

压电直动式气动 PWM 比例阀试验研究

许有熊, 朱松青

(南京工程学院 自动化学院, 江苏 南京 211167)

摘 要:传统的气动脉宽调制(PWM)比例阀因采用电磁铁为电-机械转换器而存在响应时间慢,稳态精度差等缺点,因而提出了一种基于压电陶瓷为电-机械转换器的新型压电直动式气动 PWM 比例阀的总体结构方案。研制了其实物样机,并进行了其动态特性试验研究,分析了 PWM 载波频率和载波幅值、比例 P 系数对阀动态性能的影响。与同级别气动比例阀的试验对比表明,该阀具有响应速度快和稳态精度高的特点,具有良好的工业应用前景。

关键词:压电;气动;脉宽调制(PWM);比例阀

中图分类号:TH138

文献标识码:A

Experimental Research on Piezoelectric Direct Drive Type Pneumatic PWM Proportional Valve

XU Youxiong, ZHU Songqing

(School of Automation, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: Driven by electro-mechanical converter of electromagnet, the traditional pneumatic PWM proportional valve has the disadvantages of slow response and poor control precision etc. To solve this problem, a novel piezoelectric direct drive type pneumatic PWM proportional valve driven by piezoelectric converter which has the advantage of fast response is presented. On this basis, its physical prototype is developed and its dynamic characteristic experimental is researched. The effect of PWM carrier frequency, carrier amplitude and proportional control coefficient (P) on the valve performance is analyzed. It is shown from comparison experiments with the traditional same-level electro-pneumatic PWM proportional that the valve has fast response and high steady precision, with good prospects for industrial applications.

Key words: piezoelectric; pneumatic; PWM; proportional valve

0 引言

气动脉宽调制(PWM)比例阀具有控制精度高,可靠性高,重复性好,抗污能力强,且不需 D/A 转换便可计算机直接控制等优点^[1],在工业中应用广泛。但目前传统的气动 PWM 比例阀通常采用高速电磁铁为驱动器,而高速电磁铁的响应速度较慢,且存在抗磁干扰差,易发热,体积较大等缺点^[2],使得这种驱动方式的比例阀存在响应速度较慢,稳态精度较差等缺点,这限制了在需要快速响应或高控制精度等场合的应用。

通过对 PWM 比例阀的工作原理分析可知,提高电-机械转换器的响应速度是提高 PWM 比例阀响应速度和控制精度最基本的方法。压电驱动器以响应速度快(一般为微秒级),工作频率宽,便于控制,抗磁干扰强等优点得到广泛应用^[3],这也为研究新型的高性能压电气动 PWM 比例阀提供了良好的

电-机械转换器^[4-5]。因此,本文在前期研究的基础上^[6]上以压电叠堆型驱动器为电-机械转换器,研究了一种新型的压电直动式气动 PWM 比例压力阀,研制其实物样机,并进行了相关的试验研究。

1 PWM 比例阀工作原理

研究的压电直动式气动 PWM 比例阀工作原理及结构原理如图 1 所示,其中先导阀是由压电驱动器直接驱动先导阀芯高速运动所组成的两位三通高速开关阀,通过其高速通断,从而控制主阀的输出压力,如图 1(a)所示^[6]。PWM 控制器主要是输出等幅值、等周期的 PWM 脉冲信号,其脉冲宽度与输入值成正比,并经功率放大后直接驱动压电驱动器。当压电驱动器加上所需电压后,压电驱动器快速伸长,推动先导阀芯右移,P 口与 A 口相通,E 口关闭,进气压力经 P、A 口给先导腔充气,其压力增加,使

收稿日期:2012-06-30

基金项目:江苏省高校自然科学基金资助项目(12KJB510006);南京工程学院校级科研基金资助项目(YKJ201108)

作者简介:许有熊(1980-),男,福建晋江人,讲师,博士,主要从事压电驱动与控制、机电一体化的研究。

得主阀芯下移,主阀芯开启,进气压力给出口腔充气,出口腔压力增加;反之,当压电驱动器断电后,快速收缩,先导阀芯在预紧弹簧的作用下左移,P口关闭,A口与E口相通,先导腔经A、E口向外排气,腔内压力下降,主阀芯上移,主阀芯关闭,带动溢流机构上移,出口腔压力经溢流机构向大气排气,出口腔压力下降。因此,先导阀芯经压电驱动器在PWM信号控制下不断高频地开启和闭合,通过控制其占空比,从而控制主阀输出压力。另一方面,数字控制器实时根据输入压力与输出压力反馈值之间的差值,调整其脉冲输出宽度,保证阀输出压力稳定在设定值附近,实现高精度压力输出。

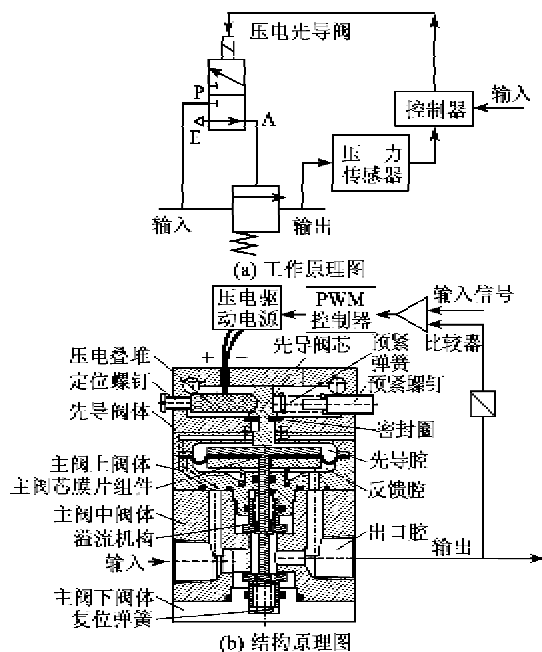


图1 压电直动式气动阀工作原理及结构原理图

2 实验研究

在研制压电直动式气动PWM比例阀原型样机的基础上,搭建了其试验控制系统^[6],进行其静、动态特性试验研究,并将其与同级别传统气动比例阀的主要性能指标进行对比。其中,根据同级别的主要结构尺寸及同级别的输出压力、流量范围等主要原则选择某公司ITV2050型号的传统气动比例阀作为试验比较对象。

2.1 先导阀芯动态特性测试及分析

图2^[6]为在电压阶跃信号(电压幅值150 V)下,压电驱动器所驱动的先导阀芯输出位移阶跃响应曲线。由图可见,先导阀芯稳态输出位移约为14 μm ,其阶跃上升响应时间约为1 ms(0~95%稳态值),

阶跃下降响应时间约为0.8 ms,具有良好的动态响应特性,能满足研制的需要。

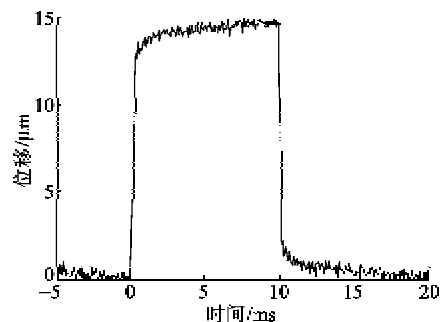


图2 先导阀芯的阶跃响应曲线

2.2 阀出口压力阶跃响应特性试验及分析

图3为进口压力0.4 MPa(相对压力,下同),出口压力0.2 MPa,PWM载波幅值(设定误差)1 kPa,载波频率200 Hz,无出口流量下,阀的出口压力阶跃响应曲线。由图可见,所研制压电阀的出口压力阶跃响应时间约为0.12 s($\pm 5\%$ 稳定值内),其稳态误差约为1 kPa,且无超调,这说明该阀有较快的响应速度和较高的稳态精度。

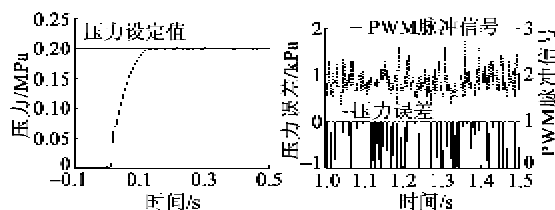
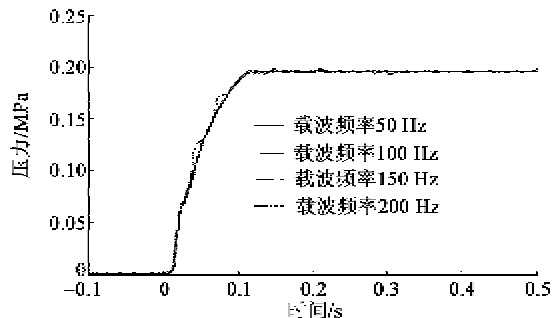


图3 阀出口压力阶跃响应曲线

2.3 PWM载波频率及幅值对阀性能的影响

在上述试验条件下,设定误差(即PWM载波幅值)分别为5 kPa和1 kPa,不同PWM载波频率时,阀出口压力阶跃响应曲线分别如图4、5所示。由图4可见,不同PWM载波频率时,阀出口压力阶跃响应时间基本不变,这说明载波频率不是影响其压力阶跃响应时间的主要因素。由图4(b)、(c)可见,提高PWM载波频率能有效提高阀出口压力稳态精



(a) 阀出口压力阶跃响应曲线

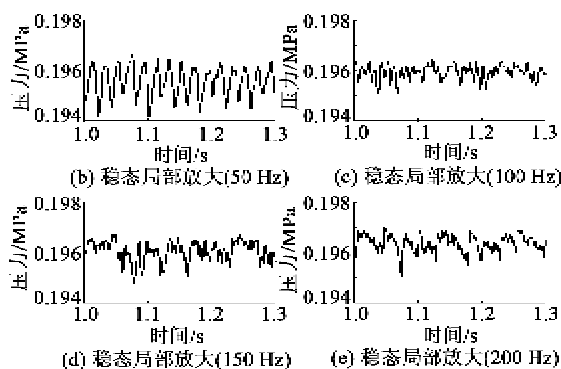


图4 PWM载波周期对阀性能的影响(设定误差5 kPa)

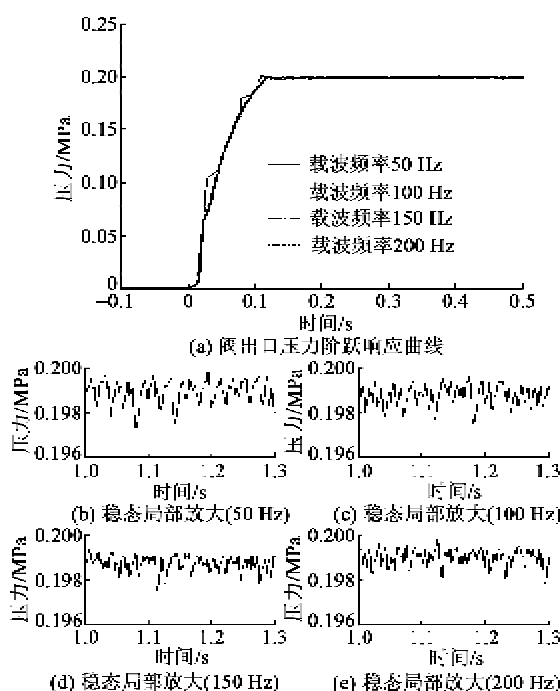
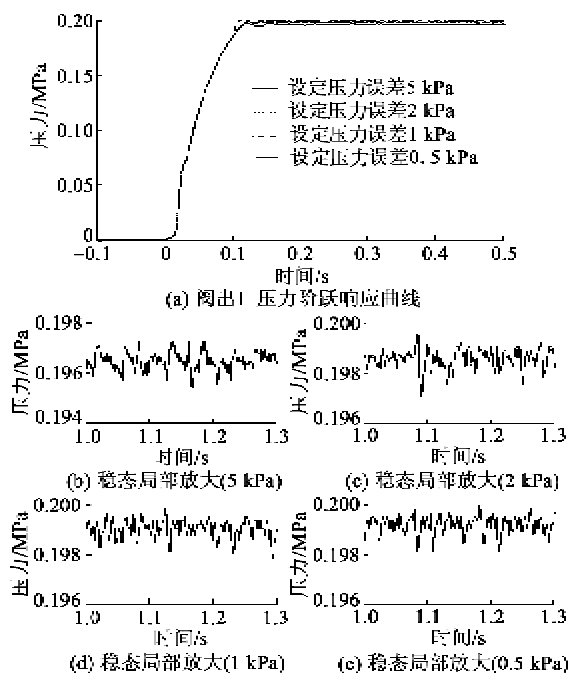


图5 PWM载波周期对阀性能的影响(设定误差1 kPa)

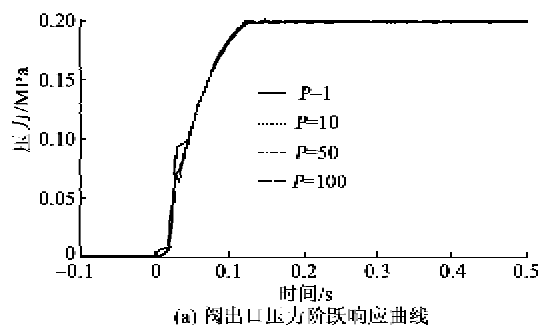
度,从图4(b)的约5 kPa降到图4(c)的约4 kPa,降低压力波动,从图4(b)的约2 kPa降到图4(c)的约1 kPa;但之后再提高PWM载波频率,阀的动态性能基本不变,如图4(d)、(e)。对比图4、5可得,当PWM载波幅值(即设定误差)越小时,PWM载波频率对阀动态性能的影响也就越小。

同理,在上述相同试验条件下,PWM载波频率为200 Hz时,不同设定误差值,阀出口压力阶跃响应曲线如图6所示。由图可见,当PWM载波幅值设定大于1 kPa时,阀出口压力稳态误差基本上都在设定误差范围内,如图6(b)~(d);但当PWM载波幅值设定小于1 kPa时,阀出口压力稳态误差也基本为1 kPa,如图6(e)所示。这说明阀出口压力稳态误差极限值基本为1 kPa。同时,PWM载波幅值对阀出口压力波动基本无影响,都约为2 kPa。

图6 PWM载波幅值对阀性能的影响
(PWM载波周期200 Hz)

2.4 比例P控制系数对阀性能的影响

从上述对PWM载波频率和幅值的分析可见,无论是提高PWM载波频率或降低载波幅值,阀出口压力稳态误差极限值基本为1 kPa。因此,为了进一步降低阀出口压力稳态误差,提高其稳态精度,需采取其他的控制方法。根据常规PID控制放大的特点和阀出口压力阶跃响应特性,采取比例P控制+压力反馈+PWM的复合控制方法。在上述相同的试验条件,设定误差为1 kPa、PWM载波频率为200 Hz,不同P控制系数下,阀出口压力阶跃响应曲线如图7所示。由图可见,添加比例P控制后,并不能提高阀出口压力的响应时间,这是由于其响应时间取决于压电驱动器的性能和阀结构参数;但能进一步降低阀压力稳态误差,由1 kPa左右(见图7(a))降为0.5 kPa左右(见图7(d)、(e))。



(a) 阀出口压力阶跃响应曲线

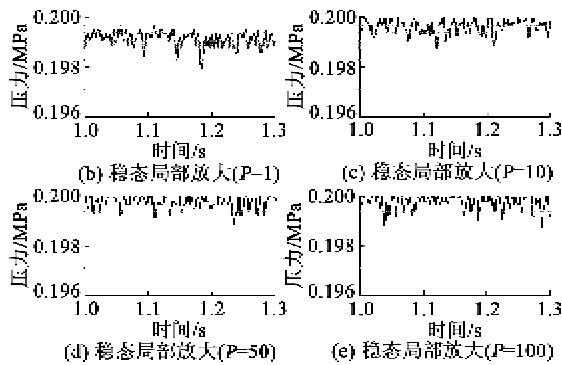


图7 不同P控制系数对阀性能的影响

2.5 与同级别气动比例阀主要性能指标对比

为了进一步衡量所研制的压电直动式气动 PWM 比例阀(PPV)实物样机的性能,将其与同级别气动比例阀的压力响应时间、稳态精度等主要性能指标进行对比。试验条件为进气压力 0.4 MPa, 阀出口压力设定值为 0.2 MPa, 阀出口流量分别为 0 和 100 L/min, 试验对比结果如图 8 所示, 主要动态性能指标对比结果如表 1 所示。

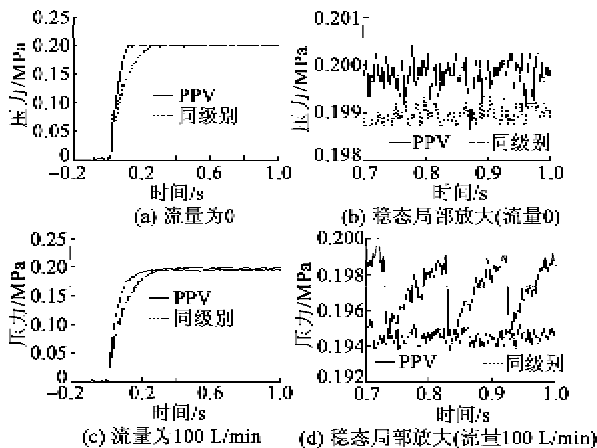


图8 试验对比结果

表1 主要性能参数对比

主要性能参数	PPV 试验样机	同级别电-气比例阀
响应时间(0~95%稳定值)/s	0.12/0.17	0.21/0.23
稳态误差/kPa	0.5/3.5	1.0/5.5
压力波动/kPa	1/5	0.5/1.0

由表 1 可见,所研制的 PPV 试验样机的响应时间和稳态精度较同级别的气动比例阀都有较大程度的提高,基本实现了预期的研究目标;但同时该阀的稳态压力波动要比同级别的气动比例阀大,特别是当有流量负载时,存在着周期性的压力波动。这是由于同级别比例阀的先导部分采用 2 个两位两通的电磁开关阀,当阀出口压力达到设定值附近时,2

个先导电磁开关阀可同时断电,达到保压,降低压力波动的效果。本文所研制的压电阀的先导部分是一个两位三通的压力电开关阀,没有保压的功能,当阀出口压力达到设定值时,也要处于高频的开关工作。因此,其压力波动要大。

3 结束语

针对采用电磁铁为电-机械转换器的传统气动 PWM 比例阀存在着响应时间慢、稳态精度差等缺点,提出了一种采用具有快速响应压电陶瓷为驱动器的新型压电直动式气动 PWM 比例阀,并进行了试验研究。试验表明,该先导阀芯具有良好的动态特性。所研制的压电阀具有较快的响应速度和较高的稳态精度。

跟同级别气动比例阀的试验对比表明,所研制 PPV 试验样机的响应时间和稳态精度较同级别气动比例阀都有较大程度的提高,但同时存在着较大的压力波动,特别是当有流量负载时,存在着周期性的压力波动。

参考文献:

- [1] 许有熊, 李小宁. 新型压电式电-气 PWM 比例阀的研究[J]. 中国机械工程, 2009, 20(14): 1689-1694.
XU Youxiong, LI Xiaoning. Research on a novel piezoelectric type electro-pneumatic PWM proportional valve[J]. China Mechanical Engineering, 2009, 20(14): 1689-1694.
- [2] 鄂世举, 曲兴田, 杨志刚, 等. 电液伺服阀新型驱动器设计[J]. 压电与声光, 2003, 25(2): 152-154.
E Shijie, QU Xingtian, YANG Zhigang, et al. Design of new actuators of electrohydraulic servovalves[J]. Piezoelectrics and Acoustooptics, 2003, 25(2): 152-154.
- [3] LUO Zhen, GAO Wei, SONG Chongmin. Design of multi-phase piezoelectric actuators[J]. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 2010, 21(18): 1851-1865.
- [4] 许有熊, 李小宁. 压电式 PWM 开关阀结构设计及特性试验研究[J]. 压电与声光, 2010, 32(5): 789-792.
XU Youxiong, LI Xiaoning. The structure design and characteristics experimental study of piezoelectric PWM on-off valve[J]. Piezoelectrics and Acoustooptics, 2010, 32(5): 789-792.
- [5] JANUSZ P, MAREK S. Testing of throttle valve prototype controlled by piezoelectric stack[J]. Diffusion and Defect Data Pt B: Solid State Phenomena, 2011, 177: 47-64.
- [6] 许有熊. 压电开关调压型气动数字比例压力阀的研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.