

$$= 4.18 \times 81 \times C_{ar} \int_{D_{min}}^{D_{max}} P_b(D) [1 - \Phi(D)] \eta(D) \Phi(D) \left\{ \frac{1}{1 - \eta(D) [1 - \Phi(D)]} \right\} dD - 9.8 F_3 \int_{D_{min}}^{D_{max}} H P_3(D) \eta(D) \left[\frac{1}{1 - \eta(D)} \right] dD \quad (18)$$

对上式求导, 则当 $\Delta Q'(K) = 0$ 时的 K 即为最优循环倍率。

$$\Delta Q'(K) = Q'_{in}(K) + Q'_{out}(K) = 4.18 \times 81 \times C_{ar} \int_{D_{min}}^{D_{max}} \frac{dP_b(D)}{dK} [1 - \Phi(D)] \eta(D) \Phi(D) \left\{ \frac{1}{1 - \eta(D) [1 - \Phi(D)]} \right\} dD - 9.8 \int_{D_{min}}^{D_{max}} H \frac{d(F_3 P_3(D))}{dK} \eta(D) \left[\frac{1}{1 - \eta(D)} \right] dD \quad (19)$$

此时 $K = K_0$ 时, $\Delta Q(K) = \Delta Q_{max}(K)$, 为能量最优循环倍率。

综合的最优循环倍率应包括受热面的磨损、炉内传热和脱硫等方面的影响, 将在下一步研究中继续讨论。

3 结论

循环倍率是循环流化床锅炉设计和运行的重要参数之一。合理地选择循环倍率对锅炉的安全和经济运行都有重大现实意义。本文从受循环倍率影响最大的能量角度入手, 并结合床料的粒度分布进行循环倍率的优化, 所建立的循环倍率优化模型可用于指导循环流化床锅炉的设计与运行。

参考文献

- [1] 陈晓平, 孙恩召, 秦裕琨, 庞丽君, 黄怡民. 大型飞灰循环流化床燃烧模型. 工程热物理学报, 1993, 8, 332~335.
- [2] Werrick D, et al Particle size reduction and elutriation in a fluidized bed process *AIChE Sym, Series*, 70, 137, 1974, . 366~378.

(渠源 编辑)

(上接 194 页)

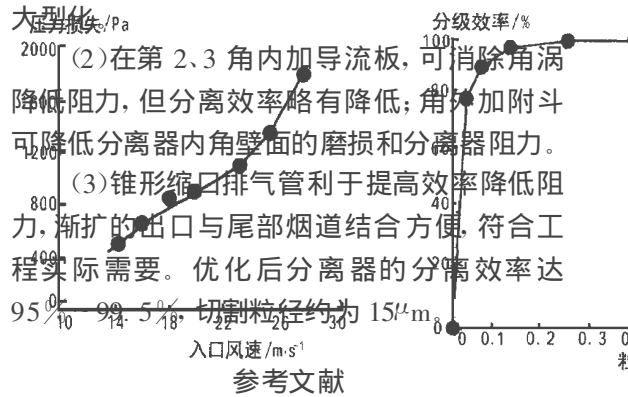


图 5 压力损失与入口风速的关系

图 6 下排气方式的分级效率

- [1] 李晓东. 循环流化床气固分离技术的试验及理论研究. [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 1994.
- [2] European Patent, No. 0481438A2, Oct. 15, 1991.
- [3] Canadian Patent, No. 2053343, Oct. 15, 1991.
- [4] 由长福. 方形分离器内气固两相流动的试验研究和数值模拟. [博士学位论文]. 北京: 清华大学, 1996.
- [5] Chen Hanping et al. Research for a new type of cyclone separator with downward exhaust gas. Proc. of 11 th Inter. Conf. on Fluidized Bed Combustion, 1991, 3:1367-1371

作者简介 邱坤赞 男 1972 年生 博士研究生, 主要研究方向为洁净燃烧技术和气固多相流。(通讯处: 310027 杭州·浙江大学热能工程研究所)

(渠源 编辑)

图 6 是入口风速为 19.6m/s, 入口浓度为 2.0 kg/m³ 时的分级效率。由图可以看到, 分离器的切割粒径约为 15 μm, 对粒径大于 200 μm 的颗粒分离效率已达 100%, 适用于作为燃煤循环流化床锅炉的气固分离装置。

4 结论

经过试验和分析讨论, 可得出如下结论:

(1) 方形下排气旋风分离器可与循环流化床锅炉水冷壁直接结合, 增加受热面积, 易于实现 II 型结构, 结构简单, 减小耐热层和防腐层, 造价低, 易于

自然循环锅炉整体动态特性分析

(清华大学热能工程系) 衣同训 索沂生 程芳真 蒋滋康

[摘要] 运用理论分析和经验归纳相结合的方法,系统总结并提炼出了一整套自然循环锅炉的整体动态数学模型,并编写了相应的实时仿真程序。仿真试验表明,该数学模型能够比较准确地反映自然循环锅炉的整体动态和静态特性,并可用于优化锅炉设计和控制系统配置。

关键词 自然循环锅炉 动态特性 静态特性 动态响应
中图分类号 TK223 TM621

本文从锅炉的基本工作过程出发,在总结已有模型^[1,2]的基础上,建立了锅炉各部件的局部动态

数学模型。把这些局部模型结合起来便可以推测锅炉的整体动态特性。

1 自然循环锅炉的数学模型

关键的数学模型如下:

1.1 炉膛出口烟气温度的 T_{lt} :

由实验数据拟合得出

$$T_{lt} = (T_p + 273) / \{1 + M[(T_p + 273)^3 / (B_p C_y)]^{0.6}\} - 273.15$$

其中:炉膛平均燃烧温度

$$T_p = (Q_k + Q_m) / (G_y G_y);$$

$$Q_m = B_p Q_{tz} (1 - Q_1 - Q_2)$$

$$\frac{dP_b}{d\tau} = \frac{[Q + D_{gs}(H_{gs} - H) - (D_{qm} - D_{zz})H](\rho' - \rho'') - H''(D_{cq}\rho' - D_{gs}\rho'' + D_{pf}\rho'')}{[\rho'_v f_1 + \rho''(v - v')f_2 + M_{yx}C_j f_3](\rho' - \rho'') + [\rho''_v f_4 + \rho'(v - v')f_5]H''}$$

$$\text{其中: } f_1(p_b) = \frac{dH'}{dP_b}; f_2(p_b) = \frac{dH''}{dP_b}; f_3(p_b) = \frac{dT_b}{dP_b}; f_4(p_b) = \frac{d\rho'}{dP_b}; f_5(p_b) = \frac{d\rho''}{dP_b}$$

蒸发区工质吸热量 $Q = \alpha(T_j - T_b)^3$, 水冷壁管

其中蒸发区能量守恒方程为:

内放热系数 α 由实验数据拟合而得。

$$\frac{d[\rho'_v(H' - P/\rho') + \rho''(v - v')(H'' - P/\rho'') + M_{yx}C_j T_b]}{d\tau} = Q + D_{gs}H_{gs} - D_{cq}H'' - D_{pf}H'$$

1.3 水冷壁金属壁温动态方程

$$M_j C_j \frac{dT_j}{d\tau} = f_i(Q_k + Q_m - G_y C_y T_{lt}) - Q$$

1.4 对流受热面的建模方法

采用高精度的分段集中参数方法建模。最佳的分段数目 $N = \alpha(1 + \kappa)^2 / 2^{1.1}$ 。

其中 $\alpha = MC_p / (M_m C_m)$; $\kappa = kUL / (\rho C_p F W)$ 。

2 模型计算

2.1 算法

以天津电力工业局 50M W 电站锅炉(锅炉负荷 410 t/h, 主汽温度 536℃, 锅筒压力 11MPa)为对象,

以沈阳某专科学校锅炉教学软件(已验收, 仿真精度达到 5%)的研制为背景编写了各种模块, 具有主要参数实时显示、参数冻结、运行趋势显示、数据存储和打印、故障设置和事故报警等功能。动态方程的求解采用了能够满足实时仿真要求并适应大幅度负荷变化的二阶离散精度的改进欧拉法。计算时应首先准备好原始的稳态数据; 依次进行燃烧系统、蒸发系统和对流受热系统的计算, 得到炉膛、锅筒及对流受热系统各环节的参数; 然后进行汽机压力流量通道的计算, 得到汽机母管压力和锅筒出汽量。

2.2 试验结果分析(扰动量皆为 15%)

2.2.1 锅筒水位阶跃响应(图 1)

保持汽机阀门开度和给煤量不变, 使锅筒给水

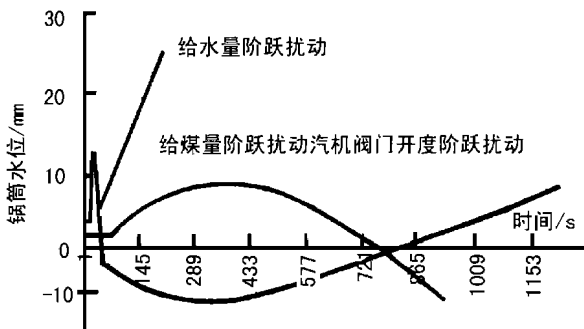


图 1 锅筒水位阶跃响应

量阶跃增加。开始时锅筒水位上升缓慢。这是因为锅筒给水温度低,锅筒水容积中的汽泡受冷体积收缩;之后,锅筒水位几乎直线增长。这是因为锅筒给水量大于锅筒的出汽量。

保持给煤量和锅筒给水量不变,使汽机阀门开度阶跃增大。开始时锅筒水位有一个比较大的瞬时上升。这是因为汽机阀门突然开大使汽机进汽量瞬时急剧增加,致使锅筒压力瞬时降低,水容积中的汽泡瞬时膨胀;之后,锅筒水位回落。这是因为汽机阀门开大后的一段时间内汽机进汽量大于锅筒给水量;最后锅筒水位直线上升。这是新稳态的锅筒出汽量小于扰动前的值(见图 2)。由于在亚临界压力下运行的锅炉,工质的潜热随压力降低而增大。而阀门开大后,锅筒压力是要降低的(图 3)。因此在给煤量不变的情况下,锅筒出汽量就相应地减小了。保持汽机阀门开度和锅筒给水量不变,使给煤量阶跃增大。开始时锅筒水位逐渐上升,这是因为炉膛辐射热量增加使上升管和锅筒内汽泡进一步受热膨胀;之后锅筒水位逐渐回落,并最终呈直线降低。这是因为新稳态时锅筒蒸发量大于锅筒给水量(图 2)。

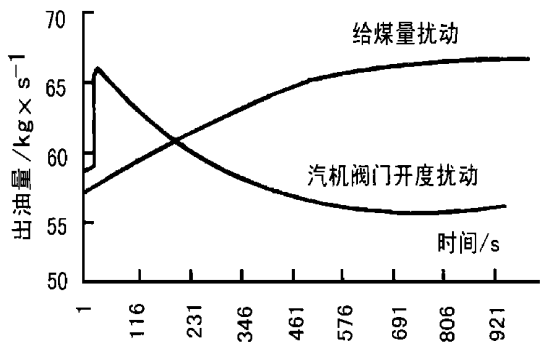
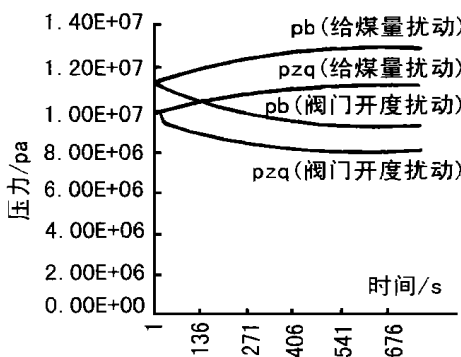
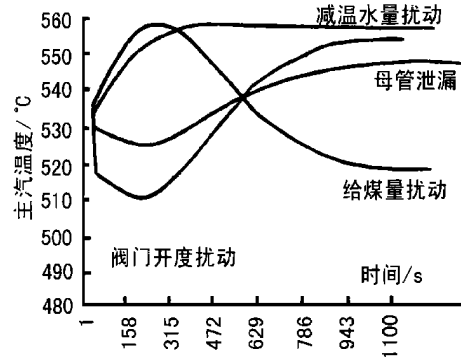


图 2 锅筒出汽量阶跃响应



2.2.2 锅筒压力和蒸汽母管压力阶跃响应 (图 3)

保持给煤量不变,使汽机阀门开度阶跃增大。 P_b 和 P_{zq} 瞬时降下;之后二者缓慢降低至稳定值,系统具有自平衡能力。保持汽机阀门开度不变,使给煤量阶跃增



加。 P_b 和 P_{zq} 缓慢增加,并且二者的压差亦逐渐增加。这是因为给煤量阶跃增加后,锅筒出汽量增大,沿程压力损失增加。

2.2.3 主汽温度阶跃响应(图 4)

保持汽机阀门开度和减温水量不变,使给煤量阶跃增加。开始时主汽温度逐渐上升;之后主汽温度逐渐降低,这是因为给煤量增加使锅筒出汽量的增加超过蒸汽吸热量的增加,致使单位质量的蒸汽吸热量减少;最后汽温达到稳态,其值低于扰动前。保持给煤量不变,使汽机阀门开度阶跃增加。开始时主汽温度迅速降低,这是因为汽机进汽量急剧增加致使母管压力和温度降低;之后主汽温度逐渐上升,这是因为阀门开大后锅筒出汽量逐渐降低,单位质量蒸汽吸热量增加;最后主汽温度达到新的稳态,其值高于扰动前。若保持阀门开度不变,使减温水量阶跃减少,主汽温度逐渐上升并最终达到新稳态。

2.2.4 锅炉故障影响(以母管泄漏为例)

P_b 和 P_{zq} 呈自平衡特性,其动态响应类似于图 3 的汽机阀门开度阶跃扰动曲线。由图 5 可见,泄漏开始时汽机进汽量 D_{zp} 逐渐降低,锅筒出汽量 D_{cq} 迅速增加;之后二者缓慢降低至新稳态值。由图 4 可见,开始泄漏时主汽温度迅速降低;之后主汽温度逐渐上升达到新的稳态,其值高于扰动前。

工业锅炉微机控制节能系统的改进

(成都全兴集团) 乐翔 吕龙武 曾泉
(哈尔滨邦科电子公司) 李颺

[摘要] 介绍了 GWK-01 型工业锅炉微机控制系统的改进措施以及改进后系统运行情况及其经济性。

关键词 工业锅炉 微机控制

中图分类号 TK 223.7

1 前言

工业锅炉是工业生产和人民生活中广泛应用的热力设备,在国民经济中占重要地位。我厂的三台 10 t/h 的 SHL 10-13-A 锅炉是电厂能源的核心,生产上的关键设备。在未使用微机控制之前,处于手动操作状态,问题较多。例如:锅炉热效率低,锅炉寿命缩短,电机频繁启动造成电流超载。电器开关使用寿命降低,粉尘多,劳动强度大,使锅炉不能为工厂生产、生活有效供汽。为降低能耗,提高劳动效

率,1997 年,我厂动力车间成立 QC 小组,并在四川工业学院电子电气系支持下,对 1993 年已购置而未能正常使用的 1、3 号炉上的两台微机进行了修复和改进。现已投入正常使用,经运行证明,对节省燃料,提高供汽质量,改善锅炉运行条件,减轻劳动强度,减少电力损耗都起到了明显效果。据市场调查,是四川地区较成功运用微机控制锅炉运行的机组之一,故该技改项目荣获 1998 年度成都市 QC 成果优秀奖。其系统改进工作简介如下。

2 系统存在的故障及对策

针对原有系统存在的故障,我们制定了相应对策,如表 1 所示。

表 1 故障分析及对策表

项 目	原 因	对 策
显示数据故障	1. 电源干扰(微机信号线未能屏蔽) 2. 电压波动范围大 3. 电源接地不良 4. 输入信号超量程	1. 加装 UPS 电源 2. 隔离电源接地 3. 输入板加滤波电容 4. 重新检验外围检测设备
炉排转速故障	1. 炉排转速信号与微机输入板不匹配 2. 输出信号与微机输出板不匹配	1. 微机电流检测口改为电压检测口 2. 滑差电机调速器的校正 3. 改进输出接口板
水位控制故障	1. 水位输入信号不正确	1. 对差压变送器重新校核
输入、输出配合故障	1. 电动执行器反馈信号存在误差 2. 差压变送器排污不当 3. II 型仪表线性度差 4. 热电阻、热电偶的损耗	1. 调节位置变送器反馈信号及执行器行程 2. 对导压管进行疏通 3. 对不匹配输出板进行改造 4. 对输入输出信号校核

3 改进后系统特点

3.1 主要功能

GWK-01 型工业锅炉微机节能控制柜,和现场检测系统(变送器、热电阻、热电偶、氧量计)以及执行机构(伺服放大器、电动执行器),构成了工业锅

收稿日期 1998-10-20 收修稿稿 1998-03-08

作者简介 乐翔(1974-),男,四川自贡人,助工,1996 年毕业于上海理工大学热能动力工程系,学士学位,1996 年入厂从事动力设备微机自动化系统调试与改造工作。通讯处:610036 成都土桥全兴酒厂动力车间

炉

微机控制系统,具有以下功能有:

3.1.1 数据采集、处理及显示 装置设有 12 寸绿色 CRT 显示,可对锅筒水位、蒸汽压力炉膛负压、炉内各点温度、煤量、汽量、水量、风量、送风风压等实行模拟流程图显示。改进后,采取了对模拟信号的限幅措施,从而避免了信号超量程造成的数据紊乱现象。

3.1.2 控制系统 具有独立的给水调节系统和给煤、燃烧自动调节系统。微机能完成对给水、给煤、送风与引风的自动控制,使锅筒水位、蒸汽压力、炉膛负压、风煤配比系数、烟气含氧量等运行参数,维持在规定范围,使锅炉处于安全、经济、稳定运行状态,解决了给煤速度信号与微机控制的匹配问题,能适应我厂生产用汽量变化大的实际情况,满足了生产要求。

3.1.3 报警 该系统可对水位、蒸汽压力、炉膛温度、炉膛负压等参数实现上下限越限报警。当运行参数越限时,声光自动报警。上下限位由操作人员在线设定、修改。

3.1.4 报表打印 本机配有 80 字符/行的通用并行打印机,可打印出十几种参数的数据,形成日用汽、水、煤统计报表,并开发出随机打印运行总图、光柱显示图、给定测量值显示图等多项功能。

3.1.5 累计积算 对汽量、水量、煤量等进行累计积算,并可对产汽量进行压力校正计算。

3.1.6 手操/自动双向无扰动切换 备有后备操作装置,能实现直接人工强电操作,提高了微机在生产中的适用性。

3.1.7 参数在线修改 在自动工作状态下,对各给定值、PID 整定参数、配比系数、实时时钟等实现在线修改,并可在 CRT 画面上显示。

3.1.8 备有 RS232 全双工串行接口,可实现计算机联网与管理。

3.2 系统硬件

本系统以 Z180MPU 为核心,主机箱内配有 9104ACPU 板,9210 高分辨率显示板,0811 光隔离 A/D 板,1234 光隔离热电阻 A/D 板,4302,4306 光隔离开关量 I/O 板,11060 光隔离 D/A 板,各模板通过 STD 总线与 CPU 相连,构成完整的工控主机,系统组成见图 1。

3.3 系统控制原理

工业锅炉本身是一个动态特性比较复杂的对象,其具有多输入、多输出,参数间相互耦合等特性。

本系统对锅炉自动控制基本上可分为上锅筒水位控