

# 锅炉汽包液位动态前馈控制的研究

## The Study of Drum Water Level Dynamic Feedforward Control for Boiler

(1. 北京科技大学; 2. 北华大学) 王卓<sup>1</sup> 林澄<sup>2</sup>

Wang, Zhuo Lin, Cheng

**摘要:** 本文建立了锅炉汽包液位对象的数学模型, 应用模糊控制理论设计出一个锅炉汽包液位模糊控制系统, 采用了模糊动态前馈控制。通过在 simulink 下仿真, 获得了较好的控制效果。从而实现了锅炉汽包液位的最佳实时控制。

**关键词:** 模糊控制; 汽包液位; MATLAB; simulink

**中图分类号:** TK229.5+1 **中图分类号:** B

**文章编号:** 1008-0570(2004)012-0035-02

**Abstract:** The mathematical model of the regulating object of the boiler, steam and water level is established. The control system for water level in boiler is designed by fuzzy control theory and adopted fuzzy dynamic feedforward control. Using simulink to simulate the drum water level control system, we achieve better control effects, and in order to realize the best real time control for water level in boiler.

**Keywords:** fuzzy control; steam package fluid; MATLAB; simulink

### 1 引言

工业锅炉汽包水位控制的任务, 就是控制给水流量, 使其与蒸发量保持平衡, 并维持汽包水位在工艺允许的范围内。是保证锅炉安全生产运行的必要条件, 也是锅炉正常生产运行的主要指标之一。若水位过高, 影响汽水分离的效果, 使用气设备发生故障; 而水位过低则会破坏汽水循环, 严重时导致锅炉爆炸。所以锅炉汽包水位必须严加控制。本文经实例仿真, 验证了带有动态前馈控制的模糊控制系统, 它的鲁棒性好、抗干扰能力强、动态性能较好等特点。

### 2 锅炉汽包水位控制对象的基本特性

#### 2.1 汽包水位在给水流量作用下的动态特性

给水流量对水位的影响, 即控制通道的动态特性。

把汽包和给水看作单容无自衡对象。水位响应曲线应为一曲线。但由于给水温度比汽包内饱和水的温度低, 所以给水量变化后, 使汽包内气泡含量减少, 导致水位下降。因此实际水位响应曲线应该是: 当突然加大给水量后, 汽包水位一开始并不增加而要呈现一段起始惯性段。通过现场数据的采集和数据的分析处理, 最终, 锅炉汽包水位在给水流量作用下的动态数学模型用传递函数来描述时, 它相当于一个积分环节和一个纯滞后环节的串联, 可表示为:

$$\frac{H(s)}{D(s)} = \frac{\varepsilon_0}{s} e^{-\tau s} \quad (1)$$

式中,  $\varepsilon_0$  为给水流量作用下, 阶跃响应曲线的飞升速度;  $\tau$  为纯滞后时间。

$$\text{由切线法求得: } \frac{H(s)}{D(s)} = \frac{1}{90s} e^{-50s} \quad (2)$$

给水温度越低, 纯滞后时间  $\tau$  越大。一般  $\tau$  约在 15~100s 之间。

#### 2.2 汽包水位在蒸汽作用下的动态特性

蒸汽负荷 (蒸汽流量) 对水位的影响, 既干扰通道的动态特性。

在燃料不变的情况下, 蒸汽用量突然增加, 瞬间必然导致汽包压力下降, 汽包内水的沸腾突然加剧, 水中气泡迅速增加, 将整个水位抬高, 形成虚假的水位上升现象。即所谓“虚假水位”现象。经过对现场数据的分析和处理, 最终, 锅炉汽包水位在蒸汽流量作用下的动态数学模型用传递函数来描述可以表示为:

$$\frac{H(s)}{D(s)} = -\frac{\varepsilon_1}{s} + \frac{K_2}{T_2 s + 1} \quad (3)$$

式中,  $\varepsilon_1$  为蒸汽流量作用下, 阶跃响应曲线的飞升速度;  $K_2$ ,  $T_2$  分别为只考虑水面下气泡容积变化所引起的水位变化的放大倍数和时间常数。由切线法求得当蒸汽负荷增加时的传递函数为

$$\frac{H(s)}{D(s)} = \frac{60s - 1}{70s(40s + 1)} \quad (4)$$

### 3 汽包锅炉水位模糊控制系统的设计

汽包锅炉水位模糊控制系统的结构图略可向作者索取。

在图中, 主回路模糊控制器采用双单出结构。两个输入变量分别为: 水位的偏差  $e$  和水位偏差的变化量  $ec$ 。输出控制量  $u$  控制汽包水位调节阀的开度。主回路模糊控制器的设计步骤如下:

(1) 在 MATLAB 命令窗口输入 fuzzy, 进入汽包水位基本模糊推理系统编辑器。在本文中, 水位模糊控制器的输入语言变量的个数为 2, 分别为水位的偏差  $e$  和水位偏差的变化量  $ec$ 。输出语言变量的个数为 1, 即输出控制量  $u$ 。解模糊化采用重心法。模糊决策采用 Mamdani 决策法。

(2) 在 MATLAB 命令窗口输入 mfedit, 进入汽包水位基本模糊推理系统隶属函数编辑器。在本文中, 输入变量  $e$ , 输入变量  $ec$ , 输出变量  $u$  的论域均取为  $[-6, 6]$ 。输入变量  $e$  的语言值取为 {PB, PM, PS, Z, NS, NM, NB}, 具体含义分别是 {水位很高, 水位高, 水位有点高, 水位正常, 水位有点低, 水位低, 水位很低}; 输入变量  $ec$  的语言值取为 {NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB}, 它们的状态分别是 {负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大}; 这两个输入变量的语言值的隶属函数都选择三角形的隶属度函数; 输出变量  $u$  的语言值取为 {NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB}, 它们的含义是 {水阀关得快, 水阀关得慢, 水阀关得很慢, 水阀正常开度, 水阀开得很慢, 水阀开得快}; 输出变量  $u$  的语言值的隶属函数选择三角形的隶属度函数。

(3) 在 MATLAB 命令窗口输入 ruleedit, 进入汽包水位基本模糊推理系统模糊规则编辑器。在本文中, 汽包水位模糊推理系统共有 49 条模糊控制规则。控制规则如表 1 所示:

(4) 汽包水位模糊推理系统的生成。用 File 菜单下的 Export 的 To Disk 命令将会生成一个后缀为 \*.fis 锅炉汽包水位模糊推理系统的数据文件。然后用 MATLAB 的模糊逻辑工具箱提供的 readfis 函数生成汽包水位模糊推理系统的模糊关系矩阵。这样, 锅炉汽包水位模糊控制器就建成了。

王卓: 硕士

电话: 010-62132436, 62192616 (T/F)



中国自控网: <http://www.autocontrol.cn>

邮局订阅号: 82-946 120 元/年 - 35 -

在图中,模糊动态前馈控制器采用单输入单输出结构,输入变量为:正常工况下蒸汽母管流量与扰动后蒸汽母管流量之差 $e$ ,输出语言变量为阀门开度变化量 $u$ ,模糊动态前馈控制器的设计步骤如下:

表1 模糊控制规则表

E \ U	PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
PB	NB	NB	NM	NM	NS	Z	Z
PM	NB	NB	NM	NM	NS	Z	Z
PS	NB	NB	NM	NS	Z	PM	PM
Z	NB	NB	NM	Z	PM	PB	PB
NS	NM	NM	Z	PS	PM	PB	PB
NM	Z	Z	PS	PM	PM	PB	PB
NB	Z	Z	PS	PM	PM	PB	PB

(1)在本文中,输入变量 $e$ 、输出变量 $u$ 的论域均取为 $[-4, 4]$ ,输入变量 $e$ 的语言值取为{PB,PM,PS,Z,NS,NM,NB},输出变量 $u$ 的语言值取为{NB,NM,NS,Z,PS,PM,PB},输入变量 $e$ 、输出变量 $u$ 的语言值的隶属函数都选择三角形的隶属度函数。

(2)此控制器仍是离线算出控制表,通过查询方式找到对应的控制量。应用 Mamdani 模糊推理算法,加权平均法解模糊。

(3)规则选用“if  $e$  then  $u$ ”的形式。控制规则表如下所示:

E	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
U	PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB

## 4 仿真实验

为了验证该模糊控制系统的优劣,针对上述建立的锅炉汽包水位被控对象的数学模型,进行了仿真实验。其仿真结果如下:

(1)加给定信号的模糊控制。仿真曲线如图1所示:

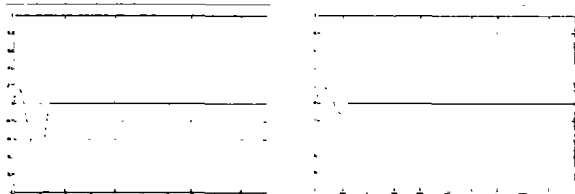


图1 (a)无动态前馈控制响应图 (b)带动态前馈控制响应图

从图1可见:该汽包液位模糊控制系统,在给定信号作用下,控制效果较好。具有超调量小,抗干扰能力强等优点。尤其是动态前馈模糊控制器的增加,更好的抑制了“虚假液位”的产生。

(2)加随机干扰信号的模糊控制,仿真曲线如图2所示:

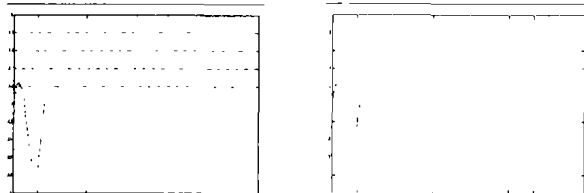


图2 (a)无动态前馈控制响应图 (b)带动态前馈控制响应图

从图2可以看到:当加一随机干扰信号以后,对于带有动态前馈的模糊系统的影响不大。验证了该模糊系统的鲁棒性好,抗干扰能力强、动态性能较好等优点。

## 5 结论

(1)本文建立的锅炉水位动态特性模型是通过现场数据的采集和数据的分析处理得到的,较为全面、实际。

(2)从仿真结果可看出,带有动态前馈的汽包水位模糊控制方式取得了比常规模糊控制方式更好的控制效果。能较好的解决汽包“虚假液位”的问题。验证了该模糊系统的鲁棒性好,抗干扰能力强、动态性能较好等优点。很明显:这种控制方式在锅炉汽包水位控制方面有着很好的应用前景。

### 参考文献:

- [1]张亮明,夏桂鹏.工业锅炉热工检测与过程控制,第一版.天津:天津大学出版社 213~220.
- [2]章卫国,杨向忠.模糊控制理论与应用,第一版.西安:西北工业大学出版社 1999,79~89.
- [3]姚俊,马松辉.simulink 建模与仿真,第一版.西安:西安电子科技大学出版社 2002,67~76.
- [4]张国良,曾静,柯熙政.模糊控制及其 MATLAB 应用.西安:西安交通大学出版社 2002,77~87.

作者简介:王卓,男,硕士(1968-),主要研究方向为智能控制理论与应用、计算机控制等方向的研究。电话:010-82385610。E-mail: wwzz\_6666@163.com 或 wangzhuo\_6666@yahoo.com;林澄,男,副教授,主要从事智能控制理论与应用方面的研究。

(100083 北京科技大学信息工程学院)王卓

(132021 吉林北华大学)林澄

(School of Information Engineering, University of Science and Technology of Beijing, Beijing,100083) Wang,Zhuo  
(Bei Hua University, Jilin, 132021) Lin,Cheng

(收稿日期:2004.6.25)

(接第86页)

## 4 结论

通过设计单片机,组成可控减振器的性能参数自动采集系统,结构简单,易于扩展,完全能够满足我们的设计意图。借助于简单的串口通讯,该下位机与计算机之间建立了可靠的通讯回路,加之有功能强大的通讯软件作辅助,该智能通讯测试系统通过调试和试验,和车辆可控减振器配合工作性能良好,现在已经作为可控减振器的控制部分在某型车辆上得到了应用。

### 参考文献:

- [1]王国丽.履带式车辆半主动悬挂的理论及试验研究[D].北京理工大学车辆与交通工程学院,2001.
- [2]Atmel Corporation. 2-wire Serial EEPROMs AT24C128/256,1999.
- [3]Maxim Integrated Products. Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers, 1999.
- [4]范逸之,陈立元.Visual Basic 与 RS-232 串行通讯控制[M].北京:清华大学出版社,2002.

作者简介:王宗乐(1979-),男,北京理工大学机械与车辆工程学院硕士生在读,主要从事信号测试与处理,工业自动化研究。电话:010-86668407,Email:wangzl@bit.edu.cn

Brief introduction of author: WANG Zong-le,(1979-)male, graduate student in Dept. of Mechanical & Vehicle Engineering, Beijing Institute of Technology.Tel:010-86668407;Email: wang-zl@bit.edu.cn

(100081 北京理工大学机械与车辆工程学院振动与噪声控制实验室)王宗乐 顾亮 王国丽 王文瑞

(Vibration & Noise Control Lab, Mechanical & Vehicle Engineering Department of BIT,Beijing,100081) Wang,Zongle Gu,Liang Wang,Guoli Wang,Wenrui

(收稿日期:2004.7.5)