



中国科学院力学研究所 2005 年科技工作回顾

黄晨光

中国科学院力学研究所, 北京 100080

2005 年, 力学所经历了几件大事: 一是完成了中国科学院知识创新工程试点二期的总结和三期筹划, 并顺利通过了现场评估, 为进入 2006 年开始的创新三期奠定了坚实基础; 二是成功举办了“庆祝力学研究所建所 50 周年暨钱学森回国 50 周年大会”; 三是在国家和(部门)重点实验室的评估中, 我所非线性力学国家重点实验室和高温气体动力学重点实验室被评为数理科学“良好类”实验室。

2005 年, 也是力学所科技工作在多方面取得重要进展的一年。

1 创新二期总结与创新三期方案制定

力学所全面完成了创新二期试点任务书规定的各项内容和指标, 总体结论如下:

(1) 面向国家需求和学科前沿, 取得 5 项代表性成果: 微尺度力学与跨尺度关联, 微重力科学的理论与实验, 高超声速推进系统及其实验模拟技术, 复杂流动的理论、模拟与应用, 材料表层工艺与力学。在微重力科学方面获得一项国家科技进步特等奖。

(2) 人才队伍建设取得显著成效。1 人新当选中国科学院院士, 4 人获国家杰出青年科学基金, 3 人入选“首批新世纪百千万人才工程国家级人选”。研究生教育发展注重质量、适度发展规模、态势良好。

(3) 装备建设显著加强, 形成有特色的研究基地。在微尺度与跨尺度力学、微重力科学、高温气体动力学等方面建成具有一定规模、基本配套、国际上乘水平的装备群。

(4) 承担国家重要项目的竞争能力明显增强。承担“十五”各类重大重点项目 70 余项。承担国家自然科学基金类项目的实力在高水平上不断发展。

(5) 论文和专利的数量和质量显著提升。SCI 论文数及高端论文数明显增加; 专利量和发明专利比例明显增长。

(6) 国际合作与交流取得重要发展。有 20 位科学家在 40 余个重要国际学术机构或国际学术期刊编委会任职; 国际合作项目 30 余项; 成功举办 10 余个重要国际学术会议。

力学所创新三期的总体目标是建成在国际上具有重要影响的工程科学基地。主攻空天科技、海洋与环境工程两个领域, 建设微跨尺度力学实验研究平台、高焓流动实验模拟平台、微重力科技平台、海洋与环境综合实验平台。

在国家重大需求方面, 集中优势力量在高超声速科技工程、微重力空间科技、深海平台和深海工作站、土壤侵蚀与滑坡灾害等方面取得有重大集成度和显示度的成果。

在学科前沿方面, 部署精锐力量突破微尺度力学与跨尺度关联、复杂流动现象与规律、生物力学与仿生等力学及交叉学科的前沿难题。

在引领产业的新技术方面, 利用已有基础, 使得光学蛋白质芯片、危险废弃物处理、表层材料工艺等方面的成果服务于国民经济的发展。

2 2005 年代表性的研究成果

2005 年的主要科技进展包括:

(1) 第 22 颗返回式科学与技术实验卫星搭载科学实验

我国第 22 颗返回式科学与技术实验卫星搭载的 4 项微重力科学实验全部获得成功。力学所是搭载实验技术总体负责单位, 并承担过冷池沸腾、气泡热毛细迁移、空间细胞生长等实验。这些实验为微重力条件下的复杂流动现象、重力影响空间细胞生长规律的研究提供了宝贵的数据, 同时将促进空间流体和热管理技术的发展。

(2) 微尺度力学与跨尺度关联

在材料强度和断裂理论的多尺度模型和跨尺度封闭的理论框架、材料纳米硬度标度理论及应用、量子力学 / 分子力学 (QM/MM) 多尺度杂交计算、微器件中的多场耦合机理与调控等方面取得了创新结果, 发表在相关学科重要国际期刊上。

(3) 复合式油水分离器

提出了结合离心、膨胀、重力、振动等多种分离原理于一体的高效分离器设计方案, 得到了分离器各部件的优化设计参数。按日处理量 $250 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计了全新的复合式分离器样机。在不同黏度、油气水含率、流速条件下, 样机实现了快速动态分离油中水分, 达到了油中含水率小于 1% 的要求。

2005 年, 力学所全年共发表论文 518 篇, 其中国际杂志 183 篇, 国内杂志 141 篇, 国际会议 129 篇, 科技报告 65 篇。此外出版专著 3 本。这些数据为历年新高。

2005 年的专利申请和授权情况也达到历年新高。申请专利 76 项 (其中发明专利 53 项), 授权专利 54 项 (其中发

明专利 32 项)。

3 承担项目与国际合作

2005 年, 力学所正在执行的国家和中国科学院重大项目中, 有 9 个 973 子课题、17 个 863 项目和课题、基金项目 61 项 (含重点项目 8 项, 杰出青年基金项目 4 项, 海外青年合作基金项目 1 项)、院各类创新项目 12 项。

在该年度, 力学所研究经费比往年有大幅度上升, 表明了力学所科技竞争能力不断增强。

此外, 2005 年力学所有 13 个科研项目通过中国科学院等组织的验收。

在国际合作方面, 2005 年度力学所有 99 人次到 20 个国家和地区进行多种形式的交流与访问; 有 15 个国家和地区的 112 名境外学者来力学所进行交流。6 位境外学者执行“力学所高级访问学者计划”来力学所进行为期 1~6 个月的客座研究。

2005 年度力学所正在执行的国际合作项目有 21 项。合作课题分别涉及材料科学、气动力学、微重力科学、工程力学、材料工艺力学和生物力学等相关领域。

力学所成功举办了 5 个国际和地区间小型专题研讨会:

- 首届国际工业过程层析成像技术 (4 月 15~22 日, 会议主席为吴应湘研究员)

- 中 - 意阿基米德桥联合实验室指导委员会第一次会议 (4 月 18~19 日, 会议召集人为洪友士研究员)

- 第二届海峡两岸激波 / 旋涡相互作用学术研讨会 (6 月 25~29 日, 会议主席为姜宗林研究员)

- 纳米结构的材料的力学行为和微尺度力学 (IUTAM 系列学术会议之一, 6 月 27~29 日, 白以龙院士任会议主席)

- 中 - 法固体力学研讨会 (10 月 24~28 日, 丁桦研究员任会议主席)

4 实验室 (研究部) 工作

实验室 (研究部) 是力学所创新工作的主体。力学所各实验室 (研究部) 在 2005 年的进展和成果简述如下。

(1) 非线性力学国家重点实验室 (LNM)

LNM 的近期目标是在纳米 / 微米尺度、纳 / 微系统、跨尺度关联和复杂流动的非线性力学理论和应用上, 在国际学术界占有一席之地, 并为国内的相关产业, 如材料设计、集成微机电系统、工程和自然灾害预测, 提供必要的知识和技术储备。主要研究进展有:

用实验和数值模拟方法研究关于斑图动力学的“临界敏感性”概念, 揭示了非均匀介质在变形过程中的能量释放率的变化、突变破坏的幂律等现象。

实现了微米厚度薄膜及界面性能的直接实验测量、薄膜 / 基体界面行为的分子动力学模拟; 多种薄膜 - 基底系统的纳米力学性能表征研究, 得到了基底对系统硬度产生影响的条件; 多层包装材料体系的界面裂纹的理论分析, 获得了有限尺寸对裂纹应力强度因子的影响及 T 应力的影响。在纳米金属塑性变形机制方面, 研究了纳米金属 Ni 的塑性变

形机制, 阐明了 3 种孪生变形方式、揭示了不全位错控制的塑性变形机制及其影响因素。

成功地开展了基于 BR 蛋白光驱动质子泵可控纳米杂交器件的实验研究; 建立了一个三维的纳米薄膜晶格模型, 并计入了表面弛豫的影响, 研究了纳米薄膜的弹性模量的尺度效应; 分析了两种重要的分子力对 NEMS 致动器的失稳的影响。

发展了映射封闭逼近方法, 正确地描述扩散过程中概率密度函数形状和速率的演化, 由此得到了化学反应流的分子扩散模型; 在均匀各向同性湍流的基础上, 发展了剪切湍流的时间关联模型; 以朗之万方程为基础, 发展了适合滑移边界库爱特流的混合算法; 用 DNS 研究并获得了展向不同扰动对尾迹型剪切流中涡量分布的影响, 从涡量场从展向流向及垂向的重要显著转变阐明了旋涡位错的实质及动力学。

(2) 中科院高温气体动力学重点实验室 (LHD)

高温气体动力学重点实验室研究工作的定位是: 在高温气体动力学领域里把 LHD 建成具有国际影响、其研究课题具有国际先进水平、能为国家安全和国民经济建设重大项目解决关键问题, 推动学科发展, 培养相关学科人才的开放研究实验基地。2005 年主要研究进展包括:

提出了利用退化的 Reynolds 方程计算过渡领域的微槽道流动问题, 得到的长微槽道中的压力分布与实验数据及信息保存 (IP) 法的结果相吻合, 短微槽道中的结果则与 DSMC 方法和 IP 方法十分相符。对于微槽道流动, 退化的 Reynolds 方程可以作为标准来检验应用于过渡领域 MEMS 器件中稀薄气体流动问题的各种方法。

应用 JF-10 氢氧爆轰驱动高焓激波风洞, 对空天飞行器俯仰力矩变化进行了实验研究。实验数据反映出了高温非平衡效应对模型气动力特性影响。在该风洞中还顺利完成再入流场红外辐射的实验研究, 提供了高焓流动首批有工程应用价值的实验结果。

在超燃冲压模型发动机实验研究方面, 进行了专门的进气道部件研究和发动机整体模型研究, 建立了超燃冲压发动机性能分析模型; 在液体碳氢燃料超燃性能研究方面, 完成了有关装备, 使其能满足对超临界态、裂解态煤油试验研究的需要; 开展了煤油超燃数值模拟研究, 并获得初步结果。

进行了乙炔、氢气和汽油 3 种燃料与氧气和空气在不同初始条件下爆轰起始特性的研究。

(3) 国家微重力实验室 (NML)

微重力科学关键科学问题是利用空间微重力环境进行微重力流体物理、微重力燃烧、空间材料科学和基础物理研究。在获得对自然现象新认识的同时, 积极开拓多方面的应用。2005 年的主要成果包括:

利用返回式卫星成功进行了 4 项空间搭载实验研究: 空间池沸腾传热实验, 研究了在热线加热情况下池沸腾传热特性; 气泡热毛细迁移实验, 研究了气泡的 Marangoni 迁移规律; 空间熔体表面和液 / 固界面特性表征实验, 研究了银基合金和 GaSb 化合物半导体进行润湿性及液 / 固界面特征; 空间细胞培养实验, 研究了重力对细胞样品生长影响, 发展了低功耗、高空间利用率微型化细胞培养器。本项任务是

国第一次将多项微重力实验形成一个科学实验系统的空间项目。它的顺利完成,标志着我所在空间科学实验任务的组织管理及装备研制等方面能力的新的突破和提高。

将某卫星留轨舱发展为一个微重力平台,将利用遥操作技术,在空间实验过程中通过地面主动干预,完成不需要返回的流体物理、燃烧、空间材料、生命科学等9项空间实验,可提高我国空间微重力实验的水平,提高留轨舱的综合利用能力。国家微重力实验室作为搭载载荷大总体,直接负责全部项目的组织、协调和研制任务。

此外,国家微重力实验室积极参与了我国空间科学的发展规划。其中,受有关部门的委托,作为牵头单位完成并提交了“十一五”国家微重力科学和空间生命科学规划;向中国科学院提交了有关卫星的需求报告,使立项论证取得实质性进展;以有关专家组的名义,完成了空间科学计划框架(微重力科学部分)和空间环境利用项目指南的编写。

(4) 工程科学研究部 (DES)

工程科学部强调根据国家重大需求,在坚持发展学科的基础上,形成一支以力学主要分支学科为基础、互相协作、互相配合的,有能力承担国家重大工程项目及科研任务的完整队伍。

2005年,在系统的理论分析、实验研究和数值模拟基础上,DES科研人员将3种多相分离技术(螺旋管离心分离、重力沉降分离和膨胀分离)组合成为一体,构建了新型海洋平台用分离器样机,分离效果达到用户要求,并即将进行中试。该装置建成后,预期比国际上先进水平的同类设备小1/3。

在滑坡监测、预防研究方面,DES有关课题组提出的“滑坡监测为首,排水预防为主,结构治理为辅,落实防灾预案,实施科学决策”新的技术路线逐渐得到认可。根据这一思想,研制了相应监测设备共5项,经中国计量科学研究院测试表明位移检测精度可达 $75\mu\text{m}$ 。该监测系统已经在重庆实际应用了一年多,将在更多的工程实际中推广应用。

(5) 技术发展部 (DTD)

技术发展部发展定位是发展国家急需的高技术和关键技术并指导工程应用,成为力学所开展相关研究的工艺装备平台以及材料性能质量的评价检测平台。2005年,DTD巩固和加强了现有优势技术(激光技术、遥操作技术、检测技术和制粉技术等),并以现有条件为基础,在建设先进制造装备和工艺平台、工艺质量评价和检测平台等方面取得显著进展。

“十五”创新装备建设项目“表面性能与形貌联合测试

系统”通过验收。该系统由力学性能综合试验系统、显微测试分析联合系统、表面三维形貌仪、多功能划痕仪和激光热疲劳系统等5个部分组成。系统结构新颖实用、配套性强,为涂层和界面性能表征研究提供了有效手段。

中国科学院装备研制项目“激光智能制造工艺实验研究系统”通过验收。系统已具有多种激光智能制造及加工的能力,包括激光去除、连接、表面强化、激光熔覆等;可实现工艺学过程检测、模拟和评估,可进行相关力学性能测试和温度场、应力场的数值模拟。该装备系统部分关键技术具有自主知识产权。专家组认为“该装备系统综合性能达到了国际先进水平”。

激光毛化中心的科研人员重点研发了高重频、高密度、高均匀度、低粗糙度轧辊毛化新的单元技术和工艺,开拓该技术在铝、铜、不锈钢高档产品上的应用。2005年该技术的产业化应用取得了可喜的突破。

5 力学所发展思路

2005年,力学所认真总结过去,并以此为基础,筹划了未来的发展目标。为了保障在创新三期中做出更加重要的贡献,力学所将在体制机制、科研队伍等多方面不断探索新的思路。

(1) 以重大成果的培育、产出为研究所的中心任务。强化重要项目的管理和组织,保障有效调度力量、监控项目执行过程。

(2) 完成质量体系 and 二级保密资质的论证工作,规范岗位目标和行为,以制度维护重大成果的产出和可持续发展。

(3) 积极促成钱学森国家实验室的建设。成立生物力学与生物工程中心、材料与力学中心等,促进学科交叉和科技目标的凝练。

(4) 和产业部门、地方政府等共建有关高超声速飞行技术、滑坡监测等研究基地,实现力学所与产业部门的共赢。

(5) 逐步建成国际化的研究机构。通过不同的引入或者合作方式,使得在基础研究方面的国际人力资源显著增加。

(6) 拟聘任多名产业部门高层专家,担任力学所“科技委委员”和“高级顾问”,从而把握行业发展的关键动向和需求。

上述举措始终围绕强化工程科学思想这一立所之本,瞄准为国家的重大需求和学科发展做出突出贡献,也进一步明确了科研人员是研究所发展的主体、依法制所和科学决策的思想。