

# 高效煤粉锅炉替换层燃锅炉技术改造与能效分析

宋春燕<sup>1,2,3</sup>, 张鑫<sup>1,2,3</sup>, 李婷<sup>1,2,3</sup>

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司, 北京 100013; 2. 煤炭资源开采与环境保护国家重点实验室, 北京 100013;  
3. 国家能源煤炭高效利用与节能减排技术装备重点实验室, 北京 100013)

**摘要:**为了验证目前国内高效煤粉锅炉系统替换传统层燃锅炉的技术能效和排放达标情况,以某矿区9个热源厂改造项目的工程实例,选择其中一个热源厂A热电厂对其现有层燃锅炉实施技术改造或替换新建煤粉锅炉系统。分析对比2个方案(改造现有层燃锅炉并加装尾部烟气净化设施;利用现有热源厂新建煤粉锅炉系统)的投资、运行成本、节能环保效益、负荷能力及工期。结果表明:高效煤粉锅炉结构紧凑、节能减排、运行成本低、投资回收期 and 工期合理,是传统层燃锅炉的理想升级换代品。

**关键词:**煤粉锅炉;层燃锅炉;技术改造;运行成本;节能环保

中图分类号:TK229.63 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2015)03-0098-05

## Technical and energy analysis of replacement of layer combustion boiler with efficient pulverized coal fired boiler

SONG Chunyan<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Xin<sup>1,2,3</sup>, LI Ting<sup>1,2,3</sup>

(1. Coal Science and Technology Research Institute Co., Ltd., Beijing 100013, China; 2. State Key Laboratory of Coal Mining and Environmental Protection, Beijing 100013, China; 3. National Energy Technology and Equipment Laboratory of Coal Utilization and Emission Control, Beijing 100013, China)

**Abstract:** To verify the energy efficiency and emission situation during the replacement of layer combustion boiler with efficient pulverized coal fired boiler, taking one boiler in one mining area which had nine boilers as research object, the original layer combustion boiler was transformed. There were two transformation plans, one plan was installing flue gas cleaning equipment, the other plan was building new pulverized coal fired boiler in original boiler room. The investment, operating cost, energy conservation and environmental protection benefits, load capacity and time limit of the two plans were compared. The results showed that the efficient pulverized coal fired boiler had obvious advantages in the above respects, so it was an ideal replacement of layer combustion boiler.

**Key words:** pulverized coal fired boiler; layer combustion boiler; technical innovation; operating costs; energy conservation and environmental protection

## 0 引言

我国目前工业锅炉保有量59万台,其中燃煤工业锅炉约50万台,年耗煤量约7亿t,约占全国年耗煤总量的20%,我国燃煤工业锅炉70%以上是层燃锅炉,其中以链条锅炉和固定炉排锅炉为主,20t/h及以下层燃锅炉的加权平均热效率为68.72%,比国际同类水平低15%~20%<sup>[1]</sup>。由于煤质、设计、

系统匹配、自控、管理等多方面的因素,同时达到《工业锅炉能效限定值及能效等级》标准Ⅱ级和《锅炉大气污染物排放标准》的锅炉不足5%<sup>[2]</sup>。2012年排放的烟尘、SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>分别占全国工业排放总量32%、26%和15%。其能源消耗和污染排放仅次于电站锅炉位居全国第二,在全国重点城市工业锅炉排放造成的污染已经超过电站锅炉<sup>[3-4]</sup>。随着国家对燃煤工业锅炉能效和环保性能要求的不断提

收稿日期:2014-11-28;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.03.025

基金项目:煤炭科学技术研究院科技发展基金资助项目(2014CX03)

作者简介:宋春燕(1980—),女,内蒙古磴口人,助理研究员,硕士,从事煤粉锅炉系统工艺及工程设计工作。E-mail:songustb1225@126.com

引用格式:宋春燕,张鑫,李婷.高效煤粉锅炉替换层燃锅炉技术改造与能效分析[J].洁净煤技术,2015,21(3):98-102,106.

SONG Chunyan, ZHANG Xin, LI Ting. Technical and energy analysis of replacement of layer combustion boiler with efficient pulverized coal fired boiler[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(3): 98-102, 106.

高,原有链排锅炉排工业锅炉系统技术和在用产品已难以满足要求,急需改造和替换。

本文以某矿区 A 热电厂为例,对比分析 2 个方案(改造现有层燃锅炉并加装尾部烟气净化设施;利用现有热源厂新建煤粉锅炉系统)的投资、运行成本、节能环保效益、负荷能力及工期,从而验证目前国内高效煤粉锅炉系统替换传统层燃锅炉的技术能效和排放达标情况。

## 1 现状概况及任务要求

某矿区是某煤炭公司直接管理的企业,下设 3 个井工矿及 1 个露天矿,煤炭资源总量超过 70 亿 t。产煤主要为褐煤,平均发热量 15.91 MJ/kg。该矿

区现有 9 个热源厂(26 台锅炉),总规模为 286 MW(409 蒸 t),承担着全矿热电联产及采暖季供暖的任务。该地区供暖周期为 8 个月(9 月 15 日至下一年 5 月 15 日)。

经调研,该矿的 9 个热源厂的中,①包含 A 热电厂在内的 6 个热源厂的 16 台锅炉均已满负荷运行 20 a 以上,个别锅炉运行 30 a 以上。②根据上一年的耗煤量统计数据(见表 1)计算,锅炉出力普遍在 50%,且因热源厂设备老旧,故障率高,存在较大的安全隐患,维修维护费用高。③现役锅炉采用燃煤链排锅炉和沸腾炉,烟气的除尘、脱硫、脱硝等措施不到位,烟尘排放物对地区环境污染较大,传统锅炉的燃烧方式也产生大量的固体排渣(见表 1)。

表 1 某矿区热源厂煤炭消耗、固体排渣及大气排放物统计

| 排放源位置 | 煤炭消费总量/ $10^4\text{t}$ | 锅炉灰渣量/ $(\text{t}\cdot\text{a}^{-1})$ | $\text{SO}_2$ 核算排放量/ $(\text{t}\cdot\text{a}^{-1})$ | $\text{SO}_2$ 实际排放量/ $(\text{t}\cdot\text{a}^{-1})$ | 烟尘排放量/ $(\text{t}\cdot\text{a}^{-1})$ |
|-------|------------------------|---------------------------------------|---|---|---------------------------------------|
| 甲厂    | 0.70                   | 1225                                  | 41  | 28  | 50                                    |
| 乙厂    | 0.72                   | —                                     | 42  | 28.8  | 10                                    |
| A 热电厂 | 12.00                  | 28000                                 | 539   | 372   | 57                                    |
| B 热电厂 | 14.00                  | 16275                                 | 928   | 640   | 300                                   |
| C 热电厂 | 13.00                  | 7175                                  | 238   | 164   | 25                                    |
| 甲矿    | 1.30                   | 2275                                  | 75  | 52  | 90                                    |
| 乙矿    | 1.40                   | 2450                                  | 81  | 56  | 75                                    |
| 丙厂    | 0.65                   | 1260                                  | 38  | 26  | 38                                    |
| 丁厂    | 0.50                   | —                                     | 29  | 20  | 29                                    |
| 戊厂    | 0.52                   | —                                     | 30  | 20.8  | 30                                    |
| 己厂    | 0.52                   | —                                     | 30  | 20.8  | 30                                    |
| 庚厂    | 0.50                   | —                                     | 29  | 20  | 29                                    |
| 合计    | 45.81                  | —                                     | 2100  | 1448.4  | 763                                   |

注:表 1 数据摘自国家环境保护总局环境发展中心《某矿区规划环评》的统计数据。

目前,该矿区 9 个热源厂烟尘排放执行 GB 13271—2001《锅炉大气污染物排放标准》中的二类区 II 时段标准,并未达到国家最新排放标准。

为了提高煤炭利用率、锅炉出力水平,并达到新修订 GB 13271—2014《锅炉大气污染物排放标准》排放水平。矿区拟对所辖 9 个热源厂实施改造,拟选用的方案是:①改造现有层燃锅炉,并在尾部加装除尘、脱硫、脱硝等烟气净化设施;②利用现有热源厂新建高效煤粉锅炉系统。

## 2 高效煤粉锅炉系统技术

自 2007 起,在科技支撑计划、“863”计划、国际

合作等国家重大科技项目的资助下,煤炭科学技术研究院有限公司完成了高效煤粉工业锅炉系统技术的开发,并建设 4~60 t/h 示范系统近 200 套,总容量达 4000 t/h,系统热效率达 90% 以上,烟尘(TSP)排放低于  $30\text{ mg}/\text{m}^3$ , $\text{SO}_2$  排放低于  $300\text{ mg}/\text{m}^3$ <sup>[5-6]</sup>。燃烧效率高、节能减排、自动化程度高、劳动强度低、占地面积小、场区环境清洁,被誉为传统燃煤工业锅炉理想的升级换代品。

高效煤粉锅炉系统工艺流程如图 1 所示。来自煤粉加工厂的密闭罐车将煤粉注入煤粉塔。塔内的煤粉按需进入计量仓后由供料器及风粉混合管道送入煤粉燃烧器。煤粉在锅炉炉膛燃烧产生的高温烟

气完成换热后进入脱硫除尘一体化装置,排出的洁净烟气经烟囱排入大气,除尘器收集的粉煤灰经密闭系统排出,集中处理和利用。锅炉系统的运行由点火程序控制器和上位机监控系统共同完成。

闭系统排出,集中处理和利用。锅炉系统的运行由点火程序控制器和上位机监控系统共同完成。

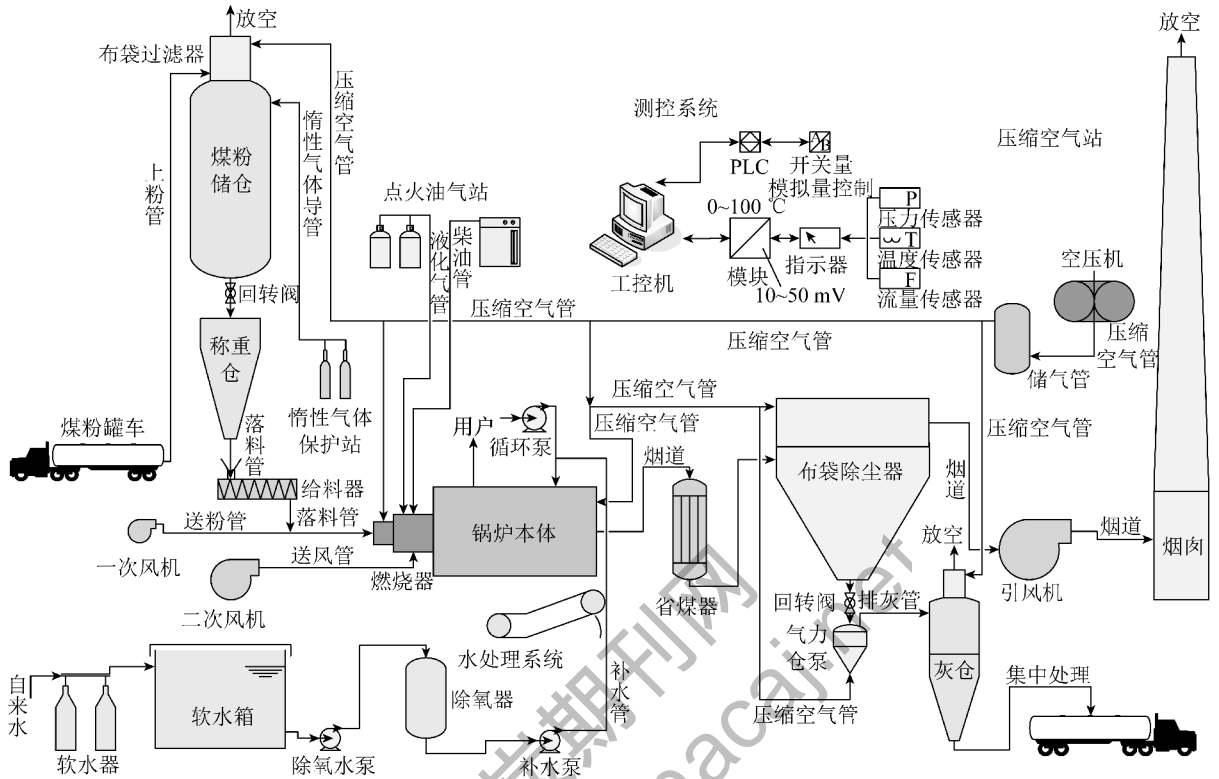


图1 煤粉锅炉燃烧系统原理

### 3 改造分析

本文以某矿区A热电厂为例,分析对比现有层燃锅炉技术改造和新建煤粉锅炉的可行性。

#### 3.1 热源厂现状

A热电厂现有3×35 t/h (WGC35/3.82-5)层燃炉,带2台6000 kW凝结式发电机组,全年运行。非采暖季锅炉发电2用1备,3炉轮流检修,采暖季锅炉热电联产3台同启。锅炉1993年起陆续投运,目前热负荷250000 m<sup>2</sup>,未来将增至450000 m<sup>2</sup>,供暖周期8个月,全年用煤量12×10<sup>4</sup>~13×10<sup>4</sup> t。除尘现为两级电除尘,出口烟尘实测值120~130 mg/m<sup>3</sup>。脱硫采用原煤加生石灰(9.5 kg/t煤)炉前干法脱硫,出口SO<sub>2</sub>质量浓度400~500 mg/m<sup>3</sup>。无脱硝设施。

热源厂厂房为双层布置,主体建筑为框架结构,锅炉间标高约24 m,除尘器室外布置,厂房屋顶为轻型钢屋顶。热源厂部分占地面积约1500 m<sup>2</sup>,热源厂堆煤场占地约为800 m<sup>2</sup>,热源厂厂区总占地面积约为3500 m<sup>2</sup>。

#### 3.2 方案比选

方案1:层燃锅炉结构改造、尾部加装除尘+脱硫+脱硝。

方案2:现有热源厂建筑利旧,改建为规模3×40 t/h(2用1备)高效煤粉锅炉。

改造后为满足现状供热负荷和环保排放:

方案1 现有层燃锅炉尾部在现有两级电除尘后增加一级布袋除尘,并加装脱硫脱硝装置。锅炉共3台(2用1备)。

方案2 现有锅炉房建筑和烟囱利旧,水系统设备增容、锅炉及其余辅机更新为煤粉锅炉专用,锅炉共3台(2用1备)。

#### 3.3 改造难点

1)层燃锅炉室燃改造尚无成熟技术路线。链排锅炉拥有独特于传统室燃炉的特殊结构——前后炉拱,导致其炉膛具有狭小约束空间、不规则形状和复杂边界的结构特性(或称异形炉膛),对链排锅炉室燃改造项目中的燃烧器布置、炉膛结构协同设计、异形炉膛热负荷分布、辐射换热方法等关键技术提出重大挑战<sup>[7-8]</sup>。

表2 A热电厂改造方案对比

| 项目                     | 锅炉配置     | 占地面积                         | 施工周期<br>(含拆除) | 需增加的<br>投资项目   | 优势   | 问题   | 备注         |
|------------------------|----------|------------------------------|---------------|----------------|--|--|------------|
| 方案1(锅炉尾部除尘改造、加装脱硫脱硝装置) | 3×35 t/h | 原有热源厂占地面积+500 m <sup>2</sup> | 5个月           | 新上布袋除尘器、脱硫脱硝设施 | 初投资低。  | ①需单独上布袋除尘、脱硫(硝)设施,且处理烟气量大,尾部设施选型大。②占地增加。③设备多,维护量大,维护费用高。④脱硫废水需再处理。⑤能耗增加,运行费用高。 | 不含换热站和管网改造 |
| 方案2(高效煤粉锅炉)            | 3×40 t/h | 原有热源厂占地面积                    | 7个月           | 高效煤粉锅炉系统设备。    | ①建筑利旧,烟囱利旧;②煤粉锅炉系统自身烟尘、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 排放达到新标准;③运行费用低 | ①初投资高;②施工周期相对长。  | 不含换热站和管网改造 |

发达国家工业锅炉总容量的95%以上(日本等国高达99%)燃用优质燃料——油和气<sup>[9]</sup>,不足5%的燃煤工业锅炉则燃用经过分选净化、粒度分级的低灰、低硫、粒度相对均匀的优质洁净煤,国外没有链排锅炉室燃改造相关技术的研究需求,导致国外没有先进成熟的链排锅炉室燃改造方法及设备<sup>[10]</sup>。而国内学者对链排锅炉改造室燃煤粉锅炉研究尚少,仅有兰州热力有限公司在煤炭科学技术研究院有限公司的指导下,对2台20 t/h和1台40 t/h的燃煤链排锅炉进行了初步试验改造<sup>[11]</sup>,由于没有成熟的技术方案,改造后主要存在燃烧器布局不合理、炉体结构失稳、出力不稳定、易结焦等问题。

2)层燃锅炉尾部烟气净化系统改造经济性差。方案1初投资省,但投资为一次性投入,无效益回收。耗煤、用工、用人均无节能效益,设备能耗增大,后期运行维护费高,维护量大,脱硫废水需再处理,系统总体技术水平较低。相比而言,方案2初投资较高,运行维护费低,节能环保,不存在二次污染,系统技术水平先进。

3)A热电厂层燃锅炉使用年限超过20 a,出力不足,烟尘排放高,且无脱硫脱硝装置,建议改造更新为煤粉锅炉系统,扩容至3×40 t。

本地煤种主要为褐煤,平均发热量15.91 MJ/kg。经测试,本地煤经精分选,加工成煤粉后,可以达到煤粉锅炉系统燃料技术要求(入炉煤粉指标)<sup>[12]</sup>。

### 3.4 替换为高效煤粉锅炉的优势

1)运行成本。表3为针对本地煤高效煤粉锅

炉与流化床及链排锅炉的运行成本对比。

表3 不同锅炉运行费用对比

| 项目                             | 高效煤粉锅炉 | 流化床锅炉 | 链排锅炉               |
|--------------------------------|--------|-------|--------------------|
| 热效率/%                          | 90     | 82    | 75                 |
| 当地燃料煤粉单价/(元·蒸t <sup>-1</sup> ) | 198.36 | 130   | 130 <sup>[8]</sup> |
| 当地原煤发热量/(MJ·kg <sup>-1</sup> ) | 15.91  | 12.98 | 12.98              |
| 燃料耗量/(kg·蒸t <sup>-1</sup> )    | 201    | 325   | 325                |
| 燃料费用/(元·蒸t <sup>-1</sup> )     | 39.87  | 42.25 | 42.25              |
| 水费/(元·蒸t <sup>-1</sup> )       | 0      | 0     | 0                  |
| 电费/(元·蒸t <sup>-1</sup> )       | 3.25   | 12    | 5.25               |
| 人工费/(元·蒸t <sup>-1</sup> )      | 1.4    | 2.4   | 2.4                |
| (大、小)维修费/(元·蒸t <sup>-1</sup> ) | 0.80   | 1.0   | 1.1                |
| 检验费、标准化费/(元·蒸t <sup>-1</sup> ) | 1      | 1     | 1                  |
| 脱硫费用/(元·蒸t <sup>-1</sup> )     | 0      | 0.6   | 0.72               |
| 脱硝费用/(元·蒸t <sup>-1</sup> )     | 0      | 4     | 4                  |
| 运行成本/(元·蒸t <sup>-1</sup> )     | 46.32  | 63.25 | 56.72              |

表3中A热电厂人工取费按四班三运转,高效煤粉热源厂配24人,平均工资4000~5000元/月。流化床及往复链排热源厂配80人,平均工资3000元/月。(劳动定员参考建标112~2008)。按照表3数据计算得出:采用本地煤,煤粉锅炉系统较现在役锅炉总运行费用节约18.47%。

2)节能效益。改造某矿区的9座热源厂,改造前总规模286 MW(409蒸t),共26台(含备用)链排锅炉或沸腾炉,如全部替换成煤粉锅炉,经现场调研论证共需19台(含备用)煤粉锅炉,合并于7座

热源厂内,总规模为313 MW(448 蒸 t)。替换为煤粉锅炉后(年运行时间按7200 h计算,当地原煤价130元/t,当地电价0.499元/kWh,当地煤粉锅炉系统人工费5000元/月),矿区节煤、节电和节省人工的费用如下:

①节煤。现场调研统计矿区折合总供暖面积为273万 $m^2$ ,按照单位平均热负荷70 W/ $m^2$ 计算,改造前9个热源厂锅炉平均出力56%,用煤量44.81万t/a;如按照100%出力,用煤量折合74.68万t/a。改造后,煤粉锅炉除备用炉外实际运行205 MW(294 蒸 t),如锅炉按照100%出力,用当地煤折合成煤粉热25.12 MJ/kg,煤耗量0.17 t/蒸 t计算,煤

粉锅炉用煤量折合35万t/a。相比改造前实际用煤量节约8.81万t/a,按照当地煤价130元/t,年煤炭节约费用1145.3万元。

②节电。煤粉锅炉相较链排锅炉节电3 wh/蒸 t。改造后相比改造前节电635.04 wh,按照某矿区电价0.499元/wh,相比改造前电费节约316.9万元/a。

③节省人工费用。煤粉锅炉相较链排炉节人工费1元/蒸 t。改造后相比改造前节省人工费211.68万元/a。

3)环保效益。表4统计了该矿区改造后煤粉热源厂煤炭消耗及大气排放物的理论计算值。

表4 某矿区改造后煤粉热源厂煤炭消耗及大气排放物统计

| 排放源位置  | 煤炭消费总量/ $10^4$ t | 供热/汽实际负荷折合/ $10^4$ $m^2$ | SO <sub>2</sub> 核算排放量/( $t \cdot a^{-1}$ ) | 烟尘排放量/( $t \cdot a^{-1}$ ) | 炉灰(固废)/( $10^4$ $t \cdot a^{-1}$ ) |
|--------|------------------|--------------------------|--|----------------------------|------------------------------------|
| 甲-乙矿   | 1.22             | 6                        | 24.4                                       | 20.77                      | 0.18                               |
| 甲厂     | 1.22             | 8                        | 24.4                                       | 20.77                      | 0.18                               |
| A热电厂   | 9.79             | 70                       | 195.8                                      | 167.00                     | 1.44                               |
| B热电厂   | 9.79~11.54       | 68                       | 195.8                                      | 167.00                     | 1.44                               |
| C热电厂   | 9.79             | 45                       | 195.8                                      | 167.00                     | 1.44                               |
| 乙厂     | 0.49             | 1.1                      | 9.8  | 8.34                       | 0.07                               |
| 丙-庚厂   | 2.45             | 16                       | 48.8                                       | 41.72                      | 0.36                               |
| 合计     | 34.75~36         | 273                      | 694.8                                      | 591.7                      | 5.11                               |
| 改造前合计  | 44.81            | —                        | 1448.4                                     | 763                        | 5.87                               |
| 节能、减排量 | 8.81             | —                        | 753.9                                      | 171                        | 0.76                               |

注:表4中计算参考业主提供的煤质资料,S为0.25%,灰分10%~20%。

改造后7座热源厂(294 蒸 t运行)煤粉锅炉系统按照锅炉出力100%运行条件下,相较改造前9座热源厂(409 蒸 t运行)传统燃煤炉平均出力56%的运行条件下,年节能减排量为:节煤8.81万t/a,SO<sub>2</sub>减排量753.9 t/a,烟尘减排量171 t/a,炉灰减排量7600 t/a。改造后理论计算供热/汽负荷折合可达352.8万 $m^2$ (294 蒸 t $\times$ 1.2万 $m^2$ ),远超出实际负荷折合273万 $m^2$ 。可见,煤粉锅炉出力水平高、排放少、煤燃烧充分。

## 4 结论及建议

### 4.1 结论

选取A热电厂为例,现有层燃锅炉技术改造实施难度大、耗煤、用工、用人均无节能效益,增加设备能耗增加,浪费较大。后期运行维护费高,维护量大,脱硫废水需再处理,系统总体技术水平较低。新

建煤粉锅炉运行维护费低,节能环保,不存在二次污染,系统技术水平先进。

1)投资。经市场询价及参考煤粉锅炉系统已建成项目,方案1:设备费合计1160万元;方案2:设备费合计3720万元。

2)运行成本。煤粉锅炉46.32元/蒸 t;流化床63.25元/蒸 t;链排锅炉56.72元/蒸 t。

3)节能效益。煤粉锅炉相较链排锅炉煤炭节约1145.3万元/a,电费节约,316.9万元/a,人工节约211.68万元/a,合计节约1673.88万元/a。

4)环保效益。改造后节能减排量为:节煤8.81万t/a,SO<sub>2</sub>减排量753.9 t/a,烟尘减排量171 t/a,炉灰减排量7600 t/a。

5)负荷能力。改造后理论计算供热/汽负荷折合可达352.9万 $m^2$ ,远超出实际负荷折合273万 $m^2$ 。

(下转第106页)

2) 兰炭和无烟煤的  $\text{CO}_2$  的排放浓度几乎一致。

3) 兰炭烟气中  $\text{NO}_x$  排放浓度显著低于无烟煤烟气中  $\text{NO}_x$  仅为无烟煤中烟气中  $\text{NO}_x$  含量的 1/7。

4) 兰炭和无烟煤相比, 硫排放低, 兰炭  $\text{SO}_2$  的排放浓度是无烟煤的 1/4。

### 3 结 论

为了验证兰炭替代烟煤在北京周边地区的可行性, 在北京市房山区前沿村展开神木兰炭农户试烧(兰炭与无烟煤的对比试验)。

1) 兰炭所需的点火时间和无烟煤的点火时间基本相当, 兰炭作为动力用煤应用到民用取暖炉中, 具有引燃的优势。

2) 在本次试烧过程中, 兰炭燃烧所需的时间为 297.25 min, 略低于无烟煤的燃烧时间 303.25 min, 兰炭和无烟煤的性能相当。

3) 兰炭在民用取暖炉中, 兰炭的残炭率为 6.67%, 无烟煤的残炭率为 67.75%, 兰炭的残炭率只有无烟煤的残炭率的 1/10, 兰炭利用率远远高于无烟煤, 产生的灰渣污染物少。

4) 兰炭  $\text{NO}_x$  的排放量只有无烟煤的 1/7, 兰炭  $\text{SO}_2$  的排放量只有无烟煤的 1/4。兰炭  $\text{CO}$  的排放最高, 说明兰炭燃烧性能很好, 但若开发新式炉具, 改善炉具配风条件, 可有效降低  $\text{CO}$  的排放。

#### 参考文献:

- [1] 孟凡君. 洁净煤技术是现阶段能源发展的核心[N]. 中国工业报, 2014-09-16(2)
- [2] 马宝岐, 罗雄威. 我国半焦产业发展趋势及建议[J]. 煤炭加工与综合利用, 2014(4): 22-25.
- [3] 岑可法, 姚强, 骆仲泮, 等. 高等燃烧学[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2000: 277-281.
- [4] 冯俊凯, 沈幼庭, 杨瑞昌. 锅炉原理及计算[M]. 3版. 北京: 科学出版社, 2003: 123.
- [5] 张秦龙, 杨佳. 发展中的榆林市兰炭产业[J]. 产业与科技论坛, 2013, 12(8): 61.
- [6] 李娟. 半焦(兰炭)产业清洁生产技术方案研究[D]. 西安: 长安大学, 2011.
- [7] 张芸, 兰新哲, 宋永辉. 活性半焦(兰炭)烟气脱硫的研究进展[J]. 洁净煤技术, 2008, 14(1): 65-69.
- [8] 王涛. 基于循环经济的神木县兰炭产业可持续发展研究[D]. 西安: 西北大学, 2012.
- [9] 翟玉伟, 刘道文. 兰炭掺烧技术在我公司的应用[J]. 化工设计通讯, 2012, 38(1): 20-21.
- [10] 蒋秀红. 兰炭的清洁生产及循环利用[J]. 资源节约与环保, 2014(3): 61-61.

- [11] 王舜, 张建良, 祁成林, 柴轶凡. 兰炭用于高炉喷吹的可行性初探[C]//第九届中国钢铁年会论文集. 北京: 冶金工业出版社, 2013: 1-5.
- [12] 刘皓. 浅析榆林兰炭生产中存在的问题[J]. 榆林学院学报, 2010, 20(3): 50-52.
- [13] 孟祥嵩, 贾相如, 张晓龙. 褐煤半焦燃烧的研究现状与发展[J]. 煤炭技术, 2014, 33(9): 258-260.

(上接第 102 页)

6) 工期和投资回收期。工期: 5~7 月; 投资回收期: 2~3 a。

煤粉锅炉结构紧凑、初投资高、运行成本低、设备出力高、排放少、煤燃烧充分、投资回收期合理、工期可以保障。与改造传统层燃炉综合比选具有明显优势, 是传统燃煤锅炉的理想升级替代品。

#### 4.2 建 议

本文中某矿区所辖 9 座热源厂的改造, 利旧、协调难度较大, 且需同期考虑煤粉的加工与配送, 建议分期实施。本地区供暖周期为 8 个月, 新上煤粉锅炉系统施工周期在 5~7 个月, 需部署昼夜、错峰施工等措施保障工期。

#### 参考文献:

- [1] 赵钦新. 我国工业锅炉发展回顾与“十二五”展望[J]. 工业锅炉, 2011(6): 1-8.
- [2] 王善武, 吕岩岩, 吴晓云, 等. 工业锅炉行业节能减排与战略性发展[J]. 工业锅炉, 2011(1): 1-9.
- [3] 国家发展和改革委员会. 燃煤对我国大气质量的影响及对策[R]. 北京: 国家能源局, 2012: 6-17.
- [4] 国家发展和改革委员会. 煤炭工业发展的“十二五”规划[R]. 北京: 国家能源局, 2014: 1-8.
- [5] 何海军, 纪任山, 王乃继. 高效煤粉工业锅炉系统的研发与应用. 煤炭科学技术, 2009, 37(11): 1-4.
- [6] 周俊虎, 赵玉晓, 刘建忠, 等. 低  $\text{NO}_x$  煤粉燃烧器技术的研究进展与前景展望[J]. 热力发电, 2005, 34(8): 1-6.
- [7] 王小娟. DZL 型工业锅炉空气动力场的研究及设计[D]. 济南: 山东大学, 2010: 37-59.
- [8] 季俊杰. 燃煤链条锅炉燃烧的数值建模及配风与炉拱的优化设计[D]. 上海: 上海交通大学, 2008: 66-69.
- [9] 唐家毅, 卢啸风, 刘汉周, 等. 国外低  $\text{NO}_x$  煤粉燃烧器的研究进展及发展趋势[J]. 热力发电, 2008, 37(2): 13-18.
- [10] 纪任山, 王乃继, 肖翠微, 等. 高效煤粉工业锅炉技术现状及应用[J]. 洁净煤技术, 2009, 15(5): 52-55.
- [11] 刘春生. 新型高效煤粉锅炉供热系统在城市供热中的推广和应用[J]. 区域供热, 2013(2): 60-62.
- [12] 何海军, 李小炯. 煤粉工业锅炉的运行特点与经济分析[J]. 洁净煤技术, 2013, 19(4): 77-80.