

添加剂在生物质燃料燃烧时对 NO 排放的影响

吴明洋¹ 赵兵涛¹ 苏亚欣²

(1. 上海理工大学 能源与动力工程学院, 上海 200093; 2. 东华大学 环境科学与工程学院, 上海 201620)

摘要:为控制生物质燃烧过程中 NO_x 的排放, 本研究采用向生物质中添加纳米铁基添加剂的方式进行 NO 燃烧抑制研究。在一维管式炉中, 分别对含有纳米 Fe₂O₃ 添加剂的三种典型生物质燃料玉米秸秆、稻壳和锯末进行生物质取样 100 mg, 在 700、800 和 900 °C 工况下实验研究 NO 排放特性。结果表明: Fe₂O₃ 可以有效地降低 NO 的峰值。随着温度升高, 玉米秸秆和锯末的 NO 峰值降低率加大, 在 800 °C 时稻壳的 NO 峰值降低率最大。不同温度下, 添加 1 mg 的 Fe₂O₃ 时玉米秸秆、稻壳和锯末的最大 NO 峰值降低率分别为 18.71%、29.88% 和 18.66%。增加 Fe₂O₃ 的添加剂量, NO 峰值降低率增大。在 900 °C 时添加 0.5~2 mg 的 Fe₂O₃, 玉米秸秆、稻壳和锯末, 最大 NO 峰值降低率分别为 28.02%、32.56% 和 27.12%。纳米 Fe₂O₃ 降低 NO 排放的效果要好于纳米单质 Fe。根据生物质燃烧过程中氮的转化路径与机理, 推测 Fe₂O₃ 主要通过将 NO 的前驱物 HCN 还原为 N₂, 从而抑制 NO 的生成; 单质 Fe 则主要通过直接将生成的 NO 还原为 N₂ 来减少 NO 的排放。

关键词: 生物质; 燃烧; NO; 纳米铁基添加剂; 排放控制
中图分类号: TK16 文献标识码: A
DOI: 10.16146/j.cnki.rndlge.2016.05.020

引言

生物质是一种可再生资源, 具有资源量丰富、净 CO₂ 排放为零等优点^[1-2]; 在能源危机和环境恶化双重压力下, 生物质利用技术得到了长足发展。其主要利用方式有燃烧、气化、液化及制备生物乙醇、生物质油和沼气等技术^[3-6]; 其中, 生物质燃烧是目前最为常见的利用形式。生物质虽然具有较低的氮含量, 但是燃烧过程中产生的 NO_x 却不容忽视, 其中, 最主要为 NO。目前工程上主要通过空气分级和燃料分级等方法控制生物质燃烧过程释放的 NO_x^[7-10]。

近年来, 研究人员对 Fe 离子在燃烧过程中对 NO 的生成影响开展了研究。研究人员发现 Fe 离子能够有效地降低主要的 NO_x 前驱物, 如 HCN/NH₃ 的生成, 从而有效地减少燃烧过程中 NO 的生成。如 Guan 等发现 Fe 的化合物可以抑制含 N 燃料(如煤、生物质等)热解时 HCN/NH₃ 的生成^[11]; 进一步的研究表明 Fe₂O₃ 能够有效将 HCN 还原为 N₂^[12-14]。在此机理的基础上, 使用一定量的 Fe₂O₃ 与再燃燃料混合, 可大幅度提高再燃的脱硝效率^[12, 14-15]; 不同的研究表明: 铁及其化合物具有直接还原 NO 或催化还原 NO 的作用^[16-20]; Hayhurst 等发现金属铁的粉末在一定程度上能够把 NO 还原为 N₂, 并且提出了 Fe 还原 NO 的反应机制^[16-17]; Gardon 等及苏亚欣等的实验结果均表明, 金属铁具有非常高效的直接催化还原 NO 的作用^[18-19]; Zhao 等发现 Fe 离子能够催化 NO 在煤焦表面的还原^[20]。

目前, 基于分级燃烧控制生物质燃烧 NO_x 排放的方法需要精准地控制燃烧过程, 且其脱硝效率较低。利用 Fe 离子在燃烧过程中控制 NO 前驱物的生成, 则可直接减少燃烧后生成的 NO。有关以铁基物质作为添加剂与生物质简易物理混合后在燃烧过程中降低 NO_x 排放的研究鲜有报道, 其基本的过程排放特性和机理值得进一步研究。本研究即选取三种典型生物质(玉米秸秆、稻壳和锯末), 向其中添加纳米铁基物质(Fe₂O₃, Fe)来控制 NO 的生成。着重研究不同温度下添加不同剂量的 Fe₂O₃ 时, 生物质在燃烧过程中生成 NO 的实时浓度排放特性, 以及比较 Fe₂O₃ 和 Fe 分别作为添加剂时的 NO 排放

收稿日期: 2015-06-01; 修订日期: 2015-07-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50806049、51278095); 上海市自然科学基金资助项目(08ZR1415100); 沪江专项基金资助项目(D14001)

作者简介: 吴明洋(1991-), 男, 河南信阳人, 上海理工大学硕士研究生。

通讯作者: 赵兵涛, 男, 上海理工大学副教授。

特性。在此基础上通过生物质燃烧过程中氮转化途径的分析,探讨铁基物质控制生物质燃烧 NO 的作用机制。

1 实验简介

1.1 实验系统

实验系统如图 1 所示,由气瓶、流量计、程序控温式一维管式炉和烟气分析仪组成。炉管两端采用自行设计的刚体活夹装置以确保在实验过程中的快速密封。刚玉管的长和内径分别为 1 200、260 mm;燃烧舟的长、内宽和高分别为 97、12 和 13 mm。

1.2 实验材料

实验中选取的三种典型生物质为玉米秸秆、稻壳和锯末,其元素分析和工业分析如表 1 所示。三

种生物质均研磨成粉,粒径均小于 0.15 mm,并干燥 10 h 后装入密封袋备用。所添加铁基物质为纳米 Fe₂O₃(分析纯),粒径为 100 nm;纳米 Fe(纯度为 99.9999%),平均粒径为 100 nm。

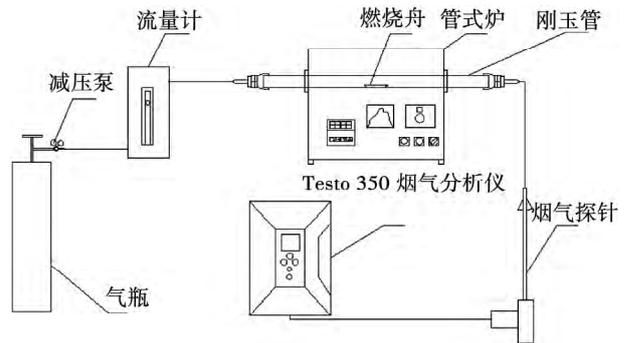


图 1 实验系统图

Fig. 1 Diagram of a test system

表 1 生物质样品的工业分析和元素分析

Tab. 1 Industrial and elementary analysis of a biomass sample

样品	工业分析 / %				元素分析 / %				
	M _{ad}	A _{ad}	V _{ad}	FC _{ad}	C _{ad}	H _{ad}	O _{ad}	N _{ad}	S _{ad}
玉米秸秆	6.57	6.62	73.57	13.24	44.02	5.30	38.50	1.40	0.15
稻壳	6.00	16.92	56.98	20.10	36.47	5.16	33.99	0.92	0.09
锯末	5.83	1.74	74.06	18.37	45.83	4.94	39.41	0.72	0.22

1.3 实验步骤

将管式炉升至恒定的温度(700、800 和 900 °C);打开气瓶,调节流量计,使空气流量稳定在 2 L/min;最后,将已称取好并平铺于燃烧舟底部的实验材料,快速送入炉中燃烧,然后立刻将右端的活夹拧紧,与此同时启动烟气分析仪的实时测量软件,实时测量 NO 的浓度,直至燃烧完成。为了保证数据的可靠性,每组实验均做三组平行实验。实验的相对标准偏差均小于 1.14%,表明实验可重复性好。实验工况如表 2 所示。

表 2 实验工况

Tab. 2 Test conditions

温度 / °C	生物样本 / mg	Fe ₂ O ₃ / mg	Fe / mg
700 800 900	100	/	/
700 800 900	100	1	/
900	100	0.5, 1, 2	/
900	100	/	1

2 结果与讨论

2.1 不同温度下 NO 的排放特性

图 2 为不同温度下,三种生物质添加纳米 Fe₂O₃ 前后的 NO 实时排放曲线。

图 2(a) ~ 图 2(c) 分别为玉米秸秆、稻壳和锯末。生物质取样为 100 mg;纳米 Fe₂O₃ 的添加剂量为 1 mg;空气流量为 2 L/min。结果表明:Fe₂O₃ 使三种生物质在不同温度下均实现了 NO 峰值的降低。由图 2(a) 可知,Fe₂O₃ 使玉米秸秆在 700、800 °C 时的 NO 峰值降低率相当,分别为 7.1% 和 7.5%;900 °C 时,NO 峰值降低率最高为 18.71%;由图 2(b) 可知,Fe₂O₃ 使稻壳在 800 °C 时的 NO 峰值降低率最高,达 29.88%;900 °C 时为 20.93%;而 700 °C

时几乎没有影响。由图 2(c) 可知, Fe_2O_3 使锯末在 700、800 和 900 °C 时均达到了较高的 NO 峰值降低率, 分别为 14.47%、17.72% 和 18.66%。随着温度的升高, 玉米秸秆和锯末的 NO 峰值降低率增大。

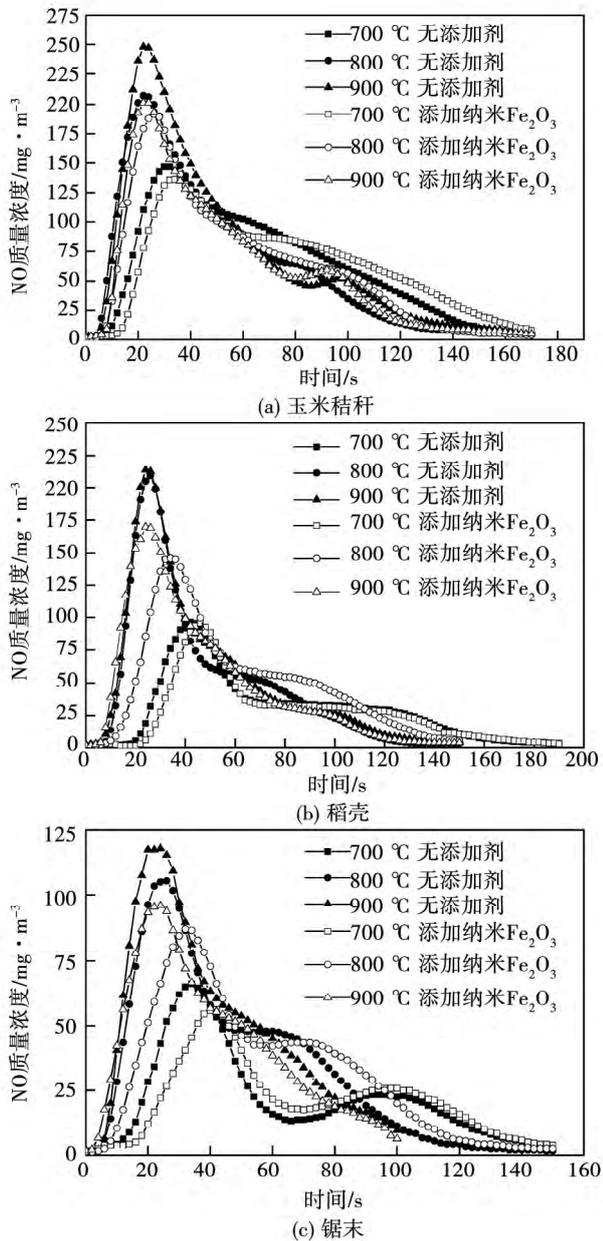
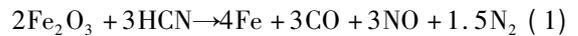


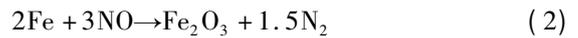
图 2 三种生物质添加纳米 Fe_2O_3 前后的 NO 实时排放曲线

Fig. 2 Curves of the NO real-time emissions of three kinds of biomass before and after the nano- Fe_2O_3 is added

在燃烧过程中, 燃料中的 N 首先部分转换为挥发分 N^[21-22] 如 HCN/NH₃ 和焦油(焦油经裂解后也转化为 HCN/NH₃) 然后 HCN/NH₃ 被氧化生成 NO。研究表明, Fe_2O_3 可有效地减少 HCN, 并通过下式将 HCN 还原^[12-13]:



Hayhurst、Lissianski、苏亚欣以及 Gardon 等研究发现 Fe 还原 NO 的反应机制^[12, 14, 16-19], 如式(2)所示:



在燃烧过程中, 生物质释放的部分 HCN 通过式(1)被 Fe_2O_3 还原为 N₂。部分 HCN 经氧化生成 NO 后通过式(2)被 Fe 还原为 N₂。温度升高, 使式(1)和式(2)的反应速率增大, 更多的 HCN 被还原为 N₂, NO 的前驱物进一步减少, 使 NO 的峰值降得更低。而稻壳在 800 °C 时的峰值降低率要高于 900 °C。这有可能和稻壳的燃烧特性有关。刘皓等人的实验研究表明: 850 °C 左右, 稻壳灰的比表面积和孔容积都达到最大, 最适合稻壳的燃烧^[23]。700 和 800 °C 时, 添加 Fe_2O_3 均会使三种生物质 NO 峰值出现时间推迟。这主要是因为附着在生物质表面的 Fe_2O_3 使生物质与空气的接触受阻, 从而推迟燃烧的进行。但是 900 °C 时, 加入 Fe_2O_3 却不会使 NO 峰值出现时间推迟。这可能是因为, 在 900 °C 的高温下, 生物质的燃烧过程和 Fe_2O_3 还原 HCN 的过程均已十分剧烈, Fe_2O_3 阻碍生物质与空气接触的影响可忽略不计。

2.2 不同添加剂量对 NO 排放特性的影响

图 3 为 900 °C 时添加不同剂量 Fe_2O_3 时 NO 实时排放曲线。

图 3(a) ~ 图 3(c) 分别为玉米秸秆、稻壳和锯末。 Fe_2O_3 的添加剂量分别为 0.5、1 和 2 mg; 生物质取样为 100 mg; 空气流量为 2 L/min。由图 3(a) 可知 900 °C 时, 玉米秸秆分别加入 0.5、1 和 2 mg 的纳米 Fe_2O_3 后, NO 峰值分别降低了 5.87%、18.71% 和 28.02%; 由图 3(b) 可知, 稻壳加入不同剂量的纳米 Fe_2O_3 后, NO 峰值分别降低了 7.95%、20.93%

和 32.56%；由图 3(c) 可知，锯末加入不同剂量的纳米 Fe_2O_3 后峰值分别降低了 9.51%、18.66% 和 27.12%。结果表明：随着 Fe_2O_3 的添加量增加，NO 峰值降低率增大。

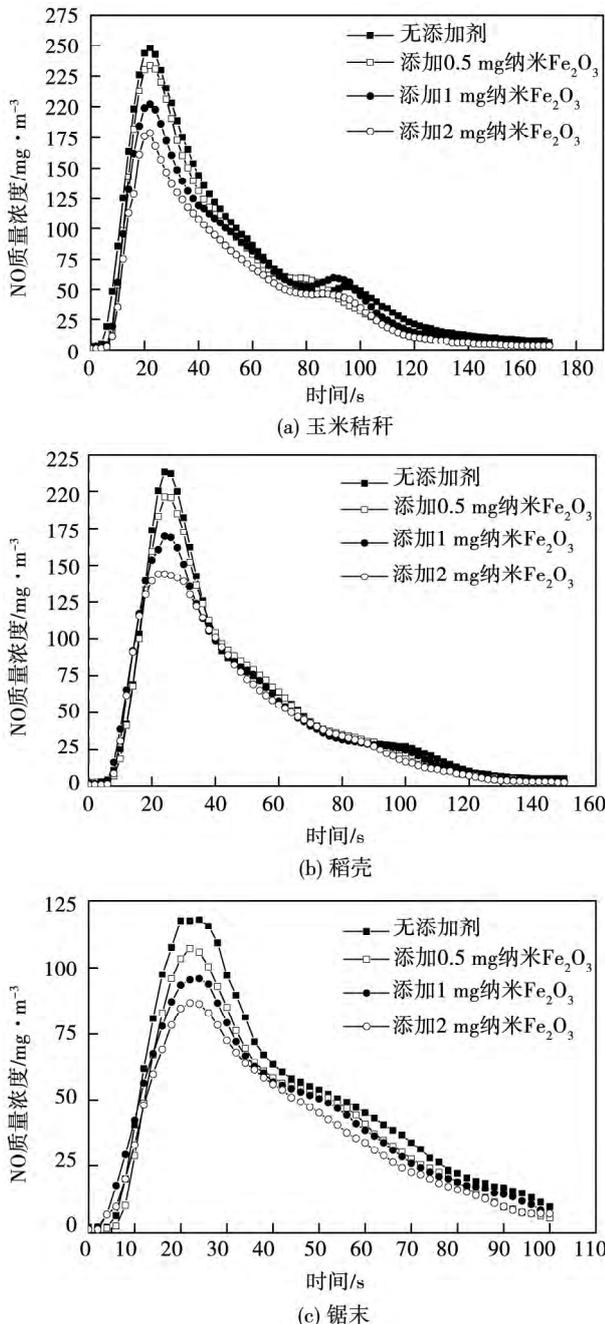


图 3 添加不同剂量的纳米 Fe_2O_3 时 NO 实时排放曲线

Fig. 3 Curves of the NO real-time emissions of three kinds of biomass when the nano- Fe_2O_3 in various doses is added

这主要是因为增加 Fe_2O_3 的量，可以使 Fe_2O_3 和生物质更好地混合，使 Fe_2O_3 能够与燃烧生成的 HCN 充分地接触，有利于式 (1) 和式 (2) 的进行，减少 HCN 的量，使 NO 的生成量减少。同时增加 Fe_2O_3 的量，可以使式 (1) 的反应速率加快，将更多的 HCN 还原，NO 的前驱物进一步减少，从而使 NO 的峰值降得更低。此外，900 °C 时，增加 Fe_2O_3 的添加剂量，并没有使 NO 峰值出现的时间发生变化。这可能是因为 900 °C 的高温下，生物质的燃烧过程和 Fe_2O_3 还原 HCN 的过程均已十分剧烈， Fe_2O_3 阻碍生物质与空气接触的影响可忽略不计。

2.3 纳米 Fe_2O_3 与纳米 Fe 的比较

图 4 为 900 °C 时分别添加纳米 Fe_2O_3 和纳米 Fe 时 NO 实时排放曲线。图 4(a) ~ 图 4(c) 分别为玉米秸秆、稻壳和锯末。生物质取样为 100 mg，纳米 Fe_2O_3 和纳米 Fe 均为 1 mg，空气流量为 2 L/min。由图 4(a) 可知，玉米秸秆分别添加纳米 Fe_2O_3 和纳米 Fe 后，NO 峰值降低了 18.71% 和 4.81%；由图 4(b) 可知，稻壳分别添加纳米 Fe_2O_3 和纳米 Fe 后，NO 峰值降低了 20.93% 和 12.98%；由图 4(c) 可知，锯末分别添加纳米 Fe_2O_3 和纳米 Fe 后，NO 峰值降低了 18.66% 和 12.68%。结果表明：纳米 Fe 作为添加剂时，也能将 NO 的峰值降低，但是其 NO 减排效果不如 Fe_2O_3 。

这主要是因为两者降低 NO 峰值的原理不同。 Fe_2O_3 主要是通过还原 NO 的前驱物 HCN 来抑制 NO 的生成，如式 (1) 和式 (2) 所示；而 Fe 主要是直接将生成的 NO 还原为 N_2 ，如式 (2) 所示。在 900 °C 温度和空气条件下，Fe 很快会被氧化，从而使参与还原 NO 的 Fe 减少，使降低 NO 排放的效果降低。另外，一部分燃烧生成的 NO 可能直接被空气带走未与 Fe 充分接触发生反应。

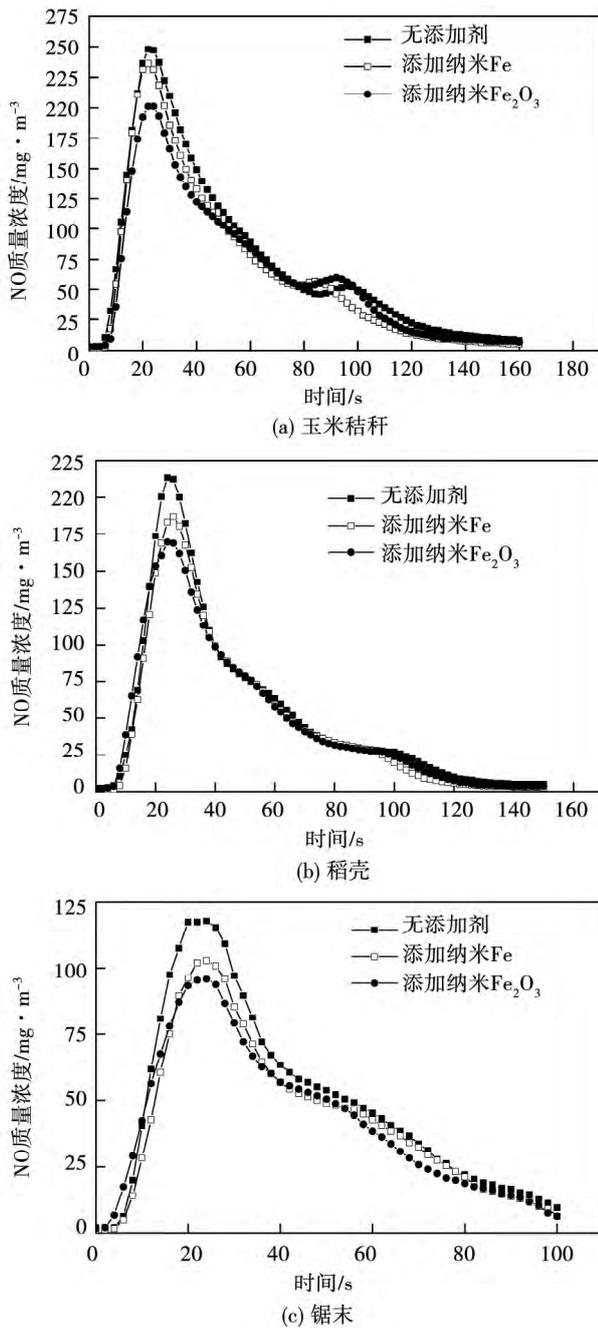


图 4 分别添加纳米 Fe₂O₃ 和 纳米 Fe 时 NO 实时排放曲线

Fig. 4 Curves of the NO real-time emissions of three kinds of biomass when the nano-Fe₂O₃ and nano-Fe are added respectively

3 结 论

(1) 不同温度下(700、800 和 900 °C) 纳米 Fe₂

O₃ 均能使三种生物质的 NO 峰值降低。玉米秸秆和锯末的 NO 峰值降低率均随着温度的升高而增大。但在 800 °C 时 稻壳的 NO 峰值降低率最大。700 和 800 °C 时 加入 Fe₂O₃ 会推迟 NO 峰值出现的时间, 而 900 °C 时影响较小;

(2) 增加纳米 Fe₂O₃ 的添加剂量, 三种生物质的 NO 峰值降低率均会增大;

(3) 纳米 Fe 作为添加剂时, 降低 NO 排放的效果不如 Fe₂O₃;

(4) 根据生物质燃烧过程中氮的转化路径与机理, 可以推测 Fe₂O₃ 主要通过将 NO 的前驱物 HCN 还原为 N₂, 从而抑制 NO 的生成。Fe 则主要通过直接将生成的 NO 还原为 N₂ 来减少 NO 排放;

(5) 本研究中生物质燃烧温度范围为 700 ~ 900 °C 符合大多数常规工业生物质燃烧工艺和设备所要求的温度范围。但是, 在某些工业燃烧设备和燃烧条件下, 生物质的燃烧温度会超过 900 °C。因此, 本研究的结果在高温下的工业适用性需要进一步深入和广泛的验证。

参考文献:

[1] Werther J, Saenger M, Hartge E U, et al. Combustion of agricultural residues [J]. Progress in energy and combustion science 2000 26 (1): 1-27.
 [2] 杨正虎, 袁益超, 刘聿拯, 等. 生物质能系统研究及发展 [J]. 上海理工大学学报 2004 26(1): 35-41.
 YANG Zheng-hu, YUAN Yi-chao, LIU Yu-zheng, et al. Development and research of biomass energy systems [J]. Journal of Shanghai University of Science and Technology 2004 26(1): 35-41.
 [3] 陈汉平, 李 斌, 杨海平, 等. 生物质燃烧技术现状与展望 [J]. 工业锅炉 2009 4(5): 1-7.
 CHEN Han-ping, LI Bin, YANG Hai-ping, et al. Status quo and prospect of the biomass combustion technology [J]. Industrial Boiler 2009 4(5): 1-7.
 [4] 吴创之, 刘华财, 阴秀丽. 生物质气化技术发展分析 [J]. 燃料化学学报 2013 41(7): 798-804.
 WU Chuang-zhi, LIU Hua-cai, YIN Xiu-li. Analysis of the development of the biomass gasification technology [J]. Journal of Fuel Chemistry 2013 41(7): 798-804.

- [5] 刘春元,罗永浩,张睿智,等.含焦油生物质气化气再燃还原NO的实验研究[J].上海理工大学学报,2014,36(5):502-506.
LIU Chun-yuan,LUO Yong-hao,ZHANG Rui-zhi,et al. Experimental study of the NO reduction during the reburning of tar-contained biomass gasification syngas[J]. Journal of Shanghai University of Science and Technology 2014,36(5):502-506.
- [6] 王爽,姜秀民,王谦,等.不同工况下条苔苔的快速热裂解制取生物质油实验研究[J].热能动力工程,2013,28(2):202-206.
WANG Shuang,JIANG Xiu-min,WANG Qian,et al. Experimental study of the quick pyrolysis of enteromorpha clathrata to prepare bio-oil under various conditions[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy & Power 2013,28(2):202-206.
- [7] Houshfar E,Skreiberg Ø,Todorovi ć D,et al. NO_x emission reduction by staged combustion in grate combustion of biomass fuels and fuel mixtures[J]. Fuel 2012,98(0):29-40.
- [8] Houshfar E,Skreiberg Ø,Løvås T,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.
- [9] Roger S. Fuel staging for NO_x reduction in biomass combustion: experiments and modeling[J]. Energy & Fuels 2001,15(3):575-582.
- [10] Thomas N. Combustion and co-combustion of biomass: fundamentals, technologies, and primary measures for emission reduction[J]. Energy & Fuels 2003,17(6):1510-1521.
- [11] GUAN Ren-gui,LI Wen,CHEN Hao-kan,et al. The release of nitrogen species during pyrolysis of model chars loaded with different additives[J]. Fuel Processing Technology 2004,85(8-10):1025-1037.
- [12] 苏亚欣,BENSON B G,CHEN Wei-yin. Fe₂O₃控制再燃脱硝中间产物HCN的实验研究[J].环境科学学报,2011,31(6):1181-1186.
SU Ya-xin,Benson B G,CHEN Wei-yin. Experimental study of the intermediate product HCN controlled by re-burning and denitrification of Fe₂O₃[J]. Acta Scientiae Circumstantiae 2011,31(6):1181-1186.
- [13] TAN Hou-zhang,WANG Xue-bin,NIU Yang-qing,et al. Studies of interaction mechanism between iron and HCN[J]. Asian Journal of Chemistry 2010,22(5):4017-4025.
- [14] Lissianski V V,Maly P M,Zamansky V M. Utilization of iron additives for advanced control of NO_x emissions from stationary combustion sources[J]. Industry and Engineering Chemistry Research 2001,40(15):3287-3293.
- [15] 郝红涛,于伟,卢平,等.生物质高级再燃脱硝的影响因素与元素释放特性[J].燃料化学学报,2014,42(5):552-558.
HAO Hong-tao,YU Wei,LU Ping,et al. Factors influencing the advanced reburning and denitrification of biomass and element release characteristics[J]. Journal of Fuel Chemistry,2014,42(5):552-558.
- [16] Hayhurst A N,Ninomiya Y. Kinetics of the conversion of NO to N₂ during the oxidation of iron particles by NO in a hot fluidized bed[J]. Chemical Engineering Science,1998,53(8):1481-1489.
- [17] Hayhurst A N,Lawrence A D. The reduction of the nitrogen oxides NO and N₂O to molecular nitrogen in the presence of iron oxides and carbonmonoxide in a hot fluidized bed[J]. Combustion and Flame,1997,110:351-365.
- [18] Gradon B,Lasek J. Investigation of reduction of NO to N₂ by reaction with Fe[J]. Fuel 2010,89(11):3505-3509.
- [19] 苏亚欣,苏阿龙,成豪.金属铁直接催化还原NO的实验研究[J].煤炭学报,2012,37(S1):206-210.
SU Ya-xin,SU A-long,CHENG Hao. Experimental study of metal iron to directly catalyze and reduce NO[J]. Journal of Coal,2012,37(S1):206-210.
- [20] ZHAO Zong-bin,LI Wen,LI Bao-qing. Catalytic reduction of NO by coal chars loaded with Ca and Fe in various atmospheres[J]. Fuel 2002,81(11-12):1559-1564.
- [21] Glarborg P A,Jensen J E,Johns S. Fuel nitrogen conversion in solid fuel fired systems[J]. Progress in Energy and Combustion Science 2003,29(2):89-113.
- [22] ZHOU H,Jensen A D,Glarborg P,et al. Formation and reduction of nitric oxide in fixed-bed combustion of straw[J]. Fuel 2006,85(5):705-716.
- [23] 刘皓,黄琳.稻壳流化床设计运行的若干问题[J].工业锅炉,1996(1):5-6.
LIU Hao,HUANG Lin. Several problems relating to the design and operation of a rice husk-fired fluidized bed[J]. Industrial Boiler,1996(1):5-6.

(刘瑶 编辑)

添加剂在生物质燃烧时对 NO 排放的影响 = **Characteristics of the NO Emissions Controlled by Nano Iron-based Additives During Biomass Combustion and Its Mechanism** [刊, 汉] WU Ming-yang, ZHAO Bing-tao (College of Energy Source and Power Engineering, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093) , SU Ya-xin (College of Environment Science and Engineering, Donghua University, Shanghai, China, Post Code: 201620) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2016, 31 (5) . - 129 ~ 134

To control the NO emissions during the biomass combustion, a method to add nano iron-based additives to biomass was used to study the inhibition of NO production during the combustion process. In an one-dimensional tubular furnace, the NO emission characteristics of three typical kinds of biomass (corn stalk, rice husk and sawdust, 100 mg) containing the nano Fe_2O_3 additive were experimentally studied at a temperature of 700 °C, 800 °C and 900 °C respectively. It has been found that Fe_2O_3 can effectively lower the peak value of NO. With an increase of the temperature, the descending rate of the NO peak value of corn stalk and sawdust will increase, however, that of the rice husk will arrive at its maximum value at 800 °C. At different temperatures, when a weight of 1 mg Fe_2O_3 is added, the maximum descending rates of the NO peak values of corn stalk, rice husk and sawdust will be 18.71%, 29.88% and 18.66% respectively. When a weight of 0.5 to 2 mg Fe_2O_3 is added, the maximum descending rates of the NO peak value of corn stalk, rice husk and sawdust will be 28.02%, 32.56% and 27.12% respectively at 900 °C. The effectiveness of the nano Fe_2O_3 to lower the NO emissions is superior to that of the nano single substance Fe. According to the path and mechanism governing the conversion of N during the biomass combustion process, it can be predicted that Fe_2O_3 will mainly reduce the precursor HCN of NO to N_2 , thus inhibiting the production of NO while the single substance Fe will mainly reduce the NO produced to N_2 to lower the NO emissions. **Key words:** biomass, combustion, NO, nano iron-based additive, emission control

蔗渣锅炉低温受热面积灰原因分析及解决方案 = **Analysis of the Causes for Dust Deposition on the Low Temperature Heating Surface of a Bagasse-fired Boiler and Their Solutions** [刊, 汉] WANG Guang-pei, JIANG Wen (Huadian Electric Power Science Research Institute, Hangzhou, China, Post Code: 310030) , (Hangzhou Huadian Energy Source Engineering Co. Ltd., Hangzhou, China, Post Code: 310030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2016, 31(5) . - 135 ~ 140

In the light of the phenomenon that it is easy for dust to deposit on the low temperature heating surface of a bagasse-fired boiler during the actual operation process, analyzed were the operating parameters and in combination with the