

等离子体液化装置电源参数与秸秆转化效果关系研究

路丹丹

黑龙江工业学院 黑龙江 鸡西 158100

【摘要】：为明确等离子体液化装置电源参数对秸秆转化效果的影响规律，以玉米秸秆为研究对象，采用自主搭建的等离子体液化实验装置，系统探究输出电压、放电频率、占空比三个核心电源参数对秸秆液化生物油产率、含水率及热值的影响。实验结果表明，电源参数对秸秆转化效果存在显著调控作用，存在最优参数组合区间。研究结果可为等离子体液化装置的电源参数优化及秸秆资源化利用技术升级提供理论依据和实践指导。

【关键词】：等离子体液化装置；电源参数；秸秆转化；生物油产率；资源化利用

DOI:10.12417/2811-0528.26.13.033

1 引言

当前关于等离子体液化技术的研究多集中于装置结构优化、反应介质筛选等方面，针对电源参数与秸秆转化效果量化关系的系统研究相对不足。基于此，本研究以玉米秸秆为原料，聚焦等离子体液化装置的核心电源参数，通过单因素实验探究输出电压、放电频率、占空比对秸秆液化生物油产率及品质的影响规律，明确最优参数组合，为等离子体液化技术的工业化应用提供支撑。

2 实验材料与方法

2.1 实验材料

实验原料选用玉米秸秆，采集于当地农田。将玉米秸秆去除杂质后，经粉碎机粉碎至 20-40 目，置于 105℃ 烘箱中干燥至恒重，密封保存备用。秸秆工业分析结果显示水分含量 6.2%，灰分含量 5.8%，挥发分含量 72.3%，固定碳含量 15.7%；元素分析结果为：C 含量 42.5%，H 含量 5.8%，O 含量 49.2%，N 含量 1.3%，S 含量 0.2%。实验所用辅助试剂为去离子水，纯度 ≥99.9%。

2.2 实验装置

实验采用自主搭建的等离子体液化实验装置，主要由等离子体发生器、反应釜、电源系统、冷凝收集系统及气体处理系统组成。其中电源系统为高频高压脉冲电源，可实现输出电压 0-30kV、放电频率 5-25kHz、占空比 30%-80% 的连续调节，为等离子体产生提供稳定能量；反应釜容积为 500mL，采用不锈钢材质，具备耐高温、高压特性；冷凝收集系统通过循环冷却水将裂解气态产物冷凝为液态生物油并收集；气体处理系统用于处理未冷凝的尾气，避免环境污染。

2.3 实验方法

实验采用单因素变量法，固定秸秆进料量为 50g、反应介质（去离子水）加入量为 200mL、反应时间为 60min、反应压力为 0.5MPa，分别探究输出电压（15kV、20kV、25kV、30kV）、放电频率（5kHz、10kHz、15kHz、20kHz、25kHz）、占空比（30%、40%、50%、60%、70%、80%）三个电源参数对秸秆转化效果的影响。

实验结束后，将冷凝收集系统中的液态产物进行静置分层，上层为生物油，下层为水溶液，采用分液漏斗分离生物油并称重，计算生物油产率（生物油质量与原料绝干质量的比值）。采用卡尔费休水分测定仪测定生物油含水率，采用氧弹量热仪测定生物油热值。每个实验条件重复 3 次，取平均值作为最终实验结果，确保实验数据的可靠性。

3 结果与分析

3.1 输出电压对秸秆转化效果的影响

固定放电频率 15kHz、占空比 60%，探究输出电压对秸秆液化生物油产率、含水率及热值的影响，结果如表 1 所示。

表 1 输出电压对秸秆转化效果的影响

输出电压 (kV)	生物油产率 (%)	生物油含水率 (%)	生物油热值 (MJ/kg)
15	16.2	11.2	30.1
20	22.5	9.8	31.6
25	27.8	8.6	32.5
30	24.5	7.8	32.7

课题名称：2025 年度黑龙江省属本科高校基本业务科研项目“玉米秸秆等离子体清洁能源转化技术与液化机理研究”

课题编号：2025-KYYWF-ZR0539

由表1可知,随着输出电压的升高,生物油产率先逐渐升高后趋于下降。当输出电压从15kV升高至25kV时,生物油产率显著提升,这是因为随着输出电压升高,电源输出功率增大,等离子体能量密度提升,产生的高能活性粒子数量增多,可更充分地断裂秸秆分子中的纤维素、半纤维素及木质素的化学键,促进秸秆裂解液化反应进行。

当输出电压超过25kV继续升高至30kV时,生物油产率下降,主要原因是过高的电压导致等离子体放电过于剧烈,部分生物油发生二次裂解,转化为小分子气态产物,同时反应体系内温度过高,加剧了生物油的聚合反应,导致液态生物油产量减少。从生物油品质来看,随着输出电压升高,生物油含水率逐渐降低,热值逐渐升高,但电压超过25kV后,品质提升幅度显著减小,综合考虑产率和品质,输出电压优选25kV左右。

3.2 放电频率对秸秆转化效果的影响

固定输出电压25kV、占空比60%,探究放电频率对秸秆液化效果的影响规律,结果如表2所示。

表2 放电频率对秸秆转化效果的影响

放电频率 (kHz)	生物油产率 (%)	生物油含水率 (%)	生物油热值 (MJ/kg)
5	20.3	12.3	29.8
10	25.1	10.5	31.2
15	28.3	8.5	32.6
20	24.6	9.3	31.8
25	22.1	10.2	31.2

由表2可知,放电频率对生物油产率、含水率及热值均存在显著影响。当放电频率从5kHz升高至15kHz时,生物油产率持续升高,含水率不断降低,热值逐步提升。这是因为放电频率升高,单位时间内等离子体放电次数增多,活性粒子的生成速率加快,与秸秆原料的接触反应概率提升,同时稳定的高频放电可避免局部反应过热,减少生物油的二次裂解和聚合,有利于提升生物油产率和品质。

当放电频率超过15kHz继续升高至25kHz时,生物油产率逐渐下降,含水率升高,热值降低。主要原因是过高的放电频率导致电源输出能量不稳定,等离子体放电均匀性下降,出现局部放电集中现象,加剧了生物油的二次裂解;同时高频放

电会增加能量损耗,导致单位能量的生物油产出效率降低。因此,放电频率的最优区间为15kHz左右。

3.3 占空比对秸秆转化效果的影响

固定输出电压25kV、放电频率15kHz,探究占空比对秸秆液化效果的影响。占空比是指脉冲电源一个周期内放电时间与周期的比值,直接影响等离子体的有效作用时间和能量输入效率,实验结果如表3所示。

表3 占空比对秸秆转化效果的影响

占空比 (%)	生物油产率 (%)	生物油含水率 (%)	生物油热值 (MJ/kg)
30	18.5	13.2	28.6
40	22.3	11.6	30.2
50	25.7	9.6	31.8
60	28.3	8.5	32.6
70	26.2	9.2	31.9
80	23.7	9.8	31.5

由表3可知,随着占空比从30%升高至60%,生物油产率逐渐升高,含水率不断降低,热值逐步提升。这是因为占空比增大,单位周期内等离子体放电时间延长,活性粒子与秸秆原料的作用时间增加,秸秆分子的裂解反应更充分,从而提升生物油产率和品质。当占空比超过60%继续升高至80%时,生物油产率逐渐下降,含水率升高,热值降低。原因在于过高的占空比导致电源持续输出能量,反应体系内温度过高,不仅加剧了生物油的二次裂解,还导致部分秸秆原料发生碳化反应,生成固体焦炭,降低了液态生物油的产率;同时持续放电会增加电源能耗,降低整个转化过程的经济性。因此,占空比的最优值为60%左右。

3.4 最优参数组合验证实验

基于单因素实验结果,确定最优电源参数组合为输出电压25kV、放电频率15kHz、占空比60%。为验证该参数组合的可靠性,进行3次重复验证实验。实验结果显示,生物油平均产率为28.1%,含水率平均为8.6%,热值平均为32.5MJ/kg,实验数据波动幅度小于2%,表明该参数组合具有良好的稳定性和可靠性,可有效提升秸秆等离子体液化的转化效果。

4 结论

本研究系统探究了等离子体液化装置输出电压、放电频率、占空比三个核心电源参数对玉米秸秆转化效果的影响,输出电压对生物油产率和品质影响显著,在 15-25kV 范围内,生物油产率随电压升高而提升,含水率降低、热值升高;超过 25kV 后,生物油产率下降,品质提升幅度减小,最优输出电压为 25kV。放电频率在 5-15kHz 范围内,生物油产率随频率升高而提升,品质逐渐优化;超过 15kHz 后,放电稳定性下降,生物油产率和品质均降低,最优放电频率为 15kHz。占空

比在 30%-60%范围内,生物油产率随占空比增大而提升,品质不断改善;超过 60%后,反应体系温度过高导致生物油二次裂解和原料碳化,产率和品质下降,最优占空比为 60%。最优电源参数组合为输出电压 25kV、放电频率 15kHz、占空比 60%,此时生物油产率可达 28.3%,含水率 8.5%,热值 32.6MJ/kg,转化效果最优。未来还可结合等离子体诊断技术,深入分析电源参数对等离子体活性粒子浓度的影响机制,从微观层面揭示电源参数与秸秆转化效果的内在关联,为等离子体液化装置的智能化设计和工业化应用提供更有力的技术支撑。

参考文献:

- [1] 岳维明,黄俊,刘思奇.介质阻挡等离子体液中放电降解盐酸四环素影响因素探究[J].广东化工,2022,49(22):60-63+11.
- [2] 张雪.微生物发酵对白星花金龟幼虫转化小麦秸秆的影响[D].安徽农业大学,2022.
- [3] 白月,窦森,孙建华,等.秸秆腐解及其热转化产物对黑土的培肥效果[J].吉林农业大学学报,2023,45(01):42-50.