

微重力流体力学

胡文瑞^{1, 2}

1 中国科学院力学研究所, 北京 100190

2 兰州理工大学能源与动力学院, 兰州 730050

微重力流体物理是微重力科学的重要领域, 它是微重力应用和工程的基础, 人类空间探索过程中的许多难题的解决需要借助于流体物理的研究。微重力流体物理大体上可分为三个主要部分, 即微重力环境中简单流体的对流和扩散、多相流、和复杂流体运动。

具有液/气或液/液界面的流体体系普遍地存在于自然科学和工程应用中, 研究热毛细对流的规律, 对于空间材料加工、生物技术、燃烧等过程中热毛细对流控制都有重要意义, 并对地面电子装置的热控制, 食品加工过程, 化学工程微电子机械系统(MEMS), 薄膜等小尺度的流动问题也有指导作用。微重力环境中流体的晃动、流体的运动与固体结构的相互耦合是航天工程中经常遇到的问题。对微重力环境中简单流体的传热和传质过程, 人们主要研究毛细系统中临界现象和浸润现象, 热毛细对流的转捩过程和振荡机理, 液滴热毛细迁移和相互作用规律等方面。流体管理研究也是微重力工程中的重要课题。

微重力气/液两相流动与传热研究的主要对象包括两相流动的流型、沸腾与冷凝传热、混合与分离等现象, 对我国载人航天技术(如航天器热与流体管理系统、空间站与深空探测器等大型航天器动力系统、载人航天器环控生保系统以及空间材料制备与空间生物技术实验等)的发展有直接的应用价值。在微重力环境中, 重力作用被极大地抑制甚至完全消除, 更能凸显气、液、固相间的传递机制, 便于更深刻地揭示其流动与传热机理。借助于微重力气液两相流动与传热的深入研究, 对我国实现能源战略需求和地面常重力环境中的石油、化工、制造等相关技术开发与应用也有重要指导意义。

复杂流体是一种分散体系, 它指的是具有一种或几种分散相的物质体系, 也有人称之为软物质。在重力条件下, 复杂流体的许多行为会受对流、沉降、分层等干扰, 而微重力条件则有助于研究在地面上被重力作用所掩盖的过程, 特别是分子间的相互作用力。微重力复杂流体研究包括: 胶体的聚集和相变研究; 悬浮液和乳状液稳定性研究; 复杂等离子体的结晶研究; 气溶胶的稳定性和聚集行为研究; 对颗粒体系本征运动行为的研究; 临界点现象的研究; 以及材料制备、石油开采和生物流体的相关问题研究。随着人类深空探测活动的展开, 对不同重力场中分散体系物质的操作与运输的要求, 以及对其运动规律认知的需求十分迫切。空间科学实验不仅能够使我们获得新的科学知识, 而且其科学成果对于地面材料及器件制备工艺的创新具有重要指导意义。对复杂流动现象的研究在材料设计中起到了切实的作用, 如对复杂流体自组织现象的研究成果已经应用于纳米结构材料和器件的研制。近年来, 复杂流体(软物质)的力学和物理学, 接触角、接触线和浸润现象等与物理化学密切相关的领域也越来越受到关注[8]。

中国的微重力实验计划也安排了一批空间微重力流体物理实验。这些实验包括空间热毛细对流、具有蒸发界面对流、颗粒材料物理、沸腾传热、复杂流体的结晶、半浮区液桥的热毛细对流、多液滴相互作用、复杂流体稳定性等流体物理空间实验项目。

关键词: 微重力, 流体力学, 流型, 沸腾与冷凝传热

E-mail: wrhu@imech.ac.cn