

具有开式炉膛的液态炉的动态分析

DYNAMIC ANALYSIS OF WET-BOTTOM BOILER WITH OPEN FURNACE

丁萃菁 陆向阳**
Ding Cuiqing Lu Xianyang
(重庆大学热力工程系)

摘 要 根据一台具有开式炉膛的液态炉之结构和热力参数进行了动态计算与分析。

关键词 液态炉; 动态特性; 权余法

中国图书资料分类法分类号 TK229.64

ABSTRACT The dynamic calculation and analysis for a wet-bottom boiler with open furnace is presented in accordance with its structural and thermal parameters.

KEY WORDS wet-bottom boiler, dynamic characteristics, the method of weighted Residuals

0 前 言

液态排渣炉在燃用低挥发份、含有易熔灰、易结渣这一类燃料时,能很好地解决煤粉在炉膛着火和结渣间的突出矛盾,提高电站锅炉运行的可靠性,因此,这种炉型在锅炉行业中占有一定的地位。近年来,随着液态排渣炉容量的增大、锅炉参数的提高及结构的复杂化,对其控制系统的要求更为严格,因而必须对液态炉进行动态计算与分析,以便为锅炉及其控制系统的设计与改进(或整定),提供较为准确的动态参数。

本文从分析液态排渣炉的物理过程着手,在建立其热力模型时,充分地考虑了液态炉炉膛热负荷变化的特点,对蒸发管采取分段、分布参数模型描述,并且在全炉模型中还考虑了过热器参数的分布特性。

在全炉的动态计算中,首先对模型中的偏微分方程采取正交配置法作近似变换,然后对液态炉的动态过程进行了数字仿真,其结果与试验数据是相符合的。

1 热力模型

作为本文实例的130T/h液态排渣炉,为自然循环汽包炉,开式炉膛、微倾斜炉底。锅炉各个部分的结构、受热情况以及工质状态等存在着较大的差异,因此建模时,将整台锅炉按蒸发管上、下段,汽包,下降管,高、低温过热器,减温器,省煤器,主蒸汽管等分为八个部分。

* 收文日期 1989-05-19

** 硕士研究生

并假定各个部分的受热管,沿管的径向金属管壁温度均匀分布,轴向无导热,金属壁温与工质内能成比例变化;不考虑并联受热管之间以及单根管沿周围的热偏差;视管内工质沿壁面无流动附面层,管横截面上工质热力参数相同。

下面针对锅炉的各部分具体情况,分别写出描述其热力过程的方程式。

1.1 炉膛的传热与蒸发管

1.1.1 炉膛传热

液态排渣炉与固态排渣炉相比较,其最大的差别在于液态排渣炉炉膛下部设置了熔渣段。熔渣段的耐火涂料层改变了炉内传热量的分布。若沿蒸发管高度按其吸热的不同变化,将蒸发管分为 ab 和 bc 两段,如图 1 所示。每段蒸发管的吸热量是炉膛高度 z 的函数,即

$$q_i(z) = \varepsilon_i(z) \bar{Q} / z \quad (1)$$

(i = ab, bc)

式中 \bar{Q} ——炉膛内平均传热量;

$\varepsilon_i(z)$ ——蒸发管的吸热不均匀系数;

$$\varepsilon_i(z) = \sum_{j=1}^4 a_j z^j \quad (j = 0, 1, \dots, 4) \quad (2)$$

a_j 拟合系数其值列表 1。

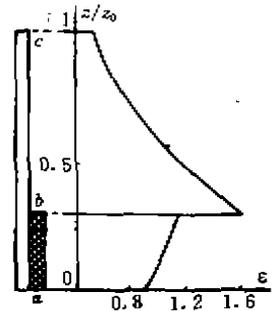


图 1 蒸发管的吸热不均匀系数

表 1 系数 a_j 的值

	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
ab 段	0.89052	1.48496	-2.38763	6.50429	-21.6807
bc 段	3.72791	-12.6062	24.4211	-23.4092	8.41633

本文采用涅伦彼格法^[1]计算炉膛传热量和出口烟温较常用公式所得的计算值更接近实测值,即

$$Q = \mu(\eta_0 Q_a + Q_2)$$

$$t_0 = \frac{(1 - \mu)(\eta_0 B Q_a + Q_2)}{(1 - q_N) c_p v_g B} + t_0 \quad (3)$$

式中 $\mu = 0.452k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6 + c_1$,

$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, c_1$ ——分别为与燃烧室总容积大小、单位容积热负荷、冷却度、过剩空气系数、燃料的低位发热量(Q_2)、煤粉细度、燃烧空气平均温度有关的系数;

η_0 ——炉膛内的燃烧效率(%);

Q_a ——空气带入炉膛的热量;

q_N ——机械和化学未完全燃烧损失(%);

c_p, v_g ——烟气比热,容积;

t_0 ——环境温度;

B ——燃煤量。

1.1.2 蒸发管

在该系统中,沿蒸发管高度不仅存在着吸热分布的不均匀性,而且汽水两相工质状态也是在变化的,还加上蒸发管下段涂有保温盖层,使得这部分对该系统的动态变化影响很大,

因此建模时将蒸发管部分仔细考虑,突出了动态变化过程中参数变化的分布特性。这样,将蒸发管作为分布参数环节,虽增加了系统模型的复杂程度,但却使系统的机理过程处理得到简化。并考虑到该炉省煤器为沸腾式,给水进入系统无欠焓,在蒸发管入口处炉水的欠焓也极小,予以忽略,还假定蒸发管内汽水均匀混合,两相之间无相对滑动,视其高度近似等于其长度(L)。其动量、能量、质量平衡方程如下,

$$F \frac{\partial D}{\partial \tau} + 2Dv \frac{\partial D}{\partial L} = - (D^2 \frac{\partial v}{\partial p} + F^2) \frac{\partial p}{\partial L} - D^2 \frac{\partial v}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial L} - \xi F^2 D^2 v \quad (4)$$

$$F \frac{\partial v}{\partial \tau} + v^2 \frac{\partial D}{\partial L} = 0 \quad (5)$$

$$F \frac{\partial u}{\partial \tau} + Dv(1 + p \frac{\partial v}{\partial u}) \frac{\partial u}{\partial L} = (Fp \frac{\partial v}{\partial p} + vM_c C_p \frac{\partial \theta}{\partial p}) \frac{\partial p}{\partial \tau} + q_s \quad (6)$$

式中 F, D, p, θ ——管截面积、工质流量、压力与温度;

ξ ——阻力系数;

u, v ——管内工质的内能、比容;

$$u = \frac{v'' u' - v' u''}{v'' - v'} + \frac{v\tau}{v' - v'} \quad (7)$$

$$v = \frac{v' v''}{\beta v'' + (1 - \beta)v'} \quad (8)$$

τ ——工质的汽化潜热;

β ——汽水混合物中容积含湿量;

u'', v'', u', v' ——饱和状态时汽、水的内能、比容;

q_s ——蒸发管的吸热量,其上段为 q_w ,下段变为 q_c ;

$$q_w - q_c = \frac{d}{d\tau} M_c C_p \theta_c \quad (9)$$

M_c, C_p, θ_c ——保温盖层的质量、比热与温度。

下降管和汽包用集中参数模型描述,根据这部分方程可导出汽包压力及水位的动态变化表达式^[2]。

1.2 过热器

考虑了工质内能沿管长的变化,将内能作为分布参数,而将工质的压力、流量视为集中参数,用其出口点值作为代表参数,汽侧与烟侧的换热方程用经验公式导出,其能量、质量平衡与动量方程的形式为

$$\begin{aligned} & \left(\frac{F}{v} + F_m C_m a \right) \frac{\partial u}{\partial \tau} + D_0 (1 + p_0 \frac{\partial v}{\partial u}) \frac{\partial u}{\partial L} \\ & = q - D_0 p_0 \frac{\partial v}{\partial p} \left(\frac{p_0 - p_1}{L} \right) - p_0 v \left(\frac{D_0 - D_1}{L} \right) + D_0 v_0 f \end{aligned} \quad (10)$$

$$F \frac{\partial v}{\partial p} \frac{dp}{d\tau} + F \frac{\partial v}{\partial u} \frac{d}{dL} \int_0^L u dL = v_0^2 (D_0 - D_1) / L \quad (11)$$

$$p_1 - p_0 = \xi v_0 D_1^2 \quad (12)$$

$$q = k(\bar{\theta}_p - \bar{\theta}) \quad (13)$$

式中 $\bar{\theta}_p, \bar{\theta}$ ——平均烟温、汽温;

k ——与传热系数、蒸汽和烟气流量有关的系数;

$$k = \frac{k_1 k_2 D_0^{0.8} D_1^{0.65}}{k_2 D_0^{0.8} + k_1 D_1^{0.65}} \quad (14)$$

F_m, C_m ——金属管壁截面、比热。

1.3 主蒸汽管

能、质平衡及阀门方程

$$D_1 u_1 - D_0 u_0 + D_1 p_1 v_1 - D_0 p_0 v_0 = \left(\frac{V}{v} + M_m C_m \alpha \right) \frac{d}{d\tau} u_0 \quad (15)$$

$$D_1 - D_0 = -V \left(\frac{\partial v_0}{\partial u_0} \frac{du_0}{d\tau} + \frac{\partial v_0}{\partial p_0} \frac{dp_0}{d\tau} \right) \quad (16)$$

$$\frac{D}{D_s} = \frac{x}{x_s} \frac{p}{p_s} \sqrt{\frac{\theta_s + 273}{\theta + 273}} \quad (17)$$

式中 x ——阀门开度；

下角标 s ——稳态值。

1.4 省煤器

作为集总参数单元处理

$$\left(\frac{V}{v} + M_m C_m \alpha \right) \frac{du_0}{d\tau} = D_1 u_1 - D_0 u_0 + q \quad (18)$$

$$q = k D_s^{0.8} (\bar{\theta}_s - \bar{\theta}) \quad (19)$$

质量平衡方程与式(16)相同(当需将模型进一步简化时,可将水视为不可压缩流体)。

减温器也作为集总参数单元处理。

当不考虑式(4)~(6)、(10)、(11)中参数随 L 变化时,则分布参数模型变为集总参数模型。

2 计算方法及其结果

2.1 计算方法

在液态排渣炉的整体模型中,包括有偏微分方程、常微分方程及代数方程。对于常微分方程和代数方程求解不存在困难,而对于其中的偏微分方程,若采取常用的传递函数方法,则导致解超越函数的麻烦;若采取有限差分法,则需要将锅炉的各个部分划分成许多单元,按单元列写方程,会极大地增加解算工作量。本文采用权余法中的正交配置和数值方法相结合计算动态方程,能保证在同样的精度情况下,其计算工作量比单用数值方法求解时少,并且用正交配置法还避免了一般权余法的复杂积分系数计算。此法只要将满足如下正交条件

$$\int_0^1 P_j(L) P_i(L) = 0 \quad (j \neq i) \quad (20)$$

如式中 $P_i(L)$ 为勒让德多项式视作偏微分方程的近似解

$$\text{即 } X_i(L, \tau) = X_i(0, \tau) + L \sum C_n P_{n-1}(L) \quad (21)$$

并选取勒让德多项式的根作为配置点(即满足 $P(L) = 0$ 的点),如图 2 所示为蒸发段和过热段的配置点,将式(4)~(6)、(10)中变量对坐标 L 的偏导数表示为配置点的值,即

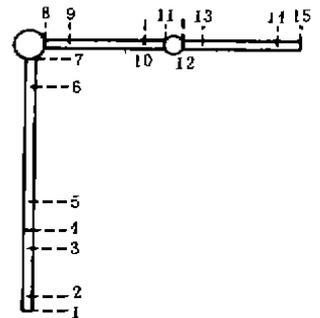


图 2 配置点的分布

$$\frac{\partial X_t}{\partial L} = \bar{A}X_t \quad (22)$$

$$\frac{\partial^2 X_t}{\partial L^2} = \bar{B}X_t \quad (23)$$

式中 $\bar{A} = \bar{D}\bar{Q}$

$$\bar{B} = \bar{H}\bar{Q}^{-1}$$

$\bar{Q}, \bar{D}, \bar{H}$ ——分别与近似解及其一阶、二阶导数有关的矩阵

这样,经过上述变换就能将偏微分方程(4)~(6)、(10)转化为常微分方程,然后再采取数值方法对液态排渣炉的动态过程进行仿真。其变换计算框图见[2]。

2.2 计算结果

当锅炉燃煤量、调节阀门、给水量等各个扰动时,锅炉的主要输出参数的动态响应,如图3~5所示是符合实际变化规律的。

分布参数模型和集总参数模型的计算结果与现场试验数据相对照,如图6所示,显然,分布参数模型的动态响应值的起始段更接近试验曲线。由图7可知,当燃煤量扰动时,其水位响应无论是对分布参数模型或是对集总参数模型均会出现假水位现象,只不过集总参数模型反映的水位膨胀要比分布参数模型更突出。这是由于分布参数模型是以蒸发管长上多点(即配置点)的参数为代表参数,而集总参数模型的代表点选择在蒸发管的出口点,而在蒸发管中这点的含汽率最大,因此在调节阀门扰动所引起的压力变动中,含汽量愈大对水位膨胀影响则愈大。再有,当减温水量扰动时,分布参数模型反映的过热汽温动态变化的延迟比集总参数模型要大些,如图8。

3 熔渣段蓄热容对动特性的影响

在本台液态排渣炉的熔渣段上(即燃烧器周围及其以下的水冷壁和炉底上),分别敷设了约50mm、100mm厚的耐火涂料。显然,这一具有相当厚度的熔渣段涂料盖层不仅改变了沿炉膛高度蒸发管吸热量的分布,而且对锅炉的动态特性有较大的影响,这可通过改变耐火涂料盖层厚度时的动态仿真试验得出。当锅炉燃煤量扰动时,随盖层厚度改变,锅炉的汽压变化最为突出(如图9)。由图10可知,随盖层厚度增加,锅炉在动态过程中热惯性增大,因而动态时间常数明显增加。

4 结 论

- 1) 本文用理论分析法建立的模型能够正确地反映锅炉系统的分布参数特性及其动态变化规律,它为锅炉及其控制系统的改进(或整定)提供重要的依据。
- 2) 用本文模型作仿真试验所得到的熔渣段涂料盖层厚度与动态时间的关系,对实践具有指导意义。
- 3) 本文应用正交配置法近似求解分布参数模型是一种较为简单、易行的方法,且具有普遍的适用性,可推广应用于其他锅炉。

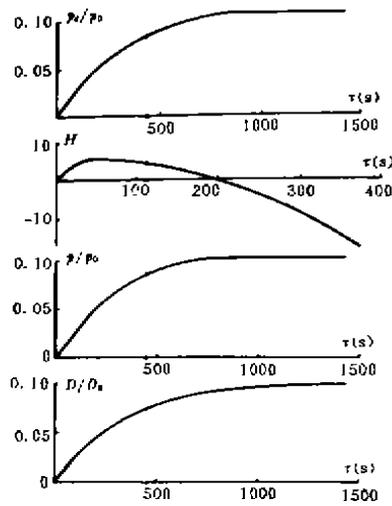


图3 燃煤量扰动时的响应

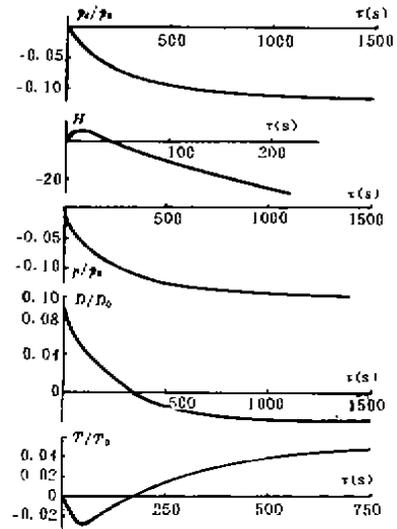


图4 调节阀开度扰动时的响应

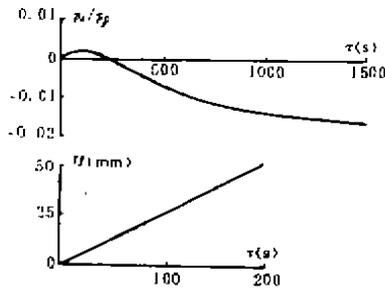


图5 给水量扰动时的响应

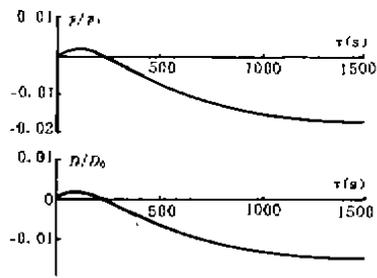


图6 燃煤量扰动(-5%)时的响应

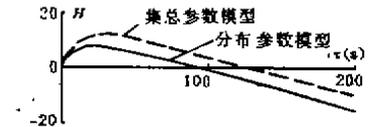
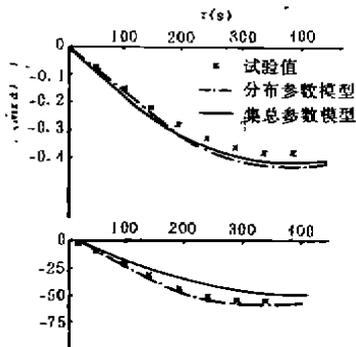


图7 燃煤量扰动时水位特性比较

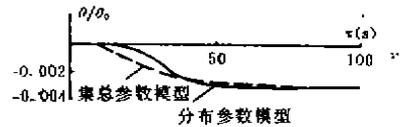


图9 熔渣段盖层厚度对汽压动态变化的影响

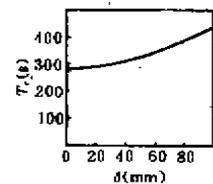


图10 盖层厚度与时间常数的关系

参 考 文 献

- 1 多列奇尔著,崔伯勋等译. 液态除渣燃烧室. 水利电力出版社,1959
- 2 Cuiqing DING, Chunming NIE, and Xianyang Lu, Dynamic characteristics of Wet-Bottom Boiler by the Method of orthogonal collocation, Advances in Energy Conversion Engineering, proceedings of the first ICEESE, 1990, 617~621

· 研究简讯 ·

关于机械零件陈列品表面处理*

朱心惠

(重庆大学)

1 问题的提出

高等学校工科各专业普遍要讲授机械零件课程,它是一门实践性较强的技术基础课。为了贯彻“精减教学内容,改进教学方法,加强实践环节”的教学改革精神,根据教学大纲的内容,建立一个机械零件教学陈列室,帮助学生学习和掌握本课程的知识,开阔学生的视野是十分必要的。这就要求陈列室的展品中具有各种类型的通用机械零件、部件,并且还要具有各种典型结构和典型失效形式。这些机械零部件,特别是失效的零件,是从各有关工厂搜集来的。作为展品,必须经过除锈等表面清洗,使表面恢复金属原有的色泽和光亮,并且能充分反映失效表面的原有状态,还要能在若干年内不氧化,不锈蚀。过去常用的表面处理方法如:涂凡士林、刷清漆等都不能满足上述要求。为寻求一种满足上述要求的新的表面处理材料和方法,需要进行实验研究。

2 实验研究

我们在调查研究中,受到扑克牌表面极薄透明膜的启发,找到了用于金属和非金属表面的无色透明保护膜的材料、配方及工艺。

要使玻璃树脂膜以一定的强度与金属表面紧密结合,形成的膜既薄又透明,且不起层,不脱落。因而材料的浓度配方以及制作过程至关重要。我们分析了各个材料所起的作用后,经过上百次试验,终于获得了最佳配方,主要材料有:

(1) 玻璃树脂; (2) 乙醇(工业用); (3) 三乙稀四肢。 配制时要严格掌握好比例和浓度。

3 加工工艺

涂膜处理前对机械零件表面必须清洗干净,严格的除去锈和油污,清洗的愈干净,玻璃树脂与零件表面粘结得就越牢固。涂膜:用毛刷将配好的玻璃树脂溶液涂满零件表面,操作要快且均匀。

加热:涂好的零件必须立即放入烘箱加热、保温。零件越大,加热保温时间越长。然后随炉冷却。

我们采用玻璃树脂作金属零件展品表面保护膜达到了预期效果,使用七年多来仍保持完好。这种方法,受到了国内高等院校同仁的重视,认为此法对“零件表面处理有独到之处,无色透明,较好的保护原貌,希望能将此法介绍推广”。

* 收文日期 1991-05-10