

一种模拟存在两个搅拌器和传送带的微波加热过程的方法

易倩玉¹, 朱铨丞²

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: 微波加热存在的典型问题就是加热不均匀, 常见的解决办法是在微波加热中加入移动元件, 比如模式搅拌器和转盘。但是在存在多个运动单元的情况下, 他们在运动速度上会存在巨大的差异, 所以很难对这种情况下的微波加热情况进行模拟计算。本文提出一种基于隐函数算法来实现对存在传送带和两个模式搅拌器的微波加热过程的模拟计算。利用COMSOL多物理场仿真软件进行建模计算, 分析了各组件不同位置 and 不同速度的加热情况。

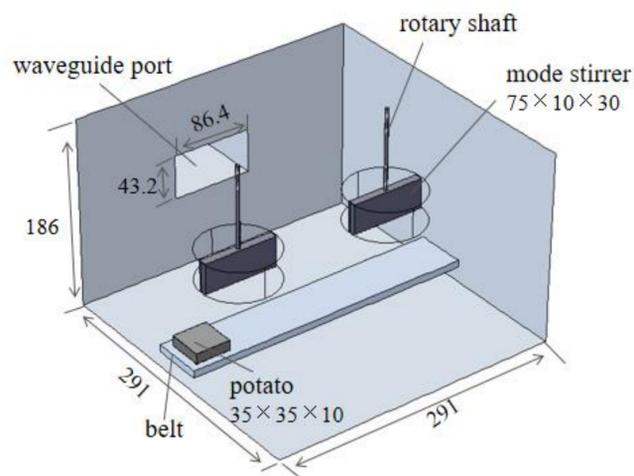


图1. 模型结构 (单位: mm)

计算方法: 微波加热过程的模拟包括了电磁波频域和固体传热两个物理场。

腔体内的电场分布由麦克斯韦波动方程求得:

$$\nabla \times \mu^{-1} \times (\nabla \times \mathbf{E}) - k_0^2 (\epsilon_0 \epsilon_r - j\sigma/\omega_0) \mathbf{E} = 0$$

加热样品中的耗散功率为:

$$P = \frac{1}{2} \omega_0 \epsilon_0 \epsilon'' |\mathbf{E}|^2$$

热传导控制方程:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T + P$$

利用函数来表征搅拌器旋转区域的电导率变化和加热样品的介电常数变化。如图2所示。

搅拌器区域的电导率控制方程:

$$\sigma = \sigma_s \cdot H(D_s(t)) + \sigma_{air} \cdot (1 - H(D_s(t)))$$

加热样品区域的介电常数控制方程:

$$\epsilon = \epsilon_p \cdot H(D_p(t)) + \epsilon_{air} \cdot (1 - H(D_p(t)))$$

$H(D(t))$ 为赫维赛德阶跃函数

$$H(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 0 \\ 1, & t > 0 \end{cases}$$

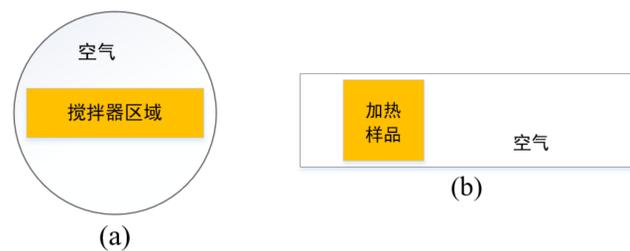


图2. (a) 模式搅拌器旋转区域, (b) 加热土豆运动区域

结果: 计算了两个搅拌器反向且不同速度旋转, 传送带缓慢移动的微波加热情况。图3为分别用离散角度的方法和本文提出的算法计算的搅拌器旋转到不同角度时的S参数对比, ang为搅拌器旋转的角度。图4为加热样品的温度分布情况。

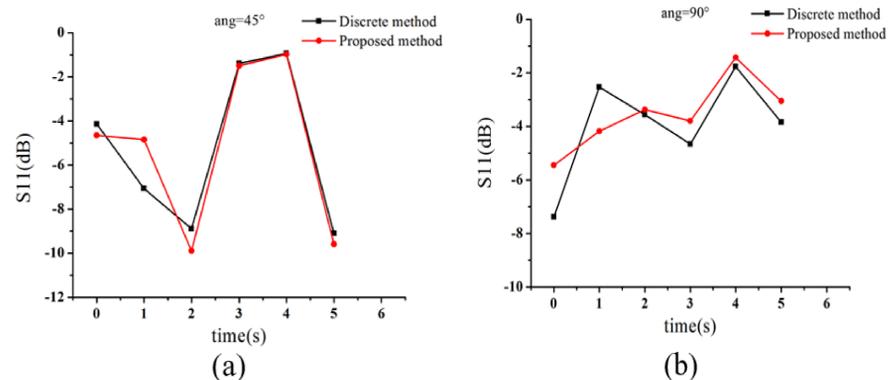


图3. 离散角度和提出算法计算所得的S11对比
(a) 离散角度ang=45° (b) 离散角度ang=90°

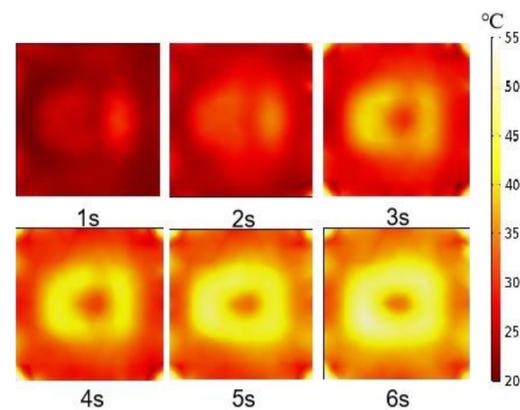


图4. 样品表面温度分布

结论: 本文通过利用COMSOL多物理场仿真软件对离散角度方法和提出算法计算的S11的对比分析, 从结果可以看出本文提出的算法计算的结果与离散角度来计算的结果基本一致。验证提出算法的准确性。然后利用该算法模拟了模式搅拌器反向且不同速度旋转情况下的微波加热情况。接下来我们将会搭建实验系统对该方法进行进一步验证。

参考文献:

1. Y.D. Hong, B.Q. Lin, H. Li, H.M. Dai, C.J. Zhu, H. Yao, Three-dimensional simulation of microwave heating coal sample with varying parameters, Applied Thermal Engineering, 93 1145-1154. (2016)
2. J.-H. Ye, H.-C. Zhu, Y.-H. Liao, Y.-P. Zhou, K.-M. Huang, Implicit function and level set methods for computation of moving elements during microwave heating, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 65 4773-4784. (2017)