

基于S7-200 SMART PLC的封盒机电控系统设计与实践

为提高封盒机的工作效率和控制准确度，设计了基于S7-200 SMART PLC、SMART 700 IE触摸屏、交流伺服电动机、步进电动机及检测元件的自动封盒机电控系统。通过控制夹杆，准确、快速地移动提高封盒的速度与质量。从系统的整体结构、硬件及软件设计，详细阐述了设计思路与实现方法，着重分析了程序设计中移动速度与脉冲频率、脉冲数量与夹杆移动距离的对应关系，伺服驱动器增益参数优化方法及电子齿轮比的设置。系统已实践成功，运行效果良好。

李中帅/中山职业技术学院机电工程学院
邓兴龙/中山市龙宁自动化设备有限公司

0 引言

随着经济的迅速发展和生活质量的不断提高，人们的生活理念和消费模式正在发生重大的变化，对食品包装也提出了新的要求。各种新型食品的出现，对食品的保鲜及包装赋予了新的含义。包装功能的实现要求从过去的静态转向了动态。针对鲜活食品要求从加工前的成长、流通与转移，采取相应的包装技术与材料以达到防止污染、保鲜保质的目的^[1]。

封盒机是将充填有包装物的容器进行封口的包装机械。自动封盒机一般用于果冻、牛奶、豆腐及海鲜等类似产品的长方盒、正方盒，用塑料复合膜或铝塑复合膜进行热封、切边，集机、电和气于一体，结构复杂，各组成部分之间的动作必须按一定次序严格配合才能完成一个塑料盒的封口过程。该包装机械

可连接于食品生产线上作为工序之一，其前可接填充机械，其后可接装箱机械。

本文设计了基于S7-200 SMART PLC、SMART 700 IE触摸屏、伺服电动机、步进电动机及检测元件的封盒机电控系统，实践结果表明系统的控制性能稳定，控制准确度高，操作方便，界面友好，封盒速度能达到1 000盒/h以上。

1 系统结构

自动封盒机的整体结构如图1所示，主要由伺服输送机构、抽真空热封充气机构、供膜机构及打码装置组成。其电控系统采用单台西门子S7-200 SMART PLC、SMART 700 IE触摸屏、台达ADSA-B2系列伺服驱动器、雷赛HA335步进驱动器、光电传感器、接近开关、电磁阀、数字压力传感器及温控仪等协同完成工艺流程。

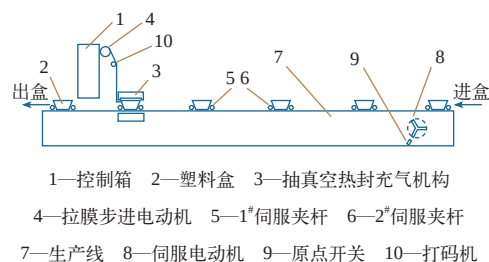


图1 整体结构示意图

整个系统在两台交流伺服电动机、一台步进电动机及气动机构的共同驱动下完成各种包装动作。具体工作过程如下：按下起/停按钮，两台伺服电动机驱动夹杆一前一后轻轻夹紧塑料盒并往双头大气缸下方移动，移到大气缸下方



李中帅/讲师

关键词/Keywords

自动封盒机 ·
PLC ·
参数优化 ·
电子齿轮比 ·

2014年度中山职业技术学院院级科研项目“自动贴双面胶机的研制”（2014KQ14）。

时两台伺服电动机停止转动, 开始进行打码、拉膜、抽真空、充 N_2 (O_2 、 CO_2) 及热封切膜的工序, 最后在生产线的另一端输出产品, 如此循环往复。

2 系统硬件设计

系统主电路采用单相三线供电、电源电压是交流220 V/50 Hz^[2]。

2.1 控制器

如图2所示, 需要控制两台交流伺服电动机及一台步进电动机的三路高速脉冲输出^[3]。考虑成本及稳定性, 选用S7-200 SMART 晶体管输出型PLC, 其CPU型号为ST40。

S7-200 SMART PLC已经以太网化, 不需要专用电缆, 只用一根普通的上网线即可下载程序并与SMART 700 IE触摸屏通信; 所有的I/O端子均可拆卸, 便于不拆下接线而更换PLC; 三路100 kHz的高速脉冲输出, 位置控制功能强, 不需要扩展位置控制模块; 其编程软件S7-200 Micro/Win SMART V2.0功能强大友好, 可以同时打开和显示

多个窗口, 变量表、输出窗口、交叉引用表、数据块、符号表及状态图表均可以浮动、隐藏和停靠在程序编辑器或软件界面的四周^[4]。

2.2 触摸屏

考虑与PLC更好的兼容, 选用SMART 700 IE触摸屏完成封盒机运行时的参数设置、监视及报警功能。这一型号同时具备RS 485/RS 422串口和以太网口, 分辨率 800×480 , 可用一根网线与S7-200 SMART PLC连接。组态软件使用功能强大的WinCC flexible 2008 SP4, 利用自带的丰富图库和对象, 可以快速方便地生成用户满意美观的画面。

2.3 伺服驱动装置

伺服电动机是封盒机的主要策动力的来源, 为了保证封盒速度和准确度, 伺服控制器采用两台750 W的台达ADSA-B2系列交流伺服驱动器, 可以选择AC 220 V单相/三相供电, 在本文的设计中采用单相220 V供电, T端子不接, 输出U、V和W与伺服电动机连接, 相序不能有错, 否则电动机不能正常工作甚至损坏。

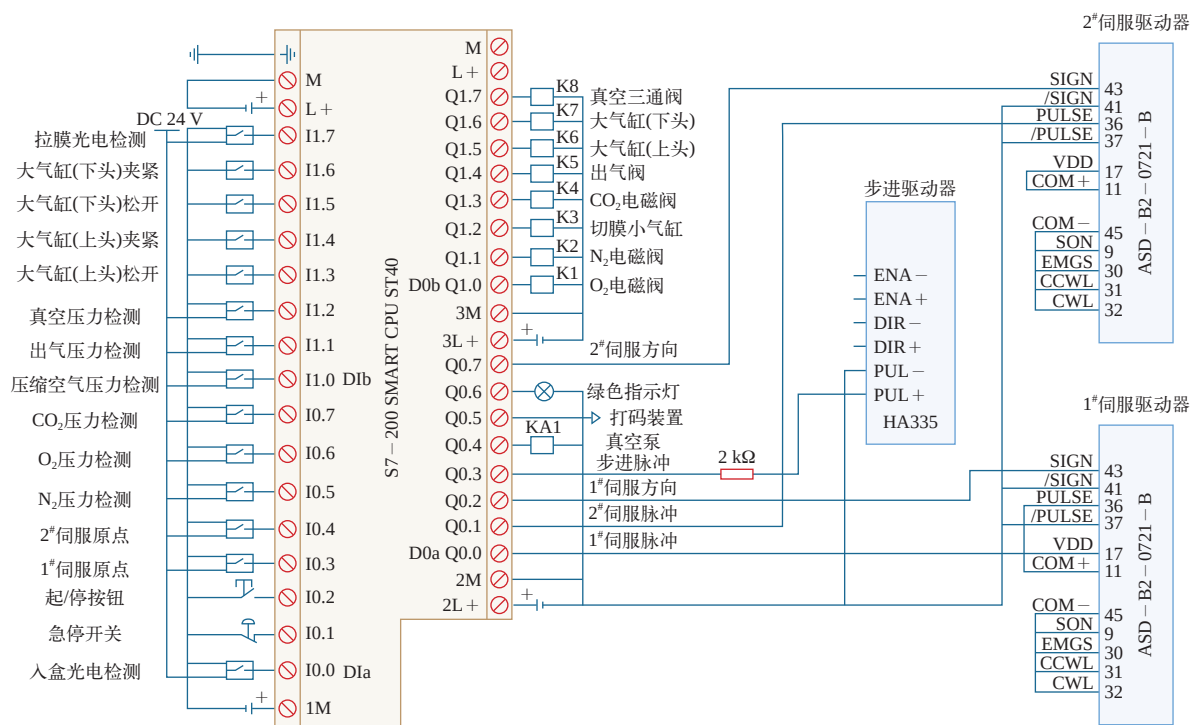


图2 系统PLC控制回路

交流伺服电动机的驱动方式有差动、开集电极两种^[5]。本系统采用脉冲+方向的开集电极驱动方式，高速脉冲输出端口分配如表1所示。伺服夹杆类似皮带循环旋转，无越界情况发生，所以图2中伺服控制器的CWL与CCWL的正反方向均未连接极限行程开关。

表1 CPU ST40高速脉冲输出端子分配

项目	1#伺服	2#伺服	拉膜步进
脉冲	Q0.0	Q0.1	Q0.3
方向	Q0.2	Q0.7	不分配
组态	单相（2个输出） 正极性	单相（2个输出） 正极性	单相（1个输出）

2.4 步进驱动装置

供膜系统主要任务是根据塑料盒的宽度送一定长度的塑料复合膜，准确度要求不高。因此该系统不采用成本较高的交流伺服系统而采用成本可接受的步进驱动系统。供膜系统采用HA335高性能步进驱动器，可设定半步工作方式，驱动两相步进混合式42系列步进电动机。HA335是一款可用交流或直流供电的新型设计驱动器，节省成本，使用灵活。且拉膜方向固定，HA335型步进驱动器上方向信号端子DIR+、DIR-及使能端子ENA+、ENA-可不接线见图2，从而简化电路的设计。

3 系统软件设计

3.1 控制思路

系统程序流程图如图3所示。当在正常工作过程中按下起/停按钮时，该系统必须完成当前的一个工艺流程才能自行停止并复位。当工作过程中发现异常情况，应及时按下急停按钮，这时系统立即停止在当前工作状态下，等待检查。检查确认无误后，复位急停按钮，系统在当前状态下继续运行。如有严重故障，立即停电检查。

1) 开机复位。整个系统配置一个起/停按钮及一个急停按钮。系统上电后，系统复位，伺服进行原点回归^[6]。抽真空的大气缸释放打开处于复位状态，1#、2#伺服夹杆松开准备放入装有食品的塑

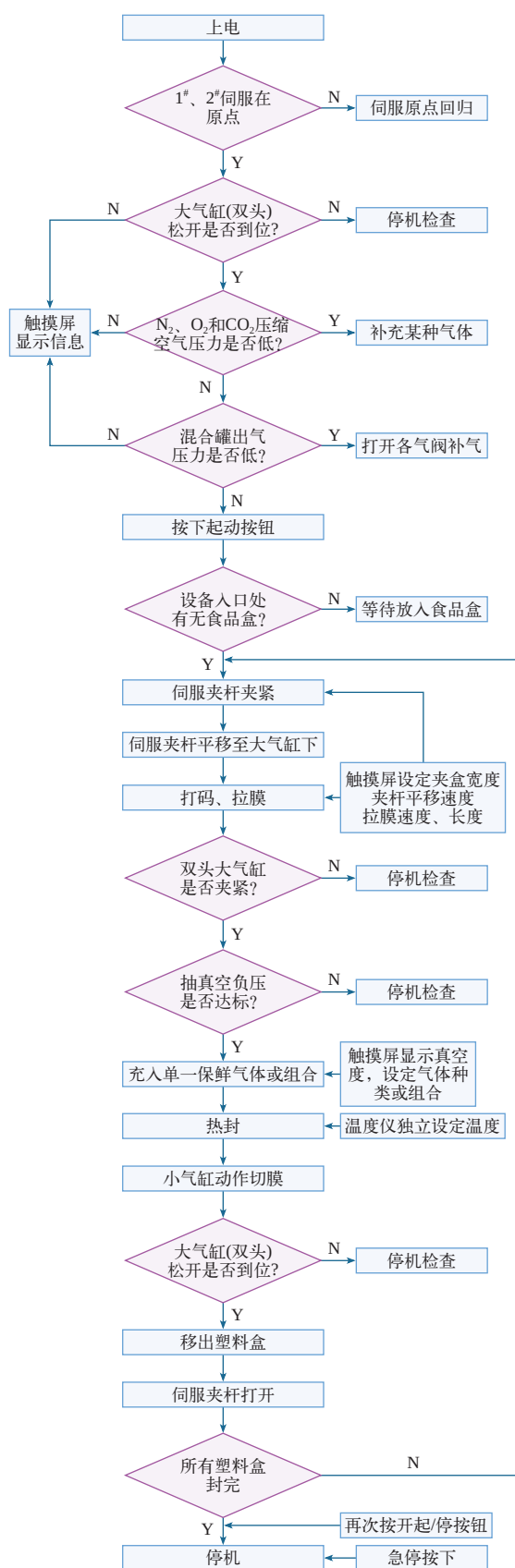


图3 系统主程序流程图

料盒。

2) 手动调试。为方便设备的检修与调试,利用触摸屏可完成塑料盒伺服夹杆的夹紧与松开、伺服系统原点回归、伺服夹杆的移动与停止、气缸的上升与下降、手动抽真空、手动供膜及手动打码等点动操作。

3) 参数设置。系统的封盒速度、塑料盒宽度、拉膜速度与长度、塑料盒充气种类及供膜系统是否启用光电检测等均可在触摸屏上进行设定。

4) 状态显示。PLC从数字压力传感器读取状态,在触摸屏上显示压缩空气、O₂、N₂及CO₂的气压状态,可通过触摸屏统计产量、显示运行速度。

3.2 运动控制

伺服电动机驱动夹杆夹住塑料盒或运动或停止,这一动作是封盒机整套系统的“策动者”,后续如供膜、抽真空、充气、封膜及打码等动作皆以伺服电动机的动作为前提。欲提高封盒的速度与质量,必须优化伺服驱动器参数,准确计算移动速度与脉冲频率、脉冲数量与夹杆移动距离。

3.2.1 伺服驱动器增益参数优化

为了确保机构运行的稳定性,设计过程中借助软件ASDA-Soft进行系统分析,从而找到优化的增益参数。首先设定电动机转速和行程的长度(两点的距离),利用动态方式^[7]去估算机构运行中的负载惯量比,计算出控制循环的相关增益数值,如表2所示;然后下载增益参数至伺服驱动器内进行系统分析得出频域波德图^[8]。

表2 两组增益参数

项目	A组	B组
惯量比	4.0	2.4
位置回路比例增益	157	138
位置回路前馈增益	50	50
速度回路比例增益	628	552
速度回路积分增益	100	88
外部干扰抵抗增益	100	88

图4为表2中两组增益参数情况下的频域波德图, A组、B组参数分别对应灰色、黑色曲线。根

据相位余裕(Phase Margin, PM)计算式(1)及优化判断准则(建议在50°以下,最佳调整在30°~40°之间)计算比较得出A组参数较优

$$PM = P|_{0\text{dB}} + 180^\circ \leq 50^\circ \quad (1)$$

式中, $P|_{0\text{dB}}$ 为幅值为0 dB时的相位。

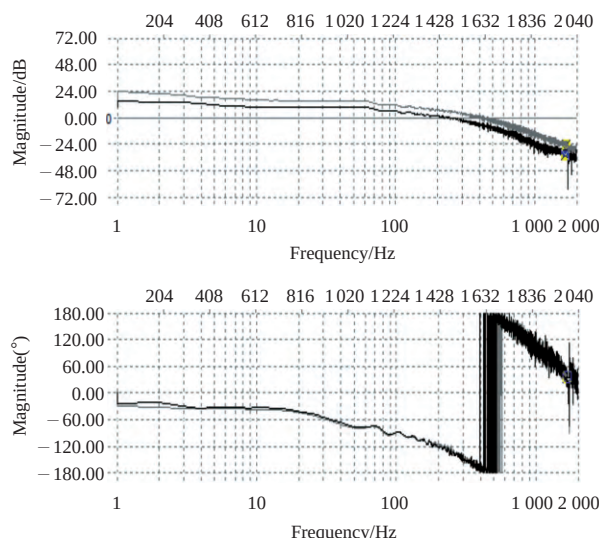


图4 两组增益参数下的系统分析比较

3.2.2 电子齿轮比计算

本系统中伺服控制器工作在位置模式,若CPU ST40发出一定数量脉冲,夹杆则移动一定距离。下面就程序设计中脉冲数量与夹杆移动距离、脉冲数量与夹杆移动距离的对应关系及电子齿轮比^[9]的设置进行说明。

伺服夹杆由传动比为1:10的两个链轮进行驱动。夹杆安装在大链轮的链条上,相当于每1/3处一根。大链轮共60个齿,齿距为15.875 mm,即每20个齿处的链条上有一夹杆,大链轮转动一周的距离为15.875 mm×60=952.5 mm。电子齿轮比的公式如下

$$\frac{N}{M} = \frac{4Pt\Delta t_0}{n\Delta S} \quad (2)$$

式中, N/M 为电子齿轮比,其设置范围 $1/50 \leq N/M \leq 200$, Pt 为伺服电机编码器的分辨率, pulse/rev; Δt_0 为每脉冲对应的移动量, mm/pulse; n 为减速比; ΔS 为伺服电动机每转对应的移动量, mm/rev。

若设 $\Delta t_0 = 1 \mu\text{m/pulse}$ ，即设1个脉冲对应移动距离为1 μm ，则伺服驱动器的电子齿轮比为： $N/M = (4 \times 2\,500 \times 1 \times 10^{-3}) / (0.1 \times 952.5) = 40/381$ 。即设置台达驱动器ASD-B2-0721-B电子齿轮比分子、分母参数分别为P1-44=40、P1-45=381。若S7-200 Micro/Win SMART V2.0运动控制向导中设置工程单位5.0 mm对应5 000个脉冲，则在 $\Delta t_0 = 1 \mu\text{m/pulse}$ 情况下，对应的伺服夹杆移动的最高速度为

$$V_{\max} = f_{\max} \Delta t_0 = 100 \text{ kHz} \times 1 \mu\text{m/pulse} = 100 \text{ mm/s} \quad (3)$$

式中， $f_{\max}$ 为CPU ST40高速脉冲输出的最高频率。

3.2.3 步进供膜系统控制

步进供膜系统可以选择启用光电检测与不启用光电检测的两种方式运行，启用光电检测时热封膜上必须先打印好可识别的标记，以便光电开关进行检测。首先按当前封盒机包装的塑料盒宽度计算热封膜的长度，确定这一值的范围（从最小值到最大值），拉膜时仅在这一范围内启动光电检测，一旦光电开关找到标记即停止拉膜。

4 结束语

在现代包装机械控制系统中，PLC、伺服系统和触摸屏等的综合应用非常广泛，速度、准确度及自动化水平要求越来越高。本系统利用西门子S7-200 SMART PLC集成有三路100 kHz高速脉冲输出的功能及软件S7-200 Micro/Win SMART V2.0运动控制向导面板的轻松组态，方便地实现了自动封盒机的两台夹杆伺服电动机及一台供膜步进电动机的定位控制，辅以SMART 700 IE触摸屏及光电传感器、接近开关、电磁阀、数字压力

传感器及温控仪等检测元件的协同工作，系统控制性能稳定，操作方便。实践证明，本系统投入使用后速度、准确度均达到要求，工作效率大大提高。

参考文献

- [1] 胡焱清. 食品包装新技术 [J]. 中国包装, 2006 (6): 95-96.
- [2] 程子华. 三菱PLC、伺服系统、触摸屏在切边机上的应用 [J]. 伺服控制, 2011 (5): 86-87.
- [3] 孙松丽, 吴晓昉. 基于S7-200 SMART PLC的自动焊接系统设计 [J]. 制造业自动化, 2014(11): 137-140.
- [4] 廖常初. S7-200 SMART与S7-200R的比较 [J]. 电工技术, 2013 (11): 52-53.
- [5] 舒志兵. 交流伺服控制系统 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [6] 周根荣, 姜平, 钟永彦. 码垛机器人运动学分析和控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (1): 81-84.
- [7] Shinichi Kobayashi, Ichiro Awaya, Hiroshi Kuromaru, et al. Dynamic model based auto-tuning digital servo driver [J]. IEEE Transaction on Industrial Electronics, 1995, 42 (5): 913-917.
- [8] 陈鹏展. 交流伺服系统控制参数自整定策略研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2010.
- [9] 齐建虹, 蔡锦达, 许鹏程. 基于ARM9的蜂窝纸板包边机控制系统研发 [J]. 包装工程, 2013, 34 (5): 74-77.

(收稿日期: 2016-01-06) EA

©1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告