

Consteel 电弧炉送料水冷拖板流速和温度场的有限元分析

胡汉辉^{1,2} 谭青¹ 张丽娜¹

(1 中南大学机电工程学院, 长沙 410083; 2 湖南工业职业技术学院, 长沙 410007)

摘要 在动态有限元理论的基础上, 建立 Consteel 电弧炉炼钢中的水冷拖板内腔冷却水流动的有限元模型, 对水冷拖板中冷却水进行了流速分析和热分析。研究表明: 在每一块隔板与壁相接之处开一小孔, 可以明显改善水流死角; 将圆管的直角过渡改成圆角过渡, 可以消除水流死角; 改善冷却水水质, 无水垢时圆管壁最里面到最外面的温度由 61.91 ~ 83.48 °C 下降到 61.18 ~ 67.12 °C。

关键词 Consteel 电弧炉 水冷拖板 流速场 温度场 有限元分析

Finite Element Analysis on Flow Velocity and Temperature Field of Charging Water Cooling Carriage for Consteel EAF

Hu Hanhui^{1,2}, Tan Qing¹ and Zhang Lina¹

(1 School of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083;
2 Hunan Industry Polytechnic Institute, Changsha 410007)

Abstract Based on dynamic finite element method, a finite element model of cooling water flow in cavity of water cooling carriage for Consteel EAF has been established to carried out the flow velocity analysis and thermal analysis on cooling water in water cooling carriage. Research results show that the dead space of water flow can obviously be improved by opening a small hole at joint place of each clapboard and wall; the dead space of water flow may be eliminated by changing the right angle transition to round angle transition; and the temperature of round tube wall from inside to outside decreases from 61.91 ~ 83.48 °C to 61.18 ~ 67.12 °C by improving the quality of cooling water without scale.

Material Index Consteel EAF, Water Cooling Carriage, Flow Velocity Field, Temperature Field, FE Analysis

随着钢铁工业生产现代化水平的提高, 一种具有炉料预热的 Consteel 电弧炉连续炼钢得到迅速的发展和完善^[1-6]。Consteel 连续加料系统的送料装置即水冷拖板, 由于原水冷拖板易产生裂缝而漏水并掉入熔池中, 影响正常生产, 故通过 ANSYS 软件对原水冷拖板(图 1)流速和温度场展开研究。

1 水冷拖板流速场分析

1.1 流速场分析的主要参数计算

参照文献[7,8], 圆管中水的雷诺数为:

$$Re = \frac{ud}{\nu} \quad (1)$$

式中: u - 水的平均流速/($m \cdot s^{-1}$); ν - 30 °C 时水的运动粘度/($m^2 \cdot s^{-1}$); d - 圆管内径/ m 。

$$\text{方形槽中水的雷诺数为: } Re = \frac{4uR}{\nu} \quad (2)$$

式中: R - 流通截面的水力半径/ m 。

$$R = \frac{A}{x} \quad (\text{其中 } A \text{ 为有效截面积, } x \text{ 为湿润周长})$$

$$\text{马赫数的计算: } Ma = \frac{u}{c} \quad (3)$$

式中: c - 声速/($m \cdot s^{-1}$)。

在有限元分析中建立紊流、不可压缩模型^[9]。

1.2 水冷拖板方形槽中水的流速场分析

从流速分布云图可以看到, 在改进前, 第 3 块隔板处存在明显的水流死角, 针对这点将第 3 块隔板折成两直线状, 左端与圆弧的中点相接, 与圆弧中点处的切线所成的角度为锐角(70°至 80°), 直线转折点与水冷拖板下面的横壁对齐, 然后再倒角, 这里的倒角半径为 0.1 m。从流速分布云图可以看出, 经过这种改进后的水流死角面积要小得多。

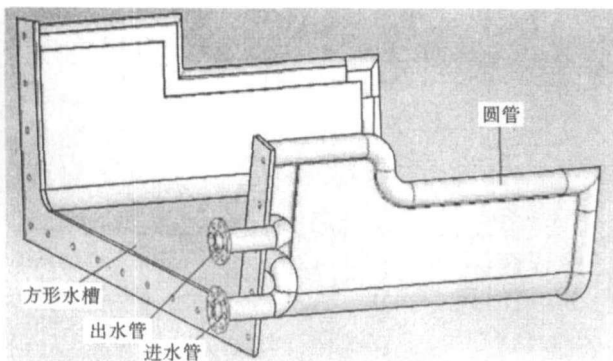


图 1 水冷拖板外形

Fig. 1 Shape of water cooling carriage

同时在流速分布云图上可以看到,在每一块隔板与壁相接之处存在较严重水流死区,针对这点,在每一块隔板与壁相接之处开一小孔,从图 2 中可以清楚地看出,在小孔处由于水流面积很小,有很小的

一部分水流经小孔,在这里流速达到最大值。由于小孔的存在,从而带动死角处水的流动。结合图 2 (a)、(c),可以看出开了小孔的角落比没有开小孔的角落水流死角范围明显减小。

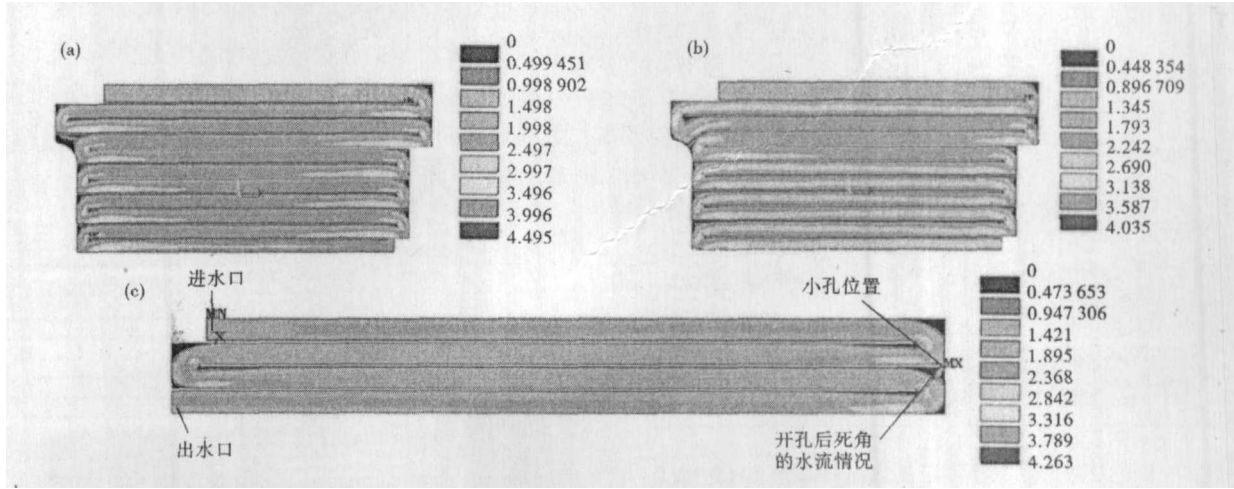


图 2 结构对流速场的影响:(a)改进前;(b)第 3 块隔板折弯后;(c)开小孔后

Fig.2 Effect of structure on flow velocity field: (a) before improvement; (b) after third clapboard folding back; (c) after opening small hole

2 温度场分析

2.1 主要参数计算

表面传热系数习惯上又称对流换热系数^[10],根据传热学知识可知,在强制对流时,水的表面传热系数 h 的范围为:1 000 ~ 15 000 W/(m² · K)。

(1)圆管内表面与水的对流换热系数。这里属于管内强制对流换热,可采用使用最广的关联式:迪图斯-贝尔特(Dittus-Boelter)公式:

$$N_{uf} = 0.023 R_{ef}^{0.8} P_{rf}^n \quad (4)$$

式中: $N_{uf} = \frac{hl}{\lambda}$, $P_{rf} = \frac{v}{a}$, $R_{ef} = \frac{ul}{v}$ 分别为努塞尔数、普朗特数、雷诺数。

l 为特征长度,管内流动取管的内径,这里取 d_1 。

加热流体时取 $n = 0.4$,冷却流体时 $n = 0.3$ 。

$$Re = \frac{\rho u d_1}{\eta}, \frac{v}{a} = \frac{C_p^{0.4} \eta^{0.4}}{\lambda^{0.4}}$$

$$N_{uf} = \frac{h d_1}{\lambda} = 0.023 \left(\frac{u d_1}{v} \right)^{0.8} \left(\frac{v}{a} \right)^{0.4} \Rightarrow$$

$$h = 0.023 \frac{u^{0.8} \lambda^{0.6} C_p^{0.4} \rho^{0.4}}{d_1^{0.2} v^{0.4}} \quad (5)$$

式中: u - 冷却水的流速/(m · s⁻¹); λ - 冷却水的导热系数/(W · m⁻¹ · K⁻¹); c_p - 冷却水的比热容/(J · kg⁻¹ · K⁻¹); ρ - 冷却水的密度/(kg · m⁻³); v - 冷却水的运动粘度/(m² · s⁻¹)。

由于本文中的热分析主要是选取水冷拖板前端接近出口的部位进行分析,这里水的温度为 60 ℃ 左右,所以上参数选取在 60 ℃ 时水的参数进行计算,将水的有关参数^[11]代入式(5),得到:

$$h \approx 7\,719.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

所以得到圆管内表面与水的对流换热系数 h 为 7 719.7 W/(m² · K)。

(2)方形槽内表面与水的对流换热系数。对于非圆截面槽道内的紊流换热计算,作为工程处理的一种方法,可以用当量直径作为特征尺度,从而应用以上的方程(5)。当量直径按下式计算:

$$d_e = \frac{4A_c}{P} \quad (6)$$

式中: A_c - 槽道的流动截面积/m²; P - 润湿周长/m,即槽道壁与流体接触面的长度/m。

根据水冷拖板中方形槽的尺寸,代入式(6)得:

$$d_e = 0.068 \text{ m}$$

将所得的当量直径代入式(5)得:

$$h \approx 7\,934.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

所以得到方形槽内表面与水的对流换热系数 h 为 7 934.7 W/(m² · K)。

根据主要参数计算,参照文献[12 ~ 16],对水冷拖板圆管转弯形式进行温度场分析。

从图 3(a,b)可以看到,圆角转弯的效果明显要比直角转弯要好。

2.2 水冷拖板水垢对温度影响

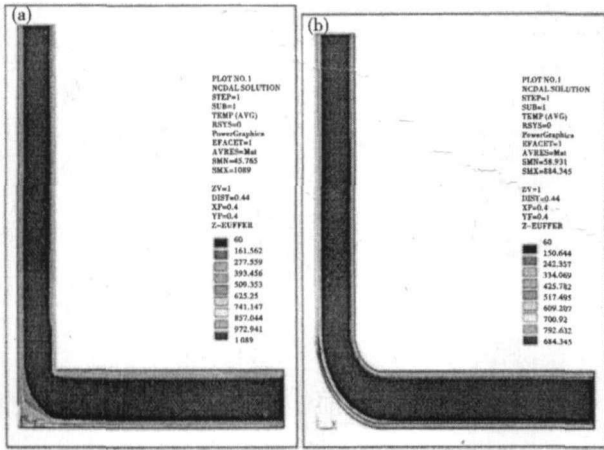


图 3 转角对冷却管壁温度场的影响:(a)直角;(b)圆角
Fig.3 Effect of rotation angle on temperature field of cooling tube wall: (a) right angle; (b) round angle

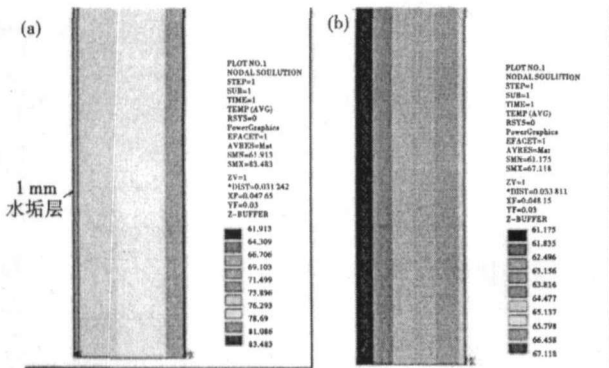


图 4 水垢对冷却管壁温度场的影响:(a)有水垢;(b)无水垢
Fig.4 Effect of scale on temperature field of cooling tube wall: (a) with scale; (b) without scale

参考文献

- 1 Vallomy J A. The CONSTEEL Process for Continuous Melting Refining in the Electric Furnace and its Impact on Energy Conservation and Environment. Proceedings of IISC. 1950, 4(10):82
- 2 王三武, 谭英. 90 t CONSTEEL 电炉炼钢工艺的应用. 南方金属, 2001, 5(10):8
- 3 郑淑胜. 石横特钢 65 t Consteel 电弧炉炼钢生产线. 特殊钢, 2002, 23(3):51
- 4 马登德, 范增顺, 余海萍. 西宁特钢 60 t AC Consteel 电弧炉工艺实践和系统优化. 特殊钢, 2002, 23(3):53
- 5 汤俊平. Consteel 连续炼钢电弧炉技术的应用. 特殊钢, 2001, 22(1):29
- 6 花皓, 吴培珍. 在电弧炉中连续炼钢作业的康斯迪工艺. 工业加热, 2002, 31(3):43
- 7 章宏甲, 黄道. 液压传动. 北京:机械工业出版社, 1992
- 8 杨世铭, 陶文铨. 传热学. 北京:高等教育出版社, 1998
- 9 沈维道, 蒋智敏, 董钧耕. 工程热力学. 北京:高等教育出版社, 2000
- 10 张朝晖. ANSYS8.0 热分析教程与实例解析. 北京:中国铁道出版社, 2004
- 11 张姝, 谢安国, 李胜利. H 型钢轧制过程中汽化冷却对温度场

从图 4(a,b)可以看到,有水垢时圆管壁最里面到最外面的温度为 61.91 ~ 83.48 ℃。20 g 钢管壁从里到外的温度大概为 74 ~ 79 ℃;没有水垢时圆管壁最里面到最外面的温度为 61.18 ~ 67.12 ℃, 20 g 钢管壁从里到外的温度为 61 ~ 64 ℃。

对水冷拖板的内部管道结构、整体外形结构进行改进、优化设计,得到如图 5 所示水冷拖板展开平面图。通过改进和优化设计,解决了水冷拖板使用寿命偏短、可靠性低等问题。

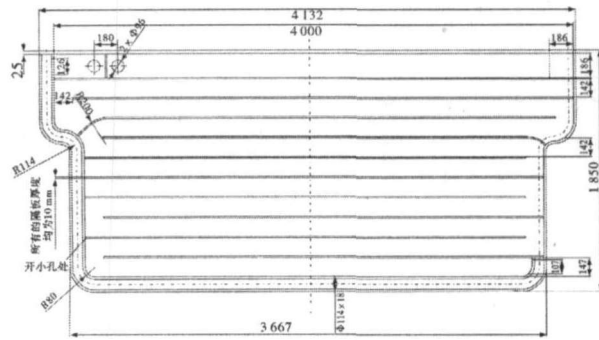


图 5 改进后的水冷拖板展开平面图
Fig.5 Improved spreading plan of water cooling carriage

3 结论

(1)在不改变整体流速情况下,在每一块隔板与壁相接之处适当开一条细缝或小孔,角流水流死角范围明显减小。同时将圆管的直角过渡处尽量改成圆角过渡,可以使水流畅通,对管壁的冲击小,能量损失少,流速损失少,从而提高冷却效果,降低转弯处的温度。

(2)水垢对冷却效果的影响非常严重,无水垢时圆管壁最外面的温度由 83.48 ℃ 下降到 67.12 ℃。

- 的影响. 冶金能源, 2004, 23(3):21
- 12 赵海峰, 蒋迪. ANSYS8.0 工程结构实例分析. 北京:中国铁道出版社, 2004
- 13 钱中, 程惠尔. 基于 ANSYS 的高炉铸钢冷却壁传热分析. 钢铁钒钛, 2005, 26(1):55
- 14 闻德恭, 李兆年, 黄正华, 等. 工程流体力学(水力学). 北京:高等教育出版社, 2004
- 15 Argenta P, Guzzon M. Techint's Latest Developments in EAF Environmental-friendly Technologies. Steel Times International, 2006, 30(3):621
- 16 Ramezani Mahdavi. Finite Element Analysis of Machine and Workpiece Instability in Turning. International Journal of Machine Tools & Manufacture 45, 2005:753

胡汉辉(1972-),男,副教授,2004 年华中科技大学毕业,中南大学访问学者,机械电子控制技术研究。

收稿日期:2007-05-10