

全自动书本打包机的研究与设计

魏玉杰, 贺红林

(南昌航空大学, 南昌 330063)

摘要: 分析了图书物流链中自动打包书本的工艺流程和工作原理, 论述了书本打包应具备的各项技术方案和结构功能, 在此基础上, 提出了一种全新的图书自动打包工作原理与系统, 以及利用该打包机进行打包的方法。该系统集书摺自动装卸与搬运、书摺包装纸自动输送、书摺自动裹包折角和自动捆扎等多种功能于一体, 对于提高图书包装及打包效率具有重要意义。把虚拟样机技术的设计方法引入到了打包机设计的全过程, 不仅可以加速该产品创新、降低研制成本、缩短研制时间; 而且能提前知道系统的各种性能, 防止各种设计缺陷的存在, 提出改进意见并优化方案。仿真结果表明: 动力轴等关键部件满足设计和实际要求。

关键词: 书本打包机; 打包方法; 运动与动力; 建模与仿真; 优化设计

中图分类号: TB486⁺.02 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)17-0079-05

Study and Design of Automatic Book Packing Machine

WEI Yu-jie, HE Hong-lin

(Nanchang Hang Kong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: The process and working principle of automatic book packing in logistic link of library was analyzed. The technical solutions and structural function of for book packing was discussed. New working principle and book packing machine was put forward. The method of book packing using the machine was introduced. The machine has multiple functions of book stack automatic loading and handling, wrapping paper and book stack automatic conveying, automatic wrapping and automatic strapping. It has great significance for improving the efficiency of book packing and strapping. The introduction of virtual prototyping technology to the whole process of the design, which not only can accelerate the product innovation, reduce development costs and shorten development time, but also to inform the system performance in advance to prevent the existence of design flaws, and provides suggestions for improvement and optimization program. The simulation results showed that the power shaft and other key components meet the design and practical requirements.

Key words: book packing machine; packing method; motion and power; modeling and simulation; optimal design

为使图书在出版和运输过程中不被损坏,且便于统计书本的数量和销售,对一定数量的单本书本按指定规格进行打包是非常必要的^[1]。并根据我国图书出版业和图书物流集散中心庞大的图书包装配送需求,针对当前图书物流供应链在其包装、装卸、搬运等活动普遍采用人工操作方式的技术现状,为缩短图书的包装配送周期、提高图书物流供应链效率、降低操作者的劳动强度。文中将致力研制一种集书摺自动

搬运、书摺包装纸自动送纸、书摺自动裹包和自动捆扎等多种功能于一体的全自动图书打包系统。将在对该系统进行深入的功能分解及工艺求解、机械本体设计、虚拟样机仿真、静动力学分析、包装动力学分析以及控制系统设计的基础上开发出该样机系统。将在基于虚拟样机技术平台上进行仿真与分析,在未真正生产出真实的物理样机之前就对其进行仿真模拟,提前知道产品的各种性能,防止各种设计缺陷的存

收稿日期: 2012-06-08

作者简介: 魏玉杰(1987—),男,湖北孝感人,南昌航空大学硕士生,主攻包装机械和精密驱动技术。

通讯作者: 贺红林(1967—),男,博士,南昌航空大学教授,主要研究方向为超声电机技术、精密驱动技术、包装技术,发表论文 40 多篇。

在,提出改进意见,对系统的结构进行优化以改善其工作性能并提高其可靠性,能为用户提供满意的CAD/CAE设计方案,并最终实现自动打包系统的产品化应用,推进图书自动打包技术在图书物流中的应用和推广^[2]。

1 打包机系统结构与工作原理

研制的全自动书本打包机(下文中,若无特殊说明,打包机均指自动书本打包机),以不同规格的图书教辅为研究对象,开发的主要内容包括:书摺送书装置设计、包装纸传送系统设计、推书机构设计、包书折角装置设计、捆扎机研究,主传动系统设计、控制系统的开发等。书本打包机的工作过程包括5个主要步骤:送书、输纸、推书、包书折角与捆扎,书摺的搬运和装卸均由码垛机器人配合完成。整个书本打包机的研究也主要围绕这几个重要的工艺动作来展开。其工作原理见图1。

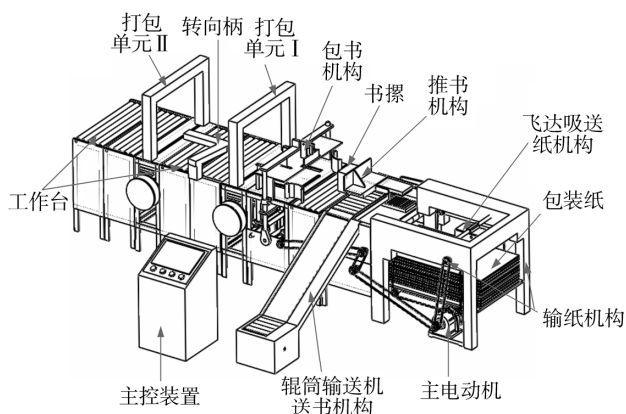


图1 打包机的工作原理与结构功能示意

Fig. 1 Diagram of working principle and structural functions of the packing machine

首先侧向送书机构将待打包的书摺送到正向推书机构的预定工位定位,如此同时,输纸机构将包装纸输送到位,然后正向推书机构将书摺向前推动,在书摺前进的过程中遇到输送到位的包装纸,于是正向推书机构将书摺和包装纸一起向前推动,书摺带着包装纸进入包书折角机构,即进行包书折角工艺。包书折角完成以后书摺就被包裹在包装纸里,还需要利用包书的最后一道工序——自动捆扎机构进行打包,即将已经包裹好的书摺分别用捆扎胶带横向和纵向捆扎2道,使书摺牢固固定形,于是一套完整的包书工艺

过程就完成了。

2 系统总体技术与结构方案设计

该样机采用新的结构系统、工艺原理和传动方式。通过计算机辅助设计软件进行打包机零件的三维建模,虚拟装配,运动和干涉碰撞等检查,以及应用计算机辅助分析软件进行打包机关键结构的静力学和动力学分析,来优化零件设计,以提高产品的性能和质量。采用计算机仿真技术后,大大缩短了包装机械的设计周期及新产品开发周期^[3-5]。

2.1 打包工艺规划设计

按照打包机系统的工作原理各工位顺序规划见图2。

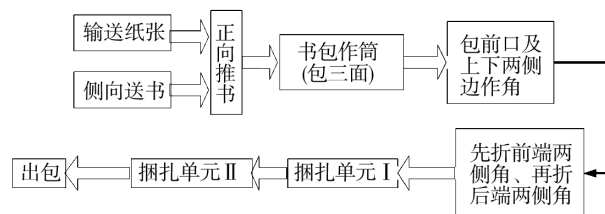
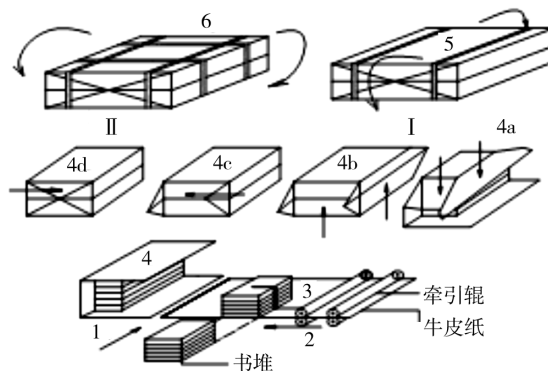


图2 全自动打包机打包工艺流程

Fig. 2 Diagram of packing process of the fully automatic packing machine

2.2 工艺流程和工位路线

书本打包工艺流程见图3。



1 送书;2 输纸;3 推书;4 包书;5 横向捆扎;6 纵向捆扎

图3 打包工艺流程

Fig. 3 Packing process flow

书本打包机流水线上各工位详细工况见图4:

1) 由码垛机器人从仓库中自动搬运一摞书至送书机上,实现横向送书。

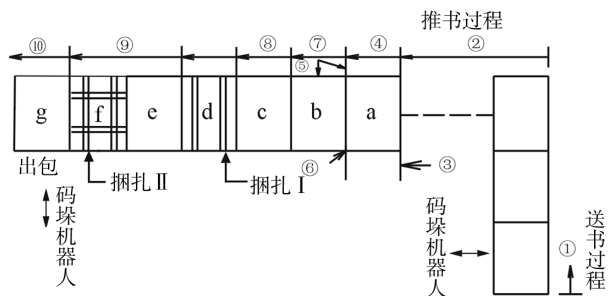


图4 各工位(俯视)运动循环示意

Fig. 4 Diagram (top view) of motion cycle of every station

2) 正向推书前进(推一摞书)到工位 a, 使它与工位 b~e 上的 4 摞书贴紧。

3) 书摞到工位 a 前, 包装纸已先送到位。

4) 继续推书前进一摞书的位置到工位 b, 由于在工位 b 的书摞上下方均设置有挡板, 以挡住书堆上下方的包装纸, 所以书摞推送到 b 时实现包 3 面, 这个工序中推书机构共推动 a~e 的 4 堆书。

5) 正向推书机构回程时, 折纸机构动作, 折前口, 上、下边, 及两端前、后边。

6) 继续利用 b 两端设置的折前端侧角装置实现折前端侧角。

7) 上步动作完成后, 推书机构已进到下一循环的工序 4), 此时将工位 b 上的书摞到工位 c。在此过程中, 利用工位 c 两端设置的折后侧角装置实现折后端侧角。

8) 推书机构又一次循环到工序 4) 时, 将工位 c 的书摞推至工位 d, 此位置是打包单元机构 I 实现横向捆扎书包的位置, 打包胶带横向捆扎 2 道书包。

9) 推书机构再一次循环到工序 4) 时, 将工位 d 的书摞推至工位 e。

10) 推书机构再一次循环到工序 4) 时, 将工位 e 的书摞推至工位 f, 此位置是打包单元机构 II 实现纵向捆扎书包的位置, 打包胶带纵向捆扎两道书包。

工艺 9) 位置处, 在后续循环进位书包位移和推书机构推动作用, 将工位 f 的书摞推至工位 g, 期间书包由横向位置转变为纵向位置是由传送台上的转向柄部件实现的, 至工位 g 时, 再由码垛机器人将捆扎好的书摞从工作台上取下。

2.3 自动书本打包机主传动系统方案设计

主传动系统主要采用的传动方式包括: 链条链轮传动, 齿轮齿条传动、正交锥齿轮传动和凸轮传动, 见

图 5。要求打包机系统主传动链结构紧凑、传动平

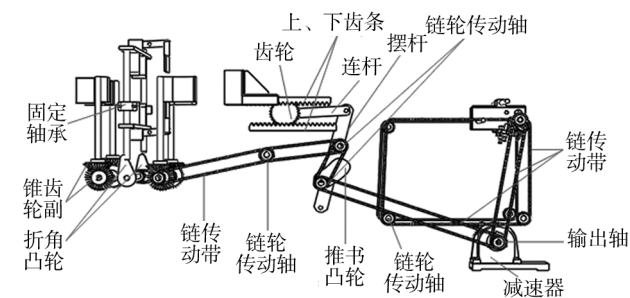


图5 打包机主传动机构示意

Fig. 5 Diagram of the packer's main transmission mechanism

稳、传力性好且易安装润滑。

2.4 系统的各功能单元机械本体设计

机械设计及理论技术是书本打包机技术的基础, 是连接整个包装过程的桥梁, 也是打包机至关重要的部分^[6]。该打包机采用的是平装(卧)式机型, 其主要设备组成主要包括送书部分、输纸部分、包书作角部分、捆扎部分和控制装置等。下面将详细分析各功能部件方案。

2.4.1 送书机构

送书机构原理: 送书机构的驱动电机驱使其输出辊子运动, 再经输送辊子带动输送皮带上的书堆运动, 使书堆沿输送皮带的传动方向实现侧向运送。所述送书机构由送书驱动电机、电机箱、输送辊、送书框架、输送皮带和挡书板组成。送书机构示意图 1, 该送书机构简单且工作可靠, 送书推力大, 工作效率高。

2.4.2 输纸机构

输纸机构主要由托纸盘、链轮链条、飞达吸送纸装置、导纸辊对、导纸辊皮带和主电动机构成, 输纸机构结构见图 6。

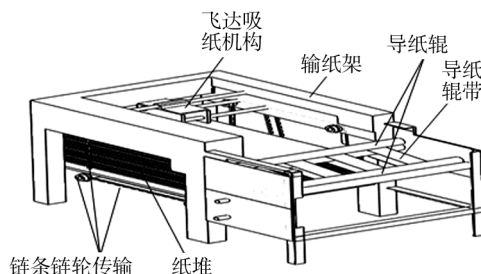


图6 输纸机构结构示意图

Fig. 6 Diagram of feeding mechanism

输纸机构工作时,由主控装置发出电信号指令,使主电动机驱动由链条和链齿轮组成的链轮链条机构,该机构驱动包装纸托盘实现包装纸在纸架高度方向上的升降运动,以调整包装纸的送给量,实现输纸动作;然后再经过飞达吸送纸机构的作用,分纸吸嘴机构将分离出来的包装纸吸住,略有提升后并向前递送,将其交给导纸辊对和导纸辊对,以便于输纸装置将包装纸输送到预定位置。送纸过程中包装纸依次经过导纸辊带、导纸辊对和导纸辊对。另外,包装纸的递送和接放均由吸送纸共轭凸轮机构的机械往复运动和吸嘴的吸气、放气动作来配合完成。在送纸过程中,导纸辊对和导纸辊对共同完成对包装纸的牵引和传送。通过调节导纸辊对和导纸辊对之间的压力大小和速度,在包装纸和各辊子间摩擦力作用下,使包装纸和辊子在切线方向保持相切,以引导包装纸平稳进入后续预定工位,实现正常送纸。

2.4.3 推书机构

书本打包机推书机构主要由一套凸轮连杆机构和一个齿轮齿条位移放大机构组成,其结构见图7。

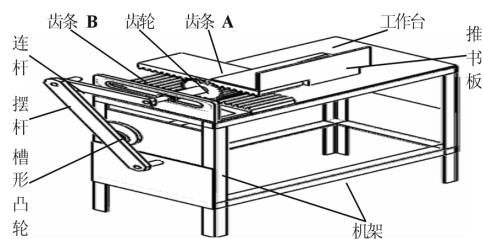


图7 推书机构结构示意图

Fig. 7 Diagram of pushing books mechanism

其中过载保护装置(在图中用矩形块代替)通过电缆与主控装置连接,其作用是一旦推书过程中发生过载或是卡位时便可立即停车,使推书构件各部件得到了有效保护。该机构完成的工艺动作主要是将书擦和包装纸一起向前推动,包装纸在运动中自动包拢书擦的上下两面及后侧面,完成包书作筒动作,以便进行下一步包书折角工艺。图7中凸轮与主传动轴相联,主传动轴并未标出,电动机带动主传动轴和槽形凸轮高速转动。摆杆一侧的支杆从动件嵌在凸轮槽中,槽形凸轮的转动带动摆杆在一定角度范围内往复摆动;摆杆的一端与连杆相联,连杆又与齿轮齿条中的齿轮轴相联。齿轮轴一方面带动齿轮在下齿条上作滚动,另一方面带动上齿条和推书板在 x 方向往复运动,完

成将书擦和包装纸推送的动作。

2.4.4 折角包书机构

包书折角机构是直接完成裹包书堆工艺的包装执行部件,见图8。其工艺过程:先由上折角组合机

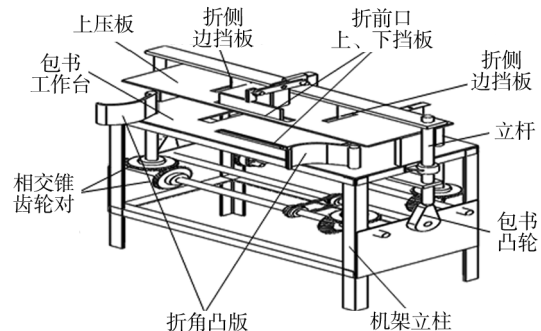


图8 包角折角机构结构示意图

Fig. 8 Diagram of corner wrapping mechanism

构在偏心折角凸轮机构作回程运动时将包装纸的上表面包装纸伸出端折下,即完成上作角动作;再由下作角组合机构在偏心折角凸轮机构作升程运动时将包装纸的下表面包装纸伸出端向上折起,即完成下作角以及包前口动作;最后,由折前端2侧角和折后端2侧角机构分别执行折叠前端2伸出包装纸角和后端2伸出包装纸角,并且这2个运动协调一致完成折前、后端侧角动作。

2.4.5 其他部分

控制系统:该打包系统的控制系统由各种手动及自动装置组成。控制系统还应能实现打包过程中的故障与安全控制。打包系统的控制划分为2个层面:其一是配置在各执行机构内的所谓执行级控制,用于保证各执行机构本身执行工艺动作的正确性;其二是用于实现各执行机构间的动作配合的所谓协调控制层(本文不作阐释)。这些控制内容将通过硬件和软件两大平台得以实现。此外,送书、输纸、推书、包书、捆扎等动作执行机构均受控于主控装置,确保各工位的监控和同步自动化操作,实现自动化操作^[7]。

3 基本参数和仿真实验

3.1 基本参数

该打包机是应用于不同规格尺寸的书本且适合于不同捆包规格的书擦打捆及包装机械设备,采取流水线作业方式,应具有自动化程度高,工作稳定可靠以及捆扎牢固等特点。基于全自动书本打包机的工

作要求,提出的参数要求见表 1。

表 1 主要技术及性能参数

Tab.1 The main technical and performance parameters

类别	具体参数指标
电源功率	380 V, 50 Hz; 750 W, 5 A
包装速度	10 包/min(240 包/h)
包装用纸和规格	70 g/m ³ 的牛皮纸, 1180 mm×780 mm
给纸高度	750 mm
包装高度	800 mm
推书行程	$H=100$ mm
主轴转速不均匀系数	$\delta \leq 0.25$
推书次数	10 r/min
捆扎胶带拉紧力	200~300 N
4 种书本捆扎规格	小 32 开: 185 mm×130 mm;
	小 16 开: 260 mm×185 mm
	大 32 开: 210 mm×148 mm;
	大 16 开: 290 mm×210 mm
2 种打包规格	小包: 370 mm×260 mm×185 mm
	大包: 420 mm×296 mm×210 mm

3.2 仿真实验

文中动力学分析的类型为已知运动求反力,即逆向动力学分析,见图 9,其目的是要考察打包机主传

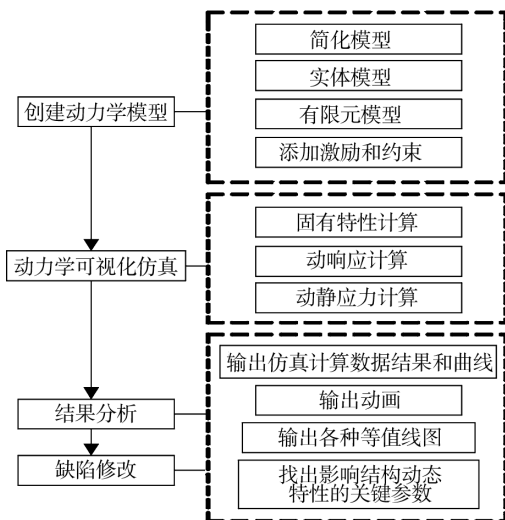


图 9 动力学仿真技术流程

Fig. 9 Dynamics simulation flow

动系统在极限速度运转情况下的动力学性能^[8]。经实验和理论分析发现,对整机系统影响最大的还是主传动系统(见图 5),而主传动系统上起关键作用的零件就是连接偏心折角凸轮机构和推书槽形凸轮机构的动力分配轴。现分别对系统关键部件进行受力分

析,观察其在若干运动周期内的受力情况,以优化主传动系统和包书折角机构性能。主要从 2 方面入手:一是看关键零部件的振动变形情况,这是直接导致机构运转稳定性的原因;二是看零件的受力情况,如果零件受力不均或周期性突变,零部件的寿命周期会大大缩短。

通过以上受力和变形分析可以得出结论,图 10a 与 b 示推书槽形凸轮轴和偏心折角凸轮轴所受力矩

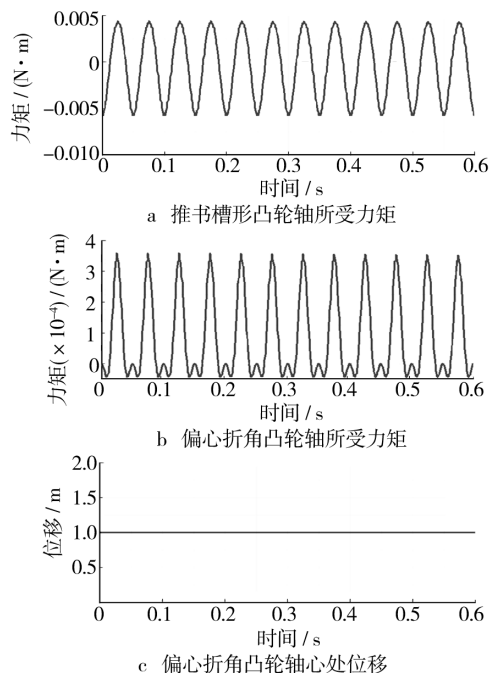


图 10 关键部件动力学仿真曲线

Fig. 10 Dynamics simulation curves of key components

的变化相对平滑,因为推书槽形凸轮轴和偏心折角凸轮轴分别通过凸轮接触并且与推书槽形凸轮和偏心折角凸轮运动相关,推书槽形凸轮和偏心折角凸轮所受力矩较平缓,所以二者的轴力矩也较平缓。偏心折角凸轮轴心处的位移变化情况,见图 10c,曲线均为一条直线,说明在极限转速情况下偏心折角凸轮轴基本没有变形,或者说变化可以忽略不计,结果分析与实际情况近似,说明系统动力学性能满足性能和实际要求。

4 总结

1) 研制的全自动书本打包机及打包方法,满足了图书物流供应链在送书、输纸、推书、包书折角、捆扎与搬运等环节的需求,且整套机械装置简单,使用

(下转第 117 页)

打印质量[J]. 中国印刷与包装研究, 2010(s1): 228—232.

LIU Zhen, HONG Jian, LI Sheng-hui. Evaluation of Quality for Ink-jet Printing Based on Capturing Measurement and Control Elements by CCD[J]. China Printing and Packaging Study, 2010(s1): 228—232.

- [3] 司占军. 基于图像分析法对喷墨打印机墨点保真度的研究[J]. 天津科技大学学报, 2007(3): 82—85.

SI Zhan-jun. Study of Dot Fidelity of Ink-jet Printing Dots Based on Image Analysis[J]. Journal of Tianjin University of Science & Technology, 2007(3): 82—85.

- [4] 刘烨, 陈蕴智. 不同 PVA 对涂布彩色喷墨打印性能的影响[J]. 包装工程, 2007, 28(1): 45—47.

LIU Ye, CHEN Yun-zhi. Influence of Pigments and Binders on the Ink-jet Printing Performances of Coated Paper[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(1): 45—47.

- [5] BARNES G T. The Purification of Long-chain Alcohols

for Monolayer Studies[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1967, 25: 584—585.

- [6] SIMON A J, DRESSLER R G. Investigation of C20 to C25 Fatty Alcohols and Blends as Water Evaporation Retardants[J]. Indus & Eng Chem-Product Research & Development, (4): 446—450.

- [7] ROSADO H, LELAMAR V K. The Rate of Evaporation of Water Through Monolayers of Esters, Acids and Alcohols[J]. J Phys Chem, 1956, 60: 348—353.

- [8] GARRETT W D. Retardation of Water Drop Evaporation with Monomolecular Surface Films [J]. Atoms Sci, 1971, 28(5): 816—819.

- [9] 孙压平, 卢立新, 蔡和平. 纸蜂窝结构平压性能的实验研究[J]. 包装工程, 2003, 24(1): 14—15.

SUN Ya-ping, LU Li-xin, CAI He-ping. A Study to the Strength to Paper Honeycomb Core under Axial Compression[J]. Packaging Engineering, 2003, 24(1): 14—15.

(上接第 83 页)

及维修方便, 并且成包质量佳, 替代了手工式打包, 缩短了包裹时间, 生产和包装效益也同时得到了提高。

2) 从现代设计研究方法出发, 采用虚拟样机技术, 可大大提高设计质量和效率, 降低成本, 实现计算机辅助设计分析。为此, 研究了打包机关键部件的动力学特性, 利用虚拟样机技术完成建模与仿真分析, 对主传动系统进行静动力学的综合分析, 获取了关键部件的相关性能参数, 为机构方案优化设计提供可靠而有效的技术参考, 以提高零件的强度和产品的包装精度, 进而提高打包机的可靠性和综合使用性能, 延长其使用寿命。

基于书本打包机结构系统的设计研究, 促进了打包机进一步向自动化、多功能化方向的发展。

参考文献:

- [1] 陈守强. 机械装备导论[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008.

CHEN Shou-qiang. Introduction to Machinery and Equipment[M]. Xi'an: Xidian University of Science and Technology Press, 2008.

- [2] 李斌. 剖析 SDB-I 型平装书籍打包机[J]. 印刷技术, 2007(2): 51—52.

LI Bin. Analysis of the SDB-I Paperback Books Balers [J]. Printing Technology, 2007(2): 51—52.

- [3] 梁睦, 黄大宇, 程军红, 等. 全自动包装传动设计方案[J].

郑州纺织工学院学报, 2000(9): 21—23.

LIANG Mu, HUANG Da-yu, CHENG Jun-hong, et al. Automatic Packaging Transmission Design[J]. Zhengzhou Textile Institute of Technology, 2000(9): 21—23.

- [4] 贺红林, 魏玉杰. 一种全自动书本打包机及方法: 中国, 201210057505. 2[P]. 2012-03-07.

HE Hong-lin, WEI Yu-jie. Packer and Methods of a Fully Automatic Books: China, 201210057505. 2[P]. 2012-03-07.

- [5] 彭文生. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.

PENG Wen-sheng. Mechanical Design[M]. Beijing: Education Press, 2002.

- [6] 姚学兵. 东北地区全自动粮食包装机研究[J]. 包装工程, 2011, 32(12): 131—134.

YAO Xue-bing. Northeast Automatic Food Packaging Machine[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(12): 131—134.

- [7] 安军, 范劲松. 形式追随材料——材料在产品中的应用[J]. 包装工程, 2005, 26(5): 162—164.

AN Jun, FAN Jin-song. Form Follows Materials——Materials in Product Design [J]. Packaging Engineering, 2005, 26(5): 162—164.

- [8] 洪振嘉, 刘锦阳. 机械系统计算动力学与建模[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.

HONG Zhen-jia, LIU Jin-yang. Mechanical Systems Calculate the Dynamics and Modeling[M]. Beijing: Higher Education Press, 2011.