

文章编号:1001-5132 (2009) 03-0309-04

# PID 模糊镇定算法在液位控制系统中的应用

俞海珍<sup>1</sup>, 张维山<sup>2</sup>, 史旭华<sup>1</sup>

(1.宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211; 2.台州学院 物理与电子工程学院, 浙江 台州 318000)

**摘要:** 鉴于液位过程控制系统是时变、非线性、多干扰的复杂系统, 因此通过对过程控制装置中双水箱液位系统的分析, 建立相应控制策略, 提出采用 PID 模糊镇定算法, 并基于 MATLAB 仿真和 MCGS 组态软件进行相关应用实现. 仿真和应用实现效果均表明: 采用模糊 PID 控制的下水箱液位较常规 PID 控制具有响应速度快, 且能较快地达到稳定, 从而改善系统的性能.

**关键词:** PID 控制; 模糊 PID 控制; MCGS

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

液位控制是工业生产中经常遇到的控制对象, 由于液体本身属性及控制机构磨擦、噪声等的影响, 控制对象具有一定纯滞后和容量滞后的特点, 液位上升过程缓慢, 呈现非线性. 因此, 液位控制装置的可靠性与控制方案的准确性是影响整个系统性能的关键. 用常规 PID 控制器进行控制时, 其效果并不理想, 系统响应的调节时间也较长.

由于模糊 PID 控制器既具有模糊控制灵活、适应性强的优点, 又具有常规 PID 控制精度高的特点, 在工业控制中已得到广泛的应用. 因此为克服常规 PID 控制的不足, 在常规 PID 基础上加上 1 个模糊调节环节, 将其与常规 PID 控制结合起来, 构成模糊 PID 控制, 在线对 PID 3 个参数进行整定.

笔者以控制系统的 MATLAB 仿真为前提<sup>[1]</sup>, 研究模糊 PID 控制效果, 并基于过程控制实验系统的双水箱液位系统, 采用 MCGS 组态软件实现, 在计算机控制系统上对模糊 PID 算法进行应用研究.

## 1 过程控制系统分析和控制策略<sup>[2]</sup>

AE2000A 双容水箱实验对象检测及执行装置如图 1 所示. 利用水泵将储水槽中的水输出, 通过

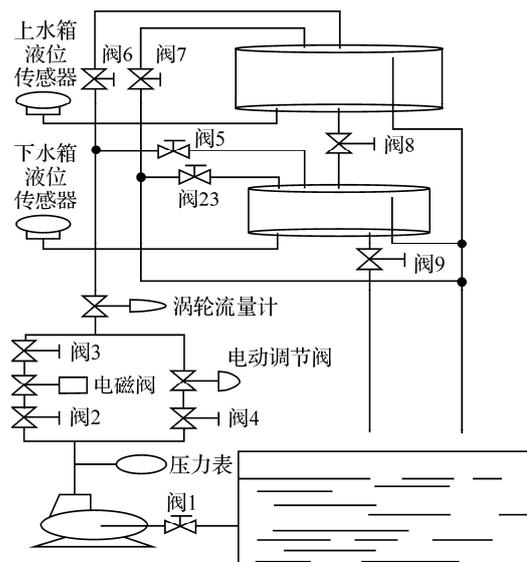


图 1 双容水箱实验对象检测及执行装置

电动调节阀调节上水箱进水流量,采用双闭环串级控制上、下水箱的液位,使下水箱液位保持恒定,液位变送器对上、下水箱液位进行实时测量.并使用串接控制可改善其调节过程动态性能,并且其副回路可以较快地消除作用于内回路的扰动.

本系统以下水箱液位为主调节参数,上、水箱液位为副调节参数,构成串级控制系统.当压力传感器检测的液位信号与给定液位值进行比较后,则输入模糊PID控制器,其输出作为比例积分调节器的给定值,当与上水箱液位传感器检测到的液位信号比较后,再送入比例积分调节器,其输出则可控制电动调节阀的开度,调节进水流量,实现水箱液位的控制.

## 2 模糊PID控制器的设计

### 2.1 模糊PID控制器

模糊PID控制器是以常规PID为基础,采用模糊推理思想,根据不同的偏差  $e$  和偏差变化率  $ec$  对PID参数进行在线自整定,控制器由2部分组成:常规PID控制部分和模糊推理的参数校正部分.模糊PID控制器的结构如图2所示.

基于过程控制实验系统,采用双容水箱液位作为被控对象,主调节器采用模糊PID控制,副调节器采用比例积分调节器的串级控制系统对水箱液位进行控制.以偏差  $e$  和偏差变化率  $ec$  作为模糊PID控制器的输入量,  $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$  为输出量在线调整PID参数.  $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5$  为比例因子.

模糊PID控制器调整PID参数计算<sup>[1]</sup>公式如下:

$$\begin{aligned} K_p &= K'_p + \Delta K_p, \\ K_i &= K'_i + \Delta K_i, \\ K_d &= K'_d + \Delta K_d, \end{aligned} \tag{1}$$

其中,  $K'_p, K'_i, K'_d$  为初始设定的PID参数;  $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$  为模糊控制器的3个输出,可以根据被控对象的状态自动调整PID的3个控制参数的值.

### 2.2 模糊控制的输入、输出变量及其语言描述

偏差  $e$  和偏差变化率  $ec$  为控制器输入量,偏差  $e = H_{\text{sample}(n)} - H_{\text{set}}$ . 其中,  $H_{\text{sample}(n)}$  为  $t + nT$  时刻采样获得的液位值;  $H_{\text{set}}$  为用户设定的液位值<sup>[3]</sup>. 模糊PID控制器中,偏差  $e$  变化范围为  $[-38, 38]$ , 偏差变化率  $ec$  变化范围为  $[-0.4, 0.4]$ . 将偏差  $e$  和偏差变化率  $ec$  模糊化为  $E$  和  $EC$ .  $E$  和  $EC$  的模糊论域均为  $\{-2, -1, 0, 1, 2\}$ , 其模糊子集均为  $\{NB, NS, Z, PS, PB\}$ .  $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$  的模糊论域取为  $\{-4,$

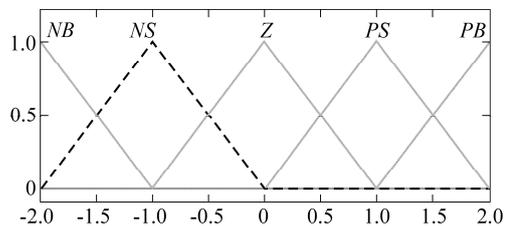


图3 输入  $e, ec$  的隶属度函数

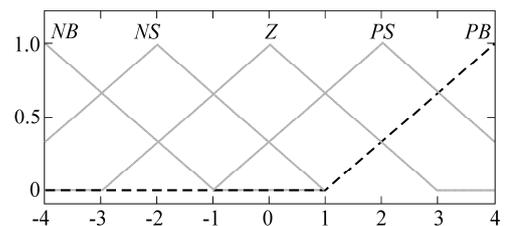


图4 输出  $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$  隶属度函数

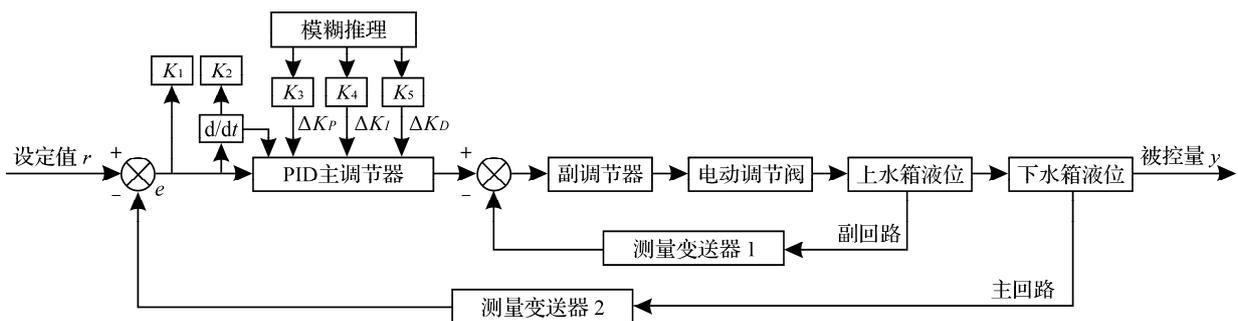


图2 模糊自适应PID控制结构

$\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$ , 其模糊子集均为  $\{NB, NS, Z, PS, PB\}$ , 子集中元素分别代表负大、负小、零、负小、正大. 隶属度函数形状均采用三角形, 函数关系如图 3 及图 4 所示.

### 2.3 模糊控制规则<sup>[4]</sup>

模糊控制器的核心是“IF...THEN”形式的模糊控制规则, 控制规则的选取直接关系到系统控制性能的优劣, 是设计的关键. PID 控制中的  $K_p, K_I, K_D$  具有以下特点:

(1) 比例增益  $K_p$  增大, 可加快响应速度, 减小系统稳态误差, 提高控制精度, 但是过大会使系统产生超调, 甚至导致不稳定.

(2) 积分作用主要是消除系统静态误差. 加强积分作用, 有利于减小系统静差, 但是  $K_I$  过大, 会加大超调, 甚至引起振荡;

(3) 微分作用可以改善动态性能. 增大微分增益  $K_D$ , 有利于加快系统响应, 使系统超调量减小, 稳定性增加; 但其对扰动敏感, 抑制了外扰能力减弱. 若  $K_D$  过大, 会使调节过程出现超调减速, 调节时间增长; 反之, 若  $K_D$  过小, 系统响应变慢, 稳定性变差.

根据上述分析并同时考虑到 3 个参数之间的相互影响, 因此建立了表 1 的控制规则表.

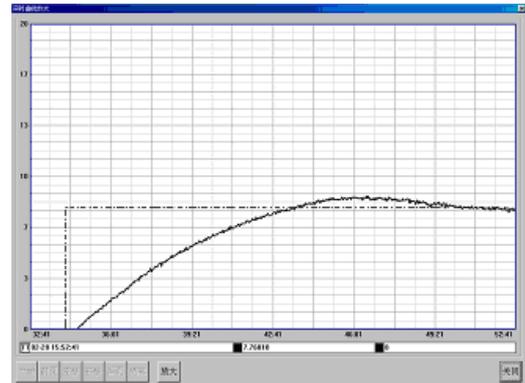
表 1  $\Delta K_p/\Delta K_I/\Delta K_D$  的模糊规则表

<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>Z</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
<i>NB</i>	<i>PB/NB/PS</i>	<i>PB/NB/NS</i>	<i>PS/NS/NS</i>	<i>PS/NS/NS</i>
<i>NS</i>	<i>PB/NB/Z</i>	<i>PS/NS/Z</i>	<i>PS/NS/Z</i>	<i>Z/Z/Z</i>
<i>Z</i>	<i>PS/NS/Z</i>	<i>PS/NS/Z</i>	<i>Z/Z/Z</i>	<i>NS/PS/Z</i>
<i>PS</i>	<i>PS/NS/Z</i>	<i>Z/Z/Z</i>	<i>NS/PS/Z</i>	<i>NS/PS/Z</i>
<i>PB</i>	<i>Z/Z/PB</i>	<i>NS/PS/PS</i>	<i>NS/PS/PS</i>	<i>NB/PB/PS</i>

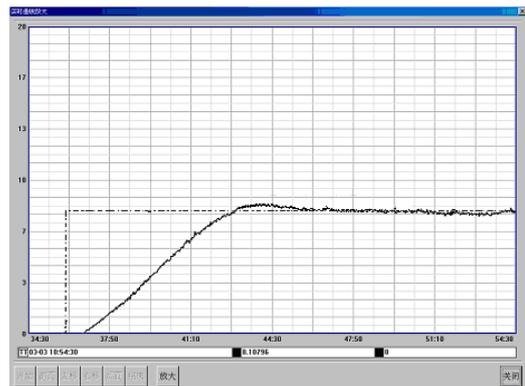
## 3 试验结果及分析<sup>[5-7]</sup>

本系统基于浙大中控公司 AE2000A 过程控制综合实验装置, 采用双容液位为被控对象, 液位测量采用扩散硅压力液位传感器, 由 ICP-7017 模拟量输入模块传入计算机, 调用模糊 PID 控制策略对

液位的设定值、实际测量值之间的误差及其变化率进行计算分析, 并根据模糊控制算法整定 PID 参数. 将处理后的数据通过 ICP-7024 模拟量输出模块向电动调节阀发出 4~20 mA 控制信号, 改变阀门开度来控制进水量, 从而达到对液位实时监控. 上位机监控软件采用 MCGS 工控组态软件. 分别用常规 PID 控制算法与模糊自适应 PID 控制算法进行试验, 根据理论分析和工程经验, 经过多次试验, 最后进行调整与完善, 其中 PID 参数分别为  $K'_p = 10, K'_I = 0.0424, K'_D = 0$ ; 模糊自适应 PID 控制器比例因子  $K_1 = 0.4, K_2 = 15, K_3 = 0.05, K_4 = 0.03, K_5 = 0.05$ . 得到下水箱液位阶跃响应曲线如图 5 所示.



(a) 常规 PID 算法



(b) 模糊自适应 PID 控制算法

图 5 下水箱液位阶跃响应曲线(虚线为设定值、实线为测量值)

表 2 2 种算法控制性能指标比较

	超调量/%	上升时间/s	调节时间/s
常规 PID 控制	10	290	500
模糊自适应 PID 控制	3.75	212	320

根据图 5, 求取的控制性能指标见表 2.

由表 2 可知, 采用模糊自适应 PID 控制比常规 PID 控制各项指标均有提高, 上升时间减小 26.9%, 调节时间减小 36%, 超调量减小 62.5%. 因此, 采用模糊自适应 PID 控制下水箱液位阶跃响应速度加快, 系统能较快地达到稳态, 且超量量减小, 较大地改善了系统的动态性能, 体现出模糊自适应 PID 控制具有良好的适应能力和优良的控制效果.

#### 参考文献:

- [1] 刘金琨. 先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [2] 金以慧. 过程控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [3] 李兵, 方敏, 汪洪波. 模糊 PID 液位控制系统的设计与实现[J]. 合肥工业大学学报, 2006, 29(11):1 370-1 374.
- [4] 杨咏梅, 陈宁. 基于 MATLAB 的模糊自整定 PID 参数控制器的设计与仿真[J]. 微计算机信息, 2005, 12(1): 61-63.
- [5] 孙亚灿, 吴兴华. 模糊自适应 PID 算法在 MCGS 中的实现[J]. 控制工程, 2007, 14(2):157-160.
- [6] 杨大勇, 李鸣. 模糊 PID 控制在过程控制装置上的应用[J]. 控制系统, 2007, 23(10):20-22.
- [7] 曹光明, 吴迪, 张殿华. 基于模糊自适应 PID 的铸轧机结晶器液位控制系统[J]. 控制与决策, 2007, 22(4):399-407.

## Study on Fuzzy Self-tuning PID Control on Water Level Control System

YU Hai-zhen<sup>1</sup>, ZHANG Wei-shan<sup>2</sup>, SHI Xu-hua<sup>1</sup>

( 1.Faculty of Information Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.College of Physics and Electronic Engineering, Taizhou University, Taizhou 318000, China )

**Abstract:** The water level system of double tanks is analyzed as a time-variant, non-linear and multi-disturbance complex system. In this work, the control model is constructed and fuzzy self-tuning PID control is presented. Simulation results using MATLAB and MCGS software show that the water level controlled by the Fuzzy self-tuning PID controller can response fast and reach the stable state as quickly as that controlled by the conventional PID controller.

**Key words:** PID control; fuzzy self-tuning PID; MCGS

**CLC number:** TP301.6

**Document code:** A

(责任编辑 章践立)