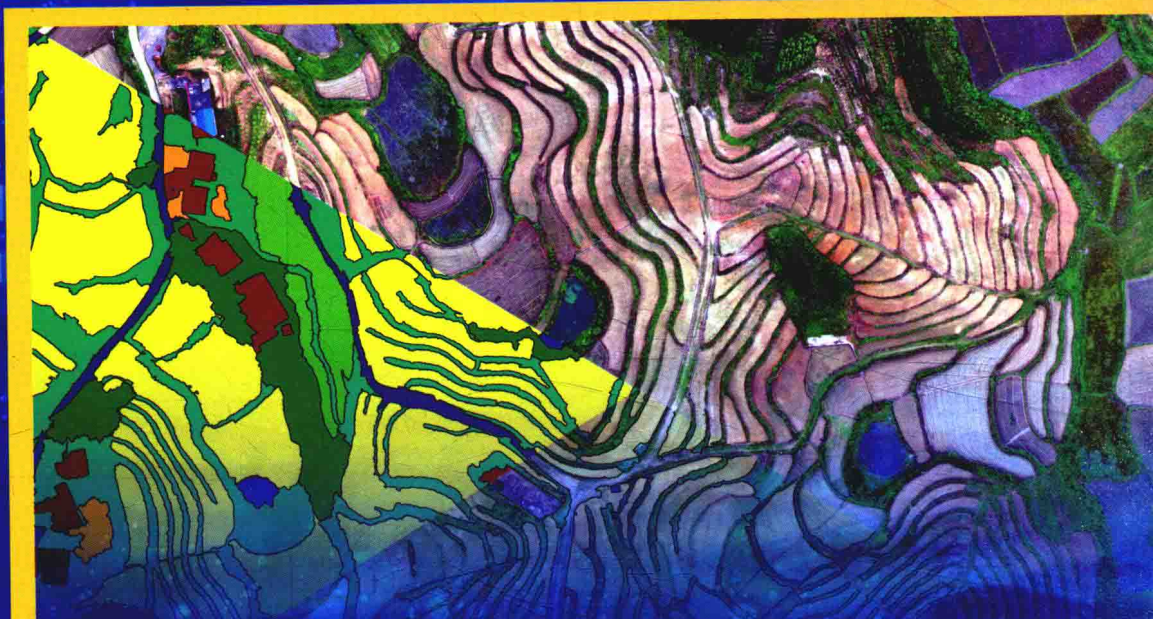


高分遥感

水土保持应用研究



● 水利部水土保持监测中心 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高分遥感 水土保持应用研究

水利部水土保持监测中心 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书按照水利高分遥感应用示范系统总体方案设计,基于可稳定获取的 GF-1、GF-2 遥感数据以及其他辅助遥感数据,开展高分遥感在水土保持领域中土壤侵蚀、水土保持综合治理、生产建设项目水土保持等方面应用的关键技术研究,以期探索和建立一套完整、实用、高效的高分辨率遥感应用技术体系,推动高分遥感水土保持业务化、工程化应用,形成基于高分辨率对地观测系统的水土保持业务应用的综合信息服务能力,有力支撑我国水土保持行业健康快速发展。

本书适合于从事高分遥感水土保持应用领域的行业技术管理人员、科研技术人员、企业遥感技术服务与研发人员、在校研究生等参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

高分遥感水土保持应用研究 / 水利部水土保持监测
中心编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2016.9
ISBN 978-7-5170-4795-7

I. ①高… II. ①水… III. ①遥感技术—应用—水土
保持—研究 IV. ①S157

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第239698号

书 名	高分遥感水土保持应用研究
作 者	GAOFENYAOGAN SHUITU BAOCHI YINGYONG YANJIU
出版发行	水利部水土保持监测中心 编著 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京博图彩色印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 22.5印张 534千字
版 次	2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	120.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



编辑委员会

领导小组

主任委员：郭索彦

副主任委员：姜德文 张长印 李智广 史明昌

编著组

主 编：罗志东

副 主 编：赵 院 王晓晶

编 写 人 员：刘二佳 赵 欣 郭晓晓 许永利

张金金 赵海雷 曹 刚 陈德清

王伶俐 曹文华 郭 浩 张 羿

康 芮 孙 娜 李瑞平 张大旗

李美玲 高志强



前言

我国是世界上水土流失最为严重的国家之一，水土流失面广、量大、侵蚀严重。根据第一次全国水利普查成果，我国水土流失面积为 294.91 万 km^2 ，占国土总面积的 30.72%。土壤侵蚀模数大于 $2500\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的中度及以上面积占到水土流失总面积的 53%，侵蚀强度远高于土壤容许流失量。同时，我国工业化、城市化、城镇化进程快速发展，人口规模、资源需求和环境压力不断增大，公路、铁路、矿山、城镇等大规模建设导致的人为水土流失问题仍十分突出。水土保持是我国生态文明建设的重要组成部分，是江河治理的根本，是山丘区小康建设和新农村建设的基础工程，事关国家生态安全、防洪安全、饮水安全和粮食安全。新中国成立以来，党中央、国务院高度重视水土保持工作，我国水土流失防治取得了令人瞩目的显著成效。但同时，随着我国经济社会快速发展，资源约束趋紧、环境污染严重、生态系统退化等问题日益突出。面对严峻的形势，党的十八大以来，党中央、国务院对大力推进生态文明建设做出了一系列部署，将生态文明建设纳入中国特色社会主义“五位一体”的总体布局，并明确要求“推进荒漠化、石漠化、水土流失综合治理”，这对新时期的水土保持工作提出了更高的要求。2015 年，国务院批复了《全国水土保持规划（2015—2030 年）》，明确了今后一个时期我国水土保持工作的发展蓝图。规划中提出要加强信息科技手段在水土保持中的应用，推进国家重点治理工程的“图斑”化精细化管理、生产建设项目水土流失的“天地一体化”动态监控、监测工作的即时动态采集与分析，建成面向社会公众的信息服务体系。充分利用高分辨率遥感等技术手段，是加快推进实施好水土保持工作的必要选择。

遥感技术在水土保持领域的应用时间比较早，全面应用可以追溯到 20 世纪 80 年代的第一次全国土壤侵蚀普查。随着遥感技术的快速发展，遥感在水土保持领域的应用不断加强，主要是以中低分辨率遥感影像在土壤侵蚀调查方面应用比较多。受制于国产高分辨率卫星遥感数据源较少，国外遥感数据获取成本太高，遥感在水土保持综合治理设计与管理、生产建

设项目水土保持管理应用等方面还尚未形成广泛应用，高分辨率遥感水土保持应用技术体系尚未形成，加强高分辨率遥感水土保持应用研究十分及时和必要。

近年来，国家启动实施高分辨率对地观测系统国家科技重大专项，自2013年起发射了一系列高分辨率遥感卫星，大大提高了我国对地观测卫星的总体观测能力，提高了我国高分辨率数据自给率，填补国内众多领域的高分遥感应用空白，对满足国家、行业、区域和社会应用具有重大战略意义。推动和规范高分遥感在水土保持领域中的应用，尽快研究突破基于高分遥感的水土保持监测指标快速提取技术、研发具备可推广应用的软件产品，是目前高分遥感水土保持应用领域的一个重点技术攻关工作。高分辨率对地观测系统国家科技重大专项在遥感卫星发射的同时，开展了高分遥感行业和区域应用示范系统建设。水利是国民经济的基础设施和基础产业，水利高分示范应用系统是高分系统（民用部分）的行业应用示范系统之一。水土保持作为水利行业的重要组成部分，同水资源管理、防汛抗旱等多个水利业务领域一样，对卫星遥感技术特别是高分辨率卫星遥感技术具有迫切的需求。积极发展遥感技术特别是高分辨遥感技术解决水土保持行业生产实践中的问题，是加强水土保持技术能力、改进行业管理方式、提升行业监管水平的重要途径之一。

本书按照高分遥感应用示范系统总体方案设计，基于稳定获取的国产GF-1、GF-2遥感数据以及其他辅助遥感数据，开展在水土保持领域中土壤侵蚀、水土保持综合治理、生产建设项目水土保持等方面应用的关键技术研究，以期探索和建立一套完整、实用、高效的高分辨率遥感应用技术体系，推动高分遥感水土保持应用主体业务，形成基于高分辨率对地观测系统的水土保持业务应用的综合信息服务能力，有力支撑我国水土保持行业健康快速发展。

本书在编写过程中得到了水利部水利信息中心、陕西省水土保持生态环境监测中心、陕西省榆林市水土保持监督站、陕西省横山县水土保持监督站单位有关领导和同志的大力支持，特别是水利部水利信息中心党委书记蔡阳在课题安排组织等方面给予有力指导。课题研究专家组成员李增元、张晓丽、李锐、宁堆虎、陈子丹、黄诗峰、张友静、刘宝元、杨胜天、付慧、杨勤科、赵晓丽、蔡强国、谢永生、赵帮元以及亢庆、马红斌、张周威、周珂、刘渭滨、淮永建等专家，在课题研究各个环节的咨询论证过程中给予了有针对性的指导和帮助，在此向上述领导和专家表示衷心的感谢。

由于高分遥感影像数据受卫星运行以及气候等因素影响还较大，水土保持业务应用也较为复杂，尚有一些问题有待深入研究，加上项目研究时间较短和编著者水平有限，书中不免存在一些不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作者

2016 年 8 月

前言

1 研究背景	1
1.1 研究概述	1
1.2 业务应用需求分析	2
1.3 水土保持遥感应用研究进展	5
2 研究总体思路	12
2.1 研究目标任务	12
2.2 研究总体路线	13
2.3 研究区选择与概况	14
2.4 研究数据分析	16
2.5 后处理方案设计	19
2.6 精度评价方案设计	21
3 数据预处理分析研究	29
3.1 技术指标与要求	29
3.2 预处理方法	30
4 水力侵蚀土地利用类型指标提取技术研究	37
4.1 研究策略	37
4.2 联合分割多算法协同水体提取	48
4.3 多尺度分割多算法协同交通运输用地提取	67
4.4 多阈值分割多算法协同城镇村及工矿用地提取	77
4.5 多尺度分割多算法协同耕地提取	87
4.6 联合分割多算法协同林地和园地提取	102
4.7 多尺度分割多算法协同草地提取	111
4.8 多阈值分割多算法协同其他土地提取	120
4.9 多阈值分割多算法协同云及其阴影检测提取	125
4.10 后处理及精度评价	134
4.11 本章小结	141

5 水力侵蚀植被覆盖度提取技术研究	143
5.1 研究策略	143
5.2 单时相植被覆盖度提取	145
5.3 高空间多时序植被覆盖度提取	166
5.4 本章小结	171
6 水土保持治理措施提取技术研究	172
6.1 研究策略	172
6.2 多算法融合梯田提取	175
6.3 基于先验知识的多源数据协同淤地坝提取	222
6.4 面向对象与人机交互的生物及其他治理措施提取	242
6.5 后处理及精度评价	255
6.6 本章小结	256
7 生产建设项目水土保持监测与评价指标提取研究	259
7.1 研究策略	259
7.2 多源数据协同的生产建设项目发现	262
7.3 面向对象的典型生产建设项目监测指标提取	289
7.4 生产建设项目监测指标变化检测分析	317
7.5 本章小结	329
8 研究总结与推广应用策略	331
8.1 研究总结与讨论	331
8.2 应用推广策略	332
附图	334
附图 1 2015 年横山县 GF-1 2m/8m 融合影像	334
附图 2 2015 年横山县水土保持土地利用类型专题图	335
附图 3 2015 年 9 月横山县植被覆盖度专题图	336
附图 4 2015 年横山县水土保持治理措施专题图	337
附图 5 2015 年横山县土壤侵蚀量专题图	338
附图 6 2015 年横山县土壤侵蚀强度分级专题图	339
附图 7 2014 年横山县疑似生产建设项目分布图	340
附图 8 2014 年 8 月王圪堵水库水土保持占地类型专题图	341
附图 9 2014 年 8 月魏墙煤矿水土保持占地类型专题图	342
附图 10 2015 年 5 月魏墙煤矿水土保持占地类型专题图	343
参考文献	344



研究背景

1.1 研究概述

为加快我国空间信息与应用技术发展速度,提升自主创新能力,满足国民经济建设、社会发展和国家安全的需要,2006年中国政府将高分辨率对地观测系统重大专项(简称高分专项)列入《国家中长期科学与技术发展规划纲要(2006—2020年)》,重点发展基于卫星、飞机和平流层飞艇的高分辨率对地观测系统与其他中低分辨率观测手段结合,形成时空协调、全天候、全天时的对地观测系统。高分专项的实施将全面提升我国自主获取高分辨率观测数据的能力,加快我国空间信息应用体系的建设,推动卫星及应用技术的发展,有力保障现代农业、防灾减灾、资源调查、环境保护和国家安全的重大战略需求,大力支撑国土调查与利用、地理测绘、海洋和气候气象观测、水利和林业资源监测、城市和交通精细化管理、卫生疫情监测、地球系统科学研究等重大领域应用需求,加快推动空间信息产业发展。

2010年5月,高分专项经国务院常务会审议批准全面启动实施。2013年4月26日,高分辨率对地观测系统国家科技重大专项的首发卫星“高分一号”(GF-1)在酒泉卫星发射中心由“长征二号丁”运载火箭成功发射,该卫星配置了2台2m分辨率全色/8m分辨率多光谱相机,4台16m分辨率多光谱宽幅相机,可以满足多种空间分辨率,多种光谱分辨率以及多源遥感数据需求,也实现了在小卫星上中高分辨率和宽幅成像能力的结合。2014年8月19日,“高分二号”(GF-2)卫星在太原卫星发射中心用“长征四号乙”运载火箭成功发射,该卫星是高分专项工程首批启动立项的重要项目之一,也是迄今为止我国空间分辨率最高的遥感卫星,成功实现了全色0.8m、多光谱3.2m的空间分辨率,以及优于45km的观测幅宽,标志着中国遥感卫星进入亚米级“高分时代”。高分专项后续三号、四号、五号等多型卫星正在研制,将不断填补微波成像、高光谱观测等领域国内许多空白。

随着遥感卫星工程水平的不断提升,如何加强高分辨率遥感数据在更多行业领域、更大区域范围的应用变得更为紧迫。高分专项在卫星发射的同时,开展了行业和区域应用示范系统建设。水利是国民经济的基础设施和基础产业,水利高分示范应用系统是高分系统(民用部分)的行业应用示范系统之一。水土保持作为水利行业的重要组成部分,同水资源管理、防汛抗旱等多个水利业务领域一样,对卫星遥感技术特别是高分辨率卫星遥感技

术具有迫切的需求。积极发展遥感技术特别是高分辨率遥感技术,解决水土保持行业生产实践中的问题,是提高水土保持业务技术手段、改进行业管理方法、加强行业监管水平的重要途径之一。遥感技术在水土保持领域的应用时间比较早,全面应用可以追溯到 20 世纪 80 年代的第一次全国土壤侵蚀普查。近年来随着遥感技术的快速发展,遥感在水土保持领域的应用不断加强,特别是在土壤侵蚀调查方面应用比较广泛。但目前应用还主要是以中低分辨率为主,同时受制于高分辨率卫星遥感数据获取周期不确定、获取成本太高,在水土保持综合治理设计与管理、生产建设项目水土保持管理等方面还尚未广泛应用,高分辨率遥感水土保持应用技术体系尚未形成,加强高分辨率水土保持应用与示范研究十分及时和必要。

本书是在 2011—2012 年项目先期攻关研究的基础上,按照水利高分遥感应应用示范系统总体方案设计,对在项目执行期间可稳定获取的 GF-1、GF-2 遥感数据以及其他辅助遥感数据,开展在水土保持领域中土壤侵蚀、水土保持综合治理、生产建设项目水土保持等方面应用的关键技术研究,以期探索和建立一套完整、实用、高效的高分辨率遥感应应用技术体系,推动高分遥感水土保持应用主体业务,形成基于高分辨率对地观测系统的水土保持业务应用的综合信息服务能力,支撑我国水土保持行业健康快速发展。

1.2 业务应用需求分析

我国疆域广阔,地形起伏很大,山地丘陵约占全国陆域面积的 $2/3$ 。复杂的地质构造、多样的地貌类型、暴雨频发的气候特征、密集分布的人口及生产生活的影响,导致水土流失类型复杂、面广量大,水土流失也是我国重大的环境问题。水土保持是我国生态文明建设的重要组成部分,是江河治理的根本,是山丘区小康建设和新农村建设的基础工程,事关国家生态安全、防洪安全、饮水安全和粮食安全。新中国成立以来,党中央、国务院高度重视水土保持工作,我国水土流失防治取得了举世瞩目的成就。新时期,党的十八大、十八届三中全会、四中全会提出了生态文明建设、全面深化改革、推进依法治国的新要求,这同时也对新时期的水土保持工作提出更高的要求。充分利用高分遥感等新技术手段,成为加快推进实施好水土保持工作的必要选择。根据水土保持行业特点,高分遥感技术在水土保持领域的应用十分广泛,本项目重点针对行业管理需求迫切的土壤侵蚀定量评价、水土保持综合治理措施监测、生产建设项目水土保持监测等方面开展研究。

1.2.1 土壤侵蚀监测与评价应用需求

水土流失是我国重大的环境问题。目前我国水土流失面积尚有 294.91 万 km^2 , 占国土面积的 30.7% , 严重的水土流失导致水土资源破坏、生态环境恶化、自然灾害加剧,威胁国家生态安全、防洪安全、饮水安全和粮食安全,是我国经济社会可持续发展的突出制约因素。水土保持监测是一项重要的基础性工作,在政府决策、经济社会发展和社会公众服务中发挥着重要作用。根据《中华人民共和国水土保持法》(简称《水土保持法》)规定,需要定期开展水土保持普查和监测工作,对水土流失类型、面积、强度、分布状况和变化趋势进行动态监测;中华人民共和国水利部第 12 号令《水土保持生态环境监测网络管理办法》已明确规定“水土保持生态环境监测数据实行年报制度”;2004 年水利部发布

《全国水土保持预防监督纲要（2004—2015年）》，提出要求“区县级每年对水土流失进行公告，地市级2~3年进行水土流失公告、省级至少5年对水土流失进行公告，全国水土保持工作每年对重点项目水土流失动态进行公告，每5年对重点地区进行一次公告，每10年公告一次全国水土流失状况”。2015年10月国务院批复同意《全国水土保持规划（2015—2030年）》，明确提出了全面开展水土保持普查和专项调查、水土流失重点预防区和重点治理区监测、水土保持重点工程效益监测、生产建设项目水土保持监测等重点任务。基于以上政策的需求，研究探索简单、快速的水土流失监测手段和应用技术，实现对土壤侵蚀的定量化评价，对于全面做好水土保持监测工作变得非常必要和急迫。遥感尤其是高分遥感技术具有获取信息周期短、现势性强、宏观性、动态性强的优势，无疑是最快速、最有效地获得土壤侵蚀定量评价因子信息的先进手段。从20世纪80年代末到21世纪初，水利部利用遥感技术，先后组织了三次全国水土流失普查，查清了我国相应时期的土壤侵蚀的类型、面积和分布状况。

推动和规范高分遥感在水土保持监测中的应用，尽快研究突破基于高分遥感数据的水土保持监测指标快速提取技术、研发可推广应用的软件产品，是目前高分遥感水土保持监测领域的一个重点技术攻关工作。长期以来，高分遥感数据的匮乏、高昂成本、时效性低以及缺少软件系统的支撑都成为制约土壤侵蚀定量评价实现的瓶颈。国产高分卫星的升空，为水力侵蚀定量评价提供了数据基础，高分遥感水力侵蚀定量评价软件的研究和实现，使水力侵蚀定量评价支撑日常业务需求成为可能，能够填补国内空白。高分遥感水力侵蚀定量评价使全国各级水行政主管部门对水土流失情况有更精准的掌控，为水土流失动态公告的发布提供有力的数据支撑，可为各级水行政主管部门增加水土流失公告发布的频次。

1.2.2 水土保持治理措施监测与评价应用需求

党中央、国务院历来高度重视水土保持工作，带领人民群众开展了大规模水土流失综合防治。水土保持治理措施结合人工建筑物和自然植物实现保持水土功能，体现了水土保持山水林田湖协同一体的综合治理的理念，对防治水土流失，保障防洪安全、生态安全，促进社会经济可持续发展都至关重要。新中国成立以来，各级人民政府投入大量人力、物力加大对水土流失的治理力度，有效改善了水土保持生态环境。特别是近年来，各级水利、水土保持水保管理部门依托《水土保持法》，不断创新水土保持投入和监管机制，逐步健全水土保持生态补偿制度，不断发挥国家投资拉动作用，引导民间资本治理水土流失。据统计，《水土保持法》颁布4年来，中央直接用于水土保持的投资达190多亿元，超过“十五”和“十一五”水土保持投资总和。据不完全统计，《水土保持法》颁布4年来平均每年吸引民间资本参与水保建设近40亿元，接近全国水土保持投资的1/3，完成了大量的水土保持设施建设和水土流失治理工程建设。截至目前，全国水土保持措施保存面积已达到107万 km^2 ，累计综合治理小流域7万多条，实施封育保护80多万 km^2 。其中，2013年当年新修基本农田（包括坡改梯）72.67万 hm^2 ，营造水土保持林141.10万 hm^2 ，经济果木林56.80万 hm^2 ，种草34.0万 hm^2 ，新建淤地坝285座。

自国家水土保持重点建设工程开始实施以来，工程投资规模和实施范围不断扩大，为水土保持治理措施监测与评价工作带来了新挑战。各级主管部门不仅要掌握水土保持措施

的数量和类型,更急需全面掌握其面积、分布、现状、效益等情况,及时、准确地监测水土保持治理措施的防治效果,保证工程投资效益发挥,实现生态建设与经济发展“双赢”。同时,在土壤侵蚀定量研究领域的分析计算模型,如 ULSE 土壤侵蚀计算模型和 CLSE 水力侵蚀定量评价模型中,水土保持治理措施均作为重要输入因子参与其中,用来客观、定量地评价土壤侵蚀情况。

传统水土保持治理措施的监测与评价依靠人工上报数据来评价水土保持治理措施建设情况、治理效果和资金使用情况,耗时耗力,获取的数据欠缺客观性和精准性。面对水土保持监测与评价工作的新需求,遥感技术较传统方法具有明显优势。高分辨率影像中地物的几何结构和特征更加明显,空间信息更加丰富,地物的尺寸、形状、邻域地物的关系在影像上得到更好的反映。利用高分遥感影像提取水土保持治理措施,获取水土保持治理措施的数量和分布,可以大大提高水土保持措施监测的精度和效率,为政府部门对该区域水土保持治理措施的建设情况监督、监测提供客观、及时、有效的技术手段,避免重复统计,避免水土保持治理措施占用基本农田、横向拦水,避免与生产建设项目用地冲突等现象出现。因此,基于高分遥感的水土保持治理措施快速提取作为本项目的关键研究环节,具有重要意义。

1.2.3 生产建设项目水土保持监测与评价应用需求

大型生产建设项目的建设是我国社会主义现代化建设的重要组成部分,加强生产建设项目水土保持监督和监测工作,控制水土流失、保护水土资源、改善生态环境,是我国贯彻落实全面、协调、可持续发展的科学发展观,全面建设小康社会、实现社会主义现代化的战略措施。自 1991 年《中华人民共和国水土保持法》颁布实施以来,为加强生产建设项目水土保持工作,切实控制开发建设过程中人为水土流失的发生和发展,减轻人为水土流失危害,全国累计有 38 万个生产建设项目制定并实施了水土保持方案,防治水土流失面积超过 15 万 km^2 ,有效保护和改善生态环境,保障了经济社会的可持续发展。

党的十八大以来,党中央、国务院对全面深化改革,加快深化简政放权、放管结合、职能转变作出全面部署,行政体制改革进入“快车道”。水土保持行政管理改革作为水利行政体制改革的重要组成部分,也置身其中。根据国务院的有关部署,生产建设项目水土保持方案审批不再作为前置审批,与生产建设项目核准及其他行政审批实行并联办理,同时部分行业水土保持方案审批下放至地方水行政主管部门。在生产建设项目水土保持简政放权的同时,如何创新管理理念和模式,加强事中、事后监管,是水行政主管部门亟须解决的重要问题。近年来由于国家经济的快速发展,能源开发和基础设施建设的力度也随之不断加大,出现了生产建设项目集中连片的区域。这些区域具有扰动地表和破坏植被面积较大、挖填土石方量多、堆置废弃物较散、人为水土流失严重等特点。以往,通常利用人工调查监测与定位观测相结合的方法对生产建设项目的水土流失情况和水土保持措施施工情况进行监测;或采用“人海战术”的“地毯式”排查方式进行生产建设项目监管。这种方法盲目、被动、效率低、周期长、实时性差,且需要大量的人力、物力,难以满足生产建设项目水土保持监督与监测快节奏的行业需求。

高分卫星遥感数据具有宏观性、现势性、客观性、连续性和经济性的特点和优点。基于生产建设项目水土保持监测与监管迫切需求、本底资料的匮乏和技术手段薄弱的现状,

有必要利用高分遥感技术开展生产建设项目水土保持监测与监管。以水土保持方案审批结果和相关法律法规为依据,对生产建设项目扰动地表面积、建设进度及变更情况、弃土弃渣场的位置等监测目标进行分析,对生产建设项目是否编报水土保持方案,是否超出项目批复的建设范围产生新的地表扰动,是否按照水土保持方案批复的措施与进度开展水土保持工作等进行监管,为违法违规生产建设项目发现提供基础数据,为生产建设项目水土保持监督执法提供决策依据。同时,以生产建设项目水土保持防治措施设计施工为依据,分析水土保持措施建设数量、质量、分布、施工进度和防治效果,为水土保持专项验收提供依据。综合上述生产建设项目的政策要求、业务需求和服务目标,基于高分遥感技术,结合地面实地检查,开展“天地一体化”的生产建设项目水土保持全周期、全流程的监测与监管,是加强生产建设项目水土保持事中、事后监管和监测的技术手段。

1.3 水土保持遥感应用研究进展

1.3.1 土壤侵蚀监测与评价

目前,国外已将遥感、GIS技术广泛应用于水土流失动态监测与评价预报。早在1927年美国就利用航片进行了全国土壤侵蚀普查。加拿大、新西兰以及许多发展中国家也将遥感技术应用到了土壤侵蚀调查中。我国20世纪70年代以来,进行了国家和区域土壤侵蚀遥感调查,特别是20世纪80年代以来,水利部先后组织完成了三次土壤侵蚀遥感调查,并进行了基于GIS的土壤侵蚀评价与遥感制图研究。遥感信息计算机自动识别技术主要是解决土壤侵蚀影响因子中的土地利用类型和植被覆盖度的提取。

1.3.1.1 土地利用类型信息提取

遥感影像所含信息随着空间分辨率的不同而有所变化,相应的土地利用类型的提取方法也有所不同。

1. 中低分辨率遥感影像土地利用类型提取

目前针对中低分辨率影像中土地利用类型的遥感解译一般有三种方法:目视解译、人机交互和计算机自动提取法。传统的目视解译和人机交互解译方法工作量大、主观因素强、后续处理困难,越来越难以满足工程化、大数据量的土地利用类型提取需求。计算机自动提取极大地推进了土地利用类型的提取效率,其方法主要有监督和非监督分类两种。但是由于“同物异谱”和“异物同谱”现象的存在,以及受地形、地物、环境等状况的影响,在大面积土地利用与变化遥感分类中,单独的自动分类还不易满足实际应用需求,需要对分类结果进行后处理。传统分类方法和计算机自动提取有不断融合发展的趋势(张增祥,2012)。

在处理低空间分辨率遥感影像时,由于影像中地物目标小,目标内部的像元比较一致,基于像元的处理可以达到比较好的效果。但是,随着分辨率的提高,遥感影像中的空间信息也更加丰富,地物的几何结构和纹理信息更加明显,基于像元的方法在处理这类影像时会显得粒度过小,在分类过程中会造成大量的椒盐噪声现象,因而难以提取地物的整体结构信息,同时也会造成分类精度降低,空间数据的大量冗余。上述分类方法日渐难以满足更精细的土地利用类型提取需求。

水土保持行业的土地利用类型提取中也存在上述问题,并且由于构建水力侵蚀定量评价模型需要提取全部的土地利用类型,各地类提取结果相互影响,精度较难控制,更需要选取合理有效的分类方法。

2. 高分辨率遥感影像土地利用类型提取

通过查阅大量文献发现,基于高分辨率遥感影像进行针对于水土保持行业的土地利用类型提取的研究较少,相关研究主要应用于农业、林业、国土等领域。近年来各行业的应用中,面向对象的分类方法逐渐成为主要的遥感分类方法。

面向对象分类技术的主要特点是它识别和分类的目标是对象,而非单个像元。从用户角度出发,对象指代表实际地物的相邻像元的聚类,其内部特征相对均一,把一幅图像分为很多对象的过程即图像分割。基于分割的面向对象分类在分类过程中不仅能依靠对象的光谱特征,更多的是利用其几何信息和结构信息,可以有效地避免由于高分辨率影像同种地物光谱变异较大而引起的分类“椒盐现象”以及“同物异谱”和“同谱异物”带来的地物类别错分现象,并且使分类的过程更趋于人脑的思考过程。面向对象的遥感影像分类技术为高分辨率遥感影像的计算机自动提取提供了一条重要途径。

在面向对象分类过程中,图像分割是分类的关键。一般来说,影像分割主要分为两种(Baatz M等,2004):一种是基于知识的从下到上的分割方法,常用方法有多尺度分割;另一种是基于数据的从上到下的分割方法,常用方法有多阈值分割、棋盘分割、四叉树分割等。其中应用最广泛的是多尺度分割。

多尺度分割是Baatz与Schäpe于2000年率先提出的以形状、光谱、纹理、层次等对象特征为基础的区域合并分割技术。在多尺度分割研究中,如何确定分割最佳尺度是研究的重要问题。目前最优分割尺度选择的方法大致可分为定性和定量两种(于欢等,2010)。其中定性的方法主要是试错法,即通过变换多种分割尺度,目视分割结果确定其量值,是最优尺度确定最常用的方法之一。同时,也有一些学者通过定量的方法确定最佳分割尺度,例如矢量距离指数法(于欢等,2010)、最大面积法(黄慧萍,2003)、局部方差法(Kim M等,2008)和建立图斑显著性变化曲线(陈建裕等,2006)等。但是,定量方法在应用于土地利用类型提取时一般不具有普适性,且算法一般较复杂,有些算法需要人工干预,难以实现全覆盖、工程化应用。因此,在水土保持行业应用中,试错法更具实用性。

在面向对象分类中,影像分割结束后进行分类,目前常用的分类算法有最近邻法(Nearest Neighbor)、模糊分类(隶属度函数)、支持向量机(SVM)和决策树等。

(1) 基于最近邻法(Nearest Neighbor)的面向对象分类研究。面向对象的最近邻分类法是以影像对象作为分类的基本单元,优选对象特征,构建对象特征空间,以最小距离为测度进行判别分类(陈金丽,2009)。该分类方法需要人工构建训练样本,而训练样本是否具有代表性对分类结果至关重要。因此该方法较适用于特征明显且内部特征较一致的地类提取,不适于复杂地貌下多种地类的提取。

(2) 基于模糊分类(隶属度函数)的面向对象分类研究。模糊分类是基于一定模糊规则的分类,模糊集合中的对象被认为不只属于且完全属于某个类别,而是以特定的隶属度部分的属于某个类别。在基于模糊分类的遥感影像分类应用中,研究区范围一般较小(张

春晓等, 2010), 或土地利用提取对象单一 (王海君等, 2008; 冯益明等, 2013), 不能满足水土保持行业提取大区域范围内全部土地利用类型的要求。

(3) 基于支持向量机 (SVM) 的面向对象分类研究。支持向量机是一种监督学习方法, 通过寻求训练样本与类别之间的对应关系, 将训练样本集分类或预测新样本类别 (邓乃杨等, 2004; 杨志民等, 2007)。SVM 最初用于两类分类问题, 后期学者提出了很多方法将其用于多类分类 (陈杰, 2010), 但是基于 SVM 的多类别分类算法一般较为复杂, 在大面积区域进行工程化推广有难度。

(4) 基于决策树的面向对象分类研究。利用面向对象决策树方法进行土地利用类型提取的研究较多 (D. K. McIver 等, 2002), 其基本思想是通过一些判断条件对原始数据集逐步二分和细化, 其中判断条件依据对象特征及先验知识设置, 每一个分叉点代表一组决策判断条件, 每个分叉点下有两个叶节点, 分别代表满足和不满足条件的类别 (Pielke R 等, 1997)。该方法充分结合了面向对象和决策树方法的优点, 逻辑清晰、明确, 易于工程化实现。

综上所述, 对于高分辨率遥感影像数据来说, 面向对象的影像分类方法相比基于像素的影像分类法更有优势, 目前面向对象的影像分类也已经能够达到较高精度。然而, 已有关于面向对象的影像分类研究多针对于小面积、地貌相对单一实验区, 研究一般很少涉及大区域全覆盖的土地利用类型, 且对于水土保持行业关注的耕地、林地、园地、草地等地类针对性不强。另外, 研究一般不具备区域可推广性, 工程化可实践性不强。

本书立足于水土保持行业提取水力侵蚀土地利用类型, 重点关注耕地、林地、园地、草地提取效果。以 GF-1 光学遥感影像数据为主要数据源, 尝试采用面向对象的分类方法, 以实现可工程化和可区域推广为目标, 对黄土高原丘陵沟壑区进行区域土地利用类型全要素提取技术研究。

1.3.1.2 植被覆盖度信息提取

植被作为陆地生态系统的主要组分, 是生态系统存在的基础。植被覆盖度的获取对研究生态环境、全球气候变化、水土流失等方面具有重要意义。植被对水土流失起着决定性的作用, 具有明显的保水、保土和抗土壤侵蚀等作用。植被覆盖度与土壤侵蚀关系密切, 研究表明植被覆盖度与土壤侵蚀量显著相关, 植被覆盖度越大, 土壤侵蚀风险越小, 植被覆盖度增加 10%, 土壤侵蚀量减少 11.1% (蔡庆等, 1992)。这也是植被覆盖度因子作为土壤侵蚀定量计算的必须输入因子的原因。因此本书在研究植被覆盖度提取技术的同时对植被覆盖度因子的获取方法进行探讨说明。

目前, 植被覆盖度获取的方法主要有地面测量和遥感测量两种。

地面测量法曾一度成为最主要的植被覆盖度监测方法。19 世纪 70 年代科学家开始对地面测量植被覆盖度的方法进行探索 (Muller-Dombois D 等, 1974), 直至今今天在众多的科研与调查中, 地面测量法仍是最直接、最简单的植被覆盖度获取方式。最简单的地面测量法就是目估法, 但主观性太强, 为获取更加精确、客观的数据, 引入植被覆盖度仪。通过大量的测量数据结合统计学思想研究植被覆盖度的时空分布规律, 建立经验模型, 为后期植被覆盖度数据的获取提供支撑。如 2012 年全国水利普查水蚀野外调查中植被覆盖

度参照《野外目估郁闭度/盖度参考图》采用人工目视判别的方法进行估算。地面测量的方法工作量大,成本高,且形成的经验模型具有区域限制性,难以在大面积区域开展应用。

遥感技术的发展,使获取大范围内客观、实时的植被覆盖度成为可能,因此吸引了大量国内外学者对此展开应用研究,产生了多种植被覆盖度遥感测量方法。1988年研究人员利用 Landsat 计算得到的植被指数与实测数据进行了回归分析,建立了植被覆盖度回归模型 (Greatz R D 等, 1988); 也有学者通过样地实测植被覆盖度与遥感影像波段信息或植被指数之间建立回归模型的方法获取回归模型适用区域的植被覆盖度 (De Jong S M 等, 1994), 此方法从一定程度上提高了传统方法的精度, 但经验回归模型依赖大量实测数据且仅适用于特定区域。Wittich 通过建立不同土地利用类型的植被指数与植被覆盖度的线性模型, 进行了植被覆盖度估算 (Wittich K P 等, 1995); LePriour 利用像元二分模型法估算植被覆盖度 (LePriour C 等, 2000); 李苗苗等在像元二分法的基础上, 改进了已有模型的参数估算方法, 建立了用 NDVI 估算植被覆盖度的模型 (李苗苗等, 2004); 张飞使用森林冠层密度分级法 FCD 模型制图法对植被覆盖度进行估算 (张飞等, 2011)。上述几种提取方法的差异性主要在提取模型、指数和波段选择以及模型参数阈值设定上。遥感手段提取植被覆盖度具有范围大、应用广、成本低、时效性强等优点。

植被覆盖管理因子是水力侵蚀定量评价计算的重要输入因子之一。传统的植被覆盖管理因子估算主要有两种方法: 一是利用遥感影像解译获取区域土地利用类型分布图, 根据经验值和部分实测植被覆盖度数据对不同土地利用类型的植被覆盖因子进行赋值, 从而获取植被覆盖管理因子 (Onyando J O 等, 2005; Pandey A 等, 2009; 史志华等, 2002; 许月卿等, 2006; 秦伟等, 2009), 该方法简单易行, 是区域植被覆盖管理因子估算的重要手段, 但这种方法忽略了地表植被的时空变化, 且受土地利用类型分类结果的影响; 为准确反映植被覆盖的空间差异并减少影像解译带来的误差, 部分学者应用该区域内建立的回归模型, 获取能够满足该区域时效性和空间分布的植被覆盖度数据, 继而提高根据植被覆盖度数据对不同土地利用类型所赋植被覆盖因子的精度; 二是蔡崇法等根据径流小区人工降雨和天然降雨的作用下坡面产沙量与植被覆盖度的关系, 建立了植被覆盖度和植被覆盖度因子间的数学模型 (蔡崇法等, 2000)。将植被覆盖度带入模型即可获得植被覆盖管理因子值, 使因子获取更加稳定快捷, 也有一些学者根据研究区的差异建立不同的模型, 都是将植被覆盖度转换为植被覆盖管理因子。植被覆盖度与植被覆盖因子之间的转换关系研究是水土保持业务上的主要研究方向, 利用遥感数据提取植被覆盖度则是本书的重点。

综上所述, 对于土壤侵蚀定量评价模型而言, 模型需要通过多时序、大面积的数据来回答侵蚀量及其评价的问题, 对植被覆盖因子的空间覆盖范围 (更广) 和更新频次都有较高的要求, 传统的植被覆盖度获取方法不能满足模型因子输入需要, 植被覆盖度提取势必要借助遥感技术手段来实现。利用遥感数据提取植被覆盖度是遥感应用研究的重点工作, 植被覆盖度与植被覆盖管理因子之间的转换关系研究则是水土保持领域研究的重点工作, 本书侧重对 GF-1 16m 数据进行植被覆盖度提取研究, 主要包括提取模型研究, 模型涉及相关指数和参数阈值研究。本书不再深入的进行植被覆盖度与植被覆盖因子之间的转换关系研究。