

用 IMS 算法构造电站燃料增益信号及热量信号

朱红路, 刘吉臻, 常太华, 田 亮

(华北电力大学 控制与计算机工程学院, 北京 102206)

摘 要: 提出了一种使用 IMS(Least mean square, 最小均方)算法来构造电站燃料增益和热量信号的方法。该方法通过 IMS 算法建立机组给煤量和锅炉有功功率之间的输入输出模型, 依据抽头权值之和来构造燃料增益。在机组获得给煤量信号的基础上, 构造了热量信号。在对机组实际运行数据进行分析之后, 证明了构造的燃料增益和热量信号具有动态响应速度快、稳定性好、准确度高, 有较好的工程实用价值。

关 键 词: 燃料增益; 热量信号; 热工过程; 火电厂; IMS 算法

中图分类号: TM621; TP273 文献标识码: A

引 言

在火电机组自动控制系统中, 利用燃料发热量信号可以快速消除燃料扰动、减少机组负荷压力及风煤比、水煤配比偏差, 对于提高机组稳定性和经济性具有十分重要的意义。因此, 在火电厂控制系统中引入一个能够反映燃料特性的相关信号以提高机组抗煤质扰动能力, 具有较为重要的意义。

火电厂中对燃料低位发热量的监测主要通过离线取样化验获得, 滞后时间较长, 存在很大的采样误差, 对运行人员只起到一个参考作用。基于快速 γ 中子活化分析 (PGNAA) 技术的煤元素全分析监测装置已有数台安装在煤炭、电力企业。但由于投资较高, 基于 PGNAA 技术的煤的元素分析仪没有得到普遍应用^[1]。目前, 在控制中采用的燃料发热量校正信号, 大多利用燃烧相关信号构造得到, 但此类方法建立在相关信号得到准确测量基础上, 故存在着一定局限性^[2-3]。理论上燃料发热量可以通过锅炉有效吸热量除以总给煤量计算得到, 但是燃料要通过制粉、燃烧和吸热 3 个动态环节才能转换为热量信号, 两者在时间上存在较大的动态不一致性, 使这种理论上最为简单的计算方法在应用上受到很大限制。

文中使用 IMS 算法建立了给煤量和机组有功功率之间的 FIR 动态模型。作为一种基于时间序列的模型, 基本上解决了给煤量信号和锅炉有效吸热量之间在时间上的动态不一致性问题, 消除了以往按照“静态”算法出现的动态误差。其 FIR 模型的抽头权值之和为燃料增益 K_f , 表征了进入锅炉的燃料量和锅炉有效吸热量之间存在的比例关系, 能够较好地反映电站用煤的煤质变化情况。利用得到的燃料增益 K_f 和给煤量信号的乘积构造热量信号, 可有效缩短热量信号作为反馈控制量的滞后时间。通过与不同方法计算得到的热量信号进行比较, 说明了文中构造热量信号的方法具有较好的准确性, 能够及时反映燃料特性的变化, 且与其它方法相比较, 算法简单, 对原始信号的依赖程度小。

1 IMS 算法及应用模型^[4]

在所有自适应滤波的应用中, 都存在一种通用的框架结构。IMS 算法采用基于 FIR 模型的框架结构。FIR 滤波器为一种横向滤波器, 其结构特点是没有反馈支路, 即没有环路, 其单位脉冲响应是有限长的。由于 FIR 模型的稳定性, 本研究采用基于 FIR 模型的 IMS 滤波器作为建模和特征信号提取的工具。任何线性时不变集中参数离散系统 (热力系统中的许多装置具有集中参数性质, 在此类集中参数环节中, 流体工质的热力学状态参数在空间上近于均匀分布, 可以相当准确地用某一点的参数来代表, 工质的热力学参数只是时间的函数。都可以用差分方程、系统传递函数或单位脉冲响应卷积形式描述, 且三者具有等价的关系, 这是所采用 IMS 算法对热工过程进行建模的理论基础。

1.1 横向滤波器

自适应滤波器依靠递归算法进行运算, 使得它

收稿日期: 2009-09-23 修订日期: 2010-01-05

基金项目: 国家 863 专项经费基金资助项目 (2007AA04Z163); 国家自然科学基金资助项目 (50776030)

作者简介: 朱红路 (1982-), 男, 江苏徐州人, 华北电力大学博士研究生。

有可能在有关信号特征的完备知识不能得到的环境下, 完满地完成滤波运算。在平稳环境下, 自适应滤波器经过成功迭代后收敛于某种意义上的最优维纳解。在非平衡环境中, 当输入数据的统计特性随时间变化足够缓慢时, 自适应滤波器将具有跟踪这种变化的能力。

LMS 滤波器是围绕横向滤波器 (transversal filter) 构成, 其结构如图 1 所示。横向滤波器由 3 个基本单元组成: (1) 单位延迟单元; (2) 乘法器; (3) 加法器。单位延迟单元的个数确定了脉冲响应的有限持续时间, 通常成为滤波器的阶数。滤波器中每个乘法器的作用是用滤波器系数 (也称抽头权值, tap weight) 乘以与其相连接的抽头输入。于是连到第 k 个抽头输入 $u(n-k)$ 的乘法器产生 $\omega_k^* u(n-k)$ 的输出, 其中 ω_k 是抽头权值, $k=0, 1, \dots, M-1$ 号表示复数共轭。对于所示的横向滤波器, 其输出为:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M-1} \omega_k^* u(n-k) \quad (1)$$

式 (1) 称为卷积和, 因为它将滤波器的有限脉冲响应 ω_k^* 与滤波器输入 $u(n)$ 卷积以产生滤波器的输出 $y(n)$ 。研究表明, 只要未建模动态可被 FIR 参数化, 那么总可以通过引入适当多零点的方法, 在无须知道未建模动态满足的概率分布和无需对噪声建模的情形下同时精确地辨识标称模型参数和 FIR 模型参数。

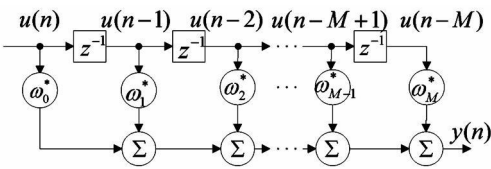


图 1 横向滤波器结构框图

1.2 最小均方 (LMS) 自适应滤波器

最小均方算法是一种搜索算法, 它通过对目标函数进行适当的调整, 简化了对梯度向量的计算。基于最速下降法的最小均方误差 (LMS) 算法具体推导过程不再赘述, 在此只列出迭代式:

对于 $n=0, 1, 2, \dots$,

$$e(n) = d(n) - \hat{\omega}^H(n) u(n) \quad (2)$$

$$\hat{\omega}(n+1) = \hat{\omega}(n) + \mu u(n) e^*(n) \quad (3)$$

式中: $\hat{\omega}(n+1)$ — $n+1$ 时刻的抽头权向量估计; M —抽头数 (即滤波器长度); μ —步长参数; $u(n)$ 则得:

$$u(n) = [u(n), u(n-1), \dots, u(n-M+1)]^T \quad (4)$$

式中: $u(n)$ — n 时刻 M 抽头输入向量; $d(n)$ — n 时刻的期望响应; $\hat{\omega}^H$ — $\hat{\omega}$ 的埃尔米特转置。如果已知抽头权向量 $\hat{\omega}(n)$ 的先验知识, 则用它来选择 $\hat{\omega}(0)$; 否则令 $\hat{\omega}(0) = 0$ 。

1.3 LMS 系统辨识模型

对未知系统输出建模的原理如图 2 所示, LMS 滤波实质上就是对一个未知系统的输出信号即 LMS 滤波器的期望信号 $d(n)$, 产生估计信号 $y(n)$, 根据两者之间的误差信号 $e(n)$, 按照 LMS 算法对横向滤波器抽头权值进行调整, 以使滤波器输出逼近未知系统输出。

利用未知系统的输入、输出数据, LMS 算法能够拟合出一个未知系统的等价的数学模型。在此所谓的等价是指在某一种指定准则意义下的等价, 即所得到的模型使用有限脉冲响应 (FIR) 的形式进行描述, FIR 模型可以部分表征系统的特征。

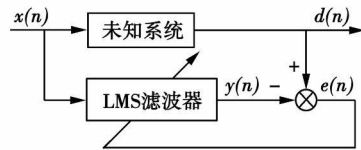


图 2 LMS 系统辨识方框图

2 机组简化模型及燃料增益信号的构造

燃料增益的精确计算, 对整个燃烧控制系统和机组协调控制系统有着较为重要的意义。300 MW 及以上机组大多采用中速磨直吹式系统, 在给煤机上安装有称重装置, 可以较为准确地测量进入锅炉的燃料量, 精度可以接受, 为燃料增益和热量信号的计算提供了新的条件。

2.1 机组简化模型^[3-4]

对于直吹式制粉系统汽包锅炉机组的负荷压力模型可简化为一双入双出多变量系统, 输入为燃料量 u_b (kg/s), 汽轮机调门开度 u_t (%); 中间变量为进入磨的实际煤量 r'_m (kg/s) 和进入锅炉的煤粉量 r_b (kg/s); 输出为机前压力 P_r (MPa), 机组负荷 N_e (MW), 模型同时反映机组主要参数汽包压力 P_b (MPa), 汽轮机调节级压力 P_1 (MPa) 的变化情况, 此类机组简化模型可以描述为^[3]:

$$r'_m = e^{-\tau s} u_b \quad (5)$$

$$T_f \frac{dr_b}{dt} = -r_b + r'_m \quad (6)$$

$$C_b \frac{dp_b}{dt} = -K_3 p_b u + K_1 \dot{E} \quad (7)$$

$$K_4 \frac{dN}{dt} = -N + K_2 p_b u \quad (8)$$

$$p_1 = p_b - K_5 (K_1 \dot{E})^{1.5} \quad (9)$$

式中: K_1 —燃料增益; K_2 —过热器阻力系数; K_3 —汽轮机增益; τ —制粉过程延迟时间; T_I —制粉惯性时间; C_b —锅炉蓄热系数; K_4 —汽轮机动态时间。式

(5)~式(6)描述了制粉过程的惯性和延迟;式(7)描述了煤粉在锅炉内燃烧释放热量将水加热为过热蒸汽;式(8)描述蒸汽在汽轮机内做功及流经再热器的惯性;式(9)描述过热器的差压特性。

当煤炭热量一定时,进入锅炉的燃料量 \dot{E} 与锅炉有效吸热量 Q_w 之间存在着确定的比例关系:

$$Q_w = K_f \dot{E} \quad (10)$$

电厂协调控制系统、燃烧控制系统等需要燃料增益 K_f 作为校正信号,这个信号又往往称为燃料发热量修正信号,故该信号的准确性与否对机组的运行有着重要的影响。根据锅炉有效吸热量的概念,燃料增益 K_f 的计算可简化为:

$$K_f = N_E / \dot{E} \quad (11)$$

即,通过计算机组负荷和给煤量的比值来确定燃料增益 K_f 。由于给煤量信号要经过制粉、燃烧、吸热等环节才能到达机组实发电功率,这一过程有较大滞后特性,如果直接利用式(11)计算燃料增益,会有较大的动态偏差。本研究利用 IMS滤波器建立机组负荷和给煤量之间的 FIR数学模型,该模型等效于一个能够体现机组负荷和给煤量之间动态特性的滤波器,通过对得到的 FIR滤波器抽头权值进行求和,得到燃料增益 K_f 。

2.2 燃料增益信号构造

本研究对象为大唐盘山电厂 3号机组。锅炉为哈锅 HG-2023/17.6-YM4型亚临界压力一次中间再热汽包锅炉,采用正压直吹式制粉系统,与前文描述的简化模型相一致。数据取自 SIS(厂级监控信息系统)服务器,采样时间为 5 s。对给煤量和机组负荷进行建模,按照图 2构造建模算法,给煤量 u_b 作为 IMS滤波器输入 $x(n)$,机组负荷 N_E 作为 IMS滤波器期望信号 $d(n)$ 。IMS滤波器通过约 100次运算即可进入稳定状态,将实际给煤量作为得到模型的输入,图 3为模型输出和实际输出功率的比较。由于给煤量信号的波动较大及锅炉蓄热等因素影响,模型输出较实际输出也存在一定的波动,不过仍可看出模型输出和实际输出功率之间较为吻合。

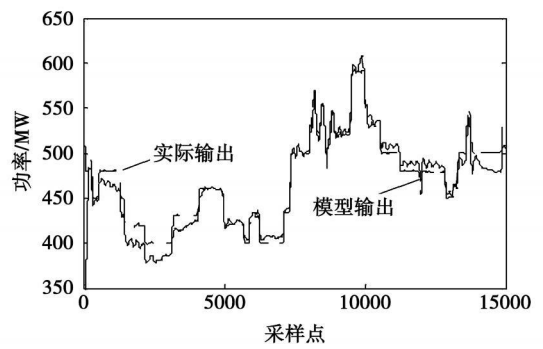


图 3 IMS建模输出和实际输出比较

得到的 FIR模型为脉冲响应卷积形式,从图 1 横向滤波器的结构可知,横向滤波器抽头权值之和即为输出、输入之间的增益,即燃料增益可表示为:

$$K_f = \sum_{k=0}^M \omega_k \quad (12)$$

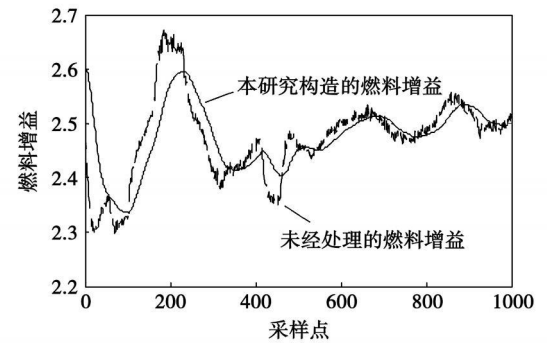


图 4 构造的燃料增益和未经处理的燃料增益比较

由图 4可看出,式(11)是直接计算出的燃料增益信号,但由于给煤量信号波动较大以及给煤量信号和机组负荷信号之间在时间上的不一致性,导致计算结果存在较多毛刺,并不适于在控制系统中直接引用。构造的燃料增益信号在动态上能反映燃料发热量特性的变化,且滤除了由于其它扰动带来的燃料增益信号的波动。通过调整 IMS滤波器阶数,可以使燃料增益信号在静态和动态上达到较好的一致性,滤波器阶数为 120阶,基本满足了机组负荷对燃料量变化的响应时间。

3 热量信号构造

以往热量信号的测量一般采用间接测量的方法,在各种简介测量方法中,以蒸汽流量(加上汽包压力的变化速度)信号应用较多。在稳定时,如果

汽压、汽温稳定, 那么蒸汽流量是热量信号的正确测量, 但是变负荷过程中, 有一部分热量储存在汽水中, 表现为汽包压力的变化, 会影响计算的精确性。文献 [5] 以主蒸汽流量和锅炉蓄热系数与汽包压力的微分的乘积构造出热量信号:

$$D_q = D_s + C_b \frac{dP_d}{dt} \quad (13)$$

式中: D_s —主蒸汽流量; P_d —汽包压力; C_b —锅炉蓄热系数。

一个理想的热量信号, 必须注意它主要反映燃料量的变化, 而不是反映用汽量的变化, 也就是说, 在锅炉燃料量改变时, 热量信号应该基本上成比例地变化; 而当机组负荷变化时, 只要进入炉膛的燃料量不变, 热量信号就应该没有变化。

综合以上分析, 在燃料量信号可用的情况下, 利用式 (12) 得到的燃料增益信号, 确定了燃料量和机组有效吸热量之间的比例关系, 反映了机组在特定时期的燃料特性, 可以更为简单、精确地确定一个更为可靠的热量信号。

由式 (10) 可知所构造的热量信号主要受到给煤量信号的影响, 在解决了燃料增益信号的计算问题后, 和文献 [6] 计算热量信号方法在本质上是一致的, 均在燃烧侧计算热量信号, 计算方法与之相比简单了很多, 且去除了制粉系统的延迟影响。

图 5 为本研究方法 (给煤量信号经过平滑处理) 与文献 [5] 方法计算得到的热量信号的对比, 可看出, 两者吻合程度较好, 但本研究计算方法更为简洁。

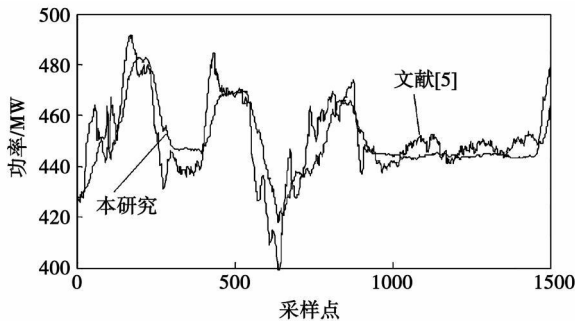


图 5 两种热量信号计算方法比较

理想热量信号应能充分反映进入锅炉的燃料量的变化, 由图 6 和图 7 可以看出, 在负荷较为稳定时, 构造的热量信号能及时反映给煤量的变化; 当负荷有较大波动时, 构造的热量信号亦能够同时反映负荷的变化。

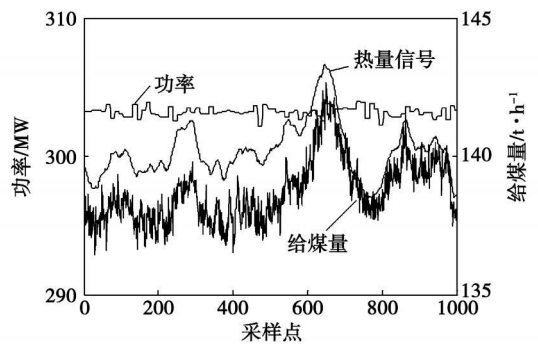


图 6 负荷稳定时热量信号变化曲线

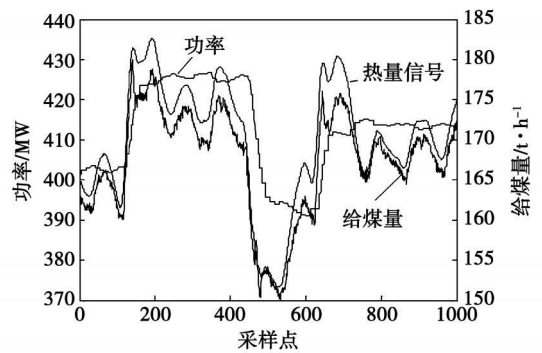


图 7 负荷变化时热量信号变化曲线

4 结 论

提出了使用 IMS 算法对电站燃料增益信号和热量信号进行构造的方法, 得到的燃料增益信号可较为准确的反映机组用煤的燃料特性。在国家实行“上大压小”政策之际, 将此法应用于 300 MW 及 300 MW 以上采用中速磨直吹式制粉系统的机组中, 可以较为精确地测量给煤量。并在获得燃料增益信号的基础上, 对给煤量信号进行简单的平滑处理即可以获得准确的热量信号。现场数据仿真结果表明, 所构造的燃料增益信号能够较好的反映燃料发热量的变化, 计算得到的热量信号满足热量信号构造要求。本研究方法计算简单, 需要的监测信号少, 减少了对原始信号的依赖性, 为直流锅炉热量信号的计算提供了一个手段, 具有一定的工程实际意义。

参考文献:

- [1] 赵 征, 刘吉臻, 田 亮, 等. 基于数据融合的燃料量软测量及煤质发热量在线校正 [J]. 热能动力工程, 2007 22(1): 42—45
- [2] 李必成, 盛赛斌. 一种基于数据挖掘的入炉燃料发热量在线智

- 能诊断方法研究[J]. 热能动力工程, 2007, 22(1): 25—28
- [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
- [4] HAYKIN S. Adaptive filter theory[M]. New Jersey: PrenticeHall Inc, 2002
- [5] 刘鑫屏, 田亮, 曾德良, 等. 基于机组负荷—压力动态模型的燃煤发热量实时计算方法[J]. 动力工程, 2008, 28(1): 50—53
- [6] 刘吉臻, 田亮, 曾德良, 等. 660 MW机组负荷—压力非线性特性的分析[J]. 动力工程, 2005, 25(4): 533—536
- [7] 曾德良, 赵征, 陈彦桥, 等. 600 MW机组锅炉模型及实验研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(5): 149—152
- [8] 于达仁, 范轶, 徐志强, 等. 炉膛辐射能信号和热量信号的融合方法[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(4): 158—161.

(编辑 陈 滨)

国外新技术信息

新型玻璃表面纳米组分材料生产工艺 (2010—X—001)

技术领域: 新材料**应用领域:** 纳米金属涂层的玻璃材料

项目简介: 纳米金属组分材料是独特的结构材料, 由玻璃层和具有高变形性能的外层轻金属构成, 一般使用铝合金层, 具有高强度和抗冲击能力, 适合多种特殊极限情况, 如提高极限深水设备的航行性能; 改善航天器和飞行器使用性能; 作为处理放射性废料掩埋池表面的特种材料, 直至被处理废料半衰期结束; 作为管道处理材料时, 可显著提高石油、天然气管线输送能力 5 ~ 6倍。

技术参数: 按照玻璃配方 ($14.5\text{MgO} + 14.5\text{Al}_2\text{O}_3 + 71\text{SiO}_2$) 计算, 达理论强度可达 (10.4MPa), 其数值比高强度钛合金高出近十倍, 而重量却减少 1.75倍。

《伊涅尔托恩—02》生物柴油机燃料生产工艺流程 (2010—X—002)

技术领域: 新材料

应用领域: 生物柴油机燃料综合法可以进行流水性作业, 可以从任何植物性油脂 (包括废油) 或者动物油脂中加工出燃料。

性能指标: (1) 基于以植物性油脂及甲基乙醇的形式的反应分量冲量电磁加工进行强化渗透酯化反应是得到生物柴油机燃料的基本反应; (2) 可以不需长期重新调整制造任何形式植物性油脂及动物性油脂的生物柴油机燃料; (3) 使用该技术可以每小时生产 3 吨生物柴油机燃料, 当实行两班工作制时一年可以生产 15 000 t; (4) 设备十分紧凑, 反应槽单独要占用 3 ~ 5 m² 的空间, 而且极容易运输和安装; (5) 在生产生物柴油机燃料时每生产 1 L 生物柴油机燃料所耗费的电能不超过 0.005 kW; (6) 生物柴油机燃料符合欧洲标准 EN14214。科技水平: 世界上没有类似仪器。

生态环保型: 对周边环境无任何影响。**预期成果:** 根据使用情况可能建立高效小型工厂以确保农业企业的燃料需求。**投资回收期:** 当实行一班工作制时, 投资的回收期为 1年。

er — 2010 25(5). — 547 ~ 551

According to the idea of the flameless oxidation technology proposed was a new type dry pulverized coal GFB (gas fluidized bed) gasifier. By using the experimental and numerical calculation method studied was the in-furnace gasification reaction process of the pulverized coal with a high ash melting point. The test and simulation results have verified that the structure of the furnace can result in a uniform temperature field in the furnace, a remarkable drop of the in-furnace temperature gradient, realizing the basic reaction characteristics of the flameless oxidation technology, making the pulverized coal gasification reaction being realized in a space. In the meantime, it can lead to an increase of the in-furnace mean temperature, an enhancement of both the gasification strength and the temperature level at the slag discharging port, thus meeting the requirements for gasification of various coal ranks with a high ash melting point. Key words: coal gasification, high ash melting point, gasifier, flameless oxidation

用 LMS 算法构造电站燃料增益信号及热量信号 = Formation of the Fuel Gain and Heat Quantity Signals for a Thermal Power Plant by Using LMS (Least Mean Square) Algorithm [刊, 汉] / ZHU Hong-ly, LU Ji-zhen, CHANG Tai-hua et al (College of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, Beijing, China, Post Code 102206) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010 25(5). — 552 ~ 556

Proposed was a method for forming fuel gain and heat quantity signals for a thermal power plant by using LMS (least mean square) algorithm. The method in question was used to establish a model controlling the input and output between the coal feed quantity of the unit and the active power of the boiler and the fuel gain was formulated by the sum of the tape weighting values. On the basis of obtaining a coal feed quantity signal of the unit, a heat quantity signal was formed. After an analysis of the practical operating data of the unit, it has been proven that the fuel gain and heat quantity signal being formed enjoys such features as a quick dynamic response speed, good stability and high precision, thus having a relatively high practical engineering value. Key words: fuel gain, heat quantity signal, thermodynamic process, thermal power plant, LMS (least mean square) algorithm

生物质灰在流化床燃烧中的固硫特性研究 = Study of the Sulfur Retention Characteristics of Biomass Ash in CFB (Circulating Fluidized Bed) Combustion [刊, 汉] / ZHAO Ke, LIU Qing-gang (Engineering Thermodynamics Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, Post Code 100190), XU Tong-mo, HUI Shi-en (College of Energy Source and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010 25(5). — 557 ~ 560

Biomass ash has a high alkali metal oxide content and through an adjustment of combustion and the ash can be empowered to retain sulfur during the combustion, thus reducing the SO₂ emissions. A total of four kinds of biomass were chosen for the study. By making use of miniature combustion test system, the sulfur retention characteristics of various biomasses were revealed at different temperatures. It has been found that all the four kinds of biomass at their maximum emission concentrations of SO₂ during the combustion at 820 °C. However, the comco reaches