

# “煤气化—无烟燃烧技术”的原理及其应用

孙东红<sup>1</sup>, 郝志金<sup>2</sup>, 王 擎<sup>2</sup>, 孙 键<sup>2</sup>, 秦裕琨<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨工业大学 能源科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 东北电力学院 动力系, 吉林省 吉林市 132012)

**摘 要:** 分析了我国工业锅炉的现状, 介绍了“煤气化—无烟燃烧技术”的原理及其在工业锅炉改造中的应用, 为在用工业锅炉的技术改造探索一条既消烟除尘又节约能源的新途径。

**关键词:** 煤气化—无烟燃烧技术; 工业锅炉; 技术改造  
中图分类号: TK229.8 文献标识码: A

## 1 前言

我国是当今世界上煤炭产销量最大的国家。1995年全国煤炭消耗量为13.1亿吨(占一次能源总量的74.6%), 主要用于: 工业锅炉4.3亿吨、电站锅炉4.3亿吨、工业窑炉2亿吨。煤炭作为燃料, 同燃油和燃气相比, 有两大缺点: 一是排烟对环境的污染严重; 二是利用效率低、浪费过大。这两点对工业锅炉尤为突出。

我国是当今世界燃煤工业锅炉生产和使用量最多的国家。工业锅炉是国计民生不可缺少的热能设备, 是耗煤大户, 又是大气的主要污染源。据统计, 到1998年末, 我国在用工业锅炉50.12万台, 其中生产用锅炉23.78万台、生活用锅炉26.34万台, 总容量约120万蒸吨, 总耗煤量与电站锅炉相同, 但它对环境和节约能源的影响甚大。这是因为, 它的数量甚多、分布极广、单台容量小、结构不尽合理、辅机配套不善、仪表自控水平低、运行操作管理人员素质差、高科技含量太少, 最终表现为热效率低浪费过大、排烟对大气污染严重。我国在用工业锅炉平均热效率约65%, 比国际水平低15~20个百分点, 因而年浪费8000~10000万吨原煤; 年排放烟气72000亿 $m^3$ 、烟尘和 $SO_2$ 各820万吨, 均超过三者全国总排放量的三分之一, 而且排烟黑度、烟尘浓度和 $SO_2$ 浓度不仅超过国家环保标准, 也达到周围人们

难以接受的程度。因此, 无论从减轻环境污染, 还是节约能源来看, 可以说工业锅炉已经到了非大治不可的历史阶段。最近一些大、中城市相继决定: 2t/h及以下的锅炉不准燃煤, 限期改为或更新为燃油或燃气(天然气、城市煤气、石油液化气)锅炉。这一举措就说明了这一点。但是, 由于油、气的价格比煤炭高得多, 大大增加了锅炉运行费用, 供暖费用也因此而大幅度提高, 致使用户难以承担。而且, 从长远看大批锅炉烧油和燃气, 能否保证长期供给, 值得商榷。

为了解决这个问题, 我们发明了“煤气化—无烟燃烧技术”, 并应用于在用工业锅炉改造, 目前已有多个锅炉投入商业运行, 100%的达到了国家I类地区环保标准要求。同燃油、燃气锅炉相比, 燃料费仅为1/4~1/6, 可大幅度降低运行费用, 而且安全可靠, 可以说为在用工业锅炉的改造探索出一条新的途径。

## 2 “煤气化—无烟燃烧技术”原理与特点

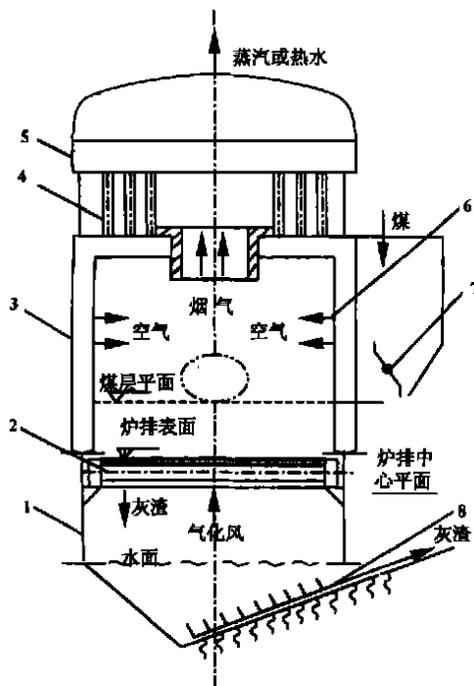
“煤气化—无烟燃烧技术”是一种将移动床煤气发生炉与层燃炉有机结合在一起的复合燃烧技术。它实现了以煤为燃料的气化与燃烧设备的一体化, 可应用于工业锅炉、民用锅炉与工业炉窑, 无需除尘器, 使排烟无色——谷称无烟, 初始烟尘浓度 $\leq 100 mg/m^3$ ,  $SO_2$ 浓度 $\leq 1200 mg/m^3$ , 符合国家I类地区环保标准要求。因此, 它是煤层状燃烧方式的一次重大变革。它的全称为“煤移动床气化—无烟燃烧一体化技术”。

“煤气化—无烟燃烧技术”应用于工业锅炉, 开发了“煤气化—无烟燃烧锅炉”。这种新型锅炉, 结构上将移动床煤气发生炉与层燃锅炉有机地结合为

收稿日期: 2000-06-20

基金项目: 吉林省科技发展计划基金资助项目(19990342-02)

作者简介: 孙东红(1968-)吉林人, 东北电力学院讲师, 博士研究生。



1—底座(气化风室); 2—滚动炉排; 3—水套式炉膛;  
4—对流受热面; 5—锅筒; 6—分段送风装置; 7—给煤机; 8—除渣机

图 1

与灰坑; 燃烧室四壁布置分段送风装置。理论上, 冲破了传统移动床煤气发生炉与层燃炉模式的约束, 采用薄煤层低风速气化, 而在煤层上部空间组织分段送风、分级燃烧。正常运行时, 煤自煤层表面人工或机械投入, 气化风自气化风室送入, 经炉排均布后进入煤层, 使煤气化, 煤气自煤层表面逸出; 供煤气燃烧的空气从燃烧室四壁分段喷入, 由于特殊的空气动力学参数, 不仅使煤气和其中的微细炭粒在旋涡运动中燃尽, 而且使大部分微细炭粒返回煤层表面再燃, 因而大大降低了炉膛出口烟尘浓度, 炉膛四周的辐射受热面及时吸热, 维持炉膛内的温度水平。灰渣则通过炉排破碎后排入灰坑。烟气自炉膛出口进入高效传热元件组成的对流受热面。

由此可见, “煤气化—无烟燃烧锅炉”实现了以煤为燃料的气化—无烟燃烧; 对于含硫量较高的煤, 则在原煤或型煤中混入固硫剂, 床内固硫, 实现煤“气化—无烟燃烧—脱硫”一体化。

目前, 已有 2 t/h 及以下的近百台这种锅炉的第一代产品投入商业运行, 其中有新设计制造的, 也有利用原有手烧炉改造的。总结它们的运行经验, 具有如下优点:

(1) 锅炉内部自行消烟除尘, 无需另设除尘器, 排烟无色, 烟尘和 SO<sub>2</sub> 排放浓度符合国家环保标准

一体(参见图 1), 炉膛自下而上分为煤气化段(室)(煤层表面至炉排平面、燃烧室)——即煤层表面至炉膛出口, 炉膛四周为辐射受热面, 炉膛底部为自破渣滚动炉排, 炉排下部为气化风室

GB13271—91 中 I 类地区要求, 可称为绿色燃煤锅炉; 此外, 煤气化、分段送风、分级燃烧, 使排烟中 NO<sub>x</sub> 大幅度减少, 符合 21 世纪环保要求;

(2) 煤气化——无烟燃烧, 化学未完全燃烧热损失  $q_3$  为零; 飞灰微细、数量极少, 又因采用自破渣式滚动炉排除灰渣, 使灰渣可燃物含量低, 因而机械未完全燃烧热损失  $q_4 \leq 6\%$ , 燃烧效率高达 94% 以上。尾部对流受热面传热强, 降低了排烟温度, 而且由于气化燃烧降低了过剩空气系数, 因而大大减少了排烟热损失  $q_2$ ; 锅炉外型尺寸小, 又采取了特殊的保温措施, 降低了散热损失  $q_5$ 。因此, 锅炉具有较高的热效率。对于容量 1 t/h 以下的又采用自然引风的小型锅炉, 热效率不低于 78%; 对设有引风机的锅炉, 热效率可达 82%; 对 1 t/h 以上、机械给煤、机械除渣、机械引风的锅炉, 热效率可达 84%;

(3) 炉膛容积热强度  $q_v$  可高达 600 ~ 800 kW/m<sup>3</sup>; 同时由于飞灰微细、飞灰浓度又小, 对流受热面可选取较高的烟速, 大大减少受热面积。因此, 可缩小锅炉体积, 降低钢材消耗量, 进而降低锅炉造价和锅炉房基建费用;

(4) 煤种适应范围广。锅炉可以按 I、II、III 类烟煤、贫煤、无烟煤、褐煤、泥炭设计和运行, 在缺少设计煤种时可燃用其它煤种;

(5) 燃用型煤时, 不仅排烟无色, 而且初始烟尘浓度  $\leq 50 \text{ mg/m}^3$ , SO<sub>2</sub> 浓度  $\leq 750 \text{ mg/m}^3$ , 效果更好。

因此, 可以说“煤气化—无烟燃烧锅炉”是燃煤层燃锅炉的换代产品, 可称为蓝天锅炉。

由于“煤气化—无烟燃烧技术”的历史较短, 容量 4 t/h 及以上的工业锅炉正处于工业性试验阶段, 商业化产品将于 2001 年上市。

### 3 “煤气化—无烟燃烧技术”在工业锅炉改造中的应用

现有在用的燃煤层燃锅炉均可应用“煤气化—无烟燃烧技术”予以改造, 实现煤的无烟化燃烧, 即排烟无色, 尚可提高热效率。其中, 固定炉排手烧炉应用此技术改造后, 消烟除尘和节能效果最为显著。此外, 燃油或燃气锅炉如果锅炉房宽敞、条件允许, 也可应用此技术改为燃煤锅炉。但是, 改造的具体方法是各不相同的, 应根据锅炉的容量、蒸汽(或热水)参数、煤种、本体结构尺寸以及锅炉房的布置情况来决定。

对于传统的固定炉排手烧锅炉, 原则上讲应拆

除固定炉排,安装自破渣式滚动炉排,炉排底部改为水封式风室和灰坑;增设压头较高的送风机,在原炉膛煤层上部的空间内增设分段送风装置。

对于人工投煤双层炉排锅炉,可保留双层炉排,仅在双层炉排之间内增设分段送风装置和风压较高的送风机,同时底部炉排下部改为水封式灰坑。

对于往复炉排和链条炉排锅炉,仅在煤层表面适当位置增设分段送风装置和一台风压较高的送风机即可实现消烟之目的;如果原有的送风机的风压经核算认为符合要求,可不另设送风机。

以上所述的改造方法,都不涉及锅炉增容问题,因此都不改动承压部件;如果用户要求通过改造还需增大锅炉容量,或者原锅炉达不到铭牌容量,通过改造达到铭牌容量,应通过热力计算确定所需增加的受热面积和结构;如需改动原炉承压部件,应进行强度计算,并报当地技术监督部门审批备案;此外,尚需重新选择送、引风机等辅助设备。

应用此技术改造现有锅炉,成功率100%,现举例如下:

(1)大连市石化公司宾馆原有一台0.5 t/h立式燃煤锅炉,因黑烟滚滚,被环境保护部门勒令停止运行,只能改用燃油,燃料费1200元/日,而宾馆在非旅游季节时一天营业额不足800元,只好停业。我们应用“煤气化—无烟燃烧技术”予以改造:保留原固定炉排,增设分段送风装置和一台750 W送风机,改造成本5000元,改造工期3天,改造后燃用Ⅲ类烟煤,一次投入正常运行,锅炉排烟无色,烟气浓度 $80 \text{ mg/m}^3$ ,燃料费用降至260元/日,改炉投资回收期不足一周,宾馆因此又能照常营业了。

(2)1999年11月,我们与白城市锅炉制造安装公司合作,将一台0.5 t/h卧式水火管固定炉排手烧锅炉改造为煤气化—无烟燃烧锅炉:原锅炉受热面和固定炉排不动,只增加分段送风装置和更换一台风压较高的送风机。改后,经节能测试中心测试,结果为:锅炉出力为0.52 t/h,锅炉热效率为80.6%,排烟无色,初始烟尘浓度为 $81.2 \text{ mg/m}^3$ 。

(3)吉林市毓文中学游泳馆有1台2 t/h双纵锅筒水管固定炉排手烧蒸汽锅炉,烧Ⅱ、Ⅲ类烟煤,一直黑烟滚滚,是吉林市有名的“黑龙”,多次受到电台和电视台的暴光批评。我们应用“煤气化—无烟燃烧技术”对该炉进行改造,为节省投资并不影响教学工作,经协商改造方法从简,不改动承压部件,保留固定炉排和人工投煤方式,只增设煤气燃烧用风机,2000年4月28日对其进行改造,5月7日改造完

成,一次点火投入运行,一举成功:锅炉烟囱出口处看不到烟,烟尘浓度 $80 \text{ mg/m}^3$ ,符合国家Ⅰ类地区环保标准要求,锅炉热效率达81%。

#### 4 经济效益与环境效益分析

在用的工业锅炉由于原来的燃烧方式和运行水平不同,因而应用“煤气化—无烟燃烧技术”予以改造后的效果也不同。

传统的固定炉排手烧锅炉,应用此技术改造后,不仅使排烟符合国家Ⅰ类地区环保标准要求,减轻大气污染,降低排污费用,而且热效率可提高10~20个百分点。1 t/h锅炉,热效率提高15个百分点,一小时可节煤150 kg,如年运行时间为4000小时,则年节约原煤140吨(原煤通常认为发热值 $20935 \text{ kJ/kg}$ )。各地原煤价不等,如吉林为220元/吨,大连为280元/吨,如平均按250元/吨计,则年节约燃料费3.5万元。改炉投资平均每1 t/h按2万元计,则投资回收期仅为7个月;一年少用140吨原煤,又可减少烟气140万 $\text{m}^3$ 、灰渣3.5吨、尘0.175吨、 $\text{SO}_2$ 1.4吨,间接经济和环保效益更为显著。

往复炉排、链条炉排锅炉应用此技术改造后,亦可使排烟无色,烟尘浓度减少30%~50%,热效率可提高3~5个百分点。改炉所需投资要比手烧锅炉少得多,平均每1 t/h为0.5万元,投资回收期亦为7个月。燃油、燃气锅炉应用此技术改造后,排烟可满足国家Ⅰ类地区环保标准要求,而运行成本仅为燃油、燃气的1/4~1/6。

#### 5 结论

“煤气化—无烟燃烧技术”是一种清洁高效率的燃煤技术,应用于工业锅炉改造不仅使排烟无色、烟气浓度和 $\text{SO}_2$ 达到国家Ⅰ类地区环保标准要求,而且可大幅度提高锅炉热效率、降低运行成本,达到间接的保护环境双重效果,应力求推广应用。

注:文中 $\text{mg/m}^3$ 、 $\text{m}^3$ 均为标准立方米

#### 参考文献:

- [1] 郭奎建. 1998年度锅炉压力容器情况统计[J]. 中国锅炉压力容器安全, 1999, 15(3): 57-58.
- [2] 金安定, 曹子栋, 俞建洪. 工业锅炉原理[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1992.

(何静芳 编辑)

tube connected in series. An experimental study was conducted with air and water serving as working mediums. The results of the study indicate that the pressure drop characteristics of the vertical descending Venturi tube in a ring-shaped flow zone have been found to be more approximate to the calculation results of the uniform-phase flow model. Under the proposed method the relative error of measurement within the range of dryness given in the paper is smaller than  $\pm 10\%$ .

**Key words:** gas-liquid two-phase flow, mass gas-content rate, dryness, measurement

“煤气化—无烟燃烧技术”的原理及其应用 = **Basic Theory of “Gasification—Smoke-free Combustion Technology” and its Application in the Technical Modification of Boilers** [刊, 汉] / SUN Dong-hong (Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001), HAO Zhi-jing, WANG Qing (Northeast Electric Power Institute, Changchun, China, Post Code: 132012) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(3). — 325 ~ 327

An analysis is given of the present status of development of Chinese industrial boilers. On this basis briefly covered in this paper is the topic “gasification—a smoke-free combustion technology” and its application in the technical modification of industrial boilers. The implementation of that technology has opened up a new approach for the technical retrofit of industrial boilers, which can contribute not only to smoke-free and low-ash combustion but also to significant energy savings.

**Key words:** gasification, smoke-free combustion technology, industrial boiler, technical modification or retrofit

低  $\text{NO}_x$  高温空气燃烧技术 = **Low  $\text{NO}_x$  Combustion Technology of High-temperature Air** [刊, 汉] / ZHU Tong, LIU Min-fei (Thermal Energy Engineering Department, Tongji University, Shanghai, China, Post Code: 200092), RAO Wen-tao (Equipment Research Institute under the Baoshan Iron and Steel Corporation-affiliated Research Academy, Shanghai, China, Post Code: 201900) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(3). — 328 ~ 330, 321

By organically integrating traditional low  $\text{NO}_x$  combustion technology of high temperature air with a high-temperature thermal-storage type combustion system, the resulting low  $\text{NO}_x$  high-temperature air combustion technology features a high thermal efficiency, a uniform distribution of temperature within the furnace, and low  $\text{NO}_x$  emissions, etc. The present paper deals with the high-temperature air combustion technology with a focus on the analysis of basic principles of low  $\text{NO}_x$  emissions specific to the high-temperature air combustion technology. In addition, also depicted are two types of low  $\text{NO}_x$  high-temperature air combustors incorporating respectively gas recirculation and graded combustion technology. **Key words:** low  $\text{NO}_x$ , high-temperature air combustion, thermal storage type combustor, combustion technology

KA-13D 燃气轮机注水系统的应用 = **The Application of a Model KA-13D Gas Turbine Water Injection System** [刊, 汉] / LONG Xian-lin, JIA Xi-long (Desheng Electric Power Plant Co. Ltd., Shunde, Guangdong Province, China, Post Code: 528300) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(3). — 331 ~ 333

On the basis of the operating experience of a power plant over the years an analysis was conducted of the influence of water injection or no water injection on the heat resistant pad of combustor components as well as on the components of a post-cycle. The water injection has been applied to the combustor of a gas turbine operating under combined cycle power plant conditions. In this context, expounded are the merits and demerits of employing water injection or no injection into the combustor of the above-mentioned gas turbine. **Key words:** gas turbine, combustor, combined cycle power plant, heat resistant pad

200 t/h D 型锅炉设计技术特点 = **Technical Features of the Design of a 200 t/h D-shaped Boiler** [刊, 汉] / YUAN Mei-yan, LI Jing-shi (Harbin Boiler Works Company, Ltd., Harbin, China, Post Code: 150090) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(3). — 334 ~ 335

Presented in this paper is the brief description of a 200 t/h D-shaped boiler, highlighting the structural layout of the boiler proper, the system flow path, low steel consumption, high thermal efficiency and water circulation head of the boiler.

**Key words:** structural design, boiler system, water circulation head of boiler