

# 中国力学大会-2015 简介

郭旭<sup>1</sup>, 段慧玲<sup>2</sup>, 丁航<sup>3</sup>, 张攀峰<sup>4</sup>, 张文明<sup>5</sup>, 季葆华<sup>6</sup>, 曲绍兴<sup>7</sup>, 冯雪<sup>8</sup>, 王记增<sup>9</sup>, 黄敏生<sup>10</sup>,  
裴永茂<sup>11</sup>, 王博<sup>1</sup>, 马力<sup>12</sup>, 许向红<sup>4</sup>, 刘 洋<sup>13</sup>, 汤亚南<sup>13</sup>, 杨亚政<sup>6</sup>, 詹世革<sup>4</sup>

1. 大连理工大学工程力学系, 大连 116024
2. 北京大学力学与工程科学系, 北京 100871
3. 中国科学技术大学近代力学系, 合肥 230027
4. 国家自然科学基金委员会数理科学部, 北京 100085
5. 上海交通大学力学系, 上海
6. 北京理工大学, 北京 100081
7. 浙江大学工程力学系, 杭州 310027
8. 清华大学工程力学系, 北京 100084
9. 兰州大学工程力学系, 兰州 710071
10. 华中科技大学力学系, 武汉 430074
11. 北京大学力学与工程科学系, 北京 100871
12. 哈尔滨工业大学力学系, 哈尔滨 150001
13. 中国力学学会办公室, 北京 100190

## 1. 会议概况

2015年8月15日~18日,“中国力学大会-2015(CCTAM2015)”在上海成功举办。大会受中国科学技术协会和国家自然科学基金委员会指导,由中国力学学会和上海交通大学共同主办和承办,全国50家高等院校和研究机构参与协办。此次大会主题为“面向国家重大需求、致力前沿基础研究”,来自科研、生产和教学一线的国内外专家学者3400余名莅临参会,其中包括25位中国科学院院士、中国工程院院士,以及多位海外代表,参与人数和交流论文篇数是历届会议之最,是我国力学界2015年最为重要的学术盛会。

8月16日上午,大会开幕式在上海交通大学闵行校区综合体育馆举行。中国力学学会副理事长方岱宁主持开幕式。中国力学学会理事长杨卫致开幕辞,中国科学技术协会学术部部长宋军、国家自然科学基金委员会数理科学部常务副主任孟庆国出席开幕式并致辞,上海交通大学校长张杰致欢迎辞。

开幕式上颁发了第一届钱学森力学奖、第九届周培源力学奖、中国力学科学技术奖、第十四届中国力学青年科技奖。中国科学院力学研究所俞鸿儒院士获得首届钱学森力学奖，北京理工大学胡海岩院士获得第九届周培源力学奖。本次大会还颁发了首届中国力学科学技术奖.合金材料锯齿形塑性失稳剪切带实验观察研究和机制与理论分析（主要完成人：张青川）、具有表面效应的细观力学理论（主要完成人：段慧玲、王建祥、黄筑平）、复现高超声速飞行条件激波风洞（主要完成人：姜宗林、赵伟、俞鸿儒）、大众力学丛书（主要完成人：武际可）四个项目分别获得中国力学自然科学奖、科技进步奖和科普教育奖。第十四届中国力学青年科技奖分别由北京大学李法新、清华大学柳占立、北京航空航天大学潘兵获得。开幕式上还颁发了第十届全国周培源大学生力学竞赛个人特等奖，团体赛一、二等奖和优秀组织奖。

本次大会采用主会场、分会场和专题研讨会三大板块相结合的学术交流形式，与会代表围绕力学学科的基础、前沿、热点问题，以及与国民经济建设密切相关的应用问题进行了深入研讨和交流。

大会设 1 个主会场，15 个分会场和 76 个专题研讨会，收录论文 2800 余篇。主会场邀请中国载人航天工程总设计师周建平院士、北京理工大学胡海岩院士、西南交通大学翟婉明院士、中国科学院力学研究所樊菁研究员、美国塔夫茨大学曲建民教授、上海交通大学刘桦教授、香港科技大学李贻昆教授、浙江大学陈伟球教授作大会特邀报告，主题涉及航天与力学、气动弹性力学、高速铁路、高超声障、水动力学、软物质力学等多个方面。

15 个分会场涵盖了流体力学、固体力学、动力学与控制、计算力学、实验力学、爆炸力学、环境力学、生物力学与力学生物学、微纳米力学、物理力学、激波与激波管、电子电磁器件、流变学等多个传统力学学科和新兴交叉学科领域，代表了各自领域近期的前沿研究和代表性成果。

76 个专题研讨会围绕力学相关领域设立了丰富多样的主题，既设有力学的基础问题，涉及材料、界面、疲劳与断裂、湍流、多相流、分析力学、非线性动力学与控制等，还包括力学前沿交叉及热点问题，如软物质力学、生物力学、计算力学、固体流变学、多尺度实验力学、生物微流控、微纳米力学等，也包括力学与工程紧密结合的问题，如航天飞行器动力学、海洋土力学、岩土动力学、车身优化设计、灾变破坏力学、石油工程、灾变破坏力学、无损检测与健康监测、超音速流动与燃烧等。

本次大会交流内容丰富，涉及的力学相关领域众多，是一场规模空前的力学交流会议，为各行各业的力学工作者提供了学术交流、共享的平台，反映了近年来我国力学界在面向国家重大需求和科学前沿的研究及教育等方面取得的主要进展、成果和新的生长点，体现了力学与物理、数学、材料、生命、能源、化学、信息等学科的交叉与融合，展现了力学对航空、航天、机械、石化、环境、土木、水利、海洋工程等领域的推动作用。

本文对中国力学大会-2015 的学术报告内容进行概要总结与评述，以便力学界同仁和读者了解本次大会和中国力学学科的发展。更多内容请参见中国力学学会办公室编著的论文摘要集和中国力学大会-2015 主页 (<http://cctam2015.cstamconferences.org/>)。由于大会内容十分丰富，而本文篇幅有限，加之作者难免有所疏忽，内容不全面或不准确之处，敬请谅解和指正。

## 2. 大会主要内容介绍

本次大会的学术活动包括大会特邀报告、分会场邀请报告、专题研讨会报告等多种形式。其中，大会特邀报告 8 个，以系统性、前瞻性为主，力求反映力学及其交叉学科的重大研究进展和重要发展趋势；分会场邀请报告 327 个，侧重于交流各分支学科的前沿研究和代表性成果；专题研讨会报告 2802 个，涉及力学学科的基础、前沿、热点、应用等研究，更加全面地反映出我国力学学科的发展现状。

### 2.1. 大会特邀报告

中国载人航天工程总设计师、中国工程院院士周建平的报告“力学在载人航天中的基础作用”对我国载人航天研发过程中面临的一些典型力学问题进行了概述，包括材料与结构、载荷与环境、动力学与控制、计算力学与结构优化、空间结构与控制、空气动力学与热防护、轨道动力学与控制等内容。他回顾了力学在载人航天发展过程起到的重大作用，并根据工程研发的实际需要，提出了一些需要力学科学家解决的问题，促进了航天技术与力学的交叉融合，为我国载人航天的更好发展奠定基础。

北京理工大学胡海岩院士的报告“飞行器结构气动弹性分析与控制—工程科学进展”，系统介绍了其研究团队针对结构与空气之间的气动弹性耦合问题开展的深入的理论、计算、实验一体的工程科学研究，重点阐述了其团队在亚音速气动弹性力学方面和

跨音速气动弹性力学方面的重要工作。他还举例说明了一些简化的力学模型在飞行器结构气动弹性分析与控制实际应用中的问题，强调了在服务工程时力学理论、计算、实验相结合的重要性。

西南交通大学翟婉明院士的报告“中国高速铁路及其大系统动力学研究与实践”简要回顾了近 20 年来中国铁路的跨越式发展进程，指出了中国高速铁路在国际上所处的地位，阐述了高速铁路工程中的实际动力学问题，报告了其研究团队结合国家铁路发展需求所开展的铁路大系统动力学理论研究工作，举例介绍了其理论在中国高速铁路重大工程中的应用实践情况，最后展望了中国高速铁路的未来发展方向及需要重点研究的动力学问题。

中国科学院力学研究所樊菁研究员的报告“如何突破高超声障”，从高超声速条件下如何获得最佳飞行性能这一基本问题入手，建立了高超声速巡航飞行的力学理论，给出了高超声速飞行器性能与主要影响因素的定量关系，揭示了高超声速巡航速度的潜在价值，并依据该理论探讨了如何突破高超声障、研制可实用的高超声速飞机等问题。

美国塔夫茨大学曲建民教授的报告“固体中的电-化-力学理论及其在燃料电池与可充电电池中的应用”，建立了一个可以同时描述力、电和化学驱动力之间耦合作用的固体力学模型。其研究团队通过综合考虑电-化学-力学耦合效应，提出了统一的理论框架，并将它成功的应用于描述 Cr-Fe 合金、固体氧化物燃料电池和锂电池的选择性氧化行为，并讨论了电-化学-力学耦合场中路径相关的积分。

上海交通大学刘桦教授的报告“海啸动力学与近海波浪数值模拟”，从近海波浪数学模型研究入手，系统的阐述了完全非线性高度色散水波数学模型的数学基础、模型验证及其应用。他重点强调了针对南中国海海域的特点开展海啸基础研究和建立海啸预警系统，不仅可为南中国海岛礁工程等一系列重大工程提供必要海啸风险评估，而且可为南中国海周边国家和地区提供必要的海啸预警服务，体现我国作为一个海洋大国应尽的国际义务。

香港科技大学李贻昆教授的报告“Bio-MEMS/NEMS devices for mobile health: Challenge and opportunity”，重点介绍了其团队结合非线性动力学、流体力学、细胞力学与微电子生物技术在开发新型生物微纳机电系统上的新成果，并讨论了生物微纳机电系统在中国移动健康领域发展遇到的挑战和机遇。

浙江大学陈伟球教授的报告“软物质力学：从基础到应用”，从软物质的细观统计特征出发，给出了软物质或软材料一个可行的力学定义。在此基础上，回顾和总结了若干具有代表性的理论框架，指出了它们存在的一些问题。此外，他还结合浙江大学软物质科学研究中心的最新研究进展，展示了软物质力学从基础到应用的典型研究成果。

## 2.2. 分会场及专题研讨会报告

### 2.2.1. 固体力学

本次大会上，共有 5 个分会场和 30 个左右的专题研讨会属于大固体力学范畴，相对体量与历届大会基本保持一致，大体反映了固体力学科研人员在我国力学科研队伍中所占的比重。学术报告内容十分广泛，覆盖了计算固体力学、实验固体力学、微纳米力学、材料力学性能、电子电磁器件力学、新型结构力学、多尺度分析、软物质力学、结构优化等研究方向。在表/界面力学、弹性波理论、结构健康监测、疲劳与断裂、石油石化装备力学、飞行器结构等方面也进行了充分交流。

“固体力学”分会场邀请了国内 9 位知名学者作学术报告，报告内容既涉及了学科前沿，又针对国家重大工程和重大需求。赖远明院士围绕冻土研究中的两个关键问题，强度和变形，作了冻土强度和本构关系研究进展的报告。该研究实验与理论相结合，考虑温度-应力-化学势多场耦合，建立了多种类型的弹塑性损伤本构关系，尤其是为了反映材料的体缩与体胀性能，建立了多屈服面弹塑性本构关系。此外，分子动力学也开始被用于该类材料的力学性能研究，从微观结构与变形上来阐释冻土的宏观力学性能将对冻土及其它低温复合材料的研究产生重要影响。高德利院士针对油气井工程复杂的力学问题，作了复杂井固体力学与控制问题研究的报告，介绍了电磁探测技术、大位移钻井、深水钻井中的关键力学问题。Zhang Yongwei 作了“Deformation and Failure Behavior of Nanowires and Nanolattices”的报告。通过纳米力学测试和分子动力学模拟，获得了温度效应和组分尺寸对纳米晶格的变形和失效的影响。王建祥作了近场动力学进本问题-热力耦合框架、格林函数、投射边界条件的报告，回顾了近场动力学的研究进展，报告了近场动力学一些基本问题的研究结果。申胜平作了力电化学耦合：理论、应用与计算的报告。建立了力热电化学耦合变分原理，得到了完全耦合的控制方程、边界条件以及含移动界面的界面条件，该模型本构关系和演化方程都是耦合的。张统一院士作了 Pseudo-First-Order Phase Transition and Ultrahigh Electrocaloric Effect in Barium Titanate

Nanoparticles 的报告。通过相场模拟方法，发现压缩载荷引起两类准一级相变，这两类准一级相变发生在一级相变居里温度以下并且可以被压缩载荷的大小调控。伴随这两类准一级相变，超高正负热电效应在一种材料中可以共存。上述发现有助于下一代固态冷却器件的设计与制备。嵇醒作了界面断裂力学的  $K$  判据的报告，对界面裂纹的应力强度因子的定义做了修改，克服了界面裂纹应力强度因子的量纲与震荡因子有关的问题，定义了界面裂纹的 I 型和 II 型应力奇异性，并按界面裂纹的应力强度因子建立了 I 型、II 型和混合型的  $K$  判据。刘彬作了弹塑性断裂力学若干问题研究的报告，建立了裂纹面能量释放率断裂准则，可以用于 J 积分准则不适用的含塑性裂纹扩展情形，并对于长达四十年的 Rice 悖论给出了解释。仲政作了植物纤维复合材料吸水与性能劣化的力学建模与分析的报告。基于连续介质力学模型，结合损伤耗散，建立了吸湿影响的非线性本构模型，并与实验结果进行了比较。

计算固体力学是固体力学的重要组成部分，本次大会设有计算力学分会场 1 个及直接相关的专题研讨会 9 个。“计算力学”分会场邀请了国内 17 位知名学者作学术报告。崔俊芝院士通过量子/原子/连续介质的局部耦合计算，基于电子结构研究材料的非线性力学和物理行为，在量子尺度建立基本状态的应变能函数，减少了连续介质力学的计算量。对于大尺度 Kohn-Sham 密度函数进行计算，采用小尺度相互作用的线性组合近似多物体的相互作用，实现多物体相互作用的数值实验。在变形框架下，可对整体位移的低频变形与高频热振动解耦。通过 24 个四面体单元组合 FCC 点阵计算变形梯度和非线性 FCC 和 BCC 单元，由离散原子系统显式地推导出连续介质力学的张量，如 Cauchy 应力和弹性常数。为了验证模型，模拟了在拉伸和弯曲作用下的 3 维单根纳米铜线，并比较了实验数据。庄茁立足我国页岩油气高效开发中的基础力学问题，论证页岩人工裂缝扩展大型实验平台的模拟方法，其考虑了时间相关性的各向异性 Biot 本构模型及页岩起裂、分叉及多裂缝相互作用的断裂力学准则和模拟方法，研究了裂缝稳定性扩展创造缝网的多尺度有限元模型并开发了耦合断裂力学和流场压力的裂缝网扩展模拟软件。陆夕云介绍了近期在可压缩复杂流动数值计算和分析方面的一些进展，基于超声速可压缩湍流边界层的直接数值模拟，探讨了速度梯度张量不变量空间的拓扑演化和流动物理特性；针对航空航天科技工程中一些典型的跨声速、超声速和高超声速流动问题，通过数值计算和分析的手段，着重探讨了激波、湍流和旋涡分离流动的复杂机理。胡宁构建了一种 3 维跨尺度数值模型，用于模拟纳米碳管等各种导电纳米相和高分子基体纳米复合

材料的压电电阻性能。该模型考虑了诱发材料压电电阻特性。通过该模型系统地研究了各类参数对材料压电电阻性能的影响,并将获取的结果用于指导该类材料的超高灵敏度应变传感器的制备。张雄着重介绍了课题组近年来在物质点法的算法、软件开发和应用等方面的研究进展和成果。其工作包括物质点法的高效实现方案、改进的物质点接触算法、自适应物质点法、并行物质点法、物质点有限元法、杂交物质点有限元法、耦合物质点有限元法、自适应物质点有限元法、物质点有限差分法、不可压物质点法等,并在算法研究的基础上开发了三维显式并行物质点法数值仿真软件 MPM3D。亢战基于集合的椭球凸集模型为结构系统中有界不确定性参数界限的可微描述提供了有力的方法。他采用数学规划理论给出一种根据原始试验数据建立椭球模型的高效列式,指出其全局收敛性,并讨论了该问题及相应的结构非概率可靠性指标的仿射不变性。数值算例验证了这一建模方法比现有方法具有更高效率和准确度。张卫红从航空航天飞行器结构设计应用角度出发,综述了近年来结构拓扑优化技术在结构构型总体设计、多组件结构系统设计、结构支撑连接设计、热与动力学性能设计等方面的系统性成果。姚振汉提出了一种新的高精度边界元法,对于没有标准解进行比较的情况下也能通过误差指示及其指导下的网格细分得到满意的收敛解。章青介绍了其课题组近期在近场动力学方面的工作,其构建了分析脆性材料和结构损伤破坏的 PD 模型和算法体系,能准确模拟裂纹扩展,并实现典型混凝土结构变形破坏全过程的连续模拟与定量分析。杨庆生报告阐述了软材料非线性化学-力学耦合问题的有限元计算方法。吴恒安介绍了其在计算纳米力学方面的一些研究进展。邢誉峰给出了构造与结构固有振动特性协同的直接积分方法的思想。以经典二阶 Newmark 算法为例,根据结构固有振动频率和相位精度要求确定了算法参数。郑耀介绍了一种基于高性能计算的数字样机技术,用于飞行器的设计与分析。其发展的支撑技术可以进一步开发,用于未来的超大规模计算。

结构可靠性的研究已经深入延伸和应用到海上结构分析、桥梁工程、地震工程和航空工程等领域,一系列可靠性计算新算法、评估方法和优化模型已快速发展。本次“结构可靠性理论、方法及应用”专题研讨会安排了 23 个学术报告。其中有如下一些较为新颖的工作,如:陈建兵利用风-海浪联合作用的物理随机模型、海上风力发电高塔系统一体化模型、以及概率密度演化理论,实现大型海上风力发电高塔系统随机动力响应分析。在此基础上,利用吸收边界条件,进行动力可靠性分析。结果表明,该方法具有较高的效率和很好的稳健性。李刚提出将 MPP 设计点的求解问题转换为双目标最小化

问题，利用演化算法 NSGA-II 进行求解的可靠度计算方法。与 HL-RF 等算法相比，该方法具有良好的问题普适性。“结构不确定性分析”包括 14 篇专题报告。其中，周克民用解析方法研究了拉压弹性模量不同的二杆结构在任意方向的荷载作用下体积约束柔度最小化问题，得到荷载在任意方向时二个杆件的优化角度。姜潮提出了一种基于 D-vine copula 函数的平稳随机过程有限维联合概率密度模型(DFJD)，为含有平稳随机过程的结构时变可靠性分析提供了一种精度更高的方法。半解析法对描述无源场或无旋场问题具有明显的优势。本次“半解析函数在力学工程中的应用”专题研讨会共安排了 29 个学术报告。主要内容包括半解析函数在海洋工程、热传导问题、压电材料等的工程应用、基于 Helmholtz 方程的计算研究。同时，研讨会在辛—叠加方法、微分方程、动力学方程等新算法和有限元法新单元在振动和材料领域中的应用等相关问题也进行了广泛的交流和讨论。“分子模拟在力学研究中的应用进展”专题研讨会邀请了国内 28 位学者作学术报告。其中，高华建院士利用大规模分子动力学方法研究了五折孪晶银纳米线杨氏模量和强度与纳米线直径以及应变率的依赖关系，并与相关实验结果进行了对比。其基于分子动力学模拟的结果和相关观察，提出了一个基于位错形核的理论模型，模型预测结果与实验和模拟结果吻合。郭雅芳采用一种新型的原子模拟技术，在  $1.0E-5$  至  $1.0E5$  的应变率范围内，研究了点缺陷与位错之间的相互作用对体心立方铁材料弹性及塑性性能的影响。“计算爆炸力学暨可信科学和工程数值模拟”研讨会会场共邀请了 30 余位专家进行了报告。其中，荣吉利借助 AUTODYN 有限元软件，结合 TNT 当量法和流固耦合方法，分析了圆柱形救生舱在巷道内的冲击响应特点，相关结论对救生舱的设计具有一定工程价值。刘凯欣为提高计算流体力学在工程应用中的精度和效率，构造了基于混合网格的高精度时空守恒元/解元(CE/SE)格式，非常有利于实现高效的并行计算。大量的数值结果表明该算法能够在不同的网格类型上精确地捕捉激波和精细的流场结构。“颗粒材料计算力学及其应用”研讨会会场共邀请了 29 位专家进行了报告。其中，贾淑明将弹塑性本构关系引入离散动力学模型，考虑了电缆体内部股线弯曲变形，股线间的接触与轴向摩擦效应，主要分析了运行环境下结构参数对电缆体内部应变状态的影响规律。季顺迎在 Minkowskisum 方法的基础上，发展扩展多面体单元的粘结-破碎模型。采用 Voronoi 切割算法生成具有初始随机裂纹的连续海冰模型，对其与圆桩结构的冰荷载进行了离散元分析。“科学与计算工程中的模型验证与确认”专题研讨会共邀请了 34 位学者作报告。其中，王艳莉介绍了 Neumann Expansion 方法在线



性守恒律方程不确定度量化评估中应用。梁霄介绍一种爆炸波中的混合不确定度量化的方法，给出了建模与模拟中误差与不确定度的概念及其不确定度量化过程，并以质量弹簧阻尼系统为例说明量化偶然不确定度的过程，验证了非嵌入多项式混沌方法在非光滑系统不确定度量化中的有效性，对建模与模拟重不确定度量化具有重要的参考价值。何磊介绍了全生命周期大型 CFD 自动化测试与验证确认平台开发，初步开发了一个 CFD 自动化测试平台。王婉颖介绍了舱段对接结构动力学有限元模型修正。“无网格法”专题共包括 30 篇报告。其中，龚曙光基于交叉节点的思想，提出了一种耦合 GPU 和预处理共轭梯度法 (PCG) 的无网格 Galerkin 法并行算法。王东东在 B 样条基函数满足多项式再生条件的理论框架下提出了混合匹配方法，使得等几何与无网格形函数同时满足多项式再生条件，并发展了等几何和无网格形函数的有机耦合方法，进而建立了等几何无网格耦合分析方法。“边界元法”专题研讨会共包括 27 篇相关报告。其中，陈文利用描述问题的基本解或统计分布，构造了隐式微积分控制方程。姚振汉提出了一种新的高精度边界元法。周焕林采用坐标变换将二维正交各向异性位势问题转换为各向同性位势问题。通过对边界积分方程进行一系列推导，建立了一种导数类边界积分方程，称之为自然边界积分方程。高效伟提出了一种用不等间隔单元子分技术计算窄条单元各阶奇异积分的有效方法。“水力压裂的数值和实验研究”专题研讨会报告邀请了 16 位学者作报告。其中，周博介绍了基于扩展有限元法的裂纹扩展模拟分析。刘闯研究了基于扩展有限元的水力压裂裂缝扩展的规律，基于扩展有限元 (XFEM) 建立了多孔介质流固耦合的有限元计算模型，分析了单条裂缝扩展过程中，地应力、压裂液粘性以及储隔层地质对裂缝形态的影响。沈泳星介绍了万能网格法及其在水力压裂计算模拟中的应用，用有限元作计算断裂力学的挑战之一是需要为扩展中的裂纹持续的更新网格。唐云研究了致密砂岩油藏压窜井产量的影响因素，根据压窜井窜通机理，归纳出干扰型和窜通型两类压窜井模型。

实验研究越来越受到力学工作者的重视，本次大会设有相关分会场 1 个及直接相关的专题研讨会 4 个，共有近 120 位学者分享了他们的工作进展及研究成果，涉及电测、光测、实验数据处理分析等方面的各种新技术新方法，微应力应变、大尺度运动和变形、高温环境、高速运动、生物力学等方面的测量测试技术，以及实验力学在新材料、土木工程、岩土工程、损伤检测等方面的应用等。“实验力学”分会场共安排了 23 个邀请报告。李喜德介绍了多尺度实验方法、技术和设备的发展，并讨论了在跨越多个尺度测

量时微载荷、位移的测量和表征方法，探讨了相关检测方法和设备在跨越不同尺度检测时的夹持、加载特性，测量环境的影响及耦合作用的尺度依赖性。陈巨兵提出了两种有效减小条纹图像处理中相位误差的算法。张东升采用力学实验的方法，结合数值计算技术，对牙釉质宏观和微观的力学行为进行了探索，开发了微材料力学测试系统，通过制备紧凑拉伸试件，研究了牙釉质的断裂力学行为。潘兵详细分析了普通二维数字图像相关测量中存在的各种不利因素、以及这些因素对位移和应变测量的影响，提出了两种获得可靠和准确的变形测量结果的方法。雷振坤报告了其将投影条纹技术应用到复合材料结构实时动态屈曲检测的情况，以期为准确捕捉屈曲模态和表征结构变形提供可靠手段。刘战伟介绍了其近年来发展和提出的多种液面三维变形测量技术。

“材料与结构之力学性能测试”分会场邀请了 50 位学者作报告，内容涉及各类先进材料与结构的力学性能测试与分析，与实际工程应用联系紧密。其中，陈克姣介绍了其建立的多功能扰流板正常状态、漏油故障状态、作动器卡死故障状态以及活塞磨损故障状态下的有限元模型，进行模态分析并建立了各故障状态前 8 阶模态频率的动特性数据库，建立了多功能扰流板健康识别的灰模型，可结合健康识别模型诊断以识别其健康状态。杨武采用试验和有限元相结合的方法，开展了中心缺口和边缘缺口复合材料剩余强度的实验研究与分析，利用平均应力准则和霍夫曼准则，预测了缺口尺寸对剩余强度的影响，并与试验结果进行了对比分析。李荣锋分别提出了以“真实塑性应变”为理论基础的方法、和以“全应变”为理论基础的方法，针对塑性应变不均匀的材料，采用过原点的线性回归求取区间  $r$  值的规定等其它 4 个方面的技术内容进行了修订完善。帅健采用 ANSYS 有限元软件，综合考虑环墙式地基、加强圈、抗风圈及支撑、包边角钢等所有附件的影响，建立大型非锚固储罐空间的有限元全模型，模拟储罐的实际运行状态。徐魁龙通过对比不同金属材料进行常规拉伸与缺口拉伸试验，分析了不同塑性材料缺口状态与其拉伸强度之间的关系，并对其断裂机理进行了研究。蔡晓静介绍了一种新的单轴疲劳寿命表达式，可以定量地描述整条 SN 曲线。杨凤鹏针对 45# 钢三维圆截面试样的直前缘表面裂纹，通过试验的方法给出了疲劳轴向载荷作用下的恒定扭矩，以及疲劳扭转载荷作用下恒定轴向载荷的作用规律。王建国介绍了其围绕 316LN 奥氏体不锈钢的低周疲劳性能展开的研究。宾婷婷介绍了其对粗粒辉长岩进行的三轴循环试验。陕静介绍了流经注采管柱时高速气体压力场和速度场分布规律的研究。韩生超分析了水力压裂裂缝起裂和扩展机理，利用数值模拟软件建立含天然裂缝的水力压裂裂缝扩展模型，

并分析了围压、天然裂缝的密度、角度等因素对水力裂缝扩展的影响。郭德文介绍了其以包括泥面下桩基的四腿导管架平台为对象，考虑桩土相互作用等因素，建立的水动力条件下导管架整体结构力学模型。“岩土动力学测试技术与分析方法”专题研讨会上 13 位专家就非饱和土的动力特性、克服不连续变形分析在模拟大转动时的伪体积膨胀的简单而有效的方法、冲刷前后沉箱加桩复合基础的水平-摇摆耦合振动特性、桩网结构路基动响应测试及有限元分析、堆积体的动力特性与地震边坡变形特征、天津滨海软粘土动力累积塑性变形特性与增长模型、基于矢量和法的边坡动力稳定性分析、循环荷载作用下黏土改进界面模型、不平顺条件下高速列车轮轨动力作用引起的路基动力响应、强夯作用下地表的变形特征研究、土质滑坡筏板式格构-锚杆-锚索复合抗滑支挡技术及应用，以及深海静力触探测试技术综述等方面作了精彩的报告。“多尺度实验力学新技术应用与教学”是实验力学新发展与应用的重要方向，在这个子专题中，共有 40 场报告。其中，李喜德发展了一套 PZT 驱动的单晶硅悬臂小尺度材料力学性能测试系统，研究了枯草芽孢杆菌等一维微纳米材料动态弹性、动态粘弹性力学性能。张兴义研制了含有光学观察窗口的力-电-磁-热多场测试系统，以厘清应变引起超导材料临界电流的退化机制，并介绍了观测超导材料内部损伤演化方面的进展。仇巍采用 streamline 技术开展拉曼 mapping 测量，获得了界面区域附近的高分辨拉曼频移、展宽和强度分布场，进而获得了该多层结构不同深度的残余应力分布规律。张旭建立了应变梯度塑性框架下的细丝循环扭转理论模型，对细丝循环扭转行为的预测结果与实验结果有很好的吻合。

“基于高速成像的动态测试技术”会场共有 19 个学术报告。其中，王晋军采用高速成像的粒子图像测速（PIV）技术实现了时间解析的流场速度场测量，而基于时间解析的速度场能通过求解流体力学控制方程来间接得到与速度耦合的压力场。姚学锋对数字式阵列高速摄像系统进行设计，可实现在主动控制和被动控制两种控制模式下进行动态实验断裂力学的研究工作。陈鹏万提出了一种基于高速变形场测量的应力波传播与层裂现象的测量方法，结合数字图像相关方法，得到了试样在变形与断裂过程中动态变形场。朱海斌提出了一种新的霍普金森杆测试方案，充分利用材料在高速冲击载荷下的惯性效应，不仅简化了试验设备，更拓展了试验的设计空间。陈荣采用分离式霍普金森拉杆研究一种 PVB 材料的动态拉伸性能，不需要实验中传统的力平衡要求，实验条件更为宽泛。金辉研制了一套可用于公开水域水下爆炸图像记录的高速摄影系统，可抗水中爆炸冲击，同时具备远程控制功能。

微纳米力学依旧是固体力学的重要研究热点之一，本次大会设有“微纳米力学”分会场1个及直接相关的专题研讨会5个。“微纳米力学”分会场邀请了26位学者作学术报告，其中张统一院士介绍了上海地区材料基因组工程研究的推进与发展，阐述了材料基因组科学研究的特点与组织模式的构建，就中国材料基因组基础研究中若干关键性基础科学问题，包括数据库与知识库建设、集成计算与材料设计、材料结构与物性表征、服役与时效行为等进行了探讨，并就如何围绕基础科学问题推动实用材料需求牵引下的材料设计与应用技术研究进行了思考。冯西桥基于大多数天然生物材料通过复杂分级结构实现良好力学性质和生物学功能这一基本策略，介绍了其研究组在天然生物材料表界面力学方面所取得的结果，并从多尺度的能量耗散机制、表界面强韧化机制、尺寸、效应、手性形貌等方面，讨论生物复合材料的强度与断裂的一些基本特点。徐志平对晶体材料中的缺陷与材料力学性质、输运行为等物理特性之间的联系作出了详细报告。钱劲介绍了分子尺度下力学因素调控的黏附分子双向可逆反应，包括随机过程描述、分子黏附动力学、反应-输运耦合等关键问题。陈少华应用新理论模型解析表征了纳米薄膜双轴拉伸、固支及悬臂纳米梁弯曲、纳米梁振动频率、纳米颗粒表面能密度等问题中材料力学行为的尺寸效应，得到了与已有实验、数值计算一致的结果。吴恒安主要报告了石墨烯通道物质运输的微力学行为和机理。曲绍兴介绍了近期设计的两种柔性结构及其力电耦合性能，并就介电高弹体的电致褶皱现象开展了实验和定性分析，揭示了褶皱萌生和演化行为。郭万林结合其十多年来对连续介质力学、量子力学和纳尺度物理力学的理论和实验探索，就低维柔性体系物理力学行为进行了报告。

“表面/界面效应的力学问题”是“微纳米力学”的一个分支，是微纳米技术、材料科学、生物医学等领域广泛关注的问题之一。“表面/界面效应的力学问题”研讨会邀请了23位学者作学术报告。其中，冯西桥就软材料表面失稳问题重点讨论了生物材料非均匀生长所引起的表面失稳和形貌演化。郭旭报告了非均匀介质粘附接触问题研究中的一系列新的封闭解析解。刘静在考虑摩擦生热及热弹性效应的情况下，通过考察由微扰动引起的热弹性波场并分析其稳定性，研究了涂层半空间与均匀弹性半空间相对摩擦滑移的热弹性动态稳定问题。“薄膜、涂层及界面力学专题研讨会”邀请了71位学者作学术报告。其中，许巍采用有限元方法研究了连接层厚度对粘结界面损伤演化和应力分布的影响，利用内聚界面模型模拟不同厚度条件下的连接层。宋岩以理论方法求解TBCs制备过程中的热应力，并辅以实验和数值模拟方式进行验证。张凯推导了含微结构薄膜

的应力场解析表达式，并通过应力分析和屈曲分析发现，微结构改变了薄膜的应力分布和失稳模态，进而改变了薄膜的褶皱斑图。庄茁发展了离散位错动力学与有限元(FEM)耦合模型和离散连续晶体塑性计算方法，研究了含涂层亚微米单晶柱的约束塑性行为。周益春基于真实的热障涂层SEM图片，利用图片处理获得真实的TGO界面形貌，从而建立含有真实TGO界面形貌的热障涂层有限元模型。张一慧介绍了一种基于自相似构型的可延展薄膜电导线设计，通过基于有限元方法的大变形后屈曲分析，揭示出其拉伸载荷作用下的有序展开变形机理，并通过实验进行验证。李振环采用分子动力学方法，研究了纳米孪晶片对金属多层薄膜的强化机制，在此基础上，对其强度增强行为进行了理论预测。倪勇基于最近发展的梯度流体力学方法集成相场微弹性模型、大变形板理论和内聚界面分析，结合理论和模拟讨论了系列薄膜结构中非线性屈曲形貌演化。曲绍兴基于第一性原理，分别讨论了两种能够保持铁电纳米薄膜面外极化畴构形的静电屏蔽机理，即“二维电子气”和“金属电极”的两种机理。张旭通过应变梯度塑性理论对双晶和三晶材料的力学响应进行研究，揭示了晶界对材料宏观力学性能的影响。“微尺度下黏附、接触/界面力学”专题研讨会安排了43个学术报告，其中王钻开介绍了微纳米材料表面的液滴动态行为；刘建林介绍了毛细弹性耦合领域的一些新进展；熊启林介绍了考虑共价键效应太纳米管增强聚乙烯的界面力学行为等。“集成计算微纳米力学”专题研讨会邀请了24位专家进行了报告。其中，白以龙院士深入分析了两种分子模拟方法的特点，并就其在发现新现象和阐明新机理方面进行了报告。张统一院士利用新发展的第一性原理/连续介质耦合的算法，对带有净电荷的二硫化钼和石墨烯两种材料在电解质溶液中的力学和电学性质进行了计算。田永君估计了纳米晶和纳米孪晶两种组织情况下多晶金刚石和cBN所能达到的最小组织尺寸及相对应的硬度。刘晓毅研究了手性和屈曲尺寸对石墨烯屈曲的影响。陈少华应用分子动力学方法分析了石墨烯条带与单壁辅助纳米碳管的相互作用，并分析了不同缺陷含量、缺陷分布方式等对缺陷可控纳米碳管形成的影响。段慧玲分析了辐照缺陷对晶体塑性变形的影响，建立了细观尺度上缺陷与位错空间相互作用的辐照晶体张量塑性模型，并基于弹粘塑性自洽理论有效地预测多晶材料的辐照硬化行为，最后辅以实验验证。“微纳米尺度的接触和摩擦问题”一直是固体力学研究的重要组成部分。该专题研讨会邀请了20位学者作学术报告。其中，王刚锋研究了表面张力对刚性球和弹性半空间接触的影响，展示了凸体载荷-接触面积的尺寸相关特征，特别是纳米尺寸的微凸体。李群仰通过分子动力学模拟，发现原子尺度黏-滑摩

擦力的强化可能来源于滑动中接触界面褶皱形貌以及局部公度性的演化。姚泉舟介绍了一个新型的原子尺度黏-滑摩擦数据的重构方法，并通过基于P-T模型的过渡态理论模型来反演原子与能量耗散相关的特征参数，由此探讨原子尺度界面特征参数对其表面摩擦现象的影响。姚子健将超声波作用于极硬纳米陶瓷颗粒及其团簇，引发它们之间的相互撞击，之后在高分辨率图射电镜下观察其形貌特征，从而评估超声处理对纳米陶瓷颗粒及其团簇的分散甚至融合效应。史相如采用纳米冲击在微纳米尺度下系统研究了不同材料在不同冲击条件下的动态力学响应，定量分析了冲击能量下力学性能的变化，以及弹道能量阻尼行为等。

材料与结构的力学行为无疑是固体力学的最主要研究内容，本次大会设有相关分会场 2 个及直接相关的专题研讨会 8 个。除了前面介绍的侧重于实验的“材料与结构之力学性能测试”分会场外，“电子电磁器件力学”主要关注压电声波器件等新型功能器件的力学研究，邀请了 16 位学者作学术报告。在智能材料断裂领域，与会代表和大家分享了近期在层状铁电材料断裂问题的多场耦合及热电磁固体断裂失效的新的分析方法；在智能材料中的声波传播领域，报告专家和大家探讨了压电复合结构中的波动及弱界面特性、具有波导层的压电声子晶体结构中的表面波、压电和磁电层状结构中 SH 波的传播性能、挠曲电效应对波传播与俘能器的影响、及压电薄膜体声波谐振器的分析方法等；在智能材料的微细观力学领域，与会专家和大家分享了在铁性智能材料微结构演化的相场模拟、电-磁-弹性多相材料变分渐近均匀化细观力学模型等方面的最新研究成果；另外分会场主题还涉及了超导电磁材料与结构的低温多场下力学性能，让大家了解了在国内超导电磁材料力学性能表征的最新研究成果。

“复合材料与结构的多尺度力学”专题研讨会共有 33 个报告。本次研讨会的报告内容丰富，涉及碳纤维增强复合材料、植物纤维复合材料、金属基复合材料等先进复合材料的多尺度力学行为研究。在植物纤维及相应复合材料的力学研究方面，同济大学李岩课题组通过混杂复合材料材料技术和纳米技术来提高织物纤维增强复合材料的力学性能，制备了植物纤维增强复合材料结构件，并已在轨道交通车辆及汽车等领域开展了应用研究。郑州大学的刘大全和山西农业大学的李洪波等学者还介绍了关于瓜藤织物纤维和竹纤维力学研究工作。在陶瓷基复合材料力学研究方面，上海交通大学的张达旭课题组介绍了 2D 陶瓷基复合材料力学行为的双组元模型，他们在前期非线性均质化模型基础上，考虑纤维束轴向和等效介质的非线性性能，提出了一种计算高效的非线性双组

元分析模型，可预测 2D 陶瓷基复合材料的非线性力学行为。哈尔滨工业大学的王超与合作者结合微纳米尺度原位力学测试与分子动力学模拟，对两单根碳纳米管所成界面的剪切与剥离破坏机理进行了深入研究。哈尔滨工程大学的梁文彦通过实验方法研究纳米氧化铝/环氧树脂在高应变率作用下复合材料的动态力学性能以及颗粒增韧效果。“高分子材料力学性能”专题研讨会就高分子材料的力学研究进行了交流，共有来自 12 个科研院所的报告 15 个，其中邀请报告 2 个。这些报告中既有学科前沿：如乔治亚理工的齐航在形状记忆高分子材料和 3D 打印中引入时间尺度，通过 4D 打印的概念完成更加智能和多样的形状记忆功能；也有国家安全需求的难点：如中国工程物理研究院的黄西成展示了高聚物粘结炸药变形与破坏的耦合塑形损伤模型研究。李旭、孙晓昊、潘怡辉、唐山学者等从实验、MD 模拟、本构模型等各个方面讨论了橡胶类材料的宏细观力学行为；熊诚、饶燕妮、童疏影等分别报告了高分子材料在各种新型材料如导电复合材料、短纤维增强复合材料、树脂复合材料压力传感器中的应用与研究；胡宏玖、朱忠猛和敦勃文分别讨论了复杂环境条件下不同聚合物的老化对材料性能的影响；蒋成凯和张建伟则试图通过建立基于微观结构的高聚物大变形本构模型，来合理描述其力学行为和刮擦破坏机理。“材料的基础力学与结构完整性”共安排了 59 个报告。其中肖思从功率的平衡出发，提出了裂纹面生成能量释放率的概念。邹恢燃采用霍普金森压杆(SHPB)实验测试铝合金材料在  $100\sim 10000\text{ s}^{-1}$  应变率范围内的动态压缩力学性能。姚笛给出了两种超临界机组材料的单轴拉伸性能和本构关系参数。董杰从试验和有限元模拟两方面对影响压缩模量测试结果的关键因素进行分析。于健将应力三轴度作为表征受力状态的参量，对搅拌摩擦焊点的失效特性进行了研究。胡文军介绍了分离式 Hopkinson 扭杆的相关实验技术，从加载方法、夹持方式、试样设计及数据处理等方面详细论述分离式 Hopkinson 扭杆实验技术的研究进展和应用情况。陈友龙利用有限元方法系统地研究了多根并排纳米线的螺旋屈曲。陈刚主要针对微力试验系统的开发与应用开展研究。郭强基于固有耗散理论和计算模型，对 3 种经不同热处理的 FV520B 不锈钢进行研究，并对其微观组织形态进行观察分析。潘永东建立激光线源激发表面波的平面应变有限元数值模拟模型，模拟了激光在远场激发表面波与缺陷前沿和后沿作用的过程，揭示了缺陷在表面波作用的规律，并提取其散射回波特征。“极端条件下材料与结构的力学行为”专题研讨会报告邀请 27 位学者作学术报告。其中，丁淑蓉采用用户子程序，建立了燃料棒宏观热力耦合行为的计算模拟方法，并验证了子程序的有效性。段慧玲针对面心立方

孪晶材料力学性能的辐照硬化效应研究，建立了一套理论模型，主要包括考虑孪晶、缺陷和位错相互作用的晶体塑性模型，以及基于弹性塑性自洽理论的跨尺度方法。刘凯信利用小型多功能霍普金森杆实验平台，研究材料在不同应变率和高温下的动态力学行为。田晓耕采用具有两个热松弛时间的 G-L 广义热弹性理论，建立了分数阶广义热弹性理论控制方程。胡平研究了结构胶粘剂和单搭接胶接接头试件在长期湿-热-力耦合工况下的力学性能退化行为，得到了其依赖于环境因子的材料力学属性，并为随后的数值仿真工作提供了必要的数据库。马连华将封闭气体简化为常体积模量的线弹性体，建立了含两相内压闭孔型多孔材料宏观应力与基体局部二阶应力距的关系。裴永茂建立了高温氧化的理论和计算方法，考虑微结构演化和氧化物的生成，模拟了高温扩散行为、高温氧化行为以及氧化生长应力的分布和演化。“轻质多孔材料及结构的基础理论及应用”专题研讨会共邀请了 38 位学者作报告，其中李晓东研究了轻质节点增强复合材料夹芯结构的制备及剪切性能；于渤介绍了在蜂窝夹芯结构的内面梯度设计方面的最新研究进展；唱忠良介绍了关于球体开孔泡沫铝静动态力学性能的最新研究成果。“位错动力学”专题研讨会共有 15 个报告，报告涉及范围包括基于位错密度演化的位错动力学、连续介质位错动力学、位错动力学与晶体塑性的结合、位错与晶界、裂纹、孔洞、辐照缺陷等其它晶体缺陷相互作用等等。“非晶态物质力学”专题研讨会组织了 21 个报告，涉及非晶合金的微观变形行为、宏观力学行为以及金属玻璃基复合材料的力学性能等研究内容。

材料与结构的破坏分析及健康监测是固体力学的重要研究方向，吸引了众多学者。本次大会上，除了众多分散的学术报告外，有 5 个直接相关的专题研讨会。“复合材料破坏与强度”专题研讨会上交流了 64 篇学术报告，分两个会场交流了各自课题组近期的研究成果。其中，黄争鸣介绍了复合材料破坏分析的重要进展，发现了基体现场强度与原始强度差异的根本原因是加入纤维后的应力集中，进而实现由原始组分性能计算复合材料强度。黄涛等人在三维编织复合材料中引入随机分布的孔隙，应用单胞模型研究了孔隙对材料力学性能的影响。黄风雷课题组将桥联模型应用于高应变率层合板动态响应分析，借助有限元对高速冲击后层合板压缩强度进行了优化设计。蒋震宇发展了一种测量纤维与基体界面拉伸强度的新方案。刘斌报告了他们的研究成果，指出各向异性材料最多只有 18 个而不是 21 个独立的材料性能参数。李彪提出了一种复合材料就地强度的新处理方法，使层合板强度包络线的预测更合理。“疲劳断裂与结构完整性”专题研



讨会共有 52 个报告，涉及航空、航天、航海和高铁等各领域，既有疲劳断裂的基础理论研究也有工程应用案例的实际分析。北京航空航天大学的杨晓光对航空发动机热端部件的力学问题进行了归纳，并提出了结构完整性设计的研究重点方向。广西大学的张克实从材料的延伸率角度阐述了镍基高温合金低周疲劳寿命的预测方法，对于工程上的应用具有较强的指导价值；来自美国中西州立大学（Midwestern State University）的 Wang Sheldon 从材料和结构两个角度对梁柱结构进行了失效分析。同济大学的高玉魁从齿轮结构的完整性评价力学方法阐述了耐久性设计思路，并结合表面完整性来讲述了表面强化对齿轮弯曲疲劳寿命的延寿作用及脱碳的危害。“无损检测、健康监测及大数据分析”专题研讨会重点关注结构中缺陷的监测与失效评估，共有 33 个学术报告。其中，李法新介绍了具有大压电系数  $d_{36}$  的 PZT 陶瓷及其在超声导波激励中的应用；丁克勤介绍了基于光纤传感技术在役冶金起重机疲劳寿命的预测研究。“材料与结构破坏分析的近场动力学方法”专题研讨会共邀请了 21 位学者作报告。其中，孙朝阳建立了 PD 率效应本构模型并基于此模型对各向同性板、复合材料单向层板和异向层板受冲击的情况进行仿真模拟。吴勇军研究了高斯白噪声与谐和力联合作用下多自由度强非线性随机振动系统的首次穿越损坏问题，得到系统的可靠性函数及平均寿命。顾鑫研制了基于常规状态的近场动力学弹性模型二维/三维计算程序，模拟了单轴拉伸下含中心圆孔脆性板的弹性变形和开裂破坏问题。“第五届灾变破坏力学的数值模拟与试验”专题研讨会邀请了国内 27 位学者作学术报告。李宗利研究了不同湿度状态不同湿度对混凝土断裂特性的影响，并建立不同强度等级混凝土断裂韧度与含水率预测公式。陈在铁探索了梯级库群拱坝系统崩溃的极端灾变条件、破坏机理与和主要连锁失效模式，建立了由失效概率即风险率、经济损失风险值、生命损失风险值等指标组成的库群拱坝系统失效风险评价体系。余天堂建立了分析裂纹、孔洞、夹杂问题的三维自适应多尺度扩展有限元法。王东东利用无网格法研究了降雨及冻融影响下边坡破坏的三维高效无网格数值模拟方法。郭力将混凝土视为由骨料、砂浆及二者之间的界面层（ITZ）所组成的三相复合材料，建立了包含球形和椭球形骨料以及具有不同 ITZ 层强度的混凝土材料模型，模拟分析了混凝土单轴拉压的破坏过程。“混凝土类脆性材料复杂力学行为”专题研讨会，共邀请了 31 位学者作报告。该分会就水泥混凝土、沥青混凝土、岩石等复合材料力学行为研究开展深入交流。其中，梁正召基于细观损伤力学和动力有限元方法研究了动载岩体裂隙扩展机制；陈江瑛等研究了陶粒体积分数对陶粒混凝土破坏行为的影响；姚远等

发展了一种爆破载荷施加方法；吕太洪等采用随机骨料模型模拟了圆柱形钢筋混凝土试件 SHPB 试验；曾国伟等创建沥青混合料的二维异质结构模型以模拟半圆弯曲试件的损伤断裂行为；李犇等研究了混凝土冻融循环微观损伤模型；武丁等研究了裂缝分布不均匀性对钢筋混凝土氯离子扩散性的影响规律等；董满生等提出了考虑界面效应的沥青混凝土细观力学蠕变模型；叶永等模拟了单轴受压混凝土弹性与缺陷关系；张书等通过数值模拟研究了 ITZ 对混凝土宏观动态力学性能的影响机制；赵文虎等针对复合材料重构了扩展有限元法的改进函数；江守燕等研究了非均值材料内部缺陷的动力扩展有限元反演分析；丁嘉峰等研究了基于应变能密度理论的微观格子模型断裂准则；杜成斌等研究了动载下混凝土裂缝动水压力模型及其应用；杜春志等利用实验方法研究升温层厚度、埋深等参数对机场道路强度影响规律；褚洪岩等研究高温作用下牺牲混凝土的损伤演化规律；陈小翠等采用基于离散损伤模型的非线性扩展有限元模拟混凝土裂缝扩展；侯成基于修正 MTS 准则研究了含中心直裂纹混凝土圆盘准静态断裂行为；余欢等考虑混凝土材料孔隙的影响，通过数值试验研究了混凝土力学性能；戴上秋等提出了一种动力裂纹扩展的数值模拟方法；孙立国从细观尺度模拟了混凝土三维三点弯破坏过程；陈东东等给出了一种钢筋混凝土三维细观模型生成方法；沈泳星等提出了一种相场模型研究 Euler-Bernoulli 梁的脆性断裂；李毅环等给出了一种基于势能泛函的断裂相场模型自适应网格细分方法；陈博斐等采用有限元方法数值模拟混凝土 SHPB 束杆试验；徐可等用离散单元法对颗粒土石料的颗粒破碎效应进行模拟；高欣等发展了脆性裂纹扩展的一致性高阶无网格法；康哥等研究了应用于脆性材料损伤断裂力学行为分析的 DDA 模拟方法；徐涵越等基于 X F E M 模拟三点弯曲混凝土梁的疲劳断裂行为；王学滨等数值模拟常速度加载下巷道围岩模型的变形、开裂、跨落过程；王新宇等研究了岩石准静态条件下加载过程中的非平衡效应。本分会报告中，河海大学关于扩展有限元在混凝土缺陷分析应用的研究、上海交通大学的断裂相场模型、三峡大学的混凝土力学性能细观模拟、合肥工业大学关于沥青混凝土细观蠕变模型的研究、哈尔滨工程大学的混凝土冻融循环损伤模型等研究各具特色。

固体中的弹性波传播是器件设计、抗震分析、无损监测等的共同基础。“弹性波理论及其应用”研讨会共安排了 43 个学术报告。报告内容多涉及弹性波在不同材料之间界面上的反射与透射特性、弹性波的散射与衍射以及传播特性等的研究。例如，杨在林模拟了局部地形对地震的动影响；王彦正分析了预拉伸粘弹性杆中的冲击波。

结构优化已成为制造数字化的重要组成部分，在各领域工业装备的创新设计中发挥了重要作用。“多物理场耦合力学与多学科优化”专题研讨会安排了 27 篇学术报告，涉及流固耦合、电磁-机电-热耦合、多场耦合动力学优化等。研究内容涉及了结构热/声/振动场耦合动力学建模与分析方法、非定常流动与刚体运动耦合数值模拟技术、复杂结构多场耦合多学科优化设计等前沿问题，对象涵盖了飞行器、核电装备、发动机、电子装备、岩土等。“车身设计中的优化方法”专题研讨会共计 30 个报告。各报告人基于汽车设计在快速计算、优化、可靠性等方面做出了卓有成效的工作，将其工作作了深入浅出的报告。其中，周映鸣作了“汽车吸能管的多样性优化设计”的报告，杨林作了“基于现代设计方法的车门结构轻量化研究”的报告，蔡勇作了“基于 GPU 并行的材料结构一体化拓扑优化方法”的报告等。各代表分别对于优化的效率、约束的类型以及应力约束的添加、代理模型的精度、GPU 并行计算的优缺点、自适应成长法的校核、可靠性优化样本点的确定等热点问题进行热烈的讨论。“航空航天结构与多学科优化设计”共计安排专题报告 53 个，其中，黄诚作为本会场的邀请报告人之一，系统梳理了结构优化技术在航天结构设计中的应用现状和迫切需求。甘学东介绍了飞机结构设计遇到的挑战。刘靖华就运载火箭总体多学科协同设计优化作了精彩的报告。朱继宏详细讲述了多组件结构系统的整体式拓扑布局优化设计进展。高彤分别针对高阶振动约束对应的局部模态困难，简谐激励下大规模灵敏度分析的精度问题等动力学拓扑优化的关键技术和最新进展进行了汇报。罗阳军对应变势函数进行插值，并汇报了具有无摩擦接触支撑的超弹性结构拓扑优化方法。

针对固体力学的其它前沿热点问题，如软物质力学、多物场耦合力学、能源中的力学问题等，大会也设置了若干专题研讨会。“第三届软物质力学研讨会”共安排了 25 个报告，其中 6 个为邀请报告。从理论、实验与数值模拟等多方面探讨了多种典型软物质与结构的力学响应特性，涉及介电高弹体、水凝胶以及生物医学方面等。“固体流变学与应用”专题研讨会安排了 12 个学术报告，大都集中在各类固体材料的粘弹性性能研究上，如张为民建立并分析了含弱奇核函数的分数指数黏弹性模型；李明汇报了沥青混合料非线性黏弹性突变特性。“复杂条件下力学-化学耦合与交互”专题研讨会报告邀请 23 位学者作学术报告。其中，陈建康研究了混凝土在养护完成后继续水化过程中力学行为的演变；冯雪建立了高温三点弯曲载荷下试件的氧化动力学方程和应力演化方程，从而解释应力及外加载荷对高温氧化的调控作用；魏巍给出水凝胶的化学-力学耦

合问题的控制方程，自然边界条件和化学-力学耦合本构关系，利用化学-力学耦合形式的有限元矩阵计算公式，在 ABAQUS 软件中开发 UEL 用户单元子程序等。“智能材料多场耦合力学与微结构演化”专题研讨会，就压电、铁电、铁磁、磁致伸缩、多铁、超导等智能材料的多场耦合力学，以及多场耦合加载下智能材料的微结构演化，组织了 35 个报告。“电磁智能材料与结构多场耦合力学”专题研讨会就与该专题关联的一些新的科学问题、工程应用技术问题特别是与超导电磁材料与结构关联的多场问题安排了 32 个报告。“形状记忆材料的热-力耦合行为表征”专题研讨会针对形状记忆合金、形状记忆聚合物复合材料的力学行为组织了 13 个报告，理论、实验与数值模拟结合，涉及形状记忆合金材料的热力耦合行为、热力学行为、应变对相变域图案形成的影响、超弹性能、本构模型、热力耦合相变棘轮行为等，以及形状记忆聚合物复合材料的力学性能记忆在航空航天领域的应用。“能源材料力学与新能源”专题，共有 21 名学者作了学术报告。丁淑蓉综合考虑辐照效应和氢致效应，建立了锆合金包壳管中的氢原子扩散-氢化物析出-热-力耦合行为的三维微分控制方程组及多场耦合问题的计算模拟方法。蔡传兵展示了相关高温超导涂层导体制备中的薄膜形貌的实验观察，对超导带材在绕组、低温、应力等服役状态下的特性进行介绍等。

国家在重大工程项目中的持续科研投入使固体力学发挥出重要的指导作用，本次大会安排了若干专题研讨会，针对性地交流相关领域的研究进展。“航天飞行器结构强度与动力学环境研究”专题研讨会共安排 50 个学术报告，报告人介绍了自己的最新研究成果，深入探讨了航天飞行器强度和动力学环境专业未来的发展趋势以及仍需解决的一些基础性力学问题，研讨内容涉及复合材料结构强度、力热耦合、环境预示与控制、试验测试等专业技术领域，涵盖了目前航天飞行器结构强度与环境技术研究领域的难点与热点。“先进制造与电子封装力学”是新型的力学分支，共有 20 名学者作了报告。丁淑蓉建立了对 UMo 单片燃料板复合坯件的轧制过程进行模拟的三维有限元模型；周霞发展了激光冲击强化不锈钢板材氩弧对焊焊接件的有限元模型；方棋洪基于能量耗散方法，对硬脆材料椭圆超声波辅助振动磨削的脆塑性加工转变行为展开了研究；虞钢研究了发动机燃烧室部件激光熔覆涂层的激光热疲劳实验；国凤林提出了一个三相细观力学模型，该模型同时考虑了热膨胀和蒸汽膨胀对材料变形的影响，可为电子封装结构失效分析提供材料常数和载荷条件等。“智能可变形飞行器关键技术”专题研讨会安排了 18 个学术报告，从仿生和智能化角度深入探讨了可变性飞行器的设计，研究其力学建

模、气动布局与优化、实验辨识。“石油工程与石化装备中的力学问题”专题研讨会组织了 27 个学术报告，对海底柔性管道、页岩气水平井、石化管道、钻杆、煤层气井、封隔器等重要石油石化结构和装备的力学问题进行了深入探讨。由于涉及复杂的工况、形状、非线性等因素，数值模拟方法在这类问题的研究中扮演了主要角色。“海洋土力学与水下工程结构稳定性”专题研讨会组织了 22 个学术报告，其中，叶冠林介绍了弹性本构模型在砂质海床液化数值分析中的应用；漆文刚基于大直径单桩水平承载的三维有限元数值计算结果，得到了适用于砂土的大直径单桩基础  $p$ - $y$  曲线计算公式；结合离心机试验研究得到的考虑冲刷效应的  $p$ - $y$  曲线修正方法，研究了冲刷对大直径单桩基础水平承载特性的影响。“深部煤炭资源开采中的岩体力学问题”研讨会会场共邀请了 12 位专家进行了报告。其中，王鲁瑀运用岩石破裂系统进行了岩块裂纹演化及止裂数值试验、围岩破裂及加锚数值试验，研究了岩块在加锚前后裂纹组岩桥、裂纹组之间、裂纹组-节理的破裂演化情况。孙中学选取冲击倾向性为强、弱、无三种煤样，进行物理力学参数和冲击倾向性测定。比较分析不同冲击倾向性煤体细观结构特征及其与物理力学参数的关系，探寻煤岩细观结构与冲击倾向性之间关系，提出一种判定煤冲击倾向性的结构新指标。

### 2.2.2. 流体力学

流体力学在航空、航天、航海、环境、能源、化工、生物、水利、灾害、海洋等诸多领域发挥着越来越重要的作用，本次大会设有“流体力学”分会场和 17 个流体力学专题研讨会。另外，“激波与激波管”、“流变学”等分会场和其他专题研讨会上也进行了充分的与流体力学有关的学术交流活动。学术报告内容涵盖流体力学的主要研究领域，包括湍流、多相流、非牛顿流、水动力学、高温气体动力学、渗流力学、工业流体力学、实验流体力学、计算流体力学以及磁流体力学、微纳米流体力学、交通流、环境流体力学、生物流体力学等，反映了我国流体力学基础理论的研究前沿和应用需求。

“流体力学”分会场报告邀请到了中外流体力学领域的 16 名专家，报告内容涵盖了从流体力学基础到应用研究等多个领域。都柏林大学 Dias Frederic 作了关于振荡波浪涌转换器(Oscillating wave surge converters)的报告。他发展了基于线性理论的新数学模型，研究了不同安排方式下海中振荡波浪涌转换器行为，并进一步利用数值模型来处理非线性海浪下振荡波浪涌转换器。这些为研究海浪与振荡波浪涌转换器之间砰击奠定了

基础。加州理工大学 Earls 介绍了空化气泡在工程中的广泛存在和应用，不仅给出了从船舶螺旋桨的空蚀到激光手术等大量有趣的案例，还阐述了空化气泡发生的一些基本原理和流动机理，尤其强调了空化气泡在医疗方面的应用前景。MIT 梅强中院士受血管动力学所启发，基于多尺度渐进理论分析方法，研究了海浪挤压软管产生流动共振现象，给出了理论预测结果，不仅提供了一种利用海浪发电来采集绿色能源的新思路，而且从理论上对工程实现给予了技术指导和理论支持。中科院力学所杨国伟重点介绍了国家科技支撑计划项目支持下的高速列车模型实验平台研制和初步实验研究。他们针对我国实际运用的单双向隧道截面的缩比模型，开展了不同隧道长度的单车隧道通过和会车压力波测试实验研究，并介绍了测试结果。西安交通大学陈斌介汇报了拉格朗日粒子方法的最新进展。粒子法的优点明确：能够抑制对流项数值耗散、易求解自由表面流。然而也存在着稳定性差、精度低等问题。陈斌课题组对其中移动粒子半隐式方法作了很好的改进，提高了方法的稳定性，实现了大涡模拟，还将该方法扩展至多相流动。中科院力学所胡国庆研究员介绍了微通道中颗粒汇聚和分离的最新研究成果。通过数值结果对颗粒和液滴在微通道内的侧向受力进行建模，预测了它们在管道中的平衡位置，分析了颗粒汇聚和分离的流动机理。此外，他们课题组还开展了粘弹性流体流体情况的实验研究，在直通道内实现了血细胞与肿瘤细胞和细菌的分离。上海交通大学廖世俊介绍了求解非线性问题的同伦分析方法及其对水波问题中的巧妙应用。传统摄动方法依赖物理小参数，难以保证收敛性，仅适用于弱非线性问题。相比之下，同伦分析方法更具有普遍性。廖世俊课题组利用同伦分析方法求解了非线性的波浪方程，从理论上预测了深水和有限水深情况下的定常共振波系。水池实验也首次发现了该定常共振波系，验证了理论预测；这显示了同伦分析方法在应用上的潜力。哈尔滨工业大学深圳研究院何晓舟介绍了湍流 Rayleigh-Bernard 对流中最新实验发现，指出近壁区温度场随着与壁面的距离呈现对数分布；这个现象与高雷诺数下近壁剪切流动中速度分布相类似，提供了热对流系统和剪切流动系统相关联的一个线索。北京理工大学王成介绍了高精度数值模拟爆炸问题的挑战和进展，特别是高密度比、高压比多介质相互作用问题。他们提出了高精度保正的 RKDG 格式和处理边界条件的新颖方法，展示了多个算例的测试结果，验证了软件的高精度和鲁棒性；这对武器弹药设计及民用安全具有重要意义。浙江大学邵雪明教介绍了空化泡群的溃灭及空化模型方面的研究进展。通过数值模拟单个空泡及多个空泡组成的泡群溃灭，显示泡群溃灭过程总是从外层泡群开始，然后逐层向内发展，在考虑多泡耦

合效应下最终得到了平均气相体积分数变化率与初始体积分数、驱动压力差之间定量关系，也即修正的介观泡群溃灭模型。清华大学陈海昕在湍流模拟中在 RANS 区和 LES 区分别选择具有尺度自适应特性的两方程模式以及基于 MDCD/SLAU 格式的隐式大涡模拟方法。计算显示该耦合方法在保证计算精度的同时可以有效降低计算量。中国科学院大学王晓东介绍了磁流体流动模式及瞬变过程的研究。通过实验对永磁体螺旋磁场驱动的金属液流行为进行研究，发现在子午面上存在两种典型的流动模式：二次流和轴向环流。当永磁体驱动器的旋转方向发生变化时，二次流的环流方向不变，而轴向环流随之发生变化。王晓东进一步说明了它们相互转化条件和阈值范围，以及流动的瞬变规律。上海大学胡国辉介绍了 DNA 穿越纳米孔过程的介观研究。结合分子动力学模拟(MD)、密度泛函理论(DFT)和耗散颗粒动力学(DPD)等多种手段，他们发现由于在石墨烯薄膜附近浓度极化层的存在，导致流场中出现纳米尺度漩涡；分析了 DNA 在纳米孔中的受力情况，得到了与实验相符合的结果，并阐述了电荷反转对 DNA 受力的影响；用介观模型数值模拟了 DNA 穿越纳米孔的过程，分析了 DNA 的穿越形态对阻塞电流的影响。中科院力学所刘云峰研究员介绍了复现高超声速飞行条件下  $10^\circ$  尖锥标模气动力特性试验方面的研究成果。他们通过改变模型攻角及迎风面激波层内的气体温度，研究了真实气体效应对气动力的影响规律。结果表明，在 JF12 上实验的轴向力系数和压心系数与常规高超声速风洞一致，而法向力系数则低于常规高超声速风洞的实验结果，并且攻角越大，差别也越大。初步机理分析认为这是由于在大攻角下，模型迎风面激波层内空气温度较高，分子振动能被激发所导致。北京航空航天大学高琪介绍了三角翼前缘涡结构时空演化的层析 PIV 测量。研究中采用 Q 判据对旋涡结构进行识别，发现 Q 判据识别的旋涡结构和三维染色线有很好的 consistency。对流场旋涡破裂模态的分析发现了一组共轭的螺旋状旋涡破裂的流动模态。此外，研究还发现旋涡破裂点在三角翼流向方向上存在振荡现象，而旋涡破裂的流动具有固定的角频率。清华大学彭杰介绍了粘弹性液膜柔性壁面上流动特性的研究。他们基于积分边界层理论导出了粘弹性流体液膜厚度演化方程，然后进行了流动稳定性分析和数值模拟工作，发现流体粘弹性效应削弱了液膜流动的稳定性，增强了液膜自由面非线性波的色散特性。

爆轰现象、超声速燃烧及激波与流体界面的相互作用等是目前国际流体力学研究的热点领域，我国的激波和激波管研究在航空、航天、国防以及其他工业领域需求的推动下得到了很大的发展，研究领域也在不断拓宽。“激波与激波管”分会场的 25 个邀请

报告，内容涵盖了激波与界面的相互作用、爆轰波精细结构与稳定性、RM 不稳定性及其诱发的湍流混合、高超声速流与飞行器气动布局、激波风洞建设与实验技术等诸多前沿领域，在很大程度上反映了国内科技工作者在激波和激波管特别是爆轰波的相关工作上所取得的最新进展。

流变学是流体力学领域的经典问题，石油、化工、材料、环境、海洋等相关领域的流动问题均涉及复杂流体介质的流变理论。“流变学进展”分会场组织了 36 个学术报告。内容涵盖了对非牛顿磁性纳米流体、含蜡原油、高分子减阻液、高聚物等复杂介质流变特性及其运动规律的研究，所涉及的基本理论、数值方法以及所得到的研究结果丰富了复杂介质的流变学理论，为我国油气开发、化工制备等提供了科学的依据，体现了流变学基本理论的研究对于相关实际问题的支撑作用。贵州大学郑强、常州大学邓林红和国家超级计算广州中心袁学锋应邀分别作了题为“粒子填充高分子复杂体系的流变学研究”、“呼吸系统中的生物流变学研究进展--从气道平滑肌细胞到气道黏液流变行为认识哮喘的病理机制”和“半稀高分子溶液在微流通道中的非线性流体行为和计算模拟”的邀请报告。“固体流变学应用”专题研讨会组织了 12 个报告，涉及非饱和压实土、边坡中部软弱土层、沥青、有机玻璃、橡胶类材料的率相关力学行为研究。

湍流是流体力学的经典难题，也是航空航天、环境、能源、化工等领域中普遍需要面对的瓶颈问题。湍流及相关课题的研究一直受到我国流体力学工作者的重视。本次大会设有两个湍流方面的专题研讨会，其中，“湍流与流体稳定性”专题研讨会安排学术报告 59 个，报告内容反映了我国湍流学者在流动稳定性的理论与预测方法、湍流模拟如大涡模拟方法、湍流结构与颗粒物的相互作用等方面的最新进展。例如，天津大学罗纪生课题组报道了考虑等效展向波数三维边界层中的线性稳定性方法；北京大学陶建军课题组提出了粘性瑞利泰勒稳定性问题新的近似解析解，将以往的近似解精度提高了一个量级；中国科学技术大学孙德军课题组报道了 Non-Oberbeck-Boussinesq 效应对二维 Rayleigh-Bénard (RB) 非线性演化的影响；浙江理工大学窦书华课题组基于能量梯度理论研究了剪切驱动来流圆柱绕流尾迹失稳的物理机制；北京大学余振苏课题组报道了结构系综理论在描述零压力梯度超音速平板湍流边界层的最新进展；清华大学符松课题组介绍了 RANS/LES 混合方法和湍流多尺度模拟的气体动力学方法；北京大学陶建军课题组与西安电子科技大学郑晓静院士报道了风沙湍流边界层；西安理工大学刘明潇报道了泥沙颗粒与湍流结构的相互作用等。随着实验测量技术的提高，拉格朗日湍流逐渐成



为国际湍流研究的新方向，它是利用拉格朗日观点研究沿流体质点轨迹的速度、速度梯度的统计特性、甚至是湍流结构的几何演化特性。本次专题研讨会契合了国际湍流研究的趋势。例如，北京大学杨越课题组报道了可压缩平板边界层和槽道流转捩中涡面场的拉格朗日演化特性；厦门大学黄永祥课题组报道了湍流拉格朗日速度的标度率；北京航空航天大学方乐和中科院力学所的晋国栋报道了湍流拉格朗日速度梯度交叉关联的短时增长现象。

“对流”专题研讨会将有 26 个学术报告，从理论、实验和数值模拟等多角度，围绕多方面的热对流课题，当中包括对流理论的应用、研究方向、大尺度环流的动力学问题、有关于工程的窄腔传热问题和热对流中所谓终极区间的探讨等。报告的内容不但广泛，其方向也是热对流研究的前沿。这次对流专题研讨会的内容概括如下：恒星内部透过核聚变产生大量热能，这些热能必须透过对流把它们传递至恒星表面。熊大闰院士给出了将对流理论应用于研究恒星结构问题的介绍；余振苏提出了在经典热对流模型 Rayleigh-Benard 系统的理论研究的展望。在热对流的理论研究方面，一般理论推出的结构函数标度律是基于均匀耗散场的假设，Penger Tong 在实际非均匀耗散场的情况下建立标度律模型，并与实验数据相符合，完善了这方面的理论模型。王胤利用实验数据和有关温度边界层的理论进行比对。在 Rayleigh-Benard 系统中，大尺度环流是一种有趣的现象，其复杂的特性吸引了一系列的研究。其中，郗恒东利用傅立叶模式变换分析大尺度环流，把大尺度环流的反转和停滞现象进行量化分析；夏克青在双层 Rayleigh-Benard 系统，研究多个大尺度环流间的耦合模式；在加入低速旋转下，钟锦强研究在此非惯性参照坐标下引入的科里奥利力如何影响大尺度环流的运动。在工程应用方面，提高传热效率一直是这方面的研究核心。这次专题研讨会会有多个针对窄腔提高传热效率的研究。利用在方腔内加入隔热板，狭窄的通道使流体流动变得有序，包芸及陈军的研究完善了对这种窄腔结构的认知，从而了解传热效率提高的原因。庄启亮报告了在封闭对流系统把空间变窄能使热羽流相干性提高，在机制上有别于加入隔热板的方法，但同样能提高传热效率。这些方面的研究能广泛应用于工业的散热问题上。在关于热对流中“终极区间”的问题，何晓舟报告了系统的阔高比如何影响从“传统区间”至“终极区间”的过渡。本次研讨会中，也有围绕复杂几何中的传热问题、热羽流的运输问题和粘弹性流体等有趣问题。

流动控制与减阻以及气动力、热特征与优化设计是现代舰船与飞行器设计所必需的

关键技术。本次大会共有 6 个相关的专题研讨会，其中，“流动控制技术及其应用研究”专题研讨会共进行了 47 个学术报告，涉及航空、航天、航海以及工业等流动控制技术领域各方面的科学技术问题和前沿热点问题，如零质量合成射流流动控制技术和等离子体流动控制技术等；而且有多篇论文源于国家重大工程，如高超声速飞行器内外流主动流动控制和降热减阻控制。“高温反应气体动力学”专题研讨会共有 22 个学术报告，涉及了化学反应动力学的理论、模型等基础问题，也涵盖了当前的世界热点现象，并对高温反应气体动力学领域未来发展方向做了展望。其中，温志湧等人通过分析首次获得了适用于非平衡流的钝体激波脱体距离的解析解。使用线性或指数函数将无量纲的激波脱体距离与化学反应参数联系起来，通过结合使用理想离解气体模型得到的解析解对实验中一些重要参数对激波脱体距离的影响进行了分析。金台等人采用直接数值模拟方法对三维各向同性湍流和爆轰波的相互作用进行了研究。基于 N-S 方程和单步化学反应模型，分别对无湍流脉动、涡脉动、熵脉动等不同湍流脉动来流作用下爆轰波的发展进行了计算和比较分析。李海燕等人将考虑热化学非平衡效应和滑移效应的计算用于高空滑移流区高超声速飞行器气动加热特性预测。计算结果表明：实验来流振动非平衡效应和模型表面滑移效应会导致单锥和中空圆柱模型表面的热流降低。“超声速流动与燃烧的控制技术及应用”专题研讨会共有 18 个学术报告，主要围绕超声速飞行器展开了从进气稳定性、燃烧稳定性到燃料等方面的研究。超声速实验研究方面取得了较为明显的突破，实现了燃烧的精细化测量；在超声速进气道中，对激波的控制规律的研究结合了数值与实验研究。“Boltzmann 方程输运理论及应用研究”专题研讨会共交流学术报告 34 篇，其中特邀报告 5 篇，内容涵盖了当前我国学者在 Boltzmann 方程输运理论及由此发展起来的气体动理学模型与数值方法在流体流动与复杂物理现象诸多模拟，如空气动力学、多相流、多孔介质流、悬浮粒子流、燃烧反应流、微尺度流动与传热、磁流体力学和生物力学等研究进展与展望，特别是在 Boltzmann 方程输运理论与建模研究、格子 Boltzmann 方法及应用研究、BGK 模型方程及气体动理学格式、Boltzmann 模型方程跨尺度计算方法及其在工程与科学中的应用研究、Boltzmann 方程矩分析法等诸多方面。

“水动力学”专题研讨会共有 41 个学术报告，水波动力学和空泡流这两类问题是目前国内水动力学研究的主要方向，也占据了本次研讨会论文的主要内容。卢东强介绍了侧向应力对集中载荷诱导水弹性波的影响。董杰介绍了斜坡地形影响下孤立波与二维箱式结构相互作用的实验结果，给出了浮体结构总力和压力分布规律。魏岗介绍了大型重力

分层流水槽中开展的内孤立波与细长潜体相互作用的实验结果,给出了模型运动特征与内孤立波流动特征相关性。马林和高建国分别介绍了采用 SPH 方法和传统两相流模拟方法研究物体入水的数值研究结果。胡文蓉和潘定一分别介绍了数值模拟研究手段在研究蝌蚪、水母等典型生物体游动流动机制的研究进展。另有多个报告与空泡流相关,主要集中在采用数值方法对各类空泡流问题的模拟:在机理性研究方面包括空泡近壁面溃灭过程、自然空泡与通气空泡条件下旋涡生成与扩散机制、非球形包膜气泡的平移运动理论分析;与工程实际问题方面,包括三维水翼、大侧斜螺旋桨、高速航行体上的空泡流动结构以及水动力特性的数值预报。“风洞实验方法与技术研究”专题研讨会共有 38 个学术报告,在风洞试验支撑技术方面,除了传统的弯刀等硬式支撑方式,提出了多种不同支撑方式:绳牵引并联支撑系统、条带悬挂支撑方式、5 自由度动态实验机构、双自由度大幅振荡试验系统;在风洞试验技术方面,分别有:高超声速脉冲风洞模型自由飞试验技术、高超声速风洞颤振试验、低速风洞大攻角试验模型流态分析及转捩带的应用、旋翼翼型的低速风洞静、动态试验技术及风洞 TPS 试验技术等。

多相流、非牛顿流和渗流广泛存在于石油、化工、冶金、航空、航天、热能、核能、环境和水利等工程中,是流体力学、工程热物理、物理化学等学科相互交叉、融合的重要研究方向。本次大会共有 3 个相关的专题研讨会,其中,“多相流体力学”专题研讨会邀请了 56 位学者作报告,分为气液两相流、气固两相流、纳米流体、非牛顿流体、液膜动力学、工业应用等几个主题。主要关注于具有可变形的相界面且对相界面质量、动量和能量传递起重要作用的多相流体介质的流动和传热等现象,包括:多相流体动力学基础理论、实验测控技术和数值模拟方法;微重力、微尺度气-液、液-液两相流动与传热;能源、动力、化工、航天、环境、生物医学等工程应用中的多相流体动力学问题。“多相流数值方法及其应用研究”专题研讨会共进行了 29 个学术报告,报告分布较广,从很基础的科学问题到实际的项目和工业应用,从低速不可压到高速可压,从纯流体到流固耦合,从网格类方法到粒子类方法,从 N-S 方程到 Boltzmann 方程,从耗散界面方法到陡峭界面方法。这些报告内容反映了我国多相流、非牛顿流和渗流研究范围的不断拓展和研究水平的不断提高,以及相关研究成果在重大工程实践中应用的日益广泛。“多孔介质复杂流动”专题研讨会围绕“面向国家重大需求、致力前沿基础研究”,结合当前国家能源需求开发等领域中关于多孔介质里复杂流动的内在机理及工程应用中存在的问题进行了研讨。此专题研讨会一共有 27 个报告,其中包括姚军的主题报告“现代

渗流力学体系及其发展趋势”。

随着计算机技术的迅猛发展以及高效流动控制和气动优化设计的需要，当今的计算流体动力学在基础研究和工程应用中发挥着至关重要的作用。在“计算流体力学高精度数值方法及其应用”专题研讨会，共有 74 位报告人和百余位参会者进行了深入的交流。研讨会展示了国内计算流体力学的最新研究成果，反映了国内计算流体力学研究的特点和发展趋势。主要体现为：高精度格式的理论 and 算法得到了长足发展；非结构网格高精度格式研究取得了新的进展；并行计算技术得到了重视；高精度格式在实际工程问题中的应用取得了显著成果。

微纳米流控器件自上世纪 90 年代开始，在生物医学、化学分析、新能源、军事、信息等领域得到了广泛应用。作为其理论基础的纳微流体力学是研究纳微尺度下流体运动、传质、传热、生化反应等规律的一门新兴交叉学科。“生物微流控技术”专题研讨会会有 17 个学术报告，主要关注生物微流控(Biomicrofluidics)领域内的流体力学问题。研究内容包括：模拟细胞微环境的微流控芯片；生物微液滴生成与融合规律；生物微胶囊制备、测量与流动规律；生物微颗粒捕获、操控以及分离控制等。本次研讨会中涌现了一批可喜的新方法、新技术和新结果，如：麦尔斯报告了利用微流体双水相渗透作用制备生物材料的研究进展；施奇惠加工了具有周期性、交错式、人字型结构通道的微流控芯片，可实现循环肿瘤细胞的高速、高纯度、高回收率分选；吴洁等研究了微循环中流动剪切力对脂质体和肿瘤血管内皮细胞结合、吸收效果的影响；姚伟成功搭建了用于细胞加载切应力的实验平台；尚学军采用高精度直接数值模拟方法研究了弹性颗粒变形对分离临界直径和分离效果的影响，结果可用于微管道的优化设计以提高颗粒的分离效果；贾坤克服了现有声操纵技术功能单一的缺点，提出了一种基于声辐射力的非接触式微颗粒目标传输方法；杨大勇小组数值模拟研究了微通道中离子浓度梯度对电渗流及微混合的影响；贺纛结合柔性粒子弹簧模型和浸入边界-格子玻尔兹曼法研究了圆形粒子分离机制。

随着城市化的发展，交通拥堵成为关系民众日常生活、工作休闲等的大事。利用流体力学的方法研究交通问题，并为解决相关难题提供可行方案，成为流体力学发展的新热点。“复杂交通现象的实验、建模和模拟”专题研讨会会有 18 个报告，其中交通流报告 9 个，行人流报告 6 个，其他报告 3 个。报告内容涉及交通流、行人流以及与交通科学相关的其它方面，研究方法既有理论研究，又有数值模拟，还有实验和实测分析。其

中，胡茂彬等基于 Na-Sch 元胞自动机模型建立了考虑多车道、交通灯和路径选择因素的城市交通流模拟模型，提出了分车道的含时最短路径选择新策略，可以有效提高交通流量，降低能耗和排放。丁中俊基于先进的旅行者信息系统（ATIS）提出新的时间反馈策略，与原有的旅行时间反馈策略和平均速度反馈策略下的模拟结果进行对比，说明新策略下行驶时间最小，节省了出行者的时间。姜锐等通过单人逃生和成对逃生这两组行人疏散实验对比发现成对逃生实验时间更短，疏散时间间隔基本保持稳定，进而分析这种现象产生的机理，通过引入临界接触斥力以及组员之间的吸引力，改进原始的社会力模型，改进后的模拟结果与实验结果比较吻合。王质斌等在高铁发展，以桥代路的背景下，研究双跨连续梁在移动列车荷载作用下的振动响应，通过对实例的计算表明：工程计算中，需至少考虑前二阶振型计算双跨梁的跨中位移，才可达到高精度。报告内容反映了我国学者在交通流这一重要的新兴交叉分支学科方面所取得的最新进展。

### 2.2.3. 动力学与控制

近年来，动力学和控制学科与航空航天、机械、建筑、信息、物理、生物等其他学科得到了较好的交叉与融合，并且在相关领域已经取得了很好的研究成果。本次大会设有“动力学与控制”分会场及“分析力学”、“非线性动力学与控制方法及其应用”、“时滞系统动力学与控制”、“多体系统动力学”、“随机动力学理论与应用新进展”、“认知神经动力学”与“航天器动力学与控制”等专题研讨会，共安排学术报告 248 个，内容不仅涉及学科发展的基础科学问题，而且涉及国家重大工程需求的关键技术问题，不仅有深入的理论研究，还有复杂的实验研究，充分体现了动力学与控制学科涵盖领域的广泛性。

“动力学与控制”分会场共安排了 10 个邀请报告，主要反映近年来动力学与控制学科取得的若干最新进展、研究展望及相关科学技术领域对动力学与控制学科的需求。浙江大学朱位秋院士深入浅出的阐述了其课题组在拟哈密顿系统随机平均法方面的最新进展，他们近十多年来对该方法作了两方面的发展：一是从拟哈密顿系统推广到拟广义哈密顿系统、滞迟系统、含分数阶导数阻尼系统；二是从高斯白噪声推广到宽带噪声、窄带有界噪声、谐和、泊松白噪声、分数阶高斯噪声及它们的任意组合，拟哈密顿系统随机平均法也已应用于各种工程、物理、化学、生物及生态系统。上海交通大学的洪嘉振对附加约束法和罚函数法这两种接触模型进行了对比研究。考虑系统频繁切换的特

征，从兼顾精度和效率的角度，对柔性体离散提出模态坐标和节点坐标联合描述的多变量方法。研究了两类变量选取问题，以达到模型自由度最大程度的缩减。上海航天技术研究院的彭福军研究员结合我国载人航天工程、探月工程中典型空间机构产品的论证与研制，介绍了其中的动力学与控制问题、研究方法、解决途径和相应的成果。石家庄铁道大学的杨绍普的报告“重型汽车-道路耦合动力学研究的思考”，利用轮胎将重型汽车与道路耦合，研究该系统的非线性动力学行为。研究发现，耦合与否对垂向动力学响应的的影响比铁路车辆-耦合系统弱，但是在水平方向上，耦合与否对轮胎的附着力影响较大，另外，对道路谱也有相当的影响，这与车辆行驶的安全性有较大关系。西安交通大学江俊介绍了在状态空间离散框架下，整数阶和分数阶非线性确定性系统的全局分析数值方法研究及应用。建立了求解模糊稳态和瞬态响应以及隶属分布函数演化和分岔的方法，发展了具有演化概率向量的广义胞映射方法，用于高效分析和求解噪声诱导下特定吸引集的随机分岔和瞬态响应的概率演化行为。北京交通大学的汪越胜综述了声子晶体对弹性波传播的调控，以及利用拓扑结构优化方法实现声子晶体特定声学功能的设计。北京理工大学的史东华运用几何力学和整体分析工具，给出了无穷维力学系统与经典场论的 Hamel 方程以及相应的变分原理，并应用于带非完整约束和对称性的力学系统，从而便捷的实现系统的对称性优化。东华大学王如彬讨论了认知编码和神经能量的关系：大脑工作时的运筹方式服从能量最小化原则与能量利用最大化原则，而神经活动的模式都有对应的能量表达方式。这既为认知神经表达找到了一种简便的处理方法，又为认知神经编码的研究提供了一种全新的视野。南京航空航天大学的王立峰介绍了纳尺度结构振动、波动等动力学问题的研究工作，揭示了微结构对碳纳米管中波传播的影响，采用能量均分原理预测了碳纳米管和石墨烯热振动的均方根振幅，并对小尺寸、低温和高阶模态的情况进行了量子力学修正。西北工业大学许勇给出了他们最近在非高斯 Lévy 噪声所诱导的复杂非线性动力学方面的研究成果。包括随机分岔、共振和首次穿越等，特别是发现以往高斯噪声下所不能发现的现象。他们研究了非高斯相关噪声对非线性动力学的作用机理、方法和理论，最后给出目前可能存在的问题及可能的解决方法。

近 10 个相关的专题研讨会都包含了新颖而饱满的报告主题。“分析力学”专题研讨会的 23 个学术报告内容主要包括 Birkhoff 力学、非完整力学、几何力学、动力学系统的保结构计算等方面的研究以及分析力学与其他相关学科的交叉和分析力学方法在工程科学中的应用研究。“非线性动力学与控制方法及应用研究”专题研讨会安排了 29

个学术报告，主要内容包括分岔分析、混沌预测与控制方法及其应用、同步现象及复杂网络动力学、非线性系统的分析方法和数值方法、非光滑及多场耦合系统的非线性动力学、实验中的非线性动力学现象及机理研究、非线性振动及非线性减振和隔振方法与技术、利用非线性特性的能量产生和收集方法、非线性系统的运动稳定性问题和工程实际中的非线性动力学问题等。“多体系统动力学”专题研讨会的 30 个学术报告涵盖了多体系统动力学建模理论、多体系统动力学数值计算方法、多体系统动力学实验研究、多体系统动力学应用、航天器轨道动力学与控制等。“随机动力学理论与应用新进展”专题研讨会分成 2 个会场，共 35 个学术报告，内容包括线性随机系统的响应与可靠性，非线性随机系统的稳定性、分叉与混沌，非线性随机系统的共振与同步，非线性随机系统的控制，时滞非线性随机系统，随机动力学系统与随机激励的建模，随机结构动力学，非光滑随机动力学以及随机扰动的分数阶动力学，振动理论及其应用，非线性振动分析及其控制，振动主被动控制理论和方法，振动实验分析及信号处理和振动及其主被动控制实验等。“认知神经动力学”专题研讨会组织了 27 个学术报告，主要内容有神经系统的非线性动力学分析，知觉编码的神经动力学模型与数值模拟，学习与记忆的神经动力学模型、数值模拟与实验研究，运动控制的神经动力学模型与数值模拟，高级认知功能的神经建模与实验分析，EEG 信号与其他生物医学信号处理的分析与应用，复杂网络系统同步、控制及其应用，复杂网络动力学建模、分析及其在神经系统中的应用，与神经系统和网络系统相关的动力学与控制，等等。在“时滞系统动力学与控制”专题研讨会上交流的 32 个学术报告，涉及了时滞系统的建模、仿真与实验，时滞系统的稳定性与非线性动力学，时滞状态反馈控制与鲁棒控制、时滞系统的同步与混沌控制，随机时滞系统的动力学与控制，工程中的时滞动力系统等相关问题。“航天器动力学与控制”专题研讨会安排了 62 个学术报告，分两个会场，主要内容包括航天器姿态动力学与控制、航天器轨道动力学与控制、航天器结构动力学与控制、液体燃料晃动动力学与控制、复杂航天器液-固-柔-控耦合动力学、相关领域的非线性动力学及控制问题、空间交会对接动力学与控制 and 空间编队与星座动力学与控制等其他相关的问题。

#### **2.2.4. 生物力学**

生物力学是研究生命体运动和变形的学科，其基本内涵是运用力学原理、理论与方法深化对生物学与医学问题的定量认识。本次大会设有“生物力学与力学生物学”分会场以及与生物力学直接相关的“细胞、亚细胞与生物大分子力学”、“人类健康与临床医

学中的生物力学问题”和“生物材料与仿生力学”3个专题研讨会，内容涵盖了生物力学的主要研究领域，诸如运动生物力学、心血管生物力学、血液动力学、骨力学、脊椎生物力学、眼生物力学、细胞力学、分子生物力学、生物材料力学与仿生、计算生物力学与生物力学的哲学层面等。

“生物力学与力学生物学”分会场邀请了18位学者作学术报告，涉及近年来生物力学学科取得的若干最新进展，分为“生物力学专题”和“力学生物学专题”。在“生物力学专题”中，刘宇结合运动员的短跑运动生物力学测试讲解了下肢多关节运动控制的策略。李志勇的报告评估 Willis 环后循环发生变异后，其在对应单侧颈内动脉狭窄时所表现出的代偿能力大小，以及基于不同医学成像建模分析的差异。范毅方基于逆向、正向设计，通过3D打印，制造出“榫卯骨铠甲”，并基于榫卯结构，把人工骨的形态、质量、转动惯量和惯量主轴等物理量设计成与患侧活体骨一样的“体感骨”，发挥人工骨的功效。乔爱科探讨了无创检测血流储备分数的数值计算方法，并为验证无创 FFRCT 的可行性进行了数值模拟和实验研究。李瑞欣等研究了不同骨支架材料成型方法对其内部微细结构的影响，以及力学作用对支架材料内部应变分布的影响及对支架材料内细胞的成骨效应的影响。王丽珍等开发了一套头颈部有限元模型和一套多刚体模型，为分析持续性载荷下颈部组织可能发生的损伤，设计了一套使用有限元模型和多刚体模型协作算法，以提高分析效率。于申等建立了人内耳膜迷路三维数值模型，真实描述了膜迷路在颅骨的实际位置、方向和结构特征，分析了日常活动体位变化和环境温度变化激励下，人内耳半规管的功能机制，定量地描述外界力学激励输入和半规管力学响应输出的关系。徐献忠等将食品作为承载主体、牙齿作为加载工具，通过力学理论分析、试验验证，初步建立起适合描述切齿首次咬合过程的力学模型。于志锋等研究发现，骨性关节炎和骨质疏松病人的软骨下骨力学性能差异主要与骨量和骨结构有关，骨质疏松病人的松质骨由于骨结构的退化更容易受到疲劳载荷的影响，而骨性关节炎病人骨结构，特别是骨体积的增加使得它更好承受疲劳载荷破坏。

在“力学生物学专题”中，熊春阳交流了将实验力学数字图像处理方法引入到细胞力学实验的新方法，通过测量细胞引起的弹性基质变形，定量表征细胞与基质的相互作用，并将平面牵引力显微镜方法扩展至考虑法相力（2.5维）及三维条件。张旻通过建立干细胞膜片段复合富血小板纤维蛋白膜双膜复合体纸质材料的制备方法，探讨应力调控新型软骨组织工程双膜复合体移植物中骨髓间充质干细胞的增殖和成软骨分化能力，为下颌髁突软骨缺损修复寻找更适供体。杨春研究了整合素及其相关分子在胞外基



质弹性调控干细胞分化和肿瘤细胞功能中的作用,揭示了细胞感知胞外基质弹性的力学生物学分子机制。龚晓波研究了细胞膜运动和变形情况下,跨膜传质的影响因素,开发了能够准确模拟跨移动和变形中的细胞膜上质量传输的生物流体计算方法。刘贻尧交流了其最新的基于平行平板流动腔系统新型力学信号分子介导应力调控肿瘤细胞迁移的分子机制研究成果。刘肖着眼于糖萼这一新型力学感受分子,研究其在调控生物大分子跨血管内膜屏障输运中调控作用及其力传导机制。吕永刚提出对无细胞骨组织工程支架进行力学修饰提高大块骨修复重建质量的科学假设,探讨了不同刚度支架在流体剪切力作用下对骨髓间充质干细胞功能的影响。刘肖珩采用自组装技术在纳米金表面成功制备了不同的化学官能团,探讨了其对肝癌细胞迁移侵袭能力的调控及其生物力学机制。吕守芹在分子力学生物学研究领域,将分子动力学模拟与闰自立显微镜实验技术相结合,揭示了分子间相互作用在炎症级联反应中的分子机制。

细胞及其生物分子的形态、功能与活动行为与其力学环境和微环境密切相关,探索微环境对细胞或生物分子力学响应的影响机制,对于认识人类自身健康与疾病将有着重要的意义。“细胞、亚细胞与生物大分子力学”专题研讨会共有 27 场报告。王记增等研究了碳离子诱导细胞凋亡过程中细胞形态重构与力学表型重构相关的生物力学机制。季葆华等探讨了细胞在分子、亚细胞、细胞和多细胞尺度上感受力学信号的机理:包括单分子键的解离与加载刚度和加载速率的关系,细胞黏附斑对载荷的响应,细胞牵引力与细胞形状的关系及其在细胞迁移中的作用,细胞排列与细胞间作用的关系等。陈伟等研究了 T 细胞受体 TCR 活化的力学调控,揭示了对载荷对不同类型分子键寿命的影响,并综合运用单分子生物物理化验、分子动力学模拟和 T 细胞增殖等研究方研究了 TCR 逆锁键的结构机理。刘心悦等研究了细胞吞噬过程中细胞膜的力学性质。刘程林等利用流动腔加载系统对破骨细胞施加流体剪切力,记录并分析细胞迁移距离和迁移方向,并进而用不同试剂阻断钙响应通路,观察其对细胞迁移现象的影响。和世杰等建立了细胞-基底相互作用的力学模型,得到了细胞和基底的应力场,以及细胞和基底界面的牵引力。李德昌等研究了腺苷酸激活酶 AdK 与其配体相互作用的动力学行为,采用长尺度全分子动力学模拟方法研究了 Adk 实现构型变化的路径,并采用 META 动力学方法定量计算了 AdK 构型变化路径中间状态的相对自由能以及构型变化时间常数,实现了对 AdK 构型变化动力学过程的定量描述。沈志强等用耗散粒子动力学的方法研究了多组分磷脂囊泡在基底上破裂问题,统一了囊泡的初始构型,计算了基底对于磷脂分子的等效吸引力差值和囊泡含水量对囊泡破裂过程的影响。徐峰等通过数据模拟的方法预测了

不同形状凝胶表面应力/应变场的分布情况，研究了不同应变梯度下成肌纤维细胞的排列。Yuan Lin 等在实验和理论的基础上研究了细胞核在有丝分裂时形状的改变，尤其是研究了裂殖酵母的细胞核从原始形状到产生不同突变形状的演变过程。林骥等基于整合素-纤连蛋白交联的柔性界面内聚力模型，探讨界面的失效模型、率敏感性、尺寸效应、强度和稳定性、迟滞耗散等力学问题。王久令等通过计算模拟的方法研究不同形状的颗粒在带剪切的流场中的扩散速度，揭示形状因素对颗粒扩散的影响机理。张宪龙等应用扩展有限元与水平集相结合的方法对其生长过程进行模拟。布冰等采用分子动力学模拟及理论分析研究了细胞膜磷脂双分子层在电场作用下的穿孔过程。陈彬报告了细胞在循环载荷作用下旋转的机制的研究进展，从模拟和理论上揭示了应力纤维和整合素分子键在细胞旋转中扮演的重要角色。庄飞等应用生物信息学软件分析了蛋白质参与的细胞功能与信号转导途径，并探讨了不同的力学加载条件对细胞功能的影响。李德昌和季葆华引入了解离-再结合的机理建立了理论模型，解释了单分子键的断裂强度在超低加载速率下呈现饱和状态的物理机理。郑文富和蒋兴宇利用微流控芯片，构建了可以为细胞提供流体剪切力和循环拉伸力这两种血管主要的力学刺激的血流动力学微环境。徐光魁建立了考虑了应力纤维粘弹性性质和粘附斑的力敏感性的模型，研究了细胞在双轴循环载荷下的方位动力学问题。陈笑风等研究了低速加载下的平均分子键强度，提出平均分子键强度可作为一个在分子键动力学分析实验中测量的物理量。郑中玉等利用淀粉作为天然微探针，发展了植物细胞中的活体流变方法，分别对野生型拟南芥和肌动蛋白细胞骨架突变体进行了微流变分析。宋关斌等采用细胞拉伸加载装置和小室考察了机械拉伸对大鼠 MSC 迁移和侵袭人工基底膜能力的影响。霍波等研究了细胞铺展面积、铺展形状、化学诱导和培养时间等因素对骨髓间充质干细胞分化的影响，并研究了相关的信号传导路径。姜洪源研究了纺锤体的自发振动，讨论了拉力和推力对纺锤体定位的不同作用，指出了纺锤体的尺寸上限。姚伟和尹娜通过数学模型定量阐释了针刺穴位信息的启动和传递过程。董悦昕等研究了 microRNA-363-3p 在高血压血管重建中的作用。韦佳辰等采用分子动力学模拟研究了单元系晶状体蛋白体系的液-液相分离及逾渗相变过程。

“人类健康与临床医学中的生物力学问题”研讨会首次作为独立的研讨会出现，充分体现了生物力学在人体健康和临床医学中日益显著的作用。本次研讨会共有 28 个学术报告，研究内容主要涉及血管循环、骨骼、呼吸等系统中的生物力学问题，基本上反映了国内学者在生物力学领域的研究热点和方向。其中，王盛章等建立了两个具有病人特异性的颅内动脉瘤模型，一种是巨型动脉瘤，另一种是多发动脉瘤，利用虚拟释放技

术,将一种在临床试验阶段的流动导向装置植入这两个动脉瘤的动脉中,利用计算流体力学方法比较了植入前后两个动脉瘤的血流变化情况,提取了相关的血液动力学参数。针对脊柱矫形,王荣等根据骨折椎体的内腔结构并参考其他支架的设计,进行了不同特征椎体支架相变后宏观支撑力影响规律的数值模拟。而张涵利用腰椎 CT 数据,通过医学影像技术和逆向工程技术建立了全腰椎模型,并探讨了不同姿势变换时腰椎的负载和应力分布特征。除了循环系统和骨骼系统,一部分学者对呼吸系统中的一些组织器官进行了研究,尹俊建立了喉部肌肉的超弹性本构关系,利用有限元建立了一个三维模型来模拟两个重要的引起声带闭合肌肉的应激反应,并研究了二者之间的协调作用对声带闭合形态和振动模态的调控。此外,王永丽等在宏观和微观两个尺度下对老鼠肝脏的弹性模量进行了多尺度研究。

经过长期演化,地球上形成了由动物、植物与微生物组成的高度复杂的生态系统,其中动、植物种类就多达上千万种。优胜劣汰的进化过程是多尺度的,不仅体现了宏观上物种的演化,个体的器官和组织形态的演化,而且反映在生物材料的分级结构、功能等全方位的发展。研究生物材料在多尺度多级结构上的力学行为,对于认识自然与人工仿生具有重要的科学意义。“生物材料与仿生力学”专题研讨会共安排 34 个学术报告,其中 5 个为邀请报告。其中,刘彬研究了具有类生物大分子拉伸特性材料的无限断裂韧性,彭志龙系统介绍了壁虎类生物微观黏附机制的仿生研究等。

### 2.2.5. 力学交叉学科

力学的发展一直伴随着与其他学科的交叉融合。在我国,环境力学、爆炸与冲击动力学和物理力学的影响力和规模是所有力学交叉方向中最大的,因此在本次大会上,这三个力学交叉方向都设有相应的分会场和专题研讨会。

全球气候变化和人类活动所带来的新的重大环境和极端灾害问题,越来越多的被人们所关注和重视,环境演化的预测、极端灾害的预警和减轻都强烈地依赖于对其动力学过程的深刻认识。海洋、水利、防沙治沙等领域重大工程措施的决策论证迫切需要力学的基本理论、基本原理和方法。环境力学是力学与环境科学的相互交叉和融合的一门学科。长期以来,环境力学的研究着眼于国家发展战略和经济社会发展的重大需求,紧密结合国际力学科学发展前沿,全方位推动力学与环境科学的交叉研究和学科融合,取得了长足的发展和一系列丰硕的成果。此次力学大会设有“环境力学”分会场多个直接或

间接相关的专题研讨会，包括 70 个学术报告。此外，第 11 届全国环境力学学术会议也在此期间成功召开并进行了环境力学相关重大问题的研讨。

“环境力学”分会场共安排了 7 场邀请报告，从各个方面展示了环境力学学科近年来的最新进展。其中，黄宁汇报了近年来在研究高寒山区降雪过程和风吹雪过程及其对积雪分布影响方面取得的最新进展，揭示了大气湍流边界层中风吹雪的输运规律和降雪沉积特征，并指出其研究对精确描述高寒山区的水文过程、南极冰盖演化乃至全球气候变化都具有重要的意义。崔桂香着眼于日益严重的雾霾问题，基于不可压缩三维大涡模拟方法研究了城市边界层中污染物扩散的规律。卢志明则对雾霾颗粒的组份进行了研究，基于蒙特卡罗方法模拟了微米颗粒中痕量重金属元素在灰霾颗粒中的分布规律，并讨论了不同初始分布对重金属物质分布的影响。曹志先对非恒定流动条件下的水沙输运过程展开了水槽实验研究，得出了非定常来流条件下的推移质输运规律并与恒定流动条件进行了对比，讨论了床沙粒径对两种来流条件的影响。詹杰民基于 Fluent 软件平台，通过在动量方程和湍流方程中施加拖曳力项对不同情形下植物对波浪的作用进行了数值模拟研究。黄岁樑基于数值模型，对地表水中化学品的迁移转化过程进行了研究，并从物理上给予了相应的解释。舒安平针对泥石流灾害，报告了其在非均匀质泥石流流体力学模型研究中的最新进展。除邀请报告之外，来自全国各高校和科研机构的代表们也作了精彩的工作汇报。报告内容涵盖风沙（雪）运动与沙尘暴、大气流动特征、大气污染物扩散与传播、水流及水生灾害等多个方面。例如，风沙运动与沙尘暴研究方面，金阿芳针对风沙跃移运动中关键的粒-床相互作用过程，模拟研究了平坦沙床上的沙粒冲击起动和坡面沙粒流体起过程。顿洪超通过流固耦合方法及动网格技术，模拟了考虑旋转的近床面沙粒跃移运动，探讨了旋转以及颗粒之间的相对运动对沙粒跃移轨迹的影响，发现颗粒旋转对其跃移轨迹有着不可忽视的影响。殷欣通过离散单元方法数值模拟了坡面沙粒的击溅过程，给出了坡面沙粒击溅的规律。火兴辉基于大涡模拟数值方法和浸没边界法，分析了雪波地形和风雪流输运的相互影响，并通过浸没边界法模拟了雪波地形的动态演化，得到了雪波形成的定性规律。徐彬采用高速摄影技术获得了不同球形度的颗粒自由沉降轨迹影像数据，通过图像后处理得到了不同球形度颗粒的拖曳力系数，与当前使用的拖曳力公式做了对比，给出了最优公式的建议，并初步分析了颗粒沉降过程中的震荡现象。谢莉基于实验的方法，对沙尘暴中沙粒起电的机理进行了研究。周晓斯基于风沙侵蚀和沉积的规律，对缩尺新月型沙丘的演化过程进行了数值模拟。对于污染

物扩散传播，丁珏基于颗粒群平衡方程和 Mie 理论，对雾霾颗粒破碎、蒸发以及布朗/湍流扩散机制下颗粒碰撞凝并进行了研究，并讨论了颗粒辐射传输过程。滕震礁通过风洞实验，定量测量了不同地表的粉尘释放率，并验证了广泛使用于当前大气模式中的粉尘释放模型，得到了邵亚平（2004）的模式较优的结论，并指出在较低风速的情况下，要考虑流体起动的影 响。李家骅基于 Mie 理论和蒙特卡洛方法研究了雾天气向霾天气转化时大气颗粒物的动力演化规律。李海锋基于三维不可压缩大涡模拟方法研究了现代城区流动及点污染物扩散的特征。而针对水流及水生灾害研究，陈洪凯基于能量原理建立了青石滑坡次级滑坡破坏尖点突变模型，得到了启程剧动滑坡的启程剧动速度和加速度的计算公式。陈立采用定床物理模型实验的方法，研究了不同条件下下游水位的溯源传递特性。包芸借鉴润滑理论的薄层粘性流动研究方法，推导出了河口区盐水楔流体运动的薄层近似理论，建立了一个简化的分层流模型。张景新基于离散单元法（DEM）建立了 CFD-DEM 耦合数值模型，研究了泥沙运动的细观行为特征。刘俊俏基于经典的 Biot 理论和边界元方法研究了饱和土层在外荷载下的热化学固结问题。殷德顺通过自制仪器进行了振动条件下的拖球试验，研究了软土在高频、循环振动情况下的力学性质演变。江辽采用数值模拟模型研究了潮型对上溯距离的影响。季顺迎研究了离散单元方法在寒区海洋工程中的应用，计算了三桩腿自升式平台结构的冰载荷，确定了海冰的破坏特性；同时为了研究船舶在碎冰区航行中的冰载荷特性，提出了采用扩展圆盘单元构造碎冰和采用三角形单元构造船体结构的方法。余明辉基于弯道水槽实验检测提防溃决后的溃口展宽及洪水演进过程，同时采用三维水流模型对该过程进行模拟，得到了溃口附近的三维流场信息和壁面剪应力等水力参数。此外，大量相关的环境力学问题的研究也为环境力学的研究注入了新鲜血液。

同时，传统基础问题的大胆探索也成为了环境力学研究中的一个亮点。例如，非球形拖曳力系数的研究属于传统的经典力学研究问题，来自兰州大学的徐彬基于高速摄影方法以及三 D 打印技术，对已有的非球形颗粒的拖曳力系数经验公式进行了验证和总结，还在一定程度上揭示了水平及垂直震荡产生的微观机理及其周期变化特征，该报告引发近半数与会代表的激烈讨论和交流，造成后续报告一度后延。

由于工程和国防应用的重大需求，我国学者在爆炸和冲击动力学方向的研究也十分活跃，本次大会设有爆炸力学分会场 1 个和直接相关的专题研讨会 2 个。“爆炸力学”分会场共安排了 16 个邀请报告。虞吉林介绍了在泡沫金属动态冲击压缩行为和率敏感

性机理研究的基础上, 针对梯度泡沫金属发展的两类动态压溃模型: 细观有限元模型和一维冲击波模型。其结合对两类动态压溃模型的认识, 分析了应力波在密度梯度泡沫金属结构中的传播特性, 提炼了相关结构的设计指导方法, 为从被动防护过渡到主动防护提供了有益的认识。黄晨光对 NiTi 形状记忆合金、冰以及剪切增稠流体 (STF) 这三种特种材料的动态力学性能开展了研究工作。首先, 通过不同应变率加载试验结合分子动力学模拟, 对 NiTi 形状记忆合金的率相关相变行为进行了研究。其次, 采用低温霍普金森压杆 (SHPB) 对冰的动态力学性能进行了测量。最后, 研究了强激光冲击作用下 STF 的动态力学响应。罗胜年介绍了针对块体材料的动态加载—原位实时同步辐射 X 射线诊断技术, 以及该技术在冲击动力学中的应用。该技术核心是将动态加载与先进同步辐射 X 射线光源的结合, 对冲击加载下的样品进行了原位实时的成像和衍射表征。动态加载主要包括霍普金森拉压杆和火炮, 也可扩展到电磁驱动加载如磁驱动等加载, 以及激光加载。刘凯欣采用实验与数值模拟相结合的方法研究了 TiC/Ti 陶瓷复合板抗侵彻的力学机理。首先, 改良了小型成型装药装置, 并加入了测速系统, 对新近开发的 TiC/Ti-Ti 陶瓷-金属复合板和 TC4 合金板进行了侵彻实验。其次, 使用自主研发的 Super CE/SE Ver2.0 程序对上述实验的全过程进行了数值模拟, 数值模拟结果与实验结果基本符合。周刚介绍了其对液氢金属化进行的较为深入的理论及初步的实验研究: 搭建了理论计算平台, 构建出了高精度的流体动力学模拟程序, 分析了探针结构对测量结果的影响规律, 研制了液氢温度同轴探针及其配套测试电路; 并系统分析了高速冲击下样品盒内冲击波的传播规律、侧向稀疏波及追赶稀疏波等对测量的影响, 提出了样品盒的设计准则; 解决了捕捉冲击波波阵面的技术难题; 完成了液氢低温冷靶总体设计、结构设计、密封设计、加热温度高精控制及样品液面高灵敏监测的技术方案, 为后续动高压实验研究提供了坚实基础。邱艳宇研究了高速和超高速钻地弹的侵彻爆炸效应, 发现了强动载近区介质分别呈现不可压缩状态、内摩擦状态和拟流体状态三种物理现象, 提出了强动载高速冲击近区的受限内摩擦模型和超高速冲击近区的一维拟流体模型, 构建了以动能冲击因子为特征参数的高速、超高速钻地弹侵彻局部效应计算理论。刘建湖报告了其与中国工程院院士吴有生合作发展的关于潜艇结构水下爆炸的多种计算方法: 采用线性波动理论给出了潜艇表面的绕射压力分析方法; 采用声学 DAA 方法得到了敷设声学覆盖层结构在水下爆炸作用下的载荷分析方法; 采用刚塑性理论得出壳体破坏分析方法; 采用弹塑性理论得出了潜艇整体 whipping 响应和环肋变形计算方法; 采用壳体屈

曲理论形成了爆炸凹陷后潜艇结构的剩余承载能力计算方法。“水下爆炸威力评估及目标结构毁伤机理”专题研讨会会场共邀请了 24 位专家进行了报告。其中，荣吉利使用欧拉方法来对水下爆炸气泡进行数值仿真。王成针对水中爆炸中高压强比、高密度比的物质界面容易诱导非物理数值振荡的问题，利用 level set 追踪多物质界面，采用双击波近似理论，建立了针对一般状态方程的黎曼问题求解方法。王铁军从理论上预测了爆炸载荷下四边固支金属夹芯矩形板的大挠度响应。利用能量耗散率平衡理论和考虑芯材强度影响的夹芯结构精确屈服条件，得到了结构大挠度响应的控制微分方程，并对其进行了数值求解。“计算爆炸力学暨可信科学和工程数值模拟”研讨会会场共邀请了 30 余位专家进行了报告。其中荣吉利借助 AUTODYN 有限元软件，结合 TNT 当量法和流固耦合方法，分析了圆柱形救生舱在巷道内的冲击响应特点，相关结论对救生舱的设计具有一定工程价值。刘凯欣为提高计算流体力学在工程应用中的精度和效率，构造了基于混合网格的高精度时空守恒元/解元(CE/SE)格式，非常有利于实现高效的并行计算。大量的数值结果表明该算法能够在不同的网格类型上精确地捕捉激波和精细的流场结构。甯尤军采用改进的 DDA 方法模拟爆生气体压力作用下的多炮孔凿岩爆破破岩过程。建立了多炮孔爆生气体同时加载、延时加载等模型，模拟再现了凿岩爆破过程中的炮孔扩张、炮孔贯通、岩体破坏、块体抛掷和爆堆的形成过程。王东东提出了针对混凝土结构冲击破坏模拟的一种直接位移光滑无网格法，能够有效地模拟混凝土结构的复杂冲击破坏过程，同时还可准确追踪冲击碎片的演化进程。

“物理力学”是力学的一个新分支，侧重于从材料的原子、分子结构等微观性质出发预测工程材料或结构的宏观力学行为。它从物质的微观结构及其运动规律出发，运用近代物理学、物理化学和量子化学等学科的成就，通过分析研究和数值计算，阐明介质和材料的宏观性质，并对介质和材料的宏观现象及其运动规律作出微观解释。本次大会共邀请 11 位专家进行了报告，其中郭万林结合其十多年来对连续介质力学、量子力学和纳尺度物理力学的理论和实验探索，就低维柔性体系物理力学行为进行了报告；并将连续介质力学与反映局域场的量子力学等多学科知识和技能相结合，就纳尺度多场耦合的物理力学研究进行了报告。王彪重新考虑了著名的 Landau 关于低维材料的存在性准则，挖掘出了其理论存在的根本性局限，并进而利用相变理论中的 Ising 模型定量预报了二维材料的存在准则和一些通用性质。最后，其对目前存在的二维材料的特性进行了较详尽的讨论。刘凯欣以分子动力学模拟技术为主要手段，结合无序体系原子结构及其

微观动力学的理论分析方法,深入研究了液态金属微观动力学行为和原子中程序之间的关系。郭旭从密度泛函理论出发,揭示了表面效应产生的物理实质,讨论了基于系统密度泛函构建表面弹性理论的新途径。崔田采用第一性原理计算方法结合晶体结构搜寻算法,发现在高压下可以产生新型的硫氢化合  $\text{H}_3\text{S}$ ,并明确了产生  $\text{H}_3\text{S}$  晶体的两个主要途径。樊菁利用自主研发的实验设备探索出了采用气相沉积制备大面积高质量双面 YBCO 超导薄膜的新方法,成功制得了性能优异的厚度为 500nm 的双面超导膜。

## 2.2.6 其它

在“科普专题分会场”上,国内热心于力学科普工作的专家集聚一堂,共有 20 篇报告在会上进行了交流。他们分别是同济大学陈洁,韦林,吴慧玲的“依托上海高校学科优势积极开展多种形式的力学科普活动”、清华大学高云峰的“太空授课及地面模拟试验”和“信息时代的学习模式--群体创新空间”、天津大学姜楠的“衣食住行中的力学—浅谈力学科普与日常生活”和“诗情画意谈力学——浅谈制作两门力学视频公开课的几点体会”、江苏省力学学会郭萱,叶志达的“浅谈工科学生力学文化素质的培养”、中国力学学会郭亮的“趣味力学科普展室”、北京大学武际可的“力学引领下改变人类生活的三项发明”、天津大学王振东;姜楠的“祖冲之与圆周率”、同济大学韦林的“见证历史的“世纪”万能试验机”、清华大学朱克勤的“关于第 6 版《十万个为什么》物理分册的力学板块”、复旦大学谢锡麟的“可作为一种世界观的数理观点 — 理念、方法与实践”、同济大学李尧臣,韦林的“从辫子拉车说滚动摩阻”、清华大学附中孟卫东的“创新改变世界教育塑造未来”、北京大学王敏中的“弹性力学存在唯一性定理的实用价值”、北京理工大学赵颖涛,马少鹏的“《力学概论》课程的建设与实践”、大连理工大学高南的“大连理工大学的飞行梦工厂”、华南理工大学何庭蕙,刘逸,汤立群,贺玲凤的“力学创新班基础力学教学与力学竞赛训练一体化探索”、同济大学张锡金的“做科普讲座的一点体会”。与会者不但就我国力学科普的组织、案例和研究进行了回顾,畅谈了自己的体会,还对我国力学科普工作的进一步开展提出了很好的建议。

“信息化环境下力学教学改革成果”分会场邀请了国内 17 位知名学者和高校教师作学术报告。国家教学名师王琪结合北京航空航天大学国家精品资源共享课“理论力学”的建设和实践,作了“利用信息资源完善理论力学课程建设”的报告;国家教学名师西南交通大学龚晖结合“慕课”平台的开发和建设实践,作了“智能型“慕课”平台 Smart



Talker”的报告；施惠基结合清华大学“钱学森班”“材料力学”课程的教学和实践，作了“利用信息和网络条件提高材料力学教学品质”的报告；北京工业大学隋允康结合长期从事教育工作的经验和实践，剖析了教学效果的三个阶段，阐述了“知识、能力、素质”三者的关系，提出了微观教育理念，作了“对微观教育理念的领悟和力行”的报告。其他与会者还结合力学专业建设、在线开放课程建设、精品资源的开放共享、课程体系改革、课堂教学设计和教学方法、虚拟仿真实验以及力学教改项目成果等，分别报告了各自力学教学改革与建设的新成果。与会者充分认识到：信息技术与高等教育课程教学的深度融合已成为新时期我国高等教育教学改革与提高质量的重要途径。必须积极面对信息化快速发展和互联网在教育教学中广泛应用所带来的机遇和挑战。

### 3. 结语

本次力学大会的众多学术报告充分表明力学在现代科技与社会中发挥着越来越重要的作用，并且随着科技的高速发展，其作用更显得不可或缺。另一方面，自然科学中的新现象与工程实践中的新问题不断涌现，也在不断拓展着力学的研究范围，促使其与能源、生物、化学、微电子、环境、医学等领域进行深度的交叉融合，不断激发出新的学科生长点和蓬勃的发展潜力，对发挥力学在自然科学与重大工程技术间的桥梁作用做出了积极的贡献。

本次力学大会反映了我国力学学科的如下主要特征和发展趋势：（1）多尺度多场耦合力学依旧是重要的研究热点和学科增长点，近年来进一步突出了问题的非线性和其它复杂因素的影响，更强调了与其它学科的交叉融合，在微纳米力学、生物力学、软物质力学、表界面力学等领域这一特征尤为明显；（2）理论—计算—实验三位一体的研究方法越来越得到大家的重视，创新成果不断涌现，近年来在国际顶尖学术期刊上发表的论文数量上升较快，我国学者在一些前沿研究领域的国际学术地位也呈不断上升趋势；（3）国际交流机会明显增多，国际合作越来越紧密，合作层次更为深入，合作双方的地位更为平等，催生了一批高质量、有影响的合作科研成果；（4）与国家重大需求的结合呈上升趋势，由力学工作者牵头负责的 973 等国家重大科研项目数量增多，力学在工程技术中的作用得到学界和社会的普遍认可。

本次力学大会无论从参会规模还是整体学术报告质量上与历届会议相比都有所提升，较真实、全面地反映了我国力学学科近年来的稳步发展态势与创新研究成果，这受

益于我国经济发展和政府对基础研究的持续投入，受益于航空航天、国防军工等重大国家需求对科技的呼唤，也受益于各项人才支持计划对海外高层次人才的吸引和对本土学者的激励。本次大会充分体现了我国力学工作者的开拓精神、创新意识和合作风貌，大会取得了圆满成功，必将对我国力学学科起到很好的宣传和推动作用。

**致谢：**在撰写该会议总结的过程中，作者们得到了很多与会代表的大力帮助，特此致谢。