

兰炭替代无烟煤高效清洁利用的研究

张 鑫^{1,2,3}

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司 节能工程技术研究分院,北京 100013;2. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室,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:为考察兰炭作为清洁燃料替代无烟煤的可行性,在民用取暖炉中分别对兰炭和无烟煤的点火时间、燃烧时间、燃尽时间以及燃尽率进行研究。结果表明:兰炭燃尽时间为297.25 min,低于无烟煤的燃尽时间303.25 min;兰炭的残炭率只有无烟煤的1/10;针对污染物排放,兰炭NO_x排放量只有无烟煤的1/7,SO₂排放量只有无烟煤的1/4;但是在试烧过程中,兰炭和无烟煤烟气中均有大量的CO,这是因为在燃烧过程中,氧不足导致兰炭和无烟煤不完全燃烧,造成了燃料的浪费。综合以上,兰炭利用率高于无烟煤,且产生的灰渣和有害气体污染物少。

关键词:兰炭;残炭率;清洁燃烧;民用炉;污染物排放

中图分类号:X383 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2015)03-0103-04

Feasibility on semicoke substitute for anthracite in energy conservation and emissions reduction

ZHANG Xin^{1,2,3}

(1. Energy Conservation and Engineering Technology Research Institute, Coal Science and Technology Research Institute, Beijing 100013, China;
2. State Key Laboratory of High Efficient Mining and Clean Utilization of Coal Resources, Beijing 100013, China;
3. National Energy Technology and Equipment Laboratory of Coal Utilization and Emission Control, Beijing 100013, China)

Abstract: In order to investigate the feasibility on semicoke substitute for anthracite in energy conservation and emissions reduction, the ignition time, combustion duration, burn-out ratio and pollutant emissions of semicoke and anthracite were compared in a civilian heating boiler. The results showed that, the ignition time of semicoke and anthracite was 297.25, 303.25 minutes respectively, the carbon residue of semicoke only accounted for one tenth of that of anthracite. The NO_x and SO₂ emission of semicoke was one seventh and one fourth of those of anthracite respectively. Due to the lack of oxygen, there were large amounts of CO emissions during semicoke or anthracite combustion.

Key words: semicoke; carbon residue; clean combustion; civilian heating boiler; pollutant emission

0 引 言

2012年秋冬季以来,我国发生大范围持续雾霾天气^[1]。据统计,受雾霾影响区域包括华北平原、黄淮、江淮、江汉、江南、华东、华南北部等地区,受影响面积约占国土面积的1/4,受影响人口约6亿人。尤其是北京的雾霾状况,大范围雾霾天气触发了一系列的“连锁反应”,雾霾天气现象会给气候、环境、健康、经济等生产生活方面造成显著的负面影响。

据有关部门统计,雾霾的形成,工业燃煤排放占30%~40%,机动车带来的路面扬尘、尾气排放占20%~30%,居民取暖、餐饮油烟等占30%~40%^[2]。事实上,在民用取暖、餐饮油烟排放所贡献的30%~40%成分中,民用燃煤又占相当大的比例,仅北京农村地区现每年用于取暖的用煤量达400万~500万t。民用炉具无任何污染物控制措施,为了减少污染物排放,必须从源头上治理,用清洁燃料替代原煤^[3]。兰炭是煤转换的产品^[4],是无

收稿日期:2015-01-14;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.03.026

基金项目:煤炭科学研究总院技术创新基金资助项目(2014CX03);煤炭科学研究总院基础研究基金资助项目(2014JC02)

作者简介:张 鑫(1979—),男,山东莱芜人,硕士,助理研究员,从事热工相关工艺及技术开发工作。E-mail:zhangxinchina@hotmail.com

引用格式:张 鑫.兰炭替代无烟煤高效清洁利用的研究[J].洁净煤技术,2015,21(3):103-106.

ZHANG Xin. Feasibility on semicoke substitute for anthracite in energy conservation and emissions reduction[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(3): 103-106.

黏性或弱黏性的高挥发分烟煤在低温条件下干馏热解,得到的较低挥发分的固体炭质产品^[5]。煤经过干馏热解过程,很多挥发分、硫、氮等杂原子和水分都在干馏过程中释放出来,得到了具有含硫、铝、磷低、发热量高、固定碳高、比电阻高、化学活性高、灰分低等特性的优质兰炭^[6]。为了验证兰炭作为清洁燃料替代无烟煤具有可行性,在北京周边农户开展试烧试验,对兰炭的燃烧特性进行研究。

1 试验部分

1.1 热重分析

为了研究兰炭的点火性能,对兰炭进行热重分析。热重分析(TGA)技术^[7]是一种将数毫克样品平铺在坩埚槽内,然后通过外热电源在可调节的加热速率下测量样品失重曲线的测量方法,该测量方法属于固定床颗粒燃烧范畴。TGA系统由天平、加热炉、程序控温系统与记录仪等部分组成。将放有煤样的坩埚置于可进行程序控温的加热炉内,炉内通入反应气体(惰性气体或氧化介质)。测温热电偶贴近于坩埚底部,随着温度的上升,煤样经历热解、气化或燃烧过程而发生质量损失,自动记录样品质量的变化,即在程序控制温度条件下,通过直接测量固体物质量在反应过程中随温度(时间)的变化,得到固相反应组分的转化率随反应温度(时间)的变化关系。

热重分析试验条件:样品量 10 mg;升温速率与终温 20 °C/min, 1000 °C;燃烧气氛 50 mL/min 空气;保护气 10 mL/min 氩气。

1.2 试烧试验

在北京市房山区前沿村随机选取 4 家农户,在农户的自取暖炉中分别试烧神木兰炭以及昌平无烟煤,其炉具无任何污染物控制措施,如图 1 所示,重点考察以下方面:①初步判断 2 种燃料的点火时间以及耐烧性;②对其排放的气态污染物进行检测(试验仪器:德图 350 烟气分析仪;采样点:烟囱出口);③对其灰样进行残炭率分析,确定燃烬率。

2 结果分析

2.1 兰炭热重分析

兰炭具有典型的低挥发分和点火温度高特点,兰炭热重分析结果如图 2 所示。从图 2 看出,当升温到 526 °C 时,出现明显的热失重,这主要是因为达到了兰炭的着火温度,兰炭发生化学反应,质量急剧



图1 民用取暖炉

降低,由此判断兰炭着火温度^[8]为 526 °C;当温度高于 666 °C 时,兰炭质量不再继续降低这主要是因为兰炭燃烬,剩余了灰分等不可燃物质^[9],兰炭的燃烬温度 666 °C;从兰炭着火到兰炭燃烬,兰炭的燃烧时间为 7 min;计算得到最大燃烧峰速率 11.73%/min,最大燃烧速率对应温度 607 °C,燃烧残余率 9.66%。从这些数据可以看出,兰炭的着火温度较烟煤略高,灰分低且化学活性高,有成为洁净燃料的条件。

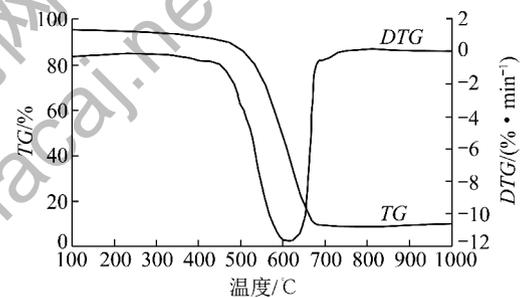


图2 兰炭热重燃烧 TG-DTG 曲线图

2.2 兰炭试烧燃烧性能表征

为了检测兰炭的在民用炉中的燃烧特性,对兰炭和无烟煤在民用炉中的燃烧过程的一些参数,如点火时间、燃烧时间、燃烬率进行分析,见表 1。

表1 兰炭和无烟煤点火和燃烧时间以及残炭率

煤种	点火时间/min	燃烧时间/min	残炭率/%
兰炭	23	297.25	6.67
无烟煤	22	303.25	67.75

2.2.1 点火时间

煤着火是一个特别复杂的问题,取决于煤的布置方式和形态^[10]。一般说来着火被描述为燃料与氧化剂达到一个连续反应过程。经常用可见火焰来鉴别着火。然而,有时反应也能在低温下很慢地进行,没有可见火焰。着火通常用一个时间来表征,称之为点火时间^[11],即在特定的一组条件下,达到某一温度或出现可见火焰,或达到燃料的一定消耗所

需的时间。

在本次民用取暖炉试烧中,首先在炉膛中填充木柴、玉米芯等易燃的生物质燃料,引燃燃料烘热炉膛,然后将 10 kg 兰炭或无烟煤投入炉膛,从此刻开始计时,记录燃煤的点火时间和燃烬时间。由于条件限制,在民用炉中无法实时的监测燃料质量的变化,所以在投煤后,每隔 1 min 观察煤的燃烧状态,确认每个工况的点火时间。以无烟煤在 2 号农户的点火进程为例,来说明无烟煤的点火时间确认方法。无烟煤在民用取暖炉中的点火过程如图 3 所示。此种工况,先引燃木柴,然后在 8:50 分钟投入 10 kg 的无烟煤块。投入煤块初期,炉膛上部充斥浓烟。8:56 分从炉膛底部透出亮光,这主要是由于木柴燃烧所发出的光亮。在 8:56~9:10 的时间段中,从炉膛底部透出的光亮面积越来越大,煤块逐步被点燃;直到 9:12,清晰地看出炉膛底部接触木柴的无烟煤块发出通红的亮光,此亮光是由于无烟煤固定碳点燃发出的亮光,此刻认定无烟煤块被点燃。从 8:50 投煤到 9:12,22 min 为无烟煤的点火时间。相同的方法确定其他工况的点火时间。由于农户的取暖炉各异,为了更加真实地反映 4 种煤种的点火时间,取 4 家农户点火时间的平均值,结果见表 1。兰炭块的点火时间为 23 min,和无烟煤块的点火时间基本一致。从热重分析数据可知,兰炭的点火温度为 526 °C,查阅文献知无烟煤的点火温度在 1000 °C 左右^[6],兰炭的点火温度低于无烟煤的点火温度,相比无烟煤,兰炭易燃。试烧结果与 TGA 并不完全一致,原因是受实验条件所限,用木柴引燃无法避免温度和能量的差异。

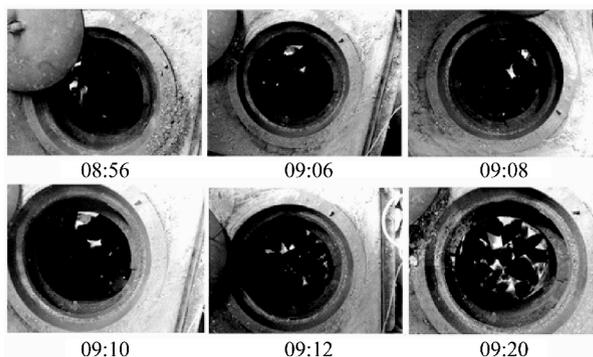


图 3 无烟煤在民用炉中的燃烧过程

2.2.2 燃烧时间

在民用取暖炉中,燃烧时间也是评价一个煤种的重要指标^[12]。在本次试烧中,燃烧时间是指从投煤到兰炭(无烟煤)熄灭的时间。试烧燃烧时间的

结果见表 1。兰炭块的燃烧时间为 297.25 min,略低于无烟煤块的燃烧时间 303.25 min。在热重试验中,得到兰炭的燃烧时间为 7 min,无烟煤的燃烧时间为 14 min。试烧的结论和实验室得到的结论不符。分析其原因,主要是因为兰炭块的燃烬率比较高,而无烟煤块的燃烬率非常低。

2.2.3 残炭率

炉渣(灰)中的残炭率是煤(兰炭)燃烧是否完全的重要指标。残炭率越低,煤(兰炭)能量释放的越完全,煤(兰炭)燃烧越充分。在每个工况结束之后,取其灰样进行检测,检测方法^[13]是:取 1 g 灰样放进坩埚,在马弗炉中 820 °C 煅烧 3 h,冷却 15 min 后转移到干燥皿中,冷却至室温。然后再次放进马弗炉中,在 820 °C 的高温下煅烧 1 h,前后质量变化小于 0.001 g 就认定为灰样中残炭燃烧。取 4 家农户残炭率的平均值,其结果见表 1。由表 1 可知,无烟煤块的残炭率 67.75%,兰炭的残炭率 6.67%。兰炭块的燃烬率远高于无烟煤块,试验证明兰炭的燃烧性能远高于无烟煤。

2.2.4 污染物排放

研究兰炭作为动力用煤,在民用取暖炉中清洁利用的可行性,烟气中有害气体的排放量(CO、CO₂、NO_x、SO₂)是不可或缺的指标。为此,将烟气分析仪的探头插入烟囱内(距出口处 5 cm),记录排放的有害气体的排放量。每个工况的有害气体的排放量见表 2。为了对比每个工况有害气体的排放量,将实测的 SO₂、NO_x、CO 等排放浓度,执行 GB 5468—1991《锅炉烟尘测试方法》,折算为基准氧含量排放浓度。本次试烧,采用燃煤锅炉的基准氧含量 9%。

表 2 不同煤种有害物质的平均基准氧含量排放浓度

种类	$\varphi(\text{CO})/10^{-6}$	$\varphi(\text{CO}_2)/\%$	$\varphi(\text{NO}_x)/10^{-6}$	$\varphi(\text{SO}_2)/10^{-6}$
兰炭	13678.6	10.1	7.7	25
无烟煤	5400.7	10.6	47.9	99

从表 2 中可得到:

1) 兰炭和无烟煤在民用取暖炉中燃烧利用时,烟气中均含有大量的 CO,烟气中兰炭 CO 的含量高于无烟煤烟气中 CO 的含量,这是因为兰炭和无烟煤在燃烧过程中,氧不足,导致兰炭和无烟煤不完全燃烧,造成了燃料的浪费,更严重的是,在农户使用过程中,存在 CO 中毒的危险。

2) 兰炭和无烟煤的 CO_2 的排放浓度几乎一致。

3) 兰炭烟气中 NO_x 排放浓度显著低于无烟煤烟气中 NO_x 仅为无烟煤中烟气中 NO_x 含量的 1/7。

4) 兰炭和无烟煤相比, 硫排放低, 兰炭 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 NO_x 的排放量只有无烟煤的 1/7, 兰炭 SO_2 的排放量只有无烟煤的 1/4。兰炭 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 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 座热电厂的改造, 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 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 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, 崔翠微, 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.