

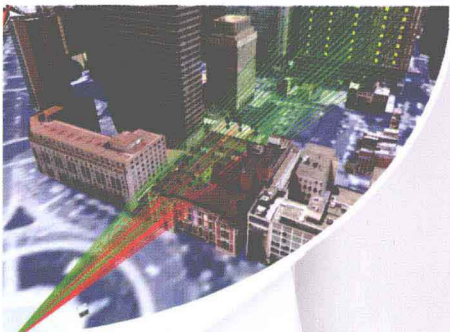
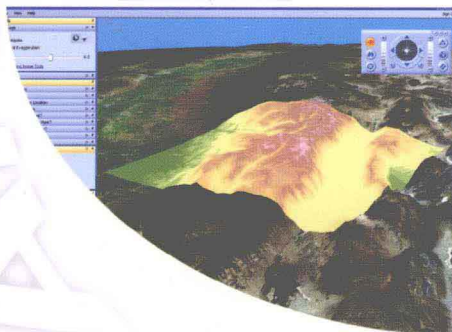
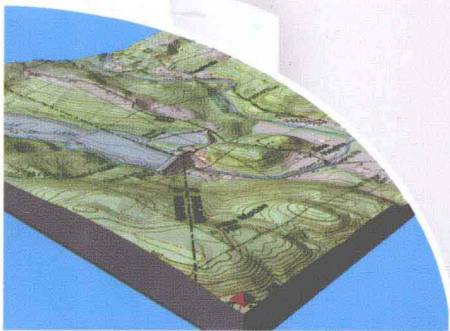


地理信息系统理论与应用丛书

ArcGIS

地理信息系统空间分析 实验教程 (第二版)

● 汤国安 杨昕 等 编著



科学出版社

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

(第二版)

汤国安 杨 昕 等 编著

地理科学国家实验教学示范中心建设项目

地理信息系统国家精品课程建设项目

资助出版

南京师范大学教改项目

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是作者在总结多年教学与科研工作经验,并分析总结了上一版教材的应用情况及 ArcGIS 10 软件新特点的基础上编写完成。书中主要介绍 ArcGIS 的应用基础、ArcGIS 空间分析工具,以及地学分析实例。内容包括 ArcGIS 简介、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、空间数据的可视化表达、GIS 空间分析导论、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、空间分析建模,以及综合分析练习。此外,本书还配备具有典型性意义的实例分析及大量的随书练习资料,并在光盘中辅以相应数据,以便于参考练习。

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、测绘学等相关专业学生的教材,也可作为科学研究、工程设计、规划管理等部门的科技人员的参考书。

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,杨昕等编著. —2 版.
—北京:科学出版社,2012

(地理信息系统理论与应用丛书)

ISBN 978-7-03-033896-9

I. ①A… II. ①汤…②杨… III. ①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(2012)第 047993 号

责任编辑:韩 鹏 李 静/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>

骏 志 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

2012 年 4 月第 二 版 印张:37 1/4

2012 年 4 月第十二次印刷 字数:858 000

定价:69.00 元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

地理信息系统 (geographic information system, GIS) 是对地理空间信息进行描述、采集、处理、存储、管理、分析和应用的一门交叉学科。随着计算机技术、信息技术、空间技术、网络技术的发展, GIS 广泛应用于测绘、资源管理、城乡规划、灾害监测、交通运输、水利水电、环境保护、国防建设等各个领域, 并深入涉及地理信息的社会生产、生活各个方面, 是一门实践性很强的学科, 因此需要具有专业知识及 GIS 应用、开发技能的复合型人才。灵活运用 GIS 软件解决实际问题 是 GIS 专业学生应具备的基本能力, 也是学习的主要内容之一。在众多的 GIS 软件平台中, 美国 ESRI 公司推出的 ArcGIS 地理信息系统平台是最具代表性的 GIS 软件平台, 其强大的空间分析处理工具和不断更新、完善的空间分析功能 是其他软件无法比拟的。

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研究实践和教学实践, 总结了一套利用 ArcGIS 9 软件进行地学空间分析的理论和技术方法, 并在南京师范大学本科教学中得到成功应用。2006 年, 《ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程》出版, 短短 5 年间, 该书重印 10 次, 需求旺盛。随着 GIS 技术的快速发展, 2010 年, ArcGIS 推出 ArcGIS 10 版本, 在软件界面、数据操作、空间处理与分析、桌面开发等方面作了很大的改进, 在协同 GIS、三维 GIS、一体化 GIS、时空 GIS 及云 GIS 等方面实现了飞跃。因此, 有必要进行教材内容的更新与补充。本书以 ArcGIS 10 空间分析功能为基础, 通过原理介绍、软件操作及典型实例应用, 使读者得到即学即用、举一反三的效果, 进而提高实践能力。

本书共分 13 章, 其中第 1 章至第 5 章为 ArcGIS 基础操作篇, 以空间分析前后数据采集与制图为重点, 着重介绍空间分析的基本概念、ArcGIS 的应用基础、空间数据的采集与组织、空间数据的转换与处理等内容。第 6 章至第 13 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、空间分析建模, 以及综合分析练习等。每章后面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, 帮助对照练习和复习。

本书由汤国安、杨昕负责全书的总体设计、组织、审校和定稿工作。南京师范大学地理信息系统专业研究生王春、张婷、罗明良、宋佳、张茜、房亮、陈盼盼、叶蔚、葛珊珊、贾旖旎、刘敏、李俊等负责部分章节的编写, 熊礼阳、张芳、张磊、江岭、张维、田剑、宋效东、贺文慧、赵明伟、晏实江、钱柯健、刘凯、张刚、阳建逸等参与改版内容修订和整理工作, 在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限, 书中难免存在不妥之处, 敬请读者批评指正。

汤国安 杨 昕

2011 年 12 月于南京师范大学仙林

目 录

前言

第 1 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 10 概述	10
1.3.1 ArcGIS 10 体系结构	10
1.3.2 ArcGIS 10 软件特色	12
1.3.3 ArcGIS 10 空间分析	14
第 2 章 ArcGIS 应用基础	16
2.1 ArcMap 基础	16
2.1.1 ArcMap 的窗口组成	16
2.1.2 新地图文档创建	22
2.1.3 数据层的加载	22
2.1.4 数据层的基本操作	25
2.1.5 数据层的保存	30
2.1.6 数据框的添加	30
2.1.7 要素的选择与转出	31
2.1.8 利用属性制作统计图表	33
2.2 ArcCatalog 应用基础	33
2.2.1 ArcCatalog 基础操作	33
2.2.2 目录内容浏览	36
2.2.3 数据搜索	38
2.2.4 地图与图层操作	39
2.2.5 地理数据输出	40
2.3 Geoprocessing 地理处理框架	41
2.3.1 地理处理框架的基本介绍	41

2.3.2	ArcToolbox 应用基础	44
2.3.3	ArcToolbox 内容简介	45
第 3 章	空间数据的采集与组织	48
3.1	Shapefile 文件创建	48
3.1.1	创建 Shapefile 和 dBASE 表	48
3.1.2	添加和删除属性项	50
3.2	地理数据库创建	50
3.2.1	地理数据库概述	50
3.2.2	地理数据库建立的一般过程	52
3.2.3	创建一个新的地理数据库	53
3.2.4	建立数据库中的基本组成项	54
3.2.5	向地理数据库加载数据	58
3.2.6	进一步定义数据库	64
3.3	数据编辑	87
3.3.1	图形编辑	87
3.3.2	属性编辑	95
3.4	实例与练习	97
3.4.1	某地区地块的拓扑关系建立	97
3.4.2	某市区几何网络的建立	107
第 4 章	空间数据的转换与处理	112
4.1	投影变换	112
4.1.1	定义投影	113
4.1.2	投影变换	115
4.1.3	数据变换	117
4.2	数据格式转换	131
4.2.1	数据结构转换	132
4.2.2	数据格式转换	134
4.3	数据处理	137
4.3.1	数据裁切	137
4.3.2	数据拼接	140
4.3.3	数据提取	142
4.4	练习：数据更新变换	145
4.4.1	背景	145
4.4.2	目的	145
4.4.3	要求	145
4.4.4	数据	145
4.4.5	操作步骤	146

第 5 章 空间数据的可视化表达	151
5.1 数据符号化	151
5.1.1 矢量数据符号化	152
5.1.2 栅格数据符号化	162
5.2 专题地图编制	165
5.2.1 布局设计	166
5.2.2 制图数据操作	170
5.2.3 地图标注	177
5.2.4 地图整饰	180
5.2.5 地图输出	191
5.3 实例与练习——上海市行政区划图制作	192
第 6 章 GIS 空间分析导论	198
6.1 空间分析的数据模型	198
6.1.1 栅格数据模型	199
6.1.2 矢量数据模型	200
6.1.3 矢量—栅格数据模型的区别与联系	200
6.1.4 其他数据模型	201
6.2 GIS 空间分析的基本原理与方法	201
6.2.1 栅格数据分析的模式	201
6.2.2 矢量数据分析方法	204
6.2.3 空间统计分析 with 内插	206
6.2.4 三维空间分析	208
6.3 ArcGIS 10 空间分析模块和功能	209
第 7 章 矢量数据的空间分析	211
7.1 缓冲区分析	211
7.1.1 基本概念	211
7.1.2 缓冲区的建立	211
7.2 叠置分析	217
7.2.1 图层擦除 (Erase)	217
7.2.2 标识叠加 (Identity)	218
7.2.3 相交操作 (Intersect)	219
7.2.4 交集取反 (Symmetrical Difference)	220
7.2.5 图层联合 (Union)	221
7.2.6 修正更新 (Update)	222
7.3 网络分析	223
7.3.1 网络的组成	224
7.3.2 网络分析工具	224
7.3.3 传输网络分析 (Network Analyst)	225

7.3.4	效应网络分析 (utility network analysis)	241
7.4	追踪分析	253
7.4.1	追踪分析的相关概念	253
7.4.2	追踪分析的基本功能	255
7.5	实例与练习	264
7.5.1	市区择房分析	264
7.5.2	最短路径问题分析与应用	271
第8章	栅格数据的空间分析	277
8.1	设置分析环境	277
8.1.1	加载分析模块	277
8.1.2	设置工作路径	277
8.1.3	设置单元大小	279
8.1.4	设置分析区域	280
8.1.5	选择坐标系统	281
8.2	距离制图	281
8.2.1	距离制图基础	282
8.2.2	直线距离	284
8.2.3	区域分配	285
8.2.4	成本距离	286
8.2.5	最短路径	287
8.3	密度制图	288
8.4	栅格插值	289
8.4.1	反距离权重插值 (IDW)	289
8.4.2	样条函数插值 (Spline)	291
8.4.3	克里金插值 (Kriging)	292
8.4.4	自然邻域法插值 (Natural Neighborhood)	293
8.4.5	趋势面法插值 (Trend)	294
8.4.6	数据重采样 (Resample)	295
8.5	表面分析	296
8.5.1	等值线绘制	297
8.5.2	地形因子提取	297
8.5.3	山体阴影	302
8.6	统计分析	303
8.6.1	像元统计	303
8.6.2	邻域统计	305
8.6.3	分类区统计	307
8.7	重分类	309
8.7.1	新值替代	310

8.7.2	重新分类	310
8.7.3	空值设置	311
8.8	栅格计算	312
8.8.1	数学运算	312
8.8.2	函数运算	314
8.8.3	栅格计算器	315
8.9	多元分析	317
8.9.1	ISO 聚类	317
8.9.2	最大似然分类	319
8.9.3	主成分分析	321
8.9.4	树状图	322
8.10	实例与练习	323
8.10.1	学校选址	323
8.10.2	寻找最佳路径	328
8.10.3	熊猫分布密度制图	334
8.10.4	GDP 区域分布图的生成与对比	337
8.10.5	山顶点的提取	343
第 9 章	三维分析	346
9.1	创建表面	346
9.1.1	栅格表面的创建	347
9.1.2	TIN 表面的创建	354
9.1.3	地形数据集 (Terrain) 创建与管理	358
9.2	表面分析	361
9.2.1	计算表面积与体积	362
9.2.2	坡度与坡向的计算	362
9.2.3	可视性分析	364
9.2.4	提取断面	367
9.2.5	表面阴影	368
9.3	三维要素分析	370
9.3.1	3D 集合运算	370
9.3.2	可视性分析	377
9.4	ArcScene 三维可视化	380
9.4.1	要素的立体显示	381
9.4.2	设置场景属性	384
9.4.3	飞行动画	389
9.5	数据转换	393
9.5.1	二维要素三维化	393
9.5.2	表面数据的矢量转换	396

9.6	实例与练习	398
9.6.1	地形指标提取	398
9.6.2	地形特征信息提取	403
9.6.3	表面创建及景观图制作	405
9.6.4	污染物在蓄水层中的可视化	409
9.6.5	模拟场景飞行	413
9.6.6	爆炸影响分析	415
第10章	地统计分析	419
10.1	地统计基础	419
10.1.1	基本原理	419
10.1.2	克里金插值	424
10.1.3	ArcGIS 地统计分析	425
10.2	探索数据	428
10.2.1	数据分析工具	428
10.2.2	检验数据分布	436
10.2.3	寻找数据离群值	437
10.2.4	全局趋势分析	439
10.2.5	空间自相关及方向变异	440
10.2.6	多数据集协变分析	441
10.3	空间确定性插值	442
10.3.1	反距离加权插值	442
10.3.2	全局多项式插值	445
10.3.3	局部多项式插值	446
10.3.4	径向基函数插值	447
10.4	地统计插值	448
10.4.1	克里金插值基础	448
10.4.2	普通克里金插值	450
10.4.3	简单克里金插值	454
10.4.4	泛克里金插值	455
10.4.5	指示克里金插值	456
10.4.6	概率克里金插值	458
10.4.7	析取克里金插值	459
10.4.8	协同克里金插值	459
10.4.9	合理使用地统计分析工具	461
10.5	含障碍插值	469
10.5.1	含障碍的核插值 (Kernel Smoothing)	469
10.5.2	含障碍的扩散插值 (Diffusion Kernel)	471
10.6	练习: 克里金方法内插生成高程曲面	472

第 11 章 水文分析	478
11.1 无洼地 DEM 生成	478
11.1.1 水流方向提取	478
11.1.2 洼地计算	480
11.1.3 洼地填充	483
11.2 汇流累积量	484
11.3 水流长度	486
11.4 河网的提取	487
11.4.1 河网的生成	487
11.4.2 Stream link 的生成	488
11.4.3 河网分级的生成	489
11.5 流域的分割	490
11.5.1 流域盆地的确定	490
11.5.2 汇水区出水口的确定	492
11.5.3 集水流域的生成	492
11.6 Arc Hydro 水文数据模型	493
11.6.1 Arc Hydro 数据模型	493
11.6.2 Arc Hydro 工具集	495
11.6.3 Arc Hydro 的优点	502
11.7 实例与练习	503
11.7.1 利用水文分析方法提取山脊、山谷线	503
11.7.2 地形鞍部的提取	506
11.7.3 沟谷网络的提取及沟壑密度的计算	509
第 12 章 空间分析建模	512
12.1 空间分析模型与建模	512
12.1.1 空间分析模型及其分类	512
12.1.2 空间分析建模	513
12.2 图解建模	514
12.2.1 基本概念及类型	514
12.2.2 图解模型的形成过程	516
12.2.3 实例分析	518
12.3 脚本文件	522
12.3.1 简介	522
12.3.2 Python 脚本编写基础	522
12.3.3 利用 Python 创建脚本文件	523
12.3.4 Python 脚本应用实例	526
12.4 图解与脚本混合建模	527
12.4.1 简介	527

12.4.2 模型的形成过程	527
12.4.3 图解与脚本混合建模	528
12.5 实例与练习	529
12.5.1 明暗等高线制作	529
12.5.2 提取坡向变率 (SOA)	532
第 13 章 综合分析练习	537
13.1 数据编辑与更新	537
13.2 寻找最短路径	542
13.3 土壤稳定性评估	548
13.4 找出某种珍贵药材的生长区域	555
13.5 城市建筑日照分析	566
主要参考文献	578

第 1 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 (geographical information system, 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、软件系统、地理空间数据和系统管理操作人员。其中计算机硬件、软件系统是 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中的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。

2. 软件系统

GIS 运行所需的软件系统有三个。

1) 计算机系统软件

由计算机厂家提供的、为用户使用计算机提供方便的程序系统，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 的重要因素。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信设备输入 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，包括以下三种信息。

1) 已知坐标系中的位置

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

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；定量描述的属性如面积、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 功能分为五个方面。

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，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的过程。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% 以上，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、高效率及与其结合的相关学科的推动使其运筹帷幄，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近 40 年，用户的需要、技术的进步、应用方法的提高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，注重空间决策支持分析。地理信息系统应用领域迅速扩大，涉及许多的学科和领域，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期，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的认识普遍提高，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 21 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，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, 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 应具有四种特征。

- (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。