

锅炉对流面灰污监测和吹灰优化控制策略的研究

颜 磷, 赵 敏, 颜文俊

(浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 在介绍积灰危害和吹灰系统现存问题的基础上, 详细分析了灰污监测原理, 比较了现有监测技术和优化控制技术, 并提出了改进的思路。

关键词: 灰污监测; 神经网络; 优化控制; 模糊评判

中图分类号: TK227

文献标识码: A

Research on ash monitoring of convective surfaces and sootblowing optimization control of coal-fired utility boiler

YAN Lin, ZHAO Min, YAN Wen-jun

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

Abstract With the introduction of adverse effect caused by ash and present problems of sootblowing system, a detail analysis of ash monitoring principle is presented. Contrasts are given between the present different methods of monitoring and sootblowing judgment, and new thinking of improvement is put forward.

Keywords ash monitoring; neural network; optimization control; fuzzy judgment

1 引言

煤在锅炉中燃烧后, 产生的不可燃固体残余物称为灰渣, 由烟气从锅炉炉膛带出的固态燃烧残余物称为灰。煤中灰分含量的高低决定了锅炉灰渣生成量的大小。煤中的矿物质按照其来源一般可分为原生矿物质、次生矿物质和外来矿物质。通常, 锅炉受热面积灰和结渣主要是由燃煤中外来矿物质和次生矿物质在燃烧过程中发生选择性沉积造成的。劣质煤会加重积灰的程度。锅炉受热面的灰污通常可分为炉膛辐射受热面结渣和对流受热面积灰。受热面受积灰结渣的影响, 使得传热热阻和尾部烟道通风阻力增加, 影响了锅炉正常运行, 降低了锅炉的出力 and 效率。随着积灰厚度增加, 换热设备的传热热阻增大, 换热效率下降多达 1% ~ 2.5%, 排烟温度升高十几度。积灰严重时将降低机组负荷或停机, 容易造成重大事故, 不利于整个电网的稳定, 降低了全厂的经济效益^[1]。

电站对吹灰器的使用越来越重视。但是, 由于在锅炉吹灰系统应用、吹灰介质的选用、吹灰器投用时间安排和吹灰日常运行管理的各个环节上存在着不同程度的问题, 未能充分发挥吹灰器的作用。在此仅就吹灰器投用方案制定方面的问题作一简单介绍。

目前我国大型电站锅炉吹灰操作一般采用定时定量的程序控制方式。由于这种运行方式是在不了解受热面实际灰污状态下进行的, 不可避免地产生吹灰不足或吹灰过度, 且吹灰时间、部位大多凭经验决定, 吹灰过程存在人为地主观性。另外, 由于现场通常没有直接监测并显示受热面灰污程度的仪器, 吹灰过程带有很大的盲目性。优化除灰过程要综合考虑多方面因素的影响。

合理使用吹灰器对锅炉受热面的换热效果和运行经济性的影响是相当明显地, 但在锅炉运行过程中, 如果吹灰器地投用次数太多, 即吹灰周期太短, 将带来不必要地吹灰工质耗费和受热面炉管磨损腐蚀; 周

收稿日期: 2008-06-12

作者简介: 颜 磷 (1970-), 男, 硕士, 高级工程师。

基金项目: 浙江省科技计划资助项目

期太长, 则吹灰效果不好, 受热面的灰污引起的损失过大, 因此两者之间存在一个从锅炉运行经济性角度考虑最为有利的吹灰时间间隔——最佳吹灰周期. 吹灰系统的投用除取决于受热面实际灰污状况, 还受机组负荷和受热面寿命等多种因素限制, 同时会对机组工况和经济性等多方面产生影响^[2]. 因此, 一个完善的吹灰运行优化系统是一个复杂的工程系统, 主要包括积灰监测系统和优化控制系统.

2 对流面灰污监测原理及所需变量

常用污染因子表示受热面的污染程度, 定义为^[2]:

$$C_F = 1 - K_{sj} K_k \quad (1)$$

式中: K_{sj} 、 K_k 分别为受热面实际传热系数和理想传热系数. 传热系数综合反映受热面积灰、沾污状况. 当受热面积灰、沾污时, 实际传热系数 K_{sj} 值随着时间的推移会逐渐下降. 对积灰、沾污的受热面, 当略去管壁金属的热阻及管内水垢的热阻, 并忽略内外壁面积差时, 其传热系数可表示为:

$$K = \frac{1}{1/\alpha_1 + \varepsilon_i + 1/\alpha_2} \quad (2)$$

式中: α_1 、 α_2 分别为烟气侧放热系数和工质侧放热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; ε_i 为灰污层热阻, 即灰污系数, $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$. 当管壁没有受到积灰和沾污时, 理想传热系数可表示为:

$$K_k = \frac{1}{1/\alpha'_1 + 1/\alpha_2} \quad (3)$$

式中: α'_1 为烟气对清洁管壁放热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; α_2 为工质侧放热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$. 实际传热系数 K_{sj} 的计算依据一下算式:

$$K_{sj} = \frac{B_j \cdot Q}{F \cdot \Delta t} \quad (4)$$

$$Q = \varphi(H' - H'' + \Delta\alpha \cdot H_k^0) = \frac{D \cdot (h'' - h')}{B_j} \quad (5)$$

$$\Delta t = \frac{(\theta'' - t') - (\theta' - t'')}{\ln \left| \frac{\theta'' - t'}{\theta' - t''} \right|} \quad (6)$$

其中: Q 为受热面总吸热量, kJ/kg φ 为保热系数; $\Delta\alpha$ 为锅炉受热面的漏风系数; H_{ik}^0 为锅炉受热面的漏风, kg/s D 为工质流量, kg/s B_j 为计算燃料消耗量, kg/s H' 、 H'' 分别表示对流受热面进口烟气焓和出口烟气焓, kJ/kg h'' 、 h' 分别表示受热面进口工质焓和出口工质焓, kJ/kg F 为受热面的受热面积, m^2 ; Δt 为受热面的传热温度差.

根据以上分析, 要计算出对流面的污染因子, 必须计算出实际传热系数和理想传热系数. 实际传热系数可以根据式 (5) 计算得到, 而要计算理想传热系数必须先确定烟气侧放热系数 α_1 和工质侧传热系数 α_2 . α_1 、 α_2 和烟气侧的雷诺数 Re_1 、普朗特数 Pr_1 以及工质侧的雷诺数 Re_2 、普朗特数 Pr_2 有关, 决定这些准则数的主要物理量是烟气和蒸汽的流速, 以及它们的平均温度. 在实际中无法测得烟气的流量 V_y , 但可以通过下式计算^[2]:

$$V_y = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} + (\alpha - 1)V^0 \quad (7)$$

式中: V_{RO_2} 、 V_{N_2} 、 V_{H_2O} 分别为烟气中 RO_2 气体、氮气和水蒸气容积, m^3/kg V^0 为理论空气量, m^3/kg α 为过量空气系数, 利用下式计算:

$$\alpha = \frac{21}{21 - \varphi_{O_2}} \quad (8)$$

式中: φ_{O_2} 为烟气含氧量, %.

给煤量和工质流量与机组的负荷变化保持一致, 所以可以用机组的负荷来代替给煤量和工质流量参数. 因为工质流量是一个非常重要的参数, 所以仍然作为一个变量参与计算. 根据热能平衡, 4 个温度量中只有 3 个是自变量, 所以整个系统只需 3 个温度量. 进、出口工质温度必不可少, 而烟气侧的温度测点基本分布在锅炉的尾部, 根据热平衡计算原理, 在锅炉整体热平衡的基础上, 从省煤器出口开始, 逆烟气

流程逐段进行各受热面的热平衡和传热计算。

综上, 对对流受热面进行灰污监测需要的主要变量有: 工质进口温度、工质出口温度、烟气出口温度、机组负荷、过量空气系数、主蒸汽流量, 单位煤中 RO_2 、 N_2 和 H_2O 的含量。

3 监测模型的实现方法

利用以上公式和变量可以直接计算, 比如文献 [3], 也可以对每个对流面都利用一个神经网络实现, 比如文献 [2]。直接计算这种方法具有思路简单, 容易实现, 运用方便的优点, 在一定程度上能反应出灰污状况。但同时这种方法也有局限性。首先, 由于其不可能考虑到所有与之相关的因素, 一旦这些潜在的关联起作用时, 这种方法就显得无能为力了, 而这种情况对于大的复杂系统是很可能会出现; 其次, 计算过程中很多地方都使用了近似计算, 而这种近似计算是有一定的前提条件的, 当条件发生变化时, 这样的近似计算将不再合理; 再次, 计算中使用的一些参数是固定的, 当这些参数的实际值偏离理论值时, 计算将会产生很大的误差。这样的情况在实际运行中也是会出现的。人工神经网络是一个非线性动力系统, 除了具有自适应的学习能力, 还有很强的容错性和鲁莽性, 善于联想、综合和推广。它不需要输入实际模型, 依据实际样本进行训练, 可以在很大程度上克服直接计算的缺陷, 使得得出的模型更加真实地模拟实际情况。在结构选择合适的情况下, 神经网络运用的成败决定于样本的数量和质量。如果样本选择不合适神经网络很可能失去效用。

对于本系统样本的输入是与灰污有关的变量, 样本输出是污染因子。本系统中样本输出的合理确定是一个难点, 以前的做法是在一个吹灰周期内, 把吹灰起点的污染因子设定为最大值, 而把吹灰结束时的值作为最小值, 中间的污染因子的值通过线性差值的方法填补完整。现举一例, 如图 1 所示。这样做在一定程度上是可以比较合理的模拟实际情况, 但仍然存在很大的缺陷。因为试验样本中的吹灰本身是存在不合理性的, 如果按照上述方法进行样本输出计算就会默认它为合理的, 即吹灰是在最佳时刻进行的, 把这种不合理性带入神经网络, 显然效果会大打折扣的。

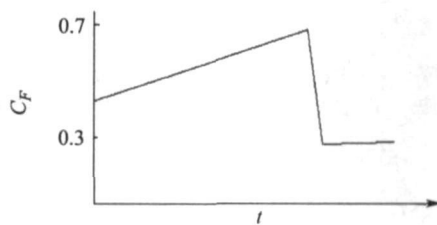


图 1 样本输出的污染因子

Fig. 1 Pollution gene of samples output

在这里, 我们可以采用以下办法进行合理确定样本输出: 以周期位单位先把各个变量参数的变化曲线描绘出来, 通过综合对比分析和以往的经验, 得出灰污的大致情况, 画出在选定的上下限范围内污染因子的变化曲线, 以此作为样本的输出对 BP 网络进行训练。这样确定的样本输出情况除了图 1 所示的情况, 还可能出现图 2 或图 3 的样子。图 2 表示的是在污染因子达到最大值一段时间后投入吹灰器, 图 3 表示污染因子还没有达到最大值就使用了吹灰器。这样的结果更符合实际情况。使用这样的样本输出训练的神经网络, 效果较以前会有提高。另外, 样本数要尽可能多些, 而且要能反映整个问题空间。

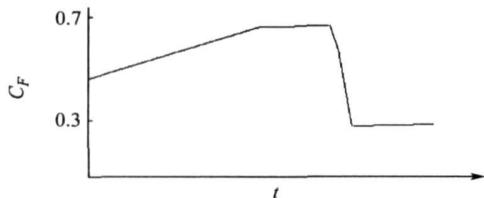


图 2 改进后样本输出的污染因子(1)

Fig. 2 Improved pollution gene of samples output(1)



图 3 改进后样本输出的污染因子(2)

Fig. 3 Improved pollution gene of samples output(2)

4 优化吹灰的控制方法

吹灰通过清除积灰面的灰污可以降低排烟温度, 保证蒸汽温度和调节度, 提高机组循环效率, 增加设备的安全性, 降低 NO_x 排放。但同时它会增加蒸汽消耗量, 吹灰器会消耗电能, 受热面寿命会有损耗, 吹灰设备折旧维护费用会增加, 短期烟尘排放也会增加。所以吹灰是一个既有收益又有损耗的过程, 而且其

中涉及到很多因素, 需要综合考虑, 根据吹灰损耗和吹灰收益确定合适的吹灰周期是很有必要的. 现大致有两种办法来确定最佳吹灰周期. 一种是先计算各项相关的经济指标, 针对某一对流面选取重要的指标相加组成综合的经济指标, 例如将经济指标选为 $\phi = \phi_{py} + \phi_1 + \phi_{yf} + \phi_{NOx} + \phi_{ch} + \phi_s + \phi_p$ (其中 ϕ_{py} 为排烟损失; ϕ_1 为高温受热面寿命损失; ϕ_{yf} 为引风机损失; ϕ_{NOx} 为 NO_x 排放损失; ϕ_{ch} 为吹灰介质损耗和电损耗; ϕ_s 为吹灰设备的折旧和维护; ϕ_p 为汽轮机功率损耗), 然后通过试验或是最优化计算得到最佳吹灰周期, 具体可以参考文献 [4] 和文献 [5]. 另外一种实现的办法是采用模糊评判的方式, 首先确定吹灰成本因素集和吹灰收益因素集以及评价决策, 例如吹灰成本集 $U_1 = \{$ 吹灰蒸汽耗量, 吹灰器驱动电能, 受热面寿命损耗, 吹灰设备折旧维护, 短期烟尘排放增加 $\}$, 吹灰收益集 $U_2 = \{$ 降低排烟温度, 保证蒸汽温度和调节点, 提高机组循环效率, 增加设备安全性, 降低排放 $\}$, 评价决策集 $V = \{$ 很需要吹灰, 需要吹灰, 可吹可不吹, 不需要吹灰, 很不需要吹灰 $\}$, 然后专家依据各因素对结果的影响程度给出权重系数, 从而组成权重集, 再通过试验^[6]或专家打分的方式来确定隶属度, 最后得到综合结论, 具体可参见文献 [7].

第一种是常用方法, 因其理论上直观方便可靠. 然而由于管道寿命估算、管道风险分析和污染物超标排放后果等问题的复杂性和不确定性, 试图建立一个精确的计算模型, 严格计算吹灰行为带来的各种收益和损失是十分困难的. 另外, 由于它把各种经济指标直接相加组成综合指标, 而没有考虑这些指标与吹灰的关联程度可能是不同的, 这样就无法突显出关键因素的作用. 第二种方法利用权重集克服了这个问题. 但是这种方法中需要设置权重和确定隶属度函数, 目前的办法更多的是利用专家经验, 存在的弊端也是显然的, 比如专家的经验是否全面, 与实际的偏差等. 最好的解决办法就是利用实时数据在线确定这些参数. 因其关系复杂不易得出显式关联的, 可以使用神经网络模拟它们的关系, 这需要长期的试验和数据采集, 工作量很大. 另外, 现在有许多评价问题可以用 BP 神经网络直接实现, 所以这种方法也是以后研究的一个方向.

参考文献:

- [1] 王新, 马波, 向文国. 600MW 机组锅炉对流受热面灰污在线监测研究 [J]. 发电技术, 2007, 26(5): 63~65.
- [2] 吴观辉. 基于人工神经网络的锅炉对流受热面污染监测研究 [D]. 南京: 东南大学, 2005.
- [3] 廖丹. 锅炉受热面积灰、结渣污染监测及吹灰判断 [D]. 北京: 华北电力大学, 2005.
- [4] 刘刚, 陆继东, 谢承利, 等. 燃煤电站锅炉吹灰经济性在线监 [J]. 锅炉技术, 2006, 37(3): 19~27.
- [5] 赵清明, 孔令君, 郭蓓, 等. 锅炉智能吹灰优化系统研发与应用 [J]. 中国电力, 2007, 40(2): 36~39.
- [6] 乔宗良, 张蕾, 蓝晓村, 等. 300MW 机组锅炉灰污在线监测和试验分析 [J]. 电力设备, 2006, 7(1): 51~53.
- [7] 柳青. 大型燃煤电站锅炉吹灰优化模型的试验与理论研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2005.

(责任编辑: 沈芸)