

大 Marangoni 数下液滴热毛细迁移的物理机制

武作兵

中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室, 北京 100190

wuzb@lnm.imech.ac.cn

关键词: 液滴; 表面张力; 热毛细迁移; Marangoni 数; 微重力

液滴(气泡)在流体介质中的输运过程是很多自然现象和工程应用中的关键基础问题。在重力的作用下,当两相流体介质密度不同时,液滴基于浮力和重力运动。在微重力环境下,浸含在流体介质中的液滴(气泡)的浮力效应基本消失,而其界面的表面张力变为控制液滴(气泡)运动的主要驱动力。由于表面张力反比于界面的温度,因此外加不均匀温度场将导致液滴(气泡)出现移动,即热毛细迁移。

对于小 Marangoni (Reynolds) 数, Braun et al (1993) 实验测得的液滴迁移速度与 YGB 线性预测值符合较好。但对于大 Marangoni(Reynolds)数,由于迁移时间加长和系统参数随温度变化的原因使得迁移过程变得复杂,目前仅存在两组实验。美国 NASA 的 Hadland et al(1999)在 IML-2 航天飞机上采用 10cs 硅油为母液, FC-75 氟液为液滴进行了液滴热毛细迁移实验,实验最大的 Marangoni(Reynolds)数达到 3300(49.1)。中国科学院力学研究所微重力国家实验室的 Xie et al (2005) 在神州四号飞船上搭载实验中采用 5cs 硅油为母液, FC-75 氟液为液滴进行了液滴热毛细迁移实验,实验最大的 Marangoni(Reynolds)数达到 5525 (302.6)。两组空间实验所测得的液滴迁移速度随 Marangoni 数的变化结果与已有的理论分析和数值计算结果定性不符,即迁移速度随 Marangoni 数增加而减小。所以大 Marangoni 数下液滴的热毛细迁移实验的物理机制还有待阐明。

现有的理论分析和数值结果都基于准定态迁移过程假设。本文从流动区域的能量守恒条件出发,研究附加温度梯度的流场中液滴定态热毛细迁移的界面热流。采用渐进展开方法,发现在大 Marangoni 数下液滴的定态热毛细迁移存在非守恒的积分界面热流。非守恒积分界面热流很可能源于无效的定态迁移假设。表明大 Marangoni 数下,液滴热毛细迁移不能达到定态而保持非定态过程。这意味着大 Marangoni 数下液滴的非定态迁移源于热能从液滴外向内弱的传递,因而环绕液滴的热对流是热能在环绕液滴或向内传递过程中更重要的机制。

感谢国家自然科学基金委通过项目 No.1172310 的支持,感谢中国科学院超算中心和中国科学院力学研究所计算平台的协助。

参考文献

- [1] Z. Yin, Zuo-Bing Wu and Wen-Rui Hu, Thermocapillary migration of drops and bubbles, *Advances in Microgravity Sciences*, ed. W. R. Hu, Transworld Research Network, India (2009) pp. 35-52.
- [2] Zuo-Bing Wu and Wen-Rui Hu, Thermocapillary migration of a planar droplet at moderate and large

Marangoni numbers, *Acta Mechanica*, Vol. 223, pp. 609-626, (2012).

[3] Zuo-Bing Wu and Wen-Rui Hu, Effects of Marangoni numbers on thermocapillary drop migration: Constant for quasi-steady state? *Journal of Mathematical Physics*, Vol. 54, pp. 023102(1-10), (2013).