

# GIS 软件的空间分析功能比较

张 刚,杨 昕,汤国安

(1. 南京师范大学地理科学学院,江苏 南京 210023)  
(2. 虚拟地理环境教育部重点实验室,江苏 南京 210023)

[摘要] 空间分析是 GIS 的核心内容,已成为选择 GIS 软件的重要指标之一. 针对目前广大用户对 GIS 需求从简单的查询、量算过渡到复杂的地理分析与计算,亟需明确认识现有 GIS 软件空间的分析功能. 本文在详细介绍空间分析的概念、发展与应用以及空间分析类型的基础上,对 ArcGIS、ArcView、MGE、MapInfo、MapGIS 以及 SuperMap 等国内外主流 GIS 软件的空间分析功能进行了详细的比较. 结果表明,国内外 GIS 软件在查询与量算、缓冲区分析、空间叠加分析、栅格数据分析等最基本的空间分析功能方面基本相当,而在网络分析、空间统计分析、三维分析、二次开发能力方面,存在差异. 其中,国内 GIS 软件空间分析功能正逐步完善,甚至与国外知名 GIS 软件相当.

[关键词] 地理信息系统,空间分析,空间数据,GIS 软件  
[中图分类号] TP208 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2013)02-0041-07

## A Comparison of Spatial Analysis Function of GIS Software

Zhang Gang, Yang Xin, Tang Guoan

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)  
(2. Key Laboratory of Virtual Geography Environment, Ministry of Education, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** Geographic Information System (GIS) comes into analysis stage from database stage with the development of GIS theory and computer technology, and the function of GIS software is progressively expanding and improving as well. As the core content of GIS, spatial analysis has become an important indicator to choose GIS software. According to the demand of the users for GIS, it has gradually changed from the simple query and measurement to the complex geographic analysis and calculation. Therefore it is urgent to have a clear idea of spatial analysis function of existing GIS software. This paper firstly makes a comprehensive introduction of the concept, development, application as well as classification of spatial analysis. Furthermore, a detailed comparison of the spatial analysis function is carried out between domestic and overseas GIS soft, such as ArcGIS, ArcView, MGE, MapInfo, MapGIS and SuperMap. The result shows that domestic GIS platform is roughly equivalent to foreign well-known GIS software in spatial analysis function. The function of all these GIS software are basically the same in terms of spatial query and measurement, buffer analysis, overlay analysis, raster data analysis, etc. However, when it comes to the function of network analysis, spatial statistical analysis and three-dimensional analysis, these GIS software performs quite differently. This article expects to provide a targeted reference for users to select the appropriate GIS software in practical work.

**Key words:** GIS, spatial analysis, spatial data, GIS software

地理信息系统(Geographical Information System, GIS)是在计算机软、硬件支持下,对整个或部分地球表层的有关地理分布数据进行采集、存储、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统<sup>[1]</sup>. 自 20 世纪 60 年代地理信息系统出现以后,其迅速融合空间分析的理论与方法,并通过统计学、图论、拓扑学、计算几何和图形学等方法,更加科学地揭示地理对象间的空间关系及空间模式. GIS 为空间分析提供了良好的支撑平台,空间分析也为 GIS 提供了强有力的理论支撑,并使其获得了强大的生命力和广阔的发展空间. 随着计

收稿日期:2013-03-18.  
基金项目:国家自然科学基金(40930531、41271438)、江苏高校优势学科建设工程资助项目.  
通讯联系人:杨昕,副教授,研究方向:数字地形分析、GIS 空间分析等. E-mail:xxinyang@njnu.edu.cn

计算机新技术的不断应用,传统的空间分析任务变得简单易行,GIS 的发展由数据库型进入分析型阶段.而空间分析功能也成为目前 GIS 进入到地理信息服务时代的核心支撑之一.

空间分析是地理信息系统区别于其他信息系统的关键所在.由于出发点和侧重点不同,国内外学者对空间分析内涵的理解也不尽相同,至今尚未有一个统一的定义. Haining R 将地理统计与数据分析作为空间分析的核心,认为空间分析是基于地理对象空间布局的地理数据分析技术<sup>[2]</sup>;李德仁认为空间分析是以空间实体间的空间关系为研究对象,通过交互式查询方式获取派生信息和新知识的过程<sup>[3]</sup>;郭仁忠则认为空间分析是以地理对象的空间位置以及形态特征为研究对象,以提取和传输空间信息为研究目的的空间信息分析技术<sup>[4]</sup>.随着空间分析向更高层次的发展,以上定义均不能完全概括空间分析的内涵.在计算机信息处理能力不断提高的今天,空间分析普遍为决策提供支持.因此,空间分析可以理解为分析、模拟、预测和调控空间过程的一系列理论与技术,其分析结果依赖于事件的空间分布<sup>[5]</sup>,并最终为用户提供决策支持服务.

## 1 空间分析的发展与应用

现代空间分析概念的提出,起源于 20 世纪 60 年代地理和区域科学的计量革命.在空间分析的萌芽期,人们主要是利用数理统计方法定量化地描述点、线、面等空间实体的空间分布状态.在此阶段,人们为解决空间信息的关联性问题,提出了空间数据模型的概念.随后,统计学家开始关注空间数据统计,逐渐完善了空间数据统计方面的理论与方法.地理学、经济学、大气科学、水文学等专门学科也提出了大量的空间分析模型,推动了空间分析的进一步发展.随着空间信息处理能力的提高及空间信息分析模型的日益成熟,空间分析功能逐渐向强调地理空间自身的特征、面向空间决策支持、虚拟时空演化过程及提供智能服务等方向发展,形成并完善了空间分析的理论与技术方法体系<sup>[6]</sup>.自 1963 年,世界上第一个 GIS——加拿大地理信息系统(CGIS)诞生以来,地理信息系统的发展已有 50 余年的历史,随着空间数据结构研究的日益成熟,计算机制图实用化水平的不断提高,空间分析功能逐渐成为地理系统的核心功能,GIS 的发展由数据库型进入分析型阶段.

空间分析是基于地理对象的位置和形态特征的数据分析技术,是各类综合性地学分析模型的基础,为人们建立复杂的空间应用模型提供了基本工具<sup>[7]</sup>.随着 GIS 基础理论研究逐步走向成熟,计算机软硬件和相关学科的进步为 GIS 提供了更好的支撑,GIS 空间分析的应用也越来越广.利用空间分析方法不但可以查询空间信息,还可以通过空间关系揭示事物间更深刻的内在规律和特征.因此,人们也逐渐由“去哪里”、“怎么去”等基本的空间分析问题,转向更加关心所处位置与周围环境的关系<sup>[6]</sup>.目前,GIS 空间分析已经广泛应用于社会生产生活的各个方面,如资源管理、城乡规划、灾害监测、环境保护、交通运输、地形地貌分析、电子政务、医疗卫生、军事领域以及公众服务等方面<sup>[7-14]</sup>.普适化 GIS 的发展已将空间分析功能提供给普通的甚至没有专业背景的用户.因此,了解 GIS 空间分析功能的类型和性质,对于选择相关服务具有一定的参考意义.

## 2 空间分析类型

### 2.1 基于数据的空间与非空间性质的分类

由于 GIS 空间数据库中存储了包含空间特征的空间信息以及同应用相关的专题信息,即空间数据和非空间数据.空间数据描述空间实体的位置、形状和空间关系,以坐标和拓扑关系的形式存储;非空间数据是与 GIS 应用有关的专题数据,其中大多数为统计数据.因此,基于数据的空间与非空间性质,空间分析可分为空间数据的空间特性分析、空间数据的非空间特性分析以及空间特征和非空间特征的联合分析<sup>[15]</sup>.

空间数据的空间特性分析以统计学、图论、拓扑学、计算几何、图形学等为理论基础,研究空间对象的空间位置、空间形态、空间分布及空间关系,定量化地描述和表达空间事物.其中缓冲区分析、叠置分析、网络分析、影像分析、数字地形分析等空间分析方法都属于空间特性分析.

空间数据的非空间特性分析是指通过建立数学模型实现空间现象的过程模拟,揭示空间规律.其采用的分析方法主要是多元统计分析法,如聚类分析、因子分析、相关分析、多元回归分析以及趋势面分析等.虽然非空间特征分析不考虑数据抽样点的空间位置,但是其分析结果却依赖于地理空间,并通过地图的形

式进行展现<sup>[16]</sup>.

空间特征与非空间特征的联合分析在实际中应用最为广泛. 通常是通过空间特征分析获取空间位置信息,再用非空间特征分析获取区域内的专题信息,以提取和传输空间信息.

2.2 基于空间数据模型的分类

GIS 空间分析是在空间数据的基础上进行的,必然会受到空间数据模型及空间数据结构的制约和影响. 空间数据结构是空间数据在计算机内的编码和组织形式,空间数据模型则是关于现实世界空间实体及其相互间联系的抽象描述和表达<sup>[17]</sup>. 虽然数据模型已逐步发展出多个类型,如矢量数据模型、栅格数据模型、矢栅一体化模型、镶嵌数据模型及三维数据模型等,但现有的大多数空间分析主要基于栅格数据模型和矢量数据模型. 因此,空间分析可分为:基于栅格数据模型的空间分析和基于矢量数据模型的空间分析.

栅格数据模型采用面域或空域枚举的方式隐含描述空间实体,适用于用场模型抽象表达的空间对象. 在栅格数据模型中,点、线、面空间实体由单个或一系列的像元构成,其中,像元行列号代表空间实体的几何位置,像元大小反映数据的空间分辨率. 基于栅格数据模型的空间分析以矩阵分析法为数学基础,其内容主要包括聚类聚合分析、多层复合叠置分析、窗口分析及追踪分析等.

矢量数据模型通过点、线、面等原型实体及其集合来显式表达空间实体现象,适用于用对象模型抽象的地理空间,在矢量数据模型中,空间实体显式表达,可明确描述图形要素间的拓扑关系. 基于矢量数据模型的空间分析主要包括包含分析、叠置分析、缓冲区分析、网络分析等.

2.3 基于分析方法的分类

空间分析是分析空间数据的相关方法的统称. 刘湘南根据不同的分析方法将其划分为确定性空间分析、探索性空间数据分析、时空数据分析、专业模型集成分析、智能化空间分析及可视化空间分析<sup>[18]</sup>.

确定性空间分析是指分析处理确定性空间数据或解决确定性空间问题的方法,是高级空间分析的基础,在 GIS 空间技术中已相当成熟. 探索性空间数据分析是指在尽量少的先验假设条件下,通过作图、制表及数理统计等方法对已有的空间数据进行探索分析,获取空间实体空间分布模式的一种数据分析技术. 时空数据分析是描述系统沿时间维变化的过程,既可回放过去不同时刻的系统状态,揭示系统演化规律,也可预测未来不同时刻系统的变化趋势. 专业模型集成分析是在对系统所描述的具体对象或过程进行大量专业研究的基础上,模拟或抽象客观规律,将系统数据重新组织建模的过程. 目前,GIS 空间分析功能与各领域专业模型的集成主要有基于组件的嵌入式耦合和基于数据交换的松散耦合方式<sup>[18]</sup>. 智能化空间分析是指利用数学、计算机及信息科学领域的人工智能技术解决地学问题的方法,其发展经历了决策树、基于知识的专家系统和基于智能计算的分析方法 3 个阶段,将智能计算技术与空间分析有机地融合,也为地理学研究提供了一个科学有力的技术平台. 可视化空间分析是指通过交互式可视化界面实现空间对象的空间性质计算,揭示空间分布规律的过程. 目前,可视化空间分析已由静态空间关系的可视化向动态系统演变过程的可视化过渡.

3 主流 GIS 软件空间分析功能比较

当今市场上的地理信息系统软件越来越多,一些传统 GIS 软件在扩展功能的基础上也逐渐加入了遥感影像处理的部分内容,而遥感影像处理软件也在不断丰富矢量数据的处理与分析功能,可以看出,所有的 GIS 相关软件平台都向着功能更全面的方向发展. 目前常见的主流 GIS 软件包括:美国环境系统研究所 (ESRI) 的 ARC/INFO 和 ArcView、美国 Intergraph 公司的 MGE、美国 MapInfo 公司的 MapInfo、中国地质大学的 MapGIS、北京超图地理信息技术有限公司的 SuperMap 等. 这些不同的 GIS 软件,其空间分析能力差异较大. 本文通过软件的完备性、交互性、运行速度、开发粒度等方面对其空间分析能力进行了对比分析,如表 1 所示.

表 1 GIS 软件空间分析功能比较

Table 1 The comparison of spatial analysis function of GIS software

空间分析功能		主流 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。

3.1 查询功能与量算

在地理信息系统中,往往需要查询定位空间对象,并用一些简单的量测值对地理分布或现象进行描述. 空间数据查询与量算,是地理信息系统最为基本的功能之一,是空间分析的定量基础. 因此,国内外 GIS 软件的该项功能都十分强大. 空间查询主要包括图形属性、图形定位及空间关系的查询;空间量算是对空间对象的几何参数进行量算,以获得关于这些空间实体的属性信息. ArcGIS 通过 Selection 菜单及 Tools 工具可交互式地获取地理对象的各种信息. ArcView 通过使用视图文档 GUI 工具条中的查询工具进行交互式查询,也可使用 Map Query 工具通过 SQL 命令实现空间数据及属性数据的查询. MGE 软件根据地图特征及其属性自动建立拓扑,通过 MGNUC 模块的 Geo Database Locate 工具,可对多个拓扑进行空间查询,实现图形特征与属性数据的双向查询. MapInfo 软件利用其图形数据与属性数据之间关联的功能,可快速实现空间查询与量算. MapGIS 软件通过点、线、面及数据库形式将位置数据与属性数据存储在一起,便于交互式的查询与量算. SuperMap 采用的是面向对象与面向拓扑的一体化模型,其拓扑关系是按需生成的,因此可通过 SQL 命令进行数据的查询与量算<sup>[19]</sup>.

3.2 缓冲区分析、叠置分析及网络分析

在空间分析的研究和实践中,缓冲区分析、叠置分析及网络分析作为 GIS 的基本空间分析功能,形成了 GIS 软件中固有的空间分析模块. 缓冲区分析是对选中的一组或一类地图要素按照设定的距离条件,形成缓冲区多边形图层的信息分析技术,其实现了数据在二维空间的扩展. 叠置分析是将多层面数据进行叠加,不仅生成了新的空间关系,且还包含新的属性信息. 网络分析是通过模拟、分析网络的状态及资源在网络上的流动和分配,研究网络结构、流动效率及网络资源等的优化问题的一种方法. ArcGIS 缓冲区分析是通过 Buffer 命令实现的,此命令可生成围绕某一特征的缺省距离缓冲区、固定距离缓冲区、可变距离缓冲区及加权距离缓冲区;其叠置分析功能集成于 ArcToolBox 工具箱的 OverLay 模块,包括图层擦除、标识叠加、相交、交集取反、图层联合及修正更新等部分;ArcGIS 的网络分析包括传输网络分析和效应网络分析,

对应的网络数据分别为网络数据集和几何网络. ArcView 软件分别通过 Theme-Create Buffer 命令、View-GeoProcessing Wizard 命令及 Network 模块实现与 ArcGIS 软件基本相同的缓冲区分析、叠置分析及网络分析,其操作性更强,运行速度更快且易于实现. MGE 通过 MGE Analysis 空间分析模块实现这些分析功能. MapGIS 将空间分析功能集成于不同的模块,通过调用功能模块实现缓冲区分析、叠置分析及网络分析. SuperMap 软件通过面向对象的方式存储空间实体,利用拓扑关系生成几何对象的缓冲区,实现叠加分析的裁剪、擦除、并交运算等,并建立网络数据集进行网络分析. MapInfo 软件只支持同心圆形缓冲区及外接多边形缓冲区,其缓冲分析能力较弱;由于 MapInfo 软件空间数据不包含拓扑关系,因此,其拓扑分析能力很弱.

### 3.3 栅格数据分析

栅格数据的分析处理方法可概括为聚类聚合分析、多层面复合叠置分析、邻域分析及追踪分析等几种基本的分析模式. 栅格数据的聚类是根据设定的聚类条件对原有数据系统进行有选择的信息提取而建立新的栅格数据系统的方法;聚合分析是指根据空间分辨率和分类表,进行数据类型的合并或转换以实现空间地域的兼并. 复合分析指不同层面的栅格数据按一定的数学法则进行运算,从而得到新的栅格数据系统的方法. 对于栅格数据系统中的一个、多个栅格点或全部数据,开辟一个有固定分析半径的分析窗口,并在该窗口内进行一系列统计计算,实现栅格数据水平方向的扩展分析. 追踪分析是由某一个或多个起点,按照一定的追踪线索进行目标追踪或提取追踪轨迹信息的空间分析方法. 在 ArcGIS、ArcView、MGE、MapGIS、SuperGIS、MapInfo 软件中都实现了这些基本的栅格分析功能,但 MapInfo 此项功能相对较弱.

### 3.4 空间统计分析

空间统计分析是空间分析的主要手段,贯穿于空间分析的各个环节,其内容主要包括基本统计量、探索性数据分析、数据特征分析、分级统计分析、空间插值和空间回归分析等. 基本统计量是数据特征的反应,是统计分析的基础;探索性数据分析能让用户更深入地了解数据,认识研究对象;分级统计分析是对数据进行加工处理的一种重要方法,通过分级可以把数据划分为不同的级别,体现数据自身的特征,为应用研究及专题制图提供基础;空间插值是利用已知点的数据,基于探索性数据分析结果,选择合适的插值模型,获取同一区域未知点信息的方法;空间回归主要研究两个或者多个变量之间的统计关系,通过空间关系将属性数据与空间位置数据结合起来,解释事物本质联系. 国内外软件中, ArcGIS 通过空间分析模块(Spatial Analysis)及地统计分析模块(GeoStatistical Analyst)实现了空间数据的统计分析功能;其中,地统计模块是 ArcGIS 特有的空间分析模块<sup>[20]</sup>,这也是其区别于其他 GIS 软件的显著特征. ArcView 统计分析功能主要包括局部统计和分区统计两部分,其主要通过 Analysis 下的子菜单实现空间统计分析功能. MapInfo 最大的特点就是数据统计分析功能强大,无论是文本信息还是图形信息,均用表的形式进行存储组织,便于统计分类分析,它对于图表的控制能力使其成为桌面 GIS 的代表. SuperMap 软件空间统计功能也相对较强大,在基本统计量及分析统计方面,该软件和 ArcGIS 基本相当. 在专题统计图方面,虽然 ArcGIS 支持较多的专题地图, SuperMap 在这方面功能更强,不仅支持更多的统计专题图功能,且提供了独一无二的自定义专题地图. 其他软件虽然也有空间统计分析,但是其功能都没有 ArcGIS 功能强大.

### 3.5 三维空间分析

随着 GIS 技术及计算机软硬件技术的进一步发展,三维空间分析技术逐步走向成熟,已成为 GIS 空间分析的重要内容,也逐渐成为评价 GIS 功能的主要标准之一. ArcGIS 软件三维空间分析功能主要通过 ArcToolBox 工具箱的 3D Analysis 模块实现,提高了可视化以及对真实世界的模拟能力,并提出了全球 3D 可视化模块 ArcGlobe. ArcGIS 实现的三维分析主要有表面分析(计算表面积和体积、基本地形因子的提取、可视性分析、断面提取及表面阴影处理)和三维要素分析(3D 集合运算). ArcScene 应用程序是 ArcGIS 三维分析的核心扩展模块,它具有管理 3D GIS 数据、3D 分析、编辑 3D 要素、要素立体显示等功能. ArcView 软件通过 3D Scene 扩展模块实现三维数据的显示及三维空间分析功能,其主要完成了三维透视观察、三维形状创建、表面模型的创建及表面分析功能,其表面分析主要包括三维信息的查询与量算、地形因子提取及地形剖面制作. MGE 的三维分析是通过 MGE Voxel Analyst 模块实现. MapInfo 提供了有限的三维图像创建与显示功能,三维处理分析功能较弱. MapGIS 软件包含 MapGIS-TDE 三维地理信息系统平台,具有全新的三维空间数据模型,实现了三维矢量模型数据的一体化存储,提供了景观快速建模、地表景观

可视化以及地表景观分析工具,其三维空间分析能力较强<sup>[21]</sup>. SuperMap 软件增加了三维 GIS 模块: SuperMap iSpace,致力于二维三维数据的一体化管理,增强三维空间分析能力. SuperMap 的三维功能主要包括三维建模、三维可视化以及地形分析.

### 3.6 二次开发能力

组件式开发无疑已经成为当前最主流的 GIS 二次开发方式,比较 GIS 软件的组件开发能力和灵活性在 GIS 软件选型中至关重要. ArcObject 是 ESRI 公司推出的组件对象平台,其功能强大、丰富,但对于对象粒度封装过细,初始化速度缓慢,且掌握困难. SuperMap 公司推出的 SuperMap 组件对象封装粒度适中,使用灵活且易于掌握. SuperMap III 大型组件式 GIS 软件开发平台功能强大,由一系列控件组成,既可协同工作,也可任意裁减,具有高度的伸缩性和灵活性. MapInfo 公司的 MapX 组件与 MapObjects 功能基本相当,稍强于 MapObjects,属于轻量级客户端,不适用于大型应用项目. ArcView 软件平台提供了面向对象的二次开发语言——Avenue,以实现用户对 ArcView 平台功能的扩展. MapGIS 提供完整的二次开发函数库,主要以 API 函数、MFC 类库、COM 组件、Active 控件方式提供. 对于 GIS 空间分析来说,主流的开发平台主要是由 ArcGIS 和 SuperMap 提供的.

## 4 结语

空间分析本质上是一种思维方式和工具,具有明显的多学科交叉特征. 目前,空间分析已经发展出了一些重要的模型与理论方法,但随着空间分析技术的深度和广度不断拓展,GIS 必然由一般的空间事物处理向分析型的空间决策支持方向迈进. GIS 技术的应用极大地促进了空间分析的需求和应用,并向各个应用领域渗透. 通过对当今主流 GIS 软件平台空间分析功能的比较,可以看出,不论在二维、三维空间分析功能还是二次开发能力上,ArcGIS 软件较其他 GIS 软件空间分析功能更为强大. 虽然国内 GIS 软件平台起步较晚,但从软件性能、稳定性及用户数量上,已逐渐与国外知名 GIS 软件相当,尤其是空间分析功能. 总之,空间分析功能的强大与否将决定着空间地理信息决策服务的能力,拥有强大的空间分析能力意味着将拥有更加广阔的地理信息服务前景,这也是 GIS 软件平台的发展趋势之一.

### [ 参考文献 ] (References)

- [1] 汤国安,刘学军,闫国年,等. 地理信息系统教程[M]. 北京:高等教育出版社,2007.  
Tang Guoan, Liu Xuejun, Lü Guonian, et al. Geographic Information System[M]. Beijing: Higher Education Press, 2007. (in Chinese)
- [2] Haining R. Spatial Data Analysis in the Social and Environmental Science[M]. New York: Cambridge University Press, 1990.
- [3] 李德仁,龚健雅,边馥苓. 地理信息系统导论[M]. 北京:测绘出版社,1993.  
Li Deren, Gong Jianya, Bian Fuling. Introduction to Geographic Information System[M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 1993. (in Chinese)
- [4] 郭仁忠. 空间分析[M]. 北京:高等教育出版社,2001.  
Guo Renzhong. Spatial Analysis[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001. (in Chinese)
- [5] 王劲峰,李连发,葛咏,等. 地理信息空间分析的理论体系探讨[J]. 地理学报,2000,55(1):92-103.  
Wang Jinfeng, Li Lianfa, Ge Yong, et al. A theoretic framework for spatial analysis[J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(1): 92-103. (in Chinese)
- [6] 汤国安,杨昕. 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社,2012.  
Tang Guoan, Yang Xin. ArcGIS Experimental Course for Spatial Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2012. (in Chinese)
- [7] 姜亚莉,张延辉. GIS 空间分析的应用领域[J]. 四川测绘,2004,27(3):99-102.  
Jiang Yali, Zhang Yanhui. The application of spatial analysis of GIS[J]. Surveying and Mapping of Sichuan, 2004, 27(3): 99-102. (in Chinese)
- [8] 姜亚莉,关泽群,郑彩霞. GIS 空间分析在水质污染监测中的应用[J]. 地理空间信息,2004,2(3):31-33.  
Jiang Yali, Guan Zequn, Zheng Caixia. Application of spatial analysis of GIS to water pollution monitoring[J]. Geospatial Information, 2004, 2(3): 31-33. (in Chinese)
- [9] 高志宏,梁勇,林祥国. 基于 3S 技术的现代城市规划应用研究[J]. 测绘科学,2007,32(6):193-195.

- Gao Zhihong, Liang Yong, Lin Guoxiang. Application study on modern city planning based on 3S technology[J]. Science of Surveying and Mapping, 2007, 32(6): 193–195. (in Chinese)
- [10] 于文金, 闫永刚, 吕海燕, 等. 基于 GIS 的太湖流域暴雨洪涝灾害风险量化研究[J]. 灾害学, 2011, 26(4): 1–7.  
Yu Wenjin, Yan Yonggang, Lü Haiyan, et al. GIS-based quantitative research on the risk of rainstorm and flood disaster in Taihu basin[J]. Journal of Catastrophology, 2011, 26(4): 1–7. (in Chinese)
- [11] 罗德安. GIS 在交通领域中的应用初探[J]. 四川测绘, 2000, 23(2): 55–57.  
Luo Dean. Applications of GIS in transportation field[J]. Surveying and Mapping of Sichuan, 2000, 23(2): 55–57. (in Chinese)
- [12] 郭伟, 李书恒, 朱大奎. 地理信息系统在海岸海洋地貌研究中的应用[J]. 海洋学报: 中文版, 2008, 30(4): 63–70.  
Guo Wei, Li Shuheng, Zhu Dakui. The application of geospatial technology to coastal geomorphology[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2008, 30(4): 63–70. (in Chinese)
- [13] 武继磊, 王劲峰, 郑晓瑛. 空间数据分析技术在公共卫生领域的应用[J]. 地理科学进展, 2003, 22(3): 219–228.  
Wu Jilei, Wang Jinfeng, Zheng Xiaoying. A review on application of spatial data analysis technology in public health[J]. Progress in Geography, 2003, 22(3): 219–228. (in Chinese)
- [14] 陈兆峰, 李勇. 军事地理信息系统在数字化战场中的应用[J]. 测绘信息与工程, 2008, 33(4): 31–33.  
Chen Zhaofeng, Li Yong. Application of military geographic information system in digital battlefield[J]. Journal of Geomatics, 2008, 33(4): 31–33. (in Chinese)
- [15] 王家耀. 空间信息系统原理[M]. 北京: 科学出版社, 2001.  
Wang Jiayao. Principle of Space Information System[M]. Beijing: Science Press, 2001. (in Chinese)
- [16] 陆守一. 地理信息系统[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.  
Lu Shouyi. Geographic Information System[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006. (in Chinese)
- [17] 张成才, 秦昆, 卢艳. GIS 空间分析理论与方法[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.  
Zhang Chengcai, Qin Kun, Lu Yan. Theory and Method of GIS Spatial Analysis[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2004. (in Chinese)
- [18] 刘湘南, 黄方, 王平. GIS 空间分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2008.  
Liu Xiangnan, Huang Fang, Wang Ping. Theory and Method of GIS Spatial Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese)
- [19] 靳军, 刘建忠. 国内外 GIS 软件的空间分析功能比较[J]. 测绘工程, 2004, 13(3): 58–61.  
Jin Jun, Liu Jianzhong. The comparison of spatial analysis function of domestic and overseas GIS software[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2004, 13(3): 58–61. (in Chinese)
- [20] 巫振富, 朱紫焱. MapGIS 与 ArcGIS 空间分析功能差异研究[J]. 科技信息, 2009(29): 10–12.  
Wu Zhenfu, Zhu Ziyang. The spatial analysis function's differences between MapGIS and ArcGIS[J]. Science and Technology Information, 2009(29): 10–12. (in Chinese)
- [21] 雷少刚, 卞正富. 常用 GIS 软件三维功能分析[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(7): 180–181.  
Lei Shaogang, Bian Zhengfu. The study on 3-D functions of GIS software[J]. Computer Applications and Software, 2008, 25(7): 180–181. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]