基于FLUENT仿真的印刷机墨辊冷却结构分析与优化

耿阳婕[1]，刘宇怀[2]，赵天鹏[1]，郝昱宇[1]
（1. 西安科技大学，西安 710054；2. 西安黄河集团设计研究所，西安 710043）

摘要：目的 研究印刷机输墨系统中串墨辊在定常状态下表面温度的分布情况。**方法** 利用Pro/E对现有墨辊结构进行了三维建模，使用FLUENT仿真定常状态下串墨辊内部流体状况，得到了墨辊表面温度分布云图。**结果** 得到现有结构墨辊表面温度集中在23.6 ℃左右，温差为1.1 ℃，根据分析结果对现有结构进行优化，得到优化后的墨辊表面温度主要集中在22.87 ℃左右。**结论** 新结构可使一台印刷机每年节省电量12 776 kW·h，新型串墨辊结构相比内套辊式墨辊冷却结构，更能满足当今企业追求的绿色环保的需求。

关键词： 胶印机；串墨辊；冷却；FLUENT
中图分类号： TS803.6　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1001-3563(2016)03-0165-05

Analysis and Optimization of Offset Ink Roller Cooling Structure Based on FLUENT

GENG Yang-jie[1], *LIU Yu-huai*[2], *ZHAO Tian-peng*[1], *HAO Yu-yu*[1]
(1. Xi′an University of Science and Technology, Xi′an 710054, China;
2. Xi′an Huanghe Group Research Institute, Xi′an 710043, China)

ABSTRACT: The experiment aimed to study the string roller′s surface temperature distribution under steady state of the press inking system. Pro/E was used to model the three-dimensional of existing roller structure. FLUENT was used to simulate the string roller′s internal fluid situation under the steady conditions. Thus, the ink roller′s surface temperature contour was obtained. The results showed that the existing structure′s surface temperature was concentrated around 23.6 ℃, the temperature difference was 1.1 ℃. The optimized roller surface temperature was mainly concentrated around 22.87 ℃ after optimization and improvement of the existing roller according to the analysis. The new structure can save an electricity of 12 776 kW·h per year for a printer. Therefore, the new string roller structure can better meet the need of enterprises nowadays to pursue green environmental protection than the existing cooling structure of inner sleeve roller.

KEY WORDS: offset press; string roller; cooling; FLUENT

印刷产业发展对印刷品的质量和速度提出了新的要求。为满足高速度、高质量的需求，研究人员对印刷机诸多关键部件进行了创新设计，高速印刷机串墨辊冷却系统就是其中之一。串墨辊在印刷机的运转过程中，作旋转运动和轴向往复运动，从周向和轴向2个方向将油墨打匀[1]。在将油墨打匀的高速运动过程中，由于摩擦阻力作用会产生大量的热量使得串墨辊温度升高，从结构上讲，温度过高会使机械部件磨损加剧。从工艺角度来看，墨辊表面温度过高会引起油墨分布不均匀，影响印刷品质量[2—3]，因此大部分企业选择对串墨辊进行冷却。

现有印刷机中串墨辊存在着结构复杂、冷却不均匀等现象，使得传统串墨辊结构较难适应当前高速印刷机的需求。为了提高印刷机的印刷速度，需要对墨辊冷却结构进行改进，使之温度分布更加均匀。

收稿日期： 2015-06-15
作者简介： 耿阳婕（1988—），女，陕西咸阳人，硕士，助理工程师，主要从事机械设计与分析以及CAD软件教学工作。

1 原始模型分析

1.1 模型的建立

目前，常用墨辊冷却结构为内套辊式，这种结构的冷却液的流动路径如下：冷却液从水泵与墨辊相连的进水管流进墨辊冷却结构内辊内，从内辊末端与端盖相接处的孔流出至墨辊内表面，对墨辊内表面进行冷却[4—7]。所取的计算区域是从墨辊冷却结构入口到出口的整个区域，串墨辊的物理模型由墨辊冷却结构端盖和墨辊冷却结构辊体2个部分组成。

根据现有模型的二维图（见图1），利用三维软件Pro/E建立模型。进行数值模拟的重要前提是几何模型的准确建立，墨辊冷却结构主要包括串墨辊筒体、进水管、端盖、后盖等几部分。墨辊冷却结构中的一些倒角、圆角等次要的结构以及起到支撑和传动作用的零部件，如轴承、螺栓等，这些部件对串墨辊的整体传热性能影响不大，在建模时予以忽略[8]。

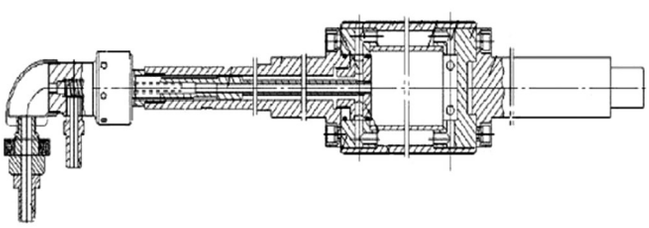

图1 内套辊式冷却结构

Fig.1 The cooling structure of inner sleeve roll

内套辊式墨辊冷却结构的三维模型见图2。

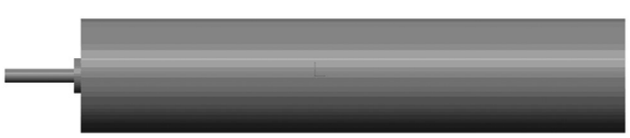

图2 内套辊式墨辊冷却结构

Fig.2 The cooling structure of inner sleeve roller rink roller

1.2 参数设置

取印刷速度12 000 r/h时串墨辊的速度作为定常流动时的旋转速度，其角速度为108 rad/s。采用标准k~ε湍流模型，同时为了模拟真实的流场，在操作环境中对重力加速度进行定义。定常流动模型的求解参数设置见表1。

表1 材料的物理属性

Tab.1 Physical properties of the material

材料	密度/(kg·m^{-3})	比热容/(J·kg^{-1}·K^{-1})	导热系数/(W·m^{-1}·K^{-1})
45钢	7800	871	202.4
油墨	1650	1260	0.5
冷却液	998.2	4182	0.6

1.3 边界条件的设置

各区域的边界条件：入口，速度入口v=1 m/s，方向垂直于入口壁面，温度为21 ℃，湍动能K为0.0025，湍流耗散率为0.0049；出口，自由出口；转速为108 rad/s，所采用的边界条件见表2，墨层和墨辊均属于热源壁面，墨层生热率为12 745 W/m^3，墨辊生热率为5098 W/m^{3}且采用无滑移壁面条件；墨辊外表面与墨层、墨辊内表面与流体、流体与内辊均设为交界面，其他采用默认的壁面[9—13]。

表2 求解参数设置

Tab.2 Solving parameter settings

区域	边界条件
入口	速度入口v=1 m/s，方向垂直于入口壁面，温度为21℃，湍动能k为0.0025，湍流耗散率ε为0.0049
出口	自由出口
转速	108 rad/s
生热壁面	墨层内表面和串墨辊筒体
传热壁面	串墨辊筒体和冷却液流体域
湍流模型	k~ε湍流模型
空间离散格式	二阶精度迎风格式
计算方法	SIMPLE

1.4 计算结果的分析

参数设置后，对内套辊式墨辊冷却结构的定常流动模型进行求解计算。可得墨辊轴向温度分布图，见图3。

由图3可知，内套辊式墨辊冷却结构在有效工作区域段上（150~1350 mm），最高温度为297 K，最低温度为295 K，墨辊表面温度较高，存在温度差，导致油墨分布不均匀，降低了印刷品质量。

2 串墨辊冷却结构的优化设计与建模

2.1 墨辊冷却机构优化改进的要求

由分析可知，墨层的热量主要由墨辊内壁通过对

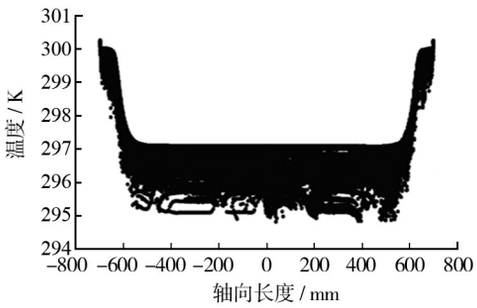

图3　内套式串墨辊轴向的温度分布

Fig.3 The axial temperature distribution of inner sleeve string roller

流传热传递到冷却液,通过冷却液循环带走热量,达到冷却墨层的效果。为了有效降低墨层的温度,需要增加由墨层通过墨辊辊体部分传到冷却液的热流量,墨辊内壁部分和冷却液之间的热流量的方程式为[14—15]:

$$\Phi = hA(T_r - T_w) \quad (1)$$

式中:Φ为热流量;h为对流换热系数(表面传热系数);A为辊内壁面积;T_r为辊内壁表面温度;T_w为液体温度。

现国内印刷机基本上都是采用常温状态下的水作为冷却液。内套辊式墨辊冷却结构的冷却液在接触到墨辊内壁时,冷却液的温度已经不是从冷却塔里出来的21 ℃,辊内冷却液的温度有所上升,见图4。

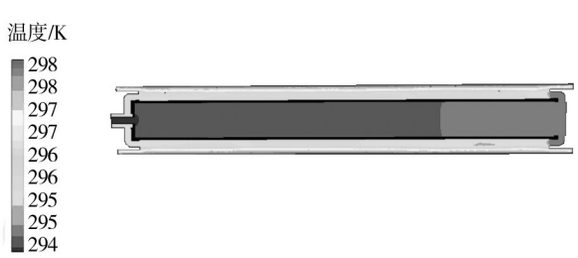

图4　内套辊式墨辊冷却结构截面

Fig.4 Intracavity-sectional view of the cooling structure of ink roller

据式(1)分析,选择改变冷却液的水流路径来降低液体温度T_w,从而增加热流量Φ,作为墨辊冷却结构的优化方案,改变循环方式使墨辊内表面直接接触到从冷却塔里出来的冷却液。

2.2　新型墨辊冷却结构设计

经过对现有串墨辊结构的冷却性能进行分析,在其基础上提出了一种新型串墨辊结构,见图5。在印刷过程中,串墨辊在冷却泵的作用下,通过循环泵将水冷箱内的冷却液经旋转接头上的上水接头输入,并经过细长进水管输入到传动面内回水堵头,冷却液从操作面回水堵头的过水孔进入到串墨辊内套辊与串墨辊外套辊之间的空腔,然后从串墨辊另一端的水孔进入到串墨辊内套辊的内腔中,再经传动面外回水堵头的外回水堵头孔道、传动面内回水堵头的回水孔,进入到细长进水管与传动面轴的内腔之间,并经回水接头回流到冷水箱内,从而形成一个循环的冷却回路,通过冷却液带走串墨辊上的热量;冷却液的温度可以通过水冷箱进行调节。

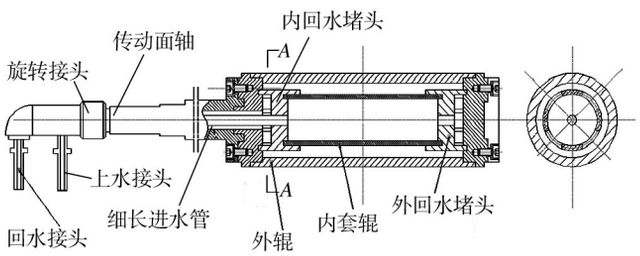

图5　新型串墨辊结构

Fig.5 New string roller structure

2.3　新型结构的三维建模

利用Pro/E三维建模软件对新型结构进行三维建模,见图6。

图6　新型串墨辊冷却结构三维模型

Fig.6 The three-dimensional model of new cooling structure of string roller

3　串墨辊的优化结构分析

通过前面的分析确定了串墨辊的结构优化方案,下面对优化改进后的串墨辊的冷却性能进行分析。

3.1　墨辊表面温度分析与对比

采用定常流动模型对改进后墨辊冷却结构的冷却性能进行分析。首先建立改进串墨辊的模型,具体参数设置见1.3节,然后对改进后串墨辊进行定常流动的分析比较。

同样选取串墨辊的轴向温度作为研究对象,串墨辊轴向温度分布见图7。由图7可见,在串墨辊的有效工作区域段上(150~1250 mm),改进后串墨辊的温度

集中在22.87 ℃,墨辊表面温差相对内套辊式较小。

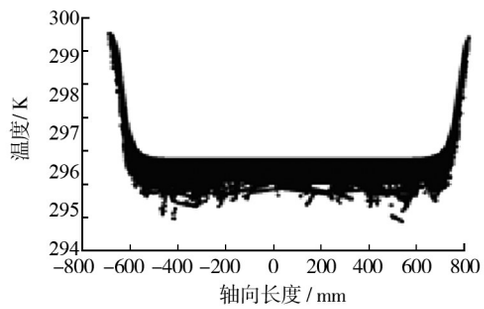

图7 新型串墨辊轴向温度分布

Fig.7 The axial temperature distribution of new string roller

3.2 能耗分析与对比

以下为串墨辊能量消耗计算公式,可以计算出应用新型串墨辊可以节约的能量。

每根串墨辊内冷却液循环一次消耗的能量Q为:

$$Q=C\rho V\Delta T \tag{2}$$

每根串墨辊内冷却液循环一天消耗的能量W为:

$$W=Q\cdot R \tag{3}$$

工作一天水循环次数R=一天的工作时间/水循环一次的时间,水循环一次的时间t=总体积/流量,流量=流速×进水管截面积。一台四色胶印机一年消耗的能量$W_{总}(J)$为:

$$W_{总}=W\times 12\times 300 \tag{4}$$

通过能量等效换算(1 kW·h电相当于0.4 kg标准煤,0.273 kg碳排放,0.785 kg二氧化碳排放),可以对比分析出设计的新型串墨辊结构与现有结构一年所消耗的资源。

由式(4)可以计算出内套辊和新结构每年消耗的能量,通过对比得出改进后的结构与内套辊式墨辊冷却结构相比,一年可以减少4599.7067 kJ能量,相当于减少使用12 776.97 kW·h的电,可以节省31 942.425 kg的煤,换算成碳的使用量,可以减少使用量3488.11 kg,也就是可以减少10 029.92 kg的CO_2排放量。

通过表3可以看出,改进后的结构可以节省更多的能量,随着生活环境不断恶化,资源也在逐渐枯竭,现代印刷企业越来越重视绿色环保的概念,实施绿色印刷,发展循环经济,是可持续发展的必然要求,因此新型串墨辊结构相比内套辊式墨辊冷却结构更能满足绿色环保的需求。

表3 不同串墨辊能量消耗对比

Tab.3 Comparison of energy consumption between different string rollers

年能耗	能量/kJ	电量/(kW·h)	煤/kg	碳/kg	CO_2/kg
内套辊式	13 848.5793	38 468.28	15 387.31	10 501.84	30 197.60
新型结构	9 248.8726	25 691.31	10 276.53	7013.73	20 167.68

4 结语

1)以流体力学理论和传热学理论为基础,利用FLUENT中的定常流动模型对定常状态下的串墨辊进行了仿真分析,得到了稳定工作状态下串墨辊的表面温度分布云图,并对串墨辊进行了轴向和周向的温度对比。

2)依据分析结果提出了串墨辊优化改进设计要求,并设计了一种串墨辊冷却液回路和新型串墨辊冷却循环结构。

3)对改进前后串墨辊的冷却性能进行了分析和对比,改进后磨辊结构的冷却性能有较大提高,更符合当今企业追求的绿色环保主题。

参考文献:

[1] 张海燕. 印刷机设计[M]. 北京市:印刷工业出版社,2006.
ZHANG Hai-yan. Printer Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2006.

[2] 武吉梅,武秋敏. 胶印机串墨辊串墨特性研究[J]. 印刷技术,2006(2):75—76.
WU Ji-mei, WU Qiu-mei. Study Ink Properties on String Ink Roll of Offset Press[J]. Printing Technology, 2006(2): 75—76.

[3] 李小东,龚修端. 胶印油墨粘度对印刷质量的影响研究[J]. 包装工程,2009,30(5):60—62.
LI Xiao-dong, GONG Xiu-duan. Analysis of the Influence of Ink Viscosity on Offset Print Quality[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(5): 60—62.

[4] 柏子游,刘士伟. 胶印机墨辊动态仿真模型研究[J]. 包装工程,2004,25(3):159—160.
BO Zi-you, LIU Shi-wei. Study on Dynamic Simulation Model of Offset Print Inking Roller[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(3): 159—160.

[5] 侯和平,张海燕,赵庆海. 印刷压力与油墨转移特性的实验研究[J]. 包装工程,2008,29 (12):115—116.

HOU He-ping, ZHANG Hai-yan, ZHAO Qing-hai. Experimental Study on the Printing Pressure and Ink Transfer Characteristics[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(12): 115—116.

[6] 陈满儒. 包装工程概论(双语)[M]. 北京:化学工业出版社, 2004.
CHEN Man-ru. Fundamentals of Packaging Engineering(IN Bilingual)[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.

[7] 赵中亮. 串墨辊温度自动控制的研究[J]. 印刷杂志, 2008(2):69—7.
ZHAO Zhong-liang. Study on Automatic Temperature Control of String Roller[J]. Printing Technology, 2008(2):69—7.

[8] PARK J, SHONTZ S M. Two Derivative-free Optimization Algorithms for Mesh Quality Improvement[J]. International Conference on Computational Science, 2010, 1(1):387—96.

[9] 吴德铭, 郜冶. 实用计算流体力学基础[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2006.
WU De-ming, HAO Zhi. The Base of Practical Computational Fluid Mechanics[M]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 2006.

[10] 樊莉丽. 喷射器流场的计算与分析研究[J]. 煤矿机械, 2014, 35(2):90—91.
FAN Li-li. Jet Pump Flow Field Calculation and Analysis[J]. Coal Mine Machinery, 2014, 35(2):90—91.

[11] BREVET P, DEJEU C, DORIGNAC E. Heat Transfer to a Row of Impinging Jets in Consideration of Optimization[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2002, 45(20): 4191—4200.

[12] 周俊杰, 徐国权, 张华俊. FLUENT工程技术与实例分析[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2010.
ZHOU Jun-jie, XU Guo-quan, ZHANG Hua-jun. FLUENT Engineering Technology and Case Analysis[M]. Beijing: China Water Power Press, 2010.

[13] LAMBERTI G, TITOMANLIO G, BRUCATO V. Measurement and Modeling of the Film Casting Process[J]. Chemical Engineering Science, 2001, 56(20).

[14] CHOU S M, NIEMIRO T. Computer Simulation of Offset Printing: Ⅲ. Effects of Ink Feed Mechanism, TAGA, 1998.

[15] 张海燕, 张伟. 胶印机输墨系统设计的计算机仿真研究[J]. 包装工程, 2003, 24(5).
ZHANG Hai-yan, ZHANG Wei. Computer Simulation Research on Inking System Design of Offset Press[J]. Packaging Engineering, 2003, 24(5).

(上接第159页)

2010.

[8] 谢斌强. 高速喷墨打印机高精度实时控制系统[D]. 重庆:重庆大学, 2014.
XIE Bin-qiang. High-precision Real-time Control System for High-speed Inkjet Printer[D]. Chongqing: Chongqing University, 2014.

[9] MCLLROY C, HARLEN O G, MORRISON N F. Modelling the Jetting of Dilute Polymer Solutions in Drop-on-demand Inkjet Printing[J]. Journal of Non Newtonian Fluid Mechanics, 2013, 201:17—28.

[10] 王运赣, 张祥林. 微滴喷射自由成形[M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2009.
WANG Yun-gan, ZHANG Xiang-lin. Freeform Fabrication with Micro-droplet Jetting[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2009.

[11] LEE E R. Microdrop Generation[M]. Boca Raton: CRC Press LLC, 2003.

[12] 姚海根. 数字加网技术[M]. 北京:印刷工业出版社, 2000.
YAO Hai-gen. Digital Screening Technology[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2000.

[13] 姚海根. 印刷图像处理[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2005.
YAO Hai-gen. Printing Image Processing[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2005.

[14] KURODA K. Control Method for an Inkjet Printer: US, US201 10175966[P]. 2011-07-21.