

不同配风方式下层燃炉煤层 NO_x 析出特性研究

杜海亮 张 品 罗永浩 陆 逸

(上海交通大学 热能工程研究所 上海 200240)

摘 要: 层燃炉中大颗粒煤燃烧特性与煤粉燃烧特性差别很大,为了准确掌握层燃炉煤中氮元素的析出规律,在层燃单元体炉上进行了不同配风方式下煤层表面 NO_x 析出特性的对比实验。实验中测试了不同煤种煤层表面 NO_x 浓度和 O₂、CO₂、CO、H₂ 浓度,并将不同配风方式下数据进行了对比分析,得到了层燃炉煤层表面 NO_x 浓度沿炉排呈现双峰分布的特点,在煤层引燃 5 min 左右 NO_x 形成第一个峰值,内蒙煤最大峰值为 769 mg/m³,淮南煤最大峰值为 695 mg/m³;同时得到了不同配风方式下煤层表面 NO_x 析出双峰的变化规律,为实际工业锅炉低 NO_x 燃烧运行提供理论依据。

关 键 词: 层燃炉; NO_x; 配风方式; 实验研究

中图分类号: TK 224.9 文献标识码: A

引 言

在我国的能源结构中,煤是主要化石能源,2010 年我国能源消费总量约为 32.49 亿吨标准煤,其中煤炭占能源消费总量的比重为 68.0%^[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,燃煤工业锅炉每年耗原煤约 5 亿吨,是仅次于燃煤电厂的第二大耗煤大户^[2]。我国燃煤工业锅炉煤种复杂,且设计和运行水平都比较落后,使燃煤工业锅炉具有低效率、高污染的特点。燃煤锅炉所排放的 NO_x 是大气污染物 NO_x 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%^[3]。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人们的重视,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。

目前,关于燃煤工业锅炉层燃炉的低 NO_x 燃烧技术的研究较少,部分文献对层燃 NO_x 实验进行了分析,Starley 等人对工业锅炉煤燃烧参数对燃料氮的析出与氧化的影响机理进行了实验研究^[4],结果

表明,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^[5],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。赵来福采用工业实验和单元体炉实验研究了燃煤链条锅炉 NO_x 生成特性^[6],验证了单元体炉方法研究链条锅炉炉内煤层 NO_x 析出规律的有效性,提出采用无氧热解燃烧方式,选择适当的煤层厚度,可以减少 NO_x 排放。上海交通大学罗永浩研究小组已对燃煤工业锅炉的低 NO_x 排放进行了初步的实验研究,季俊杰等人进行的分级燃烧实验结果显示^[7],空气分级和燃料分级 NO_x 减排效果分别能达到 28% 和 55%。冯琰磊等人结合再燃技术的实验得出层燃炉 NO_x 排放量降低 60%^[8]。常兵通过实际工业锅炉尾部烟气测试发现推迟配风工况下的 NO_x 含量最低^[9]。本研究在此基础上进一步探究不同配风方式下煤层表面 NO_x 析出特性,通过对比实验,测试煤层表面 NO_x 和 O₂、CO₂、CO、H₂ 等气体浓度,进一步揭示在层燃炉燃烧方式下煤中燃料氮的析出与转化机理,为实际层燃炉低 NO_x 燃烧运行提供理论依据。

1 煤燃烧过程中 NO_x 的生成

煤燃烧过程所排放出的 NO_x 包括 NO 和 NO₂ 等,主要是 NO(90%~95%)。按其生成的基础理论,NO_x 可分为 3 种类型:热力型 NO_x、快速型 NO_x 和燃料型 NO_x。

热力型 NO_x 来源于煤燃烧过程中空气中的 N₂ 在高温下被氧化生成,该机理最早由前苏联科学家捷里多维奇(Zeldovich)提出^[10]。由于氧原子 O 与氮分子 N₂ 反应的活化能很高,只有在燃烧温度高于 1 500 °C 时,热力型 NO_x 才会大量生成。由于研究的层燃炉燃烧区域温度较低,本研究中热力型 NO_x

收稿日期: 2012-04-10; 修订日期: 2012-05-08

基金项目: 上海市科委科技攻关基金资助项目(10DZ0510400)

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。

极少,可以忽略不计。

快速型 NO_x 主要是在碳氢火焰中的富燃料情况下发现的^[11],只有在深度富燃料的条件下,生成了大量的 CH 等活性根,快速型 NO_x 才显得重要。通常情况下,对于含氮的燃料而言,快速型 NO 对整个燃烧系统产生 NO_x 排放的贡献小于 5%。

燃料型 NO_x 指燃料中的氮在燃烧过程中经过一系列的氧化还原反应而生成的 NO_x,它是煤燃烧过程 NO_x 生成的主要来源,约占总的 NO_x 生成量的 80%~90%。同时,层燃炉中 NO_x 绝大部分为燃料型 NO_x,故对燃料型 NO_x 的生成机理的研究具有重要的意义。由于煤的燃烧过程主要由挥发分析出燃烧和焦炭燃烧两个阶段组成,所以燃料 N 随着析出阶段的不同,分为挥发分 N 和焦炭 N。

煤在层燃炉中燃烧时,随着炉排推进,依次地发生预热、干燥、挥发分析出和焦炭燃烧等过程。燃烧早期,温度较低,水分和轻质挥发物从煤中释放出来。随着温度进一步升高,煤中芳香环打开,释放出分子量较大的烃类和芳香族化合物,挥发分中氮主要以 HCN 和 NH₃ 形式存在。在氧化性气氛条件下,HCN 和 NH₃ 最终转化为 NO_x;在还原性气氛条件下,HCN 和 NH₃ 会部分还原为 N₂。在层燃炉煤燃烧过程中产生的碳氢化合物可以还原已生成的 NO_x,并最终转化为 N₂。因此,不同配风方式下改变层燃炉煤层不同区域氧浓度、燃烧气氛等实验工况来探究层燃炉煤层表面 NO_x 析出特性显得尤为重要。

2 实验目的及实验方案

2.1 实验目的

层燃炉煤层在燃烧过程中分区明显,各区域产生气体成分很不均匀,但是这种不均匀性又具有相似的规律,因而需要测试典型工况下煤层不同区域表面的 NO_x 析出特性。实验目的是为了比较层燃炉在不同配风方式下煤层表面 NO_x 析出特性及原因,为进一步深入研究层燃方式下煤中氮元素的迁移规律提供依据。

2.2 实验方案

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煤炭从开始着火到燃尽的燃烧过程,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 3 部分组成,一是单元

体炉实验主体,二是数据采集装置,三是风机装置。层燃单元体炉如图 1 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份,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。煤框上方相隔一段距离是电加热装置和隔热板。待电加热装置将上方封闭空间加热至一定温度后,抽离隔热板,高温辐射作用引燃煤层,这种设计可以模拟实际链条锅炉中煤层进入炉膛后受到高温炉拱辐射的引燃状况。

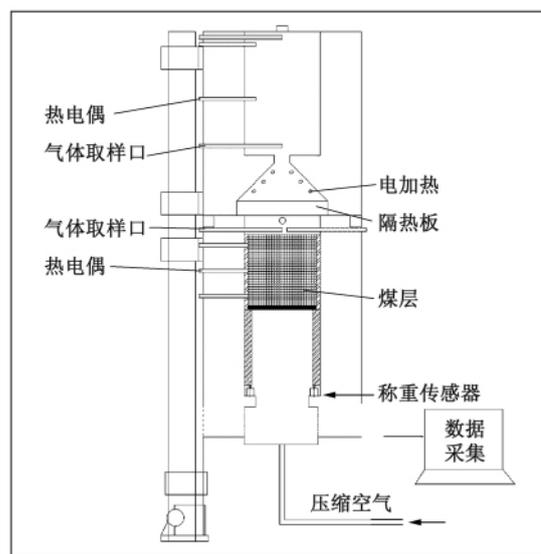


图 1 层燃单元体炉示意图

Fig. 1 Schematic diagram of a laminar combustion unit boiler

煤层表面 NO_x 测试采用德图 350 烟气分析仪,NO 测量范围为 0~6 150 mg/m³,响应时间为 30 s。德图 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 系列对煤层表面 CH₄,H₂,CO,CO₂ 和 O₂ 5 种气体组分进行在线连续测量。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 PtRh/Pt 热电偶进行测量。

本研究选择内蒙煤和淮南煤进行实验,煤质分

析如表 1 所示。

表 1 煤质分析
Tab. 1 Coal quality analysis

煤种	工业分析 /% (ar)				元素分析 /% (ar)					热值 /MJ · kg ⁻¹
	M	A	V	FC	C	H	S	N	O	Q _{net ar}
内蒙	6.9	19.35	28.25	45.5	59.2	3.65	0.5	0.85	9.55	22.82
淮南	14.7	17.11	25.56	42.63	53.34	3.45	0.85	0.79	9.76	20.40

实验前对原煤进行筛选,选取 5 ~ 10 mm 的颗粒进行实验,煤层厚度为 0.1 m。将煤放入单元体炉的煤框中,在煤层上方空间开始电加热并通过隔热板与煤层分隔,待其温度加热到 1 000 °C 以上后,抽离隔热板,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工况略低,因此所取过量空气系数略高,以利于煤层燃尽,内蒙煤和淮南煤的过量空气系数分别取 1.94 和 1.67,分别按 70 和 50 min 完全燃烧配风,二者的配风方式如图 2 所示。

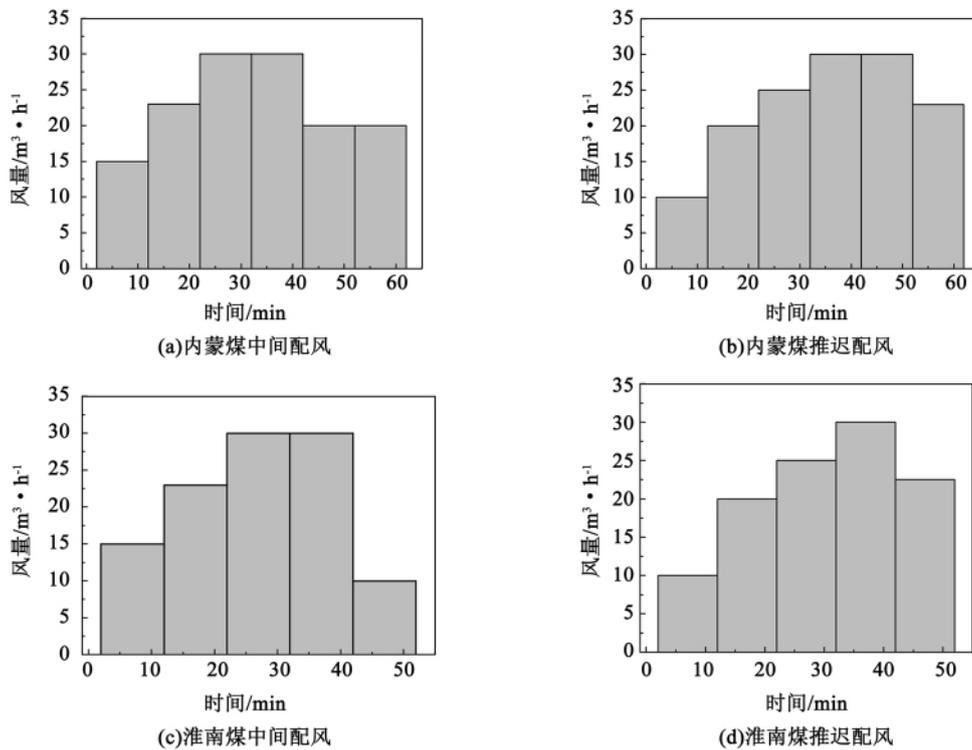


图 2 中间配风和推迟配风风量示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the air quantities in the intermedium air distribution and the delayed air distribution

3 实验结果与分析

在层燃单元体炉上分别对不同煤种在不同配风方式条件下进行对比实验。实验工况为:煤层厚度均为 0.1 m;淮南煤过量空气系数为 1.67,内蒙煤过

量空气系数为 1.94;颗粒粒径均为 5 ~ 10 mm。配风方式分为中间配风和推迟配风,如图 2 所示。当煤层上方空间被加热到 1 000 °C 以上后抽离隔热板 2 min 后,待煤引燃后再开鼓风机送入空气。不同配风方式下煤层表面 NO_x 析出特性如图 3 所示。

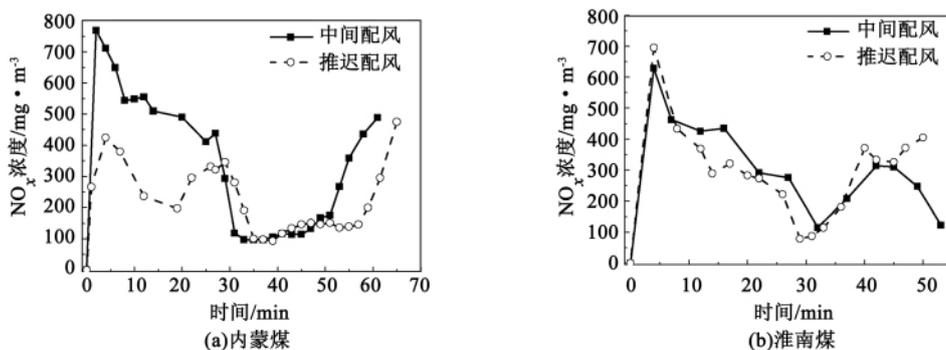


图 3 不同配风方式煤层表面 NO_x 析出对比

Fig. 3 Comparison of NO_x precipitated on the surface of the coal bed under various air distribution modes

从图 3 中 NO_x 分布的曲线可知 NO_x 在煤层表面沿炉排呈典型的双峰结构,且第一个峰值明显高于第二个峰值。这是因为在煤层被点然后燃烧前期挥发分大量析出,而此时煤层为剧烈燃烧,氧浓度较高,挥发分中氮元素在氧化性氛围下大量转化为 NO_x,并在 5 min 附近形成第一个峰值,内蒙煤最大

峰值为 769 mg/m³,淮南煤最大峰值为 695 mg/m³;在煤层燃烧后期焦炭中氮元素集中析出,此时煤层即将燃尽,氧量过剩,焦炭中析出的氮元素被氧化成 NO_x,在尾部形成第二个峰值。由于煤燃烧过程中挥发分氮生成的 NO_x 占到燃料型 NO_x 的大部分,所以第二个峰值要小于第一个峰值。

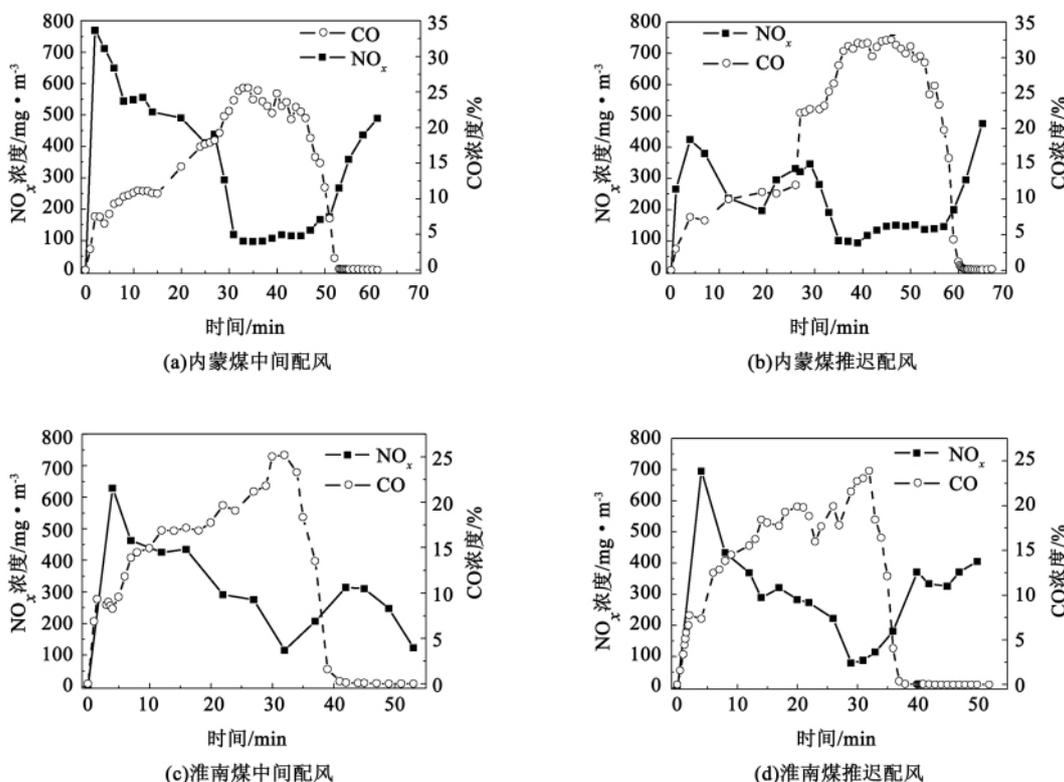


图 4 煤层表面 NO_x 与 CO 关联图

Fig. 4 Chart showing the correlation of NO_x and CO on the surface of the coal bed

从图 4 中 NO 和 CO 浓度分布曲线可知,煤层表面 NO 浓度和 CO 浓度有很好的关联性,CO 浓度的

峰值正好对应 NO 浓度的谷值。煤中 N 元素在燃烧过程中大部分先以 HCN、NH₃ 等形式析出,HCN 与

氧化性基团反应可转化为 NCO,并可进一步氧化为 NO_x,HCN 同时也可还原 NO,在过量空气系数小于 1 时,燃料中 HCN 对 NO_x 还原有很大影响^[12];NH₃ 既可以生成 NO_x,也可在还原性气氛中还原已生成的 NO_x。由图 4 可知,煤层缺氧,发生气化反应,大量生成 CO 时,煤中含有 N 的前生成物 HCN、NH₃ 等在还原性氛围下转化为 N₂,此时煤层表面析出的 NO_x 非常少。

在图 3 中,比较不同的配风方式下煤层表面 NO_x 析出曲线发现,推迟配风工况可以降低燃烧前期挥发分 N 转化为 NO_x,其中内蒙煤推迟配风工况下前期 NO_x 降低非常明显。通过图 5 内蒙煤表面气氛对比发现,推迟配风工况明显推迟了燃烧的进

程。在煤层被引燃后,煤层中挥发分大量析出,空气中 O₂ 迅速被消耗掉,煤层表面的 O₂ 浓度降为零。随着燃烧锋面从上向下推进,整个煤层处于旺盛燃烧阶段,空气中氧气在煤层下部的燃烧锋面附近全部被反应掉,煤层表面缺氧。随后焦炭气化,CO 大量生成,CO 浓度达到峰值之后开始下降。最后焦炭燃尽,煤层表面 O₂ 浓度开始回升。由图 2 可知推迟配风工况前部风量较小,燃烧过程拉长,中间气化区域延长,且 CO 浓度值更大,形成还原性氛围。而燃料型 NO_x 的一些前生成物 HCN、NH₃ 在还原性氛围下有利于转化为 N₂。图 6 的数据表明,淮南煤在两种配风方式下的燃烧特性与内蒙煤有相似的规律,推迟配风工况使淮南煤整个燃烧工况延迟。

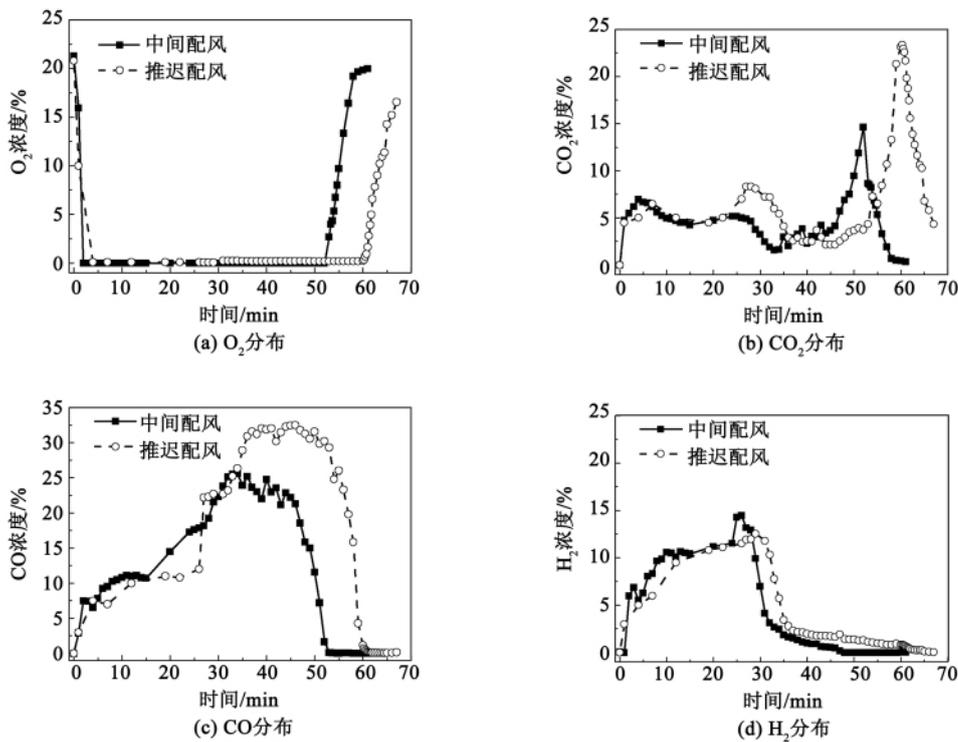


图 5 不同配风方式下内蒙煤煤层表面气氛

Fig. 5 Atmosphere on the surface of the coal bed of Inner Mongolia-originated coal under various air distribution modes

对比图 3 (a) 和图 3 (b) 发现,不同煤种在推迟配风方式下前部煤层表面 NO_x 浓度降低程度不一样,内蒙煤对于推迟配风变化更大,前部 NO_x 浓度降低更明显。由表 1 中煤种煤质分析数据可知,内蒙煤收到基挥发分为 28.25%,淮南煤收到基挥发分为 25.56%,内蒙煤的挥发分含量更高一些,而挥

发分中的 N 元素的转化路径对于氧量非常敏感。同样对比图 5 与图 6 也可以看出,不同煤种煤质不一样,在推迟配风下燃烧特性所表现出来的规律也不尽相同。在推迟配风方式下,两种煤的燃烧工况均向后延迟,但是内蒙煤延迟的程度要更为明显。

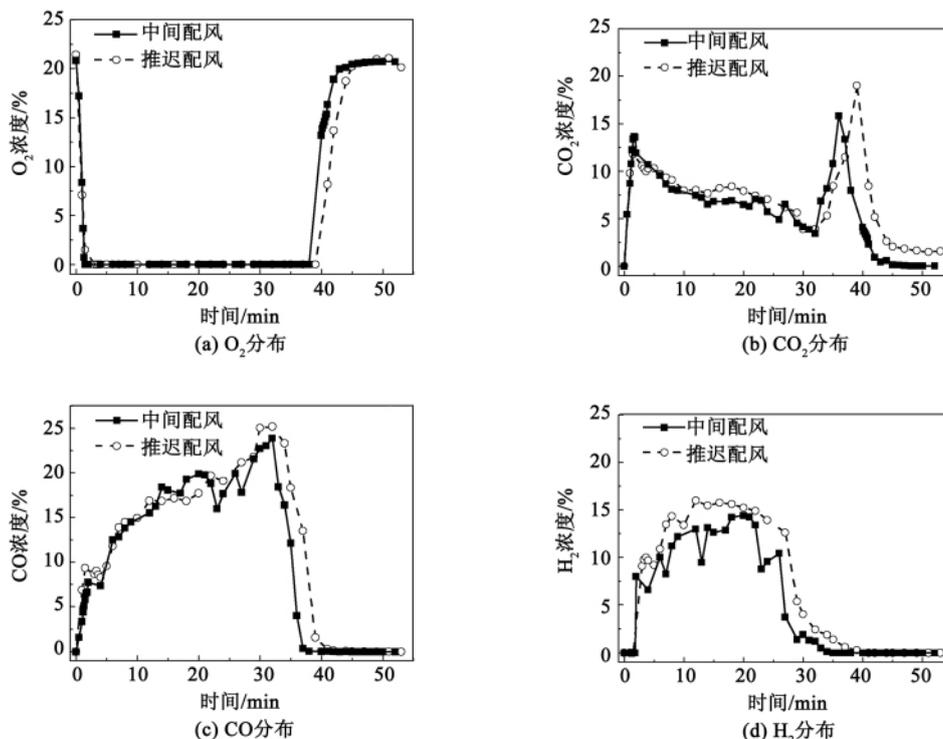


图 6 不同配风方式下淮南煤煤层表面气氛

Fig. 6 Atmosphere on the surface of the coal bed of Huai-nan-originated coal under various air distribution modes

4 结 论

本研究在单元体炉实验台上对不同煤种在不同配风方式下进行燃烧实验,测试煤层表面 NO_x 浓度和 O₂、CO₂、CO、H₂ 浓度,通过对比发现:

(1) 层燃炉煤层表面 NO_x 浓度沿炉排呈典型的双峰结构,且第一个峰值明显高于第二个峰值。挥发分中 N 在氧化性氛围下大量转化为 NO_x,并在 5 min 附近形成第一个峰值,内蒙煤最大峰值为 769 mg/m³,淮南煤最大峰值为 695 mg/m³;由于挥发分 N 转化的 NO_x 在燃料型 NO_x 中占主要部分,该规律为层燃炉的低 NO_x 燃烧运行提供了方向,低 NO_x 燃烧需要重点关注挥发分 N 的转化路径。

(2) 层燃炉煤层表面 NO 浓度和 CO 浓度有很好的关联性,CO 浓度的峰值正好对应 NO 浓度的谷值,这为进一步研究层燃方式下煤中氮元素的迁移路径提供了方向。

(3) 推迟配风工况延迟了层燃炉煤层的燃烧进程,不同的煤种延迟的程度不一样;同时推迟配风可以降低燃烧前期挥发分 N 转化为 NO_x,也具有煤种

的差异性。

参考文献:

[1] 国家统计局. 中国统计年鉴-2011 [M]. 北京: 中国统计出版社 2011.
China National Statistics Bureau. China statistical yearbook-2011 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2011.

[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 coal-fired chain grate boilers currently in operation [J]. Industrial Boiler, 2010(2): 20-24.

[3] 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 low NO_x emission characteristics in a pyrolysis-combustion chain grate boiler [J]. Journal of Process Engineering, 2010, 10(5): 842-848.

[4] Starley G P, W. Bradshaw F, 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.

[5] 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.

[6] 赵来福. 燃用烟煤链条锅炉 NO_x 生成特性研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学 2011.
ZHAO Lai-fu. Study of NO_x formation characteristics of a bituminous coal-fired chain grate boiler [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology 2011.

[7] 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. Study of the NO_x emissions reduction effectiveness of a laminar combustion boiler by using the staged combustion [J]. Boiler Technology 2006, 37(Supplement): 50-53.

[8] 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 the low NO_x reburning technology of a laminar combustion boiler [J]. Power Engineering 2004, 24(1): 29-32.

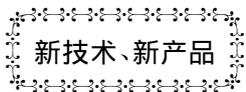
[9] 常兵. 配风方式对层燃炉燃烧特性影响的试验研究 [D]. 上海: 上海交通大学 2007.
CHANG Bing. Experimental study of the influence of the air distribution mode on the combustion characteristics of a laminar combustion boiler [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University 2007.

[10] Zeldovich J. B. The oxidation of nitrogen in combustion and explosions [J]. Acta Physicochimica URSS, 1946, 21(4): 577-628.

[11] Fenimore C. P. Formation of nitric oxide in premixed hydrocarbon flames [C] // Proceedings of the Combustion Institute, 1970, 13: 373-378.

[12] 钟北京, 傅维标. 再燃燃料中 HCN 对 NO_x 还原的影响 [J]. 热能动力工程 2000, 15(1): 4-8.
ZHONG Bei-jing, FU Wei-biao. Influence of the HCN in the reburning fuel on the NO_x reduction [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power 2000, 15(1): 4-8.

(陈 滨 编 辑)



湿压缩可增加输出功率并提高效率

据《Gas Turbine World》2012年3-4月刊报道,运营商正采用湿压缩技术,提高现有和新燃气轮机装置的输出功率和效率。

Siemens公司于2004年在阿拉伯联合酋长国迪拜的5台燃气轮机机组上安装并采用湿压缩系统。在2010年,湿压缩升级和改进成功后,装置的所有者订购更多的湿压缩装置用于3台以上燃气轮机。

- SGT5-2000E(V94. 2)

迪拜水电管理局5台机组利用湿压缩系统进行了升级和改进。该项目于2004年开始执行,首次在SGT5-2000E燃气轮机上实现这种湿压缩技术。

- SGT5-4000F(V94. 3A)

Siemens于2010年获得另一合同,在3台机组上配置湿压缩系统。这是湿压缩技术首次在SGT5-4000F燃气轮机上应用。

靠降低压气机入口温度和增加中间冷却及涡轮流量,湿压缩技术可提高燃气轮机的输出功率。

喷水装置由压气机进口喷嘴组和变频电动机驱动的高压泵组成。这些喷嘴以均匀分布的方式把微小的水滴喷入压气机,水在气压机内逐渐蒸发,使压缩空气冷却。

(吉桂明 摘译)

an increase of the bed temperature ,the conversion rate of methane will increase. However ,to change the concentration of methane will basically have no influence on the conversion rate of methane. **Key words:** methane at an ultra-low concentration ,inert particle ,combustion ,methane conversion rate

船用增压锅炉 NO_x 的生成机理及其排放量的近似计算方法 = **NO_x Formation Mechanism of a Marine Supercharged Boiler and a Method for Approximately Calculating Its Emissions** [刊 ,汉] QIN Xiao-yong ,LI Jun (College of Power Engineering ,Naval Engineering University ,Wuhan ,China ,Post Code: 430033) ,ZHANG Xiao-dong(Scientific Research Department ,Naval Engineering University ,Wuhan ,China ,Post Code: 430033) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2013 28(1) . - 82 ~ 85

On the basis of analyzing the chemical reaction mechanism governing the NO_x formation in a marine supercharged boiler ,presented was a method for approximately calculating the NO_x emissions of a marine supercharged boiler. The NO_x formation modes in a marine supercharged boiler mainly involve the thermal and fuel one. The NO_x formation amount in the thermal mode can be approximately calculated by using the effective temperature in the furnace ,the equilibrium concentrations of N_2 and O_2 at the effective temperature of the furnace and the mean residence time of the combustion products in the furnace. The NO_x formation amount in the fuel mode can be approximately calculated by using the content of nitrogen in the fuel and the mean conversion rate of nitrogen. The furnace effective coefficient m'' is 0.9 and the mean conversion rate of the NO_x formation amount in the fuel mode is 0.36. The maximal error between the actually measured results and the calculated ones of the NO_x formation amount in the marine supercharged boiler is 5.6% ,indicating that the method in question can meet the requirements for approximately estimating the NO_x emissions of a marine supercharged boiler. **Key words:** supercharged boiler , NO_x ,emissions ,approximate calculation method ,effective temperature

不同配风方式下层燃炉煤层 NO_x 析出特性研究 = **Study of the Precipitation Characteristics of NO_x in the Coal Bed of a Laminar Combustion Boiler Under Different Air Distribution Modes** [刊 ,汉] DU Hai-liang ,ZHANG Pin ,LUO Yong-hao ,LU Yi(Thermal Energy Engineering Research Institute ,Shanghai Jiaotong University ,Shanghai ,China ,Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2013 28(1) . - 86 ~ 92

The combustion characteristics of coal in large-sized particles in a laminar combustion boiler differ greatly from those of pulverized coal. To precisely master the law governing the precipitation of nitrogen element in a laminar combustion unit boiler ,a contrast test of the precipitation characteristics of NO_x from the coal bed surface under different air distribution modes was performed. During the experiment ,the NO_x concentrations and the O_2 , CO_2 , CO and H_2 concentrations on the coal bed surface of various coal ranks were tested and the data under different air distribution modes were compared and analyzed with the NO_x concentrations along the grate on the coal bed of a laminar combustion boiler featuring a dual peak distribution being obtained. Around 5 min after the boiler has been ignited from the coal bed , NO_x production formed its first peak value ,the maximal peak value of the amount of NO_x formed from

the Inner Mongolia-originated coal was 769 mg/m^3 and that from the Huainan-originated coal was 695 mg/m^3 . In the meantime, the dual-peak variation law governing the precipitation of NO_x from the coal bed surface under different air distribution modes was obtained, offering a theoretical basis for operation of practical industrial boilers at low NO_x emissions. **Key words:** laminar combustion boiler, NO_x , air distribution mode, experimental study

链条炉分层燃烧的数值模型与计算 = **Numerical Model and Calculation of the Stratified Combustion in a Chain Stoker** [刊, 汉] ZHANG Pin, DU Hai-liang, WANG Yuan, LUO Yong-hao (Thermal Energy Engineering Research Institute, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2013, 28(1). - 93 ~ 98

In the light of the specific features of the stratified combustion, on the basis of a single particle diameter model, established was a dual particle diameter model for the stratified combustion of a chain stoker and verified through a test in a practical boiler. The dual particle diameter model can better simulate the combustion characteristics of the coal bed after a stratified coal bunker has been additionally installed. By utilizing the improved dual particle diameter model, the influence of the coal feed modes by a commonly used coal bunker and a stratified coal bunker on the combustion was simulated. It has been found that the dual particle diameter model can simulate very well the combustion characteristics of the coal bed when large and small particles of coal are present simultaneously. The stratified stacking mode is conducive to the ignition of coal bed and the promotion of the burn-out of coal. The content of carbon in ash and slag during stratified combustion is 9.54% while that during blended combustion is 15.81%. **Key words:** chain stoker, laminar combustion, stratified combustion, numerical simulation

基于变热量等效热降的混合发电系统通用矩阵模型 = **General-purpose Matrix Model for Hybrid Power Generation Systems Based on a Variable Heat Quantity Equivalent Heat Drop** [刊, 汉] YE Xue-min, LI Chun-xi (College of Energy Power and Mechanical Engineering, North China University of Electric Power, Baoding, China, Post Code: 071003), QI Cheng (Northwest Electric Power Designing Institute, Xi'an, China, Post Code: 710075) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2013, 28(1). - 99 ~ 104

On the basis of a constant heat quantity equivalent heat drop method, established was a variable heat quantity equivalent heat drop general-purpose matrix model for hybrid power generation systems. With a 600 MW unit integrated in a hybrid power generation system serving as an example, by using the general purpose matrix model, the thermal cost-effectiveness of the unit in a hybrid power generation system was calculated with the advantages of the hybrid power generation system being analyzed. The research results show that the system efficiency, coal quantity saved and carbon dioxide emissions reduced are closely related to the location acted by the auxiliary heat source system and the flow distribution coefficient. When the auxiliary heat source system acts on the high pressure stage heaters, the energy saving potential and the economic benefit of the system are as a whole better than those when it acts on the low pressure stage heaters. When the auxiliary heat source system acts on various low pressure stage heaters, the steam extraction efficiencies of various high pressure stages and the deaerator stage will be improved. **Key words:** variable heat quantity equivalent heat drop, hybrid power generation, matrix model, thermal cost-effectiveness