

浅谈生活垃圾焚烧余热锅炉研究现状

张建超¹ 曹自豪² 宋帅林¹ 解东路¹

1 郑州锅炉股份有限公司, 河南 郑州 450000

2 河南省地质矿产勘查开发局第五地质勘查院, 河南 郑州 450000

[摘要]文中介绍了生活垃圾焚烧余热锅炉的机体结构以及配套清灰装置的结构形式、工作原理及应用场合,明确了垃圾焚烧余热锅炉设计中以及清灰设备选型中需要注意的问题,为后续研究提供参考和依据。

[关键词]垃圾焚烧;余热锅炉;机体结构;清灰装置

DOI: 10.33142/ec.v5i12.7259

中图分类号: TK229.929

文献标识码: A

Research Status of Waste Heat Boiler for Domestic Waste Incineration

ZHANG Jianchao¹, CAO Zihao², SONG Shuilin¹, XIE Donglu¹

1 Zhengzhou Boiler Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450000, China

2 No.5 Geological Survey Institute of He'nan Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Zhengzhou, He'nan, 450000, China

Abstract: This paper introduces the body structure of waste heat boiler for domestic waste incineration and the structure, working principle and application occasions of the supporting ash removal device, clarifies the problems that should be paid attention to in the design of waste heat boiler for incineration and in the selection of ash removal equipment, which provides reference and basis for subsequent research.

Keywords: waste incineration; waste heat boiler; body structure; ash removal device

引言

“十四五”规划期间生态环境面临着重要的挑战,改善生态环境,提升治理力度,满足生态环境与人民的需求成为生态环境治理的核心任务。随着城市化进程的推进,“垃圾围城”问题随之出现,国内许多城市都需要去迫切解决^[1],即亟需解决城市生活垃圾原有量最大程度降低,又能够将城市生活垃圾焚烧后所产生的余热充分利用,其中焚烧余热发电技术就能够解决了迫切的“垃圾围城”问题又可以实现了能源回收利用。本文对垃圾焚烧余热技术中的余热锅炉以及锅炉清灰系统做简要概述为后续研究学者提供相关参考和依据。

1 焚烧余热锅炉技术参数

目前国内垃圾焚烧余热锅炉大部分主蒸汽参数常采用中温中压(4.0MPa/400℃),随着余热锅炉市场竞争不断加剧,焚烧电厂投资企业为了追求利润最大化,亟需提高余热锅炉的热效率,其中一个主要途径就是提高余热锅炉的主蒸汽参数,故国内部分余热锅炉也采用中温次高压(6.4MPa/450℃)蒸汽参数,两种参数各有优势,主蒸汽压力4.0MPa提高到6.4MPa,主蒸汽温度从400℃提高到450℃。主蒸汽温度的提高,会造成过热器的受热面积需要增大,会造成过热器壁面高温腐蚀严重的情况,所以不能采用常规碳钢管子,需要采用合金钢或不锈钢管子以延

长过热器的使用寿命。主蒸汽压力提高,会造成锅炉受压面管子壁厚需要加厚,会造成水冷壁中饱和水的温度上升,水冷壁防腐等级需要提升。其重量增加和受热面材质的提升都会导致余热锅炉造价成本上涨。但蒸汽参数提高会使机组发电效率会增加,因此需要从锅炉的投资、运行维修、效益等方面综合考虑去最终选择哪种参数。由于国内垃圾分类制度还不完善,城市生活垃圾,成分复杂、水分高、热值低^[2,3],国内已建垃圾焚烧余热锅炉中其中温中压参数居多,随着城市化进程的快速发展,政府制定更加完善的垃圾分类制度,居民垃圾分类意识提高,生活垃圾热值升高,随着垃圾的热值提高其发电效益增值越明显,今后在新建机组中采用中温次高压参数的垃圾焚烧余热锅炉占比会越来越来大。

2 焚烧余热锅炉结构形式

焚烧余热锅炉常采用单压自然循环水管锅炉系统,由汽包(含内部装置)、水冷系统、下降管、蒸发器、高低温过热器、省煤器、本体给水管路、炉膛密封系统、锅炉钢架、平台扶梯以及门类杂件等组成,布置形式常采用卧式和立式,立式余热锅炉占用的场地面积较小,整体钢材耗用量较少,整体成本低,但立式锅炉受热面管束常采用水平布置,在锅炉运行过程中受热面易于积灰且清灰过程比较困难,受热面在工地现场吊装过程中有一定难度,后

期检修维护比较麻烦。对于垃圾日处理量小于 500t/d 的焚烧炉，推荐采用立式余热锅炉，对于垃圾日处理量为 500t/d 以上的大型焚烧炉，推荐采用卧式余热锅炉^[4]。

本文以卧式余热锅炉为例简单介绍其本体结构，如图 1 所示卧式垃圾焚烧余热锅炉从炉前到炉后依次为垂直烟道、水平烟道和尾部烟道、本体整体采用悬吊方式于钢结构。第一烟道由膜式蒸发受热面组成并且在其内部表面覆盖耐火材料，耐火材料附着范围从底部一直到烟道顶部，以防水冷壁高温烟气腐蚀，炉膛水冷壁表面浇筑卫燃带耐火材料层，减小锅炉管束的吸热，使炉膛整个主控区温度达到 850℃左右，并保证炉膛中烟气停留时间应大于 2s，烟气平均流速 3m/s 左右，以防止燃烧过程中二噁英生成，烟气随后通过垂直烟道膜式壁，温度降至大约 650℃以下，继续进入水平烟道依次通过蒸发器、过热器、省煤器对流受热面，温度降至约 190-220℃，最后进入烟气净化系统。垃圾焚烧过程中会产生大量的氮氧化物、酸性物质、二噁英和重金属等污染物，为满足 GB18485-2014《生活垃圾焚烧污染控制标准》，国内目前较为成熟的烟气净化工艺系统为“SNCR+半干法（高速旋转雾化反应器）+干法（石灰粉）+活性炭吸附+袋式除尘器”组合工艺。

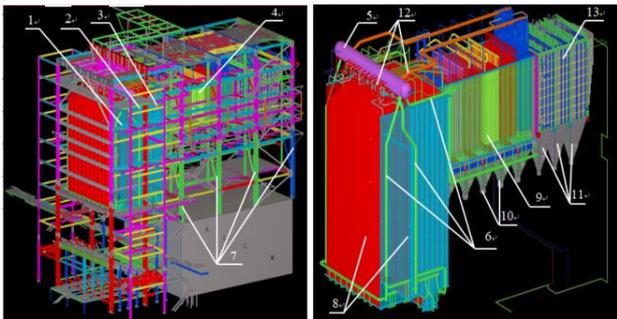


图 1 垃圾焚烧余热锅炉总体展示

(1: 第一烟道; 2: 第二烟道; 3: 第三烟道; 4: 水平烟道; 5: 锅炉; 6: 下降管; 7: 钢结构; 8: 垂直烟道膜式水冷壁; 9: 水平烟道膜式水冷壁; 10: 水平烟道下灰斗; 11: 省煤器区域下灰斗; 12: 汽水连接管; 13: 省煤器护板区域)

3 焚烧余热锅炉炉排

机械式炉排技术和流化床焚烧技术是目前用于城市生活垃圾焚烧处理常采用的技术手段。建设部发布的《城市生活垃圾处理与污染防治技术政策》，科技部和国家环保总局要求，目前垃圾焚烧技术已经成熟，机械式炉排焚烧炉技术为目前推广应用较多的形式，谨慎使用其他焚烧炉。由中国环保产业协会数据统计，对近两年新投入运行的垃圾焚烧设施进行了不完全统计，炉排炉是焚烧炉的主流工艺。共有 49 个项目，其中只有 3 个焚烧炉采用流化床工艺，其余采用机械式炉排工艺，占 93.5%机械炉排在运行中表现出了较好的性能，在垃圾适应性、垃圾处理量、设备故障率等方面具有优势。流化床焚烧炉需要对原

生垃圾进行预处理且故障率高，国内垃圾一般掺煤才能焚烧，环保不易达标^[5]。目前，机械炉排炉已成为垃圾焚烧炉的首选。

机械式炉排炉的炉床由多个机械部件组成，垃圾在炉排上依次通过余热干燥段、燃烧段和燃尽段^[6]，炉温正常维持在 850℃-950℃。德国的马丁炉排炉技术、日本的日立造船炉排炉技术等是目前国内外主要应用的机械炉排式焚烧炉，这些技术在其核心的炉排部分有着共同的结构形式和特点，其中倾斜逆推往复机械炉排和倾斜正推往复机械炉排是各个厂家主推炉排形式。炉排运动方向与垃圾的运动方向相反的炉排为倾斜逆推往复机械炉排。如图 2 所示垃圾在炉排上面不断翻转和搅拌，并与空气接触充分，燃烧更加充分和稳定。其优点是垃圾能够得到充分混合，炉排后期施工所需要的占地面积较小，投资少。斜推往复机械炉排的移动方向与垃圾相同。如图 3 所示，每个炉排段通过一个大的高落差来松动和搅拌垃圾，燃烧段设置一把剪切刀，进一步充分搅拌垃圾，垃圾能够与空气接触充分，垃圾燃烧完全，炉排漏渣率低，余热锅炉负荷调节能力强，但炉排面积大，工地施工占地较大，前期业主投资较高。作者认为可以结合倾斜逆推往复机械炉排和倾斜顺推往复机械炉排的各自的优点，后续新建余热锅炉可采用顺推和逆推相结合往复机械炉排，为后续研究学者解决我国生活垃圾成分复杂，燃烧过程中不稳定等问题提供新的思路。

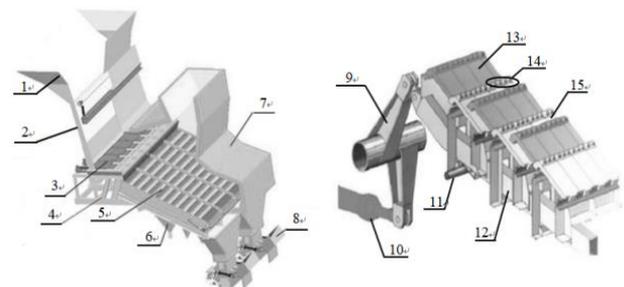


图 2 倾斜逆推往复机械炉排

(1: 进料斗; 2: 溜槽; 3: 给料器; 4: 炉排及给料器支撑; 5: 炉排; 6: 灰斗; 7: 炉壳; 8: 除渣机; 9: 摇臂; 10: 液压缸; 11: 托辊; 12: 驱动梁; 13: 固定炉排; 14: 一次风孔; 15: 运动炉排)

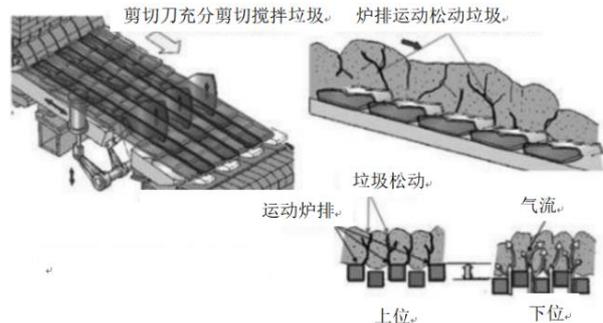


图 3 倾斜逆推往复机械炉排

4 焚烧余热锅炉清灰系统

城市生活垃圾种类繁多成分复杂,在焚烧炉内燃烧后产生的高温混合烟气中含有大量的粉尘和熔融状态的粘结性灰,容易在锅炉受热面上积灰并粘结,导致受热面的传热效率下降,锅炉出口排烟温度过高,发电量减少,积灰严重情况下会导致非计划性停炉,难以实现长周期运行,故能够处理好焚烧余热锅炉受热面的积灰结渣问题,对于焚烧发电厂的正常运行以及经济效益也同样至关重要^[7]。目前蒸汽清灰、激波清灰、振打清灰、水喷淋清灰、声波清灰是垃圾焚烧余热锅炉清灰系统中常采用的清灰方式。

4.1 蒸汽清灰

蒸汽吹灰方式是以高温高压的蒸汽作为吹灰介质,蒸汽通过蒸汽吹灰器的喷嘴从而获得一定的速度,最后以高速喷射的方式直接吹扫有积灰附着的受热面,气流冲击灰渣的同时,高温灰渣被冷却产生热应力,形成大量裂缝,在高速气流冲击下裂开并脱落从而达到清灰的效果^[8]。常用蒸汽清灰装置有长伸缩式蒸汽清灰装置和固定式蒸汽清灰装置。

长伸缩式蒸汽清灰装置结构包括枪管、提升阀、支架、齿条箱和电机等组成,吹灰枪由电动装置送入锅炉内,喷嘴进入炉内后,吹灰蒸汽阀门开启,吹灰开始,灰枪继续动作,直至退出炉膛,在整个吹灰周期内,枪管始终保持旋转,以吹扫受热面不同的部位。蒸汽清灰有效吹灰半径为一般为1.5-2.0m,长伸缩式主要设置在高温烟气区域,例如蒸发器和过热器区域,固定式蒸汽吹灰装置是固定在膜式壁外部,主要以一定的角度进行吹扫墙体受热面,能够清理长伸缩式吹灰器吹灰死角区域。蒸汽清灰装置蒸汽吹灰压力高,喷射速度大能清除粘附性较强的积灰,但一次性投资较大,设备故障率较高,吹灰枪管容易发生卡涩、漏气等,需要消耗蒸汽,运行费用高,还会增加烟气中的含氧量和水分并增加锅炉的排烟量。

4.2 激波清灰

激波吹灰技术是一种靠冲击波的能量将受热面表面积灰清除的方法,其基本工作原理是让燃料在一个特殊的装置中产生爆燃,剧烈爆燃气体在瞬时升至高压,在装置中气体爆燃产生高速热气流以强有力冲击波方式作用于受热面,从而使受热面上的灰渣瞬间击落,将受热面表面吹扫干净^[9]。图4所示发生装置主要由燃进气管、混合罐、点火装置、火焰导管、激波发生器、激波发射喷口等几部分组成。激波吹灰对附着在受热面逆风面上以及锅炉本体上边边角角的各类灰垢具有较高的清灰性能,对结焦和粘性沉积物也有显著作用效果,另外结构系统简单(无转动机械)、可靠性高、不需要经常维护,结构尺寸小、占用空间小。但存在一定的安全隐患,并且喷嘴附近受热面管子容易受损,需要进行适当的保护。

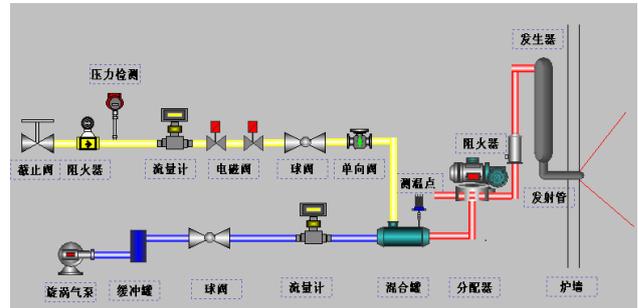


图4 燃气激波吹灰装置流程图

4.3 喷淋清灰

喷淋清灰装置是在焚烧余热锅炉垂直烟道顶部布置的喷水清灰系统,喷淋清灰装置安装在余热锅炉垂直烟道上面的开孔位置,能够进行上下移动和旋转并向下喷水。喷淋清灰装置喷出的水由软管进入烟道中,随后水通过喷嘴喷射到附着有大量结渣物的受热面上,在结渣物表面上,水渗入到结渣物细小的渣孔中,由于水受热快速膨胀,导致结渣物的体积迅速膨胀,从而使受热面上的结渣物破碎并掉落^[10]。相比其他的余热锅炉清灰系统,喷淋清灰装置需要安装所占空间小,仅在炉顶布置即可,另外可以通过控制系统较容易改变清灰装置的移动方位,具有灵活灵动的特点。并且喷淋清灰系统的水源为工业水即可,不需要通过水处理后的高品质水。

4.4 机械振打清灰

机械振打清灰装置是利用动力系统带动振打锤对锅炉内管束进行打击,从而使受热面产生振动,使得积灰脱离附着面,达到清灰的目的^[11]。机械振打的优点是消耗动力少,不会对烟气增加额外的介质,但缺点是对锅炉受热面联箱角焊缝的使用寿命和强度有一定程度的不良影响。常常布置在余热锅炉垂直烟道以及水平烟道。

4.5 声波清灰

声波清灰装置是利用声波具有衍射、反射、绕射的特点,所以在余热锅炉积灰受热面只要在声波能量有效作用范围内,都可清除管排间以余热锅炉本体各个逆风面的积灰,并且不留死角。另外声波清灰以空气为介质不会引起腐蚀,是利用较小能量的循环往复作用而达到清灰的目的,不会使管壁受损,较适用于粘性较强灰尘清除。但声波吹灰器振动膜片制造难度大,造价高,需要不断更换,维修工作量大^[12],持续150dB以上的噪声对人体有害。

5 结语

生活垃圾余热锅炉主流参数为中温中压4.0MPa/400℃、中温次高压6.4MPa/450℃两种,具体选用需要从锅炉的投资、运行和维修、效益等方面综合考虑。

常用垃圾余热锅炉布置形式有卧式和立式结构,对于占地面积有限制要求的建议选用立式结构,若无占地面积

特殊要求建议选用卧式结构,其受热面安装、检修、维护、清灰等方面比较有优势。

针对目前国内生活垃圾具有水分高、热值低、成分复杂特点,新建垃圾焚烧余热锅炉建议采用机械式炉排炉的炉床,生活垃圾与空气充分接触,燃烧更充分,更稳定,处理能力更强,还须要结合项目规模、投资能力和环保要求等综合考虑选择相应具体结构形式的机械炉排。根据我国生活垃圾成分复杂燃烧不稳定等特点,后续新建垃圾焚烧余热锅炉机械炉排推荐选用倾斜式顺推和逆推往复式相结合机械炉排。

余热锅炉清灰装置是为保证垃圾焚烧余热锅炉高效长期运行不可缺少的配套辅机设备,各种清灰方式在锅炉运行实践过程中均有应用,应根据余热锅炉受热面结构形式、积灰特点、布置空间大小选用相应的清灰装置。

[参考文献]

[1]王喜军.当前垃圾分类的法治治理[J].人民论坛,2021(7):89-91.
[2]李晓东,陆胜勇,徐旭,等.中国部分城市生活垃圾热值的分析[J].中国环境科学,2001,21(2):156-160.
[3]高全,张军营,丘纪华,等.燃煤电站锅炉高温腐蚀特征的研究[J].热能动力工程,2007,22(3):292-296.
[4]曾纪进,陈国艳,段翠九.余热锅炉布置方式对垃圾焚

烧发电厂性能的影响[J].广东电力,2014,27(1):1-4.

[5]刘青,于海洋,张守玉,等.循环流化床垃圾焚烧锅炉炉膛设计分析[J].锅炉技术,2007,38(6):20-25.
[6]郑春,王东方.论生活垃圾焚烧发电工艺方案及余热锅炉设计选型[J].能源与节能,2018(10):90-93.
[7]邹金生,王志强.垃圾发电厂锅炉受热面积灰结焦特性及清灰装置的应用[J].华电技术,2012,34(11):70-74.
[8]鲁敬妮,屠珊,卓敏鹏,等.某新型蒸汽脉冲式声频清灰器清灰机理及经济性分析[J].热力发电,2018,47(1):8-12.
[9]尹朝亮.余热锅炉积灰分析和激波清灰[J].节能与环保,2005(2):32-35.
[10]邹海峰.远程水力吹灰器在大型燃煤电站锅炉中的应用[J].热力发电,2014(4):141-144.
[11]汤晓勇,田晓东,许名熠,等.机械振打清灰装置在垃圾焚烧余热锅炉上的应用[J].节能,2019,38(11):112-115.
[12]鲁景,李多松.声波清灰技术的原理及其应用[J].工业安全与环保,2007,33(1):14-15.

作者简介:张建超,河南开封,硕士,工程师,动力工程专业,毕业于上海理工大学能源与动力工程学院,就职于郑州锅炉股份有限公司技术中心,专业方向余热锅炉设计。