

CaO 颗粒烟气脱硫反应 最佳反应温度的实验研究

王世昌, 徐旭常, 姚 强

(清华大学 热能动力工程与热科学重点实验室, 北京 100084)

摘 要: CaO 颗粒的烟气脱硫反应受到烟气成份、温度和 CaO 颗粒自身特性的综合影响。通过实验研究和对前人工作的总结, 证明了 CaO 颗粒在烟气脱硫循环流化床中的最佳反应温度为 800 °C。在此温度下, 基本上避免烟气中 NO 和 CO₂ 等成份对脱硫反应的竞争反应; 基本上回避了 CaO 等晶体的再结晶过程引起的脱硫反应速率的降低; 使脱硫反应产物的主要成份变成 CaSO₄。CaSO₄ 的热解温度比较高, 脱硫产物的稳定性较好, 不会对大气造成二次污染。

关 键 词: 烟气脱硫; CaO 颗粒; 最佳温度

中图分类号: X77

文献标识码: A

符号表

[CO₂]—CO₂ 容积浓度/ %;

c—晶体状态;

g—气体状态;

[NO]—NO 容积浓度/ mL·m⁻³;

RW—TGA 实验中样品的瞬时质量相对于原始质量的百分数/ %;

[SO₂]—SO₂ 容积浓度/ mL·m⁻³。

1 引 言

到 2002 年底, 中国的电站装机容量达到 3.53×10^9 kW, 火电站的 SO₂ 年排放量达到 800×10^5 t, 约占全国 SO₂ 排放总量的 40%^[1~2]。脱硫反应要消耗一定量的水, 中国的水资源分布极不均匀, 约 80% 的水资源分布在长江流域及其以南地区, 20% 的水资源分布在长江以北地区, 我国北方的缺水情况相当严重^[3~4]。因此研究少耗水、高效率的脱硫工艺比较适合中国的水资源分布特征。

根据脱硫反应中是否有液膜或液体参与的特点, 脱硫反应分为干法、半干法和湿法 3 类工艺。其中, 半干法有液膜或颗粒吸附水分参与反应; 湿法脱

硫反应则有液滴或液流参与反应。相对于半干法和湿法脱硫反应, 干法脱硫反应不消耗水资源或耗水量很小。与此同时, 干法脱硫反应的速率比较缓慢, 烟气脱硫率比较低^[5]。

以 CaO 为脱硫剂的干法脱硫反应的影响因素可以分为 3 个方面: (1) 燃煤、燃气电站锅炉烟气成份。烟气的主要成份: N₂、CO₂、O₂、H₂O、NO_x 和 SO₂。氮气对于脱硫反应没有直接影响。CO₂ 和 NO_x 等成份在温度为 350~600 °C 下与 CaO 有明显的反应, 生成碳酸盐、硝酸盐与脱硫反应形成竞争。O₂ 的影响主要体现在 699 °C 以上的温度范围^[6], 此时脱硫反应产物主要成份变成 CaSO₄。水蒸气对于脱硫反应具有一定的促进作用, 但是随着温度的升高, 水分的促进作用逐渐削弱; (2) 脱硫反应温度。在合适的温度范围内, 温度越高脱硫反应速率越高; (3) CaO 颗粒自身的物理化学性质。随着温度的升高, CaO 颗粒内部的 CaO 晶体的再结晶速率加快, CaO 颗粒的比表面积和空隙率随着温度的升高逐渐降低, 脱硫反应速率逐渐下降。当温度足够高时, CaO 颗粒的脱硫反应速率降低幅度大于因温度升高引起的脱硫反应速率提高的幅度使得总的脱硫反应速率有所降低。所以寻找 CaO 颗粒脱硫反应最佳温度具有重要工程应用指导意义。

2 实验研究

2.1 仪器

采用德国 Netzsch 公司 DTA-TGA/DSC-TGA 热分析仪、美国 TA 公司 TGA-2100 热重分析仪、日本日立公司 H-800 透射电子显微镜和美国 Micromeritics 公司 BET-ASAP 2010 全自动物理/化学吸附分析仪进行实验研究。

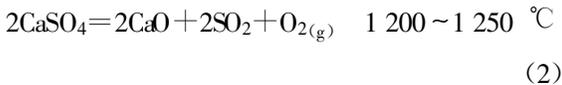
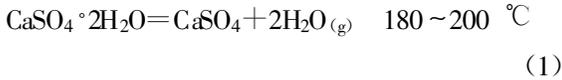
收稿日期: 2003-12-29; 修订日期: 2004-02-20

基金项目: 国家重点基础研究发展规划基金资助项目(G19990222)

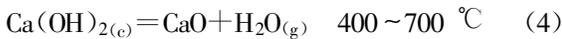
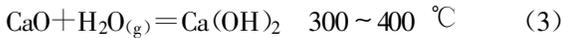
作者简介: 王世昌(1966-)男, 山西阳泉人, 清华大学博士研究生

2.2 各种特征反应的对应温度的实验研究

(1) 用 DTA-TGA/DSC-TGA 热分析仪研究 CaSO_4 及其结晶水的热解反应。反应条件:自然空气为载气,结果:

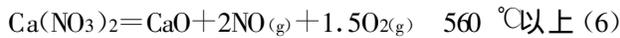
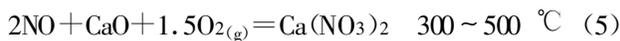


(2) 用 TGA-2100 热重分析仪研究 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的热解反应。反应条件:自然空气为载气,结果:

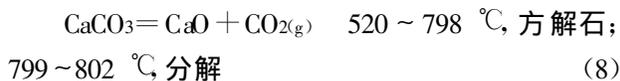
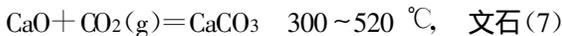


400 $^\circ\text{C}$ 以下,空气中的水蒸气与 CaO 反应生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 晶体。在 400 $^\circ\text{C}$ 以上, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 逐渐热解:400~500 $^\circ\text{C}$ 的失重质量份额达到 85%~90%,其余部分在 600~700 $^\circ\text{C}$ 发生热解。

(3) 烟气中的 NO_x 中 NO 含量大约在 95% 左右。本文用 TGA-2100 热重分析仪研究 NO 与 CaO 的反应及其产物的热解温度。反应条件: $[\text{NO}] = 1\ 000 \text{ mL/m}^3$, 自然空气为载气,结果:



(4) 用 TGA-2100 热重分析仪研究 CO_2 与 CaO 的反应及其产物的热解温度。反应条件:二氧化碳浓度 $[\text{CO}_2] = 20\%$, 自然空气为载气,结果:



二氧化碳浓度 $[\text{CO}_2] = 20\%$ 比较接近烟气中 CO_2 的真实含量;另外 TGA 实验还表明,如果直接用自然空气为载气,则分析纯 CaCO_3 的热解温度为 610 $^\circ\text{C}$,如果用高纯 CO_2 (容积浓度 99.999 9%) 为载气,则分析纯 CaO 与 CO_2 生成的 CaCO_3 在 900 $^\circ\text{C}$ 也不会发生热解。可见 CaCO_3 的热解温度与 CO_2 的容积浓度(即 CO_2 的分压)有关。 CO_2 分压越高, CaCO_3 的热解温度越高。王爱军等人将模拟烟气中的 CO_2 浓度设定为 15%,用 154~280 μm 的工业级石灰颗粒在 300~600 $^\circ\text{C}$ 进行了脱硫反应实验研究^[12]。结果表明,600 $^\circ\text{C}$ 时的脱硫反应可以在很大程度上削弱 CO_2 的碳酸盐反应对脱硫反应的负面影响,然而并不能够完全避免碳酸盐反应的发生。本文的实验将温度扩展到 900 $^\circ\text{C}$ 。实验结果表明 CaCO_3 在 799~802 $^\circ\text{C}$ 分解,见式(8)。

(5) 时黎明等人用富立叶变换红外光谱仪研究了 CaO 的脱硫反应产物的热解温度,结果表明 CaSO_3 的热解温度为 699 $^\circ\text{C}$ ^[6]。J. Garcia-Martinez 等人也得出了类似结果^[11]。

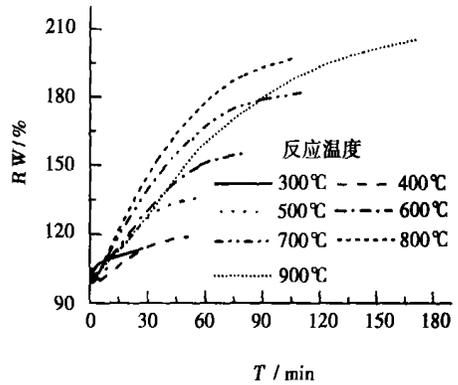


图1 600 $^\circ\text{C}$ 制备的 CaO 的 TGA 脱硫反应

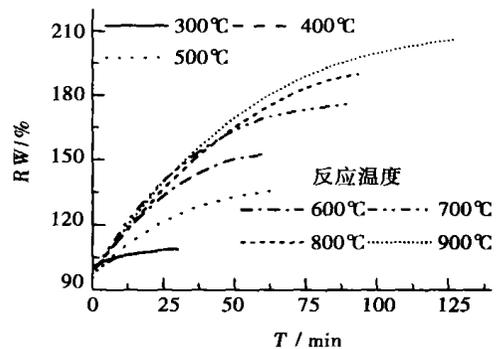


图2 900 $^\circ\text{C}$ 制备的 CaO 的 TGA 脱硫反应

(6) TGA-2100 热重分析仪的实验结果表明: CaO 的脱硫反应速率随着温度的升高而升高,但是反应温度从 800 $^\circ\text{C}$ 上升到 900 $^\circ\text{C}$ 时,分析纯 CaO 的再结晶过程引起的 CaO 颗粒比表面积的下导致脱硫反应速率下降,见图 1 和图 2(图 2 中 400 $^\circ\text{C}$ 的曲线于 300 $^\circ\text{C}$ 的曲线完全重合)。其中二氧化硫浓度均为 $[\text{SO}_2] = 2\ 000 \text{ mL/m}^3$ 。图 1 为 600 $^\circ\text{C}$ 下制备得到的 CaO 颗粒的脱硫反应过程,图 2 为 900 $^\circ\text{C}$ 下制备得到的 CaO 颗粒的脱硫反应过程。一般而言,晶体在最低的温度下以最快的速率结晶可以得到最小的晶粒和最大的颗粒比表面积^[10]。工业级石灰

是在 950~1 050 °C 煅烧得到, 其 CaO 含量为 60%~80%^[7]。工业级石灰的脱硫反应速率可以随着温度的升高持续升高, 但是工业级石灰的比表面积和空隙率比较小。为了加快脱硫反应速率, 一般是先将工业级石灰与水发生水合反应生成消石灰 Ca(OH)₂ 颗粒, 再将 Ca(OH)₂ 颗粒与其它颗粒一起送入脱硫反应器, 例如半干法烟气脱硫循环流化床所用的脱硫剂。上述分析结果对于工业级石灰颗粒的脱硫反应依然适用。综上所述, 尽管无水 CaSO₄ 的热解温度为 1 200 °C, 然而烟气脱硫循环流化床的反应温度不应该高于 900 °C。鉴于工业脱硫装置的材料在耐高温性能方面的局限性, 将脱硫反应温度定在 800 °C 比较合适。

3 实验结果分析与讨论

CaO 颗粒脱硫反应中的相关反应随着温度的变化关系见表 1。在 CaO 颗粒的实际烟气脱硫反应中, 随着温度的不同, 脱硫反应呈现出不同的特点。

表 1 CaO 颗粒脱硫反应的特征反应与温度的关系

温度/°C	特征反应
180~200	CaSO ₄ ·2H ₂ O=CaSO ₄ +2H ₂ O _(g)
400~700	Ca(OH) ₂ (晶体)=CaO+H ₂ O _(g)
520	CaCO ₃ 从文石转化为方解石 ^[8]
560	Ca(NO ₃) ₂ =CaO+2NO _(g) +1.5O _{2(g)}
699	CaSO ₃ =CaO+SO _{2(g)}
798	CaCO ₃ =CaO+CO _{2(g)}
900	CaO 的再结晶过程加速, 脱硫反应速率比 800 °C 的降低
1 200	2CaSO ₄ =2CaO+2SO ₂ +O _{2(g)}

3.1 不同温度区间内的特征反应

3.1.1 300~400 °C

烟气中的水蒸气与 CaO 颗粒发生水合反应生成 Ca(OH)₂ 颗粒, 反应式见式(3)。与此同时, CO₂、NO_x 和 SO₂ 气体等与 CaO 发生反应生成 CaCO₃、Ca(NO₃)₂ 和 CaSO₃ 等无机物, 反应式见式(5)、式(7)和式(9)。相对而言, Ca(OH)₂ 的生成速率要比碳酸盐反应、硫酸盐反应和硝酸盐反应的速率高得多。

3.1.2 400~520 °C

Ca(OH)₂ 颗粒中的 Ca(OH)₂ 晶体发生热分解, 生成 CaO 颗粒, 见式(4)。CaO 与 CO₂ 生成的 CaCO₃ 从 520 °C 开始由文石转化为方解石, 然后热解为 CaO。碳酸盐反应、硝酸盐反应和硫酸盐反应同时

进行。相对而言, 碳酸盐反应的速率要比硝酸盐反应和硫酸盐反应速率要高得多。

3.1.3 520~560 °C

NO_x 与 CaO 生成的 Ca(NO₃)₂ 在 560 °C 开始热解生成 CaO 颗粒, 见式(6)。温度高于 560 °C 时碳酸盐反应和硫酸盐反应同时进行, 但是碳酸盐热解反应速率要大大高于硫酸盐反应速率。

3.1.4 560~699 °C

SO₂ 与 CaO 生成的 CaSO₃ 在 699 °C 开始发生分解。与此同时, 碳酸盐反应和硫酸盐反应继续进行。碳酸盐反应速率高于硫酸盐反应。当温度高于 699 °C 时, 硫酸盐反应产物的主要成份变成 CaSO₄。

3.1.5 699~798 °C

CaO 与 CO₂ 在 CO₂ 浓度为 20% 的条件下生成的 CaCO₃ 在 798 °C 开始发生热解。当温度高于 798 °C 时, 硫酸盐反应继续进行, 但是反应速率随着温度的提高而提高的幅度逐渐降低。

3.1.6 798~900 °C

脱硫反应的快速区域, 烟气中的 CO₂ 和 NO_x 等成份对于脱硫反应的消极影响基本上被克服, 烟气中的水蒸气对于脱硫反应的促进作用也逐渐削弱。与此同时, CaO 的再结晶过程引起的比表面积和孔隙率的下降(见表 2)导致了脱硫反应速率的降低(见图 1)。表 2 为 BET-ASAP 2010 全自动物理/化学吸附分析仪和 H-800 透射电镜的一组分析结果。CaO-600、CaO-700、CaO-800 和 CaO-900 分别表示 CaO 颗粒分析纯 Ca(OH)₂ 在 600 °C、700 °C、800 °C 和 900 °C 恒温 20 min 得到的样品。实验结果表明, 随着温度的升高, 组成 CaO 颗粒的 CaO 晶粒的再结晶速率逐渐升高, 导致了晶粒直径的增加, 即尺寸较小的晶粒合并成尺寸较大的晶粒, 从而导致了 CaO 颗粒比表面积和孔隙率的下降, 这就减少了气体分子与 CaO 晶体表面的接触机会, 从而导致了脱硫反应速率的降低, 表现在 TGA 曲线上, 就是 600 °C 制备得到的 CaO 颗粒在同一时刻, 900 °C 的相对增重低于 800 °C 的对应值(见图 1)。

表 2 CaO 样品的比表面积和孔隙率、晶粒粒径

样品名称	比表面积/m ² ·g ⁻¹	孔隙率/mL·g ⁻¹	晶粒直径/μm
CaO-600	23.406	0.047 4	66
CaO-700	19.628 9	0.037 6	79
CaO-800	17.531 7	0.025 1	88
CaO-900	13.041 2	0.016 3	114

3.1.7 900~1 200 °C

脱硫反应继续进行, CaO 与烟气中的 SO_2 和 O_2 等成份生成的 CaSO_4 在 $1\ 200\ ^\circ\text{C}$ 发生热解。

3.2 分析与讨论

CaO 颗粒的脱硫反应速率缓慢。为了进一步提高脱硫反应速率, 一般应当首先将 CaO 颗粒进行水合反应, 然后再进行 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 颗粒的快速热解和新得到的 CaO 颗粒的脱硫反应过程。

CaO 颗粒的烟气脱硫反应是在一个非常复杂的反应体系内发生的。为了提高烟气脱硫循环流化床中的反应速率和 CaO 的转化率, 必须将脱硫反应温度控制在合适的区间内。从理论上讲, $798\sim 900\ ^\circ\text{C}$ 是合适的温度范围。燃煤循环流化床锅炉合适的运行温度为 $850\ ^\circ\text{C}$ 左右^[9], 烟气脱硫循环流化床脱硫反应器的目的不是燃烧^[10-11], 而是脱除烟气中的 SO_2 , 并且脱硫产物的稳定性要好, 不易在自然环境中分解。选择 $800\ ^\circ\text{C}$ 为脱硫反应温度具有以下特点: (1) 可以回避 CO_2 和 NO_x 等气体带来的碳酸盐、硝酸盐反应与脱硫反应的竞争; (2) 可以将脱硫反应速率提高到比较高的范围; (3) 可以回避 CaO 的再结晶过程引起的 CaO 比表面积降低, 从而不会导致脱硫反应速率随着温度的升高而降低。因此, CaO 颗粒烟气脱硫循环流化床的最佳反应温度为 $800\ ^\circ\text{C}$ 。

4 结论

(1) 当温度低于 $800\ ^\circ\text{C}$ 时, CaO 颗粒的脱硫反应速率随着温度的升高而升高;

(2) 对于 CaO 颗粒经过水合反应生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 颗粒, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 颗粒热解后得到的 CaO 颗粒, 当温度

高于 $900\ ^\circ\text{C}$ 时, CaO 的再结晶作用引起比表面积的下降, 导致了脱硫反应速率的降低;

(3) 工业脱硫装置材料的耐高温性能和循环流化床反应器的运行特性以及 CaO 颗粒脱硫反应速率的最大化等因素, 决定了 CaO 颗粒的最佳反应温度确定为 $800\ ^\circ\text{C}$ 。

参考文献:

- [1] 刘 孜. 火电厂二氧化硫及氮氧化物总量的控制[J]. 中国环保产业, 2003(6): 13-18.
- [2] 王志轩. 中国火电厂二氧化硫排放控制综合对策建议[J]. 中国电力, 2002, 35(1): 60-63.
- [3] 姜文来. 中国 21 世纪水资源安全对策研究[J]. 水科学进展, 2001, 12(1): 66-71.
- [4] 王晓青. 中国水资源短缺地域差异研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(6): 516-520.
- [5] 徐旭常, 陈昌和. 燃煤 SO_2 , NO_x 防治与生态优化的策略及研究计划[J]. 科技导报, 1998(9): 3-5.
- [6] 时黎明, 徐旭常. 蒸汽活化钙基吸收剂用于干法烟气脱硫的实验研究[J]. 工程热物理学报, 1999, 20(2): 242-246.
- [7] 祁海鹰, 由长福. 蒸汽活化改善中温烟气脱硫的机理[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(7): 119-124.
- [8] 《实用化学手册》编写组. 实用化学手册[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [9] 岑可法. 循环流化床锅炉理论设计及运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [10] KARIN LAURSEN, WENLI DUO, JOHN R GRACE, *et al.* Characterization of steam reactivation mechanisms in limestones and spent calcium sorbents[J]. *Fuel* 2001, 80: 1293-1306.
- [11] GARCIA MARTINEZ J, BUENO LOPEZ J, GARCIA GARCIA A, *et al.* SO_2 retention at low temperature by $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -derived CaO: a model for CaO regeneration[J]. *Fuel* 2002, 80: 305-313.
- [12] 王爱军, 祁海鹰, 由长福, 等. 中温烟气脱硫过程中 CO_2 对脱硫剂钙利用率的影响[J]. 工程热物理学报, 2001, 22(4): 515-518.

钛板热成形技术的应用研究

钛板热成形技术利用热成形和超塑成形技术研制了十多种不同的钛合金板结构件并获成功应用。

在研制过程中, 根据零件形状的不同, 提出不同的加工方法, 并针对一些技术难题采取了相应对策。对变形较大和尺寸较小的深盒形零件, 采用了超塑性惰性气体气胀成形的方法, 一次就可以成形。成形过程中还采用了升温超塑性技术, 大大缩短了成形时间, 节约了制造成本。对框类零件, 由于该类零件刚度好, 变形相对较小, 则采用了高温合金模具热压成形的方法。对于投影面积大、变形量很小的翼面蒙皮类零件, 则采用了蠕变成形的方法。虽然零件的成形深度只有几个毫米, 但所成形的零件仍然棱角分明, 尺寸准确, 回弹极小。在成形模具的设计过程中, 在模具材料的选材和型腔尺寸的确定等方面都进行了优化, 保证了零件的顺利成形。

(翟国臣 供稿)

燃煤锅炉再燃技术中再燃燃料的特性与选择 = **The Characteristics and Selection of Reburned Fuels Involved in the Reburning Technology of a Coal-fired Boiler** [刊, 汉] / FANG Bing, LUO Yong-hao, LU Fang, et al (Thermal Energy Engineering Research Institute of Mechanical and Power Engineering College under the Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(5). — 443 ~ 446

Reburning reaction mechanism and characteristics are discussed regarding the use of a variety of reburned fuels in the reburning technology of a coal-fired boiler. Such reburned fuels include hydrocarbon gases, oil, coals and biomass, etc. The effectiveness of NO_x reduction of various fuels under specific combustion conditions is analyzed and compared along with a summing-up of the principles to be observed for selecting reburned fuels. **Key words:** combustion, NO_x , reburning, reburned fuel, reduction

高温材料在燃气轮机中的应用和发展 = **Application and Development of High-temperature Alloys for Gas Turbines** [刊, 汉] / XUN Bai-qiu, LI Qi, ZHAO Wu-en (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(5). — 447 ~ 449

High-temperature alloy materials represent a very important integral part of the gas turbine materials. They are very widely used to make major components and parts of a gas turbine, such as combustors, guide vanes, rotor blades and turbine discs, etc. The authors have analyzed and explained the main features and new technology of the high-temperature alloys currently used in gas turbines. Moreover, an in-depth and detailed account is given of the research and development status and tendency of these alloys in some developed countries worldwide. **Key words:** gas turbine, high-temperature alloy

烟气脱硫循环流化床内气固流动的 PDA 试验研究 = **Experimental Study of Gas-solid Flows in a Circulating Fluidized Bed of Flue Gas Desulfurization by the Use of a Particle Dynamics Analyzer** [刊, 汉] / Dong Yong, MA Chun-yuan (College of Energy & Power Engineering under the Shandong University, Jinan, China, Post Code: 250061), QIN Yu-kun (College of Energy Science & Engineering under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(5). — 450 ~ 453

Flue gas desulfurization technology is proposed on the basis of a circulating fluidized bed composed of a two-stage separation system. With the help of a particle dynamics analyzer measurements were taken of particle transverse and axial velocities, particle diameter as well as concentration distribution at different height levels in the bed. As a result, obtained were the momentary pulsation characteristics of the gas-solid flows and overall gas-solid flow behavior in the fluidized bed. These results can provide a solid basis for the structural design and optimization of new technology schemes of a flue gas desulfurization process. **Key words:** flue gas desulfurization, circulating fluidized bed, particle dynamics analyzer, gas-solid flow

CaO 颗粒烟气脱硫反应最佳反应温度的实验研究 = **Experimental Investigation of the Optimum Reaction Temperature of Flue Gas Desulfurization Reaction Involving CaO Particles** [刊, 汉] / WANG Shi-chang, XU Xu-chang, YAO Qiang (Key Laboratory of Thermal Power Engineering and Science Affiliated to the Thermal Engineering Department of Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(5). — 454 ~ 457

The desulfurization reaction of flue gases with CaO is subject to a comprehensive influence of the following factors: flue gas composition, reaction temperature and CaO particle inherent characteristics. Through an experimental study and on the basis of summing up the past experience of predecessors it has been proven that the optimum reaction temperature of CaO particles in the circulating fluidized bed of flue gas desulfurization is $800\text{ }^\circ\text{C}$. At this temperature it is possible to basically avoid the competitive reaction of such compounds in flue gases as NO , CO_2 , etc with respect to a desulfurization

reaction and basically do away with the lowering of desulfurization reaction rate caused by the recrystallization process of CaO crystals. It is also possible to transform the main constituents of the desulfurization reaction products into CaSO₄. The pyrolysis temperature of the latter is relatively high and the stability of the desulfurization products relatively good, thus eliminating the possibility of secondary pollution. **Key words:** flue gas desulfurization, CaO particle, optimum temperature

脉冲等离子体烟气脱硫反应器电极配置对能量利用的影响 = **Influence of the Electrode Configuration of a Pulse Plasma-based Flue Gas Desulfurization Reactor on Energy Utilization** [刊, 汉] / WU Yan, DONG Bing-yan, LI Jie, et al (Research Institute of Electrostatic & Special Power Source under the Dalian University of Science & Technology), Dalian, China, Post Code: 116024 // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(5). — 458 ~ 461

The influence of the electrode configuration of a wire-plate pulse corona discharge-based desulfurization reactor on pulsed energy utilization is investigated by tests. Test results indicate that under certain test conditions an increase in corona discharge wires and a decrease in wire-plate spacing can enhance the utilization of pulsed energy by the reactor. At a given electric field intensity when the wire-wire spacing is 0.6 - 1 times that of the wire-plate, the utilization of pulsed energy by the reactor will reach a maximum value. **Key words:** pulse plasma, flue gas desulfurization, reactor, electrode configuration, pulsed energy

脱硫反应器进口弯头部分多相流数值模拟及结构优化 = **Numerical Simulation of Multi-phase Flows in the Inlet Bend of a Desulfurization Reactor and Reactor Configuration Optimization** [刊, 汉] / WANG Lei, ZHANG Ming-chuan, ZHOU Yue-gui, et al (Institute of Mechanical & Power Engineering under the Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(5). — 462 ~ 466

With respect to the problem of serious wall adherence of liquid droplets located at the inlet bend of a desulfurization reactor a simulation was conducted of the gas-liquid-solid three-phase flows in an alkali-fog generator. Taking into account the liquid droplet evaporation the simulation was carried out by using a standard turbulent pulsation $k-\epsilon$ dual-equation model for the gas phase and a stochastic trajectory model for the discrete phase. As a result, obtained were the temperature fields at the bend portion of the reactor, velocity vector fields of various phases and particle concentration fields both prior to and after the optimization. The results of the simulation indicate that prior to the optimization the torque of various phases at the bend location is excessively great due to a contact of the multi-fluid alkali-fog generator and the inlet bend being realized at a lower bottom. Under the above circumstances the droplets of various groups will deviate from a streamline and adhere to a wall under the action of a relatively large inertial force. **Key words:** numerical simulation, multi-phase flow, evaporation, liquid droplets

调质脱硫剂硫化反应产物层固态离子扩散机理的研究 = **An Investigation of the Mechanism of Solid-state Ion Diffusion in the Sulfidation Reaction Product Layer of a Modified Desulfurization Agent** [刊, 汉] / WANG Chun-bo, LI Yong-hua, CHEN Hong-wei (Institute of Energy and Power Engineering under the North China University of Electric Power, Baoding, China, Post Code: 071003), SHEN Xiang-lin (Education Ministry Key Laboratory of Coal Clean Combustion under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(5). — 467 ~ 470

The distribution of elements at the sulfidation reaction product section of a sodium salt-modified desulfurization agent was analyzed by using the energy-spectrum scanning function of SEM. The results of the analysis show that the content of S element is high at a particle edge location and low in the middle. It has also been detected that at the location where the