

新型印刷滚筒结构与挠曲变形分析

李超, 姚齐水, 向磊, 袁秋炜, 余江鸿

(湖南工业大学 机械工程学院, 株洲 412007)

摘要: **目的** 提出一种印刷滚筒的新型结构设计方法, 并对其进行挠曲变形分析。**方法** 从印刷滚筒结构设计层面出发, 研究常规印刷滚筒挠曲变形规律, 提出变刚度印刷滚筒结构设计方法, 对比分析常规印刷滚筒与变刚度印刷滚筒的挠曲变形和质量变化。**结果** 1.85 m 和 1.05 m 的常规印刷滚筒最大挠曲变形值分别为 0.052 mm 和 0.0181 mm, 考虑重力之后的挠曲变形增幅分别为 49.4% 和 52.5%, 1.85 m 和 1.05 m 的变刚度印刷滚筒相比常规印刷滚筒挠曲变形降幅分别为 23% 和 21%, 质量降幅为 16.3% 和 9.9%。**结论** 变刚度印刷滚筒避免了常规印刷滚筒铸造缺陷对印刷性能的限制, 在明显降低挠曲变形的同时, 滚筒质量也能得到较好的控制。

关键词: 印刷滚筒; 变刚度; 结构设计; 挠曲变形; 印刷性能

中图分类号: TH133.3; TS801 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)21-0144-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.21.026

Structure Design and Flexural Deflection of New Type Printing Cylinder

LI Chao, YAO Qi-shui, XIANG Lei, YUAN Qiu-wei, YU Jiang-hong

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

ABSTRACT: The work aims to propose a new type of structure design and study the flexural deflection of printing cylinder. From the structure design of printing drum layers, rules on flexural deflection of regular printing cylinder were studied. The structure design method of variable stiffness printing cylinder was presented. The deflection and the quality changes between regular printing cylinder and variable stiffness printing cylinder were analyzed. The maximum deflection of 1.85 m and 1.05 m regular printing cylinders were 0.052 mm and 0.0181 mm, respectively; the growth of deflection was 49.4% and 52.5%, respectively. After considering gravity, the decline of deflection of 1.85 m and 1.05m variable stiffness printing cylinder was 23% and 21%, respectively. Compared with regular printing cylinder, the decline of quality was 16.3% and 9.9%. Variable stiffness printing cylinder can avoid the casting defect of regular printing cylinder on restriction of printing performance, and control quality of cylinder effectively, while significantly reduce the deflection.

KEY WORDS: printing cylinder; variable stiffness; structure design; deflection; printing performance

印刷滚筒是印刷机完成图文转移的重要零部件, 滚筒在印刷过程中同时承受印刷压力和自身重力而产生挠曲变形, 但过大的挠曲变形必将导致滚筒在局部出现印刷压力降低, 印品出现油墨过轻、色调失真等问题, 成为制约印刷机高速发展的关键因素^[1-3]。

印刷滚筒的结构设计是改善挠曲变形的有效突破点, 国内外学者都基于不同角度对此进行了研究,

其中冯载荣^[4]在印刷滚筒一侧表面设计了一种非均匀分布翘形筋板结构, 有效地解决了周向印刷压力不均的问题; 丁兵等^[5]基于有限元软件对印刷滚筒的芯轴、壁厚和筋板等尺寸进行了优化, 降低了制造成本; 詹磊^[6]提出将金属泡沫铝装配入印刷滚筒内部吸收振动冲击能量的方法, 颇受业界关注; 海德堡^[7]设计的采用液压驱动的“浮动辊”补偿挠曲变形的方案能

收稿日期: 2018-07-06

基金项目: 湖南省自然科学基金 (2017JJ4025); 湖南省教育厅科研项目 (16C0487)

作者简介: 李超 (1991—), 男, 硕士, 湖南工业大学助教, 主要研究方向为机械传动关键零部件设计与优化。

通信作者: 余江鸿 (1978—), 男, 硕士, 湖南工业大学副教授, 主要研究方向为机械结构与动力学。

较好地降低印刷滚筒挠曲变形；程常现^[8]设计的挠性压印滚筒补偿挠曲变形的方 法，也能有效提高滚筒的印刷性能。

从以往对印刷滚筒结构设计的研究来看，其主要解决印刷滚筒周向挠曲变形较大的问题，而降低轴向挠曲变形的方案并不多见，采用附加材料和主动补偿方法虽能一定程度降低轴向挠曲变形，但其整体装配的动静态性能还值得进一步探究，此外，现有的印刷滚筒筒体一般铸造而成，不可避免地会产生铸造缺陷从而影响滚筒的印刷性能和安全服役。为此，文中地研究常规印刷滚筒的挠曲变形规律和重力载荷对挠曲变形的影响规律，在此基础上提出拟变刚度印刷滚筒结构设计方法，并分别分析常规印刷滚筒和变刚度印刷滚筒的挠曲变形，为印刷滚筒的结构设计提供全新的思路。

1 常规印刷滚筒结构设计及挠曲变形分析

1.1 常规印刷滚筒三维建模

常规印刷滚筒轴向截面见图 1a，其周向设置有利于提升抗弯性能的筋板，筒体部分设计有安装滚筒附件的空挡，筒体由 HT300 材料铸造，后续经过车削、磨削和表面处理等系列工序制造而成。为便于后文分析新型印刷滚筒结构设计方法对不同规格印刷滚筒挠曲变形的影响规律，建立筒体部分长为 1.85 m 和 1.05 m 的常规印刷滚筒模型，筒体外径、芯轴直径和支承处直径与新型印刷滚筒保持一致，分别为 0.394、0.12、0.1 m，其三维模型见图 1b。

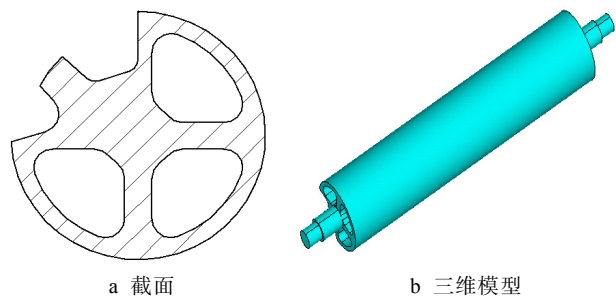


图 1 常规印刷滚筒的截面图与三维模型
Fig.1 Cross-sectional view and three-dimensional model of regular printing cylinder

1.2 数值模拟与结果分析

因软件接口的差异性，非标三维模型的相互转换可能造成部分曲面丢失，因此将常规印刷滚筒导入有限元分析软件 Ansys 后应进行适当的模型补充工作^[9]。常规印刷滚筒模型轴向高度对称，为加快计算速度，取二分之一的滚筒模型进行有限元分析，且在模型截断处施加对称边界条件。此外，网格划分和约束对结果是否符合实际产生重要影响^[10—11]，针对

不规则的常规印刷滚筒结构，分析采用具有二次位移模式的高阶 3 维 20 节点固体结构的 SOLID186 单元进行自由网格划分^[12]，图 2a 为常规印刷滚筒网格划分模型。滚筒材料为 HT300，其材料属性见表 1。

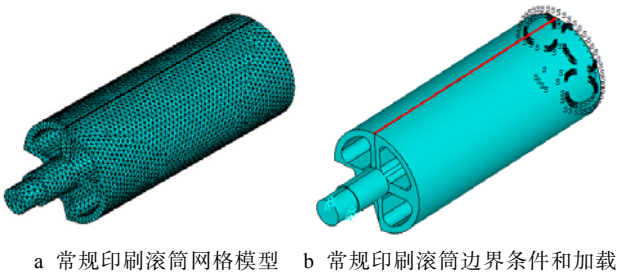


图 2 常规印刷滚筒有限元模型
Fig.2 Finite element model of regular printing cylinder

表 1 材料属性
Tab.1 Material property

材料	弹性模量/GPa	泊松比	密度/(kg·m ⁻³)
HT300	124	0.25	7395
45 钢	210	0.31	7850
Q235	204.5	0.25	7850

印刷滚筒实际运转过程中的印刷压力一般介于 0.8 ~ 1.2 MPa 之间，该分析取印刷压力为 1.2 MPa，接触区域宽为 0.007 m，且假定印刷压力均匀分布在滚筒接触区域范围内部，采用面压力方式进行加载^[13—14]。此外，还应研究滚筒重力对挠曲变形的影响，常规印刷滚筒边界条件和加载见图 2b。

分别给出了是否考虑重力影响的 1.85 m 和 1.05 m 常规印刷滚筒挠曲变形云图，见图 3—4，通过提取加载区域轴向节点的挠曲变形值，可得出印刷滚筒挠曲变形曲线，见图 5。需要说明的是，图 5 中横坐标原点为印刷滚筒筒体部分左边界位置，横坐标值越大，表明离印刷滚筒轴向中间位置越近。从图 5 可以看出，常规印刷滚筒的挠曲变形规律不随筒体长度或是否考虑重力的变化而变化，整体来看均呈抛物线趋势变化，且挠曲变形由筒体端部向筒体轴向中间位置逐渐增大，这是由于滚筒端部受到轴承支承，因而挠曲变形较小。具体而言，不考虑重力的情况下，1.85 m 和 1.05 m 的常规印刷滚筒最大挠曲变形值分别为 0.052 mm 和 0.0181 mm，施加重力后，其挠曲变形最大值分别为 0.0777 mm 和 0.0276 mm，即施加重力之后，常规印刷滚筒最大挠曲变形值增加幅度分别为 49.4%和 52.5%，表明重力载荷对印刷滚筒挠曲变形的影响较大，而挠曲变形过大是导致印刷滚筒局部印刷压力不足、印品质量不高的主要因素，因此，降低印刷滚筒挠曲变形和控制滚筒质量是进行新型印刷滚筒结构设计的重要研究目标。

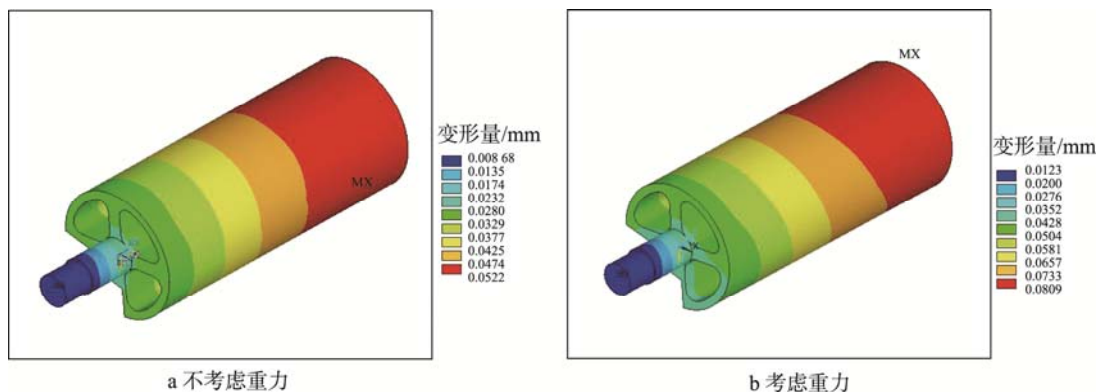


图 3 1.85 m 常规印刷滚筒挠曲变形云图

Fig.3 Flexural deflection nephograms of 1.85 meters regular printing cylinder

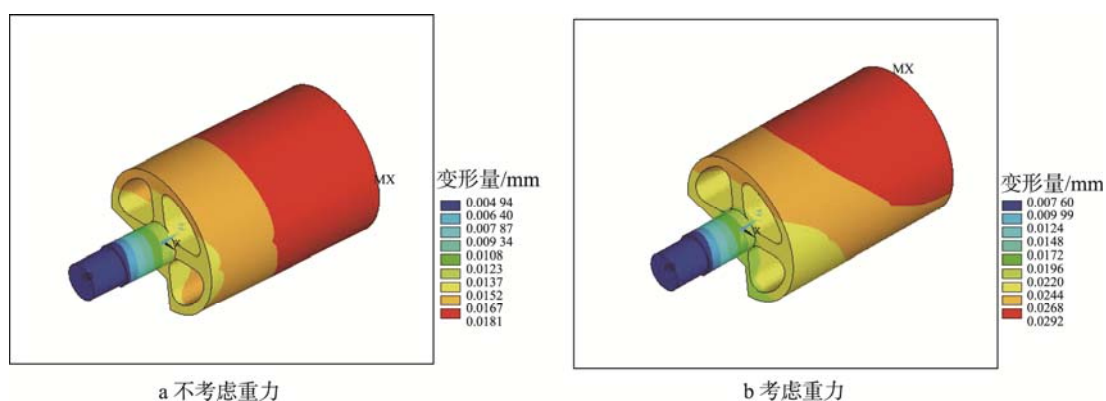


图 4 1.05 m 常规印刷滚筒挠曲变形云图

Fig.4 Flexural deflection nephograms of 1.05 meters regular printing cylinder

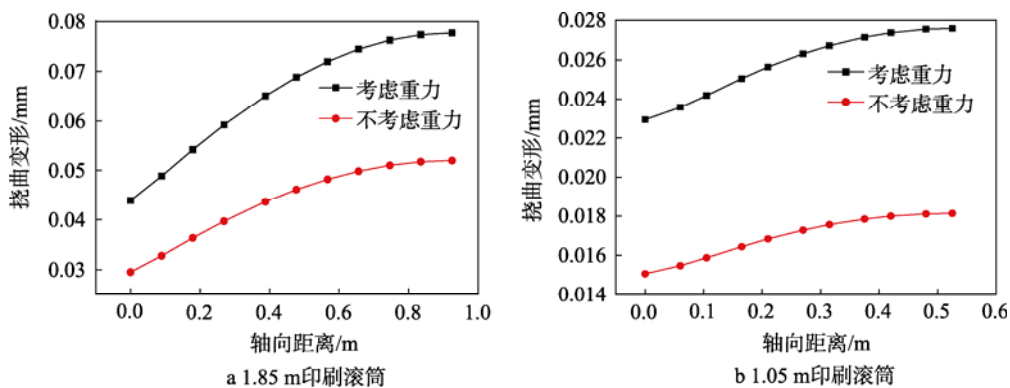


图 5 常规印刷滚筒挠曲变形曲线

Fig.5 Flexural deflection curve of regular printing cylinder

此外,从印刷滚筒加工工艺的角度来看,进行滚筒铸造时不可避免地会产生渣眼、锁孔和缩松等问题^[15],且因印刷滚筒属于长筒型零件,不利于后期对铸造问题进行处理,但承受印刷压力和自身重力共同作用下的印刷滚筒将会放大这些铸造缺陷,特别是在挠曲变形最大的印刷滚筒中间部分,这一问题将变得更加明显,严重影响印刷滚筒的安全服役,若要避免铸造缺陷对印刷滚筒印刷性能的限制,则需要从根本上改变印刷滚筒的结构设计方法并选用其他刚度较好的材料。

2 变刚度印刷滚筒结构设计及挠曲变形分析

2.1 变刚度印刷滚筒三维建模

针对普通印刷滚筒存在过重、变形量过大和铸造瑕疵等问题,文中提出一种新型结构的变刚度印刷滚筒,总体设计思路:首先,为保持印刷滚筒的通用性,变刚度印刷滚筒的总长和筒体外径与常规印刷滚筒保持不变,仅改变筒体内部结构和材料;其次,为有效降低滚筒轴向中间部分的挠曲变形和减轻滚筒重

量,变刚度印刷滚筒采用芯轴和轴向分布 4 个筋板的结构形式代替常规印刷滚筒铸造成型的筒体,同时,在中间部分的 2 个筋板之间设计有内撑板作为安装滚筒附件的空档部分。材料方面,其芯轴和筒体采用强度和切削性能更好的 45 钢,并进行调质热处理工艺,筋板和内撑板为抵抗塑性变形和焊接性能更好的 Q235 材料^[16],其材料属性见表 1,变刚度印刷滚筒三维模型和实物模型见图 6a 和图 6b,变刚度印刷滚筒外形尺寸参数见表 2。

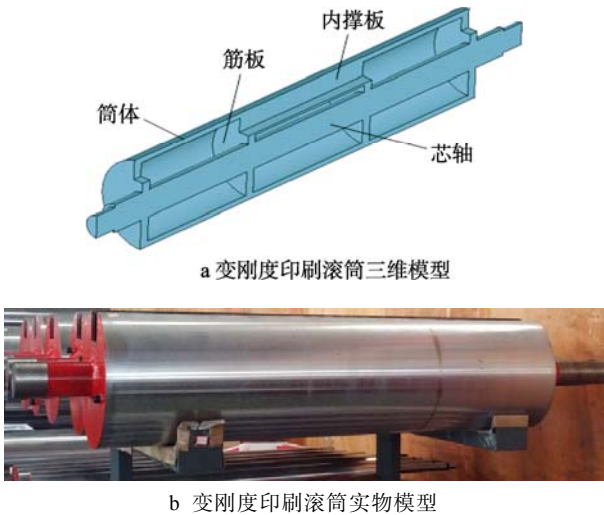


图 6 变刚度印刷滚筒模型
Fig.6 Model of variable stiffness printing cylinder

表 2 变刚度印刷滚筒外形尺寸
Tab.2 Outline dimension of variable stiffness printing cylinder

滚筒长度 L	筒体外 径 D	芯轴直 径 D_1	滚筒壁 厚 B	筋板厚 度 J	支承处直 径 D_2
1850/1050	394	120	24	40	100

2.2 有限元建模

因变刚度印刷滚筒形状较为规整,不存在常规印

刷滚筒的曲面造型情况,且变刚度印刷滚筒芯轴、滚筒和筋板的材料不一致,有限元分析时给滚筒各个部位分配的材料存在区别,因此直接在 Ansys 软件中建立变刚度印刷滚筒模型,并根据表 1 为滚筒设置材料属性。同样,变刚度印刷滚筒也属于轴向高度对称模型,为提高计算效率,截取滚筒模型的 1/2 并在截面处施加对称边界条件。此外,为控制变量的一致性,与常规印刷滚筒形成有效对比,变刚度印刷滚筒在网格、约束和加载的处理方式和常规印刷滚筒保持一致,同时,由上文研究结论可知重力载荷对挠曲变形分析的影响较大,因此对变刚度印刷滚筒挠曲加载时也将考虑重力载荷的影响,变刚度印刷滚筒网格模型见图 7a,变刚度印刷滚筒边界条件和加载见图 7b。

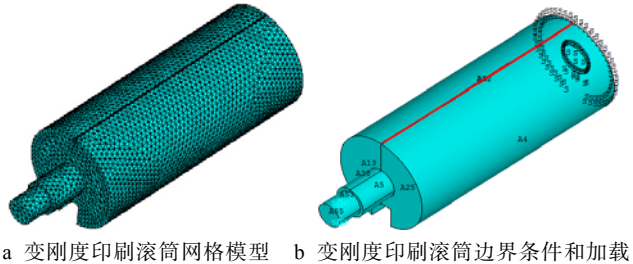


图 7 变刚度印刷滚筒有限元模型
Fig.7 Finite element model of variable stiffness printing cylinder

2.3 结果分析

给出了考虑重力影响下的 1.85 m 和 1.05 m 变刚度印刷滚筒挠曲变形云图见图 8。通过提取加载区域轴向节点的挠曲变形值,并与常规印刷滚筒考虑重力影响下的挠曲变形值形成对比,结果见图 9,可以看出,1.85 m 和 1.05 m 变刚度印刷滚筒分别在距离端部 0.57 mm 和 0.32 mm 附近有稍许下降,这是由于该处设计有筋板所致,其整体的变形规律与常规印刷滚筒保持一致,即挠曲变形由筒体端部向筒体轴向中间位置逐渐增大,且得益于全新的结构设计和材料的运

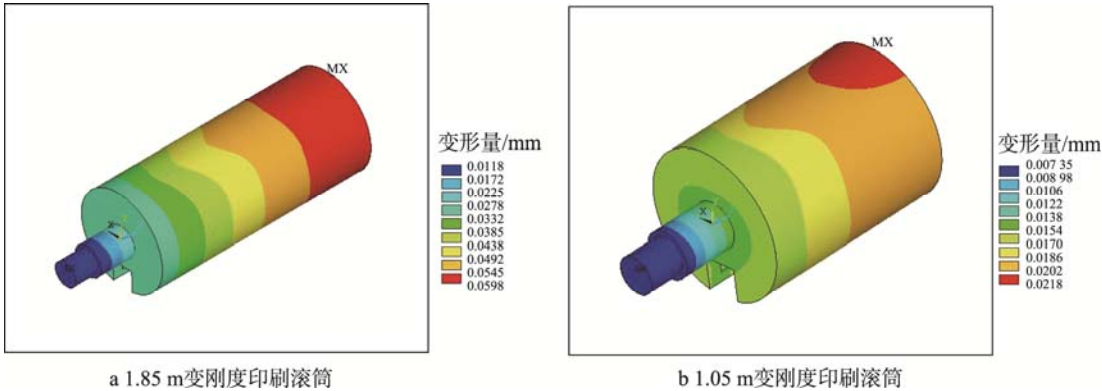


图 8 变刚度印刷滚筒挠曲变形云图
Fig.8 Flexural deflection nephograms of variable stiffness printing cylinder

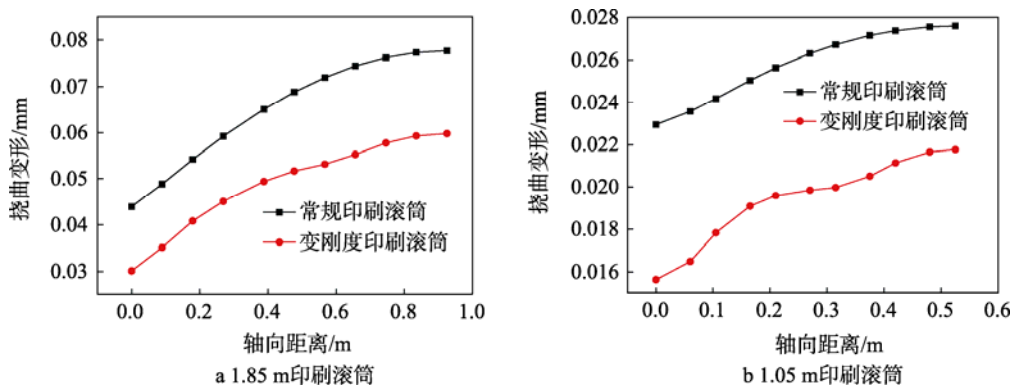


图9 变刚度印刷滚筒与常规印刷滚筒挠曲变形曲线对比

Fig.9 Contrast of flexural deflection curve between regular printing cylinder and variable stiffness printing cylinder

用,变刚度印刷滚筒挠曲变形相比常规印刷滚筒而言整体明显下降,具体来看,1.85 m和1.05 m常规印刷滚筒最大挠曲变形值分别为0.0777 m和0.0276 m,1.85 m和1.05 m变刚度印刷滚筒最大挠曲变形值分别为0.0598 m和0.0218 m,降幅分别为23%和21%。通过提取滚筒质量可以得出,1.85 m和1.05 m常规印刷滚筒质量分别为834.72 kg和487.9 kg,1.85 m和1.05 m变刚度印刷滚筒质量分别为698.94 kg和439.4 kg,降幅分别为16.3%和9.9%,因此,变刚度印刷滚筒结构设计方法在明显降低挠曲变形的同时,滚筒质量也能得到较好的控制。

3 结语

常规印刷滚筒挠曲变形较大,且重力对挠曲变形有重要影响,进行有限元分析时不能忽略不计。

变刚度印刷滚筒采用了全新的结构设计方法,从根本上避免了常规印刷滚筒铸造缺陷对印刷性能的限制。

经过变刚度结构设计方法后的印刷滚筒,其挠曲变形最大值能得到一定程度的降低,滚筒质量也能得到较好地控制。

文中论述了常规印刷滚筒结构设计方法的不足和变刚度印刷滚筒结构设计方法的思路,并进行了挠曲变形对比分析,将对印刷滚筒的结构设计提供全新的思路。

参考文献:

- [1] LAL R, RANI R. Axisymmetric Vibrations of Composite Annular Sandwich Plates of Quadratically Varying Thickness by Harmonic Differential Quadrature Method[J]. Acta Mechanica, 2015, 226(6): 1993—2012.
- [2] 王仪明, 蔡吉飞, 赵吉斌. 高速胶印机关键技术研究现状及进展[J]. 中国机械工程, 2007, 18(10): 1255—1258.

WANG Yi-ming, CAI Ji-fei, ZHAO Ji-bin. Research and Development of Key Technologies for High Speed Offset Press[J]. China Mechanical Engineering, 2007, 18(10): 1255—1258.

- [3] 张少华, 王仪明. 胶印机印刷压力分布规律的理论及实验研究[J]. 包装工程, 2010, 31(7): 60—62.
ZHANG Shao-hua, WANG Yi-ming. Pressure Distribution of the Offset Printing[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(7): 60—62.
- [4] 冯载荣. 胶印机印刷滚筒的性能分析与结构优化研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2009.
FENG Zai-rong. A Study of the Performance Analysis and Structural Optimization of the Printing Cylinder of the Offset Press[D]. Xian: Xi'an University of Science and Technology, 2009.
- [5] 丁兵, 姜玲莲, 吕文阁, 等. 基于 ANSYS 的印刷机滚筒结构优化[J]. 机电工程技术, 2009, 38(10): 28—30.
DING Bing, JIANG Ling-lian, LYU Wen-an, et al. An Optimization of Printing Machine Roller Structure Based on ANSYS[J]. Mechanical and Electrical Engineering Technology, 2009, 38(10): 28—30.
- [6] 詹磊, 杨新艳, 吴敏. 基于有限差分法的印刷滚筒挠度计算[J]. 广西轻工业, 2008, 24(10): 37—39.
ZHAN Lei, YANG Xin-yan, WU Min. Printing Cylinder Deflection Calculation Based on Finite Difference Method[J]. Guangxi Journal of Light Industry, 2008, 24(10): 37—39.
- [7] 海德堡印刷机械公司. 印刷媒体技术手册[M]. 广州: 世界图书出版公司, 2004.
Heidelberg Printing Equipment Co. Ltd. Printed Media Technical Manual[M]. Guangzhou: World Publishing Corporation, 2004.
- [8] 程常现. 赛鲁迪凹版挠性压印滚筒[J]. 印刷机械, 1986, 6(2): 12—15.
CHENG Chang-xian. Cerutti Gravure Flexible Impression Cylinder[J]. Printing Machinery, 1986, 6(2): 12—15.
- [9] 王军利, 冯博琳, 熊超, 等. 称量传感器标定装置进给系统的动态特性分析[J]. 包装工程, 2017, 38(15): 111—115.

- WANG Jun-li, FENG Bo-lin, XIONG Chao, et al. Dynamic Characteristic Analysis of Feeding System of Weighing Sensor Calibration Device[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(15): 111—115.
- [10] 李涛, 左正兴, 廖日东. 结构仿真高精度有限元网格划分方法[J]. 机械工程学报, 2009, 45(6): 304—308.
LI Tao, ZUO Zheng-xing, LIAO Ri-dong. Meshing Method of High Precision FEM in Structural Simulations[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(6): 304—308.
- [11] 李文威, 陈南, 解鹏程. 胶印机整机有限元建模与综合分析[J]. 包装工程, 2010, 31(15): 25—29.
LI Wen-wei, CHEN Nan, XIE Peng-cheng. Finite Element Modeling and Synthesis Analysis of Offset Press[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(15): 25—29.
- [12] 孙雪梅, 赵国群. 悬臂铝合金型材伪分流挤压模具结构设计及其强度分析[J]. 机械工程学报, 2013, 49(24): 39—44.
SUN Xue-mei, ZHAO Guo-qun. Fake Porthole Extrusion Die Structure Design and Strength Analysis for Cantilever Aluminum Alloy Profiles[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2013, 49(24): 39—44.
- [13] 季有昌. 基于 Ansys 的推土机平衡梁有限元分析与结构改进研究[J]. 机械强度, 2014, 36(4): 592—599.
JI You-chang. Research on Finite Element Analysis and Structure Improvement of Bulldozer Balance Beam Based on Ansys[J]. Journal of Mechanical Strength, 2014, 36(4): 592—599.
- [14] 张凯乐, 黄颖为, 薛凤梅. PZ1650 橡皮滚筒受力分析的研究[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 55—57.
ZHANG Kai-le, HUANG Ying-wei, XUE Feng-mei. Force Analysis of Blanket Cylinder of PZ1650 Printing Machine[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 55—57.
- [15] 黄书林, 陈怡, 杨刚, 等. 厚壁件铸造工艺设计及数值模拟优化[J]. 热加工工艺, 2016, 45(7): 105—108.
HUANG Shu-lin, CHEN Yi, YANG Gang, et al. Design of Casting Process for Thick Walled Casting and Optimization of Numerical Simulation[J]. Hot Working Technology, 2016, 45(7): 105—108.
- [16] 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 Hai-sheng, ZHANG Yu, DENG Hong-chuang, et al. Effect of Welding Process Parameters on Welding Residual Stress of Q235 Steel[J]. Hot Working Technology, 2015, 44(5): 169—171.