

# 基于 STM32 单片机的多功能电液控制器的设计\*

张 岩<sup>1</sup> 秦晓芳<sup>2</sup> 刘根水<sup>1</sup>

(1. 江苏汉邦科技有限公司 淮安 223003; 2. 淮安信息职业技术学院 淮安 223001)

**摘 要:**电液控制器是电子技术、液压技术和计算机控制技术相结合的产物,对推广与发展电液控制技术、拓展液压技术的应用领域有着重要意义。在深入研究目前国内外已有的机电系统控制产品的设计和开发经验的基础上,并借鉴当前电液控制器的最新发展趋势,介绍了基于 STM32 单片机的电液控制器的设计。将 32 位单片机与 CPLD 器件相结合,确立了该电液控制器的硬件结构和软件组成。该电液控制器具有多种工作模式,不但能够驱动电液设备,也能够用于溶剂输液泵和超临界分析型仪器的控制,通过本控制器实现了高速、高精度的点位控制、往复运动控制和精确压力调节控制。并在超临界分析型系统的自动背压调节阀装置中进行了实验研究,获得了满意的控制精度和控制效果。

**关键词:**电液控制器; STM32 单片机; CPLD 器件; 多种工作模式

**中图分类号:** TN710 TP23 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.80

## Design of multi-function electro-hydraulic controller based on STM32 microcontroller

Zhang Yan<sup>1</sup> Qin Xiaofang<sup>2</sup> Liu Genshui<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Hanbon Science & Technology Co., Ltd, Huaian 223003, China;

2. Huaian College of Information Technology, Huaian 223001, China)

**Abstract:** Electro-hydraulic controller combines the electronic technology, hydraulic technology and the computer control technology, which is important in the promotion and development of the electro-hydraulic control technology, in the expansion of application field of hydraulic technology has important significance. On the basis of further studying the existing design and development experience of electromechanical system control products both at home and abroad, and the latest development of the electro-hydraulic controller is taken for reference, it introduces the electro-hydraulic controller design based on STM32 microcontroller. Combining 32-bit MCU and CPLD device, form the hardware and software parts of this electro-hydraulic controller. With multi-working mode, this electro-hydraulic controller can not only drive electro-hydraulic equipment but control solvents infusion pump and supercritical analytical instruments. Through the controller to realize the high speed and high precision position control, reciprocating motion control and accurate pressure regulation control. And experiments have been done through the automatic back pressure regulator device of supercritical analytical system, it gets a satisfying control precision and control effect.

**Keywords:** electro-hydraulic controller; STM32 Microcontroller; CPLD device; multi-working mode

### 0 引 言

液压控制是流体控制技术的重要分支,其以控制精度高、响应速度快、输出功率大和传动平稳等特性,在工业生产的许多部门中得到了大量的推广使用。伴随着现代制造业的飞速发展和产品功能改进的需求,也推动着液压控制技术不断的创新和发展,运动灵活、传动效率

高、设备体积小的优势正在逐渐成为当下液压控制技术发展的主流方向和趋势。将自动控制技术引入液压控制领域已成为电液控制自动化发展的主要方向,自动控制技术、电子技术和液压技术的综合运用,可以使其相互取长补短。

目前国内外电液控制自动化技术的发展主要集中在两个方面:用于煤矿井下综采工作面生产需求的液压支架

收稿日期:2017-08

\* 基金项目:国家重大科学仪器设备开发专项基金项目(2013YQ170525)支持

控制器和用于机械加工领域的电液多轴运动控制器。前者以德国玛珂公司的 PM32 液压支架电液控制系统为代表,主要用于煤矿井下无人值守工作面液压支架的自动控制。后者以美国穆格公司的 DS2000 全数字伺服驱动器和深圳固高科技有限公司的 GUS 多轴协调运动控制器为代表,主要面向电液伺服驱动器或直线电机的控制。以上产品不但价格昂贵,同时专用性较强,不适用于分析类仪器液压系统或溶剂输液系统的控制,来完成它们所需要的往复运动和点位运动控制。如高压溶剂输液泵和自动背压调节阀等这些要求反应速度快、输出扭矩大的工作场合。本文正是在这种大趋势下,基于 STM32 单片机设计并开发了具有高性能、多工作模式的电液控制器。

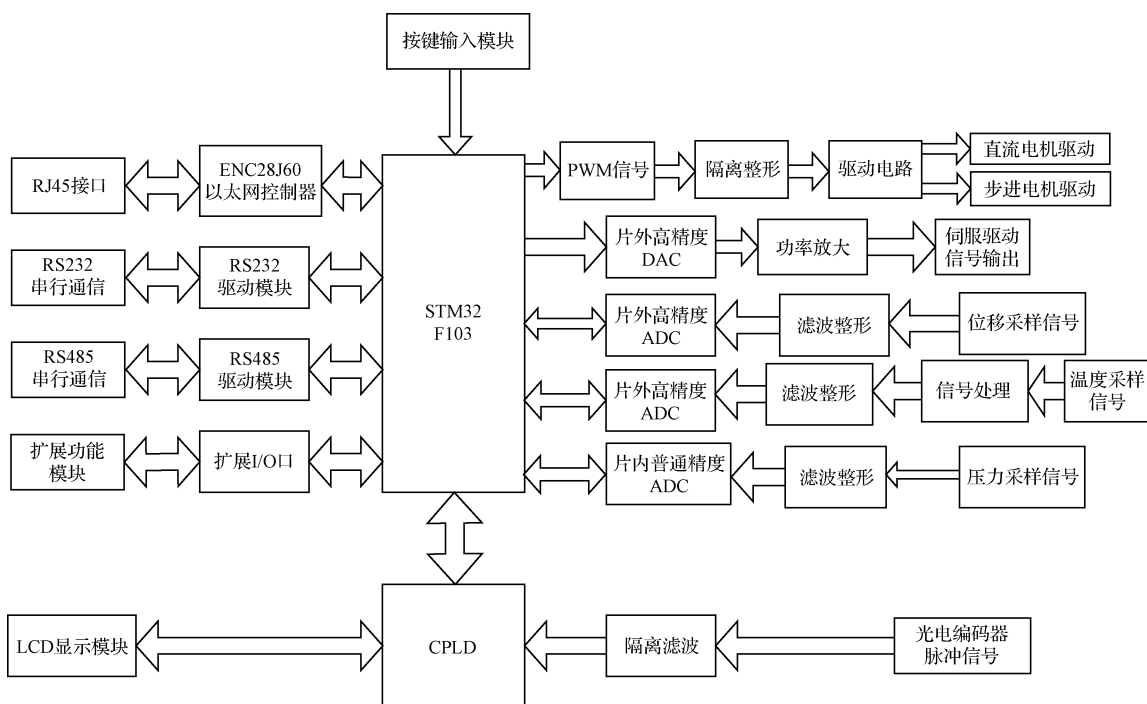
### 1 系统概述

本电液控制器将成熟的工业控制自动化技术应用于液压系统或溶剂输液系统的运动控制中,不仅能够用于机械加工领域的多轴(或液压缸)的联动控制,也能应用于溶剂输液泵中凸轮轴的复杂曲面运动控制,还能用于超临界分析系统中自动背压调节阀阀口开度的微动控制,扩大了电液控制器的使用功能和应用对象。因此本电液控制

器按照通用性、开放性和多工作模式的功能来设计。

### 2 电液控制器硬件电路设计

多功能电液控制器采用 STM32 和 CPLD 两种处理器相结合作为系统控制单元。STM32F103 作为系统的核心控制单元,具有丰富的片内外配置,如片内 12 位模数转换器、串行外设接口、通用定时器、USART 模块和外部中断控制器等,主要负责外部信号的采集与处理、PID 控制算法的运算以及与上位机的通信协议的处理。CPLD(复杂可编程逻辑器件)作为系统协处理单元,其内部硬件结构可以通过软件设计来完成,具有很强的灵活性和硬件可重构性。主要用于构建光电编码器的 4 倍频解码逻辑电路,避免了光电编码器输出的数字脉冲信号受现场的电磁干扰产生的误脉冲读取问题。这样不但减轻了核心控制单元的运算处理任务,也减少了核心控制电路的硬件设计难度。控制器的其他功能模块将围绕核心控制单元和协处理单元进行设计,包括以下几个方面:核心控制单元设计、传感器信号采样接口设计、输出驱动接口设计、外部通信接口设计和人机交互界面设计。电液控制器结构如图 1 所示。



#### 2.1 核心控制单元设计

采用 STM32F103 芯片作为电液控制器的核心控制单元,选用意法半导体(ST)公司的 STM32F103C8T6 增强型 32 位 RISC 处理器,其芯片主频最高为 72 MHz,能够极大的减小电控系统的控制周期。其内部有 20 KB 的 Flash、64 KB 的 SRAM 内存,便于下位机控制程序的重复

编写和工业现场的在线升级<sup>[1]</sup>。控制器采用 ALTERA 公司的 EPM1270 芯片作为 CPLD 协处理单元,对光电编码器输入信号进行滤波、鉴相和倍频处理,同时它也将 STM32F103 的输出显示数据保存到其内部寄存器中,LCD 液晶屏通过总线方式从 CPLD 内部存储器读取数据,这样解决了液晶屏模块和核心控制单元之间数据读写

时序不同步的问题。

### 2.2 传感器信号采样接口设计

传感器采样输入信号主要有：变量泵出口压力信号、溶剂输液泵出口压力信号、超临界系统管路压力信号、执行机构的位移信号、直流减速电机的电流采样信号等<sup>[1]</sup>。压力传感器反馈的电压信号经过滤波整形电路的处理，转换为能够被 STM32F103 芯片内部集成的 12 位精度的 A/D 模块所识别的电压信号。位移信号是进行液压伺服缸运动控制的主要参量，位移采样信号在控制液压伺服缸的拉伸和收缩过程中起主要作用；同理温度信号是进行

PTC 加热器控制调节的主要参量，温度采样信号在整个超临界分析系统中对柱温箱控制温升过程中起主导作用。对于高精度控制的现实需求，本控制器采用美国 BB 公司 16 位采样精度的单通道 ADS1100 芯片作为片外 A/D。经位移传感器或温度传感器采集回来的位移信号或温度信号，经过滤波整形电路的处理，转化为 0~5 V 能够被 ADS1100 所识别的电压信号，STM32 通过 IIC 总线将 A/D 转化后的数字量采回芯片内，进行控制算法的处理。电路原理如图 2 所示。

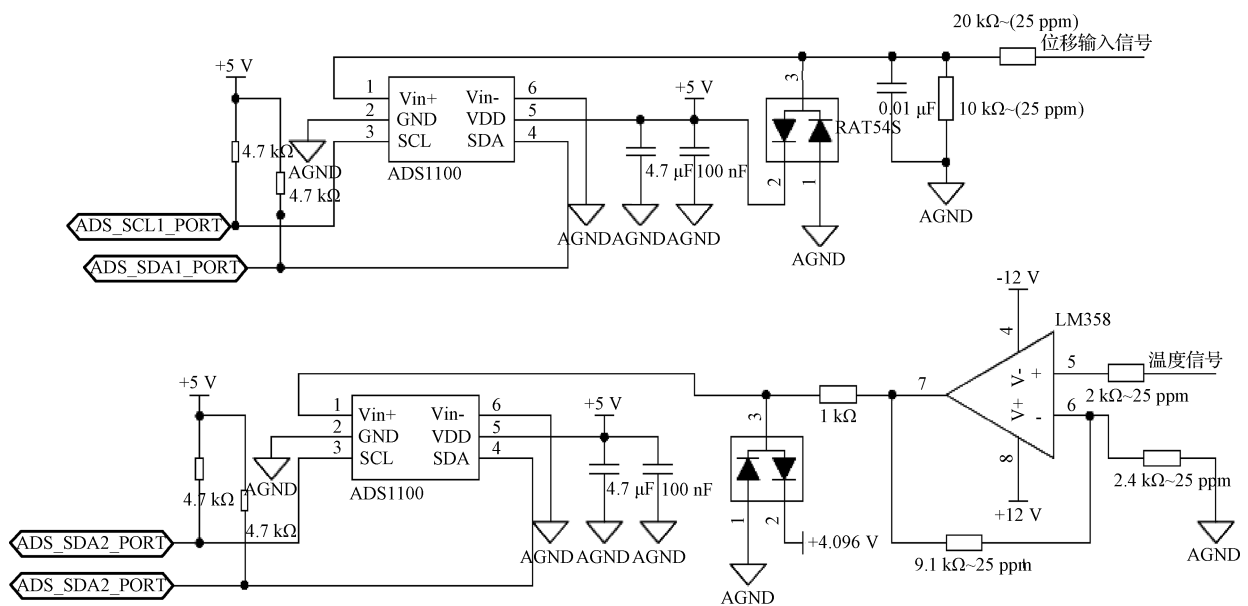


图 2 外部信号采样输入电路原理

### 2.3 输出驱动接口设计

电液控制器的多种工作模式有：电液伺服机构的驱动控制、直流（步进）电机的驱动控制、PTC 加热器的控制等。本控制器对电液伺服阀采用电流输出驱动接口<sup>[1]</sup>，由于电液伺服阀驱动信号一般是小于±50 mA 的电流信号，且需要 100~500 Hz 的颤振信号。在考虑冗余设计输出的工况下，控制器设计使用“D/A 转换+功率放大”的输

出模式，其具有 0~±100 mA 的电流输出驱动能力。由于 STM32F103 芯片内部不含有 D/A 模块，本控制器使用 TI 公司的 DAC8534 作为片外高精度 D/A。它将 STM32F103 芯片输出的数字控制量转化为电压信号，将其再经过功率放大电路转换为电流信号后，才能驱动电液伺服阀。电路原理如图 3 所示。

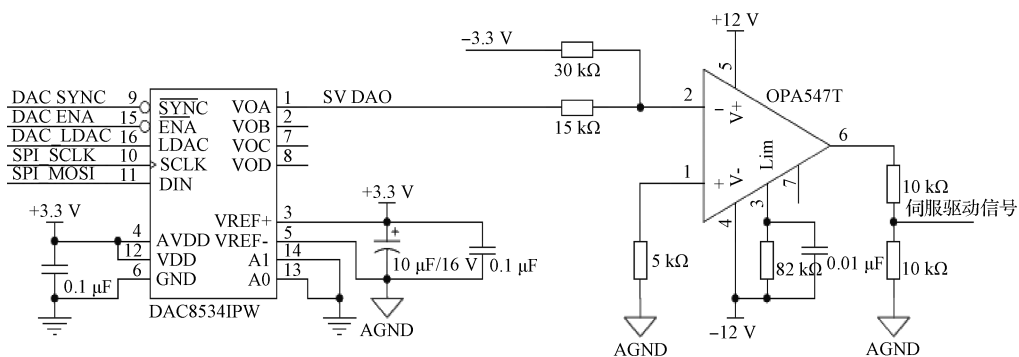


图 3 伺服驱动电路原理

对于直流(步进)电机采用 PWM 波方式进行控制,利用 STM32F103 片内的高级定时器 TIM1,它能够产生具有互补输出,带死区控制和紧急刹车功能的 PWM 驱动信号,同时使用光电耦合隔离电路,一方面起到信号隔离和

控制管脚的保护,另一方面将 3.3 V 逻辑电平转换成 12 V 逻辑电平,通过 H 桥驱动器来驱动直流(步进)电机的运行。PWM 驱动控制原理如图 4 所示。

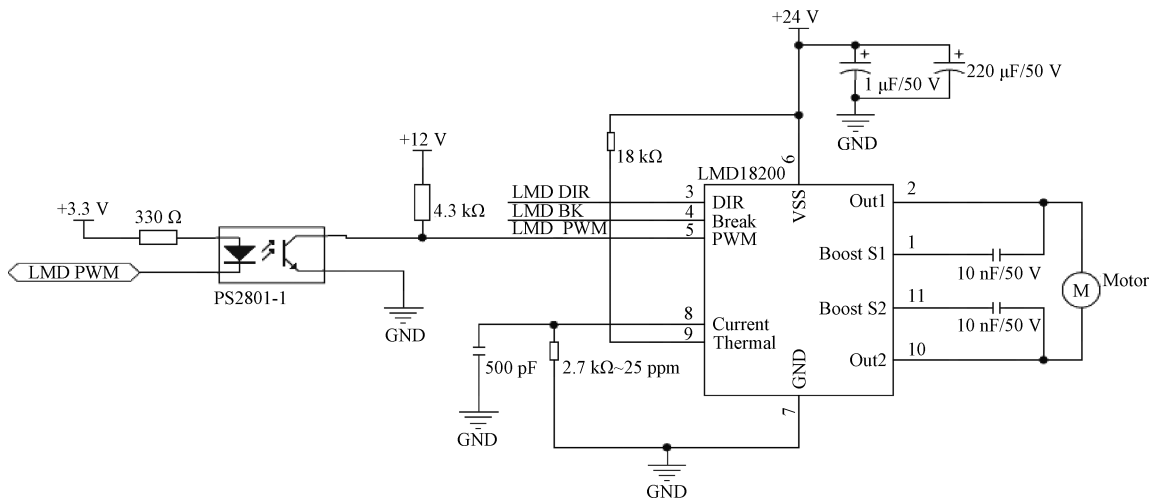


图 4 PWM 驱动控制电路原理

## 2.4 外部通信接口设计

电液控制器与上位机或其他控制终端之间的数据传输可以采用串行通信和以太网通信这两种方式。分别为:RS232 或 RS485 串行通信和工业以太网(Ethernet/IP)通信。这两种通信接口的设计适用于不同的应用场合。由于串行通信方式具有使用线路少、成本低,特别是在远程传输时,避免了多条线路阻抗特性不一致,造成的信号衰减而被广泛采用。RS232 串行通信主要是用于上位机和下位机之间的数据传输,可以方便的实现上位 PC 机与电液控制器的动态仿真与在线监测。RS485 串行通信不同于 RS232 串行通信的是:RS485 串行通信采用差分传输方式,抗干扰能力强。因此 RS232 串行通信常被用于短距离传输场合,RS485 串行通信常用于远距离传输和多站通信场合<sup>[1]</sup>,它在工业现场中常用于分布式设备之间的数据传输和构成交互平台。利用 STM32F103 内部集成的 USART 串口通信模块,使用 RS232 和 RS485 通信芯片对 USART 串口输出的串行数据进行驱动,完成通信接口的设计。以太网(Ethernet)最初是由美国 Xerox 公司创建并由 Intel 及 DEC 公司联合开发的基带局域网规范 DIX,并由 IEEE 在 DIX 规范基础上进行修改而制定的 IEEE802.3 标准,它是当今现有局域网采用的最通用的通信协议标准。工业以太网是应用于工业控制领域的以太网技术,由于它是全开放、全数字化的网络,遵照网络协议,不同厂商的设备可以很容易实现互联,传输速率最高可达 100 Mbps。为了使电液控制器便捷的嵌入各种工业自动化控制网络之中,实现控制器的开放性和智能化,本设计采用了工业以太网通信接口。本电液控制器采用美国 Microchip 公司的 ENC28J60 以太网控制器芯片,它符合

IEEE802.3 标准。ENC28J60 带有标准的 SPI 接口,它与 STM32F103 的通信通过两个中断引脚和 SPI 来实现。采用一系列数据包过滤机制以对传入的数据包进行限制。它内部的 DMA 模块能够实现快速数据吞吐和 IP 校验与计算,其数据传输率高达 10 Mb/s。

## 2.5 人机交互界面设计

电液控制器选用含有中文字库的 320×240 点阵的 LCD 液晶屏,不仅具有良好的人机交互界面,也能够进行大信息量的显示。但是 LCD 是典型的慢速显示模块,在与 STM32F103 高速处理器进行数据读写时,会产生时序不匹配这样的问题,仅通过使用锁存器电路是无法解决高速的控制器与慢速的外设不同步问题。但是通过 CPLD 的使用,就可以在不增加成本的情况下,在 STM32F103 和 LCD 之间设计一条双向的快速通道。采用 STM32+CPLD 的方案来完成 LCD 液晶屏控制大大减轻了 STM32F103 的工作压力<sup>[1]</sup>。同时在电液控制器上设置了 5×4 矩阵按键接口,能够方便的进行压力、位移、流量、温度和 PID 等参数的设置,便于操作人员进行运行参数的设置和调试指令的输入。

## 3 下位机控制软件的设计

下位机控制软件是直接面向电液控制器的物理硬件系统,它是控制器各项功能实现的基础,它向上位机控制软件提供了与具体硬件电路无关的软件接口。下位机控制软件大致可以分为以下模块:数据采集与整形滤波、控制算法、数据处理与输出、通信模块、人机交互界面、PWM 驱动和扩展任务模块。其软件结构体系如图 5 所示。

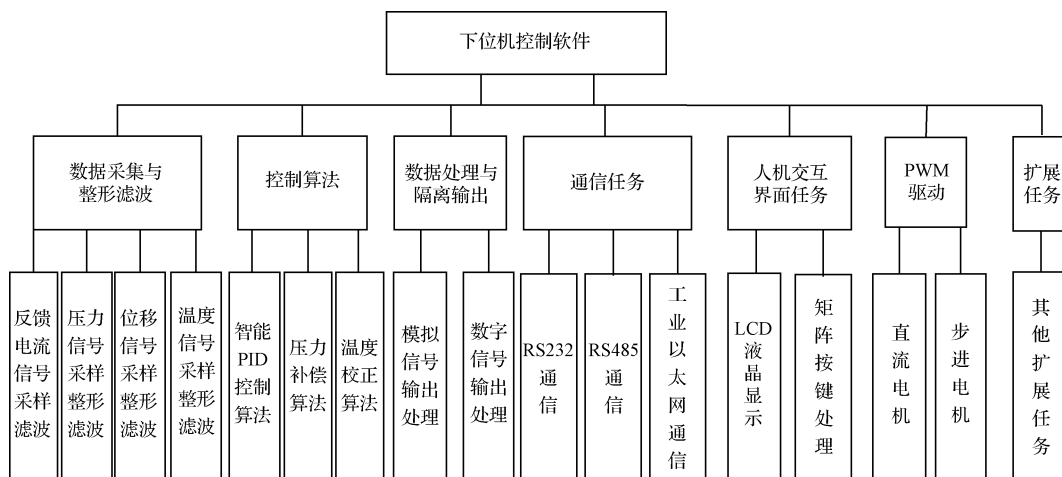


图5 下位机控制软件总体结构

#### 4 实际测试及结果

在本电液控制器具有多功能的硬件基础之上,将其应用于超临界分析系统的自动背压调节阀控制当中,进行超临界分析系统出口背压压力的调节测试。使用在VS2010软件开发环境基础上编写的上位机自动背压调节阀控制软件,在实验室环境温度为26℃、超临界分析系统液路总流速为12 mL的实验条件下,电液控制器使用智能PID控制模式,将超临界分析系统背压阀的开启压力设置在12 MP进行测试。如图6所示当背压阀入口管路压力值

超过系统设定值12 MP,并在80 s时迅速上升至15.5 MP后,此时电液控制器驱动直流减速电机带动背压阀进行快速泄压调节,而后经过120 s时间的反复超调-滞后动态压力调节后,在200~300 s时系统液路压力波动趋于稳定收敛状态,此时电液控制器继续通过直流减速电机对背压阀进行微调控制,在300 s后背压阀出口压力围绕在系统设定值12 MP上下稳定波动,此时系统液路背压稳态控制精度可达±0.2 MP,能够满足超临界分析系统的生产应用。压力实验测试曲线如图6所示。

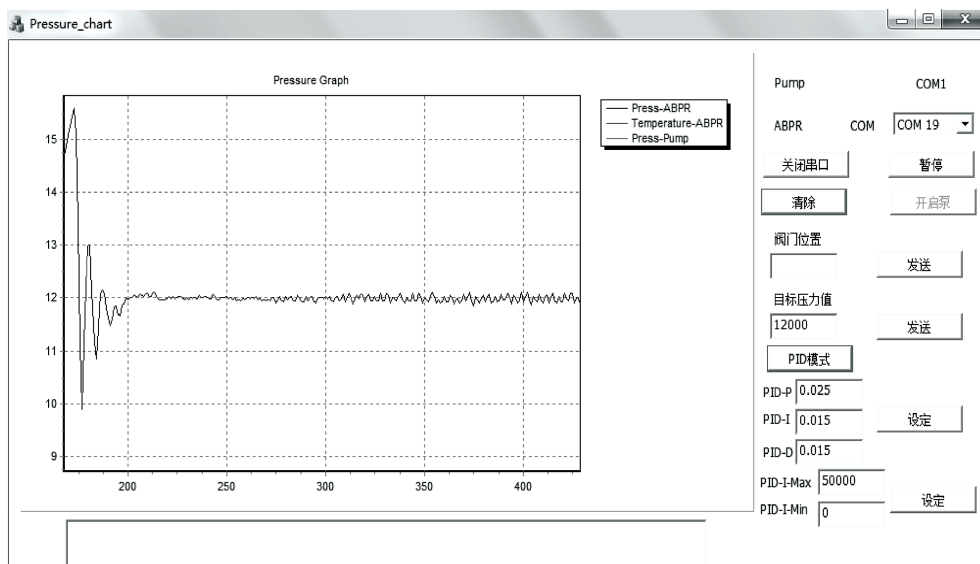


图6 压力实验测试曲线

#### 5 结论

基于STM32技术设计的多功能电液控制器,将STM32F103芯片的高速运算特性应用到电液控制中,提高了电液系统的控制性能。通过使用智能PID控制算法

和压力补偿算法等控制策略,显著改善了压力冲击、运动冲击和动态响应等特性。该控制器具有控制精度高、工作模式多、开放性较强、性价比高等特点,具有较强的有效性和实用性。

参考文献

- [1] 张岩,徐莉萍,任德志. 基于 DSP 的多通道多功能电液运动控制器的设计[J]. 液压与气动,2009(2):63-66.
- [2] 黄智伟. STM32F 32 位 ARM 微控制器应用设计与实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2012.
- [3] 刘火良. STM32 库开发实战指南[M]. 北京:机械工业出版社,2013.
- [4] 曹树平. 电液控制技术[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2014.
- [5] 高军神. 基于以太网实时多轴运动控制研究与实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2017.
- [6] 吴可嘉. 基于以太网通信的电液伺服实验台控制器研发[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2015.
- [7] 朱祖灿,张果,王剑平,等. 液压控制系统的模糊-PID 算法研究[J]. 计算机测量与控制,2014,22(8):2438-2440,2458.
- [8] 李传明,崔更申,尹鹏,等. 基于 STM32F4 的电机控制系统设计[J]. 计算机测量与控制,2015,23(10):3370-3372,3376.
- [9] 曹春臣,何强,孙来业. 基于 STM32 与 CPLD 双轴运动控制器的设计与实现[J]. 硅谷,2014,7(20):9-10.
- [10] 唐立军,桂欣,贺慧勇,等. 基于 ARM+CPLD 的无刷直流电机控制系统[J]. 电力科学与技术学报,2012,27(3):77-80,85.
- [11] 骆国庆. 基于 ARM+CPLD 的多电机运动控制器设计[D]. 宁波:宁波大学,2015.
- [12] 孙艳明,王永明,袁德志,等. 基于 DSP 和 FPGA 的运动控制器设计[J]. 工程与试验,2012,52(3):59-60.
- [13] 李国文,孙千军. 基于 STM32 的点位运动控制器设计[J]. 计测技术,2012,32(4):38-41.
- [14] 王延年,熊伟,王桥. 基于 DSP 和 STM32 的电液伺服控制器设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2014,14(8):70-72,81.
- [15] 彭求实,郑振耀,陈忠,等. 基于 STM32 的波谱仪接收通道的设计[J]. 电子测量技术,2014,37(7):76-79.
- [16] STMicroelectronics. STM32F103x8 data manual[Z]. <http://www.st.com/>,2017-09-21.
- [17] Altera Corporation MAX II Device Handbook[Z]. <http://www.altera.com/>,2017-09-21.

作者简介

张岩,男,1980 年出生,工学硕士,中级电子工程师,主要研究方向为电液控制自动化开发等。  
E-mail: yanzhang@hanbon.com.cn