



力学科学处 2008 年重点项目结题验收情况的简要介绍

孟庆国 詹世革 周济福

国家自然科学基金委员会数理科学部, 北京 100085

2008 年力学科学处共有 6 项重点项目需进行结题验收 (见表 1). 按照《国家自然科学基金重点项目管理规定》的有关规定: 重点项目执行期结束后, 应组织专家完成项目验收工作. 为了促进重点项目之间的交流, 加强对比, 提高效率, 数理科学部力学科学处于 2009 年 3 月 16 日至 17 日在

北京召开会议对这 6 个重点项目进行了集中验收. 各项目负责人或主要参加人就研究计划的完成情况、取得的成果及水平, 以及人才培养和国际合作与交流的成效等进行了汇报. 验收专家组进行了认真讨论, 形成了验收组综合意见.

表 1 2008 年力学科学处结题验收重点项目清单

批准号	负责人	题目	依托和合作单位
10432010	陆启韶	神经放电活动和信息识别中的复杂非线性动力学行为研究	北京航空航天大学、西安交通大学、中国人民解放军总装备部航天医学工程研究所
10432020	邓学莹	细长旋成体大攻角绕流非对称涡产生机理、结构演化及其控制研究	北京航空航天大学、中国科学技术大学、中国空气动力研究与发展中心
10432030	仲政	功能梯度材料与结构的关键力学问题研究	同济大学、哈尔滨工业大学、浙江大学
10432040	崔尔杰	新一代空、天飞行器的流固耦合动力学问题研究	中国航天空气动力技术研究院、西北工业大学、北京航空航天大学
10432050	白以龙	微 - 纳米尺度力学行为测量中的若干基本力学问题研究	中国科学院力学研究所、北京航空航天大学
10432060	康琦	微重力流体力学研究	中国科学院力学研究所

基于验收专家组的意见, 下面将这 6 个结题验收的项目在执行期间所取得的主要研究成果介绍如下:

1 神经放电活动和信息识别中的复杂非线性动力学行为研究

(1) 神经元放电节律的机理性研究

系统地研究了著名的神经元模型的各种放电现象及分岔机理, 神经元放电活动的双参数分岔

问题, 神经激活放电的分岔控制. 利用分岔理论和数值方法, 对其产生机理和动力学行为给出了较完整的理论解释, 从而可以系统性地认识神经元放电行为的分类和相互关系, 为进一步了解神经系统的复杂性和信息编码奠定了神经生理基础.

(2) 耦合神经元系统的完全同步、相位同步、广义同步和转迁

研究并揭示了神经元的各种完全同步放电行为, 电耦合联接或化学耦合联接方式对两个耦合

神经元同步的影响, 神经元在电耦合下的相位同步, 耦合神经元系统同步稳定性与控制, 有时滞的耦合神经元模型的放电同步以及耦合神经元模型在噪声作用下的放电同步现象.

(3) 神经元系统的随机共振和相干共振研究

研究了积分放电神经元随机共振, 单向耦合系统中随机同步与非周期随机共振的机理, 神经元模型分岔点邻域内随机共振的特性, 非线性动态响应的矩方法、含噪声矩方程的分岔与随机共振之间的关系, 神经元模型关联于分岔的相干共振的机制, 非传统随机共振现象. 改进了广义胞映射方法, 并分析了神经动力学中的全局动力学现象.

(4) 神经元网络系统的时空模式、相干结构和信息传递问题

研究了规则神经网络的时空模式, 小世界神经元网络的时空模式和同步问题, 耗散型波动方程的长时间渐近行为、吸引子和计算格式, 神经元阈下振荡和瞬态响应与神经编码的关联. 利用 Hilbert-Huang 变换法和符号动力学方法, 分析并给出了神经信号中嵌于混沌的不稳定周期轨道.

(5) 神经放电活动实验研究

系统地开展了动物的实验性神经起步点的放电节律实验、家兔血压感受器实验、螯虾的口胃神经节 - 神经元和神经元网络的节律研究、癫痫发作脑皮层电图记录的实验分析等, 并与确定性和随机性的理论模型与数值仿真结果进行了详细的对照和分析, 验证了理论研究结果. 在实验中发现的新现象, 为进一步的理论和数值研究提供了依据.

2 细长旋成体大攻角绕流非对称涡产生机理、结构演化及其控制研究

(1) 通过物面压力分布测量和 DPIV 空间流动测量, 研究了旋成体非对称涡的形成, 分析了其形成机理. 发展了缩小模型长细比的局部模拟技术、高风速下的烟雾显示技术、旋成体大攻角边界层的人工转捩技术等用于非对称涡流动研究的风洞实验技术.

(2) 研究了不同 Re 数条件下非对称涡的演化及确定性, 揭示了人工扰动对非对称涡发展的主控作用, 研究了非对称涡随 Re 数的分区演化特性.

(3) 通过数值模拟及稳定性分析, 揭示了非对称涡的空间不稳定性特性. 研究了扰动和基本流场参数变化时, 不同流型与控制参数之间的依赖关系, 并发展了简化定性模型.

(4) 对非对称涡的主动控制技术进行了实验研究, 分析了不同 Re 数区域扰动参数和气动参数的

相关关系.

此外, 为进行旋成体流场的数值模拟和稳定性分析, 发展了基于有限差分法的三维可压缩 NS 方程的数值模拟程序和三维整体稳定性分析并行程序, 并通过典型算例进行了可靠性验证.

3 功能梯度材料与结构的关键力学问题研究

(1) 对工程结构中最为常见的功能梯度结构形式——梁、板和壳, 进行了系统深入的理论研究, 得到了若干问题的解析解和半解析解.

(2) 提出和发展了功能梯度材料结构分析的状态空间法和微分求积法相结合的混合求解方法、小波法和微分求积法相结合的混合求解方法.

(3) 研究了功能梯度材料板的波传播问题, 发展并完善了回传射线矩阵法, 该方法对于结构高频计算具有明显的优越性.

(4) 发展了功能梯度材料的静、动态断裂力学, 提出了新的分层模型, 研究了各种梯度分布的功能梯度材料板条、夹层、涂层的静动态及多场耦合裂纹问题, 并实验研究了功能梯度材料的断裂韧性和 I 型、I-II 混合型断裂问题, 理论计算与实验结果一致.

(5) 针对功能梯度材料构建内部有效性能参数分布与细观构造识别问题, 提出了一种适合于功能梯度材料结构分析的细观元法.

(6) 研究了功能梯度材料及其结构的优化设计方法, 进行了指数型功能梯度梁的拓扑优化分析和功能梯度压电双晶片的材料特性优化设计.

此外, 还研究了功能梯度材料的制备和测试方法; 给出了功能梯度材料弹性动力学的非传统 Hamilton 变分原理和功能梯度材料裂纹问题的非局部理论解

4 新一代空、天飞行器的流固耦合动力学问题研究

(1) 提出了结构间隙非线性、几何非线性气动弹性分析方法, 建立了考虑典型结构间隙的非线性气动弹性颤振和响应计算模型, 可以快速精确地进行时域分析; 建立了基于“准模态”的考虑机翼结构大变形的几何非线性颤振工程分析理论.

(2) 发展了一种基于 CFD 的当地活塞流理论, 可进行超/高超声速气动弹性问题的高效计算; 运用 NS/Euler 方程耦合结构动力学方程, 发展了可用于亚、跨、超声速气动弹性问题的数值模拟方法.

(3) 基于结构奇异值理论, 建立了系统级、子系统级以及物理级的不确定模型, 发展了弹性飞

机气动伺服弹性模型和鲁棒气动伺服弹性分析理论;建立了多种颤振主动抑制和阵风减缓控制律设计方法;开发了气动弹性主动控制综合优化设计方法.

(4) 发展了亚、跨、超声速风洞舵翼面气动弹性试验技术,提出了变刚度、变质量亚临界颤振试验方法、亚临界激励、参数辨识方法以及风洞虚拟飞行试验技术.

5 微 - 纳米尺度力学行为测量中的若干基本力学问题研究

(1) 分析了原子力显微镜测量中表面力的影响,考察了原子力显微镜测量的非局域效应,发现范德华力的有限程和针尖的有限尺度效应所导致的非局域效应对原子力显微镜测量结果有重要的影响,提出了减小非局域效应的逼近方法,使原子力显微镜的测量数据得到很好的修正,显著改善了测量结果.

(2) 研究了纳米硅薄膜制备的优化方法及有、无胶层的微米尺度薄膜/基体间界面性能的直接撕裂实验测量方法,建立了金属/陶瓷界面的微观粘聚力模型的普适关系,研制了具有纳米/微牛分辨力的微力学实验仪.

(3) 分析了压入能量法的物理机制,发现硬度/折合弹性模量和压入卸载功/压入总功之间的线性比例系数主要由压头的等效半锥角所决定.

(4) 通过薄膜/基体界面行为的分子动力学(MD)模拟,采用界面势函数,建立了金属/陶瓷界面的微观粘聚力模型的普适关系,并基于该模型成功地模拟了金属/陶瓷界面的跨尺度断裂行为.

(5) 实现了刚性、圆锥形压头在线弹性和弹塑性块体试件上控制位移加载的纳米压入过程的数值模拟.初步构建了基于商用有限元程序 ABAQUS 为计算内核和 Matlab 为前处理界面的软件包,为纳米压入过程的数值模拟提供了快捷手段.

(6) 研究了纳米压痕中硬度、模量、功等力学

量之间的关系,提出了“接触原子”方法和“积分硬度”概念.在总结纳米压入的测试技术和分析方法的基础上,与宝钢研究院合作,开展纳米压入技术标准化的研究工作,所参与起草的国家标准《仪器化纳米压入试验方法通则》(GB/T22458-2008)已于2008年10月29日首次发布,并即将实施.

6 微重力流体力学研究

(1) 在表面张力驱动对流转捩过程研究中,对普朗特数为100的液桥热毛细流动的稳定性进行了分析;实验测量了大普朗特数液桥的速度场和流场结构,分析了液桥几何参数对液桥热毛细振荡的影响,得到了体积比对液桥转捩过程的影响规律,发现了半浮区定常热毛细对流向湍流过渡的特定途径.

(2) 在热毛细对流表面波的研究方面,获得了扰动量与平均量的数值关系以及扰动温度和扰动压力之间的相位关系.开展了短时微重力实验,得到了微重力下液面变形分布和浮力-热毛细对流的表面变形与浮力和热毛细力的关系.分析了热毛细对流自由面振荡现象和从振荡流向混沌的转捩过程.

(3) 在多层流体热毛细对流及其稳定性研究方面,提出了界面上的热毛细效应可引发两层流系统近临界处的二次振荡不稳定性分岔现象;提出了半封闭型液/气双边流体蒸发与对流稳定性理论模型.

(4) 在两相流及液滴动力学研究方面,理论上探讨了多种参数下热毛细迁移特点,发现双滴或多滴的相互作用会影响流场和迁移速度,从空间实验中获得了液滴热毛细迁移中周围温度场的分布,观察到双液滴相互作用引起迁移速度的振荡现象和大尺寸球形气泡合并的过程.

此外,还研究了复杂流体中两个粒子的碰撞聚集过程、胶体晶体问题、固/液界面相变动力学和杂质分子的分布情况、蛋白质晶体生长动力学等问题,丰富了微重力流体力学研究内容.

A BRIEF INTRODUCTION OF FINISHED KEY PROJECTS OF 2008 IN MECHANICS

MENG Qingguo ZHAN Shige ZHOU Jifu

Department of Mathematical and Physical Sciences, NSFC, Beijing 100085