

# 一种大气订正的方法: BRDF —— 大气订正环\*

胡宝新 李小文 朱重光

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

Alan H. Strahler

(Center for Remote Sensing, Boston University, U.S.A)

**摘 要** 本文介绍了一种大气订正的新方法: BRDF——大气订正环, 这种方法首先在假设地面是朗伯体的条件下进行大气订正, 通过一系列在不同成像几何条件下观测值的订正结果, 在 BRDF 模型库中寻找一种最能描述这些数据的模型, 最后根据反演的模型参数进行基于 BRDF 的大气订正。我们设计了一系列实验, 证明了这种方法的有效性和可行性。

**关键词** 大气订正, 地物二向性反射模型—— BRDF, 朗伯体, 叶面积指数

## 1 引 言

在遥感应用中, 大气订正是不可缺少的环节。目前, 许多学者致力于这方面的研究, 发展了一些大气订正的方法。Y. J. Kaufman 对大气订正理论和目前的方法进行了详细的介绍<sup>[1]</sup>。大量研究表明大气的的影响不仅依赖于大气的的光学参数, 而且还依赖于地表目标二向性反射特性。而我们进行大气订正恰恰是为了得到地表目标的 BRDF (Bidirectional Reflectance distribution Function)。为了解决这一矛盾, 一些学者应用大气辐射传输理论描述耦合的大气和植被冠层的传输特性, 试图发展适合于这一耦合系统的传输方程。通过对这个传输方程求解得到地表目标的 BRDF。因为这种方法的复杂性和系统本身的复杂性, 这种耦合求解的方法迄今未能得到令人信服的验证。因此出于实际应用的考虑, MISR (Multiangular Imaging Spectro Radiometer) 的大气订正方案<sup>[2]</sup> 和我们的 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 的 BRDF 产品<sup>[3]</sup> 都倾向于采用 BRDF —— 大气订正环。本文介绍了 MODIS 产品的 BRDF —— 大气订正环, 并设计了一系列的模拟实验证明这种方法的必要性和可行性。

\* 国家自然科学基金 49331020 资助项目, 本工作亦受美国 NASA NAGN— 2082 的资助。

收稿日期: 1995年6月28日; 收到修改稿日期: 1995年8月13日

## 2 BRDF——大气订正环的理论分析

### 2.1 BRDF——大气订正环的工作原理

BRDF——大气订正环(图 1)的工作原理如下: 首先假设地表目标具有各向同性的反射特征, 即地表目标是朗伯体的条件下进行大气订正; 通过一系列在不同成象几何(太阳和观测方向)条件下的订正结果, 在 BRDF 模型库中找一种最能描述这些数据的模型; 最后根据反演的模型参数进行基于 BRDF 的大气订正。

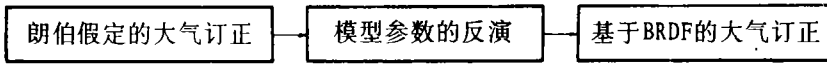


图 1 BRDF——大气订正环

Fig.1 BRDF—— Atmospheric correction loop

我们使用 6S 作基于朗伯体的大气订正, 用 Ambrals (Algorithm for MODIS Bidirectional Reflectance Anisotropics of the Land Surface) 进行模型反演, 找最佳匹配的 BRDF 模型<sup>[4]</sup>。图 2 是模拟试验的流程图。

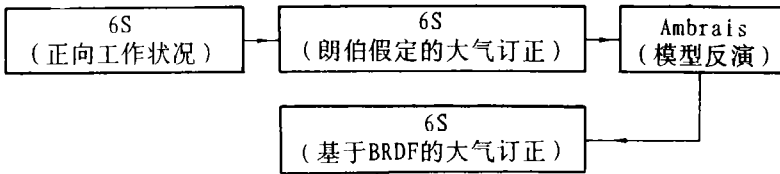


图 2 模拟实验的流程图

Fig.2 The flow chart of the BRDF-atmospheric correction loop

### 2.2 6S (Second Simulation of the Satellite Singal in the Solar Spectrum)

6S<sup>[5]</sup>是由法国大气光学实验室(the Laboratoire d'optique Atmospherique)提供的大气纠正软件, 具有正向和反向两种工作状态。

$$\rho_{\text{tot}}(\mu_s, \mu_v, \varphi) = T_g \left[ \rho_0(\mu_s, \mu_v, \varphi) + \rho_i(\mu_s, \mu_v, \varphi) e^{-\tau/\mu_s} - e^{-\tau/\mu_v} + \bar{\rho}'_i(\mu_s, \varphi) e^{-\tau/\mu_s} t_d(\mu_v) + \bar{\rho}'_i(\mu_v, \varphi) t_d(\mu_s) e^{\tau/\mu_v} + \frac{\rho_w t_d(\mu_s) t_d(\mu_v)}{1 - s\rho_w} \right] \quad (1)$$

$\rho_{\text{tot}}$  是传感器所测得的反射率。 $\mu_s$  和  $\mu_v$  分别是太阳天顶角和观测天顶角的余弦。 $\varphi$  是太阳和观测位置间的相对方位角。 $\tau$  是大气光学厚度。 $t_d$  大气散射透过率, 是传输方向的函数, 在太阳到地面的路径上, 它是  $\mu_s$  的函数, 记为  $t_d(\mu_s)$ , 而从地面到遥感平台的路径上, 它是  $\mu_v$  的函数, 记为  $t_d(\mu_v)$ 。 $T_g$  是只考虑大气分子吸收时的传输率。 $s$  是大气下半球反射率。 $\rho_0$  是大气的路程反射。 $\rho_i$  是地表目标的 BRDF。 $\bar{\rho}'_i$  是经大气衰减后到达地面的太阳直射光经地表目标向半球空间的反射。 $\bar{\rho}'_i$  是经大气散射的天空光经地表目标反射向传感器方向的辐射。 $\rho_w$  是天空光经地表目标向半球空间的反射, 它与天空散射

光和地表目标的 BRDF 有关，但由于计算的复杂性，且天空光经多次散射后趋于各向同性，因此可以将天空光假定为各向同性。图 3 是这几种反射率的示意图。

$$\bar{\rho}_\tau = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^1 \mu \rho_i(\mu_s, \mu, \varphi - \varphi') d\mu d\varphi'}{\int_0^{2\pi} \int_0^1 \mu d\mu d\varphi'} \quad (2)$$

$$\bar{\rho}'_\tau = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^1 \mu L^\downarrow(\mu_s, \mu, \varphi') \rho_i(\mu, \mu_v, \varphi - \varphi') d\mu d\varphi'}{\int_0^{2\pi} \int_0^1 \mu L^\downarrow(\mu_s, \mu, \varphi') d\mu d\varphi'} \quad (3)$$

$$\rho_w = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^1 \bar{\rho}_i(\mu, \varphi) \mu d\mu d\varphi}{\int_0^{2\pi} \int_0^1 \mu d\mu d\varphi} \quad (4)$$

其中  $L^\downarrow$  是地面处的向下辐射量(天空光)。

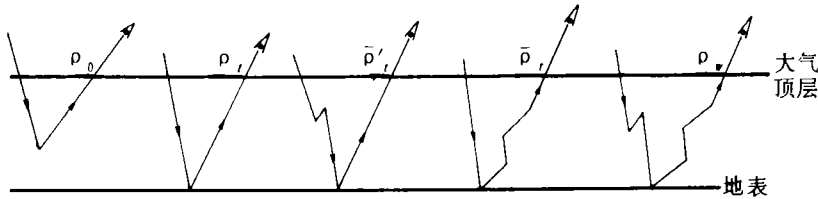


图3 辐射场的示意图

Fig.3 Illustration of the radiation field decomposition

当用 6S 进行大气订正(反向工作)时，假设地表目标为朗伯体，公式(1)变为：

$$\rho_{\text{toa}}(\mu_s, \mu_v, \varphi) = T_g \left[ \rho_0(\mu_s, \mu_v, \varphi) + \frac{\rho_i(e^{-\tau/\mu_s} e^{-\tau/\mu_v} + e^{-\tau/\mu_s} t_d(\mu_v) + e^{-\tau/\mu_v} t_d(\mu_s) + t_d(\mu_s) t_d(\mu_v))}{1 - \rho_s} \right] \quad (5)$$

从上式可看出，若知大气参数，就可以得到  $\rho_i$ ，但这种近似能产生很大的误差。后面的实验结果能够看到这一点。我们称这种大气纠正方法为朗伯假定的大气订正。尽管这种方法和实际结果存在一定的误差，但我们仍可从它的结果中得到一些有关地物 BRDF 的知识。我们可利用朗伯假定的大气订正结果来寻找一种最佳 BRDF 模型描述地表目标的反射特征。

### 2.3 BRDF 模型

我们模拟 EOS-AM 平台上的 MODIS/MISR 数据。它们的地面分辨率从 250m 到 1.1km，因此在一个象元内可能会有几种地物。在这种情况下，核驱动的半经验模型是

几种 BRDF 模型的线性组合,也就是说混合象元的 BRDF 等于这个象元内各地物的 BRDF 加权和,数值为各地物在此象元内的面积百分比。6S 中只有一种核驱动的半经验模型,我们把 Ambrals 中所有核驱动的半经验模型加到 6S 中, Wanner 等<sup>[6]</sup> 已用 Kimes 数据<sup>[7-9]</sup> 对此作了验证。

核驱动的半经验模型由以辐射传输理论为基础的体散射核,以几何光学理论为基础的表面散射核和一个各向同性的散射常数组成,即

$$\rho_i = f_0 + f_1 k_{geo} + f_2 k_{vol} \quad (1)$$

其中  $\rho_i$  为地物的 BRDF,  $k_{geo}$  和  $k_{vol}$  分别是表面散射核和体散射核,  $f_1$  和  $f_2$  是它们相应的数值。 $f_0$  是各向同性散射的贡献。推导过程见 Wanner 等文献[5]。

通过 6S 的朗伯假定的大气订正,可以获得一组  $\rho_i$ , 使用这组数据对 Ambrals 中所有的模型进行模型参数的反演,并根据最小均方误差的原则在所有的这些模型中寻找一种最佳模型。然后进行基于 BRDF 的大气订正。

## 2.4 基于 BRDF 的大气订正

根据我们的实验结果,利用朗伯假定的大气订正的结果反演出的模型参数所得到的主平面的 BRDF 虽然在数值上和实际的 BRDF 有一定的差距,但形状非常相似。我们定义三个参数  $c_0 = \frac{\bar{\rho}_i}{\rho_i}$ ,  $c_1 = \frac{\bar{\rho}_i'}{\rho_i}$  和  $c_2 = \frac{\rho_w}{\rho_i}$ 。根据公式(6)、(2)、(3)和(4)能够得到

$\rho_i$ ,  $\bar{\rho}_i$ ,  $\bar{\rho}_i'$  和  $\rho_w$ , 进而可以得到  $c_0$ ,  $c_1$  和  $c_2$ 。假定  $c_0$ ,  $c_1$  和  $c_2$  正确反映 BRDF 的形状,将  $\bar{\rho}_i = c_0 \rho_i$ ,  $\bar{\rho}_i' = c_1 \rho_i$  和  $\rho_w = c_2 \rho_i$  代入公式(1),解方程得到  $\rho_i$ 。我们称这种大气订正的方法为三参数的 BRDF 的大气订正。

三参数的 BRDF 大气订正需要精确知道天空光在各个方向的数值,然而求解天空光的数值将消耗大量的机时,因此需对它进行必要的近似。最简单的方法是假设天空光为各向同性,即公式(3)中的  $L^1$  为常数,此时  $\bar{\rho}_i$  只和地表目标有关。但是这种近似合理吗?我们用 6S 计算了在陆地气溶胶模型下对于不同气溶胶光学厚度和太阳高度角的条件下,天空光在红光和近红外波段的精确值(图 4)。从图 4 可看出天空光是各向异性的,要把天空光假设为各向同性会带来很大的误差。为了证实这一点,在后面的实验中我们把它作为基于 BRDF 的大气订正的一种方法,给出了它的订正结果。我们最后的结果否定了把天空光近似成各向同性的方法。

6S 把大气分成若干层,使用迭代法求出在每一大气层面向下辐射通量和向上辐射通量的数值解。公式(7)到(10)是 6S 用的计算公式。

$$I^{(1)}(\tau, \mu, \varphi) = \frac{\omega_0}{4} F_0 P(\mu, \varphi; -\mu_s, \varphi_s) \frac{\mu_s}{\mu_s + \mu} (e^{-\tau/\mu_s} - e^{-\tau/\mu - (\tau/\mu_s + \tau/\mu)}) \quad (\mu > 0, \mu_s > 0) \quad (7)$$

$$I^{(0)}(\tau, -\mu, \varphi) = \frac{\omega_0}{4} F_0 P(-\mu, \varphi; -\mu_s, \varphi_s) \frac{\mu_s}{\mu_s - \mu} (e^{-\tau/\mu_s} - e^{-\tau/\mu}) \quad (\mu > 0, \mu_s > 0) \quad (8)$$

$$I^{(n)}(\tau, \mu, \varphi) = \frac{1}{\mu} \sum_{i=j}^N J^{(n)}(\tau_i, \mu, \varphi) e^{-(\tau_j - \tau_i)/\mu} \Delta\tau \quad (9)$$

$$I^{(n)}(\tau, -\mu, \varphi) = \frac{1}{\mu} \sum_{i=1}^j J^{(n)}(\tau_i, -\mu, \varphi) e^{-(\tau - \tau_i)/\mu} \Delta\tau \quad (10)$$

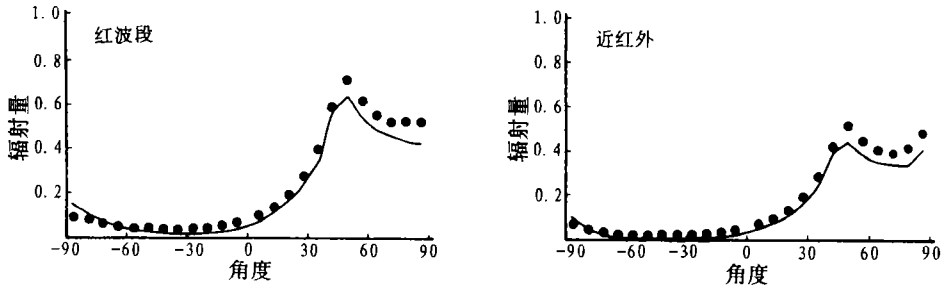


图 4 天空光在主平面上的分布  
Fig.4 Skyeight on the principal plane

其中  $I$  为辐射通量(图 5)，上标为散射次数， $\omega_0$  是大气单次散射反射率， $n$  为大气层数， $P$  是大气散射相函数， $F_0$  是大气层外太阳光辐射通量。 $\tau_j$  为  $j$  层的大气光学厚度， $\Delta\tau$  为两个连续层之间的光学厚度差。 $J^{(n)}$  可以按公式(11)从  $J^{(n-1)}$  中得到。

$$J^{(n)}(\tau, \mu, \varphi) = \frac{\omega_0}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-1}^1 P(\mu, \varphi; \mu', \varphi')$$

$$J^{(n-1)}(\tau, \mu', \varphi') d\mu' d\varphi' \quad (11)$$

由于天空光  $L^1$  可分为单次散射天空光  $I'$  和多散射天空光  $I^m$ ，其中单次散射的天空光占很大比例，将  $\tau = \tau_1$  代入公式(8)即可得到解析解。我们现在对多次散射的天空光进行近似。

天空光经多次散射后，散射微粒的相函数被多次平均，可用各向同性的相函数近似<sup>[10-12]</sup>。因此，我们可以得到多次散射的天空光解析近似。

$$I^m = \frac{\omega_0}{2} F_0 \left[ \frac{H(\mu_s)H(\mu)}{2(\mu_s + \mu)} - 1 \right] \frac{1}{\mu_s - \mu} (e^{-\tau_1 \mu_s} - e^{-\tau_1 \mu}) \quad (12)$$

其中  $H(\mu) = \frac{1 + 2\mu}{1 + 2\mu\sqrt{1 - \omega_0}}$ 。

地面天空光为：

$$L^1 = I' + I^m = \frac{\omega_0}{4} F_0 P(-\mu, \varphi, -\mu_s, \varphi_s) \frac{\mu_s}{\mu_s - \mu} (e^{-\tau_1 \mu_s} - e^{-\tau_1 \mu}) + \frac{\omega_0}{2} F_0 \left[ \frac{H(\mu_s)H(\mu)}{2(\mu_s + \mu)} - 1 \right] \frac{1}{\mu_s - \mu} (e^{-\tau_1 \mu_s} - e^{-\tau_1 \mu}) \quad (13)$$

按公式(13)，我们得到图 4 中的精确的天空光的近似值(图中的实线)。从图中可以看出近似结果是令人满意的。在这种天空光的近似下，我们定义了两个参数。

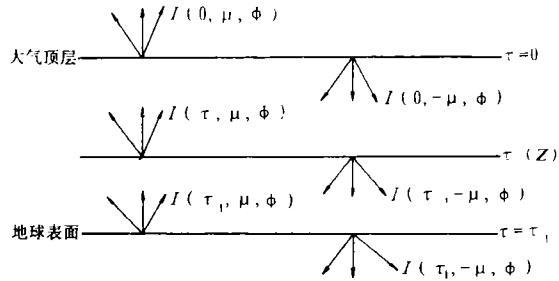


图 5 大气层示意图  
Fig.5 Illustration of atmosphere layers

$$c_0 = \frac{\rho_w}{\rho_t}, c_1 = \frac{\bar{\rho}_t}{\rho_t} e^{-\tau_v \mu_s} t_d(\mu_w) + \frac{\bar{\rho}_t'}{\rho_t} e^{-\tau_v \mu_w} t_d(\mu_s) + \frac{\rho_w}{\rho_t} t_d(\mu_w) t_d(\mu_s)$$

把  $c_0$  和  $c_1$  代入公式(1), 解方程得  $\rho_t$ , 我们称这种大气订正的方法为两参数的 BRDF 大气订正。

### 3 数值实验研究

在实验中, 我们模拟 EOS-AM 平台上 MODIS/MISR 在 3 月 21 日到 3 月 30 日飞过北纬  $45^\circ$  时太阳和传感器的位置, 使用的地表目标是两种地物类型不同程度的混合。这两种地物是叶面积指数为 2.0 的庄稼地和覆盖率为 30% 的稀疏高树, 树高和树冠的垂直半径比为 5, 树冠垂直半径和水平半径比为 2。它们的混合比分别为 0.8—0.2、0.6—0.4 和 0.2—0.8。在 6S 的正向工作状态中, 选用 Ross-Thick-Li-Sparse 模型描述地物目标的 BRDF。表 1 是模型参数。为使实验结果具有一定的普遍性, 我们模拟了三种大气条件(气溶胶在 550nm 的光学厚度为 0.15、0.3 和 0.5)和两个波段(红波段 0.66—0.68  $\mu\text{m}$ , 近红外 0.85—0.88  $\mu\text{m}$ )。

表 1 半经验模型的参数

Table 1 Model parameters of semi-empirical model

地物类型	模型参数(红光/近红外)		
	$f_0$	$f_1$	$f_2$
80% 庄稼 20% 高树	0.0481/0.2160	0.0016/0.0090	0.0026/0.1452
60% 庄稼 40% 高树	0.0560/0.2745	0.0030/0.0180	0.0190/0.1089
20% 庄稼 80% 高树	0.1100/0.5915	0.0064/0.0360	0.0065/0.0360

#### 3.1 三种基于 BRDF 的大气订正的比较

为比较三种基于 BRDF 的大气订正方法, 我们设计了一个实验, 流程图如图 6。在表 2 中给出了气溶胶光学厚度为 0.3 时的结果。

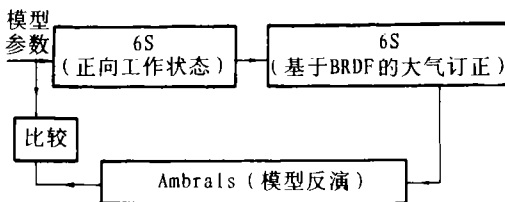


图6 比较三种基于BRDF 的大气订正方法的流程图

Fig.6 Flow chart for comparison in BRDF-based atmospheric correction methods

通过表 2 可以看出: (1)天空光各向同性假设下的三参数的 BRDF 的大气订正有较大的误差, 因此这种假设是不合理的。(2)两参数和三参数的 BRDF 的大气订正的结果很接近, 而且非常接近真值。在实验中, 我们使用的是两参数的 BRDF 的大气订正。

表2 三种基于 BRDF 的大气订正的结果

Table 2 Comparison in BRDF-based atmospheric correction methods

大气订正方法	模型参数(红光/近红外)		
	$f_0$	$f_1$	$f_2$
真实的模型参数	0.0560/0.2745	0.0030/0.0180	0.0190/0.1089
各向同性假定下 的三参数 BRDF 订正	0.0613/0.2857	0.0036/0.0198	0.0230/0.1479
三参数的 BRDF 订正	0.0559/0.2745	0.0030/0.0180	0.0191/0.1089
两参数的 BRDF 订正	0.0560/0.2724	0.0030/0.0176	0.0184/0.1020

### 3.2 BRDF—— 大气订正环的必要性和有效性

将模拟的参数输入 6S, 通过计算得到大气上面的反射率, 然后进行朗伯假定的大气订正, 使用订正结果在 Ambrals 中寻找最佳模型并进行模型反演。我们使用的最佳匹配模型为 Ross-Thick-Li-Sparse 模型。根据反演出的模型参数通过 6S 作基于 BRDF 的大气订正。然后进行 BRDF 和模型参数的比较。表 3 给出了订正结果与真值之间的相对均方误差。

表3 朗伯体假定 BRDF—— 大气订正环订正结果的均方误差(%)

Table 3 The RMSE(%) between correction results and true values

比较项目	波段	气溶胶的光学厚度(550nm)					
		0.15		0.30		0.50	
		I	II	I	II	I	II
BRDF	红	2.3-5.2	0.4-1.3	5.9-10.6	0.7-2.9	7.4-16.2	1.6-5.9
	近红外	1.5-5.7	0.1-0.7	2.7-7.7	0.4-2.5	4.1-14.2	1.2-6.2
模型参数	红	8.9-11.0	0.7-2.4	11.9-14.6	3.8-5.5	19.9-30.2	8.6-18.9
	近红外	4.6-24.6	0.3-1.6	11.7-39.9	1.4-5.1	18.6-59.0	3.6-11.7

注: I 为朗伯假定情况; II 为本文介绍的 BRDF—— 大气订正环的订正结果。

从表 3 可以看出朗伯体假定的大气订正有较大的误差, 且误差随气溶胶光学厚度的增加而增大。但经过 BRDF—— 大气订正环订正后的结果有明显改进。图 7 和图 8 分别表示红光和近红外在气溶胶光学厚度为 0.3 时地表目标反射主平面的 BRDF(其中 60% 是庄稼地, 40% 是高树)。实线为真实 BRDF, 点线为朗伯假定的大气订正的 BRDF, 虚线为经过 BRDF—— 大气订正环订正之后的 BRDF。可以看到虚线比点线更接近实线。但该地物热点效应并不明显。由于在近红外时, 大气的散射比在红光波段弱, 所以近红外波段的订正效果比红光波段要好些。

### 3.3 BRDF—— 大气订正环的可靠性

目前无法从数学上证明这种 BRDF—— 大气订正环一定收敛。我们将这个环在各种情况下重复几次观察其是否收敛。表 4 给出了气溶胶光学厚度为 0.3 时的实验结果。

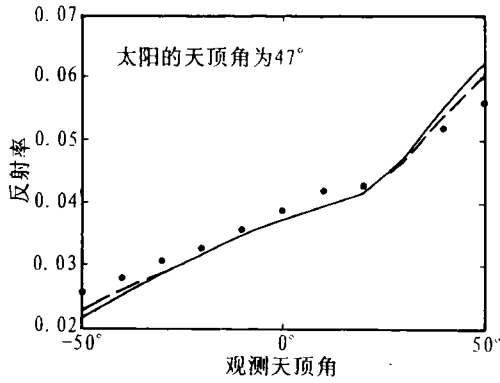


图7 主平面上的BRDF(红波段)

Fig.7 BRDF in the principal plane (Red)

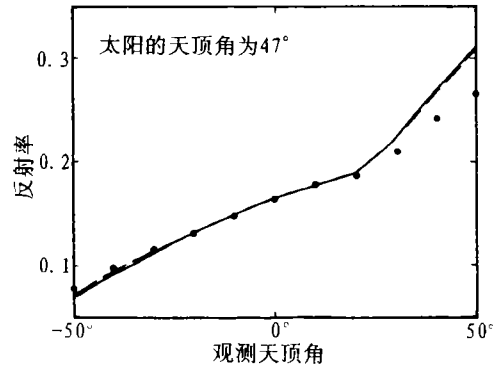


图8 主平面上的BRDF(近红外)

Fig.8 BRDF in the principal plane (NIR)

表4 多次BRDF——大气订正环的订正结果

Table 4 The correction results through multiple loops

波段	循环次数	$f_0$	$f_1$	$f_2$	相对变化(%)
红光	1st	0.055382	0.002892	0.017729	
	2nd	0.055806	0.002969	0.018739	2.24
	3rd	0.055942	0.002991	0.018945	0.69
	4th	0.055983	0.002998	0.018987	0.17
	5th	0.055997	0.003000	0.018997	0.05
	6th	0.056001	0.003000	0.018999	0.005
	真值	0.056000	0.003000	0.019000	
近红外	1st	0.271676	0.017550	0.107462	
	2nd	0.273536	0.017859	0.109031	1.3
	3rd	0.274181	0.017955	0.109014	0.27
	4th	0.274397	0.017986	0.108946	0.1
	5th	0.274468	0.017996	0.108915	0.037
	6th	0.274492	0.017999	0.108904	0.01
	真值	0.274500	0.018000	0.108900	

从中可以看出, 每经过一次循环, 反演的结果相对变化减小, 而且比上一次的反演结果更接近真值。经过几个循环之后相对变化小于 0.05%。MISR 大气订正专家组就这个问题对他们的 BRDF——大气订正环进行了实验证明, 得到了和我们相似的收敛结果。

## 4 结论

1. 朗伯假定的大气订正会引起相当大的误差, 在进行大气订正时应考虑地表目标的

## BRDF.

2. 天空光是各向异性分布的,我们使用的天空光的近似方法是有效的,而且在很大程度上节省了运算时间。

3. 本文介绍的BRDF——大气订正环的订正结果较朗伯假定的大气订正有明显的改进。

4. 在本文的工作中,我们尚未考虑有限大小地面目标和邻近象元的影响,这有待进一步的工作。

## 参 考 文 献

- [1] Y. J. Kaufman. Theory and Applications of Optical Remote Sensing. Wiley-Interscience Publication, 1989.
- [2] Diner, D. J. *et al.* Level 2 Algorithm Theoretical Basis: Aerosol/Surface Product Part 2 (Surface Parameters). Jet propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 1994.
- [3] Strahler, A. H. *et al.* MODIS BRDF/Albedo Product: Algorithm Theoretical Basis Document Version 3.2. Center for Remote Sensing, Boston University, 1995.
- [4] Wanner, W., Li, X., Strahler, A. H., On the Derivation of Kernals for Kernel-Driven Models of Bidirectional Reflectance. J. Geophys. Res., in press.
- [5] Vermote, E. *et al.* Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S), 6S User Guide Version 0. NASA-Goddard Space Flight Center-Code 923, Greenbelt, MN 20771. U.S.A., 1994.
- [6] Wanner, W. *et al.* Global Mapping of Bidirectional Reflectance and Albedo for the EOS MODIS Product. IGRASS'95. Italy, 1995.
- [7] Kimes, D. S., Kerber, A. G. and Seller, P. J. Dynamics of Directional Reflectance Factor Distribution for Vegetation Canopies. Appl. Opt., 1983, **22** (9): 1364—1372.
- [8] Kimes, D. S. *et al.* Directional Reflectance Factor Distributions for Cover Types of Northern Africa. Remote Sens. Environ. 1985, 18: 1—19.
- [9] Kimes, D. S. *et al.* Distributions of a Hardwood and a Pine Forest Canopy. IEEE trans. Geosci. Remote Sens. 1986, GE-24: 281—293.
- [10] Chandrasekar, S. Radiative Transfer. Dover Publications, Inc., New York, 1960.
- [11] Hapke, B. Bidirectional Reflectance Spectroscopy 1. Theory, J. Geophys. Res., 1981, **86** (B4): 3039—3054.
- [12] Roujean, J. L. A Tractable Physical Model of Shortwave Radiation Interception by Vegetative Canopies. J. Geophys. Res., Submitted, 1995.

## 作 者 简 介

胡宝新,女,1966年10月生,1987年毕业于天津大学电子工程系,1989年底获硕士学位,1990年至今在中科院遥感所工作,现从事遥感影像大气纠正工作。

## A New Method for Atmospheric Correction: BRDF—— Atmospheric Correction Loop

Hu Baoxin    Li Xiaowen    Zhu Chongguang

*(Institute of Remote Sensing Application, CAS, China.)*

Alan H. Strahler

*(Center for Remote Sensing, Boston University, U.S.A.)*

**Abstract** This paper introduces a new method for atmospheric correction: BRDF-Atmospheric correction Loop. Atmospheric correction was firstly performed by assuming that the ground is a Lambertian surface. By a series of corrected results of observed data under different imaging geometric conditions, a model which can describe the most of these data was then found in the BRDF database. Finally, the atmospheric correction based on BRDF was carried out, according to the modelling parameters of the inversion. A number of experiments were designed, which have proved the effectiveness and feasibility of this method.

**Key word** Atmospheric correction, BRDF (Bi-directional Reflectance Distribution Function), Lambertian, LAI (Leaf Area Index)