

# 山区遥感图像地形校正模型研究综述\*

段四波 阎广建

(北京师范大学地理学与遥感科学学院, 遥感科学国家重点实验室, 环境遥感与数字城市北京市重点实验室, 100875, 北京)

**摘要** 从经验模型、物理模型、半经验模型 3 个方面详细叙述了山区遥感图像中消除地形因素影响的主要方法, 同时分析了现有模型存在的主要问题, 并展望了地形校正将来的主要发展方向。

**关键词** 地形校正; 遥感图像; 山区; 模型

在崎岖的山区, 由于地形的起伏, 每个像元所接收到的有效光照有很大的差别。表现在遥感图像中, 阴坡上的像元接收到较弱的照度而具有较低的亮度值, 与此相反, 阳坡上的像元却接收到较强的照度而具有较高的亮度值。这样, 处在阳坡和阴坡的同类地物的像元亮度值相差较大, 而不同地物却可能具有相近的亮度值。这种光谱信息的变化, 严重影响了山区遥感图像的信息提取精度, 成为了山区遥感图像进一步应用的主要障碍。地形校正的主要目的就是消除这种影响, 恢复地物在水平条件下的真实反射率或辐亮度, 是定量遥感应用的前提。利用数字高程模型(DEM)结合卫星传感器所接收的实际辐射观测值来获取地表真实参数是地形校正的一般思路。从 20 世纪 80 年代开始, 国内外研究者已经建立了多种地形校正模型来减少或消除山区遥感图像中地形因素的影响。这些模型大体上可以分为三类: 经验模型、物理模型、半经验模型。

## 1 经验模型

经验模型又称为统计模型, 是太阳入射角与卫星传感器所接收的辐射之间的经验关系的总结。其主要优点是参数较少、简便、适用性强, 但其理论基础不够完备, 缺乏对物理机理的足够理解和认识, 代表性差。经验模型中有些参数缺乏明确的物理意义, 模型的产生需要大量的实测数据, 而且不同地区、不同条件下往往需要分别建立不同的经验模型。

**1.1 波段比模型** 波段比模型比较简单, 它只对遥感图像本身进行处理, 不要求额外的输入数据参与地形校正, 其基本原理是: 假定地形变化产生的波段间的辐射差异是一比例常数, 那么通过一个波段的光谱值除以另一个波段的光谱值就可以消除地形的影响<sup>[1-3]</sup>。但是, 由于地形变化对不同波段的影响不同, 故此模型只能起到压抑地形影响的作用。并且这种模型丢失了大

量的图像信息, 无法实现图像的定量分析, 近年来已很少采用<sup>[4]</sup>。

**1.2 Minnaert 校正模型** Smith 等<sup>[5]</sup>应用一个经验测量光度函数(Minnaert 常数)来考虑地表反射的非朗伯特特性。Minnaert 函数是由 Minnaert 在 1941 年提出的, 后来被应用到月球表面的测量光度分析<sup>[6]</sup>。在这个函数中, Minnaert 常数  $k$  用来描述地表的二向性反射分布函数(BRDF)。

在 Smith 等<sup>[5]</sup>的研究中, Minnaert 常数  $k$  可由下面的方程线性化得到:

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

式中:  $L_n$  为太阳在天顶时水平面像元所接收的辐亮度;  $L$  为坡面像元所接收的辐亮度;  $S$  为坡度;  $i$  为太阳光线与坡面法线的夹角, 也即太阳入射角。

太阳入射角  $i$  可由下式来表示<sup>[7]</sup>:

$$\cos i = \cos s \cos S + \sin s \sin S \cos(s - A),$$

式中:  $s$  为太阳方位角,  $A$  为坡向,  $s$  为太阳天顶角。

自 1980 年 Smith 等提出 Minnaert 校正模型以来, 许多研究者相继利用此模型在类型不同的地形区, 对不同的地表覆盖物以及不同遥感数据的地形影响进行了校正, 都取得了比较满意的结果<sup>[8-9]</sup>。虽然基于非朗伯特假定的 Minnaert 校正模型对于地形起伏较小的地区被证明是十分有效的<sup>[10-11]</sup>, 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, 因此很大程度上影响了此模型的应用范围。

**1.3 经验统计校正模型** 经验统计校正模型是一种基于图像的辐亮度和太阳入射角余弦值之间线性关系的经验校正模型<sup>[12]</sup>。其通过把坡面像元接收的辐射旋转到水平面来校正太阳直射部分的地形影响:

$$L_H = L_T - m \cos i - b + L_T,$$

式中:  $L_T$  为坡面像元接收的辐亮度,  $L_H$  为水平面像元接收的辐亮度,  $m$ ,  $b$  分别为回归方程的斜率和截距。

\* 国家自然科学基金资助项目(40471095); 长江学者和创新团队发展计划资助项目

收稿日期: 2007-03-24

其中  $L_T$  理论上是无地形起伏的平坦地区地物的辐亮度, 而在山区是很难获取这一变量的. 所以一般的处理方法是求取同类地物辐亮度的均值作为  $L_T$ , 故经验统计校正模型的校正结果存在着一定的误差.

## 2 物理模型

物理模型是基于辐射传输理论建立, 侧重于机理研究, 通过研究光与地表相互作用的物理过程来进行地形校正. 此类模型理论基础完善, 模型参数具有明确的物理意义, 但模型通常是非线性的, 模型复杂、输入参数多.

**2.1 余弦校正模型** 余弦校正模型由 Teillet 等<sup>[12]</sup> 提出, 其基本原理是: 校正后水平面像元接收的辐射与校正前坡面像元接收的辐射存在一个由太阳入射角的余弦决定的比例关系<sup>[13-18]</sup>. 余弦校正模型表示为

$$L_H = L_T \frac{\cos s}{\cos i}$$

由于余弦校正模型基于地表反射为朗伯假定, 并且忽略了天空漫散射和周围地形的反射辐射的影响, 因此图像中的阴影区经过余弦校正后存在过校正的现象, 在太阳入射角越接近 90 时表现越为明显<sup>[19-23]</sup>.

**2.2 SCS 校正模型** 针对高植被覆盖的山区, Gu 等<sup>[24]</sup> 提出了 SCS (sun-canopy-sensor) 校正模型. SCS 校正模型是基于太阳-冠层-传感器三者的几何关系来考虑地形校正的问题, 这与基于太阳-地表-传感器三者几何关系的余弦校正模型不同. 在应用到高植被覆盖地形区域时, SCS 校正模型获得了比余弦校正模型更好的效果. 假定来自树木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, 于是 SCS 模型可以表示为

$$L_H = L_T \frac{\cos S \cos s}{\cos i}$$

SCS 校正模型中太阳和树木冠层之间的几何关系在校正前后保持不变, 因此它更加符合树木向地性生长的实际情况, 适合于对高植被覆盖区域的地形校正. 由于 SCS 校正模型也忽略了来自天空和周围地形的散射辐射的影响, 因此图像中的阴影区经过校正后也存在过校正的问题.

**2.3 Proy 校正模型** 余弦校正模型和 SCS 校正模型都忽略了来自天空和周围地形的散射辐射的影响. 为了更好的描述山区遥感图像中地形的影响, Proy 等<sup>[25]</sup> 在前人研究<sup>[26-28]</sup> 的基础上把坡面像元接收的总辐射分为 3 项: 太阳直射辐射、天空散射辐射、周围地形的反射辐射. Proy 校正模型表示为

$$E = \cos i E_0 e^{-\tau/\cos s} + V_d E_f^h +$$

$$\frac{\rho E_P \cos T_M \cos T_P dS_P}{r_{MP}^2}$$

式中:  $\rho$  是地形阴影系数, 若坡面为阴影区,  $\rho$  为 0, 否则为 1;  $E_0$  为大气层顶部的太阳辐照度;  $\tau$  为总的垂直大气光学厚度;  $E$  为坡面像元接收的总辐射;  $E_f^h$  为无遮挡水平面像元所接收的天空漫散射;  $V_d$  为天空可见因子; 求和应包括对点  $P$  可见的所有像元;  $E_P$  表示点  $P$  的辐照度;  $T_M$  及  $T_P$  分别表示点  $M$  及点  $P$  坡面法线与  $MP$  连线的夹角;  $dS_P$  为像元  $P$  的实际面积;  $r_{MP}$  为点  $M$  和  $P$  间的距离.

由于地形的复杂性, 即使周围环境是朗伯体, 各向同性的假设对于周围地形的反射辐射也是不现实的<sup>[29-30]</sup>. 于是 Proy 校正模型在像元的尺度上考虑周围地形的反射辐射, 并通过逐点计算的方式来获取这一辐射项. 但是这种方式的计算量比较大, 于是 Proy 等只选取了 22 个点进行计算比较.

**2.4 Sandmeier 校正模型** Sandmeier 校正模型与 Proy 校正模型一样, 也是把坡面像元接收的总辐射分为太阳直射辐射、天空散射辐射、周围地形的反射辐射 3 个部分<sup>[31-34]</sup>. Sandmeier 校正模型对于坡面所接收的天空散射辐射的描述更加细致. Sandmeier 校正模型表示为

$$E(b, z) = E_d^h(b, z) \frac{\cos i}{\cos s} + E_f^h(b, z) \{k(b, z) \frac{\cos i}{\cos s} + (1 - k(b, z)) V_d\} + E^h(b, z) V_t \alpha_{adj}$$

式中:  $b$  代表特定的光谱波段;  $z$  为海拔高度 (单位: m);  $k(b, z)$  为漫辐射各向异性因子;  $V_t$  为地形可见因子;  $E_d$  为水平面接收的太阳辐照度;  $\alpha_{adj}$  为周围地形的平均反射率.

Sandmeier 校正模型通过把坡面像元所接收的天空漫散射分为各向同性辐射与各向异性辐射两个部分, 更好的描述地形对天空漫散射的影响. 但是对于周围地形的反射辐射的计算, Sandmeier 校正模型只是简单的通过计算周围像元的平均反射率来获取周围地形的反射辐射<sup>[36-37]</sup>, 这对于山脊或山谷像元的地形校正会存在问题.

**2.5 ATCOR 校正模型** 在大气校正模型 ATCOR2<sup>[38-39]</sup> 的基础上建立起来的 ATCOR3<sup>[40]</sup>、ATCOR4<sup>[41-42]</sup> 校正模型同时对大气和地形进行校正, 在一定程度上也可以消除山区遥感图像中地形的影响. ATCOR3 校正模型基于地表反射为朗伯假定来计算地表反射率, 只适用于窄视场角的高分辨率星载传感器 (例如 Landsat-TM, SPOT-HRV), 并且该模型严格限制在高程 1.5 km 以下, 坡度中等的研究区域, 不适合海拔较高的陡峭山区<sup>[40]</sup>. ATCOR4 校正模型

不仅适用于宽视场角的机载传感器,还可拓展适用于宽视场角的星载传感器,已成功地应用到 AVIRIS, HyMap 等机载高光谱传感器遥感图像的订正上. ATCOR4 校正模型首先基于地表反射为朗伯假定对遥感图像进行大气和地形校正,得到地表反射率图像.然后根据在 Landsat-TM 的 6 个参考波长处建立的典型地类的反射率模板对地表反射率图像进行分类.基于分类结果确定一个简单的经验 BRDF 校正模型中的参数,然后再计算遥感图像中每个像元的天底方向的地表反射率.由于这个经验模型中参数的确定依赖于特定的遥感图像以及成像时的太阳-地表-传感器之间的几何关系,因此不同的研究者获取的参数有所不同,以致出现不同精度的大气和地形校正结果.

### 3 半经验模型

半经验模型综合了经验模型和物理模型的优点.模型所用的参数往往虽是经验参数,但又具有一定的物理意义.

3.1 C 校正模型 C 校正模型是应用较为广泛的地形校正模型.为了修正余弦校正模型中存在的过校正的问题,Teillet 等<sup>[12]</sup>提出了一个半经验系数  $C$  应用到余弦校正模型中,提出了  $C$  校正模型:

$$L_H = L_T \left( \frac{\cos s + C}{\cos i + C} \right).$$

公式中的  $C$  系数可以通过原始遥感图像的辐亮度值与其相对应的太阳入射角的余弦之间的关系获得:

$$L = a \cos i + b,$$

式中:  $a$ ,  $b$  为与波段有关的经验系数,  $C = b/a$ .

$C$  校正模型在一定程度上避免了余弦校正模型在阴影区存在的过校正问题.  $C$  系数通过提高模型中分母的值来起到抑制地形影响的作用,以减少阴影区的过校正现象,但是该系数的引入缺乏明确的物理解释.实际上,上述线性关系只是对特殊地表而言才可能存在的,对于某些复杂的山地而言,这种线性关系很不充分.从这一点来说,  $C$  校正模型也存在比较明显的局限<sup>[43-44]</sup>.

3.2 SCS+  $C$  校正模型 SCS 校正模型和余弦校正模型类似,也存在过校正的问题.仿照  $C$  校正模型, Scott 等<sup>[45]</sup>在 SCS 校正模型的基础上引入  $C$  系数进行改进,提出了 SCS+  $C$  校正模型:

$$L_H = L_T \frac{\cos S \cos s + C}{\cos i + C},$$

引入参数  $C$  主要是由于它在修正余弦校正模型时取得比较好的效果,同时  $C$  系数的计算也比较简单.虽然其他用来解释天空散射辐射和周围地形散射辐射的

参数可能会得到更加准确的结果,但是一般计算量很大而且计算时所要求的输入数据很难获取,与引入的  $C$  系数相比没有优势<sup>[46]</sup>.

## 4 结论及展望

随着定量遥感研究的深入,减少或消除山区遥感图像中地形因素的影响显得越来越重要.本文通过对现有地形校正模型的分析,得出以下结论:

1) 总体说来,现有地形校正模型从一定程度上减少了地形对山区遥感图像的影响.无论是经验模型,还是物理模型,各有其优点.经验模型简单,输入参数少,而物理模型从机理出发,理论明确,输入参数具有确切的物理意义.

2) 大多数模型都是基于地表反射的朗伯假定,忽略了几何关系的影响,然而通常地表是非朗伯反射表面.虽然 Minnaert 校正模型引入 Minnaert 系数来描述地表的非朗伯特性,但是该系数依赖于波段、相位角、地表覆盖类型等因素而影响了该模型的广泛应用. ATCOR 模型虽引入 BRDF 模型,但是模型中参数的确定依赖于特定的遥感图像,不同研究者获取的参数有所不同,以致出现不同精度的大气和地形校正结果.

3) 现有地形校正模型在山脊和山谷存在过校正或欠校正的现象,主要是遥感图像和 DEM 匹配计算地形因子有误差所造成的,高空间分辨率的 DEM 数据的应用有望减少这一问题.

4) 现有的物理模型在消除地形影响的同时,需要消除大气的影晌.而在应用 6S 或者 MORDTRAN 等大气校正软件来模拟大气参数时,由于遥感图像成像时的气象数据通常很难获取,而不得不采用标准大气模式,这在一定程度上也会影响地形校正的精度.

基于现有地形校正模型存在的不足,本文提出以下几点地形校正方面的展望:

1) 将来的校正模型会首先考虑地表的非朗伯特性,引入相应的 BRDF 模型来消除地形的影响.可以考虑从辐射传输机理出发,先建立复杂的普适性较强的物理校正模型,再通过对模型的参数化来得到简化、实用的地形校正模型.

2) 鉴于实时大气参数难以同步获取的情况,多源遥感数据同步获取地表反射率和大气参数以实现地形校正的方法值得尝试.

3) 由于地形的变化一般缓慢,而地形因子的计算复杂费时,利用高空间分辨率的 DEM 数据事先计算各种地形因子,建立全球范围的数据库,有望使校正工作流程化、标准化,极大地提高校正效率.

## 5 参考文献

- [1] Colby J D. Topographic normalization in rugged terrain [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1991, 57: 531
- [2] Holben B, Justice C. An examination of spectral band ratioing to reduce the topographic effect on remotely sensed data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1981, 2(3): 115
- [3] Short N M. The landsat tutorial work-book: basics of satellite remote sensing [M]. Washington DC: National Aeronautics and Space Administration, Scientific and Technical Information Branch: for sale by the Supt of Docs, U S. GPO, 1982: 18
- [4] 李新, 陈贤章, 程国栋. 地形对高山区 TM 积雪定量遥感的影响 [J]. *遥感技术与应用*, 1997, 12(3): 1
- [5] Smith J, Lin T, Ranson K. The lambertian assumption and landsat data [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1980, 46(9): 1183
- [6] Minnaert M. The reciprocity principle in lunar photometry [J]. *Astrophysical Journal*, 1941, 93: 403
- [7] Xiaoliang W, Suzanne F, Jeremy W. An approach for terrain illumination correction [C]. The 12th Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference Fremantle, Western, Australia, 2004
- [8] Cavayas F. Modeling and correction of topographic effect using multitemporal satellite images [J]. *Canada Journal of Remote Sense*, 1987, 13(2): 49
- [9] Blesius L, Weirich F. The use of minnaert correction for land-cover classification in mountainous terrain [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26(17): 3831
- [10] Gitas I Z, Devereux B J. The role of topographic correction in mapping recently burned mediterranean forest areas from Landsat TM images [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(1): 41
- [11] Josef Jansa. A global topographic normalization algorithm for satellite images [C]. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Budapest, 1998, 32(7): 8
- [12] Teillet P M, Guindon B, Goodeonugh D G. On the slope-aspect correction of multispectral scanner data [J]. *Canada Journal of Remote Sense*, 1982(8): 84
- [13] Itten K I, Meyer P. Geometric and radiometric correction of TM data of mountainous forested areas [J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*. 1992, 31(4): 764
- [14] Colby J D, Keating P L. Land cover classification using landsat TM imagery in the tropical highlands: the influence of anisotropic reflectance [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(8): 1479
- [15] Tokola T, Sakeala J, Linden M V D. Use of topographic correction in Landsat TM-based forest interpretation in Nepal [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(4): 551
- [16] Ekstrand S. Landsat TM-based forest damage assessment: correction for topographic effects [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1996, 62(2): 151
- [17] 张洪亮, 倪绍祥, 张军. 国外遥感图像的地形归一化方法研究进展 [J]. *遥感信息*, 2001(3): 24
- [18] Liang S. Quantitative remote sensing of land surfaces [M]. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2004: 231
- [19] Duguay C R, LeDrew E F. Estimating surface reflectance and albedo from Landsat-5 TM over rugged terrain [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1992, 58: 551
- [20] Cavayas F. Modeling and correction of topographic effect using multitemporal satellite images [J]. *Canada Journal of Remote Sense*, 1987, 13(2): 49
- [21] Kimes D S, Kirchner J A. Modeling the effects of various radiant transfers in mountainous terrain on sensor response [J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 1981, GE-19: 100
- [22] Conese C, Gilabert M A, Maselli F, et al. Topographic normalization of TM scenes through the use of an atmospheric correction method and digital terrain models [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1993, 59(12): 1745
- [23] Law K H, Nichol J. Topographic correction for differential illumination effects on IKONOS satellite imagery [J]. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2004, 35(3): 641
- [24] Gu D, Gillespie A. Topographic normalization of Landsat TM images of forest based on subpixel sun canopy sensor geometry [J]. *Remote Sense of Environment*, 1998, 64: 166
- [25] Proy C, Tanre D, Deschamps P Y. Evaluation of topographic effects in remotely sensed data [J]. *Remote Sense of Environment*, 1989, 30: 21
- [26] Kondratyev K Ya. Radiation regime of inclined surfaces [EB/OL]. [2007-02-22]. <http://adsabs.harvard.edu/abs/1977rris.rept.K>
- [27] Temps R C, Coulson K L. Solar radiation incident upon slopes of different orientations [J]. *Solar Energy*, 1977, 19: 179

- [ 28 ] Dozier J, Marks D. Snow mapping and classification from Landsat thematic mapper data [ J ]. *Annals of Glaciology*, 1987, 9: 97
- [ 29 ] Dubayah R. Estimating net solar radiation using Landsat thematic mapper and digital elevation data [ J ]. *Water Resources Research*, 1992, 28: 2469
- [ 30 ] 阎广建, 朱重光, 郭军, 等. 基于模型的山地遥感图像辐射订正方法[ J ]. *中国图像图形学报*, 2000, 5( 1 ): 11
- [ 31 ] Dubayah R, Loechel S. Topographic solar radiation models for GIS [ J ]. *International Journal of Geographical Information Science*, 1995, 9: 405
- [ 32 ] Yang C, Vidal A. Combination of digital elevation models with SPOT-1 HRV multispectral imagery for reflectance factor mapping [ J ]. *Remote Sense of Environment*, 1990, 32: 35
- [ 33 ] Dubayah R, Loechel S. Modeling topographic solar radiation using GOES data [ J ]. *Journal of Applied Meteorology*, 1997, 36: 141
- [ 34 ] Dozier J, Frew J. Rapid calculation of terrain parameters for radiation modeling from digital elevation data [ J ]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 1990, 28: 963
- [ 35 ] Sandmerier S, Itten K L. A physically-based model to correct atmospheric and illumination effects in optical satellite data of rugged terrain [ J ]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 1997, 35: 708
- [ 36 ] 武瑞东. 卫星遥感影像数据的地形影响校正[ J ]. *遥感信息*, 2005(4): 31
- [ 37 ] Shepherd J D, Dymond J R. Correcting satellite imagery for the variance of reflectance and illumination with topography [ J ]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24( 17 ): 3503
- [ 38 ] Richter R. A spatially adaptive fast atmospheric correction algorithm[ J ]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17: 1201
- [ 39 ] Richter R. Atmospheric correction of satellite data with haze removal including a haze/ clear transition region[ J ]. *Computers & Geosciences*, 1996, 22: 675
- [ 40 ] Richter R. Correction of atmospheric and topographic effects for high spatial resolution satellite imagery[ J ]. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, 18: 1099
- [ 41 ] Schl pfer D, Richter R. Geo-atmospheric processing of airborne imaging spectrometry data. Part 1: parametric orthorectification[ J ]. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23: 2609
- [ 42 ] Richter R, Schl pfer D. Geo-atmospheric processing of airborne imaging spectrometry data. Part 2: atmospheric/ topographic correction [ J ]. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23: 2631
- [ 43 ] 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: 17
- [ 44 ] 黄微, 张良培, 李平湘. 一种改进的卫星影像地形校正算法[ J ]. *中国图象图形学报*, 2005, 10( 9 ): 1124
- [ 45 ] Scott A, Soenen, Derek R. SCS+ C: a modified sun-canopy-sensor topographic correction in forested terrain [ J ]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 2005, 43(9): 2148
- [ 46 ] 钟耀武. 北京山区影像地形辐射校正方法研究[ D ]. 北京: 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 2006

## A REVIEW OF MODELS FOR TOPOGRAPHIC CORRECTION OF REMOTELY SENSED IMAGES IN MOUNTAINOUS AREA

Duan Sibao Yan Guangjian

( School of Geography and Remote Sensing Science, State Key Laboratory of Remote Sensing Science,  
Jointly Sponsored by Beijing Normal University and the Institute of Remote Sensing Applications of Chinese Academy of Sciences;  
Beijing Key Laboratory of Environmental Remote Sensing and City Digitalization, Beijing Normal University: 100875, Beijing, China)

**Abstract** The empirical, physical and semi-empirical models for removing the topographic effects in remotely sensed images are reviewed in this paper. The main problems are summarized. The possible improvements of the topographic correction methods in the future are also proposed.

**Key words** topographic correction; remotely sensed images; mountainous area; models