

生物质成型燃料层燃NO排放特性研究

张亮, 罗永浩, 邓睿渠, 戴国栋, 丘性通, 陈嵩

(1福建省特种设备检验研究院, 福建福州350008; 2上海交通大学, 上海200240; 3福建省锅炉压力容器检验研究院, 福建福州350008)

摘要:在层燃单元体炉上研究了生物质成型燃料的NO排放特性, 采用热电偶和烟气分析仪对生物质成型燃料层燃过程中床层温度和表面气氛进行监测, 分析了生物质成型燃料的燃烧特性和NO排放特性。试验结果表明, 生物质成型燃料层燃分为火焰传播段和焦炭燃尽段。NO主要在火焰传播段生成, 而在焦炭燃尽段, 由于焦炭的还原作用, NO排放量逐渐降低, 此外, NO排放总量随着一次风量的增加先减小后变大。

0前言

能源是人类社会文明和经济发展的物质基础, 随着世界人口的增长及社会经济的发展, 世界能源消耗量迅速增加。化石燃料燃烧产生的污染物导致的温室效应及环境污染等问题已经成为全世界关注的焦点。我国的能源消耗结构以煤炭为主, 而且在长时间内这种能源消耗结构不会改变。近年来, 随着能源的短缺和环境的恶化, 我国正面临着经济可持续发展和环境保护的双重压力。生物质以其可再生性及CO₂的近零排放特性开始受到广泛的关注。

工业锅炉是我国第二大燃煤用户, 每年燃煤4亿~5亿t, 污染物排放总量仅次于电站锅炉。根据《大气污染防治行动计划》(国发(2013)37号)的要求, 到2017年, 除必要保留的以外, 地级及以上城市建成区基本淘汰10t/h及以下的燃煤锅炉, 禁止新建20t/h以下的燃煤锅炉; 其他地区原则上不再新建10t/h以下的燃煤锅炉。根据相关文件精神和各地实际情况, 各级地方政府纷纷出台相应政策, 淘汰落后工业锅炉, 大力开展工业锅炉节能减排改造工作, 将燃煤层燃工业锅炉改造成燃生物质层燃工业锅炉的现象非常普遍。由于生物质的物理化学特性不同于煤炭, 生物质燃烧特性和污染物排放特性必然不同于煤炭。本文在层燃单元体炉上研究了生物质成型燃料的NO排放特性, 研究结果对指导生物质工业锅炉改造和运行具有重要意义。

1生物质燃烧NO₂生成机理

1.1生物质中氮的赋存形式

在生物质中, 氮主要以蛋白质、游离氨基酸、多肽、非蛋白氨基酸、核酸、生物碱、叶绿素、季氮及无机氮等形式存在, 一般将这些含氮物分成两大类: 以蛋白质形式存在的蛋白质氮, 剩下的统称为非蛋白质氮。生物质中大量的氮存在于蛋白质中, 蛋白质氮占生物质全氮的比重变化较大, 最低占30%左右, 而最高超过90%, 故一般认为蛋白质氮是生物质中主要的含氮官能团。

1.2生物质燃烧NO₂生成机理

NO₂的生成机理主要有三种: 热力型NO₂、快速型NO₂和燃料型NO₂。热力型NO₂的生成取决于空气中的N₂与O原子的反应, 快速型NO₂的生成依赖于N₂和CH₄自由基的反应, 燃料型NO₂

主要是由燃料N反应生成。在生物质燃烧生成的N

O中, 热力型NO₂和快速型NO₂的贡献很小(小于30%), 大部分NO₂是由生物质中的燃料N转化而来的。

生物质燃料NO₂

主要是通过挥发分N均相反应和焦炭N异相反应生成的。生物质燃烧可分为三个阶段: 脱挥发分、挥发分燃烧和焦炭燃烧。在脱挥发分阶段, 大量的含氮气态产物挥发出来, 挥发分N主要由HCN、NH₃和HCNO等NO₂前驱物组成。在挥发分燃烧阶段, 这些含氮气态产物与周围的自由基(O、OH、H)反应, 经过一系列均相反应最终转化为NO₂和N₂。脱挥发分阶段产生的焦炭氮则在焦炭燃烧过程中通过一系列的异相反应也转化为NO₂和N₂。

2生物质成型燃料NO排放特性试验

2.1试验装置

生物质成型燃料NO排放特性试验在层燃单元体炉上进行。层燃单元体炉采用拉格朗日法，用固定床燃烧来模拟实际层燃炉中燃料从着火到燃尽的燃烧过程，即用不同时间的测量值来模拟燃料在炉排中的特定位置。层燃单元体炉结构示意图如图1所示，试验台主体部分由上下两部分炉体组成，上部炉体内装有硅碳棒电加热装置，四段加热，通过控制系统可对炉体上部空间进行加热，最高加热温度可达1200℃；下部炉体为床层燃烧区域，试验燃料装在由耐火材料特制的正方形燃料框中，框的长宽高尺寸为20cm×20cm×12cm，该框底部布满直径小于5mm的通风孔，便于空气穿透床层；燃料框上部和底部均布置S形热电偶，用于测试床层不同部位在燃烧过程中的温度变化，通过与计算机的数据连接实现温度数据的实时记录。空气由罗兹风机通过流量计控制自下方送入单元体炉。燃料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，高温辐射作用引燃燃料。尾部烟气采用Testo350烟气分析仪测试，NO测量范围为0~3000ppm，响应时间为30s。生物质床层表面气氛采用红外烟气分析仪GASBOARD-3100测量，主要对CH₄、H₂、CO、CO₂和O₂五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<2%FS。

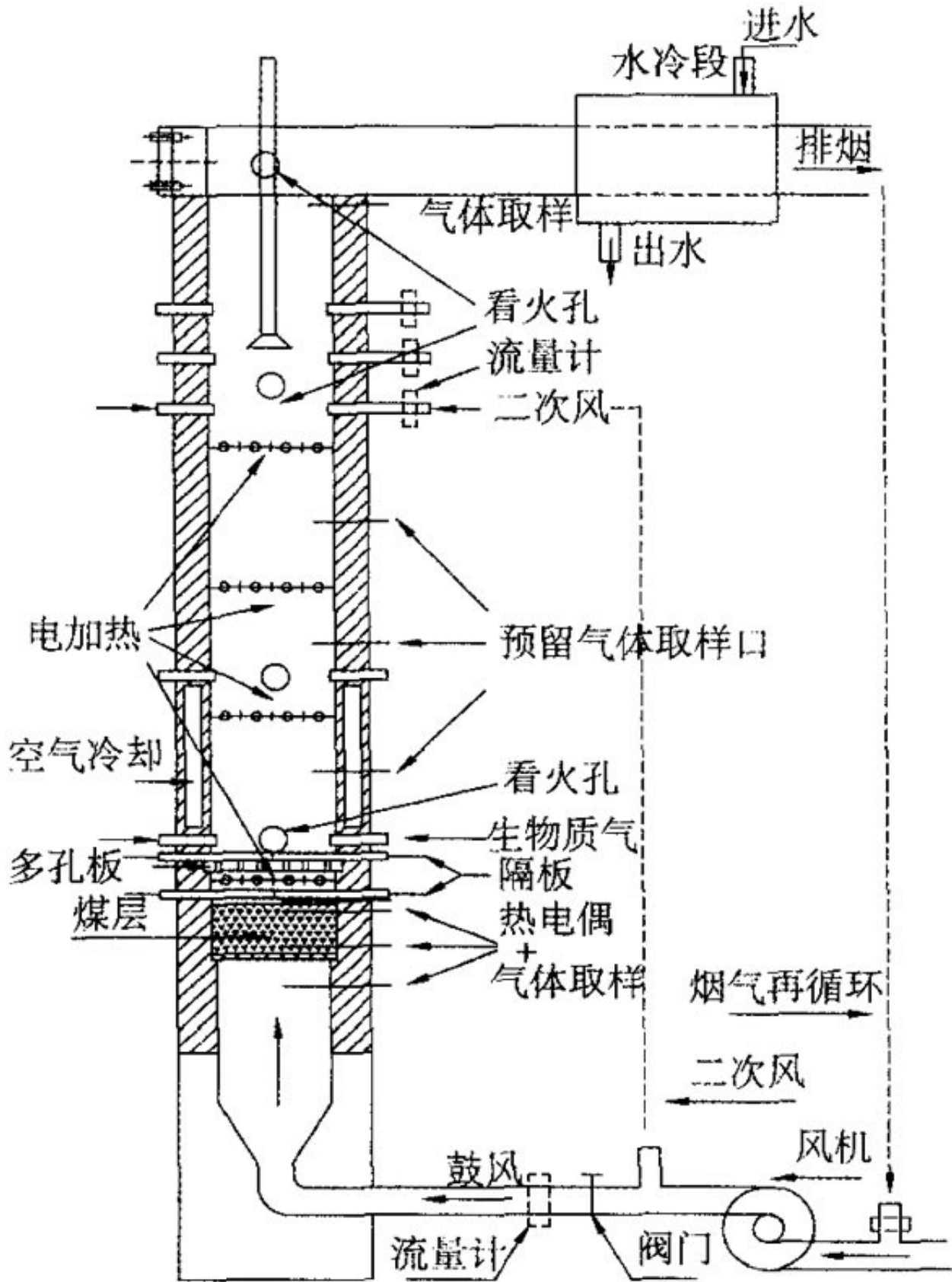


图 1 层燃单元体炉示意图

2.2 试验样品

在一定温度和压力作用下，可将生物质压缩为棒状、块状或颗粒状等生物质成型燃料。本研究采用的生物质成型燃料如图2所示，其工业分析和元素分析如表1所示。



图 2 生物质成型燃料

表 1 生物质成型燃料元素分析和工业分析

工业分析/wt%				元素分析/wt%				
<i>M</i>	<i>A</i>	<i>V</i>	<i>FC</i>	<i>S</i>	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>O</i>	<i>N</i>
11.1	1.8	70.4	17.1	46.62	5.89	46.68	0.80	<0.1

图3为生物质成型燃料的热解失重曲线。从图3可以看出生物质成型燃料热解分为三个阶段：温度低于140 时，生物质处于预热干燥阶段；温度高于200 时，生物质进入挥发分的析出阶段，由于生物质成型燃料挥发分含量高，该阶段是失重的主要阶段，失重速率也达到了最大；温度高于400 时，生物质进入炭化阶段。

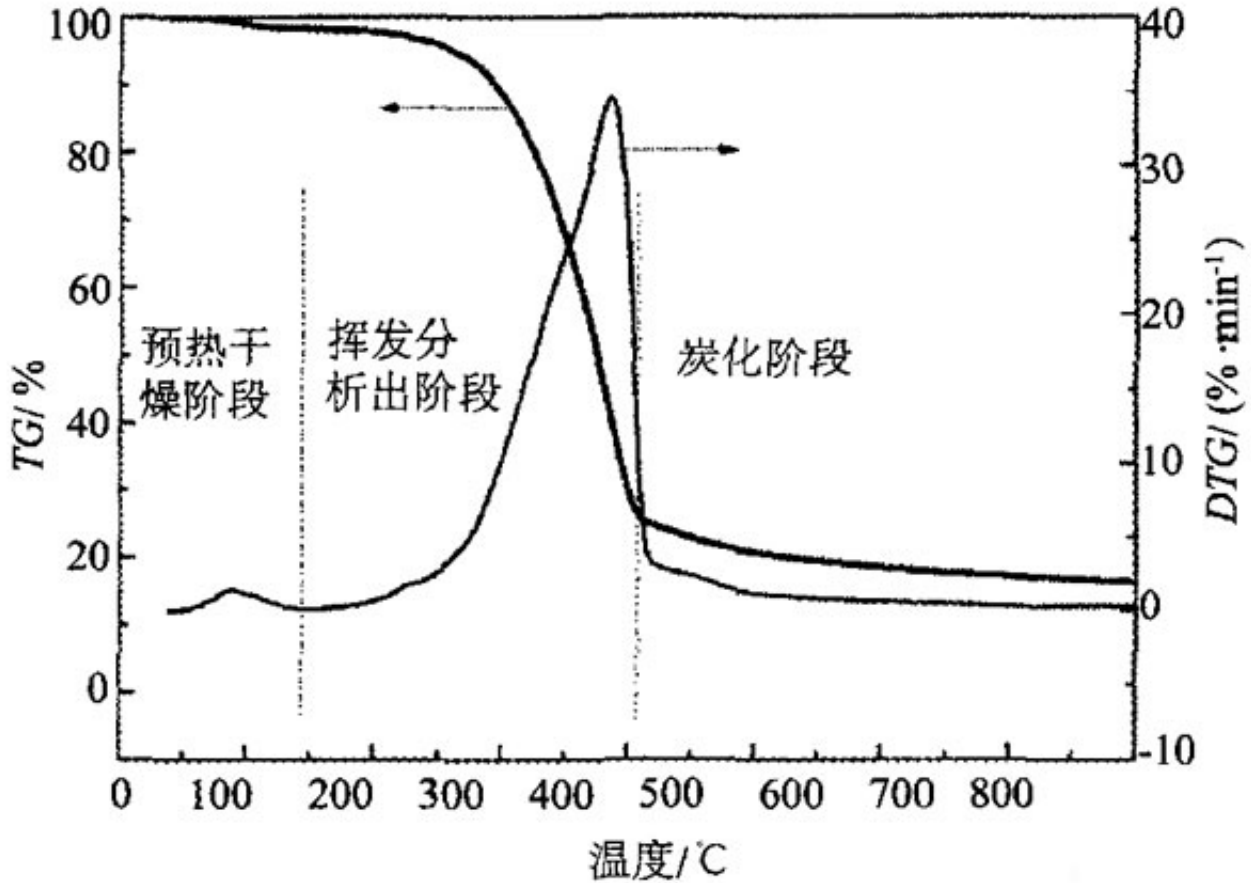


图3 生物质成型燃料热解失重曲线

3结果与分析

图4是生物质成型燃料在一次风为16m³/h时不同床层高度温度随时间变化曲线。图4反映炉膛内床层温度的变化及火焰向下传播的速率。图4表明床层最上方(床层高度28cm)温度逐渐升高,生物质成型燃料被引燃,其燃烧产生的热量及辐射热沿床层高度逐渐向下传播,不同床层高度温度开始依次上升,下层的生物质成型燃料开始逐步干燥、热解并引燃。

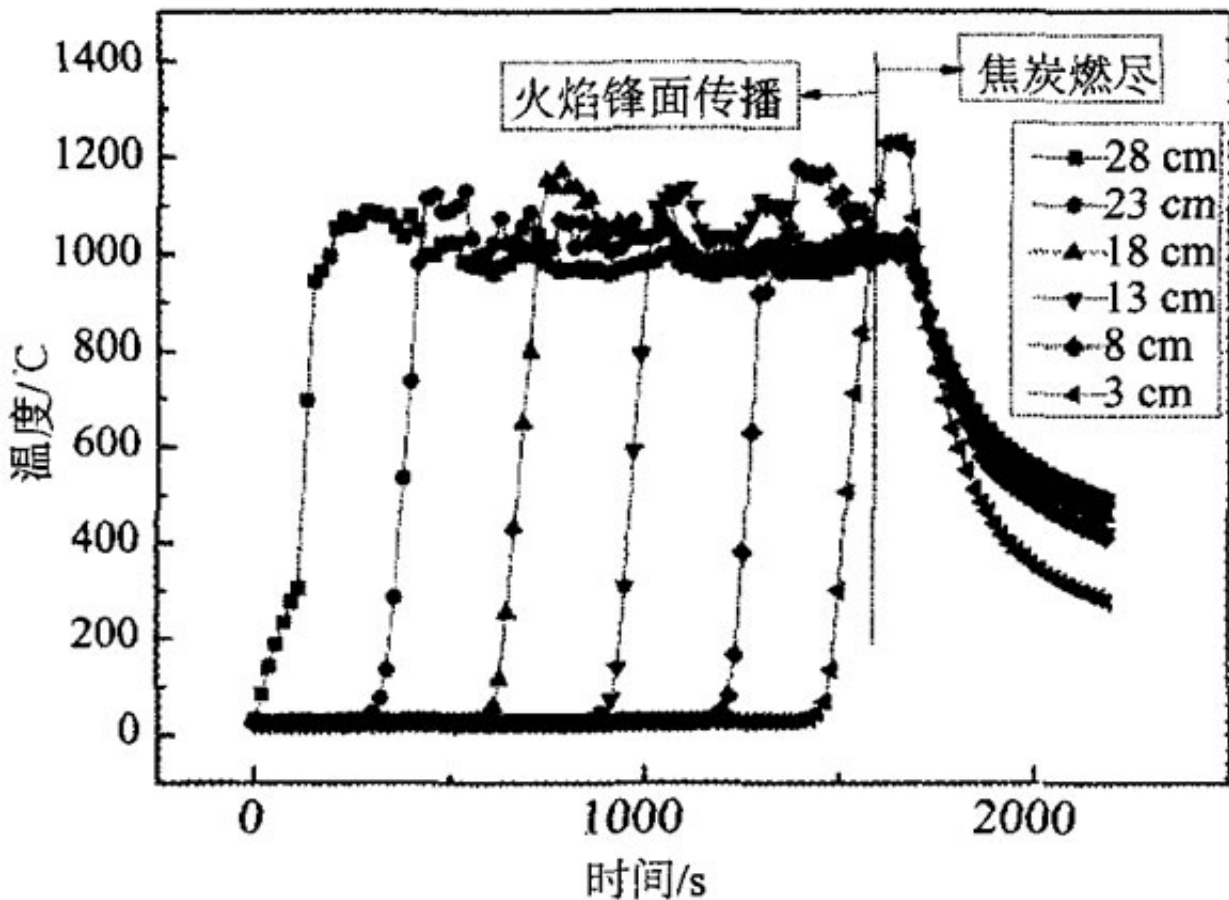


图4 床层火焰锋面传播示意图

根据Porteiro的观点，当热电偶的温度达到500℃时，即为火焰锋面传递到该位置的标志。生物质成型燃料层燃分为两个阶段：火焰锋面传播段和焦炭燃尽段。生物质成型燃料被引燃后，火焰锋面沿床层自上向下开始传播，火焰锋面在向下传播的过程中，热量通过热辐射和热传导将下方未反应的燃料干燥、热解并引燃，当热解层到达炉排时，炉排上方只剩下焦炭层和灰层，焦炭的燃烧产生更多的热量，使得炉膛的温度略有上升。当焦炭燃尽之后，炉膛温度迅速下降，层燃燃烧过程结束。

图5是一次风为16m³/h的工况下床层气氛和尾部烟气成分变化图。从图5可以看出，NO主要是在火焰锋面传播段生成的，这是因为生物质成型燃料的挥发分含量非常高，大部分的燃料氮(挥发分氮)都是在这一过程参与反应，而且在火焰锋面传播阶段不仅仅只有挥发分参与了反应，焦炭也有一部分参与燃烧反应，所以在火焰锋面传播阶段参与反应的燃料的质量比例非常大，大部分的燃料氮在该过程参与了反应。火焰锋面传播阶段结束之后进入焦炭气化燃烧阶段，该阶段的反应主要是异相反应和均相反应的综合作用。由于生物质成型燃料的焦炭含量较低，焦炭氮的数量也非常少，在维持原来的配风条件下，NO的浓度大幅降低，而焦炭的气化燃烧阶段本来较短，而且焦炭还可以对NO进行还原，使之转化为N₂。所以，在经历了短时间的反应之后，NO的浓度逐渐降低到很低的水平，直到燃烧结束。

通过固定二次风量，改变一次风的供给，最后测得并计算得到单位质量生物质成型燃料的NO生成总量，可得到不同一次风量下NO单位质量生成量变化趋势，图6为NO单位质量生成量随一次风量变化曲线。从图6可以看出，生物质成型燃料燃烧过程中的NO生成量随一次风的增加先减小后增大。出现这种现象的主要原因是，在一次风量较低的情况下，生物质成型燃料的热解过程中，比例较大的NH₃生成，由于此时氧气浓度较小，少量的NH₃被氧化为NO，在适宜的温度下，NH₃对生成的NO进行了还原，剩余的大量NH₃会在接下来二次

风氧量较大的情况下被氧化为NO；随着一次风量的增加，在一次风燃烧区域，NH₃

与NO有一个最佳的反应比例，使得NO的还原效率最高，因此在风量增加时，烟气中NO的生成量有一个最低点；随着一次风的不断增大，在一次燃烧区域出现富氧的状态，燃料氮的氧化更加明显，生成的中间产物大部分被氧化为NO，所以风量较大时，NO的生成也快速上升。

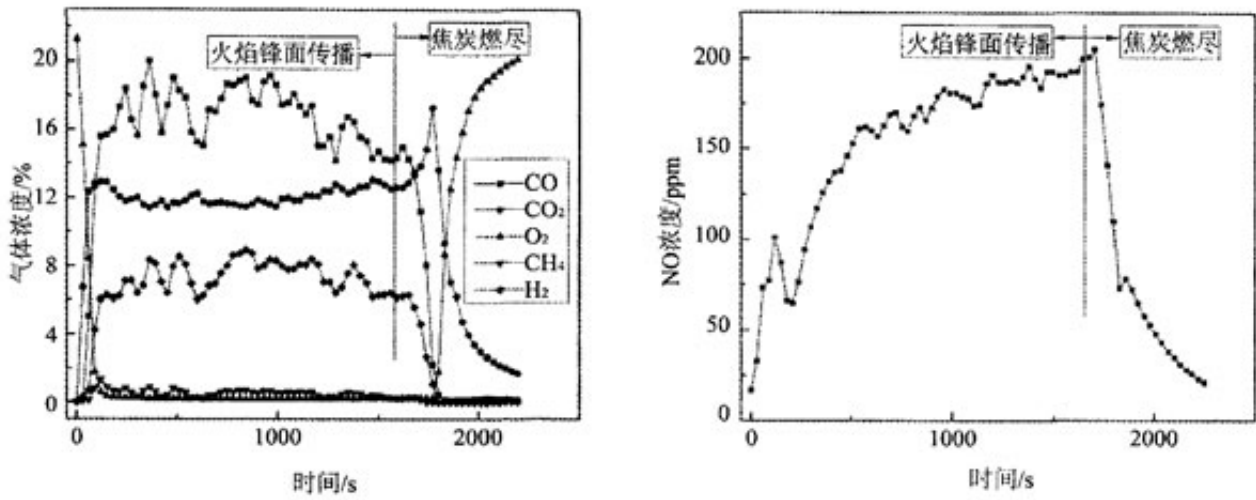


图5 床层气氛和尾部烟气成分变化图

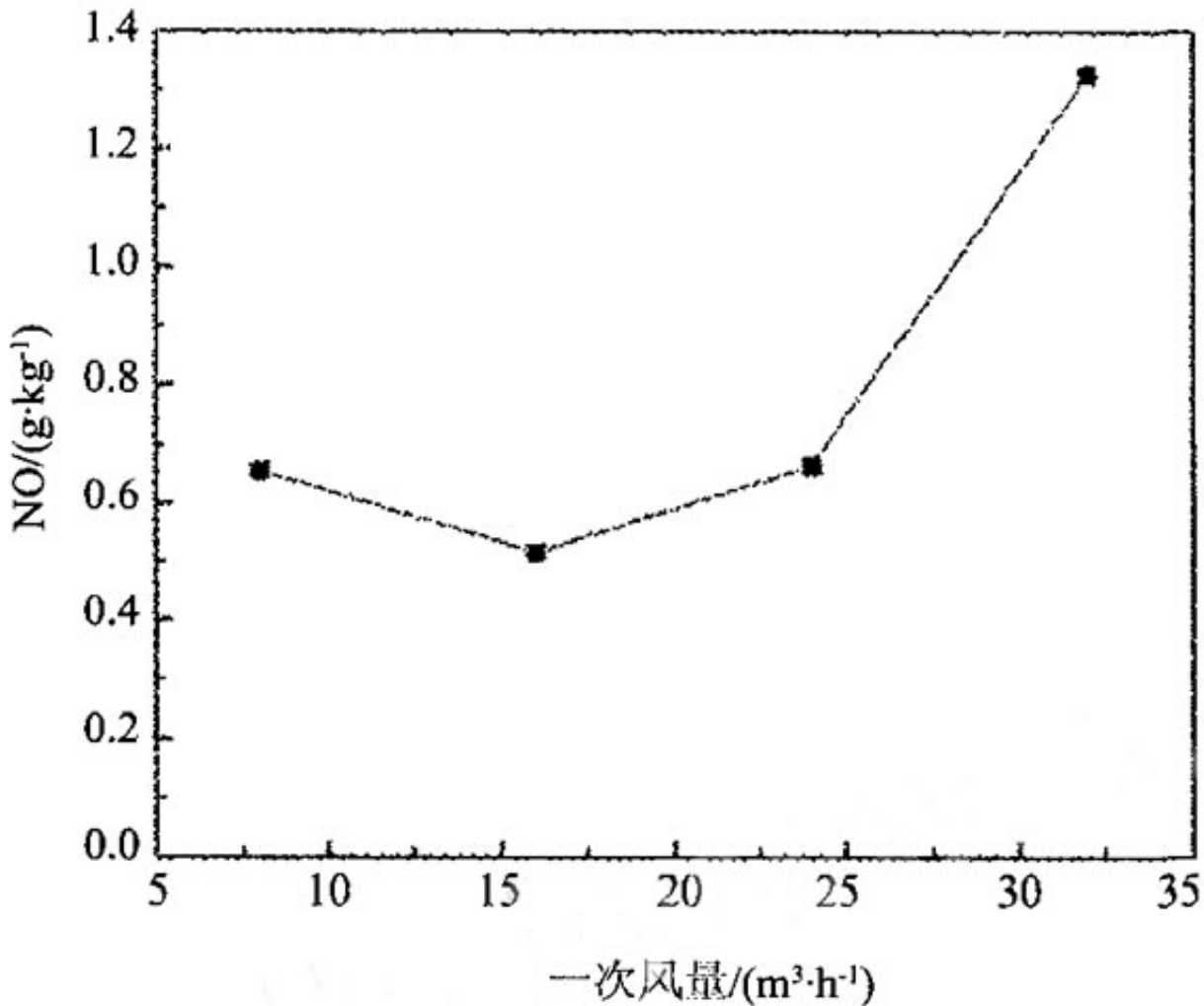


图6 NO单位质量生成量随一次风量变化曲线

从以上的实验分析可以看出，在生物质成型燃料的燃烧过程中，并不是一次风量越低，NO的生成就会越少，而是在一个适当的一次风量下达到最低，与此同时，如果一次风量过低，床层上生成的CO就会越多，若此时二次风量不足或者混合不均匀，就会出现尾气中CO含量过高的问题。因此在实际的锅炉运行中，选择适当的一二次风的配比以及良好的混合是生物质清洁燃烧的关键。

4结论

本文在层燃单元体炉上研究了生物质成型燃料层燃NO排放特性，试验过程中采用热电偶和烟气分析仪监测床层不同高度的温度变化及床层表面的气氛。试验结果表明，生物质成型燃料层燃分为火焰传播段和焦炭燃尽段，NO主要在火焰传播段生成，在焦炭传播段，由于焦炭的还原作用，NO的浓度逐渐降低到很低的水平，直到燃烧结束。通过改变一次风量，我们发现，生物质成型燃料层燃NO排放随着一次风量的增加，先下降后升高。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/127386.html>