

# 基于高光谱资料对 FY-1C/1D 气象卫星进行交叉定标<sup>\* 1</sup>

漆成莉 胡秀清 张里阳 董超华

QI Chengli HU Xiuqing ZHANG Liyang DONG Chaohua

中国气象局中国遥感卫星辐射测量和定标重点开放实验室, 国家卫星气象中心, 北京, 100081

*Key Laboratory of Radiometric Calibration and Validation for Environmental Satellites, China Meteorological Administration (LRCVES/CMA), National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China*

2010-10-21 收稿, 2012-03-12 改回.

**Qi Chengli, Hu Xiuqing, Zhang Liyang, Dong Chaohua. 2012. Cross-calibration of FY-1C/1D satellite based on hyper-spectral data. *Acta Meteorologica Sinica*, 70(4): 892-901.**

**Abstract** Cross-calibration aims to inter-calibrate a diverse range of satellite instruments to produce corrections ensuring their data consistency, allowing them to be used to produce globally homogeneous products for environmental monitoring. To ensure the maximum consistency and traceability of FY-1C/FY-1D satellite data, it is desirable to perform the inter-calibration using the AIRS (Atmospheric Infrared Sounder, AIRS) data and the algorithms based on the principles; Observations are collocated, and pixels are matched with the spectral, spatial and temporal as well as viewing geometry matching included, and then compared and analysed to produce calibration correction functions, transforming the observations to common references. Inter-calibration results indicate that observations of channel 4 and 5 of FY-1C are 1.3 K lower and 3.6 K lower than those of AIRS, respectively, and for FY-1D there are 0.3 K and 3.6 K lower, respectively. Re-calibration which aims to produce revised sets of calibration coefficients for FY-1C/1D following its inter-calibration against the reference instrument was also done. These would make data from FY-1C/1D to be consistent with the reference instrument.

**Key words** Cross-calibration, Spectral matching, Infrared calibration, FY-1C/1D

**摘要** 介绍了利用 AQUA 卫星高光谱 AIRS 资料对 FY-1C、FY-1D 气象卫星热红外通道进行交叉定标的方法及定标结果。首先利用卫星轨道预报软件预报出 AQUA 与 FY-1C 以及 AQUA 与 FY-1D 卫星交叉点, 再对交叉区域卫星资料进行像元投影和像元匹配, 像元匹配包括时间、观测角度、环境均匀性等检验。以 AIRS 探测结果作为辐射基准, 利用其观测值和 FY-1 卫星热红外通道光谱响应函数进行光谱匹配, 最终得到 FY-1 卫星热红外通道的准真值并与 FY-1 卫星的业务产品进行比较分析。对 FY-1C、FY-1D 两年多卫星资料进行多次交叉比对, 结果表明 FY-1C 通道 4 比 AIRS 观测亮温低 1.3 K 左右, 通道 5 低 3.6 K 左右; 而 FY-1D 通道 4 比 AIRS 观测亮温低 0.3 K 左右, 通道 5 低 3.6 K 左右。这个准真值与 FY-1 观测的计数值进行再定标得到新的定标系数。

**关键词** 交叉定标, 光谱匹配, 红外定标, FY-1C/1D

**中图法分类号** P414.4

\* 资助课题: 国家 863 计划课题 (2007AA12Z145)、国家自然科学基金项目 (40905014)、公益性行业专项 (GYHY200906006、GYHY200906009)。

作者简介: 漆成莉, 主要从事卫星红外遥感资料预处理及产品开发。E-mail: qiel@cma.gov.cn

## 1 引言

气象卫星可以在全球尺度范围内获取地表和大气环境信息,卫星观测资料在天气分析和预报、气候研究、环境监测、防灾减灾等领域中发挥着日益重要的作用(陈渭民,1993;董超华等,1999)。随着探测技术的迅速提高和信息反演理论与同化分析技术的不断发展,气象研究及业务系统对卫星资料应用服务需求的强力推动,气象卫星资料已进入精细量化应用阶段。定标是保证卫星资料准确的根本和关键。定标工作需要贯穿卫星仪器的整个寿命期,从仪器研制阶段的地面实验室定标到卫星发射后在轨定标处理,以及整个寿命周期内的定标精度监测,任何一个环节对保证预处理产品精度都很重要(戎志国等,2005)。

在卫星研制阶段,FY-1C 和 FY-1D 卫星红外通道定标要在实验室模拟太空环境的真空罐中进行。实验室定标的基本原理是卫星传感器对不同温度(180—340 K)的标准源黑体进行测量,并测量模拟冷空间低温黑体(90 K),由输出计数值与黑体辐亮度对应关系得出定标系数。卫星发射后随着时间的推移以及升空后星上温度、压力、电磁等环境的变化,会使仪器部件性能产生变化,包括探测器的响应性能,实验室测得的定标关系会逐渐变得不再适用,因此,要进行在轨定标数据处理来修正实验室系数。在轨定标普遍使用的方法有基于星上内黑体定标、辐射校正场定标、数值分析资料正演模拟辐射定标、不同卫星之间的交叉定标等。

FY-1C 和 FY-1D 极轨气象卫星分别于 1999 年 5 月 10 日和 2002 年 5 月 15 日成功发射,在数据处理方法、仪器性能状态的变化以及观测固有的误差等因素影响下,卫星数据的观测精度不可避免地会有误差。而卫星数据的精度和稳定性是天气分析、气候应用研究的首要环节,为了精确评价 FY-1C、FY-1D 定标精度,以目前国际普遍采用的定标精度较高的红外高光谱仪 AQUA/AIRS 为辐射基准,对 FY-1C、FY-1D 红外通道进行交叉定标比对,分析二者之间的观测辐射偏差,并基于 AIRS 辐射与 FY-1C、FY-1D 红外通道计数值进行再定标处理得到新的定标系数。

## 2 交叉定标

目前地球上空有多颗静止和极轨气象卫星在工

作,各个国家卫星的观测精度如何,以及相互之间的比较结果怎样是卫星研制方及应用部门非常关注的问题。为了满足天气分析和气候应用研究对气象卫星观测精度的需求,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(CGMS)要求各个气象卫星国家要与定标精度相对较高的美国 NOAA 卫星进行交叉定标(CGMS-XXVII-USA-WP-21, 1999; CGMS-XXVII-EUM-WP-22,1999; CGMS-XXVII-JPN-WP-17, 1999)。

2005 年由世界气象组织(WMO)和国际气象卫星协调组(CGMS)建立了全球气象卫星交叉定标系统(GSICS),致力于全球在轨气象卫星之间的交叉定标研究。2006 年 GSICS 研究工作组利用 NOAA 卫星、EOS-MODIS 进行了交叉定标(Tobin, et al, 2006),从 2007 年开始决定致力于利用高光谱红外垂直探测仪 AIRS 和 IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer)探测资料对静止气象卫星红外通道进行交叉定标方法研究。关于长波红外窗区的定标工作已经较为成熟,现已形成较为标准的算法供成员国工程业务化使用(Gunshor, et al, 2009)。近两年正在研究高光谱仪器与极轨气象卫星的交叉定标,以便未来建立起业务的极轨卫星间匹配系统。

交叉定标的基本原理是对于同样的观测目标,将高精度仪器的观测资料和被定标仪器的观测资料进行比对,分析被定标仪器相对于基准仪器的观测偏差,根据误差特性对被定标仪器进行再定标处理,以定标精度较高的仪器为辐射基准,再结合被定标仪器的电压输出计数值重新计算定标系数,从而达到对 FY-1C/1D 气象卫星观测误差进行修正的目的。图 1 为 FY-1C/1D 气象卫星与 AQUA 卫星上 AIRS 进行交叉定标的流程,定标过程主要包括轨道预报、像元地理位置匹配、时间及观测角度匹配、光谱匹配和定标系数推导等内容。

交叉定标的难点之一在于寻找同样的观测目标即同瞳观测。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(戎志国等,2005),这需要做到卫星观测数据的时间匹配、几何匹配、视角匹配。绝对的同时时间几乎不可能,一般把几分钟以内的先后观测视为“同一时间”,几何与视角匹配均需要进行像元的观测天顶角

和方位角以及均匀性等检验。静止卫星与极轨卫星之间的交叉定标要比不同的极轨卫星之间交叉定标做得更好。因为静止卫星是地球同步轨道,相对于地球是静止不动的,每十几分钟可以获得一次圆盘观测;极轨卫星一直在运动,对于某块地球区域目标

每天有两次过境机会,因此,静止和极轨卫星每天都有同瞳观测的目标区域。而极轨卫星之间获得同瞳观测区域的机会几天才有一次,匹配的样本数目要比极轨与静止卫星间匹配样本大为减少。

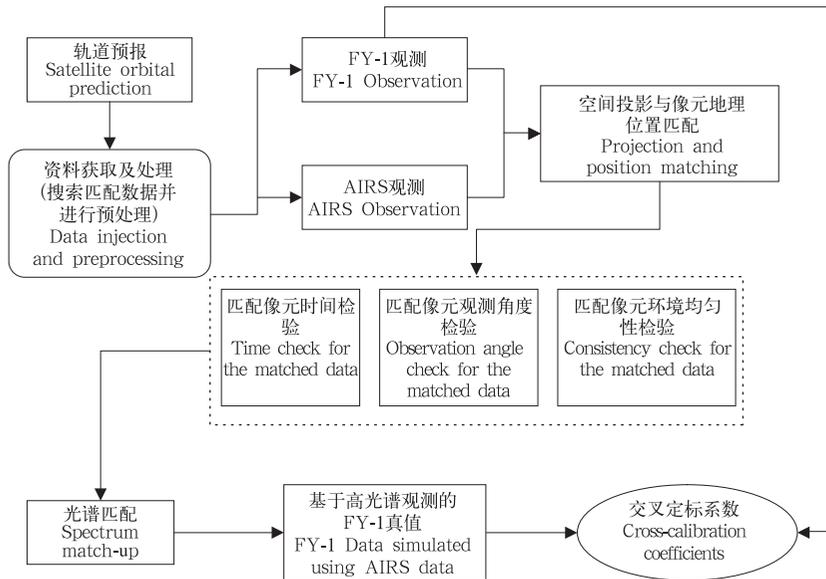


图1 FY-1卫星与AIRS交叉定标流程

Fig. 1 Flow chart of the cross-calibration between the FY-1 and AIRS sensor

交叉定标的难点之二在于需要进行不同卫星相近通道之间的光谱匹配,即使找到同瞳观测的样本,也仅仅是辐射的空间来源一致,而只有再结合一致的光谱位置才具有可比性,即两颗卫星上同样的光谱波段观测的对地目标才具有可比性。图2a为FY-1C通道4和通道5的光谱响应函数,通道4覆盖了 $700\text{--}1050\text{ cm}^{-1}$ 近 $350\text{ cm}^{-1}$ 宽的范围,通道5覆盖了 $750\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ 的范围,虽然通道中心均在大气吸收窗区,但在通道两端仍然延伸到了大气吸收带的翼区,因此,在做光谱匹配时需要重点考虑。图2b为AIRS在 $840\text{--}850\text{ cm}^{-1}$ 的通道光谱响应函数,由图2b可见,在FY-1C通道5的中心只有 $10\text{ cm}^{-1}$ 的狭窄光谱带上就有25个AIRS通道,整个通道5的光谱范围内有600多个AIRS通道,如何将几百个高光谱通道与一个宽通道进行匹配是交叉定标流程中需要细心处理的最复杂的环节。

### 3 卫星观测空间与光谱匹配

#### 3.1 卫星轨道预报

最初的SGP4 (Simplified General Perturba-

tions, SGP)是由Ken Cranford于1970年开发的用于近地目标轨道预报的模型(韩蕾等,2004),该模型是Lane和Cranford 1969年解析理论的简化。它将Brouwer 1959年采用Von-Zeipel正则变换方法给出的摄动解结果用于引力场模型,其轨道衍生器是使用两行轨道根数TLE的解析法。SGP4模型处理不同类型的空间目标定轨精度各不相同,在处理中高近圆轨道( $h \geq 500\text{ km}$ )目标时,运算速度快,可以获得最大偏差小于3 km的轨道预测精度。随着SGP模型的不断改进与升级,最新的模型处理中高近圆轨道目标预报精度达到1 km以内的精度,同步轨道预报15 d(韦栋等,2009)。用轨道预报模型预测每天FY-1C/1D卫星与AQUA卫星在30 min内的交叉点地理位置与观测时刻,确定可用于交叉定标的的数据。图3是根据轨道预报确定的FY-1C卫星与AQUA卫星数据的交叉点,红色为AQUA卫星运行轨迹,绿色为FY-1C卫星轨迹,可见极轨卫星之间的轨道交叉点一般都在南北纬 $60^\circ$ 以上相对较高区域。

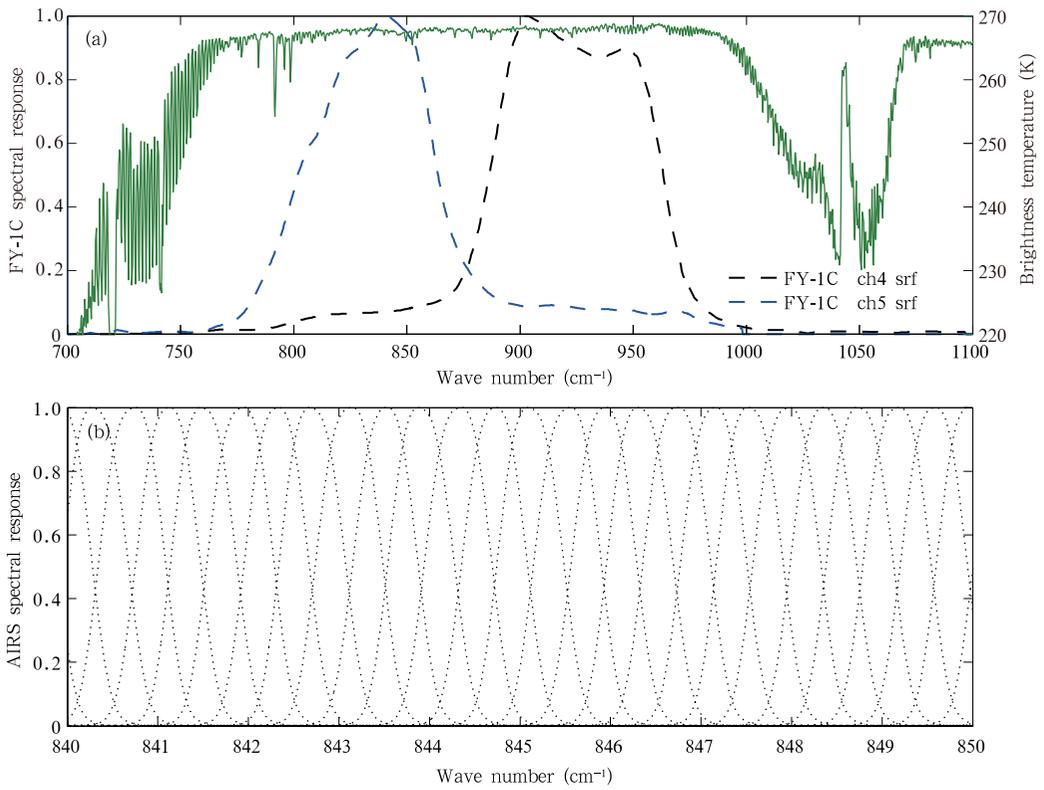


图2 FY-1C 卫星仪器通道 4 和通道 5 的光谱响应函数(a)以及 AIRS 通道光谱响应函数(b)  
Fig.2 (a) Spectral response functions of channel 4 and 5 for FY-1C satellite and (b) spectral response functions of AIRS channels between 840 cm<sup>-1</sup> and 850 cm<sup>-1</sup>

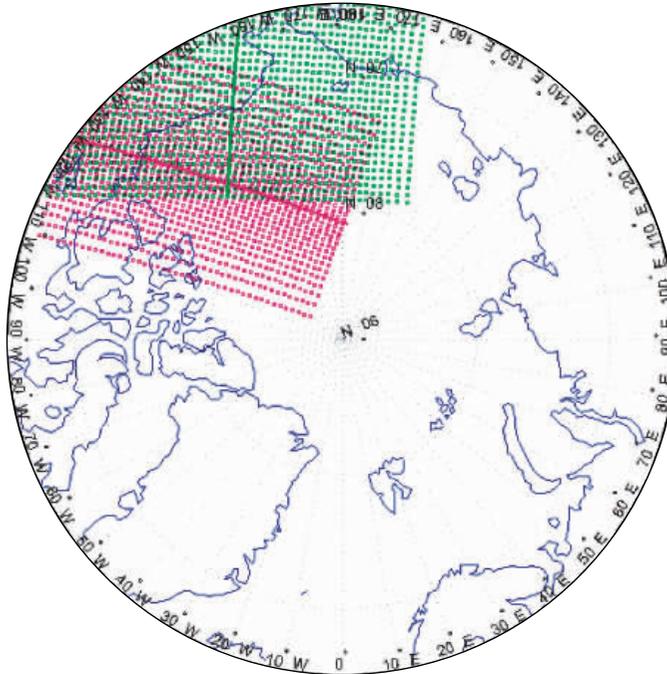


图3 FY-1 卫星与 AQUA 卫星交叉匹配的地理位置  
(红色: AIRS; 绿色: FY-1)

Fig.3 Diagram of the cross orbit between the FY-1 and AQUA satellite  
(red: AIRS, green: FY-1)

### 3.2 观测时间与几何空间匹配

比较 FY-1 与 AQUA/AIRS 数据,首先要获取同时观测的匹配样本,再以高光谱仪器观测与 FY-1 仪器红外通道的光谱响应函数进行卷积获得 FY-1 仪器的参考观测,与 FY-1 实际观测进行比对,得到二者的观测误差。AIRS 的星下点像元为 12 km, FY-1 卫星全球资料红外通道的像元为 4 km,故取 FY-1 卫星 3×3 的均匀观测像元与 AIRS 像元进行比对。

交叉定标交叉配准的目的是寻找两颗卫星的同瞳观测样本。首先要确定二者的交叉地理位置区域,通过获取轨道卫星数据的 4 个角的经纬度计算数据的经纬度范围,再根据两颗卫星轨道的经纬度范围确定公共交叉重叠区域经纬度范围。一旦确定交叉区域,位于交叉区域内的观测时间、像元位置、观测角度等满足匹配一致性的样本即为参与比对的样本。配准的阈值条件:

(1)交叉定标观测像元时间匹配,两个仪器上的像元观测时间差在 5 min 之内。

(2)交叉定标对应观测像元间的几何匹配,首先基于仪器的探测特征和观测数据的地理定位结果进行像元投影和地理位置匹配,由于在地球上的地理位置投影一致的像元,并不一定满足交叉定标的“同瞳观测”的几何一致性条件,这是因为还有观测视角问题,故还需要进行卫星天顶角检测,如式(1)所示, $\theta_1$  为 FY-1 卫星像元观测太阳天顶角, $\theta_2$  为 AIRS 像元观测太阳天顶角。

$$\left| \frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2} - 1 \right| < 0.05 \quad (1)$$

(3)由于观测区域里很可能有不同类型的云在不断运动,只要两颗卫星的观测时间略有差别,就可能观测到不同性质的目标。但如果匹配的目标物所代表的是均匀地面或大范围密实的云,则其在几分钟的时间尺度内变化不大,即可以进行相互对比(戎志国等,2005),因此,需进行环境均匀性检测,只选择均匀区域内的观测样本参与比对。以 FY-1 卫星 9×9 的像元(ENV-BOX)为均匀性检验范围,对仪器的每个红外通道观测辐射均要做检验,检验条件如式(2), $\sigma$  为 FY-1 卫星 9×9 像元区域的亮温标准差, $b_1$  为该区域亮温平均值。

$$\frac{\sigma}{b_1} < 0.01 \quad (2)$$

(4)由于高光谱红外仪器一个像元辐射与 FY-1 卫星 3×3 的像元(FOV-BOX)平均值进行比较,而同时 FY-1 卫星进行了 9×9 像元环境均匀性检测,因此,为了检验地理位置匹配的 FY-1 卫星 3×3 像元是否代表了通过均匀性检测的 9×9 像元的观测值,必须进行代表性检测,如式(3)所示, $b_2$  为 FY-1 卫星 3×3 像元亮温平均值。

$$|b_1 - b_2| < \frac{\sigma}{3} \quad (3)$$

### 3.3 光谱匹配

AIRS 高光谱数据在 650—2665  $\text{cm}^{-1}$  是分为 3 个波段的数据,并非完全连续,且由于仪器的探测器等原因导致某些通道观测数据无效,而 FY-1 卫星红外通道为宽通道,光谱范围较宽,因此, AIRS 数据有可能不能完全覆盖 FY-1 卫星红外通道,在卷积计算中对于 AIRS 不能覆盖的光谱区域及 AIRS 的无效通道需要进行光谱补偿处理以得到 FY-1 卫星红外通道的参考观测值。

FY-1 卫星通道 4 和 5 的中心分别位于 10.5 和 11.8  $\mu\text{m}$ ,处于 10—12  $\mu\text{m}$  大气窗区,该区域内的通道观测在不同大气条件下的辐射比值相对稳定,如图 4 所示,为 9 条不同大气廓线在 830—1000  $\text{cm}^{-1}$  光谱范围内的辐射值,9 条大气廓线分别代表热带晴空、3 条有云热带大气(云层分别在 702、478、194 hPa 高度)、晴空标准大气、2 条有云标准大气(云层分别在 478 和 194 hPa 高度)、中纬度夏季晴空大气、中纬度冬季晴空大气。在大气吸收窗区不同大气廓线的辐射值随光谱变化斜率一致,即辐射比值较稳定,这是推断无效通道观测值的基础。首先,基于 AIRS 实际观测和晴空标准大气廓线的模拟辐射光谱(光谱连续且范围较大)按式(4)计算出 AIRS 所有有效通道的辐射比并认为该比值比较稳定。确定无效通道的辐射比有几种方法,Kato 是平均宽通道光谱范围内对应的所有有效高光谱通道的辐射比(Gunshor, et al, 2006)。该方法由于在窗区比值较稳定从而效果较好,而对于气体吸收通道,通道间的辐射比与大气成分、气体含量等条件有强烈相关,辐射比值并非很稳定,从而模拟效果比窗区通道差一些。美国威斯康星大学 Gunshor 在处理无效通道时,考虑了无效通道两端的光谱辐射比,不是基于辐射比平均值而是对无效通道两端通道的辐射比进行插值来计算无效通道的辐射比(Yoshihiko,

2009), 本文采用 Gunshor 的处理方法。

$$r_{ich} = \frac{R_{airs_{ich}}}{R_{sim_{ich}}} \quad (4)$$

ich 为有效通道编号,  $r_{ich}$  为有效通道的辐射比,  $R_{sim_{ich}}$  为 AIRS 有效通道的模拟值,  $R_{airs_{ich}}$  为有效通道的实际观测值。

确定了无效通道的辐射比, 再根据 AIRS 无效通道的模拟值即可填补 AIRS 无效通道的观测辐射, 如式(5)所示,  $j_{ch}$  为无效通道编号, 其中,  $r_{j_{ch}}$ 、 $R_{sim_{j_{ch}}}$ 、 $R_{airs_{j_{ch}}}$  分别为无效通道的辐射比、模拟值以及填补观测值。

$$R_{airs_{j_{ch}}} = r_{j_{ch}} \cdot R_{sim_{j_{ch}}} \quad (5)$$

通过上述处理后 FY-1 卫星通道光谱范围内的所有 AIRS 光谱通道均有观测, 再经过如式(6)的卷积辐射处理得到 FY-1 卫星通道的真值  $R_{FY}$ ,  $S_{rf_{ich}}$  为插值到 AIRS 光谱通道上的 FY-1 卫星通道光谱响应值,  $\nu$  为波数。再按照式(7)计算得到 FY-1 卫星扫描辐射计相对于 AIRS 的观测偏差  $B$ ,  $O_{FY}$  为 FY-1 卫星通道的实际观测值。

$$R_{FY} = \frac{\int R_{airs_{ich}} \cdot S_{rf_{ich}} d\nu}{\int S_{rf_{ich}} d\nu} \quad (6)$$

$$B = O_{FY} - R_{FY} \quad (7)$$

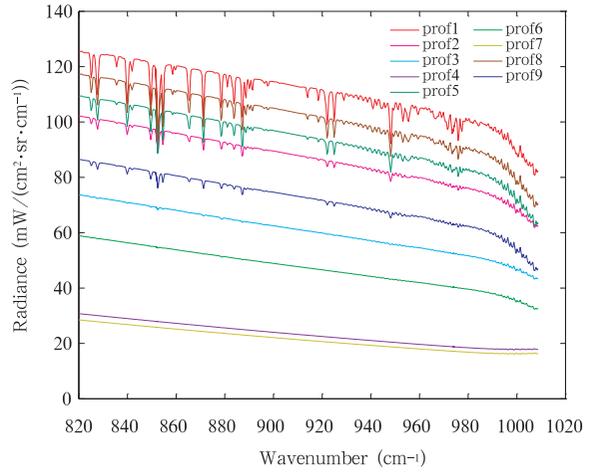


图 4 基于典型大气廓线模拟的辐射光谱辐射  
Fig. 4 Simulated radiance based on the typical atmospheric profiles

## 4 误差分析和再定标

### 4.1 交叉定标偏差

将两颗卫星对应的匹配像元样本进行比对分析, 图 5 为 FY-1C 的红外通道 4 和 5 与 AIRS 的亮温比对散点图, 对于通道 4 和 5, FY-1C 的亮温均比 AIRS 亮温要低, 若以 AIRS 观测为定标基准, 通道 5 的定标误差要大于通道 4。图 6 为 FY-1D 的红外

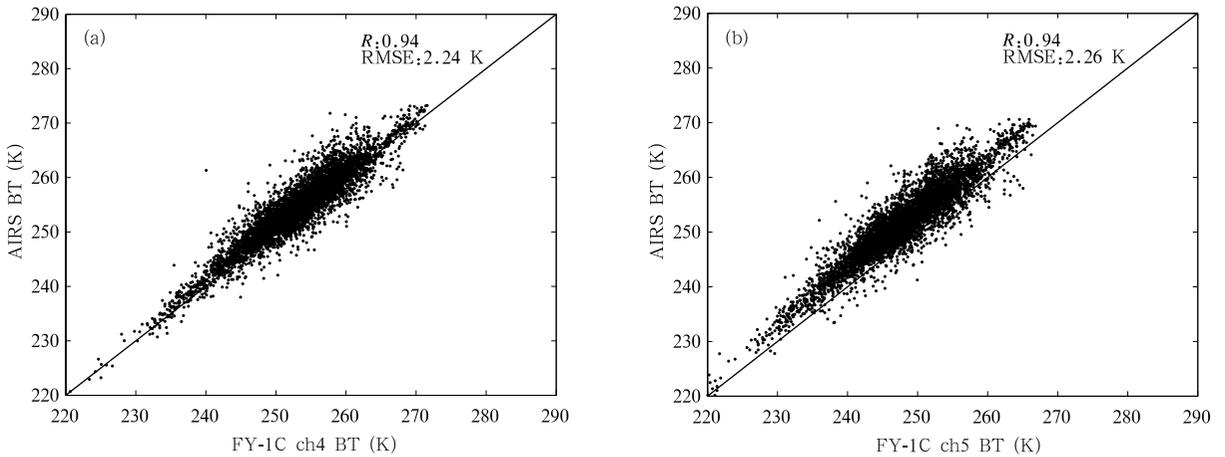


图 5 FY-1C 卫星仪器红外通道观测亮温与 AIRS 红外通道亮温比对

(a. 通道 4, b. 通道 5;  $R$  为 FY-1C 观测与 AIRS 观测亮温的相关系数, RMSE 为 FY-1C 观测亮温相对于 AIRS 观测亮温的均方根误差)

Fig. 5 Brightness temperature comparison between FY-1C infrared channels and AIRS infrared channels (a. channel 4, and b. channel 5;  $R$  is the correlation coefficient between the FY-1C observation and the AIRS observation, RMSE is the root mean square error of FY-1C measurements compared with AIRS ones)

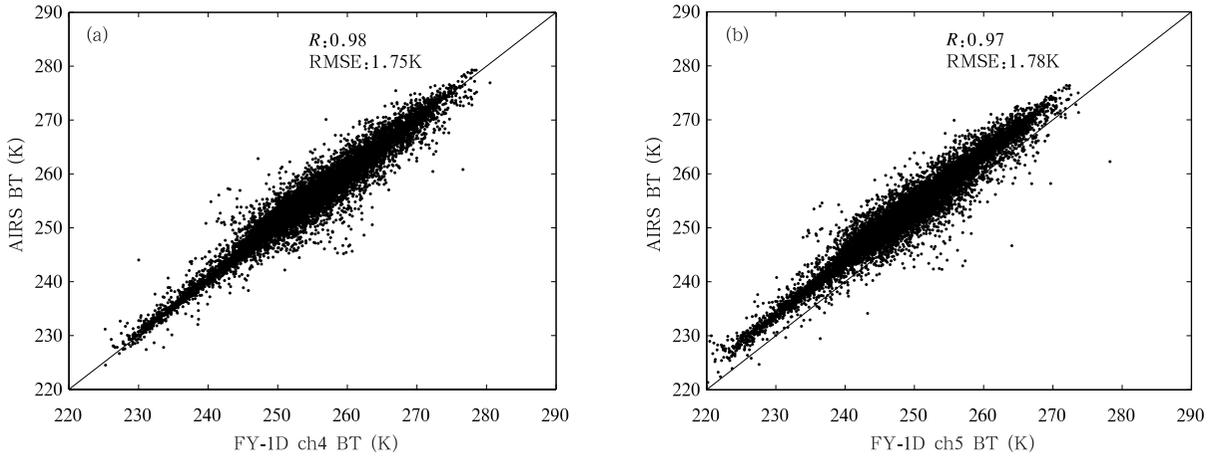


图6 FY-1D 红外通道观测亮温与 AIRS 红外通道亮温对比

(a. 通道4, b. 通道5)

Fig. 6 As in Fig. 5 but for FY-1D

通道4和5与AIRS的亮温对比,误差趋势同FY-1C的。两颗卫星红外通道与AIRS观测的相关系数均超过0.95,就同一通道比较而言,FY-1D与AIRS亮温的相关系数比FY-1C的高;FY-1C卫星两个红外通道与AIRS亮温相比均方差都为2.2K左右,而FY-1D两个通道的均方差都在1.8K左右,比FY-1C的偏小0.4K,这说明FY-1D数据的质量要高于FY-1C。

表1给出了更详细的2002—2003年中4个月FY-1C与AIRS的交叉定标偏差结果,以及2002—2006年中7个代表性月份FY-1D与AIRS的定标偏差结果。FY-1C的通道4平均定标偏差约为-1.3K,通道5平均定标偏差约为-3.6K;而FY-1D的通道4平均定标偏差约为-0.4K,通道5平均定标偏差约为-3.6K。FY-1C和FY-1D两颗卫

星的红外通道4均比通道5误差小,对于通道4而言,FY-1D的定标精度从-1.3K提高到-0.4K,而通道5仍保持在较大误差状态,为-3.6K左右。1999年FY-1C卫星在轨测试报告中指出的FY-1C探测到渤海亮温比同期NOAA 15低1.5K左右,而胡秀清等(2001)利用青海湖对FY-1C、FY-2B气象卫星热红外通道进行在轨辐射定标的研究结果也指出FY-1C卫星通道4观测的亮温与水表温度相差1—2K,通道5得到的亮温比水表温度低2—4K,FY-1C星上黑体定标结果可能偏低。本文利用定标精度较高可作为在轨定标基准的高光谱AIRS观测进行交叉定标,再次验证了FY-1卫星的观测误差特点。尽管是同系列的两颗不同卫星,其仪器部件和制造工艺会有差异,但相同的误差现象说明其误差来源大致相同。

表1 FY-1C和FY-1D卫星相对于AIRS观测的平均偏差(K)

Table 1 The mean bias of FY-1C and FY-1D measurements compared with AIRS measurements

| 时间       | FY-1C 通道4 | FY-1D 通道4 | FY-1C 通道5 | FY-1D 通道5 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 2002年10月 | -1.4358   | -0.54282  | -3.6499   | -3.8009   |
| 2003年1月  | -1.0596   | -0.25111  | -3.3905   | -3.5452   |
| 2003年7月  | -1.4182   | -0.78514  | -3.8815   | -4.0759   |
| 2003年10月 | -1.1072   | -0.44847  | -3.8202   | -3.8981   |
| 2006年1月  |           | -0.12999  |           | -3.7027   |
| 2006年7月  |           | -0.23909  |           | -3.2747   |
| 2006年10月 |           | -0.01429  |           | -3.3233   |
| 平均偏差     | -1.2552   | -0.34442  | -3.68553  | -3.66011  |

#### 4.2 定标偏差分析

图7和8分别给出了FY-1C和FY-1D卫星通道4和5的定标误差随目标亮温的变化。可见通道

4和5均有低目标亮温对应高定标误差的趋势,这也跟美国GOES(Geostationary Operational Environmental Satellites)卫星红外通道与IASI进行交

又比对的研究结论一致(Wang, et al, 2009)。

随着卫星运行时间推移,仪器的光学、机电等部件可能会产生老化和性能衰减,使仪器某些性能产生变化。观测误差的变化是反映仪器性能和状态的一个很好的指标,从2002—2006年FY-1D与AIRS的观测偏差(图9)的分析可见,通道4与AIRS的偏

差基本在0—-1 K以内较小幅度波动;通道5与AIRS的偏差也稳定在-4—-3 K之间波动,没有很明显的随时间的变化特征,这也证明了FY-1D的仪器状态和探测性能在4 a期间比较稳定,没有很大的衰减。

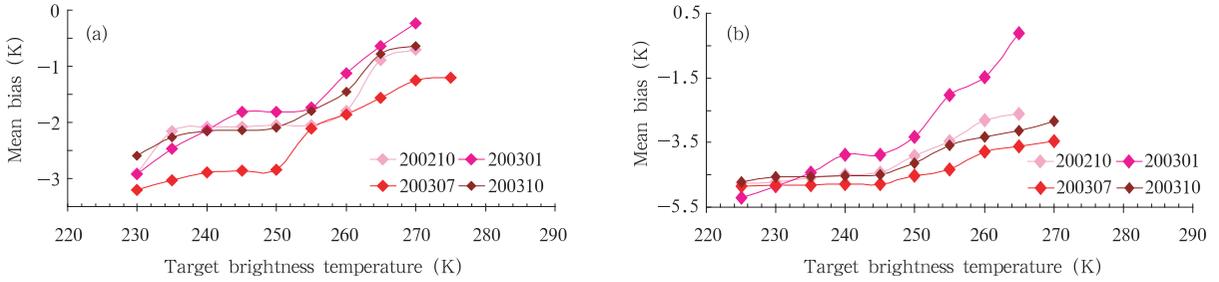


图7 FY-1C 卫星红外通道定标偏差随目标温度的变化

(a. 通道4, b. 通道5)

Fig. 7 Mean bias versus target brightness temperature for FY-1C infrared channels

(a. channel 4, and b. channel 5)

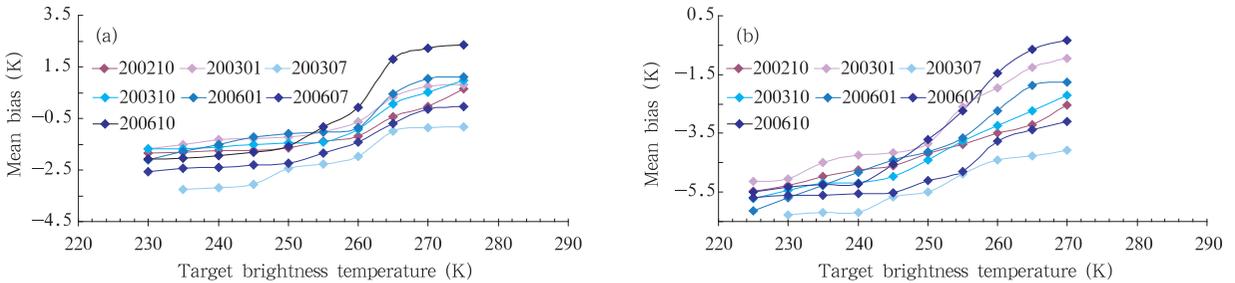


图8 FY-1D 卫星红外通道定标偏差随目标温度的变化 (a. 通道4, b. 通道5)

Fig. 8 As in Fig. 7 but for the FY-1D satellite

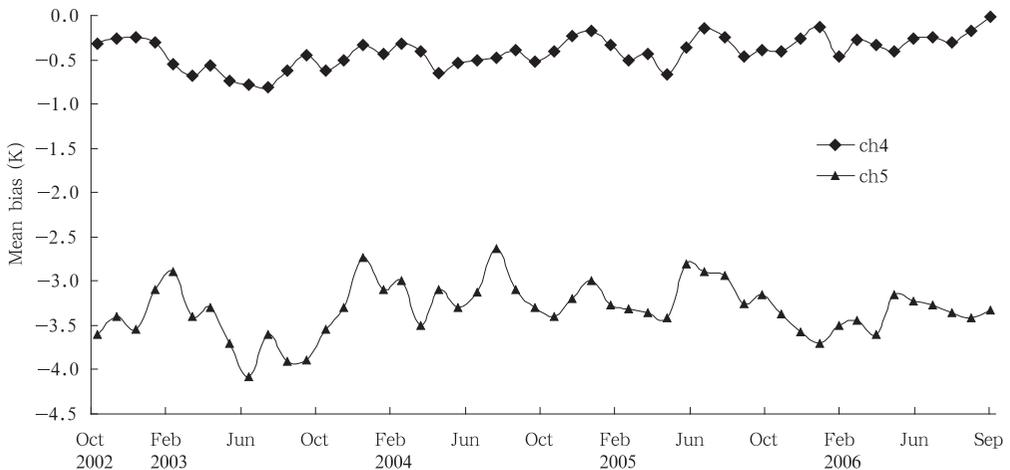


图9 FY-1D 卫星定标偏差随时间变化

Fig. 9 FY-1D satellite calibration bias variation with date for channel 4 and channel 5

### 4.3 再定标处理

由高光谱 AIRS 数据计算出的 FY-1 观测作为近似真值,结合 FY-1 计数值,用式(6)可以推导出 FY-1 卫星热红外通道 4 和 5 的交叉定标系数。表 2 列出了 FY-1C 和 FY-1D 的定标系数,不同月份统计样本得到的斜率和截距稍有不同,但其变化趋势

和业务预处理产品的在轨定标系数(表 3)很一致,而不同月份统计的定标偏差并无太大差异,说明定标系数的变化可能是由于星上探测器的响应性能随时间的变化影响的。经过交叉定标再处理后的定标系数及其亮温可供中国 FY-1 卫星资料遥感反演及气候监测研究使用。

表 2 基于 AIRS 观测再定标得到的 FY-1C、FY-1D 定标系数

Table 2 The FY-1C/1D calibration coefficients derived from the re-calibration using the AIRS data

| 时间          | FY-1C 通道 4 |        | FY-1C 通道 5 |        | FY-1D 通道 4 |        | FY-1D 通道 5 |        |
|-------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
|             | 斜率         | 截距     | 斜率         | 截距     | 斜率         | 截距     | 斜率         | 截距     |
| 2002 年 10 月 | -0.231     | 240.85 | -0.219     | 230.91 | -0.184     | 187.54 | -0.211     | 220.29 |
| 2003 年 1 月  | -0.276     | 283.84 | -0.271     | 279.2  | -0.158     | 160.95 | -0.189     | 196.54 |
| 2003 年 7 月  | -0.155     | 168.25 | -0.177     | 191.27 | -0.174     | 177.91 | -0.238     | 247.73 |
| 2003 年 10 月 | -0.176     | 182.77 | -0.195     | 204.48 | -0.180     | 183.45 | -0.261     | 269.97 |
| 2006 年 1 月  |            |        |            |        | -0.202     | 205.7  | -0.315     | 325.32 |
| 2006 年 7 月  |            |        |            |        | -0.203     | 209.01 | -0.312     | 324.95 |
| 2006 年 10 月 |            |        |            |        | -0.193     | 200.5  | -0.303     | 316.22 |

表 3 FY-1C、FY-1D 业务预处理产品的在轨定标系数

Table 3 The operational on-orbit calibration coefficients of FY-1C and FY-1D infrared channels

| 时间          | FY-1C 通道 4 |        | FY-1C 通道 5 |        | FY-1D 通道 4 |        | FY-1D 通道 5 |        |
|-------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
|             | 斜率         | 截距     | 斜率         | 截距     | 斜率         | 截距     | 斜率         | 截距     |
| 2002 年 10 月 | -0.238     | 241.88 | -0.223     | 227.35 | -0.186     | 187.40 | -0.205     | 208.62 |
| 2003 年 1 月  | -0.293     | 298.38 | -0.282     | 286.89 | -0.161     | 162.68 | -0.187     | 190.69 |
| 2003 年 7 月  | -0.175     | 177.80 | -0.191     | 192.43 | -0.178     | 179.29 | -0.238     | 241.83 |
| 2003 年 10 月 | -0.185     | 188.26 | -0.199     | 202.86 | -0.185     | 186.68 | -0.259     | 263.94 |
| 2006 年 1 月  |            |        |            |        | -0.207     | 209.73 | -0.317     | 323.58 |
| 2006 年 7 月  |            |        |            |        | -0.214     | 215.89 | -0.326     | 331.64 |
| 2006 年 10 月 |            |        |            |        | -0.215     | 217.81 | -0.327     | 333.29 |

## 5 结 语

利用高光谱 AIRS 仪器资料对 FY-1C/1D 气象卫星热红外通道进行了交叉定标,结果表明 FY-1C/1D 星上黑体定标结果偏低, FY-1C 通道 4 比 AIRS 观测亮温低 1.3 K 左右,通道 5 低 3.6 K 左右;而 FY-1D 通道 4 比 AIRS 观测亮温低 0.3 K 左右,通道 5 低 3.6 K 左右。基于 AIRS 观测与 FY-1 观测的计数值进行再定标得到新的定标系数可供用户使用。与其他基于辐射校正场(如青海湖)的绝对辐射定标或基于 NOAA 卫星相近宽通道的交叉定标等方法相比较,可认为 AIRS 仪器是目前国际公认定标精度较高的可作为红外波段辐射基准的在轨仪器,利用其作为基准进行交叉定标,方法可行,结果可信,其次,可得到 230—270 K 的大量样本进行统计,分析其误差随时间、随目标亮温高低的变化特性,为在轨定标算法改进和仪器研制水平的提高提

供有益的参考信息。虽然卫星发射后可以利用外场试验和卫星间交叉比较检验定标精度,并进行定标结果的修正,但对于业务产品来说,涉及到庞大的地面业务处理系统和产品存档及分发,各种替代定标的 L1 产品难以覆盖全部的卫星产品用户。如何将星上黑体定标结果偏低的现象和原理分析清楚,找到其根源,真正在业务的预处理过程中把定标做好,仍是需要深入研究的课题。

## 参 考 文 献

- 陈渭民. 1993. 卫星气象学. 北京: 气象出版社, 1-20
- 董超华, 章国材, 邢福源等. 1999. 气象卫星业务产品释用手册. 北京: 气象出版社, 1-15
- 韩蕾, 陈磊, 周伯昭. 2004. SGP4/SDP4 模型用于空间碎片轨道预测的精度分析. 中国空间科学技术, 24(4): 65-71
- 胡秀清, 戎志国, 邱康睦等. 2001. 利用青海湖对 FY-1C、FY-2B 气象卫星热红外通道进行在轨辐射定标. 空间科学学报, 21(4): 370-380

- 戎志国, 张玉香, 陆风等. 2005. FY-2B 与 NOAA 卫星红外通道的相对定标. *气象学报*, 63(4): 485-492
- 韦栋, 赵长印. 2009. SGP4/SDP4 模型精度分析. *天文学报*, 50(3): 332-339
- EUMETSAT. 1999. Operational calibration practices at EUMETSAT // 27th Meeting of the Coordination Group for Meteorological Satellites. Beijing: Coordination Group for Meteorological Satellites, B. 9-B. 12
- Gunshor M M, Schmit T J, Menzel W P, et al. 2006. Intercalibration of the newest geostationary imagers via high spectral resolution AIRS data // 14th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography. Boston: Amer Meteor Soc, P6. 13
- Gunshor M M, Schmit T J, Menzel W P, et al. 2009. Intercalibration of broadband geostationary imagers using AIRS. *J Atmos Ocean Technol*, 26(4): 746-758
- JAPAN. 1999. Operational calibration practices of GMS-5 // 27th Meeting of the Coordination Group for Meteorological Satellites. Beijing: Coordination Group for Meteorological Satellites, B. 13-B. 16
- Tobin D C, Revercomb H E, Moeller C C, et al. 2006. Use of atmospheric infrared sounder high-spectral resolution spectra to assess the calibration of moderate resolution imaging spectroradiometer on EOS Aqua. *J Geophys Res*, 111: D09S05, doi: 10.1029/2005JD006095
- USA. 1999. Inter-calibration of geostationary (GOES, METEOSAT, GMS) and polar-orbiting (HIRS and AVHRR) infrared window radiances // 27th Meeting of the Coordination Group for Meteorological Satellites. Beijing: Coordination Group for Meteorological Satellites, B. 29-B. 34
- Wang L K, Cao C Y, Goldberg M. 2009. Intercalibration of GOES-11 and GOES-12 water vapor channels with Metop IASI hyperspectral measurements. *J Atmos Ocean Technol*, 26(9): 1843-1855
- Yoshihiko T, Koji K. 2009. New spectral compensation method for intercalibration using high spectral resolution sounder. *Meteor Satellite Center Tech Note*, (52): 1-37