

结晶器内冷却器-U 形管内流场温度场耦合数值模拟

陈艳霞 崔小朝

(太原科技大学工程力学系,太原 030024)

摘要 采用 ANSYS 有限元通用软件,对设计开发的圆环主半径 54 mm、圆柱高 180 mm、横向圆柱长 45 mm、冷却水初始温度 320 K、冷却器内壁温度 525 K 的内冷却器-U 形管内冷却水速度为 6 ~ 14 m/s 时,对流场温度场耦合作用下冷却水流动状况进行数值模拟。结果表明,进口速度太小,易在弯曲区形成涡流,速度太大,易在弯曲区产生更大的流速,对管壁冲击较大,影响其使用寿命;所以内冷却器进口速度在 10 m/s 时冷却效果最佳。

关键词 结晶器 内冷却器 数值模拟 流场 温度场

Numerical Simulation of Coupling Flow Field Temperature Field in a Mold with Inner U-Shape Cooling Pipe

Chen Yanxia and Cui Xiaochao

(Department of Science Applications, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024)

Abstract Numerical simulation of flow status of cooling water with flow rate 6 ~ 14 m/s in the developed inner U-shape cooling pipe with main radius 54 mm, column height 180 mm, transverse column length 45 mm, cooling water initial temperature 320 K and cooler inner wall temperature 525 K in coupling action of flow field and temperature field has been carried out by an ANSYS finite element software. Results indicated that with lower inlet flow rate, the eddy current easily produced in curved region, with higher inlet flow rate, the higher flow rate produced in curved region to impact the inner wall and decrease its service life. The inner cooler inlet flow rate for optimum cooling effect was 10 m/s.

Material Index Mold, Inner Cooler, Numerical Simulation, Flow Field, Temperature Field

内冷却器对结晶器内钢水流动产生很大影响,它可以降低结晶器内钢水的流动速度,使钢水的流动更加平稳,可以减轻结晶器上部的回流强度,减小液面的波动和不稳定,这有利于解决杂质上浮和气隙问题^[1,2]。因此,内冷却器-U 形管的合理设计对换热系统的能量消耗、工作能力和换热效率有着重要的影响。内冷却器-U 形管包括水平管道、垂直管道和弯管等。在设计中,高压冷却水在管道内的流场非常复杂,尤其在弯管处,流体的速度会发生明显的变化,流体流经弯管的速度以往都是根据经验公式估算,存在一定的缺陷。利用 ANSYS 软件中的 FLOTRAN CFD 能清楚地看出冷却水流经弯管处速度和温度值的变化分布状况,并能由此分析出最佳入口速度。

1 内冷却器-U 形管内流体流动和传热数学模型

控制方程和边界条件。控制方程采用了质量守恒、动量守恒、能量、湍动能和湍动能耗散率方程^[1,3]。

流速的选择:增加流体在冷却器中的流速,将增大对流传热系数,减少污垢在管子表面上沉积的可能性,即降低了污垢热阻,使总传热系数增大,从而

可减小冷却器的传热面积。但是流速增加,又使流体阻力增大,动力消耗就增多。所以适宜的流速要通过经济核算才能确定。

控制方程的边界条件为:(1)内冷却器在工作过程中,入口冷却水的速度分别设为 14,10,9,8,6 m/s,并且垂直于进口流场方向上的流体速度为 0;(2)出口压力考虑相对值,即相对压力为 0;(3)内冷却器固壁都是静止的,采用无滑移边界条件,在冷却器的壁面上沿各个方向的速度分量均为 0。

2 数值模拟及结果分析

2.1 基本假设条件

为了便于研究冷却器内水的流动,做了以下假设:(1)高压冷却水的流动为非稳态、粘性不可压缩流动;(2)进口速度均匀;(3)忽略密度变化引起的自然对流;(4)改变进口速度后(即改变雷诺数)的假想流的湍流分析。

2.2 计算模型的建立^[4]

高温铜冷却器是一个典型的主要受热应力作用的换热构件,由于研究过程中问题边界条件的不对称性,需要对内冷却器整个模型进行计算。本文即利用 FLUID 142 单元类型来求解内冷却器-U 形管

处流体的速率和压力分布。本文在模拟流场时的计算模型(图 1)的基本参数和冷却水的物性参数列于表 1、表 2。

2.3 模拟结果分析

(1) 速度结果分析。图 2(a) 显示了内冷却器

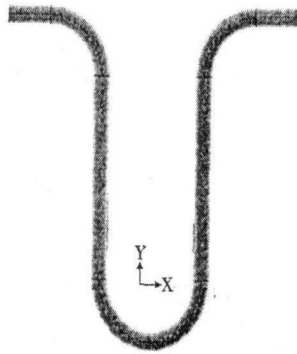


图 1 计算模型
Fig. 1 Numeration Model

表 1 模型的基本参数
Table 1 Basic parameters of model

项目	参数
入口高度/mm	12
圆环主半径/mm	54
两端竖直圆柱长度/mm	180
两端横向圆柱长度/mm	45
环境温度/K	320
冷却水初始温度/K	320
冷却器内壁温度/K	525

表 2 高压冷却水的物性参数
Table 2 Physical parameters of cooling water

项目	参数
密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1 000
粘度/($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	0.000 1
导热系数/[$\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$]	0.633 3
比热容/[$\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$]	4 174

入口速度为 10 m/s 时整体速度分布情况。由图 2(a) 看出:水进入 U 形管后在管子中心处速度较大,到了左右弯曲部分管子中心速度达到最大;图 2(b) 为速度流线图,该图表明在垂直于流动方向上速度很小,紧贴管壁处速度是 0,越往中心速度越大,由于流体受到粘性阻力的作用,所以产生了逆向流动,即产生了反方向的旋涡流动,所以沿 y, z 方向近壁面处速度是负值,但随着流通截面积的减小,流体的速度越来越大,在管子中心处达到最大。

图 2(c)、(d) 更形象地表明了入口速度为 10 m/s 时,管入口和出口弯曲部位的速度分布情况以及质点的流动方向和流动趋势。从图 2(c)、(d) 可以看出,管内不同的地方速度的大小是不一样的。当入口速度为 10 m/s 时,管内速度最大可达到 17.288 m/s;同理可以得到,当入口速度分别为 6, 8, 9, 11, 12, 14 m/s 时,管内速度最大值分别为 10.373, 13.38, 15.559, 19.017, 20.745, 24.203 m/s。

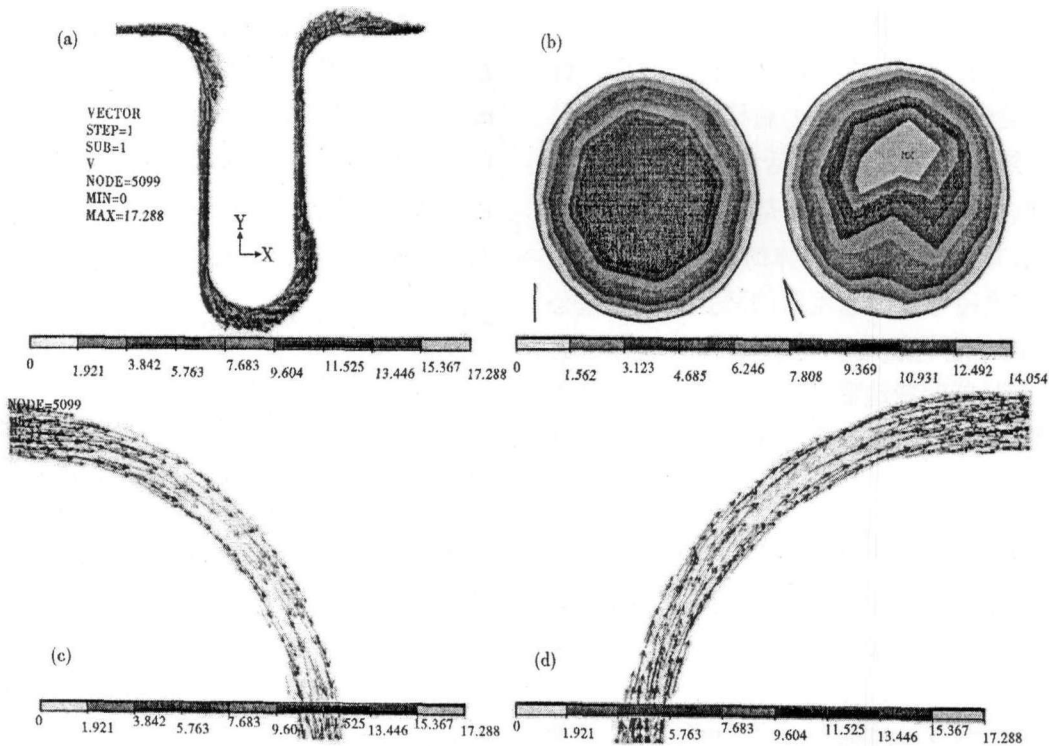


图 2 速度图:(a)内冷却器速度分布;(b)速度流线图;(c)入口和(d)出口端转弯速度矢量

Fig. 2 Flow rate diagrams: flow rate distribution in inner cooling pipe (a); flow rate line (b); curved flow rate vector at inlet (c) and at outlet (d)

(2) 温度场结果分析。图3(a)为整体温度图,图3(b)为入口和出口温度显示图。从这两个图看出,冷却水在U形管内流动的时候,入口处流体的温度在横截面方向上的分布是一样的;接近浸入钢水部分时,紧贴管壁处温度越来越高,在垂流方向上,流体之间的温度差别并不大。随着流动的继续,温差在逐渐增大。在出口附近温度分布比较均匀,只是在近管壁面处温度较高,其他沿着垂直于流

动方向温度的差别仍然不是很大,且在U形管中心部分温度并没有明显的改变。入口速度为10 m/s时,出口温度最高为326.728 K。同理可以得到当入口速度为6, 8, 9, 14 m/s时,出口温度分别为331.176, 328.299, 327.472, 324.812 K。由此得到,入口速度的大小对流体的温度场有一定的影响,随着入口速度的增大,强化换热效果就越不好。

(3) 压力场结果分析。图4为整体、入口和出

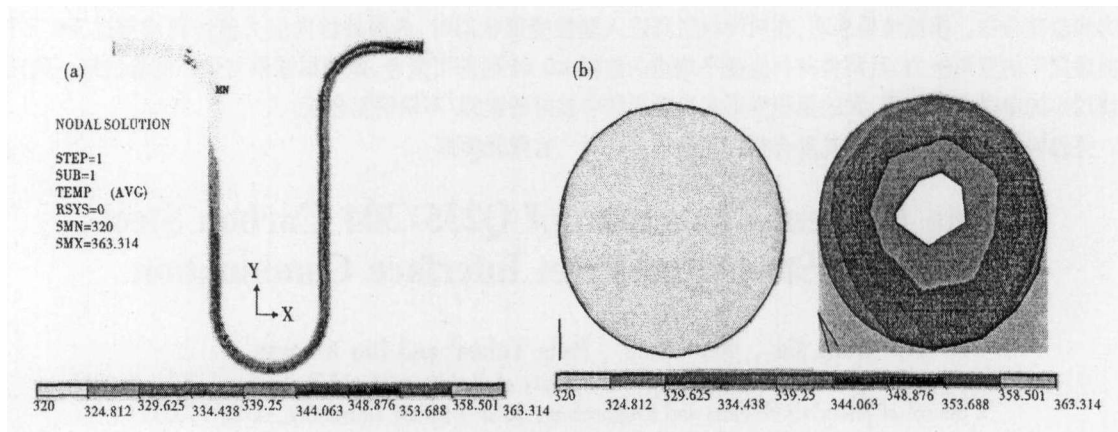


图3 温度显示图:(a)整体温度图;(b)入口和出口温度图
Fig.3 Temperature diagrams: (a) whole U shape pipe; (b) inlet and outlet

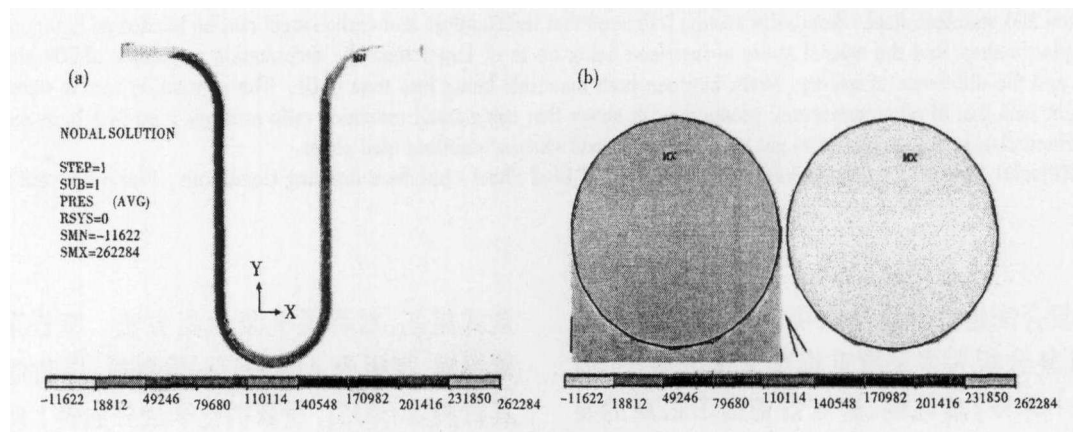


图4 压力显示图:(a)整体压力图;(b)入口和出口压力图
Fig.4 Pressure diagram: (a) whole U shape pipe; (b) inlet and out let

口压力场分布情况,由该图可知,内冷却器最大压差低于0.2 MPa。

3 结论

利用ANSYS软件对内冷却器流场温度场耦合进行数值模拟,可以得到在不同入口速度的状况下速度、温度以及压力的分布状况,分析可知,入口的速度控制在10 m/s的时候可以达到比较好的冷却效果,速度太小容易在弯曲区域形成涡流,影响冷却效果,而速度太大在弯曲部分产生更大的流速,对管壁会有较大的冲击,从而影响其使用寿命。

参考文献

- 1 晋艳娟,崔小朝.内冷却器-U形管对板坯连铸结晶器内钢水流动的影响.特殊钢,2006,27(3):29
- 2 崔小朝,李 朗.方坯连铸非稳态充型过程流场温度场耦合数值模拟.特种铸造及有色金属,2006,26(10):634
- 3 Qiu S T, Tao H B. Heat Transfer and Its Effect Solidification Combined Mould. J. Iron & Steel Res. Int, 2005(5):20
- 4 石 琳.高炉铜冷却壁的热变形问题.中国有色金属学报,2005,15(12):2040

陈艳霞(1977-),女,研究生,助教,2002年太原科技大学毕业,工程力学应用研究。

收稿日期:2007-12-03