



流体力学新进展 —— 第五届国际流体力学会议概况

刘 桦^{1,†} 何友声¹ 李家春²

¹ 上海交通大学工程力学系, 上海 200030

² 中国科学院力学研究所, 北京 100190

介绍了第五届国际流体力学会议 (Proceedings of the 5th International Conference on Fluid Mechanics, 2007 年 8 月 15~19 日, 上海) 的基本情况. 大会报告涉及生物流体力学、湍流与流动控制、超声速流动、超空泡减阻、破碎波与海岸泥沙输运等当前流体力学前沿领域的研究进展; 按流体力学学科分支总结了本次会议分会场交流论文的基本情况, 阐述了若干学科分支方向的研究进展.

1 会议基本情况

国际流体力学会议 (The International Conference on Fluid Mechanics, ICFM) 已经有 20 年的历史, 它们是 1987 年由沈元、冯元桢、Zierp, 庄逢甘, 吴耀祖等国际流体力学界著名科学家倡导的、在我国举办的流体力学系列会议. 德国应用数学与力学协会 (GAMM)、美国机械工程师协会 (ASME) 流体工程专业委员会和生物工程专业委员会、美国土木工程师协会 (ASCE) 工程力学专业委员会、日本流体力学协会 (JSFM) 等国际著名学术机构均为 ICFM 的协办单位. 每次会议均有一批来自美国、德国、英国等欧美国家和日本等亚洲国家的学者参加会议. ICFM 已成功举办了四届, 第一届 ~ 第三届在北京召开, 第四届在大连召开. 由中国力学学会和上海交通大学联合主办的第五届国际流体力学会议 (ICFM-V) 于 2007 年 8 月 15~19 日在上海青松城酒店召开. ICFM 科学委员会主席庄逢甘院士出席本次会议.

ICFM-V 得到国内外流体力学同行们的广泛关注, 共收到投稿论文 259 篇. 经学术委员会审稿, 正式录取 244 篇, 其中国外学者论文 84 篇, 国内学者论文 160 篇. 参加会议的代表共 203 人, 分别来自 21 个国家和地区, 其中来自海外的学者 68 人, 国内学者 135 人. 会议安排了 8 个大会邀请报告, 并以流动转捩和不稳定性、湍流、空气动力学、水动力学、工业流体力学、生物流体力学、地球物理和环境流体力学、微尺度流体力学、非牛顿流体等为主题安排分会场进行论文交流. 由庄逢甘和李家春主编的会议

论文集 “New Trends in Fluid Mechanics Research”^[1] 由清华大学出版社和 Springer 联合出版, 全球发行. 本次会议得到国内外流体力学同行的支持和好评. Paul E. Dimotakis 教授在大会闭幕式上讲, “我对学术会议是否成功的评价主要考虑以下两指标, 其一是在会议中是否学到新知识, 若不参加此会则无法学到; 其二是参加会议是否遇到值得感谢的人. 本人参加本届会议在这两方面均有很多收获.”.

2 反映学科发展前沿的大会报告

高水平的大会报告是本次国际学术会议的一大亮点. 大会报告人包括英国皇家学会院士、原 Journal of Fluid Mechanics 主编、剑桥大学 Timothy J. Pedley 教授, 国际著名的航空与宇航专家、美国加州理工学院 Paul E. Dimotakis 教授, 俄罗斯科学院院士、俄罗斯科学院理论与应用力学研究所 Victor Kozlov 教授, 美国康乃尔大学 Philip L F Liu 教授, 澳大利亚新南威尔士大学 Michael L. Banner 教授, 日本东京工业大学 Y. Kawaguchi 教授, 中国科学院力学研究所姜宗林研究员和上海交通大学鲁传敬教授. 他们的大会报告内容涉及生物流体力学、流动控制与流体动力不稳定性、湍流减阻、海洋破碎波、海啸与海岸泥沙输运、高焓超声速流动、空泡流等当今流体力学研究的前沿领域.

Pedley 教授的大会报告题目为 “Biomechanics and modelling of aquatic micro-organism”. 水中微生物在海洋生态、全球碳循环和生物反应器工程中有着重要的作用. 海洋生态系统的复杂食物群可以用一些不同的物种进行模拟, 这些物种的数量密度满足一组耦合的偏微分方程组. 研究单个微生物的动力学特性和建立基于单个微生物动力学行为的物种数量水平的模型已成为该领域备受关注的课题. 该报告对以下几方面的研究进展做了全面回顾: 低雷诺数条件下单个微生物游动的流体动力学原理; 微生物游动对营养物上输的作用; 细菌的化学趋向性; 湍

[†] E-mail: hliu@sjtu.edu.cn

流环境中游动的浮游动物获取浮游植物的速率;向上游动的微生物的悬浮模态;多个游动微生物间的流体动力相互作用及其对悬浮体的流变和输运特性的影响.该研究领域的长期目标为建立由活动微生物组成的稠密悬浮体的连续介质模型.

Dimotakis 教授在以“An investigation of scalar dispersion and mixing in grid turbulence”为题所做的大会报告中,通过若干典型的大气中物质分布和弥散特征的卫星观测实例,指出研究中雷诺数条件下网格湍流中连续点源释放的标量弥散结构不仅对研究混合、化学反应器和燃烧具有应用价值,而且将为深入认识污染物弥散输运的区域和全球环境过程提供科学依据.重点介绍了 Caltech 在射流标量弥散实验研究的最新进展.应用激光诱导荧光技术、激光体积扫描、快速读取 CCD 阵列和高速数字成像、取样和存储技术,在水槽中对水流被动标量的瞬时三维结构进行了实验研究.分别用激光流速仪和标量相关流速仪测量来流流速和射流区流速.实验结果表明横截面上的平均标量剖面测量结果与现有的实验结果一致,但是,该实验指出,在点源下游 22~30 个网格尺度处于网格展向一定距离内,射流区域中存在丰富的标量结构拓扑性质.丰富了对自相似网格湍流区三维标量场的认识.

研究近物面的流动以及发展新方法控制局部和全局的流动特征对实现航空器的增升、减阻、降噪具有指导意义;近壁流动的一个重要现象是流动的不稳定性,该现象可以在二维或三维以及附着或分离流动中观测到;俄罗斯科学院理论与应用力学研究所 Kozlov 教授以“Flow control and hydrodynamic instability”为题介绍了该机构近年来在亚音速空气动力学领域的实验研究成果.该报告分以下 4 方面介绍了实验研究的新进展:升力面流动层流化以及小肋、吸气技术实现流动控制;较低雷诺数下小型飞行器流动分离和波状翼型应用;高湍流度来流条件下叶栅湍流绕流演变与边界层转捩;射流不稳定性和声辐射的控制.

海浪破碎通过水气界面的翻卷显著地影响上层海洋和海洋大气边界层的动力学和热动力学特性,此外破碎波的冲击载荷对海岸与近海结构物的安全性也提出了极大的挑战;Banner 教授的大会报告题目为“Recent progress on understanding and modelling ocean wave breaking”,着重阐述了海洋波浪破碎动力学机理、统计特征、建模等问题.通过数值模拟非线性波群动力学在单向波群的破碎中的作用,发现波浪破碎是一个能量从波群内部各波向最大波集聚的临界过程,这种能量集聚速率的不同导致波浪破碎强度的变化.在波浪水槽中进行了波群演化和破碎过程实验测量,验证了波群中能量集聚速率参数可作为描述波浪破碎强度的一个可靠指标这一理论预测.这些新结果被应用于改进现有海浪数学模型的波谱耗散率源项,模型预报给出的海浪“白帽”长度谱密度与遥感

结果基本一致.

预报海岸演变是沿岸泥沙输运领域最重要的问题之一;尽管人们对海岸水动力学研究给予了极大的关注,但是越来越多的研究兴趣转向海岸波浪、水流作用下泥沙的运动响应;刘立芳教授介绍了 Cornell 大学土木与环境学院水资源与水动力学研究小组在海岸泥沙输运的建模方面的研究进展.在海岸泥沙模型方面,建立了基于 Favre 平均的水、沙两相流模型,并应用 U 型管振荡层状流和水槽层状的实验结果对模型进行了验证.由于该两相流模型考虑了湍流脉动与颗粒运动的相互作用,具有良好的发展和应用前景.

Kawaguchi 教授的大会报告介绍了应用表面活性添加剂实现湍流减阻的机理和在空调系统中的应用研究.现有研究表明,在大雷诺数下液体流动中加少量的可溶于水的高分子聚合物等化学物质可显著抑制湍流脉动,对加热和冷却系统的液体长距离输送的节能具有重要应用价值.成功应用该技术不仅对管网和热交换设计提出了新的要求,而且,由于这类表面活性溶解液的减阻机理十分复杂,如管壁摩阻参数与雷诺数和管径有关,进行了一系列基础性工作.同时,为了发展应用表面活性溶解液的热输运系统的设计方法,还开展了针对流动减阻的湍流结构实验和数值模拟研究.

姜宗林研究员以“Research progress on high-enthalpy and hypersonic flows”为题报告了中国科学院力学所在高焓超声速流动领域的研究进展.该报告首先介绍了先进的超声速试验设备的研制情况,包括爆轰激波反射管(JF-10)和爆轰激波扩张管(JF-16),前者的最大流速达 4~5 km/s,温度高达 8000 K;后者的最大流速可达 7~9 km/s,总焓大于 30 MJ/kg.通过典型的喷管流动试验,检验了超声速流动的模拟质量,表明该设备可应用于气动热化学试验,为研究超声速流动的“真实气体效应”提供技术保障.

传统上认为空化是对流体机械有害的流体物理现象,但是,随着超空泡减阻技术在高速水中航行体减阻中获得成功,带自然空泡流或通气空泡流物体的流体动力特性研究再次引起人们的广泛关注;鲁传敬教授的大会报告总结了上海交通大学工程力学系在空泡流的数值模拟和实验研究方面的新进展.基于 RANS 方程和湍流模型,建立了空化数值模型.应用该数值模型对自然空泡流和通气空泡流进行了大量的计算分析,并在空泡水洞进行了实验研究,发现了通气空泡流的筒壁效应、迟滞效应、泡面波动等流动现象,揭示了空化器和通气方式对超空泡流动特性的影响.

3 若干学科分支方向的研究进展

除了前述的 8 个大会报告外,本次会议共设 4 个并行的分会场,按流体力学学科分支分类进行论文交流.表 1 为按学科分支统计的论文数.

表 1 流体力学各学科分支的论文数

学科分支领域	流动稳定性	湍流	涡动力学和气体动力学	水动力学	地球物理与环境流体力学	工业流体力学	多相流、非牛顿流和多孔介质流动	生物流体力学	微尺度流动	高分子和磁流体力学
论文数	11	34	40	34	11	34	34	15	13	10

在流动稳定性研究领域,考虑不稳定性模态和可压缩性效应的超声速边界层流动转捩/湍流的数值模拟方法研究取得新进展;在加热振荡平板流体对流及其线性稳定性分析、基于大涡模拟 (large eddy simulation, LES) 得到的速度剖面进行边界层转捩的稳定性分析、液晶中电荷诱导的流动不稳定性等方面均有研究工作报道。

在湍流研究领域,一个显著特点是湍流大涡模拟研究引起广泛关注,在该分支的论文中约 1/3 涉及各种复杂流动的 LES 研究,包括湍流噪声、湍射流、燃烧、湍浮火焰、湍流中标量输运、都市热岛效应和建筑群大气环境、各向同性湍流中颗粒分布预报等。需特别说明的是,德国柏林工业流体力学研究所发展了湍流计算的分离涡模拟 (detached eddy simulation, DES) 方法并已应用于各类内流和外流问题研究,这是一种混合的雷诺平均法 (Reynolds averaged Navier Stokes, RANS) 和 LES 方法,具有良好的应用前景。考虑燃烧、浮力等复杂流动因素的 LES 亚网格模型和高精度亚网格模型研究无疑是 LES 方法研究的关键问题。

在涡动力学和气体动力学研究领域,北京航空航天大学研究小组在风洞中对细长体分离流和轴对称涡流的流体动力特性进行了大量的实验研究,他们在会上做了系列介绍。超声速边界层流动和超声速混合层流动的实验和数值模拟方法研究取得新进展;有论文报道了超声速乘波飞行器、地效飞行器的气动特性数值模拟结果。

在水动力学研究领域,有 8 篇论文涉及超空泡流动、物体入水与砰击等自由表面高速水动力学问题,特别是国内有关单位在超空泡流数值模拟和实验技术研究方面取得显著进展;有 12 篇论文涉及海岸与近海工程、造船等工程领域的水动力学问题,特别是水波对浮式或固定式结构物的作用仍是研究重点,内波及其对海洋工程结构作用研究也引起大家的关注。

在地球物理和环境流体力学研究领域,有关全球大气和海洋中涡-波相互作用理论分析、剪切流中火焰的数值模拟、基于合成孔径雷达 (synthetic aperture radar, SAR) 的海岸波浪场观测、海啸数学模型、室内环境流场

模拟等方面均有研究工作报道。

在工业流体力学、非牛顿流体和多孔介质流动等方面,共有 68 篇论文,涉及面宽,从应用分数阶导数建立黏弹性流体本构关系到随机多孔介质流动数值模拟,从粗颗粒泥沙沉降动力学到横流中射流的数值模拟,从水轮机的 CFD 分析到桥梁的气动分析,都有所关注。

在生物流体力学研究领域有近 20 篇论文,主要分布在以下两方面:以昆虫飞行和鱼类游动为研究对象的仿生学研究以及以血管、心脏和大脑中血液流动为研究对象的血液动力学研究。限于笔者学识有限和篇幅所限,这里不再对这些领域的进展进行评述。从本次会议的各分会场讨论来看,与会人员对与人类健康密切相关的生物流体力学研究表现出浓厚的兴趣,讨论十分热烈。

4 结 语

第五届国际流体力学会议在上海召开,再次为国内外流体力学同行提供了进行广泛学术交流的平台。高水平的大会报告具有代表性,反映了生物流体力学、湍流与流动控制、超声速流动、超空泡减阻、破碎波与海岸泥沙输运等当前流体力学研究前沿领域的研究进展。分会场交流论文较全面地体现了在流体力学基本理论、流动数值模拟和实验研究等方面的最新研究成果。本次会议的论文不仅体现了在流动稳定性、湍流、涡动力学、气体动力学、水动力学等经典流体力学分支学科的研究进展,而且反映了在航空航天、能源环境、信息材料、医学健康等与经济建设、可持续发展和服务人类密切相关领域的应用,代表了流体力学学科未来发展的新趋势。

致 谢 本次会议得到香港王宽诚教育基金会、国家自然科学基金会、上海交通大学“985 二期”资助国际会议专项经费的资助,特此致谢。

参 考 文 献

- 1 Zhuang F G, Li J C. New Trends in Fluid Mechanics Research. In: Proceedings of the 5th International Conference on Fluid Mechanics, Shanghai, 2007-08-15~19. Beijing: Tsinghua University Press and Springer, 2007