

高温下煤焦表面含氧官能团对 NO-煤焦还原反应的影响

肖 萌, 王 俊 超, 李 宇, 范 卫 东

(上海交通大学 机械与动力工程学院, 上海 200240)

摘 要: 在固定床反应器上考察了高温下不同氧浓度气氛下 NO-煤焦还原反应的还原效果, 并采用 XPS 分析了不同氧浓度预处理后的煤焦表面的含氧官能团。研究表明, 高温下氧气对于 NO-煤焦还原反应依然有显著的促进作用, 也同样存在临界氧浓度(0.25%)的现象, 比低温下临界氧浓度(1%)有所提前。由 XPS 分析结果发现, 高温下氧气对煤焦表面的影响是产生促进 NO 还原的表面含氧官能团(C(O))。适量的氧气浓度能形成饱和的 C(O) 活性位, 使得还原效果达到最佳。随着温度的升高, C(O) 的总量略有减少。有可能是温度过高致使煤焦表面的 C(O) 极易达到饱和, 多余的氧气以 O 的形式排出。

关 键 词: 表面官能团; XPS; 煤焦; 氧气

中图分类号: TK224; TP206 文献标识码: A

引 言

降低 NO 的排放的方式有许多, 例如改造尾部烟气排放装置, 增加尾部烟气净化设施, 改变炉内燃烧方式来抑制 NO 的生成等等。一般认为炉内燃烧过程的改进对于 NO 减排更加经济。在实际的煤粉燃烧过程中, 再燃区温度一般在 1 000 °C 以上, 燃料的停留时间一般在 0.4 ~ 1.5 s, 而对于粒径为 50 μm 左右的煤粉而言, 其挥发份析出时间约为 10 ms。因此, 煤粉热解后生成的煤焦有相对较长的时间与烟气中的 NO 进行异相反应^[1]。

NO 被焦炭还原的反应被认为在减少 NO 排放中极为重要, 在氧气存在下的 NO 与焦炭的反应更有意义^[2]。已有的研究表明, 低温下(1 000 °C 以下) 氧气氛对 NO 的还原有促进作用。氧气对于 NO 还原反应的促进作用与氧气氛下煤焦表面生成的活性位有关, 即煤焦表面的含氧官能团 C(O), C(O) 越多, 还原反应程度越深, 从而 NO 的还原量也大幅增加^[2-3]。Aarna. I 认为当温度超过 880 °C 时^[4], NO 的还原与氧气的作用关系不大。Himan-

shu 的实验证明了温度 700 °C 时, NO 已经完全被还原, 出口 NO 值接近零^[5]。高温下(1 000 °C 及以上) 氧气对 NO 的还原机理研究几乎被否定, 但确没有高温下的实验依据证实。

本研究进行了高温下 NO-煤焦在不同氧浓度下的实验, 为了得到高温下不同氧气浓度对 NO-煤焦反应中煤焦表面活性位的信息, 采用了预氧化的实验方法, 即将通入一定浓度氧气的预处理过的煤焦样品直接进行 XPS 分析得到表面含氧官能团 C(O) 的信息, 从而了解不同氧浓度下表面活性位生成的数量差异。因此, 研究煤焦预氧化后表面物质的特性对 NO-煤焦反应的还原机理提供重要的信息。

1 实验部分

1.1 实验装置及样品信息

实验在管式炉固定床反应器上进行, 如图 1 所示。

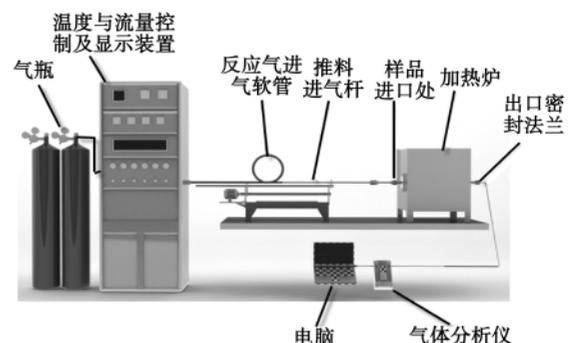


图 1 实验系统图

Fig. 1 Diagram of the test system

选用神华煤为实验用煤, 将原煤磨细, 煤粉粒径分别磨制成为 30、50 和 90 μm(窄分布, 即平均粒

收稿日期: 2011-04-18; 修订日期: 2011-05-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50876061)

作者简介: 肖 萌(1988-), 女, 江西鄱阳人, 上海交通大学硕士研究生。

径) ,分别标记为 SH30、SH50、SH90。制备煤焦前先将原煤粉在 120 °C 干燥 24 h ,取出干燥后的煤粉放在封闭的在管式炉中制焦管中 ,1 000 °C 下通入 He 气保持一小时 ,自然冷却后制得煤焦。该煤焦的工业分析和元素分析如表 1 所示。

表 1 神华煤的工业分析和元素分析
Tab. 1 Industrial and elementary analysis of
Shenhua-originated coal

煤种	工业分析 /%				元素分析 /%					LCV /MJ·kg ⁻¹
	M	A	V	FC	C	H	O	N	S	
神华	11.50	10.70	24.22	53.58	63.13	3.62	9.94	0.70	0.41	24.13

1.2 NO 与煤焦的反应

NO-煤焦的反应在管式炉固定床反应器上进行 ,反应管内径是 20 mm ,长度为 600 mm。在正式实验时 ,为了使煤焦样品与反应气体充分接触 ,且保持反应时样品内部温度场均匀 ,同时避免热量堆积 ,一定粒度和质量的煤焦样品通常要掺入一定比例反应惰性添加剂 ,本实验中 0.008 g 的煤焦样品添加 2 g 的 α-Al₂O₃ 掺混 ,均匀研磨后放入刚玉坩锅中 ,两端用耐高温纤维棉塞上 ,近似等效为煤焦弥散在空间。He - NO - O₂ 混合气的流量为 1 000 mL/min ,进口 NO 浓度为 570 mL/m³ ,氧气浓度分别为 0.05%、0.25%、0.35%、0.5%、0.75% 和 1%。

1.3 煤焦的表面官能团分析

为了得到 NO 与煤焦还原过程中氧浓度对煤焦表面官能团的详细信息 ,考虑到在反应过程中直接取样分析煤焦的表面结构不能实现 ,故本实验模拟 NO-煤焦反应条件 ,1 300 °C 下仅通入 He-O₂ 混合气体进行煤焦表面的预氧化 ,预氧化时间也与 NO-煤焦反应的时间一致 ,结束后取样进行 XPS 分析。由于煤焦经预处理后最终要完整取出后送出分析 ,煤焦无需稀释 ,即将装有纯煤焦的小坩锅送入管式炉固定床反应器 ,He-O₂ 混合气以 1 000 mL/min 的流速通过反应器保持 25 min 后将坩锅取出 ,并将 O₂ 预处理过的煤焦装入密封的容器中。其中 O₂ 的入口浓度分别调试为 0.25%、0.5% 和 1% ,从而制得 3 种预处理煤焦样品。将这 3 种样品进行 XPS 分析其表面含氧官能团存在与否 ,以及含氧官能团种类 ,含量百分比。

1.4 煤焦颗粒的 XPS 分析

煤焦颗粒经不同氧浓度预氧化后 ,样品通过 X 射线光电子能谱仪(XPS) 得到表面含氧官能团分布信息。XPS 测试在美国物理电子公司的 PHI 5700

ESCA System 上进行。其 X-光源为 Al Kα 线 (1 486.6 eV) ,通过能量 187.85 eV 和 29.35 eV 分别用于宽程扫描和窄扫描 ,辐照样品激发光电子。实验得到的元素电子结合能以 C1s(284.6 eV) 进行校正。XPS 谱图中横坐标表示电子结合能(Binding Energy) ,纵坐标为强度(Intensity)。

2 结果与讨论

2.1 氧气浓度对 NO-煤焦还原反应的影响

低温下(1 000 °C 以下) 在 NO-煤焦还原反应中加入氧气 ,可以显著促进 NO 的还原。氧浓度不宜过高或过低 ,通常有个最佳值 ,低于最佳氧浓度时 ,煤焦表面的活性位并未达到饱和 ,NO 还原效果比较差。而氧气过量时 ,煤焦-氧气的氧化反应速率迅速增加且大于 NO-煤焦还原反应速率 ,前者是后者的两个数量级以上^[6] ,煤焦也会被迅速消耗 ,煤焦表面留给促进 NO 还原的活性位数量也相继减少 ,从而导致 NO 还原效率降低。Himanshu 的实验证明了这个现象 ,在低温下(670 °C) ,氧气浓度为 1% 时煤焦颗粒与 NO 还原效果最佳。

实验在 1 300 °C 的固定床管式炉中进行 ,低温下反应的最佳氧浓度现象同样也类似的出现在了高温反应条件中 ,但是最佳氧浓度却有所不同 ,如图 2 所示。对出口 NO 浓度-时间曲线下的在整个反应时间内的面积进行积分可得未反应 NO 量 ,进口 NO 浓度减去未反应 NO 量即得到 NO 还原量。将样品中每毫克碳所能还原的 NO 质量定义为 H 值来考查样品的还原能力 ,如图 3 所示。

由图 2 知 ,在实验的这几组氧浓度中 ,大多数的氧浓度是促进了 NO 的还原 ,增加了 NO 的还原量 ,说明了氧气氛在高温下依然对 NO-煤焦还原反应有重要影响。当氧气浓度较低时(小于 0.5%) ,NO 均出现了显著的还原。随着氧浓度的升高 ,还原效果减弱 ,当氧气浓度到达 1% 时 ,在实验初始阶段则出现了 NO 的显著上升 ,说明在该氧浓度下 ,能生成 NO 的反应已在整体反应中占据较大比例。从 NO 还原深度比较 ,不同粒径的临界点有略微差异 ,分别为 0.25% (SH30) 0.25% (SH50) 0.35% (SH90)。

图 3 考察的是样品对 NO 的还原量 ,在 0 到 0.5% 的氧浓度区间内 ,煤焦都具有较高的 NO 还原量。而在 0.5% 到 1% 的氧浓度区间内 ,NO 还原量很低 ,几乎接近于零 ,说明氧浓度高于 0.5% 的 NO 还原几乎停滞。图 3 的曲线峰值均出现在低氧浓

度,分别为 0.25% (SH30)、0.15% (SH50)、0.35% (SH90)。结合图 2 得到的还原深度临界点,可知 SH 样品的都存在临界氧浓度,且都低于 0.5%,这一数据与 Himanshu 在低温下得到的临界氧浓度(1%)有些差异。临界氧浓度的整体前移说明温度超过 1 000 ℃后,反应速率加剧,反应时间提前,在较低氧浓度下 NO 的还原效率即可达到最高。同时也验证了高温下临界氧浓度的现象依然存在,给予了高温下氧浓度对 NO-煤焦反应依然存在影响的数据支持。

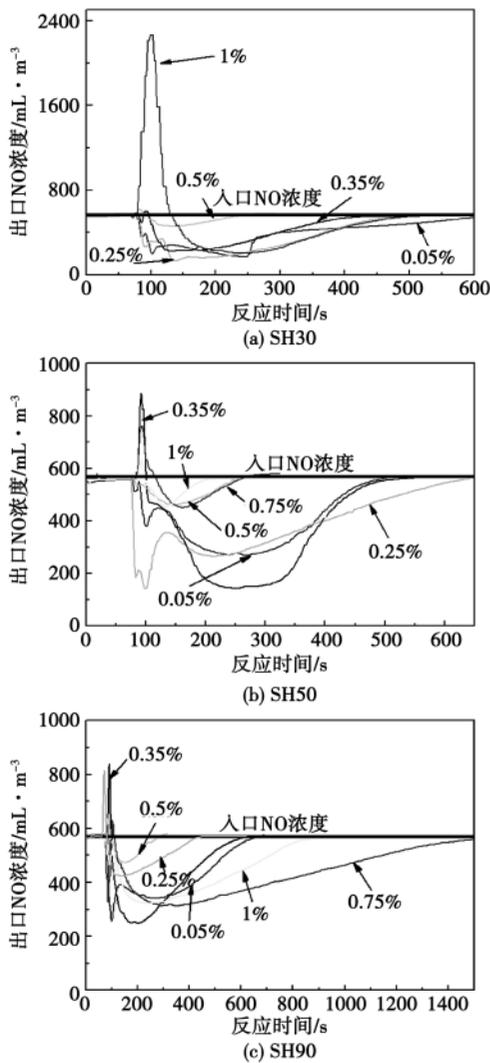


图 2 1 300 ℃时氧气浓度对出口 NO 浓度的影响
Fig. 2 Effect of the O₂ concentration on the outlet NO concentration at 1300 ℃

2.2 NO-煤焦还原反应的表面含氧官能团分析

2.2.1 预氧化浓度对煤焦表面官能团的影响

由 1 300 ℃下 NO-煤焦的还原实验知,SH50 的还原深度和还原总量均较大,NO 的还原率也总体

最高,故能更显著的反应了氧浓度的影响。因此我们选用 SH50 进行 NO 还原反应中煤焦表面含氧官能团的研究。

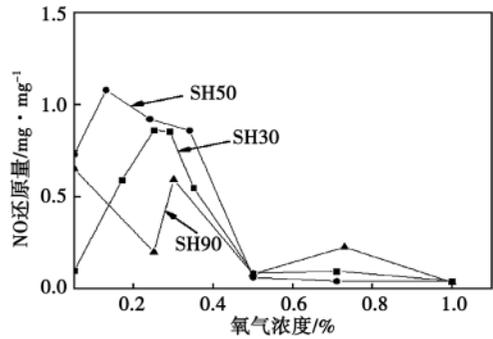


图 3 1 300 ℃时氧气浓度对 SH 样品 H 值的影响

Fig. 3 Effect of the oxygen concentration on the H value of Shenhua-originated coal sample at 1 300 ℃

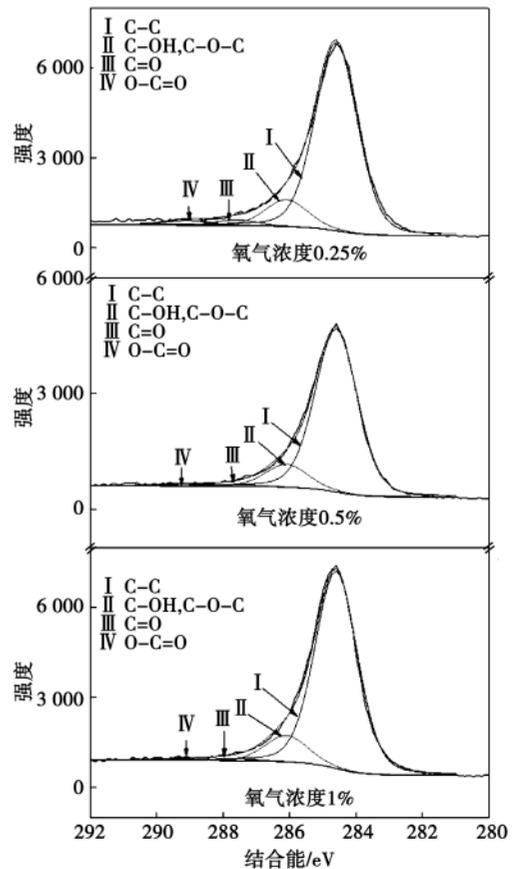


图 4 SH50 在 1 300 ℃经过不同氧浓度预氧化后 XPS 碳谱分析图

Fig. 4 Chart for analyzing the XPS carbon spectrum of SH50 having been pre-oxidated at various O₂ concentrations at 1 300 ℃

1 300 ℃ 下 SH50 煤焦分别进行预氧化, 预氧化的氧气浓度为 0.25%、0.5%、1%, 分别记为样品 1、样品 2、样品 3。由 XPS 分析这 3 个样品的结果如图 4 所示, 该图为样品 XPS 精细扫描后 C 的 1s 能级 (Cl_s) 分峰的结果, 分峰时的半峰宽和结合能位置保持固定, 以保证不同样品的分峰结果具有可比性。由图 4 知不同氧浓度下 C 原子的存在状态基本相同, 分别为羟基、羰基、羧基, 其结合能依次为 286.1、287.6 和 289.1 eV。但是各基团在不同预氧化氧浓度下的数量有所不同。其中含量最多的为羟基, 而羰基和羧基分别占有很小的比例。原因有可能是 1300 ℃ 属于高温热处理, 羧基和羰基部分 O 以一定形式被排除, 部分转变为羟基^[7]。

煤焦的吸附性能由其物理性质(表面面积和孔结构) 和化学性质(表面化学性质) 共同决定。而煤焦的表面化学性质很大程度上由表面官能团的类别和数量决定, 煤焦表面最常见的官能团是含氧官能团^[8]。在高温下煤焦还原 NO 的研究中, 表面官能团的影响极为重要, 含氧官能团的多少决定着煤焦表面活性位的多少, 从而决定了 NO 的还原速度及程度。对比分析 3 个样品的含氧官能团含量如表 2 所示, 样品 1 总的表面含氧官能团最多, 百分比为 16.69%; 而样品 2 表面官能团次之, 为 13.94%; 样品 3 的表面官能团含量最少, 为 13.13%, 与样品 2 相差不大。

表 2 不同温度下煤焦预氧化后表面含氧官能团的百分含量

Tab.2 Percentage content of the surface oxygen-contained functional group after the coal coke has been pre-oxidated at various temperatures

	温度 1 300 ℃			温度 1 000 ℃		
	氧浓度			氧浓度		
	0.25%	0.50%	1%	0.25%	0.50%	1%
类石墨(C-C)	83.31	86.06	86.87	77.23	78.79	79.02
羟基(C-O-C)	11.90	12.01	11.62	15.08	14.51	14.17
羰基(C=O)	2.51	0.97	0.89	4.23	3.79	4.35
羧基(O-C=O)	2.28	0.96	0.62	3.46	2.91	2.46
含氧官能团总和	16.69	13.94	13.13	22.77	21.21	20.98

由上述结果知, 当预氧化浓度较低时, 含氧官能团含量更多, 尤其是在浓度为 0.25% 时, 而当氧气浓度大到一定程度, 含氧官能团的变化将不再明显。这说明氧气对 C(O) 基团的生成作用是在一定范围内随其浓度增大而增加, 但是超过这一范围, 其促进

作用随浓度增加反而下降。C(O) 基团作为还原 NO 的活性位参与 NO 的还原, 当氧浓度在 0.25% 左右时, C(O) 能很好的生成并形成较多的活性位, 我们把这个浓度称为临界氧浓度, 当氧浓度超过临界氧浓度时, 即氧浓度增加到 0.5%, 甚至 1% 时, 氧气的氧化作用会占主导, 文献[9]指出一旦具备氧化反应条件时, 氧气与煤焦反应的速度远远大于 NO 与煤焦的反应, 虽然氧气的存在可以提供大量的 C(O) 活性位与 NO 发生还原反应, 但是一旦饱和, 多余的氧气将与 NO 竞争这些活性位。因此, 当氧浓度超过一定值时, 氧气会直接与煤焦发生反应, 使煤焦的量迅速消耗, 从而减小了煤焦的外表面积, 使得 C(O) 基团得以吸附的煤焦表面缩小, 则 C(O) 在煤焦表面的含量也减少。

2.2.2 温度对表面含氧官能团的影响

为了进一步验证高温下 NO-还原反应中含氧官能团的存在性及发挥的主要作用, 并对比不同温度下氧气浓度对表面物质的影响, 在同样的实验条件下进行了 1 000 ℃ 的煤焦预氧化处理, 并对预氧化后的煤焦进行 XPS 分析, 结果如图 5 所示。

由图 5 知, 预氧化温度为 1 000 ℃ 时煤焦表面依然存在 3 种含氧官能团, 分别是羟基、羰基和羧基。与图 4 存在明显差异的是这 3 种含氧官能团的含量百分比有所增大, 尤其是羰基和羧基, 1 300 ℃ 时几乎不占有分量, 而在 1 000 ℃ 下有明显的波峰, 也占有了一定的面积(含量百分比)。表 2 进行了 1 000 ℃ 和 1 300 ℃ 的官能团含量百分比的对比分析。

温度越高, 在含有少量氧气气氛下进行热处理, O 更容易以 CO、CO₂、H₂O 的形式被消除, 表面氧浓度也会有所降低, 则煤焦表面的含氧官能团则以一定的形态被排除。从而形成的反应活性位减少, 煤焦有发达的微孔结构, 如果 O 被一定形式的氧化物从煤焦表面去除, 则氧原子吸附于煤焦表面的几率会有所降低。而 C(O) 基团被认为是 NO 还原机理的重要因素, C(O) 基团作为还原 NO 的活性位参与了 NO 的还原, 并且随着反应的进行, 氧气对煤焦的氧化会使得煤焦的比表面积增大, NO 的还原转化率不断提高。由 1 000 ℃ 与 1 300 ℃ 的对比实验知, 高温下温度对煤焦表面官能团的种类及形成作用影响不明显, 但是随着温度的升高, 表面官能团的含量会有所减少, 尤其是结合能较高的羰基和羧基变化尤为明显。

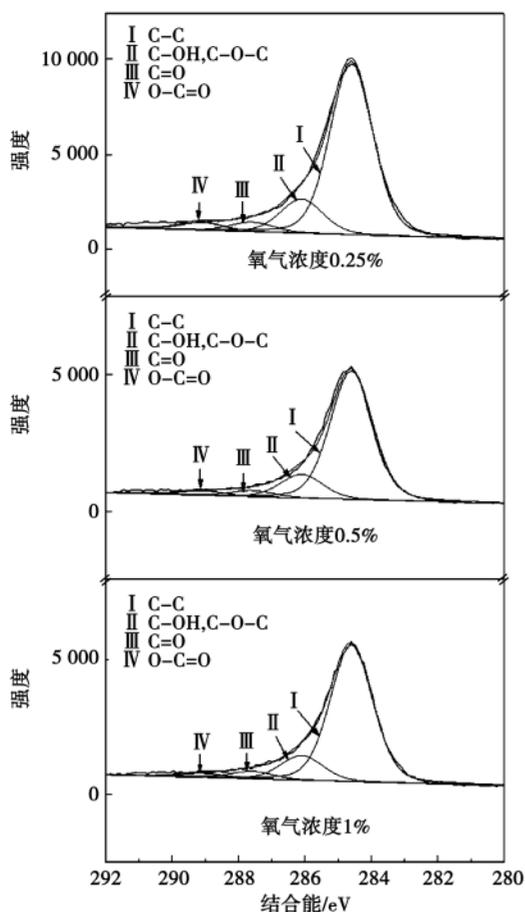


图5 SH50在1000℃经过不同氧浓度预氧化后XPS碳谱分析图

Fig. 5 Chart for analyzing the XPS carbon spectrum of SH50 having been pre-oxidated at various O_2 concentrations at 1000 °C

3 结 论

(1) 1300℃下,不同粒径的神化煤在氧气氛中还原NO有很好的效果,随着氧浓度的增加,还原率不断上升直到最大还原量,此时的氧浓度称之为临界氧浓度。超过临界氧浓度,NO的还原程度下降。此现象与低温下(670℃)类似,但是高温下的临界氧浓度(0.25%左右)比低温时临界氧浓度(1%)有所提前。

(2) 高温下,NO的还原反应中氧气的促进作用主要归结于煤焦表面活性位的多少。通过XPS分析煤焦表面的含氧官能团知,超过1000℃的预处理温度,含氧官能团依然存在,羟基含量最多,羧基次之,羧基最少。不同预处理氧浓度的含氧官能

团含量有所差异,与NO-煤焦还原效果相对应,临界氧浓度下预处理的煤焦样品表面含氧官能团最多,随着氧浓度增大,官能团的含量降低。

(3) 已有的研究证明了低温下氧气氛的促进作用是由于生成了更多的C(O)来提供还原NO的活性位,本研究中高温下(1000℃,1300℃)都验证了这一现象。随着温度越来越高,氧气氛促使煤焦表面生成的含氧官能团逐渐减少,有可能是温度过高致使煤焦表面的C(O)极易达到饱和,多余的氧气以O的形式排出。

参考文献:

- [1] 卢平,徐生荣,祝秀明.煤粉再燃过程对煤焦异相还原NO的影响[J].动力工程,2008,28(1):122-127.
LU Ping, XU Sheng-rong, ZHU Xiu-ming. Influence of the pulverized coal reburning process on the different-phase NO reduction of coal coke [J]. Power Engineering, 2008, 28(1): 122-127.
- [2] Suzuki T, Kyotani T, Tomita A. Study on the carbon-nitric oxide reaction in the presence of oxygen [J]. Ind Eng Chem Res, 1994, 33: 2840-2845.
- [3] Yamashita H, Tomita A, Yamada H, et al. Influence of char surface chemistry on the reduction of nitric oxide with chars [J]. Energy Fuels, 1993, 7: 85-89.
- [4] Aarna I, Suuberg E M. A review of the kinetics of the nitric oxide-carbon reaction [J]. Fuel, 1997, 76: 475-491.
- [5] Himanshu Gupta, Liang-Shih Fan. Reduction of nitric oxide from flue gas by bituminous coal char in the presence of oxygen [J]. Ind Eng Chem Res, 2003, 42: 2536-2543.
- [6] Chan L K, Sarofim A F, Beer J M. Kinetics of the NO-carbon reaction at fluidized bed combustor conditions [J]. Combust Flame, 1983, 52(1): 37-45.
- [7] 庄新国,杨裕生,杨冬平等.表面官能团对活性炭性能的影响[J].电池,2003,33(4):199-202.
ZHUANG Xin-guo, YANG Yu-sheng, YANG Dong-ping, et al. Influence of the surface functional group on the performance of activated carbon [J]. Cell, 2003, 33(4): 199-202.
- [8] 孟冠华,李爱民,张全兴.活性炭的表面含氧官能团及其对吸附影响的研究进展[J].离子交换与吸附,2007,23(1):88-94.
MENG Guan-hua, LI Ai-min, ZHANG Quan-xing. Advances in the study of the functional group on the surface of activated carbon and its influence on adsorption [J]. Ion Exchange and Adsorption, 2007, 23(1): 88-94.
- [9] Stanmore B R, Brillhac J F, Gilot P. The oxidation of soot: a review of experiments, mechanisms and models [J]. Carbon, 2001, 39: 2247-2268.

(辉 编辑)

be shortened with an increase of the rotating speed ,inclination angle and diameter or a decrease of the filling-up degree. The higher the rotating speed ,the ash and slag are mixed better. The higher the filling-up degree ,the ash and slag are mixed worse. **Key words:** roller type slag cooler ,inclination angle ,filling-up degree ,rotating speed ,mean residence time

油页岩干馏废水流化床焚烧过程中 NO_x 和 SO_2 的排放特性 = **Emissions Characteristics of NO_x and SO_2 During the Incineration of Oil Shale Dry Distillation Waste-water in a Fluidized Bed** [刊,汉] MA Ji-liang , CHEN Xiao-ping , LIU Dao-yin(Thermal Energy Engineering Research Institute ,Southeast University ,Nanjing ,China ,Post Code: 210096) ,LI Xiao-jun(Daqing Oil Field Co. Ltd. Daqing ,China ,Post Code: 163453) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 27(2) . - 222 ~ 226

On a bubbling fluidized bed incineration test device with a thermal input power of 90 kW ,an oil shale dry distillation waste water incineration test was conducted and the influence of the bed temperature ,excess air factor ,primary/secondary air ratio and Ca/S ratio on the NO_x and SO_2 concentration in the flue gas discharged was also investigated. The research results show that due to a high ammonia and nitrogen content in the waste water ,the NO_x emission concentration will displays a variation tendency to first fall and then rise with an increase of the bed temperature but not exhibit an widely accepted monotonous ascending variation law. The SO_2 emission concentration will exhibit an ascending variation tendency. With an increase of the excess air factor ,the NO_x emission concentration will display a variation tendency of first increase and then decrease while the SO_2 emission concentration will show a descending variation tendency. With an increase of the secondary air flow rate ,the NO_x emission concentration will assume a desending tendency while the SO_2 emission concentration will show an ascending variation tendency. With an increase of the Ca/S ratio ,the NO_x emission concentration will first increase and then decrease while the SO_2 emission concentration will gradually decrease. The NO_x emission concentration under various operating conditions during the test ranged from 104.2 mg/m^3 to 257.9 mg/m^3 while the SO_2 emission concentration ranged from 36.7 mg/m^3 to 179.8 mg/m^3 ,both of which meet the national emissions standard. **Key words:** oil shale dry distillation waste water ,bubbling fluidized bed ,incineration , NO_x , SO_2

高温下煤焦表面含氧官能团对 NO-煤焦还原反应的影响 = **Influence of the Oxygen-contained Functional Groups on the Surface of Coal Coke at a High Temperature on the NO-Coal Coke Reduction Reaction** [刊,汉] XIAO Meng ,WANG Jun-chao ,LI Yu ,FAN Wei-dong(College of Mechanical and Power Engineering ,Shanghai Jiaotong University ,Shanghai ,China ,Post Code: 200240) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012 27(2) . - 227 ~ 231

On a fixed bed reactor, the reduction effectiveness of NO-coal coke at a high temperature in different atmospheres at various oxygen concentrations was investigated and XPS (X-ray photoelectron spectroscopy) was used to analyze the oxygen-contained functional groups on the surface of coal coke after pre-treatment at various oxygen concentrations. The research results show that at a high temperature, oxygen still plays its remarkable role in promoting the NO-coal coke reduction reaction and there exists also a critical oxygen concentration (0.25%) phenomenon, which is somehow less than that (1%) at a low temperature. It can be found from the XPS analytic results that the effect of oxygen on the surface of coal coke is to produce surface oxygen-contained functional groups (C(O)) to promote the NO reduction. A proper oxygen concentration can help form saturated C(O) active sites, making the reduction effectiveness attain its optimum. With a rise in temperature, the total quantity of C(O) will decrease slightly, the possible cause of which is that an excessively high temperature makes the C(O) on the surface of coal coke very easy to attain its saturation and the redundant oxygen will be discharged in the form of O. **Key words:** surface functional group, XPS (X-ray photoelectron spectroscopy), coal coke, oxygen

基于改进型 GA 优化 FNNC 的 SG 水位控制系统仿真研究 = **Simulation Study of a Steam Generator (SG) Water Level Control System Based on Improved Genetic Algorithm and Optimized Fuzzy Neural Network Control** [刊, 汉] CHENG Qi-ming, HU Xiao-qing, WANG Ying-fei, XUE Yang (College of Electric Power and Automation Engineering, Shanghai College of Electric Power, Shanghai, China, Post Code: 200090) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012, 27(2). - 232 ~ 236

The water level in a steam generator will directly influence the safe and stable operation of a whole nuclear power plant. However, the highly complexity, nonlinearity and time variation etc. characteristics of the steam generator itself cause the traditional cascade PID (proportional, integral and differential) control and other methods difficult to achieve a good control effectiveness. On the basis of the cascade control, the authors adopted the fuzzy neural network to control the water level of a steam generator. Such a control algorithm can give full play of the merits of the fuzzy control and neural network. In addition, to diminish the influence of the controller performance on the initial value selection of the fuzzy neural network, an improved genetic algorithm was used for parameter optimization of the fuzzy neural network controller. The simulation results show that both interference-resistant capacity and robustness of the control method thus designed are improved greatly when compared with those of the traditional cascade PID control and conventional fuzzy neural network control. **Key words:** steam generator, water level control, fuzzy neural network, improved genetic algorithm, cascade PID control

乳化燃料油在船舶柴油机上的应用研究 = **Study of the Applications of Emulsified Fuel Oil in Marine Diesels** [刊, 汉] PANG Hong-lei, ZHENG Dao-cang, WU Guang-bin (Ningbo University, Ningbo, China, Post Code: