

工艺与装备

瓦楞纸板垛的自动绕绳打结机设计及试验

林晶¹, 陈鼎^{1,2}, 李超鹏^{1,2}, 张伟², 陆俊杰², 毛益²

(1. 哈尔滨商业大学 轻工学院, 哈尔滨 150028;

2. 浙江大学宁波理工学院 机电与能源工程学院, 浙江 宁波 315100)

摘要: **目的** 为了解决瓦楞纸板生产线后端纸板垛自动捆扎问题, 设计一种自动捆扎设备。 **方法** 针对绕绳打结等要求, 选用经济实惠、轻便灵活的塑料绳, 由此设计、试验、制造出能对瓦楞纸板垛进行绕绳、打结动作的机构。 **结果** 设计的自动绕绳打结机构使用电机、气缸驱动, 替代人工对瓦楞纸板垛进行自动捆扎, 降低了劳动强度, 工作效率明显提高。 **结论** 所设计的自动绕绳打结机构能满足瓦楞纸板的捆扎要求, 降低了人工成本, 提高了生产效率, 具有良好的应用前景。

关键词: 瓦楞纸板; 自动打结; 绕绳; 捆扎机

中图分类号: TB486 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)01-0082-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.01.013

Design and Test of Automatic Rope-winding and Knotting Machine for Corrugated Cardboard Pile

LIN Jing¹, CHEN Ding^{1,2}, LI Chao-peng^{1,2}, ZHANG Wei², LU Jun-jie², MAO Yi²

(1. School of Light Industry, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China; 2. College of Mechanical and Energy Engineering, Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo 315100, China)

ABSTRACT: The paper aims to design an automatic bundling device to solve the problem of automatic bundling of cardboard at the rear end of corrugated board production line. In response to the requirements such as tying ropes, economical, lightweight and flexible plastic ropes were selected to design, test and produce a mechanism for winding and knotting corrugated cardboard. The designed automatic roping knotting mechanism was driven by motors and cylinders. It replaced the manual corrugated cardboard rafts, reduced the labor intensity and improved the efficiency. And it fits the requirements for the corrugated board bundling, reduces the labor cost, improves the production efficiency, and has a good application prospect.

KEY WORDS: corrugated cardboard; automatic knotting; winding; strapping machine

瓦楞纸板箱生产流程^[1-2]主要有 2 种形式, 一种是厂家自己生产瓦楞纸板并直接加工成纸箱, 另一种就是厂家只生产瓦楞纸板, 销售到下级厂家后再加工成瓦楞纸箱。我国大多数厂家是第 2 种方式, 这就涉及瓦楞纸板的转运问题。一般厂家是将 20~30 张纸板人工打捆后再进行运输。这一工序需要大量人工进行

手工绕绳打结, 效率低下且工作环境恶劣, 因此, 研制一种结构简单、操作方便、捆扎质量高、打结速度快的自动绕绳打结设备^[3-5], 是瓦楞纸板生产线一个亟待解决的问题^[6-7]。

现在已有粽子自动捆扎机^[8]、书本自动打包机^[9]、方草捆拾压捆机^[10-12]等自动捆扎设备^[13-14], 参考

收稿日期: 2019-07-10

基金项目: 浙江省自然科学基金 (LY16A020004)

作者简介: 林晶 (1968—), 女, 博士, 哈尔滨商业大学教授、硕导, 主要研究方向为包装材料。

对这些设备的研究，文中设计了一种自动绕绳打结机，能模仿人手将 PP 塑料绳绕瓦楞纸板堆一圈后打出一个活结。传统的热熔塑料打包机^[15]，所需要的 PET 塑料带市场价大约在每米 0.2 元，而 PP 塑料绳市场价仅在每米 0.03 元左右，原料成本大大降低。另外，该设计绳结灵活、方便拆解，能适应各种型号的瓦楞纸板，并且打结效率高、质量好、成功率高、自动化程度高、结构简单、原理清晰，能满足瓦楞纸板生产线的需求，具有较好的应用前景。

1 工作原理

自动绕绳打结机能对多种规格的瓦楞纸板进行绕绳、打结。其动作顺序流程见图 1。当纸板堆进入到打结区域并到位后，压板机构 3 的压板气缸推出，利用压板将纸板堆压紧固定在相应的位置。同时紧绳机构 1 的气缸回退，使压片压紧绳子，使绳子在整个绕绳打结动作进行及完成时都保持绷紧状态。然后绕绳机构 2 的绕绳杆气缸推出，使绕绳杆下摆，将绳子送到打结机构 4 处，恰好将绳子绕纸板一圈。紧接着，绕绳机构 2 的前进后退送绳气缸推出，推动绕绳杆的送绳嘴后退到纸板下方的打结机构的鸟嘴部位，然后打结机构 4 开始运行，将绳子打结。待到打结动作完成后，绕绳杆推送气缸和压板气缸回退，绕绳杆推送气缸回退到位后，绕绳杆绕绳气缸回退，然后紧绳机构压片松开，整个动作完成，机构也完成复位，可以进行下一次动作。自动绕绳打结机构总体结构示意图见图 2。

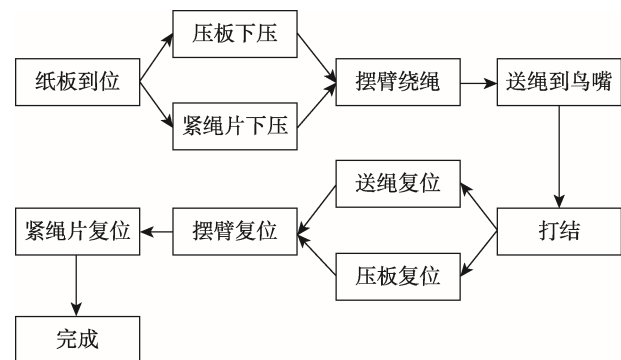


图 1 自动绕绳打结机构动作流程
Fig.1 Flow chart of the automatic roping knotting machine

2 主要机构

2.1 打结机构

打结器机构示意图见图 3。该机构是一个复合凸轮驱动的复杂机构，它能实现像人手打结动作一样的繁杂动作，系出一个可解开的牢靠绳结。该机构的主要动作有以下 3 个步骤。

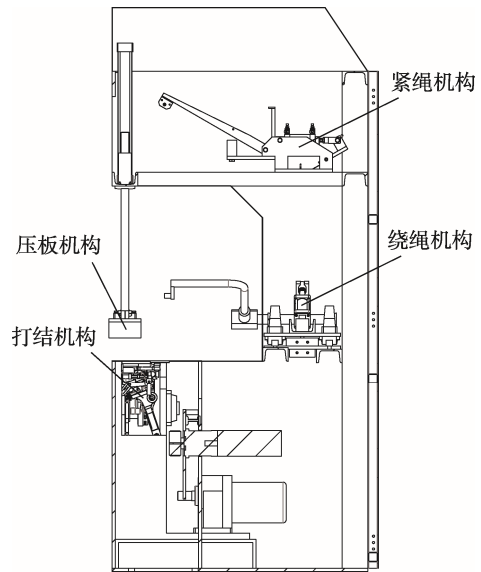


图 2 自动绕绳打结机构的总体结构
Fig.2 Overall structure of the automatic roping knotting machine

- 1) 捆紧。送绳杆 4 前推送绳，将绳子送到鸟嘴 1 和 2 处，此时鸟嘴 1 和 2 向前插入送绳杆 4 的中间。当送绳杆 4 开始回退时，鸟嘴 1 和 2 勾住塑料绳，同时抬绳倾杆 7 将绳的始端上提，直至绳子的始末两端靠近，逐渐捆紧纸板。
 - 2) 结扣。鸟嘴 1 和 2 在垂直平面内回转 180°，使塑料绳绕在鸟嘴 1 和 2 上，与此同时，鸟嘴 1 和 2 的上下部分在凸轮 3 的作用下逐渐张开；当鸟嘴 1 和 2 回转 360°时，塑料绳的端部刚好被鸟嘴 1 和 2 咬住，继而鸟嘴 1 和 2 衔着绳子后退，使绳圈从鸟嘴 1 和 2 上脱出，鸟嘴 1 和 2 继续后退，直至结头被鸟嘴 1 和 2 衔住形成结扣。
 - 3) 切断。刀片 5 向下摆动，将塑料绳始端切断，同时将末端推出保护其不被切断，以做下一次结绳的始端。然后复位，完成打结动作全过程。
- 对应的打结动作见图 4。

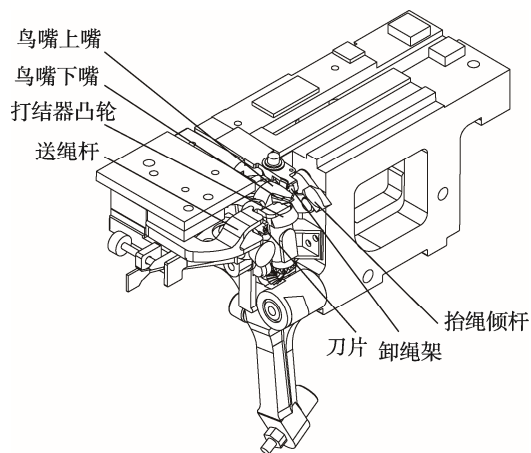


图 3 打结器
Fig.3 Knotting mechanism

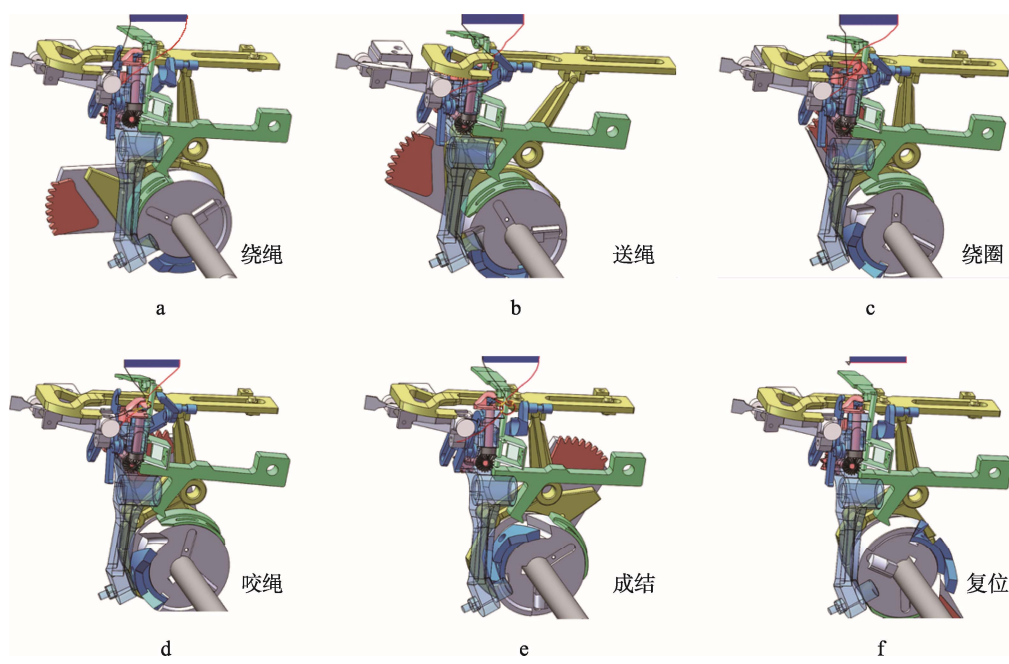


图 4 打结动作
Fig.4 Knotting action

凸轮机构是打结机中最核心的一个部分,其组成见图 5,它用于动力传递与分时自动控制。凸轮及后的作用至关重要,它分别组合几个外接凸轮块来完成要求的动作。其中凸轮薄板 4 驱动卸绳架工作,在鸟嘴成结后将绳子从鸟嘴中推出。凸轮主体 2 与 V 型凸轮块 5 组成 2 个径向的凸轮槽,控制抬绳倾杆的抬绳,鸟嘴前伸勾绳、后退卸绳以及割刀的割断动作。Y 型凸轮块 3 和 U 型凸轮块 6 一同组成一个凸轮,控制送绳杆的送绳、急回等工作任务。齿轮块 1 将在运动过程中与打结器中齿轮杆相啮合,使得上下鸟嘴获得旋转运动,完成最关键的绕绳与咬合绳等工作。整体凸轮机构通过键连接与主轴连接,主轴与基体通过轴承连接,尾端通过联轴器连接到电动机。

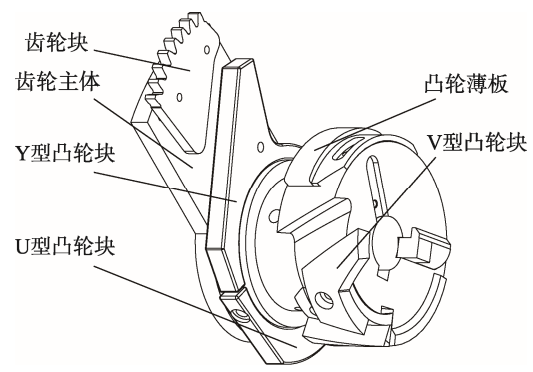


图 5 凸轮机构
Fig.5 Cam mechanism

整个机构的工作循环图见图 6。

2.2 绕绳机构

绕绳机构示意图 7,该机构主要在纸板到达

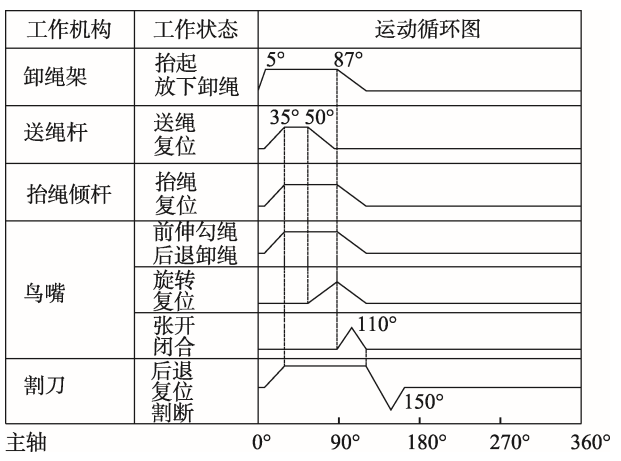


图 6 打结机构运动循环图
Fig.6 Motion cycle chart of knotting mechanism

指定位置后对纸板进行绕绳动作。该机构采用气缸驱动,利用了摇块机构的原理。取摆动杆 4 和摆动气缸 2 的活塞杆为原动件,活塞杆相对于缸筒滑动,并一起绕气缸固定铰链摆动,这样以摆臂连接轴 5 为中心回转的绕绳杆摆臂 1 和摆动杆 4,通过平键连接就能同时摆动,从而实现绕绳动作。这个机构将气缸的直线往复运动转化成了摆臂的固定角度的往复摆动,实现了绕绳的动作。

绕绳机构中的另一个送绳气缸 3 是为了实现摆臂摆下后,将绳子末端送到纸板下方的打结机构处,方便打结动作。整个机构简单可靠,实现了绕绳、送绳的动作,拆装方便,便于维修。

绕绳机构的结构简图见图 8,摆动气缸简化为 B 点处的滑块和连杆,B 点为气缸铰链处,送绳气缸简

化为 G 处的滑块和连杆，送绳气缸连接在机架上， C 点为摆臂连接轴，摆臂简化为连杆 CE ，连杆 AC 与连杆 AE 刚性连接。

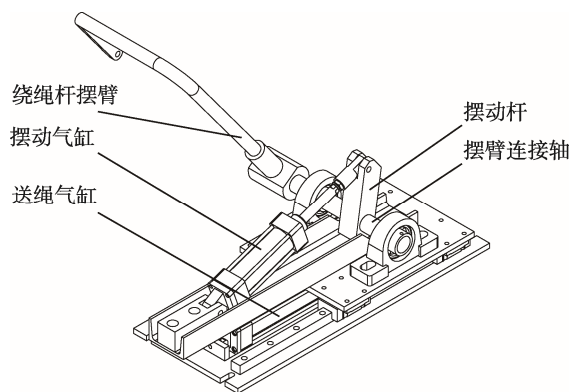


图 7 绕绳机构
Fig.7 Winding mechanism

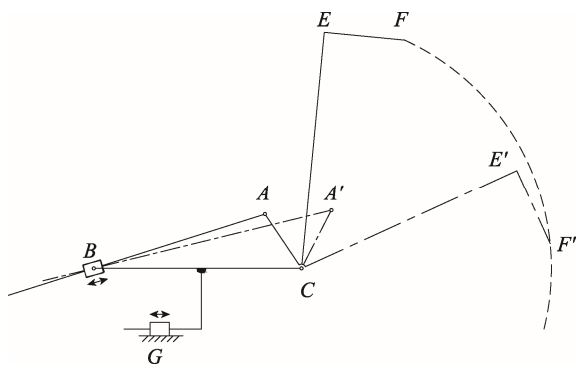


图 8 绕绳机构简图
Fig.8 Diagram of winding mechanism

设计摆动气缸全部缩回时摆杆位置位于 CE 所示处， CE' 为摆臂随摆动气缸伸缩摆动后的位置。当气缸伸长 l 时

$$\angle ECE' = \angle ACA' \quad (1)$$

$$\angle ACA' = \angle A'CB - \angle ACB \quad (2)$$

$$l_{A'B}^2 = l_{BC}^2 + l_{A'C}^2 - 2l_{BC}l_{A'C} \cos \angle AC'B \quad (3)$$

$$l = l_{A'B} - l_{AB} \quad (4)$$

因此，由式 (1—4) 得摆杆摆动角度 $\angle ECE'$ 与气缸伸长量 l 的关系为：

$$\angle ECE' = \arccos \frac{l_{AC}^2 + l_{BC}^2 - (l + l_{AB})^2}{2l_{AC}l_{BC}} - \angle ACB \quad (5)$$

式中： $\angle ECE'$ 为摆臂摆动角度 ($^\circ$)； $\angle ACA'$ 为摆动杆摆动角度 ($^\circ$)； $\angle A'CB$ 为摆动后摆动杆与机架角度 ($^\circ$)； $\angle ACB$ 为摆动杆与机架原始角度 ($^\circ$)； $l_{A'B}$ 为气缸伸出后的整体长度 (mm)； l_{BC} 为摆动气缸铰连接位置与摆臂连接轴的中心距 (mm)； $l_{A'C}$ 为摆动杆长度 (mm)， l_{AC} 为气缸原始整体长度，mm。

2.3 紧绳机构

紧绳机构示意图见图 9，该机构主要是为了使塑料绳输送过程保持张紧的状态。该机构也是由一个简单的气缸驱动，当纸板到达指定位置要开始打结时，气缸 4 活塞推出，使压绳片 6 紧紧压住绳子，这时绕绳机构的摆臂下摆，需要拉出一部分绳子，而其所需的绳子由拉簧 3 以及勾住的缓存杆 2 提供。这样当打结完成后，摆臂上摆后多拉出的绳子长度能由缓存杆 2 和拉簧 3 缓存。当摆臂复位后，压绳片 6 松开，缓存杆 2 和拉簧 3 完全复位，绳子依旧保持张紧状态，不会有过多余量造成绳子扭结或缠绕等干扰情况的发生，提高了整体运行的稳定性。

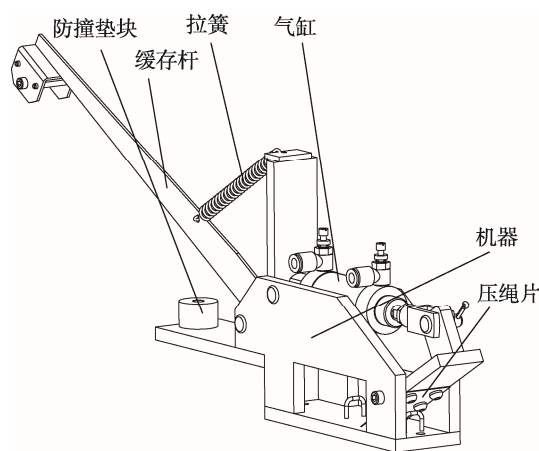


图 9 紧绳机构
Fig.9 Rope tightening mechanism

3 样机与试验

3.1 样机

通过对自动绕绳打结机构进行设计、搭建及试验，再进行优化，最终形成了实体样机，见图 10。

3.2 试验测试

通过设备对现有的几种不同规格的瓦楞纸板进行打结试验，发现影响该设备打结成功的主要因素有以下 2 种。

1) 纸板的位置。纸板位置太靠前或者太靠后都会影响打结效果，当纸板边沿在打结机构的送绳杆和鸟嘴中间位置时，打结效果最好。

2) 纸板的推送方向。当纸板推送正常时，打结效果最好，当纸板推送偏移了方向，会影响纸板下方的塑料绳，使之随纸板推送方向偏移而偏移，这就造成了绳子始端不在打结机构的抬绳杆位置处，导致打结失败。

当排除以上可能导致打结失败的 2 个因素后，设备对纸板的打结成功概率达到了 99.9% 以上，打结效果见图 11，打结效率约为每垛 4 s。

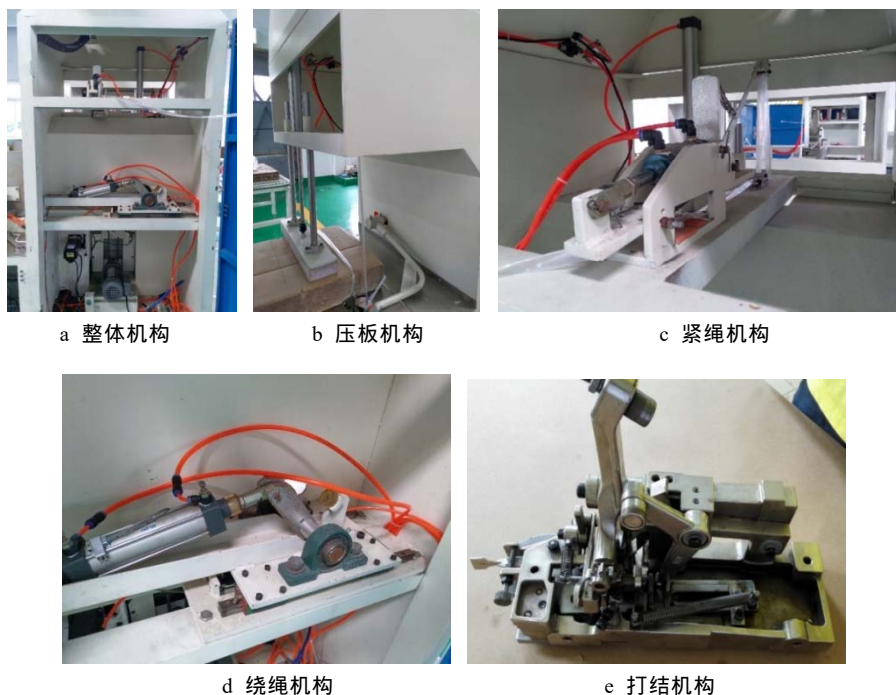


图 10 自动绕绳打结机机构实物

Fig.10 Physical drawing of automatic rope winding knotting machine

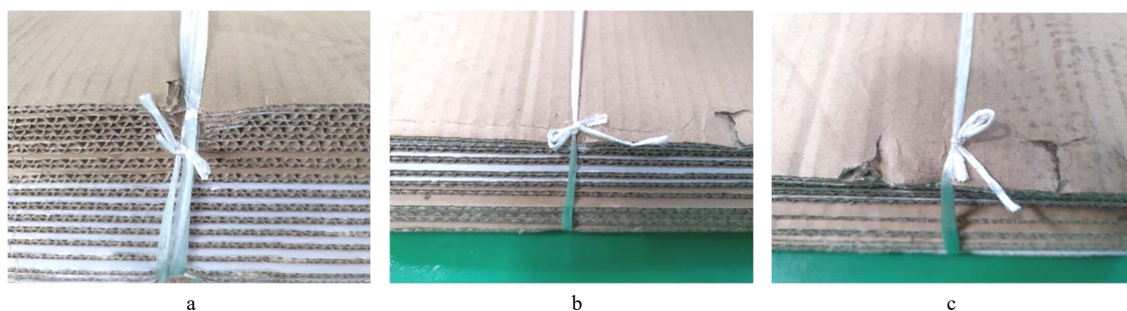


图 11 自动打结效果

Fig.11 Results of automatic knotting

4 结语

设计的自动绕绳打结机构,具有原理清晰、结构简单、可适应多种规格、打结质量高、自动化程度高等优点,能够满足瓦楞纸板生产线后端的纸板捆扎的需求。也可以 2 台设备同时对纸板进行两边打结,合理搭配后可以适应更多产线需求,为瓦楞纸板生产线自动化的升级奠定了基础。如有更多的要求,只需在此设备上升级改进即可,也可进一步拓展,对其他物品进行打结,作为一种绿色环保、操作便捷、维修简单、可靠性高的设备应用于其他行业。

参考文献:

- [1] 高德,刘壮,董静,等.瓦楞纸板包装材料的性能及其发展前景[J].包装工程,2005,26(1):1—4.
- [2] 岳述.纸包装行业自动化智能化步伐加快[J].绿色包装,2018(2):71—74.
- [3] YUE Shu. Accelerated Automation of Paper Packaging Industry[J]. Green Packaging, 2018(2): 71—74.
- [4] 李东,刘佳斌,曹志宏,等.基于纸质金融产品的自动捆扎机机构研究[J].包装工程,2019,40(7):196—201.
- LI Dong, LIU Jia-bin, CAO Zhi-hong, et al. Mechanism of Automatic Strapping Machine Based on Financial Products[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(7): 196—201.
- [4] 刘飞飞,刘金根.基于 ADAMS 的捆扎机锁紧机构的优化设计[J].包装工程,2009,30(7):19—21.
- LIU Fei-fei, LIU Jin-gen. Optimal Design for Locking Mechanism of Bundling Machine Based on ADAMS[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(7): 19—21.

GAO De, LIU Zhuang, DONG Jing, et al. The Property and Prospect of the Corrugated Paper Board[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(1): 1—4.

- 19—21.
- [5] 张明, 赵伯威, 赵帅峰, 等. 线束自动捆扎设备研究[J]. 机械工程与自动化, 2017(2): 101—102.
ZHANG Ming, ZHAO Bo-wei, ZHAO Shuai-feng, et al. Research on Automatic Binding Equipment for Electrical Harness[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2017(2): 101—102.
- [6] HORIGOMEA, ENDO G. Basic Study for Drive Mechanism with Synthetic Fiber Rope – Investigation of Strength Reduction by Bending and Terminal Fixation Method[J]. Advanced Robotics, 2016, 30(3): 206—217.
- [7] KUDOHS, GOMI T, KATANO R, et al. In-air Knotting of Rope by a Dual-arm Multi-finger Robot[C]// IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots & Systems. IEEE, 2015.
- [8] 索利利, 陆佳平. 粽子自动化捆扎夹持机构的研究[J]. 包装与食品机械, 2016, 34(4): 61—65.
SUO Li-li, LU Jia-ping. Automatic Strapping Holding Mechanism of Rice Dumplings[J]. Packaging & Food Machinery, 2016, 34(4): 61—65.
- [9] 魏玉杰, 贺红林. 全自动书本打包机的研究与设计[J]. 包装工程, 2012, 33(17): 79—83.
WEI Yu-jie, HE Hong-lin. Study and Design of Automatic Book Packing Machine[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17): 79—83.
- [10] 张安琪, 冯洋洋, 董浩, 等. D型打结器夹绳盘-打结嘴空间角度参数分析[J]. 农业机械学报, 2018, 49(8): 107—116.
ZHANG An-qi, FENG Yang-yang, DONG Hao, et al. Parameter Analysis of Spatial Angle about Rope-clipping and Hook of D-knotter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(8): 107—116.
- [11] 尹建军, 张万庆, 陈亚明, 等. 打结器夹绳-绕扣-钳咬动作参数分析与打结试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 135—143.
YIN Jian-jun, ZHANG Wan-qing, CHEN Ya-ming, et al. Parameters Analysis of Rope-holding Motion, Knot-winding Motion, Rope-biting Motion of Knotter and Knotting Tests[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 135—143.
- [12] 李海涛, 熊亚, 陈龙健, 等. 打结器割绳脱扣机构磨损分析与改进设计[J]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 118—124.
LI Hai-tao, XIONG Ya, CHEN Long-jian, et al. Wear Research and Improved Design of D-knotter Wiper Mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(3): 118—124.
- [13] 何远博, 王欢, 王宏祥. 包装带捆扎机机械部分研制[J]. 装备制造技术, 2014(10): 127—128.
HE Yuan-bo, WANG Huan, WANG Hong-xiang. Packaging Strapping Machine Mechanical Parts[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2014(10): 127—128.
- [14] 魏炳方, 杭鲁滨, 罗玉峰. 基于粘性胶带的缠绕捆扎机构设计[J]. 包装工程, 2013, 34(3): 68—71.
WANG Bing-fang, HANG Lu-bin, LUO Yu-feng. Design of Winding Packaging Mechanism Based on Adhesive Tape[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3): 68—71.
- [15] 杨妙, 曹巨江, 李志明. 环保型捆扎机送胶、烫合机构的设计[J]. 包装工程, 2010, 31(1): 65—67.
YANG Miao, CAO Ju-jiang, LI Zhi-ming. Design of Environment-friendly Glue Conveying and Heatseal Mechanism of Binding Machine[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(1): 65—67.