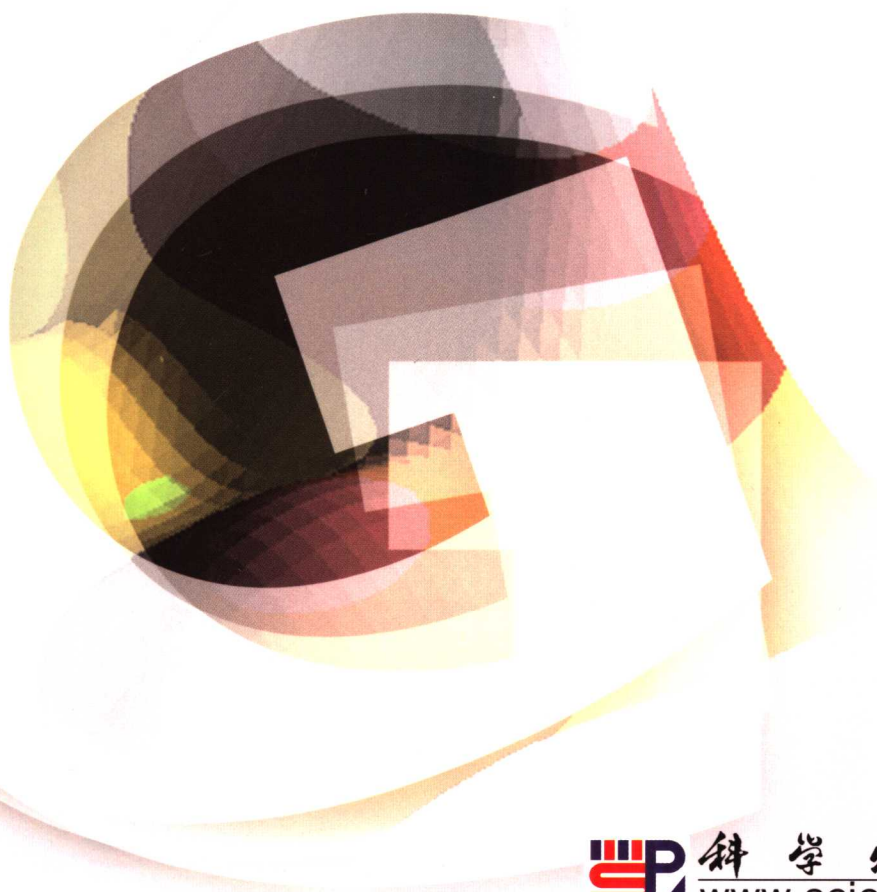




地理信息系统理论与应用丛书

数字地形分析

● 周启鸣 刘学军 著



 科学出版社
www.sciencep.com

地理信息系统理论与应用丛书

数字地形分析

周启鸣 刘学军 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

数字地形分析是随着数字高程模型的发展而出现的地形分析方法。全书由三个部分组成。第一部分重点讨论数字地形分析的基本概念、地形的数字特征以及地形的数学建模。第二部分着重介绍数字地形分析的基本技术,包括基本地形参数计算、地形形态特征分析、地形统计特征分析、复合地形属性和地形可视化及分析。第三部分重点讨论了数字地形分析中的误差处理方法,以及数字地形分析的技术走向和发展趋势。

本书适合于地理信息系统、测绘、地理、水文、生态、环境等地质学相关领域的科研、生产、开发人员使用,也可作为大专院校测绘工程、地理信息系统和地学等相关领域和专业的本科生、研究生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

数字地形分析/周启鸣,刘学军 著. —北京:科学出版社,2006

(地理信息系统理论与应用丛书)

ISBN 7-03-016885-2

I. 数… II. ①周…②刘… III. 数字地形模型 IV. P287

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 010194 号

责任编辑:朱海燕 韩 鹏/责任校对:张怡君

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

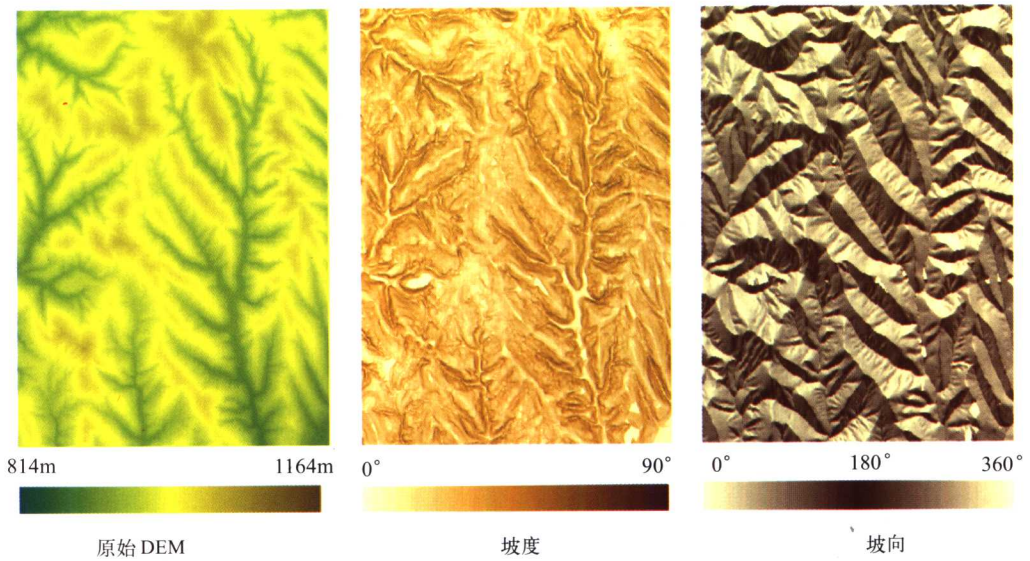
2006年5月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2006年5月第一次印刷 印张:22 插页:2

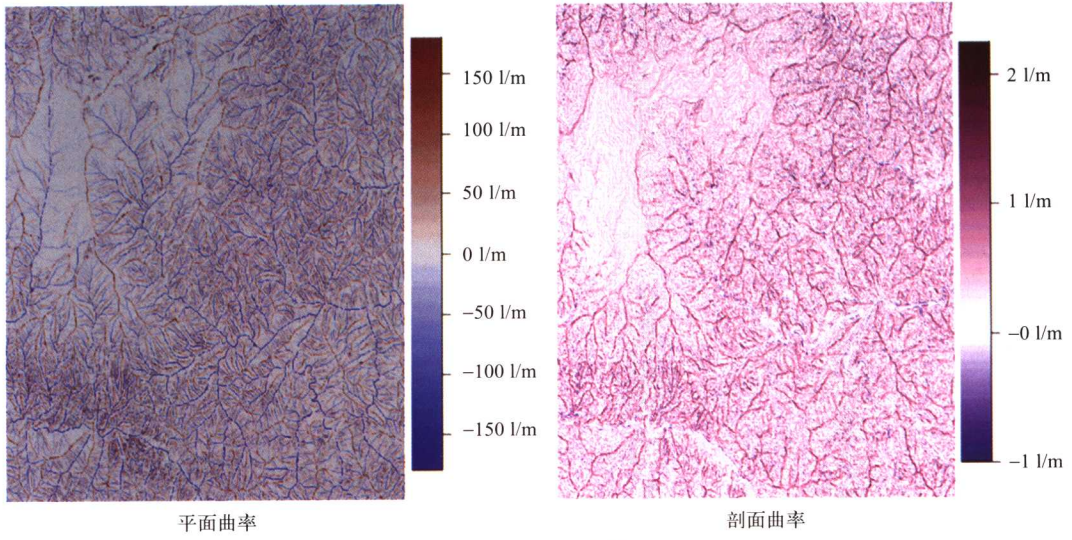
印数:1—3 000 字数:485 000

定价:55.00 元

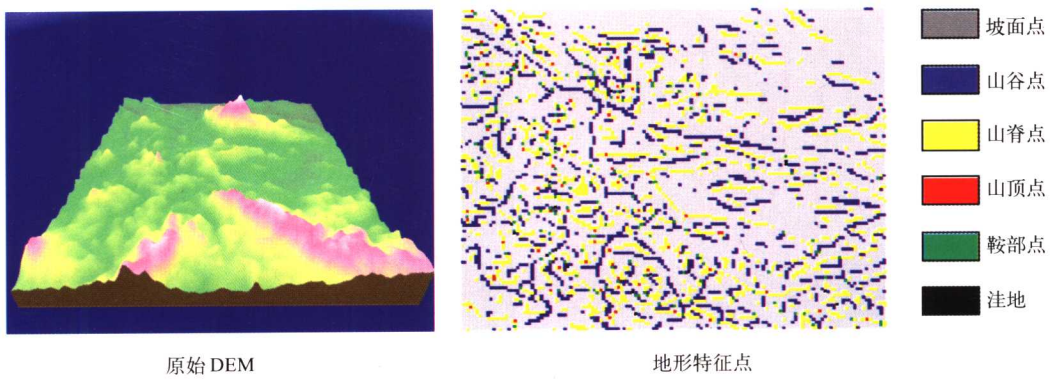
(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)



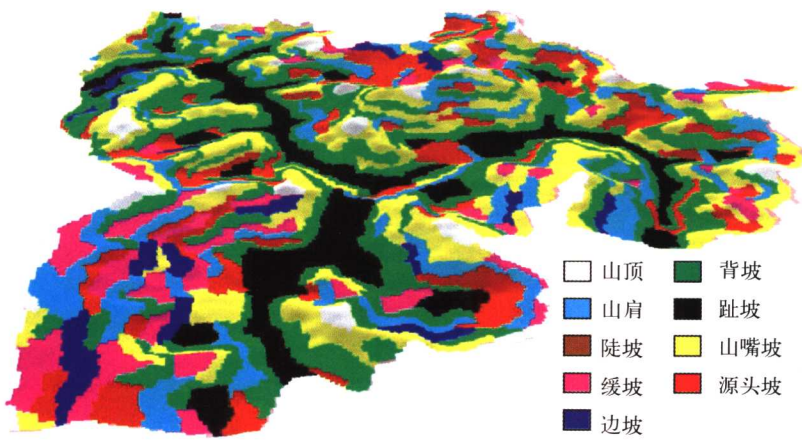
彩图 1 基于 DEM 的坡度坡向计算示例



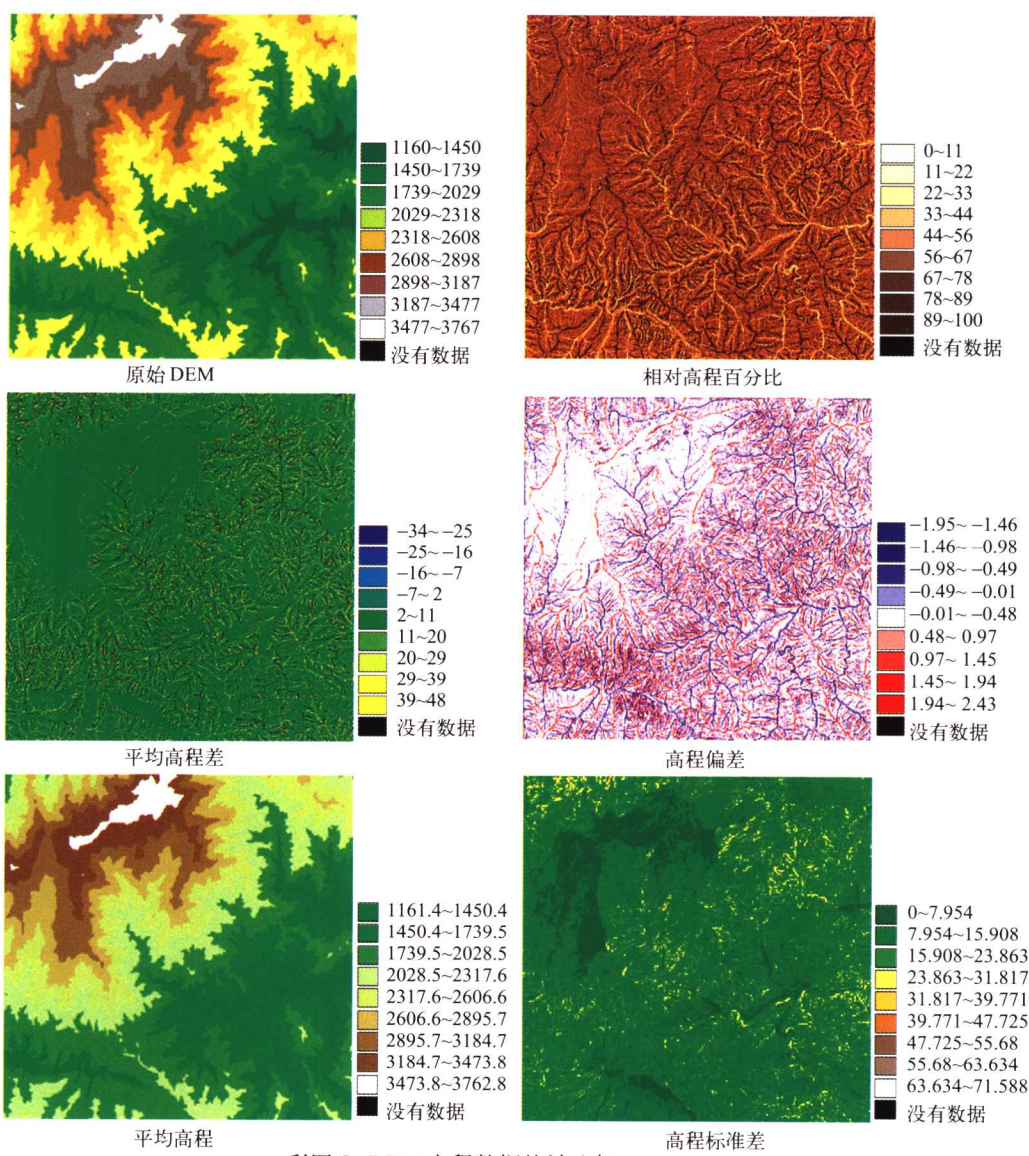
彩图 2 曲率计算



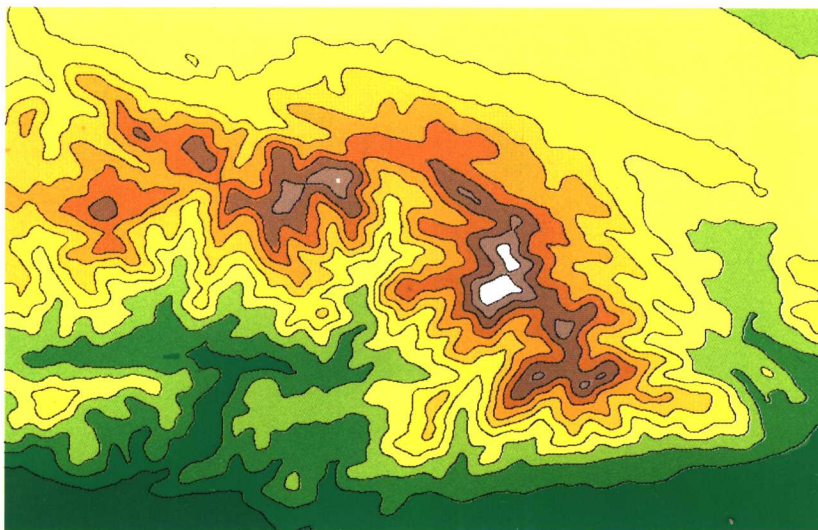
彩图 3 格网 DEM 地形特征分类



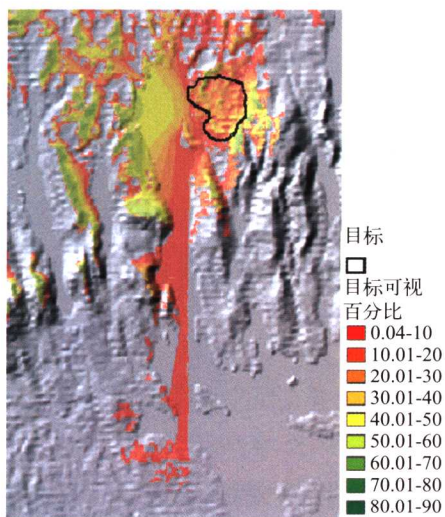
彩图4 地形部位分类结果示意图



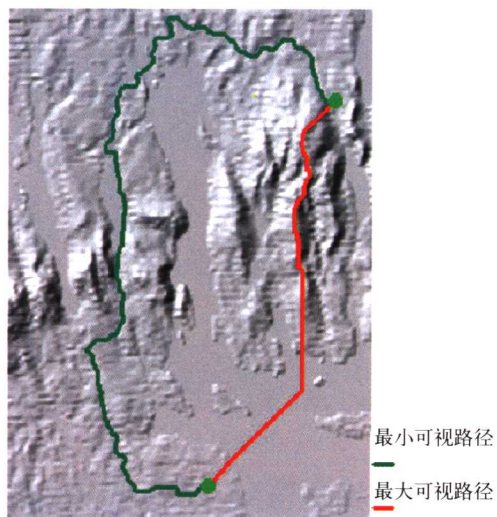
彩图5 DEM 高程数据统计分析



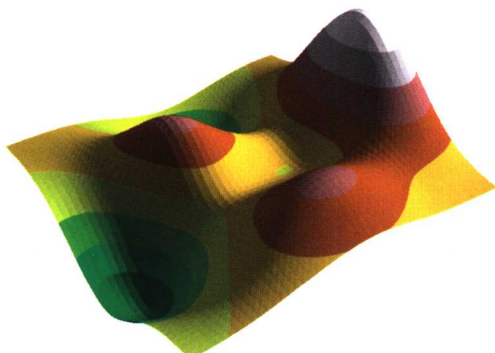
彩图6 高程分层设色



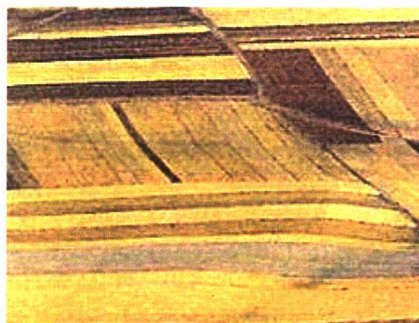
彩图7 目标可见百分比(Caldwell et al., 2003)



彩图8 最小—最大可视路径(Caldwell et al., 2003)



彩图9 颜色纹理



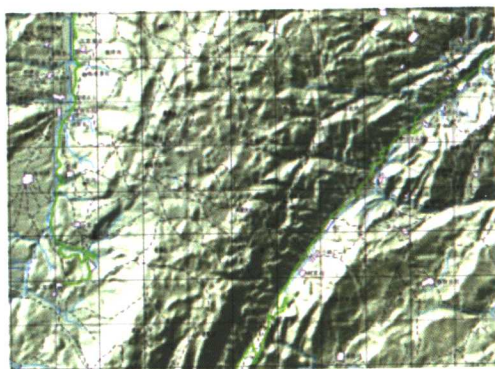
彩图10 (农田) 照片纹理



彩图 11 影像纹理



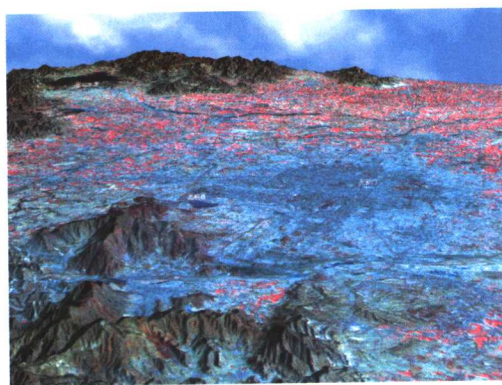
彩图 12 象征纹理



DEM+ 扫描地形图



航空正射影像+DEM+ 等高线



遥感正射影像+DEM



地物+DEM

彩图 13 地形景观模型

《地理信息系统理论与应用丛书》编委会

学术顾问	陈述彭	徐冠华	李德仁	高俊
	杨凯			
编委会主任	陈军			
副主任	李根洪	何建邦	边馥苓	李志林
编委	(按姓氏笔画为序)			
	王丹	王桥	王家耀	毛其智
	方裕	毋河海	刘闯	池天河
	汤国安	杜清运	李京	杨崇俊
	吴登洲	闵宜仁	张清浦	林琿
	林鹏	周成虎	周启鸣	闫国年
	姜作勤	郭仁忠	黄杏元	龚健雅
	崔伟宏	蒋景瞳	程承旗	

《地理信息系统理论与应用丛书》出版说明

若从 1980 年陈述彭院士建立第一个 GIS 研究室算起,中国 GIS 已经走过了 23 年的发展历程,开始进入了青壮年发展时期。这主要表现为国家和省、市基础地理信息系统提供着权威的基础地理数据,一些应用系统已从早期的“实验型”或“科研成果型”提升为业务化运作型,具有自主知识产权的 GIS 软件初步地具备了与国外同类软件竞争的能力,多层次的 GIS 研究、开发队伍不断扩大,GIS 高科技公司不断涌现,约 100 所大专院校开设了 GIS 本科专业,GIS 硕士、博士培养点逐渐增加。今后我国的 GIS 业务化应用将蔚然成风,地理空间数据库将动态更新和不断丰富,具有自主产权的 GIS 系统将成为主流技术平台,GIS 基础和应用基础研究将在国际上占有一席之地,GIS 产业将会成为一些地区新的经济增长点。

应该指出的是,过去国内外 GIS 的发展都主要是靠“应用驱动”和“技术导引”的。随着 GIS 在国家信息化、国家安全、经济建设、科学研究、产业推进等方面应用的不断扩展与深化,原有的 GIS 方法与技术已难以解决应用实践中提出的许多问题,GIS 理论研究滞后于应用、教学、软件开发及科普的情况日益明显,系统的科学理论指导对 GIS 持续发展的重要性及必要性已为越来越多的 GIS 工作者所认识。自 20 世纪 90 年代初以来,国内外学术界都加强了对 GIS 的理论研究,经常组织高水平的 GIS 学术会议,多个国际和国内学术性组织设立了 GIS 专题委员会或工作组,一些国家和地区的政府设立了专门的 GIS 理论研究机构,以期推动 GIS 科学理论体系的形成与发展。

针对当前全国各地对 GIS 理论方法的迫切需要,中国地理信息系统协会(CAGIS)会同科学出版社启动了《地理信息系统理论与应用丛书》的出版计划。其目的旨在组织出版一套能系统、深入地反映 GIS 理论方法、关键技术、应用系统、政策管理等学术专著,在为广大 GIS 工作者提供知识读本、工具书、教学参考书的同时,逐步地构建我国 GIS 的科学体系,提升我国 GIS 的发展和应用水平。就总体而言,本丛书力求反映 GIS 科学的知识体系,将包括理论与概念、方法与关键技术、工程与集成应用以及政策、法规、教育四大部分的著作。就每一单本书来说,要求作者应有深厚的科学研究功底和工程实践经验,所编著作有独到的体系和见解,能反映国内外本领域发展历程、主要流派、最新成果和发展趋势,争取出精品、创品牌。

为了切实地推动这项事业,中国地理信息系统协会邀请了一批具有不同专业背景,活跃在 GIS 科研、工程、教学、产业、管理和出版前沿的专家、学者担任丛书编委,具体地组织本丛书的选题、审稿等工作,面向全国发布指南和征集著作。这项出版工作从一开始就得到了徐冠华院士、陈述彭院士、李德仁院士等的热心指导,并得到了科技部高新技术司等政府部门的鼎力支持。我们相信,经过本丛书编委会和全国 GIS 专家、科学出版社的

通力合作,将会有一大批反映我国 GIS 研究和实践水平、在内容和形式上与国际同类著作接轨的 GIS 优秀专著面世,这将会有力地推动我国 GIS 科学理论体系的形成和发展,成为我国 GIS 科技创新的一个新亮点。

中国地理信息系统协会
《地理信息系统理论与应用丛书》编委会
2003 年 9 月 25 日

序

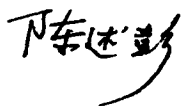
周启鸣、刘学军教授通力合作,历时三载,精心推出《数字地形分析》著作,完成了《地理信息系统理论与应用丛书》的约稿计划。首先,我表示衷心的感谢和祝贺。

他们在编纂过程中,努力争取国家自然科学基金和大学的资助,进行了大量的组织协调工作,听取了许多同行专家的意见,凝聚了许多知名专家和青年学子的智慧和力量,仍然坦诚指出“该领域中尚存在诸多理论问题值得进一步的深入探讨和研究。”他们这种认真负责、精益求精的科学态度,虚怀若谷的严谨学风,更是令人钦佩!

地形分析是地球科学中的一个经典课题,也是研究自然环境与资源、人口分布的一项基础性工作。因为诸多自然和人文要素的区域分异,无不深受地形下垫面的制约和影响。地形曲面的数字模型和形态表达,长期以来,深受地球科学家和地学工程师们的关注。大地测量、地形测绘、地貌学、地图学家们都进行过大量地观测、分析与研究工作,从而在社会上形成巨大的生产企业,服务于众多工程建设与管理、规划部门,使地形分析的理论和方法获得了长足的进步和丰富的科学积累。

早在 20 世纪 30 年代,我刚上大学,就曾饶有兴趣地学习采用格网进行相对地势的分析,练习在二维平面上的各种地形表示方法,那是在量尺和珠算作为工具的条件下进行的。而今进入了 21 世纪航天时代与信息社会,全数字化成为地形分析的主流。卫星遥感图像数据分辨率已达到厘米级,全球的大部分地区已建成了 DEM 数据库,三维仿真虚拟与漫游技术已广泛应用于动画和游戏机之中。基于地形数字模型的各种趋势分析预测、预警、应急反应信息系统乃至工程解决方案,在互联网上已随处可见。正当遥感、全球定位系统融入地理信息系统,而又广泛成为网络信息资源的今天,这部专著对数字地形模型及其分析应用,进行系统、全面的理论和方法的总结,是及时的。它承前启后,推陈出新,不仅提供了纲举目张的教材,使初学者受益,而且对于专业同仁也是难能可贵的思路梳理与启示。例如,本书以适度的篇幅,阐述地形曲面模型参数、误差及其分析、应用,介绍基于格网和 TIN 的地形分析,讨论地形三维可视化,湿地的评估,都是大有可为的创新亮点,读后深受启迪,它可能为我们开拓创新指引方向。

中国地理信息系统协会之所以吁请同仁在百忙中挤出时间,编纂这套丛书,总结学科发展的历史,梳理科学思想的轨迹,其目的就是为创新开拓,寻找突破口。这部专著正是一个良好的开端。



2005 年 10 月 20 日

前 言

数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)自 20 世纪 50 年代后期首次提出以来,就受到了科学界和工程界极为广泛地关注。特别是近几年来,随着空间信息基础设施、“数字地球”、“数字区域”、“数字城市”等概念和技术应用领域的兴起,DEM 作为国家空间数据基础设施的基本产品之一和赖以进行地形分析的基础数据,已经规模化生产,并在不同领域逐步取代传统地形图对地形的描述。目前我国已经建成了全国 1:100 万、1:25 万、1:5 万等不同比例尺的 DEM 数据库,1:1 万 DEM 数据库也正在积极的建设中。可以肯定,在我国国民经济各个领域,高质量、高精度、多种类的 DEM 产品必将发挥出越来越大的作用。

DEM 作为数字化的地形图,蕴含着大量的、各种各样的地形结构和特征信息,是定量描述地貌结构、水文过程、生物分布等空间变化的基础数据。然而,DEM 数据的本质是离散的高程数据,每个数据本身并不能反映实际地表的几何特征,如同传统的基于纸质地图的地形分析,在 DEM 上进行地形分析时,也需要一种基于数字高程的信息分析方法——数字地形分析(Digital Terrain Analysis, DTA),其定义为在数字高程模型上进行地形属性计算和特征提取的数字地形信息处理的理论和方法。

从 DEM 提出到现在的 40 余年间,DEM 在数据获取、建模方法、质量控制等方面都取得了长足的进步。而过去由于地图的直观性、一览性,人们忽视了地图信息的解析性和复杂性,忽视了地图信息分析和应用的研究,从而导致数字地形分析理论与技术的发展落后于应用的要求。迄今为止,关于 DEM 应用和 DTA 方面的科学技术文献仅限于在国内外一些学术期刊上发表的论文和有关地理信息系统(GIS)和数字地形模型著作中的个别章节,GIS 软件商提供的也大多数是介绍性的宣传资料或简单的用户手册。国内外专门论述数字地形分析原理与方法的论著可谓凤毛麟角,在过去 20 余年中也仅出现少数几部集个别研究成果而成的编著,因而缺乏对数字地形分析理论和技术全面和系统的介绍,更谈不上对各种地形分析方法的比较、分析和研究。因此,人们很难全面了解和把握有关数字地形分析的概念、与 DEM 的关系、算法设计与评价等关键问题,在很大程度上限制了数字地形分析理论和技术的应用和普及。

自 1995 年以来,笔者先后主持或参与了国内外多项 DEM 建立和应用方面的课题研究,笔者之一以数字地形分析为研究方向完成了博士学位论文。

在长期的科研、学术交流、工程实践与教学中,笔者查阅了大量的国内外相关文献资料,积累了一些经验,深感数字地形分析理论和技术对科研和工程实践的重要性。鉴于目前资料的匮乏,在国家地理信息系统协会的建议,以及众多学术界的前辈、同行和朋友的鼓励下,终于完成这本关于数字地形分析方面的专著,希望藉此推动我国数字地形分析理论研究和应用的进展。

本书在笔者近十年来从事 DEM 和 DTA 研究的基础上,综合相关领域专家学者在该领域的研究成果,汇集国内外最新的理论与技术成就,系统全面地介绍了数字地形分析的框架体系、理论基础、算法原理和算法分析评价方法。全书可分为三个部分。第一部分包括 1~3 章,主要介绍数字地形分析的背景、基本概念、研究内容及其应用领域,并着重讨论数字地形分析方法的数学基础和地形数据建模。第二部分由第 4~8 章组成,介绍数字地形模型的分析方法和计算算法,包括基本地形曲面参数的计算方法,地形特征提取算法,地形曲面参数的统计特征,复合地形属性的概念、应用意义和计算方法,以及地形曲面可视化分析方法与原理。第三部分包括第 9 章和第 10 章,重点讨论数字地形分析的误差分析,阐述了数字地形分析面临的挑战及其发展前景,并对本书进行了总结。笔者对书中所介绍的主要内容都进行了对比分析和比较,力求具有较强的针对性和实用价值。所介绍的算法在效率上虽不一定是最优的,但大部分都通过了实例验证,对读者有一定的启发作用。本书在写作过程中,力求内容简练,全面系统,方法实用,同时反映 DEM 和 DTA 方面研究的最新成就,希望为地学和工程学相关领域的各类专业技术、研究和管理人员进行科学研究、教学、软件开发和生产等提供较为完整的理论依据和技术参考。

本书构想于 2002 年春,成稿于 2005 年秋,历时三年多。直至完稿之际,虽顿觉轻松,完成多年的夙愿,但也感触颇深:地形表面是人类活动和能量物质交换的场所,对地形表达目前研究较多,而地形分析特别是数字地形分析的研究相对滞后。本书的研究虽然只是一个开始,但笔者相信可以为今后的研究奠定一个较好的基础。同时作者也希望通过本书的出版,能抛砖引玉,使更多的专家、同行和学者关注该领域的研究,进一步推动中国基础地理信息的开发和应用,此其一也。其二,在撰写过程中,笔者发现该领域中尚存在诸多理论问题值得进一步深入地探讨和研究。例如,DEM 地形分析尺度问题、误差分布与传播、地形参数与地学分析模型的耦合、DEM 地形单元异质性及其影响等,这些问题的解决不但能够进一步拓展 DEM 的应用领域,而且也能对相关学科的研究提供可借鉴的理论和方法。其三,当今科学技术发展极其迅速,日新月异,本书虽尽可能力求全面,紧跟学科发展,但深感该领域理论之深奥,应用之广泛,然笔者才疏学浅,书中难免挂一漏万,恳请读者见谅并不吝赐教。

作者

2005 年 9 月 29 日完稿于南京随园

致 谢

本书的研究工作和出版得到以下基金的资助。

① 中国科学院出版基金。

② 国家自然科学基金(40571120):“DEM地形分析的尺度效应与机理”。

③ 南京师范大学科学研究启动基金(2004105XGQ2B53):“数字高程模型尺度特征及对应用影响的研究”。

④ 香港浸会大学研究基金(FRG/98-99/II-35):“3-Dimensional Hydrological Modelling”。

⑤ 国家自然科学基金“两个基地研究”项目(49810361644):“三维数字景观的理论、方法研究”。

⑥ 国家自然科学基金(40271089):“不同空间尺度数字高程模型地形信息容量与转换图谱研究”。

中国科学院资深院士陈述彭先生在百忙之中审阅了全书的初稿并亲自作序。

中国地理信息系统协会会长、国家基础地理信息中心主任陈军教授始终关注着本书的写作进展,从选题立项、结构确定到书稿内容的各个方面,对作者提供了毫无保留的支持。

南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室主任闫国年教授、南京师范大学地理科学学院地理信息系统系主任汤国安教授多次与作者讨论书稿构架,并提出不少建设性意见,也为作者完成书稿提供了数据、软件、设备和时间,可以说没有他们的帮助,本书难以如期与读者见面。

武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室龚健雅教授、朱庆教授、香港理工大学李志林教授审阅了本书的全部或部分书稿,并提出许多建设性意见,使得本书的结构更加合理,内容更加完善。

长沙理工大学公路工程学院赵建三教授、郭云开教授、宋谦工程师为本书的完成提供了帮助和方便。

中国科学院计算技术研究所方金云研究员利用自主研发的“织女星”GIS软件系统,专门为本书制作了地形飞行模拟动画系列。

武汉大学博士研究生吴波,南京师范大学博士研究生卢华兴、李发源,长沙理工大学硕士研究生周访滨、黄雄、王叶飞、曹志东,南京师范大学硕士研究生韩富江、潘胜玲、任政、任志峰、卞璐、房亮、陈盼盼、叶蔚,香港浸会大学硕士

研究生侯全等同学,分别参与了本书的资料收集、文献整理、数据处理、文字编辑、插图绘制等工作,为本书的完成付出了辛勤的劳动。

笔者对所有为本书的完成提供帮助的学者、专家、同学和朋友们表示衷心地感谢!

书中引用和参考了大量的国内外文献,笔者对各位作者表示诚挚的谢意,如有引用不当或曲解原意之处,敬请谅解并祈指教。

最后笔者衷心感谢我们的家人,没有他们的支持与理解,本书不可能顺利完成。

作者

2005年于南京随园

目 录

《地理信息系统理论与应用丛书》出版说明

序

前言

致谢

第 1 章 绪论	1
1.1 地形图与地形分析	1
1.2 数字高程模型与数字地形分析	2
1.3 数字地形分析的技术内涵	4
1.3.1 地形数据与数据结构	4
1.3.2 误差分析与不确定性	5
1.3.3 算法设计与实现	6
1.4 数字地形分析的主要内容	6
1.5 数字地形分析的主要应用范畴.....	13
1.5.1 水文学应用	14
1.5.2 地貌、土壤学应用.....	19
1.5.3 生态学应用	22
1.5.4 工程和其他应用	24
1.6 关于本书内容.....	25
第 2 章 地形曲面的基本数字特征	26
2.1 地形的数学描述.....	26
2.1.1 地形的抽象表达	26
2.1.2 地形的数学模型	27
2.1.3 地形曲面的二维平面模型——等高线模型.....	28
2.2 地形曲面的基本参数.....	28
2.2.1 高程	29
2.2.2 高差	29
2.2.3 高程分布曲线	30
2.2.4 距离	32
2.2.5 面积与表面积	33
2.2.6 体积	33
2.2.7 地形粗糙度	34
2.2.8 坡度与坡向	34
2.2.9 地形曲率.....	35

2.2.10	汇水面积与单位汇水面积	42
2.2.11	区域地形参数	44
2.3	基本地貌形态特征的数学定义	44
2.3.1	斜坡	45
2.3.2	山顶	47
2.3.3	山脊	48
2.3.4	山谷	49
2.3.5	洼地	49
2.3.6	鞍部	50
2.4	本章小结	51
第3章	数字高程模型与地面形态表达	52
3.1	数字高程模型	52
3.2	DEM数据源特征与获取方法	53
3.2.1	地形图	53
3.2.2	摄影测量与遥感影像数据	55
3.2.3	地面测量数据	56
3.2.4	现有DEM数据	56
3.2.5	DEM数据源与采集方法对比	57
3.3	DEM的表示方法和结构模型	57
3.3.1	DEM表达	58
3.3.2	DEM结构模型	59
3.3.3	不同DEM之间的相互转换	62
3.4	DEM数据粗差检查与滤波处理	63
3.4.1	原始数据粗差检测与剔除	63
3.4.2	原始数据的滤波处理	65
3.5	DEM模型优化	66
3.5.1	洼地填平处理	66
3.5.2	由等高线数据生成的TIN上的平坦三角形处理	69
3.5.3	数据点疏化处理	70
3.6	DEM分辨率和原始数据尺度的匹配	71
3.7	最佳DEM分辨率的确定	72
3.8	DEM质量评价	72
3.8.1	数值精度指标——DEM中误差	73
3.8.2	流域结构分析	74
3.8.3	等高线分析	74
3.8.4	地形属性可视化分析	74
3.8.5	地形属性频率直方图分析	74
3.9	本章小结	75