

气体微波放电转化 NO 的模拟实验研究

赵 毅,曹春梅

(华北电力大学 环境科学与工程学院,河北 保定 071003)

摘 要: 对模拟烟气系统的微波放电转化 NO 过程进行了数值模拟,分析了影响 NO 转化率和 N_2 、 NO_2 选择性的因素及规律。研究表明:在 $He + NO + O_2$ 系统中,40 W 微波功率下,NO 总转化率可达 77%,其中 59% 转化为 N_2 ,18% 转化为 NO_2 。微波功率、NO 初始浓度和 O_2 初始浓度等对 NO 转化率及 N_2 、 NO_2 的选择性有一定的影响。微波功率对 NO 转化率影响不大,但微波功率的增大有利于 NO 向 N_2 的转化、提高 N_2 选择性。NO 初始浓度的增加降低了体系的 NO 转化率。 O_2 的加入使产物中 NO_2 的量增加,但 NO 转化为 N_2 的转化率总大于其转化为 NO_2 的转化率。屏蔽 O 自由基和 N 自由基均降低了 NO 的转化率,有 O 无 N 使 NO 主要转化为 NO_2 ,有 N 无 O 有利于 NO 向 N_2 的转化。

关 键 词: 微波放电; 烟气脱硝; N_2 和 NO_2 选择性; 化学反应动力学; 仿真实验

中图分类号: X131.1

文献标识码: A

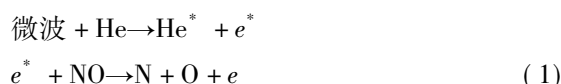
引 言

利用微波放电使 NO 氧化或分解是目前干法烟气治理技术中广泛研究的课题^[1~5]。已有研究表明:在微波场中,高能电子的能量为 3 ~ 10 eV,而 NO 、 O_2 解离能分别为 6.4 和 5.1 eV,微波放电能够解离 NO 和 O_2 ,产生大量的 N 自由基和 O 自由基,N 自由基具有很高的活性^[6],能与 NO 反应,使得在微波放电烟气系统中最主要的 NO 转化产物为 N_2 。但由于转化 NO 的过程通常包含非常复杂的物理与化学机制,直接通过实验来确定某些机制或某些反应的重要性存在一定的困难。因此,实际研究中往往避开深层次的机理问题,而研究表观效果,使实验结果缺乏理论支持。为明晰微波放电 NO 转化机理,探讨转化过程中气体成分之间的协同作用规律,需要建立反应过程的动力学方程并进行数值求解。本研究对 $He + NO + O_2$ 系统进行微波放电转化 NO

的模拟实验研究,分析影响 NO 转化率及其向 N_2 、 NO_2 转化的因素及规律,进而改进现有工艺,提高微波利用率以降低能耗等提供依据和参考。

1 微波放电转化 NO 的反应模型

通过微波辐照被处理的含 NO 气体,使之部分电离、分解、激发,产生一定浓度的活性粒子 N 自由基和 O 自由基,利用这些活性粒子与气体中的 NO 反应可以达到转化 NO 的目的。采用氦气作为平衡气,参考文献 [2] 的微波放电混合气体系统模型 $He + NO + O_2$ 和相应的微波放电转化 NO 的主要反应方程式为:



式中: e^* 、 e —高能电子和低能电子。

系统转化 NO 的主要化学反应如表 1 所示^[2], 两体反应、三体反应的反应速率常数单位分别为 cm^3/s 和 cm^6/s 。

表 1 微波放电 $He + NO + O_2$ 系统转化
NO 主要化学反应式

Tab. 1 Main chemical reaction formula for decomposing and removing NO in a microwave discharge $He + NO + O_2$ system

序号	反应物	生成物	反应速率常数
1	$N + NO$	$N_2 + O$	3.39×10^{-11}
2	$N + N + M$	$N_2 + M$	8.28×10^{-34}
3	$N + O_2$	$NO + O$	8.90×10^{-17}
4	$N + O$	NO	2.41×10^{-13}
5	$O + NO + M$	$NO_2 + M$	4.99×10^{-36}
6	$O + O$	O_2	1.69×10^{-13}

收稿日期: 2010-06-23; 修订日期: 2010-07-01

基金项目: 河北省科学技术研究与发展计划基金资助项目(07786720D)

作者简介: 赵 毅(1956-),男,满族,河北秦皇岛人,华北电力大学教授,博士生导师。

续表 1 微波放电 He + NO + O₂ 系统转化

NO 主要化学反应式

Tab. 1 Main chemical reaction formula for decomposing and removing NO in a microwave discharge He + NO + O₂ system

序号	反应物	生成物	反应速率常数
7	O + NO	N + O ₂	4.60×10^{-15}
8	NO ₂ + O	NO + O ₂	9.70×10^{-12}
9	NO ₂ + N	2NO	3.01×10^{-12}
10	O + O ₂	O ₃	2.81×10^{-12}
11	NO + O ₃	NO ₂ + O ₂	1.81×10^{-14}
12	NO ₂ + O ₃	NO ₃ + O ₂	3.19×10^{-17}
13	NO ₂ + O	NO ₃	2.14×10^{-12}
14	NO + NO ₃	2NO ₂	2.89×10^{-11}
15	NO + NO ₃	2NO + O ₂	3.04×10^{-13}
16	NO ₂ + N	N ₂ O + O	3.01×10^{-12}
17	N ₂ O + O	N ₂ + O ₂	4.90×10^{-11}
18	N ₂ O + O	2NO	6.69×10^{-11}

根据表 1, 建立的反应系统中各组份粒子数密度随时间变化的动力学方程组为:

$$\frac{d[N]}{dt} = -k_1 [N] [NO] - k_2 [N]^2 - k_3 [N] [O_2] - k_4 [N] [O] + k_7 [NO] [O] - k_9 [N] [NO_2] - k_{16} [N] [NO_2]$$

$$\frac{d[NO]}{dt} = -k_1 [N] [NO] + k_3 [N] [O_2] + k_4 [N] [O] - k_5 [O] [NO] - k_7 [O] [NO] + k_8 [O] [NO_2] + 2k_9 [N] [NO_2] - k_{11} [O_3] [NO] - k_{14} [NO_3] [NO] + k_{15} [NO_3] [NO] + 2k_{18} [O] [N_2O]$$

$$\frac{d[O_2]}{dt} = -k_3 [N] [O_2] + k_6 [O]^2 + k_7 [NO] [O] + k_8 [O] [NO_2] - k_{10} [O] [O_2] + k_{11} [O_3] [NO] + k_{12} [O_3] [NO_2] + k_{15} [NO_3] [NO] + k_{17} [O] [N_2O]$$

$$\frac{d[O]}{dt} = k_1 [N] [NO] + k_3 [N] [O_2] -$$

$$k_4 [N] [O] - k_5 [NO] [O] - k_6 [O]^2 - k_7 [NO] [O] - k_8 [O] [NO_2] - k_{10} [O] [O_2] - k_{13} [O] [NO_2] + k_{16} [N] [NO_2] - (k_{17} + k_{18}) [O] [N_2O]$$

$$\frac{d[NO_2]}{dt} = k_5 [NO] [O] - k_8 [O] [NO_2] -$$

$$k_9 [N] [NO_2] + k_{11} [O_3] [NO] - k_{12} [O_3] [NO_2] - k_{13} [O] [NO_2] + 2k_{14} [NO] [NO_3] - k_{16} [N] [NO_2]$$

$$\frac{d[N_2]}{dt} = k_1 [N] [NO] + k_2 [N]^2 + k_{17} [O] [N_2O]$$

$$\frac{d[O_3]}{dt} = k_{10} [O] [O_2] - k_{11} [NO] [O_3] -$$

$$k_{12} [NO_2] [O_3]$$

$$\frac{d[NO_3]}{dt} = k_{12} [O_3] [NO_2] + k_{13} [O] [NO_2] -$$

$$(k_{14} + k_{15}) [NO_3] [NO]$$

$$\frac{d[N_2O]}{dt} = k_{16} [N] [NO_2] - (k_{17} + k_{18}) [N_2O] [O]$$

如果已知系统中各粒子的初始数密度, 对上述动力学方程组编写相应的求解程序, 即可给出反应过程中各粒子数密度随时间的变化关系^[7-10], 并可进一步分析各因素对 NO 转化的影响。系统中各组分粒子的初始体积浓度取值同文献[2], NO 的初始浓度为 0.2%, O₂ 的初始浓度为 2%, 平衡气 He 初始浓度为 97.8%, 将系统中气体视为理想气体系统。为方便计算, 各物质浓度用粒子数密度 (cm⁻³) 表示。在常温 (T = 293 K)、常压 (p = 1.013 × 10⁵ Pa) 下, 由理想气体状态方程可得 NO、O₂ 的粒子数密度, 微波作用下高能电子解离 NO 和 O₂ 产生的活性粒子 N 自由基和 O 自由基初始数密度的数量级为 10¹⁵ cm⁻³, 根据式 (1)、式 (2) 及统计平均规律, 简化体系中 O 自由基初始数密度和 N 自由基初始数密度取值, 其余粒子的初始数密度均为零, 具体数值如表 2 所示。

表 2 初始粒子数密度

Tab. 2 Initial particle concentration

	N	NO	O ₂	O	NO ₂	N ₂	O ₃	NO ₃	N ₂ O
初始粒子数密度/cm ⁻³	7.5 × 10 ¹⁵	25 × 10 ¹⁵	25 × 10 ¹⁶	28.5 × 10 ¹⁵	0	0	0	0	0

2 计算结果与讨论

通过调整数值模拟实验参数,研究影响 $\text{He} + \text{NO} + \text{O}_2$ 系统微波放电转化 NO 的主要因素(包括微波功率、NO 初始浓度、 O_2 初始浓度等),分析放电过程中产生的 N 自由基和 O 自由基对 NO 转化的影响。

2.1 计算结果与实验结果对比

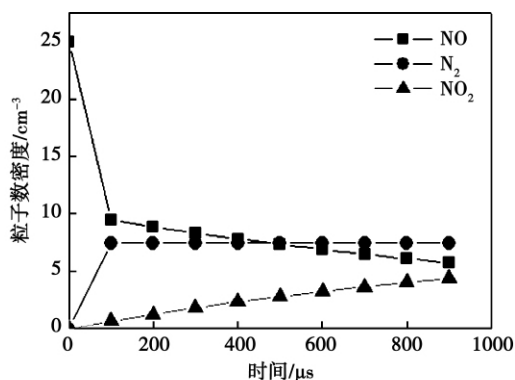


图1 NO、 N_2 和 NO_2 粒子数密度随时间的变化

Fig. 1 Change of the concentration of NO, N_2 and NO_2 with time

在微波功率为 40 W、NO 初始体积浓度为 0.2%、 O_2 初始体积浓度为 2% 时(对应的初始粒子数密度如表 2 所示)计算出的 NO、 N_2 和 NO_2 粒子数密度随时间的变化曲线,如图 1 所示。微波放电 $\text{He} + \text{NO} + \text{O}_2$ 系统是一个快速反应,随着反应时间的增加,各反应物和产物的分子数密度很快达到稳定,反应完全稳定后 NO 转化计算结果与相同条件下文献 [2] 的实验结果对比如表 3 所示。NO 转化率的计算式为:

$$\eta_{\text{NO}} = \frac{[\text{NO}]_{\text{in}} - [\text{NO}]_{\text{out}}}{[\text{NO}]_{\text{in}}} \times 100\%$$

NO 转化为 N_2 的转化率(N_2 选择性)计算式为:

$$\eta_{\text{N}_2} = \frac{2[\text{N}_2]}{[\text{NO}]_{\text{in}}} \times 100\%$$

NO 转化为 NO_2 的转化率(NO_2 选择性)计算式为:

$$\eta_{\text{NO}_2} = \frac{[\text{NO}_2]}{[\text{NO}]_{\text{in}}} \times 100\%$$

相对误差计算式为:

$$E = \frac{\text{实验结果} - \text{计算结果}}{\text{实验结果}} \times 100\%$$

从表 3 中数据可以看出,微波放电 $\text{He} + \text{NO} + \text{O}_2$ 系统的模拟计算结果与实验结果非常接近,说明模拟过程是比较准确的,模拟结果可以有效地反映 NO 的实际转化结果。

表 3 计算结果与实验结果比较

Tab. 3 Comparison of calculation results with the test ones

	η_{NO}	η_{N_2}	η_{NO_2}
实验结果	77.23	59.61	17.62
计算结果	77.20	59.60	17.595
相对误差 $E/\%$	0.04	0.02	0.14

2.2 微波功率对 NO 转化的影响

提高微波功率会形成更多的 N 自由基和 O 自由基,微波功率的变化体现在微波作用下 NO 解离产生的活性粒子 N 自由基和 O 自由基初始数密度参数的变化上。微波功率越大,放电分解产生的 N 自由基和 O 自由基的初始数密度越大。图 2 给出了 NO 浓度为 0.2%、 O_2 浓度为 2% 的条件下,微波功率对 η_{NO} 、 η_{N_2} 和 η_{NO_2} 的影响。可以看出,各转化率曲线相对比较平缓,说明微波功率对 η_{NO} 影响不大,微波功率的增加使 η_{N_2} 有一定的上升,而 η_{NO_2} 有微弱的减小,故 η_{NO} 略有增加,基本上变化不大,总体上符合文献 [2] 实验结果的相应结论。

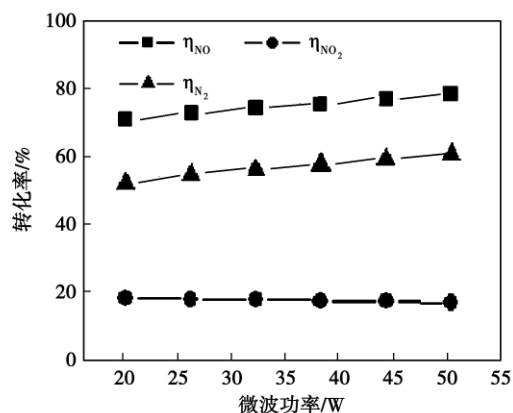


图2 微波功率对 NO 转化的影响

Fig. 2 Effect of the power input of the microwave on the N_2 and NO_2 selectivity

2.3 NO 初始浓度对 NO 转化的影响

为了揭示微波放电转化 NO 的反应机理,在不同的 NO 初始浓度条件下,进行 NO 转化及反应产

物分析。图 3 为在 40 W 微波功率、2% O_2 条件下, NO 转化率和 N_2 选择性、 NO_2 选择性随 NO 初始浓度的变化曲线。

由图 3 可以看出, NO 的浓度从 0.06% 变化到 0.25% 的过程中, η_{NO} 从 82.86% 下降到 75.53%, η_{N_2} 从 41.74% 上升到 63.76%, η_{NO_2} 从 40.37% 下降到 11.77%, 这说明在其它条件(微波功率、 O_2 浓度等)不变的情况下, NO 初始浓度的增加降低了体系的 NO 转化率, 这是因为微波功率不变, 系统中产生的与 NO 反应的活性粒子数不变, 活性粒子的相对浓度减少, 使 NO 的转化率降低。但由图 3 也可看出, 无论原始气体中的 NO 浓度为多少, N_2 选择性总大于 NO_2 选择性, N_2 仍是最主要的转化产物。

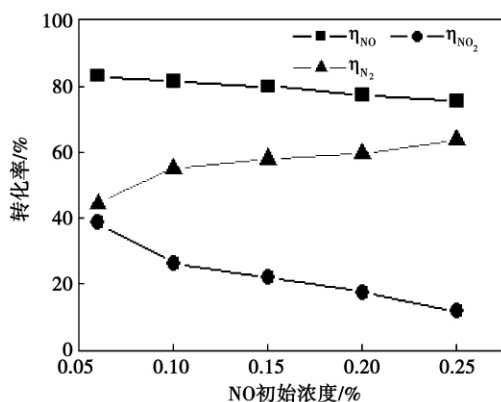


图 3 NO 初始浓度对 NO 转化的影响

Fig. 3 Effect of the initial NO concentration on the NO conversion rate and the N_2 and NO_2 selectivity

2.4 O_2 初始浓度对 NO 转化的影响

模拟计算中, O_2 浓度增加对应 O_2 初始浓度的体积分数增加及 O 自由基数密度的增加。在微波功率为 40 W、 NO 浓度为 0.2% 条件下, 调整模拟烟气中 O_2 初始浓度及 O 自由基粒子数密度, 转化率计算结果如图 4 所示。可以看到, 随着 O_2 浓度的增加, η_{NO} 缓慢上升, η_{N_2} 略有下降, η_{NO_2} 明显上升, 这说明 O_2 的加入使产物中 NO_2 的量增加, O_2 浓度越高, 对 NO 氧化作用越强, 但只要 O_2 的初始浓度小于 10%, η_{N_2} 恒大于 η_{NO_2} , 还原作用具有较大的优势, 转化产物主要为 N_2 , 与相应实验结果基本一致。由图 4 还可看出, 当 O_2 的初始浓度等于 10% 时, N_2 和 NO_2 有相同的选择性, 还原作用失去优势。因此要使转化过程中主要产物为环境友好的 N_2 , 系统中 O_2 的初始浓度应小于 10%。

2.5 N 自由基和 O 自由基在微波放电转化 NO 过程中的作用分析

研究某一粒子对微波放电转化 NO 过程的作用, 可采用屏蔽该粒子的方法, 即在整个反应过程中, 允许该粒子生成, 但不让其参与反应, 这可在数值模拟计算中通过控制实现。在微波功率为 40 W, NO 浓度为 0.2%, O_2 浓度为 2% 时, 分别屏蔽 N 自由基和 O 自由基, 对 η_{NO} 、 η_{N_2} 和 η_{NO_2} 进行模拟计算, 并将其计算结果与不屏蔽时进行比较, 如表 4 所示。由表 4 可知, O 自由基和 N 自由基的屏蔽与否对 η_{NO} 、 η_{N_2} 和 η_{NO_2} 有不同程度的影响。屏蔽 O 自由基对脱除 NO 有一定的阻碍作用, 但脱除的 NO 几乎完全转化为 N_2 。屏蔽 N 自由基对脱除 NO 也有阻碍作用, 此时是通过氧化反应使 NO 转化为高价氧化物 NO_2 , N_2 的选择性几乎为零。由此可见, N_2 的生成主要依赖于与 N 自由基相关的反应。因此有 N 无 O 有利于 NO 向 N_2 的转化, 这与文献 [6] 的报道一致。

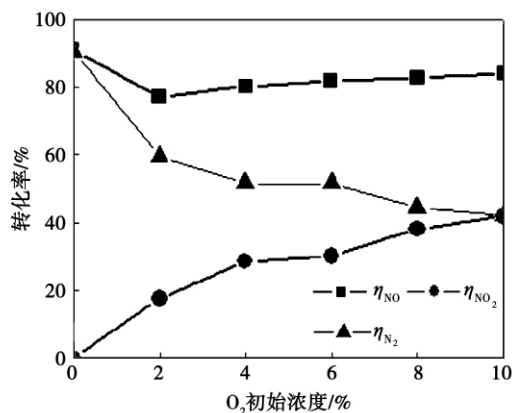


图 4 O_2 初始浓度对 NO 转化的影响

Fig. 4 Effect of the initial O_2 concentration on the NO conversion rate and the N_2 and NO_2 selectivity

表 4 分别屏蔽 N 自由基和 O 自由基后转化率与不屏蔽时转化率的比较

Tab. 4 Comparison of the conversion rate after the N and O free radical are shielded respectively with that when they are not shielded

	η_{NO}	η_{N_2}	η_{NO_2}
不屏蔽	77.20	59.60	17.60
屏蔽 N 自由基	54.44	0	24.42
屏蔽 O 自由基	60.00	60.00	0

3 结 论

根据微波放电转化 NO 的化学反应方程,建立了 He + NO + O₂ 系统微波放电转化 NO 的动力学模型,分析了影响 NO 转化率和 N₂、NO₂ 选择性的因素及规律。

(1) NO 初始浓度的增加降低了体系的 NO 转化率,但无论原始气体中的 NO 含量为多少,N₂ 仍是最主要的产物;

(2) 微波功率对 NO 转化率影响不大,随着微波功率的增加,NO 转化率略有增加,同时 N₂ 的选择性呈上升趋势,而 NO₂ 的选择性下降;

(3) 随着 O₂ 初始浓度提高,生成的 NO₂ 量值增加,NO₂ 的选择性提高,对 NO 氧化脱除有利;

(4) O 自由基和 N 自由基的屏蔽与否对 NO 转化有不同程度的影响。屏蔽 O 自由基和 N 自由基均降低了 NO 的转化率,有 O 无 N 使 NO 主要转化为 NO₂,有 N 无 O 有利于 NO 向 N₂ 的转化。

参考文献:

- [1] JONES D A, LELYVELD T P, MAVROFIDIS S D, et al. Microwave heating application in environmental engineering-areview [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2002, 34(2): 75-90.
- [2] 唐军旺, 杨黄河, 任丽丽, 等. 微波放电脱除 NO [J]. 高等学校化学学报, 2002, 23(4): 632-635.
TANG Jun-wang, YANG Huang-he, REN Li-li, et al. Microwave-discharge-based NO removal [J]. Journal of Chemistry of the Higher School, 2002, 23(4): 632-635.
- [3] 陈伟华, 任先文, 王保健, 等. 脉冲放电等离子体烟气脱硫脱硝工业试验研究 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(9): 21-26.
CHEN Wei-hua, REN Xian-wen, WANG Bao-jian, et al. Industrial experimental study of the desulfurization and denitration of flue gases by using the pulse discharge plasma [J]. Environment pollution processing technologies and equipment, 2006, 7(9): 21-26.
- [4] 黄辉, 姜学东, 邱瑞昌, 等. 新型流光放电等离子体烟气脱硫脱硝一体化技术 [J]. 北京交通大学学报, 2005, 29(2): 31-34.
HUANG Hui, JIANG Xue-dong, QIU Rui-cang, et al. New type flue gas desulfurization and denitration integration technology by using streamer discharge plasma [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2005, 29(2): 31-34.
- [5] 马双忱, 赵毅, 马宵颖, 等. 微波诱导催化还原脱硫脱硝实验研究 [J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(18): 121-125.
MA Shuang-chen, ZHAO Yi, MA Xiao-ying, et al. Experimental study of microwave-induced catalytic reduction desulfurization and denitration [J]. Journal of China Electric Machinery Engineering, 2006, 26(18): 121-125.
- [6] LOWKE J J, MORROW R. Theoretical analysis of removal of oxides of sulphur and nitrogen in pulsed operation of electrostatic precipitators [J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 1995, 23(4): 661-671.
- [7] ORLANDINI I, RIEDEL U. Chemical kinetics of NO removal by pulsed coronadischage [J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 2000, 33: 2467-2474.
- [8] TOKUNAGA O, SUZUKI N. Radiation chemical reactions in NO_x and SO₂ removals from flue gas [J]. Radiation Physics and Chemistry, 1984, 24(1): 145-165.
- [9] 宫野, 张建红, 王晓东, 等. 应用特雷纳法和吉尔法求解脱硫脱硝中化学反应动力学方程 [J]. 计算物理, 2006, 23(1): 103-108.
GONG Ye, ZHANG Jian-hong, WANG Xiao-dong, et al. Solutions to a desulfurization and denitration chemical reaction dynamic equation sought by using the Treaner and Gear method [J]. Computational Physics, 2006, 23(1): 103-108.
- [10] GEAR C W. 常微分方程初值问题的解法 [M]. 北京: 科学出版社, 1978.
GEAR C W. Solutions to the initial value problems of the ordinary differential equation [M]. Beijing: Science Press, 1978.

(丛敏编辑)

• 书 讯 •

《工程流体力学》

本书介绍了流体力学的基本原理及其在工程实际中的应用。全书共分 10 章, 主要内容有: 流体的主要物理性质及作用力; 流体静力学基本理论及应用; 流体动力学基本理论及应用; 相似原理和量纲分析; 管流损失(包括层流、紊流)与水力计算; 孔口与管嘴出流; 缝隙流、明渠流、堰流和渗流。本书各章均有一定数量的例题和习题, 便于读者复习和自学。赵存友主编。

定价: 29.80, 出版时间: 2011

In the light of such problems of the dual inlet and outlet ball-mill-based direct-fired milling system of a 315 MW “W” type flame boiler burning low quality coal as insufficient power output and poor adaptability to various coal ranks and burdens, presented was a version to modify the original direct-fired milling system to a “cabin-direct-fired” milling system, which required to develop a high performance pulverized coal injection type coarse powder separator. For this purpose, the researchers designed two typical pulverized coal injection type coarse powder separators and three types of inner flow guide device and conducted a numerical and physical simulation study. The research results show that the pulverized coal injection type coarse powder separator thus designed can meet the technical requirements for a “cabin-direct-fired” milling system. The flow resistance inside the heightened injection type separator is not quite susceptible to any change of the structural dimensions of the inner flow guide device and the variation range of the resistance is only around 20 Pa while the prototype of the injection type coarse powder separator is susceptible to any change of the structural dimensions of the inner flow guide device and the variation range of the resistance is as high as 183 Pa. The biggest difference of the inner flow resistance between the prototype and the heightened injection type coarse powder separator is 163 Pa. **Key words:** milling system, flow guide device, coarse powder separator, numerical simulation, physical simulation

混烧石油焦油页岩循环流化床灰渣特性的试验研究 = **Experimental Study of the Ash and Slag Characteristics of a Circulating Fluidized Bed Burning a Mixture of Oil Coke and Shale** [刊, 汉] DENG Yu-sheng (Maoming Petrochemical Corporation Power Plant, Maoming, China, Post Code: 525021) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(6). - 716 ~ 720

On a 1 MW circulating fluidized bed combustion test rig, a fuel mixture of oil coke and shale in five mixing and dilution proportions was tried and burned with the characteristics of ash and slag produced during the combustion being analyzed and studied. The analytic results show that the particle diameter of the bottom slag and flying ash formed by burning the fuel mixture of oil coke and shale tends to be excessively fine compared with that of the conventional coal ranks. Furthermore, with an increase of the oil shale proportion in the fuel mixture, the ash and slag share, combustion efficiency, specific electric resistance value and wear and tear characteristics of the flying ash will be significantly affected. When the calcium/sulfur ratio equals to 0 and 2.4 respectively, with the oil shale mixing and dilution proportion increasing from 2:8 to 6:4, the flying ash share markedly increases and the ash and slag discharge quantity also increases simultaneously. The combustion efficiencies obtained from the tests gradually decline. When the calcium/sulfur ratio equals to 2.4, with an increase of the oil shale mixing and dilution proportion from 3:7 to 5:5, the specific electric resistance value of the flying ash will increase from $1.15 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ to $1.40 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$. The flying ash wear and tear characteristics index Hc will grow from 10.27% to 21.34%. The test results can offer certain reference for trial combustion of the fuel mixture in a real boiler and also for design and operation of a CFB boiler burning similar fuels. **Key words:** circulating fluidized bed, blended combustion, oil coke and oil shale, ash and slag characteristics

气体微波放电转化 NO 的模拟实验研究 = **Simulation and Experimental Study of NO Conversion By Means**

of a Gas Microwave Discharge [刊, 汉] ZHAO Yi, CAO Chun - mei (College of Environment Science and Engineering, North China University of Electric Power, Baoding, China, Post Code: 071003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(6) . - 721 ~ 725

Numerically simulated was a NO removal process in a flue gas simulation system by utilizing a microwave discharge and analyzed were the factors influencing and law governing the NO conversion rate and selectivity of N_2 and NO_2 . The research results show that in a $He + NO + O_2$ system, at a microwave power of 40 W, the total NO conversion rate can reach 77%, among which 59% of NO can be converted to N_2 and 18% of NO converted to NO_2 . The microwave power, initial NO and O_2 concentration etc. all have a certain influence on the NO conversion rate and its selectivity N_2 and NO_2 . The microwave power has no big influence on the NO conversion rate. However, to increase the microwave power is favorable to the conversion of NO to N_2 and enhances the selectivity of N_2 . To increase the initial NO concentration can lower the NO conversion rate of the system and the addition of O_2 can increase the amount of NO_2 in the products. Furthermore, the conversion rate of NO to N_2 is always greater than that to NO_2 . To shield O and N free radical can both lower the conversion rate of NO. The presence of O but absence of N will make NO mainly converted to NO_2 and the presence of N but absence of O will contribute to the conversion of NO to N_2 .

Key words: microwave discharge, flue gas denitration, N_2 and NO_2 selection, chemical reaction dynamics, simulation test

600 MW 墙式燃烧锅炉氮氧化物排放浓度与主要运行因素的多元线性回归研究 = **Study of a Multivariable Linear Regression of the NO_x Emissions Concentration and Main Operating Factors of a 600 MW Wall-type Boiler** [刊, 汉] SHEN Yue-yun (Jiangsu Economic and Trade College, Nanjing, China, Post Code: 211168) , GAO Xiao-tao (Jiangsu Provincial Electric Power Test Research Institute Co. Ltd. , Nanjing, China, Post Code: 211103) , MENG Shuo (Harbin Boiler and Pressure Vessel Inspection Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150078) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(6) . - 726 ~ 731

With a 600 MW supercritical boiler unit serving as an object of study, of which the burners are arranged on the front and rear wall, by adopting an on-site combustion adjustment test method and in the light of the operation features and concrete conditions of the combustion system of the boiler, experimentally studied was the influence of various factors on the NO_x emissions characteristics of the boiler. They include: oxygen quantity, combustion structural parameters (including primary air speed, central air quantity, secondary and tertiary air quantity and secondary air swirling intensity etc.) , mill operation combination mode, overfired air quantity, coal quality change etc. The test results show that the operation air quantity, mill operation combination mode, overfired air quantity and coal quality change of the boiler constitute the main factors influencing its NO_x emissions concentration and such an influencing extent can attain as high as 14% ~ 18% while the change of the structural parameters of the burners have a relatively small influence. Through controlling the main influencing factors, the NO_x emissions concentration of the boiler can be markedly lowered. On this basis, by utilizing a multivariable regression method, an empirical regression formula governing the NO_x emissions concentration and main operation factors of the boiler was estab-