

# BP 神经网络与改进热力计算结合确定 锅炉参数基准值

李少华 徐 芳 宋东辉 许乐飞

( 东北电力大学 能源与动力工程学院 吉林 吉林 132012)

**摘 要:** 提出了采用 BP 神经网络模型与改进热力计算相结合的方法确定锅炉运行参数基准值。计算中采用 BP 神经网络模型预测飞灰含碳量的基准值,并根据锅炉运行负荷选取炉膛出口烟气温度计算公式,采用“登山原理”确定过量空气系数的方法确定关键运行参数基准值。最后,以一台 HG1025/18.2-M 锅炉为例,计算 70%、50% 负荷下该锅炉运行参数的基准值,得到随着锅炉负荷的降低炉膛出口过量空气系数明显增加,飞灰含碳量和机械未完全燃烧热损失显著降低。证明该方法能够很好地反映锅炉负荷、煤质特性参数改变对运行参数基准值的影响。

**关 键 词:** 锅炉; 目标值; 热力计算; BP 神经网络

中图分类号: TQ533; TP273 文献标识码: A

## 引 言

锅炉运行参数的基准值是指针对同一锅炉在环境参数、燃料参数和负荷参数一定的情况下,使得锅炉取得在设备完好条件下达到最佳运行参数。该参数的合理确定是实施机组性能诊断和优化运行的前提和基础。若发现运行参数实际值与基准值存在差异则可断定设备存在缺陷或运行操作有误,即可进行相关的诊断分析和能损计算<sup>[1]</sup>。研究针对现有运行参数基准值存在的问题,采用 BP 神经网络与热力计算相结合的方法确定锅炉运行参数基准值。

## 1 锅炉运行参数基准值的分析

### 1.1 锅炉运行参数基准值确定方法

现阶段电厂采用的锅炉运行参数基准值的确定方法主要有以下几种: (1) 制造厂提供的设计值; (2) 最佳运行试验结果; (3) 变工况热力计算结果; (4) 历史数据的统计值。另外,文献 [2]、[3] 提出了将数据挖掘技术应用到运行参数基准值的确定中。

定中。

### 1.2 各种基准值确定方法的分析比较

采用方法 (1), 由于锅炉实际运行时的煤质与环境等条件往往偏离设计工况, 不能够反映锅炉当前状态下所处的最佳运行状态。采用方法 (2), 针对某一煤种进行调整试验获得的最佳操作工况可能与目前燃煤种所需的最佳工况偏离。并且由于调试试验进行的工况有限, 试验获得的最佳工况可能并非全局最优值。采用方法 (3), 在原设计工况的基础上做变工况的热力校核计算, 得出的运行参数可以反映当前运行状况下的基准值<sup>[4]</sup>。但是文献 [1] 指出该方法从理论上讲是正确的, 计算结果受到变工况热力计算模型的影响, 在运行中较难达到。采用方法 (4), 统计值只是过去一段时间内的统计结果, 并且不能实时地指导现有的工况运行。另外, 对于文献 [2]、[3] 提出的利用数据挖掘技术确定基准值的方法, 存在当数据库发生改变后优化目标值增量更新问题, 先前挖掘的规则可能不适用现在的运行工况。方法 (4) 及利用数据挖掘技术的方法只适用于设备完好的情况下, 一旦锅炉设备存在故障, 在这种状况下采集到的数据则不能反映设备完好和技术上可以达到的最佳运行工况。

### 1.3 影响锅炉经济性的主要运行参数

锅炉效率集中反映了锅炉的运行情况, 是衡量锅炉经济性的一个重要指标, 由反平衡计算公式得:

$$\eta_{gl} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (1)$$

式中:  $\eta_{gl}$ —锅炉效率, %;  $q_2$ —排烟热损失, %;  $q_3$ —化学未完全燃烧热损失, %;  $q_4$ —机械未完全燃烧热损失, %;  $q_5$ —散热损失, %;  $q_6$ —灰渣物理热损失, %。

在锅炉各项热损失中, 排烟热损失所占比例最大, 约为 6%~8%; 机械未完全燃烧热损失次之, 约占 2%~4%。可燃气体未完全燃烧热损失、锅炉散

收稿日期: 2010 - 06 - 23; 修订日期: 2010 - 10 - 27

作者简介: 李少华 (1957 -), 男, 黑龙江友谊人, 东北电力大学教授、博士。

热及灰渣物理热损失所占比例较小。同时,排烟热损失 $q_2$ 和机械未完全燃烧热损失 $q_4$ 主要受排烟温度、飞灰含碳量、过量空气系数的影响,因此,影响锅炉经济性的主要运行参数为排烟温度、飞灰含碳量、过量空气系数。

## 2 采用BP神经网络与热力计算相结合的方式确定运行参数基准值

### 2.1 采用BP神经网络模型预测飞灰含碳量

飞灰含碳量是影响锅炉热效率的一个重要因素,然而由于影响因素多而且复杂,没有明确的计算公式。实炉测试飞灰含碳量存在着工作量大,还同时受到测试工况的数量限制,操作过程繁琐复杂,耗费大量时间和精力等问题。采用神经网络模型可以根据燃煤特性及各种运行参数准确预测锅炉在不同工况下的飞灰含碳量特性,确定当前工况下飞灰含碳量的基准值,可以有效避免选取定值对于热力计算过程造成的误差<sup>[5-6]</sup>。选择影响机械未完全燃烧热损失的因素如煤质特性参数和锅炉运行参数作为神经网络的输入量,飞灰含碳量作为神经网络的输出量,建立一个21个输入节点,1个输出节点,24个隐含层节点的BP神经网络模型。选取前16个样本作为训练样本,建立神经网络模型。为了证实模型的准确程度,采用已经训练好的网络模型,对后4组样本进行预测,并与实测值进行比较。如表1所示,得到最大绝对误差值是0.055%,相对误差值是2.73%。该误差完全在工程误差允许范围内,证明该模型具有很强的准确性,可以用来预测飞灰含碳基准值。

表1 飞灰含碳量预测值与实测值比较

Tab.1 Comparison of the predictive value of flyash carbon content and the actually measured value

	样本17	样本18	样本19	样本20
实测值/%	2.01	2.12	3.13	4.09
预测值/%	2.065	2.13	3.09	4.12
绝对误差值/%	0.055	0.03	-0.04	0.006
相对误差/%	2.73	0.47	-1.27	0.73

### 2.2 热力计算模型存在的问题及改进的方法

文献[1~3]均肯定了采用变工况热力计算方法确定基准值在理论上是正确的,但指出计算结果受到变工况热力计算模型的影响,在运行中较难达到。针对炉膛出口烟温的计算方法的选取及机械未完全燃烧热损失、过量空气系数的确定对热力计算

模型进行改进。

#### 2.2.1 不同负荷下炉膛出口烟温计算方法的选取

炉膛出口烟气温度计算的准确性直接影响到其它受热面进出口烟气温度、工质的温度、减温水量等重要参数,在整个热力计算过程中起着至关重要的作用。然而炉膛内的换热过程是异常复杂的,在其内部同时进行着流动、混合、燃烧、传热等过程,而且这些过程相互作用、相互影响,使得至今还未找到精确的炉膛出口烟气温度计算方法<sup>[7]</sup>。

20世纪80年代前,我国一直采用1973年前苏联的《锅炉机组热力计算标准方法》,其为:

$$\vartheta''_1 = \frac{T_a}{M \left( \frac{\sigma_0 a_1 \psi F_1 T_a^3}{\varphi B_j V C_p} \right)^{0.6} + 1} - 273 \quad (2)$$

式中: $\vartheta''_1$ —炉膛出口烟气温度,℃; $T_a$ —理论燃烧温度,℃; $a_1$ —炉膛黑度; $\psi$ —炉膛平均热有效系数; $F_1$ —炉墙总面积, $m^2$ ; $B_j$ —计算燃料消耗量, $kg/h$ ; $V C_p$ —烟气平均热容量, $kJ/(kg \cdot ^\circ C)$ ; $\varphi$ —保温系数。 $M$ —炉膛火焰中心位置系数。

前苏联学者通过大量实测证实,对容量600 t/h以上的锅炉额定负荷运行时,采用式(2)实测的炉膛出口烟气温度比按1973年标准方法计算的数值高出100~130℃,对锅炉的安全性和经济性造成严重的影响<sup>[8]</sup>。

现代大型电站锅炉广泛利用的炉膛出口烟温计算方法为:

$$\vartheta''_1 = T_a \left[ 1 - M \left( \frac{a_1 \psi_{\text{fl}} T_a^2}{10800 q_H} \right)^{0.6} \right] - 273 \quad (3)$$

式中: $q_H$ —水冷壁面热强度, $kJ/m^2$ 。

由文献[7]可知,式(3)计算方法运用到大型电站锅炉额定负荷下的准确性较式(2)明显提高,然而当在低负荷下运行时,式(3)的计算准确度将大大降低。以一台蒸发量为2000 t/h锅炉为例,当蒸发量降低到1250 t/h时,实测炉膛出口烟温为1075℃,式(2)计算结果为1053℃,而式(3)的计算结果为1034℃。当蒸发量降低到1000 t/h时,在与实测结果做比较时,同样式(2)的计算结果较式(3)的准确。

对容量为410 t/h、670 t/h、1025 t/h的3台锅炉分别采用式(2)、(3)计算并与实测值相比较,如表2~表4所示。

通过表2~表4得出以下结论:当高于75%蒸发量时,采用式(3)的计算结果较为准确;当低于65%蒸发量时,采用公式(2)的计算结果较为准确;

当蒸发量处于 65% ~ 75% 之间时,很难准确判定采用哪个公式计算结果更加准确,应该具体问题具体分析。仅以 3 台锅炉为例,得出以上结论。当炉膛形状、燃用煤种存在差异或者其它条件发生变化时,具体分界线可能会有所改变。但是可以确定的是,变工况热力计算过程中,根据负荷选取合适的炉膛出口烟气温度的计算式是十分必要的。

对于大型燃烧煤粉的锅炉来说,炉渣中灰量占入炉总质量的份额较小,计算过程中取  $a_{lz}$  为 0.1,飞灰中灰量占入炉总灰量  $a_m$  为 0.9,飞灰含碳量  $C_m$  选取 BP 神经网络的预测值。由文献 [9] 知,炉渣含碳量对锅炉效率的影响相对较小,并且炉渣含碳量与燃料种类、运行方式、锅炉负荷、炉膛结构等因素有关,大量数据的统计分析,找出如下关系式:

$$C_{lz} = -20(\alpha''_1 + \Delta\alpha - 0.05) + 255.8\beta \quad (4)$$

$$\beta = 2.35 \cdot \frac{H_{ar} - 0.126O_{ar} + 0.038N_{ar}}{C_{ar} + 0.0375} \quad (5)$$

式中:  $\alpha''_1$ —炉膛出口过量空气系数;  $\beta$ —燃烧特性因子;  $\Delta\alpha$ —从炉膛至空气预热器出口漏风系数之和;  $H_{ar}$ —收到基氢含量,%;  $O_{ar}$ —收到基氧含量,%;  $C_{ar}$ —收到基碳含量,%;  $N_{ar}$ —收到基氮含量,%。

表 2 410 t/h 锅炉炉膛出口烟温实测值与计算值

Tab. 2 Actually measured value and calculation one of the flue gas temperature at the outlet of a 410 t/h boiler furnace

蒸发量/ $t \cdot h^{-1}$	实测数据/ $^{\circ}C$	式 2 计算结果/ $^{\circ}C$	式 3 计算结果/ $^{\circ}C$
410	1195	1116	1189
328	1112	1079	1101
300	1083	1037	1084
280	984	975	968
260	909	890	844
240	860	846	810

表 3 670 t/h 锅炉炉膛出口烟温实测值与计算值

Tab. 3 Actually measured value and calculation one of the flue gas temperature at the outlet of a 670 t/h boiler furnace

蒸发量/ $t \cdot h^{-1}$	实测数据/ $^{\circ}C$	式 2 计算结果/ $^{\circ}C$	式 3 计算结果/ $^{\circ}C$
670	1209	1130	1194
530	1130	1085	1106
500	1095	1041	1090
470	1001	985	998
435	913	910	877
400	890	885	860

表 4 1025 t/h 锅炉炉膛出口烟温实测值与计算值

Tab. 4 Actually measured value and calculation one of the flue gas temperature at the outlet of a 1025 t/h boiler furnace

蒸发量/ $t \cdot h^{-1}$	实测数据/ $^{\circ}C$	式 2 计算结果/ $^{\circ}C$	式 3 计算结果/ $^{\circ}C$
1025	1220	1145	1203
820	1201	1114	1196
780	1130	1071	1119
710	1064	1005	1059
670	980	969	958
610	910	900	870

### 2.2.2 变工况热力计算中过量空气系数、机械未完全燃烧热损失的确定

过量空气系数受到煤种、负荷、环境温度的影响,其最佳值应该是一个变量,而以往热力计算中只是根据燃料性质及锅炉燃烧方式确定的,简单的选取定值不能够反映工况变化对运行参数的影响,同时还会影响到其它运行参数计算的准确性。热力计算过程中,过量空气系数的大小将直接影响各受热面的过量空气系数、烟气特性参数、排烟热损失、机械未完全燃烧热损失、锅炉效率的大小,对热力计算有着至关重要的作用。

本研究将采用“登山原理”确定最佳过量空气系数。在炉膛出口过量空气系数最佳值范围内选取过量空气系数初始值  $\alpha_1$ ,计算当前工况下的锅炉效率  $\eta_1$ 。采用“登山原理”,保持其他初始参数不变,给  $\alpha_1$  增加一个较小的变量  $\Delta\alpha$  暂定为 0.02(  $\Delta\alpha$  可根据计算的需要进行调整)得到  $\alpha_2$ ,计算此时的锅炉效率为  $\eta_2$ ,若  $\eta_1 < \eta_2$  则将  $\alpha_2$  的值赋给  $\alpha_1$ ,  $\eta_2$  的值赋给  $\eta_1$ ,重复计算直到  $\eta_1 > \eta_2$  为止;相反,若  $\eta_1 > \eta_2$  则给  $\alpha_1$  减小一个较小的变量  $\Delta\alpha$ (  $\Delta\alpha$  的确定方法同上)得到  $\alpha_2$ ,重复进行热力计算直到  $\eta_1 > \eta_2$  为止。锅炉效率最高时的过量空气系数即为最佳过量空气系数  $\alpha_{zj}$ ,相应的排烟温度为最佳排烟温度  $\vartheta_{pyzj}$ 。

### 3 结合 BP 神经网络和热力计算确定运行参数基准值的流程

以一台 HG 1025/18.2 - M 锅炉为例,运行参数基准值计算流程可分为以下几个部分:

(1) 选取过量空气系数初始值  $\alpha_1$ ,用 BP 神经网络预测当前状态下的飞灰含碳量  $C_m$ 。计算机械未完全燃烧热损失  $q_4$ 。

(2) 燃烧产物计算和锅炉热平衡及燃料消耗量

计算。

(3) 炉膛热力计算(根据锅炉负荷选取合适的炉膛出口烟气温度的计算式)。

(4) 后屏过热器、对流过热器和高温过热器热力计算。

(5) 高温再热器、转向室、低温再热器热力计算及烟气体积校核。

(6) 旁路省煤器、主省煤器和空气预热器热力计算及热空气温度排烟温度校核。

(7) 采用“登山原理”反复进行热力计算,确定最佳锅炉效率下的过量空气系数  $\alpha_{zj}$ 、飞灰含碳量  $C_{fh}$ 、排烟温度  $\vartheta_{pyzj}$ 。

### 4 算 例

以上述 HG 1025/18.2 - M 锅炉为例,在保持煤种不变的情况下,运用 BP 神经网络与热力计算相结合的方式确定 70%、50% 负荷下锅炉运行参数的基准值,已知参数如表 5 所示,计算结果如表 6 所示。

表 5 已知参数值

Tab.5 Values of known parameters

项目	数值
收到基含碳量 $C_{ar}/\%$	60.15
收到基含氢量 $H_{ar}/\%$	2.83
收到基含氧量 $O_{ar}/\%$	2.39
收到基含氮量 $N_{ar}/\%$	0.99
收到基含硫量 $S_{ar}/\%$	1.20
收到基水分 $M_{ar}/\%$	7.03
收到基灰分 $A_{ar}/\%$	25.39
收到基低位发热量 $Q_{net,ar}/\text{kJ} \cdot \text{kg}$	23042
环境温度/ $^{\circ}\text{C}$	20
给水温度/ $^{\circ}\text{C}$	255

通过表 6 可知:随着锅炉负荷的降低炉膛出口过量空气系数明显增加,飞灰含碳量和机械未完全燃烧热损失显著降低。计算结果符合随着负荷的降低需要增加炉膛出口过量空气系数来改善炉膛的燃烧状况,同时机械未完全热燃烧损失随着过量空气系数的增加而降低这一规律。在 70% 负荷时,机械未完全燃烧热损失为 1.8%,当负荷降低到 50% 时,机械未完全燃烧热损失为 1.15%,采用飞灰含碳量和炉渣含碳量计算得到的机械未完全燃烧热损失可以准确反映负荷变化对机械未完全燃烧热损失的影响。

表 6 70%、50% 负荷下运行参数基准值

Tab.6 Reference values of operating parameters at 70 and 50% load

项目	70% 负荷下的参数基准值	50% 负荷下的参数基准值
过量空气系数	1.28	1.40
飞灰含碳量	3.3	1.51
炉膛出口烟温计算式	式(3)	式(2)
炉膛出口烟温计算结果/ $^{\circ}\text{C}$	1049	796
排烟温度/ $^{\circ}\text{C}$	120	103
$q_2/\%$	6.92	5.6
$q_4/\%$	1.8	1.15
$\eta/\%$	90.13	92.15

### 5 结 论

(1) 炉膛出口烟气温度的计算公式选取与锅炉负荷有关:当负荷高于 75% 蒸发量时,采用式(3)的计算结果较为准确;当负荷低于 65% 蒸发量时,采用式(2)的计算结果较为准确;当蒸发量处于 65% ~ 75% 之间时,应该具体问题具体分析。

(2) 采用“登山原理”确定最佳过量空气系数的方法能够改善选取定值对热力计算的影响。

(3) 运用 BP 神经网络与热力计算相结合的方法确定一台 HG1025/18.2-M 锅炉 70%、50% 负荷下锅炉运行参数的基准值,证明该方法能够反映锅炉负荷、煤种等参数变化对运行参数基准值的影响。

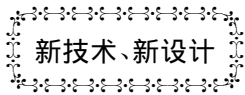
#### 参考文献:

[1] 李 蔚,刘长东. 国内火电厂运行优化系统的现状和发展方向[J]. 电站系统工程, 2004, 20(1): 60-61.  
 Li Wei, LIU Chang-dong, SHENG De-ren, et al. Status quo and development trend of operation optimisation systems in domestic thermal power plants[J]. Power System Engineering, 2004, 20(1): 60-61.

[2] 李建强. 基于数据挖掘的电站运行优化理论研究与应用[D]. 北京: 华北电力大学, 2006.  
 Li Jian-qiang. Theoretical study and application of the power plant operation optimization based on data mining [D]. Beijing: North China University of Electric Power, 2006.

[3] 李建强, 牛成林. 数据挖掘在火电运行参数优化目标值确定中的应用[J]. 华北电力大学学报, 2008, 35(4): 53-56.  
 Li Jian-qiang, NIU Cheng-lin. Application of the data Mining in optimization target values of operating parameters of a thermal power plant [J]. Journal of North China University of Electric Power,

- 2008, 35(4): 53 - 56.
- [4] 吴智群,王顶辉. 火电厂锅炉运行优化目标值计算方法的研究[J]. 热力发电, 2006, (09): 27 - 29.  
WU Zhi-qun, WANG Ding-hui. Study of the methods for calculating the operating optimization target value of a boiler in a thermal power plant[J]. Thermal Power Generation, 2006, (09): 27 - 29.
- [5] 叶虹. BP神经网络在锅炉运行优化中的应用研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2002.  
YE Hong. Study of the BP neural network applied in operation optimization of a boiler[D]. North China University of Electric Power (Beijing), 2002.
- [6] 陈敏生,刘定平. 电站锅炉飞灰含碳量的优化控制[J]. 动力工程, 2005, 25(4): 545 - 549.  
CHEN Min-sheng, LIU Ding-ping. Optimized control of the carbon content of flyash in an utility boiler[J]. Power Engineering, 2005, 25(4): 545 - 549.
- [7] 周克毅,赵震,曹汉鼎. 炉膛出口烟温计算方法的分析与研究[J]. 动力工程, 1999, 19(5): 363 - 366.  
ZHOU Ke-yi, ZHAO Zhen, CAO Han-ding. Analysis and comparison of the methods for calculating the flue gas temperature at the outlet of a furnace[J]. Power Engineering, 1999, 19(5): 363 - 366.
- [8] 邓广发. 炉膛出口烟温计算方法的对比研究[J]. 热力发电, 2004, (4): 17 - 19.  
DENG Guang-fa. Contrast study of the methods for calculating the flue gas temperature at the outlet of a furnace[J]. Thermal Power Generation, 2004, (4): 17 - 19.
- [9] 李雪亮,武国栋,吕建志. 电站锅炉燃烧分析与诊断系统[J]. 中国电力, 1998, 31(01): 14 - 17.  
LI Xue-liang, WU Guo-dong, LU Jian-zhi. Combustion analysis and diagnostic system of an utility boiler[J]. Electric Power of China, 1998, 31(01): 14 - 17.



## 通流间隙和上游缝隙对叶片端壁气膜冷却影响的计算研究

据《ASME Journal of Turbomachinery》2011年1月刊报道,为了提高发动机性能,涡轮都设计在高进口温度下运行。为了减少燃烧产生的 $\text{NO}_x$ ,燃烧室设计力图实现温度分布平缓,达到第一级静叶片非常有利的传热。

对于许多部件,包括叶片端壁,气膜冷却仍然是最有效的冷却方法,同时给出了气膜冷却端壁计算研究的结果。

端壁设计既考虑代表燃烧室-涡轮接合处的上游缝隙,也考虑代表相邻叶片之间配合的通道间隙。

研究的重点是比较在漏泄流量和间隙改变的情况下端壁上的绝热效率。结果表明,沿端壁绝热效率的预测计算值和试验测量值之比较一致。

研究结果表明,通道间隙靠抬高燃烧室对冷却覆盖范围影响很大。高于下游静叶片端壁,可以得到更好的冷却覆盖范围。

(学牛摘译)

Thermal Energy & Power. – 2011 ,26(5) . – 561 ~ 565

The corrosion and fouling in tubes is one of main factors influencing the safe operation of a boiler. To study the corrosion and fouling process in boiler tubes at a high temperature and pressure , a plate-hanging test was performed under a certain operating condition. By making use of the SEM ( scanning electron microscope) , EDS ( energy spectrum analysis) and XRD( X-ray diffractometer) etc. analytic means and in combination with the weighing method , the authors have arrived at the following conclusions: the corrosion and fouling layer on metallic surfaces is divided into three layers , namely , oxidation , intermediate and fouling layer in turn. The corrosion and fouling process is also divided into three phases: oxide film formation period ,fouling fast growth period and stabilization period. An increase of the concentration can promote the corrosion and fouling speed of metals. An increase of the roughness has little influence on the corrosion but can accelerate the fouling. **Key words:** corrosion and fouling , layer division , reaction process , influencing factor

BP 神经网络与改进热力计算结合确定锅炉参数基准值 = **Determination of the Reference Values of Parameters of a Boiler By Combining the BP ( back propagation) Neural Network With the Improved Thermodynamic Calculation** [刊 ,汉] LI Shao-hua , XU Fang , SONG Dong-hui , XU Le-fei ( College of Energy Source and Power Engineering , Northeast University of Electric Power , Jilin , China , Post Code: 132012) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. – 2011 ,26(5) . – 566 ~ 570

Through analyzing the problems of the prevailing method for determining the reference values of operating parameters of a boiler , the authors presented a method for determining the reference values of parameters of a boiler by combining the BP neural network with the improved thermodynamic calculation. During the calculation , the BP neural network model was used to predict the reference value of the carbon content of the flyash and according to the operating load of the boiler a formulae for calculating the flue gas temperature at the outlet of the furnace was chosen. The method for determining the excess air factor in the “mountain – climbing theory” was used to determine the reference values of the key operating parameters. Finally ,with a HG1025/18.2-M boiler serving as an example ,the reference values of the operating parameters of the boiler were calculated at 50 % and 70% load , obtaining a conclusion that the excess air ratio at the outlet of the furnace will remarkably increase with a decrease of the boiler load and the carbon content of the flyash and the thermal loss due to the mechanical unburn-out combustion will markedly decrease. It has been proven that the method in question can reflect very well the influence of a change of the boiler load and coal quality characteristic parameters on the reference values of the operating parameters. **Key words:** boiler , target value , thermodynamic calculation

洗中煤和煤矸石的混煤燃烧特性分析 = **Analysis of the Blended Combustion Characteristics of a Washed Middle-quality Coal and Gangue with a Low Heating Value** [刊 ,汉] SHEN Bing-yun ( College of Energy Source and Power Engineering , Inner Mongolia Polytechnic University , Huhhot , China , Post Code: 010051) ,