

基于COMSOL软件对连续流动矩形腔微波反应器加热效果与均匀性的响应面分析

吴雁泽, 金光远

机械工程学院, 江南大学, 无锡, 江苏, 中国

•简介: 目前对于连续流微波反应器的研究, 很多学者研究了流场对温度场的影响, 而对电磁场对温度场的影响讨论较少。为了提高连续流微波反应器的物料温升以及加热均匀性, 本文设计了一种具有特殊形状管道的连续流动矩形微波反应器, 重点讨论了连续型微波反应器电磁场对温度场的影响, 使用COMSOL多物理仿真软件, 通过改变物料流速、馈口功率、管道高度和馈口高度等参数研究连续流动矩形微波反应器加热效果和加热均匀性的变化规律, 通过分析仿真结果, 得出的一系列可以用于提高连续型矩形微波反应器加热效果和加热均匀性的结论。

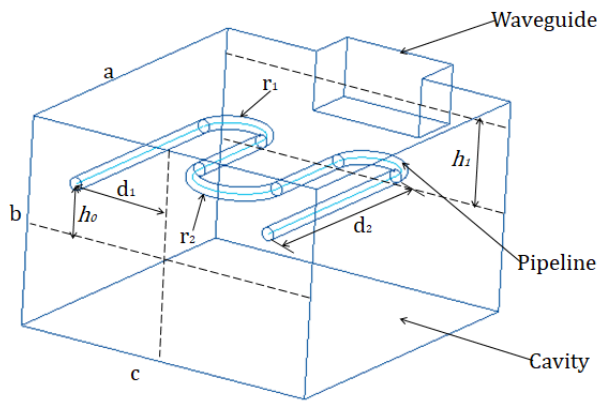


图 1. 连续型矩形微波反应器模型的三维示意图

计算方法: 运用COMSOL仿真软件将麦克斯韦方程、传热方程以及流体层流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”接口, 用于计算物料层流状态的“层流”接口以及用于计算物料温度变化的“流体传热”接口。

网格策略: 本文在划分网格时, 将流体管道划分为结构化的六面体网格, 矩形腔体划分为非结构化的自由四面体网格。网格总数约为50万左右。

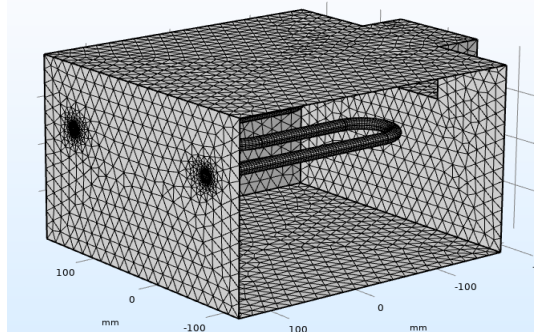


图 2. 网格分布

结果: 用不同的馈口与管道高度的模型展示电磁场与温度场的变化。

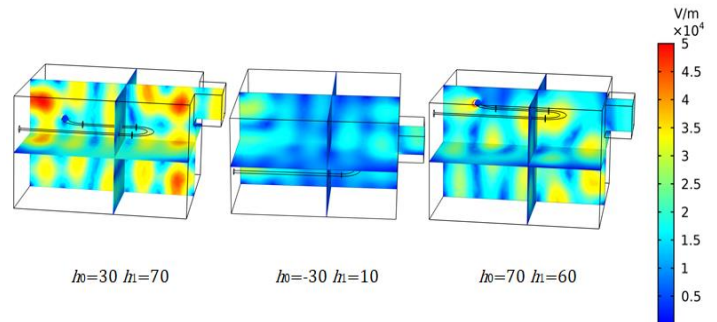


图 3. 不同结构参数下的电场分布

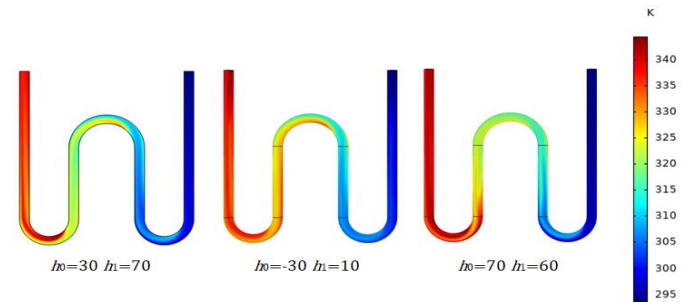


图 4. 不同结构参数下的温度分布

•结论: 1) 在其他条件不变的情况下, 物料流速越小, 物料温升与均匀性达到稳定所需要的时间越长, 物料温升越大, 加热均匀性越差。2) 不同馈口功率条件下, 物料温升达到稳定的时间基本相同。而加热均匀性达到稳定的所需时间随着馈口功率的变大而变长。在其他条件不变的情况下, 馈口功率越大, 物料温升越高, 加热均匀性越差。3) 由响应面分析发现温升与加热均匀性的响应面结果都呈现对称性。同时发现随着管道与馈口之间距离的增大, 物料温升逐渐变小。当管道与馈口在相近平面时, 加热均匀性较差, 而当管道与馈口相距较远时, 加热均匀性则较好。4) 通过响应面分析优化得到: 当 $h_0=69.84\text{mm}$ 、 $h_1=60.08\text{mm}$ 时, 可获得最好加热效果为 24.28%, 当 $h_0=-38.88\text{mm}$ 、 $h_1=32.81\text{mm}$ 时, 变异系数最低达到 0.065%, 可以获得最佳的加热均匀性。

以上结论阐明了连续流动矩形微波反应器的管道高度与馈口高度对加热效果和加热均匀性影响的一般规律, 为实际的反应器设计提供了重要的理论参考。