

复吹转炉射流与钢水熔池相互作用的水模型试验

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 根据鞍钢 180 t 复吹转炉的实际生产情况,设计了超音速射流氧枪并进行水模型实验,避免了亚音速射流氧枪所带来的氧枪枪位修正问题。通过 10:1 水模型,保证最佳的底吹工艺参数不变(4 孔对称,底吹流量 0.70 m³/h),改变顶吹氧枪的气体流量(38~42 m³/h)和吹炼枪位(130~210 mm)进行实验。结果表明:水模型最佳的工艺参数是枪位 150 mm,流量 39 m³/h。

关键词 180 t 顶底复吹转炉 氧枪设计 流量 枪位

Water Modeling Study on Interaction between Jet and Liquid Steel Bath for a Top and Bottom Combined Blown Converter

Bao Liming, Liu Kun, Lü Guocheng and Su Donglei

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

Abstract According to real production situation of an 180 t top and bottom combined blown converter at Anshan Steel, a supersonic jet oxygen lance has been designed to carry out water modeling test, in order to avoid the problem of revising lance position which is caused by subsonic jet oxygen lance. The test was carried out by 10:1 water model with insuring constant optimum bottom blown process parameter (4 hole symmetry, bottom blowing flowing rate 0.70 m³/h), changing flowing rate (38~42 m³/h) and lance blowing position (130~210 mm) of top lance. Results showed that optimum process parameters for water model were lance position 150 mm and flowing rate 39 m³/h.

Material Index 180 t Top-Bottom Combined Blow Converter, Oxygen Lance Design, Flowing Rate, Lance Position

在氧气转炉炼钢过程中,炉内钢水运动形态是由力学、物理化学作用形成的,是一个复杂的运动过程。若搅拌作用强而且均匀,则冶炼过程化学反应快、冶炼平稳、效率高,有利于各项生产技术经济指标的提高^[1,2]。而氧气射流所产生的机械搅拌作用的强弱、均匀程度则取决于射流与熔池的相互作用情况。

1 物理模型和实验用超音速射流氧枪的计算

鞍钢 180 t 复吹转炉的主要技术参数为:转炉产量 $N = 180$ t;顶吹氧气流量 $Q = 32\ 000$ m³/h;炉膛压力 $P_c = 1.033 \times 10^5$ Pa;熔池铁水深度 $h = 1.688$ m;枪位 $H = 1.2 \sim 2.2$ m;底吹气体流量 200~650 m³/h。

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^[3]。

射流氧枪的几何尺寸可由相似比计算得到,但此时产生的射流为亚音速流动情形,而实际生产中的射流为超音速射流,后者与前者相比相差一个射流核心区,过了核心区后二者的流动情况才完全相同,故若用亚音速射流氧枪进行实验,则需进行枪位的修正。为了避免上述问题,设计了实验所用的超

音速氧枪,使实验结果能更好地指导实际。具体设计计算过程如下:

喷管内流量 Q 的计算公式为:

$$Q = \sqrt{\frac{k}{R}} \cdot \frac{P_0}{\sqrt{T_0}} M \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \cdot F_* \quad (1)$$

式中: F_* - 喉口面积;在氧枪喉口处 $M = 1$,对于空气而言, $R = 287.14$, $k = 1.4$ 。

将数值代入式(1)中,得到喷管内流量与喉口面积之间的关系如下:

$$Q = 0.040\ 41 \frac{P_0}{\sqrt{T_0}} F_* \quad (2)$$

由工艺要求出口 $Ma = 2$,查等熵流表,当 $Ma = 2$ 时, $P/P_0 = 0.127\ 8$, $P = 0.101\ 35$ MPa,则: $P_0 = 0.101\ 35/0.127\ 8 = 0.796$ MPa,滞止温度 $T_0 = 298$ K,所以喉口面积:

$$F_* = \frac{Q \cdot \sqrt{T_0}}{0.040\ 41 P_0} = \frac{0.144\ 298\ 33 \times \sqrt{298}}{0.040\ 41 \times 0.796 \times 10^6} = 7.80\ \text{mm}^2 \quad (3)$$

故喉口直径:

$$d_* = \sqrt{\frac{4F_*}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 7.80}{3.14}} = 3.15 \text{ mm} \quad (4)$$

由 $Ma = 2$, 查表有 $F_{\text{出}}/F_* = 1.688$, 故 $F_{\text{出}} = 13.1664 \text{ mm}^2$, 则出口直径

$$d_{\text{出}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{出}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 13.1664}{3.14}} = 4.1 \text{ mm} \quad (5)$$

根据文献[3]公式(1)和公式(2)计算得到实验时采用的几何参数和动力参数,见表1、表2。

表1 原型和模型几何尺寸

类别	熔池直径/ mm	熔池深度/ mm	氧枪喉口 直径/mm	氧枪出口 直径/mm	氧枪枪位/ mm
原型	5 150	1 688	34	44.2	1 200 ~ 2 200
模型	515.0	168.8	3.15	4.10	120 ~ 220

表2 原型和模型顶吹及底吹的动力相似

Table 2 Dynamic similarity of top and bottom blown of prototype and model

吹气 方式	熔池 液体	顶、底 气体	气体密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	液体密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	气体流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	
					顶吹	底吹
原型	钢液	氧气	1.43	7 000	30 000 ~	200 ~ 650
		氮气	1.25		35 000	
模型	水	空气	1.29	1 000	38 ~ 42	0.55 ~ 0.75

2 复吹转炉的水力学模型实验

均匀混合时间^[4,5]是吹气设备用来表示其熔池内混合特性的一个重要参数,实验时用电导电极法测量熔池的混匀时间。氧枪枪位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,主要凭经验控制^[6]。实验装置简图见文献[3]。

2003年以前,鞍钢180 t复吹转炉的底吹有2孔对称喷吹和2孔不对称喷吹,自2003年以后采用

4孔对称喷吹工艺。通过改变底吹气体流量,底吹喷嘴位置,已经由单纯底吹实验得出不同吹炼模式下最佳的底吹工艺参数^[7]。本实验是在保持最佳的底吹工艺参数下(包括底吹气体流量、喷嘴位置、吹炼模式),通过改变顶吹的气体流量及枪位高度来进行的。顶吹氧枪的滞止压力为0.8 MPa,得到的出口速度为超音速,马赫数为2.0。

具体的实验方案:

底吹:底枪的位置是4孔对称0.3D处,底吹流量为0.70 m³/h(D表示喷嘴所在同心圆直径与转炉炉体熔池直径之比)。

顶吹:气体流量采用38,39,40,41,42 m³/h;枪位值采用130,150,170,190,210 mm。

3 结果分析与讨论

将实验中测得的数据绘成图表,从图表中,可以直观地得出混匀时间、冲击深度与枪位和顶吹流量的关系。

3.1 顶吹流量和枪位对混匀时间的影响

由图1(a)可知:

(1)不同的顶吹流量情况下,混匀时间随着枪位的升高先减少后增加。除流量为40 m³/h的情况外,其余顶吹流量下的混匀时间在枪位为150 mm处达到最低值。随着枪位的继续升高,混匀时间呈现明显增加趋势,枪位到达170 mm后,混匀时间随枪位的升高变化不明显。流量为40 m³/h时混匀时间的最低点出现在枪位170 mm处,但和150 mm枪位处的混匀时间相差不大。

(2)除最高及最低两个枪位外,混匀时间随着流量的增加,出现了最低值,而后又有增加;最高及最低两个枪位下,混匀时间都相对较长;除最低枪位外,其余枪位下混匀时间在流量为39 m³/h时达到最佳值。当流量 $\geq 40 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,对于不同的枪位,混

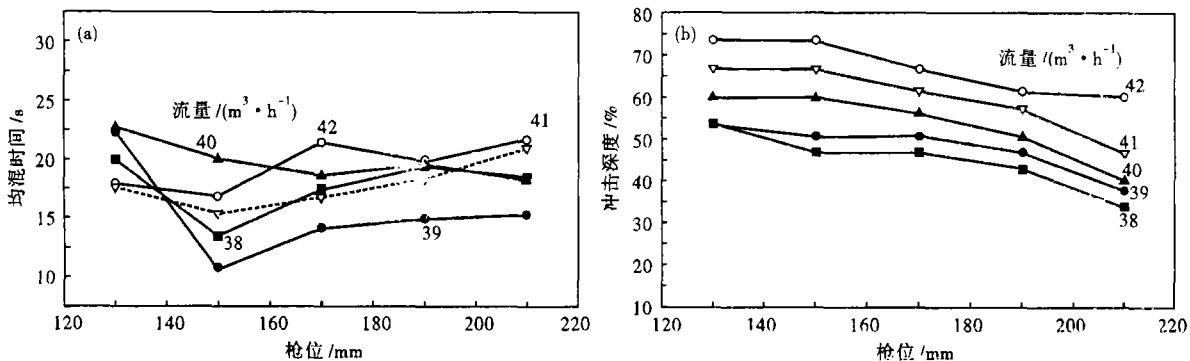


图1 顶吹流量、枪位对熔池混匀时间(a)和冲击深度(b)的影响

Fig.1 Effect of top blown flowing rate and lance position on mixed time (a) and impact depth (b) for bath

匀时间上下波动不大,说明当流量很大时,枪位对混匀时间的影响已不显著;图 1(a)中最佳枪位是 150 mm,最佳流量是 39 m³/h。

从以上分析可以看出,顶吹气体流量和枪位对均混时间都有一定的影响。同一流量下,不同枪位影响均混时间的最大差为 12 s,平均差为 6.4 s;同一枪位下,不同流量影响均混时间的最大差为 11.6 s,平均差为 5.3 s。由此可见,在本实验工艺参数范围内,对于马赫数为 2.0 的喷枪来说,气体流量与枪位对均混时间都有较大的影响。最佳枪位是 150 mm,最佳流量是 39 m³/h。实际冶炼过程中,若要增强熔池的搅拌效果,主要应对气体流量与枪位高度进行控制。

3.2 顶吹气体流量、枪位与冲击深度的关系

氧气射流冲击熔池液面产生凹坑,使整个熔池的搅拌能力增强。凹坑的形状、直径和深度取决于冲击射流到达液面时的冲击速度,同时也与液体熔池的几何参数和液体的属性有关。

冲击深度是凹坑特征的主要标志,它对熔池的搅拌能力有很大的影响。由于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进一步处理,将其换算成与熔池深度的百分比,如图 1(b)所示。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。

从图 1(b)可以看出,随着氧枪枪位的升高,熔池的冲击深度将呈现减少的趋势;随着气体流量的增加,熔池的冲击深度将呈现出增加的趋势。只是两种情况下,熔池冲击深度增加或减少的速率不同。当顶吹气体流量为 38,39,40 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 41,42 m³/h 时的冲击深度的减少速率。当气体流量为 42 m³/h、枪位为 130 mm 时的冲击深度最大。

从以上分析可以看出,顶吹气体流量和枪位对冲击深度都有一定的影响。同一流量下,不同枪位影响冲击深度的最大差为 10%,平均差为 8.94%;同一枪位下,不同流量影响冲击深度的最大差为 13.4%,平均差为 11.22%。由此可见,在本实验工艺参数范围内,顶吹气体流量对冲击深度的影响要大于氧枪枪位的影响。

4 结论

(1)在本实验的工艺参数范围内:气体流量与枪位对均混时间都有较大的影响,最佳的工艺参数是枪位 150 mm,流量为 39 m³/h,相当于实际枪位 1 500 mm,流量 30 800 m³/h。

(2)气体流量和枪位均对冲击深度产生影响。随着气体流量的增加、氧枪枪位的降低,冲击深度以递增规律变化,并且变化规律明显。在本实验的工艺参数范围内:顶吹气体流量对冲击深度的影响最大,氧枪枪位次之。

国家自然科学基金资助项目(50574007)

参考文献

- 1 吴凤林,蔡扶时.顶吹转炉氧枪设计.北京:冶金工业出版社,1982
- 2 蔡志鹏,谢裕生,夏安武.氧气炼钢过程中射流对熔池的作用.钢铁,1980,15(1):14
- 3 包丽明,刘坤,吕国成,等.转炉氧枪顶吹工艺的水力学模拟.特殊钢,2007,28(5):13
- 4 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
- 5 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
- 6 徐文派.转炉炼钢学.北京:冶金工业出版社,1986
- 7 包丽明,刘坤,吕国成,等.180 t 转炉底吹气体与熔池相互作用的水模型实验.特殊钢,2008,29(2):18

包丽明(1983-),女,硕士研究生,2006 年鞍山科技大学毕业,冶金传输。

收稿日期:2008-03-27

下 期 要 目

Ti-Nb IF 钢铁素体区的热加工性能	张 鹏等
重轨开坯轧制的有限元模拟、优化和应力分析	陈 林等
AOD 冶炼不锈钢氮合金化控制模型的研究和应用	孙铭山等
ASP 连铸结晶器铜板热流和温度的研究	李秀刚等
Nb- 和 V- 微合金化对高碳钢热加工性的影响	刘 平等
热轧工艺参数对 GCr15 轴承钢晶粒度的影响	刘 靖等
我国不锈钢原料资源和生产进展	张友平等