



2006 年全国固体力学青年学者研讨会 会议纪要

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“第二届固体力学青年学者研讨会”于 2006 年 8 月 26~28 日在成都西南交通大学召开。本次研讨会主席由清华大学冯西桥和西南交通大学康国政共同担任。

2005 年在浙江大学举办的“第一届固体力学青年学者研讨会”取得了良好的交流与沟通的效果,与会青年学者对参加该会议表现出极高的热情,并对这种青年学者的学术交流方式给予了充分肯定,并希望能够将研讨会定期举办下去。鉴于此,在国家自然科学基金委员会与中国力学学会的大力支持下,第二届固体力学青年学者研讨会于今年在成都召开。本次研讨会邀请了从事固体力学研究的 4 位著名青年科学家和 32 位 40 岁以下的青年学者与会,就他们的近期研究成果进行了比较系统和深入的交流,并对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。

新型材料的力学问题是本次会议的热点话题之一。西安交通大学卢天健教授在其特邀报告“超轻多孔材料夹心板与空心柱体之优化设计”中,系统介绍了他在超轻多孔材料与结构方面所取得的系列研究成果,涉及材料、力学、声学、传热及机械等多个学科。例如,他介绍了周期性分布多孔夹心层合材料宏观等效弹性模量的均匀化方法,并在此基础上利用夹层板计算理论和封闭解分别预测了夹心板与空心受压夹心柱体的力学行为,并通过优化方法在弹性范围内对其最小重量进行了多性能的综合优化设计。清华大学邱信明采用有限元方法计算了三种平面周期格栅结构的断裂韧性,得到了三种轻型结构中,Ⅰ型与Ⅱ型裂纹断裂韧性随相对密度和裂纹取向的变化关系,给出了在Ⅰ型与Ⅱ型应力强度因子空间内的断裂轮廓线。浙江大学陈伟球将钟万勰院士提出的辛弹性力学解法推广于功能梯度材料平面问题的分析,给出了沿某一方向的材料参数为指数函数时的具体求解方法。该方法进一步丰富了功能梯度材料结构的分析手段,同时利用辛解法的优点,可以揭示有关解的物理本质。

复合材料力学行为的研究也得到了较多关注。同济大学李岩对绿色复合材料研究的发展方向进行了深入的探讨,认为绿色复合材料的研究应该突出以下几个方面:三维编织天然纤维增强材料的开发;依托应用背景,解决不同应用领域内绿色复合材料制备的关键技术;揭示不同种类天然纤维的微观结构及其力学性能的关系,发展新型仿生材料等。哈尔滨工业大学梁军通过数学模型对碳基复合材料的制备过程进行了模拟,并在渐进均匀化思想的基础上,推导了含多相组分材料的平均等效弹性性能和强度解析式,进而基于多尺度方法分析了多层立方体壳单胞模型的弹性性能,初步建立了碳基复合材料“工艺—微结构—材料性能”之间的关系。哈尔滨理工大学曾涛针对含裂纹单向纤维增强复合材料的应力场,利用最小余能原理推导出关于应力场表达式中 $j(\mathbf{x})$ 函数的四阶常系数线性非齐次微分方程,并根据边界条件求得了该微分方程的解析解,进而得到了含裂纹单向纤维增强复合材料应力场的显式表达式,分析了纤维间距、基体与纤维弹性模量对纤维增强复合材料应力场分布的影响,为该类复合材料的设计提供了理论依据。北京交通大学王正道通过对聚酰亚胺/二氧化硅杂化薄膜进行了疲劳实验,发现该聚合物基复合材料表现出较强的疲劳硬化现象,并通过拉—拉应力控制循环加载,对其疲劳过程中的蠕变、硬化和频率影响进行了分析,提出了一种预测疲劳寿命的改进型刚度衰减模型。西南交通大学康国政在颗粒增强金属基复合材料循环棘轮行为实验研究的基础上,利用细观有限元分析模型,借助新发展的循环本构模型和有限元方法,对该类复合材料的循环棘轮行为及其时间相关特性进行了数值模拟,得到了复合材料细观组元中应力—应变场的分布及演化特征,计算结果与实验结果吻合很好,为该类复合材料的循环损伤和疲劳失效提供了一定的微观分析基础。

多场耦合问题也是大家所关注的问题。兰州大学郑晓静教授在其特邀报告“风沙环境中的若干力学基础问题的研究”中对其研究小组在风沙电现象的风洞实验研究、风沙流中沙粒起跃速度分布的理论预测研究、多物理场耦合作用下风沙流发展过程的理论预测研究、沙粒带电对电磁波影响的研究、风成沙波纹的计算机模拟和防沙固沙工程结构的优化设计等方面的研究进展和丰硕成果进行了系统评述,其研究成果为防沙固沙等重大环境工程提供了一定的理论基础。兰州大学王省哲对多场耦合问题定量分析与耦合行为研究的国内外研究现状进行

了系统的评述，介绍了目前在铁磁介质结构力-磁耦合、力-磁-热耦合非线性问题和旋转磁盘空气-弹性、空气-弹性-反馈控制耦合系统分析等方面取得的最新研究成果。上海交通大学陈建针对压电功能梯度材料非均匀材料特性对 J 积分的影响，提出了始终保持积分路径无关特性的交叉 J 积分计算方法，计算了压电功能梯度材料裂纹的应力强度因子，并采用了无单元伽辽金方法计算了该问题。结果表明无单元伽辽金方法和新定义的交叉积分均能有效地分析压电功能梯度材料的破坏问题。湖南大学戴宏亮针对压电圆柱体在冲击外压作用下的动应力和瞬态电势的响应历程问题提出了一种简便的解析求解方法。计算结果表明，不同材料的压电圆柱体在其圆心处的动应力和瞬态电势的动态集中效应有所不同，并随着电弹性波在柱体外边界的不断反射和波头在圆心处的不断会聚碰撞而产生各种周期性振荡。西安交通大学田晓耕基于 $G-L$ 和 $L-S$ 广义热弹性理论，通过解析方法研究了一维半无限长压电杆端部受到热冲击的广义压电热弹性问题，并采用有限元和 $Laplace$ 变换相结合的方法研究了二维广义压电热弹性问题。结果表明，广义压电热弹性理论可以用来描述有限速度的热传播，直接求解方法可以获得比 $Laplace$ 变换求解方法更为精确的结果，具有更高的求解精度。宁波大学杜建科利用一种精确解析方法研究了 $Love$ 波在具有初始应力的层状电-磁-弹性结构中的传播问题，计算结果表明初始应力对 $Love$ 波在层状电-磁-弹性结构中的传播有显著的影响，初始压应力降低了结构的一阶模态速度与群速度，增加了电-力耦合因子。同济大学万永平采用等效刚度模型模拟柔性弱界面层，研究了界面层对磁致伸缩复合材料有效磁致伸缩的影响，结果表明增加界面层刚度得到更大的有效磁致伸缩。

纳米力学和多尺度模拟仍是目前固体力学研究的一个热点问题，得到了与会代表的广泛关注。清华大学冯西桥教授在其特邀报告“碳纳米管及其复合材料的多尺度模拟”中介绍了其研究组在碳纳米管力学方面的研究进展。首先，他介绍了碳纳米管在水中自组装的分子动力学结果，发现不同直径、长度和手性的单壁碳纳米管在水中可以实现共轴自组装，从而可以得到纳米器件所需要的多壁碳纳米管结构；其二，其研究组对碳纳米管复合材料的细观力学进行了研究，分析了碳纳米管弯曲、团聚等机制对碳纳米管复合材料性能的影响，此外，他还采用一种多尺度的方法模拟了碳纳米管及其复合材料的缺陷形核和断裂问题。中科院力

学所汪海英针对纳米材料有限温度下准静态变形的模拟,提出了基于分子间相互作用势的分子统计热力学方法、集团统计热力学方法和分子-集团耦合的统计热力学方法。计算结果表明,分子-集团耦合的统计热力学方法通过对原子系统分区域采用原子表象和原子集团表象进行描述,兼具了分子统计热力学和集团统计热力学方法的优势,进而可以快速准确地模拟有限温度下大尺度固体材料的准静态力学行为。北京大学唐少强针对具有较强非线性和较大形变晶格系统的多尺度模拟,提出了一类速度界面条件,并以此设计了一类有限差分算法。该算法采用的速度界面条件为当前时间步的信息,并联合“冻结系数法”,采用了显式差分的粗网格格式和界面边界条件,可大大节省计算量和存储量,并能较为准确地进行较强非线性和较大形变晶格系统的多尺度模拟,具有很强的抑制界面反射的能力,算法简便清晰且易于编程。北京大学段慧玲对表面/界面效应方面取得的研究成果进行了系统的总结。研究成果包括:通过理论和实验分析了纳米材料力学行为中的表面/界面效应,建立了功能梯度材料非均匀介质等效传导性能的理论预测方法,得到了具有两类界面效应的广义 Hill 关系和广义 Levin 公式。她发现,表面/界面效应导致材料性能尺度相关性遵从两类简单的标度律。西安交通大学周进雄提出了一种稳定的二阶谱方法求解相场方程,模拟了由初始浓度预制的封闭图案所引导的自组装过程,验证了该方法的有效性和准确性,研究结果对纳米结构的制造和纳米印刷有一定的参考价值。上海大学张田忠对分子力学方法的基本框架以及应用分子力学方法在单壁碳纳米管解析研究中的最新成果进行了系统评述,并着重讨论了手性对碳纳米管力学行为的影响。研究表明,当纳米管尺寸较小时,手性对碳纳米管的力学行为具有显著影响;分子力学方法可以有效地解析求解某些典型纳米力学问题,其结果在具有连续介质模型简洁性的同时,还可以反映纳米管微观结构对其宏观性能和行为的影响。北京交通大学郭雅芳运用原子模拟方法研究了低温时体心立方铁中 I 型张开裂纹在不同载荷条件下的裂尖结构演化行为和形变机制,其研究表明,形变孪晶和应力所致的裂尖新晶粒形核是两种主要的裂尖形变机理,并得到了新晶粒形成过程中由体心立方结构到密排六方结构的相变过程,并基于原子结构和相关应力及能量分析给出了不同取向裂纹形变方式不同的原因以及晶粒形核和相变的微观机制。中国科技大学吴恒安利用分子力学方法模拟了纳米传感器中吸附诱发的表面应力,讨论了吸

附诱发表面应力对吸附原子浓度的依赖性,并在半经验框架下对模拟结果进行分析,从原子学的角度探讨了表面应力的起源。西南交通大学钱林茂对镍钛合金的纳动摩擦学进行了研究。通过系统的实验考察了镍钛形状记忆合金的切向纳动循环和不同压头形状下的径向纳动循环行为,揭示了其纳动循环行为的特有规律,为纳动摩擦学研究提供了坚实的基础。天津大学冯露对纳米结构的定向生长连续介质模型进行了研究,从标准力平衡、构形力平衡、功能的不平衡、本构方程以及相邻面的连续介质极限等方面,构建了定向生长的理论描述模型。华中科技大学李振环从离散位错模拟和孔洞表面离散位错发射对孔洞演化的微尺度效应进行了研究,基于离散位错动力学模拟技术对平面应变状态下无限大面心立方晶体内孤立圆柱微孔洞的长大机理进行了分析,对承受双轴拉伸载荷的无限大单晶体内椭圆柱形孔洞的位错发射及孔洞长大机制进行了探讨,研究结果揭示了孔洞长大尺度效应的一些新机制。

近年来生物力学迅猛发展的势头在这次会议上也得到了充分体现。西安交通大学陈常青教授在其特邀报告中对皮肤组织抗挤压与刺伤力学性能的研究成果进行了介绍。其研究发现,在各向同性情况下稳态裂纹形成、孔扩张和柱体压缩三部分对总能量的贡献是相当的,在横观各向同性情况下主要是裂纹形成和柱体压缩两部分的贡献,并且孔扩张能和柱体压缩能在总能量中所占的比重与扩展前后的孔半径之比有很大关系。中科院力学所陈少华针对壁虎和蟋蟀等生物粘附于物体垂直表面的一些有趣现象,从固体力学角度建立了二维粘附接触模型,分析了材料性质、外力拉伸角度对粘附半径与粘附强度的影响,给出了各向同性体接触和横观各向同性体接触的广义 JKR 模型理论解,并进一步模拟生物脚部材料的微结构,解释了材料的各向异性性质对生物粘附和脱粘的影响。清华大学刘彬发展了一套理论解析模型分析泊松比对生物错层复合材料力学性能的影响,结果表明在生物错层复合材料中,软相不可压缩性可以显著增加错层材料的横向刚度,且其纵向刚度也受泊松比的影响,并进一步分析了生物复合材料性能优异的自然界机制。兰州大学高原文基于各向异性壳理论和描述大分子行为的蠕虫链理论,研究了蛋白质微观局部几何形状及其材料参数等对蛋白质微管的力学特征影响,发现当微管较短时表征蛋白质微管刚度的持续长度值将随微管长度的增加而迅速增加,但当微管长度达到一定值后,其持续长度值将趋于一个定值。清华大学

季葆华采用生物分子的粗集配模型，将生物分子简化为小球-弹簧体系，并利用粗集配势能来确定生物分子中泛含群或域之间的交互作用，进而模拟链刚度、域大小、域的疏水/亲水特性和约束的大小等参数变化时生物分子的自组集过程，随后介绍了利用粗集配原理对球状蛋白质的变形行为模拟的最新进展，如在 ATP 分子马达方面的研究成果。大连理工大学郭旭从优化设计的观点对生物复合材料（如骨骼）的纳米结构进行了系统研究，力求从自然界得出一些可能的优化原理，进而用来指导仿生材料的制备。

本次研讨会还涉及固体力学在诸多工程领域的应用研究。大连理工大学亢战采用凸模型理论，针对设计变量数目很大的结构拓扑优化问题，提出了一种基于非概率可靠性的结构拓扑优化方法。该方法是一种基于目标性能的优化方法，提高了优化算法的收敛性和稳定性，并通过算例验证了算法的准确性和有效性。西安交通大学王刚峰对其在分子多尺度计算力学方面的研究成果进行了系统介绍，此外，他还在微纳米尺度上材料的表面/界面效应进行了深入研究。郑州大学李海梅针对目前高分子成型技术对于产品内在质量的影响，对该方向和需要解决的关键性问题进行了比较深入而系统的评述，并着重介绍了残余应力、透明塑料制品的光学性能以及微孔发泡成型产品机械性能等方面的研究结果。清华大学刘应华对基于 DB 小波理论的无网格方法进行了系统介绍，认为基于 DB 小波的性质来构建解的构形，该方法是真正意义上的无网格方法，在整个计算过程中都不需要任何单元，在构形上较为简洁，在实际应用方面是灵活多变的，数值结果表明该方法对 2D 平面和平板弹性问题具有高的精确度，并在其它复杂问题的分析方面也具有很大的应用潜力。

此外，会议还召开了座谈会，与会代表就其研究方向和研究兴趣、固体力学的发展、交流与合作等畅所欲言，达到了凝聚共识、充分交流、促进合作的目的。经过大家讨论，决定第三届全国固体力学青年学者学术研讨会于 2008 年在西安交通大学召开。

（冯西桥；清华大学工程力学系）

（康国政；西南交通大学应用力学与工程系）