

文章编号:1004-4213(2010)05-0769-7

# 嫦娥一号干涉成像光谱仪的定标

赵葆常,杨建峰,薛彬,乔卫东,邱跃洪

(中国科学院西安光学精密机械研究所,西安 710119)

**摘要:**介绍了我国首次探月卫星的有效载荷之一 Sagnac 空间调制型干涉成像光谱仪的定标.提出了“行”平场原理以及不同类型的光谱仪对比方法,分别用于相对定标与光谱辐射度绝对定标,取得了好的实验结果.检测了谱线位置不确定度、光谱分辨率及在轨光谱辐射度的相对不确定度.给出了探月卫星干涉成像光谱仪的定标及检测结果.首次采用干涉型成像光谱仪实现了对月的可见光/近红外宽波段连续光谱探测.

**关键词:**干涉成像光谱仪;定标;在轨评测;平场;不同类型光谱仪对比方法

**中图分类号:**TH744.1

**文献标识码:**A

**doi:**10.3788/gzxb20103905.0769

## 0 引言

根据我国首次探月的科学目标<sup>[1]</sup>,嫦娥一号卫星需配置一台可见光/近红外的成像光谱仪,它的科学目标定位是:与 X/y 谱仪相配合,共同完成“分析月球表面有用元素成份与物质类型的含量与分布”.X/y 谱仪侧重于元素成份的探测,成像光谱仪侧重于物质类型的分析.

在方案论证阶段,通过比较各种类型成像光谱仪之优缺点,选取 Sagnac 空间调制型成像光谱技术方案,其理由是:1)从空间环境条件出发.由于 Sagnac 型干涉成像光谱仪具有非常强的力学和温度环境适应能力,除无运动部件外,其干涉仪是一个实体,而且两束相干光在干涉仪中的路径几乎相同,但方向相反,所以对振动、温度等环境的影响不敏感,这一点也是美国于 2000 年 7 月发射的强力小卫星 MightSat II 中选择 Sagnac 空间调制型成像光谱技术方案的重要原因<sup>[2~4]</sup>;2)由于我国是首次探测月球,尚有很多未知性,所以探月科学家提出希望能获得任一波长的谱强度信息,这正好是干涉型成像光谱仪技术的特点<sup>[5]</sup>,它不同于其他类型的成像光谱仪,直接测量得到干涉图,所有谱线的信息都含在干涉强度分布中,可以通过傅里叶变换获取任一波长的真实谱强度信息,因此决定在嫦娥一号选用 Sagnac 空间调制型成像光谱技术方案.

嫦娥一号卫星干涉成像光谱仪(Interference Imaging Spectrometer, IIS)于 2007 年 11 月 27 日开

机以来获得了大量月面的多光谱图像,图像清晰、层次纹理丰富,受到用户广泛好评,目前已基本完成了辉石的矿物填图.

嫦娥一号卫星干涉成像光谱仪研制过程中碰到的最大困难之一是平场和光谱辐亮度的绝对定标,国内外几乎找不到有价值的文献资料,在个别文献资料中,虽也提到定标,但描述都十分简单<sup>[6-7]</sup>.然而定标必不可少,否则干涉成像光谱仪无法达到识别物质类型的目标.“行”平场原理及方法<sup>[8]</sup>可以很好地解决相对定标的困难,不同类型光谱仪的对比方法<sup>[9]</sup>可以解决绝对辐射定标难题.

## 1 嫦娥一号卫星干涉成像光谱仪光学方案

图 1 和表 1 分别给出了嫦娥一号卫星干涉成像光谱仪的光学系统结构和参量分配<sup>[10]</sup>.

从图 1 可以看出,它是一个二次成像系统.在前置光学系统(Fore-optic)的像平面上有一个 0.06 mm 宽的狭缝(Slit),从而形成视场,狭缝又位于付氏光学系统(Fourier Lens)的前焦平面上,所以由付氏光学系统出射的是平行光,光场为平面波,柱面光学系统(Cylinder Lens)的作用是在一个方向上把平面波压缩为一条线,再成像在沿飞行方向的一列 CCD 上,成为一组离散的干涉图数据  $I(x)$ ,经付氏变换后即可得到复原光谱<sup>[11-13]</sup>.

$$B(\sigma) = \sum I(x) \cos(2\pi\sigma x) dx \quad (1)$$

\* 嫦娥一号卫星光学成像探测系统项目资助

Tel:029-88887660

Email:bczhao@opt.ac.cn

收稿日期:2010-02-08

修回日期:2010-02-13

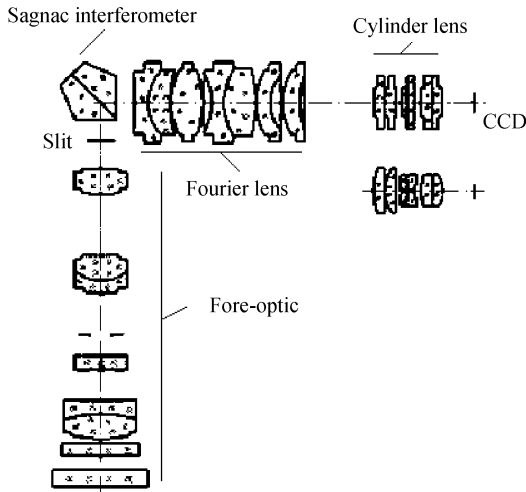


图1 嫦娥一号卫星中干涉成像光谱仪光学系统图  
Fig. 1 The optical layout of CE-1 IIS

定标是对整机实施的,它包含了光、机、电、CCD各方面的因素.

表1 组成干涉成像光谱仪各分系统参量分配表

**Table 1 The parameter of IIS subsystem**

Parameter	Focus/mm	F/#	FOV(°)
Name			
Fore-Optic	104.6	F/7.34	7.34°
Fourier Lens	80	F/7.34	9.56°
Cylinder Lens	26	F/2.4	9.56°
system	34	F/2.4	7.34°

## 2 定标的内容

嫦娥一号探月卫星的干涉成像光谱仪定标工作主要包括:1)标准具的选择与校验;2)暗电流的检测;3)最大饱和和辐亮度的配准;4)整机相对定标(平场);5)整机绝对光谱辐射度定标;6)输出 Vs 输入线性检测;7)光谱分辨率检测;8)谱线位置检测

### 2.1 标准具的选择与校验

定标中采用设备(标准)见表2.

表2 定标中采用设备

Table 2 Instrument for calibration

NO	Name	Model	Purpose
1	Spectrometer	FieldSpec(Pro UV/VNIR	For spectral radiometric calibration
2	Spectrometer	FieldSpec? Pro UV/VNFR	For spectral radiometric calibration
3	Spectrometer	VF921	For spectral radiometric calibration
4	Integrating sphere	LabsSphere VSS-6500	uniform area lamp-house
5	Solar simulation	LabsSphere XTH-2000	uniform area lamp-house
6	Trap detector	Made by AIOPM	Detect change of intergrating sphere
7	Spectral Irradiance standard Lamp	Made by NIM,F07	For the calibration of spectrometer
8	Standard white plate	LabsSphere STR-99-240	For the calibration of spectrometer
9	Laser	05-LGR-193-381、1322412、56ICS006、56ICS008	detect the resolution and wavelength position
10	Laser beam expander	Made by XIOPM	20 rate focus

标准源的传递见图2.

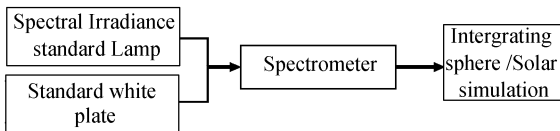


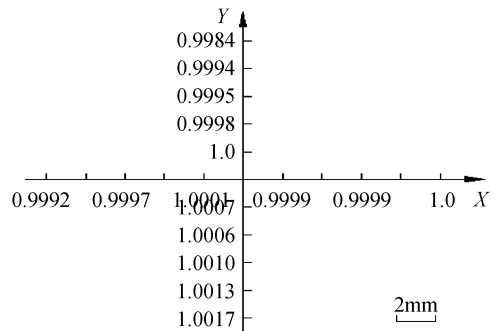
图2 标准的传递  
Fig. 2 Standard pipeline

其中光谱辐射度标准灯与标准白板由中国计量研究院校验,并出具校验报告,它们是实验室定标的一级标准源,然后把标准传递到光谱辐射度计,再传递到积分球与太阳模拟器.

国外学者报导标准直接由灯/板系统传递到积分球,本文用三台光谱辐射度计,由中国计量研究院与安徽光机所两个渠道分别传递,最后核对两者数据,以防止出错.把三台光谱辐射度计对准同一积分球,分别读数,经检测相互间差异小于2%.另外,采

用光谱辐射度计<sup>[14]</sup>作为标准还有利于对积分球的输出辐亮度作实时监控与检测.

积分球校验时,主要检测积分球出口处辐亮度的面均匀性及角均匀性,见图3.这部分工作由安徽光机所完成并出具校验报告.



(a) Area intensity uniformity

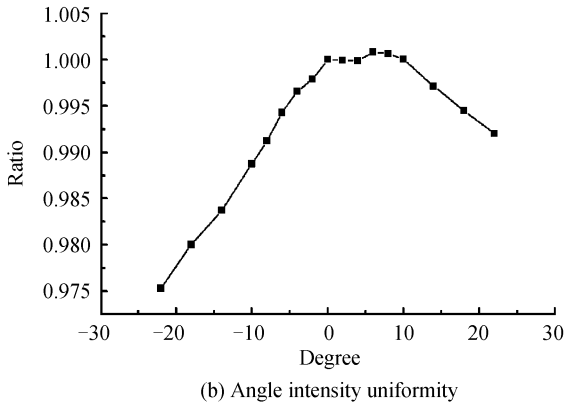


图3 积分球面均匀性与角均匀性

Fig. 3 The check-up of Lambertian Light Source

## 2.2 暗电流的检测

任何一台光电仪器,当没有光输入时仍有电信号输出,这就是暗电流,又称本底噪音。

表3 暗电流检测值

Table 3 The detection of Dark Current

Gain Time of Exposure	K=1		K=1.5		K=2	
	DC-bias	AC-bias	DC-bias	AC-bias	DC-bias	AC-bias
$t=140\text{ ms}$	241.554	0.899	357.646	1.331	457.702	1.645
$t=70\text{ ms}$	240.438	0.971	356.163	1.198	455.623	1.453

## 2.3 最大饱和辐亮度的配准

最大饱和辐亮度的配准是指对预估的目标最大辐亮度值,当干涉成像光谱仪采用最小一档曝光时间与电子学增益时,CCD 像元输出不出现饱和<sup>[15]</sup>。

对嫦娥一号卫星干涉成像光谱仪,其工作波段是 480 nm~960 nm,在此波段内太阳大气外的辐照度为  $630\text{ W/m}^2$ ,月表最大漫反射系数经调研为  $\rho_{\max}=0.26$ ,故目标的最大辐亮度约为  $52\text{ W/m}^2 \cdot \text{sr}(480\text{ nm}\sim 960\text{ nm})$ ,采用积分球为光源,通过调节积分球内开灯数目,把积分球出口处在 480 nm~960 nm 间的辐亮度调节到预估的最大辐亮度  $52\text{ W/m}^2 \cdot \text{sr}(480\text{ nm}\sim 960\text{ nm})$ ,检查主极大的输出是否饱和,在嫦娥一号卫星的干涉成像光谱仪中,由于分束膜产生了  $\pi$  位相突变,信号极大成为负值,见图 4,这时可检查次极大是否饱和。

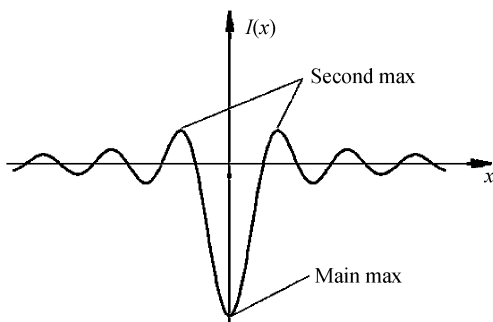


图4 干涉图中的最大信号强度

Fig. 4 The maximum signal of interference pattern

检测暗电流的方法十分简单,即把镜头盖盖上,并在暗室中或夜间用黑绒布把干涉成像光谱仪包裹起来,让设备电子学部分在设定的温度条件下开机工作,读出电信号的输出 DN。

因为它是一种随机噪音,所以要检测 25 次以上取均值,暗电流噪音还与工作温度、曝光时间、电子学增益有关,如有必要需检测不同情况下,不同的暗电流噪音,嫦娥一号卫星干涉成像光谱仪按二档曝光时间和三档电子学增益共 6 种组合,每种组合含  $128\text{ 元} \times 128\text{ 元}$  的暗电流值。

仪器在轨运行时,CCD 像元的输出应减去相应的暗电流值,以提高光谱辐亮度值的真实性。表 3 为暗电流检测值,单位为 DN,量化等级为 12bit,  $\text{DN}_{\max}=4096$ ,检测温度  $t=25\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ 。

还要注意一点,就是积分球输出的光谱辐亮度分布与月表对太阳光谱的反射光辐亮度分布是不相同的,而探测器对不同波长的响应又是不相同的,所以需要建立一个模型予以校正。在嫦娥一号卫星干涉成像光谱仪中是通过改变入射狭缝的宽度来配准最大饱和辐亮度的,理论入射狭缝的宽度为 0.1 mm,对最大辐亮度配准后实际装配的狭缝宽度为 0.06 mm,实际狭缝的装配宽度小于理论值不但无害,而且还可以减小由于推扫造成的 MTF 下降,而当狭缝宽度大于理论值时,则会降低地元分辨率。

能做到这一点的前提条件是在做总体方案设计时,使设计光能量大于预估值,在嫦娥一号卫星中相对孔径为 F/2.4,就是出于这样的考虑。

在最短曝光时间下,使最大目标辐亮度接近饱和,可以有效利用探测器的动态范围,这是一条重要的设计原则。

在轨运行表明,这样的考虑起到了很好的作用,在月表很大的辐亮度变化范围内,都得到了清晰的多光谱序列图像。

## 2.4 相对定标

就一台照相机来说,如果输入的面光源是均匀的,那么焦平面上的每个 CCD 像元的输出也应该相同,然而一台实际的照相机不是这样。每个 CCD 像元的实际输出都不相同,通常中心视场处的 CCD 输出大,边缘就逐渐降低,它是由于像面照度与视场角

余弦的四次方成正比、系统有渐晕、不同视场角光线通过系统时损失不同、以及 CCD 器件像元间响应的不一致性以及电路性能的不一致等原因所致。

但是它是系统性的缺陷,可以通过平场<sup>[8]</sup>把它降至最低.平场就是在均匀面光源输入条件下,把响应输出低的 CCD 像元乘以一个略大于 1 的系数,而把响应输出高的 CCD 像元乘以一个略小于 1 的系数。

照相机的平场技术国内外都十分成熟,做法也大致相同.但它不适用于干涉成像光谱仪,因为对于干涉成像光谱仪而言,一个均匀的光场的输入,其输出始终是干涉条纹,为此提出了所谓的“行”平场原理<sup>[8]</sup>。

图 5 表示干涉成像光谱仪所用的面阵 CCD.其中  $i$  方向定义为空间方向,称为行方向,共有 128 元, $j$  方向与飞行方向相同,称为列方向,每一列都是一个地元的一张干涉图,所以共有 128 列.其中  $j=0$  的一行是所有像元处于干涉图中零光程差的行,对一个均匀的输入  $j=0$  这一行的 128 个像元的输出应该相同,进行平场,同理对于  $j=+1$  及  $j=-1$  的 256 个像元的输出也应该相同,同样进行平场,为此类推直到  $j=+64$  及  $j=-64$  为止。

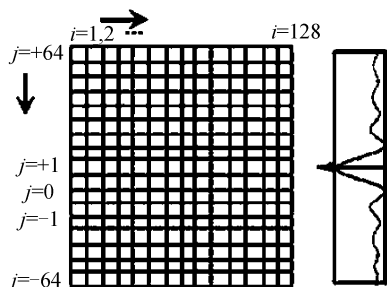


图 5 “行”平场原理图

Fig. 5 Row-Flat-Fields principle

如果需要检查另一个方向的平场情况,可以把 CCD 芯片绕中心点旋转  $90^\circ$ ,重复上面的工作.在平场中,采用积分球作为均匀输入光源,积分球具有很好的平面及角度均匀性,而且光谱辐亮度稳定性高.把被检干涉成像光谱仪直接对准积分球中心即可。

对二档曝光时间与三档电子学增益共六种组合,分别给出了  $R(128,128)$  平场系数矩阵,相对定标不确定度为 1.9%。

## 2.5 光谱绝对定标

光谱的绝对定标可以施加于干涉图也可以施加于复原光谱图,实验证明后者直观,简单、可靠.但是作为光谱绝对定标的标准源目前国际上都是色散型的光谱仪,虽然它也可以直接通过比对来给复原光谱定标,但由于两者的原理不同,光谱分辨率的表征方法不同.色散型基本都是波长等间隔,而干涉型的

是波数等间隔。

实验室采用美国 ASD Fieldspace Pro UV/VNIR 色散型光谱仪<sup>[14]</sup>,经计量校验后作为标准源,它的光谱分辨率为 2.5 nm,而探月的干涉成像光谱仪在工作波段最小波长上折算为波长的分辨率为 7 nm(波数分辨率为  $325.5 \text{ cm}^{-1}$ ).试验时,两台设备同时对积分球采集数据,把由干涉成像光谱仪采集的数据做后处理,复原得到 32 个通道的未经标定的曲线,而把作为标准的色散型光谱仪测量得到的光谱图做一次付氏变换,并使最大光程差等于探月干涉成像光谱仪的最大光程差,然后再做一次反付氏变换,这时就得到一张以波数等间隔,光谱分辨率与探月干涉仪相同的光谱图,以后者对前者赋值<sup>[9]</sup>。

光谱绝对定标中的标准源是一台色散型光谱仪,没有空间分辨率,但由于干涉成像光谱仪在绝对光谱辐射度定标前已完成相对定标平场,所以在空间上可以视为同一。

在实验室定标中,见图 6.不论是被定标的干涉成像光谱仪还是作为标准源的光谱辐射度计都要同时对准积分球采集 25 次以上的数据,采用均值处理,并做数据的离散性分析.此外还要对不同曝光时间与电子学增益的 6 中组合,分别给出  $(1 \times 32)$  的绝对定标矩阵,光谱辐射度绝对定标的最大不确定度为 6.39%,均值为 3.56%。

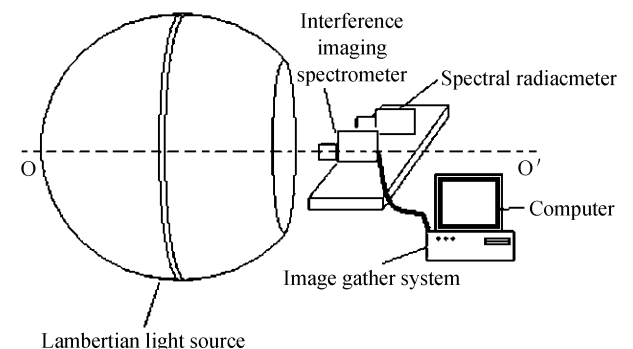


图 6 定标装置配置

Fig. 6 Device of Calibration

在最大辐亮度配准、平场、光谱辐亮度绝对定标中,采用同一套检测装置,而且一次就采集所有数据。

## 2.6 输出 VS 输入的线性检测

积分球内共有 20 个灯,可以逐一开启,以改变积分球出口处的光谱辐亮度值,并由光谱辐射度计测量辐亮度,干涉成像光谱仪输出 DN,得到输出 VS 输入的线性度<sup>[15]</sup>,试验中共采用了 17 档不同的辐亮度,表 4 是线性的均值,图 7 为 17 档不同辐亮度的线性关系。

表 4 响应线性度检测

Table 4 The detection of response linearity

NO	1	2	3	4	5	6	7	8
linearity	0.025 2	0.006 3	0.001 5	0.000 6	0.000 3	0.000 3	0.000 8	0.001 6
9	10	11	12	13	14	15	16	17
0.002 1	0.001 7	0.001 5	0.001 3	0.000 8	0.000 3	0.000 5	0.001 2	0.002 0

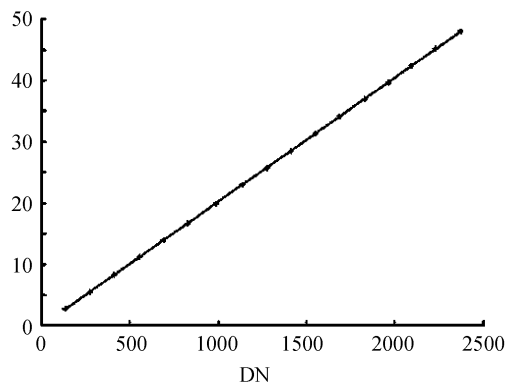


图 7 干涉成像光谱仪线性度

Fig. 7 Response linearity of Interference Imaging Spectrometer

从表 3 可以看出在 17 档不同的辐亮度中除最小档的线性度为 2.5% 之外,其余都小于 1%。

## 2.7 光谱分辨率与谱线位置检测

光谱分辨率及谱线位置的检测<sup>[16]</sup>是采用高稳定的激光来进行的,检测装置见图 8。共用了 4 种激光器,其中 2 种为气体激光器,2 种为半导体激光器。激光具有单色性好的特点,它的半高宽 FWHM

一般都在埃的量级,同时谱线位置稳定,然而在近红外波段就没有合适的气体激光器,而只能用半导体激光器,与气体激光器相比,它的谱线位置会产生温漂,所以气体激光器的检测数据较为可靠。

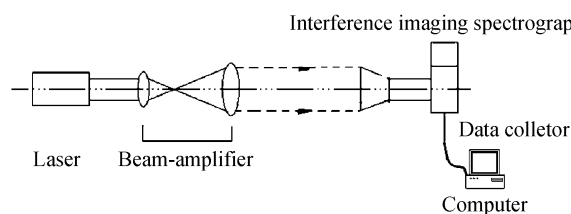


图 8 谱线位置与光谱分辨率检测装置

Fig. 8 Device to measure spectral position and spectral resolution

由于激光束的光束直径很小,通常小于 1 mm,所以在检测时加了一个 20 倍激光扩束镜,使光束口径充满干涉成像光谱仪的入瞳。

数据采集卡得到的激光干涉图经软件处理后,可获得复原光谱,它的半高宽值表示光谱分辨率,其峰值点对应的波长位置为谱线位置,表 5 给出了四种激光波长的检测结果。

表 5 光谱分辨率与谱线位置的检测结果

Table 5 Result of spectral resolution and wavelength position

laser wavelength/nm	spectral resolution			Wavelength location			Comment
	theory	test	error	theory	test	error	
543.5	9.6 nm	10.4 nm	7.7%	543.5 nm	543.46 nm	0.04 nm	Gas laser
632.8	13.1 nm	13.8 nm	5.3%	632.8 nm	633.11 nm	0.31 nm	Gas laser
783.8	20 nm	21.8 nm	9%	783.8 nm	784.56 nm	0.76 nm	semiconductor laser
831.2	22.5 nm	24.2 nm	7.5%	831.2 nm	828.72 nm	2.48 nm	semiconductor laser

表 5 中采用了激光波长而不是波数,所以处理时,按式(2)进行换算。

$$\frac{\delta\sigma}{\sigma} = \frac{\delta\lambda}{\lambda} \quad (2)$$

式中  $\lambda$  表示波长, $\delta\lambda$  表示波长分辨率, $\sigma$  表示相应的波数, $\delta\sigma$  为波数分辨率,用式(2)可以方便地把测量得到的  $\delta\sigma$  转换为  $\delta\lambda$  值。

## 3 在轨光谱辐射度的相对检测

### 3.1 在轨数据获取情况

嫦娥一号成像光谱仪是国内首台上天的干涉型成像光谱仪,同时又是国际首台对月球进行多光谱探测的干涉成像光谱仪,自 2007 年 11 月 27 日开机以来,设备工作一直正常,到 2009 年 3 月 1 日卫星

受控撞击月球为止,已获得全月面 78% 区域的多光谱图像,图 9 是部分典型的多光谱图像。

### 3.2 在轨光谱辐射度的相对检测

在实验室内,可以用标准的光谱辐射度计、积分球定量地进行定标。对地球观察而言,在轨可以通过特定地点的辐射场定标,但是对于月球就十分困难,因为它不具备这种测量条件。检测时,首先在月表面选择一块 3.2 km × 3.2 km 的区域,它的光谱辐射度具有较好的均一性,但没有可供比对的绝对值,因此这种检测只是相对的。而且有一个重要前提:即被选的 3.2 km × 3.2 km 的区域确实仅有较小的光谱辐亮度差异,但目前无法证实。

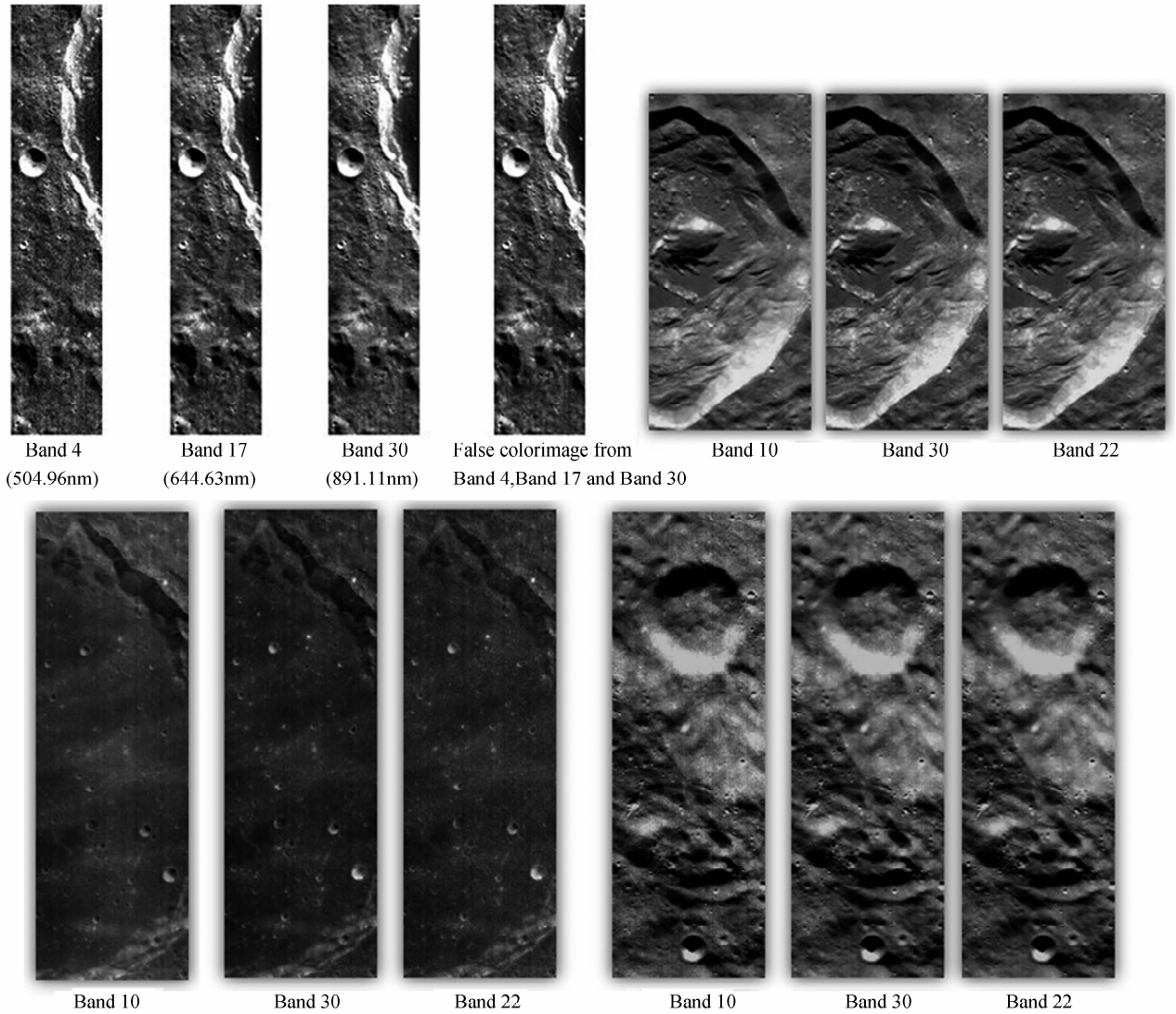


图9 干涉成像光谱仪获得的多光谱序列图像  
Fig 9 Lunar image obtained by IIS

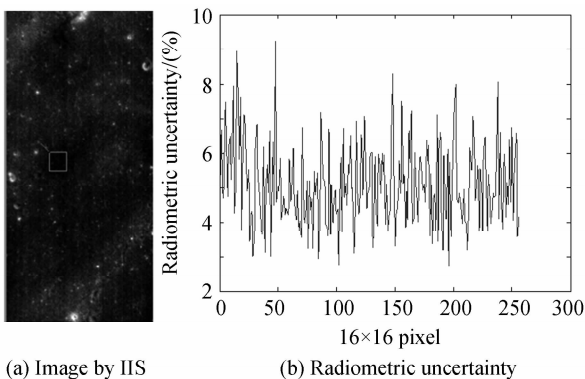


图10 干涉成像光谱仪的光谱辐亮度不确定度检测  
Fig. 10 Radiometric uncertainty of Interference Imaging Spectrometer on-orbit evaluating

干涉成像光谱仪的地元分辨率  $GSD=200\text{ m}$ ,  $3.2\text{ km}\times 3.2\text{ km}$  区域占  $16\times 16$  个地元, 可以获得  $16\times 16=256$  个可分辨地元的复原光谱图, 在每一地元的复原光谱图中有 32 个采样点上的波长值以及按地面实验室定标得到的相应辐亮度值, 对 256 个地元中同一波长的辐亮度值, 求均值作为“真值”,

对每个地元的值与“均值”求标准差, 然后对 32 个波长的标准差再求一次均值, 最后得到 256 个地元间的相对光谱辐射度不确定度, 见图 10. 检测结果为  $2.5\%\sim 9.5\%$ <sup>[17]</sup>.

## 4 结论

根据嫦娥一号探月卫星干涉成像光谱仪的任务要求及科学目标, 完成了实验室的光谱辐射度定标, 根据干涉型成像光谱仪的特点, 在定标过程中, 提出了“行”平场、不同类型光谱仪的对比方法, 都得到了好的应用成果. 文中某些内容, 如最大饱和辐亮度的配准等严格的意义上并不属于定标的内容, 但它们与定标有一定关联, 另有一些项目属质量检测, 如光谱分辨率与谱线位置, 在文中一并做了介绍.

**致谢:** 首先感谢中科院安徽光机所定标研究室的技术人员, 他们为定标设备进行了校验, 并参与了部分定标工作, 同时还要感谢中科院国家天文台, 他

们完成了某些在轨检测工作。

#### 参考文献

- [1] OUYANG Zi-yuan, LI Chun-lai, ZOU Yong-liao, *et al.* The scientific object of first phase project of chinese lunar exploration[J]. *Spacecraft Engineering*, 2005, **14**(1): 1~5.
- [2] LEONARD J O, EUGENE W B, *et al.* Design of an airborne Fourier transform visible hyperspectral imaging system for light aircraft environmental remote sensing[C]. *SPIE*, 1995, **2480**: 418-424.
- [3] SUMMER Y, THOMAS R C, *et al.* MightySat II. 1 hyperspectral imager; summary of on-orbit performance[C]. *SPIE*, 2002, **4480**: 186-197.
- [4] LEONARD J O, ANDREW D M, *et al.* Payload qualification and optical performance test results for the MightySat II. 1 hyperspectral imager[C]. *SPIE*, 1998, **3498**: 231-238.
- [5] RAFFART B J, SELLAR G R, BLATT H J, *et al.* Monolithic Fourier-transform imaging spectrometer[J]. *Appl Opt*, 1995, **34**: 7228~7230.
- [6] ZHANG C M, ZHAO B C, *et al.* Analysis of signal-to-noise ratio of ultra-compact static polarization interference imaging spectrometer[J]. *J Opt A: Pure Appl Opt*, 2009, **11**: 085401.
- [7] HAMMER P D, DAVID L P. Imaging Interferometry for terrestrial remote sensing[C]. *SPIE*, 1995, **2480**: 153-164.
- [8] 干涉成像光谱仪的平场方法. 发明专利, 200710018975. 7
- [9] 不同类型光谱仪的对比方法. 发明专利, ZL20071008974. 2.
- [10] ZHAO Bao-chang, YANG Jian-feng, *et al.* Optical design and on-orbit performance evaluation of the imaging spectrometer for chang'e-1 lunar satellite[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(3): 479-483.
- [11] 西师毅, Fourier Spectroscopy. 电子技术综合研究所调查报告, 第 169 号.
- [12] ZHANG Chun-min, YAN Xin-ge, ZHAO Bao-chang. A novel model for obtaining interferogram and spectrum based on the temporarily and spatially mixed modulated polarization interference imaging spectrometer [ J ]. *Optics Communications*, 2008, **281**(8): 2050-2056.
- [13] ZHANG Chun-min, JIAN Xiao-hua. Wide-spectrum reconstruction method for a birefringence interference imaging spectrometer[J]. *Optics Letters*, 2010, **35**(3): 366-368.
- [14] Analytical spectral devices. FieldSpec( Pro FR User's Guide. Boulder: Colo, 2002.
- [15] GU Y, ANDERSON J M, MONK J G C. An approach to the spectral and radiometric calibration of the VIFIS system[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1999, **20**(3): 535-548.
- [16] THOMAS G C, ROBERT O G, *et al.* Accuracy of the spectral and radiometric laboratory calibration of the airborne visible/infrared imaging spectrometer[C]. *SPIE*, 1990, **1298**: 37-49.
- [17] 嫦娥一号卫星科学探测数据质量初步评估报告(内部). 中国科学院国家天文台月球与深空探测科学应用中心.

## Calibration of Chang'E-1 Satellite Interference Imaging Spectrometer

ZHAO Bao-chang, YANG Jian-feng, XUE Bin, QIAO Wei-dong, QIU Yue-hong  
(Xi'an Institute Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119)

**Abstract:** The Sagnac Spatially-Modulation Interference Imaging Spectrometer was one of the Chang'E-1 Satellite payload, The Calibration methods of it was first introduced, including Row-Flat-fields principle, and Spectrum-Contrast-Method among varied types of spectrometers, which were applied to the relative and absolute radiometric calibration of instrument. Others, the spectral position and spectral resolution were measured, and radiometric uncertainty of instrument on orbit was evaluated. The above-mentioned principles and results were first advanced both at home and aboard. The scheme of interference imaging spectrometer first successfully obtain the visible-near infrared broad spectral range and continual spectrum of the moon.

**Key words:** Interference Imaging Spectrometer; Calibration; On-orbit evaluating; Flat-fields; Spectrum-Contrast-Method among varied types of spectrometers



**ZHAO Bao-chang** was born in 1939 and graduated from Zhejiang University in 1962. He is a professor of Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, and his research interests focus on applied optics and interference spectroscopy.