



## 我国空间站的科学与应用任务\*

文 / 高铭 赵光恒 顾逸东

中国科学院空间应用工程与技术中心 北京 100094



中国科学院

**【摘要】**我国载人航天工程已经进入空间站阶段。文章介绍了近期将发射的“天宫”2号空间实验室和“天舟”1号货运飞船上的空间科学与应用项目,以及我国空间站空间科学与应用领域及主要方向,概述了这些研究方向的重要性及重点,介绍了空间站开展空间科学与应用的研究设施、科学实验平台和天地支持系统。文章强调,空间站工程是我国推动空间科学及应用发展、实现突破的历史机遇,需要精心组织,集中力量做好实施工作,并大力开展国际合作。

**【关键词】**空间站,研究领域,科学与应用项目,研究设施,科学实验平台

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2015.06.002

我国载人航天工程已进入空间站阶段。这一阶段包括“天宫”2号空间实验室和空间站的建造运营。2016年将发射“天宫”2号(TG-2),发射“神舟”11号飞船与之对接,接纳航天员乘员组较长时间的在轨驻留,并与新研制的货运飞船“天舟”1号(TZ-1)对接。之后,将于2018—2022年间陆续发射空间站的核心舱和两个实验舱,对接成三舱段空间站组合体,并发射一个同轨飞行的光学舱,完成空间站建造。在空间站建造期和至少10年在轨寿命期,将发射多艘“神舟”飞船和“天舟”飞船与空间站对接,运输人员和物资,开展长期运营。

空间站作为有人参与的大型长寿命空间研究设施,将开展大规模应用。空间站具有较充分的研究实验资源(载荷重量、电源供应、上下行信息传输),具备航天员参与、天地往返运输等有利条件,可以开展领域广泛和系列化的空间科学研究、具有特色的空间应用和技术试验,是推动我国空间科学与应用跨越发展的历史性机遇。

### 1 空间实验室的科学与应用项目

该空间实验室上安排了一批体现科学前沿和战略高技术发展方向的科学与应用任务,包括在空间开展基础物理、天体物理、微重力流体物理、生命科学研究,以及在全球变化相关的地球科学观测研究和应用等项目(表1,附后)。

\* 修改稿收到日期:2015年10月20日

## 1.1 基础物理

(1)空间冷原子钟实验。开展冷原子物理基础研究,并为未来发展和应用奠定基础。该实验用激光俘获并冷却铷原子至温度低于 $\mu\text{K}$ 量级,并调控冷原子团进入微波腔,在微波腔首尾进行两次作用,形成Ramsey干涉条纹(图1)。由于空间微重力下原子团没有自由下落过程,与微波相互作用时间大大延长,可获得比地面高2—3个数量级的频率稳定度。目前实现的冷却原子数大于 $10^6$ 个;预计空间Ramsey线宽约0.1—0.2 Hz,空间实验的频率稳定度有望达 $10^{-16}$ 量级,将成为国际上首次空间冷原子钟实验。

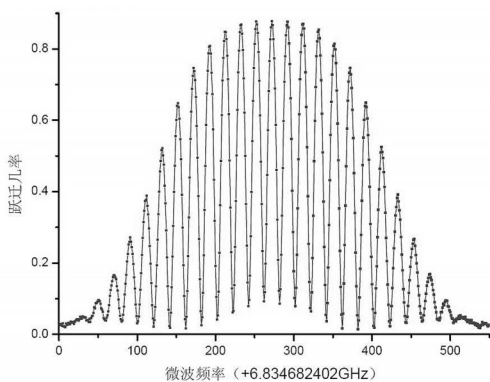


图1 冷原子钟地面实验得到的Ramsey曲线

(2)空-地量子密钥分配与激光通信试验。开展量子科学基础研究,验证空-地超远距离的量子密钥分配(图2)。实验采用Decoy方法,即对光量

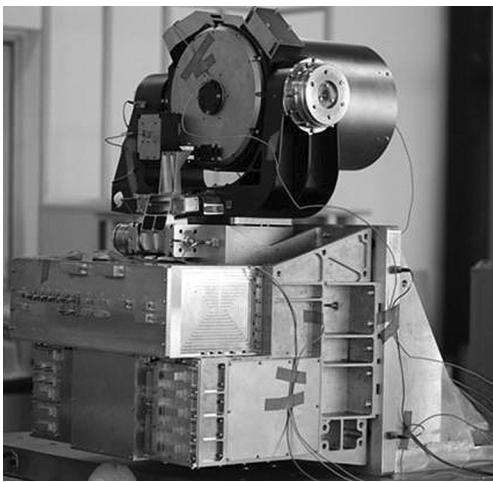


图2 空地量子密钥实验装置

子进行偏振态调制生成密钥,进行空对地传输、地面接收并解调提取信息。该方法经理论证明用于密钥分配是不可破译的。除量子物理单元外,需要解决天地双向高精度动态跟瞄等关键技术,建立自由空间量子通信信道。空间ATP动态跟瞄精度优于 $10\ \mu\text{rad}$ ,有效密钥速率约3 Kbps,同时开展空地激光通信实验,码速率为1.6 Gbps。

(3)静电加速度计和主动减振试验。其最终目的是在微米尺度作用程寻找额外维理论预言的牛顿反平方律的可能偏离,研究大统一理论的“等级问题”(图3)。由于测量精度要求极高,实验采用相似技术的高精度静电加速度计,发展和验证测量技术。静电加速度计分辨率: $10^{-11}\text{g/Hz}^{1/2}$ 量级。为减小飞行器上各种振动源的干扰,同时发展了电磁悬浮主动减振装置,同步开展试验。

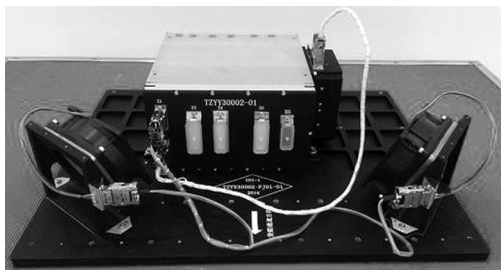


图3 静电加速度计和主动减振装置

## 1.2 空间天文——伽玛暴偏振探测(POLAR)

宇宙 $\gamma$ 射线的偏振信息对研究辐射源性质和辐射机制有重要作用,但难以测量。中科院高能物理所与瑞士日内瓦大学合作,采用新的偏振测量原理,即通过 $\gamma$ 光子康普顿散射产生的反冲电子径迹方向来反演 $\gamma$ 射线的入射角和偏振度(图4)。探测能量范围50 keV—500 keV,最小偏振分辨率优于10%,将对宇宙 $\gamma$ 暴和太阳耀斑高能辐射进行高灵敏度偏振观测。该实验可望开辟 $\gamma$ 射线天文探测的新窗口。

## 1.3 微重力流体物理和空间材料科学

(1)液桥热毛细对流研究。研究在微重力环境下,不同形状比(高径比范围0.4—1.05)和体积比(0.5—1.05)的大Prandtl数液桥热毛细对流的

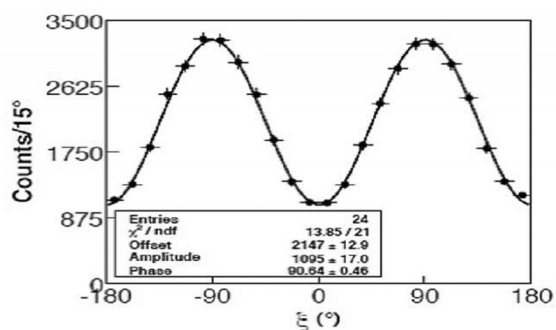


图4 用100%偏振度的200 keV硬X射线束流定标得到的探测器调制曲线

不稳定性,包括转捩、二次转捩和温度振荡等。液桥实验模型来自地面采用的单晶拉制技术。通过数值模拟、空间与地面实验对比,期望搞清机理,并有助于改进地面生产(图5)。实验采用的液桥直径为20 mm,实验装置具有注液建桥、控制形状比和体积比、温度和形貌测量以及断桥再建等功能。

(2)综合材料空间生长研究。发展了新型双温区电阻加热多工位炉,样品尺寸 $\varnothing 16\text{ mm} \times 260\text{ mm}$ ,每批6个,共3批,温度范围 $500^{\circ}\text{C}—950^{\circ}\text{C}$ ,温度梯度 $6^{\circ}\text{C}/\text{cm}—45^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ ,温度稳定度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ,材料样品移动速度每小时 $0.5\text{ mm}—100\text{ mm}$ 。将进行半导体材料、光电子材料、金属合金和亚稳材料、新型功能晶体、纳米和复合材料等多种材料加工实验,研究微重力下材料生长形成过程的机理(图6)。在这项实验中,航天员将在轨进行样品更换,并将完成实验的样品送回地面分析。

(3)两相流体实验及关键技术验证。重点研究微重力下液体的蒸发冷凝相变动力学、气-液-固接触动力学,以及两相流体输运等基础问题,为空间飞行器流体管理、两相高效传热和地面产业的工程应用提供理论依据和基础数

据(图7)。该实验还将进行两相流实验的关键技术试验验证,为空间站两相系统实验平台的研制奠定基础。

#### 1.4 空间生命科学

(1)高等植物生长研究。研究微重力条件下高等植物从种子到种子的生长发育规律,探索微重力条件下长日照与短日照植物的光周期诱导开花规律与调控机理(图8)。实验采用长日照植物(拟南芥)和短日照植物(水稻)作为样品,专门研制了植物培养箱,其温度范围为 $17^{\circ}\text{C}—28^{\circ}\text{C}$ ,湿度范围 $60\%—100\%$ ,光照强度和周期可调。植物生长中最显著的变化是从植株到开花的过程,其受到环境和内部传导信号的影响,在微重力和节律变化复合环境下

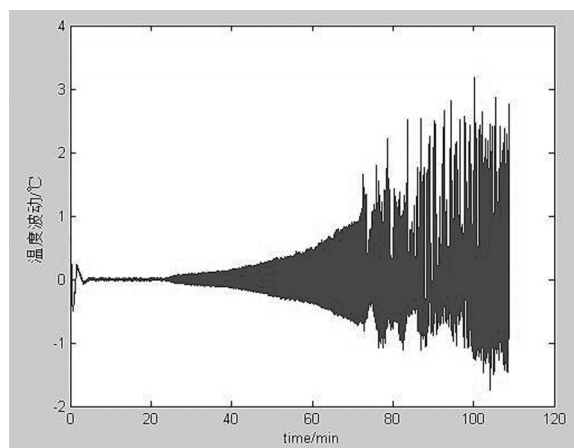


图5 液桥地面实验测得的温度振荡曲线

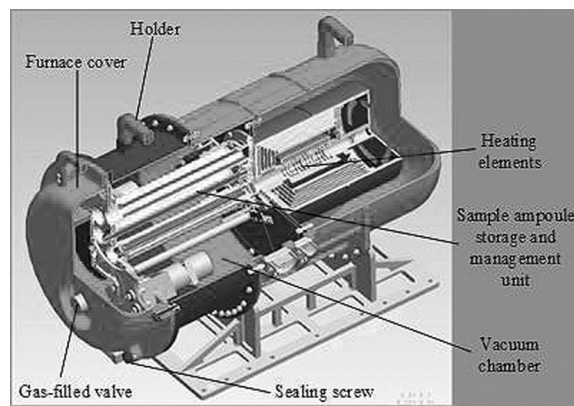


图6 TG-2综合材料实验装置结构



中国科学院

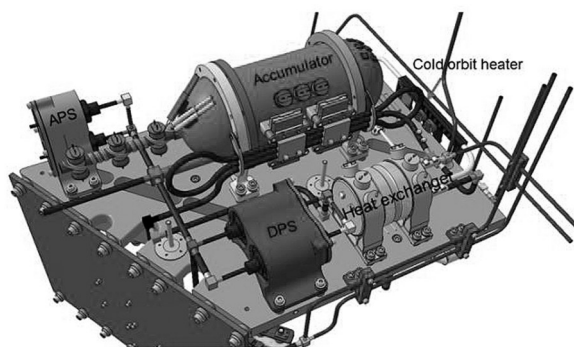


图7 两相流体实验载荷的内部结构

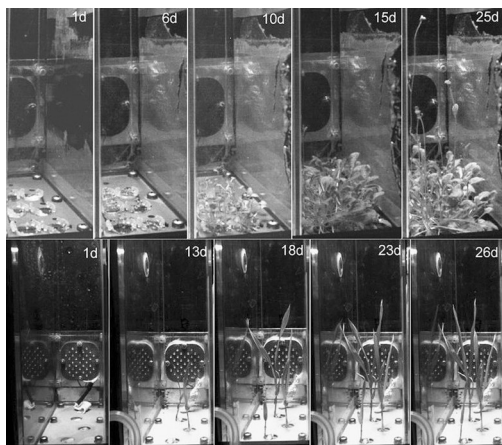


图8 地面验证试验中拟南芥和水稻在植物培养箱内的生长情况

开展实验对搞清机理是新的探索。

(2)微重力对细胞增殖和分化影响研究。集中开展8项空间动物细胞实验,包括微重力环境下哺乳动物干细胞分化、不同胚胎干细胞发育、成骨细胞和破骨细胞代谢失衡的发生机制及对抗措

施等科学问题的研究(图9)。这项研究不仅有细胞学研究方面的科学意义,还有医学研究潜力和应用前景。如干细胞的研究成果可用于心脏、肝脏疾病的治疗,胚胎干细胞的研究将为组织工程和再生医学中的应用探索新途径;骨细胞的研究有助于预防和治疗空间和地面骨质变化疾病,为研发分子靶向性药物提供支持。

### 1.5 对地观测和空间地球科学

(1)多角度和宽波段成像仪。其是新一代空间光谱成像遥感器。其中多角度偏振成像仪将有效探测卷云,获取云顶高度、气溶胶和大气水含量等信息,其空间分辨率3 km,刈幅770 km,多角度测量数为12,偏振测量精度2%;宽波段成像光谱仪可获取海洋、大气、陆地的精细光谱信息,光谱范围0.4  $\mu\text{m}$ —10  $\mu\text{m}$ ,光谱分辨率5  $\mu\text{m}$ —10 nm,地面像元分辨率为100/200/400 m(可见近红外/短波红外/热红外),刈幅300 km。多角度偏振和宽波段成像光谱仪将用于地球环境研究,并开展陆地、海洋和大气遥感的广泛应用(图10)。

(2)三维成像微波高度计。其是采用孔径合成、干涉测量和高度跟踪技术发展的新型雷达高度计,是获取海浪、海风、潮流等海洋动力环境要素,开展海洋动力学研究的重要遥感器,并将为全球气候变化研究和海洋活动保障提供重要数据(图11)。该仪器测量刈幅30 km;分辨率100 m,

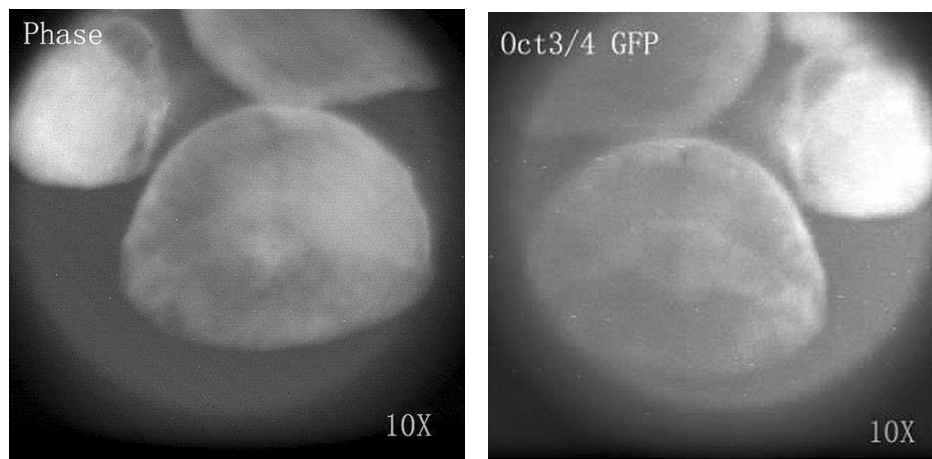


图9 荧光显微镜获得小鼠胚胎干细胞(右)



图10 光谱仪外场测试的可见近红外波段图像

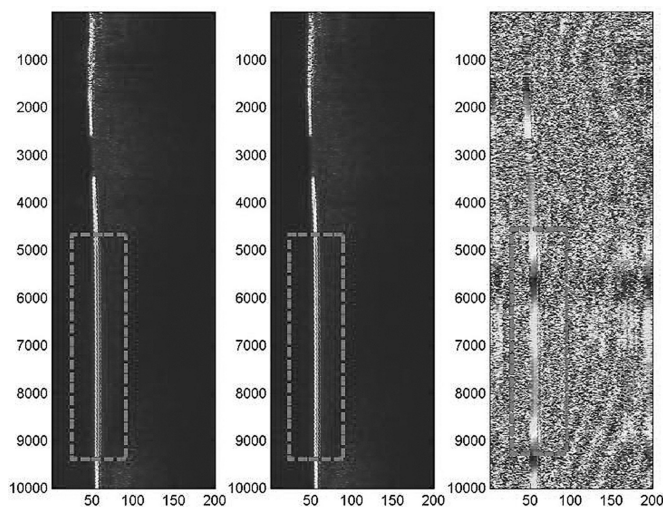


图11 三维雷达高度计获取的水体表面干涉相位图

海洋干涉测高精度 5 cm,有效波高精度 50 cm 或 10%(大浪),预计反演的海面风速精度优于 $\pm 2$  m/s,风向精度优于 $15^\circ$ 。这是我国首台、国际上第三台空间干涉式雷达高度计,并有自己的技术特色。

(3)多波段紫外临边成像光谱仪。其工作模式是从近地空间对准地球边缘,观测地球大气的紫外及更宽波段的光谱。该仪器包括一台环形成像光谱仪,360°环形全方位观测,三通道中心波长 265、295、360 nm,具有 20 nm—40

nm 窄带观测能力,像元分辨率 4 km;另有一台前向成像光谱仪,波长范围 280 nm—1 000 nm,光谱分辨率 1.4 nm,像元分辨率 3 km(图 12)。该仪器可获取全球大气密度、臭氧和气溶胶垂直结构及三维动态分布。研究大气各层相互作用、与地球各圈层以及与太阳活动、空间环境的关系。

目前“天宫”2号空间实验室科学与应用有效载荷已完成了正样研制,等待发射;“天舟”1号货运飞船的有效载荷完成了初样研制,开展了相关的科学和应用研究。

## 2 空间站的空间科学与应用任务

在组织我国科技界广泛调研国内外发展趋势、深入研究国家需求及重要科学问题、反复论证的基础上,经过空间科学与应用各领域发展战略研究、指南发布、征集项目建议和空间站应用规划委员会评审,制定了空间站空间科学与



图12 多波段紫外临边成像仪的环形光谱成像仪



中国科学院

应用计划。数百位专家参加了任务论证,规划力争具有国际视野,科学前瞻。

我国空间站空间科学与应用的总目标是:推动空间科学的一些重要领域进入世界前列,取得重大发现,使我国空间科学整体跨上新台阶;突破和掌握一批战略性空间应用新技术和关键核心技术,引领我国未来空间应用技术发展,取得显著的应用效果,为解决国家发展的迫切需求做出显著贡献。

## 2.1 空间科学与应用的领域规划和研究重点

经过论证,空间站空间科学与应用确定了空间生命科学和生物技术、微重力流体物理与燃烧科学、空间材料科学、微重力基础物理、空间天文和天体物理、空间物理与空间环境、空间地球科学及应用和空间应用新技术试验8个领域,并提出了若干研究主题。

(1)空间生命科学和生物技术。生命是最复杂的物质存在形式,通过开展地球各类生物在空间应激响应的机理研究,深入认识生命现象本质。促进生物技术向医疗健康和农林科技转化,为解决人长期太空探索活动提供科学基础,同时探索与生命起源相关的前沿问题。主要研究方向包括空间(重力)基础生物学、辐射生物学、空间生物技术及其应用、空间生态生命支持系统基础研究,以及交叉和前沿探索研究(空间生物力学、亚磁生物学、与生命起源相关的分子生物学研究等),探究地外生命和生命起源。

(2)微重力流体物理与燃烧科学。微重力流体物理研究流动体系中在地面被重力掩盖的各种次级(分子力和热、质等驱动的)流体效应的特殊规律;微重力燃烧除复杂的流体过程外,还叠加了化学动力学过程。空间微重力条件下的研究为揭示其特殊规律开辟了一条有效的途径,对完善和验证相关理论模型有不可替代的作用。该领域研究对地面和空间的生产加工过程、流体管理、能源燃烧、动力推进、防火灭火等有重要指导作用。主要研究方向为流体动力学、复杂流体(胶体/泡沫/

颗粒等离子体)、蒸发冷凝和两相系统、燃烧动力学中的本征参数等,并加强向产业和高技术的科技转化。

(3)空间材料科学。材料是国民经济的基石,是高新技术和高端制造业的基础,处于先决地位。在空间条件下进行材料研究是材料科学独特且具有代表性的重要研究途径之一。空间材料科学针对发展需求,以搞清材料形成机理、推动技术创新为重点,为建立我国新材料产业体系做出贡献。主要研究方向为微重力下材料生长动力学、战略需求和高价值材料制备研究、重要材料热物性测量、空间功能材料和智能材料使役行为研究。

(4)微重力基础物理。这是微重力科学中的新兴重点领域,目的是通过精密的空间实验,检验现有物理理论,发现新的物理现象和物理规律,推动引力规范场理论、超引力、大统一理论和后粒子标准模型等新的物理理论发展。主要研究方向为超冷原子制备及其新奇量子现象研究、高精度空间时频技术及相关物理实验和应用、引力物理及等效原理检验、低温凝聚态物理等。

(5)空间天文和天体物理。空间天文和天体物理研究紧密联系着基础物理和宇宙科学的重大问题。空间站该领域瞄准“一黑”(黑洞)、“两暗”(暗物质、暗能量)、“三起源”(宇宙起源演化、天体起源演化、地外生命起源)等前沿重大基础科学问题,争取推动对宇宙和物质世界认识的重大飞跃。重点研究方向为多色高精度测光与光谱巡天、高能宇宙线和暗物质粒子探测、天体变源和爆发现象探测研究(含太阳)、天文新技术及应用研究。

(6)空间地球科学及应用。发挥空间站的特点,利用空间获取地球信息快捷、动态、真实和全球性等不可替代的优点,利用空间站非太阳同步轨道的特点开展特色研究,配合其他计划,为解决全球变化重大科学问题和资源环境等国家经济社会发展中急需解决的问题做出贡献。研究方向包括新型对地观测遥感器及应用、全球变化相关地

球科学研究、环境资源和自然灾害监测与应用。

(7)空间物理和空间环境。空间站轨道为中低纬低地球轨道,适于开展中低纬太阳-磁层-电离层链接关系研究。太阳是影响日地空间环境的主要源头,太阳耀斑和日冕物质抛射(CME)是太阳最剧烈的能量释放过程,对空间环境具有重要影响。空间站空间物理和空间环境领域的重点是保障空间站长期运行和航天员安全,开展空间环境预报和太阳爆发预报监测,并开展中低纬电离层结构、热层空间物理探测研究。

(8)空间应用新技术。空间站作为有人参与的近地空间平台,在发展和验证新的空间应用技术方面有显著的优势。空间站将试验重要战略性应用技术,掌握并储备关键核心技术,引领创新。重点是新一代空间通信与信息技术、激光能量传输、微小卫星、空间3D打印、空间机器人和遥科学、新型结构机构、新型制冷和热控技术,以及空间应用元器件与组件试验等。

## 2.2 空间站研究设施、实验平台和支持系统

空间站将以10年以上的长周期开展研究。探测和实验研究装备的水平、效能和适用性对实现空间站科学和应用目标至关重要。在制定研究计划的同时,规划了一批重要的研究设施和实验平台,现大部分已开展工程研制。

(1)重大研究设施。用于长期开展科学与应用研究的综合性大型科学装备。

多功能主动光学设施。主镜直径2米,以接近哈勃太空望远镜的分辨率和大百倍的视场开展多色测光和光谱巡天,研究宇宙加速膨胀的机理和暗能量本质,检验宇宙学模型,研究暗物质属性、银河系三维结构以及恒星、黑洞、星系、类星体等多种天体的形成与演化的规律(图13)。期望在巡天观测

深度和分辨率方面超越现有和今后一段的同期计划,争取获得革命性的新发现。

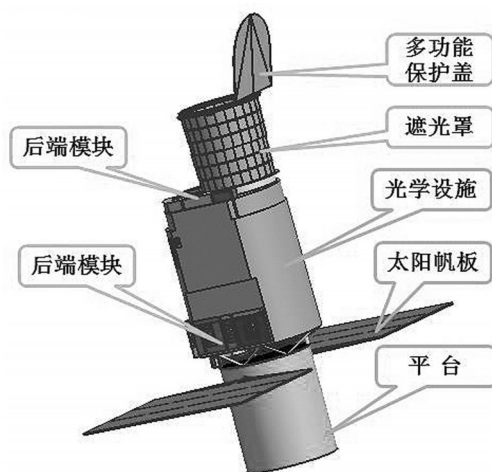


图13 多功能主动光学设施示意图

该设施还将进行太赫兹空间观测和大气观测,研究宇宙早期星际物质和地球大气微量成分;开展多波长多模式激光对地探测,测量地球大气剖面风场、CO<sub>2</sub>含量、云和气溶胶分布,探测海洋次表面、地球植被生物量,开展地球科学研究和应用。

宇宙线与暗物质探测研究设施。正在酝酿和研究采用创新的探测方案,实现宽能区超高能宇宙线的精确测量,深入研究银河系宇宙线的成分、起源及传播和加速机制,寻找可能的暗物质湮灭谱线,对暗物质的性质做出严格的限制(图14)。探测器能量测量范围设计为5 GeV—50 TeV,探测几何因子5 m<sup>2</sup> sr,γ/p分辨本领优于1E-7,期望其探测能力具有显著的国际竞争优势。

空间天文领域还将研制X射线全天监视器、高灵敏度太阳高能辐射探测器和中子星极端物理探测设施,开展高水平研究。

量子 and 光传输研究设施。开展量子科学研究,包括基于量子存储的量子隐形传态和量子中继、自由意志参与下的量子力学非定域性检验,开展空/地、空/空高亮度高保真纠缠量子分发和不同技术体制的高速激光



中国科学院

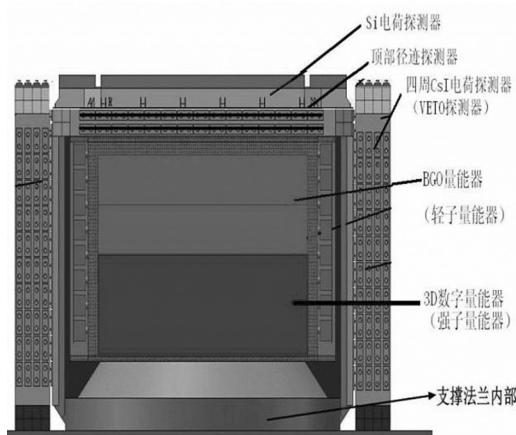


图14 宇宙线与暗物质探测研究设施示意图

通讯实验研究,空/地传输距离大于1 000 km,空/空传输距离大于45 000 km,为开展实际应用的量子通信和激光通信技术进行示范演示。

(2)空间科学实验平台。以实验柜形式建立的密封舱内的专业精密科学实验室,通过更换实验单元或样品,可开展系列化的空间科学实验。

生命科学和生物技术领域:2个实验柜。生命生态实验柜,用于生物个体(植物、微生物、小型动物)、密闭生态系统实验,具有小型离心机进行对比实验;生物技术实验柜,用于生物大分子、细胞、组织层次的生物样品和小型哺乳动物实验。实验柜具备生命支持保障能力和显微、荧光、光谱、CCD摄像、气体成分等动态监测与精细观察设备,正在考虑小型基因测序装置的空间应用。

微重力流体物理与燃烧科学:3个实验柜。通用流体实验柜,适用各种透明体系实验和复杂流体实验;两相系统实验柜,用于两相回路、相变和传热实验;燃烧科学实验柜,适用与气体、液体(液滴)和固体燃烧实验。实验柜具有数字全息、阴影、高速CCD、红外热像、PIV、热色液晶、动态光散射、流变、光谱、质谱等完整先进的测试诊断设备。

空间材料科学:2个实验柜。高温材料实验柜,用于以安瓿结构封装的多类样品开展熔体生长、凝固实验等研究,最高温度1 600℃,提供梯度、等温、区熔多种温场,配备有X射线和光学诊断设备;无容器材料实验柜,采用静电悬浮实现无

容器加工,样品尺寸2 mm—6 mm,最高温度达到2 500℃以上,开展材料深过冷研究和热物性测量等。

微重力基础物理:3个实验柜。超冷原子实验柜,采用光学势阱与光晶格囚禁方式,利用空间微重力环境,实现在地面无法达到的 $10^{-12}$  K量级的量子简并气体,开展新奇量子现象研究;高精度时频系统,建立由氢钟、冷原子钟和光钟组成的时频系统以及激光和微波链路,日稳定性和不确定度约 $10^{-18}$ 量级,开展精细结构常数变化和引力红移等基础物理研究和广泛应用。高微重力实验柜,采用悬浮方式隔离微振动,通过悬浮随动、运动测量和控制,提供比舱内环境高2—3个数量级的微重力水平,开展陀螺-加速度计新等效原理实验研究、冷原子干涉仪等效原理验证等精密基础物理实验。

领域共用实验柜:共3个。科学手套箱与低温存储柜,用于航天员在隔离密闭空间直接操作科学实验,具备精细操作机械手,提供4℃、-20℃、-80℃的(生物等样品)低温存储条件;变重力实验柜,用离心机模拟0.01 g—2 g的不同重力实验环境,与微重力环境对比,实现微重力与其他空间环境效应的分离;在线维修装调实验柜舱,支持舱内科学实验和技术试验的精细机械结构和电子学装配、操作及试验验证,并提高空间自主维修保障能力,具有6自由度自动化机械操作支持。

外空暴露装置实验装置:在舱外安排了空间生物学暴露实验装置,用于辐射生物学和极端环境生物学实验;空间材料暴露装置,用于各种应用材料空间使役行为的研究;元器件暴露试验装置,用于各种新品空间元器件在空间环境下的性能试验。

(3)空间科学与应用天地支持系统。为满足空间站上百台有效载荷统一运行控制管理,和极高速率信息的获取、处理、传输需求,解决“数据爆炸”技术瓶颈,发展了基于FC-AE-1553总线开放式一体化光纤网络的空间应用信息系统,网络带

宽达 4 Gbps/通道,存储能力大于 1 000 Tb,在轨信息处理能力优于 10 TFlops,具有强大的信息管理和处理能力,并能适应任务变化、扩展和在轨维护的多种需求。

为支持空间站多学科任务系统设计、并行研发、测试、空间运营、科学研究和应用等持续而复杂工作,规划设计了包括应用任务规划与并行设计、综合仿真与验证、柔性集成测试、有效载荷运控管理、科学数据处理与服务等系统在内的完整先进的地面支持系统。采用模型驱动系统工程(MDSE)和并行工程方法开展多学科协同设计,采用数字模型和实物/半实物开展综合仿真验证,基于柔性智能测试技术开展多层次、多阶段的测试验证,基于天地协同方式对空间站复杂的应用任务进行敏捷运控,发展高性能计算提供多学科研究与应用的数据处理服务。

### 3 结语

空间站空间科学和应用任务规模空前,研究水平要求高,关键技术难度大,参与单

位数以百计,任务繁重艰巨。要精心组织好国内科技界相关力量,建立高水平 and 稳定的研究队伍,加强预先研究,创新组织模式和体制机制,全力以赴做好工程研制工作。

要在已经建立的与欧空局(ESA)、德宇航(DLR)和俄航局(Roscosmos)等空间机构合作意向和与若干国际组织交流机制的基础上,提高在国际组织和国际合作项目中的影响力和引导力,进一步开展好国际合作。

载人航天工程是我国规模最大、投入最多、持续时间最长的国家重大科技专项,空间站是我国载人航天 20 余年发展成果和效益的集中体现。由于国际空间站计划运行至 2024 年,因此我国空间站可能成为 21 世纪 20 年代中后期国际上唯一的大规模应用的载人空间站,科学界期盼,国际关注。我们的历史使命是将空间站建成国家级太空实验室,推动我国空间科学及应用实现跨越式发展。



中国科学院

表1 “天宫”2号和“天舟”1号科学与应用项目

	项目名称	首席科学家/主任设计师
TG-2	空间冷原子钟实验	王育竹院士/刘亮研究员(中科院上海光机所)
TG-2	空-地量子密钥分配与激光通信试验	潘建伟院士(中国科技大学)/王建宇研究员 (中科院上海技物所)
TZ-1	静电加速度计和主动减振试验	罗俊院士(中山大学)/周泽兵教授(华中科技大学), 任维佳研究员(中科院空间应用中心)
TG-2	伽玛暴偏振探测	张双南研究员/张永杰研究员(中科院高能所), Prof. Martin Paul/Prof. Nicholas Produit (瑞士日内瓦大学)
TG-2	液桥热毛细对流实验研究	胡文瑞院士/康琦研究员(中科院力学所)
TG-2	综合材料实验研究	罗兴宏研究员、赵九洲研究员(中科院金属所); 魏炳波院士(西北工大);施剑林研究员(中科院 上海硅所);张兴旺研究员(中科院半导体所); 李向阳研究员(中科院上海技物所)/刘岩研究员 (中科院上海硅所);潘明祥研究员(中科院物理所)
TZ-1	两相流实验及关键技术验证	刘秋生研究员(中科院力学所),何振辉教授(中山 大学)
TG-2	高等植物培养实验	郑慧琼研究员、孙卫宁研究员(中科院上海植生所) /张涛研究员(中科院上海技物所)
TZ-1	微重力对细胞增殖和分化影响研究	商澎教授(西北工大),段恩奎研究员、赵勇研究员 (中科院动物所),纪家葵教授、陈国强教授(清华大 学),王常勇研究员(军事医科院),张戈教授、吕爱 平教授(香港浸会大学)/张涛研究员(中科院上海 技物所)
TG-2	多角度和宽波段成像仪	危峻研究员(中科院上海技物所),应用单位:国家 海洋局、气象局等
TG-2	三维成像微波高度计	姜景山院士/张云华研究员(中科院空间中心)应用 单位:国家海洋局等
TG-2	多波段紫外临边成像光谱仪	吕达仁院士(中科院大气所)/王淑荣研究员(中科 院长春光机所)

## Space Science and Application Mission in China's Space Station

Gao Ming Zhao Guangheng Gu Yidong

(Technology and Engineering Center for Space Utilization, Chinese Academy of Sciences,  
Beijing 100094, China)

**Abstract** China's human space project has gone to the stage of space station. This stage involves a space laboratory which will be launched in 2016, and space station construction which will be completed around 2022 then operated on the orbit for more than 10 years. The research items on board of Tian Gong-2 space laboratory and Tian Zhou-1 cargo ship related with physical and life science in microgravity. These experiments focus on forefront fundamental questions in science nowadays. There are 3 experiments on field of fundamental physics. Cold atom clock experiment adopts laser cooling of Rubidium atoms to below  $\mu\text{K}$  class in microgravity and take it interrogate with microwave in ultra-slow speed to get very high frequency stability say  $10^{-16}$  order. In quantum key distribution experiment, the photons will be send from space to ground by using so called Decoy State Method in which the photons are modulated in polarization angular. The final purpose of static electricity accelerator experiment is to explore potential "non-Newtonian force in micro-meter action scope" in microgravity. The accelerator resolution is  $10^{-11}\text{g/Hz}^{1/2}$  order. For microgravity science experiment, a thermo capillary convection experiment in liquid bridge with large Prandtl number has been prepared. The aspect ratio and volume ratio could be adjusted on a liquid bridge with 20 mm in diameter for instability mechanism research. A double zone resistance heating furnace provides opportunity for varied material processing and formation mechanism study such as semiconductor, optoelectronics materials, metal alloys and metastable materials, functional single-crystal, nano and composite materials. A two phase flow experiment will investigate the liquid phase change of evaporation and condensate dynamics in microgravity, and demonstrate key technology related two-phase system rack on space station. In life science field, the high plant culture experiment will realize plant flowering and seed-setting in space by using short-day and long-day plant in different photoperiod conditions. The animal cell culture experiment in space will investigate the cell multiply and differentiation of mammal stems cells, embryonic stem cell development, and metabolizes un-balance of osteoblast and osteoclast cells. The research fields on Tian Gong-2 are extended to astrophysics and earth observation. A new concept gamma ray burst polarimeter based on Compton scattering principle have been developed to understand GRB radiation region geometry and emission mechanisms. It might be open an unused window for high energy astronomy. The new generation remote sensors involving a multi-angle polarization & wide band spectral Imager, an Interferometry Imaging radar altimeter, and a multi-band ultraviolet limb imager will be send to orbit with Tian Gong 2. It could acquire detailed spectrum image of ocean, land and atmosphere, sea surface height and wind speed, and 3D distribution of atmosphere density, ozone, aerosol, etc. The data expected to be used in wide application aria and also used for global environment research. Based on "science and requirement driven" and "bottom-up" approach, and procedure of AO, proposal and peer evaluation, the approved science and application plan of China's space station defined 8 research fields, and several research directions in each field respectively. These fields and directions are listed infollowing. Space life sciences and biotechnology, main directions are gravitational biology, radiation biology, biotechnology, basic research of CELLS, and forefront & intersec-



中国科学院

tion research. Microgravity fluid physics and combustion, directions are fluid dynamics, two-phase flow, complex fluids, combustion science and prevention. Material science in space, directions are basic materials science research, advanced materials processing, service behaviour of materials in the space. Fundamental physics in microgravity, directions are cold atom physics, high-precision time-frequency, relativity and equivalence principle demonstration. Astronomy in space, directions are multi band photometry and all sky spectrum survey, dark matter and cosmic rays, changing source and burst phenomena. Earth science in space, the directions are next generation earth sensor, global change related earth science, environment and resources related application. Space physics, directions are space environment and solar active prediction, low latitude ionosphere and thermosphere phenomena. Space application technology, directions are the innovative information and communication technology in space, etc. For promoting research outputs for China's space station, important research facilities including an active optical facility with 2 m main mirror, a high energy cosmic radiation and dark matter facility, and the quantum key and optics transmission facility are arranged. Total 13 experimental racks inside pressurized capsule and 3 exposed devices on exposure platform are going to be developed. The ground based supporting segment for space science and application mission are also planted and designed. Space science and application mission in China's space station related with wide field, great scale and big challenge. It is expounded that space station provides historical opportunities to promote space science and application in China, and to take science breakthrough and application benefits. For this purpose we need do best in careful organization, implementation with great efforts, and promoting of international cooperation.

**Keywords** space station, research field, space science and application, research facility, platform for science experiment

**高铭** 中科院空间应用工程与技术中心主任, 研究员, 载人航天工程空间应用系统总指挥, 国际宇航科学院通讯院士。1991年毕业于北京大学地球物理系, 1994年起从事载人航天应用系统工作, 历任应用系统总调度、副总指挥、总指挥, 组织领导了应用任务的完成和应用系统组织管理体系的建立和完善, 曾获国家科技进步奖特等奖、国家科技进步奖一等奖等科技奖励。E-mail: mgao@csu.ac.cn

**Gao Ming**, director of Technical and Engineering Center for Space Utilization of CAS, and general direct of Space Utilization System of China's human space project. She is a corresponding member of IAA. Prof. Ming Gao was graduated from geophysics department of Beijing University in 1991. Since 1994 she was the general dispatcher, deputy direct and general direct of Space Utilization System to organize science and application mission on board of spaceship and spacelab. She also leaded the building-up and improvement of organization system for space utilization. She was wined a special class and a first class of national science and technology progress prize respectively. E-mail: mgao@csu.ac.cn