(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 113072970 A
(43)申请公布日 2021.07.06

(21)申请号 202110417172.9

(22)申请日 2021.04.16

(71)申请人 中国科学技术大学
地址 230026 安徽省合肥市包河区金寨路96号

(72)发明人 朱锡锋 王储

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021
代理人 鄢功军

(51)Int.Cl.
C10G 1/00(2006.01)
C10G 5/06(2006.01)

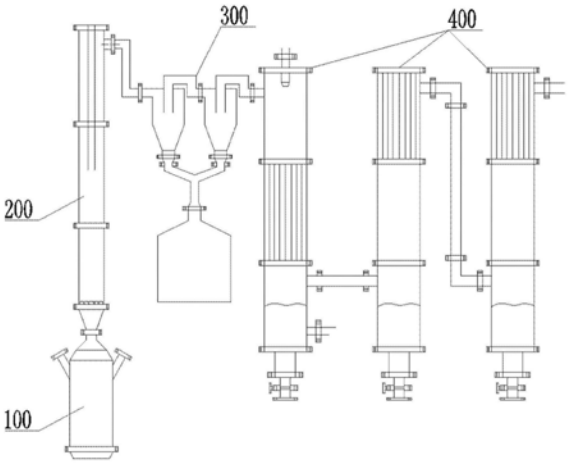
权利要求书2页 说明书10页 附图6页

(54)发明名称

热解耦合分级冷凝制备生物油的系统和方法

(57)摘要

本发明公开了一种热解耦合分级冷凝制备生物油的系统，包括炭粉燃烧炉、流化床热解反应器、气固分离装置和分级冷凝装置，炭粉燃烧炉与流化床热解反应器连通，通过风机将炭粉燃烧炉中燃烧炭粉产生的高温烟气输送至流化床热解反应器，提供生物质料发生热解反应的热能；气固分离装置与流化床热解反应器连通，气固分离装置用于将流化床热解反应器排出的气固混合物分离成炭粉和热解气；分级冷凝装置与气固分离装置连接，分级冷凝装置用于将热解气分级冷凝成生物油。炭粉燃烧炉的燃烧副产物-炭粉即可满足流化床反应器的需求，不需要额外的能源投入，降低了生产成本，并且通过分级冷凝获得了种类更丰富的生物油。本发明还公开了一种制备生物油的方法。



CN 113072970 A

1.一种热解耦合分级冷凝制备生物油的系统，其特征在于，包括：炭粉燃烧炉、流化床热解反应器、气固分离装置和分级冷凝装置，其中，

所述炭粉燃烧炉与所述流化床热解反应器连通，所述炭粉燃烧炉用于燃烧炭粉，并将产生的烟气输送至所述流化床热解反应器，以供所述流化床热解反应器内的生物质料发生热解反应的热能；

所述气固分离装置与所述流化床热解反应器连通，所述气固分离装置用于将所述流化床热解反应器排出的气固混合物分离成炭粉和热解气，所述炭粉作为所述炭粉燃烧炉的燃料；

所述分级冷凝装置与所述气固分离装置连接，所述分级冷凝装置用于将所述热解气分级冷凝成生物油。

2.根据权利要求1所述系统，其特征在于，还包括：

尾气燃烧装置和保温夹套，所述尾气燃烧装置与所述分级冷凝装置连通，所述尾气燃烧装置用于将所述分级冷凝装置排出的尾气燃烧，所述尾气燃烧装置用于将燃烧后的气体通入所述保温夹套；

其中，所述炭粉燃烧炉、所述流化床热解反应器、所述气固分离装置、所述分级冷凝装置以及之间的管道的外部设置有所述保温夹套。

3.根据权利要求1或2所述系统，其特征在于，还包括：

炭粉进料装置，所述炭粉进料装置与所述炭粉燃烧炉连通，所述炭粉进料装置用于将炭粉输送至所述炭粉燃烧炉内；

生物质进料装置，所述生物质进料装置与所述流化床热解反应器连通，所述生物质进料装置用于将生物质料输送至所述流化床热解反应器，以便所述生物质料与所述烟气混合后发生热解反应。

4.根据权利要求1或2所述系统，其特征在于，所述流化床热解反应器包括柱状的流化床热解炉，所述流化床热解炉的底部设置有进风口，所述进风口与所述炭粉燃烧炉的烟气出口连通，所述流化床热解炉的顶部设置有生物质进料口和出气口，所述生物质进料口与生物质进料装置连通，所述出气口用于排出所述生物质料热解后获得的气体-固体混合物，所述气体-固体混合物包括炭粉和热解气。

5.根据权利要求1或2所述系统，其特征在于，所述气固分离装置包括至少一个旋风分离器，所述旋风分离器的灰斗连通炭粉储存箱，其中，多个所述旋风分离器依次连接。

6.根据权利要求1或2所述系统，其特征在于，所述分级冷凝装置包括第一冷凝器，所述第一冷凝器的从上至下包括喷淋冷凝段、第一液冷冷凝段和第一储液段，所述第一冷凝器的顶部设置有第一冷凝器进气口和喷淋口，所述第一冷凝器进气口与所述气固分离装置连通，所述喷淋口能够喷出喷淋介质，所述第一液冷冷凝段包括第一管式换热器，所述第一管式换热器内循环流动冷却液，所述第一储液段储存所述喷淋介质以及冷凝获得的生物油，所述第一储液段上方设置有第一冷凝器出气口。

7.根据权利要求6所述系统，其特征在于，所述分级冷凝装置包括至少一个第二冷凝器，所述第二冷凝器从上至下包括第二液冷冷凝段、填料段和第二储液段，所述第二液冷冷凝段包括第二管式换热器，所述第二管式换热器内循环流动冷却液，所述填料段用于填充填料，所述第二储液段用于储存冷凝后的液体，多个所述第二冷凝器依次连接。

8.一种利用权利要求1至7中任一项所述的系统实现热解耦合分级冷凝制备生物油的方法,其特征在于,包括:

将炭粉输送至炭粉燃烧炉燃烧,将燃烧后的烟气通入到流化床热解反应器内;

将生物质料输送至所述流化床热解反应器内,所述生物质料与所述烟气混合后发生热解反应;

利用气固分离装置将所述流化床热解反应器输出的混合气体分离成炭粉和热解气,将炭粉收集至炭粉储存箱;

通过分级冷凝装置将所述热解气分级冷凝成生物油。

9.根据权利要求8所述的方法,其特征在于,利用尾气燃烧装置将所述分级冷凝装置排出的尾气燃烧,将燃烧后获得的气体通入到保温夹套,其中,所述燃烧炉、所述流化床热解反应器、所述气固分离装置、所述分级冷凝装置以及之间的管道的外部设置有所述保温夹套。

10.根据权利要求8所述的方法,其特征在于,所述烟气的温度范围为500℃～650℃,所述热解气的温度范围为250℃～350℃,所述分级冷凝装置排出的尾气温度范围是20℃～30℃。

热解耦合分级冷凝制备生物油的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及生物质再生、利用及其能源化设备技术领域，尤其是涉及一种热解耦合分级冷凝制备生物油的系统和方法。

背景技术

[0002] 生物质热解液化技术是指农林废弃物等木质纤维素类生物质(以下简称生物质)在无氧或少氧条件下快速受热分解、析出的热解气经淬冷得到液体产物生物油的工艺过程。同生物质原料相比，生物油体积能量密度大，故而收集、运输和储藏的功效高，且高附加值组分含量丰富、综合利用价值高。国内外现有实验用的生物质热解液化设备多采用电加热式的热解反应器，虽然其加热速率和热解温度比较容易控制，但由于电加热能耗大、成本高，故相应设备和技术难以工业化放大以适应规模化生产。各国现有的商用生物质热解液化技术和设备规模差异较大，如英国Biomass EngineeringLtd的流化床生物质热解液化装置的最大处理量为200kg/h，加拿大Ensyn的移动床热解液化装置最大处理量可达到500kg/h，荷兰BTG的旋转锥热解液化装置最大处理量也可达到500kg/h。但现存商用热解液化设备多采用价格较高的石油液化气或天然气来为热解反应提供热源，且用量较大，故导致生物油生产成本较高。虽然生物油制备成本随生物质处理效率提高而越低，但根据现有生物质热解液化工艺进行经济效益分析可知，即使生物质处理量达到1000吨/天，现有商用热解液化装置的生物油生产成本也无法低于5000元/吨。因此，在国际油价持续走低的大背景下，从降低生物油生产成本角度出发，研究并开发不需耗用价格较高的电能等高品位能源为热解提供热源的新技术和新方法，将是生物质热解液化技术能否获得大规模推广应用的关键。

[0003] 此外，国内外现存生物质热解液化商用装置使用的传统冷凝手段收集获得的生物油，通常存在生物油品质单一、组分过于复杂等缺点，导致生物油后续开发利用如精制提炼和分离提纯的难度相当大，严重影响了生物油综合利用价值的发挥，同样也制约了生物质热解液化技术的发展和应用。

发明内容

[0004] 为了解决上述技术问题，本发明公开了一种热解耦合分级冷凝制备生物油的系统，可以利用副产物作为燃料提供热能，极大地降低了生物质热解液化的成本，具体方案如下。

[0005] 本发明公开了一种热解耦合分级冷凝制备生物油的系统，包括：炭粉燃烧炉、流化床热解反应器、气固分离装置和分级冷凝装置，其中，

[0006] 所述炭粉燃烧炉与所述流化床热解反应器连通，所述炭粉燃烧炉用于将燃烧后的烟气输送至所述流化床热解反应器，以便所述烟气将热能供给所述流化床热解反应器内的生物质料后，使其发生热解反应；

[0007] 所述气固分离装置与所述流化床热解反应器连通，所述气固分离装置用于将所述

流化床热解反应器排出的气固混合物分离成炭粉和热解气，所述炭粉作为所述炭粉燃烧炉的燃料；

[0008] 所述分级冷凝装置与所述气固分离装置连接，所述分级冷凝装置用于将所述热解气分级冷凝成生物油。

[0009] 根据本发明的一些实施例，热解耦合分级冷凝制备生物油的系统还包括：

[0010] 尾气燃烧装置和保温夹套，所述尾气燃烧装置与所述分级冷凝装置连通，所述尾气燃烧装置用于将所述分级冷凝装置排出的尾气燃烧，所述尾气燃烧装置用于将燃烧后的气体通入所述保温夹套；

[0011] 其中，所述炭粉燃烧炉、所述流化床热解反应器、所述气固分离装置、所述分级冷凝装置以及之间的管道的外部设置有所述保温夹套。

[0012] 根据本发明的一些实施例，热解耦合分级冷凝制备生物油的系统还包括：

[0013] 炭粉进料装置，所述炭粉进料装置与所述炭粉燃烧炉连通，所述炭粉进料装置用于将炭粉输送至所述炭粉燃烧炉内；

[0014] 生物质进料装置，所述生物质进料装置与所述流化床热解反应器连通，所述生物质进料装置用于将生物质料输送至所述流化床热解反应器，以便所述生物质料与所述烟气混合后发生热解反应。

[0015] 根据本发明的一些实施例，所述流化床热解反应器包括柱状的流化床热解炉，所述流化床热解炉的底部设置有进风口，所述进风口与所述炭粉燃烧炉的烟气出口连通，所述流化床热解炉的顶部设置有生物质进料口和出气口，所述生物质进料口与生物质进料装置连通，所述出气口用于排出所述生物质料热解后获得的气体-固体混合物，所述气体-固体混合物包括炭粉和热解气。

[0016] 根据本发明的一些实施例，所述气固分离装置包括至少一个旋风分离器，所述旋风分离器的灰斗连通炭粉储存箱，其中，多个所述旋风分离器依次连接。

[0017] 根据本发明的一些实施例，所述分级冷凝装置包括第一冷凝器，所述第一冷凝器的从上至下包括喷淋冷凝段、第一液冷冷凝段和第一储液段，所述第一冷凝器的顶部设置有第一冷凝器进气口和喷淋口，所述第一冷凝器进气口与所述气固分离装置连通，所述喷淋口能够喷出喷淋介质，所述第一液冷冷凝段包括第一管式换热器，所述第一管式换热器内循环流动冷却液，所述第一储液段储存所述喷淋介质以及冷凝获得的生物油，所述第一储液段上方设置有第一冷凝器出气口。

[0018] 根据本发明的一些实施例，所述分级冷凝装置包括至少一个第二冷凝器，所述第二冷凝器从上至下包括第二液冷冷凝段、填料段和第二储液段，所述第二液冷冷凝段包括第二管式换热器，所述第二管式换热器内循环流动冷却液，所述填料段用于填充填料，所述第二储液段用于储存冷凝后的液体，多个所述第二冷凝器依次连接。

[0019] 本发明还公开了一种利用热解耦合分级冷凝制备生物油的系统实现热解耦合分级冷凝制备生物油的方法，包括：

[0020] 将炭粉输送至炭粉燃烧炉燃烧，将燃烧后的烟气通入到流化床热解反应器内；

[0021] 将生物质料输送至所述流化床热解反应器内，所述生物质料与所述烟气混合后发生热解反应；

[0022] 利用气固分离装置将所述流化床热解反应器输出的混合气体分离成炭粉和热解

气，将炭粉收集至炭粉储存箱；

[0023] 通过分级冷凝装置将所述热解气分级冷凝成生物油。

[0024] 根据本发明的一些实施例，利用尾气燃烧装置将所述分级冷凝装置排出的尾气燃烧，将燃烧后获得的气体通入到保温夹套，其中，所述燃烧炉、所述流化床热解反应器、所述气固分离装置、所述分级冷凝装置以及之间的管道的外部设置有所述保温夹套。

[0025] 根据本发明的一些实施例，所述烟气的温度范围为500℃～650℃，所述热解气的温度范围为250℃～350℃，所述分级冷凝装置排出的尾气温度范围是20℃～30℃。

[0026] 通过上述技术方案，本发明通过利用炭粉燃烧炉为流化床热解反应器提供高温的烟气，与颗粒状的生物质料混合后使其发生热解反应，生成气态的生物油、一氧化碳等多组分混合的热解气和生物质料固体残渣炭粉，经过气固分离装置分离出炭粉，回收后可用于在炭粉燃烧炉内燃烧，利用分级冷凝装置分级冷凝热解气获得生物油。本发明公开的技术方案热解反应器不需要消耗额外的能源，副产物(炭粉)即可满足炭粉燃烧炉的需求，极大地降低了生物油的生产成本，同时，分级冷凝获得的生物油的种类丰富，组分富集度高，并且可根据实际需要进行调整。

附图说明

[0027] 图1示意性示出了本发明实施例的热解耦合分级冷凝制备生物油的系统的结构示意图；

[0028] 图2示意性示出了本发明实施例的热解耦合分级冷凝制备生物油的系统的炭粉燃烧炉和炭粉进料装置的结构示意图；

[0029] 图3示意性示出了本发明实施例的热解耦合分级冷凝制备生物油的系统的流化床热解反应器和气固分离装置的结构示意图；

[0030] 图4示意性示出了本发明一实施例的热解耦合分级冷凝制备生物油的系统的结构示意图；

[0031] 图5示意性示出了本发明实施例的热解耦合分级冷凝制备生物油的系统的分级冷凝装置的结构示意图；

[0032] 图6示意性示出了本发明实施例的热解耦合分级冷凝制备生物油的方法的流程图；

[0033] 图7示意性示出了本发明另一实施例的热解耦合分级冷凝制备生物油的系统的结构示意图；

[0034] 上述附图中，附图标记含义具体如下：

[0035] 100-炭粉燃烧炉；

[0036] 200-流化床热解反应器；

[0037] 300-气固分离装置；

[0038] 400-分级冷凝装置；

[0039] 500-尾气燃烧装置；

[0040] 600-保温夹套；

[0041] 700-炭粉进料装置；

[0042] 800-生物质进料装置；

[0043] 900-生物油；

[0044] 101-炭粉进料口；102-烟气出口；103-炭粉燃烧炉进风口；104-鼓风装置；

[0045] 201-热解反应腔；202-进风口；203-落料管；204-生物质进料口；205-出气口；

[0046] 301-旋风分离器出口；302-旋风分离器进口；303-旋风分离器腔体；304-灰斗；305-炭粉储存箱；

[0047] 401-第一冷凝器；4011-喷淋冷凝段；4012-喷淋口；4013-第一液冷冷凝段；4014-第一储液段；4015-回流装置；

[0048] 402-第二冷凝器；4021-第二液冷冷凝段；4022-填料段；4023-第二储液段；

[0049] 701-第一进料桶；702-第一螺旋进料装置；

[0050] 801-第二进料桶；802-第二螺旋进料装置。

具体实施方式

[0051] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白，以下结合具体实施例，并参照附图，对本发明作进一步的详细说明。

[0052] 但是应该理解，这些描述只是示例性的，而并非要限制本发明的范围。在下面的详细描述中，为便于解释，阐述了许多具体的细节以提供对本发明实施例的全面理解。然而，明显地，一个或多个实施例在没有这些具体细节的情况下也可以被实施。此外，在以下说明中，省略了对公知技术的描述，以避免不必要地混淆本发明的概念。

[0053] 在此使用的术语仅仅是为了描述具体实施例，而并非意在限制本发明。在此使用的术语“包括”表明了特征、步骤、操作的存在，但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征。

[0054] 在此使用的所有术语(包括技术和科学术语)具有本领域技术人员通常所理解的含义，除非另外定义。应注意，这里使用的术语应解释为具有与本说明书的上下文相一致的含义，而不应以理想化或过于刻板的方式来解释。

[0055] 为了解决上述技术问题，本发明公开了一种热解耦合分级冷凝制备生物油的系统，可以利用副产物(炭粉)作为燃料提供热能，极大地降低了生物质热解液化的成本，具体方案如下。

[0056] 图1示意性示出了本发明实施例的热解耦合制备生物油的系统的结构示意图。

[0057] 本发明公开了一种热解耦合制备生物油的系统，如图1所示，系统包括：炭粉燃烧炉100、流化床热解反应器200、气固分离装置300和分级冷凝装置400。

[0058] 图2示意性示出了本发明实施例的热解耦合分级冷凝制备生物油的系统的炭粉燃烧炉和炭粉进料装置的结构示意图。

[0059] 根据本发明的一些实施例，如图2所示，炭粉燃烧炉100包括燃烧腔室、炭粉进料口101和烟气出口102，炭粉从炭粉进料口101输送至燃烧腔室进行燃烧，需要说明的是，炭粉在燃烧过程中，应当避免出现富氧燃烧。

[0060] 根据本发明的一些实施例，炭粉在燃烧腔室燃烧后的烟尘从烟气出口102输送至流化床热解反应器200中，其中，控制烟气的温度保持在500℃至650℃范围内。

[0061] 根据本发明的一些施例，如图2所示，炭粉燃烧炉100的底部设置有炭粉燃烧炉进风口103，还包括与炭粉燃烧炉进风口103连接鼓风装置104，鼓风装置104通过风机向燃烧

腔室内通入空气，控制炭粉的燃烧过程。

[0062] 根据本发明的一些施例，可选的，风机为罗茨风机。

[0063] 根据本发明的一些实施例，炭粉燃烧炉100与流化床热解反应器200连通，炭粉燃烧炉100用于将燃烧后的烟气输送至流化床热解反应器200，以便烟气与流化床热解反应器200内的生物质料发生热解反应。

[0064] 根据本发明的一些实施例，炭粉燃烧炉100的内径范围为350mm～450mm，有效高度为800mm～900mm，炭粉的燃烧效果较好，产生的烟气较好。

[0065] 图3示意性示出了本发明实施例的热解耦合分级冷凝制备生物油的系统的流化床热解反应器和气固分离装置的结构示意图。

[0066] 根据本发明的一些实施例，如图3所示，流化床热解反应器200包括柱状的流化床热解炉，流化床热解炉内设置有热解反应腔201，流热解反应腔201的底部设置有进风口202，进风口202与炭粉燃烧炉100的炯气出口102连通，流化床热解炉的顶部设置有生物质进料口204和出气口205，生物质进料口204与生物质进料装置800连通，出气口205用于排出生物质料热解后获得的气体-固体混合物，气体-固体混合物包括炭粉和热解气。

[0067] 根据本发明的一些实施例，流化床热解反应器的有效高度为2500mm～3000mm，从下至上内径相等或不等，内径的取值范围240mm～280mm，生物质料的热解液化反应效率较高。

[0068] 根据本发明的一些实施例，生物质料从生物质进料口204进入到热解反应腔201内，生物质料从热解反应腔201的顶部落入底部，同时，高温烟气从热解反应腔201的底部通入，生物质料与高温烟气发生强烈的动量和热量交换后，即由高温烟气携带着向上流动并发生热解，生物质料析出热解气和炭粉，随后又由烟气、炭粉和热解气体组成的混合气流携带继续向上流动，并经由热解反应腔201顶部出气口205流出流化床式热解反应器200而完成热解过程。

[0069] 根据本发明的一些实施例，流化床式热解反应器200内设置有落料管203，落料管203的一端与生物质进料口204连通，另一端位于热解反应腔201内部。可选的，进料口204的另一端位于热解反应腔201的中部或者上部，用以增加生物质料与烟气的接触时间，防止生物质料未发生热解反应或者热解液化反应不完全。

[0070] 根据本发明的一些实施例，鼓风装置104通入燃烧腔室的进风量与输送至流化床热解反应器200内的生物质料的比例为：燃烧炉进风量(m^3/h)/热解生物质进料量(kg/h)＝1.0～1.5。

[0071] 图4示意性示出了本发明另一实施例的热解耦合制备生物油的系统的结构示意图。

[0072] 根据本发明的一些实施例，如图4所示，热解耦合制备生物油的系统还包括：炭粉进料装置700和生物质进料装置800。

[0073] 根据本发明的一些实施例，如图2所示，炭粉进料装置700包括第一进料桶701和第一螺旋进料装置702，炭粉加入到第一进料桶701，并通过第一螺旋进料装置702按照预设量输送至炭粉燃烧炉100内燃烧。

[0074] 根据本发明的一些实施例，如图3所示，生物质进料装置800包括第二进料桶801和第二螺旋进料装置802，生物质料加入到第二进料桶801，并通过第二螺旋进料装置802按照

预设量输送至流化床热解反应器200内参与热解液化反应。

[0075] 根据本发明的一些实施例，生物质料为颗粒状，可以增大与高温烟气的接触面积，加快热解液化反应的速度以及炭粉的生成速度。

[0076] 根据本发明的一些实施例，如图3和图4所示，气固分离装置300与流化床热解反应器200连通，气固分离装置300用于将流化床热解反应器200排出的气固混合物分离成炭粉和热解气，炭粉作为炭粉燃烧炉的燃料。

[0077] 根据本发明的一些实施例，气固分离装置300包括至少一个旋风分离器，旋风分离器的灰斗304连通炭粉储存箱305，其中，多个旋风分离器依次连接。

[0078] 根据本发明的一些实施例，混合气流从旋风分离器进口302进入，在旋风分离器腔体303出被分离开来，炭粉经由旋风分离器腔体303和灰斗304进入到炭粉储存箱305内。

[0079] 根据本发明的一些实施例，前一个旋风分离器的出口与后一个旋风分离器的入口连通，通过多个串联的旋风分离器将混合气流中的炭粉分离出来，提高炭粉的分离率。

[0080] 根据本发明的一些实施例，分级冷凝装置400与气固分离装置300连接，分级冷凝装置400用于将热解气分级冷凝成生物油900。

[0081] 图5示意性示出了本发明实施例的热解耦合分级冷凝制备生物油的系统的分级冷凝装置的结构示意图。

[0082] 根据本发明的一些实施例，如图5所示，分级冷凝装置400包括第一冷凝器401，第一冷凝器401的从上至下包括喷淋冷凝段4011、第一液冷冷凝段4013和第一储液段4014，第一冷凝器401的顶部设置有第一冷凝器进气口和喷淋口4012，第一冷凝器进气口与气固分离装置400连通，喷淋口4012能够喷出喷淋介质，第一液冷冷凝段4013包括第一管式换热器，第一管式换热器内循环流动冷却液，第一储液段4014储存喷淋介质以及冷凝获得的生物油900，第一储液段4014上方设置有第一冷凝器出气口。

[0083] 根据本发明的一些实施例，喷淋口4012喷出的喷淋介质是醇类有机溶剂或者热解获得的生物油900。

[0084] 可选的，在系统运行的初期，使用醇类有机溶剂作为喷淋介质对热解气进行冷凝。

[0085] 根据本发明的一些实施例，第一冷凝器401包括回流装置4015，回流装置4015的两端分别与喷淋口4012和第一储液段4014。在第一储液段4014储存部分生物油900后，通过回流泵将第一储液段4014内的生物油900输送至喷淋口4012喷出。

[0086] 根据本发明的一些实施例，从第一冷凝器进气口通入的热解气进入第一冷凝器401后，立即与喷淋介质接触而获得快速冷却，其中一部分可凝性的组分被冷凝为液体，其余仍保持气态的部分进入到第一液冷冷凝段4013，由上部而来的喷淋介质、冷凝获得的液体(生物油)、流化载气和未被冷凝的热解气，流经列管管壁时与列管内的循环冷却水发生间壁换热而获得进一步冷却，之前未能被冷凝的热解气又有一部分被冷凝为液体，流入第一储液段4014内，剩余流化载气和未被冷凝的热解气通过第一冷凝器出气口输送至第二冷凝器402内进行进一步的冷凝。

[0087] 根据本发明的一些实施例，喷淋冷凝段4011的有效高度为800mm～1000mm，第一液冷冷凝段4013的有效高度为900mm～1100mm，第一储液段4014的有效高度为800mm～1000mm。根据所需要的生物油的成分或种类适应性的调整第一冷凝器401的尺寸。

[0088] 根据本发明的一些实施例，分级冷凝装置400包括至少一个第二冷凝器402，第二

冷凝器402从上至下包括第二液冷冷凝段4021、填料段4022和第二储液段4023，第二液冷冷凝段4021包括第二管式换热器，第二管式换热器内循环流动冷却液，填料段4022用于填充填料，第二储液段4023用于储存冷凝后的液体，多个第二冷凝器402依次连接。

[0089] 根据本发明的一些实施例，来自上一级冷凝器的流化载气和未被冷凝的热解气由储液段上方的进气口进入本级冷凝器后，经由填料段向上流动，并在列管式换热器内与循环冷却水发生间壁换热而获得进一步冷却，之前未能被冷凝的可凝性热解气部分被冷凝为液体，而冷凝液在重力作用下向下流动。

[0090] 根据本发明的一些实施例，第二冷凝器402向下流动的冷凝液在流经填料段4022时与向上流动的气流发生动量和热量交换，故而填料段4022也起到了冷却与冷凝的作用。

[0091] 根据本发明的一些实施例，填充段4022填充有填料，热解气通过填料之间的缝隙向上运动，填料作为冷凝的载体将可凝性热解气冷凝成液体，提高了冷凝生物油900的效率。

[0092] 根据本发明的一些实施例，热解气在分级冷却与冷凝过程中，各级冷凝器的冷凝温度主要通过调节各级冷凝器的循环冷却水的温度和流量来控制的，从而分离出多种组分富集度较高的生物油。

[0093] 根据本发明的一些实施例，第二液冷冷凝段4021的有效高度为800mm～1000mm，填料段4022的有效高度为900mm～1100mm，第二储液段4023的有效高度为800mm～1000mm。根据所需要的生物油的成分或种类适应性的调整第二冷凝器402的尺寸。

[0094] 根据本发明的一些实施例，热解耦合分级冷凝制备生物油的系统还包括：尾气燃烧装置500和保温夹套600。

[0095] 根据本发明的一些实施例，尾气燃烧装置500与负压循环装置连接，通过负压循环装置将尾气燃烧装置500反应后的气体输送至保温夹套600内。

[0096] 根据本发明的一些实施例，尾气燃烧装置500与分级冷凝装置400连通，尾气燃烧装置500用于将分级冷凝装置400排出的尾气燃烧，尾气燃烧装置500用于将燃烧后的气体通入保温夹套600。

[0097] 根据本发明的一些实施例，经过多级冷凝器的冷凝之后，热解气内可冷凝部分基本已全部冷凝成生物油，通过最后一集冷凝器排出的尾气内包括二氧化碳、一氧化碳、甲烷、氢气等，经过尾气燃烧装置500处理后，将处理后的高温气体输送至保温夹套600内，用以实现对保温夹套600内装置的保温。

[0098] 根据本发明的一些实施例，保温夹套600设置有内腔，经过尾气燃烧装置500处理后的气体通过保温夹套600的内腔后排出，充分利用能源，减少了对环境的污染。

[0099] 根据本发明的一些实施例，炭粉燃烧炉100、流化床热解反应器200、气固分离装置300、分级冷凝装置400中至少一个的外部设置有保温夹套600。

[0100] 图6示意性示出了本发明实施例的热解耦合制备生物油的方法的流程图。

[0101] 本发明还公开了一种利用热解耦合制备生物油的系统实现热解耦合制备生物油的方法，如图6所示，方法包括步骤S1至S4。

[0102] 根据本发明的一些实施例，步骤S1包括：将炭粉输送至炭粉燃烧炉100燃烧，将燃烧后的烟气通入到流化床热解反应器200内。

[0103] 根据本发明的一些实施例，步骤S2包括：将生物质料输送至流化床热解反应器200

内，生物质料与烟气混合后发生热解反应。

[0104] 根据本发明的一些实施例，步骤S3包括：利用气固分离装置300将流化床热解反应器200输出的气固混合物分离成炭粉和热解气，将炭粉收集至炭粉储存箱305。

[0105] 根据本发明的一些实施例，步骤S4包括：通过分级冷凝装置400将热解气分级冷凝成生物油900。

[0106] 根据本发明的一些实施例，利用尾气燃烧装置500将分级冷凝装置400排出的尾气燃烧，将燃烧后获得的气体通入到保温夹套600，其中，炭粉燃烧炉100、流化床热解反应器200、气固分离装置300、分级冷凝装置400中至少一个的外部设置有保温夹套600。

[0107] 根据本发明的一些实施例，烟气的温度范围为500℃～650℃，热解气的温度范围为250℃～350℃，分级冷凝装置排出的尾气温度范围是20℃～30℃。

[0108] 根据本发明的一些实施例，通过控制系统各个流程的工作温度，以实现对热解气分级冷却冷凝获得不同组分的生物油。

[0109] 根据本发明的一些实施例，通过控制通入炭粉燃烧炉100内空气的流量来控制烟气的温度为500℃～650℃，控制通过气固分离装置300分离后的热解气的温度为300℃左右，也即，通入至第一冷凝器401入口的热解气温度为300℃，储存在第一储液段4014内的生物油900的温度为70℃～100℃，控制通入第一级的第二冷凝器401内的热解气的温度为60℃～80℃，控制通入第二级的第二冷凝器401内的热解气的温度为20℃～30℃。通过保温夹套600来控制气固分离装置300的温度。

[0110] 下面结合具体实施例对本发明公开的技术方案进行进一步的阐述，需要理解的是，该具体实施例仅是为了帮助本领域技术人员更好的理解本发明的技术方案，并非是对本发明的保护范围的限定。

[0111] 实施例一：

[0112] 如图2所示，流化床热解反应器200的有效高度为2800mm、从下至上内径相等，内径均为260mm；炭粉燃烧炉100的内径为410mm、有效高度为850mm；分级冷凝装置400包括一个第一冷凝器401和两个第二冷凝器402，第一冷凝器401和第二冷凝器402的内径均为410mm，其中：喷淋冷凝段4011的有效高度为900mm，第一液冷冷凝段4013的有效高度为1000mm、第一储液段4014的有效高度为900mm；两个第二冷凝器402的第二液冷冷凝段4021的有效高度均为900mm，填料段4022的有效高度均为1000mm，下部储液段的有效高度均为900mm。

[0113] 以稻壳为生物质料进行热解液化制备生物油，多次进行热解制备生物油试验，获得的结果如下：

[0114] (1)该系统稳定运行时的热解处理能力为200kg/h，生物油总得率为51.2％，其中第一级冷却与冷凝装置收集到的生物油在总生物油中的占比为68％、第二级占比为23％、第三级占比为9％。

[0115] (2)该装置稳定运行时炭粉的产率和热值分别为60kg/h和24MJ/kg，不凝性可燃气的产率和热值分别为40m^3/h和12MJ/m^3。

[0116] (3)该装置稳定运行时炭粉的燃烧速率为40kg/h。

[0117] 通过上述试验结果可以看出，系统在稳定运行时，副产物-炭粉的产量大于炭粉的消耗量，基于此，本发明公开的系统和方法，可以在不额外消耗能源(如化石燃料或者电能)的情况下，完成对生物质料的热解，降低了生产成本。

[0118] 实施例二：

[0119] 图7示意性示出了本发明另一实施例的热解耦合制备生物油的系统的结构示意图，如图7所示，流化床热解反应器200的有效高度为2500mm，从下至上分为两段：上部为等径段、内径为410mm，下部为变径段、上端内径为410mm、下端内径为260mm；炭粉燃烧炉100的内径为410mm，有效高度为850mm；分级冷凝装置400包括一个第一冷凝器401和两个第二冷凝器402，第一冷凝器401和第二冷凝器402的内径均为410mm，其中：喷淋冷凝段4011的有效高度为900mm，第一液冷冷凝段4013的有效高度为1000mm，第一储液段4014的有效高度为900mm；两个第二冷凝器402的第二液冷冷凝段4021的有效高度均为900mm，填料段4022的有效高度均为1000mm，下部储液段的有效高度均为900mm。

[0120] 以稻壳为生物质料进行热解液化制备生物油，多次进行热解制备生物油试验，获得的结果如下：

[0121] (1)该装置稳定运行时的热解处理能力为500kg/h，生物油总得率为51.5％，其中第一级冷却与冷凝装置收集到的生物油在总生物油中的占比为68％、第二级占比为23％、第三级占比为9％。

[0122] (2)该装置稳定运行时炭粉的产率和热值分别为150kg/h和24MJ/kg，不凝性可燃气的产率和热值分别为100m^3/h和12MJ/m^3。

[0123] (3)该装置稳定运行时炭粉的燃烧速率为100kg/h。

[0124] 通过上述试验结果可以看出，系统在稳定运行时，副产物-炭粉的产量同样高于炭粉的消耗量，且热解处理能力相较于实施例一中的200kg/h提升到了500kg/h，基于此，本发明公开的系统和方法，可以在不额外消耗能源(如化石燃料或者电能)的情况下，完成对生物质料的热解，降低了生产成本，并且将热解处理能力提升至500kg/h，达到世界一流水平。

[0125] 例如，对于传统的生物质热解液化装置，热解处理能力为1000kg/h的商用装置，其电加热功率至少需200kW以上，每生产1吨生物油(为方便估算假设生物油得率为50％，下同)将耗电400kWh，若电费按0.8元/kWh计算，则每生产1吨生物油仅电加热这一项的成本就达到了320元/吨。而本发明采用燃烧部分炭粉为热解提供热源，同样热解规模(1000kg/h)的商用装置，每生产1吨生物油需要燃用120kg炭粉，若炭粉按500元/吨计算，则每生产1吨生物油的加热成本仅需60元/吨，不超过传统技术加热成本的五分之一。

[0126] 通过上述技术方案，本发明通过利用炭粉燃烧炉为流化床热解反应器提供高温的烟气，与颗粒状的生物质料发生热解反应，生成气化的生物油、炭粉、一氧化碳、二氧化碳、氢气等混合气体，经过气固分离装置分离出炭粉，回收的炭粉可用于在炭粉燃烧炉内燃烧，利用分级冷凝装置分级冷凝热解气获得生物油。本发明公开的技术方案通过燃烧副产物(炭粉)即可满足(或基本满足)流化床热解反应器的温度场和流场需求，极大地降低了生物油的生产成本，并且，根据其各组分气体的凝点不同实施快速冷却和分级冷凝，从而获得组分相对富集的多品级、多用途的生物油，进而有效拓宽生物油的应用途径并提升其综合利用价值。

[0127] 至此，已经结合附图对本公开实施例进行了详细描述。需要说明的是，在附图或说明书正文中，未绘示或描述的实现方式，均为所属技术领域中普通技术人员所知的形式，并未进行详细说明。此外，上述对各零部件的定义并不仅限于实施例中提到的各种具体结构、形状或方式，本领域普通技术人员可对其进行简单地更改或替换。

[0128] 还需要说明的是，在本公开的具体实施例中，除非有所知名为相反之意，本说明书及所附权利要求中的数值参数是近似值，能够根据通过本公开的内容所得的所需特性改变。具体而言，所有使用于说明书及权利要求中表示组成的尺寸、范围条件等等的数字，应理解为在所有情况中是受到“约”的用语所修饰。一般情况下，其表达的含义是指包含由特定数量在一些实施例中±10％的变化、在一些实施例中±5％的变化、在一些实施例中±1％的变化、在一些实施例中±0.5％的变化。

[0129] 本领域技术人员可以理解，本发明的各个实施例和/或权利要求中记载的特征可以进行多种组合或/或结合，即使这样的组合或结合没有明确记载于本发明中。特别地，在不脱离本发明精神和教导的情况下，本发明的各个实施例和/或权利要求中记载的特征可以进行多种组合和/或结合。所有这些组合和/或结合均落入本发明的范围。

[0130] 以上所述的具体实施例，对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明，应理解的是，以上所述仅为本发明的具体实施例而已，并不用于限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

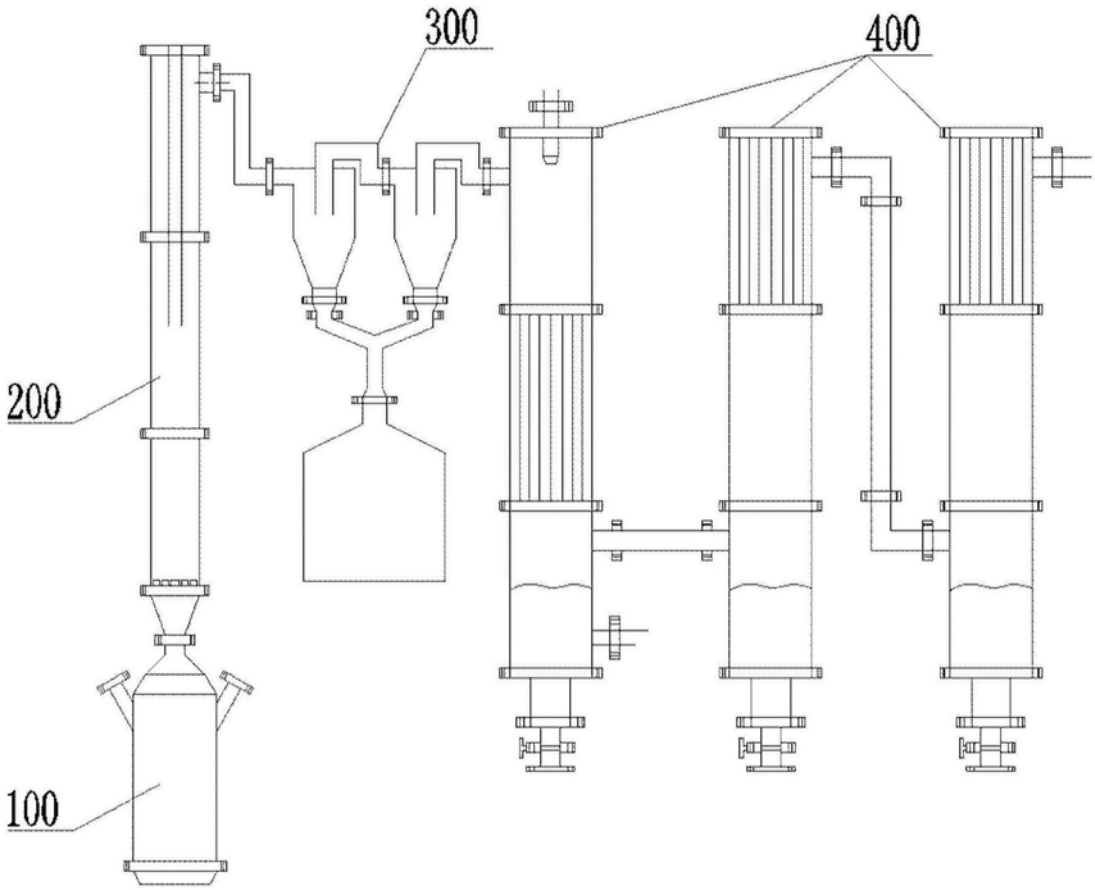


图1

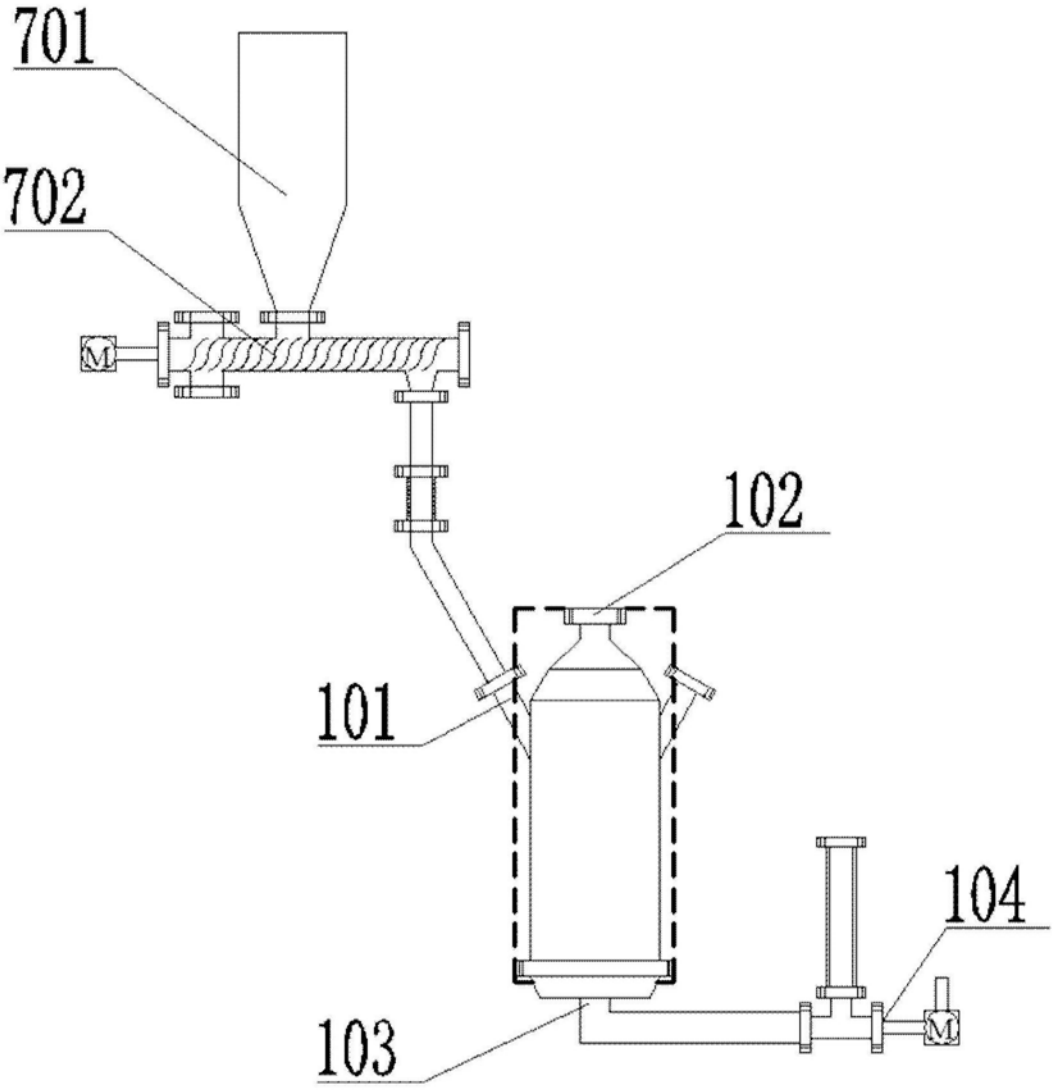


图2

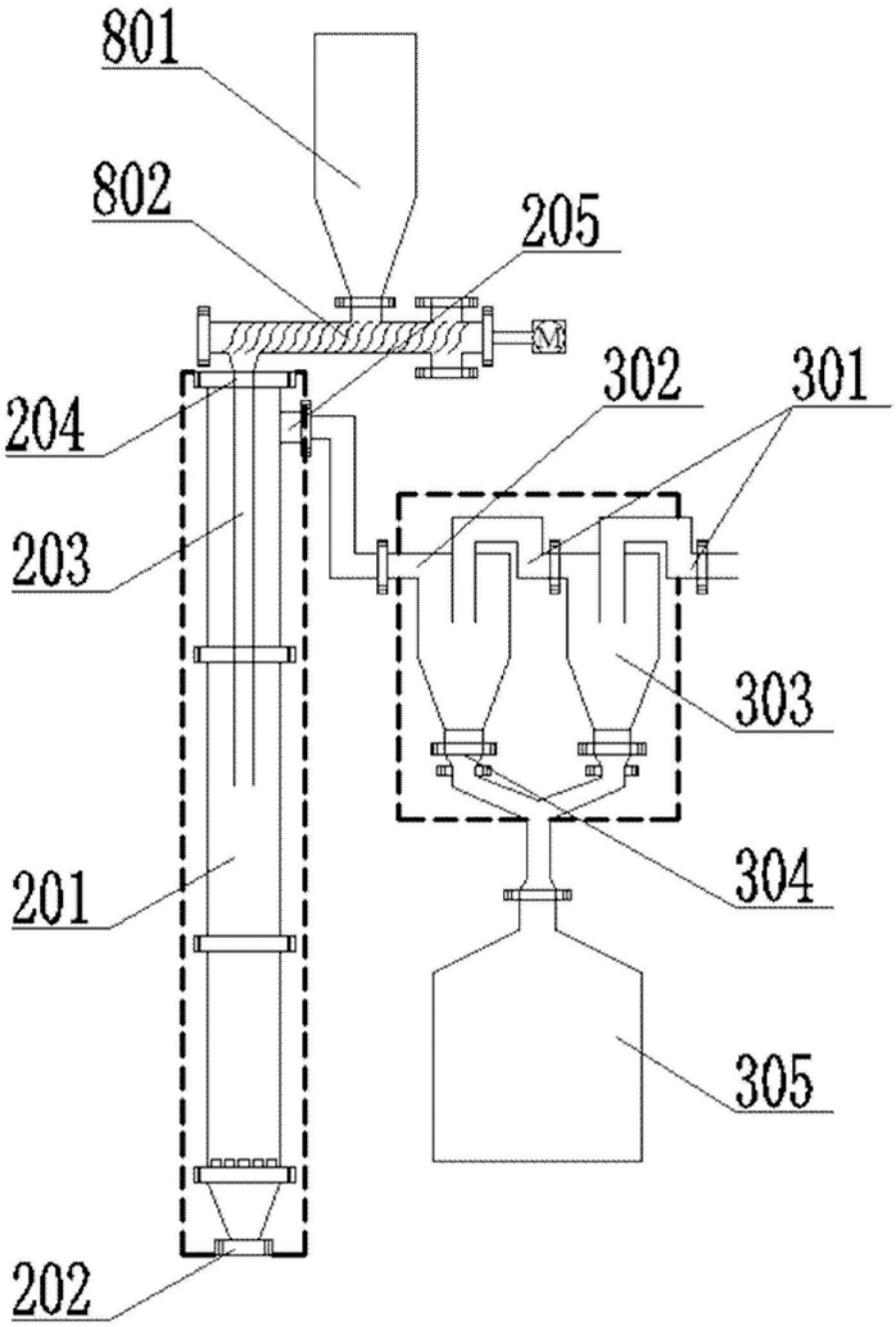


图3

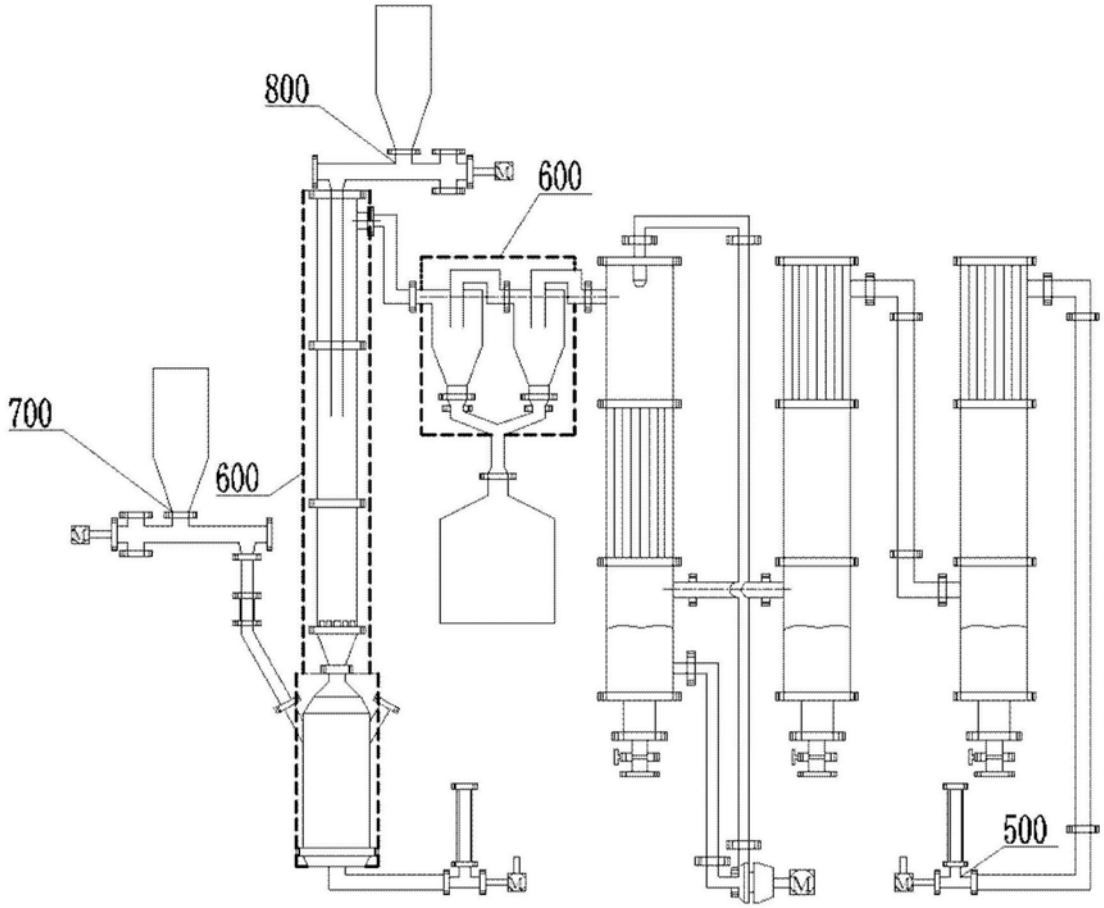


图4

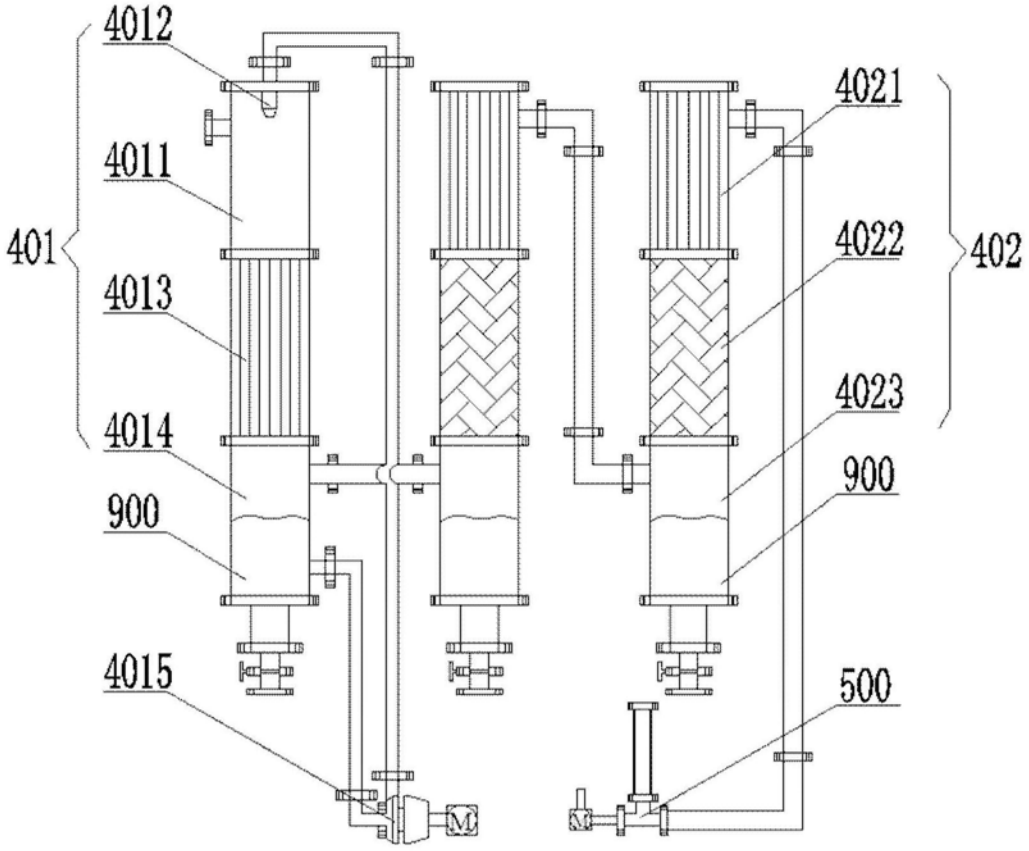

4012
4011
401
4013
4014
900
4015
4021
4022
402
4023
900
500

图5

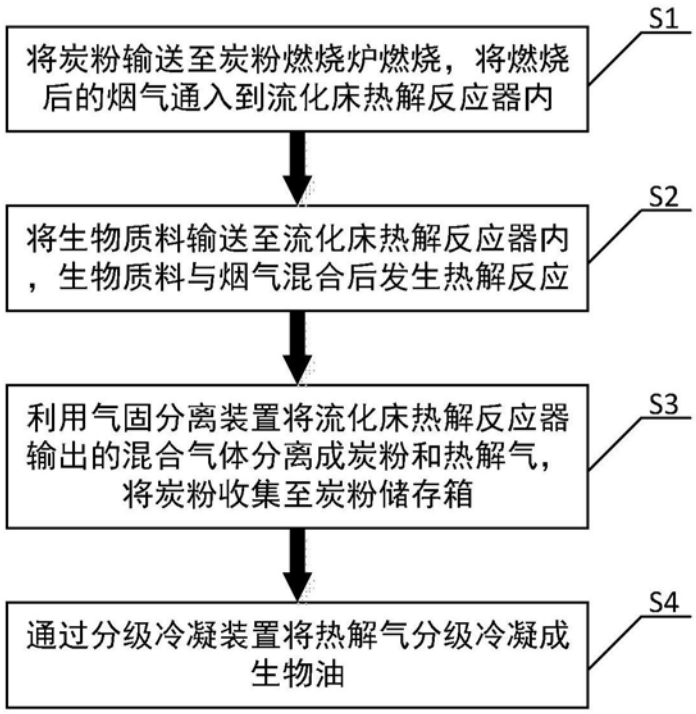

S1
将炭粉输送至炭粉燃烧炉燃烧，将燃烧后的烟气通入到流化床热解反应器内
S2
将生物质料输送至流化床热解反应器内，生物质料与烟气混合后发生热解反应
S3
利用气固分离装置将流化床热解反应器输出的混合气体分离成炭粉和热解气，将炭粉收集至炭粉储存箱
S4
通过分级冷凝装置将热解气分级冷凝成生物油

图6

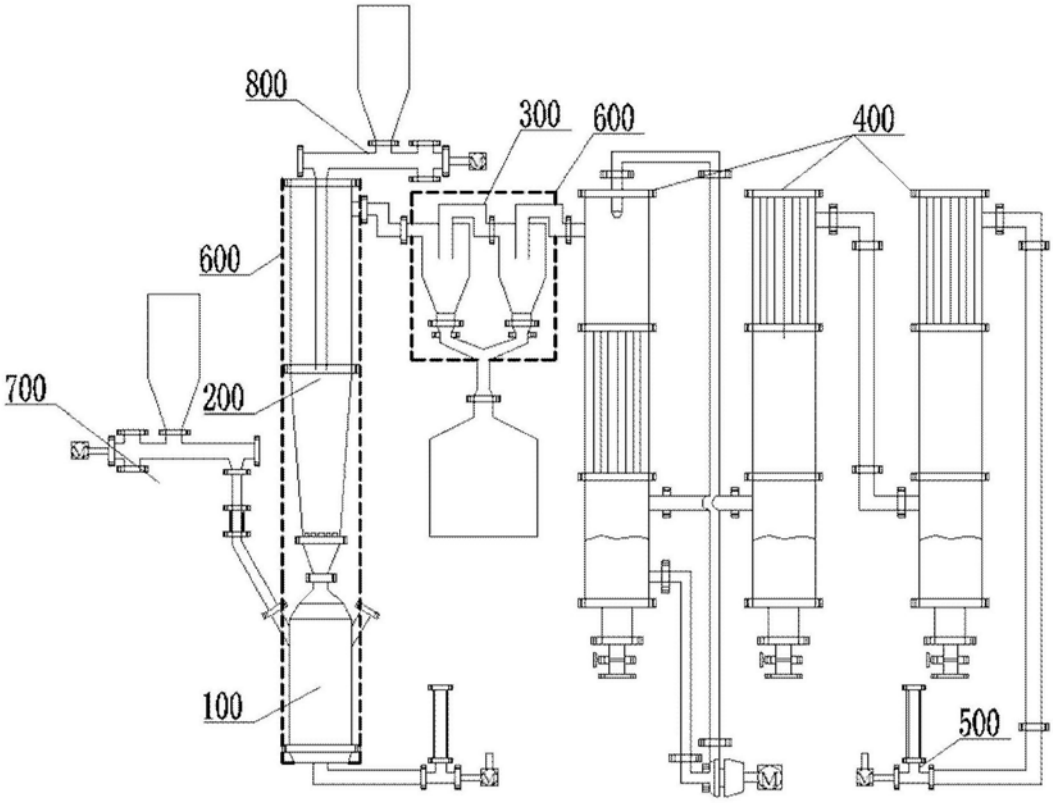


图7