

# 一种包装机械手及其控制的研究

陈宝江, 葛田子, 王建治  
(北京建筑大学, 北京 100044)

**摘要:** **目的** 为提高酸菜丝、榨菜条等短小丝条状类物料连续包装过程的自动化程度和生产效率, 研究一种具有自动充填与计量功能的机械手及其有效的控制方法。 **方法** 机械手是一气动控制系统, 由3个气缸分别实现水平运动、竖直运动和抓料卸料动作, 由单片机数据采集与显示系统来实现机械手抓料质量的检测与显示, 由PLC实现对整个系统的控制, 采用目标观测型变结构仿人智能控制, 确保达到控制精度要求。 **结果** 在实验室对样机进行了试验研究, 气源压力为0.35 MPa, 控制信号频率为20 Hz时, 料手下端与取料水平面距离为100 mm条件下, 机械手完成一个竖直运动循环所需时间小于4 s, 每300 g充填质量误差不大于2 g。 **结论** 理论分析和实验结果表明, 短小丝条状物料包装机械手和控制方法是可行的。

**关键词:** 机械手; 电气伺服系统; 数字控制

**中图分类号:** TB486; TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)07-0090-05

## Control Methods and the Manipulator Used for Packaging the Filiform Type Materials

CHEN Bao-jiang, GE Tian-zi, WANG Jian-zhi

(Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China)

**ABSTRACT: Objective** In order to improve the automation degree and the production efficiency of the continuous packaging line for the filiform materials, the control methods for the manipulator and the manipulator mechanism which has the capacity of self-weight measuring and material-filling were researched. **Methods** The manipulator was a pneumatic control system, consisting of three pneumatic cylinders circuits to implement the horizontal movement, vertical movement and the activities of picking up or putting down the materials among the line. The materials which the manipulator picked up were weighed and displayed by a single-chip macro computer. The control of the whole system was carried out by a PLC unit. The structure changeable type of human being simulating intelligence control methods resulting in the real observing at the objective changes were studied and implemented to achieve the control accuracy. **Results** The experimental study in the laboratory was conducted on the prototype, at a pneumatic pressure of 0.35 MPa, a control signaling frequency of 20 Hz, and a distance between the material grabbing hands and the horizontal material grabbing plane of 100 mm, the time needed for the manipulator to complete a vertical motion circulation was smaller than 4 s, and the filling weight error of each 300 g packing was not bigger than 2 g. **Conclusion** The theoretical analysis and the experimental result have shown that the packaging manipulator and control method for the packaging of filiform materials are feasible.

**KEY WORDS:** manipulator; electro-pneumatic system; digital control

目前,先进的机电一体化技术与控制技术已广泛 应用于包装工程,包装机械设备和包装工艺等都发生

了很大变化,包装工程技术正向全面机械化、自动化和智能化的方向发展<sup>[1-18]</sup>。在高端技术领域,我国所拥有的包装机械设备和包装生产线,具有自主知识产权的较少。特别是在流程性材料的包装工程方面,如短小丝条状物料的连续真空包装及包装物的自动充填和计量,瓷砖的自动分检和包装等方面,关键技术往往属于舶来品<sup>[5,9-10]</sup>。

在薄膜袋装菜蔬生产领域,翠花蔬菜集团建立了高标准的“翠花酸菜生产线”。由于该生产线上的包装充填和计量由手工操作完成,包装袋的抽真空和热封也是由人工操作真空包装机间歇工作,劳动强度大,因此生产效率较低。工厂迫切需要具有自主知识产权的酸菜丝全自动包装系统。

笔者以酸菜丝的塑料薄膜包装技术需求为背景,对类似酸菜丝的短小丝条状流程性材料(可以统称为短小丝条状物料)的包装技术展开了研究。研究包括 3 部分:配料系统,保证断丝断条和供料及时;包装物料充填与计量系统,保证时序、生产率和计量准确;塑料薄膜连续拉伸成形和真空热封合包装,该技术比较复杂<sup>[4]</sup>。文中主要介绍短小丝条状物料的充填与计量系统,并就该系统机械手的关键技术,特别是控制方法和试验结果展开论证和分析。

### 1 总体系统

针对如图 1 所示的酸菜丝类短小丝条状物料全自动包装系统展开了研究,并取得了重要成果。其

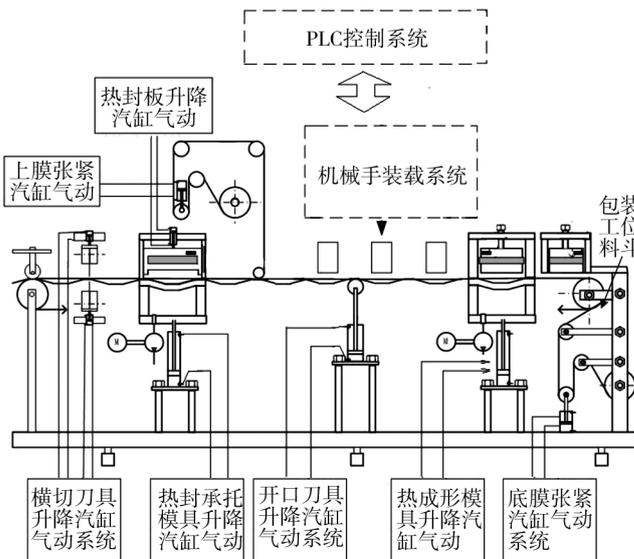


图 1 短小丝条状物料全自动包装系统

Fig.1 Fully automatic packaging system for filiform materials

中,自动充填计量包装机械手,即图 1 中的机械手装载系统是重点关键技术,需要进行研制。其余部分可以按薄膜拉伸热封装技术配套选型,以及通过必要技术改造,形成技术模块,最终集成为全自动包装系统。以包装物料机械手装载系统为研究对象的示意图见图 2。

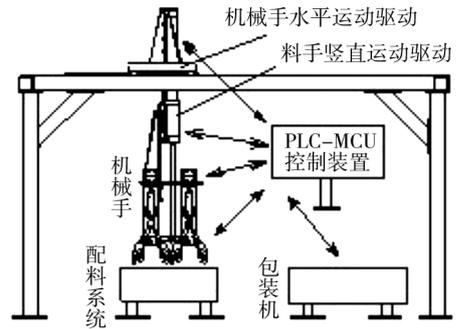


图 2 短小丝条状物包装机械手及其控制

Fig.2 The manipulator and control of the fully automatic packaging system

加电后,机械手从配料容器(配料系统)抓取一定的物料并自动计量和充填到包装机工位,包装机完成连续自动制袋包装,见图 2。

### 2 机械手关键技术

机械手技术的实质是一种 PLC-单片机控制系统。PLC 和单片机,可以称为微控制器,在机电控制系统中得到了广泛应用<sup>[11-18]</sup>。由此,设计上述物料包装机械手的关键就是应用 PLC 优异控制特性和单片机良好运算特性等,使机械手在规定时间内完成包装计量和充填动作。机械手关键技术简述如下所述,见图 2。

1) 水平运动及控制。微控制器与水平气缸内置接近开关配合,控制机械手整体水平往复运动。为了节省循环周期,保证生产效率,控制水平气缸活塞做三级变速运动,避免冲击,且保持较快速度。

2) 竖直运动及控制。竖直运动循环包括竖直运动驱动活塞拖动料手下行;料手下行到位后,料手抓料;抓料完成后,料手上行;抓料后的料手上行到位后,机械手水平运动到包装机工位,完成称量和充填。为控制机械手竖直运动平稳和料手入料深度,采用标准滑轨-滑板移动副,由双作用气缸驱动机

械手完成复杂的竖直运动。为了控制位置精度,以保证充填物质量在允许范围内。为了控制运动速度,以保证工作效率和避免冲击。采用目标位置光电观测传感器和接近感知传感器、竖直运动速度检测编码器和物料称量传感器相结合,构成竖直运动控制的传感系统,通过 PLC 控制气动高速开关阀,实现对机械手竖直运动的目标自适应开环闭环相结合的复杂控制。

3) 料手及其控制。模仿人手插入菜盆抓菜和放菜的情形,将料手设计为多指结构,由气缸驱动连杆,使其并拢或伸张,实现抓料或卸料。料手并拢或伸张所用时间很短,无需采用变速控制,直接通过 PLC 控制方向阀的电磁线圈得电或失电,使料手驱动汽缸活塞上升或下降,实现料手伸张或并拢。

4) 单片机计量系统。主要由单片机、S 型拉力传感器、8 位数模转换器、串行 LED 驱动器/显示器等构成,与 PLC 构成上、下位机联机通信系统,实时采集、计算和显示料手抓取物料的质量,并将必要信息传递到 PLC。

### 3 机械手控制方法研究

稳、准、快是控制系统追求的目标<sup>[11-18]</sup>。对于一个具体系统,控制目标有所侧重,采用的控制方法也有所不同。对于文中所研究的短小丝条状物料包装机械手系统而言,在可接受的运动冲击情况下,快速和料手入料深度是控制重点。包装物料水平面的竖直位置和机械手工作循环周期的时间间隔会发生变化(目标位置是离散变量),必须控制机械手适应这种变化,这是本课题研究的技术特点和重点。考虑系统需要较高的可靠性,采用预先光电传感探测和到位接近开关检测相结合的观测方法,从而实施有效的开环快速控制、适时闭环减速防冲击控制和到位平衡零控制。机械手的控制包括:机械手水平运动,料手的并拢、伸张控制和竖直运动控制。

#### 3.1 机械手水平运动及料手并拢和伸张的控制

依据控制要求,机械手水平运动及料手并拢和伸张的控制采用开环多级速度控制,由 PLC 控制气动方向阀实现。当水平气缸活塞运动到不同位置时,相应的电磁开关发讯,PLC 控制气动方向阀恰当组合,实现正、反两个方向水平运动的三级速度变换,既保证

了适宜的速度,又防止了不可接受冲击的发生。对于料手控制而言,当机械手下降到目标位置接近开关感知发讯时,PLC 控制气缸驱动料手动作(并拢抓料)开始,由 PLC 根据料手驱动气缸上的限位开关定时控制料手并拢动作的结束。

#### 3.2 机械手竖直运动控制的研究

竖直运动的控制比较复杂,控制方法也具有一定创新,需要展开讨论。由 2 个两位三通高速开关阀构成的流体控制系统类似于“四通阀控系统”<sup>[11-12]</sup>,文中不就系统的数学模型展开讨论。另外的原因是,采用带 CPU 的微控制器构成的控制系统,可以实施智能型控制,对系统的数学模型依赖程度不大。

根据控制要求,机械手/料手竖直运动必须在可接受的冲击下实现快速和高定位精度。机械手的竖直运动是一重力惯性系统,快速是生产效率的要求。如果快速引发较大惯性冲击和较大超调量的话,除可能使系统受到机械性损坏以外,定位精度要求的对超调的调节也会拉长循环周期,出现欲速则不达的情况。要解决上述问题,唯一的办法就是研究出适宜的数字控制器。

1) 控制原理。竖直运动控制系统主要由微控制器 PLC、气动高速开关阀、气缸、编码器、目标位置光电探测传感器、目标位置到达接近开关等构成,见图 3。2 个高速开关阀在 PLC 发出的 PWM 信号控制下,压力气体进入气缸,使气缸活塞向上或向下运动。这种运动的特性如何,取决于控制器的控制逻辑(方法)。

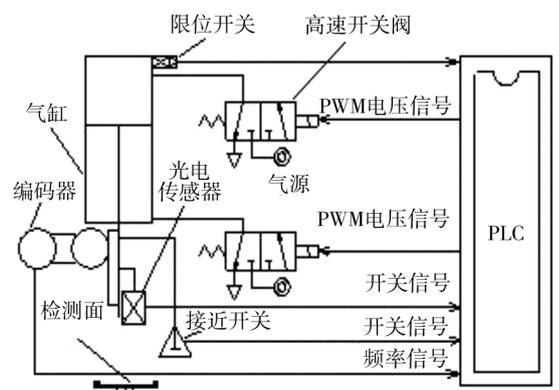


图3 竖直运动控制系统原理

Fig.3 The principle of the vertical movement control system

2) 目标观测自适应智能控制规则设计。机械手

下行要到达目标位置是关键行程,应谨慎地实施控制。机械手上行是返回原点,对控制的要求仅仅是防止不可接受的冲击现象发生。

根据仿人智能型控制的产生式规则<sup>[11-18]</sup>,设控制参量  $E_k$  为第  $k$  次采样时刻,接近开关最下端相对于与包装物料水平面的位置差 (mm);  $E_0$  为起始位置时,接近开关最下端相对于与包装物料水平面的位置差 (mm);  $E_1$  为机械手下行速度增加最大值时,接近开关最下端相对于与包装物料水平面的位置差 (mm);  $E_2$  为机械手下行到光电传感器响应时,接近开关最下端相对于与包装物料水平面的位置差 (mm);  $E_3$  为机械手下行到接近开关响应时,接近开关最下端相对于与包装物料水平面的位置差 (mm),  $E_3 = 5$  mm;  $E_4$  为上行减速起始时,接近开关最下端相对于与包装物料水平面的位置差 (mm),  $E_4 = E_0 + E_3 - E_2$ 。气缸活塞拖动机械手总成下行控制规则为:

IF  $E_1 < E_k \leq E_0$ , THEN  $\tau_{kV_1} = 0.5 + \frac{E_0 - E_k}{K_1}$ ,  $\tau_{kV_2} = 0.5 -$

$$\frac{E_0 - E_k}{K_1}$$

其中,比例系数  $K_1 = 2E_0 - E_1$ ;

IF  $E_2 < E_k \leq E_1$ , THEN  $\tau_{kV_1} = 1$ ,  $\tau_{kV_2} = 0$ ;

IF  $E_3 < E_k \leq E_2$ , THEN  $\tau_{kV_1} = 0.5 + \frac{E_k - E_3}{K_2}$ ,  $\tau_{kV_2} = 0.5 -$

$$\frac{E_k - E_3}{K_2}$$

其中,比例系数  $K_2 = 2(E_2 - E_3)$ ;

IF  $E_k = E_3$ , THEN  $\tau_{kV_1} = 0.5$ ,  $\tau_{kV_2} = 0.5$ 。

类似上述分析,可以推演出上行控制规则,此处略。式中  $\tau_{kV_1}$  为  $V_1$  第  $k$  次控制量的占空比 (%);  $\tau_{kV_2}$  为  $V_2$  第  $k$  次控制量的占空比 (%)。

## 4 机械手竖直运动控制的实验研究

### 4.1 方法与结果

为了验证上述控制规则的控制效果是否满足设计要求,进行了充分的实验研究。实验参数包括压力  $p_s$ ,  $E_1$ , PWM 信号频率  $f_p$ 。每个因素考虑多个水平,获得了充分的实验数据。限于篇幅,下面仅给出了一组机械手竖直运动试验结果的处理曲线,见图4。

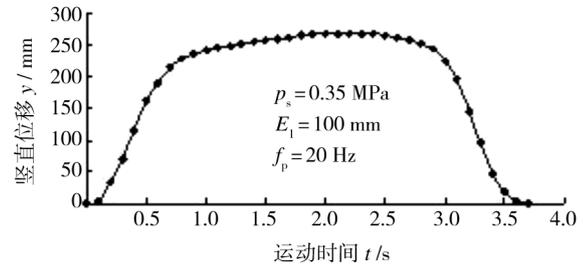


图4 竖直运动控制试验结果曲线

Fig. 4 The curve of the experimental result of vertical control

### 4.2 结果分析

竖直气动伺服定位系统的定位误差小于 2 mm,按照机械手结构计算,能保证机械手每次抓取物料的质量在  $(300 \pm 5)$  g 范围内;在工作气压为 0.35 MPa 时,完成竖直往复运动和手爪抓取物料的时间为 3.7 s,达到速度要求。

## 5 结语

1) 短小丝条状物的连续包装过程需要自动充填和计量技术,文中提出的建立在模仿人工用手抓料和天平称量操作基础之上的总体方案,技术经济性好。

2) PLC 和单片机相结合,可以保证系统具有良好的控制性能、可靠性能和低成本等特点。

3) 模拟量观测和开关量观测相结合,可以实现目标观测参考型的自适应控制,能够确保包装物水平面变化探测结果的准确性,能够确保控制规则的适时改变,从而实现对机械手竖直运动的最佳控制,即快速无冲击,且定位精度符合要求。

4) 文中的研究内容是课题的阶段性研究成果,获得了“短小丝条状物连续包装自动充填与计量”的关键技术,为技术产品化奠定了良好基础。

5) 该阶段研究的重点不是控制算法。关于抓料机械手竖直运动闭环控制算法的研究还有较大空间,这是下一步研究的重点内容之一。

### 参考文献:

- [1] 张莉. 大米保鲜包装的研究进展[J]. 包装工程, 2010, 31(13): 114—116.

- ZHANG Li. The Rice Maintains Freshness the Packing Research to Progress [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(13):114—116.
- [2] 韩占华,郭飞. 自动化在包装机械中的应用和展望[J]. 包装与食品机械,2011(3):49—52.
- HAN Zhan-hua, GUO Fei. The Automation and Forecasts Application in the Packing Machinery [J]. Packing and Food Machinery, 2011(3):49—52.
- [3] 李娟,吴磊. 自然元素在包装设计中的介入[J]. 包装工程,2012,33(24):14—16.
- LI Juan, WU Lei. Natural Element in Packing Design Involvement[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(24):14—16.
- [4] 李文帅,郭彦峰,侯秦瑞,等. 自然气调包装对采后猕猴桃保鲜效果和品质的影响[J]. 包装工程,2011,32(7):14—17.
- LI Wen-shuai, GUO Yan-feng, HOU Qin-rui, et al. The Natural Gas Adjustment Packing, after Picks the Kiwi Fruit to Maintain Freshness the Effect and Quality Influence[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(7):14—17.
- [5] 杨阳. 现代包装产业发展向智能化迈进[J]. 中国包装工业,2012(16):18—20.
- YANG Yang. The Modern Packing Industry Development Makes Great Strides Forward to the Intellectualization[J]. China Packs the Industry, 2012(16):18—20.
- [6] 王兆军,张五龙,周长城,等. 仓储物资整体封存包装技术及材料[J]. 包装工程,2013,34(13):123—127.
- WANG Zhao-jun, ZHANG Wu-long, ZHOU Chang-cheng, et al. The Warehousing Commodity Whole Seals the Packing Technology and Material[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(13):123—127.
- [7] 孙福东,王明迪. 探索物流包装的增值新视点[J]. 包装工程,2010,31(21):113—115.
- SUN Fu-dong, WANG Ming-di. Exploration Physical Distribution Packing Increment New Viewpoint[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(21):113—115.
- [8] 苗辉,戴庆辉,孙敬敬. 双秤定量包装机控制系统分析[J]. 包装与食品机械,2012(1):34—36.
- MIAO Hui, DAI Qing-hui, SUN Jing-jing. The Double Scale Quota Packaging Machine Control System Analyzes [J]. Packing and Food Machinery, 2012(1):34—36.
- [9] 洪波,包能胜. 包装机械的概念设计方案评选方法的研究[J]. 包装工程,2010,31(11):80—83,95.
- HONG Bo, BAO Neng-sheng. Packing Machinery Conceptual Design Plan Evaluation Method Research [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(11):80—83.
- [10] 孔凡真. 智能包装在未来食品包装上的应用[J]. 中国包装,2011(1):38—39.
- KONG Fan-zhen. Intelligent Packing on Future Food Packing Application [J]. China Packs, 2011(1):38—39.
- [11] 陈宝江,曹泛. 节能、快响应、高精度电液控制系统[J]. 机械工程学报,2005,41(5):191—195.
- CHEN Bao-jiang, CAO Fan. Energy Conservation, Quick Response, High Accuracy Battery Solution Control System [J]. Mechanical Engineering Journal, 2005, 41(5):191—195.
- [12] 李磊. 一种自动计量与连续充填包装机械手的研究[D]. 北京:北京建筑工程学院,2006.
- LI Lei. A Research of Packing Manipulator for Auto-weighting and Nonstop-stuffing [D]. Beijing: Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, 2006.
- [13] RYOO J R, DOH T Y, CHUNG M J. Robust Disturbance Observer for the Track-following Control System of an Optical Disk Drive [J]. Control Engineering Practice, 2004, 12(5):577—585.
- [14] SAVORNIN B, BAILLIN X, BLANQUET E, et al. New Method to Evaluate Materials out Gassing Used in MEMS Thin Film Packaging Technology [J]. Microelectronic Engineering, 2013, 10(7):258—265.
- [15] VERGHESE K L, HORNE R, CARRE A. PIQET: The Design and Development of an Online 'Streamlined' LCA Tool for Sustainable Packaging Design Decision Support [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2010, 15(6):355—362.
- [16] DAN Yuan-hong, LI Zu-shu, ZHANG Xiao-chuan. Research of DD2UD with Human Simulating Intelligent Control for a Double Inverted Pendulum [J]. Procedia Engineering, 2011, 15:165—172.
- [17] ALIREZA A, MOHAMMAD-MEHDI F. Intelligent Identification and Control Using Improved Fuzzy Particle Swarm Optimization [J]. Expert Systems With Applications, 2011, 38(10):567—573.
- [18] MAJIDABAD S S, SHANDIZ H T. Discrete-time Based Sliding-mode Control of Robot Manipulators [J]. International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics, 2012, 53:345—352.