

(1)美国国家航空航天局

①国际空间站声学测量计划

国际空间站声学测量计划(ISS Acoustics)利用3个音频测定仪监测国际空间站内的环境噪声,通过定期的声级计监测和航天员佩戴的音频测定仪测量,进行噪声趋势跟踪、声学诊断和控制噪音产生。该计划负责确保国际空间站为航天员的生活、交流和工作提供安全、健康和适合居住的声音环境,包括确保航天器内的环境不嘈杂、没有刺激性声音、不会发生惊吓性的声能爆发。

②国际空间站的环境监测

为保证航天员的健康安全,必须对国际空间站内封闭的环境进行污染物监测(Environmental-Monitoring)。国际空间站内的污染物包括物品排放的废气以及微生物等。如果发现空间站上污染物颗粒显著增加,将提醒航天员通过更换空气过滤器、清洁外露面和处理水质,以防止污染物增加导致的疾病。国际空间站环境监测的经验有助于更多地了解封闭环境的污染物监测,以应用于未来航天器中。

③舱内空气监测

舱内空气监测利用一种分析仪器检测航天器内化学品的最高容许浓度。这一实验将对把舱内空气监测仪(VCAM)作为国际空间站和未来长期月球和火星任务的微型气相色谱仪或质谱仪可变传感器进行验证。

④喷气推进实验室电子鼻测试实验

在国际空间站和航天飞机中发生空气质量问题时,往往不能及时确认是何种化学品,从而带来健康和安全隐患。现在国际空间站上还没有用于实时检测并量化化学品泄露的设备,喷气推进实验室电子鼻(ENose)测试实验设计用于减少这种风险。

ENose是一种全天候连续运转事故监测器,设计用于探测国际空间站内空气中溢出或泄漏的污染物。ENose能够快速、及早地发现并量化化学物造成的空气变化,还可以用来监测泄漏发生后的清理

过程。国际空间站技术示范的目标化学物质包括以下选定的化合物,如有机溶剂、氟利昂、汞、二氧化硫及可能标志电气火灾发生的化学品。

⑤国际空间站材料实验 6A 和 6B

国际空间站材料实验 6A 和 6B(MISSE-6A and 6B)是一个附着在国际空间站外部的样品箱,用于测试空间环境对暴露于其中的新材料小样品的影响。实验将评估这些样本对真空、氧原子腐蚀、阳光直射、辐射、微小陨石、极热和极冷条件的反应。样品包括航天器备选制造材料,结果将有助于更好地了解材料的耐久性,对未来航天器的设计有重要作用。

⑥串行网络流量监视器

串行网络流量监视器(SNFM)将研究国际空间站上计算机网络的功能。实验将监测有效载荷本地区域网络(LAN)来分析和解决网络数据流量,收集和使用在轨数据包统计资料验证地面中等速率数据链路模型,并加强本地区域网络的监测方法。这些信息将有助于监测和提高在轨计算机网络的数据传输能力。验证网络流量模型可能有助于开发更快、更可靠的计算机网络,以支撑未来空间飞行任务。

⑦同步位置保持、轨道预定、再定向实验卫星

同步位置保持、轨道预定、再定向实验卫星(SPHERES)项目利用国际空间站内部环境作为试验台,用于开发和测试多体编队飞行和其他多航天器控制算法。

同步位置保持、轨道预定、再定向实验卫星是保龄球大小的球形卫星组群。它们在空间站内测试一系列执行航天器自主交会和机动对接的明确指示。实验结果对于卫星维护、航天器集结和编队飞行布局十分重要。

三个独立的自由飞行卫星将在国际空间站的机舱内飞行,执行飞行编队并测试控制算法。这些卫星间可互相交流,并通过低功率 900 兆赫无线连接到国际空间站的笔记本电脑上。通过在工作区设

置 5 个信标,这些卫星可利用超声波和红外线脉冲在指定范围内获知其位置信息。

⑧双射频航天动力学全球定位系统轨道导航卫星

双射频航天动力学全球定位系统轨道导航卫星(DRAGONSat)将验证低地球轨道自主交会对接,并利用完全为空间应用而设计的全球定位系统接收器收集飞行数据,论证相对导航精度和实时导航的精确度,并进行轨道测定。DRAGON Sat 包括两个皮卫星(分别由得克萨斯大学和得克萨斯农工大学开发)和航天飞机有效载荷发射器(SSPL)。

⑨航天飞机排气离子湍流实验

航天飞机排气离子湍流实验(SEITE)的目的是利用航天飞机轨道机动系统排气进行电离层动荡的天基诊断。SEITE 将强化对高价值目标的空间监视、实时特性化、探测和跟踪以及及时的监测能力。

⑩航天飞机脉冲局部排气电离层改性实验

航天飞机脉冲电离层改性实验局部排气(SIMPLEX)实验将利用地面雷达研究电离层中火箭排气驱动的等离子体湍流,直接测量排气流源头并开发等离子体湍流定量模型,从而使跟踪成像雷达降级。

⑪晶片实验室应用开发-便携式测试系统-探索性实验

晶片实验室应用开发-便携式测试系统是用于快速检测和量化国际空间站上的生物物质的手持设备,晶片实验室应用开发-便携式测试系统-探索性实验(LOCAD-PTS-Exploration)目的是了解生物物质在人类空间探索过程中如何从地球转移至空间,并测试航天员监测空间生物物质的过程。

该实验将测试在空间中提取航天器外表面样品的空间方法,并评估从空间站处理设施到空间飞行之间引入的潜在生物污染。在未来的月球和火星载人探索任务中,将需要这种程序来监测和限制地球上的生物材料被转移到其他星球。

⑫微重力加速度测量系统和空间加速度测量系统实验

微重力加速度测量系统 (MAMS) 和空间加速度测量系统 (SAMS-II) 实验将研究国际空间站美国实验室内的振动和准稳定加速度等轻微力, 这些振动和加速度主要来自硬件运行、人员活动以及航天器的运转等。研究结果将用来概括影响振动敏感实验的振动类型。该项研究将更好地了解国际空间站上的振动环境, 从而满足未来研究的需求。

⑬容错网络延迟实验

容错网络延迟 (DTN) 实验将在国际空间站上建立长期易于使用的通信试验台。并以两种商业通用生物加工设备 (CGBA)——CGBA-5 和 CGBA-4, 作为国际空间站和地面飞行控制中心之间传输信息的通信测试计算机。所有数据都将由位于科罗拉多大学 Boulder 分校的 BioServe 远程载荷运行控制中心 (POCC) 监测和控制。这项研究将有助于研发和运行在行星表面上航天器、远程行星驻地、漫游车和支撑的基础设施之间互联网式通信的通信协议。

(2) 俄罗斯联邦航天局

①空间站运动预测高精系统研究 (Vektor-T)

②站内系统工作模式和空间站的飞行条件之间的关系研究 (Izgib)

③国际空间站的微重力条件被扰乱的情况下的干扰源识别 (Identifikatsiya)

④空间站作为科学研究环境的特征研究 (Sreda-ISS)

⑤通过国际空间站的联网机械臂进行管理的方法研究 (Contur)

⑥测试空间站泄漏地区的控制、传感器设计和配置的选择的原理和方法 (Bar)

⑦通过国际空间站外表面的光学辐射特性研究其等离子环境 (Plazma-MKS)

⑧国际空间站的居住舱在长期载人飞行条件下的微破坏过程研究 (Expert)

⑨国际空间站内发动机启动情况下,航天器等离子体环境的反射特性研究(Plazma-Progres)

(3)欧洲航天局

①EuTEF 温度计

EuTEF 温度计(EuTemp)是欧洲技术暴露设施(EuTEF)的温度记录装置,自主供电,能够在极端温度条件下长期独立工作,将在攀升阶段后,连续 30 天记录 EuTEF 的温度,并将数据传回地球。

②在轨碎片监测器

在轨碎片鉴别器-2(DEBIE-2)用于通过空间碎片和微流星体在位地与检测面碰撞来确定其通量和参数。DEBIE-2 能探测到微米级大小或更大的颗粒。对碎片碰撞的认识,及其季节性的变化和长期演化对可靠的航天器风险评估和防护屏蔽设计十分必要。

③辐射剂量学望远镜

辐射剂量学望远镜(Dostel)将持续监测带电粒子注量率及其相应的剂量率和能量线性转移(LET)光谱随时间的变化。实验利用两种传感器类型:平面硅探测器(PIPS)和 PIN 二极管探测器。

(4)加拿大航天局

①化身探索:从国际空间站操作地球上的自主机器人(Avatar-Explore)

Avatar-Explore 项目是有史以来第一次从空间控制地球上的漫游机器人。Avatar-Explore 项目将由国际空间站上的一名航天员操作四轮漫游机器人扫描加拿大航天局总部的火星仿真地形,寻找其中的热源。漫游机器人位于魁北克省圣休伯特,在大小为 30 米×60 米的火星仿真地形内导航,配备有雷达和红外摄像机。航天员利用图形用户界面选择漫游机器人的目的地,同时拍摄更多的红外全景图,漫游机器人将全景图等数据存储在自身硬盘中,以备需要。

②国际空间站内的中子辐射测量(RaDI-N)

RaDI-N 将测量国际空间站内的中子辐射水平。RaDI-N 采用

的中子监测仪为气泡探测器，能够只探测中子而忽略其他辐射。RaDI-N 将把气泡探测器放置在国际空间站各个舱内及航天员的身上，每个实验阶段将监测 5 天-7 天，数据将被记录和下载传输至地面进行分析。

二、月球探测及其空间科学实验

(一)NASA 月球探测任务

美国国家航空航天局(NASA)的“月球轨道勘测器”(LRO)和“月球坑观测与感知卫星”(LCROSS),于 2009 年 6 月 18 日搭乘“宇宙神”-5(Atlas V)火箭从肯尼迪航天中心发射成功。这一任务是美国“重返月球”战略计划的第一步,将为美国下一步载人探月以及探索太阳系提供重要数据。发射后,LRO 将与 LCROSS 分离,各自继续飞往月球。

1. 月球轨道勘测器

LRO 是一个发射至月球轨道的探测器,由 NASA 戈达德空间飞行中心研制,耗资 5.04 亿美元。LRO 将在 50 千米高的极月轨道上运行一年,主要目标是搜寻月球表面适宜将来载人探测器登陆的地点、勘测月球资源、观察月球辐射环境以及测试新的探月技术。LRO 搭载了 6 个科学仪器和一个技术演示,将会传回包括全日月温图、月面大地坐标、高分辨率彩色图片以及月面紫外返照率在内的大量数据。

(1)有效载荷

①辐射效应宇宙射线望远镜(CRaTER)

CRaTER 由波士顿大学天文系开发,将探测月球辐射环境,测试科研人员设计的辐射效应和防护模型,并利用与人体组织类似的塑料,测试对辐射的吸收状况,以便将来开发使航天员更安全的空间防护技术。

CRaTER 的主要目的是描述月球辐射环境,主要针对不同类型的带电粒子及其能量,特别是超过 10 兆电子伏的粒子。辐射来自太

阳和太阳系以外(银河宇宙射线),这些数据将帮助科学家确定辐射潜在的生物影响。CRaTER 还将测试辐射效应和屏蔽模型,并测量仿人体组织塑料的辐射吸收,以帮助航天员防护技术的开发。

CRaTER 将测试极宽能量范围内的宇宙射线通过不同数量的组织等效塑料(TEP)后的沉积能量。透过望远镜的辐射包括离子和电子,以及减少一定程度的中子和 γ 射线,当通过硅探测器和 TEP 时,将损失能量。当电离辐射穿过探测器时,将产生一个信号,并正比于总能量通过探测器的损失。探测器是成对的,一厚一薄,当它们结合起来,能够测量的线性能量转移(LET)达到 0.1 千电子伏/微米~2.2 兆电子伏/微米。测量得到的 LET 可以帮助了解人体组织的辐射损耗如何释放,剂量率在太阳活动加剧时期如何变化,并最终了解整个太阳活动周期过程中剂量率的变化情况。CRaTER 将第一次对深空高能辐射 LET 光谱进行直接的高分辨率测量。这些数据不仅对人类的探索活动具有重大意义,也有助于更好地了解航天器系统中的辐射效应。

② “占卜者”月球辐射计(DLRE)

DLRE 由加州大学地球与空间科学系开发,将提供轨道热绘测量,给出月球表面及表面以下的温度,在全月球范围内探测着陆地点的岩石特征,寻找接近月球表面和已暴露出来的水冰。

月球辐射计是用于测量月球表面温度变化,从而为未来月球探测提供必不可少的信息。月球表面和月面下的温度是未来人类和机器人探测的至关重要的环境参数。据悉,之前“阿波罗”号飞船着陆在月球赤道附近,目前 NASA 月球轨道器将波及探索更广泛的纬度范围,航天员在月球上停留的时间至少超过两个星期。这样的空间任务需要更多地关注月球热量环境变化,而月球辐射计将提供全球的温度热量变化图。DLRE 的一个重要目标是确定永久阴影区内的温度范围,这里温度远低于 100K,从而能够了解这些地区是否可能有水存在。轨道热量绘图测量将提供关键性的工程参数特性,比

如：月球表面和月面下温度，以及对于着陆地点具有制约性影响的粗糙地形或岩石等地表参数的详细资料。

DLRE 利用 7 微米~200 微米范围内的 9 个不同波长，能够测量小至 300 米的区域内的地表温度，误差不超过 5℃。该结构包括光学工作台部分，马达驱动高度/方位角磁轭及安装部件。光学工作台包括所有的光学组件（反射镜和探测器），并从磁轭处挂起。磁轭上的马达可以使仪器指向不同的方向，扫描整个地表。该仪器是温度控制的，通过观测安装在磁轭处的黑体和太阳能目标进行辐射校正。

③ 莱曼阿尔法测绘仪(LAMP)

LAMP 由德克萨斯西南研究院空间科学与工程部开发，将利用远紫外光谱为月球地表绘图，在月球两极地区寻找冰和霜，并绘制月球永久阴影区的图像。

莱曼阿尔法测绘项目的目标是绘制整个月球表面的远紫外光谱。LAMP 将寻找月球表面极地地区的冰霜，并提供只有星光与星际氢发射（莱曼阿尔法线）所照耀的永久阴影区的图像。

LAMP 是一种紫外线成像分光计，以现在正在前往冥王星的仪器——ALICE 紫外光谱仪为基础开发。仪器检测的紫外线波段为 120 纳米~180 纳米。整个任务期间所获得的数据将使表面分辨率达到几千米，并具备高信噪比。

④ 月球探索中子探测器(LEND)

LEND 由俄罗斯空间研究科学院空间 γ 射线光谱学实验室开发，操作中心为亚利桑那大学和马里兰大学。LEND 将负责观测月球表面的不稳定中子状态，绘出高清晰度的氢分布图，可被用来寻找月球表面有水冰的证据，并将提供有助于未来人类探索的空间辐射环境测量。

月球探索中子探测器将测量热能高达 15 兆电子伏的月球中子通量。LEND 将通过测量高空间分辨率（半高全宽 10 千米）的浅成热液 中子通量（0.4 电子伏~100 电子伏），绘制全月球地表和月表以下

(至月表下 1 米)氢分布图。LEND 能够探测月球两极附近可能存在水冰的永久阴影区陨石坑的氢含量。水冰沉积物的检测将为人类未来长期驻月确定重要资源。LEND 还将收集有关月球辐射环境中中子成分的信息,这对航天员健康的影响十分重要。

宇宙射线与行星表面的相互作用能够释放出高能中子,如果地表存在氢,它会改变这些中子的能谱,提供氢分布的数量信息。LEND 设计了一个被动准直器,能够对月球表面的中子发射进行高空间分辨率探测,这一成像能力在目前空间飞行的中子探测设备中是最高的。

⑤月球轨道勘测器激光测高仪(LOLA)

LOLA 由 NASA 戈达德空间飞行中心开发,将利用激光测距系统提供精确的全月球地形模型和地质坐标,绘制高分辨率的月面图,还将通过分析月球地形的勘测和分析来确定月球的永久日照区域和永久背阴区域。

LOLA 将提供一个精确的全月球地形模型和大地测量网格,将其作为框架,能够为勘探活动提供精确目标定位、安全着陆和对地表机动性的了解等。LOLA 还将通过地形测绘的细节描绘极地光线环境,通过拍摄月球两极地区永久阴影区陨石坑,确定陨石坑地表冰晶体可能存在的地点。

LOLA 发射一束 1064 纳米脉冲激光,这束激光将分成五束,以每秒 28 次的频率照射月表。LOLA 将采用二维点模式方法,测量每束光的传播时间(射程)、脉冲分散(表面粗糙度)和输出/返回能量(表面反射率),从而精确地确定地形。

⑥月球轨道勘测器照相机(LROC)

LROC 由亚利桑那州立大学地球与空间探索学院开发,包含两个窄角相机和一个广角相机。前者的任务是绘制月球表面的黑白图像,其分辨率达到 1 米以下;后者将绘制月球表面彩色紫外图像,分辨率为 100 米。这些图像将有助于研究月极光照情况,发现可能的

资源和危险地区,帮助挑选安全的探月着陆点。

LROC 能够为 LRO 项目提供两项主要测量需求:为未来选择月球着陆点,提供分辨率达到米级的图像;获得每个轨道极点图像,描绘 100 米级的极点光线环境,确定整个月年内永久阴影区和近永久阴影区的光线环境。除了这两个主要目标外,LROC 小组还计划进行月球极地地区米级三维地图绘制,从而得到米级地表特征、全月球多光谱成像和全月球地形图。LROC 还将重新拍摄“阿波罗”飞船着陆地点,测量近期陨石撞击率,更好地理解撞击带来的潜在危险。

LROC 包括:两个窄角照相机(NAC),可拍摄超过 5 千米狭长区域范围内,最小尺度 0.5 米的全色图像;一个广角镜头(WAC),可拍摄超过 60 千米狭长区域范围内,最小尺度 100 米的七色波段图像;以及序列和压缩系统(SCS),支持这两类相机的数据采集。

⑦ 微型射频技术展示器(Mini-RF)

Mini-RF 由约翰霍普金斯大学应用物理实验室开发,主要目的是寻找月球表面以下的水冰存在,另外还将验证探月器与地面站进行通信的能力。

微型射频技术显示器将利用雷达对月球永久阴影区进行分辨率为 30 米和 150 米的观测。返回的数据还将用于定义这一过程中雷达能量被散射和反射回航天器的方式。根据反射能量的特点,将有可能确定在永久性阴影区是否存在大量冰。由于雷达采用 8-12 吉赫兹(X 波段)和 2 吉赫兹(S 波段)波长,因此对表面粗糙度非常敏感,可用于绘制岩石分布。

Mini-RF 是一项先进合成孔径雷达(SAR)的技术演示,能够测量 X 波段和 S 波段。Mini-RF 将展示新颖的轻型 SAR 通信技术,并寻找水冰存在的可能。Mini-RF 仪器由电子箱和一根天线组成。天线安装在航天器的一侧,倾斜角为 50°。

(2) 已取得的重要成果

LRO 经过 5 个月的运行,已完成试运行和仪器校准并进入月球

绘图轨道,开始对月球南极绘图。已取得的重要科研成果包括:

①帮助确定 LCROSS 探测器的撞月地点

NASA 通过对地面观测台、日本“月亮女神”号月球任务、印度“月球初航”-1 任务以及 LRO 获取的数据进行综合评估,最终确定 Cabeus 陨石坑是月球南极最有可能撞出水冰的区域。

②拍摄到“阿波罗”任务航天员在月球表面行走时留下的痕迹

1971 年 2 月 5 日,“阿波罗”14 号的两位航天员在月球表面着陆。LRO 拍摄的照片展示了“阿波罗”14 号飞船登陆点周围的月球地形,两位航天员在折返前距离目标地点锥形陨坑只有 100 英尺。

2. 月球坑观测与感知卫星

LCROSS 探测器由诺斯罗普·格鲁曼航空航天系统公司设计建造,共耗资 7900 万美元。LCROSS 的主要任务是证实永久处于背面的月球陨坑是否可能存在水以及可能存在的水的形态。在与 LRO 分离后,较小的“牧羊航天器”(Shepherding)将留在“宇宙神”-5 火箭的“半人马座”(Centaur)上面级,并把“半人马座”作为该任务的主撞击航天器。当进入撞击指定地点后,LCROSS 将和“半人马座”分离。“半人马座”将成为初级撞击器,撞击形成尘埃烟柱。4 分钟后,LCROSS 将穿越碎片云,收集数据并传回地球,之后撞击月球表面,形成第二次尘埃烟柱。绕月卫星和地面上以及轨道上的望远镜将会观察两次撞击以及产生的尘埃烟柱。多重来源收集到的数据将被用于为人类返回月球作准备。

(1)有效载荷

LCROSS 的科学载荷包括 2 个近红外分光计、1 个可见光分光计、2 个中红外照相机、2 个近红外照相机、1 个可见光照相机、1 个可见光亮度光度计以及 1 个数据处理单元。

①可见光照相机

LCROSS 包括 1 台由黄道创业(Ecliptic Enterprises)公司开发的可见光照相机,能够拍摄可见光图像、监控喷出物云形态和测定可

见颗粒特性。

②近红外照相机

LCROSS 包括 2 台由古德里奇传感器(Goodrich Sensors Unlimited)公司开发的近红外照相机,能够拍摄 0.9 微米~1.7 微米近红外波段图像、监控喷出物云形态、测定近红外颗粒特性和绘制水浓度。

③中红外照相机

LCROSS 包括 1 台由 Thermoteknix 公司开发和 1 台由 Indigo 公司开发的中红外照相机,能够拍摄 6.0 微米~13.5 微米中红外波段热成像图片、监控喷出物云形态、测定中红外颗粒特性和拍摄残余陨石坑。

④可见光分光计

LCROSS 包括 1 台由 Ocean Optics 公司开发的可见光分光计,能够测定喷出物云的水汽羽流在 263 纳米~650 纳米可见光波段的发射和反射光谱、测量颗粒特性、测量水蒸汽离解的 OH-(308 纳米)和 H_2O^+ (619 纳米)的荧光。

⑤近红外分光计

LCROSS 包括 2 台由 Polychromix 公司开发的近红外分光计,能够测定喷出物云的水汽羽流在 1.2 微米~2.4 微米近红外波段的发射和反射光谱、测量颗粒特性、测量大致的水冰特征和利用隐藏的观测器测量云粒子对水汽的吸收。

⑥总亮度光度计

LCROSS 包括 1 台由 NASA 艾米斯(Ames)研究中心开发的总亮度光度计,能够测量 400 微米~1000 纳米波段总撞击闪光亮度、撞击规模和亮度的衰减曲线。

⑦数据处理单元

LCROSS 包括 1 个由 Ecliptic Enterprises 公司开发的数据处理单元,负责仪器控制和数据采集。

这些有效载荷被设计为科学家提供“半人马座”撞击造成的尘

埃烟柱的多重补足图像。随着尘埃烟柱在目标坑边缘上方升起,它就会暴露在阳光下,任何水冰、碳氢化合物或者有机物都会蒸发分解成为它们的基础成分。这些成分主要由三个分光光度计监测,近红外线照相机和中红外线照相机将测定尘埃烟柱中水的总量和分布状况。LCROSS 的可见光照相机将跟踪这一撞击位置和尘埃烟柱的情况,而可见光亮度光度计将测量“半人马座”撞击月球形成的闪光。由于 LCROSS 将以撞月结束任务,因此它所获取的数据将实时传回地球。

(2)取得的重要成果

10月9日7时31分,重约2.2吨的“半人马座”上面级首先以超过2.4千米/秒的速度撞向月面,LCROSS探测器上的仪器对这次撞击进行了约4分钟的观测,该探测器约在7时36分也撞向了月面,从数十亿年未见太阳光的月球坑底部溅起一股尘埃。NASA利用LCROSS探测器传回的画面进行了转播,同时包括LRO携带的科学仪器、多座地面观测台、“哈勃”太空望远镜、瑞典的“奥丁”射电天文学卫星等也对撞月过程进行了观测。

LCROSS 科学探测已取得的重要成果包括:

①拍摄了世界上第一张月球暗面的热成像照片

NASA 对外发布了世界上第一张由专业热成像摄影机捕捉到的月球暗面的热成像照片。

②拍摄了地球与月球照片

LCROSS 卫星 2 号近红外线相机可以对 0.9 微米~1.7 微米的光线做出反应,它拍摄了月球外貌照片。LCROSS 卫星的可见光相机拥有 $30^{\circ}\times 23^{\circ}$ 的视场,它拍摄了地球与月球照片。

③撞月实验成果

前期月球观测数据表明,位于月球南极永久阴影区的 Cabeus 月球坑,其氢浓度在月球南极是最高的,而氢浓度高表明那里可能存在水冰。在 10 月 9 日撞月一周后,经过对 LCROSS 探测器发回数

据的细致分析,NASA 发现了模糊的羽状碎片。这些羽状碎片是由“半人马座”上面级激起的,被 LCROSS 探测器的紫外/可见光和近红外分光计捕捉到。羽状碎片的数量、形式和可见性使得科学家进一步掌握了撞击点物质浓度和状态的信息。同时 LCROSS 探测器还以中红外相机和热感相机捕捉到两秒钟“半人马座”上面级撞击产生的亮光。亮光的温度提供了撞击点物质构成的宝贵信息。LCROSS 探测器通过紫外/可见光分光计拍摄到闪光的发射光谱和吸收光谱,通过测量这些光波,可以确定撞击点的物质构成。

撞击任务完成后,LCROSS 科学团队一直在分析卫星收集到的数据。团队主要关注于卫星分光计收集到的数据,它为水的存在提供最权威的信息。分光计通过检查物质散发或吸收的光,确定物质的组成。科学团队已知水和其他物质的近红外光谱信号,将其与 LCROSS 近红外分光计收集到的光谱进行比较。结果显示,LCROSS 数据的光谱与水光谱吻合。

另外一个证据来自于氢氧根辐射的紫外波谱,氢氧根是水在光照下分解的产物。当原子和分子活跃时,它们会以特定的波长散发能量,能够为分光计所探测。这一过程与霓虹灯工作过程相似。当通电后,不同气体将产生不同的颜色。LCROSS 撞月后,携带的紫外可见分光计探测到氢氧根离子的信号,它们与日光照射水蒸气所产生的一致。

此外,任务的科学团队还在分析 LCROSS 其他设备获取的数据,用于了解撞月点物质状态、分布的其他线索。LCROSS 团队将深入分析数据,了解整个撞击事件,达到了解撞月点土壤所有物质分布的最终目标。

(二)日本“月亮女神”月球探测任务

日本“月亮女神”(KAGUYA)月球探测器,于 2007 年 9 月 14 日发射升空。探测器上携带了月球雷达、荧光 X 射线光谱仪、伽马射线光谱仪、月球磁强计等 15 种精密仪器,主要任务是观测月表地形,

研究元素分布和月球重力,以研究月球的形成和演化过程。

1. 任务概述

“月亮女神”月球探测器于 2007 年 10 月进入月球轨道,陆续释放了两颗子卫星——中继星(翁,Rstar)和甚长基线干涉测量星(姬,Vstar)。子卫星在高度 100 千米~2400 千米的椭圆形轨道上飞行,和主卫星协同工作,首次对月亮背面的重力分布进行观测。主卫星进入最终轨道后,先用 10 个月完成了正式观测阶段的观测,随后又开展了 7.5 个月的延长期探测。2009 年 2 月,子卫星“姬”完成使命,坠落在月球背面。2009 年 6 月 10 日,“月亮女神”月球探测器主体成功撞月,研究人员对撞击点进行研究,观察了辐射和微流星体如何侵蚀新暴露在外的月球土壤。

2. 已取得的重要成果

日本科研人员在《科学》杂志 2009 年 2 月 13 日刊上发表专辑文章,包括四份利用“月亮女神”提供的数据所做的研究报告,以及一份题为“发现缺失的一半”的展望文章。在《自然》杂志 2009 年 9 月 10 日刊上,日本科研人员发表了一篇有关月球纯斜长岩分布的文章。

日本此次月球探测已取得的重要科学研究成果包括:

(1) 获得了月球背面精确的重力场

“月亮女神”探测器利用“翁”、“姬”两颗子卫星来测定月球背面的重力,由于“翁”可在位于月球背面上空的主卫星和地面无线电天线之间中继和发射多普勒电波跟踪信号,所以可精确测定主卫星的轨道,由此便可获得月球背面精确的重力场。结果表明,月球正面和背面在重力异常方面有明显差异,说明月球背面内部构造和热演化史与正面不同,这一成果具有重要意义。

(2) 获得了首套全月球地形定量数据

“月亮女神”主卫星上的激光高度计,以 1 秒的间隔发射宽约 20 纳秒的激光脉冲,通过测量脉冲发射和探测到回波的时间间隔来确

定探测器与月面的距离,精度为5米。利用主星的位置和姿态数据,这些距离数据便可转换成月球地形数据。已制成的全月球地形图在赤道区域的覆盖区间隔为1.5千米(沿航迹)和1千米~15千米(垂直于航迹),极区的间隔不到1千米。

(3)绘制了月球表面完整地图

“月亮女神”雷达对包括以往被忽视的月球极点附近都进行了详细观测,绘制了包含677万个月球地表高度的地图。地图显示,月球表面的最高点海拔超过了地球最高峰珠穆朗玛峰,达到10750米,最低点深度约为9065米。此外,“月亮女神”雷达还探测到了月球表面2千米以下的地质构造,证实在28亿4000万年前月球整体开始冷却,并不断收缩。这一地图将对未来月球基地建设选址提供帮助。

(4)描绘出了月球表面的元素分布

研究人员利用搭载在“月亮女神”上的伽马射线辐射谱仪传回的数据,采用最为先进的高能量分辨锗探测器,描绘出了月球表面的元素组成,除清晰显示月球上存在钍、钾、氧、镁、硅、钙、钛和铁,还首次发现月球上存在铀,拓展了人们对月球的成分、起源和演化方面的知识,同时有助于未来寻找月球资源及月球探测计划。

(5)发现巨大垂直洞穴

研究人员通过分析“月亮女神”卫星携带的地形照相机等仪器拍摄的图像,发现在月球上火山活动活跃的、被称为“风暴海洋”的地区存在一个洞穴。通过分析入射太阳光及其在洞穴内壁形成的影子,研究人员推算出这个直径60米~70米的洞穴竖直伸入月表以下约60米深处,并连通一个高20米~30米、宽超过400米的巨大隧道。由于这一地区位于月球正面,太阳能充足,与地球通信更加容易,并且为躲避陨石、宇宙射线以及剧烈温度变化提供了可能,这里可能成为未来探月基地选址的有力候补。

(6)发布“月亮女神”月球探测器数据

2009年11月2日,日本航天航空探索局(JAXA)通过互联网,向公众发布了来自“月亮女神”月球探测器在计划运行阶段(从2007年12月21到2008年10月31日)获得的数据(L2产品)。L2产品是经过校准/验证处理的来自“月亮女神”科学仪器的数据。通过使用L2产品,全世界的研究人员有望提升对月球的科学分析和适用性调查。

“月亮女神”三维月球导航服务,可以通过互联网使用三维地理信息系统(WebGIS)来展示“月亮女神”的数据,现在已经开始运行。在使用“月亮女神”三维月球导航服务时,需要下载和安装免费软件。

延续运行阶段(直到2009年6月)的L2产品计划在进行完处理和校准/验证后发布。

(三)印度“月球初航”-1 探测任务

2008年10月22日,印度空间研究组织(ISRO)在南部的斯里赫里戈达岛的萨蒂什·达万航天中心,利用一枚极地卫星运载火箭将印度首个月球探测器“月球初航”-1发射升空。“月球初航”-1探测器携带了11台科学仪器,其中5台由印度本国建造,其余6台由国外提供。

1. 任务概述

“月球初航”-1探测器主体进入最终工作轨道后,它将把一个称为“撞月探测器”(MIP)的撞击探测装置发送到月面上,以使印度科学家取得未来着陆探测的相关经验。MIP本身带有3台仪器,即视频成像系统、雷达高度计和质谱仪。视频成像系统用于在MIP接近月面的过程中拍摄月面的图像,雷达高度计用于测定撞月探测器的下降速度,这两台仪器可为未来月球软着陆探测任务提供数据,质谱仪用于研究月球极其稀薄的大气组成。

2008年10月29日,“月球初航”-1探测器传回首批地球照片。2008年11月14日,“月球初航”-1携带的撞月探测器撞击月球。2009年8月29日,ISRO与“月球初航”-1失去所有联系,第二天印

度官方,宣布首个月球探测任务的 95%都已经完成,并准备在 2012 年向月球发射“月球航行”-2 无人探测器。

2. 已取得的重要成果

“月球初航”-1 探测任务已取得的重要成果包括:

(1) 获得了月球永久阴影区极地陨坑内的画面

“月球初航”-1 探测器上的小型合成孔径雷达(Mini-SAR)是一种小型成像雷达,负责绘制月球极区的永久性阴影区,科学家将利用这个雷达收集的数据来确定月球上的水冰沉积物的地点和分布。它发送回来的月球永久阴影区极地陨坑的地面画面,研究者认为陨坑内可能存在冰。

(2) “月球矿物学测绘仪”在月面上发现含铁矿物

月球矿物学测绘仪(M3)发回了东海盆地区域的图像,表明那里有丰富的辉石等含铁矿物。利用不同的波长,该仪器还首次揭示了岩石和矿物成分的变化。这些数据为科学家研究月球矿物学提供了很高的空间和光谱分辨率。

(3) 撞月探测器成功撞月

2008 年 11 月 14 日,“月球初航”-1 在绕月轨道上,释放一枚带有印度国旗图案的撞月探测器(MIP),成功触击月球表面,使印度成为美国、俄罗斯和欧洲空间局之后,第四个国旗图案出现在月表的国家。

MIP 在撞击月球表面之前约 25 分钟的接近过程中,装在探测器上的雷达高度计、摄影系统和质谱仪仍继续运作,不断对月球进行拍摄、测量和传回相关数据,这些数据将有助于印度选择未来探月飞船的登陆位置。

(4) 撞月探测器探测到月球存在水

2009 年 9 月 25 日,NASA 宣布其装载在印度“月球初航”-1 探测器上的“月球矿物学测绘仪”(M3)及由另两个探测器携带的仪器发现并证实月球上有水分子和羟基,之后仅数小时,印度空间研究

组织也为此召开新闻发布会,表示“月球初航”-1上携带的本国撞月探测器(MIP)也探测到了月球有水的证据,MIP在其近25分钟的下落过程中拍摄到了一些表明有水分子的照片,同时在纬度 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 之间的极区收到了强烈的水粒子信号。

(5)亚千电子伏原子反射分析仪首次发现月球的小型磁层

印度的亚千电子伏原子反射分析仪(SARA)仪器专家表示,SARA首次发现月球上有小型磁层,同时月面上氢的存量比以往设想的少。

(6)“月球初航”-1探测器失效原因研究

在2009年5月,“月球初航”-1探测器的热防护出现问题,迫使探测器将轨道高度从100千米提高到200千米。2009年8月30日,卫星突然失去联络,探测任务宣告终止。ISRO研究人员认为“月球初航”-1的失效主要是由星上计算机故障引起的。由于对月球温度估算过低,致使仪器过热,同时结合粒子辐射的影响导致了探测器最终失去联系。

目前,ISRO已经吸取此次任务教训,表示月表散热比原先的预计恶劣得多,通过此次任务掌握了月表散热等方面非常宝贵的数据,这也将对未来探测器的热设计有帮助。另外在冗余管理方面的数据也将用于“月球航行”-2探测器的设计中。同时还正在研究加厚“月球航行”-2探测器辐射防护罩的厚度,对载人飞船的辐射防护技术进行试验。

三、结束语

国际空间站是进行空间科学与应用研究的大型平台,其突出的空间实验能力为科学家提供了地球上无法比拟的空间科学与应用研究的实验条件。仅就空间微重力这一特殊因素来说,国际空间站就能给研究生命科学、生物技术、航天医学、材料科学、流体物理、燃烧科学等提供比地球上好得多、甚至在地球无法提供的优越条件,

直接促进这些科学的发展。同时,国际空间站的建成和应用,也是向着建造空间工厂、空间发电站,进行空间旅游,建立永久性居住区,向空间其他星球移民等载人航天的远期目标接近了一步。

2009年是国际空间站发展的重要一年,这一年国际空间站的建设工作基本完成,多国实验舱同时在多个学科领域开展科学和应用研究,取得丰硕成果,国际空间站已经进入到“充分应用”阶段。

人类首次登月40周年之际,重返月球的话题再次升温。6月,NASA发射“月球探测器”启动美国重返月球的第一步。印度在圆满完成“月球初航”-1探测任务后,也公布了其下一阶段月球探测计划。日本的“月亮女神”月球探测器任务中,探测器主体和一颗子卫星已经完成使命,坠落在月球表面。在日本政府宇宙开发战略总部公布的未来5年日本空间开发和应用基本计划中,提出于2020年前送一台步行机器人登月并应用空间技术加强防卫、促进外交。