

# 编织袋自动捆扎打结机的设计

韩棒斌<sup>1</sup>, 郑希<sup>2</sup>, 周杰<sup>2</sup>, 张东峰<sup>1\*</sup>, 毛宽民<sup>2</sup>

(1. 宁夏大学 机械工程学院, 银川 750021; 2. 华中科技大学 机械科学与工程学院, 武汉 430074)

**摘要:** **目的** 为解决现有人工使用绳子对编织袋进行捆扎打结效率低、劳动强度大的问题, 设计一种基于双套结的编织袋自动捆扎打结机。**方法** 根据手工打结的过程, 将机械化成结划分为束口、打结、套绳、系紧、断绳等步骤。利用 3 个气爪与 2 个抱爪的夹持动作将袋口挤成束状, 束口后滑轨带动袋子运输到打结工位, 再通过电机和气缸来驱动特制的绳结扩大装置来完成旋转成结和扩大绳环, 利用横向和竖向滑轨的组合运动将绳环套在袋口, 套绳后从绳子的两端拉紧绳结即可实现编织袋自动捆扎打结, 构建完成控制系统, 并制作出实体样机后进行打结试验。**结果** 对样机的工作性能进行测试试验, 捆扎打结机的打结成功率约为 92%, 平均打结时长约为 28.1 s/个。**结论** 通过编织袋自动捆扎打结机的研发, 能有效减少人力劳动, 具有推广价值。

**关键词:** 打结机; 结构设计; 自动化

中图分类号: TB486 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)21-0214-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.21.026

## Design of Automatic Binding and Knotting Machine for Woven Bags

HAN Bang-bin<sup>1</sup>, ZHENG Xi<sup>2</sup>, ZHOU Jie<sup>2</sup>, ZHANG Dong-feng<sup>1\*</sup>, MAO Kuan-min<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. College of Mechanical Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**ABSTRACT:** The work aims to design an automatic binding and knotting machine for woven bags based on double-knot, so as to solve the problems of low efficiency and high labor intensity in manual use of ropes to tie woven bags. According to the manual knotting process, the mechanical knotting process was divided into bunching, knotting, lassoing, fastening, cutting, and other steps. The machine squeezed the bag mouth into a bundle through the clamping action of three air claws and two holding claws. After bundled, the bag was transported to the knotting station by the sliding rail. The special knot expanding device was driven by the motor and the cylinder to complete the rotary knotting and expand the rope loop. The horizontal and vertical slides were combined to put the rope loop on the mouth of the bag, and the knot was pulled from both ends of the rope to complete the automatic binding and knotting of woven bag. Finally, the control system was constructed and the prototype was made for knotting test. The working performance of the prototype was tested and the successful knotting rate of the machine was about 92%, and the average knotting time was about 28.1 s/piece. The research and development of the automatic binding and knotting machine of woven bags can effectively reduce manual labor and have promotion value.

**KEY WORDS:** knotting machine; structure design; automation

收稿日期: 2023-05-07

基金项目: 宁夏回族自治区科技攻关计划项目 (2019BFH02005)

\*通信作者

编织袋, 又称蛇皮袋, 被广泛应用于各类农副产品的打包<sup>[1]</sup>, 如小麦、毛豆、青刀豆、西兰花等。使用绳子对编织袋袋口捆扎的方式有很多种, 但大都需要人工完成, 人工打包不但效率低<sup>[2-3]</sup>、成本高, 而且随着工人体力下降, 打包质量也逐渐降低, 如果长时间从事系绳打包工作还有可能损伤手指。目前, 市面上对编织袋进行扎口的机器主要是手持式缝包机, 但是其使用的绳子大多是棉线, 由于掉落的棉纤维容易附着在作为食品的农产品表面等, 故不符合食品安全要求<sup>[4-6]</sup>, 不能用于对如西兰花等蔬菜的扎口, 且该机器的作业方式为半自动化, 需要人工协助, 不但具有危险性, 而且自动化程度低。

本文针对上述情况设计出一款全自动编织袋自动捆扎打结机, 能使用符合食品安全要求的 PE 筒料绳带对编织袋进行自动捆扎打结, 旨在帮助相关农副产品加工企业降低打包成本, 提高打包效率, 且设备的高智能化、高自动化特性更符合未来发展的趋势<sup>[7-8]</sup>。

## 1 自动捆扎打结机总体方案设计

### 1.1 双套结成结工艺分析

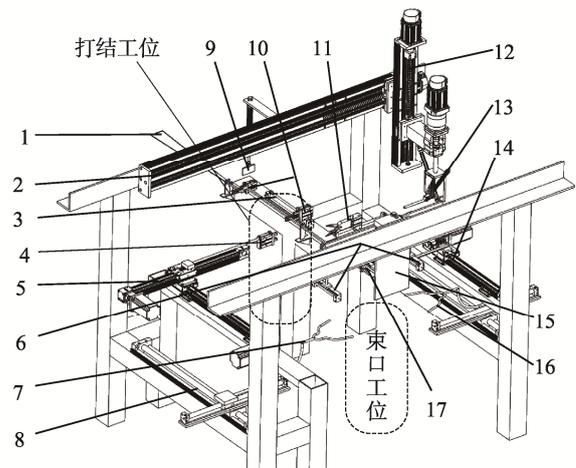
双套结又称猪蹄扣、丁香结, 在包装作业时被广泛使用, 这种死结可以将绳索卷绕在其他被捆物体上, 绳结的缠绕质量与拉力的大小成正比, 不但稳定性较高<sup>[9-10]</sup>, 而且仅需要旋转运动和直线运动的组合交叉即可完成打结, 能够实现机械化。人工打制双套结的方法是先夹紧绳子并挑起, 再用手指带动绳子逆时针旋转形成绳环, 将绳环套在被捆物体上之后便完成单个绳环的工作, 将上述过程重复 2 遍, 并从两端绳头拉紧绳结, 即可打制出一个完整的双套结。手工演示打制单个绳环的过程如图 1a~d 所示, 最终所打双套结如图 1e 所示。该过程的核心点在于旋转以及用绳环套住被捆物体, 这些过程可以由机械化实现。由电机的旋转实现旋转成结, 由 2 个方向的滑轨构成的组合运动来带动绳环套住被捆物体。



图 1 手工打双套结示意图  
Fig.1 Schematic diagram of manual double-knot

### 1.2 整机结构与工作原理

编织袋自动捆扎打结机使用 70 mm 宽的 PE 筒料绳带对装有农副食品的编织袋进行捆扎和打结, 能在一次作业中完成束口、缠绕绳子、系紧、断绳等功能。该设备由多个机构组成, 包括束口机构、打结机构、运输装置、挑绳扩大装置、断绳机构、系紧机构以及送绳机构等, 其中的束口机构、打结机构和挑绳扩大装置为核心机构。按照编织袋在打结过程中的位置, 还可将自动捆扎打结机分为束口、打结两工位, 自动捆扎打结机结构如图 2 所示。



- 1.绳带; 2.平动滑轨; 3.前系紧滑轨; 4.续绳夹爪;
- 5.送绳滑轨; 6.边缘束口爪; 7.左抱爪; 8.运输滑轨;
- 9.压板; 10.绳带夹爪; 11.气剪; 12.提升滑轨;
- 13.挑绳扩大装置; 14.后系紧滑轨; 15.束口提升滑轨;
- 16.右抱爪; 17.中心束口爪。

图 2 编织袋自动捆扎打结机装配图

Fig.2 Assembly diagram of automatic bundling and knotting machine for woven bags

编织袋自动捆扎打结机的作业按照动作顺序可分为束口工序、打结工序、套绳工序、系紧工序、断绳工序以及续绳工序。束口提升滑轨 15 带动边缘束口爪 6、中心束口爪 17 向下运动并抓住编织袋的袋口, 之后左抱爪 7、右抱爪 16、边缘束口爪 6 向中间合拢使袋口被挤成束状, 最后边缘束口爪 6、中心束口爪 17 松开并复位完成束口工序; 运输滑轨 8 带动被左抱爪 7 与右抱爪 16 束缚的编织袋输送到打结工位, 打结工位的挑绳扩大装置 13 进行挑绳、旋转成结、扩大绳结等任务, 完成打结工序; 提升滑轨 12 和平动滑轨 2 之间的组合插补运动带动扩大后的绳结向袋口运动并套住袋口, 完成套绳工序; 2 次套绳后, 前系紧滑轨 3、后系紧滑轨 14 分别带动前系紧绳带夹爪、后系紧绳带夹爪向两边运动拉紧绳结完成系紧工序; 气剪 11 沿其滑轨伸出并剪断绳带 1, 完成断绳工序; 续绳夹爪 4 夹持绳带 1, 送绳滑轨 5 带动续绳夹爪 4 完成续绳工序。绳带夹爪的位置分布如图 3 所示。

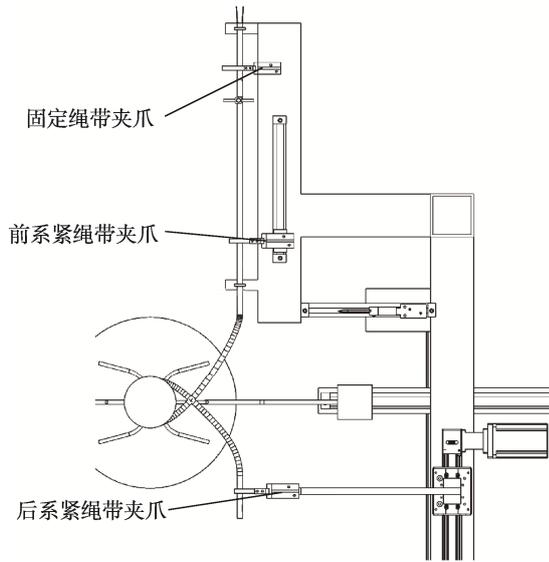


图3 绳带夹爪分布示意图  
Fig.3 Schematic diagram of rope clamp claws

## 2 核心机构的设计

自动捆扎打结机由数个机构组成，包括束口机构、打结机构、运输装置、挑绳扩大装置、断绳机构、系紧机构以及送绳机构等。束口机构、打结机构和挑绳扩大装置为核心机构。

### 2.1 束口机构的设计

人手工使用绳子对编织袋进行扎口打结时，需要利用手指与虎口相配合将袋口向中间折叠，以便于后续的绕绳与打结，这个过程被称为束口。机械化自动束口需要3个顶部的束口爪与2个抱爪来实现，其中3个顶部束口爪用来约束袋口的横向和纵向位置，防止袋口在束口过程中出现任意摆动的情况，2个抱爪用于模仿手工扎口时虎口的作用，将袋口沿着横向归拢。束口过程如图4所示。

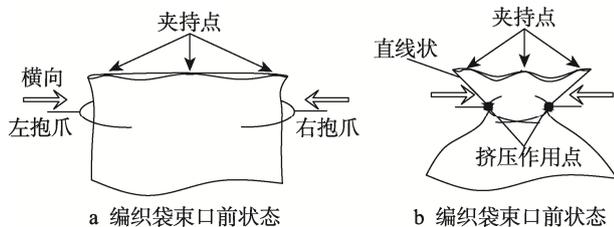
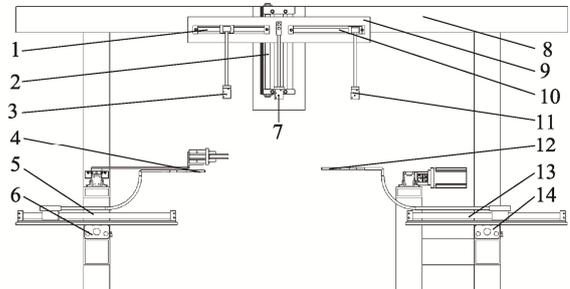


图4 束口过程示意图  
Fig.4 Schematic diagram of mouth bundling

束口作业时，束口爪不但要夹紧袋口，而且位于两端的束口爪还要能够带动袋口向中间合拢。抱爪与束口爪在向中间合拢时具有严格的顺序关系，抱爪的

运动须先于左右两夹持装置，才能使得袋口能从边缘向中间有序的规整折叠，折叠过程中挤压作用点与夹持点之间呈现直线状，运动状态如图4b所示。

束口工位的三维模型如图5所示，其中的束口机构主要由边缘束口爪3、边缘束口爪11、中心束口爪7以及右抱爪4、左抱爪12和束口平移滑轨1、10等构件组成，所有构件均为气动元器件。边缘束口爪3、边缘束口爪11可分别沿着束口平移滑轨1、10移动，中心束口爪7以及束口平移滑轨1、10固定在束口平移滑轨安装板9之上，束口平移滑轨安装板9与束口提升滑轨2的滑块固连为一体，可沿竖直方向上下移动；右抱爪4、左抱爪12可分别沿着抱爪滑轨5、13移动；束口工序完成后，运输滑轨6、14分别带动右抱爪4、左抱爪12和抱爪滑轨5、13和编织袋运输到打结工位。



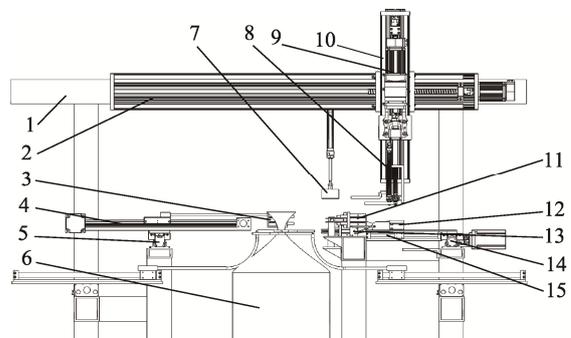
1.束口平移滑轨；2.束口提升滑轨；3.边缘束口爪；  
4.右抱爪；5,13.抱爪滑轨；6,14.运输滑轨；  
7.中心束口爪；8.机架；9.束口平移滑轨安装板；  
10.束口平移滑轨；11.边缘束口爪；12.左抱爪。

图5 束口工位装配图

Fig.5 Assembly diagram of mouth bundling station

### 2.2 打结机构的设计

自动捆扎打结机在打结工位的结构如图6所示。打双套结需要挑绳、旋转成结、套口等步骤。编织袋被运输到打结工位后，提升滑轨10和平动滑轨2带



1.机架；2.平动滑轨；3.送绳夹爪；4.续绳横向滑轨；  
5.续绳纵向滑轨；6.编织袋；7.压板；8.挑绳扩大装置；  
9.旋转成结电机；10.提升滑轨；11.绳带夹爪；12.气剪  
13.前系紧滑轨；14.后系紧滑轨；15.气剪滑轨。

图6 打结工位装配图

Fig.6 Assembly diagram of knotting station

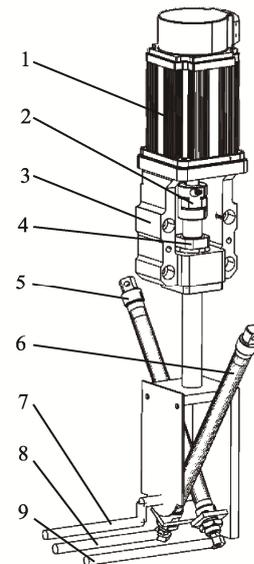
动挑绳扩大装置 8 挑起绳带, 之后由旋转成结电机 9 带动挑绳扩大装置 8 逆时针旋转 180°完成第 1 个绳结; 由挑绳扩大装置 8 把绳结撑大, 由提升滑轨 10 和平动滑轨 2 的组合运动带动扩大后的绳结向着编织袋 6 的袋口斜向下运动, 将绳结套在袋口上; 将绕绳、扩大绳结和套绳完成 2 次后即完成打结工序。

### 2.3 挑绳扩大装置的设计

挑绳扩大装置与旋转成结电机通过联轴器连接, 其中旋转成结电机安装在电机座之上, 结构如图 7 所示。

挑绳扩大装置进行挑绳、旋转成环作业的工作过程如图 8 所示。

挑绳扩大装置的主要功能是将绳带挑起并带动旋转。挑起高度由图 9 确定, 图 9a 中  $b$  为固定绳结与活动绳结扩大杆垂直间距、 $c$  为扩大杆水平间距、 $\phi d$  为固定绳结扩大杆与活动绳结扩大杆的直径; 图 9b 中  $a$  为活动扩张杆移动距离、 $h$  为挑绳高度。为减少系紧绳结所需运动行程, 在满足打结需求的前提下以单个绳环周长最小作为最优值。经过试验分析得出,  $b=18\text{ mm}$ 、 $c=25\text{ mm}$ 、 $\phi d=8\text{ mm}$  为最优组合参数, 再计算得出最佳挑绳高度为 146 mm, 活动扩张杆的移动距离为 157 mm, 扩大后单个绳环的周长为 243 mm。



1. 旋转成结电机; 2. 联轴器; 3. 电机座; 4. 轴承;  
5. 扩大杆推动气缸; 6. 扩大杆推动气缸; 7. 固定扩大杆;  
8. 活动扩大杆; 9. 活动扩大杆。

图 7 挑绳扩大装置结构  
Fig.7 Structural diagram of rope lifting and expansion device

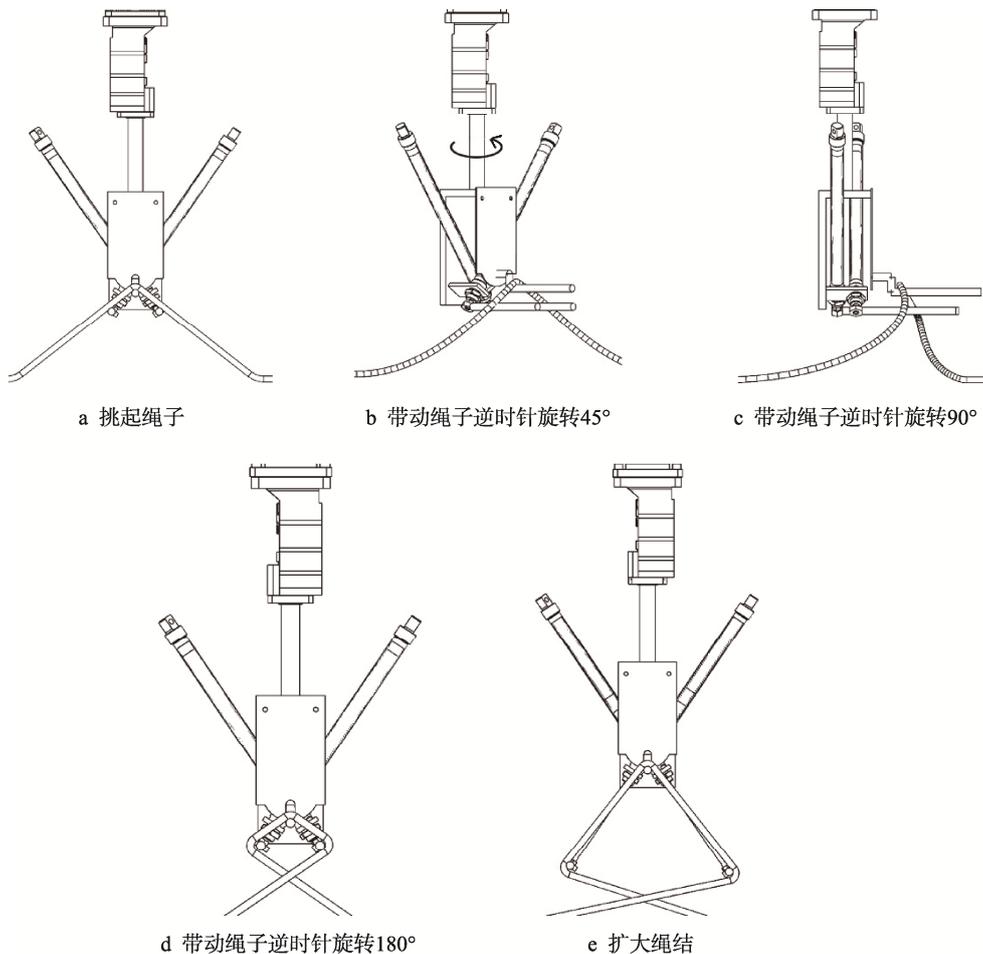


图 8 挑绳扩大装置工作过程  
Fig.8 Working process of rope lifting and expansion device

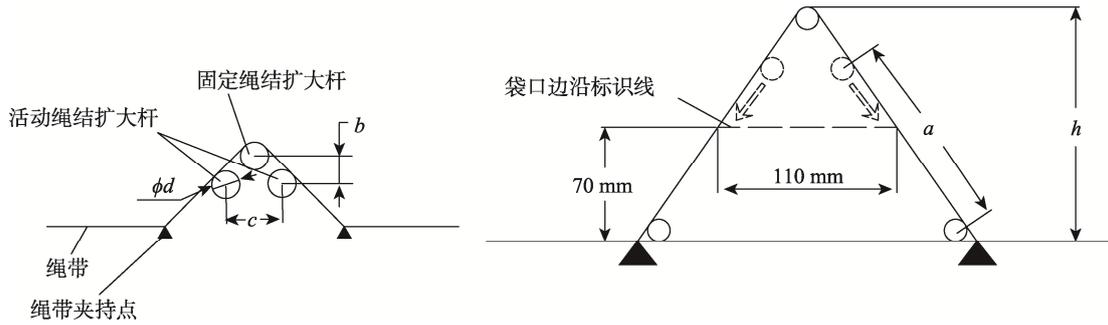


图9 绳带挑起高度设计  
Fig.9 Design of rope lifting height

### 3 控制系统与样机试制

#### 3.1 打结机控制系统组成

采用 PAC 技术对捆扎打结机的控制系统进行了设计<sup>[11-12]</sup>。在程序方面,使用华中科技大学 HPAC 团队开发的 HPAC<sup>[13-14]</sup>软件编制基于 SFC 语言的控制程序,使用 QTOUCH 软件组建可实时在线操控的人机交互界面。在硬件方面,选择 HPAC 团队研发的 H842.12 总线型工业平板电脑,华大公司生产的 80ST-M02403050LM1DD/B 型交流永磁同步伺服电机<sup>[15]</sup>和 TSVB 系列伺服驱动器,以及日本 SMC 株式会社生产的气动元件。其中 H842.12 型工业电脑内置 Linux 系统,配置有 EtherCAT 主站和 12.1 寸 HMI 触摸屏,能实现多功能控制与实时在线信号传输,符合智能化的设计理念。

#### 3.2 自动控制流程与人机交互界面

捆扎打结机的控制具有手动和自动 2 种模式,一

般采用自动模式来进行自动化打结作业,手动模式是为了便于安装、调试和检修。自动模式的运行流程图 10 所示。

H842.12 型工业电脑可与内置的 QTOUCH 在运行时系统进行互操作,在主程序的 HPACRL 系统中通过使用 QTOUCH\_READ 功能块读取内部变量中的数据。通过使用 QTOUCH\_WRITE 功能块往内部变量中写入数据,以此实现可实时控制的信息传输功能。用 QTOUCH 软件设计的操作界面传输至工业电脑的触摸屏上进行界面显示。

#### 3.3 自动捆扎打结机试验

编织袋自动捆扎打结机的样机如图 11 所示。为验证捆扎打结机在自动模式下的打结效果,对装有切割后西兰花的编织袋进行了测试,主要测试其打结成功率和打结效率。测试前使袋口边沿高出袋内西兰花 28 cm 进行测试,进行了 5 组测试,每组进行 20 次打结,中间不停顿,以平均值作为有效打结时长,得出数据如表 1 所示。

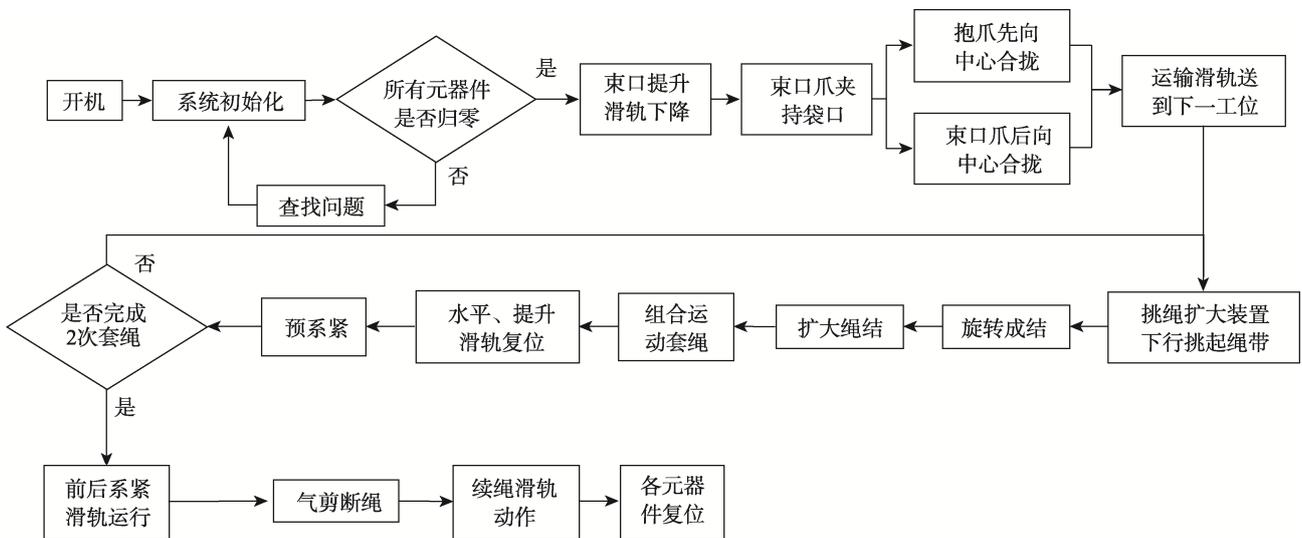


图10 自动模式控制流程  
Fig.10 Flow diagram of automatic mode control

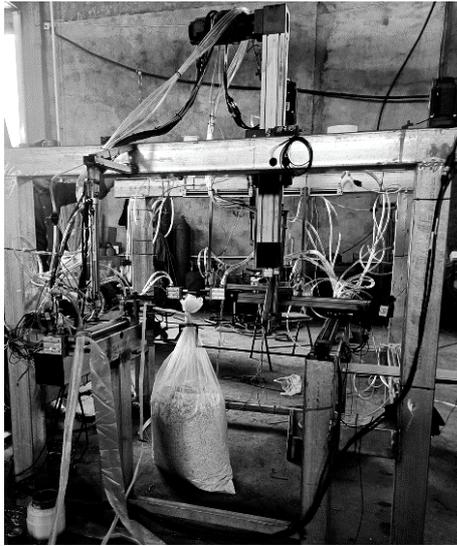


图 11 自动捆扎打结机样机照片  
Fig.11 Photo of prototype of automatic binding and knotting machine

表 1 打结测试试验数据  
Tab.1 Knotting test data

组号	打结总时长/s	单次平均时长/s	打结成功率/%
1	567	28.3	85
2	614	30.7	95
3	539	26.9	95
4	544	27.2	90
5	552	27.6	95

表 1 的数据表明, 在自动模式下, 捆扎打结机作业的单次平均时长为 26.9~28.3 s。打结成功率最高的是第 3 组和第 5 组, 为 95%, 而打结成功率最低的为第 1 组, 仅有 85%, 相对较低。分析原因是在套绳阶段偶尔会出现脱绳不及时的现象, 导致绳环未能正确挂在编织袋的颈部, 后续研究可在固定扩大杆的上方添加托绳推板, 这样能保证脱绳的稳定性。取 5 组试验数据的平均值可得自动捆扎打结机的单次打结时长为 28.1 s, 成功率为 92%, 能满足实际使用需求。

## 4 结语

根据双套结的打结工艺设计一种基于工业电脑控制的编织袋自动捆扎打结机, 单次打结时长约为 28.1 s, 成功率约为 92%。打结机将手工打结的方式划分为挑绳、旋转成结、套绳、系紧等几个步骤。应用国产软件和硬件组建了控制系统, 在解决人手捆扎编制效率低、劳动强度高问题的同时, 也为国产工控技术积累了改进经验。

## 参考文献:

- [1] 谢楠. 筒子纱自动包装与码垛系统设计与开发[D]. 天津: 天津工业大学, 2017: 1-3.  
XIE Nan. Design and Development of Automatic Package and Palletizing System for Cheese[D]. Tianjin: Tianjin Polytechnic University, 2017: 1-3.
- [2] 林晶, 陈鼎, 李超鹏, 等. 瓦楞纸板垛的自动绕绳打结机设计及试验[J]. 包装工程, 2020, 41(1): 82-87  
LIN Jing, CHEN Ding, LI Chao-peng, et al. Design and Test of Automatic Rope-Winding and Knotting Machine for Corrugated Cardboard Pile[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(1): 82-87
- [3] 陈天池. 海带力学特性研究与海带打结机构设计[D]. 南京: 东南大学, 2018: 2-3.  
CHEN Tian-chi. Study on Mechanical Properties of Kelp and Design of Knotting Mechanism of Kelp[D]. Nanjing: Southeast University, 2018: 2-3.
- [4] 陈云峰, 王增瑞, 周玉虎. 包装袋线头过长的原因分析及解决办法[J]. 广东饲料, 2018, 27(7): 39-40  
CHEN Yun-feng, WANG Zeng-rui, ZHOU Yu-hu. Cause Analysis and Solution of Long Thread End of Packaging Bag[J]. Guangdong Feed, 2018, 27(7): 39-40
- [5] 伍换, 蒋小良, 李轩, 等. 食品包装高分子材料的种类及安全性[J]. 当代化工研究, 2022(17): 10-12.  
WU Huan, JIANG Xiao-liang, LI Xuan, et al. Type and Safety of Food Packaging Polymer Materials[J]. Modern Chemical Research, 2022(17): 10-12.
- [6] 李亚男. 食品包装材料安全问题探究[J]. 绿色包装, 2022(9): 36-39.  
LI Ya-nan. Research on the Safety of Food Packaging Materials in China[J]. Green Packaging, 2022(9): 36-39.
- [7] 赵锦康. 包装机械中自动化技术的应用与展望[J]. 科技创新与应用, 2021(2): 158-160.  
ZHAO Jin-kang. Application and Prospect of Automation Technology in Packaging Machinery[J]. Technology Innovation and Application, 2021(2): 158-160.
- [8] 齐帅. 自动化技术在包装机械中的应用[J]. 造纸装备及材料, 2020, 49(6): 22-24.  
QI Shuai. The Application of Automation Technology in Packaging Machinery[J]. Papermaking Equipment & Materials, 2020, 49(6): 22-24.
- [9] 白茂东, 杨继新, 王学俊, 等. 平结式双条海带打结新方法[J]. 大连工业大学学报, 2017, 36(4): 300-303.

- BAI Mao-dong, YANG Ji-xin, WANG Xue-jun, et al. New Method of Double Flat Kelp Knotting[J]. Journal of Dalian Dalian Polytechnic University, 2017, 36(4): 300-303.
- [10] 赵文锐, 贺秋森, 张婧怡, 等. 纱线打结拓扑结构的稳定性研究[J]. 棉纺织技术, 2021, 49(8): 22-25  
ZHAO Wen-rui, HE Qiu-sen, ZHANG Jing-yi, et al. Study on Stability of Yarn Knotting Network Topology[J]. Cotton Textile Technology, 2021, 49(8): 22-25
- [11] 黄杰. 蚕丝打结机器人动力学的仿真与实验研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2018: 1-2.  
HUANG Jie. Simulation and Experimental Study on Dynamics of Silk Knotting Robot[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2018: 1-2.
- [12] HALTERMAN D. Edge Controller, PLC, or PAC?[J]. Control Engineering, 2020, 67(5): 34-35.
- [13] 蒋兴建. 可编程自动化控制器的高密度数据采集存储与回放系统研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2021: 17-18.
- JIANG Xing-jian. Research on Programmable Automation Controller's High Density Data Acquisition, Storage and Playback System[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2021: 17-18.
- [14] 高朝阳. 基于 PLCOpen 及 OPC UA 的标准化机器人控制软件研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2019: 73-74.  
GAO Chao-yang. Research on Standardized Robot Control Software Based on PLCOpen and OPC UA[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2019: 73-74.
- [15] 焦西凯. 总线式超声电机控制驱动器研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2019: 2-7.  
JIAO Xi-kai. Research on Bus-Type Ultrasonic Motor Control Driver[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2019: 2-7.

责任编辑: 曾钰婵