



## 中国科学院力学研究所 2003 年度科研进展

黄晨光

中国科学院力学研究所, 北京 100080

2003 年, 力学所在知识创新工程试点工作中取得了新的进展和成果. 这一年有两件大事值得记忆: 一是中长期发展战略规划的制定; 二是抗击非典. 力学所在这场战役中结合自己的工作基础, 齐心协力, 贡献了自己的力量.

在 2003 年, 力学所研究工作的进展获得了一些标志性的体现: 神舟 4 号搭载的流体物理实验取得了重大的创新结果; 超燃冲压发动机实现了稳定点火并获得了较大的推力增益; 在 *Advances in Applied Mechanics* 等顶级的力学刊物上发表了 7 篇论文; 力学与其他学科交叉发展的成果体现在了 *Nature*, *Langmuir*, *Analytical Chemistry* 等高水平的杂志上; 专利的申请数和授权数为历年之冠, 其中发明专利的比例大幅上升. 另外, 李家春研究员今年当选中科院院士, 吴承康院士获得了何梁何利基金科学与技术进步奖.

### 1 科研总体情况概述

在 2003 年, 力学所科研工作的总体情况可以归结为如下几点:

(1) 以新时期的中科院的办院方针为指南, 从凝炼目标逐步走向了凝聚力量.

经过近几年的不懈努力, 力学所的创新基地发展加快, 主要研究目标更加集中, 为了在这些创新目标上形成优势力量, 力学所重新整合形成了 34 个课题组. 在规模上, 既考虑了不同研究工作的特点, 又保证了其“承担重要课题, 有重大产出”的基本要求.

(2) 以“规划”为契机, 梳理学科, 明确重点.

学科建设与布局是研究所的立所之本, 力学所进一步梳理了涉及的相关学科, 体现了“继承有活力的优势学科, 拓展学科领域, 强调与其他学科(如生命科学、材料科学)的交融发展”的指导思想. 为了将学科的重新梳理落到实处, 力学所在今年将不同层次的科技岗位与学科挂钩. 在人员流动日益加强的情况下, 使研究所的学科构架具有可持续性.

(3) 以强调重大项目的过程管理为手段, 力争取得有显示度的重大成果.

力学所一直强调对承担的各类重要课题的过程管理, 以“年度进展汇报”为主体, 配之以“所领导调研”, “实验室检查”, “个人年度考核”等多种形式, 特别是对中科院重大项

目, 方向性项目和领域前沿部署项目的执行情况进行了阶段考核检查, 并以发现问题和解决问题为目标, 帮助和监督课题组高质量完成科研任务.

(4) 以科研平台的发展为切入点, 提升全所的科研能力.

2002 年 ~ 2003 年, 力学所从不同渠道争取获得的装备建设项目共 21 项. 这些建设项目的实施, 从根本上提升了整体的科研实力, 一方面完善学科发展的基本试验条件, 另一方面使得力学所的实验研究水平在多个领域达到国际先进, 从而提升承担国家重大任务, 在国际前沿做一流工作的科研条件. 这是力学所实现“在国际上有重要影响的著名力学研究机构”的试点工作总目标的重要保障.

(5) 引入竞争机制, 激活科研队伍.

力学所改进和加强了所内的考核评估办法, 强调以课题组和研究员考核为龙头, 通过定量考核和定性评估相结合, 推动科研工作 and 科研队伍的发展和提高.

### 2 重大研究进展与成果

2003 年度的重大科研成果主要有:

(1) 以胡文瑞院士为主任设计师的流体物理分系统科技团队, 利用自行研制的“通用流体实验装置”搭载“神舟 4 号”飞船, 成功进行了微重力环境中液滴热毛细迁移的空间实验. 所完成的液滴热毛细迁移实验的 Marangoni 数达到 5500, 为目前国际之最. 实验观察了大雷诺数热毛细液滴的非线性动力学迁移特征, 得到了液滴迁移过程的一些新现象. 由于在载人航天和空间科学研究中的重要贡献, 力学所作为主要完成单位之一近期获得了国家科学技术进步特等奖, 胡文瑞院士是主要完成人之一. 解京昌研究员获得了“中国载人航天工程”突出贡献奖章.

(2) 丁雁生研究员等参加的有关炸药装药发射安全性的研究获得国防科工委国防科技二等奖. 该项目从损失力学的角度, 获得了装药的力学性能及其在储运过程中可能的引爆机制.

(3) 王发民研究员主持的有关可重复使用运输系统气动力与再入热环境的研究获得国防科工委国防科技三等奖. 该项目获得了全速域飞行气动力 / 热实验 (计算) 数据, 创造性

地建立了升力体布局航天器激波风洞气动力实验技术体系。

(4) 在靳刚研究员的领导下, 通过光学蛋白质芯片表面的改性和微型芯片反应器性能的提升, 在完善了集成化的芯片检测系统后, 开展了几类临床生物医学实验, 所需样品剂量小, 检测速度快, 检测灵敏度达到临床检测要求。

(5) 微尺度力学方面: 导出了具有不同近似级别的描述微损伤集体演化的跨尺度封闭方程组, 发现了一种对样本趋向临界失效态的敏感性度量指标; 在薄膜 peeling、划痕实验、应变梯度(旋度)理论、纳米压痕标度律等方面, 取得了国际关注的研究成果; 提出超晶格外延生长薄膜位错演化动力学方程; 建立了压电材料非线性本构方程, 分析压电材料断裂行为。

此外, 2003 年度力学所在如下方面取得了重要的科研进展: 复杂流动的数值分析, 超燃与高超声速推进技术, 细胞-分子尺度生物力学, 海洋平台监测与吸力式基础试验, 滑坡机理与预测研究, 材料表面强韧化工艺力学等。

2003 年度, 力学所按常规申报科学院成果 10 项。另外登记国防成果 3 项。

### 3 科研工作进展与成果统计

#### (1) 发表论文、专利情况

根据中国科技信息研究所 2003 年公布的结果, 力学所 2002 年度被 SCI 收录的论文 85 篇; 被 ISTP 收录的论文 45 篇; 被 EI 收录的论文 63 篇, 列我国科研机构第 10 名; 国内期刊论文(CSCD)128 篇。与上年度比较, 力学所 2002 年度在国内外发表论文的总数略有增加。

另据不完全统计, 2003 年度力学所在国内外期刊和国际会议论文集发表论文近 300 篇, 比 2002 年度有所增加。其中在较高影响期刊上发表的论文有: *Nature* (1 篇, 合作), *Advances in Applied Mechanics* (1 篇), *Physics of Fluids* (2 篇), *Journal of Computational Physics* (1 篇), *International Journal of Plasticity* (1 篇), *International Journal of Solids and Structures* (2 篇), *Analytical Chemistry* (1 篇), *Langmuir* (2 篇), *Journal of Chemical Physics* (1 篇), *Biomaterials* (1 篇)。另外在 *Crystal Growth & Design*, *Optics Communications*, *Journal of Applied Optics*, *Journal of Physics D*, *Journal of Materials Research*, *Journal of Crystal Growth* 等刊物上也有多篇论文发表。

2003 年度力学所申请专利 71 项, 其中发明专利 38 项, 实用新型专利 33 项, 为历年新高。2003 年度共获授权专利 37 项, 其中发明专利 25 项, 实用新型专利 12 项。另外有软件登记 2 项。

#### (2) 科研项目情况

##### 新争取项目情况:

1) 本年度共获 23 项国家自然科学基金各类项目, 包括基金重点项目 3 项, 国家杰出青年科学基金 1 项, 重大项目子课题 1 项, 重大研究计划子项目 3 项, 面上基金 13 项, 国际合作项目 2 项。我所共申报 62 项, 批准率为 37.1%; 获资助经费总额 1100 万元。另外还有 3 项重点基金批准立项,

待明年申请。

2) 军口 863 项目, 2003 年新签合同项目有 7 项。

3) 争取到 863 资源环境领域快速启动项目“交流等离子体裂解处理医疗废物”的成套装置项目。

4) 胡文瑞院士负责的院二期方向性项目: 微重力若干基础性研究。

5) 在院重要方向项目“空间生命科学与技术的研究和应用”中, 承担两个课题。

6) 国家微重力实验室在国防科工委立项“利用返回式卫星进行若干空间微重力实验”。

##### 主要承担项目情况:

1) 院重大创新项目 2 项, 重大方向性项目 5.5 项, 百人计划项目 6 项。

2) 军口 863 项目 10 余项, 921-2 课题 4 项,

3) 973 二级课题 5 项, 863 二级课题 4 项。

4) 在研杰出青年基金 4 项、自然科学基金重点项目 4 项。

5) 其他重要军工项目 20 余项。

##### (3) 项目验收情况

1) 2003 年 1 月 11 日, 李家春研究员负责的国家自然科学基金重点项目“干旱地区环境治理的动力学过程研究”通过验收, 评价 A(特优)。

2) 2003 年 2 月 13 日, 张新宇研究员负责的“液体碳氢燃料超音速燃烧及模型发动机实验关键技术研究”通过 863-702 主题专家组的验收。

3) 2003 年 2 月 22 日, 谈庆明研究员参加的国家自然科学基金重点项目“含有液体的多孔介质在强动荷载下的力学行为”通过了基金委组织的结题验收。

4) 2003 年 2 月 25 日, 张珩研究员负责的“空间机器人及 TH-1 号卫星遥科学集成演示与应用研究技术”通过 863-704 组织的验收。

5) 2003 年 3 月 23 日, 沈青研究员参加的国家自然科学基金重点项目“高温高焓气体非平衡特性研究”通过了基金委组织的结题验收。

6) 2003 年 4 月 1 日, 国家微重力实验室建设项目通过总装备部组织的全面验收。

7) 2003 年 7 月 24 日, 上海航天技术研究院对樊菁研究员承担的“CZ - 4B 火箭推进剂卫星漫反射试片涂层表面污染的实验研究”项目进行了验收。

8) 2003 年 9 月 11 日, 863-702 主题专家组对王发民研究员承担的“气动操纵特性研究”项目进行测试和验收。

9) 2003 年 9 月, 中国科学院知识创新工程重大项目“纳米科学技术 - 蛋白质芯片研究”通过院里组织的结题验收。

10) 2003 年 10 月 27~28 日, 863-702 主题对张新宇研究员承担的“超燃冲压模型发动机试验研究”课题进行了测试和验收。总装高层领导和领域首席科学家对课题组在基础性、前瞻性方面的突出贡献给予了充分肯定。

11) 2003年11月11日, 863-702主题专家组组织评审验收组对姜宗林研究员承担的“可重复使用跨大气层飞行器气动热研究”课题进行了测试和验收。

12) 2003年11月, 中国科学院知识创新工程“十五”重大项目“若干纳米器件及其基础研究”通过中期检查。

13) 2003年12月8日, 吴承康院士负责的国家自然科学基金委重点项目“高能束流表面加工与处理的超常热物理问题”通过验收。

另外, 力学所在2003年有18项自然科学基金项目顺利完成, 等待结题。

#### (4) 国际合作与交流

虽然有非典的影响, 2003年力学所国际学术交流与合作仍相当活跃和具有成效。

2003年度共有51人次出访到14个国家和地区进行各种形式的交流与访问, 其中参加学术会议29人次, 合作研究14人次, 科学与技术访问8人次。有13个国家和地区的49名学者来力学所进行各种形式的交流与访问。2003年度力学所聘请美国Illinois大学Urbana分校机械与工业工程系黄永刚博士、美国匹兹堡大学机械系毛星原博士和新加坡国立大学刘桂荣博士为客座研究员。

2003年度力学所有20位科学家在30多个国际学术机构或国际学术期刊编委会任职。

#### (5) 院地合作情况

##### 与国家重点企业建立联系

力学所与中海油、上海大众和中石化等一些重点企业加强了合作, 通过重大项目的合作研究, 力争突破重大工程的一些关键科学和技术问题, 为国民经济的发展作出贡献。

##### 与中物院等部门加强合作, 针对国家目标实现强强联手

2003年10月, 力学所与中国工程物理研究院签订合作协议意向书, 确定双方今后在国家重大研究项目、自然科学基金等方面进行积极合作, 共同为我国国防科技的发展做出贡献。

另外, 力学所与航天部门相关院所今年共签订合同17项。

##### 与地方企业合作, 共同申请国家重大项目经费

与北京同义兴科技股份有限公司合作, 共同申请国家863项目“医疗垃圾焚烧炉”, 经专家组评审, 申请已获批准, 经费总额300万元。

##### 与地方政府合作, 建立研究基地

力学所与浙江省淳安县政府关于在千岛湖建立“阿基米德桥”事项进行了洽商并就此正式签署了合作意向书。此项目也已经被中科院列为重大国际合作项目。另外, 力学所签订了十余项合同向地方企业转让技术或与之共同开发新技术。

## 4 实验室 / 研究部工作

2003年, 力学所各实验室和研究部的工作均取得了明显的进展, 现简述如下:

### 非线性力学国家重点实验室(LNM)

在纳米 / 微米尺度力学与跨尺度关联方面:

(1) 研究不同晶体结构(Co及Al)纳米晶体形成机制及其微结构表征, 研究了晶体缺陷以及晶界对纳米晶体形成的影响。

(2) 完善了统计细观损伤力学的封闭计算和损伤能耗的表述。

(3) 在仿生力学方面进一步研究了贝壳的力学行为, 并针对蝉的翅膀的力学行为进行了研究。

在微系统力学方面:

(1) 初步制备出可用于微米 / 纳米尺度下流体混合的ATP分子马达, 实现了外加磁场对分子马达旋转速度的控制;

(2) 应用微悬臂梁, 开展了微生化传感器的研究, 实现了微悬臂梁对生物大分子黏着的识别;

(3) 完成了(3~10) $\mu\text{m}$ 微管道在高、低压下的流量与压力特性的实验研究;

在流体力学方面:

(1) 提出了一种基于概率密度函数(PDF)的完全封闭方法, 即基于流场两点联合概率密度函数的映射封闭近似(MCA)方法。

(2) 进行了高分子聚合物槽道湍流的直接数值模拟研究。在二维聚合物槽道湍流中, 发现减阻效率与黏度比成线性关系。

(3) 用涡丝的时空变化揭示了两类尾迹流动中的旋涡位错特征, 以及形成的动力学过程, 刻画了黏性流动中旋涡位错中复杂的涡联结构。

### 高温气体动力学重点实验室(LHD)

在超燃与高超声速推进技术方面: 在超燃冲压发动机冷态实验基础上, 实现了氢以及煤油燃料的强制点火和自点火及稳定燃烧, 最大推力增益超过300N。并实现了堵塞比50%模型的喷管起动, 使实验发动机流量提高到2kg/s左右。在超燃机理研究中, 在氢引导下利用串联双凹腔, 使航空煤油的超燃燃烧效率高达96%, 总压恢复0.44。并前瞻性地完成了加热煤油的物性及在燃烧室中喷注特性的研究。有关PDE(脉冲爆轰发动机)的研究, 最终在实验上实现了稳定、连续的脉冲爆轰循环, 脉冲频率最高达20Hz。

改进和完善了大面积测热系统, 开展大面积变雷诺数测热实验; 开展高超声速复杂外形绕流及气动热特性的数值模拟研究, 建立相应的数值模拟软件; 研究了表面材料催化与反应流的作用机制; 开展了催化 / 非催化性能对高热高速反应流气动热影响的实验方法。

针对高超声速飞行器气动布局所面临的突破升阻比屏障和推进系统与机体一体化设计两项基础技术, 采用了乘波体布局设计飞行器机体, 前体预压缩面及进气道采用激波组合法一体化设计, 燃烧室型面用温度分布设计, 在国内首次开展了飞行器发动机一体化实验。

利用DSMC方法和IP方法对Lattice Boltzmann方法(LBM)在微槽道中的模拟结果进行了检验, 表明LBM在小 $Kn$ 数下给出与DSMC和IP方法相符较好的结果,

但在大的  $Kn$  数下, LBM 与 DSMC 和 IP 方法的结果相差很大, 说明现有的 LBM 方法不适合模拟过渡领域中的微槽道流动问题.

将发展的中心与迎风摄动有限体积方法用于有解析解的一维、二维、三维的标准算例, 发现迎风摄动有限体积方法在相同计算条件下比常用一阶, 二阶三点格式有更高的计算精度.

#### 国家微重力实验室 (NML)

在神舟 4 号飞船上完成的具有大 Marangoni 数的液滴热毛细迁移实验结果的分析发现了新的现象.

应用光镊技术, 发展了胶体稳定性的微观诊断方法, 开辟了从粒子相互作用的微观层次上认识胶体的聚集行为和稳定性的全新途径. 模拟了两粒子系统碰撞频率随距离变化的规律. 对  $Mg-Al-NO_3$  层状双金属氧化物电性质进行了研究.

在热毛细对流表面波的实验研究中, 采用光学干涉测量技术观测了  $si-1000$  液体在存在热毛细对流和浮力对流的情况下, 同一液层厚度时温度梯度不同情况下的表面变型问题, 给出了表面变形与温度梯度的关系; 分析了热毛细对流和浮力对流在不同液层厚度时所起的作用.

制备了 Nd 基非晶-纳米晶复合材料和 Cu 基 TiC、树枝晶联合增强复合材料. 利用纳米压痕硬度计和常温、高温压缩实验研究了不同材料的变形机理.

开展了受体-配体反应动力学的结构-功能关系系列研究, 考察了作用力影响分子键解离的物理图谱; 建立了适于描述生物大分子之间特异性相互作用的统计力学模型和分子键强度的随机性描述; 发展了分子动力学模拟等评价力作用下分子键解离的数值方法; 建立了单细胞水平、亚细胞水平、单分子水平等技术平台.

另外在多元光学蛋白质芯片、微重力燃烧等方面取得了重要的进步.

#### 工程科学研究部 (DES)

在海洋工程方面: 完成了吸力式基础的贯入与承载力特性试验工作, 得到了吸力式基础的静承载力特性及土的动态响应; 开发出多种用途的光纤传感器, 并通过了环境试验, 初步建立了平台监测的数据采集远程控制系统; 建立了渤海抗冰平台的导管架平台模型, 并给出了平台隔振元件的设计; 确定了油砂分离器和油气水多相计量仪的设计方案, 完成了油砂分离器部件实验设备的改建, 进行了部分实验.

在滑坡机理与预测研究方面: 研究了不同结构的岩体发生滑坡的判据, 得到了山体内岩体的结构对山体稳定性的影响; 根据含裂隙岩体的剪切滑动弱化模型, 分析了含裂隙岩质边坡的滑面产生过程; 开展了含承压水滑坡的模型试验研究, 从一个方面揭示了大面积暴雨引发群发性滑坡的机理; 完成了茅坪滑坡体位移监测布点并获得第一批测量数据; 给出边坡稳定性分析中的通用条分法的一般表述和关于安全系数的变分表达, 通过三维边坡稳定性分析, 得出边坡治理抗滑桩的承载力及埋置方向.

另外, DES 在等离子体处理危险废弃物、飞行器等离子体隐身等方面取得了很好的研究成果.

#### 技术发展研究部 (DTD)

有关身管强化延寿技术已经转移到兵工企业投入生产, 同时在有关部门的支持下, 有关该技术向更大口径身管强化的延伸已经顺利展开.

在激光智能制造工艺力学方面: 系统分析了脉冲激光作用下球铁模具的微结构演化, 发现了新的显微结构特征; 利用激光时空特性确定了表面强化工艺优化条件. 开展激光加工机器人系统的路径规划及加工过程仿真研究, 建立了虚拟制造过程的模型系统和数据库系统. 建立了激光快速成型金属零件系统, 已制造出表面光洁、壁厚均匀的金属薄壁零件.

同时, 遥科学方面的研究工作正在严格按照 863 要求不断深入.

## 中国科学院国家微重力实验室简介

朱芙英

中国科学院力学研究所, 北京 100080

微重力科学是随着当今载人航天技术的发展而发展起来的前沿学科. 微重力环境为诸多科学问题的研究提供了机遇, 蕴育着自然科学的重大突破, 并正在培育新一代高技术产业, 是空间科学研究的热点. 为适应我国空间科学发展的需要, 1995 年 9 月 4 日由总装备部和中国科学院共同投资建设中国科学院国家微重力实验室, 2003 年 4 月通过全面验收, 成为我国微重力科学研究基地. 实验室主任为中科院院士、国际宇航科学院院士胡文瑞研究员. 依托单位是中科院力学所.

国家微重力实验室以微重力研究相关领域为研究方向, 开展微重力科学各学科领域的理论、地基及空间实验研究, 包括生物力学及空间生物技术, 微重力流体物理与微尺度流体力学, 微重力热科学和空间应用, 空间材料科学以及微重力实验技术, 纳米生物技术和生物医学工程. 实验室以有应用背景的基础性研究为主, 积极承担我国航天高技术发展急需的工程技术微重力研究, 适当安排和促进微重力科学的基础研究. 实验室遵循科学与技术相结合, 地基研究与空间设备研制相结合的研究模式, 大力发展交叉学科, 促进微