

# 基于模拟数据分析地形校正模型效果及检验\*

闻建光<sup>1)</sup> 柳钦火<sup>1)</sup> 肖青<sup>1,2)</sup>

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

2)核工业北京地质研究院遥感中心, 100029, 北京)

**摘要** 对目前已有的多种地形校正模型(余弦校正模型、C校正模型、Minnaert模型、统计校正模型、SCS校正模型以及SCS+C校正模型)的优缺点进行了详细的评价, 分析了各种地形校正模型的起源和物理意义, 采用数值模拟(Li-Strahler几何光学模型(GOMS))技术生成不同地形条件下的冠层反射率, 并采用上述多种模型进行地形影响的消除, 从理论上研究分析各种地形校正模型的特点, 结果表明统计模型和C校正模型是这些地形校正模型中较好的模型方法, 利用结果最优的模型方法对中国江西兴国县的地形进行校正试验, 结果表明引入的C校正模型可以较优地进行地形影响的消除。

**关键词** 地形校正; 几何光学模型; 数值模拟

平原区域传感器观测的辐射直接与地表实体的本质联系在一起, 往往假定数据引入的误差是均一的<sup>[1]</sup>。在山区, 特别是空间分辨率较高的山区遥感影像(如SPOT, TM, Hyperion等), 则需考虑辐射特性受地形与海拔的影响; 太阳-地表目标-传感器之间的几何位置关系随像元不同而异, 影响传感器观测的辐射值复杂而且多变, 给遥感数据的分析和应用带来了较大的困难。

目前已有多种模型可以进行地形的校正, 最初开始的模型是波段比值, Holben等<sup>[2-3]</sup>提出了此方法来减少遥感数据由于地形起伏带来的影响, 该方法简单, 不需要其他任何辅助数据, 假设2个比值波段的反射率是等比例增加或减少, 因而它们的商会减少地形的影响, 较为经典的地形校正模型是余弦校正模型, 该模型基于卫星传感器所接收的辐射值与太阳直接入射辐射值之间的经验余弦关系发展而来<sup>[4]</sup>, 需要引入数字高程模型(DEM)数据, 以此获得太阳方位与地表目标像元法线之间角度的余弦。二十几年以来, 利用DEM结合卫星传感器所接收的实际辐射观测值建立模型是地形校正的一般思路, 模型总括起来主要有朗伯体地表假设模型和非朗伯体地表假设模型, 前种模型忽略了几何的影响, 假定地表反射各向同性, 多种模型都是在这种假设下成立的, 如余弦模型, 统计模型<sup>[5]</sup>和太阳-冠层-传感器(sun-canopy-sensor, SCS)模型<sup>[6]</sup>等, 另外在这些模型基础上还发展了许多经验或是半经验的模型, 如余弦模型和SCS模型中引入经验因子C, C可由原始影像的辐射与相对应的太阳相对入射角余弦之

间的关系获得<sup>[7]</sup>。非朗伯体模型假设地表反射各向异性, 最具代表性的模型是Minnaert模型<sup>[8]</sup>。

以上所提到的模型仅仅考虑太阳直射辐射, 忽略了大气的散射辐射及周围地形背景反射辐射, 更为精确的地形和大气校正需要综合考虑太阳直射辐射、大气的散射辐射以及周围地形背景反射辐射, 但在实际应用中, 大气参数获取不够或不精确, 给模型应用带来了较大的困难, 因此目前地形校正的主要方法还是以校正太阳直射辐射的影响为主, 这些模型都在一定的程度上可减少或消除由于地形变化而带来的遥感数据在表征地表物理参数本质特征方面的误差, 此类模型较多但校正方法缺少统一的标准, 可广泛接受的模型贫乏, 对目前已有的多种地形校正模型方法如何进行综合评价, 选择最佳的模型进行地形校正是一项较为重要的工作。

## 1 消除地形影响主要模型

从20世纪70年代后期开始, 国内外研究者就试图通过各种努力去减少或消除地形对遥感图像的影响, 本文将重点讨论几种典型的物理和半经验模型, 主要包括考虑朗伯体地表的余弦模型、C模型、统计模型、SCS模型、SCS+C模型以及考虑地表非朗伯体地表的Minnaert模型。

### 1.1 朗伯体地表假设模型

**1.1.1 余弦校正模型** 朗伯体余弦校正模型仅仅修正由地形变化产生的辐射差异, 假设大气程辐射已被消除, 忽略天空漫射辐射, 太阳天顶角为 $z$ , 太阳方位

\* 中国科学院创新工程主要方向性资助项目(KZCX3-SW-338); 遥感科学国家重点实验室科研支持基金资助项目

收稿日期: 2007-02-10

角为  $\phi$ , 倾斜坡面的坡度和坡向分别为  $S$  和  $A$ , 倾斜坡面反射率  $\rho_T(\lambda)$  修正为水平地表反射率  $\rho_H(\lambda)$  可由函数

$$\rho_H(\lambda) = \rho_T(\lambda) \cos z / \cos i$$

表示, 太阳相对入射角  $i$  可表示为

$$\cos i = \cos z \cos S + \sin z \sin S \cos(\phi_s - A).$$

许多研究者发现此种方法往往导致过校正现象, 这是朗伯体假设的不充分性和忽略了天空散射、周围地形背景反射影响的结果,  $\cos i$  越小, 过度校正越明显. 对于某像元的  $\cos i$  接近 0 时 (即太阳相对入射角为  $90^\circ$  时), 模型已不适用.

**1.1.2 C 校正模型** C 校正模型是常用的一种基于影像像素值和太阳相对入射角余弦值之间线性关系的经验校正方法. 对于水平地表, 影像像素对应的地表太阳入射角是太阳天顶角, 其反射率和太阳入射角余弦值的关系为

$$\rho_H(\lambda) = m \cos z + b,$$

式中  $m$  为影像像素值和太阳相对入射角余弦值之间线性方程的斜率,  $b$  为其线性方程的截距. 对于倾斜坡面, 影像像素对应的坡面太阳入射角是太阳直射光与坡面法线的夹角, 其反射率和太阳入射角余弦值的关系为

$$\rho_T(\lambda) = m \cos i + b.$$

把倾斜坡面对应的反射率投影到水平地面对应的反射率来对影像进行校正即为 C 校正:

$$\rho_H(\lambda) = \rho_T(\lambda) \frac{\cos z + c}{\cos i + c},$$

其中  $c = b/m$ . C 校正模型较好地模拟影像像素值和太阳入射角余弦之间的关系, 可避免由于入射角余弦过低而引起的过校正现象, 但是由于 C 校正完全是基于样本统计来建立回归方程的校正方法, 因此选择不同的样本会产生不同的 C 校正系数, 从而导致不同的地形校正结果.

**1.1.3 统计模型** 统计模型也是一种基于影像像素值和太阳相对入射角余弦之间经验线性关系的校正方法. 基于此种关系, 太阳直射部分的地形影响可以通过统计模型得到比较好的校正:

$$\rho_H(\lambda) = \rho_T(\lambda) - m \cos i - b + \overline{\rho_T(\lambda)},$$

其中  $\overline{\rho_T(\lambda)}$  是无地形起伏的平坦地区地物反射率, 而在山区是很难获取这种变量的. 所以一般的处理方法是求取同类地物反射率的均值作为  $\overline{\rho_T(\lambda)}$ , 故模型结果存在着一定的误差.

**1.1.4 SCS 及 SCS+C 校正模型** 余弦模型, C 校正模型和统计模型等都是基于太阳-地形-传感器(STS)三者几何位置关系的模型方法, 三者的几何关系随地

形坡度, 太阳高度角和太阳方位角等因素而改变. 在较低空间分辨率的遥感监测尺度下, STS 模型方法具有一定的适用性, 在辐射校正实践中获得了不同程度的精确应用.

然后对于高植被覆盖的山区影像地表结构而言, 坡面地表经 STS 模型校正后的情形与平地的实际情形并不完全一致. 由于树木的向地性生长, 地形影响的只是树木相对地表的位置关系, 而非太阳与树木之间的几何关系. 在这种情况下 STS 模型不再适用对高植被覆盖地表影像进行辐射校正. 为此 Gu<sup>[6]</sup> 提出了太阳-冠层-传感器(SCS)模型.

SCS 模型假定来自光照冠层的反射辐射因树木的向地生长特性而独立于地形. 光照冠层的总体反射率与其光照面积成正比, SCS 模型表示为

$$\rho_H(\lambda) = \rho_T(\lambda) \frac{\cos S \cos z}{\cos i},$$

模型中太阳和冠层之间的几何关系校正前后保持不变, 符合实际, 适合于森林覆盖区域的地形辐射校正. 由于 SCS 模型忽略了散射辐射的影响, 因此校正结果中背光区域的坡面仍然存在过度校正的问题, 迫切需要加以改正.

Scott<sup>[5]</sup> 引入了经验系数  $C$  来改进 SCS 校正模型, 即 SCS+C 校正模型:

$$\rho_H = \rho_T \frac{\cos S \cos z + C}{\cos i + C}.$$

引入  $C$  可仿效天空散射辐射, 起到调解地形影响的作用. 依据参数  $C$  在改进余弦校正模型时获得成功, SCS+C 校正模型相对于 SCS 模型地形校正结果更加精确.

**1.2 非朗伯体地表假设模型** 非朗伯体地形校正模型, 最具典型的是 Minnaert 地形校正模型. Minnaert 函数是由 Minnaert<sup>[6]</sup> 提出的, 后来被应用到月球表面的测量光度分析. Smith 等<sup>[8]</sup> 应用一个经验测量光度函数 (Minnaert 常数) 去检验各种地表朗伯体假设. 在这个函数中, Minnaert 常数  $k$  用来描述地表的二向反射分布函数(BRDF). Minnaert 校正模型为

$$\rho_H(\lambda) = \rho_T(\lambda) \frac{\cos^{k(\lambda)} z}{\cos^{k(\lambda)} i \cos^{k(\lambda)-1} S},$$

其中  $k$  可以由下式获得

$$L(\lambda) = L_n(\lambda) \cos^{k(\lambda)} i \cos^{k(\lambda)-1} S.$$

$L_n(\lambda)$  为当太阳入射角和地形坡度都为 0 时的辐射. 对于地形起伏较小的地区采用 Minnaert 方法被证明是十分有效的, 但是由于要根据不同的日地几何关系和图像波段参数估算 Minnaert 常数, 因此在很大程度上影响了这种方法的应用范围.

## 2 基于 GOMS 的模拟数据地形校正模型评价

GOMS 模型是几何光学遮蔽模型,由李小文<sup>[9]</sup>于 1992 年提出.模型把像元分成光照背景、光照树冠以及阴影 3 部分,每一部分乘以本身的特征反射率然后相加便是整个像元的反射率.模型像元反射率具有 BRDF 特性,采用的 GOMS 模型模拟冠层反射率输入的参数见表 1.

表 1 GOMS 模型输入参数

参数	范围	间隔
坡度/(°)	0~50	2
坡向/(°)	0~360	20
林冠郁闭度/%	10~100	10
水平树冠半径/m	0.8	—
垂直树冠半径/m	3.0	—
冠层高度/m	13.6	—
高度分布/m	13.6	—
太阳天顶角/(°)	40	—
太阳方位角/(°)	150	—
观察天顶角/(°)	0	—
观察方位角/(°)	0	—
光照背景	0.2	—
光照林冠	0.55	—
阴影	0.05	—

GOMS 模型假定像元的大小远远大于单个树冠

的尺寸,未考虑邻近地形遮蔽及邻近像元反射辐射的影响,仅从太阳直射和大气漫散射进行了考虑. GOMS 模型可为上述的几种地形校正模型提供直观的模拟数据,并利用 GOMS 模型模拟的数据进行上述几种模型的验证与评价工作.

图 1 显示了利用 GOMS 模型生成的不同森林郁闭度  $C_c$  (0.2、0.4、0.6 和 0.8) 的近红外波段冠层反射率随地形变化的情况.冠层反射率高值出现在面向太阳的方向(太阳入射方位角是  $150^\circ$ ,因此面向太阳的范围是  $60^\circ\sim240^\circ$ 之间),在这个方向同样冠层面积在坡面上投影面积与平坦区域投影面积相比将会缩小,从而导致冠层反射率增大.在主平面上(方位角分别为  $150^\circ$ 、 $330^\circ$ ),冠层反射率变化最为显著.当方位角为  $150^\circ$  的时候,地物面向太阳,冠层反射率随坡度变化的速度最快.低的冠层反射率出现在背向太阳方向坡面上,此时像元由于阴影占据着主导地位,投射在坡面上的阴影与平坦地区相比被拉长,缩小了相对光照面积.因此背光坡面冠层反射率随地形坡度的增大而缩小,最大缩小幅度是像元内全部是阴影而使冠层反射率达到最低值.

图 1 还显示了不同森林郁闭度下的冠层反射率变化情况,随森林郁闭度的增大,冠层反射率整体增大,其主要原因是在相同地形条件下像元内光照冠层的面

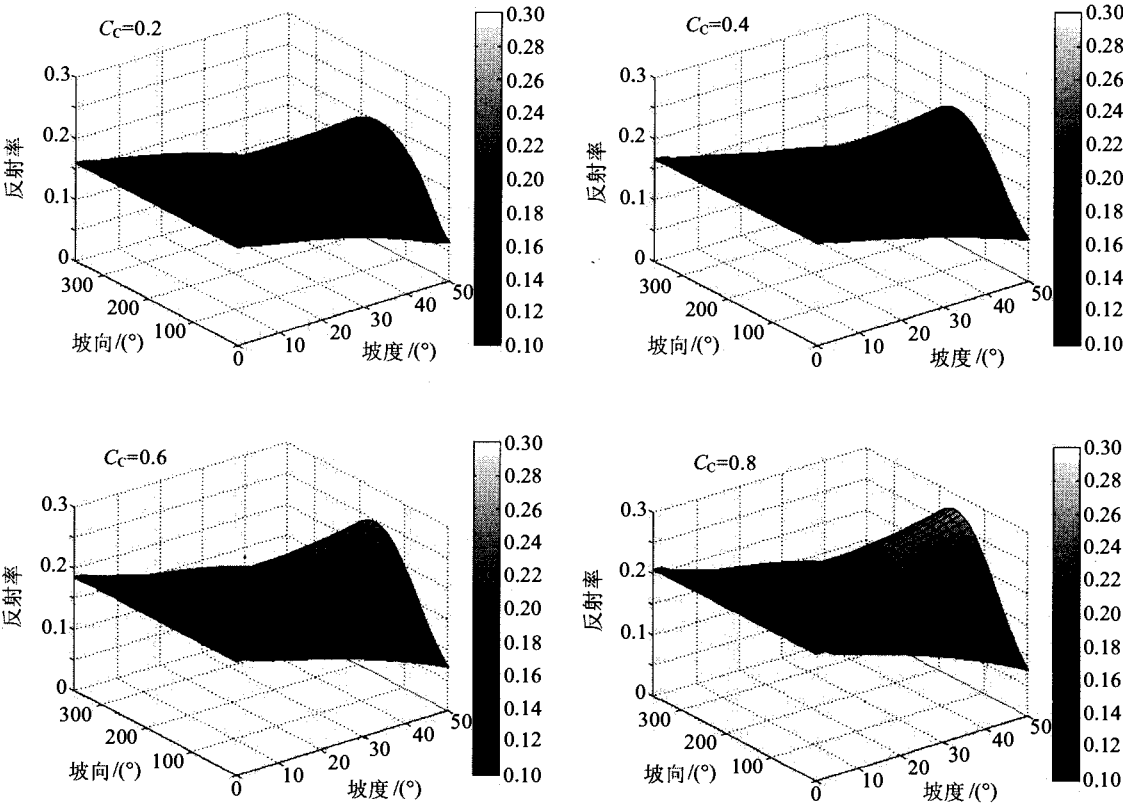


图 1 不同森林郁闭度的 GOMS 模型模拟的冠层反射率

积增大,反射率相对小的光照背景面积缩小,从而使冠层反射率增大,另一个主要的原因是阴影面积由于森

林郁闭度的增大而减少,促使了冠层反射率的增大.

图 2-A 和 2-B 显示了森林郁闭度在 0.6 的假设

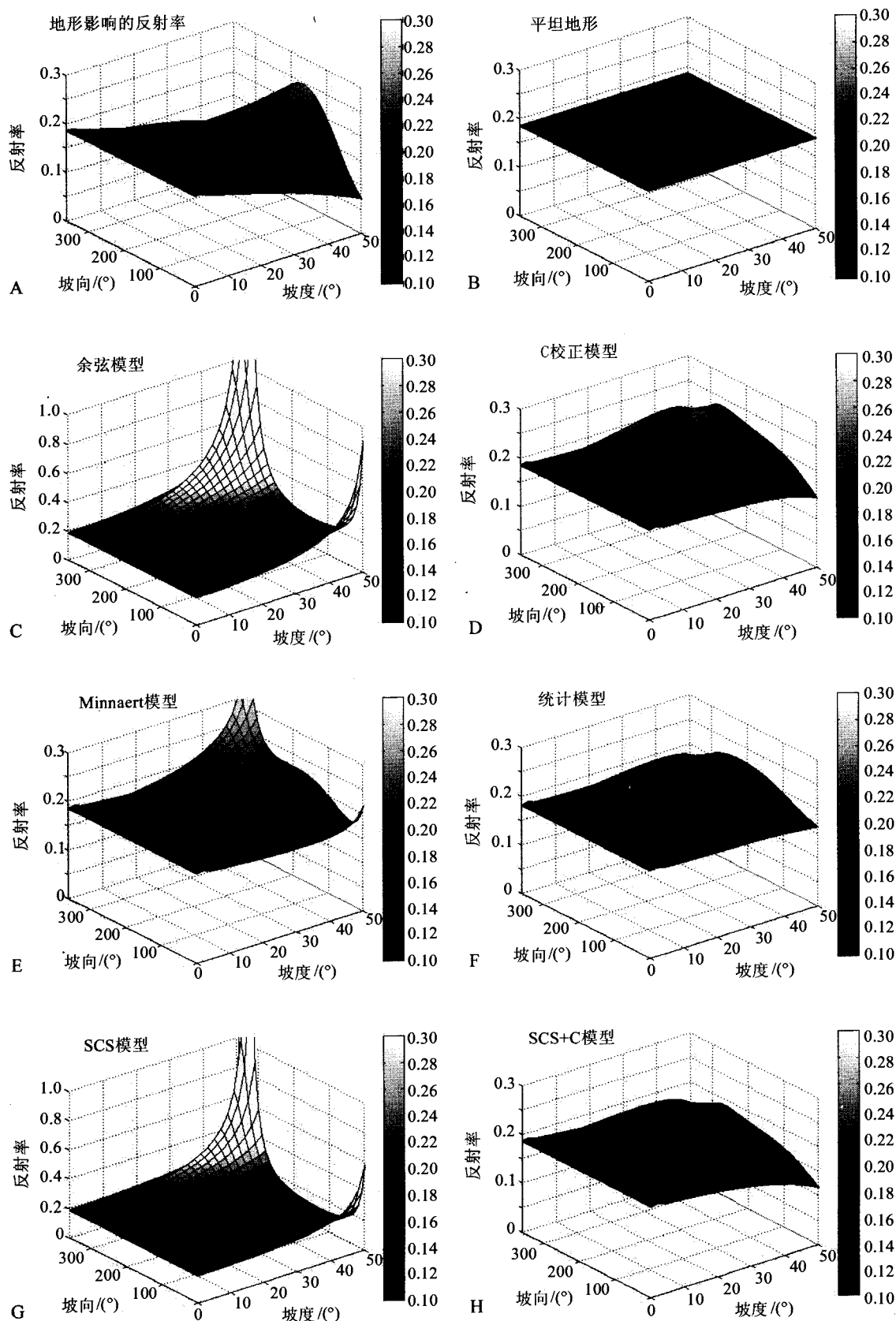


图 2 不同模型用于地形校正的结果

下,受地形影响的冠层反射率以及理论上的地形影响校正结果.图 2-B 是在图 2-A 任何光照以及冠层结构条件都不变的情况下考虑坡度坡向角度都为  $0^\circ$  的情形下生成的,这个模拟结果将为模拟数据的地形校正结果验证提供独立于地形影响的变量,通过将地形校正的各种结果与此结果做对比进行地形校正模型优缺点的评价.

图 2-C 显示了森林郁闭度为 0.6 条件下利用余弦模型方法进行的地形校正结果.余弦校正模型是朗伯体地形校正模型,在背向太阳方向的冠层反射率存在着过度校正的问题,特别是对应  $330^\circ$  的主平面附近坡度比较大时过度校正的现象尤为明显.余弦校正同时还存在着校正不足的问题,但不是特别明显,主要发生在面向太阳的方向.

图 2-D 显示了 C 地形校正的结果,地形校正具有较好的视觉效果.与余弦和 Minnaert 校正结果相比有较大的改进.特别是在背向太阳方向,校正结果未出现特别过高的值.但是存在着过低校正的问题.

图 2-E 考虑了地表非朗伯体的影响,引入了 Minnaert 常数因子.实际上 Minnaert 因子不是一个常数,依赖于光谱波段,相位角以及地表覆盖类型,可通过统计回归获得. Minnaert 模型对余弦校正存在的过度和过低校正问题进行了比较好地改进.特别是在背向太阳坡面的地形校正比余弦校正有更好的结果.但仍存在着过度校正的问题.

统计模型(图 2-F)是在现实中比较难用的模型,虽然它确实可以比较好地校正,可以比较好地消除余弦和 Minnaert 模型的过度校正问题,但是对于要获取比较精确的平坦地形反射率是比较困难的,在实际应用中一般应用同类地物反射率均值,故也会带来比较大的误差.

SCS 地形校正方法是针对太阳-冠层-传感器三者间的几何关系进行的.与余弦模型相比在森林郁闭度达到一定程度(一般要超过 40%)要优于基于太阳-地形-传感器三者之间关系进行的地形校正结果.图 2-G 中可以看出 SCS 校正结果由于模型中分母也是对地形比较敏感的太阳相对入射角的余弦,因此在背向太阳坡面,存在着过度校正的问题,但结果要好于余弦校正.同样在面向太阳的坡面存在着过低校正的问题,而且比较大.可以看出 SCS 模型过低校正出现在面向光源的坡面,角度校正随着坡度角的增大而增大,不同于过低校正问题出现在中间的余弦校正模型方法.

SCS+C 模型对 SCS 有了很大的改进(图 2-H),2 个方面问题(地形过度校正和过低校正)得到了比较好地解决.但是 C 因子的引入并没有避免过度校正和过

低校正.

图 3 显示了各种方法的均方根误差(RMSE),余弦校正和 SCS 校正效果都比较差, RMSE 明显高于其他 4 种方法,主要原因是模型分母的太阳相对入射角余弦的影响比较敏感.造成了背离太阳方向坡面主平面附近存在着较大地形过度校正的问题,SCS 模型由于在分子中引入了坡度角的余弦,在一定程度上消除了由于太阳相对高度角过小带来的地形过度校正的问题,因此 RMSE 比余弦校正要低. Minnaert 模型与其他的 3 种模型从原理上说都是半经验模型, C 模型,统计模型, SCS+C 模型需要经验常数 C(统计模型虽然没有 C,但是模型里面包含了我们求 C 的经验线性关系式), Minnaert 模型需要 Minnaert 系数  $k$ ,这些都需要通过经验的手段获得.这些模型通过引入先验知识而得到了比较好的地形校正结果.

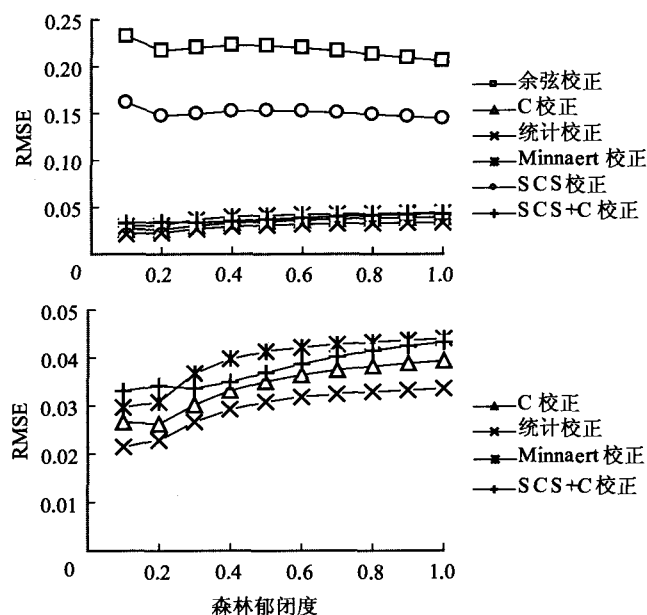


图3 各种模型地形校正结果的均方根误差 RMSE

4 种模型当中,均方根误差 RMSE 最低的统计模型显示了无论是在哪种森林郁闭度情况下,都表现出了比较好的优势,但是模型需要以平坦地形因子作为变量,模型的应用具有一定的局限性.我们在模拟数据中可以很容易的得到此类因子,在实际应用中需要借用地形的均值反射率来替代,但势必会引入比较大的误差. RMSE 处于次之的 C 校正模型.同样也在不同的森林郁闭度条件下显示了比较好的结果误差精度. Minnaert 校正和 SCS+C 校正结果的 RMSE 出现了交叉现象,交叉点出现在森林郁闭度 0.2 和 0.3 之间,在森林郁闭度低于 0.3 时候, Minnaert 模型校正结果要比 SCS+C 模型校正结果的 RMSE 低近 0.004.而当森林郁闭度高于等于 0.3 的时候, SCS+C 模型要

比 Minnaert 模型 RMSE 低近 0.0048 的误差,但是当森林郁闭度达到 1 的时候,两者的 RMSE 却很接近.

上述分析以 GOMS 模型模拟数据为基础,模型本身忽略了地形遮挡及周围地形反射辐射,因此在实际数据的应用中可能存有一定的误差.

### 3 研究区域以及数据

中国江西作为实验区域.江西省地处中国的东南部,境内多处是山区,复杂的地形给本地的遥感应应用带来了一定的困难.森林是江西省的重要资源,而本地森林主要分布在山区.因此,对江西进行森林遥感首先需要解决的是地形对遥感的影响.

本文选择江西兴国县作为典型的样本区域(图 4),中心地带处于 115°23.3'E,26°34.8'N.此处与泰和县接壤,在泰和县境内有中国科学院千烟洲生态实验观测站,可以提供有效的地面观测数据.所选区域地表覆盖主要为针叶林地以及红壤.

试验区选择的遥感数据是 LandsatTM5 的 6 个可见光近红外波段,当地过境时间为 2003 年 10 月 26 日 10:30 左右,过境时间的太阳高度角为 45.878°,方位角是 145.988°,图像大小为 400×400 pixels. DEM 也被搜集作为地形校正的辅助数据,利用太阳高度角和方位角,生成相应的坡度和坡向图、太阳相对入射角余弦等地形相关因子.

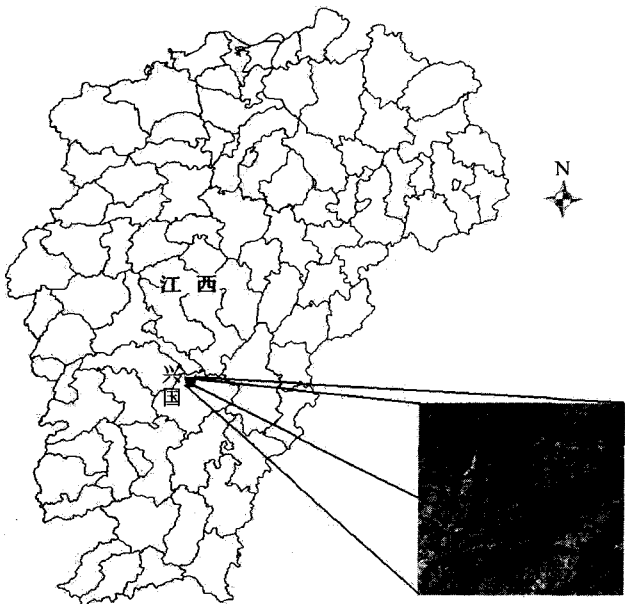


图 4 研究区域

## 4 地形消除

**4.1 模型方法的选择** 利用 GOMS 模型生成的不同地形条件下冠层反射率为模拟数据,对多种地形校正模型进行了理论上的评价,通过评价结果的均方根误

差分析,可知统计模型以及 C 校正模型是地形校正模型较优模型.但对于统计模型,在实际应用中很难精确获取无地形起伏的地物反射率,如果采用均值作为其变量存在着较大的误差,因此在选择 C 校正模型作为此地区地形消除的模型方法.

C 校正模型是半经验模型,地形消除的结果精度与经验系数 C 的选取有较大的关系.本文在图中地形起伏区域随机选择了多个样本点,训练出 C 的值(如表 2),应用此 C 值代入 TM 的 6 波段进行地形影响的消除.

表 2 C 校正模型对应 TM 波段的经验系数 C

TM 波段	斜率	截距	C
1	0.0158	0.015	0.949367
2	0.0356	0.0341	0.957865
3	0.0345	0.0178	0.515942
4	0.2793	0.1118	0.400286
5	0.1863	0.0526	0.28234
6	0.0757	0.0139	0.18362

**4.2 视觉上定性评价** 从图 5-A 中发现,校正前地形影响显著.光照面和阴影面的反射率对比度比较大,面向太阳坡面的光照较强,反射率较大,对于同种类型的地表覆盖由于背向太阳,光照不足,反射率过低.图 5-B 是考虑地形影响利用 C 校正模型进行地形消除的结果,地形变化已经消除,成为以平坦地表为特征的遥感影像,地形校正后的影像具有以下几个明显的特征: 1)从影像色调和饱和度上分析,影像整体色调和饱和度趋于一致,光照面山坡亮度得到压制,阴影面山坡亮度得到了增强. 2)很好地恢复了原始影像阴影隐藏下的地物类型.原始影像上由于阴影下的极低亮度值很难分辨出是何种地物类型,经 C 模型地形校正后,阴影下的地物得到了重现. 3)模型保持了平坦地区地物的色调和饱和度,如在图 5-B 无地形影响的河漫滩(典型的区域是图像左下角处)处理后保持了原始影像中的色调和饱和度.

**4.3 反射率随太阳相对入射角余弦的变化分析** 由于地形的影响,常规的大气校正方法获得的反射率随地形坡度坡向变化,表现在随太阳相对入射角度的余弦变化而变化,其趋势是随余弦值增大,地物反射率值增大,因此才发展了经典的余弦模型.根据此种思想,进行地形校正后影像像素的反射率将不会随入射角余弦的变化而变化.

线性回归拟合方程可以表示像素反射率与余弦之间的关系,其线性方程的斜率代表了地形影响的程度,斜率越小,地形影响消除的结果越好.因此采用一个斜率系数 R 来对校正效果进行评估.

图 6 显示了 TM 波段 4 的反射率在地形校正前后

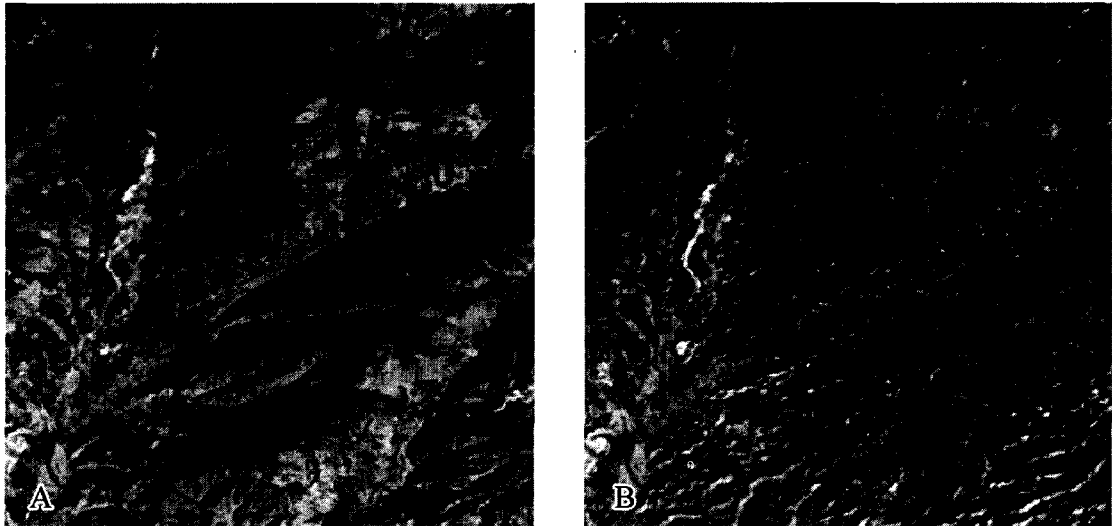


图 5 校正前后 TM 图像对比(TM5,4,3 波段合成)

随太阳相对入射角余弦之间的关系对比,地形校正后斜率系数  $R$  大大减小(由校正前的 0.288 8 降低到 0.004 1),表现为反射率受地形影响的程度大大减小.表 3 列出了 TM 所有波段地形校正前后反射率与余弦之间线性回归斜率的变化情况,所有波段利用 C 模型方法进行的地形校正可以较好地消除地形的影响.

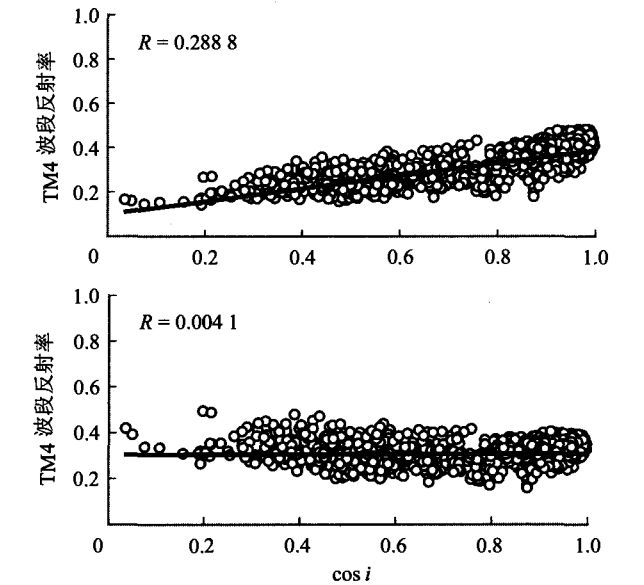


图 6 反射率与太阳相对入射角余弦之间的关系对比(上:校正前,下:校正后)

表 3 TM 波段 C 模型校正前后反射率与余弦线性关系斜率  $R$  值对比

TM 波段	大气校正前	C 模型方法
1	0.010 8	-0.005 2
2	0.032 1	-0.004 3
3	0.031 5	-0.004 3
4	0.288 8	0.004 1
5	0.207 5	0.017 5
7	0.086 3	0.007 6

4.4 光谱特征变化分析 以上分析可以知,利用 C 模型方法进行的地形校正获得的地表目标反射率更能接近地物的本质特征.为了能进一步说明问题,我们选择了影像中 2 种典型地物(森林和土壤)作为地表覆盖类型,说明本文考虑地形因素,进行处理后减少了反射率的变化.针对地形校正前与地形校正后的地表反射率影像中的森林和土壤(阴坡和阳坡)中随机选择 1 600 多个像元并进行分析,产生阴坡和阳坡森林和土壤各 3 条反射率样本均值的反射率曲线(图 7).可见,在常规大气校正的反射率图中,阴阳坡的同类地物反射率差异较大.经 C 模型方法地形校正后,在阴影区,地物反射率明显增大,相反光照区域得到了部分抑制,更好地反映了地物的真实状况(图 7 下);在森林和土壤覆盖的阳坡,经地形校正后反射率减小了 15.7%和 9.1%左右,而阴坡的反射率增加了 61.7%和 12.3%左右,校正后阴阳坡的植被和土壤反射率趋于一致且同类地物反射率的均方根误差大大减小(如表 4).

表 4 地形校正前后森林和沙地反射率均方根误差 RMSE

TM 波段	森林覆盖区域		土壤覆盖区域	
	校正前	校正后	校正前	校正后
1	0.007	0.004	0.013	0.009
2	0.013	0.004	0.021	0.023
3	0.011	0.003	0.029	0.015
4	0.111	0.025	0.048	0.020
5	0.066	0.016	0.083	0.048
7	0.025	0.007	0.053	0.034

5 结论

针对当前主要的地形校正模型,利用 GOMS 模型模拟生成不同地形条件下的冠层反射率数据进行多种模型消除地形影响能力的评价,并以此选择最优的地

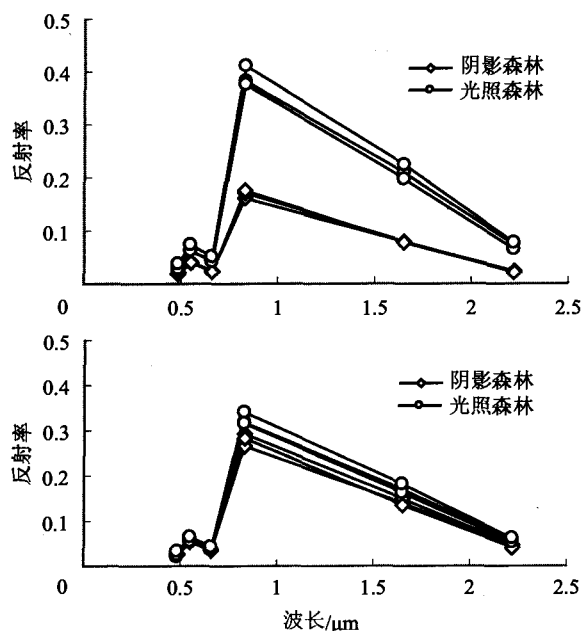


图 7 地形校正前后森林反射率对比

上:校正前,下:校正后.

形校正模型进行江西兴国试验区的应用. 本文的研究结果说明:

1) GOMS 模型可以进行不同地形校正模型能力的评价. GOMS 模型可以模拟不同森林郁闭度条件下受不同地形起伏影响的冠层二向性反射, 可以生成理想的无地形影响的冠层反射率. 通过应用多种地形模型进行地形影响消除的效果和误差评价, 说明每种地形校正模型的优缺点, 并指出统计模型以及 C 校正模型是较好的地形校正模型. 本模型的应用为多种地形校正影响的评价提供可行有益的模拟数据.

2) 本文在江西的应用过程中选择了 C 模型进行地形影响消除的评价, 结果通过视觉定性评价, 反射率与太阳相对入射角余弦关系变化以及同类地物光谱特征变化分析, 说明 C 模型可以进行较好的地形校正. 其主要原因是经验 C 值是通过影像统计回归获得的结果, 在一定程度上利于消除遥感影像的地形影响. 本文未采用 RMSE 最小的统计模型, 其原因在于理想的无地形影响反射率难以精确获得.

3) 本文的地形校正模型方法主要考虑了太阳直射辐射受地形的影响, 采用的模拟数据也忽略了周围地形反射辐射, 模型评价的结果有一定的局限性, 会造成一定范围和程度上的误差. 物理模型可以详细地考虑和描述太阳直射, 大气漫散射以及地形反射辐射 3 部分辐射来源(山地辐射传输模型)<sup>[10-11]</sup>, 但是物理模型需要多种大气参数的支持, 才能获得较好的结果, 然而实际中, 很多大气参数的获取是非常困难的(如大气程辐射, 气溶胶类型以及光学厚度等), 因此, 本文所采

用的地形校正模型进行地形影响消除能力的评价是有意义的.

当然, 我们模拟数据是具有方向性的, 我们只是研究了其中一个方向的太阳入射和地表反射, 没有充分考虑模型对于地表二向性反射的适应性. 同时我们也没有考虑云存在对地形消除的影响, 虽然天空云的存在会影响大气辐射传输过程. 我们还注意到, 本文模型在实际应用中的一些山脊和山谷中都有不同程度的过纠正或过欠纠正的像元, 其可能的原因是由于 DEM 的空间分辨率较低, 计算的坡度和坡向在山脊和山谷有较大的误差. 另外, 影像间的配准误差和 DEM 本身的误差都会影响地形校正的精度.

## 6 参考文献

- [1] Proy C, Tanre D, Deschamps P Y. Evaluation of topographic effects in remotely sensed data[J]. Remote Sensing of Environment, 1989, 30:21
- [2] Holben B N, Jusice C O. The topographic effect on spectral response from nadir-pointing sensors [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1980, 46:1191
- [3] Holben B N, Jusice C O. An examination of spectral band ratio to reduce the topographic effect on remotely-sensed data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1981, 2:115
- [4] Teillet P M, Guindon B, Goodenough D G. On the slope-aspect correction of multispectral scanner data [J]. Canada Journal of Remote Sensing, 1982, 8(2):84
- [5] Meyer P, Itten K I, Kellenberger T, et al. Radiometric corrections of topographically induced effects on Landsat TM data in an alpine environment [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1993, 48(4):17
- [6] Gu D, Gillespie A. Topographic normalization of Landsat TM images of forest based on subpixel sun-canopy-sensor geometry [J]. Remote sensing of Environment, 1998, 64:166
- [7] Scott A, Soenen, Derek R, et al. SCS+C: a modified sun-canopy-sensor topographic correction in forested terrain[J]. IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing, 2005, 43(9):2148
- [8] Smith J A, Lin T L, Ranson K J. The Lambertian assumption and Landsat data [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1980, 46:1183
- [9] Li X, Strahler A H. Geometric-Optical bidirectional reflectance modeling of the discrete crown vegetation canopy: effect of crown shape and mutual shadowing [J]. IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing, 1992, 30(2):276



- [10] Denis J, Gratton, Philip J, et al. Using landsat-5 thematic mapper and digital elevation data to determine the net radiation field of a mountain glacier [J]. Remote Sensing of Environment, 1993, 43:315
- [11] 阎广建, 朱重光, 郭军, 等. 基于模型的山地遥感影像辐射订正方法[J]. 中国图形图像学报, 2000, 5(1):11

## ASSESSMENT OF DIFFERENT TOPOGRAPHIC CORRECTION METHODS AND VALIDATION

Wen Jianguang<sup>1)</sup> Liu Qinhua<sup>1)</sup> Xiao Qing<sup>1,2)</sup>

(1) State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications,  
Chinese Academy of Sciences, 100101, Beijing, China;

2) Beijing Research Institute of Uranium Geology, 100029, Beijing, China)

**Abstract** Some typical topographic correction methods, such as band ratio model, Minnaert model, cosine model, SCS model, John model, statistic model and their C correction methods, are assessed in detail. First, the origin of all the topographic correction methods and their premise conditions are listed and analyzed. Geometric optical model system (GOMS) is used to create the canopy reflectance under different topographic conditions. And then all the topographic correction methods are used in the simulation and the topographic correction results are compared with the nadir reflectance in flat area. The assessment methods show that the statistic model and C correction model are the best method for diminishing or removing the effects of the topography. Finally, the performance of the best method is tested by Landsat TM data, in Xingguo testing area, Jiangxi province, China. The test result shows that the C correction method is the best method for diminishing and removing the effects of topography.

**Key words** topographic correction; GOMS model; numerical simulation