

第 23 届世界力学家大会简介

陈伟球¹, 季葆华², 陶建军³, 周济福⁴, 王正道⁵, 王在华⁶,
冯西桥⁷, 詹世革⁸, 孟庆国⁸, 汤亚南⁹, 杨亚政⁹, 刘洋⁹

¹浙江大学工程力学系, 杭州 310027

²北京理工大学宇航学院力学系, 北京 100081

³北京大学力学与空天技术系, 北京 100871

⁴中国科学院力学研究所, 北京 100190

⁵北京交通大学力学系, 北京 100044

⁶南京航空航天大学机械结构强度与振动国家重点实验室, 南京 210016

⁷清华大学工程力学系, 北京 100084

⁸国家自然科学基金委员会数理科学部, 北京 100085

⁹中国力学学会, 北京 100190

摘 要 第 23 届世界力学家大会于 2012 年 8 月 19~24 日在北京召开。本文首先简要介绍这次会议召开的基本情况, 进而对大会在理论与应用力学领域所展示的最新研究成果和发展趋势进行分析。

关键词 ICTAM 2012, 流体力学, 固体力学, 交叉力学, 研究进展

1 引 言

第 23 届世界力学家大会(The 23rd International Congress of Theoretical and Applied Mechanics, 简称 ICTAM 2012)于 2012 年 8 月 19~24 日在北京国家会议中心隆重举行。大会由国际理论与应用力学联合会(IUTAM)主办, 中国力学学会承办。中国科学技术协会、国家自然科学基金委员会以及中国科学院力学研究所、北京大学、清华大学等全国各大专院校、科研院所共计 29 个单位支持与协办。ICTAM 每四年举行一次, 是力学界最具规模和影响力、覆盖力学各分支学科的高水平国际盛会, 被誉为“力学奥林匹克”[1]。本次大会在中国召开, 是我国力学家经二十余年的努力争取得来的[2], 自然也离不开我国力学研究近十年来的快速发展。

本届大会得到了国际力学界的广泛响应, 论文征稿截止时共收到 2060 余篇稿件。经过严格的审稿程序, 共录取了 1620 余篇论文。最后统计数据表明, 来自世界 58 个国家和地区的 1560 名代表参加了本次大会。作为东道主, 中国代表约占 40%, 多方

位展现了我国新时期力学研究的力量和风貌。此外, 参会代表较多的国家有: 美国(162人)、日本(94人)、法国(93人)、俄罗斯(75人)、德国(73人)、英国(66人)。参会代表的总量比上届(2008, 澳大利亚阿德莱德)增加约20%, 与历史上规模最大的第21届大会(2004, 波兰华沙)基本持平[3,4]。

大会的学术报告包括: 4个全体大会特邀报告, 即开幕式、闭幕式特邀大会报告, 和 Rodney Hill 奖、G. K. Batchelor 奖大会特邀报告; 17个特邀专题报告¹; 6个前沿专题研讨会, 包括25个主旨报告, 口头报告77个, 研讨报告26个; 46个分支学科分会场, 包括口头报告788个, 研讨报告477个。

下面将基本按照 ICTAM2012 的报告架构对报告内容加以简单梳理和总结, 但因能力、时间、精力以及兴趣等诸多限制, 所呈现的内容必然不全面和有不准确之处, 希请读者谅解并指正。如果读者想对大会情况有更多的了解, 请进一步参见 ICTAM 2012 主页[5]及论文摘要集[6]。

2 全体大会特邀报告和特邀专题报告

开幕式报告由北京大学陈十一教授所作, 这是中国大陆学者第一次在世界力学大会上作全体大会特邀报告。在报告中, 陈十一强调指出多尺度现象是流体动力学非线性本质导致不同尺度间复杂相互作用的自然结果, 无处不在。近几年来发展起来的多尺度混合模拟是揭示多尺度现象内在机制的重要手段, 其关键是在不同的尺度上找到物理上相互自洽的解。他系统介绍了其课题组近几年来基于约束变分的概念提出的多个不同的多尺度混合模拟方法, 如连续介质-分子动力学混合模拟、雷诺应力受限的大涡模拟等, 并通过大量算例说明了物理约束在多尺度模拟中的重要性。美国伊利诺伊大学香槟分校的 L. B. Freund 教授作了闭幕式报告。他阐释了熵力的概念及其在生物系统中的重要性。在生物系统中, 类似弹性薄膜的微小结构由于热涨落而可能导致弯曲变形, 这样的现象需要基于经典统计力学的理论才能予以解释。针对若干具体例子, 他给出了估算约束力的方法, 特别讨论了存在于多层薄膜之间的熵推力。

本届大会颁发了第二届 Rodney Hill 奖, 用于表彰在固体力学研究中取得杰出成就的学者。获奖人是美国布朗大学的高华健教授, 他在获奖报告中介绍了细胞-纳米材料相互作用方面的研究进展, 深入探讨了纳米颗粒大小、形状、纵横比和弹性对细胞摄入的影响。其研究成果既加深了对纳米材料毒理性的理解, 也对纳米药物的靶向输运有重要的指导意义。大会也颁发了第二届 G. K. Batchelor 奖, 用于奖励在过去10年

¹ 17个特邀专题报告中, 有1位报告人(R. V. Goldstein)未到会交流。

中取得显著成果的流体力学研究人员。荷兰特文特大学的 D. Lohse 教授在获奖报告中总结了过去十年中其课题组在 Rayleigh-Bénard (RB) 涡旋对流和 Taylor-Couette (TC) 涡旋流动方面所作的工作，重点介绍了在实验、理论和数值模拟三方面的研究进展。

17 个特邀专题报告侧重于当前力学研究的不同方面。在固体力学方面，杨卫针对纳晶和石墨烯的力学行为探讨了微纳米力学的作用，指出基于微结构演化的模拟方法可有效揭示纳晶脆韧转变机制，展示了采用高分辨率扫描电镜进行石墨烯掺杂及其功能化研究的成果；R. V. Goldstein¹ 分析了不同尺度的存在对断裂过程的影响及其特征，特别讨论了断裂时不同尺度上能量重分配和断裂过程的概率特征对递阶系统安全性和可靠性的作用；K. Bhattacharya 指出固体中的各种缺陷（如空穴、杂质、位错和晶界）成为量子化学、原子物理和连续介质力学的有效纽带，这也要求在宏观尺度上考虑量子力学效应，并重点介绍了几种有效的模拟方法；A. Needleman 系统介绍了内聚表面模拟的理论、方法及其应用，强调在内聚理论中无需引入初始裂纹，并针对若干问题具体探讨了内聚理论构架的优缺点；P. M. Suquet 针对弹-塑性耦合情形，利用增量型变分原理建立了近似平均场理论，既可预测非均质材料的整体响应特性，也能够给出局部场变量的统计特性；A. Corigliano 从力学的角度描述了微机电系统的复杂特征，并以实际器件为例，介绍了在谐振器动力学，耗散和多物理现象，以及疲劳、断裂和自发粘附等方面的研究；A. Molinari 讨论了惯性在粘塑性流动失稳（如多颈缩和多剪切带）中所起的作用，分析了应变局部化直至断裂的演化过程，也系统阐述了材料缺陷和卸载波对断裂选址的影响。

在流体力学方面，S. Zaleski 讨论了基于流体体积函数的直接数值模拟方法的成功之处及其发展前景，指出该方法特别适用于具有复杂界面和多相流体的流动问题，但在解决具体问题时除了要有好的数值技巧，还需要相应的物理洞察力；M. G. Worster 指出在不同的时间尺度下海冰层的力学行为呈现出明显不同的特点，基于牛顿流体力学和非牛顿流变学从理论上探讨了海冰层及其接地线的演化机制和稳定性，也给出了有关的实验研究结果；K. R. Sreenivasan 从实验、理论和数值模拟上对超流体氦的量子湍流（即量子漩涡之间的随机缠结）进行了研究，并指出其成果对理解经典湍流现象上也有一定的喻示作用；针对实验上发现微滴碰到固体界面产生飞溅前在接触点附近存在一薄流体层喷射的现象，M. Brenner 基于数值模拟和对 NS 方程的探讨，预测了该薄层的存在及其主要特征（如厚度、速度）；P. Moin 基于近壁扰涡结构相比于外层结构更加稳固和有序的事实，提出了缩阶模拟方法，也讨论了大涡模拟中动态亚网

¹ R. V. Goldstein 未到会交流。

格模型在正确预测边界层中层流-紊流转变区域中所起的决定性作用。

在生物力学方面，R. E. Goldstein 采用非线性随机动力学方法揭示了真核鞭毛的同步拍打不仅使其可以优雅地移动，也会导致环境流体的流动机制压倒扩散机制，从而对生物的进化转变过程产生重要影响，还介绍了综合利用高速成像、微操作以及三维追踪技术的鞭毛拍打随机动力学定量化实验方法；G. Morteza 通过对斑马鱼心脏的研究，揭示了一种无阀抽吸的新机理——弹性波谐振机理，利用该机理制作了一系列不同尺度上的无阀机械泵，可望在输血、药物输运和生物流体等方面得到应用；Y. Matsumoto 主要介绍了基于下一代超级计算机的人体模拟计划，强调了多尺度、多物理在模拟活体组织中的重要性，为了基于医学成像数据（包括 MRI、CT 或者超声）来预测疾病和制定治疗计划，已开发了无需网格生成的欧拉型流体-结构相互作用求解器，模拟揭示了血栓形成等疾病机制。

R. de Borst 的报告突出了多尺度计算中演化的间断面和非机械效应（如湿度、温度）的重要性，针对并行多尺度模拟方法，他强调在了不同子域间进行高效和精确耦合的困难，给出了不同尺度上演化的间断面的处理方法，包括水平集、相场方法、单位分解法和等几何方法；P. Eberhard 讨论了粒子模拟方法，指出传统的离散有限单元法通常需要试探和经验，而目前广泛使用的光滑粒子水动力学等方法可以直接用于离散和求解偏微分方程，从而适用于流体、固体以及流固耦合等各种情形的模拟。

3 前沿专题研讨会

ICTAM 2012 的前沿专题研讨会是针对当前力学研究前沿而组织的，涉及国际力学界目前重点关注和具有重大发展潜力的研究领域，以下按 6 个主题作逐一介绍。

在“能源中的力学挑战”研讨会上安排了 5 个主旨报告，其中 R. M. McMeeking 总结了锂离子电池和燃料电池等电化学能源系统中的热力学、输运和固体力学要素，描述了相应的边界值问题，讨论了应力产生机制；K. Reifsnider 采用纳米力学和试验方法对能源系统中的纳米非均质材料的性能进行了预测；A. V. Virkar 对固体氧化物燃料电池因电化学产生的内部压力而导致的失效行为进行了分析，并提出了优化设计方案；F. Porté-Agel 介绍了他们致力于开发大涡模拟计算框架以应用于风力能源的工作以及相应的验证性研究；张东晓指出采用地质学方法进行碳封存涉及到地球化学、地质力学、流动、热力学等不同过程，跨越不同的时间和空间尺度，具有强烈的非线性特征，对力学研究提出了重要的挑战。其他 11 个报告中与锂离子电池、燃料电池、风力发电等相关的力学问题得到了广泛的关注。如 K. J. Zhao 采用第一性原理计算揭

示了锂化硅的微观变形机制；E. M. C. Jones 应用数字图像相关技术量测了锂化和脱锂过程中阳极材料的应变；孙毅利用分子动力学模拟了钐掺杂氧化铈拉伸响应特性，发现缺陷的存在将极大地影响其相变行为；G. C. Larsen 发展了两个能够详细描述风力发电场流场的计算模型，可考虑浮力效应和非静态效应以及大气稳定性的影响；S. Gryning 利用测风雷达经过 1 年多的时间进行测量，预测了垂直风廓线的 Weibull 形状参数，得到了从湍流剖面到边界层的高度；P. Schito 对风力发电机组进行了大涡模拟，考虑了湍流的相互作用；K. S. Hansen 根据风电场的测量进行了功率损耗分析。另外，X. H. Zhao 发现了绝缘聚合物在电压作用下发生的多种失稳模式，提出在避免失稳的条件下，可将绝缘聚合物的能量密度提高到 10 倍以上。

“自然灾变力学”研讨会邀请了 5 位学者作主旨报告，其中 Y. Onishi 通过分析日本福岛核电站、乌克兰切尔诺贝利核电站和美国汉福德原子能研究基地各自水生环境和区域自然环境的特点，特别是针对 2011 年 311 日本大地震后福岛核电站的泄露事件以及放射性物质扩散等提出了针对性的环境保护和补救措施；M. Zheleznyak 基于开放流水动力学和放射扩散的一维、二维和三维数值模型，研究了 1986 年切尔诺贝利事故后 Dnieper 河流的放射污染问题；H. von Storch 研究了热带地区和波罗的海新近以及历史上发生的风暴潮的相关资料，指出风暴潮的短期和长期预报无论从科学层面还是风险管理层面来讲都是极大的挑战；F. Dias 建立了一简单高效的数值模型用于模拟海底地震过程中的海床变形，解释了海啸引发的第一波的破坏效果有时会低于后续波的原因—共振效应能够激发出强劲的后续波；R. P. Denlinger 指出颗粒物质崩塌问题的研究依然面临着严峻的挑战，如揭示颗粒崩塌启动和颗粒携带流动要比颗粒的传输与沉积困难得多，对应的守恒定律往往是非双曲型而且是一非线性的动力学过程，并对初始条件敏感等。其他报告有 13 个，内容同样涵盖了风沙灾害、海啸、核电站泄漏、泥石流等灾变力学的主要研究领域，如郑晓静介绍了近几年实时和同步测量的 20 余场沙尘暴的大量最新实验数据，揭示出在近地表流场中存在着大尺度和超大尺度流动，发现了一些大尺度和超大尺度风沙流动随雷诺数的时空变化的新规律；B. A. Schrefler 将复杂土壤介质看作是多相多孔弹塑性连续体，建立了因暴雨导致的水压增大进而引发火成碎屑土石流的多物理场模型，并进行了数值仿真；景惠敏以 Tohoku-oki 海啸为例，研究了海啸横贯大洋的传播、最大浪高以及由于海啸引发的沿海小地区的洪水淹没过程与特征；刘桦基于高阶 Boussinesq 方程模拟了中国东海冲绳海沟和南海马尼拉海沟由于浅层地震引发的海啸基本特征：中国东海的海啸波为一系列孤波，而中国南海的近海区则表现出不同的波形与动力学特征；王清远针对 2008 年 512 四川

地震后的建筑破坏形貌和形式以及在地面运动过程中的破坏产生原因进行了分析和总结；I. Takewaki 报道了 2011 年 311 日本东北部海域大地震所引发的东京、名古屋和大阪等地长周期的地面运动特征，分析了超高层建筑在长周期作用下的临界激励和动力学行为及用于建筑减震的黏弹性阻尼器的有效性；袁明武提出了针对地质破坏过程中裂纹扩展数值仿真的自适应网格生成技术，可以有效降低网格生成时间。

“生物系统中的流固相互作用”研讨会安排了 4 个主旨报告，其中 P. N. Watton 综述了脑动脉瘤演化的力学模型，并提出了基于该演化的生物力学分析、力学生物学分析与多尺度力学模型；E. de Langre 从力学与生态学的角度研究了植物与环境流场的相互作用以及潜在的人工结构的仿生应用；C. A. Figueroa 建立了三维可变形人体动脉网络内血液流动与压力的多尺度计算模型，计算结果揭示了动脉内血液动力学性能；M. Shelley 研究了生物体系中的主动流体，探讨了悬浮液的动力学以及雌雄细胞核复合体在流体中的迁移与定位。实验是生物系统力学的最重要研究手段，这在其他报告中有所体现，如 P. E. Arratia 研究了流体弹性对 *Caenorhabditis elegans* 线虫水中运动的影响，发现流体弹性可阻止线虫的自我推进，降低其推进速度；D. Needleman 基于磁镊和激光消融技术研究了鼠卵母细胞第一次细胞减数分裂的力学机制，并进一步分析了细胞质的流变性能与亚细胞的结构；D. Bartolo 研究了磁场作用下微流体器件内单根与多根细磁杆的动力学性能；R. Arco 基于粒子图像测速技术研究了蠕流中柔性挡板驱动下的流体运动，表明在牛顿流体中刚性挡板不能产生网流运动，而柔性橡胶挡板则反之；S. S. Suravajhala 研究了一种海生细菌 *V. fischeri* 在外加自体诱导物的游动行为，实验表明化学信号通路影响细菌的巡回移动，进而影响细菌的其它协调行为。数值模拟近年来也越来越得到研究者的重视，如 H. J. Du 发展了三维的细菌群集运动的多尺度计算模型，分析了细菌集群运动形成的多尺度卷须状形貌及其相关机理，结果与实验吻合较好；S. Namdeo 基于流固耦合有限元探讨了驱动鞭毛拍击的动力蛋白的工作机理；H. X. Luo 考察了雷诺数为 640 的自由流场中一个矩形柔性薄片绕着其前缘抬升的流体动力学行为；S. Z. Wang 采用浸入式边界法模拟了低速飞行蝙蝠周边的流场行为，结果表明蝙蝠翅膀的伸展与折叠行为决定着流场的结构。另外，C. J. Wang 发展了一个基于非定常非线性空气动力学的仿生飞行唯象模型，并通过分析刚性翼的快速拉高以及在常攻角下刚性翼与柔性翼的稳定变换等问题验证了该唯象模型的准确性。

微流控器件重要研究领域之一是对颗粒（包括细胞、液滴、生物大分子等）的操控。在“微流控器件中的输运力学”研讨会的主旨报告中，D. Di Carlo 综述了惯性微流

动在高通量细胞/颗粒操控上的最新进展；M. Seki 提出了基于微通道流动作用力的快速精确颗粒操控方法；H. Bruus 考虑热黏性修正，开展了对微通道声泳的理论研究；T. Laurell 则对声泳现象在生命科学中的新颖应用作了全面的评述。在其他 13 个报告中，J. T. Wang 研究了黏性流体中声场对圆柱的时均作用力；T. Schwartz 研究采用超声驻波转动非球颗粒；D. Möller 等人通过连续频率扫描声场力实现颗粒输运；A. M. Slowicka 用数值模拟研究了微通道中柔性纤维的动力学行为；胡国庆在数值模拟进行优化的基础上，在双螺旋通道中利用惯性效应实现了多种不同尺度细胞的快速分离；Y. K. Lee 用混合计算模型预测了流动超材料内细胞的分离；P. R. Onck 利用磁驱动人工鞭毛实现微流动推进。微尺度下的力学行为也获得了较多的关注：段慧玲采用多级微结构实现了超疏水表面的润湿稳定性；赵亚溥研究了电场驱动下弹性膜上水滴的展开行为；A. Neild 采用超声波实现了气/液界面上颗粒的捕捉；X. L. Zhang 利用微流动单细胞分析功能研究了声穿孔过程中的细胞膜动力学。随着尺度的进一步降低，纳尺度流动也引起相当关注：胡国辉发现了盐溶液穿过石墨烯纳孔时存在纳米尺度涡旋；G. C. Zuo 研究了纳尺度系统下受限水分子的动力学性质。

“变体结构的动力学与控制”研讨会邀请了 3 位学者作主旨报告，其中 J. E. Cooper 对当前变体结构研究现状进行了总结，强调了其研究的重要性，并预测了未来 20 年变体技术的发展趋向；M. Sinapius 主要介绍了德国航空中心（DLR）所参与的变体结构研究，包括从 2008 年开始的在风洞实验中实现智能高升力装置的研究计划；裘进浩采用材料各向异性的概念很好解决了智能皮肤在垂直方向承载和水平方向变形之间的固有矛盾，也提出了若干种适用于变体结构的驱动器的新设计方法。其他报告中，杨智春提出了一个单自由度变体机制，可同时改变展翼长度和角度；胡海岩研究了利用具有时滞特性的控制环实现气动弹性系统颤振最优控制的问题，提出了一种进行主动颤振抑制的设计方案；孙健设计了一种压电液压泵，实验样机的输出压力可达 20kPa；J. Ing 探讨了冲击振荡器的实验结果，发现吸引子和混沌响应的共存，提出了两类振动控制模式；Y. J. Chen 考察了两类可变刚度纤维增强复合材料管的力学特性，基于经典板理论，提出了相应的分析方法；冷劲松介绍了其课题组基于智能材料和结构的新型变体皮肤结构研究上的进展；针对利用形状记忆合金驱动的变体结构，D. Lagoudas 描述了一种基于迭代计算分析技术的优化设计方法；J. Wang 对可变曲面机翼的非定常气动弹性行为进行了实验研究，揭示了两类非定常流动现象；P. Bai 采用风洞试验发现了滑动式蒙皮变掠机翼具有动态迟滞特性，提出了模拟时变力和力矩的一个线性理论模型。

在“材料模拟中的小尺度效应”研讨会上共安排 40 个报告，其中 4 个是主旨报告，H. D. Espinosa 介绍了基于微机电系统的一维纳米结构的原位电镜测试装置，测量了 ZnO 和 GaN 纳米线尺度效应的力学性质，并讨论了尺度效应在能量采集中的应用；W. A. Curtin 提出了应力梯度塑性的新概念，以此定量解释了纯多晶和单晶金属弯曲和扭转实验中的强化和硬化的尺度效应；郑泉水报道了一种基于曲率梯度的定向移动机制，对加速小液滴尤为有效，适用于亲水表面和疏水表面；E. Van der Giessen 讨论了多尺度塑性的两个不同的观点，即还原论和层展涌现观念，并以此探讨了多尺度塑性是否是完全的塑性理论？如不是则是否值得深入研究等问题。在其他报告中，X. M. Wang 对晶体的分子动力学计算设计了一类精确而有效的吸收边界条件；D. Qian 提出了一套半解析方法用于理解碳纳米管和石墨烯的能量耗散机制以及其阻尼和粘弹性的相互关系；I. Berinskii 致力于双原子晶格的力学特性研究，使用了不同的离散模型和计算方法；A. A. Benzerga 运用计算离散位错动力学分析了塑性中的尺寸效应；陈斌发展了一个基于分子机理的力学模型，揭示了肌球蛋白分子马达的独特的力和变形关系；S. Taniguchi 将晶体内部纳米空洞结构看作位错活跃增强点，分析了其影响；S. A. Kostyrko 采用线性稳定性分析方法研究了具有表面弹性的受压固体的形貌失稳，给出了描述扰动幅度随时间变化的控制方程；K. Dayal 提出了计算缺陷原子结构以及基于静电相互作用的响应多尺度方法；庄茁研究了位错阻塞形成的临界条件，展现了亚微米尺度上对晶体塑性的本征效应；J. Wang 提出了一套系统的分子动力学的方法，主要考察砷化镓纳米线的横向尺寸，多重的断裂以及自我修复过程中原子的扩散；J. R. Greer 主要发展新的实验方法用于评估纳米尺度上固体的力学特性；卢磊讨论了孪晶界面的强化与软化机理；X. L. Gao 运用简化的应变梯度弹性理论导出了弹性半空间上受集中力作用的点力解，并以此求解其他问题；徐志平讨论了几种网络材料的结构、特性和其传播行为，包括碳纳米管，石墨，胶原蛋白和细胞骨架；魏宇杰指出具有倾斜孪晶的纳米线变形主要是通过由部分位错介导的在一个活动滑移系上产生的孪晶迁移导致的，并建议了一种调节一维纳米结构强度和韧性的新方法；曲绍兴通过对结晶二次相在金属玻璃基体中排列的精心设计，开发出了一种增韧策略；李晓雁所给出的原子模拟结果展示了孪晶金属材料在塑性变形和断裂机制方面的一些有趣的特性；王建山基于力学和物理的观点，在理论和实验上研究了聚合物薄片和纸张的手性转化；戴兰宏提出了分别对应剪切变形区域和样品尺寸的两个特征长度，以描述均匀变形，间歇剪切和高度局部化；魏悦广研究了具有晶间断裂的纳米晶体和超微细多晶金属力学行为；Y. Shibutani 提出了一个错位晶界相互作用的新条件，用以描述纳米压痕

实验中晶界不均匀的近场；B. Svendsen 采用率变分方法构造自由能模型，以考虑非弹性变形微结构演化和非凸性；Z. L. Zhang 采用分子动力学方法研究了一种新型的五周期孪晶 FCC 铁纳米线的结构和力学性质；C. F. Niordson 发展了一套新的用于分析单晶在有限应变情况下尺度效应的有限元方法，并应用于 FCC 晶体的楔形压痕实验；O. Kraft 在双束聚焦离子束扫描电镜下对金纳米线进行了测试，通过与分子动力学模拟的比较，发现孪晶发展传播存在两种模式。

4 分会场报告

4.1 固体力学

除了大会特邀报告、特邀专题报告和专题研讨会中与固体力学相关的学术报告外，17 个固体力学分会场共安排了 518 个报告，基本上涵盖了当前的主要研究领域，其中既有传统的断裂力学、损伤力学、接触和摩擦力学、地球物理学与地质力学等方向，也有相对较新的纳米结构与微机电系统、生物力学与生物材料、机械电子学等方向。以下就其中部分主题的报告稍加梳理并作简单评述，与一般力学及生物力学的相关分会场的报告将分别在第 4.4、4.5 节再作介绍。

4.1.1 损伤、断裂与相变

材料与结构的性能演化直至破坏一直是固体力学的主要研究内容，已演绎分化成多个不同的研究分支，各具系统的理论构架和分析方法，本次大会有相关的分会场报告 84 个，在固体力学领域占据较大的比例。

近年来，损伤力学在传统的连续介质力学框架下得到了进一步的发展，在刻画不同材料在各种复杂载荷条件下的损伤破坏行为、损伤的细观机制与损伤本构的多尺度研究方面取得了一些新进展。其中较有代表性的工作包括：K. Madou 扩展了 Gurson 模型，使之能够适用于任意形状的椭球孔洞；D. Kondo 对含纳米椭球孔洞的共焦胞元在任何载荷下力学响应进行极限分析，发现在宏观水平下，含纳孔洞材料的屈服准则呈现出不同寻常的特征；M. Dunand 基于三维孔洞胞元计算对先进高强度钢的损伤演化和韧性断裂机理进行了分析，发现从孤立孔洞边界萌发的塑性剪切带变形局部化是破坏的关键机理；白以龙研究了试样在超峰值载荷应变条件下的损伤局部化，发现损伤试样在变形增加的情况下可以分成继续损伤演化区域和弹性卸载区域两部分，并由此提出了两种预测灾变性破坏的可能方法；余寿文提出一种新的耦合力、电和磁场作

用和修复效应的骨组织损伤模型；C. T. Herakovich 对不同复合结构在各种载荷及其组合作用下的损伤演化进行了模拟，认为可将损伤累积率作为复合结构最终失效的预兆；D. Henneberg 从均匀化方法出发提出了一种多尺度的脆性损伤模型，并对脆性高温材料在热冲击载荷下的损伤模式进行了分析。S. Shrivastava 研究了在冰雹冲击下圆形夹芯板“面/芯”界面脱层问题；R. Batra 在连续介质损伤力学的基础上发展了一种分析纤维增强复合材料层合板中损伤产生和发展的新方法；P. Ladevèze 提出了一个新的基于细观力学的界面模型，其中层内和层间耦合仅与少量材料常数相关并且可通过标准测试得到；A. V. Zaitsev 发展了一套新的结构-唯像模型，能较好地描述缺陷中大量多颗粒的相互作用、多层次损伤累积、主要失效机制以及它们在各种三轴载荷下的变化。

断裂力学领域的研究依旧相当活跃，在理论、实验、计算等方面取得了很好的进展。E. Durif 针对铅-4 合金应力，提出了一种分析腐蚀断裂的数字图像相关方法，结果显示达到一定的临界阳极极化后，裂纹的增长率不仅依赖于应力强度因子也依赖于其时间导数；F. Wang 介绍了载人潜水器耐压壳体使用的钛合金材料损伤容限的研究，提出了裂纹扩展速率的一种改进模型；M. Perelmutter 讨论了动态载荷下界面的粘附强度和断裂性质，在初始时刻假定材料界面上存在薄弱连接区域，并使用裂纹桥连模型来描述，然后基于 Zhurkov 波动模型来分析连接的动态响应；B. Bourdin 回顾了脆性材料的块体在冷却过程中沿边缘的裂纹扩展实验，提出了一个变分法模型，并将数值结果与实验结果进行了定量的对比；L. Morini 分析了两类材料构成的固体界面裂纹问题，得到了两类各向异性材料界面裂纹的反对称权函数的封闭解；Y. Shindo 开展了交流电场下的预制裂纹压电陶瓷梁的三点弯曲实验，得到了随时间变化的失效曲线及断裂载荷值；Y. V. Petrov 基于断裂演化时间的概念对固体的断裂问题给出了统一的解释，特别对于多尺度动态断裂力学问题，结果显示基于演化时间的方法能有效地模拟动态断裂效果；B. Penmecha 运用理论分析和数值模拟研究了相变引起的边缘裂纹问题，发现等间距的裂纹构型是由相变应变的均匀增加导致的，裂纹进一步沿着相变的边界扩展，这一结果与实验观察一致；G. Noselli 基于内聚力模型运用有限元方法分析了多层弹塑性复合材料 I 型裂纹的扩展阻力，探讨了中间弹性层裂纹扩展时相邻层高和各向异性角度对断裂韧性的影响；P. Kerfriden 将合适的区域分解和降阶模拟相结合，提出了断裂力学中小尺度问题粗粒化的新方法。

在相变力学领域，理解各种材料中相变微畴结构演化特性、发展基于微纳畴结构变化的宏细观本构模型依旧是重点话题。在相变微结构演化方面，李江宇基于朗道理

论的热力学分析、相场模拟和扫描探针显微镜研究了铁酸铋薄膜的纳米畴结构及磁电耦合性能的可控性；郑学军应用朗道热力学表征了外应力和应变控制的 PZT 铁电陶瓷薄膜畴结构的相图，并给出了与压电力显微镜一致的 90 度畴变图像；霍永忠基于一维热力耦合模型和实验证实潜热对动载荷下铜基形状记忆合金的微结构和温度演变有显著影响；H. Petryk 提出一种增量能最小化方法，可以很好地反映界面能对马氏体相变微结构以及伪弹性的影响；N. J. Bechle 的实验研究揭示了纯弯曲载荷下 NiTi 管的伪弹性行为与张/压不对称应力驱动的相变微结构变化密切相关；M. Marino 通过热力耦合模型研究了冲击载荷对形状记忆合金的影响，结果显示形状记忆合金在冲击载荷下有很好的吸能特性；A. B. Freidin 利用能量下界限方法讨论了应变驱动固体相变下应变相空间中的相变表面与相变微结构；E. Vilchevskaya 研究了应力对硅表面氧化动力学的影响，结果表明压应力抑制氧化动力学，而张应力则相反；郑玉宝通过遗传算法、有限温度下的弹性常数拟合以及 Cu_3Al 的 DO_3 晶体结构标定来优化原子相互作用参数发展了能研究 CuAlNi 合金马氏体相变的原子势。在宏细观本构模型方面，彭向和提出了同时计入相变和塑性变形的形状记忆合金的三维唯象本构模型，可以很好地描述形状记忆和伪弹性效应；王省哲发展了计入外场下马氏体畴再取向的铁磁形状记忆合金的细观力学模型，可预测 NiMnGa 单晶中磁场导致的变形和非线性响应；S. R. Turteltaub 发展了热力耦合的细观力学计算模型讨论了织构对相变塑性钢的有效性能的影响。另外的报告展示了相变力学在其它一些材料体系中的应用，如 F. P. Duda 发展了聚合物凝胶体中应力与溶剂渗透耦合的连续模型并研究了球形聚合物凝胶体中的体积相变与空位化现象。

4.1.2 弹塑性与蠕变

弹性力学、塑性力学及其黏性效应的考虑是固体力学研究的核心内容，也是工程结构和器件设计的重要理论基础。本次大会组织了两个直接相关的分会场 2 个，安排报告 75 个。

在弹性力学分会场，P. Podio-Guidugli 报告了基于分丝（fiber-wise）约束思想和非常规变分方法从三维弹性理论推导板壳理论的研究；范天佑讨论了液晶和准晶这两类材料的弹性、塑性、缺陷和动力学，通过具体问题的求解揭示了一些不同于普通结构材料的有趣特性；黄再兴利用非局部连续介质力学的拉格朗日列式研究了弹性弦的振动，发现长程作用力的考虑可导致频散关系出现带隙结构；D. Bigoni 研究了非线性弹性固体中预应力对由位错或夹杂导致的弹性场的影响，扩展了 Eshelby 和 Willis 的

工作；J. P. Meijaard 考察了宽梁的弹性行为，研究了边界约束和非线性效应的影响；H. Altenbach 发展了具有柔软夹层的层合梁理论，并采用三点弯试验进行了验证；V. A. Eremeyev 基于 GM 表面弹性理论分析了表面残余应力对纳米杆、板和壳的宏观等效刚度的影响；S. Sargsyan 利用三维解的渐近性质建立了微极铁磁结构（梁、板和壳）的近似理论；X. H. Pan 介绍了表面效应的一个新的热力学框架，解决了 GM 理论和 Gibbs 表面热力学基本原理不匹配的问题；R. Paroni 针对具有覆层的板结构或薄膜-基底结构，从三维模型出发，通过引进标度参数导出了二维能量表达式；E. I. Shifrin 提出了一种利用静力试验获得的边界力和位移确定弹性体中缺陷位置的方法，并数值研究了其有效性和抗噪特性；Y. B. Fu 基于超弹性理论研究了动脉瘤的稳定性，考察了内充无粘流体的惯性影响；C. W. Lim 针对一维和二维问题比较了晶格动力学和非局部弹性理论的弥散曲线。从上述代表性报告可以看出，目前弹性力学研究呈现出几个主要方向：（1）向更小尺度发展，在弹性理论中考虑表面效应、非局部效应等都是为了涵括在小尺度上才明显的尺寸效应；（2）新型材料和结构体系中蕴含着大量的力学问题，既开拓了弹性力学自身的研究范畴，也可解决当前科技发展中面临的实际问题；（3）非线性问题得到了更多人的关注，这与材料科学、生命科学的发展密切相关。

由于极端环境下材料塑性问题的日益突出以及新材料的不断涌现，材料塑性行为的微观机理和基于微观机理的理论模型研究仍受到人们的广泛关注：（1）与传统的偏向于金属材料的塑性行为研究不同，近年来一些新型材料的塑性变形行为得到了研究者的重视。例如，A. Achuthan 实验研究了纳米晶材料的变形机制，揭示了晶粒尺度的变化对微观塑性变形特征的影响；E. Gurses 通过引入晶界变形和晶内变形的竞争机制，建立了描述纳米晶材料力学行为的扩展本构模型；魏悦广通过考虑界面效应，建立了一个新的、描述表面纳米晶材料纳米压入尺度效应的弹塑性本构模型；O. Cazacu 通过引入一个屈服限依赖于所有应力不变量的弹塑性损伤模型，讨论了基体材料的拉压非对称性对多孔塑性固体材料损伤演化的影响；吴沛东在 EVPSC 模型的基础上讨论了孪生机制对挤压 AZ31 镁合金棒材大应变扭转行为的影响；J. A. W. van Dommelen 通过基于夹杂理论的弹性-粘塑性两相复合材料本构模型，讨论了半晶态聚合物材料的变形行为；M. B. Hassine 针对热老化现象对 EPDM 橡胶的大应变粘弹性响应的影响进行了实验和理论研究。（2）在塑性变形的微观机理和基于微观机理的本构模型构建方面，基于细观力学理论开展的工作较多。例如，V. Tvergaard 采用具有空洞周期排列的材料的单胞模型，利用有限元分析了应力状态和空洞间距对剪切场作用下的空洞材料的力学行为的影响；B. N. Legarth 也采用单胞模型，基于粘塑性各向

异性应变梯度塑性本构模型，分析了基体塑性各向异性对微观增强的复合材料损伤演化的影响；M. Sauzay 等通过考虑自由位错的湮灭和增殖以及小角度晶界位错的湮灭建立了一个基于变形物理机制的平均场均匀化模型，对循环和蠕变载荷作用下金属材料的软化现象进行了理论描述。（3）极端载荷和环境下材料的塑性行为研究目前也得到了人们关注。例如，G. Z. Voyiadjis 针对金属构件在小尺度和极短作用时间下的热-机械响应问题，建立了一个多尺度、热力学一致的理论模型；J. Bielski 针对极低温度下面心立方金属的塑性流动不连续性以及塑性应变诱发相变导致的功能梯度结构的安定问题进行了系统的理论研究，建立了多尺度本构模型和硬化模型；S. Alexandrov 针对金属材料经历的严重塑性变形过程，通过重点考虑变形过程中的应力张量主轴旋转对晶粒尺寸的影响建立了一个初步的理论框架。（4）塑性力学中的一些基本的、传统的问题也得到了参会者的关注。例如，黄筑平提出了有限热-粘弹性问题的一种新的本构理论，突出了材料可压缩性和热效应的合理考虑；H. S. Cho 针对弹性无规共聚物的高应变率变形行为进行了系统的实验和数值模拟。

4.1.3 接触与摩擦

接触与摩擦力学一直以来都是固体力学研究的重要课题，本分会场安排了 26 个报告。在宏观范畴内的代表性研究包括：V. L. Popov 提出了减维法求解弹性和粘弹性材料的粘着接触问题，提高了复杂三维接触力学问题的数值模拟效率；G. V. Fedotenkov 研究了刚性和弹性锤与弹性半空间之间的冲击接触问题，利用表面影响函数和叠加原理导出了接触应力在移动接触边界下的解析表达式；S. Aizikovich 介绍了涂层结构轴对称接触问题的近似解析求解方法；M. Kuciej 研究了三类摩擦系统，即板/板、板/半空间和半空间/板/半空间的热弹性接触问题，讨论了材料属性、热载荷、表面热传导等因素对表面温度和热应力分布的影响，研究结果在刹车系统的设计中有重要的实际应用；P. Grzes 建立了三维有限元模型模拟了汽车的盘式制动器摩擦热的产生；基于在接触载荷作用下近表面裂纹问题的广义解，K. Zhou 给出了一种能模拟各种表面和近表面损伤的统一方法；J. Y. Li 研究了满足正交摩擦法则的弹塑性接触问题，将弹塑性本构关系改写为二阶锥补公式，从而将弹塑性接触问题简化为标准的二阶锥补问题。

近年来微纳米尺度的接触与摩擦问题也受到研究人员的广泛关注。例如，S. T. Choi 用改进的 JKR 理论研究了两涂层弹性球之间的粘着接触问题，获得了接触力、相对位移和接触区尺寸之间的联系，给出了能量释放率的解析表达式；Z. D. Sha 等利

用大尺度分子动力学模拟，建立了纳米尺度接触的磨损法则和摩擦法则；J. L. Liu 提出了移动边界条件下弹性系统粘着接触问题的分析方法，分析了微梁、水滴、碳纳米环与基底之间的粘着接触特性之间的相似性。G. Adams 研究了碳纳米管与基底之间的纳米尺度摩擦力学行为，发现当基底宽度小于某一临界值时，最大摩擦力为常数；当基底宽度超过临界值时，最大摩擦力随着基底宽度的增加几乎线性增加；为测定纳米纤维之间的界面粘着力，X. Wang 设计和制作了一个新颖的实验装置，其独特之处在于在原子力显微镜的尖端安装了一个纳米切割刀。

4.1.4 微纳结构和机电系统的力学分析

随着机电系统和纳米技术的持续发展和推广应用，机电耦合力学、微纳米力学等仍然是得到广泛关注的研究领域，其研究成果也对相关技术的突破起到了有力的支撑作用。在 ICTAM2012 上，设置了“机械电子学”和“纳米结构和微机电系统”两个分会场，共安排报告 40 个。

力-电-磁的耦合效应及其应用已经深入到能源、通讯、生物等许多工程领域。Y. Zhu 设计了一种新型电磁能量俘获器来收集由于磁悬浮所导致非线性振动的能量，研究表明在很宽的频率范围内都可以收集可观的能量；S. M. Yang 讨论了微型带状天线的电磁学性能与层状复合材料力学性能的相似性；吕朝锋采用变分原理对可调半球状眼球照相机的操控机制进行了系统的力学分析，并同有限元计算和实验结果进行了比较；A. Flaction 提出了一种新的基于永磁体的磁导引技术，可应用于医学仪器；D. J. N. Limebeer 研究了大跨度悬索桥的气动特性，指出采用被动机械控制可以提高临界颤振速度。

石墨烯、碳纳米管等低维材料的力学行为和器件原理仍然是目前纳米结构和纳米器件领域的研究热点。例如，李群仰利用 FFM 研究了石墨烯和氟化石墨烯的纳米摩擦特性，并讨论了相应的力学机理；J. J. Yeo 用分子动力学模拟研究了含缺陷石墨烯纳米带的热导性，表明缺陷会导致石墨烯的热导性剧烈降低；Y. F. Guo 利用密度泛函理论和分子动力学计算，研究了石墨烯的可调力学和热学性能；M. Lanza 通过 STM 和 AFM 研究了基底对 CVD 石墨烯片皱褶变形的影响，并提出了相应的理论模型；T. Li 研究了碳纳米卷在轴压、弯曲和扭转载荷作用下的屈曲特性，发现和多壁碳纳米管的屈曲有很大区别。纳米器件中，纳米结构通常置于一定的工作环境或附着于基底之上，因此纳米结构与环境、基底的相互作用得到持续关注。I. Stachiv 研究了碳纳米管在粘性流体中的振动特性和 Q 因子，给出了碳纳米管质量传感器的解析公式；D. F.

Peng 利用分子动力学模拟研究了碳纳米管在基底上的吸附和拉脱力学行为,表明临界拉脱力和拉拔角度相关,且可建立相应的连续介质模型; J. L. Xiao 提出了一维纳米线贴壁屈曲的连续介质模型,得到了屈曲波长、波幅和临界屈曲应变的解析解; H. T. Johnson 通过发展一种多尺度原子连续介质计算模型,研究了半导体表面粒子轰击引起的不稳定性,并提出了力学机理的新解释。纳米结构的断裂力学行为也是目前纳米力学的研究热点之一。X. Gu 通过单轴拉伸实验研究了纳米晶铂微柱的变形和断裂; F. Y. Wang 利用分子动力学计算研究了不同温度下含缺陷单晶金纳米线的力学特性和断裂行为。此外,其它纳米材料和结构的基本特性以及面向 MEMS 设计的基本力学问题也得到广泛讨论。例如, D. C. Lagoudas 提出了一种形状记忆合金复合材料的数值模型,分析了不同的非线性机理和微结构对其力学性能的影响; L. Zhou 发展了一种研究剪切压电悬臂梁俘能特性的力学模型,所预测的输出峰值电压和输出功与频率的关系和实验结果吻合较好; 王炳雷利用应变梯度弹性理论,提出了静电 MEMS 的微梁和微板模型,研究了临界电压的尺度效应。

4.1.5 复合材料力学

由于其独有的可设计性,多构件材料和复合材料的应用越来越广泛,但其力学问题也同样突出,因此得到较多研究人员的关注。本次大会在“多构件材料和复合材料的力学”分会场安排了 41 个报告,主要集中在如下四个方向:(1) 宏观等效性质的估算,例如, C. Y. Cao 提出了基于 Green 函数的杂交有限元法来进行各向异性复合材料的计算模拟; R. Brenner 针对线粘弹性复合材料,采用统一的方法导出了宏观蠕变函数的四个精确渐近关系式; 吴林志通过构造试位移场和试力场,获得了含涂层球形夹杂的三相复合材料有效弹性性质的上下界; 张俊乾基于变分原理和有限元模型从理论上预测了 Z 形铰接单向复合材料的面内压缩强度,结果与实验一致; P. Fedelinski 采用不同的边界元法模拟预测了含刚性或者弹性夹杂/纤维的复合材料的等效性质,讨论了体分比的影响。(2) 性能设计和改进,例如, J. Zhu 针对介电高弹体在电压作用下容易产生力电失稳的问题,提出用一个方向的预拉来提高临界失稳电压,给出了力学机理,并进行了实验验证; S. Q. Cai 的研究表明宏观变形可以有效改变超材料的电磁特性; X. Guo 采用内聚力单元模拟揭示了纳晶界面层的引入可显著提高不锈钢的韧性; S. A. Meguid 介绍了用以飞行器在线健康监测的多功能复合材料的纳尺度性能调控及其力学、电学性能模拟;。(3) 损伤演化及破坏,例如, N. A. Fleck 采用实验和模拟的方法研究了静动态条件下 UHMWPE 复合材料梁的崩塌响应,指出了崩塌的力

学机理；针对含随机分布颗粒的复合材料，J. Y. Li 提出一种多尺度方法模拟研究了损伤的扩展和最终失效；D. Y. Zhang 采用三点弯曲实验研究了三维正交锁结纺织复合材料梁的弯曲响应，采用数字成像相干技术获得了损伤演化的重要特征，并进行了有限元模拟。（4）本构关系研究，例如，S. Borodulina 描述了三维纤维网络的应力应变曲线以及控制形状和失效发展的参数，讨论了各种粘结参数的影响；X. N. Liu 提出了一个新的微极本构关系以考察二维各向同性手性固体的手性效应。

4.1.6 冲击和波动

本次大会在“冲击力学和波的传播”分会场安排了 39 个报告，较全面地反映了当前弹塑性动力学研究在理论、实验和数值模拟方面的进展。在理论研究方面，A. Salupere 采用 Mindlin-Engelbrecht-Pastrone 模型对微结构固体中波的演化问题进行了研究，考察了色散效应和非线性效应在孤立波传播中的影响；J. Engelbrecht 基于对偶内变量的概念，建立了热力学自洽的唯象理论，研究了微结构固体中波的散射特性和热效应；Y. E. Ivanova 将匹配渐近展开法应用于非线性不可压缩弹性介质的一维边值问题，结果显示摄动法应用于弹性介质动力学的有效性；S. J. Huang 研究了双层非线性弹性复合材料杆中由压缩波多次反射产生的拉伸冲击波的机理，揭示了杆中拉伸波追赶初始压缩波的现象。在实验研究方面，T. Uth 介绍了硬脆装甲材料瞬态响应比例试验的新观点，针对随时间增长穿透率快速增加的玻璃或陶瓷等材料的侵彻，开展了缩比冲击模型研究；H. Zhao 实验研究了四面体桁架晶格结构的冲击行为，结果显示准静态和冲击载荷下屈曲（关键弯曲点）有明显差别；Q. M. Li 对影响石油射孔射流形成的主要参数（如高能炸药、衬里材料及其形状）进行了试验分析；G. I. Kanel 研究了冲击波作用下应变率、温度和材料结构对金属及其合金材料塑性流动应力的影响，给出了较高应变率范围内材料的动态屈服应力和层裂强度的测试结果；M. Langseth 研究了由于拖网或下锚等操作引起的近海管道的冲击问题，用试验和数值模拟研究了管道被锚冲击、悬挂和释放的过程；针对准脆性铝合金的各向异性断裂，O. S. Hopperstad 的试验观察到了因材料复杂的微结构而导致脆性和韧性具有不同的断裂模式。在数值模拟方面，B. Li 介绍了超高速冲击下大规模最优输运网格方法的计算，结合动态接触算法对不同铝合金板厚度、尼龙弹丸撞击速度以及倾角等情况进行模拟研究；张雄提出了自适应有限元材料点法，该方法吸取了有限元和材料点法各自的优点，计算效率高于 MPM 和 FEM；杨黎明利用拉普拉斯变换和数值反变换技术分析了粘弹性支撑弹性环(RoVEF)的动态响应；A. N. Mel'sitov 基于两相流中的局部流动，对变形

的易损介质和空泡流相互作用的腐蚀断裂进行了详细的数值分析；虞吉林采用有限元研究了半无限弹性梁在移动脉冲下的响应，指出脉冲速度与梁的移动脉冲和弯曲波动耦合的临界速度接近时，梁中应力达到最大。

4.1.7 结构稳定性

结构稳定性是固体力学的一个重要分支，是结构安全性的重要内容之一，近年来也成为柔性电子等新型器件设计的重要理论依据，本次大会安排了 23 个分会场报告。在工程结构的稳定性分析方面，D. Sheydakov 基于三维稳定性理论和高阶弹性理论，分析了径向受压的夹层圆板和双轴受压的夹层矩形板的屈曲问题，讨论了尺度效应和涂层属性对多孔夹层板稳定性的影响；李世荣给出了功能梯度 Timoshenko 梁屈曲问题的解析解，并探讨了梯度 Timoshenko 梁屈曲解和均匀 Euler 梁屈曲解之间的联系；利用级数展开法和多尺度法，戴晖辉给出了可压缩超弹性管在压力作用下轴对称后屈曲问题的渐近解，讨论了几何参数、模态数和载荷对后屈曲状态的影响，发现了一种有趣的类似于章鱼形状的分岔现象；D. P. Holmes 对不同几何尺寸的拱和薄球壳的动态跃越屈曲失稳问题进行了实验研究，发现屈曲失稳问题显示出高度的几何和材料非线性，且结构的动态稳定性与结构的形状和材料的声速密切相关。对于薄膜褶皱问题，T. Healey 研究了两端固定和另两端自由的受拉矩形薄膜褶皱的形成，利用薄膜厚度的倒数作为整体分岔参数，系统地分析了受拉弹性薄膜的稳定褶皱模式；基于能量法并考虑表面弹性和表面残余应力，J. Z. Song 分析了表面效应对薄膜褶皱的影响，获得了波长、幅值和临界屈曲应变的解析表达式；R. Huang 利用数值和实验方法研究了聚乙烯超弹性薄膜由于拉伸所导致的褶皱现象；M. Jabbour 讨论了晶体薄膜生长过程中的分级失稳现象。此外，O. Lopez-Pamies 研究了纤维增强橡胶宏观和微观尺度失稳现象，发现纤维的截面形状和排列方式对宏观和微观尺度的稳定性影响很大；I. Ario 介绍了带有初始缺陷可折叠结构的 Hill-Top 类型的分岔屈曲现象。

4.1.8 结构优化

结构优化的重要性近年来得到了工程界的广泛认同，成为固体力学和相关工程科学领域中的一个攻关热点。由国际结构与多学科优化协会（ISSMO）参与组织的“结构优化”分会场，共有 38 个学术报告。

在结构优化的基本理论研究方面，G. Rozvany 综述了作为结构拓扑优化理论支柱的精确结构布局理论的最新进展，并着重澄清了当下研究中存在的一些错误概念；作

为对于精确结构布局理论的补充, K. M. Zhou 发展了可用于求解复杂边界条件和荷载工况下 Prager 结构的有限元方法; M. Zhou 结合材料的可制造性要求, 着重论述了复合材料优化设计中的几个基本问题; K. Ohtsuka 利用泛函分析工具完善了将 GJ 积分(一种推广了的 J 积分)应用于形状优化问题的数学理论。

在结构优化基础算法研究方面, ISSMO 现任执行主席 O. Sigmund 对现有的结构拓扑优化方法及各自的优缺点进行了全面综述, 特别指出迫切需要建立起一批 Benchmark 考题以便对新算法的有效性进行客观的评判; 姚振汉提出了一种联合使用基于梯度的 Kriging 策略以及几何映射方法的用于解决具有复杂非线性响应的结构形状优化问题的高效算法; 基于一种特殊设计的新型刚度插值格式, S. N. Sorensen 提出了一种纤维增强复合材料层合板厚度优化的新算法; 针对钢架结构的拓扑优化及其中所蕴含的奇异性问题, J. Yan 借助一种新的刚度插值格式恢复了设计空间的连通性, 从而可以有效获得处于可行域低维子域上的最优解; S. H. Cho 基于新近发展的等几何数值分析框架, 发展了相应的灵敏度求解和形状优化算法。

在结构优化的工程应用方面, B. Wang 报道了采用结构优化技术对大型运载火箭进行轻量化设计的工作, 其结果表明优化技术可以有效减轻运载火箭的结构重量; V. Chedrik 利用层次建模技术求解了飞行器结构的多学科优化设计问题; H. Iwasaki 提出了一种利用蜂窝夹层板进行空间飞行器太阳能能源系统轻量化设计的实用方法; X. K. Song 还利用拓扑优化方法对新型燃料电池的电极形式进行了改进设计, 可使电极电阻较现有设计大幅度减少 40% 以上。

多尺度框架下的结构优化目前已开始受到越来越多的关注。例如, Y. X. Wang 报道了如何基于原子/连续体混合多尺度模型进行灵敏度分析的方法; 郭旭在多尺度框架下讨论了考虑荷载不确定性的结构鲁棒优化设计问题, 结果表明通过在宏观以及微观两个尺度上合理的分布材料可以有效提高结构的鲁棒性。另外, 在与多物理场相关的结构优化研究方面, B. Niu 基于拓扑优化思想, 发展了一种用于轻质结构降噪设计的新方法; N. Olhoff 报道了通过结构优化实现最大声子谱带隙的最新成果; J. B. Du 则研究了考虑结构声学特性的最优微结构设计问题。

4.1.9 地球物理学和地质力学

23 个分会场报告中, 集中于宏观地质构造、岩石特性并开展研究的工作主要有: Y. M. Leroy 采用以极限分析为基础的最优化技术, 结合冲断层形成过程中的几何构造, 定量分析了地质构造、侵蚀及岩石强度的降低等因素对增生楔和褶皱-冲断层中断

层时空组织的耦合作用，表明断层活性的循环时间与基底的厚度及与基底上表面的距离相关，且活性断层的损伤可以消除其时间和空间上的周期性；L. Moresi 利用粒子模拟程序解决了大尺度地质模型的大应变变形、界面的追踪以及材料变形历史等问题，并在结构化背景网格的基础上成功实现了高效且鲁棒性求解；S. S. Xu 指出倾角较大的正断层，在持续活动中将发生转动，使倾角小于 30° ，从而使断层在活动时更容易形成新断层而非滑移；S. A. Hall 采用超声速测量技术和超声成像技术，分别对岩石损伤局部化进行了实验研究。

在微观机理研究方面也开展了卓有成效的工作。例如，R. Wan 针对潮湿颗粒材料的力学行为，开展了颗粒间力传递的微观分析及毛细液桥的分布研究，得到了一个包含液桥演化、界面及水饱和度等因素的等效应力张量；V. Magnanimo 基于非线性张量函数研究了各向异性颗粒材料的二维本构关系；J. E. Andrade 提出一种颗粒单元法，能方便地与传统的离散元方法相结合；J. Tejchman 应用离散元方法研究了颗粒材料剪切局部化区域内的微观结构，并将其结果与相应的实验和有限元结果进行了比较。A. Scheuermann 对非饱和颗粒材料在循环水压条件下的动力学效应进行了实验研究，并应用格子玻尔兹曼方法，从微观上对该效应进行了详细分析。

4.1.10 固体力学的其他方面

在“固体力学一般问题”分会场，共有 13 个报告，主要涉及多场耦合分析和连续介质力学的基本框架研究。例如，I. Guz 分析了层合结构热-力-电耦合动力问题，考虑了对应热耗散的非线性、非弹性效应，并以居里温度为准则估算了热疲劳寿命；针对考虑内状态变量的电磁弹性体，W. Kosinski 应用稳态作用原理推导得到了微分形式的动量守恒律和 Maxwell 定律；A. V. Manzhirov 对生长型固体的变形过程开展了研究，可考虑组分、质量和体积随时间分段连续变化，建立了数学理论的基本要素；T. S. Vashakmadze 基于牛顿力学和 Noll 公理，建议了一个统一的动力学伪微分系统，其特例包括 NS 方程、Navier 方程、Euler 方程、广义胡克定理、质量和能量守恒等。

4.2 流体力学

除了大会特邀报告、特邀专题报告和专题研讨会中与流体力学相关的学术报告外，17 个流体力学分会场共安排了 392 个报告。17 个分会场基本上涵盖了当前流体力学的主要研究领域，以下就其中部分主题的报告稍加梳理并作简单评述，“生物流体动力学”的报告将在第 4.5.2 节介绍。

4.2.1 边界层

该分会场共有 21 个报告，研究内容包括了边界层流动稳定性问题、湍流边界层统计性质和结构、边界层流动分离和减阻的控制等。在流动稳定性方面，M. Higuera 研究了 Blasius 边界层中最优条带，发现在不同的流向位置条带速度在壁面法向的分布存在相似性，并依此给出了其低维模型；M. M. Katasonov 在直翼边界层的实验中，通过在前缘引入吹吸扰动，研究了条带和波包的形成及演化；H. Guo 实验研究了边界层转捩中条带对二次不稳定性的影响；罗纪生提出了超音速边界层对自由来流扰动的一种新的接受性机制；吴雪松研究了高超音速边界层的 K 型转捩；A. I. Ruban 通过对 NS 方程的渐进分析，研究了边界层对翼面弹性振动的接受性问题，导出了接受性系数的显式表达式。在湍流边界层统计性质研究方面，Y. Wada 定义了低雷诺数时零压力梯度湍流边界层的伪对数区，得到的摩擦速度、卡门常数等与已有的实验和计算结果相符；Y. F. Zhang 对不同温度的等温壁面槽道湍流进行了直接数值模拟，并用 Monte Carlo 法模拟了辐射对流动的影响，指出了经典壁面律的局限性；M. S. Chong 提出了固壁边界上的无滑移张量，研究了其不变量的性质，并试图回答壁面是否对壁湍流的产生是必要的；Y. B. Chu 利用速度梯度张量不变量的条件平均轨迹，研究了可压缩湍流边界层中流体质点的平均拓扑演化。在湍流边界层相干结构研究方面，李存标重新讨论了湍流边界层中的猝发现象，认为湍流猝发主要归因于孤立子类相干结构；J. H. Lee 利用 DNS 对比了圆管湍流和湍流边界层中的大尺度结构，发现弯曲运动可长于 30 倍的圆管半径，并可高达 0.3 倍半径处，而在边界层中只能到达对数区的边缘；S. Q. Yang 利用层析时间分辨 PIV 技术测量了湍流边界层的三维三分量流场，并对相干结构和湍流模型等进行了分析；Z. Q. Tang 利用 PIV 测量了边界层中圆柱绕流的二维流场，研究了展向涡发展为发卡涡的演化过程；B. F. Scheichl 研究了湍流边界层在钝体后缘的分离。在边界层流动分离和减阻的控制方面，Y. Wu 实验研究了角区流动分离对等离子体空气动力学致动的响应，发现 PAA 施加在端壁上比施加在吸力面更加有效，并且纳秒脉冲 PAA 比微秒脉冲 PAA 更有效；E. A. T. Setty 研究了局部壁面加热（冷却）对横向磁场中导电粘性流体层流尖楔边界层的影响；B. Q. Deng 提出了加强的湍流减阻方向控制方案，发现了反向控制下雷诺切应力分布的相似性。

4.2.2 燃烧与火焰

燃烧与火焰是目前国际流体力学研究的热点领域，其中关于基础燃烧过程及其中

的物理化学机制是燃烧与火焰研究的核心问题。该分会场一共有学术报告 23 个，内容涵盖了替代燃料基础燃烧特性、火焰稳定机理、湍流燃烧模拟技术、燃气轮机与超燃冲压发动机中的基础燃烧过程、爆轰波、非均相燃烧等诸多前沿领域，大致可分成两类：（1）燃料基础燃烧特性的研究，如柴油/甲醇喷雾燃烧及其化学反应机理、氢气/天然气混合燃料层流火焰速度模型及应用、含水低热值气体燃烧过程的直接数值模拟与稳定性分析、预热正庚烷射流火焰的抬升特性实验研究、可压缩效应对预混火焰传播的影响、火焰自激震荡机制、预测火焰稳定性的多模态火焰传递函数、非预混湍流射流火焰中混合层混合物分数的实验测量、声学震荡对单个液滴燃烧过程的影响、来流环境中液滴燃烧过程的大涡模拟等。（2）与先进燃烧技术相关的燃烧过程研究，包括燃气轮机贫燃直喷燃烧可视化实验、燃气轮机旋流燃烧火焰精细结构的直接数值模拟、超燃冲压发动机中煤油致冷与裂解过程、超声速燃烧中钝体增混稳焰的大涡模拟、非平衡等离子体助燃的化学反应机理、爆轰发动机中爆轰波的直接起爆条件、爆轰波传播的包络结构与稳定性分析、高金属含量水冲压发动机的稳态燃烧机理、催化燃烧中的表面化学反应机理、以及湍流燃烧过程的数值模拟方法。

4.2.3 可压缩流动

“可压缩流动”分会场的 32 个报告涉及高温气体动力学、高超声速再入体的表面热流研究、结构与气动弹性研究、气动声学及噪声控制、高超声速边界层稳定性、激波/边界层相互作用等内容。在高温气体动力学方面，S. Leonov 用实验和数值模拟方法研究了等离子体-高超音速流动的相互作用，通过在入口处加入等离子体，揭示了表面的局部放电会显著地影响高超音速流动的结构和参数；吕俊明系统地计算了火星探测器进入火星大气层时周围的流场结构、气动特性变化及化学非平衡效应的影响，发现化学非平衡效应导致探测器头部激波脱体距离显著减小，波后温度大幅下降， CO_2 在波后大量分解，探测器尾迹中存在复杂的涡旋运动和分离现象，其升阻比随负攻角的增大呈线性增长。在高超声速边界层的稳定性方面，曹伟用线性稳定性理论研究了变比热系数对高超声速边界层稳定性的影响；O. Marxen 直接数值模拟了粗糙平板超音速边界层层流-湍流转捩机理，揭示了两种转捩机制，为转捩研究提供了新的研究方向。

飞行器的噪声及其控制问题吸引了无数研究者。D. J. Bodony 分析了非等温条件下的平面二维混合层，发现噪声的降低与混合层内的熵扰动有关，而熵扰动则是由变化的平均速度及熵梯度引起的；P. J. Schmid 采用数值模拟和模态分解手段，分析了可

压缩轴对称射流的流场结构特征和远声场的性质,发现远声场结构是一种主要包含了膨胀的复杂结构; C. Pantano 提出了一种带自适应网格的 CFD 算法,研究了超声速流动中张力锥的气动弹性、结构稳定性及流动与结构的相互作用。

激波/边界层的相互作用包含了相当丰富的内容。黄景波用 IDDES 方法成功地模拟了某超临界翼型在跨音速流动情况下上表面激波抖振现象,发现采用两个涡流发生器可以明显地抑制振荡,有效地减小脉动压力的均方根值; D. Szubert 采用数值模拟、子波分析的方法研究高雷诺数下超临界翼型跨声速流动的压缩性效应; 严红采用数值方法,分析了两种热激励子对弓形激波的减阻机制,发现在 $M=8$ 弓形激波上游加入两种热激励子都能降低波阻。

陈军提出了一种测量燃烧气体比热比的高效实验技术,该项技术避免了复杂的气象色谱分析,有效地降低了测量比热比的时间,并且精度高; 余振苏利用 VVCS 相关量研究了可压缩槽道流动中的大尺度结构,验证了 Morkovin 假设,发现了独立于雷诺数和马赫数的标度量; T. Sugimoto 用解析解研究了土星环的形成; 李志辉用玻尔兹曼方程研究了多种情况下气体的输运现象; R. Radha 用欧拉方程研究了弱不连续波的性质。此外,在高超声速射流、超音速混合层、二相流、超音速边界层感受性、微尺度叶片和斜坡上的超音速流动等方面也有相关报告。

4.2.4 对流

对流现象广泛存在于自然界中,例如地球大气、海洋及地幔的对流; 恒星及行星中的对流等; 工程应用中传热及散热中的对流; 以及晶体生长中的对流等。分会场共有 41 个报告,热点主要包括: (1) 湍流热输运, (2) 边界层, (3) 羽流和大尺度流动结构, (4) 湍流脉动量的小尺度统计等, 以下分别加以介绍。

(1) 湍流热输运

RB 湍流热对流系统中的一个核心问题就是湍流流动是如何输运热量的, 即 Nusselt 数随着 Rayleigh 数和 Prandtl 数的变化规律。实验方面, J. Salort 比较研究了光滑平板和粗糙板对系统湍流热输运效率的影响; J. J. Niemela 研究了高 Rayleigh 数下旋转效应对旋转 RB 系统湍流热输运的影响; S. S. Pawar 研究了竖直长管内的湍流热输运特性。数值模拟方面, 包芸研究了二维热对流系统中湍流热输运随 Rayleigh 数的变化规律; Y. Pang 研究了方形微管道中流体的材料特性对系统流动和热输运的影响; R. J. A. Stevens 研究了对流槽边壁的温度边界条件对系统湍流热输运的影响; 毛娅丹研究了斜坡等温面加热情况下的热输运特性; K. A. Mizerski 研究了充分发展的可压缩

对流中的湍流热输运问题；M. F. M. Speetjens 研究了拉格朗日框架下的湍流热输运问题；R. O. Monico 研究了 TC 系统内角速度输运的最优化问题。理论模型方面，E. S. C. Ching 分析了高分子添加物对 RB 系统湍流热输运的影响；G. Florides 建立了 U 型管内的热交换模型。

（2）边界层

边界层一直是流体力学中一个十分令人瞩目的研究课题和领域。对 RB 湍流热对流系统而言，对流槽上下导板附近共存的粘性和温度边界层在系统传热、能量与动量的输运及耗散过程中起着重要作用。在实验方面，A. Davaille 研究了粘性流体介质中温度边界层的不稳定性；R. du Puits 以空气为对流介质，对热对流系统中的边界层进行了流动显示观测；钟锦强研究了旋转热对流系统中适度旋转对大尺度环流结构运动的影响。在数值模拟方面，F. Xu 研究了热边界层在不同流动区间间的转变问题；N. Shi 研究了 RB 系统的边界层结构。

（3）羽流和大尺度流动结构

在实验方面，Y. C. Xie 在不同的 Prandtl 下研究了热对流系统大尺度环流的扭转运动模式；S. Andrey 研究了圆柱形流体层中由局部加热引起的流动结构；D. Schmeling 研究了长方体对流槽内温度信号的周期性脉动现象；G. S. Gunasegarane 研究了片状羽流的动力学特性；周生启在实验室模拟了地热对海洋环流的影响。在数值模拟方面，M. Funakoshi 研究了倾斜的方形热对流系统的临界 Rayleigh 数，发现系统倾斜角度的增加可以降低临界 Rayleigh 数；E. Ramos 研究了圆柱形对流槽中由于部分边壁加热所引起的自然对流稳定性问题；H. Clercx 等人研究了旋转热对流系统中由边界层驱动所引起的大尺度流动结构；K. Petschel 应用整体统计分析研究了 RB 系统的时空流动结构；S. Horn 研究了非 Oberbeck-Boussinesq 效应对系统流动结构的影响。在理论模型方面，J. H. Arakeri 为湍流自由对流边界层内的羽流结构建立了模型；O. Shishkina 和 S. Wagner 分析了热对流直接数值模拟的复杂度，并为其计算的准确性提供了判据；I. V. Stepanova 研究二流体对流的热扩散方程。

（4）湍流脉动量的小尺度统计

在实验方面，周全应用 PIV 速度测量技术在验证了湍流速度场时空关联函数椭圆模型的正确性；童彭尔测量了对流槽内不同空间位置处的温度耗散率，并研究了其在时间域内的标度行为；夏克青应用拉格朗日粒子追踪技术研究了小尺度湍流热对流的欧拉和拉格朗日统计特性；黄永祥研究了温度时间序列的扩展自相关函数；R. Abe 研究了热对流系统中速度和温度随 Rayleigh 数的变化规律；D. Fufschilling 应用激光诱

导荧光技术测量了 RB 湍流热对流系统温度场。在数值模拟方面, M. Kaczorowski 研究了热对流体区间内 Bolgiano 尺度随 Rayleigh 数的变化规律; S. Wagner 考察了热对流系统中局部 Kolmogorov 尺度的分布。

4.2.5 液滴、气泡与多相流

该分会场共有学术报告 65 个, 除了传统的研究方向, 如: 液滴撞击、射流破碎和液滴形成、气泡的变形和溃灭、多相湍流等, 微纳米尺度下的多相行为等一些新的研究方向逐渐成为该领域新的研究热点。在多相湍流方面, 针对颗粒(液滴、气泡)-湍流相互作用的直接数值模拟是该领域最重要的研究方向, 采用的直接数值模拟方法包括 LBM 方法、虚拟区域方法等, 主要关注颗粒对湍流场的调制, 颗粒-颗粒以及颗粒-壁面碰撞模型, 颗粒在湍流场中的扩散及速度脉动特性等问题。在液滴撞击方面, 更加关注在特殊界面情况下的液滴碰撞过程, 具体包括液滴在高温金属、超疏水性基板、带沟槽基板、带小孔平板等表面上的撞击过程, 同时, 采用高速摄像和全内反射显微技术结合技术、彩色干涉仪等一些新的测量方法对液滴碰撞过程进行精细的测量, 针对气膜对碰撞过程的影响规律给出了更加精细的结果。在气泡动力学方面, 主要关注点有: 非球形气泡(气泡环)的运动、非牛顿介质中气泡动力学特性、超声作用下的气泡特性、气泡溃灭及射流产生, 等等。射流破碎及液滴形成研究依然吸引了很多研究者, 重点集中在更复杂情况下的射流破碎问题, 例如: 不相混两种液体的测流混合射流的破碎模态, 旋转液滴的变形和破碎, 基于 LBM 方法的真空中液滴的破碎的模拟研究, 气液混合射流的界面稳定性及气泡的行成, 非牛顿湍射流以及包含气核的气液混合射流的破碎特性。在微纳米尺度下的多相行为方面, 报告涉及: 壁面特性对纳米气泡生存时间的影响研究, 非均匀电场下碳纳米管在水介质中的定向运动特性, 微纳米气溶胶颗粒在湍流场中演化, 微米尺度下液滴在固体表面的接触和滑移, 等等。

4.2.6 流动稳定性与转捩

共有 76 个分会场报告, 主要内容包括如下几个方面:

(1) 边界层不稳定性

边界层流的稳定性是流体力学的热门方向之一, 共有相关报告 8 个, 内容涉及超高声速可压缩流体的边界层特征、槽道流中边界层的相互作用、粗糙边界的影响等。对于平板边界层, M. D. Mamun 考虑了固壁边界处与 TS 波尺度相同的粗糙颗粒, 并

发现这些粗糙颗粒只有在二维分布时才对边界层产生明显影响；对于分层流体的边界层，S. le Dizès 发现一旦边界与来流存在夹角，边界层就会立刻变得不稳定，并认为失稳的机理是由于边界层内重力波的产生和释放。

（2）尾流不稳定性

钝体绕流既具有很强的工程应用背景也是研究流动分离与失稳的重要模型。M. Bosco 研究了分层流体中卡门涡街的二维和三维不稳定性特征；当钝体由圆柱替换成圆盘时，S. Goujon-Durand 指出其流动尾迹又会出现发卡状结构，这是一种完全不同于经典结果的新现象。

（3）含旋转效应的流动不稳定性

J. Rodríguez 进行了空间微重力实验，研究了液柱偏心旋转时，其外观形状保持能力与旋转角速度的关系，发现了液桥非对称破坏的特征；D. J. Sun 研究了旋转系统下 Poiseuille 流失稳后其扰动能量随时间的演化过程，指出了扰动能量发展最为迅速的模态。除此之外，TC 流的稳定性问题继续受到人们的关注，如 H. Oualli 研究了外筒静止而旋转的内筒半径周期变化的情况，基于有限体积法讨论了边界移动的迭加效应。

（4）界面不稳定性

界面的稳定性如 Rayleigh-Taylor (RT)不稳定性、Richtmyer-Meshkov (RM)不稳定性等问题继续受到人们的关注。X. S. Wang 等通过实验研究了三维界面与平面激波相互作用时的 RM 不稳定性问题，并将实验结果同非线性理论模型进行了比较；陶建军采用弱非线性理论研究了旋转系统中无粘流体界面的稳定性特征；N. M. Ribe 通过实验研究了粘性液丝落在平面时所表现出的各种不同形态，给出了在粘性-流率-滴落高度的参数空间中这些丰富形态的相图。

（5）层流-湍流转捩

转捩的研究内容涉及范围较广，如飞行器设计、高精度数值计算、湍流控制等。C. B. Lee 通过流动显示实验研究了高超声速边界层流中两种模态对转捩的影响；L. Tuckerman 采用高精度的谱方法直接模拟了平板 Poiseuille 流的层流-湍流转捩，给出了转捩的演化过程；K. Zhao 研究了自然转捩和分离诱导转捩所需的转捩模式；J. J. Wang 实验研究了壁湍流产生过程中的一个关键结构-低速条带的稳定性；B. Hof 采用谱元法数值研究了管流中湍流的再层流化机制；B. Eckhardt 数值模拟了抽吸壁面边界层的转捩；L. Brandt 理论研究了槽道流中所含颗粒对转捩及减阻的影响。

另外，分会场报告也涉及了连续介质力学的变分方法、磁流体的 RB 对流、颗粒流动、方腔流动的分叉现象等方面的研究进展。

4.2.7 薄膜流动

薄膜状液体流动广泛存在于自然界中,随着科技进步液膜流动作为一种高效的传质方式将在能源、化工、生物以及环境等诸多工程领域有重要应用。最近相关研究已拓展到了许多具有复杂几何形状或多元化学组分的液膜上,例如,A. Oron 和 C. X. Li 分别以圆形缸中的轴对称液膜和溶解有表面活性剂的液膜为研究对象,推导了可以描述其动力学行为的非线性发展方程,并对其线性稳定性进行了分析;S. Madruga 分析了在固体基底上垂直分层的共混聚合物液膜的稳定性,结果表明相对于扩散输运而言,对流输运可导致新的不稳定机理;K. Kanatani 建立了二元混合蒸汽冷凝为液体薄膜的动力学模型,并利用此模型分析了其线性稳定性,得到了临界厚度;U. Thiele 以含有表面活性剂或溶解物的液膜为研究对象,提出了一种构建其动力学模型的新方法。上述研究进展表明液膜流动的稳定性分析仍是此方向的核心研究内容之一。

固液界面的浸润行为以及毛细现象对液膜流动有重要的影响。P. Colinet 通过两种简约模型,分析了无滑移时液膜在移动或蒸发过程中接触线和接触角的变化;E. Benilov 以二维稳态 Couette 流为物理模型,研究了当接触角为 180° 时接触线的移动速度;D. N. Sibleya 通过界面生成模型和传统模型的对比,分析了二维液滴铺展过程中接触线的移动;Z. M. Liu 通过理论分析和数值模拟研究了轴旋转密封剪切流中的滑移现象;A. Medina 采用润滑理论研究了在二个同轴空心锥的夹缝中粘性液体的自发毛细上升;L. Y. Yu 研究了幂律流体液膜在重力作用下沿竖向纤维的流动,确定了所形成液滴的下落速度与重力之间的关系;R. Krechetnikov 在实验中实现了 Landau-Levich 流动的可视化,发现表面活性剂对半月面区域的流场有显著影响。

另外,O. Heinz 介绍了在高速气流的强剪切作用下液膜表面的波状结构,并讨论了气体流动参数的影响;M. Bowen 提出 Marangoni 应力可能导致液膜的破裂;M. Scholle 将 NS 方程的首次积分用于液膜流动的研究;M.G. Blyth 采用渐进模型研究了液膜在阶梯地形上的流动。

4.2.8 地球物理和环境流体动力学

该分会场报告涉及了大气、海洋、河道等自然流动和工业应用中的最新研究成果,在分层流、异重流、海洋环流、波浪、边界层等典型流动特性和输运机理方面的研究尤为注重与各种复杂环境边界的相互作用,同时在应用背景方面与生物、气候等其他学科的结合愈加紧密。

R. Tailleux 从能量角度分析了表面浮力通量对海洋搅拌和混合效率的重要影响; J.-S. von Storch 采用数值模型提出了涡流所致内波的深海混合机理; B. R. Sutherland 对两层流体轴对称侵入的演化特征和稳定性进行了实验观测和动力学分析; P. F. Linden 对稳定分层流体的异重流界面侵入特性进行了实验观测和数值模拟; M. Peng 采用 PDPA 测量分析了含颗粒异重流湍流结构的时空演化及其对颗粒分布的影响; J. J. Riley 对受潮流影响河道近自由表面的水平流速湍流谱进行了现场测量和分析; E. Ermanyuk 对线性分层流体中水平振荡环产生的内波三维演化特征进行了实验研究; A. Kluwick 对两层高雷诺数流体中形成的弱非线性涌浪进行了理论分析; A. C. de Lima 对横向部分植被条件下的明渠流动进行了线性和非线性稳定性分析; L. Sun 对稳定分层无粘流动的瞬时不稳定性准则进行了理论分析; S. V. Muzylev 对冰层覆盖下的海洋波浪进行了线性理论分析; M. Sellier 提出了一种基于浅冰近似的冰川流动力学解析和数值方法, 可利用自由表面高程实现对冰下基岩地形的重构; 朱红伟对不同底泥特征和水动力条件下污染底泥再悬浮的释放规律进行了水槽实验研究。

S. D. Ross 基于无人机实测数据分析了 Lagrangian 大气相干结构对微生物输运过程的影响; T. Matsuura 数值模拟了季节性变化风应力影响下拟地转海洋双环流的卷吸和间歇特征; R. Sadr 实测分析了卡塔尔气候变化对大气地表层特征的影响; 詹科杰对由防风固沙林和农田防护林构成的复杂下垫面风场特征进行了现场实测和数值模拟; 孙文海采用 PDPA 对新月形沙丘在不同风速作用下的沙粒运动特征进行了风洞实验测量。

I. Senocak 基于 GPU 群并行计算对复杂地形条件下的风场进行了数值模拟; Q. Y. Yang 采用 LBM 方法对交汇河道的复杂水流结构进行了数值研究; M. J. Olascoaga 给出了 LCS-core 分析方法在墨西哥湾溢油的应用实例; K. Nadolin 基于小参数方法给出了模拟自由表面流动和污染物输运的简化模型。

4.2.9 低雷诺数流动

由于近年来微纳米技术的进展以及生物力学的不断发展, 使得低雷诺数流动的应用范围得到大大拓展。该分会场的 20 个学术报告内容涉及多物理场耦合作用、多物体的水动力相互作用及其非定常动力学特性、界面特性、流动控制等方面。

在微纳米流动方面, E. Wajnryb 采用边界积分方法研究多颗粒在微通道内的运动特性, 讨论了一些有趣现象; X. Q. Hu 采用边界元法和有限元法相结合的计算策略研究了胶囊悬浮剂在微流动中的行为; A. Zött 用拉格朗日描述研究了球形颗粒在

Poiseuille 流动中的周期运动现象。在小尺度 Stokes 流中,颗粒和边界之间有可能出现滑移现象。为此, A. Sellier 采用了边界积分方程和 Navier 滑移条件刻画了颗粒在牛顿流体中的沉降过程; K. Zembrzycki 则实验观察了这种壁面的滑移效应对微通道纳米颗粒扩散过程的影响; J. M. Floryan 实验研究了微纳米流道中颗粒的超热疏水效应, 该效应源于当加热具有特殊涂层的颗粒表面时所形成的表面气体隔离层。

在药物传输方面, K. Asayama 采用边界积分方法模拟外流场, 结合有限元方法处理液滴、脂质体和边界缝隙, 进而讨论了脂质体、液滴如何穿越带有生物配体的微流道侧壁缝隙。

在界面电渗流动方面, J. F. Brady 针对电化学诱导的颗粒游动, 在 Smoluchowski 方程的基础上, 通过转化化学能成为颗粒动能机制, 讨论了扩散和电泳驱动形成的纳米颗粒运动特性; C. F. Kung 实验研究了电渗流流经不同排列的过滤屏的效率问题。

在探讨多颗粒非定常迁移和沉降过程中, M. L. Ekiel-Jeżewska 使用点力模型和 Oseen 张量方法研究了悬浮颗粒在垂直壁面附近沉降的动力学特性, 发现了一些在宏观流动中难以呈现出现象; B. Padmavati 研究了球形容器内由 Stokeslet 诱导的、满足 Navier 滑移边界条件的 Stokes 流动; R. Camassa 采用了 Lagrange 跟随方式研究了多孔球在分层 Stokes 流中沉降过程, 着重探讨了孔隙率和盐扩散效应对球沉降过程的影响; A. Tyatyushkin 分析研究了非定常剪切流中稀释的液滴分散体系所产生的流变学特性, 发现了复值粘性系数。此外, 针对低雷诺数流动下的表面张力问题, P. Singh 实验研究了微粒在流-固界面处的突然扩散, 指出其驱动机制是由于界面附近的微粒改变了局部的表面张力。

4.2.10 磁流体力学

磁流体力学是一门研究导电流体在外加磁场或感应磁场作用下的力学行为的学科, 目前研究工作集中在地磁学、星体磁学、天体物理、核聚变和液体金属技术等领域。本次大会“磁流体力学”分会场共安排报告 12 个, 涉及该领域里的几个重要发展方向: (1) 针对液体金属的测速方法与技术; (2) 电磁冶金; (3) 磁场与层流、湍流相互作用机制; (4) 磁流体 Dynamo 与不稳定性; (5) 数值算法与多物理的数值模拟。

D. Rübiger 基于 Greenspan 理论分析了流动的本征周期, 并采用 UDV 单元阵列系统地测量了速度场的时空分布, 该方法可消除传统旋转电磁搅拌技术中金属内部和表面在凝固过程中所产生的缺陷; A. Thess 提出了洛伦兹力测速 (LFV) 原理, 提供了测量微牛力的实验解决方案。UDV 测速技术在材料电磁过程中的应用也取得了突破

性的进展,王晓东采用 RANS 数值模型解决了洛仑兹力测速仪在管道流和敞开流应用中的数值校准问题,为该技术在冶金工业中的应用铺平了道路; S. Tympel 以洛仑兹力测速仪为背景,利用磁偶极子模型模拟了磁场作用下层流的偏转行为。

Dynamo 和不稳定性问题一直是磁流体力学的研究热点之一。A. Giesecke 介绍了采用数值求解感应运动方程的方法研究卡迪拉什 Dynamo 的进展情况,指出软铁磁性物质在作为驱动桨叶材料时对流体行为有着重要影响。螺旋流被作为研究 Dynamo 理论的一种基本流动在本次会议也得到重点关注,如, P. Frick 报道了雷诺数达到三百万,磁雷诺数达到 30 时的螺旋流实验,研究了环形通道突然停止旋转的过程中湍流粘度和湍流扩散率的变化行为,总结了向下螺旋湍流的运动规律; S. Shanmugam 针对磁性流体在各向异性多孔介质中的离心热磁对流问题,特别研究了磁学机制在多孔介质热传输中所产生的附加效应;董帅通过线性稳定分析法研究了在流向磁场下非定常流的不稳定性问题。

由于在算法上不断有所突破(如对感应电流和电磁力采用了相容守恒格式的工作),磁流体力学计算的研究呈现了蓬勃发展的势头。J. Mao 采用三维 SIMPLE 算法和结构交错网格对强磁场作用下液体金属在方形管道内的流动进行了数值研究,并与解析解进行了验证比较; M. T. Xu 通过积分方程方法研究了磁重联问题。在解决多相、多物理场问题方面, J. S. Hua 采用多相流和电磁耦合模型预测了铝电解槽内熔体的流动和界面变形问题; R. Khalilov 基于数值模型研究电磁泵的工作也显示了磁流体数值方法在解决多物理场问题方面的能力。

4.2.11 非牛顿复杂流体

非牛顿复杂流体在日常生活、工业工程中极为常见,非牛顿流体力学的研究也一直是流体力学的重要方向。本次大会“非牛顿复杂流体”分会场的 18 个报告集中于当前非牛顿流体力学发展的前沿、热点问题,主要涉及非牛顿复杂流体的流变性、复杂流动、热稳性、界面作用、流动减阻等方面。

在流变性研究方面, X. Chateau 研究了气泡悬浮宾汉流体的流变特性,分析了气泡的变形性和气泡的体积分数对屈服应力的影响; J. D. Lee 考虑了液晶颗粒在流体内移动和旋转的微观运动以及液晶材料的微观结构,提出了刻画液晶混合液的微极理论; C. Baig 数值计算了聚合物熔体的流变特性,与实验结果吻合。在复杂流动研究方面, F. Picano 研究了幂律悬浮液流体的剪切流,分析了悬浮物浓度及剪切率对剪切变稀现象的影响; A. Benslimane 研究了纤维素混合液在圆管内的层流和湍流问题; Y.

Dimakopoulos 发展了一种三维超弹性非线性积分本构模型，并研究了胶体的拉伸行为，为研究纤维的形成、扩展、断裂提供了理论指导；朱庆勇利用有限差分方法模拟了幂律流体在微管内的周期电渗流，分析了非牛顿流体的幂律指数、电场效应、振荡频率对流场的影响。在流动稳定性研究方面，A. Massmeyer 针对含屈服应力的非牛顿流体，利用实验方法研究了屈服应力参数对热对流启动的影响；朱克勤研究了粘弹性 Burgers 流体 Poiseuille 流和 Couette 流的流动稳定性问题，发现在高波数下仍存在不稳定流态模式；谭文长研究了粘弹性流体在多孔介质内热对流的稳定性问题，发现超稳态对流模式的产生依赖于旋转效应的强度和空间特征尺度。在复杂流体与界面相互作用方面，D. Saintillan 采用稳定性分析方法研究了球形颗粒在非牛顿二阶流体内沉降过程中引起的密度波动问题，解释了颗粒迁移的物理规律；B. Goddard 利用动力学密度泛函理论分析了胶体溶液与界面相互作用的规律；S. Urmancheev 研究了热粘性流体与壁面的热交换问题。在非牛顿复杂流体的流动减阻方面，E. S. C. Ching 分析了高分子聚合物溶液的湍流减阻问题，计算了雷诺应力随着聚合物浓度变化的规律，给出了聚合物浓度的减阻效率；S. Tamano 利用直接数值模拟方法考察了粘弹性流体在湍流边界层内的减阻问题。

4.2.12 搅拌与混合

该分会场的 9 个报告主要关注不同流体在特定流场条件下的混合特性研究。如，N. Lebedeva 研究流场中被动标量物质的微分特征，发展了全拉格朗日方法；E. A. Ryzhov 研究外变形流作用下两点涡附近的被动标量对流，发现被动流体质点的混沌对流现象及其不可穿透输运壁垒；P. Xu 采用数值模拟手段研究了二维相向射流的混合特征和水动力特征，对定常和非定常射流进行了参数优化研究；D.M. Wendell 实验研究了非牛顿屈服应力流体的混沌混合问题，发现牛顿与非牛顿混沌对流的差别对混合有重要影响；W. H. Zhang 采用 LB 方法研究了两股流体碰撞后的二维流动与混合特征，探讨了速度廓线的影响；X. Yu 采用分子动力学模拟方法研究了氩-氮二元混合体的液-气系统的特性，分析了密度、压力、表面张力的分布；M. A. Stremler 基于动力系统的周期轨迹和 Thurston-Nielsen 分类原理，研究了流体的拓扑混沌与混合；F. Shan 实验研究了孔口后的大尺度流动结构及其对传质速率的影响，发现大尺度流动结构是增强传质的驱动力。此外，J. P. Mellado 采用大涡模拟方法研究了云层上部边界层，探讨了定常水平剪切与蒸汽冷凝导致的浮力反转之间的相互作用。

4.2.13 湍流

该分会场的 19 个报告大概可以分为湍流理论、物理机理、流场分析、流动稳定性与控制等几个方面：

(1) 湍流理论与模型

余振苏及其合作者报告了以动量损失为基本函数的壁面粗糙圆管湍流理论，实现了对 Nikuradze 上世纪三十年代经典粗糙圆管实验数值和本世纪初普林斯顿大学的实验数据的普适描述，并通过李群分析给出了普适函数的分析表达式，与实验结果非常吻合。在另外二个相关的工作中，X. Chen 汇报了运用类似的分析对管道流动中湍动能剖面的定量描述；N. Hu 对大涡模拟中的亚网格效应实现了多层结构描述，提出了新型精确的超大涡模拟方法。壁面对流动的影响是数值计算中的核心问题之一。M. Cho 改进了大涡模拟中的壁面模型，通过提供壁面平均剪切力的约束，在不增加分辨率的情况下对管道流动的模拟仍然得到了较好的结果；X. Qiu 基于 DNS 对壁面湍流的记忆效应进行了建模。

(2) 湍流物理机理

H. Mouri 重点考察了平均能量耗散率与大尺度能量输入率的比例，即 C 参数，发现从整体尺度和局部动能的关联尺度来研究，将得到完全不同的结论；R. M. Kerr 数值模拟了流场中长涡管的相互作用与不稳定演化；P. Schaefer 对湍流场的流线几何特性进行了深入的分析，基于速度与其梯度弱关联的事实，严格推导出全场流线的平均曲率与 Taylor 尺度成反比的结果；何国威课题组在长期对速度的时间-空间关联研究的基础上考虑了压力的关联关系，这可能对理解湍流场中的噪音等问题很有意义；E. W. Saw 研究了湍流场中颗粒的行为，用实验证实了 Falkovich 等人提出的颗粒的 sling 效应。

(3) 流场与数据分析

A. Pollard 研究了方管湍流，通过与圆管对比，分析了几何对流动的影响；Y. Huang 采用 Hilbert-Huang 变换对湍动能能谱与被动标量能谱进行了研究，发现了部分与采用传统 Fourier 变换不一致的物理规律，并做出了解释；R. Stepanov 考察了旋转对湍动能与螺旋性能谱的影响。

(4) 湍流转捩与流动控制

与层流向湍流发展不同，A. Delgado 实验发现在较小雷诺数情况下通过施加很大的压力阶跃，局部流动表现出的可压缩性对流动状态有很大的影响；N. Jiang 通过对流场测量信号的分析并对比，研究了高雷诺数流动中的转捩问题；X. Wang 通过测量

分析，对绕流湍流场中的流动与涡结构及流动控制提出了自己的看法。

4.2.14 涡动力学

“涡动力学”分会场共安排了 34 个报告，内容涉及旋涡的发生和演化过程、旋涡之间的相互作用、旋涡与固体的相互作用、流动控制、地球物理、电磁与旋涡相互作用和涡声等方面。

旋涡的发生演化过程以及旋涡和其它流体结构相互作用、旋涡和物体相互作用得到了重点关注。J. N. Sørensen 采用实验和数值模拟方法，研究了圆柱内旋涡破裂过程，结合共轭状态理论和稳定性理论，首次同时解释了柱状涡和多螺旋涡破裂的形态；李存标教授利用 PIV 技术，测量了非对称流动的形成和演化过程，发现沿着旋成体轴向的时间相关扰动会发展成不对称状态引起不对称分离；Y. Hattori 采用模型分析的方法研究了轴向流对涡管稳定性的影响，发现一阶不稳定是由曲率不稳定和动不稳定叠加效果，而扭曲和轴向流影响二阶不稳定性；C. O'Farrell 研究了非对称喷嘴的涡环形成过程，发现临界时间与当地曲率和喷嘴形状无关，只依赖于等效直径。浸没在粘性流体中的钝体尾迹是流体力学长期研究的课题，它包括许多种流动形态，S. Basu 提出了一个二维数学模型，揭示了层流尾迹的四涡群结构和动力学特性；L. Kurakin 采用 Kolmogorov-Arnold-Moser 理论，对置于平面上三角形顶点处的三个点涡的稳定性和共振态进行了完全非线性分析，研究了直到四阶的共振态；Y. Yang 发展了粘性流动涡面重构和演化的类拉格朗日方程，使得观察简单粘性流中的连续涡面的时间演化过程成为可能；X. Liu 利用扭结理论，处理和量化涡动力学的复杂结构，证明了在无粘情况下旋涡扭结和连接过程的拓扑结构可以用 Jones 多项式描述；Y. Fukumoto 发展了欧拉和拉格朗日混合算法，分析椭圆截面内旋流的弱非线性稳定性。

旋涡与固体以及同其它流体结构之间的相互作用包括了相当丰富的研究内容。张建成采用力诊断理论，分析了分离涡对机翼的影响，得到若干重要结论；陆夕云采用大涡模拟手段，研究了涡环与圆柱的相互作用，发现了相当丰富的涡演化行为；A. Singha 基于涡统计方法的研究表明射流能导致反向涡对数量、尺寸和强度的增加，但对同向涡的作用很小；A. A. Gourjii 通过研究圆柱内同轴涡环的运动，研究固体表面对涡环的影响，发现圆柱表面降低了涡环的轴向自诱导速度；J. Yoshida 研究了涡环冲击粉末层的粒子侵蚀过程，研究了发卡涡和涡环的形成过程以及同雷诺数的关系；蒋人杰采用数值方法，研究了平板对临界距离的影响；J. S. Zhao 通过对菱形柱体进行试验，研究发现质量比明显抑制了失调区的振幅响应。

在流动控制方面，吴介之采用数值模拟手段研究了二维翼型的分离控制，发现采用局部滑移固壁，可以控制流动分离，为流动分离控制提供了一个新的研究方向；邓学莹实验研究了翼身组合体自由滚转的流动机制和抑制方法，发现前体非对称涡和翼尖产生的非对称涡是导致翼身组合体产生滚转的根源；B. Levy 实验研究了圆柱表面毛刺对圆柱尾迹卡门涡街的影响，发现毛刺可以改变旋涡脱落的频率。

此外，C. Matsuoka 研究了电流层与涡层相互作用的非线性运动，分析显示电流和涡层相互作用可以使得 RT 失稳问题变得稳定；G. M. Reznik 研究了由回转波的非线性地转适应问题，结果表明在低 Rossby 数和较小深/宽比的情况下，运动可以唯一地分解成准地转慢分量和非地转快分量；张树海采用直接数值模拟手段，系统模拟了两个等熵旋涡相互作用过程，研究了声波产生机制。

4.2.15 流体波动

“流体波动”分会场共有报告 19 个，其在考虑风、表面活性物质、海底特性等因素的表面波动力学特性得到较为广泛的关注，分层流体的内波、风浪谱及声波研究也有所涉及。

梅强中及其合作者的两个报告分析了下垫面特性对浅水长波沿程衰减特性的影响，其一为应用多尺度分析的均匀化建立了表面波宏观运动控制方程，讨论了下垫面空隙率、地形变化高度对表面波波高沿程衰减的影响，其二是基于海底浮泥的粘弹性模型研究了浅水长波与海底浮泥运动的相互作用，指出表面波波高的沿程衰减受浮泥首阶运动影响；T. S. Stefanakis 基于线性浅水方程应用内外域匹配法给出了海底圆墩型隆起激发的轴对称表面波解析解，拓展了 Hammack 的海啸波生成理论模型。

F. Veron 采用高分辨率 PIV 技术测量了表面重力波上气流运动的速度场，给出了由于粘性效应气流在波峰后部产生的流动分离现象，指出可对这种近水面气流分离的平均效应进行参数化研究，改进现有的风浪谱；X. A. Liu 对表面活性物质对海洋风浪溢破波的影响进行了实验研究，结果表明表面活性物质对隆起的表面张力波形状有着显著影响；考虑到表面活性物质的存在将改变表面张力系数，P. W. Hammerton 导出了计及粘性和界面处切应力和法应力的 KdV 方程，采用拟谱方法建立了数值模型，讨论了表面活性物质浓度对界面孤立波传播的影响；L. Shen 采用直接数值模拟方法研究表面波与湍流的相互作用，讨论了近表面各向均匀湍流导致的水面变化以及表面波对湍流结构的影响。

鉴于波长约 10 厘米量级的海洋表面波在海气交换和卫星遥感等方面起着重要作

用, W. K. Melville 研究了风作用下重力-表面张力波的成长率以及海面统计特性与动力学的关系; S. I. Badulin 采用一般的波动能量守恒方程研究实测的风浪谱形式, 基于提出的波能耗散率与波陡成 6 次方关系的表达式, 通过数值模拟研究 Philips 提出的波能与频率成-5 次方关系的物理机理。

B. Voisin 研究了分层流体中振荡圆盘激发内波, 通过理论与 PIV 实验, 发现为了合理预报波形有必要考虑粘性对内波传播的影响, 当 Stokes 数大于 100 万时可用自由滑移边界条件, 否则须采用无滑移边界条件; K. Terletska 采用三维无静压假定的自由表面流动数学模型研究了湖泊大幅振幅“假潮”的形成及其与湖坡的相互作用, 给出了长条形湖泊内波的超临界流动形态, 解释了尼斯湖水怪现象。

在水波的稳定性和共振相互作用方面, T. S. Krasnopolskaya 在有限长度和有限水深矩形水池中采用造波机运动直接生成横向波, 获得的实验结果与理论分析一致; K. Takagi 采用基于不可压流体 NS 方程和双流体模型的二维数值模拟, 研究了垂向振荡激发 Faraday 波的基本形态, 指出存在三倍周期的波动形态; D. L. Xu 研究了有限水深条件下非线性表面波的共振相互作用问题, 采用同伦分析方法, 给出了非线性水波的收敛解; Y. Mizuta 研究了磁流体界面稳定性的理论分析方法和非线性响应问题; H. S. Choi 在波浪水槽中进行了规则波作用下液仓晃荡及二维矩形浮体横荡运动实验, 并理论分析了液仓高充水和低充水时非线性晃荡对横荡的影响。

在复杂介质中声波传播特性研究方面, S. Nobumasa 研究了存在温度梯度时充满气体的通道中粘性扩散和热传导对声波传播的影响; C. Y. Weng 研究了声波在充分发展湍流管流中传播的沿程衰减。

4.2.16 流体力学一般问题

该分会场 15 个报告, 内容主要涉及流体力学中不同流动问题的基本理论、翼型绕流、槽道流等问题, 也涉及工业流动问题。在流体力学基本理论方面, T. Kambe 基于最小作用原理, 导出了理想可压缩流体旋转流场的新表述, 并利用螺旋度的概念, 获得了 Euler 运动方程的新解; J. Magnaudet 提出了预测在任意雷诺数的非均匀流中任意形状运动物体的力和力矩的互易原理; F. Guénia 提出了基于任意采样瞬像的流场分析方法—动力模态分解, 可克服以往类似方法所需海量数据的采样及预处理困难; M. Fang 研究了气动统一算法和 DSMC 方法在描述玻尔兹曼方程上的一致性, 并利用 Couette 流、圆盘绕流、圆球绕流等经典流动的结果进行了数值验证; S. Takata 考虑两平行平板间的稀薄气体, 在线化玻尔兹曼方程条件下, 讨论了气体的基本松弛问题和

被驱动流动问题之间的互易性。

在翼型绕流方面, O. Tutty 利用 CFD 模型研究了尾缘对风机叶片升力的影响; Y. D. Cui 利用风洞实验研究了小翼对层流翼型气动性能的影响; D. G. Son 研究了圆柱绕流尾涡脱落的抑制方法及其优化措施; D. Mateescu 采用数值方法研究了低雷诺数下近地面振荡翼型的非定常流, 分析了翼型与地面距离对压力分布、升力、阻力及流动分离的影响。

在槽道流方面, Y. Eikoku 等实验研究了液氦在矩形槽道中做振荡运动时的传热和沸腾特征; J. N. Tan 实验研究了微槽道中压力驱动的明流的稳定性; E. Y. Kim 利用直接数值模拟方法研究了顺应式壁面槽道湍流的时空特征; D. Kwok 采用格子玻尔兹曼法模拟了低温等离子体诱发的槽道流, 揭示了流速、流向、流量与相关参数的关系。

另外, V. V. Kozlov 利用热线和烟显技术实验研究了低雷诺数下圆形和扁平喷管流在横向声场作用下的演化机制, 揭示出微喷管流不同于宏喷管流演化的一些新现象; S. Ahmad 研究了低风速条件下利用有侧缝的烟囱降低烟气污染物浓度的烟囱结构特征。

4.3 交叉力学

与固体力学和流体力学都十分相关的研究在 ICTAM 2012 上被归入流-固界面类, 属于交叉力学范畴, 如计算方法、实验技术、流固耦合、材料及其加工、颗粒物质和多孔介质、耦合系统、动力学演化行为等。ICTAM 2012 设了 12 个分会场, 共有 269 个学术报告, 下面作择要介绍, 其中“混沌和图式形成”分会场的报告内容将纳入第 4.4 节中。

4.3.1 声学

固体力学和流体力学都设有与波动研究直接相关的分会场, 其他分会场也有一些波动方面的学术报告。除此之外, ICTAM 2012 专设的“声学”分会场还安排了 29 个学术报告。在固体力学方面, 与超材料有关的波动研究得到了较多的关注, 如苏先樾研究了表/界面应力对二维声子晶体带隙结构的影响; 汪越胜课题组针对具有不同形状的声子晶体发展了有效的计算方法, 并考察了多种影响因素(如形状、非局部效应等)的影响; 向志海得到了波动方程在坐标变换下的形式不变性, 为声波超材料的设计奠定了基础; 王晓东利用旋转构元提出了具有负质量和负模量的一个新的声波超材料模型, 并探讨了其机理; 张传增研究了裂纹的周期层状复合材料中波的传播问题, 讨论

了透射、反射、带隙、局部化等波动和共振特性；周萧明利用两种声波消逝场维持机制提出了具有各向异性等效质量的声学超透镜，其分辨率可突破衍射极限；郭永强采用回传射线矩阵法研究了层状 Bragg 单胞中波的传播特性，揭示了带隙结构形成的机理。另外，I. A. Veres 基于耦合热弹性理论采用差分方法模拟了激光超声的激发和传播；卢天健课题组研究了多种轻质结构中声的传播及其优化问题；田家勇建立了饱和多孔介质的声弹理论，研究了有效应力和孔隙压力对波速的影响；F. Lund 从位错和波的相互作用机制出发，构建了超声无损检测塑性变形的理论，并进行了实验验证；陈海波采用快速边界元方法进行了声屏障的形状声灵敏度分析及优化设计；针对一般弹性曲面，陈伟球从状态方程出发导出了表面弹性理论的控制方程，并研究了表面效应对圆柱中波动的影响。

在流体力学方面，主要集中在噪音的产生机制及控制研究方面，如 W. Schröder 通过数值模拟阐明了机翼后缘噪音的产生机理及其控制策略；V. Kopiev 研究了与大涡特征共振有关的湍流喷射导致噪声发生的机制，提出了一个相干模型；M. Kandula 实验研究了锐缘孔口壅塞射流发出的尖音的温度效应；F. Feng 采用直接数值模拟研究了二维亚音速混合层中因涡偶产生的声场特性。

4.3.2 计算力学

在流体力学计算方法方面依然有大量研究工作涌现。W. C. Yu 利用 Fourier-Chebyshev 方法研究了有限尺寸粒子与壁面湍流之间的相互作用问题，实验证实了该方法的有效性；D. Fuster 提出了一种基于保能量准则的多相湍流数值模拟方法，有效解决了多相流模拟中的界面扩散问题；基于 Hermite 扩展技术，L. Q. Zhang 发展了一个用于不可压缩流体计算的改进的 Lattice-Boltzmann 方法；D. C. Wang 报道了利用其所发展的 FOAM1.0 程序包对自由表面粘性流中物体运动的数值模拟结果；宁建国等利用所发展的多材料欧拉方法实现了大规模三维爆炸冲击问题的有效数值模拟；Z. H. Qiu 发展了一种求解不可压缩 N-S 方程的谱单元方法；廖世俊介绍了一个基于同伦方法可用于流体力学中强非线性问题求解的数学软件包 BVPh。

多尺度问题依然是计算力学中的一个研究热点。目前最具有挑战性的问题依然是如何实现长时间稳定模拟、解决“维数烦恼”以及保证计算结果的可信性。E. Cueto 综述了基于特征广义分解（PGD）思想处理力学和生物学前沿具有挑战性的多尺度计算问题的最新进展；D. Néron 在 PGD 框架下提出了一种用于大规模时间相关非线性问题的多尺度分析方法；通过将问题描述分解为与平衡态及其余项对应的两部分并分别

用不同方法加以处理, J.-P. Peraud 发展了一种用于求解非连续统运输问题的多尺度计算方法; M. G. D. Geers 提出了一种可以在均匀化框架下有效考虑局部化变形的非匀质材料多尺度模拟方法; Z. Q. Wang 发展了一种基于“准粒子”概念的多尺度分析方法; 唐少强讨论了多尺度模拟中不同界面间的边界条件设定问题; S. Reese 报道了一种新的非线性分析问题的模型减缩方法。此外, M. Chamoïn 等人就目前科学计算领域十分重要的校核和验证问题, 提出了一套用于控制数值模拟精度的通用方法。

在多物理场数值模拟方面, G. A. Holzapfel 等提出了一个可以考虑纤维紊乱错排、用于心肌模拟的力-电耦合数值模型; H. Isakari 介绍了周期快速多极分解方法和 Calderon 预处理方法在声学-弹性动力学耦合分析问题中的成功应用。

新型非传统数值方法依然受到持续关注。刘波、T. Saitoh、Y. Gu、A. Furukawa 等人分别报道了各自所发展的新型配点法在晶体板振动、孔隙弹性介质中波传播、多涂层应力分析、各向异性介质波动问题中的成功应用。另外, Q. L. Duan 还讨论了无网格方法中具有二阶精度的导数计算和有关数值积分格式的问题, 发展了一种自洽的计算框架; 胡平在近年来新发展起来的等几何数值分析框架一下发展了一套非协调元方法; 姚伟岸基于完备解析解发展了一套可用于裂纹尖端场分析的带有增强项的有限元数值方法。

在计算力学基础算法方面, S. J. Tan 推广了经典的非线性动力学方精细时程积分方法, 提出了一种新的多步算法, 可在保证高精度的基础上大大提升算法效率; W. H. Li 基于辛数学思想的发展了动力时程积分子域迭代法。

4.3.3 实验力学

实验力学分会场共有 25 个报告, 其中涉及光测力学方法及应用研究的有 11 篇。I. Buecker 利用多视场 PIV 技术, 可视化地给出了内燃机工作过程中不同涡结构产生、发展和消失过程的随时间相关性; K. Y. Li 应用基于光学应变花技术实时测量焊接过程中的瞬时应变, 该技术具有非接触, 耐热, 标距长度极短, 高灵敏度和同时测量面内应变和面外位移梯度等优点; L. Liu 利用电子散斑和盲孔法相结合, 给出了金属表面处理后残余应力随深度的变化规律; H. Y. H. Huang 介绍了如何利用压缩传感技术实现光测力学中模糊界面分析; 于起峰课题组介绍了他们近期利用并行相机组网技术在测量大型起重机臂振动扭曲变形方面的研究成果; 亢一澜报道了他们近期基于显微拉曼光谱的碳纳米管应变传感技术研究进展; 谢惠民发展了一种原位测量微尺度金属薄膜线电热变形的光学测量方法, 研究了柔性电子器件中康铜薄膜线在交流电作用下

的变形规律。此外, Z. H. Luo 利用超声散斑技术实现了对水下物体内层界面位移的测量, 并在原有超声散斑相关算法的基础上与遗传算法结合, 提高了计算的精度和速度; A. Bannwart 介绍了利用数字图像相关技术获得油—气—水三相结构流场分布图的方法; 姚学锋研究了梯度材料局部应力场的相干梯度敏感干涉的参数方程、条纹模式分布特征及其演化规律; X. F. Huang 介绍了一种液滴三维形貌重构的光学测量理论及方法; S. G. Li 利用自行研制的新型数字式动光弹仪器设备进行港口关键部位受冲击载荷的动态应力分析; Y. G. Wang 介绍了利用高精度数字图像相关技术研究聚合物/硅复合结构热膨胀系数的相关实验结果。

除光测力学外, 其他实验测量技术在本次大会实验力学专题也有报道。王正道介绍了基于弱磁技术进行结构早期损伤的实验研究, 给出了不同变形阶段检测弱磁检测判据和表征参数; Y. Zhang 对基于碳纳米管技术的微冷却器在冲击射流作用下的工作可靠性和散热特性进行了实验测试, 并数值分析了微冷却器结构和射流参数对流场特性和散热性能的影响; Y. -C. Wang 利用电磁交互作用, 开展了悬臂梁软材料的扭转和纯弯曲实验, 测量精度达 kPa 数量级; Y. P. Liu 报道了利用 Hopkinson 压杆和高速摄影技术研究闭孔铝泡沫冲击压缩响应过程中的非均匀变形特征; L. H. Wang 研究了涡轮流量计在低流速下的响应情况, 发现在单相低流速下涡轮 K 值近似为雷诺数的单值函数, 而在油水两相低速流中, K 值受流型影响甚大。

4.3.4 智能材料和力电(磁)系统

在“智能材料”和“力电、力磁系统”两个分会场共有 37 个报告, 以下按材料和器件/结构/系统两个层面作介绍。

材料层面的研究侧重于如下方面: (1) 传统压电材料。例如, 张统一实验研究了采用压痕方法预制裂纹的碳酸钡单晶(001)面的电势分布, 发现沿着裂纹方向具有较高的电势分布区; L. E. Lamberson 实验研究了三种压电陶瓷在高应变率下的力电耦合行为, 发现在损伤演化过程中呈现出不同的响应特性; S. Kapuria 采用扩展的 Kantorovich 方法研究了层合压电板的三维静力问题; 高存法在压电材料 I 型断裂模型中考虑了裂纹表面和无穷远处的 Maxwell 应力的影响; 对于任意非均匀的磁电弹性固体, 倪勇采用等效方法和变分原理建立了相场模型, 讨论了细观不均匀对铁性的影响; B. Nassauer 利用构型力的概念和有限元方法研究了铁电陶瓷的三维断裂, 发展了细观力学材料模型以考察非线性效应; 方岱宁通过自下而上的方式提出了三种尺度上的力电耦合计算方法, 来探究低维铁电材料的表面效应和尺寸效应; 匡震邦提出了惯性熵理论, 并基

于不可逆热力学推导出热电材料中的热电粘弹性波的控制方程。(2) 活性软材料。锁志刚介绍了他们课题组近年来针对介电高弹体开展的理论和实验研究, 重点探讨了巨电致变形和能量采集两个方面的力学问题; G. de Botton 提出利用异质结构来提高电活性聚合物的响应特性, 并研究了相应复合材料的机械响应、稳定性、波动和带隙等问题; 仲政针对具有核壳结构的热敏感凝胶颗粒建立了一个理论模型, 研究发现涂层壳对凝胶颗粒的膨胀特性有很大的影响; 霍永忠基于 Hamilton 原理导出了液晶高弹体光致弯曲变形的一个非线性模型; M. N. Silberstein 以玻璃 PMMA 和橡胶 PMA 为例阐述了基于微观结构模型来理解机械响应型聚合物行为的重要性; 李铁风通过研究加载路径, 提出了多种提高介电高弹体巨电致变形的方 法, 并进行了实验验证; 万永平提出了一个预测多孔压电驻极体薄膜等效力电耦合性质的微观力学模型, 并建立有限元模型计算了等效压电系数; R. McMeeking 对于电介质和电活性材料建立了包含静电力的边界值一致性方程, 适用于分析材料在驱动过程中的失效, 解释了聚合物的有限压缩效应; A. DiCarlo 基于电-声耦合理论讨论了向列相液晶中声学调控和声学替换这两个有趣的效应。(3) 形状记忆合金和其他智能材料。例如, E. A. Pieczyska 实验研究了形状记忆合金相变引起的应力松弛效应和热力耦合行为; 郭万林基于第一性原理预测了硅基底石墨烯纳米带的磁电效应, 并系统研究了偏置电压对双层硅基 Z 型石墨烯纳米带磁、电性能的调制; A. Perek 提出采用类似磁流变体的黏性液体取代传统润滑剂, 通过磁场自适应调节其有效粘度, 进而控制转子的动力学特性。

器件/结构/系统层面的报告相对较少。黄永刚介绍了一类厚度、等效弹性模量、弯曲刚度和面质量密度都可以与表皮很好匹配的柔性电子器件的制作, 并在力学分析中考虑了界面的粘附和皮肤的微观结构; 王骥推导了非线性 Mindlin 板理论, 研究了石英晶体谐振器的动力学特性; J. M. Hu 从理论上研究了层状磁/铁电异质结构中的磁力电耦合, 提出了应变介导磁阻随机存储器的设计概念。

4.3.5 颗粒流

在颗粒流分会场有 21 个报告, 主要集中在实验、数值模拟和本构研究方面。在实验研究方面, L. T. Sheng 通过间接的方法测量了矩形槽管中颗粒水跃的固体组分; Y. Zhang 在风洞中通过实验的方法研究了两种调制方式下的按比例缩小的非饱和新月形沙丘的动态演化过程; 就球冲击沙层形成空洞并导致沙粒散射, D. van der Meer 利用高速 X 线断层摄影术完全重构了沙层中不同深度水平面的形状和动态演化过程; 采用数字图像相干技术, A. Rechenmacher 研究了颗粒形状对受剪颗粒层微观性能的影响。

响；M. J. Jiang 通过直接和间接的方法测量了稳态干颗粒沿斜坡向下流时撞击或流过障碍物时所产生的力。在数值模拟方面，W. W. Zhong 应用离散单元法模拟了颗粒介质中具有不同初始速度的球的渗透过程，模拟结果与实验很符合，证明了离散单元法是研究颗粒力学性能的有效方法；T. Sano 模拟了颗粒喷射流散射过程，获得了不同横截面形状（圆柱形和矩形）下的散射机制；C. Voivret 采用接触动力学研究了非均匀粘性颗粒的流动，获得了剪切平面内混合物的流变能力以及斜截面内混合物的流动；H. Niiya 通过考虑流体-颗粒相互作用的质点法研究了颗粒雪崩的失稳过程，获得了其移动前缘的图式生成；M. Alam 通过非线性分析，研究了受剪颗粒流中的漩涡带和应力集中；A. Benedetti 研究了振动光滑斜面上粘性颗粒物质的喷散。在本构研究方面，J. D. Goddard 总结了 Edelen 耗散势在颗粒介质历史相关的粘塑性理论中的几种应用；通过考虑微结构演化的本构模型，J. Sun 理论预测了圆锥漏斗中的颗粒流动；D. Harris 建立了针对颗粒物质变形和流动的新型弹塑性本构方程。

4.3.6 多孔介质、泡沫和多胞材料

多孔介质、泡沫和多胞材料都含有较多孔隙，其力学特性与孔隙大小、分布等因素有关，其研究也得到了较多的关注，在两个相关的分会场共有学术报告 31 个。

在多孔介质的研究方面，M.-C. Néel 针对核磁共振技术，讨论了多孔介质记忆效应的探测机理；P. Nakielski 对基于静电纺纳米纤维的药物释放系统进行了实验研究，测量了所释放的荧光基团的浓度曲线；Q. Zeng 研究了饱和盐水多孔介质凝固时的热力学行为，特别讨论了与盐分有关的两类应变的基本特性；H. S. Luo 采用基于多孔介质理论的扩散界面模型研究了水库尺度上盐类沉积的溶解问题；C. Y. Gu 分析了耦联表面活性剂和核多孔壁之间相互作用的细观机制，所建立的模型计算结果和实验观察一致；R. Makhnenko 对饱和贝雷砂岩开展了多轴压缩实验，测量了排水和不排水时双向变形的响应；G. J. Weir 针对由渗透雨水控制的地热田提出了热流弹簧的概念，并由此确定了两个极限区（等温和等温度梯度），而新西兰 Taupo 火山区属于等温极限区；X. H. Chen 综合考虑了化学渗流、微生物生长、新陈代谢减缓和内生等因素，建立了一个非饱和多孔介质的新的流-化-生-机耦合模型；刘颖基于 Biot 理论研究了开孔各向异性多孔固体中波的传播，给出了参数空间模式转换的临界条件。

在泡沫和多胞材料研究方面，S. Kyriakides 为开孔随机泡沫的破碎响应建立了一个模拟计算框架，其中的联杆用剪切变形梁单元模拟且考虑相互之间的接触效应；H. X. Zhu 基于完美和规则的自相似六方和四面体结构模型，采用 Timoshenko 梁理论获

得了具有层次结构的蜂窝和开孔泡沫电弹性性质的解析表达式; J. Hohe 假设已知细观结构上几何和形貌参数的不确定性, 给出了预测固体泡沫宏观材料响应均值和不确定性的概率均匀化方法; L. L. Hu 针对具有不同胞壁角度的六方蜂窝结构, 给出了面内动态破碎的数值模拟和解析模型; 针对高密度爆炸和冲击条件, H. Obrecht 给出了与重量相关联的系统的多胞和晶格结构承载和破坏性能的评估, 讨论了几何和材料参数的影响; M. Ryvkin 研究了远场单轴荷载下开孔 Kelvin 泡沫的脆性断裂问题; B. Hou 针对一系列不同尺寸和基材的铝制蜂窝实验研究了面外压缩特性, 发现侧向惯性是提高冲击破坏强度的主要因素; 针对多胞结构, K. Bertoldi 通过模拟提出了利用屈曲实现手性和无手性之间的可控且可逆转化的方法, 并进行了实验验证; S. S. R. Saane 采用表面镶嵌原子方法考察了具有回转形貌的金纳米多孔结构的刚度和因电荷导致的应变; D. Karagiozova 采用解析和数值方法研究了单和双包覆层(由钢盖板和泡沫核组成)的空爆衰减机制; A. Vaziri 提出了一种具有层次结构的低密度蜂窝多孔结构, 其中原蜂窝的每一条边用另一个更小尺寸的蜂窝胞元所替代; I. Jasiuk 建立了骨小梁这一多胞材料的多尺度计算模型, 其输入用的材料参数和几何参数用多尺度实验方法获得, 计算结果与实验结果一致; J. Xiong 提出了利用激光切割技术的低密度碳纤维三明治板核的快速制造方法, 实验测量了其在面外压缩和剪切作用下的机械响应, 并解析模拟了对应的失效模式; P. F. Li 采用电沉积和后续的热处理方法制作了厚径比仅为 0.006 的空心薄壁球, 进一步随机聚集空心球并用环氧树脂粘结制作了金属泡沫板, 并进行了动态性能测试。

4.3.7 流固耦合

在“流体-结构相互作用”分会场共安排了学术报告 33 个。R. A. Sauer 给出了小液滴和粗糙基体表面接触的连续介质力学描述, 讨论了在有限元框架内的计算模拟, 特别是表面接触和线接触的算法问题; T. C. Su 提出了一个新的防止桥墩附近河床受冲刷的装置, 并基于水槽流动的虚拟实验进行了有效性验证; A. Shishaeva 采用直接数值模拟方法研究了均匀气流中弹性板在初始扰动下的响应, 发现两类不同的非定常响应; 王在华基于受控系统的稳定性分析研究了机翼颤振抑制的迟滞反馈控制效果; E. Pavlovskaja 采用尾流振荡器模型和计算流体动力学这两种不同的方法分析了海洋环境中柔性结构的涡致振动; 在研究轴向流动中悬臂梁的颤振问题时, Y. L. Young 利用沉浸边界法考虑了流体-结构之间的相互作用; Y. X. Shen 考察了压裂技术中的流固耦合效应, 将 Kuhn-Tucker 约束条件转化为以液体压力表示的一个变分不等式; H. Meng

采用等效流体模型研究了多孔介质中声的传播特性，通过满足界面位移连续条件来考虑流体与结构的相互作用；对扑翼微型飞行器，L. J. Yang 建立了点质量模型来研究翼尖运动，并进行了实验验证；R. Bourguet 基于直接数值模拟考察了非均匀流中柔性长圆柱体纵横向涡致振动的同步；S. J. Xu 提出了一种微吹减阻技术来控制由两个并排方柱引起而相互耦合的尾流，给出了对应的耦合强迫 Landau 方程；采用多尺度实验技术和分子动力学模拟，Q. Z. Yuan 研究了液滴在柱形阵列上的超亲液扩展，揭示了超浸润的物理和力学机理，给出了相应的尺度律；针对流体和柔性物体之间的相互作用，余钊圣推广提出了直接强制虚拟区域方法；J. Hoepffner 研究了旗帜摆动，基于三维模型考虑了重力的影响，指出大幅偏斜波是旗帜提升的主因。

4.3.8 材料加工力学

针对材料加工过程开展力学分析可减少依靠经验处理工艺问题的盲目性，增加科学预见性，从而达到合理利用材料、节约能源、减轻劳动强度、改进产品质量和提高生产效率的目的。该分会场的 11 个学术报告涉及了金属塑性大变形，大变形下的能量原理，刚塑性有限元方法，以及相关的基础性力学问题。

F. Chinesta 指出，传统加工方法还存在诸多问题，例如：(1) 材料、加工过程及产品之间的敏感耦合效应，即材料的力学行为极大地影响构件的成形性能和产品的使用寿命；(2) 经典的加工控制方式变得不那么有效：材料、加工和结构以及他们之间的耦合的多尺度模拟需要详细的描述，这种情况下，传统的简化模型不再适用，加工过程也面临许多限制的挑战；(3) 数值模拟虽然效率很高，但却花费昂贵：考虑材料物理模型的时候，加工过程及材料结构都要引入到的响应的复杂的、非线性的、耦合的计算模型中，这种数学模型刻画了真实的材料加工过程。但是，这种复杂的求解过程需要强大的计算集群，可能是几个小时、几天、甚至几个月；(4) 最优化和反方法仍然存在很大争议：最优化和反方法需要对许多问题求解，它们中的每一个都面临着参数的选取。这些参数包含三个主要的部分，即材料、加工和构件；(5) 不可避免的不确定性：在运行系统中，一个显而易见的现象是材料、加工和结构都是可变的，虽然这些变化很早就已得到关注，但是并未真正解决加工中的实际问题；等等。F. Chinesta 提出了一个合理的理论模型，能够刻画材料成形过程的复杂几何及结构特征。

在材料的高速切削和钻孔过程中，剪切带及碎片和工具的界面区域会产生大量的热量，从而使得材料的局部温度非常高。此高温环境可引起工具的高速摩擦，因此对由切割工具与材料之间的摩擦造成的温度升高进行完整评估变得十分必要。根据 T. J.

Burns 的研究, 基于二维瞬态-低扩散温度场理论模型的数值有限差分计算结果要比基于 Johnson-Cook 模型的有限元计算结果更好, 在此基础之上提出了一个简化的理论模型, 充分考虑了切削速度、温度、变形率对高速切削加工过程的影响。

4.3.9 力学教育

随着力学研究日新月异的发展, 力学教育如何适应力学研究的发展, 如何培养出更具竞争力的力学人才这方面的问题也在这次大会上得到了力学教育工作者的广泛重视。一些力学人才培养模式的改革措施和基础课程的教学法方法创新等在 ICTAM2012 与会者的报告中得以充分体现。可总结为如下三个方面:

(1) 针对创新力学人才培养方法的思考。郑泉水详细介绍了清华大学力学专业在人才培养方面实施一个新计划, 即“英才计划钱学森班”(TEP)。该班的目标是培养精英科学家, 为他们未来的发展打下坚实的力学专业和整个工程领域的基础知识, 突出培养学生的创新能力、知识能力和综合素质。M. D. Gilchrist 针对目前普遍存在的大班授课现象, 对爱尔兰 Dublin 学院大学工程力学基础课程教学中采用的“小组任务”(每个小组最多 5 名学生)学习模式及其显著效果进行了详细的介绍。郭万林针对力学向纳米科学和纳米技术研究方面的发展以及传统力学教育在这一方面存在的不足, 提出了今后的力学教育应该结合力学研究的最新进展, 注重跨学科专业知识的教学, 力求使学生了解力学研究的新发展, 并能自己在一些热点领域凝练出值得研究的新问题。另外, K. R. Sreenivasan 还介绍了针对发展中国家的、以培养学生实验动手能力的“Hands-on Research”暑期学校计划, 该计划已经分别在印度、巴西和喀麦隆成功举行了三次, 并计划在更多的发展中国家举行。

(2) 由于力学是大多数工程学科的基础, 力学理论较为复杂, 许多工程学科的学生认为力学课程学习枯燥无味、力学理论深涩难懂, 进而望而生畏。对此, B. L. Karihaloo 等通过两个宏观和微观层次上的例子说明如何在力学基础理论的教学过程中将它们和自然界和实际生活中鲜活的例子结合起来, 从而突出力学教学过程的生动性和基础理解的容易性。另外, 对于如何使力学基础理论和基础知识教学更加生动活泼、从而吸引住广大学生的学习热情和积极性, M. I. Karyakin 通过一套基于游戏形式的互动力学实验软件“InMechLab”的使用, 来加深学生对一些基本力学实验以及实验涉及的基本力学知识的理解和掌握, 寓教于乐。K. Moffatt 也通过三个能够反映复杂力学现象的、人们经常接触到的玩具模型例子, 说明了实际应用例子在复杂力学现象的介绍和分析教学中的重要作用。同时, A. Shimanovsky 还对国际性工程力学竞赛在

力学人才培养的作用进行了阐述，并详细介绍了由白俄罗斯国立交通大学负责、2005年开始且已经举办了7次、主要由俄罗斯、白俄罗斯、瑞典和一些东欧国家学生参加的国际工程力学竞赛规则、形式和规模。

(3) 与会代表还针对一些具体课程的教学内容和教学方法的改革情况进行了详细的报告。例如，G. S. Shrivastava 就针对加勒比海地区超大型结构应该具备抵御台风、巨浪和海啸的能力这一现实要求，强调了针对该地区土木工程专业的本科生的《流体力学》课程教学的重要性和特殊性。T. C. Su 则强调了在《流体力学》第一个学期的学习过程中引入一些简单的可视化流体力学实验来加深学生对流体力学基础知识的理解，培养学生从事流体力学研究的兴趣。刘建林也针对学生普遍反映的《工程力学》中大量的概念和复杂的公式很难掌握这一问题，提出了工程力学基础知识学习过程中的类比方法，并通过四种典型的类比例子告诉学生如何通过分类对比的方法来学习和掌握相关的理论知识。陈立群介绍了上海大学将《混沌与非线性思维》这门课程作为所有科学与技术、经济与管理和人文学科学生通才教育课程的成功经验。O. Sigmund 介绍了基于有限元分析的一种教育和娱乐工程小软件在二维拓扑结构优化教学过程中的应用情况。D. N. Wilke 则详细介绍了在南非 Pretoria 大学对结构力学专业的研究生开设有限元分析课程的教学内容等情况。

4.4 动力学与控制

除了第3节已作介绍的专题讨论会“可变体结构的动力学与控制”，在 ICTAM2012 上与我国的动力学与控制（或一般力学）领域对应的还有固体力学下的“多体和冲击车辆动力学”、“结构振动与控制”和交叉力学下的“混沌和图式形成”等三个分会场。另外，R. E. Goldstein 和 P. Eberhard 的特邀专题报告以及其他专题讨论会和分会场也有涉及动力学与控制领域的研究进展，前面已有所介绍。下面我们对上面所提到的三个分会场学术报告作简单梳理。

4.4.1 车辆和多体动力学

本分会场有学术报告 20 个，涉及对车辆、卫星、列车等多体系统进行建模、动力学分析与控制。

R. S. Prabakar 对使用磁流变阻尼器作为半主动悬挂装置的半车进行建模，以响应的均方差最小为准则来选取阻尼器的参数值，发现磁流变阻尼器半车的行驶性能比被动悬挂系统的性能要好，并与全主动悬挂系统的性能接近；M. Filippi 提出一种弹塑建

模方法，对粘着、粘滑和滑移这三种类型的摩擦力进行建模；芮筱亭以自行火炮系统为研究对象，采用 MS-DT-TMM 方法和多时间速率积分研究了一类耦合多体系统数值仿真方法和动力学分析；J. Ambrósio 对链条驱动进行了多刚体建模，采用带能量耗散的加强型圆柱接触模型来表征接触力；M. V. Shamolin 研究了某种黏性介质中的刚体运动模型，讨论了具有非平凡对称性的非保守系统的完全可积类型的全谱，发现了新的可积类型；J. Y. Ding 研究了求解微分代数方程的数值积分方法，将三种约束（位移、速度和加速度）和能量向约束流形上投影，由于保留了所有的约束形式，且总能量耗散小，有利于长时间的数值仿真；X. J. Wu 研究了网格化多体系统的脉冲同步运动，引入控制参数，得出了使得系统位移和速度都进行同步运动的充分条件；C. M. Niu 基于修正后的拉格朗日法，建立了桥式电动起重机的动力学模型，对起重机的设计有很大帮助。

H. D. Yu 建立了由多个小齿轮同时激励的齿轮系统的状态方程，并定义了一种新的载荷分配指标，数值仿真和实验研究显示新指标能够有效估算齿轮系统的载荷传输行为；M. F. Jørgensen 对风机驱动的行星变速箱进行建模和数值仿真，对整个传动系统开展了比较全面的分析；D. Bestle 研究了增加后轮转向以提高轿车驾驶性能的问题。研究过程中考虑了车身和轮胎参数的不确定性，采用鲁棒控制并进行最优化；Z. B. Rakisheva 对卫星的姿态控制进行了研究，得到了线性化的无量纲卫星运动方程，利用耗散力作为控制部分，分析了使得卫星姿态稳定的控制参数的变化范围；Q. H. Dong 基于多体动力学理论，得到在自由浮动的空间机器人抓取自由目标的一系列动力学方程，可以用于鲁棒控制设计。

M. Berg 对列车受横向风的情况进行了数值仿真研究，同时以静立状态下的列车车体受到的不稳定横向风作为特殊情况进行了全尺寸实验；J. C. Pombo 开发了一套研究列车弓网系统相互作用的软件，其中电网部分用线性有限元方法建模，受电弓部分使用多体模型；T. Soni 通过引入动力稳定性因子来分析三轮车的翻转和侧滑发生的临界条件，得出了翻转时临界横向加速度与重心位置的关系曲线以及摩擦系数等对侧滑的影响曲线；M. L. I. Scutaru 研究了可作风力驱动泵的某种两自由度机构的参数设计；M. G. Kuzniatsova 基于 NS 方程采用有限元法对槽车内流体晃动的影响进行了研究，得到了流体压力分布、槽车最大加速度与流体占容积比之间的关系曲线；X. H. Tang 应用脉冲方法对崩落采矿过程中颗粒流碰撞过程进行了仿真；M. Goel 采用车辆仿真软件 ADAMS/Car 构建了虚拟车辆模型，并对后轮驱动的四轮车辆模型以及具有 LSD 控制的集成系统进行了理论和仿真研究。

4.4.2 结构的振动和控制

该分会场共有 62 个报告，内容主要涉及非线性动力学、结构振动、动力系统和结构的控制等方面。在非线性动力学与结构振动方面的报告较多。例如，R. Giuseppe 指出在吸引子的稳定性研究中必须采用全局动力学方法，保证在小但有限的扰动下，吸引子具有鲁棒性，并探讨了非线性动力系统的控制方法；H. Ding 考察了超临界轴向运动粘弹性梁的动力学行为，将控制方程表达成标准连续陀螺系统形式，然后采用 Galerkin 方法求取模态和频率；P. B. Gonçalves 对非线性 Winkler 地基上的预拉超弹性薄膜的动力响应进行了分析，结果表明预张拉和弹性地基参数对薄膜的线性和非线性动力学及其稳定都有重要的影响；M. V. Shitikova 采用多尺度方法研究了具有 Riemann-Liouville 分数阶阻尼的圆柱壳的非线性动力响应，发现黏性对系统具有稳定化和去稳定化这两种截然不同的影响；M. Amabili 基于 Amabili-Reddy 几何非线性高阶剪切变形理论分析了层合圆柱壳的强迫振动，采用伪弧长连续方法和分叉理论对所建立的控制方程进行了求解；L. Wang 考察了内充流体管道的涡致振动响应，将尾流模拟成 van der Pol 振子以考察横流的影响；T. Kapitaniak 研究了安装在水平梁上一系列单摆的同步问题；在 2:1 内共振条件下，J. J. Ma 分析了弹性地基上不可伸长梁的模态相互作用和非线性响应；陈璞提出隐式快速子空间迭代方法来提高适用于大型动力系统的 AMLS 算法中特征对的计算精度；S.-S. Guo 研究了具有非零均值响应的随机振子，采用指数多项式闭包方法导出了其概率解。

在动力学与结构控制方面也有不少工作。例如，A. Ovseevich 采用有界控制研究了物理单摆的最短时间阻尼问题，发现对所有最优轨迹，控制转换次数有一个统一的界限；U. Galvanetto 发展了基于本征正交分解的结构损伤探测方法，采用数值模拟确定了传感器分布并进行了实验验证；H. B. Fang 针对多模块振动驱动系统的直线运动，研究了相位差的影响，并提出了对应的优化控制策略；E. J. Kreuzer 提出了利用传感器进行动力响应行波分解的方法来控制钻柱的扭转振动（特别是粘-滑振动），数值模拟和实验均表明了其有效性；针对转子-振子系统，N. A. Vljajic 采用缩尺实验和数值模拟手段探索了利用输入噪声来控制其动力学行为的方法；L. X. Chen 则回顾了近几年其课题组针对柔性结构开展的时滞反馈控制的研究，包括时滞处理、鲁棒性问题、非确定时滞及时滞实验等方面。

4.4.3 混沌和图式形成

本分会场报告 17 个，涉及到非线性材料力学、非线性流体力学和非线性机械力学等方面的理论分析、数值仿真和实验研究。

J. Fineberg 对聚丙烯酰胺胶进行了裂纹实验研究，发现慢速运动中会出现快变裂纹，此时必须采用非线性理论才能作出正确预测；V. L. Berdichevsky 在研究多晶体材料微观结构表征时，提出一种变分原理用来确定局部应力场的概率特征，并对若干相关问题进行了讨论；M. Corrado 研究了受压非均质材料的分形裂纹模式特征，采用能量密度法、统计方法和重正规化群理论估计了材料破坏模式下的分形维数。

L. Shi 采用数值方法研究了平面 Couette 流进入持续湍流的转迁问题，基于局部化湍流带衰减与传播的概率分布，确定使湍流持续的临界雷诺数的下界；S. W. Morris 构建了可控冰柱实验来分析冰柱的形态、生长规律和脉动不稳定性，考虑了环境温度、水输入速率、空气运动及水纯度的影响；P. Cvitanovic 在研究管道湍流时采用对称约化方法将不稳定流形从无穷维的对称约化状态空间投影到适合的三维子空间，从而研究管道湍流吸引子的几何特性。在研究晶体材料塑性、脆性和损伤问题中，临界理论是刻画材料微观复杂性的一种重要工具。D. Barkley 研究了管道流的临界点问题，通过实验和仿真及理论分析证实了管道流在低雷诺数下的暂态湍流可以转化为不同临界点下的持续湍流，并讨论了高雷诺数下湍流域的传播；A. I. Pesci 研究了绕流边界和肥皂泡表面形变问题，特别是由 Möbius 带单面曲结构受到破坏而成为双面曲面的拓扑转迁；J. Porter 对长方体开口容器内流体在受到横向与纵向振动时表面波的模式进行了理论、仿真与实验研究，考虑了边界条件、流体深度和粘性强度的影响；J. F. Gibson 用动力系统理论研究了湍流的凝聚性结构，利用相图揭示了平面 Couette 流丰富的动力学现象；M. B. Amar 研究了胶膨胀引起的屈曲和尖拱变形以及由屈曲到尖拱的转迁模式，采用分岔理论解释了各种转迁模式以及发生尖拱的存在性。

和传统的做法不一样，V. Lucarini 在研究弱耦合系统的约化问题时采用了 Ruelle 响应理论，约化过程中的低阶项有明确的物理意义，可以更好地解释常时间项的统计含义；L. Truskinovsky 基于经典工程理论提出了触发临界状态的一种张量建模方法，以研究一般加载下复杂几何结构的临界行为；B. Z. Yue 研究了充液飞行器的姿态动力学，采用经典 Hamilton 模型，基于 Lyapunov 稳定性理论和 Casimir 能量函数研究其运动稳定性；A. Stefanski 研究了受简谐激励的非光滑机械振动，该系统由于摩擦和冲击的作用而产生双曲型吸引子，且这些吸引子具有结构稳定性；N. Han 研究了受到简谐激励的一种旋转单摆的非线性动力学，采用柱坐标逼近得到了和原系统拓扑等价的简化系统方程，导出了系统产生第一类同宿轨道和第二类同宿轨道的阈值条件；F.

Terragni 讨论了耗散系统分岔图的构造问题, 首先基于正交分解方法对模型进行约化, 然后进行分岔分析, 结果表明该方法具有较好的鲁棒性、灵活性和快速性。

4.5 生物力学

生物力学已成为目前力学研究的最重要领域之一。本次大会除了 L. B. Freund 的闭幕式大会特邀报告、高华健的 Rodney Hill 获奖邀请报告、多个专题邀请报告、专题讨论会“生物系统中的流固相互作用”之外, 还有固体力学“生物力学与生物材料”和流体力学“生物流体动力学”两个分会场, 下面对分会场学术报告作简单介绍。

4.5.1 生物力学与生物材料

施兴华介绍了一维纳米材料侵入细胞的分子动力学模拟研究, 发现了控制碳纳米管侵入细胞过程中尖端进入的生物物理机制; J. H. Tong 对 61 人的腹主动脉瘤样品进行了双轴实验和剥离试验, 结果表明病变中由微结构变化介导的血栓老化是导致血管壁弱化的原因; H. T. Zhang 发展了一套轴向疲劳测试的方法来评估 MP35N 线圈的疲劳特性, 用 Coffin-Manson-Basquin 方法分析了疲劳结果, 并使用扫描电镜分析了样品的疲劳断面; 包刚通过将生物分子附着在超顺磁的纳米颗粒上, 系统地研究了磁力对生物分子的细胞转染的促进作用; Fei Jia 研究了生长参数和主要屈曲幅度, 为理解肠胚中观察到的复杂的微观结构模式提供了一个重要基础; 王记增通过采用高阶各向异性壳模型来研究微管的弯曲行为, 得出了依赖于微管轮廓长度的微管持续长度的封闭形式解, 与实验观测相吻合; R. Abiko 从实验上对设计出的具有三维灵活性的钛板运用于骨移植过程进行了力学分析。通过切割放电过程, 制备了网状钛板样品, 并测试了不同的设计参数, 包括钛板厚度, 网格图案的曲率和钛板的力学性质。

P. Ciarletta 建立了热力学框架去理解生物材料在生长过程中的几何形状和机械/生化状态之间的相互关系和协调机制; C.-M. Cheng 通过使用自制的设备研究了耦合模式的力学刺激对细胞行为的影响; L. Sharipova 发展了一个数学模型用来研究力学因素和生物生长参数对成骨界面(包括生长平面、生长方向和稳定性)的定常运动的影响; 林原提出了基于 Langevin 动力学的用于如生物微丝和细胞膜等柔性材料的形状波动的描述方法, 除了熵, 该方法还考虑了微丝自身的有限弯曲变形; 曹艳平求解了由弹性薄膜和受预拉伸的无限厚橡胶基体组成的双层材料系统的起皱模式, 数值计算和理论分析都揭示了起皱模式演变的潜在机理; 钱劲通过随机弹性模型探索了细胞与胞外基质粘附接触的基本力学原理, 讨论了强尺度效应、基底刚度依赖性和应力调

节等问题；D. M. Pierce 为了模拟软骨的结构和扩散响应，提出了一个新的弥散纤维增强本构模型，并采用三维大变形有限元方法进行了对压痕实验进行了计算模拟；M. Cilla 发展了一套基于机器学习技术方法，可以替代需要大量时间的心血管力学中的生物力学计算。

龙勉比较了粘附分子 1 (ICAM-1) 对 LFA-1 和 Mac-1 分子重建的结合动态过程，并研究了相关微结构的动力学过程；X. Zhou 通过刷镀方法，在 AZ91D-镁合金表面制备了不同混合比的纳米羟基磷灰石和碳纳米管用于强化镍钴生物涂层；A. Hedrih 通过运用卵膜的离散球网模型，进行了结质量粒子的轨迹线分析，讨论了成功受精情况下结质量粒子的良性和不良性的轨迹；S. Ketten 介绍了为研究环肽有机纳米管的多尺度方法，描述了大变形和断裂情况下其内部亚部件在弹性范围内的相互作用；S. L. Zhang 用粗粒化膜的模型研究了不同大小、不同形状和不同配体密度的纳米粒子的内吞过程，结果显示对球形粒子存在一个最佳的状态使得内吞时间最少；X. Tang 从实验和理论上证明，通过可变形媒介的介入，孤立的心肌细胞可以相互通信；季葆华介绍了基底刚度对细胞迁移行为影响的力学机理，建立了描述细胞前端粘附、后端脱粘，以及在细胞牵引力作用下细胞体移动的力化耦合的有限元模型；冯西桥建立了一种力化耦合的粗粒化模型来研究微管的动态生长行为，研究了微管生长的稳定机制，并探讨了这一过程中的能量演化及其生物学意义；R. E. Ramirez 提出了一个研究步态机理的数学模型，通过在每个阶段选择合适的驱动关节和身体的能量，研究了步态分析的可行性。梁海弋提出了微管的 3 维粗粒化模型，可以预测微管蛋白片双稳态性，原丝的破坏和剥离行为，以及微管生长的尖端形态；M. B. Rubin 用离散纤维模型模拟了纤维结缔组织中的各向异性非线性响应。陈曦建立了一个在弯曲的基底上薄膜屈曲的力学模型框架，可揭示大量自然生物系统表面形貌的形成；任九生基于两层厚壁圆柱管的生物力学模型，考察了生长对动脉壁的力学响应和残余应力的影响；张作启介绍了一个通用的方法来描述各种微观结构的力学性能，发展了一个准自相似的多层模型并发现生物复合材料存在一个最优的层数使得该结构的韧性达到最大；吴承伟通过实验和数值分析研究了中国南方的红耳龟龟壳力学性质和微观结构，结果显示生物纤维沿着应力方向分布在龟壳的内表面以抵抗龟壳的断裂破坏；W. A. Lam 开发了一套微系统用于研究单细胞层面的血小板生物力学，讨论了微血管血液疾病中的血细胞力学；P. Saez 提出了一个用于描述平滑肌细胞收缩和胶原纤维更新的力学计算模型，模拟显示血压升高时平滑肌细胞的收缩和胶原纤维的更新将导致血管壁刚度的提高；X. Chen 提出了基于心肌细胞钙火花异常次扩散的钙波数学模型，成功展示了钙波是如何从初

始的 CRU 激发传播到细胞中间或角落的。

4.5.2 生物流体力学

该分会场有 26 个学术报告，内容涉及生物飞行与游动、血液细胞变形与非牛顿流体、生物与环境系统的扩散/对流/混合/渗透作用等。在生物飞行与游动研究方面，D. Kolomenskiy 考察了 clap-fling-sweep 流动产生的非定常边界层以及后驻点处相似解；K. Moffatt 研究了加速旋翼上的涡量产生；孙茂研究了昆虫悬停飞行的稳定性问题；J. Wang 研究了昆虫转弯的飞行控制以及枫树种子下落问题；Z. Wei 研究了机器鹰蛾模型两种不同悬停扑翼方式下的气动力和功率消耗；R. Mittal 研究了柔性变形对蝴蝶扑翼飞行的影响；张星用数值方法模拟了蝙蝠的悬停与前飞；N. Yokoyama 用数值方法研究了青斑蝶前飞的气动性能；K. Mohseni 研究了水母喷水射流中的涡量强度问题。另外，吴锤结研究了鱼尾的形状优化；W. M. van Rees 等研究了鱼的形状与摆动方式优化。在低雷诺数问题（Stokes 流）方面，R. J. Clarke 用解析方法研究了一对蠕虫微生物之间的相互作用；L. L. Zhu 用数值方法模拟微生物在毛细管中的运动；T. Nakai 等人通过数值方法和实验结合的方法研究了腰鞭毛虫游动的推力和转矩；S. Y. Wang 研究了小型浮游动物的非定常游动；B. Liu 则研究了受限空间中微生物的螺旋型推进。

在血液细胞变形与非牛顿流体方面，L. D. Gao 研究了冠状动脉手术接合处的非牛顿血液流动；K. Osterday 研究了拉伸条件下血管内皮细胞的粘弹性特性；M. D. Graham 研究了变形沉降颗粒流中的分离，该研究有助于理解血液流动中不同类型细胞的分离机理；黄伟希用数值方法研究了剪切流中的红细胞变形问题。

在生物以及环境系统中的扩散/对流/混合/渗透作用方面，范天佑研究了生物细胞中的扩散波与信号转导问题；J. Dunstan 研究了发光细菌沉降中的生化对流；M. Martinez-Ortiz 通过实验方法研究了海洋中的微生物混合；T. Bohr 研究了水在植物中的渗透运输；H. Chen 研究了眼球前部热传递，流动以及药物输送。另外，Y. Liu 研究了呼吸中的随机共振现象。

综上所述，生物推进的外流问题作为生物流体力学的传统领域，仍然是本次会议中的研究热点，其中研究最多的是中高雷诺数问题，如昆虫/鸟/蝙蝠飞行，鱼类/水母游动以及简化的扑翼运动模型。涉及微生物游动的低雷诺数问题也引起了一定的关注。与此同时，另一个关注点是与生物/环境系统相关的扩散/对流/混合/渗透等问题。

5 结束语

随着国家对教育和科研投入的不断增加,最近 10 多年来我国的力学研究越来越与国际接轨,在若干侧面上取得了国际瞩目的成果,在大型国际学术会议上也到处可以看到中国学者的身影。同时,随着国家对航空、航天、高铁、深海探测等重大工程和国防、军事等国家安全的重视,力学工作者的机会也越来越多,承担或参与了许多重要的科研攻关任务,在现代科技领域再一次展现了力学的作用和意义[7]。但是,总体而言,我国在力学领域的独创性工作还较少,较少人能够立在世界力学的高地,这可以从参会人数与特邀报告个数这一比例得到反映。但相信随着国家对人才工程的逐步推进,必将吸引越来越多的优秀甚至一流学者来华工作,从而进一步推动我国力学研究走向一流,并立足国内培养出更多优秀的青年力学工作者。

此外,还应提及的是,在 ICTAM 2012 期间还完成了 4 年一次的执行局和大会委员会换届选举,我国学者杨卫院士当选为 IUTAM 新一届执行局委员,执行局成员共计 8 人,代表国家有丹麦、英国、德国、法国、中国、以色列、美国和意大利;卢天健教授当选为 IUTAM 新一届大会委员会委员,大会委员会成员由 30 人组成。

致谢

陈少华、陈正、樊靖郁、方一红、郭旭、胡国庆、康国政、柯燎亮、李振环、梁军、刘崇、刘桦、倪勇、裴永茂、曲绍兴、邵雪明、余振苏、孙仁、谭文长、王刚峰、王金斌、王利坡、王晓东、王省哲、许春晓、徐绯、张田忠、张树海、张星、周全(以上姓名按照拼音排序,不分先后)等参与了本文的撰写工作,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 陈杰,刘洋,汤亚南,洪友士. IUTAM 和 ICTAM 的起源和历程. 力学进展, 2012, 42(1): 100-108.
- [2] 刘洋,陈杰,王正道,汤亚南. 中国学者与 IUTAM 和中国申办 ICTAM 的历程. 力学进展, 2012, 42(1): 109-117.
- [3] 冯西桥,符松,陈立群,孟庆国,杨亚政. 第 21 届国际理论与应用力学大会评述. 力学进展, 2005, 35(1): 128-140.
- [4] Dias F. IUTAM Annual Report 2008. http://iutam.org/?page_id=878.
- [5] <http://www.ictam2012.org/>
- [6] Bai Y. L., Wang, J. X., Fang, D. N. Abstract Book — 23rd International Congress of Theoretical and Applied Mechanics. Beijing: China Science Literature Publishing House, 2012.
- [7] 王正道,季葆华,周济福,等. 中国力学大会—2011 暨钱学森诞辰 100 周年纪念大会简介.

力学进展, 2011, 41(6): 760-775.

AN INTRODUCTOIN TO THE XXIII INTERNATIONAL CONGRESS OF THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS

Chen Weiqiu¹, Ji Baohua², Tao Jianjun³, Zhou Jifu⁴, Wang Zhengdao⁵, Wang Zaihua⁶,
Feng Xiqiao⁷, Zhan Shige⁸, Meng Qingguo⁸, Tang Yanan⁹, Yang Yazheng⁹, Liu Yang⁹

¹Department of Engineering Mechanics, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

²Department of Mechanics, Beijing Insitute of Technology, Beijing 100081, China

³Department of Mechanics and Aerospace Engineering, Peking University, Beijing 100871, China

⁴Institute of Mechanics, Chinese Academy of Science, Beijing 100190, China

⁵Department of Mechanics, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

⁶State Key Laboratory of Mechanics and Control of Mechanical Structures, Nanjing University of
Aeronuatics and Astronautics, Nanjing 210016, China

⁷Department of Engineering Mechanics, Tsinghua University, Beijing 100084, China

⁸Department of Mathematics and Physics, National Natural Science Foundation, Beijing 100085, China

⁹Office of Chinese Society of Theoretical and Applied Mechanics, Beijing 100190, China

Abstract The XXIII International Congress on Theoretical and Applied Mechanics was held at Beijing during August 19 – 24, 2012. This article provides a brief introduction to this significant academic event. Some important research results reported in various fields of mechanics and some potential developing directions identified by ICTAM2012 are summarized.

Keywords: ICTAM 2012, solid mechanics, fluid mechanics, solid-fluid interface, research progress.