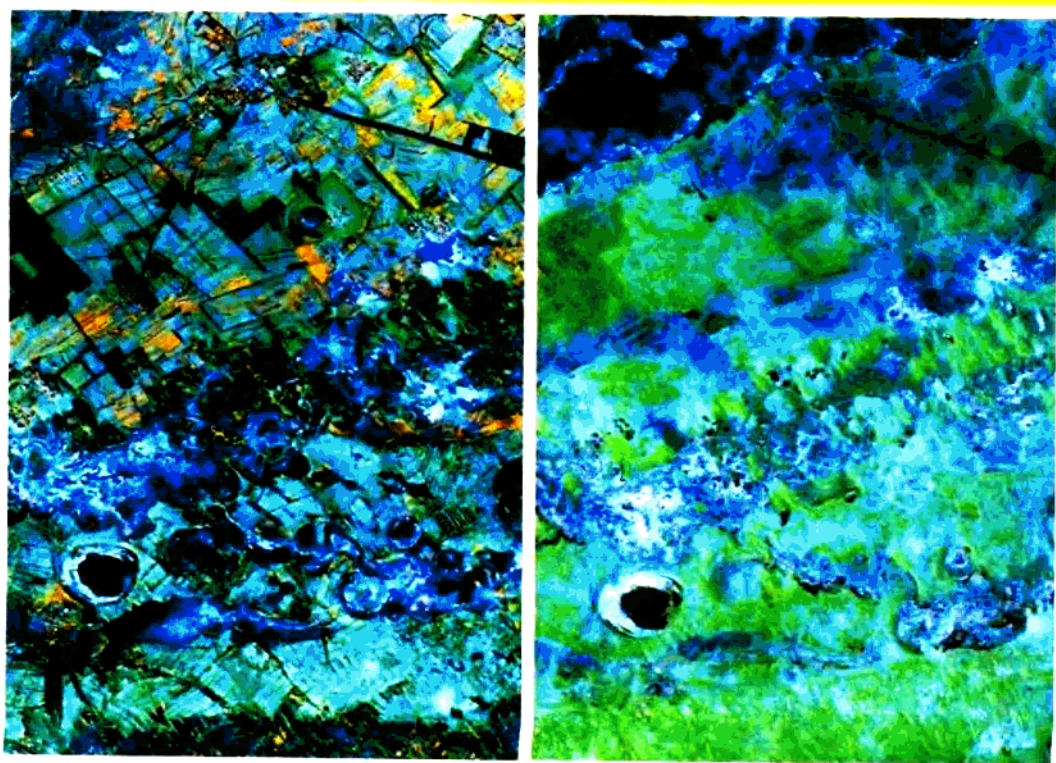


三北防护林及荒漠化 遥感监测

——理论研究和技术应用

主编 张玉贵



● 中国林业出版社

三北防护林及荒漠化遥感监测

——理论研究和技术监督

主编 张玉贵

中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

三北防护林及荒漠化遥感监测:理论研究和应用技术/张玉贵主编. --北京:中国林业出版社,1999.4

ISBN 7-5038-2254-6

I. 三 II. 张… III. ①防护林带-遥感-中国,三北地区 ②沙漠化-遥感-中国,三北地区
IV. S727.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 08425 号

中国林业出版社出版

(100009 北京西城区刘海胡同 7 号)

北京地质印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

1999 年 5 月第 1 版 1999 年 5 月第 1 次印刷

开本:787mm×1092mm1/16 印张:12

字数:300 千字 印数:1~1200 册

定价:22.00 元

《三北防护林及荒漠化遥感监测——理论研究和技术应用》
编辑委员会

主 编 张玉贵
副 主 编 陈永富
编 委 王振琴 刘 华 李建文
 陈永富 张玉贵 张德宏
 武红敢
责任编辑 李德林

序

中国是受荒漠化影响严重的国家。荒漠化是指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和受干旱影响的亚湿润区域的土地退化。中国的荒漠化主要由于历史上尤其是近代人类活动所造成的。造林,植灌,种草是使之恢复到可持续发展的主要措施。为此,我国自1978年开始了三北防护林工程。荒漠化和三北防护林建设是一个矛盾的两个方面,两个方面的特征在卫星影像上都有明显的表现。因而,遥感技术是大范围监测其变化的有效工具。本书介绍了三北防护林体系和荒漠化遥感监测有关的技术及其在不同类型典型区的实验,最后介绍了在科尔沁沙地的大范围应用结果。结论是:1978~1995年三北防护林的建设成就显著,但科尔沁沙地、乌兰布和沙地及黄土高原的环境恶化问题仍很严重,需要认真对待。

本书所涉及的典型实验区位于科尔沁草原及乌兰布和沙地北缘,它们在历史上都曾是水草丰盛的牧场。曾几何时,过度放牧和农垦引来滚滚黄沙。原来相对良好的自然环境一经破坏,生态环境就变得脆弱多变,改造的难度相当大。20年的三北防护林建设已遏制住这种趋势而使之向良性方面转化。卫星影像可清晰地监测到防护林带和防护林网的出现及其明显的生态环境效益。然而,在相当大的范围内,卫星影像还监测到,天然林在急剧减少甚至消失,沙化过程仍在继续。人们无节制的向自然索取越多,受到自然的惩罚也越严厉,所以,各级政府都是要吸取正反两方面的教训,把三北防护林建设的事业做好。

荒漠化问题除土地沙化以外,还包括土地盐渍化。后者主要是水平衡失调引发的环境恶化趋势。本书从内蒙古东西部两个典型区的影像分析得出有意义的结论。即河水半途断流或滞流,或被引灌而无排水系统,必然在土壤中遗留下无机盐。内蒙古东部科尔沁沙地中的新开河、乌尔吉木伦河、霍林河就是明显的例子。而内蒙古西部的引黄灌溉农垦区也存在类似问题,如黄河中段的磴口县,由于引黄漫灌,而地势低洼,又无排水系统,除60年代开荒弃耕后已生成大面积盐碱地外,近年(1987~1994)又形成新的盐碱化中心。纵观整个河套灌区和宁夏灌区,无不受到盐碱化的威胁,治碱比治沙难度更大。因此黄灌区的环境改造应以排放历代积累的无机盐和开发地下水为主要方向,而不应争截黄河水,以免造成生态恶果。

本书在三个实验区所揭示的植被破坏与恢复,沙化与造林,引黄灌溉与土地盐渍化等问题,具有普遍意义。本书所介绍的几种应用计算机自动监测方法,以遥感手段监测三北工程造林成果、再生资源消长、水资源平衡及荒漠化进程的精确有效途径,为建立和更新三北地区资源环境信息库和信息网络,提供了切实有效的技术基础。而本书所介绍的对整个科尔沁沙地的监测与分析表明,大范围的卫星影像拼接图,覆盖一个近似独立的或具有类似特征的生态区域,可以分析环境因素的变迁。综合分析其地形、地理、气候等因素,可以估测其物质搬运及能量交换特点,从而确定其总的环境变迁趋势,提出方针性建议。该专题的三个实验区和推广应用区,两个在黄河流域,两个在辽河流域。其监测结果都反映我国大范围环境问题的严峻形势。监测是为了管理,今后如何合理利用水土资源,保护环境,并保证当地经济持续、稳定、协调的发展仍然是摆在各级政府部门面前的艰巨任务。

国务院参事

高为武

1999年3月

前 言

本书是国家“八五”科技攻关专题《三北防护林体系和植被动态监测及信息系统研究》(专题编号:85-019-02-14)所发展的各项遥感及相关技术的总结。本专题属于国家“八五”科技攻关课题《三北生态经济型防护林体系建设工程技术研究》的16个专题之一。其他专题多数是研究营造生态经济型防护林的具体技术,本专题涉及对防护林体系和荒漠化的遥感监测技术。

专题的研究目标是:改进遥感数字影像计算机处理技术和遥感图像计算机自动识别技术,提取植被类型、分布和土地利用信息技术,以及数据库图形和属性数据更新技术,使大面积区域的资源遥感监测由计算机处理,目视解译为主转移到计算机自动处理为主的技术路线上。以往涉及三北防护林的遥感研究主要以目视解译为主,计算机为辅。本研究的计算机自动识别等图像处理过程主要是在引进的Erdas专用遥感图像软件上完成的,信息管理系统主要是在引进的Arc/Info软件系统上完成的。但是也开发了一些Erdas及Arc/Info上没有的专用软件程序,如大气校正系统程序和专家系统程序等。在整个监测过程中,引进软件的应用与自己开发软件的应用,两者相辅相成,形成一个有机的系统组合。对遥感图像处理的各种方法,即目视解译、机助分类、专家系统以及计算机屏幕解译等都做了研究和应用,进行了比较。大面积再生资源监测任务由计算机自动处理与计算机屏幕解译相结合来完成。本专题主要发掘与计算机相关的各种技术方法,在3个实验区做了大面积实验,并比较了各种技术路线的实际效果。最后又在科尔沁沙地广大地区推广了精度最高的计算机屏幕解译技术。生产实践要求监测方法具有高精度和高效率。随着以计算机为辅助工具技术的发展,更好的监测方法在推陈出新。

所发展的图像处理技术,主要有:遥感影像辐射校正技术,彩色遥感影像标准化技术,多时相遥感影像复合应用技术,遥感影像分区分层机助分类技术,遥感影像专家辅助计算机分类技术,荒漠化地区遥感影像计算机屏幕解译技术。

遥感影像辐射校正技术主要研究对LANDSAT TM卫星影像做综合校正。这包括传感器校准,路径亮度的计算,大气衰减系数各分量的计算,由地形引起的直射阳光及天光照度的变化,由高程引起的对大气光学厚度的调制等,所得结果是标准的地物反射率影像。因为唯有用标准化反射率影像才可对再生资源做长期大范围监测。主要创新之处在于改进了大气参数计算方法,提高了校正精度,给出了实时大气的分层结构,这样,可以通过对光学厚度等参量的校正,改进数字影像级。只要有足够精确的数字地形模型,用本软件可计算复杂地形的反射率 R 。用反射率影像计算再生资源生物量指数,比直接应用多时相TM影像原始记录的 DN 值,做比值或各类植被指数的计算较更为精确。

彩色遥感影像标准化技术开发了遥感影像彩色底片标准化系统方法,以保证底片及相片的质量。本定量标准是通过测定各片种在光机扫描成像仪各光孔下的感光特性曲线,以及测定几种彩色放大设备的底片密度——承影板照度转换规律而制定的。由所发现的光机设备及放大设备的能量传递规律,制定出每一步生产过程应遵守的规范,从而达到以底片密度控制

产品质量的目的。这一系统方法为生产高质量遥感影像确定了标准，减少了从数字向可见影像转换过程中的信息损失。

多时相遥感影像复合应用技术包括多季相影像复合应用分类和年代影像复合应用监测。前者用于提高分类精度，后者用于监测变化。多季相遥感影像复合的分类技术的原理：在单时相影像中，普遍存在同谱异物现象。植被及土地利用类型因物候期不同产生一系列光谱变化。选择光谱反射率类内综合方差最小，而类间综合方差最大的两个季相的影像组合作为分类即可减轻同谱异物现象，可提高遥感自动分类的精度。年代影像复合的监测技术选用两个年代的同季相影像做比较，使变化监测变得容易。因为在同一季相，稳定地类光谱反射率趋于一致，而变化地类的光谱反射率差异明显。在对影像数据做累加主成分分析变换后，变化地类与稳定地类的特征往往集中表现在不同的主分量中。故选择适应波段组合可鉴别变化类型。

遥感影像分区分层机助分类技术是为解决同谱异物和同物异谱现象。同谱异物现象是指某些类型的像元集合常常与另一类型像元集合的光谱相近，难以判别。另一方面，由于立地或背景条件不同，同类地物色调差别很大，表现为像元集合的同物异谱现象。不同生态类型区及其相互交错的层的客观存在。在一较大区域，由于客观自然地理要素的差别（包括高程、土壤质地、水分、化学物质、植被分布等），或由于人类经营方式的长期累积作用，形成不同的经营类型区，其景观差异显著。地物景观镶嵌关系是一种客观存在，这在卫片上有明显的界限。于是需先分区分层，再分别做机助分类。分区分层机助分类的步骤是根据对全实验区影像的分析和现地调查，首先规定要划分的总类别，及类内等级，即在全县有统一的分类标准。分区分层由判释专家划定区界层界，再在区内及层内进行计算机细致分类，最后再合并同名类别，完成总体分类。

遥感影像专家辅助计算机分类技术：在自动分类和动态监测过程中，发展了计算机专家判释子系统。该系统以图斑而不以像元为判释单元。它需要的输入资料包括卫星影像，已做过自动分类的图件，地形图及各种专题图件，它从这些资料提取必要的信息。首先从地形图提取或从卫星影像自动生成待判斑块，再根据专家知识库及判释规则，对斑块做细部分割，做斑块内部统计计算；最后做归属趋势判定。用它对已做过计算机自动分类的图件做再加工，可提高精度5%以上。

遥感影像计算机屏幕解译技术能取得满足生产需要的最佳效果。计算机硬软件技术的高速发展，给遥感影像的屏幕解译提供了强有力的工具。应用微机586/200以上型号，为制作卫星影像地图及栅格型文件，可用市售Photoshop3.05及其以上版本。而为制作矢量型图件，需选用Corel DRAW5.0及其以上版本或其他绘图软件。在微机屏幕上解译勾绘遥感图像有不可比拟的优点。原始影像清晰，信息量大。屏幕显示可用16兆种色调，故具有较高的色度分辨率。空间分辨率可达一个像元，且可随意放大。因此，根据影像色调、纹理、结构、周边关系，可以判读每组像元集合的归属类别。除人的主观分析判断外，还可用软件提供的局部探测及统计功能等各种工具，做人机结合式解译，这就大大提高了解译及勾绘的准确性。在像元水平做勾绘，可以勾绘至少几个像元的斑块，因此，成图比例尺可以从1/5万一直到1/20万。可加注任何信息，并保留原有信息。任选的最终产品形式：根据生产上的需要，可做成卫星影像地图，卫星影像分类地图或矢量形式的专题图三种图件。而输出及存档格式可用电子产品，打印纸或相纸三种形式输出。

试验点分别建立在内蒙古磴口县,内蒙古科尔沁左翼中旗,山西省昕水河流域。磴口县代表半干旱半荒漠地类,重点解决治沙造林,盐碱化,土地利用变化的监测。科尔沁左翼中旗代表东北内蒙古交界处农区与牧区的土地利用及植被变化情况。山西临汾地区昕水河流域的隰县蒲县,代表黄土高原区造林成效及水土流失控制情况。选用LANDSAT TM 卫星数字影像,因为TM 影像有6个反射波段,便于做分析及植被变换。为做植被动态的计算机自动监测,需要多年代及多季相数字磁带。在三个实验区和一个推广应用区,共选购和处理了从1986~1997年的22景TM 数字影像。为三个典型实验区输入36份县级背景图形文件。从遥感数字影像所做的单时相县级分类图件及多时相监测图件17份。建立了一套三北部分地区社会经济背景数据库。

监测表明,一、二期三北防护林造林效果显著,用材林、防护林面积大幅度增加。例如在科尔沁左翼中旗,1988年所监测到的人工林面积为4.226万 hm^2 ,而1994年为13.818万 hm^2 ,人工林发展速度非常快。应用林灌草结合围攻治理沙丘及平沙地,使沙地面积由3.01万 hm^2 减少到0.882万 hm^2 。这些成绩是显著的,但是,在农地由原来的18万 hm^2 增加到26万 hm^2 的同时,天然榆树林及灌木林大面积收缩,天然榆树疏林地有近一半被破坏,多数变为草地或农地;天然榆树林及榆树疏林地由1988年的13.412万 hm^2 减少到1994年的6.840万 hm^2 。

而在乌兰布和沙漠北缘的磴口县,由于大水漫灌,土地盐碱化发展趋势严重。到1991年春为止,监测到的盐碱化土地面积为3.4528万 hm^2 ,而监测到的全县农地面积不过4.6516万 hm^2 ,可见盐碱地的面积已接近农田总面积。监测表明,1987年的2.8325万 hm^2 盐渍化土地大部分集中于60年代兵团开垦的6个垦区。从1987~1994年的大规模开垦土地运动,多数是没有经过细心规划和论证的,带有一定的盲目性。在近年来新开垦的2万多 hm^2 农地中间,由于排水不畅,形成新的次生盐渍重化中心。最明显的是在纳林套海西部与小观景之间新形成的大圆形盐渍化斑块,又加上原灌区的土地的进一步恶化,各级盐渍化土地面积都有所增加,而轻度盐渍化土地由原来的约1万 hm^2 增加到2万 hm^2 。磴口县土地沿黄河岸东南高而西北部山前低洼,相差30多m。又由于山前地势东高西低,灌水无法排入乌加河。历史上多年来随黄河水引入磴口县的无机盐,全部就地沉积,造成地下水含盐量与年俱增。但如今,各级部门都在磴口县大力引黄。其结果很可能重蹈60年代兵团垦荒的覆辙,当时的盲目垦荒在西部的包尔盖及哈腾套海农场造成与现有农田等量的次生盐渍化土地6片,无法治理。而在西北部太阳庙一带,整个农场废弃了。

参加本专题研究工作的单位有四个,而以中国林业科学研究院资源信息所为主体。参加人员有25人,其中高级职称15人。本书是集智慧结晶的结晶。第五章由张德宏执笔,第七章由陈永富编写,第八章由王振琴编写。李建文编写了第十二章第一和第五至七节,武红敢执笔编写了第四章第一节,刘华执笔编写了第九章第二节。其他各章由张玉贵编写。由于时间仓促,水平有限,缺点和错误在所难免,请同行专家和读者批评指正。

编 者

1998年12月

封面照片说明

右图为 1988 年科尔沁左翼中旗协代苏木地区的卫星影像，表现只有少量防护林带，沙化面积相当大。全旗沙化面积达 3.01 万公顷，人工林面积仅为 4.23 万公顷。而左图为 1994 年同一地区卫星影像对比。该旗通过林灌草相结合治理沙丘及平沙地，农田防护林网已形成配套体系，沙地面积缩小到 0.88 万公顷，人工林增加到 13.82 万公顷，成效极显著。

封底照片说明

三幅图中的左图是科尔沁左翼中旗乌斯吐苏木 1988 年卫星影像，显示出大面积深绿色的天然榆树林地。中图是 1994 年，同一地区的榆树林地已被破坏得支离破碎。右图为两个年代监测比较结果，三小块深绿色代表所剩的榆树林地，四周围大面积的浅青色代表从 1988 年到 1994 年消失的榆树林地，其发展趋势是土地的沙化。

目 录

序

前言

第一章 TM 遥感影像数据的大气和地形校正	(1)
第一节 影像标准化的必要	(1)
第二节 影像辐射校正的条件	(2)
第三节 一种大气校正系列方法	(4)
第四节 用气象数据导出实时大气光学厚度	(8)
第五节 辐射传输模型及各大气参数的计算	(11)
第六节 应用数字地形模型校正地面辐射量	(14)
第七节 路径亮度 NL_p 的估算	(15)
第八节 无数字地形模型的阴影校正	(18)
第九节 大气校正数据的应用	(19)
第二章 彩色遥感影像的标准化控制原理和方案	(23)
第一节 扫描仪的转换特性	(24)
第二节 放大仪的能量传输规律	(27)
第三节 彩色底片的色度控制和遥感影像的配色方案	(28)
第四节 光机成像仪彩色定量标准	(30)
第三章 林业遥感图像的反差增强与组合变换	(32)
第一节 几种常用的线性及非线性反差增强算法	(32)
第二节 TM 影像的线性组合变换及非线性组合变换	(34)
第四章 多时相遥感影像复合应用和多景拼接技术	(43)
第一节 多时相影像的几何配准和多景影像拼接	(43)
第二节 多时相遥感影像复合应用技术	(47)
第五章 遥感影像分区分层机助分类技术	(52)
第一节 分区与分层的原则	(52)
第二节 分区分层机助分类的步骤	(53)
第三节 分区分层机助分类技术的应用	(54)
第四节 分区分层机助分类方法的意义与应用前景	(57)
第六章 计算机自动分类方法比较和评价	(59)
第一节 无监督聚群分类法评价	(59)
第二节 RGB 三色聚群方法评价	(60)

第三节	有监分类方法评价	(62)
第四节	精度评估	(66)
第七章	遥感影像植被动态监测专家系统研制	(67)
第一节	信息获取及处理	(68)
第二节	图斑	(72)
第三节	专家知识的获取及维护	(75)
第四节	基于图斑的遥感图像专家辅助分类系统及其应用研究(CES)	(78)
第五节	沙地开发利用前景评价专家系统研究(LES)	(84)
第八章	资源信息管理系统技术	(89)
第一节	系统分析	(89)
第二节	图形数据库建立的实验方法与关键技术	(96)
第三节	地理信息系统与遥感技术应用的结合	(93)
第九章	卫星影像计算机屏幕解译技术与荒漠化土地监测	(94)
第一节	科尔沁草原荒漠化始末	(95)
第二节	数据资料及预处理设备	(96)
第三节	影响监测效果的因素	(97)
第四节	计算机屏幕解译勾绘技术操作要点	(99)
第五节	TM 卫星影像监测荒漠化土地的潜力	(102)
第六节	TM 卫星影像监测荒漠化土地的分类体系	(106)
第七节	科尔沁沙地景观生态分析	(110)
第八节	电子技术的发展对荒漠化监测技术的影响	(116)
第十章	科尔沁左翼中旗典型实验区防护林和植被变化分析	(126)
第一节	科尔沁左翼中旗基本情况	(126)
第二节	在科尔沁左翼中旗典型区的遥感监测实验	(129)
第三节	科尔沁左翼中旗林业建设成就	(133)
第四节	科尔沁左翼中旗草地资源评价	(135)
第五节	科尔沁左翼中旗水利资源利用评价	(138)
第十一章	磴口典型实验区防护林和植被变化分析	(142)
第一节	自然环境特征	(142)
第二节	遥感应用实验	(144)
第三节	主要土地利用类型动态变化分析	(146)
第四节	土地利用特点及存在问题	(148)
第五节	林业资源评价	(150)
第六节	土地荒漠化及植被变化	(152)
第七节	天然草场的类型与分布	(154)
第八节	水资源利用与土地盐渍化评价	(157)
第十二章	昕水河流域遥感监测及土地利用状况评价	(164)

第一节	自然条件评价·····	(164)
第二节	黄土高原植被光谱特征·····	(167)
第三节	在隰县和蒲县遥感监测实验的技术路线·····	(169)
第四节	监测结果分析·····	(170)
第五节	土地利用现状分析·····	(172)
第六节	林业·····	(175)
第七节	建议·····	(177)

第一章 TM 遥感影像数据的大气和地形校正

摘 要 本章介绍的大气校正方法或影像标准化方法,主要是对 LANDSAT TM 卫星影像及有类似的波段设置的卫星影像做综合校正。这包括:传感器校准,路径亮度的估算,大气衰减系数各分量的计算,由地形引起的直射阳光及天光照度的变化,由高程引起的对大气光学厚度的调制,日地距离的计算等,所得结果是地物反射率影像。卫星飞越时的大气参数是由当地气象记录的内插值导出,再以像幅内黑暗地物做调整。所用的大气传输模型为改进的 Turner 模型,可计算阳光直接辐照度,天光辐照度,路径亮度等参数。地形模型既可用于调整各参量随高程的变化,又用以校正辐射的地形效应。当无地形模型时,可由卫星影像本身提取入射角。校正后影像便于做资源信息的多时相比较,即动态监测。另外,还可应用校正过程中生成的参数,做林地及其他再生资源的各生物指标的计算,以及无地形高程数据时的阴影校正。文中给出了对山西及浙江等几个时相的计算结果。

第一节 影像标准化的必要

当前,遥感界普遍认为,遥感在监测全球或区域植被变化,以及人类活动对植物群落的影响程度方面发挥了重要作用。但是,为了应用多时相遥感数据,必须要做一些预处理。航天遥感在再生资源上比较有前途的两种应用将是动态监测及植被信息提取。

1 再生资源的动态变化监测要求标准化影像

以卫星遥感监测三北防护林造林成果及植被变化,从而评价其生态环境效益,需要经过辐射校正的,因而是归一化的多时相影像。精确的影像分析,尤其是植被的多时相动态监测,要求剔除与地物反射率无关的干扰,便于专题信息提取。为监测三北防护林植被动态,就要求得到标准化的反射率影像,以便做绿色生物量、绿色植被指数、覆盖度、绿度等生物指标的提取。实际的卫星数字影像因受多种因素干扰,并不反映地物的本质。而且不同传感器的相近波段设置不同,也难于比较。即使同一传感器的影像,由于其灵敏度衰减变化以及大气条件不同,太阳照度不同,也有很大差异。对卫星影像影响严重的因素,主要是大气和地形,此两者改变了实际辐照度。再加上传感器变异等,多个因子互相关联制约。因此只考虑单因子的校正一般效果不够理想。

由于多时相的遥感影像之间可以相当精确配准,而且可粗放地以简便方法作辐射校正,或者精确地参照标准地物作地形、大气及辐射校正,那么以不同年份而季相相同的影像,便可以用多种方法比较再生资源覆盖类型的变化。

2 提取植被指数需要标准化影像

为了判明变化的种类及趋势,需要规定判别指标。植被的变异表现为生长或衰亡,绿度

增大或减小,表现为生物量的变化。而航天遥感数据,恰好在表现绿色生物量的各种特征方面有独到的优点。因此,把农林牧等方面的要求与航天遥感所能提供的信息在绿色生物量、绿度等各种植被指数方面进行接口,即以后者间接表现前者,可能是有前途的。

近年来,在三北各区的几个典型县的调查中,普遍采用了两类绿色植被指数算法,即缨帽变换及波段比值。波段比值突出了处于不同反射机制区的波段间的差异,从而间接地反映生物量的差别。由于林业调查强调的是森林面积、森林类型、林木蓄积量,而不是生物量,故此以特殊的线性变换及比值初级非线性变换这两种隐式植被指数,间接地建立了卫星遥感数据与林业调查参量的关系;在森林病害监测方面,垂直植被指数也表现优异,由此看来,发展适用于农林牧业的植被模型或指数,可能为航天遥感数据的应用开辟另一前景。

为了计算这些生物指标,需要剔除原始影像中的干扰因素。大气及地形对遥感数据的影响,可以用一些光谱变换方法以及植被变换方法,如比值计算方法进行削弱,但不能完全消除。理论及实践证明,用反射率影像计算 $NDVI$ 和 $ARVI$ ^[15],比用磁带原始记录值要精确得多。而 Gardener 给出^[13]了估算模型,可用 TM 通道数据估算农作物叶面积指数、干湿生物量、盖度等;这些模型本身即是由反射率计算而来的。《三北防护林体系和植被动态监测及信息管理系统研究》专题(简称“三北监测”)的主要研究内容之一就是做植被动态监测,并给出植被和土地利用现状及动态变化图。本章所介绍的是该专题的基础研究之一。

为了降低大气对遥感数据的影响,已经发展了一些光谱变换方法以及植被变换方法,但是景与景之间差异仍相当明显。另一方面由于传感器本身的响应特性也在漂移^[7],而传感器校正参数又不能及时公布,所以又发展起一些不依靠大气参数及传感器参数,而直接从所观测的景物估算亮度的方法。例如黑暗地物法,就是以黑暗地物为基准,估算大气散射对路径亮度值的贡献^[1]。从统计直方图下限估测大气亮度的相对散射法是对黑暗地物方法的一种改进^[3]。故此本研究也用黑暗地物监测和比较当时大气状况。

第二节 影像辐射校正的条件

为校正大气影响,还需要考虑另外几个因素,因为它们与大气相互作用。通常可以分为两类(Teillet 1986),即

a) 与传感器有关的:包括传感器校准参数及其随时间的漂移。b) 与景幅有关的:包括大气衰减,地形引起的辐射量变化,及目标反射率特性。

在这些参数中,只有目标反射率特性是地物内在属性,而其他因素都在改变着地物的亮度。这些因素之间的相互关系和作用就要求有一种辐射校正算法,以便通过这套算法,补偿所有这些效应。因此,只考虑地形、或传感器、或大气、或反射率模型的算法,不会取得满意的结果。绝对辐射校正的目标,就是通过上述补偿,把记录的影像数字值(0~255)转换为目标地物的原始反射率值。为达到精确的辐射校正,须满足以下四个先决条件。

1 地物反射模型的知识

意指各种地物的双方向反射分布函数 BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function)。然而,自然资源地物的复杂多样性已经排除了以一种 BRDF 代表所有地物的可行性。许多研究结果表明,自然表面的实际散射特性在不同程度上有别于漫反射面,即朗伯反

射面 (Teillet 1982)。在坡度小于 25° 和有效入射角小于 45° 或更小时, 漫反射面的近似值更为有效 (Smith et al 1980, Cavayas 1987)。就经常讨论的自然地物, 我们当前尚没有足够的反射模型的知识, 故此唯一可行的方案就是假设各种地物表面为漫反射面。特别是对于林冠综合体, 当太阳天顶角 (Zenith) 较小时, 它近似于漫反射面。有的作者 (Cavayas 1987) 指出, 林冠结构所引起的对亮度的影响比地形所引起的亮度变化更大。此处所指的林冠结构不同, 即指树种组等不同, 因而反射率水平不同。它不是指 BRDF 模型随林冠结构而急剧变化, 因为那与许多人的研究结果相矛盾, 而且果真如此, 林业遥感也许就失去了理论基础。

2 大气模型及代表实时状态的输入数据

大气模型多种多样, 此处不做详细讨论。大气模型在数学推导上, 可能比较严谨, 但是输入的大气参数的获取可能存在问题。在大多数情况下, 跟踪大气内含的空间 (水平垂直) 及时间上的分布往往是困难的。甚至获取详细的气象数据, 以确定大气影响的分布规律, 也往往不易办到。所以在多数情况下, 是假定一景内的大气为均一的, 且应用气象数据或一个均一的模型去代表整景的情况。如果大气不稳定或不均一, 这一点易导致校正误差。

3 一套可靠的传感器辐射校准参数

为做绝对校正, 即从辐射亮度到反射率的校正, 这套参数是很关键的。对 TM 传感器 (其他类型传感器也有类似表现), 一套或两套校准参数 (发射前或发射后获取的) 是不够的, 因为在飞行过程中, 它们往往表现出不稳定性, 这就对校正参数的可靠性提出质疑 (Markham and Barker 1987, Slater 1987, Price 1987)。所以校准参数的可靠性可能引起较大问题。因此几个景幅之间的相对校正 (即归一化, 而非标准化的反射率影像) 更为可靠。随着传感器元件技术的发展, 这个问题可期望得到解决。一方面是提高元件的稳定性, 另一方面是可跟踪传感器特性的漂移。

4 高程模型及高程差异对地物反射特性的影响方面的知识

地形对地物亮度有三个方面的辐射效应:

第一为高程变化对大气物理厚度 (因而也对光学厚度各分量) 起调制作用。为此, 可将高程作为一独立数据层, 并从气象数据计算大气各分量的标高 (Scale height), 再应用高程数据估算高程变化对各像元的调制量, 实际上, 即使高程相差几百米, 此调制量也不过只有 2~4 个数字级的变化, 因此不是主要的。

第二为像元的几何方位 (坡度坡向) 对太阳辐照度及观测角的影响。为校正此效应, 地形模型的精确配准极为重要, 尤其是对复杂地形。由于坡度坡向为非高斯分布, 配准错误会破坏校正结果。国内外许多人做过这种单一的地形校正, 但是有关应用坡度坡向模型改进分类结果的报道却不多见。由此可见, 若没有与地形的复杂程度相适应的足够精确的地形模型, 不推荐做此类校正, 尤其不能只做单项的地形校正。在复杂地形上, 此项校正会大幅度改变整个卫星影像数据结构, 因此要小心从事。

第三是地形对地物, 尤其是对林冠的 BRDF 反射率的影响。在考虑把它包括在校正算法以前, 尚需做许多理论及实验工作。为了应用 BRDF 的知识和研究成果, 须建立和发展一个知识库, 它应包括每种林冠在一特定地形上, 对不同太阳高度角和方位角区间, BRDF 表现特

征的信息。目前,只能假定各种林冠综合体的反射特性,在各种坡度坡向以及太阳入射角组合中,皆为漫反射体。这当然与实际情况有出入。

人们已经做了大量研究工作,发展了多种大气传输模型或编码,以实际估算大气散射及衰减对卫星影像的影响。但应用这些编码和模型于特定景幅及时相,需要传感器校准参数及实时大气性质方面的知识,如大气中水汽及气溶胶垂直分布,大气分子组分等。

由于获取实时大气参数的方法多种多样,而且其精度相差甚大,因此计算方法或校正过程可相当复杂或相对简单。有鉴于此,对每一参数,都允许有多种获取方法。又由于大气理论的某些侧面仍在发展中,应有容纳最新研究成果及新构思的余地。因此,应把参数的获取与校正过程分开。

在这一研究领域,尽管所设计的传输方程及辐射模型思路不同,或强调的侧面不同,多数作者都强调大气与地形的同等重要性(Woodham 1987, Kawata 1988, Teillet 1986)。对路径亮度的估测方法似乎更为重视(Chavez 1989, 1987, Crippen 1986)。近来比较一致的意见是:大气、地形、传感器等的统一校正是必需的;数字高程数据的分辨率应与影像分辨率做比较;不能只考虑直射阳光,天空光分量也受地形影响,应一并考虑;校正应是按光谱,而不是按波段进行,以便适用于有不同波段设置的传感器;暂时不能解决的问题,如双方向反射分布函数等可暂时搁置。

第三节 一种大气校正系列方法

本方法充分利用气象记录数据,并且和影像本身反映的大气状况做比较,估算出大气参数,输入大气模型。具体的做法是,以当天气象站的气象数据作时间内插,获得卫星飞越时的数据,再由此推导所需的大气参数。当气象数据不稳定或变化剧烈,因而估算不可靠时,则将景幅中的黑暗地物亮度与估算出来的参数做比较,对气溶胶衰减作修正。所用大气模型为改进的大气传输模型(Turner and Spencer 1972, Forster 1984)。且假定在一景幅内,大气均匀分布,各种大气参数都按高度符合指数分布规律。能见度记录作为估算气溶胶含量的一个初级指标,其他如气压,温度,湿度记录,都加以综合利用。再根据太阳高度角及大气特征,可估算各种高度的直接阳光,天空光辐照度,以及各种大气参数的垂直分布。当有地形模型时,可用来做大气参数的高度调整。如高程模型足够精确,可用来计算复杂地形的坡度坡向,做阳光入射角校正。

1 实验区

“三北监测”实验区包括三个类型区:即黄土高原水土流失区,实验点选在山西昕水河流域的隰县,大宁县及蒲县;内蒙古西部半干旱风沙区,实验点选在磴口县;内蒙古东部农牧区,实验点选在科尔沁左翼中旗。为了对每一个类型区做林地及植被动态监测,需要购置跨度为 10 年左右的 LANDSAT TM 影像数据磁带,一般选在 1986~1992 年。另外,为了提高自动分类精度,最好能获取当年的多季相数据,以便利用不同植被群落反射光谱的季相差异将其分类。校正的目的就是把各年代,各种气象及大气条件下获取的影像归一化为反射率影像。因为只有反射率表达了地物的本质特性。

为统一各年份,各季相的卫星影像,即剔除大气状况的干扰,以及太阳辐照强度及时间

差异等因素的干扰,需要卫星飞越时的大气参数。可是,到现在为止,卫星数据不附带这些重要参数。本研究利用当天当地气象台,站的4次记录(2:00,8:00,14:00,20:00,见表3)。以卫星飞越时间做非线性内插,估算实时气象参数。并由此计算分谱大气气溶胶含量(以气溶胶衰减 t_p 表示),水汽衰减 t_w 等参量。之后,将大气分谱光学总厚度 t ,太阳天顶角 θ_0 ,观测角 θ_v ,大气顶部阳光分谱照度 E_0 等输入大气传输模型,便可获得按光谱段分布(对TM影像为6个光谱段)的地面全光谱照度 E_s ,散射天光谱照度 E_d ,散射路径亮度 L_p ,以及它们按高程的指数衰减规律(标度高)。

将一些数据代入公式(3),便可获得像元在各波段的反射率 R ,从而获得反射率影像。当有精确的高程数据时,可计算各像元高程点的坡度、坡向的反射率。并根据大气参量的标度高,计算该像元的平均反射率。另外,卫星磁带记录值 DN (0~255),并不是卫星高度的观测亮度,首先需应用校准参数 L_{max} 及 L_{min} ,将各波段的256级量化值,转为各波段分谱亮度 L_{obs} 。当前所指遥感数据是指磁带记录的 DN 值,而直接应用 DN 值做各种处理和运算,例如比值运算,各种植被指数的提取等,在理论上存在误差。而应用校正后的反射率影像就基本消除了误差。由于所涉及的TM影像景幅很多,将只列表给出个别景幅的校正后参数。

2 校正步骤

求取反射率影像分为三个基本步骤:

① 第一步把数字影像值 DN 应用公布的传感器亮度校准参数转换为卫星高度亮度,即分谱亮度 L_{obs} (Barker 1987):

$$L_{obs} = DN (L_{max} - L_{min}) / 255 + L_{min} \quad (1)$$

本文应用分谱亮度,以便不同传感器的近似波段可以比较(Price 1987)。校准参数 L_{max} , L_{min} 随时间和地面接收处理站而不同。除了绝对校准外,如果有必要,还须对多数像幅做相对校准,即探测器之间的补偿。另外,尚需对太阳辐照度 E_0 ,根据公布的参数做校准。

② 第二步是通过各参数的校正把此分谱亮度转换为反射率,这是比较复杂也是关键的一步,这一步骤的基础是大气传输模型。(2)式从理论上说,是比较严格的,而且也是比较通用的模型。

如果假定大多数地物,尤其是植被具有漫反射特性,则综合校正简化为对大气、地形、辐射度、观测角、传感器的校准。则在某个波段上,卫星观测到的分谱亮度 L_{obs} 为^[9,11,12]:

$$L_{obs} = 1/\pi (E_0 \cos i \exp(-t/\cos \theta_0) + g E_d) R \exp(-t/\cos \theta_v) + L_p \quad (2)$$

式中 $1/\pi$ = 地物作为漫反射体的双方向反射分布函数,如果引入BRDF信息库,则此项将变得复杂。此处用 $1/\pi$ 做近似计算。

E_0 为大气层上太阳辐照度($mW \cdot cm^{-2} \cdot \mu m^{-1}$),与日地距离有关,且 E_0 须用已公布的TM波段光谱辐照度表,给出了整理的测定数据。

E_d 为水平地面的天光谱照度($mW \cdot cm^{-2}$)。受大气条件及高度调制,此项数值由大气模型输出。

i 为阳光对地面像元入射角,即地面上像元平面的法线与入射线夹角。

θ_0 、 θ_v 太阳高度角及观测角,前者对一景幅为定值,后者与像元距星下点距离有关,但因最大只有3°的差别,对TM影像一般可不考虑。

t = 大气衰减系数(光学厚度),受多种因素影响,有多个分量,这个参数反映大气实