

气相温度脉动对煤粉颗粒热解氮化合物释放的影响

张洪涛, 张 健

(清华大学 工程力学系, 北京 100084)

摘 要: 在有气相温度脉动的条件下, 对煤粉颗粒热解中含氮化合物的瞬时释放过程进行了计算, 计算中对氮化合物瞬时释放速率采用了官能团(FG-DVC)模型。结果表明, 在不同的气相平均温度下, 不同粒径煤粉颗粒氮化合物即 HCN 的释放均受到气相温度脉动的影响。与不考虑气相温度脉动相比, 气相温度脉动加快了煤粉颗粒 HCN 的释放。随着气相温度脉动强度的提高, 这种加快作用进一步增大。

关 键 词: 煤粉颗粒; 氮化合物释放; 气相温度脉动

中图分类号: TK16 文献标识码: A

引 言

由于对能源的需求加大, 近年来煤作为燃料的消耗量在中国得到了快速的增长。与此同时, 煤燃烧带来的 NO_x 排放日益严重, 受到人们越来越多的关注。合理准确地预测煤粉燃烧过程中 NO_x 的排放, 对于发展低 NO_x 燃烧技术和污染控制技术具有重要的意义。

煤粉颗粒的污染反应行为对燃烧室或炉内煤粉燃烧过程的 NO_x 排放有着直接的影响。与 NO_x 生成相关的煤粉颗粒多相污染反应既涉及到煤粉热解时含氮化合物的释放, 又涉及到残留在焦炭中的氮生成 NO_x 的反应及焦炭还原 NO_x 的反应等。煤粉颗粒在炉内的运动、燃烧与污染反应始终处在有湍流脉动的气相流场与温度场中。对于 $10 \sim 100 \mu\text{m}$ 的煤粉颗粒, 已有的研究表明, 煤粉颗粒温度的弛豫时间具有与速度弛豫时间相同的数量级, 气相温度的湍流脉动会对颗粒的瞬时温度产生影响^[1]。煤粉颗粒的热解挥发及其含氮化合物瞬时释放速率直接与颗粒的瞬时温度有关, 因此有必要进一步探讨气相温度脉动对煤粉颗粒热解时含氮化合物瞬时释放过程的影响。本文通过分析在有温度脉动的热气流中煤粉颗粒的瞬时热解与含氮化合物释放过程, 研究了气相温度脉动对煤粉颗粒氮化合物释放的影

响。

1 煤粉颗粒热解与氮化合物释放模型

考察单个煤粉颗粒在有温度脉动的热气流中的瞬时热解挥发及含氮化合物释放过程。氮在煤粉颗粒中的赋存形式十分复杂, 主要形态为吡啶氮、吡咯氮和季氮。煤粉热解过程中释放出的气体氮化合物的主要成份为 HCN 和 NH_3 ^[2]。文献中已提出了多种煤粉颗粒热解的理论模型^[3~9]。在这些模型中, Merrick 热解模型、官能团(FG-DVC)模型和化学逾渗热解(CPD)模型等可用于预测煤热解过程中各组分的释放速率^[7~9]。本文对煤中氮化合物的释放速率采用 Solomon 等人提出的官能团模型进行描述。在 FG-DVC 模型中, 将煤中的各官能团分为焦油原生质和非焦油原生质两部分。煤中含氮官能团的非焦油原生质部分在热解过程中释放出气体氮化合物, 含氮官能团的焦油原生质部分则在热解过程中释放出焦油, 同时也释放出气体氮化合物。

按 FG-DVC 模型^[8, 10], 定义煤粉颗粒中各官能团和各部分的瞬时质量分数为它们的瞬时质量除以颗粒中原煤的初始质量 m_{c0} 。设 X^0 为煤中最大焦油原生质的质量分数, X 为剩余焦油原生质的瞬时质量分数, Y_i 为煤和焦油中某官能团的瞬时质量分数。

在热解过程中, 煤粒非焦油原生质和剩余焦油原生质中尚未热解的含氮官能团 i 的瞬时质量分数为:

$$W_i = (1 - X^0 + X) Y_i \quad (1)$$

其瞬时变化率为:

$$\frac{dW_i}{dt} = (1 - X^0 + X) \frac{dY_i}{dt} + Y_i \frac{dX}{dt} \quad (2)$$

上式右端第一部分即为含氮官能团 i 热解转化

为气体含氮化合物的无量纲质量变化率; 第二部分为转化为焦油的无量纲质量变化率, 于是来自官能团 i 的气体氮化合物的瞬时释放速率为:

$$\frac{dV_i}{dt} = -(1 - X^0 + X) \frac{dY_i}{dt} \quad (3)$$

其中含氮官能团的瞬时质量变化率为:

$$\frac{dY_i}{dt} = -k_i Y_i = -A_i Y_i \exp\left(-\frac{E_i}{RT_k}\right) \quad (4)$$

焦油的瞬时释放速率为:

$$\frac{dX}{dt} = -k_{tar} X = -A_{tar} X \exp\left(-\frac{E_{tar}}{RT_k}\right) \quad (5)$$

式中: T_k —颗粒瞬时温度。在获得含氮官能团 i 释放出的气体氮化合物的瞬时质量分数 V_i 后, 可进一步得到该官能团释放出的气体氮化合物的瞬时质量为 $m_i = V_i m_{i0}$ 。

考虑气相和颗粒之间的对流传热、燃烧室壁面与颗粒的辐射传热以及颗粒热解挥发吸热, 煤粉颗粒的瞬时能量方程为:

$$\frac{dT_k}{dt} = \frac{1}{\tau_{Tk}} (T - T_k) + \frac{6\epsilon_k \sigma_b}{\rho_{pk} d_k C_{pk}} (T_w^4 - T_k^4) + \frac{\dot{m}_v \Delta h_v}{m_k C_{pk}} \quad (6)$$

式中: T —气相瞬时温度; ϵ_k 、 T_w —煤粉颗粒辐射发射系数和燃烧室壁面温度; τ_{Tk} —颗粒温度弛豫时间, 其表达式为:

$$\tau_{Tk} = \frac{\rho_{pk} C_{pk} d_k^2 (\exp(B_k) - 1)}{6Nu_k \lambda B_k} \quad (7)$$

式中: Nu_k —气体—颗粒对流传热的 Nusselt 数; B_k —无量纲颗粒质量变化率。

由于按 FG—DVC 模型计算出的煤粉颗粒的热解时间较长, 对煤粉颗粒热解的总体质量变化速率采用双平行反应模型^[1]。该模型给出的煤粉颗粒挥发分的总体瞬时释放速率为:

$$\dot{m}_v = -m_c \left[\alpha_1 B_{v1} \exp\left(-\frac{E_{v1}}{RT_k}\right) + \alpha_2 B_{v2} \exp\left(-\frac{E_{v2}}{RT_k}\right) \right] \quad (8)$$

式中: m_c —煤粉颗粒中原煤的瞬时质量, 原煤的瞬时质量变化率为:

$$\dot{m}_c = -m_c \left[B_{v1} \exp\left(-\frac{E_{v1}}{RT_k}\right) + B_{v2} \exp\left(-\frac{E_{v2}}{RT_k}\right) \right] \quad (9)$$

煤粉颗粒的瞬时质量方程为:

$$\frac{dm_k}{dt} = \dot{m}_k = \dot{m}_v \quad (10)$$

设煤粉颗粒在热解挥发过程中粒径保持不变, 在求出颗粒的瞬时质量后, 可得到颗粒的瞬时材料

密度为 $\rho_{pk} = 6m_k / (\pi d_k^3)$ 。

气相温度脉动对煤粉颗粒瞬时温度的影响主要体现在颗粒能量方程的对流传热项中。为研究气相温度脉动对煤粉颗粒氮释放的影响, 设颗粒处于温度均匀但随时间有脉动的热气流中, 气体瞬时温度随时间按以下方式变化:

$$T = T_l [1 + A_t \sin(2\pi f t)] \quad (11)$$

式中: T —气相时均温度; A_t —气相温度脉动强度, f —气相温度脉动频率, 它可以由气相湍流脉动时间尺度(τ_T)来确定, 即有 $f = 1/\tau_T$ 。

2 计算工况参数

通过求解上述煤粉颗粒瞬时能量与质量的控制方程组, 可得到在有温度脉动的热气流中颗粒的瞬时温度、瞬时质量和释放到气相的含氮化合物瞬时质量随时间的变化。对颗粒瞬时控制方程组的求解采用有限差分法。在较小的时间步长下, 对各方程的离散采用显式格式^[12]。

计算中, 煤粉颗粒的比热和辐射发射系数均取为常数, 分别为 $C_{pk} = 1\,090 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 和 $\epsilon_k = 0.8$, 初始材料密度为 $\rho_{pk0} = 1\,350 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。煤粉按某种烟煤选取, 设煤粉中的水分已蒸发完毕。煤粉干燥基中灰分含量为 11.5%, 干燥无灰基挥发分含量 (V_{daf}) 为 35.6%^[13]。在描述煤粉颗粒热解含氮化合物释放的 FG—DVC 模型中, 煤中含氮官能团包括松散 HCN 官能团、紧致 HCN 官能团和 NH_3 官能团。在颗粒温度上升过程中, 当温度相对较低时, HCN 从约束较弱的松散 HCN 官能团中释放出, 当温度较高时, HCN 则从紧致 HCN 官能团中释放出^[14]。各官能团的初始质量分数需通过实验利用 FTIR 红外光谱仪来测定。对于所研究的煤种, 它们的初始质量分数分别为 0.009、0.022 和 0, 最大焦油原质的质量分数 (X^0) 为 0.43^[15]。由于颗粒受到的加热速率较高, 不考虑 HCN 在煤粒内与 H 二次反应生成的 NH_3 ^[2]。因此计算出的煤粒释放的气体氮化合物仅为 HCN, 其质量是松散 HCN 官能团和紧致 HCN 官能团热解释放出的 HCN 质量之和。松散 HCN 官能团(记为 HCN—L)和紧致 HCN 官能团(记为 HCN—T)热解释放 HCN 的动力学参数分别为: $A_{\text{HCN—L}} = 0.17 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$, $E_{\text{HCN—L}}/R = 30\,000 \text{ K}$, $A_{\text{HCN—T}} = 0.69 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}$, $E_{\text{HCN—T}}/R = 42\,500 \text{ K}$, 热解释放焦油的动力学参数为: $A_{tar} = 0.86 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$, $E_{tar}/R = 27\,700 \text{ K}$ ^[15]。在描述煤粉颗粒热解总体质量变化速率的双

平行反应模型中,取热解模型参数 $\alpha_1 = V_{daf}$, $\alpha_2 = 2\alpha_1$ ^[16],热解动力学常数分别为^[11]: $B_{v1} = 3.7 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$, $E_{v1} = 7.4 \times 10^4 \text{ J/mol}$, $B_{v2} = 1.46 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}$, $E_{v2} = 2.51 \times 10^5 \text{ J/mol}$.

在不同的工况条件下,对煤粉颗粒在有或无温度脉动的热气流中的瞬时热解和氮化合物释放过程进行了计算。计算中气相平均温度分别取为 900、1 000 和 1 100 K,煤粉颗粒直径分别取为 10、30 和 50 μm 。燃烧室内气相温度脉动强度的典型值为 0.1 ~ 0.2^[17],气相湍流脉动时间尺度约为 10 ms^[18]。计算中气相温度脉动强度分别取为 0、0.1 和 0.2。在每组计算中,气相温度脉动频率均取为 100 Hz,颗粒—气体相对 Reynolds 数均取为零,颗粒初始温度均设定为 300 K,燃烧室壁面温度取为 300 K。计算中时间步长均取为 10^{-5} s ,在煤粉颗粒热解完毕后停止计算。

3 结果与讨论

图 1(a)~(c)给出了气相平均温度为 900 K 时,气相温度脉动强度对粒径分别为 10、30 和 50 μm 的煤粉颗粒热解释放出的氮化合物即 HCN 瞬时质量随时间变化的影响。图中 HCN 的瞬时质量均用相应的煤粉颗粒的初始原煤质量进行了无量纲化。从图 1(a)中可以看出,气相温度脉动强度对 10 μm 的煤粉颗粒释放出的 HCN 瞬时质量有显著的影响。考虑气相温度脉动与不考虑气相温度脉动相比,HCN 的释放明显加快。当时间达到 0.18 s 时,不考虑气相温度脉动时,颗粒释放出的 HCN 质量为 0.000 1,而气相温度脉动强度分别为 0.1 和 0.2 时,释放出的 HCN 的质量分别为 0.000 3 和 0.001 8,增加的幅度是较明显的。从图 1(b)中可以看到气相温度脉动对 30 μm 煤粉颗粒的 HCN 释放也有较大的影响,考虑与不考虑气相温度脉动得到的释放出的 HCN 瞬时质量有明显的不同。随着气相温度脉动强度的增加,HCN 的释放进一步加快。图 1(c)给出了气相温度脉动强度对 50 μm 煤粉颗粒的 HCN 释放的影响。当气相温度脉动强度为 0.1 时,考虑与不考虑气相温度脉动得到的释放出的 HCN 瞬时质量差异不大。当气相温度脉动强度为 0.2 时,考虑与不考虑气相温度脉动得到的 HCN 瞬时质量则有一定的差异。综合图 1(a)~(c)可以看到,气相温度脉动对较小粒径煤粉颗粒 HCN 释放的影响程度要更明显一些。这是由于粒径较小的煤粉颗粒温

度弛豫时间也较小,颗粒温度对气相温度脉动的响应较快,导致颗粒 HCN 瞬时释放速率受气相温度脉动的影响也较大。

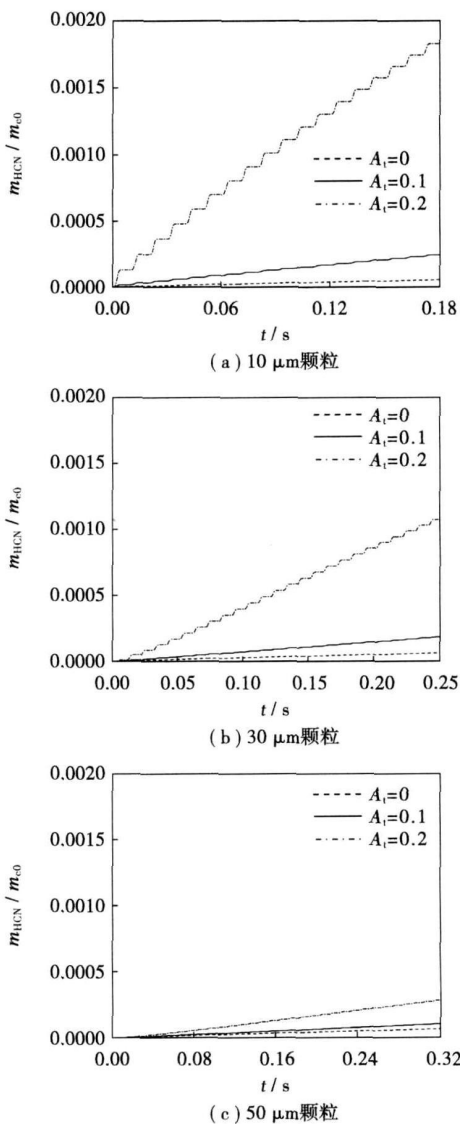


图 1 气相温度脉动强度对煤粉颗粒释放的 HCN 瞬时质量的影响 ($T = 900 \text{ K}$)

图 2(a)~(c)给出了气相平均温度为 1 000 K 时,气相温度脉动强度对粒径分别为 10、30 和 50 μm 的煤粉颗粒热解释放出的 HCN 瞬时质量随时间变化的影响。从图 2(a)中可以看出,气相温度脉动对 10 μm 煤粉颗粒的 HCN 释放影响较大。考虑气相温度脉动与不考虑气相温度脉动相比,HCN 的释放明显加快。从图 2(b)中可以看到气相温度脉动对 30 μm 煤粉颗粒的 HCN 释放同样有着较大的影响,考虑与不考虑气相温度脉动得到的煤粉颗粒释放出的 HCN 瞬时质量有明显的不同。图 2(c)表明即使对

于 $50 \mu\text{m}$ 的煤粉颗粒,气相温度脉动对 HCN 的释放仍有较大的影响。综合图 2(a)~(c)还可以看出,气相温度脉动对 3 种粒径煤粉颗粒 HCN 释放的影响均随气相温度脉动强度的增加而进一步增大。

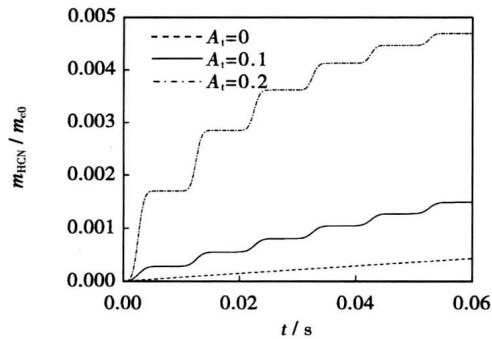
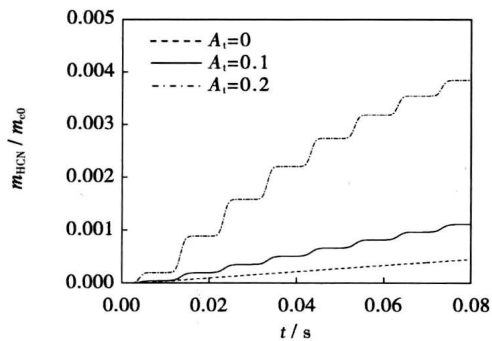
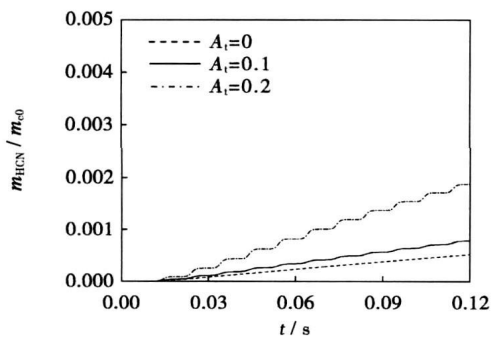
(a) $10 \mu\text{m}$ 颗粒(b) $30 \mu\text{m}$ 颗粒(c) $50 \mu\text{m}$ 颗粒

图 2 气相温度脉动强度对煤粉颗粒释放的 HCN 瞬时质量的影响 ($T=1000 \text{ K}$)

图 3(a)~(c)给出了气相平均温度为 1100 K 时,气相温度脉动强度对粒径分别为 10 、 30 和 $50 \mu\text{m}$ 的煤粉颗粒热解释放出的 HCN 瞬时质量随时间变化的影响。从图 3(a)可以看到,气相温度脉动对 $10 \mu\text{m}$ 的煤粉颗粒的 HCN 释放有较明显的影响,气相温度脉动使 HCN 的释放加快。在不考虑气相温度脉动时,HCN 释放量随时间近似呈线性增加,考虑气相温度脉动后,HCN 瞬时质量随时间快速地增加,这一趋势随气相温度脉动强度的增加而更为显

著。从图 3(b)和图 3(c)中可以看出,气相温度脉动对 30 和 $50 \mu\text{m}$ 的煤粉颗粒的 HCN 释放均有较明显的影响,加快了 HCN 的释放,而增大气相温度脉动强度则对 HCN 释放有进一步加快的作用。

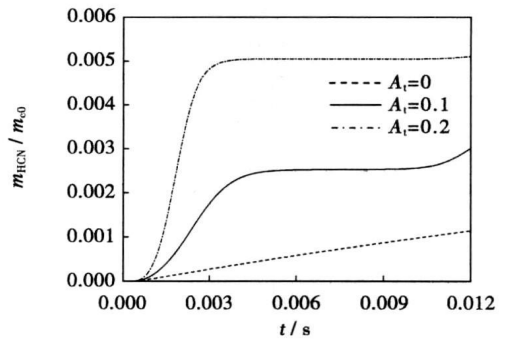
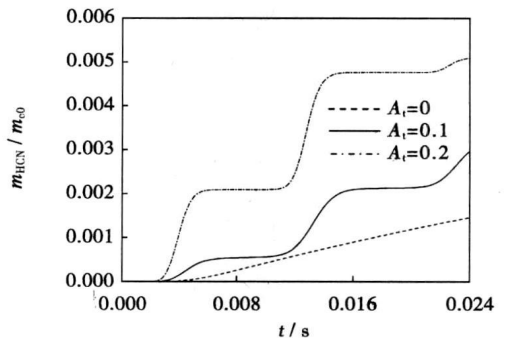
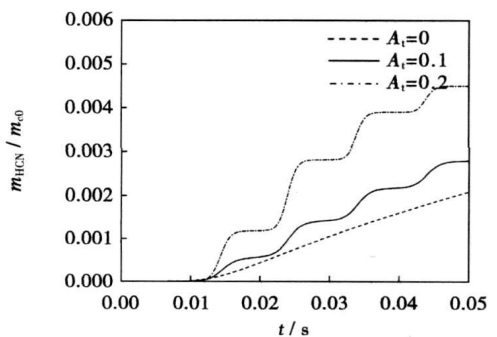
(a) $10 \mu\text{m}$ 颗粒(b) $30 \mu\text{m}$ 颗粒(c) $50 \mu\text{m}$ 颗粒

图 3 气相温度脉动强度对煤粉颗粒释放的 HCN 瞬时质量的影响 ($T=1100 \text{ K}$)

4 结 论

在气相平均温度为 $900 \sim 1100 \text{ K}$ 的条件下,对粒径为 $10 \sim 50 \mu\text{m}$ 的煤粉颗粒在有温度脉动的热气流中热解时含氮化合物即 HCN 的瞬时释放过程进行了计算,得到如下结论:

(1) 与不考虑气相温度脉动时相比,考虑气相温度脉动后,煤粉颗粒的 HCN 释放加快。煤粉颗粒直径愈小,气相温度脉动对 HCN 释放的影响就愈

大。

(2) 气相温度脉动强度对不同粒径煤粉颗粒 HCN 的释放均有较明显的影响, 增大脉动强度使 HCN 的释放加快。这种影响的程度也随颗粒粒径的减小而更为显著。

(3) 随着气相平均温度的增大, 气相温度脉动对煤粉颗粒 HCN 释放的影响程度增大。在气相平均温度为 1 100 K 时, 气相温度脉动对不同粒径煤粉颗粒 HCN 的释放均有较明显的影响。

参考文献:

[1] SHANG Q, ZHANG J, ZHOU L X. Instantaneous response of pulverized coal particles to fluctuating temperature in a hot gas flow[J]. Chem Eng Comm. 2006, 193: 1397—1413.

[2] BASSILAKIS R, ZHAO Y, SOLOMON P R, et al. Sulfur and nitrogen evolution in the Argonne coals experiment and modeling[J]. Energy & Fuels, 1993, 7: 710—720.

[3] BADZIOCH S, HAWKSLEY P G W. Kinetics of the thermal decomposition of pulverized coal particles[J]. Ind Eng Chem Process Design Dev, 1970, 9: 521—528.

[4] KABAYASHI H, HOWARD J B, SAROFIM A F. Coal devolatilization at high temperatures//Proc 16th Symp (Int) On Combustion[C]. Pittsburgh: The Combustion Institute, 1977: 411—425.

[5] ANTHONY D B, HOWARD J B, HOTTEL H C, et al. Rapid devolatilization of pulverized coal//Proc 15th Symp (Int) on Combustion [C]. Pittsburgh: The Combustion Institute, 1975: 1303—1317.

[6] FU W B, ZHANG Y P. A general model of pulverized coal devolatilization[J]. Fuel, 1989, 68: 505—510.

[7] MERRICK D. Mathematical models of the thermal decomposition of coal; 1. The evolution of volatile matter[J]. Fuel, 1983, 62: 534—539.

[8] SOLOMON P R, HAMBLE D G, CARANGELO R M. General model of coal decomposition[J]. Energy & Fuels, 1988, 2: 405—422.

[9] GRANT D M, PUGMIRE R J. Chemical model of coal devolatilization using percolation lattice statistics[J]. Energy & Fuels, 1989, 3: 175—186.

[10] SOLOMON P R, HAMBLE D G. Pyrolysis// In: Schlosberg R H eds. Chemistry of Coal Conversion[C]. New York: Plenum, 1985: 121—251.

[11] UBHAYAKAR S K, STICKLER D B, ROSENBERG C W, et al. Rapid devolatilization of pulverized coal in hot combustion gas//Proc 16 th Symp (Int) on combustion[C]. Pittsburgh: The Combustion Institute, 1977: 427—436.

[12] PATANKAR S V. Numerical heat transfer and fluid flow[M]. Washington, DC: Hemisphere, 1980.

[13] JONES J M, POURKASHANIAN M, WILLIAMS A, et al. Conversion of char nitrogen to NO during combustion[J]. J Energy Institute, 2004, 77: 82—89.

[14] SOLOMON P R, HAMBLE D G, KRAUSE J L. Coal thermal decomposition in an entrained flow reactor; experiments and theory//Proc 19 th symp (Int) on combustion[C]. Pittsburgh: The Combustion Institute, 1982: 1139—1149.

[15] SERIO M A, HAMBLE D G, MARKHAM J R, et al. Kinetics of volatile product evolution in coal pyrolysis; experiment and theory[J]. Energy & Fuels, 1987, 1: 138—152.

[16] JAMALUDDIN A S, TRUELOVE J S, WALL T F. Devolatilization of bituminous coals at medium to high heating rates[J]. Combustion and Flame, 1986, 63: 329—337.

[17] HEDMAN P O, WARREN D L. Turbulent velocity and temperature measurements from a gas-fueled technology combustor with a practical fuel injector[J]. Combustion and Flame, 1995, 100: 185—192.

[18] SMOOT L D, SMITH P J. Coal combustion and gasification[M]. New York: Plenum Press, 1985.

(编辑 韩 锋)

新技术、新产品

蜂窝状密封技术在汽轮机中的应用

据《ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ》2008年9月号报道, 提高整个汽轮机组相对内效率的途径之一是改进密封, 并在中修间隔期内保持密封的性能和可维修性。

近年来, 蜂窝状密封技术在汽轮机组中得到了大量的应用。它不仅用于汽轮机的新结构内, 也可用于已运行机组改造中。

分析了有关在汽轮机内使用蜂窝状密封合理性的问题, 给出了它们使用效果的评定, 但在调节级内和高压缸前几级非调节的压力级内使用蜂窝状密封可能伴随着机组稳定性的损失并产生低频振动。

还分析国外公司汽轮机密封结构的例子。国外汽轮机的效率不仅取决于密封的完善, 而且也取决于提高流通部分的经济性, 其中也包括叶片装置三维设计的许多解决办法。

(吉桂明 供稿)

(Zhongye Huatian Engineering Technology Co. Ltd., Nanjing, China, Post Code: 210018)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(3). — 378 ~ 381

Through a study of air and pulverized coal two-phase flow theory, analyzed were the basic characteristics of an air and pulverized coal mixing process in a pulverized-coal boiler, featuring the transport of pulverized coal by exhaust gas. From the standpoint of engineering applications, several basic assumptions were proposed. A method based on kinetic-energy for measuring pulverized coal concentration was put forward, which has been commonly used in a bin and feeder system. Through a statistical analysis of numerous acquired data and by using a method combining relevant mechanism with regression, a calculation model was obtained and used on a real-time basis in an on-line air and pulverized coal monitoring system, thus simplifying the related problem description, and guaranteeing the simplification of the mathematical model established for air and pulverized coal mixing processes. The forgoing has laid a solid theoretical basis for subsequent research on the measurement of pulverized coal concentration. It has been found that the ratio of the kinetic pressure between two cases, namely, the kinetic pressure after the mixing of the air and pulverized coal and that of the primary air (exhaust gas) prior to the above mixing, can represent the magnitude of pulverized coal concentration in the pipeline. The method under discussion is applicable for measuring pulverized coal concentration in bin and feeder systems. **Key words:** pulverized coal concentration, kinetic energy method, air and pulverized coal mixing, pulverized coal feed by exhaust gas

SO₂ 气体在微孔 CaO 脱硫剂颗粒内的 Knudsen 扩散 = **Knudsen Diffusion of SO₂ Gas in Microporous CaO Desulfurizer Particles** [刊, 汉] / SHANG Jian-yu, WANG Song-ling, WANG Chun-bo (College of Energy Source and Power Engineering, North China University of Electric Power, Baoding, China, Post Code: 071003)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(3). — 382 ~ 385

Proceeding from the rarified gas effect and by describing the aerodynamic diffusion mechanism of SO₂ gas molecules in micro-scale pores of CaO desulfurizer particles, the authors have revised the effective diffusion coefficient and established Knudsen diffusion mathematical model, which is based on an aggregate concept. The model was solved mathematically and simplified by using an error function with a functional relationship being established. A simulation analysis shows that when SO₂ gas molecules through the Knudsen diffusion have penetrated into first-stage and second-stage pores, both the fractal porosity and relatively large pore porosity can increase the gas resistance to diffuse inwards, thus enhancing the radial gradient of SO₂ concentration distribution. The research results show that it is feasible to consider only the Knudsen diffusion and ignore gas-solid chemical reaction and other factors during the analysis of gas diffusion in the CaO particles. **Key words:** desulfuration agent, CaO, aggregate, Knudsen diffusion, SO₂, diffusion model

气相温度脉动对煤粉颗粒热解氮化合物释放的影响 = **Influence of Gas-phase Temperature Fluctuations on the Release of Nitrogen Compound in the Pyrolysis of Pulverized Coal Particles** [刊, 汉] / ZHANG Hong-tao, ZHANG Jian (Engineering Mechanics Department, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(3). — 386 ~ 390

In the presence of gas-phase temperature fluctuations, the transient release process of nitrogenous compound resulting from the pyrolysis of pulverized coal particles was calculated. A functional group (FG-DVC) model was adopted for calculating the transient release rate of nitrogen compound. It has been found that at various time-averaged gas-phase temperatures, the release of pulverized-coal particle nitrogen compound (HCN) in a variety of particle diameters is all influenced by the gas-phase temperature fluctuations. Compared with the case when gas-phase temperature fluctuations have not been taken into account, the release of pulverized coal particle HCN is quickened by such fluctuations. With an increase of the gas-phase temperature fluctuation intensity, the quickening action will be further enhanced. **Key words:** pulverized coal particle, nitrogen compound release, gas-phase temperature fluctuation

压水堆核电站二回路热力系统矩阵分析法 = **A Matrix Analytic Method for the Second Loop Thermodynamic System of a Pressurized Water Reactor-based Nuclear Power Plant** [刊, 汉] / LIU Qiang, XIN Hong-xiang, CHEN Ling-hai (School of Energy and Power Engineering, Nanjing Engineering College, Nanjing, China, Post Code: 211167),