

国家自然科学基金项目 (40471107 40424006 40571024) 资助

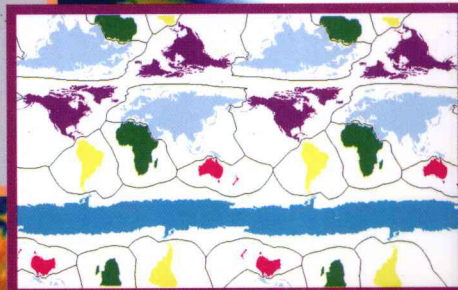
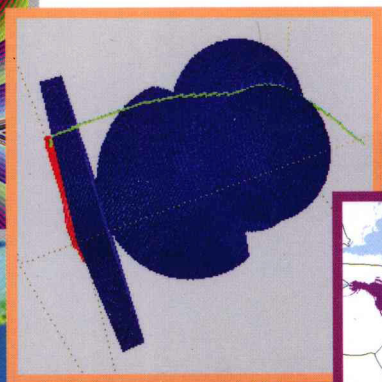
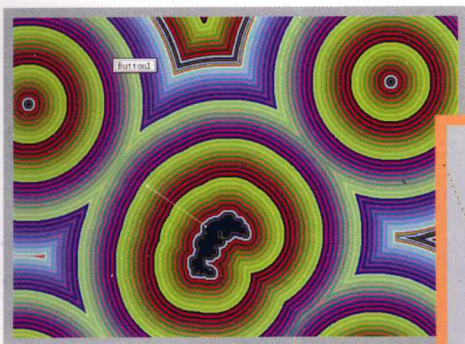
Introduction to Map Algebra



工作室 · 策划

地图代数概论

胡鹏 游涟 胡海 著



测绘出版社

责任编辑：黄忠民

封面设计：  工作室
一克通

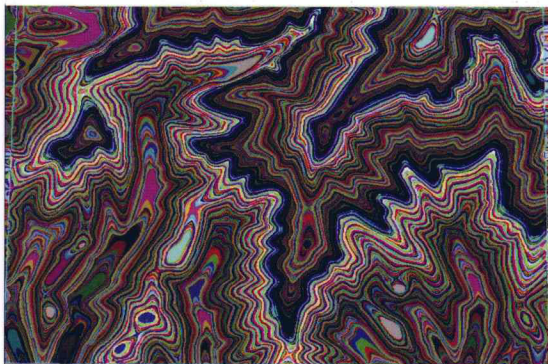


图9-5(a)

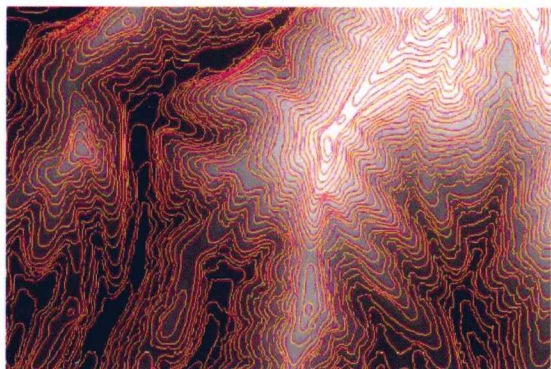


图9-5(b)

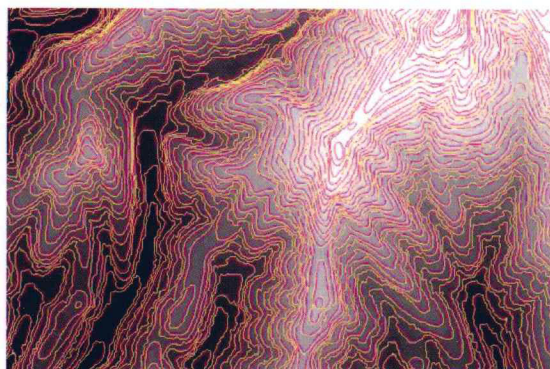


图9-5(c)

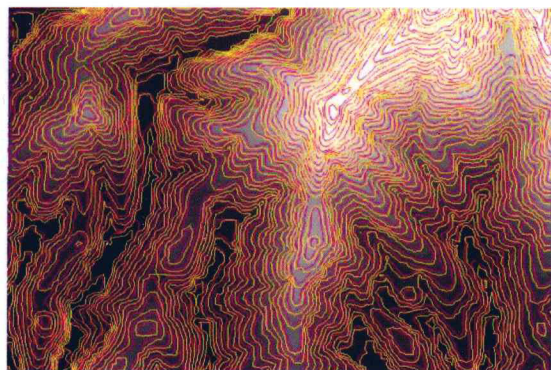


图9-5(d)

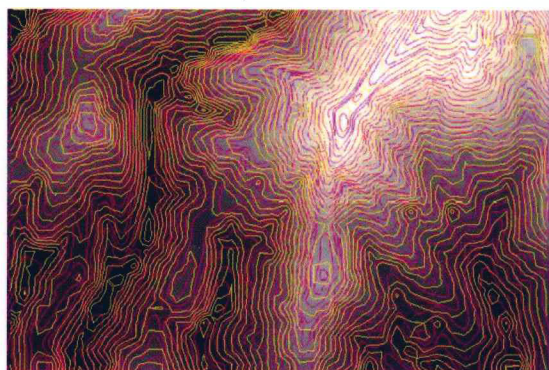


图9-5(e)

图9-5(a) 1:5万地形图生成的精密、高保真、“致密”DEM: 695*559, 平面间距为5米。其中条纹均为网格点高程经分层设色后的原等高线及与等高线相“平行”的各等高条纹。原等高距均为10米。图(b)、(c)、(d)、(e)为对比进行了对应放大, 证实通过数字综合仍可优秀表达地形特征。

图9-5(b) 间距由5米变到10米, 综合后DEM: 346*278, 回放等高线与原等高线叠加对比, 红色为原等高线, 黄色为DEM综合后等高线, 等高距均为10米。

图9-5(c) 间距由5米变到20米, 综合后DEM: 173*139, 回放等高线与原等高线叠加对比, 红色为原等高线, 黄色为DEM综合后等高线, 等高距均为10米。

图9-5(d) 间距由5米变到40米, 综合后DEM: 85*68, 回放等高线与原等高线叠加对比, 红色为原等高线, 黄色为DEM综合后等高线, 等高距均为10米。

图9-5(e) 间距由5米变到80米, 综合后DEM: 43*34, 回放等高线与原等高线叠加对比, 红色为原等高线, 黄色为DEM综合后等高线, 等高距均为10米。

ISBN 978-7-5030-1786-5



9 787503 017865 >

定价：40.00元

国家自然科学基金项目(40471107号、40424006号、40571024号)资助

地图代数概论

胡 鹏 游 涟 胡 海 著

测绘出版社

内 容 提 要

本书是一本地图代数的基础理论著作,扼要且系统地阐述地图代数空间分析理论和方法,重点在于它的度量基点和“0”初始化原理。

全书分十章:第一章论述地图的代数概念,重点介绍地图、代数、地图代数及相关的基本概念,地图代数的由来与发展;第二章论述地球信息的度量空间,重点介绍地球信息本身的度量空间、“数字地球”与大型GIS的空间数学基础、地球空间数据框架基础内容(4D)的空间数学基础和相应地球空间数据框架内容的集成;第三章论述空间数据的表达与组织,主要分析了空间数据的内容、空间数据表达与组织的困惑,提出和论述了GIS空间数据“0”初始化和动态空间数据模型问题;第四章阐述距离变换,重点介绍了地图代数中的距离变换和形态变换方法;第五章阐述Voronoi图,重点论述V图概念和生成技术;第六章阐述DEM生成及三维分析,介绍DEM的若干生成方法和误差分析问题,并论述地图代数中的最优DEM线性生成法——MADEM的原理、步骤及其相关问题;第七章阐述网络图分析,着重讨论网络分析的地图代数方法,如:最短路径分析、最小生成树分析、设置问题和网络流问题等;第八章阐述叠置分析,重点介绍了栅格多边形的叠置与分析问题;第九章阐述DEM的几个重要理论问题和解决途径,主要论述DEM的误差理论和DEM精度标准、DEM必须综合和DEM定义以及DEM生成中的高程序同构问题;第十章着重介绍地图代数若干进展,它们是栅格颗粒度研究、障碍空间最短路径(ESPO)问题解法研究、障碍空间Voronoi和最小树生成研究、障碍空间分析技术的应用研究和椭球面上度量分析方法和技术研究;结语展望了地图代数对空间分析理论和技术意义。为便于学习、复习和掌握,各章后都配备一些复习思考习题,供学习选用。

本书可作为地理信息及相关专业的大学生本科教材,其中打*号章节可供参考或选用,也可供研究生和相关科技人员参考。

© 2008

图书在版编目(CIP)数据

地图代数概论/胡鹏,游涟,胡海著.-北京:测绘出版社,2008.4
ISBN 978-7-5030-1786-5

I.地… II.①胡… ②游… III.代数-应用-地图制图学 IV.P282

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第031614号

责任编辑 黄忠民

出版发行 测绘出版社
社 址 北京市宣武区白纸坊西街3号
印 刷 河南新丰印刷有限公司

邮政编码 100054
网 址 www.sinomaps.com
经 销 新华书店

成品规格 787mm×1092mm
字 数 400千字

印 张 16.5

版 次 2008年2月第1版
印 数 0001~3000册

印 次 2008年2月第1次印刷
定 价 40.00元

书 号 ISBN 978-7-5030-1786-5/P·474

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

序

信息技术的大潮有力地推动了科技本身和社会的进步。在信息收集、传输和显示硬软件上,数字信息发展迅速并很快占据了主流地位,因此在数字处理的广阔领域,呈现出了分蘖旺盛、枝叶繁茂的景象:1976年,Rosenfeld 第一本数字图像处理专著出版标志的数字图像处理蓬勃发展,1982年诞生了数学形态学,上世纪80年代后期,地图代数(Tomlin,1989),地图代数(胡,1989)也相映问世。地图代数(Tomlin)主要是制图模型,带有明显的数字图像处理的烙印,已融合在著名地理信息系统 ArcGIS 之中。

胡鹏教授的地图代数是在原武汉测绘科技大学的环境中孕育和发展的,它体现了老一辈的一流大师夏坚白、王之卓、陈永龄和叶雪安等集体营造的“独立之精神,自由之思想”浓厚学术氛围:是在著名专家胡毓矩、高俊、金祥文等诸多先生的辛勤培养下成长的。

地图代数存在着广厚的数学基础:实数空间在一定精度下,完全可由它的全体代表团——整数空间所取代。这时,不可数和难以构造的集合将变成可数的可构造的集合,这一定精度就成了一个关键,也正是现今的数字计算机所长……

我们已看到,地图代数是一个可视化的工具,它可以完善地制作符号库,利用统一规范的位移、伦移和填充变换实现符号化。通过这本书不难发现地图代数可用于地图的图形符号综合,实现图形符号的位移和图形符号的协调运算,数字高程模型的数字综合及相应等高线的综合,而且也可以有效地用于广泛的空间分析。

空间分析进一步发展是困难的,困难在于它的准确性、普适的可算性及规范性。地图代数以“尺度”(Metric)作为度量的基准,以可数的栅格整数空间作为度量的对象,以可数空间的计量实现对空间分析,至今似乎是没有阻碍的,其所有 metric 都是可由函数公式自定义,因此方法平直,道理也简单和谐。

地图代数的准确性是由适当的栅格颗粒度来确保的,似乎并无异议,用度量来解决可数空间的空间问题的创意也无可击。当然,无穷空间问题的解决,还要有无穷的实践才能解决。而规范性,我们看到地图代数使用了标准化的数据结构——栅格矩阵,进出的都一样,十分规范、一致、简捷。

我们欣喜地看到,地图代数以一些先进的栅格计算几何计算实现了自然图形的 Voronoi、加权 Voronoi、最小生成树的生成,看到欧氏空间、困难的障碍空间下以及椭球空间下的生成,并且不再是自说自话的空间,而是在严格定义的空间。在此方法下,在高程点、等高线上递归生成内插等高线,直至致密的 DEM 生成新算法 MADEM,仅是其中一个特定的算例。

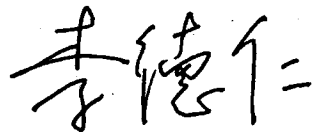
我们十分欣喜地看到欧氏三维障碍空间下的最短路径算法,这是著名的 NP-难问题的解

算,它有效地数值模拟了三维迷宫中声波传播。在此最难计算问题上的卓越表现,地图代数计算有效性、适应性得到了有力的证实:可数空间是可以有效进行实际计算的。

我们也欣喜地看到,在地图代数原理下,数字高程模型研究也取得了令人瞩目的成果:可以毫不犹豫地判定 DEM 的高程序同构特性,高程特征建模的理论具有重要的开拓性。

在多尺度多视点的不同条件下研究空间信息是一个十分复杂的问题。我完全赞同王家耀院士“地图代数是一种新的理论和技术基础”的评语,《地图代数概论》这本书的出版必将推动栅格方法的广泛应用,促进矢栅方法紧密结合和 GIS 的发展。我热忱地推荐胡鹏教授和他合作者多年心血凝成的这本著作,并希望年轻学者能学习作者对学问的钻研精神。

愿地图代数根深叶茂,在地理信息理论研究的园地里绽放更加艳丽的花朵!



2008.2.20.

前言

“地图代数”出版以来,作为栅格技术参考书和教材已经6年多。在此期间,地图代数本身发展很快,取得了一些有基础意义的进展,同时,也受到学术界师长和各方同事的鼓励和鞭策。其中,最重要的是:作为一种新的理论和技术的基础,要夯实基础,拓宽应用,加强推广。为此,我们对原“地图代数”,节删了其中符号绘制和自动编绘两个相对专门化的内容;保留和丰富了空间分析中的主干基础部分内容;增强了地图的代数观点的论述;增强了GIS、地球信息数字产品等度量空间论述;增强了空间数据理论中空间数据模型、建设路线、空间问题和地理过程可计算性及“0”初始化等理论问题的分析和论述;增加了数字高程模型技术体系4个重要理论基础的论述(这些基础问题若被忽视,新兴的地球信息科学中研究最多的数字产品——数字高程模型将是不科学的);增加了栅格颗粒度问题、著名的障碍空间最短路径问题(ESPO)、障碍空间其他问题、紧急救援下的GIS应用技术、椭球面上的度量分析等问题的分析和论述,力图使地图代数的论述更为系统化和通俗化。

在GIS半个世纪来的发展历程中,矢、栅方法并行不悖,各有长短。然而矢量有传统的优势,且在传统欧氏空间内,矢量计算的结果确实是正确的代表。地图代数等栅格方法,如果作为一种能实用的栅格方法,一是效率要高,能与矢量相当;二是在传统欧氏空间内,它的度量分析结果实际与矢量并无二致,它的空间分析使用能够覆盖矢量分析;三是在广阔的度量空间内(包括非传统),在空间分析的范畴内,栅格方法能完成矢量方法目前不能完成或感到十分困难的工作。地图代数正是朝这一方向去的,在上述三点基础上,它充分发挥了粒子组成的空间通用、规范、灵活的长处,已初步展示了“0”初始化战略性质的优势。

地图代数自觉地实施了从实数空间到整数空间变换的策略途径。对于这种变换,除全等的运算操作以外,不进行运算的误差分析就如同“障眼法”,其运算结果的有效性就没有保证。为此,本书十分缜密地进行了取代的误差分析,以实现充分计算下的准确性、计算结果的可靠性;另一个十分努力从事的是,全面摒弃不必要的空间关系数据作为计算必须条件的习惯性做法,这对于矢量计算而言是离经叛道,然而领域极其广泛,数据量无比浩大,与空间问题,本身一样具有无穷奥秘的空间关系数据作为必须条件的地理计算,长期来看是没有生命力的,短期来看也令人十分吃力;另一方面,常识表明:对于未知的空间问题,人们怎么可能总是确切知道必须配备哪些空间关系呢?同样,事物在空间不放定,谁也无法计算;而一旦在空间放定,一切相应空间关系就全部确定,这些事物的计算即可进行。至于它们到底有多少空间问题,有多少空间关系,哪些为某个空间问题必须或有关,事先只有天知道,它的复杂性、无穷性和待知性就是空间问题本身,人是没法安排的。空间关系是一种从属性数据(特定的、人为的除外),把它抬得很高,以它作为计算的必须条件是一种陋习,是过高的条件,是地理信息系统发展的拦路虎,这个问题不解决,GIS的进一步发展就会寸步难行,地理分析和地理建模就会远离GIS。

地图代数长期的研究和实验表明:这种显式空间关系数据必备性的摒弃完全可行,且是一种革命性的解放。只有这样,空间问题的可计算性和地理过程的可计算性才有保证,GIS将可全面保证地理分析和地理建模。可以看到,该书全部空间问题解算实验已全面覆盖了当前

GIS 的缓冲区、DEM、叠置、网络等 4 大传统基础空间分析,均无需在空间“位”数据之外增添任何不必要的空间关系数据,从而也为简便通用的数据组织和程序组织提供了全新思考。也可认为,这两点和地图代数中自然图形的各种 Voronoi 生成、DEM 精密、高程序同构生成和分析、ESPO 问题、障碍空间若干问题等解算实践,为诸如空间运筹等实空间困难问题的解算提供了崭新的途径。

为全面反映地图代数内容并加深理解,方便实验,本书在附录中收录了 BMP 位图文件格式介绍,收录了 Bill Lyons 撰写的介绍 Tomlin 的地图代数的论文,我们始终认为,与数字图像处理紧密结合的代数处理也是地图代数内容不可或缺的部分,而这正是地图代数(T)的主要内容。同时,我们给出了一些思考题以加深对重点内容的理解。地图代数的网上实验课程(网址《“www.sres.whu.edu.cn”学习园地中地图代数部分》)也服务于同样的目的,中文网站已开通多年,英文网站在 2007 年下半年也已开通。

本书第四 - 八章由游涟执笔,第九、十章由胡海执笔,夏兰芳编纂附录一,沈晶编纂附录二,其余由胡鹏执笔和统稿。

如果说《地图代数概论》还有所特色的话,它是地图代数研究组成员长时间共同劳动的结果。研究组成员包括杨传勇、吴艳兰、李圣权、李国建、艾自兴、刘沛兰、何宗宜、王海军、朱秀丽、徐敬仙、白轶多、范青松、杨丽、王铮、韩元利、陈飞、黄雪莲、何菊、杜爽、黄梦龙、张烽、刘建华、陈成勇、潘媛芳等。尽管未参加本书执笔,但他们的杰出才干和闪光思维,丰富和增色了地图代数禾苗。

本书承蒙国家自然科学基金项目(40471107)、(40424006)、(40571024)的大力资助。感谢测绘出版社黄忠民责任编辑,他们的辛勤劳动是本书工作的重要部分。

我们衷心感谢李德仁院士多年来对地图代数的关心和支持,并欣然为之作序。

本书献给敬爱的胡毓钜、高俊、金祥文老师,深深地感谢他们!

辩证发展是科学发展的规律和客观形式。作为一个教师,承诺本书的所有重要论述都是在实验的基础上得出的,而实验都是可重复的,做到了起码的言之有据。对于与习惯性不同的特定观点均不敢懈怠,认真思索,力求做到反复证实并得到寻根溯源的结果。

科学的真理是民族的利益、人类的利益。文中错漏浅薄之处敬请批评指正,这将是对我们最大的帮助和支持!

作者:胡鹏、游涟、胡海

2007 年 11 月 18 日

Email: yyyoul@126.com; penghu@whu.edu.cn

符号表

本表包括全书常用符号

符 号	例	定义
I. 逻辑		
$\forall$	$\forall xF(x)$	全称命题(对所有 x , 命题 $F(x)$ 均成立)
$\exists$	$\exists xF(x)$	存在命题(存在 x 使得命题 $F(x)$ 成立)
$\vee, \&$	$A \wedge B, A \& B$	逻辑积, 合取(A 且 B)
$\vee$	$A \vee B$	逻辑和, 析取(A 或 B)
$\neg$	$\neg A$	否定(非 A)
$\rightarrow, \supset, \Rightarrow$	$A \rightarrow B, A \supset B, A \Rightarrow B$	蕴涵(如果 A 则 B)
$\leftrightarrow, \Leftrightarrow, \rightleftharpoons$	$A \leftrightarrow B$	等价(A 与 B 等价)
II. 集合		
$\in$	$x \in Z$	属于(当 x 是集合 Z 的元素时)
$\notin, \notin$	$x \notin X, x \notin X$	不属于(当 x 不是集合 X 的元素时)
$\subset$	$A \subset B$	(A 是 B 的)子集
$\not\subset, \not\subset$	$A \not\subset B, A \not\subset B$	(A)不是(B 的)子集
$\subseteq, \supseteq$	$A \subseteq B, A \supseteq B$	(A 为 B 的)真子集
$\emptyset$		空集
$\cup, \bigcup$	$A \cup B, \bigcup A_\lambda$	(A, B 的; 所有 A_λ 的)并集, 和集
$\cap, \bigcap$	$A \cap B, \bigcap A_\lambda$	(A, B 的; 所有 A_λ 的)交集, 积集
c, C	$A^c, C(A)$	(A 的)补集
$-$	$A - B$	(A 和 B 的)差集
$\times$	$A \times B$	(A, B 的)直积集
$\prod$	$\prod A_\lambda, \prod_\lambda A_\lambda$	(A_λ 的)直积集
$\{ \}$	$\{x (P(X))\}$	(具有性质 $P(x)$ 的对象 x 组成的)集合
$\rightarrow$	$f: X \rightarrow Y$	(由 X 到 Y 的)映射(f)
limsup	$\limsup A_n$	(集序列 A_n 的)上极限
liminf	$\liminf A_n$	(集序列 A_n 的)下极限
lim	$\lim A_n$	(集序列 A_n 的)极限
III. 序		
$(,)$	(a, b)	开区间 $\{x a < x < b\}$
$[,]$	$[a, b]$	闭区间 $\{x a \leq x \leq b\}$
$(,]$	$(a, b]$	区间 $\{x a < x \leq b\}$
$[,)$	$[a, b)$	区间 $\{x a \leq x < b\}$
max	$\max A$	(A 的)最大元
min	$\min A$	(A 的)最小元
sup	$\sup A$	(A 的)上确界, 最小上界
inf	$\inf A$	(A 的)下确界, 最大下界
$\ll$	$a \ll b$	(b)远大于(a)

目 录

第一章 地图的代数概念.....	1
1.1 代数学的若干基本概念	1
1.2 地图的代数观点	3
1.2.1 地图概念的思考	3
1.2.2 地图模型	4
1.2.3 地图集中的运算	5
1.2.4 一些基本定义	5
1.3 地图代数的由来与发展	7
1.3.1 地理信息的空间分析是地图代数发展最主要的动力之一	7
1.3.2 机助地图制图发展的两个主要瓶颈	7
1.3.3 遥感信息的处理和发展	8
1.3.4 形态变换理论及其发展	9
1.3.5 计算机软硬件的发展	9
复习思考习题一	10
第二章 地球信息的度量空间	12
2.1 地球信息的度量空间	12
2.1.1 地理信息系统显著的基本矛盾——空间概念的统一问题	13
2.1.2 地球信息的空间参考体系	13
2.1.3 地球信息的空间坐标系	14
2.1.4 地球信息的空间尺度——地球椭球面上大地线尺度	14
2.2 空间信息网格(Spatial Information Grid, SIG)	15
2.2.1 空间信息网格概念	15
2.2.2 空间信息网格的建议	16
2.2.3 “无缝空间数据库”问题	17
2.3 “数字地球”与大型 GIS 的空间数学基础	18
2.3.1 当前“数字地球”与 GIS 空间数学基础承续地图投影的局限	18
2.3.2 “数字地球”与大型 GIS 适宜的空间数学基础	19
2.3.3 数据容纳及输出问题	22
2.3.4 量度计算效率与精度	23
2.4 地球空间数据框架和我国大型 GIS 建设的技术路线	23
2.4.1 地球空间数据框架基础内容	23
2.4.2 建设地球空间数据框架的现实目的和我国大型 GIS 建设的技术路线	25
2.4.3 数据框架的空间数学基础问题	26
2.4.4 地球空间数据框架的集成	27
2.5 小结	28

复习思考习题二	29
第三章 空间数据的表达与组织	31
3.1 GIS 的空间数据	31
3.1.1 空间数据的内容	31
3.1.2 GIS 的发展与空间数据 ^[3]	32
3.2 GIS 空间数据模型	33
3.2.1 普通数据库中的数据模型	34
3.2.2 空间数据库中的数据模型	35
3.3 空间数据的表达	36
3.3.1 空间位数据的表达	36
3.3.2 空间关系数据的运算和表达	38
3.4 空间数据组织面临的困惑	42
3.4.1 空间数据量问题	42
3.4.2 复杂动态的空间数据组织问题	43
3.4.3 空间数据初始化问题	44
3.5 GIS 空间数据“0”初始化	45
3.5.1 栅格 GIS 的发展及 GIS 空间数据“0”初始化的孕育	45
3.5.2 GIS 空间数据“0”初始化的提出与设想	46
3.5.3 GIS 空间数据“0”初始化的基础与科学涵义	46
3.5.4 GIS 空间数据“0”初始化与栅格数据结构	47
3.5.5 空间数据的“0”初始化策略	48
3.5.6 GIS 空间数据“0”初始化发展的可行性及意义	48
3.6* 动态空间数据模型	49
3.7 小结	50
复习思考习题三	51
第四章 距离变换	52
4.1 距离	52
4.1.1 距离	52
4.1.2 距离类型	53
4.2 实体间的距离	54
4.2.1 点到线状实体的距离	55
4.2.2 点到面状实体的距离	55
4.2.3 等距点的轨迹、相应距离的若干概念	55
4.3 求距方法与类型	56
4.3.1 求距方法	56
4.3.2 求距类型	56
4.4 地图代数的距离变换	57
4.4.1 栅格平面上的若干基础概念	57
4.4.2 传统栅格距离变换	57
4.4.3 栅格路径距离变换	58
4.4.4 栅格欧氏距离变换	61

4.4.5	出租车距离变换及时间距离变换	64
4.4.6	距离变换特性	65
4.4.7	加权距离变换	66
4.5	形态变换	66
4.5.1	缓冲区变换	66
4.5.2	加壳变换和蜕皮变换	68
4.5.3	粘连变换和蚀断变换	70
4.6	小结	73
	复习思考习题四	74
第五章	Voronoi 图	75
5.1	Voronoi 图定义	75
5.1.1	V 图基本定义	75
5.1.2	地理空间(二维)对 V 图的扩展定义	76
5.2	V 图生成方法	76
5.2.1	生成 V 图的矢量方法	76
5.2.2	生成 V 图的栅格方法	79
5.3	V 图生成中的困惑和几何中轴	85
5.3.1	几何学中三个有关几何中轴的基本概念	86
5.3.2	地理信息系统(GIS)中多边形中轴的方法	89
5.3.3	多边形中轴的地图代数定义和算法 ^[8]	90
5.4	V 图的意义和应用	91
5.4.1	V 图的意义	91
5.4.2	V 图的应用	92
	复习思考习题五	93
第六章	DEM 生成及三维分析	95
6.1	DEM 生成的若干方法	95
6.1.1	等高线 DEM	95
6.1.2	TIN DEM	96
6.1.3	格网 DEM	98
6.2	误差分析与模型	101
6.2.1	两种不同性质的误差概念	101
6.2.2	DEM 精度分析及误差模型	105
6.3	最优 DEM 线性生成法——MADEM(Map Algebra DEM)	108
6.3.1	MADEM 原理	108
6.3.2	MADEM 方法步骤	109
6.3.3	MADEM 误差分析	112
6.3.4	几点讨论	112
6.3.5	地形分析和水文分析	112
6.4	小结	124
	复习思考习题六	124
第七章	网络图分析	126

7.1 网络图分析中若干基本概念	126
7.1.1 网络图分析中常用的基本术语	127
7.1.2 网络图分析中常用的图论概念	127
7.2 地址匹配与查询	128
7.2.1 地址匹配的实施	128
7.2.2 地址匹配查询	128
7.3 路径分析	128
7.3.1 最短路径问题	128
7.3.2 最小生成树算法	132
7.4 资源及消耗分配——设置问题	134
7.4.1 中心地理论和设施的空间设置优化	134
7.4.2 服务点设置	135
7.5 [*] 网络最大流 ^[2]	138
7.5.1 网络和流	138
7.5.2 最大流问题	140
7.5.3 最大流算法——标记法 (Fort, Fulkerson, 1957)	140
7.5.4 最大流标记法实例	141
7.5.5 最大流和最小费用	142
7.6 爆管分析	143
7.6.1 爆管问题	143
7.6.2 矢量分析方法	144
7.6.3 连通管法	144
7.6.4 算法分析	144
7.7 小结	144
复习思考习题七	145
第八章 叠置分析	146
8.1 叠置分析概况	146
8.1.1 叠置分析的概念	146
8.1.2 多边形叠置分析方法	147
8.2 栅格多边形叠置和数据的动态组织	148
8.2.1 基本原理	148
8.2.2 栅格数据的组织	149
8.3 多重栅格多边形的叠加和分析	151
8.3.1 分析流程	151
8.3.2 建立属性编码	152
8.3.3 边界融合处理的方法	152
8.3.4 位图栅格文件转化为数据库数据	154
8.3.5 用数据库的 DML 语言进行叠加	154
8.3.6 用判别分析进行多边形叠加分析	155
8.3.7 叠置分析结果的误差处理	155
8.3.8 叠置成果的显示	156
8.4 应用实例	158

8.5* 栅格图的光滑放大	161
8.5.1 栅格图的光滑放大问题	161
8.5.2 概 念	161
8.5.3 倍放算法	162
8.5.4 一些特殊情况的处理	163
8.5.5 实 验	164
复习思考习题八	166
第九章* DEM 的几个理论问题和解决途径	167
9.1 DEM 的误差理论和 DEM 精度标准	167
9.1.1 纯随机误差论的组合模型	167
9.1.2 数值逼近论的组合模型 ^{[4],[5]}	168
9.1.3 分析和讨论	168
9.1.4 DEM 精度标准建议	169
9.2 DEM 特征建模、必须综合和 DEM 定义问题	172
9.2.1 实际的 DEM 数据中提出的问题和相关研究	172
9.2.2 DEM 特征建模、必须综合是 Grid DEM 急需解决的质量问题	174
9.2.3 DEM 必须综合和 DEM 的定义	177
9.2.4 DEM 的类别和再定义	178
9.2.5 DEM 新定义和 DEM 必须综合	179
9.3 DEM 生成中的高程序同构问题	179
9.3.1 DEM 生成中的高程序同构概念	179
9.3.2 采用地图上等值线数据建立的 DEM 能否与地面高程序同构	180
9.3.3 三种内插方法的高程序同构特性论证	181
9.3.4 高程序同构是 DEM 生成技术的试金石	186
9.4 小 结	186
复习思考习题九	187
第十章* 度量分析若干进展	190
10.1 栅格的精确度、颗粒度和性质归属	190
10.1.1 两点间栅格平面和欧氏平面上距离之差	190
10.1.2 栅格颗粒度问题的提出	191
10.1.3 合适颗粒度的确定和栅格性质归属	192
10.1.4 地图代数算法的计算复杂性和实际计算效率	195
10.1.5 在 3D 和各向异性空间中的扩展能力	198
10.2 欧氏障碍空间最短路径问题解法	198
10.2.1 欧氏障碍空间的最短路径问题和研究现状	198
10.2.2 MA(Map Algebra)-ESPO 方法	199
10.2.3 E^2 下 MA-ESPO 解算实验和讨论	204
10.2.4 E^3 下 MA-ESPO 方法	207
10.2.5 E^3 下 MA-ESPO 实例	209
10.2.6 障碍空间下全形态图形生成 V 图的关键技术	210
10.3 紧急救援下障碍空间分析技术的应用	210
10.3.1 紧急救援和障碍空间下的地理信息技术	210

10.3.2	灾害救援下的环境和技术——动态 GIS 研究与“0”初始化问题	210
10.3.3	灾害救援中的路径选择——障碍空间动态路径规划	211
10.3.4	灾害救援中的线路设计——基于障碍空间的动态最小生成树	212
10.3.5	灾害救援中的“中转站”和“咽喉”问题——基于障碍空间的动态最大(小)间隙问题	213
10.3.6	安全区问题——与安全地区的动态 k 阶邻近	215
10.4	椭球面上的度量分析	217
10.4.1	GIS 空间的测地变换——大地线尺度下的空间度量	217
10.4.2	椭球面上 Voronoi 图生成	218
10.4.3	椭球面上 Voronoi 图若干应用	219
10.4.4	椭球面上的运动几何	220
	复习思考习题十	223
	结语 回眸和展望	225
	思考题	229
	附录一 BMP 文件	230
	附录二 制图建模与地图代数 (Tomlin)	236
	附录三 数学形态学和地图代数 (H)	240