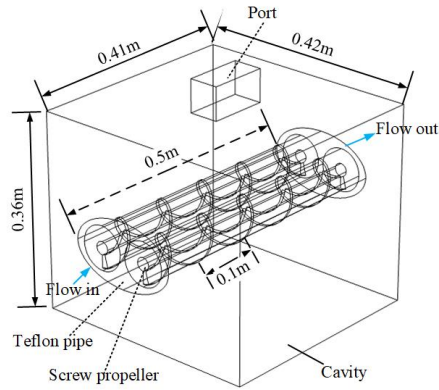


# 双螺旋微波辅助生产生物柴油反应器

徐冲<sup>1</sup>, 朱铎丞<sup>2</sup>

1. 电子信息学院, 四川大学, 四川, 成都
2. 电子信息学院, 四川大学, 四川, 成都

**简介:** 微波加热过程存在热点, 加热不均匀等不足之处, 于是提出双螺旋微波辅助生产生物柴油反应器, 有利于克服现有大规模微波加热的局限性, 对大规模连续流生产具有重要意义。



**计算方法:** 本文使用了电磁场、旋转机械流、传热和反应工程模块, 建立了一个关于微波加热、化学反应和流体搅拌流动的综合模型。材料的相对介电常数是关于浓度和温度的二元函数

$$\epsilon_r'(C, T) = \frac{(T/T_0)^{-\alpha'(C)}}{e^{\beta'(C) \cdot (T-T_0)}} \epsilon_r'^{T_0}(C)$$

$$\epsilon_r''(C, T) = \frac{(T/T_0)^{-\alpha''(C)}}{e^{\beta''(C) \cdot (T-T_0)}} \epsilon_r''^{T_0}(C)$$

然后频域求解电磁场分布:

$$\nabla \times \mu_r^{-1} \times (\nabla \times \vec{E}) - k_0^2 (\epsilon - j\sigma / (\omega_0 \epsilon_0)) \vec{E} = 0$$

可得流体传热:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = K \nabla_T^2 + \frac{1}{2} \omega_0 \epsilon_0 \epsilon_r'' |\vec{E}|^2$$

同时计算流体场和化学反应工程中的质量变化:

$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \rho(\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} = \nabla \cdot \left[ -p \vec{I} + \mu(\nabla \vec{u} + (\nabla \vec{u})^T) - \frac{2}{3} \mu(\nabla \cdot \vec{u}) \vec{I} \right] + F$$

$$\partial \rho / \partial t + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0$$

再根据求解得到的温度和浓度更新介电系数, 如此往复至计算结束。

**边界条件设置:**

在电磁场中设置为完美电导体; 传热为热绝缘; 流体出入口都设置为无滑移壁, 出口压力为0; 化学反应壁设为无通量壁。一致对设置为连续性一致对。

**结果:** 当输入微波功率为3kW时, 入口油酸和甲醇的摩尔比为6:1, 以浓硫酸为催化剂, 仿真结果表明, 由于螺旋推进器的作用, 管道内部的流体温度均匀性良好。图2. 给出了加热过程中的温度、质量分数和反应速率的分布图, 可以看到在双螺旋搅拌器的作用下温度分布均匀, 反应速率快并且反应很快就达到平衡。

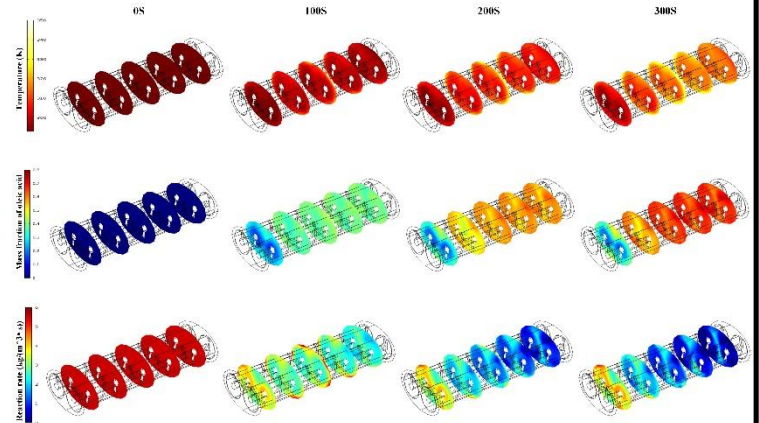


图 2. 0s、100s、200s和300s时反应器内的温度、浓度和反应速率截面图。

物质	$C_p$	$k_t$
油酸	2.05	0.11
甲醇	2.51	21.35

表 1. 反应中反应物的 $C_p$ (kJ/(kg·K))和 $k_t$ ( $\frac{W}{m} \cdot K$ )的值

**结论:** 本文展示了微波加热双螺旋辅助合成生物柴油的过程, 结果显示双螺旋推进器对提高连续大规模生产具有积极的作用。

**参考文献:**

1. Li W, Zhu H, Huang K, "Thermal analysis on the process of microwave-assisted biodiesel production," *Bioresource Technology*, vol. 133, pp. 279-284, 2013.
2. Ye J, Zhu H, Yang Y, Kama Huang, G.S. Vijaya Raghavan. "Dynamic analysis of a continuous-flow microwave-assisted screw propeller system for biodiesel production". *Chemical Engineering Science*, vol.202, pp.146-156, 2019.
3. Huacheng Zhu, Jinghua Ye, Tushar Gulati, Yong Yang, Yinhong Liao, Yang Yang, Kama Huang. *Dynamic analysis of continuous-flow microwave reactor with a screw propeller*. *Applied Thermal Engineering*, vol. 123, pp. 1456-1461, 2017.

