

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

吴彦, 董冰岩, 李杰, 李国锋

(大连理工大学 静电与特种电源研究所, 辽宁 大连 116024)

摘 要: 实验研究了线-板式脉冲电晕放电烟气脱硫反应器的电极结构配置对脉冲能量利用的影响。结果表明在一定实验条件下增加电晕线数、减小线板间距能提高反应器对脉冲能量的利用; 在电场长度一定下, 线线间距为线板间距的 0.6~1 倍时, 反应器对脉冲能量的利用达到最大。

关 键 词: 脉冲等离子体; 烟气脱硫; 反应器; 电极配置; 脉冲能量

中图分类号: TM1; X511 文献标识码: A

1 引言

利用放电等离子体处理有害气体污染物在近十几年来受到国内外广泛的关注^[1~3], 例如, 脉冲电晕放电等离子体烟气脱硫技术。该技术是新型的、具有发展潜力的干式烟气脱硫方法, 其利用脉冲流光电晕放电产生高能电子与烟气中的中性分子发生碰撞, 生成一些氧化性很强的化学活性自由基, 去氧化烟气中的二氧化硫, 最终生成能被收集的硫酸或硫酸铵, 达到脱硫的目的。目前, 脉冲烟气脱硫技术整体上进入了工业性试验研究阶段^[4~7], 但尚有几个影响脉冲等离子体脱硫装置实现工业化应用的问题有待进一步研究解决: (1)降低能量消耗; (2)副产物的收集; (3)大功率和使用寿命长的脉冲电源的研制; (4)脱硫反应器结构的优化设计。其中, 脉冲等离子体烟气脱硫技术工业化应用的关键之一在于如何降低能耗。优化反应器结构, 提高能量的利用, 使得脉冲能量最大地注入反应器中, 是降低能耗的一种有效方法。

2 实验装置及测试方法

实验反应器为线-板结构, 结构示意图如图 1 所示, 板电极长为 2 000 mm, 电场有效高度为 800 mm, 电晕线采用 4 mm×4 mm 的星型线。电晕线垂

直均匀分布在板电极之间, 线板间距 b 和线线间距 s 可按实验要求进行调整。脉冲电压由旋转火花间隙式正极性窄脉冲电源提供, 其电路原理和实验系统如图 2 所示, 其供电方式为: 初级电压(交流电 0~220 V)经硅整流变为直流高压, 旋转火花间隙开

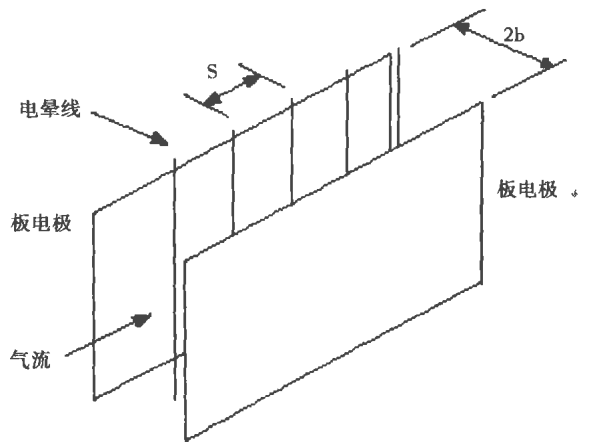


图 1 线-板式反应器结构示意图

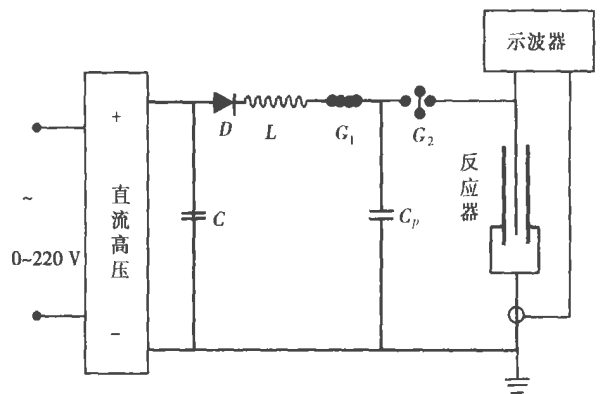


图 2 脉冲电源电路原理和实验系统

收稿日期: 2004-01-06; 修订日期: 2004-03-30

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)专项基金资助项目(2001AA642010)

作者简介: 吴彦(1952-)男, 辽宁大连人, 大连理工大学教授。

关 G_1 导通, G_2 断开, 储能电容 C 及由高压高频硅堆 D 和电感 L 组成串联谐振电路对脉冲成形电容 C_P 充电, G_1 断开, G_2 导通, 脉冲成形电容 C_P 对线一板反应器充电, 当电压超过起晕电压时, 电晕线开始放电, 向反应器注入能量。

脉冲电压的测量采用日本脉冲电子公司的 HV-100 K 高压探头, 脉冲电流的测量采用美国泰克公司的 Tektronix 6302 电流探头, 脉冲电压电流通过美国惠普公司的 HP54810A 数字存储示波器取样, 同时进行放电能量计算和分析。

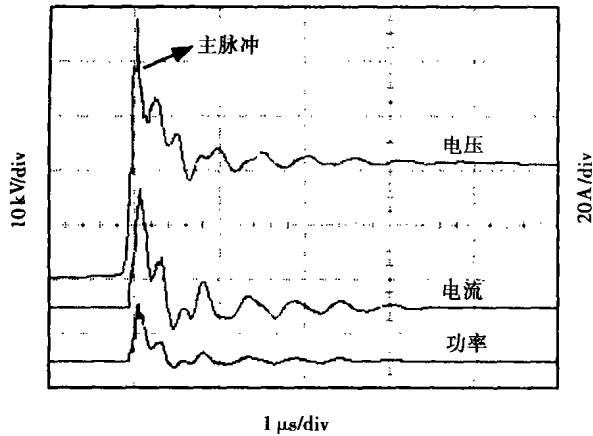


图 3 脉冲电压、电流和功率波形

脉冲电源产生的脉冲电压前沿上升时间在 100 ns 以内, 脉冲宽度为 300 ~ 500 ns, 脉冲电压峰值在 0 ~ 100 kV 范围内可调。图 3 为数字示波器记录的典型脉冲电压、电流和功率波形。

注入反应器的单次脉冲能量可由示波器记录的电压与电流脉冲直接相乘得到的功率脉冲在脉冲周期时间内积分得到。而实际用于烟气脱硫的脉冲能量主要来自主脉冲(见图 3), 在主脉冲期内, 反应器发生一次流光电晕放电, 电子能量能达 5 ~ 20 eV, 对单次主脉冲期内功率脉冲所积分的脉冲能量为单次脉冲有效能量; 次脉冲及脉冲拖尾期内电子能量只有 1 ~ 4 eV, 对二氧化硫的脱除没有作用。

在电源回路参数(成形电容 C_P 取 1.33 nF)及初级电压确定后, 用于烟气脱硫的总能量一定, 反应器对能量利用的大小, 即注入到反应器内的单次脉冲有效能量, 决定能耗的高低。在放电回路参数及初级电压确定下, 实验通过研究脉冲等离子体反应器的电极不同配置形式对脉冲有效能量注入的影响, 以寻求最佳放电结构来提高对脉冲能量的利用。

3 实验结果与分析

3.1 线线间距对脉冲能量利用的影响

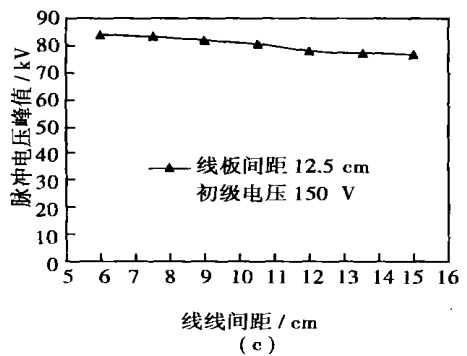
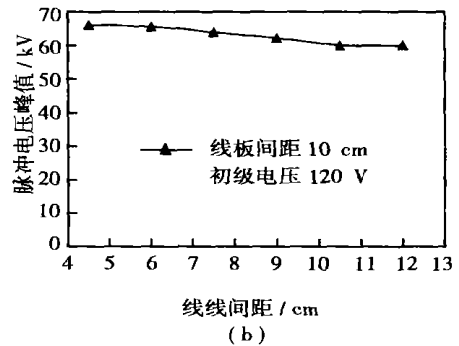
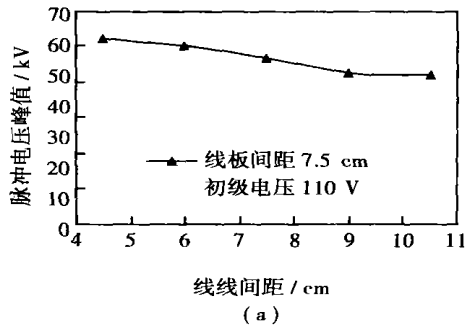
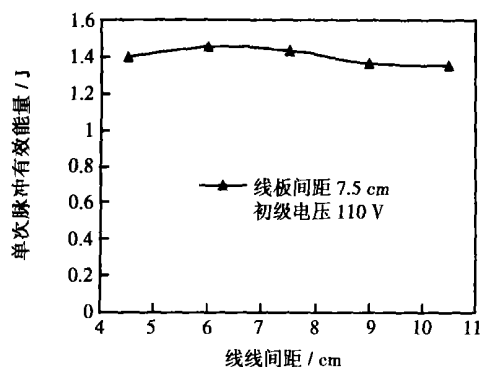
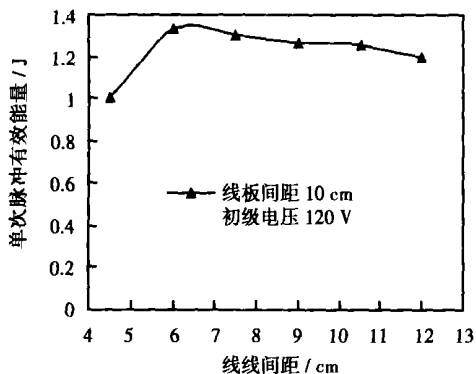


图 4 线线间距与脉冲电压峰值的关系

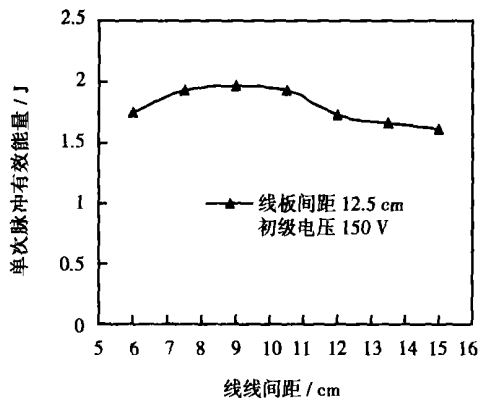
图 4 和图 5 为线线间距与脉冲电压峰值、单次脉冲有效能量的关系曲线。在保证正常放电的情况下, 线板间距和初级电压一定时, 随着线线间距的减小, 施加在电晕线上的脉冲电压峰值增大, 注入到反应器内的单次脉冲有效能量先增大再减小。例如在线板间距为 7.5 cm, 初级电压 110 V 时, 线线间距由 10.5 cm 减小, 脉冲电压峰值与注入反应器内单次脉冲有效能量增大, 当线线间距减小至 4.5 cm 时, 尽



(a)



(b)



(c)

图 5 线线间距与单次脉冲有效能量的关系

管在此线线间距下脉冲电压峰值达到最大,但由于电晕线之间间距较小,线之间电场干扰较大,反而使得注入反应器内单次脉冲有效能量降低。线线间距小于 4.5 cm,反应器不能正常放电。因而,在此一定实验条件下,线线间距为 4.5~7.5 cm 时,脉冲电压峰值较大,注入反应器内单次脉冲有效能量达到最大。同理,当线板间距为 10 cm 时,最佳线线间距为 6~10 cm;当线板间距为 12.5 cm 时,最佳线线间距为 7.5~11 cm。实验说明在最佳线线间距内,线板间电场强度较大,有利于高能电子的产生,且线线间

距的减小使得电晕线数增加,增大了脉冲能量的注入。实验表明,在总供能一定下,线线间距的改变影响脉冲电压峰值,最终影响反应器对脉冲能量的利用。综上所述,当反应器的线线间距为线板间距的 0.6~1 倍时,反应器对脉冲能量的利用达到最大。

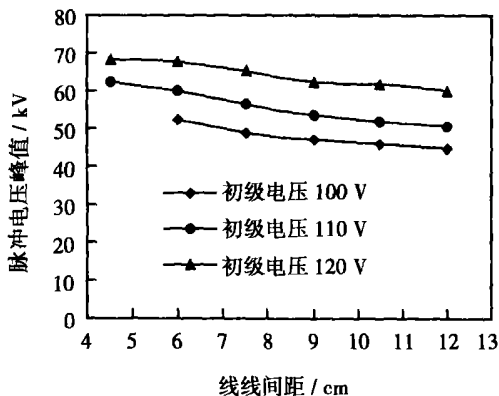


图 6 初级电压对脉冲电压峰值的影响 (线板间距 7.5 mm)

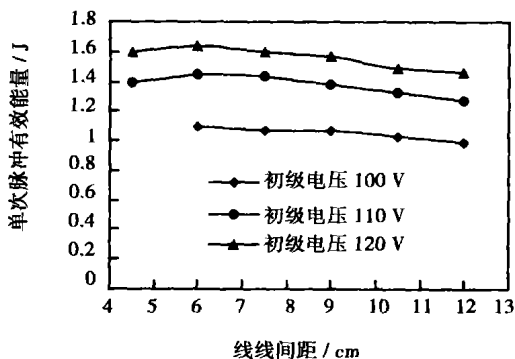


图 7 初级电压对单次脉冲有效能量的影响 (线板间距 7.5 mm)

图 6 和图 7 为线板间距不变,在不同线线间距下,初级电压与脉冲电压峰值和注入反应器单次脉冲有效能量的关系曲线。由曲线可以看出,由于初级电压升高,电源总能量增大,所以施加在电晕线上的脉冲电压增大,注入反应器的单次脉冲有效能量增大。在同一线板间距和不同初级电压下,线线间距对脉冲电压峰值的影响曲线规律相似;同样,线线间距对单次脉冲有效能量影响的曲线规律相似。

3.2 线板间距对脉冲能量利用的影响

由图 8 和图 9 可看出,在一定初级电压和线线间距下,脉冲电压峰值随线板间距的增大而增大,注

入反应器内的单次脉冲有效能量随线板间距增大而减小。尽管线板间距增大时脉冲电压峰值增大,但整个线板间平均电场强度却减小了,使得主脉冲期内的一次流光电晕放电减弱,从而降低了脉冲有效能量的注入。

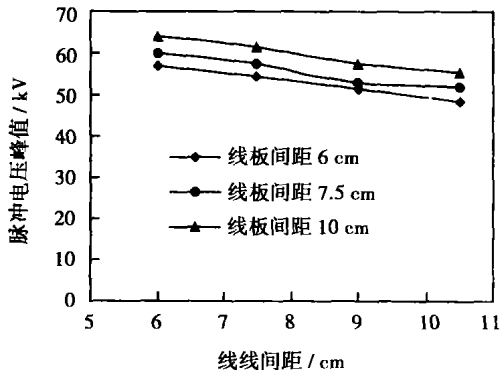


图 8 线板间距对脉冲电压峰值的影响
(初级电压 110 V)

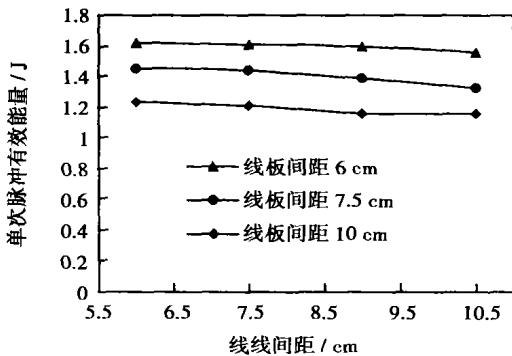


图 9 线板间距对单次脉冲有效能量的影响
(初级电压 110 V)

4 结 论

实验结果表明线—板式脉冲等离子体烟气脱硫反应器的电极结构配置影响反应器对脉冲能量的利用,进行反应器结构优化能有效地提高反应器对脉冲能量的利用,达到降低能耗的目的。在本实验条件下,当供能一定时,反应器采用小的线板间距,且线间距为线板间距的 0.6~1 倍时,反应器的能耗最低,注入反应器的脉冲有效能量最大。

参考文献:

- [1] MASUDA S. Pulse corona induced plasma chemical process: a horizon of new plasma chemical technologies[J]. *Pure & Appl Chem*, 1988, 60(5): 727-731.
- [2] DINELLI G, CIVITANO L, REA M. Industrial experiments on pulse simultaneous removal of NO_x and SO_x from flue gas[J]. *IEEE Trans Ind Appl*, 1990 26(3): 535-541.
- [3] HSIAO M C, MERRITT B T, PENETRANTE B M, *et al.* Plasma-assisted decomposition of methanol and trichloroethylene in atmospheric pressure air streams by electrical discharge processing[J]. *J Appl Phys* 1995, 78(5): 3451-3456.
- [4] 张彦彬,王宁会,吴彦. 3 000 Nm³/h 烟气脱硫实验系统的设计与运行[J]. *大连理工大学学报*, 1997, 37(5): 551-554.
- [5] LI JIE, WU YAN, WANG NING HUI. Industrial scale experiments of desulfuration of coal flue gas using a pulsed corona discharge plasma [J]. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 2003, 31(3): 333-337.
- [6] WU YAN, LI JIE, WANG NING HUI. Industrial experiments on desulfurization of flue gases by pulsed corona induced plasma chemical process[J]. *Journal of Electrostatics*, 2003, 57: 233-241.
- [7] LEE YONG HWAN, JUNG WONG SUK. Application of pulsed corona induced plasma chemical process to an industrial incinerator[J]. *Environ Sci Technol*, 2003, 37(11): 2563-2567.

LM 系列航改机在高速渡船中的应用

GE Marine Engine 公司至今已有 36 台 GE LM 航改型船舶燃气轮机在 16 艘高速渡船上运行,累计工作时间超过 60 万小时。其中 Stene Explorer(探索者)号 HSS(高速海上服务)渡船于 1996 年 6 月开始投入营运,至今仍在航线上服务,是一艘使用 GE 燃气轮机运行时间最长的旅客渡船。其 HSS 姐妹渡船—Stene Voyager(航海者)号记录的运行时间已超过 16 万小时,是在高速渡船上使用 GE 燃气轮机累计运行小时数最长的一艘旅客渡船。

上述渡船的船东是瑞典的 Stene Line(斯坦纳航运公司),每艘渡船装有两台 LM1600 和两台 LM2500 燃气轮机,以 COGAG(燃燃并车使用联合装置)的布置工作。

(吉桂明 供稿)

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