

文章编号:1000-582X(2006)06-0063-04

## 330 MW 机组锅炉的两类模块化模型\*

王勇,何祖威

(重庆大学动力工程学院,重庆 400030)

**摘要:**锅炉是电站中最重要的热力设备,其运行状态直接影响着机组的安全、经济运行.对锅炉动态特性的研究可以增进对锅炉的认识,这对提高锅炉和机组的安全、经济运行有很重要的作用.介绍了MMS特点,基于MMS仿真环境,从原理上比较了实时和非实时模块的差异.以典型的330 MW发电机组为对象分别建立了锅炉的实时和非实时动态模型.仿真试验表明,两种模型的动态过程均符合对象的机理,同时,对实时模块的有效性进行了探讨.

**关键词:**实时模块;动态模型;MMS仿真环境

**中图分类号:**TP391

**文献标识码:**A

电站机组正向着大型化和复杂化方向发展,应用传统方法对电站机组进行研究很难满足其时间和精度上的要求.随着科学技术的飞速进步,应用计算机对电站机组进行模拟分析、优化设计已成为人们解决电站实际问题的一个十分重要的手段.美国电力研究所(EPRI)研制出了一种通用的、使用方便的、有效的电站机组的动态特性和运行分析的软件包MMS(Modular Modelling System)即模块化建模系统<sup>[1]</sup>.MMS问世后,在全世界得到了广泛的应用.1996年以前的MMS版本仅包括非实时模块,只适用于电站工程分析.在2004年,由重庆大学“211”项目引进的MMS最新版本中,它不但保持了MMS原有的风格,而且,还包括了适应于电站仿真培训的实时模块.为了研究MMS中新添加的实时模块的性能,以内蒙古达拉特旗发电厂330 MW机组亚临界自然循环锅炉为研究对象,分别使用MMS实时和非实时模块建立了亚临界自然循环锅炉动态模型,对实时和非实时动态模型进行了研究比较.

### 1 实时模块的性能特点

#### 1.1 MMS概述

MMS主要用于电站工程分析、预测系统动态和稳态特性、诊断设备异常、培训电站运行人员等.MMS有以下主要优点:1)使用者可以从预先确定的电站部件模块库中选用模块,快速建立电站系统模型进行仿真运行,适用于快速建模.2)每个模块都包含了描述其

特性的所有控制方程,模块具有很好的通用性,只要模块接口规范,相互连接,可以构成更大的仿真模型.3)模块可以通过调用动态链接库的计算子程序来执行模型稳态初始化的计算,这些计算被称为自动参数化,避免了模型初始化时重复、枯燥的手工计算.4)系统集成成了图形建模、ACSL语言及MATLAB控制特性分析工具等,极大的方便了使用者.5)每个部件模块都进行了验证,提高了整体计算精度,能够保证以其构成的系统仿真模型具有很高的精度.6)可以通过在线帮助得知模块的功能信息.7)新添加了实时模块,使用者可以通过实时模块来建立电站培训仿真器模型.

#### 1.2 MMS实时模块与非实时模块的区别

文中所阐述的实时模块其实是超实时的,实际过程对象的变化受很多因素影响,为了能实时地仿真实际变化过程,用实时模块建立的模型,其响应速度必须比对象实际的过程要快才能达到与实际对象同步的效果.非实时模块由于受其算法的局限,不能达到实时的效果.

##### 1.2.1 压力-流量方程解算法的不同

实时模块与非实时模块在压力-流量方程的解算方法上有很大的不同.下面结合流体的控制微分方程来说明.流过管道截面流体的控制微分方程为<sup>[2]</sup>:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{1}{(L/A)}(P_{in} - P_{out} + P_{rise} - kw|w|) \cdot k_{qgdw}, \quad (1)$$

式中, $w$ 指流量; $L/A$ 指管长与管的截面积之比; $P_{in}$ 指

\* 收稿日期:2006-02-02

作者简介:王勇(1976-),男,内蒙古巴盟人,重庆大学硕士研究生,主要研究方向动力机械及工程、热力系统建模与仿真.

管的入口压力;  $P_{out}$  指管的出口压力;  $P_{rise}$  指高度带来的压升;  $k$  指流阻;  $k_{qdw}$  指层流和紊流之间的转换常数,  $t$  指时间. 实时模块对方程(1)的算法如下: 用有限差分

近似  $\frac{w_i - w_{i-1}}{\Delta t}$  代替  $\frac{dw}{dt}$ , 即

$$\frac{dw}{dt} = \frac{w_i - w_{i-1}}{\Delta t}, \quad (2)$$

式中,  $w_i$  指在当前时间步长时的流量;  $w_{i-1}$  指在前一个时间步长时的流量. 用  $w_i$  代替  $w$ , 并把式(2)代入式(1)可得:

$$\frac{w_i - w_{i-1}}{\Delta t} = \frac{1}{(L/A)} (P_{in} - P_{out} + P_{rise} - kw|w|) \cdot k_{qdw} \quad (3)$$

可以把式(3)看作关于  $w_i$  的 1 个二次方程, 解 1 个关于  $w_i$  的二次方程就可以得到新的要求的流量, 采用这种直接求解方程的方法计算流量可以使用大时间步长. 非实时模块对式(1)均是直接求积分, 一般都采用迭代的方式来求解微分方程, 采用迭代法求解微分方程要比直接求解方程计算量大得多. 从以上分析可知实时模块的求解速度远远高于非实时模块, 实时模块可以达到实时的效果.

### 1.2.2 压力-流量方程解算的过程不同

MMS 非实时模块包含其所有控制文件的代码, 而实时模块不是这样. 实时模块是用代数方程解算器把流动方程和动量方程合起来解算. MMS 实时模块给解算器提供信息, 解算器需要计算通过模块的流量就把流量作为模块的入口端和出口端压力的函数. 解算器使用这些信息来罗列一个完整的流体网络的方程组. 信息的补充是通过边界条件模块来补充的, 解算器解算方程组得到流体网络的压力和流量. 编写一个 MMS 实时模块, 需要知道通过压力-流量解算器的信息和压力-流量解算器输出的信息. 压力-流量方程组是由在每一个内部节点流量总和为零的限制方程组成; 在这里, 一个内部节点被定义为一个无体积的点作为流体网络支流的连接点. 支流的流量是每一个支流末端压力的函数, 支流的流导系数和其它相关的流动参数是已知的, 边界压力是已知的; 未知的内部节点的压力可以得到. 对于每一个内部节点, 有一个方程和一个未知压力; 非线性方程同时求解可得到所有内部节点的压力. 所有内部节点的压力得到之后, 通过每一个支流的流量就可以由压力来计算. 方程组的求解采用的是变化的牛顿-拉费森法. 对于每一次迭代, 非线性方程被重新线性化并直接求解<sup>[3]</sup>.

非实时模块和实时模块之间的差别仅适用于那些模拟流体流动的模式. 非实时模块仅通过比邻的模块传递和接受信息来计算压力和流量; 实时模块给一个

独立的解算器传递信息, 解算器同时对一个流体网络各分支的压力和流量进行计算<sup>[3]</sup>.

### 1.3 MMS 实时模块的类型

1) 外部节点(边界节点). 外部节点代表压力已经给定的边界条件; 模块是外部节点的例子是 LEFTR(输入边界模块)和 RIGHT(输出边界模块).

2) 内部节点. 内部节点代表的是无体积点, 这些点连接多重分支. 内部节点的压力是未知的, 内部节点的压力是通过流量解算器求得的. 对于内部节点, 压力-流量解算器使用的控制方程是一个代数方程, 它代表流入节点总和的关系式为零; 因此, 对于每一个内部节点, 有一个未知的压力和一个代数方程. 模块是内部节点的例子是 UJUNC(具有多个输入和输出的连接模块).

3) I 型阻力型模块. I 型阻力型模块可以串联起来, 因此, 在 2 个节点之间, 一个或更多的 I 型阻力型模块可以被相互连接形成支流. 节点可以是外部节点也可以是内部节点; I 型阻力型模块的实例是 PIPE(管道模块).

4) II 型阻力型模块. II 型阻力型模块也代表一个流动路径, 但是它们的控制方程要求它们的入口和出口必须直接连接到一个节点上, 这个节点可以是内部节点也可以是外部节点; 换言之, II 型阻力型模块不可以像 I 型阻力型模块那样串接. II 型阻力型模块的实例是 TURBR(汽轮机反动级模块)<sup>[3]</sup>.

## 2 仿真对象概述

所建模仿真对象为内蒙古达拉特旗发电厂 330 MW 发电机组锅炉, 锅炉额定蒸发量为 936.5 t/h, 过热蒸汽压力为 17.65 MPa, 过热蒸汽温度为 541 °C, 汽包压力为 19.53 MPa. 该锅炉型式为单汽包、单炉膛、亚临界参数、一次中间再热, 自然循环水管式煤粉炉<sup>[4]</sup>. 使用东胜烟煤, 锅炉采用旋流燃烧器, 固态排渣, 平衡通风. 设计燃烧最低稳燃负荷 35% MCR.

## 3 对象的仿真模型

顶棚过热器与包墙过热器合并用一附加受热面代替<sup>[5]</sup>. 布置在尾部竖井烟道内的 2 个低温过热器采用一个对流受热面模块进行模拟. 为了能更加清晰地对实时和非实时模型做比较分析, 文中对实际系统做了很大的简化, 简化后的仿真模型如图 1 所示<sup>[6]</sup>, 图 2 和图 3 分别为在 MMS 仿真环境下的非实时和实时模型连接图.

## 4 仿真试验及动态特性分析

笔者在做仿真试验时, 非实时模型采用 0.05 s 的

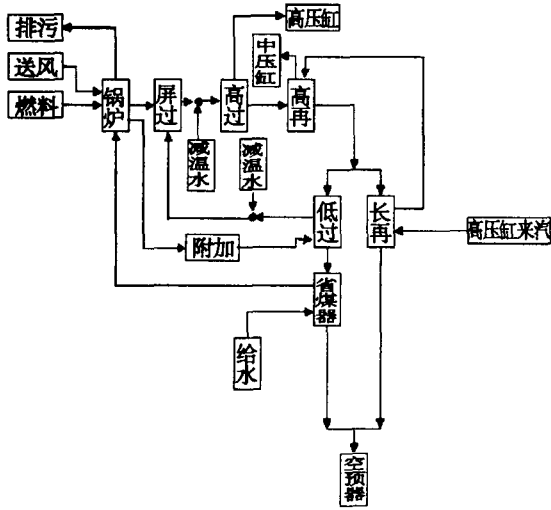


图1 仿真模型示意图

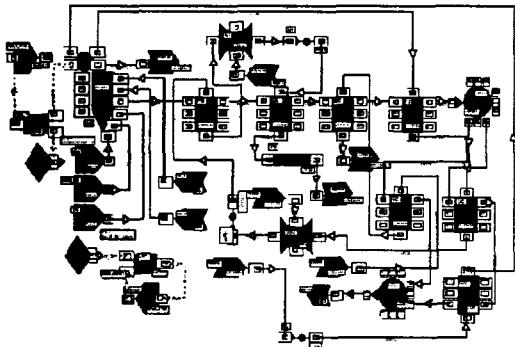


图2 非实时模型连接图

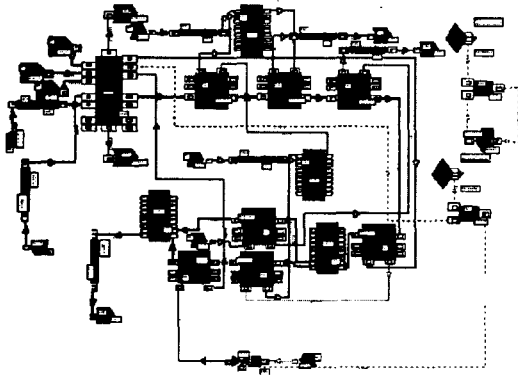


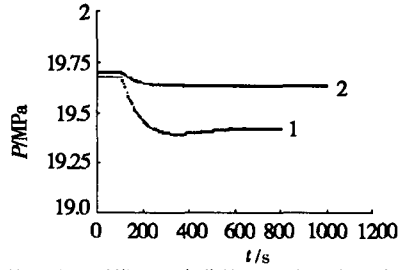
图3 实时模型连接图

时间步长,实时模型采用 0.5 s 的时间步长. 实时模型为了达到实时的效果,采用了大时间步长,其精度要比非实时模型稍差一点,但其误差在允许范围之内. 下面列出了在两种扰动状态下的非实时和实时模型的部分仿真结果.

#### 4.1 燃料量阶跃扰动 -5%

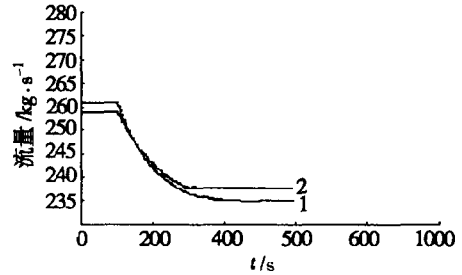
稳定运行 100 s 之后加入 -5% 燃料量阶跃扰动,主要响应的动态曲线如图 4 和图 5 所示,仿真试验时解除所有控制系统.

如图 4 所示,由于换热量减小,在其它条件不变的



曲线1. 非实时模型响应曲线 2. 实时模型响应曲线

图4 汽包压力响应曲线



曲线1、2的含义和图4相同

图5 过热蒸汽流量响应曲线

情况下,产汽量必将减小,这样汽包的蒸汽比例降低,汽包压力将逐步减小并最终趋于稳定. 对于实时模型其压力变化比较平缓,非实时模型和实时模型相比,其压力变化要剧烈一些.

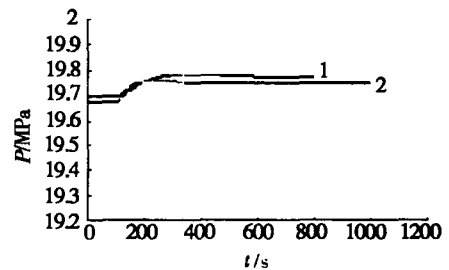
随着汽包压力和过热蒸汽压力的下降,过热蒸汽流量开始减少,随着压力逐渐趋于平衡,流量最后趋于稳定. 从图上可以看出,实时模型流量的变化较平缓,非实时模型流量变化较剧烈,主要是由于非实时模型的压力变化较实时模型大一些.

#### 4.2 给水量阶跃扰动 -5%

稳定运行 100 s 之后加入 -5% 给水阶跃扰动,主要响应的动态曲线如图 6 和图 7 所示,仿真试验时解除所有控制系统.

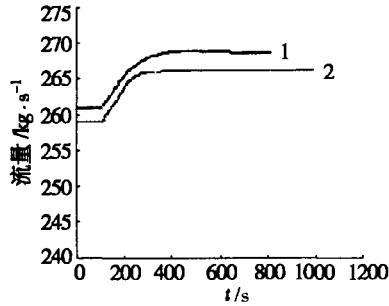
由于给水量阶跃减少,在蒸发量不变的情况下,必然导致上升管出口蒸汽干度增大,汽包压力逐渐升高,最后趋于稳定. 对于实时模型,其压力变化幅度较非实时模型要小一些,非实时模型压力变化大一些.

随着汽包压力和过热蒸汽压力的升高,过热蒸汽



曲线1、2的含义和图4相同

图6 汽包压力响应曲线



曲线1、2的含义和图4相同

图7 过热蒸汽流量响应曲线

流量开始增加,随着压力逐渐趋于平衡,流量最后趋于稳定.对于实时模型过热蒸汽流量的变化要比非实时模型小一些,主要是由于实时模型的压力变化较非实时要小.

## 5 结论

通过试验验证,实时模型和非实时模型都能够正确反映自然循环锅炉系统动态特性;实时模型采用10倍于非实时模型的时间步长,大大节省了计算量,还能保证其误差在允许范围之内,因而,实时模块可以有效

地用于实时仿真.因此,可以利用实时模块建立培训仿真机模型进行更为精确和范围更广的电站培训仿真.

## 参考文献:

- [1] SMITH L P. Modular Modeling System (MMS): A Code for the Dynamic Simulation of Fossil and Nuclear Power Plant [S]. EPRI CS/NP-2989. 1983
- [2] NORMAN S YEE, JOHN R BURRIS. Enhancements to the Modular Modeling System to Build a Dynamic Simulation of the New Production Reactor[J]. EPRI international conference on power plant & power system training simulators & modeling, 1991, (4): 8-11.
- [3] NORM YEE. Developing MMS RTC Compatible Modules[J]. EPRI international conference on power plant & power system training simulators & modeling, 1999, (10): 4.
- [4] 胡银雷,技术标准(锅炉运行规格)[S]. 内蒙古蒙达发电有限责任公司,1998.
- [5] 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): 3-5.
- [6] 何祖威,唐胜利,杨晨. 热力系统模块化仿真技术[D]. 重庆:重庆大学,1997.

# Two Types Modules for the Boiler Attached to 330 MW Unit

WANG Yong, HE Zu-wei

(College of Power Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Boiler is an important facility in power plant, the safety and economy of unit is affected by it. Studying the dynamic of boiler can improve the knowledge about boiler, which is important for. Features of MMS are introduced based on MMS simulation setting, and the real time capable module and non real time capable module are compared from principle. Real time capable dynamic model of boiler and non real time capable dynamic model of boiler of 330 MW unit are established. The experimental results show that the dynamic process of two type model accords with the mechanism of the object, at the same time, the validity of real time capable module is discussed.

**Key words:** Real time capable module; dynamic model; MMS simulation setting

(编辑 陈移峰)