

吴 卿 李士杰 王玲玲 著

JIYU GAOFENBIANLV YAOGAN YINGXIANG DE

基于高分辨率遥感影像的 水土保持生态建设 监测方法研究

SHUITUBAOCHI SHENGTAI JIANSHE

JIANCE FANGFA YANJIU



黄河水利出版社

基于高分辨率遥感影像的 水土保持生态建设监测方法研究

吴 卿 李士杰 王玲玲 著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

图书在版编目(CIP)数据

基于高分辨率遥感影像的水土保持生态建设监测方法
研究/吴卿,李士杰,王玲玲著. —郑州:黄河水利出版
社,2009.4

ISBN 978 - 7 - 80734 - 583 - 1

I. 基… II. ①吴…②李…③王… III. 水土保持 - 监
测 - 遥感数据 - 研究 IV. S157

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 039245 号

策划组稿:马广州 电话:13849108008 E-mail:magz@yahoo.cn

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940, 66020550, 66028024, 66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:850 mm × 1 168 mm 1/32

印张:5.25

字数:132 千字

印数:1—1 000

版次:2009 年 4 月第 1 版

印次:2009 年 4 月第 1 次印刷

定价:20.00 元

前 言

水土保持是解决河流泥沙、改善流域生态环境、维持河流健康生命的关键措施之一。近年来,我国在黄土高原地区开展的水土保持生态建设实践证明,治理成效十分明显。对治理区监测是进行水土保持生态建设决策、管理、评价各个环节的重要依据,但目前水土保持生态建设监测工作仍依赖于人工调查、统计上报等常规方法,受监测方法和人为因素影响严重,耗时长,费用高,误差大。本书以伊洛河下游黄土丘陵区为研究样区,开展基于高分辨率遥感影像的水土保持生态建设监测方法研究。在对研究样区水土保持生态建设情况和监测尺度及监测指标分析的基础上,选择 1 m 分辨率的 IKONOS 影像和 2.5 m 分辨率的 SPOT5 影像为监测遥感数据源;采用“RPC 模型 + GCP 优化”方法进行高分辨率遥感影像正射纠正;用主成分分析法进行遥感影像全色波段与多光谱图像融合;用虚拟现实技术进行高分辨率遥感影像监督分类模板定义研究;用不同大小的聚类处理参数并在研究水土保持生态建设措施的空间特征和影像特征的基础上,确定提取水土保持生态建设信息的最小图斑参数值;最后用全数字人机交互解译和监督分类提取研究样区水土保持生态建设信息,并结合 GPS 现场验证和工程监理成果对监测结果进行分析评价。

研究表明,在利用 RPC 模型的基础上,利用控制点对纠正的残余误差进行优化,然后进行 IKONOS 遥感影像纠正,精度较高,效果明显好于其他纠正方法。用主成分分析法进行高分辨率 IKONOS 遥感影像全色波段与多光谱图像融合是各种常用的图像融合方法中更适合于黄土丘陵区地形的图像融合方法。2.5 m 分

分辨率的 SPOT5 影像在基于二维环境下的监督分类模板定义整体精度最高只达到 88.19%, 而基于虚拟现实环境的分类模板定义整体精度可达 95.48%。在黄土丘陵区, 利用 2.5 m 分辨率的 SPOT5 影像进行水土保持生态建设各项措施信息遥感分类时, 后处理参数宜选用最小图斑为 6×6 个像元。监测结果表明, 研究样区水土保持生态建设实施进展良好, 2002 年底和 2003 年底分别实际完成年度计划的 94% 和 95%。通过研究, 在黄土丘陵区水土保持生态建设生产实践中, 运用 2.5 m 分辨率 SPOT5 卫星遥感影像监督分类结合 1 m 分辨率 IKONOS 卫星遥感影像人机交互目视解译法进行水土保持生态建设监测是一种快速、经济、实用的方法, 具有很好的应用前景。

由于作者水平和时间有限, 书中疏漏和不足之处在所难免, 恳请读者批评指正。

作 者

2009 年 1 月

目 录

前 言

第 1 章 遥感监测综述	(1)
1.1 基本概念	(1)
1.2 遥感技术应用和发展	(6)
1.3 GIS 技术应用发展	(33)
第 2 章 空间数据处理	(37)
2.1 空间数据处理原则	(37)
2.2 遥感数据处理	(38)
2.3 非遥感数据处理	(48)
2.4 小 结	(51)
第 3 章 遥感影像信息提取	(53)
3.1 遥感影像分类	(53)
3.2 影像目视解译	(56)
3.3 植被覆盖度提取	(59)
3.4 地形因子提取	(61)
3.5 工程信息提取	(63)
3.6 GPS 野外验证	(63)
3.7 小 结	(65)
第 4 章 空间数据信息管理	(68)
4.1 ArcGIS 数据存储模型	(68)
4.2 Geodatabase 空间数据库	(70)
4.3 专题图输出	(71)
4.4 三维动态显示	(72)

4.5	监测地理信息系统	(72)
4.6	小 结	(76)
第5章	研究样区监测方法	(78)
5.1	研究样区概况	(78)
5.2	监测技术流程	(84)
5.3	监测尺度与监测目标	(86)
5.4	监测工作平台	(87)
5.5	研究样区监测数据源	(88)
5.6	遥感影像分类	(105)
5.7	目视解译	(115)
5.8	植被覆盖度提取	(120)
5.9	地形因子提取	(122)
5.10	监测信息管理	(122)
5.11	小 结	(129)
第6章	研究样区监测结果	(131)
6.1	水土保持生态建设概况	(131)
6.2	监测方案	(131)
6.3	赵沟小流域监测	(132)
6.4	研究样区监测	(135)
6.5	监测结果评价	(142)
6.6	小 结	(143)
第7章	结论与讨论	(144)
7.1	结 论	(144)
7.2	讨 论	(146)
参考文献		(148)

第1章 遥感监测综述

1.1 基本概念

1.1.1 水土流失

水土流失(soil loss)也称土壤侵蚀(soil erosion),水土流失问题按研究尺度不同可以分为坡面、小流域和区域研究三个层次。其中小流域是指面积不太大、土壤侵蚀自成系统、生态系统便于调控的流域(蔡强国等,1998)。小流域水土流失综合治理以小流域为单元研究水土流失规律,通过合理规划农林牧副各业用地和安排水土保持措施,达到治理水土流失、改善生态环境的目标(倪含斌等,2004)。

1.1.2 水土保持和水土保持监测

水土保持在国外文献中用“soil conservation”,现常用“water and soil conservation”,两者含义相同,目标都在于对土壤侵蚀或者水土流失的防治。

《中国大百科全书·水利卷》中指出:水土保持学是一门研究水土流失规律和水土保持措施,以防治水土流失,保护、改良与合理利用山区和风沙区的水土资源,维护和提高土地生产力,以充分利用发挥水土资源的生态效益、经济效益和社会效益的应用技术科学。

水土保持监测是对土壤侵蚀环境和水土保持景观生态系统进

行的动态信息获取、处理和分析的过程,水土保持监测的主要关心区域是山地丘陵地区、风蚀区和重力、人为侵蚀地点;主要监测对象是土壤、侵蚀地貌或地质条件、植被、侵蚀管理措施和与土壤侵蚀有关的水体等地表要素及其属性(许峰等,2001)。水土保持监测是通过对监测区域的植被、地形、水土保持治理措施等地表要素的监测,为水土保持管理、监督执法、规划和决策提供基础观测数据和决策信息,是水土保持治理效果的反馈过程(周月敏,2005)。在我国水土保持监测体系建设中,国家成立了水土保持监测中心,七大流域机构成立水土保持监测中心站,各省(自治区、直辖市)成立水土保持监测总站和重点监测分站,在全国形成一个庞大的水土保持监测网络。通过“3S”技术与信息技术的有机结合,形成全国监测与管理信息系统,并定期发布全国及重点地区水土流失状况和生态环境信息。监测的对象包括区域监测、中小流域监测、开发建设项目监测。监测的方法包括地面观测、遥感监测、调查、试验等(中国水土保持生态建设网,2005)。

水土保持生态建设的专题信息监测,不同于土地利用动态监测。它是一种工程监测,工程监测的对象是一种人工营造的特殊地物。一般来说,这类地物的几何形状较为规则,要求的精度也比较高。

1.1.3 遥感和遥感动态变化监测

遥感(Remote Sensing, RS)即遥远的感知,指远距离非接触“物体”而获得其信息,通过遥感“遥远”地采集目标对象的数据,并通过对数据的分析来获取有关目标、地区或现象信息的一门科学和技术(赵英时等,2004)。邬伦等(2004)把遥感定义为:通过某种传感器装置,在不与研究对象直接接触的情况下,获得其特征信息,并对这些信息进行提取、加工、表达和应用的一门科学技术,具有视域广阔、信息丰富及可定时、定位观测的特点。遥感对目标

进行信息采集主要是利用从目标反射或辐射的电磁波来完成的。电磁波在介质中传输时,会与介质发生作用而改变特征,如波长、传播方向、振幅和偏振面,因此通过对遥感观测到的电磁波特性的分析,可以反演与之发生相互作用的介质的性质,从而识别目标和周围的环境条件(村井俊治,1995)。遥感影像数据反映的是成像区域内地物的电磁波辐射能,对其数据大小和变化规律进行分析处理能有效地识别和研究地物。一般遥感根据获取物质特征所用的电磁波的波长可分为可见光遥感、热红外遥感和微波遥感。本书所应用到的一般是可见光—反射红外遥感,即获取地物信息时所用的波段为可见光和近红外波段。

遥感动态变化监测的定义为,卫星传感器获取的遥感影像包含大量的地物特征信息,在影像上这些地物特征信息以灰度、结构、形状、纹理等形式表现出来,其中最基本的就是灰度表示形式,即每个像元上记录一组灰度值,它反映了地物的波谱特性,那么当目标物发生变化时,会在不同时期的遥感影像上表现出来。利用不同时刻获得遥感影像的差异来确定目标变化的方法一般称为遥感变化监测技术。在遥感文献里,利用不同时相的遥感影像来获取变化信息的技术被称为遥感动态变化监测(Remote Sensing Change Detection)(P. Coppin et al., 2004; 马建文等, 2004; 张振龙等, 2005)。随着遥感变化监测的新算法不断得到发展,卫星遥感的复轨能力和传感器参数的稳定一致性不断增强以及一系列卫星计划的实施,遥感的动态变化监测技术会变得越来越容易和有效。

1.1.4 监测尺度

在景观生态学中,尺度是指在研究某一物体或现象时所采用的空间或时间单位,同时又可以指某一现象或过程在空间和时间上所涉及的范围和发生的频率(邬建国,2001)。在地学研究中,尺度有着多种概念,如时间尺度、空间尺度、时空尺度等,见图1-1。

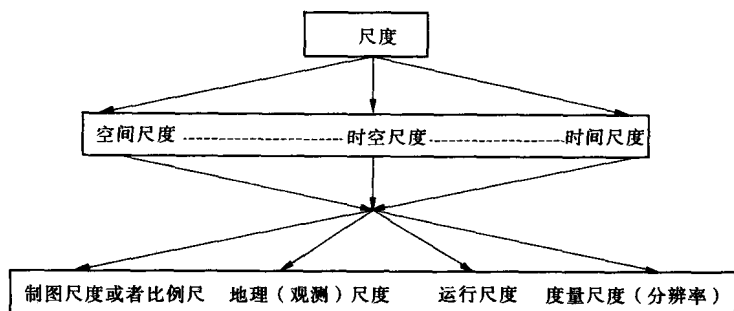


图 1-1 地学中的尺度含义

尺度有以下四种含义(Lam,1992):

(1) 地图(制图)尺度,即比例尺,大尺度的地图往往覆盖比较小的区域,表示的内容比较详尽,而小尺度的地图覆盖的区域比较大,表示的内容比较粗略。

(2) 地理尺度或观测尺度,指研究区的大小或所占据的空间范围,较大的研究区域具有较大的尺度。

(3) 运行尺度,指自然环境中特定过程发生的时空范围,观察尺度必须与运行尺度一致时才能对特定过程做很好的描述,如森林具有比单棵树木更大的运行尺度。

(4) 度量尺度,亦即分辨率,大尺度(地理尺度)研究即对应于粗分辨率。

土壤侵蚀定量研究涉及地块(plot)、小流域(catchment)、区域(regional)和国家(national)等不同的空间尺度范围(李智广,2001),因此水土保持生态建设监测也要先确定监测尺度,从而确定监测目标和选择合适尺度的数据源。小流域通常指二、三级支流以下,以分水岭和下游河道出口断面为界,集水面积在 100 km^2 以下的相对独立和封闭的自然汇水区域(陆鼎言,1999),属于小尺度,是一种大于基本均质生态单元、群落和群落社区等微尺度的

景观单元(程序,2004)。以小流域为单元的分析和研究,不但能从微观特征上刻画 outcomes 流域内各种水土流失和水土保持建设的全息化信息,而且也能从宏观尺度上把握研究区域水土保持信息的空间规律和时间过程趋势(周月敏,2005),因此在本研究中是以小流域为监测尺度的。

应用遥感手段来完成水土保持生态建设监测,不同的空间尺度采用不同分辨率的遥感影像。同样,在同一空间尺度下不同时间尺度的土地利用/覆盖变化测量也会有所不同,这主要是因为一定的空间尺度下,土地利用/覆盖变化的速率取决于所采用的时间尺度,非常短或非常长的时间段都有可能掩盖土地利用/覆盖变化的真实情况(陈佑启,2005)。冉圣宏等(2006)分别以1年和8年的时间尺度对四川省渔子溪流域土地覆被及其生态服务价值的变化进行的模拟结果表明,时间尺度对模拟结果具有显著影响。

1.1.5 地图学相关概念

1.1.5.1 1954年北京坐标系

该坐标系是通过与原苏联1942年坐标系联测而建立的。新中国成立后,为了建立我国天文大地网,鉴于当时历史条件,在东北黑龙江边境上同原苏联大地网联测,推算出其坐标作为我国天文大地网的起算数据;随后,通过锁网的大地坐标计算,推算出北京点的坐标,并定名为1954年北京坐标系(也称北京54坐标系)。因此,1954年北京坐标系是原苏联1942年坐标系的延伸,其原点不在北京,而在原苏联普尔科沃。该坐标系采用克拉索夫斯基椭球作为参考椭球,高程系统采用正常高,以1956年黄海平均海水面为基准。

1.1.5.2 1980年西安坐标系

在1978年4月召开的“全国天文大地网平差会议”上决定建立我国新的坐标系,称为1980年西安坐标系(也称西安80坐标

系)。其大地原点设在西安西北的永乐镇,简称西安原点。椭球参数选用 1975 年国际大地测量与地球物理联合会第 16 届大会的推荐值,简称 IUUG-75 地球椭球参数或 IAG-75 地球椭球。

1.1.5.3 地形图

地形图是普通地图的一种,即按一定的比例尺表示地物、地形平面位置和高程的地图。地形一般采用等高线表示,能反映地面的实际高度和起伏特征,地物用规定的符号表示。地形图具有较高的数学精度和翔实的地理内容,它所表示的地面基本要素包括水系、地貌、土质植被、居民地、交通线和政区境界线等。我国把 1:1 万、1:2.5 万、1:5 万、1:10 万、1:25 万、1:50 万和 1:100 万 7 种比例尺地形图作为国家基本地形图,它们是按照国家颁发的统一规范和图式符号制作的,有统一的地图投影、统一的大地坐标系和高程系统。我国地形图的数学基础,大地基准为 1954 年北京坐标系/1980 年西安坐标系,投影方式为高斯-克吕格投影,分带方式为 3°带,高程基准为 1985 年国家高程标准。

1.2 遥感技术应用和发展

遥感技术在全世界范围内迅速发展和广泛使用是在 1972 年美国第一颗地球资源卫星(Landsat-1)成功发射并获取了大量的卫星图像之后。目前,在空运行的各种遥感平台(Platform)有 1 000 多颗,用于搭载各种用途的传感器。目前的传感器已能全面覆盖大气窗口的所有部分。从传感器所利用的电磁波谱段来区分,遥感可以分为光学遥感、热红外遥感和微波遥感。光学遥感采用的波长范围主要为可见光、近红外和短波红外区域。热红外遥感技术和微波遥感技术是近 10 年发展起来的具有美好前景的两类遥感技术。热红外遥感的波长从 8 μm 到 14 μm ,可日夜获取目标的数据,是一种全天时的遥感技术。微波遥感的波长范围从

1 mm到 100 cm,可以在阴雨天和夜晚成像,是一种全天候的遥感技术,而且微波对地面物体具有较强的穿透能力,在某些条件下,探测深度可达 100 m,这使得微波遥感不仅能用于植被表面信息的遥感,而且可以用于植被内部信息的遥感;不仅可以探测地表和干沙的特性,而且可以探测其内部及下面的特性。从传感器的分辨率来看,空间分辨率已达亚米级,光谱分辨率已达纳米级;超光谱成像光谱的波段数最多可达 240 个波段,可以用来监测植物的叶绿素水平;热红外遥感的温度分辨率可达 0.5 K,并有可能提高到 0.3 ~ 0.1 K 的水平;遥感影像获取的时间分辨率也大大提高,卫星回归周期可达几天,甚至十几个小时,如美国国家海洋与大气局(NOAA)的卫星每天可对同一地区进行两次观测。

总之,新型传感器的不断出现,使得遥感技术已从过去的单一传感器发展到现在的多种类型传感器,并能在航天、航空遥感平台上获得不同空间分辨率、时间分辨率和光谱分辨率的遥感影像。现代遥感技术的显著特点是尽可能地集多种传感器、多级分辨率、多谱段和多时相技术于一身,并且与全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、惯性导航系统(INS)等高技术系统相结合形成智能传感器,而且空间分辨率、时间分辨率、光谱分辨率的提高,也使得遥感应用逐渐由定性向定量、静态向动态发展。

遥感数据的处理通常是指图像形式的遥感数据的处理,主要包括纠正(辐射和几何纠正)、增强、变换、滤波、分类等方面,主要目的是提取各种专题信息,如植被覆盖率、农作物产量和水深等。遥感影像处理可以采取光学处理和数字处理两种形式。遥感数字图像处理(Remote Sensing Image Processing)是利用计算机通过数字处理的方法来增强和提取遥感影像中的专业信息,由于其可重复性好,便于与 GIS 结合等特点,目前被广泛采用。目前,国际上已相继推出了一批高水平的遥感影像处理商业软件包,如加拿大 ERM 公司研制的 ERHAPPER、美国 ERDAS 公司推出的 ERDAS

Imagine、新加坡 3-link 公司研制的 ENVI 等遥感影像处理系统。

人类从 20 世纪 60 年代发射太空飞行器获得成功以来,经过 40 多年的探索,遥感技术目前已经形成了比较完整的基础理论体系,至今已取得了令人瞩目的成绩,从试验到应用、从单学科到多学科综合、从静态到动态、从区域到全球、从地表到太空,无不表明遥感已发展到相当成熟的阶段。但总的看来,目前的遥感应用水平仍不能满足实用的要求,主要表现在:

(1) 实时监测、处理能力还不够。

(2) 定量化分析水平还不够,精度往往不能满足实用要求。

(3) 遥感应用模型的建立还是个薄弱环节。由于遥感技术的限制,相对于遥感卫星发回地面的海量数据而言,人们对其利用和发掘的程度还很低,据估计,目前仅有 5% ~ 10% 的数据得到利用。

1.2.1 遥感监测研究现状

卫星遥感构成了对地圈、生物圈、大气圈及其相互作用的物理、化学过程和时空演变规律的系统化、立体化的探测系统,形成了全面的观测能力。在资源环境研究及其相关领域的应用,已经日益广泛和深入。遥感(RS)与地理信息系统(GIS)技术的发展及其在地理学研究中越来越广泛和深入的应用,已经导致这一学科的研究方法,特别是地理学研究中空间对象的观测与信息获取方法产生了根本性的变化,极大地提高了对地观测能力和丰富了观测内容,深化了人们对地理现象的认识。

目前,遥感技术已形成多星种、多传感器、多分辨率共同发展的局面。各种遥感卫星包括资源卫星、环境卫星、海洋卫星、气象卫星等,所获取的遥感信息具有厘米到千米级的多种尺度,如 63 cm、1 m、3 m、4 m、5 m、10 m、20 m、30 m、60 m、120 m、150 m、180 m、250 m、500 m、1 000 m 等多种分辨率,重访周期从 1 天到 40 ~ 50 天不等,在获取资源环境空间和时间信息方面构成很好的互补关系。卫星遥

感技术的发展使资源环境研究得到了极大的促进,在研究资源环境时空特征方面取得了一系列具有重要影响的成果。技术发展不仅提高了成果质量,加强了研究深度,而且促进了成果应用。应用遥感技术定性与定量相结合来分析研究一定区域范围内,在时空变化过程中资源与环境的变化,是借助不同层次、不同空间分辨率与光谱分辨率的传感器,周期性地记录地面各种地物在不同时期的空间特征,通过相关数字图像处理提取其资源环境的变化动态信息,并以图像或图形记录其变化的空间位置、大小和特征。

1.2.1.1 遥感监测技术流程

遥感监测技术流程一般包括以下过程。

第一步:遥感数据类型选择。根据研究内容或希望达到的目的,有针对性地选择合适的信息源,主要是对星种或传感器的选择。在多数情况下,选择时还需要考虑经济因素。在一般的资源环境研究中,目前采用光学传感器遥感信息较多,如 Landsat 的 TM 和 ETM +、SPOT、IKONOS、NOAA、AVHRR 等。为了避免天气的不利影响,有些研究工作,如灾害监测等,通常需要应用雷达卫星的数据,目前常用的数据主要有 RADARSAT 等。对于空间精度要求很高的研究工作,如数字城市建设、大比例尺资源环境调查、考古等专项遥感监测等,还需要在空间分辨率方面提出严格要求,通常选择米级或厘米级的遥感数据作为主要信息源,目前可以选择的米级数据包括 SPOT5、IRS、IKONOS、QuickBird 等。

第二步:遥感数据时相选择。不同研究对象要求不同时间获取的遥感数据,具体包括两个方面:在资源环境现状研究中,针对内容需要更清晰、更全面地反映研究对象的遥感数据;土地利用和土地覆盖研究一般要更多地了解地表植被的信息,因而多选择植被生长旺期获取的遥感数据。

第三步:遥感数据纠正。在开展资源环境研究中,一般获取的遥感数据已经进行了初步的辐射纠正。几何校正通常要应用部门

根据工作需要自行完成。几何纠正的主要目的是对遥感影像进行地理编码,使其具备希望得到的坐标系统和投影参数。

第四步:专题信息获取。遥感数据到专题信息的转化是遥感技术应用的必要过程。该过程主要可以归纳为人机交互和计算机辅助分类与提取等两种方式及其混合应用。

遥感信息全数字人机交互分析方法的成熟与广泛应用,主要是在近 10 年的时间内完成的。该方法不仅需要投入大量的人力、物力和财力,而且需要投入相对更多的时间,其取得的成果质量相对更高,更便于应用,因而在目前情况下仍然是一种广泛采用的有效方法。全数字人机交互判读系统作为土地资源等专题信息获取的主要技术依托,其软、硬件配置以实用、快速为根本目的,不仅保证满足专题信息提取的要求,而且具有使用方便、节省投资的优点。

计算机自动分类技术主要立足于遥感信息的定量分析和统计分析(周成虎,1999),但由于遥感信息传输中的各种干扰造成的偏差,不同时空条件下地物遥感信息的差异,空间不一致性和时间不一致性,以及同物异谱和同谱异物现象的存在,自动分类精度还难以满足水土保持生态建设工程的调查要求。在采用计算机分类技术产生结果的情况下,仍然需要依靠目视判读分析来进行改值干预,但最终结果仍会存在较多问题。

比较而言,以专业知识为基础的人机交互分析方法成果精度高,理解深入而准确,但效率相对较低,不确定性对于成果质量有较大影响。以自动方法为主的分类与变化监测研究,效率相对更高,结果比较一致,但对于遥感数据本身的要求更高,分类后处理工作量更大,使其效率受到了直接影响。同时,现有的自动分类方法基本上都是在限定区域内形成和实现的,在其他地区的应用往往需要模型的调整和参数的重新选择,很难在大区域而精度要求较高的工作中实际应用。在多数情况下,这种技术方法应用在特