渐减小, $0.61 R$ 是最佳位置。

(3)综合现场生产的实际情况,选择双孔 $0.61 R$ 对称分布是最佳方案。

参考文献

- [1] 张 鉴. 炉外精炼的理论与实践[M]. 北京:冶金工业出版社, 1991.
- [2] 蔡开科,程士富. 连续铸钢原理与工艺[M]. 北京:冶金工业出版社, 1994.
- [3] 周 俐,王建军,张雪松,等. 板坯连铸中间包内型优化水模研究[J]. 炼钢, 2003, 19(3): 34-36.
- [4] 李碧霞,高文芳,颜正国. 大包底吹氩水模实验研究[J]. 炼钢, 2001, 17(4): 44-46.
- [5] Jonsson L. Modeling of Fluid Flow Conditions Around the Slag/Metal Interface in a Gas-stirred Ladle [J]. ISIJ International, 1996, 36(9): 1127-1130.
- [6] Pan Y, Bjrkman B. Numerical Analysis on the Similarity Between Steel Ladles and Hot-water Models Regardingn Ational Convection Phenomena [J]. ISIJ International, 2002, 42(1): 53-56.
- [7] 章 伟,倪红卫,沈巧珍,等. 130 t 钢包底吹氩喷嘴布置模式优化的水模拟试验[J]. 特殊钢, 2007, 28(4): 13-15.

倪修华(1978-),男,工程师,2002年安徽工业大学毕业,炼钢连铸工艺技术研究。E-mail:msnxh@126.com

收稿日期:2013-05-17