

文章编号: 1007 4619(2006)04 0433-07

敦煌场地 CBERS-02 CCD 传感器 在轨绝对辐射定标研究

傅俏燕¹, 闵祥军¹, 李杏朝¹, 沙崇漠¹, 李小英²,
马国强¹, 潘志强¹, 郭毅¹, 李启明¹, 刘国栋¹

(1. 中国资源卫星应用中心, 北京 100073; 2. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 对资源一号卫星 02 星 (CBERS 02), 为深入其定量化分析, 定期在敦煌绝对辐射校正场地进行了地面同步测量, 开展了更新在轨绝对辐射定标研究。另外, 运用地表反射率和大气光学特性参量数据, 计算出 CBERS 02 CCD 传感器 4 个波段的绝对辐射标定系数。同时, 利用 2004 年 8 月 25 日的 Landsat 5 TM 图像数据对 CBERS 02 CCD 传感器的辐射特性进行交叉定标, 验证分析了 CBERS 02 CCD 传感器场地绝对辐射定标的基本特性及其可靠性。另外, 为 CBERS 后续星的传感器改进, 提供了分析参量。

关键词: 资源一号卫星 02 星; 绝对辐射定标; 交叉定标; 敦煌场地

中图分类号: TP702 **文献标识码:** A

In-flight Absolute Calibration of the CBERS-02 CCD Sensor at the Dunhuang Test Site

FU Qiao-yan¹, MIN Xiang-jun¹, LI Xing-chao¹, SHA Chong-mo¹, LI Xiao-ying²,
MA Guo-qiang¹, PAN Zhi-qiang¹, GUO Yi¹, LI Qi-ming¹, LIU Guo-dong¹

(1. China Center for Resources Satellite Data and Applications Beijing 100073 China

2. Institute of Remote Sensing Applications Chinese Academy of Sciences Beijing 100101 China)

Abstract Since CBERS-02 was successfully launched on October 21, 2003, the data of CBERS-02 has been widely applied to the fields for agriculture, forestry, geology, water conservancy, etc. It is very necessary to update the coefficient of absolute radiometric calibration in order to deeply carry on the research of quantitative approaches. Therefore, China Centre for Resources Satellite Data & Application team has conducted a field measurement campaign for the characteristic of ground reflectance and of the atmosphere. The results show that the test site of Dunhuang is very homogeneous and the variation of ground material reflectance is about 5%. The results of atmospheric measurements have shown that the aerosol optical depth (< 0.14) is very low. The coefficients of CBERS-02 CCD sensor for four bands have been obtained through the "6S" atmospheric transfer code. Simultaneously, the cross calibration of Landsat 5 TM and CBERS-02 CCD based on the image of August 25, 2004 was made. It shows that the consistency between the results from Dunhuang site calibration and cross calibration varies less than 6% except band 3. The field measurement verified the radiometric performance and reliability for the absolute calibration of CBERS-02 CCD sensor.

Key words China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS-02); absolute radiometric calibration; cross calibration; the Dunhuang test site

收稿日期: 2005-03-01; 修订日期: 2005-12-08

作者简介: 傅俏燕 (1970—), 女, 北京师范大学硕士毕业。中国资源卫星应用中心高级工程师。主要从事 CBERS 应用系统的设计, 图像分析处理与识别制图, 以及遥感定量化应用等研究。已发表论文 10 多篇。

1 引 言

绝对辐射定标旨在建立传感器测量的数字信号与对应的辐射能量之间的数量关系, 以将图像数字值转换为物理量, 确定一个能对地物做出直接判断和比对的标准, 进行遥感数据的定量化分析, 更好地识别地物。资源一号卫星 02 星在轨运行传感器, 随着空间环境条件的变化, 其性能如通道的灵敏度改变, 对 CBERS 02 CCD 图像数据的定量化应用将会产生新的影响, 诸如此类问题, 通过在轨场地绝对辐射地面同步测量, 可进行辐射标定, 以改进星上标定系统。对此, 利用敦煌场地 CBERS 02 CCD 传感器的地面同步测量所获取的地表反射率和大气光学特性参量数据及其波段绝对辐射标定系数, 用以处理分析图像质量与精度的可靠性。

本文主要是依据敦煌场地在轨绝对辐射定标地面测量, 验证 CBERS 02 CCD 传感器的性能, 保证其绝对辐射定标的基本特征和图像数据的质量与精度, 另外对改进 CBERS 后续星传感器的性能具有重要的科学与生产意义。

2 敦煌场地绝对辐射地面测量与定标方法

中国对地观测遥感卫星辐射校正场——敦煌试验场, 位于甘肃省敦煌市的西面, 距敦煌市约 35km, 向南 70—80km 为东西走向的阿尔金山脉, 是党河的发源地。整个敦煌场区属党河冲积扇戈壁, 地面均匀、平坦, 面积约为 40km \times 30km, 其测试区中心的地理位置为 N40°05'27.75", E94°23'39", 面积为 400m \times 400m, 海拔高度为 1229m。这是中国对地观测开展在轨绝对辐射校正较为理想的测试区。

目前, CBERS 02 CCD 传感器场地绝对辐射定标方法主要有反射率法、辐射度法和辐照度法^[1-3] (即改进的反射率法)。近些年来, 又提出了交叉定标法^[4,5]、冰场定标法与瑞利散射定标法等。此次试验依据 CBERS 02 CCD 传感器在轨绝对辐射定标试验的需求和 CBERS 02 卫星在轨飞行的可能, 选定 2004 年 8 月 19 日为 CBERS 02 CCD 相机向东侧摆 6.8 的测试, 25 日为向西侧视 6.033 的测试。它们的地表反射率分别用 CBERS 波段式模拟辐射计和 ASD 野外光谱仪进行观测。在测试中, 为了解 CBERS 02 CCD 传感器对不同反射目标的辐射特

性, 对不同地物类型的敦煌场地、暗目标和亮目标的地表反射率进行了测量^[6]。

2.1 地表反射率测量的原理方法

它是在卫星传感器过顶时同步测量地面目标反射率因子和大气光学参量, 并利用 6S 辐射传输模型计算出传感器入瞳处辐射度值, 该法所需的参量是同步观测时获取的, 具有较好的精度^[7]。

在 8 月 19 日和 25 日的试验里, 采用三台 CBERS 模拟辐射计开展敦煌场地 400m \times 400m 中心测试区的地表反射率的测量, 其中一台 CE313-201 模拟辐射计在天底方向上, 以 30 秒时间间隔测量参考板, 另外两台 CE313-202 和 CE313-206 模拟辐射计在卫星过顶前后 1 小时左右, 分别在场区两侧, 沿卫星飞行方向每隔 25m 进行跑点测量, 每次共测量约 270 个点。为了保障绝对辐射校正系数的有效性和可靠性, 试验中还利用 ASD 野外光谱仪, 在 2004 年 8 月 25 日获取了敦煌场地 350—2500nm 连续光谱的地表反射率数据, 结果见表 1。

表 1 2004 年 8 月 19、25 日两天敦煌场地平均反射率值
Table 1 The ground reflectance factors of Dunhuang site from measurements of CBERS simulation radiometers

参 量	CCD 波段 1	CCD 波段 2	CCD 波段 3	CCD 波段 4
8月 19 日 (CE313)				
n	271	271	271	271
ρ %	16.099	20.731	22.76	24.35
σ %	0.94585	0.61468	1.0084	0.69769
C %	5.8752	2.965	4.4304	2.8652
8月 25 日 (CE313)				
n	273	273	273	273
ρ %	16.329	21.051	23.165	24.698
σ %	0.62199	0.26352	0.64821	0.29122
C %	3.8091	1.2518	2.7982	1.1791
8月 25 日 (ASD)				
n	49	49	49	49
ρ %	16.073	20.46	22.634	23.463
σ %	0.739	0.98704	1.136	1.2328
C %	4.5978	4.8242	5.019	5.2542

n : 测量次数; ρ : 反射率; σ : 标准偏差; C : 相对变化

从表 1 中给出的结果可以看出: 各个通道反射率的标准偏差基本在 1% 左右, 相对变化量最大的

也小于 6%, 表明敦煌辐射定标场具有很好的均匀性, 适宜在轨传感器绝对辐射标定^[8]。

2.2 大气光学特性测量方法

该法试验中, 采用法国 C MEL 公司的手动太阳光度计 CE317 对大气光学参量进行了测量。CE317 光度计具有 6 个光谱通道, 其中心波长分别为 1020 870 670 440 935 和 940 nm, 每个通道的带宽为 10 nm, 其中前 4 个通道用于测量气溶胶特性, 后 2 个通道用于测量大气水汽含量。

大气光谱光学厚度 $\tau(\lambda)$ 与地面太阳直射光谱辐照度 $E_{dir}(\lambda)$ 的关系为:

$$E_{dir}(\lambda) = d_s E_0(\lambda) \exp[-m \cdot t(\lambda)] \quad (1)$$

式中, $E_{dir}(\lambda)$ 是到达地面的太阳直射光谱辐照度, $E_0(\lambda)$ 是大气外太阳光谱辐照度, d_s 是日一地距离订正因子, 它随儒略历天数 J 的变化可表示为:

$$d_s = \frac{1}{1 - 0.01673 \cdot \cos[0.9856\pi(J - 4) / 180]} \quad (2)$$

方程 (1) 中的 m 是大气光学质量, 可表示为:

$$m = \frac{1}{\cos(\theta_s) + 0.15 \cdot (93.885 - \theta_s)^{-1.253}} \cdot \frac{P}{1013.25} \quad (3)$$

式中, θ_s 是太阳天顶角 (单位: $^\circ$), P 是大气压强 (单位: hPa)。当太阳天顶角 $\theta_s < 75^\circ$ 时, $m \approx 1 / \cos(\theta_s) = \sec(\theta_s)$

对于只有如 O_3 和 NO_2 吸收气体的波长, 同时考虑到地面测量仪器输出的电压信号正比于地面辐照度能量 ($V \propto E$), 取自然对数, 则由方程 (1) 可得:

$$\ln V_{dir}(\lambda) - \ln(d_s) = \ln V_0(\lambda) - m \cdot \tau(\lambda) \quad (4)$$

式中, V_{dir} 是与地面太阳直射辐照度 E_{dir} 对应的仪器

电压响应值, V_0 是对应大气外太阳辐照度 E_0 的电压响应值。

如果大气是稳定的, 且测量是对许多太阳天顶角进行的, 那么, 将 $\ln(V_{dir}) - \ln(d_s)$ 对大气光学质量 m 作散点图, 并对其进行线性拟合即可得到一条直线, 该直线的斜率即为总大气光学厚度 $\tau(\lambda)$ 。这就是 Langley-Bouguer 方法。

实际处理时, 首先选取基本无任何气体吸收的波长 (对于本次试验中使用的太阳光度计, 用 Langley-Pb 方法得到这些波长上的大气总光学厚度 $\tau(\lambda)$), 并计算出这些波长上的瑞利散射光学厚度 $\tau_{Ray}(\lambda)$, 然后利用公式 (5) 计算出这些波长上的气溶胶光学厚度。

$$\tau_{aer}(\lambda) = \tau(\lambda) - \tau_{Ray}(\lambda) \quad (5)$$

式中, $\tau_{aer}(\lambda)$ 是气溶胶光学厚度, $\tau_{Ray}(\lambda)$ 是大气分子散射光学厚度 (Rayleigh 光学厚度), $\tau(\lambda)$ 是总气溶胶光学厚度。

对于大多数气溶胶粒子, 从总体上来讲其粒子分布都遵循 Junge 分布, 由此可得到气溶胶光学厚度与波长的关系为:

$$\tau_{aer}(\lambda) = k \cdot \lambda^{-(\nu-2)} = k \cdot \lambda^{-\alpha} \quad (6)$$

式中, k 是大气浑浊度参数, α 为 Junge 幂指数。理论计算表明: 当粒子半径范围为 0.01—10.0 μm 时, k 值基本与波长无关。在此前提下, 对方程 (6) 两边取自然对数, 可看出 $\ln[\tau_{aer}(\lambda)]$ 是 $\ln(\lambda)$ 的一个线性函数, 对 $\ln[\tau_{aer}(\lambda)] - \ln(\lambda)$ 进行线性回归, 则可得出常数 k 和幂指数 α 的值。

最后, 将 k 和 α 代入方程 (6), 计算出有气体吸收波长上的气溶胶光学厚度, 此次 8 月 19 日和 25 日的敦煌场地的大气光学厚度分离结果见表 2。

表 2 2004 年 8 月 19 日和 25 日敦煌场地手动太阳辐射计测量的大气光学厚度分离结果

Table 2 Optical depth components at the overpass time of CBERS 02 on August 19 and 25 2004

日期	波长 /nm	总光学厚度 τ	Rayleigh τ_{Ray}	气溶胶 τ_{aer}	气体吸收 τ_{gas}	k	α
8月 19日	1020	0.07011	0.00671	0.04274	0.02066	1509.24	1.51
	870	0.06708	0.01272	0.05436	0.00000		
	670	0.11720	0.03652	0.08068	0.00000		
	440	0.33142	0.20351	0.15235	-0.02446		
	936	0.22572	0.00948	0.04867	0.16757		
	940	0.37883	0.00931	0.04836	0.32116		
8月 25日	1020	0.11993	0.00671	0.10729	0.00593	471.2977	1.40284
	870	0.12700	0.01273	0.11427	0.00000		
	670	0.16326	0.03654	0.12672	0.00000		
	440	0.35254	0.20367	0.14967	-0.00081		
	936	0.09819	0.00948	0.11101	-0.02229		
	940	0.18540	0.00932	0.11082	0.06526		

通过以上计算, 2004年 8月 19日和 25日两天 550nm 波长上的气溶胶光学厚度值, 分别为 0.10873和 0.13702 相对应的能见度分别约为 57km和 43km, 表明这两天的天气非常晴朗, 大气干洁。

3 敦煌场地绝对辐射定标系数计算与结果分析

敦煌场地测试区, 8月 19日, 0.55 μ m 波长上的气溶胶光学厚度为 0.1087; 8月 25日的 0.55 μ m 波长上的气溶胶光学厚度为 0.13702。据此, 利用 CBERS-02 CCD 传感器各波段的光谱响应数据, 采用 6S 辐射传输模型, 将表 3 观测的大气光学特性参量和地表参量输入, 从中计算出传感器入瞳处各个波段辐亮度。

表 3 2004年 8月 19日和 25日敦煌场地 CBERS 2 卫星过顶时间的几何参量

Table 3 Geometrical parameter at the overpass for CBERS 02 on August 19 and 25 2004

时 间	θ_s ($^\circ$)	ϕ_s ($^\circ$)	θ_v ($^\circ$)	ϕ_v ($^\circ$)
8月 19日	31.1788	146.6887	6.8	284.126
8月 25日	33.6476	145.8056	6.03333	104.126

另外, 计算敦煌场地的卫星图像灰度值 (DN); 对此, 测量前在敦煌场地的中心测试区附近铺设了 60m \times 60m 大小的黑色靶标, 根据靶标在 CBERS-02 卫星图像上的位置, 首先确定地面测试区范围, 以求出其平均灰度值和标准偏差。然后根据卫星图像灰度值 (DN) 与 6S 辐射传输模型计算出传感器入瞳处的辐亮度 (L_k), 按公式 (7) 计算得出定标系数 (A_k)。

定标公式:

$$A_k = \text{DN} / L_k, \quad (7)$$

敦煌试验场通过 8月 19日和 25日 CE313 的两次测量, 以及 8月 25日 ASD 野外光谱的一次测量, 从中计算获得了敦煌场地的绝对辐射定标系数, 其与发射前定标系数的对比结果见表 4。

通过对 CCD 传感器发射前的实验室绝对辐射定标与 8月 19日和 25日测试计算所获取的场地绝对辐射定标的对比分析, 发现两者最大的相对变化约计 16%, 表明星上在轨传感器的性能发生了较大的变化。

上述测量误差由表 5 可知, 其总误差小于 6%。

表 4 2004年 8月 19日和 25日敦煌场地与实验室的绝对辐射定标比较

Table 4 The comparison for the coefficient vicarious and pre launch calibration ($\text{DN} / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1})$)

日 期	定标系数			
	Band1	Band2	Band3	Band4
发射前	0.980	1.590	1.200	2.290
2004年 8月 19日 (CE313)	0.99173	1.6761	1.0094	2.0604
相对变化 %	1.1969	5.4151	-15.883	-10.026
2004年 8月 25日 (CE313)	1.0287	1.7298	1.0387	2.1594
相对变化 %	4.9694	8.7925	-13.442	-5.7031
2004年 8月 25日 ASD	1.0398	1.7717	1.0609	2.2682
相对变化 %	6.102	11.428	-11.592	-0.95197

表 5 CBERS 02 CCD 传感器绝对辐射定标误差

Table 5 Error analysis of absolute calibration in flight for CBERS 02 CCD

误差源	测量误差 %	误差贡献 %
太阳辐照度的变化	1.2	1.0
地面反射率测量	3-5	3-5
大气光学厚度测量	5	0.5
6S模型固有精度	2.0	2.0
地面非朗伯性	1.5	1.5
太阳天顶角误差不确定性		1.0
总误差		5.79

4 敦煌场地绝对辐射定标的结果验证

从上分析可知, 试验区卫星过境时天空晴朗, 大气干洁, 卫星过境时间差较小, 且 Landsat 5 TM 和 CBERS-02 CCD 传感器的观测时间都在正午前后, 它们过境时间及传感器的几何参量等条件适宜 (见表 6)。因此, 能依据 2004年 8月 25日由 Landsat 5 TM 与 CBERS-02 CCD 传感器观测敦煌试验场所获取的图像数据及具有较好定标结果的 TM, 对 CBERS-02 CCD 传感器进行交叉定标, 通过两种独立方法得到的结果, 可进行相互检测验证^[9, 10]。

表 6 CBERS 02 CCD 传感器和 Landsat 5 TM 过境时间及传感器的几何参量

Table 6 Overpass time and geometrical conditions for CBERS 02 CCD and Landsat 5 TM

	过境时间(北京时间)	太阳天顶角 ($^{\circ}$)	太阳方位角 ($^{\circ}$)	观测天底角 ($^{\circ}$)	观测方位角 ($^{\circ}$)
CBERS-02 CCD	12:30:45	33.6476	145.8056	6.0333	104.126
TM	12:03:20	36	138	0	0

该试验, 由于 Landsat 5 TM 和 CBERS-02 CCD 传感器的观测天顶角都小于 10° , 观测时间都在正午前后, 此时因敦煌场地大气和地表状况不同引起的差异较小, 故此次交叉定标中不考虑观测角、地表、大气变化的影响。但由于两个传感器的光谱响应存在一定的差异(如图 1 所示), 利用 Landsat 5 TM 对 CBERS-02 CCD 进行交叉定标时, 两个传感器光谱之间的匹配非常重要。因此, 以 2004 年 8 月 25 日 ASD 光谱仪测量的地表反射率为准, 通过公式(8)计算出两传感器相对应波段的匹配因子:

$$K = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_{FR}(\lambda) f_{CBERS}(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f_{CBERS}(\lambda) d\lambda} \cdot \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f_{TM}(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_{FR}(\lambda) f_{TM}(\lambda) d\lambda} \quad (8)$$

式中, K 为 CBERS-02 CCD 和 Landsat 5 TM 光谱响应波段匹配因子; R_{FR} 为 2004 年 8 月 25 日 ASD 连续光谱仪测量的反射率; $f_{CBERS}(\lambda)$ 为 CBERS-02 CCD

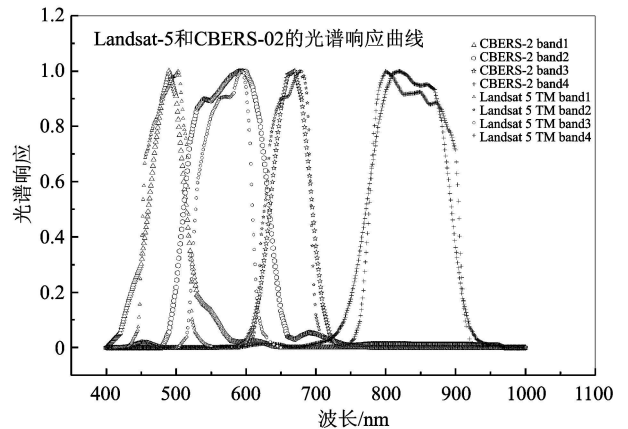


图 1 Landsat 5 TM 和 CBERS-02 CCD 的光谱响应曲线

Fig 1 Relative spectral responses profile of Landsat 5 TM and CBERS 02 CCD

光谱响应函数; $f_{TM}(\lambda)$ 为 Landsat 5 TM 光谱响应函数。

通过以上计算, 得到 Landsat 5 TM 和 CBERS-02 CCD 传感器相对应波段的中心波长与匹配因子(表 7)。

表 7 Landsat 5 TM 和 CBERS 02 星相匹配的通道及匹配因子

Table 7 Centre wave length and matched factor for Landsat 5 TM and CBERS 02 CCD

Landsat 5 TM		CBERS-02 CCD		中心波长差绝对值	匹配因子
通道	中心波长 /nm	通道	中心波长 /nm		
1	486.26	1	490.48	4.22	1.0149
2	570.4	2	581.73	11.3	1.0017
3	660.3	3	662.41	2.11	0.99782
4	837.96	4	830.29	7.67	0.99982

根据靶标的位置, 分别从 TM 和 CBERS-02 卫星图像上提取敦煌辐射校正场的相同区域各波段平均灰度值(表 8)。从表 8 可看出, 卫星图像灰度值的标准偏差较小, 说明场地很均匀, 由此而产生的辐射亮度差异则更小。

从上可见, 利用 Landsat 5 TM 的绝对定标系数, 可以计算出大气顶层的辐亮度 ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ 。

μ_m^{-1}), 通过两种传感器相对应波段的光谱匹配因子, 可以得到 CBERS-02 CCD 传感器入瞳处辐亮度, 与其敦煌场地的图像灰度值进行比较^[11], 从而得到 CBERS-02 CCD 传感器的定标系数。同时与地面同步测量的敦煌场地绝对辐射定标系数进行比较, 对场地绝对定标结果进行了检验(见表 9 和图 2)。

表 8 敦煌场地的 Landsat 5 TM 和 CBERS 02 卫星图像的灰度值 (DN)

Table 8 Digital numbers and standard for images of Landsat 5 TM and CBERS 02 CCD on Dunhuang test site

	Band1	Band2	Band3	Band4
CBERS-02	100.37	166.47	92.57	136.62
标准偏差	1.16	1.22	1.33	1.21
Landsat 5 TM	126.37	66.02	85.48	71.02
标准偏差	1.428863	0.795464	0.791870	0.586269

表 9 交叉定标与场地定标结果的比较

Table 9 The comparison with the results of cross calibration and vicarious calibration (DN / (W · m⁻² · sr⁻¹ · μm⁻¹))

日期	定标系数			
	Band1	Band2	Band3	Band4
交叉定标系数	1.0424	1.7987	1.0576	2.26
2004年8月19日 (CE313)	0.99173	1.6761	1.0094	2.0604
相对差异 %	-4.9	-6.8	-4.6	-8.8
2004年8月25日 (CE313)	1.0287	1.7298	1.0387	2.1594
相对差异 %	-1.3	-3.8	-1.8	-4.5
2004年8月25日 (ASD)	1.0398	1.7717	1.0609	2.2682
相对差异 %	-0.2	-1.5	0.3	0.4

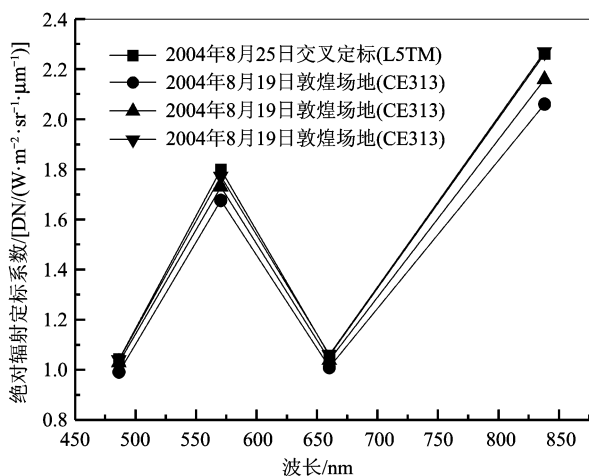


图 2 交叉定标和敦煌场地绝对辐射定标系数结果比较

Fig 2 The comparison of results for cross calibration and vicarious calibration

表 9 和图 2 表明, 8 月 19 日和 25 日敦煌场地绝对辐射定标与交叉定标的结果极为一致, 最大相对差异在 9% 之内, 其中, 2004 年 8 月 25 日, 利用 ASD 测量的场地定标结果与交叉定标结果非常吻合, 最小相对差异只有 -0.2%, 说明此次敦煌场地的绝对辐射定标结果是可靠的。

5 结 语

敦煌试验场于 2004 年 8 月 19 日和 25 日对 CBERS-02 CCD 传感器绝对辐射定标进行的试验, 成功地获取了地面同步观测数据, 并计算得出了 CBERS-02 CCD 绝对辐射定标系数。

(1) 敦煌场地 8 月 19 日和 25 日同步测量试验获取的 CBERS-02 CCD 波段 1—4 的绝对辐射定标系数分别 [DN / (W · m⁻² · sr⁻¹ · μm⁻¹)] 为: 0.99173 1.6761, 1.0094 2.0604 和 1.0287 1.7298 1.0387 2.1594。

(2) 利用 2004 年 8 月 25 日的 Landsat 5 TM 进行的 CBERS-02 CCD 交叉定标系数 [DN / (W · m⁻² · sr⁻¹ · μm⁻¹)] 分别为: 1.0424 1.7987 1.0576 和 2.26 与敦煌场地的测量结果相比, 最大误差不超过 9%。结果说明, 交叉定标在其条件合适的前提下, 是一种行之有效的定标方法。

(3) 此次场地试验绝对辐射校正系数与发射前实验室绝对辐射定标系数的对比, 两者之间的最大相对差异达到 16%, 这说明随着时间的推移, 卫星遥感器的性能将不断衰减, 因此, 需要及时更新在轨绝对辐射定标系数, 以便更好地监测星上传感器的变化特点与规律, 以保证 CBERS 星的图像质量与精度。

致 谢 该项试验和写作过程中, 得到了中国资源卫星应用中心郭建宁主任和中国科学院遥感应用研究所顾行发副所长的热心指导和帮助。另工作中还得到中国科学院安徽精密光学机械研究所孟凡刚等的积极协作, 借此深表感谢!

参 考 文 献 (References)

- [1] Skater P N, Biggar S F, Hohn R G *et al*. Reflectance and Radiance based Methods for the In flight Absolute Calibration of Multispectral Sensors [J]. *Remote Sensing of Environment* 1987, 22: 11—37.
- [2] Skater P N, Biggar S F, Hohn R G *et al*. Reflectance and Radiance based Methods for the In flight Absolute Calibration of

- Multispectral Sensors[J]. *Remote Sensing of Environment* 2001 **78**: 39—54
- [3] Thorne K J. Absolute Radiometric Calibration of Landsat 7 ETM+ Using the Reflectance Based Method[J]. *Remote Sensing of Environment* 2001 **78**: 27—38
- [4] Teillet P M, Barker J L, Markham B L, *et al*. Radiometric Cross Calibration of the Landsat 7 ETM+ and Landsat 5 TM Sensors Based on Tandem Data Sets[J]. *Remote Sensing of Environment* 2001 **78**: 39—54.
- [5] Black S E, Helder D L, Schiller S J. Irradiance based Cross Calibration of Landsat 5 and Landsat 7 Thematic Mapper Sensors [J]. *Int J Remote Sensing* 2003 **24**(2): 287—304.
- [6] Vermote E, Santner R, Deschamps P Y, *et al*. In flight Calibration of Large Field of View Sensors at Short Wavelengths Using Rayleigh Scattering[J]. *Int J Remote Sensing* 1993 **14**(1): 21—52
- [7] Loeb N G. In-Flight Calibration of NOAA AVHRR Visible and Near IR Bands over Greenland and Antarctica [J]. *Int J. Remote Sensing* 1997 **18**(3): 477—490
- [8] China Center for Resources Satellite Data and Applications. The Investigation Report for Selecting Test Site of Resource Satellite Radiometric Calibration[R]. 1993. [中国资源卫星应用中心. 资源卫星辐射校正场选址调查报告[R]. 1993.]
- [9] The Research Group for China Remote Satellite Radiometric Calibration. Compiled Report Selecting the Test Site for the of China Remote Satellite Radiometric Calibration[R]. 1994. [中国遥感卫星辐射校正场专题论证组编写. 中国遥感卫星辐射校正场考察报告汇编[R]. 1994.]
- [10] The Research Group for China Remote Satellite Radiometric Calibration. The Technology Scheme for the of China Remote Satellite Radiometric Test Site[R]. 1994. [中国遥感卫星辐射校正场专题论证组编写. 中国遥感卫星辐射校正场技术方案[R]. 1994.]
- [11] Vermote E, Tané D, Deuzé J L, *et al*. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: an Overview[J]. *IEEE Trans Geosci Remote Sensing* 1997 **35**(3): 675—686