

Improvement and Analysis of Biomass Pyrolysis Liquefaction Devices

Xinling Ma, Xiangrui Meng, Xinli Wei, Jun Zhang

School of Chemical Engineering and Energy, Zhengzhou University, Zhengzhou, China, 450001

Email: xinlingma@zzu.edu.cn

Abstract: In view of the problems of fluidized-bed biomass pyrolysis liquefaction devices designed independently that biomass materials cannot be fed smoothly and uniformly because of easily hanging in the air or sticking on the wall of the storage bin, exhaust gas will pollute the air, accompanied by the increase in the cost of the experiment if it releases into the atmosphere, and the condenser pipe is plugged on account of the mixtures of bio-oil and bio-carbon particle getting together and conglomerating on the wall, we make the following improvements: the spring steel bar is set in the storage bin, exhaust gas is collected and cycled instead of N₂ as carrier gas, based on original separation system the second cyclone separator is installed. Experimental analysis showed that the improved devices achieve more satisfactory results.

Keywords: biomass pyrolysis; device improvements; feeding system; exhaust cycle; cyclone separator

生物质热解液化装置的改进与分析

马新灵, 孟祥睿, 魏新利, 张军

郑州大学化工与能源学院, 河南郑州, 中国, 450001

Email: xinlingma@zzu.edu.cn

摘要: 针对自行开发研制的流化床生物质快速热解液化实验装置存在的问题: 进料系统中物料容易悬料、挂壁, 导致进料不均衡; 尾气直接排入大气, 既污染空气又使实验成本大大提高; 生物油和生物炭颗粒的混合物易焦结在冷凝器壁引起管道堵塞, 对原有设备进行了下列改造: 在进料系统设置弹簧杆构件, 将尾气收集循环代替高纯氮气作为载气使用, 在原分离系统上加装二级旋风分离器。实验结果和分析表明, 装置改进后取得了较满意的效果。

关键词: 生物质热解; 装置改进; 进料系统; 尾气循环; 旋风分离器

1. 引言

生物质热解液化是当前可再生能源研究的方向之一。在借鉴前人研究热解装置^[1-2]的基础上, 本课题组自行开发研制了一套流化床生物质快速热解液化实验装置, 如图 1 所示。该装置由进料系统、流化床反应器、旋风分离系统、冷凝系统以及管道、阀门等组成。

由双螺旋进料系统送入的生物质原料(杨树木屑)和经箱式加热炉预热的载气(高纯氮气)分别送入流化床反应器; 木屑在反应器中以较高的升温速率加热到 500℃左右, 快速热解为可凝气体(乙酸, 丙酮和甲醇等)、不可凝气体(一氧化碳, 氢气和甲烷等)和固体生物炭; 热解产物经旋风分离器分离出生物炭, 被收集在集碳箱中, 气体产物依次进入四级冷凝器, 其中可凝气体冷凝成生物油后被收集在冷凝器下端的

集油器中, 从末级冷凝器流出的不凝气体(包括未参与热解反应的载气)最初被排入大气, 在后来的改进中把它作为载气循环利用。

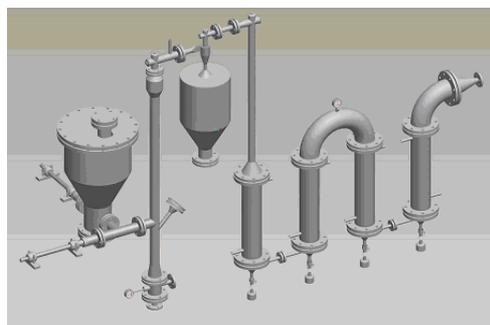


Figure 1. Simplified diagram of biomass pyrolysis devices
图 1. 生物质热解液化装置简图

2. 原装置存在的问题及改进

该装置在运行过程中暴露出一些缺陷：生物质原料容易在料仓内悬料或者挂壁，导致进料速度不均衡；不凝气体除了含有大量氮气外，还有些小分子有机蒸气，它们直接排入大气，既污染环境又造成实验成本的提高；生物油和生物炭的混合物易焦结在冷凝器管壁引起管道堵塞，从而影响冷凝效果及生物油的产率。

2.1 螺旋进料系统

进料系统是热解液化实验的关键部分，保证系统稳定均匀进料至关重要。生物质原料颗粒形状不规则，表面多毛刺，颗粒之间以及颗粒与其他物体之间的粘附性较强，导致其流动性很差。从而出现架桥、悬料挂料现象，螺旋槽填充程度不够、出料低、停料等问题，更严重时会出现螺旋反料和系统串气现象^[3]。

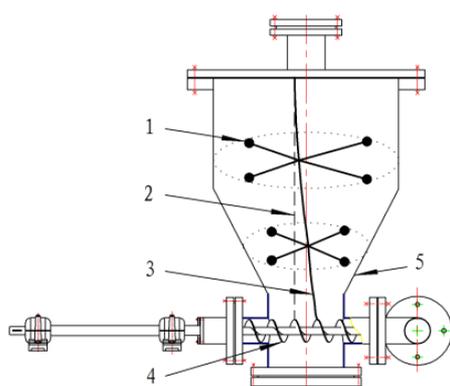


Figure 2. Spring steel bar components

图 2. 弹簧杆构件

- 1.触头 2.弹簧杆初始位 3.弹簧杆回弹位 4.一级进料螺杆 5. 贮料筒

针对上述问题，在现有设备的贮料筒中设置图 2 所示的弹簧杆构件。弹簧杆上端固定于贮料筒的端盖上，下端自由垂下正好位于一级螺杆的螺槽。工作时自由端随着一级进料螺杆的旋转而向前移动，到一定程度时自由端到达螺杆螺楞的顶部，弹簧杆快速回弹至起始位置，完成一个工作周期。为了增强扰动效果，在弹簧杆上安装两个星形支架。随着弹簧杆的往复运动，弹簧杆和星形支架在贮料筒内搅动物料，从而阻止物料架桥，触头往复撞击贮料筒壁，防止物料挂壁。

2.2 尾气循环利用

原有热解装置是将末级冷凝器流出的不凝气体

(尾气)直接排入大气。尾气的主要成份有 NH_3 、 CO 、 CO_2 、 H_2 、 CH_4 等，直接排出将污染环境。此外，本实验使用高纯氮作载气，其作用是维持系统的无氧环境并作为载热体，本身不参与反应，所以流出系统的氮气等于流入系统的量。在实验过程中需要源源不断地向系统内加入新的氮气，从而造成了实验成本的大幅提高。因此，在原有装置的基础上增设尾气循环系统，将原来直接放空的尾气过滤后打入缓冲罐，作为载气循环使用，从而降低了生物质液化的成本，并能使能量充分利用。尾气循环利用系统的流程设计如图 3 所示。

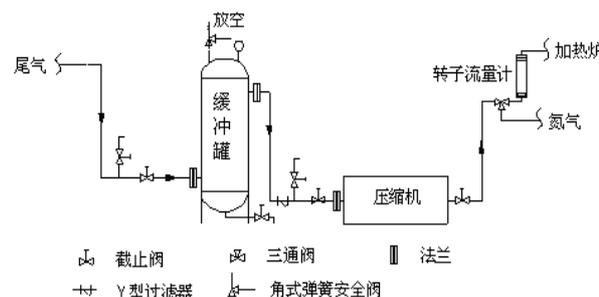


Figure 3. Flow chart of exhaust cycle system

图 3. 尾气循环利用系统的流程图

2.3 旋风分离器

在实验过程中，随着实验次数的增加生物油的产量逐渐减少。检修时拆开冷凝装置，发现法兰封头、冷凝管壁上堆积有大量的生物炭和焦油的混合物。说明生物炭未被彻底分离，进入冷凝器后与冷凝下来的生物油混合、凝聚，附着在管壁和法兰上，引起管道堵塞，从而使可凝气体冷凝不彻底和生物油产量下降。

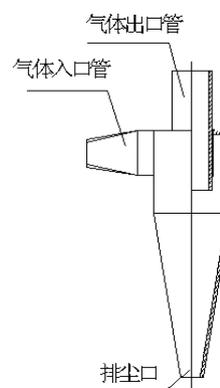


Figure 4. The second cyclone separator

图 4. 二级旋风分离器

为了解决结焦堵塞问题，提高生物油的产率，需要加装二级旋风分离器。在参考一级旋风分离器经验设计并对一级旋风分离器产物分析的基础上，设计并制造了二级旋风分离器，其结构如图4所示。

3 装置改进前后的对比分析

实验装置改进后，进行了实验研究和结果分析。与未改进之前相比，取得了较满意的效果。

3.1 改进前后的进料系统

本装置的进料系统为两级螺旋进料，杨木屑储存在贮料筒内由一级螺杆送入二级螺杆，二级螺杆再将其快速送入流化床。冷态实验时根据经验，选取一级螺杆转速分别为 13.25、20.75、29.75、38.75r/min、二级转速分别 300、400、500、600r/min，物料自贮料筒依次经由一级、二级螺杆送入流化床，然后由流化床底部落入预置容器中，收集并称量落入容器内生物质的质量，换算可得该转速下单位时间的进料量。

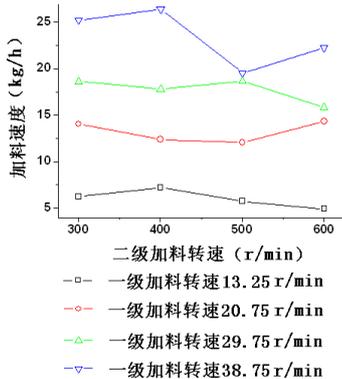


Figure 5. Feeding rate before improving
图 5. 改进前的进料速度

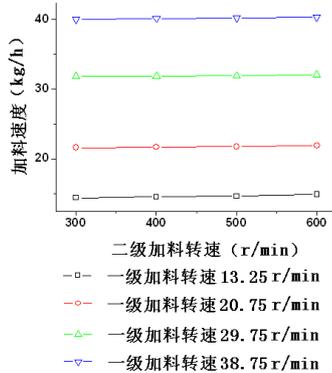


Figure 6. Feeding rate after improving
图 6. 改进后的进料速度

图 5、图 6 分别是改进前后进料速度与螺杆转速的关系。显然，在一级螺杆转速固定不变的情况下，设置弹簧杆之前二级进料速度波动较大、进料量小，改进之后进料速度波动极小、进料量大。改进前的较大波动主要是由贮料筒内的挂壁和悬料导致的无规则的进料减少和停止所致，改进后的较小波动为实验误差所致，该误差在允许范围内。改进后弹簧杆装置破坏了物料在贮料筒内的架桥和挂壁，相当于增加了螺旋输送机压缩段的有效长度，使物料在螺旋输送机内压实得更紧密，增大了填充系数，从而增大了进料量。

3.2 尾气循环之后的实验及分析

尾气循环装置改造完成之后，进行了生物质热解液化实验。实验初期因没有足够的尾气产生，仍采用氮气作为载气。待热解充分进行后，收集尾气样品进行色谱成份分析，同时将系统切换至尾气循环利用的状态。待足够时间、尾气充分循环后，再次收集尾气样品进行成份分析。表 1 和表 2 是这两种情况下尾气的组成成份和含量情况表（分别测了 3 组数据）。

Table 1. Composition and content of exhaust gas before cycle
表 1. 尾气循环之前的尾气成份和含量

成份	N ₂	H ₂	O ₂	CH ₄	CO	CO ₂	其他
每组样品的含量(v%)	91.02	0.46	0.89	1.64	3.28	1.40	1.31
89.95	0.70	0.86	1.66	2.49	2.30	2.04	
92.12	0.68	1.13	0.30	1.75	2.70	1.32	
平均值	91.03	0.61	0.96	1.20	2.51	2.13	1.56

Table 2. Composition and content of exhaust gas after cycle
表 2. 尾气循环之后的尾气成份和含量

成份	N ₂	H ₂	O ₂	CH ₄	CO	CO ₂	其它
含量(v%)	82.10	1.97	1.83	1.45	5.32	4.80	2.53
80.84	1.86	0.90	1.34	4.96	6.60	3.50	
78.51	2.34	0.76	1.71	6.86	6.00	3.82	

对比表 1、表 2 可知，随着热解反应的进行，收集的尾气成份不变，但各成份所占的比例有所变化。这是因为在尾气循环状态下，随着热解反应的进行，产生的不可凝气体在系统内不停地堆积，致使氮气所占比例下降而其余气体的比例上升。在反应条件、进料量、反应时间等都不变的情况下，分别收集没有尾气循环和尾气循环两种工况下所得的生物油、生物炭，

称重并进行成份分析。分析发现生物质油产量基本相等，主要成份亦无太大变化；生物炭产量也无差别。

因此，尾气循环系统的利用对生物质热解液化反应并无大的影响，但增加尾气循环后，可大大减少高纯氮气的需要量，极大地降低实验成本。

3.3 加装二级旋风分离器后的情况

在加装二级旋风分离器之前，采用数码图像分析显微镜对一级旋风分离器分离出的生物炭颗粒进行了取样分析，如图 7 所示。同时用标准筛对生物炭进行粒度分析，发现 300 目以上的炭粒占 11.3%，介于 180~300 目占 26.1%，180 目以下的炭粒占 62.6%^[4]。

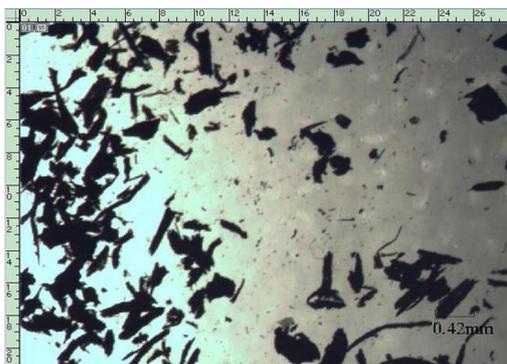


Figure 7. The form of carbon particles under the microscope
图 7. 炭粒在显微镜下的形态

对一级冷凝器管口处取出的堵塞物也进行了分析。该物质颗粒较大，黏性大，不易粉碎，是生物质油与生物炭的混凝物，如图 8 所示。



Figure 8. Blockage in the pipeline
图 8. 管道堵塞物

为了解混合物中生物炭的含量，以便更好设计二级旋风分离器，取一定量的堵塞物进行过滤、旋转蒸发，分析发现：堵塞物中生物炭的质量分数为 55.9%，重油为 36.4%，剩下的 8.7%为易溶解、已挥发的有机物质。对滤渣进行粒径分析，发现 90.0%颗粒的粒径在 0.02mm 左右，介于 400-600 目之间。可见，设计并安装二级旋风分离器是十分必要的。

根据旋风分离器的结构和尺寸，计算出一级、二级旋风分离器吸尘效率各为 50%时，分离出的颗粒粒径分别为 0.0227mm、0.0174mm，二级旋风分离器分离的颗粒粒径介于 800-900 目之间，粒径较小。实验测得二级旋风分离器捕获的多为 0.012mm 左右的生物炭颗粒，从而使结焦堵塞情况得到了明显的改善。

4. 结论

根据原有设备的运行情况，对自行开发设计的生物质快速热解液化装置在进料系统、尾气循环系统、气固分离系统等方面进行了优化改进。在进料系统设置了弹簧杆构件，从而解决了物料悬料、挂壁问题，增加了螺旋输送机压缩段的有效长度，使进料速度稳定，同样的螺旋速度下进料量更大。增加尾气循环系统之后，但减少了尾气对大气的污染，并降低了实验成本。加装二级旋风分离器之后，使气固分离更彻底，很大程度上降低了冷凝器的结焦堵塞问题，并有效提高了生物油的产率。

References (参考文献)

- [1] DAI Xianwen, ZHOU Zhaoqiu, WU Chuangzhi. Experimental Research of Biomass Pyrolysis Liquefaction Reactor for Circulating Fluidized Bed [J]. Chemical Reaction Engineering and Technology, 2000, 16(3), p263-269.
戴先文, 周肇秋, 吴创之. 循环流化床作为生物质热解液化反应器的实验研究[J]. 化学反应工程与工艺, 2000, 16(3), p263-269
- [2] Zhongyang LUO, Shurong WANG. Research on biomass fast pyrolysis for liquid fuel [J]. Biomass and Bioenergy, 2004, (26), 455~462..
- [3] HE Xinyan. Investigation on Equipment and Process of Biomass Pyrolysis and Liquefaction[D]. Zhengzhou University, 2008.
贺心燕. 生物质热解液化装置及工艺研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2008.
- [4] GAO Xipei. Research on Biomass Pyrolysis and Equipment Improvement[D]. Zhengzhou University, 2009.
高希培. 生物质热解液化实验研究及装置改进[D]. 郑州: 郑州大学, 2009.