

200 MW 锅炉空气分级低 NO_x 燃烧改造实验研究

张晓辉, 孙 锐, 孙绍增, 秦 明

(哈尔滨工业大学能源科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 针对北京地区某电厂 200 MW 燃煤机组进行低 NO_x 燃烧系统改造, 采用了燃尽风(OFA)与水平浓淡低 NO_x 燃烧器相结合的立体分级燃烧低 NO_x 燃烧系统。改造后氮氧化物(NO_x)排放浓度有明显改善, 采取均等配风方式时, 下降幅度达 45%~60%; 采取合适的燃尽风喷口水平摆动角度, 可有效缓解炉膛出口烟温偏差, 偏差可控制在 50 °C 范围内; 在 NO_x 排放量得到明显改善的同时, 锅炉效率提高 1% 左右。改造后任一工况下的 NO_x 排放浓度均低于 400 mg/m³, 同时为尾部烟气脱硝(SCR)装置提供更为经济的入口条件。

关 键 词: 燃煤锅炉; 分级燃烧技术; OFA; 水平浓淡低 NO_x 燃烧器; NO_x 排放浓度

中图分类号: TK223.23 文献标识码: A

引 言

NO_x 是重要的大气污染物, 它形成光化学烟雾进而影响能见度, 破坏平流层中的臭氧层, 对环境造成危害, NO_x 与 SO_x 和粉尘共存可生成毒性更大的硝酸或硝酸盐气溶胶, 形成酸雨, 是各国环境治理的主要控制对象。近年来, 各国对氮氧化物排放的控制更加严格, 因此, 降低电站锅炉 NO_x 排放量, 深化对 NO_x 生成及控制机理的认识有着重要意义。

我国对氮氧化物排放的控制也更加严格, 北京地区由于地处首都及 2008 年奥运会主办地率先对其锅炉机组进行低 NO_x 排放改造。在此背景下, 哈尔滨工业大学采用燃尽风及水平浓淡燃烧器相结合的低 NO_x 燃烧系统对北京地区某 200 MW 燃煤机组进行改造。

1 空气分级燃烧技术发展及技术路线选择

锅炉燃烧过程中产生的 NO_x 主要分为 3 大类, 分别为燃料型 NO_x、热力型 NO_x 与快速型 NO_x, 其中燃料型 NO_x 占锅炉排放 NO_x 总量的 75%~

95%^[1]。燃烧区域的过量空气系数是燃料型 NO_x 的主要影响因素, 为了降低燃烧区域的过量空气系数, 抑制燃烧初期挥发分 N 向 NO_x 的转变, 并根据炉内一次风、二次风间的不同组合方式, 针对四角切圆开发出多个炉内空气分级燃烧技术^[2-4]。目前的空气分级技术总体上可分为 3 大类, 分别是水平分级、垂直分级及两者相结合的空间立体式分级, 各分级系统间相对关系如图 1 所示。水平分级技术最初阶段 CFS (concentric firing system) 燃烧技术, CFS I 系统将二次风偏转一个角度, 其切圆要大于一次风切圆, 切圆旋转方向相同; 后在此基础上开发了 CFS II 系统, 其二次风切圆也要大于一次风切圆, 但方向相反, 与一次风切圆形成同心反切圆布置。而单级 OFA 与多级 OFA 系统则是垂直分级技术的最初产物。ABB 公司将 CFS I、CFS II 与单级 OFA 系统相结合分别开发出了 LNCFS I 系统和 LNCFS II 系统, 后将 CFS I 系统与多级 OFA 系统相结合又开发出了 TFS2000 系统。

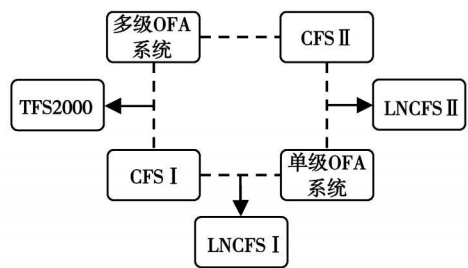


图 1 空气分级燃烧发展示意图

考虑到机组实际情况, 本文采用 OFA 系统与水平浓淡低 NO_x 燃烧器(LNB)技术相结合对哈尔滨锅炉厂生产的 200 MW 锅炉机组进行低 NO_x 改造, 预期目标为在任意工况下 NO_x 排放量均低于 450 mg/m³。

收稿日期: 2007-11-14; 修订日期: 2008-06-23

基金项目: 2005 年度教育部新世纪优秀人才支持计划子基金资助项目(NCET-05-0336); 国家自然科学基金资助项目(50576020); 黑龙江省科技攻关基金资助项目(WC. 04109)

作者简介: 张晓辉(1979—), 男, 黑龙江鸡西人, 哈尔滨工业大学讲师, 博士研究生。

2 机组概况及改前运行情况

锅炉型号为 HG-670/13.7-YM, 为超高压、中间再热、自然循环、平衡通风、干式固态排渣、单炉膛、四角切圆燃烧、II 型布置和汽包锅炉, 配有 5 台正压直吹式中速辊子磨煤机, 每台磨煤机负责一层 4 只角式直流煤粉燃烧器, 正常运行时投用 3 台磨煤机。燃烧器分成上下两组, 无分级燃尽风。3 台磨煤带满负荷运行时, NO_x 排放水平约为 600~750 mg/m³。炉膛出口烟温偏差较大(最严重时相差 250 °C), 锅炉主要技术参数、燃煤特性及改前试验工况如表 1~表 3 所示。

表 1 改前试验工况(NO_x=688 mg/m³)

	数 值
主蒸汽流量/t·h ⁻¹	614.1
主蒸汽温度/°C	539
减温水量/t·h ⁻¹	15.3/13
给水温度/°C	241.7
炉膛出口氧量/%	3.2
排烟温度/°C	146.1
送风机入口温度/°C	14.1
尾部烟气氧量/%	6.8
锅炉效率/%	90.81

表 2 锅炉主要设计参数

	数 值
过热蒸汽流量/t·h ⁻¹	670
过热蒸汽温度/°C	540
过热蒸汽压力/MPa	13.82
锅筒压力/MPa	15.9
给水温度/°C	249.4
计算燃料量/t·h ⁻¹	103.92
空气温度/°C	20
排烟温度/°C	156
热效率/%	91.04

表 3 燃煤特性

	设计煤种	试验煤种
C _{ar} /%	51.44	51.51
H _{ar} /%	3.35	2.96
O _{ar} /%	9.86	7.36
N _{ar} /%	0.6	0.9
S _{ar} /%	0.41	0.53
A _{ar} /%	26.24	30.44
W _v /%	8.1	6.3
V _{ar} /%	27.1	40.74
Q _{net,ar} /kJ·kg ⁻¹	19 678	19 300

根据锅炉运行实际状况, 确定由垂直方向上 OFA 空气分级系统和主燃烧区域的水平浓淡燃烧器相结合的立体分级低 NO_x 燃烧系统对锅炉进行改造, 并进行相应的试验研究。

3 低 NO_x 燃烧系统原理及方案实施

3.1 方案的确定

3.1.1 水平浓淡燃烧器结构的确定

改造中一次风燃烧器采用水平浓淡型煤粉燃烧器和高浓淡比的浓缩设备, 提高浓侧一次风的煤粉浓度, 改善了煤粉着火能力, 并强化了其燃烧性能, 可以适应燃用在一定范围内变化烟煤煤种, 使一次风出口气流着火及时, 保证了锅炉低负荷不投油稳定运行的能力。在背火侧设置煤粉浓度较小的淡一次风, 可以强化浓淡分离后炉膛四壁的氧化性气氛, 防止燃烧器区结渣和高温腐蚀^[5-9]。

喷口周围布置有冷却周界风, 以便对停运喷口进行冷却, 一次风喷口采用扩口结构, 推迟一次风和周界风之间的混合, 浓淡一次风之间保留垂直隔板, 推迟浓淡一次风之间的混合。

3.1.2 燃尽风参数的确定

(1) 燃尽风风率的确定涉及到 NO_x 的生成、主燃区的着火及其稳定性、燃料的燃尽及避免结焦现象的出现。因此燃尽风率的确定是一个综合考虑着火、N 控制、燃尽及还原性气氛控制等多方面因素的问题。

仅从 NO 释放方面而言, 高化学当量比有利于抑制 NO 的生成^[1, 10~11], 其中 Soete 研究了化学当量比从 0.7 升至 1.58 时^[10], 燃料 N 向 NO 的转化率, 随着化学当量比的增加而降低; B Coda 在携带流反应器上^[11], 以风-粉比为考察对象, 考察了分级燃烧及未分级燃烧时的燃料 N 向 NO 的转化率, 发现当风-粉比为 0.75 时, 转化率要比 1.15 时减少 15%~20%。从技术应用角度出发, 英国的 ABB 阿尔斯通公司认为燃尽风份额应在 10%~30%之间; 毕大鹏等人将燃尽风风率定为 15%对燃褐煤六角切圆 200 MW 锅炉机组进行改造^[12]; 张惠娟等人将燃尽风风率定为 25%~30%^[13], 对 300 MW 锅炉机组进行改造。曾汉才等人在综合评价过量空气系数 α 对 NO 及其中间产物 HCN、NH₃ 的影响后^[14], 认为 α 减少时 NO 排放量先减少后增加, 因而在某一 α 值或某一偏离率下, NO_x 排放浓度最少, 一般取 α 为 0.75~0.80。

在结合前人的机理研究和工业应用基础上,本设计方案将燃尽风风率定为 20%~30%。为了能彻底解决炉膛出口烟温的热偏差及再热器气温偏低的问题,将燃尽风喷口设计成可上下摆动±15°,左右摆动±10°。

(2) 燃尽风位置的确定。本文采用阎志勇等人对燃尽风与最上层燃烧器距离所采用的计算公式^[15],表达为: $H = \sqrt{1.5(V_{daf}/10)}$,结合锅炉设计及目前燃用煤质的挥发分含量,将燃尽风最上层燃烧器距离初步定为 2.5~3.0 m,具体位置则根据改造所涉及到的炉内水冷壁弯管设计及安装、炉外钢梁布置、风门控制机构等因素来进行最后确认。低 NO_x 燃烧系统如图 2 所示。

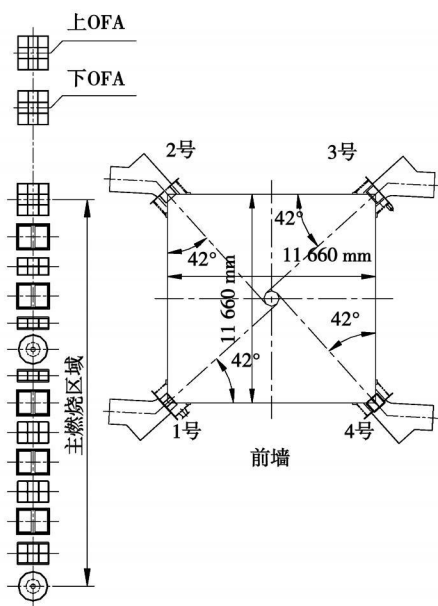


图 2 低 NO_x 燃烧系统示意图

4 试验结果及分析

4.1 冷态空气动力场试验

在实炉上进行冷态模化试验,除了保证煤粉燃烧器出口气流的雷诺数达到自模区,还要保证冷、热态时煤粉燃烧器一、二、三次风出口气流动量比相等。采用 ANEMOMASTER Model KA21 热式风速计将各喷口风速调整到冷态模化值后,对炉内空气动力场进行测量。切圆直径为 10.2 m×9.9 m。炉内切圆直径较大,切圆中心稍偏向后墙,但偏差不大,左右两墙切向速度与分布基本对称;

4.2 锅炉低 NO_x 排放性能试验结果和分析

4.2.1 配风方式对 NO_x 排放的影响

在保证炉膛出口氧量为 3.4 左右时,通过调整各层二次风风量分配,考察了二次风分配方式为均等、倒塔、束腰、正塔配风方式下的 NO_x 排放及锅炉效率,结果如图 3 所示。在采用倒塔配风方式情况下 NO_x 排放浓度最高,正塔配风方式次之,均等配风方式 NO_x 排放浓度最低,为 287 mg/m³,修正后的锅炉热效率为 92.24%。通过比较看出,在采取均等配风方式时,由于燃料燃烧区域分散,氧气供入适中,NO_x 排放浓度较低,结果最为合理。

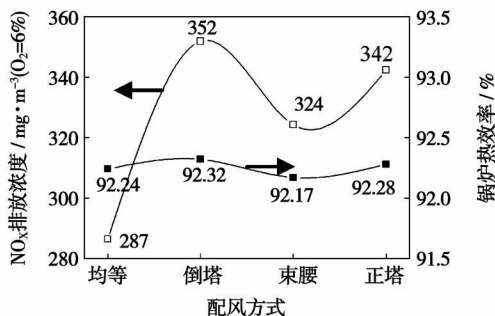


图 3 配风方式对 NO_x 及锅炉热效率影响

通常情况下,根据不同的二次风分配方式,NO_x 排放浓度依次顺序为倒塔<束腰<均等<正塔。而从本次改造后的实际结果看,规律有所不同,均等配风时,NO_x 排放浓度最低,而倒塔配风方式则最高。这是因为二次风喷口在设计时就已经按照下部风量少,上部风量高的方案进行设计,因此表面上的均等配风方式实际上就是下部配风少上部配风多的倒塔配风方式,此时 NO_x 排放浓度最低。改造后当采取倒塔配风方式时,由主燃区下部过量空气系数过小而导致大部分未燃烧的焦炭集中聚集在主燃烧区域上部燃烧,这使得燃烧区域上部出现剧烈燃烧的情况,大量的焦炭 N 被氧化生成 NO,实验同时对主燃区温度进行了监测,发现采取倒塔配风方式时,炉膛上部燃烧温度最高,接近 1700 K,这不但表明大量燃料在此区域燃烧,同时也意味着大量热力型 NO_x 的生成。

因此,结合本次改造的设计,采用均等配风方式,NO_x 排放浓度最低,最大降幅为 58%,此时,锅炉热效率为 92.24%,较改前的 90.81% 提高了近 1.5%。以配风方式作为主要考察方式,均等配风方式最为理想。

4.2.2 炉膛出口氧量对 NO_x 排放及锅炉效率的影响

在采取均等配风条件下,调整炉膛出口氧量分

别为 3.95%、3.35%、2.38%和 2.2%，观察其对 NO_x 排放浓度及锅炉效率的影响，结果如图 4 所示。

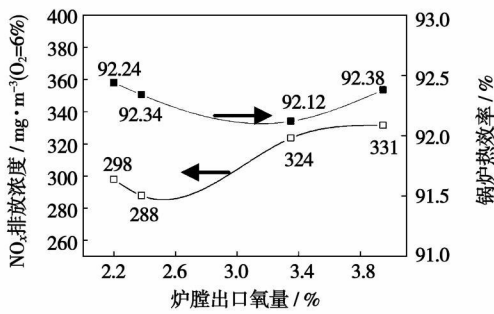


图 4 炉膛出口氧量对 NO_x 及锅炉热效率影响

当炉膛出口氧量为 2.38% 时 NO_x 排放浓度最低，为 288 mg/m³，此时效率为 92.34%；氧量为 2.2% 时，NO_x 排放浓度为 298 mg/m³，可以认为当炉膛出口氧量低于 2.38% 时，NO_x 排放浓度变化不大，稳定在 300 mg/m³ 以下。

当氧量较低时，整个炉膛燃烧区域内空气化学当量比降低，有效抑制了 NO_x 的生成，同时由于燃尽风布置方式较为合理，对锅炉效率影响不大。

总体比较而言，随着炉膛出口氧量的增加，NO_x 排放浓度也随之增加，而对锅炉效率则影响不大。曹红加等人针对过量空气系数对 NO_x 排放的影响展开研究^[19]，得出类似的结论。出口氧量的增加表明在燃烧过程中有较充足的氧气参与燃烧，使得燃料可以充分燃烧，飞灰含碳量降低，但同时也导致 NO 生成量的增加。

在配风方式相同的情况下，炉膛出口氧量反应了整个燃烧区域氧量的充裕程度。当过量空气系数较低时，燃料 N 在燃烧过程中挥发分 N 首先以氰类 (HCN 等) 及氨类 (NH₃ 等) 等形态释放，这些中间产物在燃尽风创造的还原气氛下 (主燃区过量空气系数小于 1) 生成 N₂。采用水平浓淡燃烧器后，使得煤粉着火点的前移，延长煤粉燃烧时间，同时，试验煤种的挥发分为 40.74%，大大高于改造前煤种的 27.13%。燃烧初期，挥发分会迅速析出，首先在低氧气氛下燃烧。因此，挥发分含量增加，强化了低氧燃烧对燃料型 NO_x 生成的抑制作用。这两方面因素使得即使在较低的过量空气系数的条件下，仍然会保持较高的燃烧效率，并没有因为低氧燃烧，而出现由飞灰含碳量增加所导致的燃烧效率下降的问题。

比较炉膛出口氧量对 NO_x 排放浓度及锅炉热

效率的影响趋势，认为当出口氧量为 2.3% 左右时较为理想，此时 NO_x 排放浓度稳定在 300 mg/m³ 以下，锅炉效率为 92.3%~92.4% 之间。

4.2.3 燃尽风切圆反切对炉膛出口烟温偏差的影响

在保证配风方式与炉膛出口氧量不变的情况下，当燃尽风出口气流假想切圆与主燃区切圆一致时，烟温偏差较大。通过调整下层燃尽风喷口水平摆角，使其切圆偏转方向反切，可以有效消除炉膛出口残余旋转，同时强化燃尽风区域的烟气混合，通过比较可以看出，燃尽风摆动对烟温偏差影响明显，烟温偏差由 140 °C 降低到 10 °C，结果如图 5 所示。

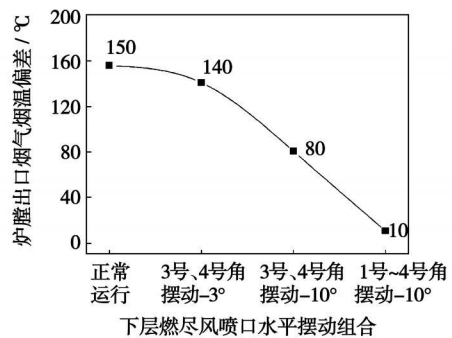


图 5 下层燃尽风水平摆动对炉膛出口右侧烟温偏差的影响

由冷态实验结果可知存在着实际切圆偏大的现象，随之带来的后果就是随着炉膛内气流旋转的逐渐增加，炉膛上部烟气流偏越来越来，造成分隔屏和后屏过热器出口汽温偏差较大^[17]。同时，残余旋转过程中在炉膛出口处的气流包括未燃尽碳，直接窜入屏式再热器和末级再热器，烟温高，流速快，加之未燃尽碳的继续燃烧，最终导致残余旋转过强，也引起的沿炉宽烟气流偏和烟温偏差^[18]。

而当燃尽风反切后，由于风速较高，刚性强，其与炉内螺旋上升的主气流形成撞击，使得其与主气流之间的混合强烈，同时旋转减弱，对炉膛出口烟温偏差具有缓解及消除作用^[13]。

4.2.4 磨煤机组合方式对 NO_x 排放及锅炉效率的影响

根据实际运行特点，考虑到制粉系统及保障锅炉的安全稳定运行，对各常规的一次风投运组合方式下的污染物排放特性及锅炉热效率进行检测。

每层一次风受一台磨煤机控制，按由下至上的顺序，分别将磨煤机定义为 A 磨、B 磨、C 磨、D 磨和 E 磨。由图 6 可以看出，当 ABC 磨煤机组合时，NO_x

排放浓度最低,为 296 mg/m³,而当采取 2-3-4 层一次风运行时,NO_x 排放浓度最高,为 372 mg/m³。1-2-3 层一次风的组合方式在运行时,煤粉燃烧初期为还原性气氛下燃烧,有效抑制了 NO_x 的生成,同时在煤粉集中区域未完全燃烧的焦炭由于在燃烧后期有了较充足的氧量和较长的停留时间,因此在保证 NO_x 较低的排放浓度的情况下,并没有对燃烧效率产生不良影响,此时锅炉效率为 92.27%。

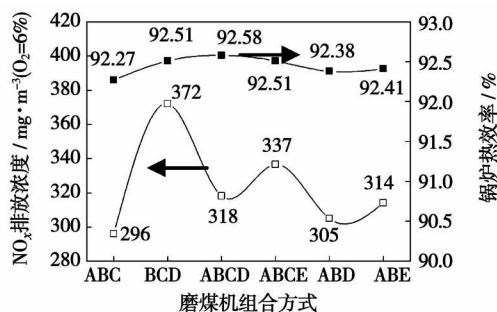


图 6 磨煤机组合方式对 NO_x 及锅炉热效率影响

而采用 BCD 磨煤机组合方式时,NO_x 排放浓度最高,为 372 mg/m³。该运行方式使得煤粉相对集中在炉膛中心位置燃烧,下部三层二次风的供入使得燃料在燃烧初期即与大量空气结合,过量空气系数较高,燃烧剧烈,炉膛温度较高,此时不仅燃料型 NO_x 大量析出,同时也产生大量的热力型 NO_x,这也是该组合 NO_x 排放浓度最高的原因之一。

采用 ABD 和 ABE 磨煤机组合时,NO_x 排放浓度及飞灰含碳量均介于上述两者之间。就实验结果而言,ABC 磨煤机组合运行对降低 NO_x 排放浓度最为有利,而在这使用频率较高的 4 种组合方式下,最高 NO_x 排放浓度为 372 mg/m³,都远低于 450 mg/m³ 的改造目标。

4.2.5 周界风风量对 NO_x 排放及锅炉效率的影响

为了保证喷口附近水冷壁面的氧化性气氛,避免结焦,同时保证机组正常运行时对未投用喷口保护,对各一次风喷口加装周界风,其在燃烧初期即与煤粉气流混合,因此其风量大小对 NO_x 排放性能有一定影响。周界风风门开度分别为 30%、50% 和 100% 时,考察 NO_x 排放及锅炉效率变化趋势。当周界风开度为 30% 时,NO_x 排放浓度最低,为 354 mg/m³,此时锅炉效率为 92.49%。对停运一次风喷口壁面温度进行测量,受炉膛辐射热的影响,壁面温度为 530 °C,最高温度为 840 °C,远低于喷口材料的设计极限温度,可保证喷口的长期稳定运行。

5 结 论

(1) 在各配风方式情况下,均等配风方式效果最好,NO_x 排放浓度可稳定在 287 mg/m³,降低效率达 58% 左右,同时锅炉效率略有提高;

(2) 当锅炉在低氧运行方式下运行,炉膛出口氧量(低温再热器前)维持在 2.4% ~ 3.0%,此时 NO_x 排放浓度保证稳定在 350 mg/m³ 以下;

(3) 燃尽风反切能起到有效消旋作用,同时强化燃尽区内气流混合,结合试验结果,当下层燃尽风喷口摆动反切 10° 时,烟温偏差最低减少到 10 °C 以内;

(4) 在不同磨煤机组合方式下,ABC 磨煤机组合较为理想,此时,NO_x 排放浓度为 296 mg/m³,ABD 次之;BCD 组合 NO_x 排放浓度最高;

(5) 当周界风风门开度为 30% 时,在保证喷口有效冷却并长期正常工作下,相比较其它周界风风门开度,此时 NO_x 排放浓度最低;

(6) 试验期间,所有工况都可保证在 380 mg/m³ 以下,其中占总工况数量 50% 的 NO_x 排放浓度为 300 ~ 350 mg/m³,30% 工况的 NO_x 排放浓度为 280 ~ 300 mg/m³,较改前的 688 mg/m³ 降低幅度为 45% ~ 60% 之间,同时锅炉热效率较改前平均提高 1% 左右,很好地达到了低 NO_x 燃烧系统改造的预期目标。

参 考 文 献:

- [1] PERSHING D W, WENDT J O L. Pulverized coal combustion; the influence of flame temperature and coal combustion on thermal and fuel NO_x // Sixteenth Symposium (International) on Combustion [C]. Pittsburgh: The Combustion Institute, 1976. 389-399.
- [2] 张惠娟, 宋洪鹏, 惠世恩. 四角切圆空气分级燃烧技术及应用 [J]. 热能动力工程, 2003, 18(3): 224-228.
- [3] 曾汉才, 朱全利, 晁明局. 大型锅炉高效低 NO_x 燃烧技术的研究 [J]. 华中电力, 1998, 11(1): 8-12.
- [4] 曾汉才, 胡泰来, 姚 斌. 同心双切圆燃烧系统(CFS)的研究与评价 [J]. 电站系统工程, 1996, 12(4): 33-36.
- [5] 王恩禄, 张海燕, 罗永浩, 等. 低 NO_x 燃烧技术及其在我国燃煤电站锅炉中的应用 [J]. 动力工程, 2004, 24(1): 23-28.
- [6] WENDT J O L, PERSHING D W. Physical mechanisms governing the oxidation of volatile fuel nitrogen in pulverized coal [J]. Flames Combustion Science and Technology, 1977(16): 111-121.
- [7] 秦裕琨, 李争起, 孙 锐, 等. 风包粉煤粉燃烧原理及实验研究 [J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(5): 59-62.
- [8] 孙 锐, 李争起, 孙绍增, 等. 四角切圆锅炉炉内煤粉燃烧过程数值模拟 [J]. 机械工程学报, 2006, 42(8): 107-113.

- [9] 张晓辉, 孙 锐, 孙绍增, 等. 燃尽风与水平浓淡燃烧联用对 NO_x 生成的影响[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(29): 56-61
- [10] DE SOETE G G. Overall reaction rates of NO and N_2 formation from fuel nitrogen // The 15th Symposium (International) on Combustion [C]. Pittsburgh: The Combustion Institute, 1975. 1093-1102
- [11] CODA B, KLUGER F, FORTSCH D, et al. Coal-nitrogen release and NO_x evolution in air-staged combustion[J]. Energy and Fuels, 1998, 12: 1322-1327
- [12] 毕大鹏, 李争起, 赵振奇, 等. 燃用褐煤六角切圆 670 t/h 炉低 NO_x 煤粉燃烧技术的研究[J]. 热能动力工程, 2005, 20(3): 306-309.
- [13] 张惠娟, 惠世恩, 周屈兰, 等. 300 MW 煤粉锅炉低 NO_x 正反切同轴燃烧试验研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(15): 116-120.
- [14] 曾汉才. 燃烧与污染[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1992
- [15] 闫志勇, 张慧娟, 邱广明, 等. 锅炉分级燃烧降低 NO_x 排放的技术改造及分析[J]. 动力工程, 2000, 20(4): 764-769
- [16] 曹红加, 唐必光, 许洪波. 煤粉浓淡燃烧方式对电站锅炉 NO_x 排放影响的试验研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(8): 229-232
- [17] 赵 元, 董 芑, 秦裕琨, 等. 二次风喷射角度对切向燃烧炉膛出口烟气流量偏差的影响[J]. 热能动力工程, 2005, 15(3): 281-283
- [18] 李文蛟, 曹欣玉. 三次风反切下二次风配风方式对水平烟道烟温偏差影响的试验研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(14): 73-77

(编辑 滨)

新技术、新工艺

提高燃气轮机装置效率的趋势

据《Теплоэне Ретика》2008 年 6 月号报道, 在 21 世纪初, 燃气轮机装置世界技术水准的特点是具有下列指标: 它们自身的效率接近 40%, 燃蒸联合装置的效率接近 60%, 燃气轮机的单机功率达到 300 MW。

如同以往, 主要的发展方向是增加涡轮前燃气的温度(达到 1 500 °C), 提高压气机内的压比(大于 20:1), 广泛采用新材料(用于涡轮叶片的单晶材料、轮盘的铬钢和压气机机匣的高强度球墨铸铁), 以及利用蒸汽(进一步利用燃蒸联合循环内的蒸汽)冷却燃烧室部件、涡轮静子和转子零件的先进技术。

可以把国外批生产燃气轮机装置的效率分成 4 级。

E 级: 20 世纪 80 年代中期研制的装置, 具有高的可靠性、长的大修间隔以及所要求的较低的维护费用。涡轮入口温度为 1 100 °C, 压气机内压比为 10~12, 简单循环效率为 33%~35%, 燃蒸联合循环效率为 52%~53%。

F 级: 20 世纪 90 年代初期研制并具有现代批生产技术水准的燃气轮机装置。主要在 90 年代末才向市场提供。涡轮入口温度为 1 250~1 350 °C, 压气机内压比为 15~17, 简单循环效率为 35%~36%, 燃蒸联合循环效率为 54%~55%。

FA (FB) 级: 20 世纪 90 年代后期设计并在现在占领市场的燃气轮机装置, 简单循环效率为 36%~38.5%, 燃蒸联合循环效率为 56%~58%。

G (H) 级: 超功率的燃气轮机装置。简单循环效率为 39%~40%, 燃蒸联合循环效率为 58%~60%。涡轮入口温度为 1 400~1 500 °C, 压气机内压比大于 20。

(吉桂明 供稿)

The authors have analyzed the working principle of a hydraulic torque converter used for a wind power generation system to realize speed variation and constant frequency. To secure maximal wind power with a comprehensive consideration of the structural parameters of a mechanical transmission system, determined was the output speed regulation range of the hydraulic torque converter, capable of accommodating to any change of wind-wheel rotating speed and keeping a generator operating at a constant speed. On the basis of the torque balancing relationship of the transmission system and in conjunction with the torque-speed characteristics of a windmill rotor, the input power of a pump wheel has been calculated. Herefrom, the characteristic geometric parameters of the hydraulic torque converter was tentatively ascertained. From an energy balance equation, the efficiency of the whole transmission system was evaluated. The above research has laid a theoretical and analytic basis for the popularization of hydraulic transmission in wind power generation systems. **Key words:** wind power generation, transmission system, hydraulic torque converter

200 MW 锅炉空气分级低 NO_x 燃烧改造实验研究 = **Experimental Study of an Air-staged and Low NO_x Emission-based Combustion Modification to a 200 MW Boiler** [刊, 汉] /ZHANG Xiao-hui, SUN Rui, SUN Shao-zeng, et al (College of Energy Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(6). — 676 ~ 681

To reconstruct the combustion system of a 200 MW bitumite-fired boiler in a power plant in Beijing region for reducing NO_x emissions, a cubic-staged low- NO_x emission combustion system combining overfired air (OFA) with low- NO_x emission burners of horizontal bias-combustion was used. After the modification, the NO_x emissions concentration has been improved conspicuously. The above-mentioned concentration can be reduced by 45% to 60% when an equalization air distribution mode was adopted. The use of a proper horizontal swinging angle for the OFA nozzle will effectively lessen the flue gas temperature deviation at the furnace outlet, which can be controlled within a range of 50 °C. In addition to a marked lowering of NO_x emissions, the boiler efficiency can be enhanced by about 1%. After the modification, the NO_x emissions concentration at any operating condition is all below 400 mg/m³ and in the meantime, this can provide more favorable inlet conditions for tail portion flue-gas SCR (Selective Catalyst Reduction) device. **Key words:** coal-fired boiler, staged combustion technology, overfired air (OFA), horizontal bias combustion and low- NO_x emission burner, NO_x emission concentration

成型前后活性炭储氢性能的初步研究 = **A Preliminary Study of the Hydrogen Storage Performance of Activated Carbon Before and After its Shape-formation** [刊, 汉] /ZHENG Qing-rong, CAI Zhen-xiong, CHEN Wu (College of Marine Engineering, Jimei University, Xiamen, China, Post Code: 361021), GU An-zhong (Research Institute of Refrigeration and Cryogenic Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(6). — 682 ~ 684

The influence of shape-formation measures on the hydrogen storage characteristics of activated carbon was preliminarily analyzed. First, hydrogen equilibrium adsorption data were determined in a temperature range from 113 to 293 K and at a pressure range from 0 to 12.5 MPa. The adsorptive quantity and equivalent adsorptive heat of hydrogen on activated carbon YK-1 were compared in two cases; i. e. 1. when hydrogen has not undergone a shape formation; and 2. it has completed such a formation by use of acrylate methyl ester emulsion adhesive. Secondly, through a quick inflation and deflation test of a storage tank at a room temperature and a 10.5 MPa pressure, the influence of the shape-formation measures on the adsorptive thermal effect of a storage-tank adsorptive bed was analyzed. It has been found that the shape-formation measures can change the density and specific surface area of the activated carbon, causing a change of the adsorptive quantity and temperature curve of the adsorptive bed center during the inflation and deflation process as well as a change of dehydrogenation flow rate of the adsorptive bed. After the activated carbon has taken shape, the heat transfer through the adsorptive bed must be intensified, or adsorptive heat management measures, introduced to suppress the thermal effect of the adsorptive process. **Key words:** hydrogen, adsorption, inflation, deflation, shape-formed activated carbon