

FY-2B 与 NOAA 卫星红外通道的相对定标^{*}

戎志国 张玉香 陆 风 许健民 邱康睦

(国家卫星气象中心, 北京, 100081)

摘 要

FY-2 是自旋扫描静止气象卫星, 其红外通道的在轨定标是将黑体从后光路插入目标光路中进行的, 此种定标不是全光路定标, 存在较大的误差。为了获得较好的红外通道在轨定标系数, 用定标精度较高的 NOAA(16, 17) 卫星通道 4 观测数据与 FY-2B 红外通道观测数据进行了相对定标试验。相对定标的工作主要是两种卫星观测仪器响应函数之间的光谱匹配和观测图像之间的几何匹配。拟合匹配后两种卫星的观测数据, 利用 NOAA 卫星较高精度的定标系数可得到改进的 FY-2B 定标系数。FY-2B 相对定标系数的精度比原定标系数有较大的提高。

关键词: 相对定标, GAC 资料, 光谱匹配, 定标查找表。

1 引 言

定标是气象卫星观测数据定量应用中十分重要的环节。没有高质量的定标, 同一颗卫星不同时间获取的资料不能相互比较, 不同卫星的观测数据更不能相互比较。高质量的定标工作需从卫星研制开始, 直到卫星运行终止的全过程。在卫星研制阶段要做实验室定标工作, 在卫星运行阶段要做在轨定标^[1]工作。

在卫星研制阶段, FY-2 静止气象卫星红外通道定标^[2]要在实验室真空罐中进行。实验室定标使辐射致冷器(以下简称辐冷)保持 95 K、100 K 两种温度状态, 在各种主镜、次镜温度组合条件下, 让仪器观测具有不同温度的目标黑体, 测量传感器响应的电压值。卫星发射后在轨运行时, 可以使辐冷保持上述温度状态。如果在实验室定标阶段已经测得卫星在轨运行时, 各种可能的主镜、次镜温度组合(FY-2B 依据 FY-2A 的在轨状态设定)条件下, 仪器观测目标黑体温度与传感器响应电压值之间的一一对应关系; 那么根据卫星在轨运行时, 传感器感应的电压值和遥测得到的主镜、次镜温度组合, 就可以选择相应的实验室定标关系, 推定辐射仪的入瞳辐射。这就是实验室定标的基本假定。

卫星发射以后, 传感器的响应特征会随时间发生变化, 实验室测得的定标关系慢慢变得不能用了, 因此要用在轨定标处理修正实验室定标所得的关系。在轨定标一般采用在轨黑体定标、辐射校正场定标、数值资料辐射外定标、不同卫星之间的相对定标等多种方法进行。

在轨黑体定标用星上的定标黑体和电定标量化关系进行定标; 辐射校正场定标是在地表辐射特征相对稳定的辐射校正场与卫星进行同步观测, 用同步观测数据作为参照值, 通过大气传输模式计算, 进行卫星辐射响应定标; 数值资料辐射外定标是在地球上的不同地点估计离地辐射和大气订正, 求出卫星入瞳辐射, 用计算出的卫星入瞳辐射作为参照值进行定标; 不同卫星之间的相对定标用定标精度较高的卫星观测数据作为参照值进行定标。

FY-2B 卫星的在轨定标不够准确。为了获得较好的红外通道在轨定标结果, 用定标精度较高的 NOAA(16, 17) 卫星红外通道与 FY-2B 红外通道进行相对定标试验。

2 FY-2 卫星扫描辐射仪在轨定标流程

FY-2 卫星扫描辐射仪每个瞬间对一个(组)目标物进行观测, 获得一个(组)数据。扫描辐射仪的

* 初稿时间: 2003 年 11 月 4 日, 修改稿时间: 2004 年 4 月 26 日。

资助课题: FY-2(02 批)卫星工程地面应用系统预报研究项目。

作者简介: 戎志国, 1964 年生, 南京大学天文系毕业。主要参与卫星资料预处理工作。

光学系统将入瞳辐射聚焦在传感器上,传感器通过光电效应和前置放大形成一定的电流。此电流经过可以调节的后置放大器后,量化成观测值,经星上计算机编码后传给地面系统。在传感器和前置放大器发生衰减的情况下,可以调节的后置放大器通过调节放大系数保持观测输出值的动态稳定。

传感器和前置放大器以及后置放大器,都需要进行在轨定标。传感器和前置放大器的在轨定标通过在仪器光路中插入黑体进行,称为在轨黑体定标。后置放大器的在轨定标,通过在后置放大器的前端加载一个标准电压,测量其后端的电流,称为在轨电定标。

2.1 传感器和前置放大器的在轨黑体定标

FY-2B 红外通道传感器和前置放大器的红外通道在轨定标是将黑体从后光路插入目标光路完成的^[1]。定标黑体通过温度控制保持基本恒定的温度。定标黑体插入后,获得前置放大器后端的感应电压,以及与其相应的观测量化数据。用这个值作为暖端,扫描辐射仪观测外空时的值作为冷端,进行红外通道的在轨定标。

FY-2B 是自旋式静止气象卫星。自旋式静止气象卫星定标黑体不可能插入到整个光学系统的前部,而只能插入到光学系统的后部。此种定标不是全光路定标,存在较大误差。

2.2 后置放大器的在轨电定标

在每幅圆盘图像扫描开始后的第 1 至第 4 条扫描线,进行在轨电定标。电定标在后置放大器的前端逐一加载 6 个阶梯电压,加载时测量每个阶梯电压对应的量化观测数据。这些阶梯电压和对应的量化观测数据用来标定后置放大器的放大系数。每个阶梯电压的值是发射前设定的,应当对应标称的量化观测数据。若对应关系有了改变,那么就要在定标系数计算的过程中,将后置放大器放大系数改变的因素计入。在实际工作中,进行或不进行后置放大器的电定标最多可以有 120 mV 或 6 个计数值的差别。

2.3 辐射致冷器的温度控制

风云二号红外传感器使用的碲镉汞(TeHgCd)元器件在十分低的温度下才能正常工作,而且传感器的响应特征随环境温度的变化十分敏感。环境温度低时传感器的灵敏度高,信噪比低。为了让传感器保持在低温环境下工作,卫星上安装了能够进行温度控制的辐射致冷器。按设计,FY-2B 扫描辐射仪辐冷的工作温度应当是 100 K 或 95 K。当辐冷

温度低于工作温度时,可以将辐冷升温至工作温度。但是如果辐冷的温度冷却不到 100 K,那么辐冷的温度就会失去控制,定标就难以做准确。这种情况一般发生在夏至前后。此时太阳光可以照射到辐冷的部分装置。

3 FY-2B 与 NOAA 卫星红外通道的相对定标

目前地球赤道上空有美国、欧洲气象卫星组织、日本、中国、印度的多颗静止气象卫星在工作。为了保证不同卫星的观测数据相互之间可以比较,1999 年第 27 届国际气象卫星协调组织会议(CGMS)要求各个静止气象卫星要与美国 NOAA 卫星进行相对定标^[3~6]。中国的 FY-2B 卫星由于实验室定标不够准确,也十分需要与美国 NOAA 卫星进行相对定标。

静止卫星与极轨卫星之间的相对定标可以做得比不同静止卫星之间更好。一般来说,极轨卫星光谱和空间分辨率都比静止卫星高;另外,极轨卫星一直在运动,它有机会与静止卫星同瞳观测,从而可以进行观测数据的比对工作。所谓同瞳观测,是指两颗卫星在同一时间观测相同的目标,并且观测时两颗卫星的视角(观测目标对应的卫星天顶角和方位角)也是一样的。

相对定标需要进行不同卫星相近通道之间的光谱匹配,以及不同卫星对应通道观测数据之间的时间匹配、几何匹配、视角匹配,找到两颗卫星对应通道之间的同瞳观测匹配样本。用具有较高精度卫星的观测数据,计算出被定标卫星对应通道的入瞳辐射。从而建立被定标卫星通道入瞳辐亮度与测值之间的关系^[7~8],计算出被定标卫星通道的定标系数。

相对定标的两颗卫星被匹配通道的光谱分布一定会存在差异。但是借助定标精度较高的美国 NOAA 卫星,FY-2B 获得了较准确的入瞳辐射参照值。在中国目前辐射定标领域基础工作还比较薄弱的情况下,相对定标大大提高了 FY-2B 卫星的定标精度。

考虑到光谱、时间、几何、视角匹配的严格限制,选用 NOAA(16,17)卫星 AVHRR 全球区域覆盖(GAC)资料的通道 4,5 过 FY-2B 星下点附近的轨道图像资料作为资料源,与 FY-2B 红外通道进行相对定标工作。

相对定标的工作内容:

① 相对定标卫星对应通道间的光谱响应匹配,包括相近通道和相近通道组合对应通道的匹配、对应通道在各种大气廓线情况下辐射影响因子的计算;

② 相对定标卫星轨道图像的时间匹配,两幅图像获取时间控制在 15 min 内;

③ 相对定标卫星对应通道图像间的几何匹配^[9,10],NOAA 卫星 GAC 资料从网上下载,将其与 FY-2B 进行相同范围的投影,在进行了几何定位检验后,确定了两种资料样本选取标准,并进行区域样本图像均匀性判断后,得到最后的相对定标样本数据。

④ NOAA 卫星相对通道的定标系数^[11]提取,进行相对定标计算。

上述处理对选择的标准参照 ISCCP 定标工作组的工作确定。通过匹配计算,在业务环境条件下自动获得了相当数量的匹配样本。匹配样本的观测结果显示相当好的趋同性,表明匹配样本选择的标准是严格合理的,相对定标方法和过程科学合理。

4 光谱匹配

将 FY-2B 的红外通道的光谱响应函数与 NOAA-16,17 卫星 AVHRR 的 4,5 通道比较,可以看出 FY-2B 红外通道光谱响应函数与 AVHRR 的 4 通道比较接近,FY-2B 红外通道的光谱响应曲线略宽,它包含了 AVHRR 的 4 通道。FY-2B 红外通道是窗区通道,但是在它响应的光谱波段,存在大气介质对辐射的吸收、再发射。因此有必要在不同的大气条件下,计算 FY-2B 红外通道与 AVHRR 4 通道

感应能量之比,以便使用 NOAA 卫星的测值,换算出 FY-2B 红外通道感应到的入瞳辐射能量。

由于相对定标所取的样本都在赤道附近,所以利用中国沿海探空站 13 组数据、热带标准大气进行模拟计算。除了计算晴空条件下的辐射以外,还计算了有卷云条件下的辐射。卷云的状态用 8 组卷云模型代表。

光谱匹配通过 MODTRAN 辐射计算模式进行。用上述探空站的探空资料或标准大气廓线样本,在不同的大气温度、湿度垂直廓线条件下,在晴空时,以及在存在卷云时,计算陆地、海水目标卫星通道光谱响应函数的卷积,得到不同卫星通道的入瞳辐亮度,建立 NOAA 与 FY-2B 两种卫星通道辐亮度之间的对应关系。其线性方程:

$$L_{FY2} = aL_{NOAA} + b \quad (1)$$

其中 L_{FY2} 为 FY-2 红外通道的辐亮度; L_{NOAA} 为 NOAA-16,17 通道 4 的辐亮度;两种卫星相应通道入瞳辐亮度换算的比例系数 a, b 用最小二乘法计算获得。

光谱匹配不仅获得了 NOAA 与 FY-2B 两种卫星通道输出辐亮度之间的比例因子,而且获得了两种卫星红外通道光谱的系统差别。

图 1a 为地物红外辐射与 NOAA-17, FY-2B 两颗卫星红外通道光谱(以波数为单位)响应函数的匹配图,图 1b 为 NOAA-16 与 FY-2B 红外通道光谱匹配图。表 1 为 NOAA-16,17 与 FY-2B 卫星红外通道光谱匹配的结果。

表 1 利用总辐射进行的 NOAA-16,17 与 FY-2B 红外通道光谱匹配结果

Table 1 Spectral matching results of FY-2B and NOAA-16,17 according to the total radiance

传感器	波段 (波长、波数)	归一化辐亮度 ($W/(cm^2 \cdot sr \cdot cm^{-1})$)	比例因子 FY-2B IR/NOAA-16,17 CH4
FY-2B 红外通道	10.0~13.0 μm 769~1000 cm^{-1}	春夏:1.059578 $\times 10^{-5}$ 秋冬:1.023909 $\times 10^{-5}$	
NOAA-16 通道 4	8.8~12.8 μm 781~1136 cm^{-1}	春夏:1.033696 $\times 10^{-5}$ 秋冬:9.952412 $\times 10^{-6}$	春夏:1.02504 秋冬:1.02881
NOAA-17 通道 4	8.8~12.8 μm 781~1136 cm^{-1}	春夏:1.020837 $\times 10^{-5}$ 秋冬:9.813472 $\times 10^{-6}$	春夏:1.03795 秋冬:1.04337

存在卷云条件下 FY-2B 与 NOAA-16,17 红外通道观测辐亮度的匹配因子计算结果列在表 2 中。表 2 与表 1 的趋势是一致的。由于考虑了存在卷云,表 2 的结果更为合理。因此在业务中用表 2 的结果进行相对定标计算。

在本文的研究中还用 NOAA 卫星 4,5 通道的组合进行了匹配计算。结果表明仅用 NOAA 卫星 4 通道已能很好地匹配出 FY-2B 与 NOAA 两种卫星红外通道间辐亮度之间的关系。

表 2 存在卷云时 FY-2B 与 NOAA-16,17 红外通道的匹配因子

Table 2 Spectral matching factors of FY-2B, NOAA-16,17 IR channels when cirrus clouds exist

	系数 a	截距 b ($W/(cm^2 \cdot sr \cdot cm^{-1})$)	R (相关系数)
FY-2B 与 NOAA-17	1.026249	1.671369×10^{-7}	0.9999
FY-2B 与 NOAA-16	1.016628	1.174970×10^{-7}	0.9999

5 时间、几何、视角匹配

选择匹配样本应当在观测目标、时间、视角上尽可能一致。

(1) 关注视角。如果按卫星观测视角尽可能一致的原则选择匹配目标,只有两颗卫星都在垂直向下进行观测时,两种卫星的观测视角才能一致。视角一致的先决条件是扫描平面一致。NOAA 卫星的扫描平面通过星下点的天顶方向, FY-2 静止气象卫星的扫描平面只有在赤道附近才通过星下点的天顶方向。因此只有在赤道附近、FY-2 卫星的星下点附近,才有可能找到 FY-2 与 NOAA 两种卫星观测视角比较一致的匹配样本。首先规定样本必须在 FY-2 卫星星下点附近的 $\pm 20^\circ$ 范围以内 ($85^\circ \sim 125^\circ E, 20^\circ N \sim 20^\circ S$)。FY-2 静止气象卫星位于地理经度 105° 的赤道上空,一般每小时扫描地球一次。NOAA 卫星运行在太阳同步轨道,每天有一条降轨、一条升轨通过 FY-2 的观测区域。第一步将位于 FY-2 星下点附近的 $\pm 20^\circ$ 以内,即在星下点东西南北范围为 $40^\circ \times 40^\circ$ 以内,所有的 NOAA 和 FY-2B 卫星图像取下。

(2) 关注观测时间。FY-2 从 $20^\circ N$ 扫描到 $20^\circ S$ 大约需要 8 min。NOAA 卫星通过此区域的时间也在 10 min 左右。因此,在时间匹配上,选择 NOAA 卫星通过 FY-2B 星下点东西两侧 20° ($85^\circ \sim 125^\circ E$) 赤道轨道的图像资料, NOAA 卫星过赤道的时间与 FY-2B 观测星下点的时间相差不超过 15 min。NOAA 卫星通过 FY-2B 星下点附近的轨道图像资料需要从 NOAA 网站上下载,所需轨道通过 FY-2B 附近的赤道上空的时间由轨道预报软件预报。

(3) 关注观测目标的匹配(即图像的几何匹配)。将选中时间和区域的 FY-2 和 NOAA 卫星图像进行正形投影,投影范围为: $85^\circ \sim 125^\circ E, 20^\circ N \sim 20^\circ S$ 。用地标进行几何定位检验,保证定位精度在一个像元内。每个像元点的卫星天顶角及其他相应的信息在插值计算后存入文件。

(4) 再一次关注观测视角。相对定标几何匹配的关键是要找出两颗卫星同筒扫描的区域。极轨卫

星的轨道与赤道并不垂直(轨道倾角一般为 98°),对于同一个观测目标物(地点),两种卫星同筒扫描的情况,只有在极轨与静止卫星的星下点重合,并且观测像元正好位于星下点附近时才可能出现。如果极轨卫星的扫描线偏离了赤道,即使这条扫描线上某个像元的扫描角与静止卫星观测像元的扫描角相等,它们也不同筒。因此在本文的研究工作中,在上述图像范围以内,考虑以天顶角一致作为像元匹配的标准。若两颗卫星对应观测像元的天顶角余弦之差小于 0.10,它们就被选为匹配样本。匹配样本组成两个蝴蝶状的条带,当 NOAA 卫星的轨道在 FY-2B 的星下点附近通过时,两条蝴蝶状的匹配区域可能有部分重叠(图 2)。

(5) 关注观测目标物测值的均匀性。由于观测区域里的云在不断地运动,只要两种卫星的观测时间略有差别,它们就有可能观测到不同性质的目标。但是如果被匹配的目标物所代表的是地面或大范围密实的云,那么它们在十分钟的时间尺度内变化不大,可以相互对比。因此第五步在第四步选出的匹配图像中,寻找测值均匀一致的像元。NOAA GAC(全球区域覆盖)资料的分辨率为 4 km,与 FY-2B 红外通道的分辨率相近。图 3 为 NOAA 卫星 GAC 资料制作方法,图中方块为原始 AVHRR 像素,黑区 4 个点合并为 GAC 的一个点,白区弃之不用。取两种卫星投影图中逐个 10×10 像元,分别求测值的均方差。NOAA 均方差 < 10 , FY-2 均方差 < 4 的像元被认为是均匀的像元。两种卫星测值均方差均

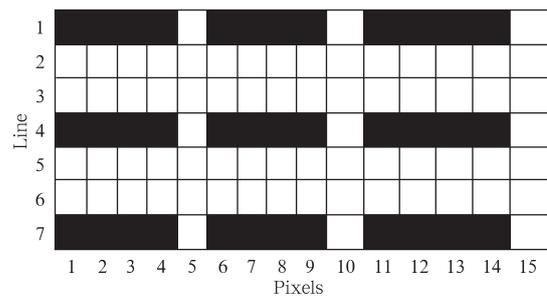


图 3 NOAA GAC 资料取点规则

(方块为原始 AVHRR 像素,黑区为 GAC 合并点)

Fig. 3 Sampling regulation for NOAA GAC data

匀的标准不同是因为卫星观测的量化等级不同。NOAA 为 10 bit 计数, FY-2B 为 8 bit。

6 定标计算

匹配找到的两颗卫星对应的像元样本。这些匹配像元观测计数值之间的关系可表达为线性方程:

$$D_{CNOAA} = \alpha_1 \cdot D_{CFY2} + \beta_1 \quad (2)$$

式中 D_{CNOAA} , D_{CFY2} 分别代表 NOAA 和 FY-2 卫星对应通道的计数值, α_1, β_1 为拟合系数。

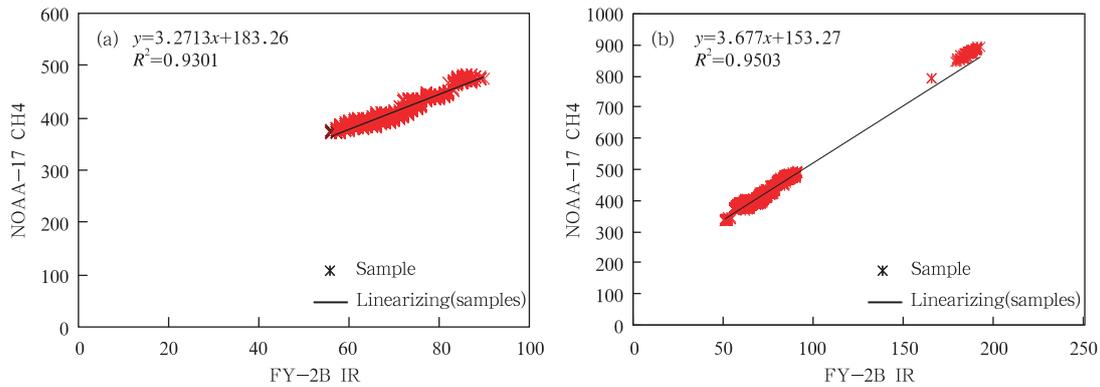


图 4 FY-2B 相对 NOAA GAC 定标样本匹配(a. 10×10 像元匹配, b. 点对点匹配)

Fig. 4 Fitting results of the sample pixels for FY-2B and NOAA GAC

(a. 10×10 pixels fitting, b. dot to dot pixel fitting)

从 NOAA 卫星 GAC 资料中读出有关通道的定标系数。NOAA 卫星的定标系数在一条轨道内变化较小, 通道 4 的定标系数在 ± 0.0001 间变化, 截距基本不变。可以某条扫描线的定标系数替代整个投影图的系数。

利用式(2), 将 FY-2B 红外通道的计数值从 0~255 变化时, 可以得到相应的 NOAA 通道的计数值, 利用获得的 NOAA 通道 4 定标系数进行辐亮度计算, 得到 NOAA 卫星的辐亮度 L_{NOAA} , 代入式(1)可以得到 FY-2B 红外通道相应的辐亮度 L_{FY2} 。于是建立了一组 FY-2B 的计数值与辐亮度的关系。据此, 可以拟合出 FY-2B 卫星通道的定标系数 α 和截距 β , 见式(3)。

$$L_{FY2} = \alpha \cdot D_{CFY2} + \beta \quad (3)$$

由辐亮度公式可反演出辐亮度 $L_{FY2}(\nu, T)$ 对应的亮温 T , 见式(4)(用波数公式)。

$$L_{FY2}(\nu, T) = \int_{\nu_1}^{\nu_2} \Phi(\nu) \frac{2hc^2\nu^3 d\nu}{\exp(hc\nu/kT) - 1} \quad (4)$$

其中 h 是普朗克常数, c 是光速, 而 k 是玻尔兹曼常数。 $\Phi(\nu)$ 为光谱响应函数。波数 $\nu_1 = 769 \text{ cm}^{-1}$, ν_2

通过大量的计算试验, 发现在定位精度保证达到像元级水平的情况下, 用两种卫星通道投影图中对应的像元点进行匹配, 即略去“时间、几何、视角匹配”(5)中匹配样本选择工作, 效果也相当好。当样本均匀的范围选取较大时(如 10×10 像元), 很难找到满足均匀要求的云区。当样本较小时, 无论是否选择测值均匀一致的区域, 相对定标结果趋向一致。匹配值在大范围均匀一致时的拟合关系见图 4a, 不要求匹配值在大范围均匀一致时的拟合关系见图 4b。

$= 1000 \text{ cm}^{-1}$ 。

对于 FY-2B 红外通道的通道波谱范围, ν_i 是连续的。式(4)的积分可以简化为 $L_d(T)$ 对 ν 的求和

$$L_{FY2}(T) = \sum_{\nu_i=\nu_0}^{\nu_{n-1}} \Phi(\nu_i) \frac{2hc^2\nu^3(\nu_{i+1}-\nu_i)}{\exp(hc\nu_i/kT) - 1} \quad (5)$$

对式(5)进行归一化处理, 将得到 FY-2B 红外通道探测到的辐亮度 $L_e(T)$:

$$L_e(T) = \frac{L_{FY2}(T)}{\int_{\nu_0}^{\nu_n} \Phi(\nu) d\nu} = \frac{L_{FY2}(T)}{\sum_{\nu_i=\nu_0}^{\nu_{n-1}} \Phi(\nu_i)(\nu_{i+1}-\nu_i)} \quad (6)$$

这里 $L_e(T)$ 的单位是 $\text{mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1})$ 。

由光谱响应函数可以求得红外通道的中心波数 ν_0 , 由辐亮度 L_i 及中心波数可以反演出通道的目标亮温 T_i

$$T_i = hc\nu_0/k / \ln(1 + 2\epsilon hc^2\nu_0^3/L_i) \quad (7)$$

用中心波数反演出的目标亮温有一定的误差, 将此温度 T_i 代入式(6), 可得辐亮度 L'_i , 比较 L'_i

与 L_i , 如二者相差超出误差范围, 则给 T_i 一个修正量 ΔT , 使 $T_i' = T_i + \Delta T$, 再重复以上过程, 直至得到的目标辐亮度 L_i' 达到精度要求。

生成的计数值与亮温相对应的关系为定标查找表, 可提供给 FY-2B 用户使用。

7 相对定标的结果

利用 2003 年 2 月 8~27 日、4 月 16 日~6 月 8 日 FY-2B 与 NOAA-16, 17 GAC 的匹配资料进行相对定标。其结果列在表 3, 表 4 中。从这两张表

可以看出, 2 月时, FY-2B 卫星状态比较稳定, NOAA-16, 17 相对定标的结果趋同, 说明相对定标方法的自符合性较好。

4 月 16 日, FY-2B 卫星春影星蚀结束后重新开机取图。卫星上的环境温度起初变化较大, 环境温度稳定后相对定标的结果与 2 月份相近。

但是, 从 5 月 1 日 19:00Z 开始, 辐冷温度发生了变化。从第一个工作状态 95 K 不断地升温。黑体温度在此之前已开始升温(图 5)。对应的红外通道传感器的灵敏度下降, 定标系数发生了变化(图 6)。

表 3 FY-2B 相对 NOAA-17 红外通道定标结果

Table 3 IR channel inter-calibration results of FY-2B vs NOAA-17

年	月	日	时	分	秒	FY-2B IR		NOAA-17 CH4 定标系数		
						斜率	截距	截距	斜率	二次项
2003	2	8	2	55	13.277	-0.68391	154.6163	180.7759	-0.20727	0.000026
2003	2	9	15	11	49.277	-0.66241	149.8237	180.4022	-0.20675	0.000026
2003	2	10	14	49	8.777	-0.67663	151.6457	180.1436	-0.20637	0.000026
2003	2	13	15	21	59.777	-0.69283	153.7263	180.3586	-0.2067	0.000026
2003	2	14	14	59	13.777	-0.6946	153.9557	180.3385	-0.20665	0.000026
2003	2	16	3	15	35.277	-0.69548	155.9102	180.894	-0.2074	0.000026
2003	2	17	2	52	49.277	-0.69506	157.0893	180.7837	-0.20723	0.000026
2003	2	18	15	9	23.277	-0.69197	154.4613	180.4154	-0.20678	0.000026
2003	2	19	14	46	42.277	-0.67353	152.7956	180.3106	-0.20662	0.000026
2003	2	21	3	2	59.277	-0.70138	157.8932	180.8329	-0.20729	0.000026
2003	2	22	15	19	32.277	-0.68864	153.0833	180.2154	-0.20651	0.000026
2003	2	23	14	56	46.277	-0.67522	152.5224	180.3266	-0.20665	0.000026
2003	2	25	3	13	8.777	-0.71073	156.2984	180.8718	-0.20736	0.000026
平均值						-0.68788	154.1401			

表 4 FY-2B 相对 NOAA-16 红外通道定标结果

Table 4 IR channel inter-calibration results of FY-2B vs NOAA-16

年	月	日	时	分	秒	FY-2B IR		NOAA-16 CH4 定标系数		
						斜率	截距	截距	斜率	二次项
2003	2	9	7	3	20.791	-0.67631	152.9111	179.6565	-0.18872	0.000008
2003	2	10	6	52	0.285	-0.68064	153.1776	179.6356	-0.18867	0.000008
2003	2	11	6	40	41.281	-0.61993	149.7415	179.6268	-0.18867	0.000008
2003	2	13	19	3	15.769	-0.71096	156.9101	179.3989	-0.18838	0.000008
2003	2	14	18	51	54.764	-0.68236	154.6586	179.3673	-0.18834	0.000008
2003	2	15	18	40	39.759	-0.67041	154.6730	179.3156	-0.18829	0.000008
2003	2	18	7	3	16.243	-0.69911	157.2870	179.6420	-0.18868	0.000008
2003	2	19	6	51	55.738	-0.67954	156.0237	179.7655	-0.18884	0.000008
2003	2	20	6	40	40.233	-0.65419	154.4907	179.6306	-0.18868	0.000008
2003	2	22	19	3	11.722	-0.71856	159.6960	179.3792	-0.18833	0.000008
2003	2	23	18	51	50.717	-0.7040	158.3263	179.4319	-0.18841	0.000008
2003	2	24	18	40	35.211	-0.68442	155.4609	179.3518	-0.18833	0.000008
平均值						-0.6817	155.2797			

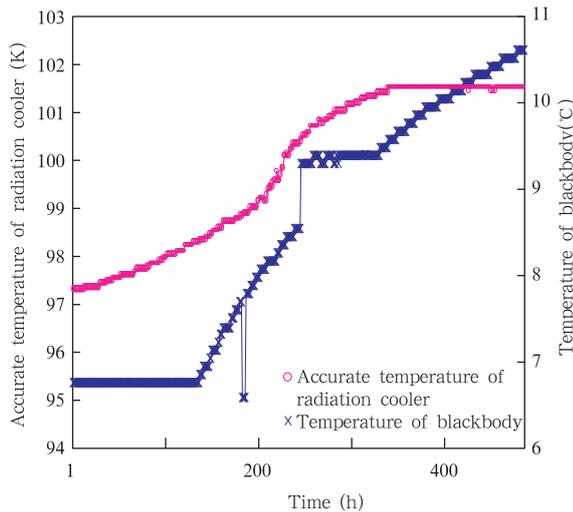


图 5 2003 年 4 月 16 日至 6 月 9 日星上辐冷精度与黑体温度变化

Fig. 5 Variations for accurate temperature of radiation cooler onboard and temperature of blackbody from 16 April—9 June, 2003

5 月 22 日 13:00Z 起,辐冷温度超出了设计温度上限 100 K,此后失去控制。这种温度已超出了设计范围, FY-2B 卫星红外通道在轨定标只能依靠相对定标。约在 6 月 14 日 15:00Z 前后,辐冷温度升到 102.813 K(图 7)。直到 6 月 30 日北京时间上午,辐冷温度仍稳定在 102.813 K,相对定标的结果为:斜率 -0.9069 ,截距 201.3436。与 6 月 14,17 日的结果相近。说明辐冷稳定,则定标数据稳定。

6 月 30 日 08:00Z 起,辐冷温度开始下降,7 月 24 日起辐冷温度可以控制,恢复到 100 K。

综上所述表明,借助定标精度较高的美国 NOAA 卫星, FY-2B 可以获得不同状态时(有时可能已超出设计范围)较准确的入瞳辐射参照值来进行在轨定标。改进的 FY-2B 定标系数比原定标系数精度有较大的提高。

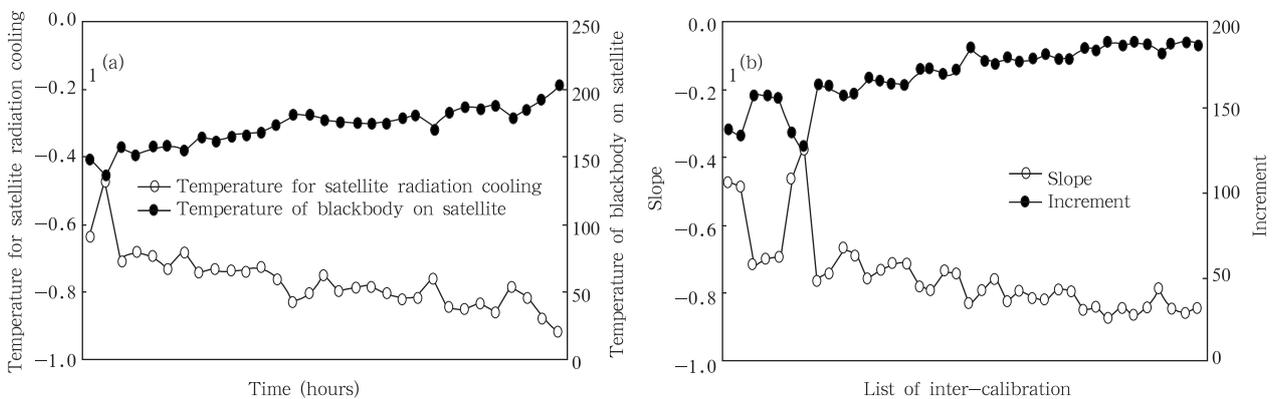


图 6 2003 年 4 月后 FY-2B 红外通道定标参数变化(定标序列为表 3.4 定标时间先后的次序)

(a. 利用 NOAA-17 进行的相对定标结果, b. 利用 NOAA-16 进行的相对定标结果)

Fig. 6 Variation of FY-2B IR calibration coefficients since April, 2003

(a. NOAA-17, b. NOAA-16)

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
Rong Zhiguo. Calibration method of scanning radiometer on FY-2 satellite in orbit. Chinese Space Science and Technology (in Chinese), 2000, 20: 67~71
- [2] 戎志国, 邱康陆, 胡秀清等. FY-2B 气象卫星红外通道发射前实验室定标与在轨辐射定标比较. 红外与毫米波学报, 2002, 21: 408~412
Rong Zhiguo, Qiu Kangmu, Hu Xiuqing, et al. Comparison of

pre-launch calibration in lab with the radiometric calibration in orbit for FY-2B meteorological satellite's IR channel. J Infrared and Millimeter Waves (in Chinese), 2002, 21: 408~412

- [3] M König, S. Tjemkes, Hans-Joachim Lutz. The Importance of Using Clear Radiances and Near-Nadir Views For Satellite Inter-calibration. CGMS-XXVIII EUM-WP-16, 16-20 October 2000 in Woods Hole, MA., USA
- [4] USA: Inter-calibration of geostationary (GOES, METEOSAT, GMS) and polar-orbiting (HIRS and AVHRR) infrared window radiances. CGMS-XXVII-USA-WP-21, 13-19 October 1999 in Beijing, China
- [5] EUMETSAT: operational calibration practices at EUMETSAT. CGMS- XXVII EUM-WP-22, 13-19 October 1999 in Beijing, China

- [6] Japan; operational calibration practices of GMS-5. CGMS-XX-VII-JPN-WP-17, 13-19 October 1999 in Beijing, China
- [7] Michael W, Michael J, Fulton N. Operational calibration of geostationary operational environmental satellite-8 and -9 imagers and sounders. *Applied Optics*, 1997, 36: 6895—6904
- [8] Gunshor M M, Schmit T J, Menzel W P. Intercalibration of geostationary and polar-orbiting infrared window and water vapor radiances. *J Atmos Ocean Technol*, 2004, 21(1):61—68
- [9] Desormeaux Y, Rossow W B, Brest C L. Normalization calibration of geostationary satellite radiances for the International Satellite Cloud Climatology Project. *J Atmospheric and Oceanic Technology*, 1992, 10: 304—325
- [10] König M, Schmetz J, Tjemkes S. Satellite intercalibration of IR window radiance observations. *Adv Space Res*, 1999, 23(8):1341—1348
- [11] Geoffrey Goodrum, Katherine B. Kidwell, Wayne Winston, NOAA KLM User's Guide; Section 7: Calibration of NOAA KLM Instruments. September 2000 Revision

INTER-CALIBRATION OF FY-2B IR CHANNEL WITH NOAA SATELLITES

Rong Zhiguo Zhang Yuxiang Lu Feng Xu Jianmin Qiu Kangmu

(National Satellite Meteorology Center, Beijing 100081)

Abstract

FY-2 is a spin-scanning geostationary meteorological satellite. The calibration of IR channel in-orbit was to insert a blackbody into objective optical path from back-end optical path. There was a big error for such calibration, but that wasn't a total optic-path calibration.

For the infrared channels, the pre-launch calibration was conducted in a vacuum container used to simulate the space environment. The instrument was calibrated with reference to the black body. The radiant cooler was keeping at two temperatures states, i. e. 95 K, 100 K in the laboratory. The objective blackbody varied with a series of the temperatures. Then the infrared sensors were measured in variety combined temperatures conditions of the primary mirror and second mirror. The sensors output voltages with response were also measured. But, the characteristic response of sensors was varying by time after the satellite launched. The pre-calibration was no longer useful. Thus the calibration post-launch was very importance. There were a variety of calibration methods post-launch about the black-body calibration, the calibration of the radiometric calibrated sites, the calibration of radiant numeric data and the inter-calibration with different satellites. The 27th CGMS meeting in 1999 stressed the importance of inter-calibration.

In CMA/NSMC, the inter-calibration study is carried out and is operation-oriented. The inter-calibration uses NOAA satellite data to calibrate FY-2 geostationary satellite. The data were used for calibrating FY-2 long wave IR channel. The inter-calibration examination was processed by the GAC data of AVHRR channel 4 from NOAA-16, 17 that were high precision calibration. The inter-calibration jobs were mainly the spectral matching between two response functions of satellites measured sensors and the geometry matching between two images observed. The calibration coefficient of FY-2B was ameliorated by the better calibration coefficient of NOAA satellites after matching two satellites data were calculated. The inter-calibration precision of FY-2B IR channel was highly enhanced.

Key words: Inter-calibration, GAC data, Spectral matching, Lookup table of calibration.

戎志国等：FY-2B与NOAA卫星红外通道的相对定标

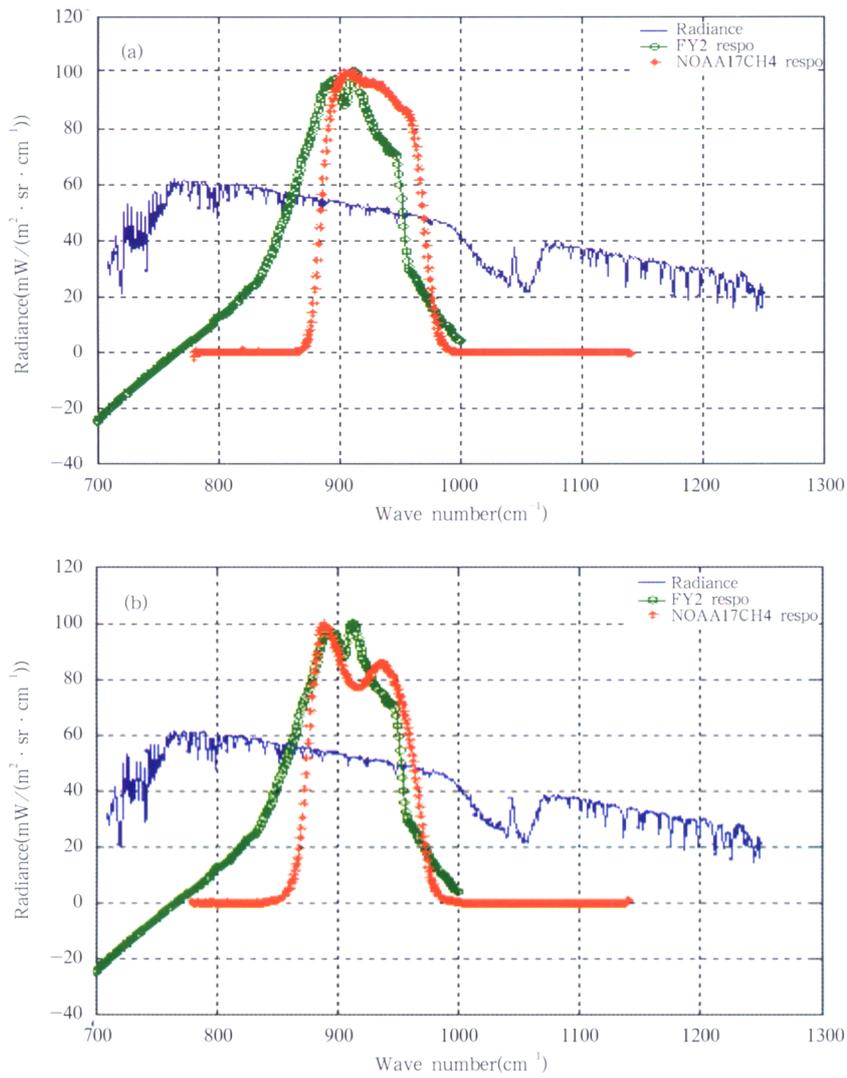


图1 红外波段地物辐射与FY-2B、NOAA-16、17的光谱响应函数的匹配
(a. 与NOAA-16匹配, b. 与NOAA-17匹配)

Fig.1 Surface radiance of IR band and FY-2B, NOAA-16(a), NOAA-17(b) spectral response functions

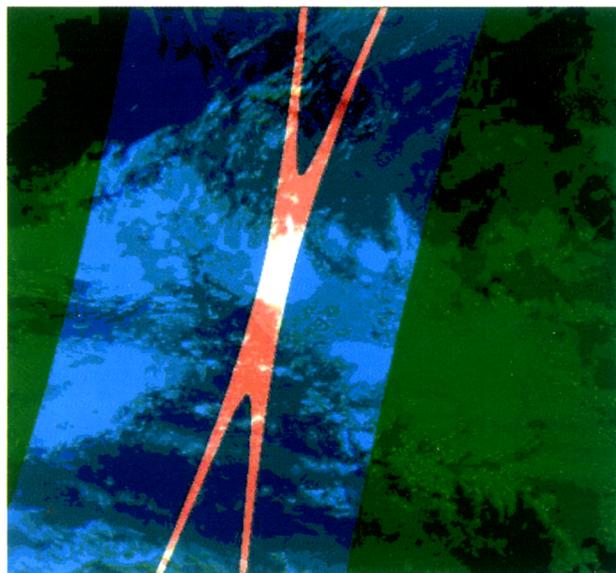


图2 NOAA通过FY-2B星下点时的样本区域(中间交叉区)

Fig.2 A Sample area for inter-calibration when NOAA satellite flew the nadir of FY-2B(overlapped area)

戎志国等：FY-2B与NOAA卫星红外通道的相对定标

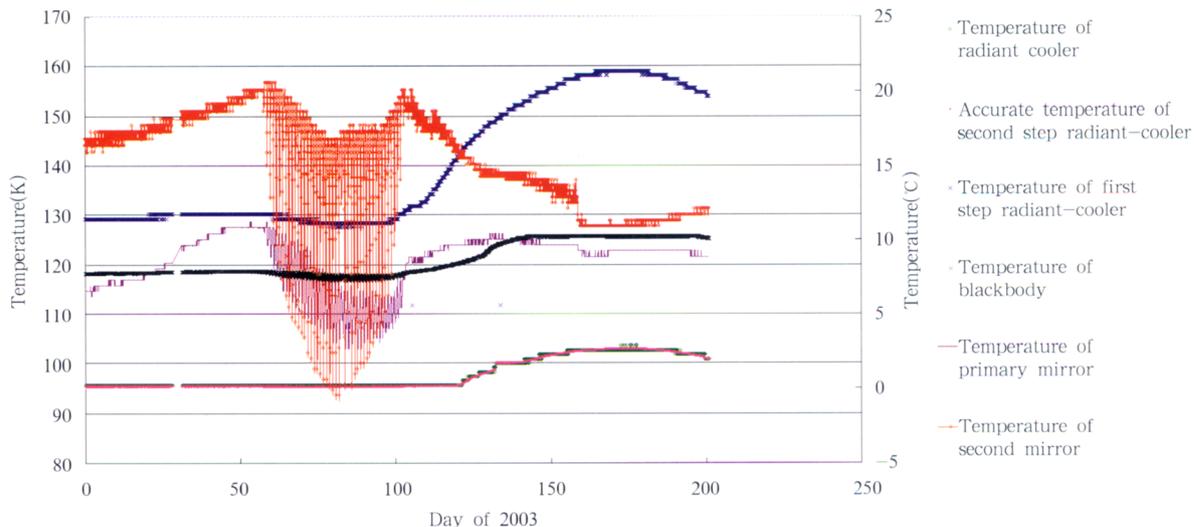


图7 2003年1~7月FY-2B星上部件温度变化

Fig.7 Temperature variation of FY-2B components onboard in Jan-Jul,2003