

MAIS 成象光谱仪飞行定标和反射率反演*

闵祥军 朱永豪 田庆久 王红梅

(中国科学院安徽光学机械研究所 合肥 230031) (中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘 要 该文利用 6S 辐射传输模型设计了一种可对 MAIS 成象光谱仪进行飞行定标和反射率反演的方法,并分析了成象光谱图象反射率反演过程中影响反演精度的各种因素。这种方法的特点是地面同步测量中只采用一台仪器,同时获得了参考地物的反射率、大气光学厚度和大气垂直柱水汽含量。对 1995 年秋在内蒙古半干旱地区进行的一次 MAIS 成象光谱仪航空遥感飞行所获取的图象,利用 GER MARK-V 光谱辐射计对试验区内地面参考目标反射率和大气光学参量的同步测量数据进行了处理,结果表明,在可见光、近红外波段(0.4—1.2 μm),MAIS 传感器的辐射定标精度为 8%,反射率反演精度为 9.6%;在短波近红外波段(1.2—2.5 μm),由于大气影响较小,MAIS 传感器的辐射定标和反射率反演精度好于可见光、近红外波段。

关键词 辐射校正, 大气订正, 反射率反演, 误差传递, 精度分析

1 引 言

地表反射率是辐射平衡、地表温度和水汽蒸发研究中的重要因子,是全球遥感和遥感定量化应用中的一个重要参数。随着成象光谱遥感的不断发展和其应用范围的不断扩大,从成象光谱遥感数据获取地面光谱反射率是成象光谱遥感定量化应用的一个重要方面^[1-3]。反演精度是评价反演结果的一个重要指标。通常,影响反演精度的因素主要包括大气光学参量(大气光学厚度和水汽含量)的测量误差、传感器辐射定标误差以及地面朗伯特特性假设和背景地物的影响等,其中传感器辐射定标误差和大气光学参量的测量误差是影响反射率反演精度的主要因素。

MAIS 是中国科学院上海技术物理研究所研制的成象光谱仪,自 1991 年正式投入运行以来,已进行过多次科学实验。但由于目前还不能在每次飞行过程中给出当时传感器每个光谱通道的定标系数,以致于很难进行反射率反演。因此,对广大用户来说,设计一种基于飞行定标的反射率反演方法是十分必要的。该文利用在内蒙古半干旱地区的一次 MAIS 飞行图象数据,以及场地同步获取的地面目标和大气参量,对 MAIS 传感器飞行定标和反射率反演方法进行了研究,并详细分析了参考地物反射率、气溶胶光学厚度和水汽含量的测量误差对反射率反演精度的影响及存在的问题。

试验区位于内蒙古半干旱地区(N40°40'—41°20', E109°15'—109°45'),地面平均海拔高度约为 1.4km。MAIS 飞行相对高度约为 2.5km,瞬时视场 3mrad,地面分辨率为 9m×9m,波段范围为 0.4—2.5 μm ,地面同步测量采用美国 GER 公司研制的野外智能光谱仪 MARK-V。该仪器在 0.4—2.5 μm 范围内可进行连续测量,光谱分辨率较高,并能实时显示测量光谱曲线。

在此次试验中,为了对 MAIS 传感器各个波段的辐射响应进行飞行定标,在第 7 航带内选取一块 50m×20m 的河滩作为定标参考地物。

当 MAIS 飞行到第 7 航带上空时,我们利用 GER MARK-V 地物光谱辐射计对河滩光谱反射率和大气参量(大气光学厚度、垂直大气柱水汽含量)进行了地面同步测量。

2 理论依据

2.1 辐射传输模型

传感器入瞳处光谱辐射度 $L_s(\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1})$ 与地面目标反射率 ρ 的关系可由下面的辐射传输方程来表示:

$$L_s(\theta_s, \varphi_s, \theta_v, \varphi_v, \lambda) = \frac{\rho(\lambda)}{\pi} [E_0(\lambda)\cos(\theta_s)T_d(\theta_s, \lambda) + E_d(\theta_s, \varphi_s, \lambda)] \cdot T_v(h, \theta_v, \lambda)$$

*本工作得到国家自然科学基金委员会重大项目支持及中国科学院遥感应用研究所1995年开放研究课题的支持。

收稿日期: 1996年9月16日; 收到修改稿日期: 1996年12月30日

$$+ L_p(\theta_s, \varphi_s, \theta_v, \varphi_v, \lambda) \quad (1)$$

其中 E_0 是大气顶太阳辐照度 ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$); E_d 是目标表面天空漫射辐照度 ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$); T_d 是太阳与目标之间大气路径透过率; T_u 是传感器与目标之间大气路径透过率; L_p 是大气路径辐射度 ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$); φ_s 和 φ_v 分别是太阳和观测方位角; λ 是波长。

(1) 对于向下路径 (即太阳-目标), 大气透过率表示为:

$$T_d(\theta_s, \lambda) = T_s^d(\theta_s, \lambda) \cdot T_g^d(\theta_s, \lambda) \quad (2)$$

其中 T_s^d 是向下路径大气散射透过率, 表达式为:

$$\begin{aligned} T_s^d(\theta_s, \lambda) &= T_R^d(\theta_s, \lambda) \cdot T_a^d(\theta_s, \lambda) \\ &= \exp[-\tau_R(\lambda)\sec\theta_s] \\ &\quad \cdot \exp[-\tau_a(\lambda)\sec\theta_s] \end{aligned} \quad (3)$$

T_g^d 是向下路径大气吸收透过率, 表达式为:

$$T_g^d(\theta_s, \lambda) = T_w^d(\theta_s, \lambda) T_{O_3}^d(\theta_s, \lambda) T_{mg}^d(\theta_s, \lambda) \quad (4)$$

τ_R 和 τ_a 分别是 Rayleigh 和气溶胶的散射光学厚度, T_w^d 是向下路径水汽吸收透过率; $T_{O_3}^d$ 是向下路径臭氧吸收透过率; T_{mg}^d 是向下路径混合气体吸收透过率。

(2) 对于向上路径 (目标-传感器), 大气透过率表示为:

$$\begin{aligned} T_u(h, \theta_v, \lambda) &= T_v^u(h, \theta_v, \lambda) \cdot T_g^u(h, \theta_v, \lambda) \\ &= T_R^u(h, \theta_v, \lambda) T_a^u(h, \theta_v, \lambda) \\ &\quad \cdot T_w^u(h, \theta_v, \lambda) T_{mg}^u(h, \theta_v, \lambda) \end{aligned} \quad (5)$$

由于我们试验中 MAIS 传感器飞行较低 (海拔高度约为 4km), 而臭氧一般集中在 20km 高度, 所以 (5) 式中没有考虑臭氧吸收。

2.2 大气订正

在反射率反演过程中 (特别在波长较短的光谱区), 大气订正是一个不可缺少的步骤。由于成像光谱传感器波段多, 数据量大, 因此寻找一种快速的、简便的且具有较高精度的大气订正方法是很必要的。该文从方程 (1) 出发, 给出了可满足上述要求的订正方法。即 $L_s(\lambda) = X\rho(\lambda) / \pi + L_p(\lambda)$, 其中 $X = [E_0 \cos(\theta_s) \cdot T_d + E_d] T_u$ 。设 $\rho = 0\%$ 可得 $L_{\rho=0\%} = L_p$, $\rho = 100\%$ 可得 $L_{Lamb} = L_{\rho=100\%} = X / \pi + L_p$, 从而可得到反演地物的光谱反射率表达式为:

$$\begin{aligned} \rho(\lambda) &= \frac{L_s(\lambda) - L_p(\lambda)}{L_{Lamb}(\lambda) - L_p(\lambda)} \\ &= \frac{L_s(\lambda) - L_{\rho=0\%}(\lambda)}{L_{\rho=100\%}(\lambda) - L_{\rho=0\%}(\lambda)} \end{aligned} \quad (6)$$

其中, $L_{\rho=0\%}$ 和 $L_{\rho=100\%}$ 可利用同步测量大气参量, 由 6S 传输模型计算得到。由此可看出, 只要知道

MAIS 测量辐射度 $L_s(\lambda)$, 由 (6) 式即可反演出地面目标反射率。为了进一步缩短计算时间, 还可计算出一系列不同照明与观测几何条件下的 $L_{\rho=0\%}$ 和 $L_{\rho=100\%}$ 值, 建立计算机查找表, 作为反演过程的输入参数来计算地物反射率。

3 定标与反演

3.1 方法

为了反演地物反射率, 我们首先利用参考地物光谱反射率和大气参量 (大气光学厚度、大气水汽含量) 的同步测量结果, 通过传输模型 (6S) 对 MAIS 进行辐射标定; 然后利用这一标定系数和 MAIS 图象数据反演其它地物反射率。具体处理过程如图 1。

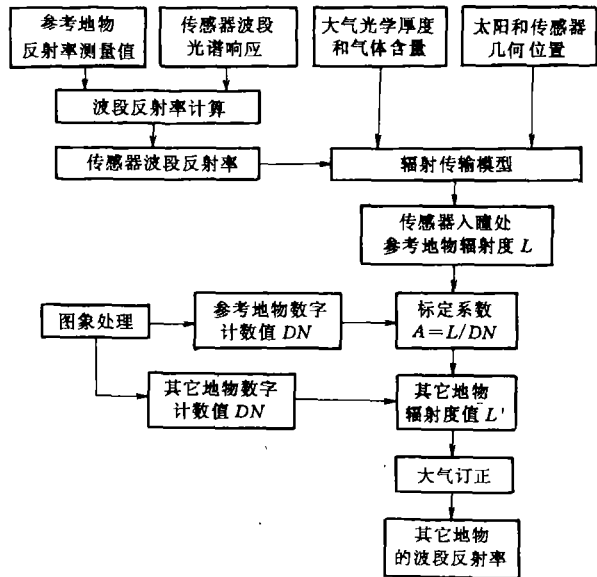


图 1 反射率反演流程图

Fig.1 The flow chart for retrieving the surface reflectances

3.2 地面反射率和大气参量获取

地面参考目标反射率测量 在第 7 航带内。我们选取了一块反射率较高、均匀河滩作为 MAIS 飞行定标参考地物 (对应于 MAIS 图象上 10 个象元), 并在 MAIS 过顶时利用 GER MARK-V 地物光谱辐射计对每个对应象元进行了反射率地面同步测量, 测量到的平均反射率及其标准偏差如图 2。由于没有给出飞行时 MAIS 各个通道的响应函数, 根据文献 [4] 的测量结果, 我们假设 MAIS 各个波段的响应为高斯分布。将 MAIS 波段响应作

用于参考地物同步测量平均反射率上, 即可得到对应于 MAIS 传感器各个通道的参考地物波段反射率(图 3)。

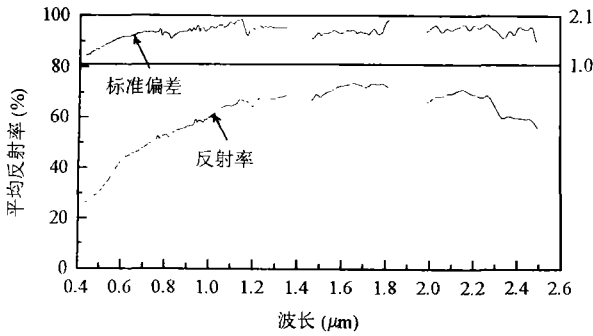


图 2 第 7 航带河滩地面测量平均反射率和标准偏差
Fig.2 The average reflectance & standard deviation of flood land in the 7th flightline

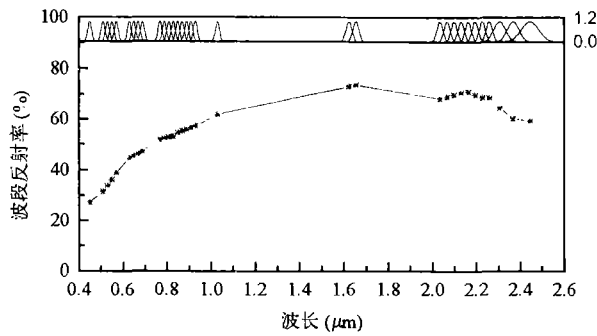


图 3 第 7 航带河滩波段反射率及 MAIS32 通道响应
Fig.3 The band - reflectance of flood land in the 7th flightline & 32 - band relative spectral response of MAIS

大气光学参量测量 利用 GER MARK-V 光谱辐射计和标准参考板, 从 7:00 到 13:00(北京时间)测量了太阳总照度和天空漫射辐照度(共获取 22 组数据)。利用下式的 Langley 法得到了大气光学厚度 τ (表 1)。

$$\ln(I) + \ln(\sec\theta_s) = \ln(V_0 / R^2) - \tau \cdot m \quad (7)$$

其中, V 是辐射计输出电压, θ_s 是太阳天顶角, R 是日-地距离, V_0 是对应 0 大气质量响应值。

但 (7) 式对一些分子吸收较强的光谱区(比如 940nm 水汽带)是不适用的。为此, 我们在水汽吸收带区使用了改进 Langley 法, 即:

$$\begin{aligned} \ln(I) + \ln(\sec\theta_s) + \tau_{scat} \cdot m \\ = \ln(V_{ML} / R^2) - k(u \cdot m)^b \end{aligned} \quad (8)$$

其中 $\tau_{scat} = \tau_R(940nm) + \tau_u(940nm)$; u 是待求的大气柱水汽含量; k 和 b 是确定水汽透过率函数的两个

常量。通过模型计算和拟合技术得到这两个常量的值分别为: $k = 0.655$; $b = 0.57$ 。利用改进 Langley 法对 940nm 水汽带内测量值进行拟合(图 4)得到的平均水汽含量 $u = 1.152g/cm^2$, 标准偏差 = 0.011。

表 1 大气总光学厚度及其分量 ($v=2.99$)

Table 1 The atmospheric optical depth & every component

波长(nm)	总体	瑞利	气溶胶	臭氧
441.1	0.2936	0.2066	0.0869	0.0001
448.0	0.2792	0.1937	0.0855	0.0000
549.4	0.1570	0.0836	0.0698	0.0036
600.3	0.1420	0.0581	0.0639	0.0200
637.5	0.1207	0.0455	0.0602	0.0150
854.5	0.0589	0.0139	0.0449	0.0001
901.3	0.0544	0.0112	0.0426	0.0006

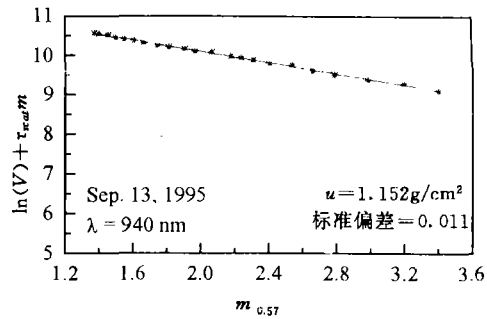


图 4 改进 Langley plot 法在 940nm 水汽带的拟合结果
Fig.4 Modified langley plot for determining water vapor column abundance in the band of 940nm

3.3 结果

利用 3.2 中得到的参考地物反射率、大气光学厚度和水汽含量的测量值, 由 6S 辐射传输模型计

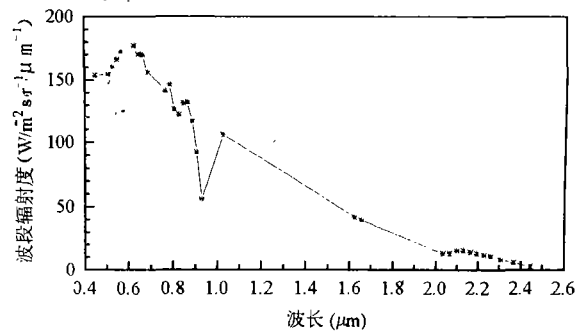


图 5 MAIS 传感器入瞳处的 32 个波段辐射度值
Fig.5 32-band radiance at the entrance pupil of MAIS sensor

算了 MAIS 传感器入瞳处波段辐射度(图 5)。再通过与参考地物在 MAIS 图象上对应象元的灰度计数值之间的比较得到了 MAIS 定标系数(图 6)。

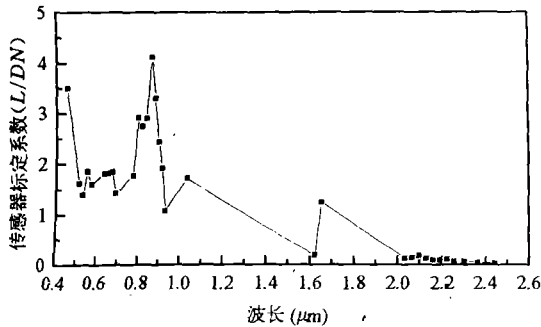


图 6 MAIS 传感器 32 个波段的定标系数 A

Fig.6 MAIS inflight - determined radiometric calibration coefficients

由于植被反射率的光谱特征较为突出, 该文在 MAIS 图象上选取了浓郁程度不同的两个植被象元为例, 计算了它们的反射率。由这两个象元的灰度计数值和图 6 给出的定标系数计算出它们在 MAIS 传感器入瞳处的波段辐射度, 并对其进行大气订正即可反演出它们的光谱反射率(图 7)。该图给出的结果与我们在试验区内地面测量结果是相一致的。但由于 MAIS 第 21 通道信号跳跃较大, 导致此通道的反演反射率 $> 100\%$ (图中已被剔除)。

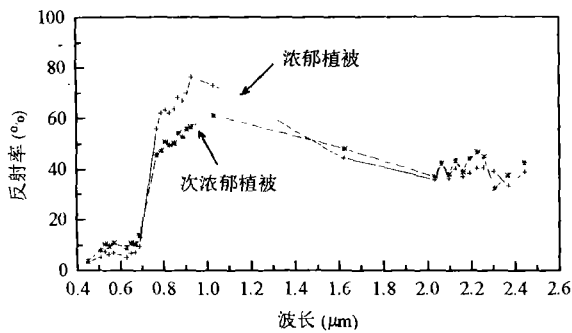


图 7 MAIS 32 个波段植被光谱反射率反演结果

Fig.7 Retrieved surface reflectances from MAIS data for two vegetations

4 误差分析

MAIS 传感器飞行定标和反射率反演是在太阳光照射下, 地-气系统复杂环境中进行的。它所得到的结果不仅受到测量仪器本身的影响, 而且还受

到诸如太阳、大气和环境的影响。因此, 详细分析各种误差来源对改进方法、提高精度是十分重要的。下面, 就此次试验中的几个参量的测量误差对反射率反演的影响作一简单分析。

4.1 太阳辐照度变化的影响

影响太阳辐照度变化的因素主要有主阳黑子的运动、日-地距离和太阳天顶角等。其中太阳黑子运动是影响太阳辐照度变化的主要因素, 日-地距离和太阳天顶角的影响很小。对于窄波段传感器, 太阳光谱辐照度的不确定度在可见光、近红外波段约为 1%; 在短波近红外波段较高^[5]。

4.2 大气参量测量误差的影响

Rayleigh 散射光学厚度的不确定度主要取决于表面大气压强 P 的测量精度。通常大气压强测量精度可达 1%^[6], 这给 τ_R 带来的绝对误差仅为 0.002。臭氧吸收的影响一般是很小的。即使臭氧含量测量误差为 20%, 但它给辐射度测量也仅带来 3% 的误差^[7]。通过光学厚度分离技术得到这两种大气参量的光学厚度的误差为 1% 左右, 通过计算得知它给反演反射率带来的误差约为 0.2%。

气溶胶光学厚度是气溶胶光学特性的综合体现。在此次试验中, 我们测量到的 0.55 μm 波长上的气溶胶光学厚度为 0.0698(对应水平能见度 $V \approx$

表2 气溶胶光学厚度测量误差对反演反射率不确定的影响
Table 2 Effects of the uncertainty of aerosol optical depth on the accuracy of the retrieved surface reflectances

MAIS 通道	λ_c (μm)	ρ (%)	τ_a	$\Delta\tau_a$	L
1	0.45	3.62	0.0852	0.0021	48.421
4	0.55	9.69	0.0698	0.0014	50.382
6	0.63	8.85	0.0609	0.0011	37.512
9	0.69	13.94	0.0556	0.0009	44.613
11	0.79	47.27	0.0486	0.0007	119.919
16	0.89	52.72	0.0431	0.0006	100.105
MAIS 通道	L_p	$\Delta L_p / (L - L_p)$	$\Delta E_d / E_d$	$\Delta T / T$	$\Delta \rho / \rho$
1	35.088	0.0038	0.0006	0.0012	0.0040
4	14.889	0.0011	0.0005	0.0011	0.0016
6	8.008	0.0009	0.0004	0.0000	0.0010
9	4.882	0.0005	0.0004	0.0010	0.0012
11	2.603	0.0001	0.0002	0.0000	0.0002
16	1.332	0.0001	0.0002	0.0011	0.0011

100km), 相对误差为 2%。利用 6S 传输码, 我们模拟计算了气溶胶光学厚度这一测量误差给反演反射率带来的影响, 计算结果如表 2。由该表可以看出, 在可见光、近红外波段, 2% 的气溶胶光学厚度测量误差给反演反射率带来的相对误差 ($\Delta\rho/\rho$) 约为 0.4%。

在此次试验中, 水汽含量的测量误差 ($\Delta u/u$) 为 3%。通过模型计算, 得到了水汽含量测量误差对反演反射率的影响(表 3)。由该表可看出: 在可见波段, 3% 的水汽含量测量误差给反演反射率带来的误差小于 1.5%。

表 3 水汽含量测量误差对反演反射率不确定的影响*

Table 3 The influences of the error in water vapor abundance on the accuracy of the retrieved surface reflectance

MAIS 通道	λ_c (μm)	ρ (%)	L	L_p
1	0.45	3.62	25.3703	9.8462
4	0.55	9.69	43.7442	4.4607
6	0.63	8.85	34.4827	2.3450
9	0.69	13.94	45.3675	1.5247
11	0.79	47.27	123.2698	1.0987
16	0.89	52.72	104.5339	0.5607

MAIS 通道	$\Delta L_p/(L-L_p)$	$\Delta E_a/E_a$	$\Delta T/T$	$\Delta\rho/\rho$
1	0.0122	0.0000	0.0011	0.0122
4	0.0022	0.0010	0.0004	0.0024
6	0.0014	0.0012	0.0004	0.0019
9	0.0006	0.0005	0.0007	0.0010
11	0.0002	0.0024	0.0005	0.0025
16	0.0001	0.0012	0.0014	0.0018

* $u=1.152\text{cm}$, $\Delta u/u=3\%$ 。

4.3 MAIS 通道响应假设带来的误差

由于未拿到 MAIS 传感器通道响应数据, 处理过程中我们假设了其各个波段响应为高斯型分布。通过计算得知这一假设给反射率反演结果带来的误差约为 2%。

4.4 定标与反演精度总误差

综上所述, 对于当时天气状况, 可见光、近红外波段 (0.4—1.2 μm)MAIS 成像光谱仪飞行辐射定标总精度如表 4。在短波近红外波段 (1.2—2.5 μm), 由于大气影响较小, 辐射定标精度将有所提高。表 5 给出了影响反射率反演精度的误差

源贡献和总反演精度。由表 4、表 5 给出的结果可看出, 参考目标光谱反射率的测量精度是该方法的一个重要因素。此次试验中, 由于参考地物反射率的测量误差较大 (约为 5%), 因此它给 MAIS 定标带来的误差高达 5%, 进而给反演反射率带来的误差较大 (约为 9.6%)。这主要是由于此次试验中对参考地物反射率的测量次数太少。如果增加测量次数, 可使测量误差减小到 1% 以下^[9], 从而使 MAIS 总定标误差减小到 < 6%, 使反射率反演误差减小到 < 8%。另外, 由于试验过程中大气状况较好 (水平能见度 $\approx 100\text{km}$), 并且大气光学厚度和水汽含量的测量采用同一台仪器, 因此可较好地消除了仪器带来的系统误差,

表 4 MAIS 飞行定标的误差源和总定标精度

Table 4 Error sources & calibration accuracy of MAIS in-flight calibration

误 差 源	误差源测 量误差 (%)	误差贡献 (%)
太阳辐射度的变化	1	1
参考地物反射率测量	5	5
大气光学厚度测量	2.2	0.5
气溶胶光学厚度测量	2	0.4
Rayleigh和臭氧光学厚度	1	0.2
水汽含量测量	3	0.7
6S模型多次散射计算	<5 ^[8]	<5
MAIS通道光谱响应假定		2
不考虑极化影响		<3
总误差		8.0

表 5 反射率反演的误差源和总反演精度

Table 5 Error sources & the overall error in retrieval of the surface reflectances

误 差 源	误差源测 量误差 (%)	误差贡献 (%)
太阳辐射度的变化	1	1
MAIS辐射定标	8	8
大气光学厚度测量	2.2	0.5
气溶胶光学厚度测量	2	0.4
Rayleigh和臭氧光学厚度	1	0.3
水汽含量测量	3	<1.5
6S模型多次散射计算	<5% ^[8]	<3.5
MAIS通道光谱响应假定		2
不考虑极化影响		<3
总误差		9.6

从而使得水汽含量和气溶胶光学厚度给反射率反演带来的误差较小。当大气稳定性较差、能见度较低时,这些大气参量对反演反射率的影响就会很大,这就需要设计一种较好的同步测量方法。

5 结 论

(1) 该文提出的航空成象光谱辐射计的飞行定标方法和图象反射率反演方法是以典型地物反射率和大气光学参量的同步测量为前提,是传输模型的一种较为简便、实用的方法。

(2) 利用场地同步测量数据,该文给出的 MAIS 传感器辐射定标精度在可见光、近红外波段(0.4—1.2 μm)约为 8%;在短波近红外波段(1.2—2.5 μm),由于大气影响较小,定标精度将有所提高。

(3) 该文设计的反射率反演方法适用于晴空(能见度 > 20km)大气条件下获取的图象。基于场地同步测量,该方法在可见光、近红外波段(0.4—1.2 μm)的光谱反射率反演精度约为 9.6%,即当被反演地物反射率在 3%—5% 范围内时,天底方向反射率的反演不确定度约为 0.01—0.05 反射率单位。提高参考地物反射率的测量次数可使该方法的反演误差减小到 8% 以下。

此外,在 MAIS 传感器飞行辐射定标和反射率反演过程中,假定了地面为朗伯反射表面,并且未考虑背景地物的影响。

参 考 文 献

- [1] Green A. A., Graig, M. D., Analysis of Aircraft Spectrometer Data with Logarithmic Residuals. *Proceeding of the Airborne Imaging Spectrometer Data Analysis Workshop*, 1985, 111—119.
- [2] Gao, B. C., Heidebrecht, K. B., Goetz, A. F. H., Derivation of Scaled Surface Reflectances from AVIRIS Data *Remote Sensing of Environment*, 1993, 44, 165—178.
- [3] Farrand, W. H., Singer, R. B., Erzsébet Mérenyi. Retrieval of Apparent Surface Reflectance from AVIRIS Data: A Comparison of Empirical Line, Radiative Transfer, and Spectral Mixture Methods. *Remote Sens. Environ*, 1994, 47, 311—321.
- [4] 王建宇, 成象光谱仪光谱分辨率的分析. *红外研究*, 1990, 9 (4): 277—286.
- [5] Markham, B. L., J. L. Barker, Thematic Mapper Bandpass Solar Exoatmospheric Irradiances. *Int. J. Remote Sens*, 1987, 8 (3): 517—523.
- [6] Hansen, J. E., L. D. Travis, Light Scattering in Planetary Atmospheres, *Space Sci. Rev.*, 1974, 16, 527—610.
- [7] Biggar, S. F., In-flight Calibration Methods for Satellite Sensor Absolute Radiometric Calibration. Ph. D. thesis, University of Arizona, 1990, 142—145.
- [8] Green, R. O., J. E. Conel, M. Helmlinger, J. van den Bosch, C. Chovit, T. Chrien. Inflight Calibration of AVIRIS is 1992 and 1993. *Proc. Third AVIRIS Workshop, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA*, 1993, 69—73.

作 者 简 介

闵祥军,男,1968年2月生,博士研究生,毕业于芜湖安徽师范大学物理系物理专业,硕士期间(就读于中国科学院安徽光学机械研究所)主要研究大气对辐射传输的影响,现主要从事中国遥感卫星辐射场校正和遥感数据定量应用研究。发表论文3篇。

In-flight Radiometric Calibration of MAIS Imaging Spectrometer and Reflectance Retrieval from its Image

Min Xiangjun Zhu Yonghao

(Anhui Institute Of Optics and Fine Mechanins of Academia Sinica, Hefei, 230031)

Tian Qingjiu Wang Hongmei

(Institute of Remote Sensing Applications of Academia Sinica, Beijing 100101)

Abstract In-flight experiment of MAIS imaging spectrometer and ground-based measurements using GER MARK-V spectroradio-meter simultaneously with the MAIS overpass were performed during Autumn 1995 at the semiarid area of Inner Monogolia, China. Based on these measurement data and MAIS image data, we designed a method for the radiometric calibration of MAIS sensor and an algorithm for

reflectance retrieval from its image using 6S code, and discussed the influences of some factors in the retrieval procedure of surface reflectance. The distinguishing feature of this method is that obtaining simultaneously the surface reflectances of the reference target, atmospheric optical depth and water vapor abundance from the measurement data by only one instrument. The results show that the accuracy of MAIS radiometric calibration is about 8% and the estimated accuracy of the retrieved surface reflectance is about 9.6% in the visible and the near infrared wavelengths (0.4—1.2 μm), i. e., the nearnadir surface reflectance factor is to within about 0.01—0.05 reflectance unit at the reflectance between 3% and 50%. The analysis indicates that the method presented here is suitable to the quantitative analysis of imaging spectral data in China.

Key words Radiometric calibration, Reflectance retrieval, Accuracy analysis, Error propagation