

# SCFB-6 型自热式生物质快速热解设备的研制

车颜喆,田红星,王文亮,常建民

(北京林业大学 材料科学与技术学院,北京 100083)

**摘要:**介绍了自行研制的 SCFB-6 型自热式生物质快速热解设备,主要包括:加热系统、进料系统、反应系统、气固分离系统、冷凝系统以及监测控制系统。该装置工艺流程科学合理、节能高效,设备布局紧凑、运行稳定,运行成本低。

**关键词:**生物质;自热式;快速热解;加热系统

**中图分类号:**TK6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1002-2767(2013)05-0116-06

快速热解液化技术可以将低值生物质转换成高能量密度、高附加值生物油,被世界公认为最有发展潜力的转化技术<sup>[1]</sup>。然而,现阶段的热解规模大多停留在实验室小试、中试阶段,缺少产业化中试理论基础以及生产经验,以致没有成熟的工业化生产的工艺技术。其主要原因有以下两点:一是目前快速热解技术大多采用电加热方式,能耗大,运行成本高,加热效果不佳,严重阻碍了快速热解技术工业化放大及推广应用;二是热解尾气具有很高的热值,在传统热解技术中作为废气排放到空气中,造成大量的能源损失和环境污染,这也是影响快速热解技术产业化发展的重要因素。因此,迫切需要进行技术创新,研发节能、高效、环保的热解设备与技术,进而建立先进的工业化生产模式<sup>[2-5]</sup>。

该文介绍了具有自主知识产权的 SCFB-6 型自热式生物质快速热解设备及工艺技术,重点对加热系统及其它关键设备进行说明与讨论。

## 1 SCFB-6 型自热式生物质快速热解设备研制思路

针对传统生物质快速热解技术能耗大、加热效果不佳、尾气污染及能源浪费等缺点,在课题组自行研制的四代生物质快速热解设备的基础上,结合国内外快速热解设备及工艺技术研究概况,对传统的流化床式生物质快速热解系统进行技术创新,引入燃烧炉以及配套的烟气换热装置,作为全新的加热系统,以生物质热解尾气为燃料在燃

烧炉中燃烧,产生的高温烟气经过一系列的换热装置后,将热量传递给生物质原料及流化载气,从而达到为热解过程提供热量的目的。考虑到不同批次的生物质原料产生的热解尾气中杂质和水分含量不同,其平均热值也会有一定幅度的变化,因此在利用不可凝烟气进行燃烧供热的时候,向加热炉中通入液化气或者天然气作为辅助加热,既能持续稳定地为热解过程提供热量,也能通过调节其流量从而实现加热温度的精确控制。

该装置在课题组自行研制的处理量分别为 1、5、20 和 30 kg·h<sup>-1</sup> 等 4 代实验室规模以及 180 kg·h<sup>-1</sup> 中试规模的生物质快速热解设备的基础上,进行了技术创新,研制了处理量为 150 kg·h<sup>-1</sup> 的 SCFB-6 型自热式生物质快速热解设备,重点对加热系统、反应系统、进料系统、气固分离系统及冷凝系统等进行了创新设计和技术说明。

研制的 SCFB-6 型自热式生物质快速热解设备主要包括加热系统、反应系统、进料系统、气固分离系统、冷凝系统以及监控系统。工艺流程见图 1。

具体工艺流程如下:生物质颗粒由螺旋进料器 1 输送进入流化床反应器 2,在 500~600℃ 条件下进行快速热解生成热解气;热解气首先经过并联组合的旋风分离器 3 进行气固分离,分离出的热解炭进入集炭箱 4;热解气进入筛板式冷凝塔 5 进行冷凝,冷凝得到的生物油进入缓冲罐 6 中;未冷凝的热解气经过循环风机 7 后分为两部分,其中一部分经过载气预热器 8,与来自流化床反应器 2 加热夹套 11 的高温换热烟气 a 进行换热升温后,作为流化载气进入流化床反应器 2 中;另一部分不可凝烟气经过热量回收器 9,与来自载气预热器 8 温度较低的换热烟气 b 进行换热,使不可凝烟气预热升温后再进入燃烧炉 10。为了确保燃烧炉 10 能够稳定持续提供热解所需热

收稿日期:2013-03-15

基金项目:科技部农业科技成果转化资金资助项目(2010GB23600654)

第一作者简介:车颜喆(1988-),男,辽宁省抚顺市人,在读硕士,从事生物质能源研究。E-mail:382250846@qq.com。

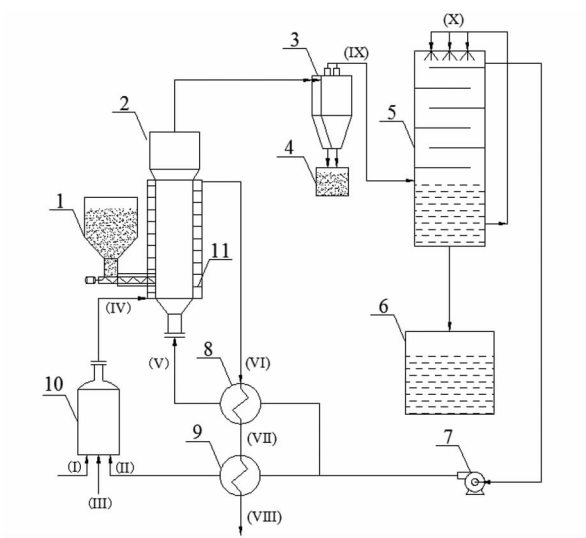


图 1 SCFB-6 型自热式生物质快速热解设备工艺流程  
Fig. 1 Technological Process of self-heating biomass fast pyrolysis equipment

1. 螺旋进料器; 2. 流化床反应器; 3. 旋风分离器; 4. 集炭箱; 5. 筛板式冷凝塔; 6. 储油罐; 7. 循环风机; 8. 载气预热器; 9. 热量回收器; 10. 燃烧炉; 11. 加热夹套

(I) 液化气; (II) 热解尾气; (III) 助燃空气; (IV) 高温烟气; (V) 流化载气; (VI) 换热烟气 a; (VII) 换热烟气 b; (VIII) 换热废气; (IX) 热解气; (X) 生物油

1. Screw feeder; 2. Fluidized-bed reactor; 3. Cyclone; 4. Charcoal box; 5. Sieve column; 6. Bio-oil vertical tank; 7. Circulating fan; 8. Carrier gas preheater; 9. Heat collector; 10. Burner; 11. Heating jacket;

(I) Liquid gas; (II) Pyrolysis end gas; (III) Combustion air; (IV) Flue gas; (V) Fluidizing gas; (VI) Heat exchanger flue gas for a; (VII) Heat exchanger flue gas for b; (VIII) Heat exchanger end gas; (IX) Pyrolysis gas; (X) Bio-oil

量,向燃烧炉 10 中通入液化气作为辅助热源,燃烧炉 10 中液化气、助燃空气、不可冷凝气混合后燃烧,产生的高温烟气进入加热夹套 11 中,高温烟气可以在较大的换热面积以及较长停留时间的条件下,对流化床反应器 2 充分加热,最后再依次经过载气预热器 8、热量回收器 9 后作为废气排空。

2 SCFB-6 型自热式生物质快速热解设备关键系统的研制

2.1 研制目标及基本设计参数

SCFB-6 型自热式生物质快速热解设备设计处理量为  $150\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ 。生物质原料为落叶松木屑,相关参数见表 1。

设流化床内反应温度为  $550^{\circ}\text{C}$ ,所选床料为陶瓷球,相关参数见表 2。流化载气为生物质热解产生的热解尾气,相关参数见表 3。

流化床反应器要求气相停留时间不超过  $2\text{ s}$ 。

2.2 加热系统

2.2.1 总体加热方案 为了实现快速热解的自热式生产以及热解尾气的完全循环利用,该研究采用燃烧炉以及配套的烟气换热装置,燃烧热解尾气和液化气而产生的高温烟气(高于  $1\,000^{\circ}\text{C}$ )由燃烧炉排烟口排出进入加热夹套,在较大的换热面积和较长停留时间的条件下,对流化床反应器进行充分加热;换热后的烟气温度降低至约  $800^{\circ}\text{C}$ ,再进入载气预热器与流化载气进行换热,使流化载气从常温加热到  $500^{\circ}\text{C}$  左右;烟气温度再次降低后,进入热量回收器与用于燃烧炉燃烧的热解尾气进行换热,热解尾气升温后有利于燃

表 1 生物质原料相关参数

Table1 Parameters of biomass material

生物质种类 Types of biomass	粒径/mm Particle size	堆积密度/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ Bulk density	比热容/ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ Specific heat capacity	含水率/% Moisture content
落叶松木屑	0.5~1.2	152	750	10~15

表 2 所选床料相关参数

Table 2 Parameters of bed materials

床料种类 Types of bed material	温度/ $^{\circ}\text{C}$ Temperature	密度/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ Density	堆积密度/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ Bulk density	粒径/mm Particle size	比热容/ $10^3\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ Specific heat capacity
陶瓷球 Ceramic ball	20	2580	1580	0.5	0.882
	550	2400	1580	0.5	0.882

表 3 流化载气相关参数

Table 3 Parameters of fluidized gases

流化载气 Fluidizing gas	温度/ $^{\circ}\text{C}$ Temperature	密度/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ Density	运动粘度/ $10^{-5}\text{m}^2\cdot\text{S}^{-1}$ Kinematic viscosity	动力粘度/ $10^{-5}\text{Pa}\cdot\text{s}$ Dynamic viscosity	等压比热容/ $10^3\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ Isobaric specific heat capacity
热解尾气 Pyrolysis end gas	20	1.25	1.57	3.09	1.04
	550	0.41	8.54	3.09	1.14

烧,充分利用烟气的余热,实现能量的高效利用。

2.2.2 燃烧炉 燃烧炉由北京神科博斯热能工程技术有限公司加工制造,其结构见图2。

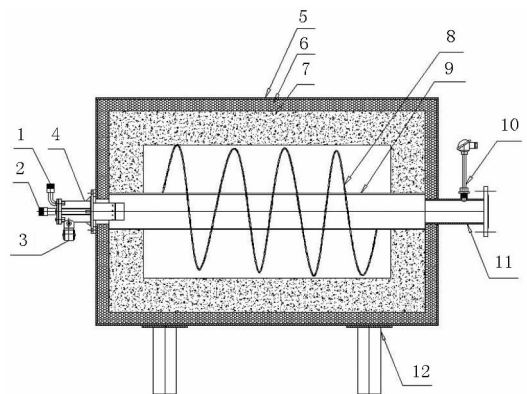


图2 燃烧炉结构

Fig.2 Structure of combustion furnace

1. 液化气进口;2. 热解尾气进口;3. 助燃空气进口;  
4. 点火烧嘴;5. 壳体;6. 保温层;7. 耐高温浇筑层;8. 旋流板;9. 燃烧腔;10. 温度传感器;11. 烟气出口;12. 支座  
1. Liquid gas intake; 2. Pyrolysis end gas intake;  
3. Combustion air intake; 4. Igniter burner; 5. Casing;  
6. Insulating layer; 7. Thermostability concrete layer;  
8. Swirl plate; 9. Combustion chamber; 10. Temperature transmitter; 11. Flue gas outlet; 12. Pedestal

燃烧炉作为该设备的核心加热单元,其主要作用是为热解气及液化气提供理想的燃烧条件。其中,燃烧腔、旋流板以及烟气出口均采用310S(0Cr25Ni20)耐高温不锈钢材质加工制造,由于燃烧炉内部有耐高温浇筑填料层以及硅酸铝保温层,壳体以及支座采用Q235A材质加工制造,正常工作状态下,炉体外壁温度低于50℃。

生物质原料热解过程所需功率可分为两部分,即原料由常温升至起始热解温度的过程以及原料热解开始后由固态变为气态的过程。经计算发现,原料为落叶松木粉,进料量为150 kg·h<sup>-1</sup>条件下,原料热解所需功率约为60 kW。考虑到加热夹套的换热效率以及燃烧炉到流化床反应器之间管路的热量损失等问题,最终确定燃烧炉的额定输出功率为100 kW。

2.2.3 加热夹套 该设备在流化床反应器外壁设计了加热夹套,为了获得较佳的传热效果,在加热夹套内设有多个互相平行的肋片,每个肋片的一侧开有缺口,相邻两个肋片的缺口方向呈180°,从加热夹套底部进入的高温烟气,由下而上穿过各肋片的缺口,在较长的停留时间以及较大的换热面积条件下,实现对流化床反应器高效加热。加热夹套以及内部环形肋片均采用310S(0Cr25Ni20)耐高温不锈钢加工制造,夹套外壁采用硅酸铝纤维毡作为保温材料,保温厚度为15~20 cm。加热夹套示意图见图3。

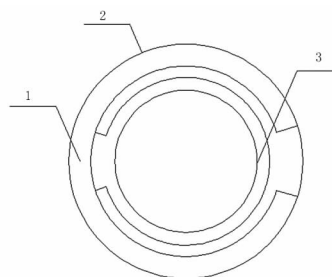


图3 加热夹套

Fig.3 The heating jacket

1. 环形肋片;2. 夹套外壳;3. 反应器外壁  
1. Annular fins; 2. Jacket housing; 3. Reactor wall

2.2.4 载气预热器 该设备采用流化床式热解反应器,需要提供稳定的流化载气,为了保证生物质原料热解的稳定性和连续性,流化载气进入反应器之前,其温度应当达到最佳热解温度(500~600℃)。因此,该设备设计了载气预热器,利用来自加热夹套的高温烟气,对流化载气进行预加热。计算表明,燃烧炉产生的高温烟气经过加热夹套后,温度有所降低,但仍可保持800℃以上的高温状态,从理论上来说,可以满足流化载气的预加热条件。

该装置以燃烧炉额定输出功率为基准,采用310S(0Cr25Ni20)耐高温不锈钢材质的管壳式换热器作为载气预热器,其设计换热管内径为0.02 m,换热管长度1.1 m,共128根换热管,总换热面积为7.25 m<sup>2</sup>。载气预热器外壁采用硅酸铝纤维毡作为保温材料,保温厚度为15~20 cm。  
2.2.5 热量回收器 该设备设计的热量回收器主要作用是充分利用经过二次换热后的高温烟气的余热,对将要进入燃烧炉燃烧的热解尾气进行预加热。一方面能够降低高温烟气排空时的温度,减少能量损耗,另一方面提高了燃烧用热解尾气的温度,有助于其充分燃烧。

经计算发现,由于经过载气预热器后的高温烟气温度已经降低至500℃以下,因此采用304(06Cr19Ni10)不锈钢材质的管壳式换热器作为热量回收器,其设计换热管内径为0.02 m,换热管长度1.5 m,共64根换热管,总换热面积为6.03 m<sup>2</sup>。热量回收器外壁采用硅酸铝纤维毡作为保温材料,保温厚度为15~20 cm。

燃烧炉、加热夹套、载气预热器以及热量回收器之间管路均用硅酸铝纤维材料作为保温层,保温厚度10~15 cm。

### 2.3 进料系统

2.3.1 进料方式的确定 生物质颗粒具有密度小、休止角大、表面粗糙及流动性能差等特点,特别是在进料过程中,颗粒相互之间粘性较强,从而易出现搭桥现象造成堵塞。而在生物质快速热

解过程中,连续、稳定的进料是一个非常重要的环节,直接影响热解反应的条件,进而影响生产效率。因此,确定合理的进料方式及设计尺寸至关重要<sup>[6]</sup>。

针对生物质颗粒的特点,以及流化床反应器内部温度高、压力不稳定的工作条件,该设备设计了进料量为  $150 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$  的带有关风器和冷却水套的可调频生物质螺旋进料器。进料器结构见图 4。

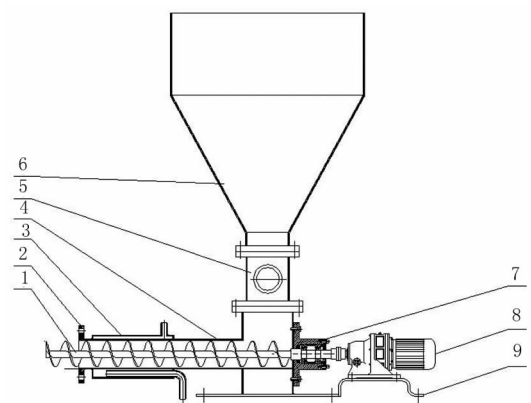


图 4 生物质螺旋进料器

Fig. 4 Screw feeder of biomass

1. 进料螺杆;2. 法兰;3. 冷却水套;4. 螺杆外壳;  
5. 关风器;6. 料仓;7. 轴承;8. 调速电机;9. 底座  
1. Feed screw;2. Flange;3. Cooling-jacket;4. Screw  
shell;5. Air seal machinery;6. Bunker;7. Bearing;  
8. Converter motor;9. Base

螺旋进料装置以其结构简单、输送能力大、易于控制及适用于工业化生产的优点而被广泛采用。此装置在进料料仓下端安装关风器,一方面能够有效防止物料反喷,另一方面通过调整其转速能够实现精确控制进料量的目的。进料螺杆及关风器驱动电机均为可调速的变频电机,双重变速调节,可实现更为精确的进料控制。此外,进料螺杆外壳设计了冷却水套,主要功能是简易有效的降低进料螺杆周围生物质原料的温度,防止由于反应器内的高温导致进料螺杆变性和生物质原料结焦。

**2.3.2 功率及尺寸的确定** 根据额定进料量为  $150 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$  计算,螺杆直径为  $0.095 \text{ m}$ ,螺杆外壳内径  $0.1 \text{ m}$ ,螺杆长度  $1 \text{ m}$ 。关风器选择河南修武县方翔精工机械厂生产的 5L 防卡关风器。又根据计算得出的所需功率为  $2.97 \text{ kW}$ ,因此选择 YVP100L2-4 变频调速三相异步电动机分别作为进料电机,功率为  $3 \text{ kW}$ ,额定转矩为  $19.9 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

## 2.4 流化床反应器

**2.4.1 设计方案** 反应器是生物质快速热裂解的关键设备,直接影响生物质热解气中各组分含量及生物油的产率。流化床反应器可实现固体物

料的连续输入和输出,流体和颗粒的运动使床层具有良好的传热性能,床层内部温度均匀,并且易于控制,适用于生物质热解反应特性,因此该装置采用 310S 不锈钢材质的流化床反应器作为主反应器。

根据流化床反应器的工作原理,热解反应器分为三部分,第一部分是流化载气预分布器,使进入的载气流场均匀;第二部分是主反应段,是生物质颗粒由固态变为气态的主要气化区;第三部分是扩大段,此段作用是一方面对热解未完全的生物质颗粒提供继续热解的缓冲空间,另一方面防止床料及生物质颗粒由于气流挟带而被带出反应器,降低生物油质量。其结构见图 5。

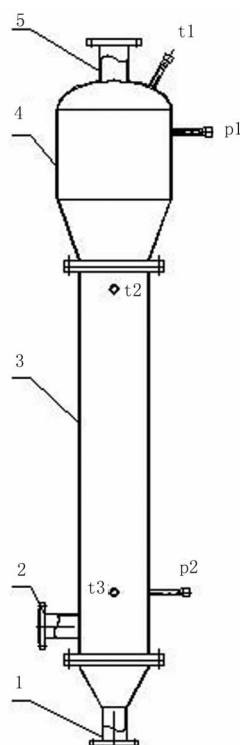


图 5 流化床反应器

Fig. 5 The fluidized bed reactor

1. 预分布器;2. 进料口;3. 主反应段;4. 扩大段;5. 排气口  
1. Distributor;2. Feed charge door;3. Main reaction zone;4. Expanding zone;5. Air-vent

**2.4.2 反应器尺寸的确定** 根据流态化技术原理,设计计算反应器的最小流化速度为  $0.092 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,颗粒带出速度为  $1.599 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,空塔速度  $1.38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,综合考虑处理量设计要求、实际操作流化风速以及气相停留时间,确定流化床主反应段直径为  $0.3 \text{ m}$ ,高度为  $1.75 \text{ m}$ ;扩大段直径为  $0.5 \text{ m}$ ,高度为  $0.7 \text{ m}$ ;载气预分布器高度为  $0.3 \text{ m}$ ,垂直倾角为  $30^\circ$ 。

布风板作为流化床反应器中的重要结构之

一,其主要作用是支撑床料及生物质原料,同时使得流化气体经过布风板后能够均匀分布,有利于床料及物料的稳定流化。本装置设计的布风板流化孔孔径为1 mm,直径方向21个孔,按同心圆排列,总开孔率为0.3%,布风板一侧带有120目不锈钢网,防止粒径过小的物料及床料穿过流化孔落入预分布器或管道内。

## 2.5 气固分离系统

2.5.1 气固分离方式的确定 流化床反应器排出的热解气中会携带一定量的炭颗粒,热解炭在热解气的二次裂解中起催化作用,会使生物油产率下降,并且混入生物油中的炭很难被分离出来,降低生物油的品质<sup>[7]</sup>。因此,从反应器排出的热解气必须进行高效的气固分离。由于旋风分离器具有结构简单、操作方便、造价低廉、分离效率高以及不受含尘气体浓度、温度限制等诸多优点等特点,通过充分的对比和论证,本装置确定采用304不锈钢材质的两台旋风分离器并联进行除炭。其结构见图6。

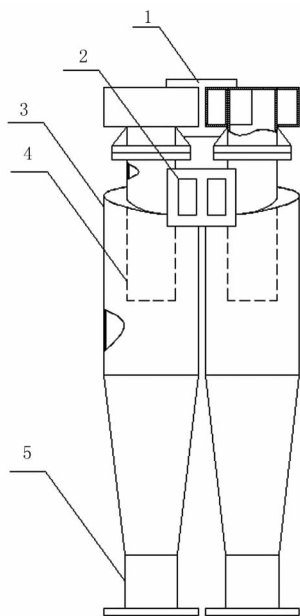


图6 并联组合旋风分离器

Fig. 6 The cyclone separator of parallel combination

1. 排气口; 2. 进气口; 3. 筒体; 4. 内插管; 5. 出炭口  
1. Air-vent; 2. Air intake; 3. Barrel; 4. Intubation;  
5. Carbon export

2.5.2 旋风分离器尺寸的确定 该设备反应器设计的载气平均流量为  $330 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , 生物质处理量为  $150 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ , 热解炭产率约20%, 热解气的平均密度为  $0.433 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。因此, 进入旋风分离器需要处理的热解气的流量为:  $Q_A = 330 + 150 \times [(1 - 0.2) \times 0.433] = 607 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

为了提高分离效率, 减小设备体积, 采用两台旋风分离器并联使用, 每台旋风分离器的处理风

量为:  $607/2 = 303.5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 。经计算得出旋风分离器尺寸为圆筒直径: 230 mm; 排气口直径: 138 mm; 出炭口直径: 125 mm; 进气口截面长: 133 mm; 进气口截面宽: 46 mm; 进气端长度: 115 mm; 排气管内插长度: 310 mm; 圆筒高度: 500 mm; 锥体高度: 460 mm。

## 2.6 冷凝系统

2.6.1 冷凝方式的确定 冷凝装置是生物质快速热解的关键设备之一, 其设计的是否合理直接影响热解液态产物-生物油的组分分布及产率。筛板式冷凝塔具有结构简单, 造价低廉, 安装、维修方便、易于控制等优点。综合考虑工作温度、介质特性以及造价等因素, 最终确定该设备采用筛板式冷凝塔作为热解气的冷凝装置。其结构见图7。

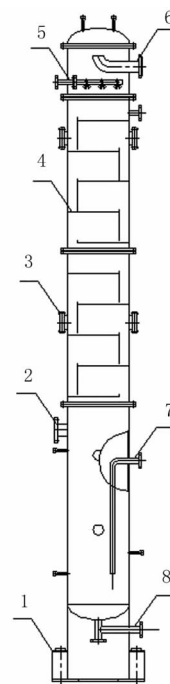


图7 筛板式冷凝塔

Fig. 7 The sieve-tray condensing tower

1. 裙座; 2. 进气口; 3. 视镜; 4. 塔板; 5. 液体分布器;  
6. 排气口; 7. 溢流口; 8. 出液口  
1. Skirt; 2. Air intake; 3. Level glass; 4. Column plate;  
5. Liquid distributor; 6. Air-vent; 7. Flow-off; 8. Liquid outlet

筛板式冷凝塔的内部装有多层相隔一定间距的开孔塔板, 气体自塔底向上以鼓喷射的形式穿过塔板上的液层, 而液体则从塔顶部进入, 顺塔而下。上升的气体和下降的液体主要在塔板上接触换热, 冷凝效果极高。

2.6.2 冷凝塔尺寸的确定 由于热解液态产物生物油含有酸, 具有一定的腐蚀性, 因此冷凝塔选用耐腐蚀不锈钢材质进行加工制造。经计算得出筛板式冷凝塔尺寸为: 塔体总高: 5 m, 塔内径:

0.5 m,壁厚:5 mm,塔板数:10,相邻两层塔板间距 0.2 m。

## 2.7 监测及控制系统

2.7.1 监测系统 监测系统主要包括:温度监测、压力监测、流量监测以及氧含量监测。

(1)温度监测包括燃烧炉排烟温度、流化床反应器主反应段和扩大段温度、筛板式冷凝塔进气排气温度以及生物油温度,所有温度传感器均选用 T 型热电偶。

(2)压力监测包括流化床反应器底部和顶部压力、筛板式冷凝塔底部和顶部压力、燃气压力,选用指针式压力表,量程为 0~20 kPa。

(3)流量监测主要指流化载气的流量,稳定的流化载气量能够保证热解过程的稳定性,该装置采用玻璃转子流量计进行流化载气的流量监测,量程为 0~160 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>。

(4)氧含量监测主要是指实时监测热解系统内的氧含量,由于热解会产生可燃气体,并且系统内存在高温区,如果氧含量超过设计要求的上限值,则可能发生爆炸危险,因此,系统氧含量这一参数非常重要。该装置选用 MOT500-O2-I 型工业氧气检测仪,精度 0.01% Vol,误差±1%。

2.7.2 控制系统 控制系统主要指系统内各个电机启停控制、变频器的调频控制、燃烧炉点火控制以及燃气流量控制。本装置采用北京神科博斯热能工程技术有限公司定制加工的,集系统所有控制开关于一体的控制柜。控制柜主要参数为:总容量 30 kW,控制回路总数 16,控制三相电机回路 11 台,电磁阀 3 只,点火器 1 台,电动调节阀 3 台。

## 3 结论

SCFB-6 型自热式生物质快速热解设备工艺流程先进、合理、可行。该设备以热解尾气作为热

源及流化载气,实现了尾气的完全循环利用,并且充分利用了尾气的可燃特性,大大减少了能量消耗,降低了运行成本。

SCFB-6 型自热式生物质快速热解设备的各个关键系统设计科学、完善、高效。该装置中的加热炉,能够实现热解尾气与液化气混合燃烧,提高了热解尾气以及液化气的燃烧效率;加热夹套为高温烟气提供较大的换热面积和较长停留时间,换热效果好;热量回收器充分利用烟气余热,加热用于燃烧的热解尾气,节约能源;带有关风器的螺旋进料器,有效防止了生物质原料搭桥和反喷,两级旋风分离器并联组合除炭,以相对较小的筒体内径处理等量的热解气,炭颗粒受到的离心力增大,除炭效率极高;筛板式冷凝塔易于控制,热解气与冷凝介质直接接触换热,冷凝效果好。

SCFB-6 型自热式生物质快速热解设备布局合理紧凑,运行稳定。实验表明:处理量为 150 kg·h<sup>-1</sup>,热解温度 550℃,生物质原料为落叶松,粒径 0.8~1.2 mm,载气流量为 80 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>条件下,生物油产率达到最大值 67.7%,酚类物质相对含量达到 34.78%。

## 参考文献:

- [1] 王富丽,黄世勇,宋清滨,等.生物质快速热解液化技术的研究进展[J].广西科学院学报,2008,24(3):225-230.
- [2] 乔国朝,王述洋.生物质热解液化技术研究现状及展望[J].林业机械与木工设备,2005,33(5):4-7.
- [3] 路冉冉,商辉,李军,等.生物质热解液化制备生物油技术研究进展[J].太阳能学报,2010,44(3):54-59.
- [4] 李晓娟,常建民,范东斌.生物质快速热解技术现状及展望[J].林业机械与木工设备,2009,37(1):7-9.
- [5] 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.
- [6] 张立塔,常建民,李瑞,等.BL-SCFB-3 型生物质快速热解装置的研发[J].林产工业,2011,38(3):40-43.
- [7] 王鹏起,常建民,张忠涛.新型喷动循环流化床落叶松木材快速热解实验研究[J].林产工业,2009,36(5):44-44.

# Research and Development of SCFB-6 Self-heating Biomass Fast Pyrolysis Equipment

CHE Yan-zhe, TIAN Hong-xing, WANG Wen-liang, CHANG Jian-min

(College of Material Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083)

**Abstract:** The self-developed SCFB-6 Self-heating Biomass Fast Pyrolysis Equipment was introduced, mainly including heating system, feeding system, reaction system, gas-solid separation system, refrigeration system and controlling system. The technological process of the fast pyrolysis equipment is scientific, reasonable, energy-saving and efficient. The equipment is compact, it can stably operation running with low costs.

**Key words:** biomass; self-heating; fast pyrolysis; heating system