

多物理场模拟物料介电特性对微波加热效率和加热均匀性的影响

韩太柏, 金光远, 吴雁泽, 邹鹏程
机械工程学院, 江南大学, 无锡, 江苏, 中国

简介: 针对带夹层釜式微波反应器, 利用优化后的反应器结构, 探究物料相对介电常数对于加热效果的影响。

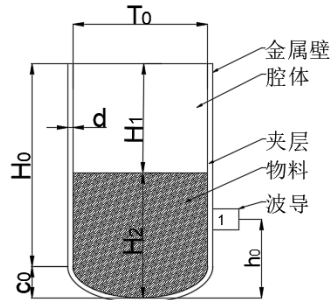


图 1. 微波反应釜模型的二维示意图

计算方法: 采用COMSOL5.2作为求解器, 试用其中的微波加热模块进行仿真计算。在电磁场中, 以材料相对介电常数建立电位移场模型。在研究中分频域和瞬态两个步骤进行, 在频域步骤中使用稳态求解器求解微波反应器腔体内的电场分布, 以FGMERS法进行迭代求解; 在瞬态步骤中使用瞬态求解器求解不同时刻下物料各个位置的温度, 使用PARDISO进行求解。

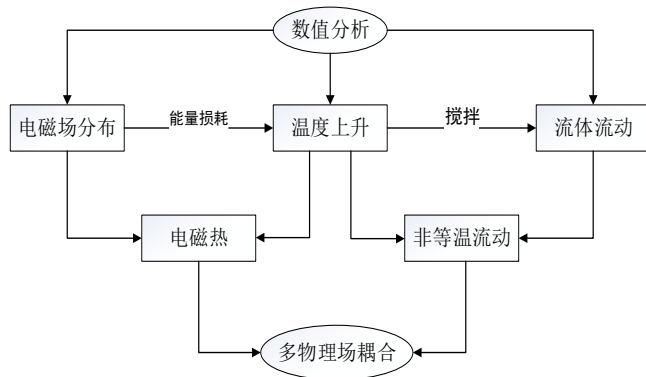


图 2. 多物理场耦合仿真

结果: 如图3可以看出, 随着反应的进行, 物料的相对介电常数降低, 物料对微波的阻碍作用不断减弱, 物料中的电场强度逐渐升高。从整体上, 酯化反应的前期, 物料的相对介电常数较高, 微波在物料内的穿透性较差, 只有物料的最上部有较为显著的电场强度分布, 此时物料内部电场的分布主要受物料本身介电特性的影响, 微波反应器的结构对电场分布的影响很小; 当反应进行到10 min, 物料的相对介电常数达到3.32-0.86j以后, 夹层的作用开始凸显, 除了物料上部微波穿透深度有了明显的提升之外, 物料底部也开始出现较为明显的电场分布; 当反应进行到15分钟后, 物料介电下降到2.73-0.13j, 物料内部与边缘的电场强度没有明显差别, 物料电场强度显著增大, 之后随着反应的进行, 物料相

对介电常数继续减小, 电场强度整体上仍在增强, 此时微波反应器的结构特征对物料内部电场的分布起到关键作用。

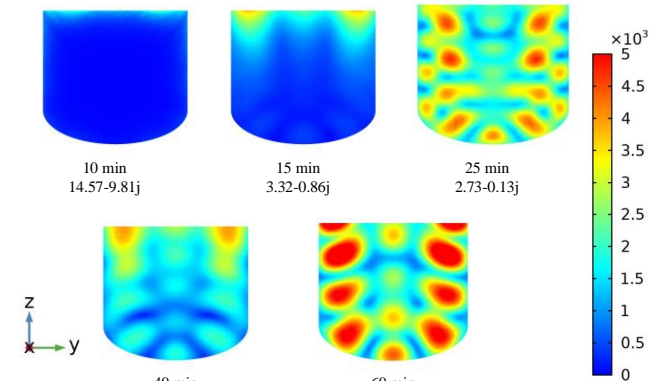


图 3. 不同介电下物料区域电场的分布

从图4可以看出, 在反应前期, 物料的相对介电常数较高, 对微波的吸能力较强, 因此虽然物料内部几乎没有电场分布, 但仍表现出较高的微波加热效率; 随着反应的进行, 物料的相对介电常数降低, 物料对微波的吸收能力下降, 但物料内部出现电场分布, 参与吸收微波的物料量增多, 因此当反应进行到15 ~ 40 min时, 微波加热效率虽然有所改变却仍在90%以上; 随着反应的继续进行, 物料的相对介电常数继续降低, 物料对微波的吸收能力继续变差, 物料内电场强度升高的速度低于物料对微波吸收能力降低的速度, 从而造成加热效率迅速下降。

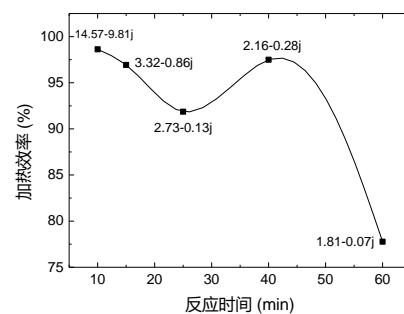


图 4. 加热不同介电特性物料加热效率的变化

结论: 从介电特性方面来讲, 当物料的相对介电常数在某个数值之上时, 微波加热的效率将处在一个相对稳定的范围, 受物料相对介电常数的影响较小, 若低于这个值, 微波加热效率将会有显著的降低, 而当物料的相对介电常数高于某个值以后, 微波加热的均匀性将随物料相对介电常数的减小而变好, 当相对介电常数低于某个值时, 则基本可以忽略相对介电常数对微波加热均匀性的影响。