

# 生物质颗粒燃烧锅炉污染物释放规律及运行管理

王在钊<sup>1</sup>, 余伟<sup>2</sup>, 王雪<sup>3</sup>, 徐佰青<sup>4</sup>

(1. 山东中烟工业有限责任公司青岛卷烟厂能源动力处, 山东青岛266000; 2. 中韩(武汉)石油化工有限公司安全环保部, 湖北武汉430082; 3. 山东京青农业科技有限公司, 山东潍坊261000; 4. 中国石油化工股份有限公司大连石油化工研究院, 辽宁大连116045)

**摘要:** 生物质颗粒燃烧具有产量大、污染小、CO<sub>2</sub> 零排放及可再生等优点。论述了生物质颗粒燃料燃烧锅炉的使用及其污染物的释放情况, 总结了生物质燃烧锅炉国内外的发展现状, 对锅炉实际运行中的问题提出可行性建议, 同时展望了未来生物质燃烧锅炉的发展前景。

随着经济的不断发展, 石油等化石能源消耗不断加剧, 面对日益短缺的不可再生能源, 生物质能作为一种可再生资源越来越受到人们的关注。生物质能是太阳能以化学能的形式存储于生物中的一种可再生资源[1-2]。

生物质燃料利用前一般需要加工成型, 生物质成型燃料的应用, 一方面可以将农业废弃物变废为宝, 避免了资源浪费; 另一方面可以有效缓解农业秸秆焚烧造成的空气污染[3-4]。而生物质颗粒燃料是生物质成型燃料的一种, 生物质颗粒燃料需要经过一定压力及温度的作用, 加入木质素作为黏合剂, 将松散的农业生物质材料, 如树枝、秸秆及木屑等压实成为成型的颗粒状燃料。中质烟煤的能量密度基本与生物质颗粒燃料相当, 生物质颗粒燃料燃烧时能够实现一氧化碳的基本零排放, 同时排放的硫氧化物及氮氧化物较煤低很多, 且排放的颗粒物也很低[5]。较化石燃料相比, 生物质燃料是较为清洁的能源, 但其燃烧产物CH<sub>4</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、NH<sub>3</sub>、EC、OC、NMVOC、CO、CO<sub>2</sub>、TSP、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>等[6], 均会对环境产生影响。

生物质颗粒燃料的燃烧受多种因素的影响, 同时也会造成燃烧效率的低下, 影响燃烧的产物, 本文就燃烧锅炉及烟气排放, 介绍了燃烧锅炉的设计和国内外发展现状以及烟气的释放规律, 并结合国内锅炉的研究状态, 提出今后锅炉的发展方向。

## 1 生物质颗粒燃料锅炉

### 1.1 燃烧阶段与锅炉设计

生物质颗粒燃料的燃烧分为4个阶段, 第一阶段为燃料在燃烧之前的预热; 其次随着温度的上升, 燃料中的水分逐渐挥发析出, 即干燥阶段; 接着燃料着火燃烧, 挥发分开始析出; 最后为燃料中的固定碳燃烧, 即焦炭燃烧阶段[7]。整个过程可分为预热、干燥及挥发分析出的吸热阶段和放热阶段[8]。

锅炉的设计与生物质燃烧过程有关, 首先是燃烧时的温度, 燃烧时的温度与多个因素有关, 例如燃烧设备、环境变化、燃料的成分及种类等均对锅炉的设计参数有影响, 而燃烧过程中的吸放热反应决定了实际的燃烧温度, 燃烧温度不仅影响锅炉的正常运行, 同时影响燃烧的产物, 因此锅炉结构设计时需要考虑温度控制, 可利用燃烧过程中的吸热反应降低炉膛温度, 从而防止温度过高使得炉膛结渣[9]; 燃烧所需空气量会影响锅炉的设计, 因为空气中的氧气会与燃料中的C和H发生反应, 从而放出热量; 生物质颗粒燃烧锅炉在设计过程中还需考虑排烟量的影响, 因此计算排烟量就尤为关键。影响生物质颗粒燃料燃烧时排烟量的因素有3种, 分别为燃料的水分含量、元素组成及空气过量系数, 排烟量温度随着炉膛中的排烟热损失增大而增大, 因此两者成正比关系。影响生物质颗粒燃料充分燃烧的因素包括燃烧温度、燃烧所需空气量以及排烟量。由于参与吸放热反应的生物质燃料均不是直接接触, 因而生物质燃料吸收的热量仅可以由火焰的辐射以及炉膛的内壁获得。所以, 不同水分含量的生物质燃料, 对燃烧设备也有不同的要求, 当生物质燃料水分含量大时, 需要较多的热量以保证吸热反应顺利进行, 因此炉膛内壁的温度要维持在较高的水平; 当燃料水分含量小时要对炉膛内壁温度进行冷却, 以防止炉膛内壁结渣。

### 1.2 锅炉国内外发展现状

典型的生物质锅炉由进料系统、燃烧室、配风系统、点火系统及排渣(清灰)系统等部分组成, 除此之外, 还需要自动控制系统及配备料仓, 锅炉才能够正常运行。生物质颗粒燃料的燃烧效率可以通过生物质燃烧锅炉提高[10], 且可以降低污染物质的排放, 因此在国内外得到了广泛的研究。

20世纪80年代, 国外生物质颗粒燃烧锅炉开始应用, 而到了20世纪90年代后期, 欧洲的部分国家, 如奥地利、瑞典

及丹麦等才开始获得市场份额[11]。目前在日本、德国和美国等国也受到了很大关注。这些国家的生物质燃烧锅炉专业化程度及操作自动化程度较高,加工工艺也相对合理,同时还兼具排烟污染小及热效率高的优点[12]。但相对于我国的生物质颗粒燃料锅炉也存在诸多缺点,如电耗高及价格高昂、使用燃料的品种较为单一,因而不适合引入国内。

近年来,我国关于生物质颗粒燃烧锅炉的研究较多。赵建红[13]研究了生物质颗粒悬浮燃烧锅炉,通过对锅炉燃烧室进行改进,减少了锅炉结渣及氮氧化物的生成。李亚猛[14]等研究了一种生物质颗粒直燃炉灶,该炉灶运行较好,烟气排放指标达到国家标准。江华[15]等通过对燃煤锅炉进行改造,改变锅炉烟风系统及炉膛系统,增加烟气在炉膛停留时间,进而改用生物质颗粒燃料,提高了燃料的热效率。

## 2 燃烧锅炉烟气排放

### 2.1 燃料类型与烟气排放

污染物的排放与生物质颗粒燃料的种类有关,生物质颗粒燃料不同,往往其燃烧后产生的污染物也不同。任敏娜[16]等对8种不同的生物质燃料进行燃烧分析,结果得出,8种不同的燃料由于水分、挥发分及灰分各不相同,而燃烧时其着火温度不同,燃烧后焦渣排出也不同,因此其燃烧产物也不同。KRUGLY[17]等对5种农业残渣制成的生物质颗粒燃料进行测试,结果得出,污泥颗粒燃料是污染性最严重的燃料(硫化物、氮氧化物、PM及PAH),同时,由于CO和PAH排放浓度增加,污泥颗粒燃料和向日葵秆颗粒燃料不适合在小型的颗粒燃烧锅炉中燃烧。QIU[18]等测试了木质颗粒、芒草和稻草颗粒的生物质燃料,通过二次空气供应,减少了污染物质的排放,最终表明,木质颗粒燃烧后较另外两种燃料燃烧产生的PM浓度低,且PM粒径大,对人体产生的危害小,同时木质颗粒燃烧后成型,不会阻碍后续的燃烧。不同的研究结果表明,生物质颗粒的类型与污染物的排放相关性很强。

### 2.2 生物质锅炉的利用与烟气排放

生物质燃烧锅炉作为生物质燃料的燃烧器可以起到减少生物质燃料燃烧污染物排放的作用,虽然生物质燃料作为一种清洁能源被广泛应用,但不科学的燃烧往往会造成严重的污染。张宜升[19]等通过烟尘罩稀释通道采样系统,研究了几种生物质燃料家庭炉灶燃烧并与其露天焚烧进行对比,实验结果得出,露天焚烧的PAHs排放因子均大于家庭炉灶燃烧的排放。这可以看出利用生物质燃烧锅炉燃烧,从一定程度上能够降低污染物的排放。SHEN[20]等通过对比秸秆颗粒燃料在小型生物质燃烧锅炉与普通炉灶中燃烧时的污染物的释放情况,结果得出,颗粒燃料在小型生物质锅炉中燃烧时,基本不产生黑烟,而在炉灶中燃烧时产生的黑烟较多,而污染物的排放因子也同样是炉灶中的高于燃烧锅炉的。这可以看出生物质燃烧锅炉的应用能够显著降低污染物的排放量。

燃烧锅炉与污染物的排放密切相关,赵光兴[21]等对燃煤锅炉进行改进,通过采用链条炉排、抬高炉膛、增加二次进风、安装水平出渣机等一系列措施,改进后的锅炉燃用生物质颗粒燃料,测试结果表明,改进措施解决了空气系数过高问题的同时,大大降低了颗粒物、硫化物及氮氧化物的排放。LILLIEBLAD[22]等研究了移动炉排锅炉的锅炉负荷对颗粒物排放的影响,结果得出,对亚微米级尺寸的颗粒排放的质量浓度,锅炉负荷对其影响很小;但随着锅炉负荷的增加,总颗粒物浓度呈上升的趋势,但总颗粒物的尺寸减小。LIU[23]等研究了控制通入空气进行分级来减少氮氧化物的排放,结果表明,即使是在小型的家用生物质锅炉中燃烧,空气分级可以使得燃烧中产生的氮氧化物还原,从而减少最终污染物中氮氧化物

的排放,同时,锅炉上方二次空气入口的高度也会对 $\text{NO}_x$

和CO的排放产生影响,但最终产物中CO和 $\text{NO}_x$

两者之间的排出量需作出权衡。SARTOR[24]等构建了中型生物质燃烧锅炉的模型,通过减小空气过剩系数和利用烟气再循环技术两种方法,验证了该方法对氮氧化物和硫氧化物产生的影响,结果表明,这两种方法的同时应用可以显著降低氮氧化物和硫氧化物的排放。苏俊林[25]等研制了一款集生物质颗粒燃料气化、燃烧及传热为一体的新型锅炉,该锅炉的燃烧部为三室结构,实践表明,该复合锅炉具有高效节能、排污少、结构新颖、输出功率大及使用方便等特点。

生物质锅炉的燃烧与污染物的排放有关,可以采用多种方式降低污染物的排放,例如采用空气分级、适当提高二次空气供应口的高度、选用与燃料类型相符的锅炉、降低空气过剩系数等。

## 3 燃烧锅炉运行管理

生物质燃烧锅炉的运行与维护对生物质颗粒燃料的燃烧效率具有重要的影响,因为燃烧效率和热效率是衡量锅炉运行质量和经济水平的重要参数[26]。提升锅炉的热效率,就可以提升经济效益,同时也可以提高节能水平。通过提升锅炉的热效率,以降低锅炉能耗、提高锅炉节能水平,具体应做到如下几个方面:

- 1) 确保锅炉密闭性能良好，最大程度减小锅炉漏风情况的发生。
- 2) 要加快设备的技术改造，主要针对燃烧设备，从而改善燃烧的状态，以提高燃烧性能。
- 3) 最大程度减小炉膛出口过量空气系数，尽可能确保燃烧时氧含量最低，减小炉膛的漏风程度，以确保炉膛中环境为负压状态。
- 4) 保持锅炉内部清洁，定期清理炉渣，尤其是受热面的污物，以提升锅炉内的传热效率。另外要处理好锅炉用水，做好水质化验监测，从而减缓污垢产生速率[27]。
- 5) 要将辅助设备的运行状态调整至最佳，如保证水泵及风机的运行效率，降低辅助设备的能耗水平，提升锅炉机组的净效率。
- 6) 实行目标管理，结合工作实际确定目标，确立合理的消费定额，将班组绩效与锅炉运行的经济效益相关联。

同时受热面尽量采用较大的管间距，顺列布置，可以有效降低烟气的流动速度[28]，从而能够保证烟气的良好流通，有效地降低烟气对管道的磨损，减少了管壁的结渣和积灰，可以大大提高了对流受热面的使用寿命。为了防止烧结腐蚀和积灰结渣，可在生物质燃料中添加煤炭或泥炭、管道材料使用具有抗腐蚀功能的富铬钢材或者镀铬、蒸汽温度尽可能低等[29]。

#### 4结论及展望

近些年来，我国虽然在生物质燃烧利用上取得了较大的进步，但相对发达国家而言，无论技术上还是应用上仍然存在较大差距。一方面各大科研院校要继续积极研究高效的燃烧技术，另一方面政府有关部门要制定优惠政策，促进建立起生物质燃料的收集、处理及交易体系，这样将对我国社会经济和环境可持续协调发展起到重大影响。而生物质锅炉的出现正好符合我国资源节约及可持续发展的战略方针，缓解了我国资源短缺的部分问题，为我国的环境保护做出了贡献。生物质燃烧锅炉有其独特的优点，应该利用其优点，将其燃烧效率提到最大。

## 参考文献:

- [1] 张霞, 蔡宗寿, 陈颖, 等. 世界生物质颗粒燃料产业发展现状与趋势分析[J]. 农机化研究, 2015 (2): 1-5.
- [2] 何甜辉, 蔡建楠, 贺丽君. 典型生物质燃料燃烧污染物排放综述[J]. 四川化工, 2014, 17 (3): 19-21.
- [3] 张学敏, 张永亮, 姚宗路, 等. 不同进料方式燃烧器对生物质燃料颗粒物排放特性的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(12): 200-207.
- [4] 庞利沙, 田宜水, 侯书林, 等. 生物质颗粒成型设备发展现状与展望[J]. 农机化研究, 2012 (9): 237-241.
- [5] JAYARATHNE T, STOCKWELL C E, YOKELSON R J, et al. Emissions of fine particle fluoride from biomass burning[J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, 48(21):12636-12644.
- [6] 陆炳, 孔少飞, 韩斌, 等. 2007 年中国大陆地区生物质燃烧排放污染物清单[J]. 中国环境科学, 2011, 31 (2): 186-194.
- [7] 田仲富, 王述洋, 曹有为. 生物质燃料燃烧机理及影响其燃烧的因素分析[J]. 安徽农业科学, 2014, 42 (2): 541-543.
- [8] 翟雨轩. 农村新型家用生物质锅炉结构脱氮设计研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2021.
- [9] 于博阳, 尹丽洁, 路明强, 等. 温度对生物质热解过程中传热特性

- 的影响[J]. 工程热物理学报, 2021, 42 ( 12 ): 3054-3059.
- [ 10 ] 罗娟, 侯书林, 赵立欣, 等. 生物质颗粒燃料燃烧设备的研究进展[J]. 可再生能源, 2009, 27 ( 6 ): 90-95.
- [ 11 ] 徐飞, 侯书林. 生物质颗粒燃料燃烧技术发展现状及趋势[J]. 安全与环境学报, 2011, 11 ( 1 ): 70-74.
- [ 12 ] 刘圣勇, 陈开碇, 张百良. 国内外生物质成型燃料及燃烧设备研究与开发现状[J]. 可再生能源, 2002 ( 4 ): 14-15.
- [ 13 ] 赵建红. 生物质颗粒悬浮燃烧锅炉设计研究[J]. 农业技术与装备, 2020 ( 10 ): 19-21.
- [ 14 ] 李亚猛, 周雪花, 胡建军, 等. 生物质颗粒直燃炉灶设计与试验[J]. 农业机械学报, 2017, 48 ( 10 ): 280-285.
- [ 15 ] 江华, 陈佳丽, 李勇强. 提高燃煤锅炉改造燃生物质颗粒锅炉能效研究分析[J]. 中国设备工程, 2021 ( 5 ): 160-161.
- [ 16 ] 任敏娜, 崔永章, 李晓, 等. 八种生物质颗粒燃烧特征分析[J]. 山东建筑大学学报, 2012, 27 ( 3 ): 298-301.
- [ 17 ] KRUGLY E, MARTUZEVICIUS D, PUIDA E, et al. Characterization of gaseous- and particle-phase emissions from the combustion of biomass-residue-derived fuels in a small residential boiler[J]. *Energy fuels*, 2014, 28: 5057-5066.
- [ 18 ] QIU G Q. Testing of flue gas emissions of a biomass pellet boiler and abatement of particle[J]. *Emissions Renewable Energy*, 2013,50: 94-102.
- [ 19 ] 张宜升, 张厚勇, 栾胜基, 等. 生物质露天焚烧及家庭燃用的多环芳烃排放特征研究[J]. 中国环境科学, 2015, 35 ( 2 ): 387-395.
- [ 20 ] SHEN G F, TAO S, WEI S Y, et al.Reductions in emissions of carbonaceous particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons from combustion of biomass pellets in comparison with raw fuel burning[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012,

46: 6409-6416.

- [ 21 ] 赵光兴, 毛伟东. 高效燃用生物质颗粒蒸汽锅炉的研究与设计[J]. 实用节能技术, 2014 ( 4 ): 73-76.
- [ 22 ] LILLIEBLAD L, SZPILA A, STRAND M, et al. Boiler operation influence on the emissions of submicrometer-sized particles and polycyclic aromatic hydrocarbons from biomass-fired grate boilers[J]. *Energy & Fuels An American Chemical Society Journal*, 2004, 18(2): 410-417.
- [ 23 ] LIU H, CHANEY J, LI J X, et al. Control of NO<sub>x</sub> emissions of a domestic/small-scale biomass pellet boiler by air staging[J]. *Fuel*, 2013, 103: 792-798.
- [ 24 ] SARTOR K, RESTIVO Y, NGENDAKUMANA P, et al. Prediction of SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> emissions from a medium size biomass boiler[J]. *Science Direct*, 2014, 65: 91-100.
- [ 25 ] 苏俊林, 罗小金, 矫振伟, 等. 燃用生物质颗粒燃料锅炉的燃烧及排放特性[J]. 吉林大学学报, 2010, 40 ( 4 ): 953-958.
- [ 26 ] KAMIL K, PAVEL M, JIRI H, et al. Comparison of emissions of gaseous and particulate pollutants from the combustion of biomass and coal in modern and old-type boilers used for residential heating in the Czech Republic, Central Europe[J]. *Chemosphere*, 2019, 229: 51-59.
- [ 27 ] GIANLUCA C, FEDERICA B, CHIARA G, et al. Woodchip size effect on combustion temperatures and volatiles in a small-scale fixed bed biomass boiler[J]. *Renewable Energy*, 2020, 151: 161-174.
- [ 28 ] 陈叔华. 生物质成型颗粒锅炉的燃烧及烟气排放特性研究. 中国科技博览, 2014 ( 48 ): 95-95.
- [ 29 ] 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.

原文地址: <http://www.china-nengyuan.com/tech/213732.html>