

150 MW 循环流化床一次风控制系统的参考指令调节器设计

卓旭升¹ 李通¹ 王丹丹¹ 娄春²

(1. 武汉工程大学 电气信息学院 湖北 武汉 430073; 2. 华中科技大学 煤燃烧国家重点实验室 湖北 武汉 430074)

摘要:在循环流化床燃烧过程中,一次风对物料的流化和床温的调节起着关键的作用。本研究提出了一类参考指令调节器设计,用于产生一次风机的控制指令。该指令既能适应机组负荷变化也能够根据给煤量和床温的变化及时得到修正,将其用于指导一次风的控制,能提高循环流化床的燃烧效率。采用专家规则系统方法设计了参考指令调节器,利用操作人员和专家的实际经验以及对运行数据的分析,得到各种工况下的给煤量和床温与一次风机调节方向和调节值之间的逻辑关系,并制成一个比较完备的专家规则系统。运行试验表明:利用此专家规则系统调整一次风机的控制指令,能够显著提高一次风量的控制效果。

关键词:循环流化床;一次风控制;参考指令调节器;专家控制

中图分类号:TK227;TP273 文献标识码:A

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.02.014

引言

在循环流化床的燃烧过程中,一次风主要用于保证床料正常流化和调节床温^[1-3]。利用变频调节技术控制一次风量是目前发电企业技术改造的热点,这也是提高送风系统效率、减低能耗的有效手段^[4-5]。然而变频技术的应用不但改变了一次风量的调节方式,同时也改变了风机的运行特性,这就导致相当部分的循环流化床原有一次风自动控制系统被弃用而以手动操作为主要运行方式。在实践中,一次流化风的控制指令一般来源于机组负荷^[6],也有通过增加相应的补偿控制回路来调节床温等变量的^[7]。但在一次风机变频改造后如何实现上述控制目的,目前仍是一个值得探讨的问题。参考指令调节器控制方法是通过为复杂工业过程控制系统提供适当的参考指令或轨迹以提高整个系统性能的控制

方案^[8],在其它工业过程中已有相当成功的应用^[9-10]。因此,利用这种方法解决循环流化床风机变频改造后的一次风量的控制问题是一种有益尝试。

本研究提出一种参考指令调节器控制设计方案,利用给煤量和床温实时信号修正一次风机频率的参考运行轨迹,以使一次风在满足机组负荷的前提下,通过适当的调整也能适应当前的床温和给煤量,从而提高一次风的控制效率。由于智能方法可以避免建模的麻烦^[11-14],所以在本设计中采用专家系统处理床温信号和给煤量信号,以对参考指令调节器的输出进行修正。试验结果表明:所设计的控制方案能够使变频改造后的一次风机顺利地投入自动控制运行,并提高了一次风控制效率,降低了床温的波动范围。

1 一次风系统

研究对象是河南省瑞平热电厂的1台150 MW循环流化床锅炉的一次风控制系统。该锅炉配置A\B 2台一次风机为其系统提供一次风量,其风量由通道上安装的风门进行调节。这种调节方式的缺陷是风压损失大、能耗高、风门调节频繁磨损严重以及需要的维护量大、经济性差等。从环保和节能角度来看,这种调节方式已经不合时宜。为了提高一次风系统的运行效率和节能,采用变频调节技术对一次风机进行改造是一种行之有效方法。当一次风机变频运行时,风道上的风门处于全开状态,控制系统通过变频器改变电机转速以调节风量。因此,通

收稿日期:2014-04-10

基金项目:华中科技大学煤燃烧国家重点实验室开放基金项目(FSKLCC1116)

作者简介:卓旭升(1966-),男,湖北天门人,武汉工程大学副教授,博士。

过变频调速控制一次风量成为当前的主要控制方式。

2 参考指令调节器的设计

为了满足循环流化床燃烧对一次风量的需求,风机的控制指令应该依据负荷、炉内床温和给煤量等参数及时调整。然而,由于系统复杂性和非线性等因素的影响,难于建立风机指令与床温变化以及给煤量变化之间的准确模型。因此,利用基于模型的控制方法设计参考指令调节器将面临现实困难。

本研究利用智能方法为该循环流化床锅炉一次风机变频调速系统设计了一款具有参考指令调节器。其算法是以锅炉机组运行人员的工作经验和技巧为基础并结合运行数据的分析而建立给煤量、床温与一次风机频率信号之间的专家系统,其增量输出与负荷指令组合后生成新的参考命令或轨迹。另外,在指令调节器里,也设计了抗饱和模块,限制一次风的每次调节量。图 1 为所设计的一次风控制方案。

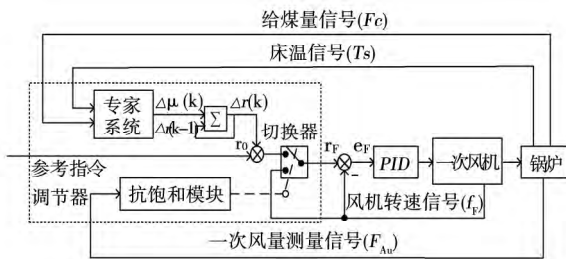


图 1 一次风控制系统
Fig. 1 Primary air control system

2.1 专家系统

指令调节器的主体结构是一个专家系统,由数据获取与处理模块、知识库以及推理机构等组成,如图 2 所示。

数据获取与处理模块:获取锅炉给煤量 F_C 和床温 T_b 的实时信号,并进行量化处理。由机组运行经验知道,给煤量每次的调节量一般不超过 $\Delta F_C = \pm 10 \text{ t/h}$;床温的调节范围为 $790 - 910 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间;量化过程如下:将给煤量的调节量化成带符号的 13 个整数 $-6、-5、-4、\dots、+4、+5、+6$,正号表示给煤量增加,负号表示给煤量减少;将床温以 $850 \text{ }^\circ\text{C}$ 为分界线量化成 13 个级别: $-6、-5、-4、\dots、+4、+5、$

$+6$,正号表示床温,高于 $850 \text{ }^\circ\text{C}$,负号表示低于 $850 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

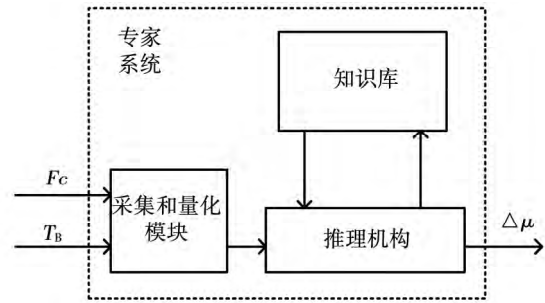


图 2 指令调节器中的专家系统
Fig. 2 Expert system in the instruction regulator

知识库:基于运行人员的经验和对运行数据的分析,以“IF THEN”规则的形式将各种床温和给煤量条件下对一次风量的需求存放于矩阵中。由于床温和给煤量均被量化为 13 个等级,因此对应的工况为 $13 \times 13 = 169$ 个。

推理机构:采用正向推理方式,根据量化后的给煤量和床温从知识库中搜寻一条可用规则,用于调节风机的参考指令。

2.2 抗饱和模块

为了不影响炉内床料的流化和燃烧稳定性,在参考指令调节器内设计了抗饱和模块对一次风量的每次调节量的上限、下限进行限制。当一次风沿某一方向调整而接近上限或下限时,即进入了相应的饱和区。这时,抗饱和模块就不断地判断一次风控制器的调节方向。若仍为原方向,则将控制器的输入设置为零,同时将控制器输出限制在饱和区内而使一次风量保持不变;若为相反方向,则立即调节控制器输出使其离开饱和区内,从而使一次风量沿着新的方向调整。具体过程为:在时间 Δt 内,抗饱和模块依据一次风量变化量 ΔF_{Air} 对 PID 控制器的输入偏差 e_F 进行如下处理:

$$\begin{cases} \|\Delta F_{Air}\| \geq \Delta F_{A0} & e_F = f_F - f_F = 0 \\ \|\Delta F_{Air}\| < \Delta F_{A0} & e_F = r_F - f_F = (r_0 + \sum \Delta r) - f_F \end{cases} \quad (1)$$

式中: F_{Air} ——一次风流量 m^3/h ; f_F ——一次风机相对频率信号,%; ΔF_{A0} ——设定的一次风量变化量阈值; r_F ——一次风机频率参考指令,%; r_0 ——系统负荷指令,%, Δr ——指令修正值,%。

3 试验结果

上述设计方案于2012年12月26日已在实际机组上进行了试验,试验程序:首先,在18:40到20:06之间,采用手动操作一次风机运行1.5 h,然后切换到自动控制模式,时间为20:06到21:09之间,在所设计的参考指令调节器控制系统的作用下,运行1 h。试验的结果如图3所示。

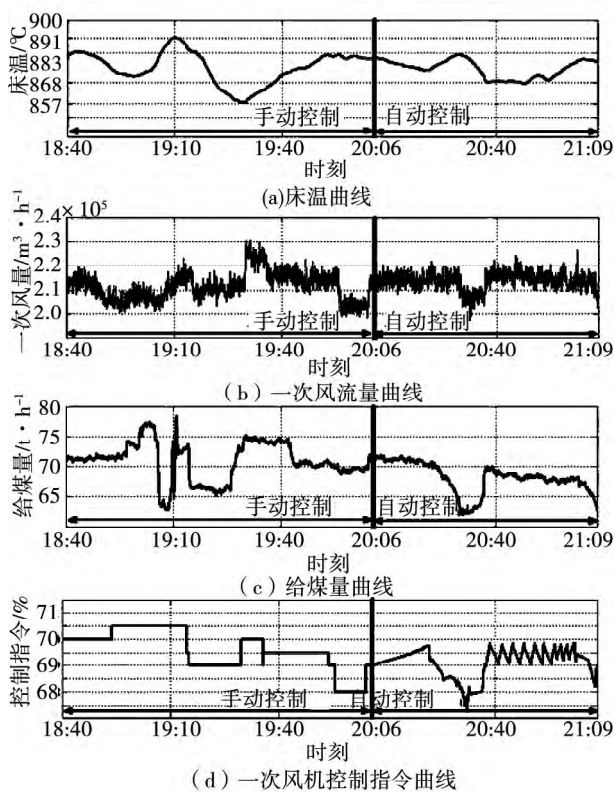


图3 手动控制与自动控制的效果比较

Fig.3 Comparison of manual and automatic control

从中可以看出,一次风机在手动操作模式下运行1.5 h里,炉内床温的波动范围处于857~891℃之间,峰谷之差为34℃;而在参考指令调节器自动控制模式下运行1 h里,床温的波动范围处于868~883℃之间,峰谷之差仅为15℃。因此,本研究设计的参考指令调节器控制方案能使床温波动幅度更小、更平稳些。而在一次风流量的控制方面也可以得出同样的结论。

值得指出的是,在该控制方案中,一次风机的转速将直接受给煤量、床温等变量的影响。如图3(d)

所示,在实验过程中的20:35到21:00之间的时间内,一次风机转速信号发生小幅度周期性变化就主要是由于给煤量小幅波动造成的。因此,提高锅炉给煤量控制系统的性能对改善一次风机的控制效果具有重要意义。

4 结论

利用专家系统方法设计了一款参考指令调节器,并将其运用于1台150 MW循环流化床锅炉的一次风控制系统中。该指令调节器能够依据给煤量信号和床温信号及时修正一次风的控制指令或轨迹,使其与炉内燃烧状况相适应。试验结果表明,所设计的一次风控制系统能够顺利投入运行,其控制效果也优于人工手动操作。该设计方案为解决循环流化床锅炉的一次风机控制提供了一条有效途径。

参考文献:

- [1] 阎维平,于希宁.循环流化床锅炉床温控制过程分析[J].锅炉技术,2001,32(12):20-25.
YAN Wei-ping, YU Xi-ning. Analysis on the bed temperature control process of a circulating fluidized bed boiler [J]. Boiler Technology 2001, 32(12): 20-25.
- [2] P Mirek, W Nowak. The influence of air distributor's geometry on combustion conditions in large-scale CFB boilers, Archives of Thermodynamics 29(3) (2008) pp. 37-44.
- [3] A Baszczuk, M Komorowski, W Nowak. Distribution of solids concentration and temperature in the combustion chamber of the SC-OTU CFB boiler, Journal of Power Technologies 92(1) (2012), pp. 27-33.
- [4] N Matsui, F Kurokawa. Improvement of transient response of thermal power plant using VVVF inverter, Proceedings of the International Conference on Power Electronics and Drive Systems 2007, (PEDS 2007) (2007) pp. 1209-1214.
- [5] 申超.循环流化床锅炉一次风机的高压变频改造[J].能源与节能,2013,20(5):100-102.
SHEN Chao. High-voltage frequency conversion modification of the primary air fans of a circulating fluidized bed boiler [J]. Energy and Energy Conservation 2013, 20(5): 100-102.
- [6] 牛培峰,孙健,柴天佑.循环流化床锅炉热工自动控制系统与展望[J].动力工程,1998,18(6):30-46.

NIU Pei-feng ,SUN Jian ,CAI Tian-you. Thermodynamic automatic control systems for CFB boilers and their prospects[J]. Power Engineering ,1998 ,18(6) : 30 - 46.

[7] 李 明 ,徐向东. 循环流化床锅炉控制系统[J]. 清华大学学报(自然科学版) 2002 ,42(5) : 665 - 668.

LI Ming ,XU Xiang-dong. Circulating fluidized bed boiler control systems [J]. Journal of Tsinghua University (Natural Science Edition) 2002 ,42(5) : 665 - 668.

[8] Guzman J L ,Alamo T ,Berenguel M. Dormido S. and Camacho E. F. A robust constrained reference governor approach using linear matrix inequalities ,Journal of Process Control 2009 ,19(5) : 773 - 784.

[9] Do ,H. M. Choi J. Y. and Kyung J. H. Design of reference governor for a class of nonlinear systems with input constraints ,2011 11th International Conference on Control ,Automation and Systems , (2011) ,pp 912 - 917.

[10] Heo J. S. Lee ,K. Y. A multiagent-System-Based Intelligent Reference Governor for Multiobjective Optimal Power Plant Operation [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion ,2008 ,23(4) : 1082 - 1092.

[11] Mahmoud ,M S. Eid ,S Z. Abou-Elsooud ,A A. Real-time expert control system for dynamical processes ,IEEE Transactions on Systems ,Man and Cybernetics ,1989 ,19(5) : 1101 - 1105.

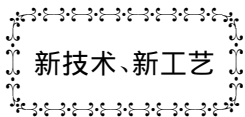
[12] Hímer Z. Dévényi G. and Kovács J. et. al. Fuzzy control of combustion with genetic learning automata ,Proceedings of the 16th IFAC World Congress (IFAC 2005) (2005) ,pp. 121 - 126.

[13] Omid ,M. Lashgari ,M. Mobli ,H. et. al. Design of fuzzy logic control system incorporating human expert knowledge for combine harvester ,Expert Systems with Applications 2010 ,37(10) : 7080 - 7085.

[14] 张 向 ,陆继东 ,卢志民 ,董芙蓉. 基于模糊方法和前馈补偿的汽包水位控制方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版) , 2012 ,40(11) : 111 - 114.

HANG Xiang ,LU Ji-dong ,LU Zhi-min et al. A drum water level control method based on the fuzzy control method and the feed-forward compensation [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition) 2012 ,40(11) : 111 - 114.

(丛 敏 编辑)



南非 REIPPPP 计划总光热发电装机扩容至 600 MW

DOI:10.16146/j.cnki.mdjgc.2015.02.015

南非能源部 12 月 12 日正式发布 REIPPPP 计划第三阶段 B 轮招标的中标结果 ,GDF Suez 拟开发的 100 MW 装机的 Kathu CSP 槽式电站和 SolarReserve / ACWA Power 联合体拟开发的 100 MW 装机的 Redstone 塔式电站中标。加上 REIPPPP 第一阶段总计 150 MW 的光热发电项目 ,第二阶段 50 MW 的光热发电项目以及第三阶段首轮 200 MW 的光热发电项目 ,南非 REIPPPP 计划实施下的总的光热发电项目装机已扩大到 600 MW。南非的光热发电市场呈有序发展态势。

(吉桂明 摘译)

—台 150 MW 循环流化床一次风控制系统的参考指令调节器设计 = **Design of the Reference Instruction Regulator of a 150 MW Circulating Fluidized Bed Primary Air Control System** [刊, 汉] ZHUO Xu-sheng, LI Tong, WANG Dan-dan (College of Electrical and Information, Wuhan Engineering University, Wuhan, China, Post Code: 430073), LOU Chun (National Key Laboratory on Coal Combustion, Central China University of Science and Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2015, 30 (2). —233 —236

During the combustion in a circulating fluidized bed, the primary air plays a key role in fluidizing materials and regulating the bed temperature. The authors proposed a design of a Category I reference instruction regulator used for producing an instruction for controlling primary air fans. The foregoing instruction can not only accommodate changes in loads of units but also can be timely corrected in accordance with changes in the amount of coal fed and the bed temperature and used for controlling the primary air, thus enhancing the combustion efficiency of the circulating fluidized bed. The reference instruction regulator was designed by using the expert rule-based systematic method. By making use of the actual experience from the operators and experts and an analysis of the operation data, the logic relationship among the amount of coal fed, the bed temperature, the regulation direction and value of the primary air fans under various operating conditions was obtained and a comparatively complete expert rule system was formed. The operation test shows that to use this expert rule system to adjust the instruction for controlling the primary air fans can notably enhance the control effectiveness of the amount of primary air. **Key Words:** circulating fluidized bed, primary air control, reference instruction regulator, expert control

135 MW 四角切圆煤粉炉低氮改造及试验研究 = **Low Nitrogen Modification to and Experimental Study of a 135 MW Tangential Pulverized Coal-fired Boiler** [刊, 汉] ZHANG Guang-xue, CHEN Qi, WANG Jin-qing (China Metering College, Hangzhou, China, Post Code: 310000), FANG Yi-bo (Hangzhou Tianyuan Science and Technology Co. Ltd., Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2015, 30(2). —237 —241

The authors performed a low nitrogen modification to a 135 MW boiler unit in a power plant in Hangzhou City and adopted separated overfire air (SOFA) nozzles in a combination with pulverized coal bias burners to realize an air staged low NO_x modification. In this connection, the boiler efficiency and NO_x emissions concentration before and after the modification were contrasted and analyzed. The NO_x emissions concentration after the modification decreased from the original $650 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ to around $300 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ and the variation range of the boiler efficiency did not