

文章编号: 1671-1742(2006)02-0256-05

模糊 PID 控制器在水压机控制系统中的应用

温海燕¹, 王增强²

(1. 广东水利水电职业技术学院计算机系, 广东 广州 510635; 2. 广东工业大学计算机学院, 广东 广州 510090)

摘要:介绍了模糊控制中的设计思想及方法,并采用模糊控制的方法来改进实际生产中 PID 控制的一些控制难点。将改进方法应用在一大型水压机控制系统中并在实际生产中取得了理想效果。

关键词:模糊控制;PID;水压机

中图分类号:TP273.4

文献标识码:A

目前,模糊控制理论及模糊控制系统的应用发展很快,显示出模糊控制在控制领域具有广阔的前景。模糊控制已成为智能控制的重要组成部分。在工业过程控制中,因为 PID 控制器所涉及的设计算法和控制结构简单,不要求非常精确的受控对象的数学模型,被广泛应用于工业过程控制中。但是,PID 控制器参数的确定尚需工程技术人员才能完成,对于存在时滞、非线性等因素的系统更难确定,调试过程中经常出现超调、振荡等影响系统正常运行的现象。模糊控制器具有不依赖控制对象精确的数学模型,减弱超调、防止振荡等优点。

在一些大型水压机的控制中,由于其大惯性和“水锤”效应,以及各环节的非线性特性,传统的 PID 控制很难改善控制品质。在调节 PID 时发现,积分作用在减小稳态误差的同时,却容易导致积分饱和;微分作用可以提高响应速度,但是对高频干扰特别敏感,甚至导致系统失稳。产生了诸如超调量大、摆动时间长,波动频繁,或调节“迟钝”等现象。针对这些缺陷,我们结合了模糊控制和 PID 控制思想,并将一些专家知识及熟练工人操作的经验应用到水压机控制系统之中,通过大量的试验及生产,达到了满意的控制效果。

1 钢管水压试验控制系统基本原理

系统中的大型水压机控制系统应用在中山某钢管厂的钢管水压试验机。水压、油压工作压力均可达到 400bar。试验钢管的管径从 200~2100mm 不等。试验时,由油压系统顶住挡板夹住钢管两端,然后向钢管内注水然后加压来检测钢管是否合格。

系统中,伺服阀控制的油压、水压的压差是一个关键控制量,压差过大可能造成钢管弯曲甚至伤亡事故;压差过小,会造成漏水,达不到检测目的。而钢管的承压能力、试验压力与管径、壁厚以及厂家要求相联系,不同种类的钢管试验时所采用的油、水压差区别很大,在升压时当超过 80bar 之后,升压速率很快,参数设置不当或者控制反应过慢都可能会造成较大事故。伺服阀的控制主要通过信号采集板反馈实际油压、水压,经计算得出期望伺服阀位置,再与实际位置相比较,并利用其偏差信号来控制伺服阀位置,从而控制油泵和水泵的启停,以达到调整油压和水压的大小。

此系统是德国进口的设备,原系统采用了传统的 PID 控制器,对一般的测试亦能达到较好的控制效果。但在实际应用中,当测试钢管口径较小时,PID 控制器的水压超调现象越来越明显,在小口径钢管大压力测试时,甚至水压的冲击使压力达到钢管所能承受压力的临界状态。经分析,发现原因在于对小口径的钢管进行测试时,管内水压上升很快,在关闭水泵后,由于“水锤”效应,使得测到的水压值还有一定的惯性,而 PID 控制计算需要一定的时间,且未考虑到惯性问题,从而造成了测试小口径钢管时的潜在危险性。由于模糊控制的鲁棒性、实时性较强,因此在对系统的改造过程中,在高压水阀的控制中运用了模糊控制技术,以提高系统的控制品质。在系统中,在水压上升到测试水压 60% 前,采用原来的 PID 算法对其进行控制;当超过预定水压的 60% 时,在原来控制算法的基础上加入模糊控制模块,把信号采集板采集到的水压与设定值相比较得出的水压偏差 e 、水压偏差的变化率 Δe 进行模糊化后,再由模糊控制算法进行模糊推理判断,根据不同的判断结果发出一定宽度的脉冲信号去控制水阀,从而使超调控制在理想范围之内。模糊闭环控制系统如图 1 所示。

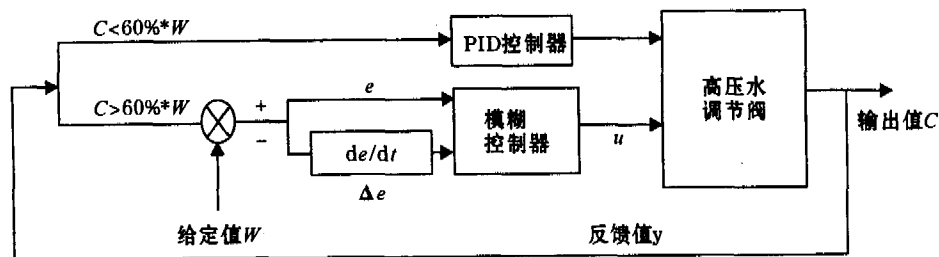


图1 模糊闭环控制结构图

2 模糊控制器的设计与使用

根据水压机在高压状态下对控制的时间敏感性,实现模糊控制时对算法有较高的实时性要求。采用模糊控制系统中常用的算法:CRI推理查表法。模糊控制器的设计步骤大体由以下几步完成。

2.1 模糊定量

模糊控制器采用目前广泛使用的二维模糊控制器,即以偏差 e 和偏差变化率 Δe 作为模糊控制输入量,这种方式不仅能保证系统控制的稳定性,还可减少阀门开合的调节量和振荡现象,以高压水阀的开启时间为模糊控制输出量 u 。

确定的模糊定量为:(1) e 为实际水压与设定水压偏差;(2) Δe 为水压偏差变化率;(3) u 为高压水阀的开启时间。

2.2 精确量的模糊化

取实际水压与设定水压偏差值 e 、水压偏差值的变化率 Δe 作为模糊控制器的输入条件。此处:

$$e(k) = y(k) - W$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$$

式中 W 为设定值, $y(k)$ 为第 k 时刻的水压值。只到实际水压为设定值的60%时,模糊控制才开始动作。即启动时, $y(k) = 0.6 * W$ 。

模糊化过程如下:

(1)离散论域:把连续论域离散化。即把观测到的偏差或偏差的变化率及输出的连续论域量化,将连续论域分成一个个小部分,每一个部分为一个元素。划分如下:

$$e: \{-5, -4, \dots, 4, 5\} \quad 11 \text{ 级}$$

$$\Delta e: \{-4, -3, \dots, 3, 4\} \quad 9 \text{ 级}$$

$$u: \{-4, -3, \dots, 3, 4\} \quad 9 \text{ 级}$$

(2)量化:将连续的精确量离散化成离散论域的值。对于偏差 e ,若观测到的实际偏差范围为 $[a, b]$,可按下式:

$$y = \frac{5 - (-5)}{b - a} \left(x - \frac{a + b}{2} \right)$$

将 $[a, b]$ 间变化的连续变量转化为 $[-5, 5]$ 之间的离散变量。

在系统中, e 的实际偏差范围为 $[-50, 4]$ 。因此,通过上式,可得 e 的量化公式为:

$$y = \frac{5}{27}(x + 23) \quad (1)$$

同样,如果观测到的实际偏差变化率范围为 $[a, b]$,可按式转化:

$$y = \frac{4 - (-4)}{b - a} \left(x - \frac{a + b}{2} \right)$$

系统中, Δe 的实际偏差范围为 $[0, 10]$ 。则可得 Δe 的量化公式为:

$$y = \frac{4}{5}(x - 5) \quad (2)$$

在量化过程中,出现取值超过边界情况即按边界取值。取整的方式为:

$$y = \text{INT}[y + \text{SGN}(y) * 0.4]$$

(3)模糊化:即在给定的有限论域内确定模糊量的个数及隶属函数。

系统中,对于输入变量 e ,其模糊集合记作: $T(e) = \{NB, NS, Z, PS, PB\}$ 。式中, NB 表示“负大”, NS 表示“负小”, Z 表示“中”, PS 表示“正小”, PB = “正大”。输入变量 e 的隶属度如图2所示。

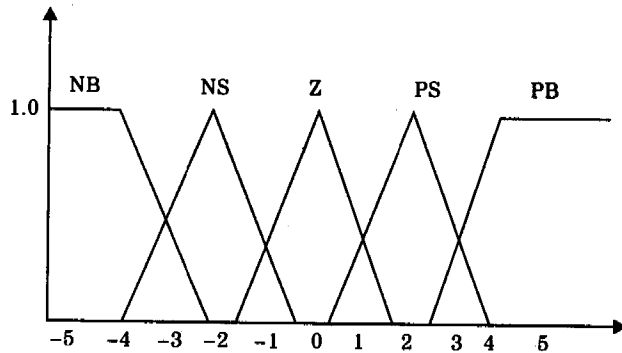


图2 输入变量 e 的隶属度

根据它的隶属度将其模糊化,得到误差 e 的模糊表,如表1所示。

表1 误差 e 的模糊化表

	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	1
PS	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0
Z	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0
NS	0	0.1	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0
NB	1	0.9	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0

对输入变量 Δe 及输出变量 u ,其模糊集合则记作: $T(\Delta e) = \{NB, NS, Z, PS, PB\}$, $T(u) = \{NB, NS, Z, PS, PB\}$,其隶属度同为图3所示。本例中误差变化率 Δe 和控制量 U 的隶属度一样。

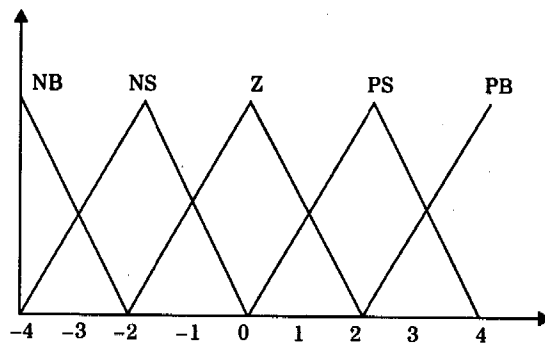


图3 输入变量 Δe 、输出变量 u 的隶属度

根据它们的隶属度将其模糊化,得到对应的模糊表,如表2所示。

表2 输入 Δe 和输出 u 的模糊化表

	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
PB	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1
PS	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0
Z	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0
NS	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0
NB	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0

2.3 确定模糊规则

模糊控制是建立在一系列类似于 IF...THEN...的模糊控制规则基础上的。这些规则是人对被控对象进行控制时的经验总结,往往是一些专家知识或熟练工人的经验。根据高压水流量的参数特点和现场实际操作经验,总结出模糊控制规则表,如表3所示。

表 3 模糊控制规则表

U		e				
		NB	NS	Z	PS	PB
Δe	NB	PB	PB	PS	PS	PS
	NS	PB	PS	PS	Z	NS
	Z	PS	PS	Z	NS	NS
	PS	PS	Z	NS	NS	NB
	PB	NS	NS	NB	NB	NB

对于系统的二维模糊控制结构,采用了二维模糊语句,即使用“IF $e = A_i$ AND $De = B_j$ THEN $U = C_{ij}$ ”为模糊控制规则。其中:

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

e 是偏差, A_i 为偏差的语言变量值;

De 是偏差变化率, B_j 为偏差变化率的语言变量值;

U 是控制量, C_{ij} 是对应于 A_i 和 B_j 的控制量的语言变量值。

2.4 形成控制表

因为系统对实时性要求很高,如果在运行过程中临时求控制量,将会降低系统的反应时间,所以系统采用了CRI推理的直接求取法来求取控制量从而产生控制表。这样在实际控制中,只要执行对输入量量化和查表这两个步骤,就可以得到控制值,提高系统的实时性。

控制表形成步骤如下:

- (1) 确定两个输入变量 e 和以及 Δe 输出变量 u 的模糊化表,并确定控制规则;
- (2) 选择某一个 e 和 Δe 的不同输入值;
- (3) 查 e 的模糊化表和 Δe 的模糊化表,得到对应的前件集合;
- (4) 根据得到的多个前件,分别查控制规则表,得到对应输出 u 的模糊化值;
- (5) 根据 u 的模糊输出值,查 u 的模糊化表,得到每个前件对应的一个一维向量,其中向量的每一个值是由模糊化表查到的对应的 e 、 Δe 和 u 的值的交(即最小值);
- (6) 将得到的多个一维向量进行并的运算,得到最终的一个一维向量;
- (7) 根据重心法,采取五舍六入的方法计算出 u 的最终精确输出;
- (8) 若所有的 e 与 Δe 的组合都已经算完,结束;否则跳(2)继续执行。

根据以上步骤得到的控制表如表 4 所示。

表 4 模糊控制输出表

U	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
-2	3	2	3	2	1	0	0	-1	-3
-1	3	2	3	2	1	0	-1	-2	-3
0	3	2	1	0	0	0	-1	-2	-3
1	3	2	1	0	-1	-2	-3	-2	-3
2	3	1	0	-1	-3	-2	-3	-2	-3

将此控制表存储在控制计算机中,在实际控制时,只要通过对输入量量化和查表两个步骤,就可以得到控制值。控制计算机再根据不同的控制值,输出不同宽度的脉冲信号,从而实现对高压水阀的控制。这种方法简单方便,实时性好。

3 控制结果对比

图 4 为一小口径石油管道进行 120bar 压力测试时,分别使用 PID 控制和模糊控制的水压力测试过程。在相同条件下,PID 控制有较大的超调量,这是生产过程中所不愿见到的。使用模糊控制后,超调明显改善。虽然在上升时间方面,模糊控制较 PID 慢,但在这个环节是生产所允许的。

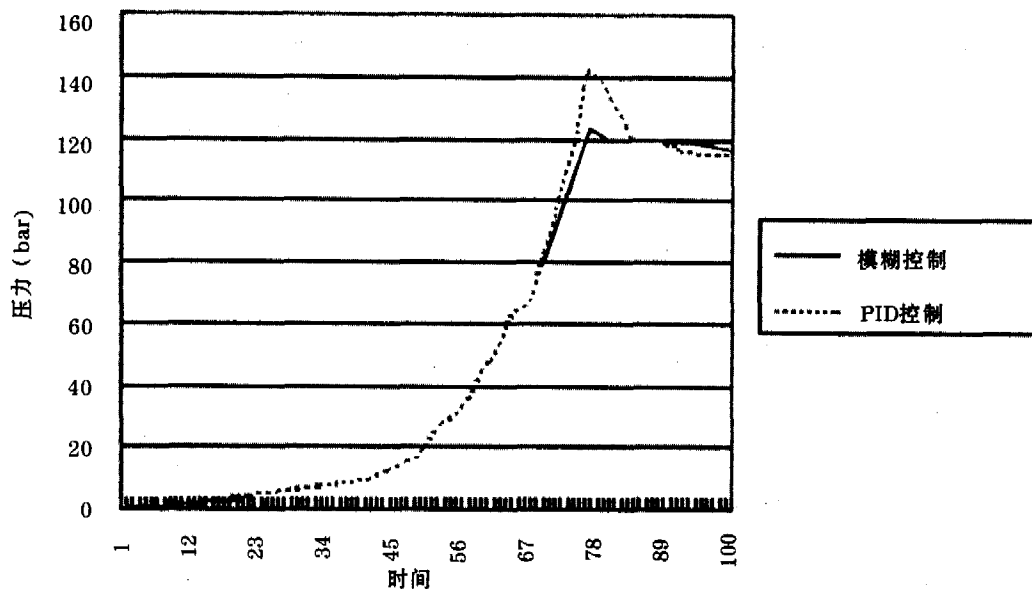


图4 钢管水压试验机模糊控制与PID控制对比图

4 结束语

由于大型水压调节系统存在非最小相位环节、模型参数随工况变化而变化以及过程控制的快速性要求,常规的PID调节器难以保证系统在任何工况下始终具有良好性能。模糊控制系统在总结专家经验的基础上,较好的实现了对高压水的控制,不仅解决了超调的问题,而且压力段工作过程的稳定度好,为安全生产创造了条件。由此可见,对一些复杂非线性系统使用模糊控制的方法,不失为一种好的策略。

参考文献:

- [1] 余永权,曾碧.单片机模糊逻辑控制[M].北京:北京航空航天大学出版社,1995.
- [2] 张乃尧,阎平凡.神经网络与模糊控制[M].北京:清华大学出版社,1998.
- [3] 张智星,孙春在,水谷英二.神经——模糊和软计算[M].西安:西安交通大学出版社,2000.
- [4] 何平,王鸿绪.模糊控制器的设计及应用[M].北京:科学出版社,1997.
- [5] 刘增良,刘有才.模糊逻辑与神经网络——理论研究与探索[M].北京:北京航空航天大学出版社,1996.

Application of fuzzy PID controller to control system of water press

WEN Hai-yan¹, WANG Zeng-qiang²

(1. Guangdong Technical College, Guangzhou 510090, China; 2. Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: A Fuzzy controller is designed using two-inputs-one-output fuzzy control mode. The design method and process of a fuzzy controller is given. The fuzzy controller used in a water press control system achieves a perfect effect during the production.

Key words: fuzzy control; PID; water press