

模糊控制在锅炉热工控制中的应用简介及研究前景

胡一倩 吕剑虹 张铁军 东南大学动力系(210096)

Abstract

This paper presents nowadays the application of fuzzy control method in power plant thermal process control, especially in superheat steam temperature control and steam water level control, and finally the future of the fuzzy control application in boiler control system and the problems to be solved are presented

Keywords: boiler, superheated temperature, steam-water level, fuzzy control

摘要

本文首先简单介绍模糊控制及研究其在当前锅炉热工控制中的必要性,并且重点围绕过热汽温控制及汽包水位控制阐述了模糊控制的必要性及研究应用现状,最后展望了模糊控制针对锅炉控制应用的研究前景和方向。

关键词: 锅炉, 过热汽温, 汽包水位, 模糊控制

1 模糊控制简介

自从 1965 年美国加州大学的 L.A.ZADEH 教授创建模糊集理论和 1974 年英国的 E.H.Mamdani 教授成功的将模糊控制应用于锅炉和蒸汽机控制以来,模糊控制已逐渐得到了广泛的发展并在现实中得到成功的应用。

一般而言,模糊控制器的设计一般大致可分为三部分,首先将精确的输入量模糊化,通过隶属函数的建立,完成精确的数学量到模糊的语言变量的转换,隶属函数通常采用三角函数,正态分布函数等,以符合人的思维方式。第二部是进行模糊推理,由于推理规则库主要是按现场的操作经验与知识而建立的,因此模糊控制具有一定的模拟人的思维的特点。第三部是解模糊过程,将推理得到的模糊语言控制量转化为精确的数学变量,去驱动控制机械装置。

与传统经典控制方法比起来,模糊控制的特点为:

1)在设计控制系统时,可以不要求知道对象精确的数学模型,但要受控对象的特性有充分了解,是以现场操作人员或专家的经验知识的总结和归纳而建立知识模型的。

2)用语言变量代替常规的数学变量,或两者结合运用,来构造形成专家的知识库。

3)控制系统的鲁棒性强,适应于常规控制难以解决的非线性,时变性,多层次,多干扰的滞后系统。

2 电厂锅炉热工系统特点

电厂锅炉是个复杂的热工系统。系统存在严重耦合。例如:燃料量的变化对蒸汽量会产生影响,而蒸汽量对汽压,负荷,汽包水位等其它几个回路都会产生影响,因此,从以上分析看出,电厂锅炉是个具有高度耦合的多变量输入输出非线性热工系统,其动态特性随着运行工况的变化而大范围变化,且各环节的动态特性差异很大,而且还有噪音和负荷干扰,时滞等。因此其建精确的数学模型一直难以建立,只能用一系列分布参数系统建立粗略的模型。经典控制、现代控制理论的控制效果很大一部分取决于描述被控过程精确模型的好坏,这使得基于精确数学模型的常规控制器难以取得理想的控制效果。但是一些熟练的操作工人、领域专家却可以得心应手的进行手工控制,这就给基于知识规则的模糊控制的应用提供了广阔的空间。因此将模糊控制应用于锅炉热工控制过程,具有较强的理论与实践意义。

3 模糊控制在锅炉热工控制中的应用现状

控制锅炉过热蒸汽出口温度在规定范围内变化,对锅炉的安全经济运行具有重要意义。因此对汽温的控制要求非常严格,而过热汽温的扰动来源很多蒸汽负荷,减温水流量,烟气侧过剩空气系数,火焰中心位置,进入过热器的热焓,流经过热器的烟气温度和流速等的变化都会使过热汽温发生变化。在各种扰动下汽温调节对象动态特性都有延迟和惯性。同时过热汽温的喷水扰动特性还会受到主蒸汽流量、主蒸汽压力

和主蒸汽温度等多种因素影响,使得传统 PID 控制器的参数非常难以整定。因为即使整定好,随着工况的不断变化,控制参数也会偏离最优点。

文[1]提出结合现场运行人员的经验和专家只是经验来建立模糊规则和进行模糊推理,对 PID 的参数进行整定,构成了模糊整定的 PID 控制器,如图。图 1 中 $W_{02}(s)$ 和 $W_{01}(s)$ 分别为调节汽温的导前区和惰性区的传递函数, $W_{H2}(s)$ 和 $W_{H1}(s)$ 分别为导前汽温和过热汽温的测量单元。其仿真结果表明,这样整定出来的 PID 控制器,具有较好的跟踪能力和抗干扰能力,能取得了理想的控制效果。

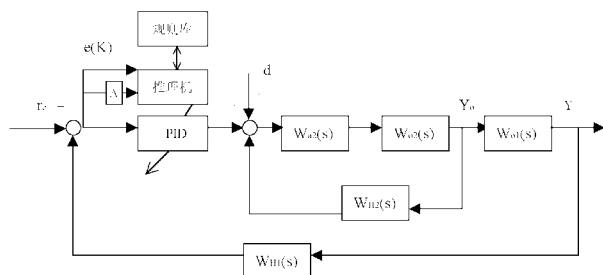


图 1 模糊整定的 PID 控制器

在文[4]中提出了模糊控制与专家自整定 PID 控制器结合的另一方法。当主汽温偏差较大时,利用模糊控制的仿人智能特性迅速给出适当的作用量以抑制干扰,保证系统响应的快速性;当主汽温偏差较小时,采用专家自整定 PID 自动根据偏差噪声范围的变化在线整定 PID 参数,以保证较好控制效果。

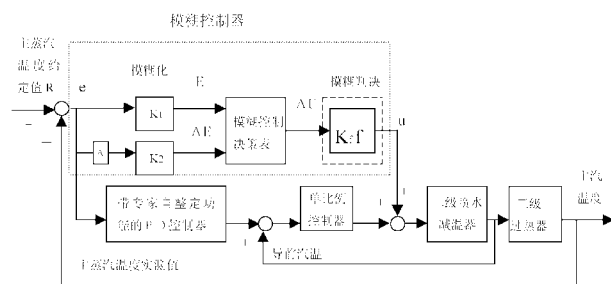


图 2 模糊控制与专家自整定串级 PID 结合的控制系统(二级喷水)

文[2]提出的则是将模糊控制与预测控制技术相结合,来应用于过热汽温的控制。由于单纯的模糊控制仍是根据被控量的偏差信息来确定的,本质上仍属于事后控制性。因此对于大滞后汽温对象,文中提出了一种基于被控对象一般模型的模糊预测控制方法。结构如下图所示。其中 u 为被控对象的输入, y 为过程输出。首先将控制量的论域分为若干子域,并以分界点作为参考控制量,随后预测各参考控制量在建立的被控过程模型作用下可能的输出,且以预测的偏差

与偏差变化两个变量为输入建立模糊性能规则库,推理出控制性能的测量指标。来评价各参考控制量的控制效果。最后由确定的各时刻最佳控制量和稳态控制量所在的控制量论域中的子域确定控制输出。由于建立一个性能测量规则库易于建立一个控制规则库,因此也适合工程实现。

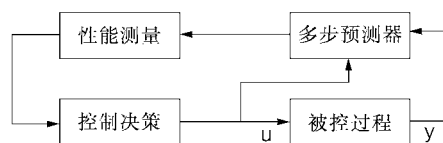


图 3 模糊预测控制系统

汽包水位控制则是锅炉控制系统的又一个重要的方面。汽包水位的控制任务包括两个方面:①维持汽包水位在允许范围内。②保持给水量在负荷不变时相对稳定。从而保证省煤器和给水管道的安全运行。由于来自给水管道的给水泵的扰动,导致给水压力的变化和调节阀开度的不断变化,而汽轮发电机组的功率变化,也会导致蒸汽管道压力的变化和主蒸汽调节阀开度的不断变化,再加上由于煤种和煤质的不确定性而导致热负荷的不确定性变化等原因,汽包水位会产生虚假水位。因此在负荷大幅变化时,仍需运行人员手动操作。文[3]提到了一种加权的模糊控制系统。该系统借鉴了传统的三冲量给水系统的优点,模仿操作人员的经验。现场操作人员在调整汽包水位时观察的对象过程参数为:汽包实际水位与水位设定值偏差;主控入水阀与调汽门开度;实发功率。操作人员基于这些参数观察一下水位,估计一个入水量与蒸汽流量间的平衡关系,然后操作主控入水阀以决定入水量是否需要增加或减少。调整操作之后,操作人员再进一步观察运行效果,以决定是否需要进一步调整。模糊控制器的设计正是要体现这一反映人的思维的经验过程。因而,主控入水阀开度是由三个相互独立的模糊逻辑控制器的输出量加权决定的。这三个模糊控制器分别考察汽包水位、流量平衡和实际输出功率。如图 4。

4 模糊控制的实践研究前景及应用注意事项

一般而言,模糊控制对于非线性或不确定对象具有很好的控制效果,但由于锅炉现场其他一些随机干扰,噪音,过程时变性等等因素,有时会造成控制规则较粗糙,而影响控制品质,因此在运用模糊控制方法时,如果考虑与其他控制方法结合运用时,也会取得理想的控制效果。实际上,通过传统控制与模糊控制的比较可以看出,两者从现场分别获取了两类不同的

信息——数据信息与语言信息。传统控制直接从现场传感器的数据信息出发,采取系统辨识等一系列算法进行分析处理,然后给出相应的控制对策;而模糊控制器的控制策略主要来自于领域专家、熟练工人的语言信息——一组 if-then 规则。如果考虑将数值信息和语言信息的结合应用,可以取长补短,改善控制效果。例如,近年来逐渐兴起的粗糙-模糊控制就是利用粗糙集合来获取模糊控制规则,基本步骤就是将控制过程中的具有代表性的状态及操作人员在这些状态下采取的控制策略记录下来,形成决策表,分析简化后得到 if-then 控制规则。由于其控制算法完全来自观测数据本身,其推理决策过程就很容易得到检验证实^[10]。

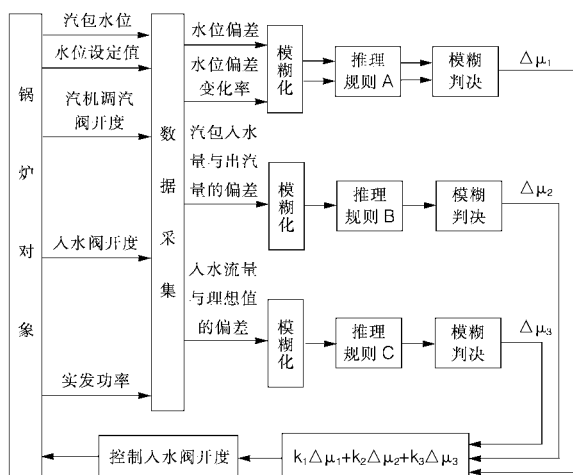


图4 汽包水位模糊控制系统流程图

还有一些学者专家研究结合一些具有自学习算法的控制方法,如神经网络,就是通过利用数据信息,系统的改善隶属度函数,以此来改善模糊控制器的控制精度。一般而言,神经网络与模糊逻辑控制的结合方式大约有:①利用神经网络驱动模糊推理的模糊控制,利用神经网络直接设计多元的隶属函数,把 NN 作为隶属函数生成器组合在模糊控制系统中。②利用神经网络记忆模糊规则的控制,通过一组神经元不同程度的兴奋表达一个抽象的概念值,由此将抽象的经验规则转化为多层神经网络的输入输出样本,通过神经网络 BP 记忆这些样本,控制器以联想记忆方式使用这些经验,在一定意义上与人的联想记忆思维方式接近。③用神经网络优化模糊控制器的参数,在模糊控制系统中对控制性能影响的因素除了上述隶属函数,模糊规则外,还有控制参数,如,误差,误差变化的量化因子以及输出的比例因子,都可以调整,利用神经网络的优化计算功能可以优化这些参数,改善模糊控制系统的参数^[6]。

另外,执行模糊化运算也是模糊控制器运算推理系统中很费时的一环,且不易进行严格的数学分析,因此可运用一些不需要去模糊化的模糊推理系统^[7],如采用由 Takagi, Sugeno 和 Kang 提出的 Sugeno 模型,其典型的模糊规则形式为:

如果 x 是 A and y 是 B , 则 $z=f(x,y)$, 其中 $z=f(x,y)$ 为精确函数,从而避免了去模糊化过程。事实上,采用一些较灵活的去模糊化方法进行建模可有利于缩短控制时间。

对于电厂的热工对象而言,大多控制对象是多变量输入输出系统,若采用多变量模糊控制器,其模糊控制器规则数量将会与输入的变量个数成指数增长关系,因此降低模糊规则数量的研究对于电厂模糊控制的应用也会有其理论与实际上的意义。目前采用的主要方式之一是采用规则去除方式,就是从已有的规则库中去除冗余规则,使用的方法包括正交最小二乘法,相似性分析,奇异值分解等^[9]。

近年来模糊控制在电厂锅炉控制方面的运用已经有了较大的发展,许多公司都已在自己的控制系统组态软件模块加入了模糊控制模块。相信在不久的将来,模糊控制将能更广泛的应用到电厂热工控制领域。

参考文献

- 1 吕剑虹,陈来九.模糊 PID 控制器及在汽温控制系统中的应用研究.中国电机工程学报,1995,15(1):16~22
- 2 唯刚,陈来九.模糊预测控制及其在过热汽温控制中的应用.中国电机工程学报,1996,16(1):17~21
- 3 刘向杰,周孝信.模糊控制在电厂锅炉控制中的应用现状及前景.电网技术,1998,22(11):4~10
- 4 张品涛,王伟,曹方.一种智能控制方法在 300MW 机组主汽温控制系统中的应用研究.中国电机工程学报,1999,19(3):6~10
- 5 张化光.热工过程的模糊辨识与控制.东南大学博士论文,1991
- 6 王立新.模糊系统:挑战与机遇并存.自动化学报,2001,27(4):585~590
- 7 张智星,孙春在,水谷英二.神经-模糊和软计算.西安交通大学出版社,2000
- 8 李士勇.模糊控制.神经控制与智能控制论.哈尔滨工业大学出版社,1998
- 9 胡包钢,应浩.模糊 PID 控制技术研究发展回顾及其面临的若干重要问题.自动化学报,2001,27(4):567~579
- 10 韩祯祥,张琦,文福拴.粗糙集理论及其应用综述.控制理论与应用,1999,16(2):153~157

[收稿日期:2001.12.1]