



## 第二届环太平洋微重力学术会议简介\*

刘秋生 胡文瑞

中科院力学所国家微重力实验室, 北京 100080

### 1 会议概况

第二届环太平洋微重力学术会议 (2nd Pan-Pacific Basin Workshop on Microgravity Sciences) 于 2001 年 5 月 1 日~4 日在美国加利福尼亚的 Pasadena 市召开. 会议由美国环太平洋大学联合会 (APRU), 中国微重力科学与应用委员会 (NSMSA) 和日本微重力应用协会 (JASMA) 共同主办. 美国航空航天局 (NASA) 积极参加和组织了本次会议, 中国科学院, 日本国家空间发展局, 加拿大空间局和俄罗斯空间局也参加了本次会议的组织工作. 本次会议共有 200 多名来自泛太平洋国家的代表参加, 其中有 125 名研究工作者做了学术报告, 其余的在学术报告展示会上做了口头交流. 我国微重力代表团一行 25 人参加了此次会议. 代表团成员主要由中国科学院力学所, 物理所, 生物物理所, 理论物理所, 半导体所, 动物所, 上海技物所, 上海硅酸盐所, 上海植生所和沈阳金属所, 以及航天部兰州物理所, 西北工业大学, 华中理工大学和台湾科学研究院等单位的专家和学者组成, 国家微重力实验室主任胡文瑞院士任代表团团长. 整齐的阵容引起了美国等与会者的关注.

该会议是多边国际微重力学术会议, 最早由中日微重力科学双边国际会议发展而来. 第一届环太平洋微重力学术会议于 1998 年 7 月 8 日~11 日在日本东京成功召开. 第三届会议将在中国举行.

此次学术会议共分 30 个分会, 涉及微重力科学的多数领域: 生物技术和生命科学, 晶体生长和凝固过程, 燃烧和化学反映, 热物理性质, 多相流和传输过程, 热毛细对流不稳定性, 胶体和团样形成, 基础物理及实验技术. 并举行了 4 次全体会议, 它们的议题是发展计划、晶体生长、生物技术、基础物理和流体, 中国代表分别做了 4 个大会报告. 此外, 还举行了简短的开幕式和闭幕式.

### 2 学术报告评价

#### 2.1 热毛细对流、多相流和化学反应流动

热毛细对流及其稳定性研究在本次微重力科学学术会议共有 15 篇论文参加了交流, 其中有中国学者的 6 篇 (包括 1 篇台湾学者文章). 报告内容主要涉及液桥浮区热毛细对流不稳定性的理论分析及实验研究, 液滴气泡热毛细迁移, 及单一液层热毛细对流不稳定性及 Marangoni 对流等. 中国学者胡文瑞和唐泽眉研究的有关大  $P_r$  数液桥热毛细对流分歧不稳定性特性的数值模拟和地面实验结果一致, 证实了半浮区液桥热毛细对流由稳态向三维振荡非稳态转换的新特征, 引起与会者的兴趣. 日本学者集中介绍了小  $P_r$  数液桥热毛细对流的实验结果, 表明近年来小  $P_r$  数熔体对流的流场及温度分布非接触测量技术日趋成熟和完善, 尤其是 Hibiya 教授 (NEC 公司) 成功采用综合技术测量硅熔体液桥表面的温度振荡与固液界面位形等特征量, 已具备空间观测非透明介质浮区对流振荡特征的基本技术. 意大利 Viviani 教授与俄罗斯专家合作研究新模型下气泡热毛细迁移现象, 分别实验观察了一侧加热的垂直注液层中和水平放置等温分别薄液层中相同气泡迁移速度. 他们为此还准备进行二次空间实验研究.

微重力燃烧分会共计有 10 篇论文. 微重力燃烧的兴趣依然是通过微重力环境来促进燃烧过程的模型化研究, 以及利用落塔实验来发现一些新的现象. 美国南加州大学研究微重力环境中的火焰球, 验证了俄国科学家泽里多维奇的理论预言. 该校对微重力环境冷火焰中温度和温度分布的实验也可与扩散火焰的理论分析相比较. 美国海军研究所研究湍流火焰中涡和弯曲火焰阵面相互作用, 获得了理论与实验定量一致的结果. 俄国连续介质力学研究所从理论上研究了无对流或弱对流时聚合物的合成, 并将该理论分析应用于

\* 此文根据中国微重力代表团访美汇报整理而成.

火星表面的材料制备。日本科学家提供了三篇论文,都是利用落塔研究燃烧现象。参加这次会议的美国燃烧界科学家较少,许多研究工作都未能反应出来。

微重力环境中的多相流是微重力流体物理的热点课题,本次会议上的两个分会讨论了多相流及复杂流体的基本物理现象和流动规律。颗粒层及复杂流体层在垂直振动场作用下的图像是非线性科学的一个有趣问题,美国 UCSD 的学者在会上作了一个综述。南加州大学的 Maxworthy 研究了不同密度和黏性的不混液层的流形,获得定向流和回流两种形态及相应的不稳定结构。会议还报告了液体泡沫扩散集聚的磁共振成像,以及用蒙特卡洛方法计算分散体系的聚集过程。这些复杂流体的聚集和稳定性问题在学术上有重要意义。微重力多相流有许多典型问题和应用背景。会议上涉及到单个气泡在电场作用下的运动,小尺度气/液两相流的实验研究,弯曲管道中的两相流实验,液体中小颗粒的激光-光脉迁移,以及气/液界面上对气泡表面张力和气、液、固界面接触角的控制。总的来讲,美国的研究工作比较深入。

## 2.2 晶体生长及热物理性质

本次会议论文材料科学有 38 篇,7 次分会,其中地基研究 24 篇(63%),空间研究 8 篇(21%),空间和地面对比研究 6 篇(16%)。这个数据明确地显示了地基研究的重要性,只有加强地基研究,才能显示空间研究的方向和规律性。38 篇文章的国家分布如下:美国 10 篇(26%);俄国 10 篇(26%),日本 11 篇(29%);中国 7 篇(19%)。反映了我国的文章篇数尚占下风,但我国科学家的总数仍有一定的优势。

低频振动是影响晶体生长的第 7 要素。这次只有俄罗斯科学家报告了振动对晶体生长的影响,主要介绍了:(1) 振动能控制能量分布和提高晶体完整性;(2) 振动能减低 Marangoni (及热毛细) 对流的作用(热能)和质量(溶质浓度)边界层厚度;(3) 在实验(主要是 Bridgman 和 Czochralski 两种技术)和数值模拟两方面进行了研究。这个新研究热点应该引起我们的注意。无容器固化技术是加深固化现象及探索新相的关键技术。本会议介绍了对  $\text{BiFeO}_3$  相, Zr 相, Cu-Ge, Pb-Bi 和 Co-Cu 合金的研究进展,并提出微重力条件对相的均匀微结构的形成有很大促进作用。

这次会议有关实验技术的文章比例不大,总共只有 21 篇,有 1/3 左右是与材料科学相关的。中国代表团发表了 6 篇文章,占文章总数的 1/4 以上。美国 JPL 和加州理工学院的 Rhim 介绍了利用静电悬浮方法测量溶化材料热物理性质方面的进展,说明了利用静电悬浮技术与同步辐射光线的结合,可能用于研究材料的液态和结构。液态物质结构的研究,是当前凝聚态物理和软物质研究的热点之一。美国 Brown 大学的 J.M. Valles, Jr. 介绍了利用磁场梯度悬浮的概念。对于顺磁性样品,可在地面模拟低重力和可变重力的环境,用于研究包括生物样品在内的有机材料的重力效应。由于国际空间站的组装阶段取得的进展,涉及

国际空间站相关的实验技术开始增多。NASA(日本宇宙事业开发团)报告了国际空间站成像处理单元的相关情况,即解决将国际空间站上实验取得的图像信息,存储处理和下传的有关问题。日本东京技术学院的 Miyazaki 介绍了日本利用国际空间站和舱外平台,从今年 7 月开始三年内进行对五种陶瓷材料的舱外曝光和老化实验,检查空间环境如原子氧、紫外、辐射和温度循环对材料性能的影响。

关于热物理性质的学术报告共 7 篇,其中有特色的研究结果包括:在航天飞机和和平号空间站上应用空间液体扩散炉装置,进行了长毛细液体扩散实验;使用特殊的辐射示踪器,发展了一种测量液体扩散系数的技术,测量了 In 熔体的自扩散系数。发现用该技术可获得较高的测量精度;在抛物线飞机上用相移干涉技术,测量了 NaCl 水溶液中重力对于瞬态扩散场的影响,实验表明当  $g$  发生变化时溶液中可发生再聚集过程;研究了三种稀土氧化物材料的液-液相变,发现对于  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ,  $\text{Er}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ,  $\text{LaAl}_5\text{O}_{12}$ , 可以在低于熔点  $500^\circ\text{C}$  条件下,形成玻璃态并拉成玻璃纤维。

总之,本次会议表明空间材料研究的主要目的:

- (1) 在空间微重力条件下可以更正确地解晶体生长过程,从而对各种生长因素的作用能透彻分析和了解。
- (2) 在了解晶体生长过程中,能得到一些新的概念,能更好地指导地面晶体生长(包括生长条件和方法)。

## 2.3 生物技术

这次会议上的生物技术(7 次分会)基本上局限于细胞科学和蛋白质晶体生长。而这两项内容正是 NASA 所着重考虑的研究内容。在所反映的蛋白质晶体生长研究内容中,除了一项由南美哥斯达利加的科学家强调的空间蛋白质晶体生长对药物设计的重要性外(南美有一种导致上千万人生病的害虫,目前正在研究支持这种害虫生命的酶的结构,以期设计出抑制其活性的药物,进而产生控制疾病的方法),大都涉及研究方法和技术,例如,外加磁场的方法,减小自然对流的方法(日本 REST 和 NASA 在进行研究)和对晶体质量的探测方法技术(NASA-MSFC 支持的研究)。

在细胞科学研究方面,美国图兰大学研究人员报告了 STS-106 飞行实验结果,阐述了机械培养条件对 Renal 细胞基因表达的影响。美国 Duke 大学医学研究中心人员报导了利用美 NASA 设计的旋转式细胞培养系统研究微重力对肌肉细胞繁殖发育的影响。NASA 发展的低速旋转侧壁密器(Slow-turning lateral wall vessels)技术,能用于多种细胞三维生长,因而能获得越来越多新的知识。另一项研究是用昆虫细胞培养进行的某种蛋白质分布及光谱学研究,结果表明随着新发现的产生,也引入了生物光子(biophotonic)成像新技术对细胞内蛋白质交换和相互作用的研究。

从会议的大部分重要报告可以看出,由于新的研究方法和技术的出现或引入,相关研究内容在不断扩大和深化,并着重在后者.我们应重视方法和技术的研究及其投入,以便能真正做到知识创新.个别报告还涉及纳米生物技术内容.另外,从开幕式上介绍的各国微重力科学发展计划可以看出,相比而言,国外(特别是美国和日本)都有长期的和较落实的研究计划.其原因和特点是受到长期较稳定的经费支持.二是能紧密与其他相关学科发展或社会需求相结合,例如与目前兴起的生物医学等研究相配合.这样才能具有更强的生命力.

#### 2.4 实验技术

此次会议有两次实验技术分会,主要涉及实验装置的模块化设计、标准化设计、空间科学试验及装置的商业化运作、遥科学技术与自动化技术的有机结合及图像信息获取与处理技术等.虽然不同的空间试验需要不同的硬件设计,但通过模块化设计可以使不同的硬件模块具备单一的,可以完成特殊试验需求的功能模块.国际商业公司积极参与空间科学试验及装置的设计和制造,并为科学研究部门提供空间飞行的机会,从中创造新的商业机遇.对硬件进行优化设计,充分考虑机器人操作和遥控遥测的可行性,使实验装置的自主运行为主,并可进行遥操作,使空间实验受地面干预的可能性及实施性得到增强.图像信息由二维发展,并已开始应用于晶体生长中观测微粒的三维运动.显微立体图像获取技术也正在开展.我国应在国内已开展的空间微重力实验技术现有的基础上,优

化设计实验结构及装置,减少重复投入,提高产出效率,并探讨进行商业运作的可能性以扩大响应.

#### 2.5 基础物理

基础物理分会的口头报告分7个单元,共计34个报告,所涉及的研究方向分别是:低温非平衡态、低温现象、低温微重力物理相关课题、低温和引力物理、引力与相对论物理、原子物理相关课题、激光冷却及其他课题.显然,低温环境下的基础物理研究工作占了极大的比重,由于低温条件下的信噪比远高于常温情况,这类研究工作的特点就是精度较高.在这方面,我国几乎放弃了低温环境,这是值得领导关注的问题.会议代表对基础物理研究报告表示出了很大的兴趣,7个单元的报告会每次都坐满了听众并进行了热烈的讨论.会议组织者将我们的三位代表分别安排为前三次分会的主席.

### 3 会间交流

会议期间,中、美、日三国代表对本届学术会议交换了意见,并对下届会议进行了讨论.三方同意继续将环太平洋微重力学术会议进行下去,并决定第三届会议将在中国举行.美国空间局代表表示,它们将支持空间局项目的责任科学家(PI)届时到中国参加第三届会议.

会议前后中国代表团还分4个学科组分别对美国的15余所大学和非政府单位进行了学术访问和较深入的学术交流,取得了较好的结果.

## 高超声速吸气式发动机的研究进展与发展趋势

张新宇

中国科学院力学研究所高温气体动力学开放实验室,北京 100080

### 1 前言

高超声速吸气式推进技术是发展新一代低成本、高性能天地往返运输系统的关键技术,具有强烈的航空航天和军事应用背景,因此它是当前国际上航空航天大国竞相投入巨资开展研究工作的重点之一,其核心是超燃冲压发动机.今年6月初美国NASA试飞的X-43A样机基本上可以代表目前国际上发展此项技术的最前沿.虽然由于搭载火箭的失败,没有获得有效的实验数据,但这次试飞说明大量的关键性技术问题已经解决,已由地面实验转移到飞行实验阶段.

我国在这方面的研究工作起步较晚,1999年才正式开始论证如何发展我国的高超声速技术.经过两年的分析与考察,研究工作已比较系统性地提到日程上来.

### 2 当前的研究动态

2001年4月22日~27日在日本京都市召开了第10届国际空天飞机与高超声速系统及技术会议(10th International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference).作者在国家自然科学基金委的资助下参加了这次会议.会议是由美国宇航学会(AIAA)与日本国家航空技术研究所(NAL)、日本宇宙开发事业团(NASDA)、日本宇宙研究所(ISAS)联合主办的.会议的目的是提供一个讨论、交流高超声速技术及相关领域研究成果的场所,使研究人员了解高超声速技术在不同层次上的最新进展情况.这次会议把吸气式推进与材料设为两个重点方向.

这次会议共有9个大会报告,具体内容如下: