

空间科学与应用发展综述

2007年,国外载人航天空间科学与应用研究和实验重点围绕国际空间站和月球探索开展。欧洲航天局负责的“哥伦布”实验舱和日本的“希望”号实验舱已进入最后的发射阶段,预计在2008年与国际空间站对接。月球将是载人航天走向深空的第一步,无人探月飞行将为未来载人登月奠定基础。2007年日本开展了无人探月飞行,对月球开展科学考察。

一、国际空间站空间科学与应用研究和实验

在2003年1月“哥伦比亚”号航天飞机失事前,国际空间站的全部硬件设备只有49%到位,美国计划在2010年前将航天飞机退役,这使得整个国际空间站的建设计划不得不全面提速。

2007年是国际空间站建设的关键一年。美国国家航空航天局(NASA)在2007年1月31日发布的空间站展望报告中表示,本年度国际空间站将增强动力、增大规模;同时地面控制中心也将有所发展,除了美、俄、加的控制中心外,法、德、日的控制中心也将开始运行。

(一) 国际空间站的应用组成

国际空间站以长达上百米的组装式桁架为基本结构,将多个应用舱段和有效载荷设备挂靠在桁架上。国际空间站密封舱内气压采用标准大气,可供6~7名航天员长期考察和开展大规模空间科学实验。国际空间站的组成结构见图1。

国际空间站可以分为两大构成部分:第一部分是核心部分,包括俄罗斯的多功能货舱(FGB),以该舱为中心,对接着俄罗斯的服务舱、研究舱和生活舱,美国的实验舱和居住舱,日本“希望”号实验舱(JEM)及欧洲“哥伦布”实验舱;另一部分是服务部分,包括美国的中心桁架,及装在桁架上的4对太阳能电池帆板、加拿大的遥控机械臂

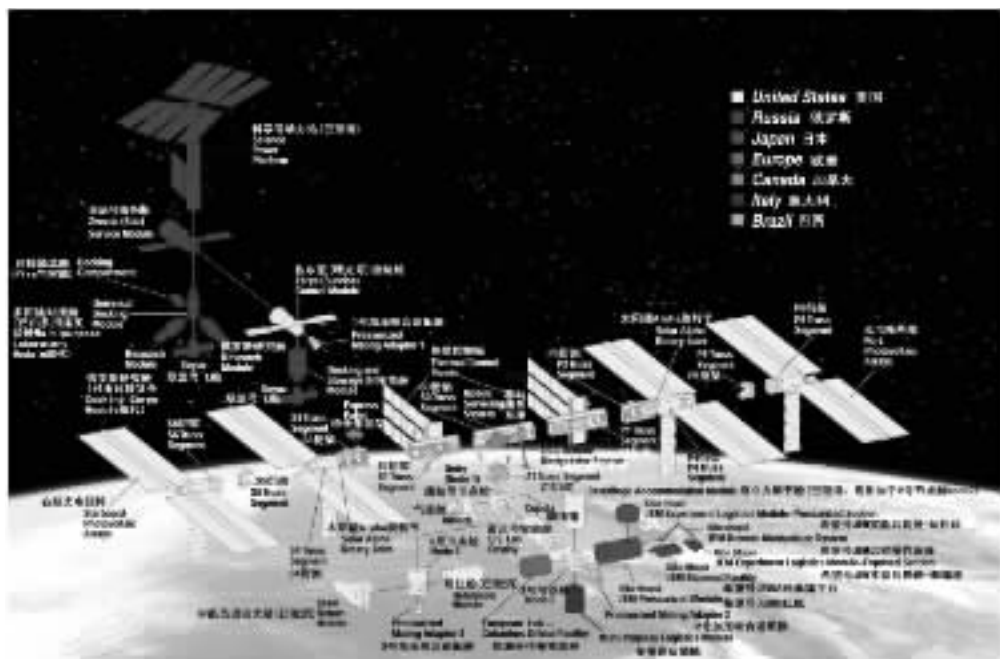


图 1 国际空间站组成示意图

系统以及舱外仪器设备。

实验舱是进行空间科学与应用研究实验的主要场所。国际空间站上共有 6 个实验舱,其中美国、欧洲和日本各 1 个,一共提供 33 个标准实验柜;俄罗斯有 3 个研究舱,可提供 20 个标准实验柜。舱内的实验设备和仪器大部分都是放在国际标准实验柜内,便于维护和更换。

(二) 国际空间站主要科学与应用方向

国际空间站是当前人类进行空间科学和应用实验的理想场所,为科学家提供长期在空间轨道上进行科学研究和开发空间资源的机会。国际空间站上集中了美国、俄罗斯、欧洲、加拿大以及日本的多种空间科学实验装置,能够自动和精确地测量和控制舱内温度、湿度、重力,实现实验操作、实验材料取样和固定的自动化。

国际空间站建成后,科学家将开展空间地球观测、空间科学实验和空间探测等研究活动。其中,空间科学实验和空间探测的内容

包括:空间生命科学和生物技术、航天医学、空间材料科学、微重力流体物理、微重力燃烧科学、空间天文和空间物理学等重要方面。

1. 地球观测和空间地球系统科学

科学家将以国际空间站作为观测地球、获取全球景象的平台,研究地球环境的长期变化,如观测森林、海洋和山脉,研究火山、古陨星冲击、飓风和台风的影响;除自然变化外,还可观测人为造成的全球环境和生态变化,如城市上空的烟雾造成的大气污染,为开垦新农田砍伐和烧毁森林造成的森林退化,油料泄漏造成的水污染等。它将促进地球地质物理学、海洋学和生态学等的研究。

与传统的遥感卫星相比,国际空间站在地球观测方面表现出如下优点:

(1)有人的直接参与,观测任务中所遇到的各种意外情况将能得到及时处理。例如,当地震、海啸或火山喷发等事件发生时,航天员将能及时调整遥感器的各种参数,以便获得最佳的观测效果。

(2)如果遥感器件出现故障,航天员将对故障部件及时进行修理,使其恢复工作。事实上,世人瞩目的“哈勃”望远镜就是通过两次航天飞机的在轨维修才得以保持现在的状态。

(3)通过航天飞机、飞船等运输工具,国际空间站上的遥感器件可以得到定期更新或升级。这不仅能促进最新技术成就在空间获得体现,而且能降低成本,避免昂贵的遥感设备在任务结束后被遗弃。

(4)国际空间站能提供比普通卫星更为充足的供电能力和设备放置空间。因此,它比卫星能装载更多的遥感器,而且特别适合于携带大型遥感设备,这表明国际空间站具备大规模综合观测能力。

国际空间站上的对地观测设备很多,按其所处位置的不同,可分为舱段观测和桁架观测两种类型。

(1)舱段观测是指通过美国实验舱、欧洲“哥伦布”实验舱及日本 JEM 实验舱等舱段上安装的遥感设备执行对地观测任务。

美国实验舱的下部设有光学观测窗,简称为 WOLF。该观测窗

由一个直径为 0.51 米的石英玻璃构成。通过窗口执行对地观测时，产生的波前误差小于 $\lambda/7$ ，能有效地获取高精度信息。航天员通过观测窗可获得地球上任意指定区域的海洋、陆地和大气的图片。

欧洲“哥伦布”实验舱外的暴露设施上装有测雨雷达、雷达高度计、激光雷达、辐射计、散射计及多谱段成像仪等器件，承担大气与海洋动力学观测、陆地资源与环境观测，进行包括低纬度区域热动力学探测、大气化学特性探测、辐射平衡探测等环境参数探测等任务。

日本 JEM 实验舱的暴露设施中，也安装了不少对地观测仪器。如超导亚毫米波边缘发射探测器(SMILES)，是一台大气成份观测仪，其目的就是测定平流层和逃逸层中气体成分的含量和分布，以探测它们对长期气候变化的影响。

(2) 桁架观测是指位于国际空间站桁架上的对地观测设备完成的任务。

国际空间站桁架上的 SAGE-3 大气测试仪，其全称为平流层气溶胶和气体实验设备，是同类地球大气探测器的第三代产品，其主要任务是探测平流层的成份。同时，它还将测量这些成分在时间和地理上的分布，以了解它们在气候变化、生化循环中的作用。

通过在国际空间站上开展的地球观测研究，一些项目可望取得重大进展。如当前世界比较关注的大气质量监测、长期气象预报、陆地资源开发、海洋资源利用等问题都有望从中受益。

2. 空间生命科学

国际空间站上的生命科学研究主要集中在人体生命科学研究和重力生物学研究这两个领域。人体生命科学研究具有双重含义，它既指研究如何维护航天员自身健康，保持航天员的工作效率，也包含研究重力及辐射对人体影响的基本原理。重力生物学则研究地球重力对生命形成的影响机理以及生命在微重力环境或其他重力场中将产生的变化。

(1)人体生命科学

国际空间站上的人体生命科学研究范围较广,其中美国的实验主要集中在人脑和神经系统、骨骼及肌肉等方面的研究。

美国的“人体研究设施”(HRF)装配有跟踪人体健康状况变化的仪器,通过对多种参数的测定来判断重力对航天员身体的影响。HRF的研究成果将非常有吸引力,如对航天员体内平衡系统的研究,将使人们进一步了解神经系统的自适应能力,从而为治疗地球上众多的神经系统紊乱患者开辟新的途径。此外,也可以用于开发神经网络计算,制造出真正的智能计算机。

HRF对骨骼及肌肉的研究也极有意义。研究表明,人在空间一个月,其骨骼就会损失约1%的骨质,肌肉也会萎缩,心血管系统因失重作用将更多的血液推向人体的上部,人体的免疫系统会受到损害。通过HRF的研究,提出的对策则不仅能保护航天员的健康,为人类踏上火星或更遥远的星球创造条件,对地球上的骨质疏松患者的康复治疗,也极富现实意义。

除美国的HRF外,欧洲“哥伦布”实验舱也装有人体生命科学实验研究设备;日本的JEM舱内则有净化台(Clean Bench)设施,提供人体生命科学实验研究所需的环境。

国际空间站提供一流的实验条件,其研究成果将在医疗卫生领域产生革命性影响。通过模拟地球上常见病的症状,研究人员可以获取治疗正常重力环境中病人的知识。平衡失调、高血压及心血管病等常见病患者都有可能从中获益。另外,空间站人体研究中所开发的各种工艺器械不仅将为医学进步做出贡献,而且还将刺激其他产业的发展。

(2)重力生物学

国际空间站提供了一个较长时间的微重力环境,这便于科学家观察长期微重力对生命的影响,有助于解决空间多代培育问题,使人类获得进行更宏大的载人航天探索所必需的知识。另一个更有意

义的问题是,人体在长期微重力环境下将有什么样的表现。尽管现有飞行试验表明,人体进行短期空间飞行时会产生肌肉萎缩、骨质疏松等症状。但人体能否适应长期微重力环境还没有确切的答案。

重力生物学主要研究重力对生命繁衍、生命个体生长、发育及机体内部相互作用的影响。重力生物学研究主要涉及植物生物学、发育生物学、进化生物学、生物寿命学、细胞生物学和辐射生物学等多个学科。研究对象包括植物、昆虫、鸟蛋、鱼等。相应的研究设备被安置在独立的离心机舱内,主要设备有离心机、生命科学手套箱和动植物研究室等。

国际空间站离心机舱内的重力生物学研究工作将对地球上的生命科学研究产生很大的影响。过去,人类通过卫星、航天飞机等进行的试验已经表明,有些物种在空间比在地面繁殖更快,如大肠杆菌转移核糖核酸在空间的生长速度更快,并能形成抗菌素抗药性;真核生物在空间的繁殖速度是地面的4倍;海水虾、甲壳类动物在空间成熟更快,但这些试验结果都只基于短时间的空间飞行条件,在长期空间环境下,这些物种的表现以及这些表现的遗传特性都有待进一步验证,这就是空间站重力生物学所要研究的重要课题。

3. 空间生物技术

生物技术是生命科学研究的工程和技术应用,国际空间站上的生物技术主要集中在蛋白质晶体生长和细胞及组织培养这两个领域。

(1) 蛋白质晶体生长

当前生物技术已发展到在分子级进行药物设计的水平,研究人员可以直接控制特定的蛋白质分子,以获取治疗某种疾病的特效药。因此,取得蛋白质分子结构的详细数据就显得尤为重要。研究人员希望通过了解蛋白质结构对其功能的作用机制来设计出与蛋白质相互作用的药品(青霉素就是通过抑制一种蛋白质功能而制成药品的一个典型例子)。

科学家通常利用 X 射线衍射来测定蛋白质晶体分子结构,如果 X 射线衍射数据的质量足够高,那么科学家就可以弄清蛋白质分子结构对功能的影响机制。而要获取精确、高质量的蛋白质 X 射线衍射数据,就需要有结构质量好的蛋白质晶体。

遗憾的是,由于重力引起的沉淀等影响,地面上生长的蛋白质晶体往往有缺陷,达不到分析测定要求。而航天飞机上的一些试验已经证明,在空间环境中可以培育出有足够尺寸大小、高质量的蛋白质晶体。

与航天飞机等空间设施相比,国际空间站显得更适合于蛋白质晶体生长试验。空间站能长久地提供晶体培育所需的环境,不仅允许科学家一年 365 天连续不断地培育蛋白质晶体,而且实时进行 X 射线衍射测定,将搜集到的数据传回地球,或者为地面科学家提供优质蛋白质晶体,用于结构测定,并最终在药品设计阶段中使用。

在蛋白质分子结构研究中,测定一种蛋白质的分子结构必须进行大量试验,研究人员通常需要在 2 至 5 年的时间内持续获得某种蛋白质晶体。国际空间站将同时为全世界上百个科学实验室提供几千种不同的蛋白质晶体。

目前通过空间生物技术已经获得重大进展的有用于抗病毒研究和癌症治疗的伽玛干扰素,治疗肺气肿的弹性蛋白酶,用于研制抗寄生虫药品的苹果酸酶,治疗糖尿病的胰岛素等。

(2)细胞和组织培养

细胞和组织培养是生物技术研究中最重要项目之一。该项技术所取得的成就可以缓解对移植器官的巨大需求,同时科学家也可以进行肿瘤等异常细胞或组织实验,以寻求治疗疾病的有效手段。

培养细胞和组织面临的一个基本问题就是获得三维的细胞和组织模型。近年来的研究表明,在正常地面重力条件下,将细胞放入溶液进行生长试验时,由于重力作用,细胞很快就沉淀在容器底部。因此,培养的细胞是二维的。而在微重力环境下,细胞不易沉淀,能

完成三维培养。

全球每年有数百万乃至上千万人疾患组织器官损坏病症,而当前治疗这类疾病的唯一手段就是移植,由于志愿捐献器官者为数有限,造成了等待移植的人数与可供移植的器官数目间的巨大差距。如果细胞组织培养技术能取得重大突破,那将带来人类医学医疗技术的一次重大革命。

4. 航天医学

保证航天员能抵御空间环境的伤害,舒适地完成空间飞行任务,保证在太空飞行期间受伤或患病能得到及时治疗,这就是航天医学的任务。航天医学主要服务于空间生存的人,研究包含监护、诊断、医疗、保健以及相关病理学、药理学、防疫学等综合性科学。同时航天医学的研究也为航天员选拔、训练及空间生活提供科学指导。

国际空间站上的航天医学设备主要是利用远程通信技术和虚拟现实技术研制的远程医疗箱。它由耳机、传感器、计算机、显示屏和摄像机等组成,能实时地将航天员的心跳、血压等参数传回地面控制中心,使航天员得到医疗保健指导。

当若干航天医学的新产品如医疗仪器技术和小型化技术等,在地面也可以推广应用。例如,可编程心脏起搏器、骨损伤和骨密度的测量技术、可植入胰岛素释放器等。

国际空间站上的环境监测控制系统主要用于监测空间站内的污染情况,保证航天员的健康,这些监测技术可以用来解决地球上大量的环境问题。极其灵敏的环境监测器可以用来监测工业废水排放、城市用水质量以及密闭式办公大楼、民用班机和潜艇环境的卫生程度。如用于国际空间站内空气质量监控的“电子鼻”技术显然可用于食品加工或其他行业的环境监测。

此外,考虑到试验载人火星飞行的需要,美国 NASA 正在研制用于国际空间站上用的“转移居住舱”,为未来的载人火星探测服务。由于人类的火星之旅要求航天员离开地球两年多的时间,在这

段时间内，航天员必须依靠生命保障系统才能维持正常生活，因此高水平的生命保障系统是保证载人火星探测任务获得成功的前提条件，国际空间站上的有关试验无疑将有助于科学家加深对生命保障系统的研究。

5. 空间材料科学

从 20 世纪 70 年代起，科学家就开始在航天器上进行微重力材料科学研究。由于消除了重力所造成的对流，减少了沉淀和浮力等影响，科学家发现在材料形成过程中，存在着许多在重力掩盖下无法察觉的次级效应。科学家利用这些发现所获得的知识来改进制造工艺，控制材料的生成过程，消除重力对材料内部结构及性质的影响，从而制造出新的、特殊性能的材料。此外，空间的微重力特点也使材料很容易被控制在飘浮或自由浮动状态下，因而材料加工中的无容器处理也成为可能，由此使制造高纯度的、均匀的合金材料成为可能。例如用无容器处理技术生产的用于光学波导管的软化玻璃、探测器的复合半导体和光学通信的发光器等都能有效提高传输效率，接近理论上的传输极限。

国际空间站上进行的半导体材料实验可以获得半导体材料生长方法的基本信息，以提高半导体材料性能，从而制造出性能更好的光学装置及探测器装置，以更好地应用于红外传感器、辐射传感器、光通信、图像处理以及光计算等领域。实验表明，微重力条件下得到的半导体晶体的掺杂物分布更均匀，缺陷密度更小，这就意味着整块晶体具备相同的性能，从而改进半导体装置的性能。

国际空间站上研究的液体金属烧结加工方法，如果该加工工艺得到完善，将提高轴承、磁性材料、电刷与电触点、切削工具、高应力环境机械零件以及新型催化剂等的性能。

国际空间站上进行的衬底薄膜生长技术试验是地面超大规模单片集成电路发展必须突破的技术，利用该技术可以生成极纯的薄膜，从而制造出由不同材料的原子构成的多层薄膜，用于高温超导

研究。

在国际空间站上已进行大量生产高质量沸石晶体的实验,沸石根据其晶体结构的不同可用于离子交换器、化学吸收体、催化剂及干燥剂等。

与以往的空间设施相比,国际空间站上的微重力条件是无与伦比的,特别是对于那些结晶时间长达 15~30 天的材料更具吸引力。因为,航天飞机通常不能提供这么长的在轨时间。因而,在空间站科学家将能够有时间、用先进的设备来试验、组合和生产多种材料,并改进地面上的材料生产技术,为发展有价值的新型工业材料开辟途径。

6. 微重力流体物理

微重力流体物理研究在微重力环境下,固、液、气(汽)、燃烧等流体力学基本现象,发现和认知空间微重力环境下流体的基本规律,是物理科学重要的分支领域。微重力流体物理也是空间材料科学、空间生命科学、航天器流体管理和热管理乃至载人航天器防火工程的基础。各航天大国对微重力条件下的流体行为和机理研究给予了高度重视。

在地球上,重力是影响流体特性的主要作用力。存在密度差异的流体在重力作用下会产生分层或沉淀,从而干扰流体的流动,影响其物理特性。而在微重力条件下,这种由重力引起的干扰基本排除了,科学家可以观察到在正常的重力环境下难以或不可能了解到的流体特性。

国际空间站上的流体物理研究主要包括以下几个方面:

(1)研究气体和液体的混合物在管道内的物理特性,以提高地球上电厂的生产能力和安全性;(2)获取对流体本质的认识,以改进现有的加工工艺与材料;(3)掌握流体运动的知识,为建筑工程师提供抗震设计的新思路;(4)研究地面上被忽略的某些流体特性,推进科学技术的发展。

7. 微重力燃烧科学

在微重力条件下,科学家可以得到所需的燃烧火焰,从而澄清对燃烧的看法,加深对燃烧的理解。科学家已在航天飞机上完成微重力对烛光火焰影响的试验,所获得的知识可用于制造家庭或办公用火灾报警装置等挽救生命或节省开支的产品。

在国际空间站上,科学家利用进行燃烧科学研究的专用机柜,通过分析在地球上观察不到的燃烧现象来丰富有关在地球上提高燃料燃烧效率和控制污染的知识,并利用这些知识重新设计阻燃材料、防火器材、灭火器以及防火装置。空间站上所获得的燃烧过程的知识还可用于制造工业用特殊碳等产品,此外对燃烧的深入理解也有助于防止地球上的森林或建筑物火灾。

8. 空间天文

国际空间站在天文观测方面具有一些其他航天器无可比拟的优点。

首先,航天员可以直接参与天文观测活动。在天文观测过程中,航天员能够根据实际情况,改变被观测的目标、甚至更改观测方法。

其次,它可以提供全方位的观测。通过设在站外的暴露设施及桁架上的观测设备,可以在任何时刻全方位观测宇宙天体。这种全方位观测能力是包括哈勃望远镜在内的天文卫星所不能提供的。

最后,它可以提供长时间的观测窗口,能够比地面更容易捕获那些事变性强的天象。

因此,各国均计划在国际空间站上部署一些天文观测设备,其中具有代表性的是美国的 α 磁谱仪和日本的空间环境数据获取设备。

α 磁谱仪是一个含有大型永久磁体的粒子探测器,由美国能源部制造,安装在国际空间站的桁架上。它是世界上第一个放在地球轨道上的大型磁谱仪,主要任务是寻找宇宙中可能存在的反物质和暗物质。

日本的空间环境数据获取设备位于 JEM 实验舱的暴露平台上,由宇宙开发事业团研制。该设备简称为 SEDA,由监测器、高能轻质粒子探测器、宇宙尘埃收集器、氧原子监视器和 ET 监视器等组成。SEDA 承担 3 项主要任务:一是测量高能粒子、氧原子、宇宙尘埃和磁场等;二是分析空间的物质退化;三为支持空间任务,建立辐射模型,进行空间天气预报。

随着时间的推移,将会有更多的空间天文观测设备进入国际空间站。通过这些设备,科学家不仅能获得宇宙射线、亚原子粒子等重要信息,了解太空中发生的物理或化学过程,而且还能对影响地球环境的天文事件做出快速反应,及时保护我们的地球。以日地系统为例,由于太阳耀斑、暗条爆发、日物质抛射等太阳活动,对空间飞行、无线电通信、电力和石油输送等活动产生了不利的影晌,如果借助国际空间站上天文观测的成果建立起合理的太阳活动理论模型,那就能实现太阳活动和日地空间扰动的物理预报,避免可能出现的事故或减轻受害程度。

二、欧洲“哥伦布”实验舱

(一)“哥伦布”舱结构

“哥伦布”实验舱是欧洲航天局为国际空间站提供的主要设施之一。该实验舱装备有灵活的研究设备,可以提供广泛的科学探索能力。地面研究人员能够通过它与国际空间站的成员一道进行成百上千次实验。

“哥伦布”实验舱外形为直径 4.5 米的圆筒形,能提供 75 立方米的密封容积,技术参数如表 1 所示。实验舱还配备了可与地面研究人员联系的视频和数据通信系统。“哥伦布”实验舱设计使用寿命为 10 年,可用于进行大量失重状态下的实验。按照设计,3 名航天员可同时在实验舱内工作而不会觉得拥挤,实验舱整体结构见图 2。

表 1 “哥伦布”实验舱的尺寸和质量

舱段总长度	6871 毫米
最大直径	4477 毫米
内部总容量	75 立方米
实验架的容量	25 立方米
无载荷质量	10275 千克
发射质量	12775 千克(2500 千克载荷)
最大载荷质量	9000 千克
最大在轨质量	21000 千克

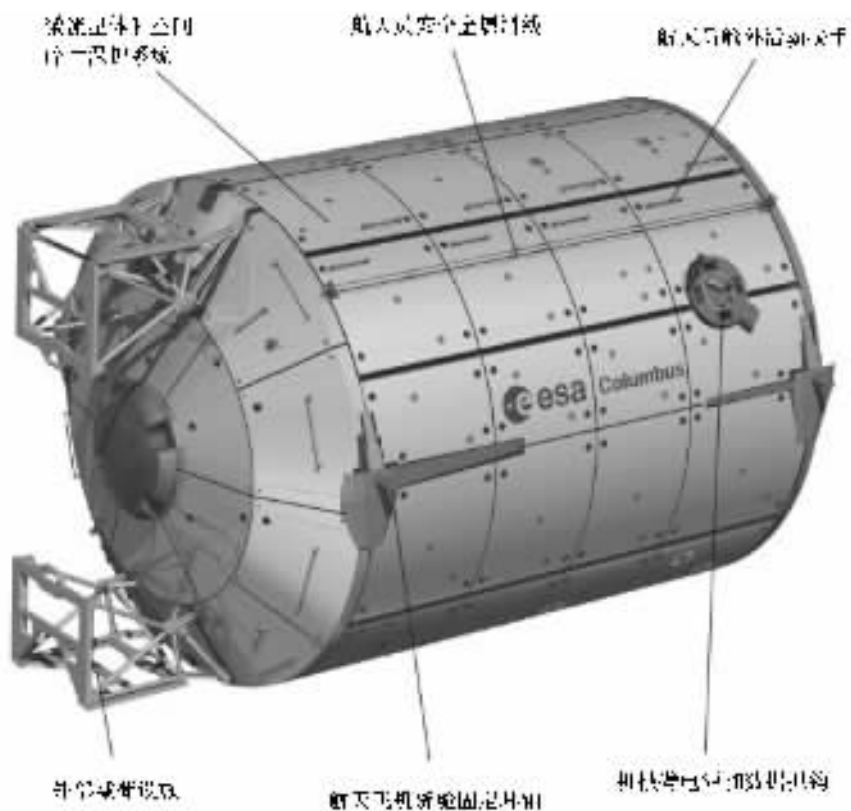


图 2 “哥伦布”舱外部视图

“哥伦布”实验舱将重点开展微重力实验。造访此实验舱的航天员将要在哪里做多项重大的实验,包括调查研究微重力对人体的影响,探测无重量流体的行为表现,观察原料物质在残酷的真空环境

此实验舱耗电很大,做实验时得需要大约 20 千瓦的电力。因此,国际空间站必须有足够的电力来运转各种实验仪器,如低温致冷样品室和轨道离心分离机。

(二) 空间科学实验柜

“哥伦布”实验舱的内部设备如图 4 所示,从左至右依次为欧洲抽屉柜、欧洲生理学实验柜、流体科学实验柜、欧洲运输载体和生物实验柜。

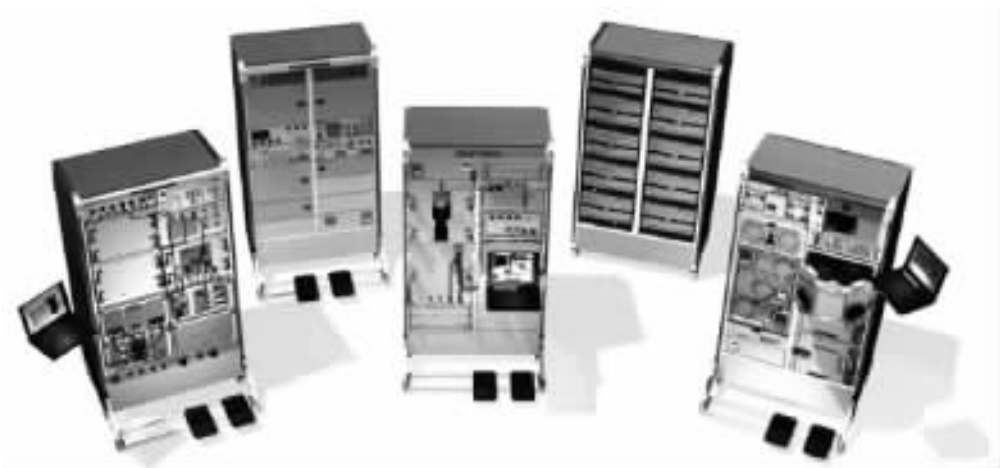


图 4 “哥伦布”舱内部设备

舱外设备包括:欧洲技术暴露设备、太阳能流设备、有效载荷扩展接口。通过扩展接口,可以根据需要添加新的有效载荷。

(三) 空间科学与应用研究和实验

“哥伦布”实验舱将使国际空间站的应用规模进一步扩大,并有助于开展生物技术、航天医学、新材料和基础物理方面的研究。

“哥伦布”实验舱的实验内容将包括生命科学、材料科学、流体物理学以及其他一系列原理实验。

1. 密封舱实验

(1) 生物实验

生物实验柜是一台用于支持进行微生物体、细胞、组织培养物、

小植物和小无脊椎动物等生物学实验的设备。在太空里执行生命科学实验的主要目标是研究失重对各种生物体产生的作用,研究对象包括从单个细胞单元到包括人在内的复杂生物体。

当“哥伦布”实验舱到达国际空间站时,在生物实验柜里进行的第一个实验是调查失重对种子生长的影响。实验结果将有助于更好地理解细胞机制,以修复免疫功能,并且加强在太空飞行中的辐射反应研究。从长远的观点来看,由于人类的长期太空飞行任务,这个实验是很重要的。

进一步的实验研究将努力阐明重力对细胞机制如信号转导、基因表达的影响。这两个影响是细胞在环境中发生变化的重要步骤,因此,实验结果对于发现地球上某些疾病病因和治疗方法有着重要作用。

(2)人体生理学实验

本实验的目标是验证骨头重塑修复的早期诊断技术,研究骨损失机制,并准确评价相应策略的效率。

目前,仍然没有搞清楚处于失重环境中的航天员骨质疏松的机理。太空骨质疏松的早期诊断实验将使用推断层析 X 射线摄影法,评价航天员飞行前后的承重和非承重骨头的结构,并分析其血样内的生物化学标志。

(3)人体免疫实验

该实验的目标是确定压力和免疫反应的变化关系。实验要求对参试人员的唾液、血和尿进行取样,检查其中与压力反应相关的激素,分析并调查白血球。实验还将关注细胞能量新陈代谢的适应性,因为它会影响免疫反应。

(4)后背疼痛测试

直立时,深层肌肉对人体姿势起重要作用。通常认为在太空飞行期间,深层肌肉萎缩导致劳累,因此产生韧带疼痛,尤其在背部。该实验的目标是评价失重环境对背痛的影响。

(5) 辐射实验

辐射实验(ALTCRISS)实现长期监控国际空间站上的宇宙射线。欧洲航天局将用两种不同的方式研究宇宙射线的屏蔽效果。根据设备的位置和方向,辐射实验的检测器设备将监控宇宙射线流的差别。在国际空间站上,辐射实验将会监控俄罗斯的 Pirs 气密舱上的辐射。

(6) 流体科学实验

流体科学实验(Geoflow)在大气、海洋、地幔运动和其他天体物理学和地球物理学领域里都具有重要意义。这也是第一个在欧洲“哥伦布”实验舱里进行的流体科学实验。

本实验将会调查一种不可压缩的粘性流体(如:硅酮油)在两个同心球体之间的流动。通过在两个球面引入高电压差,产生一个中心力场。保持内圈温度高于外圈温度,进而从内到外建立温度梯度。这种几何构造可以被视为代表着地球,中心电场可体现重力的作用。

2. 舱外实验

(1) “欧洲技术暴露设备”

“欧洲技术暴露设备”(EuTEF)是“哥伦布”实验舱的两个外部设备之一。

EXPOSE-E 是“欧洲技术暴露设备”的一个分部,它由 5 个空间生物学实验部分组成:

· 苔藓和真菌实验

实验将测试苔藓和真菌在太空中生存的极限条件。一些生物体将暴露大约 1.5 年,包括黑色的南极洲菌、真菌、石耳等。

· ADAPT

本实验考察对于不同的太空和行星紫外线气候环境,微生物的分子适应性。

· 生命起源有机化学(PROCESS)

本实验的主要目标是增强我们对地球大气圈外环境的有机分子的化学特性和演化的认识。

•PROTECT

本实验的目标是调研孢子暴露在舱外时的抵抗力。主要是考虑3个方面:抵抗度数、持续损伤类型和孢子修复机制。

•SEEDS

本实验将会测试植物种子。

(2)太阳能流设备

太阳能流设备(SOLAR Facility)将在其光谱范围内准确地研究太阳,这项研究预计持续两年。所获得的太阳知识将会有助于了解太阳能流和地球大气化学以及气候学之间的相互作用,这对地球观察和预测而言是重要的。

它包括以下3个组件:

- 太阳自动校准紫外光谱仪(SOL-ACES),以0.5~2纳米的光谱分辨率对17~220纳米的太阳频谱进行测量。

- 太阳光谱辉光测量(SOLSPEC),测量180~3000nm的太阳频谱。

- 太阳变化和辉光监视器(SOVIM),以高精度和高稳定度观察和研究太阳的辐照度。

(3)后续实验

ACES是将在太空中测试的新一代原子钟。ACES是一个复杂的载荷,使用了最先进的仪器和子系统。原子钟对所处的运行环境极端敏感,因此,恶劣的太空环境将会给原子钟和载荷的设计带来新的挑战,热敏和磁敏也造成了严重的限制。

三、日本 JEM 实验舱

JEM(Japanese Experiment Module)实验舱又称为“希望”号,是第一个由日本建造的可供人居住的太空设施,主要由日本筑波航天中心研制。

JEM 实验舱的任务：

·微重力试验：在太空进行微重力试验，生产出更纯净的蛋白质结晶将帮助我们理解疾病发生机理和开发新药物。它还将研究微重力和辐射对植物、动物、人体的影响，以及机器人技术、通信和能源实验。

·材料加工：JEM 实验舱拥有舱内和舱外实验平台，可以进行材料加工实验。

·生命科学研究：JEM 实验舱为空间生命科学实验提供了所需的环境和仪器设备。

·空间天文：JEM 实验舱安装有世界上最大的广角 X 射线照像机，可以观测银河外星系天体和天象。

·地球环境观测：地球面临着各种环境问题，比如臭氧层损耗、全球变暖和土壤沙漠化。JEM 实验舱从太空研究这些问题、寻找解决途径。

JEM 实验舱的科研内容涉足了地球观测、生命科学、生物技术、航天医学、材料加工和通讯研究等领域。

（一）实验舱组成与结构

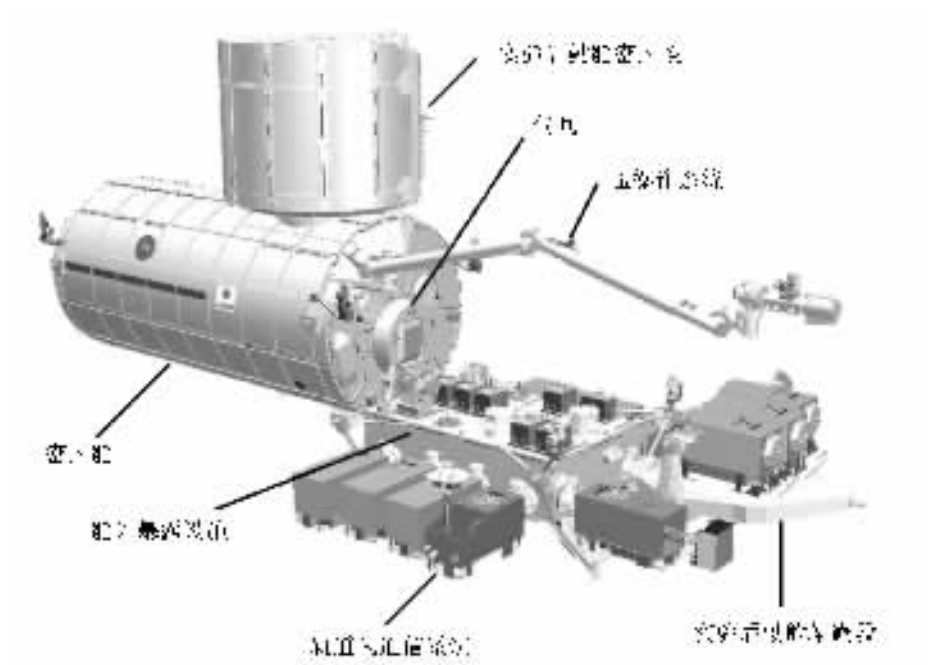


图 5 JEM 实验舱结构图

JEM 实验舱由以下舱段组成：

- 密封舱；
- 舱外暴露设施；
- 实验后勤舱密封段；
- 实验后勤舱暴露段；
- 遥操作系统；
- 轨道间通信系统。

1. 密封舱

密封舱(PM)位于 JEM 实验舱中央,长 11.2 米,直径 4.4 米,主要进行微重力科学实验。舱内空气构成和气压与地球上接近,能够保持舒适的温湿度,使航天员可以像在地面一样穿着衬衫工作。舱内设备可分为两大类:一类是系统设备,用于维持 JEM 实验舱正常工作;另一类是实验设备,用于进行科学研究。密封舱内共有 23 个仪器架,提供电源、通讯、空调、硬件制冷、液路控制和实验保障,其中有 10 个实验架。

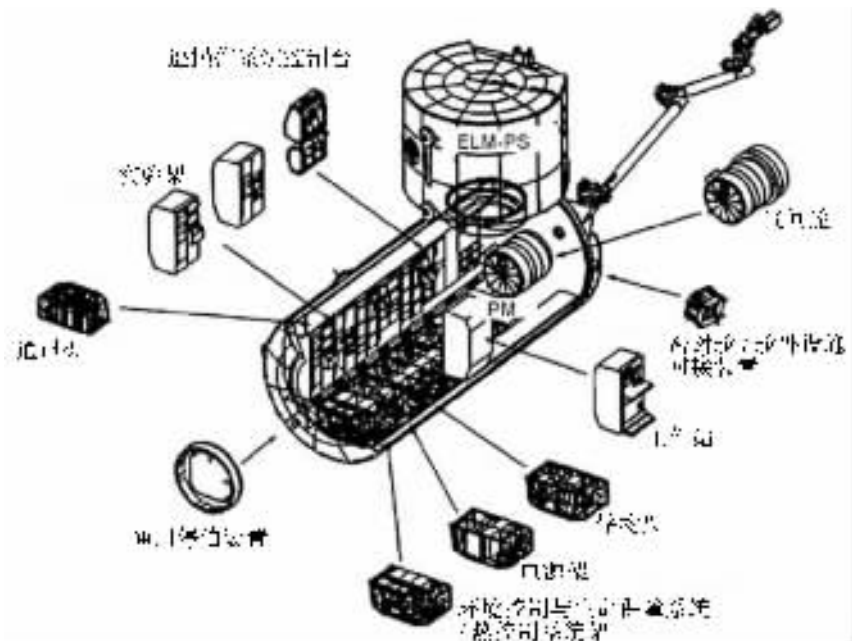


图 6 密封舱

密封舱主要部件包括：

- 实验后勤舱密封段；
- 气闸舱；
- 密封舱/舱外设施对接装置；
- 工作站；
- 储物架；
- 电源架；
- 环境控制与生命保障系统/热控制系统架；
- 通用停泊装置；
- 通信架；
- 实验架；
- 遥操作系统控制台。

2. 舱外暴露设施

“舱外暴露设施”(EF)位于密封舱外部,可以充分利用太空微重力、高真空和大空间的特点。舱外实验平台长4米,宽5.6米,高5米,发射质量为4吨,预计寿命为10年。该实验平台可使国际空间站进行长期对地观测、天文观测以及通讯和材料科学等多种实验。目前国际空间站上欧洲和美国的设施也可以提供舱外实验的功能,但是电力供应和通讯保障能力都没有JEM实验舱外设施强大。舱外设施有效载荷要求的尺寸长宽高分别为1.85米、0.8米、1.0米,质量最多500千克,舱外设施可同时容纳10个这样的实验载荷。航天员可以利用遥操作系统将实验载荷或硬件从密封舱通过气闸舱安装到该平台上。

舱外暴露设施主要部件包括：

- 耳轴；
- 舱外设施观察设备；
- 设备交换器；
- 轨道间通讯系统；

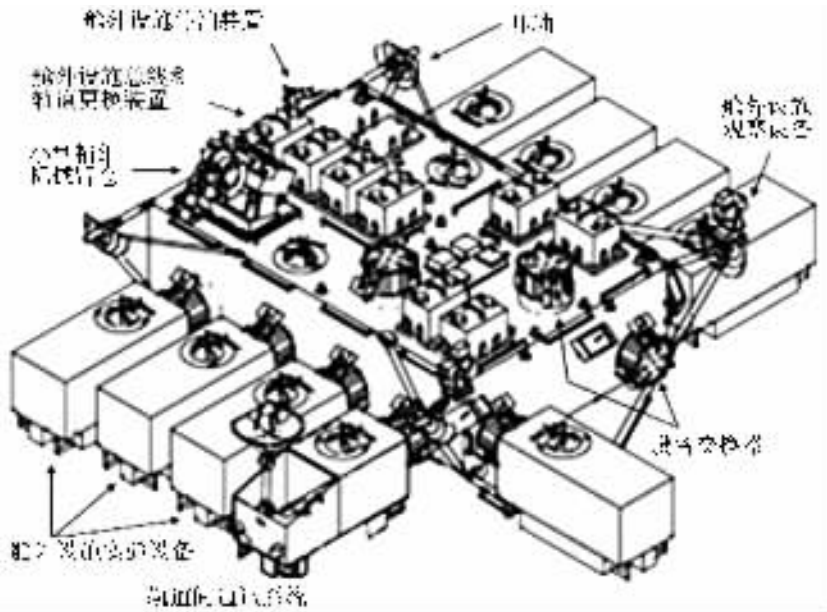


图 7 舱外暴露设施

- 舱外设施实验设备；
- 小型精细机械臂仓库；
- 舱外设施总线和在轨更换装置；
- 舱外设施停泊装置。

3. 实验后勤舱

实验后勤舱(ELM)是在轨设备的储藏室,可容纳实验材料、维修工具和补给品。实验后勤舱除了储藏功能外,还可以用作运输舱,能够与国际空间站分离,借助航天飞机返回地面,并再次发射送入太空。实验后勤舱包括密封段和暴露段两部分。实验后勤舱密封段(ELM-PS)将是 JEM 实验舱第一个发射入轨的部件,入轨后将暂时先借助停靠装置与美国舱相连,密封舱(PM)入轨后再重新安装到预定位置。它呈短圆柱形,可容纳 8 个实验架,直径 4.4 米,长 3.9 米,比密封舱小,为密封舱服务,发射时装载实验设备和系统托架,入轨后主要用作贮藏设施,存放系统设备、实验设备维修工具、实验材料或用于更换的备件。实验后勤舱暴露段

(ELM-ES)是一个金属托盘,能够容纳 3 个实验载荷,长 4.2 米,宽 4.9 米,高 2.2 米,为舱外设施服务。

4. 遥操作系统

遥操作系统(RMS)由两个机械臂组成,主要用于进行舱外设施在轨更换任务。主机械臂(Main Arm)长 9.9 米,能够处理重达 6.4 吨的大件物体,主臂末端附有小型精密机械臂(Small Fine Arm)长 1.9 米,用来处理小物件。机械臂上装有电视摄像机,航天员可以从舱内监视控制操作过程。每个机械臂有 6 个关节,可模拟人体胳膊的运动。

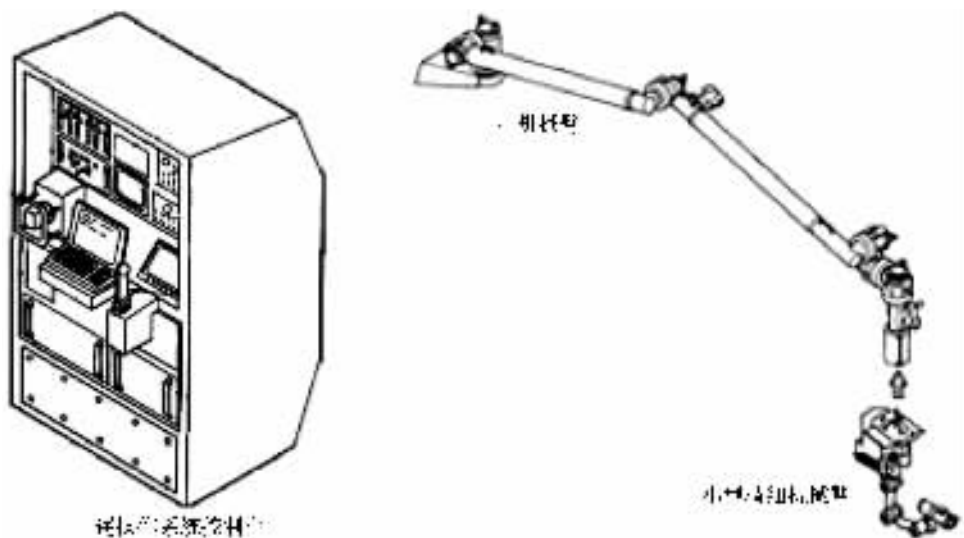


图 8 遥操作系统

遥操作系统主要部件包括:

- 遥操作系统控制台;
- 主机械臂;
- 小型精细机械臂。

航天员在密封舱内通过计算机遥操作控制台操作机械臂,通过机械臂上的摄像机将外部图像传送到控制台的电视监视器上进行观察。机械臂专门用来将密封舱内的实验载荷或硬件穿过气闸舱与

舱外设施和实验后勤舱的设备进行调换、更换维修。

(二) 空间科学与应用有效载荷

1. 生命科学实验

(1) 细胞生物实验设施

细胞生物实验设施(CBEF)用于各种各样的生命科学实验,例如在 JEM 密封舱里培养细胞、植物等。细胞生物实验设施由孵化器、控制和通讯设备组成。

孵化器包含一个 μG 组件(高微重力组件)和一个 1G 组件。1G 组件装有一个离心机,可以控制重力在 0.1~2 克的范围内变化,并与 μG 组件进行重力对比实验。

孵化器可对温度、湿度、二氧化碳浓度进行控制调节:

温度:15°C~40°C;

湿度:20% RH~80% RH

二氧化碳浓度:0%~10% (vol)

(2) 生物实验单元

生物实验单元(BEU)安装在细胞生物实验设施里,能够满足各种微重力实验的要求,应用于国际空间站的生命科学实验。

为了支持在 JEM 实验舱里开展各种典型的生命科学实验,总共开发研制了 4 种类型的生物实验单元。它们分别是植物实验单元、细胞实验单元 1、细胞实验单元 2、测试单元。

(3) 净化台

净化台(CB)由两个分隔间组成:消毒作用室(DC)以及操作室(OC)。净化台通过 HEPA 过滤器的作用,保持内部循环空气干净。任务专家带着手套从外面对实验材料进行操作,防止环境空气污染实验材料。

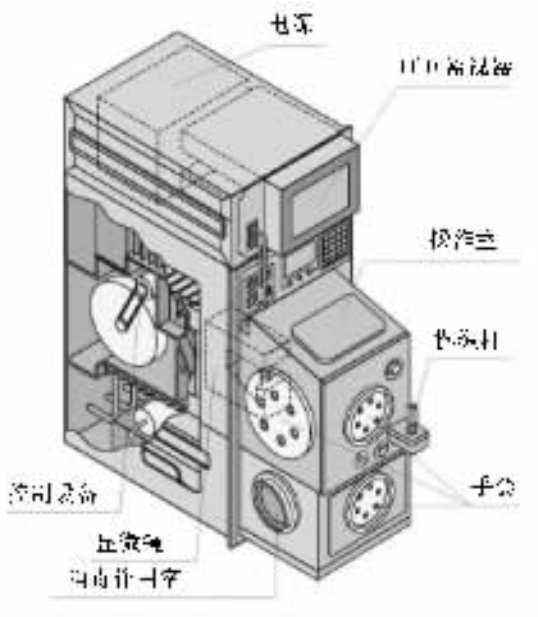


图 9 净化台

(4) 被动式放射量测定器

为支持生命科学实验, JAXA 开发了被动式放射量测定器组件和分析系统, 为空间辐射提供环境数据。

(5) 水生动物养殖箱

JAXA 给 NASA 航天飞机研制了一种水生动物养殖箱(AQH), 用于进行各种各样的水生动物实验。

(6) 溶剂/蛋白质晶体生长设施

溶剂/蛋白质晶体生长设施(SPCF)由溶剂晶体观察设施(SCOF)和蛋白质晶体研究设施(PCRF)构成。

溶剂晶体观察设施观测设备包括调幅显微镜和两个波长干涉显微镜, 能同时测量形态和生长条件(温度和密度)的变化。研究人员能自由地设计独特的实验筒, 提供接口以实现温度控制和测量、压力控制和测量、细胞阶段的控制和 N_2 的供给。溶剂晶体观察设施还提供了一台 Michelson 干涉显微镜和动态光散射仪作为选择。

蛋白质晶体研究设施有 6 个单元盒,由于每个单元盒都有一个马达驱动和提供适宜温度特性的微型组件,因此可以自由地调节实验启动和终止,以及设计相应的温度特性,进而建立适合于各种蛋白质的实验条件。另外,CCD 像机可以提供对晶体生长过程的实时监控。

2. 微重力科学实验

(1) 梯度加热炉

梯度加热炉(GHF)是一个包含 3 个加热器的真空炉。加热器的位置和温度可以独立控制,并且可以实现各种各样的温度特性。这个设备主要用于需要单向凝固的高质量晶体生长实验。梯度加热炉的样品自动交换系统,可以同时容纳 15 个样品盒,而减少操作人员的工作量。

梯度加热炉自动根据每个加热器的温度特性进行操作。地面研究人员可以根据下行的温度数据确认实验的进展,而且通过地面指令在实验期间改变每个加热器的温度设置。

表 1 梯度加热炉的特性

加热温度范围	端部加热器:500~1600℃(最大移动距离:200 毫米) 中部加热器:500~1600℃(最大移动距离:250 毫米) 辅助加热器:500~1150℃(最大移动距离:250 毫米)
温度稳定度	0.2℃
温度精度	0.4%
温度梯度	150℃/厘米(在 1450℃时)
速度	0.1~200 毫米/小时或 600 毫米/小时
速度稳定度	1(10~200 毫米/小时)10(0.1~10 毫米/小时)
插槽直径	40 毫米
连续操作时间	300 小时(在最高温度时)
最大功率	5300 瓦

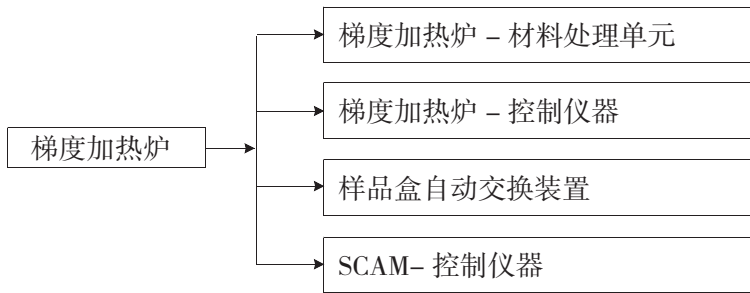


图 10 梯度加热炉的主要组件

(2) 流体物理实验设施

流体物理实验设施(FPEF)由核心部分和任务部分组成。核心部分包括观察设备、控制设备和其他实验支持系统;任务部分由“实验单元”组成,可根据实验目的更换。

流体物理实验设施可以进行的实验包括:液桥观察、三维流场观察、表面温度测量、超音速分布图测量、表面流速观察等。

用户能通过在地面交换参数完成实验。用户既能实时监测传感器所测实验数据的状态,也能通过卫星线路监测图像数据。

3. 地球观测和空间地球系统科学

一旦国际空间站建成,日本将会立即着手开展地球科学领域的研究活动。其中,JEM 实验舱的舱外暴露设施(EF)是一个重要的实验平台。

暴露平台包含以下功能模块,用以支持空间科学与应用研究和试验:

- 任务接口结构:用于安装暴露设备。JEM 实验舱的机器臂将有效载荷运输到平台的预定位置,然后安装在 JEM 实验舱的预定接口。载荷的启动、运输和安装都需要有特别的附件作准确的调整。有两种类型的任务接口结构可供选择:箱结构和板结构。

- 加热器控制设备:利用传感器测温,并通过加热器维持预定温度。每个加热器可被独立控制。

·遥控终端：将按照 JEM 实验舱与国际空间站之间的特殊通信协议，对 JEM 实验舱上的仪器信号进行转换，使得实验可以进行。

·配电箱：将 JEM 实验舱对暴露平台提供的 120 伏电源换成 28 伏电源，便于实验仪器的使用。配电箱能将电力分配给最多 12 条线路使用。

·延伸机械组件：部分暴露平台实验需要从主结构进行延伸。

在上述设备的支持下，JEM 舱暴露平台当前将重点开展以下研究工作：

(1)空间环境数据获取装置

空间环境数据获取装置(SEDA-AP)将在国际空间站轨道上测量空间环境(中子,等离子,重离子,高能光粒子,原子氧和宇宙灰尘等),以及空间环境对 JEM 实验舱暴露平台上的实验材料和电子仪器的作用和影响。

(2)全空间 X 射线扫描仪

全空间的 X 射线扫描仪由高灵敏度 X 射线缝隙照像机组成,能够在较宽的能量带(0.5 到 30keV)上连续监控空间 X 射线。

(3)超导亚毫米波边缘发射探测器

超导亚毫米波边缘发射探测器(SMILES)是一个大气成份观测仪,其目的是测定平流层和逃逸层中气体等成分的含量和分布,以探测它们对长期气候变化的影响。

4. 实验支持仪器

(1)图像处理单元

图像处理单元(IPU)在 JEM 实验舱里从各种各样的实验设备收到图像数据,把数据进行编码,然后把数据转存到 JEM 实验舱。当实时数据传输系统不能工作时,图像处理单元也可以将实验图像数据记录在磁带录像机(VTR)系统上。图像处理单元具有连接 JEM 实验舱和实验设备的各种接口,可同时接收并译码 5 条独立运行的视频信道,并且连续用 5 个数字磁带录像机系统在磁带上记录视频信号

(长达 120 分钟/个)。

(2)-80℃实验制冷箱

为了在生命科学和生物技术、相关的医药学等方面进行空间实验,经常需要在轨道上保持低温。安装在 JEM 实验舱中的-80℃实验制冷箱将会满足这些要求。

四、日本“月亮女神”号绕月探测卫星空间科学探测

日本的“月亮女神”(SELENE)号绕月探测卫星空间科学探测有 3 大目标:(1)进行全月球的高精度观测,以研究月球的起源和演变;(2)获得月球表面环境信息,其考察数据将用于研究未来月球利用和载人探测的可能性;(3)在月球轨道上进行电波学研究,从月球上观测太空和地球。

整个月球探测系统包括以下 3 个组成部分:主卫星,中继子卫星(Rstar)和干涉测量子卫星(Vstar)。

主卫星上有 X 射线光谱仪(XRS)、 γ 射线光谱仪(GRS)、光谱轮廓仪(SP)、多谱段成像仪(MI)、地形相机(TC)、月球雷达探测仪(LRS)、激光测高计(LALT)、月球磁强计(LMAG)、等离子体成像仪(UPI)、等离子体分析仪(PACE)、带电粒子光谱仪(CPS)和高清电视摄像机(HDTV)等空间科学仪器和应用载荷;中继子卫星有甚长基线干涉测量仪(VLBI)和通信转发器;干涉测量子卫星有甚长基线干涉测量仪(VLBI)和射电科学装置(RS)。

主卫星将观测月球表面的元素和矿物分布、表面和亚表面结构、重力场、剩余磁场以及高能粒子和等离子体环境。中继子卫星将中继主卫星和地球地面站之间的多普勒测距信号,实现世界上首次对月球背面的重力场直接测量。中继子卫星和干涉测量子卫星上的甚长基线干涉测量仪(VLBI)和射电源用于精确地确定月球的重力场。

3 颗卫星的基本参数见表 2、表 3、表 4:

表 2 主卫星的基本参数

质量	3 吨
最大功率	3.5 千瓦
尺寸	2.1 米×2.1 米×4.8 米
姿态控制	三轴稳定
轨道	100 千米高的圆形极月轨道
设计寿命	约 1 年

表 3 中继卫星的基本参数

质量	50 千克
姿态稳定	自旋稳定
轨道	近月点 100 千米、远月点 2400 千米、倾角 90°的椭圆轨道

表 4 干涉测量量子卫星的基本参数

质量	50 千克
姿态稳定	自旋稳定
轨道	近月点 100 千米、远月点 800 千米、倾角 90°的椭圆轨道

3 颗卫星的绕月轨道见下图。

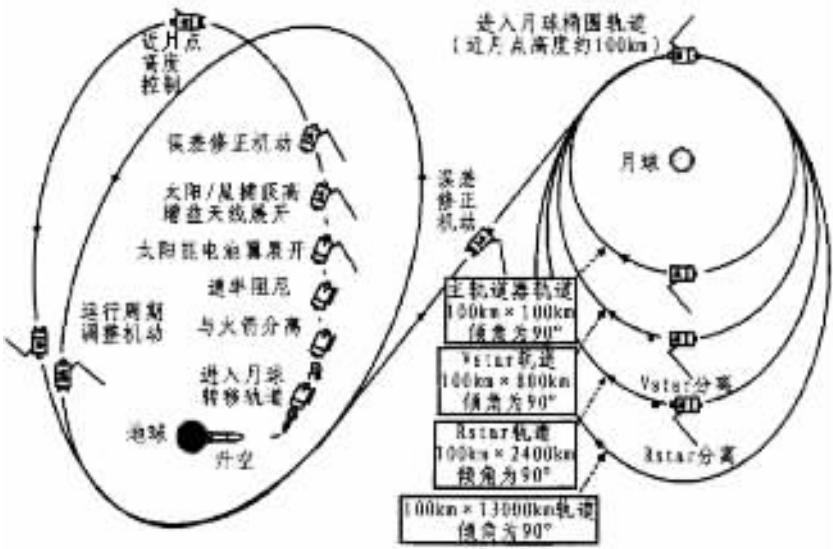


图 11 “月亮女神”的飞行任务图

“月亮女神”号绕月探测卫星搭载了多种高精度空间科学仪器，参见表 5。

表 5 “月亮女神”有效载荷一览表

	观测内容	有效载荷及其任务
主卫星	化学元素分布	XRS: 确定 Al、Si、Mg、Fe 等元素分布, 空间分辨率为 20 千米 GRS: 确定 K、U、Th 等元素分布, 空间分辨率为 160 千米
	矿物分布	SP: 波长范围为 0.52~2.6 微米, 空间分辨率为 562 米×400 米 MI: 波长范围为 0.415~1.55 微米, 空间分辨率为 20 米(可见光)和 62 米(近红外)
	表面结构	TC: 高分辨率立体像机, 空间分辨率为 10 米 LRS: 视在深度为 5 千米, 分辨率为 100 米 LALT: 高度分辨率为 5 米, 空间分辨率为 1600 米
	表面和空间结构	LMAG: 测量磁场 UPI: 观测地球等离子体层, 观测范围从远紫外到可见光 CPS: 观测高能粒子 PACE: 测量带电粒子的能量和组成
	成像	HDTV: 绘制地球和月球表面图
Rstar 卫星	重力场分布	VLBI 射电源: 测量月球重力场分布 RSAT: 利用地面站到轨道器的距离变化率测量月球背面重力场
Vstar 卫星	重力场分布	VRAD: 测量月球重力场分布
卫星	环境	RS 装置: 测量月球电离层

“月亮女神”号探月卫星的布局如图 12 所示。

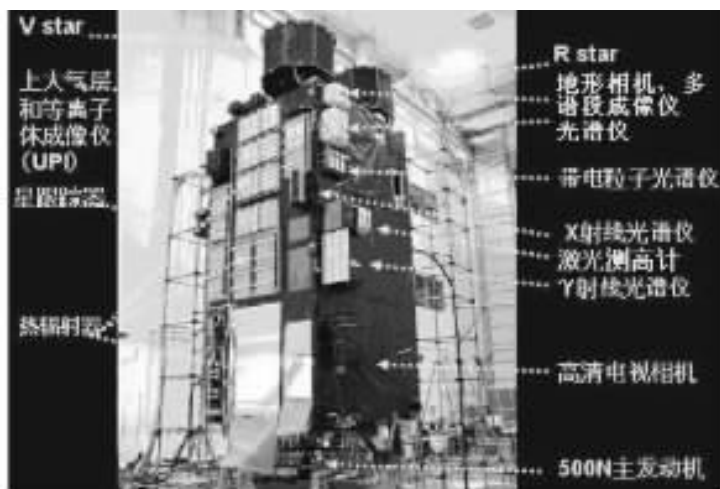


图 12 “月亮女神”整星布局图

(一) X 射线光谱仪(XRS)

X 射线光谱仪由 XRF-A、SOL-B 和 SOL-C 等仪器组成,其中 XRF-A 是一台月球 X 射线荧光探测器,SOL-B 是一台太阳 X 射线探测器,SOL-C 是一台 X 射线荧光校准器。

1. 科学目标

X 射线光谱仪将以高空间分辨率确定整个月球月球壳的主要元素成分(Mg、Al、Si、Ca、Ti、Fe 等),确定每种月球地貌的岩石类型,并勘测其区域变化模式,研究月壳的形成和演变,从而了解月球的起源和演变。

X 射线光谱仪将覆盖除极区外约 90%的月面,以优于 20 千米的空间分辨率测量元素成分。

XRF-A 同时驱动 16 个 CCD,具有较高的能量分辨率和较大的探测面积。

SOL-B 和 SOL-C 利用标准样本和同时进行的太阳 X 射线监视来进行元素定量分析。

2. 技术指标

表 6 X 射线光谱仪的技术指标

项目	XRF-A	SOL-B	SOL-C
仪器	16 个 CCD	2 个 SiPIN 二极管	1 个 CCD
探测面积(平方厘米)	100	针孔大小	6
视场	12°×12°	180°×90°	180°×90°
星下点轨迹分辨率(千米)	20(距离 100 千米时)	-	-
能量范围 KeV	0.7~10	1~20	0.7~10
能量分辨率 eV	<180(-50°C, 铁 55)	<500(铁 55)	<160(-50°C, 铁 55)
工作温度(°C)	<-40	<0	<-40
模数转换器(比特)	12	8	12

3. 工作原理

太阳 X 射线辐照激发最上层表面物质的原子,这些受激原子转

变成每种元素发射 X 射线特性的基态。通过对入射的太阳 X 射线监视和太阳光照射月球表面的 X 射线光谱测定可以提供有关月球表面元素成分的信息。

(二) 月球成像仪/光谱仪(LISM)

LISM 包括 3 种高性能光学仪器,分别是:地形相机(TC)、多谱段成像仪(MI)和光谱轮廓仪(SP)。

1. 科学目标

LISM 将首次对月球的地形、地质和矿物信息进行精确的测量。例如,通过分析特别感兴趣区域(如月坑中峰)的 LISM 数据,可以更好地了解这些区域准确的岩石和矿物分布。与以往的月球探测卫星数据相比,LISM 的数据具有如下优势:

- 首次利用立体图像获得全月球地形数据;
- 以比目前的彩色图像高一个数量级的空间分辨率获得精确的单元信息;
- 首次根据连续反射光谱直接进行矿物识别和确定。

2. 技术指标

表 7 地形相机、多谱段成像仪和光谱轮廓仪的技术指标

项目	地形相机	多谱段成像仪	光谱轮廓仪
空间分辨率	10 米	可见光:20 米 近红外:62 米	562 米×400 米
视场(°)	完全模式:22.4 标称模式:19.3 半模式:9.65	可见光:11(19.3 千米); 近红外:11.2(19.6 千米)	0.23
光谱法		带通滤波器	衍射光栅
波段数量	2(立体)	可见光:5;近红外:4	296
带宽(纳米)	420	10~50	6~8
波长(微米)	0.43~0.85	可见光:0.415、0.75、0.9、 0.95、1.0 近红外:1.0、1.05、1.25、1.55	可见光:0.52~0.96 近红外 1:0.9~1.7 近红外 2:1.7~2.6

3. 工作原理

地形相机和多谱段成像仪都是推扫式成像仪，并且对月面进行连续观测。地形相机在前后方向上各有一台像机，进行立体观测。多谱段成像仪有 2 台对地望远镜，带有二维探测器和带通滤波器，可获得 9 个波段的光谱信息。光谱轮廓仪是一台光谱仪，观测星下月面，通过两个光栅获得 296 个波段表面反射光光谱信息。

(三) γ 射线光谱仪(GRS)和带电粒子光谱仪(CPS)

1. 科学目标

γ 射线光谱仪(GRS)将高度准确地观测全月面的元素含量(K、U、Th、O、Mg、Al、Si、Ti、Fe、Ca、H 等)，为研究月球起源和演变提供线索。这些观测将为月球探测，特别是水的存在做出贡献。水对于未来人类在月球上的活动至关重要，而在本地供水可以大大降低成本。GRS 可以确定氢发射的 γ 射线，并能对氢进行测绘。

带电粒子光谱仪(CPS)的 2 种主要仪器是 α 射线探测器(ARD)和粒子光谱仪(PS)。ARD 将探测月面上 Rn 和 Po 元素发射的 α 射线，以辨认射气(惰性气体)和获取过去 50 年壳体运动的信息。粒子光谱仪将观测月球周围的太阳和银河宇宙射线，获得月球周围的基本宇宙射线数据，预报宇宙射线，从而保护人类在太空不受辐射粒子的损害。

2. 技术指标

· 锗半导体晶体是 GRS 的主探测仪器，它通过斯特林低温致冷器冷却到 -180°C 以下。GRS 的能量分辨率极高，是以往月球任务所用探测器的 20 倍。因此，GRS 可以很高的精度识别入射的 γ 射线能量，并确定月面上 10 多种元素的含量。

· α 射线探测器(ARD)和粒子光谱仪(PS)仪器由具有高能量分辨率的 Si 半导体探测器组成。入射粒子可以利用多层 Si 探测器存储的能量信息，通过总能量的变化来确定。这样不仅能获得能量信息，也可以获得入射宇宙射线的基本信息。

3. 工作原理

银河宇宙射线辐照在月球表面产生中子,这些中子与表面元素相互作用,可以产生具有月面每种元素能量特性的 γ 射线,然后通过月球轨道上测量 γ 射线能量确定元素成分。

(四) 月球雷达探测仪(LRS)

1. 科学目标

月球雷达探测仪利用 5MHz 的高频雷达技术对月球表面和亚表面结构进行探测,而同时采用的低频雷达技术可以实现对水平尺度几十千米的地区进行几千米深的亚表面结构测绘,距离分辨率小于 100 米。月球雷达探测仪将为研究月球表面几千万年时间尺度的热辐射做出贡献。

月球雷达探测仪对月球周围的行星电波和等离子体波进行观测时,将不受来自地球的人造噪声和太阳辐射的干扰。

2. 技术指标

表 8 月球雷达探测仪技术指标

项目	参数	
质量(千克)	23.182	
功率(瓦)	56.7	
探测仪观测	SDR 频度(MHz)	5(主频)
	辐射功率(瓦)	800
	脉宽(μs)	200
	调制(kHz/ μs)	10
	探测深度(千米)	5
自由等离子体波观测频率(Hz)	$10\sim 3.0\times 10^7$	
遥测速度(kbit/s)	高速:492 低速:176	

3. 工作原理

月球雷达探测仪的工作原理是:发射 5MHz 频率的射频脉冲,穿透月球的亚表面区。当电波遇到亚表面材料不连续时,会产生亚表面回波信号,从而得到月球亚表面结构信息。

(五) 激光测高计(LALT)

激光测高计是主卫星上的仪器之一,对卫星到天底方向的月面进行激光测距。激光测高计能够在极轨上获得沿卫星轨迹的全球距离数据。利用激光测高计获得的这些距离数据,结合月球成像仪,形成立体图形,将可以首次绘制一幅精确的月球全球地形图。它主要由激光高度计发射/接收机(LALT-TR)和激光高度计电子设备(LALT-E)组成。

1. 科学目标

激光测高计主要有以下3个任务目标:

- 以比美国的“克莱门汀”(Clementine)任务精确得多的精度测量月球全球数据,即获得基本的月球测量参数;
- 绘制精确的月球全球地形图,包括两极地区;
- 通过分析月球重力和地形数据,研究月球内部结构。

2. 技术指标

表9 激光测高计的技术指标

项目	参数
质量(千克)	20
尺寸	306毫米×450毫米×408毫米(LALT-TR) 301毫米×241毫米×88毫米(LALT-E)
激光波长(纳米)	1064
距离(千米)	50~150
激光输出能量(兆焦)	100
脉冲重复频率(Hz)	1
测距精度(米)	5

3. 工作原理

激光测高计从主卫星向月球发射激光脉冲,精确测量从月球返回信号的双程时间,轨道器和月面之间的距离就可以通过这个双程时间获得。

(六) 月球磁强计 (LMAG) 和等离子体能量与成分实验 (PACE)

1. 科学目标

月球上有许多区域存在磁异常,那里的磁场强度比普通区要高。利用月球磁强计和等离子体能量与成分实验进行高精度的观测,可以得到更宽区域更详细的磁异常图,从而促进对磁异常影响机理以及远古时期月球磁场存在的研究。

在地球上观测显示,月球周围有稀薄的碱性大气存在。据称这种大气主要是由太阳光子和太阳风产生的。太阳风引起的溅射是稀薄大气的来源之一,它可能会产生反应月球表面成分的二次离子。而本次飞行任务将利用月球磁强计和等离子体能量与成分实验首次对月球表面的溅射离子进行测量。

月球磁强计可以对只有地磁场 1/100,000 的弱磁场进行测量。它的传感器安装在伸出的超轻型桅杆(杆长 12 米)头上,以避免磁干扰。

等离子体能量与成分实验包括 4 台传感器:电子光谱分析仪-S1、S2 (ESA-S1、S2)、离子质量分析仪 (IMA) 和离子能量分析仪 (IEA)。ESA-S1、S2 测量 15keV 以下的低能电子的三维分布情况,而离子质量分析仪和离子能量分析仪测量 28keV/q 以下的低能离子的三维分布情况。

2. 技术指标

表 10 月球强磁计和等离子体能量与成分实验的技术指标

仪器名称	项 目	参 数
月球强磁计	分辨率(比特)	16
	精度(nT)	<0.1
等离子体能量与成分实验	采样间隔(秒)	1/32
	能量范围	5eV~15keV(ESA) 5eV/q~28keV/q(IEA 和 IMA)
	角分辨率	5°×8°(ESA) 5°×5°(IEA) 5°×5°(IMA)
	采样间隔(秒)	1

3. 工作原理

月球磁强计能够观测杆头传感器处的磁场方向和强度。等离子体能量与成分实验的传感器是平顶型静电分析仪,在入口处有角扫描偏转器,内部有环形电极。其中,离子质量分析仪和离子能量分析仪还带有其他电极,用于电动控制灵敏度。为了测量离子质量,离子能量分析仪还带有线性电场飞行时间离子质量分析仪。

(七) Rstar、VRAD 和射电科学装置(RS)

1. 科学目标

重力场能够告诉我们土壤下面是否有大块物质存在。通过测量重力场的分布,可以获得月球演变的信息。

本次探测任务,将利用中继子卫星 Rstar 首次对月球背面的重力场进行四路多普勒测量。“月亮女神”的两颗子卫星 Rstar 和 Vstar 带有差分甚长基线干涉仪(VLBI),通过跟踪其上的射电源(VRAD),可以准确确定子卫星的轨道,对于重力场(特别是在月球边缘区域)的测量精度有重要意义。

由于缺乏数据,对于月球上是否存在电离层仍有争议。“月亮女神”上的射电科学装置(RS)通过测量射电波通过电离层时频率的变化对月球电离层进行探测。

2. 技术指标

表 11 中继子卫星 Rstar 的技术指标

尺寸	1 米×1 米×0.65 米
质量	45 千克
功率	70 瓦

3. 工作原理

莆田深空中心发出的上行射电波通过中继子卫星(Rstar)中继到主卫星,再通过中继子卫星返回莆田,在莆田测量多普勒频率。见图 13。

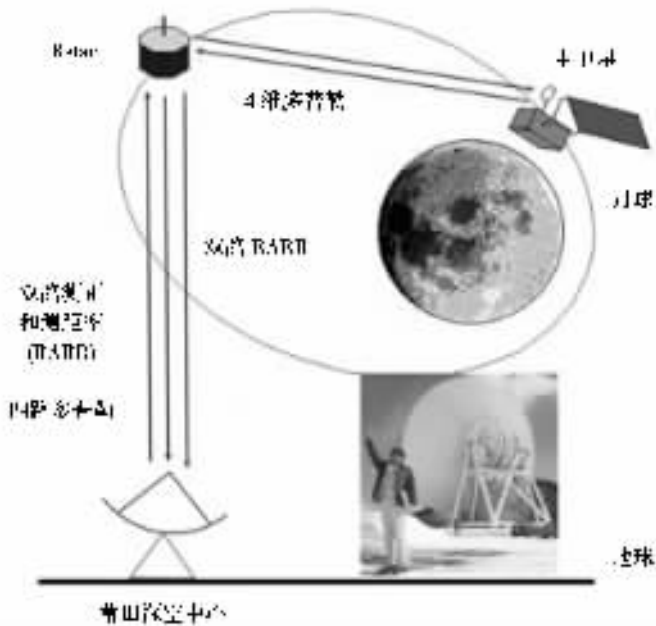


图 13 通过中继卫星 Rstar 进行四路多普勒测量

两颗子卫星 Rstar 和 Vstar 发出的射电波由日本国家天文台的“维拉”(VERA)射电望远镜和其他射电望远镜接收。

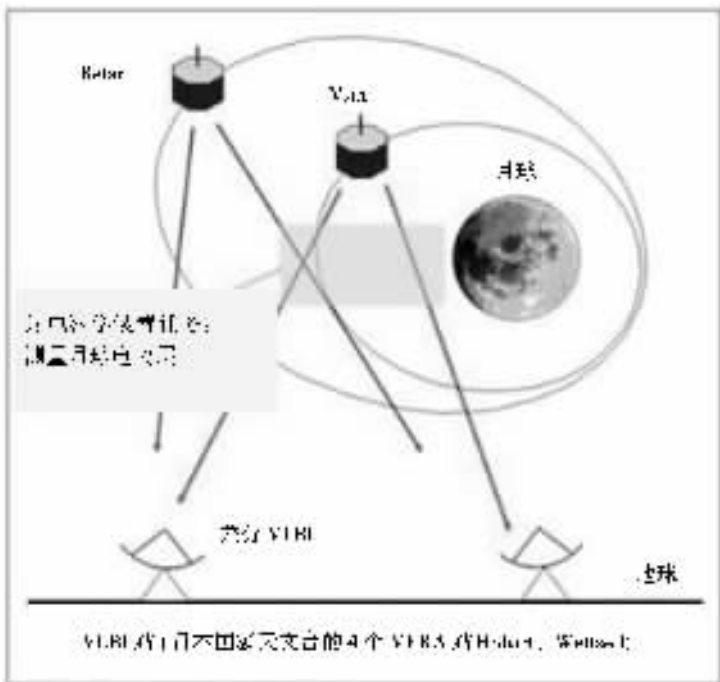


图 14 Vstar 对射电源进行差分 VLBI 观测,射电科学装置进行月球电离层观测

莆田接收 Vstar 发出的非常接近月球边缘的射电波，进行月球电离层测量。

(八) 上大气层和等离子体成像仪(UPI)

1. 科学目标

利用极紫外望远镜(TEX)进行观测,可以知道地球周围空间的等离子体分布。特别是通过氧离子辐射进行全球成像将推动空间等离子体物理学的发展。利用可见光望远镜(TVIS)拍摄的极光椭圆可以与共轭极光形状进行定量比较,通过辉光成像可以清楚地看到大尺度电离层扰动在地球上的传播。

2. 技术指标

上大气层和等离子体成像仪(UPI)将利用两台望远镜从月球轨道上观测地球:一台极紫外望远镜用于观测等离子体层,一台可见光望远镜用于观测极光和辉光的全地球分布。

极紫外望远镜探测氧离子和氮离子的谐振散射辐射。它配备了高效镜面和微通道板,带有电阻阳极,能生成 128×128 像素的图像,其相应的空间分辨率为 500 千米。

可见光望远镜配备了一台快速反射折射光学设备和一台高灵敏度 CCD 对迅捷的极光和暗辉光进行成像。可见光望远镜的视场相当于从月球上看到的地球圆盘,它对地球表面的空间分辨率约为 30 千米,通过选择滤波器可以改变观测的波长。

表 12 上大气层和等离子体成像仪的技术指标

项目	极紫外望远镜	可见光望远镜
孔径(毫米)	120(焦距为 168 吋)	136(焦距为 320 吋)
探测器	带电阻阳极的微通道板	背向照射帧传输 CCD
视场	10°×10°(128×128 像素)	2.38°×2.38°(512×512 像素)
波长(纳米)	30.4, 83.4	428, 558, 589, 630, >730

3. 工作原理

极紫外望远镜和可见光望远镜装在一个特制的两轴万向架上。主轴和副轴可以消除卫星和月球的轨道运动,因此,望远镜可以保持指向地球。上大气层和等离子体成像仪只有在卫星处于月球阴影和对地球可视时才工作。

(九) 高清电视(HDTV)

1. 科学目标

该设备装有一台远景摄像机和一台广角高清电视(HDTV)彩色摄像机,采用3台220万像素的CCD。摄像机可以拍摄地球的升起以及斜视拍摄复杂月坑的详细地貌,这些图像作为公众信息是非常有用的。

2. 技术指标

表 13 高清电视的技术指标

项目	参数
尺寸	46 厘米×42 厘米×28 厘米
质量(千克)	16.5
功耗(瓦)	50
传感器	CCD(有效像素:1920×1080)
芯片(个)	3
视场角 (水平×垂直)	广角摄像机:(15.60°×8.80°) 远景摄像机:(51.23°×30.17°)

3. 工作原理

高清电视高清晰彩色摄像机装在探测器的月球一侧,可以拍摄地球的升起和落下。每1分钟的视频场景可在20分钟内压缩、存储并传输到地球。

(十) 目前已取得的研究成果

1. 高清电视摄像

(1) 拍摄地球

图 15 是由“月亮女神”上的高清电视彩色摄像机于北京时间 2007 年 9 月 29 日 20 时 46 分,拍摄得到的地球照片,并于北京时间 9 月 30 日 8 时 40 分传输到莆田深空研究中心,这是世界上第一张从深空拍摄的地球高清晰度图片。



图 15 “月亮女神”拍摄的地球

(2)拍摄月面

北京时间 10 月 31 日,“月亮女神”首次使用高清电视摄像机,从 100 千米的高度对月球表面进行拍摄。图 16 拍摄的是从风暴洋北部区域到北极中心区域的图片。

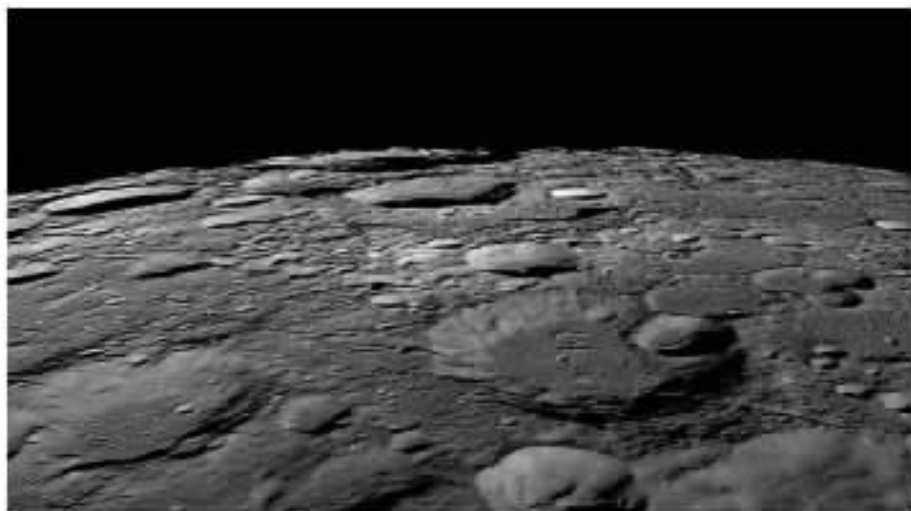


图 16 第一次拍摄,月球北极区域

(3)拍摄“地出”和“地落”现象

图 17 中的左图是北京时间 11 月 7 日 13 时 52 分拍摄的“地出”图像,月面在北极附近,可以看到地球上的阿拉伯半岛和印度洋。右图是北京时间 11 月 7 日 11 时 07 分拍摄的“地落”图像,月面在南极附近,地球的中央偏左是澳洲大陆,右下是亚洲大陆。“地出”和“地落”是绕月卫星看到的独特现象,而如果站在月球表面,则地球基本处于不动的位置,就看不到这种现象。

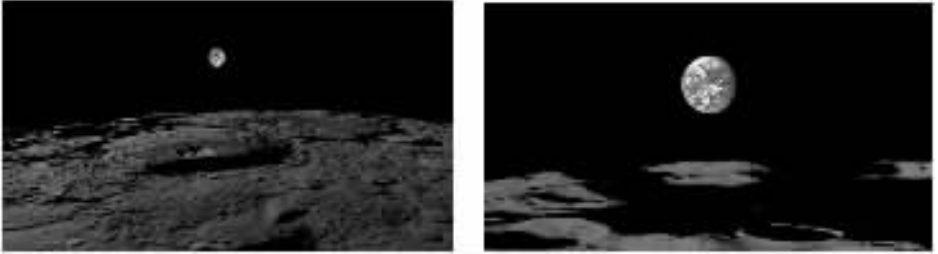


图 17 “月亮女神”拍摄的“地出”(左)和“地落”(右)现象

2. 月球成像仪/光谱仪(LISM)的观测结果

(1)地形相机(TC)

地形相机(TC)使用前后两个相机对月球的阳照面进行观察,它以 10 米的超高清精度对月球进行三维摄像。

在 2007 年 11 月 3 日对地形相机进行初始功能验证时,日本宇航研究机构成功地取得了正处于夏季的月球南极周围的立体图像,并基于立体图像观测数据绘制了三维地形图。

精确的三维月球地形图是阐明月球独特地形发展过程的重要数据。对月球火山口分布情况的详细调查,能更确切地估计月球上每个地区是在什么时候形成的,并且能研究月球是何时诞生的以及它的内部和表层是如何演变的等更多细节。而且,地形相机获得的数据还会用于对地形特征和日光条件的研究,为将来的月球基地最佳位置确定和日后人类在月球上的活动收集基本数据。

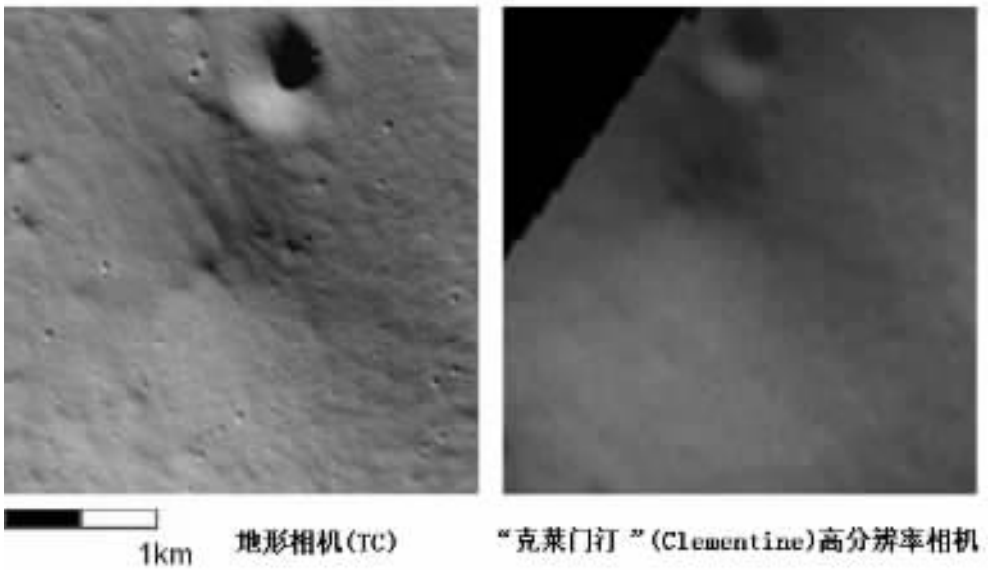


图 18 “月亮女神”地形相机拍摄的照片和美国“克莱门汀”拍摄图片的对比

通过图 18 两张图片的对比，可以在 TC 拍摄的图片中观看到更小的火山口(直径 10~90 米)以及火山口内的微细结构。

(2)多谱段成像仪

多谱段成像仪(MI)通过对从可见光到近红外的 9 谱段的观测，测量矿物质的分布。在 2007 年 11 月 3 日对多谱段成像仪进行初始功能验证时，日本宇航研究机构成功地进行了第一次对月观察。通过比较不同频带的图像，多谱段成像仪能获得包括矿物质分布在内的详细地质信息，以及火山喷发出的材料的分布情况。多谱段成像仪有一根长达 20 米的天线，因此它的分辨率相比于以前的月球探测器提高了一个数量级。通过多谱段成像仪，能获得月球表面上几十亿年来的各种地质构造信息。这些新发现对于研究月球的起源和演化产生显著的推动作用，并且有助于将来的载人探月活动，包括探明有用矿物质的分布情况。

分别应用红、绿、蓝，即多谱段成像仪的 9 个观测频带中的 900 纳米、700 纳米和 415 纳米三个频带，绘制得到月球的彩照。19 图对 750 纳米和 1000 纳米的两个频带的能量进行了直观的比较。通过对

多谱段成像仪所获图像数据的处理,能了解到从火山口内喷发出来的物质的体积和散布方向,以及火山底下物质的化学组成。这些信息在研究火山口形成时的碰撞规模和方向时是必要的。虽然这幅图像没有被校准,但是能清楚地看见,相比于单一波段图像,该图中散布在火山口周围的物质分布不均匀。从红色区域到黄色区域(然后是黄绿色区域)表明那儿存在有更多的火山喷发物。

(3)光谱轮廓仪

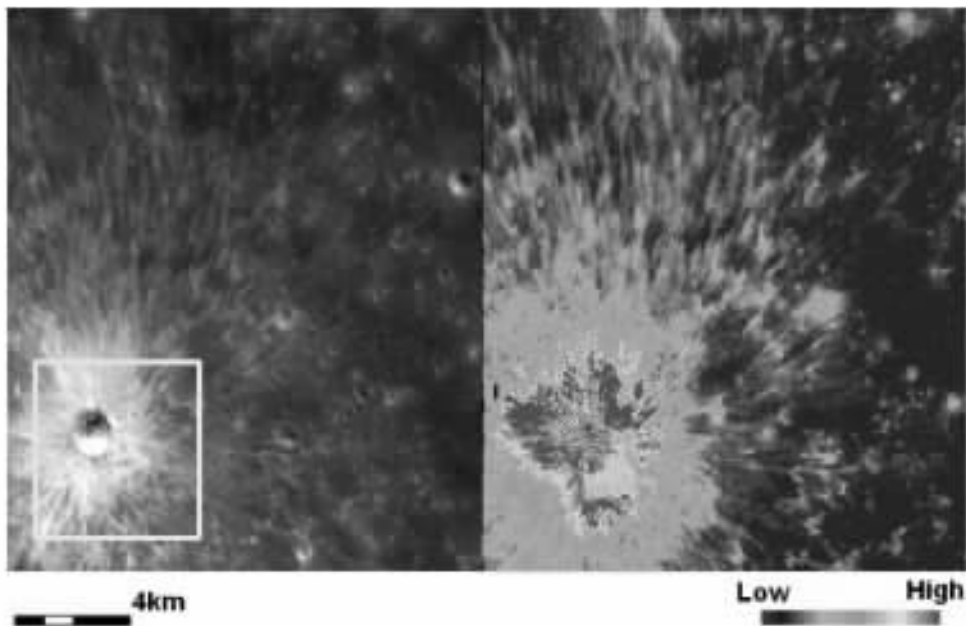


图 19 多谱段成像仪拍到的第一张图片

光谱轮廓仪(SP)能从主卫星的天底方向获得月球表面的连续反射谱。它将在世界上第一次得到从可见光到近红外区域的全月球连续性光谱。在 2007 年 11 月 3 日对光谱轮廓仪进行初始功能验证时,日本宇航研究机构沿着月球远端 1000 多千米长的狭长区域成功地测量了一系列光谱。

探测从可见光到近红外区域的连续性反射光谱有助于精确地确定月球表面矿物质的类型和分解。受地球大气的影响,地基光谱仪对月观察的频谱分辨率和空间分辨率都很有有限。迄今为止,所有飞行器的

频谱覆盖范围都不大,这限制了人类获取月球表面矿物质组成的详细信息。光谱轮廓仪具有无可比拟的精确度,加之很宽的频谱覆盖范围,使得绘制全月球的光谱图成为可能(参见图 20)。

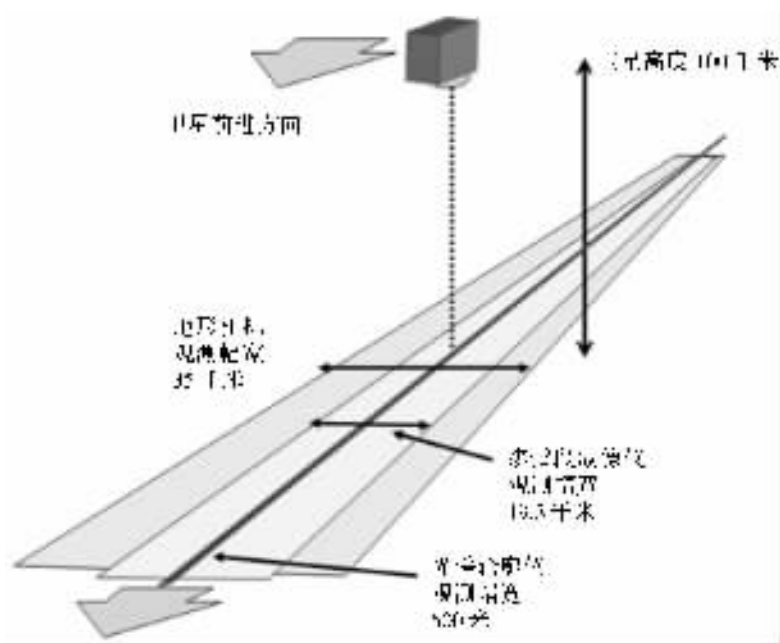


图 20 光谱轮廓仪观测说明

另外,通过对光谱轮廓仪得到的数据以及多波段成像仪测得的矿物质空间分布数据进行合成,可以获得月球表面物质的综合信息,这将在月球形成和演化的研究领域取得突破。

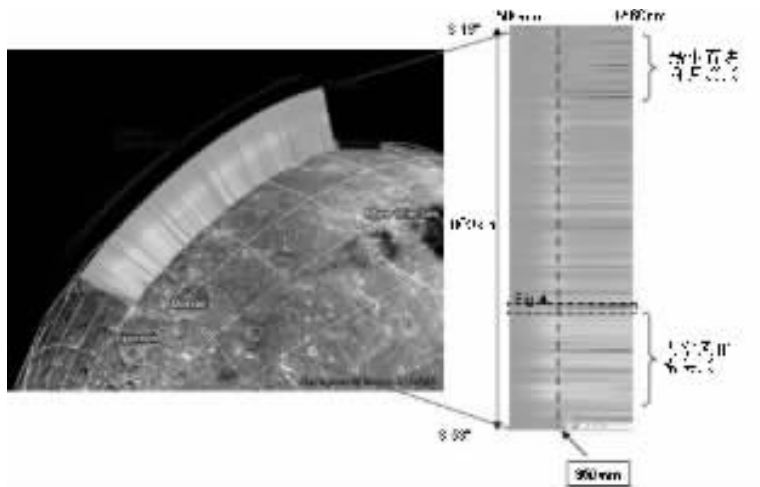


图 21 光谱轮廓仪的第一次观测数据

图 21 是光谱轮廓仪观测得到的第一批数据，横轴为波长数据（600 纳米-1680 纳米），纵轴表示纬度（南纬 19°~53°，长 1000 千米）。红色部分表示相对较强的反射波，黄、绿、蓝则表示较弱的反射波。在 950 纳米处，颜色从绿色变到黄色，这被认为与含铁矿物质的分布有关。

五、结束语

国际空间站是人类开发和探索空间的又一重大步骤，其突出的空间实验能力为科学家提供了长期从事空间科学与应用研究的条件，从而确保取得突破性研究成果，并为地球上的生命带来不可估量的益处；加上与其配合的重复频繁天地往返能力，将使研究人员取得更多的研究成果。

2007 年国际载人航空气间科学和应用研究和实验具有以下几个方面的特点：

- 日本 JEM 舱和欧洲“哥伦布”舱是国际空间站上专门用于开展空间科学实验和应用研究的舱段，随着这两个舱段的发射，国际空间站将为科学家提供了更多在太空轨道上长期进行科学研究和开发太空资源的机会。

- 日本 JEM 舱和欧洲“哥伦布”舱实验舱均安装了大量先进的实验设备，将为开展各类空间科学实验提供有力的物质保证；

- 国际空间站涵盖了未来空间科学与应用研究主要发展领域，具体包括地球观测和空间地球系统科学、空间生命科学和生物技术、航天医学、空间材料科学、微重力流体物理、微重力燃烧科学、空间天文和空间物理学等重要方面；

- 2007 年日本发射了无人月球探测，对月球进行了全方位的探测，这些任务的开展，将为未来载人登月奠定坚实的基础。