

电子压力控制系统在挤压式试验系统中的应用

姬西峰, 李海, 刘婷
(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 从电子压力控制系统的组成和工作原理出发, 详细分析了实现压力精确控制的关键技术。在挤压式试验系统中的成功应用和试验表明, 采用电子压力控制系统可以提高压力控制精度、系统的稳定性和试验系统的自动化水平。

关键词: 电子压力控制系统; 挤压式系统; 控制精度

中图分类号: V434-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2012) 04-0076-05

Application of electronic pressure control system in squeeze test system

JI Xi-feng, LI Hai, LIU Ting
(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: Based on analysis of configuration and principle of the electronic pressure control system, key technology of achieving precise pressure control is presented in detail. The successful application and experiment of electronic pressure control system in the squeeze test system show that the electronic pressure control system can improve the accuracy of the pressure control, stability and automatic level of the test system.

Keywords: electronic pressure control system; squeeze test system; control accuracy

0 引言

随着自动控制技术的发展, 精密气压产生与控制技术的应用越来越广泛, 而采用传统的手动

减压阀控制的挤压式试验系统, 由于控制精度低、响应速度缓慢且操作不方便, 已经不能满足产品批量试验过程中对精密压力控制的要求。电子压力控制系统具有控制精度高、响应速度快和可实现远距离控制等优点, 目前已经在液流试验

收稿日期: 2012-02-02; 修回日期: 2012-03-07

作者简介: 姬西峰 (1980—), 男, 工程师, 研究领域为液体火箭发动机试验技术

室的小流量试验系统中进行了应用, 取得了很好的效果。本文对电子压力控制系统控制机理进行了分析, 在实际使用中, 该系统稳定可靠, 各项技术指标满足要求。

1 电子压力控制系统组成

1.1 系统组成及工作原理

电子压力控制系统组成见图 1。该系统主要由气源、工控机、电子压力控制器、气动减压阀、储气罐和压力传感器等部分组成。

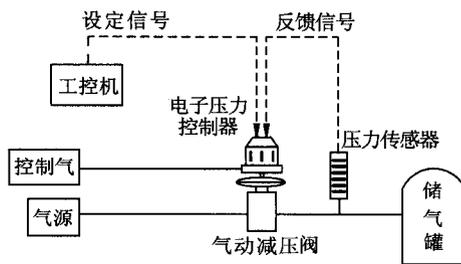


图 1 电子压力控制系统组成

Fig. 1 Composition of electronic pressure control system

图 1 中气源为系统提供洁净的压缩空气, 通过工控机设定储气罐的要求压力, 由电子压力控制器根据气动减压阀控制压力信号与减压阀出口压力传感器反馈信号的比对结果, 对气动减压阀的控制压力进行相应的调节, 以实现储气罐的压力控制。

1.2 电子压力控制器

电子压力控制系统对压力进行精确控制, 其关键部件是电子压力控制器和气动减压阀, 系统对压力的调节和控制由电子压力控制器和气动减压阀配合完成。压力控制器、减压阀与压力调节原理图见图 2。

图 2 中, 电子压力控制器是内部配置了微处理器、模拟量采集模块和 2 台高频电磁阀的微型控制系统。通过模拟量采集模块采集压力信号, 通过微处理器发送控制指令, 通过控制其内部的两台高频电磁阀的开、关来控制向减压阀调压腔内充气或放气, 进而控制气动减压阀的压力输出。

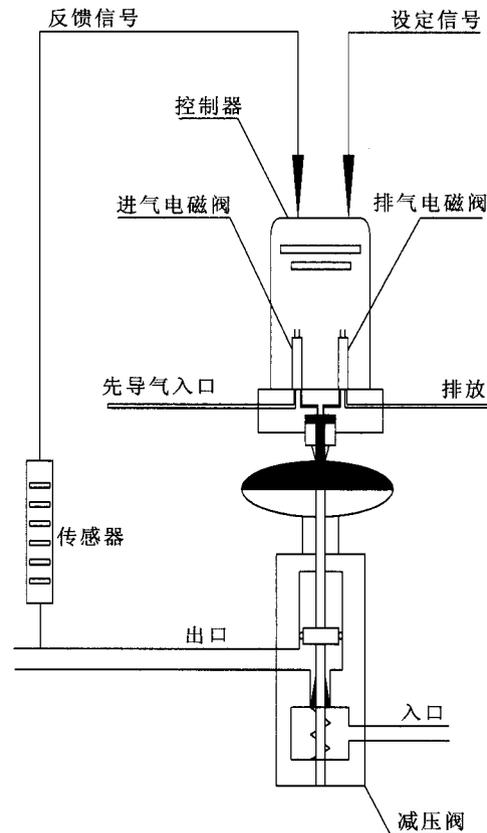


图 2 电子压力控制器工作原理图

Fig. 2 Working principle of electronic pressure controller

2 压力控制关键技术分析

2.1 自动调节控制技术

2.1.1 电子压力控制器的信号设定

在自动控制系统中, 控制器是很重要的组成部分。控制器将系统被控变量的测量值与设定值相比较, 如果存在偏差, 就按预先设置的不同控制规律发出控制信号, 控制生产过程, 使被控变量的测量值与设定值相等。电子压力控制系统的关键部件为电子压力控制器, 其作为自动控制系统的运算单元, 控制信号的设定具有数字信号和模拟信号两种方式。数字信号控制是通过 485 通讯总线, 由计算机控制软件按照电子压力控制器的通讯协议, 进行工作状态、目标压力的设定; 模拟量式控制是由模拟量输出设备输出 4~20 mA 电流或 0~5 V 电压来设定压力目标值。

2.1.2 调节控制技术——PID 算法

控制器的输出信号随偏差信号变化而变化的规律称为控制规律。常用的控制规律有比例 (P) 控制、比例积分 (PI) 控制、比例微分 (PD) 控制和比例积分微分 (PID) 控制。比例、积分、微分三种控制规律各有其独特的作用。比例控制是基本的控制方式, 自始至终起着与偏差相对应的控制作用; 加入积分控制后, 可以消除纯比例控制无法消除的余差; 而加入微分控制, 则可以在系统受到快速变化干扰的瞬间, 及时加以抑制, 增加系统的稳定裕度。将三种控制规律组合在一起, 就是比例积分微分控制。

由于控制器内部处理运算的全部为数字信号, 因此使用离散 PID 算法, 见公式 (1)。

$$u(kT) = K_p \cdot e(kT) + K_i \cdot \sum_{j=0}^k e(jT) + K_d \cdot [e(kT) - e(kT - T)] \quad (1)$$

式中: $u(kT)$ 为控制输出量; $e(kT)$ 为第 k 次采样所获得的偏差信号; k 为采样序号; T 为采样周期; K_p 为比例系数; K_i 为积分系数; K_d 为微分系数;

根据被控对象的不同, 可以对 K_p 、 K_i 和 K_d 系数进行调整。

比例系数 K_p 的增大可以使系统动作灵敏、反应速度加快; 但是 K_p 偏大, 会导致震荡次数加多, 调节时间加长; K_p 过大, 系统不稳定。需要注意, 增大 K_p 只能减小误差, 不能完全消除稳态误差。

积分系数 K_i 能消除系统的稳态误差, 提高控制系统的精度。微分系数 K_d 提高偏差调节的速度, 提前启动调节作用, 减小系统的动态偏差和调节时间, 改善试验系统的动态品质。

电子压力控制器利用其内部的微处理器来进行 PID 控制。先由微处理器比较给定的压力设定值和传感器实时采集的实际压力值, 然后根据其偏差值来控制进气阀和排气阀的动作, 以调节减压阀控制腔进气量和排气量, 从而达到精确控制出口压力的目的。

2.1.3 调节控制参数的整定

使用电子压力控制器时必须根据系统具体情

况进行 PID 参数的整定, 步骤如下:

- 1) 首先预设一个足够短的采样周期让系统工作;
- 2) 只加入比例控制环节, 逐步调整, 直到系统对输入的阶跃响应出现临界振荡, 记录此时的比例放大系数和临界振荡周期;
- 3) 在一定的控制度下通过计算得到 PID 参数。

在实际调试中, 首先根据工程经验先设定一个经验值, 然后根据调节效果对 PID 参数逐步进行修改, 对于压力控制系统: P 值设定范围为 25~75%, I 值设定范围为 0.3~3%, 最后根据调试情况加入 D 值。

2.2 压力闭环控制技术

根据气动减压阀的工作原理可知, 在一定减压阀的调压量程下, 调压腔内的压力与减压阀输出压力具有对应的比例关系, 通过控制和调节减压阀调压腔内压力, 向调压腔内充气或放气, 实现输出压力的调整, 因此调压腔压力的控制精度直接影响系统输出压力精度。由图 2 可以看出, 在电子压力控制系统中, 减压阀调压腔的控制精度主要由电子压力控制器决定, 因此, 影响控制精度的主要元件就是电子压力控制器的模拟量采集模块 (ADC)、压力传感器和电磁阀。

小流量液流试验系统的供应系统所用电子压力控制器正常工作气压为 0~0.7 MPa, 模拟量采集模块精度达到 0.1%, 压力分辨率为 0.001 MPa。反馈压力传感器量程为 10 MPa、精度为 0.25%, 其精度相对较高、线性度好、温度稳定性好。控制器进/排气阀均为高速电磁阀, 阀门导通时间仅为 3.4 ms, 并且 PWM 控制信号频率达 100 Hz, 可进行微小气量的充放, 从而实现气压的精细调节, 使整个控制系统精度达到了 0.5%, 满足精确控制压力的要求。

控制器内置的处理器根据设定信号, 通过对 2 台电磁阀的开、关控制, 实现对减压阀调压腔压力的调节, 再将减压阀出口压力传感器反馈信号与设定信号进行比对, 根据两个信号的偏差大小, 再对调压腔压力进行微调, 直至设定信号与反馈信号的偏差在一定范围内, 最终完成减压阀

出口压力的自动调节与控制。

2.3 压力稳定性控制技术

在整个压力调节与控制过程中, 为了实现压力的快速调节和稳定输出, 关键在于减缓调压腔调节过程充、放气的冲击, 使充、放气过程趋于平稳、缓和, 因此, 控制器在调压腔的进(放)气口设置了合适的节流孔板, 通过节流作用使充、放气时间与调压敏感元件的响应时间接近, 从而达到减缓充、放气速度的目的, 实现压力的稳定输出。图 3 是设置节流孔板和未设置节流孔板所得调压腔压力变化曲线。

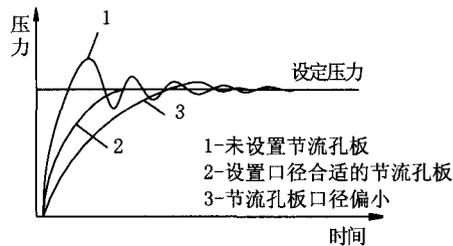


图 3 节流孔板对压力响应的影响

Fig. 3 Impact of restriction orifice on pressure

3 电子压力控制系统的应用

小流量液流试验系统采用了挤压式供应系统, 由于试验控制台与储水容器距离较远, 采用手动压力控制时, 存在压力控制精度低、响应速度慢等问题, 而且手动进行压力的调节时, 容易造成储水容器压力的反复波动, 影响试验状态的

稳定和测量准确度。

为了提高压力控制精度和响应速度, 实现远距离控制, 系统采用了电子压力控制系统进行压力控制和调节, 通过在储水容器进气入口管路上安装 CV 值符合试验要求的气动减压阀, 并配套相应的电子压力控制器 RE3000, 利用工控机通过 RS485 总线与电子压力控制器建立通讯, 根据 ER3000 配带的控制软件, 在软件上进行 PID 参数的调整与设定, 使得调节压力偏差满足设计要求。在实际操作中, 切断电子压力控制器与工控机通讯, 再由控制台与电子压力控制器建立通讯, 由控制台 PLC 模拟量输入输出通道进行试验压力的设定与控制。

为了比较电子压力控制系统的使用效果, 将其与人工调压方法进行了测试, 表 1 给出了两种调压方式的对比数据。由表 1 可以看出, 在设定压力相同的情况下, 电子压力控制系统的调节压力更接近设定值, 而且响应速度更快, 所用时间只有人工调压的 1/4, 特别是当调节压力稳定后, 电子压力控制系统的压力持续过程明显比人工调压稳定, 其压力变化仅为 ± 0.02 MPa。通过对压力波动过程中储水容器出口流量的测量, 进一步体现了电子压力控制系统的优点, 采用该方式进行压力控制的挤压式供应系统输出流量的波动范围仅为 ± 2.95 g/s, 稳定性比人工方式提高了 80%, 使试验系统的稳定性显著提高。由此表明: 小流量挤压式供应系统采用电子压力控制系统进行压力控制的方案是合理的, 电子压力控制系统在挤压式供应系统得到了较好的应用。

表 1 两种调压方式对比数据

Tab. 1 Contrast data of two pressure control modes

压力调节方式	设定压力/MPa	调节压力/MPa	调节时间/s	稳定后压力波动范围/MPa	稳定后流量波动范围/(g·s ⁻¹)
人工调节	3.6	3.69	48.6	± 0.25	± 14.78
电子压力控制系统调节	3.6	3.62	10.2	± 0.02	± 2.95

4 推广应用情况

该控制系统由于控制精度高、稳定性好、操作简便,已经在多个系统中得到了充分应用,该系统的应用,改变了原系统使用节流圈控制充放气速率不均匀、精度不高的状况,提高了生产效率,使新试验系统适用于多种产品的性能检测,拓宽了系统试验能力,为企业创造了更多的经济效益。

5 结论

电子压力控制系统具有工作可靠性高、稳定性好、安装灵活、可远程控制等优点,可以实现高压气体系统调压的远程自动控制,这项压力自动控制技术也可以应用到气控流量调节阀对流量的调节,使其成为新型的自动化流量调节阀。电子压力控制系统的研究和应用有效提高了试验精度和效率,提高了试验系统自动化水平。

参考文献:

- [1] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [2] 秦宏波, 汪国兴, 胡寿根. 基于压力控制的工业压缩空气供需平衡控制系统的设计及应用研究[J]. 中国机械工程, 2006 (8): 67-70.
- [3] 王福生, 孟晓风. 一种气体压力控制方法及应用[J]. 测控技术, 2001 (20): 26-28.
- [4] 孟昕元, 陈震. PID 调节的适用性[J]. 2002 (6): 58-59.
- [5] 英飞凌, 朱元, 王双全. 电子压力控制器 PID 算法的研究[J]. 今日电子, 2008 (6): 77-79.
- [6] 吴志红, 王双全, 朱元. 基于模糊 PID 控制的电子压力控制器的实现[J]. 机械与电子, 2009 (4): 43-45.
- [7] 衣正尧, 熊伟, 王海涛. 液压力检测试验台的模糊 PID 控制系统设计[J]. 机床与液压, 2008 (10): 88-91.
- [8] 刘忠, 龙国键, 褚福磊. 基于高速开关电磁阀技术的压力控制系统设计[J]. 液压与气动, 2003 (3): 13-14.
- [9] 肖俊旺, 夏静. 基于 LabVIEW 的火箭试验数据处理方法[J]. 电子设计工程, 2001, 19(4): 38-40.
- [10] 张磊. 基于 FPGA 与 PCI 总线的实时控制计算机的设计与实现[J]. 电子设计工程, 2011, 19(20): 173-180.
- [11] 孙诚, 王雪梅, 张艳红. 连接计算机并口的数据采集系统[J]. 电子设计工程, 2011, 19(16): 48-50.

(编辑: 陈红霞)

(上接第 59 页)

参考文献:

- [1] 黄道琼, 张继桐, 何洪庆. 四机并联发动机低频动态特性分析[J]. 火箭推进, 2004, 30(4): 27-31.
- [3] 张贵田. 高压补燃液氧煤油发动机[M]. 北京: 国防工业出版社. 2005.
- [4] 于海昌. 发动机对火箭振动特性的影响[J]. 导弹与航天运载技术. 1997 (4): 30-39.
- [5] 于海昌. 航天器振动试验的最新进展[J]. 导弹与航天运载技术, 1999 (4): 35-41.
- [6] 史宏斌, 侯晓, 钱勤, 等. 固体火箭发动机喷管模态分析[J]. 固体火箭技术, 2001, 24(3): 5-9.
- [7] 白西刚. 柔性喷管动力特性分析 [D]. 西安: 西北工业大学, 2005.
- [8] 管迪华. 模态分析技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.

(编辑: 马杰)