

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.02.023

多通道烘缸的传热模拟及优化

鲁剑啸

(延安大学 化工学院, 陕西 延安 716000)

摘要:目前造纸机烘缸大多采用虹吸管式冷凝水排出装置,由于受烘缸积水的影响,传统烘缸干燥效率下降,纸页受热不均匀。基于此,对传统烘缸进行改造,设计出多通道烘缸的结构,文章应用 FLUNET 软件对不同高宽比的小通道进行了传热模拟,得到优化后的小通道尺寸值,结果表明小通道尺寸高、宽均为 10 mm 时,平均冷凝传热系数值最大,传热效率最高。对多通道烘缸进行尺寸优化有利于提高烘缸传热效率,节约能源。

关键词:造纸机械;多通道烘缸;传热模拟;优化

中图分类号:TB75

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2015)02-0092-003

Heat Transfer Simulation and Optimization for Multiport Cylinder

LU Jianxiao

(College of Chemical Engineering, Yanan University, Yanan, Shaanxi 716000, China)

Abstract: At present, most of the paper machine dryer use the siphon type of condensed water discharge device. Due to the impact of remaining water in dryer, the drying efficiency of the traditional dryer is low, and the paper-pages is uniformly heated. Based on these disadvantages of the traditional dryer, the traditional structure was modified, and the structure of multiport cylinder was designed. Fluent software was applied to simulate heat transfer about small channel with different depth-width ratio. The optimized dimensions of the small channel were gotten. While the height and width was 10 mm, the average condensation heat transfer coefficient was biggest, and the heat transfer efficiency was highest. Size optimization for multiport cylinder is helpful to improve the heat transfer efficiency and energy saving.

Key words: papermaking machinery; multiport dryer; heat transfer simulation; optimization

传统烘缸干燥湿纸幅的工作原理为:通入烘缸内的蒸气冷凝释放热量,烘缸壁通过热传导作用进行热量传递,达到干燥目的。烘缸旋转中,缸内冷凝水形成冷凝水环阻碍烘缸传热。传统烘缸如能有效改善冷凝水排出不畅问题,烘缸传热效率即可提高。多通道烘缸^[1]正是基于改善传统烘缸传热效率所提出的理论。

多通道烘缸设计思路为:在烘缸内部加工出许多小通道^[2-3],蒸气通过通道流动,产生的冷凝水在后续蒸气作用下流出通道。小通道的加工,既增加了烘缸表面换热面积又提供了冷凝水流出通道。

1 多通道烘缸

1.1 多通道烘缸结构设计^[4-5]

小通道的形成是多通道烘缸设计的核心内容,通过在缸壁内侧加工凹槽,烘缸内壁包覆一层金属板的

方法,形成小通道,如图1所示。饱和蒸气被限制在通道中流动,在流动过程中散发热量,散发的热量由烘缸外壳传递至湿纸幅。基于此,小通道的尺寸设计成为最关键问题,即小通道宽度、高度尺寸取多大值能使烘缸工作时传热效率最大。

本文以 $\varnothing 1\,500\text{ mm} \times 1\,950\text{ mm}$ 灰铸铁烘缸为例,进行多通道烘缸的优化。烘缸的设计压力取 0.5 MPa ,烘缸入口的水蒸气饱和温度取 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。烘缸作为压力容器,计算得到烘缸体计算壁厚值 $\delta_c = KpR/[\sigma] = 1.2 \times 0.5 \times 750/25 = 18\text{ mm}$,缸体厚度附加量 C 为 6 mm 。

式中: K, p, R 各项分别为应力增大系数、设计压力和缸体外半径^[6]。

由于烘缸小通道形成传热通道,如图2所示,从传

收稿日期:2014-08-02;修回日期:2014-10-13

作者简介:鲁剑啸(1985),女,陕西宝鸡人,硕士,延安大学讲师,主要从事化工机械、造纸机械方面的研究。E-mail: lujianxiao526@sina.com

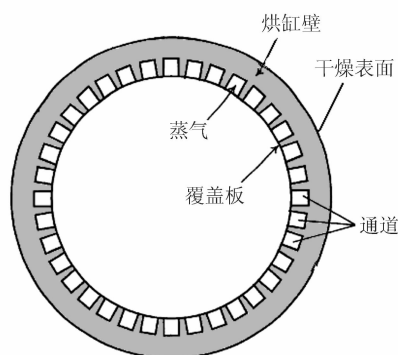


图1 烘缸壁内侧加工凹槽图

Figure 1 Groove of multiport cylinder at inner wall

热方面考虑,小通道高度方向尺寸数值越大传热效果越好;从受力方面考虑,在缸体上开设小通道会造成缸体应力集中,因此,缸体壁厚取 30 mm,小通道高度最大值取 10 mm。

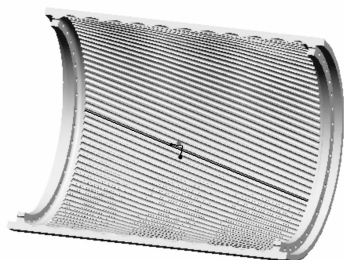


图2 烘缸小通道

Figure 2 Graph of multiport cylinder

1.2 多通道烘缸传热模拟

应用 FLUENT 软件模拟多通道烘缸传热^[7-8],忽略烘缸旋转,其中的一个小通道进行建模分析。烘缸总体尺寸为 $\varnothing 1\,500\text{ mm} \times 1\,950\text{ mm}$,考虑到烘缸长度方向上缸盖及其它附件的安装,烘缸小通道尺寸初步确定如下:长 $\times$ 宽 $\times$ 高为 $1\,620\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 。在 Gambit 中建立小通道三维模型,进、出口边界设置为压力进口、压力出口,小通道两侧面以及底面设置为固体壁面,模型上表面设置 20 mm 厚度,图 3 即为小通道网格划分图。

将 Gambit 模型输入 FLUENT 中求解, Solver 求解器选择基于压力求解器,流体材料属性选择水蒸气,由于蒸气在小通道流动过程中冷凝为液体,求解设置为非稳态。设置迭代次数,残差收敛,模拟后处理得到的结果如图 4、图 5 和图 6 所示。

图 4 为整个通道的传热云图,可看出在通道顶部,即烘缸外壁处,温度处于一个变化的范围,靠近蒸气入口处,烘缸外壁温度高,随着蒸气在通道长度方向上的



图3 小通道网格划分图

Figure 3 Grid generation of small channel

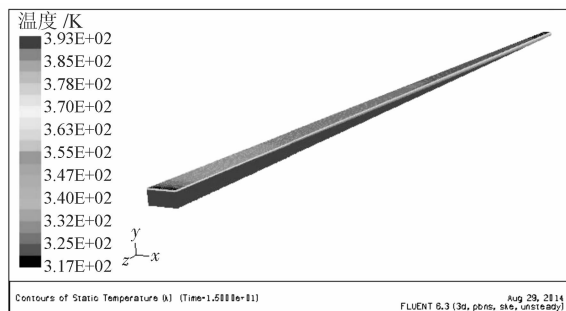


图4 通道传热云图

Figure 4 Heat transfer cloud chart of small channel

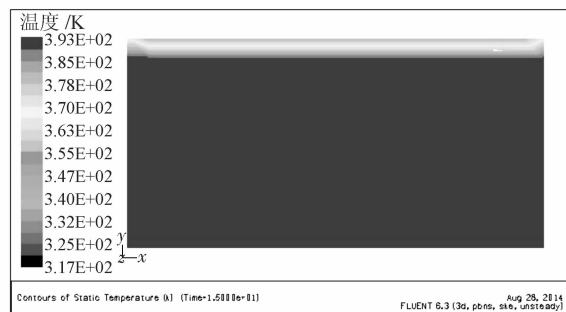


图5 入口温度分布云图

Figure 5 Cloud chart of inlet temperature

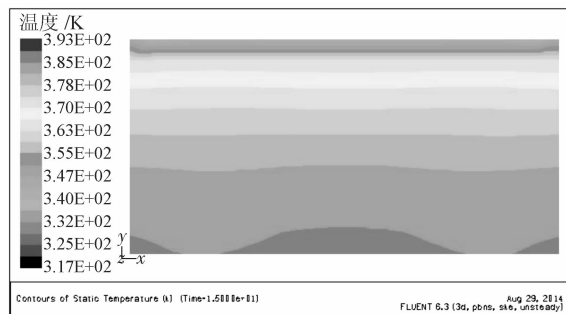


图6 出口温度分布云图

Figure 6 Cloud chart of outlet temperature

流动,烘缸外壁温度逐渐降低。原因为:①饱和水蒸气在通道流动过程中,受到缸外壁湿纸幅的影响,通道内的物质依次处于 3 种状态——气态、汽液态和液态。②蒸气的传热系数和冷凝水的传热系数不同,通道内

传递热量表现不同,相应烘缸外壁温度不同。从图 5 可看出在入口处,烘缸外壁温度较高,这是由于饱和水蒸气刚进入烘缸通道,尚未放出潜化热冷凝成液体。

采用 FLUENT 文字报告输出功能,得到小通道进口温度、小通道壁面温度、小通道换热量分别为 $t_{\text{steam}} = 391 \text{ K}$, $t_{\text{wall}} = 369 \text{ K}$, $\Phi = 10\,458 \text{ W}$, 计算小通道传热面积为 $A = 1\,620 \times 20 = 3.24 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ 。

根据牛顿冷却定律求小通道平均冷凝传热系数

$$h = \frac{\Phi}{A(t_{\text{steam}} - t_{\text{wall}})} \quad (1)$$

将变量的数值代入公式(1),求得 h 为 $14\,671 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 和实验结果吻合^[9]。

1.3 多通道烘缸通道优化

从图 6 中可看到通道出口处温度仍然较高,这意味着通道中有一部分饱和水蒸气未能被有效利用,从节约能源方面考虑,很有必要对小通道尺寸进行优化^[10],使通道内水蒸气可最大化地利用,产生的热量传递到烘缸外壁对湿纸幅进行干燥。为此,需要建立小通道模型进行传热模拟,由于 30 mm 壁厚的烘缸小通道高度最大值只能取 10 mm,模型建立时,通道高度恒取为 10 mm,然后给出不同宽度尺寸,模拟小通道传热。采用 FLUENT 文字报告输出功能,计算平均冷凝传热系数值,得到表 1。对比表 1 中各项数值,可看到小通道高宽比为 1:1,即小通道高度和宽度均为 10 mm 时,小通道平均冷凝传热系数值最大,达到 $20\,588 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

2 结语

本文应用 FLUENT 软件对多通道烘缸结构中不同高宽比的小通道进行了传热模拟,得到优化后的小通道数值。当小通道尺寸高、宽均为 10 mm 时,平均冷

表 1 不同尺寸小通道平均冷凝传热系数值

Table 1 Average condensation heat transfer coefficient of small channels in different sizes

序号	高 × 宽/ (mm × mm)	高: 宽	平均冷凝传热系数/ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
1	10 × 5	1:0.5	12 324
2	10 × 10	1:1.0	20 588
3	10 × 20	1:2.0	14 671
4	10 × 30	1:3.0	18 711
5	10 × 40	1:4.0	14 846

凝传热系数值最大,传热效率最高。多通道烘缸优化值只得到理论结果,尚需后续试验进行验证。

参考文献:

- [1] 鲁剑啸,董继先. 造纸机的新型多通道烘缸[J]. 轻工机械, 2009, 27(3): 91-94.
- [2] CHOI S U. Multiport cylinder dryer with low thermal resistance and high transfer: US, 6397489 B1 [P]. 2002-06-04.
- [3] CHOI S U S, YU W, WAMBSGANSS M W, et al. Design and demonstration of multiport cylinder dryer: final report on the multiport dryer project in phase 1 [R]. Argonne, Illinois: Argonne National Laboratory, 2001.
- [4] 鲁剑啸,董继先,党睿. 纸机多通道烘缸的设计与受力分析[J]. 轻工机械, 2012, 30(1): 1-4.
- [5] 董继先,党睿. 一种圆柱形夹层多通道烘缸: 中国, 2008200295648 [P]. 2009-05-13.
- [6] 鲁剑啸,董继先,张震. 双向进气多通道烘缸的结构设计及传热分析[J]. 轻工机械, 2013, 31(4): 4-7.
- [7] 韩占忠,王敬,兰小平. FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004.
- [8] 董继先,张震,鲁剑啸,等. 多通道烘缸结构及传热机理[J]. 纸和造纸, 2011, 30(2): 4-7.
- [9] KARLSSON M. Papermaking science and technology: papermaking Part 2, drying [M]. Helsinki, Finland: Fapet Oy Press, 2000.
- [10] 常治国. 多通道烘缸的热流分析及其优化 [D]. 西安: 陕西科技大学, 2013.

(上接第 91 页)

参考文献:

- [1] 张朝晖. ANSYS 12.0 结构分析工程应用实例解析 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010: 498-501.
- [2] 王铎. 断裂力学 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1989: 24-25.
- [3] 尹峰,王伟,宁纯利. 表面裂纹理论的回顾与评述 [J]. 飞机设计, 2003(2): 27-33.
- [4] 龚曙光,谢桂兰. ANSYS 操作命令与参数化编程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010: 37-39.
- [5] HACHI B K, REACHAK S, HABOUSSI M, et al. Computation of stress intensity factor in cracked plates under bending in static and fatigue by a hybrid method [J]. International Journal of Fatigue, 2007, 29(9/11): 1904-1912.

- [6] 王凤,黄其青,殷之平. 三维裂纹应力强度因子的有限元计算分析 [J]. 航空计算技术, 2006, 36(3): 23.
- [7] 周峰峦,高怡斐. 半椭圆表面裂纹应力强度因子的有限元计算分析 [J]. 物理测试, 2009, 27(3): 54-56.
- [8] 武小海,回丽,周松,等. 基于 ANSYS 的裂纹尖端应力强度因子研究 [J]. 机械工程师, 2011(1): 42-43.
- [9] 刘阳. 管道轴向内表面椭圆裂纹尖端应力场有限元分析 [D]. 沈阳: 东北大学, 2008: 19-21.
- [10] 高红利,李伟军. 基于有限元的钢制烘缸应力计算与评定 [J]. 轻工机械, 2014, 32(3): 71-73.
- [11] CHANDHAN T D, MAITI S K. Modeling of transverse vibration of beam of linearly variable depth with edge crack [J]. Engineering Fracture Mechanics, 1999, 63: 425-445.