竹类生物质热解技术构建与评估

李华[1]，李林[1,2]

（1.北京神源环保有限公司，北京，102200；2.北京科技大学冶金与生态工程学院，北京，100083）

摘要：构建1000t/d竹类生物质热解技术路线与框架，开展评估工作。将热解技术构建贯穿于所有生产设施和辅助设施，划分为预处理、旋转床热解、油气分离净化和内燃机发电单元。从产品产出、资源消耗和环境保护方面进行评估，得出其年发电量达7200万kWh，具有低成本的优势，废气、废水及噪声排放均满足国家相关标准。该技术可解决竹类生物质处理困境，改善居民生活环境，提高地方财政收入，具有商业化的可行性和重要性。

引言

竹类生物质热解工艺（以下亦简称热解工艺）主要基于蓄热式燃烧技术，具有节能减排、能源利用率高、可利用低热值燃料等优势，是未来重点推广的竹类生物质处理新技术。技术主体装置为无热载体蓄热式旋转床。

1000t/d竹类生物质热解工艺可以享受国家竹类生物质发电标杆电价，同时可产出高附加值副产品——竹炭、竹焦油及竹醋液。相比于竹类生物质的直接售卖，其热解技术的优势明显更为突出[1,2]，但体系有待完善。因此，亟待构建竹类生物质热解工艺技术路线与框架，并客观加以评估，以实现解决竹类生物质处理困境、改善居民生活环境、提高地方财政收入等目的。

1热解工艺技术路线

竹类生物质热解工艺的技术路线如图1所示。首先，将破碎后的竹类生物质隔绝空气加热，热解生成油气混合物送入油气分离单元。其次，经过冷却、分离、净化过程，产出热解气、竹焦油和竹醋液，其中热解气一部分用于旋转床热解，另一部分用于内燃机机组产生电力，输入当地电网销售；竹焦油和竹醋液作为粗产品销售。热解产生的竹炭送入储料仓，待储存销售。

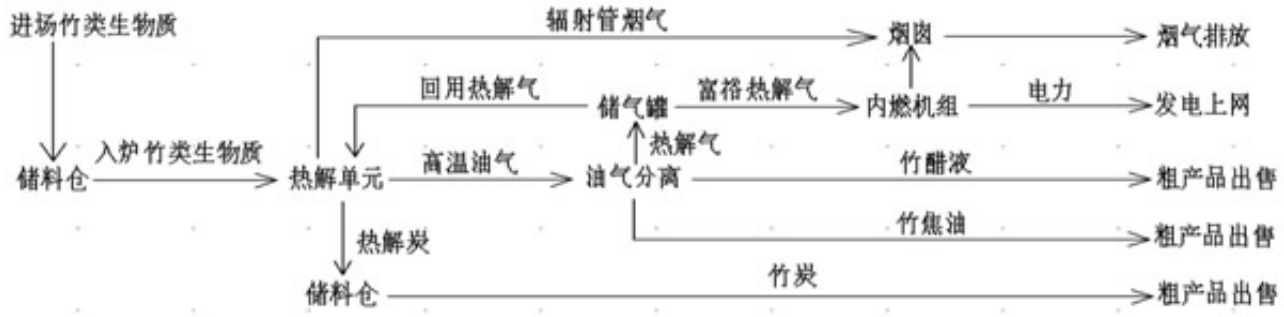

图1 竹类生物质热解工艺技术路线

2热解工艺技术框架

基于热解工艺技术路线，其技术框架包括预处理单元、旋转床热解单元、油气分离净化单元和内燃机发电单元。

2.1预处理单元

预处理单元的范围从物料卸料开始至旋转床进料结束。竹类生物质热解原料季节性价格或收购价格存在波动，致使收购量存在不确定性。为保证作业连续稳定运行，预处理厂房需具备较大储量。

考虑到竹类生物质密度低、占用空间大，因此同时配套两座旋转床进料，设置两座预处理厂房，每座为200m×50m×10m（长×宽×高，下同），处理能力为500t/d。包括干料棚、预处理车间和储料仓各一处。干料棚和预处理车间均为40m×40m×10m，其中干料棚按储存10天竹类生物质设计，竹类生物质密度为0.32t/m^3，体积为16000m^3。储料仓按照30天储量设计为120m×40m×10m。

预处理单元的工艺流程为：竹类生物质卸入干料棚，进入预处理生产线。液压抓斗上料，将竹类生物质抓至破碎机，破碎至5cm，破碎后经皮带输送，于储料仓中存储。最终由皮带机输送至旋转床热解单元[3]。

2.2旋转床热解单元

竹类生物质经预处理后进入旋转床热解，每座旋转床入炉量亦为500t/d，平均小时处理量约为20.8t/h，年生产时数8 000h。温度使得竹类生物质热解，产生低温焦油和热解气。入炉竹类生物质成分分析见表1，热解气性质见表2，旋转床输出参数见表3。

表1 竹类生物质成分表

项目	物理量	值
工业分析	M_{ad}/wt%	6.34
	A_{ad}/wt%	1.18
	V_{ad}/wt%	79.26
	FC_{ad}/wt%	13.22
热值	$Q_{gr.v.ar}$/(MJ/kg)	18.64
元素分析	$S_{t,ad}$/wt%	0.10
	C_{ad}/wt%	47.72
	H_{ad}/wt%	5.14
	N_{ad}/wt%	0.37

表2 热解气产率、密度、成分及热值

物理量		值
产率/%（干基）		40.6
密度/(kg/Nm^3)		0.82
体积百分比/V%	H_2	17.65
	CO	23.62
	CO_2	29.34
	CH_4	26.04
	C_nH_m	3.35
热值/(kcal/Nm^3)		3 198.77

表3 旋转床出炉介质参数

项目	值
高温(500~700℃)热解油气流量/(Nm^3/h)	36 026.4
热解炭产量/(t/d)	291
辐射管烟气流量/(Nm^3/h)	36 534.8

旋转床热解单元的关键设备是热解炉，是专用于在密封状态下热解竹类生物质的装置。正常生产用生物质燃料气接点压力为10~12kPa。物料在炉内升温干馏时间为30~60min。炉膛温度为500~800℃，炉膛压力为30~50kPa，物料在隔绝空气条件下在热解炉内加热到500~700℃，有机物及挥发分绝大部分被析出，热解后得到油气和固体残余物两种产品[4]。

热解炉炉膛呈环形，炉底可连续转动。转动炉底与内外炉墙间缝隙称为内外环缝。内外环缝采用水封槽密封，水封槽安装在炉墙钢立柱上，炉墙下部装有固定水封刀，活动水封刀安装在转动炉底边缘，随炉底转动。炉顶部设4个热解气排出口。旋转床中心直径30000mm，炉膛外径34500mm，炉膛内径25500mm。

旋转床工艺流程为：装料→加热升温→干馏排出油气→剩余固体物出料。从预处理车间输送来的竹类生物质经皮带传输及旋转床装料系统向炉内供料，根据炉底转动速度自动控制进料流量，满足连续布料要求。旋转床炉底匀速转动，物料依次经过各个区段。通过调节炉底转动速度可改变炉内升温干馏时间（一般为1h）。旋转床圆周炉膛划分为预热区、反应一区、反应二区、反应三区和出料区。物料随炉底旋转，经历上述各区后完成干馏过程，释放出的油气送至油气分离净化单元，热解可燃气送至内燃机系统用于发电，竹焦油和竹醋液置入罐内储存，剩余竹炭通过出料螺旋及管式螺旋双冷却输送机降温后排出炉外。

在上述流程中，热解炉采用辐射管，以辐射传热方式对物料进行加热。预热段和3个反应段均布置足够数量的辐射管，燃烧在管内进行，烟气与炉膛内的气体完全隔绝，可保证热解气不被烟气掺混。辐射管水平布置在炉顶之下、料层之上。蓄热式辐射管热效率达90%以上，显著节约了燃料[5]。

此外，为实现物料完全干馏，各反应区必须提供干馏温度条件，最高炉温可达850℃。在炉内各区，安装在炉膛两侧的蓄热式辐射管燃烧自身产生的热解气，为物料升温和干馏提供热量。在各反应区，通过调节蓄热式辐射管烧嘴油气量和空气量控制炉内各区温度，达到最佳干馏效果。

2.3油气分离净化单元

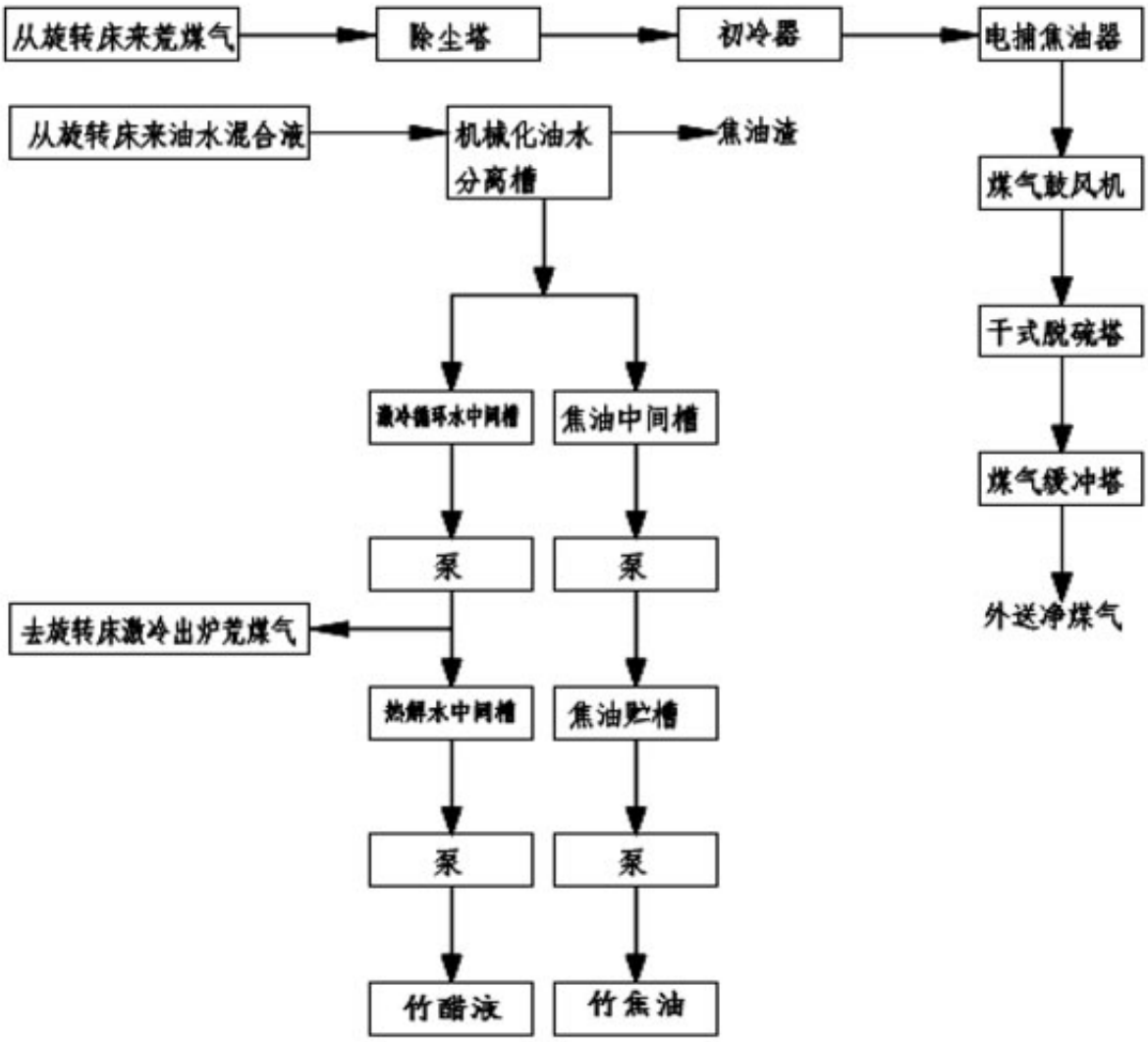

图2 油气分离净化工艺流程

图2为油气分离净化单元流程。该单元处理来自旋转床的500°C热解气，沿其上升管被75°C循环热解水连续喷洒，激冷冷却至85°C，再在湿式除尘塔中被激冷循环水喷洒除尘，进入横管初冷器。初冷器用32°C循环水和16°C制冷水这两段冷却水将油气冷却至22°C，油气中萘含量将不超过0.0
5g/Nm^3
。横管初冷器下部排出的热解气进入两台并联同时操作的电捕焦油器。运行时，来自高压发生器的高压直流电流通过高压电缆和绝缘子引入电捕焦油器绝缘箱。电捕焦油器内，蜂窝管沉淀极为正极，蜂窝管中心电极丝为负极，在电极丝和沉淀极间形成高压电场，含焦油热解气在其作用下发生电离，焦油颗粒荷电后向沉淀极运动聚集，并沿沉淀极自上而下流入电捕焦油器底部，经底部焦油出口排出。至此，热解气中夹带的焦油去除完成[6-8]。

由气液分离器分离下来的焦油和循环热解水进入机械化油水分离槽。循环热解水自流入激冷循环水中间槽，由激冷水泵送至激冷气液分离器，内循环喷洒冷却热解气，而剩余的热解水先由循环激冷水泵送入剩余热解水中间槽，再用剩余热解水泵送至污水处理单元。机械化油水分离槽分离出的焦油自流入焦油中间槽，再储存至专用油桶销售。

2.4内燃机发电单元

采用20台500kW自动化燃气发电机组（其中18台工作，2台备用），配套燃料系统、进气系统、冷却循环系统、电气与控制系统以及其它辅助生产系统，建设一座装机容量为9MW燃气发电站，产出10kV交流电高压并网运行。

2.4.1燃料系统

油气分离净化单元产生的热解气为17980Nm ^{3}/h，其中旋转床自用11000Nm^3/h，其余的6980Nm^3/h用于内燃机发电。热解气参数回见表2。

2.4.2进气系统

敷设一条DN200热解气输送管线。为确保发电机组正常运行，需对气体进行处理。含焦油、苯、萘、液态水、粉尘等杂质的热解气和气化油气依次经不锈钢丝网粗滤、锯末填料层精滤、纸质滤芯过滤后进入发电机组。所有过滤设备均为一开一备并联设置，当某过滤设备需要清洁或更换填料时，可启用备用设备通路，以保证机组不间断运行。

机组对燃气品质的要求：

（1）距离机组燃气进气调压阀前1m内，热解气进气温度为10℃~40℃；

（2）压力250kPa，压力变化速率≤1kPa/min；

（3）气体中H_2体积含量≤60%，热值变化率≤5%/min；

（4）粉尘粒度≤5μm，粉尘含量≤0.5mg/MJ；

（5）总硫（S+H_2S+CS_2+硫醇）≤5mg/MJ；H_2S≤2.5mg/MJ，NH_3≤1.5mg/MJ；

（6）焦油含量≤1mg/MJ，焦油粒度≤5μm；

（7）总卤素化合物≤2.5mg/MJ，硅化物（硅氧烷等）≤0.5mg/MJ，轻质油≤2.5mg/MJ；

（8）湿度≤80%，进气管线无冷凝水。

2.4.3冷却循环系统

根据500kW热解气发电机组性能要求，发电机组循环冷却水通过卧式多风扇水箱进行冷却，水箱设置于机房屋顶。

发电机组冷却系统分为高、低温冷却循环系统。高温冷却循环系统主要冷却发动机机体、气缸盖等部件；低温冷却循环系统主要冷却机油、空气等。水箱设置10个冷却风扇，每个风扇功率为2.2kW，可以通过控制风扇开启数量实现机组内循环水水温的自动控制。冷却循环使用防冻液，采用人工添加的方式。

2.4.4电气与控制系统

燃气发电机组出口电压10.5kV，经电缆接至机组断路器柜。机组断路器柜设有并网控制和常规保护装置，机组出线经断路器柜和高压出线柜接至用户指定位置。机房内的电气开关、电磁阀、照明灯具采用防爆型。

发电机组配置一套中央监控单元，可实现机组运行的实时监测和控制。其中参数包括发动机水温、油温、油压、转速；发电机电压、电流、频率、功率、功率因数、有功电能及运行时间显示。此外还有发动机参数及发电机报警及保护停车功能。

机组机房内设置可燃气体与有毒气体检测探头，用于检测气体浓度，并实现气体泄漏报警，并联动机房内防爆轴流风机开启通风。

3热解工艺技术评估

从产品产出、资源消耗和环境保护三方面进行热解工艺技术评估。

3.1产品产出

竹类生物质热解处理最终产品为电力、竹炭、竹焦油和竹醋液。其中：

（1）电力：10kV、9MW，全部投产后，年发电7200万kWh，其中4800万kWh上网销售。

（2）热解产生竹炭：291.0t/d，作为成品销售。

（3）热解产生竹焦油：87.6t/d，作为成品油的粗产品销售。

（4）热解产生竹醋液原液：267.6t/d，作为杀虫剂、杀菌剂或肥料添加剂等产品销售。

3.2资源消耗

（1）耗水：竹类生物质热解全工艺流程耗水59.13m^3/h（合47.30万m^3/年），折合处理1吨竹类生物质需耗水1.42m^3；

（2）耗气：处理1吨竹类生物质耗热解气264Nm^3，热解气系旋转床自产[9,10]；

（3）耗电：用电总负荷为3716kW，有功负荷为2972.8kW，正常用电来自内燃机自发电。

3.3环境保护

基于蓄热式燃烧技术的竹类生物质热解工艺不焚烧生物质，而是通过绝氧热解将竹类生物质在生产线上同时转化为竹炭、竹焦油以及竹醋液，集炭化、气化、液化工艺技术为一体，所有产出物全部回收利用。整个过程中，大气污染物和污水排放指标远低于国家相关标准，实现了秸秆生物质资源的清洁高效开发利用。相比传统焚烧处置，本工艺产生的废水主要为油水分离出来的生产污水和地面冲洗水，容易处理，可直接作为冷凝水循环利用。废气、废水及噪声排放源分别见表4、表5和表6。

表4 废气排放源一览表

参数	属性
装置名称	旋转床
废气名称	烟气尾气
排放物组成	N_2，CO_2，H_2O
处理方案	17 m高空排放
排放特征	连续

表5 废水排放源一览表

序号	废水名称	排出点	排放特征	处理方案
1	生产污水	油水分离净化单元	间断（8 h/次，每次0.5 h）	送去污水处理单元
2	地面冲洗水	预处理及成型车间	间断（8 h/次，每次0.5 h）	送去污水处理单元

表6 噪声排放源一览表

序号	噪声源	台数	声压级/ dB(A)	排放特征
1	风机	8	85	连续
2	泵	10	80	连续

4结语

（1）与竹类生物质其他处理方式相比，热解技术可生成多种资源化产品：热解燃气可用于发电，减轻对化石资源的过度依赖；热解产品竹焦油既可精制后制取化学品和柴油替代品，也可用于燃烧后发电；竹醋液可作为杀虫剂、杀菌剂及叶面肥使用；竹炭则是优质吸附材料。因此，该技术完全可实现商业化运行。

（2）对于1000t/d规模的竹类生物质热解技术处理，年发电达7200万kWh，其中4800万kWh上网销售。实现了化害为利，解决了竹类生物质处理困境，改善了居民经济收入，提高了地方财政收入。

（3）该工艺采用绝氧热解，而不焚烧竹类生物质，物料在热解过程相对料床静止。热解炉内为高温绝氧环境，整个处理流程避免氮氧化物、二氧化硫、烟尘及PM2.5等可吸入颗粒物的产生。向大气排放的清洁燃气燃烧后的尾气，其排放量仅相当于同等功率燃气锅炉水平，利于项目周边居民健康及社会和谐。

参考文献

[1]唐宇,汤红妍.城市生活垃圾填埋场渗滤液处理工艺综述[J].工业技术创新,2014(3):362-373.

[2]卢静,孙宁,刘双柳.推进工业领域污染防治的实施战略研究[J].环境保护科学,2016,42(4):56-59.

[3]高新源,徐庆,李占勇,等.生物质快速热解装置研究进展[J].化工进展,2016,35(10):3032-3041.

[4]赵立欣,贾吉秀,姚宗路,等.生物质连续式分段热解炭化设备研究[J].农业机械学报,2016,47(8):221-226.

[5]王振宇,邱墅,何正斌,等.园林废弃物热解过程中的热量传递[J].北京林业大学学报,2016,38(6):116-122.

[6]李艳美,柏雪源,易维明,等.小麦秸秆热解生物油主要成分分析与残炭表征[J].山东理工大学学报(自然科学版),2016(1):1-4.

[7]周琦.多层流化床低阶煤分级热解提高焦油品质研究[J].煤炭科学技术,2016,44(3):169-176.

[8]孙任晖,高鹏,刘爱国,等.低阶煤催化热解研究进展及展望[J].洁净煤技术,2016,22(1):54-59.

[9]吉恒松,王谦,成珊,等.基于感应加热的生物质气化制氢试验[J].农业机械学报,2013,44(10):183-187.

[10]王立群,陈兆生.生物质气化制备燃气过程的㶲分析[J].农业机械学报,2013,44(s1):143-148.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/157668.html