

基于 MRF 模型的冷却辊冷却性能的 CFD 分析

张羽玲¹, 陈允春², 邵明月³, 张含笑³

(1.中国新闻出版研究院, 北京 100073; 2.中国外交部, 北京 100701; 3.西安理工大学, 西安 710048)

摘要: **目的** 在自行改进的 FR300ELS 型机组式凹版印刷机的冷却辊(喷淋式冷却辊)装置基础上, 分别对传统式和喷淋式 2 种冷却辊的冷却性能进行温度分布的对比分析, 研究喷淋式冷却辊的结构和性能优势。**方法** 建立新旧 2 种冷却辊的 MRF 模型, 利用 CFD 对冷却辊表面、轴向、周向的温度场分布进行仿真分析。**结果** 得到了新旧 2 种冷却辊在印刷机稳定工作状态下的温度分布散点图及云图。**结论** 喷淋式冷却辊与传统式冷却辊相比, 它的温度分布更均匀、冷却效果更好、冷却效率更高。

关键词: MRF 模型; 温度分布; 冷却性能; 冷却辊

中图分类号: TS835 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)07-0011-04

CFD Analysis of Cooling Performance of Cooling Roller Based on MRF Model

ZHANG Yu-ling¹, CHEN Yun-chun², SHAO Ming-yue³, ZHANG Han-xiao³

(1.China Academy of Press and Publication, Beijing 100073, China; 2.Ministry of Foreign Affairs of the People's Republic of China, Beijing 100701, China; 3.Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

ABSTRACT: The work aims to conduct respective contrastive analysis on the temperature distribution of cooling performance of traditional and spray type cooling rollers based on the cooling roller (spray type cooling roller) of the self-improved FR300ELS unit type gravure printing machine, so as to research the structure and performance advantages of the spray type cooling roller. The MRF models of the new and the old cooling rollers were established. CFD was used to simulate the temperature field distribution on the surface, axial direction and circumferential direction of the cooling roller, and the scatter plot and cloud plot of the temperature distribution of these two cooling rollers were obtained when the printing machine was stably working. In conclusion, compared to a traditional cooling roller, the spray type cooling roller has a more uniform temperature distribution, a better cooling effect and a higher cooling efficiency.

KEY WORDS: MRF model; temperature distribution; cooling performance; cooling roller

冷却辊是位于凹版印刷机干燥装置后面的一个冷却装置, 用于冷却经干燥箱烘干的高温料膜或卷筒纸, 使料膜或卷筒纸的温度在进行下一色印刷前, 降低到上一色印刷时的温度^[1]。冷却辊如果冷却效果不佳, 会导致印刷料膜进入下一色印刷时套印不准、图文变形等问题^[2]。

近年来, 很多学者对冷却辊结构性能的改进进行了研究。2004 年, 杨云^[3]介绍了水冷却辊的加工关键技术和工艺措施。2008 年, 张俊婷^[4-5]应用 CFD 软件, 建立了双辊冷却低过热度稳态浇铸模型, 研究表明经冷却辊冷却的钢液过热度降低, 实现了低过热度

浇铸的目的。2008 年, 陈洪冰^[6]根据层流冷却辊的使用工况, 对自行研制的材料喷焊层的硬度与组织结构进行了分析与测试。2009 年, 杨宏伟^[7]将冷却牵引装置由 6 个冷却辊增加到 10 个冷却辊, 并对压延机后端处张力控制装置进行改进。2012 年, 国俊丰^[8]采用中频感应加热技术在层流冷却辊 20 号钢基体表面制备了 KF-Ni60A 熔覆层, 提高了冷却辊的使用寿命。2015 年, 韩亚娜等^[9]从材料、热处理、机械加工及加工工艺等多方面对冷却辊进行了分析和设计。2015 年, 郭茜等^[10]采用有限元分析方法对冷却辊进行了稳态温度场数值模拟, 获得了冷却辊温度场及其热流的

收稿日期: 2017-01-06

基金项目: 国家自然科学基金(11272253, 11202159, 51305341)

作者简介: 张羽玲(1963—), 女, 高级工程师, 主要研究方向为印刷包装设备动力学。

分布特点,并探讨了辊外径、辊厚、辊速对辊表面温度的影响规律。2016年,陈北荣^[11]通过分析冷却辊的故障,对冷却辊的局部进行了改造设计。

1 建立 MRF 模型

文中在自行改进的 FR300ELS 型机组式凹版印刷机冷却辊(即喷淋式冷却辊)装置结构的基础上,对旧 2 种冷却辊的冷却性能进行 MRF 模型的 CFD 数值对比分析,确定新型冷却辊结构的性能优势。传统和喷淋式水冷却辊工作原理见图 1。

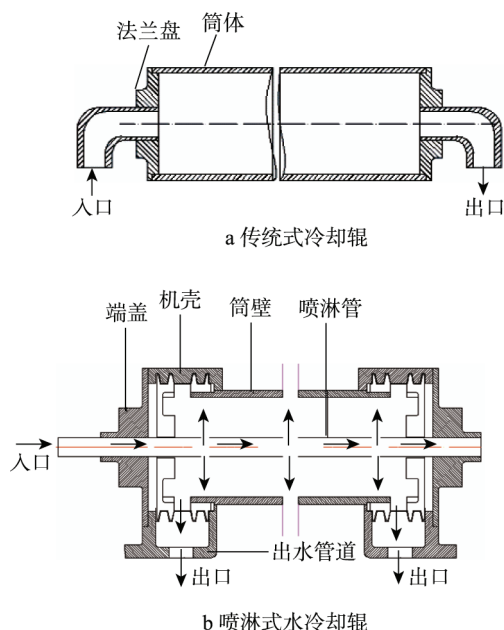


图 1 传统和喷淋式水冷却辊工作原理

Fig.1 Working principle of traditional and spraying type water chill rollers

MRF 模型是一种定常计算数学模型,只能用于定常计算^[12-13]。模型中假定网格单元做匀速运动,可为旋转运动或其他运动,该课题中使用旋转运动和绝对速度代替相对速度的方法解决颗粒追踪和耦合弥散相计算的问题。为了模拟冷却辊结构定速转动的传热过程分析,建立 MRF 模型^[14]。

在 Fluent 软件中选择三维的格式计算,导入网格文件后,要检验网格,并对其进行尺寸及光滑处理。建立 MRF 模型的步骤为以下 7 步。

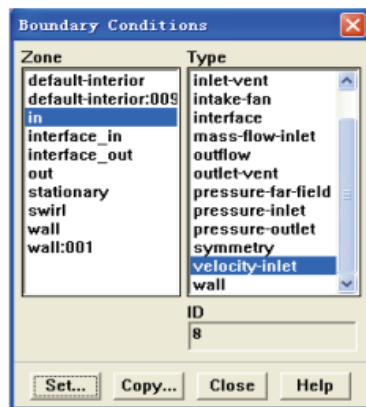
1) 设置定常流。选择 steady 设置求解器,在求解器中勾选 Absolute。

2) 网格区域指定速度为旋转速度(Rotate),速度类型选择绝对速度。

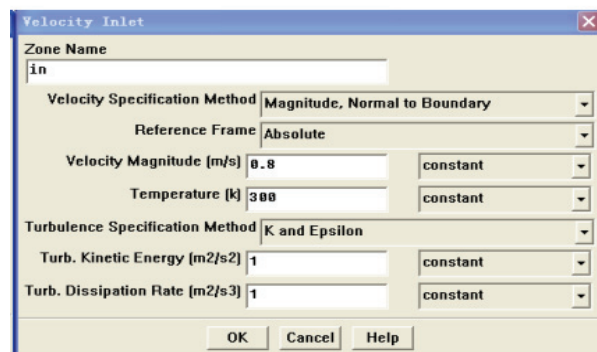
3) 设置操作环境。操作环境的压强选择为 1 atm(1 atm=101.325 kPa);设置重力时,将 y 轴作为重力的作用轴;操作环境温度选择 298 K,即室温温度。

4) 定义材料属性。设置铝、纸张、水的导热系数分别为 202.4, 0.08, 0.6 W/(m·K)。

5) 设置边界层。设置边界层对冷却辊 CFD 模拟的可靠性具有重要的作用^[15],其设置面板见图 2。



a



b

图 2 边界层设置

Fig.2 Boundary layer settings

6) 建立数据交接面。文中选择的是非正则的建立数据交界面(interface)设置方法,选择 2 个交接面建立 interface 格式的传导格式,在液固表面选择的是耦合传导数据的形式。

7) 设置空间离散格式。空间离散格式选用二阶迎风格式进行迭代计算。

2 MRF 模型结果分析

MRF 模型中存储的是冷却辊在运动过程中某一时刻的数据,保持印刷机正常工作、冷却辊平稳运转时,在 MRF 模型中进行温度分布的分析,此时的温度为冷却辊稳定后表面的温度分布。

2.1 新旧冷却辊辊体表面温度对比

在 Fluent 中得出传统式冷却辊和喷淋式冷却辊的辊筒体外表面的温度分布云图,见图 3,对旧 2 种冷却辊表面温度分布的均匀性进行对比分析。由图 3 可知,冷却辊的表面温度稳定后,喷淋式冷却辊的表面温度主要集中在 305 K 左右,而传统式冷却辊的表面温度主要集中在 325 K 左右,甚至在局部区域达到 330 K。由此可得,在印刷机稳定工作时,喷淋式冷却辊比传统式冷却辊的表面温度低,更加适合高温

料膜冷却的要求。

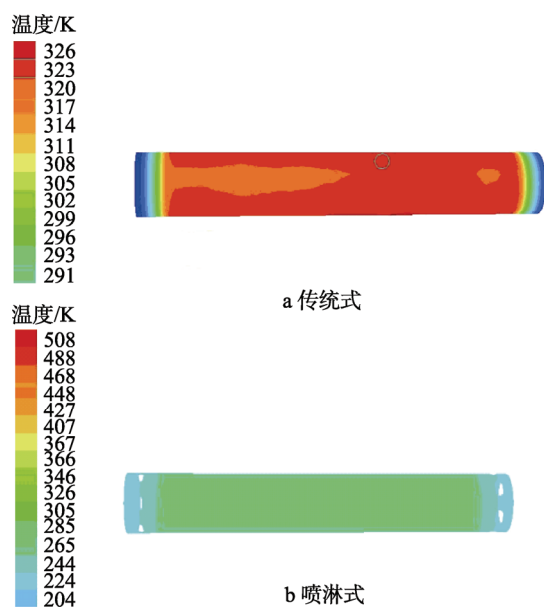


图 3 冷却辊表面温度分布

Fig.3 The temperature distribution of cooling roller

2.2 新旧冷却辊辊体表面轴向温度对比

在实际印刷中, 如果冷却辊达到很好的冷却效果, 冷却辊表面的轴向最佳温度范围应在 298 ~ 330 K, 辊体最大温差为 10 K。喷淋式和传统式冷却辊表面温度轴向分布见图 4, 表示在冷却辊辊体的长度方向各点对应的温度值。由图 4 可知, 取冷却辊轴向上工作区域为 150 ~ 1250 mm 时, 在稳定状态下, 传统式冷却辊表面轴向的最低温度为 316 K, 最高温度为 330 K, 平均温度约为 325 K, 轴向温度的波动范围约为 10 K; 新型喷淋式冷却辊的轴向最小温度值为 301 K, 最大温度值为 308 K, 平均温度值约为 305 K, 温差波动范围约为 7 K。另外, 新型喷淋式冷却辊轴向温度主要集中在 303 ~ 308 K, 温度波动在 5 K 的较小范围内。整体相比, 新型冷却辊的轴向温度低于传统式冷却辊的轴向温度, 即新型冷却辊的表面轴向温度更接近冷却液的温度。印刷机稳定工作后, 喷淋式冷却辊对料膜有更好的冷却效果。

2.3 新旧冷却辊辊体表面周向温度对比

根据印刷厂实际印刷的要求, 凹版印刷机的冷却辊在同一轴向位置处的周向温度差一般要求为 10 K, 在这个温度范围以内, 冷却辊对印刷品的冷却效果较好。冷却辊的工作辊体主要沿着轴向范围 150 ~ 1250 mm 进行工作。

新旧 2 种冷却辊分别在 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 mm 位置处的温度分布见图 5, 原点为冷却辊某一时刻的下边缘的最低点, 半径方向设为横轴方向。由图 8 可知, 在某一固定位置新旧 2 种冷却辊的表面温度分布呈均匀性的关系。经计算可知, 在整

个工作区域, 喷淋式冷却辊比传统式冷却辊的散点分布更广, 说明喷淋式冷却辊温度分布较为均匀。

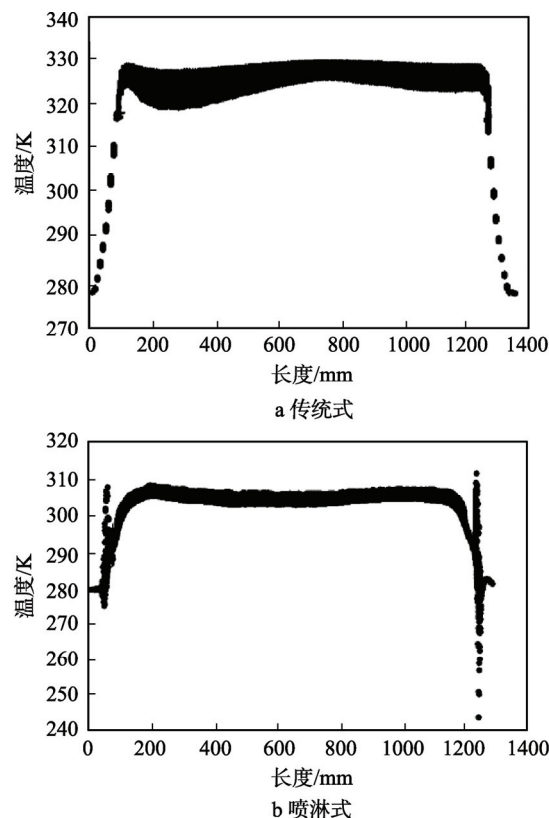


图 4 冷却辊的表面轴向温度分布

Fig.4 The axial temperature distribution of cooling roller

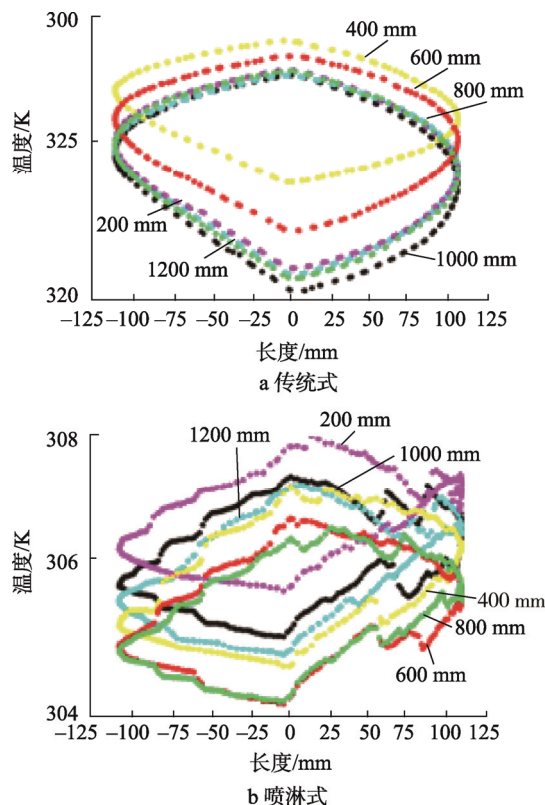


图 5 断面温度分布

Fig.5 Temperature distribution of the section

3 结语

在自行改进的 FR300ELS 型机组式凹版印刷机的冷却辊(喷淋式冷却辊)装置的基础上,对传统式和喷淋式的 2 种冷却辊的冷却性能进行了对比分析,利用 CFD 对新旧 2 种冷却辊的 MRF 模型进行分析,并对新旧 2 种冷却辊表面温度场的分布进行了仿真分析,得到了在工作稳定状态下 2 种冷却辊表面温度分布的云图和轴向及周向温度分布的散点图。通过表面、轴向和周向的温度分布对比分析,得出了喷淋式冷却辊在工作平稳后,其表面温度分布比传统式冷却辊更加均匀,冷却效果更加明显,冷却效率更高,更加适合高温料膜冷却。

参考文献:

- [1] 陆维强. 轮转机组式凹版印刷机[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2014.
LU Wei-qiang. Rotogravure Intaglio Printing Machine[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2014.
- [2] 胡更生. 凹版印刷技术问答[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
HU Geng-sheng. Gravure Printing Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [3] 杨云, 董春光. 水冷却辊的加工[J]. 现代冶金, 2004, 32(3): 40—41.
YANG Yun, DONG Chun-guang. Water Cooling Roller Processing[J]. Modern Metallurgy, 2004, 32(3): 40—41.
- [4] 张俊婷, 崔小朝, 晋艳娟. 双辊冷却低过热度方坯连铸流场温度场耦合数值模拟[J]. 太原科技大学学报, 2008, 29(4): 308—313.
ZHANG Jun-ting, CUI Xiao-chao, JIN Yan-juan. Numerical Simulation of Flow Field and Temperature Field for Billets Continuous Casting at Low Super Heat by Two Rollers Cooling[J]. Journal of Taiyuan University of Science and Technology, 2008, 29(4): 308—313.
- [5] 张俊婷, 崔小朝, 刘才, 等. 双辊冷却低过热度浇铸结晶器流场和温度场耦合数值模拟[J]. 特殊钢, 2008, 29(3): 30—32.
ZHANG Jun-ting, CUI Xiao-chao, LIU Cai, et al. Coupled Numerical Simulation of Flow Field and Temperature Field of Mold Casting at Low Superheat by Two rollers Cooling[J]. Special Steel, 2008, 29(3): 30—32.
- [6] 陈洪冰, 眭向荣, 孟晓霞, 等. 层流冷却辊喷焊制造技术[J]. 现代冶金, 2008, 36(3): 50—53.
CHEN Hong-bing, SUI Xiang-rong, MENG Xiao-xia, et al. Spray Welding Manufacturing Technology of Laminar Cooling Roller[J]. Modern Metallurgy, 2008, 36(3): 50—53.
- [7] 杨宏伟, 孙凯, 田永林. 全钢压延生产线冷却辊及张力控制装置的改进[J]. 橡塑技术与装备, 2009, 35(3): 35—38.
YANG Hong-wei, SUN Kai, TIAN Yong-lin. Improvement of Cooling Roller and Tension Control Device in Whole Steel Rolling Production Line[J]. Rubber and Plastics Technology and Equipment, 2009, 35(3): 35—38.
- [8] 国俊丰, 刘东华, 侯伟鹭, 等. 层流冷却辊感应熔覆制造技术[J]. 热喷涂技术, 2012, 4(4): 11—14.
GUO Jun-feng, LIU Dong-hua, HOU Wei-ao, et al. Manufacturing Techniques for Induction Cladding on Laminar Flow Cooling Roll[J]. Thermal Spraying Technology, 2012, 4(4): 11—14.
- [9] 韩亚娜, 范勋铭, 曲荣旭, 等. 大型绿色低温一次法混炼生产线冷却辊筒机械加工工艺设计[J]. 橡塑技术与装备, 2015(1): 54—60.
HAN Ya-na, FAN Xun-ming, QU Rong-xu, et al. Machining Process Design of Cooling Roll for Large Green Low Temperature One-pass Mixing Production Line[J]. Rubber and Plastics Technology and Equipment, 2015(1): 54—60.
- [10] 郭茜, 严密. 平板流铸工艺中冷却辊的温度场数值模拟[J]. 稀有金属材料与工程, 2015(8): 2048—2052.
GUO Xi, YAN Mi. Thermal Analysis for Cooling Rolls in Planar-flow Melt Spinning[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2015(8): 2048—2052.
- [11] 陈北荣. 凹印机冷却辊的故障分析与局部改造设计[J]. 常州工学院学报, 2016, 29(1): 31—33.
CHEN Bei-rong. Fault Analysis and Partial Innovation Design of the Cooling Roll of Gravure Press[J]. Journal of Changzhou Institute of Technology, 2016, 29(1): 31—33.
- [12] 于勇. Fluent 入门与进阶教程[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2008.
YU Yong. Fluent Getting Started and Advanced Tutorial[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2008.
- [13] 张兆顺, 崔桂香. 流体力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
ZHANG Zhao-shun, CUI Gui-xiang. Fluid Dynamics [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [14] MONGKOLWONGROJN M, WONGSEEDAKAEW K, KENNEDY F. Elastohydrodynamic Lubrication of Rough Surfaces under Oscillatory Line Contact with Non-Newtonian Lubricant[J]. Tribology Transactions, 2008, 51(5): 552—561.
- [15] 包能胜, 刘小山, 马婉, 等. 辊式涂布两辊间隙施涂过程的数值计算分析[J]. 包装工程, 2016, 37(23): 6—12.
BAO Neng-sheng, LIU Xiao-shan, MA Wan, et al. Numerical Calculation and Analysis on Roll Coating Process of the Clearance between Two Rollers[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(23): 6—12.