

连续蓄热燃烧技术在固体燃料加热炉应用探索

张建军, 张旭, 冯自平, 杨承志
(中科院广州能源研究所, 广东 广州 510640)

摘 要: 根据固体燃料燃烧的特点及高温空气燃烧技术原理, 对连续蓄热燃烧技术在固体燃料加热炉上的应用进行了探索。搭建连续式蓄热固体燃料实验装置, 对炉膛温度、烟气温度及助燃空气温度等参数进行测量分析, 排烟温度可以控制在 150 °C 以下, 助燃空气预热温度低于高温烟气温度约 100 °C。当助燃空气预热温度波动 30 °C 左右时, 炉膛温度波动不高于 3 °C, 可以满足多种加热工艺对加热精度的要求。测试结果表明, 连续式高温空气燃烧技术可以应用在固体燃料加热炉上, 通过对其烟气余热最大限度的回收, 拓展了蓄热燃烧技术的应用领域。

关 键 词: 固体燃料加热炉; 连续式蓄热燃烧; 节能

中图分类号: TK02

文献标识码: A

引 言

高温空气燃烧 (HTAC) 技术通过交替切换助燃空气和烟气流动方向, 使之交替地流经蓄热体, 蓄热体周期蓄热与释热, 实现对助燃空气的预热, 从而实现最大限度地回收高温烟气的余热, 达到大幅度节约能源, 提高设备热效率, 减少对大气的温室气体的排放^[1]。采用 HTAC 技术, 加强了炉内传热, 提高蒸汽产出效率, 但此技术目前主要用于燃油或燃气工业炉^[2-3]。而蓄热燃烧技术在燃煤加热炉的应用也只限于煤粉作为燃料的探索阶段。对于炉排炉的煤块作为燃料时, 此技术的应用几乎是空白。

连续式 HTAC 技术是在火焰切换式蓄热燃烧的基础上发展起来的新型燃烧技术。实现连续蓄热燃烧有多种形式, 如蓄热体旋转或双四通阀等。本研究采用的是双四通阀连续式 HTAC 系统。该系统可以通过鼓风机、引风机及双四通阀的配合有效地调节炉膛压力, 对于固体燃料加热炉, 可以方便地将其调节为微正压状态。与火焰切换式 HTAC 技术不同, 该技术可以持续从固定排烟点进行排烟, 高温烟

气可以进行预除尘处理, 如重力沉降或旋风除尘等。该技术可以实现被预热助燃空气持续供应, 完全可以应用于燃煤加热炉, 既保证加热质量, 又减少能耗, 降低燃料成本。因此, 在燃煤加热炉中推广使用连续式蓄热燃烧技术必然会带来可观的经济效益和社会效益^[4]。

1 实验装置与仪器

连续式蓄热燃烧系统蓄热体两端设置两个四通换向阀, 通过阀的运作可以实现炉膛烟气连续定点排放和连续提供高温空气。助燃空气经四通换向阀进入蓄热室 A, 被预热后由热风管道进入燃烧室内与燃料混合燃烧, 高温烟气流入蓄热室 B, 温度降低后经排烟机排入大气。经过换向周期后, 两个四通阀换向使助燃空气变为流经蓄热室 B, 产生的烟气进入蓄热室 A, 烟气温度降低后经排烟机排入大气。经过相同的换向时间后四通阀换向, 助燃空气再次流向蓄热室 A, 回到最初的状态, 完成一个换热周期^[5-7], 如图 1 所示。

实验装置包括 1 台实验炉、一套连续式蓄热燃烧装置、2 台风机、铠装 K 型热电偶、1 台数据采集仪及台式电脑等, 燃料为贵州水洗无烟煤。蓄热装置放置在炉膛上方, 外加保温, 如图 2 所示。实验炉的前端固定安装固定炉排煤燃烧室, 通过点火枪点燃后, 关闭燃烧室门。炉膛内沿火焰方向布置 5 根热电偶, 用于测量炉内温度的波动; 在蓄热器的高温侧与低温侧分别布置 K 型铠装热电偶, 测量蓄热器两端烟气和预热助燃空气的温度波动; 在热烟气进入蓄热器之前和预热助燃空气进入燃烧室前分别设置 K 型铠装热电偶。排气管道设置在炉子顶部末

收稿日期: 2013-08-15; 修订日期: 2013-10-17

基金项目: 熔铝炉高温贫氧节能关键技术研究及产业化项目 (2011B090300080); 工业炉窑连续蓄热高效节能关键技术研究及示范项目 (2012YS06); 梭式窑余热综合利用关键技术研究及示范 (2012HY100571)

作者简介: 张建军 (1973-), 男, 河南开封人, 中国科学院广州能源研究所副研究员。

端,炉膛内高温烟气由此引到炉膛顶部连续蓄热装置蓄热体内进行换热。通过数据采集仪每 2 s 采集一组各点的温度数据。如果只开启鼓风机,炉内压力高,火焰会从燃烧室门溢出;开启引风机后,保持炉膛微正压,火焰从燃烧室门溢出的情况得到明显改善。

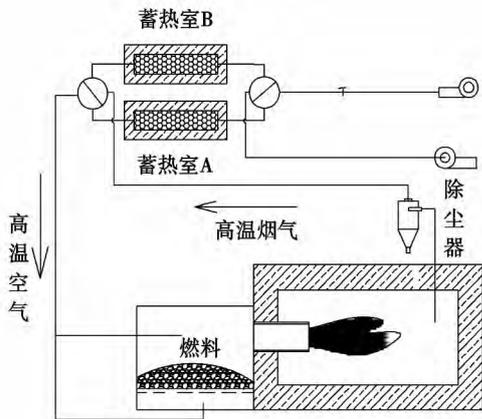


图 1 连续式 HTAC 燃煤系统图

Fig. 1 Schematic diagram of a continuous type HTAC coal-fired system



图 2 连续式蓄热燃煤实验装置

Fig. 2 Continuous type heat accumulation coal-fired test device

2 实验结果分析

在燃烧室内煤层正常燃烧时,实验炉炉膛温度 530 ℃,温度波动幅度为 3 ℃左右。由图 3 可知,连续式蓄热燃烧系统切换周期为 60 s,炉内温度和热烟气的温度基本保持恒定。从蓄热体热端的温度波动曲线可以看出,实验系统的蓄热体相应于系统所

用的燃煤功率来说能力偏小。因此,温度波动幅度为 66 ℃,且系统切换后 20 s 内,蓄热体温度变化很快,此后的时间内温度变化不大,这说明此时蓄热体基本达到热饱和。系统中的蓄热材料在 20 s 基本达到热饱和,如图 4 所示。如果换向时间过长,则排烟温度会升高,空气系统热效率会降低。如果换向时间太短,对换向阀的要求提高,会影响到换向阀的寿命,要根据具体情况,确定蓄热材料的数量,保证换向时间基本与蓄热体的热饱和时间一致为佳,换向时间与其饱和时间相对应^[9]。热空气温度周期性波动幅度大约在 30 ℃左右。从图 3 中可以看出,热空气的平均温度较热烟气低 100 ℃左右,保持在 350 ℃左右。

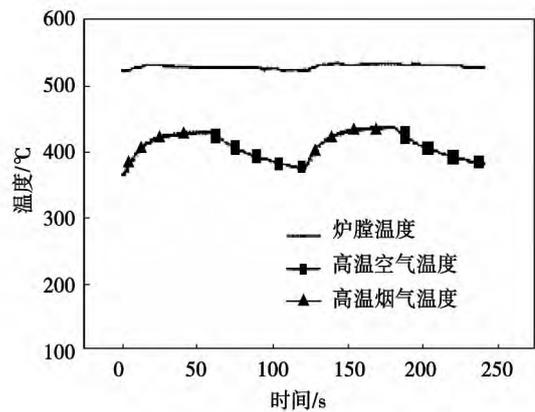


图 3 系统不同点温度变化

Fig. 3 Changes of temperature at various locations of the system

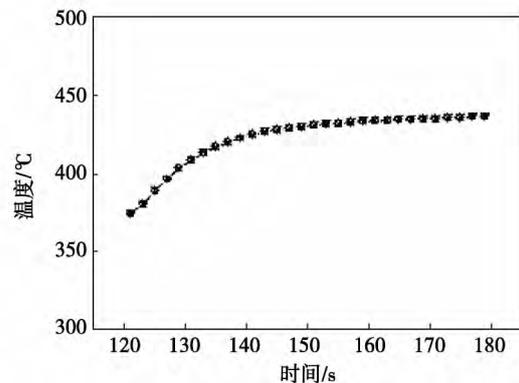


图 4 蓄热过程中烟气温度变化

Fig. 4 Changes of the flue gas temperature in the process of heat accumulation

通过以上分析,在固体燃料加热炉上采用连续式蓄热燃烧技术,可以连续的向燃料层提供高温空气。为了提高燃烧效率,高温空气可以分成多股,形成分级燃料的方式,一部分从燃料层下部送入,另一层从燃料层上部送入,在高温空气的作用下燃烧更充分,燃烧效率会更高。对于炉膛温度为 1 100 ℃ 左右的燃煤加热炉,空气可以被预热到 850 ℃ 以上。空气每升高 100 ℃,系统可实现节能 5% 左右。因此,采用连续式蓄热后,此燃煤加热炉可节能 35% 以上。

目前,蓄热燃烧技术在固体燃料加热炉的应用正处于开发过程,还会有一些问题需要解决,如烟气中的粉尘问题挥发份的燃烧、焦碳的燃烧工况与加热工艺的匹配问题等。

3 结 论

结合固体燃料加热炉的特点和蓄热燃烧的原理,分析了蓄热燃烧技术用于固体燃料加热炉高温烟气余热回收的可行性。根据实验装置测试结果,可以得出结论:

(1) 连续式蓄热燃烧系统可以应用于固体燃料加热炉余热回收,实现烟气余热的极限回收;

(2) 排烟温度可以控制在 150 ℃ 以下,助燃空气预热温度低于高温烟气温度约 100 ℃;

(3) 助燃空气预热温度波动 30 ℃ 左右,炉膛温度波动不高于 3 ℃;

(4) 克服了火焰切换式蓄热燃烧不能用于煤燃烧加热炉的不足,拓展了蓄热燃烧技术的应用领域。

参考文献:

[1] 周怀春. 高温空气燃烧技术 21 世纪关键技术之一[J]. 工业炉, 1998(1): 19-29.
ZHOU Huai-chun. High temperature air combustion-one of the key technologies in the 21st century[J]. Industrial Boiler, 1998(1):

19-29.

- [2] 高增丽. 蓄热燃烧技术在燃气梭式窑上的应用[J]. 冶金能源, 2007, 26(5): 48-49.
GAO Zeng-li. Application of the heat accumulation combustion technology in gas shuttle type kilns[J]. Metallurgical Energy Source, 2007, 26(5): 48-49.
- [3] 田晓峰. 燃煤加热炉的节能途径[J]. 黑龙江冶金, 1995(1): 14-16.
TIAN Xiao-feng. Energy-saving approaches for coal-fired heating boilers[J]. Heilongjiang Metallurgy, 1995, 1995(1): 14-16
- [4] 曹甄俊, 朱 彤. 自身蓄热式烧嘴在梭式窑中的应用[J]. 中国陶瓷, 2006, 42(6): 38-41.
CAO Zhen-jun, ZHU Tong. Applications of self-heat-accumulation burners in shuttle type kilns[J]. China Ceramics, 2006, 42(6): 38-41.
- [5] 张建军, 冯自平, 宋文吉, 等. 连续式蓄热燃烧系统的实验研究[J]. 工程热物理学报, 2012: 352-355.
ZHANG Jian-jun, FENG Zi-ping, SONG Wen-ji, et al. Experimental study of a continuous type heat accumulation combustion system[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2012, 33(2): 352-355
- [6] 张建军, 邹得球, 肖 睿, 等. 自蓄热燃烧技术的开发[J]. 工业炉, 2009, 31(4): 1-4.
ZHANG Jian-jun, ZOU De-qiu, XIAO Rui, et al. Development of self-heat-accumulation combustion technologies[J]. Industrial Boiler, 2009, 31(4): 1-4.
- [7] 张建军, 冯自平, 徐今强, 等. 自蓄热燃烧器的设计与实验研究[J]. 热能动力工程, 2010, 28(4): 423-426.
ZHANG Jian-jun, FENG Zi-ping, XU Jin-qiang, et al. Design and experimental study of a self-heat-accumulation burner[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2010, 28(4): 423-426.
- [8] 张建军, 冯自平, 邹得球, 等. 连续式蓄热燃烧器的优化设计[J]. 工业炉, 2010, 32(1): 25-28.
ZHANG Jian-jun, FENG Zi-ping, ZOU De-qiu, et al. Optimized design of a continuous type heat accumulation burner[J]. Industrial Boiler, 2010, 32(1): 25-28.

(丛 敏 编辑)

curately judge whether or not a boiler is in its steady-state meeting the requirements for modeling the combustion of the boiler and performing steady-state optimization. **Key words:** steady-state testing, weight, adaptive correction, utility boiler

连续蓄热燃烧技术在固体燃料加热炉应用探索 = **Exploration of Applications of Continuous Type Heat Accumulation Combustion Technologies in Solid Fuel Heaters** [刊, 汉] ZHANG Jian-jun, ZHANG Xu, FENG Zi-ping, YANG Cheng-zhi (Guangzhou Energy Source Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, China, Post Code: 510640), ZHANG Xu (Chinese Academy of Sciences University, Beijing, China, Post Code: 100049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2014, 29(2) . - 187 - 189

In the light of the features of solid fuels when they are burning and the principles controlling the high temperature air combustion technology, explored were applications of the continuous type heat accumulation combustion technology in solid fuel heaters. A continuous type heat accumulation solid fuel test device was set up and such parameters as temperature in the furnace, flue gas temperature and combustion-aided air temperature etc. were measured and analyzed, indicating that the flue gas temperature can be controlled at a temperature below 150 °C and the combustion-aided air preheated temperature can be lower than the high-temperature flue gas temperature by about 100 °C. When the fluctuation in the combustion-aided air preheated temperature is around 30 °C, the fluctuation of the temperature in the furnace is not higher than 3 °C, capable of meeting the requirements for the heating precision by numerous heating processes. The test results show that the continuous type high temperature air combustion (HTAC) technology can be applied in solid fuel heaters, thus achieving a waste heat recovery to the limits and extending the domains in which the heat accumulation combustion technology is applied. **Key words:** solid fuel heater, continuous type heat accumulation combustion, energy saving

半球形涡流发生器 CaCO₃ 污垢沉积特性实验研究 = **Experimental Study of the Deposition Characteristics of CaCO₃ Foul on a Hemi-spheric Vortex Generator** [刊, 汉] XU Zhi-ming, WANG Rui-xia, ZHU Xin-long (College of Energy Source and Power Engineering, Northeast University of Electric Power, Beijing, China, Post Code: 132012), ZHANG Yi-long (College of Energy Source, Power and Mechanical Engineering, North China University of Electric Power, Beijing, China, Post Code: 102206) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2014, 29(2) . - 190 - 195

Experimentally studied were the deposition characteristics of CaCO₃ foul in the rectangular channel of a hemispheric vortex generator. The method for directly weighing foul was used and through changing these two structural parame-