

文献标识码: B 文章编号: 1003-0492 (2021) 07-075-05 中图分类号: TP18

# 智能方法在PID参数调整中的应用

Intelligence Method in the PID Parameters Adjustment of Application

★于海军 (东营华泰化工集团有限公司, 山东 东营 257091)

★王睿 (吉林电力股份有限公司四平热电公司, 吉林 四平 136001)

**摘要:** 本文介绍了智能控制的概念、特点和主要分类以及智能控制与PID控制的结合, 并以锅炉汽包水位控制系统为仿真对象, 通过MATLAB仿真, 着重介绍了模糊PID控制的研究。以模糊PID控制和传统PID控制分别对仿真对象进行控制, 通过仿真结果进一步论述智能控制与PID控制结合, 能够克服PID对复杂系统控制效果差的缺点, 实现PID参数在线调整, 从而达到良好的控制效果。

**关键词:** 智能控制; 智能PID; 模糊PID控制; 锅炉汽包水位仿真控制

**Abstract:** This paper introduces the intelligent control of the concept, characteristics and main classification, and intelligent control and PID combination. And with the boiler drum water level control system for simulation object, through the simulation of MATLAB, introduces fuzzy PID control. With fuzzy PID and the traditional PID control simulation object, respectively, through the simulation results further discusses intelligent control and PID control union, can overcome many variables, many of the PID control effect to complex system time-varying the poor quality, solve the PID parameters adjustment online, thus achieved the good control effect.

**Key words:** Intelligent control; Intelligent PID; Fuzzy PID control; Boiler drum water level simulation control

## 1 引言

20世纪以来, 控制科学与技术得到了迅速发展, 由研究单输入单输出被控对象的经典控制理论, 发展形成了研究多输入多输出被控对象的现代控制理论。20世纪60年代, 由于空间技术、海洋工程和机器人技术发展的需要, 控制领域面临着被控对象的高度复杂性和不确定性, 以及人们对控制性能要求越来越高的挑战。被控对象的高度复杂性和不确定性主要表现为对象的高维、高度非线性和不确定性、高噪声干扰、强耦合、系统工

作点动态突变性, 以及分散的传感元件与执行元件、分层和分散的决策机构、复杂的信息模式和庞大的数据量。面对复杂的对象, 复杂的任务和复杂的环境, 用传统控制的理论和方法去解决是不可能的。其原因有三点: (1) 传统的控制理论都是建立在以微分和积分为工具的精确数学模型之上的, 而复杂系统的复杂性和不确定性都难以用精确的数学模型描述, 否则就会使原问题丢失很多信息。(2) 传统的控制理论虽然也有办法应对控制对象的不确定性和复杂性, 保证控制系统的控制质量不变, 达到优化控制的目的, 但其优化控制的范围极为有限。(3) 传统的控制系统要求输入的信息比较单一, 而现代的系统要面对复杂系统以各种形式将周围环境信息输入的状况, 并将各种信息进行融合、分析和推理, 再随环境与条件的变化, 相应地采取对策或行动。传统的控制策略单一, 不能解决高层决策问题, 智能控制 (Intelligent Control) 应运而生<sup>[10]</sup>。

智能控制是一门新兴的理论和新技术, 是传统控制发展的高级阶段, 主要用来解决传统方法难以解决的控制对象参数大范围变化的问题。智能控制的概念和原理是针对被控对象及其环境、控制目标或任务的复杂性和不确定性而提出来的。目前对“智能控制”这一术语还没有确切的定义, IEEE控制系统协会归纳为: 智能控制系统必须具有模拟人类学习和自适应的能力。定性地说, 智能控制系统应具有学习、记忆和大范围的自适应和自组织能力; 能够及时地适应不断变化的环境; 能有效地处理各种信息, 以减小不确定性; 能以安全和可靠的方式进行规划、生产和执行控制动作而达到预定的目标和良好的性能指标<sup>[10]</sup>。

从“智能控制”概念的提出至今,各专家学者提出了各种智能控制理论,其中应用较多的有模糊逻辑、神经网络、专家系统、遗传算法等理论和自适应控制、自组织控制、自学习控制等技术。

汽包水位是锅炉运行中的重要参数,同时,它还是衡量锅炉汽水系统物质是否平衡的标志。维持锅炉汽包水位在规定的范围内,是保证锅炉安全运行的必要条件,也是锅炉正常运行的主要指标之一。本文基于模糊自适应PID控制实现对汽包液位控制策略的优化,并通过Matlab仿真和工程实践两种方式验证了控制策略的有效性。

## 2 功能设计

### 2.1 模糊自适应PID控制器原理

采用人工智能技术,综合专家或者现场操作人员的知识和经验构成知识库,以模仿人类的思维决策过程,实现自动调整PID控制参数的模糊自适应PID,它可以将精确的问题模糊化,并运用模糊推理和解模糊化处理,实现对PID参数的最佳调整<sup>[3]</sup>。模糊自适应PID控制现在已经有多种结构方式,但原理基本一致,其结构原理如图1所示。

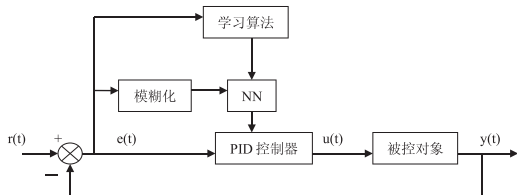


图1 模糊自适应PID控制器结构图

模糊自适应PID控制由常规PID控制和模糊推理控制两部分组成,以偏差和偏差变化率作为模糊控制器的输入,根据模糊控制规则对PID参数进行自适应调整,以满足不同偏差和偏差变化率对控制参数的要求,真正实现了模糊控制和PID控制的有机结合。

### 2.2 模糊自适应汽包液位PID控制器的设计

锅炉汽包水位控制系统的结构如图2所示。锅炉汽包水位工作原理为:冷水通过给水母管经调节水阀注入锅炉的汽包中,汽包经燃料加热产生蒸汽,蒸汽又经下降管路、上升管路和蒸汽母管输送给每个用户。汽包水位自动控制的任务就是控制给水流量,使其适应蒸发量

的变化,维持汽包水位在允许的范围内。水位传感器检测到确切的汽包水位后,经A/D转换将信号传送给计算机,计算机将实际水位与设定水位比较得到相应输送信号,又经D/A模块转换成驱动机构能接受的信号,调节水阀的开启度来调节进水量,从而达到调节汽包水位的目的。

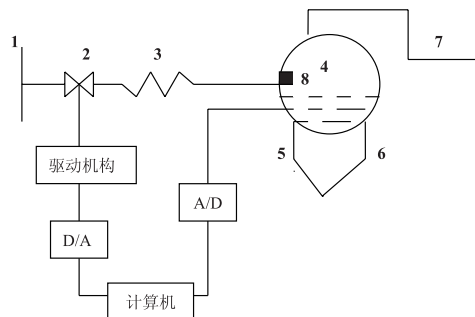


图2 系统结构原理图

1.给水母管; 2.调节阀; 3.给水预热管; 4.汽包; 5.下降管路; 6.上升管路; 7.蒸汽母管; 8.水位传感器

目前常用的汽包水位控制采用三冲量控制方式,它是在传统单回路PID控制的基础上,引入串级和前馈控制环节,构成前馈-反馈控制系统。在负荷比较稳定、燃烧比较平稳的条件下,由常规PID控制器构成的串级三冲量控制系统对于虚假水位和给流量的波动有较强的处理能力,但是当负荷发生较大变化时,常规的串级三冲量系统的控制质量就会明显下降,出现超调量增大、振荡加剧等现象,不利于锅炉的安全、经济运行。针对这一问题,将模糊自整定PID算法应用于三冲量控制系统,以实现锅炉汽包水位控制品质的改善<sup>[18]</sup>。

锅炉汽包水位模糊自适应三冲量控制系统如图3所示。系统在给水调节过程中,引入了三个测量信号,分别是汽包水位、给水流量和蒸汽流量。该系统是在常规三冲量控制系统的基础上,用模糊自适应PID控制器替代传统的PID控制器,并以此作为系统的主调节器,该调节器可以实现控制器参数的自整定。整个系统由两个闭合回路和一个前馈部分组成。其中内回路由给水流量调节器、执行器和给水流量变送器组成,称为给水流量回路,该回路的作用是消除给水侧的扰动,稳定给水量,在系统中为辅回路;外回路由模糊控制器、整个给水回路、对象通道和汽包水位变送器组成,称为水位回路,在系统中为主回路,其作用是消除各种扰动对水位

的影响,维持汽包水位接近给定值。同时系统还引入了蒸汽流量信号作为前馈信号,其目的是克服虚假水位所引起的调节机构误动作,并且与给水流量信号配合,达到给定水位。

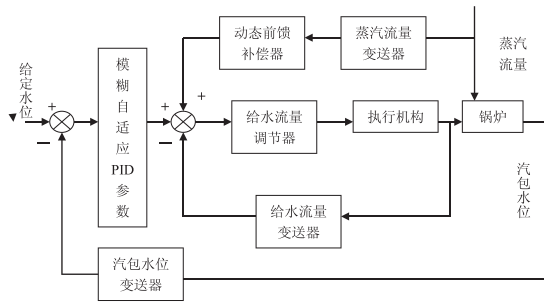


图3 汽包水位模糊自适应PID三冲量控制系统原理图

自校正模糊PID控制器用具有良好特性的模糊控制器取代了常规PID控制器,使得可以对PID参数进行在线修改,从而使被控对象有更好的性能<sup>[6]</sup>。

模糊在线自校正PID参数控制器原理为根据偏差和偏差的变化率,不断在线修改PID参数的 $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ ,即以汽包水位的误差和误差变化率作为模糊控制器的输入量。为满足不同的误差和误差变化率对控制器参数的不同要求,根据模糊合成推理设计PID参数的模糊矩阵表,查处修正参数,再代入式(1)~(3)计算:

$$k_p = \Delta k_p + k_p^* \quad (1)$$

$$k_i = \Delta k_i + k_i^* \quad (2)$$

$$k_d = \Delta k_d + k_d^* \quad (3)$$

式中: $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ 为PID的三个控制参数的取值; $k_p^*$ 、 $k_i^*$ 、 $k_d^*$ 为PID参数的基准值; $\Delta k_p$ 、 $\Delta k_i$ 、 $\Delta k_d$ 为PID参数的校正值。PID调节器的输出值给到锅炉给水流量调节器<sup>[6]</sup>。

### 3 仿真及实例验证

#### 3.1 仿真验证

##### 3.1.1 仿真模型的确定

在锅炉汽包水位三冲量控制系统中,采用以下仿真模型<sup>[22]</sup>:

$$\frac{L(s)}{W(s)} = \frac{0.0529}{s(8.5s+1)} \quad (4)$$

蒸汽流量D与水位L的传递函数如式(5)所示:

$$\frac{L(s)}{D(s)} = \frac{2.613}{(6.7s+1)^2} - \frac{0.0747}{s} \quad (5)$$

执行器传递函数如式(6)所示:

$$G(s) = \frac{4.5}{0.3895s+1} \quad (6)$$

给水流量变送器传递函数如式(7)所示:

$$G_w(s) = \frac{0.05}{0.3s+1} \quad (7)$$

汽包水位变送器传递函数如式(8)所示:

$$G_h(s) = \frac{1.01}{0.36s+1} \quad (8)$$

根据前馈补偿器的补偿原理,在完全补偿情况下,根据前述选取的模型函数可得式(9):

$$W_b(s) = \frac{-11.05s^5 - 65.169s^4 - 35.394s^3 - 1.98s^2 + 0.153s}{12.17s^4 + 7.18s^3 + 1.365s^2 + 0.09s + 0.00078} \quad (9)$$

即动态前馈补偿。

##### 3.1.2 Simulink仿真

PID初始参数为: $k_p^*=1.411$ 、 $k_i^*=0.014$ 、 $k_d^*=4.841$

利用MATLAB中的Simulink平台组建的模糊自适应PID三冲量和常规PID三冲量控制系统仿真方框图如图4所示。在Simulink模型编辑器中,按图4挑选模块、连线、修改参数。模糊自适应PID三冲量控制系统仿真中最核心的部分是模糊判决器。打开已经保存好的fuzzypid.fis,点击File-Export-To Workspace,把这个判决器添加到工作空间。双击Fuzzy Logic Controller,在FIS File or Structure中输入做好的fuzzypid。

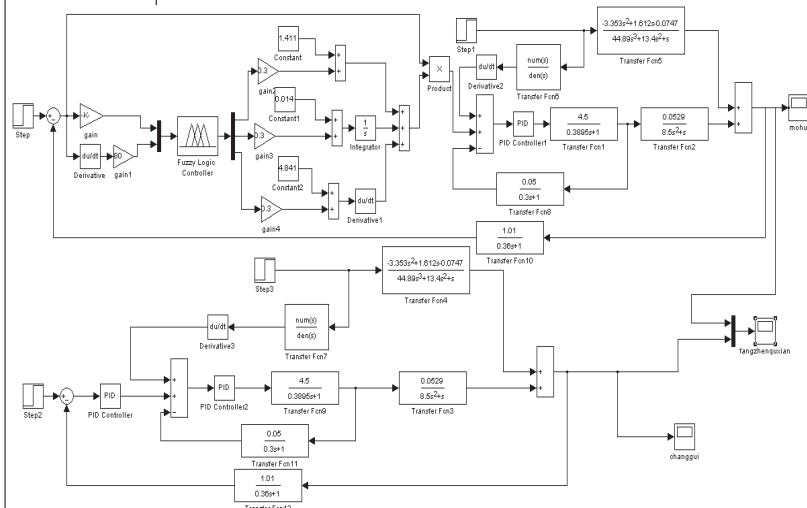


图4 模糊自适应PID三冲量控制系统仿真框图

其中,给水扰动设定为1,蒸汽流量扰动设定为0.2,在350s时加入。

保存后，运行上述仿真。可以得到给水扰动和蒸汽流量扰动下的系统的输出曲线，如图5所示。

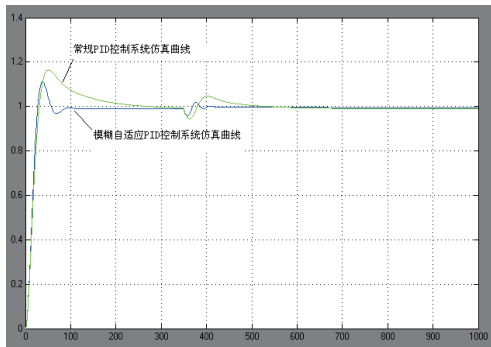


图5 模糊自适应和常规PID控制系统仿真曲线图

从图5的仿真曲线可以看出，常规PID控制下，超调量为16.4%，调整时间为185s，上升时间为30.6s。模糊自适应PID控制下，超调量为11.2%，调整时间为80s，上升时间为27.4s。

在控制过程中，350s时加入幅值为0.2的阶跃干扰，通过对蒸汽干扰的仿真实验及控制性能可以看出，模糊自适应PID在外界干扰下的控制效果明显优于常规PID控制。模糊自适应PID控制能够对一些不确定因素及干扰进行有效控制，具有很好的适应能力。

保持其他传递函数不变，将执行器传递函数改为式

$$(10) : G(s) = \frac{2}{2s^2 + s + 1} \quad (10)$$

得到的仿真曲线如图6所示。

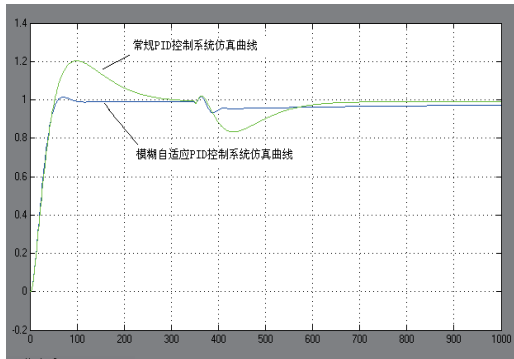


图6 改变被控对象模型后模糊自适应和常规PID控制系统仿真曲线图

从图6的仿真曲线图可以看出，改变了被控对象模型后，常规PID控制系统的超调量上升到20%，调整时间为250s，上升时间为52.7s。而模糊自适应PID控制

系统的超调量为1.4%，调整时间为55s，上升时间为60s。常规PID输出曲线出现较大的超调，同时调整时间和上升时间都增加，控制品质变差。而模糊自适应PID控制系统各动态性能指标总体来看并没有变差，仍然有很好的控制效果。当出现蒸汽扰动时，常规PID出现了较大幅度的振荡，控制品质明显不如模糊自适应PID效果好。

### 3.2 实例验证

某热电基础扩建工程采用循环流化床锅炉，额定负荷280t/h。采取本文提供的控制策略前，采用传统的三冲量控制方式，如图7所示，汽包液位超调量较大，一旦出现变负荷或外扰工况，系统需多个调整周期才能恢复稳定，且在实际运行中多次出现手动现象。

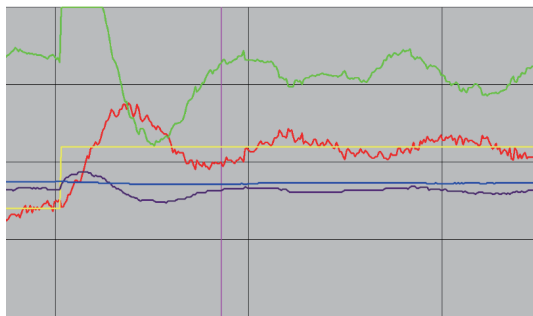


图7 优化前汽包液位控制曲线

运用模糊自适应PID优化算法后，如图8所示，汽包液位控制平稳，在定值阶跃扰动试验中，各项参数指标远优于火电厂模拟量验收标准，在出现变负荷或外扰工况时，系统仍然具备较好的鲁棒性，实现了汽包液位的稳定快速响应。

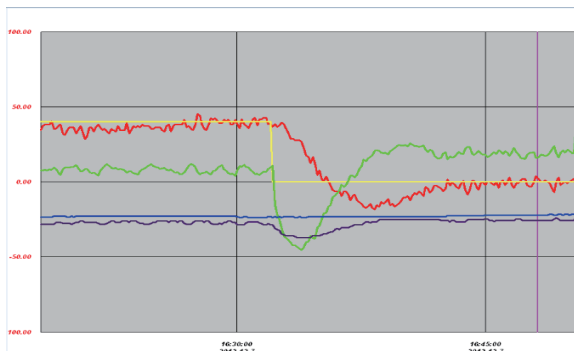


图8 模糊自适应PID优化后汽包液位控制曲线

## 4 结论

智能控制已广泛应用于工业、农业、军事等众多领域,解决了大量传统控制无法解决的实际控制应用问题,呈现出强大的生命力和发展前景。它将随着专家控制、模糊控制、神经网络等控制技术的发展而不断发展。而随着智能控制技术的不断发展,智能PID技术将不断完善,智能控制与PID控制的有机结合,将是智能控制技术发展中非常有潜力的方向。 **AP**

### 作者简介:

于海军(1973-),男,山东滨州人,中级工程师,学士,现就职于东营华泰化工集团有限公司,研究方向是电子信息及智能化控制应用。

王睿(1974-),男,吉林东丰人,高级工程师,学士,现就职于吉林电力股份有限公司四平热电公司,研究方向是热工保护与自动控制。

### 参考文献:

- [1] 王树青. 先进控制技术及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [2] 刘金琨. 先进PID控制MATLAB仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [3] 陶永华. 新型PID控制及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [4] 金以慧. 过程控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [5] 张化光, 孟祥萍. 智能控制基础理论及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [6] 李国勇. 智能控制及其MATLAB实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [7] 邵军力, 张景, 魏长华. 人工智能基础[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.
- [8] 李士勇. 模糊控制、神经控制和智能控制论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996.
- [9] 许向阳, 张茂元, 卢正鼎. 智能控制综述[J]. 舰船电子工程, 2004, 143(5): 28-32.
- [10] 李文, 欧青立, 沈洪远, 伍铁斌. 智能控制及其应用综述[J]. 重庆邮电学院学报(自然科学版), 2006, 18(3): 376-381.
- [11] 黄志高, 徐成金, 谭斌. 智能控制理论综述[J]. 木工机床, 2004, (3): 30-33.
- [12] 安宁, 邱炜炜. 智能PID控制综述[J]. 技术与市场, 2010, 17(7): 5-6.
- [13] 常洪江. 遗传算法综述[J]. 电脑学习, 2010, 6(3): 115-116.
- [14] 闫永跃, 李庆周, 于树新. 智能PID控制综述[J]. 可编程控制器与工厂自动化, 2006, (12): 9-13, 106.
- [15] 葛薇, 朱张青. 模糊PID控制及发展[J]. 安徽职业技术学院学报, 2007, 6(4): 9-10.