




地理信息系统理论与应用丛书

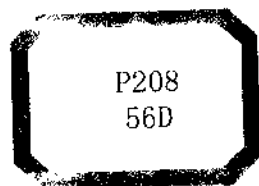
# ArcGIS

## 地理信息系统空间分析 实验教程

● 汤国安 杨昕 编著



 科学出版社  
www.sciencep.com



地理信息系统理论与应用丛书

# ArcGIS 地理信息系统 空间分析实验教程

汤国安 杨 昕 编著

江苏省高等教育教学改革研究项目  
南京师范大学本科生能力建设工程项目 资助出版  
国家自然科学基金资助项目(No. 40271089)

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是作者在总结多年教学与研究经验的基础上编写完成,主要介绍了 ArcGIS 的使用基础、ArcGIS 空间分析工具以及地学分析实例。内容包括: ArcGIS 简介、ArcMAP 基础操作、数据的创建与编辑、数据变换、矢量数据的空间分析、栅格数据的空间分析、三维分析、空间统计分析、水文分析及空间分析建模等。此外,本书还配有具典型性意义的实例分析及大量的随书练习材料,并在光盘中辅以相应数据,以便于学生课后练习和复习。

本书强调科学性、系统性、实用性与易读性的结合,可作为高等院校地理信息系统、地理学、测绘学等相关学科学生的教材,也可为科学研究、工程设计、规划管理等部门的科技人员提供参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程/汤国安,杨昕编著. —北京:科学出版社,2006

(地理信息系统理论与应用丛书)

ISBN 7-03-016904-2

I. A… II. ①汤…②杨… III. 地理信息系统-应用软件, ArcGIS-教材 IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 011872 号

责任编辑:彭胜潮 韩 鹏等/责任校对:钟 洋

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4月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2006年4月第一次印刷 印张:30 3/4

印数:1—4 000 字数:711 000

定价:59.00元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

# 前 言

地理信息系统 (Geographic Information System, 简称 GIS) 是对地理空间信息进行描述、采集、处理、存储、管理、分析和应用的一门新兴学科。随着计算机技术、信息技术、空间技术的发展, GIS 正逐步建立起独立的理论体系和完整的技术系统, 并广泛应用于测绘、资源管理、城乡规划、灾害监测、环境保护、国防建设等多个领域。各 GIS 应用行业迫切需要具有专业知识及 GIS 应用、开发技能的复合型人才。在 GIS 的专业及业余学习中, 除了理论知识的学习外, 掌握 GIS 软件的应用是 GIS 学习的重要内容。目前, 世界上常用的 GIS 软件已达 400 多种。在众多的 GIS 软件平台中, 美国 ESRI 公司推出的 ArcGIS 地理信息系统平台具有集数据录入、编辑处理、查询分析、制图输出于一体的完善的功能和强大的二次开发能力, 是目前 GIS 行业中最具代表性的产品。2002 年, 作者曾主编《ArcView 地理信息系统空间分析方法》, 现已重印三次。读者希望能在在此基础上, 出版一本基于 ArcGIS 的地理信息系统空间分析方面的实验教程, 供教学与自学使用。

近年来, 作者通过进行国家“863”计划项目及多项国家自然科学基金项目的研究实践与教学实践, 总结了一套利用 ArcGIS 软件进行地学空间分析的理论与技术方法, 并在南京师范大学本科教学中得到成功应用。本书以 ArcGIS 9 空间分析功能模块应用为基础, 在系统介绍其应用方法基础上, 配以大量的典型实例与练习, 使学习者通过对实践的总结、分析和探索, 加深对 GIS 基本原理的认识和理解, 进而提高实践应用能力和动手能力。

本书共分十二章, 其中第一章至第五章为 ArcGIS 基础操作篇, 以空间分析前后的数据处理与制图为重点, 着重介绍空间分析的基本概念、ArcGIS 应用基础、空间数据的采集与组织、空间数据的转换与处理等内容。第六章至第十二章为 ArcGIS 空间分析方法篇, 以专题形式分别介绍了空间分析基本内容、矢量数据的空间分析、栅格数据的空间分析、三维分析、地统计分析、水文分析以及空间分析建模等。每章后有若干实例练习和详细操作步骤, 并在光盘中辅以相应的数据, 帮助学生课后练习和复习。

本书由汤冈安、杨昕负责全书编写的总体设计、组织、审校和定稿工作。南京师范大学博士研究生王春、张婷、罗明良, 硕士研究生宋佳、张茜、房亮、陈盼盼、叶蔚、葛珊珊、贾旖旎等各负责其中一章的编写, 李发源、詹雷、周毅、肖晨超等研究生参与其中的部分实验与书稿的审校工作。ESRI 中国(北京)有限公司为本书的出版提供了技术与经费上的大力支持。在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限, 加之时间仓促, 书中难免有不妥之处, 敬请读者批评指正。

# 目 录

前 言	
第一章 导论	1
1.1 地理信息系统	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 GIS 系统构成	1
1.1.3 GIS 功能与应用	3
1.1.4 GIS 技术与发展	4
1.2 GIS 空间分析	6
1.2.1 空间分析	6
1.2.2 基于 GIS 的空间分析	7
1.2.3 常用 GIS 平台空间分析功能比较	9
1.3 ArcGIS 9 概述	10
1.3.1 ArcGIS 9 体系结构	10
1.3.2 ArcGIS 9 软件特色	12
1.3.3 ArcGIS 9 空间分析	14
第二章 ArcGIS 应用基础	15
2.1 ArcMap 基础	15
2.1.1 ArcMap 的窗口组成	15
2.1.2 新地图文档创建	19
2.1.3 数据层的加载	20
2.1.4 数据层的基本操作	21
2.1.5 数据层的保存	25
2.2 ArcCatalog 应用基础	26
2.2.1 ArcCatalog 基础操作	26
2.2.2 目录内容浏览	29
2.2.3 数据搜索	31
2.2.4 地图与图层操作	33
2.2.5 地理数据输出	34
2.3 Geoprocessing 空间处理框架	35
2.3.1 空间处理框架的基本介绍	35
2.3.2 ArcToolbox 应用基础	38
2.3.3 ArcToolBox 内容简介	39
第三章 空间数据的采集与组织	41
3.1 Shapefile 文件创建	41

3.1.1	创建 Shapefile 和 dBASE 表 .....	41
3.1.2	添加和删除属性项 .....	42
3.2	Coverage 文件创建 .....	43
3.2.1	创建新的 Coverage 和 INFO 表 .....	43
3.2.2	建立拓扑 .....	45
3.2.3	定义 Coverage 的坐标系统 .....	45
3.2.4	Coverage 维护操作 .....	47
3.3	Geodatabase 数据库创建 .....	48
3.3.1	Geodatabase 概述 .....	48
3.3.2	Geodatabase 建立的一般过程 .....	50
3.3.3	创建一个新的 Geodatabase .....	51
3.3.4	建立数据库中的基本组成项 .....	52
3.3.5	向 Geodatabase 加载数据 .....	56
3.3.6	进一步定义数据库 .....	63
3.4	数据编辑 .....	82
3.4.1	图形编辑 .....	82
3.4.2	属性编辑 .....	92
3.5	实例与练习 .....	93
3.5.1	某地区地块的拓扑关系建立 .....	93
3.5.2	某市区几何网络的建立 .....	100
<b>第四章</b>	<b>空间数据的转换与处理</b> .....	<b>106</b>
4.1	投影变换 .....	106
4.1.1	定义投影 .....	107
4.1.2	投影变换 .....	109
4.1.3	数据变换 .....	111
4.2	数据格式转换 .....	117
4.2.1	数据结构转换 .....	118
4.2.2	数据格式转换 .....	120
4.3	数据处理 .....	122
4.3.1	数据裁切 .....	122
4.3.2	数据拼接 .....	125
4.3.3	数据提取 .....	128
4.4	练习: 数据更新变换 .....	130
<b>第五章</b>	<b>空间数据的可视化表达</b> .....	<b>137</b>
5.1	数据符号化 .....	137
5.1.1	矢量数据符号化 .....	138
5.1.2	栅格数据符号化 .....	148
5.2	专题地图编制 .....	152
5.2.1	版面设计 .....	152

5.2.2	制图数据操作	155
5.2.3	地图标注	163
5.2.4	地图整饰	166
5.2.5	地图输出	177
5.3	实例与练习——制作上海市行政区划图	178
<b>第六章</b>	<b>GIS 空间分析导论</b>	<b>183</b>
6.1	空间分析的数据模型	183
6.2	GIS 空间分析的基本原理与方法	186
6.2.1	栅格数据分析的模式	186
6.2.2	矢量数据分析方法	189
6.2.3	空间统计分析 with 内插	191
6.2.4	三维空间分析	193
6.3	ArcGIS 9 空间分析模块和功能	194
<b>第七章</b>	<b>矢量数据的空间分析</b>	<b>196</b>
7.1	缓冲区分析	196
7.1.1	基本概念	196
7.1.2	缓冲区的建立	196
7.2	叠置分析	202
7.2.1	图层擦除 (Erase)	202
7.2.2	识别叠加 (Identity)	204
7.2.3	交集操作 (Intersect)	206
7.2.4	对称区别 (Symmetrical Difference)	208
7.2.5	图层合并 (Union)	209
7.2.6	修正更新 (Update)	211
7.3	网络分析	212
7.3.1	网络的组成和建立	213
7.3.2	网络分析的预处理	213
7.3.3	网络分析的基本功能和操作	219
7.4	实例与练习	233
7.4.1	市区择房分析	233
7.4.2	最短路径问题分析与应用	242
<b>第八章</b>	<b>栅格数据的空间分析</b>	<b>248</b>
8.1	设置分析环境	248
8.1.1	加载分析模块	248
8.1.2	设置工作路径	249
8.1.3	设置单元大小	249
8.1.4	设置分析区域	250
8.1.5	选择坐标系统	251
8.1.6	管理过程文件	251

8.2	距离制图 .....	252
8.2.1	距离制图基础 .....	252
8.2.2	直线距离 .....	254
8.2.3	区域分配 .....	255
8.2.4	成本距离加权 .....	256
8.2.5	最短路径 .....	257
8.3	密度制图 .....	258
8.4	表面分析 .....	260
8.4.1	栅格插值 .....	260
8.4.2	等值线绘制 .....	265
8.4.3	地形因子提取 .....	266
8.4.4	山体阴影 .....	270
8.5	统计分析 .....	271
8.5.1	单元统计 .....	271
8.5.2	邻域统计 .....	272
8.5.3	分类区统计 .....	275
8.6	重分类 .....	277
8.6.1	新值替代 .....	277
8.6.2	旧值合并 .....	278
8.6.3	重新分类 .....	279
8.6.4	空值设置 .....	280
8.7	栅格计算 .....	280
8.7.1	数学运算 .....	281
8.7.2	函数运算 .....	282
8.7.3	栅格计算器 .....	283
8.8	实例与练习 .....	285
8.8.1	学校选址 .....	285
8.8.2	寻找最佳路径 .....	290
8.8.3	熊猫分布密度制图 .....	295
8.8.4	GDP 区域分布图的生成与对比 .....	298
8.8.5	山顶点的提取 .....	304
<b>第九章</b>	<b>三维分析</b> .....	<b>308</b>
9.1	创建表面 .....	308
9.1.1	栅格表面的创建 .....	309
9.1.2	TIN 表面的创建 .....	313
9.2	表面分析 .....	317
9.2.1	计算表面积与体积 .....	318
9.2.2	坡度与坡向的计算 .....	318
9.2.3	可视性分析 .....	320



9.2.4	提取断面	323
9.2.5	表面阴影	324
9.2.6	表面长度的计算	326
9.3	ArcScene 三维可视化	328
9.3.1	要素的立体显示	328
9.3.2	设置场景属性	332
9.3.3	飞行动画	335
9.4	数据转换	340
9.4.1	二维要素三维化	340
9.4.2	表面数据的矢量转换	341
9.5	实例与练习	343
9.5.1	地形指标提取	343
9.5.2	地形特征信息提取	349
9.5.3	表面创建及景观图制作	352
9.5.4	污染物在蓄水层中的可视化	356
9.5.5	模拟场景飞行	360
<b>第十章</b>	<b>地统计分析</b>	<b>363</b>
10.1	地统计基础	363
10.1.1	基本原理	363
10.1.2	克里格插值	368
10.1.3	ArcGIS 地统计分析	369
10.2	探索性数据分析	372
10.2.1	数据分析工具	372
10.2.2	检验数据分布	381
10.2.3	寻找数据离群值	382
10.2.4	全局趋势分析	384
10.2.5	空间自相关及方向变异	385
10.2.6	多数据集协变分析	387
10.3	空间确定性插值	388
10.3.1	反距离加权插值	388
10.3.2	全局多项式插值	392
10.3.3	局部多项式插值	395
10.3.4	径向基函数插值	398
10.4	地统计插值	401
10.4.1	克里格插值基础	401
10.4.2	普通克里格插值	403
10.4.3	简单克里格插值	408
10.4.4	泛克里格插值	411
10.4.5	指示克里格插值	414

10.4.6	概率克里格插值 .....	416
10.4.7	析取克里格插值 .....	418
10.4.8	协同克里格插值 .....	421
10.5	练习：克里格方法内插生成高程曲面 .....	422
<b>第十一章</b>	<b>水文分析</b> .....	<b>429</b>
11.1	无洼地 DEM 生成 .....	429
11.1.1	水流方向提取 .....	429
11.1.2	洼地计算 .....	431
11.1.3	洼地填充 .....	435
11.2	汇流累积量 .....	436
11.3	水流长度 .....	438
11.4	河网的提取 .....	439
11.4.1	河网的生成 .....	439
11.4.2	Stream Link 的生成 .....	440
11.4.3	河网分级 .....	442
11.5	流域的分割 .....	443
11.5.1	流域盆地的确定 .....	443
11.5.2	汇水区出水口的确定 .....	444
11.5.3	集水流域的生成 .....	445
11.6	实例与练习 .....	446
11.6.1	山脊、山谷线的提取 .....	446
11.6.2	地形鞍部的提取 .....	449
11.6.3	沟谷网络的提取及沟壑密度的计算 .....	452
<b>第十二章</b>	<b>空间分析建模</b> .....	<b>456</b>
12.1	空间分析模型与建模 .....	456
12.1.1	空间分析模型及其分类 .....	456
12.1.2	空间分析建模 .....	457
12.2	图解建模 .....	458
12.2.1	基本概念及类型 .....	458
12.2.2	图解模型的形成过程 .....	460
12.2.3	实例分析 .....	463
12.3	脚本文件 .....	466
12.3.1	简介 .....	466
12.3.2	脚本编写基础 .....	467
12.3.3	创建脚本文件 .....	467
12.4	实例与练习 .....	471
12.4.1	明暗等高线制作 .....	471
12.4.2	提取坡向变率 (SOA) .....	475
<b>参考文献</b>	.....	<b>479</b>

# 第一章 导 论

随着信息社会的到来,人类社会进入了信息大爆炸的时代。面对海量信息,人们对于信息的要求发生了巨大变化,对信息的广泛性、精确性、快速性及综合性要求越来越高。随着计算机技术的出现及其快速发展,对空间位置信息和其他属性类信息进行统一管理的地理信息系统也随之快速发展起来,在此基础上进行空间信息挖掘和知识发现是当前亟待解决的问题,也是 GIS 研究的热点和难点之一。地理信息系统空间分析也越来越凸显出其重要作用。

## 1.1 地理信息系统

### 1.1.1 基本概念

地理信息系统 (Geographic Information System, 简称 GIS) 是在计算机软硬件支持下,对整个或者部分地球表层空间中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。地理信息系统处理和管理的对象是多种地理空间实体数据及其关系,包括空间定位数据、图形数据、遥感图像数据、属性数据等,主要用于分析和处理一定地理区域内分布的各种现象和过程,解决复杂的规划、决策和管理问题。

### 1.1.2 GIS 系统构成

一个完整的地理信息系统主要由四个部分构成,即硬件系统(含网络系统)、软件系统、地理空间数据和系统管理操作人员。其中计算机软、硬件系统是 GIS 使用工具,空间数据库反映了 GIS 的地理内容,而管理人员和用户则决定系统的工作方式和信息表达方式。

#### 1. 硬件系统

计算机硬件系统是计算机系统在实际物理配置的总称,可以是电子的、电的、磁的、机械的、光的元件或装置,是 GIS 的物理外壳。系统的规模、精度、速度、功能、形式、使用方法甚至软件都与硬件有极大的关系,受硬件指标的支持或制约。GIS 由于其任务的复杂性和特殊性,必须由计算机设备支持。构成计算机硬件系统的基本组件包括输入/输出设备、中央处理单元、存储器等。这些硬件组件协同工作,向计算机系统提供必要的信息,使其完成任务,也可以保存数据以备现在或将来使用,或将处理得到的结果或信息提供给用户。

当代 GIS 技术体系中,网络系统成为不可或缺的核心组件,基于网络环境的 GIS,

是现代 GIS 的重要特征，也代表着未来的发展方向。

## 2. 软件系统

GIS 运行所需的软件系统如下：

### (1) 计算机系统软件

通常包括操作系统、汇编程序、编译程序、诊断程序、库程序以及各种维护使用手册、程序说明等，是 GIS 日常工作所必需的软件。

### (2) 地理信息系统软件和其他支持软件

包括通用的 GIS 软件包，也可以包括数据库管理系统、计算机图形软件包、计算机图像处理系统、CAD 等，用于支持对空间数据的输入、存储、转换、输出和与用户接口等操作。

### (3) 应用分析程序

系统开发人员或用户根据地理专题或区域分析模型编制的用于某种特定任务的程序，是系统功能的扩展与延伸。在 GIS 工具支持下，应用程序的开发应是透明的和动态的，与系统的物理存储结构无关，并能随着系统应用水平的提高不断优化和扩充。应用程序作用于地理专题或区域数据，构成 GIS 的具体内容，这是用户最为关心的真正用于地理分析的部分，也是从空间数据中提取地理信息的关键。用户进行系统开发的大部分工作是开发应用程序，而应用程序的水平在很大程度上决定系统应用的优劣和成败。

## 3. 系统开发、管理与使用人员

人是构成 GIS 重要的因素。地理信息系统从其设计、建立、运行到维护的整个生命周期，处处都离不开人的作用。仅有系统软硬件和数据还不能构成完整的地理信息系统，还需要人进行系统组织、管理、维护和数据更新，以及系统扩充完善、应用程序开发，并灵活采用地理分析模型提取多种信息，为研究和决策服务。地理信息系统专业人员是地理信息系统应用的关键，而强有力的组织是系统运行的保障。

## 4. 地理空间数据

地理空间数据是以地球表面空间位置为参照的自然、社会和人文经济景观数据，可以是图形、图像、文字、表格和数字等。它是由系统的建立者通过数字化仪、扫描仪、键盘、磁带机或其他系统通讯设备输入 GIS，是系统程序作用的对象，是 GIS 所表达的现实世界经过模型抽象的实质性内容。不同用途的 GIS，其地理空间数据的种类、精度均不相同，包括如下三种信息：

### (1) 已知坐标系中的位置

即几何坐标，标识地理景观在自然界或包含某个区域的地图中的空间位置，如经纬

度、平面直角坐标、极坐标等。采用数字化仪输入时通常采用数字化仪直角坐标或屏幕直角坐标。

### (2) 实体间的空间关系

实体间的空间关系通常包括：度量关系，如两个地物之间的距离远近；延伸关系（或方位关系），定义了两个地物之间的方位；拓扑关系，定义了地物之间连通、邻接等关系，是 GIS 分析中最基本的关系，其中包括了网络结点与网络线之间的枢纽关系、边界线与面实体间的构成关系、面实体与岛或内部点的包含关系等。

### (3) 与几何位置无关的属性

即通常所说的非几何属性或简称属性，是与地理实体相联系的地理变量或地理意义。属性分为定性和定量的两种。定性包括名称、类型、特性等，定量包括数量和等级；定性描述的属性如土壤种类、行政区划等，定量的描述属性如面积、长度、土地等级、人口数量等。非几何属性一般是经过抽象的概念，通过分类、命名、量算、统计得到。任何地理实体至少有一个属性，而地理信息的分析、检索和表示主要是通过对属性的操作运算实现的。因此，属性的分类系统、量算指标对系统的功能有较大的影响。

## 1.1.3 GIS 功能与应用

地理信息系统要解决的核心问题包括位置、条件、变化趋势、模式和模型，据此，可以把 GIS 功能分为以下几个方面。

### 1. 数据采集与输入

数据采集与输入，即将系统外部原始数据传输到 GIS 系统内部的过程，并将这些数据从外部格式转换到系统便于处理的内部格式。多种形式和来源的信息要经过综合和一致化的处理过程。数据采集与输入要保证地理信息系统数据库中的数据在内容与空间上的完整性、数值逻辑一致性与正确性等。一般而言，地理信息系统数据库建设的投资占整个系统建设投资的 70% 或更多，并且这种比例在近期内不会有明显的改变。因此，信息共享与自动化数据输入成为地理信息系统研究的重要内容，自动化扫描输入与遥感数据集成最为人们所关注。扫描技术的改进、扫描数据的自动化编辑与处理仍是地理信息系统数据获取研究的关键技术。

### 2. 数据编辑与更新

数据编辑主要包括图形编辑和属性编辑。图形编辑主要包括拓扑关系建立、图形编辑、图形整饰、图幅拼接、投影变换以及误差校正等；属性编辑主要与数据库管理结合在一起完成。数据更新则要求以新记录数据来替代数据库中相对应的原有数据项或记录。由于空间实体都处于发展进程中，获取的数据只反映某一瞬时或一定时间范围内的特征。随着时间推移，数据会随之改变，数据更新可以满足动态分析之需。

### 3. 数据存储与管理

数据存储与管理是建立地理信息系统数据库的关键步骤，涉及到空间数据和属性数据的组织。栅格模型、矢量模型或栅格/矢量混合模型是常用的空间数据组织方法。空间数据结构的选择在一定程度上决定了系统所能执行的数据分析的功能，在地理数据组织与管理中，最为关键的是如何将空间数据与属性数据融合为一体。目前，大多数系统都是将二者分开存储，通过公共项（一般定义为地物标识码）来连接。这种组织方式的缺点是数据的定义与数据操作相分离，无法有效记录地物在时间域上的变化属性。

### 4. 空间数据分析与处理

空间查询是地理信息系统以及许多其他自动化地理数据处理系统应具备的最基本的分析功能。而空间分析是地理信息系统的核心功能，也是地理信息系统与其他计算机系统的根本区别。模型分析是在地理信息系统支持下，分析和解决现实世界中与空间相关的问题，它是地理信息系统应用深化的重要标志。

### 5. 数据与图形的交互显示

地理信息系统为用户提供了许多表达地理数据的工具。其形式既可以是计算机屏幕显示，也可以是诸如报告、表格、地图等硬拷贝图件，可以通过人机交互方式来选择显示对象的形式，尤其要强调的是地理信息系统的地图输出功能。GIS 不仅可以输出全要素地图，也可根据用户需要，输出各种专题图、统计图等。

地理信息系统的大容量、高效率及其结合的相关学科的推动使其具有运筹帷幄的优势，成为国家宏观决策和区域多目标开发的重要技术支撑，也成为与空间信息有关各行各业的基本分析工具。其强大的空间分析功能及发展潜力使得 GIS 在测绘与地图制图、资源管理、城乡规划、灾害预测、土地调查与环境管理、国防、宏观决策等方面得到广泛、深入的应用。

地理信息系统以数字形式表示自然界，具有完备的空间特性，它可以存储和处理不同地理发展时期的大量地理数据，具有极强的空间信息综合分析能力，是地理分析的有力工具。地理信息系统不仅要完成管理大量复杂的地理数据的任务，更为重要的是要完成地理分析、评价、预测和辅助决策的任务。因此，研究广泛适用于地理信息系统的地理分析模型，是地理信息系统真正走向实用的关键。

## 1.1.4 GIS 技术与发展

地理信息系统的发展已历经 30 余年，用户的需要、技术的进步、应用方法的提高以及有关组织机构的建立等因素，深深影响着地理信息系统的发展历程。

20 世纪 60 年代初期，地理信息系统处于萌芽和开拓期，注重空间数据的地理学处理。该时期 GIS 发展的动力来自于新技术的应用、大量空间数据处理的生产需求等方面，专家兴趣与政府推动也起到积极的引导作用。进入 70 年代，地理信息系统进入巩固发展期，注重于空间地理信息的管理。资源开发、利用乃至环境保护问题成为首要解

决之疑难,需要有效地分析、处理空间信息。随着计算机技术的迅速发展,数据处理速度加快,为地理信息系统软件的实现提供了必要条件和保障。80年代是地理信息系统的大发展时期,注重于空间决策支持分析。地理信息系统应用领域迅速扩大,涉及到许多的学科和领域,此时地理信息系统发展最显著的特点是商业化实用系统进入市场。90年代是地理信息系统的用户化时代,地理信息系统已成为许多机构必备的工作系统,社会对地理信息系统认识普遍提高,需求大幅度增加,从而使得地理信息系统应用领域扩大化、深入化,地理信息系统向现代社会最基本的服务系统发展。

进入新世纪, GIS 应用向更深的层次发展,展现新的发展趋势。

### 1. 网络 GIS (Web-GIS)

网络地理信息系统 (Web-GIS) 指基于 Internet 平台、客户端应用软件采用网络协议、运行在 Internet 上的地理信息系统。一般由多主机、多数据库和多个客户端以分布式模式连接在 Internet 上而组成,包括以下四个部分: Web-GIS 浏览器 (browser)、Web-GIS 服务器、Web-GIS 编辑器 (Editor)、Web-GIS 信息代理 (information agent)。Web-GIS 开拓了地理信息资源利用的新领域,为 GIS 信息的高度社会化共享提供了可能,是传统 GIS 发展的新机遇。

### 2. 组件式 GIS (Com-GIS)

组件式 GIS 是 GIS 技术与组件技术结合的产物。其基本思想是:把 GIS 的各种功能模块进行分类,划分为不同类型的控件,每个控件完成各自相应的功能。各个控件之间,以及 GIS 控件与其他非 GIS 控件之间,通过可视化的软件开发工具集成起来,形成满足用户特定功能需求的 GIS 应用系统。长期以来,由于 GIS 开发周期长、难度大,在一定程度上制约了 GIS 的发展。组件式 GIS 的出现为新一代 GIS 应用提供新的工具,具有集成灵活、成本低、开发便捷、使用方便、易于推广、可视化界面等优点,一般有基础组件、高级通用组件、行业性组件三级结构。

### 3. 虚拟现实 GIS (VR GIS)

虚拟现实 GIS (Virtual Reality GIS, 简称 VR GIS) 在 20 世纪 90 年代开始出现,是一种专门用于研究地球科学,或以地球系统为对象的虚拟现实技术,是虚拟现实与地理信息系统相结合的产物。近年来,VR GIS 甚至融入到 Web-GIS 和 Com-GIS 之中。理想的 VR GIS 应具有下列特征:

- 1) 对现实的地理区域非常真实的表达。
- 2) 用户在所选择的地理带(地理范围)内外自由移动。
- 3) 三维(立体)数据库的标准 GIS 功能(查询、选择、空间分析等)。
- 4) 可视化功能必须是用户接口的自然整体部分。

VR GIS 的特点表现在以下几个方面:区域表达的真实性;空间、时间维的漫游、查询;用户和系统之间的交互作用;海量丰富的信息等。

#### 4. 时态 GIS (TGIS)

时态 GIS 是相对于静态 GIS 而言的。现实中地理环境、事物和现象是不断发展变化的,但静态 GIS 仅对其进行“快照”式表达,只关心某一瞬间的地理现象,对其前后的数据不保留,也没有比较分析。而时态 GIS 将时间概念引入到 GIS 中,跟踪和分析空间数据随时间的变化,不仅描述系统在某时刻的状态,而且描述系统沿时间变化之过程,预测未来时刻将会呈现的状态,以获得系统变化的趋势。

#### 5. 互操作 GIS

目前 GIS 系统大多基于具体的、相互独立的和封闭的平台开发,采用各自不同的空间数据格式,数据组织方式有很大差异,这使得不同 GIS 软件间交换数据很困难。为解决地理数据的共享和继承、地理操作的分布与共享等需求,互操作 GIS 被提上议事日程,这是一个新的 GIS 集成平台,实现了在异构环境下多个地理信息系统或其应用系统之间的互相通信和协作。

#### 6. 3S 集成

虽然 GIS 在其理论和应用技术上有很大发展,但靠传统 GIS 的使用却不能满足目前社会对信息快速、准确更新之要求。与 GIS 独立、平行发展的全球定位系统 (GPS) 和遥感 (RS) 则为 GIS 适应社会发展的需求提供了可能性。目前,国际上 3S 的研究和应用开始向集成化方向发展。这种集成应用中, GPS 主要用于实时、快速地提供目标的空间位置; RS 用于实时提供目标及其环境的信息、发现地球表面的各种变化,及时对 GIS 数据进行更新; GIS 则是对多种来源的时空数据进行综合处理、集成管理和动态存取,作为新的集成系统的基础平台,并为智能化数据采集提供地学知识。

## 1.2 GIS 空间分析

对地观测和计算机技术的发展大大加强了人们对空间信息的分析和处理能力。人们渴望利用这些空间信息来认识和把握地球和社会的空间运动规律,进行虚拟、科学预测和调控,迫切需要建立空间信息分析的理论和方法体系。地理信息系统出现后,吸取了所有能够利用的空间分析的理论和方法,并将它们植入到 GIS 系统中去。在 GIS 系统支持下,空间分析顺利得以实现并得到进一步飞跃, GIS 也因为有了空间分析这一强有力的理论支持,而获得更强大的生命力和更广阔的发展空间。空间分析已被认为是地理信息系统中最核心、最重要的理论之一,也是 GIS 系统区别于其他计算机辅助设计系统的关键所在。

### 1.2.1 空间分析

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。在起步阶段,主要是将统计分析的定量手段用于分析点、线、面的空间分布模式。在 60



年代地理学计量革命中,有些模型初步考虑了空间信息的关联性问题,成为当今空间数据分析模型的萌芽。如在 60 年代,法国地质学家 Matheron 在前人的基础上,提出“地统计学”,或称 Kriging 方法,它是一种用变异函数评价和估计自然现象的理论与方法,随后,Journal 针对矿物储量估算,将地统计技术在理论上和实践中推向成熟。同时,统计学家也对空间数据统计产生了兴趣,在方法完备性方面做出了诸多贡献。地理学、经济学、区域科学、地球物理、大气科学、水文学等专门学科为空间信息分析模型的建立提供了知识和机理。逐渐成熟后的空间分析理论与方法更多地强调地理空间的自身特征、空间决策过程及复杂空间系统的时空演化过程分析,分析方法也从统计方法扩展到运筹学、拓扑学和系统论等。

实际上,自有地图以来,人们就始终在自觉或不自觉地进行着各种类型的空间分析。如在地图上量测地理要素之间的距离、方位、面积,乃至利用地图进行战术研究和战略决策等,都是人们利用地图进行空间分析的实例,而后者实质上已属较高层次上的空间分析。

空间分析的概念,从不同的角度理解有不同的定义方式。从侧重于空间实体对象的图形与属性的交互查询角度考察,空间分析是从 GIS 目标之间的空间关系中获取派生的信息和新的知识。分析对象是地理目标的空间关系,分析内容由以下几个部分组成:拓扑空间查询、缓冲区分析、叠置分析、空间集合分析和地学分析。从侧重于空间信息的提取和空间信息传输角度考虑,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。分析对象是地理目标的位置和形态特征,可将空间信息分为:空间位置、空间分布、空间统计、空间关系、空间关联、空间对比、空间趋势和空间运动。它们对应的空间分析操作为:空间位置分析、空间分布分析、空间形态分析、空间关系分析和空间相关分析等。

随着空间分析向更深层次发展,空间分析逐步走向为决策提供支持。空间分析对象是与决策支持有关的地理目标的空间信息及其形成机理,主要强调相关数学建模及模型的管理与应用。空间分析可以理解为在对地理空间中的目标进行形态结构定义与分类的基础上,对目标的空间关系和空间行为进行描述,为目标的空间查询和空间相关分析提供参考,进一步为空间决策提供服务的功能体系。该体系包括以下内容:空间数据探索、空间回归分析、空间机理模型、空间统计——机理模型、空间复杂系统模型、空间运筹模型、空间数据挖掘。

### 1.2.2 基于 GIS 的空间分析

地理信息系统出现后,迅速吸取能利用的空间分析方法和手段,将它们植入 GIS 软件中,并且利用各种计算机新技术,使复杂的传统空间分析任务变得简单易行,并能方便、高效的应用几何、逻辑、代数等运算,以及数理统计分析和其他数学物理方法,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。于是,GIS 为空间分析提供了良好支撑平台;空间分析也因为有了 GIS 而真正得以应用。GIS 正是因为有了空间分析功能才使之区别于一般的计算机辅助设计系统。

基于 GIS 的空间分析是地理信息系统区别于其他信息系统的主要特色,是评价地