

# 机载成像光谱仪的外定标方法\*

张玉香 张广顺 邱康睦 王志强 张立军

(国家卫星气象中心,北京 100081)

## 提 要

该文描述了基于反射率方法的机载中分辨率成像光谱仪(AMODIS)外定标方法. 可见光和近红外波段的17个通道定标结果表明,成像光谱仪两个飞行高度测值的外定标系数是非常吻合的,其相对差为0.19%~3.89%;成像光谱仪关于草地航测的反演值与地面实测值比较,结果也是比较接近的.

关键词:外定标 反射率测量 辐射传输

## 引 言

随着对地观测卫星资料的定量化应用,越来越重视卫星遥感器的在轨绝对定标以及卫星遥感资料的辐射校正. 自90年代初以来我们开始了对地遥感卫星外定标方法的调研工作. 1995年9月13日,机载成像光谱仪在大青山进行了模拟飞行试验. 在此期间,利用飞行和地面同步测量数据对成像光谱仪进行了初步的外定标方法研究.

## 1 定标方案

图1给出了AMODIS定标流程. 这次外定标方案采取反射率基方法<sup>[1,2]</sup>,选取内蒙古包头机场作为外定标试验场,当机载成像光谱仪飞过其上空对地测量时,在停机坪(定标测试场)和草坪(检验测试场)准同步进行场地反射比和场地上空整层大气透过率测量、场地附近加密探空观测以及天气和环境参数收集,并进行测点定位. 根据飞机过场时太阳的几何位置和机上、地面仪器的视场角,测量仪器的光谱响应等,进行机上和地面测值的几何配准、光谱及时间的匹配等工作,通过大气辐射传输计算正演出到达飞机飞行高度成像光谱仪入瞳处各光谱通道的辐亮度,将此值同传感器测量计数值比较,得到成像光谱仪辐射校正系数.

成像光谱仪外定标选择在可见光和近红外波段. 在地面同步观测中,获得场地可见光、近红外波段的反射比 $\rho$ 、气象要素、大气透过率 $T$ ,大气程辐射 $L_p$ 等数据,利用大气外界太阳分谱辐照度 $E_{0\lambda}$ ,由下式得到机载成像光谱仪入瞳处各光谱带的辐亮度值 $L_i$ :

$$L_i = (E_{0\lambda} \cos\theta / \pi \times T_1 + L_{p1}) \times \rho \times T_2 + L_{p2} \quad (1)$$

\* 1997-05-09收到,1997-08-14收到再改稿.

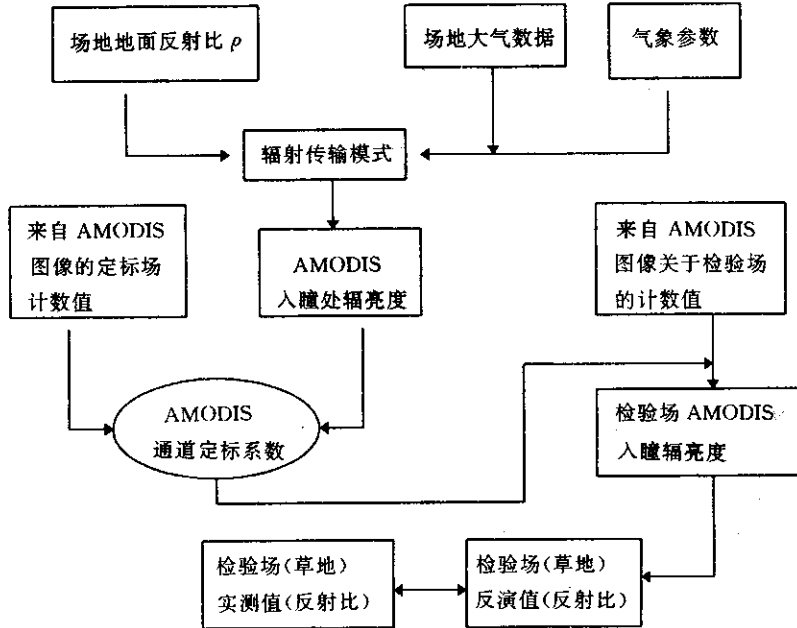


图1 AMODIS 定标流程

其中,  $\theta$  为飞机过场地时刻的太阳天顶角,  $T_1$ 、 $T_2$  分别为整层大气透过率和飞机—地面间的大气透过率,  $L_{p1}$ 、 $L_{p2}$  分别为大气外—地面和飞机—地面间的程辐射. 由于场地(停机坪水泥地)的均匀性较好, 在式(1)中没有考虑场地的非朗伯(方向)特性. 对应定标场的成像光谱仪各通道入瞳处辐亮度值  $L_i$ <sup>[2]</sup> 与机载成像光谱仪对定标场扫描计数值  $DN$  之间的定量关系按下式处理:

$$L_i = (1/a) \times (DN - DN_0) \tag{2}$$

式中  $DN_0$  为成像光谱仪暗电压计数值,  $a$  为成像光谱仪通道的外定标系数.

## 2 同步观测内容

### (1) 机载成像光谱仪主要参数

机载成像光谱仪瞬时视场为 3~4.5mr, 飞机分别以 4000m 和 2500m 的绝对飞行高度水平通过定标场, 光谱仪地面分辨率分别为 9m 和 4.5m(每个象元直径), 该仪器带宽为  $\pm 10$ nm, 波段为 71 个通道, 受磁记录限制, 在大青山航测时可见光—短波红外选择 32 个通道, 其中可见光、近红外波段 19 个.

### (2) 地面主要观测仪器

①VF921 地物光谱仪 用于测量地物目标的反射辐射, 波长范围: 0.4~1.0 $\mu$ m, 仪器带宽为 2.7nm, 仪器视场角为 10°.

②DTF-1 多功能太阳辐射计 用于测量太阳直接辐射和大气散射辐射, 仪器有 8 个通道, 它们的中心波长分别为: 417、465.7、501.8、569、633、871、935 及 1031nm, 带宽为

20nm.

③GPS 定位仪 用于进行场地和测点的定位.

### 3 测量内容描述及数据处理

#### (1)成像光谱仪航测

机载成像光谱仪于 1995 年 9 月 13 日 10:00~13:00(北京时间,下同)对大青山测量区进行了航测,然后于 13:42 和 14:00(太阳天顶角均为  $40.16^\circ$  和  $42.10^\circ$ )两次在定标场试场天顶飞过.成像光谱仪扫描图像数据被转存入 8mm 磁带,同时机上 GPS 和同步摄像机记录下地面定位数据、过顶时间和地面景象.机载 AMODIS 对定标场的遥感图像(650nm)如图 2 所示.

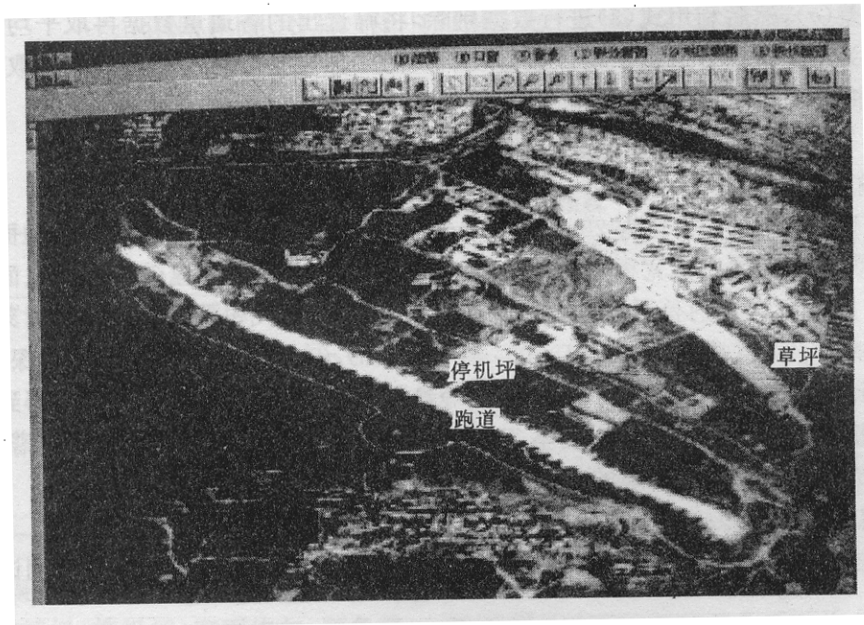


图 2 定标场 AMODIS 遥感图像(650nm)

#### (2)场地反射比测量

场地反射比采用相对测量法,即利用中国计量院标定过的白板作为标准参考板, VF921 光学头部架设高度 1.5m,并垂直向下测量,每个目标先后测量参考板和地面各一次.场地光谱测量在 10:00~14:30 进行.测试场停机坪和草坪的面积均为  $100\text{m} \times 100\text{m}$ .两场地各选测点 25 个,每个测点分 3 个子测点,对测量数据处理后获得成像光谱仪对应通道的反射比.

(3)利用 DTF-1 多功能太阳辐射计进行了太阳直射辐照度测量,利用兰勒(Langley)法得到各通道大气消光光学厚度和整层大气垂直透过率.选出无大气吸收的几组透过率数据进行插值计算,获得成像光谱仪各对应通道的垂直透过率.

(4)包头机场气象台提供场天气象参数(温、湿、压),内蒙古东胜气象局加放两次探空气球,提供飞行当日探空资料.

(5)利用 GPS 进行测点定位,确定出各测点的经、纬度.

#### 4 定标处理和分析

##### (1)图像定位和数据提取

利用地面定位数据、飞机过场时间和地面典型目标(跑道)以及机载摄像机观测场区景象,在成像光谱仪扫描图像上确定出测试场地理位置及区域范围.在对定标场两个高度航测扫描图像上,分别选取  $7 \times 7$  个象元和  $11 \times 11$  个象元,保证图像数据被包括在测试场之内.为了与地面仪器测量波长范围一致,选取其中 17 个通道的原始计数值并存盘.对选取的原始计数值进行数据筛选,其方法是将每个通道象元数据( $DN_i$ )取平均值( $DN$ ),计算其标准差( $\sigma$ ),然后利用式(3)进行数据剔除.将筛选出的各通道数据再取平均,获得成像光谱仪关于测试场各通道平均计数值( $DN$ ).对于黑电平计数值( $DN_0$ )的获取,同样用上述方法提取.

$$2\sigma < |DN_i - DN| \quad (3)$$

##### (2)输入参数准备

①由于成像光谱仪带宽为  $20\text{nm}(\pm 10\text{nm})$ ,而地面仪器带宽为  $2.7\text{nm}$ ,将地面测量反射比按成像光谱仪波长带宽积分然后取平均,得到成像光谱仪对应带宽上的地面仪器测量反射比.②利用测量的整层垂直大气透过率,分别计算出飞机两次过定标场时刻的斜程大气透过率  $T_1$ (大气质量数  $m_1=1.308, m_2=1.348$ ).③将飞机过定标场时的探空资料、地面反射比、过场时太阳天顶角、飞机高度等参数输入到 Lowtran-7 code 中,得到大气程辐射和飞机高度—地面的大气透过率  $T_2$ .④提取 6S code<sup>[3]</sup>中的大气外太阳分谱辐照度,积分得到成像光谱仪对应通道的太阳辐照度.

##### (3)定标计算

将上述参数代入式(1),计算获得机载成像光谱仪入瞳处各对应通道关于测试场辐亮度( $L_i$ ).

将  $L_i$  和  $DN, DN_0$  值代入式(2),得到成像光谱仪各通道外定标系数.图 3 给出 AMODIS 的外定标结果.

##### (4)定标结果检验

为了检验定标结果的精度,将获得的定标系数、成像光谱仪对草地航测  $DN$  值和黑电平  $DN_0$  值输入到式(2)中进行计算,得到成像光谱仪测量草地各通道辐亮度值,然后将式(1)转换并进行计算,获得成像光谱仪对草地航测可见光、近红外波段各通道反射比  $r_1$ (4000m 绝对高度)和  $r_2$ (2500m 绝对高度)(表 1,图 4).图 4 表示检验区反射比的反演值与实测值的比较.

##### (5)结果分析

计算两个飞行高度的定标系数相对差( $(a_1 - a_2)/a_2$ ),从相对差数据看,两高度飞行的定标系数相对差为  $0.19\% \sim 3.89\%$ ,这些结果是令人满意的.从利用定标系数反演得到

的成像光谱仪两高度草地反射比(表 1),结果也是比较接近的.另外,利用定标系数反演的草地反射比与地面实测值比较,随波长变化规律一致,结果也是比较接近的.其二者之差,可见光波段小于近红外波段(表 1,图 4).

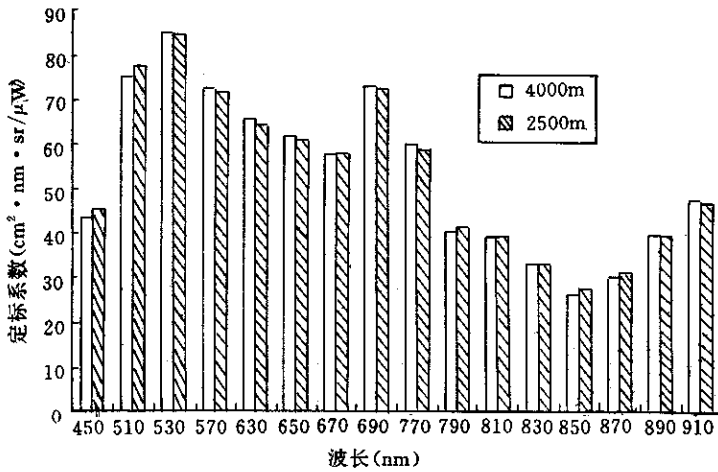


图 3 机载成像光谱仪外定标结果

表 1 草地实测值与反演值比较

波长 (nm)	地面实测反射比	反演草地反射比( $r_1$ )	反演草地反射比( $r_2$ )	波长 (nm)	地面实测反射比	反演草地反射比( $r_1$ )	反演草地反射比( $r_2$ )
450	0.0339	0.0117	0.0373	770	0.2418	0.1907	0.1896
510	0.0513	0.0327	0.0515	790	0.2501	0.1968	0.1952
530	0.0660	0.0444	0.0640	810	0.2548	0.2090	0.1927
550	0.0689	0.0555	0.0727	830	0.2586	0.2110	0.2123
570	0.0689	0.0555	0.0709	850	0.2641	0.2140	0.1976
630	0.0655	0.0598	0.0798	870	0.2678	0.2239	0.2192
650	0.0608	0.0612	0.0807	890	0.2701	0.2253	0.2290
670	0.0599	0.0627	0.0795	910	0.2724	0.2331	0.2221
690	0.0961	0.0828	0.0974				

#### (6) 误差分析与估算

①定标场(停机坪)表面均匀,颜色单一,地面测量反射比标准差为千分之几,但地面测量时并不与成像光谱仪对地观测时同步,即两个测量时刻存在光照差别,它对定标的误差贡献约为 2%;②大气透过率测量误差约为 2%.测量获得的透过率与利用 Lowtran-7 计算结果比较,相差 2%左右.透过率测量对定标误差贡献约为 3%;③辐射传输计算所需要的探空资料来自离定标场 100km 以外的东胜气象局,该地海拔为 1460m,而定标场海拔为 1014m,这对大气程辐射计算带来一定误差;④辐射传输模式本身也存在一定计算误差;⑤成像光谱仪与地面仪器光谱响应差别对定标产生一定误差;⑥检验场(草地)反射比测量误差,由于草地草高约 0.5m 左右,且疏密分布很不均匀;地面仪器视场较小,加密测量也很难准确代表飞机象元测值,另外草地是非朗伯反射面,它的方向特性较强,但在数据处理时未作草地的方向反射率因子(BRF)校正,因此草地地面反射比测值对反演结果造成一定的误差.

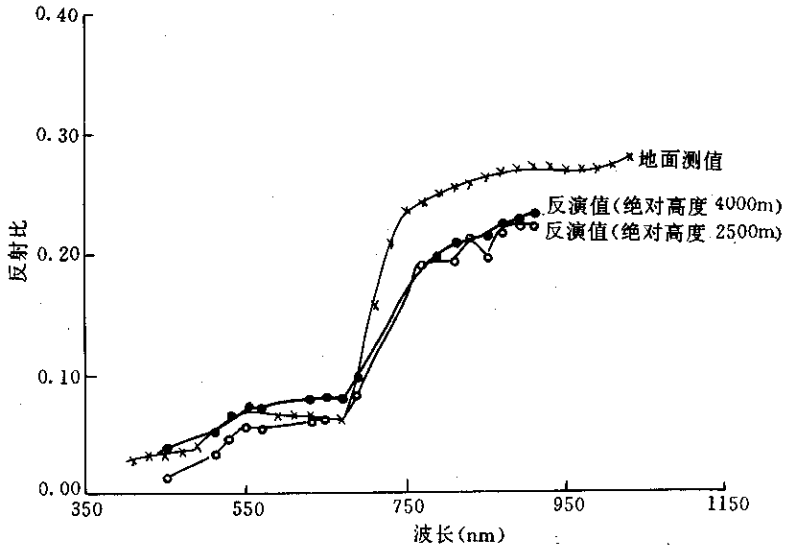


图4 检验区(草地)反射比的反演值与实例值

## 5 结 语

这次机载成像光谱仪模拟飞行外定标试验仅是初步的外定标方法研究,经过对基于反射率定标方法及其结果分析及比较,结果还是令人满意的.但外定标各环节中的不确定度有待于进一步分析、核实和确定.另外,机上地面仪器光谱匹配和辐射传递计算中尚需作进一步的探索、分析和研究.这项工作的开展为即将进行的中国遥感卫星在轨绝对辐射校正积累了一定的实际操作经验,是非常有价值的.

**致谢:**对范天锡研究员的指导帮助,薛震刚、李铮同志协助地面测量,黄意玢同志协助计算,李昌星同志提供数据,一并表示感谢.

## 参 考 文 献

- 1 国家卫星气象中心大气辐射室译.在轨卫星传感器的绝对辐射定标.1994.6.
- 2 Joachim Hill and Dorothea Aifadopoulou. Comparative analysis of landsat and SPOT HRV-1 data for use multiple sensor approaches. *Remote Sens. Environ.*, 1990, 34: 55~70.
- 3 Deuze J L, Herman M, Mororette J J, et al. Second simulation of satellite signal in the solar spectrum(6S), 6S user guide (version 0). 1994.

## VICARIOUS RADIOMETRIC CALIBRATION OF THE REMOTE SENSING DATA FROM AIRBORNE MODERATE RESOLUTION IMAGING SPECTROMETER

Zhang Yuxiang Zhang Guangshun Qiu Kangmu Wang Zhiqiang Zhang Lijun  
(*National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081*)

### Abstract

Based on reflectance method, vicarious radiometric calibration of remote sensing data from Airborne Moderate Resolution Imaging Spectrometer (AMODIS) is described. The results show that the calibration coefficients at two flying altitudes from 17 channels of visible and near infrared region were, respectively, in coincidence, and the relative difference was between 0.19% and 3.89%. Also the retrieval values from AMODIS in the model flying experiment were coincided with the observations of surface synoptic station.

**Key words:** Vicarious radiometric calibration Reflectance measurement Radiative transfer

