CTP 制版机丝杠传动系统的热误差建模

张欣阳,孙瑞霞,赵振龙,赵海平,张成新

(曲阜师范大学 工学院,日照 276800)

摘要:目的 为了有效地减少因 CTP 制版机丝杠传动系统热膨胀所产生的制版质量问题。方法 通过对 CTP 丝杠传动系统进行热误差实验,分析其膨胀量与丝杠温度、丝杠位置的关系,并建立补偿数学模型。 结果 经检验,所得模型的计算值与实际测量值偏差保持在[0.0320 mm,0.0406 mm]区间内,基于这一结 果,操作人员可以利用 CTP 驱动软件,应用模型的计算结果对 CTP 制版机进行热误差优化预设置,补 偿扫描头的热误差,进而提高 CTP 制版质量。结论 通过对 CTP 制版机进行热误差补偿,可以有效地减 少因丝杠热膨胀导致的扫描激光头扫描位置发生变化,版材内容发生偏移、变形、套印不准等问题的发 生,提高了印刷质量。

关键词:CTP 制版机; 丝杠传动系统; 热误差

中图分类号:TS803.4 文献标识码:A 文章编号:1001-3563(2019)07-0217-05 DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.07.033

Thermal Error Modeling of Ball-screw Drive System of CTP Plate-making Machine

ZHANG Xin-yang, SUN Rui-xia, ZHAO Zhen-long, ZHAO Hai-ping, ZHANG Cheng-xin (School of Engineering, Qufu Normal University, Rizhao 276800, China)

ABSTRACT: The work aims to effectively reduce the plate-making quality problems caused by the thermal expansion of the ball-screw drive system of the CTP plate-making machine. By taking the thermal error experiment of the CTP ball-screw drive system, the relationship between the expansion amount, the screw temperature and the screw position was analyzed and the mathematical model of compensation was established. Proved by experiment, the deviation between the calculated values and actual measured values of the obtained model was kept within the range of [0.0320 mm, 0.0406 mm]. Therefore, the operator could use the CTP driver software to apply the calculation results of the model to optimize the thermal error of the CTP plate-making machine, and compensate the thermal error of the scanning head, and then improve the quality of the CTP plate-making. The thermal error compensation of the CTP plate-making machine can effectively reduce the change of the scanning position of the scanning laser head caused by the thermal expansion of the ball-screw system, the offset, deformation, misregistration of the plate content, etc., so as to improve the printing quality. **KEY WORDS:** CTP plate-making machine; ball-screw drive system; thermal error

CTP(Computer To Plate)制版已在当前印刷工 业中广泛应用,CTP缩减了传统印刷制版过程中出胶 片、晒版的流程,大大提高了制版质量。CTP制版机 工作时通过滚珠丝杠带动激光头沿滚筒轴线方向移 动实现对印版曝光。由于丝杠在传动过程中受热膨胀 会产生轴向热误差,从而影响激光头的曝光位置,导

收稿日期: 2018-10-13

基金项目:山东省自然科学基金(ZR2016EEM39); 曲阜师范大学本科生创业训练计划(2017A010)

作者简介:张欣阳(1996—), 女, 曲阜师范大学本科生, 主攻印刷设备自动化。

通信作者:张成新(1975—),男,博士,曲阜师范大学副教授,主要研究方向为印刷设备自动化、机床热误差补偿。

致制版质量下降。

针对丝杠热膨胀导致的误差问题,科研人员早已 认识到此问题的重要性^[1-4],丝杠热误差的控制从技 术层面分一般有两大类:误差补偿控制和误差预防控 制^[5]。误差预防是从源头来提高精度,即通过采用低 热膨胀系数的材料、改善零件的加工精确度以及各零 件间的装配精确度,来提高丝杠传动精确度,其缺点 是使机器的制造成本大大增加;误差补偿不需要改变 丝杠系统硬件结构,通过补偿软件产生一个与热误差 大小相等、方向相反的误差,再将此误差与热误差做 代数相加,以减小误差^[6]。误差补偿技术的出现,使 丝杠驱动精度的提高在不改变丝杠材料和制造精度 的条件下得以低成本实现,这也就是大家所熟知的 "精度进化"^[7]。

随着对人们对于高质量印刷品的不断需求,如何 有效提高 CTP 制版机的丝杠传动精度^[8]、减小制版误 差这一问题受到印刷工作者的广泛关注,而误差补偿 技术提供了实现精度提高的方法^[9–10]。

文中利用误差补偿技术,对 CTP 制版机的丝杠 驱动系统进行热误差补偿以提高制版精度。测量 CTP 工作过程中丝杠的温度和产生的热误差,根据测量数 据建立丝杠系统温度与热误差之间的数学模 型^[11-12],通过实验验证热误差补偿模型的有效性。

1 CTP 制版机驱动系统原理

CTP 制版机采用计算机控制激光束扫描印版曝光成像,然后通过显影制成印版,CTP 制版机激光扫描部分的运动原理如下:由电机驱动丝杠旋转,带动激光扫描头沿导轨往复运动并扫描,从而在印版上形成影像^[13-15],其机械结构见图 1。CTP 制版机工作

过程中,丝杠做来回运动,因摩擦生热以及系统内部 产生的热量,导致丝杠在运动中受热发生膨胀变形, 使激光头的扫描位置发生变化造成制版误差。若要提 高扫描精度,减少受热膨胀带来的影响,需要对丝杠 热误差进行补偿,即在中央控制器部分进行预误差补 偿,以抵消丝杠的热膨胀带来扫描头位置偏移问题的 影响。



图 1 CTP 激光扫描成像系统组成 Fig.1 Composition of CTP laser scanning imaging system

2 实验及测量原理

该次实验在上海豹驰长城制版设备有限公司生产的热敏 CTP 制版机 L-800 上进行。丝杠温度采集采用红外测温仪。丝杠的热误差采用电涡流传感器采集。数据记录采用日置数据采集仪。实验系统见图 2。



图 2 实验系统 Fig.2 Experimental system

(1)

Tab

研究目的是建立丝杠在全长范围内,不同位置随 温度变化导致的热误差变化规律。由于丝杠热伸长的 连续性不可能每一点热误差都测量,因此,把丝杠分 为4段,分别测量 290,600,900,1050 mm 位置处 丝杠受热后的膨胀量与温度之间的关系,然后再拟合 出丝杠全长范围内每个位置点热误差与温度之间的 方程。

实验步骤如下所述。

1)分别测量在 290,600,900,1050 mm 下的 初始温度、初始电压并记录,将初始膨胀量设定为 0, 以便后续计算。

2) 根据测量数值得到式(1)。

y = 10.027 x - 4.022

式中: y 为丝杠热膨胀量(热误差); x 为温度。

3)将丝杠运动升温到一定的温度,待丝杠内外 温度保持一致并趋于平稳时,测量此时的温度、电压 并记录,再将所得数值代入式(1)计算出膨胀量, 并整合其与温度的关系,列出各距离下的温度与膨胀 量关系方程。

4)得到各位置下的温度与膨胀量的关系及方程 见图 3。



图 3 温度与膨胀量的关系及方程 Fig.3 Relationship between temperature and expansion and the equation

3 数据分析

根据上述数据利用 Matlab 软件将丝杠温度 t、丝杠位置 X、丝杠膨胀量 P,进行多项式拟合,并分析 多项式不同阶次下的拟合效果,拟合效果比较见表1。

由表1可知,*X*,*t*的次数越高,拟合效果越好。 如果仅仅依据此单一条件就选取次数高的方程进行 使用是错误的,原因在于*X*,*t*的次数太高,会出现 过拟合(拟合过程中太过于追求拟合方程中系数和误 差的数值,忽略了实际情况,产生系列相关误差)的

表 1 X, t 不同次数下的拟合效果

.1	Fitting	effect	under	different	times	of X	and	t
----	---------	--------	-------	-----------	-------	------	-----	---

X的阶次	t 的阶次	R-square	RMSE
1	1	0.41	0.05
1	2	0.51	0.05
2	1	0.88	0.02
2	2	0.90	0.02
3	2	0.96	0.01

注: *R*-square 为方程确定性系数; RMSE (Root Mean Square Error)为方程均方根误差

问题。为避免过拟合或拟合不足现象的发生,综合其 各制约条件,筛选出最优方程,其表达式为:

 $P = -0.0016X^2 + 0.0443X + 0.003195t +$

$$0.001061X \cdot t - 0.2218 \tag{2}$$

式中: *P* 为丝杠热膨胀量(热误差); *X* 为丝杠 位置; *t* 为温度。

4 建立模型

4.1 生成函数模型图像

利用测量数据导入 Matlab 软件,利用三维绘图 函数 plot3 生成函数模型见图 4。图 4 中曲面为多项 式拟合方程的理论数据,点为测量数据。



Fig.4 Function model

4.2 模型检验

为了检验方程的精度,在丝杠上任取一处位置进 行测量,得到其实际的膨胀量与温度之间的关系,然 后再与模型方程计算得到的数值作比较。若误差较小 且保持在合理的范围内,则认为该方程符合要求。

测试数据测量步骤如下所述。

1) 在丝杠上任取一点(500 mm 处), 用同样的 实验方法进行操作, 测得温度与膨胀量之间的关系。 2)将在 500 mm 下测得的数据代入所得模型公 式,得到预测值与实际值的关系,并绘制误差比较曲 线,以更直观地观察模型预测值与实验实际值之间的 偏差关系,比较曲线见图 5。



Fig.5 Error comparison

由图 5 可见,方程所得值与实际测量值偏差保持 在[0.0320,0.0406] mm 区间内,在可接受的误差波动 范围内,且准确度较高,因此,所建立的热误差补偿 模型精度符合要求。

5 结语

CTP 制版机制版质量受内部滚珠丝杠传动系统 的影响,当丝杠受热后会影响激光扫描头在 PS 版上 的成像位置。

通过热误差实验测试和数据分析,实验所建立的 CTP 制版机丝杠传动系统的热误差数学模型通过了 实验随机性检验,能够对 CTP 丝杠传动系统的热误 差进行预测。

利用这一数学模型,可以分析制版机运行过程中 丝杠的热膨胀趋势,建立丝杠的热膨胀曲线,并基于 此分析激光扫描头在丝杠发生膨胀的情况下的偏移 方向及偏移量大小,从而在 CTP 制版机的驱动软件 中进行热误差补偿预设置,减少因丝杠热膨胀变形在 印刷制版环节中造成的误差,减少印刷过程中的套准 问题,保证印版的制版精度,提高印刷品的质量。

参考文献:

- [1] 高增汉.数控机床热误差补偿优化技术研究[D].合肥:合肥工业大学,2016.
 GAO Zeng-han. Research on Optimization Technology of Thermal Error Compensation for CNC Machine Tools[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2016.
- [2] 刘国. 机床主轴温度测点布置优化及测点数据异常 自修复技术[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.

LIU Guo. Research for the Spindle Sensor Placement Optimization and Recovery of Fault Data[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2012.

[3] 赵海涛.数控机床热误差模态分析、测点布置及建模研究[D].上海:上海交通大学,2006.
 ZHAO Hai-tao. Study on Modal Analysis & Optimiza-

tion of Measuring Points & Modeling Technique for Thermal Errors of CNC Machine Tools[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2006.

 [4] 王桂龙,于博,王征. 机床热误差建模的温测点优化 分析与应用研究[J]. 机床与液压,2018,46(9): 125—130.

WANG Gui-long, YU Bo, WANG Zheng. Research on Machine Tool Thermal Error Modeling of Temperature Measuring Point Optimization Analysis and Application[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2018, 46(9): 125–130.

- [5] 鲁志政,陈志俊,杨建国.数控机床空间误差辨识新 方法研究[J]. 机械设计与制造,2008(12):178—180. LU Zhi-zheng, CHEN Zhi-jun, YANG Jian-guo. New Volumetric Error Identification Measurement of CNC Machine Tools[J]. Machinery Design & Manufacture, 2008(12):178—180.
- [6] 胡浪. 丝杠运动误差补偿控制的研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2013.
 HU Lang. Research on Screw Motion Error Compensation and Control[D]. Changsha: Changsha University of Technology, 2013.
- [7] 范明伟,于晨风.数控机床误差补偿技术的研究现状和发展前景[J].内燃机与配件,2018(10):25—26.
 FAN Ming-wei, YU Chen-feng. Research Status and Development Prospect of Error Compensation Technology for CNC Machine Tools[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2018(10):25—26.
- [8] 廖伟强,何佳兵,李丽秀,等.步进电机驱动滚珠丝 杠传动分析与应用[J]. 机械传动,2014,38(12): 171—173.

LIAO Wei-qiang, HE Jia-bing, LI Li-xiu, et al. Analysis and Application of Ball Screw Drive Driven by Stepping Motor[J]. Journal of Mechanical Transmission, 2014, 38(12): 171–173.

 [9] 冯锐,周洋. 基于多元线性回归分析法的数控机床 热误差补偿的研究[J]. 内燃机与配件, 2018(13): 129—130.
 FENG Rui, ZHOU Yang. Research on Thermal Error

Compensation of CNC Machine Tools based on Multivariate Linear Regression Analysis[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2018(13): 129–130.

[10] 纪学军.数控机床热误差建模及补偿研究[J].制造 技术与机床,2017(12):115—120.
JI Xue-jun. Thermal Error Modeling and Compensation Research for CNC Machine Tools[J]. Manufacturing Technology and Machine Tools, 2017(12):115120.

- [11] 魏弦.数控机床主轴热误差的数据驱动模型研究[J]. 机床与液压, 2018, 46(3): 103—107.
 WEI Xian. Study on Data-driven Model of Thermal Error of Spindle of CNC Machine Tools[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2018, 46(3): 103—107.
- [12] 李淑娟, 张成新. 多模型最优组合的机床热误差建模[J]. 电子技术, 2018, 47(8): 25—29.
 LI Shu-juan, ZHANG Cheng-xin. Thermal Error Modeling of Multi-model Optimal Combination of Machine Tools[J]. Electronic Technology, 2018, 47(8): 25—29.
- [13] 吕明珠. 热敏 CTP 制版质量控制参数的优化[J]. 包装工程, 2013, 34(15): 142—145.
 LYU Ming-zhu. Optimization of Quality Control Pa-

rameters of Thermal CTP System[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15): 142-145.

- [14] 林勤. 新时期 CTP 版材技术及发展趋势研究[J]. 中国包装工业, 2013(6): 5—8.
 LIN Qin. Research on Technology and Development Trend of CTP plate in the New Period[J]. China Packaging Industry, 2013(6): 5—8.
- [15] 沈凌云,郎百和,朱明,等.数字直接制版系统的激光扫描成像设计[J].液晶与显示,2012,27(5):687—691.
 SHEN Ling-yun, LANG Bai-he, ZHU Ming, et al. De-

sign of Laser Scanning Imaging for Digital Computer-to-Plate System[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2012, 27(5): 687–691.