

DOI: 10.3969/j.issn.1674-1951.2020.05.014

多流程循环流化床生物质锅炉在 园区集中供热中的应用

Application of a multi-pass circulating fluidized bed biomass
boiler in a central heating project

初雷哲^{1,2}, 张衍国², 严矫平¹

CHU Leizhe^{1,2}, ZHANG Yanguo², YAN Jiaoping¹

(1.北京热华能源科技有限公司, 北京 100085; 2.清华大学 a 能源与动力工程系, b 清华大学-滑铁卢大学
微纳米能源环境联合研究中心, c 热科学与动力工程教育部重点实验室, 北京 100084)

(1.Beijing Nowva Energy Technology Company Limited, Beijing 100085, China; 2.a Department of Energy and
Power Engineering, b Tsinghua University-University of Waterloo Joint Research Center for Micro/Nano
Energy & Environment Technology, c Key Laboratory for Thermal Science and Power Engineering of
Ministry of Education, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

摘要: 工业园区的节能减排工作是区域经济发展中的重要内容。以某工业园区集中供热项目改造为例, 分析了该项目供热锅炉的燃烧方法及燃料特性, 介绍了多流程循环流化床技术的原理及其锅炉结构, 重点阐述了针对生物质燃料所做的燃烧技术改进以及污染物排放控制措施。运行情况显示, 项目改造后的多流程循环流化床生物质锅炉效率高、污染物排放低, 在生物质资源丰富的工业园区采用集中供热可以取得很好的运行效果。

关键词: 多流程; 循环流化床; 生物质; 工业园区集中供热; 节能减排

中图分类号: TK 6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-1951(2020)05-0079-04

Abstract: The energy conservation and emission reduction of industrial parks is an important item in the regional economy development. Taking the transformation of a central heating project for an industrial park as an example, its combustion method and fuel characteristics were analyzed, and the structure of the multi-pass circulating fluidized bed (CFB) and its technical principle were introduced. The adaptability of the technology to biomass fuels and the measures to control pollutants were highlighted. According to the operating conditions after the transformation, the multi-pass CFB biomass boilers are of high efficiency and low pollutant emissions. It will be a good choice for central heating in industrial parks with rich biomass resources.

Keywords: multi-pass; CFB; biomass; central heating for industrial parks; energy conservation and emission reduction

0 引言

工业园区作为工业企业的聚集区, 在各地的经济发展中均拥有举足轻重的地位。在加工业相对集中的工业园区中, 很多企业的加工工艺都需要用到蒸汽或者热水。在早期园区建设过程中, 园区的供热由各用热企业自行建造的锅炉供应。由于各企业选用的锅炉形式、燃料类型、污染控制措施不一致, 无法统一管理, 很难对供热产生的污染物排放进行有效控制。在国家大力提倡节能减排和环

保监控日趋严格的背景下, 工业园区以集中供热替代原来高污染的分散供热是未来的发展趋势^[1]。

在我国现阶段的资源结构中, 煤仍占主导地位, 但是在环保要求较严的区域, 燃煤锅炉受到严格控制; 天然气锅炉由于燃料成本高, 只能适用于附加值较高的工业园区; 在生物质资源丰富的地区, 可以采用生物质作为园区供热的燃料^[2-4]。生物质燃烧技术常用的是层燃技术和循环流化床燃烧技术, 其中循环流化床燃烧技术因燃烧效率高、污染物排放低等特点得到快速发展, 但由于生物质灰中的碱金属含量高, 锅炉尾部受热面容易积灰^[5-9]。

兴化城东脱水蔬菜工业园区集中供热项目采用了多流程循环流化床燃烧技术。该技术除了具

收稿日期: 2019-12-01; 修回日期: 2020-05-10

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2017YFB0603901)

有常规循环流化床燃烧技术的优点,还采用了中温分离技术,能有效减少生物质燃烧过程中锅炉尾部的积灰问题。本文以该项目为例,介绍了多流程循环流化床生物质锅炉在园区集中供热中的应用。

1 园区供热概况

江苏省兴化市是全国闻名的脱水蔬菜加工基地,脱水蔬菜重要的加工工序是蒸汽烘干。原来的蒸汽供应是分散供汽,每家企业都有自建锅炉,为容量 2~4 t/h 的链条炉,燃料采用煤和稻壳。这些锅炉的运行效率低且几乎没有任何烟气污染物处理措施,对周围环境造成严重污染。为解决上述问题,园区决定采用清洁、高效的集中供热技术替换分散的小锅炉进行供热。

园区集中供热技术的选择要符合当地燃料资源状况。粮食加工是兴化市另一特色产业,主要是以大米加工为主,每年能产生大量的稻壳;同时当地农业发达,秸秆资源也很丰富。生物质的硫含量低、反应活性好,适于燃烧利用,且全生命周期的碳排放量约为零。采用多流程循环流化床生物质燃烧技术可以充分利用当地资源,减少对环境的污染^[10-13]。本项目的最大蒸汽需求量约为 80 t/h,各企业的用汽参数为 0.7~0.8 MPa 的饱和蒸汽,项目建设 2 台 45 t/h 的多流程循环流化床生物质锅炉。

2 多流程循环流化床生物质燃烧技术

多流程循环流化床燃烧技术是一种基于传统循环流化床(CFB)燃烧技术开发的新型循环流化床技术,它将传统立式循环流化床的一级炉膛改为水平布置的三级炉膛,所以又可被称为卧式循环流化床,炉膛内的流动折返增加了一级物料循环,形成了两级物料循环,其技术原理如图 1 所示。沿炉内气体流动方向,炉膛依次分为主燃室、副燃室和燃尽室:燃料由主燃室下部加入,与通过风室进入的空气发生反应,高温烟气携带主燃室内的物料进入副燃室,在副燃室与燃尽室的拐角处,烟气中部分大颗粒物料由于惯性分离下来,通过一级返料装置回送到主燃室,形成第 1 级物料循环;从副燃室出来的烟气在燃尽室放热、降温后进入出口旋风分离器,对烟气中的颗粒物进行分离,分离下来的固体物料由二级返料装置返回主燃室,形成第 2 级物料循环^[14-17]。

多流程循环流化床独特的结构形式使其特别适用于生物质的燃烧:一方面生物质的挥发分高、在炉内停留时间短,容易导致中小型工业锅炉燃烧不完全,而多流程循环流化床采用了三级炉膛,大

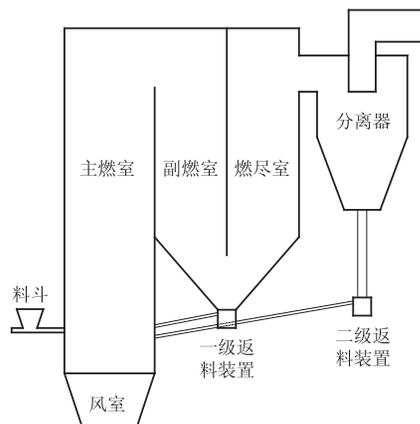


图 1 多流程循环流化床工作流程

Fig. 1 Working process of a multi-pass CFB

大增加了反应行程,使得燃烧更充分;另一方面,炉内烟气热量经过三级炉膛的吸收,在燃尽室出口温度已经降低到 500 ℃左右,避开了生物质灰的高温黏结区间,可以有效防止锅炉尾部受热面积灰。

3 锅炉结构及运行情况

3.1 锅炉结构

项目在充分考虑园区供热条件的情况下,建设了 2 台 45 t/h 的多流程循环流化床生物质锅炉。锅炉主体部分由主燃室、副燃室、燃尽室、旋风分离器、省煤器、空气预热器(以下简称空预器)组成,如图 2 所示。三级炉膛采用全膜式壁结构,能有效减小散热损失。本项目设计燃料为稻壳,稻壳灰中硅含量较高,会使得运作中炉内磨损严重,所以在主燃室密相区、主燃室与副燃室结合部位敷设防磨内衬。

给料系统设置在锅炉前侧,采用皮带输送将燃料运输到炉前料仓,再由螺旋给料机从主燃室下部送入炉膛。生物质燃料的灰分含量少,所以本项目在主燃室侧面还设有床料给料装置用于补充炉内床料,保证床压稳定。

本项目采用两级配风,一次风通过主燃室底部风室通入,比例为 60% 左右,其余的风量作为二次风,从加料口上方通入炉膛。通过一、二次风的比例调整,控制主燃室底部为欠氧氛围,维持床温在 750~800 ℃之间,可有效控制 NO_x 的原始产生量。未燃尽的燃料与二次风继续反应,大颗粒物料在副燃室经过一次分离回到炉膛形成第 1 级物料循环;从燃尽室出来的烟气中的固体物料进一步被尾部旋风分离器分离下来并通过二级返料装置回到主燃室继续反应。两级物料循环使未燃尽的物料在炉内循环反应,有效地提高了锅炉的燃烧效率。从旋风分离器出来的烟气温度为 500 ℃左右,烟气热量

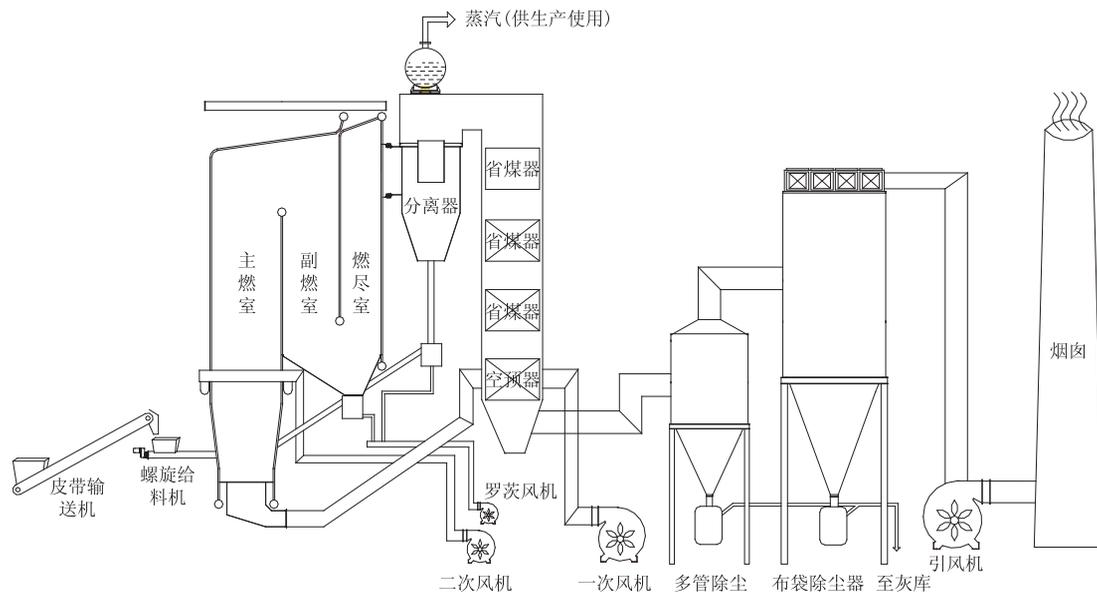


图2 该项目多流程循环流化床锅炉系统流程

Fig. 2 Process chart of a multi-pass CFB in the project

被尾部烟道的省煤器和空气预热器吸收后,温度降到 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,然后经除尘达标后排入大气。

3.2 污染物处理措施

本项目锅炉烟气排放执行GB 13271—2014《锅炉大气污染物排放标准》,烟尘、 SO_2 和 NO_x 的质量浓度不超过 $50.00, 200.00, 200.00\text{ mg/m}^3$ 。本项目采用多管除尘加布袋除尘的组合式烟尘处理工艺(如图2所示):多管除尘成本低,可以将烟气中大部分颗粒物脱除下来,但是无法满足排放标准;后面采用的高效布袋除尘器可以进一步地脱除颗粒物,保证出口的排放质量浓度达标;由于生物质原料中硫含量很低,所以烟气中 SO_2 含量极低,本项目不需要增加脱硫设施;多流程循环流化床炉膛内反应温度低,结合分级配风,在主燃室密相区形成还原性氛围,可以控制 NO_x 的原始排放质量浓度满足本项目要求。

3.3 运行情况

项目投运后,经第三方检测CFB效率达到89%,污染物排放烟尘、 SO_2 和 NO_x 质量浓度分别为 $9.66, 16.00, 115.00\text{ mg/m}^3$,远低于设计要求和国标中燃气锅炉的排放标准,即使在锅炉最小负荷(约 10 t/h)下,锅炉仍能稳定、达标运行。本项目安装有烟气在线监测系统,根据测数据显示,锅炉负荷变化时,污染物排放能稳定达标,其中 NO_x 的排放受主炉膛温度和烟气氧含量变化的影响,运行过程中通过合理配风,降低炉膛温度和出口烟气氧含量可以有效地控制 NO_x 的排放。

本项目的的设计燃料为稻壳,但是在运行过程中,由于稻壳的价格波动,实际使用燃料还包括木

片、树皮、树枝等,将这些燃料破碎到 10 cm 以下,可实现与稻壳的任意比例混烧,大大降低了项目的运行成本。

4 结束语

工业园区集中供热改造可以提高园区的能源利用效率,有利于大气污染物排放的监控。根据园区燃料现状,选用合适的燃烧技术是保证集中供热改造成功的前提。多流程循环流化床技术在工业园区生物质集中供热项目上的应用表明,该技术是一种清洁、高效的燃烧技术,并且对生物质燃料具有很好的适应性,特别适用于生物质资源丰富、多种燃料的混合掺烧的场景,可以有效地控制项目运行成本,对集中供热造成的负荷波动有很好的适应性,能保证不同负荷下锅炉的稳定运行和污染物的稳定控制。

参考文献:

- [1]张延杰,苏红乡,张敬亭,等.化工园区集中供热模式探讨[J].煤气与热力,2011,31(12):12-14.
ZHANG Yanjie, SU Hongxiang, ZHANG Jingting, et al. Discussion on centralized heat-supply mode in chemical industrial parks[J]. Gas and Heat, 2011, 31(12): 12-14.
- [2]徐中堂.六十年发展中的城市集中供热[J].区域供热,2010(2):1-10.
XU Zhongtang. Central heating in urban development in the past six decades[J]. District Heating, 2010(2): 1-10.
- [3]石贺.我国集中供热的现状与对策[J].山西建筑,2017,43(15):104-105.

- SHI He. The present situation and countermeasures of central heating in China [J]. Shanxi Architecture, 2017, 43 (15):104-105.
- [4] 王剑利, 张金柱, 吉金芳, 等. 生物质燃煤耦合发电技术现状及建议 [J]. 华电技术, 2019, 41(11):32-35.
WANG Jianli, ZHANG Jinzhu, JI Jinfang, et al. Current status and suggestions on biomass-coal coupled power generation technology [J]. Huadian Technology, 2019, 41 (11):32-35.
- [5] 刘仁平, 金保升, 仲兆平. 循环流化床燃烧生物质的结渣问题研究 [J]. 锅炉技术, 2007, 38(9):73-78.
LIU Renping, JIN Baosheng, ZHONG Zhaoping. Study of bed agglomeration during CFB combustion of a biomass fuel [J]. Boiler Technology, 2007, 38(9):73-78.
- [6] 秦建光, 余春江, 李双江, 等. 循环流化床秸秆燃烧中的碱金属迁徙转化研究 [J]. 太阳能学报, 2009, 30(5):667-672.
QIN Jianguang, YU Chunjiang, LI Shuangjiang, et al. The transportation and transformation of alkali metals in straw-fired CFB boilers [J]. Acta Energetica Sinica, 2009, 30 (5):667-672.
- [7] 别如山, 王庆功, 修太春. 生物质燃烧发电过程中若干问题的探讨 [J]. 工业锅炉, 2009(6):6-10.
BIE Rushan, WANG Qinggong, XIU Taichun. Discussion on biomass combustion in the process generating electricity [J]. Industrial Boiler, 2009(6):6-10.
- [8] 刘强. 流化床秸秆锅炉炉膛温度控制与烟道积灰预防 [J]. 工业锅炉, 2014(1):29-30.
LIU Qiang. Temperature control of straw-fired CFB boiler chamber and prevention of flue ash deposition [J]. Industrial Boiler, 2014(1):29-30.
- [9] 李志峰, 种振宇, 林七女. 生物质锅炉受热面的防腐研究 [J]. 工业锅炉, 2017(4):16-18.
LI Zhifeng, ZHONG Zhenyu, LIN Qi'nyu. Study on anticorrosion of biomass-fired boiler [J]. Industrial Boiler, 2017(4):16-18.
- [10] 蒋正武. 生物质燃料的燃烧过程及其焚烧灰特性研究 [J]. 材料导报, 2010(4):66-68.
JIANG Zhengwu. Study on combustion process of biomass fuels and characteristics of their ashes [J]. Materials Review, 2010(4):66-68.
- [11] 马文超, 陈冠益, 颜蓓蓓, 等. 生物质燃烧技术综述 [J]. 生物质化学工程, 2007, 41(1):43-48.
MA Wenchao, CHEN Guanyi, YAN Beibei, et al. Review on biomass combustion technologies [J]. Biomass Chemical Engineering, 2007, 41(1):43-48.
- [12] 方增溪. 生物质颗粒燃料燃烧锅炉发展综述 [J]. 农业开发与装备, 2016(10):64-65.
FANG Zengxi. Review on the development of biomass particulate fuel combustion boilers [J]. Agricultural Development and Equipments, 2016(10):64-65.
- [13] 马隆龙, 唐志华, 汪丛伟, 等. 生物质能研究现状及未来发展策略 [J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(4):434-442.
MA Longlong, TANG Zhihua, WANG Congwei, et al. Research status and future development strategy of biomass energy [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2019, 34(4):434-442.
- [14] 张衍国, 勾宏图. 卧式循环流化床锅炉技术简介及应用 [J]. 锅炉制造, 2008(1):5-7.
ZHANG Yanguo, GOU Hongtu. Brief introduction and application for technique of horizontal CFB boiler [J]. Boiler Manufacturing, 2008(1):5-7.
- [15] 李清海, 周晓彬, 陈庚, 等. 卧式循环流化床燃烧时的数值模拟 [J]. 清华大学学报, 2013, 53(3):353-357.
LI Qinghai, ZHOU Xiaobin, CHEN Geng, et al. Numerical investigation of the flow and combustion in a horizontal circulating fluidized bed boiler [J]. Journal of Tsinghua University, 2013, 53(3):353-357.
- [16] 丛堃林, 李清海, 韩峰, 等. 多流程卧式循环流化床气固流动的传热特性 [J]. 燃烧科学与技术, 2018, 24(4):315-322.
CONG Kunlin, LI Qinghai, HAN Feng, et al. Gas-solid convective heat transfer in the multi-pass horizontal circulating fluidized bed furnaces [J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2018, 24 (4) : 315-322.
- [17] 韩峰, 丛堃林, 李清海, 等. 多流程循环流化床技术在综合能源服务中的应用 [J]. 发电技术, 2020, 41(2):104-109.
HAN Feng, CONG Kunlin, LI Qingguo, et al. Application of multi-pass circulating fluidized bed in integrated energy service [J]. Power Generation Technology, 2020, 41 (2) : 104-109.

(本文责编:陆华)

作者简介:

初雷哲(1980—),男,山东莱阳人,高级工程师,工学博士,从事生物质燃烧、气化技术的研发和应用方面的工作(E-mail:chuleizhe@nowva.com.cn)。

张衍国(1968—),男,广东梅州人,教授,工学博士,博士生导师,从事劣质燃料的热转化利用方面的研究(E-mail:zhangyanguo@tsinghua.edu.cn)。

严矫平(1973—),男,湖南涟源人,工程师,工学硕士,从事分布式能源业务管理方面的工作(E-mail:yanjiaoping@nowva.com.cn)。