

文章编号: 1007-4619 (2002)05-0328-06

利用青海湖水面辐射校正场对 FY-1C 气象卫星 热红外传感器进行绝对辐射定标

胡秀清, 戎志国, 邱康睦, 张玉香, 张广顺, 黄意玟

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘 要: 利用青海湖水面场 FY-1C 气象卫星热红外窗口通道进行绝对辐射定标, 由 CE312 野外热红外辐射计在水面测得辐亮度经大气订正传递到卫星入瞳处, 考虑到大气吸收削弱影响, 同时卫星观测路径大气产生热发射, 这两部分对卫星信号的贡献由探空廓线和卫星观测几何输入 MODTRAN37 计算出来。同时进行 CE312 野外辐射计与卫星通道光谱响应匹配计算, 最终得到卫星入瞳处的表观辐亮度。这个辐亮度与卫星通道的计数值比较得到该通道绝对定标系数。结果表明利用辐射校正场辐射定标与星上定标相差 5% 左右, 相当于 3K 的亮温差。

关键词: 替代定标; 光谱响应匹配; 辐射传输计算; 入瞳处辐亮度

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A

1 引 言

利用地面目标对卫星传感器进行在轨绝对辐射定标, 也称替代定标 (Vicarious calibration), 对于可见近红外到短波红外通道在国外已经十分普遍, 在国内经过对 FY-1C、FY-2B 及 CBERS-1 卫星传感器进行定标试验也已趋于成熟。Biggar^[1] 系统阐述了这一方法。但这一方法在热红外通道的应用首次由 Palmer^[2] 对 TM 传感器 6 通道进行试验, 结果与发射前定标相差 5%, 相当于 3.4K 的亮温差, Palmer 主要采用一台 Everest 130AL 红外辐射计以白沙场作为目标进行的。Slater^[3,4] 在 EOS 的定标计划时提到热红外通道替代定标的三种可行方法, 第一种方法是在卫星过境时利用定标好的辐射计测量定标场向上的辐亮度, 并在目标冷热时分别进行, 同时进行气象探空测量获取大气温湿压廓线, 由测量的定标场辐亮度和辐射传输计算出的大气影响, 推算出卫星通道入瞳处的表观辐亮度。第二种方法就是在 7km 高飞机平台上利用红外辐射计测量定标场辐亮度, 然后经过较小的大气订正得到入瞳处的表观辐亮度。

第三种方法测量定标场的辐亮度, 大气向下的辐亮度、近地面的相对湿度和地表发射率。Palmer 使用的是第三种方法。为了提高定标精度, Slater 还特别建议选择海拔较高面积较大温度均一的水面场, 如美国 Nevada 的 Tahoe 湖。

青海湖位于青藏高原东北部, 海拔为 3196m, 湖面广阔, 一般无大风大浪, 夏季湖面温度均一, 是一个天然均一红外目标。1994 和 1999 两次对青海湖综合考察表明, 青海湖的水面辐射特性和地区大气条件符合遥感卫星热红外通道定标条件。青海湖水面温度水平梯度小于 0.12°C, 说明水温分布十分均匀。青海湖地区属于较高寒半干燥草原气候, 海拔较高, 大气干洁, 卫星信号大气订正较小。由于这些有利条件, 青海湖被选为中国遥感卫星辐射校正场热红外定标场^[5]。这里利用青海湖这个近似均匀黑体作为定标热红外目标, 对 FY-1C 极轨气象卫星进行在轨卫星传感器热红外通道定标。

FY-1C 极轨气象卫星于 1999 年 5 月 10 日成功发射。它的可见近红外和热红外传感器在发射前都进行了完整实验室定标, 其中热红外通道传感器 (10.3—11.3 μm 、11.5—12.5 μm) 利用实验室黑体和

收稿日期: 2001-03-16; 修订日期: 2001-08-06

基金项目: 本研究得到重点卫星应用项目“中国遥感卫星辐射校正场”资助。课题编号: Y96#08-01-04。

作者简介: 胡秀清 (1973—), 男, 实习研究员, 毕业于南京大学大气科学系大气物理与大气环境专业, 现主要从事研究领域有: 大气辐射传输, 地物光谱和大气光学特性研究; 辐射校正场野外观测试验和数据处理; 遥感卫星传感器绝对辐射定标方法研究; 卫星遥感气溶胶算法研究和卫星遥感大气订正研究。发表论文和技术报告 10 余篇。

星内黑体进行发射前定标, 实标实验在模拟太空环境的真空罐里进行, 卫星传感器对着不同温度 (180K-340K) 黑体进行测量, 并测量模拟冷空间低温黑体 (90K), 由输出电压值或计数值与黑体辐亮度对应关系得出定标系数(斜率和截距)。当卫星发射入轨后, 由于发射的影响和空间工作的环境温度变化, 发射前的定标关系可能发生变化, 这要采用星上暖黑体和冷空间作为定标源, 得出新的定标系数, 这一过程每次观测都进行, 既可以检测卫星内部变化, 也为热红外通道提供实时定标数据。实标系数直接用于红外通道计数值向辐亮度和等效亮温转换。但是随着星上传感器和定标设备的老化, 星上定标的准确性和可靠性需要检验和修正, 于是提出了另一种独立的定标方法, 利用地面目标进行绝对辐射定标。

采用 Slater 提出第一种方法, 当 FY-1C 极轨气象卫星在青海湖上空过境时, 利用模拟卫星通道热红外辐射计 CE312 在湖面测得湖水向上辐亮度, 在经过大气订正, 计算出卫星入瞳处辐亮度。我们把这一目标的辐亮度和卫星计数值作为高点, 再利用卫星扫描冷空间作为一低点, 由这两点画定标曲线, 推出斜率和截距。试验证明这一定标方法不仅对卫星星上黑体定标的精度进行验证, 而且在星上定标出现偏差时或异常时, 是一个很好的补充。

2 定标原理

2.1 定标公式

地球观测卫星对地观测时, 卫星热红外辐射计入瞳处的单一波长 (在红外波段用波数 cm^{-1}) 辐亮度可表示为,

$$R_s(v) = R_w(v) \tau_a(v) + \int_0^{\infty} B[T(z)] \frac{\partial \tau_a}{\partial z} dz \quad (1)$$

R_w 为地面目标向上光谱辐亮度, 这里指青海湖水体光谱辐亮度, τ_a 为大气光谱透过率, $B[T(Z)]$ 为大气普朗克函数, 将光谱辐亮度与卫星光谱响应函数乘积积分, 就得到卫星某一通道 i 的辐亮度

$$R_{si} = R_{wi} \cdot \tau_{ai} + R_{ai} \quad (2)$$

R_{si} 是卫星入瞳处辐亮度, R_{wi} 为模拟卫星通道野外热红外辐射计 CE312 在水面测量的通道辐亮度, τ_{ai} 为卫星通道大气透过率, R_{ai} 为卫星观测路径大气程辐射。

卫星通道辐亮度与卫星计数值关系为,

$$R_{si} = G_i \cdot DC_i + I_i \quad (3)$$

DC_i 为卫星通道计数值, G_i 为卫星通道 i 定标斜率, I_i 为截距。要得到定标系数 G_i 和 I_i , 必须有两组 R_{si} 和 DC_i , 卫星观测青海湖和冷空间会得到两个计数值, 冷空间的辐亮度为 0, 青海湖目标的辐亮度正是下文要得到的量。

2.2 定标流程

FY-1C 卫星热红外通道定标流程如图 1。定标过程包括野外测量、卫星计数值提取、星地光谱响应匹配、辐射传输计算和定标系数推导等部分。

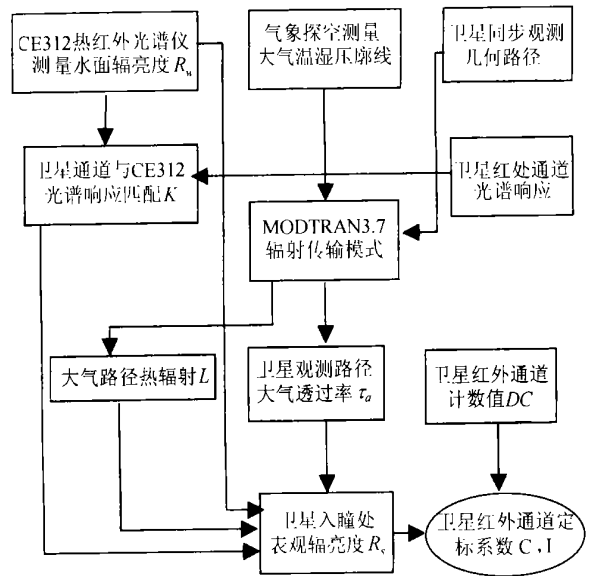


图 1 FY-1C 气象卫星热红外通道定标流程

Fig.1 Flow chart of calibration for TIR sensors of FY-1C Meteorological Satellite

2.3 星地光谱匹配

尽管水表辐亮度测量仪器 CE312 的通道是模拟卫星光谱通道, 但是它们的光谱响应不可能完全一致, 因而 CE312 测得水表辐亮度与卫星通道观测的水表辐亮度就会存在差异, 为了消除这一差异, 需要进行 CE312 和 FY-1C 对应通道的光谱匹配处理。卫星模拟辐射计 CE312 测量的同时, 我们还利用 BOMEN MR-154 热红外光谱仪测量水面的热红外光谱, 我们就将该水体红外光谱作为基准, CE312 和 FY-1C 对应通道的光谱响应分别为该水体红外光谱进行通道归一化, 得到各自通道的归一化辐亮度, 这两个仪器通道的归一化辐亮度的比值就作为它们的光谱匹配因子, 这一因子用于对 CE312 测得水表辐亮度进行修正。

图 2(图版 I) 显示 FY-1C 星 4、5 通道与 CE312 通道光谱响应对应情况。将 CE312 通道光谱响应与 MR-154 红外光谱仪测量青海湖水面红外光谱归一, 得到 CE312 通道辐亮度:

$$R_{CE} = \frac{\int L_M(\lambda) \cdot f_{CE}(\lambda) d\lambda}{\int f_{CE}(\lambda) d\lambda} \quad (4)$$

其中 L_M 为 MR-154 测量水面光谱辐亮度, $f_{CE}(\lambda)$ 为 CE312 通道光谱响应函数, FY-1C 卫星通道光谱响应与 MR-154 测量青海湖水面红外光谱归一化, 得到 FY-1C 通道上的辐亮度:

$$R_S = \frac{\int L_M(\lambda) \cdot f_S(\lambda) d\lambda}{\int f_S(\lambda) d\lambda} \quad (5)$$

$f_S(\lambda)$ 为 FY-1C 通道光谱响应函数, 星地光谱匹配因子

$$K = \frac{R_S}{R_{CE}} \quad (6)$$

FY-1C 卫星 4、5 通道星地光谱匹配因子分别为 1.03 和 1.01, 考虑星地光谱响应匹配, 卫星入瞳处的辐亮度计算公式(2)就变为:

$$R_{si} = k_i \cdot R_{wi} \cdot \tau_{ai} + R_{ai} \quad (7)$$

3 地基观测和辐射传输计算

3.1 水表和大气测量

热红外通道替代定标, 首先要精确测量定标目标青海湖水面向上辐亮度。在卫星过境前后一个小时利用 CE312 野外热红外辐射计测量青海湖水面向上辐亮度, 同时进行探空和地面气象要素观测。我们携带仪器乘船开出离岸边约十公里的湖面, 测量仪器包括野外热红外辐射计 CE312、BOMEN MR-154 热红外光谱仪和 M340 黑体源, 黑体源用来对两台热红外仪器进行现场定标 CE312 和 MR-154 同时对

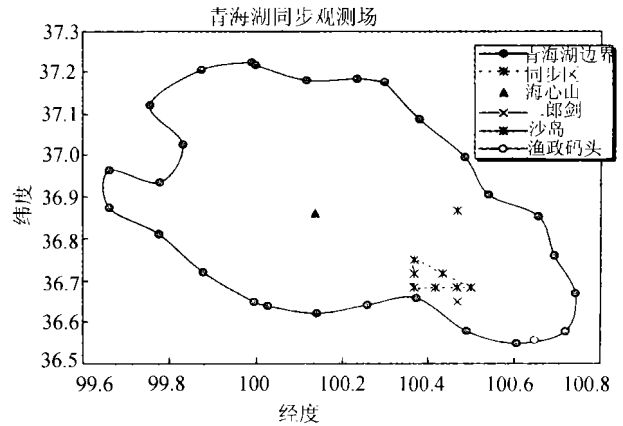


图 3 2000 年青海湖水表辐亮度测量航船路线示意图

Fig.3 Measurement route in Qinghai Lake August, 2000

水面目标进行水表辐亮度表测量。在测量水面目标前, 将黑体温度调至水面目标温度 $\pm 6K$ 内几个温度, 两台仪器分别对黑体源进行测量, 从而为两台仪器现场定标。定标测量完成后, 将辐射计头部用悬杆伸出到船体外测量未被航船破坏的水面, 测量在船头进行, 所有测量都重复多次进行。测量分走航和停船定点测量两种测量, 船航行路线和停船点如图 3 所示。整个同步观测过程在卫星过境前后一个小时内完成, 由水表温度计测量水体表层温度显示: 水表温度在同步观测前后 1 小时变化在 $0.2K$ 以内, 所以将卫星过境前后 30 分钟测量结果平均作为卫星过境时刻水表辐亮度。表 1 列出 2000 年 8 月 CE312 辐射计在青海湖卫星过境前后测得水表辐亮度。

星地同步观测时, 在青海湖岸边鱼政码头释放探空气球, 测得大气温湿压风阔线, 除了每天 7:00 和 19:00 两次常规气象探空外, 在卫星过境时刻加密一次探空。同时岸边和航船上进行半小时间隔地面常规气象要素观测, 并且用表层水温度计测量表层水体温度。这些测量结果既用于辐射传输模式输入参数, 又可以将辐射计测量亮温与表层水温进行比较。

表 1 卫星过境前后 CE312 各通道在青海湖测量水表辐亮度平均值

Table 1 Radiance of Water surface in Qinghai Lake measured by CE312 when FY-1C overpass

日期	时间	CE312 测量辐亮度 $mW/(m^2 \cdot sr \cdot cm^{-1})$		
		10.3-11.3 μm	11.5-12.5 μm	10.5-12.5 μm
8月24日	10:00	93.8729	108.8188	102.2721
8月26日	9:32	94.1652	109.2763	102.4378
8月26日	20:55	94.3492	109.4205	102.5011
8月28日	10:30	93.8439	108.7361	102.1222
8月30日	10:30	93.4718	108.1598	101.5110

3.2 大气透过率和大气程辐射计算

利用辐射传输模式,输入卫星过境时刻大气探空数据和卫星观测几何路径,便可以计算出卫星观测路径大气透过率和大气程辐射。这两项直接影响卫星观测地面目标信号,这里我们选用 MODTRAN3.7 进行大气透过率和大气程辐射计算。

MODTRAN 是中分辨率大气辐射传输模式,它是 LOWTRAN⁷ 的改进版,光谱分辨率由 20cm^{-1} 提高 2cm^{-1} 。它覆盖的光谱范围是 $0-22600\text{cm}^{-1}$ ($0.44\mu\text{m}-\infty$),吸收带模式参数从最新 HITRAN⁹⁶ 计算而来。MODTRAN 和 LOWTRAN⁷ 主要在计算分子透过率方法上有较大不同,LOWTRAN 采用单参数带模式加上几种不同光谱间隔的分子密度尺度函数。MODTRAN 带模式使用三个与温度相关参数:吸收系数、线密度参数和平均线宽。MODTRAN 的关键输入参数有:边界层温度、探空廓线、地面能见度、地面海拔、几何路径、计算波长位置等。

我们将卫星过境时的大气探空廓线和卫星观测几何输入 MODTRAN3.7 模式,然后将 MODTRAN 3.7 输出的分谱大气透过率和大气程辐射与 FY-1C 通道光谱响应进行卷积,得到 FY-1C 热红外 4、5 通道的大气透过率和大气程辐射。图 4(图版 I)显示用

MODTRAN3.7 计算出 2000 年 8 月 24 日 FY-1C 观测路径大气透过率和大气程辐射。图中显示大气在热红外窗区气体吸收和热发射随波长的变化情况。表 2 列出 FY-1C 第 4、5 通道的大气透过率和大气程辐射值。我们从计算结果中发现,大气透过率与大气程辐射有着明显的反比关系:卫星天顶角越大,大气路径越长,透过率越小,大气程辐射越大。大气中的水汽量是长波窗区主要大气影响因子,它对热红外辐射既有较强的吸收,同时产生热发射,从探空廓线相对湿度积分得出大气柱水汽总量得知:8 月 24 日和 26 日大气透过率和大气程辐射的不同主要是由于大气中的水汽量不同造成的。

3.3 入瞳处辐亮度与亮温

计算出大气透过率和大气程辐射,知道水表辐亮度和光谱匹配因子,利用公式(7)就可以计算出卫星入瞳处的辐亮度,由辐亮度和通道中心波数依据普朗克函数得到通道亮温。表 2 列出了 FY-1C 红外卫星通道在 2000 年 8 月 3 次星地同步观测时刻入瞳处的辐亮度及亮温。从入瞳处的辐亮度及亮温看,3 次星地同步观测时刻变化很小,这不仅证实青海湖是一个很好的热红外定标目标,而且表明了此次绝对辐射定标自身的一致性。

表 2 FY-1C 卫星通道 2000 年 8 月星地同步观测时刻入瞳处的辐亮度及亮温

Table 2 Apparent Radiance and Brightness Temperature in Qinghai Lake of FY-1C channels calculated by MODTRAN 3.7

日期	FY-1C CH4				FY-1C CH5			
	大气透过率	大气程辐射	辐亮度 $\text{mW}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1}$	亮温 K	大气透过率	大气程辐射	辐亮度 $\text{mW}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1}$	亮温 K
8.24	0.903681	7.00282	94.3790	287.0470	0.834799	13.8634	105.6147	285.6260
8.26	0.92342	5.50569	95.0681	287.5007	0.864712	11.3421	106.7828	286.3696
8.26 晚	0.925713	5.44379	95.4041	287.7217	0.867054	11.2638	107.0856	286.5611

4 定标系数确定和误差分析

4.1 卫星计数值获取

经过大气订正,将水表辐亮度传递到卫星入瞳处,得到卫星入瞳处通道表观辐亮度后,只有得到卫星计数值才能推出定标系数。卫星计数值的提取时,要确保提取区域为基水地同步观测区。经过精确定位,我们选择同步观测中心区(东经 36.783° ,北纬 100.399°),向四周扩展 10 个像素点,也就 20×20 个像素点区域计数值取平均为卫星通道计数值。同

时我们提取卫星通道扫描冷空间计数值。我们在青海湖做了 3 次同步测量(8 月 24、26 白天,8 月 26 日晚),在提取卫星计数值时,我们发现 8 月 26 日晚间 FY-1C 星同步区域计数值非常不均匀,再看原始热红外图像发现同步观测区域有少量薄云存在,同步观测区计数值明显偏大,所以 8 月 26 日晚间数据不能用做热红外通道定标。其它几次同步观测期间青海湖上空均无云,可以用来定标计算。图 5(图版 I)显示 8 月 24 日青海湖地区 FY-1C 图像,从图像中可见表海湖东南大部分区域无云,且湖面均匀性很好。

4.2 定标斜率和截距

由青海湖和冷空间两个目标的辐亮度和计数值,利用公式(3)就可以推出卫星通道定标系数,表3列出FY-1C卫星2000年8月两次有效定标结果。从结果看出这两天定标的斜率和截距非常接近。尽

管8月24日和8月26日两天大气中的水汽量不同,而且这两次卫星过境时观测天顶角也有差异(24日为 1.11° ,26日为 3.59°),即大气路径不同,反映在卫星计数值上也有差别,但通过我们的大气订正基本克服了大气对卫星信号的影响,最终这两天的定标系数十分接近。

表 3 2000 年 8 月 FY-1C 卫星利用青海湖目标的替代定标得到的定标斜率和截距
(斜率 $\text{mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1})/C$, 截距 $\text{mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1})$)

Table 3 Calibration coefficient, slope and intercept of 4 and 5 channels of FY-1C by vicarious calibration using Qinghai Lake August, 2000

日期	FY-1C CH4		FY-1C CH5	
	斜率	截距	斜率	截距
2000-8-24	-0.1862	187.6411	-0.2096	210.8102
2000-8-26	-0.1860	187.5317	-0.2077	208.9951

4.3 误差分析

从我们的定标流程看,对最终定标系数可能带来误差主要环节包括:水表辐亮度测量误差、光谱匹配误差、大气辐射传输计算精度、卫星计数值获取和冷空间处理。水表辐亮度测量误差直接带入到卫星入瞳处辐亮度,它的测量精度直接影响最终精度。地面模拟辐射计和卫星传感器光谱响应差异不能忽略,考虑和不考虑星地光谱匹配因子最终会带来1K的亮温差。大气辐射传输计算精度会影响大气透过率和大气程辐射,大气对卫星信号影响因子主要是水汽,MODTRAN辐射传输模式计算基本满足精度要求。我们这里采取定标公式(3)是假设卫星热红外通道观测的辐亮度与计数值为线性关系,用冷空间和水面两点画定标曲线,其实热红外通道的非线性问题在NOAA/AVHRR^[6]和GOES^[7]卫星定标都有所考虑。表4列出了FY-1C热红外通道1999年、2000年星上定标与2000年绝对定标比较,表中还列

出了利用星上定标和替代定标系数推算出卫星观测到青海湖水面亮温。从表中可以看出FY-1C热红外通道星上定标结果2000年与1999年相差较大,而且地面遥测到星上黑体温度从1999年7月的280K增加到2000年9月近290K,说明星上的热环境发生了较大变化,星上定标可能会存在偏差。利用青海湖进行的替代定标结果与星上定标结果相比,斜率低5%左右,截距高5%左右,湖面亮温高3K左右。1999年FY-1C星在轨测试报告中指出:FY-1C探测到渤海亮温比同期NOAA-15低1.5K左右。2000年8月24、26日FY-1C过境时刻温度计测量的水表温度平均值都为289K左右,如果假设星上定标准确,FY-1C卫星4通道观测的亮温与水表温度相差4-5K,5通道得到的亮温比水表温度低6-8K,即大气的影 响 会 达 到 4-8K,这 对 于 无 云 大 气 来 说 大 气 影 响 偏 高。以上事实说明FY-1C星上黑体定标结果可能偏低,我们利用青海湖进行的替代定标具有更可信的结果。

表 4 FY-1C 热红外通道 1999 年和 2000 年星上定标与 2000 年替代定标比较

Table 4 Calibration Result comparing on-board calibration with vicarious calibration of FY-1C

日期	FY-1C CH4			FY-1C CH5		
	斜率	截距	湖面亮温/K	斜率	截距	湖面亮温/K
1999 星上定标						
1999-07-29	-0.14503	145.69119		-0.14954	151.2185	
1999-07-30	-0.14551	146.08112		-0.15005	152.0204	
2000 星上定标						
2000-08-24	-0.1773	178.7641	284.060	-0.1911	194.3422	281.0740
2000-08-26	-0.1781	179.6024	284.978	-0.1931	196.3249	282.9724
2000 绝对定标						
2000-08-24	-0.1862	187.6411	287.047	-0.2096	210.8102	285.6260
2000-08-26	-0.1860	187.5317	287.500	-0.2077	208.9951	286.3696

5 结 语

利用青海湖水面辐射校正场对FY-1C气象卫星热红外通道传感器进行替代定标进行了初步探索和试验,结果表明替代定标与星上定标相差5%左右,相当于3K的亮温差。比较分析认为利用地面目标进行替代定标方法可行,定标结果可信,并初步判断FY-1C星上黑体定标可能偏低。试验证明替代定标法既可以对星上定标结果进行检验和验证,也可以在星上定标出现异常时作为有效补充。如何将辐射校正场替代定标和发射前定标以及星上定标结合起来,分析各自优缺点和精度误差是值得深入研究的课题。

致谢:本项研究和试验是在辐射校正场办公室的组织 and 领导下完成的,并得到诸多兄弟单位大力协助和帮助,青海省气象局进行探空观测和后勤保障,中科院安徽光机所、海洋局天津海洋技术物理研究所等单位同志为试验数据获取提供了极大帮助。本次试验还得到国家科技部等上级领导的关心和支持,并到现场视察和指导工作。卫星研制部门上海技术物理研究所一同参加了本次试验工作。在此表示感谢。

参 考 文 献 (References)

- [1] Biggar S F. In-flight methods for satellite sensor absolute radiometric calibration [D]. the dissertation of PhD. 1990, The University of Arizona, Tucson, US.
- [2] Palmer J M. Calibration of satellite sensors in the thermal infrared[C]. Proc. SPIE, 1993. 1762;108-117.
- [3] Slater P N, Biggar S F, Thome K J, Gellman D I, and Spyak P R. Vicarious radiometric calibrations of EOS sensors [J]. J. of Atmospheric and Oceanic Technology, 1996. 13(2);. 349-359.
- [4] Slater P N, Thome K J, Arai K, Fujisada H, Kieffer H H, Ono A, Sakuma F, Palluconi F D, Yamaguchi Y. Radiometric calibration of ASTER data [J]. Japanese Journal of Remote Sensing, 1995. 15; 16-23.
- [5] Hu X Q, Zhang Y X, Liu Z Q, Zhang G X, Huang Y B, Qiu K M, Wang Y K, Zhang L J, Zhu X B, Rong Z G. Optical characteristics of China Radiometric Calibration Site for Remote Sensing Satellite Sensors (CRCSRSS) [C]. SPIE Proceeding, 2000. 4151;77-86.
- [6] NOAA KLM User's Guide: Section 7; Calibration of NOAA KLM Instruments [N]. From homepage: <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/>. 2000. 9.
- [7] Michael W, Michael J, Fulton N., Chen Y., Johnson J. X., Bremer J., Smith C., and Baucom J. Operational calibration of Geostationary Operational Environmental Satellite-8 and -9 imagers and sounders [J]. Applied Optics, 1997, 36; 6895-6904.

In-Flight Radiometric Calibration for Thermal Channels of FY-1C Meteorological Satellite Sensors Using Qinghai Lake, Water Surface Radiometric Calibration Site

HU Xiu-qing, RONG Zhi-guo, QIU Kang-mu, ZHANG Yu-xiang, ZHANG Guang-shun, HUANG Yi-bin
(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China)

Abstract: This Paper describe that in-flight radiometric calibration for thermal channels of FY-1C meteorological satellite sensors using Qinghai lake, water surface radiometric calibration site. The radiance of water surface measured by CE312, and then performed atmosphere correction including gas absorption and path radiance which computed by radiative transfer code MODTRAN³⁷, predict the radiance in the satellite sensor entrance pupil. At the same time the spectral response of Satellite sensor and that of ground-based sensor are coupled. At last the apparent radiance of sensor spectral channels are compared to the digital count of satellite's output to give the calibration coefficient. The result show the difference between in-flight and on-board calibration is about 5%, equivalent to a brightness temperature of 3 K.

Key words: vicarious calibration; spectral response match; radiative transfer calculation; apparent radiance

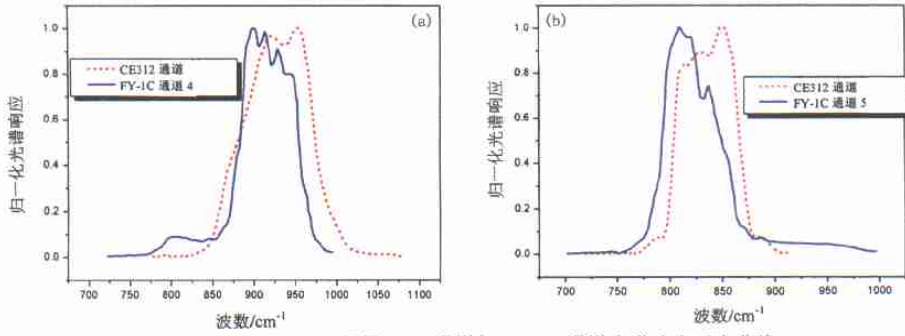


图 2 FY-1C 卫星 4、5 通道与 CE312 通道光谱响应对应曲线



图 3 CE312 在青海湖水面测量水表热红外辐亮度

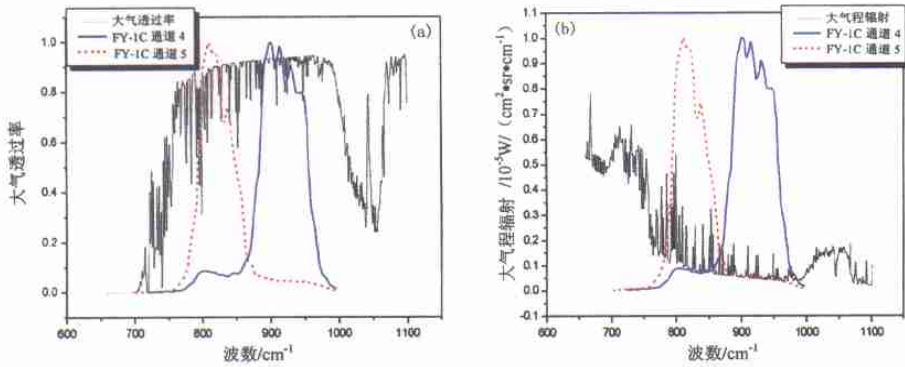


图 5 用 MODTRAN3.7 计算出 2000-08-24 FY-1C 观测路径大气透过率和大气程辐射



(a) 可见光合成图像 (b) 通道 4 图像 (c) 通道 5 图像

图 6 2000-08-24 09:52(北京)FY-1C 观测青海湖地区图像