0254-6124/2012/32(3)-440–09 *Chin. J. Space Sci.* 空间科学学报

Liu Bin, Ling Zongcheng, Liu Jianzhong, Zhang Guangliang. Image quality assessment for Chang'E-1 IIM 2C data. *Chin. J. Space Sci.*, 2012, **32**(3): 440-448

嫦娥一号干涉成像光谱仪 2C 级图像数据质量评价*

刘 斌[1,2] 凌宗成[1,3] 刘建忠[1] 张广良[1]

1(中国科学院国家天文台 北京 100012)

2(中国科学院研究生院 北京 100049)

3(山东大学威海分校空间科学与物理学院 威海 264209)

摘 要 嫦娥一号干涉成像光谱仪 (IIM) 获取的多波段图像数据对于月表矿物成分反演具有重要意义. 从目视质量、客观参数、几何配准精度、图像质量随时间的变化情况等方面对 IIM 2C 级的多波段图像数据质量进行了评价. 结果显示, 其两端波段范围的图像质量较差, 不能有效识别月表单元, 中间波段图像质量较好; 自然色图像显示 IIM 数据存在明显的横向色调不均一性. 利用图像的客观评价指标 (辐射精度、清晰度、信息量) 将干涉成像光谱仪图像数据与美国 Clementine UV-VIS 多光谱图像数据进行对比分析, 结果表明, IIM 数据清晰度好于 Clementine UV-VIS, 而在方差和信息量上弱于 Clementine UV-VIS. 将 IIM 图像数据与 Clementine 多光谱数据统一到相同的空间分辨率, 进行配准精度评价, 其最大控制点配准误差为 0.63 pixel. 此外, 还对时间跨度两个月覆盖月表同一区域的 IIM 图像数据从辐射精度、信息量和清晰度方面进行了评价.

关键词 嫦娥一号, 干涉成像光谱仪, 图像质量评价, 辐射精度, 清晰度

中图法分类号 TP 751. 1

Image Quality assessment for Chang'E-1 IIM 2C Data

LIU Bin[1,2] LING Zongcheng[1,3] LIU Jianzhong[1] ZHANG Guangliang[1]

1(*National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100012)

2(*Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049)

3(*School of Space Science and Physics, Shandong University at Weihai, Weihai* 264209)

Abstract Imaging Interferometer (IIM) onboard Chang'E-1 satellite is the first imaging spectrometer for lunar detection in China. The multi-bands image data of IIM played an important role in lunar minerals and elements retrieval. In this paper, IIM data is evaluated from several aspects including subjective image visual evaluation, objective image quality parameters, geometric precision, data quality change with time, *etc*. Subjective visual evaluation shows that images of short

* 国家高技术研究发展计划 (2010AA122201, 2010AA122202, 2010AA122203) 和中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KJCX-YW-T13) 共同资助

2011-04-14 收到原稿, 2011-12-18 收到修定稿

E-mail: liub@nao.cas.cn

wavelength bands (band 1, 2, 3, 4, 5) and the last bands (band 31, 32) in image cube had bad qualities, which may not recognize lunar surface very well, while images in the middle of the cube are much better. A phenomenon is found by RGB image that there is an image tone inhomogeneity from left to right, which may be caused by discontinuity of CCD response. IIM data (band 24) is compared with Clementine UV-VIS image data (band 2) by image evaluation parameters such as radiance precision, definition and information content. Results show that IIM data's definition is better than Clementine UV-VIS, but its radiance precision and information content parameters are inferior. IIM data and Clementine UV-VIS data are normalized to the same spatial resolution and IMM's registration precision is compared. The biggest error of control points' registration is only 0.63 pixel. Besides, IIM images acquired at different time covering the same district of lunar surface were compared and evaluated through parameters of radiance precision, definition and information content, and the time span is two months. The parameters calculated are very close, illustrating that the instrument worked stably at that period.

Key words Chang'E-1 satellite, Imaging Interferometer (IIM), Image quality assessment, Radiance precision, Definition

0 引言

探测月表物质类型以及元素的含量与分布对研究月球资源开发利用具有重要意义 [1]. 搭载于嫦娥一号上的干涉成像光谱仪 (IIM) 可用于月表元素 (如 Fe, Ti) 和矿物 (如辉石) 的反演. 目前 IIM 各个级别的数据已经发布, 对 IIM 的图像光谱数据进行质量评价, 分析各波段图像的情况, 可进一步改进图像质量, 为波段参数的选择提供帮助, 从而更好地理解和应用相关数据.

目前, 遥感卫星图像数据主要依据辐射精度、清晰度、信息量和几何精度等指标与已有同类遥感卫星图像数据开展对比分析, 进行质量评价. 这方面的工作有印度 P6 卫星 LISS3 图像质量评价 [2], 航天清华一号微小卫星图像评价 [3] 以及中巴地球资源一号卫星的图像质量评价 [4−7] 等. 本文从图像的主观目视质量、客观指标和几何精度等方面对 IIM 2C 级图像数据进行评价, 为了解该仪器数据以及波段选择和后续应用提供参考.

1 数据描述

采用的干涉成像光谱仪 2C 级数据经过暗电流去除和相对定标修正, 并经过辐射校正、光度校正和反射率变换 [8]. 干涉成像光谱仪采用的是推扫模式, 波长范围 480 ∼ 960 nm, 覆盖月球南北纬 70° 范围内约 84% 的数据. 表 1 列出了 IIM 主要技术和性能指标.

表 1 IIM 主要技术和性能指标

Table 1 Features of IIM on board Chang'E-1 satellite

参数	指标
月表成像宽度	25.6 km
月表地元分辨率	200 m
成像区域	70°N∼70°S
光谱范围	480∼960 nm
光谱波段数 (分辨率)	32 (480 nm 波段光谱分辨率为 7.62 nm, 960 nm 波段光谱分辨率为 29 nm)
量化等级	12 bit
像元数	256×256 (2 × 2 像元合并后)
MTF	⩾ 0.2 (黑白快视图)
S/N	⩾ 100 (当月表物质漫反射系数 $\rho = 0.2$, 太阳光入射角 30°, 即太阳高度角 $\theta = 60°$ 时, 黑白快视图)
电子学增益	1, 1.5, 2, 2.5
曝光时间	140 ms, 70 ms
帧频	7.1 frame/s
数据率	1406 kbit/s

2 图像数据质量评价

从图像的主观目视质量, 客观评价指标 (辐射精度、信息量、清晰度), 几何精度以及不同时间获取的图像质量等方面对 IIM 数据的图像质量进行评价.

2.1 目视质量评价

以 2184 轨图像为例, 对图 1~3 的目视质量判读表明, 第 1, 2, 3, 4, 5, 31, 32 谱段的图像质量较差, 对月表单元的识别能力较差; 第 13 谱段图像中有明显条纹噪声; 中间谱段图像质量相对较好; 自然色图像

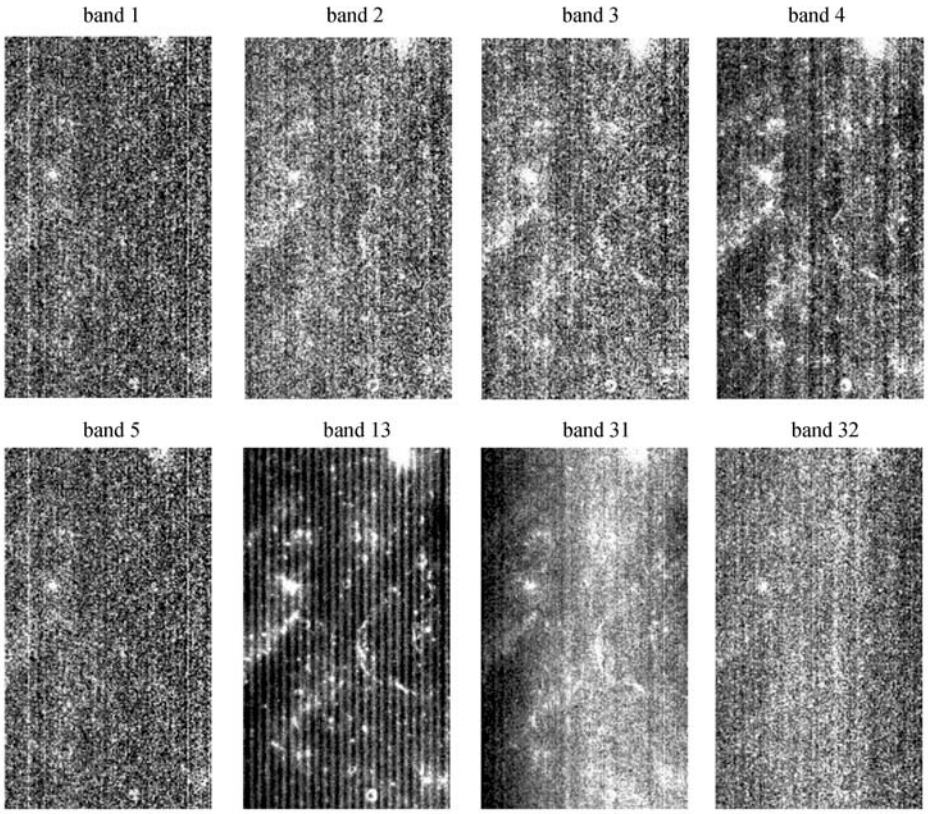

图 1 IIM 2184 轨 1, 2, 3, 4, 5, 13, 31, 32 谱段影像

Fig. 1 IIM band 1, 2, 3, 4, 5, 13, 31, 32 images (orbit number 2184)

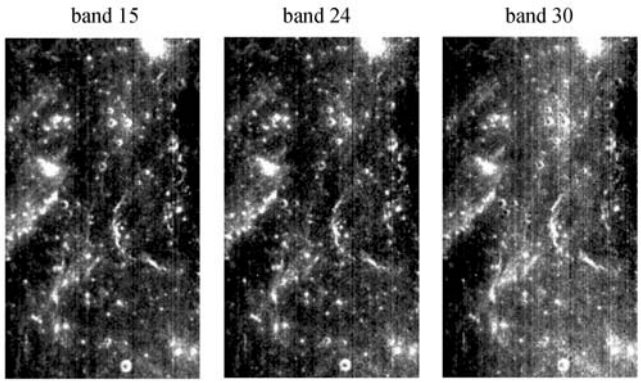

图 2 IIM 2184 轨第 15, 24, 30 谱段影像

Fig. 2 IIM band 15, 24 and band 30 images (orbit number 2184)

图 3　IIM2184 轨第 15, 24, 30 谱段组成的自然色图像

Fig. 3　IIM natural color image composed by band15, 24 and band 30 images (orbit number 2184)

有一定异常, 沿影像横向方向, 颜色不均匀, 有绿色和红色带状分布, 显示 IIM 数据存在着明显的横向不均一性.

2.2　客观参数评价

结合其他遥感卫星的图像数据质量评价方法, 利用辐射精度、信息量、清晰度等客观参数对 IIM 数据和 Clementine UV-VIS 多光谱相机同一区域的图像质量进行对比评价, 采用 IRS-P6 卫星 LISS3 图像的客观参数计算方法 [2]. 其中, 辐射精度主要反映图像的辐射性能状态, 信息量反映图像包含地物信息的程度, 清晰度反映图像细节和边缘变化的敏锐程度.

分别选取月海和高地地区波长较为接近且图像质量较好的 IIM 第 24 谱段 (波长 757 nm) 数据与 Clementine UV-VIS 第 2 谱段 (波长 750 nm) 的影像数据进行研究, 计算相应的辐射精度、清晰度和信息量等参数. 图 4 给出了 IIM 第 24 波段图像与 Clementine 第 2 波段图像在高地和月海相同区域的影像, 根据 LISS3 图像客观参数公式 [2] 计算的相关参数列于表 2.

对于高地影像, IIM24 波段图像的清晰度明显好于 Clementine (这里清晰度指标是按照改进的点锐度法计算的 [9]), 从图像中也可以看出, IIM 图像的清晰度比较高, Clementine 图像比较模糊. IIM 辐射均值与 Clementine 比较接近, 但在方差和信息量方面, IIM 24 波段由于分辨率和波段宽度的限制, 比 Clementine 稍差, 方差在一定程度上反映了信息量.

关于月海影像, 通过对比这两块月海区域的图像数据可以看出, IIM 第 24 波段的图像在清晰度和信息量上要好于 Clementine 第 2 波段, 这是 CE IIM 图像点锐度较高导致的, 由于图像分辨率和波段宽度的限制, IIM 信息量本应低于 Clementine, 但结果却是 IIM 信息量值偏高, 究其原因可能是 IIM 图像的横向不均一性混入了一定的噪声, 从目视图像和辐射均值以及方差的变化也可看出这一点.

2.3　几何精度评价

分别选取 IIM 月海、高地地区以及 Clementine 相同地区的图像数据, 采用遥感处理软件 PCI 将 IIM 图像与 Clementine 图像进行几何配准, Clementine 采用的投影方式为等面积正弦投影. 针对月海和高地不同地区, 这里分别选取 20 个均匀分布在 IIM 和

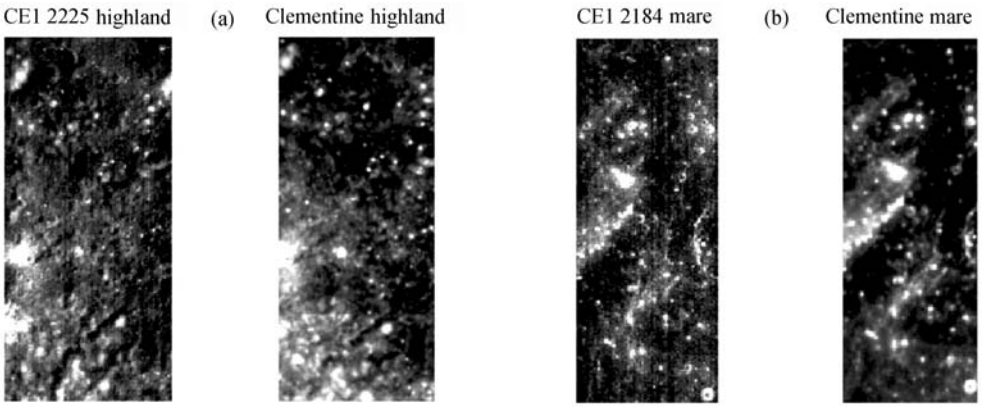

图 4　IIM 第 24 波段图像和 Clementine 第 2 波段图像在高地 (a) 和月海 (b) 相同区域的影像

Fig. 4　IIM band 24, Clementine band 2 lunar highland images (a) and mare images (b) covering the same district

表 2 IIM 第 24 波段和 Clementine 第 2 波段图像数据客观参数评价指标

Table 2 IIM band 24 and Clementine band 2 image evaluation parameters

指标	CE1 2225	Clementine	CE1 2184	Clementine
波段	highland	highland	mare	mare
均值	96.42	96.83	90.31	79.39
方差	3.42×10^3	2.90×10^3	2.65×10^3	2.88×10^3
偏斜度	0.00	0.00	0.00	0.00
陡度	0.00	0.00	0.00	0.00
边缘辐射畸变均值	96.42	96.83	90.31	79.39
边缘辐射畸变方差	1.05×10^3	428.13	231.12	510.04
增益调整畸变均值	96.42	96.83	90.31	79.39
增益调整畸变方差	540.62	454.44	310.00	285.42
清晰度	148.72	56.67	189.83	99.87
信息量	7.53	7.55	7.40	6.51

表 3 月海地区配准影像地面控制点及误差统计 (单位 pixel)

Table 3 Ground Control Points (GCP) selected and errors in lunar mare (unit pixel)

No.	error	residual x	residual y	Georef x	Georef y	uncorrected x	uncorrected y
1	0.41	0.31	0.27	370.83	175	56.5	7828.83
2	0.36	−0.33	−0.15	377.67	236.5	67.5	7891.5
3	0.21	0	−0.21	373.67	340	69.38	7996.5
4	0.08	−0.08	−0.01	354.5	219.5	43.5	7874.38
5	0.08	0.05	0.06	397.33	366.17	93.83	8022.83
6	0.6	−0.44	0.41	319	319	15.33	7974.67
7	0.17	0.06	−0.16	417.71	262.57	107.83	7917.67
8	0.5	0.03	−0.5	396	190.86	82.5	7845.33
9	0.34	−0.29	−0.18	342	290.57	35.83	7946.5
10	0.24	−0.12	0.2	332.43	211	21.33	7865.83
11	0.37	0.32	−0.19	332	179.57	18.5	7834.5
12	0.56	−0.01	0.56	417.86	294.71	109.83	7949.67
13	0.42	0.35	0.23	339.29	378.57	38	8035
14	0.4	−0.09	0.39	402.29	226.43	90.83	7880.5
15	0.38	0.09	0.37	385.43	284.71	77.5	7939.83
16	0.33	0.11	−0.31	409.43	336.43	103.83	7993
17	0.58	0.35	−0.46	327.57	344.57	24.5	8001.33
18	0.15	0.09	−0.12	399.43	255.43	89.5	7910.5
19	0.06	0	0.06	360	327.43	55.33	7983.5
20	0.49	−0.41	−0.28	385.43	307.57	79.33	7963.67

Clementine UV-VIS 图像表面且易于识别的地面控制点, 以 Clementine 数据为基准数据, 将 IIM 图像进行几何校正和重采样.

IIM 月海地区几何校正结果如图 5 和图 6 所示, 地面控制点及误差信息列于表 3.

IIM 高地地区几何校正结果如图 7 和图 8 所示, 地面控制点及误差信息列于表 4.

通过对 IIM 月海和高地两种地形区域的数据进

行几何校正, 分析校正过程中控制点的残差, 可以间接评价原始图像的几何精度 [5]. 由配准影像和误差统计结果可以看出, IIM 图像整体几何变形很小, 与 Clementine 图像的配准效果理想, 月海地区最大控制点配准误差为 0.58 pixel, 高地地区最大控制点配准误差为 0.63 pixel. 检查两个地区 x 方向的剖面 (见图 6 和图 8), 结果显示这两种图像的像元空间位置具有很好的一致性, 间接说明 IIM 影像具有较高的几何定位精度.

2.4　不同时间图像质量评价

为评价 IIM 影像数据随时间的变化情况, 将 IIM 第 2299 轨、2608 轨和 2918 轨 24 波段数据在同一地区不同时间获取的三轨图像进行比较, 结果如图 9 所示. 计算的图像客观质量评价指标列于表 5.

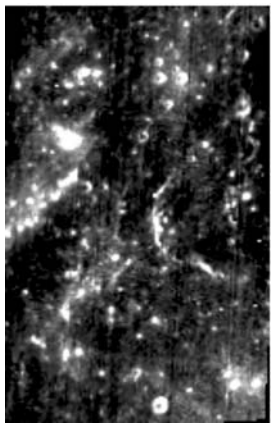

图 5　IIM 月海地区第 2184 轨配准影像 (band 24)

Fig. 5　IIM lunar mare image after registered with Clementine band 2 image

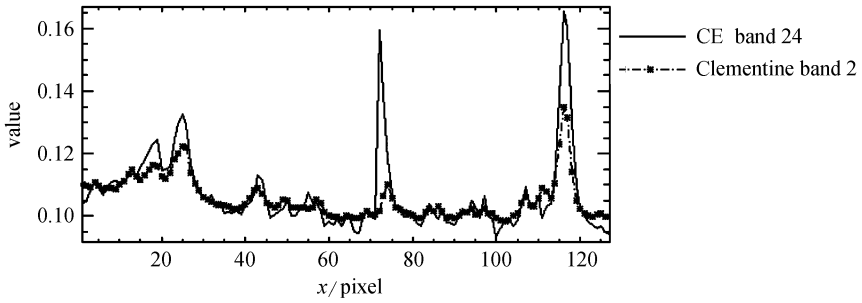

图 6　IIM 月海地区配准影像第 273 行和相应 Clementine 图像的 x 方向剖面

Fig. 6　Comparison of IIM lunar mare image x profile values with Clementine after registered (line 273)

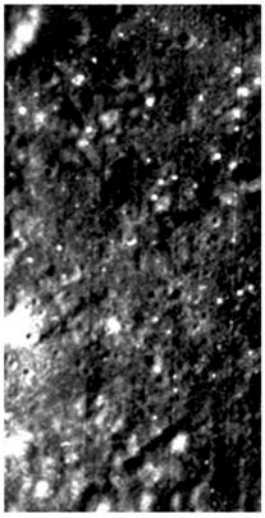

图 7　IIM 高地地区第 2225 轨配准影像 (band 24)

Fig. 7　IIM band 24 image after registered with Clementine band 2 image

从成像时间上看, IIM 第 24 波段三轨图像数据的时间跨度约为两个月, 图像各方面指标, 例如辐射均值、方差、信息量和清晰度值均比较接近; 目视三轨图像也较为一致, 说明仪器性能在这段时间内比较稳定.

3　分析与讨论

通过对干涉成像光谱仪图像数据进行质量评价, 可以得出以下主要结论.

IIM 各波段图像数据目视解译分析显示, 图像第 1, 2, 3, 4, 5, 31, 32 波段质量较差, 对月表单元的识别能力也较差; 第 13 谱段存在明显的条纹状噪声. 同时, 从自然色图像可以看出, IIM 图像存在横向不均匀性, 这可能与 CCD 的横向像元光谱响应不均

匀有关, Wu 等 [10] 利用 Apollo 16 着陆点附近和 MS2 地区的数据很好地校正了这一不均一性.

在影像数据质量评价方面, 获得了 IIM 影像数据的客观质量评价指标, 经过与 Clementine UV-VIS 图像数据比较发现, IIM 数据的影像清晰度比 Clementine 数据要好一些, 但由于波段分辨率的限制, 其方差和信息量指标弱于 Clementine 数据, 而几何精度与 Clementine 相近, 配准误差最大为 0.63 pixel. 对所获取图像在两个月内的变化评价发现, 其质量变化不大.

通过对 IIM 图像数据质量进行评价发现, 无论是图像的目视质量评价还是客观参数评价, 均很难找到一个严格的标准来进行对比分析. Clementine UV-VIS 多光谱数据也只是一个相对标准, 毕竟 IIM

表 4 高地地区配准影像地面控制点及误差统计 (单位 pixel)

Table 4 Ground Control Points (GCP) selected and errors in lunar highland (unit pixel)

No.	error	residual x	residual y	Georef x	Georef y	uncorrected x	uncorrected y
1	0.45	0.08	−0.44	92.125	98.875	207.25	186.75
2	0.29	0.06	0.28	110.125	72.375	245.50	133.50
3	0.17	0.17	0.01	10.625	14.375	47.75	14.75
4	0.27	0.12	−0.25	113.75	147.75	247.75	284.25
5	0.41	0.41	0.01	44.75	41.75	114.50	70.50
6	0.54	0.48	−0.24	44.25	8.75	115.50	5.50
7	0.43	0.40	−0.14	101.625	226.375	217.50	439.50
8	0.47	−0.09	−0.46	31.75	128.75	83.50	243.50
9	0.63	−0.62	−0.11	120.25	8.75	271.50	8.50
10	0.53	−0.41	0.33	18.25	58.25	61.50	101.50
11	0.46	0.08	0.45	117.25	257.75	247.75	501.25
12	0.63	−0.57	0.25	18.625	273.375	48.50	528.50
13	0.15	−0.10	−0.11	77.375	206.625	170.75	399.25
14	0.10	−0.00	0.10	41.375	225.375	96.50	434.50
15	0.43	0.25	0.35	76.125	161.375	170.50	308.50
16	0.57	−0.17	0.54	93.125	58.375	212.50	104.50
17	0.43	0.31	−0.29	18.625	134.625	55.75	254.25
18	0.42	0.10	−0.40	103.375	186.375	224.25	360.75
19	0.51	−0.17	0.48	56.125	29.875	139.50	139.50
20	0.50	−0.32	−0.38	73.25	104.75	169.50	197.50

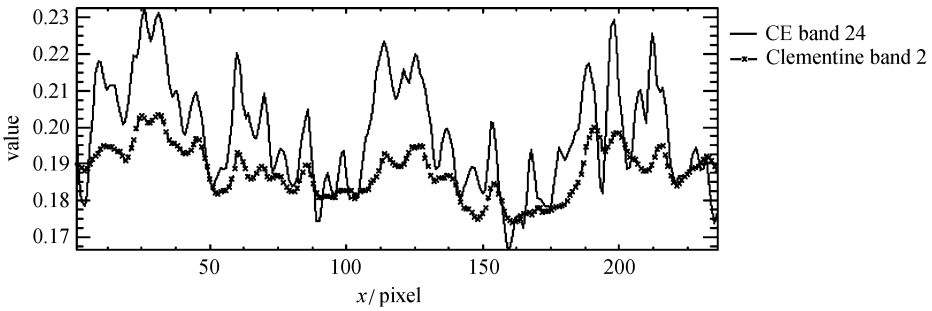

图 8 IIM 高地地区配准影像第 219 行和相应 Clementine 图像 x 方向剖面

Fig. 8 Comparison of IIM lunar highland image x profile values with Clementine after registered (line 219)

表 5 第 2299 轨、2608 轨和 2918 轨 24 波段数据在同一地区的影像质量指标

Table 5 The same district image evaluation parameters of IIM from orbit numbers of 2299, 2608 and 2918

指标 波段	CE-IIM-2299-band24	CE-IIM-2608-band24	CE-IIM-2918-band24
获取时间	2008-05-27 13:52:06—15:59:19 (UTC)	2008-06-23 21:06:16—23:13:31 (UTC)	2008-07-21 06:32:06—08:39:20 (UTC)
均值	85.59	88.57	86.27
方差	2.38×10^3	2.51×10^3	2.30×10^3
偏斜度	0.00	0.00	0.00
陡度	0.00	0.00	0.00
边缘辐射畸变均值	85.59	88.57	86.27
边缘辐射畸变方差	685.92	810.17	577.60
增益调整畸变均值	85.59	88.57	86.27
增益调整畸变方差	230.48	171.26	136.81
清晰度	168.65	165.07	181.34
信息量	7.23	7.30	7.19

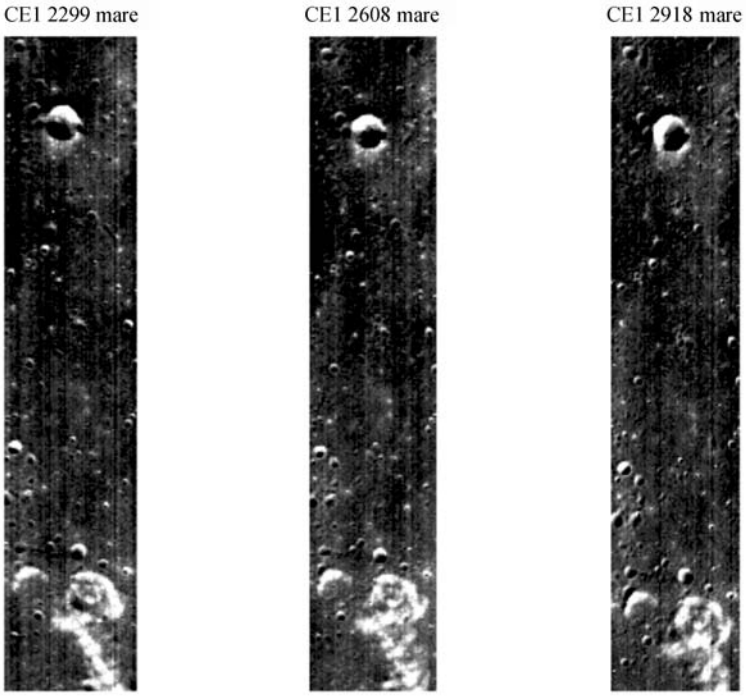

图 9 IIM 第 2299 轨、2608 轨和 2918 轨 24 波段数据在同一地区的影像

Fig. 9 IIM images from the same district but from different orbit numbers (orbit number 2299, 2608, 2918)

和 Clementine 多光谱成像仪器原理不同, 性能指标也有差异. 如何建立一个适用于各种月球成像仪器图像数据质量评价的统一标准是值得思考的问题, 美国的主观图像质量评价指标 NIIRS[11] 为人们提供了一个重要的参考依据, 主客观相结合的图像质量评价方法或许能更好地评价一个仪器的图像数据质量.

参考文献

[1] Ouyang Ziyuan. Introduction to Lunar Science [M]. Bei-

jing: China Astronautic Publishing House, 2005. 308. In Chinese (欧阳自远. 月球科学概论[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2005. 308)

[2] Wang Qinjun, Tian Qingjiu. Quality evaluation of LISS3 image from IRS-P6 satellite[J]. *Geogr. Geo-Inf. Sci.*, 2007, **23**(3):11-14. In Chinese (王钦军, 田庆久. IRSP6 卫星 LISS3 图像数据质量评价[J]. 地理与地理信息科学, 2007, **23**(3):11-14)

[3] Tang Junyou, Zhao Rui. The data quality evaluating of "HT-1" micro-satellite[J]. *Remote Sensing Technol. Appl.*, 2001, **16**(4):264-269. In Chinese (汤君友, 赵锐. 航天清华一号微小卫星数据质量评价[J]. 遥感技术与应用, 2001, **16**(4):264-269)

[4] Zhang Xia, Zhang Bing, Zhao Yongchao, *et al.* Image quality assessment for the infrared multi-spectral scanner of the Chinese-Brazil earth resources satellite[J]. *J. Image Graph.*, 2002, **7**(6):581-586. In Chinese (张霞, 张兵, 赵永超, 等. 中巴地球资源一号卫星多光谱扫描图像质量评价[J]. 中国图像图形学报, 2002, **7**(6):581-586)

[5] Zhao Shuhe, Feng Xuezhi, Zhao Rui. Evaluation on data quality and geometric correction of China-Brazil resources satellite No.1 data in Nanjing area[J]. *Remote Sensing Tech. Appl.*, 2000, **15**(3):170-174. In Chinese (赵书何, 冯学智, 赵锐. 中巴资源一号卫星南京幅数据质量与几何纠正评价[J]. 遥感技术与应用, 2000, **15**(3):170-174)

[6] Yang Yuanyuan, Wang Hongnan, Wang Jing, *et al.* Research on the quality of exceed images provided by CBERS-1 satellite[J]. *Spacecr. Recov. Remote Sensing*, 2003, **24**(4):34-39. In Chinese (杨元元, 王鸿南, 汪静, 等. CBERS-1 卫星超期图像数据质量评价研究[J]. 航天返回与遥感, 2003, **24**(4):34-39)

[7] Zhang Jielin, Zhao Yingjun, Zhang Jingbo, *et al.* The image quality evaluation of CBERS-02B and the application of the satellite to the interpretation of ore-forming factors of uranium deposits[J]. *Remote Sensing Land Resour.*, **2009**(1):69-73. In Chinese (张杰林, 赵英俊, 张静波, 等. CBERS-02B 星数据质量评价及铀成矿要素解译应用研究[J]. 国土资源遥感, **2009**(1):69-73)

[8] Liu Jianzhong, Zhang Wenxi, Ling Zongcheng, *et al.* Research on photometric calibration and reflectance calculation for Chang'E-1 IIS data[J]. *Spectrosc. Spectr. Anal.*, 2011, **31**(7):1985-1990. In Chinese (刘建忠, 张文喜, 凌宗成, 等. CE-1 干涉成像光谱数据光度校正与反射率计算[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, **31**(7):1985-1990)

[9] Wang Hongnan, Zhong Wen, Wang Jing, *et al.* Research of measurement for digital image definition[J]. *J. Image Graph.*, 2007, **9**(7):828-831. In Chinese (王鸿南, 钟文, 汪静, 等. 图像清晰度评价方法研究[J]. 中国图像图形学报, 2007, **9**(7):828-831)

[10] Wu Yunzhao, Xu Xisheng, Xie Zhidong, *et al.* Absolute calculation of the Chang'E-1 IIM camera and its preliminary application[J]. *Sci. China: G*, 2009, **39**(10):1387-1392. In Chinese (吴昀昭, 徐夕生, 谢志东, 等. 嫦娥一号 IIM 数据绝对定标与初步应用[J]. 中国科学: G, 2009, **39**(10):1387-1392)

[11] Shi Hongwei, Chen Shiping. A remote sensing image quality standard orienting to user's mission requirements-NIIRS[J]. *Spacecr. Recov. Remote Sensing*, 2003, **24**(3):30-35. In Chinese (时红伟, 陈世平. 一种面向用户任务需求的遥感图像质量标准 -NIIRS[J]. 航天返回与遥感, 2003, **24**(3):30-35)