

文章编号:1671-6833(2012)02-0051-04

基于 MATLAB/Simulink 的燃烧过程控制系统仿真

周俊杰, 房全国, 王定标

(郑州大学 化工与能源学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 通过仿真软件 MATLAB/Simulink 利用 Ziegler-Nichols 整定法确定了燃料控制系统、蒸汽压力控制系统、空气流量控制系统的 PID 控制器的参数, 并建立了燃烧过程控制系统的仿真模型。仿真结果表明, 在燃料流量、空气流量受 chip 信号干扰时, 系统控制的蒸汽压力最大超调量为 0.36%, 响应时间为 46.5 s, 系统的稳定程度和响应速度都比较好。MATLAB/Simulink 仿真软件为燃烧过程控制系统的分析、评估研究提供了有效途径。

关键词: 燃烧过程控制系统; MATLAB/Simulink; 系统仿真

中图分类号: TP273; TK224

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2012.02.013

0 引言

燃烧过程在许多工业过程中都是必要的一环, 如电厂锅炉的燃烧问题、流化床生产过程的燃烧问题等。燃烧过程的控制是燃烧过程的重要环节, 控制系统的性能直接关系到设备和工作人员的安全问题及节能问题, 提高燃烧过程的自动控制水平, 对当前技术改造和节能工作具有重要意义。

目前燃烧过程控制系统的研究受到许多人的关注。姚若玉^[1]、杨长亮^[2]采用模糊自整定 PID 的控制方法, 对锅炉的燃烧系统进行了控制规律的设计。薛福珍等^[3]针对锅炉燃烧系统多变量、强耦合、大时滞的复杂性, 提出一种多变量时滞对象的控制方法, 解决了在负荷变化时对象模型的参数不确定性。吕剑虹等^[4]结合燃烧控制系统实际工程, 提出了优化送、引风控制系统的方法, 改善了控制系统质量。吴明永^[5]对燃烧控制系统进行了仿真和性能分析, 提出了蒸汽压力控制系统采用模糊自适应 PID 串级控制能增强系统的抗干扰能力。

笔者利用 MATLAB/Simulink 工具箱^[6-7]对燃油锅炉燃烧过程控制系统进行仿真并对控制系统的性能进行分析, 确保燃烧系统安全、经济地运行, 为燃烧过程控制系统的分析、评估研究提供有

效途径。

1 燃烧过程的主要控制系统

燃烧控制主要由蒸汽压力控制系统、燃料空气比值控制系统组成^[8]。锅炉燃烧的目的是生产蒸汽供其他生产环节使用。一般生产过程中蒸汽的控制是通过压力实现的, 随着后续环节的生产用量不同, 反映在燃油蒸汽锅炉环节就是蒸汽压的波动。蒸汽压力是衡量蒸汽供求关系是否平衡的重要指标, 是蒸汽的重要参数。蒸汽压力过低或过高, 对于金属导管和负荷设备都是不利的。在锅炉运行过程中, 蒸汽压力降低, 说明负荷设备的蒸汽消耗量大于锅炉的蒸发量; 蒸汽压力升高, 表明负荷设备的蒸汽消耗量小于锅炉的蒸发量。因此, 控制蒸汽压力, 是安全生产的需要, 是维持负荷设备正常工作的需要, 也是保证燃烧经济性的需要。

保证蒸汽压力恒定的主要手段是随着蒸汽压力波动及时调节燃烧产生的热量, 而燃烧产生热量的调节是通过控制所供应的燃料量以及适当比例的助燃空气实现的。

因此, 蒸汽压力是最终被控制量, 可以根据生成情况确定, 燃料量是根据蒸汽压力确定的, 空气供应量根据空气量与燃料量的合理比值确定。

蒸汽压力控制系统、燃料空气比值控制系统结构简图及框图的方案如图 1、图 2 所示。

收稿日期: 2011-10-22; 修订日期: 2011-12-29

基金项目: 河南省重大公益性科研项目(081100910100); 河南省自然科学研究计划项目(2011A480004)。

作者简介: 周俊杰(1974-), 男, 河南太康人, 郑州大学副教授, 博士, 主要研究方向为数值计算技术及其在过程设备中的应用, E-mail: zhoujj@zzu.edu.cn。

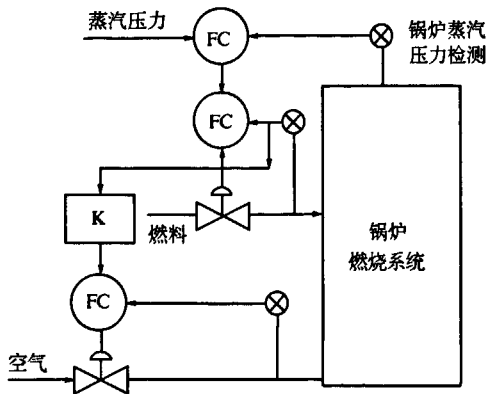


图1 蒸汽压力控制和燃料空气比值控制系统的简图

Fig.1 Structure diagram of steam pressure control and fuel air ratio control system

2 燃烧过程控制系统的仿真

2.1 数学模型

燃料流量被控对象: $G(s) = \frac{2}{13s+1}e^{-3s}$; (1)

燃料流量至蒸汽压力关系约为: $G(s) = 3$; (2)

蒸汽压力至燃料流量关系约为: $G(s) = \frac{1}{3}$; (3)

蒸汽压力检测变换系统数学模型: $G(s) = 1$; (4)

燃料流量检测变换系统数学模型: $G(s) = 1$; (5)

燃料流量与控制流量比值: $G(s) = \frac{1}{2}$; (6)

空气流量被控对象: $G(s) = \frac{2}{8s+1}e^{-2s}$. (7)

2.2 控制系统 PID 控制器的参数整定

PID 控制器的参数整定是控制系统设计的核心内容,它根据被控过程的特性确定 PID 控制器的比例系数、积分时间和微分时间.工程整定方法^[9]主要有:Ziegler-Nichols 整定法、临界比例度法、衰减曲线法.这 3 种方法各有特点,其共同点都是通过试验,然后按照工程经验公式对控制器参数进行整定.但无论采用哪一种方法所得到的控制器参数,都需要在实际运行中进行最后调整与完善.

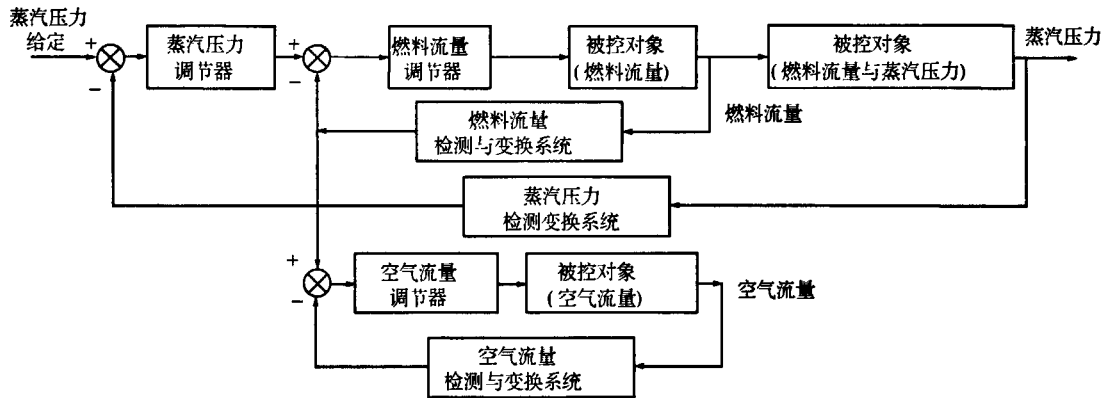


图2 蒸汽压力控制和燃料空气比值控制系统框图

Fig.2 Scheme of steam pressure control and fuel air ratio control system

在 Simulink 中建立燃料流量闭环控制系统、蒸汽压力闭环控制系统、空气流量闭环控制系统的单位阶跃输入仿真框图,如图 3 所示.利用 Ziegler-Nichols 整定法初步整定燃料控制系统、蒸汽压力控制系统、空气流量控制系统中的 PID 控制器的参数,在仿真框图中调整完善后得最终参数整定结果见表 1,此时对应的燃料流量闭环控制系统、蒸汽压力控制系统、空气流量闭环控制系统的单位阶跃系统响应如图 4 所示.

2.3 控制系统的仿真模型

利用以上 PID 控制器参数,建立燃烧过程控制系统的仿真模型.假设蒸汽压力设定值为 20,燃料流量、空气流量受外界干扰,干扰信号为 chip 信号(幅值为 ± 0.1 的随机干扰),如图 5 所示,则

燃烧过程控制系统的仿真模型如图 6 所示.

表1 控制器参数整定结果

Tab.1 Controller parameter setting results

控制系统	PID 控制器	K_p	K_i	K_d
燃料流量控制系统	燃料流量调节器	1.15	0.10	0
蒸汽压力控制系统	蒸汽压力调节器	1.00	0	0
空气流量控制系统	空气流量调节器	1.00	0.15	0

2.4 仿真结果

在 MATLAB/Simulink 中建立燃烧过程控制系统仿真图,仿真结果如图 7 所示.由仿真结果图可以看出,当燃料流量、空气流量受 chip 信号干扰时,系统控制的蒸汽压力最大超调量为 0.36%,响应时间为 46.5 s,系统的稳定程度和响应速度都比较好,满足控制系统的性能要求.

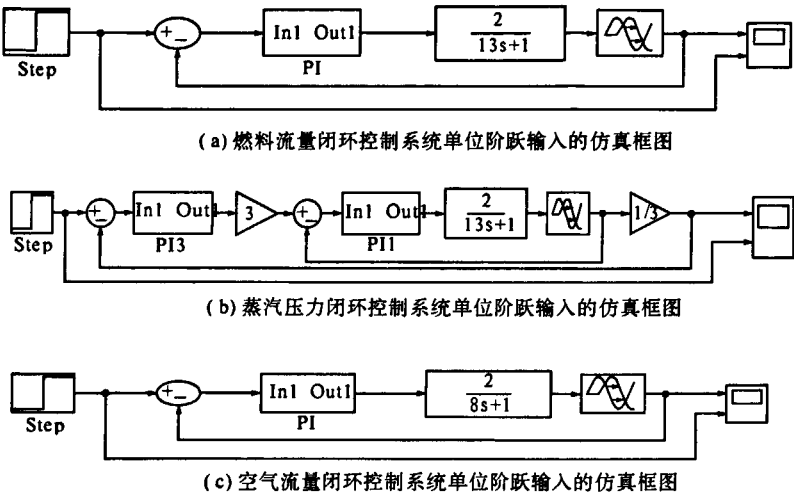


图 3 控制参数仿真框图

Fig.3 Simulation diagram of controller parameter

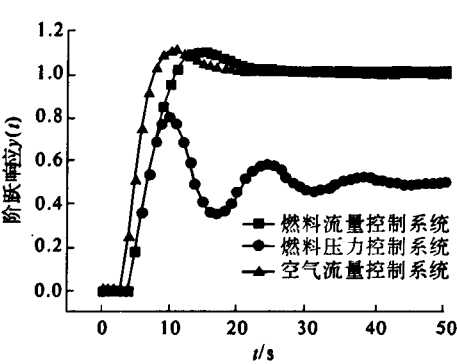


图 4 单位阶跃响应

Fig.4 Response of unit step input

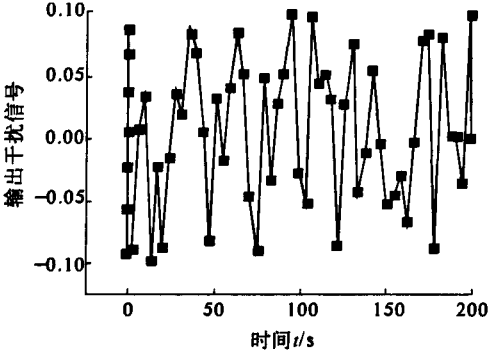


图 5 chip 信号

Fig.5 Chip signal

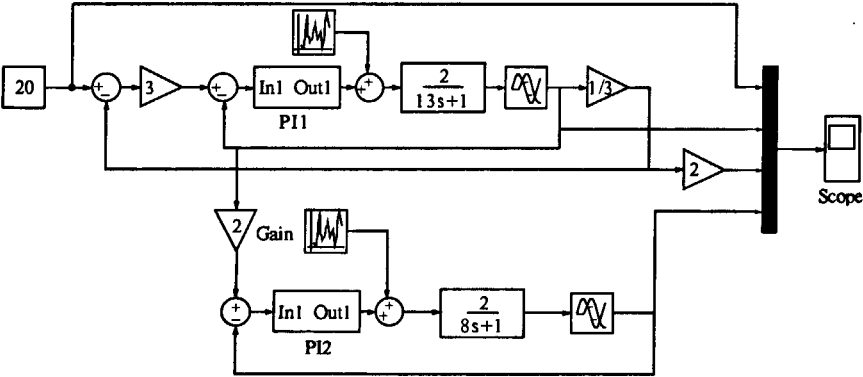


Fig.6 Simulation diagram of combustion process control system

3 结束语

通过对燃烧过程控制系统的分析,建立了控制系统的数学模型.通过仿真软件 MATLAB/Simulink 利用 Ziegler-Nichols 整定法确定了 PID 控制器的参数,并建立了燃烧过程控制系统的仿真模

型.通过仿真结果分析得到当燃料流量、空气流量受 chip 信号干扰时,系统控制的蒸汽压力最大超调量为 0.36%,响应时间为 46.5 s,系统的稳定程度和响应速度都比较好. MATLAB/Simulink 仿真软件为燃烧过程控制系统的分析、评估研究提供了有效途径.

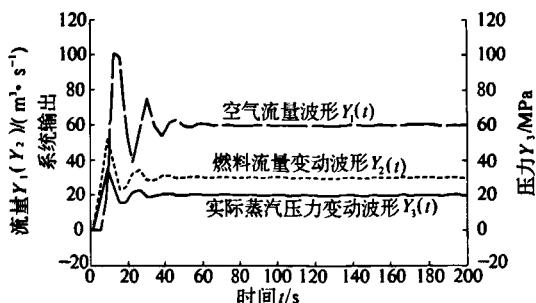


图7 燃烧过程控制系统仿真结果

Fig.7 Simulation results of combustion process control system

参考文献:

- [1] 姚若玉. 基于模糊控制理论的锅炉燃烧系统控制[D]. 西安: 西安建筑科技大学机电工程学院, 2003.
- [2] 杨长亮. 基于模糊 PID 控制的燃气热水锅炉燃烧控制系统研究[D]. 成都: 电子科技大学自动化工程学院, 2010.
- [3] 薛福珍, 刘涛, 尹君, 等. 电厂锅炉燃烧过程改进方案及实现[J]. 控制工程, 2008, 15(2): 124-126.
- [4] 吕剑虹, 王建武, 杨榕, 等. 电厂锅炉燃烧控制系统优化[J]. 中国电力, 2001, 34(10): 34-38.
- [5] 吴明永. 工业锅炉控制策略研究与控制系统设计[D]. 兰州: 兰州理工大学电气工程与信息工程学院, 2009.
- [6] 王正林, 王胜开. MATLAB/Simulink 与控制系统仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [7] 夏玮, 李朝晖. MATLAB 控制系统与实例详解[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [8] 郭阳宽, 王正林. 过程控制工程及仿真——基于 MATLAB/Simulink[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [9] 王毅, 张早校. 过程装备控制技术的应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.

Simulation of Combustion Process Control System Based on Matlab/Simulink

ZHOU Jun-jie, FANG Quan-guo, WANG Ding-biao

(School of Chemical Engineering & Energy, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Through simulation software Matlab/Simulink, this paper gets the PID controller parameters of fuel flow, steam pressure and air flow control system by using the method of Ziegler-Nichols, establishes the simulation model of combustion process control system. Simulation results show that if the fuel flow and air flow are disturbed by chip signal, steam pressure maximum overshoot is 0.36%, and the response time is 46.5 s, stability and response speed of control system are quite good. MATLAB/Simulink software provides an effective way for the analysis and evaluation study of combustion process control system.

Key words: combustion process control system; Matlab/Simulink; system simulation

(上接第 50 页)

Study on the Vapor-Liquid Equilibrium for Cyclohexane-Cyclohexanone Binary System under Normal Atmospheric Pressure

WANG Xun-qiu, WANG Hui, YAN Bing-li, JIANG Deng-gao

(School of Chemical and Energy Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to calculate the vapor-liquid equilibrium (VLE) data of the multicomponent system, the VLE data of cyclohexane-cyclohexanone system were determined under normal atmospheric pressure (101.3 kPa) by using an improved Rose vapor-liquid equilibrium still, and the thermodynamic consistencies of the obtained data were examined. The results show that the experimental data satisfy the examination of the thermodynamic consistencies. Then the VLE data obtained were correlated with Wilson equation and NRTL equation respectively, and the model parameters of interaction energies between the molecules were determined by using the error sum squares of vapor phase composition as target function. The comparison of the experimental VLE data with those calculated with Wilson equation and NRTL equation shows that the deviations are little, which indicates that the models are suitable to be used for the engineering separation design.

Key words: vapor-liquid equilibrium; cyclohexane; cyclohexanone; Wilson equation; NRTL equation