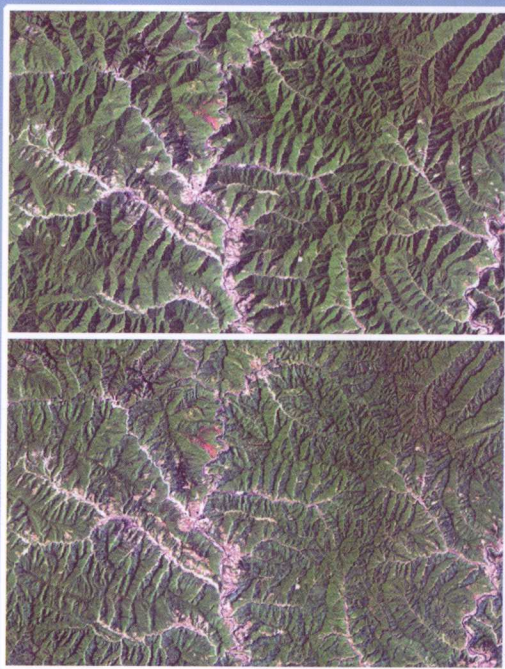


遥感影像地形校正 理论基础与方法应用

高永年 刘传胜 王 静 著



科学出版社

013024403

P217-39
02

遥感影像地形校正 理论基础与方法应用

高永年 刘传胜 王 静 著



P217-39
02

科学出版社

北 京



北航

C1631873

内 容 简 介

本书针对复杂地形区地表地形特征、太阳辐射过程以及遥感影像的特点,从遥感影像地形校正的理论基础、地形校正模型方法及地形校正方法应用三个方面进行系统总结与分析。分析地表特征与数字地形、辐射传输过程、遥感影像的地形效应,开展遥感影像地形校正方法总结与述评,构建考虑散射辐射和临近地表反射辐射的地形校正物理模型以及简单高效的经验模型,分析不同精度 DEM 对遥感影像地形校正效果的影响,并从土地遥感分类、植被参数遥感提取、地表反照率遥感反演、地表温度遥感反演、蒸散发遥感反演等方面探讨地形校正方法的应用。

本书可供遥感、土地利用、生态环境、流域水文等学科的科研人员、大专院校师生和广大有兴趣的应用人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

遥感影像地形校正理论基础与方法应用/高永年,刘传胜,王静著.
—北京:科学出版社,2013

ISBN 978-7-03-036454-8

I. ①遥… II. ①高… ②刘… ③王… III. ①遥感图像-应用-地形校正-研究 IV. ①P217-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 008311 号

责任编辑:刘燕春 龚 勋 胡 凯/责任校对:包志虹

责任印制:赵德静/封面设计:许 瑞

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年1月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013年1月第一次印刷 印张:20

字数:470 000

定价:69.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

中国的地形类型，无论从成因来看，还是从形态来看，都是多种多样、丰富多彩的。据统计，我国的全国土地总面积中山地约占 33%，高原占 26%，盆地占 19%，平原占 12%，丘陵占 10%。如果把高山、中山、低山、丘陵和崎岖不平的高原都包括在内，中国山区的面积占全国土地总面积的 2/3 以上。然而，地表起伏状况直接影响地物参数特征，海拔主要影响气温、湿度和光照度，不同方位山坡的气候因子有很大差异，例如北半球南坡光照强，土温、气温高，蒸散发量大，土壤较干，而北坡正好相反。坡度的缓急、地势的陡峭起伏等，不但会形成小气候的变化而且对水土的流失与积聚都有影响，因此可直接间接地影响植物的生长和分布。自 20 世纪 60 年代初遥感技术兴起并得到迅速发展以来，遥感应用的领域在不断扩展。作为探讨地表特征参数的有力工具，遥感日益受到人们的重视，被广大研究者用来对地表参数进行定量研究，近年来发展较快，并取得了一定的成果。然而在复杂地形区，地表起伏状况影响地物定量遥感精度。由于受地形起伏的影响，其地表特征参数在一定程度上有别于平坦地区，如地表过程的能量来源即地表接收到的太阳辐射在阴、阳坡会存在差异，这将直接导致阴、阳坡生态水文过程的差异，反映在遥感影像上则为同种地物阴、阳坡的波谱特征也存在差异，从而加剧了“同物异谱、同谱异物”现象，导致土地利用/覆被分类错分、误分加剧，也将导致其他地表特征参数如蒸散发等的定量遥感估算误差的加剧。因此，在复杂地形区进行地表特征参数定量遥感研究必须先进行遥感影像的地形校正，以消除或减弱地形效应对参数遥感提取精度的影响。

遥感影像地形校正主要指通过各种变换，将所有像元的辐射亮度变换到某一参考平面上（通常取水平面），从而消除由地形起伏引起的影像灰度值（或亮度值）变化，使影像更好地反映地物光谱特性，即对遥感影像因地形不规则形状而导致的太阳辐射亮度值差异进行补偿。因此，地形校正的目标是消除所有的由地形而导致的辐射亮度值的差异即地形效应，以便使具有相同反射率的两个不同太阳方位角的物体表现出相同的波谱响应。遥感影像地形校正研究对于丰富定量遥感理论、促进地表特征参数定量化遥感反演精度具有重要意义。

本书共分 13 章，主要涉及 3 个方面内容，即遥感影像地形校正理论基础、地形校正模型和遥感影像地形校正方法应用。绪论部分介绍撰写依据和背景情况、几个基本概念以及本书的内容组织与结构安排。遥感影像地形校正的理论基础部分主要涉及第二至第四章共 3 章，其中第二章介绍地表的基本特征、地形的表征方法和地形图，分析数字高程模型的表示方法和结构模型、DEM 建立与质量评价及其典型数据源，阐述坡度与坡向、地形阴影、曲率与坡长、地形起伏度与粗糙度、地形观测因子与天空观测因子等地形曲面参数；第三章介绍大气组成与分层、太阳辐射、大气对辐射传输的影响等辐射传输基本特性，由太阳直接辐射、天空散射辐射、临近地表反射辐射 3 个方面分析起伏地

表太阳辐射传输特征,在此基础上简要介绍 6S、MODTRAN、ATCOR 等 3 个辐射传输模型;第四章介绍遥感研究对象的特性、遥感数据的特性、遥感信息定量化及其不确定性等方面,阐述遥感影像特征及其不确定性,地形起伏对遥感影像辐亮度的影响、遥感影像地形效应内涵与特征、地形效应遥感影像数据源等遥感影像地形效应表征,地形变量与影像亮度值的关系、地形效应对地表参数反演的影响等。遥感影像地形校正模型部分主要涉及第五至第八章共 4 章,其中第五章介绍地形校正的含义与目标、地形校正方法分类,对基于波段比的方法、基于 DEM 的方法、基于超球面的方法的研究进展进行详细介绍,指出存在的问题与研究展望;第六章构建基于山地太阳辐射传输的地形校正物理模型,并对模型进行简化与改进,并进行模型实验;第七章基于 Landsat-7 ETM+ 影像特征和地形变量的统计规律,提出一种新的地形校正算法——变经验系数法,并在 DEM 的支持下,对其进行地形校正实验;同时选择地形校正效果相对较好的、基于朗伯体模型的 C 校正和 SCS+C 校正以及非朗伯体模型 Minnaert 校正等 10 个模型进行校正效果比较实验,以验证变经验系数法校正的有效性;第八章选择杨家河流域为研究区,基于不同精度 DEM 运用不同地形校正方法验证地形校正的有效性及其对土地利用覆被分类的影响。遥感影像地形校正方法应用部分主要涉及第九至十三章共 5 章,各章分别从土地遥感分类、植被结构参数遥感提取、地表反照率遥感反演、地表温度遥感反演、蒸散发遥感反演探讨地形校正的应用。

本书各章撰写情况如下:第一章由高永年和刘传胜撰写,第二至四章由刘传胜、王静和高永年撰写,第五至十三章由高永年、刘传胜和王静撰写。全书由高永年、刘传胜负责整理统稿,由高永年定稿。

本书得到国家自然科学基金(编号:41001016)和国家重点基础研究发展规划项目(编号:2006CB400502)等课题的资助,并得到张万昌教授、高俊峰研究员、苏伟忠副研究员等专家的宝贵意见和悉心指导,在此一并致谢!

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不足之处,我们殷切期望学术界同行和广大读者不吝给予批评指正。

高永年

2012 年 5 月 20 日

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 撰写依据和背景情况	1
1.2 几个基本概念	4
1.3 内容组织与结构安排	6
参考文献	8
第二章 地表特征与数字地形	9
2.1 地表特征分析	9
2.1.1 地形概述	9
2.1.2 地形表示法	12
2.1.3 地形图	15
2.2 数字高程模型	17
2.2.1 DEM 概述	17
2.2.2 DEM 的表示方法和结构模型	18
2.2.3 DEM 建立与质量评价	21
2.2.4 典型 DEM 数据源	24
2.3 地形曲面参数	31
2.3.1 坡度与坡向	31
2.3.2 地形阴影	33
2.3.3 曲率与坡长	35
2.3.4 地形起伏度与粗糙度	37
2.3.5 地形观测因子与天空观测因子	38
参考文献	39
第三章 辐射传输过程	42
3.1 辐射传输基本特性	42
3.1.1 大气组成与分层	42
3.1.2 太阳辐射	43
3.1.3 大气对辐射传输的影响	47
3.2 起伏地表的太阳辐射传输特性	48
3.2.1 太阳直接辐射	50
3.2.2 天空散射辐射	52
3.2.3 临近地表反射辐射	53
3.3 辐射传输模型	54
3.3.1 6S 辐射传输模型	54
3.3.2 MODTRAN 辐射传输模型	58

3.3.3 ATCOR 辐射传输模型	61
参考文献	63
第四章 遥感影像的地形效应	66
4.1 遥感影像特征及其不确定性	66
4.1.1 遥感研究对象的特性	66
4.1.2 遥感数据的特性	69
4.1.3 遥感信息量化及其不确定性	71
4.2 遥感影像地形效应表征	73
4.2.1 地形起伏对遥感影像辐亮度的影响	73
4.2.2 遥感影像地形效应的内涵与特征	75
4.2.3 地形效应遥感影像数据源	77
4.3 地形效应对地表参数反演的影响	86
4.3.1 地形变量与影像亮度值的关系	86
4.3.2 地形效应对地表参数反演的影响	87
参考文献	91
第五章 遥感影像地形校正方法综述	93
5.1 地形校正的含义与目标	93
5.1.1 地形校正的含义	93
5.1.2 地形校正的目标	94
5.1.3 地形校正方法分类	94
5.2 基于波段比的方法	95
5.3 基于 DEM 的方法	96
5.3.1 统计-经验模型	96
5.3.2 归一化模型	97
5.3.3 朗伯体反射率模型	98
5.3.4 非朗伯体反射率模型	104
5.4 基于超球面的方法	106
5.5 存在问题与展望	107
参考文献	110
第六章 遥感影像地形校正物理模型	114
6.1 基于复杂地形太阳辐射传输的地形校正物理模型	114
6.1.1 模型构建与改进	114
6.1.2 试验区概况	119
6.1.3 数据与处理	119
6.1.4 结果与分析	120
6.1.5 结论与讨论	125
6.2 遥感影像地形校正物理模型的简化与改进	126
6.2.1 模型的简化与改进	126
6.2.2 试验区概况	129
6.2.3 数据与处理	129

6.2.4 结果与分析	130
6.2.5 结论与讨论	133
参考文献.....	134
第七章 遥感影像地形校正经验模型.....	137
7.1 模型构建	137
7.2 试验区概况	139
7.3 数据与方法	139
7.4 结果与分析	142
7.4.1 视觉效果分析	142
7.4.2 统计分析	144
7.5 结论与讨论	147
参考文献.....	147
第八章 不同精度 DEM 对遥感影像地形校正效果的影响	150
8.1 试验区概况	150
8.2 数据与方法	151
8.3 结果与分析	156
8.3.1 视觉效果分析	156
8.3.2 统计效果分析	158
8.3.3 地形校正对分类精度的影响	162
8.4 结论与讨论	163
参考文献.....	164
第九章 地形校正在土地遥感分类中的应用.....	166
9.1 土地遥感分类简述	166
9.1.1 土地遥感分类概述	166
9.1.2 土地遥感分类方法	167
9.1.3 土地遥感分类中地形校正的必要性	170
9.2 地形校正下的土地遥感监督分类	170
9.2.1 实验区概况	170
9.2.2 数据与处理	171
9.2.3 结果与分析	176
9.2.4 结论与讨论	178
9.3 基于 TC、CA 和 SOFM 网络的土地遥感分类	179
9.3.1 试验区概况	180
9.3.2 数据与方法	180
9.3.3 结果与分析	183
9.3.4 结论与讨论	184
参考文献.....	185
第十章 地形校正在植被参数遥感提取中的应用.....	187
10.1 植被参数遥感提取简述.....	187
10.1.1 植被指数遥感提取方法	187

10.1.2	植被覆盖度遥感提取方法	189
10.1.3	叶面积指数遥感提取方法	191
10.1.4	植被参数遥感提取中地形校正的必要性	192
10.2	实验区概况	193
10.3	数据与方法	194
10.3.1	DEM 与影像数据	194
10.3.2	传感器辐射校准与大气校正	195
10.3.3	地形校正	196
10.3.4	植被指数计算	198
10.3.5	植被覆盖度计算	201
10.3.6	叶面积指数 LAI 计算	201
10.4	结果与分析	202
10.4.1	地形校正效果	202
10.4.2	植被指数	204
10.4.3	植被覆盖度	211
10.4.4	叶面积指数	212
10.5	结论与讨论	213
	参考文献	214
第十一章	地形校正在地表反照率遥感反演中的应用	218
11.1	地表反照率遥感反演简述	218
11.1.1	地表反照率内涵及其获取	218
11.1.2	地表反照率遥感反演方法	219
11.1.3	存在问题与地形校正的必要性	222
11.2	实验区概况	224
11.3	数据与方法	225
11.3.1	DEM 与影像数据	225
11.3.2	传感器辐射校准与大气校正	226
11.3.3	地形校正	226
11.3.4	地表反照率计算	227
11.4	结果与分析	228
11.4.1	地形校正效果	228
11.4.2	地表反射率	230
11.4.3	地表反照率	233
11.5	结论与讨论	236
	参考文献	237
第十二章	地形校正在地表温度遥感反演中的应用	239
12.1	地表温度热红外遥感反演简述	239
12.1.1	地表温度热红外遥感反演的理论基础	239
12.1.2	地表温度热红外遥感反演方法	240
12.1.3	地形校正的必要性	245

12.2 实验区概况	246
12.3 数据与方法	246
12.3.1 DEM与影像数据	246
12.3.2 传感器辐射校准与大气校正	248
12.3.3 地形校正	248
12.3.4 地表比辐射率计算	250
12.3.5 地表温度反演	250
12.4 结果与分析	252
12.4.1 地形校正效果	252
12.4.2 地表比辐射率	254
12.4.3 地表辐射温度	255
12.5 结论与讨论	261
参考文献	261
第十三章 地形校正蒸散发遥感反演中的应用	264
13.1 蒸散发遥感反演简述	264
13.1.1 利用遥感数据进行区域蒸散发估算的几种途径	264
13.1.2 区域蒸散发遥感估算单层模型法现状	267
13.1.3 区域蒸散发遥感估算双源模型法现状	271
13.1.4 存在问题与进一步研究展望	274
13.2 地形效应下的区域蒸散发单层模型遥感反演	276
13.2.1 实验区概况	276
13.2.2 蒸散发估算模型及其参数化方案	277
13.2.3 数据与处理	280
13.2.4 结果与分析	281
13.2.5 结论与讨论	283
13.3 地形效应下的区域蒸散发双源模型遥感反演	284
13.3.1 实验区概况	284
13.3.2 N'95二源遥感模型及其参数化方案的改进	284
13.3.3 数据处理流程	293
13.3.4 能量平衡因子与瞬时蒸散发	296
13.3.5 瞬时蒸散发计算结果比较评价	305
13.3.6 结论与讨论	305
参考文献	306

第一章 绪 论

1.1 撰写依据和背景情况

1. 我国起伏地表分布广、面积大

中国的地形类型，无论是从成因来看，还是从形态来看，都是多种多样、丰富多彩的。有被内力推移而高高抬升的高原和山地，也有被挠曲下降的低洼盆地和平原。在温暖湿润的东部和南部，有各种各样以流水作用为主的侵蚀和堆积地貌；在干旱的西北，有以风力作用为主的沙漠景观；在西部高山上，有别具风格的冰川作用地貌；在西南部石灰岩分布地区，则有景色迷人的喀斯特地貌。青藏高原、云贵高原、内蒙古高原和黄土高原，是中国著名的四大高原。塔里木盆地、准噶尔盆地、柴达木盆地和四川盆地，是中国著名的四大盆地。长江、黄河、珠江和黑龙江等大河流，在辽阔的大地上奔流，造就了许多广大而肥沃的平原。在平原上点缀有葱郁秀丽的低山丘陵，而在西部更有无数高大崎岖的山地。多种多样的地形为中国农、林、牧、副、渔的多种经营和综合发展提供了极为有利的条件。

据统计，我国的全国土地总面积中山地约占 33%，高原占 26%，盆地占 19%，平原占 12%，丘陵占 10%。如果把高山、中山、低山、丘陵和崎岖不平的高原都包括在内，那么中国山区的面积要占全国土地总面积的 2/3 以上（申士安，2001）。

2. 地表起伏状况直接影响地物参数特征

地形对地表参数具有重要影响，下面以植被生长为例做简要介绍。地形地势的变化可以直接影响各种气候因子及土壤的变化，因而对植物的生长发育及分布产生很大影响（富农路，2010）。

1) 海拔的影响

海拔主要影响气温、湿度和光照度。一般海拔由低至高则温度渐低、相对湿度渐高、光照渐强、紫外线含量增加，这些现象以山地地区更为明显，因而会影响树木的生长与分布。山地的土壤随海拔的增高，温度渐低、湿度增加、有机质分解渐缓、淋溶和灰化作用加强，因此 pH 渐低。由于各方面因子的变化，对于树木个体而言，生长在高山的树木与生长在低海拔的同种个体相比较，则有植物高度变矮、节间变短、叶的排列变密等变化。树木的物候期随海拔升高而推迟，生长期结束早，秋叶色艳而丰富，落叶相对提早，而果熟较晚。

2) 坡向的影响

不同方位山坡的气候因子有很大差异，例如北半球南坡光照强，土温、气温高，土

壤较干,而北坡正好相反。所以在自然状态下,往往同一树种垂直分布,南坡高于北坡。在北方,由于降水量少,所以土壤的水分状况对树木生长影响极大,在北坡,由于水分状况相对南坡好,而可生长乔木,植被繁茂,甚至一些阳性树种亦生于阴坡或半阴坡;在南坡由于水分状况差,所以仅能生长一些耐旱的灌木和草本植物,但是在雨量充沛的南方则阳坡的植被就非常繁茂了。此外,不同的坡向对树木冻害、旱害等亦有很大影响。

3) 地势变化的影响

坡度的缓急、地势的陡峭起伏等,不但会形成小气候的变化而且对水土的流失与积聚都有影响,因此可直接或间接地影响植物的生长和分布。坡度通常可分为6级,即平坦地为 5° 以下,缓坡为 $16^{\circ}\sim 25^{\circ}$,中坡为 $26^{\circ}\sim 35^{\circ}$,急坡为 $36^{\circ}\sim 45^{\circ}$,险坡为 45° 以上。在坡面上水流的速度与坡度及坡长成正比,而流速越快、径流量越大时,冲刷掉的土壤量也越大。因此坡度影响地表径流和排水状况,也直接改变土壤的厚度和土壤含水量。一般在斜坡上,土壤肥沃,排水良好,对植物生长有利,而在陡峭的山坡上,土层薄,石砾含量高,植物生长差。山谷的宽窄与深浅以及走向变化也能影响树木的生长状况。不同树木由于对各种生态因子的要求不同,因此它们的垂直分布都各有其“生态最适带”。

3. 遥感是获取地表参数的一条有效途径

遥感技术自20世纪60年代初兴起并迅速得到发展,应用领域不断扩展。遥感应用从其内容上可概括为资源调查与应用、环境监测评价、区域分析规划及全球宏观研究四大领域。以遥感在地理学中的应用为例,长期以来,地理学主要是以地图作为地理信息存储及成果展示的工具,以地图和实地观测作为地理研究的主要手段。随着当前科学技术和社会的迅速发展,单纯传统的工作手段已不能适应地理学的发展,遥感技术的引进和应用,成为当前地理学发展中具有重要意义的变化和动向之一(彭望琚等,2002;中国科学院遥感应用研究所,2009)。

1) 遥感已成为地理研究和工作的重要信息来源

长期以来,地理学主要是依靠实地观测获得地理研究的第一手(信息)资料。这种传统的手段,无论在其提供信息的数量上,还是在其质量上,以及信息的实时及时性等方面,都不能适应或不能满足当前地理学发展以及迅速发展的新形势的需要。遥感的引入及在地理学中的应用,使地理学增加了一种获取信息的现代化手段。

遥感能迅速及时地获取大量准确客观的地理信息,在获取信息的实时及时性上以及信息的准确客观性方面,是传统方法无法比拟的。遥感信息的准确客观性表现在客观准确地记录了地表地物的电磁波辐射(反射和发射)特征,客观实时地反映出地表景观的实况。例如,作为展现遥感信息的遥感图像,可真实形象地反映地物分布的现状,地物或现象间的相互关系,以及地物间相互影响变化的情况等。因此,遥感手段的引入,为地理学的区域综合分析、区域动态分析的进一步深入研究,以及为提高成果的实际应用

价值和效益提供了便利和基础。

遥感在提供及时准确信息上,既可提供可见光波段的信息,又可提供红外、紫外、微波波段的信息以及多波段信息;既可提供图像形式的信息,还可提供模拟或数字化的数据信息;不但能获得实时的二维平面信息,还能得到三维空间信息等。从而使所获地理信息具有多层次、多方式、多侧面、全方位的特征,大大拓宽了地理研究的广度和深度,为当今地理学的发展开辟了新的道路。

基于遥感信息所具有的难以替代的特点和优越性,遥感信息已成为地理研究和工作的重要信息来源。但是,在应用遥感信息时,一定要根据地理研究工作的目的任务,选择适宜的遥感信息,并注意与其他非遥感信息的相互配合应用,以充分发挥遥感信息在地理研究中的作用,提高地理研究成果的社会经济效益。

2) 遥感已成为地理研究的重要手段和方法

以往地理学传统的工作方法常是从点、线实地观测入手,从点线逐渐过渡到区域面上的分析研究。如今,由于遥感信息的应用,首先可从面上区域分析研究入手,然后有重点地选择若干点线进行野外验证和检查。这样,不仅大大减少了实地观测的野外工作量,节省了人力财力,提高了效率,而且也提高了研究工作的精度和质量。

地理学研究的核心是地理区域分析,只有通过地理分析才能了解和掌握各个自然要素和人文要素间的关系,及其相互影响和转化演变的规律,从而揭示出区域的特征,提出改造利用的前景。地理分析的前提是地理信息,只有建筑在大量丰富准确的地理信息基础上,地理分析才具有意义,才有实际价值。当前遥感信息作为现代地理学进行地理学分析的重要信息源,不但为地理分析提供了基础,同时也为地理分析从定性到定量、从静态到动态、从过程到模式的转化和发展提供了条件,从而为地理学研究开拓了一个新的、更为广阔的领域(彭望球等,2002;中国科学院遥感应用研究所,2009)。

4. 地表起伏状况影响地物遥感精度

遥感作为探讨地表特征参数的有力工具,日益受到人们的重视,并被广大研究者用来对地表参数进行定量研究,特别是近年来发展较快,并取得了一定的研究成果,然而在复杂地形区的地表特征参数如蒸散发等的定量遥感研究还相对较少,仍有待进一步加强。复杂地形条件区由于受地形起伏的影响,其地表特征参数在一定程度上有别于平坦地区,如地表过程的能量来源即地表接收到的太阳辐射在阴、阳坡则会存在差异,这将直接导致阴、阳坡生态水文过程的差异,反映在遥感影像上则同种地物阴、阳坡的波谱特征也会存在差异,从而加剧了“同物异谱、同谱异物”现象的发生,导致土地利用/覆被分类错分、误分加剧,也将导致其他地表特征参数如蒸散发等的定量遥感估算的误差的加剧。因此,在复杂地形区进行地表特征参数定量遥感研究必须先进行遥感影像的地形校正,以消除或减弱地形效应对参数遥感提取精度的影响。

5. 相关研究日益增多,逐渐受到重视

20世纪70年代后期开始,国内外学者就试图通过各种方法减小地形对遥感影像的

影响,并产生了诸多模型。但由于山区地表的复杂性太大,很难建立一个标准的被一致接受的模型,各种模型还存在一定的局限性:①模型仅仅考虑了地形对太阳直接辐射的影响,而忽略了天空散射和邻近地形的反射影响,如余弦校正模型、Minnaert 校正模型、SCS 校正模型等都存在这个问题。②基于经验统计建立的模型,其假设条件和真实地表的差异较大,如 C 校正模型、B 校正模型。③基于辐射传输理论的物理模型较少(陈志明等,2009)。

1.2 几个基本概念

遥感(remote sensing):广义而言,遥感泛指各种非直接接触的、远距离探测目标的技术。对目标进行采集主要根据物体对电磁波的反射和辐射特性,利用声波、引力波和地震波等,也都包含在广义的遥感之中。通常人们所认为的遥感的概念是指:从远距离、高空以至外层空间的平台上,利用可见光、红外、微波等遥感器,通过摄影、扫描等各种方式,接收来自地球表层各类地物的电磁波信息,并对这些信息进行加工处理,从而识别地面物质的性质和运动状态的综合技术。

空间分辨率(spatial resolution):指遥感影像上能够识别的两个相邻地物的最小距离。空间分辨率数值在地面上的实际尺寸称为地面分辨率,对于扫描影像,则是像元所对应的地面实际尺寸(m)。如陆地卫星多波段扫描影像的空间分辨率或地面分辨率为30m(像元大小 $30\text{m}\times 30\text{m}$)。空间分辨率是评价传感器性能和遥感信息的重要指标之一,也是识别地物形状大小的重要依据。

波谱分辨率(spectrum resolution):指传感器探测器接收电磁波辐射所能区分的最小波长范围。波段的波长范围越小,波谱分辨率越高。也指传感器在其工作波长范围内所能划分的波段的量度。波段越多,波谱分辨率越高。如陆地卫星多波段扫描仪MSS和TM(专题制图仪),在可见光范围内,MSS的3个波段的波谱范围均为 $0.1\mu\text{m}$;TM1~3波段的波谱范围分别是 $0.07\mu\text{m}$ 、 $0.08\mu\text{m}$ 和 $0.06\mu\text{m}$,后者波谱分辨率高于前者。MSS共有4~5个波段,TM共分7个波段,也说明后者波谱分辨率高于前者。因地物波谱反射或辐射电磁波能量的差别,最终反映在遥感影像的灰度差异上,故波谱分辨率也反映区分不同灰度等级的能力。比如多波段扫描仪在可见光的3个波段能区分128级,而第四波段(波长范围 $0.3\mu\text{m}$)只能区分64级,可见光波段波谱分辨率比近红外波段高。波谱分辨率是评价遥感传感器探测能力和遥感信息容量的重要指标之一。提高波谱分辨率,有利于选择最佳波段或波段组合来获取有效的遥感信息,提高判读效果。但对于扫描型传感器来说,波谱分辨率的提高不仅取决于探测器性能的改善,还受空间分辨率的制约。

时间分辨率(temporal resolution):指在同一区域进行的相邻两次遥感观测的最小时间间隔。对轨道卫星,亦称覆盖周期。时间间隔大,时间分辨率低,反之时间分辨率高。时间分辨率是评价遥感系统动态监测能力和“多日摄影”系列遥感资料在分时相分析中应用能力的重要指标。根据地球资源与环境动态信息变化的快慢,可选择适当的时间分辨率范围。

地物波谱 (object spectrum): 地物辐射和反射的电磁波能量在电磁波谱范围内随波长的分布。地球上温度高于 0K 的物体都能自发地发射电磁波, 这一物理现象称为热辐射。地物热辐射强度按波长的分布称为地物辐射波谱。它与物体的温度及其他物理和化学特性有关。各种物体对入射的电磁波能产生反射、透射和吸收效应。反射强度或反射率按波长的分布称为地物反射波谱。它也与物体的某些性质有关。地物波谱特性是遥感技术的物理基础。

太阳辐射 (solar radiation): 是指太阳向宇宙空间发射的电磁波和粒子流。太阳辐射是地球表层能量的主要来源。

辐射强度 (radiant intensity): 在给定方向上包含该方向的立体角元内辐射源所发出的辐射通量 $d\phi$ 除以该立体角元 $d\Omega$, 单位为 W/Sr 。

辐射亮度 (radiance): 辐射源面上一点在给定方向上包含该点的面元 dA 的辐射强度 dI 除以该面元在垂直于给定方向的平面上的正投影面积, 单位为 $W/(Sr \cdot m^2)$ 。

辐射照度 (irradiance): 在辐射接收面上一点的辐射照度 E 等于投射在包括该点的一个面元上的辐射通量 $d\phi$ 除以该面元的面积 dA , 单位为 W/m^2 。

太阳高度角 (solar elevation angle): 对于地球上的某个地点, 太阳高度角是指太阳光的入射方向和地平面之间的夹角, 专业上讲太阳高度角是指某地太阳光线与该地作垂直于地心的地表切线的夹角。

太阳方位角 (solar azimuth): 即太阳所在的方位, 指太阳光线在地平面上的投影与当地子午线的夹角, 可近似地看做是竖立在地面上的直线在阳光下的阴影与正南方的夹角。方位角以正南方向为零, 向西逐渐变大, 向东逐渐变小, 直到在正北方合在 $\pm 180^\circ$ 。

入射角 (angle of incidence): 入射光线与法线的夹角叫做入射角, 指光线从一种媒质入射到另一种媒质的交界面时, 与界面法线的夹角 (小于 90°)。在其他波动 (如声波等) 或运动粒子的入射过程中也常沿用这一名称。

天顶角 (zenith angle): 指入射光线与当地天顶方向的夹角, 即入射光源与地面法线间的夹角。

地表反射率 (surface reflectivity): 到达地表的总辐射中, 有一部分被地表反射回大气, 称为地表反射辐射。地表反射能力的大小, 以向上的反射辐射总通量与入射辐射总通量的比值来表示, 称为地表反射率。地面反射率的大小取决于地面的性质和状态。一般来说, 深色土壤的反射率比浅色土壤小, 潮湿土壤的反射率比干燥土壤小, 粗糙表面的反射率比平滑表面小。陆地表面的平均反射率为 $10\% \sim 35\%$, 新雪面反射率最大, 可达 95% 。水面反射率随太阳高度角而变, 太阳高度角越小反射率越大。对波浪起伏的水面来讲, 反射率平均为 $7\% \sim 10\%$ 。因此, 即使总辐射强度一样, 不同性质的下垫面得到的太阳辐射仍然有很大差别, 这是地表温度分布不均匀的原因之一。

地表反照率 (albedo): 为地表向各个方向反射的全部光通量与总入射光通量的比值, 是反射率对所有观测方向的积分, 决定了有多少辐射能被下垫面所吸收。地表反照率主要表征地球表面对太阳辐射的反射能力, 是一个广泛应用于地表能量平衡、中长期天气预测和全球变化研究的重要参数。

1.3 内容组织与结构安排

本书内容主要包括 3 个方面,即遥感影像地形校正理论基础、地形校正模型及其方法应用等。具体来说,可表述如下:

1) 遥感影像地形校正理论基础,主要从以下 3 个方面进行阐述。

(1) 地表特征与数字地形。主要阐述地表相关特征,介绍地表的基本特征,地形的表征方法、地形图的分析数字高程模型的表示方法和结构模型、DEM 建立与质量评价及其典型数据源,阐述坡度与坡向、地形阴影、曲率与坡长、地形起伏度与粗糙度、地形观测因子与天空观测因子等地形曲面参数。

(2) 辐射传输过程。主要阐述地表太阳辐射特征,介绍大气的组成与分层、太阳辐射、大气对辐射传输的影响等辐射传输基本特性,从太阳直接辐射、天空散射辐射、临近地表反射辐射 3 个方面分析起伏地表太阳辐射传输特征,在此基础上简要介绍 6S、MODTRAN、ATCOR 等 3 个辐射传输模型。

(3) 遥感影像的地形效应。主要阐述遥感影像特征,介绍遥感研究对象的特性、遥感数据的特性、遥感信息定量化及其不确定性等方面,并阐述遥感影像特征及其不确定性、地形起伏对遥感影像辐亮度的影响、遥感影像地形效应内涵与特征、地形效应遥感影像数据源、遥感影像地形效应表征、地形变量与影像亮度值的关系、地形效应对地表参数反演的影响等。

2) 遥感影像地形校正模型,主要从以下 4 个方面进行阐述。

(1) 遥感影像地形校正方法综述。介绍地形校正的含义与目标、地形校正方法分类,对基于波段比的方法、基于 DEM 的方法、基于超球面的方法的研究进展进行详细介绍,指出存在的问题并进行了研究展望。

(2) 遥感影像地形校正物理模型。针对传统经验半经验模型的一个共同缺点即缺乏从物理机制的角度对天空散射辐射和临近地表反射与散射辐射加以考虑,基于地表朗伯体假设提出一个考虑地表太阳直接辐射、天空散射辐射和邻近地表反射辐射组分的地形校正物理模型,并针对地表非朗伯体假设的缺陷,对模型进行改进;然而该模型计算相对复杂,为地形校正的实现增加了困难,基于此,探讨地形校正物理模型的简化方案和改进方案,并进行模型校正实验。

(3) 遥感影像地形校正经验模型。基于 Landsat-7 ETM+影像特征和地形变量的统计规律,提出一种新的地形校正算法——变经验系数法 VECA,并在 DEM 的支持下,对其进行地形校正实验;同时选择地形校正效果相对较好的基于朗伯体模型的 C 校正和 SCS+C 校正以及非朗伯体模型 Minnaert 校正等 10 个模型进行校正效果比较实验,以验证变经验系数法校正的有效性和可操作性。

(4) 不同精度 DEM 对遥感影像地形校正效果的影响。选择杨家河流域为研究区,基于不同精度 DEM (分别来源于 1:5 万地形图和约 90m 空间分辨率的 SRTM DEM) 运用不同地形校正方法验证地形校正的可靠性,比较不同精度 DEM 支持下不同地形校正法的校正效果。

3) 遥感影像地形校正方法应用, 主要从以下 5 个方面进行阐述。

(1) 地形校正在土地遥感分类中的应用。对土地遥感分类进行简述, 分析土地遥感分类中地形校正的必要性; 并在此基础上, 选择在复杂地形区进行地形校正预处理下的土地遥感分类实验。

(2) 地形校正在植被参数遥感提取中的应用。对植被参数遥感提取进行简述, 分析植被参数遥感中地形校正的必要性; 并在此基础上, 选择复杂地形区进行地形校正预处理下的植被指数、植被覆盖度和叶面积指数遥感提取实验。

(3) 地形校正在地表反照率遥感反演中的应用。对地表反照率遥感反演进行简述, 分析地表反照率遥感反演中地形校正的必要性; 并在此基础上, 选择复杂地形区进行地形校正预处理下的地表反射率和地表反照率遥感反演实验。

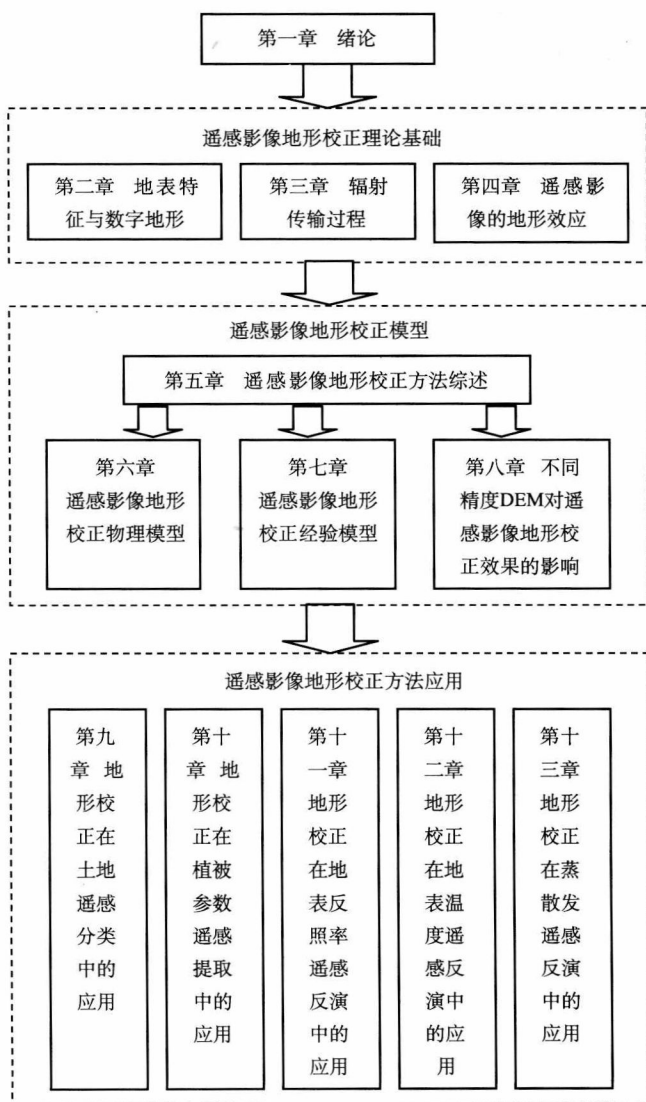


图 1-1 总体框架与章节安排