

动态

力学所基础性研究新进展

朱芙英

中国科学院力学研究所, 北京 100080

在国家攀登计划, 国家自然科学基金, 中国科学院重大、重点项目等的支持下, 中国科学院力学研究所基础性研究方面取得多项重要的成果及进展

1 在固体变形、损伤和破坏的非线性力学性质研究方面, 形成了用宏细微观结合描述材料变形、损伤、破坏的力学理论的研究特色, 特别在考虑了细观结构变化的宏观变形场及和细微观结构尺度相当的局部场的状态方面, 取得了重要进展及成果

1.1 “裂纹顶端弹塑性应力应变场和断裂准则”获1995年度国家自然科学基金三等奖

建立了裂纹顶端弹塑性高阶渐近场基本方程, 求解平面应变 I 型和 II 型裂纹问题的二阶渐近场, 为双参数断裂准则提供了理论依据。在国际上首先求得异质界面裂纹顶端 HRR 奇异场的严格解。此项工作的论文被引用90余篇次, 被认为“从复杂背景中提炼出本质, 开辟了弹塑性裂纹分析的新领域, 是对双参数断裂准则和韧性三轴张力相关曲线的重大贡献”。

1.2 “含异相材料的损伤和断裂”获院1996年自然科学一等奖

通过细观分析, 在认识和反映了金属材料的损伤、分叉和应力腐蚀机理, 提出可膨胀塑性本构方程

及确定可含特征尺寸的材料参数测定方法以及创新地应用腐蚀应力强度因子门槛值的计算公式等方面具有领先和首创作用

1.3 “长脉冲激光破坏机理实验系统的研制及其应用”获院科技进步一等奖

发现长脉冲激光引起靶材“反冲塞”效应, 这是一种激光破坏新模式, 它的发现, 为激光破坏机理研究提出了新课题, 有关论文发表后, 引起了国际同行的强烈兴趣, 被 IUTAM 国际会议确认为优秀论文, 认为“一种新的实验现象被首次报道……作者用弹性和热-刚塑性薄板理论分析了剪切应力的局部化, 验证了实验结果。”此外, 在材料微损伤行为的统计理论研究方面, 被认为“对微裂纹系统的动态演化问题, 采用统计力学方法, 给出了描述理想微裂纹体系的新模型”。

1.4 在分子动力学方法模拟材料微结构及破坏过程方面的工作, 曾三次在国际会议上作大会邀请报告, 在国际上已引起较广泛的学术影响; 三维动态断裂研究是断裂力学中具有挑战性的问题, 现已完整地获得了三维冲击载荷下的基本解和 I、II、III 型应力强度因子解析表达式, 在国内外核心期刊发表了近十篇论文, 受邀在国际会议上作了邀请报告。

2 流动的相互作用, 涡动力学, 湍流等是流体运动的重要非线性现象, 是力学的前沿课题

在湍流动力学途径及复杂运动研究中提出了共振相互作用原理, 解释了在调制、激励下的非线性 Faraday 问题产生浑沌的机理, 理论证明了 CML 从冻结到浑沌演化的机理; 用高精度有限差分及涡动力学方法分析了尾迹流动三维演化与转捩特征, 实验测量了尾迹中参量的时间序列, 分析了其非线性行为; 采用高精度格式直接模拟湍流运动- 自由剪切流及 Benard 对流, 分析其相干结构; 在国内外核心期刊上发表论文 36 篇, 大会邀请报告 7 次, 引用近 40 次。在湍流直接数值模拟中, 将群速度概念用于湍流计算方法中, 研究成果受到国际上重视

3 微重力流体物理的研究工作

在以材料科学应用为背景的“热毛细对流和稳定性”研究方面, 进行了大量理论分析和地基及短时微重力(落井)实验, 发展了高技术测试诊断技术。例如非接触流场演示技术、全息及显微观测技术, 取得了一批学术成果。在世界上首次用光学方法观测到了热毛细振荡对流过程中浮区液桥自由面表面的微小变形和表面波; 从理论和实验上揭示了液桥体积变化与临界振荡温差的关系; 深入分析了重力水平对热毛细振荡的影响, 提出了引起热毛细对流的浮力不稳定性机制。特别是与空间科学总体部及北京大学化学系的专家合作, 成功地进行了汞液桥的热毛细对流实验, 第一次得到低数介质的临界 Marangoni 数不超过 800。这个实验结果验证了目前的几种理论模型的偏差, 对空间材料加工有重要作用

4 高温气体动力学基础性研究工作

在分子内态激发的高温气体非平衡流现象, 燃烧基础问题, 高温化学动力学过程研究方面取得了重要进展。爆轰驱动高焓风洞实验技术, 在国际上得到广泛认可, 德、日、美等国都先后应用该技术建立高焓实验设备。我所爆轰驱动高焓风洞已进入调试阶段。用于脉冲风洞油流和液晶热图流动显示技术是成功地将常规风洞实验技术用于高超音速脉冲风洞中表面突出物干扰流动的图象显示的新成果, 是脉冲风洞实验技术的一个突破。该项目获 1996 年院

科技进步二等奖。用化学激波管实验方法研究高温下材料的烧蚀动力学问题, 已获得尚未见报道的一些材料在高温下的物理化学基本数据。该项工作获 1995 年度中科院科技进步二等奖。研制成功的目前国内唯一的一座激波管叶栅风洞, 可以进行涡轮平面叶栅气动和传热实验, 其性质达到国际上同类设备的先进水平。

5 环境流体力学研究

以与社会可持续发展相结合为目标, 开展地球界面过程, 风沙、泥沙、泥石流以及土壤侵蚀等研究。在大尺度生态环境问题研究中, 进行了陆地大气微相互作用模式研究, 提出了生态环境问题的大气物理与生物量的指标体系; 地球界面过程研究中, 将“强迫恢复法”推进到湍流模式阶段, 研究了考虑植被影响的干旱地区水、热交换; 在波浪与淤泥质海床相互作用研究方面, 提供了淤泥质海床上波浪衰减、底床淤泥的质量输运等方面的系统实验结果, 以及淤泥质海床上波浪衰减的粘弹性模式及三层模式的理论及计算方法。为工程提供了实用的波浪衰减的非线性理论模型和计算方法等等。为深水港的建设提供了重要科学依据; 成功地运用二相流体动力学理论进行泥石流运动机理研究, 提出的 PL 型脉动解释了泥石流运动中粗颗粒的反粒径分布和向龙头聚集等现象, 引起了同行专家的较大反响

6 爆炸力学研究工作

对煤和瓦斯突出机理, 通过多年艰苦工作, 基本上阐明了瓦斯压力、地应力与煤的强度对突出的影响, 以及典型情况下导致初始破坏和突出的临界条件; 在密闭结构内部爆炸载荷研究中, 发现结构顶部载荷和结构应力最大, 模拟计算也证实了这一新现象, 这一结果已列入设计手册。

7 多相管流流态研究方面

建立了模拟实验装置, 通过用双曲流道设计的射流泵控制气、水压比和流量比, 成功地再现水平垂直管流中的各种流态, 并得到了清晰的流态转换照片, 为进行基础性研究及多相混输技术创造了实验条件。

以上在学科各个分支领域中的成果及进展, 反映了我所多分支学科的特点, 一支勤奋工作在力学

前沿领域的研究队伍在不同程度上在学术界产生了 发展作出新的贡献
一定的影响,他们还将参与国际竞争,为力学学科的

北京空气动力研究所近年来获可喜成果

黄育群 毛国良

北京空气动力研究所,北京 100074

北京空气动力研究所拥有从低速到超高速,从常规到特种,从气动力到气动热,从气动到水动等各类试验设备,理论、试验、应用研究并举,以我国型号研制为背景,并瞄准气动研究的前沿领域开展研究工作。近年来,取得了一些重要研究成果

1 风洞试验技术

1.1 动稳定性试验技术

研制出全模俯仰动导、尾支撑滚转振动和连续滚转动导天平、交叉导数天平、三自由度动稳定试验装置和静动组合天平数十种动稳定性试验设备。由于采用了气浮轴承、光栅光纤传感器系统等新技术,使测试精度大为提高,可测出滚转力矩系数达 10^{-6} 量级,滚转阻尼力矩系数达 10^{-3} 量级

1.2 抖振气动阻尼实验技术

发展了全弹性模型气动阻尼实验方法,得到了运载火箭一阶及高阶固有振动时气动阻尼实验结果,为跨声速和低超声速飞行时抖振响应分析提高了技术基础。在高速风洞中建立了颤振试验装置,提出了用改变舵轴的弯曲刚度和舵面系统的扭转刚度的方法来寻找舵面颤振临界点,方法简便可靠

1.3 大攻角试验技术

在低速和跨声速风洞中发展了静、动态大攻角四连杆试验模拟机构,运动机构具有对流场干扰量小,静动态测试方便等特点。研制成功了一种以大振幅快速上仰法为主,也兼有振荡实验能力的新型动态大攻角装置,具有实验攻角范围大,效率高等优点。在低速风洞中建立了折叠舵快速展开测试试验装置,该机构设计巧妙,实现了高速同步释放和自动

记录

1.4 气动热实验技术

发展了相变涂料测温、液晶显示热图和红外热象仪等测量技术,并对各类航天飞行器热环境进行了系统研究

1.5 材料烧蚀与热结构试验技术

研究出大面积湍流导管、亚声速和超声速包罩、轨道模拟、多体电弧加热器并联运行等项技术,并利用计算机断层扫描(CT)与图像处理技术对材料热匹配试验结果进行了重建,从而能定量地分析材料的烧蚀与热结构特性

2 计算空气动力学

2.1 欧拉方程数值模拟

基于差分法和有限体积法发展了飞行器流场及气动特性的计算方法,应用和发展了二阶 Godunov 及其它高精度 TVD 格式、欧拉方程加近似分离模型计算较大攻角下带翼飞行器绕流流场计算方法,研制出了适用性较强的软件

2.2 全 Navier-Stokes 方程数值模拟

应用各种高精度差分格式、数值解法和网格生成技术,对各类飞行器单独部件及组合体在各种速度范围的复杂绕流进行了计算,所发展的方法已能揭示流动的细节。用数值求解非定常 N-S 方程的方法,成功地研究了跨声速下弹性振动及俯仰弹体上的非定常气动力,对跨声速流场特性、分离情况及气动阻尼特性都给出了较为细致的结果。对离解电离、热力学非平衡气流,采用双温物理模型,有限体积、NND 格式,成功地完成了有攻角钝头体三维流