

基于实例推理的印刷机传动系统振动分析与研究

张磊, 王仪明, 武淑琴, 杨海奎

(北京印刷学院, 北京 102600)

摘要: 要进一步提高印刷机械的工作速度, 必须减小振动对其工作稳定性的影响。通过对印刷机械实验台的振动分析和对高速卷筒纸印刷机工作的振动研究, 利用丹麦 B&K 公司的振动测试系统, 得到了印刷机械工作时, 滚筒不平衡、弯曲变形、加工精度等一系列因素引起的相关振动信号。根据这些振动信号的量度幅值, 可以确定印刷机设计时所控制的重要参数。

关键词: 频域; 振动故障; 实例分析

中图分类号: TS803 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)09-0085-05

Vibration Analysis and Study of Transmission System of Printing Press Based on Case Reasoning

ZHANG Lei, WANG Yi-ming, WU Shu-qin, YANG Hai-kui

(Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

Abstract: To further improve the working speed of printing machine, the influence of vibration on the stability should be reduced. Through to the research of printing machinery vibration analysis and test-bed for high-speed web press vibration, by using Danish company B&K vibration test system, the uneven printing drum, bending, machining accuracy, and a series of factors related to the vibration signal were obtained. Based on the vibration signals' measurements amplitude, the important parameters needed for printing press design were determined.

Key words: frequency domain; vibration fault; case study

关于印刷机的振动测试问题, 国内外都在进行研究。Buck B 等人^[1]对印刷机系统进行了非线性振动分析研究, 找到了导致振动的相关因素; G. B. Kulikov 等人^[2]对轮转印刷机印刷单元的特性进行分析, 得出了一些振动因素对印品质量的影响; Gao X L 等人^[3]探索了印刷单元安装的一些问题, 分析了印机设计调配的一些实践方法; 蔡吉飞^[4]结合理论和实验, 分析了运动副间歇对递纸精度的影响; 王仪明等人^[5]对印刷机滚筒轴向窜动与套印精度的关系进行研究, 认为滚筒轴向振动可能会对印品质量造成影响; 杨家华等人^[6]探索了印刷机的振动噪声, 并提出了一些减小印刷机振动噪声的措施。此外, 各高等院校也进行了印刷机相关振动测试研究, 但大多都以理论分析为主。

文中通过对印刷设备实验台、平纸张印刷设备、

高速卷筒纸设备等进行现场测试, 并分析测试数据, 得到了一些印刷设备 2 种典型振动故障对应的时频域曲线, 为提高产品质量指出了改进方向。目前, 这些研究成果已经投入实际应用, 部分厂家正在利用这些技术进行高速印刷设备的研发。

1 印刷设备压印滚筒的建模分析

以印刷单元为例, 滚筒和齿轮是印刷机的核心部件。滚筒是最终的执行元件, 工作时直接和纸张或橡皮布连接, 因此其振动直接反映到印品表面, 如墨杠(比较常见的印品故障)。齿轮是滚筒的动力源, 其工作的稳定性直接影响到滚筒回转的稳定性, 从而可能会引起滚筒振动, 形成所谓的齿轮杠等故障。

印刷机滚筒等旋转部件(见图 1)若有加工误差

收稿日期: 2012-02-23

基金项目: 北京市教育委员会科技计划面上项目(KM201110015005)

作者简介: 张磊(1987—), 男, 山东新泰人, 北京印刷学院硕士生, 主攻印刷机械监测及故障诊断。

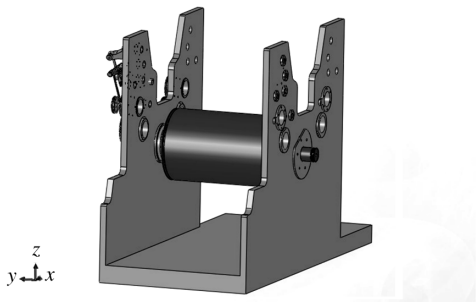


图1 印刷机压印滚筒的三维模型

Fig.1 3D modeling of printing press's impression cylinder

或未找动平衡,滚筒在持续周期变化的外力下产生强迫振动,其力学模型可以简化为:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = F_0 \sin(\omega t)$$

(1)

式中: m 为振动体质量; c 为阻尼系数; k 为弹性系数; x 为振动位移。

解(1)式得:

$$x(t) = Ae^{-\zeta \omega_n t} \sin(\sqrt{1-\zeta^2} \omega_n t + \varphi) + B \sin(\omega t - \psi)$$

(2)

$$X_1 = Ae^{-\zeta \omega_n t} \sin(\sqrt{1-\zeta^2} \omega_n t + \varphi)$$

(3)

$$X_2 = B \sin(\omega t - \psi)$$

(4)

(3)式中: X_1 为通解,表征衰减自由振动。(4)式中: X_2 为特解,表征稳态强迫振动; B 为强迫振动的振幅, ψ 为初相位。由上式可以看出,强迫振动不受阻尼的影响,是一种和激振力同频率的振动。要全面掌握系统的振动情况,必须进行实验测试。根据实验数据可判断该系统的工作状况,从而找到系统的薄弱环节,为下一步改进指明方向。

2 印刷机的振动测试

2.1 测试方法分析

试验中采用的是丹麦 B&K 公司的 PULSE 振动测试系统,该系统集软硬件于一身,具有强大的数据处理功能。传感器选用的是压电式加速度传感器和电涡流非接触式微位移传感器,其抗干扰能力强,灵敏度高,稳定性好,能满足试验所需的要求。试验原理为:振动信号经传感器采集以后,通过电缆到达放大器,进行信号的放大和滤波处理;然后通过连接电缆传递到采集仪中,进行信号的截断、加窗等一系列处理^[7];最后把数据通过网线传入电脑进行相关分

析,得出结论。原理见图 2。

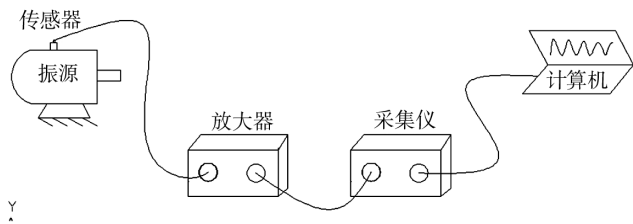


图2 实验测试原理

Fig.2 The schematic of experiment and test

2.2 现场振动测试

2.2.1 旋转部件转子不平衡

在现场发生的旋转部件的振动中,属于转子质量不平衡的振动占多数,印刷设备也不例外。由于旋转时转子重力产生干扰振动,转子轴颈椭圆或弯曲、不平衡质量都会产生离心力的作用,使轴承上作用一个旋转力,从而产生周期性的冲击^[8]。

根据试验需要,将传感器布置在电机壳体的径向水平和径向垂直处,能够实时反应振动量的大小变化。测试分析带宽设置为 800 Hz,根据奈奎斯特定理,分析频率须大于信号中最大频率的 2 倍以上,以保证原始数据的可信性(PULSE 软件里自定义为采样频率为分析带宽的 2.56 倍),采用汉宁窗进行加窗(测试所选用的参数均同上)。振动量测试结果见表 1。

表1 转速对各测点振动幅值的影响

Tab.1 Influence of rotation speed on vibration amplitude of test points

转速 /(r · min ⁻¹)	径向水平 /(mm · s ⁻²)	径向垂直 /(mm · s ⁻²)
1 500	453	631
1 600	621	683
1 700	706	721
1 800	901	963
1 900	1 204	1 450
2 000	1 590	1 870

由表 1 可以看出,振幅随着转速的升高而增大,但并没有出现很明显的线性关系。

由图 3 的振动时域波形来看,在每个周期上,振动都有一个明显的冲击。

图 4 是电机主轴在 1 600 r/min 速度下的振动频域图,可以清晰地看到峰值出现在转频 26.7 Hz 处,2 倍频及 3 倍频都有一定的冲击。

对径向水平和径向垂直两个传感器采集到的信

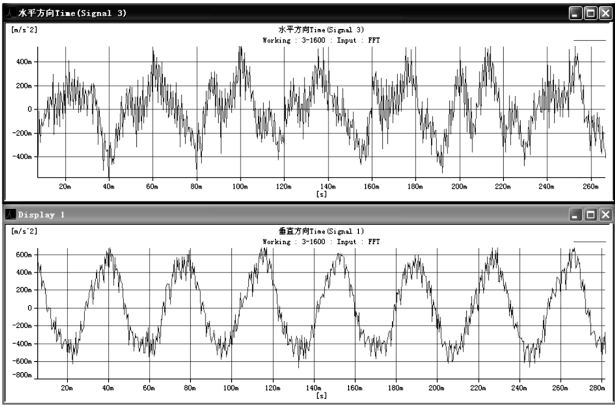


图3 电机主轴振动信号时域波形

Fig. 3 The time domain waveform of vibration signal of motor spindle

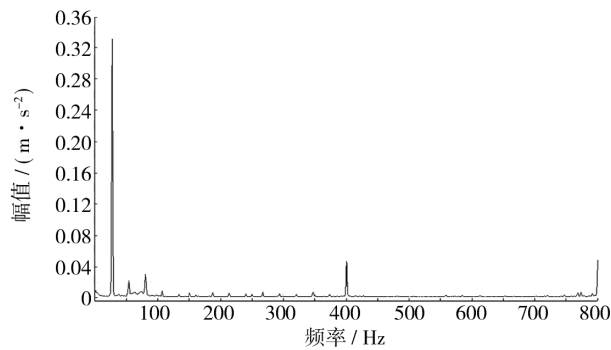


图4 电机主轴振动信号频谱

Fig. 4 Frequency spectrum of vibration signal of motor spindle of

号进行互谱分析(见图5)可知,2个信号在转频处的

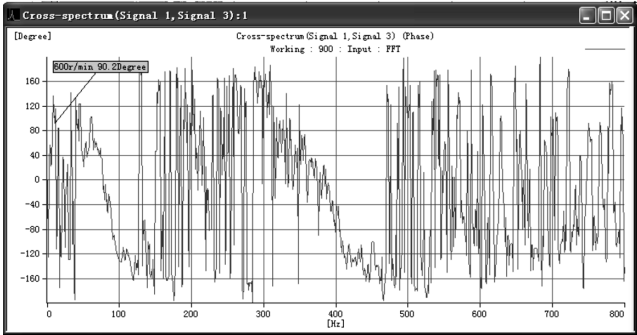


图5 电机主轴水平和垂直2个信号的相位差波形

Fig. 5 Waveform phase difference of motor spindle horizontal and vertical signal

相位差是 90.2° ,基本接近于 90° 。

转子不平衡引起的振动的特征如下:振动值以径向为最大,而轴向很小;振幅随转速升高而增大;振动

频谱能量集中在转频率处;振动稳定性比较好,对负荷变化不敏感;水平与垂直方向的相位差为 90° 。

2.2.2 部件松动引起的振动故障分析

故障现象为:纸张在一台对开四色印刷机上经过印刷后出现“杠子”,对印品造成了破坏。对该印刷机进行初步测试分析。首先将印刷机在一色组合压,二、三、四色组离压的情况下进行印刷,发现“杠子”问题仍然存在;而后分别将二、三、四3个色组合压,一色组离压,发现“杠子”问题消失。因而初步判断,是一色组出现了问题。接下来对4个色组的印版、橡皮、压印3个滚筒分别做了跳动测试,根据试验需要,电涡流传感器布置在传动面滚筒的径向位置和轴向位置,见图6。



图6 一色组滚筒径向跳动测点的布置

Fig. 6 The arrangement of the first group of cylinder radial beat measuring-point

分析测后的统计数据发现,3个滚筒轴向窜动都很小,径向跳动都是以压印滚筒为大,故下文给出的测试数据所对应的对象都是压印滚筒。

对比表2的4个色组径向跳动最大值记录,发现

表2 4个色组压印滚筒径向跳动的最大值

Tab. 2 Four color group radial beat maximum value μm

转速	7 000 r/h	8 000 r/h	9 000 r/h	10 000 r/h
	(1.94 Hz)	(2.22 Hz)	(2.5 Hz)	(2.78 Hz)
一色组	8.29	10.1	15.6	17.8
二色组	1.67	2.66	3.14	5.08
三色组	2.42	3.46	3.75	3.92
四色组	3.28	3.94	4.15	3.62

一色组的压印滚筒跳动过大,使得滚筒回转的稳定性受到影响,造成了滚筒的振动,从而导致了“杠子”的出现,这与笔者初步判断的结果相一致。

为了进一步找出导致一色组压印滚筒跳动过大的原因,对机器的相关结构和测试数据做了深入的分

析和研究。印刷机在 7 000 r/h 的印刷速度下,一色组压印滚筒径向跳动的最大幅值在频谱图上均集中在 149.4 Hz 左右的频谱成分上,这与转频 1.94 Hz 成 77 倍的关系;继续统计测试数据时发现,印刷机在不同的印刷速度下,一色组滚筒跳动的最大幅值在频谱图上对应的频谱成分总是与转频成 77 倍的关系。询问现场工作人员后得知,在往一色组压印滚筒传递动力的途中,正好有一个 77 齿的介轮(图 7 中 signal2 对应的齿轮),于是初步怀疑这个随转速变化的频率成分就是齿轮的啮合频率,而后对这一部分机构进行了进一步的试验验证。

根据实际测试的需要,在传动齿轮轴颈的径向垂直处布置了 4 个加速度传感器(见图 7),能够实时反应振动量的大小变化。

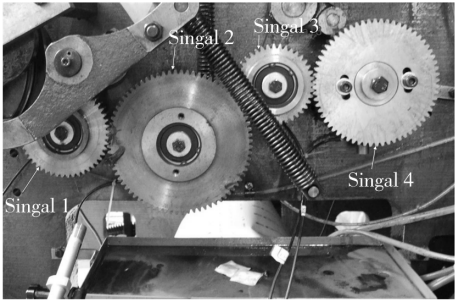


图 7 传动齿轮处测点的布置
Fig. 7 The arrangement of measuring-point at transmission gear

对比表 3 和图 8 可知,介轮处振动幅值在啮合频

表 3 一色组传动介轮处的振动测量幅值

Tab.3 Measured vibration amplitude at transmission gear of first color group					mm/s ²
转速	7 000 r/h (1.94 Hz)	8 000 r/h (2.22 Hz)	9 000 r/h (2.5 Hz)	10 000 r/h (2.78 Hz)	
Singal 1	179	42.6	296	1 730	
Singal 2	621	416.0	301	1 710	
Singal 3	142	68.7	195	1 680	
Singal 4	238	149.0	165	592	

率处达到最大值,且频谱结构成梳状,间隔恰好为转频,可认定为 77 齿的介轮在制造加工时存在误差,或者因安装不当造成齿轮之间配合间隙过大,以致产生了较高的啮合频率。

后经现场检验发现,是因为该 77 齿介轮安装不当造成的振动,传递到一色组压印滚筒,使得压印滚筒振动加剧,从而产生了反映到印品上的“杠子”。齿

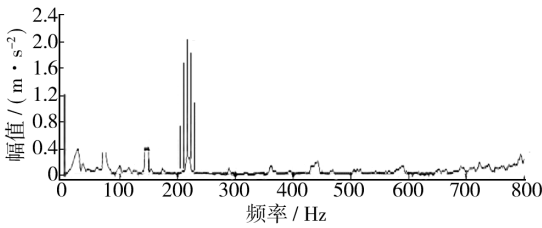


图 8 一色组传动介轮处频域振动波形
Fig. 8 The frequency domain vibration waveform at transmission gear of first color group

轮经过重新安装后,印品上的“杠子”现象消失。齿轮安装不当造成的松动故障,是部件松动故障的一种特例,其振动特点是:频谱结构成梳状(见图 8),在转频处出现较大的峰值,并在转频的 2 倍、3 倍甚至高倍频处伴有振动的峰值出现。

3 结论

- 1) 通过实际的现场测试得到了滚筒转子不平衡、齿轮松动所引起振动的加速度曲线和频谱曲线,并通过实验总结出了各个故障所对应的曲线特征。
- 2) 由现场测试的实例来看,印刷机械对动力传动系统的精度要求较高。如何保证印刷机传动系统的稳定性,是进行高速印刷机研发的关键。
- 3) 通过实例测试的方法验证各个故障所对应的曲线特征,为今后的现场测试积累了经验,同时对未来印刷机优化设计来说,也有一定的实际参考价值。

参考文献:

[1] BUCK B,KNOPF E,SCHREIBER S,et al. Nichtlineare Schwingungs Phänomene in Bogen Offset Druck Maschinen[J]. VDI Berichte,2005,1887(1):345—361.

[2] KULIKOV G B. Diagnosing Causes of Increased Vibration of Printing Units of Tower Rotary Printing Presses [J]. Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2008,37(4):391—396.

[3] GAO X L,ZHOU K D,DRESIG H. Method to Identify the Installation Stiffness of Machines and Its Application on a Printing Unit[C]//Proc of the 11th World Congress in Mechanism and Machine Science. Beijing:China Machine Press,2004.

[4] 蔡吉飞. 运动副间隙对递纸牙运动规律影响分析[J]. 清华大学学报,2000,40(1):49—51.

- CAI Ji-fei. Analysis of Influence of Joint Clearances on Motion Precision of Paper-transferring Grippers [J]. Journal of Tsinghua University, 2000, 40(1): 49—51.
- [5] 王仪明, 蔡吉飞, 赵吉斌. 高速胶印机关键技术研究及进展[J]. 中国机械工程, 2007, 18(10): 1256—1259
- WANG Yi-ming, CAI Ji-fei, ZHAO Ji-bin. Research and Development of Key Technologies for High Speed Offset Presses [J]. China Mechanical Engineering, 2007, 18(10): 1256—1259.
- [6] 杨家华, 管华, 郭宁军. 印刷机结构振动的有限元分析[J]. 北京工业大学学报, 2006, 32(6): 489—492.
- YANG Jia-hua, GUAN Hua, GUO Ning-jun. The Finite Element Analysis About the Vibration of Printing Presses [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2006, 32(6): 489—492.
- [7] 张志红, 王仪明, 张少华. 基于测试技术的印刷机递纸系统动态设计[J]. 包装工程, 2010, 31(5): 61—64.
- ZHANG Zhi-hong, WANG Yi-ming, ZHANG Shao-hua. Dynamic Design of Printer Paper-transferring Mechanism Based on Testing Tecnology [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(5): 61—64.
- [8] 罗孟杰. Y500-2 型高速电机的试验振动分析及故障诊断[J]. 沈阳工业大学学报, 1997, 19(4): 1—5.
- LUO Meng-jie. Vibration Analysis and Fault Diagnosis of Y500-2 Type High Speed Motor [J]. Journal of Shenyang University of Technology, 1997, 19(4): 1—5.

(上接第 61 页)

- [4] 刘维锦, 林志浩. 纤维素/壳聚糖可生物降解膜的制备及力学性能[J]. 塑料工业, 2003, 31(12): 44—46.
- LIU Wei-jing, LIN Zhi-hao. Preparation and Mechanical Properties of Biodegradable Cellulose/Chitosan Blend Film [J]. China Plastics Industry, 2003, 31(12): 44—46.
- [5] 罗明生, 高天惠. 药剂辅料大全 [M]. 成都: 四川科技出版社, 1993.
- LUO Ming-sheng, GAO Tian-hui. Reagent Excipient Encompassing (Fist Edition) [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Publish House, 1993.
- [6] 袁毅, 张黎明, 高文远. 穿龙薯蓣微晶纤维素的制备及其理化性质研究[J]. 生物质化学工程, 2007, 41(4): 22—26.
- YUAN Yi, ZHANG Li-ming, GAO Wen-yuan. Study on Preparation and Physicochemical Properties of Microcrystalline Cellulose from Dioscorea Nipponica Makino [J]. Biomass Chemical Engineering, 2007, 41(4): 22—26.
- [7] 周晓东, 朱平, 王炳, 等. 纤维素的活化对其溶解性能的影响[J]. 现代纺织技术, 2008, 5: 4—7.
- ZHOU Xiao-dong, ZHU Ping, WANG Bing, et al. Effect of Cellulose Activation on Its Dissolvability [J]. Advanced Textile Technology, 2008, 5: 4—7.

(上接第 76 页)

- XU Wei-feng, SHU Tong. Packaging Design for Automotive Fittings [J]. Packaging Engineering, 2007, 28(11): 101—102.
- [4] 聂钧衡. 汽车 KD 包装结构及包装工艺 [J]. 物流技术与应用, 2009, 14(10): 123—124.
- NIE Jun-heng. The Structure of the Vehicle KD Packing and Packaging Technology [J]. Logistics & Material Handling, 2009, 14(10): 123—124.
- [5] 岳奇思. 客车企业 KD 出口项目初探 (中) [J]. 商用汽车, 2010(1): 42—44.
- YUE Qi-si. A Thought and Consideration of KD Export of Bus & Coach Industry [J]. Commercial Vehicle, 2010(1): 42—44.
- [6] 申强. 德龙 F2000 牵引车底盘 SKD 发运装箱方案设计 [J]. 汽车实用技术, 2010(5): 62—64.
- SHEN Qiang. Design for the Heavy Duty Truck DeLong F2000 Export with SKD [J]. Auto Technology, 2010(5): 62—64.
- [7] 王东爱, 王岭松, 乔志霞. 集装箱装箱优化与纸箱优化设计 [J]. 包装工程, 2005, 26(5): 123—125.
- WANG Dong-ai, WANG Ling-song, QIAO Zhi-xia. Containerization Optimization and Optimum Carton Design [J]. Packaging Engineering, 2005, 26(5): 123—125.
- [8] 肖铤. LoadExper 软件在集装箱装箱中的应用 [J]. 物流技术与应用, 2009, 14(3): 110—111.
- XIAO Ding. LoadExpert Applied in Load-Container Caculating [J]. Logistics & Material Handling, 2009, 14(3): 110—111.
- [9] 姜子恩. 汽车 KD 项目生产及状态描述 [J]. 汽车工艺与材料, 2009(9): 25—27.
- JIANG Zi-en. Description on Automotive KD Project Production and Status [J]. Automobile Technology & Material, 2009(9): 25—27.