

生物质热解气中固体颗粒的分离方法综述

李美莲, 柏雪源*, 李永军, 高晓凤

(山东理工大学 农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255049)

摘 要:根据生物质热解产物的特点和生物质热解液化技术对除尘器的要求,比较了几种适合于干式除尘的除尘器及除尘方法。介绍了生物质热解液化技术中除尘装置的研究发展,指出了目前仍然存在的问题。

关键词:生物质;热解气;固体颗粒;分离方法

中图分类号:TQ351

文献标识码:A

文章编号:1673-5854(2012)03-0049-07

The Separation Methods of Solid Particles in Biomass Pyrolysis Gas

LI Mei-lian, BAI Xue-yuan, LI Yong-jun, GAO Xiao-feng

(School of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract: According to the characteristics of product in biomass pyrolysis and the requirements of biomass pyrolysis liquefaction technology on dust collector, several suitable dust collectors and methods for dry dust removal were compared. The current development of dust removal equipment used in the pyrolysis of biomass were presented. The existing problems were pointed out in this paper, as well.

Key words: biomass; pyrolysis; solid particles; separation

生物质热解液化是指生物质在完全没有氧或者缺氧的条件下进行快速热解,最终生成生物质炭、可冷凝气体和不可冷凝气体。生物质炭可以通过一定的手段来制取活性炭^[1],也可以燃烧,为生物质热解提供热量来源;可冷凝气体经冷凝后便得到生物质油,进一步优化处理以后就可得到在一定程度上可以取代化石燃料的优质的生物油。生物质热解液化实现了将低品位的生物质能转化为高品位、易运输、易储藏并且使用方便的液体燃料。

生物质热解反应后的固体产物生物质焦炭随着热解气进入后续冷凝装置,热解气中的焦炭在冷凝过程中会产生不利影响,如在冷凝管道内集结而堵塞管道。另外,炭能够催化热解气的二次热解,使可冷凝的挥发分裂解成不可冷凝气体,从而降低生物油的产量。炭粒的存在还会给生物油的存储和燃烧带来很多的不利影响,如炭粒在生物油的保存过程中逐渐团聚,并吸附一些生物质裂解物形成沥青状的沉淀物,还以催化剂的形式加速生物油的老化,不利于生物油的长期储存,降低生物油的品质,严重影响生物油的工业应用^[2]。因此热解气在冷凝前的净化对整个热解系统的进行和提高生物油的品质具有重要的意义。

1 生物质热解产物的特点

在生物质热解液化工艺中,热解固体产物多为植物纤维性焦炭,夹杂有部分灰分。生物质焦炭的形状不规则,是针状物、细粉和片状物的混合体。热解气中的焦炭浓度大^[3],粒度小,黏附性很强,容易黏附在容器壁上。另外,由于热解气的温度变化,使得小部分冷凝的热解气与焦炭粘附,形成焦油状物质,

收稿日期:2011-09-26

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助(2011BAD22B07)

作者简介:李美莲(1983-),女,山东潍坊人,硕士生,主要从事生物质热解技术中炭粉除尘方面的研究;E-mail:qingcaoli@163.com

* 通讯作者:柏雪源(1960-),男,安徽泗县人,教授,博士,硕士生导师,主要从事生物质利用技术方面的研究;E-mail:baixy@sdut.edu.cn。

黏附在器壁上不易清除。取适量焦炭和蒸馏水制成质量浓度为 0.6 g/mL 的溶液,用 Winner2000 激光粒度分析仪测试,分析结果如表 1 所示。

从表 1 可以看出,生物质焦炭的粒径 $d_{10} = 8.55\text{ }\mu\text{m}$, $d_{25} = 21.18\text{ }\mu\text{m}$, $d_{50} = 37.10\text{ }\mu\text{m}$, $d_{75} = 74.41\text{ }\mu\text{m}$, $d_{90} = 198.33\text{ }\mu\text{m}$ 。小于 $30\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒占总数的 39.24%,小于 $80\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒占总数的 76.42%,平均粒径 $d_{\text{av}} = 66.30\text{ }\mu\text{m}$ 。 $S/V = 2\,817.54\text{ cm}^2/\text{cm}^3$ 。热解气中小于 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的焦炭基本没有,小于 $5\text{ }\mu\text{m}$ 的焦炭大约只占 3.39%,焦炭的粒径主要集中在 $25\sim 70\text{ }\mu\text{m}$ 之间。生物质热解气中的焦炭粒度分布大、不唯一、粒径小。

2 生物质热解液化技术对除尘器的要求

为了减少生物油中的焦炭,降低生物油的黏稠度,提高生物油的品质,在热解气进入冷凝装置前必须将焦炭除去。结合生物质焦炭的特点和生物质热解液化技术的要求,对应用在该技术中的除尘器有一定的要求。

首先,除尘器要能耐 $450\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温;其次,除尘器要有很好的保温效果和抗腐蚀性,避免热解气在除尘器中因温度变化而发生冷凝。如果保温效果不好温度发生变化,热解气与生物质焦炭生成焦油或者冷凝成少许生物油,这些酸性物质会黏附在器壁上,在高温条件下使设备加速老化;再次,热解气在除尘器中的停留时间要短,从反应器到冷凝器的时间小于 2 s ,炭分离速度要快,避免热解气在除尘器中发生二次裂解,降低生物油的产量;另外,设备的密封效果要好。生物质热解是在高温无氧条件下发生的裂解反应,如果密封性不好而混入空气,不仅会影响裂解产物的生成,而且可能会引起热解气的燃烧。

3 除尘方法

结合生物质热解液化技术的要求,热解气在通过除尘器时不能发生冷凝,所以只能考虑用干式除尘的方法。从国内外的研究现状来看,能实现气固分离的干式除尘器主要有:机械式除尘器、过滤式除尘和干式静电除尘器。

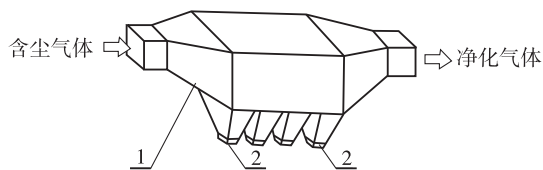
3.1 机械式除尘

机械式除尘器是利用物料自身的质量力(重力或离心力等)的作用使含尘气体中的颗粒与气流分开并捕集的装置。重力沉降室和旋风分离器是典型的机械式除尘器。

3.1.1 重力沉降室 重力沉降室是利用其通道截面积突然扩大和气流速度降低的原理,使得气流中的粉尘颗粒在自身重力的作用下沉降而实现气固分离,如图 1 所示。

3.1.2 旋风分离器 旋风分离器是利用含尘气体在分离器内做旋转运动,粉尘颗粒在离心力的作用下被抛向器壁,从而实现气固分离,如图 2 所示。

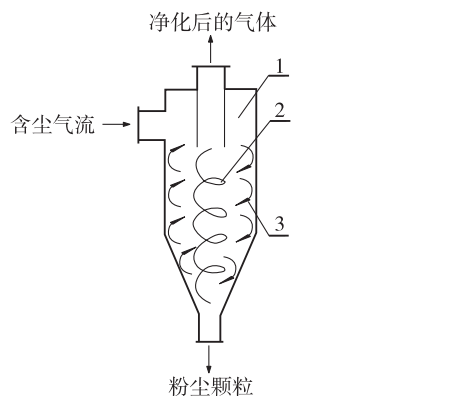
表 1 炭粉的粒度分布			
Table 1 size distribution of bio-char			
序号 No.	颗粒大小/ μm size	体积分数/% volume fraction	累积体积分数/% accumulate
1	0.10~0.12	0.00	0.00
2	0.12~0.15	0.00	0.00
3	0.15~0.18	0.00	0.00
4	0.18~0.22	0.00	0.00
5	0.22~0.26	0.00	0.00
6	0.26~0.32	0.00	0.00
7	0.32~0.39	0.00	0.00
8	0.39~0.47	0.00	0.00
9	0.47~0.57	0.00	0.00
10	0.57~0.69	0.00	0.00
11	0.69~0.84	0.00	0.00
12	0.84~1.02	0.00	0.00
13	1.02~1.24	0.00	0.00
14	1.24~1.51	0.00	0.00
15	1.51~1.81	0.06	0.06
16	1.83~2.22	0.19	0.25
17	2.22~2.70	0.38	0.64
18	2.70~3.28	0.63	1.27
19	2.28~3.98	0.90	2.17
20	3.98~4.83	1.23	3.39
21	4.83~5.86	1.83	5.23
22	5.86~7.11	2.40	7.63
23	7.11~8.64	2.52	10.15
24	8.64~10.48	2.43	12.58
25	10.48~12.73	2.49	15.07
26	12.73~15.45	2.99	18.06
27	15.45~18.75	3.60	21.66
28	18.75~22.76	5.52	27.17
29	22.76~27.63	8.11	35.28
30	27.63~33.54	9.88	45.16
31	33.54~40.72	9.77	54.93
32	40.72~49.43	8.01	62.94
33	49.43~60.00	6.57	69.61
34	60.00~72.84	5.09	74.60
35	72.84~88.42	3.96	78.56
36	88.42~107.33	2.83	81.39
37	107.33~130.29	2.06	83.45
38	130.29~158.17	2.28	85.73
39	158.17~192.00	3.54	89.27
40	192.00~233.07	4.71	93.98
41	233.07~282.93	4.23	98.21
42	282.93~300	1.76	100.00



1. 沉降室 settling chamber; 2. 灰斗 ash bucket

图 1 重力沉降室示意图

Fig. 1 Scheme of gravity settlement room



1. 筒体 barrel; 2. 内涡旋 inner vortex; 3. 外涡旋 outer vortex

图 2 旋风分离器的工作原理图

Fig. 2 The basic principle of cyclone separators

3.1.3 两种机械式除尘器的对比 重力沉降室和旋风分离器都是在机械力作用下实现气固分离的。前者依靠的颗粒自身的重力,很显然重力沉降室对于密度小的颗粒很难实现分离。重力沉降室的除尘效率比较低,一般只能除去粒径大于 $50\ \mu\text{m}$ 的大颗粒^[4],而且占地面积比较大,清理积尘比较困难。后者是在离心力作用下将颗粒进行分离的,只要满足颗粒到达器壁的时间小于等于气体旋转向上到达排出口的时间,就可以实现气固分离。由于生物质炭的粒度小、密度小、质量小,所以重力沉降室不适合用于生物质热解工艺中。相比较而言,旋风分离器比重力沉降室更适合用于生物质热解气的除尘。

3.2 过滤式除尘

过滤式除尘器是让含尘气体通过由多孔材料制成的滤袋、填料层、过滤器等进行过滤,从而实现气固分离。

3.2.1 袋式除尘器 含尘气体经过过滤袋时,粉尘被截留,在惯性碰撞、静电荷扩散等作用下,在滤袋表面形成粉尘初层,以后的过滤过程主要是依靠粉尘初层进行的。随着过滤材料的不断改进创新,除尘效率也随之升高。由异型纤维制成的滤料的过滤效率要大于圆形纤维,尤其是对于直径大于 $1\ \mu\text{m}$ 的微粒表现更为突出^[5]。袋式除尘器可以有效地去除直径小于或等于 $10\ \mu\text{m}$ 甚至直径小于或等于 $2.5\ \mu\text{m}$ 的微细颗粒,效率可达 99.99%,实验表明经过袋式除尘后的粉尘浓度一般都在 $30\ \text{mg}/\text{m}^3$ 以下,甚至低于这一数值。另外,对于垃圾焚烧需要的 $5\ \text{mg}/\text{m}^3$ 以下低浓度的排放要求,目前也只有袋式除尘技术能达到^[6]。

3.2.2 陶瓷过滤器 陶瓷过滤器是利用陶瓷材料的多孔性进行除尘的,其过滤元件的过滤是吸附、表面过滤和深层过滤相结合的一种过滤方式,其过滤机理主要为惯性冲撞、扩散和截留。随着不同过滤元件在应用上的推进,各种陶瓷过滤除尘器也得到了改进。美国 Buell 公司、美国西屋公司以及美国电力研究所、美国 Acurex 公司分别对陶瓷纤维布袋式过滤器和陶瓷纤维毡过滤器进行了实验研究,过滤速度分别为 $0.033\ \text{m/s}$ 和 $0.1\ \text{m/s}$,除尘效率分别为 99.7% 和 99.9%。德国 BWF 公司、英国 Industrial Filter & Pump 公司、芬兰的 Foster Wheeler 公司都对试管过滤器做了研究,除尘效率高。荷兰 Delft 工业大学在实验装置上安装了 3 个美国 Ceramem 公司生产的蜂窝式过滤元件,在 $800\ ^\circ\text{C}$ 下 25 h 的运行结果表明,该过滤器的反吹性能好,没有出现粉尘阻塞通道的现象。

3.2.3 金属微孔过滤器 利用金属微孔过滤材料制成的过滤元件,对含尘气体进行除尘。金属微孔过滤材料具有良好的耐温性、抗热、抗震性,金属微孔过滤器具有很好的加工性能和焊接性能。近年来,国内外大力开展了对高性能金属过滤材料的研究。其中,Fe-Al 金属间化合物和 310S(不锈钢、镉、镍含量高)具有抗高温氧化和耐硫腐蚀性性能而受到广泛关注。在美国和英国等许多工业公司已经生产出多种金属过滤材料。在实验研究方面也有一定的进展,Alvin^[7] 实验研究了金属过滤材料在 PEBC 工作环境下的情况。Novick 等^[8] 采用实验室合成气体模拟煤气环境,研究了 Fe_3Al 烧结滤材在还原气氛下的耐腐蚀性,对于粒径 $>14.5\ \mu\text{m}$ 的过滤效果为 99.89%。我国的安泰科技公司^[9] 用 310S 烧结的金属丝

网过滤材料对高温煤气进行除尘实验研究,净化后煤气含尘量在 10 mg/m^3 以下,过滤效果达到 99.9%。

3.2.4 颗粒层过滤除尘器 颗粒层过滤除尘器是利用物理和化学性质非常稳定的固体颗粒组成过滤层,通过惯性碰撞、扩散沉积、重力沉积、直接拦截、静电吸引的过滤机理来实现对含尘气体的过滤,具有耐高温、持久性好等特点。日本的采煤研究中心和川崎重工业公司联合开发了移动床颗粒层过滤器,并将其用于热煤气的除尘进行了实验,飞灰质量浓度为 $1\sim5\text{ g/m}^3$,实验测得的除尘效率达到 99.8% 以上。美国 Combustion Power 公司和西屋公司联合开发的移动床颗粒层过滤器,由美国能源部资助,在纽约大学 PFBC 设备上进行了实验,运行温度为 $870\text{ }^\circ\text{C}$,除尘效率达到 99.1%。我国国家电力公司国电热工研究院研究开发了无筛移动逆流式颗粒层过滤器,并在常压、高温除尘过程中对其进行了结构和参数优化实验研究,从理论上提出了提高细微尘粒除尘效率的方法。

3.2.5 几种过滤式除尘器的比较 袋式除尘器的除尘效率较高,而且对微细颗粒也有很好的收集效果。陶瓷过滤器在应用中会出现管件和管板密封不好的现象,过滤膜孔隙会出现永久性堵塞而导致压力降持续增大,陶瓷长时间在高温下会出现微裂缝并且裂缝会一直蔓延,最终导致陶瓷出现热疲劳现象,这些都会影响到它的耐久性和可靠性。金属微孔过滤材料在高温下一般会表现出金属的固有特性,即随着温度的不断增加金属强度会下降。因此,在使用金属微孔过滤器时,要想保持金属微孔的高强度就存在着最高使用温度的限制。从颗粒层除尘器的过滤机理来看,对细微尘粒的捕集效率不高,大量过滤介质在床外循环能耗大且磨损大。4 种过滤式除尘器有一个共同特点就是当附着在过滤器上的粉尘不断增加时就必须及时清除过滤器壁表面上附着的灰尘,通常采用的是让压缩空气以脉冲的方式反吹到过滤管内,使积附在过滤器表面的粉尘层被除掉,粉尘最终经排灰系统排出。这一特点给过滤式除尘器在生物质热解技术中的应用带来一定的限制,当过滤式除尘器需要外来脉冲气体进行定期除去附着在滤层上的灰尘时,会引起设备内温度的变化,这样热解气通过时会生成焦油或冷凝成少许生物油,使灰尘黏附在过滤层上,很难清除。

布袋式除尘不适合用于热解气冷凝前的除尘。过滤式会造成压力损失、需反吹,即使用也只能作为末级。

3.3 静电除尘

静电除尘器是在高压静电作用下,使尘粒带有负电荷后,在电场力的作用下,向带有正电荷的极板方向运动,当尘粒到达极板后交出负电荷,开始黏附在收尘极板的板面上,形成灰尘集聚物。然后用振打装置敲击极板,对灰尘集聚物产生冲击,使其脱落进入灰斗被排除,如图 3 所示。美国对静电除尘器在 $900\text{ }^\circ\text{C}$ 、 110 MPa 情况进行除尘研究,除尘效率为 90.0%~99.6%,捕获尘粒平均粒径为 $5\text{ }\mu\text{m}$,大约 20% 的尘粒粒径低于 $2\text{ }\mu\text{m}$ 。

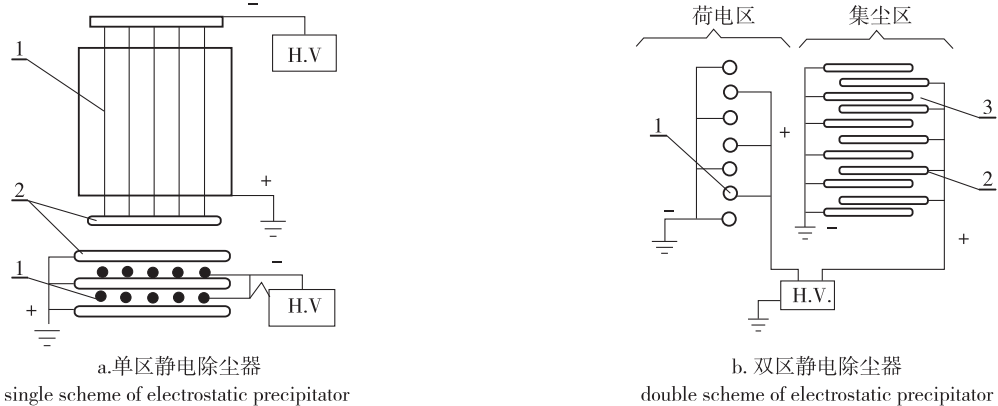


图 3 静电除尘器示意图^[10]

Fig.3 Scheme of electrostatic precipitator

静电除尘器在高温高压条件下应用时,对材料的稳定性和热胀性要求很高,并且静电除尘一次性投资较高,占地面积以及耗钢量大,是火电厂、冶炼厂等大型工厂的主要治污手段,在小型实验装置中应用的较少。另外,静电除尘对粉尘的比电阻和气体成分等性质很敏感,电极也会存在腐蚀的问题。生物质热解气具有一定的腐蚀性,在高温条件下会加快对电极的腐蚀。因此,在生物质热解液化的实验装置中应用静电除尘器的很少。

4 生物质热解技术中除尘装置的研究发展过程

查阅大量的参考文献,发现生物质热解液化技术中的除尘设备主要是旋风分离器。一般的发展趋势是:最先的热解设备中只安装了一级旋风分离器,因为最先的研究重点不在生物油的品质,而是在生物油的产率,一级旋风分离器就可以满足当时的需要。后来,发现单纯的使用一级旋风分离器出现了许多问题,如热解气中的炭粉除尘效率低、管道出现结焦堵塞、生物油易老化黏稠等等。人们的研究重点也开始逐步向提高生物油的品质,为解决出现的一系列的问题,对除尘器做了大量的研究工作。对分离器内气固两相流动进行数据模拟研究,充分认识含尘气体在分离器内的流动规律,以此为依据对分离器的结构做了很好的设计和改进,除尘效率在一定程度上有所提高。近年来人们对热解气净化提出了更高的要求,为了提高除尘效率,将旋风分离器串联,或者与其他除尘设备联合使用,确实取得了很好的效果。

4.1 除尘装置的问题

山东理工大学李永军等^[3]在利用下降管式生物质热解液化装置(如图4)进行热解实验的基础上,对旋风分离器的除尘效率做了实验分析,得出当生物质热解反应的温度和生物质喂入量基本保持稳定时,旋风分离器的除尘效率变化不大,除尘效率较低,一般在75%左右。这样冷凝后得到的生物油中不可避免地还会含有焦炭,焦炭可以加速生物油的老化,使其变得黏稠,品质降低。

郑州大学生物质热解液化的装置(如图5),在实验过程中出现了管道结焦堵塞的现象。张军等^[11]对此结焦堵塞进行了成因分析。他们对装置中的一级旋风分离器后生物质炭的密度、粒径等性质进行了测量,结果发现,一级旋风分离器主要是将大颗粒粉尘除去了。除了由于大颗粒的携带作用而除去的小部分细粉尘外,大部分细粉尘都从排气口排出了,通过对管道内结焦物进行实验分析后也证明了这一点。结焦物中生物质炭的质量分数为55.9%,90%的颗粒粒径在0.02 mm左右。可以看出,在生物质热解液化技术中一级旋风分离器很难实现生物质炭100%的分离,制得的生物油中细颗粒焦炭的含量较高。为了改善单级旋风分离器的不足,人们对旋风分离器本身进行了改进。通过改变旋风分离器的结构、尺寸比例、标准式改为扩散式等等,取得一定的效果。后来,考虑在系统中增设了二级旋风分离器,对生物质热解产物进行二次气固分离,除尘效率又一次得到了提高。郑州大学在原有生物质热解液化装置的基础上增加了二级旋风分离器后,实验测得二级旋风分离器捕获颗粒多为0.012 mm左右的生物质炭颗粒,有效降低了系统中生物质热解气的含尘量,不仅改善了管道结焦堵塞的状况而且还降低了生物油中炭粒的浓度,提高了生物油的品质。

查阅参考文献发现,生物质热解液化技术中最初都遇到过这样的问题,单独使用一级旋风分离器很难满足要求,分离效率很低。增设二级旋风分离器后效率会有所提高,但由旋风分离器的结构性质决定旋风分离器对于粒径小于5 μm 的颗粒很难分离。这样的话,如果再增加旋风分离器,虽然有可能会提高总的分离效率,但是会增加压力损失,也会增加热解气在除尘器中的停留时间,增加二次裂解的机会。从前文可以看出,热过滤器的除尘效率比旋风分离器高,可以有效的除去几个微米大小的颗粒,但是如果单独使用热过滤器,由于热解气中的焦炭浓度很大,很容易短时间在器壁上形成积炭层,频繁使用脉冲反吹清灰不仅会增加整个系统的阻力和负荷,还会引起热解气的温度变化。此外,生物质热解气用过滤器分离炭粒的同时,炭粒会吸附一些胶质颗粒或木质素裂解物形成积炭;聚集在过滤器上的焦炭不可避免地会造成热解挥发分的二次裂解,而且部分缩聚反应还会生成大分子物质粘附在过滤器表面,增加了清理过滤器的难度^[7],还会造成液体产率下降10%~20%^[12]。

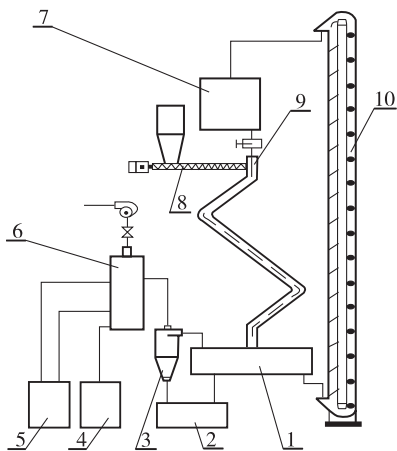


图4 下降管式生物质热解液化装置

**Fig.4 Down flow tube type biomass fast
pyrolysis liquefaction apparatus**

4.2 不断改进中的除尘装置

从整体效果来看,为了有效地提高焦炭分离效率,考虑到旋风分离器串联或者与热过滤器相结合的方法。国内外也都有用这种结合方式来实现热解气中焦炭分离的例子。

美国可再生能源实验室(NREL)研制出的烧蚀涡流反应器,其流程如图6所示。1995年,该实验台在原来系统的基础上将反应器改为垂直的,并且在旋风分离器后增加了热蒸汽过滤装置,改进后的实验系统可获得更为优质的生物油。因为在旋风分离器后安装了热过滤设备,热解气在冷凝过程中有效地防止了微小的焦炭颗粒混进生物油,同时这也使得生物油中的灰分质量分数低于0.01%,并且碱金属含量也很小。

由于旋风分离器过滤小粒径颗粒的局限性,两级旋风分离器也不可能完全除去炭粉颗粒,因此,不可避免地会在尾部管路中有所聚集,尤其是阀门、弯管、变截面附近焦炭聚集现象比较严重,如果保温效果不好,热解气在管道中提前冷凝,并且粘结焦炭堵塞管道,导致实验难以实现连续运行。同时,生物油中也不可避免的会存在固体不溶物,影响生物油的品质与后续利用。经改进后,浙江大学^[13]在已有两级旋风分离器的基础上加装陶瓷过滤,见图7。热解气体从两级旋风分离器出来之后,通过陶瓷过滤,

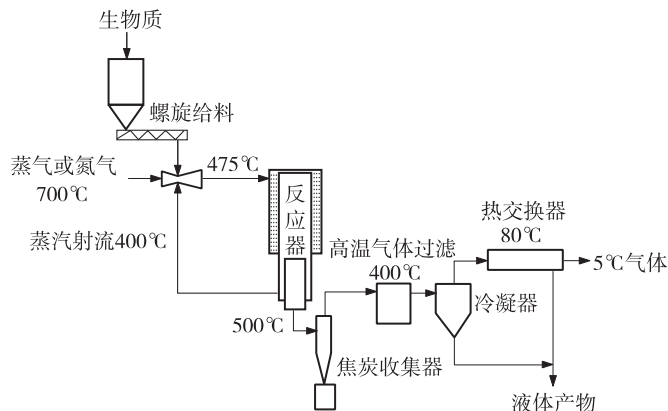


图 6 NREL 实验台流程图

Fig. 6 Flow chart of NREL experimental setup

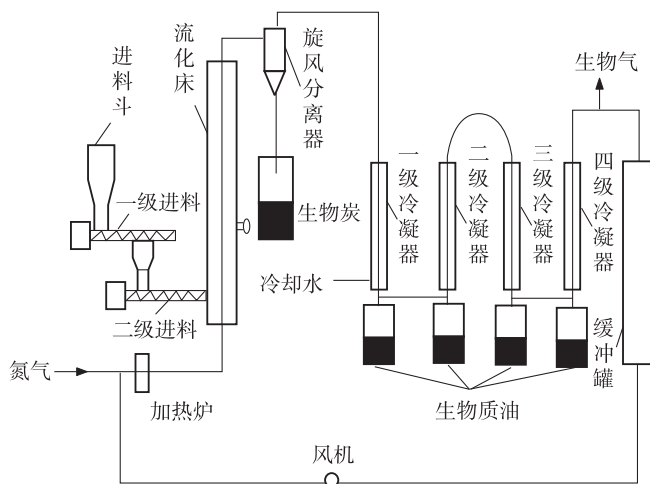


图5 热解液化反应流程示意图

Fig. 5 Fast pyrolysis liquefaction apparatus

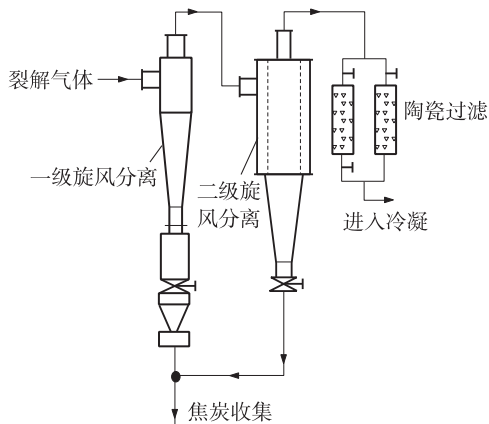


图7 生物质快速热裂解装置炭分离系统

Fig. 7 Separator of char from biomass fast pyrolysis

提高了焦炭的脱除效率,减少了生物油中炭的含量。另外,中国科学院过程工程研究所利用旋风分离器与丝网过滤器组合^[14]也很好地实现了焦炭和灰分的分离,脱灰效率达 99% 以上。

4.3 目前仍面临的问题

查阅资料发现,国内外的生物质热解大多数是以热气体作为载体对生物质粉进行加热实现热解的,热解后的气体中有一部分是通入的热载气,这样气体中炭粉的浓度一定程度上被稀释了。资料上对除尘器的大量实验研究也大多是在循环流化床上进行或者模拟进行的,这些研究得出的结论和操作参数并不适合高浓度的炭粉除尘装置。如何将热解气中高浓度的炭粉有效的除去,在高温、高浓度条件下,热解气除尘器的结构及设计参数的选择等还需要做进一步的实验研究。从除尘装置的发展趋势来看,旋风分离器与热过滤器结合是一种值得借鉴和进一步研究的除尘方法。另外,旋风分离器与小型静电除尘器结合也值得进行实验性研究。

5 结 语

- 5.1 适合于生物质热解液化技术的除尘器主要有旋风分离器和热过滤器。
- 5.2 机械式除尘中的重力沉降室只能除去大颗粒的灰尘,而且除尘效率也不高。因此,在生物质热解气中固体颗粒的除尘不适用。旋风分离器对于 10 μm 以上的颗粒都可以除去,除尘效率相对于重力沉降室要高很多,在生物质热解液化技术中的应用最广。
- 5.3 热过滤技术的除尘效率要比旋风分离器高,可以除去几个微米大小的颗粒,但是如果单独使用热过滤器会增加系统的阻力和负荷,另外需要用外来脉冲清除积灰,这样会引起除尘器中的温度变化,使热解气部分冷凝成生物油,降低生物油的产量。
- 5.4 干式静电除尘的一次性投资高,在小型实验装置中应用较少。另外,静电除尘对粉尘的比电阻和气体成分等性质非常敏感,电极也存在腐蚀问题。
- 5.5 针对旋风分离器对微小颗粒很难分离的局限性,旋风分离器与热过滤器结合是一种很好的除尘方式,分离效率可达 99%。

参考文献:

[1]王栋. 生物质热裂解试验研究及热裂解产物利用[D]. 杭州:浙江大学硕士学位论文,2004.

[2]姚燕,王树荣,王琦,等. 生物油替代动力燃油的研究[J]. 动力工程,2007,27(3):458-462.

[3]李永军,易维明,柏雪源,等. 下降管式生物质热解液化技术中的除尘设备[J]. 农机化研究,2009,4(4):187-190.

[4]熊振湖. 大气污染防治技术及工程应用[M]. 北京:机械工业出版社,2003:66-67,258-267.

[5]梁珍,沈恒根. 袋式除尘高温过滤材料特性研究[J]. 建筑科学,2010,10(10):88-92.

[6]新井纪男. 热解生成物的发生与抑制技术[M]. 赵黛青,等,译. 北京:科学出版社,2001:481-492.

[7]ALVIN M A. Assessment of metal media filters for advanced coal-based power generation applications[J]. High Temperature Gas Cleaning, 1999,18(7):110-116.

[8]NOVICK V J, AHLUWALLIA R K. Performance of an iron aluminide metal filter in a reducing environment[J]. Materials Engineering and Performance,2001,10(3):349-357.

[9]况春江,方玉诚,刘立新,等. 高温气体介质过滤除尘技术和材料的研究[C]//第十一届中国国际过滤材料研讨会论文集. 上海:上海交大出版社,2000,71-76.

[10]王显龙,何立波,贾明生,等. 静电除尘器的新应用及其发展方向[J]. 工业安全与环境,2003,29(11):3-6.

[11]张军,高希培,贺海燕,等. 生物质热解液化装置结焦成因及除结焦研究[J]. 林业机械与木工设备,2008,10(10):16-18.

[12]朱锡锋,陆强. 生物质快速热解制备生物油[J]. 科技导报,2007,25(21):69-75.

[13]方昭贤. 不同种类生物质热裂解液化试验研究[D]. 杭州:浙江大学硕士学位论文,2008.

[14]中国科学院过程工程研究所. 汽爆秸秆发酵剩余物热解制备液体燃料的方法及装置:中国,200510011104.3[P]. 2005-01-11.