

液滴热毛细迁移流场和温度场拓扑结构的演变

赵建福, 李震东, 李晶, 张良

中国科学院力学研究所微重力重点实验室(国家微重力实验室), 北京 100190

摘要: 热毛细迁移现象是流体颗粒(液滴/气泡)在非均匀温度场中由于界面温度梯度引起的非均匀界面张力驱动的运动。它不仅是流体力学中的经典问题之一,而且在诸如空间材料制备、空间流体和热管理系统等应用中也有着重要的应用。本文利用投影法求解了微重力条件下可变形液滴的轴对称热毛细迁移问题,控制方程组基于 Level-set 方法和连续界面张力模型。数值计算的终端迁移速度和空间实验结果相一致。计算结果表明,不同 Marangoni 数(Ma)情形具有相同的流场拓扑结构;但随着 Ma 数的增加,温度场的拓扑结构变化极大——在较小 Ma 数情形中,液滴内的最小温度发生在液滴尾部滞止点处。当 Ma 数超过某个临界值(10~20 之间)后,最小温度点跳进液滴内部,并随着 Ma 数的增加而不断上移;液滴内部冷区最初呈球帽状,但其中部厚度随 Ma 数增加不断减小,同时向外扩展,形成外缘不断增厚的球壳状冷区;当 Ma 数超过另一临界值(约 100)后,球壳状冷区在液滴轴线处破裂,冷区的拓扑结构转变为环状,最小温度点也随之远离轴线,不断向外、向下移动。温度场拓扑结构的变化反映了对流效应对液滴内部热量传输的影响不断增强,也强烈影响着液滴热毛细迁移终端速度随 Ma 数的变化特征。

关键词: 热毛细迁移; 液滴; 拓扑结构; Level-set 方法; 微重力