

基于COMSOL微波加热效率与均匀性的研究

聂国宇 金光远 张玉

机械工程学院，江南大学，江苏，无锡

简介:微波反应器因其具有缩短化学反应时间，提高反应速率等优点，深受人们喜爱，但其在工程应用中还存在着很多的限制因素，其中就包括微波加热效率和加热均匀性的问题。本课题意在通过COMSOL仿真的方法探究微波功率和馈入位置对加热效率和加热均匀性的影响。

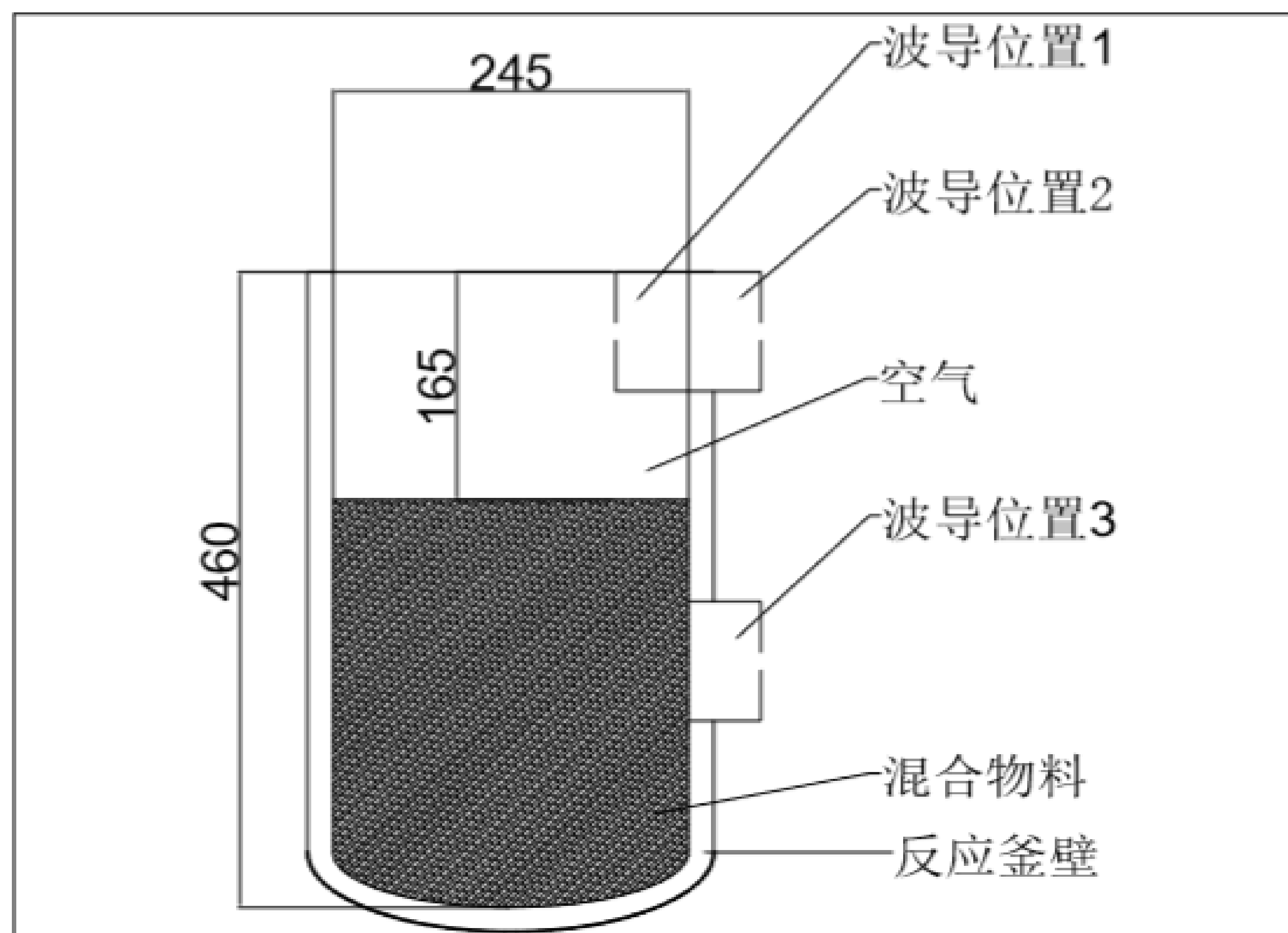


图 1. 仿真中用到的微波反应器模型

计算方法:

本次模拟主要使用了COMSOL中的微波加热模块。该模块包括了微波频域接口和固体传热（包含流体传热）接口。模拟过程中，频域电磁模块使用的方程为：

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

传热模块瞬态传热方程为：

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

通过多物理场的设置耦合计算电磁波，频域和固体传热两个物理场。

计算分两个步骤进行：步骤1为频域，设置频率为2.45 [GHz]，物理场接口选择电磁波，频域；步骤2为瞬态，物理场接口选择固体热。

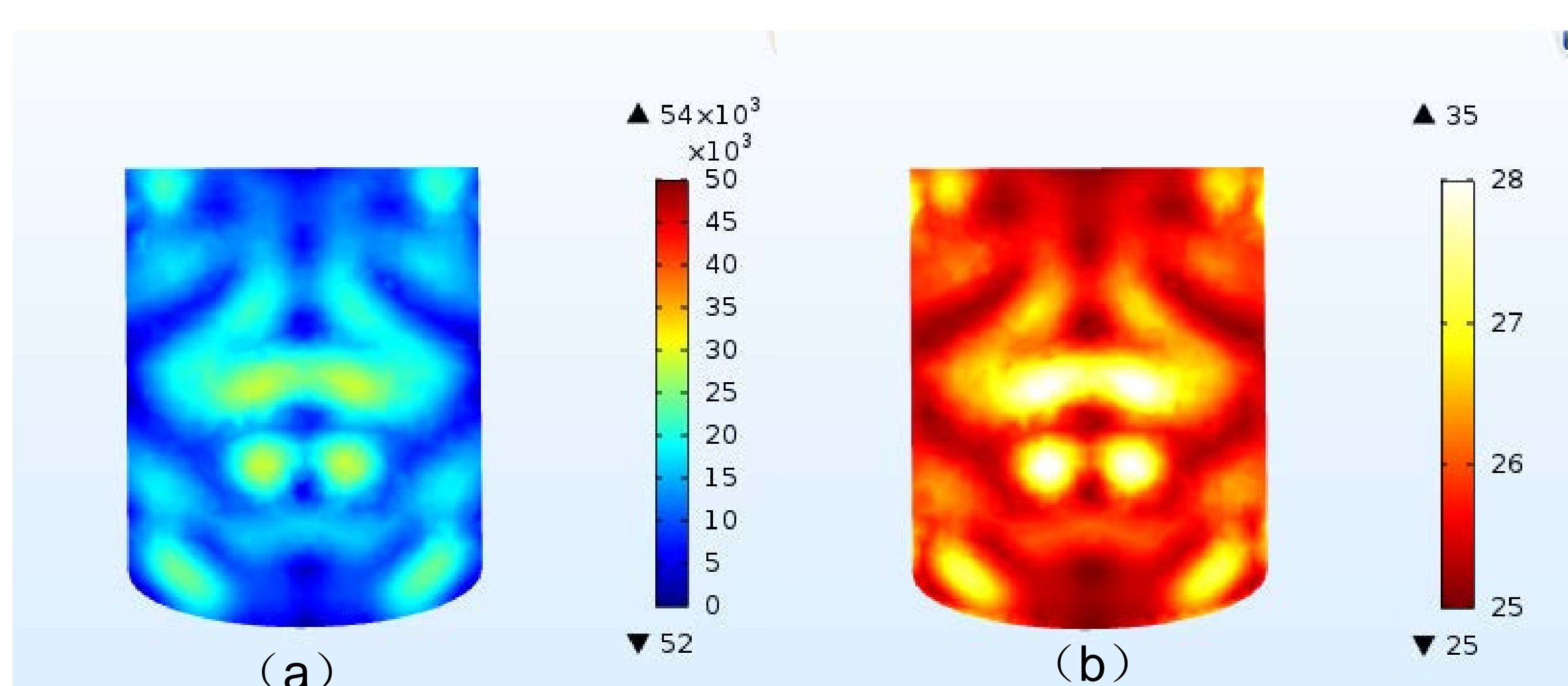


图 2. 微波馈入位置3，以1kW 的功率模拟一分钟后电场(a)和温度场(b)的分布

结果:

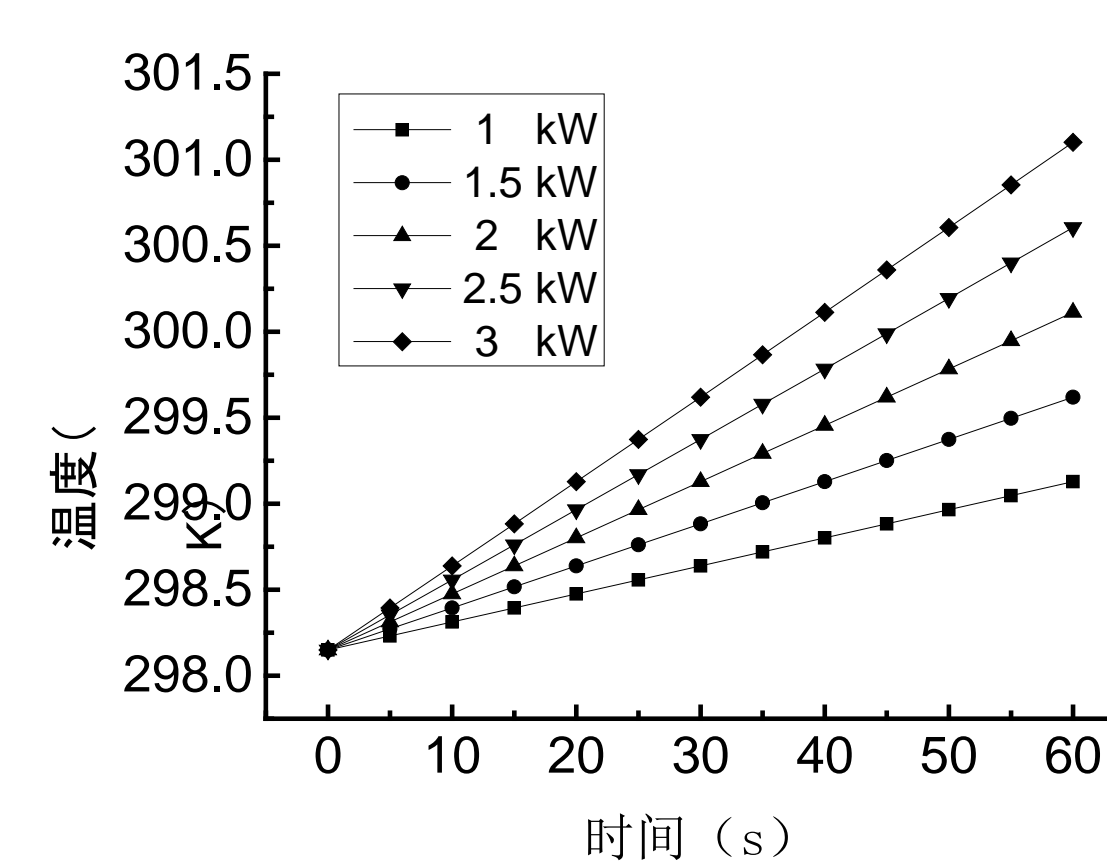


图 3. 不同功率下物料温度随时间的变化规律

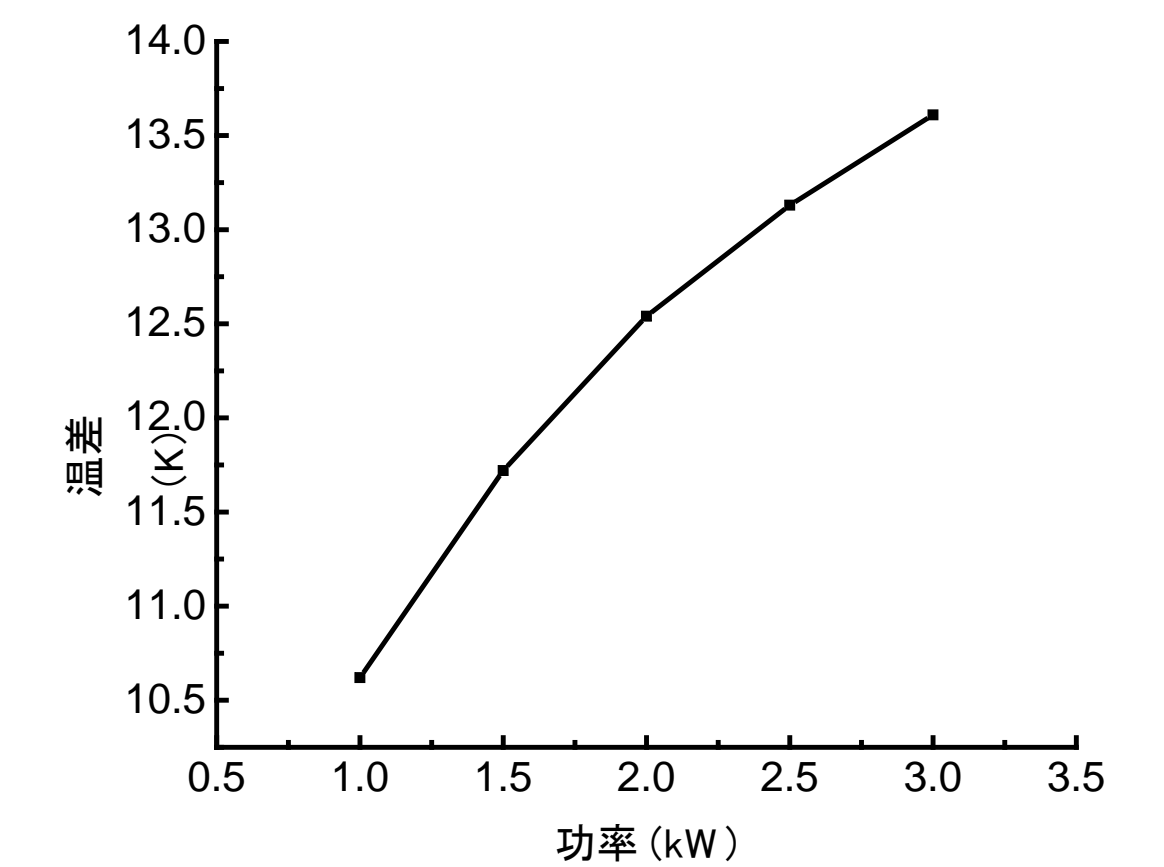


图 4. 微波馈入功率对物料最大温差的影响

控制系统输入的功率后我们发现在输入能量相同的情况下，物料平均升温相差不大；在相同时间内，如图3和图4所示，功率越大物料升温则越快，且物料最大温差也越大（在输入能量相同的情况下）。

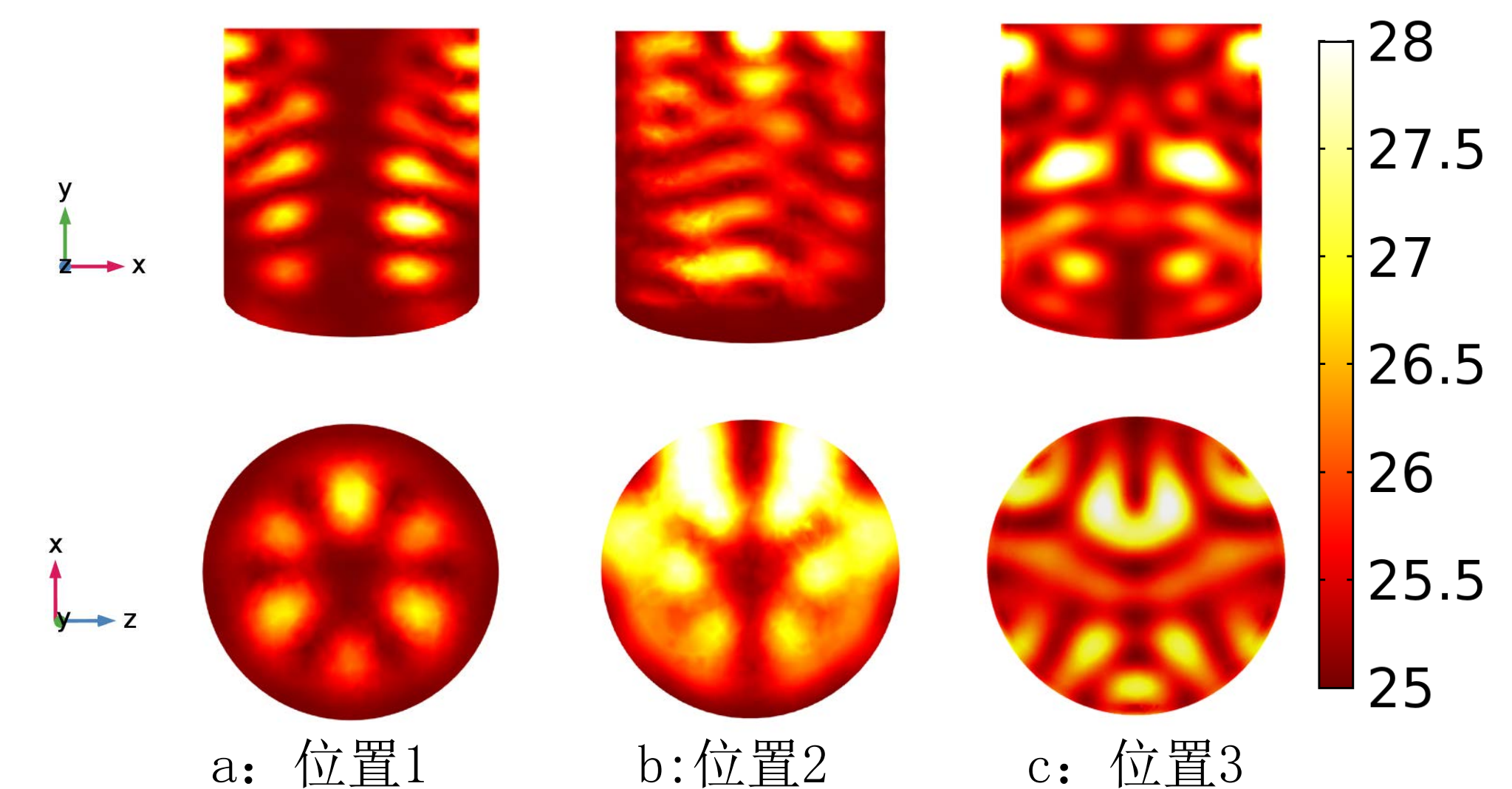


图 5. 不同馈口位置混合物的温度分布图

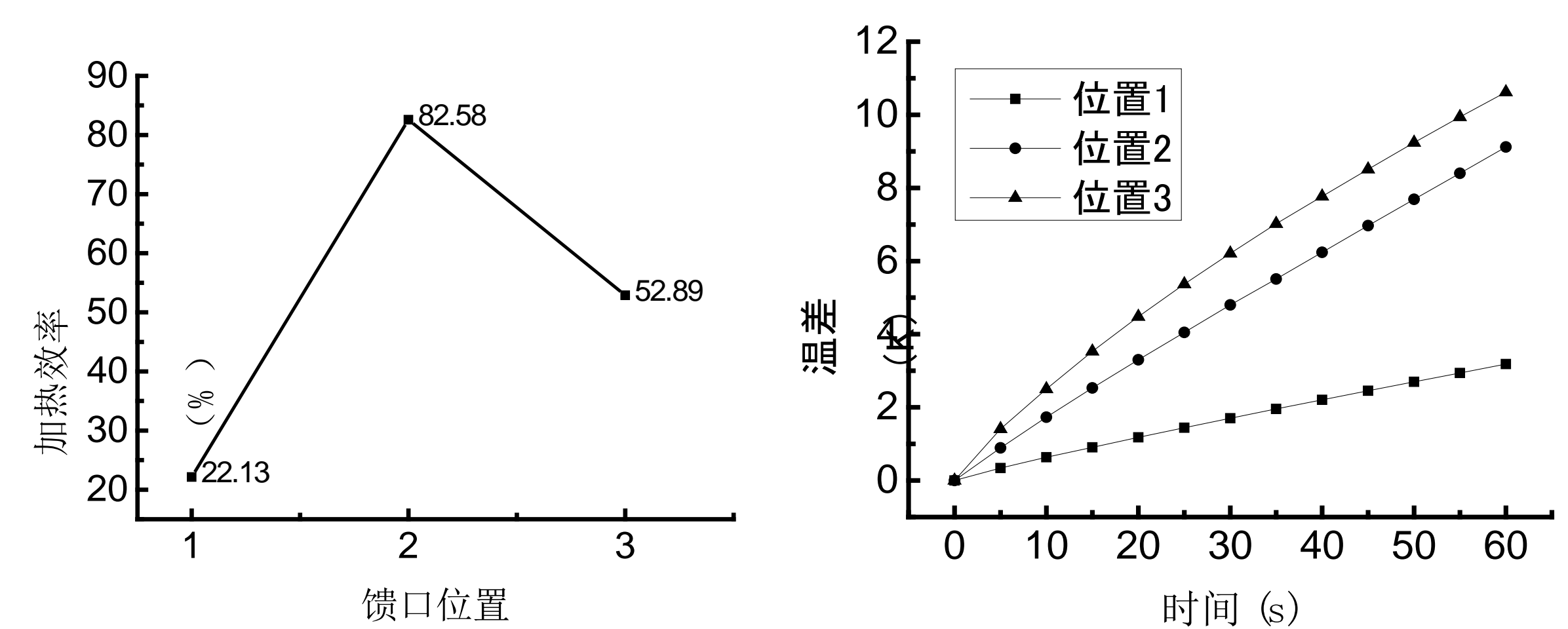


图 6. 不同馈口位置的加热效率

图 7. 馈口位置物料最大温差的影响

如图6、图7所示，馈口位置的改变将对加热效率产生极大影响，同时对加热均匀性产生明显的影响

结论:微波功率和微波馈入位置均会对微波加热的均匀性产生影响；微波馈入位置相对于功率来说对于加热效率的影响极为巨大，在反应器的设计中应着重考虑波导位置的选择。

参考文献:

1. 牟群英, 李贤军. 微波加热技术的应用与研究进展[J]. 物理, 2004, 33(6):438-442.
2. 张柯, 卢立新, 王军. 基于COMSOL的包装食品微波炉加热模拟[J]. 包装工程, 2014(5):1-4.
3. 侯影飞, 游海鹏, 齐升东, 等. 微波反应器加热效率及均匀性仿真优化[J]. 化学工程, 2018(6).