文章编号:1001-2060(2016)12-0109-07

运行中电站锅炉入炉煤元素组成的理论计算

何 翔,马达夫,周文台,施鸿飞

(上海发电设备成套设计研究院,上海 200240)

摘 要:提出了一种计算运行中的电厂入炉煤元素组成以及 其它重要参数的数学模型,包括利用脱硫装置进行 S_{ar} 估算、 利用制粉系统计算 M_{ar} 和汽机回热系统和锅炉减温水系统对 锅炉输出热量进行求解,最终采用牛顿 – 拉夫森迭代法对主 方程组求解得出 C_{ar} 、 H_{ar} 、 O_{ar} 、 N_{ar} 、 A_{ar} , $Q_{net,ar}$ (煤的发热值)、 η (电锅厂炉效率)。利用电厂运行数据并借助该计算方法, 能够得到入炉煤元素组成和锅炉效率等结果,为进一步实现 电站设备的在线能效诊断及评价,提升电站设备运行管理水 平奠定理论基础。

关键 词:运行中;锅炉;数学模型;煤元素分析

中图分类号:TK222 文献标识码:B

DOI:10.16146/j. cnki. rndlgc. 2016.12.018

符号说明

- M_{ar}——入炉煤收到基全水分,%
- A_{ar}——入炉煤收到基灰分,%
- Q_{net ar}——入炉煤低位发热量 kJ/kg
- η ——锅炉效率 ,%
- V⁰——理论空气容积 ,m³/kg
- V_v----理论烟气容积 m³/kg
- I_v——烟气焓 kJ/m³
- $arepsilon_a$ 一一因各级受热面的过量空气系数 不同而对上述公式的修正系数
- *C^r_yθ_y* ——通用烟气焓(0 ℃ ~ θ ℃ 的平均定压容积热容与烟气 温度的乘积) kJ/m³
- B----锅炉给煤量 kg/h
- Q1——锅炉输入热量 kJ/kg
- Qout——锅炉输出热量 ,GJ/h
- ∑loss──锅炉热量各损失项之和 ,%
- Q_j ——碾磨过程由机械能转化而来的热量 kJ/kg
- *K_i*——中速磨能量转换系数 0.6
- E----制粉单耗 kWh/t
- Q_{sz}——混合风显热 kJ/kg
- g1 每 kg 煤对应的混合风量 kg/kg
- t1──混合风温度,℃
- C_{gz}──混合风比热 kJ/(kg•℃)

C_{p,ar} ——干燥原煤比热 kJ/(kg•℃) t_r ——原煤进入系统时的温度 ,℃ Q_{mf} ——密封风显热 kJ/kg g_{mf} ——每 kg 煤对应的密封风量(一般占混合风量的 6%), kg/kg C_{mf} ——密封风比热 kJ/(kg•℃) t_{mf} ——密封风温度 ,℃

Qr---原煤的显热 kJ/kg

- Q_{zf} ——蒸发水分消耗的热量 kJ/kg
- △M───每 kg 原煤在干燥过程中蒸发掉的水分 kg/kg
- t2──磨煤机出口风粉温度,℃
- Q2——热风带出磨煤机的热量 kJ/kg
- C2---离开磨煤机时热风的比热 kJ/(kg•℃)
- $Q_{\Delta M}$ —离开磨煤机时风粉中水蒸气的热量 kJ/kg
- Q3——离开磨煤机煤粉的热量 kJ/kg
- $C_{p,pow}$ ——煤粉的比热 $kJ/(kg \cdot C)$
- Q_{jr} ——加热燃料消耗的热量 kJ/kg
- C_{dr}───原煤比热 kJ/(kg•℃)
- Q5----磨煤机散热损失 kJ/kg
- Q_{5z} → 制粉系统总散热损失(根据主汽流量拟合计算×10³ kJ/h) kJ/kg
- B_m-----磨煤机出力 kg/h
- G_{feed}——通过高压加热器的给水流量 t/h
- h_{out3}——3 号加热器出口水焓 kJ/kg
- hin3 ----- 3 号加热器进口水焓 kJ/kg
- G_{ex3}——3 号高加抽汽流量 t/h
- h_{ex3}——3 号高加抽汽焓 kJ/kg
- h_{dr3}-----3 号高加疏水焓 kJ/kg
- h_{out2}——2 号加热器出口水焓 kJ/kg
- h_{in2}——2 号加热器进口水焓 kJ/kg
- G_{ex2}──2 号高加抽汽流量 ↓/h
- h_{ex2}——2 号高加抽汽焓 kJ/kg
- h_{dr2}——2 号高加疏水焓 kJ/kg
- G_{ex3}-----3 号高加抽汽流量 t/h
- h_{outl}——1 号加热器出口水焓 kJ/kg
- h_{in1}——1 号加热器进口水焓 kJ/kg
- G_{ex1}───1 号高加抽汽流量 ォ/h
- h_{ex1}——1 号高加抽汽焓 kJ/kg

收稿日期:2016-03-14; 修订日期:2016-09-27

作者简介:何 翔(1982 -),男 重庆合川人,上海设备成套设计研究院工程师.

h _{drl} ——1 号高加疏水焓 kJ/kg
G _{outd} ——除氧器出口给水流量 t/h
h _{outd} ——除氧器出口给水焓 kJ/kg
G _{exd} ───除氧器抽汽流量 t/h
h _{exd} ——除氧器抽汽焓 kJ/kg
G _{ind} ——除氧器进口给水流量 t/h
h _{ind} ——除氧器进口给水焓 kJ/kg
G _{dd} ——除氧器水位当量流量(水位下降为正值) t/h
$G_{ m de}$ ——过热器减温水流量 t/h
G _{rde} ——再热器减温水流量 t/h
G _{ms} 主蒸汽流量 t/h
G _{qd} ───汽包水位当量流量(水位下降为正值) ォ/h
G _{ml} ───锅炉侧明漏流量 t/h
G _{bml} ——锅炉侧不明漏流量 t/h
G _{cre} ——冷再热蒸汽流量 t/h
$\Sigma G_{ m a}$ ——高压缸各项泄漏流量,如汽封、门杆泄漏 t/h
G _{hre} ——热再热蒸汽流量 t/h
M _{t ar} ——电厂化验入炉煤收到基全水分,%
$M_{ m in,ad}$ ——电厂化验入炉煤空干基水分, $\%$
A _{ad} ——电厂化验入炉煤空干基灰分,%
FC _{ad} ——电厂化验入炉煤固定碳含量,%
V _{ad} ——电厂化验入炉煤空干基挥发分,%
V _{daf} ——电厂化验的入炉煤干燥无灰基挥发分,%

引 言

电站锅炉入炉煤的元素分析是按照标准规程在 输煤皮带或给煤机落煤口取样后,再送至煤质化验 单位化验得出。当机组进行性能试验时需要知道详 细的入炉煤元素分析值,从而计算出准确的锅炉效 率、烟气量、排烟各成分含量等参数。电厂日常运行 中化验煤工业分析即可,但是随着电厂节能减排工 作的日益深入 越来越多的火电厂希望知道机组真 实、实时的能耗和排放水平;另外,煤炭供应市场变 化频繁 电厂每个月甚至每周燃用的煤来源并不相 同 而且入炉煤煤样的元素分析化验是当日取样、送 检 结果出来后已经是次日后了 而次日后有可能入 炉煤煤样已经改变;最后,目前大多是电厂日常能耗 统计是通过简易的反平衡计算(元素分析大多是假 设、修正得出) 再结合正平衡对比得出一个报表结 果 由于性能试验不可能每天进行 而且性能试验标 准除了要求负荷稳定外,还要求汽机某些回路工质 隔离、锅炉不吹灰等[1~2] 这和实际运行工况是截然 不同的。更准确的、快速的日常运行中的能耗计算 显得日益重要 这就使得对入炉煤元素分析的实时 获取成为热点。

对入炉煤元素分析的计算研究有很多,主要从 锅炉的排放、运行参数中去找出联系和规律。如刘 福国利用排烟成分,制粉系统运行参数求解入炉煤 全水分及汽机运行参数得出的正平衡输出热量等数 据作为已知^[3~4] 即可求出元素分析值 但是要用到 详细的排烟成分如 0,、CO,和 SO, 实际上大多数电 站对排烟成分在日常运行中只测量 O2、脱硝前后的 NO_x 和脱硫前后的 SO₂,要用到文献中提到的方法 在实际应用中有一定的难度;也有学者从工业分析 着手找出其和元素分析的关系,如闫顺林等人对全 国 126 个矿井的无烟煤的煤质分析后进行多元线性 逐步回归统计^[5] 推导出了元素分析与工业分析的 通用计算模型 这样的计算方法值得借鉴 类似的还 有赵新法等人对神华矿区 17 个矿井烟煤做了回归 统计^[6];在数学模型上于瑞生等人除了采用比较常 规的公式以外^[7~9],其利用了氮元素与挥发分的拟 合函数关系 使得方程组封闭 从工业分析中计算出 了元素分析值。但是这些研究工业分析与元素分析 的模型关系 仅侧重了锅炉煤质分析模块 没有从机 组整体全面着手 所得出最终结果的精度不算高。

本文从电站运行实际着手,无需排烟主要成分, 利用机组运行数据建立了运行中电站锅炉入炉煤元 素分析计算模型。

表1 不同煤种的定压比热

Tab. 1 Specific heat of different coals

煤种	定压比热/kJ・(kg・℃) ⁻¹
无烟煤、贫煤	0.919 6
烟煤	1.086 8
褐煤	1.128 6

1 模型原理

1.1 确定未知数

首先确定所求的未知数及其个数: C_{ar} 、 H_{ar} 、 O_{ar} 、 N_{ar} 、 S_{ar} 、 M_{ar} 、 A_{ar} 、 $Q_{net,ar}$ 和 η ,未知数为9个;其次简化 未知数。对于 M_{ar} ,根据文献[3~4]通过制粉系统 热平衡计算;对于 S_{ar} ,目前 300 MW 及以上的电站 含脱硫设备投入运行,而且烟气进出口 SO₂的含量 都有测量值,尽管 S_{ar} 包含有机硫、无机硫,不是全部 的硫元素转化为 SO₂,但是由于 S_{ar} 在整个煤元素分 析中所占分量较小(一般 1% 以下),所以可以根据 SO₂含量进行估算;最终确定所需求解的是: C_{ar} 、 H_{ar} 、 O_{ar} 、 N_{ar} 、 A_{ar} 、 $Q_{net ar}$ 和 η 。

1.2 方法简介

完善所需的已知数据,整理已知各个温度值下 对应的焓值,如空气焓、灰渣焓等参数;从机组运行 参数中确定出锅炉的输出热量,即可建立正平衡方 程,再结合反平衡得出一个和元素分析组分相关的 方程,再寻找另外5个方程,详细的5个方程见下述 小节。即可建立一个封闭的方程组。

1.3 构建方程

构建方程如下,其中方程1~方程5表示的是 文献[10]中的经验公式与文献[11]中的理论公式 相等,方程7是文献[12]中的发热量拟合公式,方 程8和方程9是锅炉正、反平衡模块。根据上述9 方程可求得唯一解。

理论空气容积(经验公式和理论公式):

 $V_{k}^{0} = 1.05 \times Q_{\text{net ar}}/4 \ 180 + 0.278$ (1) $V_{k}^{0} = 0.088 \ 9 (C_{\text{ar}} + 0.375 \ S_{\text{ar}}) + 0.265 \ H_{\text{ar}} - 0.033 \ 3 \ O_{\text{ar}}$ (2)

理论烟气容积(经验公式和理论公式):

$$V_{y}^{0} = 1.04 \times Q_{\text{net ar}} / 4\ 180 + 0.77$$
(3)

$$V_{y}^{0} = 0.018\ 66(C_{\text{ar}} + 0.375\ S_{\text{ar}}) + 0.008\ N_{\text{ar}} + 0.79\ V_{k}^{0} + 0.111\ H_{\text{ar}} + 0.012\ 4\ M_{\text{ar}} + 0.016\ 1\ V_{k}^{0} + (\alpha_{\text{ar}}) + 0.016\ 1\ V_{k}^{0} + 0.016\$$

 $-1)V_{k}^{0}$

烟气焓值(经验公式和理论公式):

$$I_{y} = \varepsilon_{a} C_{y}^{r} \theta_{y} (V_{y}^{0} + 1.016 \ 1(\alpha - 1) \ V_{k}^{0})$$
(5)

再依据热力计算标准中的焓温表^[4],建立与元 素分析收到基的理论算式。

元素组分和

$$C_{\rm ar} + H_{\rm ar} + O_{\rm ar} + N_{\rm ar} + S_{\rm ar} + M_{\rm ar} + A_{\rm ar} = 100$$
(6)

低位发热值拟合^[12]

$$339 \ C_{\rm ar} + 1 \ 028 \ H_{\rm ar} - 109 \ O_{\rm ar} + 109 \ S_{\rm ar} - 25 \ M_{\rm au}$$
$$= Q_{\rm ar, net} \tag{7}$$

$$B \times Q_1 \times \eta = Q_{\text{out}} \tag{8}$$

$$100 - \sum loss = \eta \tag{9}$$

2 应用实例

在某 300 MW 机组上应用实施。其锅炉为单炉 膛、Π 型结构、平衡通风,四角切圆燃烧、摆动燃烧 器调温和固态排渣,全钢架悬吊式结构、露天布置、 冷一次风机正压直吹式制粉系统,配备5台HP83 型中速磨煤机。亚临界、一次中间再热、过热器二级 减温、再热器设置故障减温水、控制循环汽包炉。汽 轮机为亚临界、中间再热、高中压缸合缸、双缸双排 汽、单轴和凝汽式,给水泵为2台50%汽泵配一台 30%电泵,回热系统为3级高压加热器、4级低压加 热器及1台除氧器。

- 2.1 计算步骤
- 2.1.1 *M*_a的计算

全水分的计算根据磨煤机进出口参数如图 1 所示^[4]。



Fig. 1 Calculation of $M_{\rm ar}$

显热的计算基于定压比热和温度,空气的定压 比热和温度的关系如图2所示,不同煤种的定压比 热如表1所示。



Fig. 2 Specific heat and temperature of air

(4)

续表2

表2 部分已知数据

Tab. 2 Some known operation data

参数	数值
大气压力/Pa	100 000
相对湿度/%	60
环境温度/℃	10
空预器入口一次风温度/℃	14.45
空预器入口一次风流量/km $^3 \cdot h^{-1}$	235.21
空预器入口二次风温度/℃	18.61
空预器入口二次风流量/km ³ ・h ⁻¹	681.7
排烟温度/℃	140
空预器入口氧量/%	3.5
空预器出口氧量/%	5.2
飞灰可燃物含量/%	1
大渣可燃物含量/%	1
飞灰占灰的比例/%	90
炉渣占灰的比例/%	10
排烟中的 CO/%	0.01
给水流量/t・h ⁻¹	831.39
主汽压力/MPa	16.62
主汽温度/℃	543
给水压力/MPa	17.68
给水温度/℃	268.44
1 级过热器减温水流量 A 路/t・h ⁻¹	0
1 级过热器减温水流量 B 路 / t • h ⁻¹	0.35
2 级过热器减温水流量 A 路/t・h ⁻¹	5.11
2 级过热器减温水流量 B 路/t・h⁻¹	6.23
冷再流量/t • h ^{−1}	667.676
再热蒸汽压力/MPa	2.63
再热蒸汽温度/℃	539
冷再热蒸汽压力/MPa	3.11
冷再热蒸汽温度/℃	316.19
再热器减温水流量 A 路/t \cdot h^{-1}	2.07
再热器减温水流量 B 路/t・h ⁻¹	3.68
再热器减温水压力/MPa	6.96
再热器减温水温度/℃	157.9
总燃料量/t・h ⁻¹	141.5
炉膛出口烟温/℃	1 000
一次风机电流 A/A	64.68
一次风机电流 B/A	69.84
A 给煤机给煤量 /t • h ⁻¹	23.2

参数	数值
A 磨煤机进口一次风量/km ³ ・h ⁻¹	47.49
A 磨煤机电流/A	37.93
A 磨煤机出口温度/℃	54.86
A 磨入口风道温度/℃	177.63
B 给煤机给煤量 / t • h ⁻¹	25.17
B 磨煤机进口一次风量 /km ³ ・h ⁻¹	43.01
B 磨煤机电流/A	36.08
B 磨煤机出口温度/℃	55.33
B 磨入口风道温度/℃	208.47
C 给煤机给煤量/t・h ⁻¹	35.13
C 磨煤机进口一次风量 /km ³ ・h ⁻¹	47.4
C 磨煤机电流/A	33.99
C 磨煤机出口温度/℃	69.28
C 磨入口风道温度/℃	147.12
D 给煤机给煤量 / t ・ h ⁻¹	25.91
D 磨煤机进口一次风量/km ³ ・h ⁻¹	45.01
D 磨煤机电流/A	35.53
D 磨煤机出口温度/℃	58.68
D 磨入口风道温度/℃	178.66
E 给煤机给煤量 / t • h ⁻¹	32.43
E 磨煤机进口一次风量 /km ³ ・h ^{−1}	42.3
E 磨煤机电流/A	34.74
E 磨煤机出口温度/℃	70.39
E 磨入口风道温度/℃	159.74

进入磨煤机的热量:

$Q_j = 3.66 K_j E$	(10)
--------------------	------

 $Q_{\rm gz} = g_1 C_{\rm gz} t_1 \tag{11}$

 $Q_{\rm r} = C_{\rm p,ar} t_{\rm r} \tag{12}$

$$Q_{\rm mf} = g_{\rm mf} C_{\rm mf} t_{\rm mf} \tag{13}$$

离开磨煤机的热量:

 $Q_{zf} = \triangle M [4.187(100 - t_r) + 2 261 - 1.884(100 - t_2)] \triangle M = (M_{ar} - M_{mf}) / (100 - M_{mf})$ (14)

4.187 和 1.884 分别是水和水蒸气在 100 ℃ 时 的比热容 kJ/(kg・℃)、2 261 是水在 100 ℃ 时的汽 化潜热(kJ/kg);

 $Q_2 = (g_1 + g_{\rm mf}) C_2 t_2 \tag{15}$

$$Q_{\Delta M} = \Delta M C_{\rm m} t_2$$
(16)

$$Q_3 = C_{\rm p, pow} t_2$$
(17)

$$Q_{\rm m} = \int C_{\rm m} (100 - M_{\rm m}) / 100 + 4.187 (M_{\rm m} / 100 - M_{\rm m}) / 100 + 4.187 (M_{\rm m}$$

$$\triangle M)](t_2 - t_r)$$
(18)

$$Q_5 = 10^3 Q_{5x} / B_m \tag{19}$$

最后,石子煤的排放损失,可忽略或拟合。煤粉 细度涉及到的系数可以根据文献拟合,建立上述热 平衡和质量平衡即可求解出 *M*_{ar}。

2.1.2 锅炉输出热量

锅炉的输出热量可以从汽机部分运行数据计算 得出。计算过程涉及到的中间流量参数都采用热平 衡方程计算得出 依照标准即为汽轮机性能试验规 程 这部分所用到的流量作为已知数据只有一个即 除氧器入口给水流量。热平衡方程组由除氧器、1 号、2号、3号高压加热器、主蒸汽流量、给水流量、冷 再热、热再热蒸汽流量,过热器1号、2号级减温水 流量和再热器减温水流量的计算式组成。其中,减 温水流量的热平衡方程根据锅炉侧的运行参数参与 计算(如减温前后 A/B 路的压力、温度等);涉及到 的轴封、门杆漏气等小流量参考汽轮机设计书 根据 负荷拟合即可。中间过程及结果参数为:主蒸汽流 量、热再热蒸汽流量、冷再热蒸汽流量、给水流量、过 热蒸汽、再热蒸汽的减温水流量、1 号、2 号、3 号高 压加热器抽汽流量、除氧器抽汽流量。这部分的未 知数为十多个可联立求解,锅炉正平衡输出热量便 可得到 如图3所示。





高压加热器及除氧器抽汽热平衡、减温水热平 衡如图 4 和图 5 所示。



图4 加热器热平衡



减温水D_{de}、焓(P " & T)



图 5 减温水进出口热平衡



详细的方程见下述:

3 号高加热平衡: $G_{\text{feed}}(h_{\text{out3}} - h_{\text{in3}}) = G_{\text{ex3}}(h_{\text{ex3}} - h_{\text{dr3}})$ (20) 2 号高加热平衡: $G_{\text{feed}}(h_{\text{out2}} - h_{\text{in2}}) = G_{\text{ex2}}(h_{\text{ex2}} - h_{\text{dr2}}) + G_{\text{ex3}}(h_{\text{dr3}})$ $- h_{\text{dr2}})$ (21)

1 号高加热平衡:

$$G_{\text{feed}}(h_{\text{outl}} - h_{\text{inl}}) = G_{\text{ex1}}(h_{\text{ex1}} - h_{\text{drl}}) + (G_{\text{ex3}} + G_{\text{ex2}})(h_{\text{dr2}} - h_{\text{drl}})$$
(22)

除氧器热平衡:

$$G_{outd}h_{outd} = G_{exd}h_{exd} + G_{ind}h_{ind} + (G_{ex1} + G_{ex2} + G_{ex3})h_{dr1} + G_{dd}h_{outd}$$
(23)
除氧器流量平衡:

$$G_{\text{outd}} = G_{\text{ex1}} + G_{\text{ex2}} + G_{\text{ex3}} + G_{\text{exd}} + G_{\text{ind}} + G_{\text{dd}}$$
(24)

给水流量:

$$G_{\text{feed}} = G_{\text{outd}} - G_{\text{de}} - G_{\text{rde}}$$
(25)

以上6个方程有 G_{feed} 、 G_{ex1} 、 G_{ex2} 、 G_{ex3} 、 G_{exd} 、 G_{outd}

共6个未知数,可联立求解得到各加热器进汽流量。

2016 年

接下来是:

主蒸汽流量:

$$G_{\rm ms} = G_{\rm feed} + G_{\rm de} + G_{\rm qd} - G_{\rm ml} - G_{\rm bml}$$
(26)
冷再流量:

$$G_{\rm cre} = G_{\rm ms} - G_{\rm ex} - G_{\rm ex2} - \Sigma G_{\rm a}$$
 (27)

再热蒸汽流量:

$$G_{\rm hre} = G_{\rm cre} + G_{\rm rde} \tag{28}$$

减温水流量也是采用热平衡方法和上述方程一 起求解。锅炉的排污量按1% 主汽流量考虑计入 *G*_{ml} ,其焓值按排污至水冷壁下联箱时的温度、压力 计算 ,扣去给水焓即是锅炉输出排污热。

2.2 部分已知数据

表2 是部分已知 Sis 系统数据库的数据、个别 中间数据(基准温度、蒸汽焓值)和唯一的几个手动 输入数据(飞灰、大渣可燃物含量),考虑到篇幅,未 列入回热系统等运行数据。其中,ABD 磨加仓褐 煤、CE 磨加仓烟煤。

2.3 计算步骤和结果

首先,采集、整理机组运行数据,再按上述小节 的方法确定 *S*_{ar},然后计算 *M*_{ar};接下来对余下的 7 个 未知数假设一组初始值,参与方程组的计算,求解上 述小节确定的 7 个方程,每计算一次得到一组新的 未知数,然后再返回方程组,直到最终的未知数和前 一次计算结果之间的残差在收敛精度以内即可。图 6 是步骤框图 表 3 为模型的计算结果。



图6 模型的计算步骤框图



表3 模型计算结果

Tab. 3 Model calculation Results

未知数	结果	未知数	结果	
$Q_{\rm out}$ /GJ • h ⁻¹	2 244.47	$M_{ m ar}$ / %	23.2	
$C_{\rm ar}$ / %	45.152	$A_{ m ar}$ / %	22.167	
$H_{\rm ar}$ /%	2.623	$Q_{ m net ,ar}/{ m kJ}$ • kg ⁻¹	17 102.47	
$O_{\rm ar}$ /%	5.168	锅炉效率 $\eta/\%$	92.473	
$N_{ m ar}$ / %	1.091	主方程计算次数	7	
$S_{ m ar}$ / %	0.6	计算精度×10 ⁻⁵	0.257	

电厂工业分析化验数据如表4所示。

表4 电厂化验结果

Tab. 4 Measurement results

	$M_{ m t}$, ar	$M_{ m in \ ,ad}$	$A_{\rm ar}$	$A_{\rm ad}$	$FC_{\rm ad}$	$V_{\rm ad}$	V_{daf}	$Q_{ m net\ ,ar}$
烟煤	14.07	5.46	14.21	15.63	49.64	29.27	37.09	21.96
褐煤	27.72	16.82	21.25	24.46	31.62	27.1	46.15	13.16

表4中加权平均计算出*M*_{ar}、*A*_{ar}和*Q*_{net,ar}分别 是21.23%、17.90%和17352kJ/kg和表4模型计 算得出的数据较为吻合。

3 结 论

本文基于电厂运行数据、通过理论计算确定了 入炉煤的元素组成,彻底解决为了得到煤的元素组 成进行的原煤取样、化验带来的延迟性。该计算方 法能形成软件应用在火电机组上,使得电厂在线获 得锅炉的煤耗、效率等经济性数据,实现电站锅炉的 在线能效诊断及评价,提升电站锅炉设备的运行管 理水平。

参考文献:

- ASME PTC6 2004 ,汽轮机性能试验规程[S].
 ASME PTC6 2004 Steam turbines performance test codes[S].
- [2] ASME PTC4 1998, 锅炉性能试验规程[S].
 ASME PTC4 1998, Fired steam generators performance test codes
 [S].
- [3] 刘福国.电站锅炉入炉煤元素分析和发热量的软测量实时监测技术[J].中国电机工程学报 2005 25(6):139-145.
 LIU Fu-guo. Real time identification technique for ultimate analysis and calorific value of burning coal in utility boiler[J]. Proceedings

of the CSEE 2005 25(6):139-145.

- [4] 胡荫平. 电站锅炉手册 [M]. 北京:中国电力出版社 2005.
 HU Yin-ping. Power plant boiler handbook [M]. Beijing: China Electric Power Press 2005.
- [5] 闫顺林,李太兴,王均有,等.逐步回归分析在煤质元素分析通用计算模型研究中的应用[J].选煤技术 2007(3):17-19. YAN Shun-lin,LI Tai-xing,WANG Jun-you, et al. Application of stepwise regression analysis model in the study of coal elements analysis calculation[J]. Coal Preparation Technology 2007(3):17 -19.
- [6] 赵新法,李仲谨,陈玉萍.煤元素分析指标计算数学模型的建 立与应用[J].煤质技术 2006,(1):16-18. ZHAO Xin-fa,LI Zhong-jin,CHEN Yu-ping. Establishment and application of the mathematics model on calculation of ultimate analysis index of coal [J]. Coal Quality Technology,2006,1:16 -18.
- [7] 于瑞生, 伦国瑞. 利用煤的热值和工业分析数据计算煤中各主要元素含量[J]. 华东电力,1996,(3):33-36.
 YU Rui-sheng, LUN Guo-rui, Calculation of the main elements u-

sing the calorific value and proximate analysis of coal [J]. East China Electric Power 1996 3:33 - 36.

[8] 张西春,马学军,刘 萍.动力煤发热量与工业分析指标间数 学模型的研究[J].选煤技术 2000,(4):8-10. ZHANG Xi-chun , MA Xue-jun , LIU Ping , Mathematical model study on the calorific value of coal and proximate analysis index [J]. Coal Preparation Technology 2000 *A*:8 – 10.

- [9] 范杜平.利用工业分析快速计算元素分析[J].北京:中国科技 论文在线 2005 ,11-68.
 FAN Du-ping. Quick-calculating ultimate analysis by proximate analysis[J]. Beijing: Sciencepaper online 2005:11-68.
- [10] 胡震岗. 燃料与燃烧概论[M]. 北京:清华大学出版社,1995.
 HU Zhen-gang, Fuel and combustion generalization[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1995.
- [11] 火力发电厂制粉系统设计计算技术规定[M],北京:中国中 医药出版社 2002:215-219.
 Technical code for design and calculation of pulverized coal prep-

aration system of fossil-fired power plant [M]. Beijing: China Press of Traditional Chinese Medicine 2002:215 – 219.

[12] 刘天新 陈文敏,韩士杰.等,以元素分析结果推导煤炭发热 量的新公式—利用计算机和数理统计方法[J]煤炭科学与技术,1989(4):7-9.

LIU Tian-xin ,CHEN Wen-min ,HAN Shi-jie ,et al. A new formula calculating the heating value of coal by ultimate analysis-utilizing computer and mathematical statistics method [J]. Coal Science and Technology ,1989 (4) :7 –9.

(单丽华 编辑)

,☆☆☆新技术、新设计 。 ☆ 新技术、新设计 ☆

PW Power Systems 的 FT4000 SwiftPac 燃气轮机

据《Gas Turbine World》2014~2015 年年度手册报道, PW Power Systems 公司于 2012 年推出了 FT4000 SwiftPac 燃气轮机。

工业用 FT4000 燃气轮机是由 Pratt & Whitney 公司高性能、先进可靠的 PW4000 航空涡轮风扇发动机改装而成。至今已有约 900 台 PW4000 发动机在各个航线上执行飞行服务,飞行服务记录的总运行时间为 3 400万 h。

工业用 FT4000 燃气轮机主要部件是 PW4000 航空发动机的 11 级高压气机和 2 级高压涡轮轮子 (FT4000 和 PW4000 有超过 90% 零件通用)、混合航空/工业的低压转子(它们组成燃气发生器)并加上一个 新设计的三级重型工业用自由动力涡轮。

利用指标先进、技术成熟的航空发动机进行改装始终是研制船舶燃气轮机和工业用燃气轮机的一条极为重要的途径。美国 GE 公司、Pratt & Whitney Power Systems 和英国 Rolls-Royce 公司在这方面进行了大量的工作。

(吉桂明 摘译)

"nominal thickness is not less than design thickness" in the Chinese standard. **Key words**: combined cycle ,waste heat boiler steam drum strength reliability design calculation computational analysis

三角腔体菲涅尔线聚焦集热器性能实验研究 = Experimental Research on a Linedr Fresnel Solar Collector with a Triangle-Cavity Receiver [刊 汉] SONG Jing-hui(Electric Power Research Institute of Guangdong Power Grid Co. ,Ltd. ,Guangzhou ,Guangdong ,China ,Post Code: 510080) ,MA Ji-shuai ,CHEN Yu ,DAI Yan-jun (Insti-tute of Refrigeration and Cryogenics ,Shanghai Jiao Tong University ,Shanghai ,China ,Post Code: 200240) // Jour-nal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2016 ,31(12). - 103~108

In this paper ,one kind of linedr Fresnel solar collector was introduced and relative performance tests were performed. The collector consists of a triangle-cavity receiver with tube rows ,a mirror field with ultra-white glass which is curved slightly when fixed on the support and the trace units in homotaxial manner. Referencing to the technical standards GB/T4271-2000 and ASHRAE 93-86 ,the transient method was used in the performance tests. According to the test data ,the no-load coefficient ,the heat loss coefficient and the thermal efficiency of the collector were calculated. The results showed that the thermal efficiency can reach 36.6% with the heat loss coefficient ,tranand operating temperature at 150 °C . **Key words**: Fresnel solar collector ,performance test , no-load coefficient ,transient efficiency ,heat loss coefficient

运行中电站锅炉入炉煤元素组成的理论计算 = Theoretical Calculation of Coal Ultimate Analysis for an Operating Thermal Power Plant [刊,汉] HE Xiang ,MA Da-fu ,ZHOU Wen-tai ,SHI Hong-fei ,CHEN Duan-yu (Shanghai Power Equipment Research Institute ,Shanghai ,China ,Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2016 31(12). - 109~115

This paper put forward a method to calculate the ultimate analysis of coal and other crucial parameters in order toobtain the actual fuel consumption level of thermal power plants during the operation. The Sar was estimated from the desulfidation unit and Mar was obtained from coal pulverized system while the Boiler output was calculated through regenerative system and desuperheating system. Then the equation systems of general framework set were solved by Newton-Raphson iteration to obtain parameters of C_{ar} , H_{ar} , O_{ar} , N_{ar} , A_{ar} , $Q_{net,ar}$, and η (efficiency of boiler). Combining the operation data of power plant with this method the coal ultimate analysis and boiler efficiency can be obtained. This study is expected to provide a theoretical foundation for the further implementation of the online energy efficiency diagnosis and evaluation for power plant and for the enhancement in the management level of the operating equipments. **Key words**: Thermal plant mathematics model coal ultimate analysis