科学基金

第七届全国固体力学青年学者学术研讨会 报告综述¹⁾

吕海宝^{*,2)} 梁军^{*} 郭旭[†] 詹世革^{**} 张攀峰^{**}

^{*}(哈尔滨工业大学复合材料与结构研究所, 哈尔滨 150080)

[†](大连理工大学工程力学系, 大连 116023)

^{**}(国家自然科学基金委员会数理科学部, 北京 100085)

摘要 简要介绍了在哈尔滨工业大学召开的第七届全国固体力学青年学者学术研讨会的会议情况, 概括总结了与会学者所做的学术报告内容, 并就新时期固体力学的发展提出了一些思考和建议。

关键词 固体力学, 青年学者, 学术研讨会

REVIEW OF THE SEVENTH NATIONAL SYMPOSIUM ON SOLID MECHANICS FOR YOUNG SCHOLARS¹⁾

Lü Haibao^{*,2)} Liang Jun^{*} Guo Xu[†] Zhan Shige^{**} Zhang Panfeng^{**}

^{*}(Centre for Composite Materials, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China)

[†](Department of Engineering Mechanics, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

^{**}(Department of Mathematical & Physical Science, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China)

Abstract Here, we briefly reports on the scientific reports and discussion presented at Seventh National Symposium on Solid Mechanics for Young Scholars hosted by Harbin Institute of Technology, as well as we proposes a few constructive suggestions on the development of solid mechanics subject in the new era.

Key words solid mechanics, young scholars, symposium

引言

固体力学是一门工程科学和技术科学学科, 在航空航天、机械电子、信息交通、土木建筑、生命科学等科技领域中取得了巨大成功并发挥着重要作用。进入 21 世纪以来, 纳米、生命和信息成为科技界最具影响和挑战的三大领域, 固体力学与新兴领域的交叉面临许多挑战和机遇, 迫切需要力学工作者做出开拓性贡献, 需要我们不断地提炼出新的共性问题、开拓新领域、发展新方法。只有通过与新兴学科领域的交叉与融合, 固体力学才能不断推动自身的完善和发展, 才能不断拓宽研究领域和研究手段。因此, 当今科学技术的发展和需求促使我们需要对固体力学的发展进行深入的思考和研讨。当前, 国内活跃着一大批有着良好研究基础和发展态势的固体力学青年学者, 为他们提供更好的科研条件和交流发展平台, 对我国固体力学的发展具有重要而深远

题、开拓新领域、发展新方法。只有通过与新兴学科领域的交叉与融合, 固体力学才能不断推动自身的完善和发展, 才能不断拓宽研究领域和研究手段。因此, 当今科学技术的发展和需求促使我们需要对固体力学的发展进行深入的思考和研讨。当前, 国内活跃着一大批有着良好研究基础和发展态势的固体力学青年学者, 为他们提供更好的科研条件和交流发展平台, 对我国固体力学的发展具有重要而深远

本文于 2016-12-08 收稿。

1) 国家自然科学基金资助项目 (11542007)。

2) E-mail: luhb@hit.edu.cn

引用格式: 吕海宝, 梁军, 郭旭, 詹世革, 张攀峰. 第七届全国固体力学青年学者学术研讨会报告综述. 力学学报, 2017, 49(1): 223-230
Lü Haibao, Liang Jun, Guo Xu, Zhan Shige, Zhang Panfeng. Review of the seventh national symposium on solid mechanics for young scholars. *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2017, 49(1): 223-230

的意义.有鉴于此,国家自然科学基金委员会数理科学部发起并组织了以青年学者为主体的系列活动,“全国固体力学青年学者学术研讨会”旨在为活跃在固体力学研究第一线的40岁以下的优秀青年学者打造一个学术交流和合作的平台,并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深层次的探讨,提供深入交流和合作的机会,以此推动固体力学这一传统学科的快速发展和促进青年学者们的快速成长.

2016年8月11—14日,继在浙江大学、西南交通大学、西安交通大学、华中科技大学、大连理工大学和兰州大学先后成功举办了六届后,由哈尔滨工业大学复合材料与结构研究所承办的“第七届全国固体力学青年学者学术研讨会”在哈尔滨市顺利召开.中国力学学会青年工作委员会主任委员大连理工大学郭旭教授和哈尔滨工业大学梁军教授共同担任会议主席,哈尔滨工业大学吕海宝教授、王兵副教授、王超副教授和方国东博士具体负责会议组织,来自国家自然科学基金委员会数理科学部、中国力学学会以及全国30余所高校和科研院所的70余位优秀中青年专家学者参加了本次研讨会,其中包括9位国家杰出青年基金获得者,以及60余位获得过国家自然科学基金资助的40岁以下的优秀青年学者.清华大学冯西桥教授、刘应华教授、冯雪教授,西安交通大学申胜平教授,北京理工大学陈少华教授,同济大学李岩教授,兰州大学王记增教授,北京航空航天大学郭早阳教授作为特邀嘉宾主持了各阶段的报告会,针对报告内容进行交流和点评,为青年学者今后的科研发展方向提出了宝贵建议.

会议开幕式由郭旭教授主持.哈尔滨工业大学校党委副书记、副校长张洪涛同志首先代表主办单位哈尔滨工业大学向与会专家和学者表示热烈欢迎,他向与会代表介绍了哈尔滨工业大学的概况以及哈工大力学学科的发展历程和取得的成绩,向长期以来助力哈工大力学学科发展的国家自然科学基金委员会数理科学部、中国力学学会及力学界同仁表示衷心的感谢.同时希望青年学者珍惜此次机会,深入、全面地加强交流与合作,促进固体力学学科的共同发展.国家自然科学基金委员会数理科学部力学科学处詹世革处长在致辞中强调了召开此系列研讨会的目的和意义,介绍了近年来力学学科自然科学基金申请与资助情况,并对大家所关心的人才培养与项目申请等问题进行了耐心的解答,勉励

青年学者把握好这一学术研究的黄金时段,结合国家重大需求,把握固体力学发展新趋势,扎扎实实地深入开展科学研究,詹世革处长的讲话为广大固体力学青年学者的研究和发展指引了方向,引起了强烈反响和深刻思考.

本次研讨会上,清华大学刘彬教授、浙江大学曲绍兴教授做了大会特邀报告.刘彬教授在题为《界面断裂的两个客观独立的表征参数及一个佯谬》的报告中介绍了界面裂纹震荡奇异场造成经典的表征参数,如复应力强度因子呈现非客观性,其幅角会依赖一个任意选择的长度.提出了两个客观的独立参数来表征界面裂尖场.同时注意到裂尖场因丧失相似性而带来的一个佯谬.曲绍兴教授在题为《智能软材料力学》的报告中,就水凝胶和介电高弹体两类具有代表性的智能软材料开展的研究工作进行了深入的讨论,介绍了水凝胶在低温下的相变特性、力学特性、高含水量水凝胶低温塑性、高强度及高低温循环下的力学行为方面取得的最新研究成果,提出了自由结合水/不可冻结合水混合模型.同时就介电高弹体方面所取得的最新研究进展进行了深入阐述和讨论.同时两位教授还在报告中结合自身从事科学研究工作的经历,和与会的青年学者分享自己从事科学研究的经验和心得体会以及对新时期固体力学发展的思考.这些教导和经验使青年学者们受益匪浅,为解决青年学者在科研起步阶段所面临的困惑,帮助他们确定合适的研究方向和合理安排研究工作提供了非常有益的指导.

在本次研讨会上,来自不同学校的49位40岁以下从事固体力学研究的青年学者介绍了他们近年来取得的最新研究进展和成果.这些报告内容丰富精彩,涵盖了生物力学、微纳米力学与超材料力学、计算力学、智能材料与结构力学、新型材料力学等研究领域,下面就这五个方面进行简述.

1 生物力学

生命科学是当今科技领域最重要的研究内容之一,力学与生命科学的学科交叉,为科技和人类社会的发展带来了深刻的变革,也是力学学科发展的重要机遇,成为固体力学领域重要的热点研究方向之一.目前,国内固体力学领域的一些青年学者在生物力学方向具有扎实的研究基础,取得了许多重要的研究成果,获得了国内外专家学者的广泛认可和赞誉.在本次研讨会中,就有几位青年学者代表,介绍了他

们近期在生物力学前沿领域取得的最新研究成果和研究进展.

施兴华研究员在题为《颗粒/分子在纳米孔隙材料中的扩散》的报告中介绍了口服类纳米药物在胃肠道黏液组织中的扩散力学行为. 设计了不同长细比的纳米颗粒, 发现了形状对颗粒在小鼠肠道黏液中扩散能力有显著影响. 系统研究了此类反常现象下的机制, 提出了药物设计的新思想.

钱劲教授在题为《生物聚合物交联网络的力学响应》的报告中从生物聚合物交联网络的微观组成和结构出发, 通过理论模型和数值模拟, 探讨了网络硬化过程中纤维变形模式及转化规律, 以及网络软化过程中交联蛋白解离导致的结构弱化和应力松弛行为.

姜洪源教授作了题为《开放系统的力学响应: 黏附细胞的形状和动力学分析》的报告. 将细胞作为开放系统来研究细胞体积和压力调控如何影响黏附细胞在两个平行表面间的形状和行为. 研究发现它们取决于黏附能密度、两个表面的间距、细胞的大小和柔性微板的刚度. 通过研究凸、凹细胞的动态分离过程, 发现了凸、凹细胞的动态脱粘过程是完全不同的. 此外, 加载速率与细胞体积和压力之间的竞争也显著影响黏附细胞的力学响应.

李晓雁副研究员作了题为《多级生物结构材料中的李晶增韧机制》的报告, 介绍了原位透射电镜断裂试验、大规模原子模拟和有限元模拟相结合的方法. 裂纹在粉红色皇后海螺壳底层结构中的扩展行为. 研究发现李晶界能够有效地阻碍和捕捉裂纹, 并在裂纹尖端诱导非晶化相变和非局域变形, 从而导致最底层结构的断裂能量比单晶矿物提高一个量级. 随着多尺度结构的逐级放大, 海螺壳整体结构的断裂能量比单晶矿物提高三个量级.

吕朝锋教授作了题为《基于柔性电容传感器的主动脉瘤生长监测理论》的报告, 提出利用介电高弹体 (DE) 电容式传感器实时监测主动脉瘤生长过程的新方法, 根据弹性生长理论预测主动脉瘤的生长过程, 建立 DE 传感器电容输出与主动脉瘤外壁应力、壁厚、直径等多种生理参数的定量关系, 为主动脉瘤生长提供实时监测和多参数破裂风险评估手段, 提高了主动脉瘤择时手术的决策效率.

李博副教授在题为《肿瘤生长的力-化-生耦合理论》的报告中指出肿瘤生长是包含基因突变、生化调控、力学变形的复杂过程. 研究从热力学框架出

发, 采用有限变形多孔弹性理论, 建立了肿瘤发育初期的力学、化学、生物学等多学科生长模型. 推导了肿瘤的生长演化方程和营养输运方程, 考虑了应力和营养浓度对生长的调控作用. 基于该一般性理论模型, 探讨了不同加载环境下, 外力对肿瘤体积的影响规律, 相关结果与以往实验测量吻合.

2 微纳米力学

微纳米科技正迅速且广泛地影响我们的生活, 随着尺度的减小, 物质表现出显著不同于宏观情形的力学属性, 在微纳米科技领域力学正扮演着越来越重要的角色, 微纳米力学已成为力学最活跃的研究领域之一, 是当今力学学科发展的新驱动力和生长点.

郭宇锋教授在题为《低维材料的起皱行为和机电耦合》的报告中指出, 褶皱工程是发展新型微纳功能器件和机电系统的一种重要途径. 利用连续介质力学的卡门模型揭示了氧化铝基底上层状碳纳米薄膜六边形褶皱的起皱行为与其厚度和基底应力之间的关系. 此外, 通过第一原理计算和力学建模, 对少层石墨烯和六方氮化硼的起皱行为进行了深入研究并提出了估算其弯曲刚度的方法, 还发现少层石墨烯和六方氮化硼褶皱的电荷分布随层数的增加对弯曲变形更为敏感.

王宏涛教授在题为《结构材料的力学设计》的报告中指出, 实验微纳米力学就是在力学、材料与物理等科学微纳米表征与操纵等重要手段的基础上, 从材料微结构尺度揭示宏观力学行为微观机理. 介绍了在原位实验方面的工作, 深入探讨了微纳米力学在材料结构设计方面的作用.

徐志平教授作了题为《微纳米结构薄膜材料的力学行为》的报告, 针对制备得到的强度为 600 MPa、破坏应变为 6% 的氧化石墨烯薄膜, 进行了理论分析和实验表征. 研究发现化学、微观结构对材料稳定性和宏观静、动态力学性能有显著影响. 讨论了力学测试中试样几何尺寸对薄膜强度、刚度、破坏应变的影响, 所建立的理论模型不仅可以考虑这些影响, 更可以用于分析薄膜与夹持端界面的力学特性.

李群仰副研究员作了题为《石墨烯磨损行为和机理探究》的报告, 介绍了工程中广泛使用的固体润滑剂石墨的二维分子结构, 指出石墨烯因其纳米尺度优异的润滑特性和极高的材料强度, 将成为新

一代原子级超薄润滑剂的理想材料. 通过原子力显微镜纳米划痕实验对石墨烯磨损行为进行了系统表征, 并用分子动力学模拟了 4 种不同的破坏机制, 成功解释了石墨烯不同尺度下力学行为的巨大反差现象.

张一慧副教授在题为《屈曲引导的微尺度三维结构组装方法》的报告中介绍了一种屈曲引导的微尺度三维组装方法, 该方法通过压缩屈曲将二维薄膜状结构变形成为三维结构. 进一步引入剪纸和折纸设计思想, 将该方法拓展至三维曲面及折叠结构的屈曲成型. 该方法不仅适用于半导体、金属等高性能材料, 而且适用于纳米至厘米等多种尺度.

袁泉子副研究员在题为《纳微系统中的固液界面动力学》的报告中介绍了在纳微系统中固液界面动力学方面开展的研究工作. 主要包括: (1) 从原子层次阐明受限液体的电润湿机制, 得到电场下“Huh-Scriven 佯谬”的首个解答; (2) 提出“电弹性毛细”的概念, 为药物运输和纳微系统驱动提供新途径; (3) 发展统一描述微观和介观能量耗散的方法, 揭示粗糙表面接触线的动力学规律.

江进武教授在题为《负泊松比纳米材料的理论研究》的报告中通过理论分析, 得到了在纳米尺度上内在的负泊松比效应. 针对黑磷和石墨带的负泊松比效应, 提出了斜板模型来对边界负泊松比现象进行描述, 为在纳米尺度下负泊松比效应的系统研究提供了新的工具.

陈玉丽副教授在题为《碳纳米管网络的刚度阈值》的报告中指出碳纳米管网络的刚度阈值现象, 通过几何概率分析, 发现了两个阈值可分别由网络的稳定率和缺陷率来定量预测, 并由此建立了预测网络刚度的表达式, 为碳纳米管网络的优化设计和性能预测提供了理论依据.

王超副教授在题为《基于两单根碳纳米管搭接界面的剥离力学行为研究》的报告中, 采用微纳米原位力学测试结合分子动力学模拟方法, 研究了两单根碳纳米管相互搭接所成界面在剪切和剥离载荷下的界面失效力学行为. 通过实验获得了相应的载荷-位移曲线, 揭示了界面破坏过程的剪滞以及形状过渡机制及其对力学行为的影响规律, 探讨了碳纳米管的几何特征以及径向形变对力学行为的影响规律.

唐山教授在题为《六方晶晶界迁移的力学模型及分子动力学计算》的报告中指出, 纳米尺度晶粒度的金属材料具有优异的力学性能. 不同于以往关注

的金属材料的滑移和孪生, 晶界界面的迁移是纳米金属材料中一种重要的塑性变形机制. 用分子动力学方法模拟了不同角度下 Ti 双晶界面迁移机制. 并根据界面稳定性理论, 提出了对晶界迁移机制进行统一描述的力学模型, 并推广至复杂应力状态情况, 能为加工高强高韧六方晶材料提供相应的理论指导.

3 计算力学

计算力学中的很多理论和方法都已达到了实用化阶段, 并已在航空航天、机械制造、车辆交通等领域发挥重要作用. 然而随着现代制造业的快速发展, 高端装备的结构更趋复杂、使用环境更为苛刻、可靠性要求更高, 使其在高精度模拟、多目标需求、多场多尺度、参数不确定、高维变量、强非线性及大规模计算等领域成为研究热点.

董雷霆教授在题为《飞行器结构与材料仿真的几个新工具》的报告中介绍了在飞行器结构与材料仿真分析过程中开展的几个新型计算方法的研究工作及取得的成果, 包括: (1) 计算晶粒法, 用于复合材料细观力学分析; (2) 假设应变固体壳单元, 用于复合材料层合板壳结构静力、动力模拟; (3) 伽辽金边界超单元与有限元耦合法, 用于二维、三维金属结构疲劳与损伤容限设计.

张维声副教授作了题为《基于可动变形组件法的拓扑优化新框架》的报告. 基于可动变形组件, 建立了一种新的结构拓扑优化框架并发展了相应优化列式和数值方法. 研究方法极大规模地降低了设计变量数目, 可以在实现尺寸、结构、拓扑联合优化的同时与 CAE 软件系统无缝集成, 为显式结构拓扑优化提供了新思路.

朱继宏教授作了题为《飞行器多组件结构系统的整体优化设计》的报告. 基于多点约束 (MPC) 模拟组件与支撑结构之间的刚性连接, 采用有限包围圆方法 (FCM) 描述组件之间的几何干涉约束, 构造了包含结构刚度和组件之间几何干涉函数的混合罚函数, 应用基于梯度的优化算法对包含数十个组件上百个非干涉约束的多组件结构系统进行刚度优化设计. 介绍了包含大量组件的结构系统整体式拓扑布局优化设计问题, 得到了清晰的支撑结构构型和无干涉的组件布局位置, 充分体现了提出的混合罚函数方法在解决多组件结构系统布局优化设计中组件干涉问题上的有效性和适用性.

倪勇教授作了题为《相变力学与微结构演化》的

报告. 从计算材料的角度对新材料在制备和应用过程中的微结构演变与性能关联进行定量表征, 进而调控材料的微结构, 优化材料的力学等物理性能, 有利于加速实现高性能先进材料的可重复性制备. 讨论了发展相变力学的手段、多物理场、内应力和材料不稳定性、微结构演化交互作用的过程.

阎军副教授作了题为《多学科优化理论在深海柔性管缆中的应用》的报告, 介绍了将多学科优化基础理论应用于水下生产系统脐带缆的截面布局设计研究工作. 建立了力热光电多学科协同优化的求解框架与数学描述. 并通过实验室原型实验验证了优化设计的先进性.

王晓军教授作了题为《结构振动主动可靠控制理论与方法》的报告. 针对传统结构振动与噪声主动控制系统设计过程中面临的不确定性, 在主动控制系统设计过程中, 将现代控制理论与可靠性设计方法相结合产生一种更为适用的结构控制技术——可靠控制技术. 将非概率可靠性优化引入了最优控制、闭环控制系统极点配置和 PID 控制中, 提出了对应于不同控制要求的可靠控制器设计方法. 所提出的可靠控制类似于结构可靠性设计中要求结构满足 99.999% 或者 99.9999% 的可靠度, 乃至 100% 的可靠度 (针对有界不确定性), 这样就可以在可靠度的层面来减小控制系统的保守性.

王博教授作了题为《多级加筋板壳结构快速屈曲分析与优化方法研究》的报告. 面向我国重型运载火箭结构, 针对其中的承力舱段显著增加的缺陷敏感性, 自主提出了多级加筋柱壳结构的设计理念. 为提高分析效率, 基于渐进均匀化的快速数值实现方法建立了相应的快速屈曲分析方法, 并发展了计及缺陷敏感度的自适应等效优化方法. 相关理论方法有望推动我国航天弹箭体承力结构的快速设计.

4 智能材料与结构力学

智能材料在现代国防、信息、仿生医学等重要工业中发挥着越来越不可替代的作用, 然而智能材料与结构力学问题的出现限制了其在国防及航空等工业中的广泛应用. 因此, 以压电材料、铁电材料、柔性电子器件、介电弹性材料、功能梯度材料、超导材料等为主的智能材料及其结构力学得到了普遍的重视.

宋吉舟教授作了题为《柔性电子器件的热分析及热管理》的报告. 以柔性电子皮肤为例, 建立柔

性电子器件/皮肤多层结构传热模型, 研究系统温度场空间分布规律, 考察温升与结构、尺寸、材料和产热功率等参数之间的定量关系, 提出了优化设计准则, 从而实现热管理.

苏业旺研究员在题为《具有高延展性的柔性电子器件非屈曲结构设计》的报告中提出了柔性电子器件非屈曲结构设计方法. 与该领域普遍采用的屈曲结构相比, 其结构具有三大优点: (1) 具有高延展性; (2) 电阻低、具有良好的电学性能; (3) 热耗散少.

李法新研究员在题为《十六载学术生涯的经历与感悟》的报告中简单回顾一下自己从 2000 年进入清华读博士、2005—2007 年在加拿大做博士后、2007 年进入北大工学院工作至今的学习与研究经历, 同与会青年学者分享了他曾经走过的弯路、遇到的困惑, 以及科学研究和学生培养中的心得, 并对当前固体力学非热门的两个领域 (先进制造力学、检测与监测力学) 进行了展望.

柯燎亮教授作了题为《功能梯度材料的热弹性接触失稳分析》的报告. 介绍了功能梯度材料热弹性接触失稳方面的研究进展. 研究发现, 调整功能梯度材料的梯度指数和梯度变化的函数形式都可增加临界热流密度和临界滑动速度, 从而改善热弹性接触稳定性.

钱征华教授作了题为《薄膜体声波谐振器结构分析方法的研究进展》的报告. 介绍了目前用于 FBAR 理论分析的主要几种方法: (1) 只考虑无限大板厚度延伸运动的一维方法; (2) Tiersten-Stevens 二维标量微分方程方法; (3) 分析多模态耦合及面内运动问题的二维压电板方程.

卢同庆副教授作了题为《介电高弹体材料与结构的非线性力电耦合特性》的报告. 介绍了介电弹性软材料在外界激励作用下发生大变形, 是仿生科技、柔性机械、柔性智能等领域的研究热点. 讨论了介电高弹体结构在力电耦合作用下的非线性失稳及后分叉现象, 为相关功能器件的设计提供了理论基础.

郑勇刚副教授作了题为《水凝胶溶胀耦合力学行为分析本构模型及有限元方法》的报告. 针对水凝胶溶胀耦合行为, 发展了考虑溶胀效应的各向同性/异性单网络水凝胶本构模型和基于细观力学的双网络水凝胶本构模型, 提出了单网络水凝胶溶胀耦合大变形分析方法以及双网络水凝胶颈缩传播行为分析的有限元列式和算法.

张兴义教授在题为《一种新的应变驱动磁通稳定性实验研究》的报告中介绍了一种可视化的超导材料多场测试仪器. 首次实现在 4.2 K 液氦温区超导材料临界电流随应变、磁场以及温度变化的在线观测, 获得了超导材料在拉伸过程中其内部电磁特性的变化规律, 发现一种新的磁通不稳定性现象, 这种新观测方法克服了传统的磁热不稳定性.

雍华东教授作了题为《超导材料中的多场耦合行为研究》的报告. 针对超导材料中的力-电-磁-热多场耦合行为, 对裂纹问题、电磁特性以及磁热稳定性等方面展开了系统的研究. 在此基础上, 进一步分析了由单一线材多级组成的超导电缆和线圈中的临界电流及应力分布. 研究结果从定量的角度分析了超导体中的力电行为及稳定性.

5 新型材料与结构

新型材料与结构已成为新技术革命的重要标志, 新型材料的开发、制备与应用水平是衡量一个国家科技水平和工业水平的重要标志. 因此, 国内外一大批力学工作者在新型材料的研究上倾注了极大的精力. 在本次研讨会中, 有近 20 位青年研究学者的报告和新型材料与结构有关.

裴永茂副研究员作了题为《复合材料与结构零膨胀调控设计》的报告. 指出材料与结构在使用环境中不可避免存在温度变化引起的热膨胀变形, 但在航空航天、精密仪器、电力电子等领域, 需要具有极小甚至零热膨胀的材料才能满足精密控制的需求. 提出了一种不动点设计方法, 能够实现轻量化承载零膨胀点阵材料与结构, 为航空航天的零膨胀设计提供了一种新的方案.

周萧明副教授在题为《超材料与波的调控》的报告中介绍了声波超材料的微结构设计原理与相关研究进展, 深入讨论了超材料在声波隐身和声波超分辨成像领域的突破性应用原理.

杨丽教授作了题为《基于真实 TGO 形貌的热障涂层热应力与裂纹扩展机制》的报告. 提出了表征热障涂层界面结合性能模型与方法, 热障涂层界面在力与氧化作用下的生长与破坏模型, 建立了数值模拟方法, 揭示了界面氧化诱导涂层剥落的两种机制.

刘刘副教授作了题为《多场联合作用下薄壁结构非线性动响应行为分析方法研究》的报告. 对新型飞行器热防护系统复合材料壁板结构在热声联合物

理场作用下随机响应行为分析方法以及随机疲劳寿命预测进行了研究. 采用 Airy 应力函数和经典伽辽金方法获得复合材料壁板结构不同边界条件下的高阶耦合微分模态方程组, 并采用数值积分获得壁板结构模态空间响应行为. 分析结果表明结构热环境仅影响结构的线性刚度, 非线性刚度仅与结构的材料和几何尺寸相关. 由于薄壁结构的几何非线性, 应力应变随机响应概率密度函数 (PDF) 呈现出非等高双峰形态的非高斯分布, 分布形态仅与结构材料和几何尺寸相关. 应力应变随机响应的分析结果可为后续声疲劳寿命预测和耐久性评价和结构强度优化设计提供基础.

李典森教授在题为《编织复合材料及力学》的报告中指出编织复合材料具有优异的力学性能, 为航空航天主承力构件提供广阔应用前景. 报告以工程应用为背景, 从宏观/中尺度编织及力学、微/纳观编织及力学、天然/仿生编织及力学出发, 结合力学、编织工艺学、化学、材料学, 凝练科学问题.

陈浩森副研究员作了题为《基于 Al/C 体系的能源/承载一体化结构电池研究》的报告. 基于 Al/C 体系的能源/承载一体化结构电池, 即通过结构与储释能系统的结合, 构建既能够承载又能够储释能量的结构, 以达到结构轻量化、节约系统空间等目的. 通过原位观测, 在充嵌离子过程中, 发现 PG 膜沿厚度变形明显, 开展了不同应力条件下化学势与浓度实验, 建立了相关理论模型, 可以较好地进行预测, 揭示了应力对初始嵌入电压影响机制; 最后, 通过解决铝离子电池在于封装和卷绕工艺难题, 成功制备轻量化点阵桁架结构电池样件.

黄干云教授在题为《黏着接触下的滑动起始研究》的报告中介绍了黏着接触下的滑动起始行为. 在考虑黏着效应的 JKR 模型基础上, 注意到滑动起始本质上为接触体之间存在局部的相对错动位移, 通过研究接触界面上的位错形核, 得到了与之对应的切向载荷即静摩擦力. 与实验比较, 验证了研究结果的一致性. 此外还进一步讨论了黏着接触尺寸随切向载荷的变化, 也与实验结果吻合较好.

阚前华副教授在题为《重载铁路轮轨接触研究》的报告中指出列车的车轮在轨道上运动, 使轮轨两种钢材发生局部塑性变形, 形成移动的接触斑. 对不同含碳量的过共析钢轨材料进行低周疲劳实验, 揭示棘轮与疲劳失效行为交互作用机理; 建立考虑棘轮与疲劳交互作用的疲劳失效模型, 合理预

测不同类型钢轨材料的疲劳失效寿命. 针对重载线路钢轨的典型使用条件, 建立轮轨接触三维有限元模型, 研究不同使用条件对钢轨应力和应变场的影响, 获得了稳态滚动接触下最危险位置的应力幅值和应变幅值随循环周次的变化规律; 根据有限元分析结果和疲劳失效预测模型, 预测了钢轨在不同使用条件下的疲劳寿命. 研究成果为现行重载轮轨钢材的疲劳失效寿命和优化选材提供了重要的评估手段.

范海冬副教授在题为《纯镁中孪晶变形与位错滑移的位错动力学模拟》的报告中, 针对纯镁中常见的位错滑移与孪晶变形, 提出了位错与孪晶界的相互作用模型, 并在离散位错动力学中实现. 探究了纯镁多晶体的强化行为、晶粒尺度效应、孪晶尺度效应、位错滑移与孪晶变形的竞争机制, 拓展了经典的 Hall-Petch 模型.

黄敏生教授在题为《XFEM 位错模拟及其在裂纹和空洞问题中的应用》的报告中指出扩展有限元不存在显著的网格依赖性, 能够很好地模拟不连续界面问题. 提出改进的考虑各向异性的位错芯扩充形函数, 对混合单元和阶跃-位错芯扩充连接单元进行了特殊处理, 并对算法进行了验证. 最后, 使用该算法对多晶材料、空洞和裂纹等塑性行为进行了分析.

刘爱萍副教授在题为《功能碳材料的微结构设计及传感行为研究》的报告中, 通过元素掺杂、化学分子修饰、金属粒子复合等多种手段, 设计和构筑具有特殊微结构的二维和三维复合材料, 能够对功能碳材料的力、电、电化学和生物活性进行有效调控, 从而达到监测细胞行为、测定细胞释放物质的目的, 在细胞生理及病理研究、疾病诊断及药物筛选等领域有广泛应用价值.

范翠英副教授在题为《广义不连续位移边界元方法及其在多场断裂中的应用》的报告中, 根据功能互等定理及裂纹面上的边界条件, 建立以裂纹面上的不连续位移为基本未知量的超奇异积分方程. 利用边界积分方程方法, 研究裂纹尖端的渐近场, 给出应力强度因子的不连续位移表达式. 给出了求解多场广义不连续位移基本解的一种通用方法, 建立了以裂纹面上的广义不连续位移为基本未知量的超奇异积分方程. 利用广义不连续位移边界积分方程方法, 研究裂纹尖端的应力、热流、电位移和磁感应强度的奇异行为, 给出强度因子的广义不连续位移表达式; 研究裂纹面上不同热、电、磁边界条件对断

裂行为的影响等等. 利用集中广义不连续位移基本解, 给出求解广义 Crouch 基本解的通用解法, 建立广义不连续位移边界元方法格式, 提出研究多场耦合有限体断裂的混合广义不连续位移—基本解方法 (HEDD-FS). 在不连续位移法中, 裂纹表面的边界条件可以很好地嵌入到求解系统, 实现了有限域多场耦合下的非线性断裂问题的分析.

蒋敏强副研究员在题为《金属玻璃中的力学问题》的报告中介绍了金属玻璃所面临的基本力学问题, 及其对基于晶态金属塑性流动、剪切带以及断裂等经典机理的挑战.

李卫国教授在题为《金属材料的温度相关性屈服强度及其表征方法研究》的报告中, 基于 Mises(米塞斯) 屈服准则, 考虑温度对金属材料屈服强度的影响, 建立了温度相关性屈服强度模型, 并与系列实验结果进行了对比, 取得了非常好的一致性.

方棋洪教授在题为《高熵合金拉伸强度的实验、模拟与理论建模》的报告中, 介绍了高熵合金概念、应用领域、未解决的基础科学问题. 针对一类高熵合金, 介绍拉伸变形的实验研究、数值模拟计算以及拉伸强度的理论建模等.

张雄副教授在题为《梯度效应在结构耐撞性领域的应用》的报告中, 通过对球冲击下的梯度密度泡沫板、轴向和三点弯曲加载下变厚度方管、及轴向和斜向加载下变厚度圆锥管进行数值分析和实验研究, 发现梯度的引入可以显著提高比吸能或载荷一致性因子等耐撞性指标, 对设计轻质高效具有良好耐撞性能的吸能结构具有重要的指导意义.

秦庆华副教授在题为《轻质梯度多孔金属材料及其夹芯结构的冲击力学行为与设计》的报告中, 建立了强动载荷下不同密度梯度分布多孔金属材料及其夹芯结构冲击动力响应的分析模型, 同时借助 Voronoi 技术建立了密度梯度多孔金属材料及其夹芯结构的有限元细观模型, 进一步分析了强动载荷下塑性冲击波在梯度多孔金属及其夹芯结构中的传播特性, 对多孔金属的密度分布进行了优化设计, 从而为新型防护结构设计提供了重要理论依据和技术支持.

6 结束语

本次研讨会期间各位代表思维活跃、讨论热烈, 他们不仅相互交流了各自研究中的最新进展和成果, 还一起分析探讨了各自研究中所面临的科研

难题以及可能的解决办法和思路. 这充分实现了此系列研讨会设定的增进相互了解、促进相互合作、实现共同提高的预期目的.

本次研讨会期间还组织了一场交流座谈会, 由清华大学刘彬教授和浙江大学曲绍兴教授共同主持. 国家自然科学基金委员会数理科学部詹世革处长就大家所关心的固体力学学科发展趋势、重点领域与基金资助形势等和与会代表进行了深入交流. 随后冯西桥教授、申胜平教授、陈少华教授、刘应华教授、冯雪教授, 李岩教授、王记增教授、郭早阳教授

等分别结合自身经历就科研、学习、力学发展等多个方面的问题与青年学者交流了自己的经验和心得体会. 同时青年学者们也结合自己的研究方向, 就固体力学学科发展、固体力学青年学者成长、如何在科研中进一步凝练和挖掘深层次的科学问题以及如何积极参与解决国家重大需求等共同关心的问题畅所欲言、各抒己见, 展开了热烈讨论, 取得了广泛的共识, 并提出了许多建设性的意见. 最后, 经过全体参会代表的认真讨论和表决确定“第八届固体力学青年学者研讨会”于 2018 年由清华大学承办.

doi: 10.6052/0459-1879-16-370