

# 微凹版涂布单元振动测试与分析

徐树波, 许文才, 高勇

(北京印刷学院 机电工程学院, 北京 102600)

**摘要** 本研究采用现代测试分析技术对涂布机的微凹版涂布单元进行振动测试分析, 通过测试比较微凹版辊操作侧和传动侧的垂直方向和水平方向在不同频率下的振动现象, 说明垂直方向的振动比同侧的水平方向振动大, 操作侧的振动比同方向传动侧的振动大。墙板传动侧水平方向和垂直方向振动加速度的测试数据, 说明在低频率阶段, 垂直方向的加速度大于水平方向; 当运转频率大于2Hz时, 水平方向的加速度大于垂直方向的加速度。本研究为微凹版涂布单元结构及抗震设计提供参考。

**关键词** 微凹版涂布; 振动测试; 振动分析

中图分类号 TQ574+.4

文献标识码 A

文章编号 1674-5752(2013)05-62-04

## Test and Analysis of the Vibration of Micro-gravure Coating Unit

XU Shu-bo, XU Wen-cai, GAO Yong

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

**Abstract** Modern test and analysis technique was adapted to test the vibration of the micro-gravure coating unit to provide vibration-resistant design and structure design for the micro-gravure coating unit. In this paper, the vibration test data of micro-gravure coating unit including the roll and wall was compared and analyzed. The vibration of the roll's two sides in vertical direction and in horizontal direction under the various frequency was different. Vibration in vertical direction was bigger than horizontal direction in the same side. Vibration of the operation side was greater than the vibration of the drive side in the same direction. Though analyzing acceleration data of wall in vertical direction and horizontal direction, the acceleration in vertical direction was bigger than horizontal direction in the low frequency phase. The acceleration of horizontal direction was bigger than the vertical direction when the operation frequency was more than 2Hz.

**Key words** Micro-gravure coating; Vibration test; Vibration analysis

## 0 引言

微凹版涂布方法是一种在普通逆向凹版辊涂布工艺基础上改进的精密涂布方式。其采用反向、接触式的涂布方式, 即微型涂布辊的旋转方向与料膜的走料方向相反, 料膜没有被压辊加压在涂布辊上。微凹版辊直径小, 适用于涂布薄涂层。例如选用250线/厘米的微凹版辊, 使

用恰当工艺参数, 可以得到 $1\mu\text{m}$ 的湿涂层。烘干后, 涂层将更薄。微凹版涂布在制备高端功能性薄膜领域有广泛的应用, 例如防反射、防眩光等光学膜, 手机触摸屏中的ITO层等<sup>[1]</sup>。目前, 这些膜材大多以进口为主。因此, 微凹版涂布单元的研究对高端膜材的国产化有重要意义。

实践表明, 在涂布过程中, 涂布质量受到多种因素的影响。其中, 涂布单元的振动会对涂布质量产生很大影响<sup>[2]</sup>。例如, 在利用微凹版涂布方式涂布防反射膜

时,由于辊的偏心、偏转和辊的精度等问题,会产生涂布不均匀的现象<sup>[3]</sup>。对涂布单元进行抗震设计以提高涂布质量和涂布速度,是涂布设备开发中的重要课题。而对涂布单元重要部件的振动测试和分析,是对涂布单元设计改进的首要环节。

本实验采用现代测试分析技术,在不同频率下对涂布机微凹版涂布单元的微凹版辊和墙板进行振动测试,对微凹版辊的水平方向操作侧、水平方向传动侧、垂直方向操作侧和垂直方向传动侧的振动幅值进行测试分析,对墙板传动侧的水平方向和垂直方向的振动加速度进行测试分析,以期对微凹版涂布单元结构设计及抗震设计提供参考。

## 1 微凹版涂布单元振动测试系统简介

微凹版涂布的原理如图1所示,微凹版辊安装在墙板上,部分浸在液体槽中,通过旋转带起涂布液,经过刮刀定量后,由反向运动的基材带走涂布液。涂布过程中涂布液从凹孔转移到基材上需要三个过程:接触、剪切、取出。

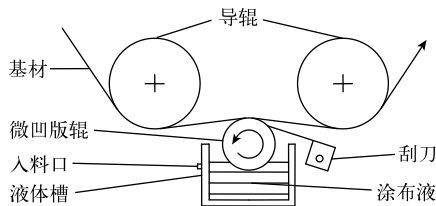


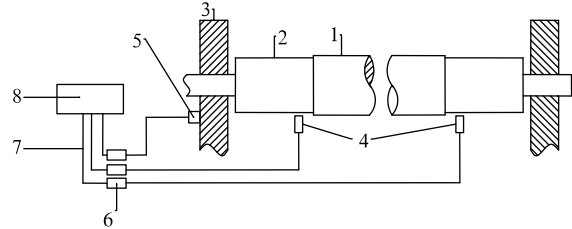
图1 微凹版涂布原理图

Fig. 1 Schematic diagram of the micro-gravure coating

微凹版辊是影响微凹版涂布单元性能及涂布质量的主要因素,微凹版辊的振动直接影响着涂布质量。支撑微凹版辊的墙板的振动又直接影响着微凹版辊的振动。因此,对微凹版涂布单元的振动测试研究需要同时测试微凹版辊和支撑墙板的振动情况。由于微凹版辊的辊身布满凹孔,且凹孔的深度一般为 $10\sim 70\mu\text{m}$ ,超出了传感器的测量精度,所以在测试微凹版辊的振动情况时,选择靠近辊身的支撑轴作为测试对象<sup>[4]</sup>。另外,由涂布原理可知,微凹版辊在垂直方向和水平方向的振动对涂布效果的影响是不同的,水平方向的振动由剪切过程来抵消,所以水平方向振动影响较小,而垂直方向的振动易引起基材与微凹版辊距离的变化,造成涂布不均匀,所以需要分别测量微凹版辊在垂直方向和水平方向的振动情况。

测试系统的配置如图2所示,其中微凹版辊的辊身

直径60mm,长度1300mm,支撑轴直径55mm,长度140mm。由于微凹版辊在不停地运转,若采用接触式传感器容易甩落,而且位移是微凹版辊振动的直观表征,所以采用非接触式的位移传感器。三向加速度传感器可以在一次测试中得到X、Y、Z方向的三组加速度数据,所以在测试墙板振动时,采用三向加速度传感器。



1. 辊身; 2. 支撑轴; 3. 支撑墙板; 4. 非接触式位移传感器; 5. 三向加速度传感器; 6. 传感器配套的采集系统; 7. 导线; 8. 计算机

图2 测试系统框图

Fig. 2 Block diagram of the testing system

## 2 微凹版涂布单元振动测试实验设计

为了减少实验中数据分析处理的工作量,在微凹版辊的转速范围内确定若干级速度进行测试。在工业生产中,微凹版辊的涂布速度在 $5\sim 60\text{m}/\text{min}$ 。微凹版辊的直径为60mm,周长 $L=3.14\times 0.06=0.1884\text{m}$ ,可知转速是 $0.44\sim 5.31$ 转/秒,即频率 $0.44\sim 5.31\text{Hz}$ 。所以测试频率范围 $0.5\sim 5\text{Hz}$ (即工作频率),以 $0.3\text{Hz}$ 每级取点。另外为了测试涂布单元的运转极限,选取了多个不常用转速。因此,本实验设置的频率如下:0.5Hz、0.8Hz、1.1Hz、1.4Hz、1.7Hz、2.0Hz、2.3Hz、2.6Hz、2.9Hz、3.2Hz、3.5Hz、3.8Hz、4.1Hz、4.4Hz、4.7Hz、5.0Hz、6Hz、7Hz、8Hz、9Hz、10Hz、12Hz、15Hz。为了减少随机振动带来的误差,对涂布单元每个转速进行3次测试。按照设定的转速及次数,依次进行测试。测试结果包含微凹版辊操作侧和传动侧的垂直方向和水平方向、墙板传动侧的垂直方向和水平方向振动情况,共6个测试对象,每个对象对应23个转速,每个转速测试3次,总共得到了414组数据。采用Matlab软件进行数据和图形分析<sup>[5]</sup>。

## 3 微凹版涂布单元振动测试分析

### 3.1 微凹版辊振动分析

图3是一个典型的时域图形,是在运转频率为

2. 9Hz时微凹版辊的传动侧垂直方向时域图形。纵坐标是振幅,以起始位置为0,远离微凹版辊为正,靠近微凹版辊为负。从时域图中可以看出,在垂直方向,微凹版辊在很短时间内可以达到一个最大值和一个最小值。在此运转频率下,振幅最大值为 $4.7\mu\text{m}$ ,最小值为 $-4.8\mu\text{m}$ 。

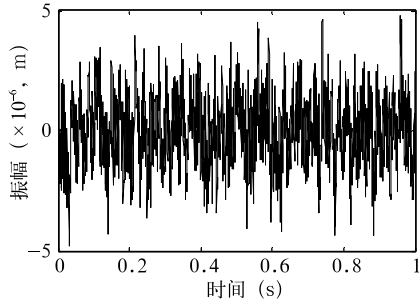


图3 微凹版辊传动侧垂直方向的振幅  
Fig.3 Amplitude of roll's drive side in vertical direction

为了描述不同频率下,涂布单元的振动变化规律,采用均方根值作为振幅的代表值<sup>[6]</sup>。图4是在不同频率下对微凹版辊垂直方向上传动侧的振幅求均方根值后的图形。由图4可知,在工作频率0.5~5Hz内,微凹版辊的振幅是比较稳定的,有效振幅在 $1\sim 3\mu\text{m}$ 之间,涂布质量稳定。在高速运转区域,6~12Hz内,振幅都在 $5\mu\text{m}$ 之下,比较平稳,可以涂布一般质量要求的涂层。而到了15Hz时,振幅上升到了 $16\mu\text{m}$ ,振幅过大,不能进行涂布。

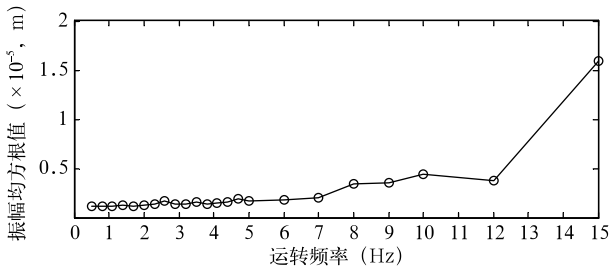


图4 不同频率下传动侧垂直方向振幅均方根值图  
Fig.4 Amplitude of roll's drive side in vertical direction

在工作频率0.5~5Hz下,对微凹版辊操作侧水平方向和垂直方向、传动侧水平方向和垂直方向的振幅进行比较,结果如图5所示。由图5比较可知:

- 1) 在垂直方向,微凹版辊的传动侧与操作侧在同一频率下,振幅不同,且振幅变化比较剧烈。操作侧的振动比传动侧要大,这导致两侧的涂布量不同;
- 2) 在水平方向,微凹版辊的传动侧与操作侧在同一频率下,振幅不同;振幅变化平缓,呈递增趋势。操作

侧的振动比传动侧要大;

3) 在操作侧,微凹版辊的垂直方向和水平方向在同一频率下,振幅不同;垂直方向振幅变化剧烈,水平方向变化平缓。垂直方向的振动比水平方向的振动要大;

4) 在传动侧,微凹版辊的垂直方向和水平方向在同一频率下,振幅不同;垂直方向的振动比水平方向的振动要大。

5) 微凹版辊的水平方向的振幅变化比垂直方向的振幅变化平缓。

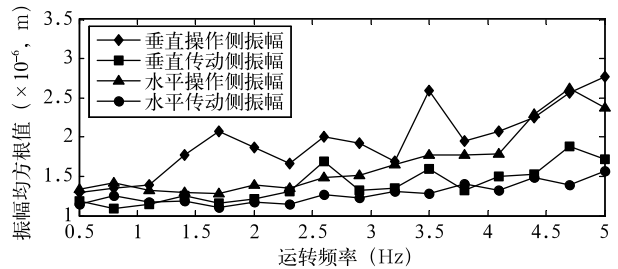


图5 在0.5~5Hz下微凹版辊不同测试点的振幅对比  
Fig.5 Comparison of the amplitude of roll in different point under 0.5~5Hz

综上所述,微凹版辊垂直方向的振动要比水平方向同侧的振动大,操作侧的振动要比传动侧同方向的振动大,水平方向的振幅变化比垂直方向的振幅变化平缓。

### 3.2 支撑墙板振动分析

在0.5~5Hz的工作频率下,将墙板传动侧的水平方向和垂直方向振动加速度的数据进行均方根值计算,结果如图6所示。可以看到,随着频率的增加,加速度有递增的趋势,但是垂直方向在1.8Hz处出现了较大的加速度变化,3.5Hz处垂直方向和水平方向出现了较大的加速度,说明可能存在共振现象。两组数据的变化规律基本相同。在低频率阶段,垂直方向加速度要大于水平方向。在频率大于2Hz以后,水平方向的加速度大于垂直方向的加速度,这与微凹版辊的振动规律不一致。导致不一致的原因是多方面的,如零件的固有频率不同,

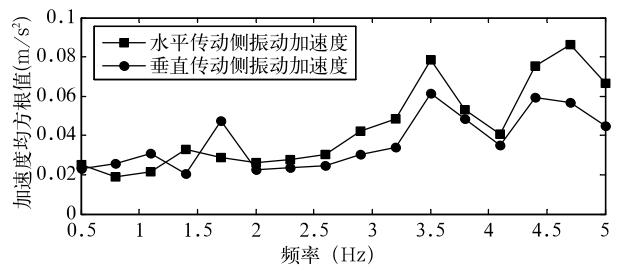


图6 墙板传动侧的水平方向和垂直方向振动加速度  
Fig.6 Acceleration of wall's drive side in vertical direction and horizontal direction

机构的设计等问题。这要求在机械设计时,要协同考虑多个因素的影响。

## 4 结论

本实验采用现代测试分析技术对涂布机的微凹版涂布单元进行了振动测试。经过测试分析得到以下结论。

1)通过分析微凹版辊垂直方向传动侧在不同频率下的振幅均方根值,得出在工作区域涂布质量稳定,运转频率在6~12Hz时振动比工作区域的振幅大,但比较平稳,可以涂布一般质量要求的涂层,当运转频率为15Hz时,振幅过大,不能进行涂布。

2)通过分析微凹版辊两侧垂直方向和水平方向在不同频率下的振动现象,得出微凹版辊两侧振幅不同,垂直方向的振动要比同侧水平方向的振动大,操作侧的振动要比同方向传动侧的振动大。水平方向的振幅变化比垂直方向的振幅变化平缓。

3)通过分析墙板传动侧水平方向和垂直方向振动加速度的变化,得出在运转低频率阶段,垂直方向的加速度要大于水平方向;当运转频率大于2Hz时,水平方向的加速度大于垂直方向的加速度。

## 参考文献

- [1] 谢宜风. 精密涂布工艺应用新进展[J]. 信息记录材料, 2010, 11(1): 28-37.  
XIE Yi-feng. New Progress on the Application of Precision Coating [J]. Information Recording Materials, 2010, 11(1): 28-37.
- [2] 刘云剑, 邢成君, 彭朝利, 等. 微凹版涂布弊病的因果分析和解决对策[J]. 信息记录材料, 2009, 10(5): 34-39.  
LIU Yun-jian, XING Cheng-jun, PENG Chao-li, et al. Coating Defects Analysis for Microgravure Coating of LCD Components and Correcting Methods [J]. Information Recording Materials, 2009, 10(5): 34-39.
- [3] 王宏伟, 刘强. 防反射膜技术新进展[J]. 信息记录材料, 2009, 10(1): 47-52.  
WANG Hong-wei, LIU Qiang. Recent Progresses of the Anti-reflective Film [J]. Information Recording Materials, 2009, 10(1): 47-52.
- [4] 任瑞宝. 凹版网穴结构分析[J]. 印刷杂志, 1995, (3):

14-18.

REN Rui-bao. Structure Analysis of Gravure Cell [J]. Printing Filed, 1995, (3): 14-18.

- [5] 张志涌. 精通 MATLAB [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000.

ZHANG Zhi-yong. Master MATLAB [M]. Beijing: Beihang University Press, 2000.

- [6] 贡文伟, 徐桂芳. 旋转机械振动诊断标准研究[J]. 机械研究与应用, 2001, 14(3): 2-5.

GONG Wen-wei, XU Gui-fang. Research of the Vibration Evaluation Criterion of Rotary Machinery [J]. Mechanical Research & Application, 2001, 14(3): 2-5.

## 主要作者



徐树波 (1987年-), 硕士研究生; 主要研究方向为包装印刷机械设计。

XU Shu-bo, born in 1987. He is a master student and his main research interest is packaging and printing machinery design.

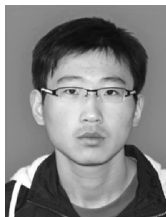
E-mail: shuboxu@126.com



许文才 (1957年-), 教授, 硕士研究生导师, 北京印刷学院副院长, 印刷包装材料与技术北京市重点实验室主任; 主要研究方向为包装材料、包装技术。

Professor XU Wen-cai, born in 1957. He is a supervisor of graduate students, vice-president of Beijing Institute of Graphic Communication and the dean of Beijing Key Laboratory of Printing and Packaging Materials and Technology. His research interests include packaging materials and packaging technique.

E-mail: xuwencai@bigc.edu.cn



高勇 (1987年-), 硕士研究生; 主要研究方向为包装印刷机械设计。

GAO Yong, born in 1987. He is a master student and his main research interest is packaging and printing machinery design.

E-mail: gaoyong870621@163.com