

# 电-气动伺服系统实验平台的设计与研究

张捷 张慧慧

(北京工业大学机械工程与应用电子技术学院, 北京 100022)

**摘 要** 以气动伺服控制技术为基础,提出了基于该项技术的2种实验平台的设计方案。一种方案为气动模拟伺服与数字伺服联合应用的三自由度全气动式机械人;另一种方案为气动模拟伺服与电动伺服联合应用的三自由度机械人。同时,还对该实验平台的软、硬件工作原理及性能分析进行了着重介绍。通过该实验平台的建造,可以使学生真正了解到气动伺服控制技术这种最新的技术。

**关键词** 气动伺服技术, 比例流量阀, 步进电机, 位移传感器

**分类号** TP 271<sup>+</sup>.4

A

随着工业机械化和自动化的发展,气动技术也正在越来越广泛地应用于生产自动化的各个领域,在工业领域如机械、电子、钢铁、运输车辆及其制造、橡胶、纺织、轻工、化工、包装等,气动技术已成为不可缺少的基本部分;在尖端技术领域如核工业或宇航,气动技术取得了一定的地位;在农林、园艺、楼宇自动化等范畴,气动技术也得到了相应的应用,成为了实现生产自动化的重要手段之一<sup>[1,2]</sup>。同时,随着我国高等院校体制改革的深入发展,对于如何加强工科学生的素质教育,增强学生的动手能力以及如何使学生紧跟时代的脉搏,掌握新时代的先进技术已经成为有识之士关注的焦点,作者这个实验平台就是根据这一要求建立起来的。由于这个实验平台是建立在当今气动领域中最为先进的气动伺服技术之上,所以,该实验平台的建立在某种方面上可以缓解这项教育难题。

## 1 实验平台简介

该实验平台是一个具有3个自由度的摆式机器人,这3个自由度分别为X轴、Y轴、Z轴。其中,X轴就是通过比例流量阀对一个最新型的直线驱动单元进行控制,以完成气缸的任意点定位。该直线驱动单元是气动技术与机械技术的结合,它是将气缸与直线导轨结合在一起,并且带有滚动轴承的驱动单元;对于Y轴的选用,采用了2种不同的方案,第1种方案是通过一个电动的直线驱动单元来实现对Y轴的任意点定位,而第2种方案则是通过数字伺服对直线驱动单元进行控制,这样,可以分别实现气-气控制及气-电控制这2种不同的控制方法。通过气-气控制可以真正了解与掌握气动伺服这一气动领域的新兴技术,而通过气-电控制则可以了解并掌握电机及气动2种控制方法,所以,无论采用何种方法,都是十分有意义的。Z轴的执行部件就是一个双作用气缸加上一个吸盘,通过双作用气缸可以将吸盘送到工件的所在高度,而吸盘则通过真空发生器产生真空,以达到提取工件的目的。该机器人的3个自由度可以通过总线进行统一的协调控制,以使得各个模块之间协调动作,从而实现指定功能。

## 2 元件的选型

选用正确的元件是平台建立的重要步骤之一,只有对元件进行正确地选择,才能使气动平台拥有它所应有的功能。对于气动元件的选择,主要是对于各个缸的缸径进行确定,缸径的确定主要是根据气缸所受

到的负载的大小,在计算出缸径之后,再对缸的工作空间进行考虑,就可以达到确定缸的型号的目的.在第2种方案中,还对电机进行了选择,主要应该考虑如下因素:首先必须保证步进电机的输出扭矩大于负载所需扭矩,使电动机的矩频特性有一定余量以保证运行可靠;其次要求计算机械系统的负载惯量和产品所要求的启动频率与步进电动机相匹配并有一定余量,并使最高连续工作频率能满足产品快速移动的要求.同时还必须注意到要使其步距角和机械系统相匹配,以得到所需的脉冲当量.经过对各个元件的计算与校核,最后选定的元件如表1、表2所示.

表1 方案一的硬件配置

| 名称       | 型号                   | 公司     |
|----------|----------------------|--------|
| 无杆气缸     | DGPL-32-500-PPVA-KVB | FESTO  |
| 料仓       | D:MP2-M-SM           | FESTO  |
| 连座单元     | SC 16UU              | THK    |
| 真空发生器    | VP-10HS              | FESTO  |
| 紧凑型短行程气缸 | ADVU-12-20-A-P-A-S20 | FESTO  |
| 无杆气缸     | DGPL-18-300-PPVA-KVB | FESTO  |
| 多通集成块    | SS23F                | KURODA |
| 双作用气缸    | DSNU-16-80-A-P-A     | FESTO  |
| 吸盘       | VAS-12-12C           | FESTO  |

表2 方案二的硬件配置

| 名称       | 型号                   | 公司    |
|----------|----------------------|-------|
| 无杆气缸     | DGPL-32-500-PPVA-KVB | FESTO |
| 料仓       | D:MP2-M-SM           | FESTO |
| 连座单元     | SC 16UU              | THK   |
| 真空发生器    | VP-10HS              | FESTO |
| 直线轴      | DGE-18-200-ZR        | FESTO |
| 紧凑型短行程气缸 | ADVU-12-20-A-P-A-S20 | FESTO |
| 双作用气缸    | DSNU-16-80-P-A       | FESTO |
| 吸盘       | VAS-12-12C           | FESTO |

### 3 对于实验平台的控制

作者所采用的总线控制方式是现场总线控制中的一种CAN总线控制.这种总线控制方式就是将整个平台划分成几个动作单元,这些单元各自独立,并且,每一个单元都由单独的CAN控制模块来对其进行控制.将这些控制模块挂在CAN总线上,通过CAN总线对输入、输出信号进行传输,从而达到通过上位机对整套实验平台进行协调控制的目的.图1是这套控制系统的结构简图.

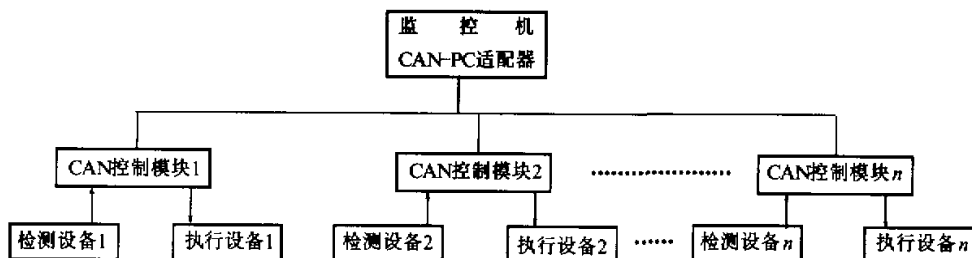


图1 控制系统的结构简图

#### 4 对于实验平台的调节

在进行完设计之后,购买了德国 FESTO 公司的一套气动产品,这套产品就是上面所提到的 X 轴单元,该单元的结构图如图 2 所示。

其工作原理如下:在上位机将系统的各项参数及程序传到 SPC100 轴控制器各项参数传到控制器的同时,控制器进行最优化计算,控制比例流量阀的进、排气量,无杆气缸在比例流量阀的控制下进行运动,位移传感器将气缸所到达的位置转变为电压值,送入轴控制器,轴控制器根据该电压信号与输入电信号之差计算出最佳控制信号并作用于电磁铁,使之产生推、拉阀芯的力,从而控制气体的流量及方向,达到使活塞准确定位的目的。

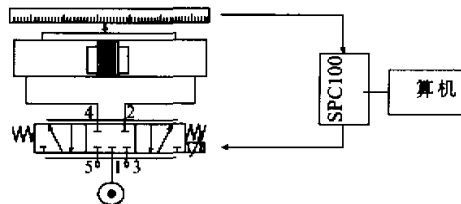


图2 x轴单元的控制结构简图

但是,如果想要使得该轴可以平稳地运动,就必须对其中的各个参数进行优化选择,这样就必须对该轴进行调试。而对于气动平台的调节是一件十分重要的事情,它不仅是今后整个实验平台的建立与完成的基石,而且是能否达到预期目的提供了重要的依据。对于该轴的调节是通过 PISA 软件来进行的,通过 PISA 软件笔者可以通过上位机直接对整个系统进行控制,该软件主要包括系统参数及程序编制、在线监控、数值分析等功能。其中,最主要的设置就是系统参数的设定,该软件提供了 11 种参数用于进行系统的设置。下面笔者仅对其中的重要参数加以介绍。

在系统的运动参数中,最主要的参数就是加速度值和速度值。速度值与系统的负载有直接关系,负载越大,速度越低;负载越小,速度越高。这主要是因为负载越大,系统的惯性越大。如果此时速度很高,则系统很容易失稳。所以,应该尽可能的降低气缸的速度,使系统可以较为平稳的运行。但是,速度也不能无限制的减小,因为速度是由气缸的进、排气量来决定的,如果速度减的过小,则会因为气量不足而带不动气缸。所以,速度不能一味的降低。同时,可以根据气缸的运动速度及运动负载的关系图来确定在某一个运动负载下的气缸的运动速度有多大。在运动参数中,另外的一个重要的参数就是摩擦力,根据牛顿第二定律,列出力平衡方程如下<sup>[1]</sup>:

$$M \frac{d^2x}{dt^2} = (A_a p_a - A_b p_b) - F_L - [f \frac{dx}{dt} + F_j + F_q \operatorname{sign}(\frac{dx}{dt})]$$

式中  $M$  为活塞及惯性负载质量;  $A$  为气缸腔的活塞表面积;  $p$  为腔的压力;  $F_L$  为外负载力;  $f$  为粘性阻尼系数;  $F_j$  为静摩擦;  $F_q$  为库仑摩擦。

摩擦力对于气动系统的性能有极大的影响,如果系统的摩擦力越大,则需要的加速度越大,这样,才能克服系统的摩擦力使系统运动起来,或不会存在窜动的现象。

在系统的响应参数中,最主要的参数就是系统的比例增益及系统的阻尼。这 2 个参数对系统的影响相同,但设置恰好相反。比例增益过大或系统阻尼过小会引起系统的超调量增大,从而使得系统在设定点附近进行振荡;如果比例增益过小或系统阻尼过大则会引起系统的反应不灵敏,使得系统的调整时间变长,气缸到达设定点的时间增加,甚至,会出现气缸爬行的现象。只有在这些值被设置为优化值的时候,系统才能既快速,又平稳的到达设定点。

由二阶系统的性能指标可知系统的最大超调量为<sup>[3]</sup>

$$M_n = -\frac{\zeta \pi}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (1)$$

即系统的超调量仅与阻尼比  $\zeta$  有关,阻尼比越大,则超调量越小。

系统的调整时间为:

$$t_s = \frac{3}{\zeta \omega_n} = \frac{-\ln 0.05 - \ln \sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta \omega_n} \quad (2)$$

即系统的调整时间也与阻尼比有关,由调整时间 $t_s$ 的推导可见,当 $\zeta$ 较大时,式(1)的近似度降低.当 $\omega_n$ 一定时,对于式(2),变化 $\zeta$ 求 $t_s$ 的极小值,可得当 $\zeta = 0.707$ 时,系统的单位阶跃相应的调整时间最短,即响应最快.当 $\zeta < 0.707$ 时, $\zeta$ 越小,则 $t_s$ 越长,具体表现为系统在设定点来回振荡,很长时间停不下来;而当 $\zeta > 0.707$ 时, $\zeta$ 越大,则 $t_s$ 越长,表现在台子上的现象为气缸到达指定点的速度变慢.

## 5 Y轴、Z轴的设计

在方案1中,系统的Y轴是由直线轴单元所构成的,该单元是一个通过齿形带,将电机的输出扭矩转换为气缸的直线运动的单元.其主要由直线导轨、交流伺服电机和连接块几个部分组成.

系统的Z轴主要是由双作用气缸、吸盘、真空发生器构成的.

在方案2中,除了将方案1中Y轴的电动驱动单元换为气动驱动单元,即将电机等点动元件换为由高速开关阀进行控制之外,其余部件没有任何改变,而构成该驱动单元的就是一多通集成块.

多通集成块是将若干个高速开关阀共同安装在一汇流板上,以形成PWM控制的一个集成系统.有关高速开关阀的工作原理前面已经阐述过,这里不再赘述,在这里只说明高速开关阀的控制部分,高速开关阀主要是通过单片机与上位机进行通讯,同时通过PWM发生器及驱动电路对高速开关阀进行驱动.

对于电驱动与气驱动2种驱动方式可以做一个简单的比较.平时电驱动比气驱动方式的价格要昂贵,所以,对于精度要求不高的系统,使用气驱动方式更为合适.

### 参考文献

- 1 周洪. 气动比例控制技术及其应用. 北京:《液压与气动》编辑部, 1999
- 2 田中裕久. 液压与气动的数字控制及应用. 重庆:重庆大学出版社, 1992. 1~10
- 3 董景新, 赵长德. 控制工成基础. 北京:清华大学出版社, 1992

## Design and Study on the Experimental Platform of Electric and Pneumatic Servo System

Zhang Jie Zhang Huihui

( College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology,  
Beijing Polytechnic University, Beijing 100022 )

**Abstract** Based on the pneumatic servo technology, two design schemes are put forward. One is the three freedom robot controlled by both the pneumatic mimetic and the pneumatic numeric servo, the other is controlled by the combination of the pneumatic mimetic servo and the motor-driven servo. At the same time, this paper also discusses the hardware and software working principle of the experimental platform and focuses on the analysis of its performance. Because the pneumatic servo technology is a new technology developed in the recent years, the students can get acquainted with the new technology and obtain the information about it.

**Keywords** pneumatic servo technology, proportional directional control valve, stepping motor, displacement sensor