

基于COMSOL的两种同轴式微波反应器加热效果的对比分析

聂国宇 金光远 张玉

机械工程学院，江南大学，江苏，无锡

简介:微波化学反应的研究，一般要求实验装置要具有尺寸小、工作频带等特点，基于这种要求，近年来一种同轴式的微波反应器应运而生。本文基于COMSOL Multiphysics® 软件，对两种不同结构的同轴式微波反应器进行对比分析（结构（a）为优化结构，结构（b）为原始结构）。

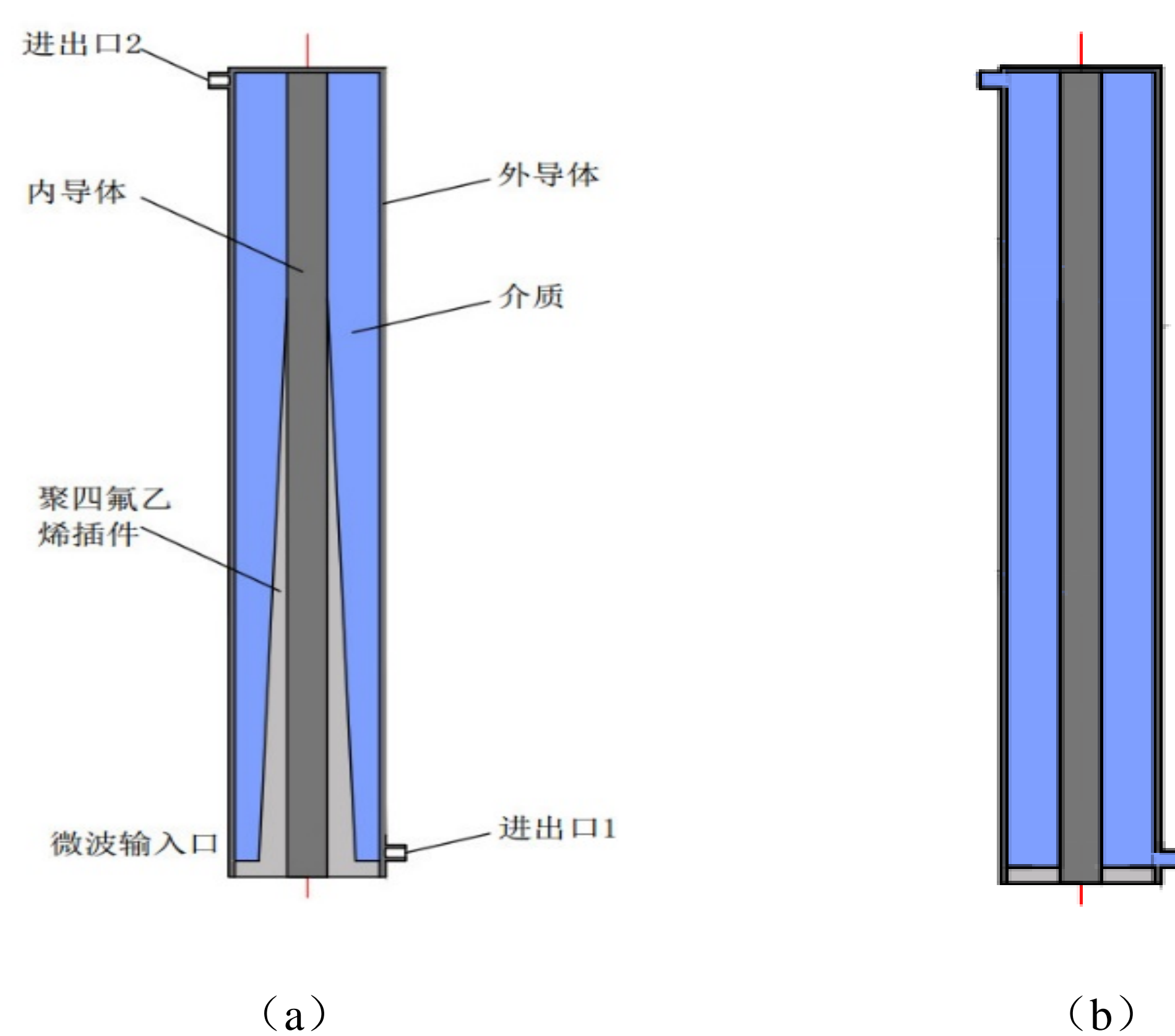


图1. 反应器二维几何示意模型

计算方法:模拟过程中对电场、温度场和速度场就行耦合计算。电磁波模型主要运用麦克斯韦方程进行求解，方程为:

$$\nabla \times \mu_r^{-1} (\nabla \times \mathbf{E}) - k_0^2 \left(\epsilon_r - \frac{j\sigma}{\omega\epsilon_0} \right) \mathbf{E} = 0$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, \varphi, z) = \tilde{\mathbf{E}}(\mathbf{r}, z) e^{-im\varphi}$$

在流程模块，采用瞬态分析模式方程如下:

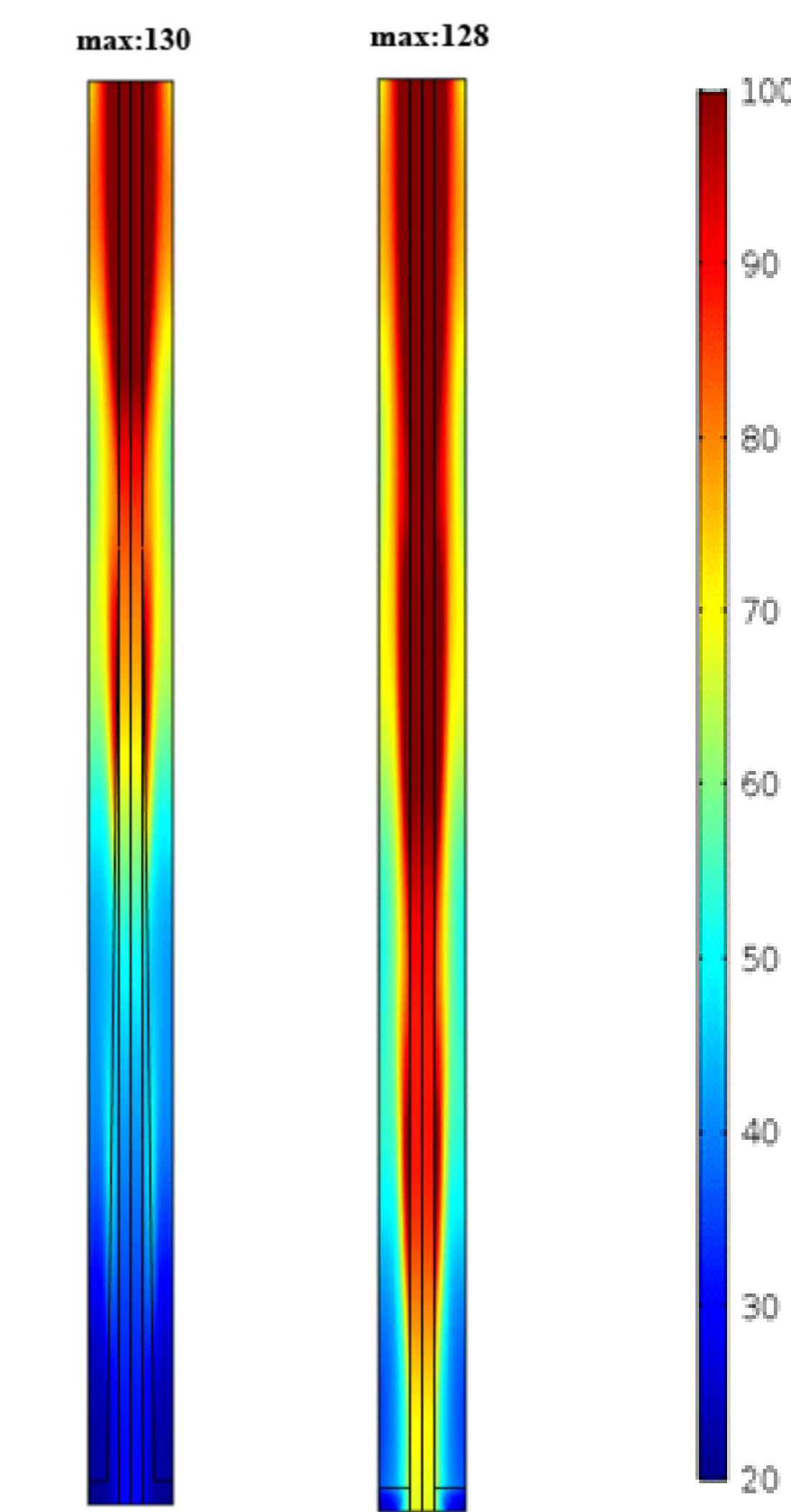
$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u \cdot \nabla)u = \nabla \cdot \left[-pl + \mu(\nabla_u + (\nabla_u)^T) - \frac{2}{3}\mu(\nabla \cdot u)I \right] + F + \rho g \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0$$

传热方程为:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p u \cdot \nabla T + \nabla \cdot q = Q + Q_p + Q_{vd}$$
$$q = -k \nabla T$$

物理场接口包括电磁波、频域、流体传热和层流三个接口，使用多物理场预设研究中的频域-瞬态进行计算。设置微波端口为同轴端口，馈入频率为0.915[GHz],微波功率为200W。在瞬态求解器中设置耦合方式为PARDISO直接耦合方式。

结果:如图2所示，当加热物料的介电常数和介电损耗较低时，两种结构的出口处均可均匀性较好的被加热物料。中间过程中结构（a）物料由下到上温度逐渐升高，



结构 (a) 结构 (b)

图2. 以混合物料1（相对介电常数为2.73-0.13*j）为介质加热60s后的温度场分布

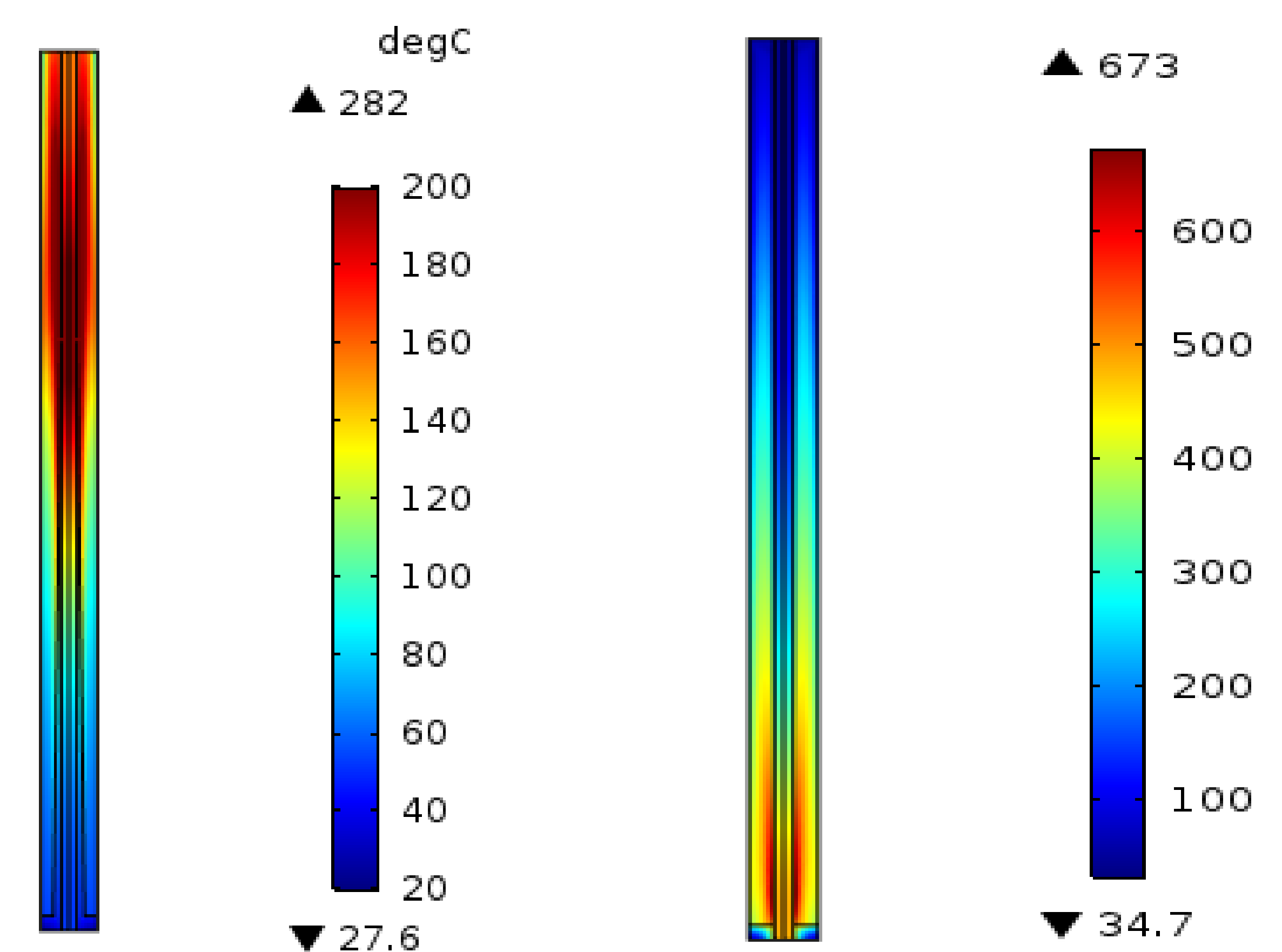


图3. 以混合物料2（相对介电常数为23.48-13.59*j）为介质加热60s后结构（a）中的温度场分布

图4. 以混合物料2（相对介电常数为23.48-13.59*j）为介质加热60s后的结构（b）中的温度场分布

结论:从仿真结果来看，结构（a）对于不同介电特性物料的适应较好，物料升温速度缓慢而稳定，更加适宜化学反应的进行；结构（b）对于物料介电特性的变化较为敏感，在快速加热方面优于结构（a），更加适合作为加热器使用。综上所述，结构（a）更加符合文本的要求，适用于微波化学的研究，优化效果良好。

参考文献:

1. R. Cherbanski, Calculation of critical efficiency factors of microwave energy conversion into heat, Chem. Eng. Technol. 34 (2011) 2083-2090.
2. Mitani T, Hasegawa N, Nakajima R, et al. Development of a wideband microwave reactor with a coaxial cable structure[J]. Chemical Engineering Journal, 2016, 299:209-216.
3. 林兴锦, 杨阳, 黄卡玛. 一种新型同轴微波化学反应器的仿真分析[J]. 化学研究与应用, 2014(5):771-776.