

文章编号:1000-582X(2006)07-0059-05

600MW 亚临界锅炉建模与仿真*

赵志刚¹, 杨晨¹, 李毅²

(1. 重庆大学 动力工程学院, 重庆 400030; 2. 东方锅炉(股份)有限公司 锅炉研究所, 四川 自贡 643001)

摘要:为适应大型锅炉设计和运行优化的需要,以模块化建模系统 MMS 为平台,建立了国产 600 MW 火电机组亚临界锅炉的动态数学模型。模型从建立到仿真计算全过程,采用 MMS 软件操作,执行简单、快速,并以此机理为基础,较全面地考虑了发生在锅炉内部的物理化学过程。仿真结果表明该模型动态响应合理,符合机理分析。其阶跃扰动仿真计算结果适用于对现场机组变化的快速分析、指导,亦可对锅炉设计提供性能参考资料。

关键词:亚临界锅炉;动态模型;MMS;仿真

中图分类号:TK224.1

文献标识码:A

随着我国能源电力事业的迅速发展,国产600MW大型火电机组已逐渐成为国家电网中的主力机组,因此对大型火电机组的动态特性研究、运行调整分析、事故预测等工作便显得非常重要^[1]。而要实际地在大容量、高参数机组锅炉上进行试验,不仅人力、物力较为困难,尤其是,现场生产不允许人为的设置事故和事故重演使得条件限制而难于达到较好的试验结果。另一方面,大型电站锅炉结构越来越复杂,运行方式越来越先进。从制粉、燃烧、到汽水系统,都较其它机组有较大的不同。锅炉模型呈现更强的分布性,描述对象的方程组维数急剧增加,模型的刚性也随之加强^[2]。建立模块化模型和独立求解,能够有效地降低维数和减小刚性。

2004年,重庆大学动力工程学院以“211”项目为依托,引进了由美国电力研究所(EPRI)开发的适用电站运行分析工程师的、通用型的、真正模块化动态过程分析软件 MMS 6.0 (Modular Modeling System),为 MMS 更好地消化吸收并为国民经济服务,笔者与东方锅炉集团合法对该集团最新设计的 600MW 火电机组燃煤锅炉进行了建模和仿真研究。

1 对象简介

建模对象为东方锅炉股份有限公司与英国三井-巴布科克进行技术合作,联合为国电电力发展股份有

限公司大同第二发电厂二期扩建工程2×600 MW国产燃煤空冷机组工程设计制造的 DG2060/17.6-III型锅炉。锅炉为亚临界参数、自然循环、前后墙对冲燃烧方式、一次中间再热、单炉膛平衡通风、固态排渣、尾部双烟道、紧身封闭、全钢构架的(型汽包锅炉,再热汽温采用烟气挡板调节,空气预热器置于锅炉主柱外,燃烧器采用前后墙对冲燃烧方式。

2 模型的简化假设

建模时对模型作了如下简化处理:

1)模型中各部件模块之间的连接管道,如无单独的管道模块,则连接管道重量均被合进前后模块中^[3-4]。

2)将顶棚过热器、包墙过热器受热面管合成一个附加受热面模块,将水冷管束、省煤器吊管、水冷壁吊管等受热面合成一个当量省煤器。模型中未考虑对空气预热器的模拟^[5]。

3)屏式过热器为全辐射型过热器,其吸热量占炉膛烟气辐射放热量一固定比例,忽略对流换热,工况变化时该比例不变^[6]。

4)模型不模拟制粉系统,给煤量、风量不受给粉机、送引风机、管道系统阻力、风粉分配等的影响,风量直接送入锅炉模块,给煤量由控制模块(CO₂)输出。

5)模型中未考虑给水泵、高低加热器、除氧器等

* 收稿日期:2006-03-09

作者简介:赵志刚(1980-),男,内蒙古赤峰人,重庆大学硕士研究生,研究方向为电站热力系统的仿真与控制。

系统的影响。

6) 高过、高再出口边界采用定压边界。

3 锅炉炉膛模块数学模型

锅炉炉膛模块模拟辐射式自然循环汽包锅炉的蒸发区部分,即炉膛部分,它包括汽包、水冷壁和下降管回路,以及相应的燃料和空气供应,模块适用于所有类型的燃料(煤、油和燃气)。如图1所示。

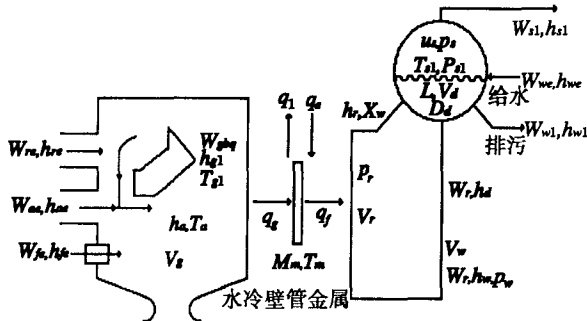


图1 锅炉模块结构示意图

图中 D_d 为汽包内径, h_{ae} 为空气进口焓, h_d 为下降管进口焓, h_f 为饱和水焓, h_{fe} 为燃料热值, h_g 为饱和蒸汽焓, h_{gl} 为炉膛出口烟气焓, h_r 为上升管出口焓, h_{re} 为再循环烟气焓, h_d 为蒸汽出口焓, h_w 为下降管出口焓, h_{wl} 为汽包排污焓, L 为汽包水位, M_m 为水冷壁管金属质量, P_d 为汽包压力, q_e 为从对流通道的部件传给水冷壁管的热量, q_f 为炉膛烟气传给其它模块的热量, q_g 为水冷壁管金属传给上升管内水/汽的热量, q_g 为烟气传给水冷壁管的热量, q_l 为散热损失, T_{q1} 为炉膛烟气出口温度, T_m 为金属温度, T_d 为蒸汽出口温度, U_s 为饱和区内的平均比内能, V_d 为汽包容积, V_g 为炉膛烟气容积, V_r 为水冷壁管容积, V_w 为下降管容积, V_d 为汽包容积, ρ_f 为饱和蒸汽密度, ρ_s 为饱和区工质平均密度, ρ_w 为下降管内水的密度。

3.1 质量守恒方程

对于包含炉膛和水冷壁饱和区的固定控制体,质量守恒方程为:

$$\frac{d\rho_s}{dt} = \frac{W_{we} - W_{sl} - W_{wl}}{V_s} \quad (1)$$

由于不考虑烟气侧压力-流量动态特性,因此对烟气侧有:

$$W_{q1} = W_{ae} + W_{re} + W_{fe} \quad (2)$$

3.2 能量守恒方程

对于包含饱和区(汽包和水冷壁)的固定控制体,忽略动能和势能的影响,可得其能量方程为:

$$\frac{dU_s}{dt} = \frac{\left[W_{we}h_{we} - W_{sl}h_{sl} - W_{wl}h_{wl} + W_r(h_{wl} - h_d) + q_f - q_l - V_s U_s \frac{d\rho_s}{dt} \right]}{\rho_s V_s} \quad (3)$$

对于下降管中的流体,根据假设5),能量方程为:

$$\frac{dh_w}{dt} = \frac{W_r(h_d - h_w)}{\rho_w V_w} \quad (4)$$

为了跟踪水冷壁管内的密度变化,可对水冷壁上管写出类似的能量方程:

$$\frac{dh_r}{dt} = \frac{W_r(h_w - h_r) + q_f - q_l - V_r h_r \frac{d\rho_s}{dt}}{V_r \rho_r} \quad (5)$$

炉膛烟气侧的能量守恒方程为:

$$W_{gl}h_{gl} + q_g + q_r - W_{ae}h_{ae} - W_{re}h_{re} - W_{fe}h_{fe} + d(\rho_{gl}V_g u_{gl})/dt = 0 \quad (6)$$

水冷壁管金属的能量方程为:

$$\frac{dT_m}{dt} = \frac{q_g + q_e - q_f - q_l}{M_m C_{pm}} \quad (7)$$

式中 C_{pm} 为金属比热,在模块中其值为定值。

3.3 动量方程

对于炉膛模块,动量方程主要用于描述水循环回路,自然循环锅炉循环回路中的驱动力是下降管和水冷壁之间的密度差产生的压头。模块的动量方程为:

$$\frac{dw_r}{dt} = \frac{\left[H_d(\rho_w - \rho_r)_g - (\Delta p_{2\phi}/p_{1\phi}) \left(\frac{W_r}{c_r} \right)^2 / \rho_f \right]}{\frac{V_r}{A_r^2} + \frac{V_w}{A_w^2}} \quad (8)$$

式中 H_d 为炉膛高度, $\Delta p_{2\phi}/\Delta p_{1\phi}$ 为两相流压力损失与单相液压力损失之比, C_r 为循环回路流导系数, A_r 和 A_w 分别为水冷壁和下降管的总的有效横截面积。

3.4 传热方程

从炉膛烟气到水冷壁管的传热认为是从有效的火焰辐射温度 $(1/3T_a + 2/3T_{gl})$ 到管子金属的完全的辐射传热,即

$$q_g = U_f(1 - F_{sg}) \cdot F_b \cdot \left[(2/3T_{gl} + 1/3T_a + 273)^4 - (T_m + 273)^4 \right] \quad (9)$$

式中 U_f 为炉膛传热系数, F_{sg} 表示污垢系数, $(1 - F_{sg})$ 表示吹灰对传热的影响, F_{sg} 的值(或变化关系)在参数化时输入, F_b 是考虑到炉内不同喷燃器位置供煤的燃烧效果不一样而设置的系数。

3.5 代数计算

代数计算主要是计算汽包水位,汽包水位是通过计算饱和区中汽水物质关系进行计算的,由于汽包平

均密度为:

$$\rho_d = (\rho_s V_s - \rho_r V_r) / v_d \quad (10)$$

因此汽包水位为:

$$L = D_d \frac{\rho_d - \rho_g}{\rho_f - \rho_g} \quad (11)$$

4 仿真试验及结果分析

在 MMS 仿真平台下建立了 DG2060/17.6 - III 型锅炉的数学模型, 在计算的模型稳态基础上, 以锅炉 BMCR 负荷为基准进行了仿真试验, 图 2 - 图 5 为仿真试验结果, 为保证模型仿真计算时初始稳态值稳定, 阶跃扰动在第 100 秒点开始. 在扰动计算中如无特别的说明, 均为单一因素扰动.

4.1 燃料量扰动

见图 2、图 3, 燃料量减少后, 烟气传给各段工质的热量减少, 炉膛蒸发受热面吸热减少, 使得汽包压力下降, 从而使得主汽压力、主汽流量、再热蒸汽压力、再热蒸汽流量下降, 锅炉负荷亦相应下降; 对于主汽温度、再热器温度则表现为先下降后上升的现象, 这是由于扰动初始时过、再热器工质吸热量减少, 而其蒸汽流量下降速度较慢引起的汽温下降, 后由于蒸汽流量不断减少, 使得主、再热汽温不断回升; 汽包水位开始由于蒸发受热面吸热量减少, 产汽量减少, 水下蒸汽容积相应减少导致水位下降, 后由于汽包压力不断下降, 使得汽包工质流入量增加, 而蒸汽流出量不断减少, 使得汽包水位又开始迅速上升. 除汽包外, 其余参数在扰动到 1 500 s 时接近稳定.

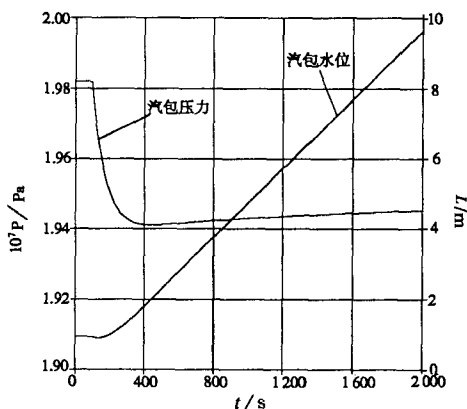


图 2 汽包压力和汽包水位响应特性

4.2 空气量扰动

见图 4、图 5, 燃料量不变, 空气量减少, 使得烟气量减少, 引起蒸发受热面辐射吸热量增加, 主蒸汽流量、压力、再热蒸汽流量、压力增加, 过、再热器吸热量减少, 主蒸汽温度、再热器温度下降; 水位因汽包压力

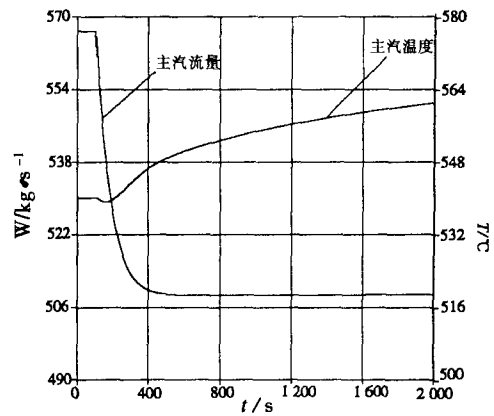


图 3 主汽流量和主汽温度响应特性

增加而下降; 除汽包外, 其余参数大约在计算机扰动到 600 s 左右达到稳定.

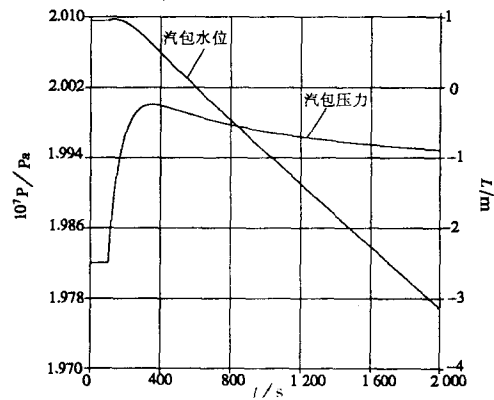


图 4 空气量减少 5% 扰动汽包压力和汽包水位响应特性

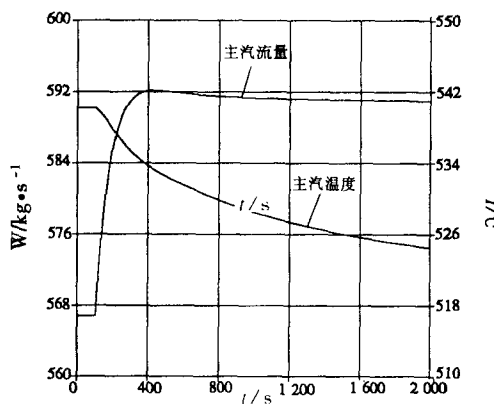


图 5 空气量减少 5% 扰动汽包压力和汽包水位响应特性

4.3 给水量扰动

见图 6、图 7, 给水流量增加使得汽包水位一直升高无法达到稳定. 对汽包压力的影响是由 2 个因素引起的. 第一, 给水流量的增加升高了汽包水位并压缩了汽包中的蒸汽, 这虽然是很轻微的, 但仍使汽包压力升高. 第二, 而且是比较重要的是给水流量的增加降低了整个下降管与水冷壁的水温, 这是压力最后降低的原因. 这在图 6 中有所体现, 一经扰动之后, 第一个因素

马上占优势,并引起压力升高,而之后第二个因素克服了第一个,压力最后降低. 而由于蒸发所需吸热量增加,使得蒸汽流量减少,蒸汽温度升高. 除汽包外,其余参数在扰动到1 000 s时接近稳定.

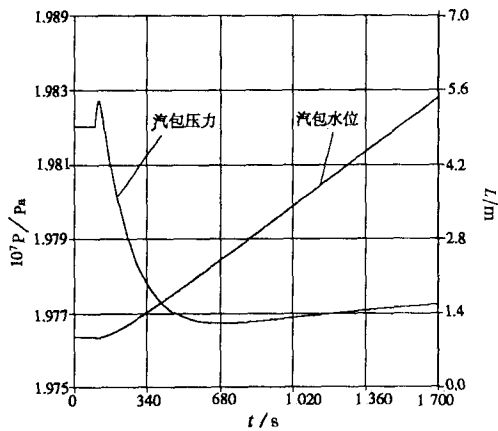


图6 给水量增加5%扰动汽包压力和汽包水位响应特性

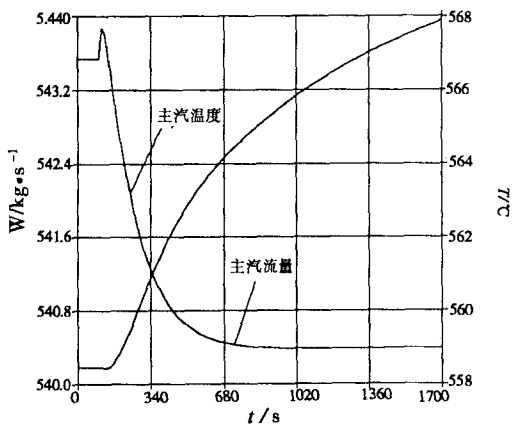


图7 给水量增加5%扰动汽包压力和汽包水位响应特性

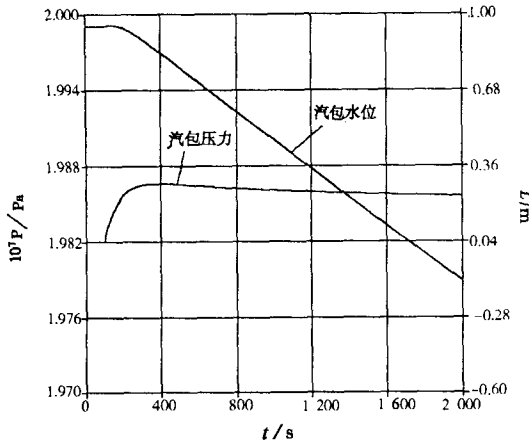


图8 燃料水分减少10%扰动汽包压力和汽包水位响应特性

4.4 燃料水分扰动

见图8、图9,随着燃料水分的阶跃减少,炉膛烟气温度有一个短暂的快速增加过程,由于传给水冷壁的热量增加,蒸发吸热增加,产汽量增加,使得汽包压力

升高,过热蒸汽流量增大,过热蒸汽温度也随之降低. 除汽包水位不能稳定外,其余参数在扰动到500 s时接近稳定.

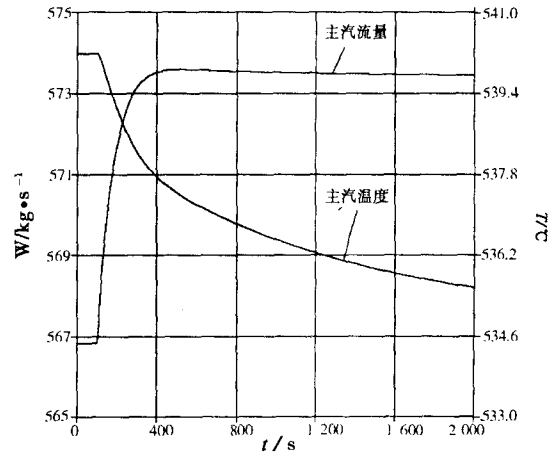


图9 燃料水分减少10%扰动汽包压力和汽包水位响应特性

5 结论

模型从建立到进行仿真计算全过程,采用MMS软件操作执行较简单、快速,计算时可不考虑因参数超限引起机组停运问题,可通过仿真计算得到现场试验难于取得的锅炉动态结果.

应用MMS 6.0软件建立的大同600 MW亚临界锅炉模型,其稳态数据结果与对应点热力计算数据相对误差小于3%,完全符合简化建模的精度要求. 其阶跃扰动仿真计算结果经过与现场试验比较后,适用于对现场机组变化的快速分析、指导,亦可对锅炉设计提供性能参考资料.

参考文献:

- [1] 吕崇德,任挺进. 大型火电机组系统仿真与建模[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [2] 邓文俭. 600MW火电机组锅炉的数学模型和仿真[J]. 山东电力技术,1997,(4):12-16.
- [3] 何荣,全兆裕,杨慧超. 300MW火电机组自然循环锅炉模型的建立及动态特性分析[J]. 热能动力工程,2003,(4):431-435.
- [4] 章臣樾. 锅炉动态特性用其数学模型[M]. 北京:水利电力出版社,1987.
- [5] 陈敏,王逸仁. HG-220100-10YM锅炉动态数学模型及仿真[J]. 电站系统工程,1999,(5):15-19.
- [6] 丁力,唐胜利,杨晨等. 360MW机组锅炉仿真建模及仿真分析[J]. 重庆大学学报(自然科学版),1998,21(4):55-60.

Model Building and Simulation for Subcritical Pressure Boiler

ZHAO Zhi-gang¹, YANG Chen¹, LI Yi²

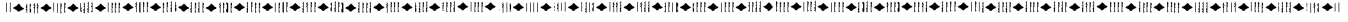
(College, 1. Power Engineering of Chongqing University, Chongqing 400030, China ;

2. Research Institute of Dong Fang Boiler Incorporated Company, Zigong 643001 Chin)

Abstract: In order to meet the demand of large scale boiler design and operating optimization , this paper establishes the dynamic mathematic model for domestic 600MW subcritical pressure boiler. MMS software is adopted in the whole process from modeling to simulation. This software make process simple and quick. This model is based on modularization and the comprehensive physical and chemical process in boiler is considered. Simulation result shows that the responses of this model under different disturbance are coincident to mechanics analysis. The simulation result under steady disturbance can be used to analyze unit changes and provide some guide and it also can supply performance reference data to boiler design.

Key words: subcritical pressure boiler, dynamic model, MMS, simulation

(编辑 陈移峰)



(上接第 49 页)

Principle and Scheme of a Feeder Automation Based System Protection

ZHOU Nian-cheng, HUANG Jun, ZHAO Yuan, LIN Ming-xing

(Key Laboratory of High Voltage Engineering and Electrical New Technology,

Ministry of Education, Electrical Engineering College of

Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: A new principle and scheme of a Feeder Automation based system protection using the channel of communication is proposed. The conjoint protection devices exchanging fault signal with direction information and the fault can be cleared instantly. These information can help to isolate the fault zone and restructure the network rapidly. The recovery is used for instantaneous faults. The optical MODEM disjoins the SCADA communication and Boolean signals functions using coding technology. So the fault flags can be exchanged rapidly peer-to-peer and special optical cables are not needed. Frames between optical MODEM are sent automatically. This scheme presented is successful through physical simulation experiment and has operated for about two years in a real distribution network.

Key words: feeder automation; differential protection; fault isolation; restructure the network; optical modulator-demodulator

(编辑 李胜春)