

瓦楞纸板高速捆结机控制系统设计

谷吉海¹, 李超鹏^{1,2}, 陈鼎^{1,2}

(1. 哈尔滨商业大学, 哈尔滨 150028; 2. 浙江大学宁波理工学院, 浙江 宁波 315010)

摘要: **目的** 针对瓦楞纸板生产企业后端打包生产线上人工打包成本高、工人劳动强度大、工作环境恶劣等问题, 建立一套高速、多规格、自动化的瓦楞纸板捆扎生产线控制系统。**方法** 系统采用台达 SV2 系列 PLC 作为中枢控制器, 台达 DOP-B 系列触摸屏作为人机交互界面, 通过各个机构相互协调控制实现瓦楞纸板片高速、自动捆扎。**结果** 该套控制系统可对瓦楞纸板片长、宽自动识别, 同时具有自动分垛、分料、整理等功能, 捆扎效率为每分钟 10~12 个。**结论** 经过实际测试表明, 该套控制系统具有良好的可靠性和稳定性, 满足瓦楞纸板企业生产中高速、多规格捆扎的要求。

关键词: 捆扎生产线; 控制系统; PLC; 瓦楞纸板

中图分类号: TB486⁺.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)23-0150-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.23.022

Design of Control System for High-speed Strapping Machine of Corrugated Board

GU Ji-hai¹, LI Chao-peng^{1,2}, CHEN Ding^{1,2}

(1. Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China; 2. Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo 315010, China)

ABSTRACT: The work aims to establish a set of control system of automatic corrugated board strapping production line which is high-speed and multi-standard, regarding such problems as high manual packaging costs of the rear-end packaging production line of the corrugated board production enterprises, high-intensity work and harsh working environment. With PLC of Delta's SV2 series as the central controller, and touch screen of Delta's DOP-B series as the human-computer interaction interface, the system achieved high-speed, automatic strapping of corrugated board through the coordinated control of various mechanisms. The control system could automatically identify the length and width of the corrugated board, and had the functions of automatic branching, material splitting, sorting, etc., and the strapping efficiency was 10-12 corrugated boards/min. The actual test shows that, the control system has good reliability and stability, and meets the requirements of high-speed and multi-standard strapping in the production of corrugated board enterprises.

KEY WORDS: strapping production line; control system; PLC; corrugated board

国内瓦楞纸板生产通常经横切计数机将连续生产的瓦楞纸板, 按要求的规格尺寸切割成瓦楞纸板片, 按照一定的数量将切割好的瓦楞纸板片推送到下一道工序, 以便打包。目前瓦楞纸板片的打包方式有 3 种: 人工打包, 即一台生产线后面用 8~10 人手工

打包; 用人工将瓦楞纸板片材送至半自动打包机, 需要 6~8 人左右与 4~6 台半自动打包机; 错位堆码, 然后整体用缠绕机器裹包。前 2 种打包方式主要应用在瓦楞纸板二级厂中, 应用这种捆扎方式, 工人进行重复劳动, 工作强度大, 捆扎质量良莠不齐。后一种错

收稿日期: 2019-06-11

作者简介: 谷吉海 (1964—), 男, 工学博士, 哈尔滨商业大学教授、硕导, 主要研究方向为机械振动测试理论方法与技术、包装机械设计理论及智能化。

位堆码方式，主要使用德国 BHS 配套生产线，价格较贵。在国内，高速、多规格的瓦楞纸板高速生产线对配套的自动化柔性打结捆扎生产线的的需求日益强烈。近年来数字化控制技术、光电技术和智能化技术的发展，大大提高了我国瓦楞纸板生产企业的自动化程度。很多学者和公司先后研究了打包机及其控制系统。谢晓燕等^[1]研究了基于日本三菱公司的 PLC 的打包机控制系统设计。韩鹏^[2]、姚峰^[3]等研究了基于 S7-200PLC 的全自动捆扎机控制系统。以上捆扎机控制系统捆扎种类单一，捆扎速度慢，无法满足高速、多规格的捆扎要求。

上述研究表明，打包机及其控制系统尚不能完全满足瓦楞纸板的整理、捆扎要求。整套控制系统不仅要满足生产线高速、灵活、稳定、低失败率等，而且还需要满足生产线在连续送料、分料、打包等多工位中，对纸板进行精确运动定位、定量控制以及错误反馈等^[4-6]要求。为此，文中研究一种新型捆结机构及其控制系统，以满足瓦楞纸板生产线对配套瓦楞纸板片材柔性自动化捆结的需求。

1 设计要求及工艺流程

1.1 捆扎设计要求

瓦楞纸板前端生产线生产固定宽幅、固定长度的瓦楞纸板，再按照客户订单要求由横切机进行剪切，剪切后 1 切、2 切、3 切，固定长度、宽幅的瓦楞纸板。剪切后的瓦楞纸板，由传送带输送至后端打包工位进行捆扎打结。为了使后端捆结生产线与前端瓦楞纸板生产线实现高速无缝对接，需要捆结生产线具备以下功能。

1) 高效可靠运行。通过多种传感器及编码器相互配合，对纸板位置实时检测，对输送带速度实时监控，对送料机构和打包头开合机构等快速响应，机构不仅使用光电传感器进行位置检测，同时使用机械开关进行机械限位保护。

2) 多种控制方式相互配合。捆结生产线不仅要

实现全自动运行功能，同时还应具备单次手动运行以及对打结机构和送料机构等复杂运动机构设立独立调机程序，并通过按钮控制单独运动。

3) 子线扩展功能。当单一主捆结生产线无法满足前端生产线捆结要求时，需要增加子捆结生产线，子线与主线具备同样的捆结功能，并且能与主线相互配合完成捆结任务。

4) 故障不停机功能。当捆结生产线出现换绳、卡纸等可即时解决的故障时，按下故障按钮后送料机构会将当前批次纸板垛剔除，同时发出错误警报，不会影响到其他子捆结生产线继续工作。故障解除后，复位故障按钮，整套系统重新正常运行。

1.2 捆结工艺流程

对于自动化生产线，智能检测与各机构工位之间协调配合十分重要。瓦楞纸板后端打包生产线自动对瓦楞纸板垛进行长度检测、入料位置检测。当单一打包生产线无法完成当前捆结任务时，分料机构会将后一批次瓦楞纸板向子线分料，由子线协助主线完成捆结任务。为了保证捆结机构有正常的工作条件，需要对瓦楞纸板进行分垛。分垛后的瓦楞纸板经过整理与捆结工位后，由排料机构排出。捆结工艺流程见图 1。

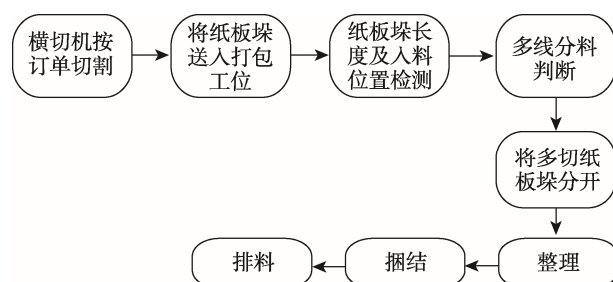


图 1 瓦楞纸板捆结工艺流程

Fig.1 Flow chart of strapping process of corrugated board

2 生产线组成

研发的整套生产线主要由进料机构、分料机构、分垛机构、纸板整理机构和捆结机构组成，见图 2。

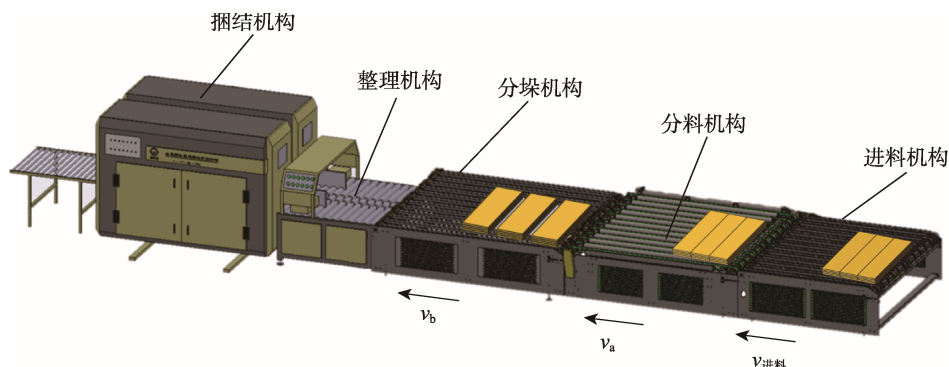


图 2 瓦楞纸板捆结生产线示意

Fig.2 Schematic diagram of corrugated board strapping production line

1) 进料机构。进料机构与前端瓦楞纸板生产线对接,主要由机架和输送带组成,三相异步电机提供动力输出,通过变频器调节电机启动、停止和调速功能。

2) 分料机构。整套瓦楞纸板捆结生产线具有可扩展子捆结生产线与故障排料功能。当需要分料或者故障排料时升降架升起,同时排棍电机启动,分料皮带停止,分料机构将瓦楞纸板料向子线分料或者将纸板料排除。分料机构由排棍、升降架和过渡皮带组成。升降架由气缸提供动力,控制升降架升起、降落。排棍和过渡皮带由三相异步电机提供动力。

3) 分垛机构。为了保证打包机正常工作,分垛机构需要将前端生产线切割后的纸板进行分垛,即要求前端传送过来的纸板垛之间存在一定的间隔。分垛机构是利用2条相连的不同速的传送带,在摩擦力的作用下使相邻2垛纸板形成速度差,进而产生一段间隔。分料机构输送带速度为 v_a ,分垛机构输送带速度为 v_b ,在纸板经过2条传送带的瞬间时, $v_a \leq v_{\text{板}} < v_b$ 。分垛机构工作原理见图3。

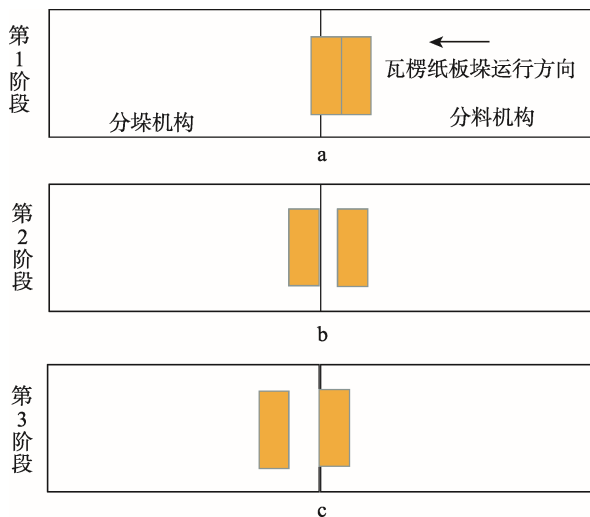


图3 分垛机构工作原理

Fig.3 Working principle of tiller mechanism

为防止瓦楞纸板垛在经过进料机构、分料机构与分垛机构时发生散垛现象,各机构的输送带速度应满足:

$$v_{\text{板}} < v_{\text{进}} \leq v_a < v_b \quad (1)$$

式中: $v_{\text{板}}$ 为瓦楞纸板垛从瓦楞纸板生产线出料时的速度; $v_{\text{进}}$ 为进料输送带的速度; v_a 为分料输送带速度; v_b 为分垛输送带速度。

4) 纸板整理机构。由于各机构之间存在速度差、缝隙以及输送带振动等原因,切割好的瓦楞纸板垛在经过各个机构的过程中,可能会出现轻微变形、错位等不整齐状态。在不整齐状态下,捆结机构不能打出成功的结扣,因此在进入捆结机构前,需要通过整理机构对纸板垛进行整理。整理机构是通过在纸板前进

方向上布置2个气缸,在纸板惯性作用下被动地对纸板垛 x 方向的变形或打斜进行整理,纸板垛左右方向各布置一个气缸,主动对纸板垛 y 方向进行拍齐整理。

5) 送料机构。瓦楞纸板垛在整理机构整理后,由送料机构送入捆结机构。送料机构由送料排棍,可升降推料杆组成。送料机构需要快速、稳定、准确地将纸板垛送入指定位置,因此,送料机构由台达B2伺服电机提供动力,满足送料速度快、送料位置准等要求。

6) 捆结机构。捆结机构采用龙门式设计,由左右2个捆结头对称布置,其中一个捆结头固定不动,另外一个捆结头依照不同瓦楞纸板垛长度自动进行横向开合运动,保证2个捆结头之间的相对距离满足需捆结的瓦楞纸板垛长度。

3 控制系统

3.1 控制系统硬件模块

瓦楞纸板高速捆结生产线硬件组成见图4。

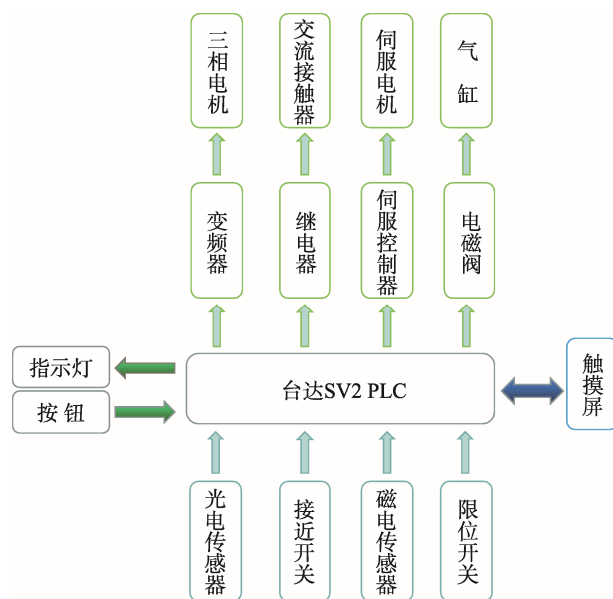


图4 控制系统结构

Fig.4 Control system structure

每条捆结生线产由台达DVP28SV11T2主机和2个DVP16SM11N以及DVP16SN11T扩展模块作为控制系统的核心元件。当主线无法完成当前捆结任务,需要子捆结线协助完成时,2个PLC主机之间通过RS485通讯^[7-8]进行数据交换。输送带和排棍由通用型变频器控制三相异步电机提供动力,变频器采用V/F正弦脉宽调制(SPWM)控制方式。预先在变频器内设置频率,PLC通过MODBUS协议^[9]与变频器通讯控制实现电机启动、停止和反向旋转等功能。伺服电机^[10-12]具有响应快、惯量小、转动平滑、力矩

稳定等优点，因此，在送料和打包头开合等需要精准定位、快速响应的机构使用伺服电机控制。

3.2 控制流程

捆结生产线控制系统流程见图 5。前端生产线剪切后的瓦楞纸板垛，由输送带传输至进料机构，进料机构上布有长度检测传感器，对纸板进行长度测量，将长度数据传输至 PLC 内部存储器^[13—14]。如需使用多条捆结线时，PLC 可控制分料机构将需要打结的瓦楞纸板垛按批次向子捆结线分料。瓦楞纸板垛经进料机构后进入分垛机构，分垛机构利用 2 条皮带速度差使瓦楞纸板垛之间产生 30 mm 左右的间隙，分垛后的瓦楞纸板垛经打包头排棍输送至整理机构，拍齐的瓦楞纸板由送料机构将瓦楞纸板垛推到指定位置。压板首先将纸板垛压紧，然后经过绕绳、打结、退绳等动作后，完成一次打结流程。PLC 检测到打结完成信号后，分料机构将第 2 垛纸板送入重复捆结步骤。

当长度传感器检测到纸板长度改变后(纸板垛的长度改变称为换单)，将长度数据输送到 PLC 数据暂存器中，当 PLC 检测到当前批次所有瓦楞纸板垛打

结完成信号后，由分料机构将换单后的瓦楞纸板垛进行分料判断，同时捆结线上的打包头在 PLC 控制下进行宽度调节。

3.3 纸板长度检测

纸板垛长度检测区由 3 个位置辅助光电传感器^[15]和 7 个长度测量传感器组成(见图 6a)。位置辅助传感器呈三角形布置，纸板垛由前端生产线输送至后端进料机构可能发生偏料现象，当辅助传感器检测到发生偏料现象时(见图 6b)，PLC 会发出警报的同时，在该批瓦楞纸板垛进入分料机构后排出。长度测量传感器在进料机构上与进料输送带相垂直等间距布置，当进料正确时(见图 6c)PLC 会读取 X26 传感器所对应的纸板长度数据，并且与上一批次纸板长度数据对比，当纸板长度数据改变时，会发出换单警报，同时会储存当前批次纸板垛长度数据，控制打包头开合运动。

3.4 纸板捆结时序分配

2 切(3 垛)瓦楞纸板捆结时在各个机构上的位置以及捆结时各机构的工作状态见图 7。

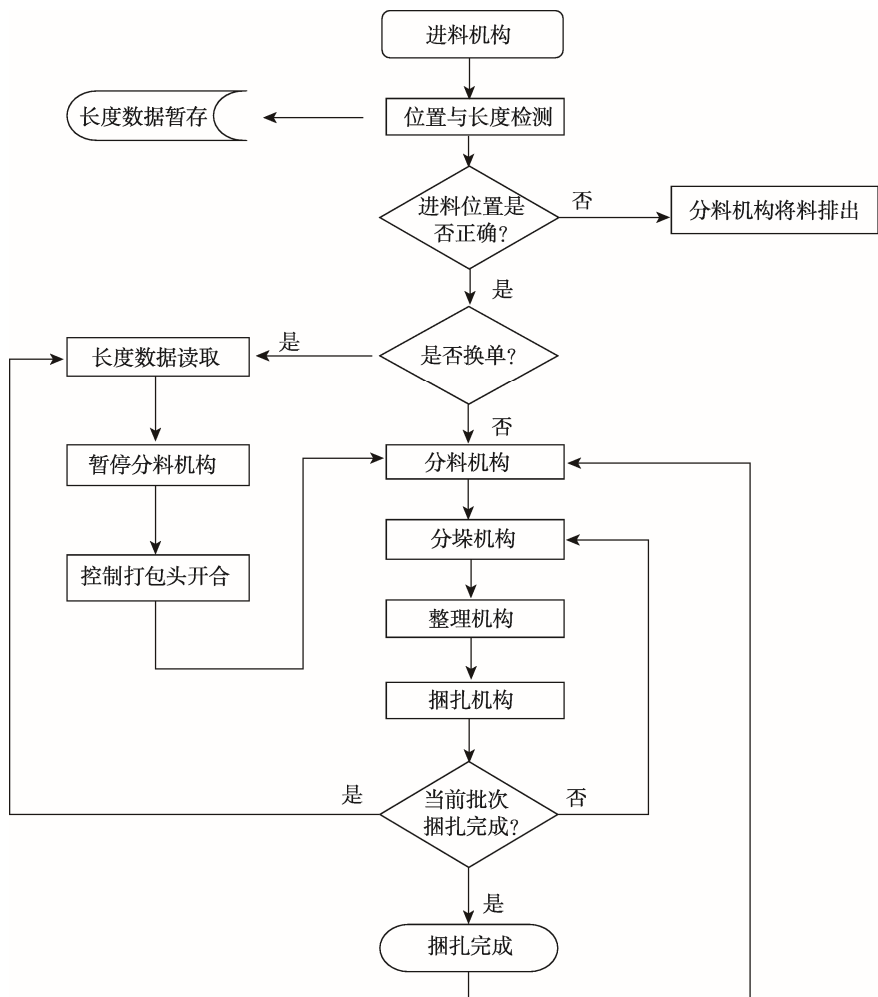


图 5 捆结生产线控制系统流程
Fig.5 Flow chart of control system for strapping production line

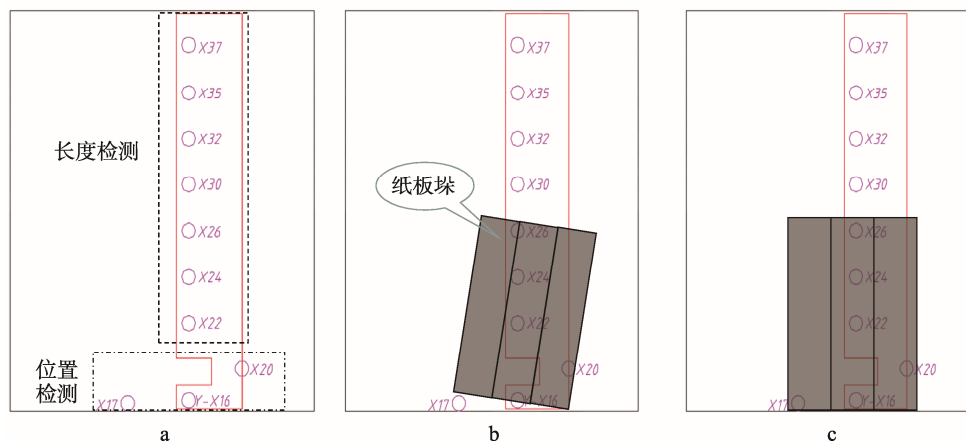


图 6 长度检测传感器布置原理

Fig.6 Layout principle of length detection sensor

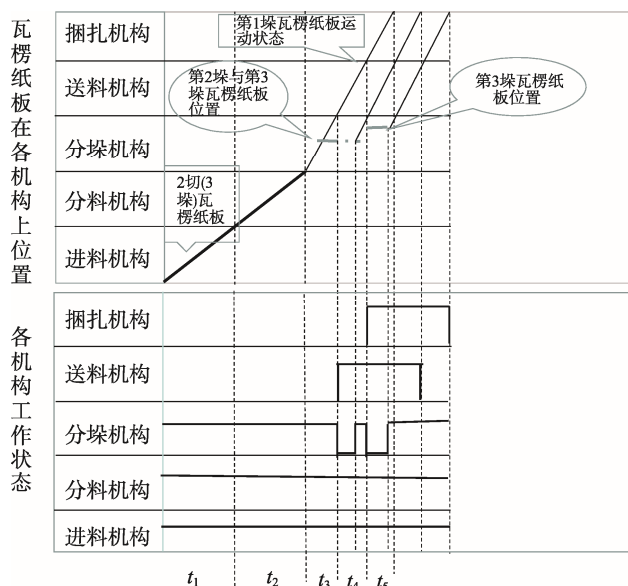


图 7 2 切瓦楞纸板捆结时间分配

Fig.7 Strapping time allocation of two cut corrugated boards

由图 7 分析可知,第 1 批次 2 切瓦楞纸板垛,在 t_1 时间内由进料机构运动到分料机构,在 t_2 时间内由分料机构运动到分垛机构;2 切瓦楞纸板垛在分垛机构与分料机构速度差的作用下,会分为 3 垛纸板,在 t_3 时间内第 1 垛瓦楞纸板由分垛机构直接进入送料机构,第 2 垛与第 3 垛瓦楞纸板会在分料机构上继续等待;在 t_4 时间内,第 1 垛瓦楞纸板由送料机构进入捆扎机构,同时第 2 垛瓦楞纸板由分垛机构进入送料机构,第 3 垛瓦楞纸板继续在分垛机构上等待;在 t_5 时间内,第 1 垛瓦楞纸板完成捆结,第 2 垛瓦楞纸板由送料机构进入捆扎机构,重复 t_5 时间动作至当前批捆结完成。

瓦楞纸板捆结生产线完成瓦楞纸板垛捆结的总时间 t 为:

$$t = t_3 + t_4 + (n+1)t_5 \quad (2)$$

式中: n 为瓦楞纸板切数。

当捆结时间满足如下关系时,该套捆结生产线满足瓦楞纸板捆结设计要求:

$$t = t_3 + t_4 + (n+1)t_5 \leq t_0 + t_1 + t_2 \quad (3)$$

式中: t_0 为瓦楞纸板前端生产线出料速度。

经实际现场测量可知, $t_1 \approx t_2 \approx 10 \text{ s}$, $t_3 \approx t_4 \approx 5 \text{ s}$, $t_5 \approx 4.5 \text{ s}$, $t_0 \approx 10 \text{ s}$ 。完成 2 切 3 垛瓦楞纸板捆结的时间为 t_6 :

$$t_6 = t_3 + t_4 + 3t_5 = 23.5 \text{ s}$$

$$t_6 < t_0 + t_1 + t_2 = 30 \text{ s}$$

满足瓦楞纸板捆结设计要求。

4 结语

主要分析了瓦楞纸板捆结工艺要求,设计了瓦楞纸板捆结工艺流程。设计了一套新型瓦楞纸板后端捆结生产线,完成了整套控制系统的硬件设计,在硬件选型基础上完成了控制系统总流程和程序设计,同时提出了一种瓦楞纸板垛长度检测方案和可扩展捆结生产线分料系统,分配了瓦楞纸板后端捆结生产线各机构时间。该控制系统可以实现瓦楞纸板捆结的自动化和智能化,降低企业生产成本和减轻一线工人劳动强度,与单一型号捆结生产线相比,该套捆结生产线控制系统具有捆扎速度更快,适用于多种规格瓦楞纸板,运用更加广泛等优点。

参考文献:

- [1] 谢晓燕,滕荣华. 基于 PLC 的打包机控制系统设计[J]. 制造业自动化, 2012, 34(10): 144—147.
XIE Xiao-yan, TENG Rong-hua. Control System Design of Packing Machine Based on the PLC[J]. Manufacturing Automation, 2012, 34(10): 144—147.
- [2] 韩鹏,朱奎林. 基于 S7-200PLC 全自动捆扎机控制系统[J]. 兵工自动化, 2016, 35(1): 42—44.
HAN Peng, ZHU Kui-lin. Control System Based on

- S7-200 PLC Automatic Strapping Machine[J]. Ordnance Industry Automation, 2016, 35(1): 42—44.
- [3] 姚峰. SunyPLC200 在簿带自动捆扎机中的应用[J]. 国内外机电一体化技术, 2007, 10(8): 18—19.
YAO Feng. Application of SunyPLC200 in Automatic Strapping Machine[J]. International Mechatronics Technology, 2007, 10(8): 18—19.
- [4] 李泽, 闫学文, 温志宏, 等. 一种新型的搓纸轮自动包装控制系统设计[J]. 包装工程, 2019, 40(7): 174—179.
LI Ze, YAN Xue-wen, WEN Zhi-hong, et al. New Design of Rubber Roller Automatic Packaging Control System[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(7): 174—179.
- [5] 林蒙丹, 赵雪林. 基于 PLC 的自动包装码垛生产线的研究与设计[J]. 包装工程, 2019, 40(11): 148—154.
LIN Meng-dan, ZHAO Xue-lin. Design of Automatic Packaging and Stacking Production Line Based on PLC[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(11): 148—154.
- [6] 康瑞芳, 刘鑫. 包装码垛机器人嵌入式控制系统设计[J]. 包装工程, 2018, 39(1): 132—135.
KANG Rui-fang, LIU Xin. Embedded Control System Design of Packaging Palletizing Robot[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(1): 132—135.
- [7] RAMIREZ-SERRANO A, ZHU S C, CHAN S K H, et al. A Hybrid PC/PLC Architecture for Manufacturing-system Control-theory and Implementation[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2002, 13(4): 261—281.
- [8] MEI Da-cheng, HE Zhi-min, GONG Jie, et al. Research and Implementation of Building Distributed Control System Based on S7-200 PLC and PC[C]// International Conference on Computer & Automation Engineering, 2010.
- [9] 陈满儒, 惠晓妮. 矢量变频器在凹版印刷机上的张力控制[J]. 包装工程, 2007, 28(11): 89—91.
CHEN Man-ru, HUI Xiao-ni. Application of Vector Frequency Converter in Tension Control of Gravure Printer[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(11): 89—91.
- [10] 孔艳, 郑王刚, 邹华海. 台达伺服控制在双面研磨机上的应用[J]. 伺服控制, 2010(1): 57—58.
KONG Yan, ZHENG Wang-gang, ZOU Hua-hai. Application of Delta Servo Control on Double-sided Grinding Machine[J]. Servo Control, 2010(1): 57—58.
- [11] 蒲军. 桁架式机械手伺服电机选型[J]. 制造业自动化, 2019, 41(6): 1—3.
PU Jun. Type Selection of Servo Motor for Truss Type Manipulator[J]. Manufacturing Automation, 2019, 41(6): 1—3.
- [12] 蒋梦琴, 高强, 刘静宝, 等. 永磁同步电机位置伺服系统滑模控制研究[J]. 电气自动化, 2018, 40(2): 13—16.
JIANG Meng-qin, GAO Qiang, LIU Jing-bao, et al. Study on Sliding Mode Control of Positioning Servo System of Permanent Magnet Synchronous Motor[J]. Electrical Automation, 2018, 40(2): 13—16.
- [13] PAI S, BANSAL N, DESAI K, et al. Intelligent PLC Based Transformer Cooling Control System[C]. International Conference on Nascent Technologies in Engineering, 2017.
- [14] HUANG Xue-mei. Distributed and Reconfigurable Control of Lower Level Machines in Automatic Production Line[C]// Intelligent Control & Automation, 2010.
- [15] ZHANG Rui-hui, GUO Xiao. The Application and Development of Photoelectric Sensor[J]. Energy Procedia, 2012, 17(part-PB): 1304—1308.