

第三届全国爆炸与冲击动力学青年学者 学术研讨会报告综述¹⁾

高光发^{*,2)} 雷天刚[†] 戴兰宏^{**}

^{*}(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

[†](国家自然科学基金委员会数理科学部, 北京 100085)

^{**}(中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室, 北京 100190)

摘要 简要介绍了第三届全国爆炸与冲击动力学青年学者学术研讨会的情况, 概况总结了与会学者所做的报告内容. 报告包括 4 个特邀报告、19 个专题邀请报告和 17 个主题邀请报告, 其中主题邀请报告分为爆轰和爆炸动力学、结构动力学和多尺度高性能计算、材料动力学和实验测试技术、复合材料结构的动态力学行为、轻质结构的吸能特性和优化设计等 5 个主题. 研讨会为从事爆炸与冲击动力学的青年学者开展学术交流、建立学术友谊、增强学术合作提供了优秀平台, 对学科的建设和发展起到了积极推进作用.

关键词 爆炸与冲击动力学, 青年学者, 学术研讨会

中图分类号: O38 文献标识码: A doi: 10.6052/0459-1879-20-150

REVIEW OF THE THIRD NATIONAL SYMPOSIUM ON EXPLOSION AND IMPACT DYNAMICS FOR YOUNG SCHOLARS¹⁾

Gao Guangfa^{*,2)} Lei Tiangang[†] Dai Lanhong^{**}

^{*}(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

[†](Department of Mathematical and Physical Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China)

^{**}(State Key Laboratory of Nonlinear Mechanics, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract The Third National Symposium on Explosion and Impact Dynamics for Young Scholars was briefly introduced and all of the scientific reports presented at this symposium were reviewed. The scientific reports include four invited talks, nineteen thematic invitations and seventeen topic invitations, which were divided into five research topics, i.e. Detonation and Explosion Dynamics, Structural Dynamics and Multi-scale High Performance Computing, Material Dynamics and Experimental Testing Techniques, Dynamic Mechanical Behavior of Composite Structures, and Energy Absorption Characteristics and Optimization Design of Lightweight Structures. The symposium provides an excellent platform for the young scholars in the Explosion Mechanics and Impact Dynamics to conduct academic exchanges, establish academic friendship and enhance academic cooperation, and it also plays an active role in the construction and development of the discipline.

2020-05-06 收稿, 2020-05-07 录用, 2020-05-07 网络版发表.

1) 国家自然科学基金资助项目 (11842022).

2) 高光发, 教授, 主要研究方向: 冲击动力学、终点毁伤效应与防护. E-mail: gfgao@ustc.edu.cn

引用格式: 高光发, 雷天刚, 戴兰宏. 第三届全国爆炸与冲击动力学青年学者学术研讨会报告综述. 力学学报, 2020, 52(3): 1211-1219
Gao Guangfa, Lei Tiangang, Dai Lanhong. Review of the third national symposium on explosion and Impact dynamics for young scholars. *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2020, 52(3): 1211-1219

Key words explosion and impact dynamics, young scholars, symposium

引言

爆炸与冲击动力学是力学学科的一个分支学科,它属于一个专业性强的交叉学科,其涉及到物理学、化学、材料学等多个学科.爆炸与冲击动力学主要研究领域包括爆炸与冲击作用下材料/结构的动态响应与设计、材料/结构中应力波的传播与演化机制等及其在工程中的应用.随着我国新型交通运输技术、航空航天技术、武器装备技术、工程防护技术等飞速发展,其中材料和结构动态力学行为和损伤断裂形式、特种材料的爆炸加工与焊接、结构耐撞特性与吸能行为、新型防爆抗冲击材料的研发、武器的设计与优化、防护装备的研发与设计、工程爆破技术等等,这些属于爆炸与冲击动力学领域的研究得到广泛的关注和重视;也加速推动了我国爆炸与冲击动力学中爆炸驱动和冲击加载实验技术、爆炸与冲击安全理论与技术、爆炸与冲击多尺度高性能运算、各种高精度高性能新型测量技术的发展.大量的国家、地方和行业需求让爆炸与冲击动力学在近二十年来得到飞速的提高和发展,反过来,爆炸与冲击动力学的发展成果也为国防建设和国家经济建设提供了大量的技术支撑.在当前我国国防建设和航空航天技术高速发展的时期,爆炸与冲击动力学将会发挥更大的作用,也会继续被时代所推动而高速发展.

爆炸与冲击动力学及其相关学科的迅速发展,及时了解国内外最新研究进展对青年学者成长非常重要,而发展国际领先的创新方法、解决本领域前沿科学问题,迫切需要在研究队伍方面培育新的增长点.为了对学科发展的新趋势及面临的挑战进行深层次探讨,为青年工作者提供对爆炸与冲击动力学相关研究领域中共性科学问题进行深入交流、寻求交叉合作的机会,由国家自然科学基金委员会数理科学部和中国力学学会爆炸力学专业委员会联合主办,分别于2015年10月30日—11月1日由北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室承办“首届全国爆炸与冲击动力学青年学者学术研讨会”^[1]和2017年10月27—29日由中国科学技术大学近代力学系承办“第二届全国爆炸与冲击动力学青年学者学术研讨会”^[2],两次研讨会各邀请了40名左右爆炸与冲击动力学领域具有良好发展潜力的青年

学者报告各自的最新研究进展,并针对当前共性热点和难点问题进行了交流和讨论.这两次会议使得与会青年学者深感获益良多,也展示了我国爆炸与冲击动力学领域青年学者的巨大发展潜力,对于培养爆炸与冲击动力学领域青年优秀人才、促进我国爆炸与冲击动力学学科的可持续发展具有重要意义.

2019年10月18—20日,由南京理工大学承办的“第三届全国爆炸与冲击动力学青年学者学术研讨会”在南京顺利召开,南京理工大学高光发教授担任本届研讨会主席.

国家自然科学基金委员会数理科学部力学处处长雷天刚研究员、发展战略与规划处副处长张攀峰研究员,中科院院士、南京理工大学芮筱亭教授,南京理工大学党委书记张骏教授,中国力学学会副理事长、爆炸力学专业委员会主任委员戴兰宏研究员,爆炸力学专业委员会秘书长王成教授,南京理工大学机械工程学院党委书记吴志林教授、院长陈雄教授,科研院综合计划处梁祎副处长,瞬态物理国家重点实验室常务副主任陈志华研究员,中国工程物理研究院流体物理研究所王桂吉研究员,华南理工大学姚小虎教授,北京理工大学机电学院副院长刘彦教授等特邀嘉宾与会.来自近30所高校和研究所的80余位特邀代表和青年学者参会.会议开幕式由南京理工大学机械工程学院院长陈雄教授主持.

开幕式上张骏教授致欢迎词,他代表承办方向与会的各位嘉宾表示热烈欢迎,对基金委领导和各位同行的支持表示衷心感谢.张骏教授简要介绍了南京理工大学的基本情况、优势学科专业以及取得的重大科研成果.他指出,爆炸与冲击动力学是南京理工大学兵器科学与技术学科的重要组成部分,一大批专家学者长期从事该领域的基础理论研究和关键技术攻关,产出了一批标志性成果,为我国国防装备研制与发展做出积极的贡献.在国家自然科学基金委的持续稳定支持下,我国青年学者正处于科学研究的黄金时代.第三届全国爆炸与冲击动力学青年学者学术研讨会,聚焦基础研究,促进学术交流,必将有力推动该领域基础研究的发展和青年人才的培养.

雷天刚研究员表示,期望与会青年学者能够拓展爆炸与冲击动力学,把爆炸与冲击动力学做大做强.面对爆炸力学发展所面临的问题,他认为需要

借鉴固体力学、材料结构功能一体化等方向的研究内容, 进行跨学科交叉融合研究, 将其他学科的成果和方法运用到爆炸与冲击动力学中。戴兰宏研究员回顾了青年研讨会学术交流平台的创立和发展历程, 并代表爆炸力学专业委员会对基金委领导、特邀嘉宾、承办方南京理工大学的支持表示衷心感谢。他高度评价了爆炸力学领域获得国家最高科学技术奖的三位老先生以及芮院士团队、南京理工大学对国防军工发展做出的贡献, 认为青年人才决定了爆炸力学学科的发展进程, 期望与会青年学者能够像老一辈专家在爆炸力学领域为国家做出贡献。

本次研讨会的学术报告分为特邀报告、专题邀请报告和主题邀请报告三种类型。在特邀报告中, 芮筱亭教授、王成教授、姚小虎教授、王桂吉研究员等 4 位特邀学者分别就武器系统安全性动力学、爆炸毁伤的高精度计算方法及其应用、聚合物软材料温度耦合应变率力学性能及其本构理论、电磁驱动实验装置、技术及应用等方面深入介绍了爆炸与冲击动力学相关领域的研究成果和最新进展, 并分享了科学研究经验。王成教授、姚小虎教授分别主持了特邀报告环节。

在专题邀请报告中, 19 位 40 岁以下的青年学者结合自己承担的国家自然科学基金项目, 探讨了爆炸、冲击或能量突然沉积等强动载荷作用下, 介质、材料与结构的力学响应、效应及工程技术应用等系列爆炸与冲击动力学问题, 与参会代表交流讨论了他们在研究过程中所遇到的问题和困难。在主题邀请报告中, 17 位 40 岁以下的青年学者围绕爆轰和爆炸动力学、轻质复合材料的动态力学行为、材料动力学和实验测试技术、结构动力学和多尺度高性能计算等 4 个主题依次进行汇报, 引起了与会代表的广泛讨论。下面对与会学者所做的报告内容进行简要介绍, 并附上相关的代表性论文作为参考文献供进一步了解。

1 特邀报告

特邀报告分别由北京理工大学王成教授和华南理工大学姚小虎教授主持。南京理工大学芮筱亭院士、北京理工大学王成教授、华南理工大学姚小虎教授和中国工程物理研究院流体物理研究所王桂吉研究员应邀做了特邀报告。

(1) 芮筱亭院士在题目为《武器系统安全性动力学研究》的报告^[3-4]中, 对当前国内外武器系统安全

性现状及存在的问题进行系统深入地剖析, 介绍了发射装药发射安全性研究进展, 并系统论述了发射装药发射安全性评定技术框架, 指出了评定发射装药发射安全性的判别准则。其中, 芮院士重点介绍了一种多体系统动力学新方法——“芮方法”的理论体系、研究进展与应用现状, 该多体系统传递矩阵法由于其无需系统总体动力学方程和快速计算的特点, 已被广泛用于各种多管火箭、自行火炮、舰炮等复杂大型机械系统动力学分析与设计, 该方法解决了自行火炮、多管火箭武器多体系统动力学的重大工程问题。最后, 芮院士介绍了爆炸力学对当前武器系统安全性研究的重要性, 并对其中关键的爆炸力学相关问题进行了说明。

(2) 王成教授在题目为《爆炸毁伤的高精度计算方法及其应用》的报告^[5-6]中系统介绍了当前爆炸毁伤与安全防护问题, 指出由于涉及气体、固体和液体等多种介质在极端载荷下的强非线性力学行为, 由于问题的复杂性, 数值计算成为当前研究该类问题的主要手段。王成教授还介绍了其团队所研发具有自主知识产权的高精度大规模仿真算法与软件, 特别是其中爆轰问题的高精度算法理论与格式、爆炸冲击波传播、多物质耦合数值仿真等方面的研究成果。该软件实现了可燃、可燃气火焰加速和燃烧转爆轰、炸药冲击起爆与爆轰、聚能射流形成与侵彻、密实介质中爆炸等典型爆炸毁伤问题的数值模拟, 并在我国重大爆炸事故调查和煤矿安全应用中得到了应用。

(3) 姚小虎教授在题目为《聚合物软材料温度耦合应变率力学性能及其本构研究》的报告^[7-8]中对透明聚氨酯、有机硅材料和丙烯酸基聚合物动态力学性能实验技术、实验方案和实验结果进行了系统详细的介绍; 在此基础上, 阐述了聚合物软材料的率温等效性特征及其失效准则, 给出了此类材料一般适用的热超黏弹性本构模型。

(4) 王桂吉研究员在题目为《电磁驱动实验装置、技术及应用》的报告^[9-10]中对脉冲大电流装置、电磁驱动实验技术及其在典型物理力学中的应用进行系统的介绍。首先, 对 CQ 系列电磁驱动准等熵加载装置和 PTS 电磁驱动装置进行了简要介绍; 在此基础上, 对电磁驱动实验技术、斜波(准等熵)加载实验技术、冲击压缩实验技术、柱面套筒内爆实验技术、磁压剪联合加载实验技术等电磁驱动实验技术原理与应用进行介绍; 最后, 对此类技术在材料

状态方程、强度和本构关系、相变和相变动力学、断裂、损伤等典型物理力学应用情况与实验结果进行了介绍。

2 专题邀请报告

专题邀请报告分别由王桂吉、刘彦、郑志军、郭亚洲和索涛等5位教授先后主持；19位40岁以下青年学者应邀做了专题邀请报告。

(1) 胡建波在《光、力作用下材料的微观尺度动力学研究》报告^[11-12]中介绍了超快电子衍射、动态X射线衍射等先进的超高时空分辨诊断技术，并利用该技术开展了材料在超短激光脉冲激发、激光冲击压缩等作用下的响应机理研究，获得了微观尺度上的深入认识，为相应尺度模型的建立和校验提供了物理基础。

(2) 郭亚洲在《金属材料的动态失效》报告^[13-14]中介绍了自己近年来的工作，主要包括三方面的研究内容：一是基于Hopkinson杆的动态实验技术，二是金属材料的绝热剪切失效机理，三是航空材料的动态变形与失效模型。其中着重介绍了其近期发表于顶级期刊物理评论快报(PRL)上的关于金属材料绝热剪切失效机制的工作。

(3) 陈力在《大空间燃气爆炸荷载特点和破坏效应研究》报告^[15-16]中介绍了所研发了开敞空间、泄爆空间和管廊空间三种典型空间的大型燃气爆炸试验系统，以及基于OpenFOAM进行的二次开发并结合FLACS进行的多种空间燃气泄漏爆炸精细化有限元分析；探讨了泄漏条件、浓度、气体体积、堵塞程度、泄爆阈值和面积、点火位置、布局和壁面条件等对火焰、温度和爆炸波等灾害链传播演化的影响规律。

(4) 柳占立在《爆炸冲击波作用下颅脑损伤与防护的计算和实验研究》报告^[17-18]中针对现代战场颅脑爆震伤防护需求，建立爆炸冲击波-头部流固耦合模型揭示了爆炸冲击波作用下颅脑损伤机理，为头部防护装备的生物防护效能提供评价标准；基于高仿真头颈部物理模型动态测试系统与激波管实验平台，建立头盔生物防护效能的评价体系，对现役头盔防护性能评价与新型头盔研发提供实验测试平台。

(5) 胡玲玲在《力学超常材料和应力波调控》报告^[19-20]中介绍了拉胀材料在大变形下力学性能的理论模型，实现了对其力学性能的预测、调控和设计。提出构建三维力学超材料的一种空间斜杆手性旋转

新机制。据此设计了具有3个方向可控的三维拉胀材料，并设计了新型的三维压扭耦合超材料，且克服了压扭耦合效应存在范围小的不足。

(6) 张超在《复合材料层间断裂韧性的率相关性研究》报告^[21-22]中介绍了一种单轴双向电磁霍普金森杆对双悬臂梁试样的对称加载技术，实现了复合材料层间界面的纯I型动态断裂，发现I型断裂随加载速率的增加由界面脱黏主导转变为裂纹分叉主导；发展了实验-数值混合法，获得了动态层间界面起始和扩展断裂韧性，发现了裂纹的动态扩展断裂韧性与裂纹速度和加载速率的相关性。

(7) 敬霖在《轮轨接触随机不平顺引起的动态响应及可靠性寿命预测》报告^[23-24]中系统研究了高速轮/轨钢在宽应变率、宽温度范围及含疲劳损伤时的静动力学性能及本构关系；建立了车轮不圆顺引起的轮轨接触随机不平顺的数学模型，研发了其可视化软件；分析了轮轨接触随机不平顺引起的轮轨动态响应以及应变率效应对其动态接触行为的影响；发展了基于动态响应的多边形车轮可靠性寿命预测方法。

(8) 缪馥星在《脉搏波传播速度与血液-血管耦合系统特性的关系》的报告^[25-26]中从应力波角度阐述了人体脉搏波的特性，建立了一个流-固耦合/纵波-横波耦合的串联模型，提出了血液-血管耦合因子，从数理上为解读“位数形势”中医脉诊提供更丰富的信息。

(9) 张蕾在《基于高性能计算策略平衡含能材料的爆炸性能和冲击波感度》报告^[27]中介绍了一种自主研发的针对分子晶体原子尺度计算的、高精度大规模并行计算软件；基于该软件研究了官能团、分子骨架、晶体堆积方式与产物分布对炸药爆轰性能的影响规律，并分析了炸药晶体热稳定性的影响规律；分析了异常化学反应规律并提出了氮“双芳香性”新概念；最后预测了新型环状全氮物质。

(10) 李鑫在《纤维金属三维复合材料的静动态力学行为研究》报告^[28]中介绍了新型三维复合材料在刚性子弹冲击作用下三维复合材料的变形失效模式、能量吸收及弹道极限。实验结果表明通过将纤维和金属进行三维复合，能有效避免载荷作用下纤维金属界面失效对结构的稳定性影响。研究同时指出，对于此类三维复合方式，需要保证纤维足够的百分比以及合理的纤维复合方向从而提高材料的静动态力学性能。

(11) 李伟兵在《不同回火温度 40CrMnSiB 钢柱壳膨胀断裂过程与冻结回收研究》报告^[29]中介绍了其膨胀断裂过程超高速摄影试验及水井破片回收试验, 分析了柱壳断裂形成破片特性及断口金相, 并设计了柱壳膨胀断裂中间状态冻结回收装置, 回收获得了 3 种回火温度壳体的膨胀断裂中间状态, 揭示了不同回火温度处理下 40CrMnSiB 钢壳体内部裂纹演化规律。

(12) 范吉堂在《柔性聚合物材料的冲击动力学响应、结构设计及防护工程应用》报告^[30]中介绍了一种柔性聚合物材料的静动力学本构模型, 提出了静动力学性能的多尺度调控原理, 发明了一系列具有变形完全恢复、强度高、变形量大等动力学特性的超高分子量变形透明聚合物材料。在此基础上, 研制出了一种具有轻量化程度高、防护力强等优势的透明防护结构。

(13) 罗宁在《多相爆炸反应系统中功能材料制备与性能研究》报告^[31]中介绍了一种创新性的气液爆轰技术, 并利用瓦斯、煤层气等煤基能源材料混合爆轰产生的瞬时高温、高压可以为碳基纳米结构材料的形成提供有利的生长环境, 成功制备了碳纳米洋葱、铁基多壁碳纳米管、碳纳米管、碳包覆铁基纳米颗粒复合材料, 并深入探讨了其摩擦学性能、抗电磁波干扰性能及电化学动力学性能等。

(14) 陈荣在《PBX 炸药非冲击点火燃烧过程数值模拟初探》报告^[32]中介绍了利用离散元方法模拟 PBX 炸药受到意外刺激后从温升形成热点到燃烧反应的过程的一种途径。首先, 通过离散元方法模拟了细观尺度下的裂纹演化和热点生成过程; 然后, 通过引入描述气体产物的微气相元方法, 模拟了气体产物驱动炸药内部裂纹扩展并在裂纹内部流动的现象; 最后, 通过引入 WSB 燃烧模型模拟了从固相到气相转化的过程。

(15) 马宏昊在《储氢炸药爆轰机理及爆炸性能研究》报告^[33-34]中介绍了金属异构界面设计及爆炸安全研究进展; 针对抗弹和抗爆需求, 以及特种环境下复合金属材料的要求, 提出金属异构界面设计方法, 并利用爆炸技术实现, 研究了多金属的爆炸复合理论和技术, 汇报了课题组在爆炸安全方面的研究进展。

(16) 吴昊在《弹体侵彻研究工作汇报》报告^[35-36]中介绍了刚性弹侵彻混凝土相似规律, 分析了理论侵彻公式、半理论侵彻公式的局限性及存在的问

题, 开发了混凝土二维以及三维细观有限元建模软件。通过三维细观数值模拟, 讨论了粗骨料强度、砂浆强度以及粗骨料体积率对侵彻深度尺寸效应幅值的影响。通过引入尺寸效应项, 提出了修正的侵彻深度计算公式。

(17) 董奇在《内爆炸准静态压力作用下的壳体动态力学行为》报告^[37-38]中介绍了爆炸容器的内部爆炸载荷特性和内爆炸准静压对壳体动态响应的影响, 提出了考虑有限空间内爆炸后续准静态压力的球壳动态响应的力学分析模型, 分析了有限空间内爆炸后续准静态压力对弹性及双线性等向强化弹塑性球壳最大变形的影响。通过对比发现, 塑性响应的研究对于有限空间内炸药威力评估更有价值。

(18) 李干在《长杆弹侵彻岩石的尺度效应与侵彻机制转变研究》报告^[39]中介绍了宽速域动能弹侵彻问题的研究现状, 从弹/靶材料动态力学行为的角度对岩石刚性侵彻的尺度效应、侵彻模式转变的尺度效应和物理机制等问题进行了探讨, 建立了可描述岩石刚性侵彻阶段尺度效应的侵深计算模型, 阐述了侵深递减现象的尺度效应, 探讨了长杆弹宽速域侵彻岩石侵深变化规律的内在机制。

(19) 高光发在《抗侵彻防护材料多尺度研究工作汇报》的报告^[40-41]中介绍了混凝土类材料动态力学性能及其抗侵彻宏观尺度研究现状与进展, 分析了混凝土类材料准细观结构对其抗侵彻行为的影响规律, 揭示了混凝土类材料准细观结构中各成分材料动态力学性能对其混凝土材料动态力学性能与本构关系的影响规律, 阐明了准细观结构形式与给成分材料动态力学性能对混凝土类材料动态力学性能和抗侵彻行为的影响机理。

3 主题邀请报告

主题邀请报告由秦庆华、高光发、柳占立和张先锋等 4 位教授先后主持。17 位 40 岁以下青年学者围绕爆轰和爆炸动力学、结构动力学和多尺度高性能计算、材料动力学和实验测试技术、复合材料结构的动态力学行为、轻质结构的吸能特性和优化设计等主题进行报告。主题邀请报告每人 10 分钟 (含交流)。

(1) 陈艳在《聚脲动态力学行为及本构模型》报告^[42]中介绍了聚脲静态力学行为的温度和应变率依赖规律, 结合聚脲微相分离结构, 提出了同时考虑剪切、体胀, 基于率形式的自由体积演化方程, 通过构建宏观内能弹性、熵弹性和黏弹性行为与分子内

键长和键角变化、分子链伸长与回复、分子链间相对运动之间的关联,建立了基于自由体积的聚脲非线性黏弹性本构模型。

(2) 张博在《爆轰极限的动力学规律及理论模型》报告^[43]中介绍了爆轰极限动力学规律及理论模型方面的研究进展,研究并分析了爆轰波物理结构对爆轰极限的影响机制,报告还提出了几种可靠的爆轰极限预测模型。

(3) 刘家贵在《多孔金属中塑性波传播规律的实验研究》报告^[44]中介绍了梯度多孔金属的冲击动力学实验研究进展,研究了梯度泡沫金属在高速冲击作用下力学特征,发现了塑性波和冲击波两种传播模态,并给出了两种模态的临界速度的实验界定方法和通过密度调控冲击动应力的可行性方案。

(4) 彭辉在《爆炸与冲击动力学软件确认方法》报告中介绍了基于高精密物理实验确认研究的基本思路,结合爆轰驱动问题的具体事例,阐述了复杂问题确认研究的物理问题分层、确认实验设计原则、数值模拟与实验的量化确认流程。

(5) 张建勋在《轻质金属多孔结构的动态力学行为》报告^[45]中介绍了爆炸冲击载荷作用下双层金属泡沫夹芯板的动态响应理论和数值计算研究,建立了瞬动载荷下四边固支双层金属泡沫夹芯板动态响应的理论模型,并给出了基于内接和外切屈服条件的理论解和膜力解。

(6) 温焱珂在《生物软组织的霍普金森杆试验研究》报告^[46]中介绍了一种基于PVDF压电薄膜传感器的动态压缩测试方法和一种采用薄壁空心铝杆作为透射杆的动态拉伸测试方法,获得了猪肌肉、脂肪和内脏器官的动态力学数据。

(7) 李世强在《轻质多孔金属及其梯度夹芯复合结构的塑性动力学行为》报告^[47]中针对梯度、层级金属夹芯结构,分析了对其在不同载荷下的变形失效机理、抗冲击性能和能量吸收机制,从力的传递、冲击波衰减角度分析了梯度结构的防护性能。

(8) 熊健在《生物多孔结构冲击力学行为》报告^[48]中介绍了理工医交叉课题人体头盖骨多孔结构的冲击力学行为,系统研究了几个典型结构参数(包括:冲击物的大小、形状,等效夹芯结构中各层的厚度比,不同头盖骨截面)对结构冲击行为的影响,揭示了中低速冲击作用下人体头盖骨多孔结构的失效破坏和能量吸收机制。

(9) 许骏在《碳硅复合颗粒在快充条件下的力

学/电化学耦合行为研究》报告^[49]中介绍了在锂电池冲击载荷下的多物理场安全行为方面研究,通过设计实验表征了电池在短路/未短路状态下的力-电-热耦合行为,建立了在机械滥用工况下的锂电池多物理场数值计算模型,揭示了锂电池在机械滥用工况下的失效行为和机理。

(10) 宋振华在《飞机复合材料结构在冰雹冲击载荷下的动态响应》报告^[50]中介绍了冰的动态力学性能及起改进的霍普金森杆测试方法和波形整形器的设计方法,研究了碳纤维复合材料曲面板结构在冰雹冲击载荷下的动态力学响应和特殊的失效特征,并结合数值计算及理论分析揭示了该型板材结构不同失效模式的力学机理。

(11) 李志斌在《材料动态力学性能、武器高效毁伤》报告中介绍了一种人员目标的毁伤效能评估方法研究,分别针对人员目标易损性和武器毁伤效能分析提出了具体的分析方法。

(12) 王中钢在《轻质层级式多胞结构冲击响应机理》报告^[51]介绍了轨道车辆轻质车身结构在局部/端部耐冲击设计中面临的迫切需求与共性难题;以顶点基多胞层级式结构为例,分析了典型层级结构塑性理论吸能模型及冲击响应特征。

(13) 徐豫新在《毁伤与防护评估中的爆炸与冲击动力学问题》报告^[52]中围绕毁伤与防护评估中的爆炸与冲击动力学问题,介绍了评估研究中标准弹靶力学等效及试验方法、大场景下爆炸冲击的快速精准仿真方法的研究成果,提出了力学等效、载荷等效的方法,建立了基于结构化网格的大场景毁伤效能评估方法,体系化发展了基于中间件的多算子共架算法。

(14) 李营在《宏微观一体化多功能抗爆超材料设计及应用》的报告^[53]中介绍了抗爆隐身多功能一体化超材料力学模型和设计方法,阐明了冲击载荷作用下多尺度超材料的变形机理及失效模式;建立了爆炸冲击多物理场作用下多功能抗爆超材料的性能预测与评价方法。

(15) 向美珍在《金属微层裂:从分子动力学模拟到宏-细观耦合建模》报告^[54]中介绍了所建立的适用于描述多晶冲击熔化过程耦合均匀熔化和非均匀熔化两种机制的混合熔化动力学模型,发展了耦合动态熔化效应、温度效应的韧性损伤累积模型。

(16) 王马法在《内爆发射技术研究进展》报告中介绍了内爆发射技术的研究背景、发展历史、结构类

型、国内外现状和开展的研究工作, 具体分析了在单级内爆发射技术和辅助压缩内爆发射技术方面开展的试验和仿真工作, 提出了采用剃度气体作为驱动气体的方法。

(17) 范志强在《聚氨酯复合泡沫动态力学特性及其空心颗粒破碎行为影响》报告中介绍了一种新型聚合物复合材料动力学特性和填充结构塑性动响应, 并基于响应面代理模型和多目标优化技术对不同缓冲工况进行反向结构优化设计。

4 结束语

报告结束后, 与会代表还就爆炸与冲击动力学的学科发展、前沿动态以及青年人才的培养和成长规划等话题进行自由讨论, 戴兰宏研究员主持了自由讨论环节。与会代表表示, 研讨会为从事爆炸与冲击动力学的青年学者开展学术交流、建立学术友谊、增强学术合作提供了优秀平台, 对学科的发展和建设起到了积极作用。

在自由讨论期间, 张攀峰研究员对爆炸与冲击动力学学科的发展提出了自己见解, 他认为应当借鉴其他学科的理论与方法, 引入新思想, 使爆炸力学这门学科内容更加丰满。此外在解决实际工程问题的同时, 应当提炼基础科学问题, 不能局限于工程项目。最后还介绍了目前基金委在科研诚信与学风建设方面的工作, 基金委在论文作假方面采取零容忍的方式, 在职称的晋升、奖励和项目的参与方面有学术不端情况采取一票否决制, 期望与会专家能够广泛重视。戴兰宏研究员就基金申请过程中如何选题、提炼科学问题等问题与大家进行了讨论, 他认为爆炸力学学科是一个交叉学科, 需要与基础前沿、国家的重大需求紧密结合起来。

自由讨论结束后, 雷天刚研究员作总结讲话。他首先向会议组织者、特邀代表和青年学者表达了感谢, 并对本次会议的顺利召开和青年学者的工作成绩予以了肯定。他认为爆炸力学在借鉴其他学科的思想与方法时需要体现爆炸力学本身的特点, 并以动力学控制学科为例, 期望青年学者能够借研讨会之机, 共商学术议题, 共同促进爆炸与冲击动力学学科的蓬勃发展。同时, 他也指出了当前爆炸力学学科存在注重规律性研究、缺乏机理性研究的问题, 与固体力学等大学科相比略显不足, 建言青年学者开拓思维、解放思想, 多关注与力学相关的交叉学科和研究方法, 深入面向科学前沿、面向国家重大需求、面

向国计民生的大问题, 提炼真正具有科学共性、机理性的学术选题并开展深入研究。

最后, 经与会青年学者无记名投票决定“第四届全国爆炸与冲击动力学青年学者学术研讨会”由国防科技大学承办。

参 考 文 献

- 1 刘彦, 王成, 詹世革等. 首届全国爆炸与冲击动力学青年学者学术研讨会报告综述. 力学学报, 2016, 48(4): 1013-1018 (Liu Yan, Wang Cheng, Zhan Shige, et al. Review of the First National Symposium on Explosion and Shock Dynamics for Young Scholars. *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2016, 48(4): 1013-1018 (in Chinese))
- 2 郑志军, 詹世革, 戴兰宏. 第二届全国爆炸与冲击动力学青年学者学术研讨会报告综述. 力学学报, 2018, 50(1): 177-187 (Zheng Zhijun, Zhan Shige, Dai Lanhong. Review of the Second National Symposium on Explosion and Impact Dynamics for Young Scholars. *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2018, 50(1): 177-187 (in Chinese))
- 3 芮筱亭, 戎保. 多体系统传递矩阵法研究进展. 力学进展, 2012, 42(1): 4-17 (Rui Xiaoting, Rong Bao. Advances in transfer matrix method for multibody system dynamics. *Advances in Mechanics*, 2012, 42(1): 4-17 (in Chinese))
- 4 芮筱亭, 负来峰, 沙南生等. 发射装药发射安全性评定技术的研究进展. 兵工学报, 2005, 26(5): 690-696 (Rui Xiaoting, Yun Laifeng, Sha Nansheng, et al. Advance on launch safety for gun propellant charge. *Acta Armamentarii*, 2005, 26(5): 690-696 (in Chinese))
- 5 徐斌, 王成, 臧立伟等. 爆炸冲击波与防弹衣相互作用的数值模拟. 北京理工大学学报, 2019, 39(2): 131-134 (Xu Bin, Wang Cheng, Zang Liwei, et al. Numerical simulation on the impact of explosion shock wave on bullet-proof vest. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2019, 39(2): 131-134 (in Chinese))
- 6 王成, 邓涛, 徐文龙. 铝药型罩环状聚能射流的数值模拟. 北京理工大学学报, 2019, 39(12): 1211-1218 (Wang Cheng, Deng Tao, Xu Wenlong. Numerical simulation of annular shaped charge with al liner. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2019, 39(12): 1211-1218 (in Chinese))
- 7 Meng LY, Wang C, Yao XH. Non-convex shape effects on the dense random packing properties of assembled rods. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2018, 490: 212-221
- 8 Ou ZC, Yao XH, Zhang XQ. Dynamic Stability of a thin film bonded to a compliant substrate subjected to a step load with damping. *International Journal of Nonlinear Sciences & Numerical Simulation*, 2018, 18(3-4): 221-232
- 9 王桂吉, 邓向阳, 谭福利等. 爆炸箔起爆器小尺寸飞片速度测试. 爆炸与冲击, 2008, 28(1): 28-31 (Wang Guiji, Deng Xiangyang, Tan Fuli, et al. Velocity measurement of the small size flyer of an exploding foil initiator. *Explosion And Shock Waves*, 2008, 28(1): 28-31 (in Chinese))
- 10 王桂吉, 赵同虎, 莫建军等. 一种以TATB/HMX为基炸药的到爆轰距离. 爆炸与冲击, 2006, 26(6): 510-515 (Wang Guiji, Zhao Tonghu, Mo Jianjun, et al. Run distance to detonation in a TATB/HMX-based explosive. *Explosion And Shock Waves*, 2006,

- 26(6): 510-515 (in Chinese))
- 11 Hu JB, Vanacore GM, Andrea C, et al. Rippling ultrafast dynamics of suspended 2D monolayers, grapheme//Proceedings of the National Academy of Ences, 2016, 113(43): E6555-E6561
 - 12 Vanacore G, Hu JB, Liang WX, et al. Ultrafast atomic-scale visualization of acoustic phonons generated by optically excited quantum dots. *Structural Dynamics*, 2017, 4(4): 044034
 - 13 Guo YZ, Ruan QC, Zhu SX, et al. Temperature rise associated with adiabatic shear band: Causality clarified. *Physical Review Letters*, 2019, 122: 015503
 - 14 Zhu SX, Guo YZ, Ruan QC, et al. Formation of adiabatic shear band within Ti-6Al-4V: An in-situ study with high-speed photography and temperature measurement. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2019, 171: 105401
 - 15 Chen L, Hu Y, Ren HQ, et al. Performances of the RC column under close-in explosion induced by the double-end-initiation explosive cylinder. *International Journal of Impact Engineering*, 2019, 132: 103326 (26 Pages)
 - 16 Chen L, Fang Q, Jiang XQ, et al. Combined effects of high temperature and high strain rate on normal weight concrete. *International Journal of Impact Engineering*, 2015, 86: 40-56
 - 17 Li X, Liu ZL, Cui SQ, et al. Predicting the effective mechanical property of heterogeneous materials by image based modeling and deep learning. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2019, 347, 735-753
 - 18 Zeng QL, Liu ZL, Xu DD, et al. Modeling arbitrary crack propagation in coupled shell/solid structures with X-FEM. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 2016, 106(12): 1018-1040
 - 19 Zhong RC, Fu MH, Chen X, et al. A novel three-dimensional mechanical metamaterial with compression-torsion properties. *Composite Structures*, 2019, 226: 1-6
 - 20 Zhong RC, Fu MH, QY, et al. Special characteristics of tetrachiral honeycombs under large deformation. *International Journal of Solids and Structures*, 2019, 169: 166-176
 - 21 Zhao ZQ, Dang HY, Zhang C, et al. A multi-scale modeling framework for impact damage simulation of triaxially braided composites. *Composites Part A*, 2018, 110: 113-125
 - 22 Liu HF, Meng XH, Zhang HW, et al. The dynamic crack propagation behavior of mode I interlaminar crack in unidirectional carbon/epoxy composites. *Engineering Fracture Mechanics*, 2019, 215: 65-23
 - 23 Jing L, Liu K, Ren M. The transient response of car body and side windows for high-speed trains passing by each other in a tunnel. *Composites Part B*, 2019, 166: 284-297
 - 24 Jing L, Han LL. Further study on the wheel-rail impact response induced by a single wheel flat: the coupling effect of strain rate and thermal stress. *Vehicle System Dynamics*, 2017, 55 (12): 1946-1972
 - 25 Miao FX, Sun GJ, Zhu PP. Developed reverberation-ray matrix analysis on transient responses of laminated composite frame based on the first-order shear deformation theory. *Composite Structures*, 2016, 143: 255-271
 - 26 Miao FX, Sun GJ, Chen KF, et al. Reverberation-ray matrix analysis of the transient dynamic responses of asymmetrically laminated composite beams based on the first-order shear deformation theory. *Composite Structures*, 2015, 119: 394-411
 - 27 Jiang C, Zhang L, Sun CG, et al. Response to Comment on "Synthesis and characterization of the pentazolate anion cyclo-N5- in (N5)6(H3O)3(NH4)4Cl". *Science*, 2018, 359
 - 28 Ma XM, Li X, Li SQ, et al. Blast response of gradient honeycomb sandwich panels with basalt fiber metal laminates as skins. *International Journal of Impact Engineering*, 2019, 123: 126-139
 - 29 Li JB, Li WB, Wang XM, et al. Mechanical properties and constitutive model of aluminum powder/rubber matrix composites compressed at various strain rates. *International Journal of Impact Engineering*, 2018, 121: 55-62
 - 30 Fan JT, Wang C. Dynamic compressive response of a developed polymer composite at different strain rates. *Composites Part B*, 2018, 152: 96-101
 - 31 Liang HL, Luo N, Li XJ, et al. Joining of Zr60Ti17Cu12Ni11 bulk metallic glass and aluminum 1060 by underwater explosive welding method. *Journal of Manufacturing Processes*, 2019, 45: 115-122
 - 32 Chen R, Yao W, Lu FY, et al. Evaluation of the stress equilibrium condition in axially constrained triaxial SHPB tests. *Experimental Mechanics*, 2017, 58(11): 1-5
 - 33 Wang LQ, Ma HH, Shen ZW, et al. Detonation behaviors of syngas-oxygen in round and square tubes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2018, 43(31): 14775-14786
 - 34 Zhou GA, Ma HH, Shen ZW, et al. Study on a new cleaner emulsion explosive containing common clay. *Propellants Explosives Pyrotechnics*, 2018, 43(8):789-798
 - 35 Wu H, Fang Q, Peng YL, et al. Hard projectile perforation on the monolithic and segmented RC panels with a rear steel liner. *International Journal of Impact Engineering*, 2015, 76: 232-250
 - 36 Wu H, Fang Q, Gong ZM, et al. Hard projectile impact on layered SFRHSC composite target. *International Journal of Impact Engineering*, 2015, 84: 88-95
 - 37 Dong Q, Li QM, Zheng JY, et al. Strain growth in a finite-length cylindrical shell under internal pressure pulse. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 2017, 139(2): 1-8
 - 38 Dong Q, Li QM, Zheng JY. Interactive mechanisms between the internal blast loading and the dynamic elastic response of spherical containment vessels. *International Journal of Impact Engineering*, 2010, 31(4): 349-358
 - 39 Li G, Song CM, Wang MY. Evolution of penetration mechanism induced by strain rate effect. *The European Physical Journal Conferences*, 2018, 183(4): 01063
 - 40 Gao GF, Qi MJ, Li YC. Random equilateral Kelvin open-cell foam microstructures: Cross-section shapes, compressive behavior, and isotropic characteristics. *Journal of Cellular Plastics*, 2018, 54(1): 53-72
 - 41 Gao GF, Li YC, Chen Y. Dynamic response for porous epoxy resin matrix composites filled with iron powder at different strain rates and constitutive relationships. *Mechanics of Composite Materials & Structures*, 2016, 23: 811-868
 - 42 Chen Y, Dai LH. Nature of crack-tip plastic zone in metallic glasses. *International Journal of Plasticity*, 2016, 77: 54-74

- 43 Zhang B, Liu H. The effects of large scale perturbation-generating obstacles on the propagation of detonation filled with methane-oxygen mixture. *Combustion & Flame*, 2017, 182: 279-287
- 44 Liu JG, Hou B, Lu FY, et al. A theoretical study of shock front propagation in the density graded cellular rods. *International Journal of Impact Engineering*, 2015, 80(C): 133-142
- 45 Zhang JX, Zhou RF, Wang MS, et al. Dynamic response of double-layer rectangular sandwich plates with metal foam cores subjected to blast loading. *International Journal of Impact Engineering*, 2018, 122: 265-275
- 46 Liu SS, Xu C, Wen YK, et al. Rifle bullet penetration into ballistic gelatin. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 2017, 67: 40-50
- 47 Li SQ, Yu BL, Dora K, et al. Experimental, numerical, and theoretical studies of the response of short cylindrical stainless steel tubes under lateral air blast loading. *International Journal of Impact Engineering*, 2019, 124: 48-60
- 48 Wu QQ, Ashkan V, Mohamad EA, et al. Lattice materials with pyramidal hierarchy: systematic analysis and three dimensional failure mechanism Maps. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 2019, 125: 112-144
- 49 Liu BH, Jia YK, Yuan CH, et al. Safety issues and mechanisms of lithium-ion battery cell upon mechanical abusive loading: A review. *Energy Storage Materials*, 2020, 24: 85-112
- 50 Song ZH, Le J, Whisler D, et al. Skin-stringer interface failure investigation of stringer-stiffened curved composite panels under hail ice impact. *International Journal of Impact Engineering*, 2018, 122: 439-450
- 51 Liu JF, Chen WS, Hao H, et al. Numerical study of low-speed impact response of sandwich panel with tube filled honeycomb core. *Composite Structures*, 2019, 220: 736-748
- 52 Ye TK, Xu YX, Ren J. Effects of SiC particle size on mechanical properties of SiC particle reinforced aluminum metal matrix composite. *Materials Science & Engineering A*, 2019, 753: 146-155
- 53 Li Y, Chen ZH, Zhao T, et al. An experimental study on dynamic response of polyurea coated metal plates under intense underwater impulsive loading. *International Journal of Impact Engineering*, 2019(133): 103361
- 54 Xiang MZ, Liao Y, Wang K, et al. Shock-induced plasticity in semi-coherent {111} Cu-Ni multilayers. *International Journal of Plasticity*, 2018, 103: 23-38