

# 撞月谢幕 探索不止

## ——全景回顾“月球大气与尘埃环境探测”计划

■徐琳

由于燃料耗尽,美国东部时间4月18日0时30分至1时22分之间(北京时间4月18日12:30-13:22),月球大气与尘埃环境探测器(LADEE)圆满完成为期100多天的探测任务后,以约5800公里/小时的速度撞向月球背面。

LADEE探测器是由美国宇航局(NASA)下属的艾姆斯研究中心和艾达德太空飞行中心主导的月球探测计划。探测器于美国东部时间2013年9月6日在美国弗吉尼亚州瓦勒普斯岛的NASA航天基地发射升空,预计寿命160天,包括100天的主要科学探测任务。在撞月自毁之前,LADEE完成了一系列重要的月球探测任务。

### 计划出炉

20世纪60年代,美国的“勘查者号”(Surveyor)月球探测器拍摄到了月球地平线上的“辉光”。前苏联的“月球车2号”和美国的“阿波罗”8号、10号、15号和17号航天员也都观察到月球的“辉光”现象。“阿波罗17号”航天员曾报告日出时在月球地平线上见到了神秘的“辉光”,还手绘了“辉光图”。

“辉光”如果出现在地球上,并不会让人觉得奇怪,因为傍晚阳光透过云层就会变得模糊而出现“辉光”。但是,月球上几乎没有大气,理论上不应存在这种现象。

直到最近,LADEE探测器项目的科学家Richard Elphic提出:“月球是有大气的,只是比我们地球上稀薄。”

月球的大气被科学家们称为“表面边界外大气层”。含有月球内部放射性衰变而形成的非常稀少的<sup>40</sup>Ar,以及由太阳风和微流星体撞击溅射到月球表面的元素He、Na和K。但“表面边界外大气层”的结构和成分至今仍然是个谜。

“月球大气与尘埃环境探测”的计划被提上议程。

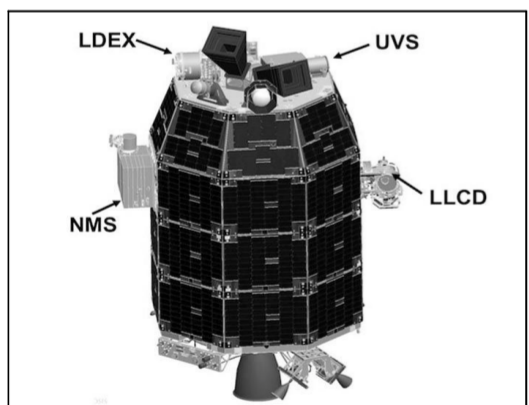
两大科学任务随之落在了LADEE的身上:第一,探测月球稀薄大气层的整体密度、组成和随时间变化的状况;第二,分析近月球表面静电传送的尘埃粒子的尺寸、电荷和空间分布情况,借此科学家可以评估其对月球探测和月基天文观测的影响。

在这两项任务的基础上,LADEE还将进一步探测并确认阿波罗计划宇航员看到的月表上方10公里处的漫射是否是钠辉光或尘埃造成,并记录月球环境中尘埃的影响程度(体积-频率),以为未来工程任务的设计提供参考。

为完成上述任务,小汽车大小的LADEE探测器搭载了紫外-可见光谱仪(UVS)、中性质谱仪(NMS)、月球尘埃实验设备(LDEX)三种有效载荷;此外,它还搭载了月球激光通讯示范设备(LLCD),用于验证使用激光替代无线电波来实现宽频带的对地通信。

### 圆满完成任

按照计划,搭乘LADEE的UVS负责对月球尘埃和大气层进行探测,它通过记录月球大气尘埃中的



月球大气与尘埃环境探测器

# 月球大气和地质探索待深入

■本报见习记者 赵广立

4月18日,美国宇航局(NASA)“撞月谢幕”的“月球大气与尘埃环境探测器”将公众的目光再次聚焦于月球。顾名思义,该探测器的主要科学任务即对月球大气与尘埃环境进行探测,以帮助科学家更深入地了解月球。中科院地质与地球物理研究所研究员、中国空间科学学会常务理事林杨挺在接受《中国科学报》记者采访时表示,针对月球大气与尘埃环境的探测是本次探访月球的亮点。

“目前我们对月球大气以及月壤月尘的了解还非常少。人类第一次登月的时候还没有注意到月尘,后来人们逐渐发现这些很重要。”林杨挺说,人类要继续探索月球,无论是类似玉兔号的月球车,还是进一步的登月计划,搞清楚月球大气环境和加深对月壤月尘的了解,“是很重要的事情”。

科学认为,月球上虽然没有类似地球大气的大气层,但也有稀薄的“大气”。“月球表面稀薄的‘大气’或许跟太空活动有关,或者与月表面的月尘月壤相互作用等有关,对于这些人们的了解还很有限。”林杨挺告诉记者,特别是月尘对人类的探索活动有很大影响,所以增进对月壤月尘的了解非常重要。

据了解,月尘由于其极细的粒径,可以侵入任何地方。比如它会覆盖在各种物体的表面,以至影响宇航员的视线和致使影像等模糊不清;它还会磨损和堵塞宇航员

所穿的宇航服,导致空气过滤系统受损,气压下降,灵活性减弱;月尘还会对宇航员的身体健康造成影响,如飘进宇航员的眼睛,侵入肺部系统,正如我们现在越来越重视的PM2.5一样,从而导致肺部,以及神经系统和心血管系统方面的疾病;此外,由于月尘具有尖锐的边缘,其造成的影响往往比地球上的尘埃更加严重。

“月球上尘埃的理化性质跟地球上不一样,它们拥有极细的直径且带静电,几乎能黏附到任何物体上,由于月球上没有风和水来平滑颗粒粗糙的边缘,月尘多呈锯齿状且非常尖锐。”林杨挺说,因此它们在工程上有很大的危害,“它进入太空舱,清理都是个难题。”此外,月尘月壤本身也具有科学意义。林杨挺说:“它们的形成记录了成千上万年以来月球环境的变化更替,从某种意义上,它们记录了月球表面的历史,有可能也记录了太阳活动的历史。”

林杨挺还指出,如果有朝一日人们认清了月球上的资源价值,那么月尘也会是重要的一部分。

林杨挺向记者表示,美国率先开展的月球大气与尘埃环境的科学探索,“基础而又有创新”,“我相信人类对月尘月壤的探索会继续开展。”他说,人们也可以对取得的月壤样品进行研究,在地面上开展对月球的“探索”。

散射光,分析大气中各元素的含量和分布,确定月球大气的组成;NMS用于探测1~150 amu(原子质量单位)的元素,在多个月球轨道上测量月球不同空间环境中大气层的元素含量及其变化;LDEX是首次针对尘埃设计的仪器,主要任务是探测和分析月球稀薄大气层中直径小于0.3微米的尘埃粒子,记录尘埃撞击的次数和频率;而月球激光通讯示范设备则主要用于验证使用激光替代无线电波来实现宽频带的对地通信,进行太空探测器新通讯方式的测试。

在为期100天的主要科学探测任务中,UVS获取了超过70万组月球外大气层的紫外/可见光谱数据,测量了气体组分和由于尘埃引起的散射光;检测到了大气中的钾和钠等元素或组分,绘制了它们的分布图,发现月球从新月到满月,钠的含量明显增加,然后又降低至下一个新月的现象,还发现大气层中钠元素的增加与双子座流星雨发生的时间一致,暗示了尘埃导致散射光增强的证据。UVS还监测到了三次明显的陨石撞击事件,这一事件同时也被NASA的另一台监测陨石撞击的仪器记录下来,这对帮助人们了解这些事件对大气物质的影响等具有重要意义。

NMS不仅测定<sup>40</sup>Ar,绘制出其每天的变化情况,还探测了<sup>20</sup>Ne、太阳风成分以及He等稀有气体,监测了类似氮气、水、一氧化碳和二氧化碳等挥发性组分,并发现双子座流星雨和嫦娥三号降落前后的数据有所不同的现象等等。这些稀薄大气层中的组分的精确确定,对月球现有大气状况、太阳风与月球环境和月表物质相互作用等的研究同样具有极为重要的意义。

LDEX记录了超过1.1万来自尘埃颗粒的撞击,绘制了这些颗粒随空间和时间上的各种变化,并发现纬度较低的地区,尘埃密度急剧增加;在被阳光照射的明暗交界处,月球上的尘埃浓度最高。此外,LDEX还观测到了强烈的颗粒喷发现象。

LDCD首次使用激光代替无线电波进行双向通信系统,成功验证地一月间的新型通讯技术。LLCD创造了历史,它使用脉冲激光束以622Mb/s的下传速率,从月球到地球超过38万公里的距离传输数据。当LADEE探测器抵达月球轨道之后,激光通讯示范设备就以20Mb/s的速率从地球接收数据,以620Mb/s的速率向地球传回数据。这一新型通信技术成功试验,标志着未来的宇航员将从另一颗星球上发回高清视频,从而也为人类再访月球、登陆火星等创造新一代的通讯条件。

在约100天的探测中,LADEE探测器探测了有关月球稀薄大气结构和组分的详细信息,以及近月表的环境状态及其对尘埃的影响。这些基础性的信息为进一步研究并揭示月球大气层和月尘环境提供了重要的参考。

### “加班工作”

3月初,LADEE探测器圆满地完成预设的为期100天的科学任务后,转入拓展任务阶段。其所搭载的科学仪器在拓展任务期间继续开展科学探测,这一“加班工作”对更深刻了解月球大气的来源及其驱动机制实际上有着重要的作用。

由于月球的重力场非常不均匀,且撞击坑的边缘和沟谷的地形变化极大,因此,需要对LADEE探测器进行测控和频繁的轨道修正,以保持探测器能在设计的轨道高度上安全飞行,否则探测器可能随时撞向月面。

3月底,地面管控人员已经让探测器尽可能地飞到离月面很近的位置,并继续科学观测,获取科学数据。这种超低高度的科学探测很有价值,但对探测器而言也意味着巨大的风险,由于飞得很低,探测器随时可能意外撞向月球。

4月初,LADEE探测器开始在离月球表面2-3公里左右的高度飞行。这是前所未有的飞行高度,甚至低于地球上许多商务客机的飞行高度,获取了不可多得的珍贵的科学信息。

4月11日,在完成最后一次的轨道修正后,LADEE探测器的飞行轨道位于最接近月球表面的高度。LADEE探测器比以任何时候都飞得低,能够探测到靠近月球稀薄大气层底部和极细尘埃覆盖物的新的区域。同时,这也保证了其在目标轨道的科学探测和确保LADEE探测器位于一个能够撞击月球背面的轨道上。

在LADEE探测器的“加班付出”中,其搭载的三台科学载荷继续收集和分析大气中的月尘颗粒,以用于更精细的化学组分测定;UVS在月球地平线附近寻找月球大气中的原子、分子和尘埃,并且在日落、日出和正午时分测量了大气中的Na和K等组分;NMS在月球大气中以不同的方向定点寻找原子和分子,测量He、Ne和<sup>40</sup>Ar三种稀有气体;LDEX测量了月球表面的尘埃物质,其间或检测到了因流星雨所导致的尘埃撞击率增加现象。

### 遭遇月食

4月14日~15日,美国观测到一次精彩的月全食。然而,这对于正在月球轨道运行的LADEE探测器而言,却是一次严酷的生存考验。因为在深度寒冷中,没有太阳光补充能源,它们只能依靠电池提供的能量来渡过月食。

月食期间LADEE将长时间暴露在极为寒冷的环境中,科学家们希望通过此次月食来验证LADEE探测器是否能应对极端的环境。月食对探测器的设计而言可谓是真正的挑战,尤其是对于推进系统,是一种极端的测试。

据了解,LADEE探测器通常经历的系列类似月食的黑夜一般持续大约1小时,而此次月食的持续时间大约为4小时,这是LADEE探测器设计的所能承受的极限。

“如果LADEE在月食中幸存,在撞击前我们将有一周左右在低轨道额外的科学收获。”NASA艾姆斯LADEE的项目科学家说道。因为对于类似LADEE的短期任务,即使只有几天的时间也算是足够多。

月食过后,地面管控人员将确定探测器是否运行正常。如果运转正常,LADEE探测器将继续接收和传输科学数据。

### 撞月谢幕

终于,由于燃料耗尽,美国东部时间4月18日0时30分至1时22分之间,LADEE探测器以5800公里/小时的速度撞向月球背面。

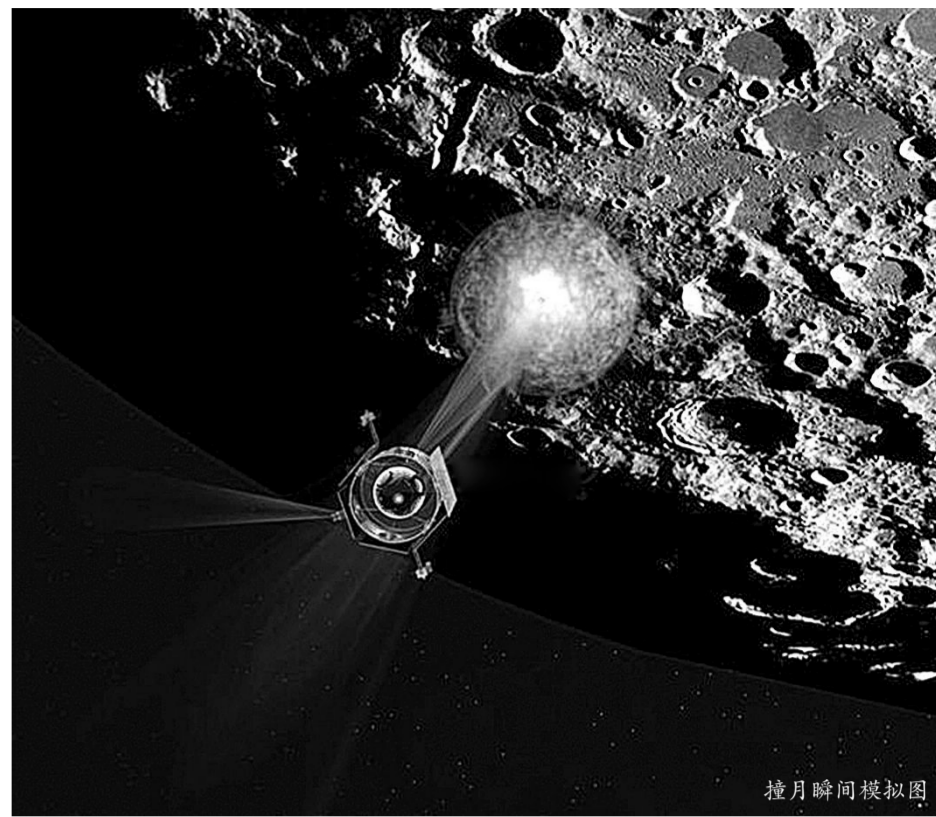
撞月之前,LADEE探测器进行了所有的预定任务的探测工作,遗憾的是未能观测到“辉光”现象,以解开40年前阿波罗宇航员日出前在月球地平线上看到的神秘辉光现象的谜团。

探测器的撞月时间比预计提前了3天,科学家认为,可能是4月15日持续4小时的月食让LADEE探测器经历的极端的环境条件加速了它的自毁。

同时,为避开阿波罗计划的着陆点,保存阿姆斯特朗的脚印等珍贵的人类登月遗迹,撞击所选择的地点位于月球背面,人们也无法在地球上目睹这令人激动的一刻。LADEE项目团队预计,探测器的撞击力度不会太大,以至于目前在轨飞行的月球勘测轨道探测器(LRO)上搭载的灵敏红外成像辐射计也未能观测到撞击过程。但LADEE探测器高速撞向月球表面,势必会在月表留下凹痕。在未来的几个月内,地面管控人员将指挥月球勘测轨道探测器拍摄撞击地点的图像,以确定LADEE撞击月球的具体地点。

相关专家表示,随着人类对月球的探索逐步深入,越发认识到月表大气以及月壤月尘等对人类探月活动的影响之大。今后,人们对月球大气和尘埃环境的探索将进一步开展。

(作者系中国科学院月球与深空探测总体部副研究员)



撞月瞬间模拟图

# 撞月始于“找水”

■本报见习记者 赵广立

近日,美国宇航局“月球大气与尘埃环境探测器”完成既定科学任务后在月球背面受控撞月,成功避免了若自主降落可能会撞击并污染阿波罗号着陆点等人类探月遗迹的可能。

这个消息引发了媒体和公众对探测器“撞月自尽”的热议。然而,《国际太空》杂志副主编、北京空间科技信息研究所研究员庞之浩在接受《中国科学报》记者采访时说,探测器“撞月自尽”由来已久,这一切都要从在月球找水的证据谈起。

庞之浩介绍说,自20世纪90年代起,美国率先开展了撞月式探测。有别于早期的硬着陆,“撞月”是利用探测器完成任务后的寿命末期,最后选择“自杀式”撞击月表进行撞击探测。

1998年美国发射“月球勘探者”探测器,重新唤起了人类探访月球的热情。翌年,“月球勘探者”在地面控制下,撞向月球南极附近一处直径50~60公里的陨石坑(怀疑有水冰存在),试图通过撞击产生的高温使潜在的水冰气化。然而,20多架望远镜均未观测到水蒸汽等的踪迹。美宇航局分析可能原因有三:月球的确没水、撞击地点没水、撞击力不够。

庞之浩说,“月球勘探者”撞月虽未发现水的踪迹,但并未打消人类利用该方式“找水”的念头。

欧洲航天局的首枚月球探测器SMART-1,也在任务完成后于2006年9月3日对月球表面进行了撞击,完成其最终使命。据庞之浩介绍,尽管SMART-1最终没有实现欧洲航天局“打水漂式”撞月的设想,但整个控制过程表现不错,实现了探测器在预定时间撞击了预期地点,完成了为其设置的工程目标。

# 意外的收获

## ——LADEE侧观“嫦娥三号”落月

■徐琳

2013年12月,“月球大气与尘埃环境探测器”(LADEE)正按计划在既定轨道环绕月球赤道飞行,执行基础科学探测任务时,“嫦娥三号”探测器在西昌卫星发射中心成功发射升空,并于12月14日在月球平稳着陆。

担忧的声音从美国传来。美国约翰·霍普金斯大学应用物理实验室的航天科学家杰夫·普莱夏表示,“嫦娥三号”任务可能会对LADEE的观测产生不利的影响”。

“嫦娥三号”进入月球轨道以及在着陆的过程中,使用的火箭发动机排出的废气会让LADEE的观测任务变得复杂,因为这意味着会有大量外来的气体释放到月球环境中,会对月球外层大气造成“污染”,从而对LADEE探测器造成影响。

虽然这种影响可能客观存在,但从另一个角度来说,中国的“嫦娥三号”也给LADEE的科研人员提供了一次难得的研究机会。“嫦娥三号”着陆时可能会使月表的尘埃飞扬到月球轨道,此时可以监测着陆器扬起尘埃的特性,是否会对LADEE造成影响等等。

此外,由于LADEE探测器可以观察到火箭推进剂如何散布到月球外层大气,如何被太阳风吹散,而且所收集的月球外层大气样本中将包含火箭推进剂这些外来物质,这些都给科学家们创造了独特的研究机会。对于LADEE而言,能够对“嫦娥三号”进行实时观测也是一件有意义的工作。

值得一提的是,在“嫦娥三号”着陆期间,LADEE探测器正在“嫦娥三号”飞行路径以东不同的月球轨道飞行,二者相距3400公里远;“嫦娥三号”着陆后30分钟,LADEE探测器经度和“嫦娥三号”重叠,此时LADEE位于着陆点以南超过1300公

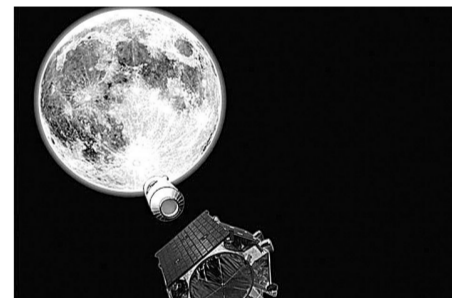
此后,我国发射的“嫦娥一号”、日本发射的“月女神一号”、印度发射的“月船一号”等都曾撞击月球,这些探测器在寿命末期的撞击,基本上都完成了其工程目标。

如果说以上探测器的撞月行为只是顺便完成“最后使命”,那么美国宇航局(NASA)2009年的“双星探月”计划则是有计划、有步骤进行的撞月大动作。

庞之浩介绍说,美国利用一箭两星技术,将月球勘测轨道飞行器(LRO)和月球陨坑观测和探测卫星(LCROSS)送上月球轨道,其主要目的就是要探测月球月壤的内部组成和月球是否有水存在的证据。其中LCROSS是个双机飞船,由半人马座火箭改装而成的撞击器和“守望者”探测器。

LCROSS的撞月是这样进行的:撞击器先以超过音速7倍的极速撞向预先选定的月球南极一个陨石坑,紧随的“守望者”探测器会把握数分钟的时间拍摄和探测分析,待数据回传完毕之后,以同一方式撞向月球表面。

2010年10月,美国科学家公布了该次撞月行动的数据分析结果,证实月球的地下埋藏有水、银和水银等“让人意想不到的”化学物质。



NASA探测器撞月效果图

①肉眼所见的月壤/月尘  
②电子显微镜下拍摄的月尘颗粒(锯齿状边缘特征)  
③电子显微镜下拍摄的月尘颗粒(多孔特征)

