维普资讯 http://www.cqvip.com

179-184

国家微重力实验室介绍*

田 兰 桥

（中国科学院力学研究所国家微重力实验室，北京 100080）

V524

摘 要 微重力科学是当前空间科学的前沿领域，主要研究微重力环境下的流体物理、物理化学、材料科学及生物科学和技术．微重力科学的发展将促进自然科学某些领域取得突破性的进展，并为空间技术的商业化应用奠定一定的基础．为了适应我国航天事业发展，由国防科工委和中国科学院共同投资建立了国家微重力实验室，这是国家高技术研究发展计划航天领域专家委员会的一个重大的应用基础性建设项目．文章简要介绍了国家微重力实验室的研究方向、组织结构和有关实验室的情况．

关键词 国家微重力实验室，研究方向，实验室及实验设备 空间科学

1 前言

我国的微重力科学研究起始于80年代后期，经过近10年的努力已经有了一个良好的开端并取得了一定的研究成果．以中国科学院为主已经有了30多个研究室，组成了微重力科学不同学科领域的研究集体，所研究的课题涉及到微重力科学的主要领域．如：中国科学院物理研究所的空间材料科学研究、力学研究所的微重力流体物理研究、工程热物理研究所的微重力燃烧研究、半导体研究所的空间砷化镓单晶生长实验研究、生物物理研究所的空间蛋白质晶体生长研究、动物研究所的空间细胞培养实验研究、上海植物生理研究所的重力生物学研究等．其他部委也开展了研究工作．特别是我国航天技术的发展，为微重力科学研究奠定了良好的基础，也为国家微重力实验室的建立创造了有利的条件．所以国家微重力实验室是适应我国航天事业发展的需要而建立的，是国家高技术研究发展计划航天领域专家委员会的一个重大的应用基础性建设项目．国家微重力实验室是由国防科工委和中国科学院共同投资、由中国科学院力学研究所承建的微重力研究中心．可以说国家微重力实验室的建立也将为我国微重力科学的进一步发展提供更加有利的条件．

2 国家微重力实验室的组织结构

国家微重力实验室主要由两部分组成，即研究中心和技术支持系统．

2.1 研究中心

国家微重力实验室将以应用基础研究为主，同时开展应用研究和相关的基础研究．国家微重力实验室主要研究在微重力环境下的流体科学、材料科学和生物科学的交叉学科问题，研究有应用背景的流体物理和物理化学问题，探讨微重力环境中材料科学和生物科学的现象，以了解物质的运动规律和改进地面及空间的材料制备．同时将开展数值模拟和地面实验模拟研究，发展空间材料加工的原理和方法，进行空间微重力实验的准备，参加和承担空间微重力科学实验，推广空间实验成果．

2.2 技术支持系统

国家微重力实验室建有性能先进的研究型自由落体设施，其中包括落塔和落管两部分，这是进行材料科学和微重力流体科学等研究必不可少的设备；科学实验的发展要求不断提高实验的定量化水平，实验中不但要有先进的学术思想，而且还要求实验仪器设备的精度高以及对实验过程的实时监测，因此发展先进的测试

* 1997-10-8收到初稿，1997-10-28修回

维普资讯 http://www.cqvip.com

及诊断技术对提高微重力实验水平是十分重要的.为此,国家微重力实验室在技术支持系统建有光学诊断与测试技术实验室和流体物理实验的遥科学实验室演示系统.这些实验室紧密地结合科学研究的前沿和空间实验任务,充分利用现代的光电、信息、遥感及计算机技术,建立、发展和完善先进的地基和空间测试诊断技术、实验数据、图像的自动采集和远距离传输系统.这是进行实验研究的技术及条件保证.

国家微重力实验室第一届学术委员会主任是林兰英院士,副主任是章综院士和梁栋材院士;第一任实验室主任是胡文瑞院士,副主任是王文魁研究员.诸多知名专家学者和在微重力及相关学科有造诣的科技研究人员,组成了国家微重力实验室强有力的领导班子和研究力量.

3 国家微重力实验室主要实验设备及实验室简介

国家微重力实验室已开始自行研制包括自由落体设施在内的16项实验系统及实验设备,并引进国外设备41台套,这些实验系统及设备与引进的仪器设备相配套,构成国家微重力实验室完整的、先进的实验研究系统.这些实验系统是开展微重力科学研究的技术和条件保证.

3.1 两相流实验室

两相流实验室主要研究气体/液体,液体/液体,液体/固体间的相互作用及运动,特别是与表面张力、界面张力不均匀相关联的运动,如气泡/液滴的迁移、分裂、凝聚,两相介质的掺混、转变、分层等.由于在微重力下两相流的过程十分重要,而人们对其规律认识较少,所以两相流动力学的研究正成为微重力物理的重点课题,并越来越受到重视.

国家微重力实验室有多年进行液滴迁移实验及两相流水槽实验的基础,在此基础上将进一步发展液滴迁移实验台和气泡迁移实验台,并已开始进行中性悬浮(液/液)两相流实验台的研制.通过实时观测,对其流态、相分布、压降特性、传热传质特性及相变特性有所了解,以模拟微重力过程,进行界面张力影响的研究.

目前实验室的设备有黏度测量仪、界面张力测量仪、纹影、Machzehnder干涉系统、数据采集及反演系统.

3.2 流体动力学实验室

本实验室主要从事重力、表面及界面张力梯度驱动的热质对流、扩散及毛细流动的研究.因为在微重力环境下进行非重力驱动对流现象的研究,有可能了解正常情况下被重力所湮没的许多流体现象.

国家微重力实验室将以空间材料和生物过程的研究为背景,结合流体动力学实验台的建设开展有关的流体物理基本规律的研究.目前的重点是研究与表面和界面过程相关的典型系统的力学行为,如Benard对流、Marangoni对流、相变的输运过程、界面行为、重力跳动及声悬浮液滴等.

实验室主要的仪器设备有:Benard对流实验装置、Marangoni迁移实验装置、激光全息干涉系统、粒子成像测速(PIV)系统、多路温度测控系统、压力测量及压力补偿系统、一维及二维激光多普勒测速仪以及与以上仪器相配的图像及数据实时采集、处理系统.

3.3 燃烧实验室

微重力燃烧是微重力科学与应用的一个重要组成部分.因为在微重力状态下由重力引起的浮力对流及沉降现象基本消失,在燃烧过程中起主要作用的传热、传质机制在微重力状态下也发生了很大的变化.

目前国际上进行的微重力燃烧研究几乎涉及到燃烧学的所有课题.鉴于我国的具体情况,我们的研究主要集中在以下两个方面:研究非金属材料在微重力条件下着火的基本规律和着火的先期征兆;利用微重力条件下由浮力对流引起的大尺度、低频火焰峰面不稳定现象消失的条件来研究预混层流火焰结构、火焰传播等课题.

实验室建成后可进行气体、液体、固体燃料的微重力燃烧实验,如火焰结构、火焰传播、着

维普资讯 http://www.cqvip.com

火极限、燃烧不稳定性、闷烧和粉尘爆燃等燃烧过程的落塔实验研究.

本实验室的设备主要有:稳压储罐、高压燃料容器、减压和稳压设备、可更换的实验段、火焰稳定器、高能点火器等.

3.4 分散体系实验室

分散体系是一种物质或几种物质分散在另一种物质中的体系.由于分散相物质的颗粒度非常小,因此长期以来重力的影响未被重视.特别是重力的影响不易消除,很难对它进行专门的研究.但现代科学的发展已经证实,很小的作用量可能导致一个系统在动力学行为上的较大的影响.航天技术的发展也促使人们开展在微重力条件下对分散体系的研究.

实验室将通过固相微粒分散在液态介质中的体系,采用密度匹配的方法,尽可能多地抵消重力的影响,研究微重力对分散体系聚集过程的影响.结合本课题开展聚集动力学实验台的研制.

目前已引进的仪器有:激光散射仪,可以完成对分散体系粒度的快速、无接触的高精度测量;重力离心式 X 射线粒度仪,可测量尺度为 0.01—100μm 粒子的积分、微分分布以及沉降曲线;还有 ZETA 电位仪、差分折射率仪等.

3.5 半导体材料空间生长模拟实验系统

已有的研究表明,微重力条件对半导体材料质量的重大改变有很大的影响,特别是由于半导体材料的重大的工业应用价值,因此半导体单晶生长一直是空间材料研究的重点之一.但是由于半导体单晶生长需要较长的时间,因此寻找一种在地面模拟微重力条件的生长环境是十分必要的,目前世界许多国家都在开展这方面的研究.

实验室的研究主要方面是:

(1)建立磁场中生长化合物半导体单晶系统:利用磁场对半导体熔体产生洛伦兹力的作用,通过将熔体的对流模式由不定常的热对流改变成定常的层流模式,从而减少熔体内的温度变化,达到减少晶体生长条纹,改善单晶的品质.

(2)建立化合物半导体液相外延生长系统:高质量的半导体外延薄膜材料的研究及制备是近年来国际微重力界的一个重要的研究课题.地面模拟微重力环境下生长液相外延半导体材料,可通过改变生长容器的尺寸来改变其中的流动模式,或通过改变生长界面与重力场的方向来实现对流模式的改变,以此来开展液相外延薄膜材料的研究及制备.

本实验室的主要设备有:直流磁场直拉单晶炉、液相外延生长装置及相关的辅助设备.

3.6 气相外延生长系统

高质量的半导体外延薄膜材料是目前半导体材料及器件研究的热点,空间生长的半导体外延薄膜材料的均匀性和完整性均优于地面对照材料.因此开展地面模拟微重力环境下半导体气相外延薄膜材料的研究受到了加倍重视.

国家微重力实验室通过采用局部冷却技术,配合多绕组加热炉,来获得生长区所需要的陡峭的温度梯度,以开展研究工作.这种从微重力的角度来研究闭管气相外延生长系统的方法尚未见报道.

结合以上的研究工作,实验室已开始研制气相外延生长炉,并将建立生长安瓿制备台.

3.7 透明晶体生长和原位实时观察实验室

由于微重力环境避免了地面重力场引起的许多耦合效应,可能实现纯扩散的晶体生长过程,因而为研究晶体生长相变机理开创了新途径.为了探索重力对晶体生长过程的影响,对其过程进行原位实时观察是十分必要的.晶体生长过程原位实时观察也是当今学科发展的方向.目前国际上已采用的技术有全息干涉术、电子散斑干涉术、相移位错干涉术和 Mach - Zehnder 干涉术等.

实验室将建立晶体生长过程实时原位观察系统,即通过光学的方法测量晶体生长速率、生长形态及固/液生长界面;诊断溶液或熔体的流场、浓度场和温度场及其对晶体生长的影响;研究不同扩散 - 对流耦合强度下的晶体生长现象和规律,从而优选空间生长晶体的最佳条件.

该实验室的设备有:原料合成和提纯设备、

维普资讯 http://www.cqvip.com

结晶系统筛选设备、高精度控温仪、超纯水离子交换自动水处理系统及图像采集和处理系统等.

3.8 金属合金的成核过冷研究系统

金属合金的凝固组织形态是影响金属合金的强度性能和使用寿命的主要因素,金属的凝固取决于成核和长大,而这两者均直接或间接地受重力的影响.成核过冷研究是当前微重力材料科学的重要研究内容.在微重力条件下流体的静压力消失,金属熔体只受表面张力的影响,可以达到深过冷度,从而可给出纯扩散下的形核机理.

实验室正在研制一台超高真空的合金熔炼炉与净化设备,用于地基金属合金的成核与过冷研究.由于在地面实验条件下,无容器处理消除了非均匀形核的主要发源地——容器壁,这样在成核前就可以达到较大的过冷度,这套系统可以创造均匀的形核环境,使用探针触发成核,研究不同过冷度与凝固组织形态的关系,及其对合金性能的影响.

3.9 非透明介质模拟实验系统

许多实用材料(如金属、半导体等)对可见光是非透明的,由于这些材料凝固的形态与组分分布受熔体固液界面的传热传质过程的影响,常规的方法是待材料冷却后再解剖分析,推演材料在高温时可能发生的过程.显然这种方法不仅有局限性,也有许多非确定的因素.此外,不同的凝固速度可以制备定向凝固合金、非晶、纳米晶等不同材料,这些在理论、实验及应用上都有重要的意义.因此非透明材料的固化过程的研究一直是微重力材料科学研究的一项主要内容.研究微重力的影响,其目的是建立接近纯扩散的凝固过程,以揭示固/液转变的动力学的物理本质,完善现有的凝固理论.

实验室将采用 X 射线原位动态观测的方法,特别是通过对固/液界面迁移速度的测量、凝固过程界面位置和速度变化的测量及监测以及对样品成分的分析等开展研究工作.

为此实验室将建立如下设备:电阻加热凝固实验炉、镜式加热炉、X 射线装置以及有关的光学及电学再辉检测装置.

3.10 蛋白质晶体生长实验室

研究蛋白质晶体生长对于微重力科学和生命科学都具有重要的意义.蛋白质晶体生长是一种非平衡态过程,同样涉及到传热、传质和固/液界面的物质交换,其动量和质量的输运是非均匀且各向异性的,是通过宏观对流和细观扩散实现的.因此,重力是影响这一过程的重要因素.研究微重力对以上各个环节的影响,对揭示蛋白质晶体生长的机理具有重要意义.

本实验室将通过光学干涉及原子力显微镜等实时观测方法主要研究蛋白质晶体生长的机理.

3.11 空间细胞生长和组织培养地基模拟实验系统

空间细胞生长和组织地基培养是当前生物科学技术研究的一个热点.地基模拟实验的目的是:认识微重力环境对细胞生长的影响,提供分析依据.掌握三维培养的规律.后者对组织工程和医学的发展有重要的意义.开展空间细胞生长研究,主要是研究重力对细胞生长的影响,以区分微重力的直接和间接作用.

实验室将建立的设备有:细胞生长低重力效应实验台、空间细胞高密度培养地基模拟实验台、动态细胞培养流体动力效应实验台.

3.12 连续流式电泳电流体力学实验台

生物制品分离是空间微重力资源开发利用的一个重要方面,连续流电泳是其主要的方法.80 年代以来,美国和欧洲一些国家已进行了多次飞行实验,取得了成绩,也揭示了问题,实验往往由于意外事故而失败,原因是对微重力下电泳分离过程的定量规律缺乏认识.

实验室将在流动相似条件下进行地基模拟,通过对分离样品分析和对分离过程电泳电场进行实时观测等方法进行研究,认识规律,从而为空间实验装置的设计、运行和样品筛选提供依据.

实验室的设备有:电泳流槽、电极室及双恒流驱动控制系统等.

3.13 光学诊断与测试技术实验室

建立先进的光学诊断与测试系统是国家微

维普资讯 http://www.cqvip.com

重力实验室建设的一项主要内容之一，通过紧密地结合科学实验研究的前沿和空间实验，研制和发展先进的地基和空间实验的诊断测试方法，特别是实现实验过程的实时在线诊断测量是现代科学实验手段的发展方向，这也是国家微重力实验室建立的光学诊断与测试技术系统区别于常规测量系统的特点，它将以发展非接触和全场诊断技术为主导，强调细观物理现象的观察和分析.

本实验室将建立光电子全息干涉计量系统、细观诊断及显示系统、非接触测温——CARS 系统、流场诊断系统、流场显示图像数据处理系统.

3.14 流体物理实验的遥科学实验室演示系统

在许多微重力实验中，研究人员无法在现场进行操作，因此，建立高效的大容量的现代通信网络，实现图像的实时高质量的传输、显示和遥测数据、遥控指令的实时高速传输与响应是发展遥科学的首要任务.

中国科学院力学研究所国家微重力实验室有从事遥科学研究的基础. 他们在 1993 年完成了半浮区液桥振荡对流微重力实验测控系统的研制，它可以同时记录 16 路数据和 12 路图像，控制 4 套温控器和 8 台步进马达，可实时显示实验的数据和图像，并实时控制实验进程，改变实验参数和工况. 在 1995 年，又建立了微重力流体实验控制台. 在此基础上将建立流体物理实验的遥科学实验室演示系统.

3.15 自由落体设施

自由落体设施是进行微重力科学与应用研究的重要设备，可进行微重力燃烧、流体物理、材料科学和载人航天飞行器防火等学科的研究. 自由落体设施是国家微重力实验室的主要的公用设备之一，它主要由落塔和落管两部分组成.

3.15.1 落塔设施

落塔的技术参数为：塔体总高 100m，塔体内径 11m，微重力时间 3.5s(二期将达到 7s)，微重力水平为 10^{-5}g(二期为 10^{-6}g)，实验仓为双仓，内外仓间真空度为 1Pa(二期为单仓)，实验载荷质量为双仓 200kg，单仓 150kg，回收减速过载 <10g，每日可实验次数为 2—4 次.

此外，落塔实验的监测与控制系统是十分重要的. 本系统采用实验数据和图像的实时记录与显示的方法向用户提供遥测遥控的技术服务. 落塔实验可向用户提供 1 路图像、16 路模拟量和 8 路数值量的实时记录以及 8 路开关的命令通道.

3.15.2 落管设施

落管的参数为：落管总高 52m，自由坠落高度 45m，内径 200mm. 与落管相配套的设备有电阻加热炉、电磁悬浮炉、电子束轰击炉等.

3.16 微重力数据库系统

Internet 因其信息量大、交流速度快、分布范围广等而日益成为交流信息的不可缺少的工具. 国家微重力实验室已通过国家教育科研网接入 Internet，无疑它将为国际范围的学术交流及研究提供极大的方便. 本实验室将建立自己的信息发布站点、局域网、与 Internet 间的交换及访问信息数据库的接口. 逐步建立起国家微重力信息数据中心，既为内部学术交流提供了方便，也使及时进行国际学术交流成为可能.

4 国家微重力实验室的建设进展及展望

目前国家微重力实验室正在建设中，实验室边建设边开展研究工作，已经取得了一批可喜的研究成果.

国家微重力实验室进入正式运行阶段后，将以完成国家高技术航天领域的有关课题为主，积极承担国家重大、重点课题，如利用落塔进行空间飞行器的防火研究，结合我国的空间应用情况，进行地面研究及短时微重力研究. 在大量的基研究的基础上，从课题的学术先进性，实验方法和诊断技术的现代化，以及空间实验的准备等方面使我国微重力研究有一个很大的发展. 通过深入的应用基础研究，将优选出一批定量化水平高的微重力空间实验项目. 同时经过筛选将允许一些有发展前途的自选课题的研

维普资讯 http://www.cqvip.com

究.期望经过不太长时间的努力使我国微重力科学在流体物理、燃烧、晶体生长、凝固过程及生物技术等方面的某些研究达到或接近国际先进水平.

经过一段时间的发展后,实验室将在早期工作的基础上努力开拓微重力研究的深度和广度,使之能覆盖微重力研究的主要方面,在学术上较全面地跟踪国际先进水平,加强基本规律的研究,安排几项有份量的微重力实验,争取有一些重大的课题达到国际先进水平.在这一阶段,国家微重力实验室将积极组织和参与我国的空间利用任务,争取在地面研究和空间实验两个方面取得一批重要的学术成果.

国家微重力实验室建成以后将充分利用实验室多学科的特点和优势,积极开展学科间的交流及学科间的交叉研究,将微重力科学和微重力应用这不可分割的两部分有机地结合起来,在加强基础研究和应用基础研究的同时,注意开展有应用背景的课题的研究.

国家微重力实验室将向国内、外开放.除固定科技人员外,还设有客座研究及青年访问学者工作站,欢迎微重力学术界的专家、学者、年轻的科技工作者来实验室工作.国家微重力实验室将努力创造一个良好的研究工作环境,使每一个在此工作的同志都能充分的发挥自己的聪明才智,安心地进行研究工作.

国家微重力实验室将在已有的基础上更加广泛地开展国际间的合作及交流.希望通过全体科技工作者的努力,将国家微重力实验室建成国际一流的微重力研究中心!

(12) 184-188

J.J.汤姆孙及其对科学的贡献*

王较过　东延民　季淑莉
(陕西师范大学物理系,西安　710062)

04-09

摘　要　介绍了J.J.汤姆孙的科学生涯,探讨了汤姆孙对物理学的贡献,其中包括提出电磁质量、发现电子、进行原子结构的现代理论和极隧射线的研究等.最后,论述了汤姆孙在组织科学研究和培养科学人才方面取得的成就.

关键词　电磁质量,电子,原子结构,极隧射线　物理学史

约翰·约瑟夫·汤姆孙(Jhon Joseph Thomson 1856—1940)是英国著名物理学家、电子的发现者.汤姆孙不仅是一位杰出的科学家,而且是一位卓越的科学研究组织者和领导者,还是一位伟大的教师和科学教育家.他一生取得了举世瞩目的科学成就,同时也培养了一批优秀科学人才,为科学的发展作出了重大贡献.本文就汤姆孙一生的科学活动及其对科学发展所作的贡献予以介绍.

1　汤姆孙的科学生涯

汤姆孙1856年12月18日出生于英国曼彻斯特郊区的契特海姆山村,他的父亲是一位图书商.汤姆孙14岁时,就进入曼彻斯特的欧文斯学院即现在曼彻斯特大学学习.当时的欧文斯学院不但拥有一批优秀的科学人才,而且与同时代的其他大学相比,开设了一些实验物理学方面的课程.这就使汤姆孙在此不仅接触到了物理学,而且做了一些物理实验.汤姆孙的父亲希望他的儿子成为一名工程师,让汤姆孙在欧文斯学院学习工程.汤姆孙在学习期间,其父不幸去世.之后,家庭没有能力负担他的经济费用,依靠奖学金的支持,汤姆孙在欧文斯学院

* 1997-8-18收到初稿,1997-10-16修回