

氧气对层燃条件下烟气携带煤焦还原 NO 的影响

徐力 赵伟 王剑 刘奇

(哈尔滨工业大学 能源科学与工程学院 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:为探索一种实质有效的工业锅炉脱硝技术,通过在反应气氛中添加氧气,研究在程序升温实验法和恒温加热实验法中氧气对大粒径煤焦-NO反应的重要作用。程序升温实验方法是指在升温过程中全程通入反应气氛并记录煤焦-NO气相反应产物;恒温加热实验方法是指待反应区段温度稳定后通入反应气氛并记录煤焦-NO气相反应产物。结果表明:反应初期高氧浓度比低氧或无氧条件更能促进反应的进行;在较高氧浓度条件下改变实验温度对大粒径煤焦-NO反应的影响很小;经预氧化处理后,煤焦还原NO的能力有所提升。

关键词:煤焦; NO_x; 制焦条件; 氧气

中图分类号: TK227.1 文献标识码: A
DOI: 10.16146/j.cnki.rndlgc.2016.04.017

引言

目前我国工业锅炉数量众多,且总量呈逐年上升的态势^[1-3]。工业锅炉每年燃煤近6.5亿t,NO_x排放量超过250万t,已成为重要的氮氧化物排放源^[4]。经济有效地降低工业锅炉的NO_x排放,对于减轻大气污染具有重要意义。

层燃过程中,小于3mm的煤(焦)都可能被吹到炉膛,形成悬浮燃烧。工业试验发现,将此类具有较强活性的煤焦在工业锅炉尾部进行收集,并随着烟气携带喷射进入炉膛,可降低NO_x排放约11%~17%,并在一定程度上提高煤的燃尽率。本研究称为层燃烟气携带煤焦还原NO技术。

真实层燃过程中基本都伴随着氧气的参与(还原区除外)。层燃设备漏风也使得在整个换热过程中有部分空气渗入,氧气对煤焦-NO反应都起了至关重要的作用^[5-6]。Fan等在1000~1600℃利用管式固定床反应器研究了烟气浓度变化对烟煤煤焦还原NO的影响^[7]。结果表明存在一个临界O₂浓度,使焦炭最大限度地还原NO。张聚伟利用沉降

炉在1473K高温和0.9%~7.2%O₂浓度条件下进行研究^[8],发现O₂的存在会降低煤焦-NO的反应性,并且随着O₂浓度的增加降低的幅度也变大。赵宗彬等人在固定床上研究了0.2%~2.5%O₂浓度对煤焦-NO反应的影响^[9]。结果表明小于1%的O₂浓度能促进煤焦还原NO,但超过1%促进效果有所下降。肖萌等人认为O₂浓度增大时,C(O)活性位反而有所下降^[10],过量的O₂会直接参与氧化这些活性位,从而大幅度降低煤焦-NO的反应性。以上研究都表明氧气对煤焦-NO反应的重要作用,然而,在层燃背景下针对O₂对大粒径煤焦-NO反应性影响的研究还属空白。本研究主要针对层燃过程的特性^[11-13],研究相同反应温度下不同氧浓度以及同等氧浓度下不同反应温度对煤焦-NO反应的影响。

1 实验

1.1 样品的制备

本试验所用的煤种为朔州烟煤,其元素分析及工业分析的结果如表1所示。先对煤样进行研磨、筛分,选取粒径为1.7~2.8mm的煤颗粒用于制焦。焦样制备在水平石英管式炉中进行,在800℃惰性气氛下热解15min得到实验原始焦样,记作800℃~15min煤焦。对800℃~15min煤焦在不同氧浓度下停留不同时间,得到预氧化的煤焦。将上述煤焦收集、密封并保存备用。

表1 原煤的元素分析及工业分析

Tab.1 Proximate and ultimate analysis of raw coal

元素分析/%			工业分析/%				发热值/kJ·kg ⁻¹
C	H	N	V _{ar}	FC _{ar}	A _{ar}	M _{ar}	Q _{net ar}
52.74	3.44	1.12	23.26	45.49	30.21	1.04	21.31

收稿日期: 2015-09-17; 修订日期: 2015-09-19

基金项目: 国家科技支撑计划基金资助项目(2014BAA02B03); 黑龙江省自然科学基金资助项目(E201429)

作者简介: 徐力(1987-),男,上海市南汇人,哈尔滨工业大学在读博士。

通讯作者: 赵伟(1977-),男,哈尔滨工业大学助理研究员。

1.2 实验系统

大颗粒煤焦-NO 反应试验在一维立式固定床反应器中进行,如图1所示。反应器主要包括石英反应器主体、加热炉、配气系统和排气系统等几个部分。实验中反应气体(NO/Ar)由反应气进口进入反应器外层,在外层中向下流动并被充分预热至反应温度,随后转而向上进入内层与煤焦样品发生反

应,并产生烟气。稀释气体由稀释气进口进入反应器中间层,在中间层中向下流动并充分预热后,由石英吊篮的上方、内层壁面上一圈小孔喷入,与上述烟气混合。稀释后的烟气在内层继续向上流动,由烟气出口排出。一部分烟气经由烟气过滤器后,进入烟气分析仪进行测量分析,另一部分经装有石灰水的洗气瓶排向大气。

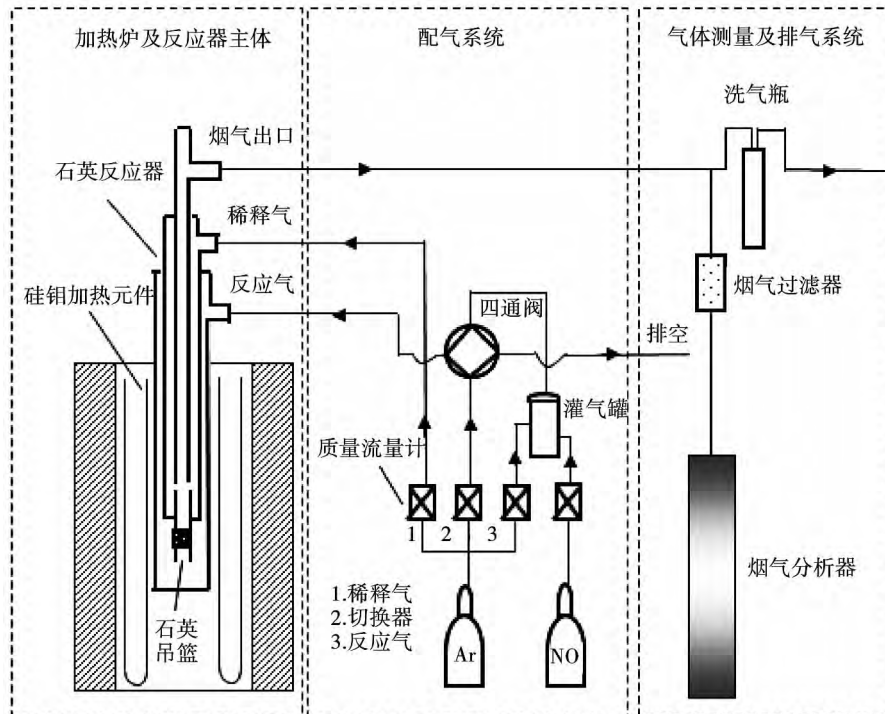


图1 立式固定床反应器系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the vertically fixed bed reactor system

1.3 实验方法

本研究用到两种实验方法。第一种是程序升温法:称取1g焦样放于石英吊篮中,将吊篮与石英管反应器啮合;试验开始前,调节Ar(稀释气和反应气)和NO来排尽装置内空气,待出口气体中O₂浓度降为零而NO浓度(803.6 mg/m³)保持稳定时,开始以10℃/min的升温速率加热并记录出口烟气内NO浓度,温度达到1000℃时,停止加热。第二种是恒温加热法:实验前,扭转四通阀使其为反应气通入状态,调节Ar(稀释气和反应气)、NO、O₂流量,并用烟气分析仪在尾部进行检测,至烟气分析仪显示各项数值稳定且满足后续实验要求时,切换四通阀至反应气排空状态,调节Ar(切换气)流量,使其值

等于切换前3种气体的流量之和,至尾气中O₂浓度值显示零时,开始以10℃/min升温速率加热;反应区真实温度达到实验设定值时,迅速切换四通阀至反应气通入状态,并记录NO、O₂浓度值;以后每隔一分钟记录一次数据,直到反应器中煤焦完全反应时,停止加热。

2 实验结果与分析

煤焦的反应性通过NO的实时转化率来评价。某时刻,NO的实时转化率为该时刻NO进出口的浓度差与入口浓度的比值,即:

$$k = (c_{\text{NO}}^0 - c_{\text{NO}}) / c_{\text{NO}}^0 \quad (1)$$

式中: c_{NO}^0 —NO入口浓度, mg/m³; c_{NO} —NO出口浓

度 mg/m^3 。

2.1 氧气对煤焦 - NO 反应的影响

2.1.1 恒温条件下 O_2 浓度对煤焦 - NO 反应的影响

800 $^\circ\text{C}$ 反应温度下,不同氧气浓度下煤焦对 NO 的还原率随时间的变化如图 2 所示。可见,反应温度 800 $^\circ\text{C}$ 时,不同浓度的 O_2 对煤焦 - NO 反应会产生重要影响。当反应气氛中添加 1% 的 O_2 时,反应初期 NO 的转化率明显增大,从反应开始 10 ~ 50 min 间,氧化性气氛(1%) 的 NO 转化率要比惰性气氛的高 10% 左右,随着反应不断进行,氧化性气氛下煤焦对 NO 还原率呈下降趋势;反应时间为 70 min 时,与惰性气氛条件的转化率基本一致,随后惰性气氛下 NO 的转化率不变,维持在 40% 左右,而氧气气氛(1%) 下 NO 的转化率不断下降;80 min 后,惰性气氛下煤焦 - NO 的反应性明显高于氧化性气氛。这与山西煤化所赵宗彬等人在恒温 600 $^\circ\text{C}$ 下的研究结果基本一致^[9]。

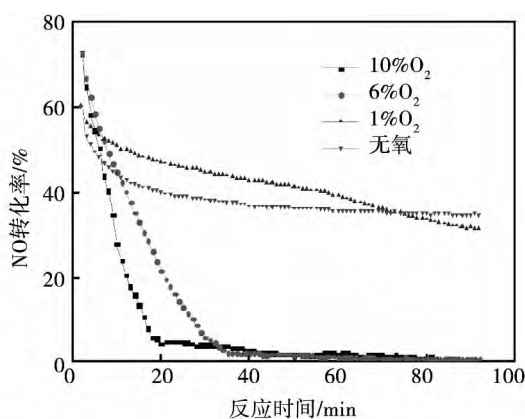


图 2 O_2 浓度对煤焦 - NO 反应影响

Fig. 2 Effects of O_2 concentration in char - NO reaction

图 2 还表明,当 O_2 浓度提高到 6% 或 10% 时,反应初期(前 5 min) NO 的转化率较无氧条件及 1% 条件下均有大幅度提高,但此后 NO 的转化率迅速下降,且 10% O_2 浓度下,下降幅度更大;当反应进行至 20 min 时,10% O_2 条件下的煤焦已几乎无还原 NO 的能力;当进行至 35 min 时,6% O_2 条件下的煤焦也失去对 NO 的还原能力,这一结果与国内外相关报道有所区别。Himanshu、肖萌、孟宪宇等人指出,煤焦异相还原 NO 的反应,存在一个最佳 O_2 浓

度(1% 左右)^[5,10,14] 在煤焦表面形成丰富的含氧官能团,这些官能团将为 NO 的还原提供 C^* 活性位,使 NO 的还原率达到最大;当 O_2 浓度超过最佳值时,过剩的 O_2 将与 NO 竞争这样的活性位,煤焦与 O_2 的反应比煤焦 - NO 反应更具优势,导致 NO 的还原率下降;另一方面,过量的氧气将与包裹在煤焦附近的 CO 反应,这也阻碍了 CO 对 NO 的均相还原。但本实验表明, O_2 浓度即使超过 1%,煤焦在反应初期仍有还原 NO 的能力,并且还原效果要好于 1% O_2 浓度的结果。这是由于本实验所采用的样品是大颗粒煤焦,相较于煤粉焦能提供更多的可燃质,在高氧浓度(6%、10% O_2 浓度)时,大颗粒煤焦被 O_2 快速氧化,煤焦表面形成厚度更大的 CO 包裹层,能保证反应初所生成的还原性物质 C(O) 不致被 O_2 完全消耗;此外,煤焦与 O_2 发生反应的过程中释放一定热量,导致煤焦表面温度要高于预设温度^[15],高温是有利于煤焦 - NO 反应的;此外,表面物质不断被消耗,使孔隙结构发达,煤焦比表面积增大。Illán - Gómez 指出煤焦 - NO 的反应性与煤焦比表面积成正比^[16],煤焦比表面积越大,其反应性越好。但随着反应进行,煤焦被 O_2 大量消耗,表面碳氧络合物和 CO 的量不断减少,使煤焦还原能力减弱,至煤焦中还原性物质消耗完时,煤焦完全失去还原 NO 的能力。

2.1.2 6% 氧气条件下温度对煤焦 - NO 反应的影响

从图 3 可以看到,6% O_2 浓度下,实验温度(700 ~ 900 $^\circ\text{C}$) 的改变对煤焦还原 NO 的效率影响不大;随着反应的进行,NO 的转化率下降,且在上述 3 个温度下,这种下降的速率基本一致,至 40 min 时,煤焦均失去对 NO 的还原性。对比图 4 程序升温法可看出,在无氧气氛中,温度对煤焦 - NO 的反应性有很大的影响,温度从 700 $^\circ\text{C}$ 升至 900 $^\circ\text{C}$,NO 的转化率约提高 40%,这是由于温度上升,有利于煤焦 - NO 反应速率提高,并加快生成物从煤焦表面脱离,使 NO 向煤焦颗粒内部孔隙扩散加快;气氛中 O_2 的添加,减弱了影响,特别在实验条件下添加 6% O_2 时,甚至完全消除了温度对煤焦 - NO 反应的影响。赵宗彬对 0.2% O_2 浓度下温度对煤焦 - NO 反应的作用作了研究^[9],结果表明:高温 O_2 会削弱对煤焦 - NO 反应的促进,这是由于高温时 NO 能直接进攻

煤焦表面的碳原子。

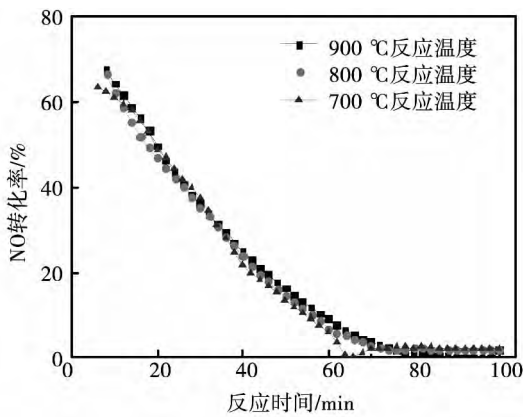


图3 O₂浓度对煤焦-NO反应影响

Fig.3 Effects of O₂ concentration in char-NO reaction

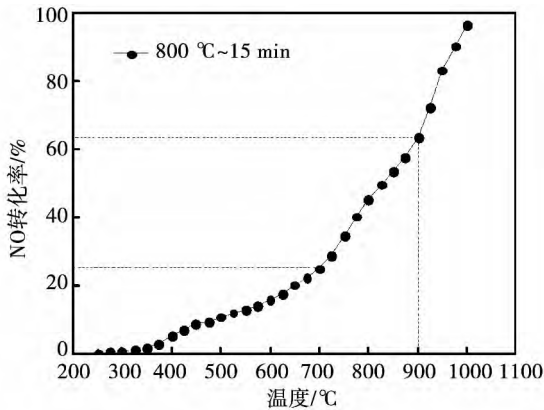


图4 无氧条件下程序升温法的结果

Fig.4 Results of the program speed temperature control under the anaerobic condition

丹麦学者 Brix 等人在实验温度为 800 °C ,O₂ 浓度为 5% ~ 80% 的条件下 ,用固定床反应器和 CCD 摄像机研究毫米级煤焦表面温度变化 ,结果表明: 颗粒表面温度比设定温度高 ,并随着颗粒质量增加温差增大 ,最高达 700 °C [15]。他们的成果强调了大粒径煤焦颗粒温度的特殊性 ,论证了颗粒温度和实验预设温度的巨大差异。由此可知 ,将烟气携带的大粒径煤焦用于层燃炉 ,无论在炉膛高温区 ,还是烟气温度较低的对流换热区 ,甚至是靠近烟道出口的低温区 ,只要煤焦未燃烧尽 ,煤焦颗粒温度都能保持较高水平。因此煤焦对 NO 的还原作用也会伴随着煤焦的运动轨迹持续下去 ,直到煤焦可燃质耗尽 ,煤焦

才失去对 NO 的还原。

2.2 预氧化对煤焦-NO 反应的影响

2.2.1 预氧化时间对煤焦-NO 反应的影响

由图 5 可见 ,在温度为 800 °C ,O₂ 浓度为 6% 时 ,预氧化不同时间均有利于提高煤焦的反应性; 随着预氧化时间增加 ,煤焦还原 NO 的能力有提升 ,直到氧化至 10 min 时 ,煤焦反应性最佳; 停留时间超过 10 min 时 ,煤焦的反应性变化不大。其主要原因包括两个方面: 首先 ,预氧化使煤焦的孔隙结构变得发达 ,预氧化时间越长 ,则比表面积越大 ,Illán - Gómez 等人的研究也指出 ,煤焦的表面积与煤焦-NO 的反应性成正比 ,煤焦表面积越大 ,还原效果越好 [16]; 另外 ,预氧化使煤焦表面生成有利于 NO 还原的碳氧络合物 C(O) ,这种络合物脱附活化能低 ,反应活性高 ,能与 NO 反应生成 CO₂ 和 N₂。

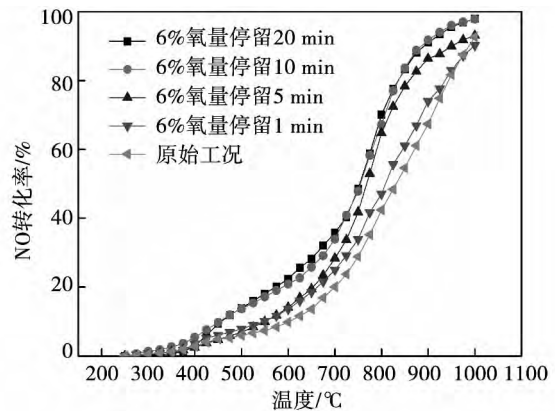


图5 O₂浓度对煤焦-NO反应影响

Fig.5 Effects of O₂ concentration in char-NO reaction

2.2.2 不同 O₂ 浓度下预氧化对煤焦-NO 反应的影响

从图 6 看出 ,在 800 °C 温度下 ,对煤焦进行不同浓度 O₂ 的预氧化 5 min ,都使得煤焦还原 NO 的能力有所提升; 当温度低于 750 °C 时 ,预氧化的氧浓度越低 ,煤焦-NO 的反应性越好 ,在 1% 浓度 O₂ 时预氧化的煤焦具有最好的反应性 ,这与 Himanshu、赵宗彬等人的实验结果相类似 [5,9]; 当反应温度高于 750 °C 时 ,在 1% 浓度 O₂ 时预氧化的煤焦反应性相较于更高 O₂ 浓度下进行预氧化的煤焦变差 ,但好于未经预氧化煤焦的反应性。进行预氧化对煤焦在低温 (<750 °C) 下 ,在 1% 浓度 O₂ 下预氧化的煤焦具有

最丰富的碳氧络合物 C(O) 在较高 O₂ 浓度下预氧化会导致碳氧络合物的消耗,所以前者有更好的反应性;但随着反应温度的升高,煤焦表面的碳氧络合物会不断脱附^[9],导致在 1% 浓度 O₂ 下预氧化的煤焦不占优势,而高氧浓度下预氧化的煤焦由于具有更发达的孔隙结构和更大的比表面积,因此其还原 NO 的效果也更好。

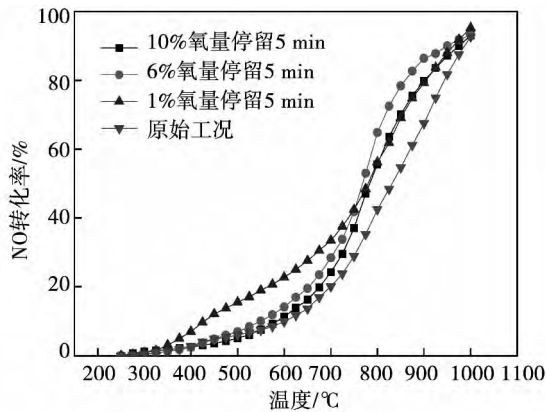


图 6 O₂ 浓度对煤焦 - NO 反应影响

Fig. 6 Effects of O₂ concentration in char - NO reaction

3 结 论

(1) O₂ 气氛对大粒径煤焦 - NO 反应有重要作用,反应初期较高浓度(6%、10%)的 O₂ 气氛比低氧(1%)或无氧更有利于反应的进行;但随着反应的进行,高氧浓度下的煤焦迅速失去反应活性,而较低的 O₂ 浓度能长时间促进煤焦 - NO 反应。

(2) 6% O₂ 浓度下,实验温度 700 ~ 900 °C 对大粒径煤焦 - NO 反应的影响不大,与无氧下的反应规律完全不同,这是由于 O₂ 与煤焦反应释放的热量改变了煤焦的颗粒温度,并使得几种条件下的颗粒温度相近。

(3) 预氧化能有效促进煤焦还原 NO 的进行,预氧化时间越长,煤焦 - NO 反应性越好,但超过最佳预氧化时间(10 min)后,反应性不再提高。

(4) 低氧浓度下预氧化的煤焦在低温反应区(<750 °C)有更好的反应性,高氧浓度预氧化的煤焦在高温反应区(>750 °C)还原 NO 的能力更强。

参考文献:

[1] 赵钦新. 我国工业锅炉发展回顾与“十二五”展望[J]. 工业锅炉, 2011, 06: 1-8.
ZHAO Qin-xin. Reviews and prospects in china's industrial boiler development[J]. Industrial Boiler, 2011, 06: 1-8.

[2] 余洁. 中国燃煤工业锅炉现状[J]. 洁净煤技术, 2012, 03: 89-91.
YU Jie. Status and transformation measures of industrial coal-fired boiler in china[J]. Clean Coal Technology, 2012, 03: 89-91.

[3] 吴胜龙. 试论工业锅炉的节能减排措施研究[J]. 化学工程与装备, 2012, 02: 108-109.
WU Sheng-long. Study on energy saving and emission reduction measures on industrial boiler[J]. Chemical Engineering and Equipment, 2012, 02: 108-109.

[4] 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(1): 85-89.

[5] Gupta H, Fan L S. Reduction of nitric oxide from combustion flue gas by bituminous coal char in the presence of oxygen[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2003, 42(12): 2536-2543.

[6] 赵万里, 杜海亮, 曹阳, 等. 不同过量空气系数下层燃炉煤层 NO_x 析出特性研究[J]. 工业锅炉, 2014, 01: 6-10.
ZHAO Wan-li, DU Hai-liang, CAO Yang, et al. The behavior of nitrogen oxides emission of Stoker's coal bed with different excess air ratios[J]. Industrial Boiler, 2014, 01: 6-10.

[7] Fan W, Li Y, Xiao M. Effect of preoxidation O₂ concentration on the reduction reaction of NO by char at high temperature[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2013, 52(18): 6101-6111.

[8] 张聚伟. 高温条件下 NO - 焦炭反应动力学的研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2009.
ZHANG Ju-wei. Kinetic study on NO-char reaction at high temperature[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2009.

[9] 赵宗彬, 李文, 李保庆. 氧气对半焦还原 NO 反应的作用机理研究[J]. 中国矿业大学学报, 2001, 05: 62-65.
ZHAO Zong-bin, LI Wen, LI Bao-qing. Influence mechanism of O₂ on NO-char reaction[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2001, 05: 62-65.

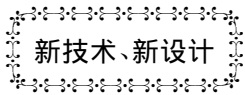
[10] 肖萌, 王俊超, 李宇, 范卫东. 高温下煤焦表面含氧官能团对 NO - 煤焦还原反应的影响[J]. 热能动力工程, 2012, 02: 227-231.
XIAO Meng, WANG Jun-chao, LI Yu. Influence of the oxygen-contained functional groups on the surface of coal coke at a high temperature on the NO-coal coke reduction reaction[J]. Journal

- of Engineering for Thermal Energy and Power ,2012 ,02: 227 - 231.
- [11] 杜海亮,张 品,罗永浩,等. 不同配风方式下层燃炉煤层 NO_x 析出特性研究[J]. 热能动力工程 2013 01: 86 - 92.
DU Hai-liang ,ZHANG Pin ,LUO Yong-hao ,et al. Study of the precipitation characteristics of NO_x in the coal bed of a laminar combustion boiler under different air distribution modes[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power 2013 01: 86 - 92.
- [12] 杜海亮,张 品,罗永浩,等. 颗粒粒径对层燃炉煤层 NO_x 析出影响的研究[J]. 热能动力工程 2014 05: 554 - 560.
DU Hai-liang ,ZHANG Pin ,LUO Yong-hao ,et al. Study of the influence of the particle diameter on the precipitation of NO_x from the coal bed of a laminar combustion boiler[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power 2014 05: 554 - 560.
- [13] 周国江,吴 鹏,朱书全. 煤质及粒度对层燃过程燃烧特性影响的研究[J]. 洁净煤技术 2008 03: 41 - 44.
ZHOU Guo-jiang ,WU Peng ,ZHU Shu-quan. Study on the influence of coal rank and granularity on the layer combustion characteristics[J]. Clean Coal Technology 2008 03: 41 - 44.
- [14] 孟宪宇. 高温条件下烟气成分对 NO - 焦炭反应影响的实验研究[D]. 哈尔滨工业大学 2012.
MENG Xian-yu. Experimental study of the flue gas composition on NO-char reaction under high temperature condition [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology 2012.
- [15] Brix J ,Navascués L G ,Nielsen J B ,et al. Oxy-fuel combustion of millimeter-sized coal char: particle temperatures and NO formation [J]. Fuel 2013 ,106: 72 - 78.
- [16] Illán-Gómez M J ,Linares-Solano A ,Salinas-Martinez de Lecea C , et al. Nitrogen oxide (NO) reduction by activated carbons. 1. the role of carbon porosity and surface area [J]. Energy & Fuels , 1993 7(1) : 146 - 154.

文后致谢:

本文的试验研究和文章撰写都是在赵广播和高建民两位老师的悉心指导下完成的,在此提出衷心的感谢。附上两位老师的工作信息:赵广播,哈尔滨工业大学能源科学与工程学院院长、教授;高建民,哈尔滨工业大学能源科学与工程学院副教授。

(姜雪梅 编辑)



川崎重工的联合生产系统具有紧急备用功能

据《Gas Turbine World》2014年9-10月刊报道,KHI(川崎重工)公司已推出了新的PUC17D“超高有效”的联合生产系统,它也可以在紧急情况下提供动力。该系统由KHI研制的功率为1.7 MW的MIA-17D燃气轮机提供动力。

该系统是由于日本东部大地震的结果而被研制的,大地震给工厂和具它设施造成严重的破坏。

为了应付这种自然灾害,要求有能够供应紧急备用动力的联合生产系统,主要是在供电中断期间作为保持电力供应的一个手段并帮助灾后恢复。

这种系统也适用于要求低排放和高效率运行的国际市场,使用气体燃料并有能力转变到液体燃料。

在正常运行时,PUC17D依靠公用事业天然气或其它燃料气体供应电力。在供电气体燃产供应被断开时,系统自动转变到液体燃料,并继续生产电力来运转关键的设备,例如照明系统。

川崎重工声称,PUC17D是一个高效的系统,它不需要安装专用的应急发电机。

此外,改进余热锅炉的性能使系统总效率增加5.3%。

(吉桂明 摘译)

removal in the microwave field. After 10 minutes of microwave radiation ,most of the water soluble sodium from the coal has been removed. Compared with the hydro-thermal treatment ,the microwave treatment is safer ,more efficient and economic. **Key words:** high sodium coal ,sodium ,humidifying ,microwave ,sodium removal efficiency

氧气对层燃条件下烟气携带煤焦还原 NO 的影响 = **An Experimental Study on Reactions of NO and Flue Gas Carrying Char at Grate Firing Conditions** [刊 汉]XU Li ,ZHAO Wei ,WANG Jian ,LIU Qi(School of Energy Science and Engineering ,Harbin Institute of Technology ,Harbin ,China ,Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(4) . -100 ~105

To meet the progressively more stringent environmental requirements ,further reducing NO_x emission is needed. To identify an effective way of reducing NO_x emission ,this paper investigated the effects of oxygen concentration and pre-oxidation treatment on char-NO reactions using tube furnace. By adding oxygen into the reacting environment , the important role of oxygen on the reaction between NO and large particle size char was studied under the condition of constant temperature heating. Results indicate that high oxygen concentrations can promote the char-NO reaction compared to the low oxygen or anaerobic conditions. With high oxygen concentration ,the change of experimental temperature has little effect on char-NO reaction. After pre-oxidation treatment ,however ,the capacity of char on NO reduction is improved. **Key words:** char , NO_x ,charring condition ,catalyst

基于梁带法的大型电站凝汽器管板刚强度计算分析 = **Stiffness-strength Calculation of Large Power Plant Condenser Tubesheet based on Beam-Strip Method** [刊 汉]CHEN Xiao-ming ,LAI Xi-de ,TANG Jian (School of Energy and Power Engineering ,Xihua University ,Chendu ,China ,Post Code: 610039) ,XU Zhi-jian (Dadu River Gongzui Hydropower Plant of China Guodian ,Leshan ,Sichuan ,China ,Post Code: 614000) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(4) . -106 -111

For the calculation need of condenser tubesheet of large power plant ,a corresponding structural model was established based on beam-strip method. The effect of stiffness enhancement was simulated by adding equivalent spring