

高光谱分辨率遥感在植被监测中的应用综述

杨吉龙, 李家存, 杨德明

(吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘要:高光谱分辨率遥感技术是近20年来人类在对地观测方面所取得的重大技术突破之一,也是当前及未来几十年内的遥感前沿技术。由于其具有光谱分辨率高、数据丰富等独特性能,因而在环境保护、地质找矿、植物生长监测等许多方面有着广泛的应用。高光谱分辨率遥感在植被监测中有两个方面的应用:(1)叶面积指数(LAI)和“红边”光学参数的计算;(2)利用导数光谱技术消除植被环境背景影响。

关键词:高光谱遥感;植被指数;导数光谱

中图分类号:P627 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5589(2001)03-0307-06

遥感技术在植被监测与研究中具有不可替代的作用,但是传统的宽波段遥感(如MSS和TM)在研究植被时由于其波段数少、光谱分辨率低,仅限于研究一般的红光吸收特征、红外反射特征、中红外的水吸收特征等方面;并且由其计算出的植被指数所能反演的信息量也较少,所能反映出自然界各种植被所固有的光谱特性及其间的差异性的能力很弱。另外,用宽波段数据几乎不可能提取与叶绿素含量密切相关的“红边”光学参数。而高光谱分辨率遥感的出现,以其所能得到的高光谱分辨率和超多波段的成像光谱数据就很好地解决了常规遥感中所出现的问题,在植被信息反演的深度和广度方面都有很大提高,因而在对地表植被进行监测中有着广泛的应用。

1 高光谱技术简介

高光谱分辨率遥感技术的发展是20世纪末的最后20年中人类在对地观测方面所取得的重大技术突破之一,也是当前及今后几十年内的遥感前沿技术。国际遥感界将光谱分辨率达纳米(nm)数量级范围内的遥感技术称之为高光谱(Hyperspectral)遥感^[1]。其光谱分辨率高,并具有波段多、信息量丰富的特点。

高光谱遥感经过80年代起步和90年代的发展,国际上已成功研制出一系列高光谱成像系统并在航空平台上获得广泛的应用,开始由以航空系统为主转向以航空和航天高光谱分辨率遥感系统相结合的阶段。迄今为止,国际上已有40余套航空成像光谱仪在运行。在航天领域,美国、加拿大、澳大利亚等国已在积极开发和利用该技术。随着国际高光谱遥感的发展,也鉴于在资源、环境、农业、水利、林业等方面应用的需要,我国于80年代中后期亦开始着手发展自己的高光谱成像系统,并在实验应用中不断检验和完善。但由于技术、资金等各方面的原因,还未正式介入航天领域的高光谱遥感。

高光谱分辨率遥感技术所具有的光谱划分精细、数据丰富等独特性能,以及在地表物质的识别和分类、有用信息的提取方面与其它技术相比所具有的很大优势,使得这一技术在环

收稿日期:2000-10-22

作者简介:杨吉龙(1978-),男,江西省吉安县人,硕士生,主要从事资源遥感与地理信息系统研究。

境监测、植被的精细分类、农作物生长监测、地质岩矿识别、蚀变带制图、油气微渗漏信息的检出、海洋水色定量监测等方面有着广泛的应用。

2 植被指数的计算

植被指数作为一种简单而有效的参考量,在植被监测方面有着很高的应用价值。而高光谱遥感以其高分辨率等特性在对植被指数进行计算方面大大优于常规遥感,甚至能完成运用常规遥感方法所不能完成的某些植被指数的计算。

2.1 叶面积指数(Leaf Area Index, LAI)

LAI 是一个非常重要的植被指数,也是许多植物生长模型中一个很关键的变量。而这些植被生长模型能够用来模拟植物的生长过程,计算植物的日增长量和生长速率,从而进一步估算出植物的干物质产量。另外, LAI 还是决定植被反射率的一个重要因素,常用于植被反射模型的构造^[2]。LAI 的计算方法依据其利用数据的不同可分为两类:一类是利用传统的宽波段数据来计算;另一类则是利用新近发展起来的高光谱遥感数据来计算。高光谱遥感数据具有光谱波段划分精细、信息丰富等特点,能够进行混合像元分解,而通过混合像元分解,可以将像元中混合植被光谱里不需要的部分分离出去,从而使得 LAI 的计算更加精确。LAI 可以表示如下^[3]:

$$LAI = \frac{LAI_e}{\Omega} \quad (1)$$

其中 LAI_e 是有效叶面积指数, Ω 是群生指数,其根据植物群生冠层的不同而在 0 至 1 之间变动,但对于某些有规律分布的叶系, Ω 也可以大于 1。对于大多数种植植物如大豆来说, Ω 小于 1。对于植被分布较为随机的农作物而言, Ω 近似于 1。 LAI_e 的计算公式如下^[4]:

$$LAI_e = \frac{\cos \alpha}{G} (-\ln P) \quad (2)$$

其中 α 为入射角, G 是与 α 正交的平面上的单位叶系区域的平均投影系数。为了从高光谱数据中估算出 LAI_e , 对于那些叶面角度随机分布的植被(如农作物), G 可以设定为 0.5^[5], 入射角 α 与传感器的视天顶角相对应, P 代表差距分量,由混合像元分解决定,具体如下:

$$P = 1 - f_e \quad (3)$$

其中 f_e 是农作物最终单元的分量,这样,根据公式(2)和(3) LAI_e 可表示为

$$LAI_e = -2 \ln(1 - f_e) \quad (4)$$

为了求出 f_e , 可对由高光谱遥感所获得的地物反射率图像立方体进行有限线性分解,以映射出农作物、杂草和土壤等最终单元所占的面积分量。首先对这个图像立方体进行主成分分析,得到空间分布不同的几群分散点;再对每一群分散点进行平均即可得出最终单元^[6]。

求出来的最终单元又可用于单个图像像元分解。其依据是一个图像像元的反射率光谱可表示为 N 个最终单元光谱的线性叠加之和,如下所示^[7]:

$$\rho_k^{(x,y)} = \sum_{e=1}^N f_e^{(x,y)} S_{ek}, k = 1, 2, \dots, M \quad (5)$$

其中 $\rho_k(x, y)$ 是 k 波段像元点 (x, y) 的反射率值, S_{ek} 是 k 波段第 e 个最终单元的光谱反射率, $f_e(x, y)$ 是第 e 个最终单元在 (x, y) 像元点中的面积分量, M 是总波段数。在此分解中,面积分量必为正数且单元 (x, y) 分量总和为 1。计算有效 LAI 的全部数据处理流程如

图1。

2.2 “红边”光学参数

植物体内叶绿素的吸收,造成植物反射光谱在红到近红外区(660~770 nm)出现一个陡峭的爬升脊,常称之为“红边”。在红边研究中,主要采用红边斜率和红边位置来描述红边的特性。其中“红边”的位置常被定义为红到近红外区光谱曲线的拐点^[8]。

要精确地求出红边斜率和红边位置,就需要有红到近红外区大量的光谱测量数据,并且光谱的划分必须非常细。这是传统的宽波段遥感技术所不能达到的,而利用高光谱遥感数据却可以很细致地描述出植被的红边特性。

“红边”的位置和斜率可以利用高光谱遥感数据通过导数运算精确得到^[9,10]。但在数据精度要求不太高、运算速度要求快的情况下,“红边”的位置也可以采用 Guyot 和 Beret 在 1988 年提出

的一种算法来近似得出^①。此算法是仅利用四个波段的数据,因此计算非常快,效果良好。他们所利用的波段为 670 nm, 700 nm, 740 nm 和 780 nm。首先,利用最小波段(670 nm)和最大波段(780 nm)来计算拐点处的反射率值。然后利用 700 nm, 740 nm 处的值采取一个线性解译步骤来计算与已计算出的拐点处的反射率值相对应的波长。这种方法也被称之为“Guyot 法”。具体可描述如下:

(1) 计算拐点处反射率:

$$R_{\text{红边}} = (R_{670} + R_{780}) / 2 \quad (10)$$

其中 $R_{\text{红边}}$ 是在主拐点处的反射率值的计算值, R_{670} 、 R_{700} 、 R_{740} 和 R_{780} 是测出来的 670, 700, 740 和 780 nm 处的各反射率值。

(2) 计算红边位置:

$$\lambda_{\text{红边}} = 700 + 40 \cdot [(R_{\text{红边}} - R_{700}) / (R_{740} - R_{700})] \quad (11)$$

红边特性与传统的植被指数具有较大的相关性,在植被生长过程中由于叶绿素含量的不同,“红边”的位置和斜率就发生相应变化。其中红边斜率主要与植被覆盖度或叶面积指

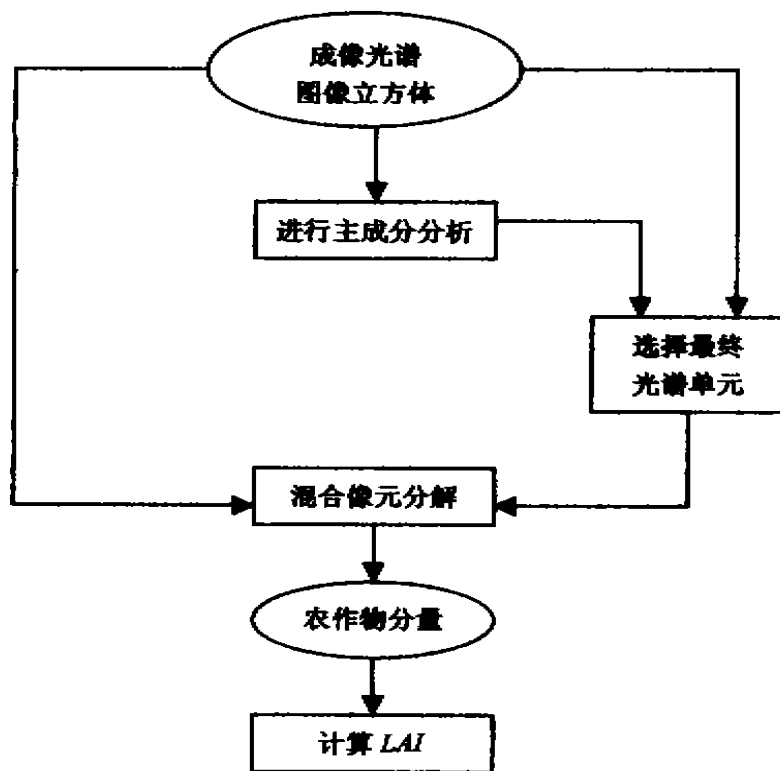


图1 叶面积指数(LAI)的数据计算流程

Fig.1 Data processing layout for leaf area index(LAI) computation

① GUYOT G, BARET F. Utilisation de la haute resolution spectrale pour suivre l'évolution des couverts végétaux', Porc. 4th Int Coll on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing, Aussois, France, 18-22 January, 1988. ESA SP-287, 279-286.

数有关,覆盖度越高或 LAI 越大,红边斜率就越大。红边位置则主要与叶片叶绿素含量有关,当植被中叶绿素 b 含量减少时,红边位置向短波方向偏移,产生“蓝移”;而当植被因缺水而发生叶子枯萎时,红边位置将向长波方向移动,产生“红移”。通过对红边特性的研究,就可以对植被的生长状态进行监测。

3 导数光谱技术——清除植被环境背景影响

由于导数光谱技术能压缩背景噪音对目标信号的影响或不理想的低频信号,因而被应用在许多遥感研究中。例如,相对于植被的光谱曲线,土壤的光谱曲线是接近线性的。所以从理论上讲,二阶导数可以非常好地消除土壤背景信号。张良培利用机械成像光谱仪对鄱阳湖地区进行的航空遥感实验证明,对光谱进行一阶导数的运算就能对混合光谱中的土壤光谱信号进行压缩。如图2所示的鄱阳湖地区测得的典型的两条光谱曲线,对于只有非光合作用的物质——土壤,其光谱曲线缓慢变换,而植被反射曲线具典型的光合作用特点。对这两条曲线进行一阶导数运算得出如图3所示的结果。它表明:土壤的导数曲线值整体上很小,而植被由于绿边效应,其导数值在 $700 \sim 750 \text{ nm}$ 为一尖峰,这导数值十分大,同时土壤光谱在这个范围内的一阶导数值接近于0。利用这一特点就可用来对混合光谱中的土壤信号进行压缩。

Demeriades Shan 等^[11]对高光谱遥感中导数的求解方法进行了综述。其中一个方法是利用相邻光谱值的差除以波长间距,比如波长 λ 在 x 处的一阶导数可用下式求出:

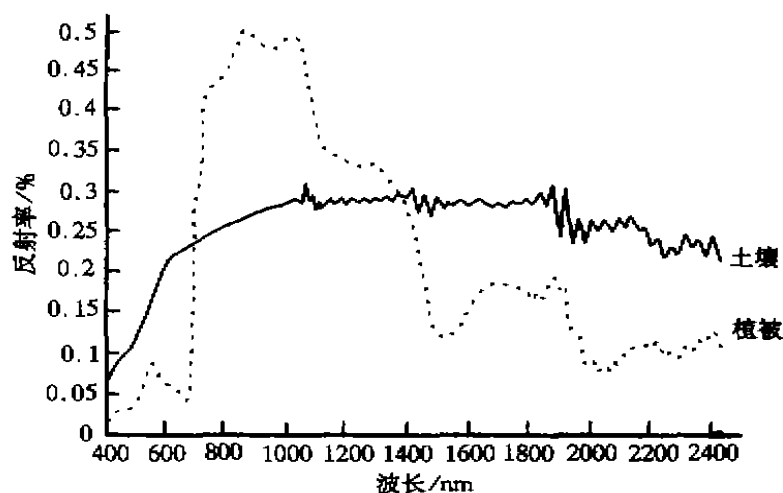


图2 植被、土壤光谱曲线

Fig.2 Endmember spectrum of vegetation and soil

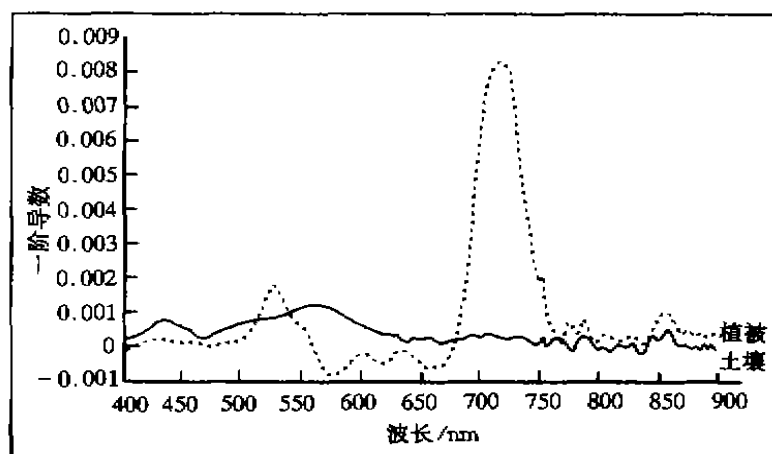


图3 植被、土壤反射率的一阶导数

Fig.3 First derivatives of vegetation and soil spectrum

$$dR/d\lambda = (R_x - R_{x-\Delta w})/\Delta w \quad (6)$$

其中 R 为反射率。而高阶导数的求法依此类推,如求二阶导数:

$$dR^2/d^2\lambda = (R_{x+\Delta w} + R_{x-\Delta w} - 2R_x/\Delta w^2) \quad (7)$$

如果波长间距 $\Delta\lambda$ 相等,则两式还可分别用下两式来近似表示^[12, 13]:

$$dR/d\lambda = R_x - R_{x-\Delta w} \quad (8)$$

$$dR^2/d^2\lambda = R_{x+\Delta w} + R_{x-\Delta w} - 2R_x \quad (9)$$

另外,导数光谱还能部分消除大气效应的影响。此外,导数光谱主要反映了由于植物中叶绿素等吸收物质的吸收产生的波形变化并能提高光谱峰值的内在特性。因此,导数光谱还可用在高光谱遥感中对植被技术进行结算分析。

4 结束语

高光谱分辨率遥感具有光谱率高、信息丰富等常规遥感不可比拟的优点:其地物连续光谱能比较真实、全面地反映自然界各种植被所固有的光谱特性及其间的差异性,所获取的植被图像数据能对传统的植被指数运算予以改进,从而能够大大提高植被指数所能反演的信息量,也使混合像元分解的能力得到了很大的提高。而利用导数光谱技术还可消除植被环境背景的影响,提高了植被监测的精度。所有这些都大大提高了植被信息反演的深度和广度,从而在植被监测中有着非常高的应用价值。随着现代科学技术的发展,高光谱分辨率遥感这一高新技术必将在我们的科学研究和实际应用当中作出越来越大的贡献。

本文在成文过程中得到胡克教授和澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO)勘探与采矿研究所杨凯博士的指导,在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1] 陈述彭,童庆禧,郭华东,等.遥感信息机理研究[M].北京:科学出版社,1998.139.
- [2] SUITS G H. The calculation of the directional reflectance of a vegetation canopy[J]. Remote Sensing of Environment, 1972, 2: 117-125.
- [3] CHEN J M, BLACK T A, ADAMS R S. Evaluation of hemispherical photography for determining plant area index and geometry of a forest stand[J]. Agriculture and Forest Meteorology, 1991, 56: 129-143.
- [4] ROSS J. The radiation regime and architecture of plant stands[M]. Dr. W. Junk Publishers, 1981.
- [5] NORMAN J M. Modeling the complete crop canopy[A]. In: BARFIELD B J, GERBER J F, eds. Modification of the aerial environment of plants[C]. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, 1979. 249-277.
- [6] BORMAN B A M. Linking physical remote sensing models with crop growth simulation models, Application for Sugar Beet[J]. International Journal of Remote Sensing, 1992, 13: 2565-2581.
- [7] SHIMABUKURU Y E, SMITH J A. The least squares mixing models to generate fraction images from remote sensing on multispectral data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1991, 29: 16-20.
- [8] CLEVERS J G P W. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index[J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 25: 53-69.
- [9] HORLER D H N, DOCKRAY M, BARBER J. The red edge of plant leaf reflectance[J]. Int J Remote Sens, 1983, 4: 273-288.

- [10] MILLER J R, HARE E W, WU J. Quantitative characterization of the vegetation red edge reflectance model[J]. *Int J Remote Sensing*, 1990, 11(10): 1 755 - 1 773.
- [11] DEMETRIADES - SHAH T H, STEVEN M D, CLARK J A. High resolution derivative spectra in remote sensing[J]. *Remote Sens Environ*, 1990, 33: 55 - 64.

Application of Hyperspectral Remote Sensing in Vegetation Monitoring

YANG Ji-long, LI Jia-cun, YANG De-ming

(College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract: Hyperspectral remote sensing technology, being one of the most important breakthroughs acquired in the field of earth observation by human in the last 20 years, is an advancing technology of Remote Sensing in the next decades. It has the special qualities of high spectral resolution, plentiful data etc, so it can be extensively applied in environment protection, deposit exploration, vegetation monitoring and so on. Two applications of hyperspectral remote sensing in vegetation monitoring: (1) Calculation of Leaf Area Index and "Red Ridge" indices; (2) Removing influences of vegetation background by virtue of derivative spectral technology are discussed in this paper.

Key words: hyperspectral remote sensing; vegetation index; derivative spectrum

(上接 284 页)

The Heavy Mineral Analysis and its Geological Significance of Dameigou Section in Northern Caidam Basin

HE Zhong-hua, LIU Zhao-jun, GUO Wei

(College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: It has been found out that the mother rocks of erosion provenance are mainly mid - low - grade metamorphic rocks, sedimentary rocks, as well as acidic and basic rocks by the heavy mineral analysis of Dameigou section in northern Caidam basin. Then, put forward the exist of the rhythm and correlation of the heavy minerals by the rations of apatite / tourmaline (ATi) and garnet / zircon (GZi), and according to the rhythm, Dameigou section can be divided into five zones, which play important roles in revealing the change of the mother rocks and the division and correlation of different formations. At last, make an inquire into the relationship between ZTR and the tectonic revolution of the basin. According to the regular changes of ZTR index, the Mesozoic basin can be divided into five stages: first fault depression stage at J_1^{1-3} , main fault depression stage at J_1^4 , fault - depression exchanged stage at J_1^5 , depression stage at J_2 and inversion stage after J_3 .

Key words: heavy mineral analysis; provenance - sensitive index; ZTR index; Dameigou section; northern Caidam basin