

doi:10.3963/j.issn.1671-4431.2015.06.000

SCR 计量电磁泵控制系统研制

廖 昱¹, 苏义鑫¹, 卢尧君²

(1. 武汉理工大学自动化学院, 武汉 430070; 2. 湖北天雄科技有限公司技术中心, 武汉 430223)

摘 要: 电磁泵结构简单、工作可靠, 性价比高, 但计量精度不高, 单纯依靠优化材料与制造装配工艺来改善其性能有较大难度。基于 STC12C5A60S2 单片机研制了具有流量反馈的计量电磁泵闭环控制系统。实验结果表明, 闭环控制系统能够提高电磁泵的计量精度, 其性能指标达到了项目预期的要求。

关键词: 计量电磁泵; 单片机; PFM 信号; 控制

中图分类号: TH 35

文献标识码: A

文章编号: 1671-4431(2015)06-0000-00

Design and Research of SCR Electromagnetic Metering Pump Control System

LIAO Yu¹, SU Yi-xin¹, LU Yao-jun²

(1. School of Automation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. Technology Center Hubei TSUNG Technology Co Ltd, Wuhan 4300223, China)

Abstract: Metering electromagnetic pump is simple in structure, reliable for operating and has a high cost performance, but its metering precision isn't high. It's relatively difficult to improve its performances purely by optimizing material and manufacturing and assembly technology. Based on STC12C5A60S2 micro controller unit, this paper designs metering-electromagnetic pump closed loop control system that has feedback of flux. The experiment result indicates that closed loop control system can increase metering precision of electromagnetic pump, its performance index reaches requirements of the project task.

Key words: metering electromagnetic pump; single chip computer; PFM signal; control

SCR 技术(Selective Catalytic Reduction)即选择性催化还原技术是使用尿素还原排放物中 NO_x 的一种机外净化技术, 其基本原理是在催化剂作用下, 利用 NH_3 将 NO 、 NO_2 还原成 N_2 和 H_2O 。车载 ECU 根据发动机的油耗与尾气中 NO_x 的含量控制计量电磁泵及时准确地向反应器补充尿素溶液。SCR 系统要求计量电磁泵响应速度快、计量准确、发热量小、工作稳定可靠^[1-2]。

SCR 计量电磁泵集泵与计量功能于一体, 结构简单、成本低廉, 极具竞争力。计量电磁泵是以一次注射量为最小计量单位乘频率而输出流量的。受到材料的磁力特性、制造装配工艺及工作压力的制约, 电磁泵的单次注射量会有所变化, 影响计量精度, 需要对其补偿。

北京理工大学的瞿军利用转速传感器, 检测、控制电动机转速, 间接控制泵输出流量^[3]。浙江工业大学的邓鸿英根据检测泵出口压力, 控制电动机转速, 间接控制泵输出流量^[4]。两者不能补偿泵自身的误差, 计量精度较低。杨明建基于 PLC 研制了计量泵行程控制, 适合大流量泵计量控制^[5]。作者基于 STC12C5A60S2 单片机研制了具有流量反馈的电磁泵闭环控制系统, 通过流量补偿, 使电磁泵计量精度有较大的提高。

收稿日期: 2015-05-15.

基金项目: 国家 863 计划项目 (2012AA111716)。

作者简介: 廖 昱(1990-), 男, 硕士生. E-mail: liaoyu@whut.edu.cn

1 计量电磁泵特性

计量电磁泵主要由电磁线圈、定铁芯、动铁芯、复位弹簧、进出口单向阀等构成,动铁芯与定铁芯端面之间形成容积可变的工作腔,如图1所示。

计量电磁泵工作原理是:当电磁泵线圈断电时,在弹簧力作用下,动铁芯向工作腔外运动,工作腔容积增大,压力小于进口大气压力,动铁芯内单向阀开启,液体流入工作腔;当电磁泵通电时,在电磁吸力作用下,动铁芯向定铁芯移动,密封工作腔内容积减小,压力大于出口处压力时,定铁芯内单向阀开启,液体流出。

利用 PFM 信号,驱动铁芯在套管内做往复直线运动,反复地吸入和排出液体。调整 PWM 信号的频率就能控制电磁泵的输出流量,其理论值为

$$q = \frac{\pi}{4} d^2 s f \quad (1)$$

式中, d 为动铁芯直径, m ; s 为动铁芯行程, m ; f 为动铁芯工作频率, Hz 。

驱动电路应确保动铁芯的每一次往复运动都是满行程的,才能保持电磁泵输出流量与 PFM 信号频率成正比例关系,保证计量精度。实际电磁泵受材料剩磁、流体压力、摩擦阻力、配流单向阀及泄漏等多种因素影响,难以保证每一次的排量都是相同的,因此有必要对电磁泵的输出流量进行补偿。

计量电磁泵主要技术指标:电磁泵排量:0.04 mL。输出流量:0~2 mL/s,计量精度 ± 0.02 mL/s。流体压力: ≤ 0.3 MPa。线圈匝数:1 000。线圈电阻: $R \geq 8 \Omega$ 。驱动方式:PWM 控制。占空比:固定导通脉宽 10 ms。工作频率:0~50 Hz。工作电压:DC24 V。工作电流:最大电流 ≤ 3 A,平均电流 ≤ 1.5 A。电路板最大温升: ≤ 30 °C。

2 控制原理与硬件设计

电磁泵控制系统由直流电源、单片机、输入单元、显示单元、驱动电路及放电保护电路等组成,如图2所示。STC12C5A60S2 单片机内部集成 A/D 转换、定时器和程序存储器等。利用单片机 I/O 扩展接口电路输入电磁泵驱动信号的占空比和设定流量。使用单片机 I/O 口 PCA 模块输出 PFM 信号至电隔离驱动电路,驱动电磁泵工作。选择 MAX232 芯片实现与上位机的 RS232 串口通信,实现电磁泵控制系统单片机和上位机的串口实时通信和数据交换。

由于对计量电磁泵流量有较高的精度要求($\pm 3\%$),故在电磁泵出口设置流量传感器,检测输出流量,作为闭环控制的反馈信号。缓冲器的作用是抑制电磁泵的流量脉动,减小流量传感器的检测误差。

电磁泵控制电路的运行和停止、初始设定脉宽、频率(流量)等参数输入由按键操作进行控制。流量传感器输出的电压信号经 A/D 转换进入单片机,与设定的流量值进行比较。若小于设定值,单片机会增加 PFM 信号频率,提高电磁泵流量,从而逼近设定值;反之依然。LCD 用于显示脉宽、频率和实际输出流量。

在电磁泵线圈上反向并联一个二极管和电阻,作为放电保护电路,如图3(b)所示。MOS 管关断瞬间,线圈会产生感生电动势,电流经过二极管和电阻“续流”,进行放电。感生电动势的峰值等于断电之前的线圈电流乘以放电电阻,然后,该电压和电流逐渐下降,最后到零。电阻值越小,感生电动势越低,放电时间越长,对保护电路板 MOS 管越有利。但是,电磁泵作为功率元件,线圈尺寸大,电感量大,放电时间长。实验表明,即使电阻为零时,放电时间仍超过 10 ms,占用动铁芯复位时间,线圈无法及时消磁,电磁泵在高频时输出流量线性度急剧降低,甚至不能工作。增加放电电阻值,放电电压增高,线圈放电时间缩短,但放电电流减小,剩磁产生的电磁力降低。当电磁铁产生的电磁力小于复位弹簧力时,动、定铁芯迅速分离,电磁泵在高频时能够正常工作。因此应适当选择放电电阻,以兼顾线圈反向电压不太高,电磁铁又能快速消磁。

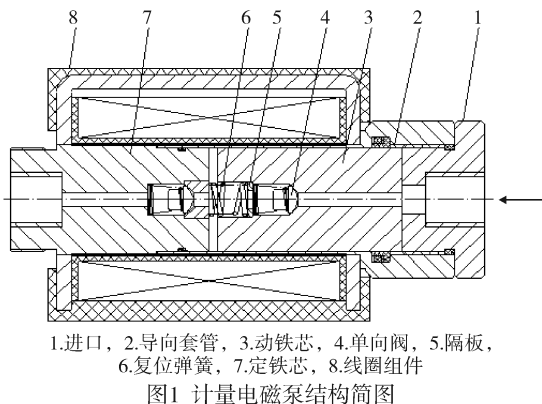


图1 计量电磁泵结构简图

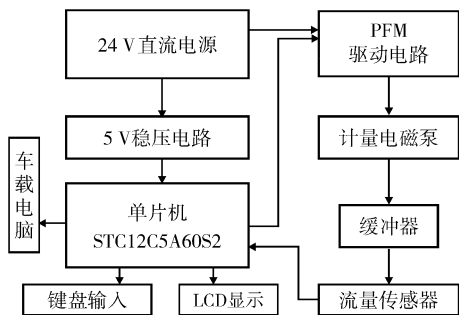


图2 电磁泵控制电路原理图

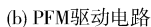
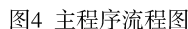


图3 电磁泵控制电路图

电磁泵的排量 $q_1=0.04 \text{ mL}$, 根据流量设定值 q_i , 计算出电磁泵的输入频率为



$$f = \frac{q_i}{q_1} \quad (2)$$

将流量传感器的检测值 q_o 与设定值 q_i 进行比较,其差值 Δq 即为需要补偿的流量。

若差值 $\Delta q \leq -0.02 \text{ mL/s}$ 或 $\Delta q \geq +0.02 \text{ mL/s}$,则应改变频率补偿流量差值,频率改变量为

$$\Delta f = \frac{\Delta q}{q_1} \quad (3)$$

若流量差值 $-0.02 \text{ mL/s} \leq \Delta q \leq +0.02 \text{ mL/s}$,则不需要补偿。

4 实验分析

为验证电磁泵与控制系统的性能,文中以图2为基础建立了实验系统,可以分别测量线圈的感生电动势、控制电路板 MOS 管的温度升高值及电磁泵的输出流量,实验装置如图5所示。

4.1 线圈的感生电动势测量

利用美国 Agilent Technologies 公司的 MSO-X 2024A 示波器测量电磁泵线圈的感生电动势,将感生电动势峰值加电源电压 24VDC,即得到 MOS 管两端的电压。MOS 管两端的电压随放电电阻值变化的曲线如图6所示。

从图6中可以看到,MOS 管两端的电压随放电电阻的增大而增加。放电电阻值为零时,MOS 管两端的电压最小;放电电阻无限大或二极管断开时,MOS 管两端的电压达到 150 V,超过 MOS 管耐压值,MOS 管容易烧毁。因此,在保证电磁泵高频段正常工作的条件下,尽量减小放电电阻的阻值,降低感生电动势。实验表明,放电电阻 $R=6 \Omega$ 时,电磁泵工作频率可以达到 50 Hz。

4.2 MOS 管的温度升高值测量

控制电路板最大发热元件是 MOS 管。选用深圳康兴隆电子有限公司的非接触式红外线测温仪测量 MOS 管温度。IRF540S N 沟道 MOS 管耐压 100 V,导通电阻 0.077Ω ,允许工作电流小于 23 A。电磁泵工作频率为 50 Hz,MOS 管温升实验分别在放电电阻 $R=0$ 和 $R=6 \Omega$ 时进行,实验结果如图7所示。

从图7中可以看到,MOS 管温升随着工作时间增加而逐渐升高,最终趋于稳定;MOS 管温升随着放电电阻的增大而提高。

4.3 电磁泵输出流量测量

测试开环控制和闭环控制时电磁泵的输出流量,并与设定流量进行比较,实验结果见图8。

从图8中可以看到,开环控制时电磁泵的输出流量与设定流量存在差值,该差值随着工作频率提高而增加,最大差值达 0.37 mL/s 。闭环控制时电磁泵的输出流量与设定流量的差值较小,该差值处于 $-0.02 \text{ mL/s} \sim +0.02 \text{ mL/s}$ 之间,并随着工作频率提高而减小,计量精度能够满足 SCR 系统的要求。

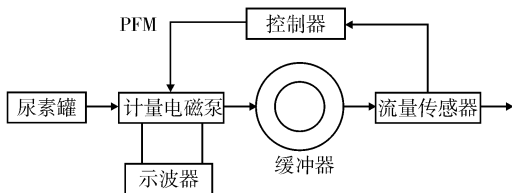


图5 计量电磁泵控制系统实验装置

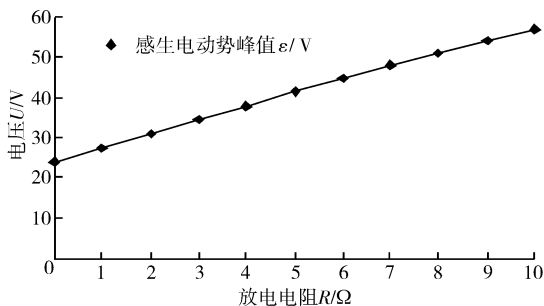


图6 MOS管两端的电压与放电电阻的关系

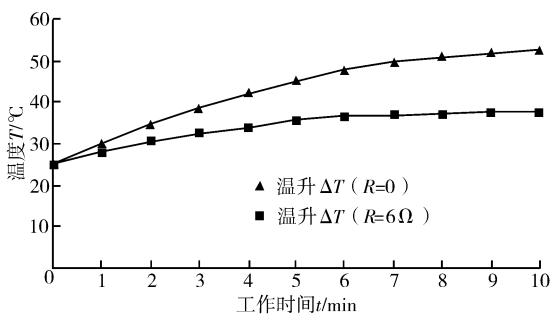


图7 MOS管温升与放电电阻的关系

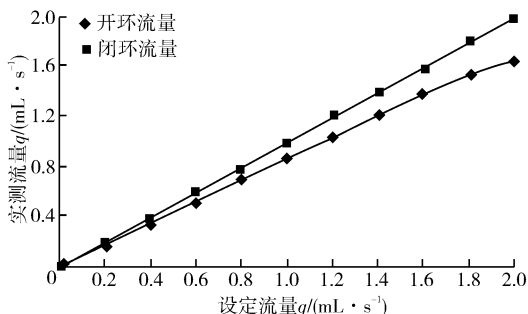


图8 电磁泵输出流量

5 结 语

电磁泵结构简单、工作可靠,性价比高,但计量精度不高,单纯依靠优化材料与制造装配工艺来改善其性能有较大难度。通过流量反馈的闭环控制系统能够提高电磁泵的计量精度,其性能指标达到了项目预期的要求。

参考文献

[1] 廖义德,余龙兵,廖 昱,等. 柴油机尿素喷射系统电磁泵特性研究[J]. 常熟理工学院学报,2015(2):5-8.

[2] 佟德辉,李国祥,陶建忠. 利用 SCR 技术降低车用柴油机 NO_x 排放的控制策略研究[J]. 车用发动机,2007(5):39-43.

[3] 瞿 军,李科杰. 基于单片机的计量泵流量控制系统的研制[J]. 仪表技术与传感器,2004(7):27-28.

[4] 邓鸿英,张生昌,牟介刚,等. 基于单片机的计量泵流量控制器[J]. 工业仪表与自动化装置,2009(3):51-53.

[5] 杨明建,潘政广. 计量泵流量调节的机电一体化设计[J]. 流体机械,1997(10):26-29.