

包装机械

基于 PLC 的编织袋残次品自动筛选系统设计

潘春荣, 张飞

(江西理工大学 机电工程学院, 赣州 341000)

摘要: **目的** 设计一套自动筛选设备, 实现残次品的自动筛选和剔除。**方法** 结合纤维定向分布概率密度函数思想及连续介质力学理论对缝合区域进行分析, 建立缝线力学特性模型; 为确保筛选机构的真空吸盘群与编织袋底口缝合区域表面形成的负压满足要求, 建立真空系统的真空度、透气度、时间三者之间的数学模型。**结果** 推导出了缝线区力学特性参数、系统真空度、透气度、时间之间的关系, 根据各参数之间的关系, 采用三维制图软件 Pro/E 进行实体建模, 并选取相关控制元器件完成了设备结构设计和控制系统搭建。**结论** 该自动编织袋残次品筛选系统能够将有缝合瑕疵的产品筛选并剔除, 且能大幅度提高编织袋生产效率和降低生产成本。

关键词: 编织袋底口; 缝线; 真空吸盘; PLC; 微型拉力传感器

中图分类号: TB486⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)21-0114-06

Design of Automatic Screening System for Defective Woven Bag Based on PLC

PAN Chun-rong, ZHANG Fei

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

ABSTRACT: The work aims to design a set of automatic screening equipment to achieve the automatic screening and elimination of defective products. Combined with fiber orientation probability density functions and continuum mechanics theory, the mechanical properties of suture were established by analyzing the suture area. To ensure that the pressure formed on the surface of the bottom suture areas of the screening mechanism's vacuum chuck group and woven bag met the requirements, the mathematical model for vacuum degree, air permeability and time was established. The relationship between mechanical characteristic parameters, system vacuum, air permeability and time was derived. According to the relationship between the parameters, a solid model was developed by three-dimensional drawing software Pro/E. Then relevant control components were selected to design the equipment structure and build the control system. The automatic screening system for defective woven bag can screen and eliminate the products with suture defects, and greatly improve the production efficiency and reduce the production cost of the woven bag.

KEY WORDS: bottom of woven bag; suture; vacuum chuck; PLC; micro tension sensor

随着畜牧业的快速发展, 对饲料及饲料包装的需求不断增加, 因畜牧业自身独有的周期性特点, 即幼崽集中哺育期, 在此期间对饲料的需求出现跳跃式增长, 因此, 要求饲料和饲料包装生产企业具备短时间内快速提升产能的能力。通过前期的调研及相关资料的查阅, 目前国内大部分编织袋生产企业的生产工艺普遍存在多工序、多设备和自动化程度不高等问题^[1-2]。

主要是因编织袋底口缝合质量无法实现自动检测, 完全依靠人工, 不仅效率低、产品质量及稳定性无法得到保证, 且不利于编织袋实现自动化流水线生产。针对该问题, 文中在文献[3—5]的研究基础上拟推导并建立编织袋底口缝合区力学特性及系统真空度的数学模型, 以该模型为理论基础, 结合金属材料屈服强度测试原理及方法, 从而设计并开发编织袋残次品筛选机。

收稿日期: 2017-05-02

基金项目: 国家自然科学基金 (713604)

作者简介: 潘春荣 (1973—), 男, 博士, 江西理工大学教授, 主要研究方向为机电一体化、离散制造过程的优化和控制等。

1 筛选机构设计及工作原理

1.1 流程

编织袋底口因存在漏缝、跳针、断线的情况,导致缝合区缝合密度降低,其力学性能也有所下降,通过上下真空吸盘群及 3 组气缸组成的结构对缝线两侧区依次施加垂直于其表面的牵引力。牵引力阈值大小的设定是编织袋残次品筛选的关键,需根据缝口力学模型及系统真空度模型进行设定。具体筛选流程见图 1。

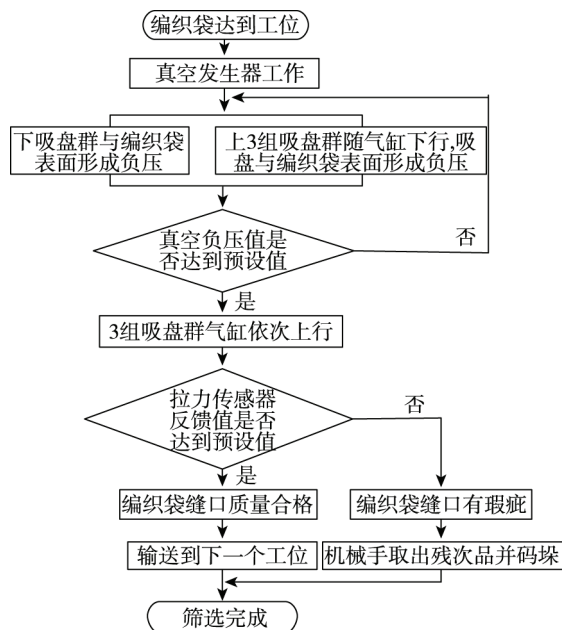


图 1 筛选流程

Fig.1 Screening flow chart

1.2 机构设计

结合上述筛选流程可知,筛选机构可分为 2 部分,即编织袋缝口筛选模块和抓取码垛机械手。筛选模块由 2 部分组成,位于编织袋下方的由真空腔及吸盘群组成的编织袋定位结构,以及位于编织袋上方的由气缸、拉力传感器、真空发生器、光电接近开关、3 组真空吸盘组成的牵引机构,该机构可对编织袋一侧施加垂直于其表面的向上牵引力,找出缝合有瑕疵的区域。抓取码垛机械手主要由抓取和搬运 2 部分组成,可实现编织袋的抓取和搬运码垛功能。设备结构见图 2。

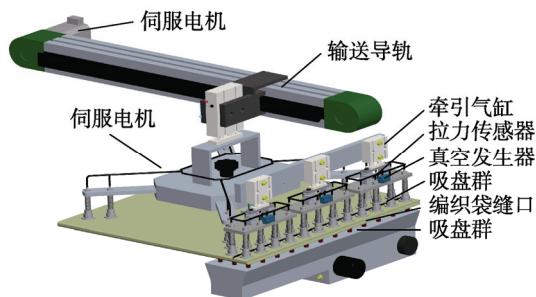


图 2 筛选机构

Fig. 2 Screening mechanism

2 编织袋缝口区域力学特性分析

2.1 缝合棉线力学特性建模

编织袋残次品筛选以底口缝线的力学特性为依据^[3],缝线的主要成分为纤维,取棉线中任意一段作为分析对象,Pan^[4-5]结合纤维定向分布概率密度函数思想及连续介质力学理论,通过对缝线中任意一根纤维进行受力分析,以此为基础推广到整条缝。纤维的拉伸弹性模量为 E_f ,纤维在缝线体积中所占比例为 φ_f ,纤维长度有效系数为 η ,捻回角为 q ,缝线的拉伸模量为:

$$E_y = \frac{3\varphi_f E_f}{4} \cdot \eta \cdot \frac{(1 + \cos q)^2}{(1 + \cos q + \cos^2 q)} \quad (1)$$

Platt 根据缝线几何结构和缝线变形与轴向变形间的关系,推导出缝线中纤维拉伸应变 ε_f 与缝线拉伸应变 ε_y 和捻回角 q 之间的关系:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_f / \cos^2 q \quad (2)$$

根据连续介质力学理论,缝线的拉伸应力 δ_y ,拉伸应变 ε_y 和拉伸模量 E_y 之间存在以下关系:

$$\delta_y = \varepsilon_y \cdot E_y \quad (3)$$

结合以上公式及单位距离 (10 cm) 内缝针缝合密度 ρ (缝合针数),得出编织袋底口缝线区力学模型:

$$F = \pi R_y^2 \delta_y \rho = \pi R_y^2 \cdot \frac{\varepsilon_f}{\cos^2 q} \cdot \frac{3\varphi_f E_f}{4} \cdot \eta \cdot \frac{(1 + \cos q)^2}{(1 + \cos q + \cos^2 q)} \cdot \rho \quad (4)$$

根据以上力学模型可计算出不同型号编织袋底口力学特性 F 值,该值为编织袋残次品筛选的判定条件。

2.2 吸盘及力学特性分析

编织袋残次品的筛选和剔除主要由真空吸盘完成,上下吸盘组与缝线两侧区域形成负压并施加垂直于表面的牵引力,以底口缝合区域的力学模型为判定条件,设计真空筛选系统。为了确保吸盘与编织袋表面形成的负压满足要求,需对真空系统的关键参数,即真空度、透气度、时间进行分析。编织袋缝线区域的受力情况见图 3。

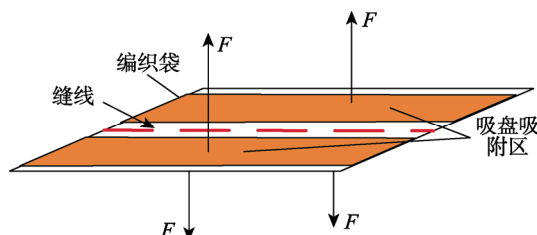


图 3 编织袋缝口区域受力情况

Fig.3 Stress condition of structure area of the woven bag

吸盘与被抓取物体表面形成负压,这主要是由真空发生器将吸盘腔体内多余气体抽出而实现的。腔体内与腔体外形成压力差,在大气压强的作用下使吸盘

与物体表面牢固压合在一起。当吸盘与物体表现牢固结合后,依据动态平衡可得出系统的抽气方程^[6]:

$$pu = -Vdp/dt + Q \quad (5)$$

式中: p 为真空腔中的压强; u 为抽真空速度; V 为吸盘腔的容积; Q 为泄露量。

编织袋由丝线编织而成,虽表面覆盖涂层,但其仍具有一定的透气度,故不能忽略该因素。透气度 D ($\text{m}/(\text{Pa}\cdot\text{s})$) 是指在单位时间和单位压力差的情况下,单位面积编织袋所通过的平均气量,编织袋透气量 Q 为:

$$Q = pAD\Delta p \quad (6)$$

式中: A 为吸盘有效面积; Δp 为真空系统的内外压差。将式(6)代入式(5)中得到:

$$pu = -Vdp/dt + pAD\Delta p \quad (7)$$

式中: t 为腔体内的压强由标准大气压 p_0 变为 p 所用的时间,即吸盘与编织袋表面形成负压的所需时间。代入式(7)得:

$$pu = -Vdp/dt + pAD(p_0 - p) \quad (8)$$

经变换后得到:

$$\ln \left[\frac{p}{(p-p_0)AD+u} \cdot \frac{u}{p_0} \right] = \frac{p_0AD-u}{V} t \quad (9)$$

式(9)中, p , D , t 为未知量,需进一步分析。由真空系统特性可知,因系统的抽气速度较快,即吸盘腔内达到 p 所用时间较短,无法检测,需在理想情况下对时间 t 进行处理,即假定编织袋表面不存在透气度,得到抽真空方程为:

$$pu = -Vdp/dt \quad (10)$$

吸盘腔内压强由 p_0 到达所需筛选要求的压强 p_1 时,所用时间 t_0 为:

$$t_0 = \frac{V}{S} \ln \frac{p_0}{p_1} \quad (11)$$

因编织袋表面并不是完全致密的,存在一定的泄漏量,吸盘腔体内压力达到要求压力的时间会相应延长,需引入相关的安全系数 b ,得到系统抽气时间 t 。将 t 代入式(10)中,得到最终的系统真空度与透气度的数学模型:

$$\ln \left[\frac{p}{(p-p_0)AD+U} \cdot \frac{u}{p_0} \right] = \frac{p_0AD-u}{V} b \ln \frac{p_0}{p_1} \quad (12)$$

$$F = 0.01 \times (101 - p)u \quad (13)$$

结合缝口力学模型式(4)及吸盘吸附力式(13),可推导出真空系统的真空度 p 为:

$$p = 1.01 - \frac{3\pi R^2 \varepsilon_f \phi_f E_f (1 + \cos q)^2 \eta \rho}{4 \cos^2 q (1 + \cos q + \cos^2 q) u} \quad (14)$$

为了确保吸盘所产生的吸附力满足要求,通常情况下,系统的安全系数 b 取值范围为 2~4,吸盘的有效面积 A 为其自身最大物理尺寸的 85%左右,系统的真空度 p 一般取最大值的 95%。

3 设备控制系统硬件选型及配置

3.1 PLC 选型及端口分配

根据设备的控制要求,系统输入和输出信号分别占用 PLC 输入端 12 个点、输出端 13 个点。考虑到设备后期的可拓展性,故选用西门子 S7-200 系列 CPU226 型 PLC 作为系统中央控制单元。该 PLC 型号共有 2 路数字输入和 2 路数字输出(Q0.0 和 Q0.1),2 路数字输出具有高速脉冲(PTO)功能,可用于控制伺服电机或者步进电机^[7]。PLC 端口的分配见表 1。

表 1 筛选设备 PLC 的 I/O 分配
Tab.1 The I/O allocation for the screening device PLC

输入信号		输出信号	
输入设备	地址	输出设备	地址
光电检测开关	I0.0	脉冲输出	Q0.0
1 号牵引气缸下限位	I0.1	伺服使能	Q0.1
2 号牵引气缸下限位	I0.2	脉冲方向	Q0.2
3 号牵引气缸下限位	I0.3	吸盘群 1 号真空发生器	Q0.3
4 号抓取气缸下限位	I0.4	吸盘群 2 号真空发生器	Q0.4
机械手气缸下限位	I0.5	吸盘群 3 号真空发生器	Q0.5
机械手目标位置检测	I0.6	吸盘腔真空发生器	Q0.6
机械手初始位置越程检测	I0.7	机械手抓取吸盘真空发生器 5	Q0.7
机械手目标位置越程检测	I1.0	1 号牵引气缸电磁阀	Q1.0
伺服电机停止	I1.1	2 号牵引气缸电磁阀	Q1.1
机械手复位	I1.2	3 号牵引气缸电磁阀	Q1.2
机械手物料检测	I1.3	4 号抓取气缸电磁阀	Q1.3

3.2 伺服驱动器的选用及设定

码垛机械手^[8]的运动由伺服电机和伺服驱动器组成的控制系统实现。为了提高机械手的响应速度和运行精度,降低系统误差,选用位置控制模式^[9]。在位置控制模式中,通过脉冲个数、方向和发送频率等参数对伺服电机的位置、方向和速度进行精确控制。伺服驱动主要参数设置见表 2。

3.3 机械传动误差修正

机械手的往复搬运动作由伺服电机和滚珠丝杆组成的传动机构^[10]实现,因滚珠丝杆存在机械加工误差且无法避免,需通过伺服系统的插补算法将其消除。当指令脉冲当量与位置反馈脉冲当量不一致时,使用电子齿轮对其进行匹配^[11-12]。设置每个脉冲量对应的进给量为 1 μm ,总的位移量为 1000 mm。电子齿轮的设定范围为 $0.1 < P_{\text{CMX}}/P_{\text{CMX}} < 2000$,对机械编码器反馈脉冲 P_{CMX} 和上位机给定脉冲 P_{CDV} 值进行设置。已知滚珠丝杆螺距节距 $l=8$ mm,电机主轴与

表 2 伺服驱动器主要参数设置
Tab.2 Main parameter setup of servo driver

序号	编号	名称	数值	功能含义
1	Pr0.01	控制模式	0	位置控制
2	Pr0.06	旋转脉冲 方向设定	1	数值为 0 前进； 数值为 1 后退
3	Pr0.07	脉冲输入 方式	3	脉冲+方向控 制电机运行
4	Pr0.08	电机每圈 脉冲数	2500	转 1 圈反馈的 脉冲个数
5	Pr5.04	驱动禁止 输入设定	2	正向，负向驱 动输入无效

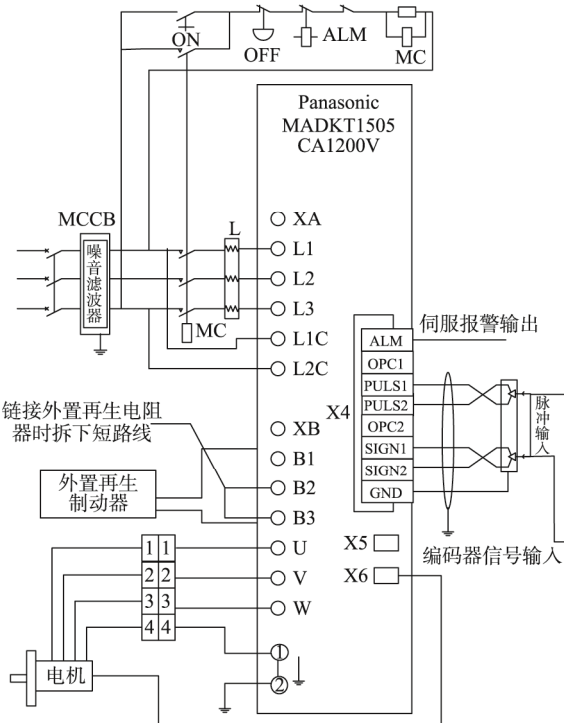


图 4 控制电路
Fig.4 Control circuit

4 气动控制回路设计

编织袋的筛选和抓取的动力源主要由真空系统提供。为了确保吸盘与编织袋表面形成稳定可靠的负压，其上牵引机构的每组吸盘群均使用一个真空发生器。气动控制回路的各执行元件的动作由单电控二位五通常闭型电磁阀实现。为了确保气缸动作稳定可靠，在电磁阀排气孔处安装相应的节流阀。系统部分气动原理见图 5。

5 系统控制程序设计

在可编程控制器编程软件 Step7-Micro/win 中，调用高速计数器和 PTO 指令向导模块并对 PLC 输出端

滚珠丝杆通过联轴器直接连接，传动比 $n=1$ ，伺服电机编码器的分辨率 P_t 为每转反馈 10 000 个脉冲，根据上述参数结合式 (15) 可验证电子齿轮设置是否符合要求：

$$\frac{P_{CMX}}{P_{CDV}} = \Delta s_0 \cdot \frac{P_t}{\Delta s_1} = \Delta s_0 \cdot \frac{P_t}{n \cdot l} = \frac{10}{8} \quad (15)$$

式中： Δs_0 为每个脉冲对应的位移量； Δs_1 为伺服电机每转对应的位移量。

3.4 系统控制电路设计

设备控制电路硬件由触摸屏、PLC、EM235 模块、伺服驱动器、拉力变送器等组成。控制电路见图 4。

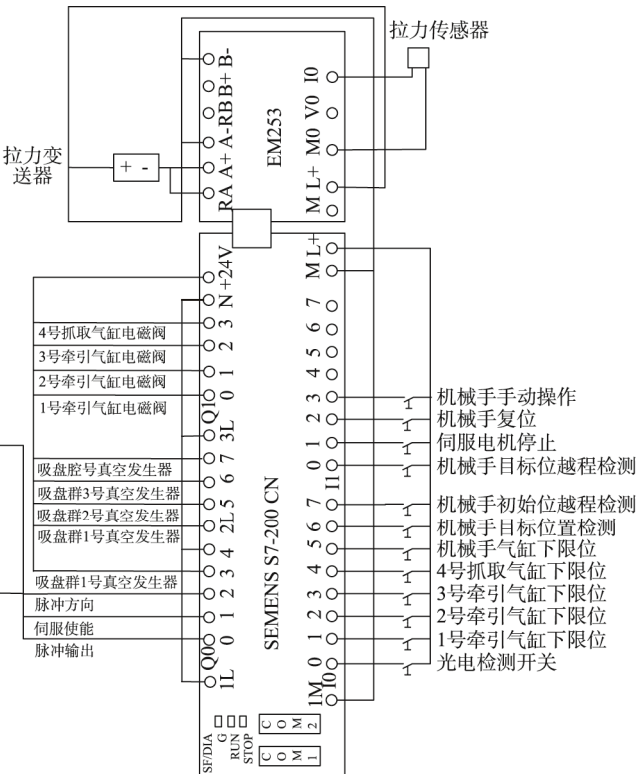


图 5 气动控制原理
Fig.5 Pneumatic control principle

Q0.0 进行配置，对伺服电机加、减速等各种运行参数设置并绘制出电机的运动包络图。由松下 MSDA042A1A 型伺服电机用户手册可知，其编码器分辨率为每转反馈 10 000 个脉冲。结合编织袋外形尺寸、滚珠丝杆螺纹节距得出 PLC 单次向伺服驱动

器发送脉冲数为 11 625 000 个。根据已知参数在 PTO 界面设置伺服电机步 0 的目标速度为每秒 30 000 脉冲, 结束位置为 1 625 000 个脉冲。

1) 机械手伺服电机控制程序。在 PTO 中设置完电机运行参数后, 向导模块生成 3 个子程序, 分别是 PTO_CTRL, PTO_RUN, PTOx_MAN。在编程时, 可相应调用上述 3 个电机控制子程序。伺服电机控制程序见图 6。

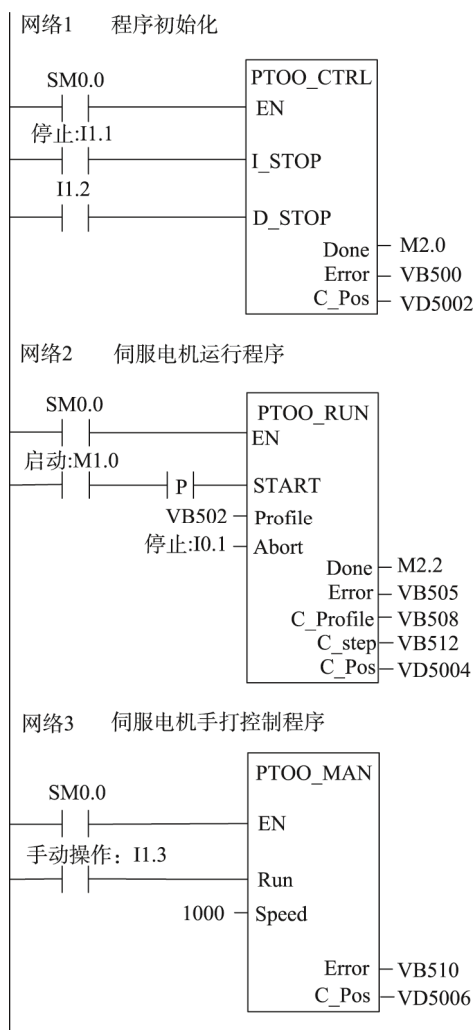


图 6 伺服电机控制程序

Fig.6 Servo motor control program

2) 模拟量采集程序。模拟量主要采集的是拉力传感器反馈的电信号, 并对其进行处理^[13], 见图 7。设备所用拉力传感器的型号为 LCM300, 量程为 0~200 N, 灵敏度为 0.1 mA/N。根据 EM253 输入输出的模拟量参数对拉力传感器反馈值进行转换公式和推导: 当模拟量电流信号输入设置为 0~20 mA 时, 4 mA 对应数字量为 6400, 20 mA 对应数字量为 32000。转换公式为: $F_x = 200 \times \frac{(W_x - 6400)}{32000 - 6400}$ 。式中: F_x 为传感器测出的拉力值; W_x 为传感器反馈的数字。

3) 筛选机构及机械手抓取控制程序见图 8。

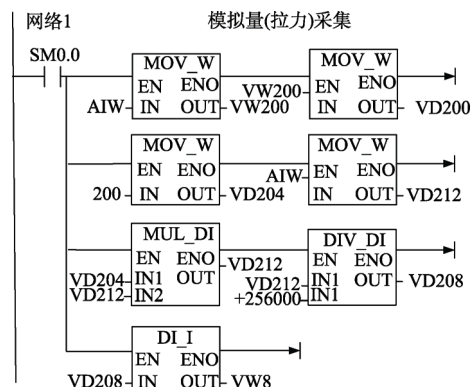


图 7 拉力传感器信号采集程序

Fig.7 Tension sensor signal acquisition program

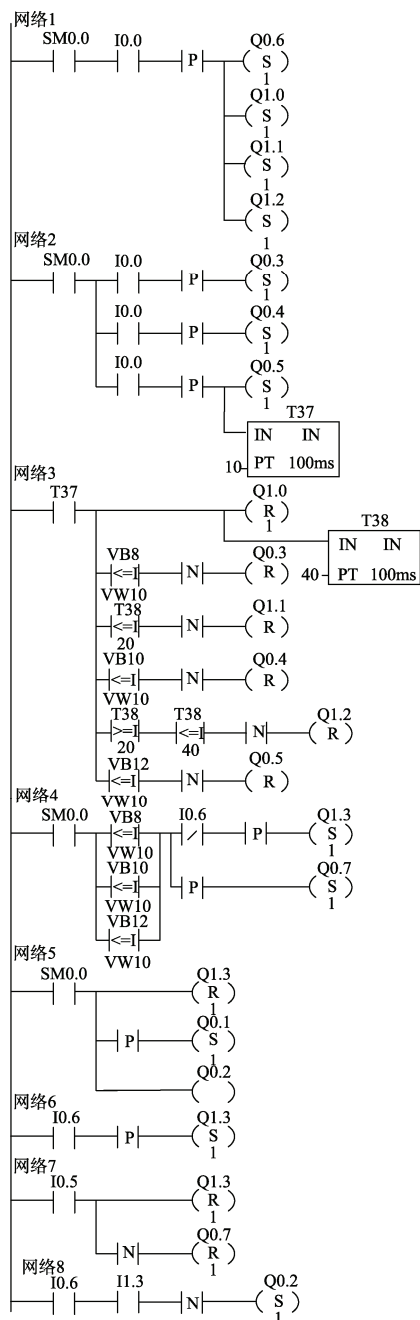


图 8 机械手控制程序

Fig.8 Manipulator control program

6 人机交互界面设计

系统人机交互界面采用 SuKon 系列 07L 型电阻式触摸屏, 该系列触摸屏通讯口均支持 RS232 和 RS485 通讯, 为复合通讯接口, 并支持所有的 CAN 总线协议。触摸屏操作界面设计主要是功能键和变量的设计, 并使之与 PLC 内部地址位建立联系^[14-15], 实现对设备运行参数的实时监控和调整。操作界面主要包括功能键、输入/输出区域、指示灯组态和文本显示。触摸屏的操作界面见图 9。



图 9 触摸屏人机交互界面

Fig. 9 Touch screen man-machine interface

7 结语

通过对缝合棉线的结构力学分析, 得出了编织袋底口缝合区域的力学模型, 真空吸附系统关键参数间的相互关系, 以及编织袋底口残次品筛选的判定条件。以 PLC 为设备硬件电路的控制核心, 设计了编织袋筛选控制系统, 实现了残次品的自动化筛选, 提高了生产效率, 降低了工人劳动强度, 为实现编织袋自动化流水线生产扫除了障碍。

参考文献:

- [1] 王显, 龚力, 胡翔. 基于 PLC 的双工位切缝机控制系统设计[J]. 湖北工业大学学报, 2015, 30(1): 77—79.
WANG Xian, GONG Li, HU Xiang. Design of Double-location Cutting and Sewing Machine Control System Based on PLC[J]. Journal of Hubei University of Technology, 2015, 30(1): 77—79.
- [2] 段青山, 刘红清, 李兵成. 塑料编织袋生产工艺现状[J]. 轻工科技, 2013(3): 26—27.
DUAN Qing-shan, LIU Hong-qing, LI Bing-cheng. Present Situation of Production Technology of Plastic Woven Bag[J]. Guangxi Journal of Light Industry, 2013(3): 26—27.
- [3] 张宏伟, 姚德兰. 环锭纱截面纤维根数与强力预测模型[J]. 上海纺织科技, 2011, 39(2): 23—25.
ZHANG Hong-wei, YAO De-lan. Cross-section Fiber Number of Ring-spun Yarn and Its Strength Predication Model[J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2011, 39(2): 23—25.
- [4] PAN N. Development of a Constitutive Theory for Short Fiber Yarns, Part I: Mechanics of Staple Yarn without Slip-page Effect[J]. Textile Research Journal, 1992, 62: 749—765.
- [5] PAN N. Development of a Constitutive Theory for Short Fiber Yarns, Part II: Mechanics of Staple Yarn with Slip-page Effect[J]. Textile Research Journal, 1993, 63: 504—515.
- [6] 王悦, 张惠忠, 智明丹, 等. 基于真空吸盘提升技术实现瓦楞纸箱自动码垛[J]. 包装工程, 2016, 37(23): 111—115.
WANG Yue, ZHANG Hui-zhong, ZHI Ming-dan, et al. Automatic Stacking of Corrugated Carton by Lifting Technology with Vacuum Sucker[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(23): 111—115.
- [7] 王建平, 靖新. 利用 PLC 脉冲输出和高速计数功能实现轴的精确定位控制[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2006(1): 168—172.
WANG Jian-ping, JING Xin. Realize the Exact Position Control of Axle Using PLC Pulse Output and High Speed Count Function[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science), 2006(1): 168—172.
- [8] 黄冰鹏, 林义忠, 杨中华. 码垛机器人的研究与应用现状[J]. 包装工程, 2017, 38(5): 82—87.
HUANG Bing-peng, LIN Yi-zhong, YANG Zhong-hua. Research and Application Situation of Palletizing Robots[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(5): 82—87.
- [9] 袁清珂, 刘大慧, 张明天. 芯片键合机传送机构及其虚拟样机研究[J]. 深圳大学学报(理工版), 2009(2): 188—192.
YUAN Qing-ke, LIU Da-hui, ZHANG Ming-tian. The Feeder Mechanism of A Die Bonder and Its Virtual Prototype[J]. Journal of Shenzhen University (Science & Engineering), 2009(2): 188—192.
- [10] 林瑶瑶, 仲崇权. 伺服驱动器转速控制技术[J]. 电气传动, 2014(3): 21—26.
LIN Yao-yao, ZHONG Chong-quan. Technology of Velocity Control for AC Servo Drive[J]. Electric Drive, 2014(3): 21—26.
- [11] 刘亚静, 范瑜, 吕刚, 等. 全数字伺服电机轴角转换单元建模与分析[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(3): 148—154.
LIU Ya-jing, FAN Yu, LYU Gang, et al. Modeling and Analysis of an All-digital Magnetic Encoder-to-digital Converters for Servo Motors[J]. Proceeding of the CSEE, 2013, 33(3): 148—154.
- [12] 李海涛, 郭俊杰, 杜红枫. 滚珠丝杠螺旋线误差电子齿轮检测法研究[J]. 机械设计与制造, 2015(4): 91—94.
LI Hai-tao, GUO Jun-jie, DU Hong-feng. Research on Electronic-Gear Method of Ball Screw Helix Line Error Detection[J]. Machinery Design & Manufacture, 2015(4): 91—94.
- [13] 栾秀春, 杨爱光. PLC 接收模拟量输入信号的通用计算表达式[J]. 电气电子教学学报, 2010(6): 81—83.
LUAN Xiu-chun, YANG Ai-guang. The General Computation Expression of Analog Quantity Input Signals Received by PLC[J]. Journal of Electrical & Electronic Education, 2010(6): 81—83.
- [14] 蒋晓峰, 施伟锋, 刘以建. 基于触摸屏和 PLC 的船舶电站监控系统设计[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(1): 122—125.
JIANG Xiao-feng, SHI Wei-feng, LIU Yi-jian. Monitoring and Control System Based on Touch Screen and PLC for Shipboard Power Station[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(1): 122—125.
- [15] 陈东青. 基于 PLC 与触摸屏的码垛工业机器人操作系统设计[J]. 包装工程, 2014, 35(23): 84—88.
CHEN Dong-qing. Design of Stacker Industrial Robot Operating System Based on PLC and Touch Screen[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(23): 84—88.