

基于多轴同步控制技术的条烟柔性码垛系统设计

杨远¹, 王晋冰², 刘旭³, 周林³

(1. 贵州大学, 贵阳 550025; 2. 贵州省烟草公司贵阳市公司, 贵阳 550002;

3. 贵州省烟草公司黔南州公司, 都匀 558000)

摘要: **目的** 克服原有的刚性吸盘的局限性, 提高烟草物流中心的条烟码垛效率。**方法** 设计一种基于多轴同步控制技术的条烟柔性码垛系统, 以 SIMATIC S7-1200 PLC 为控制核心, 通过 PROFINET 与 Kinoc 触摸屏进行通信, 将 9 个步进电机驱动器和传感器同 PLC 外接的输入、输出模块连接。工控机发送的数据经过 PLC 处理, 通过主令同步的方式控制指令, 实现柔性吸盘的同步, 完成多样化条烟的同时抓取。**结果** 该控制系统通过搭建的实验平台验证了其稳定性和高效性, 该系统可以同时吸附 5 条高度和宽度不同的条烟, 大大提高了条烟码垛机器人的效率。相较于刚性码垛系统, 此柔性码垛系统的码垛效率峰值提高了 24.9% 左右。**结论** 文中系统的设计提高了条烟的码垛效率, 并且提高了烟草包装的智能化水平。

关键词: 柔性码垛; 多轴同步控制技术; 主令同步方式; PLC

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)03-0261-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.03.033

Design of Flexible Cigarette Palletizing Control System Based on Multi-axis Synchronous Control Technology

YANG Yuan¹, WANG Jin-bing², LIU Xu³, ZHOU Lin³

(1. Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Guizhou Tobacco Guiyang Company, Guiyang 550002, China;

3. Guizhou Tobacco Qiannan Company, Duyun 558000, China)

ABSTRACT: The work aims to overcome the limitations of the original rigid palletizers and improve the efficiency of cigarette palletizing in the tobacco logistics center. A flexible cigarette palletizing system based on multi-axis synchronous control technology was designed. With SIMATIC S7-1200 PLC as the control core, the system communicated with Kinco touch screen through PROFINET and connected 9 stepper motor drivers and sensors with the external input and output modules of PLC. The data sent by the IPC were processed by the PLC and synchronized by master control to achieve the synchronization of the flexible palletizers and complete the simultaneous grasping of diversified cigarettes. The stability and efficiency of the control system were verified by the experimental platform. The system could simultaneously adsorb 5 strips of cigarettes of different heights and widths, which greatly improved the efficiency of the cigarette palletizing robot. Compared to the rigid palletizing system, the flexible palletizing system increased the efficiency peak by about 24.9%. The designed system improves the efficiency of cigarette palletizing and increases the intelligence of tobacco packaging.

KEY WORDS: flexible palletizing; multi-axis synchronous control technology; master control; PLC

收稿日期: 2022-04-12

基金项目: 贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合 KY 字[2021]268); 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2021]一般 355); 贵州省烟草公司贵阳公司科技项目(黔烟筑科[2022]1 号)

作者简介: 杨远(1996—), 男, 硕士生, 主攻机械设计制造及其自动化。

通信作者: 王晋冰(1983—), 男, 网络工程师, 主要研究方向卷烟商业物流自动化与信息化建设。

在我国众多人口中,大约有3亿烟民,约占世界烟民人口的25%;而我国的烟草产量占世界的35%,烟草销售量占32%^[1-2]。随着市场个性化时代的到来,异型烟的销量在烟草市场突飞猛进,因此烟草物流中心面临着巨大的挑战^[3]。烟草物流中心针对条烟堆叠智能化的问题,提出了一种基于吸盘的码垛机器人,该码垛机器人主要是将条烟按照一定的模式堆码成垛,完成单元化的存储和运输,缩短了生产周期,提高了生产效率,降低了生产成本^[4-6]。然而烟草销量的迅速增加,促使码垛机器人不断地更新换代。国内许多研究者在异型烟码垛技术上取得了显著的成就,例如,张都等^[7]通过采用叠层设备和链式拨烟装置对异型烟进行混合式码垛,包装效率峰值可达到6 000条/h。胡敏^[8]通过将机器视觉系统和自动码垛算法结合运用到码垛系统,大大地提高了码垛机器人的智能化水平,但是该码垛系统的末端执行机构采用刚性吸盘,每次只能抓取1条或2条条烟。徐明阳等^[9]采用以PLC为控制核心的方法,研发出了一套4抓柔性吸盘,克服了刚性吸盘的柔性化问题。在包装领域,大量技术人员也把PLC控制器应用到自己的研发工作中^[10-12]。

文中的研究以PLC控制器作为条烟柔性码垛系统的控制核心,设计一套基于多轴同步控制技术的五抓柔性吸盘控制系统。

1 条烟码垛系统

1.1 条烟码垛系统的结构

条烟柔性码垛系统主要分为抓烟皮带、机械手、机械手末端执行机构、触摸屏、倍速链等结构构成,其结构见图1。抓烟皮带由伺服电机提供动力,电机的启停则是通过伺服驱动器来控制。抓烟皮带上安装了1对测长传感器、5对条烟到位传感器以及挡烟条,其功能是判断条烟的品规以及到位情况。机械手使用的型号是EPSON LS20-B804S, LS20-B系列,是追求高速和高性价比的高性能机器人,通过将U轴容许力矩提高至 $1.00\text{ kg}\cdot\text{m}^2$ 以达到大容量,其次通过高速移动改善了节拍时间,缩短了摆臂需要的时间。机械手末端执行机构是由5组吸盘组成,每组吸盘都有独立的槽型光电和测高传感器,用于原点的检测和条烟高度的复核,测高传感器还具有掉烟保护功能,其中第3组作为机械手末端执行机构的基准,只能进行z轴方向的移动,其余4组在x轴方向也能进行移动。每组吸盘由1个吸盘板和8个吸盘组成,每个吸盘板通过连接一个电磁阀来控制吸盘的吸气和吹气。触摸屏作为人机交互界面,可以实现该系统的参数设置,末端执行机构的手动控制以及各电气控制环节的信号显示。倍速链是用于托盘的切换,可将码垛完成的托盘移动到下一工位,把空托盘移至码垛位置并同时

发送允许码垛信号。

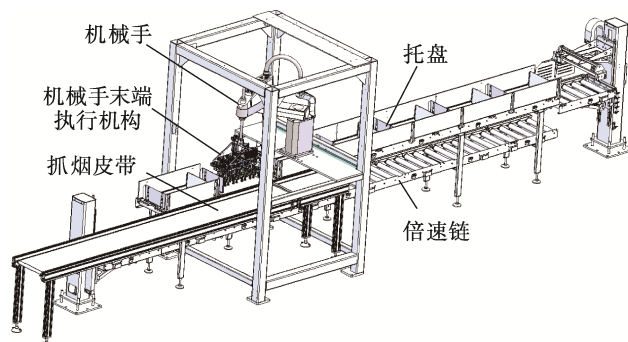


图1 条烟码垛系统
Fig.1 Cigarette palletizing system

1.2 条烟柔性码垛控制系统的工艺流程

条烟输送到抓烟皮带末端挡烟板处,经过测长传感器和测高传感器对条烟的复核触发抓烟信号。机械手移动到抓烟点上方等待抓烟信号,当PLC收到抓烟信号,5组吸盘开始变距进行抓取条烟。机械手抓取条烟后移动到放烟点上方等待允许码垛信号,在移动过程中吸盘变距。倍速链将托盘移动到码垛位置,并向机械手发送允许码垛信号,收到允许码垛信号的机械手开始放烟,放烟后机械手回到抓烟点上方等待指令。重复运行上述流程直到订单完成,然后倍速链将码放好的托盘送入下一工位,最后切换订单,其工艺流程见图2。

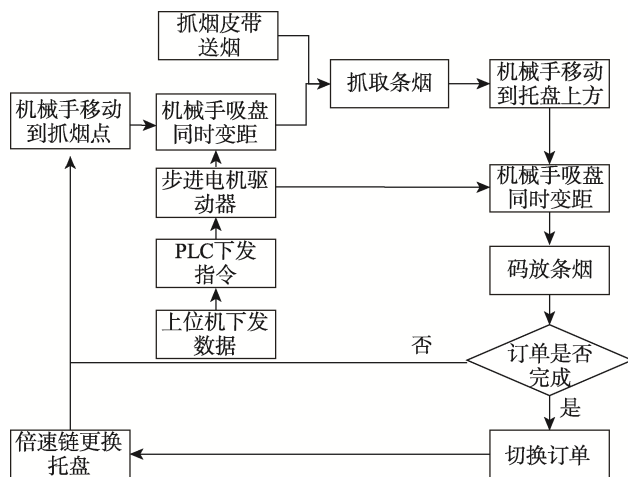


图2 码垛工艺流程
Fig.2 Palletizing process flow

1.3 刚性码垛系统

刚性码垛系统对条烟的要求较高,必须保证所有条烟高度一致。面对异型烟销量的突飞猛进,该系统只能通过多次、少条数的方法进行抓取,虽然相较于人工码垛,刚性码垛的效率有了进一步的提升,但是面对当今市场的多样化还远远不够。如图3所示,该

三维图是一台四抓的刚性码垛系统, 可实现同时吸附 4 条高度相同的条烟。针对柔性码垛系统和刚性码垛系统的差异, 文中通过对系统的结构、抓取对象、拆单情况和烟姿要求进行对比, 见表 1。在烟草物流行业中, 分拣码垛效率是烟草物流公司解决的关键问题。图 3 的刚性吸盘可实现多条条烟的抓取, 但是应对不了订单的多样化。要实现订单多样化, 则需要减少末端执行机构的体积, 同一时刻的抓烟条数也随之减少。柔性码垛系统既可以应对订单多样化问题, 又可以实现多条烟的同时抓取, 满足了目前烟草物流公司的需求。

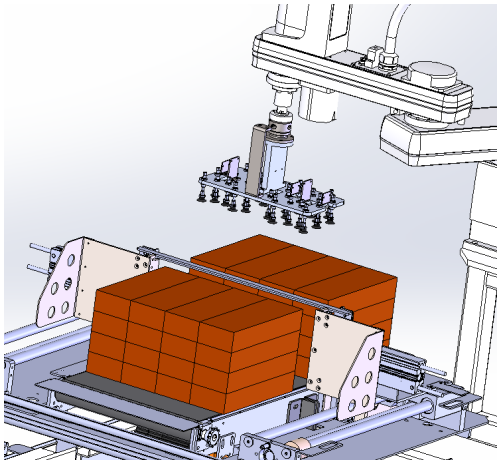


图 3 刚性码垛系统
Fig.3 Rigid palletizing system

表 1 2 种码垛系统的对比
Tab.1 Comparison of two palletizing systems

对比方面	柔性码垛系统	刚性码垛系统
结构	末端执行机构结构复杂, 每组吸盘都有独立的 x 、 z 轴电机、零点传感器、高度传感器	末端执行机构结构简单, 吸盘全部安装在一块钢板上
抓取对象	多样化, 可同时抓取高度、宽度不同的多条条烟	单一化, 只能同时抓取高度相同的多条条烟
拆单情况	拆单次数少, 可以应对订单内条烟的多样化	拆单次数多, 只能应对订单内同一高度的条烟, 多样化的订单只能进行多次拆单来完成码垛
烟姿要求	烟姿要求较高	烟姿要求较低

2 多轴同步控制技术

基于控制方式, 多轴同步控制可分为机械同步方式和电控同步方式。其中机械同步方式是由多根轴和

齿轮系组成, 依靠着机械结构的方式来实现同步, 这种同步控制方式机构复杂、机械加工精度要求高, 因此已经被淘汰。电控同步方式主要有主从同步、虚轴法同步以及交叉耦合同步等方案。文中采用主令同步方式, 该方式与主从方式相似, 每个轴都是通过单独的电机驱动, 每个电机驱动器都是由同一个命令信号源来控制, 然后控制器对信号源进行分配, 将分配好的信号发送至电机驱动器上, 完成整个同步控制过程^[13-15]。由于主令同步方式的各电机之间没有耦合, 因此任何一个电机轴受到外界负载扰动都不会影响其他轴的正常运行, 因此该方式符合条烟码垛系统的需求, 其系统结构见图 4。

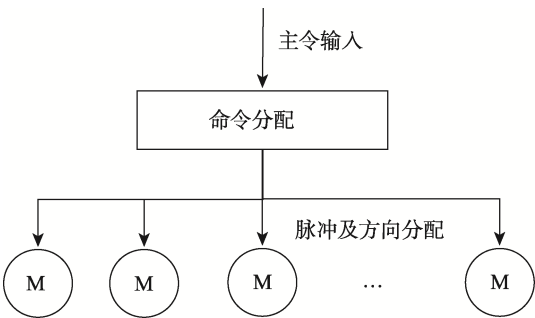


图 4 主令同步方式原理
Fig.4 Principle of master control

3 多轴同步技术控制系统硬件设计

根据工艺流程设计了多轴同步控制系统的硬件, 该系统主要由 PLC (主、从站)、步进电机、驱动器、Kinco 触摸屏和槽型传感器组成。系统包含了 4 个 x 轴原点光电和 5 个 z 轴原点光电, 用于检测吸盘 x 轴和 z 轴的位置。对 9 个电机的单独驱动保证了电机之间互不干扰, 还能直观地显示各电机的故障信息。其硬件结构见图 5。

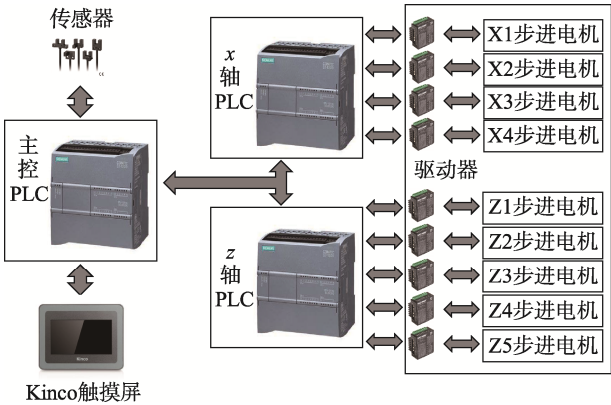


图 5 控制系统硬件结构
Fig.5 Hardware structure of control system

PLC 全称为可编程逻辑控制器,它具备复杂的逻辑算法控制能力,与此同时还具备计时、计数的功能,该系统使用的 PLC 是西门子 S7-1200 PLC。S7-1200 PLC 作为一款紧凑型控制器并没有限制其功能,该控制器主要面向简单而高精度的自动化任务,它具备较高的灵活性,可以很大程度地满足客户的各种需求,麻雀虽小五脏俱全。它通过集成的 PROFINET 接口实现了同 HMI 与其余 PLC 的通信,并可以通过该接口进行编程,它还可以通过开放的以太网协议支持实现与第三方设备之间的通信。

该款 PLC 通过集成 2 个高速输出来进行高速脉冲输出或脉宽调制输出。系统将 PLC 分成主站 PLC 和从站 PLC,主站 PLC 控制着工控机、触摸屏、从站 PLC 和机械手控制器;从站 PLC 控制机械手末端执行机构的吸盘运动,但对柔性吸盘的控制信息是从主站 PLC 发出,设置从站 PLC 的主要目的是减轻主站 PLC 的计算量。主站 PLC、从站 PLC 和触摸屏通过 PROFINET 接口实现相互之间的通信。

柔性吸盘主要有 9 个步进电机组成(4 个 x 轴的驱动电机,5 个 z 轴的驱动电机),每个电机都存在单独的驱动器。X1 步进电机和 Z1 步进电机控制着 1 号吸盘的 x 轴运动和 z 轴运动,X2 步进电机和 Z2 步进电机则是控制 2 号吸盘,由于 3 号吸盘是作为 x 轴的定位基准,因此只能通过 Z3 步进电机控制 z 轴运动,X4 步进电机和 Z4 步进电机则是控制 4 号吸盘,X5 步进电机和 Z5 步进电机则是控制 5 号吸盘,再通过从站 PLCX 和 PLCZ 发送脉冲和方向信号进行吸盘的控制。步进电机具有良好的跟随性,输入的脉冲数与角位移严格成正比,因此几乎不会产生累计误差。步进电机虽然结构简单、价格低,但是其可靠性极高,

面对该系统的频繁启停也能极好的响应。由于步进电机的体积小、质量轻,因此减轻了机械手的负载,使该系统的使用寿命更高。多轴同步控制系统的电机输出信号和原点光电输入信号在 PLC 控制器上的地址见表 2。

4 多轴同步技术控制系统的软件设计

硬件系统是控制系统的载体,而软件系统的优劣是衡量整个系统的稳定性和可靠性的关键。通过对 PLC 程序和人机界面的设定,不仅实现了多轴同步控制,还实现了人机界面单个轴的运动控制,使条烟柔性码垛系统末端执行机构能够实现同步运行的同时,还能达到独立控制。系统采用的是西门子的博途软件进行 PLC 控制器的编程,人机交互界面是运用 Kinco DTools V3.5.2 软件绘制的。

4.1 PLC 程序设定

该系统的 PLC 控制流程见图 6。首先通过工控机下发码垛数据到主控 PLC 中;启动系统之后,PLC 上电使能,进行 x、z 轴的复位,并检测各轴的回零情况;完成复位之后,等待各轴数据的写入;RC 收到待机点信号,移动到待机点的同时,柔性吸盘变距;随后通过测高传感器和测长传感器对条烟进行复核;复核无误,RC 收到抓烟信号,抓取条烟;在 PLC 检测下无掉烟情况后,RC 会收到放烟点上方信号并移动到放烟点上方;同时 PLC 会收到码垛位置数据,柔性吸盘变距;在 RC 得到放烟信号时,电磁阀启动,破真空放烟;放烟完成后,RC 再次收到待机点信号,返回待机点,循环此过程。

表 2 I/O 分配
Tab.2 I/O allocation

输入信号		输出信号	
地址	功能名称	地址	功能名称
ZKPLC I0.0-3	吸盘 X1、X2、X4、X5 原点光电	PLCX Q0.0,Q0.2,Q0.4,Q0.6	吸盘 X1、X2、X4、X5 脉冲
ZKPLC I0.4-7	吸盘 Z1、Z2、Z3、Z4 原点光电	PLCX Q0.1,Q0.3,Q0.5,Q0.7	吸盘 X1、X2、X4、X5 方向
ZKPLC I1.0	吸盘 Z5 原点光电	PLCZ Q0.0,Q0.2,Q0.4,Q0.6	吸盘 Z1、Z2、Z3、Z4 脉冲
		PLCZ Q0.1,Q0.3,Q0.5,Q0.7	吸盘 Z1、Z2、Z3、Z4 方向
		ZKPLC Q0.0	吸盘 Z5 脉冲
		ZKPLC Q0.1	吸盘 Z5 方向

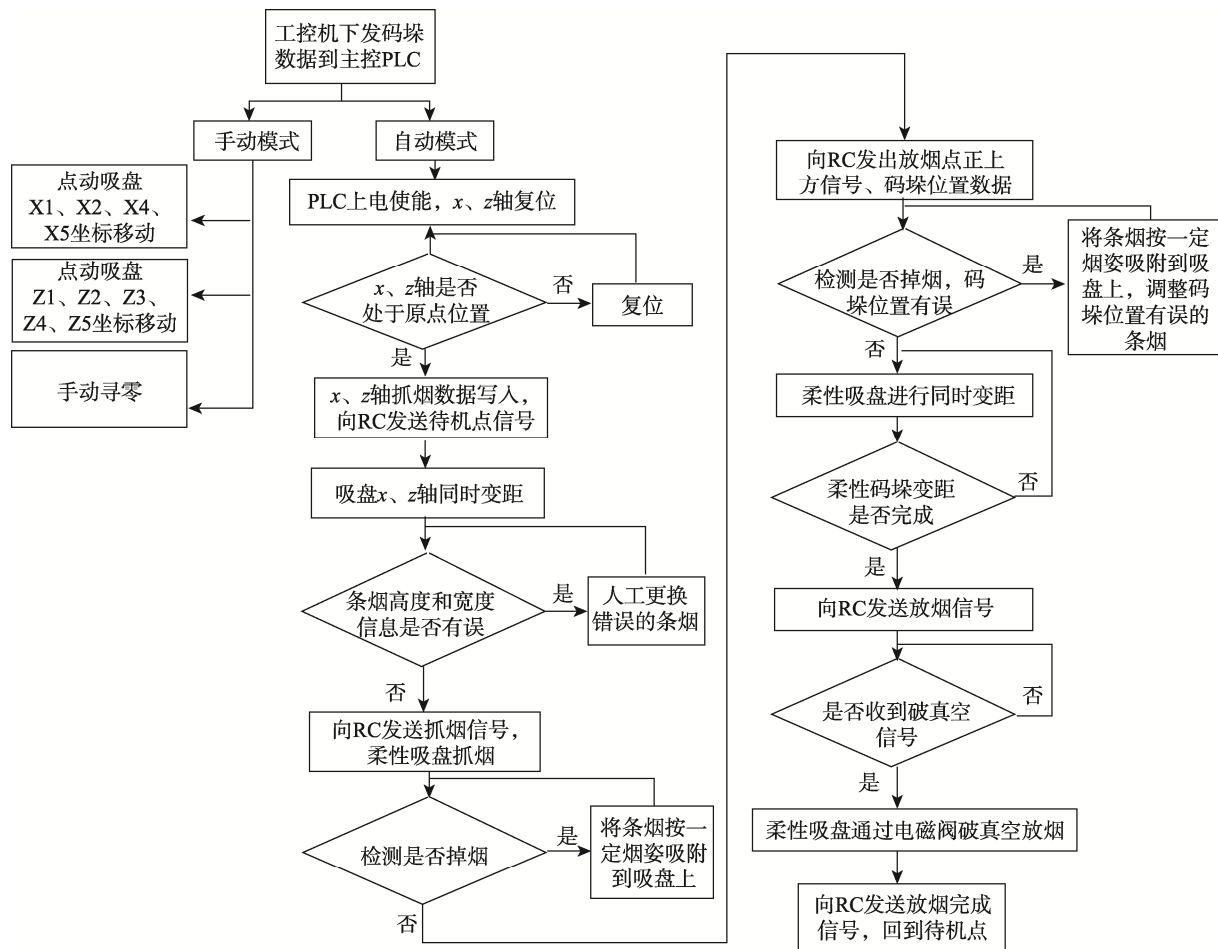


图 6 PLC 控制流程
Fig.6 Control flow of PLC

该过程基于主令同步方式,系统通过对各轴的使能、复位、人机界面复位、 x 轴变距、 z 轴变距、 x 轴和 z 轴的速度设置、抓烟和放烟等线圈进行串联,用一个触点方式的控制,实现了一个信号源的多电机控制。其中的 x 轴变距和 z 轴变距是通过对上位机下发的条烟数据进行分配,再统一调用,让各轴能实现同步变距。吸盘同步变距的过程中会出现吸盘位置的不佳,导致吸盘受到的负载较大,因此系统的同步性受到了破坏。该系统设计了相应的报警程序,通过比较目标位置和返回目标位置来触发未返回目标位置线圈,达到报警效果,可以通过复位和人机界面复位解除报警,大大减少了人工排查故障的时间。

4.2 人机界面

条烟柔性码垛系统的人机交互界面主要包含码垛主界面、传感器参数界面、数据交互界面、码垛数据界面、吸盘电机界面和机械手界面。其中吸盘电机界面是控制柔性吸盘的主要界面,如图7所示,界面中的位状态切换开关是通过连接端口 Net 与电气控制程序中的相关触点直接连接,选取相应的地址类型,再输入对应的触点地址进行通信,实现了 x 和 z 轴的

运动控制。柔性吸盘到达零点光电时电机会自动停止,该方式是通过点动正和点动负的常开触点串联一个零点开关常开触点来获取暂停轴的信号。

柔性吸盘界面主要包含了 3 个部分: 报警信息、柔性吸盘位置信息和柔性吸盘控制。报警信息部分主要包含了各轴的功能块故障报警、各轴寻零报警、x 和 z 的抓烟未到位报警以及 PLC 通信报警, 通过对报警信息的准确显示, 让操作员能够及时准确地处理故障, 减少了排查故障的时间。柔性吸盘位置信息部分显示了放/抓烟 x 位置、当前 x 位置、抓烟 z 位置、放烟 z 位置、当前 z 位置、原点开关和已回零的信息, 可通过该部分实时查看各轴位置信息 and 是否回零的信息。柔性吸盘控制部分控制着各轴的运动, x 轴的正负是将 3 号吸盘视为基准, 朝向 3 号吸盘的方向视为正, 背离 3 号吸盘的方向视为负; z 轴是统一向上为正、向下为负, 各轴的方向通过界面按钮对应的标识进行控制。柔性吸盘控制部分还有手动寻零按钮和 x、z 轴速度控制按钮, 手动寻零按钮可以直接控制各吸盘各轴的寻零动作, 点击更改 x、z 轴速度控制按钮后, 需要将设备急停—复位—启动后生效。

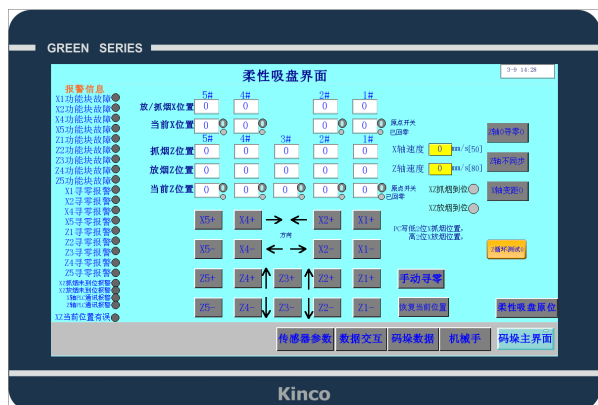


图 7 人机界面

Fig.7 Human-computer interface

总量和异型烟总量,同时采集了柔性吸盘末端执行机构的变距次数和差错次数,主要的信息见表 3。



图 8 现场测试

Fig.8 Test on the spot

5 系统测试

通过现场测试来验证系统的码垛效果,对柔性吸盘的复位、人机界面复位、各轴的变距和速度设定进行了测试,现场测试环境见图 8。现场通过采集 7 组刚性吸盘码垛数据和 7 组柔性吸盘码垛数据来比较 2 种吸盘的效率,其中主要采集了总卷烟数量、常规烟

测试结果显示,该柔性吸盘的同步性的差错率 $\leq 0.1\%$,具有良好的可靠性和稳定性。现场通过柔性吸盘与刚性吸盘的比较,在标烟和异型烟合单码垛的情况下,刚性吸盘的码垛效率峰值为 10 922 条/h,柔性吸盘的码垛峰值为 13 652 条/h,相较刚性吸盘提高了 24.9%左右,大大提高了码垛效率,满足了烟草物流的实际需求。

表 3 测试数据

Tab.3 Test data

组别	刚性吸盘			柔性吸盘					
	总卷烟数量	总时长/h	效率/(条·h ⁻¹)	总卷烟数量	总时长/h	效率/(条·h ⁻¹)	变距次数	差错次数	差错率/%
第 1 组	81 018	8.8	9 206	103 384	8.98	11 512	4 311	4	0.09
第 2 组	81 302	7.72	10 531	98 299	8.63	11 390	3 792	3	0.08
第 3 组	90 625	8.92	10 159	95 848	7.88	12 163	4 594	4	0.09
第 4 组	94 803	8.68	10 922	96 521	7.65	12 617	4 661	4	0.09
第 5 组	80 994	7.55	10 727	94 468	7.57	12 479	3 773	2	0.05
第 6 组	99 909	9.23	10 824	92 015	6.74	13 652	4 276	3	0.07
第 7 组	102 916	10.25	10 040	99 372	7.89	12 594	4 076	2	0.05

6 结语

文中为了提高烟草物流中心的码垛效率,设计出一套基于多轴同步控制技术的条烟柔性码垛系统,打破了原有的刚性码垛系统的局限性,实现了对多条条烟的同时抓取。该柔性码垛系统以西门子 S7-1200 PLC 为控制核心,通过设置主从站 PLC,加快了系统的运算过程,并采用主令同步方式来控制各电机的运动,实现了各吸盘的同步,再通过设计基于 Kinco 触摸屏的人机交互界面来控制单个电机的驱动。通过现场的测试,数据结果显示,该系统的码垛效率远远大于刚性吸盘的码垛效率,提高了烟草物流的码垛效率,且具有较好的稳定性。

参考文献:

- [1] 宋慧欣. 自动化. 烟草机械必经途径[J]. 自动化博览, 2016(5): 42-44.
SONG Hui-xin. Automation, the Only Way for Tobacco Machinery[J]. Automation Panorama, 2016(5): 42-44.
- [2] 崔晓慧. 我国烟草行业发展现状、特征及未来展望[J]. 全国流通经济, 2021(29): 8-10.
CUI Xiao-hui. Present Situation, Characteristics and Future Prospect of Tobacco Industry in China[J]. China Circulation Economy, 2021(29): 8-10.
- [3] 徐江峰, 吴雷. “桂”在创新, “异”路飞跃[N]. 东方烟草

- 报, 2021-10-25(001).
- XU Jiang-feng, WU Lei. 'Gui' Makes a Leap in Innovation and 'Difference'[N]. Oriental Tobacco News, 2021-10-25(001).
- [4] 胡春生, 魏红星, 闫小鹏, 等. 码垛机器人的研究与应用[J]. 计算机工程与应用, 2022, 58(2): 57-77.
- HU Chun-sheng, WEI Hong-xing, YAN Xiao-peng, et al. Research and Application of Palletizing Robot[J]. Computer Engineering and Application, 2022, 58(2): 57-77.
- [5] 豆磊. 码垛机器人的现状及发展趋势研究[J]. 时代农机, 2018, 45(7): 87.
- DOU Lei. Research on the Status and Development Palletizing Robots[J]. Times Agricultural, 2018, 45(7): 87.
- [6] 冯振鹏, 林海波, 刘鹏程, 等. 国内码垛机器人应用研究[J]. 机械工程师, 2017(12): 63-65.
- FENG Zhen-peng, LIN Hai-bo, LIU Peng-cheng, et al. Research on Application of Domestic Palletizing Robot[J]. Mechanical Engineer, 2017(12): 63-65.
- [7] 张都, 郑丰茂, 苏浩业. 异型烟全自动包装系统设计[J]. 中国新技术新产品, 2021(13): 48-50.
- ZHANG Du, ZHENG Feng-mao, SU Hao-ye. Design of Automatic Packaging System for Special-shaped Cigarette[J]. China's New Technologies and Products, 2021(13): 48-50.
- [8] 胡敏. 视觉系统在异型烟码垛机器人系统中的应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2017.
- HU Min. Research on the Application of Visual System in Profiled Smoke Palletizing Robot System[D]. Chongqing: Chongqing University, 2017.
- [9] 徐明阳, 杨旭东, 蒲睿强, 等. 异型烟全自动码垛控制系统设计[J]. 包装工程, 2020, 41(23): 187-194.
- XU Ming-yang, YANG Xu-dong, PU Rui-qiang, et al. Design of Fully-Automatic Palletizing Control System for Shaped Cigarette[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(23): 187-194.
- [10] 陆萍蓝, 邵力行, 张火明, 等. 基于慧鱼技术和 PLC 控制的餐盘分拣系统设计[J]. 包装工程, 2020, 41(13): 210-215.
- LU Ping-lan, SHAO Li-xing, ZHANG Huo-ming, et al. Design of Tray Sorting System Based on Fischertechnik and PLC Control[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(13): 210-215.
- [11] 苏红卫, 支强. 基于 PLC 和触摸屏的果蔬自动包装机控制系统设计[J]. 包装工程, 2018, 39(5): 163-167.
- SU Hong-wei, ZHI Qiang. Design of Control System for Automatic Fruit and Vegetable Packaging Machine Based on PLC and Touch Screen[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(5): 163-167.
- [12] 刘国满, 盛敬, 洪志锋. 基于 PLC 的盒饭包装饭菜计量控制系统[J]. 包装工程, 2018, 39(21): 22-26.
- LIU Guo-man, SHENG Jing, HONG Zhi-feng. Food Measurement Control System for Packed Meals Based on PLC[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(21): 22-26.
- [13] 杨世刚, 段君艳, 辛社党. 西门子运动控制器多轴同步控制在尖轨锻造系统中的应用[J]. 机械设计, 2021, 38(S1): 256-259.
- YANG Shi-gang, DUAN Jun-yan, XIN She-dang. Application of Siemens Motion Controller Multi Axis Synchronous Control in Switch Rail Forging System[J]. Journal of Machine Design, 2021, 38(S1): 256-259.
- [14] 崔静. 基于多轴同步技术的多功能信封机控制系统设计[D]. 镇江: 江苏大学, 2010.
- CUI Jing. Design of Control System of Multi Function Envelope Machine Based on Multi-axis Synchronous Control Technology[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2010.
- [15] 张玉栋. 基于并行总线的多轴同步控制及其应用研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- ZHANG Yu-dong. The Research on Multi-axis Synchronous Control and Its Implementation Based on Parallel Bus[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2011.

责任编辑: 曾钰婵