

颗粒粒径对层燃炉煤层 NO_x 析出影响的研究

杜海亮, 张 品, 罗永浩, 曹 阳
(上海交通大学 热能工程研究所, 上海 200240)

摘 要: 为探究煤颗粒粒径对层燃炉煤层 NO_x 析出特性的影响, 在层燃单元体实验台上进行了不同煤种不同颗粒粒径 (5 - 10 mm 和 12 - 20 mm) 的燃烧实验。实验中测试了煤层表面 NO_x 浓度和 O₂、CO₂、CO、H₂ 浓度, 并对比分析了颗粒粒径对层燃炉燃烧特性和 NO_x 析出特性的影响, 以及 CO 对 NO_x 析出特性的影响。结果表明: NO_x 浓度沿炉排呈现双峰分布的特点, 且第一个峰值大于第二个峰值, 燃烧初期挥发分氮被氧化形成大量 NO_x; 小粒径煤颗粒延长了燃烧时间; 大粒径煤颗粒灰层扩散系数更小, 在燃烧前期析出较少 NO_x, 但在燃烧后期析出较多 NO_x; 煤层表面 CO 和 NO_x 有很好的关联性, CO 浓度峰值正好对应 NO_x 浓度的谷值, CO 强化了焦炭与 NO 的异相还原反应。

关 键 词: 层燃炉; NO_x; 颗粒粒径; 实验研究

中图分类号: X701 文献标识码: A

引 言

燃煤锅炉排放的 NO_x 大气污染物的主要来源, 其中, 工业锅炉排放的 NO_x 占我国 NO_x 总排放量的 15% - 20%^[1]。目前, 我国拥有各类工业锅炉约 50 万台, 其中燃煤链条炉排锅炉约 30 万台, 应用领域极其广泛, 且新产品每年仍在大量生产, 燃煤工业锅炉每年消耗原煤约 5 亿 t, 是仅次于燃煤电厂的第二大耗煤大户^[2]。由于工业锅炉具有容量小、分布散的特点, 其 NO_x 排放问题一直未引起重视, 但是量大面广的工业锅炉, 对环境的污染十分严重, 因此关于燃煤工业锅炉低 NO_x 燃烧技术的研究工作有着十分重要的现实意义。

对层燃炉进行低 NO_x 研究时, 多借鉴煤粉低 NO_x 燃烧技术。Starley 等人对层燃炉煤燃烧参数对燃料氮的析出与氧化的影响进行了实验研究^[3], 发现空气分级对降低 NO_x 有明显效果。Houshfar 等人应用单元体炉实验台进行了生物质的分级燃烧实验^[4], 发现一次风过量空气系数为 0.8 - 0.95 时

木头层燃 NO_x 生成量最少。季俊杰等人进行的分级燃烧实验结果显示^[5], 空气分级和燃料分级分别能达到 28% 和 55% 的 NO_x 减排效果。冯琰磊等人结合再燃技术的实验得出再燃技术可使层燃炉 NO_x 排放量降低 60%^[6], 且考察了再燃燃料停留时间、再燃燃料量等因素对降低 NO_x 的影响。但层燃炉普遍燃用大颗粒煤, 其燃烧特性与煤粉很不一样, 层燃炉燃料氮析出机理就目前而言研究并不深入。

煤块颗粒直径大, 燃烧时内部存在较大的温度梯度, 颗粒实际上是分层燃烧。当表面焦炭燃尽成灰层时, 内部碳核尚未燃尽, 甚至仍然为原煤, 如图 1 所示。这对氧气向内部碳核的扩散和内部轻质可燃气体向外部的扩散均产生了明显的阻碍。因此, 探究颗粒粒径对层燃炉煤层燃烧特性和 NO_x 析出特性的影响显得尤为重要。

本研究通过不同颗粒粒径燃烧实验, 研究了颗粒粒径对燃烧特性、NO_x 析出特性的影响, 探讨了大颗粒煤中燃料氮析出机理和转化途径。

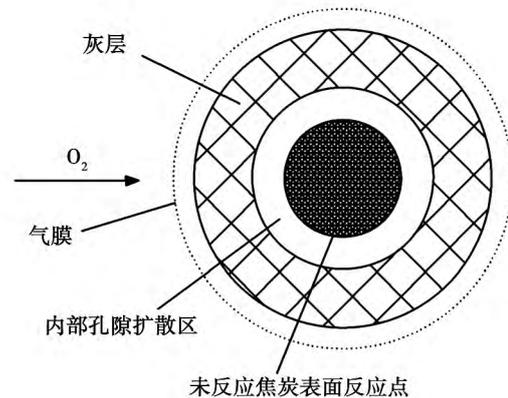


图 1 被灰壳包裹的大颗粒煤块

Fig. 1 Large granule coal bulk wrapped by ash shell

收稿日期: 2013 - 11 - 29; 修订日期: 2014 - 01 - 23

基金项目: 上海市科委科技攻关项目 (11dz1203302)

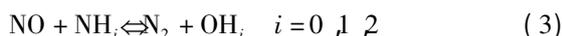
作者简介: 杜海亮 (1987 -), 男, 湖北汉川人, 上海交通大学博士研究生。

1 层燃炉煤燃烧 NO_x 的生成与脱除

煤燃烧过程所排放出的 NO_x 包括 NO 和 NO₂ 等, 主要是 NO(90% - 95%)。根据其生成方式一般将 NO 分为 3 种类型: 热力型 NO、燃料型 NO、快速型 NO。本研究的层燃炉燃烧区域温度较低, 故层燃炉中 NO_x 绝大部分为燃料型 NO。

燃料中的氮是燃料型 NO 的重要来源。在挥发分析出阶段, 煤中氮以 HCN 和 NH₃ 气态含氮中间产物和焦油中化合物释放出来。焦油分解后含氮物质主要是 HCN, 还有一定比例的焦油氮存于碳黑中。在煤的热解和燃尽过程中, 燃料氮一般以低分子氮化合物和基团析出, 如 NH₃、NH₂、HCN、CN, 温度范围在 1 100 - 1 400 °C 的研究显示燃料氮大部分转变为 HCN, 小部分转变为 NH₃^[7]。这些燃料氮的中间产物可以氧化为 NO, 也可以和 NO(或其他氮中间产物) 反应生成 N₂, 这主要取决于燃烧条件。燃料氮的主要转化路径如图 2 所示。

脱除 NO_x 的均相转化最重要的是通过 CH_i 和 NH_i 基团还原:



反应式 (1) 和式 (2) 建立了燃料再燃过程的机理, 反应式 (3) 表示 SNCR(选择性非催化还原) 机理。



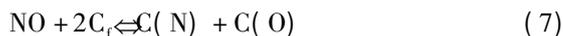
图 2 燃料氮转化的反应路径

Fig. 2 Chart showing the reaction path of the fuel-nitrogen conversion

H₂ 和 CO 这些非碳氢燃料在富燃料区对 NO 也有脱除作用^[8], 再燃区脱除 NO 的反应为:



在煤燃烧过程中, 焦炭和碳黑等固体颗粒也可以通过异相反应脱除 NO^[9]:



2 实验系统及实验方案

2.1 实验系统

实验在层燃单元体炉实验台上进行, 采用拉格朗日法, 用固定床燃烧来模拟实际层燃炉中燃烧过程, 即用不同时间的测量值来模拟煤炭在炉排中的特定位置, 两者相互对应。

层燃单元体炉实验台由单元体炉燃烧系统、烟气检测系统和鼓引风系统 3 部分组成, 实验台如图 3 所示, 炉体分上下两部分。单元体炉下部放置煤框, 长、宽、高均 20 cm。设置 4 个抽气孔, 最上部用于抽取床层表面烟气成分, 其余 3 个分别用于测量床层表面温度、床层中间温度和床层底部温度。空气由罗兹风机通过流量计控制自下方送入单元体炉, 实验台其它细节如文献 [10] 所述。

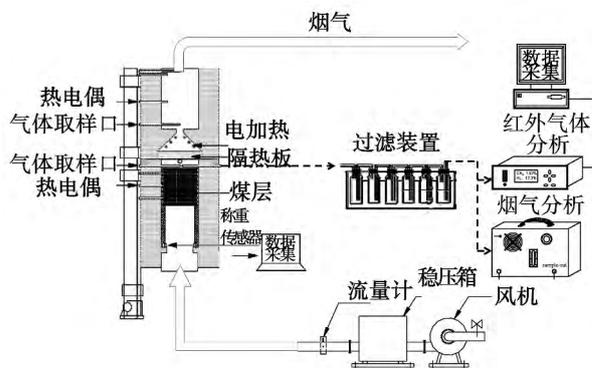


图 3 层燃单元体炉示意图

Fig. 3 Schematic diagram of a layered combustion single-body boiler

煤层表面 NO_x 测试采用 testo 350 烟气分析仪, NO 测量范围为 0 - 6 150 mg/m³, 响应时间为 30 s。testo 350 烟气分析仪 NO 分辨率为 2.05 mg/m³, NO 测量值在 0 - 202.95 mg/m³ 时, 测量误差为 ±10.25 mg/m³; NO 测量值 > 202.95 mg/m³ 时, 测量误差为 ±5% 测量值。煤层表面 CH₄、H₂、CO、CO₂ 和 O₂ 5 种气体组分采用武汉四方光电科技有限公司生产的红外烟气分析仪 GASBOARD - 3100 系列进行在线连续测量。该仪器基于电化学和气体对红外光吸收的朗伯 - 比尔定律, 测量精度为 < 2% FS, 分辨率为 0.01%, 重复性误差 ≤ 2%。床层不同高度的温度通

过插入煤层的热电偶进行测量。

2.2 实验方案

选择内蒙煤和淮南煤进行实验,煤质分析如表 1 所示。实验前对原煤进行筛选,选取 5-10 mm 和 12-20 mm 两种粒径的煤颗粒进行实验,每次实验用煤均为 2 kg,两种粒径煤层厚度分别为 115 mm 和 122 mm。将煤放入单元体炉的煤框中,通电加热,

使煤层受到高温辐射引燃,同时记录床层表面 NO_x 浓度和气体组分以及不同高度的温度数据。由于实验台反应温度比实际锅炉温度略低,因此实验中过量空气系数略高,以利于煤层燃尽。淮南煤和内蒙煤的过量空气系数分别为 1.67 和 1.94,分别按 50 min 和 70 min 完全燃烧配风,二者的配风方式如图 4 所示。

表 1 煤质分析

Tab. 1 Analysis of coal quality

煤种	工业分析(% ar)				元素分析(% ar)					热值(MJ/kg)
	M	A	V	FC	C	H	S	N	O	$Q_{\text{net,ar}}$
淮南	14.7	17.11	25.56	42.63	53.34	3.45	0.85	0.79	9.76	20.40
内蒙	6.9	19.35	28.25	45.5	59.2	3.65	0.5	0.85	9.55	22.82

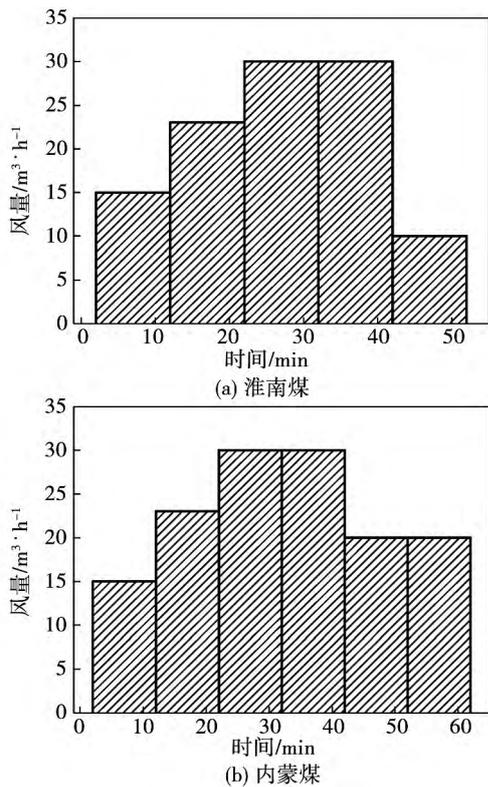


图 4 配风风量示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the amount of air distributed

3 实验结果与分析

3.1 颗粒粒径对层燃炉燃烧特性的影响

在目前的固定床燃烧或气化模型中,焦炭的反应速率通常考虑动力学和扩散的双重影响。大颗粒煤缩核模型焦炭燃烧速率^[11]可以表示为:

$$R_{C, O_2} = \frac{M_c \alpha A}{M_{O_2} \rho_{O_2}} \frac{1}{k_r^{-1} + k_m^{-1} + k_{ash}^{-1}} \quad (9)$$

式中: M_{O_2} 和 M_c —氧气和碳的分子量; A —颗粒表面积 m^2 ; ρ_{O_2} —氧气的密度 kg/m^3 ; k_r —反应动力学系数, $k_r = AT_s \exp[-E/(RT_s)]$ m/s ; k_m —气体穿过气膜的对流传质系数, k_m 根据圆球的传质关联式求得, $Sh = fSh_s = (1 + 1.5(1 - \epsilon))(2.0 + 1.1Re^{0.6}Sc^{1/3})$ m/s ; k_{ash} —表征气体扩散穿过灰层的系数(m/s)。与灰层厚度和气体在灰层内的有效扩散系数有关, $k_{ash} = D_{ash}/L_{ash}$, 其中, L_{ash} 为灰层厚度(m), D_{ash} 为气体在多孔灰层内的有效扩散系数(m^2/s); α —每摩尔氧气消耗的焦炭摩尔量, 同时与生成的 CO 与 CO_2 的摩尔比有关^[12], 一般地, $A = 2511$, $E/R = 6200$, $\text{CO}/\text{CO}_2 = 2(\alpha - 1)/(2 - \alpha) = A \exp(-E/RT_s)$

由式(9)可知,大颗粒煤燃烧速率主要受到动力学和扩散双重影响,即反应温度和气体在灰层中有效扩散的影响。对比图 5、图 6 中不同颗粒粒径同一气体浓度数据发现:颗粒粒径的减小推迟了 O_2 浓度的回升,延长了燃烧时间,淮南煤和内蒙煤均有相似的规律。根据数值模拟分析^[13],小粒径由于颗粒导热热阻小,颗粒温度较高,因而 k_r 值较大;另一方面,相同重量煤颗粒放入煤筐中时,小颗粒煤堆积时煤层高度比大颗粒小,煤层空隙率 ϵ 小,这会导致通风阻力大,空气与可燃性物质(焦炭和可燃性气体)无法充分混合,小颗粒 CO 和 H_2 浓度较高正好说明了煤层中 O_2 较少;同时,在燃烧后期,大颗粒由于灰层厚度更大, k_{ash} 更小, O_2 在灰层中扩散的阻力更大,燃尽更为缓慢,因此大颗粒煤层表面的 O_2 浓

度回升较早,但相对缓慢。

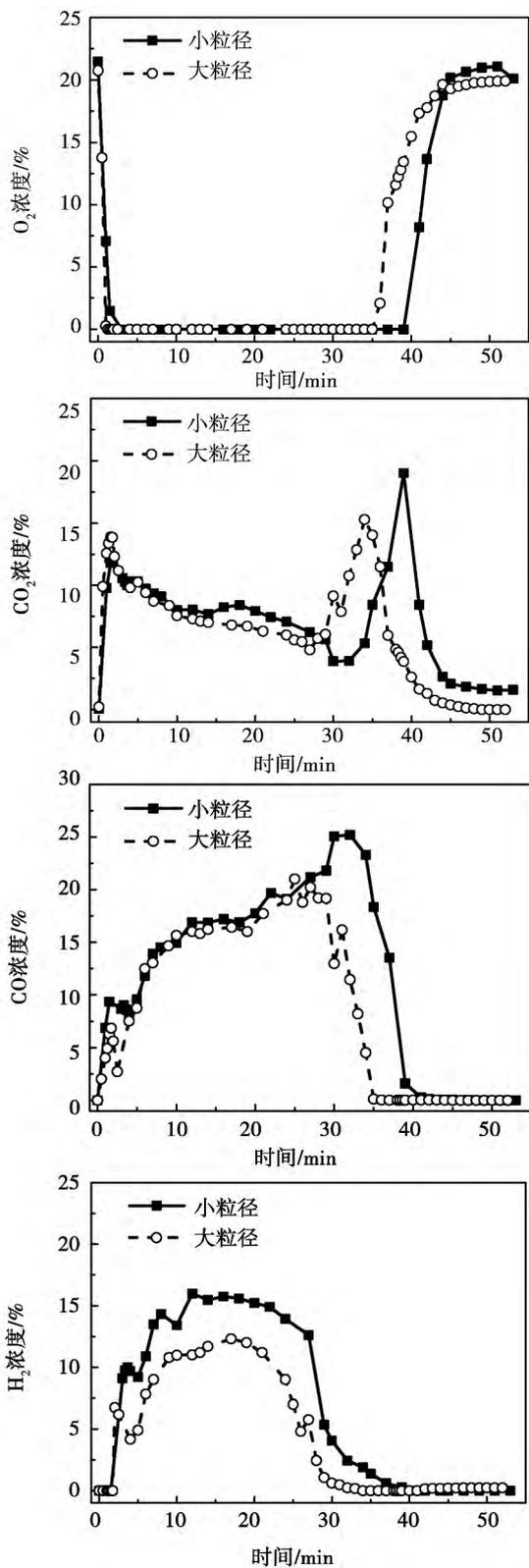


图 5 不同颗粒粒径淮南煤煤层表面气氛
 Fig. 5 Atmosphere on the surface of the coal bed of Huainan-originated coal at various particle diameters

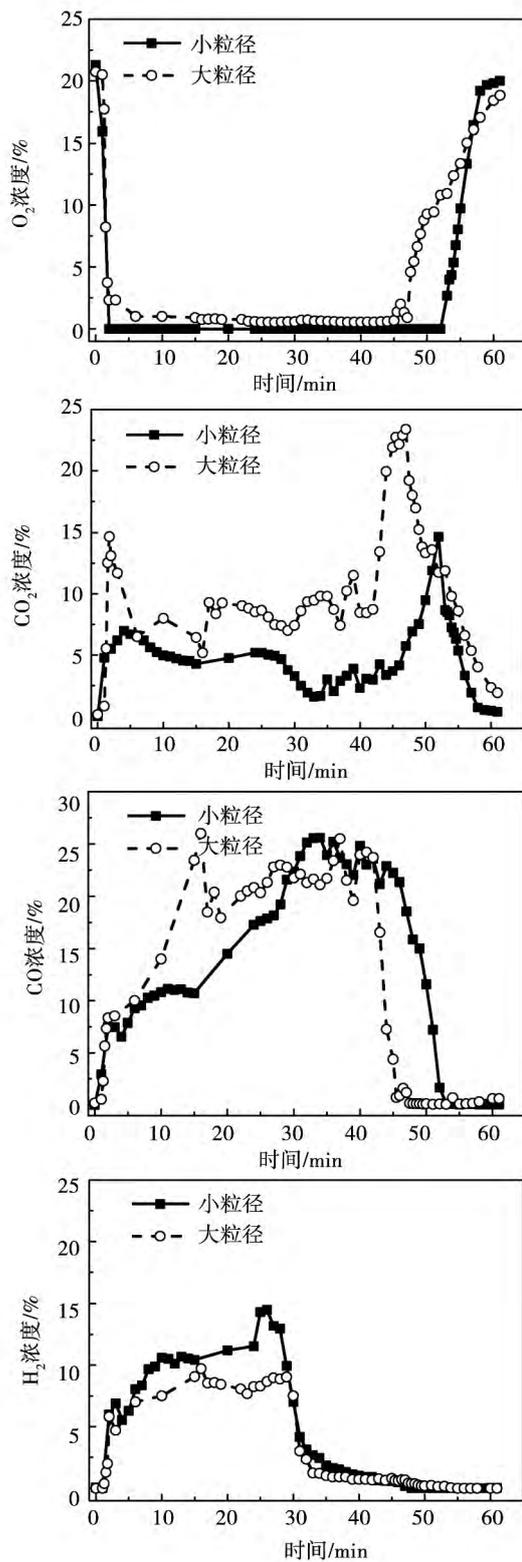


图 6 不同颗粒粒径内蒙煤煤层表面气氛
 Fig. 6 Atmosphere on the surface of the coal bed of Inner Mongolia-originated coal at various particle diameters

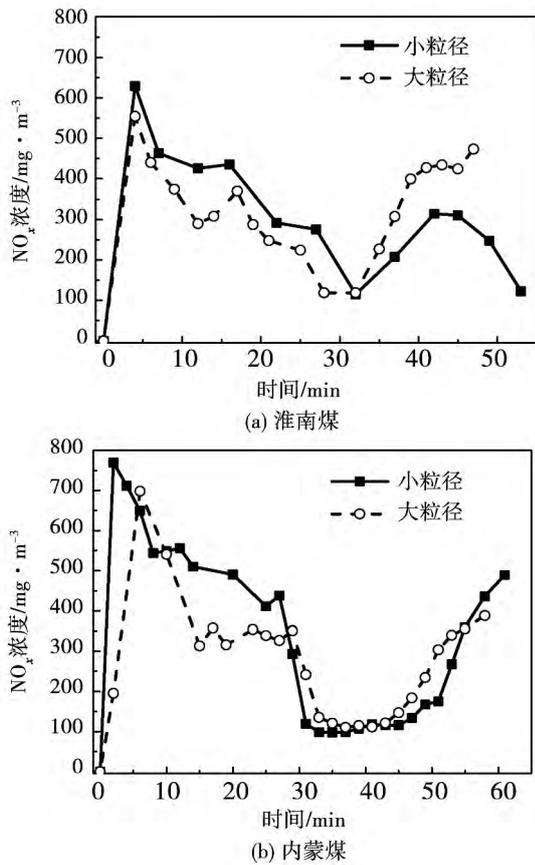


图7 不同颗粒粒径煤层表面 NO_x 析出对比
Fig.7 Contrast of the NO_x precipitation on the surface of coal bed at various particle diameters.

3.2 颗粒粒径对煤层 NO_x 析出特性的影响

不同煤种煤层表面 NO_x 析出特性如图 7 所示。在燃烧过程中, NO_x 浓度呈双峰分布特点, 且第一个峰值大于第二个峰值, 这与前期实验规律吻合^[10]。在煤层被引燃后, 挥发分氮大量析出并以 HCN 和 NH₃ 等前驱物存在。如图 5 和图 6 所示, 在燃烧初期, 氧气浓度较高, 挥发分氮大量转化为 NO_x, 并形成第一个峰值。其中, 淮南煤峰值为 629 mg/m³, 内蒙煤峰值为 769 mg/m³。随着表层 O₂ 浓度降为零, 煤层整体缺氧, 上部焦炭进入气化反应区域, NO_x 前驱物大部分转化为 N₂。因此 NO_x 浓度曲线在第一个峰值后下降。随着底部焦炭燃烬, 表面 O₂ 浓度回升, 焦炭氮大部分被氧化为 NO_x, 并形成了 NO_x 浓度曲线第二个峰值。由于挥发分氮占燃料氮的主要部分, 因此第一个峰值要高于第二个峰值。

大颗粒煤的燃烧反应首先需要经历一个扩散过程, 即外部气体需要进入颗粒内部, 同时内部挥发分

等可燃气体也需要从颗粒内部扩散到颗粒外表面。气体穿过灰层的扩散通量符合菲克定律:

$$q = -D_{\text{ash}} \frac{dC_A}{dx} \quad (10)$$

式中: q — 扩散通量, mol/(m² · s); dC_A/dx — 气体浓度梯度, mol/m⁴; D_{ash} — 有效扩散系数, m²/s。

当煤颗粒被引燃后, 灰层在煤颗粒表层逐步积累, 并阻碍颗粒内部煤炭的完全燃烧。因此颗粒内部挥发分析出时必然要穿过焦炭孔隙和外部灰层, 这样会有一部分含氮焦油停留在焦炭孔隙中并转化为焦炭氮。对比图 7(a) 中淮南煤不同颗粒粒径煤层表面 NO_x 析出浓度数据发现, 在燃烧前期约 30 min 时间内, 大粒径煤层析出更少的 NO_x。王苑等人研究结果表明^[14]: 在大颗粒煤燃烧过程中, 随着颗粒粒径的增大, 灰层有效扩散系数 D_{ash} 减小。所以颗粒较大时, 气体扩散阻力较大, 扩散到颗粒外表面的挥发分氮减少了, 煤层表面 NO_x 减少了。同时扩散过程中灰层中矿物质对 NO_x 也有一定还原作用^[15]。这样既降低了挥发分氮总量, 又还原了部分已生成的 NO_x, 大粒径煤的灰层更厚, 影响更大, 所以大粒径前期析出更少的 NO_x。燃烧后期, 焦炭氮被氧化为 NO_x。由于大粒径煤中焦炭氮更多, 氧化生成 NO_x 更多, 所以大粒径煤层表面 NO_x 第二个峰值较小粒径更大。如图 7(b) 所示, 内蒙煤有相似规律。

3.3 CO 浓度对煤层 NO_x 析出特性的影响

如图 8 所示, 煤层表面 CO 和 NO_x 有很好的关联性, CO 浓度峰值正好对应 NO_x 浓度的谷值, 不同煤种不同颗粒工况均有相似规律。Glarborg 等人实验结果表明^[8], CO 和 H₂ 在富燃料情况下还原 NO 的能力有限, 均相还原只能减少 20 - 30% 的 NO。Suuberg 等人研究成果表明^[15-16], 在高温反应区域, CO 大大加强了焦炭与 NO 的异相还原反应。异相还原途径如式(11)和(12)所示。

由于层燃炉在燃烧过程中空气由煤层底部风门经鼓风机送入炉内, 火焰锋面由煤层上部往下传播。因此火焰锋面处于富氧区域, NO_x 会大量生成。随着燃烧进行, 火焰锋面下移, 火焰锋面处产生的 NO_x 穿过上部焦炭层时与焦炭反应被还原, 降低了到达煤层表面的 NO_x 浓度, 即图 7 中 NO_x 浓度在第一个峰值之后一直下降直到焦炭氮生成。



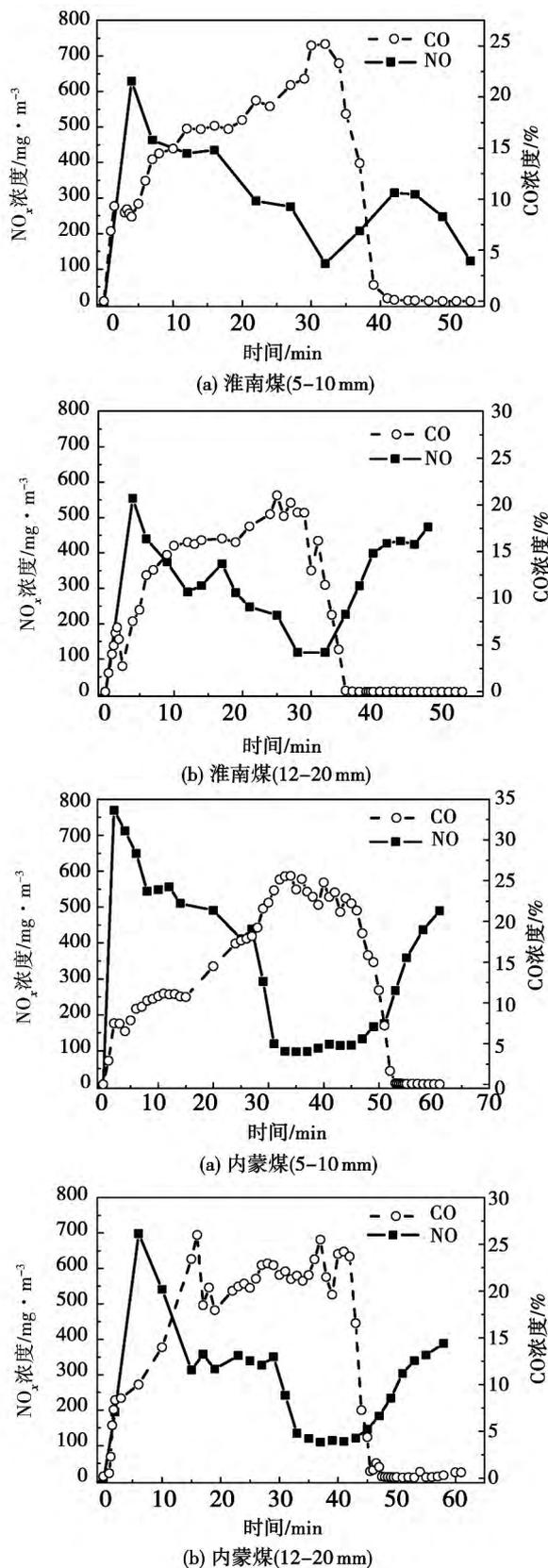


图 8 不同颗粒粒径煤层表面 NO_x 与 CO 关联图
 Fig. 8 Chart showing the correlation between the NO_x and CO on the surface of coal layer at various particle diameters

4 结 论

(1) 颗粒粒径的减小推迟了 O₂ 浓度的回升, 延长了燃烧时间, 淮南煤和内蒙煤均有相似的规律。小粒径煤层空隙率更小, 空气在煤层中流动阻力更大, O₂ 难以与煤颗粒充分混合并反应。同时, 大颗粒在燃烧后期灰层厚度大, k_{ash} 更小, O₂ 在灰层中扩散的阻力更大, 燃尽更为缓慢。

(2) 煤层表面 NO_x 浓度呈双峰分布特点, 且第一个峰值大于第二个峰值。大粒径煤颗粒灰层有效扩散系数 D_{ash} 更小, 扩散到颗粒外表面的挥发分氮更少。所以在燃烧前期, 大粒径煤层析出更少的 NO_x。同时大粒径煤颗粒焦炭氮更多, 燃烧后期氧化生成 NO_x 更多。

(3) 煤层表面 CO 和 NO_x 有很好的关联性, CO 浓度峰值正好对应 NO_x 浓度的谷值, CO 强化了焦炭与 NO 的异相还原反应。不同煤种不同颗粒工况均有相似规律。

参考文献:

[1] 贾靖华,董利,高士秋,等.热解燃烧链条炉低 NO_x 排放特性的数值模拟[J].过程工程学报,2010,10(5):842-848.
 JIA Jing-hua,DONG Li,GAO Shi-qiu,et al.Numerical simulation of the low NO_x emissions characteristics of a pyrolytic-combustion chain grate boiler[J].Journal of Process Engineering,2010,10(5):842-848.

[2] 李俊东,韩殿营,李耀荣,等.在用燃煤链条炉排锅炉的节能改造[J].工业锅炉,2010(2):20-24.
 LI Jun-dong,HAN Dian-ying,LI Yao-rong,et al.Energy-saving reconstruction of a currently used coal-fired chain grate boiler[J].Industrial Boiler,2010(2):20-24.

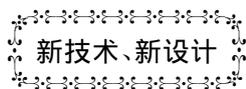
[3] STARLEY G P,BRADSHAW F W,CARREL C S,et al.The Influence of Bed-Region Stoichiometry on Nitric Oxide Formation in Fixed-Bed Coal Combustion[J].Combustion and Flame,1985,59(2):197-211.

[4] Houshfar E,Skreiberg,yvind,Terses L,et al.Effect of Excess Air Ratio and Temperature on NO_x Emission from Grate Combustion of Biomass in the Staged Air Combustion Scenario[J].Energy & Fuels,2011,25(10):4643-4654.

[5] 季俊杰,罗永浩,陆方,等.分级燃烧对层燃炉 NO_x 减排的效果研究[J].锅炉技术,2006,37(增刊):50-53.
 JI Jun-jie,LUO Yong-hao,LU Fang,et al.Effect of the staged combustion on the effectiveness of NO_x emissions reduction of a latered

- combustion boiler[J]. Boiler Technology 2006 37(supplement): 50 - 53.
- [6] 冯琰磊,罗永浩,陆方,等. 层燃炉低 NO_x 再燃烧技术的实验研究[J]. 动力工程 2004 24(1): 29 - 32.
FENG Yan-lei, LUO Yong-hao, LU Fang, et al. Experimental research of low NO_x reburning technology for layered combustion boilers[J]. Power Engineering 2004 24(1): 29 - 32.
- [7] 陆方. 切圆煤粉锅炉低 NO_x 燃烧技术的研究和应用[D]. 上海: 上海交通大学 2009.
LU Fang. Study of the low NO_x combustion technology for tangentially-fired pulverized coal boilers and its applications[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University 2009.
- [8] Glarborg P, Kristensen P G, Dam-Johansen K, et al. Nitric oxide reduction by non-hydrocarbon fuels. implications for reburning with gasification gases[J]. Energy and Fuels 2000 14(4): 828 - 838.
- [9] Levy M R, Chan L K, Sarofim A F, et al. NO/Char Reaction at Pulverized Coal Flame Conditions[J]. Proceedings of the Combustion Institute 1980 18: 111 - 120.
- [10] 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 28(1): 86 - 92.
DU Hai-liang, ZHANG Pin, LUO Yong-hao, et al. Study of the re-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 28(1): 86 - 92.
- [11] 季俊杰. 燃煤链条锅炉燃烧的数值建模及配风与炉拱的优化设计[D]. 上海: 上海交通大学 2008.
JI Jun-jie. Numerical modeling of the combustion in a coal-fired chain grate boiler and optimized design of the air distribution and arch[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University 2008.
- [12] Arthur J R. Reactions Between Carbon and Oxygen[J]. Transactions of the Faraday Society 1951 47: 164 - 176.
- [13] 王苑. 燃煤链条锅炉层燃机理与灰沉积的数值模型研究[D]. 上海: 上海交通大学 2010.
WANG Yuan. Study of the mechanism governing the laminar combustion and the ash deposition of a coal-fired chain grate boiler[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University 2010.
- [14] 王苑,罗永浩,林鹏云,等. 煤在燃烧过程中灰层有效扩散系数的实验研究与应用[J]. 动力工程学报 2010 30(8): 573 - 577.
WANG Yuan, LUO Yong-hao, LIN Peng-yun, et al. Experimental study of the effective dispersion coefficient of the ash layer during the combustion of coal and its applications[J]. Journal of Power Engineering 2010 30(8): 573 - 577.
- [15] Aarna J. and Suuberg E. M. A review of the kinetics of the nitric oxide-carbon reaction, Fuel 1997 76(6): 475 - 491.
- [16] Aarna J. and Suuberg E. M. The Role of Carbon Monoxide in the NO -Carbon Reaction, Energy & Fuels 199 13: 1145 - 1153.

(陈滨 编辑)



2014GTW 机械驱动装置技术规范

据《Gas Turbine World》2014年1-2月刊发布了2014年度的机械驱动燃气轮机装置的技术规范。

介绍了世界各大燃气轮机制造公司的各型机械驱动装置产品。叙述了各型机械驱动装置的设计性能及规范,包括首台可用年份、SIO条件下额定连续功率、热耗率、效率、压气机压比、质量流量、涡轮转速、排气温度、重量和尺寸。

在注解一栏中还对一些装置的细节作了补充说明,诸如燃气发生器、单环燃烧室、标准燃烧系统、喷水降低 NO_x 、 NO_x 排放、双轴设计、双转子、未装罩坚守岗位时的尺寸和重量等。

2012年推出了三型新机械驱动用燃气轮机装置,它们是MAN Diesel & Turbo的功率达6900 kW和效率达34.0%的MGT6200、KHI的功率达30993 kW和效率达41.3%的L30A和Siemens Energy的功率达38205 kW和效率达40.7%的SGT-750。

(吉桂明 摘译)

at the outlet of the OFA spout will attenuate relatively slow and the rotating kinetic energy can be effectively transferred to the furnace center, thus making the combustible substances and air thereto sufficiently mixed and ensuring a burn-out degree. **Key Words:** W-shaped flame boiler, OFA spout, experimental study, numerical simulation

颗粒粒径对层燃炉煤层 NO_x 析出影响的研究 = **Study of the Influence of the Particle Diameter on the Precipitation of NO_x from the Coal Bed of a Laminar Combustion Boiler** [刊, 汉] DU Hai-liang, ZHANG Pin, LUO Yong-hao, CAO Yang (Thermal Energy Engineering Research Institute, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2014, 29(5). - 554 - 560

To investigate the influence of the coal particle diameter on the precipitation of NO_x from the coal bed of a laminar combustion boiler, a series of combustion test of different coal ranks at various particle diameters (5 to 10 mm and 12 to 20 mm) was carried out on a laminar combustion monoblock test stand. During the test, the NO_x concentration on the surface of the coal bed and O_2 , CO_2 , CO and H_2 concentration were tested and the influence of the particle diameter on the combustion characteristics of the laminar combustion boiler and its NO_x precipitation characteristics as well as the influence of CO on the NO_x precipitation characteristics were contrasted and analyzed. It has been found that the NO_x concentration along the direction of the chain grate features a dual-peak distribution and the first peak value is bigger than the second one. During the initial combustion time period, the volatile nitrogen was oxidized to form a great quantity of NO_x and the coal particles in small diameters delayed the combustion time duration while the diffusion coefficient of the ash bed formed by the coal particles in big diameters was smaller. Therefore, fewer NO_x was separated out in the earlier stage of the combustion, however, more NO_x was precipitated in the latter stage. The CO and NO_x on the coal bed enjoyed a very good correlation and the peak value of CO concentration corresponded to the valley value of NO_x concentration. CO intensified the heterogeneous reduction reaction of coke and NO . **Key Words:** laminar combustion boiler, NO_x , particle diameter, experimental study

固体燃料在 O_2 气氛下气化特性研究 = **Study of the Gasification Characteristics of Solid Fuels in O_2 Atmosphere** [刊, 汉] ZHU Lin, FAN Jun-ming (College of Chemistry and Chemical Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu, China, Post Code: 610500) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2014, 29(5). - 561 - 566

Based on the Gibbs free energy minimization theory and Van Krevelen coordinates, studied were the gasification characteristics of various solid fuels in the oxygen atmosphere when the fuels were fully gasified. It has been found that when the solid fuels are fully gasified, the variation ranges of CO , CO_2 , H_2 and H_2O mole fraction are 0.4 to