

变刚度印刷滚筒的空挡冲击动态特性研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2019.03.001

余江鸿 李超
邓瑶瑶 姚齐水

湖南工业大学
机械工程学院
湖南 株洲 412007

摘要: 针对滚筒从印刷工作面转至空挡面时产生空挡冲击载荷而引起结构振动的问题,分析了变刚度印刷滚筒空挡冲击的动态特性。先介绍变刚度印刷滚筒结构的设计理念及其静态挠曲变形情况,再采用有限元方法对普通印刷滚筒和变刚度印刷滚筒的模态特性、临界转速和空挡冲击动态响应进行了研究。结果表明:变刚度印刷滚筒保持轻量化的同时,其静态挠曲变形相较于普通印刷滚筒有较大幅度下降,且在自由振动特性、响应位移振幅、振动平衡位置和振动衰减速度方面更具优势,比普通印刷滚筒的结构更为稳定。

关键词: 变刚度印刷滚筒;空挡冲击;挠曲变形;模态特性;动态响应

中图分类号: TH133.3; TS803.6 **文献标志码:** A

文章编号: 1674-7100(2019)03-0001-08

引文格式: 余江鸿,李超,邓瑶瑶,等.变刚度印刷滚筒的空挡冲击动态特性研究[J].包装学报,2019,11(3):1-8.

1 研究背景

印刷滚筒筒体一般由印刷工作面和安装滚筒附件的空挡面组成。当滚筒从印刷工作面转至空挡面时,不可避免地产生空挡冲击载荷,从而引起结构振动,影响印品质量。近年来,对印刷滚筒空挡冲击现象的研究主要分为主动减振与被动减振方法。主动减振方法主要有两种。一种为国外印刷机广泛采用的两滚筒在滚枕处接触(走肩铁)的方法^[1]。另一种为德国柯尼希和鲍尔股份有限公司研发的减振方法^[2],其原理是通过传感器在线监测滚筒的动态挠曲变形,及时控制缸体-活塞作出对应的伸缩运动,从而达到补偿印刷滚筒挠曲变形的目的。德国柯尼希和鲍尔股份有限公司也研发了被动减振方法,其原理是在滚筒挠曲变形较大的中间区域附加金属泡沫结构,充分发挥其高阻尼的优势以吸收滚筒的空挡冲击振

动能^[2]。学者们对印刷滚筒的动态性能进行了大量研究。詹磊^[2]以上述被动减振方法的原理为基础,设计了新型橡皮滚筒,并对其承受空挡冲击载荷作用下的振动响应进行了有限元分析。刘琳琳^[3]借鉴机械波传递理论,模拟了印刷滚筒滚压的动态过程。张凯乐等^[4]将印刷滚筒空挡冲击动态过程静态化,为印刷滚筒减振提供新思路。杨军平等^[5]通过对四开双色平板印刷机滚筒进行动力学仿真,得到了印刷滚筒印刷压力分布及振动情况,并提出了通过优化滚筒设计来降低橡皮布变形的办法。李杰^[6]结合理论建模、动力学仿真和实验测试三种方法研究了印刷滚筒扭振对纵向重影的影响。

印刷滚筒主动与被动减振方法虽能一定程度吸收空挡冲击振动能量,但也存在其局限性。采用走肩铁的印刷滚筒无法适用不同厚度纸张的需求,设计外部装置主动补偿振动能量的方案暂未考虑外部载荷、

收稿日期:2019-03-10

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(2017JJ4025),湖南省教育厅科研基金资助项目(16C0487)

作者简介:余江鸿(1978-),男,安徽宿松人,湖南工业大学副教授,主要从事机械结构与动力学方面的教学与研究,
E-mail: hutyjh@hut.edu.cn

通信作者:姚齐水(1967-),男,湖南醴陵人,湖南工业大学教授,博士,主要从事机构学与机械动力学,机械零部件安全服役科学方面的教学与研究, E-mail: yaoqishui@126.com

节能和时效性等问题对印品质量的影响,减振设计方案需从多个方面进行验证;被动减振方案中,金属泡沫对振动的吸收效果很大程度上取决于其装配状况,而金属泡沫与印刷滚筒的装配关系目前还未深入研究。为此,本课题组从印刷滚筒自身结构设计角度展开探索,提出了变刚度印刷滚筒结构设计理念,前期研究结果^[7-9]表明,变刚度印刷滚筒因内部结构的优化设计和滚筒材料的重新选择,相比普通印刷滚筒而言,不仅能克服铸造缺陷对滚筒寿命的限制,还能控制质量、降低挠曲变形,但变刚度印刷滚筒在空档冲击载荷作用下的动态性能还有待进一步研究。

综上所述,本课题组对变刚度印刷滚筒在空档冲击载荷作用下的动态性能进行了研究,先简要介绍变刚度印刷滚筒结构的设计理念及其挠曲变形情况,然后分析了普通印刷滚筒和变刚度印刷滚筒的模式特性、临界转速和空档冲击动态响应,以期印刷滚筒设计提供参考。

2 变刚度印刷滚筒结构设计及其挠曲变形分析

2.1 变刚度印刷滚筒结构设计

由于普通印刷滚筒存在变形量较大、过重和铸造瑕疵等问题,故本课题组设计了一种新型结构的印刷滚筒即变刚度印刷滚筒。该印刷滚筒的设计考虑了两个方面的问题:一方面为保持印刷滚筒的通用性,设计变刚度印刷滚筒的总长和筒体外径时,两个参数值与普通印刷滚筒的一致,变刚度印刷滚筒的外形尺寸情况如表1所示。另一方面为有效减轻滚筒质量和降低滚筒轴向中间区域的挠曲变形,对筒体的内部结构进行了重新设计,以及对其相应的材料进行了更换。

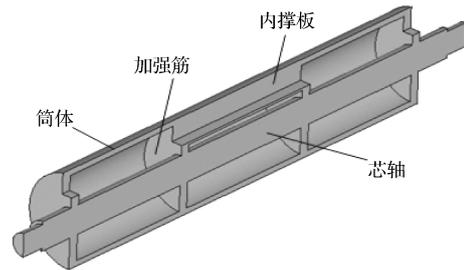
表1 变刚度印刷滚筒的外形尺寸

Table 1 Outline dimension of variable stiffness printing cylinder

printing cylinder		mm	
参数	数值	参数	数值
滚筒长度 L	1 850	滚筒壁厚 B	24
筒体外径 D	394	筋板厚度 J	40
芯轴直径 D_1	120	支承处直径 D_2	100

变刚度印刷滚筒的三维模型和实物模型如图1所示。由图1可以看出,本课题组在芯轴和轴向上设计了4个筋板,并在中间的两个筋板之间增加了一个内撑板以安装滚筒附件的空档部分。材料选择方面,与常规印刷滚筒采用的材料HT300灰铸铁相比,变刚度印刷滚筒芯轴和筒体均采用强度、切削性能更好

的45钢,且45钢需经调质热处理;筋板和内撑板均采用抵抗塑性变形、焊接性能更好的Q235钢^[10]。HT300灰铸铁^[11]、45钢、Q235钢3种材料的属性如表2所示。



a) 变刚度印刷滚筒三维模型



b) 变刚度印刷滚筒实物模型

图1 变刚度印刷滚筒模型

Fig. 1 Model of variable stiffness printing cylinder

表2 材料属性

Table 2 Material property

材料	弹性模量 /Pa	泊松比	密度 / $(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$
HT300 灰铸铁	1.24×10^{11}	0.25	7 395
45 钢	2.1×10^{11}	0.31	7 850
Q235 钢	2.045×10^{11}	0.25	7 850

2.2 变刚度印刷滚筒的挠曲变形分析

对印刷滚筒进行挠曲变形分析时,通常印刷压力为1.2 MPa,用于加载的压痕宽为7 mm。有限元分析求解后,提取印刷滚筒中间区域轴向节点的挠曲变形值。变刚度印刷滚筒和常规印刷滚筒的挠曲变形曲线图如图2所示。

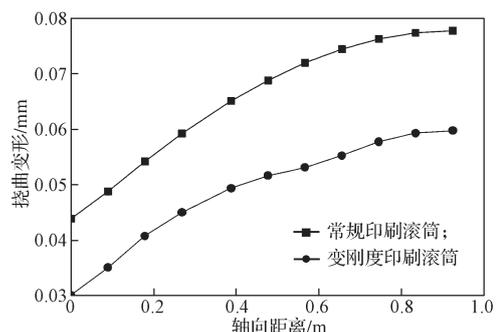


图2 变刚度印刷滚筒与常规印刷滚筒的挠曲变形曲线对比图

Fig. 2 Contrast of deflection curve between regular printing cylinder and variable stiffness printing cylinder

由图 2 可知, 与普通印刷滚筒相比, 变刚度印刷滚筒的挠曲变形下降明显, 如普通印刷滚筒和变刚度印刷滚筒的最大挠曲变形值分别为 0.077 7, 0.059 8 m, 降幅约为 23%。通过计算滚筒质量可以得出, 普通印刷滚筒和变刚度印刷滚筒的质量分别为 834.72, 698.94 kg, 降幅约为 16.3%。可见, 变刚度印刷滚筒的优势得益于全新的结构设计和不同材料的运用, 全新的结构设计使滚筒的挠曲变形明显降低, 同时滚筒质量也得到较好地控制。

印刷滚筒高速运行过程中同时承受以时间为变量的印刷压力和空挡冲击载荷, 不可避免地出现筒体轴向扭转、轴向弯曲和窜动等不利于提升印品质量的运转工况, 且因滚筒固有频率与外部其他旋转部件随机激励的频率重合而引发的系统共振也会对印刷机的稳定性和可靠性产生影响^[12-13], 因此, 变刚度印刷滚筒在承受动态载荷下各项指标是否具备明显优势需进一步分析。为便于变刚度印刷滚筒的工程化应用, 本课题组对变刚度印刷滚筒和普通印刷滚筒的模态特性和空挡冲击动态响应特性进行对比和分析, 以验证变刚度印刷滚筒的动态性能。

3 变刚度印刷滚筒模态分析

3.1 模态分析理论

多自由度机械系统的动力学方程为^[14]

$$m\ddot{\delta}(t) + c\dot{\delta}(t) + k\delta(t) = F(t), \quad (1)$$

式中: m 为机械系统质量;

c 为阻尼;

k 为刚度矩阵;

$F(t)$ 为外部激励;

$\delta(t)$ 为位移矢量。

机械系统的模态特性只受结构特征的影响, 不用考虑外部激励、位移矢量和阻尼, 因此式 (1) 可简化为

$$m\ddot{\delta}(t) + k\delta(t) = 0. \quad (2)$$

此外, 当机械系统做自由振动时, 系统内部各节点做简谐运动, 则其位移矢量为

$$\delta(t) = \varphi \sin(\omega t + \phi), \quad (3)$$

式中: φ 为模态振型;

ω 为角频率;

ϕ 为初相角。

先将式 (3) 对时间 t 求二阶导数, 再将二阶导

数和式 (3) 代入式 (2) 中, 得

$$-\omega^2 m \varphi \sin(\omega t + \phi) + k \varphi \sin(\omega t + \phi) = 0. \quad (4)$$

因式 (4) 在任意时刻 t 均成立, 因此式 (4) 可简化为

$$(k - \omega^2 m) \varphi = 0. \quad (5)$$

式 (5) 的一个解为 $\varphi=0$, 即所有节点均未处于运动状态。因此, 当 $k - \omega^2 m$ 为奇异矩阵时, 式 (5) 存在非零解, 即振动的特征值方程 $\det(k - \omega^2 m) = 0$, 对方程进行求解, 得到方程的特征值 ω_i (ω_i 为机械系统的固有频率), 将 ω_i 代入式 (5) 中, 得到固有频率 ω_i 下的模态振型。

3.2 模态分析

模态特性分析无需施加外部激励。SOLID186 单元是具有二次位移模式的高阶 3 维 20 节点的固体结构, 因此有限元网格模型采用 SOLID186 单元进行自由划分^[15-16]。图 3~4 分别为普通印刷滚筒和变刚度印刷滚筒的三维模型和有限元网格模型。

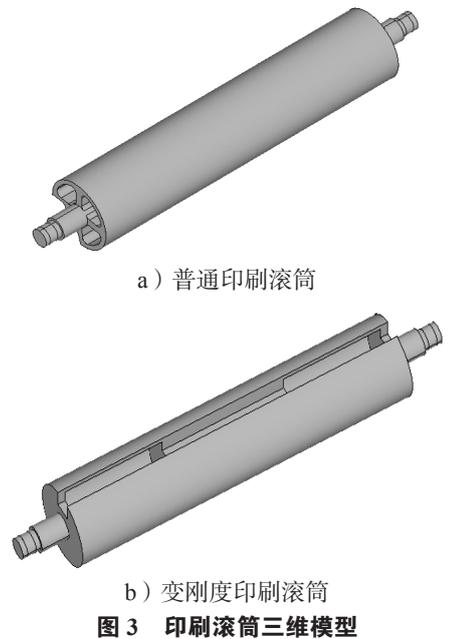
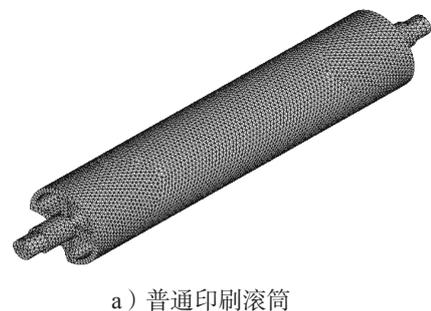
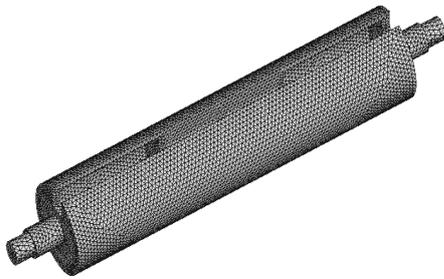


Fig. 3 Three-dimensional model of printing cylinder



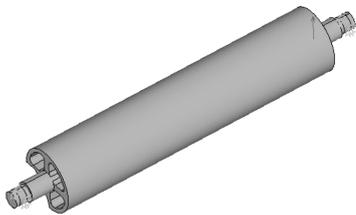


b) 变刚度印刷滚筒

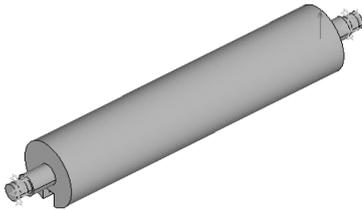
图4 印刷滚筒网格模型

Fig. 4 Grid model of printing cylinder

滚筒分为传动端和操作端。对印刷滚筒设置边界条件时,固定传动端所有的自由度,操作端除轴向自由度以外,其他自由度均固定。图5为普通印刷滚筒和变刚度印刷滚筒边界条件的设定方法。模态特性分析的第一步为打开预应力选项的同时对结构施加重力加速度进行静力学分析;第二步采用 Block Lanczos 提取方法开始模态求解。由相关振动结论可知,低阶固有频率对应的模态振型是影响机械结构系统的关键因素^[17],故只输出第1阶至第6阶的固有频率和模态振型。



a) 普通印刷滚筒

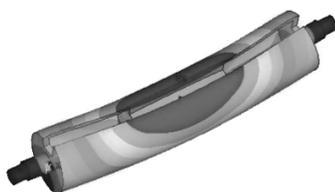


b) 变刚度印刷滚筒

图5 印刷滚筒的边界条件

Fig. 5 Boundary conditions of printing cylinder

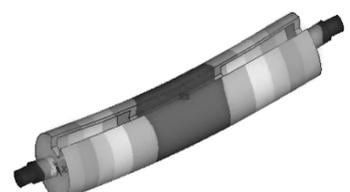
表3为普通印刷滚筒和变刚度印刷滚筒的模态特



a) 第1阶振型



b) 第2阶振型



c) 第3阶振型

性分析结果,即前6阶固有频率——对应的模态振型描述和变刚度印刷滚筒相较于普通印刷滚筒的固有频率提升幅度 Δ_0 。

由表3可以看出:普通印刷滚筒和变刚度印刷滚筒的固有频率和模态振型存在共性和个性,共性是固有频率都随着阶次的上升而增大,第3阶至第6阶的模态振型描述一致,个性是第1阶和第2阶的模态振型描述相反;变刚度印刷滚筒的固有频率比普通印刷滚筒有较大幅度的提升,这表明变刚度印刷滚筒的自由振动特性更优,且固有频率提升的最大幅度出现在机械结构系统振动的低阶振型上,这进一步表明变刚度印刷滚筒的自由振动特性的优势所在。此外,临界转速是机械结构系统保证稳定可靠的一项重要技术指标,应保证机械结构的临界转速高于实际工作时的最大转速。临界转速的表达式为 $n=60f$,其中 n 为转速, f 为固有频率^[18-22]。通过计算,变刚度印刷滚筒的第1阶临界转速为8130 r/min,而印刷滚筒高速运转时的最大转速通常为300 r/min,即使考虑外部激励的激振频率(1~20 Hz),变刚度印刷滚筒也能有效避免共振,以保障印刷过程中的安全服役。

表3 两种印刷滚筒的模态特性分析结果

Table 3 The results of modal characteristic of regular printing cylinder and variable stiffness printing cylinder

阶次	普通印刷滚筒		变刚度印刷滚筒		$\Delta_0/\%$
	固有频率/Hz	振型描述	固有频率/Hz	振型描述	
1	111.24	扭转变形	135.51	中间弯曲	21.82
2	120.83	中间弯曲	155.68	扭转变形	28.84
3	127.44	中间弯曲	159.97	中间弯曲	25.53
4	316.21	S形弯曲	382.69	S形弯曲	21.02
5	324.33	S形弯曲	396.30	S形弯曲	22.19
6	502.57	轴向窜动	538.67	轴向窜动	7.20

图6为变刚度印刷滚筒第1阶至第6阶的有限元模态振型云图。由图可知,起决定性作用的低阶模态振型有中间弯曲和扭转变形两种振型形式,且在印刷滚筒轴向中间区域均出现了较大的挠曲变形,可见,中间区域是研究变刚度印刷滚筒静态和动态性能的关键。

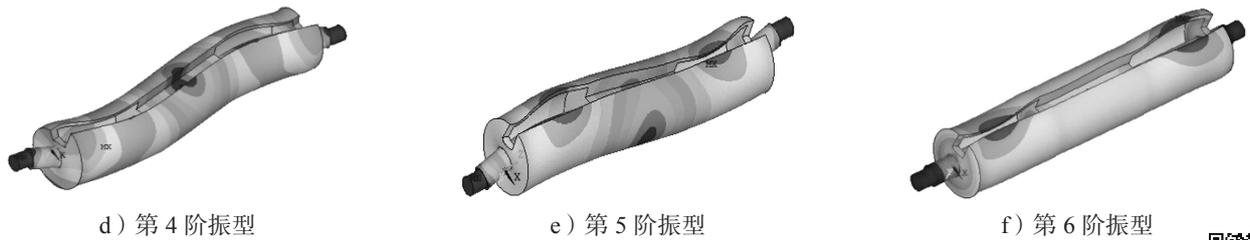


图6 变刚度印刷滚筒前6阶振型

Fig. 6 The first six order mode shapes of variable stiffness printing cylinder



彩图

4 变刚度印刷滚筒空挡冲击动态响应分析

4.1 建立空挡冲击载荷模型

印刷滚筒承受空挡冲击载荷时的位置如图7所示。为便于建立印刷滚筒空挡冲击载荷模型,做出如下基本假设:忽略对动态性能影响不大的滚筒端部的齿轮扭矩作用力,不考虑空挡冲击载荷消失瞬间的作用力,空挡冲击动态响应分析时不考虑印刷压力的影响,空挡冲击载荷发生的时间刚好在印刷一个完整的压痕宽度为7 mm的时间之内。

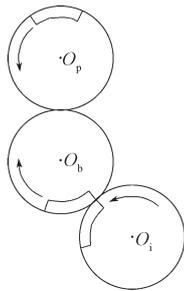


图7 空挡冲击时的滚筒位置图

Fig. 7 Cylinder location graph during neutral impact

模型参数设置如下:印刷速度为10 000 r/h;滚筒直径为394 mm;压痕宽度为7 mm,得滚筒印刷一个完整的压痕宽度所需时间为0.002 s,并取观察空挡冲击载荷过后的振动响应时间为0.078 s;印刷压力为1.2 MPa。

空挡冲击载荷模型如图8所示。由图可知,空挡冲击载荷的加载分两步进行,即0~0.002 s施加1.2 MPa的空挡冲击载荷和施加0.078 s的零载荷。

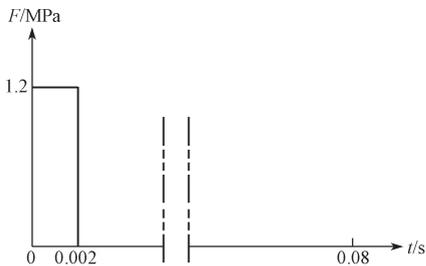


图8 空挡冲击载荷模型

Fig. 8 The load model of neutral impact

4.2 参数设定、加载和求解

有限元分析时需设定好结构阻尼 α 、黏性阻尼 β 与材料阻尼和结构惯量。材料阻尼和结构惯量在有限元软件中通过设定材料阻尼比系数和定义材料属性即可。 α 与 β 可按照瑞利公式求得^[23]:

$$\alpha = \frac{2\omega_i\omega_j(\zeta_i\omega_j - \zeta_j\omega_i)}{\omega_j^2 - \omega_i^2}, \quad (6)$$

$$\beta = \frac{2(\zeta_j\omega_j - \zeta_i\omega_i)}{\omega_j^2 - \omega_i^2}. \quad (7)$$

式中: ω_i 、 ω_j 分别为第*i*阶和第*j*阶固有频率;

ζ_i 、 ζ_j 分别为第*i*阶和第*j*阶固有频率对应的阻尼比系数。

将普通印刷滚筒和变刚度印刷滚筒第1阶和第2阶固有频率均代入式(6)和式(7)中。根据工程应用中的实际情况, ζ_i 、 ζ_j 取0.01。经计算,普通印刷滚筒中, $\alpha=1.158$, $\beta=0.000\ 086\ 2$;变刚度印刷滚筒中, $\alpha=1.449$, $\beta=0.000\ 068\ 7$ 。此外,根据材料属性表2得,HT300材料阻尼比系数为0.01,45钢和Q235钢均为0.008。

由于空挡冲击载荷的加载分两步进行,因此,首先在0~0.002 s内施加1.2 MPa的空挡冲击载荷时,考虑预应力和重力加速度,并预设20个加载子步进行求解;其次在施加0.078 s的零载荷时,预设50个加载子步以观察空挡冲击载荷之后的系统响应情况;最后对两个载荷步进行求解。

4.3 振动响应情况对比

图9为普通印刷滚筒和变刚度印刷滚筒的加载区域中间位置节点的位移-时间响应曲线图。从位移-时间响应曲线的最大振幅、平衡位置和衰减速度三个方面分析两种印刷滚筒的空挡冲击动态性能。由图9可以看出:普通印刷滚筒和变刚度印刷滚筒的位移-时间响应曲线的共性是它们的最大振幅均发生在空挡冲击载荷作用时,且观察时间段滚筒在某一平衡位

置做振幅逐渐衰减的自由振动,此外,印刷滚筒平衡位置略低于轴线位置,这是因为重力作用下滚筒本身产生了一定的挠曲变形所致。具体来看,变刚度印刷滚筒响应位移最大振幅为 $65.84\ \mu\text{m}$,相比普通印刷滚筒下降约 25.69% ,即变刚度印刷滚筒能有效降低最大振幅;变刚度印刷滚筒响应位移衰减平衡位置由普通印刷滚筒的 $-17\ \mu\text{m}$ 提升至 $-11\ \mu\text{m}$,这从动态层面反映了经过内部结构优化设计和材料的重新选择之后,变刚度印刷滚筒具有轻量化优势;变刚度印刷滚筒经历了 10 次衰减之后,最后一次衰减的波峰和波谷差为 $15.15\ \mu\text{m}$,而普通印刷滚筒只衰减了 8 次,且最后一次衰减的波峰和波谷差为 $17.13\ \mu\text{m}$,即变刚度印刷滚筒比普通印刷滚筒能更快速地对空挡冲击载荷所产生的振动能量的衰减。

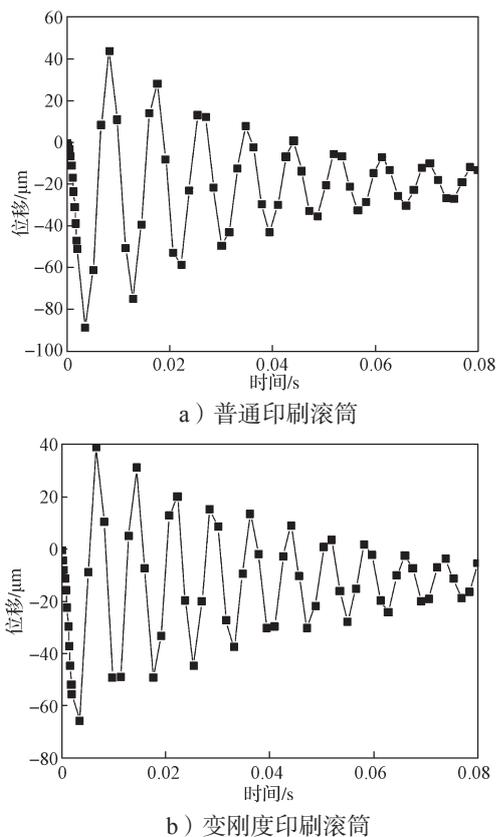


图9 普通印刷滚筒和变刚度印刷滚筒中间位置节点径向位移-时间曲线

Fig. 9 The displacement-time curves of the intermediate node of regular printing cylinder and variable stiffness printing cylinder

5 结论

1) 变刚度印刷滚筒保持轻量化的同时,其静态

挠曲变形相较于普通印刷滚筒也有较大幅度下降。

2) 变刚度印刷滚筒的固有频率比普通印刷滚筒有较大幅度的提升,表明其自由振动特性更优,且变刚度印刷滚筒第 1 阶临界转速远高于实际印刷过程中的最大工作转速,即能有效避免产生共振现象,保障滚筒运行的安全服役。

3) 承受空挡冲击载荷时,变刚度印刷滚筒在响应位移最大振幅、振动平衡位置和振动衰减速度三方面更具优势,比普通印刷滚筒结构更为稳定。

参考文献:

- [1] 冯彩霞. 基于有限元理论的滚筒空挡冲击墨杠分析与滚筒优化 [D]. 西安: 西安理工大学, 2009.
FENG Caixia. The Analysis of Streaks of Impression Cylinder Gap Impact and Optimization of Impression Cylinder Based on Finite Element Theory [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2009.
- [2] 詹磊. 胶印机橡皮滚筒的改进设计及动态特性的研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2006.
ZHAN Lei. Modified Design and Dynamic Characteristic Research on Blanket Cylinder of Offset Press [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2006.
- [3] 刘琳琳. 胶印机压印滚筒挠曲变形分析及主动补偿方法研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2007.
LIU Linlin. Study on Deflection of Impression Cylinder and Active Compensation Method [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2007.
- [4] 张凯乐, 黄颖为, 薛凤梅, 等. PZ1650 橡皮滚筒受力分析的研究 [J]. 包装工程, 2009, 30(3): 55-57.
ZHANG Kaile, HUANG Yinwei, XUE Fengmei, et al. Force Analysis of Blanket Cylinder of PZ1650 Printing Machine [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 55-57.
- [5] 杨军平, 郭俊忠, 马学东, 等. 基于 ADAMS 的印刷滚筒刚柔耦合仿真分析 [J]. 北京印刷学院学报, 2011, 19(2): 36-38.
YANG Junping, GUO Junzhong, MA Xuedong, et al. Dynamic Analysis of Coupled Rigid-Flexible Printing Cylinders Based on ADAMS [J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2011, 19(2): 36-38.
- [6] 李杰. 印刷滚筒扭振对纵向重影的影响研究 [D]. 北京: 中国地质大学, 2013.
LI Jie. Influence of the Printing Cylinder Torsional Vibration on Longitudinal Ghosting [D]. Beijing: China

- University of Geosciences, 2013.
- [7] 李超, 姚齐水, 向磊, 等. 新型印刷滚筒结构设计及挠曲变形分析[J]. 包装工程, 2018, 39(21): 144-149.
LI Chao, YAO Qishui, XIANG Lei, et al. Research on the New Type of Structure Design and Deflection of Printing Cylinder[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(21): 144-149.
- [8] 李超. 变刚度印刷滚筒结构设计及支承性能研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2016.
LI Chao. Research on Structure Design and Supporting Performance of Adjustable Stiffness Printing Cylinder[D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2016.
- [9] 周枫林, 李光, 孙晓, 等. 基于边界单元法的印刷机滚筒结构刚度分析[J]. 包装学报, 2017, 9(4): 87-91.
ZHOU Fenglin, LI Guang, SUN Xiao, et al. Structural Rigidity Analysis of Printing Cylinder Based upon Boundary Element Method[J]. Packaging Journal, 2017, 9(4): 87-91.
- [10] 钱海盛, 张宇, 邓红川, 等. 焊接工艺参数对 Q235 钢焊接残余应力的影响[J]. 热加工工艺, 2015, 44(5): 169-171.
QIAN Haisheng, ZHANG Yu, DENG Hongchuan, et al. Effect of Welding Process Parameters on Welding Residual Stress of Q235 Steel[J]. Hot Working Technology, 2015, 44(5): 169-171.
- [11] 姚齐水, 李超, 王勇, 等. 基于预负荷弹性支承的印刷滚筒承载性能研究[J]. 中国机械工程, 2015, 26(23): 3214-3220.
YAO Qishui, LI Chao, WANG Yong, et al. Research on Bearing Behaviors of Printing Cylinder Based on Preload Elastic Supporting[J]. China Mechanical Engineering, 2015, 26(23): 3214-3220.
- [12] 刘鑫. 印刷滚筒扭振及主动控制方法研究[D]. 北京: 北京印刷学院, 2015.
LIU Xin. Study on the Method of Torsional Vibration and Active Control of Printing Cylinder [D]. Beijing: Beijing Institute of Graphic Communication, 2015.
- [13] 史发军. 单张纸胶印机滚筒振动分析及改进[J]. 印刷技术, 2014(6): 53-54.
SHI Fajun. Vibration Analysis and Improvement of Sheet Fed Offset Roller[J]. Printing Technology, 2014(6): 53-54.
- [14] 杨为, 邱清盈, 胡建军. 机械结构的理论模态分析方法[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2004, 27(6): 1-4.
YANG Wei, QIU Qingying, HU Jianjun. Modal Shape Analysis Methods of Machine Structure[J]. Journal of Chongqing University(Natural Science Edition), 2004, 27(6): 1-4.
- [15] 杜平安. 有限元网格划分的基本原则[J]. 机械设计与制造, 2000(1): 34-36.
DU Pingan. Basic Principles of Finite Element Meshing[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2000(1): 34-36.
- [16] 巩雪, 常江, 李丹婷. 平板电脑缓冲包装件设计及其力学性能分析[J]. 包装学报, 2018, 10(4): 28-33.
GONG Xue, CHANG Jiang, LI Danting. Design and Mechanical Property Analysis of Cushioning Package for Tablet PC[J]. Packaging Journal, 2018, 10(4): 28-33.
- [17] 张翔. 高速曲面胶印机主机架与橡皮滚筒静动态特性研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2016.
ZHANG Xiang. Research on the Static and Dynamic Characteristics of the Main Frame and Blanket Cylinder of High-Speed Surface Offset Press[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2016.
- [18] 袁清珂, 杜亚男, 王同乐, 等. 印刷机滚筒的模态分析[J]. 包装工程, 2011, 32(15): 102-105.
YUAN Qingke, DU Yanan, WANG Tongle, et al. Modal Analysis of Printing Cylinder[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(15): 102-105.
- [19] 徐军伟, 李文斌. 基于 ANSYS 的电主轴转子-轴承系统动静态性能分析[J]. 机械设计与制造, 2015(9): 9-11.
XU Junwei, LI Wenbin. Analysis on Static and Dynamic Characteristics of Electric Spindle Based on ANSYS[J]. Machinery Design & Manufacture, 2015(9): 9-11.
- [20] 马骏, 戴俊, 孙炳南, 等. 轴承支撑特性及其对轴系动特性的影响[J]. 噪声与振动控制, 2011, 31(5): 22-26.
MA Jun, DAI Jun, SUN Bingnan, et al. Supporting Characteristics of Bearings and Their Effects on Dynamical Behaviors of Rotor System[J]. Noise and Vibration Control, 2011, 31(5): 22-26.
- [21] 张凤阁, 杜光辉, 王天煜, 等. 1.12 MW 高速永磁电机多物理场综合设计[J]. 电工技术学报, 2015, 30(12): 171-180.
ZHANG Fengge, DU Guanghui, WANG Tianyu, et al.

- Integrated Design of 1.12MW High Speed PM Machine Based on Multi-Physics Fields[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(12): 171-180.
- [22] 李红伟, 于文涛, 刘淑琴. 基于 ANSYS 的磁悬浮挠性转子模态分析与设计 [J]. 中国机械工程, 2014, 25(11): 1447-1452.
- LI Hongwei, YU Wentao, LIU Shuqin. Mode Analysis and Design of Maglev Flexible Rotor with ANSYS[J]. China Mechanical Engineering, 2014, 25(11): 1447-1452.
- [23] 王 飞. 传动滚筒结构优化及参数化设计研究 [D]. 唐山: 华北理工大学, 2017.
- WANG Fei. The Structure Optimization and Parametric Design Research of Driving Drum[D]. Tangshan: North China University of Science and Technology, 2017.

(责任编辑: 邓 彬)

Research on the Neutral Impact Dynamical Characteristics of Variable Stiffness Printing Cylinder

YU Jianghong, LI Chao, DENG Yaoyao, YAO Qishui

(College of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Aimed at the problem of structural vibration caused by the neutral impact load as the cylinder being turned from the printing working surface to the neutral surface, the neutral impact dynamical characteristics of the variable stiffness printing cylinder were analyzed. The structure design concept of variable stiffness printing cylinder and its static deflection deformation were introduced, while the finite element method was used to study the modal characteristics, critical speed and neutral impact dynamic response of regular printing cylinder and variable stiffness printing cylinder. The results showed that the variable stiffness printing cylinder maintained light weight while its static flexural deformation was much lower than that of the ordinary printing cylinder, and it was advantageous in the aspects of free vibration characteristics, maximum amplitude of response displacement, vibration balance position and vibration attenuation speed, and more stable than the structure of regular printing cylinder.

Keywords: variable stiffness printing cylinder; neutral impact; deflection deformation; modal characteristic; dynamic response