

超细化煤粉的投入量对再燃效果影响的实验研究

白旭东¹, 王 阳¹, 赵炎钧², 高殿臣³

(1. 国家电网燃烧工程技术研究中心, 辽宁 沈阳 110034; 2. 北京国华电力有限责任公司, 北京 100025;

3. 元宝山发电厂, 内蒙古 赤峰 024070)

摘 要:目前我国燃煤电厂 NO_x 排放的控制任务相当艰巨和繁重, 急需开发适合我国国情的降低 NO_x 排放的技术。超细化煤粉再燃是一种降低燃煤锅炉 NO_x 排放的技术, 本文通过在热态燃烧试验装置上进行的试验研究, 论述了超细化煤粉的投入量对锅炉 NO_x 排放、结渣状况及机械不完全燃烧损失的影响。通过试验得知, 加入再燃煤粉后, 炉膛火焰中心的位置变化不大; NO_x 的脱除率能够达到 50% 以上; 结渣状况有所减轻; 机械不完全燃烧损失增加。

关 键 词: 热态燃烧试验装置; 再燃; 超细化煤粉投入量; NO_x ; 结渣

中图分类号: TK229.6 文献标识码: A

1 引言

超细化煤粉再燃是一种利用燃料作为还原剂将 NO_x 从燃烧产物中除去的燃烧改进技术。其基本原理是燃料分解的碳氢化合物碎片能够与 NO_x 反应生成氮分子 (N_2)。

有效, 而且可以被简易地改进后应用在锅炉上。在大型锅炉中实现这一过程, 再燃燃料是从主燃区的上部喷射进去, 造成一种微富燃料环境, 称为“再燃区”。主燃区形成的氮氧化物在这一区域里被还原成氮分子。再燃区上部加入另外一股燃烧空气 OFA, 氧化再燃区的一氧化碳和剩余的燃料。

2 实验装置与实验条件

2.1 热态燃烧试验装置

热态燃烧试验装置是从加拿大引进的, 该燃烧试验装置简称 CRF (Combustion Research Facility)。此试验台用于研究煤粉的燃烧特性、排放特性等。设计的最大给煤量为 30 kg/h (或燃烧速率为 1000 MJ/h)。它的主要特点是对不同冷却速率的锅炉模拟具有较好的灵活性。它的最大优点是控制系统较为先进, 试验数据可在线检测, 试验结果重现性好。

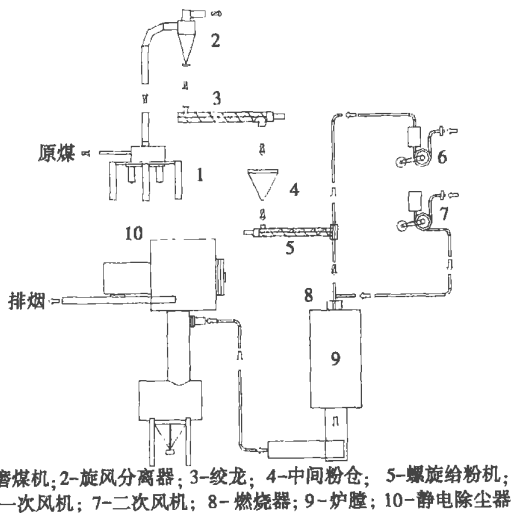


图 1 试验台系统流程图

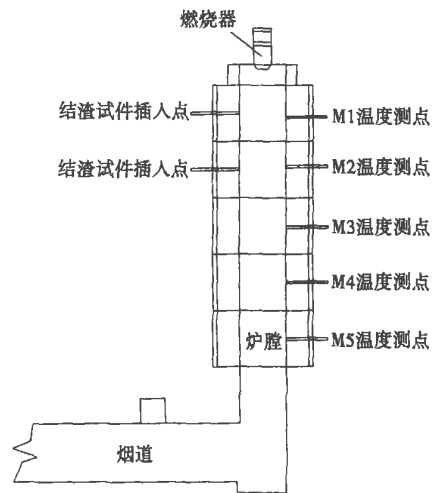


图 2 试验台炉体结构图

超细化煤粉再燃技术对于控制 NO_x 排放非常

试验台主要有 5 部分构成: 燃烧系统、制粉系统、数据采集与控制系统、压缩空气冷却系统和在线烟气

取样分析系统。试验台系统流程图如图 1 所示。燃烧系统由燃烧器、炉体、一次风机、二次风机、热交换器、静电除尘器和炉体预热系统等几部分构成。制粉系统由皮带传送机、碎煤机、给料漏斗、磨煤机、旋风分离器、绞龙、粉仓、给粉机和布袋除尘器构成。试验台呈 L 型布置, 炉体为圆筒形, 如图 2 所示。

数据采集和控制系统由数据采集和控制的软件及硬件组成, 以采集、记录和处理数据。烟气取样在线系统连续测量烟气中的 O_2 、 CO_2 、 CO 、 SO_2 、 NO_x 成份。

2.2 实验方法和实验条件

2.2.1 实验方法

实验选用元宝山褐煤作为燃料, 煤质分析见表 1。将煤样处理为主燃煤粉(常规煤粉)和再燃煤粉(超细化煤粉)两种细度进行实验。实验分别在再燃煤粉占总煤粉量不同比例情况下做燃烧和排放的对比实验(见表 2)。分别在炉膛的不同位置(M1、M2、M3、M4、M5 及尾部)进行炉膛温度和烟气成份测量; 在 M1、M2、M3 用硅碳棒取焦样; 进行炉渣和飞灰取样, 对气体和固体样进行分析研究。

表 1 煤质分析数据

工业分析 / %				
M_{ad}	V_{ad}	A_{ad}	FC_{ad}	
9.72	27.13	9.25	33.9	
元素分析 / %				
C_{ad}	H_{ad}	O_{ad}	N_{ad}	S_{ad}
43.64	2.59	12.91	0.79	1.1

表 2 常规煤粉和超细化煤粉细度分布

	R_{150} / %	R_{90} / %	R_{45} / %
主燃煤粉	8.8	26.1	61.1
再燃煤粉	0.2	1	21.3

2.2.2 实验条件及工况确定

主燃区为从燃烧器下沿到 M2 中心, 主燃煤粉经燃烧器由一次风喷入炉膛。M2 中心到 M3 中心为再燃区。再燃煤粉由 M2 喷入炉膛, 输送介质是由 M5 抽出的热烟气。M3 中心到 M5 中心为燃尽区。燃尽风由 M3 喷入。各燃烧区主要参数见表 3。

表 3 燃烧区主要参数

	主燃区	再燃区	燃尽区
高度 / mm	930	620	1550
停留时间 / ms	795	453	1 135
炉温 / $^{\circ}C$	1 230	1 130	1 020
过剩空气系数	1.0	0.9	1.2

根据再燃燃料占总燃料输入量的比例不同, 将试验分为 4 个工况进行测试, 实验工况见表 4。其中工况一为不投超细化煤粉的常规试验, 其目的是取得试验数据后, 从燃烧、结渣和排放等方面同投入超细化煤粉的试验工况进行比较, 从而检验投入超细化煤粉后的效果。

表 4 实验工况

	主燃区 / $kg \cdot h^{-1}$	再燃区 / $kg \cdot h^{-1}$	再燃燃料量: 总燃料量 / %
工况一	25	0	0
工况二	20.3	4.9	19.4
工况三	21.1	3.9	15.6
工况四	21.8	3	12.1

3 实验结果和讨论

3.1 炉膛温度场

炉膛温度场是由布置在各节中间的热电偶测试得到, 工况一至工况四的炉膛各段的温度场测试结果如图 3 所示。

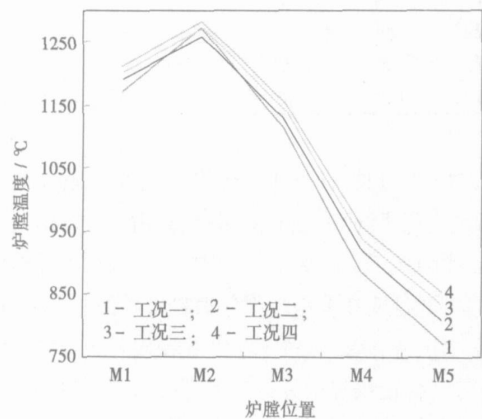


图 3 炉膛温度场曲线

由图 3 可知, 无论是再燃工况还是常规工况, 炉膛温度变化规律相同, 即炉膛温度沿炉膛高度先升高后下降, 温度最高区域均出现在 M2 附近, 说明各工况燃烧的火焰中心在 M2 附近。

在投入再燃煤粉后, 主燃区中部(M1)炉温升高。这是因为, 投入再燃煤粉后主燃煤粉的给粉量减少, 相应供入主燃区的二次风量也在减少(根据试验条件, 在投入超细煤粉之后, 该区域的过剩空气系数从 1.2 降低为 1), 二次风速下降, 延长了主燃煤粉在该区域的燃烧停留时间, 使这里的炉膛温度升高。

在投入再燃煤粉后, M2(此处为试验中定义为

主燃区的末端和再燃区的始端)的温度有所下降,这是由于超细化煤粉从这里喷入炉膛,该区域的过剩空气系数降低到 0.8~0.9 之间,产生了较强烈的还原性气氛,超细化煤粉的燃烧受到了抑制,使得该区域的温度有所下降。在此之后,从再燃区流过来的未完全燃烧的煤粉遇到 M3 节喷入的燃尽风后,开始燃烧,使得此后各区域的炉膛温度比未投超细化煤粉时普遍升高。

综上所述,在投入再燃煤粉后,除再燃煤粉喷入点 M2 的温度降低以外,其它各点炉温均比工况一高,但是炉膛温度的最高点仍出现在 M2 处,说明炉膛火焰中心的位置变化不大,只是温度的极值有所降低,这对于防止结渣是有好处的。

3.2 NO_x 排放

炉膛尾部出口的烟气成份分析及 NO_x 脱除率的计算结果见表 5。

表 5 NO_x 排放数据

	O ₂ /%	NO _x /mg·m ⁻³		效率/%
		实测	折算	
工况一	2.94	1121	1121	—
工况二	3.98	588	624	44.3
工况三	4.20	510	549	51.1
工况四	4.01	551	586	47.7

由表 5 可见,在投入再燃煤粉后各工况的 NO_x 排放均有所降低,并且随着再燃煤粉占总燃料输入量的比例增加 NO_x 的脱除率呈现出先升高后下降的变化规律,这说明在采用超细化煤粉再燃控制 NO_x 排放技术中,存在着一个最佳的再燃煤粉投入比例。因此对于元宝山褐煤来说再燃煤粉占总燃料输入量的比例在 15%左右时,其 NO_x 的脱除率最高。

3.3 结渣状况

在对布置在炉膛内 M1、M2 节高温段上的非冷却硅碳棒上灰渣粘附程度的强弱分析发现,工况一至工况四硅碳棒上的灰渣颜色基本为灰白色,没有熔融现象,呈松散堆积状,硬度较低,刮刮容易。工况一硅碳棒上的灰渣量较工况二和工况三要多,同工况四接近。振动工况一的硅碳棒灰渣不能从硅碳棒上脱落,而另外 3 个工况的灰渣能从硅碳棒上振动脱落。

经上述分析可知,在投入再燃煤粉之后,结渣状况有所减轻。因为,超细化煤粉再燃技术采用的是分级送风、低氧燃烧的运行方式。可能是这种运行方式使焦渣的组成发生了变化,从而减轻了结渣程度。

3.4 机械不完全燃烧热损失的变化

机械不完全燃烧热损失是由于灰渣中未燃尽的可燃物造成的。对于煤粉炉来说,这些未燃尽的残炭包括在飞灰和炉渣中。表 6 列出了不同工况飞灰、大渣可燃物含量及计算出机械不完全燃烧热损失 Q₄ 的变化。

表 6 机械不完全燃烧热损失的变化

	可燃物含量/%		Q ₄
	飞灰	大渣	
工况一	6.84	15.45	5.063
工况二	7.15	18.23	5.574
工况三	7.08	17.05	5.388
工况四	6.98	16.28	5.239

由表 6 可以看出,投入超细化煤粉后飞灰和大渣中的可燃物含量随超细化煤粉投入比例的增加而增加,但增量不大。在本实验条件下机械不完全燃烧热损失增加了 0.2%~0.5%,这一结论与美国超细化煤粉再燃技术相一致。

4 结 论

通过超细化煤粉再燃技术在 CRF 热态燃烧试验装置上的实验研究,可以得到以下结论:

(1) 在投入超细化煤粉之后,除再燃煤粉喷入点外,其它各点炉温有所升高,各点炉温随再燃煤粉喷入量的增加而降低。同不投超细化煤粉的试验工况一样,炉膛温度的最高点仍旧出现在主燃区的末端、再燃区的始端,即炉膛火焰中心的位置变化不大,只是温度的极值有所降低。这对于防止结渣是有好处的。

(2) 对于元宝山褐煤来说,再燃煤粉占总燃料输入量的比例在 15%左右时,NO_x 的脱除率最高,NO_x 的脱除率能够达到 50%以上。

(3) 在投入再燃煤粉之后,焦渣的组成发生了变化,结渣状况有所减轻。

(4) 投入超细化煤粉后机械不完全燃烧热损失随超细化煤粉投入比例的增加而增加,但增量不大。在 NO_x 的脱除率最高的超细化煤粉投入工况下机械不完全燃烧热损失增加了 0.325%。

参考文献:

[1] DOE U S. Reducing technologies for the control of nitrogen oxides emissions from coal-fired boilers[R]. Washington: DOE, 1995.
 [2] 国家电站燃烧工程技术研究中心. 超细化煤粉再燃低 NO_x 燃烧技术模块化试验研究报告[R]. 沈阳: 国家电站燃烧工程技术研究中心, 2003.

2.16 times of that of a bare tube. For the same tube type within the range of vacuum $P_i = 0.0686$ MPa and cooling water Re number $5 \times 10^3 - 4 \times 10^4$ the total heat transfer factor of a vertically installed tube BGT-1 is about 0.78 - 0.87 times of that of a horizontally installed tube. The results of the tests indicate that the layout scheme, steam condensation load and pressure are major influencing factors for maintaining a sustained dropwise condensation. **Key words:** corrugated tube, dropwise condensation, water working medium, copper-nickel alloy

动静态转子分离器的试验研究 = **Experimental Investigation of a Dynamic-static Rotor Separator** [刊, 汉] / YANG Long-bin, WU Shao-hua, QIU Peng-hua (Combustion Engineering Research Institution under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post code: 150001), GAO Zhen-sen (Research Center of Clean Coal Technology under the Heilongjiang Institute of Science & Technology, Harbin, China, Post Code: 150027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2005, 20(6). — 591 ~ 595

Presented is a test rig for studying the performance of a dynamic-static rotor separator. With pulverized coal serving as a raw material the separator was tested under a variety of conditions, including different airflow rates, different rotating speeds and different concentrations of pulverized coal being fed. After processing and analyzing the test results it has been found that a decrease in airflow rate, an increase in rotating speed and a lowering of pulverized coal concentration can result in a more finely pulverized coal at the outlet with R_{90} attaining 5.43% and a comprehensive separation efficiency in that case being assessed at 52.46%. However, the adjustment of the above-cited three parameters will engender both favorable and undesirable consequences in respect of separation efficiency and resistance. In view of this, the variation of the latter two items should be closely watched and determined through detailed analyses and specific tests. **Key words:** separator, gas-solid flow, experimental study

超细化煤粉的投入量对再燃效果影响的实验研究 = **Experimental Study of the Influence of Ultra-fine Pulverized-coal Feeding Rate on Reburning Effectiveness** [刊, 汉] / BAI Xu-dong, WANG Yang (China National Research Center of Power Plant Combustion Engineering and Technology, Shenyang, China, Post Code: 110034), ZHAO Yan-jun (Beijing Guohua Electric Power Co. Ltd., Beijing, China, Post Code: 100025), GAO Dian-cheng (Yuanbaoshan Power Plant, Chifeng, Inner Mongolia, China, Post Code: 024070) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2005, 20(6). — 596 ~ 598

Owing to the formidable and arduous task of restricting NO_x emissions from coal-fired power plants currently operating in China it is extremely urgent to develop low NO_x emission technologies suitable for China-specific conditions. The reburning of ultra-fine pulverized coal represents a low NO_x emission technology for coal-fired boilers. Through an experimental investigation conducted on a hot-state combustion test facility clarified and expounded was the influence of the feeding rate of ultra-fine pulverized coal on boiler NO_x emissions, slag formation conditions and mechanical incomplete combustion losses. From the tests it has been found that after feeding pulverized coal for reburning there was little change in the location of the furnace flame center and the removal rate of NO_x can be in excess of 50%. Meanwhile, slag-formation conditions have somewhat improved along with an increase in mechanical incomplete combustion losses. **Key words:** hot-state combustion test facility, reburning, extra-fine pulverized coal feeding rate, NO_x, slag formation