

紧张而有成效的一年 ——1997年中国科学院力学研究所科研工作进展介绍

朱芙英

中国科学院力学研究所, 北京 100080

力学所作为国内唯一的一所力学多分支学科的综合性研究机构, 一直以积极推动力学在科技进步和经济建设中发挥重大作用为己任。为此, 我所科研人员积极投入到国家级重大的基础性研究工作以及国民经济建设中的重要问题研究中。1997年有二项我所为首席专家单位的攀登预选项目启动(其中一项是北京大学和我所各有一位首席专家), 四项中科院重大项目启动。一项重大基金结题(我所为主持单位之一), 二项重点基金结题(一项为主持单位, 一项为参加单位), 一项重大基金及一项重点基金将结题(我所为主持单位), 还有十六项科研项目通过验收或鉴定, 为学科的发展和国民经济建设作出了成绩。

1. 在非线性和连续介质力学理论研究方面, “材料变形与损伤的局部化理论研究”形成了从细观力学模型到宏观力学行为的多晶材料塑性变形局部化的数值模拟完整方案和模拟系统, 建立了可实现单脉冲加载的动态扭转装置, 提出循环载荷下短裂纹的损伤局部化过程是一种裂纹群体演化过程。“材料细观变形、破坏模型和基本理论研究”, 系统地研究了单晶、双晶和多晶材料细观变形、破坏模型和基本理论, 建立了晶体硬化系数精确有效的标定方法以及晶体准解理断裂的位错理论。在模拟非正常多尺度复杂流动计算中, 给出了流动失稳、 Λ 涡、马蹄涡、菱纹涡、蘑菇云拟序结构的形成及发展到转捩的物理过程, 给出了同心和非同心宽缝双球间流动的分叉解。

在实验装备建设及研制方面, “高品质低湍

流度三维小型水洞及测试系统配置的研制”已通过方案论证及工程设计, 该设备湍流度 $\leq 0.3\%$, 可用于进行精细的湍流实验和流动控制研究。“变形与温度场动态细观测试系统”第一阶段研究, 利用改进为数字化的 Em acon-790 高速摄影仪和自制的红外测温仪, 将提供在细观尺度下进行原位实时观察的实验条件。温度场的空间分辨率可达 $0.1 \times 0.1 \text{ mm}^2$, 时间分辨率可达 $1 \mu\text{s}$, 可开展高速高温变形条件下材料动态力学行为研究。

这些理论研究及实验装置研制工作方面的进展, 为进一步推动材料的非线性力学研究工作深入到材料微结构设计工程研究, 促进非线性流体力学的理论与实验研究的结合创造了条件。

2. 高温气体动力学研究是气动力学和气动物理发展的一个前沿方向。在实验装备方面, 即将验收的爆轰驱动激波风洞, 运行参数为总压 $P_0 = 80 \text{ MPa}$, 总温 $T_0 = 8000 \text{ K}$; 跨音速管风洞经改造扩展可以激波风洞运行, Ma 数为 $3.5 \sim 7$ 。

在研究工作方面, 利用超音速燃烧试验台进行的氢/空气超音速自燃极限与压力相关的研究中, 获得了自燃极限与压力呈非单调的变化关系, 从而从实验上验证了在燃烧过程中化学动力学链分支与链终止相互竞争作用的关系。用直接模拟蒙特卡罗(DSMC)方法模拟稀薄气体流动研究中, 在处理振动松弛时发展了振动能转换几率依赖于碰撞总能量的模型; 在处理化学反应时, 提出了分子间因碰撞产生的应力超过分子链强度时发生化学反应的模型, 从而使模拟方法更完善。

合理 利用高超音速激波风洞, 首次给出高超声速 ($M = 7.8$) 分离激波非稳定运动的实验结果 利用魔洞式化学激波管的激波加热, 稀疏波冷却的非平衡过程研究电离复合动力学, 得到三千多度下 NO^+ 与电子的解离复合等速率常数的数据 在理论上建立了一套简便清晰的物理数学模型, 可用于计算有关尾迹流场及散射特性 因此在高温非平衡过程多个层次的研究工作中以及在理论、计算及实验工作多方面都取得了可喜的成绩

3. 微重力科学研究中的“半浮区液桥热毛细对流研究工作” 通过地面实验、理论分析、数值模拟及短时微重力实验对半浮区液桥热毛细对流进行了系统的研究, 得到了不同参数 (尺度比, 体积比, 重力水平, 加热速率等) 条件下液桥热毛细对流的流动和热输运规律及临界振荡参数, 发现了热毛细对流临界作用温度差随液桥体积比变化的分支现象, 实验和数值模拟了热毛细振荡对流的发展过程及分叉现象, 提出了表面张力驱动对流的浮力不稳定机理, 并探讨了晶体生长速率, 生长界面和重力跳动对半浮区热毛细对流的影响 所提出的热毛细对流浮力不稳定性机理, 热毛细对流的表面振荡和表面波, 液桥体积比变化对液桥稳定性的影响, 恒定热毛细对流向湍流转捩的混沌特性, 以及热毛细振荡流从地面向微重力环境过渡的特征的研究结果, 引起国外同行的关注和兴趣, 意大利、法国、比利时、日本均已和我们进行了热毛细对流问题的合作研究

4. 有关大气环境、生态环境以及泥石流灾害等环境流体力学的研究, “海、气微相互作用” 揭示海面状态对海气通量影响的机理, 提出计算海气通量的动力学模式, 进行实验测定与海上观测, 为大气环流模式 (GCM) 正确参数化提供理论依据 “风蚀和水蚀交错地带土壤侵蚀的流体力学机理的研究”; 对土壤侵蚀的两相流体力学机制给以描述和探讨, 是国内首先用数值模拟的方法研究了土壤侵蚀的动力学过程 在泥石流流动力学模型研究中, 指出泥石流龙头处粗颗粒浓度高的现象, 可通过考虑粗颗粒与浆体间的滑移

运动以及颗粒无规则运动的均方值在流场中的梯度所造成的扩散这二因素后给出解释, 从而对泥石流运动的这一特征提出了力学机制 在泥沙研究工作方面, 参与了长江口深水航道的治理有关课题, 使力学研究与工程实际问题相结合

5. 海洋工程流体力学研究方面的“涠11-4平台结构强度全尺度原位监测研究”; 根据流体激励下的结构动力学基本原理, 针对风、浪、流环境与平台应力、加速度响应进行了长期同步监测, 解决了长时期水下应变测试, 大容量多功能数据自动采集、消噪和处理以及长距离、强干扰下的弱信号传输等一系列技术难题, 建立了一套先进的综合监测测试系统, 取得了一批珍贵的资料, 特别是关于特大风暴条件下的监测结果, 在国际上未见报导, 有效地提高我国近海石油开发设计与可靠性评估工作的水平

6. 当前国际上迅速发展的微机电系统高新技术, 向力学研究工作者提出了在微尺度结构下的一系列新的力学问题 我所“微机械与微电子领域中稀薄气流的直接统计模拟” 研究项目就是在这样的背景下提出的 经近一年的努力, 研究中发展的“原始信息保存法” 在模拟过渡领域 (Kn 为 $0.01 \sim 10$) 低速 ($< 1\text{m/s}$) Poiseuille 流, Couette 流, Rayleigh 问题中, 得到的结果与线性 Boltzmann 方程的数值解或解析解符合很好, 有希望成为该领域研究的有力工具

7. 应用研究也是我所研究工作中一个重要方面 1997年激光毛化技术的深度研究开发工作, 开发了毛化可控分布及辊型跟随技术; 通过 CO_2 激光器对轧辊表面的材料相变、合金化、熔敷及涂敷等手段, 证明对热轧辊的耐磨能力及疲劳寿命都有较大提高 燃烧气脉冲除灰技术是新一代除灰技术, 它在电站锅炉对流传热面上长期使用结果表明, 其除灰效果好, 操作方便, 运行安全可靠, 深受欢迎 现已在国内二十余台机组锅炉中应用, 取得了可观的经济效益

1997年力学所的科研工作紧张繁忙而成绩显著