

胶印机滚筒结构的拓扑及尺寸优化设计

沈 斌, 傅燕鸣, 吴 宵, 郭 娟

(上海大学, 上海 200072)

摘要: 胶印机滚筒在印刷压力作用下的挠曲变形是影响印品质量的重要原因。以 PZ1740 胶印机橡皮滚筒为研究对象,提出了一种基于拓扑优化和尺寸优化的橡皮滚筒结构设计方法。建立了滚筒结构的二维拓扑模型,以应变能最小为目标,体积分数作为约束,得到滚筒结构的拓扑分布;在拓扑构型基础上,建立了滚筒结构的参数化模型,以挠曲变形最小为目标,结构质量作为约束条件进行尺寸优化,得到了滚筒具体的结构。优化分析结果表明,优化后的滚筒结构在质量约束的条件下有效地减小了挠曲变形,提出的方法在胶印机滚筒结构优化设计中可行且有效。

关键词: 胶印滚筒; 拓扑优化; 尺寸优化; 结构优化

中图分类号: TS803 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)21-0024-03

Topology and Sizing Optimization for Structure Design of Printing Cylinder

SHEN Bin, FU Yan-ming, WU Xiao, GUO Juan

(Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: The flexural deformation of printing cylinder under the printing pressure is an important factor influencing printing quality. Structural design method of printing cylinder based on topology optimization and size optimization was put forward with an example of PZ1740 blanket cylinder. In topology optimization, two-dimensional topological model was established; the topology distribution was obtained with minimizing compliance as objective and volume fraction as constraint. Parametric model of printing cylinder was built for size optimization; detailed structure of printing cylinder was obtained using minimizing flexural displacement objective and mass as constraint. The optimization results showed that printing cylinder structure can effectively reduce flexural displacement under constraint mass; the proposed method is feasible and effective for optimal design of offset printing cylinder.

Key words: printing cylinder; topology optimization; size optimization; structure optimization

胶印机滚筒作为胶印机的核心部件,其在印刷压力作用下的挠曲变形直接影响着印品质量。为了改善这种压印力分布的不均匀^[1],必须改进其滚筒结构,提高滚筒自身的抗弯刚度。目前,国内的胶印机滚筒结构设计大多数凭设计人员以往的工程经验或采用类比法得到各种设计参数,很少能对滚筒结构进行理论分析和设计。这样就使得胶印机滚筒的结构没有得到合理的布置,不仅影响滚筒的结构性能,同时也造成材料的浪费和质量的增加。由此,采用规范化的结构设计优化分析技术^[2-3]对胶印机滚筒进行

结构设计具有重要的意义。

文中提出的基于拓扑优化和尺寸优化的橡皮滚筒结构设计方法,是通过建立橡皮滚筒结构的二维拓扑模型,以应变能最小为目标,体积分数作为约束,得到橡皮滚筒结构的拓扑分布;在拓扑优化结果的基础上,建立橡皮滚筒结构的参数化模型,以挠曲变形最小为目标,结构质量作为约束条件,通过尺寸优化最终得到橡皮滚筒的各种设计参数,实现橡皮滚筒的结构设计优化。

收稿日期: 2012-08-08

作者简介: 沈斌(1988-),男,浙江湖州人,上海大学硕士生,主攻印刷机械结构优化设计、动力学分析。

1 胶印机橡皮滚筒结构的拓扑优化

胶印机橡皮滚筒一般都是铸造的圆柱体,有一个空档部分安装橡皮布的装夹和张紧机构,圆周上剩下部分为有效印刷区域,一般采用带辐射的加强筋结构,见图1。

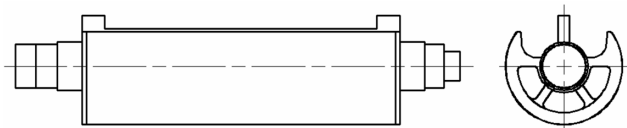


图1 PZ1740 胶印机橡皮滚筒的结构

Fig. 1 The structure of PZ1740 offset blanket cylinder

拓扑优化设计是指一种根据约束、载荷及优化目标而寻求结构材料最佳分配的优化方法^[4]。文中首先简化橡皮滚筒结构,建立二维的壳单元有限元模型,将单元划分为优化设计区域和不优化区域,然后通过拓扑优化过程,求得橡皮滚筒结构材料的最优分布。

1.1 拓扑优化方法

变密度法是由 M. P. Bendsoe^[5], G. I. N. Rozvany^[6]等人提出的一种拓扑优化方法,是以区间(0,1)内的密度值为设计变量,直接定义一个经验公式来表达密度与弹性模量间假定的函数关系。这样,结构的拓扑优化问题就被转换为材料的最优分布问题,实质是将拓扑变量依附于单元材料上,以便应用基于连续变量的优化算法。

SIMP^[7]是在变密度法的基础上提出来的,主要通过引入惩罚因子,在材料的弹性模量和单元相对密度之间建立起一种显式的非线性对应关系。它的作用是当设计变量的值在(0,1)之间时,对中间密度值进行惩罚,使中间密度值逐渐向0/1两端聚集,这样可以使连续变量的拓扑优化模型能很好地逼近原来{0-1}离散变量的优化模型。

1.2 拓扑优化数学模型

文中的主要目的是尽可能提高橡皮滚筒自身的抗弯刚度,使结构的刚度最大化,即柔度最小化。柔度用应变能来定义,优化目标可以转化为柔度最小化。同时橡皮滚筒的质量要最小,所以以优化区域的体积分数作为约束条件。于是,橡皮滚筒的拓扑优化的数学模型为:

$$\min S(\rho) = \sum_{i=1}^n C_i(\rho)$$

约束条件为:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m V_j \rho_j^i \right) - V \leq 0 \\ 0 < \rho < 1 \\ i = 1, \dots, n \\ j = 1, \dots, m \end{cases}$$

式中: V_j 为第 j 个单元的体积; V 为优化区域体积分数; ρ 为密度单元。

1.3 拓扑优化有限元模型

简化后橡皮滚筒二维拓扑有限元模型见图2,将

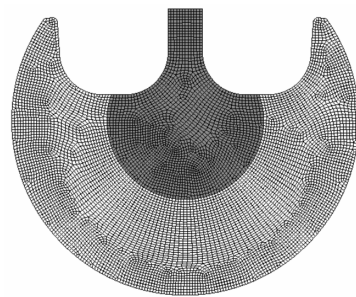


图2 PZ1740 橡皮滚筒的有限元模型

Fig. 2 Finite element model of PZ1740 blanket cylinder

外圆弧部分设置为优化设计区域,内圆部分设置为不优化区域,设置材料为 HT250,密度为 7340 kg/m^3 ,弹性模量为 155 GPa ,泊松比为 0.27 。将优化部分内圆弧处设置为固定约束,外圆弧处施加均布载荷 150 N/cm^2 印刷压力,并采用 Optistruct 软件进行结构拓扑优化设计。

1.4 拓扑优化结果

拓扑优化结果给出了橡皮滚筒优化设计区域的最佳材料分布方案,橡皮滚筒结构的拓扑优化结果见图3。

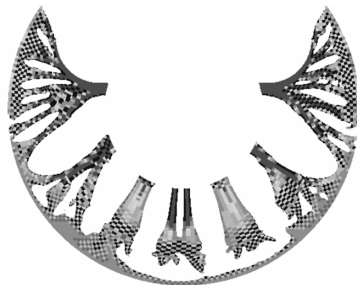


图3 PZ1740 橡皮滚筒拓扑优化结果

Fig. 3 The topology optimization result of PZ1740 blanket cylinder

图 3 中有几个现象值得注意:滚筒结构应该采用由小到大的带辐射加强筋结构,加强筋底部应该分布更多的材料;最左侧和最右侧的加强筋下端应该分布较多的材料,中间部分的加强筋显然不是很重要,为了减小橡皮滚筒的质量,这里予以放弃。

2 胶印机橡皮滚筒结构的尺寸优化

拓扑优化属于结构的概念设计阶段,通过拓扑优化得到了滚筒结构的材料布局方案。尺寸优化则属于结构的详细设计阶段,通过尺寸优化将得到加强筋厚度、加强筋位置、圆角弧度等具体尺寸。

2.1 尺寸优化数学模型

对橡皮滚筒结构进行尺寸优化的目的在于满足印刷要求的前提下,设计出质量最小,抗弯刚度最大的橡皮滚筒结构,该优化设计问题可描述为:

$$\begin{cases} X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\} \\ \min f(x) \end{cases}$$

约束条件为:

$$\begin{cases} m(X) \leq m_{\max} \\ X \in [X_L, X_U] \end{cases}$$

式中: X 为设计变量, N 为设计变量数目; $f(x)$ 为目标函数,即橡皮滚筒的挠曲变形量; $m(X)$ 为橡皮滚筒的质量; $m_{\max}$ 为橡皮滚筒最大允许质量; X_L 和 X_U 为设计变量的上限和下限。

2.2 尺寸优化结构参数化模型

根据橡皮滚筒的原始结构和拓扑优化结果建立尺寸优化的参数化模型,见图 4。采用有限元软件

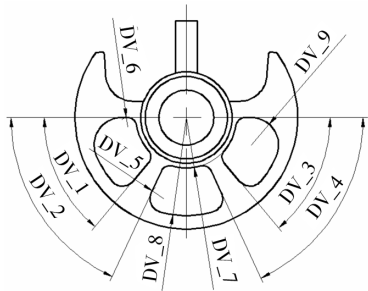


图 4 PZ1740 橡皮滚筒参数化模型

Fig. 4 The parameterized model of PZ1740 blanket cylinder

Ansyes Workbench 作为参数化建模和求解手段,优化过程设置中心实心轴半径、筋板弧度、筋板厚度、圆角弧度、壁厚为变量,挠曲变形量为目标,结构质量为约

束条件,通过 Design Explorer 中的目标驱动优化,得到橡皮滚筒结构的详细设计尺寸。

2.3 尺寸优化结果

通过尺寸优化得到如表 1 所示的 PZ1740 橡皮滚筒结构详细设计尺寸。在质量约束的条件下,橡皮滚筒的挠曲变形量由原来的 0.1784 mm 降低到 0.1659 mm,挠曲变形量减小了 7%。优化结果说明原有凭经验或通过类比法设计橡皮滚筒结构的方法不是很科学,结构材料没有得到充分利用。

表 1 PZ1740 橡皮滚筒结构优化前后尺寸对比
Tab.1 The size of PZ1740 blanket cylinder before and after structural optimization

名称	原有设计	优化结果
DV_1	55°	50°
DV_2	55°	65°
DV_3	55°	50°
DV_4	55°	65°
DV_5	10 mm	20 mm
DV_6	10 mm	10 mm
DV_7	55 mm	55 mm
DV_8	103 mm	106 mm
DV_9	10 mm	30 mm
总质量/kg	141.06	143.67
挠曲变形量/mm	0.1784	0.1659

3 结论

提出了一种基于拓扑优化和尺寸优化的结构设计方法,针对 PZ1740 胶印机橡皮滚筒进行了结构优化设计。结果表明,优化后的橡皮滚筒在满足质量约束的条件下,挠曲变形量减小了 7%,从而证明提出的方法具有可行性和有效性。通过拓扑优化和形状优化相结合的方法避免了滚筒结构设计中的盲目性,并对胶印机中其他滚筒结构性能的改进具有重要意义。

参考文献:

[1] 张少华,王仪明,武淑琴,等. 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, WU Shu-qing. Pressure Distribution of the Offset Printing [J]. Package Engineering, 2010, 31(7): 60-62.

- [2] 刘乘,任亚东. 几种常用缓冲材料性能的研究[J]. 包装工程,2010,31(7):117-119.
LIU Cheng,REN Ya-dong. Research on Properties of Several Cushion Materials[J]. Packaging Engineering,2010,31(7):117-119.
- [3] BRANDENBURG R K,LEE J J L. Fundamentals of Packaging Dynamics[M]. USA:MTS System Corporation,1985.
- [4] 罗兰. 常用缓冲材料动态压缩特性研究[J]. 包装工程,1996,17(5):10-13.
LUO Lan. Research on Dynamic Compression Properties of Cushioning Materials[J]. Packaging Engineering,1996,17(5):10-13.
- [5] 冯勇. EPE 缓冲材料双向性能比较分析[J]. 中国包装工业,2007(10):47-48.
FENG Yong. Comparison and Analysis for Double Direction Performances of Cushioning Materials[J]. China Packaging Industry,2007(10):47-48.
- [6] 霍银磊. 低密度泡沫塑料的结构及其力学行为[D]. 无锡:江南大学,2008.
HUO Yin-lei. The Study of Structure and Mechanics Behavior of Low Density Foamed Plastics[D]. Wuxi:Jiangnan University,2008.
- [7] 高德,卢富德. 聚乙烯缓冲材料多自由度跌落包装系统优化设计[J]. 振动与冲击,2012,31(3):69-72.
GAO De,LU Fu-de. Optimization Design of MD of Package Cushioning System Made of Polyethylene[J]. Vibration and Shock,2012,31(3):69-72.
- [8] 计宏伟,王怀文. 基于高速图像测量技术的缓冲材料缓冲性能的表征[J]. 振动与冲击,2011,30(9):216-220.
JI Hong-wei,WANG Huai-wen. Characterization of Dynamic Cushioning Property of Cushioning Material Based on High-speed Image Measurement Technology[J]. Vibration and Shock,2011,30(9):216-220.
- [9] MILLS N J, MASSO-MOREU Y. Finite Element Analysis (FEA) Applied to Polyethylene Foam Cushions in Package Drop Tests[J]. Packaging Technology and Science,2005,18(1):29-38.
- [10] 徐开启. 基于 CFdesign 的军用爆炸品铁路运输温度仿真研究[J]. 军事交通学院学报,2010,12(5):9-12.
XU Kai-qi. Temperature Simulating of Military Explosives Through Railway Transportation Based on CFdesign[J]. Journal of Academy of Military Transportation,2010,12(5):9-12.
- [11] 龙恩深. 太阳辐射下汽车的停放实验及安全警示[J]. 学术论坛,2003:14-16.
LONG En-shen. Parking Test and Safety Warning of Cars under Sun Radiation[J]. Research Forums,2003:14-16.
- [12] 林红茵. 经过暴晒的车内温度最高是多少? [EB/OL] (2010-07-31). http://www.jhnews.com.cn/zzxb/2010-07/31/content_1152297.htm.
LIN Hong-yin. What's the highest temperature in the car exposed to sunlight? [EB/OL] (2010-07-31). http://www.jhnews.com.cn/zzxb/2010-07/31/content_1152297.htm.
- [13] FedEx. Packaging Pointers-Perishable Shipments[EB/OL] (2012). http://www.themailcenteretc.com/pdf/pointers_perishable.pdf.
- [14] AVALLE M, BELINGARDI G, MONTANINI R. Characterization of Polymeric Structural Foams under Compressive Impact Loading by Means of Energy-absorption Diagram [J]. International Journal of Impact Engineering,2001.
- [15] MARCONDES J, HATTON K, GRAHAM J, et al. Effect of Temperature on the Cushioning Properties of Some Foamed Plastic Materials [J]. Packaging Technology and Science,2003.

(上接第 26 页)

- [2] 王伟,杨伟,赵美英. 大展弦比飞翼结构拓扑、形状与尺寸综合优化设计[J]. 机械强度,2008,30(4):596-600.
WANG Wei,YANG Wei,ZHAO Mei-ying. Intergrate Topology/shape/size Optimization into Hign Aspect-ratio Wign Design[J]. Mechanical Strength,2008,30(4):596-600.
- [3] 李民,舒歌群,卫海桥. 基于拓扑优化和形状优化的低噪声齿轮室罩盖设计[J]. 内燃机工程,2008,29(6):55-59.
LI Min,SHU Ge-qun,WEI Hai-qiao. Design of a Low Noise Engine Gear Cover Based on Topology and Shape Optimization[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering,2008,29(6):55-59.
- [4] 李凌飞. 基于变密度法的结构拓扑优化研究[D]. 长春:吉林大学,2007.
LI Ling-fei. The Research of Structure Topology Optimization Based on Variable Density Method[D]. Changchun:Jilin University,2007.
- [5] BENDSOE M P, KIKUCHI N. Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenization Method [J]. Comput Methods Appl Mech Engrg,1988,71:197-224.
- [6] ROZVANY G I N, BENDSOE M P, KIRSCH U. Layout Output Optimization of Structures[J]. Appl Mech Rev,1996,48:41-118.
- [7] RIETZ A. Sufficiency of a Finite Exponent in SIMP Power Law Method [J]. Structural and Multidiscipline Optimization,2001,21:159-163.