

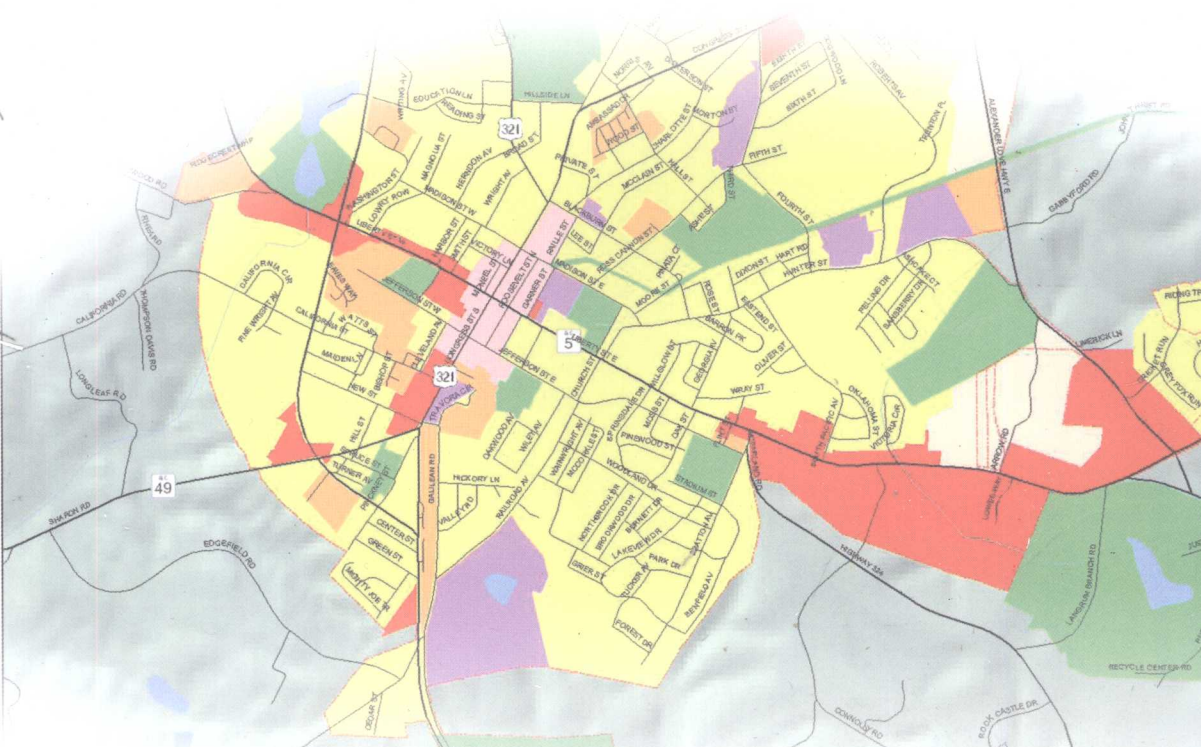



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

GIS空间分析原理与方法

(第二版)

刘湘南 黄方 王平 编著



 科学出版社
www.sciencep.com

P208
191(2)
12

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

GIS 空间分析原理与方法

(第二版)

刘湘南 黄方 王平 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书共分9章。第1章和第2章探讨了GIS环境下空间分析的基本框架和基础问题;第3章至第7章主要阐述了空间量测与计算、空间表达变换分析、空间几何关系分析、空间统计学分析,以及空间三维建模与分析;第8章介绍了地理网格计算技术及其对GIS空间分析的影响;第9章结合地理空间数据的不确定性问题,探讨了智能计算技术的基本原理、方法体系及其应用于地理空间数据分析的实例。

本书可作为高等院校地理、遥感、地理信息系统专业本科生和研究生教材,也可供相关专业师生和科研技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

GIS空间分析原理与方法/刘湘南,黄方,王平编著. —2版. —北京:科学出版社,2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-022487-3

I. G… II. ①刘…②黄…③王… III. 地理信息系统-高等学校-教材
IV. P208

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第097055号

责任编辑:郭 森/责任校对:李奕莹

责任印制:张克忠/封面设计: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:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年7月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2008年8月第 二 版 印张: 21 1/2

2008年8月第四次印刷 字数: 406 000

印数: 6 001—9 000

定价: 35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈明辉〉)

第二版前言

据统计,我国目前约有 180 所高等院校开办地理信息系统(GIS)本科专业,约 80 所高等院校与科研院所开展 GIS 硕士与博士研究生教育,开设 GIS 相关课程的学校则更多。随着 GIS 技术的不断发展和信息化社会对空间数据分析需求的日益增加,特别是 GIS 专业建设的不断完善,“GIS 空间分析”逐渐成为地理信息系统及相关专业的主干课。因此,相关的教材建设成为该学科建设的首要任务之一,这类教材和参考书需求量甚大。近年来,国内外陆续出版了多部有关 GIS 空间分析方面的教材或专著,各具特色,对繁荣发展 GIS 空间分析理论和方法以及该领域的人才培养发挥了重要的作用。

作者自 2000 年开始给本科高年级学生和研究生讲授 GIS 空间分析方法课程,并编写校内教材,学生普遍认为其内容新颖、结构严谨、思路清晰、原理性强。根据学科发展的最新成就和作者多年的教学、科研成果,在对校内教材修改、完善的基础上,《GIS 空间分析原理与方法》于 2005 年由科学出版社出版。这是一部面向 GIS 及相关专业领域学生系统论述 GIS 空间分析原理与方法的教材。教材出版后即被一些高校选为本科生和研究生教材,反响良好,并多次重印。

本书试图从整体的高度、从有机联系的角度全面阐述空间分析的相关知识和理论,从而建立起一个综合认识和研究 GIS 空间分析的框架。其主要特色是,从地球空间信息科学的理论高度,系统论述 GIS 环境下空间分析的理论、技术和方法体系,强调空间分析的原理阐述,更注重其在 GIS 中的可操作性;突出 GIS 空间分析方法的系统概括,如空间表达变换分析、空间几何关系分析等,归纳和揭示各种具体的 GIS 空间分析方法的目标与实质,旨在对有关的各种 GIS 空间分析方法进行总体把握;结合实际问题表述概念、阐述原理,既强调内容的系统性,又注重加强理论深度,避免成为种种具体空间分析方法的简单集合;紧密结合学科发展的前沿理论和最新技术,引入国内外最新的学术思想和理论、方法,如地理网格计算、智能化空间分析等;教材内容注意与专业相关课程知识的衔接,并避免内容的重复。

GIS 信息技术及其相关学科理论、技术和方法发展很快,作者一直跟踪该领域国内外最新研究进展,也有一些新的教学、科研积累。根据学科发展和教材使用中读者反馈的意见,对第一版教材进行了部分修订。考虑到第一版教材的体系、结构比较严谨且有一定特色,修订工作在基本保持原体系结构不变的前提下进行,主要

更新了相关数据和技术术语,改写和增减部分内容。本书 2007 年经教育部组织专家评审,被遴选为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书虽经修订,不足之处仍在所难免,恳请读者批评指正。

作者

2008 年 6 月

第一版前言

地理信息系统(GIS)是地理空间数据处理、分析的重要手段和平台。从诞生至今的 40 多年时间里,地理信息系统技术的日益革新为众多应用领域创造了丰富的地理空间信息财富,使地理空间数据的存储、检索、制图和显示功能越来越完善。地理信息系统的核心功能是空间分析。空间分析使 GIS 超越一般空间数据库、信息系统和地图制图系统,不仅能进行海量空间数据管理、信息查询检索与量测,而且可通过图形操作与数学模拟运算分析出地理空间数据中隐藏的模式、关系和趋势,挖掘出对科学决策具有指导意义的信息,从而解决复杂的地学应用问题,进行地学综合研究。GIS 的奠基人之一 Goodchild M F 曾指出“地理信息系统真正的功能在于其利用空间分析技术对空间数据的分析”。

虽然 GIS 已取得了巨大的发展,但目前多数地理信息系统的应用还局限于数据库型 GIS 的层面,多维信息空间分析能力的不足及空间分析的结果不实用越来越明显,无法真正满足全球变化和区域可持续发展研究对空间数据分析、预测预报、决策支持等多方面的应用要求。同时,由于空间分析内容十分繁杂,GIS 学术界对空间分析的理解和认识存在较大的模糊性和差异,GIS 空间分析一直滞后于空间数据结构、空间数据库、地图数字化和自动绘图技术等方面的研究,在理论和技术上尚没有根本的突破。本书在参阅了国内外大量相关文献的基础上,结合我们的工作实践,试图从新的角度理解空间分析的概念内涵,不拘泥于基本分析方法的概念、算法原理及其应用,选择性地引入了许多新的空间分析技术方法,如网格计算、智能计算等,力求比较系统地论述 GIS 空间分析的原理方法和技术及其发展前沿,为地理学及相关专业的本科生、研究生和广大读者提供全面、详细了解和掌握 GIS 空间分析理论与方法的途径,并为进一步完善 GIS 空间数据分析理论和方法体系奠定基础。

全书共分 9 章。第 1 章简要回顾了 20 世纪 50 年代以来地理空间数据处理与建模领域,如数量地理学、地理信息系统、地理计算、地理空间数据挖掘等技术方法及其进展,探讨了 GIS 环境下空间分析的基本框架。第 2 章主要概括了空间分析的基础问题,包括地理空间的理解方式,地理空间坐标系统的建立方法,地理网格系统、地理空间数据的特征及基本的地理空间问题等。第 3 章介绍了从 GIS 中获取地理空间目标基本参数的方法,即空间量测与计算。第 4 章主要阐述了空间数据结构、空间参考系统、时空尺度和图形表达等不同 GIS 的空间表达方式,提出空间表达变换不仅是空间数据操作的一种手段,更是 GIS 空间分析的重

要方法的观点。第 5 章详细地介绍了空间几何关系分析方法,即如何从 GIS 目标之间的空间关系中获得派生信息和新知识的有关分析技术,主要包括邻近度分析、叠加分析、网络分析等。第 6 章讨论了空间统计学的基本原理方法及其在地理空间数据挖掘和分析中的应用。第 7 章介绍了三维地理空间数据分析方法,主要包括三维景观建模、三维景观分析与计算,以及三维可视化表达技术等。第 8 章主要阐述了新一代 Web 技术——网格计算技术的基本特点,网格计算技术对 GIS 空间分析的影响,以及网格 GIS 基本概念和关键技术等内容。第 9 章结合地理空间数据的不确定性问题,主要探讨了智能计算技术的基本原理和方法体系,介绍了智能计算方法应用于地理空间数据分析的若干实例。

本书在编写过程中参考和吸取了近年来国内外诸多专家和同行的研究成果,在此表示诚挚的感谢。王静、任春颖、史晓霞、罗智勇、关丽、廖晓玉、吴雨航、邹滨等研究生参与了部分章节的编写工作;于思扬、付博、黄猛、许淑娜、曾文华、李世熙等研究生协助查阅了大量参考资料;本书得到了东北师范大学教材建设项目的支持,在此一并表示衷心的感谢。

《GIS 空间分析原理与方法》一书虽然酝酿准备了近三年,但在实际撰写中,原有的一些想法和内容没有得到充分的表达和展现,由于作者水平有限,书中不足之处敬请专家和读者批评指正。

作者

2005 年 3 月

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 地理空间数据分析与 GIS	1
1.1 地理空间数据处理与建模	1
1.1.1 数量地理学	2
1.1.2 地理信息系统	5
1.1.3 地理计算	7
1.2 地理空间数据挖掘	9
1.2.1 地理空间数据挖掘概述	9
1.2.2 地理空间数据立方体	11
1.2.3 联机分析处理技术	13
1.2.4 地理空间数据挖掘典型方法	14
1.3 GIS 环境下的空间分析	19
1.3.1 空间分析概念	19
1.3.2 空间分析的萌芽与发展	20
1.3.3 GIS 与空间分析	21
1.3.4 GIS 环境下空间分析框架	23
第 2 章 GIS 空间分析基础	29
2.1 空间与地理空间	29
2.1.1 空间的概念	29
2.1.2 地理空间	32
2.1.3 地理空间的抽象	34
2.2 地理空间参考系统	34
2.2.1 地理空间坐标系统	35
2.2.2 地图投影	41
2.2.3 地理网格	43
2.3 地理空间数据特征	51
2.3.1 时空特征	51
2.3.2 多维结构	52
2.3.3 多尺度性	52

2.3.4 不确定性	53
2.3.5 海量性特征	53
2.4 地理空间问题	53
2.4.1 空间分布与格局	54
2.4.2 资源配置与规划	55
2.4.3 空间关系与影响	56
2.4.4 空间动态与过程	56
第3章 空间量测与计算	59
3.1 空间量测尺度	59
3.1.1 空间维与空间量测关系	59
3.1.2 几何数据的量测尺度	64
3.1.3 属性数据的量测尺度	65
3.2 基本几何参数量测	67
3.2.1 位置量测	67
3.2.2 中心量测	69
3.2.3 重心量测	69
3.2.4 长度量测	70
3.2.5 面积量测	76
3.2.6 体积量测	77
3.3 地理空间目标形态量测	78
3.3.1 线状地物	78
3.3.2 面状地物	79
3.4 空间分布计算与分析	80
3.4.1 空间分布类型	80
3.4.2 点模式的空间分布	82
3.4.3 线模式的空间分布	84
3.4.4 区域模式的空间分布	87
第4章 空间表达变换分析	90
4.1 空间表达	90
4.1.1 客观世界的抽象	90
4.1.2 地理空间表达的形式	91
4.1.3 空间表达的地理意义	93
4.2 空间数据格式转换	94
4.2.1 空间数据格式转换的意义	94
4.2.2 空间数据格式类型	95

4.2.3 空间数据格式转换方法	97
4.3 地理空间坐标转换	103
4.3.1 地理空间坐标转换的意义	103
4.3.2 地理空间坐标转换的方法	104
4.4 空间尺度变换	110
4.4.1 尺度与地理特征抽象	110
4.4.2 尺度变换方法	113
4.4.3 无级比例尺变换	116
4.5 图形变换	119
4.5.1 常见图形表达形式	120
4.5.2 图形量度变换	121
4.5.3 图形结构变换	122
4.5.4 图形表示方法变换	123
第5章 空间几何关系分析	125
5.1 邻近度分析	125
5.1.1 缓冲区分析	125
5.1.2 泰森多边形分析	134
5.2 叠加分析	138
5.2.1 叠加分析概述	138
5.2.2 空间要素图形叠加	139
5.2.3 空间要素属性叠加	141
5.3 网络分析	148
5.3.1 网络分析概述	149
5.3.2 最佳路径分析	154
5.3.3 连通分析	158
5.3.4 资源分配	162
5.3.5 流分析	171
5.3.6 动态分段技术	176
5.3.7 地址匹配	181
第6章 空间统计学分析	185
6.1 空间统计分析方法的基本原理	185
6.1.1 空间统计学的概念	185
6.1.2 空间统计分析中的理论假设	186
6.2 空间自相关	189
6.2.1 空间自相关理论	189

6.2.2	空间自相关分析方法	189
6.3	空间局部估计	194
6.3.1	半变异函数分析	195
6.3.2	克里格插值法概述	199
6.3.3	常见克里格模型	200
6.3.4	克里格模型应用条件	205
6.3.5	普通克里格插值法运用实例	206
6.4	确定性插值法	209
6.4.1	反距离加权插值法	210
6.4.2	全局多项式内插法	211
6.4.3	局部多项式插值法	212
6.4.4	径向基函数插值法	213
6.5	探索性空间数据分析	214
6.5.1	探索性空间数据分析的基本理论	214
6.5.2	探索性空间数据分析的数学方法	217
6.5.3	探索性空间数据分析的应用	221
第7章	空间三维建模与分析	224
7.1	三维景观建模	224
7.1.1	体模型数据结构	224
7.1.2	面模型数据结构	227
7.1.3	混合模型数据结构	228
7.1.4	DTM与DEM	231
7.2	三维数据的可视化表达	233
7.2.1	创建三维可视化场景的工具	233
7.2.2	创建三维可视化场景的技术	236
7.2.3	地形飞行与漫游	238
7.3	数字地形分析	239
7.3.1	空间查询	239
7.3.2	地形表面属性计算	241
7.3.3	等值线生成	245
7.3.4	山体阴影创建	246
7.3.5	专题栅格图分析	247
7.3.6	剖面线绘制	248
7.3.7	通视分析	249
7.3.8	流域分析	251

7.4 真三维 GIS 显示与分析	253
7.4.1 地表椭圆面 DTM	253
7.4.2 三维地层模型	256
第 8 章 地理网格计算	259
8.1 网格计算概述	259
8.1.1 网格计算的特点	259
8.1.2 网格体系结构	260
8.1.3 网格计算的发展及应用	265
8.1.4 网格计算与 GIS 空间分析	268
8.2 网格 GIS	269
8.2.1 网格 GIS 的特点	269
8.2.2 网格 GIS 的体系结构	269
8.2.3 面向服务的网格 GIS	272
8.3 网格 GIS 关键技术	277
8.3.1 中间件技术	277
8.3.2 Web Service 平台	280
8.3.3 GML 地理标识语言	282
第 9 章 智能化空间分析	284
9.1 空间分析智能化	284
9.1.1 地理空间数据的不确定性	284
9.1.2 智能化空间分析技术	288
9.2 智能计算技术	289
9.2.1 人工智能技术的产生与发展	289
9.2.2 智能计算技术的概念	292
9.2.3 智能计算技术的特点及组成	293
9.3 模糊地理空间数据分析	295
9.3.1 模糊集合与模糊逻辑	295
9.3.2 模糊空间信息的表达与度量	297
9.3.3 模糊拓扑关系模型	301
9.3.4 模糊查询	303
9.3.5 模糊叠加	305
9.4 基于人工神经网络的地理空间问题模拟	306
9.4.1 复杂地理问题的研究方法	306
9.4.2 神经网络模型	307
9.4.3 基于人工神经网络的地理空间模型	308

9.5 基于遗传算法的地理空间问题分析	312
9.5.1 遗传算法	312
9.5.2 基于遗传算法的地理空间问题模拟与求解	314
9.6 空间决策支持系统	316
9.6.1 空间决策支持系统概念	317
9.6.2 空间决策分析	317
9.6.3 GIS与专业模型集成分析	320
主要参考文献	324

第 1 章 地理空间数据分析与 GIS

地理信息系统(GIS)技术的日益革新为众多应用领域创造了丰富的地理空间信息财富,使地理空间数据的存储、检索、制图和显示功能越来越完善,但同时越来越多的复杂应用问题也对 GIS 产生了更多新的要求。各种类型的 GIS 中存储了海量的地理空间数据,且数据还在以指数级方式不断增长,迫切需要高效、精确、科学地分析这些数据,以找出数据所蕴涵的意义,进而了解目标的性质与规律,为科学决策提供必需的信息。所以,开发一些工具来进行一般性地理空间数据分析和复杂的地理空间对象模拟,以将数据“点石成金”是一项艰巨而又紧迫的任务。因此,GIS 领域由原来重点关注数据库创建和系统开发建设,逐渐转向重点关注空间分析和空间建模。事实上,GIS 本身就是空间数据分析技术的重要组成部分和有效依赖平台。GIS 的奠基人之一 Michael F G 曾指出:“地理信息系统真正的功能在于它利用空间分析技术对空间数据的分析。”空间分析使 GIS 超越一般空间数据库、信息系统和地图制图系统,不仅能进行海量空间数据管理、信息查询检索与量测,更可通过图形操作与数学模拟运算分析出地理空间数据中隐藏的模式、关系和趋势,挖掘出对科学决策具有指导意义的信息,从而解决复杂的地学应用问题,进行地学综合研究。

然而,目前多数地理信息系统的应用还局限于数据库型 GIS 层面上,没有充分利用和开发 GIS 的空间分析功能,不能真正满足全球变化和区域可持续发展研究对空间分析、预测预报、决策支持等多方面的应用要求,GIS 空间分析功能偏弱已经严重地阻碍了其作为空间数据分析工具和决策支持系统的应用。因此,建立完善的空间数据分析理论和方法体系,集成先进的空间数据分析工具,增强 GIS 的空间分析能力,使数据库型 GIS 上升为分析型 GIS,是 GIS 技术与应用的发展目标和趋势。本章首先对 20 世纪 50 年代以来地理空间数据处理与建模领域重要的技术方法(如数量地理学、地理信息系统和地理计算等)进行简要的回顾,然后论述数据分析领域中迅速发展的新技术——数据挖掘,在此基础上,讨论 GIS 环境下空间分析的基本框架。

1.1 地理空间数据处理与建模

地理空间数据分析是地理学和地理信息科学领域的重要研究内容,即通过研究地理空间数据及其相应的分析理论、方法和技术,探索、证明地理要素之间的关

系,揭示地理特征和过程的内在规律和机理,实现对地理空间信息的认知、解释、预测和调控。长久以来,人们一直不懈地致力于研究和探索高效的、适合于地理空间数据处理与分析的方法,从对地理现象及其空间关系的文字记载,到利用数学概念和方法进行解释性描述;从传统统计学方法和数学模型对地理现象和过程的模拟,到基于地理信息系统的多维地理空间数据表达与管理、地理过程的动态模拟、可视化分析和决策支持;从空间数据挖掘技术到高性能计算技术支撑下的地理计算方法,随着人们对信息需求水平的不断提高和科学技术的日益进步,地理空间数据分析的技术和方法得到不断完善和丰富。

1.1.1 数量地理学

数量化方法在感知、认识和解释现实世界的各种自然、人文、社会现象过程的相互关系中起着定性方法不能替代的作用。对于决策者而言,数量化方法是获取更为合乎理性、可信、有效决策信息的重要手段。它能够以多种方式,从多重侧面,详尽、准确地解释事物的状态特征和演变过程,合理推测未来发展规律,提供可供选择的多重决策。

马克思早就指出:“一种科学只有在成功地运用数学时,才算达到了真正完善的程度。”数量地理学(Quantitative Geography),又称计量地理学或地理数量方法,是应用数学思想方法和计算机技术进行地理学研究的科学。它试图以定量的精确判断来弥补定性文字描述的不足;以抽象的、反映本质的数学模型去刻画具体的、庞杂的各种地理现象;以对过程的模拟和预测来代替对现状的分析和说明;以合理的趋势推导和反馈机制分析来代替简单的因果关系分析。数量地理学提供了理性的复杂方法以传递有关行为决策的确定性程度、综合研究精度等有用的信息,与定性研究方法结合共同构筑了地理学研究方法的科学体系。数量地理学是对地理学传统研究方法的发展和变革,反映了地理学向量化、科学化发展的趋势,使地理学由一门对地表事物进行解释性描述的学科,转变为一门进行确定性解释的科学。数量地理学是地理学领域中最先采用数学原理方法来探讨地理数据分析处理与建模的学科。

1. 数量地理学的产生与发展

地理学是一门研究地球表层自然要素与人文要素相互作用关系及其时空规律的科学。作为一门古老的空间科学,地理学与数学有着不解之缘。在古代,地理学与数学之源泉——几何学,几乎都是研究地表的科学,如运用几何学原理和方法测算河流长度、山体高度、土地面积等。古希腊学者、西方“地理学之父”艾拉托塞尼(Eratosthenes)最早运用几何学原理和方法测算了地球的周长。在近代地理学时期,经济学中的区位论被移植到地理学中,开辟了地理学运用分析数学之先河。20

世纪20~30年代,地理学研究中统计方法开始萌芽,主要采用一般的数理统计,进行地理要素的统计概括和相关关系探讨。原苏联地理学家马尔科夫指出:“更多的地理学家应当使主要的研究方向现代化,应当偏重于以基础科学、首先是精确性科学为基础的道路。”

现代地理学中的数量方法与理论模式的产生与形成,可以追溯到20世纪50年代末期开始的计量运动。计量运动主要由美国地理学家发起,早期集中在依阿华、威斯康星、普林斯顿和华盛顿等几所大学。不同学者所持观点不同,研究方向各异,由此形成了所谓的经济、统计、社会等学派。从世界范围看,计量运动的兴起首先要归功于加里森(Garrison W L)及其领导的华盛顿小组。加里森是第一个把地理学的理论和方法建立在定量基础上的倡导者和实践者,也是第一本《计量地理学》教材的作者。作为地理科学的方法论之一,数量地理学尽管历史不长,但发展速度很快,且时时充满着变革和创新。从20世纪50年代末开始,数量地理学先后经历了3个发展时期,各自呈现出不同的特征(图1.1)。

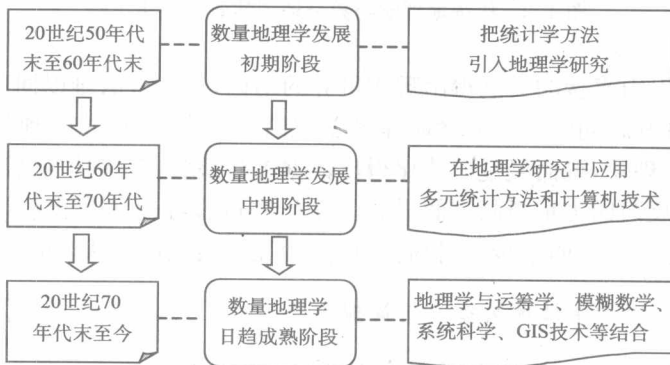


图 1.1 数量地理学的发展阶段

2. 传统地理学与数量地理学

数学方法是人们进行数字运算和求解的工具,能以严密的逻辑和简洁的形式描述复杂的问题,表达极为丰富的实质性思想。对于现代地理学而言,数学方法不仅是应用地理学研究中进行预测、决策、规划及优化设计的工具,也是理论地理学研究中进行逻辑推理和理论演绎的手段。世界上的任何事物都可以用数值来描述和度量,地理要素(如区域范围、城市位置、道路长短、气温高低、雨量多少、山高水深、人口增减、物产丰欠等)都可用数量来表示。各种地理要素的分布形态及其相互关系特征,亦可用数学方法进行定量分析与研究。与地理学传统的思维模式相比,地理数量方法有着明显的优势(图1.2)。

传统地理学分析方法所采用的推理方式以经验归纳型综合为主,以观察材料

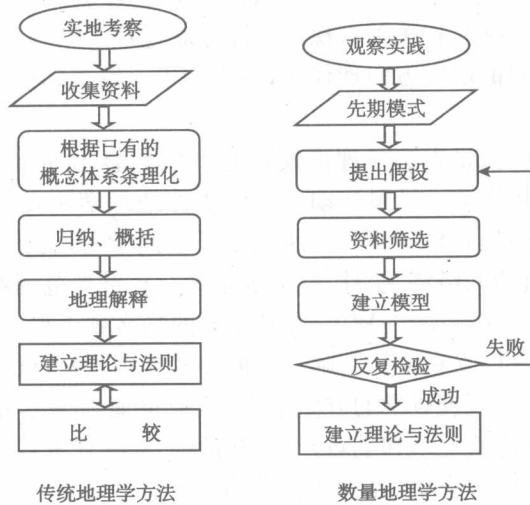


图 1.2 传统地理学与数量地理学研究方法比较

和事实为基础，由直接的类推得出现实世界的结论，这一方法难以回避特殊情况或解释者的主观好恶问题。而数量地理学以理论演绎为主，把感知到的地理事物通过假设予以条理化，继而经过模式化得出数据进行检验，在成功的情况下建立法则和理论，否则反馈回去重新制定假设。整个研究过程经历了提出假设、建立模式、检验假设和建立理论四个步骤，符合感性—理性—实践这一认识的过程规律。

3. 数量地理学中地理数据分析模拟方法

数量地理学本质上是一门关于地理数据分析处理与建模的科学，其主要研究内容涉及地理要素的描述统计和数量分析技术，地理系统的分析方法，数学模型的构建和应用，数学模拟(仿真)技术，地理预测和决策的方法、程序、模型以及地理学理论表述的数学形式等，其研究方法归纳如下。

(1) 地理系统分析

地理系统分析是指扬弃地理事物繁琐的枝节，抽象出地理事物在结构与功能上的主线，揭示地理事物动态演变的方向与强度，预测其状态变化和稳定性程度，将复杂、高级的地理系统简化为次一级简单的系统，进而探讨地理要素之间的数量关系。一般是首先列出所研究等级系统的要素清单，根据地理系统的实际绘出各要素的联系框图，再以定量方法研究系统要素之间的关系。

(2) 随机数学方法

地理系统输入与输出之间一般具有随机性，数量地理学研究方法中随机数学占很大比重。地理系统是多级、多元系统，在进行系统分析时，分析一组或几组地