



中国科学院微重力重点实验室简介

朱芙英

中国科学院力学研究所 100190

微重力科学是应载人航天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,孕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。1995年9月4日总装备部(原国防科工委)正式下文批准筹建“国家微重力实验室”,由总装备部和中国科学院共同投资开始建设中国科学院国家微重力实验室。1999年7月实验室上报创新试点工作,并纳入中国科学院的知识创新工程体系。2003年4月实验室通过全面验收,成为我国微重力研究中心和用户支持中心。2008年国家微重力实验室顺利通过中国科学院重点实验室申请评估,并正式批准建立“中国科学院微重力重点实验室”。第一届实验室主任为胡文瑞院士,学术委员会主任为林兰英院士。第二届实验室常务副主任为康琦研究员,学术委员会主任为胡文瑞院士。现任实验室主任为龙勉研究员,学术委员会主任为胡文瑞院士。

实验室包括研究中心和用户支持中心,其基础设施包括一个建筑面积 2194 m² 的 4 层实验楼,以及占地面积 2450 m² 的百米落塔设施。研究中心的建设和发展紧紧围绕流体物理、燃烧科学、材料科学、生物力学与纳米生物技术等 4 个研究方向,引进和研制了百余台(套)仪器设备,建成了开展流体物理、燃烧科学、材料科学,生物力学与纳米生物技术等地基研究的实验系统,包括:(1)开展微重力流体物理研究的流体动力学、复杂流体分散体系、光学诊断和测试、三维显微粒子图像测速等;(2)开展燃烧研究的微重力两相流、微重力燃烧等;(3)开展空间材料科学研究的半导体晶体、气相外延、金属合金成核过冷、非透明介质、透明晶体生长等;(4)开展生物力学和空间生物技术研究的蛋白质晶体生长、空间细胞生长和组织培养、连续流电泳、微管吸吮、激光显微光谱、原子力显微等;(5)开展纳米生物技术研究的光谱偏偏成像系统等。共同组成了国家微重力实验室的研究平台。实验室的用户支持中心,建成有可进行短时微重力地面实验的百米落塔设施,其中落舱系统的微重力时间为 3.5 s,微重力水平可达 10⁻⁵ × g 量级,落管系统的微重力时间为 3.26 s,微重力水平优于 10⁻⁶ × g,可为用户提供各种技术支持和服务。迄今已利用落塔设施开展了 20 多个研究课题的上百次微重力试验,具备每天可以进行二次微重力实验的能力。

微重力研究强调基本规律的研究与应用研究相兼顾,强调重大基础理论的突破及将研究成果用于改善空间和地面的人类生活质量,促进地面高技术发展。实验

室科研工作定位在开展以具有重大应用背景的基础性研究为主,积极承担与微重力科学相关的我国航天高技术发展急需的工程技术研究,合理安排和促进微重力科学的基础研究;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,促进微重力流体科学与空间材料科学和空间生物技术相关的交叉学科研究,大力促进与生物技术(蛋白质晶体生长、细胞/组织培养、细胞生物微系统、蛋白质芯片)和材料制备(SiC 制备、亚稳态金属和合金凝固行为、溶液生长、胶体自组装及微纳米结构器件)相关的模型化研究,发展相关高科技应用。国家微重力实验室的研究领域涉及微重力科学的主要方向,包括微重力流体物理(简单流体的运动、多相流和复杂流体),微重力燃烧科学(燃烧机理和空间站防火),空间材料科学(凝固过程、晶体生长和模型化研究),空间生物技术与生命科学(生物力学、细胞-分子生物学和纳米生物技术)。

10 余年来,实验室承担和完成多项国家重大项目,已完成国家载人航天工程、科学实验卫星等空间实验项目 11 项,科技部攀登计划预先项目 1 项,国家自然科学基金重点项目 4 项,中国科学院知识创新工程项目 2 项,并承担中国科学院知识创新工程和大型装备等项目 20 余项、国家自然科学基金重点和面上项目 20 余项以及其它研究项目 5 项。在国家重大需求层面,“十一·五”期间国家微重力实验室已有 5 项空间实验列入国家载人航天工程(第二期)、7 项空间实验列入实践 10 号卫星计划、2 项空间实验列入中俄合作利用国际空间站俄国舱的有人操作实验计划、3 项空间实验列入微重力火箭计划,上述空间实验的执行和成功完成孕育着一批重大的研究成果。在基础研究层面,“十一·五”期间国家微重力实验室将继续承担中国科学院知识创新工程方向性项目(第三期)和国家自然科学基金重点项目,加强微重力科学的创新研究。

在国家载人航天计划及有关国家重大项目带动下,实验室科研工作不断开拓和深化,在流体物理、燃烧、生物力学和先进诊断技术,以及与材料科学和生命科学的交叉与融合等领域开展了有特色的创新性研究工作。在流体物理方面,液体界面现象与热毛细对流的毛细对流及稳定性研究、毛细对流振荡机理研究、振荡毛细对流湍流转捩的可能途径研究,以及液滴热毛细迁移规律、气泡热毛细迁移及相互作用的研究;气液两相流动与相变换热规律研究和两层流体与蒸发对流、两层流体 Benard-Marangoni 对流的地基研究;复杂流动的分散体系稳定

性的微观诊断技术及机理、重力对聚集过程影响研究、胶体粒子的自组装过程研究;空间细胞-分子生物力学的细胞生物学过程的基本规律、实验技术及细胞聚集与粘附规律的研究;纳米生物技术的无标记蛋白芯片生物传感器研究;微重力实验技术的落塔落管技术、地面实验技术、载荷研制技术等取得重大进展及创新成果。主要研究成果多次被国际会议安排做特邀报告,胡文瑞院士应邀在第 22 届 ICTAM 大会做分会大会报告,是迄今获此殊荣的第 4 位华人科学家,我国微重力研究已在国际上占有一席之地。

空间实验方面,完成多项返回式卫星搭载空间实验:1999 年 5 月,在“实践 5 号”科学实验卫星上成功完成了我国首次微重力流体物理两层流体空间实验,在我国首次实现了空间实验的遥操作;1999 年 8 月与俄国空间局 Keldysh 研究中心合作完成了“和平号”空间站气液两相流型的空间实验,在国际上首次实现了在长期、稳定的空间微重力环境下的有人操作的同类实验研究;2002 年 12 月 30 日,国家微重力实验室自行研制的“通用流体实验装置”搭载“神舟 4 号”飞船,完成了“微重力液滴热毛细迁移实验”项目的各项空间实验任务,成功地对大雷诺数液滴热毛细迁移的非线性动力学行为进行了实验研究。第 22 颗返回式卫星搭载 4 项空间科学实验于 2005 年 8 月 29 日成功发射并回收。“实践 8 号”返回式卫星于 2006 年 9 月 9 日发射,在卫星留轨仪器舱上搭载涉及流体物理、燃烧科学、生命科学、基础物理等领域的 9 项科学实验,其中 4 项为国家微重力实验室的实验项目。国家微重力实验室空间科学实验活动从单纯搭载科学实验发展到如今具有从组织筛选空间试验项目到完成技术总体任务的综合能力。培养了一支科学与工程相结合、具备开展微重力空间实验和组织实施能力的人才队伍,使中国成为国际上具备自主空间实验能力的少数几个国家之一,在国际上产生了较大影响,极大促进了国际合作研究,提高了我国微重力科学研究的国际地位。胡文瑞院士主编的专著《Advances in Microgravity Science》和系统介绍我国系列返回式卫星空间实验成果的专刊《Microgravity Science and Technology》相继问世,进一步提升了国家微重力实验室的国际学术声誉和地位。

10 余年的努力,实验室逐渐形成科学与技术相结合、地基研究与空间设备研制相结合、不同学科互相交叉融合的研究模式,团结和凝聚了国内微重力科学研究力量,参与我国微重力科学和空间科学相关规划、指南的制订、重大项目的组织等工作。以胡文瑞院士为首席科学家的空间环境利用项目论证专家组,完成了国家空间科学发展规划有关微重力科学和生命科学部分的编写。由胡文瑞院士负责、组织专家进行空间科学战略研究,完成了由中国科学院学部国家中长期科技发展规划咨询项目“空间科学专题研究”。实验室作为中国科学院创新工程方向性项目“空间科学项目中长期发展规划”微重力科学的负责单位,组织并完成了微重力科学的《中长期发展战略规划》以及《2050 年我国空间科学发展路线图研究》等。实验室正在负责实践 10 号科学实验卫星载荷总体和科学研究总体、国家载人航天工程二期应用系统流体物理分系统的研究工作等,为国家载人航天工程和空间科学计划、为发展我国微重力科学做出了不可替代的贡献。国家微重力实验室已成为我国微重力科学研究的基地和核心实验室。在 2008 年院重点实验室评估

中,国家微重力实验室以基础局前 3 名的成绩通过院重点实验室现场评估。

鉴于实验室突出工作业绩,国家微重力实验室获 2005 年国家人事部和中国科学院联合颁发的先进集体奖。“半浮区液桥热毛细对流研究”获 1998 年度中科院自然科学二等奖,“实践五号”卫星空间流体科学实验获 2001 年度中国科学院科技进步二等奖。中国载人航天工程(飞船应用系统)获 2003 年国家科技进步奖特等奖,力学所为完成单位之一,胡文瑞院士为获奖人。2000~2008 年期间实验室已在重要学术刊物发表重要学术刊物发表论文 460 篇,出版专著(章节)13 部。

国家微重力实验室积极参与国际微重力科学活动、开展卓有成效的国际合作与交流,在国际微重力界享有很高的知名度。1993 年在北京召开了国际微重力科学学术会议,展现了我国微重力发展的初期水平。以此为标志,我国的微重力研究逐渐地与国际接轨,与国际主要微重力组织和机构有着广泛的学术联系。与比利时自由大学微重力研究中心、意大利 MARS 微重力研究中心、德国不来梅大学 ZARM 微重力中心、法国马赛大学、日本 JAXA 微重力研究机构以及俄罗斯力学问题研究所等国际著名的微重力研究机构有密切的学术交流,与各国空间局以及相关组织有深入的实质性合作。中日微重力双边会议已举办了七届,中德双边微重力国际会议已举办三届,中、法双方就共建国际联合实验室(Associated International Laboratory, LIA)已起草了合同文本、中俄已有多项航天合作项目等。实验室学术带头人受聘在多个国内外重要学术机构任职,实验室在国际上已有重要影响。

国家微重力实验室实行主任负责制。实验室学术委员会是实验室的学术咨询和评审机构。实验室日前设立流体物理、燃烧科学、材料科学、生物力学与纳米生物技术 4 个研究方向和相应 9 个课题组。国家微重力实验室建立和完善了日常运行的组织结构,制定了相应的管理条例。与中国科学院知识创新工程相适应,实验室在队伍建设方面实行按需设岗、竞争上岗的“开放、流动、联合、竞争”的运行机制,通过建立流动、竞争和保持相对稳定相结合的运行机制,以保持一支高素质的科研队伍和实验室的创新活力。经过 10 余年的建设与发展,现有固定编制人员 39 人,包括:院士 1 人、研究员 11 人,副研究员、高级工程师、高级实验师 13 人。日前有国家杰出青年基金获得者 1 人,中科院百人计划入选者 4 人,博士生导师 8 人。已培养博士 50 名,硕士 34 名,出站博士后 19 名。现在读博士生 36 名,硕士生 21 名。同时,国家微重力实验室采用固定人员和客座人员相结合的体制,吸收多方面的优秀研究力量、特别是院内相关学科的专家,在科学研究专业、专长方面与固定人员形成互补。实验室为科研人员创造良好的条件和研究氛围,为青年科研人员的成长发展提供广阔前景。

在今后相当一段时间内,国家载人航天计划和空间科学计划对微重力研究的需求越来越大。国家微重力实验室将继续以国家重大需求为目标,以积极推进微重力科学与应用研究、促进我国空间科学发展为己任,进一步加强科研、队伍和基础设施的建设,提高实验室的整体科研水平和运行管理水平,使之成为对国内外开放的、国际上一流的微重力研究中心,为国家载人航天工程和空间科学计划的顺利实施做出应有的贡献。