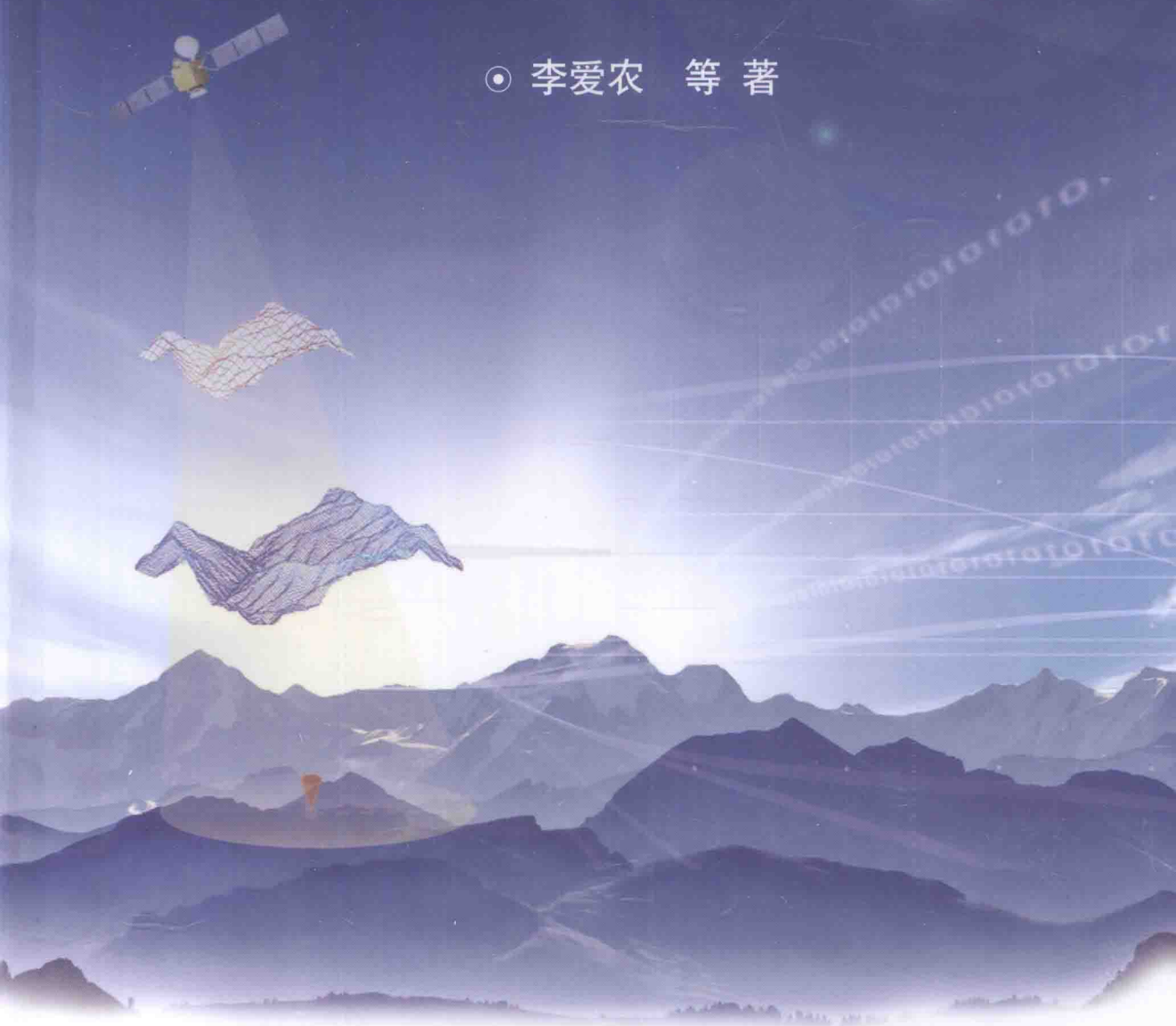


山地遥感

◎ 李爱农 等著



科学出版社

山 地 遥 感

李爱农 等 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

山地遥感是研究在山地这一特定环境中的遥感基本原理、方法及其应用的科学技术,是遥感科学的重要组成部分,关注其山地特殊性。本书从山地遥感的基础理论入手,综合介绍了近年来山地遥感研究的主要成果、最新进展和应用实例。主要内容包括:山地遥感基本内涵、研究内容、面临的问题、机遇和挑战;遥感基础知识;山地光学遥感影像的自动预处理方法;山地光学遥感影像地形辐射校正;山地土地利用/覆被遥感监测;山地植被生物物理参数遥感反演;山地地表能量平衡遥感估算;山地陆表参量多源数据同化;山地遥感产品地面验证;山地灾害遥感应急调查;无人机遥感及其山地应用;数字山地大数据框架。

本书不仅可作为从事山地遥感研究工作者的参考书,也可作为高等院校地理信息科学与遥感相关专业的本科生和研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

山地遥感 / 李爱农等著. —北京:科学出版社, 2016. 12

ISBN 978-7-03-049446-7

I. ①山… II. ①李… III. ①山地-生态环境-环境遥感 IV. ①X87

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 170948 号

责任编辑:张井飞 韩 鹏 / 责任校对:何艳萍 张小霞

责任印制:肖 兴 / 封面设计:南希 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100071

http://www.sciencep.com

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2016 年 12 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016 年 12 月第一次印刷 印张:37 3/4

字数:895 000

定价:298.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

顾问 陈 昱 周万村

本书主要作者

李爱农 边金虎 靳华安
赵 伟 张正健 南 希
尹高飞 雷光斌

序 一

山地是地球系统的重要组成部分之一，陆地表层有高耸入云的喜马拉雅山等高山峻岭，大洋深渊有绵延起伏的亚速尔群岛等洋中脊与海岭。山地不仅有千姿百态的地形地貌特征和宜人多变的气候，而且是生物多样性的聚宝盆和人类社会发展的生态安全屏障，也是自然灾害频发重发的地区和全球变化响应的敏感区。因此，山地是科学研究的重要对象，地球科学研究的天然试验场。

作为一门跨学科的交叉研究，山地研究需要现代科学技术的支撑。遥感自诞生以来，就成为山地研究的重要技术手段。同时，遥感科学研究也面临着山地带来的各类难题，如复杂多变的地形导致成像的几何畸变，变化万千的气象极大地影响光学遥感的成像质量等。在国际上，山地遥感研究的广泛开展大致始于20世纪70年代；我国的山地遥感研究起步于20世纪60年代中，特别是1965年陈述彭先生指导建立了地图室西南分室（中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所数字山地与遥感应用中心前身），推动了我国山地遥感研究，在二滩水库建设、西南大铁道选址等我国西南地区的建设中发挥了重要作用。近六十年来，面向山地生态、山地灾害和山区发展中的空间信息需求，经过几代人的努力，我国的山地遥感研究取得了丰硕的成果，在国民经济建设和社会发展中发挥了巨大作用，在减灾防灾领域更是不可缺少。

作为山地遥感研究的最新进展，《山地遥感》这部学术专著介绍了李爱农博士及其团队近年来在山地多源遥感数据自动处理方法、山地地表信息遥感反演与同化理论、山地遥感试验与遥感产品验证方法、山地遥感应用等方面的系统性研究工作和独特的创新。作为一本学术专著，该书不仅系统地介绍了团队的研究进展与成果，也对国内外山地遥感新理论、技术与方法进行了较为详细的总结，丰富了全书的内容，成为一本系统性的山地遥感杰作，填补了领域的空白。该书不仅可作为从事山地遥感研究工作者的参考书，也可作为高等院校地理信息科学与遥感相关专业的本科生和研究生的教材，是一部十分难得的参考资料。

衷心祝贺此专著的出版。我相信，随着研究工作的持续深入，山地遥感必将能够在广袤秀美的山地上谱写出更加华美的篇章。

中国科学院院士



2016年9月

序 二

山地是地球陆面最为壮观和多样的单元，蕴藏了丰富的能源与自然资源，是宏大的天然生态屏障，构成人类社会可持续发展的地理基础。但山地同时也有“脆弱”的一面，其环境演替显著、灾害多发、对气候和人类活动响应敏感，是全球变化的“晴雨表”。纵观全球，地球观测系统（EOS）计划、国际地圈-生物圈计划（IGBP）、世界气候研究计划（WCRP）、未来地球（Future Earth）等国际科学计划以及我国全球变化等重大专项计划，利用遥感数据结合地面观测等多源数据生成长时间序列数据集，并且对关键地表过程进行有效监测是全球变化研究的重要内容。然而，地形起伏和地表覆被复杂系统显著影响了观测数据、模型模拟、参数反演乃至产品验证等卫星遥感数据集生产环节，也可能会影响对山地关键过程监测和变化趋势诊断的精度和可靠性。遗憾的是，目前全球卫星陆表数据产品基本都没有很好地校正地形的影响。

面对占全球陆地面积 1/4、占我国陆地国土 2/3 的山地，如何进行精确可靠的系统观测、开展时空连续的动态研究、推动在密集型数据驱动下机理分析与决策支持，是该领域当前面临的若干具体疑难。李爱农博士及其科研团队，及时推出了《山地遥感》新著。本书对发展山地遥感面临的机遇与挑战作了很好的描述，紧扣山地特殊性，有步骤地阐述了数据处理、遥感解译、定量反演、灾害监测、山地大数据等方法、原理，结合应用实例，形成了切实的知识增量。中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所 50 年的遥感工作为本书提供了大量积累，近年来多项重点科研项目的支撑，增加了本书的科学含金量。

本书付梓，对山地遥感领域的探索做了一次阶段性总结，也标志着遥感定量方法和一些新技术手段在山地覆被、生态参量、山地灾害及地表过程等研究中得到应用，并初成体系。作为一部基础性和技术性兼并的著作，为后续研究新立了里程碑。如今，在遥感科学和对地观测技术的推动下，定量遥感的内涵不断拓展，山地遥感的基本科学技术问题与新的应用需求必将不断涌现，希望这个团队继续深化研究，持续为遥感事业的繁荣发展贡献力量。

国家“千人计划”特聘专家
美国马里兰大学地理系教授



2016 年 9 月

前 言

山地约占地球陆表空间的 24%，中国山地面积更是占陆地国土面积约 65%，是地球表层系统的重要组成部分，是地表系统中结构复杂、生态功能较齐全、生物多样性丰富、环境变化强烈的地区，对维系人类生存与发展以及改善生存环境起着重要的作用，是社会发展的资源基地和重要的生态屏障。遥感为山地资源、环境、生态及自然灾害调查和动态监测提供了一种重要的空间技术手段。然而，山地复杂地形及覆被特征显著影响了山地遥感成像过程及其地表信息反演精度，影像几何与光谱畸变严重，“病态”反演过程在山地变得更加复杂，各类产品时间步长、空间尺度、产品精度等在山区的适用性及其进行系统验证的理论和方法都面临严峻挑战。

山地遥感是研究在山地这一特定环境中的遥感基本原理、方法及其应用的科学技术，是遥感科学的重要组成部分，关注其山地特殊性。我国山地遥感研究起步很早，1965 年陈述彭先生亲自指导建立了地图室西南分室（中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所数字山地与遥感应用中心前身），推动了我国山地遥感研究，在二滩水库建设、西南大铁道选址等我国西南地区的建设中发挥了重要作用。该团队扎根祖国大西南，面向国家在山地环境、山地灾害、山区发展中不同发展阶段的空间信息需求，经过几代人的努力，从山地制图一直发展到如今的山地遥感与数字山地学科，始终活跃在研究第一线，取得了丰硕成果。

作者于 1997 年进入山地所工作至今，有幸伴随了新世纪山地遥感的快速发展历程。2010 年从美国马里兰大学地理系完成博士后回国，凝聚了一支以青年为主、老中青结合的创新研究团队，在中国科学院“百人计划”择优支持项目“山地地表覆被定量遥感关键技术研究”、国家自然科学基金重点项目“山地典型生态参量遥感反演建模及其时空表征能力研究”、面上项目“若尔盖高原湿地草地区域碳收支多时空尺度观测与模拟”、“放牧强度遥感表征及其对区域草地 NPP 遥感估算精度的贡献研究”、“复杂地形区多尺度叶面积指数遥感估算方法研究”、青年项目“山地森林时间序列叶面积指数遥感反演与地形效应分析”、“基于多源多尺度遥感信息同化的若尔盖高原地表水热通量反演方法研究”、“坡地森林冠层反射率模型构建及其在 LAI 反演中的适用性研究”、中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所“青年百人”团队支持基金“山地地表水热通量遥感反演与多源数据同化”等项目的支持下，持续开展山地定量遥感及其综合应用研究，在山地遥感的科学与技术问题和解决途径方面积累了一些新的认知。

目前，国内外山地遥感相关研究大多非常具体且多针对某些特定的应用目的，尚缺乏论著对山地遥感进行系统性地总结和介绍。本书编著过程，历时 3 年有余，能顺利付梓，实现了几代山地遥感人夙愿，是对该领域多年研究成果的阶段性总结。本书首次明确提出

了山地遥感基本内涵和数字山地大数据框架,尝试对山地遥感的相关研究内容及国内外最新研究进展集结成书,填补了空白。有别于从山地“崎岖地表(rugged areas)”的几何形态出发,本书还从地理视角,结合山地地表实际研究对象特殊的时空格局和过程,来阐述山地遥感理论、方法及其应用技术,还包含了山地灾害遥感应急调查、无人机遥感技术及其山地应用等内容,具有鲜明的特色。本书不仅可作为从事山地遥感研究工作者的参考书,也可作为高等院校地理信息科学与遥感相关专业本科生和研究生的教材。

本书共分12章。第1章明确提出山地遥感基本内涵,归纳了主要研究内容、面临的科学问题及解决途径,探讨了山地遥感在当前阶段的重要发展机遇和挑战。第2章介绍了遥感的一些基础知识。读者通过该章节学习,可初步掌握遥感平台、常用传感器、遥感辐射传输原理、信息提取一般流程等基础知识,为深入学习后续章节做知识铺垫。第3章、第4章系统介绍了山地光学遥感影像的自动处理方法与技术,包括几何校正、大气校正模型、山区云及其地面阴影检测方法、地形辐射校正模型等。第5章从国内外常用土地利用/覆被分类系统、常用数据源以及国家和全球尺度遥感产品,引出山地土地利用/覆被遥感监测的特殊性,介绍了山地遥感制图方法和变化检测方法,并结合应用实例说明监测方法、适用技术及疑难。第6章、第7章分别从山地植被生物物理参数遥感反演和山地地表能量收支参量遥感估算的一般原理出发,综述了近年来山地遥感反演模型、反演策略及方法方面的进展,讨论了山地遥感反演的特殊性,并以LAI、FAPAR、地上生物量、NPP、地表温度、地表辐射收支参量、水热通量等为例,结合丰富的山地研究实例逐一详解。第8章介绍了数据同化的相关理论、同化算法、经典模型和典型数据同化系统,讨论了山地陆表参量多源数据同化反演研究的特殊性,并结合土壤水分和LAI同化反演实例详解。第9章介绍了遥感产品地面验证的研究现状、检验方法、山区遥感产品验证面临的问题与解决途径,重点阐述了遥感产品验证过程中的关键环节——空间尺度效应及尺度转换方法,并结合实例分析。第10章从山地灾害遥感应急调查入手,介绍了我国主要山地灾害类型、危害及其空间分布,以及山地灾害遥感调查的一般流程,分节重点介绍崩塌滑坡、泥石流、堰塞湖等典型山地灾害的影像特征、遥感调查方法及应用实例。第11章介绍了无人机遥感系统的组成、常见无人机平台,以及影像处理技术流程,并阐述了无人机遥感在山地灾害和生态环境研究中的应用实例。第12章讨论了数字山地的基本概念、数据层次和平台框架,以及数字山地大数据的一些特点,并以数据共享平台和山地流域可持续管理系统为例,介绍了数字山地大数据研究的初步应用。

本书由陈昱、周万村两位先生指导,李爱农、边金虎、靳华安等撰写,边金虎、张正健统稿,李爱农最终审定。南希负责对主要图件的制图和审定。各章分工如下,第1章:李爱农、边金虎、南希;第2章:李爱农、靳华安;第3章、第4章:边金虎、李爱农;第5章:雷光斌、张正健、李爱农;第6章:尹高飞、靳华安、李爱农;第7章:赵伟、李爱农;第8章:靳华安、尹高飞、赵伟、李爱农;第9章:李爱农、赵伟、靳华安、边金虎、张正健、雷光斌、尹高飞;第10章:南希、张正健、李爱农;第11章:张正健、李爱农;第12章:李爱农、南希、边金虎、何兵。本书包含了已毕业或在读博士和硕士研究生部分研究成果,感谢臧文乾、蒋锦刚、李晓玲、马利群、王继燕、卢学辉、王少楠、张伟(大)、赵志强、郭文静、张伟(小)、宁凯、姜琳、李刚、谭剑波、王庆芳、

严冬、谢瀚、张帅旗、夏浩铭、曹小敏、杨勇帅、孙明江、荀剑宇等。本书还引用了 1000 余篇国内外文献，致谢文献作者的重要学术贡献！

本书能顺利完成，离不开遥感界各位前辈的指导与鼓励，在他们的关怀和帮助下，山地遥感科学内涵得以丰富和发展。特别致谢曾给予山地遥感指导和支持的各位领导、老师和朋友们！并谨以此书向中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所 50 周年（1966 ~ 2016 年）庆典献礼！

由于山地遥感研究内涵十分广泛，受篇幅和作者知识面的限制，本书对山地遥感的丰富研究成果及其所涉及的许多重要领域难以详尽囊括，疏漏或不当之处在所难免，恳切希望同行和读者朋友们谅解，并谨请批评指正。



2016 年 10 月

目 录

序一

序二

前言

第1章 绪论	1
1.1 山地与山地研究	1
1.1.1 山地典型特征	1
1.1.2 山地分布	3
1.1.3 山地研究范畴	5
1.1.4 国际山地研究	6
1.2 山地遥感概述	8
1.2.1 遥感的起源与发展	8
1.2.2 山地遥感基本内涵	10
1.2.3 山地遥感的发展历程	14
1.3 国内外研究进展	16
1.3.1 山地遥感国内外相关研究计划	16
1.3.2 山地遥感基础理论与方法研究进展	16
1.3.3 山地遥感综合应用研究进展	21
1.3.4 山地遥感发展新机遇	23
1.3.5 山地遥感研究面临的挑战	25
1.4 小结	26
参考文献	26
第2章 遥感基础知识	36
2.1 遥感平台与传感器	36
2.1.1 遥感平台	36
2.1.2 传感器	37
2.1.3 当前主要陆地卫星	41
2.2 遥感基本原理	59
2.2.1 遥感电磁辐射原理	59
2.2.2 电磁辐射的传输与相互作用	63
2.3 遥感信息应用基本流程	72
2.4 小结	77

参考文献	77
第3章 山地光学遥感影像预处理方法	81
3.1 概述	81
3.2 光学遥感影像几何校正	81
3.2.1 光学影像几何校正基本概念	81
3.2.2 光学遥感影像几何误差源	83
3.2.3 地面控制点的获取方法	87
3.2.4 卫星影像几何校正数学模型	94
3.2.5 山地光学遥感影像正射校正	97
3.2.6 应用实例	102
3.3 光学影像大气校正	107
3.3.1 大气校正基本内容	107
3.3.2 气溶胶影响的大气校正方法	108
3.3.3 水汽影响的大气校正方法	116
3.3.4 常用大气辐射传输模型	117
3.3.5 山地光学遥感影像大气校正的特殊性	120
3.4 光学遥感影像云及其阴影检测技术	122
3.4.1 云的物理形态及其辐射特征	123
3.4.2 光学遥感影像云检测方法	125
3.4.3 云阴影检测及其在山区的特殊性	132
3.5 小结	136
参考文献	137
第4章 山地光学遥感影像地形辐射校正	146
4.1 概述	146
4.2 理论基础	146
4.3 典型地形辐射校正模型	148
4.3.1 朗伯体假设模型	148
4.3.2 非朗伯体假设模型	154
4.4 应用实例	160
4.4.1 几种地形辐射校正模型对比试验	160
4.4.2 地形辐射校正森林扰动遥感监测中的应用	165
4.4.3 地形辐射校正多时相影像合成中的应用	167
4.5 小结	169
参考文献	169
第5章 山地土地利用/覆被遥感监测	174
5.1 概述	174
5.2 土地利用/覆被分类系统	175
5.2.1 土地利用/覆被分类系统构建原则	176

5.2.2	国际代表性土地利用/覆被分类系统	176
5.2.3	国内代表性土地利用/覆被分类系统	180
5.2.4	山地土地利用/覆被分类系统的特殊性	183
5.3	土地利用/覆被遥感监测常用数据源	184
5.3.1	遥感影像数据	184
5.3.2	非遥感影像数据	187
5.3.3	数据源选取原则	191
5.3.4	山地土地利用/覆被遥感监测数据源的典型特征	192
5.4	代表性土地利用/覆被产品	193
5.4.1	全球尺度土地利用/覆被遥感产品	193
5.4.2	区域与国家尺度土地利用/覆被遥感产品	200
5.5	山地土地利用/覆被遥感制图	203
5.5.1	土地利用/覆被遥感分类方法	204
5.5.2	土地利用/覆被遥感制图的不确定性分析	212
5.5.3	山地土地利用/覆被遥感制图的难点	213
5.5.4	山地土地利用/覆被遥感自动制图应用实例	215
5.6	山地土地利用/覆被遥感变化检测	221
5.6.1	土地利用/覆被遥感变化检测方法	222
5.6.2	山地土地利用/覆被变化检测的难点	227
5.6.3	山地土地利用/覆被变化检测应用实例	228
5.7	小结	231
	参考文献	231
第6章	山地植被生物物理参数遥感反演	239
6.1	概述	239
6.2	基于经验关系的反演方法	240
6.3	基于物理模型的反演方法	242
6.3.1	前向模型	242
6.3.2	反演算法	249
6.4	典型生物物理参数反演算法	256
6.4.1	叶面积指数和光合有效辐射吸收比	256
6.4.2	地上生物量	260
6.4.3	总初级生产力和净初级生产力	261
6.5	当前主要生物物理参数遥感产品	264
6.5.1	叶面积指数和光合有效辐射吸收比遥感产品	264
6.5.2	植被覆盖度遥感产品	266
6.6	山地生物物理参数反演的特殊性策略	267
6.7	应用实例	269
6.7.1	山地植被叶面积指数遥感反演	269

6.7.2	山地森林地上生物量遥感估算	270
6.7.3	山地 NPP/GPP 遥感估算	272
6.8	小结	278
	参考文献	278
第7章	山地地表能量收支参量遥感估算	288
7.1	概述	288
7.2	地表辐射能量收支平衡	288
7.3	地表温度遥感反演	290
7.3.1	热红外遥感中涉及的温度定义	290
7.3.2	地表温度热红外遥感反演方法概述	293
7.3.3	山地地表温度反演与应用基本问题	299
7.4	地表辐射收支参量遥感估算	302
7.4.1	地表短波辐射反演	303
7.4.2	地表长波辐射反演	315
7.5	地表水热通量遥感估算	321
7.5.1	土壤热通量	321
7.5.2	显热通量	322
7.5.3	潜热通量	323
7.5.4	地表土壤水分	333
7.5.5	山地地表水热通量遥感估算应用实例	336
7.6	小结	339
	参考文献	339
第8章	山地陆表参量多源数据同化反演	348
8.1	数据同化相关理论	348
8.1.1	观测与模型的不确定性	348
8.1.2	观测与模型耦合	349
8.1.3	数据同化方法的优缺点	351
8.2	遥感中常用的数据同化算法	352
8.2.1	变分算法	352
8.2.2	序贯同化	355
8.3	典型过程模型	356
8.3.1	陆面过程模型	356
8.3.2	水文模型	361
8.3.3	生态模型	364
8.4	典型数据同化系统介绍	369
8.4.1	北美陆面数据同化系统和全球陆面数据同化系统	369
8.4.2	欧洲陆面数据同化系统	370
8.4.3	中国西部陆面数据同化系统	370

8.5 山地陆表参量同化反演的特殊性	370
8.5.1 山地陆面过程模型模拟面临的问题	370
8.5.2 山地陆面过程模型模拟改进	372
8.6 应用实例	374
8.6.1 时间序列土壤湿度同化反演	374
8.6.2 时间序列叶面积指数同化反演	377
8.7 小结	379
参考文献	379
第9章 山地遥感产品地面验证	388
9.1 遥感产品验证及研究现状	388
9.1.1 基本概念	388
9.1.2 遥感产品验证基本技术流程	389
9.1.3 国际重要遥感产品地面验证网络	391
9.1.4 遥感产品验证研究进展	396
9.2 山地遥感产品验证的特殊性和可行途径	397
9.3 地面测量采样技术	399
9.3.1 地面采样方法介绍	400
9.3.2 地面样方布设技术示例分析	402
9.3.3 山地样方布设难点与解决途径	406
9.4 地表关键参数测量方法	407
9.4.1 地表反射率光谱测量	407
9.4.2 叶面积指数测量	409
9.4.3 森林结构参数测量	411
9.4.4 生物量测量	412
9.4.5 植被覆盖度测量	414
9.4.6 土地覆被类型测量	418
9.5 尺度效应与尺度转换方法	420
9.5.1 尺度效应	420
9.5.2 空间尺度转换	421
9.5.3 时间尺度转换	429
9.5.4 星-空-地多尺度同步观测	429
9.5.5 山地空间尺度效应探讨	435
9.6 应用实例	436
9.6.1 山区 GLASS 下行短波辐射产品验证	436
9.6.2 山区典型 LAI 产品验证	440
9.7 小结	444
参考文献	444

第 10 章 山地灾害遥感应急调查	451
10.1 山地灾害与遥感应急调查	451
10.1.1 山地灾害的类型、危害与分布	452
10.1.2 遥感技术在山地灾害应急调查中的优势	454
10.1.3 山地灾害遥感应急调查一般流程	456
10.1.4 空间和重大灾害国际宪章	458
10.2 崩塌、滑坡遥感应急调查	459
10.2.1 崩塌、滑坡影像特征	460
10.2.2 汶川地震滑坡遥感调查	465
10.2.3 芦山地震崩滑灾害遥感快速调查与评估	467
10.3 泥石流遥感应急调查	473
10.3.1 泥石流影像特征	473
10.3.2 舟曲泥石流遥感调查	474
10.3.3 汶川地震泥石流、崩滑灾害遥感快速提取	478
10.3.4 映秀镇红椿沟泥石流遥感调查	481
10.4 堰塞湖遥感应急调查	484
10.4.1 堰塞湖影像特征	485
10.4.2 易贡堰塞湖遥感调查	486
10.5 小结	495
参考文献	496
第 11 章 无人机遥感及其山地应用	499
11.1 无人机遥感概述	499
11.1.1 无人机遥感系统构成	499
11.1.2 无人机遥感平台	502
11.1.3 无人机遥感发展历程	503
11.1.4 无人机遥感在山地的应用优势	504
11.2 无人机遥感影像处理	505
11.2.1 无人机影像背景知识	505
11.2.2 无人机影像匹配	509
11.2.3 无人机影像质量评价方法	511
11.2.4 无人机影像几何校正	515
11.2.5 无人机影像空中三角测量	520
11.2.6 无人机影像拼接	521
11.3 应用实例	525
11.3.1 基于无人机遥感的泥石流灾害信息提取及三维模拟	525
11.3.2 基于无人机遥感的草地生物量估算	529
11.4 小结	532
参考文献	533

第 12 章 数字山地大数据框架	535
12.1 数字山地	535
12.1.1 基本概念	535
12.1.2 数字山地内涵与学科关系	538
12.1.3 数字山地的研究内容	540
12.2 山地科学大数据的层次	541
12.2.1 核心数据——遥感信息	541
12.2.2 重要补充——物联网与模型数据	542
12.2.3 外围数据——大数据带来的机遇	543
12.3 数字山地应用平台框架	544
12.3.1 数字山地应用平台数据体系	544
12.3.2 应用平台的参考标准	546
12.3.3 应用平台的总体结构	548
12.3.4 应用平台的关键技术	549
12.4 数字山地建设与应用实例	552
12.4.1 山地科学数据共享平台	552
12.4.2 岷江上游流域可持续管理系统	558
12.5 展望	567
参考文献	568
附录 I 常用遥感数据、产品及相关开源工具下载网址	571
附录 II 缩写词	573
附图 I 中国数字山地图	580

第1章 绪 论

1962年,第一届国际环境遥感大会(International Symposium on Remote Sensing of Environment, ISRSE)在美国密歇根州召开,会议上“遥感”一词首次被国际科技界正式使用,标志着现代遥感的诞生(郭华东等,2013)。遥感自诞生之日起,就面临着山地带来的复杂问题。“山地遥感”一词最早由我国科学家在20世纪80年代中期提出(周万村,1985;陈昱等,1986)。但若以航空摄影测量遥感进行大比例尺山地地形测绘为起点,山地遥感的发展距今已有百年历史。随着遥感科学的不断进步,山地遥感的内涵也得到不断深化。遥感在山地的实际应用过程中积累了诸多独特的理论、方法与技术,并派生出许多亟待解决的新的科学问题。本章在初探山地基本概念的基础上,引出山地遥感的基本内涵,简要回顾了山地遥感的起源和研究进展,并展望了山地遥感当前面临的发展机遇和挑战。

1.1 山地与山地研究

1.1.1 山地典型特征

《地貌学辞典》定义山地是山集合体的统称,是一种具有一定坡度,相对高差大于200m,又互相连绵突出于平原或台地之上的正地貌形态,常由山岭和山谷组成(周成虎,2006)。地理学上,山是在构造运动、侵蚀、堆积等内外动力作用下形成的,具有一定海拔高度和坡度的陆地表面单元,同时具有垂向的突出性和水平的延伸性(邓伟等,2008)。根据UNEP-WCMC(联合国环境规划署-世界保护监测中心)界定山地的标准,全球24%的陆地面积为山地(Kapos,2000)。山地是地球更是我国陆地表面的重要组成部分。最近出版的《中国数字山地图》指出(附图I),山地约占我国陆地国土总面积(小于100km²岛屿除外)的65%(邓伟等,2015)。

山地系统还是地球表层变化过程的主体,控制和影响着生态格局与环境演变,表现为垂直分异、自然-人文要素多样、生态环境脆弱、自然灾害多发和社会经济发展滞后等典型特征。

1. 垂直分异

山地地形起伏导致山地生态系统具有垂直分异特征,是山地丰富生物多样性形成的基