



天津翔悦

天津翔悦密封材料有限公司

弗莱希波·泰格  
金属波纹管有限公司

温州环球阀门制造有限公司



北新集团建材股份有限公司

## 降低“W”型火焰锅炉NO<sub>x</sub>试验探讨

国电菏泽发电厂（274032） 宋绍伟

**摘要：**针对菏泽发电厂2台300MW“W”火焰锅炉运行情况，从NO<sub>x</sub>形成机理，深入探讨NO<sub>x</sub>偏高的原因，通过试验摸索降低NO<sub>x</sub>的措施及降低NO<sub>x</sub>对飞灰和炉渣可燃物的影响。

**关键词：**W火焰锅炉 NO<sub>x</sub> 探讨

菏泽发电厂#3、4机组配备了英国Mitsui Babcock（简称MBEL）公司生产的锅炉。锅炉为单炉膛、平衡通风、一次中间再热，亚临界参数自然循环锅炉，蒸发量为1025t/h，采用“W”火焰燃烧方式。锅炉运行实践证明，该锅炉在燃用低挥发分煤种方面，具有很强的稳燃性，安全可靠比较高，但存在NO<sub>x</sub>偏高等问题。投运初期，NO<sub>x</sub>在1300~1500mg/m<sup>3</sup>以上，大大超出国家规定标准，给环境造成很大危害。为降低NO<sub>x</sub>，#3炉在大修中进行了卫燃带改造，大修后进行了制粉系统改造及燃烧调整等试验，取得了较好的效果。总结分析NO<sub>x</sub>偏高原因，及其影响因素，针对NO<sub>x</sub>特性，制定相应措施，对降低#4炉及同类型锅炉的NO<sub>x</sub>，具有重要参考价值。

### 1 燃烧系统的设计特点

锅炉设计煤种为85%无烟煤+15%半无烟煤，设计煤和校核煤的特性（见表1）。

表1 设计煤和校核煤特性

项 目	设计煤种
空干基碳C <sub>ad</sub> / %	64.30
空干基氢H <sub>ad</sub> / %	2.38
空干基氧O <sub>ad</sub> / %	3.58
空干基氮N <sub>ad</sub> / %	0.95
空干基硫S <sub>ad</sub> / %	0.81
全水分M <sub>ar</sub> / %	8.75
空干基水分M <sub>ad</sub> / %	2.69
空干基灰分A <sub>ad</sub> / %	25.28
干燥无灰基挥发分V <sub>daf</sub> / %	11.36
收到基低位发热量Q <sub>ar,net</sub> / kJ·kg <sup>-1</sup>	22 137

锅炉燃烧系统由制粉及分离装置、燃烧器及喷口、烟风系统及辅机、炉膛及燃烧室等组成。炉膛在23m高度炉拱处分为上下2部分，下炉膛截面为19.32m×15.63m，呈八角形；上炉膛为19.32m×

7.176m，呈长方形；炉膛容积为6557m<sup>3</sup>。炉膛四周敷设569m<sup>2</sup>卫燃带。

该炉制粉系统配有3台美国Svedala公司制造的双进双出钢球磨煤机，每台磨分为两端，每端各连接一粗粉分离器，由粗粉分离器出口的一次风管道在炉本体28m处又通过分配器分为2根，三台磨煤机共有12根一次风管道至燃烧器前，每一管道连接一台旋风子分离器(进行浓淡分离，分为煤粉流、乏气流两部分，分别进入炉膛燃烧)。炉膛前后两侧炉拱处各布置了3组直流垂直下射狭缝式燃烧器，每组燃烧器由4只主煤粉喷口、4只乏气喷口、8只二次风喷口组成。二次风喷口分别设在主煤粉喷口和乏气喷口的两侧，每组燃烧器设有2支油枪。在炉膛后墙炉底处设置了炉底注入热风，用以负荷改变时调整再热汽温。

磨煤机、燃烧器的布置如图1所示，每组煤粉燃烧器的结构参见图2。

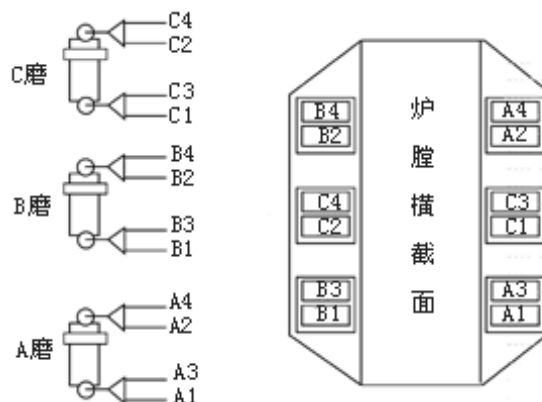


图 1 磨煤机、燃烧器的布置示意图

## 2 No<sub>x</sub>形成机理

燃料燃烧过程中NO<sub>x</sub>的生成主要有以下2个方面：

### 2.1 由空气中的氮形成——热力氮

热力型NO<sub>x</sub>即在高温炉膛中，将空气中的N<sub>2</sub>氧化，生成氮氧化物。热力NO<sub>x</sub>的生成量与火焰温度、氧浓度和高温区停留时间有关，不受燃料组成影响。燃烧温度越高，热力NO<sub>x</sub>越多。在真实的炉膛燃烧中，炉内温度分布并不均匀，高低温度之差达400~500度之多，即使平均温度不高，但局部高温处仍可产生大量NO<sub>x</sub>。理论上NO<sub>x</sub>在过量空气系数 $\alpha < 1$ 的区域内，氧浓度越高，则热力NO<sub>x</sub>越多。当 $\alpha > 1$ 时，炉膛温度随风量增大而降低，而NO<sub>x</sub>又在过剩空气量稀释的作用下，含量降低。

### 2.2 由燃料中的氮形成——燃料氮

燃料型NO<sub>x</sub>的生成，机理复杂，与燃料组成特性有关。燃料NO<sub>x</sub>的生成，有两种情况：挥发分中均相生成的NO<sub>x</sub>和残碳中异相生成的NO<sub>x</sub>。一般燃烧温度下，燃料型NO<sub>x</sub>主要来自挥发分中的N（HCN、NH<sub>3</sub>、CN等）和焦炭中的N。挥发分高的煤种，其挥发N高，反之，焦炭N就高。燃料中N的含量增加时，生成的燃料型NO<sub>x</sub>就增加，但NO<sub>x</sub>的转化率减小。燃料的固定碳与挥发分之比（FC/V）越高，NO<sub>x</sub>的转化率越低。在氧化环境中生成的NO<sub>x</sub>，遇到还原性环境时（富燃料或贫氧），会还原成氮分子N<sub>2</sub>。影响燃料型NO<sub>x</sub>的生成和转化率的主要因素是燃煤特性FC/V、过量空气系数 $\alpha$ 等。

## 3 测量方法与结果

烟气成份分析的主要项目有 $O_2$ 和 $NO$ ，取样点布置在每台引风机出口烟道，用不锈钢管引出至烟道外后再用胶管引至ROSEMOUNT公司生产的烟气前处理装置清洁、除湿、冷却后接入ROSEMOUNT公司生产的NGA2000型烟气分析仪。ROSEMOUNT公司的NGA2000型烟气分析仪具有输出电流信号的功能，再辅之以IMP分散式数据采集系统，烟气成份分析数据可实现实时监测，以帮助性能试验工程师判断试验工况的稳定性及最佳的烟气取样周期，2秒的数据采样周期也尽可能地降低了试验工况的波动而带来的测量误差。进行每侧烟气分析时，待数据稳定后用采集系统自动记录2分钟内的平均值。每10分钟分析记录一次。

试验时监视两个计算氧量（参与燃烧氧量和加入底部风氧量），同时监视省煤器出口实际氧量不低于5.5%。通过数据系统连续采集 $NO_x$ 、 $O_2$ 、CO等烟气成分数据，在DCS内有趋势图可供监测。试验分3个阶段进行。第1阶段，投产初期，卫燃带改造前的测试；第2阶段，卫燃带改造后的测试；第3阶段，锅炉性能试验后的降低 $NO_x$ 的燃烧调整。

测量结果表明：“W”型锅炉 $NO_x$ 浓度水平明显高于常规煤粉炉燃烧方式。#3炉卫燃带改造前在额定负荷下， $NO_x$ 水平非常高，在 $1400\text{mg}/\text{m}^3$ 甚至 $1500\text{mg}/\text{m}^3$ 以上。卫燃带改造后， $NO_x$ 下降到 $1000\text{mg}/\text{m}^3$ 左右。

#### 4 $NO_x$ 偏高原因浅析

燃料氮是常数，热力氮机理上是主要的，并且引起 $NO_x$ 排放水平的变化。锅炉燃烧生成 $NO_x$ ，与炉膛热负荷、卫燃带布置方式及数量、燃烧配风方式等有关。常规燃烧方式煤粉锅炉的炉膛温度，比“W”型锅炉要低，其热力型 $NO_x$ 要少得多。菏泽电厂#3、#4炉均为“W”型，由于其火焰燃烧行程长，又是富氧燃烧，炉膛热负荷高，具备热力型 $NO_x$ 大量生成的条件（富氧燃烧，结焦的卫燃带周围温度超过 $1800^\circ\text{C}$ ）。例如：下炉膛热负荷较高，约为常规锅炉的1.7~2.1倍，由于炉膛温度水平相对较高，不是绝对均匀，局部高温多，特别是卫燃带区域，容易结焦，熔融的渣层几乎处于绝热状态，因此会产生大量局部高温区；又由于燃烧器的火焰比较集中，火焰温度高，燃料在高温区停留时间长等特点，均会使热力 $NO_x$ 增多。从 $NO_x$ 生成机理及其与氧量的关系，可以看出，该锅炉的 $NO_x$ 的产生，热力型 $NO_x$ 占主导地位，该锅炉设计煤种的燃料比 $FC/V$ 较高，燃料型 $NO_x$ 不占主导地位。

#### 5 降低 $NO_x$ 的措施及效果

5.1 从设计方面，改造卫燃带，减少其数量，能够降低炉膛温度，减少结焦，从而减少热力 $NO_x$ 的产生。菏泽电厂#3炉 $NO_x$ 高达 $1500\text{mg}/\text{m}^3$ 。当打掉部分卫燃带后，结焦情况好转， $NO_x$ 降为 $1100\text{mg}/\text{m}^3$ 。

5.2 从燃料方面，燃烧河南煤，严重偏离设计煤种，结焦严重，也是产生热力及燃料型 $NO_x$ 的原因之一。保证燃烧设计煤种，是降低热力 $NO_x$ 的有效措施。

5.3 从燃烧调整方面，影响因素较多：

(1)严格执行吹灰制度，保持受热面清洁

炉膛结焦越严重，炉膛温度整体水平越高，其热力 $NO_x$ 越高。平时经常吹灰，特别是吹短吹时，能够大大降低炉膛温度，从而降低 $NO_x$ 。

(2)锅炉负荷的影响

锅炉负荷越高， $NO_x$ 越高，主要是锅炉负荷增大后，炉膛热负荷上升，炉膛温度水平提高，热力型

NO<sub>x</sub>增加。相同的电负荷在不同季节，锅炉蒸发量不同，夏季凝汽器真空低，汽耗率大，则蒸发量大，需要的炉膛热负荷增加，相应NO<sub>x</sub>量增大。

### (3)配风对NO<sub>x</sub>的影响

#### a、总风量的影响

NO<sub>x</sub>与炉膛氧量（总风量）关系密切，总风量增加时，会使火焰行程加长，着火区温度降低，NO<sub>x</sub>生成减少。NO<sub>x</sub>与炉膛氧量的趋势表明，随氧量的增加，NO<sub>x</sub>呈下降趋势。又加上总风量增加，对燃烧产物起到稀释作用，使得NO<sub>x</sub>含量下降。这种现象足以说明，在总风量增加时，对火焰的冷却作用胜过局部高温使NO<sub>x</sub>的生成作用，因此减少了NO<sub>x</sub>的形成。试验结果表明，炉膛氧量每增加1%，NO<sub>x</sub>约下降180mg/m<sup>3</sup>。

#### b、三次风、底部热风的影响

减少热风注入量或三次风量会提高燃烧器的风量从而炉膛温度下降，火焰中心和炉膛的温度下降使得燃烧效率降低但同时NO<sub>x</sub>排放也降低。分析原因主要是总风量不变时，三次风全关，二次风速提高，使着火推迟，着火区域偏大，火焰更可能扩大燃烧体积，燃烧不如开大三次风时火焰集中，使着火温度降低，从而NO<sub>x</sub>降低。底部热风主要是调节再热汽温，只有在再热汽温偏低时才开启。但这足以影响NO<sub>x</sub>的产生。原因是：底部风开启后，后墙火焰短，前墙火焰长，且整个火焰中心偏上，着火靠上且集中，使燃料的燃烬位置偏上，可能延伸至屏式过热器之后，炉膛后部温度升高，使NO<sub>x</sub>在炉膛后部大量产生。NO<sub>x</sub>曲线显示，再热汽温稍有增长，NO<sub>x</sub>含量就会大增。

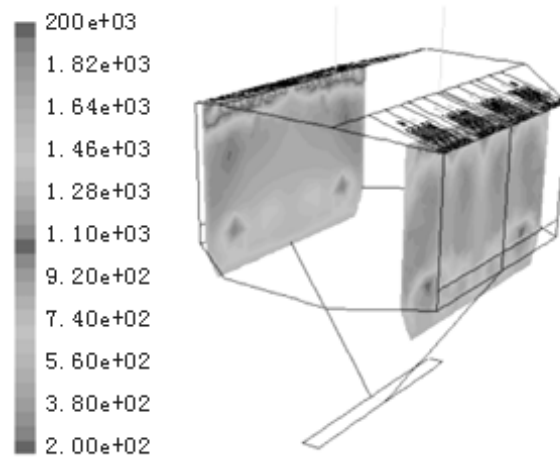


图3 炉膛温度示意图

#### c、燃烧工况的影响

“W”火焰锅炉的设计原则，在于形成的火焰为“W”形状，前后左右对称均匀，使燃烧均匀。其前后墙各为一个“U”型火焰，组成一个“W”形状。当前后墙火焰长度不一时，就会改变其对称性，火焰中心就会偏移，特别是在高负荷时，很难达到对称燃烧，总是一面墙火焰长，一面墙火焰短。这也影响了NO<sub>x</sub>的产生。前墙火焰长，后墙火焰短时，情形如同底部风开大时的情况，NO<sub>x</sub>会增加；前短后长时，燃料的燃烬大部分在下炉膛，燃烬度较高，NO<sub>x</sub>含量就会下降，比前长后短状态约下降130~180mg/m<sup>3</sup>。

#### d、启停制粉系统的影响

菏泽电厂#3、#4炉设计为3台磨煤机。正常方式运行3台磨煤机，负荷210MW以下时，可停1台磨煤

机。停止A或B磨运行，NO<sub>x</sub>水平和三台磨相差无几，若停止C磨运行，则NO<sub>x</sub>含量大幅度下降，降至1000mg/m<sup>3</sup>以下。分析原因为：A、C磨运行或B、C磨运行与三台磨运行的燃烧工况相似，燃烧比较集中；而停止C磨时，C磨的喷燃器在前后墙中间，停止之后，A、B磨喷燃器燃烧空间增大了0.5倍，燃烧火焰集中度变差，火焰温度大幅度下降，炉膛温度随之降低，从而，NO<sub>x</sub>大幅度下降，效果非常显著。

## 6 降低NO<sub>x</sub>对飞灰和炉渣可燃物的影响及措施

降低NO<sub>x</sub>浓度对飞灰和炉渣含碳量影响非常大，是两个相互矛盾的问题。试验数据表明，菏泽电厂#3、#4炉随着NO<sub>x</sub>的下降，飞灰和炉渣含碳量增加。主要原因是，降低NO<sub>x</sub>主要是以降低炉膛温度和火焰温度为主，导致燃烬度的降低。降低NO<sub>x</sub>是以降低燃烧效率为代价的。

对于NO<sub>x</sub>基础较高的“前短后长”燃烧方式，应采取增加总风量，关闭三次风及底部风，提高二次风等综合措施。为降低飞灰和炉渣含碳量，可采取提高煤粉细度，提高磨煤机料位，降低一次风压等措施，以减小降低NO<sub>x</sub>带来的负面影响。

## 7 结论

菏泽电厂#3、#4炉的NO<sub>x</sub>试验表明，NO<sub>x</sub>的生成量受锅炉负荷、炉膛结渣污染、过剩空气量、一二次风及底部风配比、燃烧工况、煤粉细度等的影响，尤其是燃烧工况的影响，对NO<sub>x</sub>含量影响最大。炉膛热负荷高、卫燃带结渣，火焰温度高及火焰中心靠上等，是造成NO<sub>x</sub>偏高的主要原因，且以热力氧生成NO<sub>x</sub>为主。相应调整配风及总风量（底部风全关，关小三次风，增大二次风及总风量），去掉一部分卫燃带，吹灰等降低炉膛温度和火焰温度，是降低NO<sub>x</sub>的有效手段。

## 8 参考文献

- [1] 锅炉运行维护手册[Z]. 英国Mitsui Babcock公司, 2002.
- [2] 单风玲, 王新华. W火焰双拱燃烧锅炉燃用无烟煤燃尽率低的原因分析[J]. 热力发电, 2003, (4): 21-23.
- [3] 许传凯. 低挥发分煤的燃烧与“W”型火焰锅炉若干问题研究[J]. 中国电力, 2004, (7): 37-40.

文章作者： 宋绍伟

发表时间： 2006-10-19 00:00:00

[\[关闭窗口\]](#) [\[打印文章\]](#) [\[回到顶端\]](#)