

基于双闭环的直线容积式自校正灌装设备控制系统设计及应用

段文军, 石卓栋, 徐志刚, 宿延轶, 冯巍

(北京航天斯达新技术装备公司, 北京 100076)

摘要: 基于直线容积式灌装设备灌装精度不高的问题, 研究了一种带称量反馈的直线容积式灌装设备, 采用直线容积式进行灌装, 容积缸采用高精度的伺服电机驱动, 保证了容积缸准确的运动位移。容积式灌装同时将等量物料灌装到反馈秤里进行称量式校正, 实时测量灌装误差并且自动校正, 使得此种灌装生产线既有称量式灌装的高精度, 又有直线容积式灌装的高速度, 在实际应用中取得了较好的使用效果。

关键词: 双闭环; 直线容积式灌装; 称量反馈

中图分类号: TP271⁺.9; TP272 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)21-0080-05

Design and Application of Control System for Straight Line Volumetric Self-correction Filling Equipment Based on Double Closed-loop

DUAN Wei-jun, SHI Zhuo-dong, XU Zhi-gang, SU Yan-yi, FENG Wei

(Beijing Aerostandard New Technology Company, Beijing 100076, China)

Abstract: Straight line volumetric filling equipment with weighing feedback was designed to solve the low precision problem. Straight line volumetric method was applied for filling; the volume cylinder was driven by high-precision servo motor, which ensured accurate motion displacement of the volume cylinder. The equivalent material was filled to feedback balance for weighing correction with the straight line volumetric filling; filling error was measured and corrected automatically in real time. The filling production line has high-precision of weighing filling and also the high-speed of volume filling line, which has good effects in practical application.

Key words: double closed loop; straight line volumetric filling; weighing feedback

在国内自动化工业灌装方式中, 比较常见的 2 种灌装方式为直线容积式灌装和减量称量式灌装。减量称量式灌装方式的灌装精度高, 不受灌装物料温度及粘度变化的影响, 目前国内应用很广, 但由于减量称量式灌装是靠液体自流方式进行灌装, 所以生产速度有限。直线容积式灌装方式有较快的灌装速度, 但灌装物料温度及粘度影响灌装精度。文中直线容积式灌装设备采用容积灌装, 以称量反馈来自动校正灌装精度, 在保证高精度的同时又有很高的灌装速度。

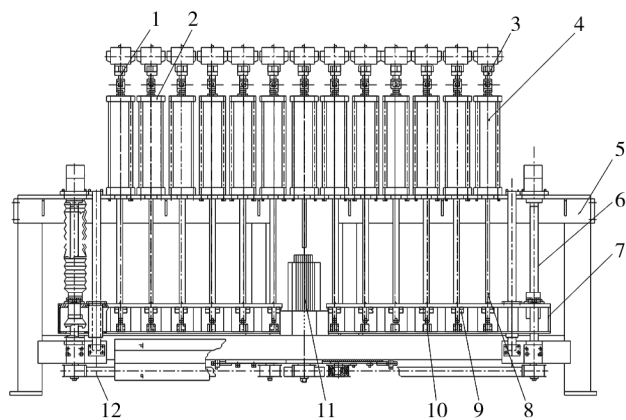
1 灌装设备的工作原理及组成

12 头 4 L 直线容积式称量反馈液体灌装设备主要由进出桶输送部分、灌装部分和称量反馈部分组成, 进出桶输送部分由桶输送板链、前后定位挡桶器、

桶口定位卡桶器、接料盘组成, 灌装部分主要由储料箱、12 个容积计量缸、12 个灌装头、升降横梁、灌装三通阀以及连接软管组成, 称量反馈部分主要由反馈容积计量缸、反馈三通阀、反馈秤以及连接软管组成。如图 1 所示, 12 个容积计量缸和反馈容积计量并排安装在机架平台上, 所有 13 个容积缸的活塞杆固定连接在升降横梁上, 在升降横梁上安装了固定横梁与活塞杆的 2 个锁紧螺母, 在活塞杆末端安装了用于补偿活塞杆行程的补偿气缸, 升降横梁两端经滚珠丝杠和同步带与伺服电机相连, 升降横梁在伺服电机的驱动下作升降运动, 带动所有容积缸活塞杆在容积缸内作往复运动, 即伺服电机的旋转最终转换成所有容积缸活塞杆的位移。灌装三通阀和反馈三通阀是独立控制的, 当进行实际灌装时, 可以进行称量反馈也可以不进行, 实现了实际灌装部分与称量反馈部分完全分

收稿日期: 2013-08-25

作者简介: 段文军(1981-), 男, 北京人, 硕士, 北京航天斯达新技术装备公司工程师, 主要研究方向为灌装线的电控设计。



1-灌装三通阀;2-容积计量缸;3-反馈三通阀;4-反馈容积缸;
5-机架;6-滚珠丝杠;7-升降横梁;8-容积缸活塞杆;
9-锁紧螺母;10-补偿气缸;11-伺服电机;12-同步带

图1 灌装主机输料机构结构

Fig. 1 Structure diagram of filling machine conveying mechanism

离,但所有容积缸的往复动作是一致的。在灌装过程中,对12个容积缸进行灌装,反馈容积缸将相同容积的物料灌装到反馈秤内,进行物料的质量反馈,若计量在误差范围内将半差反馈,如果超出误差则暂停灌装,进行比例反馈直到质量合格再继续灌装。

容积缸采用高性能的伺服电机进行驱动,以同步带连接高精度滚珠丝杠作为传动元件,在容积缸运动的末端安装了高精度的光栅尺,与伺服电机形成了全闭环的运动模式,消除了从伺服电机到容积缸运动末端间的机械传动误差,保证了计量缸的精确运行位移。

由伺服电机驱动13个容积缸作整体往复运动,首先要控制各个容积缸的加工精度,使各个容积缸的内径尺寸在误差范围内;其次当伺服电机运动一定位移量,各个容积缸的容积量会因为各个容积缸的加工精度误差而导致容积量略有差异,此时要调整升降横梁上活塞杆的2个锁紧螺母,使锁紧螺母与横梁的上平面有一定运动间隙,当系统灌装时,升降横梁移动一定位移的同时,在补偿气缸的驱动下活塞杆再相对于横梁有一个微小的位移,可将各个容积缸的加工误差调整一致,保证每个容积缸在相同位移量下有一致的容积量。

2 控制系统设计

2.1 系统的总体方案

该系统采用双闭环的控制方式,第1个闭环控制

为:容积缸的移动位移精度方面采用伺服电机作为驱动元件,容积缸运动末端安装光栅尺,形成了全闭环的精确定位模式,可以不受中间转动部件滚珠丝杠的误差和温度对位置变动产生的影响,可以实现超微指令的高精度定位。在设定了适当的伺服电机脉冲当量(一个脉冲的实际位移量)后,控制系统可根据实际的灌装误差发送相应的容积缸位移量,保证灌装精度。控制方案见图2。

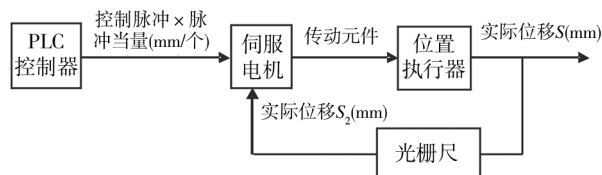


图2 位移控制方案

Fig. 2 Program diagram of displacement control

第2个闭环控制为:在容积灌装的同时采用称量式反馈保证灌装目标质量的精度始终在误差范围内,并逐渐逼近目标值,称量反馈系统和容积灌装系统是独立的,在称量反馈过程中系统可以灌装也可以不灌装,当称量反馈质量超出误差允许范围内时,系统只进行称量反馈不进行灌装,可以保证最终的实际灌装质量一直保证在误差范围内,此过程不受物料粘度和温度变化的影响,可以实现自动质量的调整,自动化程度较普通容积式灌装高,而速度则保持容积式的高速灌装。称量反馈控制方案见图3。

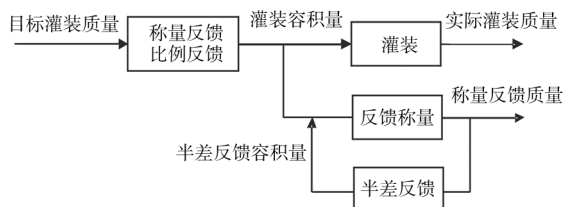


图3 称量反馈控制方案

Fig. 3 Program diagram of weighing feedback control

2.2 控制系统硬件设计

此灌装控制系统主要采用西门子200PLC作为控制单元,EM253位控模块向施耐德伺服电机进行位置指令,可以方便快捷的向下位机发送移动脉冲,所有功能都是模块化子程序直接调用即可,如自动寻找零点功能,不需要人工编写程序,SIWAREX MS称量模块作为反馈秤控制单元。使用模拟量输入模块将伺服电机的实时功率和实时速度采集到PLC内,可以监

控设备实际的运行状态,如果发生功率和速度急剧增加,控制系统可以及时的作出响应,立即停机,并显示报警信息,以便现场查找设备问题故障,保证设备不会出现大的事故。控制系统的硬件配置见图4。

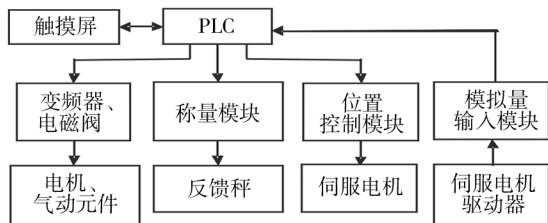


图4 硬件配置

Fig. 4 Diagram of hardware configuration

系统还有灌装物料超压保护设计,若出现灌装头未打开,而进行灌装的情况,会使容积缸的压力急剧上升而损坏机械部件,所以在每个容积计量缸上安装了压力检测传感器,当其中任何一个压力超过设定上限时,控制系统会立即作出响应,停止灌装并且退出自动运行程序,以便检查设备故障。在正常自动运行情况下,每个灌装头的开关都有相应的磁感应传感器进行监测,保证每次灌装前每个灌装头必须为打开状态。

称量反馈秤斗安装在与灌装头同高度的位置,安装反馈秤斗灌装过程完全与灌装头灌装过程一致,包括物料软管的连接都是同一方向。每次称量反馈时进入反馈秤斗的物料需先收集到一个小的储料箱内,然后再经物料泵将物料输送至设备上端的储料箱。将反馈秤安装在与灌装头同等高度且并列一条线上,这样无论是反馈计量缸与灌装计量缸的缸径一致性,还是物料软管的连接都保证了反馈秤的灌装过程与灌装头的灌装过程完全一致,确保经反馈秤的灌装物料质量与经各个灌装头的物料质量相等,无论灌装物料物理特性随温度如何变化,反馈称量可随时校正灌装头的灌装质量。

2.3 控制系统软件设计

软件设计全部采用模块化结构设计,按照灌装设备的功能实现进行划分,控制系统软件主要包括:控制系统初始化、数据处理、故障报警及处理、手动控制、自动运行控制、急停控制、切换物料控制、储料箱控制、初始称量反馈等。自动运行系统又分为:初始称量反馈子系统、灌装过程控制子系统、进出桶控制子系统、称量反馈子系统、吸油子系统、排油系统以及

急停中断程序等。控制系统的结构框架见图5。

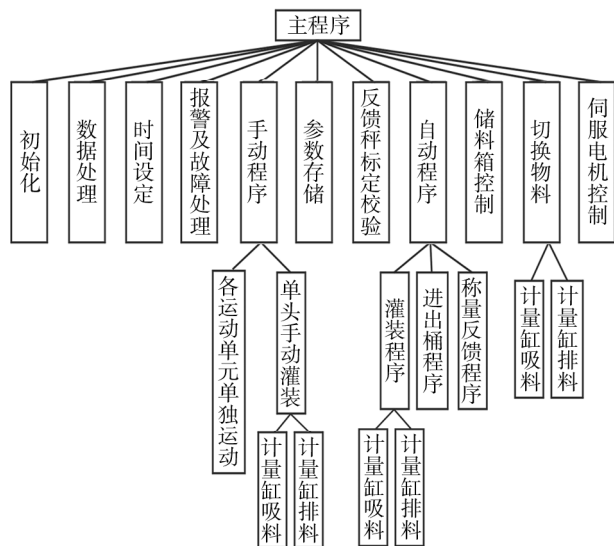


图5 软件结构框架

Fig. 5 Framework diagram of software structure

数据处理主要是将程序运行需要的数据如比例反馈和半差反馈进行处理,比例反馈的数据处理主要是将反馈秤的当前伺服横梁的位移除以当前灌装质量,再乘以目标灌装量即可得出伺服横梁应该运行的实际位移数据;半差反馈是将与灌装同时进行的称量反馈过程中的反馈质量数据与目标灌装量进行比较,并将误差的一半增加到伺服横梁的当前运动位移上。

自动运行程序主要有灌装子程序、进出桶子程序、称量反馈子程序等,灌装子程序完成容积计量缸的灌装准备及吸料动作,灌装头打开并切换三通阀,容积计量缸的灌装过程及排料动作;进出桶子程序完成灌装桶的进入灌装区,桶口的定位,灌装完成后出桶等动作;称量反馈子程序在灌装的同时进行灌装量的称量反馈,将与灌装计量缸等容积的称量计量缸内的物料进行称量,再与目标灌装量比较,进行半差补偿,实现容积灌装质量的实时校正,程序流程见图6。

急停中断程序主要是保证能实现在灌装任何时刻按下急停按钮,系统会立即暂时停止灌装动作(即伺服电机暂时停止运动),而当急停按钮复位后系统会继续运行剩余的灌装过程(伺服电机继续运行剩余的位移)。当灌装时设备有小的故障时可按下急停按钮,待故障处理完成后急停复位可继续进行灌装,而保证灌装总量不会发生变化。

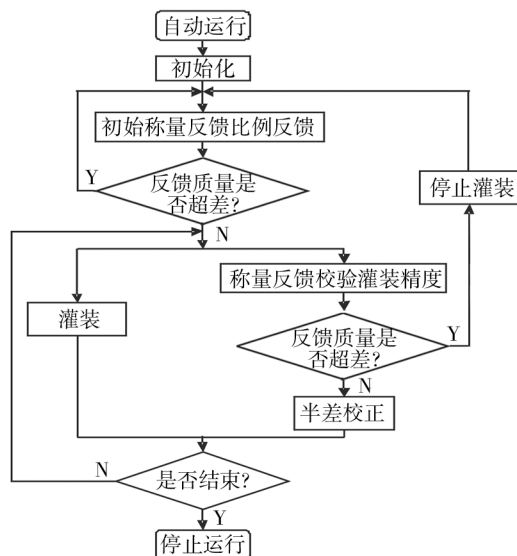


图6 程序流程

Fig. 6 Flow chart of software

3 应用

该直线容积式称量反馈液体灌装设备在国内几个润滑油厂都连续运行生产,运行状态良好,灌装精度可达 ± 3.5 g,灌装速度1 L容量的包装可达到6000桶/时,4 L容量包装可达到3600桶/时。以下数据为生产现场验收时的随机测试数据,1 L的灌装为10批次120个数据,4 L的灌装为10批次120个数据。容积为1 L的包装灌装精度抽检数据分析见图7,目标质量为 (836 ± 3.5) g。

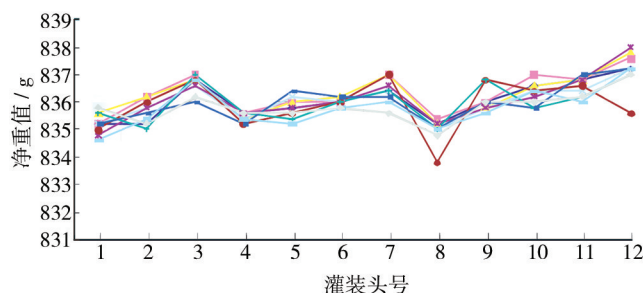


图7 1 L灌装量精度

Fig. 7 1 L filling volume precision

容积为4 L的包装灌装精度抽检数据分析见图8,目标质量为 (3526 ± 3.5) g。

从图7、图8中可以清晰地分析出所有的数据都在误差范围内,1 L灌装的同一个灌装头在不同批次灌装下的一致性很稳定,都在2 g的误差范围内,各

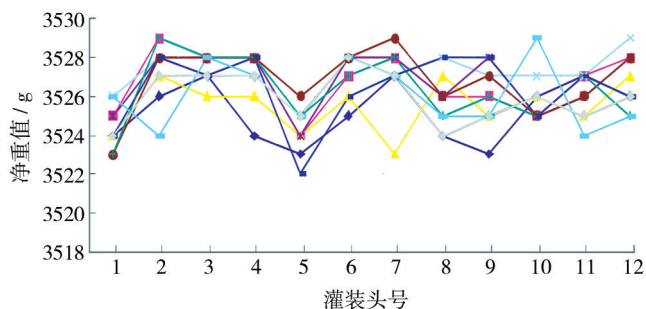


图8 4 L灌装量精度

Fig. 8 4 L filling volume precision

个灌装头在同一批次灌装下的一致性也比较稳定,误差在3 g范围内,这样不论是某一个灌装头在不同批次灌装还是12个灌装头在同一批次的灌装的运行稳定性都在误差范围内,从而保证生产出合格的产品,而4 L容积的灌装的相对精度也是很高的。

4 结语

该灌装设备已经在国内许多润滑油自动包装工厂使用,现场运行状态稳定可靠,在相同灌装头数情况下灌装速度比减量式灌装机快,称量反馈系统随时自动校正灌装质量,使得该设备又有减量式灌装机的高精度。实际使用中客户较满意,可继续推广。

参考文献:

- [1] 徐志刚,冯巍. 液体自校准型直线容积式灌装机:中国, CN101607687A[P]. 2009-12-23.
XU Zhi-gang, FENG Wei. Self-calibration Linear Volumetric Liquid Filling Machine: China, CN101607687A[P]. 2009-12-23.
- [2] 孙凤兰,马喜川. 包装机械概论[M]. 北京:印刷工业出版社,2005:28-44.
SUN Feng-lan, MA Xi-chuan. Packaging Machine Generality [M]. Beijing: Print Industry Publishing House, 2005:28-44.
- [3] KALPKJIAN S, SCHMID S R. Manufacturing Engineering and Technology[M]. Prentice Hall, 2001.
- [4] 尹章伟. 包装机械[M]. 北京:化学工业出版社,2002:32-48,125-126.
YIN Zhang-wei. Packaging Machine [M]. Beijing: Chemical Industry Publishing House, 2002:32-48,125-126.
- [5] 王冬梅. 啤酒灌装生产线自动控制系统研究与开发[D]. 西安:西安理工大学,2001.
WANG Dong-mei. Beer Filling Production Line Automatic

- Control Systems Research and Development[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2001.
- [6] GLENN D. Introduction to Packaging Machinery [M]. USA: Packaging Machinery Manufacturers Institute (PMI), 1997.
- [7] 孙茂泉, 严伟跃. 称重式液体灌装机控制系统[J]. 轻工机械, 2007(6): 324-328.
SUN Mao-quan, YAN Wei-yue. The Control System of Weighing Liquid Filling Machine [J]. Light Industry Machinery, 2007(6): 324-328.
- [8] 李文友, 胡振泉, 叶保华. 高精度桶装液体灌装生产线的研制[J]. 包装与食品机械, 2005, 23(4): 4-6.
LI Wen-you, HU Zhen-quan, YE Bao-hua. The Development of Precision Barreled Filling Machine [J]. Packaging and Food Machinery, 2005, 23(4): 4-6.
- [9] 张聪. 自动化食品包装机[M]. 广州: 广东科技出版社, 2003: 46-56.
ZHANG Cong. The Automatic Food Packaging Machine [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Publishing House, 2003: 46-56.
- [10] 黄小兰. 基于 PLC 的旋转型灌装机控制系统研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.
HUANG Xiao-lan. The Control System Research for Rotary Filling Machine Based on PLC [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2012.
- [11] 杨启龙. 灌装机加塞机构的改进与设计[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.
HUANG Qi-long. Filling Machine Stoppering Improvement and Design [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2012.
- [12] 郑友林. 一种灌装机: 中国, CN103332309A [P]. 2013-10-02.
ZHEN You-lin. A Filling Machine: China, CN103332309A [P]. 2013-10-02.
- [13] 薛孝锋. 容积式伺服灌装生产线: 中国, CN103332641A [P]. 2013-10-02.
XUE Xiao-feng. Servo Volumetric Filling Machine: China, CN103332641A [P]. 2013-10-02.
- [14] 冯清华. 伺服电机运动控制器的研制[D]. 西安: 西安理工大学, 2004.
FENG Qing-hua. The Development of the Servo Motor Motion Controller [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2004.
- [15] 周振雄, 徐玉娇. 全自动六线同步灌装控制系统设计[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2012(5): 32-35.
ZHOU Zhen-xiong, XU Yu-jiao. Automatic Six-wire Synchronous Filling Machine Control System Design [J]. Journal of Beihua University (Natural Science Edition), 2012(5): 32-35.

(上接第 79 页)

- [2] 胡姣, 钱晓龙, 王策, 等. 基于运动控制器的飞剪定长切割系统的实现[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(8): 247-249.
HU Jiao, QIAN Xiao-long, WANG Ce, et al. The Application of Flying Shear Used to Cut to Specified Length Based on Motion Controller [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2005, 26(8): 247-249.
- [3] 周晋军, 李少纲. 模糊控制在涂布生产中的应用研究[J]. 包装工程, 2006, 27(10): 114-115.
ZHOU Jin-jun, LI Shao-gang. Application Research of Fuzzy Control Technology in Production of Coated Paper [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(10): 114-115.
- [4] 宁辰校, 李兰, 张戌社. 基于 PLC 的定长切割飞刷智能控制系统研究[J]. 河北科技大学学报, 2009, 30(3): 219-222.
NING Chen-xiao, LI Lan, ZHANG Xu-she. Study on Fixed-length Cutting Saw's Intelligent Control System Based on PLC [J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2009, 30(3): 219-222.
- [5] 盛强. 基于 PLC 的钢管定长切割模糊智能控制系统研究[J]. 工业控制计算机, 2012, 25(9): 54-55.
SHENG Qiang. Steel Pipe's Fixed-length Cutting Control System Based on Fuzzy Intelligent and PLC [J]. Industrial Control Computer, 2012, 25(9): 54-55.
- [6] 杨原清, 刘卫东, 李乐. 基于自适应模糊 PID 算法的切纸机伺服控制器设计[J]. 2010(3): 55-58
YANG Yuan-qing, LIU Wei-dong, LI Le. Design of Guillotine Servo Controller Based on Fuzzy PID Algorithm [J]. Small & Special Electrical Machines, 2010(3): 55-58.
- [7] 尹亮, 宫文宁. 模糊自适应 PID 控制算法分析[J]. 变频器世界, 2011(9): 86-88.
YIN Liang, GONG Wen-ning. Analysis of Fuzzy Adaptive PID Control Algorithm [J]. The World of Inverters, 2011(9): 86-88.
- [8] 张铮, 郑文超, 陈水胜, 等. 铝型材生产线同步定长切割系统[J]. 湖北工业大学学报, 2009, 24(4): 28-30.
ZHANG Zheng, ZHENG Wen-chao, CHEN Shui-sheng, et al. Synchronous and Fixed-scale Cutting System of Aluminum Profile on Product Line [J]. Journal of Hubei University of Technology, 2009, 24(4): 28-30.