

文章编号: 2095-4980(2020)05-0902-05

## 智能阀门定位器的控制设计

闫宏亮<sup>1</sup>, 思皓天<sup>\*1</sup>, 张宏<sup>2</sup>

(1.西安石油大学 陕西省油气井测控技术重点实验室, 陕西 西安 710065;

2.延长中煤榆林能源化工有限责任公司, 陕西 榆林 718500)

**摘要:** 针对工业过程控制中阀门定位器阀位控制不精确, 易造成阀门阀位往复波动不稳定现象, 设计了一款气动智能阀门定位控制电路板。其中硬件设计以微处理 STC12C5A60S2 为核心并输出双极性 PWM(脉宽调制)脉冲驱动压电阀, 外围电路包括电源转换电路、I/V 转换电路、A/D 采样电路、按键和液晶显示电路等; 软件设计由于阀门控制及执行过程是非线性时变的系统, 很难建立精确数学模型, 所以控制系统采用模糊 PID(比例积分微分)控制算法替代常规 PID 控制。通过软件硬件两方面改进设计, 可以有效避免阀位波动不稳定现象, 稳定过渡时间只需 1.2 s 且系统无超调量; 在 Matlab 中, 采用阀门各机构所建立数学模型的传递函数及阀位实测数据进行仿真。通过波形对比, 得出所设计的阀门定位器控制电路板, 能使阀门控制更加稳定、快速、准确。

**关键词:** 智能阀门定位器; 模糊 PID; 非线性时变; Matlab 软件

**中图分类号:** TN98

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA2019126

## Control design of the intelligent valve positioner

YAN Hongliang<sup>1</sup>, SI Haotian<sup>\*1</sup>, ZHANG Hong<sup>2</sup>

(1.Key Laboratory of Shaanxi Province for Gas and Oil Well Logging Technology, Xi'an Shiyou University, Xi'an Shaanxi 710065, China; 2.Yulin Energy Chemical Co. Ltd. of China Coal, Yulin Shaanxi 718500, China)

**Abstract:** The inaccurate control of the valve positioner in industrial process control would cause the valve position to reciprocate and fluctuate. To solve this problem, a circuit board of pneumatic intelligent valve positioning control is designed. The hardware design is based on micro-processing STC12C5A60S2 and outputs bipolar PWM(Pulse Width Modulation) pulse to drive the piezoelectric valve. The peripheral circuit includes power conversion circuit, I/V conversion circuit, A/D sampling circuit, button and liquid crystal display circuit, etc. Because the valve control and execution process is nonlinear time-varying, it is difficult to establish an accurate mathematical model. Therefore, a fuzzy PID(Proportion Integration Differentiation) control algorithm is utilized instead of the conventional PID control in the control system. By improving the designs in software and hardware, the valve position fluctuation can be effectively avoided. The stable transition time is only 1.2 s and the system has no overshoot. In Matlab, the transfer function of the mathematical model and the measured data of the valve position are simulated by various mechanisms of the valve. Through waveform comparison, the control circuit board of designed valve positioner can make the valve control more stable, fast and accurate.

**Keywords:** intelligent valve positioner; fuzzy PID; nonlinear time-varying; Matlab

气动调节阀作为过程控制仪表, 在现代工业生产中有着极其广泛的应用, 阀门定位器作为气动调节阀的辅助配件, 对调节阀的过程控制质量起着决定性作用, 因此对阀门定位器的研究具有重要意义<sup>[1]</sup>。阀门定位器在实际应用过程中由于阀位控制精确度不够, 造成阀门定位的开度偏差较大, 而阀门定位器为了实现阀门精确定位, 需要不断重复校准阀门阀位, 这样就形成阀门长时间的往复波动现象<sup>[2]</sup>。为了更好地避免长时间波动现象

收稿日期: 2019-04-15; 修回日期: 2019-05-14

基金项目: 陕西省教育厅重点实验室科研计划资助项目(15JS084); 西安石油大学研究生创新与实践能力的培养计划资助项目(YCS17141002)

作者简介: 闫宏亮(1975-), 男, 在读博士研究生, 副教授, 主要研究方向为电机控制和电动钻机电气控制系统。email:271467302@qq.com

\*通信作者: 思皓天 email:271467302@qq.com

的发生, 本文通过对阀门定位器硬件部分控制电路的研究, 选用 STC12C5A60S2 单片机作为主控芯片结合 12 位高精度 A/D 转换模块并辅助以方便快捷的人机交互; 同时研究软件方面具体的控制方式和控制算法, 对具体模块设计出与其功能实现相对应的控制方式流程图, 系统控制算法采用模糊 PID 替代传统 PID<sup>[3]</sup>。

## 1 系统总体方案设计

阀门定位器在阀门调节过程中的工作模式属于闭环控制系统: 上位机首先对阀门发出动作命令信号, 定位器微控制器(Micro Controller Unit, MCU)经过分析和运算后, 对气动执行器输出控制信号来驱动阀门动作<sup>[4]</sup>。在阀门阀杆向目标阀位移动时, 数据采集模块时刻将实时阀位数据信号反馈回阀门 MCU, MCU 对反馈回来的实时阀位信号作分析判断, 进而控制压电阀驱动电路, 调控气缸内进出气量, 使阀门稳定至目标阀位, 从而实现阀门开度的精确控制<sup>[5]</sup>。本文设计包括软硬件两部分, 设计一款高性能、高性价比的智能定位器控制电路板。智能阀门定位器总体设计原理如图 1 所示。

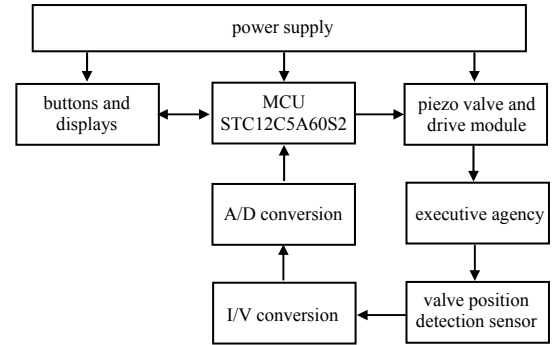


Fig.1 Overall schematic of valve locator  
图 1 阀门定位器总体设计原理图

### 1.1 主控核心部分电路设计

设计中以高运行速度、强抗干扰、低消耗功耗的单片机 STC12C5A60S2 作为主控芯片。芯片工作电压设为 5 V, 内部采用 R/C 振荡器<sup>[6]</sup>。主控器引脚 5 外接复位电路, 起着对主控器进行复位的功能, 可以随时实现主控器的重启; 15,16 脚外接石英振荡晶体作为时钟源, 原因是在时序要求较高以及使用串行通信方式下, 内部时钟源容易产生误差。

### 1.2 液晶显示器显示和按键

通过 3 个按键不同组合可以实现控制参数的设定与修改、手自动切换等功能, 当有任何一个按键按下时, 对应 I/O 发生电平转换, 实现相应操作; 液晶显示器(Liquid Crystal Display, LCD)显示和按键的设计, 可以显示实时阀位信息, 包括故障信息、阀位开度、手自总状态等, 方便维护人员一目了然获知阀门状态, 进行故障诊断及阀门调试工作; LCD 和按键的设计可以大幅度提高设备安装调试效率, 也极大地方便维护人员的日常工作<sup>[7]</sup>。本文选用 LCD12864 显示屏, 内含丰富中文字库, 稳定性高, 显示分辨率很高且价格也便宜。

### 1.3 电源模块

降压电源模块的设计, 采用两个 78 系列三端稳压器将 24 V 电压转换为 15 V, 进而转换为 5 V 电压, 为 MCU、LCD、压电阀以及 A/D 转换芯片 MAX197 提供电源<sup>[8]</sup>。

### 1.4 A/D 转换器

智能定位器为实现高精度、高速度的数据转换, 选用了 12 位的高精度 A/D 转换 MAX197 芯片代替单片机片内 10 位 A/D 转换<sup>[9]</sup>。一方面满足智能阀门定位器对采样精确度的要求, 进一步提升数据处理速度; 另一方面减轻主控器运算负担, 增强主控器运行准确、稳定性<sup>[10]</sup>。本文 MAX197 芯片所需供电电压为 5 V, 具有内部时钟, 每执行一次控制字的写入便进行输入信号量、通道号的选择等, 启动一次数据转换。

## 2 系统的软件设计

### 2.1 软件设计

定位器在实际工作校准的过程中一个重要的内容就是获取阀门所处工段与工况相适宜的 PID 参数, 主控器将阀位采样反馈值和设定目标值对比分析, 通过 PID 控制器调节并输出双极性脉宽调制(PWM)脉冲信号驱动压电阀动作, 调节气源进出阀门磨头气量, 使阀门实现精确定位。

常规 PID 算法自适应能力较差, 很难设置准确的 PID 参数, 难以达到精确控制的目的, 易引发往复波动现象。而且设置常规 PID 控制参数需要建立精确的数学模型, 在实际生产现场因为气源存在的不可控性、阀门动作过程中存在的复杂摩擦力、流体流动时的液动不平衡力、工艺工况控制的不稳定性等诸多复杂多变的外界非

线性时变因素影响,所以建立的数学模型都或多或少存在着一定的偏差,即设定适宜的控制系统 PID 参数非常困难。智能化控制中的模糊 PID 方式,不需要建立准确的数学模型,而是运用模糊推理的方式实现对被控对象的精确控制。具体地说,PID 模糊控制器就是不同的时刻输入量的组合与 PID 控制器的参数  $K_p, K_i, K_d$  之间的关系。阀门定位器处于工作状态时,根据输入控制器中偏差与偏差变化率的不同组合,控制器依据控制规则给出  $K_p, K_i, K_d$  的变化量,从而使阀门实现精确定位。本文提出采用正负 PWM 脉冲与模糊 PID 控制算法相结合的方法来解决实际往复波动问题。模糊 PID 控制典型框图如图 2 所示。

模糊控制器的设计准则是模糊规则,模糊规则是根据现场控制技术人员经验、系统本身特点总结出来的模糊条件语句的集合。模糊 PID 控制器中描述输入输出量的模糊状态词集一般有:“负大、负中、负小、零、正小、正中、正大”,英文缩写为“NB,NM,NS,O,PS,PM,PB”<sup>[11-12]</sup>。编写原则就是保证系统控制精确度和响应速度达到最佳控制状态。系统  $\Delta K_p$  模糊控制规则如表 1 所示。

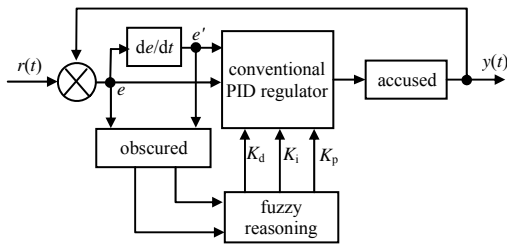


Fig.2 Typical block diagram of fuzzy PID control  
图 2 模糊 PID 控制典型框图

表 1  $\Delta K_p$  的模糊规则控制表

Table1 Fuzzy rule control of  $\Delta K_p$

		<i>e</i>						
		NB	NM	NS	O	PS	PM	PB
<i>e'</i>	NB	PB	PB	PM	PS	PS	O	O
	NM	PB	PB	PM	PS	PS	O	NS
	NS	PM	PM	PM	PS	O	NS	NS
	O	PM	PM	PS	O	NS	NS	NM
	PS	PS	PS	O	NS	NS	NM	NM
	PM	PS	O	NS	NS	NM	NM	NB
	PB	O	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

智能阀门定位器的主程序的功能是为各子程序构建系统执行整体框架,进行系统初始化以及设定系统执行步骤顺序。若要使用各子程序的功能,只需在总程序中调用具体执行代码即可<sup>[13]</sup>。当控制器开机上电后,控制系统立即开始各功能模块初始化(寄存器、中断、定时器),随后按照设计的控制框图顺序依次执行调控步骤,阀门阀位控制及显示等所有功能形成一个闭合的控制系统,来回往复循环直至系统掉电或者系统进行中断设置时停止,完成设置,退出中断后,系统便再次循环执行命令<sup>[14]</sup>。

2.2 仿真测试

首先,根据理论分析和定位器控制系统实践经验,建立定位器控制系统在不加控制、常规 PID、模糊 PID 三种控制模式下的阀门运动近似数学模型传递函数,其中  $G_1$  为调节阀阀杆运动数学模型;  $G_2$  为气动执行器数学模型;  $G_3$  为电气转换模拟量调节阀数学模型;  $H$  为反馈环节的数学模型<sup>[15]</sup>。建立传递函数如下:

$$G_1 = \frac{s}{m \cdot s^2 + \alpha \cdot s + k} = \frac{65}{0.05s^2 + s + 10} \tag{1}$$

$$G_2 = \frac{K}{T_1s + 1} = \frac{1}{11.8s + 3} \tag{2}$$

$$G_3 = \frac{k\omega^2}{s^2 + 2\xi\omega s + \omega^2} = \frac{50}{0.05s^2 + s + 11} \tag{3}$$

$$H(s) = 1 + \frac{1}{r} \tag{4}$$

式中:  $s = j\omega$  表示虚变量;  $\omega$  为角频率。其次,阀门控制系统及执行机构在阀位调控过程中,现场环境复杂多变,存在诸多干扰信号,皆会对控制系统阀位控制精确度产生较大影响,由式(4)在 Matlab 的 Simulink 模块中构建 3 种不同控制方式下带扰动信号的数学模型的传递函数仿真模型原理图。常规 PID 直接调用 PID 调节模块仿真,模糊 PID 控制是在 Fuzzy 模块下通过阀门位置偏差  $e$  和偏差变化率  $e'$  所构建的模糊控制器进行仿真。

仿真控制系统原理图在单位阶跃信号输入下系统的响应曲线如图 3 所示。分析图 3 可知,未加任何控制的响应曲线超调量很大,为 38%,调整过渡时间很长,为 6.5 s,且存在稳态偏差;常规 PID 控制响应曲线超调量减小为 18%,稳定过渡调整时间缩减为 4.5 s;将模糊 PID 控制器应用于定位器系统后,响应曲线已无超调量,稳定过渡调整时间最短。其次,在扰动信号作用下,控制系统会产生阀位抖动现象,未应用控制器抖动最为激烈,常规 PID 控制器作用下抖动有所缓解,但两种控制方式下响应速度较为迟缓,稳定过渡时间也较长,模糊 PID 控制响应速度最快,稳定过渡时间最短,扰动信号很快被抚平消失,并无稳态误差地稳定至目标阀位处。由此说明:模糊 PID 控制较其他两种控制能非常有效地改善系统动稳态性能,减小系统超调量,加快系统的响

应速度，无稳态误差调节，并且能抑制扰动信号，使得定位器系统响应速度更快，稳定性更好，准确度更高，对阀门长久稳定运行起着至关重要的作用。

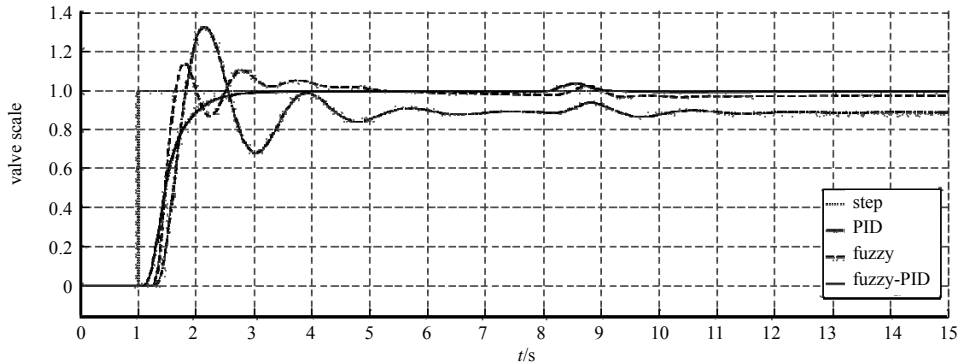


Fig.3 Simulation curves of valve positioner system under the action of interference signal  
图 3 干扰信号作用下阀门定位器系统仿真曲线图

2.3 整机调校、实验

分别在常规 PID、模糊 PID 两种控制方式下，将设计控制电路板安装应用于气动调节阀阀门定位器控制系统并进行整机的性能测试，测试过程要求输出 100%的全开阀位开度，根据整机阀门动作联调测试时所记录的阀位开度行程数据，得阀位行程测试数据表 2；通过记录阀位行程测试数据表 2 在 Matlab 中进行仿真，得仿真结果如图 4 所示；通过与系统仿真测试图 3 对比得出：两种不同的控制方式，阀门全开调控过程基本与系统阶跃响应曲线相吻合；其中存在的未吻合部分主要是：阀门最大实际开度只能达到 110%，是由于阀门在实际使用中存在着阀位限位部件的缘故。

综上所述，模糊 PID 控制是适合定位器系统的，系统性能明显改善。设计的智能阀门定位器性能完全满足设计要求。

表 2 阀位行程测试数据表

Table2 Test data of valve position

adjust the time/s	valve position opening/%	
	regular PID	fuzzy PID
0.5	55	70
1.0	110	95
1.5	90	100
2.0	110	100
2.5	103	100
3.0	105	100
3.5	104	100
4.0	103	100
4.5	102	100
5.0	101	100
5.5	100	100
6.0	100	100
6.5	100	100
7.0	100	100
7.5	100	100
8.0	100	100

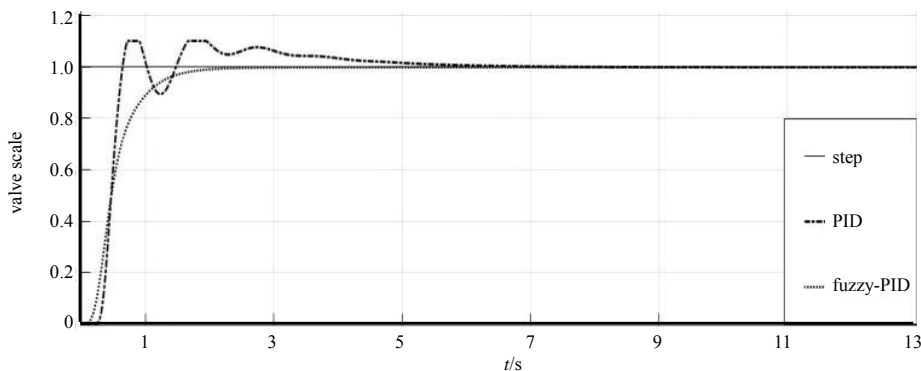


Fig.4 Simulation of valve position test data  
图 4 阀位行程测试数据仿真图

3 结论

在硬件控制电路板设计中，确定硬件总体方案，主要包括主控核心控制器 STC12C5A60S2，其性能稳定，抗干扰能力强，并完成其外围电路(电源、按键显示、A/D 转换等模块)等设计。使系统能够稳定工作，实现阀门阀位开度的精确控制。在软件算法控制方面采用智能化模糊 PID 控制替代传统常规 PID 算法的设计，明显提高了阀门定位器的控制精确度，改善了系统的动态及稳态响应特性，使得控制系统响应速度更快，过渡时间更短，抗干扰能力更强，从而达到精确、稳定、快速的控制效果，有效避免阀门波动现象，实现了设计目标。

## 参考文献:

- [1] 吴凯飞,谢力民. 分析气动智能阀门定位器设计与实现[J]. 化工管理, 2017(36):195. (WU Kaifei,XIE Limin. Design and implementation of analytical pneumatic intelligent valve positioner[J]. Chemical Management, 2017(36):195.)
- [2] 吴国栋. 新型霍尔式智能阀门定位器原理与设计[J]. 电子制作, 2017(1):27-28. (WU Guodong. The principle and design of a new Hall-type intelligent valve positioner[J]. Electronics, 2017(1):27-28.)
- [3] 鲍飞鸿,车珊,秦风,等. 基于 PID 方法的自动增益控制[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2016,14(1):112-116. (BAO Feihong,CHE Shan,QIN Feng,et al. Automatic gain control based on PID method[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2016,14(1):112-116.)
- [4] 丁建立. 快速分体改造智能阀门定位器在锅炉二次风门中的应用[J]. 中国设备工程, 2018(8):50-51. (DING Jianli. Application of fast split-body intelligent valve positioner in boiler secondary damper[J]. China Equipment Engineering, 2018(8):50-51.)
- [5] 朱天宇,董全林,刘日. 基于 MSP430 的智能阀门定位器研制[J]. 现代电子技术, 2018,41(12):1-5. (ZHU Tianyu, DONG Quanlin,LIU Ri. Development of intelligent valve positioner based on MSP430[J]. Modern Electronic Technology, 2018,41(12):1-5.)
- [6] 荆学东,李飞,姜健,等. 基于 STC12C5A60S2 单片机的智能阀门定位器的设计[J]. 煤炭技术, 2015,34(6):221-223. (JING Xuedong,LI Fei,JIANG Jian,et al. Design of intelligent valve positioner based on STC12C5A60S2 single chip computer[J]. Coal Technology, 2015,34(6):221-223.)
- [7] 刘晔,王笑波,王昕. 一类基于 Expert-PID 的智能阀门定位器控制方法[J]. 控制工程, 2019,26(1):87-91. (LIU Ye,WANG Xiaobo,WANG Xin. A kind of intelligent valve positioner control method based on expert-PID[J]. Control Engineering, 2019,26(1):87-91.)
- [8] 潘宇轩,董全林,张玉莲,等. 基于 SPI 驱动的智能调节阀控制系统研究[J]. 现代电子技术, 2018,41(10):1-4. (PAN Yuxuan,DONG Quanlin,ZHANG Yulian,et al. Research on intelligent regulating valve control system based on SPI drive[J]. Modern Electronics Technique, 2018,41(10):1-4.)
- [9] MUHAMMAD Rehan,SYED Waqad Ali Hashmi,MUHAMMAD Aamir,et al. Designing and implementation of industrial process control and monitoring system using fuzzy PID and WSN[J]. Wireless Personal Communications, 2015,85(2):483-498.
- [10] 朱天宇,董全林,刘日. 模糊神经网络在阀门开度控制中的应用[J]. 仪表技术与传感器, 2019(2):94-98,103. (ZHU Tianyu,DONG Quanlin,LIU Ri. Application of fuzzy neural network in valve opening control[J]. Instrument Technology and Sensors, 2019(2):94-98,103.)
- [11] 李焱琪. 基于模糊 PID 控制的智能电气阀门定位器的实现[J]. 电子技术与软件工程, 2017(17):94. (LI Yanqi. Implementation of intelligent electric valve positioner based on fuzzy PTD control[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2017(17):94.)
- [12] 王庭康. 智能阀门定位器流量特性非线性修正及控制[J]. 铜业工程, 2018(1):87-89,94. (WANG Tingkang. Nonlinear correction and control of flow characteristics of intelligent valve positioner[J]. Copper Engineering, 2018(1):87-89,94.)
- [13] 张浩,王昕,王振雷,等. 基于模糊 Smith 控制的智能阀门定位器[J]. 实验室研究与探索, 2017,36(5):4-8,13. (ZHANG Hao,WANG Xin,WANG Zhenlei,et al. Intelligent valve positioner based on fuzzy Smith control[J]. Laboratory Research and Exploration, 2017,36(5):4-8,13.)
- [14] RAJAGOPAL Karthikeyan,JAHANSHAH Hadi,VARAN Metin,et al. A hyperchaotic memristor oscillator with fuzzy based chaos control and LQR based chaos synchronization[J]. AEUE-International Journal of Electronics and Communications, 2018(94):55-68.
- [15] SLUOKAT CHOUDHURY M A A,THORNHILL N F,SHAH S L. Modelling valve stiction[J]. Control Engineering Practice, 2015,13(5):641-658.