

移动颗粒层过滤除尘的数值模拟及实验对比

袁竹林¹, 许世森²

(1. 东南大学 洁净煤发电及燃烧技术教育部重点实验室, 江苏 南京 210096;

2. 国家电力公司 热工研究院, 陕西 西安 710032)

摘要: 采用离散颗粒运动数学模型, 对移动颗粒层过滤除尘器中粉尘颗粒与过滤介质颗粒碰撞以及对除尘效率的影响进行了初步研究。模拟计算了碰撞次数与系统风速之间的变化关系。与实验结果对比发现, 随系统风速的变化, 颗粒碰撞频次与除尘效率之间存在定性的一致。研究结果表明颗粒间碰撞作用对移动颗粒层除尘性能起着重要作用。

关键词: 离散颗粒; 数值模拟; 过滤除尘

中图分类号: O242.1 文献标识码: A

1 引言

随着人们对环境保护意识的不断重视和提高, 洁净煤发电及燃烧技术研究已被包括中国在内的许多国家列为重点研究项目之一。IGCC 和 PFBC-CC 燃气蒸汽联合循环发电以其能够同时达到提高煤电转换效率和降低污染排放的优点, 被列为未来燃煤发电技术的主要发展方向之一。

为了减少对燃气轮机磨损, IGCC 和 PFBC-CC 技术均涉及高温除尘问题, 目前该问题已成为技术之一, 尚未取得突破。综合比较不同的除尘方式来看, 在高温条件下采用移动颗粒层过滤是非常具有发展前途的除尘技术, 尤其是其具有良好的耐高温性能和能够连续运行的特点, 现被认为是最具发展前途的高温除尘技术之一^[1], 并被列入国家重点基础研究项目。

移动颗粒层过滤除尘的性能涉及众多因素, 其中包括过滤介质颗粒直径、尘粒粒径、床层移动速度、床层高度、入口含尘浓度和气流速度等, 同时还涉及到这些参数间的优化组合问题。由此可见, 如果完全通过实验的方法寻求内在除尘机理和不同工况的优化方案, 实验所需时间及费用是巨大的, 并且对某些机理性的问题也难以完全用实验的方法来解

决。随着计算机计算速度的快速提高, 数值模拟已成为目前研究气固运动规律的重要方法之一, 数值模拟技术也在随计算机计算能力的提高而不断发展。针对移动颗粒层中颗粒相互密集接触, 粉尘颗粒与过滤介质颗粒间存在着激烈的碰撞与摩擦, 本文在用欧拉方法处理气相场的同时用拉格朗日方法处理离散颗粒场, 直接跟踪离散颗粒场中每一个颗粒^[2-3], 就颗粒间碰撞作用对移动颗粒层除尘性能的影响进行了基础性探讨研究。

2 数学模型

2.1 移动颗粒层过滤除尘物理模型

移动颗粒层过滤除尘器的主体是一移动流化床, 过滤颗粒由床上部加入, 含尘气体则由床下进入床体与过滤颗粒形成逆向流动。颗粒层过滤除尘的先决条件是表观过滤速度小于临界流化速度。若过滤速度大于或等于流化速度, 则过滤失效。在没有附加外场力的条件下, 移动颗粒层过滤器的除尘机理主要是通过颗粒间的碰撞与摩擦, 降低尘粒运动动能, 使过滤介质颗粒能够对尘粒进行吸附和捕捉。影响过滤除尘性能的主要因素包括过滤介质颗粒直径、尘粒粒径、床层循环速率、入口含尘浓度和气流速度^[1]。

2.2 离散颗粒运动数学模型

移动颗粒层过滤除尘器中颗粒主要受到下述力的作用: (1) 颗粒与颗粒相互接触所产生的力; (2) 颗粒与器壁接触所产生的力; (3) 气流与颗粒相对运动对颗粒产生的力; (4) 重力。以上是颗粒所受到的主要作用力。

根据基本物理定律, 两个球形颗粒的弹性对心碰撞微观过程为: 首先在碰撞点接触, 接触点处发生

收稿日期: 2000-11-13; 修订日期: 2000-12-18

基金项目: 国家重点基础研究专项经费基金资助项目(G1999022104-4)

作者简介: 袁竹林(1955), 男, 山东烟台人, 东南大学教授

Copyright © China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

弹性变形, 颗粒在前进方向受到阻力, 随着变形的增大颗粒向前运动的阻力相应增大, 颗粒运动速度下降, 在达到最大变形位移时, 颗粒停止运动, 随后在该力的作用下, 沿原来运动方向反弹。对于非完全弹性碰撞, 碰撞后颗粒的动能发生损失, 动能损失的大小与颗粒材料的物性和碰撞时的相对速度有关, 该部分损失在物理上可以归结为在碰撞过程中受到一个与颗粒运动方向相反的力^[4], 该力的大小等于两个相撞颗粒的相对速度与系数 η 的乘积, η 通常称为阻尼系数。当两颗粒发生偏心碰撞时, 相撞点处的接触力可分解为法向分力和切向分力, 由法向和切向分别进行计算, 法向分力的作用结果等同对心碰撞, 切向分力的作用结果是对颗粒球心产生一个矩, 该矩将使颗粒发生旋转, 由该矩和颗粒的转动惯量可求出所产生的转动角加速度。由摩擦定律可知, 切向分力的极值受到颗粒表面摩擦系数与法向分力乘积的限制, 当所计算出的切向分力大于该乘积时, 两颗粒在接触表面将发生滑动。对于更一般的情况是两个旋转着的颗粒发生偏心碰撞, 这时除计算法向位移和切向位移外, 还应计及由于颗粒自转在接触点处所造成的切向速度。

颗粒与器壁的碰撞类同于颗粒与颗粒的碰撞, 只需用器壁取代另一颗粒。

当一个颗粒同时与几个颗粒相碰撞时, 通过矢量叠加算出该颗粒所受到的合力与合力矩。

上述物理过程可用以下数学模型描述:

$$f_{Cnij} = (-k_n \hat{q}_{ij} - \eta_n \hat{v}_{nij} \cdot \hat{n}_{ij}) \hat{n}_{ij} \quad (1)$$

$$f_{Citj} = -k_t \hat{q}_{ij} - \eta_t \hat{v}_{sij} \quad (2)$$

$$\hat{v}_{stj} = \hat{v}_{nij} - (\hat{v}_{rij} \cdot \hat{n}) \hat{n} + r(\hat{\omega}_i + \hat{\omega}_j) \times \hat{n} \quad (3)$$

式中 f_c : 接触力, k : 颗粒的刚度, \hat{q} : 颗粒相撞所产生的弹性变形, η : 阻尼系数, \hat{v}_r : 相对速度, \hat{n} : 单位法向向量, \hat{v}_s : 接触点滑移速度, r : 颗粒半径, $\hat{\omega}$: 颗粒角速度。下标 n 和 t 分别为法向和切向, i, j 为颗粒。

$$|f_{Citj}| > \mu_f |f_{Cnij}| \quad (4)$$

$$f_{Citj} = -\mu_f |f_{Cnij}| \hat{t}_{ij} \quad (5)$$

$$\hat{t}_{ij} = \hat{v}_{sij} / |\hat{v}_{sij}| \quad (6)$$

$$F = f_c + f_f \quad (7)$$

$$\hat{v} = F/m + \hat{g} \quad (8)$$

$$\hat{\omega} = T/I \quad (9)$$

式中 μ_f : 摩擦系数, \hat{t} : 单位切向向量, F : 合力, f_f : 流体力, m : 颗粒质量, g : 重力加速度, T : 合矩,

I : 颗粒转动惯量。

$$\hat{v} = \hat{v}_0 + \hat{v} \Delta t \quad (10)$$

$$\hat{r} = \hat{r}_0 + \hat{v} \Delta t \quad (11)$$

$$\hat{\omega} = \hat{\omega}_0 + \hat{\omega} \Delta t \quad (12)$$

式中 \hat{v} : 颗粒速度向量, Δt : 时间步长, \hat{r} : 颗粒重心的位置向量。下标 0: 前一 Δt 旧值。

2.3 气相场数学模型

气相场数学模型为用欧拉方法建立的 N-S 方程。在气固两相流中, 固相颗粒的存在对气体的流动产生影响, 该部分影响通过各网格空隙率及 N-S 方程源项得到反映^[5]。由于所模拟研究的移动颗粒层过滤器空隙率较小, 这里采用 N-S 会带来一定误差。各网格的空隙率 ϵ 通过统计每一时间步长内各网格中的颗粒数计算得出。

在离散颗粒数值模拟中, 时间步长 Δt 的选取与所模拟离散颗粒的最小粒径、颗粒的运动速度以及颗粒材料的刚度有关, 粒径越小、运动速度越高以及材料刚度越大, 则 Δt 应取得越小。这是因为颗粒每做一次 Δt 时间运动后进行一次碰撞判别, 若 Δt 选得大, 则相撞接触颗粒所产生的碰撞变形及变形引起的反作用力就大, 将会导致计算发散。较小的时间步长能够提高计算精度和计算的稳定性, 但不利之处是引起计算时间的增加。计算实验表明, 对本文研究的移动颗粒层过滤除尘模拟, 当 Δt 小于 10^{-7} s 时能够稳定计算。

3 数值模拟计算及系统风速对除尘的影响

由于离散颗粒数值模拟计算过程跟踪到颗粒场中每一颗粒, 计算量比其它数值模拟方法大, 需要花费较长的计算时间。目前用微机计算, 模拟颗粒的数量受到限制, 为避免计算时间过长, 模拟计算取移动颗粒层过滤器中一部分, 并将移动过滤介质颗粒简化为非移动颗粒。根据移动颗粒层除尘机理推测, 粉尘颗粒与过滤介质颗粒间的碰撞对除尘效果起重要作用, 其除尘效率应当同碰撞次数有密切关系。在数值计算过程中, 通过统计每一计算时间步长内粉尘颗粒与过滤介质颗粒处于碰撞接触状态的数目, 能够得到每一时间步长内碰撞接触颗粒数与系统风速的关系曲线, 以探讨系统风速变化对颗粒间发生碰撞的影响。数值模拟计算条件由表 1 列出。

表 1 模拟计算条件

过滤颗粒数	150 个
过滤颗粒直径	24 mm
过滤颗粒密度	1 000 kg/m ³
粉尘颗粒直径	960 μm
粉尘颗粒密度	1 000 kg/m ³
粉尘颗粒流率	3 200 个/s
系统表观风速	1.1 ~ 1.9 m/s
模拟除尘器高度	0.7 m
模拟除尘器宽度	0.25 m
模拟除尘器厚度	0.03 m
计算时间步长	10 ⁻⁷ s

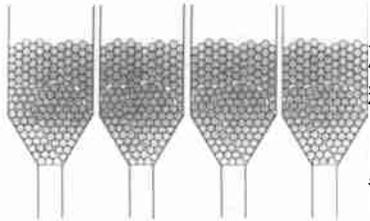


图 1 过滤介质颗粒与粉尘颗粒离散颗粒场

对每一计算工况,先将过滤介质颗粒由过滤器上部按自由落体投入过滤器,颗粒达到稳定后由过滤除尘器下部风入口处按 3 200 个/S 速率投入粉尘颗粒,粉尘颗粒在风的携带下进入过

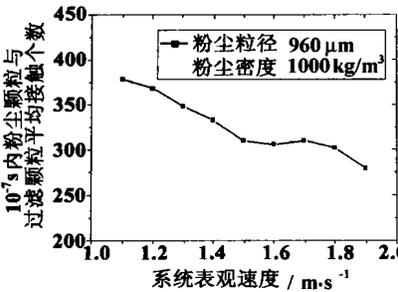


图 2 dt 时间内处于碰撞状态粉尘颗粒数与系统表观风速的变化关系

滤除尘器同过滤颗粒发生碰撞,由于数学模型中未加入颗粒间吸附粘滞作用,因此粉尘颗粒在同过滤介质颗粒多次碰撞后在风的携带下由过滤除尘器上部离开。

图 1 是数值模拟得到的过滤介质颗粒与粉尘颗粒构成的离散颗粒场,由此可以看到粉尘颗粒穿过过滤颗粒层的过程。数值计算采用 P II 300 微机,内存配置 128 M,每个模拟实际工况为 8 s,需要花费 62 h CPU 时间。图 2 是不同系统风速工况下数值计算得到的每一时间步长内处于碰撞状态粉尘颗粒数与系统表观风速的变化关系。

数值模拟计算结果表明,在风速较低时,每时间步长内处于碰撞状态粉尘颗粒数较大,随着风速的增加逐渐下降。在计算条件下当风速达到一定值之后碰撞次数开始明显减少。

4 移动颗粒层过滤除尘实验及对比分析

在一特制的移动颗粒层除尘装置上对系统风速的影响做了专门探讨研究^[1],实验条件由表 2 列出。所得到的过滤除尘效率随风速变化的实验结果如图 3 所示。

表 2 实验条件

过滤介质颗粒	石英砂 1~2 mm
系统风量	50~150 m ³ /h
床层移动速率	1.0 kg/min
含尘浓度	1.0 g/m ³
含尘粒度范围	0~100 μm

注:立方米为标准立方米。

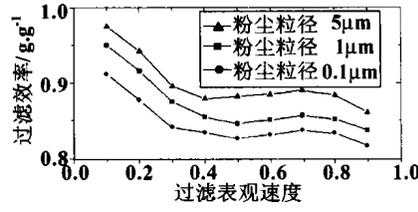


图 3 除尘效率随风速变化的实验结果

实验结果表明,在低风速时,除尘效率高。在实验条件下当风速大于 0.7 m/s 时,由于气流的携带能力增强和过滤介质颗粒间

空隙开始增大,各种尘粒的分级分离效率也开始下降。由于目前计算条件的限制,本文的模拟计算颗粒规模与计算工况条件与实验条件有较大的差别,因此在定量上不能进行对比,但在定性上反应出存在的共性:在数值模拟中研究的碰撞频次和实验过程测取的除尘效率反映出与风速变化的相同规律,均显示出在低风速下移动颗粒层过滤除尘器效率高,并随风速的增加而下降,当风速增大到某一值后,除尘效率开始明显下降。根据碰撞频次与除尘效率随风速变化的一致性可以推测,粉尘颗粒与过滤介质颗粒间的碰撞作用对过滤除尘器的性能起重要作用。值得注意的是数值模拟和实验研究尽管在不同表观风速下进行,但均保持床内过滤颗粒层不发生流化,因此两者所获得的结果在定性上具有较好的一致性,反应出相同的变化规律,这也是该项研究必须保持的探讨基础。若数值模拟和实验工况在过滤颗粒流化状态上发生变化,如其中一个由移动床转变为沸腾床,则就不存在可比性。

与实验研究相比,采用离散颗粒数学模型对移动颗粒层过滤除尘器进行研究可从除尘机理上进行深层次地分析和发掘信息,能够就除尘过程的某一环节进行单独研究,对实验研究形成有力地补充。

5 结论

(下转第 72 页)

的燃烧诊断区域,如图1-b、图2-b所示;中值滤波的效果图为图1-c、图2-c;火焰图像对比度增强的效果图分别为图1-d、图2-d;火焰锋面图像如图1-e、图2-e所示。通过加权平均计算,求得前一帧火焰图像燃烧器区域图1-b的投影锋面 $G_1(X, Y)$,其中 $X_1 = 45.2336, Y_1 = 119.550$,投影锋面的平均差分 $D_1 = 81.9429$;后一帧火焰图像燃烧器区域图2-b的投影锋面 $G_2(X, Y)$,其中 $X_2 = 49.7567, Y_2 = 119.902$,投影锋面的平均差分 $D_2 = 63.2857$;前后帧火焰投影锋面的位置变化为 $\Delta X = |X_1 - X_2| = 4.5231 > 2, \Delta Y = |Y_1 - Y_2| = 0.352$,前后梯度的变化为 $\Delta D = |D_1 - D_2| = 18.6572 > 8$,显然该燃烧器选定区域的火焰同时满足单燃烧器火焰ON/OFF判断的三个条件,据此可判断燃烧器火焰为ON。

同样是上面两帧图像1-a、2-a,在上面处理的燃烧器燃烧火焰的下方是另一层燃烧器的燃烧火焰区域,其选定区域如图3和图4;通过计算,求得前一帧火焰图像燃烧器区域火焰投影锋面 $G_3(X, Y)$,其中 $X_3 = 52.4868, Y_3 = 78.3708$,投影锋面的平均差分 $D_3 = 23.8857 > 16$;后一帧火焰图像燃烧器区域火焰的投影锋面 $G_4(X, Y)$,其中 $X_4 = 51.1244, Y_4 = 77.6805$,投影锋面的平均差分 $D_4 = 17.7273 > 16$;前后帧火焰投影锋面的位置变化为 $\Delta X = |X_4 - X_3| = 1.3624 < 2, \Delta Y = |Y_4 - Y_3| = 0.6803 < 2, \Delta D = |D_4 - D_3| = 6.1584 < 8$,根据上面的分析,该燃烧器火焰不满足单个燃烧器火焰ON/OFF判断的条件(2)(3),因此该燃烧器火焰燃烧不正常,系统发出OFF信号。

(上接第64页)

采用离散颗粒气固流动数值模拟方法可对移动颗粒层过滤除尘机理进行探讨研究,并在定性上与实验结果反映出存在共性。在移动颗粒层过滤除尘器中,粉尘颗粒与过滤介质颗粒间的碰撞对除尘起着重要作用,碰撞发生的频次在低风速时较大,随风速提高而下降,当风速达到某一值时,碰撞频次开始明显减少。由数值模拟得到的碰撞频次和实验过程测取的除尘效率与风速变化具有相同变化趋势。

参考文献:

- [1] 许世森. 移动颗粒层过滤高温除尘过程结构和参数优化实验研

4 结论

本文根据煤粉燃烧理论及数字图像处理理论,并结合现场实际情况,提出用“投影火焰锋面存在”、“投影火焰锋面位置的窜动”以及“投影火焰锋面平均梯度值的变化”这三个条件来诊断燃烧器火焰的ON/OFF状态,以用于燃烧操作指导和协助FSSS进行炉膛安全保护,该算法不要求图像特征区满足一定的分布规律,更不用事先确定图像特征区的几何分布,因此算法具有相当的通用性,能处理不同炉型、不同观察角度得到的火焰图像,且简单高效、便于实时运行;另外该算法判据考虑“投影火焰锋面位置的窜动”以及“投影火焰锋面平均梯度值的变化”,克服了图像中火焰背景和周围环境的影响,有很强的抗干扰能力。尽管国外火检系统的研究正在向着提高燃烧效率,降低 NO_x 排放的方向发展,国内研究的首要问题仍然是安全性问题。因此,本系统有着广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 吕震中,沈炯. 电站锅炉火焰检测及燃烧诊断技术[J]. 锅炉技术, 1997(5): 8-13.
 [2] SHIMADA M. Prediction method of unburnt carbon for coal fired utility boiler using image processing technique of combustion flame[J]. IEEE Transaction on Energy Conversion, 1990, 5(4): 640-645.
 [3] 徐传勇. 数字图像处理技术在火焰上的应用[J]. 中国电力, 1994(10): 41-44.

(辉 编辑)

究[J]. 中国电机工程学报, 1999 19(5): 13-17.

- [2] YUAN ZHULIN. Direct numerical simulation of dense gas-solid two-phase flows[J]. Journal of Developments in Chemical Engineering & Mineral Processing, 2000, 8(3/4): 207-217.
 [3] 袁竹林. 用直接数值模拟方法对流化床内颗粒运动区域的研究[J]. 燃料化学学报, 2000 28(4): 372-375.
 [4] TSUJI Y. Discrete particle simulation of gas-solid flow[J]. KONA, 1993(11): 57-68.
 [5] ELGHOBASHI S E, ABOU-ARAB T W. A two-equation turbulence model for two-phase flows[J]. Phys Fluids, 1983(4): 931-938.

(何静芳 编辑)

汉] WANG Xin-xin, XU Xiang-dong (Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(1). —51 ~ 54

In connection with the features of a fluidized bed boiler control system and the existing problems in its operation and management a study was conducted of the theory of a decoupled and generalized predictive control as well as multivariable parameter evaluation. A predictive control theory was selected to design the predictive instruction system of a fluidized bed boiler along with a simulation research of the predictive instruction system. Through the simulation study obtained was the parameter selection mechanism of the above-mentioned system. Meanwhile, the study results were applied with excellent results in engineering practice, e. g. in the design of a predictive instruction system for a factory in Laixi and the provision of guidance and training for worker's operation. As the design method of the system is applicable to all cases, it has also been employed in other similar systems. **Key words:** fluidized bed, predictive instruction system, decoupled and generalized predictive control

基于 SCNN 的转子热应力场的实现研究 = A Study of the Thermal Stress Field Based on SCNN (Structure-Controllable Neural Network) [刊, 汉] / GAO Jing-bo, ZHANG Jia-zhong, XIA Song-bo, et al (Aerospace College under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(1). —55 ~ 57

Thermal stress constitutes a major parameter for monitoring the loss of steam turbine service life. To date, for the real-time calculation of thermal stresses employed in most cases is an analytical method. As the analytical method involves a simplification of the two-dimensional axial-symmetric heat conduction equation for a rotor, it will lead to some errors in evaluating the thermal stress. In view of this, by way of the intermediate calculation results of a finite element analysis for the thermal stress field the authors have utilized a SCNN (structure-controllable neural network) method to simulate the solution of an algebraic equation of integral rigidity matrix for the thermal stress field. By using the displacement of nodes thus obtained, one can identify the thermal stress field of a rotor. **Key words:** neural network, finite element, thermal stress field

利用面阵 CCD 进行火焰温度分布测量(I)——二维投影温度场的测量 = Measurements of Flame Temperature Distribution by the Use of a Colored Array CCD (Charge-coupled Device) (I) the Measurement of a Two-dimensional Projection Temperature Field [刊, 汉] / WEI Cheng-ye (Network Technology Research Department under the Guangdong Telecommunications Science & Technology Research Institute, Guangzhou, China, Post Code: 510630), YAN Jian-hua, SHANG Min-er, et al (Thermal Power Engineering Institute under the Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(1). —58 ~ 61

The make-up and basic principles of a flame temperature measuring system using colored array CCD (charge-coupled device) are described along with an analysis of its major error sources. To cope with these error sources, the authors have come up with respective resolution methods or correction algorithms. Finally, test measurements were made, which indicate that this measuring method is easy to use and features a relatively high precision. **Key words:** charge-coupled device, temperature measurement, calorimetric method of temperature measurement

移动颗粒层过滤除尘的数值模拟及实验对比 = Numerical Simulation and Experimental Contrast of the Dust Filtration of a Moving Granule Bed [刊, 汉] / YUAN Zhu-lin (Education Ministry Key Lab on Clean Coal Power Generation and Combustion Technology under the southeastern University, Nanjing, China, Post code: 210096), XU Shi-sen, (Thermal Power Research Institute of National Electric Power Corporation, Xi'an, China, Post Code: 710032) //

Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(1). —62~64, 72

With the use of a mathematical model featuring discrete particle movement a preliminary study was conducted of the collision of dust particles in the dust filter of a moving granule bed with filter media particles and its effect on the dust removal efficiency. The variation relationship of the number of times of collision with the system air speed was simulated and calculated. After comparison with the experimental results it has been found that with the change in the system air speed there exists a qualitative agreement between the particle collision frequency and the dust removal efficiency. The study results show that the action of collision between particles plays a major role in influencing the dust removal performance of the moving granule bed. **Key words:** discrete particles, numerical simulation, dust removal by filtration

电站锅炉系统仿真模型计算策略的研究 = **Research on the Calculation Strategy of a Simulation Model for a Utility Boiler System** [刊, 汉] / CHEN Li-jia, MA Guang-fu, WANG Zi-cai (Simulation Center of the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(1). —65~67

The effective solution of a simulation model for a complicated system is related to the problem of how to organize the relevant complex equations of the simulation model and allocate suitable algorithms. First, the authors have identified the difference between the calculation strategy of the equations and the conception of concrete integration algorithms. This is followed by an in-depth exploratory study of two existing kinds of calculation strategy, the module-oriented and the equation-oriented, in respect of its application features as well as its merits and demerits. Also proposed is a scheme of sequential clustered calculation strategy. Finally, through a specific example of the solution for a utility boiler simulation model the superiority of the sequential clustered calculation strategy has been further demonstrated as regards its ability to attain a high-precision simulation for complicated systems. **Key words:** calculation method, equation-oriented approach, module-oriented approach

单燃烧器火焰数字图像处理与诊断方法研究 = **A Study of the Digital Image Processing and Diagnosis Method for a Single Burner Flame** [刊, 汉] / HUA Yan-ping, YU Xiang-jun, LU Zen-zhong, et al (Power Engineering Department, Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(1). —68~72

On the basis of pulverized-coal combustion theory and digital image processing technology proposed is a method for the diagnosis of the on/off status of a burner flame. The method features three conditions, namely, the presence of a projection flame front, the irregular shifting motion of the latter's location, the variation of the latter's average gradient value. With the help of the above method it is possible to guide combustion operations and help FSSS (furnace safeguard supervisory system) to ensure furnace safety protection. **Key words:** furnace safety protection, furnace flame detection, digital image processing, flame front

传感器故障检测的 Powell 神经网络方法 = **Sensor Failure Detection Based on a Powell Neural Network Method** [刊, 汉] / LI ming, XU Xiang-dong (Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2002, 17(1). —73~75

It is essential for the control system of a large-sized thermodynamic system to detect sensor failures and then take pertinent measures to ensure the successful implementation of the control process. The authors have come up with a new type of failure detection method based on Powell neural network. Under this method a neural network observer is set up for each sensor of the thermodynamic system, which at first received an off-line training. On this basis, failure detection and on-