



2005 年全国固体力学青年学者研讨会简介

冯西桥¹ 陈伟球² 孟庆国³ 詹世革³

¹ 清华大学工程力学系, 北京 100084

² 浙江大学土木系, 杭州 310027

³ 国家自然科学基金委员会数理科学部, 北京 100085

由国家自然科学基金委员会数理科学部发起, 国家自然科学基金委员会数理科学部和中国力学学会主办的“2005 年固体力学青年学者研讨会”于 2005 年 10 月 14~16 日在杭州浙江大学召开. 本次研讨会主席由清华大学冯西桥和浙江大学陈伟球担任.

在我国固体力学界, 活跃着一大批有着良好研究基础和发展态势的青年学者, 他们在固体力学的不同领域已经取得了有一定影响的研究成果, 并将在今后相当长的时间里对本学科的发展起到越来越大的作用. 如果能够为他们提供更好的科研条件和更大的舞台, 无疑对我国固体力学的进一步发展有十分积极的意义. 鉴于此, 本次研讨会邀请了从事固体力学研究的 4 位著名青年科学家以及大约 30 位 40 岁以下的优秀青年学者, 就他们的近期研究成果进行了比较系统和深入地交流, 就固体力学发展的新趋势以及所面临的挑战性科学问题进行了研讨. 下面对会议内容加以简单介绍, 更详细的内容可参见由清华大学出版社出版的会议论文集.

微纳米力学是本次会议的热点话题之一. 清华大学方岱宁教授在其特邀报告“微谐振器的热弹性尺度效应”中, 介绍了梁形微谐振器中能量耗散的一种重要机理——热弹性衰减, 发现梁形微谐振器存在着显著的热阻尼, 梁的位移与热矩振幅会发生衰减, 振动频率增加, 这些特性与梁的尺寸有关. 中国科学院力学研究所魏悦广的特邀报告“对固体力学研究方向演变的思考及应对”回顾了近 10 年来固体力学主要研究方向的转移, 即从“固体的非线性本构关系、断裂、损伤及破坏”的宏观观力学研究, 已经转向了以多参量、多尺度、学科交叉等为特点的微纳米尺度力学. 采用微尺度力学方法, 他模拟了纳米晶材料复杂的硬度 / 压入深度变化的特征, 为纳米晶

材料力学性能学行为的表征和材料参数的反分析提供了理论依据. 大连理工大学郭旭介绍了一种建立碳纳米管本构模型的新方法. 他通过引入高阶变形梯度, 修正了传统 Cauchy-Born 准则在描述纳米管变形几何关系时所存在的缺陷, 得到了基于广义连续介质模型的单壁碳纳米管的本构关系.

北京交通大学汪越胜的特邀报告题目是“弹性波带隙功能材料与结构的力学问题”, 他首先对声子晶体这一新型交叉学科领域的现状进行了系统的综述, 介绍了声子晶体材料的特殊性质和其中的若干重要力学问题, 进而报告了其研究组在该领域的研究进展. 同济大学许震宇总结了他在应变可调光子晶体和声子晶体领域开展的设计、计算和实验工作, 探讨了光子晶体的变形对其光带隙性能的影响 (即力致变色效应), 为压力传感器、应变片等器件的设计提供了新思路. 陈伟球首先评述了回传矩阵法及其在桁架结构的瞬态响应分析和层状介质中的瞬态波动研究等领域的应用. 然后报告了他在回传矩阵法上所做的理论研究工作, 对于一般的常微分方程系统, 通过坐标变换建立了广义的相位关系, 进而针对一般的节点物理模型, 建立了广义散射关系.

多场耦合问题也得到了较多的关注. 北京航空航天大学梁伟对纵向磁场下铁磁板的自由振动进行了分析, 通过考虑不同几何构型下的磁场和磁场力, 修正了经典的 Pao-Yeh 模型, 分析了铁磁板纵向磁场下的振动频率与外加磁场的关系. 宁波大学杜建科研究了电磁弹性介质中局部脱粘的圆柱夹杂对反平面剪切波的散射. 通过积分变换和波函数展开法, 得到了局部脱粘的圆柱夹杂问题的理想连接的散射场.

随着固体力学所涉及问题的日益复杂化和多样

化,数值模拟的作用越来越重要,尤其是多尺度计算方法的研究已经引起了广泛地关注.清华大学刘彬报告了他在跨尺度、跨学科计算方法方面的工作,其一是利用基于修正的 Cauchy-Born 准则的连续介质力学方法,对碳纳米管的力电耦合行为进行了模拟,其二是发展了一套快速准确的原子级有限元方法,它可以与传统的有限元相结合进行高效的跨尺度模拟.北京大学唐少强介绍了一种连接原子尺度和连续介质力学模拟的拟谱多尺度算法.这种方法利用正规模态分解把原子的运动分为平均场部分和高频振荡部分,把计算区域分为分子动力学区域和纯粹粗网格区域,在分子动力学区域,用一种时间历史方法来提供边界条件,从而有效抑制界面反射;而在整个区域,采用一种微分算子匹配法来推导各阶精度的粗网格格式,并用重新赋值的办法保证粗细网格计算的一致性.北京理工大学王成概括了其研究组在计算爆炸力学方面的工作,其一是针对 Euler 坐标系下多物质界面处理的困难,提出并发展了网格线示踪点法,对环形聚能装药和大锥角聚能装药射流的形成进行了模拟;二是研究了煤气在不同环境条件下的爆炸特性,得到了氮气作为惰性气体时煤气的临界可燃浓度,并采用两阶段化学反应模型的多流体网格程序对煤气爆炸问题进行了分析.西安交通大学周进雄概括介绍了他在非线性结构大变形形状优化的自适应无网格方法的研究成果.他将再生核质点法应用于几乎不可压缩材料大变形边界形状优化,讨论了无网格方法处理几乎不可压缩材料大变形时的体积闭锁问题,给出了基于混合变分原理、罚函数法以及缩减积分的处理方案.将无网格法和多家族遗传算法相结合,提出了一种无梯度、无网格形状优化方法,并将其应用于形状优化的响应分析.西安交通大学申胜平介绍了他与合作者提出了一种基于无网格局部 Petrov-Galerkin 法的多尺度模拟方法,实现了分子动力学和连续介质力学的光滑连接,兼具二者的优点,达到了计算规模和模拟效率间的动态平衡.西北工业大学徐维总结了她对无网格方法中的光滑流体动力学方法的研究,对收敛性、计算效率和有效性等方面进行了深入探讨,研究了粉笔跌落、结构冲击响应、圆柱壳动力屈曲等问题.

冯西桥介绍了在生物力学方面的一些进展,其研究组对蚕丝、蚕茧等生物材料和生物结构的多尺度力学性质进行了系统的实验研究,发现了一些有趣的现象,例如蚕茧在厚度等不同方向上均具有优化性能和结构,从而实现很好地抵抗外界载荷的能力.此外,

他还结合脊椎矫形手术中遇到的一些难题,开展了相关研究.中国科学院力学研究所陈少华报告了他和高华健教授合作的在生物粘着方面的工作,模拟了甲壳虫、苍蝇、蝉、壁虎等生物在物体表面运动时粘附和脱粘的交替行为,还解释了在受振荡载荷作用的基底上细胞方向重新排列的现象.

在细观力学方面,西安交通大学陈常青介绍了开口多孔材料的一种三维 Voronoi 细观力学模型,利用该模型研究了多孔材料的破坏机理、宏观失效准则以及三轴压缩载荷下的弹塑性本构曲线.他还发展了一种横观各向同性多孔材料的弹塑性唯象本构理论,并利用该模型模拟了多孔材料的压痕响应.华中科技大学李振环总结了其研究组在尺度相关的损伤机制和模型方面的研究进展,包括:(1)微米尺度下孔洞长大规律的研究,发现存在一个与材料特征长度相关的临界孔洞尺寸,当孔洞尺寸小于该临界值时,孔洞长大受到明显抑制;(2)基于椭球胞模型,研究了长椭球、球形和扁椭球孔洞在三轴应力下的宏观响应,得到了一种新的尺度相关的孔洞演化模型和宏观塑性本构势,从而将 Gurson 模型和 Gologanu-Leblond-Devaux 模型的适用范围扩展到了微尺度范围;(3)从离散位错模拟的角度初步揭示了孔洞演化的微尺度效应.

在复合材料力学方面,哈尔滨工业大学梁军评述了碳基防热复合材料高温烧蚀过程中的若干力学问题,利用等离子体电弧加热器和在线光谱检测技术对碳/碳复合材料高温烧蚀性能、烧蚀产物的成分和分布进行了实验研究,揭示出碳/碳复合材料的热化学烧蚀机理,并建立了烧蚀材料微结构演化规律的细观分析模型,预报了高温力学性能和表面烧蚀后退率,数值模拟了柱状试件的烧蚀过程,给出了热结构响应及损毁规律.同济大学李岩研究了纤维表面处理对于剑麻纤维增强复合材料的力学性能的影响.她选用两种表面改性方法,发现剑麻纤维与树脂基体间的界面结合得到了明显强度,从而改进了复合材料的力学性能.同济大学戴瑛介绍了确定复合材料界面剪切强度的4种典型的细观实验方法,即纤维拔出、纤维压入、纤维段裂和微珠脱粘,研究了对应试件在界面端的应力奇异性,并以此为依据评价了这4种实验方法的可行性和有效性.

在实验力学方面,上海交通大学陈巨兵在正交光栅的基础上研制了光栅应变花,即在原来 0° 和 90° 两个方向光栅上,再加上一个 45° 方向的光栅,这样通过一次加载就可以同时测试出3个独立的位移

场,应用光栅应变花和云纹干涉技术,并结合分层钻孔法,可以测量复合材料各层内的残余应变.北京交通大学王正道发展了一套新的薄膜热膨胀系数测量装置,利用该装置研究了聚酰亚胺/二氧化硅纳米杂化复合薄膜的低温热膨胀系数,并利用断裂必需功理论对这种杂化薄膜的断裂韧性进行了评价.徐绯概述了国内外 MEMS 材料力学性能测试方法以及她在 MEMS 材料单轴拉伸试验方面的研究成果.

在材料的断裂与失效方面,哈尔滨工业大学吴林志的特邀报告“功能梯度材料的断裂力学”报告了其研究组在功能梯度材料方面的系列研究成果,利用奇异积分方程等方法对功能梯度材料和结构中多种裂纹构型进行了研究.西南交通大学钱林茂研究了镍钛合金的微磨损和微动磨损性能,发现随温度的增加,镍钛合金硬度的增加主要源于其相变应力的增加,而耐磨性的降低可归因于奥氏体弹性模量的增加以及镍钛合金温度相关的应力诱发相变与塑性之间的交互作用;马氏体相变和重取向均可提高镍钛合金的微磨损性能和微动性能.天津大学冯露报告了在微动疲劳和微动磨损的机理方面的研究成果.她在循环塑性的理论框架下,结合实验现象,研究了微动过程中应力应变响应、不均匀变形的特点及材料的损伤破坏过程.上海交通大学冯森林等基于裂纹尖端塑性分析,对疲劳裂纹扩展问题进行了理论研究和数值模拟,考虑了过载效应、裂纹缺口效应、不同载荷比的影响等.西南交通大学康国政系统总结了他在工程材料循环棘轮行为的实验、黏塑性循环本构模型的建立及其有限元模拟方面的成果,包括奥氏体不锈钢、轨道钢、低合金高强度钢和颗粒增强金属基

复合材料等材料在比例和非比例循环加载、室温和高温等不同条件下的循环塑性行为.

本次研讨会还涉及固体力学在诸多工程领域的应用研究.郑州大学李海梅评述了以计算力学为基础的成型加工技术的研究现状,用实例比较了中面、表面、和实体计算模型的差异,讨论了模具温度场控制和模拟的原理和技术,以及三维多场耦合、多尺度、多自由面的计算模拟中的难点和关键问题.清华大学刘应华简要综述了他在计算固体力学及其应用方面的研究,包括4个方面:含体积型缺陷压力容器和管道的安全评定方法,高温压力容器和管道的安全评定、寿命预测与运行过程优化,建筑结构火灾失效机理与安全评定,小波无网格方法.浙江大学陶伟明以激光热应力切割为背景,研究了脆性材料裂纹扩展的控制问题,通过力学仿真计算,对所采用的激光功率、激光扫描速度和扫描路径进行优化,以改善和确保切割的质量和精度.上海大学胡宏玖以聚合异氰酸酯交联三元共聚乙烯基乳液制备了高性能、环保型水性聚合物-异氰酸酯木素黏合剂,他还提出了一种表征水性聚合物-异氰酸酯黏合剂固化胶层抗裂性能的“粘接三点弯”模型,导出了其能量释放率的解析公式,并设计了相关试验方法,以此评测了9种典型 API 的常温断裂性能.

此外,会议还召开了座谈会,与会代表对固体力学青年学者之间的交流、合作等畅所欲言.大家一致认为,这次会议为青年学者提供了一个非常好的交流平台,希望能够办成系列会议,并决定下一届固体力学青年学者学术研讨会于2006年在成都西南交通大学召开.