

# 多物理场模拟搅拌对夹层微波反应器加热均匀性的影响

邹鹏程, 金光远, 吴雁泽, 韩太柏  
机械工程学院, 江南大学, 无锡, 江苏, 中国

**简介:** 随着社会进步和发展, 能源紧缺的问题日益突出。生物柴油因十六烷值高、无毒、可再生等突出优势正成为新能源开发热点<sup>[1]</sup>。微波辅助生物柴油制备反应时间短、能耗小、环境污染少<sup>[2]</sup>, 所以设计高效的微波反应釜制备生物柴油势在必行。

针对微波反应器在生产生物柴油时加热不均匀的问题, 本文设计了一种可以明显改善微波加热均匀性的空气夹层釜式微波反应器。然后, 再引入能改善物料流体传热的搅拌桨装置。通过电磁场、温度场和流场控制强化液体物料传质传热, 进而促进生物柴油的制备。

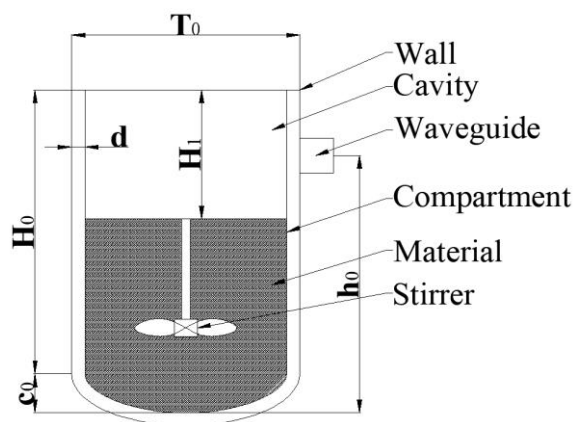


图 1. 空气夹层釜式微波反应器示意图

**计算方法:** 运用COMSOL仿真软件将麦克斯韦方程、传热方程以及流动方程等进行多物理场耦合, 以数值模拟的方式对微波腔体内电场、流场以及温度场进行仿真分析。

本文所有的仿真工作均通过COMSOL软件进行, 分别是用于计算反应器内电磁场分布的“电磁波, 频域 (emw)”接口, 用于计算搅拌作用下物料流动状态的“旋转机械, 湍流 (spf)”接口以及用于计算物料温度变化的“流体传热 (ht)”接口。

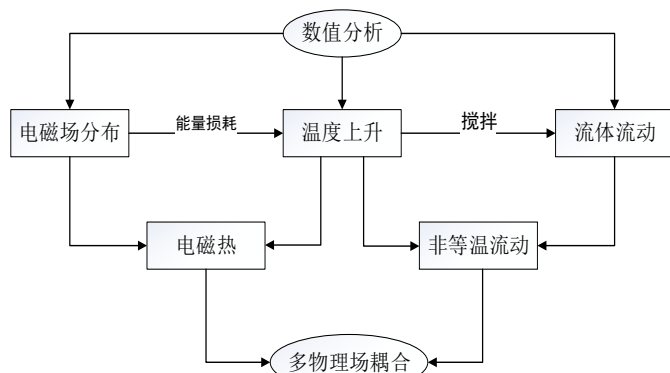


图 2. 多物理场耦合仿真

**结果:** 以搅拌功率 $P = 3000 \text{ W}$ 、叶轮直径 $D = 130 \text{ mm}$ 、搅拌桨的离底间隙 $C = 80 \text{ mm}$ 为例探究搅拌速度对物料流动特性和微波加热均匀性的影响。

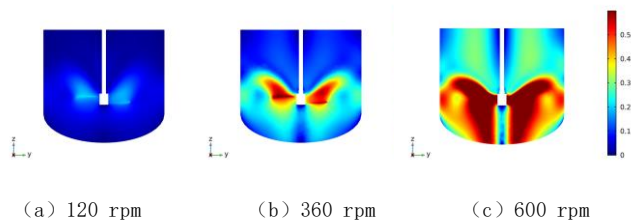


图 3. 不同转速下物料的速度分布

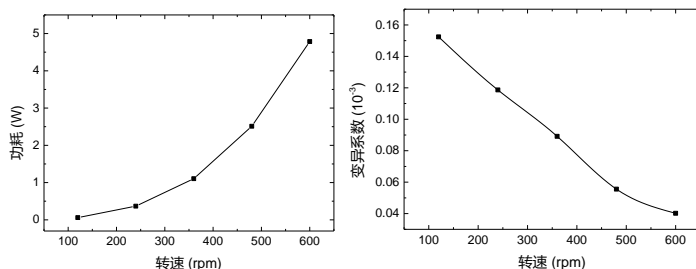


图 4. 不同转速下搅拌功耗的变化图

图 5. 不同搅拌转速下温度变异系数图

**结论:** 本研究在借鉴前人经验的基础上, 将传统的反应釜与微波相结合设计了一种带夹层的釜式微波反应器, 提高化学反应效率。

对流体搅拌作用下的反应器微波加热过程进行COMSOL软件模拟分析, 探究了搅拌转速对微波加热效果的影响。结果如图所示: (1) 随着转速的增加, 搅拌叶轮需要克服物料阻碍进行运动的力变大、相同时间叶轮对物料做的功也随之增加, 因此搅拌桨功率消耗增加的速度越来越快; (2) 物料温度变异系数与搅拌转速近似呈反比关系, 转速越大, 搅拌混合的效果越明显, 物料不同区域间的温度差异性越小, 计算得到的温度变异系数越小, 同时说明微波加热的均匀性越好。

所以, 通过多物理场耦合仿真分析进行微波反应釜结构的优化设计对于促进生物柴油生产技术与推广, 将具有十分重要的意义。

## 参考文献:

1. 沈璐璐, 迟晓元, 杨庆利, 等. 生物柴油的研究进展[J]. 中国生物工程杂志, 2006, 26(11): 87-90.
2. LIDSTROM P, TIERNEY J, WATHEY B, et al. 2001. Microwave assisted organic synthesis - a review (vol 57, pg 9225, 2001). Tetrahedron [J], 57: 10229-10229.