

平装书籍打包机推书机构的优化设计

章佳丽¹, 雒晶晶², 武吉梅², 李晓娟²

(1.上海出版印刷高等专科学校, 上海 200093; 2.西安理工大学, 西安 710048)

摘要: **目的** 基于 SDB-1 型平装书籍打包机, 以最大压力角的最小化为优化目标, 对其推书机构进行优化设计。**方法** 利用坐标轮换法和黄金分割法分别对推书机构的摆杆滑块机构和摆动从动件凸轮机构进行优化, 在 Matlab 中求得最优解。**结果** 优化得到了推书机构的最优杆长以及最大压力角的最小值。**结论** 优化后的推书机构具有更好的传力性能, 使得推书过程更加平稳。

关键词: 推书机构; 坐标轮换法; 黄金分割法; 优化设计

中图分类号: TS835 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)07-0035-04

Optimal Design of Pushing Mechanism of Paperbound Packer

ZHANG Jia-li¹, LUO Jing-jing², WU Ji-mei², LI Xiao-juan²

(1.Shanghai Publishing and Printing College, Shanghai 200093, China;

2.Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

ABSTRACT: The work, based on the SDB-1 type paperbound packer, aims to optimize the design of pushing mechanism with the minimization of the maximum pressure angle as the optimization goal. By using the coordinate rotation method and the golden section method, the rocker-slider mechanism of the pushing mechanism and the oscillating follower of cam mechanism were optimized, and the optimal solution was obtained in Matlab. After the optimization, the optimal rod length of the pushing mechanism and the minimum value of the maximum pressure angle were obtained. The optimized pushing mechanism has better force transmission properties, with which the pushing process becomes more stable.

KEY WORDS: pushing mechanism; coordinate rotation method; golden section method; optimal design

打包机^[1-2]是将一定数量的叠成摞的书本自动打制成包的印后设备。打包机一般包括以下几个工艺流程^[3]:侧进书、正推书、输纸、裁纸点胶、包书折角、刷胶贴封签、干燥出书。近年来,很多学者对打包机的机构部件进行了研究。2007年,李斌^[4]等对 SDB-1 型平装书籍打包机进行了研究,深入分析了它的生产效率以及稳定性。2009年,陈虹等^[5]对平装书籍打包机的包书作角部件进行了结构设计,对有关重要的尺寸进行了设计和校核,从而提高了打包机的生产效率和包装质量。2010年,陈虹等^[6-7]对书本打包机的送纸部件进行设计,并对其进行了具体的分析,还确定了打包机进书部件的机构组成,并对打包机的进书部件进行了具体结构设计。2012年,魏玉杰等^[8]针对打包机的推书机构在高速运动中产生振动的问题,对其进行了结构动力学分析。2013年,王亮^[9]对自动书本打包机进行了结构设计和具体分析。2015

年,黄江平^[10]在自动打包机的基础上,对凸轮轮廓进行了研究,并对机头模块进行了仿真和分析,从而确定了凸轮轮廓曲线设计合理。

文中在 SDB-1 型平装书籍打包机的基础上,对平装书籍打包机的推书机构进行优化设计。由于推书机构是打包机受力最大的部分,所以对最大压力角 $\alpha_{\max}$ 进行优化,使其达到最小^[11-13],从而达到推书机构能够平稳推书、打包机能够稳定工作的目标。

1 建立数学模型

打包机推书机构见图 1^[13],包括摆杆滑块机构和摆动从动件凸轮机构 2 部分。数学模型分为 3 部分,分别是设计变量、目标函数和约束条件^[14]。不同的数学模型具有不同的优化迭代速度,因此建立准确合理的数学模型是得到最优解的先决条件。

收稿日期: 2016-12-19

基金项目: 国家自然科学基金(11272253, 11202159, 11302003); 陕西省自然科学基金(2016JM5023, 2016JQ5038)

作者简介: 章佳丽(1964—),女,上海出版印刷高等专科学校讲师,主要研究方向为印刷机械结构设计及动态仿真分析。

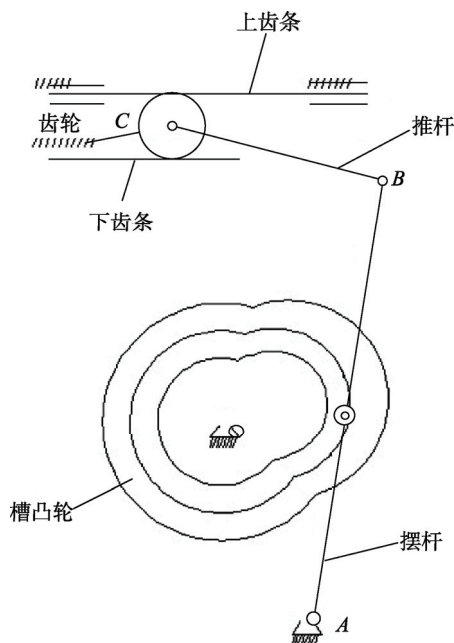


图1 推书机构结构

Fig.1 Structure diagram of pushing mechanism

1.1 摆杆滑块机构

摆杆滑块机构见图2, 其中摆杆 $|AB|=l_1$, 推杆 $|BC|=l_2$, 滑块C位移为 s_i , φ_i 为摆杆的转角, H 为推书的行程, α_1 为机构的压力角。选用摆杆和推杆的杆长 l_1, l_2 作为设计变量: $X_1=(l_1, l_2)^T$ 。

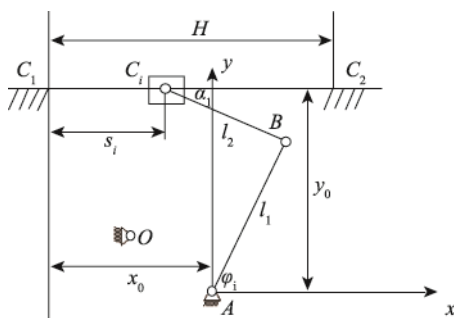


图2 摆杆滑块机构

Fig.2 Rocker-slider mechanism

由图2可得:

$$\tan \alpha_1 = \left| \frac{l_1 \sin \varphi_i - y_0}{x_0 - s_i + l_1 \cos \varphi_i} \right| \quad (1)$$

则有:

$$\alpha_1 = \arctan \left| \frac{l_1 \sin \varphi_i - y_0}{x_0 - s_i + l_1 \cos \varphi_i} \right| \quad (2)$$

φ_i 的求解为:

$$l_2 = \sqrt{(x_0 + l_1 \cos \varphi_i - s_i)^2 + (l_1 \sin \varphi_i - y_0)^2} \quad (3)$$

当 s_i 在 $0 \sim H$ 变化时, 根据式(2)~(3)可以求解出 α_1 的最大值 $\alpha_{1\max}$, 进而选择优化目标函数为: $f_{\min}(\alpha_{1\max}(l_1, l_2))$ 。推书机构的运动范围不能越出SDB-1

型平装书籍打包机的范围, 由此可以得到约束条件:

$$\begin{cases} l_2 \cos \alpha_H - L \leq 0 \\ l_1 - (y_0 + \Delta) \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中: α_H 为 $s_i=H$ 时的压力角; y_0 为摆杆摆动中心A到工作面的垂直距离; Δ 为点B到工作面的垂直距离; L 为滑块的运动初始点到机器边界的水平距离。

1.2 摆动从动件凸轮机构

摆动从动件凸轮机构见图3, 其中摆动杆 $|AK|=l_3$, 摆杆摆动中心与凸轮中心距离 $|AO|=l_0$, 凸轮的基圆半径为 r_0 , 摆杆的转角为 φ , 凸轮转角为 θ , 滚子中心K的线速度方向与法线 nn' 的锐角夹角为机构压力角 α_2 。由凸轮中心连心线AO和法线 nn' 的交点P可以确定从动件与凸轮的速度瞬心, 接着作 $PC \perp AK$, 易得 $\angle KPC = \alpha_2$ 。

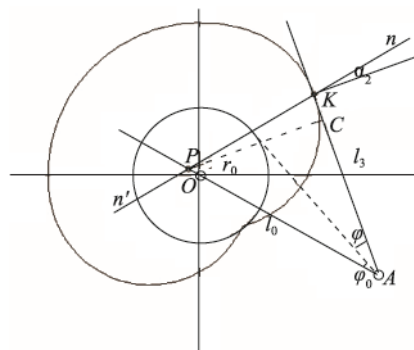


图3 摆动从动件凸轮机构

Fig.3 Oscillating follower cam mechanism

由图3可得, 在直角三角形APC中:

$$|PC| = |AP| \sin(\varphi_0 + \varphi), \quad |AC| = |AP| \cos(\varphi_0 + \varphi) \quad (5)$$

在直角三角形PCK中:

$$\tan \alpha_2 = \frac{|KC|}{|PC|} = \frac{l_3 - |AP| \cos(\varphi_0 + \varphi)}{|AP| \sin(\varphi_0 + \varphi)} \quad (6)$$

由瞬心的概念可得:

$$\frac{d\varphi}{dt} |OP| = \frac{d\varphi}{dt} |AP| \quad (7)$$

已知 $|OP| = |AP| - l_0$, 将它代入式(7)中可求得 $|AP|$ 。再将 $|AP|$ 代入式(6)可得:

$$\tan \alpha_2 = - \frac{l_0 \cos(\varphi_0 + \varphi) - l_3 (1 - d\varphi/d\theta)}{l_0 \sin(\varphi_0 + \varphi)} \quad (8)$$

$$\alpha_2 = \arctan \left| \frac{l_0 \cos(\varphi_0 + \varphi) - l_3 (1 - d\varphi/d\theta)}{l_0 \sin(\varphi_0 + \varphi)} \right| \quad (9)$$

易知 $\varphi_0 = \arccos \frac{l_0^2 + l_3^2 - r_0^2}{2l_0 l_3}$, 其中 $\frac{d\varphi}{d\theta}$ 表示摆杆相对凸轮转角摆动的角度, 称之为类角速度。摆杆的角位移 φ 和类角速度 $\frac{d\varphi}{d\theta}$ 由从动件的运动规律得出。

由式(9)可以求出 $\alpha_{2\max}$, 则选择优化目标函数为 $f_{\min}(\alpha_{2\max}(l_3))$, 约束条件为 $l_3 - l_1 < 0$ 。

2 优化计算

对于摆杆滑块机构, 文中采用的优化方法是坐标轮换法。首先在 l_1 和 l_2 的可行域内选定初始值 $l_{1(0)}$ 和 $l_{2(0)}$ 以及初始步长 Δl_0 , 沿 l_1 方向以步长 Δl 向前搜索一步, 若 $\alpha_{1\max}$ 减小, 则搜索成功。接着继续以该步长沿着 l_1 方向向前搜索。若 $\alpha_{1\max}$ 不减小, 则要减小或者增大步长进行搜索。经过反复的迭代, 直到再向前搜索一步就超出可行域或者 $\alpha_{1\max}$ 增大为止。接着改变搜索方向, 沿着 l_2 方向以 $\Delta l/2$ 的步长重复上面的搜索过程。最终当以很小的步长沿任何方向向前搜索一步, 要么超出可行域要么 $\alpha_{1\max}$ 增大时, 这里的 l_1 和 l_2 就是所求得的最优解。

对于摆动从动件凸轮机构, 采用的优化方法是黄金分割法。给定初始值 $l_{3(0)}$ 及初始步长 Δl_0 , 先搜索能

取到 $f_{\min}(\alpha_{2\max}(l_3))$ 的区间 $[a, b]$, 接着进行迭代。每经过一次迭代, 搜索区间按比例系数 $k \approx 0.618$ 来消去一部分, 直到迭代区间的大小小于规定精度 ε 时, 迭代终止。此时 $\alpha_{2\max}(l_3)$ 的极小值点可从区间中任意选取, 选取的点就是要求的最优解^[15-16]。

根据平装书籍打包机的整机尺寸, 可以确定上述2个机构的数学模型中的 $x_0=510$ mm, $y_0=600$ mm, $L=280$ mm, $\Delta=50$ mm; 机构优化计算的初始值 $l_{1(0)}=607$ mm, $l_{2(0)}=242$ mm, $\Delta l_0=5$ mm, $l_{3(0)}=330$ mm, $\varepsilon=10^{-3}$ 。最后根据各自的优化方法在 Matlab 软件中编写优化设计程序, 运行结果见图4。

由图4a可得摆杆滑块机构的优化结果为: $l_1=627.0781$ mm; $l_2=256.8577$ mm; $\alpha_{1\max}=6.0514^\circ$ 。由图4b可得摆杆从动件凸轮机构的优化结果为: $l_3=238.15$ mm; $\alpha_{2\max}=25.5692^\circ$ 。优化后的杆长保证了最大压力角最小, 从而使传力性能更佳, 打包机的推书过程更加平稳。

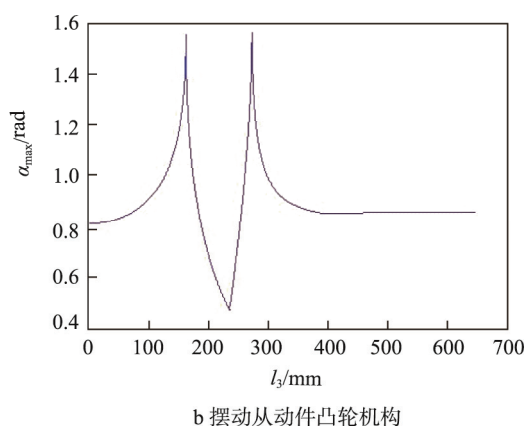
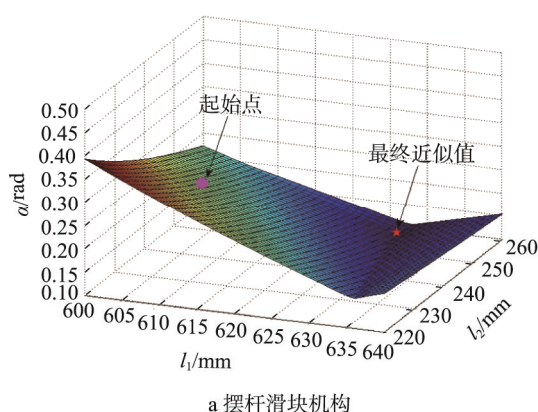


图4 优化结果

Fig.4 Optimization results figure

3 结语

采用坐标轮换法和黄金分割法对组成打包机推书机构的摆杆滑块机构和摆动从动件凸轮机构分别进行了优化, 得到了 $l_1=627.0781$ mm, $l_2=256.8577$ mm, $\alpha_{1\max}=6.0514^\circ$; $l_3=238.15$ mm, $\alpha_{2\max}=25.5692^\circ$ 的优化结果。该方法达到了使推书机构的最大压力角最小的目的, 使得优化后机构设计更加合理, 具有更好的传力性能, 打包机的推书过程更加平稳, 有效地提高了打包机的工作稳定性。

参考文献:

[1] 武吉梅. 印后设备[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
WU Ji-mei. Post-press Equipment[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.

[2] 张海燕. 印刷机与印后加工设备[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2004.
ZHANG Hai-yan. Press and Post-press Equipment[M]. Beijing: Light Industry Press, 2004.

[3] 张选生, 施向东. 印后加工工艺与设备[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2007.
ZHANG Xuan-sheng, SHI Xiang-dong. Post-press Process and Equipment[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2007.

[4] 李斌, 成刚虎, 陈小军. 剖析 SDB-1 型平装书籍打包机[J]. 印刷技术, 2007(4): 50—52.
LI Bin, CHENG Gang-hu, CHEN Xiao-jun. Analysis of SDB-1 Type Paperbound Packer[J]. Printing Techniques, 2007(4): 50—52.

[5] 陈虹, 王芳. 平装书籍打包机包书作角部件结构设计[J]. 包装工程, 2009, 30(12): 62—64.
CHEN Hong, WANG Fang. Structural Design of Book Wrapping and Corner Making Mechanism of Paperbound Packer[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(12):

- 62—64.
- [6] 陈虹, 王芳, 石雯. 书籍打包机送纸部件结构设计[J]. 轻工机械, 2010, 28(4): 30—32.
CHEN Hong, WANG Fang, SHI Wen. Structure Design of Paper Feeding Mechanism of Book Packing Machine[J]. Light Industry Machinery, 2010, 28(4): 30—32.
- [7] 陈虹, 王芳. 平装书籍打包机进书部件结构设计[J]. 包装工程, 2010(9): 77—79.
CHEN Hong, WANG Fang. Structure Design of Book Entering Mechanism of Paperbound Packer[J]. Packaging Engineering, 2010(9): 77—79.
- [8] 魏玉杰, 贺红林. 书本打包机推书机构结构动力学分析[J]. 包装工程, 2012, 33(13): 5—9.
WEI Yu-jie, HE Hong-lin. Structural Dynamics Analysis of the Book Pushing Mechanism of Pook Packer[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(13): 5—9.
- [9] 王亮. 自动书本打包机结构设计与分析[D]. 南昌: 南昌航空大学, 2013.
WANG Liang. Structure Design and Analysis of Automatic Book Packer[D]. Nanchang: Nanchang Hangkong University, 2013.
- [10] 黄江平. 基于自动打包机的凸轮系统综合研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
HUANG Jiang-ping. Research on Cam System Based on Automatic Packaging Machine[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.
- [11] 宋梅利, 王华坤, 尹雷. 打包机械推书机构的创新设计及运动仿真[J]. 包装与食品机械, 2008, 26(4): 8—9.
SONG Mei-li, WANG Hua-kun, YIN Lei. The Innovative Design and Motion Simulation of the Book Pushing Mechanism of Packaging Machinery[J]. Packaging and Food Machinery, 2008, 26(4): 8—9.
- [12] 朱江. 凸轮-连杆组合机构的优化设计[J]. 机械, 2002, 29(2): 24—25.
ZHU Jiang. Optimal Design of Cam Linkage Mechanism[J]. Machinery, 2002, 29(2): 24—25.
- [13] 黄青海. 凸轮-连杆组合机构的分析与综合[D]. 福州: 福州大学, 2006.
HUANG Qing-hai. Analysis and Synthesis of Cam Linkage Mechanism[D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2006.
- [14] 孟兆明, 常德功. 机械最优设计技术及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
MENG Zhao-ming, CHANG De-gong. Mechanical Optimal Design Technique and Application[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2008.
- [15] 郭仁生. 基于 Matlab 和 Pro/Engineer 优化设计实例解析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
GUO Ren-sheng. Example Analysis of Optimum Design Based on Matlab and Pro/Engineer[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2007.
- [16] 王国强. 机械优化设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
WANG Guo-qiang. Mechanical Optimal Design[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2009.