

林业废弃物生物质能源转化技术与工艺优化

宋展飞

东海县牛山果树综合实验站, 江苏 连云港 222300

摘要: 随着能源需求增长与生态环境保护压力加大, 林业废弃物作为可再生生物质资源的重要来源, 受到广泛关注。有效利用林业废弃物进行能源转化, 不仅有助于缓解能源短缺问题, 还能推动绿色低碳发展。本文围绕林业废弃物的资源特性, 系统分析当前主要的生物质能源转化技术, 探讨各类工艺的适用性与优化路径, 并提出促进林业废弃物高效利用的技术创新思路。旨在为实现林业资源综合利用与能源转型提供理论依据与实践参考。

关键词: 林业废弃物; 生物质能源; 转化技术; 工艺优化; 绿色发展

引言

林业废弃物主要包括伐木残枝、锯末、树皮、竹屑等, 这些原本被弃置的生物质资源, 蕴含着巨大的能量转化潜力。随着全球对清洁能源和可持续发展的重视, 如何科学、高效地将林业废弃物转化为可利用的能源形式, 成为林业资源综合利用和能源结构优化的重要课题。目前, 林业废弃物生物质能源转化技术逐渐多样化, 涵盖热化学转化、生物化学转化与物理机械处理等多种路径, 每种技术在原料适用性、能效水平、经济性与环境影响等方面各有优劣。面对不同地区资源禀赋与能源需求特点, 亟需在现有基础上优化工艺流程、提升转化效率, 推动林业废弃物能源化利用向规模化、系统化、智能化方向发展。本文将围绕林业废弃物的能源化现状、主要转化技术、工艺优化策略与未来发展趋势进行系统分析, 以期为林业生物质能源利用提供理论支持与实践指导。

1 林业废弃物资源特性与能源化潜力分析

1.1 林业废弃物的类型与特性

林业废弃物包括伐根、枝桠、树皮、锯末、竹屑等, 是林木采伐和加工过程中产生的大量可再生资源。这些废弃物具有高有机质含量、

能量密度较高的特点, 是优质生物质能源原料。不同地区的林业废弃物成分存在差异, 南方以阔叶林和竹林废料为主, 北方以针叶林残材居多, 影响后续转化方式的选择。整体来看, 林业废弃物资源分布广泛, 储量丰富, 但存在收集分散、含水率高、易腐烂和储存运输困难的问题, 需要针对性设计利用策略, 以保障能源转化工艺的连续性和经济性^[1]。

目前我国林业废弃物年产量超过2亿吨, 能源化利用率仍偏低, 大量资源被弃置或露天焚烧, 不仅造成极大浪费, 还带来严重的环境污染和碳排放压力。合理开发利用林业废弃物, 不仅能缓解能源紧张、减少温室气体排放, 还能降低森林火灾风险, 促进生态系统良性循环, 具有生态效益、经济效益与社会效益的多重价值。掌握林业废弃物的物理化学特性, 如纤维素、半纤维素与木质素比例、含灰量与含水量, 是优化能源转化工艺、提升利用效率的基础条件, 也是后续原料分级利用与工艺路径选择的重要依据。

1.2 林业废弃物能源转化的优势与前景

林业废弃物作为生物质能源原料, 具有单位热值高、稳定性好、环境友好等显著优势。其燃烧热值通常在17~20MJ/kg之间, 适用于直接燃烧、热解制油、气化发电等多种能源转

化工艺。与农作物秸秆等相比,林业废弃物碳含量高、水分低、挥发分适中,能效更高,转化过程中的污染物排放量相对较小,有助于降低整体环境负荷,符合绿色低碳发展的战略方向。同时,林业废弃物利用还可缓解农村秸秆禁烧压力,促进资源高效循环利用,提升生态文明建设水平。

未来,随着清洁能源需求上升和“双碳”政策推进,林业废弃物资源化利用潜力巨大。通过规模化开发,不仅可以有效促进林区经济发展,增加林区与周边地区的就业机会,还能带动生物质发电、清洁供暖、绿色建材等相关产业链的发展。同时,林业废弃物资源化在分布式能源系统、小型热电联产项目及乡村清洁能源建设中具有广泛应用前景。针对不同类型废弃物,优化原料收集、储运和转化工艺,将成为实现资源高效利用、降低综合成本并提升市场竞争力的关键方向,也是推动林业资源可持续利用和促进乡村振兴战略落地的重要抓手^[2]。

2 林业废弃物生物质能源转化的主要技术途径分析

2.1 热化学转化技术应用概况

热化学转化是目前林业废弃物能源利用中最常见的方法,主要包括直接燃烧、热解、气化与液化。直接燃烧适合规模发电或供热,但能效相对较低,对排放控制要求较高。热解技术通过无氧或缺氧环境下加热,将废弃物分解为气体、液体和固体产物,生物油和炭产品具有较高经济价值。气化技术通过高温处理与氧气、蒸汽反应生成可燃气体,可用于发电或制备合成燃料。液化技术则将废弃物在高温高压下转化为生物油,能量密度高,便于储运。

不同热化学技术各有优劣,直接燃烧设备投资较低但污染较大,热解与气化转化效率更高但工艺复杂。近年来,催化气化、分级热解、超临界液化等新技术不断涌现,显著提升了产物收率与能效。针对林业废弃物高含木质素、

高灰分特性,优化热解温度控制与催化剂使用,成为提升能量转化效率的重要手段。整体来看,热化学转化适应性强、产业化程度高,是林业废弃物资源化利用的重要技术路径。

2.2 生物化学转化与物理处理技术应用

生物化学转化主要指利用微生物或酶将林业废弃物分解转化为燃料或其他生物基产品。常见工艺包括厌氧发酵制沼气、酶解发酵制生物乙醇等。由于木质素含量高,林业废弃物在生物转化前通常需预处理,如物理粉碎、碱处理或稀酸水解,以提高纤维素暴露度和转化效率。生物转化过程温和、污染小,产物多样,但转化速度慢、成本偏高,技术集成与经济性优化仍是应用推广的关键。

物理处理如破碎、压块和制粒主要用于改善废弃物燃烧性能与运输便利性。通过机械粉碎与压制成型,林业废弃物可以制成高密度燃料,燃烧更充分、排放更可控。近年来,热处理与物理压制结合的新型工艺逐渐推广,如热压制粒法可提高成型颗粒的燃烧效率与稳定性。生物化学与物理处理技术作为热化学转化的有效补充,丰富了林业废弃物能源利用的工艺体系,拓展了多样化发展路径^[3]。

3 林业废弃物能源转化工艺优化关键点分析

3.1 原料预处理与品质提升策略

林业废弃物种类多样、形态不一,直接影响后续能源转化效率,因此科学的原料预处理是工艺优化的首要环节。常用预处理方式包括机械粉碎、筛选、干燥与水分调控,目的是统一粒径分布、降低水分含量、剔除杂质,提高原料可控性与能量密度。粉碎处理可增加比表面积,改善热解与气化反应速率;干燥处理有助于减少燃烧能耗与气化副产物,提升系统整体能效。针对高含水率竹类废弃物,采用低温热风干燥或太阳能干燥技术,可以在控制能耗的同时保持物料品质。

此外,为进一步提升原料利用率与燃料品质,可在预处理阶段引入热处理或化学改性,如热解预处理、弱碱浸泡等方法,有助于去除部分杂质、调整结构,提高热解液化的反应活性。原料预处理不仅关系到能量转化效率,还影响设备运行稳定性与产品质量,因此在林业废弃物能源利用体系中,必须根据原料特性因地制宜制定科学的预处理方案,做到低成本、高效率与环保性兼顾^[4]。

3.2 反应工艺参数与系统集成优化

在能源转化过程中,反应温度、压力、反应气氛及停留时间等工艺参数对最终能量转化效率和产物性质有重要影响。以热解工艺为例,低温热解(300~400°C)以产炭为主,高温热解(500~800°C)则更利于气体与液体产物生成。气化过程则需要合理控制气氧比与反应温度,优化合成气成分与热值。通过工艺参数的精准调控,可以有效提高转化效率,降低副产物生成量,提升系统能量利用率。

系统集成优化也是林业废弃物能源化工工艺提升的重要方向。热解气化联产系统、热电联产系统以及生物质制氢与碳捕集一体化装置,均可以通过能量梯级利用、废热回收与副产物综合利用,显著提升整体经济性与资源利用率。例如,热电联产系统通过同步发电与供热,提高能源利用率至80%以上。未来,随着智能制造与信息化技术发展,基于智能感知与动态优化控制的集成工艺,将成为提升林业废弃物能源化利用水平的关键技术路径。

4 林业废弃物能源化利用面临的主要问题与挑战

4.1 原料收集体系不完善与成本问题

林业废弃物通常分散分布在林区,收集、运输难度大,导致原料成本高企,成为制约大规模能源化利用的重要瓶颈。受地形地貌、道路条件及林区管理模式影响,废弃物收集常依赖人工或半机械化方式,效率低下,运输过程

中还易损耗和污染。特别是在偏远山区,运输距离长、路径复杂,原料供应的不稳定直接增加了转化企业的运营成本,削弱了经济效益和市场竞争能力。

为降低原料收集与运输成本,需要建立覆盖林区的高效收集体系,如建设就地初加工中心,实现废弃物初步粉碎、打包与脱水,减少运输体积与重量。同时,应探索政府引导与市场机制相结合的方式,引入多元投资主体,完善收购价格机制与运输补贴政策,提升林农、企业、合作社的参与积极性,形成稳定、低成本、高效率的林业废弃物供应链,为能源转化产业提供有力保障^[5]。

4.2 技术标准滞后与产业协同不足

当前林业废弃物能源化领域尚缺乏统一的技术标准体系,各地在原料分类、品质要求、检测评价、工艺流程等方面存在较大差异,制约了技术推广与规模化应用。由于标准滞后,企业难以进行统一规划与投资决策,产业链上下游协作效率低,影响了资源配置优化和产业链整体竞争力的提升。

此外,林业废弃物能源化利用与传统林业、农业、能源产业之间的协同机制尚不完善,存在政策碎片化、信息不畅通、利益分配机制模糊等问题,导致资源整合和技术创新动力不足。未来,应加快制定涵盖原料标准、转化工艺、产品应用等各环节的完整技术标准体系,推动跨部门、跨行业协调合作,形成政府主导、企业运作、社会参与的多元治理格局,促进林业废弃物能源化产业高质量发展。

5 林业废弃物能源转化的优化发展路径与未来展望

5.1 技术创新驱动转化效率提升

技术创新是推动林业废弃物能源化利用提质增效的核心动力。未来,应加快热化学转化、生物化学转化及成型燃料技术的集成创新,开发高效、低能耗、环境友好的转化新工艺。

例如,针对不同类型废弃物,探索低温催化热解、富氧气化、酶解联产等新技术,提升能源产率与系统综合能效。同时,利用大数据、人工智能等信息化手段,实现能源转化过程的智能监测与动态优化,提高装置运行稳定性和资源利用率,降低运营成本。

此外,应加强副产物资源化利用研究,推进炭、油、气协同开发,延伸生物质能源产业链条,提升整体经济效益。特别是在生物质制氢、生物炭土壤改良剂、高附加值生物化工产品开发等新兴领域,加大研发投入,拓宽林业废弃物利用深度与广度,形成多层次、多路径的资源转化体系,增强产业竞争力与可持续发展能力。

5.2 完善政策体系与构建产业协同格局

要实现林业废弃物能源转化的规模化、系统化发展,必须构建完善的政策支持体系。首先,应制定专项发展规划,明确林业废弃物能源利用的产业定位、技术路线与发展目标,细化扶持政策与激励措施。通过财政补贴、税收减免、绿色金融支持等方式,引导社会资本加大投入,激发市场主体活力。同时,建立科学合理的碳交易与绿色认证体系,将林业废弃物能源利用纳入碳减排项目体系,提升其市场认可度和附加值。

在产业组织模式上,应推动形成原料收集、加工转化、市场应用一体化的产业协同格局。支持建设区域性生物质能源示范基地,推动龙头企业、合作社与农户形成利益共享、风险共担的紧密合作机制,提升供应链整合能力。加强部门协同与区域合作,打破行政壁垒,统筹林业、能源、环保、财政等多方资源,形成政策合力,共同促进林业废弃物能源转化产业高质量发展,为实现碳达峰碳中和战略目标作出积极贡献。

结论

林业废弃物作为重要的可再生生物质资源,具有广阔的能源化利用潜力。通过技术创新、工艺优化与政策引导,可以有效提升转化效率,促进资源循环利用,推动传统林业产业链向高附加值延伸。当前仍需破解原料收集体系不健全、技术标准滞后、产业协同不足等瓶颈,全面优化原料供应链与转化工艺,推动形成系统化、规模化发展格局。未来,林业废弃物能源转化将在绿色低碳转型中发挥更大作用,助力实现生态保护与能源可持续发展的双重目标,为乡村振兴和绿色经济发展注入新的活力。

参考文献

- [1]何承静,刘庆华,詹娟,等.我国主要果园残枝资源化利用现状研究进展[J/OL].应用与环境生物学报,1-22[2025-04-28].
- [2]丁翔.农户生活清洁能源采用行为及激励机制研究[D].西北农林科技大学,2024.
- [3]邱书维.基于甘蔗渣富集的海洋源微生物筛选与优化研究[D].广西大学,2024.
- [4]赵召才.成型参数对香菇菌渣致密成型过程中力链演变影响研究[D].内蒙古科技大学,2024.
- [5]唐艺军,魏婉莹.智能媒体时代互联网平台企业治理路径研究[J].新闻爱好者,2023,(02):67-69.