

# 稻壳锅炉设计中 NO<sub>x</sub> 生成及排放控制措施的分析

时勇<sup>1</sup> 朱宝华<sup>1</sup> 李民<sup>1</sup> 王勇良<sup>2</sup>

( 1. 济南锅炉集团有限公司 济南 250023 2. 杭州锅炉集团有限公司 杭州 310004 )

摘 要 :从稻壳燃烧的燃烧特性简述了燃烧中 NO<sub>x</sub> 生成机理 ,并指出了目前控制 NO<sub>x</sub> 生成及排放的两种方法。其中 ,着重分析了燃稻壳锅炉在设计中对 NO<sub>x</sub> 生成及排放所采取的控制措施。

关键词 稻壳锅炉 ,NO<sub>x</sub> 生成及排放 ,还原 ,分级燃烧

中图分类号 :TK229 X701.2 文献标识码 :A

## Analysis of the Control Measures of NO<sub>x</sub> in the Design of the Chaff-fired Boiler

SHI Yong<sup>1</sup> , ZHU Bao-hua<sup>1</sup> , LI Min<sup>1</sup> , WANG Yong-liang

( 1. Jinan Boiler Group Co. Ltd , Jinan 250023 , China ;

2. Hangzhong Boiler Group Co. Ltd , Hangzhou 310004 , China )

**Abstract** : The paper briefly introduces the production principles of NO<sub>x</sub> and the two methods controlling the production and emission of NO<sub>x</sub> , in which the writer emphasizes the analysis of the control measures of NO<sub>x</sub> in the design of the chaff-fired boiler .

**Key words** : Chaff-fired boiler ; NO<sub>x</sub> ; Production and emission ; Deoxidization ; Combustion in grades

### 1 前言

近年来 ,稻壳锅炉发展迅速 ,国内稻谷产地范围广 ,东南亚地区更是稻谷的盛产地 ,因此 ,稻壳锅炉销售市场潜力巨大。但国外对锅炉污染物的 NO<sub>x</sub> 的排放要求比较严格 ,为了赢得东南亚地区这一极富诱惑力的市场 ,我们在设计稻壳锅炉时 ,必须严格控制 NO<sub>x</sub> 的排放。

### 2 稻壳的燃烧特性

中国华中理工大学煤燃烧国家重点实验室测定了稻壳的燃烧特性 (见表 1) ,试验认为 :

- ( 1 )稻壳的挥发分极高 ,温度在 277℃时就能着火 ;
- ( 2 )在 855℃左右 ,稻壳的燃烧反应是最有利的 ;
- ( 3 )在燃烧温度达到 900℃时 ,稻壳焦能形成一种碳 - 硅络合物 ;
- ( 4 )稻壳焦在 855℃以下燃烧时 ,燃尽时间长。

### 3 NO<sub>x</sub> 的生成机理特性概述

燃烧时所形成的 NO<sub>x</sub> 可分成三种 ,即热力型 NO<sub>x</sub> ( 又称温度型 ) ,燃料型 NO<sub>x</sub> 和在火焰周围形成的快速

型 NO<sub>x</sub>。快速型 NO<sub>x</sub> 可用 Fenimore<sup>[1]</sup> 机理解释 ,一般只在燃用不含氮的碳氢燃料时才予考虑。

( 1 )根据 Zeldovich<sup>[1]</sup> 反应机理 ,热力型 NO<sub>x</sub> 的形成是在高温下 ,氧气与燃烧空气中的 N<sub>2</sub> 按下述反应通道生成 NO。



其中式 ( 2 ) 为限速反应 ,故形成速度可写为

$$d[NO]/dt = 2k_1 [N_2][O] \quad (3)$$

其中反应速度常数

$$k_1 = 7 \times 10^{-3} \exp(-37950/T) \text{ m}^3/(\text{mol} \cdot \text{s})$$

确定当地氧原子浓度 [O] 和当地温度 T 对计算瞬时反应速度是至关重要的 ,根据 Quar<sup>[1]</sup> 的研究 ,式 ( 3 ) 可化为

$$d[NO]/dt = B [N_2][O]^{1/2} \exp[-E/(RT)] \quad (4)$$

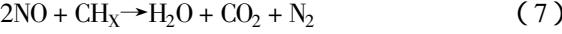
其中 :B = 5.74 × 10<sup>11</sup> m<sup>3/2</sup>/(mol<sup>1/2</sup>·s) ,E/R = 66900K

根据燃用稻壳锅炉的运行温度范围及氧浓度水平 ,热力 NO 形成速率很低 ,即使不考虑各种分解还原过程 ,其平衡浓度也很低 ,故一般可以不予考虑。

表 1 几种稻壳特性参数

名称	C %	H %	O %	N %	S %	水分 %	灰分 %	热值 MJ/kg	可燃基挥发分 %
武汉稻壳	34.10	4.24	30.4	0.24	0.14	12.94	17.94	12.3	80.9
常德稻壳	35.93	4.52	30.72	0.15	0.20	12.94	15.54	11.6	80.6
泰国稻壳	37.60	4.89	32.61	1.88	0.10	6.0	16.9	13.4	52.0

(2)稻壳中的挥发分极高,燃料型 NO<sub>x</sub> 主要来自稻壳挥发分的燃烧。研究<sup>[1]</sup>表明,挥发分氮向 NO 的转化对氧浓度水平很敏感,通过造成区域性还原性气氛可以有效地降低 NO 的生成量。在 Hamada<sup>[3]</sup>的研究表明,丙烷气氛下,NO 生成量随丙烷浓度的增加而减少,原因是与丙烷浓度大所造成的还原性气氛有关。由于稻壳易着火,挥发分极高,燃烧后立即产生含有 CO、H<sub>2</sub>、CH<sub>x</sub> 等还原性成分,燃料分级燃烧,并依靠这些还原性成分,通过下述反应通道对主燃区生成的 NO 进行还原。



近年来在 FBC 和 CFBC 燃烧中的研究<sup>[2]</sup>发现,CaS、CaO 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 在各种环境中具有减少 NO<sub>x</sub> 的催化作用。

4 在稻壳锅炉设计中控制 NO<sub>x</sub> 排放的措

控制 NO<sub>x</sub> 排放的措施有两种,一种是在锅炉的燃烧中采用再燃烧<sup>[2]</sup>技术,即在锅炉燃烧时喷入再燃料;另一种是在锅炉的本体设计中采用科学合理的结构,以降低 NO<sub>x</sub> 的排放。对于锅炉设计者,在稻壳锅炉设计中,考虑第二种措施时须遵循以下原则:

(1)针对稻壳的燃烧特性,宜采用低温燃烧方式,设计运行燃烧温度在 900℃左右,客观上为脱硝脱氮创造有利条件;

(2)低过量空气系数燃烧,使床面上的过量空气系数  $a < 1$ ,从而造成缺氧燃烧,减少 NO 的生成量;

(3)空气分段送入,二次风在炉膛内多层送入,使燃料分级燃烧;

(4)足够的悬浮空间或飞灰分离装置的设置;

(5)烟气分段燃烧,可以考虑在燃烧段后部送入助燃物(如环丙烷)。

根据稻壳的燃烧特性,在设计稻壳锅炉时可以考虑循环流化床或链条炉燃烧方式。

众所周知,循环流化床锅炉适宜燃烧温度在 900℃左右,稻壳锅炉只要掺加适宜的媒介床料(如石英砂),完全可以采用循环流化床的燃烧方式,循环流

化床锅炉客观上延长了燃料燃烧时间,同时也为燃料的分级燃烧创造了有利条件,流化床锅炉燃烧中还可掺加石灰石或生石灰,提供了减少 NO<sub>x</sub> 生成的催化剂。大量的燃煤循环流化床锅炉实际运行证明,NO<sub>x</sub> 的排放指标都很低。

链条炉排锅炉具有炉排面积大、炉排速度可以调整、炉膛容积大以及有足够的悬浮空间等优势,稻壳燃尽时间长,同时采用低过量空气系数燃烧,即在链条炉排上的  $a \leq 1$ ,使稻壳在缺氧的条件下燃烧,减少 NO<sub>x</sub> 的生成量,采用分级配风,即布置两层二次风,使燃料分级燃烧,同时在调整二次风的配比时,可以控制炉膛温度不超过 900℃,减少热力型 NO<sub>x</sub> 的生成量。根据以上原则,我公司开发了 35t/h、75t/h 燃稻壳链条炉,其中还设置了飞灰分离装置。

5 结束语

锅炉行业已直面入世的挑战,而国外对 NO<sub>x</sub> 的排放指标有着严格要求,表 2 列出了几个国家的排放标准(其中排放水平是在 0℃、0.1013MPa、6%O<sub>2</sub> 下,基于燃料产生 350m<sup>3</sup>/GJ 烟气而换算出的排放量。)

表 2 mg/Nm<sup>3</sup>

国别	美国	英国	法国	日本	芬兰	泰国
NO <sub>2</sub>	615 ~ 980	650	650 ~ 1300	410 ~ 510	200 ~ 400	470 ~ 720

目前,我国的锅炉污染物的排放标准还未完善,对 NO<sub>x</sub> 的排放指标尚未明确限定。这也迫切要求我国的锅炉行业,必须加强对锅炉污染物,特别是 NO<sub>x</sub> 的排放这些方面的基础研究。

参考文献

[1] 岑可法. 循环流化床锅炉理论、设计与运行 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2.1997.  
[2] 张强, 等. 再燃烧还原 NO<sub>x</sub> 机理及其技术发展 [J]. 工业锅炉, 2001 (2): 17-19.  
[3] 汉春利. 活性矾土与烟气污染物的脱除 [J]. 热能动力工程, 2001, 7.

作者简介: 时勇(1973 - ),男,汉族,助理工程师,1995 年毕业于哈尔滨电工学院,一直从事锅炉产品的设计和测试工作。