

试验研究

# 稻壳混煤燃烧对 NO<sub>x</sub> 排放的影响

赵瑞娥<sup>1</sup>, 王智<sup>2</sup>, 汪智华<sup>2</sup>

(1. 中南电力设计院, 武汉 430071; 2. 湖北省电力勘测设计院, 武汉 430040)

**摘要:** 本文利用循环流化床实验平台分析稻壳混煤燃烧对 NO<sub>x</sub> 排放的影响。结果表明, 贫煤混合稻壳后燃烧, 当燃烧温度恒定时, NO<sub>x</sub> 的排放量随着燃料中稻壳所占比重增加而降低; 当燃料中稻壳所占比重恒定时, NO<sub>x</sub> 的排放量随着燃烧温度的升高而增加。

**关键词:** 稻壳; 混燃; NO<sub>x</sub>; 排放

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2014)04-0042-03

## THE INFLUENCE OF RICE HULL MIXED COAL COMBUSTION ON NO<sub>x</sub> EMISSIONS

ZHAO Rui-e<sup>1</sup>, WANG Zhi<sup>2</sup>, WANG Zhi-hua<sup>2</sup>

(1. *Central Southern China Electric Power Design Institute, Wuhan 430071, P.R.China;*

*2. Hubei Electric Power Survey & Design Institute, Wuhan 430040, P.R.China.*)

**Abstract:** In this paper, the influence of rice hull mixed coal combustion on NO<sub>x</sub> emissions is analyzed by using fluidized bed experimental platform. The results show that, after mixing the lean coal and the rice husk, when at the constant combustion temperature, the emissions of NO<sub>x</sub> is decreased with the increase of the proportion of rice hull in the fuel; when at the constant proportion of rice hull in the fuel, the emissions of NO<sub>x</sub> is increased with the increase of the combustion temperature.

**Key Words:** Rice husk; Mixed fuel; NO<sub>x</sub>; emission

### 1 前言

燃煤电厂排放的 NO<sub>x</sub> 气体是造成大气污染的主要污染源之一<sup>[1]</sup>。如何降低燃煤电厂 NO<sub>x</sub> 的排放, 是控制大气污染的有效途径。近年来, 西方国家研究在煤中掺入生物质混合燃烧, 可获得与传统脱硝方法相同甚至更好的脱硝效果<sup>[2]</sup>。我国生物质资源丰富, 是仅次于煤的第二大能源<sup>[3]</sup>。因此, 研究生物质混煤燃烧技术, 既可充分利用能源, 又可控制污染排放, 具有重要社会意义和经济意义。

本文选取南方最常见的稻壳作为生物质燃料的实验样本, 按不同质量比混合山西产贫煤制成实验燃料, 利用循环流化床实验平台进行燃烧实

验。通过测定烟气中的 NO<sub>x</sub> 浓度, 分析稻壳混煤燃烧对 NO<sub>x</sub> 排放的影响。

### 2 实验设备及实验燃料的制备

#### 2.1 循环流化床实验平台

图 1 为循环流化床实验平台简图, 燃烧实验台的基本特性参数如下:

- 炉膛内径: 100 mm
- 炉膛高度: 4.0 m
- 电加热段额定输出功率: 4 kw 左右
- 电加热段最高温度 1000 ℃, 常用温度 850 ℃
- 电加热段长度: 500 mm
- 燃煤量: ≥ 3 kg/h

该燃烧实验台炉膛和底座总高度大约 5 m, 设有 5 个烟气浓度值测孔 (测孔 No3 与 No4 之间的

距离为 1 000 mm, 其余测孔间距为 500 mm)、8 个热电偶插孔 (插孔 No7 和 No8 间距为 450 mm, No13 和 No14 间距为 400 mm, 其余间距为 500 mm)、两个压力测孔。烟气中 NO<sub>x</sub> 浓度值由传感器测得。控制柜在线显示炉内温度压力、螺旋给煤机调频、调节电加热段电压、送风机电流等数值, 一二次风量返料风量由流量计控制。

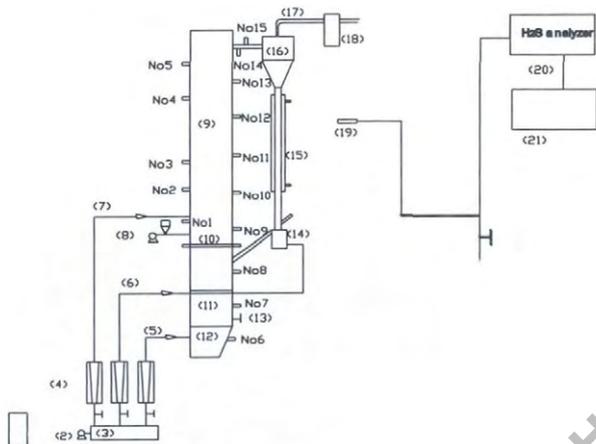


图 1 循环流化床燃煤实验平台简图

燃烧实验台采用床下流态化电加热点火方式, 底料为细砂, 将细砂加热到 700℃左右时向炉内加入燃料并鼓风即可实现燃烧。电加热段在炉体的下部, 上部为燃烧段, 燃烧段采用高温 310 不锈钢, 电加热段采用优质耐高温的高强度刚玉管制作。尾部烟气管道连接水浴以降低排烟温度, 返料竖管外套用水冷套管以调节进入炉内的回料。

控制台集中了所有的电压、温度仪表和大部分的控制开关。其中有总电压数显、总电流仪表、风机电流数显、电加热电流数显、螺旋输煤机电流数显及速率数显、炉膛各测点温度巡检仪以及总电源开关。

试验中采用的烟气分析仪是 MSI Compact 烟气分析仪。该分析仪器可直接测量的参数有 O<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 等气体的浓度。烟气经取样器泵入到 MSI Compact 烟气分析仪, 流经传感器由烟气分析仪内部的微处理机进行处理, 最终由测量计算机显示。

## 2.2 实验燃料的制备

对比多种生物质, 最终确定以南方最常见的稻壳作为此次混煤燃烧的研究对象。首先, 稻壳存量较大, 易于区域性地收集, 具有现实应用的意义。其次, 稻壳的体积较小, 经过简单的粉碎和筛选就可与煤粉混合使用, 不用在粉碎和筛选环节花费过多的人力物力。再次, 稻壳的含水量较小, 经过自然干燥就能达到实验要求。煤种则选择常见的山西产贫煤作为研究对象。将稻壳碎片与烟煤按不同的质量比例混合, 制成此次实验的燃料。一共配制了 6 种质量比的混合燃料备用, 其中稻壳所占混合燃料的质量比分别为: 5、10、20、40、80、100%。稻壳和贫煤的工业分析见表 1。

表 1 燃料工业、元素分析表

样品	工业分析/%				元素分析/%				
	M <sub>ad</sub>	V <sub>ad</sub>	A <sub>ad</sub>	FC <sub>ad</sub>	H <sub>ad</sub>	C <sub>ad</sub>	S <sub>ad</sub>	N <sub>ad</sub>	O <sub>ad</sub>
贫煤	7.91	17.44	38.56	36.09	1.92	33.41	4.76	1.8	20.59
稻壳	7.81	62.74	17.43	12.02	5.50	37.36	0.03	0.29	39.39

## 3 实验数据及分析

### 3.1 NO<sub>x</sub> 的排放量与混合燃料中稻壳所占比重的关系

通过实验测得的数据, 烟气中 NO<sub>x</sub> 的排放量与混合燃料中稻壳所占比重的关系见图 2 所示。

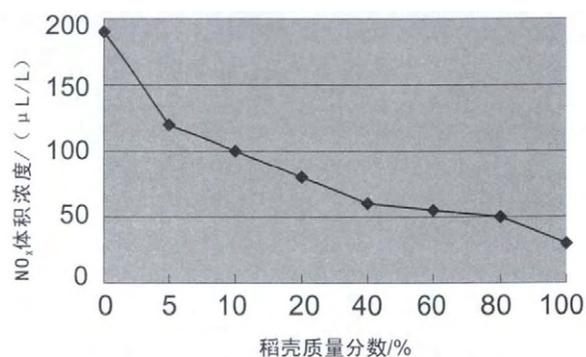


图 2 850℃时 NO<sub>x</sub> 排放量与稻壳所占比重

从图 2 中可看出, 当燃烧温度恒定在 850℃时, NO<sub>x</sub> 的排放量随着燃料中稻壳所占比重增加而降低。其中在谷壳的掺混比例在 0%到 10%之间 NO<sub>x</sub> 的体积浓度下降最为显著, 从 190 μL/L 下降到 100 μL/L, 在 10%到 20%之间次之, 从 100 μL/L 下降到 80 μL/L, 在 20%到 100%之间 NO<sub>x</sub> 的体积浓度下降的相对缓慢, 从 80 μL/L 下降到 30 μL/L。可

见,稻壳的加入可明显降低贫煤燃烧时的 $\text{NO}_x$ 排放量,但燃料中稻壳所占比重超过40%后,对于控制 $\text{NO}_x$ 的排放意义不大。分析其原因如下:

(1)生物质的挥发分含量较大,在燃烧初期,生物质在流化床底部快速燃烧和热解,析出大量含有还原性基元的挥发分。这些挥发分消耗流化床底部的氧,制造了还原性气氛,从而抑制了 $\text{NO}_x$ 的生成。相关研究表明许多生物质的挥发分含量超过60%<sup>[4]</sup>,组分中含有大量的 $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 、 $\text{C}_3\text{H}_6$ 、 $\text{HCN}$ 和 $\text{NH}_3$ <sup>[5]</sup>,这些物质可以把 $\text{NO}_x$ 还原成氮气。

(2)生物质中氮氧化物含量比煤低,生物质燃烧排放的 $\text{NO}_x$ 也较低,生物质和煤混烧比单独燃煤时的 $\text{NO}_x$ 排放低。生物质的快速燃烧形成高比表面积的多孔性焦碳,这种焦碳的比表面积比煤燃烧形成的焦碳比表面积大。这种焦碳有助于 $\text{NO}_x$ 的分解<sup>[6]</sup>。

### 3.2 $\text{NO}_x$ 的排放量与燃烧温度的关系

由于稻壳的掺混比例在0%到20%之间 $\text{NO}_x$ 的体积浓度下降的最为明显,因此选择稻壳和煤粉的质量比为10%和20%的两种混合燃料作为实验对象,以纯煤燃料作为实验参照。根据实验数据绘制的 $\text{NO}_x$ 的体积浓度与燃烧温度的曲线图见图3所示。

从图3中可看出:首先,相同温度下, $\text{NO}_x$ 的

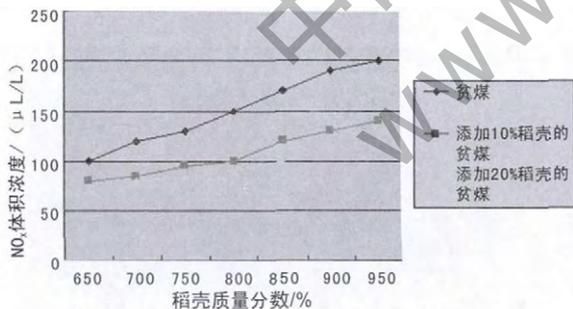


图3  $\text{NO}_x$  排放量与燃烧温度关系曲线

体积浓度随着稻壳掺混比例的升高而降低。这也验证了上面得出的结论。其次, $\text{NO}_x$ 的体积浓度随着燃烧温度的升高而提高。出现这样结果的主要原因有以下几点:

(1)生物质的挥发分含量较大,在燃烧初期,生物质在流化床底部快速燃烧和热解,析出大量含有还原性基元的挥发分。这些挥发分消耗流化床底部的氧,制造了还原性气氛,从而抑制了 $\text{NO}_x$ 的生成。相关研究表明许多生物质的挥发分含量

超过60%<sup>[5]</sup>,组分中含有大量的 $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 、 $\text{C}_3\text{H}_6$ 、 $\text{HCN}$ 和 $\text{NH}_3$ <sup>[6]</sup>,这些物质可以把 $\text{NO}_x$ 还原成氮气。

(2)生物质中氮氧化物含量比煤低,生物质燃烧排放的 $\text{NO}_x$ 也较低,生物质和煤混烧比单独燃煤时的 $\text{NO}_x$ 排放低。生物质的快速燃烧形成高比表面积的多孔性焦碳,这种焦碳的比表面积比煤燃烧形成的焦碳比表面积大。这种焦碳有助于 $\text{NO}_x$ 的分解<sup>[6]</sup>。

(3)生物质本身具有一定的木质素和腐植酸<sup>[6]</sup>,它们具有巨大的比表面积,对 $\text{NO}_x$ 有较强的吸附能力,延缓了 $\text{NO}_x$ 的析出速度。

## 4 结论

通过在循环流化床锅炉内进行稻壳混煤燃烧试验,研究稻壳所占比重及燃烧温度对 $\text{NO}_x$ 排放量的影响,可得出以下结论:

(1)贫煤掺烧稻壳后,烟气中的 $\text{NO}_x$ 排放量显著降低。随着稻壳所占比重的增加,燃烧生成的 $\text{NO}_x$ 体积浓度逐渐下降。特别是稻壳的掺混比例在0%到20%之间 $\text{NO}_x$ 的体积浓度下降的最为明显。

(2) $\text{NO}_x$ 的排放量随着燃烧温度的升高而增加,在650℃到850℃之间 $\text{NO}_x$ 的体积浓度增加的较为平缓,在850℃之后增加较快。可见,控制 $\text{NO}_x$ 排放的关键在于控制燃烧温度。

(3)虽然混合燃料中稻壳所占比重越高 $\text{NO}_x$ 的排放量越低,但是生物质燃料热值较低,掺烧过多不利于锅炉的稳定运行。因此,建议实际运行中,生物质燃料所占比重应控制在10%到20%之间,且循环流化床最佳的燃烧温度应控制在800℃到850℃之间。

## 参考文献

- [1] 张肖肖,杨冬,张林华.生物质与煤混燃燃烧特性研究进展[J].节能技术,2011(06):5-7.
- [2] 唐秀能,卢啸风,鲁佳易.循环流化床中木屑与煤混烧特性的试验研究[J].热力发电,2012(04):50-53.
- [3] 王大中.21世纪中国能源科技发展展望[M].北京:清华大学出版社,2007:2.
- [4] 王金星;李超;刘慧敏,等.烟煤/生物质混燃特性实验研究[J].电力科学与工程,2012(02):17-19.
- [5] 孙宏伟,吕薇,李瑞扬.质燃烧过程中的碱金属问题研究[J].节能技术,2009(01):26-28.
- [6] 贺业光,杨天华,孙洋,等.碱性矿物成分对秸秆和煤混燃过程中氮转化的影响[J].热力发电,2012(06):33-36.