

贴标机多轴非线性同步控制系统设计

常卫花¹, 樊慧贞²

(1.新乡职业技术学院, 河南 新乡 453000; 2.三门峡技师学院, 河南 三门峡 472000)

摘要: **目的** 为提高热塑管包装过程的贴标效率和贴标质量, 以热塑管贴标为研究对象, 设计一种贴标机控制系统。**方法** 贴标过程包括标签输送、剥离、吸标、定位检测和自动贴标等工序。基于 PLC 和 SCADA 设计贴标控制器, 其中 PC 机作为上位机, PLC 作为下位机。为确保贴标各轴配合精度, 提出一种多轴系统非线性同步控制方法。最后进行实验研究。**结果** 研究表明, 贴标速度达到 60 片/min, 标签边缘误差小于 0.2 mm, 贴标合格率达到 99.68%。贴标机的贴标精度和效率明显提高, 标签位置基本一致, 表面很少出现划伤、污染。**结论** 所述控制系统可确保贴标机稳定持续工作, 满足贴标工艺相关要求。

关键词: 贴标机; 多轴控制; 热塑管; 控制系统

中图分类号: TB486; TH122 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)15-0264-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.15.034

Design of Multi-Axis Nonlinear Synchronous Control System for Labeling Machine

CHANG Wei-hua¹, FAN Hui-zhen²

(1.Xinxiang Vocational and Technical College, Xinxiang 453000, China;

2.Sanmenxia Technician Institute, Sanmenxia 472000, China)

ABSTRACT: In order to improve the labeling efficiency and quality of thermoplastic tube packaging, a labeling machine control system was designed with thermoplastic tube labeling as the research object. Labeling process includes label transportation, stripping, suction, location detection, automatic labeling and other processes. Based on PLC and SCADA, the labeling controller was designed, with PC as the upper computer and PLC as the lower computer. In order to ensure the matching accuracy of each axis, a nonlinear synchronous control method for multi-axis system was proposed. Finally, an experimental study was carried out. The results showed that the labeling speed can reach 60 pcs/min, the label edge error is less than 0.2 mm, and the labeling qualification rate can reach 99.68%. The labeling accuracy and efficiency are significantly improved, and the location of the label is basically the same. Scratch and contamination rarely appear on the surface. The control system can ensure the stable and continuous operation of the labeling machine and meet the requirements related to the labeling process.

KEY WORDS: labeling machine; multi-axis control; thermoplastic tube; control system

市场经济的快速发展使得商品的种类越来越多, 标签的应用也越来越广泛。整体上说, 标签功能包括 2 部分: 记载产品基本信息, 如生产厂家、型号、生产日期、保质期等; 美观、装潢等^[1-3]。最近几年,

我国智能货架、智能仓储等产业发展十分迅速, 其中标签在产品管理中具有举足轻重的作用。通常情况下, 贴标是产品生产过程的最后一道工序, 标签不仅能够详细标明产品的主要信息, 而且有利于物流

收稿日期: 2020-12-12

作者简介: 常卫花 (1978—), 女, 新乡职业技术学院副教授, 主要研究方向为机电一体化。

和仓储的智能化管理，是先进制造业不可或缺的部分^[4-6]。贴标质量直接决定产品信息完整性，从而影响产品的合格率。为提高贴标质量同时降低企业用人成本，许多企业更加倾向于采用自动化设备代替人工作业，这样可以在很大程度上避免人工贴标带来的低质量、低精度、低效率、外观不一致等问题，因此，各种贴标机应运而生^[7-9]。

目前市面上贴标机的种类比较多、功能各异，但是基本原理都差不多。若按自动化程度划分，则包括手动式、半自动式和全自动式；若按黏合剂类型划分，则包括热熔胶式、不干胶式、浆糊式等^[10]。文中以热塑管贴标常用的全自动不干胶贴标机为研究对象，考虑到热塑管种类比较多、管径不同，采用手工贴标无法确保效率、质量、美观性和一致性问题，设计一种热塑管贴标机控制系统，并详细论述多轴同步控制算法，通过实验验证所述控制系统性能的优越性。

1 不干胶贴标机结构和控制系统

1.1 贴标机结构

根据热缩管贴标机的功能需求和贴标流程，选择了一种全自动不干胶贴标机，其结构见图 1。从图 1 可以看出，贴标机主要包括盘卷机构、摩擦辊、导向辊、压标辊、牵引辊、基纸回收机构、吸标板等。其中，不干胶标签盘卷、标签输送、标签剥离等可视为供标机构；牵引辊、基纸回收机构、摩擦辊可视为动力装置，拉动标签带持续不断运转。

对于每个贴标过程，标签从盘卷机构开始，需要按顺序经过摩擦辊、导向辊 1、传感器、导向辊 2 等到达剥标板。剥标板呈尖状，当标签带大角度经过尖劈处时会剥离出一个标签，该标签由吸标板吸附，然后运输到定位工装处。一旦热塑管到位，传感器就会获取热塑管位置，并将贴标指令发送给吸标板。吸标板将标签对折，然后将标签贴到热塑管外围。标签带基纸经过导向辊 3 和压标辊、牵引辊后，由基纸回收机构收回，此时贴标过程完成^[11-12]。

导向辊的作用在于调整标签带传输方向，确保标签带可在较小的空间内完成输送，同时尽量减小标签带横向偏移等问题。

全自动贴标机由多个电机驱动，各轴独立运转，通过相互配合实现贴标过程。牵引辊、盘卷机构、基纸回收机构分别由伺服电机驱动，由控制器直接进行控制，并通过多轴同步控制算法实现整个贴标过程稳定、可靠的运行，见图 1。

热塑管贴标机选用不干胶标签，可通过对折的方式粘贴到热塑管指定位置。贴标之前需要完成几个基本操作：热塑管定位操作、标签输送、标签分离、吸标、贴标、成品输出等^[13-14]。贴标机的整个运行过程持续、稳定，贴标工艺流程见图 2。

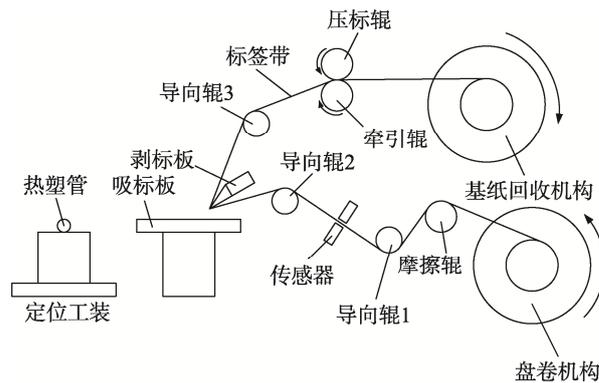


图 1 贴标机结构
Fig.1 Labeling machine structure

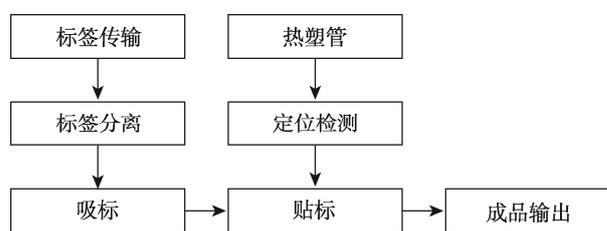


图 2 贴标工艺流程
Fig.2 Labeling process

1.2 贴标机控制系统

文中所述贴标机控制系统包括 2 部分，即上位机 SCADA 系统和下位机 PLC 控制系统。根据贴标机的工艺流程和功能需求，文中选用 PC 机作为上位机主控制器，西门子 PLC 作为下位机主控制器。另外，利用数传网关、工业远程网关等形式实现全自动贴标机的数据采集和远程监控等诸多功能。贴标机控制系统结构见图 3。

上位机 SCADA 系统主要包括物联网平台、数传网关、PC 机和客户终端。PC 机是整个上位机的核心，可实现对贴标机的远程操作和设备运行状态的远程监控；直接调入现有控制方案，并实现参数的快速修改；上位机还支持系统数据库管理和操作人员管理；支持速度曲线、实时数据的在线查看。PC 机和物联网平台通过数传网关连接实现设备的远程监控。一些客户终端（如手机 APP、网页等）可实现贴标机工作状态的随时随地监控。

PLC 下位机以西门子 S7-300 系列 PLC 为控制核心，主要负责实现贴标流程的动作控制，例如：供标、吸标、合标、定位等，以确保整个贴标工作高效、有序地进行。如果 PLC 和 PC 机距离较近，可直接用以太网连接，实现通信。如果 PC 机和 PLC 之间距离较远，可利用工业远程网关实现远距离无线通信^[15-16]。

1.3 贴标机多轴控制要求

贴标机的牵引辊、盘卷机构和基纸回收机构分别由伺服电机独立驱动，为确保整个系统稳定、可靠运

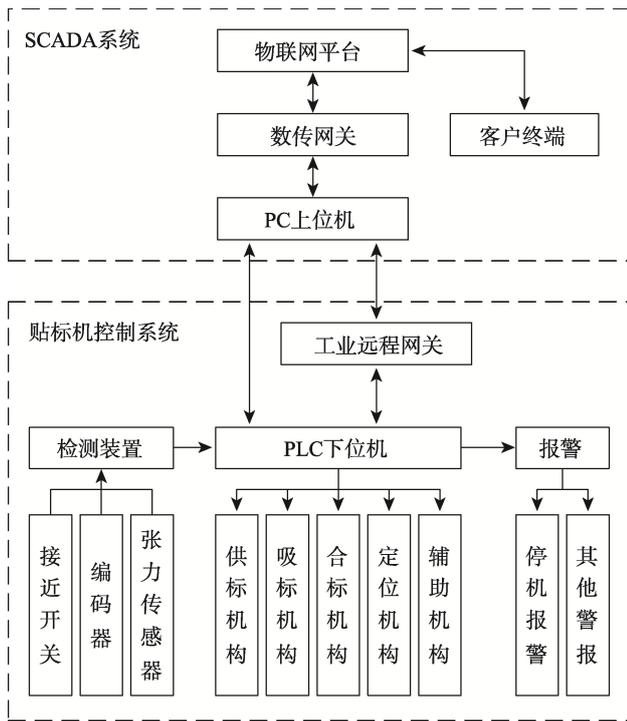


图3 贴标机控制系统结构

Fig.3 Labeling machine control system structure diagram

转,各电机之间需要协调运动。多轴运动控制基本要求可描述为:利用同步控制器实现标签或标签带前进方向上速度保持一致。如果速度不一致,会出现扯断标签带、标签褶皱、标签提前脱落等情况。考虑到各驱动轴直径各不相同,以及反馈信号多为位置信息,可将线速度转换为位置,并进行多轴同步控制。

2 多轴控制算法

贴标机由多个电机进行驱动,为提高贴标精度和效率需要实现各轴的同步控制。如果各轴之间误差较大,则容易导致标签带倾斜,进而降低贴标精度甚至扯断标签。为解决此问题,文中提出了一种多轴控制算法。在实际控制过程中,为简化算法设计流程可忽略外部扰动、非线性等因素的影响,参考拉格朗日方程得到多轴机械系统动力学方程,即:

$$F = M_x(q)\ddot{x} + U_x(q, \dot{q}) + G_x(q) \quad (1)$$

式中: \ddot{x} 为末端执行器加速度; $M_x(q)$ 为正定惯性矩阵,具有对称性; $U_x(q, \dot{q})$ 为哥氏力和离心力相关向量; $G_x(q)$ 为重力相关向量; x 为末端执行器位姿向量。

针对多轴系统位置误差控制,设定位置期望值为 q_d , 控制器目的在于通过设计控制力矩 F 实现位置误差和同步误差收敛于0,可定义位置误差:

$$e = q_d - q \quad (2)$$

式中: e 为位置偏差; q 为位置实际值。

另外,同步误差可定义为当前轴与其相邻两轴之间的位置偏差,可表示为:

$$\begin{cases} E_1 = 2e_1 - (e_2 + e_n) \\ E_2 = 2e_2 - (e_3 + e_1) \\ \vdots \\ E_i = 2e_i - (e_{i+1} + e_{i-1}) \\ \vdots \\ E_n = 2e_n - (e_1 + e_{n-1}) \end{cases} \quad (3)$$

式中: e_i 为位置误差; E_i 为位置同步误差。如式(3)所示,如果位置同步误差 E_i 均收敛于0,那么位置误差就会满足 $e_1 = e_2 = \dots = e_n$ 。将式(3)表示成矩阵形式,即:

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_i \\ \vdots \\ E_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 & \dots & -1 \\ -1 & 2 & -1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & -1 & 2 & -1 \\ -1 & 0 & \dots & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_i \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(4)可简化为 $E = T \cdot e$, 其中 $E = [E_1 \ E_2 \ \dots \ E_n]^T$, $e = [e_1 \ e_2 \ \dots \ e_n]^T$ 。

定义位置误差耦合变量为:

$$\varepsilon = e + \varphi E \quad (5)$$

综合式(4—5)可得:

$$\varepsilon = Ie + \varphi Te \quad (6)$$

式中: I 为单位对角矩阵; φ 为同步控制相关系数,大于0,数值越大同步控制作用越强。从式(6)可以看出,如果 $e = 0$, $E = 0$, 那么位置耦合误差 $\varepsilon = 0$ 。

对于全自动贴标机,参考主从同步控制原理,文中定义牵引辊为主动轴,盘卷机构和基纸回收机构为从动轴。

牵引辊位置误差可表示为 e_1 , 盘卷机构和基纸回收机构的位置误差可分别表示为 e_2 和 e_3 。主动轴的同步误差可表示为 $\varepsilon_1 = 0$, 其余2个从动轴同步误差可分别表示为 $\varepsilon_2 = e_2 - e_1$, $\varepsilon_3 = e_3 - e_1$ 。

如果能确保 $\varepsilon_i = 0$, 就可以保证牵引辊、盘卷机构和基纸回收机构之间的速度或位置匹配,即实现同步控制。如果其中一个轴位置或速度发生变化,则其他各轴均会做出相应变化。主从同步控制结构见图4。

3 实验研究

为验证所述控制系统的可行性和有效性,文中进行了相关实验研究。以某工厂热塑管包装生产线为研究对象,移植文中所述贴标机控制系统并加载所述控制算法。根据实际贴标要求,选用60 mm和30 mm的标签作为实验对象,热塑管直径范围为5~20 mm。实际贴标效果见图5。

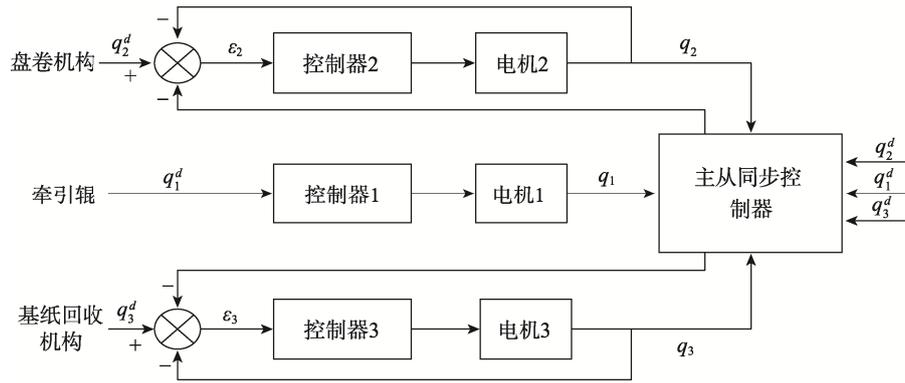


图 4 主从同步控制结构

Fig.4 Master-slave synchronization control diagram

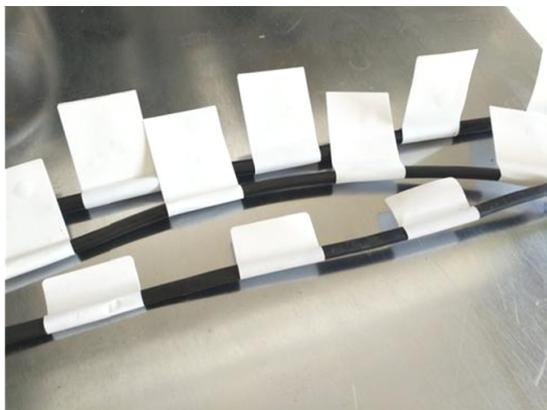


图 5 实际贴标效果

Fig.5 Actual labeling effect

从实际贴标效果可以看出，标签边缘十分齐整，没有出现气泡、划伤、污染等不良现象。不干胶标签可以牢固地粘贴在热塑管周围。实验过程中发现，通过调整伺服电机速度，可使循环贴标速度达到 60 片/min；经实际测量，标签边缘误差小于 0.2 mm。实验结果表明，所述贴标机控制系统具有高精度、高速度等特点，而且运行稳定、可靠，可满足工艺要求的各项指标。实际测试数据见表 1。

表 1 实际测试数据
Tab.1 Actual test data

热塑管直径/mm	数量/片	标签宽度/mm	不合格数量/片	耗时/min
5	1000	30	5	16
10	1000	30	3	17
12	1000	30	3	15
15	1000	60	2	16
18	1000	60	4	18
20	1000	60	2	16

由表 1 可以看出，实际贴标合格率达到 99.68%，与人工贴标相比，文中所述贴标控制系统的

贴标精度和效率明显优于人工贴标，而且标签位置基本一致，表面很少出现划伤、污染等现象。

4 结语

以热塑管贴标控制为研究对象，为提高贴标精度和贴标效率，文中设计了一种贴标机控制系统。采用 PLC 作为下位机，实现了各工序的操作、控制，以 PC 机为上位机实现了贴标过程的实时监控。同时，设计了一种多轴同步控制算法，实现了贴标机各轴的协调控制，使得贴标精度大幅提高。实验结果表明，与人工贴标相比，所述贴标控制系统在精度和效率等方面具有比较明显的优势，而且标签位置基本一致，没有划伤、污染等现象。热塑管贴标机控制系统具有一定的借鉴意义和推广价值。

参考文献：

- [1] 喻永康, 俞经虎. 一种具有视觉定位功能的智能贴标机控制系统设计[J]. 机床与液压, 2018, 46(23): 105—107.
YU Yong-kang, YU Jing-hu. Design Control System of One Type Intelligent Labeling Machine with Function of Visual Positioning[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2018, 46(23): 105—107.
- [2] 戴宏民, 戴佩燕. 工业 4.0 和包装机械智能化[J]. 中国包装, 2016, 36(3): 51—56.
DAI Hong-min, DAI Pei-yan. 4.0 Industrial and Intellectualization of Package Machinery[J]. China Packaging, 2016, 36(3): 51—56.
- [3] 王娜. 浅谈贴标机的设计[J]. 科技展望, 2015, 29(25): 138.
WANG Na. Introduction to the Design of the Labeling Machine[J]. Science and Technology, 2015, 29(25): 138.
- [4] 王友发, 周献中. 国内外智能制造研究热点与发展趋势[J]. 中国科技论坛, 2016(4): 154—160.

- WANG You-fa, ZHOU Xian-zhong. A Review of Research on Domestic and International Intelligent Manufacturing[J]. Forum on Science and Technology in China, 2016(4): 154—160.
- [5] 潘绍明, 罗功坤, 蔡启仲. 全自动平面贴标机的系统设计与实现[J]. 制造业自动化, 2010, 32(12): 95—97. PAN Shao-ming, LUO Gong-kun, CAI Qi-ming. A Designed and Implement of Full Auto Plane Labeling Machine System[J]. Manufacturing Automation, 2010, 32(12): 95—97.
- [6] 李凌, 呼咏, 梁宁, 等. 自动试管贴标机的设计与研究[J]. 包装工程, 2014, 35(9): 85—87. LI Ling, HU Yong, LIANG Ning, et al. Design and Research of an Automatic Tube Labeling Machine[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(9): 85—87.
- [7] 詹承康. 高速贴标机的研发与设计[J]. 机械工程师, 2016(3): 218—219. ZHAN Cheng-kang. Research and Design of High Speed Labeling Machine[J]. Mechanical Engineer, 2016(3): 218—219.
- [8] 伍志祥, 陆佳平, 林森. 贴标机自动取标贴标的研究与分析[J]. 机械设计, 2013, 30(12): 62—64. WU Zhi-xiang, LU Jia-ping, LIN Shen. Research and Analysis of Auto-Taking and Pasting Label of Sticker Labeling Machine[J]. Journal of Machine Design, 2013, 30(12): 62—64.
- [9] 郜飞翔. 热塑性管贴标机结构设计技术研究[D]. 太原: 中北大学, 2019: 22—33. GAO Fei-xiang. Research on Structure Design Technology of Thermoplastic Tube Labeling Machine[D]. Taiyuan: North University of China, 2019: 22—33.
- [10] 蒋卓, 张春林, 冯显富, 等. 超高速轮转式贴标机的关键技术[J]. 包装工程, 2017, 38(21): 131—134. JIANG Zhuo, ZHANG Chun-lin, FENG Xian-fu, et al. Key Technology of Ultra High-Speed Rotary Labeling Machine, 2017, 38(21): 131—134.
- [11] 刘俊, 于忠海, 侯佳雯. 基于 PLC 的气动贴标机系统设计[J]. 液压与气动, 2011(11): 85—87. LIU Jun, YU Zhong-hai, HOU Jia-wen. The System Design of Pneumatic Labeling Machine Based on PLC[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2011(11): 85—87.
- [12] 陈志红, 金星. 基于单神经元自适应算法的贴标机张力控制方法[J]. 包装工程, 2017, 38(17): 169—173. CHEN Zhi-hong, JIN Xing. Labeling Machine Tension Control Method Based on Single Neuron Adaptive Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(17): 169—173.
- [13] 盛山山, 胡咏祥, 林利彬. 基于 PLC 控制的自动贴标机[J]. 工业控制计算机, 2016, 29(6): 127. SHENG Shan-shan, HU Yong-xiang, LIN Li-bin. Automatic Labeling Machine Based on PLC Control System[J]. Industrial Control Computer, 2016, 29(6): 127.
- [14] 刘亮. 提高贴标机贴标效果的改进研究[J]. 现代制造技术与装备, 2016(7): 25—26. LIU Liang. Improvement of Labeling Effect of Labeling Machine[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2016(7): 25—26.
- [15] 胡梁眉. 基于 PLC 的双头贴标机控制系统研究与设计[D]. 赣州: 江西理工大学, 2019: 40—55. HU Liang-mei. Research and Design of Double-Head Labeling Machine Control System Based on PLC[D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2019: 40—55.
- [16] 陈立定, 谢青延, 梁联冠. 瓶装自动贴标机的研制[J]. 食品工业科技, 2009(12): 303—304. CHEN Li-ding, XIE Qing-yan, LIANG Lian-guan. Manufacture of Automatic Bottled Labeling Machine[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009(12): 303—304.