

## 单气泡沸腾数值模拟与传热的重力标度规律分析<sup>1)</sup>

杜王芳<sup>\* +</sup>, 张良<sup>\*</sup>, 赵建福<sup>\* +, 2)</sup>

<sup>\*</sup> (中国科学院力学研究所微重力重点实验室, 北京 100190)

<sup>+</sup> (中国科学院大学工程科学学院, 北京 100049)

**摘要:** 沸腾过程极强的热传递能力使其在地面常重力环境和空间微重力环境都有着广泛的应用。重力是影响沸腾传热性能的重要因素, 对重力影响规律的研究对相关空间应用具有重要意义。本文采用单气泡沸腾模型数值计算了不同重力条件下的气泡动力学行为与传热性能, 并考虑了加热固壁热容及其内部瞬态导热对沸腾性能的影响。气液间的尖锐界面采用 Ghost Fluid 方法描述, 并采用 2 套 Level-set 函数分别描述气-液和流-固界面的演化。为了得到准稳态传热结果, 每个算例均计算了相当长时间内多气泡周期的演化。为保证计算效率, 计算区域设定为基于 Laplace 长度的恒定无量纲尺寸, 这导致加热器物理尺寸将随着重力水平的下降而增大, 会导致传热性能不好直接比较。为解决该问题, 以计算中的最低重力水平时加热器物理尺寸为准, 对高重力水平时的计算区域按比例外扩, 并采用计算区域边缘加热表面温度、热流密度作为外扩区域上的相应数值, 计算整个加热表面上的稳定周期内的时-空平均温度和热流密度, 从而保证了不同重力水平加热器物理尺寸相同, 相应地核化点数密度也保持一致, 增加了传热性能的可比性。计算结果表明, (1) 在较高重力水平时热流密度确实满足  $g^m$  规律变化, 但在低重力下变化趋于 0, 呈现出明显的浮力主导和表面张力主导的分区特征; (2) BDB 和 SDB 转换边界对应于  $L_b/L_c$  约为 2.3 ~ 3.2, 与 RKM 模型极为相近; (3) 基于恒定过热度的重力标度指数  $m$  确实随着过热度增大从 0.36 单调增大到 0.51, 定性上与 RKM 模型相符, 但具体数值明显大于 RKM 模型。此外, 和前期数值模拟结果相比较, 发现是否考虑加热固壁热容效应, 对传热性能的影响在浮力主导区域内并不明显, 但在表面张力主导区域则相当明显, 即低重力条件下加热固壁内部瞬态导热对沸腾传热现象具有更大影响。这提示未来空间实验需更为关注固壁热容效应。

**关键词:** 微重力; 单气泡沸腾; 重力标度规律; 固壁热容效应; 气泡动力学

1) 资助项目 (U1738105, 11802314)