

70 t 电弧炉炼钢集束射流氧枪流场的数值模拟及应用

张 贵¹ 朱 荣¹ 韩丽辉¹ 朱长富¹ 谈知良² 刘长春²

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083; 2 武钢集团鄂钢公司, 鄂州 436000)

摘 要 用 CFX5.7.1 软件对电弧炉炼钢用集束射流氧枪和普通氧枪的射流特征进行了数值模拟和冷态试验。结果表明,集束射流氧枪比普通超音速氧枪射流长,射流集中、衰减慢。在鄂钢 70 t Consteel 电弧炉上应用表明,使用集束氧枪后平均电耗由 338 kWh/t 降低到 219 kWh/t,电极消耗未变,为 1.86 kg/t,氧耗由 51.6 m³/t 提高到 60.3 m³/t。

关键词 70 t 电弧炉 集束氧枪 数值模拟 应用

Numerical Simulation on Oxygen Stream Field of Coherent Jet Oxygen Lance and Application to a 70 t Arc Furnace

Zhang Gui¹, Zhu Rong¹, Han Lihui¹, Zhu Changfu¹, Tan Zhiliang² and Liu Changchun²

(1 School of Metallurgy and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;
2 Ezhou Steel Co, Wuhan Iron and Steel Group, Ezhou 436000)

Abstract Numerical simulation and cold status test of jet flow of coherent jet oxygen lance and common oxygen lance for arc furnace steelmaking have been carried out by CFX5.7.1 Software. Results showed that the jet flow length, concentration and anti-attenuation of coherent jet oxygen lance were better than that of common oxygen lance. The application to a 70 t Consteel arc furnace at Ezhou Steel indicated that after using coherent jet oxygen lance, the electric power consumption decreased to about 219 kWh/t from 338 kWh/t, the electrode consumption was no-change (1.86 kg/t) and the oxygen consumption increased to 60.3 m³/t from original 51.6 m³/t.

Material Index 70 t Arc Furnace, Coherent Jet Oxygen Lance, Numerical Simulation, Application

提高电弧炉氧气利用率是强化电弧炉冶炼最有效手段之一。目前,电弧炉炼钢氧气产生的化学能在电弧炉能量输入中已占了较大的比例,达到 30% 以上。特别是电弧炉采用热装铁水后,化学能的比例达到总能量的 40% 以上,相当于电弧炉增加了近 1 倍的能量输入,大量输入氧气已成为现代电弧炉炼钢工艺的一个主要特点。

传统超音速氧枪存在喷吹距离短,冲击强度小等缺点,集束射流氧枪是新型氧气喷吹技术。其特点是^[1]:高的动能和喷吹速度不足以使射流在较长的距离上保持集束状态,必须用另一种介质来引导氧气,即外加燃气环绕(或外加氧气环绕),使燃气流对主氧气流起封套作用,这样主氧气流就能在足够长的距离上聚合在一起。集束射流其射流凝聚距离能够达到 1.6 ~ 2.1 m^[2]。由于集束射流能量集中,具有极强的穿透金属熔池的能力,增加了氧气对钢水的搅拌强度,因此能够促进钢渣反应、均匀成分与温度、减少喷溅、提高氧气利用率和金属收得率。同时随着穿透能力的

增强,枪位可适当提高,延长氧枪寿命。

如何在实践中更好地应用集束射流的优点,可通过冷态热态试验及现场工作经验来确定氧枪的结构及工艺参数。试验探讨利用数值模拟方法^[3]对集束射流氧枪进行模拟,采用大型计算流体力学(CFD)分析软件 CFX5.7.1,对普通超音速和集束射流氧枪的射流情况进行模拟,从理论上确定集束射流的优越性,并采用冷态试验结果和工厂试验结果进行验证。

1 集束射流和普通超音速射流的数值模拟

1.1 集束射流氧枪的流动分析和几何模型

针对冷态试验及工业应用的条件,采用 1:1 的比例对两种氧枪进行模拟。氧气射流是由拉乌尔喷嘴产生超音速气流形成的,其马赫数为 2.0,本研究仅考虑射流轴线衰减和对周围气体的卷吸情况,将射流出口后的计算区域选择为无限大(相对喷头尺寸)。对于集束射流氧枪,环氧是通过喷孔流出的,为了计算简便,将喷孔等效成环

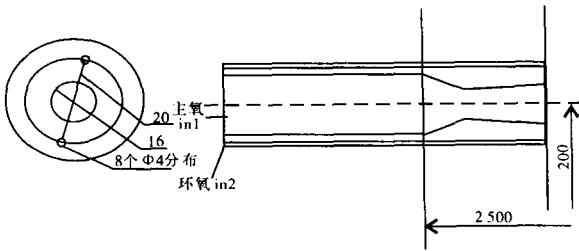


图 1 集束射流氧枪模型简图

Fig. 1 Schematic of coherent jet oxygen lance model

缝,近似认为气体是从环缝流出,见图 1。

1.2 计算方法设计及控制方程

依据以下几点假设,设计超音速射流及集束射流的计算方法:

(1)因氧气密度与空气相近,计算空间取氧气为填充气体,即计算为单相流动。根据超音速气流的流动特性,采用全热模型、湍流 $\kappa-\xi$ 模型。

(2)从收缩管到扩张管所有的连接处都很光滑,管内摩擦可忽略。

(3)管内流动的气体是理想状态下的氧气,但是气体流动中的粘性不能忽略。

在可压缩气体模型中,采用 CFX 软件的帮助文件所提供的控制方程。

初始及边界条件:(1)入口的压力值为 0.804 MPa,环境压力取炉膛压力 0.104 MPa;(2)根据冷态试验的结果取环境温度为 296 K;(3)计算空间(包括出口)采用开放式,氧枪壁面采用无滑移边界条件;(4)计算空间内,取与空气密度的氧气为填充气体;(5)时间步长为 0.000 1 s,最大迭代次数为 1 000,计算误差为 10^{-4} 。

1.3 模型求解及分析

根据正交试验设计方法,模型针对 70 t 电弧炉使用的超音速及集束氧枪在不同压力及流量下进行研究。共模拟了当喷吹压力为 0.7,0.8,0.9 MPa 条件下,喷吹流量为 1 200,1 800,2 400 m^3/h 下的出口射流速度衰减情况。

图 2(a)是利用 CFX 软件对不同氧枪进行模拟得到的速度场图,其中上面是普通超音速氧枪,下面是集束射流氧枪。从图中可以看出集束氧枪能够保持更长的高速气流。

图 2(b上)是没有加入保护气的普通超音速

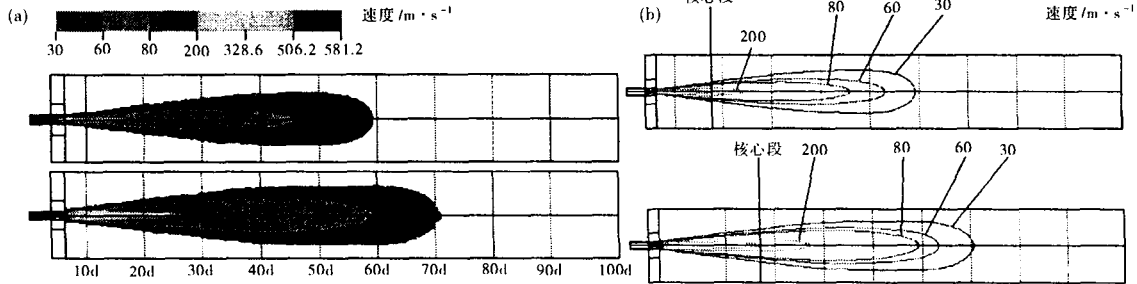


图 2 两种氧气射流的速度场:上-普通氧枪;下-集束氧枪

Fig. 2 Velocity field of jet flow of two kinds of lance: upper- common oxygen lance; lower- coherent jet oxygen lance

氧枪射流衰减情况,图 2(b 下)是与普通氧枪在相同条件下,加保护气后的集束超音速氧枪射流衰减情况。由两图可以看出:当喷吹压力 0.8 MPa、喷吹流量为 1 200 m^3/h 时,集束氧枪射流在 30 m/s 以上的有效射流长度比普通超音速射流长度约长 260 mm,明显优于普通氧枪。其中横坐标的单位长度为计算空间/出口直径。

观察模拟得到氧气射流的速度场图(图 3),可以初步认为:环氧气流首先与外界接触,代替主氧与外界进行能量交换,产生速度衰减,同时与外界气体 a 进行动量交换,带动靠近环氧层部分的

气体 a 向前运动,形成有动能的气体 b。主氧气流接触到的气流不再是无动能的气体 a,而是具有一部分动能的气体 b,这样主氧与气体 b 再进行动量交换,其动能大部分保留下来。环氧气流不但减缓了主氧气流与外界接触的时间,更使得主氧气流的动能得到最大程度的保留。

2 数值模拟与冷态试验结果对比

图 4 是同等条件下的冷态试验(a)和数值模拟(b)的结果对比图,从图中可以看出:无论是数值模拟结果还是冷态试验结果,集束射流氧枪的射流比普通超音速氧枪射流长,射流衰减慢,射流

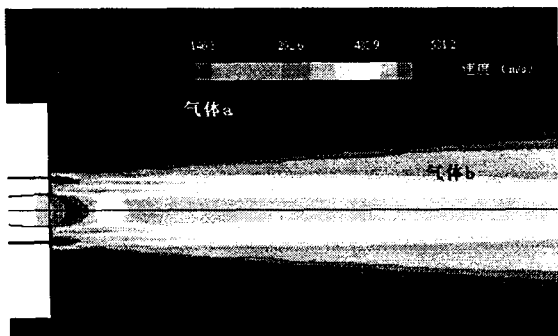


图 3 环氧保护气体和主气流的速度衰减
Fig. 3 Velocity attenuation of around oxygen protective stream and primary stream

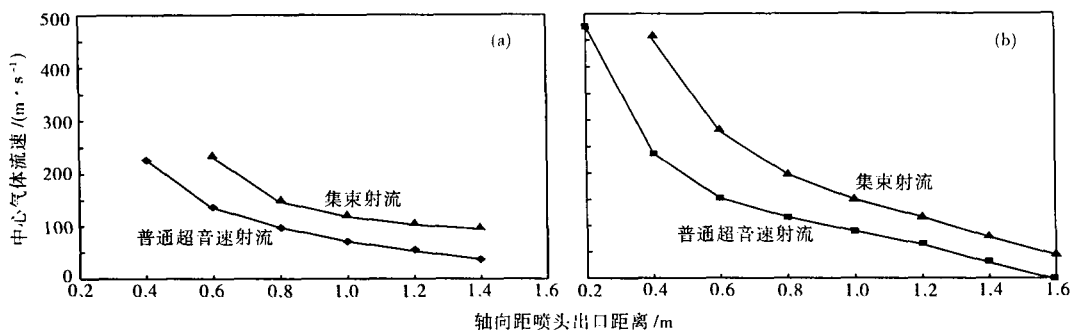


图 4 射流轴向中心流场分布:(a)冷态试验;(b)数值模拟
Fig. 4 Distribution of central velocity along jet axis: (a) cold status test; (b) numerical simulation

废钢熔化速度,杜绝了石灰堵塞出钢口和兑入铁水后炉盖与水冷板粘钢情况的发生,冶炼周期有所缩短,冶炼电耗有所降低,基本达到了预期效果。

炉壁集束射流氧枪使用后,提高了炉中脱碳速度,并使炉内各区域的钢水温度更加均匀。

经济效益分析可得,2005年1~7月未使用炉壁集束射流氧枪时,平均冶炼电耗 338 kWh/t,电极消耗为 1.83 kg/t,氧耗为 51.6 m³/t。使用集束射流氧枪后,经济效益有所提高(表 1)。

表 1 使用集束射流氧枪后的一些参数

Table 1 Technical index of EAF after using coherent jet oxygen lance

月份	电耗/ (kWh·t ⁻¹)	电极消耗/ (kg·t ⁻¹)	氧耗/ (m ³ ·t ⁻¹)	产量/t
8	268	1.92	59.1	43 120
9	215	1.84	60.5	31 288
10	175	1.81	61.2	18 217

4 结论

采用数值模拟的方法对集束射流氧枪的射流

也更加集中,得到的结果趋势是一致的,只是数值不同。

冷态试验的结果再一次证明集束射流氧枪具有比普通超音速氧枪射流长,射流集中,同等条件下的冲击力更强等方面的优点。数值模拟结果和冷态试验结果相符。

3 集束射流氧枪在 70 t Consteel 电弧炉的应用

将通过数值模拟优化设计的集束射流氧枪,应用在鄂钢 70 t Consteel 电弧炉,从使用情况看,集束射流氧枪具有化渣速度快、效果好,脱磷、脱碳效率高等优点,加快了 Consteel 电弧炉两侧的

特性进行研究,通过热态试验结果进行验证,得出集束射流氧枪的射流长度在同等条件下,明显比普通超音速氧枪长。

比较冷态试验和数值模拟实验的结果,可以看出通过数值模拟对集束射流氧枪进行研究所得出的计算结果是可信的^[4]。

采用数值模拟结果,设计的集束射流氧枪在鄂钢 70 t Consteel 电弧炉得到了较好的应用结果。

参考文献

- Andreas Metzner, Gerhard Bütnemann, Johannes Greinacher, et al. Oxygen Technology for Highly Efficient Electric Arc Steelmaking. MPT International, 2000(4): 84
- 李桂海,朱 荣,仇永全,等. 电弧炉炼钢集束射流氧枪的射流特征. 特殊钢, 2002, 23(1): 11
- 张旻翊,孙雪坤,王国栋,等. 数值模拟技术在我国钢铁工业中的应用现状与展望. 钢铁研究, 2000(3): 53
- 朱 荣,仇永全,李桂海,等. 莱钢特钢 50 t 电弧炉用氧技术的实践. 第十一届全国炼钢学术会议论文集. 北京, 2000

张 贵(1981-), 女, 研究生, 从事电弧炉用氧技术的数值模拟研究。

收稿日期: 2006-04-15