

# 利用敦煌辐射校正场对 FY-2B 静止气象卫星 进行可见光通道的在轨辐射定标\*

戎志国 张玉香 邱康睦 胡秀清 张立军

(国家卫星气象中心,北京 100081)

## 摘要

FY-2B 由于杂散光的影响,其可见光通道的发射前定标存在较大误差。利用敦煌戈壁辐射校正场可进行 FY-2B 可见光通道的在轨绝对定标。由于 FY-2B 对于敦煌场区的卫星天顶角接近  $50^\circ$ , 需要进行场地的方向特性 BRDF 修正。2002 年 7 月对 FY-2B 进行了场地地表反射率、大气消光、探空等项同步测量,并对场地的方向特性进行了测量。资料处理结果表明, FY-2B 可见光通道杂散光可影响定标精度达 20%。长期监视表明 FY-2B 可见光通道探测器输出十分稳定。该文将 4 个可见光通道探测器场地定标得出的定标查找表列出,供用户参考使用。

关键词: FY-2B 杂散光 发射前定标 校正场 在轨辐射定标 方向特性

## 1 FY-2B 发射前定标

FY-2B 于 2000 年 6 月 25 日升空,并顺利定位于  $105^\circ\text{E}$  赤道上空。7 月 5 日正式发布第一张可见光云图。FY-2B 为我国静止气象卫星 FY-2 系列 03 星,上海技术物理研究所为其研制的扫描辐射计有两套,为 9901、9902。发射前, FY-2B 于 1999 年 9 月 27 日至 10 月 25 日在昆明中国科学院云南天文台进行了扫描辐射计可见光通道的地面定标。FY-2B 采用了编号 9902 的扫描辐射计。

可见光通道探测器主、备各 4 个,其探测波段均为  $0.5 \sim 1.05 \mu\text{m}$  (光谱响应函数见图 1)。发射前测定的信号输出与目标反射率的关系见图 2,最大输出在 2 V 左右。可见光通道动态范围高端调整在目标反射率 95% 时通道输出为 5 V,据此确定了探测器主放大器的放大倍数,见表 1。各通道放大后,见图 3,其 8 个通道的输出与目标反射率的关系完全一致,说明辐射计各通道的性能非常相近,其最大输出在

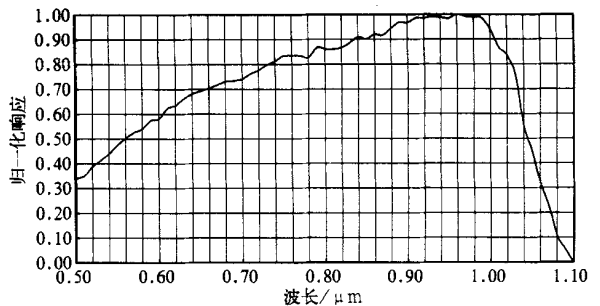


图 1 FY-2B 可见光通道光谱响应函数

\* 2003-01-12 收到,2003-07-09 收到修改稿。

5 V 多。从《FY-2(03) 星发射场探测系统最终测试数据》中,可以得到 FY-2(03) 扫描辐射计可见光通道 A/D 量化表,即计数值与电压输出值的关系,为两段线性关系。从这些关系可以作出 FY-2B 可见光通道增益 08 级的定标表,即计数值与电压和计数值与反射率之间的对照关系<sup>[1]</sup>。

从 FY-2B(A 探测器)可见光云图中发现:最大的计数值只有 44,远没有达到可见光的最大计数值 63(6 bit)。表明可见光探测器的最大输出达不到 5 V,出现这种情况有两种可能:探测器在发射后大幅衰减或发射前定标存在较大误差。从两年来可见光通道在轨电定标的数据和卫星地方时子夜图像中太阳像的计数值较稳定来看,FY-2B 可见光通道探测器基本没有衰减。而可见光图像中存在较严重的杂散光影响,在时间和空间分布上变化不定。因此表明,由于杂散光

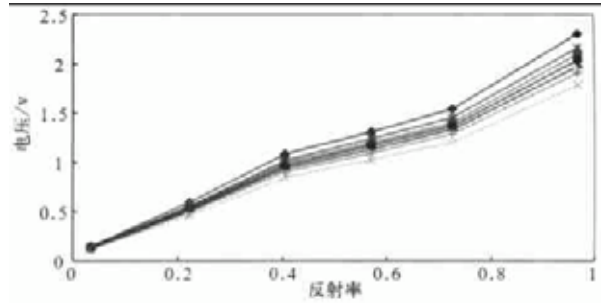


图 2 FY-2B 扫描辐射计(9902)可见光通道(主、备 8 个探测器)云南天文台定标结果图

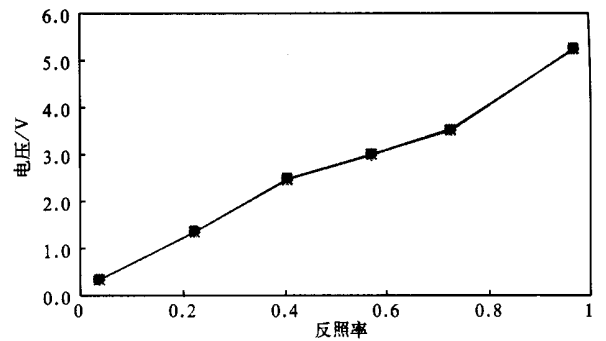


图 3 辐射计主放大器放大后输出与反照率的关系图

表 1 FY-2B 可见光通道主放大器放大倍数及 14 级增益系数

通道	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4
放大倍数	2.273	2.654	2.420	2.739	2.496	2.923	2.566	2.647
14 级增益	1.543	1.530	1.547	1.540				

(A:主探测器,B:备探测器)

的影响,使得发射前确定的主放大器放大倍数实际达不到设定的探测范围。

现在 FY-2B 可见光各通道增益全都调到了 14 级。08 级时为主放大倍数 1:1,14 级为 1:1.54,具体见表 1,即说明发射前的主放大倍数确定值与实际需要值小了 50%多,发射前定标存在较大误差。因此,FY-2B 可见光通道的定标较大程度上依赖于外定标——场地辐射定标<sup>[2,3]</sup>。

## 2 FY-2B 敦煌场地定标

2002 年 7 月对 FY-2B 卫星可见光通道进行了场地定标试验。经过对观测数据的处理、辐射传输和定标计算,获得了 4 个可见光通道的定标结果。

### 2.1 试验前仪器准备

为了保证场地辐射定标精度,按照场地辐射定标测试规范,场地测量前必须对所有测

量仪器进行定标和标定。在国家卫星气象中心定标实验室进行了仪器的检测,2002年6月下旬在中国科学院安徽光机所辐射校正场主定标实验室对 Field Spec ASD 野外光谱仪(光谱范围:350~2500 nm)进行了标定(响应、稳定性、重复性)和波长校正,对测量用的漫反射参考板进行了 BRDF 测定。

## 2.2 场地同步观测

经实地踏勘后,选定了 FY-2B 同步观测区为辐射校正场大区中一块 10 km × 10 km 的方形区域,四角的经纬度为:40°11′57″N,40°02′59″N,94°12′00″E,94°22′53″E。

FY-2B 主要进行三方面的同步测量<sup>[4,5]</sup>:

### (1) 场区地表光学特性测量

在同步观测区,进行可见-短波红外反射辐射测量,用于导出地表反射比。根据天气状况,于7月18、20日进行了 FY-2B 的同步观测。利用 Field Spec ASD 光谱仪进行场地各测量点地表反射比测量。在 GPS 定位及引导下,驾驶越野车在同步区中的 11 个测量点,分别进行 2 次参考板、5 次地面目标测量(一分钟内完成)。全部测量点的测量在 2 小时内完成。

### (2) 场区大气光学特性观测<sup>[6]</sup>

在敦煌辐射校正场基地楼和敦煌同步场西南边的玉门关收费站各设置一台 CE318 太阳光度计,自7月7~23日连续进行大气气溶胶光学特性观测。用于获取该地区大气总消光光学厚度、气溶胶消光光学厚度与大气透过率。

### (3) 场区气象参数观测

在敦煌气象局协助下,在大气观测点进行了地面常规气象参数观测。高空气象观测除常规观测外,在同步观测日增加一次探空气球观测。气象观测获得的气象参数为:气压、温度、湿度、风速、风向、云状、云量和能见度。高空气象参数为:海拔高度、气压、温度、湿度、风速、风向。

## 2.3 数据处理和定标计算

### 2.3.1 同步测量数据处理

#### ① 地表反射比计算

首先对场地测量数据进行整理。利用参考板和地面测量数据计算出相对反射比,根据同步测量时刻的太阳天顶角数据与参考板 BRDF 定标数据进行插值计算获得敦煌场地地表绝对反射比,图4为2002年7月18、20日利用 Field Spec ASD 光谱仪测量获得的敦煌场地反射比。两天的反射比数据相差大约为 1.23%。

#### ② 反射比 BRDF 校正

尽管敦煌场朗伯特特性较好,但由于 FY-2B 卫星相对于敦煌场的卫星天顶角约为 47°,因此需要对获得的反射比进行 BRDF 校正。利用辐射校正场前期和本次测量的场地 BRDF 数据,校正场修正的地表测量反射比  $f_{BRDF}$  为:

$$f_{BRDF} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f \cdot BRDF \cdot R \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R \cdot d\lambda} \quad (1)$$

其中,  $\lambda_1 = 0.5 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_2 = 1.1 \mu\text{m}$ ,  $f$  为地面垂直测量反射比,  $BRDF$  为双向校正因子,  $R$  为 FY-2B 光谱响应函数, 见图 1。FY-2B 过敦煌场时刻对应的  $BRDF$ , 见图 5, 最大修正量达 25%。

### ③ 大气参数计算

利用 CE318 太阳光度计测量数据和兰勒法计算获得整层大气总光学厚度; 用气压值计算出瑞利散射光学厚度, 然后从总光学厚度中分离出气溶胶消光光学厚度, 最后推算出 550 nm 处的气溶胶光学厚度; 利用天空漫射和太阳总辐射测值, 计算获得天空与太阳漫射比; 利用探空观测数据计算出水汽含量; 从 NASA TOMS 获得敦煌臭氧含量。卫星扫描时 550 nm 气溶胶光学厚度、水汽含量和臭氧含量如表 2。

#### 2.3.2 卫星数据获取

从 FY-2B 卫星图像圈定敦煌场区域, 经地标导航和星-地测量配准, 提取敦煌测区各可见光通道计数值并取平均。冷空间计数值, 取卫星图像不受杂散光影响的区域(为 0)。

#### 2.3.3 辐射定标计算

将场地同步观测获得的相关参数输入 6S 辐射传输模型, 计算获得 FY-2B 卫星入瞳处可见光各通道表观反射率。

#### 2.3.4 可见光通道定标查算表生成

在发射前定标中得到的是卫星遥感器输出电压与反照率之间的线性关系, 而电压与卫星扫描计数值之间为两段直线-折线关系。根据在轨电定标阶梯(见图 6)及发射前设定的阶梯电压, 可以得到可见光通道 A/D 量化关系, 即计数值与电压对照表, 由此可得到卫星图像计数值对应的输出电压值, 再将电压和表观反射率建立线性关系。反射率与电压的关系式为:

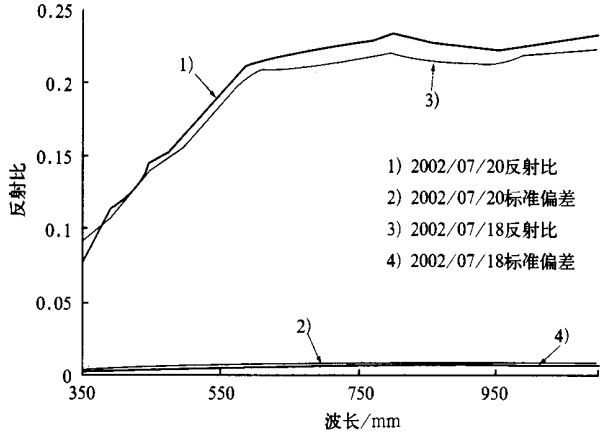


图 4 敦煌场地 2002 年测量的地面反射比

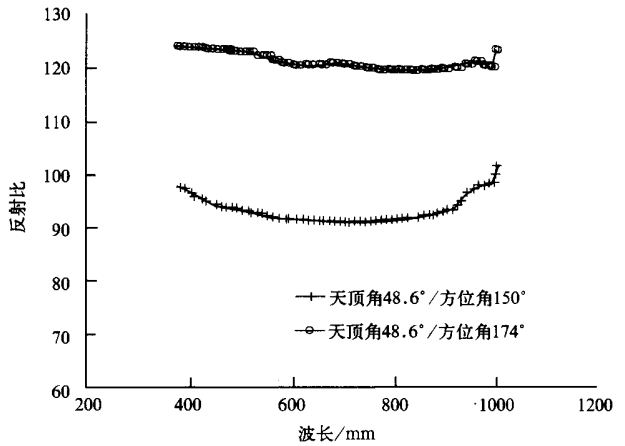


图 5 敦煌双向反射比

表 2 FY-2B 扫描时刻大气参数

	7月18日	7月20日
气溶胶光学厚度	0.4955	0.1464
水汽(g/cm <sup>2</sup> )	2.1253	1.9230
臭氧(D.U)	284	302

$$\rho^{**} = aV \quad (2)$$

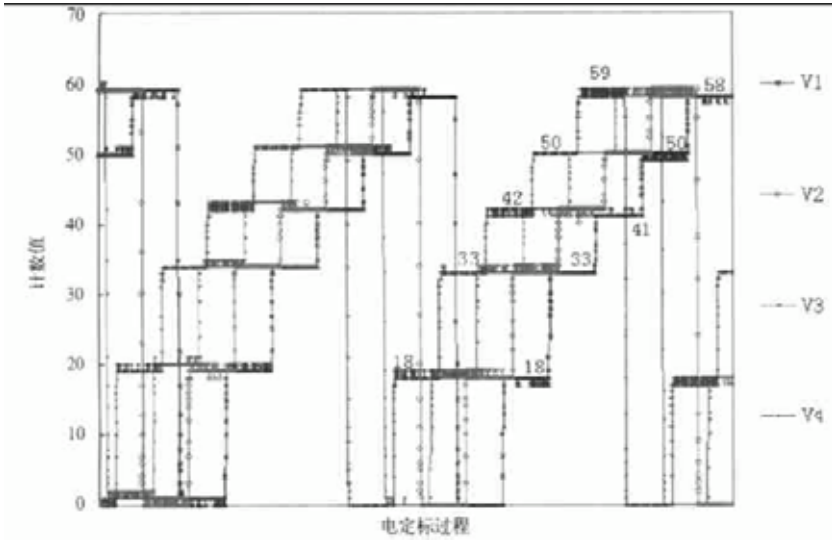


图 6 2002 年 7 月 18 日 FY-2B 在轨电定标阶梯

由式(2)可获得 FY-2B 可见光通道定标系数。由定标系数和量化关系生成新的 FY-2B 可见光通道查找表,表 3 列出 2002 年 7 月 18 日定标查找表(实际用时需作太阳高度角订正),表 3 现已作为 FY-2B 可见光通道的业务定标表。图 7 为 2002 年 7 月 18 日的定标曲线,其中通道 2、4 基本重合。

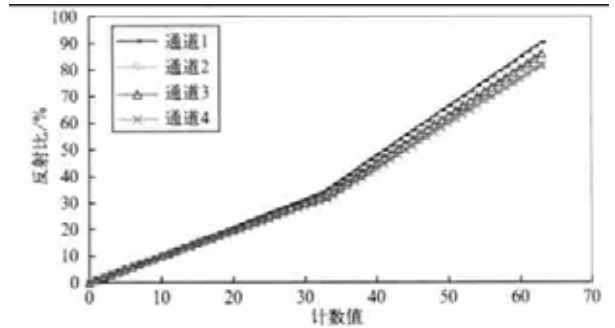


图 7 2002 年 7 月 18 日 FY-2B 可见光通道外场定标曲线

表 3 2002 年 7 月 18 日定标查找表(计数值与对应的各通道反射率)

计数值	通道 1	通道 2	通道 3	通道 4	计数值	通道 1	通道 2	通道 3	通道 4
0	0.0138	0.0049	0.0443	0.0612	15	15.7087	14.3425	15.0048	14.3604
1	1.0589	0.9617	1.0425	1.0154	16	16.7537	15.2968	16.003	15.3147
2	2.1067	1.9185	2.0408	1.9672	17	17.8015	16.2536	17.0012	16.269
3	3.1517	2.8729	3.0364	2.9215	18	18.8466	17.208	17.9969	17.2208
4	4.1995	3.8297	4.0346	3.8758	19	19.8944	18.1648	18.9951	18.175
5	5.2445	4.7841	5.0329	4.8276	20	20.9394	19.1192	19.9933	19.1269
6	6.2896	5.7409	6.0285	5.7819	21	21.9872	20.076	20.9916	20.0811
7	7.3374	6.6953	7.0267	6.7361	22	23.0322	21.0304	21.9872	21.0354
8	8.3824	7.6521	8.025	7.6879	23	24.08	21.9872	22.9854	21.9872
9	9.4302	8.6065	9.0206	8.6422	24	25.1251	22.9416	23.9837	22.9415
10	10.4752	9.5633	10.0188	9.594	25	26.1729	23.8984	24.9793	23.8957
11	11.523	10.5176	11.0171	10.5483	26	27.2179	24.8552	25.9775	24.8475
12	12.5681	11.4745	12.0127	11.5025	27	28.2657	25.8096	26.9758	25.8018
13	13.6159	12.4288	13.0109	12.4544	28	29.3107	26.7664	27.9714	26.7536
14	14.6609	13.3856	14.0091	13.4086	29	30.3585	27.7207	28.9696	27.7079

续表 3

计数值	通道 1	通道 2	通道 3	通道 4	计数值	通道 1	通道 2	通道 3	通道 4
30	31.4036	28.6776	29.9679	28.6621	47	60.7696	54.6736	57.4883	54.6964
31	32.4514	29.6319	30.9635	29.614	48	62.6164	56.3591	59.2633	56.3774
32	33.4964	30.5887	31.9617	30.5682	49	64.4659	58.047	61.0382	58.0608
33	34.9091	31.5431	32.6263	31.52	50	66.3127	59.7349	62.8157	59.7442
34	36.7559	32.7428	34.4039	32.8218	51	68.1595	61.4204	64.5906	61.4252
35	38.6027	34.4307	36.1788	34.5052	52	70.0063	63.1083	66.3656	63.1086
36	40.4495	36.1162	37.9537	36.1886	53	71.853	64.7938	68.1431	64.792
37	42.2963	37.8041	39.7312	37.8696	54	73.6998	66.4817	69.918	66.473
38	44.1458	39.4921	41.5062	39.553	55	75.5494	68.1672	71.693	68.1564
39	45.9926	41.1775	43.2811	41.2364	56	77.3961	69.8551	73.4705	69.8398
40	47.8394	42.8655	45.0586	42.9174	57	79.2429	71.543	75.2454	71.5208
41	49.6861	44.5509	46.8336	44.6008	58	81.0897	73.2285	77.0203	73.2042
42	51.5329	46.2389	48.6085	46.2842	59	82.9365	74.9164	78.7979	74.8876
43	53.3825	47.9243	50.3834	47.9652	60	84.786	76.6019	80.5728	76.5686
44	55.2292	49.6123	52.1609	49.6486	61	86.6328	78.2898	82.3477	78.252
45	57.076	51.3002	53.9359	51.3296	62	88.4796	79.9778	84.1253	79.9354
46	58.9228	52.9857	55.7108	53.013	63	90.3264	81.6632	85.9002	81.6164

### 2.3.5 场地定标误差分布

通过对场地测量和模式计算误差的分析与估计,得到可见-近红外通道定标的误差分布(表 4)。

表 4 可见-近红外通道场地定标误差分布

	误差源	测量误差(%)	总误差贡献(%)
光学厚度测量	消光光学厚度	5.4	2.1
	Mie 散射和瑞利散射	5.0	
气溶胶类型选择			2.5
气溶胶复折射指数			1.5
吸收气体	臭氧含量	20	2.12
	水汽含量	1.5	
模型固有精度			2.0
地面反射比	反射板定标	1.92	2.8
	反射比测量	2.0	
非朗伯地面特性			1.0
野外漫射光校正			1.5
太阳天顶角误差不确定性			2.0
总误差(平方和的根)			6.041

## 3 定标结果分析

从两天定标查找表的最大输出计数值 63 对应的反射率(表 5)看,与发射前设定的最大值 95%间有 10%~20%的误差。其中除有放大倍数仍不准确的因素外,主要是由于卫星云图中杂散光的影响——无法确定同步测量时间在云图中杂散光对敦煌场地计数值的影响程度,地球外部——即空间的杂散光计数值占最大输出的 10%~20%。因此,场地定标测量与数据处理在定标误差中只占小量。

表 5 2002 年 7 月 18 20 日定标查找表

日期	计数值 DC	通道 1	通道 2	通道 3	通道 4
7 月 18 日	63 .0000	90 .3264	81 .6632	85 .9002	81 .6164
7 月 20 日	63 .0000	85 .5819	75 .8263	80 .5048	75 .7402
差值		4 .7445	5 .8369	5 .3954	5 .8762

在发射前定标误差较大、图像杂散光影响较强的情况下, FY-2B 可见光通道的定量化应用存在较大问题。尽管场地定标结果仍有 20% 的误差, 我们还是建议在可见光云图的定量应用时可以参照做过场地方向校正的定标结果。

### 参 考 文 献

- 1 戎志国. FY-2 卫星扫描辐射仪在轨定标方法. 中国空间科学技术, 2000, **20**: 67 ~ 71.
- 2 Biggar S F, Slater P N, Gellman D I. Uncertainties in the in-flight calibration of sensors with reference to measured ground sites in the 0.4 to 1.1  $\mu\text{m}$  range. *Rem Sens Env*, 1994, **48**: 245 ~ 252.
- 3 Santer R, GU X F, Guyot J L, et al. SPOT calibration at the La Crau test site( France). *Rem Sens Environ*, 1992, **41**: 227 ~ 237.
- 4 Zhang Yuxiang, Zhang Guangshun. Spectral reflectance measurements at the China radiometric calibration test site for the remote sensing satellite sensor. *ACTA Meteorological Sinica*, 2001, **15**: 377 ~ 382.
- 5 张玉香, 张广顺, 黄意玢, 等. FY-1C 遥感器可见-近红外各通道在轨辐射定标. 气象学报, 2002, **60**(6): 740 ~ 747.
- 6 胡秀清, 张玉香, 张广顺, 等. 中国遥感卫星辐射校正场气溶胶光学特性观测研究. 应用气象学报, 2001, **12**: 257 ~ 266.

## RADIOMETRIC CALIBRATION ON ORBIT FOR FY-2B METEOROLOGICAL SATELLITE'S VISIBLE CHANNELS WITH THE RADIOMETRIC CALIBRATION SITE OF DUNHUANG

Rong Zhiguo Zhang Yuxiang Qiu Kangmu Hu Xiuqing Zhang Lijun  
(National Satellite Meteorology Center, Beijing 100081)

### Abstract

Pre-launch calibration of the FY-2B's visible channels has much error due to the influence of stray light. The radiometric calibration on orbit for FY-2B's visible channels might be running with the radiometric calibration site of Dunhuang's Gobi. There are must calibrated the BRDF of bi-direction characteristic of Dunhuang's site, because the zenith is close to 50°. The reflectance of the Gobi, light extinction of atmosphere and radiosonde observation were measured in synchronization for FY-2B in July 2002, while the bi-direction characteristics of the site were measured. The data processed results indicate that the calibration precision are debased 20% due to influence of stray light for FY-2B's visible channels, and the output of FY-2B's visible channels is very stabilization after long stakeout. The calibration tables calibrated by the site of four visible channels were listed.

**Key words:** FY-2B Stray light Radiometric calibration on orbit Visible channel BRDF