

文章编号: 1002-2082(2006)01-0001-04

光学计量技术在月球探测工程中的作用

梁燕熙

(西安应用光学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 月球探测工程是一项复杂的多学科高技术集成的系统工程。整个工程实施阶段, 光学探测系统占据着重要地位。各类光学传感器和系统精确的计量和测试, 对确保整个工程顺利进行有着不容忽视的作用。该文从任务需求入手, 叙述了国防科工委光学计量一级站已具备的条件和存在的差距, 并提出了针对月球探测工程应开展的工作和研究方向。

关键词: 光学计量; 光学测试; 月球探测工程; 深空探测

中图分类号: TB96; P184.5

文献标识码: A

Application of optical metrology technique in moon exploration project

LIANG Yan-xi

(Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

Abstract: The moon exploration program is a sophisticated multidisciplinary integration systematic engineering project. Its optical detection system plays an important role throughout the different stages of the project. The accurate metrology on all kinds of optical sensors and systems is critical for ensuring the whole project successful. Based on the mission requirements, the facilities and technologies available are described, and the facilities and technologies to be built are also suggested.

Key words: optical metrology; optical test; moon exploration project; space detection

引言

月球探测工程是国家重大科技工程之一。在工程实施过程中, 技术基础研究有着重要的作用。本文从光学计量技术研究的角度进行一些探讨, 供大家参考。

1 光学计量在月球探测工程中的重要地位

月球探测工程是一项举世瞩目的重大科技工程。整个工程将围绕 4 个科学目标进行: (1) 获取月球表面三维影像; (2) 划分月球表面的基本地貌和构造单元; (3) 分析月球表面有用元素含量和物

质类型分布特点; (4) 探测月球尘埃的厚度和特性, 以及地、月之间的空间环境。

为完成上述目标, “嫦娥 1 号” 卫星就必须携带相应的传感器及各类仪器。与以往的航天探测仪器相比, 月球探测工程所用的仪器在技术指标上有较大提高, 谱段的应用范围涉及到微波、红外、可见光、紫外、 x 和 γ 全谱段。据悉, 星上的有效载荷将包括 CCD 立体摄像系统、成像光谱仪、激光测高仪等七类探测仪器。在各类仪器中, 光学系统占有很大比重。从月球探测工程对计量技术目前及今后的需求看, 不仅要扩展谱段覆盖范围, 而且还需要更新的技术。

随着月球探测工程的深入开展, 在 2 期计划

收稿日期: 2005-09-28

作者简介: 梁燕熙(1944—), 男, 河北安新人, 西安应用光学研究所研究员, 博士生导师, 中国兵工学会光电子专业委员会主任委员, 主要从事兵器测试与计量方面的研究。

中,其着陆器要对月球进行勘察,携带的光学仪器和系统还要大量增加,其中包括月基望远镜、紫外影像系统、视频光学系统、激光类光学系统等。这又将对光学计量研究工作提出更高、更新的要求。上述各类光学系统的研制、生产和集成过程,以及它在航天器上的安装和发射升空前的检测等,都存在对其性能指标的精确测量和校准。不但要对其光学传递函数、焦距、视场、材料等光学特性进行精确计量,而且还要对系统集成后的成像质量、光谱范围,以及在不同使用环境下其性能的变化和出现的各类问题进行深入研究。为此,必须有各重要参数的高精度测量装置、精度校准及溯源体系做保证,而且还应建立各类参数量值传递的校准装置。

月球探测工程中,光学探测系统工作距离一般在200 km并处于外层空间。普通环境下的测量结果不能完全真实反映实际工作环境下的情况,这将对计量测试提出新的要求,研究遇到的新问题,并在已有的基础上扩展功能,建立新标准,以适应空间实际使用环境的要求。

2 光学计量在月球探测工程测试方面具备的条件

国防科工委对计量工作一直予以高度重视,共建立了涉及各行业的14个一级计量站。其中光学计量一级站已成立20年,全站设置了6个专业实验室,覆盖的谱段为红外、可见光和近紫外。光学计量一级站先后建立了22项国防最高光学计量标准,拥有40多台套精密计量测试设备。此外,根据专业的特色在各工业部门还分布有8个光学计量二级站,形成了相对完整的光学计量体系。光学计量一级站为航天、航空、船舶、核工业和兵器工业等部门的多项重要科研任务进行了计量服务,并与俄罗斯全俄光学物理计量研究院、英国NPL、美国NIST等计量权威机构建立了国际交流与合作关系,进行了一些标准的量传与比对。

2.1 光学计量测试概况

在红外辐射计量测试方面,针对红外热成像、红外跟踪制导等型号任务的需求,建立了低温、常温、中温、红外辐射源及红外目标模拟器等辐射发

射系统,开展了相应的检定、校准和整机参数测试。其计量测试装置结合美、俄等发达国家的研究成果,整体技术水平达到国际先进水平。

在激光计量测试方面,针对国防科技工业所需的各种激光功率、激光能量、激光空域特性、激光时域特性等参数开展了计量、校准和检测工作。已建立了大、中、小功率和能量计量标准装置,脉冲峰值功率计量标准以及激光光束质量诊断测试系统。近期还完成了超强激光能量计量标准的研究任务。激光功率计量标准测量不确定度达0.1%,处于国际先进水平。

在光谱光度计量测试方面,以机械制冷低温辐射计为基础建立了光辐射标准装置,其测试不确定度达0.01%,传递标准不确定度达0.05%,准确度处于国际先进水平。还建立了1 800~3 200 K高温黑体为辐射源的光谱辐照度、光谱辐亮度及光源色标准装置,可开展各种光谱光度的校准、检测工作,并建立了发光强度、光亮度、光照度、光通量、光谱透射比、光谱反射比计量标准。目前正在进行探测器的质量评定检测标准的建立。

在光学材料计量测试方面,针对各种光学玻璃、锗、硅等红外材料和光纤材料的基本参数计量测试需求,建立了相应参数的校准、检测手段。开展了光学材料应力、折射率、折射率温度系数、消光比、光纤损耗、色散和模场直径等计量测试工作。

在成像光学计量测试方面,针对光学元件加工和装调质量进行检定、检测和成像质量评定,已建立了光学传递函数计量标准,平面、球面、非球面波相差计量标准。研制的校准检测装置可进行光学元件和光学系统焦距、截距、曲率半径、视场倍率等参数的校准和检测。

在微光夜视计量测试领域,主要开展了微光夜视器件和整机参数的校准、检测工作,建立了微光像增强器亮度增益、分辨率、传递函数检测装置。同时还建立了可开展微光夜视仪相关参数量值传递的微光夜视仪光电性能标准装置。

2.2 月球探测工程中光学计量测试已具备的条件

月球探测工程是一项全新的高科技工程,针对“绕”、“落”、“回”3个不同的阶段,光学探测系统使用的谱段和以往的系统有较大差异。因为目标表面

紫外光学特性明显,月球表面探测将采用200~380 nm的紫外光学系统。所以,除了上述已建立的计量测试标准外,在计量测试方面还必须满足这方面的要求。目前光学计量一级站已具备了一定的基础。

2.2.1 光谱透射比、反射比计量测试

光学计量一级站已建立紫外-可见光-红外光谱透射比、反射比计量标准。该标准的波长范围为175 nm~25 μ m,可用于探月工程所需的190~380 nm紫外材料,以及光学薄膜透射比、反射比计量测试。

2.2.2 光谱椭偏仪

光谱椭偏仪波长范围为190~1 700 nm,可满足190~380 nm紫外光学薄膜厚度及折射率计量测试需要。

2.2.3 低温辐射计

光学计量一级站“九五”期间从英国NPL引进了一台低温辐射计,其测量不确定度为0.05%,无光谱选择,为190~380 nm紫外光学辐射标准的建立打下了良好的基础。

2.2.4 近紫外辐照度计量测试

光学计量一级站已建立了近紫外辐照度标准。该标准可进行波长范围为250~2 500 nm的辐照度、亮度测量,其不确定度为0.3%~1.4%,色温测量不确定度为0.16%,可满足250 nm以上波段辐照度、亮度、色温的校准。

2.2.5 紫外光学材料折射率计量测试

光学计量一级站2005年正式开展“紫外光学材料”折射率标准装置的研究,其波长范围为180~450 nm,不确定度为 2×10^{-6} 。该项目完成后可满足探月工程紫外光学材料折射率计量测试的需求。

2.3 光学计量一级站在深空探测方面已开展的工作

光学计量一级站多年来曾为星载CCD相机的像质评价提供了大量可靠的测试数据。围绕航空航天总公司某所承担的多种型号星载CCD相机研制任务,一级站利用“大口径光学系统OTF标准装置”,为“资源一号”、“海洋一号”、“环境一号”光学系统测量了零视场至全视场的线扩散函数(LSF)、光学传递函数(MTF)、弥散圆直径、镜头焦面位置和焦距等重要参数,为项目研制成功提供了可靠的

保障。特别是资源卫星CCD相机光学系统,几次在发射前均经光学计量一级站检测后发射升空。围绕中国科学院某所为绕月工程承担的CCD立体相机和成像光谱仪研制任务,光学计量一级站为其光学镜头、前置光学系统、傅里叶变换系统和柱面镜进行了像质评价,测量了镜头的LSF、MTF及其他光学参数,并对其所用光学材料的折射率进行了精确测定。在该所为项目研制建立的辐射定标测试系统调试阶段,光学计量一级站采用彩色亮度计校准了其积分球亮度均匀性和光谱辐亮度,有力地配合了项目的完成。同时,用激光功率标准为其标定了光谱辐射计,保证了波长准确可靠。

“八五”、“九五”期间,光学计量一级站建立了波段和量限齐全的激光功率、能量峰值功率等标准装置。“十五”期间,针对国防科技工业的紧迫需求,光学计量一级站研制了激光测距机的主要参数(包括最大测程、最小测程、测距准确度、激光束散角和重复频率)校准装置。鉴于月球探测工程中激光测高仪与激光测距机在校准技术上的共同点,该站同上海某所签订了激光测高仪的校准技术协议,有针对性地开展了相应的研究工作。

光学计量一级站已在光谱光度和光辐射方面建立了多项标准:主要有以低温辐射计为基础的光辐射标准(可校准从紫外到红外波段光电探测器的灵敏度和光谱响应);以1 800~3 200 K高温黑体为基础的光谱辐照度、光谱辐亮度标准(可校准各种光源的光谱特性);-60 C~80 C低温黑体标准和50 C~2 000 C黑体标准(可校准红外辐射源和红外光谱辐射计)。这些标准有望在月球探测工程中发挥应有的作用。

3 当前存在的问题和差距

以月球探测工程为起点的深空探测,对计量科学提出了新的紧迫需求。从目前的情况看,尚存在以下问题和差距。

(1) 月球探测工程已经开始着手实施,整个工程对计量工作的要求还需要进一步明确。作为星上载荷的各类光学系统应达到的指标,从计量角度提出的任务尚需进一步论证确定。以目前已具备的计

量技术资源为依据,探讨哪些可以直接运用到月球探测工程,哪些尚需进一步完善、改进。

(2) 从服务保障角度考虑,一方面参数尚需更精确测量,另一方面测量仪器各项指标溯源与校准应从需求出发,在原有基础上进行扩展。

(3) 从已知的需求情况看,光谱范围在紫外和近紫外区域以及 $1\sim 3\ \mu\text{m}$ 区域,现有设备还不能完全满足要求。对于星载相机光学镜头长焦距、小视场角、大线视场,现有传递函数仪无法进行全视场评价,需要进行改造和补充。

(4) 对星载地平仪而言,光学畸变测量是评价其实用性能的最主要指标之一。为准确判断像面图像所反映的真实星球概貌,应对实际光学系统进行畸变测量,以便提供在使用中的修正值。研制宽视场光学系统畸变测定仪,解决大视场畸变测量是十分必要的,这方面尚存在差距。

(5) 对于激光测高仪而言,现有标准和检测设备可以完成其激光功率、能量和模式分布。目前测距机校准主要是针对 $1.06\ \mu\text{m}$ 和 $1.54\ \mu\text{m}$ 脉冲式测距机,最大测程为 $50\ \text{km}$,精确度在 $5\ \text{m}$ 以内。但对于月球探测工程中测程在 $200\ \text{km}$ 左右的测高仪,现有校准装置的测距精度尚不能满足要求。

(6) 在紫外计量标准建设上,由于过去国防计量在此方面的需求不很具体(月球探测工程启动晚),因此相对其他谱段计量标准建设滞后。

(7) 针对月球探测工程中将用到的月基望远镜、紫外相机、视频光学系统、激光反射计等,尚需开展新的计量课题研究。由于月球表面温差大,在真空环境下对光学材料和光学系统要求苛刻,因此,在研究工作中应充分考虑校准测试环境,并对月球实际环境进行模拟。

4 建 议

(1) 月球探测工程是国家重大科技工程之一。由于该工程分1期、2期和3期,其时间跨度较大,

因此要结合光学计量技术发展规划的研究,与参加此工程的相关单位及其科技人员互通信息,掌握需求,理清思路,根据不同阶段的要求确定目标,合理安排,逐步建立起满足月球探测工程要求的计量测试系统。

(2) 充分调研,摸清可用于此工程的基础条件和各级光学计量站具备的条件,做到资源有效利用的最大化。理清月球探测工程所需的各类光学仪器和光学系统以及地面各种测试设备对计量技术的各项指标要求,整合资源,查遗补缺,建立完整的计量校准系统、标准及各类量传设备。

(3) 利用用于计量技术发展的各种渠道,加大对技术基础建设的投入。鉴于月球探测工程对紫外探测系统的急需,建议尽快建立紫外计量标准和空间辐射计量标准及相应溯源和量传体系,包括紫外辐射照度标准、紫外光学传递函数检测标准、紫外光学系统像质评价系统、紫外成像计量测试技术研究等。谱段要覆盖近紫外($250\sim 360\ \text{nm}$)、紫外($200\sim 250\ \text{nm}$)、真空紫外($200\ \text{nm}$ 以下)。

(4) 在充分论证的基础上,针对月球探测工程对计量技术的需求,引进国外成熟的标准装置,建立紫外计量研究的实验室和模拟探月飞行环境所需的计量测试仿真条件等。

(5) 月球探测工程是一项复杂的多学科高新技术集成的系统工程,故应统筹规划,合理制定科研、工程和技术基础的要求,加大关键技术攻关力度。注意与国外的技术交流,在计量技术的发展上把国外先进技术和我们自身的技术优势有机地结合起来,增加自主创新的力度,为我国月球探测工程的顺利完成提供技术保障。

综上所述,计量测试工作在月球探测工程中占据着重要地位。我们要拓展思路,扩大目前开展的计量测试应用范围,结合新技术的发展,拓展过去尚未开发的计量研究领域,并将计量工作的研究成果,尽快应用到月球探测工程中,发挥其应有的作用。