

生物质原料制备生物燃油的化工工艺优化研究

步宇涵

呼伦贝尔学院 内蒙古呼伦贝尔市 021000

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21182

[摘要] 在绿色低碳发展的行业背景下,生物质原料凭借可再生、低污染、储量丰富的优势,成为替代化石能源制备生物燃油的核心原料,是缓解能源危机、优化能源结构的重要路径。当前传统生物质制燃油化工工艺存在原料适配性差、催化转化低效、全流程耦合性不足、资源利用率低等行业痛点,制约了生物燃油产业化发展。本文系统梳理生物质制备生物燃油的核心工艺流程,剖析传统工艺运行中的核心短板,从原料预处理、催化体系改良、全流程工艺耦合、后处理绿色升级四个维度提出创新性优化策略,构建全链条高效、低碳节能的制备工艺体系。优化后的工艺可实现生物质资源梯级高值化利用,提升工艺运行稳定性与绿色化水平,为生物燃油工业化、规模化发展提供理论支撑与技术参考。

[关键词] 生物质原料; 生物燃油; 化工工艺; 工艺优化; 资源化利用

引言:

全球能源结构转型与生态环境保护双重需求下,传统化石能源的过度开发与使用引发的资源枯竭、环境污染等问题日益凸显,可再生清洁能源的研发与产业化成为能源领域的研究重点。生物质作为唯一可转化为固、液、气三态能源的可再生资源,涵盖农林废弃物、有机废弃物等多种类型,来源广泛且低碳环保,通过化工转化制备的生物燃油,具备清洁燃烧、可循环再生的特性,是极具发展潜力的化石燃油替代产品。现阶段我国生物质制燃油工艺仍以传统热解、催化转化技术为主,工艺体系较为粗放,存在原料利用不充分、转化环节能耗偏高、产物纯度不足等问题,难以适配规模化、工业化生产需求。基于此,本文聚焦生物质制备生物燃油的全流程化工工艺,结合现代绿色化工技术理念,开展工艺缺陷分析与系统性优化研究,旨在突破传统技术瓶颈,完善生物质资源化制油技术体系,推动生物燃油产业高质量、可持续发展。

一、生物质制备生物燃油核心工艺概述

(一) 生物质原料特性与适配性分析

可用于制备生物燃油的生物质原料品类丰富,主要包含木质纤维素类农林废弃物、水生生物质、有机餐厨废弃物等,不同原料的组分结构、理化性质存在显著差异,直接影响制油工艺的适配性与转化效果。木质纤维素类生物质作为主流制油原料,结构稳定且组分复杂,富含纤维素、半纤维素与木质素,三类组分交织形成致密的网状结构,天然抗降解特性较强,常规化工转化手段难以实现充分裂解。水生生物质与餐厨废弃物类原料质地疏松、组分易降解,但存在含水率

高、杂质含量复杂的特点,对预处理与脱水工艺有着特殊要求。

生物质原料的结构差异性决定了制备工艺无法实现单一化适配,传统生产模式多采用统一工艺处理各类原料,忽视原料特性差异,极易出现原料裂解不充分、副产物过多、资源浪费等问题。优质的制油工艺体系,需以原料特性为基础,匹配差异化的预处理、转化与提纯方案,最大化挖掘不同生物质原料的制油潜力,实现原料与工艺的精准适配,这也是工艺优化的核心前提。

(二) 传统生物燃油制备核心工艺流程

现阶段工业领域通用的生物质制油化工工艺,以预处理、热解转化、催化改性、分离提纯四大核心环节为主体,形成完整的制备链条。原料预处理作为前置基础环节,主要通过物理、化学或生物手段,破除生物质致密结构,去除原料中的杂质与多余水分,拆解木质纤维素的交联结构,为后续裂解转化创造良好条件,常用方式包含粉碎、干燥、酸碱预处理等。

热解转化是制油过程的核心反应环节,通过高温无氧环境促使生物质大分子有机物发生裂解反应,分解为挥发性油气、固体焦炭与可燃气体三类产物,是实现生物质向液态燃油转化的关键步骤。催化改性环节主要针对热解生成的粗制生物油,通过催化反应调整油品内部分子结构,去除含氧官能团,改善油品稳定性、热值与流动性,解决粗油品质差、易氧化变质的问题。分离提纯作为终端环节,通过精馏、过滤、沉降等化工手段,分离去除粗油中的杂质、水分与重组分,最终得到符合使用标准的生物燃油产品。

二、传统生物质制燃油工艺现存关键问题

(一) 原料预处理工艺适配性不足

传统预处理工艺多采用标准化处理模式, 未结合生物质原料的组分差异进行针对性调整, 工艺适配性存在明显短板。对于结构致密的木质纤维素类原料, 常规粉碎、简单酸碱处理难以彻底破除组分交联结构, 原料内部有效组分无法充分暴露, 后续热解转化反应不彻底, 大量优质资源随废渣流失。对于高含水、高杂质的废弃生物质原料, 传统干燥与除杂工艺精细化程度不足, 残留的水分与杂质会干扰热解反应进程, 引发副反应生成劣质副产物, 降低粗油品质。

传统预处理工艺普遍存在工艺单一、能耗偏高的问题, 物理预处理方式仅能改变原料形态, 无法优化组分结构; 化学预处理方式易产生废液废渣, 造成二次污染, 不符合绿色化工发展理念, 预处理环节的技术短板成为制约整体工艺效率提升的首要因素。

(二) 催化转化体系效率存在局限

催化转化是决定生物燃油品质与资源转化率的核心环节, 当前工业应用的催化体系存在催化选择性弱、稳定性差、结焦严重等诸多问题。传统单一催化剂仅能针对油品单一官能团进行改性, 无法同步实现脱氧、异构化、提质多重效果, 热解过程中易生成大量轻质气体与重质焦油, 有效燃油组分占比偏低。多数常规催化剂耐高温、抗污染能力较弱, 在高温热解环境中易出现活性位点失活、结构坍塌等现象, 催化性能持续衰减, 需要频繁更换催化剂, 增加工业生产成本。

传统催化工艺多为独立反应环节, 与热解过程衔接性较差, 热解生成的挥发性油气无法即时完成催化改性, 中间产物易发生二次聚合反应, 生成大分子胶质物质, 导致生物燃油黏度升高、稳定性下降, 大幅影响终端产品品质。

(三) 整体工艺耦合性与能耗缺陷

传统生物质制油各工艺环节多独立运行, 流程衔接松散, 全流程耦合集成度较低, 未形成闭环协同的生产体系。预处理、热解、催化、提纯各环节参数相互独立, 缺乏联动调控机制, 前序环节的处理效果无法适配后序反应需求, 极易出现工序匹配失衡的问题, 造成整体生产效率低下。各环节能量无法实现循环利用, 高温热解产生的余热、副产物蕴含的化学能未得到有效回收, 整体工艺能耗水平居高不下。

传统工艺只把目光放在液态燃油的制备上, 对于热解生成的固体焦炭、可燃气体这类副产物, 没有可行的资源化利用方法, 资源整体利用率不高, 会造成比较明显的资源浪费。

粗放的生产流程不仅拉低了工艺的经济效益, 也限制了生物质制油产业的规模化、工业化推广, 没法满足现代绿色化工的生产要求。

三、生物质制备生物燃油化工工艺优化创新策略

(一) 差异化原料预处理工艺优化

针对传统预处理工艺适配性差、能耗高、污染大的问题, 本文围绕原料特性搭建差异化预处理工艺体系, 做到对不同生物质原料进行精准、绿色的预处理。针对木质纤维素类的硬质原料, 采用物理细化搭配温和化学改性的复合预处理方式, 利用梯度粉碎调整原料的粒径结构, 配合温和改性手段精准破坏木质素和纤维素的交联结构, 能最大程度保留可用于制油的有效组分, 同时避开强酸碱处理引发的环境污染问题。

对于高含水、高杂质的软质废弃生物质原料, 优化低温真空干燥与分级除杂工艺, 替代传统高温干燥模式, 在降低能耗的同时避免原料有效组分高温变质, 通过多级筛分、吸附除杂去除原料中的无机杂质与有机污染物, 净化原料基底。同时引入生物预处理技术, 利用微生物酶解作用温和降解原料中的惰性组分, 优化原料反应活性, 提升后续热解转化效率。差异化预处理模式彻底打破传统标准化工艺的局限性, 实现原料资源的最大化激活, 为后续高效制油反应奠定基础。

(二) 复合协同催化体系工艺改良

依托现代催化化工技术, 摒弃传统单一催化模式, 构建改性分子筛与酸碱复合协同催化体系, 实现生物质热解油气的高效提质改性。通过非金属掺杂改性调控分子筛催化剂的孔道结构与酸性位点, 精准弱化催化剂的强酸活性, 有效抑制反应过程中的结焦现象, 提升催化剂的耐高温稳定性与使用寿命。搭配 Lewis 与 Brønsted 酸碱复合催化体系, 发挥不同催化剂的功能优势, 同步实现油气脱氧、异构化、轻质化改性, 大幅提升燃油有效组分的占比。

优化催化反应时序, 构建热解-催化一体化耦合反应模式, 实现生物质热解挥发分的即时原位催化, 避免中间产物二次聚合反应, 从源头减少重质胶质副产物的生成。同时优化催化反应环境, 调控反应氛围实现无氢催化炼制, 摆脱传统工艺对氢气原料的依赖, 简化生产流程, 降低工业生产成本, 兼顾催化效率与工艺经济性。

(三) 全流程工艺耦合集成优化

以系统化工理念为基础, 整合预处理、热解、催化、分离提纯完整生产链条, 搭建闭环耦合的一体化制油工艺体系,

加强各个环节的参数联动与流程衔接,建立多工序协同调控机制,按照原料预处理的实际效果,动态调整热解温度、升温速率、反应时长等核心参数,达成前序工序与后序反应的精准适配,解决工序匹配失衡的问题。回收热解与催化环节产生的余热再利用,把高温余热引入预处理的干燥环节,做到能量内部循环,大幅降低整体工艺的能耗。

创新搭建生物质全组分梯级利用工艺,更改传统单一制油模式,对工艺产出的固体焦炭、可燃气体、重质残渣等副产物进行分级资源化利用,将重质残渣加工成高热值绿煤,可燃气体回收后用于供热供能,达成生物质资源全链条增值利用。全流程耦合优化既解决了传统工艺松散低效的问题,又做到资源与能量的双重高效利用,提高了工艺整体竞争力。

(四) 绿色节能后处理工艺优化

针对传统后处理工艺提纯精度不足、能耗偏高、溶剂浪费的问题,优化生物燃油的绿色分离提纯工艺,使用梯度减压精馏技术替换传统常压精馏方式,在低温低压环境下做到燃油轻重组分的精准分离,避免高温提纯让燃油组分出现变质,提高成品油纯度与稳定性。整合膜分离与吸附精制技术,精准除去粗油里残留的水分、含氧杂质与胶质,进一步完善油品的理化性能,让生物燃油的热值、流动性、抗氧化性都能达到商用燃油的标准。

并且完善后处理废液、废渣的循环处理机制,把提纯过程产生的轻度废液回收,用到原料预处理环节,固体废渣经过处理后可以当作生物质燃料循环使用,彻底解决后处理环节的二次污染问题,搭建绿色闭环的终端处理体系,符合低碳环保的产业发展方向。

四、优化后工艺的应用优势与发展价值

(一) 工艺运行稳定性显著提升

经过系统性优化的生物质制油工艺,解决了传统工艺适配性差、催化失活、工序失衡等核心问题,整体运行稳定性与可控性大幅提升。差异化预处理体系让各类生物质原料均可实现高效活化,从源头保障反应的稳定性;复合协同催化体系有效抑制了结焦、副反应等问题,延长催化剂使用周期,减少设备停机维护频次;全流程耦合联动模式实现各工序精准衔接,规避生产过程中的工况波动问题,适配长期连续化工业生产需求,为规模化制油生产提供稳定技术支撑。

(二) 绿色低碳产业化价值凸显

优化工艺全程秉持绿色化工理念,通过能量循环利用、

副产物梯级利用、污染物闭环处理,大幅降低生产过程中的能耗与污染排放,彻底改变传统工艺高能耗、高浪费、高污染的弊端。工艺可充分利用各类农林废弃物、有机垃圾等废弃生物质资源,实现固废资源化处置,兼具能源生产与生态环保双重价值。同时无氢炼制、低温提纯等创新技术的应用,简化了生产流程,降低了设备投入与运行成本,有效提升生物燃油的市场经济性,为技术产业化落地提供有力保障。

(三) 工艺适配场景全面拓展

优化后的一体化工艺体系具备极强的原料适配性与场景灵活性,既可适配大规模工业化集中生产,也可适配中小型分布式生产场景,能够根据原料类型、生产规模灵活调整工艺参数。制备的高品质生物燃油可直接用于民用燃料、工业动力燃料、航空燃油添加剂等多个领域,应用场景广泛。该工艺体系突破了传统生物质制油技术的应用局限,为生物质资源化高值利用提供了全新的技术路径,具备良好的推广应用前景。

五、结束语

生物质制备生物燃油是推动能源转型、实现固废资源化利用的重要绿色技术路径,针对传统制油工艺存在的适配性不足、转化效率偏低、流程耦合性差、能耗偏高的问题,本文从预处理、催化体系、全流程耦合、后处理环节完成全方位工艺优化,构建了一套精准、高效、绿色、闭环的生物质制油新工艺体系。优化后的工艺实现了生物质资源全组分梯级高值利用,有效提升生物燃油品质与生产效率,降低工艺能耗与污染排放,兼具技术创新性与产业实用性。未来可结合智能化调控技术进一步完善工艺体系,深化反应机理研究,持续提升工艺的工业化适配能力,助力生物燃油产业规模化、绿色化、高质量发展,为我国可再生能源体系建设提供坚实的技术支撑。

[参考文献]

- [1] 赵荣洋, 杨美玲, 李杰, 等. 生物质催化热解制油及油品改性提质研究进展[J]. 洁净煤技术, 2023, 29(2): 1-13.
- [2] 吴晓颖. 生物质油制备及应用现状分析[J]. 当代化工, 2023, 52(2): 465-468.
- [3] 杨依婕, 刘莹, 张伟, 等. TiO_2 催化剂改性方法对光热催化麻疯树籽油制备生物燃油的影响[J]. 中国油脂, 2023, 48(1): 53-59.