

“微纳流动与复杂流体”专刊简介

李战华

(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)

二十一世纪初“微流控芯片”“基因工程”等高新技术的兴起促进了微纳流体力学的发展。经典流体力学早期就开展了“低雷诺数”“多孔介质”等低速、小空间尺度流动的研究,但微纳流动研究的空间或粒子的尺度更小,在一纳米至百微米范围,流动介质涉及细胞液、乳浊液等复杂流体。因此,微纳流动和复杂流体的研究具有了介观尺度的特性和更强的应用背景,需要流体力学、统计物理、化学、材料科学、生物学等多种学科的有机融合。《实验流体力学》适时推出“微纳流动与复杂流体”专刊,初衷是“为促进交流,希望向非力学专业(如化学、生物等)相关领域的学者们介绍微纳流动研究的前沿进展”。

本专刊汇集了11篇论文,分为“粒子、细胞与液滴控制”和“微流动机理”两部分:

在“粒子、细胞与液滴控制”部分,主要介绍了血细胞变形、血流动力学建模、液滴驱动、微粒过滤和毛细流动聚焦等应用方面的研究。浙江大学李学进课题组以健康和疾病下的血细胞为例,从单细胞变形、黏附、机械疲劳等力学性能表征到多细胞迁移综述了微流控芯片技术在细胞力学分析和表征方面的研究进展。大连理工大学覃开蓉、上海交通大学梁夫友研究团队介绍了动脉内皮微环境的血流动力学建模分析、体外模拟循环系统(MCS)及用于细胞力学生物学研究的体外细胞培养模型(ECCM)。液滴和粒子是微流控芯片重要的操控对象,北京工业大学刘赵淼、申峰、逢燕课题组多年关注微通道中液滴和粒子运动的研究,他们综述了液滴/粒子运动特征参数的变化规律,包括不同流动模式的分布状况及临界条

件、主导流动的关键参量及相应的受力分析模型、各种操控粒子运动行为的方法等。哈尔滨工业大学姜洪源、任玉坤课题组介绍了一项提高粒子过滤效应的新技术,将多孔的金属橡胶板与介电泳力捕获相结合,并利用液态金属的电润湿效应使流体在受限空间内循环流动,大大提高了金属橡胶板对微球的过滤性能。中国科学技术大学司廷课题组多年从事毛细流动聚焦研究,他们回顾了基于吹气式与吸气式两种核心装置的毛细流动聚焦实验方法,介绍了施加外部激励控制流动聚焦射流破碎的实验,探讨了诸多参数对流动聚焦初期流体锥形收缩状态和后期流体射流失稳破碎的影响规律,为流动聚焦技术的实际应用提供理论指导。

在“微流动机理”部分,主要介绍了适用于生物介质测量的原子力显微镜技术,与微流控芯片流动有关的边界形貌设计、滑移条件确定以及复杂流体流变特性等方面的研究进展。原子力显微镜可以实现在液体中对亚细胞、细胞、组织等多个尺度的生命物质进行力学测量,并研究其在衰老、癌变等生命过程中力学性质的动态变化。中国科学院力学研究所关东石、香港科技大学童彭尔研究团队综述了原子力显微镜的力学测量原理、生物力学的实验方法以及在单细胞的整体与局部、液-液相分离液滴、上皮囊泡组织等力学测量中的应用,阐明了原子力显微镜系统将成为多尺度生物力学研究的新的技术途径。中国科学院大学姚朝晖、清华大学郝鹏飞研究团队多年从事表面微纳结构对流动阻力的影响研究,他们利用压力-流量测量和流动显示方法研究了6种具有不同微纳结

构的超疏水表面的减阻效果以及表面微结构形状对气-水界面稳定性的影响,阐明了相同表面固体分数情况下微结构间距对减阻影响的物理机制,发现具有双内凹(伞状)微结构表面的微槽道即使表面为亲水材料也可以形成稳定的气-水界面,从而实现超疏水性能。随着高分子物理、化学、材料科学以及溶胶/凝胶等软物质力学的发展,微流变学在表征复杂溶液和软物质微观材料力学性质方面发挥了重要作用,金陵科技学院王昊利、中国计量大学包福兵研究团队基于单颗粒追踪法研究了高聚物溶液的微流变特性,介绍了测量复杂流体微流变特性的储能(弹性)模量和损耗(黏性)模量的基本原理,开展了不同浓度的高聚物溶液在不同温度下的黏弹性测量。从简单流体到复杂流体,边界滑移条件的确定更加复杂,中国科学院力学研究所李战华、郑旭课题组综述了液固界面滑移

研究进展,由于复杂流体存在非均匀的微观结构及黏弹性效应,需要采用介观的方法、在不同尺度范围内描述其流动;对于高聚物或生物流体,其界面附近存在复杂结构,有必要与微流变等研究结合。该课题组还介绍了复杂流体中 Janus 微马达自驱动运动特性的实验研究工作,系统描述了高聚物溶液浓度对 Janus 微马达驱动速度、运动均方位移 MSD 及转动特性的影响。

上述文章的作者均为多年深耕于微纳流动领域的学者,在百忙之中撰写文章,详细展示了各自研究的前沿进展。特此向作者们的辛勤付出致谢!希望这些论文可以为相关领域的研究者提供有益的参考,推进流体力学与化学、生物学、材料科学等领域研究者的学术交流,促进微纳流动与复杂流体研究的进一步发展。

“微纳流动与复杂流体”专刊组稿专家



李战华(1949-),女,北京人。皮埃尔与玛丽居里大学(巴黎第六大学)博士,中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室(LNM)研究员、博士生导师,中国科学院大学讲席教授。中国力学学会流体力学专业委员会第九届实验流体力学专业组副组长,中国空气动力学学会流动显示专委会委员, *Mechanics & Industry*、《实验流体力学》编委。长期从事实验流体力学研究,曾主持设计与建造 LNM 实验室低湍流度水洞。随着微机械系统及微流控芯片技术的兴起,将研究重点转向微纳尺度流体力学实验,关注连续介质方程、无滑移边界条件等经典流体力学理论在微纳米流动中的适用性研究。研制了 Micro-PIV 微流动可视化及速度测量系统,开展界面滑移流动特性研究;将该系统与共聚焦和全内反射荧光显微技术结合,扩展为 Nano-PIV 实验系统,开展微/纳通道旋涡流场观测及简单液体中纳米粒子布朗运动等实验研究。在 *Physics of Fluids*、*Applied physics Letters*、*Experiments in Fluids* 等国际期刊发表多篇文章,获 6 项国家发明专利。担任第一届(2007 年)、第二届(2009 年)中法微流控学术研讨会(Chinese-French Symposium on Microfluidics)中方主席。2012 年主持撰写并出版专著《微流控芯片中的流体流动》。