

生物质燃气净化除尘技术研究

李晓霞*, 闫桂焕

(齐鲁工业大学(山东省科学院), 山东省科学院生态研究所,
山东省应用微生物重点实验室, 山东 济南 250103)

摘要:研究了生物质气化燃气中固相物质的组成,分析了燃气中灰尘粒径分布及飞灰中碱金属氧化物含量。根据生物质燃气飞灰特点,设计了适合生物质气化燃气的耐腐蚀性强、净化效率及精度高的分级干式高温净化除尘装置。该装置避免了水洗除尘带来的二次水污染,同时通过实验验证了该装置的可靠性及稳定性。

关键词:生物质燃气;灰尘特性;高温净化

中图分类号:TK6

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2020)S-0254-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2020.S.056

Research on dust removal technology for biomass gas

LI Xiao-xia*, YAN Gui-huan

(Shandong Province Key Laboratory of Applied Microbiology, Ecology Institute of Shandong Academy of Sciences,
Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan 250103, China)

Abstract: The composition of solid phase materials in gasified biomass gas is analyzed and studied, and the particle size distribution of dust in biomass gas and the content of alkali metal oxide in fly ash are analyzed. According to the characteristics of fly ash in biomass gas, a grading dry high temperature purification and dust removal device is designed with high precision, strong corrosion resistance, high purification efficiency, and suitable for gasified biomass gas. This device can avoid the secondary water pollution caused by water washing and dust removal. It is verified through the application tests that this device has reliability and stability.

Key words: biomass fuel gas; characteristics of dust; purification at high temperature

生物质气化发电及燃气供热是生物质能重要的分布式利用方式,由于生物质燃气易携带飞灰、焦油等杂质,其净化问题一直是制约生物质气化大规模应用的重要瓶颈之一^[1-3]。分析生物质燃气中固相杂质的理化特性、组成特点,设计适合生物质气化系统的燃气净化工艺及装置,保证系统稳定运行,可促进生物质能的产业化应用和商业化发展。

1 生物质燃气中固相杂质的排放特性

不同的气化装置组织气化的过程以及气化温度均不相同,产物中的焦油含量、灰分特点也不同,研究燃气中灰尘的粒径分布和化学成分对于设计和选择后续净化除尘设备具有指导意义。

1.1 灰尘粒径分布

生物质燃气中的灰尘由灰分、炭黑、未完全燃烧的炭粒3部分组成。灰分是生物质中固有的组分,在生物质中质量分数占4%~13%^[2-3]。不同的气化设备和气化工艺产生的灰尘会有粒径、分散度上的不同。收集一级旋风除尘后的颗粒,用激光粒度分析仪对下吸式固定床和流化床气化炉产生的燃气中

的灰尘进行分析,结果如图1、图2所示。

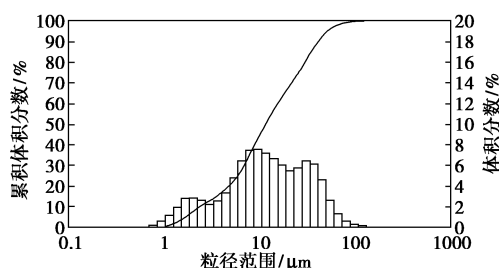


图1 固定床灰尘粒度分布示意图

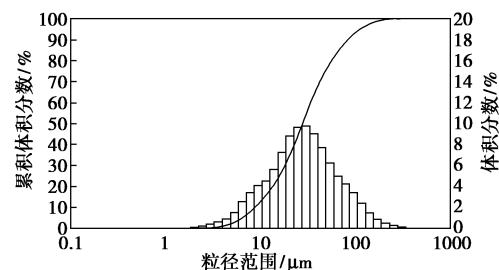


图2 流化床灰尘粒度分布示意图

从图中可知,固定床灰尘的粒径分布范围为0.6~120 μm,灰尘粒径<10 μm的颗粒累计体积分数为44.66%,平均粒径为17.5 μm;流化床灰尘的粒

径分布范围为1~300 μm , 灰尘粒径 $<10.48 \mu\text{m}$ 的颗粒累计体积分数为13.7%, 平均粒径为38.89 μm 。

经过一级旋风除尘后, 固定床灰尘颗粒和流化床灰尘颗粒在粒径分布上具有以下特点: 固定床灰尘粒径分布呈双峰形, 双峰峰值对应颗粒粒径分别为9和30 μm 左右; 流化床灰尘粒径分布呈单峰形, 峰值对应颗粒粒径为30 μm 左右。灰尘粒径分布范围两侧的小粒径和大粒径灰尘体积占比都较小, 灰尘主要分布在中间的某一区段, 固定床灰尘颗粒累计体积分数在10%~90%区间的粒径范围为2.3~40.38 μm ; 流化床灰尘颗粒累计体积分数在10%~90%区间的粒径范围为8.78~83.9 μm 。同时, 相比流化床灰尘颗粒, 固定床灰尘 $<10 \mu\text{m}$ 的颗粒累计体积分数较大, 接近50%。

1.2 灰尘的碱金属特性分析

碱金属是生物质和生物质灰的重要组分, 在生物质热化学转化利用过程中, 生物质中不同形态的碱金属会以不同形式析出。其中, 碱金属K和Na具有非常高的可移动性^[4], 部分会随高温燃气气流进入后续工段, 在温度及湿度较高的条件下, 容易对后续净化除尘设备产生腐蚀; 生物质燃气中存在少量的氯化物, 也会对净化除尘设备产生一定的腐蚀作用。取循环流化床气化燃气中收集的飞灰进行X射线荧光光谱分析, 主要化合物含量见表1, 其中, 样品1为玉米秸秆经循环流化床气化炉气化后的飞灰样, 床料为河砂; 样品2为棉花秸秆颗粒料经循环流化床气化炉气化后的飞灰样, 床料为MgO。

表1 循环流化床气化炉气化飞灰碱金属氧化物含量 %

组成	CO ₂	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅
样品1	7.53	1.69	33.26	7.10	33.92	1.19
样品2	7.00	0.75	1.84	1.13	76.96	3.82
组成	SO ₃	Cl ⁻	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	
样品1	1.57	0.45	4.57	5.85	2.28	
样品2	0.35	0.60	4.92	1.24	1.12	

从上表可知, 气化炉飞灰中含有数量不等的碱金属氧化物, 在比较高的温度和湿度下, 碱金属氧化物对设备具有一定的腐蚀作用, 在选用生物质燃气净化设备时应予以考虑。

2 生物质燃气净化除尘工艺设计

在气化炉出口处, 燃气中除了含有焦油之外, 由于气流的作用, 必然会携带灰尘进入后续工段。焦油在200℃以下会冷凝, 和燃气中的灰尘粘结, 变成

难以清除的黏稠状杂质, 对下游设备及后续工艺损坏相当严重^[5-7]。因此, 生物质燃气要考虑在温度200℃以上情况下除尘。

2.1 净化除尘工艺设计

在各种燃气净化设备中, 旋风分离器适用范围广, 运行维护简单可靠, 对于大颗粒的固体杂质有较高的除尘效率, 但是旋风分离器难以除去10 μm 以下的固体颗粒, 对更小的颗粒除尘效率很低。因此这种装置经常用作燃气净化的第一级设备, 脱除燃气中大部分固体杂质, 以减轻后续设备的负荷^[8-11]。

通过旋风分离器进行初级除尘的生物质燃气中的灰尘颗粒粒度小, 不同气化方式下, 小于10 μm 的灰尘颗粒累计体积分数均超过了10%, 所以, 在净化方式的比较和选择中, 考虑采用除尘精度比较高的过滤式除尘设备进行除尘, 可获得较好的除尘效果。过滤式除尘设备中, 袋式除尘器的效率很高, 可以有效地滤去1 μm 以上的细小尘粒。考虑生物质燃气中K、Na等碱金属物质以及少量氯化物对滤料的腐蚀作用, 在进行滤料的选择中, 应选择耐温200℃以上、耐腐蚀性比较好的材料, 并通过表面覆膜处理提高对于5 μm 以下微细粒子的过滤精度, 效率可达99%^[12]。

根据以上分析, 本文设计了适用于生物质燃气的净化除尘装置, 如图3所示。

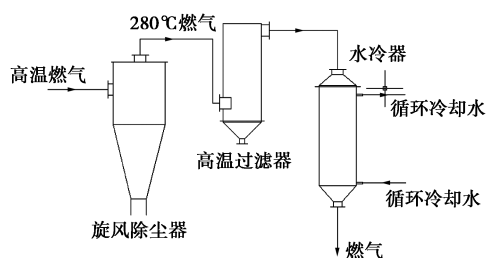


图3 生物质气化燃气净化除尘装置

携带焦油、灰尘、炭粒的高温生物质燃气进入旋风除尘器进行初步除尘, 去除颗粒较大的固体杂质, 并和旋风除尘器外设套筒内的气化剂(空气或氧气)进行换热, 利用高温燃气的显热提高能量利用率, 旋风除尘器对于燃气流和燃气中粉尘浓度的波动也起到了缓冲作用。生物质燃气经旋风除尘器进行初级除尘净化并换热后, 温度降到280℃左右, 之后进入过滤式除尘器中去除小于10 μm 的灰尘颗粒。

2.2 生物质燃气过滤器设计

过滤式除尘器有很多类别, 常规的袋式除尘器处理气量比较大, 相应过滤面积也比较大, 所以进行

在线反吹对运行状态影响不大。生物质气化系统产气量远远小于常规袋式除尘器的气量,在进行在线反吹时,清下的灰尘部分会被邻近的滤袋再次捕集,对其他滤袋的运行状况产生很大影响,并且反吸现象比较严重,造成压力损失不断增大。

根据生物质燃气的性质、吸收气箱脉冲和脉冲反吹式除尘器的形式特点,设计了生物质燃气过滤器,其剖面如图 4 所示。

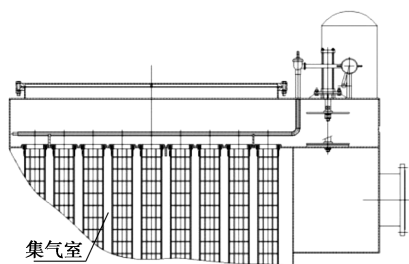


图 4 生物质燃气过滤器剖面图

生物质燃气过滤器对集气室进行了分隔,实现分室操作,当某一室进行喷吹清灰时,过滤气流被切断,避免了喷吹清灰时粉尘产生二次飞扬,在一定程度上实现了离线清灰,各箱室的脉冲宽度和清灰周期由专用的清灰控制屏设定。过滤器保留了喷吹管的设计,更大程度地保证了清灰效果。

3 实验装置运行情况

3.1 实验运行数据

为了验证设计出的整套生物质燃气过滤装置对燃气的除尘效果,进行了较长期的运行实验。从气化炉出来的高温燃气经过旋风和过滤器除尘后,在间接式水冷器后设置采样点,具体操作步骤参考《城市燃气中焦油和灰尘含量的测定方法》(GB 12208—90)。在系统稳定运行的条件下,进行焦油和灰尘含量测定,结果见表 2。

表 2 燃气焦油灰尘含量实验数据

试样编号	焦油、灰尘含量/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	试样编号	焦油、灰尘含量/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)
试样 1	6.67	试样 4	1.96
试样 2	9.62	试样 5	3.33
试样 3	1.55	试样 6	13.67

运行结果显示,经本文设计的生物质燃气净化除尘系统过滤后,焦油和灰尘含量控制在 $20 \text{ mg}/\text{m}^3$ 以下,满足生物质燃气用于内燃机发电或炊事能源的要求。

3.2 运行关键事项

本文设计的生物质燃气净化除尘装置在生物质

气化系统应用中运行稳定,能够满足工程化应用,实现了生物质燃气的洁净度要求。在运行过程中,有以下几点运行关键事项:

(1) 生物质灰尘颗粒粒度小,过高的过滤气速会导致灰尘进入过滤器滤料的内部,造成滤料内部被堵塞,喷吹效果不好,推荐使用小于 $1.2 \text{ m}/\text{s}$ 的过滤气速。

(2) 气化系统在开机运行时,由于工况不稳定,导致气化炉出口燃气温度低,焦油含量很高,这种状态下的燃气如果直接进入过滤器容易发生糊袋现象,所以系统初始运行时,燃气温度低于 200°C 应走旁路处理,待系统运行稳定,燃气温度满足过滤器的使用要求后再切回。

(3) 生物质燃气过滤器开始带尘运行时不要开启清灰装置,应使灰尘慢慢积聚在滤袋外表面上,运行一段时间后,待高温过滤器阻力达到一定值时,再进行清灰处理,以利于滤袋表面建立原始过滤粉尘层,然后进行反复实验,以确定设备运行在最佳状态所需的清灰周期。当清灰系统刚启动时,清灰压力必须尽可能低,因为滤料仍有较高的初始透气量,并不需要强烈的清灰。粉饼在较低的清灰压力下比较易于清除。开始时过高的清灰压力会造成过度清灰和糊袋,尤其是有较强流动性的细小粉尘时。

4 结论

(1) 对生物质燃气中灰尘粒径分布进行了分析,不同气化方式下,经一级旋风除尘后,小于 $10 \mu\text{m}$ 的灰尘颗粒累计体积分数均超过 10%,固定床灰尘粒径分布呈双峰形,流化床灰尘粒径分布呈单峰形。

(2) 根据生物质燃气中固相杂质的排放特点,提出了生物质燃气净化除尘的工艺技术看案,并在生物质气化系统中进行了运行实验,生物质燃气经净化除尘后,焦油和灰尘含量能控制在 $20 \text{ mg}/\text{m}^3$ 以下。

(3) 设计了适用于生物质燃气净化的高温过滤器,进行了工程应用,过滤气速推荐 $1.2 \text{ m}/\text{s}$ 左右,在燃气温度高于 200°C 时运行,根据系统运行状况确定清灰周期。

参考文献

- [1] 吴创之,阴秀丽,刘华财,等.生物质能分布式利用发展趋势分析[J].中国科学院院刊,2016,31(2):191-198.

(下转第 259 页)

压蒸汽工艺不仅进行了能量交换,还进行了介质交换^[6]。

2 工艺对比

以上主要介绍了导热油热量回收利用工艺、高

温水热量回收利用工艺、高温水回收闪蒸低压蒸汽热量利用的工艺流程及传热过程,下面将从这3种热能转换的介质成本、热能转换系统设备投资、安全性、环保、热量利用率等方面加以对比,详见表1。

表1 3种热量转换工艺对比分析

工艺	介质成本	系统构成及投资成本	安全性	环保风险	热量利用率
导热油热量回收转换工艺	导热介质为导热油,介质补充成本较高,8000~10000元/t	主要设备包括导热油储罐、油泵、定压罐,系统配置大量导热油泵,导致总体成本相对较高	导热油热稳定性高,相对于水不易出现高温气化;导热油存在泄漏燃烧着火风险	导热油系统对外部环境存在影响	热利用效率较高,且在同等压力下可承载更高的自身温度
高温水热量回收转换工艺	介质为除盐水,单位成本相对较低,8~10元/t	主要设备为高温水罐、定压罐、高温水泵、板式换热器,特定的板式换热器价格昂贵,导致总体成本较高	高温水热稳定性差,在实际控制时如还原出口温度过高,会出现局部汽化,系统有失压风险	介质为除盐水,对外部环境无影响	因产热与用热工艺侧依靠高效板式换热器进行热交换,其热量利用率相对较低,为保证有效换热,对高温侧还原回水热品位要求严格
高温水闪蒸低压蒸汽转换工艺	介质为除盐水,单位成本相对较低,8~10元/t	主要设备为水罐、闪蒸罐、高温水泵,设备相对简单,投资相对较低	因还原回水进闪蒸装置,回水局部汽化对系统影响较小	介质为除盐水,对外部环境无影响	利用还原回水产生闪蒸汽,热利用率相对较高

3 结语

经对上述3种多晶硅生产系统热量转换工艺的对比分析可知,高温水闪蒸低压蒸汽转换工艺具有介质及设备投资成本低、安全环保风险低、热利用率高等多方面的优势,将是未来发展的主流工艺。实际生产中,还应结合具体的热量利用情况,尽可能做到热量的综合回收和高效利用,尽可能科学配置全厂热量平衡系统,达到较高的热量利用效率。

参考文献

- [1] 张超,尚保卫.多晶硅生产中节能降耗研究[J].化工管理,2016,(8):229.
- [2] 杨友麒.企业公用工程系统节能减排的发展现状[J].现代化工,2010,30(12):1-6.
- [3] 蒋荣华,肖顺珍.国内外多晶硅发展现状[J].半导体技术,2001,26(11):7-10.
- [4] 中国电子材料行业协会.2008年多晶硅产业技术与市场论坛论文集[C].徐州,2008:40-50.
- [5] 石何武,杨永亮,姜利霞,等.多晶硅生产系统高温水的利用优化实践[J].有色冶金节能,2019,35(5):9-12.
- [6] 王惠,张伟,宋高杰,等.多晶硅生产过程中的热能利用系统和方法:CN108117079B[P].2019-08-16.■
- [7] 孙立,张晓东.生物质发电产业化技术[M].北京:化学工业出版社,2011.
- [8] 郎林,谢建军,杨文申,等.改性陶瓷管高温净化生物质粗燃气的研究[J].工程热物理学报,2014,35(8):1665-1668.
- [9] 张强,常厚春,容敏智.陶瓷多管旋风除尘器在生物质气化工艺上的应用[J].广州化工,2015,43(4):74-76.
- [10] 董玉平,董磊,强宁,等.旋风分离器内生物质焦油湍流特性的数值模拟[J].农业工程学报,2010,26(9):171-175.
- [11] 时铭显,刘隽人,刘国荣.PFBC高温燃气旋风分离器的性能分析[J].东南大学学报,1992,22(增刊):14-19.
- [12] 李晓霞,闫桂焕,孙荣峰,等.生物质燃气高温过滤材料的研究[J].环境工程学报,2008,2(10):1389-1392.■
- [3] 马隆龙,吴创之,孙立.生物质气化技术及其应用[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [4] 孟凡华,杨天华,孙洋,等.生物质燃烧过程中碱金属迁移转化研究进展[J].可再生能源,2010,28(5):111-114.
- [5] 常轩,齐永锋,张冬冬,等.生物质气化技术研究现状及其发展[J].现代化工,2013,33(6):36-40.
- [6] 鲍振博,靳登超,刘玉乐,等.生物质气化中焦油的产生及处理方法[J].农机化研究,2011,33(8):172-176.
- [7] 金亮,童瑞明,周劲松,等.生物质燃气焦油产率及其净化[J].农业工程学报,2010,26(S2):259-263.

(上接第256页)