



Fe-Mg-Co 催化生物质热解实验特性研究 ——以烟杆热解为例

袁申富^{**}, 李剑凤, 鲁秋香

(云南大学 化学科学与工程学院, 自然资源药物化学教育部重点实验室,
化学化工国家级实验教学示范中心, 云南 昆明 650091)

摘要:探究了温度和催化剂 Fe、Mg、Co 以及不同催化剂添加比对烟杆热解制氢影响, 找出最佳反应条件。结果表明, 温度的升高有利于气体产率和热解转化率的提高, 700 °C 时转化率最高。随着负载 Fe 量的增加, 气体产率逐渐增加, 当添加量为 $w=15\%$ 时, 转化率达 83.19%。Mg 催化剂能促进氢气的生成。对于复合催化剂, Fe-Mg 催化剂体系使气体产率增加, 且 H_2 的体积产量在催化剂配比为 15%Fe+0.8%Mg(质量分数, 下同)时达到最大, 为 113.48 mL/g。在 15%Fe+0.8%Mg 催化体系上继续负载 Co 催化剂, 随着 Co 负载量的增加, 催化热解总转化率增加, 添加比为 15%Fe+0.8%Mg+0.9%Co 时, 总转化率达到最大, 为 84.31%, 氢气的体积含量降低, 因此 Co 催化剂的负载对氢气的生成不利。

关键词: 催化热解; 生物质; 烟杆; Fe-Mg-Co 催化剂; 氢气; 温度

中图分类号: TQ517; TQ032 **文献标志码:** A **文章编号:** 0258-7971(2022)01-0136-07

随着化石能源的日益短缺, 寻找可再生能源成为人们迫在眉睫的问题。氢气作为一种清洁、高热值的能源受到国内外的关注。在传统上, 生产氢气的工艺包括煤制氢、天然气制氢等, 需要消耗化石能源, 且化石能源产生的二氧化碳会带来环境污染问题, 因此很多专家开始研究可再生能源制氢的技术。目前, 新型的制氢技术包括电解水制氢、太阳能制氢、生物质制氢等。由于生物质制氢技术具有原料来源丰富、对环境友好等优点, 受到人们的青睐^[1]。

生物质是除化石燃料及其衍生物外的由光合作用而产生的有机物质, 其包括植物秸秆、动物残体、人畜粪便、生活垃圾以及工业有机废物等^[2]。通过绿色植物的光合作用将太阳能转化为化学能储存在生物体内, 该能量称为生物质能。中国是农业大国, 生物质资源储量非常丰富, 相当于每年 7 亿 t 标准煤, 其中, 农作物秸秆年产量约 6 亿 t, 其他农业废弃物约 1.3 亿 t^[3]。因此合理开发生物质资

源对中国的能源保障十分有利。

生物质制氢技术包括生物质热解制氢、生物质超临界水制氢和生物质热解油重整制氢等方法。反应条件为 374 ~ 650 °C、22.1 ~ 25 MPa 的超临界水中, 生物质发生热解产生富氢燃气, 但由于该技术对设备的要求高, 且生物质反应复杂, 目前只停留在试验阶段。生物质热解制氢技术是在缺氧和高温条件下, 生物质内部的大分子裂解和分子键断裂, 小分子进行重整后转化为气体、固体、液体产物^[4]。其中, 有些研究者使用生物油进行进一步重整, 得到富氢燃气, 即为生物质热解油重整制氢技术。生物质热解产物受多种因素的影响, 包括生物质原料、温度、催化剂等。

云南是烟草大省, 烟杆的利用主要是堆在农田里焚烧。这不仅造成资源浪费, 且燃烧过程中产生二氧化碳污染大气环境。我们以云南省废弃烟杆为原料进行催化热解制备富氢燃料。

收稿日期: 2020-06-28; 接受日期: 2020-11-09; 网络出版日期: 2021-11-20

基金项目: 国家自然科学基金(21968037); 云南省科技厅面上项目(2019FB132); 云南大学中青年培养计划(C176220200)。

^{**} 通信作者: 袁申富 (1984-) 男, 云南人, 博士, 副教授, 主要研究煤和生物质热解、气化、催化热解及反应器开发。E-mail: yuanshenfu@ynu.edu.cn; shenfu.love@163.com.

在生物质热解过程中, 气体主要包括 CO 、 CO_2 、 H_2 和 CH_4 等. 陈应泉等^[5]的研究发现, 在 $250\text{ }^\circ\text{C}$ 下, 热解气主要为 CO 和 CO_2 , 此时为半纤维素的热解, 因为半纤维素是由几种不同类型的单糖构成的异质多聚体, 所以 CO 和 CO_2 的生成可能是来自于糖单元连接键—糖苷键的断裂, 随着温度的升高, H_2 含量也在增加, 可能与焦炭颗粒内部大量苯环脱氢形成多环芳烃有关. 这与 Li 等^[6]的研究结果一致, 较高的温度有利于富氢气体的生成. CH_4 的体积分数随着温度的升高也缓慢增长, 在低温段 CH_4 的形成与生物质成分中的甲基支链脱氢化有关, 在高温段, 由于木质素中芳香环烃基支链的断裂导致了 CH_4 的形成^[7].

目前有很多学者探究了催化剂对生物质热解的影响, 李攀等^[8]在 HZSM-5 分子筛催化剂上使用浸渍法负载了 Fe、Zr、Co 金属对纤维素热解进行分析, 研究表明, 催化剂的加入可以使气相产率增加, CoHZSM-5 催化剂能使气相产率增加最多. 张壹丰等^[9]通过实验证明乙酸镁可以促进生成 H_2 和 CO_2 . Fe-Mg-Co 催化剂对烟杆热解活性的影响研究较少. 因此本文将探究温度及 Fe、Mg、Co 催化剂负载量对烟杆热解气体产物的影响, 并找出最佳催化剂配比.

1 实验

1.1 原料 本实验采用云南烟杆, 其工业分析结果(w): 水分 3.22%, 灰分 4.54%, 挥发分 76.4%, 固定碳 15.84%. 元素分析结果(w): C 41.07%, H 5.60%, O 40.0%, N 2.40%, S 0.049%. 将烟杆粉碎过筛, 选择过 0.441 mm (40 目) 筛的烟杆粉碎物, 在实验开始前在 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 烘箱中烘干 48 h.

1.2 负载催化剂 本实验采用浸渍法负载催化剂, 对于催化剂均使用硝酸盐催化剂. 按照比例称取催化剂溶解后倒入已称好的生物质中, 搅拌使其混合均匀, 超声波清洗机中 ($20\text{ }^\circ\text{C}$) 超声处理 60 min. 超声处理完成后放入温度为 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 的水浴锅中使水分挥发, 待水分挥发完成后在 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘干 48 h 备用.

1.3 实验流程

1.3.1 热解实验 本文采用 0.441 mm 烟杆进行热解实验, 称取一定质量的烟杆后搭建反应装置, 反应装置的搭建如图 1 所示, 检查其气密性良好. 由于温度对烟杆热解有一定的影响, 因此本文在设

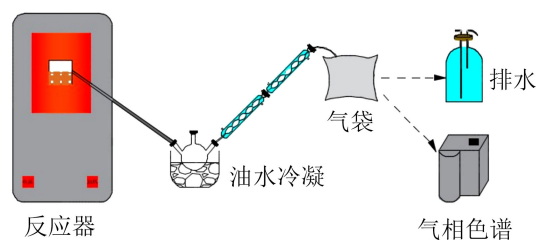


图 1 生物质催化热解固定床反应器

Fig. 1 Fixed bed reactor for biomass catalytic pyrolysis

置铁甑反应釜参数时, 初始温度设置为 $30\text{ }^\circ\text{C}$, 以 $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 的升温速率分别达到终温为 400 、 500 、 600 、 700 、 $750\text{ }^\circ\text{C}$, 并在该温度下保温 1 h. 产物进入三颈瓶内, 液体产物在冰块以及冷凝水的作用下在三颈瓶中冷却, 气体产物则进入气袋, 剩余的半焦则在反应器内. 反应结束后关闭气袋, 从气袋处将反应装置拆卸, 待反应器冷却至室温后对各产物进行处理.

1.3.2 产物处理 (1) 残留物处理. 反应器内的残留物转移至密封袋后测其质量, 并通过工业分析测得其灰分质量分数.

(2) 液体产物处理. 三颈瓶内含有水和焦油, 将水和部分轻油转移至离心管内, 并加入一定的正己烷通过超声和离心使轻油与水分离, 由此可得到产物水的质量. 由于反应器出口管未加保温措施, 因此部分焦油在出口管处冷却. 使用四氢呋喃将出口管、冷凝管以及三颈瓶内的焦油溶解并转移至旋蒸瓶内, 并通过旋转蒸发仪回收四氢呋喃得到轻油和重油. 待四氢呋喃蒸发完后, 在旋蒸瓶内加入正己烷, 并使用超声机使重油和轻油分离. 通过差减法可以得到热解产物重油和轻油的质量.

(3) 气体产物处理. 对于气体产物, 本文使用 FULI9790 气相色谱仪测定其体积分数. 该气相色谱仪含有 TCD 和 FID 两个检测器, 通过 TCD 检测器测定气体中 CO_2 、 H_2 和 CO 体积分数, 通过 FID 检测器测定烃类气体的体积分数. 由于采用外标法进行气体体积分数的计算, 通过已知体积分数的标准气体建立校正曲线, 再测定气体产物的体积分数. 待得到气体产物体积分数后, 使用排水法测定气体总体积.

1.4 数据处理 烟杆热解后的气体组分为 CO_2 、 H_2 、 CO 、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_4 、 C_3H_8 、 C_3H_6 . 因气相色谱不能直接测定 H_2 的体积分数, 因此使用差减法计算, 如公式 (1) 所示.

$$\varphi_{\text{H}_2} = 1 - \varphi_{\text{CO}} - \varphi_{\text{CO}_2} - \varphi_{\text{N}_2} - \varphi_{\text{CH}_4} - \varphi_{\text{C}_2\text{H}_6} - \varphi_{\text{C}_2\text{H}_4} - \varphi_{\text{C}_3\text{H}_8} - \varphi_{\text{C}_3\text{H}_6} \quad (1)$$

使用公式 (2) 对气体组分产率进行计算:

$$Y_i = \frac{V_{\text{gas}} \times \varphi'_i}{m_{\text{bio}} \times (1 - w_{\text{bio}})} \quad (2)$$

式中: Y_i —气体组分体积产量, mL/g;

V_{gas} —气体体积, mL;

φ_i —气相色谱测得的气体体积分数, %;

φ'_i —除 N_2 后各气体体积分数, %;

m_{bio} —烟杆质量, g;

w_{bio} —烟杆灰分质量分数, %.

使用公式 (3) 和 (4) 对气体转化率和生物质热解总转化率进行计算:

$$Y_{\text{gas}} = \frac{m_{\text{gas}}}{m_{\text{bio}} \times (1 - A_{\text{bio}})} \quad (3)$$

$$Y_{\text{total}} = 1 - \frac{m_{\text{char}} \times (1 - A_{\text{char}})}{m_{\text{bio}} \times (1 - A_{\text{bio}})} \quad (4)$$

式中: m_{char} —反应器内残留物质量, g;

w_{char} —反应器内残留物灰分质量分数, %.

2 结果与讨论

2.1 温度对烟杆热解气体产物的影响 烟杆在不同温度下热解产率如图 2 所示. 气体的产率随着温度的升高而逐渐上升, 这是由于随着温度的升高, 热解反应愈加剧烈, 从而有更多的气体产物产生, 在高温区, 随着二次反应的发生, 产生了更多的气体. 热解转化率随着温度的升高逐渐上升, 在 700 °C 时达到峰值, 为 76.69%.

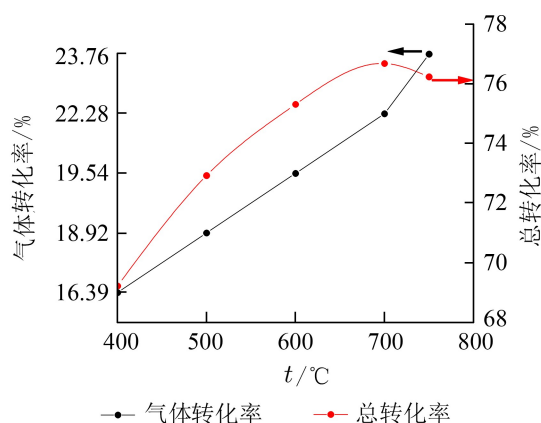


图 2 温度对热解产物的影响

Fig. 2 Effect of temperature on pyrolysis products

各气体组分体积产量随温度的变化如图 3 所示, 由于不同的气体组分来源于不同官能团的断裂, CO 和 CO_2 主要来源于纤维素和半纤维素中糖苷

键的断裂, 半纤维素的糖醛酸侧链在热解过程中发生脱羧基反应从而释放出大量的 CO_2 [10]. 随着温度的升高, 发生二次反应, 二次反应的气体产物主要为 CO , 因此 CO 的含量增加. 木质素中的芳香环烃进行缩合产生 H_2 , 同时木质素中含有的甲氧基裂解产生 CH_4 , 因此随着温度的升高, H_2 和 CH_4 的体积产量增加.

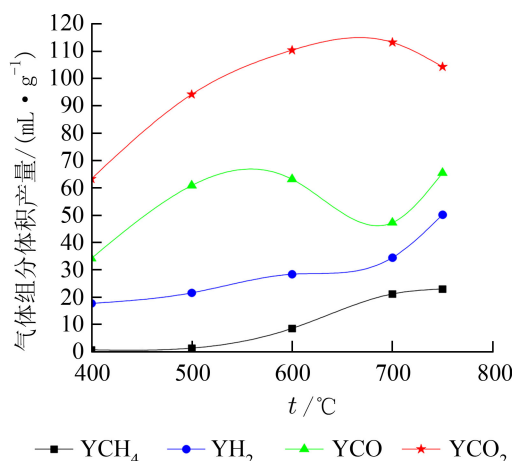


图 3 不同温度下各气体组分体积产量

Fig. 3 The composition of gases at different temperature

综上所述, 热解温度为 700 °C 时, 烟杆热解的总转化率最高, 且气体产率增加显著, 并考虑经济因素, 选择 700 °C 的热解温度进行进一步的探究.

2.2 Fe 催化剂对烟杆热解气体产物的影响 由图 4(a) 可以得出, 随着催化剂 Fe 质量分数的增加, Fe 改性催化剂的孔体积和平均孔径有所增加 [11], 促使 Fe 催化过程中释放出更多的挥发性物质, 导致气体产率显著提高. 负载 Fe 催化剂后, 烟杆热解的总转化率相比于纯生物质有了一定的增加, 并在催化剂 Fe 质量分数为 15% 时达到最大值, 为 83.19%. 图 4(b) 可见, 氢气的体积产量比纯生物质热解时有了较大的增加, 这可能是催化剂 Fe 促进了水煤气反应 $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$, 生成了 H_2 和 CO . 由于催化剂 Fe 的前驱体为 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, 引入了硝酸根离子, 其中氧离子与水煤气产生的 CO 发生反应生成了 CO_2 , 导致 CO_2 的体积产量显著增加. CO 的体积产量在 Fe 催化剂添加量为 7% 之后呈上升趋势. 相对于纯烟杆热解, CH_4 的体积产量有了一定的降低, 这可能与大量的 CO_2 与 CH_4 发生重整反应 $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + 2\text{H}_2$ 有关. 在 Fe 添加量为 13% 后, 氢气体积产量没有较大的变化, 结合总转化率, 选择 Fe 添加量为 $w=15\%$ 进行进一步的探究.

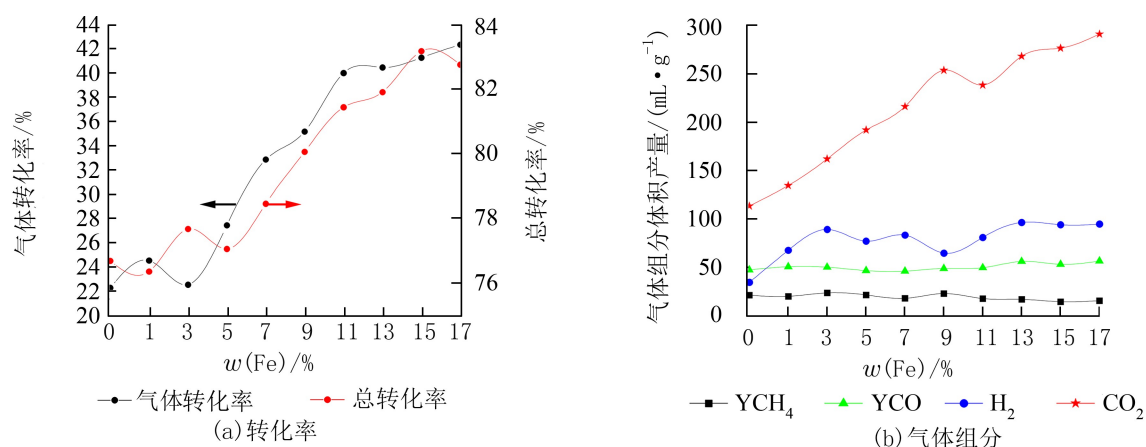


图 4 Fe 催化剂负载量对生物质热解产物的影响

Fig. 4 Effect of Fe catalyst loading on biomass pyrolysis products (a) yield and (b) gas composition

2.3 Mg 催化剂对烟杆热解气体产物的影响 由图 5(a) 可见, 负载 Mg 催化剂后生物质热解转化率增加, 而气体产率则有一定的降低. 图 5(b) 中, CO_2 的体积产量有了一定的增加, 这可能是半纤维素聚糖结构的解聚和单糖结构的破裂, Mg^{2+} 能够起促进作用^[12], 而半纤维素的热解主要产生 CO_2 . 氢气体积产量有一定的增加, CH_4 体积产量基本不变.

2.4 Fe-Mg 催化剂对烟杆热解气体产物的影响

图 6(a) 是 15%Fe 基础上添加不同负载量的 Mg, 从图中可以发现, 添加了 Mg 后, 热解转化率下降, 这可能是由于添加硝酸镁后, Mg^{2+} 促进了分解的挥发性物质复合, 使半焦在镁存在下发生团聚^[13]. Fe-Mg 两种催化剂互相作用促进了液相产物的分解, 使气体的产率有一定的增加.

图 6(b) 中, Fe-Mg 复合催化剂体系产生的 CO_2 体积产量比单一 Fe 催化体系时低, 氢气的体积产

量显著增加, 当 Mg 添加量为 $w=0.8\%$ 时, 氢气的体积产量最高, 为 113.48 mL/g , 这可能是双金属催化剂进一步促进水煤气反应以及甲烷重整反应, 使生成的 H_2 体积产量增加, 而 CO_2 体积产量降低. 且氢气体积产量的增加也会抑制水气变换反应 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2$, 导致 CO_2 体积产量减少. 因此在 Fe 催化剂中添加 Mg 催化剂能促进氢气体积产量的增加, 且最佳添加比为 $15\% + 0.8\% \text{Mg}$ (质量分数, 下同).

2.5 Fe-Mg-Co 催化剂对烟杆热解气体产物的影响

由图 7(a) 可知, 烟杆催化热解的转化率随着 Co 添加量的增加而提高, 最高为 84.31% , 气体产率也随着 Co 添加量的增加而显著提高. 在图 7(b) 中, CO_2 和 CO 的体积产量均随着 Co 添加量的增加而增加. 但是对于 Fe-Mg 催化剂, 在添加 Co 后, 氢气体积产量降低, 因此 Co 的添加对于氢气的生成不利.

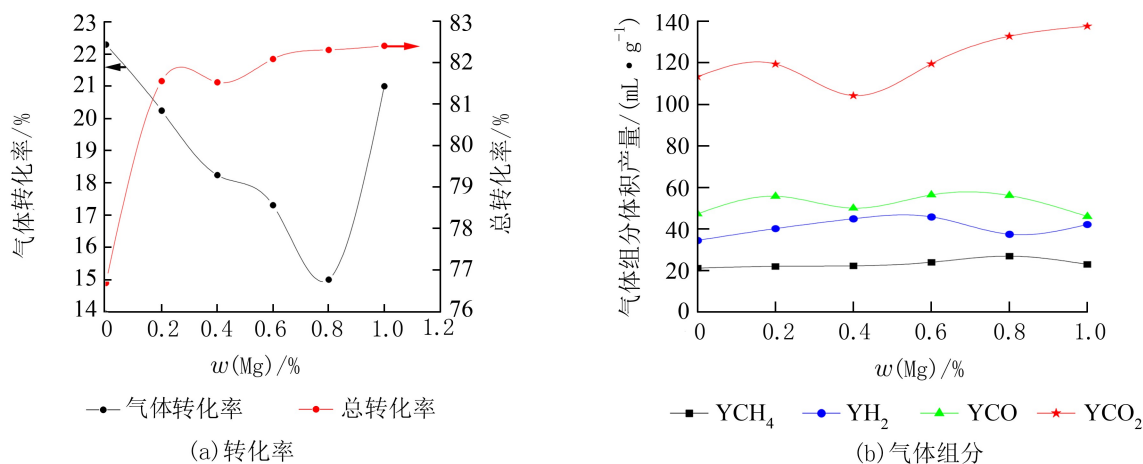
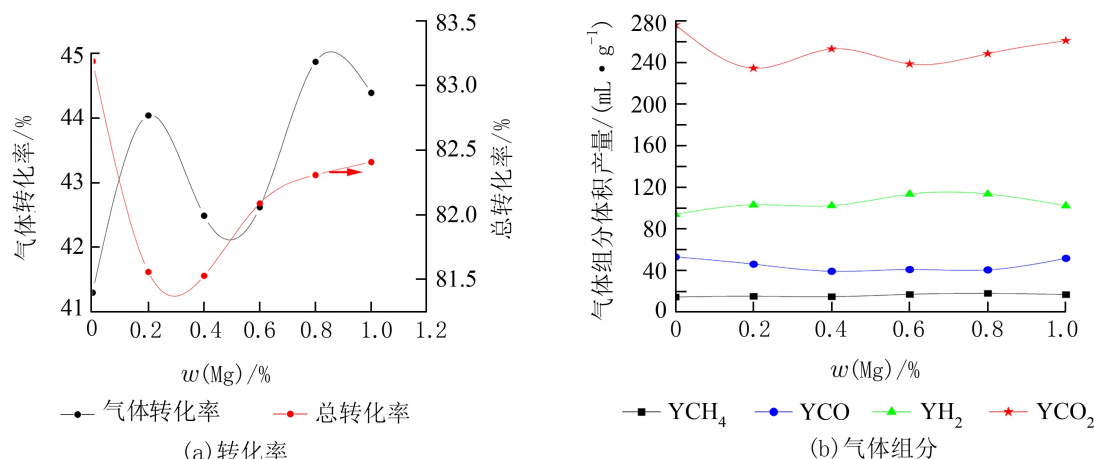
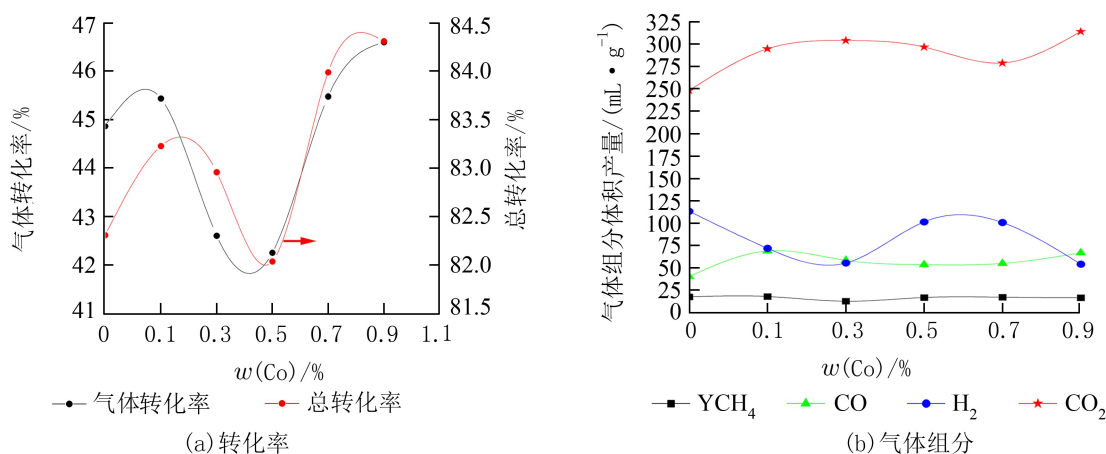


图 5 Mg 添加量对生物质催化热解产物的影响

Fig. 5 Effects of different Mg additions on biomass catalytic pyrolysis products (a) yield and (b) gas composition

图 6 不同 Fe-Mg 添加量对催化热解产物分布的影响 ($w(\text{Fe})=15\%$)Fig. 6 Effects of Fe-Mg additions on distribution of catalytic pyrolysis products ($w(\text{Fe})=15\%$)图 7 不同 Fe+Mg+Co 添加量对催化热解产物分布的影响 ($w(\text{Fe})=15\%$, $w(\text{Mg})=0.8\%$)Fig. 7 Effects of Fe-Mg additions on the distribution of catalytic pyrolysis products ($w(\text{Fe})=15\%$, $w(\text{Mg})=0.8\%$)

3 结论

(1) 本文首先探究了温度对热解过程的影响, 由于温度的升高可以促进纤维素、半纤维素以及木质素的分解, 因此随着温度的升高, 气体转化率及总转化率均升高, 各气体组分 CO_2 、 CO 、 H_2 、 CH_4 的体积产量都呈上升趋势. 在 $700\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 烟杆热解的总转化率最高, 为 76.69% .

(2) 通过探究金属元素对烟杆气体产物的影响, 结果表明金属催化剂可以提高烟杆催化热解的总转化率以及气体转化率, 催化活性依次为: $\text{Fe-Mg-Co} > \text{Fe-Mg} > \text{Fe} > \text{Mg}$.

(3) Fe 催化剂促进了水煤气反应, H_2 以及 CO 体积产量显著增加, 甲烷发生重整反应使 CH_4 体积产量降低. Mg 催化剂促进半纤维素的裂解, 使 CO_2 体积产量增加.

(4) Fe-Mg 复合催化剂促进液相产物的分解,

气体产物转化率增加. 提高水煤气反应及甲烷重整反应, H_2 体积产量增加, 当催化剂添加量为 $15\%\text{Fe} + 0.8\%\text{Mg}$ 时, 氢气体积产量最高, 达到 113.48 mL/g .

参考文献:

- [1] 黄格省, 阎捷, 师晓玉, 等. 新能源制氢技术发展现状 & 前景分析 [J]. 石化技术与应用, 2019, 37(5): 289-296. DOI: [10.3969/j.issn.1009-0045.2019.05.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-0045.2019.05.001).
Huang G S, Yan J, Shi X Y, et al. Development status and prospect analysis of hydrogen production with new energy technology[J]. Petrochemical Technology & Application, 2019, 37(5): 289-296.
- [2] 周中仁, 吴文良. 生物质能研究现状及展望 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 12-15. DOI: [10.3321/j.issn:1002-6819.2005.12.002](https://doi.org/10.3321/j.issn:1002-6819.2005.12.002).
Zhou Z R, Wu W L. Status quo and prospects of bio-mass energy[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(12): 12-15.

- [3] 王久臣, 戴林, 田宜水, 等. 中国生物质能产业发展现状及趋势分析 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 276-282. DOI: 10.3321/j.issn:1002-6819.2007.09.053.
- Wang J C, Dai L, Tian Y S, et al. Analysis of the development status and trends of biomass energy industry in China[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(9): 276-282.
- [4] 田江. 生物质原位催化热解制富氢燃气的研究 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2018.
- Tian J. The study of biomass in-situ catalytic pyrolysis for hydrogen-rich gas. [D]. Master, Central China Normal University, 2018.
- [5] 陈应泉, 王贤华, 李开志, 等. 温度对棉杆热解多联产过程中产物特性的影响 [J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(17): 117-124.
- Chen Y Q, Wang X H, Li K Z, et al. Effect of temperature on product property during biomass ploy-generation based on cotton stalk pyrolysis[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(17): 117-124.
- [6] Li S G, Xu S P, Liu S Q, et al. Fast pyrolysis of biomass in free-fall reactor for hydrogen-rich gas[J]. Fuel Processing Technology, 2004(85): 1 201-1 211.
- [7] 胡强, 陈应泉, 杨海平, 等. 温度对烟杆热解炭、气、油联产特性的影响 [J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(26): 54-59.
- Hu Q, Chen Y Q, Yang H P, et al. Influence of temperature on the characteristics of char, gas and bio-oil from tobacco stalk's pyrolytic polygeneration[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(26): 54-59.
- [8] 李攀, 李缔, 隋海清. 纤维素快速热解反应气体的在线催化裂解 [J]. 化工学报, 2015, 66(10): 4 131-4 137.
- Li P, Li D, Sui H Q, et, al. On-line catalytic cracking of vapors from cellulose fast pyrolysis[J]. CIESC Journal, 2015, 66(10): 4 131-4 137.
- [9] 张壹丰, 张后雷, 朱曙光, 等. 乙酸镁对木屑催化热解特性的影响 [J]. 能源研究与利用, 2019(5): 32-37. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5523.2019.05.016.
- Zhang Y F, Zhang H L, Zhu S G, et al. Effect of magnesium acetate on catalytic pyrolysis of wood chips[J]. Energy Research & Utilization, 2019(5): 32-37.
- [10] 谭洪, 王树荣, 骆仲决, 等. 生物质三组分热裂解行为的对比研究 [J]. 燃料化学学报, 2006, 34(1): 61-65. DOI: 10.3969/j.issn.0253-2409.2006.01.013.
- Tan H, Wang S R, Luo Z Y, et al. Pyrolysis behavior of cellulose, xylan and lignin[J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2006, 34(1): 61-65.
- [11] 方书起, 石崇, 李攀, 等. Fe-Zn 共改性 ZSM-5 催化作用下生物质快速热解特性研究 [J]. 化工学报, 2020, 71(4): 1 637-1 645.
- Fang S Q, Shi C, Li P, et al. Study on rapid pyrolysis characteristics of biomass catalyzed by Fe-Zn co-modified ZSM-5[J]. CIESC Journal, 2020, 71(4): 1 637-1 645.
- [12] 彭云云, 武书彬. 金属离子对半纤维素热裂解特性的影响 [J]. 太阳能学报, 2011, 32(9): 1 333-1 338.
- Peng Y Y, Wu S B. Influence of metallic ions on hemi-cellulose pyrolysis characteristics[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2011, 32(9): 1 333-1 338.
- [13] Hwang Hyewon, Oh Shinyoung, Choi In-Gyu, et al. Catalytic effects of magnesium on the characteristics of fast pyrolysis bio-oil, bio-char, and non-condensed pyrolytic gas fractions[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2015(113): 27-34.

Experimental characteristics investigation on Fe-Mg-Co catalytic pyrolysis of biomass: Taking tobacco pole as an example

YUAN Shen-fu^{**}, LI Jian-feng, LU Qiu-xiang

(School of Chemical Science and Engineering, Key Laboratory of Medicinal Chemistry for Natural Resource-Ministry of Education, National Demonstration Center for Experimental Chemistry and Chemical Engineering Education, Yunnan University, Kunming, 650091 Yunnan, China)

Abstract: In this paper, the effects of temperature and catalysts Fe, Mg, Co, and different catalyst addition ratios on hydrogen production from the pyrolysis of tobacco pole were explored to find the best reaction conditions. The results show that the temperature is conducive to the improvement of gas yield and total conversion. The total conversion obtained maximum yield at 700 °C. The increase in the amount of supported Fe increases the gas yield greatly. When the addition ratio is 15%, the total conversion reaches 83.19%. Mg catalyst can promote the generation of hydrogen. For the composite catalyst, the Fe-Mg catalyst system increases the gas yield, and the H₂ content is the largest when the catalyst ratio is 15%Fe+0.8Mg, which is 113.48 mL/g. After the 15%Fe+0.8%Mg catalytic system continues to be loaded with Co catalyst, as the Co loading increases, the total conversion increases, when the addition ratio is 15% Fe+0.8%Mg+0.9%Co. The total conversion reached the maximum, 84.31%, and the hydrogen content decreased, so the loading of the Co catalyst was detrimental to the generation of hydrogen.

Key words: catalytic pyrolysis; biomass; tobacco pole; Fe-Mg-Co catalyst; hydrogen; temperature