

50 t 转炉氧枪喷头冷却水流的数值模拟和优化

孙玉霞 韩志杰 常金宝 张朝发 李双武 轩宗宇

(唐山钢铁股份有限公司第二钢轧厂,唐山 063016)

摘要 用流体商业软件 Fluent 对 50 t 转炉氧枪喷头的冷却水流动进行数值模拟,从冷却水流动的速度矢量图分析其流动特征。通过模拟分析,提出一种兼顾控制冷却水流动、提高冷却效率和喷头端面强度的带有水冷隔板的新结构氧枪喷头。模拟结果表明,由于新结构氧枪喷头内形成独立的进回水通道,可减少水流在水冷腔中对冲造成的能量损失和喷头中心水流死区的产生,有良好的冷却效果,增强了端部中心机械强度,抑制喷头变形。

关键词 50 t 转炉 氧枪喷头 水冷隔板 数值模拟

Numerical Simulation and Optimization on Flow of Cooling Water in Oxygen Lance Nozzle for a 50 t Converter

Sun Yuxia, Han Zhijie, Chang Jinbao, Zhang Chaofa, Li Shuangwu and Xuan Zongyu
(No.2 Steelmaking and Rolling Plant, Tangshan Iron and Steel Co Ltd, Tangshan 063016)

Abstract The numerical simulation on flow of cooling water in oxygen lance nozzle for a 50 t converter has been carried out by a commercial software Fluent to analyze its flow characteristics through velocity vector diagram of cooling water flow. By simulation and analysis, a new pattern oxygen lance nozzle with cooling water clapboard to simultaneously control cooling water flow, increase cooling efficiency and strength of nozzle section is proposed. Simulation results show that as an independent inlet-back channel in new pattern oxygen lance nozzle, the energy loss due to opposed jet flow impact in cooling water chamber and the flow dead zone in center of nozzle decrease, this structure has better cooling effects to enhance nozzle head central mechanical strength and restrain distortion of lance nozzle head.

Material Index 50 t Converter, Lance Nozzle, Cooling Water Clapboard, Numerical Simulation

自从 1952 年氧气顶吹转炉问世以来,氧枪作为转炉冶炼的重要设备,国内外对其进行了不断的改进和完善^[1],氧枪喷头是构成氧枪的中心环节,氧枪喷头也从单孔到多孔,由锻造喷头改进成整体铸造喷头和锻造组合式喷头。对喷头的喷氧孔型、尺寸、数量及其在喷头端面上的布置方式已有较系统的研究^[2-3],从现场冶金效果分析,该技术较为成熟。

转炉用氧枪喷头工作环境极为恶劣,在使用损坏的喷头中大约有 80% 的喷头出现“吃鼻子”现象。目前工程技术人员对冷却研究较少,一定程度上制约了喷头的使用效果。

近年来,一些冶金工作者在氧枪喷头水冷腔结构^[4-5]和兜水板^[6-7]方面所做的工作一定程度上提高端面强度,但没有从本质上控制冷却水流动,改善冷却效果。本研究以 50 t 转炉的氧枪喷头为例,采用数值模拟方法对喷头冷却水的流动特性进行模拟计算,并在原有基础上进行优化设计,提出一种兼顾控制冷却水流动、提高冷却效率和喷头端面强度的带有水冷隔板的新结构氧枪喷头。

1 数学模型及边界条件

1.1 几何模型

采用有限体积法对控制方程进行离散、采用标准 $\kappa-\varepsilon$ 湍流模型和速度与压力耦合的 SIMPLE 算法求解,用 Fluent 软件对氧枪喷头冷却水流场进行三维模拟计算。由于喷头结构和流动的对称性,为了获得充分发展的流场以利于计算的收敛,计算区域取喷头的 1/4 进行模拟,采用均匀四面体网格,节点间距根据计算过程的经验和壁面函数法取为 1.5 mm。图 1 为氧枪喷头结构的示意图,表 1 为氧枪喷

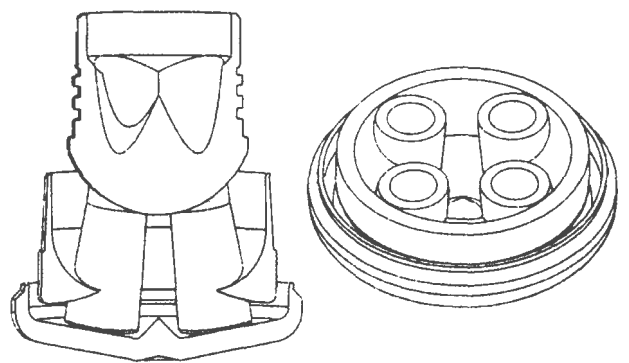


图 1 原氧枪喷头结构示意图

Fig. 1 Sketch of structure of original oxygen lance nozzle, prototype

表1 氧枪喷头参数

Table 1 Parameters of lance nozzle

喷头直径/ mm	喷孔数	供水量/ (m ³ · h ⁻¹)	进水温度/ ℃	出水温度/ ℃	进水压力/ MPa
194	4	100	<40	<55	1.0

头的一些参数。

1.2 控制方程和边界条件

冷却水在氧枪喷头中的流动是一个复杂的湍流过程,其主要特征是不规则性、三维性、扩散性和耗散性。描述冷却水流体的基本微分方程有:连续性方程、动量方程(Navier-Stoker 方程)、湍流动能 κ 和湍流动能耗散率 ε 方程,边界条件如下:

(1)入口:入口处为速度入口,速度根据质量守恒计算出入口处流速 $V_{inlet} = 5.54 \text{ m/s}$, κ 、 ε 分别由(1)(2)求得:

$$k_{inlet} = \frac{3}{2}(\bar{v}_{inlet} \cdot T_i)^2 \quad (1)$$

$$\varepsilon_{inlet} = \frac{C_{\mu}^{3/4} \cdot k^{3/2}}{l} \quad (2)$$

(2)出口:出口处假设为自由出口。

(3)壁面:在壁面处,采用无滑移边界条件,在近壁区采用壁面函数处理。

(4)对称面:速度及其他变量的法向导数为0。

2 数值模拟结果及分析

2.1 50 t 转炉氧枪喷头原型

转炉氧枪是由3层套管组成,内层套管为氧气管路,中间层管与内层套管之间为冷却水进水管,外层套管与中间层管之间为冷却水出水管,中间层管下端连接即为分隔冷却水进水的兜水板,兜水板包围着氧孔之间冷却水流过的中心通道,其内缘围成一个梅花形,外缘为了获得均匀的高速水流,拟合为弧线。氧气由进气管路通过4个喷孔均匀的射向钢水熔池,冷却水由进水管流进兜水板再由出水管流出。由图2(a)所示,冷却水由进水管流入,沿着兜水板内缘从四周冲向喷头中心,使得中心区域为水流对冲区,冷却水流动过程中由于对冲能量的损失使水流能量降低,流动的速度降低,且在喷头端底中心处区域有明显的局部湍流和死区,冷却水不能及时带走传给喷头端底的大量热,冷却效果受到影响。氧枪喷头对称,图2(b)为1/4端面流场速度图,由图2(b)可以看出,在氧柱内侧水流汇聚形成明显漩涡,在内腔中心区域有死区。

2.2 氧枪喷头水冷的优化

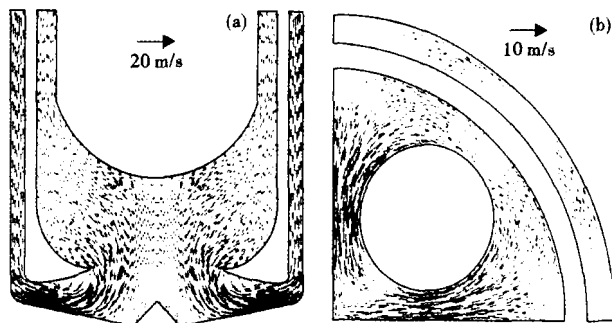


图2 原氧枪喷头轴向流场(a)和 $y = -100 \text{ mm}$ 喷头端面流场(b)速度矢量图

Fig. 2 Velocity vector diagram of flow field along nozzle axis direction (a) and flow field at $y = -100 \text{ mm}$ from nozzle head (b), original oxygen lance nozzle

为了改变氧枪喷头中心冷却水流动的状况,在中心水冷腔内4个喷孔柱的中心区域,各个氧气喷孔柱间设置放射状水冷隔板如图3,隔板连接冷却水通道的上下两端面,形成4个完全独立的进回水通道。由图4(a)所示,设置水冷隔板后,冷却水由进水管沿着兜水板流向喷头中心,冷却水先碰到水冷隔板后,沿隔板往下流动,遇到端底后沿着兜水板外沿和端底内侧流动,没有明显的湍流区和死区,水高速流向外层套管,带走大量热从出口管流出。由图4(b)可以看出,在中心水冷腔和氧气喷孔柱间设置水冷隔板,在水冷腔内产生独立的水道,流动中没有明显死区。

通过流体动力学的仿真计算,表现出设置水冷隔板可以避免水流在喷头中心腔内的对冲,减少能量损失,同时减少喷头中心水流死区,明显改善水流的均匀性,降低了水流阻力,提高了喷头端面的水冷效果。

冷却水对喷头底端中心区域的冷却主要是对中心突出的圆锥段处的冷却,冷却水沿着圆锥段流动

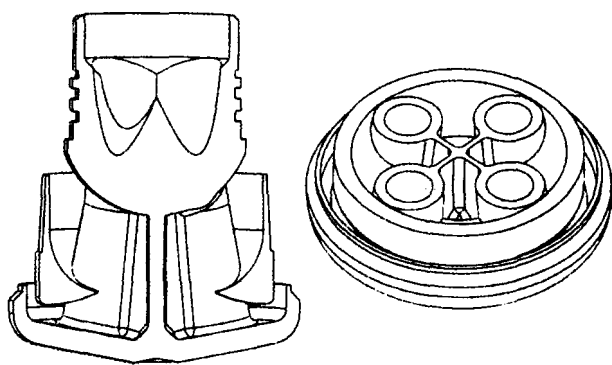


图3 改进的带隔水板氧枪喷头结构示意图

Fig. 3 Sketch of structure of improved oxygen lance nozzle with cooling water clapboard

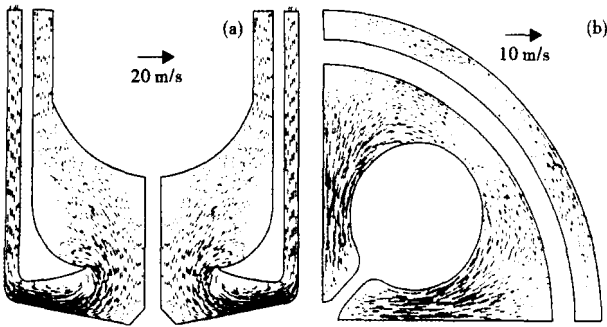


图 4 改进的氧枪带隔板喷头轴向流场(a)和 $y = -100$ mm 带隔板喷头端面流场(b)速度矢量图

Fig. 4 Sketch of velocity vector of flow field along nozzle axis direction (a) and flow field at $y = -100$ mm from nozzle head (b) for improved oxygen lance nozzle with clapboard

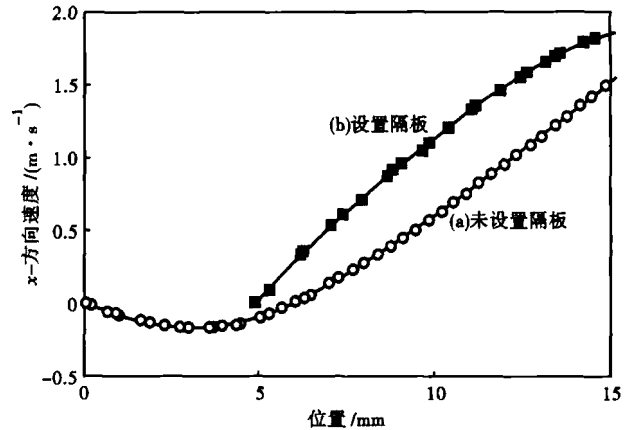


图 5 圆锥段上方 5 mm 处 x 方向流动速度图

Fig. 5 Curves of x -velocity of flow over cone face 5 mm

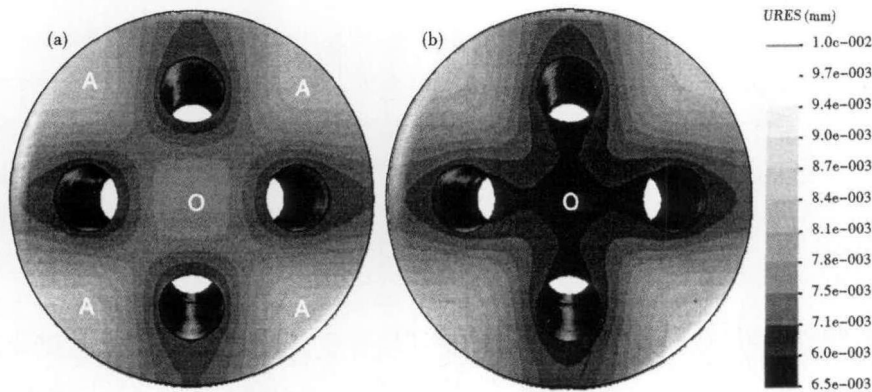


图 6 喷头底部端面变形图:(a)原型;(b)优化后

Fig. 6 Distortion picture of nozzle bottom face: (a) original, prototype; (b) improved, with clapboard

通过热对流把大量的热带走。图 5 为圆锥段上方 5 mm 处速度图,由图 5 可知,未设置隔板时,在 0 ~ 5 mm 处冷却水的流动处于逆流状态,冷却水冷却效率降低。设置隔板后,圆锥段流动方向速度比没有设置隔板时增大了,冷却水对端面的冷却效率提高了。

从理论上分析,冷却水的合理、高效的循环流动,可以对喷头起到良好的冷却作用。铜的导热系数比水的导热系数大得多,设置合理厚度的水冷隔板,相当于增大了换热面积,可进一步加强冷却效果。从喷头机械强度上考虑,设置水冷隔板,增强端部中心部位的机械强度,可以抑制喷头变形。图 6 为喷头端部的变形图,未设置隔板前,在喷头端面 A 区域和中心 O 区域变形量大,而设置隔板后喷头端面隔板位置和中心区域变形明显减小,喷头端部中心区域强度明显提高。

3 结论

(1) 通过模拟可知,未设置水冷隔板的氧枪喷

头在喷头端底中心存在冷却水流死区,冷却水流动性能差,冷却效果不好,与现场使用损坏的喷头中大约有 80% 的喷头端部中心出现“吃鼻子”现象相一致。

(2) 在喷头水冷腔内设置水冷隔板,形成独立的进出水通道,可优化水流流动,增大冷却面积,增强端部强度,提高冷却效果。

(3) 根据这一研究结果,已申请国家实用新型专利,专

利号:ZL201120386912.9。

参考文献

- [1] 赵荣玖. 国外氧枪实际剖析[J]. 国外钢铁, 1992, 4(2): 22-27.
- [2] 刘志昌, 陈 峨, 张雁波. 大型复吹转炉双层分流氧枪的研制[J]. 钢铁, 1993, 28(5): 16-20.
- [3] 杨文远, 刘炳仁, 朱立宪. 转炉氧枪喷头的射流特性及其冶金效果[J]. 钢铁研究学报, 1995, 7(3): 8-15.
- [4] 刘延春. 中心柱水冷氧枪喷头[P]. 中国. 实用新型, 200320107123.2, 2004-12-29.
- [5] 刘旭刚. 增强铸造多孔中心水冷氧枪喷头[P]. 中国. 实用新型, 98221684. x, 1999-07-21.
- [6] 麻向军. 氧枪喷头冷却水流动特性的数值模拟[J]. 华南理工大学学报, 2003, 31(5): 43-46.
- [7] 任三兵, 樊俊飞, 方 园. 水冷结构炼钢炉氧枪喷头[P]. 中国. 实用新型, 201020571954.5, 2011-05-11.

孙玉霞(1980-), 女, 硕士, 工程师, 2003 年河北科技大学毕业, 炼钢工艺研究. E-mail: yuxiasun0129@sohu.com

收稿日期: 2012-09-26