

文章编号:1001-9014(2009)03-0188-06

# 利用大洋浮标数据和 NCEP 再分析资料对 FY-2C 红外分裂窗通道的绝对辐射定标

张勇<sup>1,2</sup>, 李元<sup>1</sup>, 戎志国<sup>1</sup>, 胡秀清<sup>1,2</sup>, 许健民<sup>1</sup>

(1. 国家卫星气象中心 中国遥感卫星辐射测量与定标重点开放实验室, 北京 100081;

2. 中国科学院遥感应用研究所 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101)

**摘要:**介绍利用大洋浮标数据和 NCEP 再分析资料对 FY-2C 红外分裂窗通道进行在轨绝对辐射定标的方法,并选择了 2006 年 10 个时次的卫星数据进行辐射定标试验. 将利用这种方法获得的定标结果与 FY-2C 卫星数据产品中提供的定标查找表进行比较分析,结果表明两套不同的定标系数反演的大气层顶(TOA)亮度温度的主要差别集中在云顶、冰雪覆盖区域等低温像元;而在常温区的陆表和海面像元定标结果差别较小,反演的 TOA 亮温差在 2K 左右. 提出的替代定标方法可以极大地提高定标频次,为实现 FY-2C 红外分裂窗通道的实时绝对辐射定标提供了重要的方法基础.

**关键词:**遥感;辐射定标;大洋浮标数据;NCEP 再分析资料;分裂窗通道

**中图分类号:**TP732.2 **文献标识码:**A

## ABSOLUTE RADIOMETRIC CALIBRATION OF FY-2C INFRARED SPLIT-WINDOW CHANNELS BY USING SEA BUOY DATA AND NCEP REANALYSIS DATA

ZHANG Yong<sup>1,2</sup>, LI Yuan<sup>1</sup>, RONG Zhi-Guo<sup>1</sup>, HU Xiu-Qing<sup>1,2</sup>, XU Jian-Min<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Radiometric Calibration and Validation for Environmental Satellites,

China Meteorological Administration, Beijing 100081, China;

2. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Jointly Sponsored by the Institute of Remote Sensing Applications of Chinese Academy of Sciences and Beijing Normal University, Beijing 100101, China)

**Abstract:** A method of absolute radiometric calibration for FY-2C infrared split-window channels by using sea buoy data and NCEP reanalysis data was introduced. In 2006, ten times remote sensing data were selected to obtain the radiometric calibration coefficients. The calibration results obtained from this new method were compared with the product brightness temperature provided by FY-2C. The results show that the biggest differences of the brightness temperatures at the top of atmosphere (TOA) obtained from these two suits of calibration coefficients are mainly located at the low surface temperature pixels, such as the top of clouds and snow covered areas, however, the calibration differences are small in the normal temperature pixels of land and sea surface areas, and the differences of TOA brightness temperature are mainly around 2K. This new vicarious calibration method can increase the calibration frequency and provide a methodological foundation for the real-time radiometric calibration of FY-2C infrared split-window channels.

**Key words:** remote sensing; radiometric calibration; sea buoy data; NCEP reanalysis data; split-window channels

### 引言

遥感传感器的绝对辐射定标是仪器计数值与其所反映的地表真实参数之间的桥梁,是遥感信息定量化的开端,又是遥感定量反演地表生物物理参数

和建立遥感模型的基础. 静止轨道气象卫星热红外通道的实时绝对辐射定标目前在国内外还都还没得到很好的解决,而它又直接影响到静止卫星热红外通道定量化应用水平. 我国遥感卫星的星上定标系统开发总体相对滞后,尤其是热红外通道星上定标装

收稿日期:2008-02-24,修回日期:2008-11-07

Received date: 2008-02-24, revised date: 2008-11-07

基金项目:国家自然科学基金项目(40701118)、国家“863”计划项目(2007AA12Z145)和遥感科学国家重点实验室开放基金项目共同资助

作者简介:张勇(1977-),男,陕西镇巴人,国家卫星气象中心助理研究员,博士,主要从事定量遥感、遥感传感器辐射定标和热红外遥感的理论和应用研究.

置研制比较欠缺,由于卫星平台和星载仪器设计上的限制,导致目前在轨运行的热红外有效载荷星上黑体定标光路还是后光路插入,无法满足绝对辐射定标的要求<sup>[1,2]</sup>。并且针对星上黑体的国家标准和精度指标测试还不完善,红外定标总体精度评价比较模糊。另外,由于我国实验遥感力量投入少、实验场地类型不全、基础研究薄弱、学科交叉不够,严重影响了系统的理论和技术原始创新与全量化的发展。虽然在辐射场地定标方面,已经初步建成了敦煌陆地定标试验场和青海湖水面定标试验场,并分别针对我国的 FY-1C、FY-1D、FY-2B、FY-2C、FY-2D 气象卫星、HY-1、HY-2 海洋卫星、CBERS-1、CBERS-2 资源卫星和神州号飞船遥感器等卫星开展了场地外定标方法试验<sup>[2]</sup>,但由于进场次数和天气条件的限制,仅局限于部分遥感器的校正工作,而且所用的校正方法偏少、试验场气候条件也不理想,远不能满足实际应用的需要<sup>[1,2]</sup>。目前主要利用国外的卫星传感器(如 NOAA/AVHRR, MODIS, AIRS)对我国的气象卫星(FY-1C/1D 和 FY-2B/2C)和资源卫星(CBERS-1/2)传感器进行交叉定标<sup>[2-7]</sup>,取得了较好的结果。但是交叉定标方法对参考传感器和被定标传感器之间的通道设置、通道光谱响应函数、空间分辨率、过境时间、回访周期、几何配准精度等方面有严格要求,实施的门槛高;并且定标精度极大地依赖于参考传感器自身的绝对辐射定标精度<sup>[2]</sup>。这些都直接影响了卫星数据的预处理工作、标准产品的生产;缺少被测物理参数真实性检验,减低数据产品可靠性和应用,不能为应用提供模式或算法。因此,探索新的定标方法对静止卫星进行替代定标势在必行。

FY-2C 地球静止轨道气象卫星于 2004 年 10 月 19 日发射升空,10 月 24 日定点于东经 104.5 度赤道上空,并在轨正常运行至今,目前该卫星已经投入业务化运行。FY-2C 卫星上搭载了一台 5 通道扫描辐射计(MCSR),它是通过卫星自旋结合光机步进扫描获取地球目标辐射图像的多波段成像系统。MCSR 具有一个可见光、两个长波红外、一个中波红外和一个水汽共五个光谱通道,可实现同时对地观测,特别是对快速变化的天气现象进行多时次连续监测,提供地球目标白天可见光图像、昼夜红外图像和水汽分布图。风云二号 02 批卫星(C、D、E 星)MCSR 是 01 批(A 星和 B 星)辐射计的改进型,其光谱通道从 3 个增加到 5 个,主要技术指标有明显改进。

表 1 FY-2C 红外分裂窗通道基本参数列表

Table 1 Basic parameters of FY-2C infrared split-window channels

通道编号	探测波段( $\mu\text{m}$ )	动态范围(K)	量化等级	空间分辨率(km)
IR1	10.30 ~ 11.30	180 ~ 330	10bits	5
IR2	11.50 ~ 12.50	180 ~ 330	10bits	5

本文针对 FY-2C MCSR 传感器红外分裂窗通道的绝对辐射定标展开研究工作,利用大洋浮标数据和 NCEP 再分析场数据实现该传感器对地观测常温目标的高频次实时绝对辐射定标。这两个通道的基本参数如表 1 所示。

## 1 定标原理和流程

在 8 ~ 14  $\mu\text{m}$  的热红外光谱范围内,由辐射传输理论可知,假定地表为朗伯表面,大气下行热辐射各向同性,卫星所接收到的光谱辐射是太阳光谱辐射、大气及地物目标三者相互作用的总贡献<sup>[8]</sup>。其主要包括三部分:第一部分为地物目标发射的热辐射,其大小由物体表面温度和发射率及目标与卫星之间的大气透过率决定;第二部分为地物目标对大气下行辐射、环境背景辐射和太阳入射中的热辐射部分的总辐射量的反射辐射,通常情况下太阳入射中的热辐射部分忽略不计;第三部分为地物目标与卫星之间的大气上行辐射,它与大气中吸收气体的含量和物理状态有关。因此,卫星入瞳处分谱的热辐射可以表达为:

$$L_{TOA}(\lambda) = [\varepsilon(\lambda)L_{BB}(\lambda, T_s) + (1 - \varepsilon(\lambda))L_{atm}^{\downarrow}(\lambda)]\tau_{atm}(\lambda) + L_{atm}^{\uparrow}(\lambda) \quad (1)$$

式中,  $L_{TOA}(\lambda)$  为传感器接收到的光谱辐亮度,  $L_{BB}(\lambda, T_s)$  为地表真实温度  $T_s$  所对应的黑体辐亮度,  $\varepsilon(\lambda)$  为地表发射率,  $\tau_{atm}$  为大气透过率,  $L_{atm}^{\downarrow}(\lambda)$ 、 $L_{atm}^{\uparrow}(\lambda)$  分别为大气下行和上行辐射。

由于海水表面可近似为黑体,发射率近似为 1。因此,式(1)可以表达为:

$$L_{TOA}(\lambda) = \tau_{atm}(\lambda)L_{BB}(\lambda, T_s) + L_{atm}^{\uparrow}(\lambda) \quad (2)$$

将传感器入瞳处的分谱辐亮度  $L_{TOA}(\lambda)$  与传感器热红外通道光谱响应函数  $f_{res}(\lambda)$  进行卷积,就可以得到卫星某一通道入瞳处的通道等效辐亮度:

$$L_{eq} = \frac{\int L_{TOA}(\lambda)f_{res}(\lambda)d\lambda}{\int f_{res}(\lambda)d\lambda} \quad (3)$$

卫星通道  $i$  的通道辐亮度与该通道卫星计数值的 关系为:

$$L_{eqi} = a_i \cdot DN_i + b_i \quad (4)$$

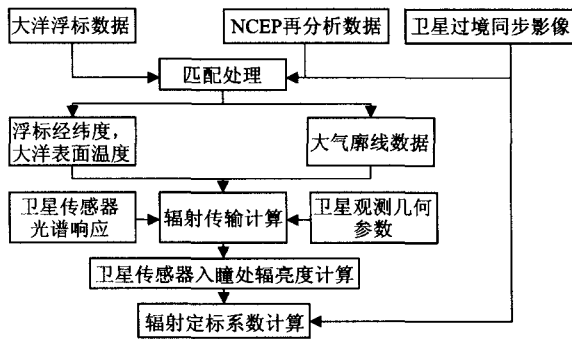


图1 绝对辐射定标流程图  
Fig.1 Flowchart of absolute radiometric calibration

式中,  $DN_i$  为卫星  $i$  通道计数值,  $a_i$  为卫星通道  $i$  的定标斜率,  $b_i$  为截距. 要得到定标系数  $a_i$  和  $b_i$ , 必须至少有两组  $L_{eqi}$  和  $DN_i$ .

FY-2C 红外分裂窗通道在轨绝对辐射定标流程如图 1 所示. 定标工作主要包括卫星同步影像获取、大洋浮标数据与卫星数据的匹配、NCEP 数据提取、MODTRAN 辐射传输计算和辐射定标系数确定等几部分.

## 2 定标数据处理

### 2.1 大洋浮标数据与卫星数据的匹配

对 2006 年 1 月 1 日, 8 月 18 ~ 24 日, 11 月 7 日, 11 月 16 日的大洋浮标资料与 FY-2C 红外分裂窗通道数据进行匹配, 选取无云区域的浮标点, 获取浮标的经纬度、大洋表面温度信息<sup>[9]</sup>, 同时从卫星数据上提取匹配点位的太阳天顶角和卫星方位角信息, 并对匹配点取周边  $3 \times 3$  窗口的 DN 值取平均. 由于 NCEP 全球再分析场资料是每天 4 个时次的数据, 分别在世界时 0:00, 6:00, 12:00 和 18:00 点, 因此, 在进行数据时间匹配时选择了对应时次的 FY-2C 卫星数据和海洋浮标资料进行匹配处理.

图 2 是对 8 月 18 ~ 24 日时间段内的数据按日期着色的匹配结果, 红色五角星是 FY-2C 卫星的定标点经纬度, 匹配结果主要分布于太平洋和印度洋地区. 按匹配点位洋面温度分类的匹配结果如图 3 所示.

### 2.2 NCEP 数据的提取和 MODTRAN 模拟

根据大洋浮标数据与卫星数据的匹配结果, 获取洋面匹配浮标点的经纬度信息, 根据经纬度从 NCEP 数据集中提取与匹配时间和空间相对应的 NCEP 大气再分析场的位势高度、温度廓线、湿度廓

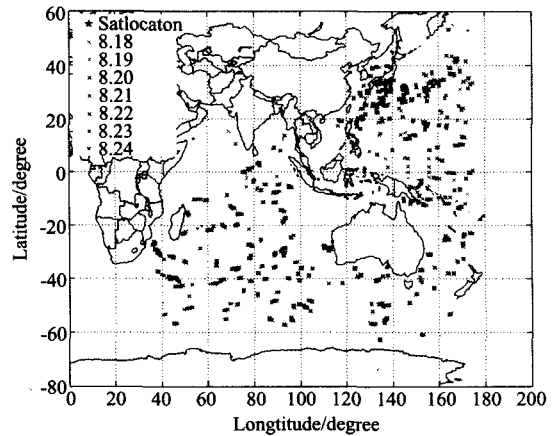


图2 按日期着色的匹配结果图  
Fig.2 Matching results map painted by date

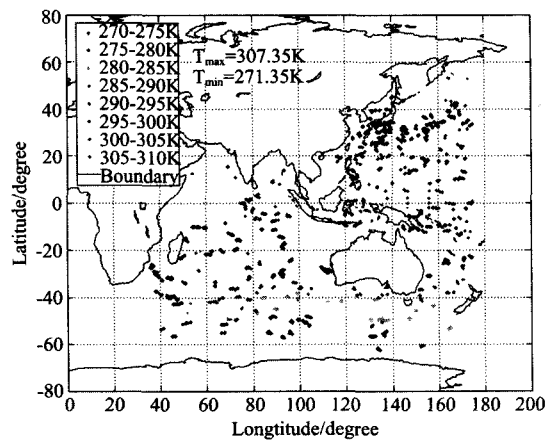


图3 按匹配点位洋面温度分类着色的结果图  
Fig.3 Matching results map painted by sea surface temperature

线和气压廓线数据. 其中, 位势高度和温度廓线为 17 层, 分别在气压 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10mb 位置; 湿度廓线为 8 层, 分别在气压 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300mb 位置<sup>[10]</sup>.

将传感器的通道响应函数、大气廓线数据以及卫星观测的天顶角和方位角等信息输入 MODTRAN 模型, 模拟获得每个匹配点上的大气层顶通道表观辐亮度.

### 2.3 定标结果

将 MODTRAN 模型输出的每个匹配点上的大气层顶通道表观辐亮度与从卫星数据上提取的 DN 值进行线性回归获取定标系数, 以 8 月 21 日定标直线为例说明, 如图 4、图 5 所示; 表 2 列出了全部 10 个时次的定标系数.

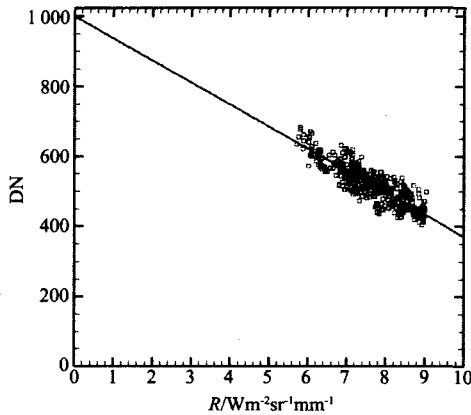


图 4 FY-2C IR1 通道辐射定标结果(以 8 月 21 日定标直线为例)  
Fig. 4 Calibration results of FY-2C IR1 (sampled by Aug. 21)

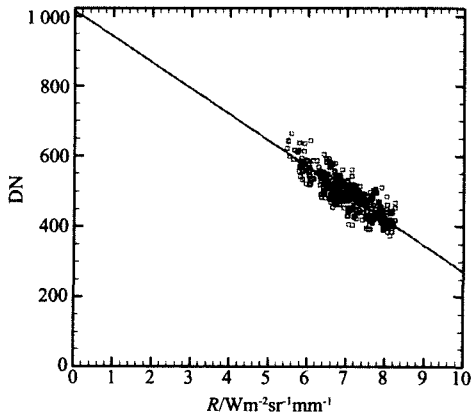


图 5 FY-2C IR2 通道辐射定标结果(以 8 月 21 日定标直线为例)  
Fig. 5 Calibration results of FY-2C IR2 (sampled by Aug. 21)

表 2 定标系数列表

Table 2 List of radiometric calibration coefficients

日期	IR1			IR2		
	斜率	截距	R <sup>2</sup>	斜率	截距	R <sup>2</sup>
20060101	-75.369	1085.3	0.7943	-81.140	1109.4	0.7863
20060818	-73.303	1079.3	0.7082	-86.530	1100.2	0.6706
20060819	-78.659	1126.8	0.7951	-79.462	1046.6	0.6601
20060820	-75.434	1098.3	0.7538	-89.940	1127.6	0.7319
20060821	-65.965	1024.7	0.7588	-76.550	1031.3	0.7283
20060822	-71.735	1065.8	0.7680	-84.461	1083.2	0.7404
20060823	-68.395	1031.7	0.7869	-78.400	1031.5	0.7296
20060824	-70.679	1051.3	0.8363	-81.327	1053.8	0.8050
20061107	-82.850	1155.7	0.8431	-96.613	1173.5	0.8337
20061116	-75.211	1085.3	0.8087	-87.043	1094.5	0.7841

### 3 定标结果分析与比较

#### 3.1 定标结果分析

将不同时间获取的两通道绝对辐射定标系数的变化情况制作曲线图,如图 6 所示,可以发现除了

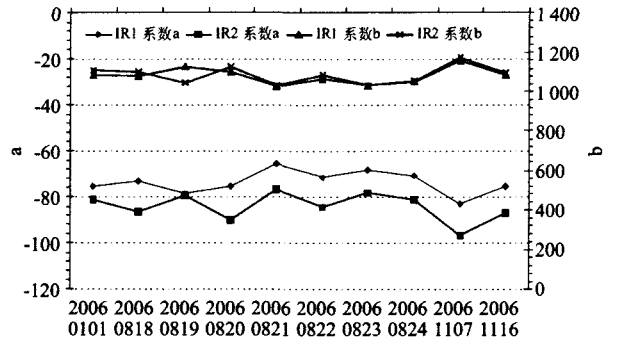


图 6 不同时间获取的定标系数变化曲线图  
Fig. 6 Diversified curves of calibration coefficients at different date

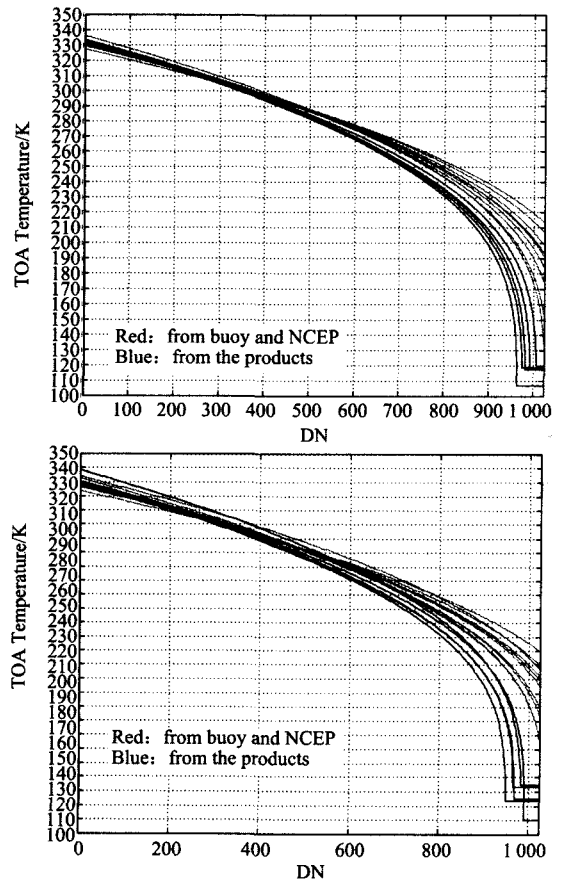


图 7 与产品提供的亮度温度查找表比较  
Fig. 7 Comparison of the TOA brightness temperature's look up tables

2006 年 8 月 19 日两通道的定标结果异常外,其它各时次获取的两通道定标系数 a,b 的变化趋势都基本相同。

通过图 6 可以看出,8 月 19 日两通道的定标结果与其它时次的结果存在差异.另外,从时间上来看,不同时次的定标结果之间存在较大波动,其中 8 月 21 日和 11 月 7 日的定标结果变化较大,这其中

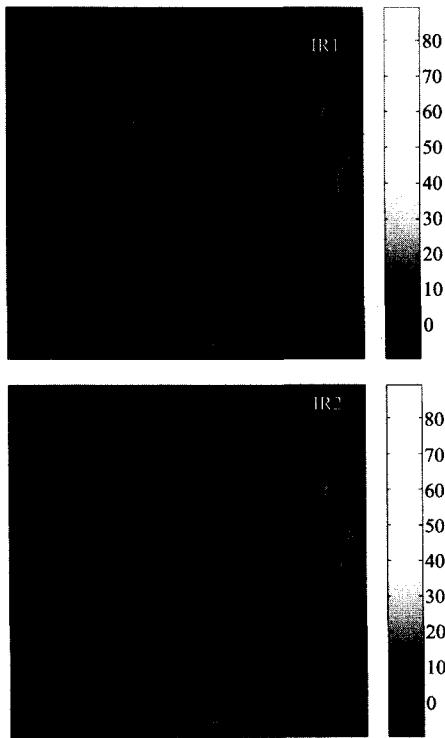


图 8 FY-2C 红外分裂窗通道亮温差值图象(单位:K)  
 Fig. 8 Brightness temperature difference maps of FY-2C infrared split-window channels (unit:K)

主要包含两方面因素的影响:仪器自身随着时间的推移发生的衰减和变化;由于匹配区域大,匹配点位多,加之定标靶区的云覆盖和地表类型的差异,导致的定标结果变化.

### 3.2 与 FY-2C 数据产品的定标结果比较

将利用大洋浮标数据与 NCEP 再分析资料进行定标获取的定标结果与产品提供的交叉定标结果进行比较,如图 7 所示.

从图 7 中可以看出,两种不同定标方法获取的定标结果存在较大差异,主要表现在观测目标的低温区. 产品提供的定标查找表在冷端都有饱和的现象,如图 7 中蓝色曲线所示. 利用两种不同定标方法获取的定标系数计算了 2006 年 8 月 20 日北京时间正午 12 时的 FY-2C 红外分裂窗通道的 TOA 亮度温度,并获取了两套定标系数反演的 TOA 亮温差值图像和直方图,如图 8,9 所示. 从图中可以看出两套定标系数反演的 TOA 亮温差别较大的区域主要集中在云顶的低温像元;而常温区的陆表和海表图像亮温差别较小,主要在 2K 左右.

对 FY-2C 分裂窗两通道 1023DN 值所对应的亮度温度与产品查找表中的亮温进行比较,结果如图 10,11 所示.

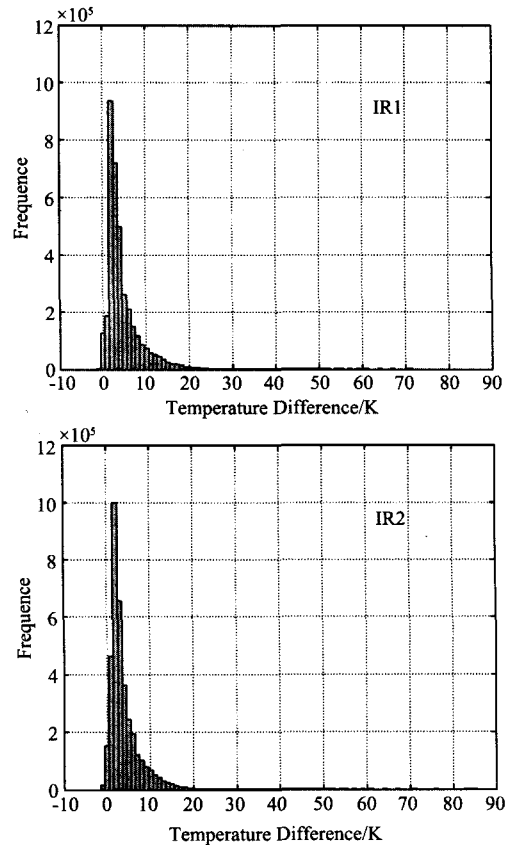


图 9 FY-2C 红外分裂窗通道亮温差值图像直方图  
 Fig. 9 Histogram of brightness temperature difference maps of FY-2C infrared split-window channels

从图 10,11 中可以看出不同定标方法获得的定标结果其冷端对应的亮温存在很大差别,有些时次温度差别在一倍以上,且利用大洋浮标数据和 NCEP 再分析资料进行定标,获取的冷端亮温普遍高于产品提供的定标结果. 分析其原因,主要是因为利用大洋浮标数据和 NCEP 再分析资料进行定标的方法,用海面作为定标靶区,其温度主要分布于常温段,缺少低温端控制;因此,将定标系数线性外推至冷端时会产生误差.

## 4 结论与讨论

利用大洋浮标数据和 NCEP 再分析资料对 FY-2C 热红外分裂窗通道进行辐射定标是对遥感卫星红外通道高频次替代定标方法的一次大胆尝试. 目前, FY-2C 数据产品提供的定标系数每周更新一次, 通过本文提出的替代定标方法, 可以将定标频次提高到每天, 甚至更高.

在轨场地辐射绝对定标需要有大量的人力、物力和财力投入, 定标频次低( 每年可以进行 1~2 次野外

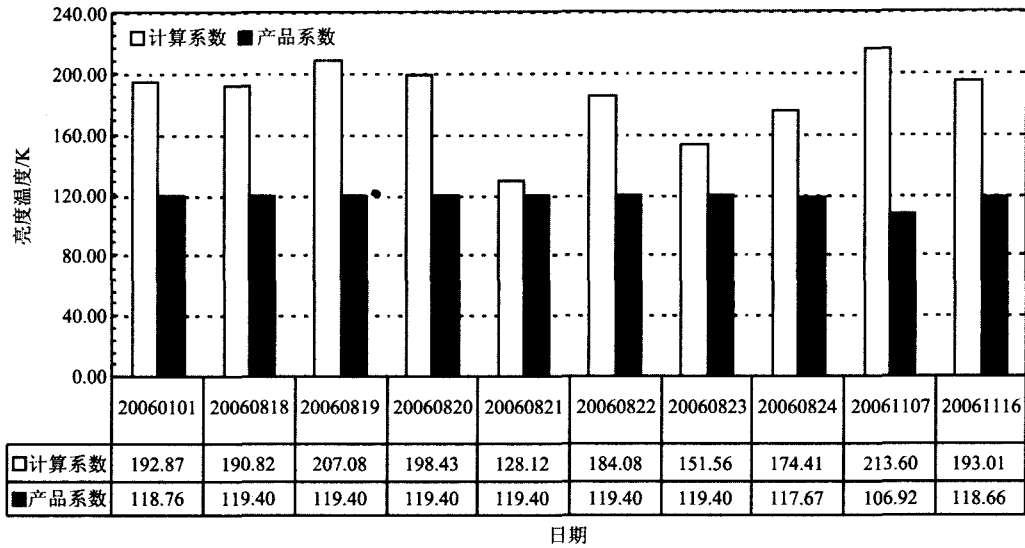


图 10 IR1 通道不同定标系数计算的 1023DN 值对应亮温比较

Fig. 10 Comparison of brightness temperatures corresponding to 1023 DN from different calibration results of IR1

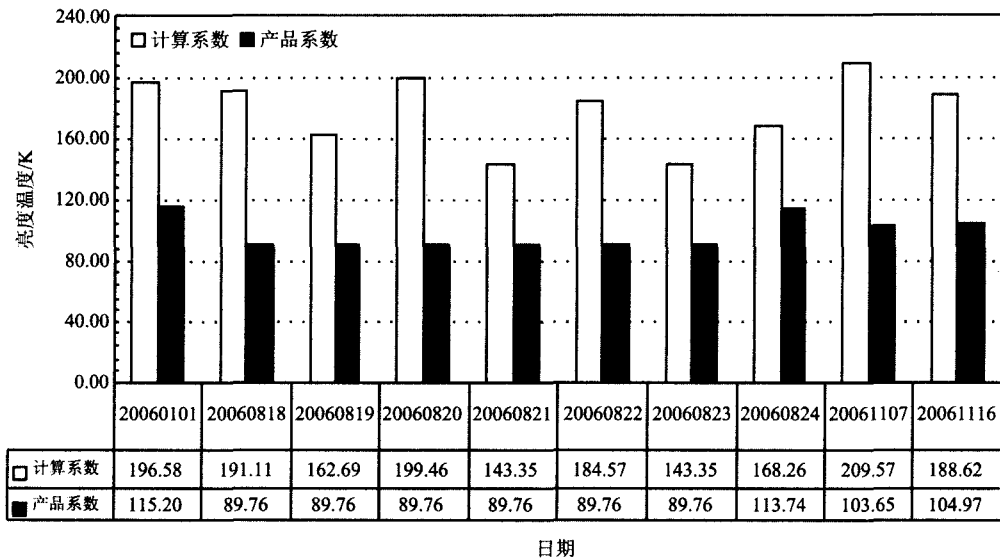


图 11 IR2 通道不同定标系数计算的 1023DN 值对应亮温比较

Fig. 11 Comparison of brightness temperatures corresponding to 1023 DN from different calibration results of IR2

试验),野外同步观测实验的工作量大,观测参数多,数据处理流程复杂,精度难以控制.与传统的在轨场地绝对辐射定标相比,本文提出的定标方法具有明显的优势:①利用大洋浮标资料获取海表辐亮度,利用 NCEP 再分析资料获取大气廓线数据,代替了场地辐射定标的野外测量工作,可以极大节省人力、物力和财力投入;②由于大洋浮标资料和 NCEP 再分析场资料具有很高的时间频次,每天可以达到 4 次以上,结合静止卫星数据,可以极大地提高定标频次.

通过本研究工作的结果,可以发现利用大洋浮标数据和 NCEP 再分析资料对遥感卫星红外通道替

代定标的方法,适用于地面常温目标为主的定量应用.对于像类似云顶、极区、冰雪覆盖区等目标的定量化应用,该方法的定标精度还有待进一步提高.在未来的研究工作中,需要将更多的低温端定标靶区数据引入定标数据流,增强对定标结果的低温端控制,从而进一步提高其精度,推广该方法的适用性.

致谢 NCEP Reanalysis data provided by the NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA, from their Web site at <http://www.cdc.noaa.gov/>

其中的误差也包括光在望远镜与目标之间的大气传输路径,它的折射率为 1.0.

#### 4 结论

通过平衡外差探测,在 600MHz 带宽下,获得了  $1 \times 10^{-10}$  W 的探测灵敏度;利用 DDS 技术,生成了 50 ~ 250MHz 的 chirp 信号,实现了距离向压缩;实验已经初步证明:距离向啁啾信号调制在发射光波振幅(强度)上,方位向多普勒频移反映在回波光波相位(频率)上,在处理距离向数据时不必考虑方位向的多普勒相位变化,距离向和方位向处理可以分开进行.方位向压缩难度很大,后期再报道其结果.

#### REFERENCES

- [1] Marcus S, Colella B D, Green Jr Thomas J. Solid-state laser synthetic aperture radar[J]. *Applied Optics*, 1994, **33**(6):960—964.
- [2] Green Jr Thomas J, Marcus S, Colella B D. Synthetic-aperture-radar imaging with a solid-state laser[J]. *Applied Optics*, 1995, **34**(30):6941—6949.
- [3] ZHU Lei, Huang Geng-Hua, Ouyang Jun-Hua, et al. Study on time interval measurement system in photon counting im-

(上接 193 页)

#### REFERENCES

- [1] ZHANG Yong, GU Xing-Fa, YU Tao, et al. Absolute radiometric calibration of CBERS-02 IRMSS thermal band[J]. *Science In China Series E* (张勇,顾行发,余涛,等. CBERS-02 IRMSS 传感器热红外通道综合辐射定标. *中国科学 E 辑 信息科学*), 2005, **35**(增 I):70—88.
- [2] ZHANG Yong. Study on thermal infrared remote sensors' absolutely radiometric calibrations [D]. Doctoral dissertation of Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Science (张勇. 遥感传感器热红外数据辐射定标研究. 中国科学院遥感应应用研究所,博士学位论文), 2006.
- [3] PENG Guang-Xiong, HE Yu-Hua, LI Jing, et al. Study on CBERS-2's CCD image cross calibration and atmospheric correction[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (彭光雄,何宇华,李京,等. 中巴地球资源 02 星 CCD 图像交叉定标与大气校正研究. *红外与毫米波学报*), 2007, **26**(1):22—25.
- [4] ZHANG Yong, GU Xing-Fa, YU Tao, et al. Radiometric cross-calibration of CBERS-02 IRMSS thermal channel[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (张勇,顾行发,余涛,等. 中巴地球资源卫星热红外通道的交叉辐射定标. *红外与毫米波学报*), 2006, **25**(4):261—266.
- [5] RONG Zhi-Guo, ZHANG Yu-Xiang, JIA Feng-Min, et al. On-orbit radiometric calibration of FengYun geostationary meteorological satellite's infrared channels based on sea-

aging lidar[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (朱磊,黄庚华,欧阳俊华,等. 光子计数成像激光雷达时间间隔测量系统研究. *红外与毫米波学报*), 2008, **27**(6):461—464.

- [4] WU Gang, LI Chun-Lai, LIU Yin-Nian, et al. Study on high resolution time interval measurement module in pulsed laser ranging system[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (吴刚,李春来,刘银年,等. 脉冲激光测距系统中高精度时间间隔测量模块的研究. *红外与毫米波学报*), 2007, **26**(3):213—221.
- [5] Yoshikado S, Aruga T. Feasibility study of synthetic aperture infrared laser radar techniques for imaging of static and moving objects[J]. *Applied Optics*, 1998, **37**(24):5631—5635.
- [6] Yoshikado S, Aruga T. Short-range verification experiment of a trial one-dimensional synthetic aperture infrared laser radar operated in the 10 $\mu$ m band[J]. *Applied Optics*, 2000, **39**(9):1421—1425.
- [7] Bashkansky M, Lucke R L, Funk E, et al. Two-dimensional synthetic aperture imaging in the optical domain[J]. *optics letters*, 2002, **27**(22):1983—1985.
- [8] Buell W, Marechal N, Buck J, et al. Demonstration of synthetic aperture imaging lidar[J]. *Proc. of SPIE*, 2005, **5791**:152—166.
- [9] Beck S M, Buck J R, Buell W F, et al. Synthetic-aperture imaging laser radar: laboratory demonstration and signal processing[J]. *Applied Optics*, 2005, **44**(35):7621—7629.
- [10] Karr T J. Synthetic aperture lidar for planetary sensing [J]. *Proceedings of SPIE*, 2003, **5151**:44—52.

surface measurements in the south China sea[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (戎志国,张玉香,贾凤敏,等. 利用南海水面开展我国静止气象卫星红外通道在轨辐射定标. *红外与毫米波学报*), 2007, **26**(2):97—101.

- [6] TONG Jin-Jun, ZHANG Yong, HU Bo, et al. Effect of ncep data on the absolute radiometric calibration for thermal infrared bands of fy2c in qinghai lake[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (童进军,张勇,胡博,等. 青海湖地区 NCEP 资料对云二号 C 星热红外通道绝对辐射定标影响研究. *红外与毫米波学报*), 2008, **27**(5):337—341.
- [7] RONG Zhi-Guo, QIU Kang-Mu, HU Xiu-Qing, et al. Comparison of pre-launch calibration in lab with the radiometric calibration in orbit for FY-2B meteorological satellite's IR channel[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (戎志国,邱康睦,胡秀清,等. FY2B 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**(6):408—412.
- [8] Hook S J, Kahle A B. The micro fourier transform interferometer—a new field spectrometer for acquisition of infrared data of natural surface[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1996, **56**:172—181.
- [9] Hansen D V, Poulain Pierre-Marie. Quality control and interpolations of WOCE-TOGA drifter data[J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1996, **13**:900—909.
- [10] Kalnay E, kanamitsu M, kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**,437—470.