

采用低温烟气降低生物质层燃锅炉氮氧化物排放的研究

赵琳琳^a, 王启民^b

(沈阳工程学院a.研究生部; b.能源与动力学院, 辽宁沈阳110136)

摘要：为了减少生物质燃烧所产生的 NO_x 排放量，采用将二次风改为低温烟气的方法，并通过fluent软件对该方法进行了计算分析。结果表明：将二次风改为低温烟气后，可以有效地减少锅炉 NO_x 的排放量，且随着低温烟气温度升高， NO_x 排放量总体成上升趋势。

随着社会经济的不断发展，人类对能源和环境问题越来越重视。生物质能是可代替煤和石油的可再生能源，具有广阔的科学前景。但生物质能也同其他化石能源一样，会产生一定的污染物， NO_x 就是生物质燃烧产生的污染物之一，它对人体、植物、大气环境均有危害^[1]。因此，研究如何控制生物质燃烧时所产生的 NO_x 排放量具有重大意义。

国内外学者对该问题均进行了研究。杨国锋^[2]

研究生物质颗粒燃烧时的

烟气排放特性发现：随着二次风比例在0.3~0.7范

围内的增加， NO_x

含量呈现先降低、后增加

、又降低、再增加的“W”形变化趋势。PAWLAK-KRUCZEK等^[3]

研究富氧燃烧环境下生物质混煤烟气排放特性发现： NO_x

的排放主要受燃料中挥发分含量

、空气分布以及锅炉或燃烧器配置的影响。陈国华等^[4]

以工业锅炉使用较多的木质成型燃料作为研究对象，发现在温度较高（大于900℃）时，减少空气量的供给，可明显降低 NO 的排放量。

本文使用低温烟气来代替二

次风的方法，降低生物质在层燃锅炉燃烧时所产生的 NO_x

排放量，并探讨低温烟气温度对 NO_x 排放的影响。研究结果对环境保护及能源利用方面具有重要意义。

1 生物质燃烧 NO_x 生成机理

生物质燃烧产生的 NO_x

主要是由燃料中的N元素氧化形成的，也可能有少量的 NO_x

是在某些特定条件下由空气中的N元素形成的。

燃料燃烧过程中 NO_x 的生成有3大类：热力型 NO_x 、瞬态型 NO_x 和燃料型 NO_x ^[5-6]。热力型 NO_x

是由空气中的 N_2

氧化生成，通常需要在1500℃以上才能产生，而生物质燃烧温度很难达到1300℃以上，所以基本上不会产生热力型N

O_x ；瞬态型 NO_x

是在

富氧条件

下，由碳氢化合物

形成活性很强的CH自由基与空气中

的 N_2 反应生成的，受空气过剩系数影响很大^[7-8]；燃料型 NO_x

就是由燃料中的N转化而来的，燃料氮的转换途径如图1所示^[9]。

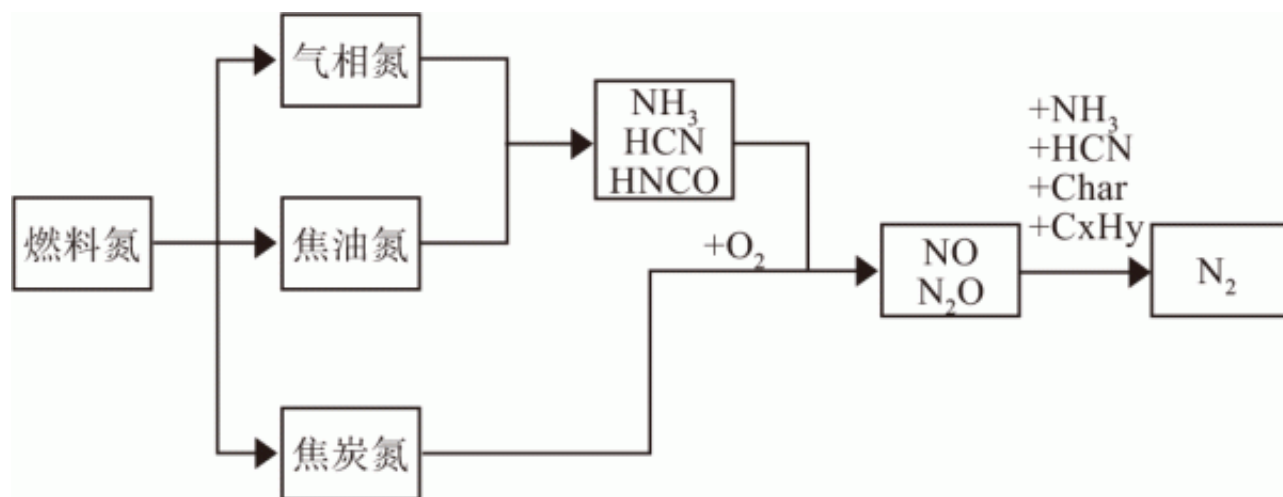


图1 生物质燃烧中燃料氮转换途径

燃料型 NO_x 是生物质燃烧排放的 NO_x

最主要的来源，大约占80%，受到温度、 O_2 量、燃料种类、粒径等诸多因素的综合影响^[10]

。燃料氮转化率会随着燃烧温

度的升高而升高。随着过量空气系数的降低，燃料型 NO_x

的生成量会一直下降。因此，根据这两条影响因素提出采用低温烟气的方法，来降低生物质在层燃锅炉中燃烧所产生的 NO_x 排放量。

2 NO_x 排放的数值模拟

2.1 初始条件

以6t的层燃锅炉为研究对象，炉膛容积为 8.28m^3 ，炉排面积为 10.37m^2

，一

次风从炉

排下部的5个风室进

入，二次风从炉膛喉部单侧8个风口送

入炉膛，每个风口的截面积为 5026.53mm^2

。炉膛入口空气过剩系数为1.4，炉膛的漏风系数为0.05，炉膛出口处空气过剩系数为1.45，该锅炉选用的燃料为玉米秸秆颗粒，其成分如表1所示。锅炉的燃料消耗量为 0.3859kg/s 。

表1 玉米秸的工业分析和元素分析

燃料	工业分析/%				元素分析/%					Q_{net} /($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)
	FC_{ar}	M_{ar}	A_{ar}	V_{ar}	C_{ar}	H_{ar}	O_{ar}	N_{ar}	S_{ar}	
玉米秸	7.56	9.15	7.71	75.58	44.92	5.77	31.26	0.98	0.21	15.13

根据玉米秸的成分分析可知理论空气量为 4.4885m^3

/kg，而通过计算得出实际需要的湿空气量为 3.018kg/s 。一、二次风的配风比为7:3，故可得一次风的流量为 2.113kg/s ，二次风的流量为 0.905kg/s 。

2.2 数值模拟

根据锅炉炉膛实际尺寸，通过icem进行1:1建模。因炉膛的实际结构比较复杂，二次风喷口较多且尺寸较小，很难用结构化网格来模拟。因此，对炉膛采用非结构化网格进行划分。

将网格导入Fluent进行数值模拟，三维稳态计算选用标准k- ε 模型，辐射传热计算采用P1辐射模型，采用动力扩散控制燃烧模型模拟生物质的燃烧。压力-速度的耦合采用SIMPLE法求解。考虑到模拟过程中存在复杂的流动和燃烧，

跟据经验选用分步计算的方法，即先根据实际的各项速度边界条件计算炉内的流动情况，再根据所得到的流场作为初场计算生物质的燃烧。 NO_x 采用后处理的方法，且考虑热力型 NO_x 、燃料型 NO_x 和快速型 NO_x 。

2.3模拟结果及分析

1) 对正常燃烧时（即二次风口通入温度为20 的空气）的锅炉进行模拟，可以得出炉膛出口烟气温度的1051.81K，出口烟气中氧的含量占总气体的9.48%，而出口的 NO_x 含量为154.66ppm。图2为锅炉二次风风口中间侧切截面温度图。

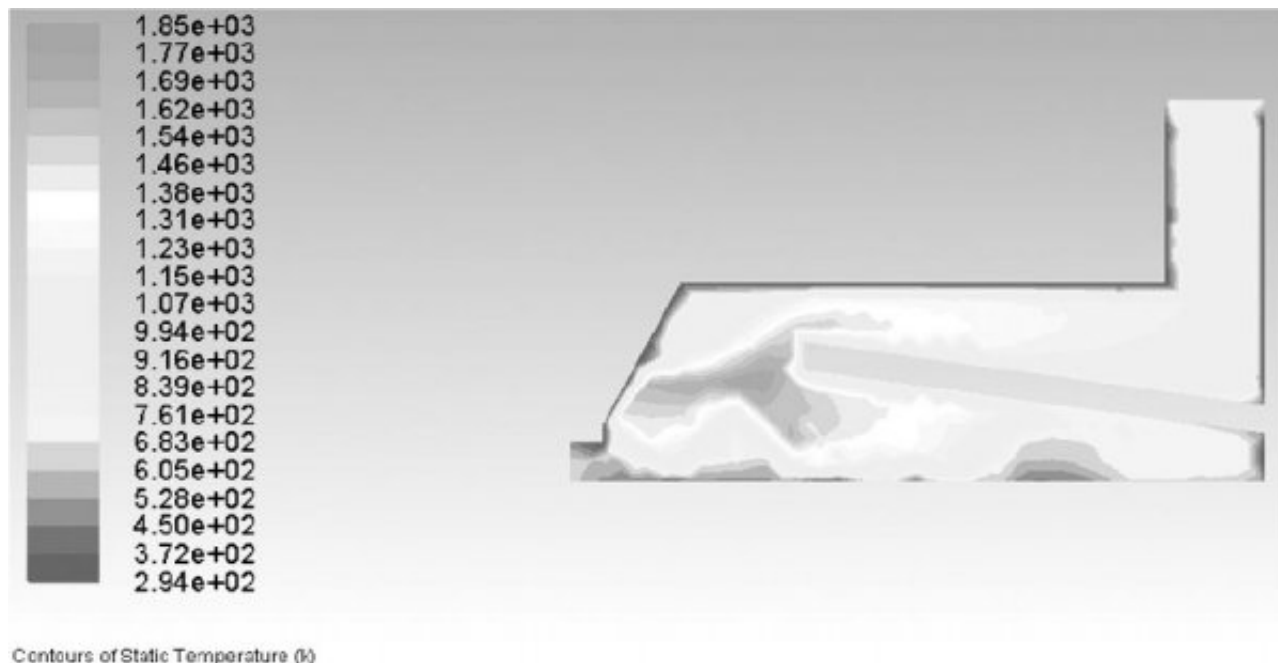


图2 锅炉二次风风口中间侧切截面温度

2) 将20 的空气改为低温烟气从炉膛喉部风口送入，并进行数值模拟。烟气选用炉膛尾部烟气，其中水蒸气容积份额为4.6%， CO_2 和 SO_2 的容积份额为14.2%。为了研究烟气温度与炉膛尾部 NO_x 排放量的关系，选取了9个烟气温度进行了数值模拟，并分别计算出了炉膛尾部烟气温度、炉膛尾部氧量占总烟气的百分比及炉膛尾部 NO_x 排放量，其结果如表2所示。

表2 不同低温烟气计算结果汇总

通入烟气温度/℃	20	50	75	100	150	200	250	300	350
炉膛出口烟气温度/K	1 076.02	1 074.31	1 079.49	1 076.02	1 077.90	1 081.94	1 070.01	1 077.50	1 070.56
出口氧气平均质量分数/%	3.05	3.05	3.03	3.05	3.05	3.02	3.01	3.06	3.06
NO_x 排放量/ppm	94.32	88.15	94.09	95.13	134.34	162.95	173.11	176.79	196.78

从表2可以看出，将二次风改为低温烟气后，低温烟气的温度对炉膛出口烟气温度及炉膛出口 O_2 平均质量分数影响不大，但对 NO_x 的排放量有一定的影响。为了更直观看出低温烟气温度对 NO_x 排放量的影响，将计算结果绘制成散点图，如图3所示。

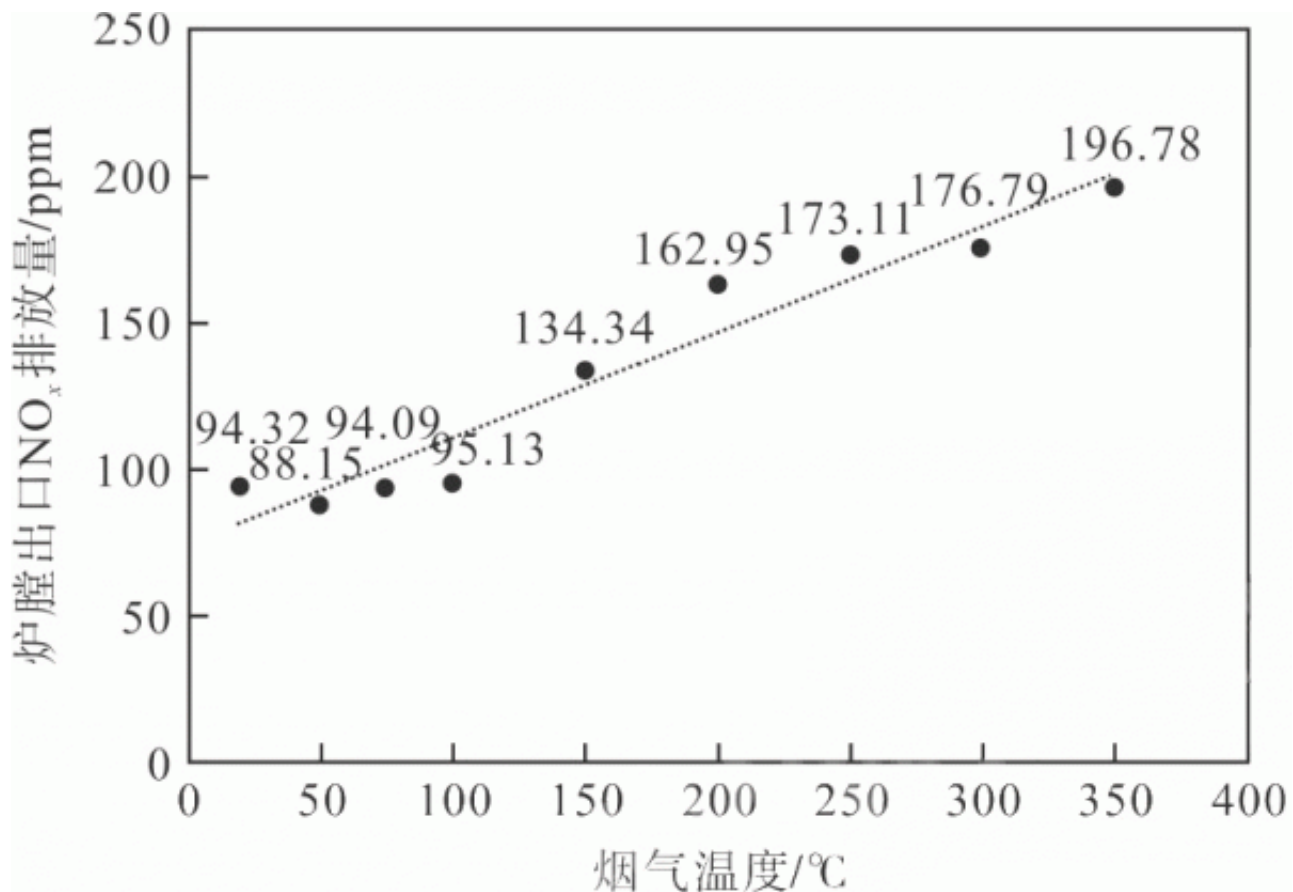


图3 低温烟气温度对NO_x排放量的影响

从图3中可以看出，随着低温烟气温度的升高，炉膛出口NO_x

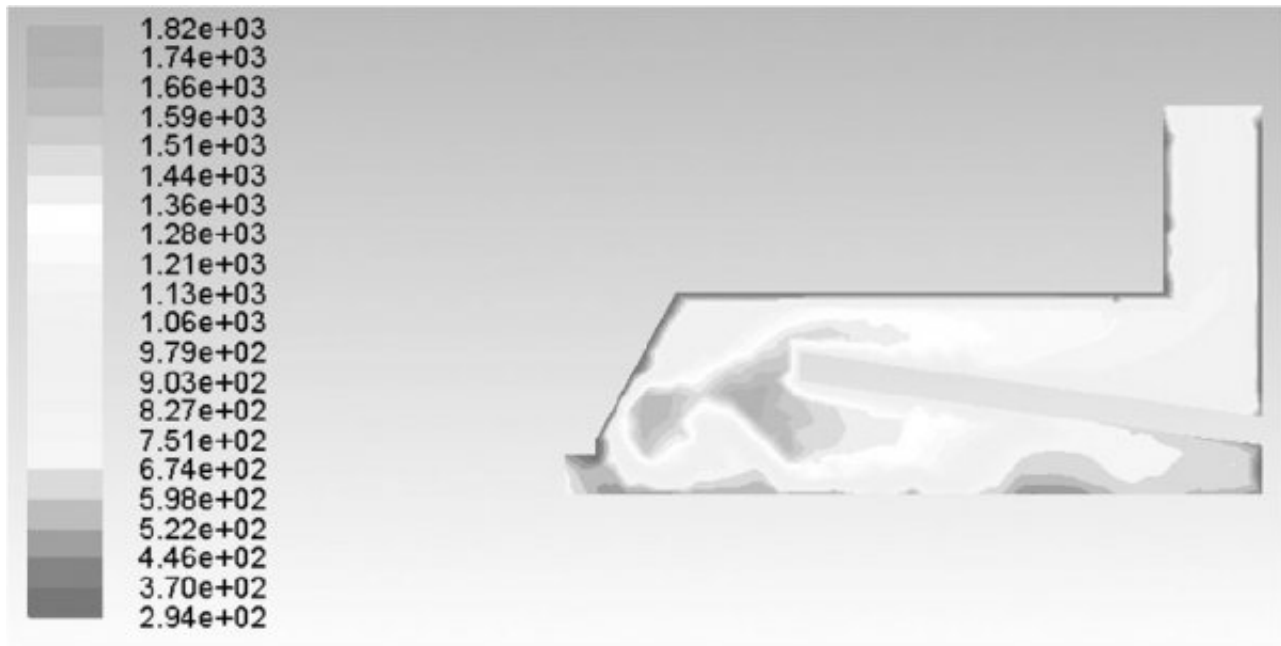
的排放量总体有上升

的趋势。从选用的这9个温度中可以看出

，烟气温度在50℃时，炉膛出口NO_x的排放量最低，为88.15ppm；当烟气温度为350

℃时，炉膛出口NO_x

排放量最高，为196.78ppm。故选用温度为50℃的低温烟气来代替20℃的空气，从而降低生物质燃烧时所产生的NO_x。



Contours of Static Temperature (K)

图4 通入50℃烟气时锅炉截面温度

图4为通入50℃低温烟气时锅炉二次风风口中中间侧切截面温度图，与图1相比可以看出，将二次风改为低温烟气，对炉内燃烧及温度影响不大。

图5和图6分别为通入20℃空气和通入50℃

烟气时，在锅炉相同截面NO_x

含量分布图。将这两个图对比

可以看出，将20℃空气改为50℃烟气可以有效地抑制NO_x

在炉膛喉部风口下方生成，使炉膛出口NO_x含量从154.66ppm减少到88.15ppm，减少了43%。

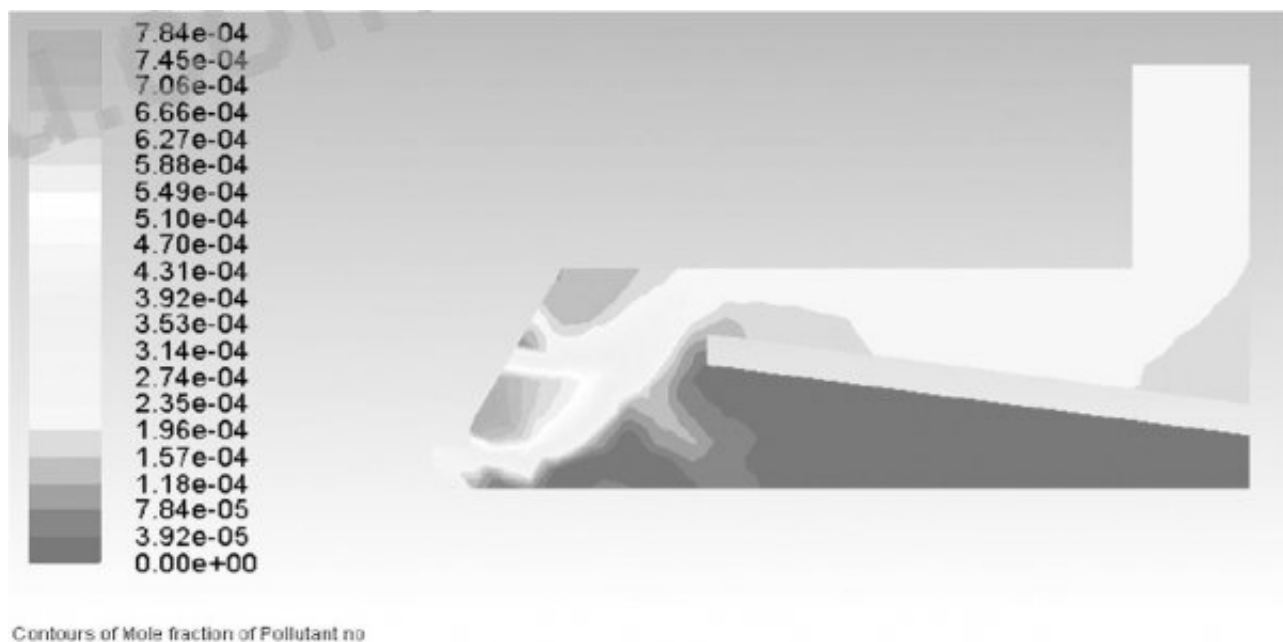


图5 通入 20 °C 空气时锅炉截面 NO_x 含量分布

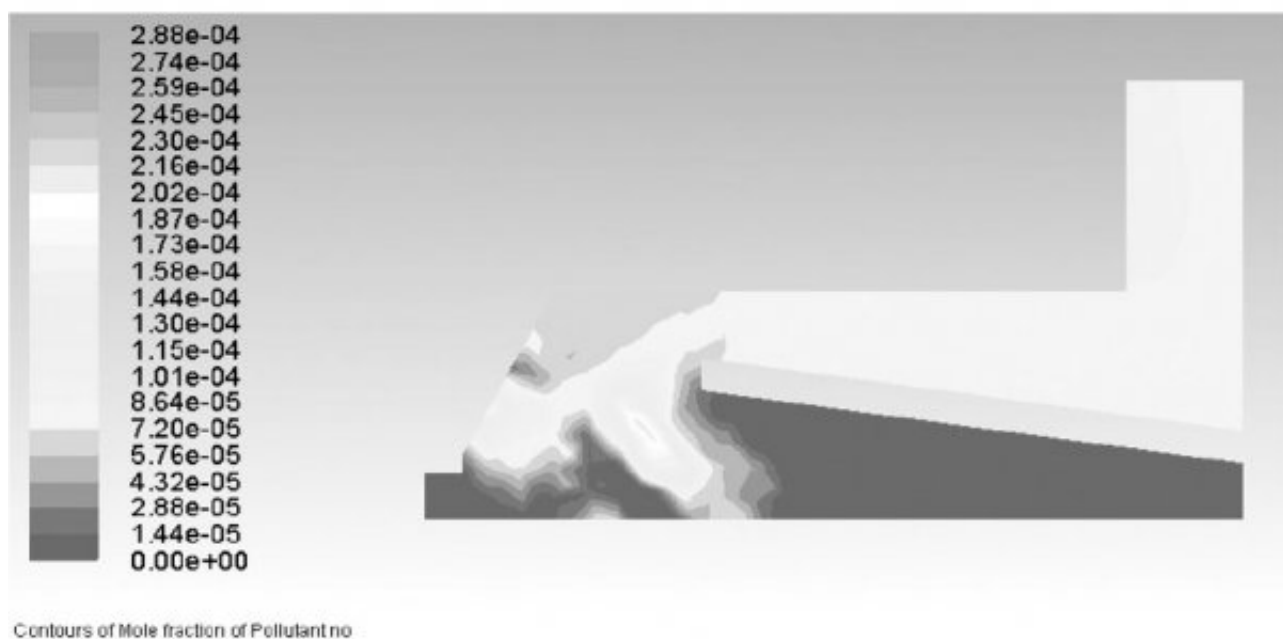


图6 通入 50 °C 烟气时锅炉截面 NO_x 含量分布

3结论

本文通过数值模拟对采用低温烟气降低生物质层燃锅炉 NO_x 排放进行分析，并得出低温烟气的温度对 NO_x

排放量具有一定的影响。在选用 50 °C 烟气时 NO_x

排放量最低为 88.15 ppm，可使炉膛出口 NO_x

排放量减少 43%。这也验证

了采用二次风改低温烟气的方法，可以有效地减少炉膛尾部 NO_x 的排放量，具有广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 左朋莱, 韩斌杰, 岳 涛, 等. 生物质成型燃料锅炉主要大气污染物排放测试及减排潜力分析[C]//中国环境科学学会. 中国环境科学学会学术年会论文集. 北京: 中国环境科学学会, 2014: 65 – 69.
- [2] 杨国锋. 生物质颗粒燃烧器污染物排放与工况参数优化研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [3] PAWLAK-KRUCZEK H, OSTRYCHARCZYK M, CZEREP M, et al. Examinations of the process of hard coal and biomass blend combustion in OEA (oxygen enriched atmosphere)[J]. *Energy*, 2015, 92: 40 – 46.
- [4] 陈国华, 李运泉, 彭浩斌, 等. 大颗粒木质成型燃料燃烧过程烟气排放特性[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(7): 215 – 220.
- [5] REN Q Q, ZHAO C S, WU X, et al. Formation of NO_x precursors during wheat straw pyrolysis and gasification with O_2 and CO_2 [J]. *Fuel*, 2010, 89(7): 1 064 – 1 069.
- [6] REN Q Q, ZHAO C S, CHEN X P, et al. NO_x and N_2O precursors (NH_3 and HCN) from biomass pyrolysis: Co-pyrolysis of amino acids and cellulose, hemicellulose and lignin[J]. *Proceedings of the Combustion Institute*, 2011, 33(2): 1 715 – 1 722.
- [7] 徐 艳. 广东典型生物质燃烧及烟气排放特性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [8] LIMOUSY L, JEGUIRM M, DUTOURNIE P, et al. Gaseous products and particulate matter emissions of biomass residential boiler with spent coffee grounds pellets[J]. *Fuel*, 2013, 107(9): 323 – 329.
- [9] 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 – 6): 705 – 716.
- [10] REN Q Q, ZHAO C S. Evolution of fuel-N in gas phase during biomass pyrolysis[J]. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 2015, 50(4): 408 – 418.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/147689.html>