

气压位置控制系统研究现状及展望*

王祖温 杨庆俊

(哈尔滨工业大学机电学院 哈尔滨 150001)

摘要：回顾了气压位置控制系统的研究历史，总结了在基本特性研究、控制阀开发和控制策略研究方面的工作。研究工作表明：气体通过阀口和管道的流动复杂、缸内热力过程为指数变化的多变过程、摩擦力与系统运动速度、驱动压力和背压有关。在开发了相关控制阀后，进行了针对系统的各种特性的控制策略的研究，如针对非线性的非线性补偿措施、针对摩擦力的颤振补偿、针对模型误差的鲁棒设计和针对开关阀系统的同向 PWM 设计等，效果明显。研究工作使得气压位置控制系统已具有良好的性能，能满足工业生产的需要。

关键词：气压位置控制系统 基本特性 控制策略 研究进展

中图分类号：TH271.32

0 前言

气压传动技术是一种重要的工业自动化手段，具有成本低廉、较高的功率重量比、无污染、设计简单、使用和维护方便、对环境要求不高(如防磁、防爆和防火等)等一系列优点。气压位置控制系统作为气压传动技术的一个重要内容，它的出现可以追溯到 20 世纪 50 年代美国 Shearer 利用高温高压燃气开发的导弹舵机^[1]。一般意义上所说的气压位置控制系统，也就是以工业应用为背景的常温低压系统，是从 20 世纪 80 年代开始的，至今已有 20 余年的历史。早期的研究主要是出于学术发展的兴趣，而现在则更多地受到工业需求的牵引。随着人们需求的改变，工业品种日益繁多、产品更新换代日益增快。为了降低总成本，生产线必须具有一定的柔性。这就对伺服驱动技术提出了要求。

与液压位置控制系统相比，气压位置控制系统存在以下几个特点。

(1) 固有频率低。气体压缩性大，气弹簧的刚度和气体压力有关，气体压力越高，气弹簧刚度越高。而工业应用中的压缩空气压力通常都很低，因此系统固有频率低。

(2) 气体通过阀口的流动比液体的流动复杂。气体通过阀口的流动与阀口上、下游的压力有关，而不仅是与压差有关。

(3) 气体的热力学过程比较复杂。

(4) 气缸的摩擦力/驱动力之比大。摩擦力相对较大，不仅会使稳态定位精度低，而且和气体的压缩性相互作用，造成粘滑振荡特性。

这些特点很大程度上增加了气压位置控制系统的控制难度，限制了它的性能。

1 国内外研究现状及分析

气压位置控制系统的研究，可以分成三大类：系统基本特性研究、控制和执行元件研究以及控制策略研究。

1.1 基本特性和模型

气压位置控制系统的基本特性和模型是控制的基础。基本特性和模型的研究包括气体通过阀口的流动、气缸内热力过程、摩擦力特性以及长管道传输特性。

1.1.1 气体流动方程

气体通过阀口的流动通常人们采用 Sanville 的 1/4 椭圆规律来描述。气体通过管道的流动通常也用 Sanville 的 1/4 椭圆规律来近似^[2]。加州大学的 J.E. Bobrow 等^[3]通过研究认为 Sanville 公式与气缸腔内压力微分不一致，他们根据大量试验，得出进气质量流量与压差的开方成正比，排气的质量流量与压差成正比，进排气的质量流量与阀控制电压成二次曲线关系的结论。

浙江大学的陶国良^[4]也提出了修正的流量公式，在其流量计算式中不再有 Sanville 公式中的饱和段，且公式分段点(临界压力比)高于 Sanville 公式中单个喷嘴的临界压力比 0.528。除了 Sanville 公式描述复合气阻的近似性以外，上述不一致还可以从

* 纪念《机械工程学报》创刊 50 周年——“机械工程技术的历史、进展与展望”主题征文。20031024 收到初稿，20031107 收到修改稿

气缸腔内的热力过程找到一定的解释。他们的研究结果实际上是把气体通过阀口的流动和气缸腔内的热力过程当成一个整体，这从控制系统建模来说有其便利之处。

1.1.2 缸内热力过程

哈尔滨工业大学的金英子等研究了气缸内充气过程，表明充气的起始阶段接近绝热过程，中间段接近某一恒定指数的多变过程，末段接近等温过程。对于位置控制而言，绝热过程或者是接近绝热的多变过程更能准确地反映系统的动态。

1.1.3 气缸摩擦力

气缸的摩擦力是影响系统性能的主要因素之一。气缸的摩擦力随气缸的结构形式、工作压力、运动速度等有一定的变化。意大利的 G Belforte^[5]等详细研究了气缸的摩擦力随两腔压力和运动速度变化而变化的规律，并以他们的试验数据为依据拟合出了气缸摩擦力的经验公式

$$F_f = F_a + (1 + K_1 v^a) [K_2 |p_1 - p_2|] + K_3 p_2 \quad (1)$$

式中 F_f ——总摩擦力

F_a ——无压时气缸静摩擦力

v ——气缸速度

p_1, p_2 ——驱动腔和背压腔压力

其他参数为拟合系数，如下表所示。

表 摩擦力经验公式系数

缸径 r/mm	K_1	K_2	K_3	a	静摩擦力 F_a/N
32	-0.1	3	13.5	-0.700	15
40	-0.4	25	56.25	-0.300	15
50	-0.4	68.18	140.91	-0.400	30
63	-0.4	29.49	49.64	-0.540	31
80	-0.235	64.20	286.90	-0.485	35
100	-0.237	253.32	814.18	-0.472	59

1.1.4 长管道特性

某些场合，如防爆机械手，往往将控制阀放在远离现场的控制室，这就出现了长管道。哈尔滨工业大学的姜明^[6]从信号传递的角度研究了长管道特性，管道出口压力与入口压力的传递函数为

$$G = \frac{K \tau^2}{s^2 + 2\tau \omega_n s + \omega_n^2} \exp(-L_1 s) \quad (2)$$

式中 ω_n ——长气管的固有频率

x ——阻尼比

固有频率与气动信号延迟(管长)的关系按衰减谐波规律变化，阻尼随气动信号延迟(管长)增加而增加，并且和气管的入口压力有关。自然频率和阻尼随气动信号延迟的关系如图 1 和图 2 所示。

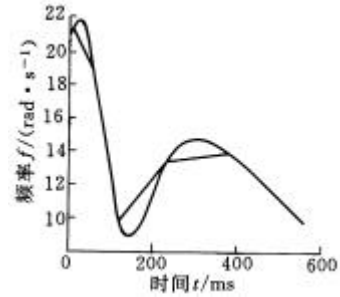


图 1 频率与延迟的关系

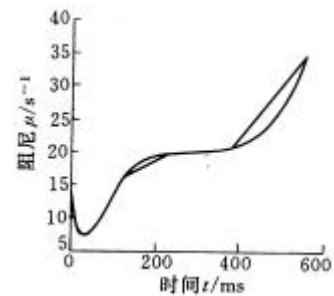


图 2 阻尼和延迟的关系

1.2 控制元件和执行元件的研究

1.2.1 执行元件的研究

摩擦小、密封好的执行元件利于获得好的控制性能，科研院所和企业都进行了这方面的工作。图 3 所示是浙江大学研制的低摩擦气缸的结构原理图^[4]。

由 U 形铰 6 和球铰 1 将气缸所受的侧向力全部作用于线性轴承 2 上，而线性轴承的摩擦很小，这就降低了摩擦。另一方面，由于气缸只受轴向力，基本无偏心，活塞和活塞杆处的密封圈与压缩量可以减小，也减小了摩擦。

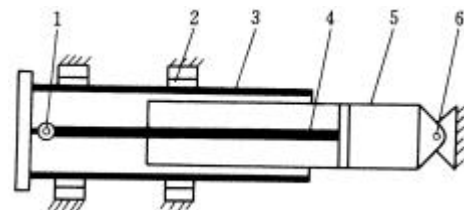


图 3 一种低摩擦气缸结构原理图

- 1. 球铰 2. 线性轴承 3. 线性轴承
- 4. 活塞杆 5. 缸筒 6. U形铰

1.2.2 高速开关阀的新应用

高速开关阀被用在 PWM、PCM 和 PNM 系统中。近来，将 PWM 驱动部分集成到阀头，分别出现了压力阀和差动阀。图 4 所示的比例压力阀，采用 PWM 方式控制导阀出口压力，即先导压力，从而控制主阀出口压力^[7]。

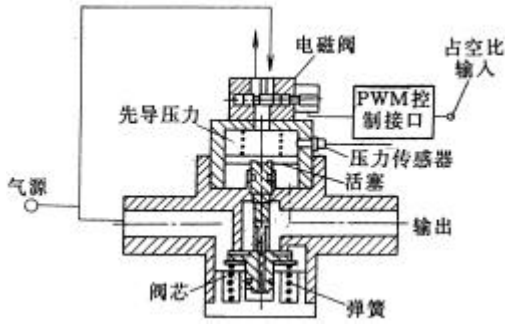


图 4 PWM 先导比例压力阀

图 5 中是一个数字式伺服阀。它根据输入的差动占空比信号驱动两个开关阀，形成差动输出^[8]。

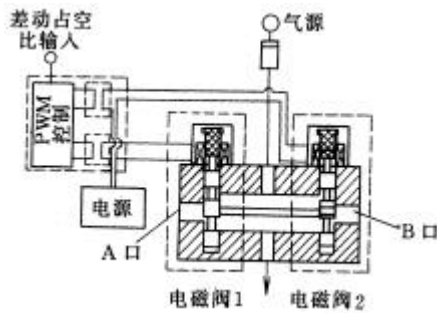


图 5 数字式伺服阀

1.2.3 电反馈比例阀

以比例电磁铁技术为核心的比例阀，包括比例压力阀和比例流量阀在气压控制系统中应用很多。取消机械反馈，代之以电反馈是新出现的几种比例阀的共同特点，这样可以大幅提高阀的动态响应。Festo 公司的比例方向阀就是这样一种阀，它的平直段带宽达到 80 Hz 以上。该阀在中位具有较大的正重叠，因而具有较大的死区^[9]。

1.2.4 转阀

为减小功耗，提高响应，国内外研究人员分别研制了转阀。它采用电机驱动，由于转阀阀芯的转动惯量小，阀的响应较快。图 6 所示是德国 Kolvenbach 公司的转阀及其静特性^[7]。

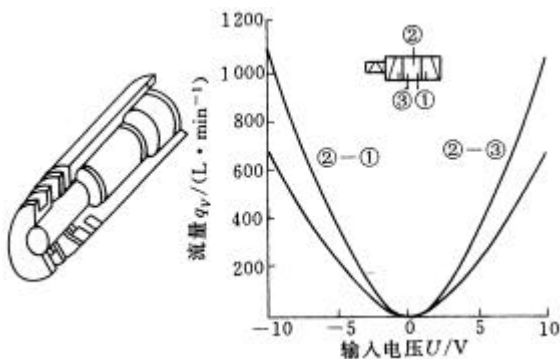


图 6 Kolvenbach 转阀及其静特性

1.2.5 新型数字压力阀

李宝仁设计的一种新型数字压力阀结构原理如图 7 所示^[10]。它采用步进电动机做驱动，可以直接与计算机做数字接口；步进电动机接到一定频率和数量的脉冲后带动阀芯旋转一定的角度，气源经毛细阻尼槽和敏感通道在左右两个敏感腔内形成差压，驱动阀芯左右移动，直到阀出口形成具有与阀芯转角相适应的差压。该阀巧妙地利用了阀芯的旋转和平移两个自由度，将先导部分与主阀集成在一个部件上，设计巧妙。

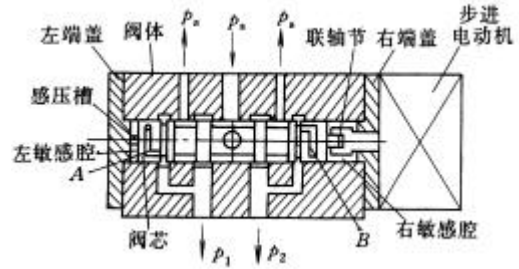


图 7 一种新型数字压力阀

1.3 控制策略的研究

由于系统的可控性差，寻找适合的控制策略就成了研究的重点内容。研究大致可分为如下几个方面。

1.3.1 针对系统强非线性的控制策略

这方面的措施有两类。

(1) 采用线性模型来近似描述系统，将系统的非线性看成时变特性，应用一些自适应算法来进行系统控制^[10~13]。

(2) 采用一定的非线性补偿方法，将系统补偿成具有线性输入输出关系的系统。这方面的研究主要基于反馈线性化理论(微分几何方法和逆系统方法)和神经网络方法。

基于微分几何理论的方法需要对系统进行比较精确的建模，在系统非线性模型的基础上，运用局部坐标变换，使得变换后的系统具有线性性质。基于逆系统方法同样需要对系统进行比较精确的建模，这种方法不仅适用于仿射型非线性系统，而且适用于非仿射型非线性系统^[14,15]。

采用非线性补偿的另一个得到广泛研究的是神经网络方法。其基本做法是进行离线神经网络训练，使其能够正确地反映系统特性，然后将神经网络用于系统控制。通常用的是系统的逆模型，也就是被控对象的逆。经过补偿后，系统的输入输出具有线性性质。然后再结合其他的控制算法，如 PID 或是极点配置等，来进行系统控制^[12,16,17]。

基于非线性特性补偿的这两类做法各有优缺点，

前者优点是控制算法相对简单，缺点是需要比较精确的建模。后者的优点是无需人工建模，缺点是进行神经网络训练的工作量大，神经网络的有效性与训练的样本直接相关，如果在线训练，算法负担大，且存在算法的收敛速度问题。

(3) 采用一些分段控制策略。在小误差和大误差、气缸中位和气缸两端以及对于非对称情形在不同运动方向，分别采用不同的控制参数来满足控制的需要。这些策略在实际操作上具有明显的效果^[18,19]。

1.3.2 针对运行条件变化以及建模不准确的控制策略

研究者采用的策略可分为两类，一类是如前所述的自适应类方法，另一类是鲁棒设计方法。鲁棒设计方法中比较常见的方法有 H_∞ 理论， m 分析/综合理论，滑模变结构控制理论以及 LMI 方法^[20-22]，也有应用 QFT 进行设计的^[23]。利用根空间与系数空间的映射性质来讨论鲁棒控制也是有效的，其中采用排零定理作为工具所设计的系统不仅具有鲁棒极点分布，而且系统极点具有主导极点结构^[21]。

1.3.3 最优理论的应用

研究者试图利用最优方法来提高气压位置控制系统的某些性能。周洪^[24]用状态观测器及卡尔曼滤波器的方法进行状态估计，并以极点配置和线性二次型性能指标原理设计了最优状态反馈控制器；Konishi Yasuo 等^[25]以神经网络模型为依据进行了最优预报和自适应控制；Ford 马达公司的 J.D. Russell^[26]利用庞德里雅金最大值原理设计了 bang-bang 型控制器，以获取时间的最优。

1.3.4 避免繁琐的建模分析和控制器设计

这方面的工作除了前述的神经网络方法外主要有模糊控制及模糊控制和 PID 复合控制，模糊和神经网络复合控制。SANO^[27]应用模糊控制方法对 PCM 系统进行控制；M.C. Shih^[28]应用模糊方法对 PWM 系统进行控制；C.L. Chen^[29]应用模糊控制进行了模型跟随控制；Shibata Satoru 等^[30]通过生成一个虚拟模糊参考输入来改善相应的时间指标。这些工作的主要困难在于难以获得模糊控制规则表。

一些学者尝试了模糊控制和神经网络的结合，M. Iskarous^[31]用神经网络进行系统建模并作为模糊推理的基础，对气压执行器进行了控制研究；D.A. Newton^[32]应用模糊与神经网络相结合的方法对铁路车辆的牵引和制动系统进行了控制研究。此外，尚有一些采用自整定控制的研究如 Aziz Sarmad^[33]。

1.3.5 针对摩擦力的控制策略

摩擦力的存在是气压伺服系统难以获得满意的稳态位置精度的原因。而由于摩擦力的存在，系统易出现爬行运动(Stick-slip)。这方面的做法基本

上是两种：一是施加一定幅值和频率的激振信号，这是常被采用的方法。Festo 的轴控器就采用了这个办法^[19]。但是，能克服摩擦力的是气缸驱动力，而产生适当幅值，适当频率的振颤力使得一方面足以克服摩擦力影响，另一方面又不会产生位移的纹波是很困难的。二是采用一定的补偿算法，补偿摩擦力的影响^[34-36]。采用这种方法需要确定摩擦力的大小和合理的补偿措施。对外力的存在，一些文献进行了基于干扰观测器的补偿研究^[37]。也有学者用其他方法，如 W.C. Su 等^[23]采用变结构控制来解决这个问题。

台湾省成功大学 Kei-Ren Pai 等增加了如下补偿以克服摩擦力影响^[38]

$$u_v(k) = A + B \sin(\omega k T) \quad (3)$$

式中第一项 A 是针对比例阀的死区设置的补偿，第二项是用于克服摩擦力的振颤信号。常规振颤信号幅值是不变的， B 是常值，而这里的 B 是变化的，速度为 0 时最大，速度越大 B 越小，超过某个速度 v_c 后， B 就变为 0，如图 8 所示。

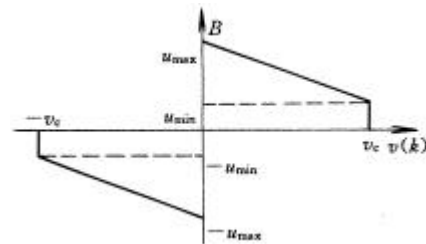


图 8 摩擦力补偿信号

1.3.6 针对响应特性差的控制策略

由于气体的压缩性较大，系统响应慢，且响应特性差。一些研究采用压力反馈作为系统内环，位置反馈作为系统外环，以改善系统的响应特性^[15]。另外一些研究则采用加速度反馈以改善系统响应^[39]。这两种策略都取得了实际效果。不同点在于压力反馈需要增加两个压力传感器，系统构成复杂，对噪声不敏感；而加速度反馈只需一个位移传感器，系统结构简单，但对数字处理器和信号噪声都有较高的要求。另外，采用压力反馈不能将外干扰力/摩擦力包含在内反馈通道中，而采用加速度反馈则能将外干扰力/摩擦力包含在内反馈通道中，所以两种方案的位置刚度也有区别，采用压力反馈的位置刚度要低于加速度反馈。

1.3.7 开关阀控制系统的纹波问题

传统的 PWM 驱动方式是反向驱动，开关阀总是处于相反的工作状态。提高 PWM 的载波频率，可以改善波纹问题。但是受开关阀的最高开关频率限制，开关阀系统的载波频率不能太高。载波频率

的增高对阀的寿命也不利。更重要的问题是,过高的载波频率会使系统的特性出现严重下降。杨清海^[40]提出同向 PWM 驱动方式,较好地解决了纹波。

2 气压位置控制系统取得的主要成果

1989 年以前,气压位置控制系统的研究基本上停留在试验室。1989 年后,德国 Festo 公司开始了气压位置控制系统的研究,很快就推出了比例方向阀和 SPC、MPC 系列专用控制器。这是国际上首次出现的商业化的气压位置控制系统,最小步距 5 mm,精度达到 $\pm 0.1 \text{ mm}$ ^[41],动态响应良好。

此后开始有工程中应用气压位置控制系统的报道。如 1999 年,英国利物浦大学的 Wang Jihong 开发了用于食品包装的气压位置控制系统,其精度为 $\pm 1 \text{ mm}$ ^[42]。

2000 年,浙江大学研制了 3 轴书法机器人^[4]。

2001 年,哈尔滨工业大学在水平、重载和大摩擦工况下,获得了稳定可靠的 0.02 mm 精度、良好的动态响应、高的位置刚度和 0.2 mm 的最小步距^[21]。

2002 年,哈尔滨工业大学研究了 x - y 坐标式气压机械手,实现了 0.1 mm 间隙的孔、轴装配。

2003 年,哈尔滨工业大学在垂直安装的气压位置控制系统中获得了 0.01 mm 的位置精度^[20],并开发了专用控制器^[43]。

3 结论

经过多年的研究,各国研究人员研制了多种控制阀,发展了许多有效的控制策略,气压位置控制系统的性能得到了很大的提高,已具备了推广使用的条件。它的清洁、性价比高、安全和使用方便等优点,必将使它在工业生产中获得广泛的应用。

研究工作还存在以下几个问题,需要进一步解决。

(1) 尽管位置控制已有较好的特性,轨迹控制还不尽如人意,需要投入力量进行研究。

(2) 现有的控制阀某些性能还不够理想,如死区过大等。需要开发性能优良、价格适中的系列控制阀,并产业化。

(3) 控制算法过于复杂。尽管高速数字处理器可以实现较为复杂的算法,对于工程技术人员来说,算法越复杂,调整越困难。这对于推广气压位置控制系统的应用来说是不利的,应通过研究尽量予以简化。

参 考 文 献

- 1 Shearer J L. Nonlinear analog study of a high pressure pneumatic servomechanism. *Trans. American Society of Mechanical Engineers*, 1957(5): 143~148
- 2 李建蕃. 气压传动系统动力学. 广州: 华南理工大学出版社, 1991
- 3 Bobrow James E, McDonell Brian W. Modeling, identification, and control of a pneumatically actuated, force controllable robot. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*. 1998, 14(5): 732~742
- 4 陶国良. 多自由度电—气比例/伺服机械手的研究及其应用: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2000
- 5 Belforte G, D'Alfio N, Raparelli T. Experimental analysis of friction forces in pneumatic cylinders. *The Journal of Fluid Control*, 1989, 20(1): 42~60
- 6 姜明. 长管道气动马达速度控制系统研究: [博士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1998
- 7 Ming Chang Shih, Pai Kei-Ren. Development of the pneumatic servo control system. In: *Fifth JFPS International Symposium*. Japan, Nara. 2002, 1: 13~15
- 8 Shih M C, Hwang C G. Fuzzy PWM control position of a pneumatic robot cylinder using high speed solenoid valves. *International Journal of JSME, Series C*, 1997, 40(3): 469~476
- 9 周洪. 气动技术的新进展. *液压气动与密封*, 1999(5): 2~12
- 10 李宝仁. 数字式电 - 气压力控制阀及电气位置伺服系统的研究: [博士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1995
- 11 Yamada Yuuji. Adaptive pole-allocation control with multi-rate neural network for pneumatic servo system. *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C*, 2003, 69(3): 639~645
- 12 Toniatti Giovanni, Bicchi Antonio. Adaptive simultaneous position and stiffness control for a soft robot arm. In: *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2002(2): 1 992~1 997
- 13 Uchiyama Naoki, Esaki Shoji, Takagi Shoji. A design of discrete-time adaptive servo system and its application to a pneumatic servo system. *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C*, 2003, 69(1): 55~62
- 14 Lee Han Koo, Choi Gi Sang, Choi Gi Heung. A study on tracking position control of pneumatic actuators. *Mechatronics*, 2002, 12(6): 813~831

- 15 Bigras Pascal, Khayati Karim, Wong Tony. Modified feedback linearization controller for pneumatic system with non negligible connection port restriction. In : Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2002(2) : 227~231
- 16 Oki Toshitaka, Tanaka Kanya, Yamamoto Toru, etc. A design of non-linear electro-pneumatic servo systems by using neural-net based linearizer with off-line learning algorithm. In : Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, 2002 (1) : 968~973
- 17 朱春波. 基于压力比例阀的气动位置伺服系统控制策略研究 : [博士学位论文]. 哈尔滨 : 哈尔滨工业大学, 2001
- 18 Festo. Festo SPC100/MAC100 operating manual. 5.7~5.24
- 19 王燕波. 气压垂直伺服定位系统的研究 : [硕士学位论文]. 哈尔滨 : 哈尔滨工业大学, 2003
- 20 Tuan Hoang Duong, Ono Eichi, Apkarian Pierre, et al. Nonlinear H_{∞} control for an integrated suspension system via parameterized linear matrix inequality characterizations. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2001, 9(1) : 175~185
- 21 杨庆俊. 高性能气压位置伺服系统控制策略研究 : [博士学位论文]. 哈尔滨 : 哈尔滨工业大学, 2002
- 22 Su W C, Kuo C Y. Variable structure control of a rodless pneumatic servo-actuator with discontinuous sliding surfaces. In : Proceedings of the American Control Conference, 2000 : 1617~1621
- 23 Xiang F L, Wikander J. QFT control design for an approximately linearized pneumatic positioning system. International Journal of Robust and Nonlinear Control, 2003(7) : 675~688
- 24 周洪. 电—气比例/伺服系统及其控制策略研究 : [博士学位论文]. 杭州 : 浙江大学, 1988
- 25 Konishi Yasuo, Ishigaki Hiroyuki. Nonlinear optimal predictive, adaptive control of pneumatic actuator. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C, 1997, 63(606) : 438~443
- 26 Russell J D, Kotwicki A J, Mattson K. Time optimal pneumatic valve control system. In : Proceedings of the 1999 American Control Conference. 1999, 1 : 227~231
- 27 Sand M. Fuzzy control of pneumatic cylinder by PCM driving mode. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Fluid Power Transmission and Control, 1993 : 330~334
- 28 Shih M C, Ma M. An. Position control of a pneumatic cylinder using fuzzy PWM control method. Mechatronics, 1998, 8(3) : 241~253
- 29 Chen C L, Chen P C, Chen C O. Pneumatic model-following control system using a fuzzy adaptive controller. Automatica, 1993, 29(4) : 1 101~1 105
- 30 Shibata Satoru, Ben-lamine Mohamed Sahbi, Toyohara Kouhei, et al. Fuzzy control of vertical pneumatic servo systems using virtual reference. JSME International Journal, Series C, 1999, 42(1) : 79~84
- 31 Iskarous Moenes, Kawamura Kazuhiko. Intelligent control using a neuro-fuzzy network. In : Proceedings of the 1995 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Pittsburgh USA, 1995 : 350~355
- 32 Newton D A. Advanced traction and braking systems. GEC Review, 1995, 10(2) : 72~80
- 33 Aziz Sarmad, Bone Gary M. Automatic tuning of pneumatic servo actuators. Advanced Robotics, 2000, 13(6) : 563~576
- 34 Ravanbod-Shirazi L, Besancon-Voda A. Friction identification using the Karnopp model, applied to an electropneumatic actuator. Journal of Systems and Control Engineering, 2003, 27(2) : 123~138
- 35 Ning Shu, Bone Gary M. High steady-state accuracy pneumatic servo positioning system with PVA/PV control and friction compensation. In : Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002, 3 : 2824~2829
- 36 刘懿敏. 气缸摩擦力辨识 : [硕士学位论文]. 哈尔滨 : 哈尔滨工业大学, 1998
- 37 Kosaki T, Sano M. Adaptive gain control of pneumatic servo systems with disturbance observers and fuzzy logic. In : Proceedings of the 1997 23rd Annual International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, IECON. New Orleans, LA, USA, 1997 : 1012~1015
- 38 Kairen Pai, Shih M C. Precision control of a pneumatic cylinder using fuzzy control and velocity compensation method. In : Fifth JFPS International Symposium. Japan, Nara. 2002, 3 : 631~636
- 39 Jeon YS, Lee C O, Hong YS. Optimization of the control parameters of a pneumatic servo cylinder drive using genetic algorithms. Control Engineering Practice, 1998, 6(7) : 847~853
- 40 杨清海. 气动位置伺服系统及其控制方法的研究 : [博士学位论文]. 哈尔滨 : 哈尔滨工业大学, 1995
- 41 王雄耀. 近代气动机器人(气动机械手)的发展及应用. 液压气动与密封, 1999(5) : 13~16

- 42 Jihong Wang, Junsheng Pu, Philip Moore. Accurate position control of pneumatic actuator systems: an application to food packaging. *Control Engineering Practice*, 1999 (7) : 699~706
- 43 王其钰. 基于 DSP 的气动伺服控制器的设计: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2003

DEVELOPMENTS AND PROSPECTS OF PNEUMATIC POSITIONING SYSTEM

Wang Zuwen Yang Qingjun
(Harbin Institute of Technology)

Abstract: The researching history of pneumatic positioning system is overviewed, and the researching work on characteristics study, developing control valve and control strategy are summarized. The past work shows that the gas flow through a valve and tube is complex, the thermodynamic

process in a cylinder chamber is a polytropic process with varying polytropic exponent and the friction force varies while the velocity of the cylinder and the pressures in the two chambers of the cylinder change. After the control valves are developed, the control strategies coped with different kinds of characteristics of the system are promoted, such as nonlinearity compensation strategy, dithering compensation, robust control and same pace PWM. After about 20 years researching, the pneumatic positioning systems now have performances good enough to meet the requests of the manufacturing system.

Key words: Pneumatic positioning system

Basic characteristics

Control strategy

Research development

作者简介: 王祖温, 男, 1955 年出生, 工学博士, 教授, 博士研究生导师, 哈尔滨工业大学副校长, 《机械工程学报》编委。主要从事气动元件、气压传动与控制及气体润滑技术方面的研究。

《机械工程学报》创刊 50 周年纪念大会暨 第八届编委会、董事会会议在深圳举行

《机械工程学报》创刊 50 周年纪念大会暨第八届编委会、董事会会议于 2003 年 11 月 29 日下午在深圳银湖旅游中心召开。来自我国机械工程领域的领导、专家、学者、学报编委(包括外籍编委)和董事以及有关负责人士共 70 多人参加了会议。

出席会议的主要领导有: 原机械工业部部长、中国机械工程学会荣誉理事长何光远, 中国机械工业联合会常务副会长、中国机械工程学会荣誉理事长陆燕荪, 中国机械工程学会副理事长朱森第, 北京航空航天大学教授、《机械工程学报》编委会主任钟群鹏院士, 重庆大学教授、《机械工程学报》编委会副主任刘飞, 中国机械工程学会副理事长兼秘书长、《机械工程学报》董事长宋天虎, 机械工业信息研究院院长、机械工业出版社社长、《机械工程学报》副董事长王文斌等。还有来自机械工程领域的专家、学者, 香港理工大学副校长梁天培教授, 加拿大卡尔加里大学顾佩华博士等也参加了会议。

会议分两个阶段进行: 第一阶段为创刊 50 周年纪念大会; 第二阶段为第八届编委会、董事会会议。

创刊 50 周年纪念大会由宋天虎董事长主持并讲话。石治平主编作了题为“光辉的历史 辉煌的业绩 灿烂的未来”的工作汇报。会上宣布了《机械工程学报》创刊 50 周年优秀论文获奖名单, 并为部分代表颁奖。王文斌院(社)长为《机械工程学报》50 年全文版光盘首发揭幕, 并赠送了与会院士及部分专家; 何光远讲话指出, 为我国拥有《机械工程学报》这样好的期刊感到骄傲, 并充分肯定了《机械工程学报》的发展, 同时高度赞誉了将《机械工程学报》刊登的所有论文浓缩为一体的《机械工程学报》全文版光盘的制作和出版。

第八届编委会、董事会会议由《机械工程学报》编委会主任钟群鹏院士主持。会上, 各位编委、董事代表纷纷发言, 他们充分肯定了《机械工程学报》近年来的发展和壮大, 充分肯定了编辑部所取得的显著工作成绩, 同时也为《机械工程学报》今后的发展献计献策, 提出了很多值得借鉴的意见和建议, 如加强并完善董事会的监管作用、建立网络化工作系统、加强和健全审稿制度、适当增容扩版、学报力争进入 SCI 等等。最后, 陆燕荪荣誉理事长作了总结发言, 对会议的召开作了充分的肯定, 提出了要进一步发挥审稿专家的专业特长, 加强编委会的监管、指导作用, 编辑部要以多种形式加强与编委、董事和读者的联络。

与会的编辑部工作人员不仅受到鼓舞, 更感受到办好学报而肩负的重任, 将认真研究、学习与会代表提出的宝贵意见和建议, 今后将更加努力工作, 与时俱进, 把《机械工程学报》办成具有民族特色、国家风范、世界影响的国际大刊。