

# 火力发电机组能耗实时监测模型的研究

钱立军,周强,代家元

(江苏方天电力技术有限公司,江苏南京 211102)

**摘要:**介绍了一种新的锅炉效率计算模型,并分析了建立在此基础上火力发电机组能耗实时监测模型的研究方法,最后介绍了能耗在线智能诊断基本思路。

**关键词:**实时监测;模型;智能诊断

**中图分类号:**TK212.4

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2010)01-0062-03

火力发电机组能耗计算,长期由于煤量计量、煤质分析等过程环节的滞后,导致无法在线、实时计算,对于机组实时运行状态的监测仍然较多地停留在安全性角度。近年来,许多发电厂也从经济性角度,对在役机组进行了改善,如泵与风机的变频改造、加热器端差改造等等,但是这些都只是对局部系统的改善进而改善机组运行状态,并没有从经济性最直接的反映指标,即机组实时能耗的角度来分析机组的实时运行方式的改善<sup>[1]</sup>。

## 1 系统模型简介

火力发电机组能耗实时监测模型最关键的计算指标为供电煤耗率,它是反映机组经济性水平的最直接技术指标。根据热力学原理,供电煤耗率的计算公式为

$$b^g = \frac{q_r}{29271\eta_{e1}\eta_p(1-e)} \quad (1)$$

式中: $q_r$ 为汽轮机热耗率; $\eta_{e1}$ 为锅炉热效率; $\eta_p$ 为系统管道效率; $e$ 为单台机组的厂用电率。

### 1.1 锅炉效率计算方法

本计算模型锅炉效率采用反平衡方法,其计算公式为

$$\eta_{e1} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (2)$$

式中:化学未燃烧热损失 $q_3$ 、散热损失 $q_5$ 及其他热损失 $q_6$ 均可取定值或根据相关参数计算出来。

排烟热损失 $q_2$ 的计算方法:通过测量排烟中各烟气组分体积份额,可以计算出单位体积烟气排烟焓。同时,根据排烟中各烟气组分体积份额,可计算出入炉燃料中各元素对应摩尔数及生成单位体积烟气所需放出的热量,从而计算出排烟热损失 $q_2$ 。

机械未完全燃烧热损失 $q_4$ 的计算方法:在多次性能试验基础上,拟合出 $q_4$ 随燃料特性系数 $\beta$ 及煤种变化的曲线,根据排烟中 $CO_2$ 和 $O_2$ 体积份额计算

出 $\beta$ ,根据单位负荷下燃料消耗量判断煤种变化状况,从而近似计算出 $q_4$ 。

$q_2$ 和 $q_4$ 的计算避免了煤质分析过程, $q_2$ 的计算从对排烟组份分析的角度,避免了煤质测量计算煤的低位发热量。 $q_4$ 通过经验公式修正的方法来得到,以单位负荷给煤量来反映入炉煤低位发热量的变化,进而反映煤质分析中C元素含量的变化;以按实际烧掉碳含量计算的燃料特性系数的变化,反映灰渣中未燃尽碳的变化,从而对基准的 $q_4$ 加以修正,虽然会产生一定的误差,但由于目前300 MW以上火力发电机组相对来说煤质较为平稳,煤质分析中的C/H比、C/Q比波动很小,因而此模型在锅炉效率计算上的误差尚属可接受范围之内。例如2008年江苏省内各大火力发电机组煤质分析数据,统计分析得到其C/H比、C/Q比波动就很小,如图1所示。

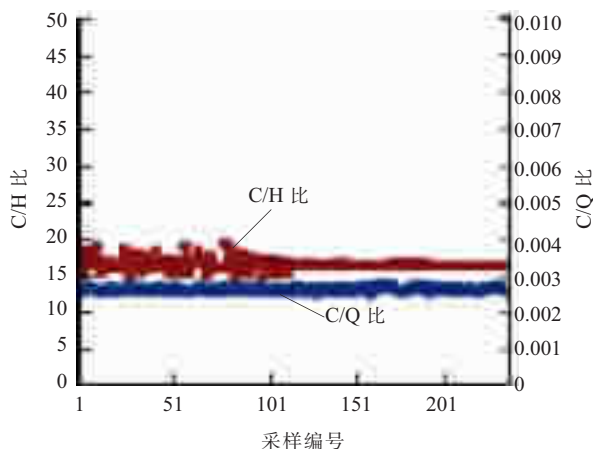


图1 2008年江苏省内火力发电机组煤质分析C/H比和C/Q比

从统计数据可以看出,江苏省内300 MW以上机组所使用的煤种其C/H比平均值为16.6888,均方差为0.7012;C/Q比平均值为0.002651,均方差为 $4.79 \times 10^{-5}$ ;以燃煤低位发热量来反映燃煤中C

元素含量可能产生的误差仅为 1.8%,造成机械未完全燃烧热损失与实际值的偏差率约为 0.27%,由此引起供电煤耗的偏差率约为 0.256%。

### 1.2 汽轮机热耗率计算方法

汽轮机热耗率的计算公式为

$$q = \frac{D_0 H_0 + D_{RH} H_{RH} - D_{fw} H_{fw} - D_{CR} H_{CR} - \frac{D_{SHS} H_{SHS} - D_{RHS} H_{RHS}}{P_{e1}}}{P_{e1}} \quad (3)$$

式中: $D_0$ 为主蒸汽流量; $H_0$ 为主蒸汽焓值; $D_{RH}$ 为再热蒸汽流量; $H_{RH}$ 为再热蒸汽焓值; $D_{fw}$ 为主给水流量; $H_{fw}$ 为主给水焓值; $D_{CR}$ 为冷再蒸汽流量; $H_{CR}$ 为冷再蒸汽焓值; $D_{SHS}$ 为过热减温水流量; $H_{SHS}$ 为过热减温水焓值; $D_{RHS}$ 为再热减温水流量; $H_{RHS}$ 为再热减温水焓值; $P_{e1}$ 为发电机功率。在汽轮机计算模型中,将进入汽轮机的总热量主要分为主蒸汽携带的和再热蒸汽携带的 2 部分,各焓值通过温度、压力求取,流量用能量平衡的方法获取。

### 1.3 厂用电率和管道效率的计算方法

通常,系统的管道效率变化不大,在此取定值作常数处理。火力发电机组的厂用电率采用机组的上网功率、发电机功率进行计算。

## 2 能耗实时计算模型应用前提——数据处理技术<sup>[2]</sup>

热工过程是一个大滞后、大惯性的过程,同一时标采集过来的一批实时运行数据并不代表彼此就能匹配起来,只有在工况稳定的情况下,各数据才能真正反映机组的实际运行情况,此时计算出来的能耗才是比较准确的。因此,上述火力发电机组能耗实时计算模型成功应用的关键就是必须是在工况稳定的情况下计算,才能得出正确的结果。如果工况不稳定,各参数的不匹配程度很大,极有可能导致计算结果错误。下面将从数据调和和技术、规则性判断 2 方面介绍此计算模型必须的数据处理技术。

### 2.1 数据调和和技术<sup>[3]</sup>

数据调和和技术,即为在满足质量、能量平衡的基础上,对计算模型的测量输入进行相应的调整,以使得调和后的计算结果和测量数据最大程度地匹配。比如,在本计算模型中,影响计算结果最大的是给水流量,因为流量测量不准一直是热工测量的难题。为了尽量减小它对计算结果的影响,可在大量历史数据的基础上,先拟合功率与给水流量之间的关系,再判断测量的给水流量和拟合出来的给水流量之间的误差,进而决定是否用其他流量进行反算给水流量,替代直接测量的给水流量。

数据调和技术的应用对流量问题的解决具有很大作用,为计算结果的准确性奠定了基础。

### 2.2 数据规则性判断技术

数据规则性判断主要包括以下几个方面:

(1) 数据的光滑与滤波,去除高频噪声。系统的预处理模型相当于一个低通滤波器,将测量数据中的噪声去除,以获取稳定工况。

(2) 数据的有效性判断。对测量的数据进行上下限、斜率等判断,以保证计算数据的合理性、稳定性。

(3) 交叉判断技术。热工模型,各参数之间必然存在很多联系,可以通过彼此之间的纽带桥梁判断数据的质量。

## 3 能耗实时计算模型的应用

应用上面介绍的实时火力发电机组能耗实时计算模型,采用数据调和、数据规则性判断技术,可开发出较为准确的在线能耗实时监测系统。采集某 630 MW 机组运行数据,再开启实时计算模块,根据一段时间计算结果拟合出来的功率—能耗曲线<sup>[4]</sup>,如图 2 所示。

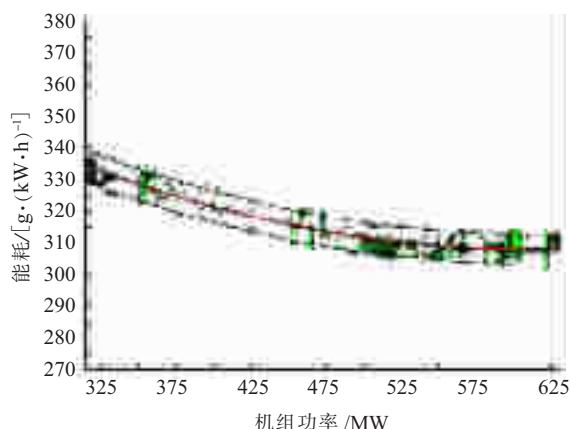


图 2 某 630 MW 机组在线拟合的功率—能耗曲线

## 4 能耗实时计算模型的延伸——智能诊断分析功能<sup>[5]</sup>

根据此能耗实时计算模型,可以开发出能耗实时监测系统,在此系统搭建的基础平台上,可以开发远程智能诊断、专家分析系统。实时计算模型最关键计算指标为供电煤耗率,它主要包含以下几个部分:锅炉效率、汽轮机热耗率、厂用电率。3 个分计算指标又由其他各计算子指标计算得到,因此可以“树”型结构表达这种关系,如图 3 所示。

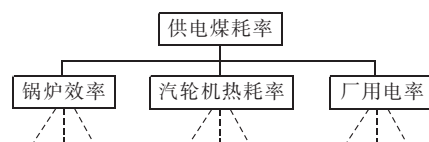


图 3 计算指标的树形模型

系统计算通道为“自下而上”数据流结构,通过采集数据逐层计算相关指标最终得到机组的供电煤耗率。系统分析通道为“自下而上”+“自上而下”数据流结构,一方面通过与标准源进行比较,逐层向下递推,分析导致机组能耗变化的主要原因;另一方面通过与标准源进行采集数据层比较,通过影响因子叠加方法将这种差别折算到对各层计算指标的影响,并最终反映到对机组供电煤耗率的影响上。对某 1 000 MW 机组进行逐层分析,得到的关键影响因子树形结构图,如图 4 所示。



图 4 某 1 000 MW 影响因子树型结构图

图 4 中,以 900.236 MW 工况为基准工况,将同负荷段的 2 条计算结果(负荷分别为 900.236 MW, 898.502 MW)进行了对比剖析,虽负荷非常接近,但供电煤耗率却相差达 9.35 g/(kW·h)。通过对影响供电煤耗率因子分解,可发现汽机热耗率的差值折算到对供电煤耗率影响最大,达到 8.48 g/(kW·h)(锅炉效率偏差对供电煤耗率的影响是 0.995 g/(kW·h),厂用电率偏差对供电煤耗率的影响是 0.147 g/(kW·h),然后再对汽机热耗率进行分解,可以发现主给水流量的偏差折算到对汽机热耗率的影响最大,达

到了 316.92 8 kJ/(kW·h)。因此,可以看出,主给水流量的偏差是导致这 2 个工况下供电煤耗率偏差如此之大的关键因素。图 4 中每行最右边的数据,代表该行因子的变化对其上层因子的影响程度。

## 5 结束语

通过锅炉效率算法的修改,避免了煤质分析等滞后环节影响能耗的实时监测。通过数据调和、数据规则性判断技术判断机组运行状态的稳定性,保证本能耗计算模型的应用环境,避免计算结果的误差性。最后结合上述能耗实时计算模型,分析了建立在此基础上的智能诊断分析模型。

## 参考文献:

- [1] 周克毅. 国外电站性能监测与诊断概况[J]. 动力工程, 1999, 19(1):58-63.
- [2] 王培红,李强,李琳,等. 厂级监控系统中数据校正算法模型的研究[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2005, 35(1): 11-15.
- [3] 廖志伟,孙雅明. 数据挖掘技术及其在电力系统中的应用[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(11):62-66.
- [4] 毕政益. 火电机组运行优化在线管理系统[J]. 能源研究与信息, 2000, 16(1):12-17.
- [5] 李蔚,任浩仁,盛德仁,等. 300 MW 火电机组在线能耗分析系统的研制[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(11):153-155.

## 作者简介:

- 钱立军(1977-),男,江苏无锡人,工程师,主要从事火力发电在线监测方向研究工作;
- 周强(1973-),男,湖南娄底人,高级工程师,主要从事火力发电在线监测方向研究工作;
- 代家元(1985-),男,河南信阳人,助理工程师,主要从事火力发电在线监测方向研究工作。

## Research on the Real-time Monitoring Model of Energy Consumption in Coal-Fired Unit

QIAN Li-Jun, ZHOU Qiang, DAI Jia-yuan

(JiangSu Frontier Electrical Technology Co.,Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** A new model for the efficiency calculation of boilers is introduced in the paper, and the research method for the real-time monitoring model of energy consumption based on the new model is also analyzed. The fundamental philosophy of on-line intelligent diagnosis of energy consumption in coal-fired unit is introduced at last.

**Key words:** real-time monitoring; model; intelligent diagnosis

## 下 期 要 目

- 数字化变电站 IED 采样的一种改进算法
- 风电场风速时间序列峰度研究
- 配电网潮流前推回代法的一种简单实现方法
- 一起励磁变压器差动保护误动原因分析及启示
- 发-变组阻抗保护的研究
- 数字化变电站过程层仿真测试环境的开发与设计
- 基于 PSS/E 的保护定值灵敏度核试验系统的研究与开发
- 锅炉塌焦引起汽包水位波动过大的分析处理
- 湿法脱硫系统的优化与运行经济性问题