

气动书籍连动装袋装置设计

卢煜海, 毕伟, 马彦杰, 李昊达
(广西大学, 南宁 530004)

摘要: **目的** 设计一种气动书籍连动装袋装置, 以实现书本自动装袋包装的功能。**方法** 通过对书籍包装现状的分析, 研究气动书籍连动装袋装置开袋动作和装袋动作的工艺流程, 设计出一种适合书籍装袋包装的装袋装置, 利用 Matlab 建立运动力学数学模型, 并利用 ADAMS 进行仿真, 最后进行实际测试。**结果** 包装机的包装速度大约为 22 本/min, 包装成功率稳定在 96% 左右, 且破袋率保持在 3% 以下, 包装质量较好。**结论** 该气动书籍连动装袋装置开袋推书动作稳定、高效, 实现了书籍自动装袋功能。
关键词: 气动; 书籍装袋; 连动; 数学模型
中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)07-0146-05

Design of Pneumatic Interlock Book Packaging Device

LU Yu-hai, BI Wei, MA Yan-jie, LI Hao-da
(Guangxi University, Nanning 530004, China)

ABSTRACT: The work aims to design a pneumatic interlock book packaging device, to realize the function of automatic book packaging. Through analyzing the current situation of book packaging, the technological process of opening and packaging actions of the pneumatic interlock book packaging device was studied. A packaging device suitable for book packaging was designed. With the help of Matlab, a mathematical model for kinematic mechanics was established and the simulation thereof was conducted with ADAMS. Finally, the actual test was carried out. The packaging speed of the packaging machine was about 22 books per min. The success rate for packaging remained around 96%, and the breakage rate remained below 3%. The packaging quality was good. The bag opening action of the pneumatic interlock book packaging device is stable and efficient, which realizes the function of automatic book packaging.
KEY WORDS: pneumatic; books packaging; interlock; mathematical model

在图书物流链中, 书籍包装一直是最耗时的环节之一。目前国内书籍包装机械还不成熟, 国外书籍包装机械虽然实现了机电一体化, 但是由于造价高, 维护费用高, 不利于产品批量化生产。国内出售书籍的网店或者印刷厂普遍采取人工操作方式将书籍装入信封进行包装, 这种人工包装方式需先将信封袋口打开, 由于新信封的袋口普遍贴合太紧从而难以打开, 因此人工包装工作量大且效率低^[1]。为缩短图书的包装配送周期、提高图书物流供应链效率、降低劳动者的劳动强度。文中针对专门利用信封包装书籍的特定需求, 研究并设计了一种功能稳定、结构简单的气动书籍连动装袋装置, 可以实现自动化的书籍连续装袋

包装过程, 提高了书籍的装袋包装速度, 减轻了劳动者的工作强度, 具有一定的经济效益和社会效益。

1 工作原理

一种气动书籍连动装袋装置, 包括气动传动机构、推书开袋连动机构以及固定袋口机构。气动传动机构用空压机连接气缸为整个装置提供动力, 气动启动器可以调节气缸内气压的大小来控制向外的推力, 气缸杆带动导轨轴套在导轨上实现往复运动。导轨轴套与推书开袋连动机构连接, 实现将导轨轴套往复运动转化为推书开袋连动机构的推书和开袋动作。固定

收稿日期: 2016-07-14

基金项目: 广西大学国家级大学生创新创业训练计划 (201510593004)

作者简介: 卢煜海 (1970—), 女, 硕士, 广西大学讲师, 主要研究方向为机械装备设计及仿真。

袋口机构上下夹板将信封的舌头夹紧。将需要包装的书籍放在 2 个挡板之间,将信封的舌头用固定袋口机构固定,推台一次将 2 本书籍推动,同时开袋插片插入信封的袋口中并将其打开,随后书本被推入信封中,将装袋后的信封取下,人工翻折信封的舌头进行封口。推台返回初始位置,重复以上动作,实现书籍连续装袋包装功能。气动书籍连动装袋装置见图 1^[2]。

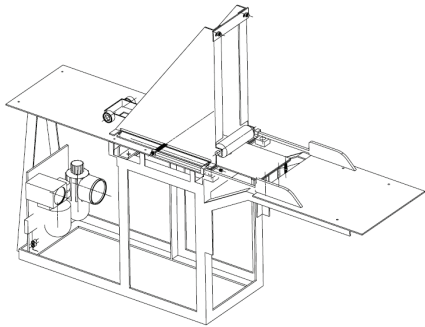


图 1 总设计
Fig.1 Overall design picture

2 总体技术与结构方案设计

2.1 装袋包装工艺需求分析

气动书籍连动装袋装置的工艺流程见图 2。

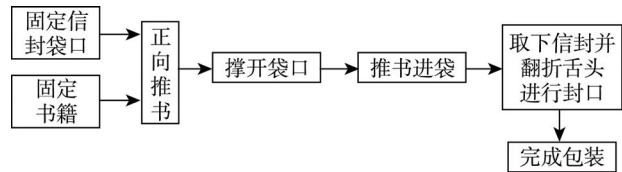


图 2 工艺流程
Fig.2 Diagram of the packing process

将一定数量的信封利用固定袋口机构进行固定,将需要装袋的书本放在 2 个挡板之间;气缸杆带动推书开袋连动机构向前运动从而推动书本;推书开袋连动机构向前运动,在书本到达信封袋口前,2 根推杆上的开袋插片插入信封的袋口,并将信封的袋口撑开;在袋口打开后,书本被推入信封中,凭借与信封之间的摩擦力静止下来;将装袋后的信封从固定袋口机构上取出,人工翻折舌头进行封口,包装完成,推书开袋连动机构返回初始位置,重复以上动作,完成书籍连续包装功能^[3-4]。

2.2 总体技术设计原理

为实现连续书籍装袋包装功能,设计一种可以往复运动的传动机构。为实现“推书—开袋—推书入袋”功能,设计一种推书开袋连动机构,该机构在推书工作台上可以往复运动。其中,推台可以向前推动书本,开袋插片可以插入信封的袋口并将袋口打开。为保证书籍质量,书本运动表面的表面摩擦系数应尽量降到最小,推台上设计导轮,高度略高于推台表面,防止

推台在推书时划伤被推书本上方的书本,将包装的书本损伤降到最小;为保证包装成功率,在信封的前方设计 2 根吹管,向信封吹入一定强度的气流,将信封的袋口打开一部分,提高开袋机构插入并撑开袋口的成功率并降低破袋率;为保障信封质量,将开袋插片的形状设计为平滑曲线型,防止划伤信封的表面,调节气缸气压的大小来控制书本被推入信封的速度,防止书本冲破信封。

2.3 气动书籍连动装袋装置主要机构设计

2.3.1 气动传动机构

该机构以气缸作为动力源,气动启动器一端通过软管与气缸连接,一端用软管与空压机连接。气动启动器调节气缸内压强大小来控制向外的推力。导轨轴套的上部分与气缸杆连接,下部分的 2 个圆柱形套筒与 2 根导轨相配合。气缸杆带动导轨轴套在导轨上实现往复运动的功能,气动传动机构见图 3。

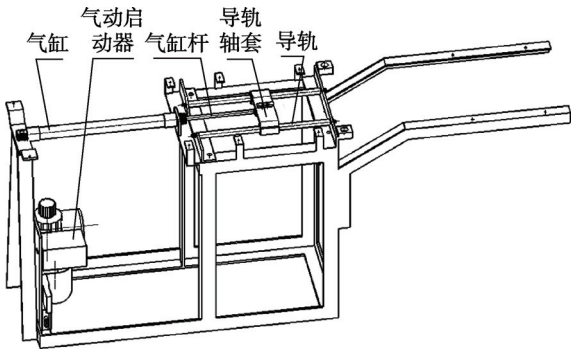


图 3 气动传动机构
Fig.3 Pneumatic drive mechanism

2.3.2 推书开袋连动机构

推台每次可以将 2 本书籍推出,安装在推台上的 4 个滚轮可以减少机构在推书工作台上运动的摩擦阻力,使推书和开袋动作更加平稳,由于滚轮顶部高于推台高度,在该机构完成一次推书开袋动作而返回初始位置时,可以避免推台刮伤推台上方书本的封面。当推台在推书工作台向前推动书籍时,连接在连杆上的 2 根方形推杆同时向前运动,开袋插片插入固定在装袋工作台上信封的袋口中并将袋口撑开,实现打开袋口的功能,随后书本被推入信封中。书籍被推进信封中之后,推台返回初始位置,再反复上述动作,实现书籍连续装袋包装过程,见图 4。

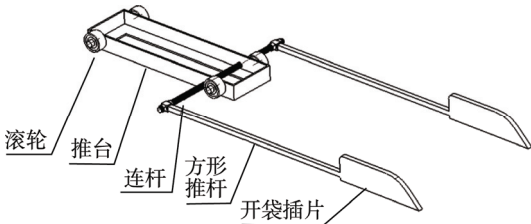


图 4 推书开袋连动机构
Fig.4 Mechanism of pushing books and opening bags

3 气动书籍连动装袋装置的运动力学模型

该装置选用 MAL-20×250 型号的气缸,工作压力 P 为 0.5~0.9 MPa。气缸最大推力 $F_{\max}=PA$, 机构传动系数为 0.7, 气缸外界的推力 $F_{\max}=0.7F$, 因此气缸对外界推力为 270~330 N^[5]。气缸在低速运动过程中, 摩擦力对物体运动过程影响较大, 所受摩擦力大致分为活塞与气缸内壁的摩擦力 F_{f_1} , 导轨套筒与 2 根导轨之间的软轴摩擦力为 F_{f_2} , 推台所受滚动摩擦力为 F_{f_3} , 被推书本运动中所受滑动摩擦力为 F_{f_4} , 因此运动学模型为:

$$(m_1 + m_2 + m_3) \frac{d^2 x}{dt^2} = F - F_f$$

$$F_f = F_{f_1} + F_{f_2} + F_{f_3} + F_{f_4} \quad (1)$$

式中: m_1 为活塞、活塞杆及驱动部件的质量; m_2 为导轨套筒及推书开袋连动机构的质量; m_3 为被推书籍的质量^[6-7]。

3.1 气缸运动摩擦力模型

气缸运动所受摩擦力大多用 LuGre 摩擦模型来解释^[8], LuGre 模型将摩擦的接触面看成是在微观下具有随机行为的弹性鬃毛, 摩擦力由鬃毛的挠曲产生, 一般采用状态变量 z 来表示鬃毛的平均变形, 模型由非线性状态方程和摩擦力方程组成^[9]:

$$\frac{dz}{dt} = v - k \frac{|v|}{g(v)} z$$

$$F_{f_1} = kz + \sigma \frac{dz}{dt} + bv \quad (2)$$

式中: v 为活塞的运动速度; k 为气缸密封圈的轴向刚度; σ 为气缸密封圈的轴向阻尼系数; b 为粘性摩擦因数。在工程中经常采用 Stribeck 气缸摩擦力模型来描述 Stribeck 现象^[10]:

$$g(v) = F_c + (F_s - F_c) e^{-\left(\frac{v}{v_s}\right)^2} + Cv \quad (3)$$

式中: F_s 为最大静摩擦力; F_c 为库仑摩擦力; v_s 为混合润滑区向弹性流体动力润滑区过渡的临界速度; v 为活塞运动速度; C 为粘性摩擦因数。

3.2 轴套滑动摩擦力模型

导轨轴套在反复推拉过程中和导轨存在着轴套滑动摩擦力, 轴套滑动摩擦力的大小与导轨的长度, 导轨弯曲的曲率半径, 导轨的直径有关, 根据最小二

乘回归分析方法推导经验公式: $F_{f_2} = C_f \frac{l^{X_f} d^{Y_f}}{\rho^{Z_f}}$, 两边

取以 10 为底的对数得到: $\lg F_{f_2} = \lg C_f + \lg l^{X_f} + \lg d^{Y_f} - \lg \rho^{Z_f}$, 该式可化简为: $\lg F_{f_2} = \lg C_f + X_f \lg l + Y_f \lg d - Z_f \lg \rho$, 根据摩擦力测定试验得到的实验数据, 利用 Matlab 数学软件的 regress 命令确定

回归系数的点估计值: $b = \text{regress}(F_{f_2}, l', d', \rho')$; $l = (250 : 10 : 400)$; $d = (20 : 2 : 50)$; $\rho = (30 : 2 : 60)$;
 $F_{f_2} = (0.407, 0.459, 0.539, 0.633, 0.696, 0.802, 0.962, 0.975, 1.094, 1.118, 1.274, 1.473, 1.655, 1.87, 2.084, 2.375)$; $X = [\text{ones}(16, 1), l', d', \rho']$; $Y = F_{f_2}$; $[b, \text{bint}, r, \text{rint}, \text{stats}] = \text{regress}(Y, X, 0.05)$ 代入 Matlab 软件, 得到 $C_f = 4.96$, $X_f = 0.4832$, $Y_f = 3.3168$, $Z_f = 0.9281$, 则 $F_{f_2} = 4.96 l^{0.4832} d^{3.3168} / \rho^{0.9281}$ 。该装置导轨的曲率半径为 1.86 mm, 直径为 5.20 cm, 长度为 200 mm, 计算得到轴套滑动摩擦力为 0.043 N。

3.3 滑动摩擦力模型^[11-13]

推台安装了 4 个导轮, 因此在运动中所受摩擦为滚动摩擦力为 F_{f_3} 。装置每推书一次后, 下一次推书时所受摩擦力会减小, 经过一段的推书距离后, 书本达到的最大速度随着上方书本数量的减少而增加。利用滑动摩擦力模型^[11-12], 得到:

$$F_{f_4} = (22 - 2N)\mu_1 G + (20 - 2N)\mu_2 G$$

通过测定书本与推书工作台的摩擦因数, 得到 $\mu_1 = 0.6$, 书本与书本之间的摩擦因数为 μ_2 。式中: G 为一本书的重量; N 为书本的数量^[13]。

4 气动书籍连动装袋装置的运动学分析和仿真

要进行气动书籍连动装袋装置的运动学分析和仿真, 需对装置用 UG 建立三维模型, 然后导入 ADAMS 仿真软件中, 预设将 20 本书放在推书工作台上, 装置每次推动 2 本书, 利用 ADAMS 进行仿真, 首先设置书本、推台质量和各部分接触面之间的摩擦因数, 在推台的导轮和推书工作台之间建立运动副并施加 330 N 的推力, 在推台与书本之间、书本与书本之间、书本与推书工作台之间施加接触力, 最后进行装置推书仿真^[14-15]。选取第 1 次推书、第 5 次推书、第 10 次推书的速度和位移曲线见图 5 和图 6。

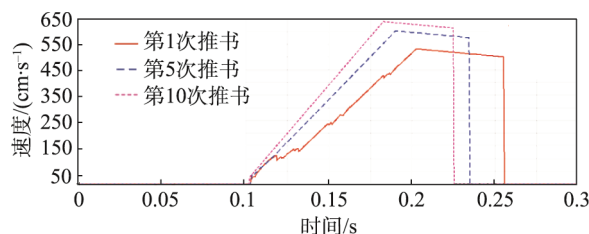


图 5 仿真书本速度

Fig.5 Simulation book speed curve

ADAMS 真实再现了气动书籍连动装置的工作情况, 随着推书次数的增加, 系统所受摩擦力逐渐减小, 书本达到最大速度逐渐增大, 完成一定的推书行程所需时间逐渐减少, 书本被推入信封后, 速度迅速

减少为 0。装置能满足工作要求，实现了预定轨迹。

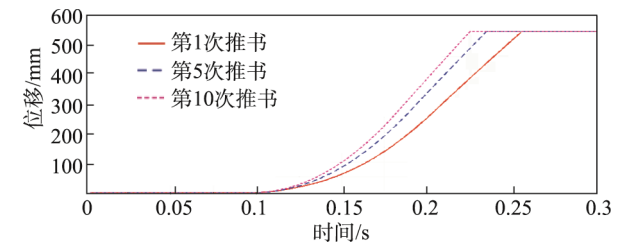


图 6 仿真书本位移
Fig.6 Simulation book displacement curve

5 气动书籍连动装袋装置的研制和实际测试

通过上述仿真可知，气动书籍连动装袋装置具有良好的工作可靠性以及一定的适应性，气动书籍连动装袋装置实物拍摄见图 7。



图 7 气动书籍连动装袋装置实物
Fig.7 Photo graph of pneumatic interlock book packaging device

实际测试：测试对象及条件，利用长为 330 mm，宽为 280 mm 的信封，选取长度为 200~300 mm，宽为 150~250 mm，厚度为 20~40 mm 范围内的书籍进行实验，分别利用人工装袋方式和利用气动书籍连动装袋装置进行批量书籍包装测试并进行比较；测试指标，包括人工包装和机器包装等 2 种方式完成 100, 200, 300 本所需的时间、包装成功率、机器包装的破袋率；测试结果及分析，气动书籍连动装袋装置实际测试结果见表 1。

表 1 气动书籍连动装袋装置实际测试性能
Tab.1 The performance test table of pneumatic interlock book packaging device

数量/本	人工模拟结果	机器试验结果	机器包装成功率/%	破袋率/%
100	74 min 5 s	4 min 40 s	98.00	1.00
200	16 min 11 s	9 min 37 s	97.00	2.00
300	25 min 31 s	13 min 8 s	96.67	2.67
400	35 min 8 s	18 min 13 s	96.25	2.80
500	46 min 41 s	22 min 4 s	96.20	2.80

通过实际测试，机器包装速度大约为 22 本/min，利用机器装袋相对于人工方式，包装时间缩短了约 50%，大大提高了书籍装袋包装的效率，减少了工人的劳动强度；机器包装的成功率维持在 96%左右，工作性能比较稳定；破袋率保持在 3%以下，对信封消耗较小，具有一定的经济效益和社会效益。

6 结语

研制的气动书籍连动装袋装置开袋推书动作稳定、高效，包装成功率稳定在 96%左右，实现了书籍连续自动装袋的功能，满足了利用信封包装书籍的特定需求；机器包装的破袋率保持在 3%以下，包装质量较好；机器包装速度大约为 22 本/min，相对于人工包装方式，包装时间短了约 50%，提高了书籍装袋包装的效率，减少了工人的劳动强度；且整套机械装置结构简单，使用及维修方便，具有一定的经济效益和社会效益。基于气动书籍连动装袋装置的研究设计，促进了书籍包装机进一步向自动化、多功能的方向发展。

参考文献：

[1] 张利平, 曹巨江. 新型自动包装机控制系统的研究[J]. 机械设计与制造, 2007(4): 126—127.
ZHANG Li-ping, CAO Ju-jiang. Research on a New Automatic Packaging Machine Control System[J]. Machinery Design & Manufacture, 2007(4): 126—127.

[2] 张继红. 包装机械的创新设计必须面向机电一体化技术[J]. 包装工程, 2004, 25(4): 112—113.
ZHANG Ji-hong. The Creative Design of Packing Machine Must Face to the Mechatronics Technology[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(4): 112—113.

[3] 陈晓平. 线性系统理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
CHEN Xiao-ping. The Linear System Theory[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2011.

[4] EDOUARD L, DOMINIQUE K, HAKAN K, et al. Web Winding System Robustness Analysis Via Analysis[J]. Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Control Applications, 2001, 5(7): 948—953.

[5] KNITTEL D, LAROCHE E, GIGAN D. Tension Control for Winding Systems with Two Degree So Freedom Sub Splinfin Controllers[J]. Industry Application, 2003, 1(39): 113—120.

[6] 孟德远, 陶国良, 刘昊, 等. 基于 LuGre 模型的气缸摩擦力特性研究[J]. 浙江大学学报工学版, 2012, 46(6): 1027—1033.
MENG De-yuan, TAO Guo-liang, LIU Hao, et al. Analysis of Friction Characteristics of Pneumatic Cylinders Based on Lugre Model[J]. Journal of Zhejiang

- University, 2012, 46(6): 1027—1033.
- [7] 李健, 张宝, 徐敏, 等. 软轴摩擦力计算公式的结构参数优化设计, 2016, 27(3): 21—25.
LI Jian, ZHANG Bao, XU Min, et al. Shaft Friction is Calculated Structural Parameters Optimization Design, 2016, 27(3): 21—25.
- [8] 刘丽兰, 刘宏昭, 吴子英, 等. 机械系统中摩擦模型的研究进展[J]. 力学进展, 2008, 38(2): 201—213.
LIU Li-lan, LIU Hong-zhao, WU Zi-ying, et al. An Overview of Friction Models in Mechanical Systems[J]. Advance in Mechanics, 2008, 38(2): 201—213.
- [9] 陶国良, 王宣银, 杨华勇. 气动比例/伺服位置控制系统的摩擦力特性研究[J]. 液压气动与密封, 2001, 86(2): 9—11.
TAO Guo-liang, WANG Xuan-yin, YANG Hua-yong. Research on the Friction Characteristic of Pneumatic-servo Positioning System[J]. Hydraulics Pneumatics & Seals, 2001, 86(2): 9—11.
- [10] SHU N, BONE G M, High Stead-State Accuracy Pneumatic Servo Positioning System with PVA/PV Control and Friction Compensate[C]// Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation Washington: IEEE, 2002: 2824—2829.
- [11] BERNARD F. On-line Friction Modelling, Estimation and Compensation for Position Control[J]. A Dissertation Presented to the Graduate School of the University of Florida in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, 2002.
- [12] YUKIO T, YUKIO K, SUNAO K. A Study on the Effects of Friction Characteristics in Pneumatic Cylinder [J]. Proceedings of the Four the International Symposium on Fluid Power Transmission and Control, ISFP, 2003: 352—357.
- [13] 朱建萍, 王鹤. 包装机械设计方法研究[J]. 包装工程, 2007, 28(7): 88—91.
ZHU Jian-ping, WANG He. Research on the Design Methods of Packing Machinery[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(7): 88—91.
- [14] 高德. 包装机械设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
GAO De. Packaging Machinery Design[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [15] 陈文. 包装机械发展趋势[J]. 上海包装, 2011(2): 36—38.
CHEN Wen. Developing Trends of Packaging Machinery Packaging[J]. Shanghai Packaging, 2011(2): 36—38.