

文章编号: 1002-2082(2006)SO-0010-04

探月工程与紫外计量测试技术

杨照金, 王 芳, 李 琪

(西安应用光学研究所 国防科工委光学计量一级站, 西安 710065)

摘 要: 探月工程是我国“十五”和“十一五”期间的重大工程项目之一。光学技术和光学计量测试技术在探月工程中发挥着重要作用, 紫外相机、紫外星敏感器作为有效载荷装备于探月卫星, 对其紫外光学性能进行计量, 为保证设备性能和探测准确可靠提供重要依据。简要介绍了光学技术和光学计量测试技术在探月工程中发挥的作用, 光学计量站为探月工程开展了测高仪校准、成像光谱仪和立体相机光学参数等测量工作。提出紫外计量的内涵和光学计量站在紫外计量测试方面完成的光谱透射比、紫外辐射和将要开展的紫外计量标准建立等工作。

关键词: 探月工程; 紫外计量; 成像光谱仪; 立体相机; 激光测高仪

中图分类号: TB96 : P184

文献标志码: A

Ultraviolet metrology technology in moon-exploration project

YANG Zhao-jin, WANG Fang, LI Qi

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

Abstract: Moon-exploration project is one of the main projects during the periods “tenth five-year-program” and “eleventh five-year-program” in china. Optical technology and optical metrology technology have played an important role in the moon-exploration project. Ultraviolet technology and ultraviolet metrology are attached more and more importance in national defense industry system and the moon-exploration project. The role played by optical technology and optical metrology in the moon-exploration, and the work done by Optical Metrology Laboratory of XI'AN Institute of Applied Optics are described in this paper. The content of ultraviolet metrology is defined. The work in ultraviolet metrology that has been done and will be done are presented.

Key words: moon-exploration project; ultraviolet metrology; imaging spectrometer; stereocamera height-finding laser

引言

探月工程是我国“十五”和“十一五”期间重大工程项目之一, 国家投入巨大人力、物力予以支持和发展的。在探月工程中, 光学技术和光学计量测试技术发挥着重要作用。在探月一期工程中, CCD 立体相机、成像光谱仪和激光测高仪为光学计量提出

了新的计量测试问题。在探月二期工程中, 月基望远镜、紫外相机、视频光学系统和激光反射计等光学仪器又为我们提出了新的研究课题。由于月球周围温度很低, 红外辐射很弱, 而紫外信号很强, 从而推动了紫外计量测试技术的发展。结合近几年开展的工作, 介绍了光学计量测试技术在探月工程中

收稿日期: 2006-08-20; 修回日期: 2006-09-10

作者简介: 杨照金(1952—), 男, 陕西耀县人, 西安应用光学研究所研究员级高级工程师, 主要从事光学计量仪器及检测工作。E-mail: yzj0508@163.com

的作用,国防科工委光学计量一级站在探月工程和紫外计量测试方面所开展的工作。

1 探月工程中的光学计量测试技术

1.1 光学计量在探月工程中的重要地位

1.1.1 光学技术在探月工程中的作用

2004年我国正式启动探月工程,按照计划2007年前发射第一颗探测卫星。探月工程分“绕、落、回”3个阶段。

在一期工程,卫星将携带CCD立体相机、成像光谱仪、激光测高仪、 γ/X 射线谱仪、微波探测仪、太阳高能粒子探测器和低能离子探测器7类探测仪器。上述7类仪器中,光学仪器占了3类,即:CCD立体相机、成像光谱仪和激光测高仪。由此可见,光学技术在探月工程中具有举足轻重的作用。

探月二期工程预计在2012年发射月球软着陆器,软着陆器携带月球车,通过对月球进行月面巡视勘察,就地勘测月球资源,开展月表天文观测,并为月球基地的选择提供基础数据。软着陆器将携带地震仪、望远镜、紫外相机和激光反射计等系统。此外,登月软着陆器和月球车都装有视频装置,可供地面和月面互相监视。

由此可见,在二期工程中,除CCD立体相机、成像光谱仪、激光测高仪外,还增加了月基望远镜、紫外相机、视频光学系统和激光反射计等光学仪器,所有这些均为光学计量提出了新的研究课题。

1.1.2 光学计量测试在保证探测仪器性能指标方面所起的作用

上面介绍了探月工程中用到的光学仪器,这些光学仪器在研制、生产和使用过程中都有一个性能指标的精确测量和校准问题。在成像光谱仪和CCD立体相机中,光学系统和光学元件在装入仪器前需要测量光学传递函数、焦距、视场、所用光学材料的折射率和光谱透射比等参数。仪器完成后要进行总体性能评价,包括成像质量和光谱范围。仪器装到卫星上也需装一套简易校准装置。测量参数时要有高精度测量装置及对高精度测量装置的精确校准和溯源。由此可以看出,光学计量对保证探测仪器质量和确保性能指标起着非常重要的作用。

1.2 光学计量站围绕探月工程开展的工作

自2004年以来,光学计量站一直开展着探月

工程中的光学计量测试课题,并为探月工程相关项目进行了大量的计量测试工作。

1.2.1 为CCD立体相机的像质评价提供了大量可靠的测试数据

针对CCD立体相机的光学镜头、成像光谱仪的前置光学系统、傅立叶变换系统和柱面镜进行了像质评价,测量了镜头LSF和MTF及其他光学参数,分析了光学系统及各镜头的质量,有力地配合了项目的完成。

1.2.2 为CCD相机和成像光谱仪辐射定标开展的校准工作

为标定CCD相机和成像光谱仪,建立了辐射定标测试系统。该系统由一个直径为1.5m的积分球、平行光管和光谱辐射计组成。积分球与一组灯形成辐亮度可变的漫射光源。在定标系统调试阶段,用彩色亮度计完成了积分球亮度均匀性和光谱辐亮度校准。

1.2.3 激光测高仪地面校准

“八五”和“九五”期间,建立了波段和量限比较齐全的激光功率标准、激光能量标准和激光峰值功率标准装置。“十五”期间,研制了激光测距机主要参数校准装置。利用现有条件完成了激光测高仪地面校准,包括:激光能量、最大测程、最小测程、重复频率、距离分辨率和足印-测距精度。

1.3 围绕探月工程应开展的工作

依上所述,探月工程第一阶段用到3类光学仪器,即CCD立体相机、成像光谱仪和激光测高仪。计量站过去为这3类仪器做过一些计量测试工作,今后将进一步围绕这3类仪器开展全方位计量测试服务,包括研制和生产过程及成品性能的评价。

1.3.1 调制传递函数的测量和校准

由于星载CCD相机光学镜头大都是长焦距、小视场角和大线视场,现有传函仪无法对全视场范围给予评价。针对以上情况应扩展光学传函仪的测量范围,以满足计量测试和校准的实际需求。

1.3.2 光学畸变测定和校准

对星载地平仪来说,光学畸变的测量是评价其实用性能最主要的指标之一。无论是可见还是红外地平仪系统,通常视场角都在 $\pm 35^\circ \sim \pm 60^\circ$ 之间,随着视场增大,畸变随之突然上升。而宽视场系统的畸变直接影响成像的几何位置精度,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,以便提供使用期间的修正值。

1.3.3 激光测高仪参数校准

激光测高仪校准包括激光的基本参数校准和测高仪整机校准。激光器参数(如激光功率、激光能量和模式分布)可用计量站现有标准和检测设备完成。激光测高仪整机性能主要是测程和测高准确度的校准。“十五”期间我站研制的激光测距机参数校准主要针对 10.6 μm 和 1.54 μm 脉冲式激光测距机。这两种测距机的最大测程为 50 km,测距准确度在 5 m 以内。而激光测高仪的测程在 200 km 左右,且测距精度高,现有校准装置满足不了要求,需进一步扩展测程,提高准确度。

1.3.4 成像光谱仪光谱特性校准

成像光谱仪兼有成像功能和光谱检测分析功能。光谱特性需要用到高分辨率光谱分析仪,同时还需对光谱辐射计进行溯源。针对现在的工作波段,需配备高精度光谱辐射计,建立光谱辐射计校准装置。

2 紫外计量测试技术

2.1 紫外计量测试概述

紫外辐射的波长范围是 10 nm~400 nm,通常将其分为 3 部分,即近紫外 250 nm~380 nm;远紫外 200 nm~250 nm 和真空紫外 10 nm~200 nm。

紫外辐射应用相当广泛,军事上用于侦察告警和制导等。在探月工程中,由于月球上没有空气,使得温度特性很差,月球轮廓用红外手段无法观察到,但紫外能观察到,因此在探月工程中,不能用红外地平仪,而需用紫外地平仪进行探测。

2.2 在紫外计量方面开展的工作

多年来光学计量站在可见光和红外波段开展了大量的工作,而在紫外波段主要开展了以下工作。

2.2.1 光谱透射比、反射比测量波长达到 175 nm

已建立紫外-可见-近红外光谱透射比和反射比标准,该标准波长范围为 175 nm~2 500 nm,可满足一般紫外材料和薄膜透射、反射特性校准检测。主要仪器为 Lamda 950 紫外/可见/近红外分光光度计,主要技术指标如下:

光谱范围	175 nm~3 300 nm
带宽	≤0.05 nm

波长精度	±0.08 nm
------	----------

在 250 nm 以上已建立标准,在 175 nm~250 nm 之间可实现测量。

2.2.2 研制了 200 nm~420 nm 波段瞬态分光辐射仪

瞬态分光辐射仪是计量站专利产品,20 世纪 90 年代定型,波长范围为 380 nm~1 100 nm。近几年来,根据紫外波段测量的需要,开发了波长范围为 200 nm~400 nm 的 SGU-100 型瞬态分光辐射仪,可测量光源光谱特性。主要技术指标如下:

波长范围	200 nm~400 nm
波长准确度	±0.5 nm
能量不确定度	2%
闪光时间	>1 μs
总不确定度	3%

该仪器可测量稳态光源和瞬态光源光谱特性,用途非常广泛。

2.2.3 低温辐射计

“九五”期间,我站将一台低温辐射计作为光辐射测量最高标准,其测量不确定度为 0.01%,比普通辐射计准确度高两个数量级。由于低温辐射计采用电替代测量原理,因此探测器无光谱选择性,可在紫外至红外全波段工作,主要技术指标如下:

功率值范围	10 μW~10 mW
测量不确定度	0.01%

2.2.4 光谱椭偏仪的紫外波段薄膜参数测量

光谱椭偏仪可测量光学薄膜 2 个重要参数:光学薄膜厚度和折射率,适用的波长范围为 195~1 700 nm。仪器主要技术指标如下:

波长范围	190 nm~1 700 nm
折射率测量不确定度	1×10^{-4}
厚度测量不确定度	0.05 nm

2.2.5 建立近紫外辐照度标准

在光度标准基础上,2004 年我站建立了近紫外辐照度标准,可满足 250 nm 以上波段辐射度计校准。

“九五”期间,利用一台 1 800 K~3 200 K 的高温黑体,建立了光谱辐照度和辐亮度标准,其适用波长范围为 250 nm~3 000 nm,主要技术指标如下:

高温黑体温度范围	1 800 K~3 200 K
波长范围	250 nm~2 500 nm

光谱辐照度测量不确定度 $0.3\% \sim 1.4\%$

光谱辐亮度测量不确定度

$0.4\% \sim 1.5\%$

色温测量不确定度

0.16% 。

2.3 今后应开展的工作

2.3.1 紫外计量的工作对象

从国防系统工程应用角度考虑,紫外计量的对象为以下几个方面。

1) 紫外辐射源特性校准检测

紫外辐射源包括自然辐射源和人造辐射源,太阳辐射是主要的自然紫外辐射源,大多数紫外光源是人造紫外源。紫外光源特性包括:辐射强度、辐射亮度、辐射照度和光谱特性。从计量体系考虑,需建立最高标准、传递标准和工作标准。

2) 紫外探测器特性校准检测

各种紫外光学仪器都是靠紫外探测器实现观察和探测的,因此,紫外探测器参数校准检测是紫外计量测试的重要内容。紫外探测器校准参数有光谱响应、探测率、灵敏度、时间响应特性、线性度和均匀性等。

3) 紫外材料特性参数校准检测

紫外光学仪器和光学系统都要用到光学材料,包括镜头材料、窗口材料和光学薄膜。这些材料的主要参数有光谱透射比、反射比、折射率、均匀性和应力双折射等。

4) 紫外光学系统参数校准检测

任何紫外光学仪器都包含光学元件和光学系统,对光学元件和光学系统基本参数进行精确测量非常重要,它是紫外计量测试非常重要的一个方面,涉及的参数有调制传递函数、焦距、曲率半径、视场和畸变等。

2.3.2 紫外计量标准的建立

在上面的介绍中,我们谈到紫外计量涉及紫外辐射源特性、紫外探测器特性、紫外光学材料特性和紫外光学系统特性的计量测试。但从计量标准角度考虑,主要是建立紫外辐射源标准、紫外探测器参数标准和紫外光学传递函数标准。

世界各发达国家在建立紫外计量标准方面开展了大量工作,美国、德国和俄罗斯都建立了紫外辐射标准,其最高标准是同步辐射源。同步辐射源把量值传递到标准灯,再由标准灯传递给工作标准。中国计量科学研究院也开展了这方面工作。20世纪90年代各发达国家开始把光辐射标准溯源于低温辐射计。低温辐射计把量值传递给传递标准探测器,再由传递标准传递给工作标准。这两种量传方法目前都在使用。

3 结 论

在今后若干年内,探月工程将是我国一项重大科技工程,探月工程涉及地面发射系统、运载系统、有效载荷与应用系统、控制系统等。光学技术和光学计量测试技术在有效载荷与应用系统中发挥着重要作用。为此,在成像光谱仪、CCD立体相机和激光测高仪等仪器的校准方面开展了相应的工作。针对紫外技术在军事领域和深空探测中发挥的重要作用,在紫外辐射、紫外光学系统和紫外材料等方面建立了相关标准并采取了相应的测量手段。

参考文献:

- [1] 梁燕熙. 光学计量技术在月球探测工程中的作用[J]. 应用光学,2006,27(1):1-4.
- [2] 杨照金,范纪红,岳文龙,等. 光辐射计量测试技术[J]. 应用光学,2003,24(2):39-42.