

脉冲放电烟气脱除尘与除 SO₂ 和 NO_x 的研究*

王宁会 赵志斌 崔岳峰

(大连理工大学静电与特种电源研究所, 大连 116024) (沈阳工业学院专科学校, 沈阳 110045)

文 摘 对脉冲放电烟气除尘与脱除 SO₂ 和 NO_x 进行实验研究与分析的结果表明, 烟气中的飞灰对 SO₂ 和 NO_x 吸附脱除 2% ~ 3%, 吸附脱除量随着飞灰浓度和烟气含量的增加而增大. 在单位体积烟气注入能量为 4Wh/Nm³ 和烟气在反应器中停留时间小于 3 秒, 飞灰与水蒸气的协同作用使 SO₂ 和 NO_x 脱除率分别达到 23% 和 33%. 同时, 脉冲放电使反应器对飞灰具有良好的协同作用, 收集效率为 97%.

关键词 脉冲放电, 除尘, 脱硫, 脱硝.

工业燃煤排放的烟气含有大量的飞灰、SO₂ 和 NO 等有毒有害物质, 对这些污染物的治理通常需要不同的处理方法和设备, 例如: SO₂ 脱除可用湿式或干式洗涤, NO_x 可采用低 NO_x 燃烧或 NO_x 催化转化来处理, 飞灰可用静电和布袋除尘器来收集. 利用脉冲放电技术对烟气的飞灰、SO₂ 和 NO 的同时处理是其它方法无法比拟的干法烟气治理技术, 它是应用前景最为广阔的方法之一. 1985 年 Ohtsuka^(1,2) 首先对 SO₂ 和 NO_x 在脉冲放电场中同时脱除进行了专门的研究, 结果表明在反应器中可产生大量的 OH 和 HO₂ 等自由基, 自由基把 SO₂ 和 NO 氧化成 SO₃ 和 NO₂ 和 N₂O₅, 氧化量随 O₃、H₂O 的浓度和单位体积烟气注入能量增加而增大, 在有碱性物质存在时发生异相反应生成液体或固体盐而被除掉. 为了证实脉冲放电烟气脱硫脱硝与除尘的结合性, 1987 年 Musuda 等人⁽³⁾ 在对脉冲供电电除尘器除尘性能研究中发现脉冲放电提高了飞灰粒子的荷质比, 是常规直流电晕放电的 2~3 倍, 这促进了库仑力对粒子的收集作用使得脉冲电除尘器收集效率提高很多, 同时抑制了反电晕的发生, 提高了比电阻粉尘的收集. 1989 年 Clement 等人⁽⁴⁾ 利用脉冲放电对在反应器中停留 36 秒的常温烟气的飞灰、SO₂ 和 NO 同时处理, 发现飞灰对 SO₂ 脱除作用很大, 使得 SO₂ 脱除率提高 30% 左右, 对 NO 也有一定的吸附脱

除作用. 由于真实烟气排放的温度较高, 通过热交换冷却后温度也在 70% ~ 80%℃ 左右, 又含有 10% ~ 15% 左右的水份, 在此条件下脉冲放电烟气的除尘和脱硫脱硝以及飞灰在脱硫脱硝中的协同作用尚未见到完善的报道. 针对这一问题, 本文试图对烟气在反应器中停留时间小于 5 ~ 6 秒和单位烟气注入能量小于 4Wh/Nm³ 的工业应用许可的经济和能耗范围内, 对脉冲放电烟气的除尘和脱硫脱硝进行实验研究与分析, 为真实烟气治理提供理论依据

1 实验装置与测试方法

1.1 实验装置

实验装置如图 1 所示. 高压脉冲电源由直流高压电源、脉冲电容和旋转火花隙等组成. 反应器为带均流板的内径为 56mm 的不锈钢圆筒, 电晕线为 4×4mm 的星形线, 放电长度为 600mm. 脉冲电压和电流分别用日本 IWATSU ELECTRIC 公司生产的 HP-60 型高压探头和 SONY 公司生产的 A6303 Am5035 型电流探头采样, 由美国惠普公司生产的 HP54503 500MHz 示波器显示并计算出单脉冲电晕功率. SO₂ 和

收稿日期: 1997-06-28

* 国家自然科学基金重点资助项目和“八五”国家科技攻关资助项目

NO、NO_x 的浓度分别用日本 SHIMADZU 公司生产的 IRA-107 SO₂ 分析仪和 NOA-305ANOX 分析仪测试

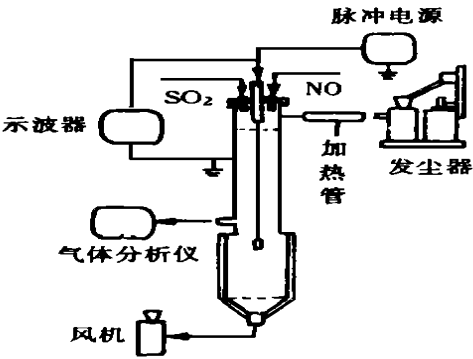


图 1 测试系统示意

1.2 测试方法

首先对反应器器壁加温并用热电偶控制在 80℃,空气通过加热管加热自上而下流进反应器中,反应器进出口气体温度由温度计连续监测控制在 80℃。然后加入 SO₂ 和 NO 气体,反应器中浓度稳定后,由医用输液管控制往加热管内注水,并适当调节加热管温度来保证反应器气体温度为 80℃。水在加热管内迅速气化流进反应器内以达到烟气增温的目的。飞灰由发尘器均匀加入并由粉尘滤膜采样器采样测得烟气的粉尘浓度。本实验所采用的飞灰是真实烟道气中收集下来的飞灰并经过 200 目筛子筛选,粒子粒径分布如表 1 所示

表 1 粒子粒径分布

| 飞灰粒径 (μm) | 数量分布 (%) | 重量分布 (%) |
|-----------|----------|----------|
| ≤ 1 | 7.14 | 0.16 |
| 1~ 3 | 16.71 | 1.3 |
| 3~ 5 | 25 | 4.16 |
| 5~ 7 | 16.29 | 10.14 |
| 7~ 9 | 27 | 39.87 |
| 9~ 15 | 6.86 | 34.17 |
| ≥ 15 | 1 | 9.73 |

脉冲放电后稳定的 SO₂、NO_x 和飞灰浓度与它们的初始浓度差额可计算出反应器的 SO₂、NO_x 脱除率以及除尘效率

2 实验结果与讨论

2.1 飞灰对 SO₂ 脱除的影响

在脉冲电晕场中飞灰对 SO₂ 脱除作用与烟气含水量和单位体积烟气注入能量有关。由于飞灰粒子是多孔结构又含有一定的有机碳和碱金属氧化物,对 SO₂ 有 3% 左右吸附作用;飞灰在电晕场中吸附电子和离子形成荷电粒子,增强空间离子电位,对脉冲放电有一定的抑制作用,有降低自由基产量的趋势。如图 2 所示,在烟气含水量为 2% vol 时,飞灰对 SO₂ 吸附脱除作用显著,随着单位体积烟气注入能量的增加,SO₂ 脱除率随电晕场中产生的自由基 OH 和 HO₂ 数量增加而增大,自由基把 SO₂ 氧化成 SO₃ 进而形成 H₂SO₄ 气溶胶而被脱除。有飞灰和无飞灰烟气脱硫工况比较发现,飞灰对脉冲放电抑制作用使烟气脱硫率降低趋势随着单位体积烟气注入能量增加表现出来。烟气含水量增加到 15% vol 时,即使在单位体积烟气注入能量较低时,SO₂ 脱除率也显著提高。这由于飞灰表面吸附的水膜厚度随着烟气含水量的增加而增厚,使在飞灰粒子表面吸附中心上的 SO₂ 随着飞灰粒子表面液膜的流动及时脱附而析出吸附中心点,脱附的 SO₂ 与 SO₃ 溶解在水膜液体中与飞灰粒子表面的碱性金属氧化反应生成固体盐。同时,增加烟气含水量和烟气注入能量,相应地增加自由基 OH 的产量,也使 SO₂ 氧化脱除率得以提高

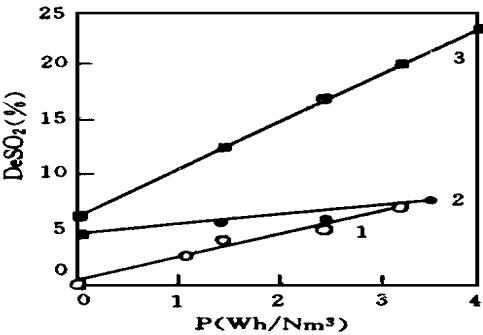


图 2 SO₂ 的脱除率与注入能量的关系

图 2~4 注: [SO₂] = 3714mg/Nm³, [NO] = 305mg/Nm³, [NO_x] = 338mg/Nm³ 1.[H₂O] = 2% V/V C = 0.0g/Nm³ 2.[H₂O] = 2% V/V C = 0.0g/Nm³ 3.[H₂O] = 15% V/V C = 0.0g/Nm³

2.2 飞灰对 NO 和 NO_x (NO+ NO₂)脱除的影响

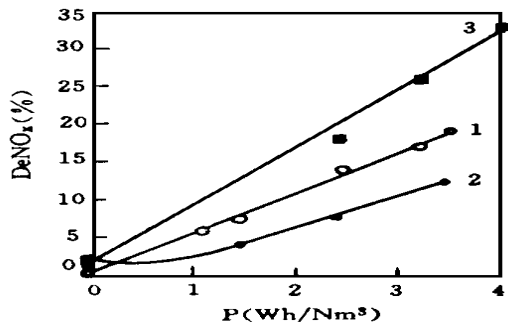


图 3 NO 的脱除率与注入能量的关系

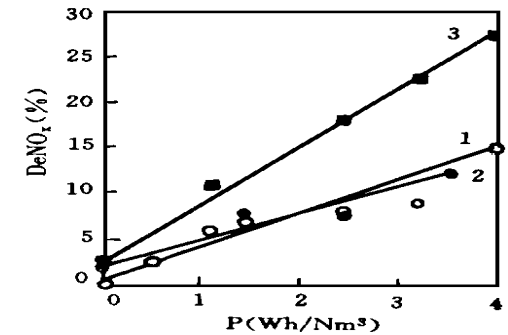


图 4 NO_x 的脱除率与注入能量的关系

NO 脱除主要取决于电晕场中自由基的产量。如图 3 所示,在烟气含水量为 2% vol 时,从含灰浓度为 4g/Nm³ 和无灰烟气的 NO 脱除率比较中发现,飞灰的粒子在电晕场中的荷电使空间离子电位增强,抑制了脉冲放电,相应地自由基产量降低使 NO 脱除率较无飞灰烟气的 NO 脱除率低。烟气含水量增加到 15% 时,飞灰使 NO 脱除率显著提高。烟气含水量的增加一方面使飞灰对 NO 化学吸附能力提高,主要表现在飞灰粒子表面吸附中心上的 NO 在金属氧化物的催化下发生反应生成亚硝酸盐和硝酸盐,并能及时溶解在粒子表面液膜中吸附中心点得到再生。另一方面相应地增加了自由基 OH 的产量,使 NO 氧化成 HNO₃, HNO₃ 与飞灰粒子反应生成盐而使 NO 脱除率提高。飞灰对 NO_x (NO+ NO₂) 的脱除作用如图 4,在烟气含水量为 2% vol 时,飞灰对 NO_x 脱除作用不大,基本上是正负效应相抵销。烟气含水量增加到 15% vol 时,飞灰使 NO_x 脱除率显著提高。飞灰对 NO 和

NO_x 脱除的作用说明飞灰对易生成酸的 NO₂ 吸附脱除作用强,主要是飞灰中碱金属氧化物作用的原因。

2.3 飞灰的收集效率

反应器的飞灰的收集效率与烟气在反应器中停留时间、单位体积烟气注入能量和供电方式有关。如图 5 所示,烟气在反应器中停留 3 秒时,飞灰收集效率随单位烟气注入能量增加而增大,脉冲供电波型带有 8kV 直流基压时,在单位体积烟气注入能量较低时就可获得较高的收集效率。这说明飞灰粒子在脉冲电晕场中荷电很快,收集空间电场是飞灰粒子收集的的决定性参数。飞灰收集效率与粒子大小的关系如图 6 所示,飞灰粒子越大,收集效率越高。对 1μm 的飞灰粒子收集效率可达 35%,而直流供电 10kV 时,收集效率仅为 20%~30%,可见脉冲供电提高了小粒子的收集效率。脉冲放电是以电子为传导的放电方式,粒子在电晕场中的电子场强荷电和扩散荷电增强了粒子荷电量,使小粒子的收集效率得以提高。

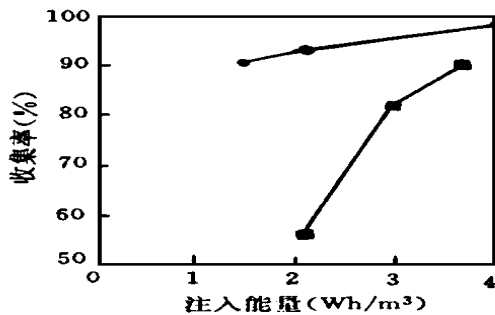


图 5 飞灰的收集效率与注入能量关系

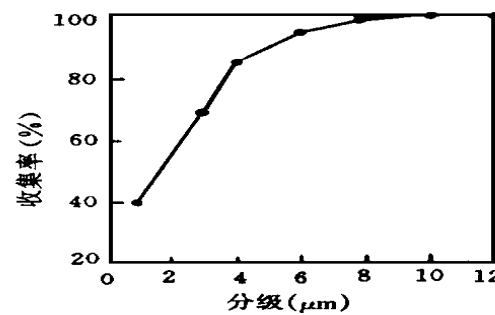


图 6 飞灰收集的分级效率与注入能量关系

3 结论

对烟气流量为 1.8Nm³/h 的脉冲放电烟气除尘与脱硫脱硝的研究得到如下结论:

3.1 飞灰对 SO₂和 NO_x有 2%~3%的吸附脱除作用,增加烟气含水量提高了飞灰表面化学吸附能力使 SO₂和 NO_x脱除率显著提高。

3.2 脉冲放电烟气除尘提高了飞灰粒子的电子荷电量,使反应器对飞灰具有良好的收集效率

3.3 在单位体积烟气注入能量为 4Wh/Nm³的条件下,模拟真实烟道气的脉冲放电烟气脱硫率为 23%,脱硝率为 33%,除尘效率为 97%。

参考文献

1 Ohtsuka K, Yukitake T, and Shimoda M. Oxidation characteristics of nitrogen monoxide in corona discharge field, Proceedings of the institute of electrosatics Japan, 1985, 9 (5): 346~ 351

2 Ohtsuka K, Kukitake T, and Shimoda M. Removal of SO₂

and NO from gases using wet type electrostatic precipitators, Proceedings of the institute of electrostatics Japan, 1985, 9(5): 352~ 358

3 Masuda S, Hosokana S, Tachibana N, Ando T and Matsumoto Y. Fundamental behavior of direct coupled submicrosecond pulse energization in electrostatic precipitators. IEEE Trans. Ind. Appl, 1987, 23(1): 120~ 126

4 Chements J S, Mizuno A, Finney W C and Davis R H. Combined removal of SO₂, NO_x and fly ask from simulated flue gas using pulsed streamer corona. IEEE Trans. Ind. Appl. 1989, 25(1): 62~ 69

作者简介

王宁会 男,1954年 11月生 大学本科毕业 现任大连理工大学静电与特种电源研究所副所长,高级工程师 近年来从事脉冲放电等离子体烟气脱硫脱硝的研究,完成国家自然科学基金重点基金一项,自然科学基金一项,国家“八五”科技攻关两项 目前承担国家“九五”科技重点攻关项目“脉冲电晕等离子体烟气脱硫技术”研究 公开发表论文 32篇。

Combined removal of SO₂,NO_x and flyash simulated flue gas by pulsed corana discharge

Wang Ninghui¹, Zhao Zhibin¹ and Cui Yuefeng²

1. Electrostatic and Specific Power Institute, Dalian University of Technology, Dalian 116024

2. College of Shenyang Institute of Technology, Shenyang 110045

Abstract— The combined removal of SO₂, NO_x and foyash simulated flue gas is experimentally investigated using pulsed corona discharge. The results show that the flyash in flue gas has adsorption in SO₂, NO_x removal process, and the removal efficiency is about 2% ~ 3% . Increasing the concentrations of water and flyash also increases the removal efficiency of SO₂ and NO_x . At the injected energy of 4Wh /Nm³ and less than 3 second of resident time of flue gas in reactor, the removal efficiency of SO₂ that of NO is about 23% and 33% respectively, accounting for the cooperation of flyash and water vapor. Meanwhile, the reactor energized by pulse generator has advantages for aerosol particle collection, especially the collection efficiency of flyash is about 97% .

Key words pulsed discharge, desurphurization, denitrification.