



非线性力学国家重点实验室(LNM) 2015 年度学术年会

时间：2015 年 12 月 20 日~21 日

地点：中国科学院力学研究所二层半小礼堂

一、20 日上午 8:30~9:00 开幕式

主持人：胡国庆 研究员

- 1、主任报告（魏宇杰 研究员）：LNM2015 年工作报告
- 2、领导讲话
- 3、全体代表合影

二、20 日上午 9:00~12:30 学术报告

9:00-10:30 主持人：魏悦广 研究员

时 间	报告人	职称、单位	报告题目
9:00-9:30	武晓雷	研究员 LNM	高强度纳米金属的应变硬化策略与非均匀微结构设计
9:30-10:00	姜宗林	研究员 LHD	复现高超声速飞行条件激波风洞实验技术及其应用
10:00-10:30	段慧玲	教授 北京大学	金属材料力学性能辐照效应的多尺度模拟

10:30-10:45 休息、可视化作品竞赛投票

10:45-12:30 主持人：陈少华 研究员

时 间	报告人	职称、单位	报告题目
10:45-11:15	汪越胜	教授 北京交通大学	轻质格栅结构的反常弹性波动行为
11:15-11:45	苏业旺	研究员 LNM	柔性电子器件研究中的若干关键力学问题
11:45-12:15	龙 勉	研究员 NML	肝脏细胞-分子的力学-化学-生物学耦合与应用
12:15-12:30	袁泉子	副研究员 LNM	溶解润湿动力学

12:30-13:30 午餐

三、20日下午13:30~18:15 学术报告

13:30-15:30 主持人：戴兰宏 研究员

时 间	报告人	职称、单位	报告题目
13:30-14:00	王育人	研究员 NMLC	声子玻璃与水下宽频强吸声材料
14:00-14:30	倪明玖	教授 中国科学院大学 工学院	MHD 效应下 Ar 气泡驱动液态金属 GaInSn 流
14:30-14:45	吴锤结	教授 大连理工大学	Navier-Stokes 方程的 加权残数最优动力系统研究
14:45-15:00	王 超	助理研究员 LNM	碳纳米管、石墨烯宏观多孔材料力学性能的 调控机理研究
15:00-15:15	晋国栋	副研究员 LNM	重力效应对惯性颗粒在各向同性湍流中聚团和 相对扩散的影响
15:15-15:30	陈晓东	助理研究员 LNM	受限液丝毛细不稳定性起源

15:30-15:45 休息、可视化作品投票

15:45-18:15 主持人：苏业旺 研究员

时 间	报告人	职称、单位	报告题目
15:45-16:15	郭 旭	教授 大连理工大学	拉压不同材料的变分原理及界限分析
16:15-16:30	王 军	助理研究员 LNM	Novel Plastic Mechanisms at the Nanoscale
16:30-17: 00	齐 航	教授 美国佐治亚理工大学	Digital Manufacturing Enabled Active Composites and 4D Printing
17:00-17:15	陈 艳	副研究员 LNM	金属玻璃裂纹尖端场
17:15-17:45	尹祥础	研究员 中国地震局 地震预测研究所	我国大西南超大地震的预测和追踪
17:45-18:00	刘小明	副研究员 LNM	微尺度塑性与界面摩擦行为的研究
18:00-18:15	郇 勇	高级工程师 LNM	块体金属玻璃室温拉伸流变塑性的实验研究

四、21日上午8:15~12:30 学术报告

8:15-10:15 主持人：何国威 研究员

时 间	报告人	职称、单位	报告题目
8:15-8:45	陆夕云	教授 中国科学技术大学	Some Studies on the Hydrodynamics of Fishlike Swimming
8:45-9:15	秦建华	研究员 中国科学院 大连化学物理研究所	生命体系中的微流体系统
9:15-9:45	高华健	院士 美国布朗大学	Brittle vs Ductile Fracture in Amorphous Alloys: from Metallic Glasses to Lithiated Si Electrodes
9:45-10:00	吴恒安	教授 中国科学技术大学	石墨烯复合材料力学设计和纳尺度物质运输

10:00-10:15	许 骏	教授 北京航空航天大学	电动汽车动力锂电池机械完整性研究
10:15-10:30	休息、可视化作品竞赛投票		
10:30-12:30	主持人：施兴华 副研究员		
时 间	报告人	职称、单位	报告题目
10:30-11:00	马 恩	教授 美国约翰霍普金斯大学	Heterogeneous Nanostructures Enable Simultaneous High Strength and Ductility
11:00-11:30	孙立涛	教授 东南大学	原子尺度下纳米材料的原位研究
11:30-12:00	张一慧	副教授 清华大学	屈曲引导的微尺度三维结构组装方法
12:00-12:30	郭早阳	教授 北京航空航天大学	超弹性颗粒增强复合材料在有限变形下的本构建模研究

12:30-13:30 午餐

五、学术委员会及研究生科研成果展、可视化竞赛评选会

1) 21 日下午 14:00-17:30 LNM 学术委员会会议

主持人： 方岱宁 院士

地点： 力学所主楼 344 会议室

2) 21 日下午 13:30-17:30 LNM 研究生科研成果展评选会

主持人： 苏业旺 研究员

参加人员： 特邀评委专家，全体参展学生

地点： 力学所主楼小礼堂内会议室

3) 21 日下午 13:30-16:30 LNM 可视化竞赛评选会

主持人： 张健 副研究员

参加人员： 竞赛评选委员会，全体参展学生

地点： 力学所主楼 334 会议室

六、21 日晚上 17:30~18:00 闭幕式

地点： 小礼堂会议室

中国科学院力学研究所
非线性力学国家重点实验室
2015 年 12 月

报告 1

高强度纳米金属的应变硬化策略与非均匀微结构设计

武晓雷

中国科学院力学研究所 非线性力学国家重点实验室

摘要：高强度纳米金属在拉伸变形时，位错塑性无法提供足够的应变硬化，导致均匀拉伸伸长率很低，成为制约其结构应用的瓶颈。基于力学原理，提出了两个策略以提供新的应变硬化机制，特别在单相金属Ti、IF钢和Ni中，设计了非均匀层片纳米结构，梯度纳米结构，以及极小尺寸(~7 nm)的纳米强化相结构，同时获得了高强度与大均匀拉伸塑性，揭示了拉伸力学行为与应变硬化的关联特性。

报告 2

复现高超声速飞行条件激波风洞实验技术及其应用

姜宗林

中国科学院力学研究所 高温气体动力学国家重点实验室

摘要：高超声速飞行是未来宇航技术的支柱，代表了一个国家“进入、探索、利用空天”的能力。世界上各宇航大国都在不断推动各自的高超声速计划，美国在关键技术探索方面已经形成优势。风洞实验技术一直是新型飞行器研制的基本手段，一代风洞实验技术决定了一代飞行器的研制水平。高超声速飞行器的风洞实验需要模拟热化学反应与燃烧过程，突破了传统气动实验相似模拟原则，复现飞行条件下的风洞实验成为数据可靠性的基础，是高超声速风洞实验技术领域六十年来久攻未破的世界难题。LHD 提出了系统的爆轰驱动激波风洞理论，发明了体系完整的复现风洞实验技术，研制成功世界首座可复现 25~50km 高空飞行走廊内马赫数 5~9 飞行条件的 JF12 长实验时间超大型高超声速风洞，实现了风洞实验状态从“模拟”到“复现”的跨越。复现风洞实验技术由三大发明技术构成：(1) 大功率激波风洞爆轰驱动技术利用了爆轰燃烧大功率释放化学能的优势，变革了国际主流的机械能驱动模式。(2) 长实验时间激波风洞技术使得 JF12 复现风洞的实验时间相对于高焓风洞提高一个量级，基本满足超燃冲压发动机的试验需求。(3) 基于 JF12 复现风洞的先进测量技术大幅度提升了高超声速试验数据的可靠性。应用复现风洞实验技术已完成了国家重大专项和航天集团多个型号的系列气动力 / 热和重大特种试验，发挥了不可替代的作用。其中关键技术考核避免了飞行事故，提升了设计水平；全尺度模型气动特性试验揭示了困扰飞行试验的未知物理现象及其规律。复现风洞实验技术引领了国际先进高焓风洞技术的发展，得到了国际激波学会(ISWI)和美国宇航学会(AIAA)该领域两个最权威学术机构的高度评价，美国政府连续三年在提交国会的年度报告中表达了重点关注。

报告 3

金属材料力学性能辐照效应的多尺度模拟

段慧玲

北京大学工学院 力学与工程科学系

摘要: 核辐照效应引起的辐照缺陷会导致金属材料发生辐照硬化、辐照脆化以及功硬化系数下降等现象,进而使得金属材料的力学性能劣化。为有效预测金属材料在辐照条件下的热力耦合性能,我们建立了一套基于自洽理论的辐照晶体多尺度塑性模型。在晶粒尺度,在传统晶体塑性模型的基础上提出了考虑温度效应的辐照晶体张量模型,并且有效的分析了辐照缺陷与位错的相互作用;在多晶尺度,采用弹粘塑性自洽理论建立了从晶粒尺度到多晶尺度的跨尺度联系,进而有效预测多晶辐照材料的力学性能。基于该模型,分析了面心立方(FCC)和体心立方(BCC)材料力学特性的辐照效应,包括:辐照硬化、功硬化系数下降、过屈服点应力下降以及温度的升高使材料的屈服强度和功硬化系数下降等现象。然后,在辐照晶体多尺度塑性模型的基础上,考虑了晶界效应和界面效应,进一步预测了纳晶材料和聚晶材料的力学性能。

报告 4

轻质格栅结构的反常弹性波动行为

汪越胜

北京交通大学土木建筑工程学院力学系

摘要: 该报告基于周期结构波动力学的理论提供了一种思路,以设计轻质的格栅结构使其:(1)具有尽量宽而低的完全带隙;(2)具有某些反常的波动传播行为。其中对于前者还同时从拓扑结构优化和实验测试方面进一步验证了设计思路的可行性。

报告 5

柔性电子器件研究中的若干关键力学问题

苏业旺

中国科学院力学研究所 非线性力学国家重点实验室

摘要: 由于硅和金属材料的破坏应变较低($<1\%$),传统电路一般不具有变形能力。柔性电子器件利用合理的力学结构设计,使得器件在整体发生了弯曲、折叠、拉伸等较大变形的情况下,仍然不被破坏。通过这种力学特性,平面上印刷制备的电路可以被转印到任意不可伸展曲面上,这在医学和人机界面等领域有着广泛的应用前景。力学结构设计和定量分析是实现柔性电子器件可变形性以及可伸展性的保障。经过过去十年的努力,柔性电子器件的结构设计不断革新,从一维结构到二维和三维结构,从简单结构到多级分形结构,从自由无约束结构到粘接结构,其力学性能不断提高,并趋于多样化,满足了不同应用的需求。这里就柔性电子器件的力学结构设计和理论分析展开讨论,包括:岛桥结构的后屈曲分析;可膨胀医学导管中的有限变形问题;分形结构设计及递推理论建模;柔性压电能量搜集器的电压测量问题以及软硬叠层力学结构的优化分析等。

报告 6

肝脏细胞-分子的力学-化学-生物学耦合与应用

龙 勉

中国科学院力学研究所 中国科学院微重力重点实验室
工程化构建与力学生物学北京市重点实验室

摘要：肝脏微循环是人体独特的血液循环，具有复杂的肝血窦结构。血流剪切作用下不同肝系细胞与外周血细胞/肿瘤细胞在肝脏三维生理微环境下发生相互作用，其中流动的白细胞、肿瘤细胞与肝内驻留的肝内皮细胞、巨噬细胞间的粘附对于肝脏炎症反应、肝内肿瘤转移等病理生理过程至关重要。基于生物力学与力学-化学-生物学耦合视角，所关注的科学问题主要包括：1) 血流剪切作用下外周血细胞与驻留肝系细胞间的粘附是如何发生的？2) 如何量化影响细胞粘附的力学敏感蛋白质间作用强弱和反应快慢？3) 如何模拟力学敏感蛋白质的构象变化来指导对蛋白质功能的调控？4) 如何构建模拟肝脏生理微环境的体外三维肝血窦模型用于多细胞体系、跨尺度的功能验证？本文采用细胞粘附力学模型与分子动力学模拟、细胞-分子生物力学实验、细胞-微组织生物学功能验证与三维肝组织工程化构建等相结合的策略，重点关注模拟生理肝血流剪切作用下循环流动细胞间及其与血管内皮细胞的碰撞、聚集、粘附、爬行、跨内皮转运等动力学过程，量化关键力学敏感蛋白（如细胞粘附分子、力学传导信号分子等）的作用机制，以期诠释力学原理和工程化方法对认识上述生物医学问题的独特贡献。

报告 7

溶解润湿动力学

袁泉子 赵亚溥

中国科学院力学研究所 非线性力学国家重点实验室

摘要：溶解润湿在众多自然和工业过程中起着重要的作用。然而，由于溶解和移动接触线耦合的复杂性，并且给三相接触点带来了新的奇异性，对于溶解润湿动力学的规律和机理仍然未有很好的认识。通过分子动力学模拟和分子动理论相结合的方法，我们定量地研究了可溶解固体表面液滴铺展的过程。移动接触线在后退的固体表面前进，与此同时固体粒子受其水合层作用，溶解入液体之中，导致液体和固液界面性质的改变、质量和动量的耦合输运、氢键网络的变化，并引入新的时空尺度。取决于溶解能和界面能的相互竞争，溶解润湿的标度指数在 $1/10$ 到 $1/7$ 之间变化($1/10$ 表示不溶解润湿的标度指数)。取决于溶解速度和接触线速度的相互竞争，固体粒子显示出不同的溶解行为。最后，为了展示溶解润湿的重要应用，我们模拟了流体侵蚀可溶解固体球和可溶解流道的过程。我们的研究揭示了溶解润湿动力学的规律和机理，为相关领域的应用提供理论指导。

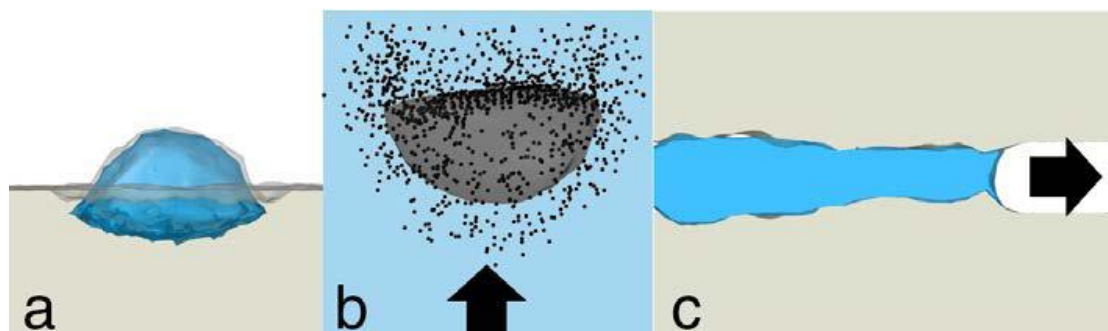


图. (a) 液滴在可溶解固体表面铺展; (b) 流体侵蚀可溶解固体球; (c) 流体侵蚀可溶解流道。

报告 8

声子玻璃与水下宽频强吸声材料

王育人

中国科学院力学研究所 国家微重力实验室

摘要: 随着国家安全形势的日益严峻, 更高性能的水下强吸声材料越来越受到关注。静水压力的增大使得传统吸声材料性能急剧下降。针对这一问题, 我们引入局域共振理论, 发展了一种称为声子玻璃的水下宽频强吸声材料。本报告从吸声机理、材料制备及存在的相关力学问题等几个方面对声子玻璃进行了介绍。

报告 9

MHD 效应下 Ar 气泡驱动液态金属 GaInSn 流

倪明玖

中国科学院大学工学院

摘要: 以磁约束聚变堆液态锂壁为研究背景, 基于自适应网格, 发展MHD相容守恒格式, 并结合VOF方法, 对磁场作用下Ar气泡驱动的GaInSn流进行直接模拟, 分析磁场对涡结构及气泡动力学行为的影响。

报告 10

Navier-Stokes 方程的加权残数最优动力系统研究

吴锤结

大连理工大学航空航天学院

摘要: 在过去近25年中, 在LNM和国家自然科学基金资助下, 我们发展了一个独立创新的、包含POD方法的最优动力系统建模理论, 并将其用于流体动力学特性分析及其低维动力系统研究中。这一理论包含三代结果, 第一代是余量极小的最优动力系统建模理论; 第二代是残差极小的最优动力系统建模理论; 第三代是加权残数极小的最优动力系统建模理论。最近得到的第三代理论完美地提供了该理论的数学框架。本报告汇报在三维非定常Navier-Stokes方程以及基于螺旋波分解的三维非定常Navier-Stokes方程的最优动力系统建模研究进展。

报告 11

碳纳米管、石墨烯宏观多孔材料力学性能的调控机理研究

王超

中国科学院力学研究所 非线性力学国家重点实验室

摘要: 以碳纳米管、石墨烯为基体合成的新型宏观纳米多孔材料在储能、环境保护、水过滤等领域有着广阔的应用前景。与碳管、石墨烯单体具有极其优良的力学性能形成

强烈反差，由于弱的界面作用，它们的宏观聚合体材料的力学性能很差，无法满足工程需要。本研究通过粗粒化分子动力学模拟研究了碳管、石墨烯聚合体多孔材料的微观结构特征极其与宏观力学性能的相互关系，进一步研究了物理、化学交联对其力学性能的调控机理。该研究在工程方面能够为优化提升这类新型纳米多孔材料的力学性能提供科学指导，在基础科学方面，也为发展基于微结构特征的纳米多孔材料本构关系提供依据。

报告 12

重力效应对惯性颗粒在各向同性湍流中聚团和相对扩散的影响

晋国栋

中国科学院力学研究所 非线性力学国家重点实验室

摘要：湍流诱导的颗粒相互碰撞在环境流动和工业流动中具有广泛而重要的意义。例如大气湍流会显著加速较低层暖云中云滴的碰并速率而加速形成雨滴；化工反应器中颗粒的碰撞会提高反应的速率。颗粒聚团和颗粒之间的相对速度是影响颗粒碰撞率的两个关键因素。一般情况下，颗粒在湍流中运动时会受到重力的作用。因此，在二相湍流中一般存在以颗粒 Stokes 数表征的惯性效应、Froude 数表征的重力效应和湍流强度之间的相互耦合作用。我们采用直接数值模拟的方法研究了湍流中重力引起的颗粒聚团程度和颗粒相对速度的改变：重力使得 Stokes 数小于 1 的颗粒聚集程度和颗粒相对速度的间歇性减弱，而使得 Stokes 数大于 1 颗粒的聚集程度和颗粒相对速度的间歇性增强。我们提出了一个有效 Kubo 数来表征重力对颗粒所见流体特征时间的影响，并从颗粒相对扩散的角度分析重力引起颗粒相对速度间歇性改变的机理。

报告 13

受限液丝毛细不稳定性的起源

陈晓东 胡国庆

中国科学院力学研究所 非线性力学国家重点实验室

摘要：基于液滴的微流控技术是近年来快速发展的学科交叉研究领域，在实现生物化学分析的精准操控上有广泛的应用前景。相对于大量的实验研究，微通道中液滴生成的理论研究相对滞后。不同于自由射流，微通道中的液丝断裂在受限微通道中进行。液滴生成机理与自由射流的断裂机理有必然的相似性，同时也存在固有的区别。本文采用直接数值模拟结合高速摄像实验的方法，重点关注断裂过程中液丝的形状变化规律，揭示微通道中受限液丝毛细不稳定性的起源。通过对不同通道几何结构下低毛细数液丝断裂的研究，发现了两种受限液丝毛细不稳定性机理。一种是由外部流体填充引起毛细压力梯度导致的毛细不稳定性；另一种是当断裂处毛细压力等于液丝内部压力时发生快速断裂。研究可为高通量液滴生成装置的设计和优化提供理论依据。

报告 14

拉压不同材料的变分原理及界限分析

郭 旭

大连理工大学工程力学系

摘要: 针对自然界和工程中广泛存在的拉压不同模量材料, 建立了系列统一变分原理及界限分析理论, 将传统针对光滑材料的变分原理和界限分析理论推广至了具有非光滑性质的本构系统。基于所建立的变分原理, 构造了具有二阶收敛率的高效数值分析框架, 并可方便的在商用软件中实现。

报告 15

Novel Plastic Mechanisms at the Nanoscale

Jun Wang

State Key Laboratory of Nonlinear Mechanics, Institute of Mechanics
Chinese Academy of Sciences

Abstract: Dislocation activities in metals and alloys might be most people's intuition at the first sight of plasticity. On the contrary, here we present dislocation-irrelevant plastic mechanisms such as phase transformation and influence of microstructures. These mechanisms take effect in nanoscale ceramics and semiconductors while they are well known for brittleness at the macroscopic scale. The finding broadens the knowledge of plasticity and sheds light on the structural design of nanomaterials with exceptional mechanical properties.

报告 16

Digital Manufacturing Enabled Active Composites and 4D Printing

H. Jerry Qi (齐航)

George W. Woodruff School of Mechanical Engineering
Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA
qih@me.gatech.edu

Abstract: Recent advances in digital manufacturing allow the precise placement of multiple materials at micrometer resolution with essentially no restrictions on the geometric complexity of the spatial arrangement. In this work, we exploit these advances and introduce a paradigm of active composites by 4D printing where the shape of printed 3D object can change upon external stimuli, thus offering one additional dimension for shape forming and control, the 4-th dimension of 3D printing. We directly print a composite in its initial 3D configuration from a CAD file that specifies the shape memory fiber (SMF) architecture at the lamina and laminate level. Later, the programmed action of the SMFs creates time dependence of the composite configuration change. This process has considerable design freedom to enable creation of composites with complex and controllable behavior via the prescribed microscopic material architecture. We design and print laminates in thin plate form that can be thermomechanically programmed to assume complex three-dimensional

configurations including bent, coiled, and twisted strips, folded shapes, and complex contoured shapes with nonuniform, spatially-varying curvature. We also show how the printed active composites can be directly integrated with other printed functionalities to create devices by demonstrating a structure that can assemble itself, such as printed origami and a folding box with complicated folding pathway.

报告 17

金属玻璃裂纹尖端场

陈艳 戴兰宏

中国科学院力学研究所 非线性力学国家重点实验室

摘要：室温低塑性是金属玻璃作为结构材料应用的一大瓶颈，认识金属玻璃塑性及断裂的微观机制是材料及力学等领域研究的重要课题。剪切带诱致的材料失效和孔洞化导致的脆性破坏是金属玻璃的两种典型断裂模式。裂纹尖端场，作为宏观断裂与微观变形（局域化剪切带、孔洞化）的桥梁，是揭示材料内在塑性和断裂机制的关键。目前为止，人们对金属玻璃裂纹尖端场的认识及其与宏观延脆的内禀关联尚不清楚。基此，该工作针对金属玻璃平面应变I型裂纹尖端场开展研究。考虑金属玻璃本征的变形特点（压力敏感、剪胀效应）及结构序参量演化，结合滑移线场和 J 积分理论，得到了金属玻璃裂纹尖端塑性区的应力、应变分布及形状大小的解析解，发现裂纹尖端塑性区的两个重要特征尺寸 R_{\max} 和 R_x ，分别表征材料的塑性流动能力和孔洞化难易程度，两者的竞争控制材料的断裂模式。进一步基于剪切转变区动力学，得到了裂纹尖端塑性区失稳或裂纹起裂对应的临界应力强度因子及塑性区尺寸；阐明了泊松比、压力敏感系数、剪胀因子等对裂纹尖端场的影响规律；从塑性区出发，建立了金属玻璃的延脆转变图谱，揭示了金属玻璃的宏观延脆不仅与裂纹尖端塑性区的大小相关，同时依赖于塑性区形状的转变。

报告 18

我国大西南超大地震的预测和追踪

尹祥础

中国地震局地震预测研究所

摘要：根据中国大陆LURR⁽¹⁾的时空演化,我们发现：从本世纪初开始，我国的大西南⁽²⁾出现超大时空尺度的LURR异常，这意味着：该区域正在孕育一个超大地震⁽³⁾。为此我们一直追踪该地区的LURR演化情况，并且及时调整其地震趋势预测。先后20多次在中外学术会议上交流。2014年8月的预测是：2015年7月（ ± 25 个月）将发生Ms8.6（ ± 0.7 ）地震。2015年4月25日发生在中-尼边界（尼泊尔一侧）的Ms8.1地震，就是我们预测的大西南超大地震的一部分。该地震后，其LURR异常不仅没有消减，甚至有所加强。所以未来还可能发生大事件。

注：

(1) LURR-是加卸载响应比（Load-Unload Response Ratio）的英文缩略词。材料在弹性阶段，其加载响应（例如变形模量）等于卸载响应；但是材料受到损伤后加载响应不等于卸载响应。所以，材料加载响应和卸载响应的比，反映了材料的损伤程度。地震的物理

实质是孕震体的快速脆断，地震的孕育过程是孕震体材料的损伤演化过程。因此，LURR能够刻画孕震过程，从而用于地震预测。

(2) 大西南-这次的LURR异常范围包括青、藏、云、贵、川（传统的西南地区），还波及桂、粤、琼和邻国（尼泊尔、缅甸、印度、不丹、锡金、巴基斯坦...等）的部分地区。统称为大西南。

(3) 超大地震-通常震级大于7级的地震称为大地震。 $M \geq 8$ 的地震被称为巨震、或超大地震。

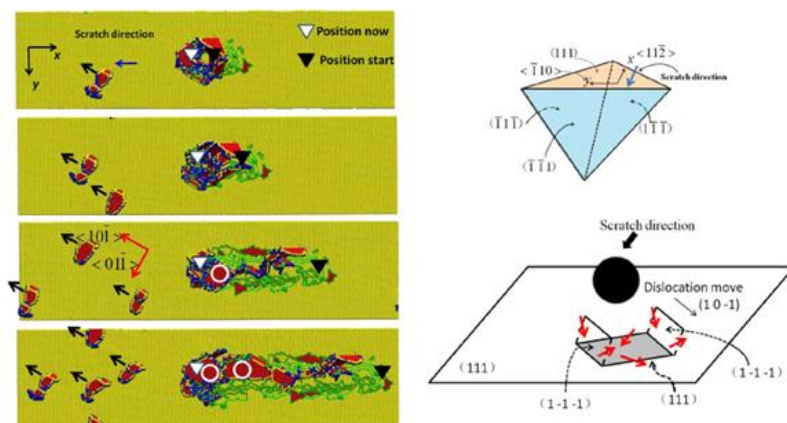
报告 19

微尺度塑性与界面摩擦行为的研究

刘小明

中国科学院力学研究所 非线性力学国家重点实验室

摘要：传统的界面润滑在微纳米接触应用中存在一定的缺陷，例如液体润滑会引起比较大的毛细张力、产生静电力或者发生界面化学反应。本文目的希望通过表面微结构调节塑性变形能力进而主动控制系统的摩擦学性能，研究材料表面微结构对塑性变形载体位错、层错或位错环的吸收、排斥作用，研究小尺度原子堆积对于摩擦性能的影响。初步给出了材料摩擦学性能和微结构的内在关系，为构造性能优异的摩擦学系统提供理论依据。



报告 20

块体金属玻璃室温拉伸流变塑性的实验研究

郇勇

中国科学院力学研究所 非线性力学国家重点实验室

摘要：金属玻璃的拉伸塑性一直是制约其应用的关键因素。提高温度很容易使金属玻璃出现拉伸流变现象，但室温下块体金属玻璃很难产生拉伸流变塑性。目前发现的金属玻璃塑性变形主要来源于剪切带机制，在压缩和弯曲情况下可通过多重剪切带产生塑性，但在拉伸情况下却很难实现。本报告采用激光加工技术对块体金属玻璃表面进行预处理，通过应力场的“流场化”使其在室温下呈现出拉伸流变现象，应力—应变曲线显示了明显

的塑性，同时，断口形貌发现了类似于“发胶”状立体熔融毛锥，证明金属玻璃发生了流变。这一研究从实验上证实了金属玻璃的流体属性，有助于推进对金属玻璃物质结构的认识。

报告 21

Some Studies on the Hydrodynamics of Fishlike Swimming

Xiyun Lu

Department of Modern Mechanics,
University of Science and Technology of China

Abstract: In this talk, I will attempt to provide an overview on the hydrodynamics of fishlike swimming based on our recent work. Some typical aspects are presented which include biomechanical properties for some fish species, self-locomotion of flapping flexible body, hydrodynamic interaction of multibodies, vorticity dynamics of flapping locomotion, and the relevant biomimetic technology.

报告 22

生命体系中的微流体系统

秦建华

中国科学院大连化学物理研究所

摘要: 生命体系是一种复杂的多维、多尺度的动态微系统，涉及多组织器官类型、组织-组织界面、微流体输运、分子梯度和细胞微环境等生物化学与生物物理因素，与人体的生理、病理过程密切相关。该报告针对复杂生命体系中的关键要素和特点，以作者课题组近几年的研究为基础，以极具发展潜力的微流体技术为核心平台，着重介绍生命体系中的微流体特点、以及微流体技术在生物力学微环境模拟、流体界面形成与组织微环境构建等方面的应用，并对其在转化医学中的应用前景予以展望。

报告 23

Brittle vs Ductile Fracture in Amorphous Alloys: from Metallic Glasses to Lithiated Si Electrodes

Huajian Gao

School of Engineering, Brown University

Abstract: Fracture toughness is a critical property of engineering materials. A common perception is that the ability of materials to deform plastically is a key to enhance the toughness of the material. While this view is widely studied in crystalline materials, there exist apparent paradoxes in amorphous materials. For example, metallic glasses are capable of plastic deformation via shear transformation zones, but their fracture toughness varies in

several orders of magnitude, resulting in nearly ideally brittle to ductile fracture behaviors. Lithiated Si electrodes exhibit plastic deformation but their measured fracture toughness values are close to those of ideally brittle solids. In this talk, I will present some recent understanding on these issues from large scale molecular dynamics simulations of fracture in a range of amorphous solids including various metallic glasses [1] and lithiated Si electrodes [2]. The results indicate that the ability of materials to suppress nanoscale cavitation may play an equally important role as plastic deformation in enhancing fracture toughness. The discussions will be organized around the current understandings based on existing experimental, theoretical and simulation efforts, as well as the outstanding questions that require further studies in the future.

Selected references:

- [1] P. Murali, T.F. Guo, Y.W. Zhang, R. Narasimhan, Y. Li and H. Gao, "Atomic Scale Fluctuations Govern Brittle Fracture and Cavitation Behavior in Metallic Glasses," 2011, Physical Review Letters, Vol. 107(21), Art. No. 215501. (DOI:10.1103/PhysRevLett.107.215501)
- [2] B. Ding, XY. Li, X. Zhang, H. Wu, Z.P. Xu and H. Gao, "Brittle Versus Ductile Fracture Mechanism Transition in Amorphous Lithiated Silicon: from Intrinsic Nanoscale Cavitation to Shear Banding," 2015, Nano Energy, Vol. 18, pp. 89–96 (DOI:10.1016/j.nanoen.2015.10.002)

报告 24

石墨烯复合材料力学设计和纳尺度物质运输

吴恒安

中国科学院材料力学行为和设计重点实验室 中国科学技术大学近代力学系
wuha@ustc.edu.cn

摘要: 本报告主要介绍报告人近三年在石墨烯复合材料力学设计和纳尺度物质运输方面的研究工作。研究了石墨烯-金属层状复合材料的冲击响应,发现石墨烯很小的弯曲刚度可以引起金属层间反射并且削弱冲击波,石墨烯面内稳定的 sp^2 成键结构约束了位错的成核,并且可以在冲击后对材料进行自我修复;研究了褶皱石墨烯包裹的纳米颗粒的自适应应变松弛的优化机制,发现在纳米颗粒电极多次充放电循环导致不断膨胀及收缩过程中,石墨烯的褶皱变性能和面内拉伸应变能相互转化,承载了部分载荷,从而提高循环稳定性和放电效能。发现水分子可以进入到间隙只有0.7nm左右的两层石墨烯形成的纳米通道中,水分子在石墨烯纳米通道自发形成二维的晶体状类固体结构,该结构被认为是水快速通过石墨烯通道的原因,揭示由于蒸发和纳米通道毛细作用联合驱动下水的定向流动机理;预测了常温下石墨烯薄膜受限水的形态和机理,即在范德华压力作用形成的方形冰结构;研究了受限水在压力控制下的相变和相图。简要介绍纳米力学应用在页岩油气微观驱替方面的初步工作。

个人简介: 吴恒安,中国科学技术大学工程科学学院近代力学系,教授,博士生导师,工程科学学院副院长,中国科学院材料力学行为和设计重点实验室主任。1975年7月出生于湖北省黄冈市红安县,1997年7月获得中国科学技术大学理论与应用力学学士学位,2002年6月获得中国科学技术大学固体力学博士学位,同年获中国科学院院长奖。2002

年8月-2004年2月在新加坡国立大学机械工程系任博士后研究员，2004年2月任中国科学技术大学工程科学学院近代力学系副教授，2010年6月晋升教授。曾获得2013年度安徽省杰出青年科学基金，2014年度中国科学技术大学杰出研究校长奖，2015年度国家杰出青年科学基金。主讲本科生<<材料力学>>和<<计算力学基础>>课程，研究领域包括：[1]“微纳米力学”[2]“计算力学方法及其工程应用”。曾在香港大学、美国普度大学、英国曼彻斯特大学进行合作研究。已在Science、Nature、Nature Communications、Journal of the American Chemical Society、ACS Nano、Scientific Reports、Carbon、Soft Matter、Nanotechnology、Applied Physics Letters和Journal of Petroleum Science and Engineering等学术期刊发表被SCI收录论文60余篇，被SCI他引1100余次。（2015年12月）

报告 25

电动汽车动力锂电池机械完整性研究

许骏

北京航空航天大学交通科学与工程学院汽车工程系

北京航空航天大学先进载运科学研究中心

新能源汽车高效动力传动与系统控制北京市重点实验室

摘要：随着人类对能源、环境以及可持续发展所面临问题的日益重视，汽车行业已经开始发生结构性的由传统内燃机动力转变为以电为主要能源动力来源。作为新型能源，温度、机械、电载荷均会导致动力锂电池发生机械完整性失效，进而产生失火、爆炸等严重安全事故。本课题组目前针对机械载荷，也即发生冲击、碰撞事故过程中，锂电池的机械力学行为进行了初步研究。通过实验研究发现了锂电池结构及其组分材料机械力学性能的充电状态依赖性、载荷应变率敏感性以及各向异性。进一步地，建立了能够准确预测不同机械载荷下锂电池结构力学响应的有限元模型并用实验进行验证。相关研究成果为锂电池的机械完整性研究提供了初步理论基础并为设计相关锂电池防护系统提供了工程指导。

报告 26

Heterogeneous Nanostructures Enable Simultaneous High Strength and Ductility

Evan Ma

Department of Materials Science and Engineering

Johns Hopkins University, Baltimore, MD 21218, USA

ema@jhu.edu

Abstract: Nanostructured metals, and amorphous metals (in particular metallic glasses), are currently at the frontier of metallic materials research. These non-equilibrium materials boast a high strength, but their low ductility has been a major concern. Here, using selected cases from each class of metals, we advocate purposely designed structural inhomogeneity, in a compositionally uniform and single-phase material, to help stabilize the plastic flow. For nanostructured metals, we highlight schemes of heterogeneous grain distribution for enhanced

strain hardening rate to suppress plastic instability, enabling uniform tensile elongation on par with coarse-grained counterparts. For amorphous metals, we outline current tactics (the 4R's) to improve their deformability, by tailoring the local structural, and consequently mechanical, heterogeneities inherent in the monolithic glassy state. Highly rejuvenated structures led to tensile ductility and necking, which is usually absent for glasses at room temperature. These advances point to new possibilities of microstructural design and processing, and motivate future research and innovations, in pushing the envelope of ductility accessible to these high-strength metals.

Brief bio:



E. Ma did his graduate work at Tsinghua University (China) and Caltech, followed by postdoc sojourns at MIT and Univ. of Michigan. He was an assistant professor at LSU and is currently a professor in the Department of Materials Science and Engineering at Johns Hopkins University. Prof. Ma has published ~290 papers (w/ ~18,000 citations and h index=70) and presented ~110 invited talks at international conferences. He is an elected Fellow of ASM, APS, and Materials Research Society (MRS). Dr. Ma has also been an adjunct professor at Xi'an Jiaotong Univ. (China) since 2009. His current research interests include amorphous metals (metallic glasses), chalcogenide phase-change alloys for memory applications, nanostructured metals, plasticity mechanisms, and in situ transmission electron microscopy of small-volume materials.

报告 27

原子尺度下纳米材料的原位研究

孙立涛

东南大学-FEI纳皮米中心, MEMS教育部重点实验室, 南京 210096

Email: slt@seu.edu.cn

摘要: 我们借助可实现皮米分辨的超高分辨球差校正透射电子显微镜和自制的原位操纵与性能表征平台, 基于“将纳米实验室建在透射电子显微镜里”的想法, 从材料的原位生长、结构加工、性能表征和器件构建等四个方面介绍我们研究小组近几年的主要基础前沿研究工作。同时, 基于原位实验研究的结果, 初步探索了纳米材料的可能应用: 将原位加工的石墨烯纳米孔用于第三代基因测序系统; 实现了石墨烯材料从多孔到高致密三维结构的自下而上按需构筑; 首次报道了石墨烯多孔结构的超高效吸附特性; 发现了10nm以下固态金属纳米颗粒的累液态行为; 基于石墨烯和氧化石墨烯, 制备了超灵敏湿度、压力传感器和热电微执行器等。

参考文献:

- [1] L. Sun, F. Banhart, et. al., Science 312, 1199 (2006)
- [2] J. R-Manzo, M. Terrones, et.al., Nature Nanotechnology 2, 307 (2007)
- [3] X. Liu, T. Xu, et al., Nature Communications 4, 1776 (2013)
- [4] H. Qiu, T. Xu, et al., Nature Communications 4, 2642 (2013)
- [5] X. Li, X. Pan, et al., Nature Communications 5, 3688 (2014)
- [6] X. Guo, G. Fang, et al., Science 344, 616 (2014)

[7] J. Sun, L. He, et al., Nature Materials 13, 1007 (2014)

报告人简介:



孙立涛, 东南大学特聘教授, 博导, 国家杰出青年基金获得者。电子科学与工程学院副院长, MEMS教育部重点实验室副主任, 东南大学-FEI纳皮米中心主任。长期从事纳米材料制备、表征与应用方面的研究工作; 基于原位动态电子显微学技术, 发展了多种从原子尺度上直接开展各种实验的新技术与新方法。成果发表于权威SCI文章100余篇(其中Science 2篇 Nature子刊7篇)。申请中国专利41项, 授权12项, 国际专利3项, 做国际会议邀请报告30余次, 曾获“江苏省十大青年科技之星”等荣誉称号。目前任《电子器件》杂志主编, 江苏省真空学会秘书长, 江苏省十一届青联常委, IEEE纳米技术委员会南京分会主席, 中国电子显微学会常务理事, 中国石墨烯产业技术创新战略联盟标准委员会委员, 江苏省石墨烯产业技术创新战略联盟副秘书长, 欧盟10亿欧元“石墨烯旗舰项目”国际评审专家。

报告 28

屈曲引导的微尺度三维结构组装方法

张一慧

清华大学 航天航空学院工程力学系

摘要: 微纳米材料形成的三维结构在细胞骨架、神经网络、脉管网络等生物系统中广为存在, 并提供着生命体最基本的功能。现有微尺度三维结构的组装/制备方法却较为局限, 尤其是缺乏高性能半导体材料(譬如单晶硅)的复杂三维结构成型方法。本报告介绍一种基于力学屈曲的微尺度三维结构组装方法, 该方法通过压缩屈曲将初始体现为二维构型的薄膜状结构变形成为三维结构。采用基于有限元方法的大变形后屈曲分析模型, 设计出四十余种代表性三维几何拓扑, 包括单螺旋、双螺旋、环形螺旋管、锥状螺旋、球形笼、长方体笼、星型结构、花型结构、空间支架等单层或多层网络状结构, 与微尺度实验结果吻合很好。进一步引入剪纸设计思想, 将该方法拓展至三维曲面结构的屈曲成型, 实现了几十种更为复杂的微尺度三维结构。该方法不仅适用于半导体、金属、聚合物等高性能材料, 而且适用于各种不同特征尺度(从纳米至厘米量级)的三维结构组装, 在生医器件、集成电路、光学器件等方面有重要应用前景。

报告 29

超弹性颗粒增强复合材料在有限变形下的本构建模研究

Hyperelastic Constitutive Modeling of Particle-Reinforced Composites in Finite Deformation

郭早阳

北京航空航天大学 航空科学与工程学院

摘要: 虽然对线弹性复合材料在小变形下力学性能的研究已非常深入, 我们对复合材料在有限变形下力学性能的理解还很受局限, 这主要是因为问题的几何非线性与材料非线

性所造成的理论困难。在本报告中,我们首先通过数值均匀化(Numerical Homogenization)方法,研究了颗粒随机分布时超弹性颗粒增强neo-Hookean复合材料在有限变形下的力学性能。通过建立代表体积单元模型(Representative Volume Element, RVE)考虑不同的颗粒体积分数和各种颗粒-基体的刚度比,用有限元方法(FEM)模拟了RVE模型在各种载荷作用下(包括单轴拉伸、单轴压缩、剪切、一般变形等)材料的力学响应。数值结果表明:若复合材料的组成相(即颗粒和基体)皆为不可压缩neo-Hookean材料,则复合材料本身在宏观上仍具有不可压缩neo-Hookean特性,而且其剪切模量与小变形下的经典广义自洽模型非常符合。

随后,我们还研究了颗粒成链状分布的超弹性颗粒增强复合材料在有限变形下的力学性能。通过将颗粒链等效成虚拟纤维,链状模型可转换成纤维增强复合材料模型,并建立其本构模型。数值模拟的结果表明该模型能很好地预测材料在一般变形下的力学性能。最后讨论的是内含孔洞超弹性材料的力学性能,通过数值方法可得到材料在等体积(有限)变形下的等效剪切模量。通过将变形分解为体积变形部分和等体积变形部分,可建立含孔洞超弹性材料的本构模型。该模型与数值模拟结果也吻合得比较好。

个人简介: 郭早阳,男,于1996年、1999年分别获清华大学土木工程系结构工程学士、硕士学位,2004年获美国西北大学博士(导师Bazant教授)。2006-2010年,在英国格拉斯哥大学担任土木工程系和机械工程系的双聘讲师。于2010年6月被英国纽卡斯尔大学聘用为Reader,于2011年11月被重庆大学引进到工程力学系任教授、博导,2012年入选中组部第二批“青年千人计划”。2014年调到北京航空航天大学航空学院固体所任教授。主要研究方向包括:复合材料、材料成型分析、计算生物力学、纳米力学、结构力学、连续介质力学和计算力学、结构的断裂、稳定性和破坏分析、非线性材料和结构的力学性质研究等。