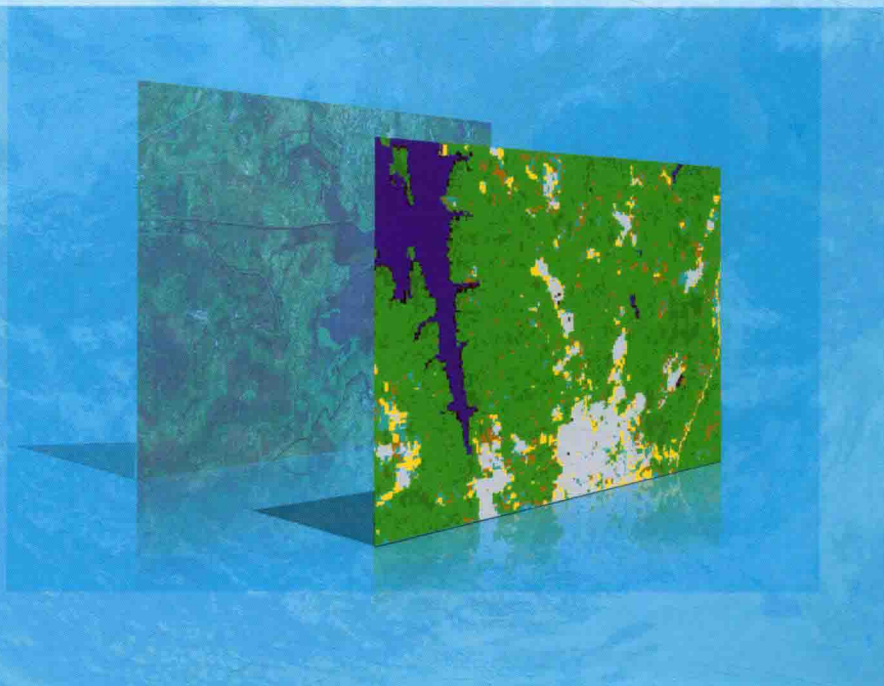


GIS空间分析基础教程

田永中 吴文骞 盛耀彬 编著
徐永进 周文佐 朱莉芬



科学出版社

GIS 空间分析基础教程

田永中 吴文骥 盛耀彬 编著
徐永进 周文佐 朱莉芬

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是作者在长期从事 GIS 及空间分析等领域的教学和科研基础之上,根据人才需求的社会调研成果,结合学科发展特点和教学改革研究,编写的一本以介绍 GIS 空间分析基本原理、方法和应用实践等为主线的空间分析理论课程教材。书中主要内容包括空间分析的基本知识、空间分析的数据基础、矢量数据的空间分析方法、栅格数据的空间分析方法、空间分析建模、空间分析综合应用实践等。为易于读者理解,同时也为了将理论与实践结合,本书结合 ArcGIS 中的相关工具来介绍空间分析的理论知识。为方便教师教学和学生学学习,本书还配有教学用的课件、课后练习及大量的配套数据,读者可以根据这些数据加深对基础理论知识的理解。为加强实践技能培养,本书还配有实验教材——《GIS 空间分析实验教程》。

本书可以作为高等院校地理信息科学、人文地理与城乡规划、自然地理与资源环境、土地管理、测绘、生态学、环境保护、土壤学、水土保持等专业本科生、研究生的地理信息系统和空间分析课程的基础理论教材,也可供其他领域的师生、专业技术人员和科研人员参考使用。

审图号: GS (2018) 726 号

图书在版编目 (CIP) 数据

GIS 空间分析基础教程/田永中等编著. —北京: 科学出版社, 2018.3

ISBN 978-7-03-056329-3

I. ①G… II. ①田… III. ①地理信息系统—高等学校—教材
IV. ①P208.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 008487 号

责任编辑: 杨 红 程雷星/责任校对: 何艳萍

责任印制: 吴兆东/封面设计: 迷底书装

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>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年3月第一版 开本: 787×1092 1/16

2018年3月第一次印刷 印张: 20

字数: 511 000

定价: 59.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

地理信息系统（GIS），以其对空间数据的采集、存储、管理、分析等功能，在众多领域都展现出了强大的生命力，其发展方兴未艾。GIS 的优势与特色是空间分析。通过空间分析，人们才能把空间信息挖掘出来，把空间数据的价值发挥出来。特别是在当前国家大力提倡大数据应用的时代，GIS 迫切需要通过时空大数据分析，解决国家经济、社会、生态等方面发展中的空间决策问题。从 GIS 功能的角度看，空间分析是 GIS 的核心功能，是 GIS 区别于其他管理信息系统的根本标志。从 GIS 应用的角度看，空间分析能够解决众多的空间问题，是 GIS 的核心价值所在。从 GIS 专业课程设置来看，空间分析是 GIS 及相关专业的核心课程。教材是开展课程教学的重要载体，因此编写一本好的空间分析教材对提升 GIS 教育质量具有重要作用。

前些年，有幸拜读了田永中老师主编的《地理信息系统基础与实验教程》并为其作序。如今，田永中老师的教学团队再次出发，在总结十几年的 GIS 基本原理、空间分析等课程教学经验的基础上，广泛调研 GIS 人才的社会需求和国内外的相关教学成果，结合自身所从事的科学研究和教学研究，历时数年编写了《GIS 空间分析基础教程》，并配套编写了《GIS 空间分析实验教程》。可以看出，作者十分重视空间分析教学的理论与实践的结合，注重学生实践技能的培养和锻炼。《GIS 空间分析基础教程》深入浅出，系统归纳了空间分析的基本理论和过程；以空间数据为切入点，阐述了空间分析前的各项数据准备工作；以矢量数据及栅格数据为重点，详细介绍了各类常见的空间分析方法；以模型和应用为落脚点，阐述了如何综合应用空间分析方法解决各类空间问题。《GIS 空间分析实验教程》精心筛选了 20 个实验，内容涵盖了从数据处理、分析方法到综合应用的各方面。每个实验都对实验原理和方法进行了准确透彻的解释，实验步骤条理清晰、解释清楚、便于操作，对实验中可能出现的问题也进行了补充说明。读者通过这些实验，能够加深对空间分析原理的理解，提高自己通过空间分析解决空间问题的技能。总体上来说，这套教材是我国 GIS 教育界近年来很有特色的教学成果，相信能够很好地指导老师教学和学生学习。

教学是人才培养的必要手段，教材建设是任何一个专业发展的重要基础性工作。长期以来，我们一直鼓励和支持广大教师积极编写更多更优秀的 GIS 专业教材用于 GIS 教育和行业应用。我们也相信，这套教材的出版，必将为促进我国 GIS 教育事业的健康发展锦上添花。

中国地理信息产业协会教育与科普专业工作委员会主任

汤国安

2018 年 2 月 26 日

前 言

正如空间分析是地理信息系统的核心功能一样，空间分析课程在高校地理信息科学专业的课程体系中也处于核心地位。近年来，随着 GIS 技术的发展和应用领域的拓宽，空间分析技术的巨大应用价值越来越得到社会的认可，建设好空间分析课程也成为高校 GIS 及相关专业建设的重要内容。

编写一本面向本科和研究生空间分析课程、适应社会对 GIS 人才的技能需求、既有一定理论基础又能兼顾学生实践能力培养的教材，是作者长期以来的愿望。在深入分析近 20 年来有关空间分析的相关教材，充分调查我国高校空间分析课程的教学现状与需求、空间分析技术的社会需求等基础上，2014 年年初，作者组织长期从事地理信息系统和空间分析等课程教学的老师，经过精心设计和资料整理编写了本教材的初稿，并在本科生和研究生中进行了广泛试用，经过不断的修改完善最终形成本书。

整体上看，本书的内容按照空间分析前的数据准备、空间分析方法、专题应用三大板块进行组织，共 5 章。第 1 章为绪论，介绍空间分析的基本概念和知识；第 2 章介绍空间分析的数据基础，包括空间数据的组织与管理，以及数据结构、格式、坐标、处理、可视化等内容；第 3 章介绍矢量数据的分析方法，涉及空间量算、查询与统计、邻近性、叠加、空间网络、追踪等分析内容；第 4 章介绍栅格数据的分析方法，包括栅格运算模式、表面分析、距离分析、空间插值与地统计分析、三维分析与水文分析；第 5 章介绍了空间分析建模与空间分析方法在选址、动态变化、自然资源统计与分析、元胞自动机、灾害评估分析等方面的应用。每一章都设置了复习思考题，并提供了部分正文和练习中用到的数据（读者可通过 <http://www.ecsponline.com> 网站检索图书名称，在图书详情页“资源下载”栏目中获取，如有问题可发邮件到 dx@mail.sciencep.com 咨询），便于读者边学边做。为加强实践能力培养，作者还另外编写了与本书配套的实验教程，包括空间数据准备、矢量数据分析、栅格数据分析、空间分析方法的应用等 20 个实验，读者可根据该书及配套数据开展实验。

为便于读者能够有效地理解空间分析的方法并进行实践操作，本书在编写时对空间分析技术的介绍紧密结合了 ArcGIS 软件。该软件空间分析功能强大，在国内外有着较高的市场普及率，适宜作为支撑空间分析教学的 GIS 软件。

本书在编写过程中，得到了江文静、吴晶晶、许文轩、肖悦、田林、刘瑾、刘旭东、张

雪倩、万祖毅、叶胜、陶媛、唐君桃等的大力支持，他们在数据收集整理及文稿校正等方面做了大量的工作，在此一并感谢！同时也要感谢中国科学院地理科学与资源研究所、重庆市气象科学研究所、西南大学教务处和研究生院等单位相关人员在本书编写中给予的帮助！

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请读者不吝指正！

田永中

2017年10月

目 录

序	
前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 什么是空间分析	1
1.2 空间分析的发展	1
1.3 空间分析的基本任务	4
1.4 空间分析的主要内容	5
1.5 空间分析的常用方法	6
1.6 空间分析的一般过程	7
1.7 常用 GIS 平台软件的空间分析功能	7
1.8 空间分析与 ArcGIS 地理处理	9
复习思考题	10
第 2 章 空间分析的数据基础	11
2.1 空间数据	11
2.2 空间数据的组织与管理	16
2.3 空间数据的结构	24
2.4 空间数据的格式	38
2.5 空间数据的坐标	46
2.6 空间数据的处理	54
2.7 空间数据的可视化	60
复习思考题	75
第 3 章 矢量数据的分析方法	77
3.1 空间量算分析	77
3.2 查询与统计分析	88
3.3 邻近性分析	117
3.4 叠加分析	132
3.5 空间网络分析	139
3.6 追踪分析	156
复习思考题	166
第 4 章 栅格数据的分析方法	168
4.1 栅格运算的几种模式	168
4.2 表面分析	180
4.3 距离分析	206

4.4	空间插值	212
4.5	地统计分析	222
4.6	三维分析	235
4.7	水文分析	250
	复习思考题	262
第 5 章	空间分析建模与应用	264
5.1	空间分析建模	264
5.2	空间选址分析	273
5.3	动态变化分析	282
5.4	自然资源统计与分析	288
5.5	元胞自动机及其应用	294
5.6	灾害评估分析	303
	复习思考题	307
	主要参考文献	309

第1章 绪 论

1.1 什么是空间分析

什么是空间分析？不同的学者对此有不同的看法。

陈述彭等（1999）认为，空间分析是用模型等分析解释地理特征之间的相互关系及空间模式，它包括空间检索、空间拓扑叠加分析、空间模拟分析等三个不同层次。郭伦等（2001）认为，空间分析是对分析空间数据有关技术的总称。Demers（2009）认为，空间分析是对空间数据所含性质的认知，常用于空间决策。黄杏元和马劲松（2010）认为空间分析是基于空间数据的分析技术，它以地学原理为依托，通过分析算法，从空间数据中获得有关地理对象的空间位置、空间分布、空间形态、空间形式、空间演变等信息。郭仁忠（2001）认为，空间分析是基于地理对象的位置和形态特征的空间数据分析技术，其目的在于提取和传输空间信息。Haining（2003）认为，空间分析是一类对空间信息、属性信息或二者共同信息统计描述或说明的方法和模型的集合。陆守一（2004）认为，空间分析是借助计算机技术，利用特定的原理和算法，对空间数据进行操作、处理、分析、模拟、决策的功能。王劲峰（2006）认为，空间分析是指分析、模拟、预测和调控空间过程的一系列理论和技术。汤国安等（2007）认为，空间分析是从空间数据中获取有关地理对象的空间位置、分布、形态和演变等信息的分析技术。崔铁军（2016）和邓敏等（2015）都认为，空间分析是人类空间认知的重要环节，是人类认识自然能力的一种延伸。朱长青（2006）、毛先成等（2015）对国内外学者有关空间分析的论述进行了分析，认为各类定义的侧重点各不相同，有的侧重于统计分析建模，有的侧重于空间信息的提取和空间信息的传输，有的侧重于地理学，有的侧重于地图学，但都从不同方面对空间分析的内涵进行了阐释。

从以上分析可以看出，尽管各位学者对空间分析的具体定义有所不同，但有一点是共同的，即空间分析是对空间信息的获取。事实上，空间分析就是对空间问题的求解过程，获取空间信息是解决空间问题的必要手段。现代意义的空间分析是指在计算机技术的支撑下，提取地理对象在位置、属性、关系等方面的信息，以支持特定的空间决策问题。

1.2 空间分析的发展

关于空间分析的起源与发展，也存在多种不同的看法。有人认为，从地图产生以后就有了空间分析，因为人们在地图上进行的各种量测及相关分析，都是对空间问题的求解；也有人认为，空间分析源于地理学的计量革命，即在地理学中引入了数学方法以后产生的；还有人认为，空间分析是地理信息系统出现以后产生的，即地理学的思想与方法同计算机技术相结合之后才出现并得到大量应用的。有人从学科发展的角度出发，认为统计学、几何学、统筹学、拓扑学等与地理学的结合，催生并推动了空间分析的发展。事实上，自从有了人类，空间分析就已经在不自觉的状态下产生了。例如，在原始社会，人们为了生存，需要解决在什么地方（距离、方向、高度等）易于获取食物的问题，这其实就是空间分析。从以上这些

认知中不难发现空间分析的发展历程,即从原始的空间问题求解,到地图的应用、计量地理的出现,再到 GIS 的产生,空间分析逐渐发展和完善,并得到大量应用。

1.2.1 早期的空间分析

1. 地图与空间分析

虽然空间分析早已存在于人类长期的实践活动中,但真正为大家所认知还是在地图广泛



图 1.1 空间分析经典案例
(霍乱病与水源分布)

应用之后。一个至今仍被人们津津乐道的著名案例就是“斯诺的霍乱地图”。1854 年,英国伦敦霍乱病流行,参与病源调查的医生约翰·斯诺,将每个霍乱病死者的居住位置,标注在一张具有道路、房屋、饮水井等内容的地图上(图 1.1),他发现死者的位置几乎都在某一口水井周围,于是他让政府关闭了这口水井,此后再无新增霍乱病例,从而得出了霍乱病是通过水源传播的这一重要结论。斯诺的发现实际上是一次多要素的空间叠加过程,通过要素间的空间关系找出了答案,这是地图应用的经典成果,也是空间分析在地图上的具体实践。

自从有了地图,空间分析就有了图形基础。事实上,地图从制图到应用的整个信息传输过程,就是空间分析的过程。在制图过程中,制图者将自己对自然和社会经济要素的认知,在一定的数学基础上,通过分类、选择、简化和夸张等地图概括方法,采用一定的符号进行图形表达。该过程不仅有数据的处理与可视化,更体现了制图者对现实世界的分析和理解。在地图应用过程中,从简单的量算到复杂的分析,也都体现出空间分析的存在。简单的空间分析包括坐标量算、高程量算、长度量算、方向量算、面积量算、表面积与体积的量算、坡度的量算、汇水区域的勾绘等。复杂的地图分析包括:研究各种现象的分布特点和规律;研究各种现象的相互联系;研究各种现象的动态变化,进行预测预报、开展综合评价、编制区划和规划等。

2. 计量地理与空间分析

计量地理学的出现,使人们将数学方法引入地理研究之中,从而可以更多地从定量角度来开展空间分析。也正是因为计量地理为现代空间分析奠定了坚实的理论基础,空间分析这一概念才真正进入人们的视野。诞生于 20 世纪 50 年代末的计量地理学,把统计学方法引入地理学研究领域,构造了一系列统计量来定量地描述地理要素的分布特征,如地理要素的分布中心、区域形状、集中度和离散度等,甚至要素之间的相关关系,都可以定量地表示。它给长期以来只是定性描述的地理学带来了革命性的变化。20 世纪 70 年代,计算机技术和多元统计分析方法在地理研究中得到广泛应用,从而可以分析一些复杂的地理问题。到 20 世纪 80 年代末,计量地理学的分析方法不仅包括概率论与数理统计方法,还包括运筹学中的规划、决策、网络分析等方法,以及数学物理、模糊数学、分形几何、非线性分析等方法,此外还包括了计量经济学中的投入产出分析方法。这一阶段更重要的是,计量地理与现代系统科学、地理信息系统等紧密结合,不仅理论和方法逐渐走向成熟和完善,而且研究手段也更加先进,从而使空间分析的应用领域更加广阔。空间分析这一概念也正是在这一阶段被提出并为人们

所广泛应用的。20世纪90年代后,计量地理学步入了计算地理学的新阶段,高性能的计算技术,结合新的分析模型和方法,如神经网络、遗传算法、元胞自动机、模式参数随机取样、模糊逻辑、地理加权回归等,广泛应用于“整体”“大容量”等数据之中,解决一些模拟、预测等空间分析问题。

3. 统计学与空间分析

统计学融入计量地理学后,间接解决了很多空间分析问题,而统计学家直接加入地理研究之中,则进一步推动了空间分析的深入发展。可以这样认为,计量地理学中的统计方法,主要是由地理学家被动引入的,而空间统计学的诞生,则表明统计学家开始主动参与地理问题的分析和研究。20世纪60年代,法国统计学家 Matheron 通过大量的理论研究,开创了空间统计学这门新的统计学分支。其后,空间统计分析方法在生物学、空间计量经济学、图像处理、环境学和地球科学、生态学、地理学、流行病学、农学、森林和矿产勘探等领域得到广泛的应用。

因为空间现象之间的相互作用在不同方向、不同距离上是不相同的,描述地理对象或现象的空间数据不再满足传统统计分析方法对数据的基本假设,如对数据的正态分布假设等,所以传统的数理统计方法无法很好地解决空间样本点的选取、空间估值和两组以上空间数据的关系等问题,空间统计分析方法应运而生。空间统计学的主要思想就在于空间中距离较近的数据通常比距离较远的数据具有更高的相似性。因此,空间统计分析中的一个重要任务就是研究空间数据点的分布具有怎样的规律,并利用这种规律来对未知的数据点进行预测。这一思想在空间分析中的最典型应用就是地统计分析与空间插值。

空间统计学与经典统计学有很密切的联系,同时也有一些区别。经典统计学中研究的数据一般都是截面数据和时间序列数据,以概率论与数理统计为基础,利用回归分析、多元统计分析、时间序列分析等统计分析方法,研究数据的内在规律。而空间统计学需要处理具有地理位置属性的空间数据,且观测值来自一个空间过程,与随机过程有一定的相似之处。但大多数空间问题的观测资料只有一组,无法得到重复观测的资料。另外,空间资料间往往具有某种空间相关性,并且在不同的解析度下会呈现不同的相关程度。

1.2.2 基于地理信息系统的空间分析

1. 空间分析成就了地理信息系统

空间分析为地理信息系统(geographic information system, GIS)提供了思想精髓,它使GIS从最初的计算机辅助制图阶段发展成真正的信息系统,地图制图不再是GIS的主要功能,空间分析功能成为了GIS的核心功能。正是有了空间分析功能才使GIS成为一种独特的信息系统。GIS出现以后,迅速吸收了空间分析的方法和手段,将它们融入GIS之中,利用各种计算机技术,使复杂的传统空间分析任务变得简单易行,并能方便地应用几何、逻辑、代数等运算,以及各种数理统计方法,更科学、高效地分析和解释地理特征间的相互关系及空间模式。目前,空间分析功能的强弱已经成为衡量GIS软件产品性能的主要指标。

2. GIS推动了空间分析的发展和应用

GIS为空间分析提供了良好的支撑平台,空间分析也因为有了GIS而得到更加广泛的应用。基于GIS的空间分析,体现在从数据输入到数据输出的整个过程之中。

GIS为空间分析获取与编辑数据。在图形方面,GIS通过跟踪数字化、扫描矢量化、外

部数据转换等方式,将空间分析的图形要素输入计算机中并进行必要的编辑,如结点不达、结点超出、碎多边形等。在属性方面,GIS 通过逐要素输入、计算输入、条件输入、外部表格链接等方式,为各要素输入或编辑属性数据。

GIS 为空间分析处理数据。空间分析的数据来源多样,常常需要借助 GIS 进行数据的结构转换、坐标转换、格式转换、裁切、拼接、提取等处理后,才能用于空间分析。

GIS 为空间分析进行数据存储与管理。空间分析需要大量数据,而 GIS 具有灵活高效的空間数据组织能力,可以将不同类型的空间数据、空间数据的不同属性特征进行合理组织、编码,建立空间数据库,以满足多种类型的空间分析的需要。

GIS 为空间分析提供工具。GIS 平台软件中,不仅提供了常用的空间分析工具,还提供了用于解决特定问题的扩展功能模块,用户甚至还可以轻松构建自己的分析模型。以 ArcGIS 软件为例,它的空间分析工具不仅包括叠加分析、邻近性分析、统计分析等常用工具,还包括三维分析、地统计分析、网络分析、空间分析、追踪分析等扩展工具;用户借助模型构建器,还能以图解模型的形式搭建自己的模型进行空间分析。

GIS 为空间分析结果的呈现与输出提供平台。一般来说,空间分析的结果往往需要借助 GIS,以地图制图、报表输出等方式呈现出来,从而用于空间决策实践。

正是有了 GIS,空间分析的一切过程才变得简单(如叠加分析、缓冲区分析等),空间分析人员才可以将主要精力用于空间分析方法或模型本身的研究,其他的事都可交给 GIS 来完成。因此,基于 GIS,空间分析才真正进入了快速发展和应用阶段。

1.3 空间分析的基本任务

空间分析的基本任务是通过获取空间信息,解决空间问题。这些空间问题概括起来包括以下五个方面:位置、条件、变化趋势、模式和模拟与预测。它也是 GIS 从功能角度上所能回答的 5 类问题。

(1) 位置分析。位置是地理学领域最基本的问题。通过空间分析,可以解决某一事物或现象在什么位置、在特定的位置有什么和是什么等问题。例如,沙尘暴的源头在什么地方?受其影响的区域有哪些?离事故现场最近的医院在什么地方?哪些地方适宜城市建设?将超市开设在什么地方?银行在哪里布设网点合适?通过查询分析、适宜性分析等方式,可以实现位置查询或选址分析。

(2) 条件分析。解决符合某些条件的地理对象是什么、在哪里等问题。例如,“一带一路”上有哪些国家?“长江经济带”有哪些城市?陡坡耕地有哪些?在 GIS 中,可以根据地理对象的属性信息、空间位置、相互关系等特征,采用一个条件或多个条件组合进行查询,从而获取满足条件的地理对象。

(3) 变化趋势分析。解决某一地理对象随时间变化而变化的问题,其根本目的是预测该对象在未来的可能状况,从而做出科学的决策。通常,它需要根据研究对象的发生机理,结合影响该对象发生和变化的因子,对未来做出判断。例如,在森林防火中,当发现火源时,需要根据风向、植被、地形等因素,确定火灾的蔓延趋势,从而采取适当的抗灾措施;在暴雨之后,需要根据降水量、地形、植被等因素,确定河流水位在未来 6 小时、12 小时等的变化情况,从而进行洪灾预警,减少人员和财产损失。在 GIS 中,可以根据趋势因子的相关数

据,采用叠加分析、缓冲区分析、模型分析等方法来解决此类问题。

(4) 模式认知。模式是解决某一类问题的方法论。GIS 空间分析所能解决的模式问题主要是指地理对象实体或现象之间的空间关系模式、地球系统内部各要素之间或各子系统之间的关系模式等,如河流产沙模式、全球变化与温室效应模式、城市扩张与耕地保护模式、交通网络模式等。模式的确定通常需要长期的观察,熟悉现有各种数据,分析已经发生或正在发生事件的相关因素,通过地理信息系统将现有数据整合在一起,了解数据之间的潜在关系,找出事件发生与哪些因素有关,并建立关系模型,最终获得解决问题的方法。

(5) 模拟与预测。模拟主要解决某个系统如果具备某种条件,就会发生什么相关地理事件等问题。通过模拟,可以对高度复杂的地球系统进行研究和实验;可以设定不同方案,观察这些方案对系统结构和行为的影响;可以反映变量间的相互关系,说明哪些变量更重要,它们是如何影响其他变量和整个系统的;可以研究不同时期系统要素之间的动态联系,反映系统行为随时间变化而变化的情况;可以检验模型的假设,改进模型的结构。GIS 可以结合元胞自动机、多智能体系统等技术,创建一个虚拟实验环境,通过模型分析,给定模型参数或条件,对未发生或已经发生的地理事件、现象、规律进行演变和反演,为复杂地理现象的模拟、预测、调控等提供有效手段,解决诸如城市扩展、土地变化、气候变化、疾病扩散、火灾蔓延、沙漠化、洪水淹没、人口迁移、交通控制、紧急事件的人口疏散、环境资源管理、生态安全、公共设施动态选址、城市规划及可持续发展等问题。

1.4 空间分析的主要内容

(1) 要素特征与空间关系分析。要素特征包括要素自身的形态特征(如多边形的形状系数、线的曲率与伸长度等)和属性特征(如数量与结构等),以及要素的群体特征(如质心位置、分布状态和分布模式等)。不同地理要素之间往往相互作用和影响,如土壤与植被的演替与进化关系,土地利用格局与自然、社会经济、政策等因素之间的驱动关系,气候变化与人类活动的相互作用关系等。要素特征与空间关系的分析有助于对空间要素的认知和理解,有利于对生态系统、人地系统等进行模拟、调控和有效管理。

(2) 选址分析。空间选址是指在一定地理区域内为一个或多个选址对象确定合适位置,使某一指标或综合指标达到最优的过程。空间选址问题在生产生活、经济发展及军事中有着非常广泛的应用,如超市、银行、工厂、仓库、急救中心、消防站、垃圾处理中心、物流中心、导弹仓库的空间选址等。空间选址是最重要的长期决策之一,选址的好坏直接影响服务方式、服务质量、服务效率、服务成本等,从而影响企业利润和市场竞争能力,甚至决定企业的命运。好的选址会给人民的生活带来便利,降低成本,扩大利润和市场份额,提高服务效率和竞争力;差的选址往往会带来很大的不便和损失,甚至是灾难。所以,选址问题的研究有着重大的经济、社会和军事意义。

(3) 时空动态变化分析。空间数据的一个最重要组成部分是时间。不同时间,空间要素具有不同的属性,甚至不同的空间位置。研究空间要素随时间变化而发生的变化,揭示事物或现象的动态变化过程和特征,分析其驱动因素及作用关系,进一步对未来进行模拟和预测,是地理研究中的永恒主题。城市扩展、区域土地利用变化、植被的演化、交通流量的变化、台风过程追踪、森林火灾的蔓延、洪水淹没区的扩大、经济中心或人口中心的移动等,

都需要探讨动态变化问题。

(4) 空间网络分析。空间网络有很多,如路网、管网、水网、电网、通信网、物流网等,这些网络中存在物质、能量、信息的传输。空间网络分析主要研究如何配置一个空间网络,使其运行效果最佳。最常见的网络分析是最佳路径选择问题。各种类型的地图导航,其核心是以不同标准(如时间、距离、费用等)计算的最低成本路径问题。此外,水资源分配、电力分配、物资调配等资源配置问题,都需要通过网络分析来实现。

(5) 邻近性分析与距离分析。相邻地理要素间往往具有相互作用。邻近性反映要素之间的相邻关系,是要素作用的水平拓展。邻近性分析主要探讨地理要素之间的距离关系,以及要素对周边区域随着距离变化而产生的不同程度的影响。例如,商业中心对周边的地价会产生影响、道路周边会有噪声污染、水库有利于周边及其下游土地的灌溉等,这些影响的程度往往会随着距离的增加而衰减。此外,学校招生的片区划分、超市服务范围的确定、生态保护区的划定、寻找离家最近的医院和车站等,均是邻近性与距离问题。

(6) 表面生成与表面分析。地理观察中,很多采用的是点观察模式,如气象观察、地形特征点的测绘、土壤调查等。这与遥感等的面观察有显著的不同,它不能直接生成面数据,无法得到每个位置的数据,而很多研究和分析中常常需要面数据以覆盖整个区域。为此,空间分析需要解决由点到面的表面生成问题。空间插值是生成表面的主要方法,它根据相近相关的基本思想,对每一个未知点(待插值点)的值,采用邻近点的观察值并考虑距离等因素来估算,从而得到区域内所有点的值(面数据)。此外,采用三角剖分法、面数据衍生法等也可以生成面数据。有了表面数据,即可开展表面分析。表面分析主要研究地表或其他表面的形态特征,如坡度与坡向、地表曲率与起伏度、等值线与剖面线、可视性等。基于表面,还可以开展三维分析、水文分析等多种表面特征分析。

1.5 空间分析的常用方法

基于 GIS 的空间分析方法有很多,常用的包括以下几类。

(1) 量算分析。它是最基本的空间分析方法,也是进行其他高层次分析的基础。通过量算,可以了解一些空间特征的几何参数,如位置坐标、距离、长度、面积等。

(2) 统计分析。它对空间数据进行分类、统计、综合评价,是探索地理信息的最简单方法,其中包括统计图表分析、描述统计分析、回归分析、趋势面分析等。基于栅格的统计还包括像元统计、邻域统计、分区统计等。

(3) 空间查询分析。它是按照一定的条件,寻找符合条件的空间实体及其相应的属性。查询的方法很多,可以基于空间要素、空间属性、图形关系、空间位置等进行查询。

(4) 叠加分析。它将同一地区不同地理对象的图层在同一空间参照系下进行叠加,对多个数据图层进行逻辑运算,产生空间区域属性特征,建立空间对应关系。矢量数据的叠加往往通过图形的切割和属性的继承来体现叠加后要素的空间和属性特征。栅格数据的叠加往往将同一位置不同图层的像元进行运算,包括从简单的算术运算到复杂的模型运算等,生成新的像元值。

(5) 缓冲区分析。它是对一个、一组或一类空间对象(点、线、面等实体)依据一定的缓冲区距离建立邻近区域的过程。其目的是便于为某项分析或决策提供依据,用以识别这

些实体或主体对邻域所产生的辐射度或影响度。

(6) 网络分析, 是指优化网状事物(如地理网络、城市基础设施网络等)的建立、运行、资源分配、路径选择等的分析过程, 且对它们的相关关系、内在关系进行地理分析和模型化。

(7) 其他分析方法。除以上分析方法外, 还包括空间插值、地统计分析、表面分析、三维分析、水文分析、聚合聚类分析、模型建立与模型分析等。

1.6 空间分析的一般过程

空间分析的目的在于解决某类与地理空间有关的问题。良好的空间分析过程设计将十分有利于问题的解决。由于分析问题的不同, 空间分析的过程有所差异, 但其基本过程一般包括以下几个阶段。

(1) 明确分析目标与方法。首先要明确分析的目标, 即明确通过空间分析所要解决的问题、要达到的预期结果。其次, 需要明确解决该问题的过程与方法, 包括有哪些步骤、各个步骤中需要用到哪些分析方法、这些方法需要什么软硬件支撑、分析所用的数据是什么、各个阶段如何衔接等。

(2) 准备空间数据。空间数据准备是空间分析的必备条件, 它包括空间位置数据准备、属性数据准备等内容。前者包括空间几何数据的输入(如扫描矢量化)、编辑、处理(如坐标转换、裁切、拼接、多源数据融合)等, 后者是指属性数据的输入与校验。在很多情况下, 空间位置数据是现有的, 而属性数据则需要在应用中添加。例如, 在基于行政区的研究中, 行政区的多边形数据往往是现成的, 各行政单元的社会经济数据可能源于统计年鉴, 需要在分析前进行属性的添加。

(3) 进行空间分析操作。基于 GIS 软硬件系统, 采用合适的方法对空间数据进行分析, 获取相应的空间信息。必要时, 可以建立相关的数学模型、图解模型进行模型分析。

(4) 分析结果的解释与评价。对分析结果进行评价和解释, 以确定运算结果是否符合原有要求、是否具有实际意义、是否与预期结果相符。如果分析的结果不能被接受, 则需要分析产生问题的原因, 是分析过程引起的还是分析方法、分析数据等方面的不合理引起的。必要时应返回前面的相应步骤, 在补充适当的条件或调整相关数据与方法之后, 重新进行分析操作。

(5) 结果输出。对于最终的分析结果, 往往需要以专题图或报表的形式输出。两种形式的输出对应不同的分析问题: 专题图形式对于表达空间关系具有直观性、简明性、易懂性; 而报表形式则可以用表格数据显示计算结果, 并根据实际情况对最终的数据进行分析, 检验其合理性。

1.7 常用 GIS 平台软件的空间分析功能

国内外目前常用的 GIS 平台软件包括美国环境系统研究所(Environmental Systems Research Institute, ESRI)公司的 ArcGIS 和 ArcView、美国 Intergraph 公司的 MGE、美国 MapInfo 公司的 MapInfo、中地公司的 MapGIS、超图公司的 SuperMap 等。这些 GIS 平台软件都具有空间分析功能, 但强弱差别较大(表 1.1)。

表 1.1 GIS 软件空间分析功能比较 (张刚等, 2013)

空间分析功能		主流的 GIS 软件					
		ArcGIS	MGE	ArcView	MapInfo	MapGIS	SuperMap
空间查询与量算	空间查询	★	★	☆	☆	☆	☆
	空间量算	★	★	☆	☆	☆	☆
缓冲区分析	围绕点	★	★	★	★	☆	☆
	围绕线/弧	★	★	★	★	☆	☆
	围绕面/多边形	★	★	★	★	☆	☆
	加权	★	★	★	★	☆	☆
叠加分析	点与多边形	★	★	★	★	☆	☆
	线与多边形	★	★	★	★	☆	☆
	面与多边形	★	★	★	★	☆	☆
网络分析	路径分析	★	★	★	○	◆	★
	资源分配	★	★	★	○	◆	★
	最佳选址	★	★	★	○	◆	★
	地址匹配	★	★	★	◆	◆	★
栅格数据分析	聚类聚合分析	★	★	★	◆	☆	☆
	复合分析	★	★	★	◆	☆	☆
	邻域分析	★	★	★	◆	☆	★
	追踪分析	★	◆	◆	◆	◆	★
空间统计分析	基本统计量	☆	◆	◆	☆	◆	★
	探索性数据分析	☆	◆	◆	◆	◆	☆
	分级统计分析	★	◆	◆	☆	◆	☆
	空间插值	★	◆	◆	◆	◆	☆
	空间回归分析	☆	◆	◆	◆	◆	☆
三维空间分析	表面分析	★	☆	★	◆	★	★
	三维要素分析	★	☆	★	◆	★	★
	三维可视化	★	☆	★	◆	★	★
二次开发能力	基于二次开发的空间分析	★	◆	◆	☆	◆	★





注: ★表示强; ☆表示较强; ◆表示较弱; ○表示无。

MapInfo 对矢量数据的空间分析支撑较好, 能够很好完成缓冲区分析、叠加分析, 具有较强的量算和查询分析功能, 在栅格数据分析、三维空间分析、空间统计等方面相对较弱, 但因 MapInfo 不具备拓扑关系的数据结构, 它的拓扑分析能力受到限制, 网络分析的能力不足。ArcView 是 ESRI 公司的一个轻量级桌面 GIS 系统, 除了在空间统计分析及二次开发方面较弱外, 其余空间分析功能均较为强大。MGE 的空间分析功能整体不错, 但空间统计分析较弱。MapGIS 具有较强的制图能力, 提供了包括数字地面模型 (digital terrain model, DTM) 分析、空间叠加分析等一系列空间分析功能, 但网络分析、空间统计分析等方面相对较弱。SuperMap 能完成数据管理、地图编辑、拓扑处理、空间分析和三维建模等任务, 具有较强的

叠加分析、缓冲区分析、空间查询与量算、拓扑分析、邻近分析、复合分析等功能；ArcGIS 不仅能够满足数据库日益增长的多用户分布式数据管理的需求，更可取的是它在叠加分析、网络分析、缓冲区分析、统计与量算等众多方面都具有很强的空间分析能力，能帮助用户轻松完成许多从低级到高级的空间分析，其空间处理的主要内容包括分析工具、数据管理、转换工具、空间分析工具（如缓冲区分析、叠加分析、网络分析、距离制图、表面分析、密度制图、统计分析、重分类、空间插值、创建统计表面、水文分析、地下水分析、多变量分析等）、3D 分析工具、地理编码工具、线性参考工具等。ArcGIS 强大而全面的空间分析能力，使它成为当前最受欢迎的 GIS 综合平台系统。

1.8 空间分析与 ArcGIS 地理处理

地理处理（geoprocessing，简称 GP）是 ArcGIS 软件的重要组成部分，使用 ArcGIS 软件来执行空间分析任务离不开地理处理。地理处理的基本目的是为用户提供用于执行空间分析和地理数据的工具和框架。地理处理中有大量成套的工具，用于执行从简单的缓冲区和面叠加上到复杂的回归分析及影像分类等各项 GIS 任务。执行自动操作的任务可以是如数据格式转换那样的普通任务，也可以是很有创造性的任务，这些任务使用一系列操作实现对复杂的空间关系进行建模和分析，如通过交通网络计算最佳路径、预测火势路径、分析和寻找犯罪地点的模式、预测哪些地区容易发生山体滑坡或预测暴雨事件造成的洪水影响。

地理处理以数据变换的框架为基础。典型的地理处理工具会针对某一数据（如要素类、栅格或表）执行操作，并最终生成一个新的数据。图 1.2 是 ArcGIS 的地理处理工具箱 ArcToolbox，该工具箱包含了三维分析、叠加分析、邻近性分析、制图、数据互操作、数据管理、编辑、地理编码、地统计、线性参考、网络分析、空间分析、空间统计、追踪分析等众多数据处理工具，能够实现多种从简单到复杂的地理处理功能。每个工具箱中含有不同的工具集，工具集中包含了不同的内置工具、脚本工具、模型工具或特殊工具。内置工具是由使用 ArcObjects 和像 .NET 这样的编译型编程语言构建的；模型工具是使用模型构建器生成的；脚本工具是使用脚本工具向导创建的，如 Python 文件(.py)、AML 文件(.aml)或可执行文件(.exe 或.bat)；特殊工具往往由系统开发人员构建，有自己独特的用户界面。ArcGIS Data Interoperability 扩展模块中具有一些特殊的地理处理工具。每个工具都有一个对话框，而且执行工具的最常用方法就是使用它们的对话框。对话框中常常需要设置输入数据、输出数据及相关的参数。当工具执行完毕后，执行情况的相关信息将显示在“结果”窗口中。

通过 ArcGIS 地理处理中的模型构建器，可以将一系列工具按顺序串联在一起，以其中一个工具的输出作为下一个工具的输入，如图 1.3 所示，将缓冲区工具、叠加工具、数据提取工具串联起来，组成一个工作流。利用模型构建器，可以以图解建模的方式，将多个地理处理工具有机组合在一起，从而帮助用户自动执行任务和解决一些非常复杂的问题。例如，在选址分析、森林火灾扩散模型分析时，都需要用到大量的空间分析步骤和数据，将整个过程通过地理处理可视化建模，不仅方便快捷、便于理解，还能提高自动化水平（批处理或加入循环）和工作的可靠性。通过将工作流打包成一个易于共享的地理处理包，可以与他人共享工作，还可以从地理处理工作流中创建 Web 服务。此外，地理处理也可以通过脚本、命令窗口来实现，从而可以有更多的途径来执行数据处理和空间分析。