



新世纪人类社会面临人口增长, 环境变异, 资源匮乏等全球性地学问题, 人们把解决这些问题的希望寄托于现代管理和科技。地理信息系统作为传统地学学科和现代科学相结合的产物, 目前已发展成为集遥感、全球定位系统、互联网技术于一身的综合集成化技术系统, 其概念层出不穷, 技术日新月异, 它的理论、方法和技术作为地学学科的技术基础课程不仅吸引了广大地学、信息技术工作者及学生的研究和关注, 而且受到更广泛的经济、文化、社会工作者及学生的青睐。因此简明阐述地理信息系统的基础理论和方法, 为对它的深入学习和发展奠定良好基础是本教程的基本出发点。

基于上述, 1996 年测绘教材指导委员会便将该教科书确定为国家“九五”重点教材, 并决定由南京大学、原武汉测绘科技大学和原解放军测绘学院三校合作编写。在各位作者共同努力下, 历时多年, 终于完成了本教材的编写工作。

本教材是作者在参阅了国内外有关地理信息系统的教材、专著和论文基础之上, 并结合地理信息系统教学和研究的实践编写的。全书由八章和附录组成。由黄杏元(大纲和第一章)、华一新(第二、三、四、五章), 胡鹏(第六、七、八章和附录)分工编写, 李国建博士补充了 7.8 节和习题, 吴艳兰博士生补充了 1.4 节, 最后由胡鹏统一、审校和定稿。感谢武汉大学徐庆荣教授对本书的审阅及修改意见!感谢武汉大学出版社工科室的任祥和王金龙编辑对本书的增色!

教材多媒体课件及配套光盘由胡鹏、吴艳兰、代琪和李圣权制作。在教材的基础上, 添加了多媒体, 学习更加方便并可进行全文搜索。

本书可作为普通高等学校测绘、地理、地质、城规、市政管理、土地、资源与环境等专业本科生和研究生教材, 也可供从事地理信息系统、资源和环境信息系统、土地和各种专业信息系统等相应工作的科技人员和管理人员参考。

地理信息系统正处在迅猛发展之中, 由于作者水平所限, 不成熟不完善之处在所难免, 希望读者提出宝贵意见。

编著者

2001 年 10 月

本书目录

前言

序论:

第一章: 空间实体特征

1.1 地理信息系统的概念

1.2 地理信息系统的组成

1.3 地理信息系统的功能

1.4 地理信息系统的发展

第二章 地理信息系统的空间数据结构和数据库

第一节 概述

第二节 空间信息的计算机表示和管理

第三节 空间数据结构

第四节 的数据模型

第五节 空间数据库的设计

第三章 空间数据的采集和质量控制

§ 3.1 概述

§ 3.2 空间数据的地理参照系和控制基础

§ 3.3 地理实体数据的编码

§ 3.4 空间数据的采集

§ 3.5 GIS 的数据质量

§ 3.6 空间数据标准

第四章 空间数据的处理

第一讲： 矢量数据拓扑关系的自动建立

第二讲： 矢量数据的图形编辑

第三讲： 空间数据的坐标变换

第四讲： 空间数据的压缩处理

第五讲： 空间数据的结构变换

第六讲： 空间数据的插值方法

第七讲： 图像数据的处理方法

第八讲：空间数据的更新处理

第五章 空间查询与空间分析

第一讲 空间数据的查询

第二讲 空间数据的统计分析

第三讲 数字高程模型分析

第四讲 空间数据的叠置分析

第五讲 空间数据的缓冲区分析

第六讲 泰森多边形分析

第七讲 空间数据的网络分析

第八讲 空间距离的量算

第九讲 空间分析模型

第六章 空间信息的可视化

第一讲：空间信息与可视化

第二讲： 地图语言与符号库

第三讲： 空间数据的可视化

第四讲：电子地图

第五讲：动态地图

第六讲：虚拟现实技术的空间

第七章 地理信息系统的应用

第一讲：GIS 的应用概述

第二讲：地理信息系统与遥感的结合

第三讲：地理信息系统与全球定位系统的结合

第四讲：地理信息系统与人工智能的结合

第五讲：地理信息系统的管理应用

第六讲：地理信息系统的规划应用

第七讲：地理信息系统的决策应用

第八讲：Web GIS

第八章 地理信息系统的开发与评价

第一讲：地理信息系统的开发方法

第二讲：地理信息系统的开发过程

第三讲：地理信息系统的评价

序论

当今世界存在着人口过速增长、资源紧缺匮乏、环境不断恶化和不均衡发展等尖锐问题和矛盾。严酷的现实促进人类社会冷静地审视所走过的历程，总结传统发展模式所带来的严重教训。人类更加认识到可持续发展的重要性。

地理信息系统 是反映人们赖以生存的现实世界（资源与环境）的现势和变迁的各类空间数据及描述这些空间数据特征的属性，在计算机软件和硬件支持下，以一定的格式输入、存储、检索、显示和综合分析应用的技术系统。是集计算机科学、信息科学、测绘科学、地理科学、空间科学、环境科学和管理科学等为一体的新兴边缘学科，是未来信息高速公路的重要组成部分。

地理信息系统按其范围大小可分成全球的、区域的和局部的。GIS 的基本特点有：

1. 公共的地理定位基础
2. 标准化和数字化
3. 多维结构

80 年代以来，我国建立了许多各种形式的 GIS，并且在国民经济和社会协调发展中发挥了良好的作用与效益，展现了广阔的应用前景。因此在我国，GIS 的人才培养和教育、学科研究及其产业化很需要这方面的教材。为适应网络时代的快速、高效、实用、便捷的教育形势的需要，我们特提供以下的网络教程，便于大家学习。

第一章 绪论

[1.1 地理信息系统的概念](#)

[1.2 地理信息系统的组成](#)

[1.3 地理信息系统的功能](#)

[1.4 地理信息系统的发展](#)

本章基本概念

地理信息系统：简称为 GIS，是由计算机硬件、软件和不同的方法组成的系统，该系统设计用来支持空间数据的采集、管理、处理、分析、建模和显示，以便解决复杂的规划和管理问题

空间数据：地理信息系统的操作对象是空间数据，它具体描述地理实体的空间特征、属性特征和时间特征。

本章说明

本章介绍了地理信息系统的基本概念、组成、功能、发展，是全书的概论，在以后的章节里，还会有详细

的论述及应用实例。学习本章要求了解 GIS 的基本概念。

第一节 GIS 概念

内容 GIS 各种定义，分析 GIS 与其他信息系统的不同及关系。

重点讲授 GIS 本质概念和特点。

第二节 GIS 构成

内容 从 GIS 的系统硬件、系统软件、空间数据、应用人员四方面介绍 GIS 的构成。

重点讲授 空间数据和 GIS 应用模型。

第三节 GIS 的功能与应用

内容 GIS 基本功能和应用功能

重点讲授 GIS 基本功能

第四节 GIS 发展动态

内容 GIS 发展简史和当代 GIS 发展动态

重点讲授 GIS 近代发展特点

第 1 章 绪 论

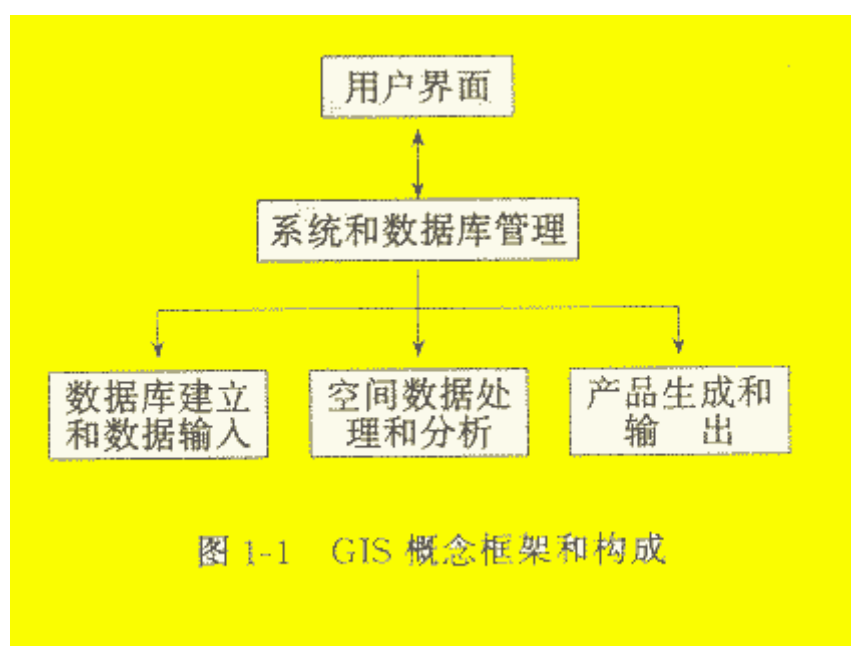
1.1 地理信息系统的概念

人类社会正从工业经济迈向知识经济时代，一场以信息技术为核心的革命正在深刻改变着人类生活与社会面貌。作为全球信息化浪潮重要组成部分的地理信息系统的建设与应用，正日益引起科技界、企业界和政府部门的广泛关注。

地理信息系统简称为 GIS。关于它确切的全称，多数人认为是 Geographical Information System，也有人认为是 Geo information System。国际上现发行的两种主要的专业杂志，就是各自采用不同的全称，前者是英国出版的季刊的全称，后者是德国出版的季刊的全称。在加拿大和澳大利亚，则称为 Land Information System。在我国，通常称为 Resources and Environmental Information Systems。全称虽有差异，但简称都是 GIS。

那么,什么是GIS呢?对于不同的部门和不同的应用目的,其定义也不尽相同。例如,美国学者Parker认为“GIS是一种存贮、分析和显示空间与非空间数据的信息技术”。Goodchild把GIS定义为“采集、存贮、管理、分析和显示有关地理现象信息的综合系统”。加拿大的Roger Tomlinson认为“GIS是全方位分析和操作地理数据的数字系统。”Burrough认为“GIS是属于从现实世界中采集、存储、提取、转换和显示空间数据的一组有力的工具”。俄罗斯学者也把GIS定义为“一种解决各种复杂的地理相关问题,以及具有内部联系的工具集合”。

纵观这些定义,有的侧重于GIS的技术内涵,有的则是强调GIS的应用功能。为了能更具体地认识和真正了解GIS的概念,编者推荐美国联邦数字地图协调委员会(FICDC)关于GIS的定义及概念框架(图1-1)。该定义认为“GIS是由计算机硬件、软件不同的方法组成的系统,该系统设计用来支持空间数据的采集、管理、处理、分析、建模和显示,以便解决复杂的规划和管理问题”。根据这个定义及它的概念框架,可得出GIS的如下基本概念:



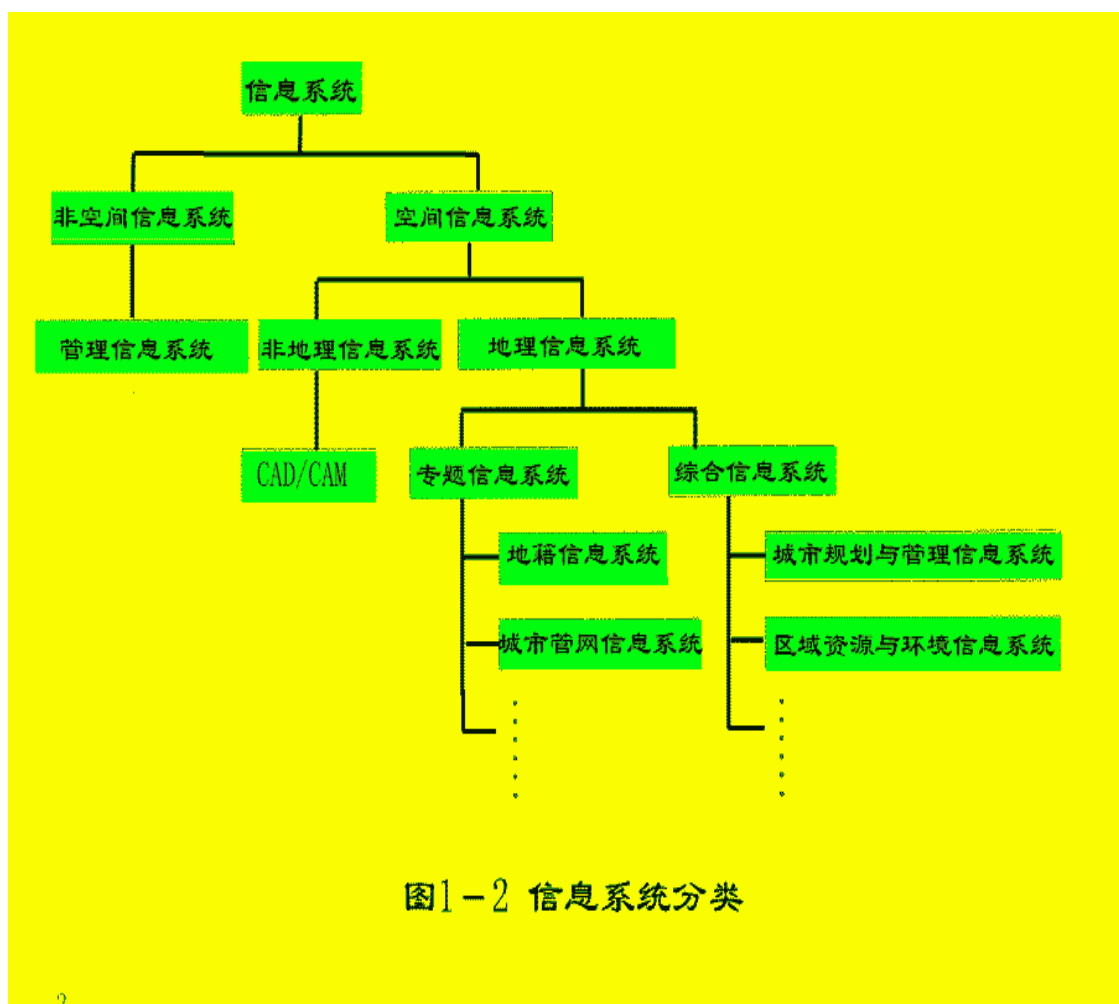
(1)GIS的物理外壳是计算机化的技术系统。该系统又由若干个相互关联的子系统构成,如数据采集子系统、数据管理子系统、数据处理和分析子系统、可视化表达与输出子系统等。这些子系统的构成直接影响着GIS的硬件平台、系统功能和效率、数据处理的方式和产品输出的类型。

(2)GIS的对象是地理实体。GIS的操作对象是地理实体的数据。所谓地理实体指的是在人们生存的地球表面附近的地理图层(大气图、水图、岩石图、生物图)中可相互区分的事物和现象,即地理空间中的事物和现象。在地理信息系统中,所操作的只能是实体的数据,它们都有描述其质量、数量、时间特征的属性数据,也有其非属性的数据——空间数据,即以点、线、面方式编码并以(X、Y)坐标串储存管理的离散型空间数据,或者以一系列栅格单元表达的连续型空间数据。地理实体数据的最根本特点是每一个数据都按统一的地理坐标进行编码,实现对其定位、定性、定量和拓扑关系的描述,即空间特征数据和属性特征数据统称为地理数据。GIS以地理实体数据作为处理和操作的主要对象,这是它区别于其他类型信息系统的根本标志,也是其技术难点之所在。

(3)GIS的技术优势在于它的混合数据结构和有效的数据集成、独特的地理空间分析能力、快速的空间定位搜索和复杂的查询功能、强大的图形创造和可视化表达手段,以及地理过程的演化模拟和空间决策支

持功能等。其中，通过地理空间分析可以产生常规方法难以获得的重要信息，实现在系统支持下的地理过程动态模拟和决策支持，这既是 GIS 的研究核心，也是 GIS 的重要贡献。

(4)GIS 与地理学和测绘学有着密切的关系。地理学是一门研究人—地相互关系的科学，研究各自然界的生物、物理、化学过程，以及探求人类活动与资源环境间相互协调的规律，这为 GIS 提供了有关空间分析的基本观点与方法，成为 GIS 的基础理论依托。



测绘学不但为 GIS 提供各种不同比例尺和精度的定位数据，而且其理论和算法可直接用于空间数据的变换和处理。而 GIS 引入地学界，正如美国地质学家 K. I·兰菲尔所说的“GIS 引入地学界，如同 Fortran 语言引入计算机科学界一样重要”，GIS 是以一种全新的思想和手段来解决复杂的规划、管理和地理相关问题，例如城市规划、商业选址、环境评估、资源管理、灾害监测、全球变化，甚至在现代企业中作为制定科学经营战略的一种重要手段，因为企业对外界的认知能力和信息处理能力提高了，就能创造空间上的竞争优势。解决这些复杂的空间规划和管理问题，这是 GIS 应用的主要目标。

地理信息系统根据其研究范围，可分为全球性信息系统和区域性信息系统；根据其研究内容，可分为专题信息系统和综合信息系统；根据其使用的数据模型，可分为矢量信息系统、栅格信息系统和混合型信息系统(图 1-2)。

1.2 地理信息系统的组成

一个实用的 GIS 系统，要支持对空间数据的采集、管理、处理、分析、建模和显示等功能，其基本组成一般包括以下五个主要部分：系统硬件、系统软件、空间数据、应用人员和应用模型。它们之间的关系如图 1-3 所示。

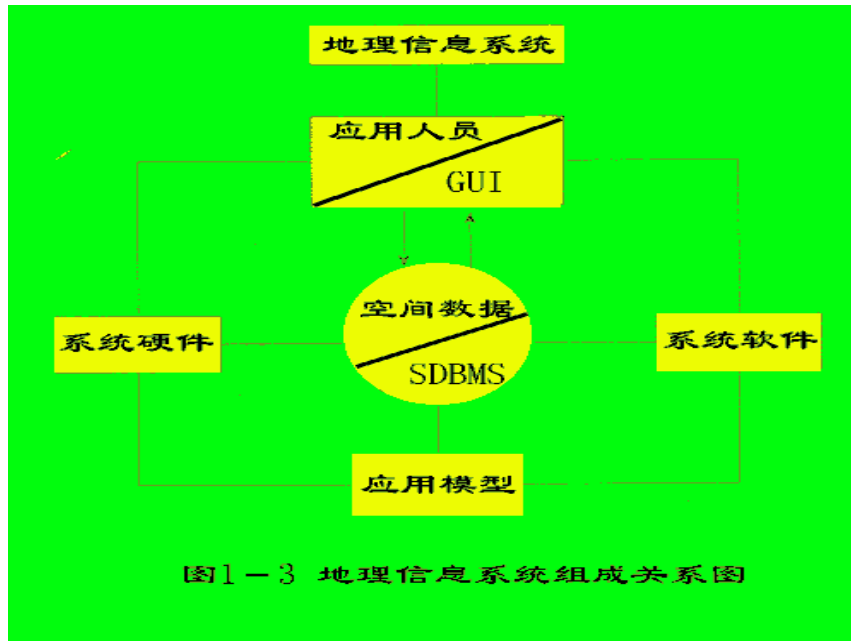


图1-3 地理信息系统组成关系图

1.2.1 系统硬件

GIS 硬件平台的基本类型如图 1-4 所示，用以存储、处理、传输和显示地理信息或空间数据。计算机与一些外部设备及网络设备的联接构成 GIS 的硬件环境。计算机是 GIS 的主机，它是硬件系统的核心，包括从主机服务器到桌面工作站，用作数据的处理、管理与计算。GIS 外部设备包括输入设备即数字化仪、扫描仪和全站型测量仪器等；输出设备即绘图仪、打印机和高分辨率显示装置等；数据存贮与传送设备即磁带机、光盘机、活动硬盘和硬盘阵列等。GIS 的网络设备包括布线系统、网桥、路由器和交换机等，具体的网络设备根据网络计算的体系结构来确定。

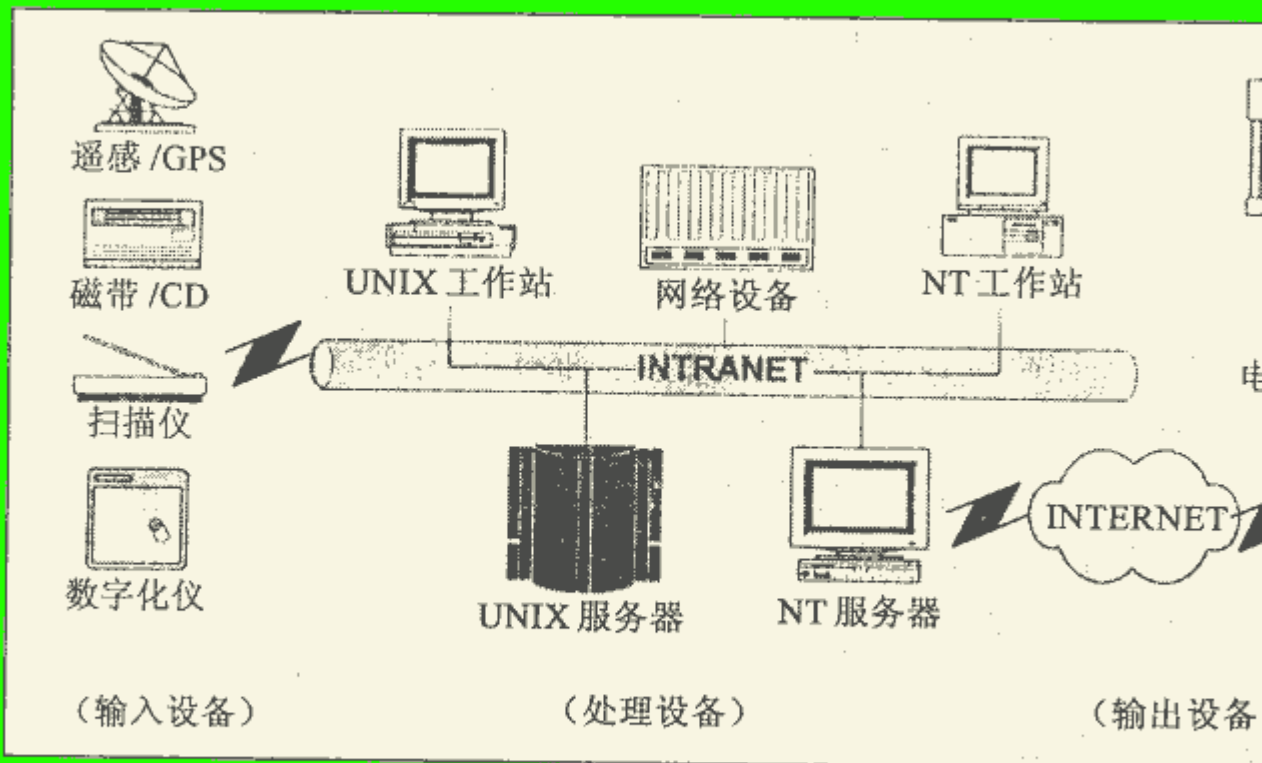


图 1-4 GIS 的硬件配置

图 1-4

一、GIS 主机

目前运行 GIS 的主机，包括大型、中型、小型机，工作站/服务器和微型计算机。其中各种类型的工作站/服务器成为 GIS 的主流，特别是由 Intel 硬件和 Windows NT 构成的 PC 工作站正成为工作站市场的新宠，传统 UNIX 阵营的用户正在逐渐向它转移。NT 工作站对 GIS 用户的吸引力，包括相对低成本、可管理性、标准图形化平台和具有 PC 结构与效率等，因此广泛应用于 GIS 和某些科学应用领域。例如，ARC/INFO、INTERGRAPH、MAPINFO 和 GENAMAP 等主流 GIS 产品，都相继开发出其 NT 版本，但目前功能与 UNIX 版相比仍有待提升。服务器作为在网络环境下提供资源共享的主流计算机产品，具有可靠性、高性能、高吞吐能力、大内存容量等特点，具备强大的网络功能和友好的人机界面，是以网络为中心的 GIS 和现代计算环境的关键，其中以低价格和高性能为特点的 PC 服务器，正在迅速缩小与 UNIX 服务器之间的差距，日益引起 GIS 设计者和用户的广泛关注。

目前，GIS 工作站和服务器主要有 UNIX 和 NT 两大类型，其产品包括 SUN、HP、IBM、SGI 和 COMPAQ 等，不同种类机型的界线逐渐模糊。由于客户/服务器环境的流行，多媒体技术的发展，以及计算机与通讯技术的融合，促使 GIS 向不依赖于平台的方向发展，GIS 软件标准逐渐统一。

二、GIS 外部设备

GIS 外部设备主要包括各种输入和输出设备。主要的输入设备有图形跟踪数字化仪、图形扫描仪、解析和数字摄影测量设备等。图形跟踪数字化仪尽管成本高、工序繁琐、对操作人员素质要求较高，但至今仍为空间数据采集的主要方式。市场上出售的数字化仪，例如 Calcomp DrawingBoard 系统数字化仪，其有效面积从 12 英寸×12 英寸(305mm×305mm)到 44 英寸×60 英寸(1118mm×1524mm)，有多种配置可供选择，如不透光的或带背光的板面，有线或无线的，笔式或鼠标式定标器，和所有的应用软件都能兼容。用户可用命令设置数字化板的菜单和定标器的按键，操作模式有：Prompt, Point, Run, Line, Track, Increment, Mouse, Delta, Grid Update 等。图形数字化仪由电磁感应板、游标和相应的电子线路组成。当使用者在电磁感应板上移动游标的十字丝交点对准指定图形的点位时，按动相应的按钮，数字化仪便将对应的命令符号和该点的坐标(X, Y)通过接口(多用串行接口)电路传送给计算机，定位点的精度可达 0.005~0.001 英寸(0.13~0.025mm)。手扶跟踪数字化仪的速度慢，工作效率较低，而栅格数据的获取则相对容易得多。目前新一代大幅面图形扫描仪提供高分辨率、真彩色、近乎完美的图像效果，其中 ANATech 公司为用户提供了一整套应用于各领域的高精度大幅面扫描仪以及相配套应用软件，是图形、图像数据录入和采集最有效的工具之一。ANATech 系列扫描仪包括：

Evolution SLI3840 高速大幅面扫描仪；

Evolution 4080ET 超大幅面高分辨率扫描仪；

Evolution 4080C 超大幅面高分辨率彩色扫描仪；

Evolution 4240 超大幅面扫描仪；

Evolution 4240C 超大幅面彩色扫描仪。

Evolution 3840 大幅面扫描仪扫描一幅 A0 图纸的时间仅需 15s，精度为 0.05%，失真率小于 0.1%。用户可在 800dpi 范围内任选扫描分辨率，可以按黑白二值或 256 级灰度方式扫描，可以边显示边扫描，并具有实时消蓝去污功能。根据用户需求可以实现自动补线、校正、镜像、反转等功能。地图扫描数字化得到图像信息，然后再经过目标识别和由栅格到矢量的转换过程，如图 1-5 所示。

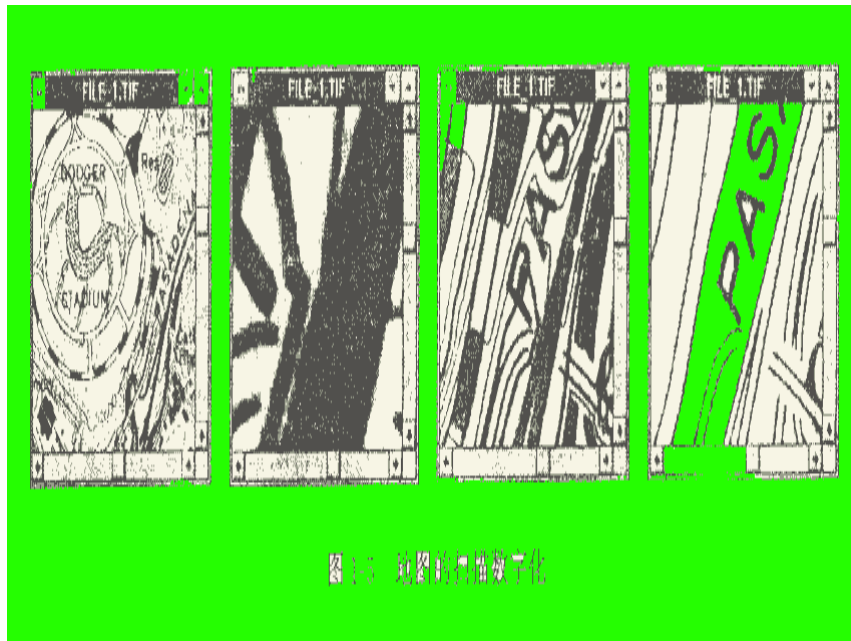


图 1—5 地图的扫描数字化

主要的输出设备有各种绘图仪、图形显示终端和打印机等。

绘图仪如 HP DesignJet750C 彩色喷墨绘图仪，是一种快速、可靠、便于连网且可在多种介质上进行高质量输出的绘图仪，是目前广泛使用的主流 GIS 产品输出设备。它采用根据对象空间分布形式和输出产品的特征，选择适当的图形表示方法、结合色彩、线条、符号、文字等表示手段，具有 600dpi 分辨率的高精度黑白输出，彩色输出在 300dpi 时，颜色可多达 1 600 多种，可获得极高清晰度的绘图质量。

图形显示终端用于图形的交互式输入、编辑、分析、处理和输出。目前有多种系列和型号的显示终端，如 Teltronix 公司生产的 4128、4335 型，与 IBM-PC 机兼容的 SGS-430 三维转换器等。GIS 还有多种表格、文字的数据需要输出，可利用多种打印机完成。打印机的类型有针式打印机、激光打印机、液晶打印机等。HP Design Jet 彩色打印机还能打印出丰富绚丽的彩色图形和细腻的文字。

三、GIS 网络设备

20 世纪 90 年代以来，计算机技术的飞速发展不断改变着 GIS 的结构体系，从主机及终端结构到 Client/Server，再到 Internet/Intranet。目前，基于客户/服务器体系结构并在局域网、广域网或因特网支持下的分布式系统结构(图 1 6)已经成为 GIS 硬件系统的发展趋势，因此，网络设备和计算机通讯线路的设计成为 GIS 硬件环境的重要组成部分。



图 1-6 分布式 GIS 的体系结构 (据周国年等, 1994 年)

网络设备包括布线系统、网桥、路由器和交换机等。在进行 GIS 网络设计时, 必须首先确定网络应用的需求, 然后具体考虑网络类型、互联设备、网络操作系统和服务器的选择, 以及网络拓扑结构、网络布线和网络安全性保障等。只有通过对新技术的深刻理解、对新产品的广泛关注以及对应用需求的准确把握, 才能设计出一个合理的 GIS 网络。

1.2.2 系统软件

GIS 软件是系统的核心, 用于执行 GIS 功能的各种操作, 包括数据输入、处理、数据库管理、空间分析和图形用户界面(GUI)等。按照其功能分为 GIS 专业软件、数据库软件和系统管理软件等(图 1-7)。

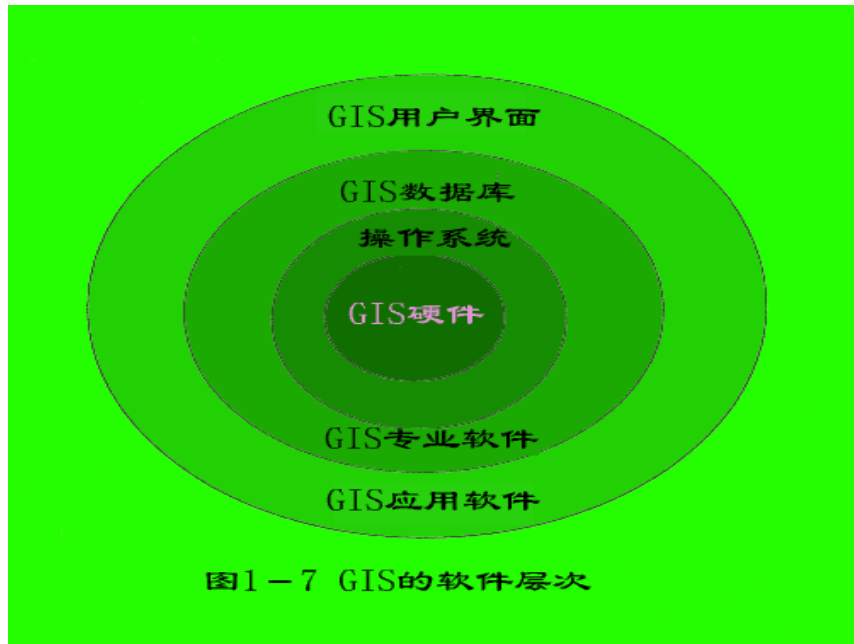


图 1-7

一、GIS 专业软件

GIS 专业软件一般指具有丰富功能的通用 GIS 软件，它包含了处理地理信息各种高级功能，可作为其他应用系统建设的平台。其代表产品有 ARC/INFO、MGE、MAPINFO、MAPGIS、GEOSTAR 等。它们一般都包含有以下的主要核心模块：

数据输入和编辑 支持数字化仪手扶跟踪数字化、图形扫描及矢量化，以及对图形和属性数据提供修改和更新等编辑操作；

空间数据管理 能对大型的、分布式的、多用户数据库进行有效的存储检索和管理； **数据处理和分析** 能转换各种标准的矢量格式和栅格格式数据，完成地图投影转换，支持各类空间分析功能等；

数据输出 提供地图制作、报表生成、符号生成、汉字生成和图像显示等；

用户界面 提供生产图形用户界面工具，使用户不用编程就能制作友好和美观的图形用户界面；

系统二次开发能力 利用提供的应用开发语言，可编写各种复杂的 GIS 应用系统。

二、数据库软件

数据库软件除了在 GIS 专业软件中用于支持复杂空间数据的管理软件以外，还包括服务于以非空间属性数据为主的数据库系统，这类软件有：ORACLE, SYBASE, INFORMIX, DB2, SQL Server, Ingress 等。它们也是 GIS 软件的重要组成部分，而且由于这类数据库软件具有快速检索、满足多用户并发和数据安全保障等功能，目前已实现在现成的关系型商业数据库中存储 GIS 的空间数据，例如 SDE (Spatial Database Engine) 就是最好的解决方案。

三、系统管理软件

系统管理软件主要指计算机操作系统，当今使用的操作系统有：MS-DOS，UNIX，Windows95/98/2000，Windows NT，VMS 等。它们关系到 GIS 软件和开发语言使用的有效性，因此也是 GIS 软硬件环境的重要组成部分。

1.2.3 空间数据

地理信息系统的操作对象是空间数据，它具体描述地理实体的空间特征、属性特征和时间特征。空间特征是指地理实体的空间位置及其相互关系；属性特征表示地理实体的名称、类型和数量等；时间特征指实体随时间而发生的相关变化。根据地理实体的空间图形表示形式，可将空间数据抽象为点、线、面三类元素，它们的数据表达可以采用矢量和栅格两种组织形式，分别称为矢量数据结构和栅格数据结构。

在地理信息系统中，空间数据是以结构化的形式存储在计算机中的，称为数据库。数据库由数据库实体和数据库管理系统组成。数据库实体存储有许多数据文件和文件中的大量数据，而数据库管理系统主要用于对数据的统一管理，包括查询、检索、增删、修改和维护等。由于 GIS 数据库存储的数据包含空间数据和属性数据，它们之间具有密切的联系。因此，如何实现两者之间的联接、查询和管理，是 GIS 数据库管理系统必须解决的重要问题。目前采用的解决方法有以下三种方式。

一、混合式

混合式数据库管理系统是利用两个子系统分别存储空间数据和属性数据，其中空间数据存储在弧状或面状实体的弧段文件中，属性数据存储在关系数据库管理系统中，两个子系统之间通过标识码(ID)进行连接(图 1-8)。属于这种管理方式的 GIS 软件有 ARC/INFO、MGE 和 SICAD 等。



二、扩展式

扩展式数据库管理系统是在标准 RDBMS 的顶层，通过将地理结构查询语言 (GeoSQL) 转化成标准的 SQL 查询，借助索引数据的辅助关系实施空间索引操作 (图 1-9)。属于这种管理方式的 GIS 软件有 System、Smallworld 和 Geovision 等。

三、开放式

开放式数据库管理系统是利用专门开发的 DBMS 来统一管理空间数据和属性数据 (图 1-10)。属于这种管理方式的 GIS 软件有 TIGRIS、GEO++ 和 Geo Tropics 等。

空间数据库是 GIS 的重要组成和应用资源，它的建立和维护是一项非常复杂的工作，其技术也在不断完善中，其中空间数据库引擎 (Spatial Data Engine) 代表着这一技术的最新进展。





1.2.4 应用人员

GIS 应用人员包括系统开发人员和 GIS 技术的最终用户，他们的业务素质和专业性是 GIS 工程及其应用成败的关键(图 1-11)。

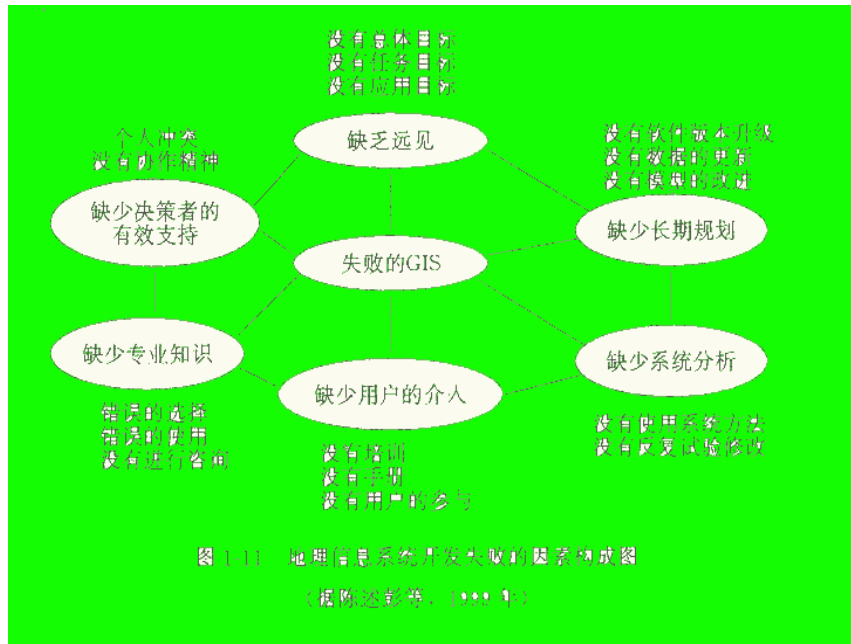


图 1-11 地理信息系统开发失败的因素构成图 (据陈述彭等, 1999 年)

GIS 的开发是一项以人为本的系统工程, 包括用户机构的状况分析和调查, 机构 GIS 系统开发目标的确定, 系统开发的可行性分析, 系统开发方案的选择和总体设计书的撰写等。开发人员要特别重视对用户机构的状况和要求进行具体分析, 切忌只注重技术的细节。

系统开发过程中, 对具体开发策略的确定、系统软硬件的选型和空间数据库的建立等问题的解决, 系统开发人员必须根据 GIS 工程建设的特点和要求, 并在深入调查研究的基础上, 使确定的开发策略能适应 GIS 用户随时变化的需求, 使系统的软硬件投入能获得较高的效益回报, 以及使建立的数据库能具有完善的质量保证。

在使用 GIS 时, 应用人员不仅需要对 GIS 技术和功能有足够的了解, 而且需要具备有效、全面和可行的组织管理能力, 尤其在当前 GIS 技术发展十分迅速的情况下, 为使现行系统始终处于优化的运作状态, 其组织管理和维护的任务包括: GIS 技术和管理人员的技术培训, 硬件设备的维护和更新, 软件功能扩充和升级, 操作系统升级, 数据更新, 文档管理, 系统版本管理和数据共享性建设等。

1.2.5 应用模型

GIS 应用模型的构建和选择也是系统应用成败至关重要的因素。虽然 GIS 为解决各种现实问题提供了有效的基本工具, 但对于某一专门应用目的解决, 必须通过构建专门的应用模型, 例如土地利用适宜性模型、选址模型、洪水预测模型、人口扩散模型、森林增长模型、水土流失模型、最优化模型和影响模型等。

这些应用模型是客观世界中相应系统经由观念世界到信息世界的映射, 反映了人类对客观世界利用改造的能动作用, 并且是 GIS 技术产生社会效益的关键所在, 也是 GIS 生命力的重要保证, 因此在 GIS 技术中占有十分重要的地位。

构建 GIS 应用模型，首先必须明确用 GIS 求解问题的基本流程(图 1-12)；其次根据模型的研究对象和应用目的，确定模型的类别、相关的变量、参数和算法，构建模型逻辑结构框图；然后确定 GIS 空间操作项目和空间分析方法；最后是模型运行结果的验证、修改和输出。

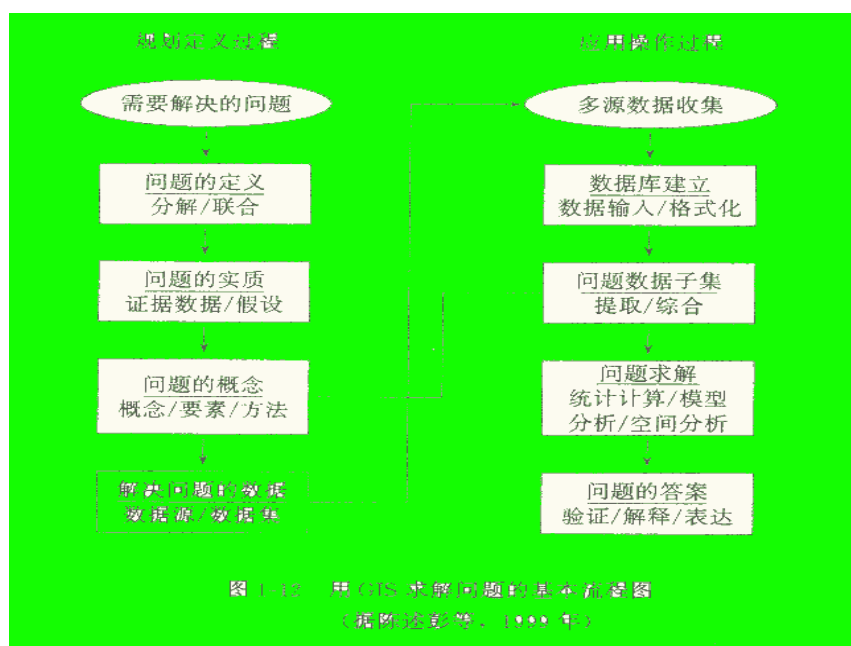


图 1-12 用 GIS 求解问题的基本流程图 (据陈述彭等, 1999 年)

显然，应用模型是 GIS 与相关专业连接的纽带，它的建立绝非是纯数学或技术性问题，而必须以坚实而广泛的专业知识和经验为基础，对相关问题的机理和过程进行深入的研究，并从各种因素中找出其因果关系和内在规律，有时还需要采用从定性到定量的综合集成法，这样才能构建出真正有效的 GIS 应用模型。

这样大量应用模型的研究、开发和应用，凝聚和验证了许多专家的经验知识，无疑也为 GIS 应用系统向专家系统的发展打下了基础。

1.3 地理信息系统的功能

由计算机技术与空间数据相结合而产生的 GIS 这一高新技术，包含了处理信息的各种高级功能，但是它的基本功能是数据的采集、管理、处理、分析和输出。GIS 依托这些基本功能，通过利用空间分析技术、模型分析技术、网络技术、数据库和数据集成技术、二次开发环境等，演绎出丰富多彩的系统应用功能，满足用户的广泛需求。

1.3.1 基本功能

一、数据采集与编辑

地理信息系统的数据库通常抽象为不同的专题或层(图 1-13)。数据采集编辑功能就是保证各层实体的地物要素按顺序转化为 X、Y 坐标及对应的代码输入到计算机中,各类数据的转化和输入方法如图 1-14 所示。



图 1-13 GIS 数据分层概念

二、数据存储与管理



图 1-14 GIS 数据采集流程图

数据库是数据存储与管理的最新技术,是一种先进的软件工程。GIS 数据库是区域内一定地理要素特征以一定的组织方式存储在一起的相关数据的集合。由于 GIS 数据库具有数据量大,空间数据与属性数据具有不可分割的联系,以及空间数据之间具有显著的拓扑结构等特点,因此 GIS 数据库管理功能除了与属性数据有关的 DBMS 功能之外,对空间数据的管理技术主要包括:空间数据库的定义,数据访问和提取,从空间位置检索空间物体及其属性,从属性条件检索空间物体及其位置,开窗和接边操作,数据更新和维护等。

三、数据处理和变换

由于 GIS 涉及的数据类型多种多样,同一种类型数据的质量也可能有很大的差异。为了保证系统数据的规范和统一,建立满足用户需求的数据文件,数据处理是 GIS 的基础功能之一。数据处理的任务和操作内容有:

(1) 数据变换:指对数据从一种数学状态转换为另一种数学状态,包括投影变换、辐射纠正、比例尺缩放、误差改正和处理等;

(2) 数据重构:指对数据从一种几何形态转换为另一种几何形态,包括数据拼接、数据截取、数据压缩、结构转换等;

(3) 数据抽取:指对数据从全集到子集的条件提取,包括类型选择、窗口提取、布尔提取和空间内插等。

四、空间分析和统计

空间分析和统计功能是 GIS 的一个独立研究领域，它的主要特点是帮助确定地理要素之间新的空间关系，它不仅已成为区别于其他类型系统的一个重要标志，而且为用户提供了灵活地解决各类专门问题的有效工具。

(1) 拓扑叠加：通过将同一地区两个不同图层的特征相叠加，不仅建立新的空间特征，而且能将输入的特征属性予以合并，易于进行多条件的查询检索、地图裁剪、地图更新和应用模型分析等。

(2) 缓冲区建立：它是研究根据数据库的点、线、面实体，自动建立各种类型要素的缓冲多边形，用以确定不同地理要素的空间接近度或邻近性。它是 GIS 重要的和基本的空间分析功能之一。例如规划建设一个开发区，需要通知一定范围内的居民动迁；在林业规划中，需要按照距河流一定纵深范围来确定森林砍伐区，以防止水土流失等等。

(3) 数字地形分析：GIS 提供了构造数字高程模型及有关地形分析的功能模块，包括坡度、坡向、地表粗糙度、山谷线、山脊线、日照强度、库容量、表面积、立体图、剖面图和通视分析等，为地质研究、工程设计和辅助决策提供重要的基础性数据。

(4) 空间集合分析：空间集合分析是按照两个逻辑子集给定的条件进行布尔逻辑运算。其算子及其运算结果如 [图](#)

1.3.2 应用功能

一、资源管理

资源的清查、管理和分析是 GIS 应用最广泛的领域，也是目前趋于成熟的主要应用领域，包括森林和矿产资源的清查、管理、野生动植物的保护、土地资源潜力的评价和土地利用规划以及水资源的时空分布特征研究等。系统的主要任务是将各种来源的数据和信息有机地汇集在一起，GIS 软件能在一个连续无缝的方式下管理大型的地理数据库，这种功能强大的数据环境允许集成各种应用，最终用户通过 GIS 的客户端软件可直接对数据库进行查询、显示、统计、制图以及提供区域多种组合条件的资源分析，为资源的合理开发利用和规划决策提供依据。

二、区域规划

城市与区域规划具有高度的综合性，涉及资源、环境、人口、交通、经济、教育、文化和金融等因素，但是要把这些信息进行筛选并转换成可用的形式并不容易，规划人员需要切实可行的、实时性强的信息，而 GIS 能为规划人员提供功能强大的工具。例如规划人员利用 GIS 对交通流量、土地利用和人口数据进行分析，预测将来的道路等级；工程技术人员利用 GIS 将地质、水文和人文数据结合起来，进行路线和构造设计；GIS 软件帮助政府部门完成总体规划、分区、现有土地利用、分区一致性、空地、开发区和设施位置等分析工作，是实现区域规划科学化和满足城市发展的重要保证。

三、国土监测

GIS 方法和多时相的遥感数据，可以有效地用于森林火灾的预测预报、洪水灾情监测和淹没损失估算、土地利用动态变化分析和环境质量的评估研究等。例如黄河三角洲地区的防洪减灾研究表明，在 ARC/INFO 地理信息系统支持下，通过建立大比例尺数字地形模型和获取有关的空间和属性数据，利用 GIS 的叠置操作和空间分析等功能，可以计算出若干个泄洪区域内的土地利用及面积，比较不同泄洪区内房屋和财产损

失等，可以确定泄洪区内人员撤退、财产转移和救灾物资供应的最佳路线，保证以最快的速度有效应付突发事件的发生。

四、辅助决策

GIS 利用拥有的数据库和互联网传输技术，已经实现了电子商贸的革命，满足企业决策多维性的需求。当前在全球协作的商业时代，90%以上的企业决策与地理数据有关，例如：企业的分布、客货源、市场的地域规律、原料、运输、跨国生产、跨国销售等。利用 GIS 迅速有效管理空间数据，进行空间可视化分析，确定商业中心位置和潜在市场的分布，寻找商业地域规律，研究商机时空变化的趋势，不断为企业创造新的商机，GIS 和互联网已成为最佳的决策支持系统和威力强大的商战武器。

1.4 地理信息系统的发展

本世纪中叶，计算机的发明与应用标志着第一次信息革命的开始，人类社会随之进入信息时代。信息的巨大物化力量使得它逐渐成为一种重要的社会资源和社会动力源，从而引起社会职能、模式、结构、价值及人们工作、生活方式的变革，人们工作的重点从单独的物质生产转移到对信息的采集、处理、分析和利用上来。另外，由于社会的进步，人们开始觉悟到对赖以生存的地球资源的利用，不能是简单地掠夺，而应将开发和保护结合起来进行科学管理和充分利用。于是兴起国土规划、各种资源清查、环境监测等大型工程。然而，面对这些大型工程所获取的海量资源环境信息，传统的调查报表、统计图表和手工制图的方式已远远不能满足时代需求，如何利用计算机有效地处理相关信息是地理信息系统产生和发展的原动力。

1.4.1 GIS 发展简史

一、国际发展状况

1963 年，加拿大测量学家 R. Tomlinson 首先提出地理信息系统这一术语之后，随着技术的进步、社会的需求、有关组织机构的建立，GIS 呈“星火燎原”之势在全世界迅速发展起来。概括起来，GIS 的发展可分为以下几个阶段。

20 世纪 60 年代为 GIS 思想和技术方法的探索时期。由于 40 年代和 50 年代计算机科学、地图学和航空摄影测量技术的发展，逐渐产生利用计算机汇总各种来源的数据，借助计算机处理和分析这些数据，最后通过计算机输出一系列结果，作为辅助决策的有用信息，这就产生了最早地理信息系统的基本框架。在 50 年代末和 60 年代初，计算机获得广泛应用以后，很快就被应用于空间数据的存储与管理。计算机分析地图内容并提供信息，是从自然资源的管理和土地规划任务开始的，在这个基础上诞生了世界上第一个地理信息系统——加拿大地理信息系 (CGIS)。受计算机发展水平的限制，当时的地理信息系统的特征是存储能力小，磁带存取速度慢。机助制图能力较强，地学分析功能较简单，实现了手扶跟踪数字化方法，可以完成地图数据的拓扑编辑，分幅数据的自动拼接，开创了格网单元的操作方法，发展了许多基于格网的系统。所有这些处理空间数据的主要技术，奠定了地理信息系统发展的基础。另外，纷纷成立的许多有关 GIS 的组织和机构对传播和发展地理信息系统也起了重要的指导作用。

70 年代是 GIS 的发展时期。在这期间，计算机发展到第三代，内存容量大增，运算速度达到 10—6 秒级，特别是大容量直接存取设备——磁盘的使用，为地理数据的录入、储存、检索、输出提供了强有力

的手段。用户屏幕和图形、图像卡的发展增强了人机对话和高质量图形显示功能，促使 GIS 朝着实用化方向发展。例如，从 1970 年至 1976 年，美国地质调查所就建成了 50 多个信息系统，分别作为处理地理、地质和水资源等领域空间信息的工具。其他一些发达国家，如加拿大、联邦德国、瑞典等国，也先后发展了自己的地理信息系统。同时，一些商业公司开始活跃，GIS 软件在市场上受到欢迎，同时管理问题也开始受到重视。据 IGU 统计，在 70 年代约有 300 多个系统投入使用，其中较完整的系统软件就有 80 个之多。1980 年，美国地质调查局出版了《空间数据处理计算机软件》的报告，基本总结了 1979 年以前世界各国 GIS 的发展概况。此外，D. F. Marble 等拟定了处理空间数据的计算机软件登录的标准格式，对全部软件作了系统的分类，提出 GIS 发展研究的重点是空间数据处理的算法、数据结构和数据库管理这三方面。同时，许多大学(如美国纽约州立大学等)开始注意培养 GIS 方面的人才，创建了 GIS 实验室。因此，地理信息系统这一技术受到了政府部门、商业公司和大学的普遍重视，成为引人注目的领域。

80 年代是 GIS 在理论、方法和技术上取得突破与趋向成熟的阶段。由于大规模和超大规模集成电路的问世，推出了第四代计算机，特别是微型计算机和远程通讯传输设备的出现，为计算机的普及应用创造了条件，加上计算机网络的建立，使地理信息的传输效率得到极大的提高。另外，软件开发工具的广泛应用和数据库技术的推广，推动了 GIS 的数据处理能力，空间分析功能，人机交互对话，地图的输入、编辑和输出技术的进一步发展，并逐渐走向成熟。地理信息系统的应用从解决基础设施的规划(如道路、输电线等)转向更加复杂的区域开发问题。例如土地的规划利用、城市发展战略研究、人口的规划和安置等，地理因素成为投资标准决策不可缺少的依据。这个时期，GIS 已跨越国界，开始用于解决全球性问题，如全球的沙漠化、全球可居住区的评价、ALNINO 现象及酸雨、核扩散等对世界环境潜在的影响等。因此，国际著名的 GIS 专家 R. F. Tomlinson 认为，如果 70 年代是 GIS 发展的巩固时期，那么，80 年代是国际 GIS 发展具有突破性的时期。

90 年代以来，随着地理信息产业的建立和地球数字化产品的普及应用，GIS 的发展进入用户时代。这个期间，社会对 GIS 的认识普遍提高，需求大幅度增加，GIS 已成为许多机构(特别是政府决策部门)必备的工作系统。国家级乃至全球级的地理信息系统已成为公众关注的问题，地理信息系统已被列入“信息高速公路”计划，也是美国前副总统戈尔提出的“数字地球”战略的重要组成部分。90 年代，GIS 开发和研究主要集中在下列一些方向：空间信息分析的新模式和新方法；空间信息应用模型；GIS 的效益评价；三维、四维空间数据结构和数据模型；人工智能和专家系统的引入；网络 GIS；虚拟现实技术与 GIS 的结合等。

二、国内发展状况

我国地理信息系统的发展起步较晚，但发展较快，大体可分为下列几个阶段。

准备阶段。70 年代初，我国开始探讨计算机在测量、地图制图和遥感领域的应用。例如，1972 年开始研制制图自动化系统，1974 年引进美国地球资源卫星图像，开展了卫星图像的处理和信息解译工作，随后召开了各种区域性遥感技术规划会议，先后开展了多项环境卫星系列数据与图像的接收、处理和应用的试验，如京津唐地区红外遥感试验、新疆哈密地区航空遥感实验等。此外，还开展了全国范围的航空摄影测量与地形制图，为我国地理信息系统数据库的建立打下了坚实的物质基础，并于 1977 年诞生我国第一张全要素数字地图。所有这些都为我国地理信息系统的研制和开发做了物质和技术准备，为 GIS 的发展开辟了道路。

试验阶段。80 年代，随着计算机技术的发展和我国对“信息革命”的热烈响应，地理信息系统这一新技术在我国正式进入全面试验阶段。我国在 GIS 理论探索、规范探讨、实验技术、软件开发、系统建立、人才培养、典型试验和专题试验等方面都取得了实质性的进展。在典型试验中主要研究建立数据规范和标

准、空间数据库建立、数据处理和分析算法以及系统分析软件和应用软件的开发等。在专题试验和应用方面,探索地理信息系统的设计与应用,包括人口、资源、环境与经济等广泛专题的试验和应用。建成的区域性系统有 1:100 万国土地基本信息系统和全国土地信息系统、1:400 万全国资源和环境信息系统、1:250 万水土保持信息系统等,专题信息系统如黄土高原信息系统、洪水灾害预报与分析系统、矿产资源数据库等。一些用于辅助城市规划的各种小型信息系统在城市建设和规划部门获得了认可。此外,国际 GIS 学术会议多次在我国举行,有关高校开设了地理信息系统课程,这一切均为 GIS 的进一步发展和实际应用打下了基础。

发展阶段。从 1986 年到 1995 年前后,我国 GIS 随着社会主义市场经济的发展走上了全面发展道路。由于沿海、沿江经济开发区的发展,土地的有偿使用和外资的引进,急需 GIS 为之服务,推动了 GIS 的发展和应用。GIS 研究作为政府行为,正式列入国家科技攻关项目,开始有计划、有组织、有目标地进行理论研究和应用建设。同时,全国许多行业部门和部分省市积极发展各自专业 GIS 和区域 GIS,上海、北京、深圳、海口、三亚、常州等大中城市都在积极建设城市 GIS。

产业化阶段。1996 年以来,我国 GIS 技术在技术研究、成果应用、人才培养、软件开发等方面进展迅速,并力图将 GIS 从初步发展时期的研究实验、局部应用推向实用化、集成化、工程化,为国民经济发展提供辅助分析和决策依据。GIS 在研究和应用过程中走向产业化道路,成为国民经济建设普遍使用的工具,并在各行各业发挥重大作用。

1.4.2 当代 GIS 发展动态

自 20 世纪 60 年代世界上第一个 GIS——加拿大地理信息系统(CGIS)问世以来,经过近 40 年的发展,GIS 系统软件和应用软件日趋成熟和完善。过去,GIS 往往被认为是一项专门技术,其应用主要限于测绘、制图、资源和环境管理等领域。随着地理信息产业的建立和数字化信息产品在全世界的普及,GIS 的社会需求量增大,GIS 应用日趋广泛,甚至进入千家万户。应用需求促进发展,GIS 已从一门技术发展为一门独立的新兴学科。下面就 GIS 当前的几个热门研究领域作一介绍。

一、面向对象技术与 GIS 的结合

GIS 一般采用图形和属性分开管理的数据模型管理数据,即实体的图形数据用拓扑文件存储管理,属性数据用关系数据库管理,二者通过惟一标识符进行连接。这种数据模型具有以下弱点:

- (1) 不利于空间数据的整体管理,以保证数据的一致性;
- (2) GIS 的开放性和互操作性受限制;
- (3) 数据共享和并行处理无保证。

因此,人们开始寻求一种能统一管理图形数据和属性数据的数据模型。面向对象技术将现实世界的实体都抽象为对象,利用四种数据抽象技术(分类、概括、联合、聚集)可构建复杂的地理实体,利用继承和传播这两种数据抽象工具将所有实体对象构建成为一个分层结构。面向对象的方法为描述复杂的空间信息提供了一条适合于人类思维模式的直观、结构清晰、组织有序的方法,面向对象数据模型成为较为理想的统一管理 GIS 空间数据的有效模型。因而,面向对象的技术在 GIS 中的应用,即面向对象的 GIS,已成为 GIS 的发展方向。Smallworld GIS 是目前面向对象 GIS 中最为典型的代表,一些传统的 GIS 也开始部分采用面

向对象的技术，如 ARC/INFO 7.0, Intergraph 的 TIGRIS, SYSTEM 9, FACET 系统等。然而，面向对象的 GIS 仍存在一些有待进一步研究的问题：

- (1) 大对象的操作仍受硬件条件的限制；
- (2) 对象的独立性与颗粒度问题；
- (3) 矢量和栅格数据统一的、支持动态拓扑结构和复合对象表示的面向对象的数据结构问题。

二、真三维 GIS 和时空 GIS

GIS 处理的是在地球三维空间上连续分布的空间数据。然而，目前绝大多数的 GIS 采用二维或 2.5 维来表示现实三维现象，通常将三维分量 Z 值当做一个属性值，如 DEM 数据，这对于许多地学分析是非常不便的，甚至难以进行。例如，地质构造研究中的断层处，在一固定位置会有不同的高程值，因而不能用二维或 2.5 维表示，而真三维数据结构能真正表示这种地质结构。近年来，计算机技术特别是计算机图形学的发展，使得显示和描述三维实体的几何特征和属性特征成为可能，因此真三维数据结构的研究，真三维 GIS 的应用成为 GIS 发展的一个热点。主要研究方向包括：

- (1) 三维数据结构的研究，包括数据的有效存储、数据状态的表示和数据的可视化；
- (2) 三维数据的生成和管理；
- (3) 地理数据的三维显示，包括三维数据的空间操作和分析，表面处理，栅格图像、全息图像显示，层次处理等。

地理信息除具有空间特性外，还具有明显的时序特征，即动态变化特征。在许多应用领域中，如环境监测、地震救援、天气预报等，空间对象是随时间变化的，描述和研究空间对象的时序特征在问题求解过程中起着十分重要的作用。由于受器件的限制和一些技术原因，传统的地理信息系统只考虑地物的空间特性，忽略了其时间特性。近几年提出的空间 实时数据模型也仅能处理空间二维和时间一维，不能完全表示和分析不断变化的三维世界，因而需要开发时空四维 GIS。实现时空复合操作，将空间分析问题进一步拓展为时空分析范畴，已成为新一代 GIS 的重要研究课题。时空 GIS 主要研究时空模型，时空数据的表示、存储、操作、查询和时空分析。目前较常用的做法是在现有数据模型基础上扩充，如在关系模型的元组中加入时间，在对象模型中引入时间属性。在这种扩充的基础上如何解决从表示到分析的一系列问题仍有待进一步的研究。另外，人们也在研究一种存储和表示四维目标的四维数据模型，Cheng Tao 等运用面向对象技术开发出一种面向对象空间 实时模型用于处理四维 GIS 数据。

三、GIS 应用模型的发展

GIS 强大的生命力在于与各种实际应用的结合。然而，通用 GIS 的数据管理、查询和空间分析功能对于大多数的应用问题是远远不够的，因为这些领域都有自己独特的专用模型。根据某种应用目标或任务要求，从相应专业或学科出发，对客观世界进行深入分析研究，并借助 GIS 技术的支持，建立 GIS 应用模型，是 GIS 解决实际问题的能力、效率及产生社会效益的关键所在，因此日益受到重视。

为用户提供建立专业应用模型的二次开发工具和环境是目前大多数 GIS 软件解决 GIS 建模问题的一般方法，如 ARC/INFO 提供的二次开发的宏语言 AML。这种方法的一个主要问题是它对于普通用户而言过于困难。最好的方式是 GIS 本身能支持建立专业应用模型，这种 GIS 又称为地理信息建模系统(Geographic

Information Modelling System, 简称 GIMS), 它能支持面向用户的空间分析模型的定义、生成和检验的环境, 支持与用户交互式的基于 GIS 的分析、建模和决策, GIMS 是目前 GIS 研究的热点问题之一。

实现通用 GIS 空间分析功能与各种领域专用模型的结合主要有三种途径:

(1) 松散耦合式, 也称为外部空间模型法。这种方法基本上将 GIS 当做一个空间数据库看待, 在 GIS 环境外部借助其他软件或计算机高级语言建立专用模型, 其与 GIS 之间采用数据通讯的方式联系。

(2) 嵌入式, 也称为内部空间模型法。即在 GIS 中借助 GIS 的通用功能来实现应用领域的专用分析模型。

(3) 混合型空间模型法, 是前两种方法的结合, 即尽可能利用 GIS 提供的功能, 最大限度地减少用户自行开发的工作量和难度, 又保持外部空间模型法的灵活性。

目前的 GIS 对用户定义自己的专用模型的支持程度都是不够的, 离支持实现数据集定义、模

型定义、模型生成和模型检验的全过程仍有相当大的距离。

四、Internet 与 GIS 的结合

近年来, Internet 技术的迅速发展与普及应用为 GIS 发展提供了新的机遇, 它改变了地理信息的获取、传输、发布、共享、应用和可视化等过程和方式, Internet 已成为 GIS 新的操作平台。Internet 与 GIS 的结合即 Internet GIS, 利用 Internet 在 Web 上发布和出版空间数据, 为用户提供空间数据浏览、查询、制作专题图和分析的功能, 已经成为 GIS 发展的必然趋势。

Internet GIS 的信息处理模式由传统的集中式转向客户—服务器模式, 客户机处理 GIS 应用软件, 服务器负责存储和管理 GIS 空间数据库, 并响应客户机对 GIS 应用功能的服务请求。由于 Internet GIS 分布式管理与互操作的要求, Internet GIS 又有下列两个研究热点:

(1) 组件式 GIS, 即将已有的巨型 GIS 分解为若干可互操作的自我管理、相互独立的组件, 包括数据管理组件、空间查询组件、数据获取组件、专题制图组件和显示组件等。它们建立在分布式的对象结构基础之上, 应用了最新的分布式技术如 OMG 的 CORBA, Microsoft 的 OLE/COM 以及 SUN 的 Java 技术。这些组件具有与平台和操作系统无关性, GIS 应用的开发者可以利用这些组件快速地组装 GIS 应用软件。组件式 GIS 有效地减少了网络传输的负担, 实现了获取和管理多数据源数据, 提供了分析地图特征和查询、空间分析、专题制图等功能, 并方便用户二次开发。

(2) Open GIS, 即开放式地理信息系统, 是为了使不同的 GIS 软件之间具有良好的互操作性, 以及在异构数据库中实现信息共享的途径。由于 Internet GIS 用于发布分布式地理信息和处理与分析工具, 使得 Internet GIS 必须使用已有的多种数据源和各种地理信息分析处理功能, 即 Internet GIS 面临地理信息的互操作性问题, 因此, 从数据的观点看, Open GIS 是未来 Internet GIS 技术发展的必然趋势。由用户和开发商组成的联盟——开放地理信息联合会 (Open GIS Consortium, OGC) 已经成立, 并研究制定了开放地理数据交互操作规程 (Open Geodata Interoperability Specification, OGIS)。OGIS 规范为开放系统地学处理奠定了基础, 使得 GIS、遥感以及其他地学处理学科从专有的不兼容的数据格式和特定处理功能走向统一的网络数据空间和软件组件。然而, OGIS 只是对 Open GIS 定义了抽象的互操作规程, 具体如何实现将是 21 世纪 GIS 发展的任务。

总之，目前 Internet GIS 仍然存在着诸多不足，主要表现在：支持单一数据源而非多数据源的获取，因而不能满足日益增长的信息交互与 Open GIS 规范的需求；数据集中而非分布式存放与管理，不利于信息的共享与更新；缺乏统一的管理机制以实现大量分布式空间信息相互间的有机联系；缺乏丰富的空间信息表现手法以及与网络资源特别是借助浏览器表达的能力；空间信息获取控制以及客户与服务器端安全体系的建立不够完善。商品化的 WebGIS 还处于初级阶段，提供的查询和分析功能还不能满足专业应用的需要，但它的出现已开始改变 GIS 传统的数据输出和地图发布的方式，为地理信息的高度社会化共享提供了可能。

五、GIS 与专家系统、神经网络的结合

专家系统研究的是利用计算机模拟人类专家的推理思维过程，系统根据知识库中的知识，对输入的原始事实进行复杂推理，并作出判断和决策，从而起到人类专家的作用。GIS 经过近 40 年的发展已逐渐趋于成熟，但它的应用还主要停留在空间数据库的建立与管理、空间实体查询、空间叠置分析、缓冲区分析以及成果输出上，由于缺乏知识处理和进行启发式推理的能力，其决策支持功能仍很弱，还无法解决多层次、多因素、非线性变化的复杂地学问题。解决这类问题是一项具有一定创造性的过程，需要大量的人为经验和专家知识。因此，将 GIS 和专家系统相结合，发展智能 GIS 或专家 GIS，是解决复杂地学问题的重要途径。目前，这方面的研究受到广泛的重视并取得一些令人鼓舞的成果。如 Gennert M. A. 开发的原型网络专家 GIS 用于土地资源管理，该系统由 GIS 完成位置分析工作，由基于规则知识库的专家系统来评价，GIS 与专家系统相结合，互为补充，组成专家 GIS。Sarasus、Wayne A. 等讨论了智能 GIS 用于铁路与高速公路交叉口的安全管理与分析问题。Lam David 等建立了用于环境管理决策的 GIS 决策支持系统。此外还有专家 GIS 在地下水管理、地质勘探、地学分析和军事指挥等领域的应用研究。

六、GIS 与虚拟现实技术的结合

虚拟现实(Virtual Reality)是一种最有效地模拟人在自然环境中视、听、动等行为的高级人机交互技术，是当代信息技术高速发展和集成的产物。从本质上说，虚拟现实就是一种先进的计算机用户接口，通过计算机建立一种仿真数字环境，将数据转换成图像、声音和触摸感受，利用多种传感设备使用户“投入”到该环境中，用户可以如同在真实世界那样“处理”计算机系统所产生的虚拟物体。将虚拟现实技术引入 GIS 将使 GIS 更具吸引力，采用虚拟现实中的可视化技术，在三维空间中模拟和重建逼真的、可操作的地理三维实体，GIS 用户在客观世界的虚拟环境中将能更有效地管理、分析空间实体数据。因此，开发虚拟 GIS 已成为 GIS 发展的一大趋势。随着虚拟技术的发展和虚拟现实硬件价格的降低，使得开发成本低廉的虚拟现实软件包成为可能，如用户可通过 Virtual GIS 软件在三维环境中观察和分析 GIS 数据。Koller D 等开发的一个实时三维 GIS 可使用户在编辑、分析复杂的地形数据库时产生一种临境感。

当前，GIS 发展的动态除以上几点外，GIS 与 GPS、RS 的进一步集成，GIS 与 CAD 的集成，并行处理技术在 GIS 中的应用等都是 GIS 研究和发展的热点。GIS 的这些发展并不是孤立的，而是相互影响，相互促进的，其目的都是为了让 GIS 能更好地为人类管理和保护赖以生存的地球服务。

典型问题

I。关于具有多重属性的实体的属性划分：

例如：作为国境线的河流，既属于水系要素，又属于境界。在GIS数据库中应根据具体情况和要求处理。比如可以增加一个属性表明是否属于具有多重属性的实体。

2. 关于空间实体的标识码：

空间实体是地理信息系统中不可再分的最小单元现象。通常以分类码和识别码来描述空间实体。“分类码”，是对具有某一特征的实体子集的描述，而“识别码”是对单个实体的识别描述，在系统中必须是唯一的，表现形式可以是数字也可以是名称。某种情况下，同一实体在不同时间用不同的识别码描述，如上行和下行的火车等。空间实体数据坐标表示和属性表示之间共享的是同一识别码。

单元练习



1. 什么是地理信息系统?与地图数据库有什么异同?与地理信息的关系是什么?
2. 地理信息系统由哪些部分组成?与其他信息系统的主要区别有哪些?
3. 地理信息系统中的数据都包含哪些?
4. 地理信息系统的基本功能有哪些?基本功能与应用功能是根据什么来区分的?
5. 与其他信息系统相比，地理信息系统的哪些功能是比较独特的?
6. 地理信息系统的科学理论基础有哪些?是否可以称地理信息系统为一门科学?

7. 试举例说明地理信息系统的应用前景。

8. GIS 近代发展有什么特点？

第二章 地理信息系统的空间数据结构 和数据库

第一节 概述

第二节 空间信息的计算机表示和管理

第三节 空间数据结构

第四节 的数据模型

第五节 空间数据库的设计

基本概念

<u>空间数据的特征</u>	<u>点的矢量数据结构</u>	<u>拓扑元素</u>	<u>三维数据结构</u>
<u>空间数据的类型</u>	<u>线(链)的矢量数据结构</u>	<u>最基本的拓扑关系</u>	<u>八叉树三维数据结构</u>
<u>空间数据结构</u>	<u>面(多边形)</u>	<u>拓扑关系的表示</u>	<u>规则八叉树</u>
<u>矢量数据结构</u>	<u>拓扑数据结构</u>	<u>栅格数据结构</u>	<u>线性八叉树</u>
			<u>一对八式的八叉树</u>

概念模式 外模式 内模式 数据模型	数据库管理系统 (DBMS) 地理数据库与地理实体 点状实体 线状实体	面状实体 体状实体 层次数据模型 网状数据模型	关系数据模型 表的操作符 表的完整性规则 非结构化大型对象
分布式数据库 对象特性的融入 对象数据模型 面向对象的概念	聚集 联合 继承 传播	面向对象的地理数据模型 面向对象数据库系统 需求分析 结构设计	物理设计 数据层设计 空间数据库的重组 空间数据库的重构造 空间数据库的完整性、安全性控制

地理信息系统的空间数据结构和数据库

本章说明

地理信息系统是一个动态的复杂的空间数据管理系统。本章以此为基础，首先介绍了空间数据的特征、类型，并详细讲解了两种基本的空间数据结构：矢量数据结构、栅格数据结构的表示、组织和运算；通过矢栅数据结构的相互比较，以加深对 GIS 空间数据结构的理解，并由此详尽介绍了容矢栅特性于一体的矢栅一体化数据结构，以及能够表示三维连续空间的三维数据结构。其次本章概要地介绍了数据库的概念、主要特征、系统结构、数据库管理系统等基本知识，对非空间数据的三种最主要的数据模型：层次数据模型、网状数据模型、关系数据模型进行了详细的讲解，通过对这三种数据模型用于 GIS 地理数据库的局限性的论述，从而引出目前极为流行的面向对象的地理数据模型，并详细阐述了面向对象的数据库系统。最后本章以软件工程的思想为基础，详细讲解了空间数据库的设计、建立与维护。

第一节内容 空间实体及其描述

重点讲授 地理实体的特征和描述地理实体数据的类型。

第二节内容 各种矢量数据结构和栅格数据结构

重点讲授 拓扑矢量数据结构和四叉树栅格编码方式。

第三节内容 矢量、栅格数据结构的各自优缺点和相互转换的方法，矢栅一体化数据结构的组织和组织数据的方法

重点讲授 矢栅数据结构的区别，相互转换方法，用矢栅一体化的概念组织数据的思想。

第四节内容 常见的几种三维数据结构

重点讲授 三维边界法和八叉树结构。

第五节内容 数据库概念，层次、网状、关系及对象数据模型和时空数据模型

重点讲授 数据模型含义及相关概念，对象数据模型组织数据的方法及相关概念。

第六节内容 GIS 统一组织空间数据和属性数据的几种方法

重点讲授 分析传统数据模型存在的问题关系，目前 GIS 解决该问题的方法。

第七节内容 数据的管理模式，空间数据库的设计、建立和维护

重点讲授 空间数据库的设计、建立和维护。

§ 2.1 概述

§ 2.2 空间信息的计算机表示和管理

一、地图传输的空间信息及特点

二、空间信息的计算机表示

三、空间信息的计算机管理

§ 2.3 空间数据结构

一、 概述

1、空间数据的特征

空间数据具有三个基本特征：

(1) **属性特征**——用以描述事物或现象的特性，即用来说明“是什么”，如事物或现象的类别、等级、数量、名称等。

(2) **空间特征**——用以描述事物或现象的地理位置，又称几何特征、定位特征，如界桩的经纬度等。

(3) **时间特征**——用以描述事物或现象随时间的变化，例如人口数的逐年变化。

由于空间数据具有上述特征，所以在 GIS 中的表示是非常复杂的。目前的 GIS 还较少考虑到空间数据的时间特征，只考虑其属性特征与空间特征的结合。实际上，由于空间数据具有时间维，过时的信息虽不具有现势性，但却可以作为历史性数据保存起来，因而就会大大增加 GIS 表示和处理数据的难度。

2、空间数据的类型

根据空间数据的特征，可以把空间数据归纳为三类：

(1) **属性数据**——描述空间数据的属性特征的数据，也称非几何数据。即说明“是什么”，如类型、等级、名称、状态等。

(2) **几何数据**——描述空间数据的空间特征的数据，也称位置数据、定位数据。即说明“在哪里”，如用 X、Y 坐标来表示。

(3) **关系数据**——描述空间数据之间的空间关系的数据，如空间数据的相邻、包含等，主要是指拓扑关系。拓扑关系是一种对空间关系进行明确定义的数学方法。

3、空间数据结构

空间数据结构——是指适合于计算机存贮、管理、处理的几何数据的逻辑结构。换句话说，是指几何数据以什么形式在计算机中存贮和处理。

空间数据结构分为矢量数据结构和栅格数据结构两种。

§ 2.3.2 矢量数据结构

矢量数据结构——通过坐标值来精确地表示点、线、面等地理实体的方法。

点——由一对 x, y 坐标表示。

线——由一串有序的 x, y 坐标对表示。

面——由一串有序的、且首尾坐标相同的 x, y 坐标对表示。

矢量数据结构可以表示现实世界中各种复杂的实体，当问题可描述成线和边界时，特别有效。矢量数据冗余度低，结构紧凑，并具有空间实体的拓扑信息，便于深层次分析。矢量数据的输出质量好、精度高。

矢量数据的获取方式通常有：

(1) 由外业测量获得。可利用测量仪器自动记录测量成果(常称为电子手簿)，然后转到地理数据库中。

(2) 由栅格数据转换获得。利用栅格数据矢量化技术，把栅格数据转换为矢量数据。

(3) 跟踪数字化。用跟踪数字化的方法，把地图变成离散的矢量数据。

1、 矢量数据结构的表示

矢量数据的表示方法多种多样，但基本上类似，可触类旁通。

在 GIS 中，矢量数据表示时应考虑以下问题：

- 矢量数据自身的存贮和处理。
- 与属性数据的联系。
- 矢量数据之间的空间关系(拓扑关系)。

下面分别介绍矢量数据的简单数据结构和拓扑数据结构。

(1) 简单数据结构

矢量数据的简单数据结构没有拓扑关系，主要用于矢量数据的显示、输出，以及一般的查询和检索。可分别按点、线、面三种基本形式来描述。

1°、点的矢量数据结构

标识码
X, Y 坐标

点的矢量数据结构可表示为：

标识码	X, Y 坐标
-----	---------

标识码：按一定的原则编码，简单情况下可顺序编号。标识码具有唯一性，是联系矢量数据和与其对应的属性数据的关键字。属性数据单独存放在数据库中。在点的矢量数据结构中也可包含属性码，这时其数据结构为：

标识码	属性码	X, Y 坐标
-----	-----	---------

属性码：通常把与实体有关的基本属性(如等级、类型、大小等)作为属性码。属性码可以有一个和多个。

X, Y 坐标：是点实体的定位点，如果是有向点，则可以有两个坐标对。

2°、线(链)的矢量数据结构 线(链)的矢量数据结构可表示为：

标识码	坐标对数 n	X, Y 坐标
-----	--------	---------

标识码的含义与点的矢量数据结构相同。同样，在线的矢量数据结构中也可含有属性码，如表示线的类型、等级、是否要加密、光滑等等。

坐标对数 n：构成该线(链)的坐标对的个数。

X, Y 坐标串：这是构成线(链)的矢量坐标，共有 n 对。也可把所有线(链)的 X, Y 坐标串单独存放，这时只要给出指向该链坐标串的首地址指针即可。

3° 、面(多边形)

面的矢量数据结构可以象线的数据结构一样表示，只是坐标串的首尾坐标相同。这里介绍链索引编码的面(多边形)的矢量数据结构，可表示为：

标识码	链数 n	链标识码集
-----	------	-------

标识码的含义同点和线的矢量数据结构，在面的矢量数据结构中也可含有属性码。

链数 n：指构成该面(多边形)的链的数目。

链标识码集：指所有构成该面(多边形)的链的标识码的集合，共有 n 个。

这样，一个面(多边形)就可由多条链构成，每条链的坐标可由线(链)的矢量数据结构获取。这种方法可保证多边形公共边的唯一性；但多边形的分解和合并不易进行；邻域处理比较复杂，需追踪出公共边；在处理“洞”或“岛”之类的多边形嵌套问题时较麻烦，需计算多边形的包含等。

(2) 拓扑数据结构

拓扑关系是一种对空间结构关系进行明确定义的数学方法。具有拓扑关系的矢量数据结构就是拓扑数据结构，拓扑数据结构是 GIS 的分析和应用功能所必需的。拓扑数据结构的表示方式没有固定的格式，还没有形成标准，但基本原理是相同的。

1°、拓扑元素

矢量数据可抽象为点(结点)、线(链、弧段、边)、面(多边形)三种要素,即称为拓扑元素。

点(结点)——孤立点、线的端点、面的首尾点、链的连接点等。

线(链、弧段、边)——两结点间的有序弧段。

面(多边形)——若干条链构成的闭合多边形。

2°、最基本的拓扑关系

最基本的拓扑关系是关联和邻接。

关联——不同拓扑元素之间的关系。如结点与链,链与多边形等。

邻接——相同拓扑元素之间的关系。如结点与结点,链与链,面与面等。邻接关系是借助于不同类型的拓扑元素描述的,如面通过链而邻接。

在 GIS 的分析和应用功能中,还可能用到其它拓扑关系,如:

包含关系——面与其它拓扑元素之间的关系。如果点、线、面在该面内,则称为被该面包含。如某省包含的湖泊、河流等。

几何关系——拓扑元素之间的距离关系。如拓扑元素之间距离不超过某一半径的关系。

层次关系——相同拓扑元素之间的等级关系。如国家由省(自治区、直辖市)组成,省(自治区、直辖市)由县组成等。

3°、拓扑关系的表示

拓扑数据结构的关键是拓扑关系的表示,而几何数据的表示可参照矢量数据的简单数据结构。在目前的 GIS 中,主要表示基本的拓扑关系,而且表示方法不尽相同。下面举一表示矢量数据拓扑关系的例子(图 2—1)。

面——链关系:

面	构成面的链
---	-------

链——结点关系:

链	链两端点的结点
---	---------

结点——链关系:

结点	通过该结点的链
----	---------

链——面关系:

链	左面	右面
---	----	----

在图 2—1 中，有面 A、B、C、D、E、F，有链 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 、 L_5 、 L_6 、 L_7 、 L_8 、 L_9 、 L_{10} 、 L_{11} 、 L_{12} 、 L_{13} ，有结点 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 、 P_6 、 P_7 、 P_8 、 P_9 。则拓扑关系表示为：

面——链关系：

A	L_6
B	L_7 、 $-L_8$ 、 L_9 、 L_{10}
C	L_1 、 $-L_{11}$ 、 $-L_7$ 、 $-L_5$
D	L_{11} 、 L_2 、 L_{12} 、 L_8
E	L_{13} 、 $-L_9$ 、 $-L_{12}$ 、 L_3
F	L_4 、 L_5 、 $-L_{10}$ 、 $-L_{13}$

其“—”号表示边的方向与构成面的方向相反。

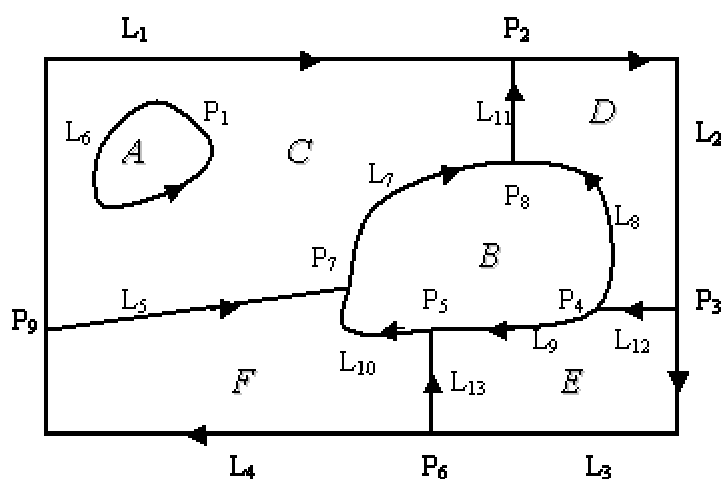


图 2—1

链——结点关系：

L_1	P_9 、 P_2
L_2	P_2 、 P_3
L_3	P_3 、 P_6
L_4	P_6 、 P_9
⋮	⋮

结点——链关系：

P_1	L_6
P_2	L_1 、 L_{11} 、 L_2
P_3	L_2 、 L_{12} 、 L_3

P ₄	L ₁₂ 、L ₈ 、L ₉
⋮	⋮

链——面关系：

L ₁	0	C
L ₂	0	D
L ₃	0	E
L ₄	0	F
L ₅	C	F
⋮	⋮	⋮

其中 0 为制图区域外部的多边形，常称为包络多边形。

2、矢量数据结构的组织

3、矢量数据结构的运算

三、栅格数据结构

栅格数据结构——以规则的象元阵列来表示空间地物或现象的分布的数据结构，其阵列中的每个数据表示地物或现象的属性特征。换句话说，栅格数据结构就是象元阵列，用每个象元的行列号确定位置，用每个象元的值表示实体的类型、等级等的属性编码。

对于栅格数据结构：

点实体——表示为一个象元，如图 2—2(1)。

线实体——表示为在一定方向上连接成串的相邻象元的集合，如图 2—2(2)。

面实体——表示为聚集在一起的相邻象元的集合，如图 2—2(3)。

0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 4 4 4 0
0 0 0 1 0 0 0 0	0 3 3 0 0 0 0 0	0 0 0 4 4 4 4 0
0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 3 0 0 0 0	0 0 0 4 4 0 0 0
0 0 0 0 0 2 0 0	0 0 0 0 3 0 0 0	0 0 0 4 5 5 0 0
0 0 3 0 0 0 0 0	0 0 0 0 3 3 0 0	0 0 0 0 5 5 5 0
0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 3 0 0	0 0 0 5 5 5 0 0

(1)

(2)

(3)

图 2—2

栅格数据表示的是二维表面上的地理数据的离散化数值。在栅格数据中，地表被分割为相互邻接、规则排列的矩形方块(有时也可以是三角形、六边形等)，每个地块与一个象元相对应。因此，栅格数据的比例尺就是栅格(象元)的大小与地表相应单元的大小之比，当象元所表示的面积较大时，对长度、面积等的量测有较大影响。每个象元的属性是地表相应区域内地理数据的近似值，因而有可能产生属性方面的偏差。如 Landsat MSS 卫星影像的单个象元对应着地表 $79 \times 79\text{m}^2$ 的矩形区域，影像记录的光谱数据是每个像元所对应的地表区域内所有地物光谱辐射的总和。

2 的矩形区域，影像记录的光谱数据是每个像元所对应的地表区域内所有地物光谱辐射的总和。

栅格数据记录的是属性数据本身，而位置数据可以由属性数据对应的行列号转换为相应的坐标。栅格数据的阵列方式很容易为计算机存贮和操作，不仅很直观，而且易于维护和修改。由于栅格数据的数据结构简单，定位存取性能好，因而在 GIS 中可与影像数据和 DEM 数据进行联合空间分析。

栅格数据的获取方式通常有：

(1) 来自于遥感数据

通过遥感手段获得的数字图像就是一种栅格数据。它是遥感传感器在某个特定的时间、对一个区域地面景象的辐射和反射能量的扫描抽样，并按不同的光谱段分光并量化后，以数字形式记录下来的象素值序列。

(2) 来自于对图片的扫描

通过扫描仪对地图或其它图件的扫描，可把资料转换为栅格形式的数据。

(3) 由矢量数据转换而来

通过运用矢量数据栅格化技术，把矢量数据转换成栅格数据。这种情况通常是为了有利于 GIS 中的某些操作，如叠加分析等，或者是为了有利于输出。

(4) 由手工方法获取

在专题图上均匀划分网格，逐个网格地确定其属性代码的值，最后形成栅格数据文件。为了保证数据的质量，在确定栅格数据中某一象元点的代码时，通常采用的方法有：

- 中心归属法——每个栅格单元的值由该栅格的中心点所在的面域的属性来确定。

- 长度占优法——每个栅格单元的值由该栅格中线段最长的实体的属性来确定。

- 面积占优法——每个栅格单元的值由该栅格中单元面积最大的实体的属性来确定。

- 重要性法——根据栅格内不同地物的重要性,选取最重要的地物的类型作为栅格单元的属性值。这种方法适用于具有特殊意义而面积较小的实体要素。

1、栅格数据结构的表示

将栅格数据看作一个数据矩阵,逐行(或逐列)记录代码,可以每行都从左到右记录,也可以奇数行从左到右,偶数行从右到左。

这种记录栅格数据的文件常称为栅格文件,且常在文件头中存有该栅格数据的长和宽,即行数和列数。这样,具体的象元值就可连续存储了。其特点是处理方便,但没有压缩。

由于地理数据往往有较强的相关性,也就是说相邻象元的值往往是相同的。因此,为了节省存储空间,需要进行栅格数据的压缩存储,见 [§ 4.4.2](#)。

2、栅格数据结构的组织

3、栅格数据结构的运算

四、矢量栅格一体化数据结构

1、矢量与栅格数据结构的比较

矢量数据结构可具体分为点、线、面,可以构成现实世界中各种复杂的实体,当问题可描述成线或边界时,特别有效。矢量数据的结构紧凑,冗余度低,并具有空间实体的拓扑信息,容易定义和操作单个空间实体,便于网络分析。矢量数据的输出质量好、精度高。

矢量数据结构的复杂性,导致了操作和算法的复杂化,作为一种基于线和边界的编码方法,不能有效地支持影像代数运算,如不能有效地进行点集的集合运算(如叠加),运算效率低而复杂。由于矢量数据结构的存贮比较复杂,导致空间实体的查询十分费时,需要逐点、逐线、逐面地查询。矢量数据和栅格表示的影像数据不能直接运算(如联合查询和空间分析),交互时必须进行矢量和栅格转换。矢量数据与 DEM(数字高程模型)的交互是通过等高线来实现的,不能与 DEM 直接进行联合空间分析。

栅格数据结构是通过空间点的密集而规则的排列表示整体的空间现象的。其数据结构简单,定位存取性能好,可以与影像和 DEM 数据进行联合空间分析,数据共享容易实现,对栅格数据的操作比较容易。

栅格数据的数据量与格网间距的平方成反比，较高的几何精度的代价是数据量的极大增加。因为只使用行和列来作为空间实体的位置标识，故难以获取空间实体的拓扑信息，难以进行网络分析等操作。栅格数据结构不是面向实体的，各种实体往往是叠加在一起反映出来的，因而难以识别和分离。对点实体的识别需要采用匹配技术，对线实体的识别需采用边缘检测技术，对面实体的识别则需采用影像分类技术，这些技术不仅费时，而且不能保证完全正确。

通过以上的分析可以看出，矢量数据结构和栅格数据结构的优缺点是互补的，为了有效地实现 GIS 中的各项功能(如与遥感数据的结合，有效的空间分析等)需要同时使用两种数据结构，并在 GIS 中实现两种数据结构的高效转换。

2、矢量与栅格一体化数据结构的设计

五、三维数据结构

到目前为止，GIS 主要处理地球表面的数据，所以常称为是二维的 GIS。对于一个二维系统，可以用表达式 $V=f(x, y)$ 来表达。其中， (x, y) 是二维平面的坐标， V 是对应于该点的属性值。当 V 表示的是高程时，就产生了数字高程模型 (DEM)。所以，从本质上讲，DEM 是二维的，因为这样的 DEM 只能表示地表的信息，不能对地表内部进行有效的表示。由于视觉上的原因，人们常把 DEM 误认为是三维模型。目前，人们常把 DEM 称为 2.5 维的数据模型。

对于一个真正的三维数据模型，可以用表达式 $V=f(x, y, z)$ 来描述，其中 z 是自变量，不受 x, y 变化的影响，即 (x, y, z) 是在三维空间连续变化的。三维数据模型可以有效地表达地表上下的各种关系和信息。三维数据结构同二维一样，也存在栅格和矢量两种形式。

栅格结构使用空间索引系统，它包括将地理实体的三维空间分成细小的单元，称之为体元或体元素。存贮这种数据的最简单形式是二值栅格数据，若某体元包含在实体之内，则赋值 1，否则赋值 0。另一种形式是采用三维行程编码，它是二维行程编码在三维空间的扩充。这种编码方法可能需要大量的存贮空间。更为复杂的技术是八叉树，它是二维的四叉树的延伸。

三维矢量数据结构表示有多种方法，其中运用最普遍的是具有拓扑关系的三维边界表示法和八叉树表示法。

1、八叉树三维数据结构

(1) 原理

用八叉树来表示三维形体，并研究在这种表示下的各种操作及应用是在进入 80 年代后才比较全面地开展起来的。这种方法，既可以看成是四叉树方法在三维空间的推广，也可以认为是用三维体素阵列表示形体方法的一种改进。

八叉树的逻辑结构如下：

假设要表示的形体 V 可以放在一个充分大的正方体 C 内， C 的边长为 2^n ，形体 $V \subset C$ ，它的八叉树可以用以下的递归方法来定义：

八叉树的每个节点与 C 的一个子立方体对应，树根与 C 本身相对应，如果 $V = C$ ，那么 V 的八叉树仅有树根，如果 $V \neq C$ ，则将 C 等分为八个子立方体，每个子立方体与树根的一个子节点相对应。只要某个子立方体不是完全空白或完全为 V 所占据，就要被八等分，从而对应的节点也就有了八个子节点。这样的递归判断、分割一直要进行到节点所对应的立方体或是完全空白，或是完全为 V 占据，或是其大小已是预先定义的体素大小，并且对它与 V 之交作一定的“舍入”，使体素或认为是空白的，或认为是 V 占据的。

如此所生成的八叉树上的节点可分为三类：灰节点，它对应的立方体部分地为 V 所占据；白节点，它所对应的立方体中无 V 的内容；黑节点，它所对应的立方体全为 V 所占据。后两类又称为叶结点。我们现在可以很清楚地看到，形体 V 关于 C 的八叉树的逻辑结构是这样的：它是一颗树，其上的节点要么是叶节点，要么就是有八个子节点的灰节点。根节点与 C 相对应，其它节点与 C 的某个子立方体相对应。

因为八叉树的结构与四叉树的结构是如此的相似，所以八叉树的存贮结构方式可以完全沿用四叉树的有关方法。因而，根据不同的存贮方式，八叉树也可以分别称为常规的、线性的、一对八的八叉树等等。

另外，我们还可以看到，由于这种方法充分利用了形体在空间上的相关性，因此，一般来说，它所占用的存贮空间要比三维体素阵列的少。但是实际上它还是使用了相当多的存贮，这并不是八叉树的主要优点。这一方法的主要优点在于可以非常方便地实现有广泛用途的集合运算（例如可以求两个物体的并、交、差等运算），而这些恰是其它表示方法比较难以处理或者需要耗费许多计算资源的地方。不仅如此，由于这种方法的有序性及分层性，因而对显示精度和速度的平衡、隐线和隐面的消除等，带来了很大的方便，特别有用。

(2) 八叉树的存贮结构

八叉树有三种不同的存贮结构，分别是规则方式、线性方式以及一对八方式。相应的八叉树也分别称为规则八叉树、线性八叉树以及一对八式八叉树。不同的存贮结构的利用率及运算操作的方便性是不同的。分析表明，一对八式八叉树优点更多一些。

1°、规则八叉树

规则八叉树的存贮结构用一个有九个字段的记录来表示树中的每个结点。其中一个字段用来描述该结点的特性（在目前假定下，只要描述它是灰、白、黑三类结点中哪一类即可），其余的八个字段用来作为存放指向其八个子结点的指针。这是最普遍使用的表示树形数据的存贮结构方式。规则八叉树缺陷较多，最大的

问题是指针占用了大量的空间。假定每个指针要用两个字节表示，而结点的描述用一个字节，那么存放指针要占总的存贮量的 94%。因此，这种方法虽然十分自然，容易掌握，但在存贮空间的使用率方面不很理想。

2°、线性八叉树

线性八叉树注重考虑如何提高空间利用率。用某一预先确定的次序遍历八叉树(例如以深度第一的方式)，将八叉树转换成一个线性表，表的每个元素与一个结点相对应。对于结点的描述可以丰富一点，例如用适当的方式来说明它是否为叶结点，如果不是叶结点时还可用其八个子结点值的平均值作为非叶结点的值等等。这样，可以在内存中以紧凑的方式来表示线性表，可以不用指针或者仅用一个指针表示即可。

线性八叉树不仅节省存贮空间，对某些运算也较为方便。但是为此付出的代价是丧失了一定的灵活性。例如为了存取属于原图形右下角的子图形对应的结点，那么必须先遍历了其余七个子图形对应的所有结点后才能进行；不能方便地以其它遍历方式对树的结点进行存取，导致了許多与此相关的运算效率变低。因此尽管不少文章讨论了这种八叉树的应用，但是仍很难令人满意。

3°、一对八式的八叉树

一个非叶结点有八个子结点，为了确定起见，将它们分别标记为 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7。从上面的介绍可以看到，如果一个记录与一个结点相对应，那么在这个记录中描述的是这个结点的八个子结点的特性值。而指针给出的则是该八个子结点所对应记录的存放处，而且还隐含地假定了这些子结点记录存放的次序。也就是说，即使某个记录是不必要的(例如，该结点已是叶结点)，那么相应的存贮位置也必须空闲在那里，以保证不会错误地存取到其它同辈结点的记录。这样当然会有一定的浪费，除非它是完全的八叉树，即所有的叶结点均在同一层次出现，而在该层次之上的所有层中的结点均为非叶结点。

为了克服这种缺陷，有两条途径可以采纳。一是增加计算量，也就是在存取相应结点记录之前，首先检查它的父结点记录，看一下它之前有几个叶结点，从而可以知道应该如何存取所需结点记录。这种方法的存贮需求无疑是最小的，但要增加计算量。另一条途径是在记录中增加一定的信息，使计算工作适当减少或者更方便。例如在原记录中增加三个字节，一分为八，每个子结点对应三位，代表它的子结点在指针向区域中的偏移。因此，要找到它的子结点的记录位置，只要固定地把指针指向的位置加上这个偏移值(0~7)乘上记录所占的字节数，就是所要的记录位置。因而一个结点的描述记录为：

偏移	指针	SWB	SWT	NWB	NWT	SEB	SET	NEB	NET
----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

用这种方式所得到的八叉树和以前相同，只是每个记录前多了三个字节。当然，与线性八叉树相比，为存放指针及偏移量，要有额外的存贮空间，约占 $5/13 \approx 40\%$ (仍假定指针占两字节，而每个特性描述占一个字节)。但是对这种八叉树可以以任何方式遍历了。

2、三维边界表示法

首先考虑一个简单的四面体应如何表示。它是一个平面多面体，即它的每个表面均可以看成是一个平面多边形。可以采用很多不同的方法来表示它们，但是不管用何种方法，为了做到无歧义地、有效地表示，需指出它的顶点位置以及由哪些点构成边，哪些边围成一个面等一些几何与拓扑的信息。比较常用的表示一个平面多面体(如图 2—8)的方法是采用三张表来提供这些信息。这三张表就是：顶点表，用来表示多面体各顶点的坐标；边表，指出构成多面体某边的两个顶点；面表，给出围成多面体某个面的各条边。对于后两个表一般使用指针的方法指出有关的边、点存放的位置。例如，为了表示上述的四面体，可采用图 2—9 的三张表来表示所需的各种信息。

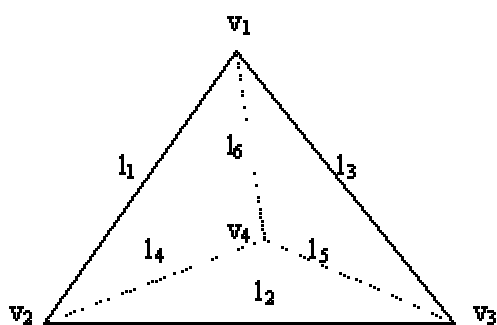


图 2—8

除了描述它的几何结构，还要指出该多面体的一些其它特性。例如每个面的颜色、纹理等等。这些属性可以用另一个表独立存放。当有若干个多面体时，还必须有一个对象表。每个多面体在这个表中列出围成它的诸面，同样也可用指针的方式实现，这时面表中的内容，已不再是只和一个多面体有关。

采用这种分列的表来表示多面体，可以避免重复地表示某些点、边、面，因此一般来说存储量比较节省，对图形显示更有好处。例如，由于使用了边表，可以立即显示出该多面体的线条画，也不会使同一条边重复地画上两次。可以想象，如果表中仅有多边形表而省却了边表，两个多边形的公共边不仅在表示上要重复，而且很可能会画上两次。类似地，如果省略了顶点表，那么作为一些边的公共顶点的坐标值就可能反复地写出好多次。

v ₁	x ₁	y ₁	z ₁
v ₂	x ₂	y ₂	z ₂
v ₃	x ₃	y ₃	z ₃
v ₄	x ₄	y ₄	z ₄

l ₁	v ₁	v ₂
l ₂	v ₂	v ₃
l ₃	v ₃	v ₁
l ₄	v ₂	v ₄
l ₅	v ₄	v ₃
l ₆	v ₁	v ₄

s ₁	l ₁	l ₂	l ₃
s ₂	l ₂	l ₄	l ₅
s ₃	l ₅	l ₃	l ₆
s ₄	l ₃	l ₁	l ₄

顶点表 边表 面表

2—9

为了更快地获得所需信息，更充分地表达点、线、面之间的拓扑关系，可以把其它一些有关的内容结合到所使用的表中。图 2—10 就是将边所属的多边形信息结合进边表以后的形式。这样我们利用这种扩充后的表，可知某条边是否为两个多边形的公共边，如果是，相应的两个多边形也立即知道。这是一种用空间换取时间的方法。是否要这样做，应视具体的应用而定，同样也可根据需要适当地扩充其它两张表来提高处理的效率。

l ₁	v ₁	v ₂	s ₁	s ₄
l ₂	v ₂	v ₃	s ₁	s ₂
l ₃	v ₃	v ₁	s ₁	s ₃
l ₄	v ₂	v ₄	s ₂	s ₄
l ₅	v ₄	v ₃	s ₂	s ₃

图 2—10 扩充后的边表

对于比较复杂的多面体要输入大量的数据。检查输入的数据是否一致、是否完全，是一项必不可少的工作。这就是通常所说的**拓扑检查**。一般来说，在数据表中包含的信息越多，输入时有错的可能性也越大，但是可用来检查是否有错的手段也会随之增加。对上面提及的数据结构，至少可以检查以下诸项：(1) 顶点表中的每个顶点至少是两条边的端点；(2) 每条边至少是一个多边形的边；(3) 每个多边形是封闭的；(4) 每个多边形至少有一条边是和另一个多边形共用的；(5) 若边表中包含了指向它所属多边形的指针，那么指向该边的指针必在相应的多边形中出现。这些检查对于维护表示多面体的数据库的全体一致性是有效的，而复杂的情况应当有专门的程序来检查。

以上讨论的只是简单的平面多面体的三维边界表示，但是 GIS 研究的对象是自然实体，其三维形状的复杂程度难以描述。例如岩石的外表不规则，组成的平面可有成千上万，如何用三维边界表示法表示呢？

从理论上讲，对任意的三维形体只要它满足一定的条件，总可找到一个适合的平面多面体来近似地表示这个三维形体，且使误差保持在一定的范围之内。但是在实际上，这种逼近受到多方面因素的制约，解决这个问题的方法也不一而足。通常，这个问题可以叙述成：要表示某个三维形体，又仅知道从这个形体的外表面 S_0 上测得的一组点 $P_1 \cdots P_n$ 的坐标。为了解决这个问题，首先要为这些点建立

起某种关系。这种关系被称为这些点代表的形体结构。可以由一个图来表示，图的顶点就是这里给定的那组点 $P_1 \cdots P_n$ ，而图的边的给定方式则恰好反映了所设想的结构。不同的图，有不同的边(也就是连接这些顶点的方法不同)，相应地，这个图对应的平面多面体也不同，这可由图 2—11 来示意。

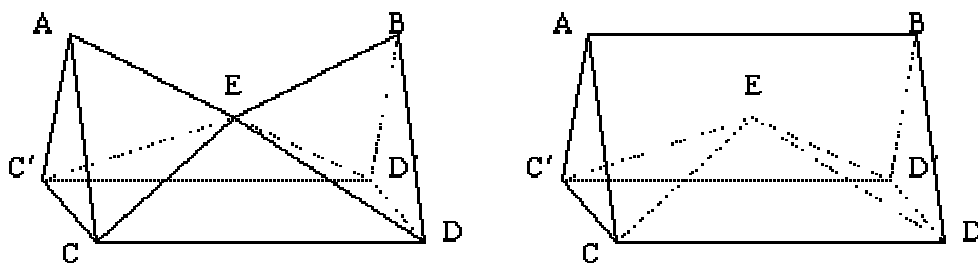


图 2—11

在众多的结构中，每个面均是三角形的平面多面体起着很重要的作用(这跟不规则三角网 TIN 很类似)。即使对结构加上了这种限制，同一组点仍可得到不同的平面多面体。因此，人们自然会想到，在这类多面体中，究竟在拥有了哪些特征之后，才能更确切地逼近原来的三维形体?有人认为表面积最小的多面体可能是适合的；也有人认为使用的准则应当和曲面 S_0 的曲率有关。至今，这是一个有待解决的问题。除了在几何准则选择方面的困难之外，还存在一个组合复杂性的问题。在三维欧氏空间，一个单纯的多面体可以定义为满足下面三个条件的三角形的集合 T：

1°、T 中任两个三角形或是互不相交，或是有一个公共顶点，或是有两个公共顶点，从而连接这两点的边也是公共的；

2°、T 是连接着的；

3°、对 T 中任一三角形的每个顶点 V，找出 T 中所有以 V 为一顶点的所有三角形中 S、V 相对边，这些边连接起来应是一个多边形。

图 2—12 的一些情况不允许出现在单独的平面多面体中。由于可能的组合太多，要给出且比较所有这些单纯的平面多面体也很不现实，因此在具体实现中，要尽量减少这种复杂性。

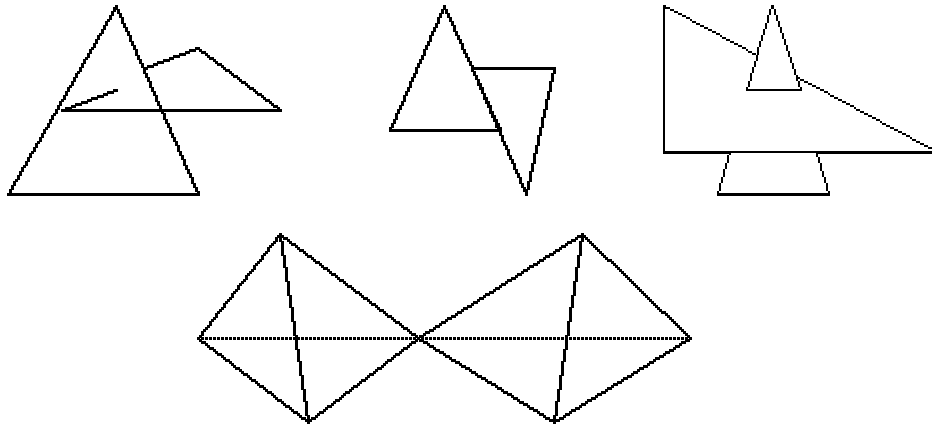


图 2—12 几何不可能出现在单纯平面多面体中的情形

此外，这种逼近有两种形式，一种就是以确定后的平面多面体的表面作为对原三维形体的表面 S_0 的逼近；另一种则是给出一系列的四面体，这些四面体的集合就是对原三维形体的逼近。前者着眼于形体的边界表示，后一类则着眼于形体的分解表示，就像在栅格数据结构中的一个三维形体可以用列举它的所有体素表示一样。

§ 2.4 GIS 的数据模型

一、概述

1、数据库的概念

数据库技术产生于 60 年代末期，是计算机领域中最重要技术之一，是一种较理想的数据管理技术。所谓数据管理是指对数据的组织、存贮、检索和维护。用计算机进行数据管理大体经历了三个阶段：即人工管理阶段、文件系统阶段和数据库阶段。

由于文件系统存在着文件之间无联系、数据不完全独立于程序，只在文件级共享数据等缺陷，因而数据库就发展了起来。

数据库可以看作是与现实世界有一定相似性的模型，是认识世界的基础，是集中、统一地存储和管理某个领域信息的系统，它根据数据间的自然联系而构成，数据较少冗余，且具有较高的数据独立性，能为多种应用服务。

数据库作为一个复杂的系统，由以下三个基本部分构成：

1°、**数据集**。一个结构化的相关数据的集合体，包括数据本身和数据间的联系。数据集独立于应用程序而存在，是数据库的核心和管理对象。

2°、**物理存储介质**。指计算机的外存储器和内存储器。前者存储数据；后者存储操作系统和数据库管理系统，并有一定数量的缓冲区，用于数据处理，以减少内外存交换次数，提高数据存取效率。

3°、**数据库软件**。其核心是数据库管理系统(DBMS)。主要任务是对数据库进行管理和维护。具有对数据进行定义、描述、操作和维护等功能，接受并完成用户程序和终端命令对数据库的请求，负责数据库的安全。

2、数据库的主要特征

数据库方法与文件系统方法相比，具有更强的数据管理能力。数据库具有如下主要特征：

1°、**数据集中控制**。在文件管理方法中，文件是分散的，每个用户或每种处理都有各自的文件，这些文件之间一般是没有联系的，因此，不能按照统一的方法来控制、维护和管理。而数据库则很好地克服了这一缺点，可以集中控制、维护和管理有关数据。

2°、**数据独立**。数据库中的数据独立于应用程序，包括数据的物理独立性和逻辑独立性，给数据库的使用、调整、优化和进一步扩充提供了方便，提高了数据库应用系统的稳定性。

3°、**数据共享**。数据库中的数据可以供多个用户使用，每个用户只与库中的一部分数据发生联系；用户数据可以重叠，用户可以同时存取数据而互不影响，大大提高了数据库的使用效率。

4°、**减少数据冗余**。数据库中的数据不是面向应用，而是面向系统。数据统一定义、组织和存储，集中管理，避免了不必要的数据库冗余，也提高了数据的一致性。

5°、**数据结构化**。整个数据库按一定的结构形式构成，数据在记录内部和记录类型之间相互关联，用户可通过不同的路径存取数据。

6°、**统一的数据保护功能**。在多用户共享数据资源的情况下，对用户使用数据有严格的检查，对数据库规定密码或存取权限，拒绝非法用户进入数据库，以确保数据的安全性、一致性和并发控制。

3、数据库的系统结构

数据库系统的结构，一般划分为三个层次，它们是概念模式、外模式和内模式(图2—5)。

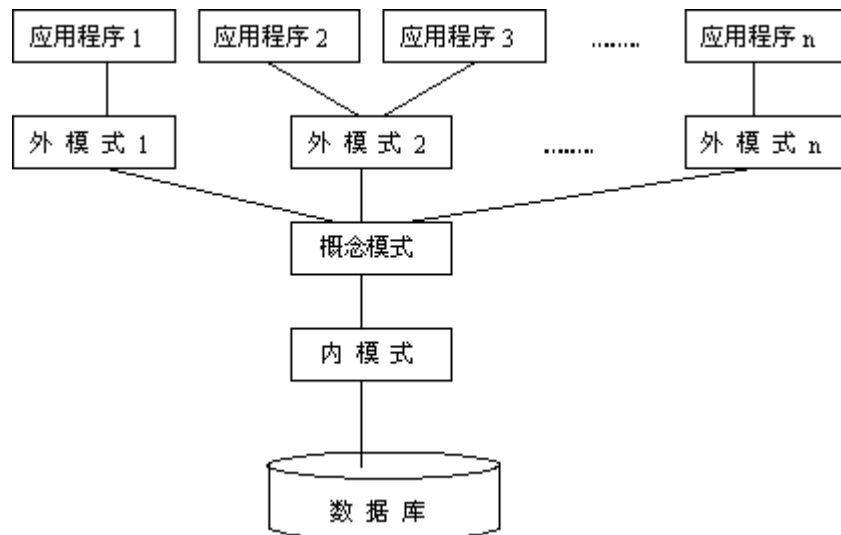


图 2—5

1°、概念模式

亦称模式。是数据库的总框架。描述数据库中关于目标存储的逻辑结构和特性，基本操作和目标——目标及目标——操作的关系和依赖性，以及对数据的安全性、完整性等方面的定义。所有数据都按这一模式进行装配。概念模式由概念模式描述语言 DDL 来进行描述。

2°、外模式

亦称子模式。是数据库用户的数据视图。它属于概念模式的一部分，描述用户数据的结构、类型、长度等。所有的应用程序都是根据外模式中对数据的描述而不是根据概念模式中对数据的描述而编写的。在一个外模式中 can 编写多个应用程序，但一个应用程序只能对应一个外模式。根据应用的不同，一个概念模式可以对应多个外模式，外模式可以互相覆盖。外模式由外模式描述语言 SDDL 进行具体描述。

3°、内模式

亦称存储模式。是对数据库在物理存储器上具体实现的描述。它规定数据在存储介质上的物理组织方式、记录寻址技术，定义物理存储块的大小，溢出处理方法等。与概念模式相对应。内模式由数据存储描述语言 DSDL 进行描述。

数据库系统的三级模式结构将数据库的全局逻辑结构同用户的局部逻辑结构和物理存储结构区分开来，给数据库的组织和使用带来了方便。不同的用户可以有各自的数据视图，所有用户的数据视图集中在一起统一组织，消除冗余数据，得到全局数据视图。用存储描述语言来定义和描述全局数据视图数据，并将数据存储于物理介质上。这中间进行了两次映象。一次是外模式与概念模式之间的映象，定义了它们之间的对应关系，保证了数据的逻辑独立性；另一次是概念模式与内

模式之间的映象，定义了数据的逻辑结构和物理存储之间的对应关系，使全局逻辑数据独立于物理数据，保证了数据的物理独立性。

在数据库系统中，用户所看到的数据和计算机中存放的数据是两回事，当然是有联系的。用户所理解的是用户自己理解的实体、实体的属性和实体间的关系，即用户只看到了数据库的外层。

4、数据模型

在数据库系统中，现实世界中的事物及联系是用数据模型来描述的，数据库中各种操作功能的实现是基于不同的数据模型的，因而数据库的核心问题是模型问题。数据模型是数据库中对数据的逻辑组织形式的描述。

数据模型是对现实世界部分现象的抽象，它描述了数据的基本结构及其相互之间的关系和在数据上的各种操作，是数据库系统中关于数据内容和数据间联系的逻辑组织的形式表示，以抽象的形式描述和反映一个部门或系统的业务活动和信息流程。

选择与建立数据模型的目的是用最佳的方式反映本部门的业务对象及信息流程和以最佳的方式为用户提供访问数据库的逻辑接口。

数据模型的三要素：数据结构、数据操作和数据的约束条件。

数据模型大体可以分为两种类型：一种是独立于计算机之外的，如实体——关系模型、语义数据模型等，它们不涉及信息在计算机中如何表示，常称概念模型；另一种模型是直接面向计算机的，它们以记录为单位构造数据模型，如数据库中常用的层次模型、网状模型和关系模型等。在数据模型中常用到下列概念：

- **实体(Entity)**：实体是指现实世界中客观存在的，并可相互区别的事物。实体可以指个体，也可以指总体，即个体的集合。
- **属性(Attribute)**：实体所具有的某一特性
- **码(Key)**：唯一标识实体的属性集
- **域(Domain)**：属性的取值范围
- **实体型(Entity Type)**：具有相同属性的实体具有共同的特征和性质，用实体名和属性名集合表示
- **实体集(Entity Set)**：同型实体的集合
- **联系**：一是实体内部的联系；二是实体型之间的联系(1:1、1:n、m:n)。

数据模型是数据特征的抽象，它不是描述个别数据，而是描述数据的共性。严格地说，一个数据库的数据模型应能描述数据的以下特征：

1°、静态特性。包括实体和实体具有的特性、实体间的联系等，通过构造基本数据结构类型来实现。

2°、动态特性。即现实世界中的实体及实体间的不断发展变化，通过对数据库的检索、插入、删除和修改等操作来实现。

3°、数据间的相互制约与依存关系。通过一组完整性规则来实现。

由此可见，一个数据模型实际上给出了在计算机系统中描述现实世界的信息结构及其变化的一种抽象方法。数据模型不同，描述和实现的方法也不相同，相应的支持软件——数据库管理系统也就不同。

数据模型反映了现实世界中的实体之间的各种联系。实体间的联系有两类：一类是实体内部属性间的联系；另一类是实体与实体之间的联系。

实体与实体之间的联系是错综复杂的，可以分为以下三种：

1°、一对一的联系。这是最简单的一种实体之间的联系，它表示两个实体集中的个体间存在的一对一的联系。记为 1: 1。

2°、一对多的联系。这是实体间存在的较普遍的一种联系，表示一种实体集 E_1 中的每个实体与另一实体集 E_2 中的多个实体间存在的联系；反之， E_2 中的每个实体都至多与 E_1 中的一个实体发生联系。记为 1: m。

3°、多对多的联系。这是实体间存在的更为普遍的一种联系，表示多个实体集之间的多对多的联系。其中，一个实体集中的任何一个实体与另一个实体集中的实体间存在一对多的联系；反之亦然。记为 m:n。

5、数据库管理系统 (DBMS)

数据库管理系统 (DBMS) 是处理数据库数据存取和各种管理控制的软件。它是数据库系统的核心，应用程序对数据库的操作全部通过 DBMS 进行。数据库管理系统 (DBMS) 通常具有如下功能：

1°、数据库定义功能。用数据库的数据描述语言 DDL 来定义概念模式、外模式和内模式，也就是说，具有给出数据库框架的功能。如定义数据库的逻辑结构、数据库的结构框架、定义数据项、建立记录类型、定义记录间的关系、指定安全控制要求等。

2°、数据库管理功能。指对数据进行更新、存取等的控制功能。通常提供有数据操作语言来作为用户和数据库之间的接口。常用的数据库管理功能如：从数据库中检索出满足条件的数据、向数据库中插入数据、删除数据、修改数据、进行控制操作 (如并发控制) 等。

3°、数据库维护功能。数据入库需要维护，通常包括如下工作：

- 改善系统的性能：及时掌握数据库的性能变化，性能下降时应进行干预，如对数据进行重新整理和组织。

- 受损后的复原：一方面应能防止各种伤害数据库的行为，另一方面当数据库受损后，应具有复原的手段。

- 用户管理：对用户应统一管理，分配使用权限，防止非法使用。

- 拓宽数据库用户的要求：根据用户要求，修改数据模式，根据新模式重新组织数据。

4°、通讯功能：应具有与操作系统的接口、与各种语言的接口、与其它数据库通讯等能力。

6、地理数据库与地理实体

地理信息通过数据采集和编辑以后，送入到计算机的外存设备。对于海量的地理数据，再采用文件系统的方法来管理肯定不行了，必须采用数据库技术进行管理。因此，地理数据库成了 GIS 研究的重要课题。**地理数据库**是地理空间数据的集合，是一种与现实的地理世界保持一定相似性的实体模型。

地理实体——地理数据库中的实体，是一种在现实世界中不能再划分为同类现象的现象。例如城市可看成一个地理实体，并可划分成若干部分，但这些部分不叫城市，只能称为区、街道之类。

地理目标——实体在地理数据库中的表示。地理目标的表示方法随比例尺、目的等情况的变化而变化，例如，对于城市这个地理实体，在小比例尺上可作为一个点目标，而在大比例尺上将作为一个面目标。地理目标在地图上是以地图符号的形式来表示的。

(1) 地理实体的类型

以相同的方式表示和存储的一组类似的地理实体，可以作为地理实体的一种类型。地理数据库设计的第一步就是选择和定义所需要的实体类型。

地理实体通常分为点状实体、线状实体、面状实体和体状实体，复杂的地理实体由这些类型的实体构成。

1°、点状实体

点状实体是指只有特定的位置，而没有长度的实体。如：

- 实体点——用于代表一个实体；
- 注记点——用于定位注记；

- 内点——用于负载相应多边形的属性；
- 结点——表示线的终点和起点；
- 节点——线或弧段的内部点。

2°、线状实体

线状实体是指有长度的实体，如线段、边界、链、网络等，并且有如下特性：

- 长度——从起点到终点的总长；
- 曲率——用于表示线状实体的弯曲程度，如道路拐弯处；
- 方向——如水流的方向等。

3°、面状实体

面状实体也称多边形、区域等，是对湖泊、岛屿、地块等一类现象的描述，通常有如下空间特征：

- 面积——面状实体所占有的范围的大小；
- 周长——面状实体所占有区域的周长；
- 独立或相邻——是独立存在，还是与其它面状实体相邻；
- 岛或洞——面状实体中是否有岛或洞；
- 重叠——面状实体之间是否有重叠。

4°、体状实体

体状实体用于描述三维空间中的现象与物体，它具有长度、宽度及高度等属性，通常有如下空间特征：

- 体积
- 岛或洞
- 表面积

(2) 地理目标的类型

地理数据库中的实体类型的表示需要选择合适的地理目标类型，而地理目标的类型可按空间维来定义。

0 维——有位置无长度的目标，如点。

1 维——有长度的目标，一般由两个或多个 0 维目标组成，如线。

2 维——有长和宽的目标，如多边形。

3 维——有长、宽和高的目标，如三维立体。

(3) 地理实体的描述

通常需要从如下方面对地理实体进行描述：

编码——用于区别不同的实体，有时同一个实体在不同的时间具有不同的编码，如上行和下行的火车。编码通常包括分类码和识别码。分类码标识实体所属的类别，识别码对每个实体进行标识，是唯一的，用于区别不同的实体。

位置——通常用坐标值的形式(或其它方式)给出实体的空间位置。

类型——指明该地理实体属于哪一种实体类型，或由哪些实体类型组成。

行为——指明该地理实体可以具有哪些行为和功能。

属性——指明该地理实体所对应的非空间信息，如道路的宽度、路面质量、车流量、交通规则等。

说明——用于说明实体数据的来源、质量等相关的信息。

关系——与其它实体的关系信息。

(4) 地理实体时间维的描述

如果只是地理实体的属性数据在变化，那么，可以把不同时间的属性数据均记录下来，作为该地理实体的属性数据。例如在处理统计区域的人口数时，区域的空间位置不变，只要把新的人口数及对应的时间加入到属性数据表中即可。

当地理实体的空间位置随时间变化时，如政区界线的变化、地块的合并与重新划分等，这时必须把地理实体的空间特征的变化也记录下来，如记录实体的增加、删除、改变、移动、合并等，同时对实体进行时间标记。

二、 层次数据模型

层次模型是一种树结构模型，它把数据按自然的层次关系组织起来，以反映数据之间的隶属关系。层次模型是数据库技术中发展最早、技术上比较成熟的一种数据模型。它的特点是地理数据组织成有向有序的树结构，也叫树形结构。

结构中的结点代表数据记录，连线描述位于不同结点数据间的从属关系(一对多的关系)。

由树的定义知，一棵树有且仅有一个无双亲结点的称为根的结点；其余结点有且仅有一个双亲结点，它们可分为 $m(m \geq 0)$ 个互不相交的有限集，其中每一个集合本身又是一棵树，将其称为子树。

图 2—7 表示地理实体 E 及其空间要素，图 2—8 是图 2—7 所示空间关系所构成的层次模型。这是一棵有向有序树，结点表示不同层次的地理要素，连线描述地理要素之间的从属关系。结点从属于(构成)有向边，有向边从属于(构成)多边形，多边形从属于(构成)实体 E。

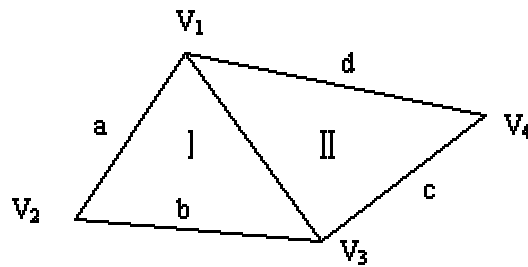


图 2—7 实体 E 及其空间要素

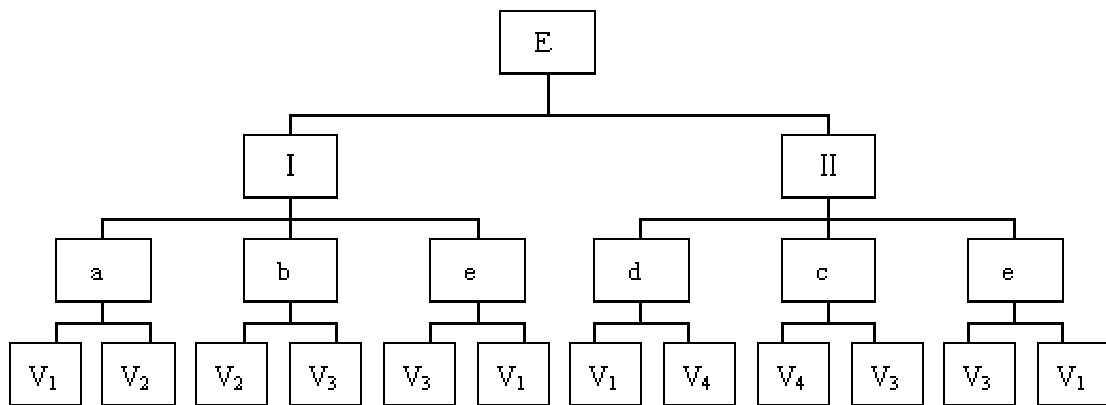


图 2—8 层次模型

三、 网状数据模型

网状模型将数据组织成有向图结构，图中的结点代表数据记录，连线描述不同结点数据间的联系。这种数据模型的基本特征是，结点数据之间没有明确的从属关系，一个结点可与其它多个结点建立联系，即结点之间的联系是任意的，任何两个结点之间都能发生联系，可表示多对多的关系。

图 2—7 所示实体 E 及其空间要素的网状模型如图 2—9 所示。

采用网状模型最典型的数据库系统是 DBTG 系统，它是 1969 年由一个美国标准化组织 CODASYL 委员会的数据库任务组提出的报告中首次推出的，这个报告是一个网状模型的数据描述语言和数据操纵语言规范化的文本，虽不是具体计算机的软件系统，但对网状数据库系统的研究和发展起了重要作用，现有的网状数据库系统大都是建立在 DBTG 模型上的。

层次数据模型和网状数据模型的区别：

- 层次模型中从子女到双亲的联系是唯一的，而网状模型则可以不唯一；
- 层次模型不允许有复合链，而网状模型则允许；

层次数据模型和网状数据模型的缺陷：

- 要求应用程序员必须熟悉面向磁盘的优化技术和数据库的物理组织，对于每次特定的数据查询，必须编出十分复杂的查询应用程序。
- 一旦有新类型的数据加入，将会导致数据库结构的变化，在这种情况下，通常应用程序需要重写。

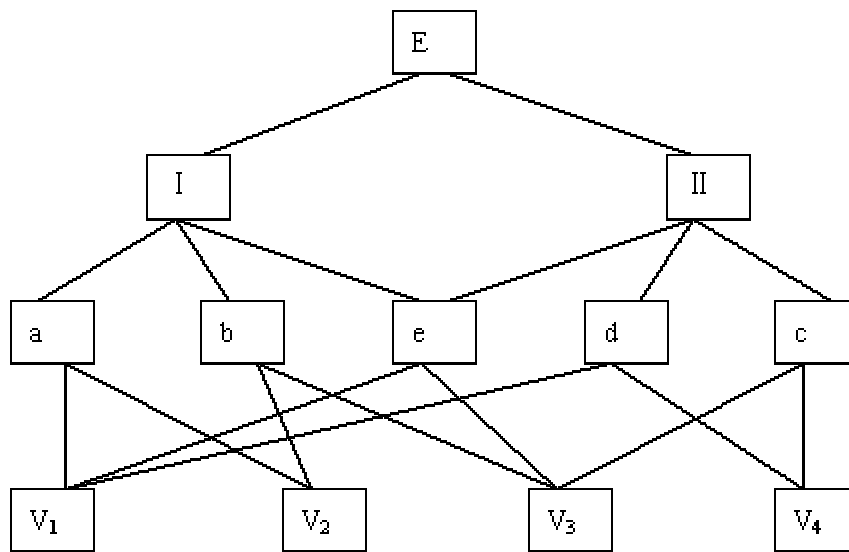


图 2—9 网状模型

四、 关系数据模型

1、 关系模型的逻辑数据结构：

是 IBM 公司的 E·F·Codd 提出来的。他从 1970 年起发表了多篇关于关系模型的论文，奠定了关系数据库的理论基础。由于关系数据库结构简单，操作方便，有坚实的理论基础，所以发展很快，80 年代以后推出的数据库管理系统几乎都是关系型的。

在关系模型中，数据的逻辑结构为满足一定条件的二维表，表具有固定的列数和任意的行数，在数学上称为“关系”。二维表是同类实体的各种属性的集合，每个实体对应于表中的一行，在关系中称为元组，相当于通常的一个记录；表中的列表示属性，称为域，相当于通常记录中的一个数据项。若二维表中有 n 个域，则每一行叫做一个 n 元组，这样的关系称为 n 度(元)关系。表的行对应于对象的实例，各个表的行列交点就用来存贮简单值。满足一定条件的规范化关系的集合，就构成了关系模型。

关系模型可以简单、灵活地表示各种实体及其关系，其数据描述具有较强的独立性和一致性。在关系数据库系统中，对数据的操作是通过关系代数实现的，具有严格的数学基础。

关系数据模型要求每一属性都必须赋给一个域，一个域就是一些正确值的集合，域可允许更多的语义检查，表中的每一个值都必须属于其属性的域或者为空。

RDBMS 使用各种手段来加速表的访问，这些协调手段是透明的，只在读写表的命令中是不可见的。由 RDBMS 来决定在处理查询的过程使用协调信息的时间，如果需要则自动执行协调。每当修改相应表时，RDBMS 自动修改协调信息。索引、hashing 及排序都是常用的协调技术。

2、表的操作符

SQL (Structured Query Language) 语言是 1974 年由 Boyce 和 Chamberlin 提出的，在 IBM 公司 San Jose Research Laboratory 研制的 System R 上实现了这种语言，1986 年 10 月，美国国家标准局 (ANSI) 批准 SQL 作为关系数据库语言的国家标准，此后不久，国际标准化组织 (ISO) 也作出了同样的决定。

SQL 提供了表的操作符，它的功能包括查询 (Query)、操纵 (Manipulation)、定义 (Defifition) 和控制 (Control) 四个方面，是一个综合的、通用的、功能强大的关系数据库语言。

3、表的完整性规则

- 实体完整性：每个表有一个明确的主关键字，主关键字是一个或者多个属性的集合；

- 关联完整性：要求 RDBMS 保持其外来关键字与它相应的主关键字一致，外来关键字是一个表的主关键字但它又嵌入另一个表中。

此外，还有两个概念也需要给予一定的解释。

- 视图 (View)：一个虚表，即视图所对应的数据并不是存储在视图中，而是存在导出它的一个或多个表中。

- 范式：用来避免表修改操作的逻辑不一致性的一些规则集，范式有多种层次，高级范式可以对低级范式增加约束条件。在 1971~1972 年，Codd 系统地提出了第一范式 (1NF)，第二范式 (2NF)，第三范式 (3NF) 的概念，1974 年，他和 Boyce 又共同提出了 BCNF，后来又有人提出了 4NF 和 5NF。其中

1NF：如果一关系模式，它的每一个分量是不可分的数据项，则此关系模式为 1NF；

2NF：若关系模式 $R \in 1NF$ ，且每个非主属性完全函数依赖于码，则 $R \in 2NF$ ；

3NF：若关系模式 $R(U, F) \in 1NF$ ，不存在非主属性对码的传递依赖，则 $R \in 3NF$ ；

BCNF：关系模式 $R(U, F) \in 1NF$ ，若 $X \rightarrow Y$ ， $Y \not\rightarrow X$ 时， X 必含有码，则说 $R \in BCNF$ ；

第一范式的概念限制了系统对复杂对象的表示，从而使关系数据库对非传统的应用领域束手无策，为了使关系数据库适应现实的需求，有人提出用 NF^2

(Non-First-Normal-Form) 模型，这种模型允许关系作为属性值。但仅仅在理论上有些价值，而对于实用，若引入 NF^2 ，则不仅要修改数据模型，而且要较大地改动 RDBMS 中的其它许多部分，如存贮结构、存取方法等等，这在实现上很困难。

4、用关系模型表示地理实体

图 2—7 所示地理实体 E 与空间要素可用关系模型构成如下关系：

地理实体——多边形关系：E(I, II)

多边形——多边形关系：I(a, b, e)

II(e, c, d)

边——结点关系：a(V₁, V₂)

b(V₂, V₃)

c(V₃, V₄)

d(V₁, V₄)

e(V₁, V₃)

上述关系的二维表实现如图 2—10 所示。

E	I
E	II

I	a	b	e
II	e	c	d

a	V ₁	V ₂
b	V ₂	V ₃
e	V ₃	V ₁
d	V ₁	V ₄
c	V ₄	V ₃

图 2—10 关系模型

5、关系模型的进一步发展

RDBMS 在目前的现状是理论和技术都非常完善和成熟，商品化的产品大量涌向市场，基本上占据了目前的数据库市场中传统应用领域的全部和 90% 以上的非传统应用领域，典型的代表有：DB2、INGRES、Oracle、SyBase、Xbase、FoxPro、Rdb/VMS、Informix 等等。

RDBMS 的发展主要体现在以下方面：

(1) 非结构化大型对象 (LOB—Large Object) 的引进

在关系模型中附加非结构化内容，用于存贮大量变长字符串和二进制数据，是 DEC 公司于 1981 年就引进的概念，只是当时并未流行。随着多媒体技术的推广和应用，需要对诸如文本数据、图象数据、静止的视频片断、全动感的视频信息、声音波形等等这类大量的非结构化数据进行存储和管理，于是在目前一些大型的 RDBMS (如 DB2、Oracle 等) 中，增加了大型对象这种数据类型。

(2) 分布式数据库

70 年代中期以来，由于计算机网络通信的迅速发展以及在地理上分散的公司、团体和组织对于数据库更为广泛的应用需求，在集中式数据库系统成熟技术的基础上产生和发展了分布式数据库系统，分布式数据库系统是数据库技术和网络技术两者相互渗透和有机结合的结果。目前，在该领域里，一些工作已经取得了显著的成果；许多基本问题已得到解决；一批原型系统已经研究成功并获得了许多经验；一些商品化的产品正在研制或已经推出。如 Oracle、Informix、Sybase 等等。

(3) 对象特性的融入

为了迎接面向对象数据库在非传统应用领域对关系数据库提出的挑战，确保关系数据库在数据库领域的霸主地位，关系数据库巨头 Oracle、Sybase、DB2、Informix 都在积极努力，使自己的关系型产品增加一些面向对象的成分。目前已经有推向市场的这类产品存在，如 Oracle8、DB2 等。

五、 对象数据模型

1、传统数据模型存在的主要问题

已于前述，目前非空间数据最主要的数据模型是层次模型、网状模型和关系模型。这里，我们分别介绍它们用于 GIS 地理数据库的局限性

(1) 层次模型用于 GIS 地理数据库的局限性

层次模型反映了地理世界中实体之间的层次关系，在描述地理世界中自然的层次结构关系时简单、直观，易于理解，并在一定程度上支持数据的重构。它用于 GIS 地理数据库存在的主要问题是：

- 1° 、很难描述复杂的地理实体之间的联系，描述多对多的关系时导致物理存储上的冗余；
- 2° 、对任何对象的查询都必须从层次结构的根结点开始，低层次对象的查询效率很低，很难进行反向查询；
- 3° 、数据独立性较差，数据更新涉及许多指针，插入和删除操作比较复杂，父结点的删除意味着其下层所有子结点均被删除；
- 4° 、层次命令具有过程式性质，要求用户了解数据的物理结构，并在数据操纵命令中显式地给出数据的存取路径；
- 5° 、基本不具备演绎功能和操作代数基础。

(2) 网状模型用于 GIS 地理数据库的局限性

网状模型是层次模型的一般形式，反映了地理世界中常见的多对多关系，在一定程度上支持数据的重构，具有一定的数据独立和数据共享特性，且运行效率较高。用于 GIS 地理数据库的主要问题如下：

- 1° 、由于网状结构的复杂性，增加了用户查询的定位困难，要求用户熟悉数据的逻辑结构，知道自己所处的位置；
- 2° 、网状数据操作命令具有过程式性质，存在与层次模型相同的问题；

- 3°、不直接支持对于层次结构的表达；
- 4°、基本不具备演绎功能和操作代数基础。

(3) 关系模型用于 GIS 地理数据库的局限性

关系模型表示各种地理实体及其间的关系，方式简单、灵活，支持数据重构；具有严格的数学基础，并与一阶逻辑理论密切相关，具有一定的演绎功能；关系操作和关系演算具有非过程式特点。尽管如此，关系模型用于 GIS 地理数据库也还存在一些不足。主要问题是：

- 1°、无法用递归和嵌套的方式来描述复杂关系的层次和网状结构，模拟和操作复杂地理对象的能力较弱；
- 2°、用关系模型描述本身具有复杂结构和涵义的地理对象时，需对地理实体进行不自然的分解，导致存储模式、查询途径及操作等方面均显得语义不甚合理；
- 3°、由于概念模式和存储模式的相互独立性，及实现关系之间的联系需要执行系统开销较大的联接操作，运行效率不够高。

不难看出，关系模型的根本问题是不能有效地管理复杂地理对象。

2、面向对象的概念

面向对象的基本概念是在本世纪 70 年代萌发出来的，它的基本做法是把系统工程中的某个模块和构件视为问题空间的一个或一类对象。到了 80 年代，面向对象的方法得到很快发展，在系统工程、计算机、人工智能等领域获得了广泛应用。但是，在更高级的层次上和更广泛的领域内对面向对象的方法进行研究还是 90 年代的事。

(1) 基本思想和基本概念

面向对象的基本思想是通过对问题领域进行自然的分割，用更接近人类通常思维的方式建立问题领域的模型，并进行结构模拟和行为模拟，从而使设计出的软件能尽可能地直接表现出问题的求解过程。因此，面向对象的方法就是以接近人类通常思维方式的思想，将客观世界的一切实体模型化为对象。每一种对象都有各自的内部状态和运动规律，不同对象之间的相互联系和相互作用就构成了各种不同的系统。

在面向对象的方法中，对象、类、方法和消息是基本的概念。

对象——含有数据和操作方法的独立模块，可以认为是数据和行为的统一体。如一个城市、一棵树均可作为地理对象。对于一个对象，应具有如下特征：

- 具有一个唯一的标识，以表明其存在的独立性；

- 具有一组描述特征的属性，以表明其在某一时刻的状态；
- 具有一组表示行为的操作方法，用以改变对象的状态。

类——共享同一属性和方法集的所有对象的集合构成类。从一组对象中抽象出公共的方法和属性，并将它们保存在一类中，是面向对象的核心内容。如河流均具有共性，如名称、长度、流域面积等，以及相同的操作方法，如查询、计算长度、求流域面积等，因而可抽象为河流类。被抽象的对象，称为实例，如长江、黄河等。

消息——对对象进行操作的请求，是连接对象与外部世界的唯一通道。

方法——对对象的所有操作，如对对象的数据进行操作的函数、指令、例程等。

(2) 面向对象的特性

面向对象方法具有抽象性、封装性、多态性等特性。

抽象是对现实世界的简明表示。形成对象的关键是抽象，对象是抽象思维的结果。抽象思维是通过概念、判断、推理来反映对象的本质，揭示对象内部联系的过程。任何一个对象都是通过抽象和概括而形成的。面向对象方法具有很强的抽象表达能力，正是因为这个缘故，可以将对象抽象成对象类，实现抽象的数据类型，允许用户定义数据类型。

封装是指将方法与数据放于一对象中，以使对数据的操作只可通过该对象本身的方法来进行。即一对象不能直接作用于另一对象的数据，对象间的通信只能通过消息来进行。对象是一个封装好的独立模块。封装是一种信息隐蔽技术，封装的目的在于将对象的使用者和对象的设计者分开，用户只能见到对象封装界面上的信息，对象内部对用户是隐蔽的。也就是说，对用户而言，只需了解这个模块是干什么的即功能是什么，至于怎么干即如何实现这些功能则是隐蔽在对象内部的。一个对象的内部状态不受外界的影响，其内部状态的改变也不影响其它对象的内部状态。封装本身即模块性，把定义模块和实现模块分开，就使得用面向对象技术开发或设计的软件的可维护性、可修改性大为改善。

多态是指同一消息被不同对象接收时，可解释为不同的含义。因此，可以发送更一般的消息，把实现的细节都留给接收消息的对象。即相同的操作可作用于多种类型的对象，并能获得不同的结果。

(3) 面向对象数据模型的四种核心技术

1°、分类

类是具有相同属性结构和操作方法的对象的集合，属于同一类的对象具有相同的属性结构和操作方法。**分类**是把一组具有相同属性结构和操作方法的对象归

纳或映射为一个公共类的过程。对象和类的关系是“实例”(instance-of)的关系。

同一个类中的若干个对象，用于类中所有对象的操作都是相同的。属性结构即属性的表现形式相同，但它们具有不同的属性值。所以，在面向对象的数据库中，只需对每个类定义一组操作，供该类中的每个对象使用，而类中每一个对象的属性值要分别存储，因为每个对象的属性值是不完全相同的。例如，在面向对象的地理数据模型中，城镇建筑可分为行政区、商业区、住宅区、文化区等若干个类。以住宅区类而论，每栋住宅作为对象都有门牌号、地址、电话号码等相同的属性结构，但具体的门牌号、地址、电话号码等是各不相同的。当然，对它们的操作方法如查询等都是相同的。

2°、概括〔HT〕

概括是把几个类中某些具有部分公共特征的属性和操作方法抽象出来，形成一个更高层次、更具一般性的超类的过程。子类 and 超类用来表示概括的特征，表明它们之间的关系是“即是”(is-a)关系，子类是超类的一个特例。

作为构成超类的子类还可以进一步分类，一个类可能是超类的子类，同时也可能是几个子类的超类。所以，概括可能有任意多层次。例如，建筑物是住宅的超类，住宅是建筑物的子类，但如果把住宅的概括延伸到城市住宅和农村住宅，则住宅又是城市住宅和农村住宅的超类。

概括技术的采用避免了说明和存储上的大量冗余，因为住宅地址、门牌号、电话号码等是“住宅”类的实例(属性)，同时也是它的超类“建筑物”的实例(属性)。当然，这需要一种能自动地从超类的属性和操作中获取子类对象的属性和操作的机制。

3°、聚集

聚集是将几个不同类的对象组合成一个更高级的复合对象的过程。术语“复合对象”用来描述更高层次的对象，“部分”或“成分”是复合对象的组成部分，“成分”与“复合对象”的关系是“部分”(parts-of)的关系，反之“复合对象”与“成分”的关系是“组成”的关系。例如，医院由医护人员、病人、门诊部、住院部、道路等聚集而成。

每个不同属性的对象是复合对象的一个部分，它们有自己的属性数据和操作方法，这些是不能为复合对象所公用的，但复合对象可以从它们那里派生得到一些信息。复合对象有自己的属性值和操作，它只从具有不同属性的对象中提取部分属性值，且一般不继承子类对象的操作。这就是说，复合对象的操作与其成分的操作是不兼容的。

4°、联合

联合是将同一类对象中的几个具有部分相同属性值的对象组合起来，形成一个更高水平的集合对象的过程。术语“集合对象”描述由联合而构成的更高水平的对象，有联合关系的对象称为成员，“成员”与“集合对象”的关系是“成员”(member—of)的关系。

在联合中，强调的是整个集合对象的特征，而忽略成员对象的具体细节。集合对象通过其成员对象产生集合数据结构，集合对象的操作由其成员对象的操作组成。例如，一个农场主有三个水塘，它们使用同样的养殖方法，养殖同样的水产品，由于农场主、养殖方法和养殖水产品等三个属性都相同，故可以联合成一个包含这三个属性的集合对象。

联合与概括在概念上不同。概括是对类进行抽象概括；而联合是对属于同一类的对象进行抽象联合。联合有点类似于聚集，所以在许多文献中将联合的概念附在聚集的概念中，都使用传播工具提取对象的属性值。

(4) 面向对象数据模型的核心工具

1°、继承

继承为面向对象方法所独有，服务于概括。在继承体系中，子类的属性和方法依赖父类的属性和方法。继承是父类定义子类，再由子类定义其子类，一直定义下去的一种工具。父类和子类的共同属性和操作由父类定义一次，然后由其所有子类对象继承，但子类可以有不是从父类继承下来的另外的特殊属性和操作。一个系统中，对象类是各自封装的，如果没有继承这一强有力的机制，类中的属性值和操作方法就可能出现大量重复。所以，继承是一种十分有用的抽象工具，它减少了冗余数据，又能保持数据的完整性和一致性，因为对象的本质特征只定义一次，然后由其相关的所有子类对象继承。

父类的操作适用于所有的子类对象，因为每一个子类对象同时也是父类的对象。当然，专为子类定义的操作是不适用于其父类的。

继承有单重继承和多重继承之分。

a、**单重继承**：指仅有一个直接父类的继承，要求每一个类最多只能有一个中间父类，这种限制意味着一个子类只能属于一个层次，而不能同时属于几个不同的层次。如图 2—11 所示，“住宅”是父类，“城市住宅”和“农村住宅”是其子类，父类“住宅”的属性(如“住宅名”)可以被它的两个子类继承，同样，给父类“住宅”定义的操作(如“进入住宅”)也适用于它的两个子类；但是，专为一个子类定义的操作如“地铁下站”，只适用于“城市住宅”。

单重继承可以构成树形层次，最高父类在顶部，最特殊的子类在底部，每一类可看作一个结点，两个结点的“即是”关系可以用父类结点指向子类结点的矢量来表示，矢量的方向表示从上到下、从一般到特殊的特点。

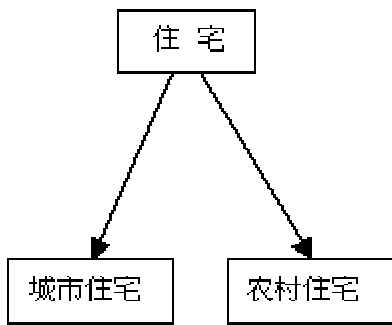
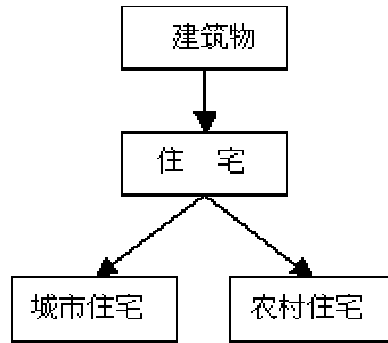


图 2—11



图

2—12

继承不仅可以把父类的特征传给中间子类，还可以向下传给中间子类的子类。图 2—12 是有三个层次的继承体系。“建筑物”的特征(如“户主”、“地址”等)可以传给中间子类“住宅”，也可以传给中间子类的子类“城市住宅”和“农村住宅”。

b、**多重继承**：允许子类有多于一个的直接父类的继承。严格的层次结构是一种理想的模型，对现实的地理数据常常不适用。多重继承允许几个父类的属性和操作传给一个子类，这就不是层次结构。

GIS 中经常遇到多重继承问题。图 2—13—13 是两个不同的体系形成的多重继承的例子。一个体系为交通运输线，另一个体系为水系。运河具有人工交通运输线和河流等两个父类特性，通航河流也有自然交通运输线和河流等两个父类的特性。

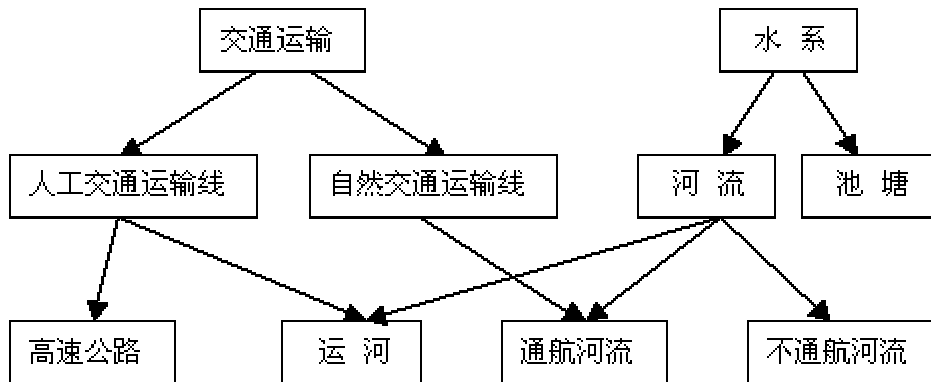


图 2—13

2°、传播

传播是一种作用于聚集和联合的工具，用于描述复合对象或集合对象对成员对象的依赖性并获得成员对象的属性的过程。它通过一种强制性的手段将成员对象的属性信息传播给复合对象。

复合对象的某些属性不需单独存储，可以从成员对象中提取或派生。成员对象的相关属性只能存储一次。这样，就可以保证数据的一致性，减少数据冗余。从成员对象中派生复合对象或集合对象的某些属性值，其公共操作有“求和”、“集合和”、“最大”、“最小”、“平均值”和“加权平均值”等。例如，一个国家最大城市的人口数是这个国家所有城市人口数的最大值，一个省的面积是这个省所有县的面积之和，等等。

继承和传播在概念和使用上都是有差别的。这主要表现在：继承是用概括（“即是”关系）体系来定义的，服务于概括，而传播是用聚集（“成分”关系）或联合（“成员”关系）体系来定义的，作用于联合和聚集；继承是从上层到下层，应用于类，而传播是自下而上，直接作用于对象；继承包括属性和操作，而传播一般仅涉及属性；继承是一种信息隐含机制，只要说明子类与父类的关系，则父类的特征一般能自动传给它的子类，而传播是一种强制性工具，需要在复合对象中显式定义它的每个成员对象，并说明它需要传播哪些属性值。

3、面向对象的地理数据模型

(1) 基本含义

任何一种模型都无法反映现实世界的所有方面，对于复杂的事物和现象更是如此。因而不可能设计出一种通用的数据结构和数据模型来适应所有的情况，往往是在描述一类问题时，体现了优越性，而在描述另一类问题时，却是低效的。

为了有效地描述复杂的事物或现象，需要在更高层次上综合利用和管理多种数据结构和数据模型，并用面向对象的方法进行统一的抽象。这就是面向对象数据模型的含义，其具体实现就是面向对象的数据结构。

(2) 复杂对象及其特点

面向对象的地理数据模型的核心是对复杂对象的模拟和操纵。

所谓**复杂对象**是指具有复杂结构和操作的对象。复杂对象可以由多种关系聚合抽象而成，或由不同类型的对象构成，或具有复杂的嵌套关系等。

例如，在 GIS 中的一个复杂地理实体(如学校)可能含有矢量数据、栅格数据、属性数据，甚至多媒体数据，而且可以认为是由其它较简单的实体(如道路、教学楼、操场等)组成，因此，可以作为一个复杂对象。GIS 的地理实体所具有的矢量数据也可以认为是一个复杂对象，因为它包含了几何数据和属性数据，而几何数据又是由点、线、面等简单对象组成的。

因此，复杂对象的特点可归结为：

1°、一个复杂对象由多个成员对象构成，每个成员对象又可参与其它对象的构成；

2°、具有多种数据结构，如矢量、栅格、关系表等；

3°、一个复杂对象的不同部分可由不同的数据模型所支持，也就是说，可以分布于不同的数据库中。

(3) 面向对象地理数据模型的特点

1°、可充分利用现有数据模型的优点，面向对象的数据模型是一种基于抽象的模型，允许设计者在基本功能上选择最为适用的技术。如可以把矢量和栅格数据结构统一为一种高层次的实体结构，这种结构可以具有矢量结构和栅格结构的特点，但实际的操作仍然是矢量数据用矢量运算，栅格数据用栅格算法。

2°、具有可扩充性。由于对象是相对独立的，因此可以很自然和容易地增加新的对象，并且对不同类型的对象具有统一的管理机制。

3°、可以模拟和操纵复杂对象。传统的数据模型是面向简单对象的，无法直接模拟和操纵复杂实体，而面向对象的数据模型具备对复杂对象进行模拟和操纵的能力。

(4) GIS 中面向对象的数据模型

对于传统的数据模型，其数据结构是与之分离的。而对于面向对象的数据模型，其数据模型和数据结构是一致的，数据模型的具体实现就是数据结构。

在 GIS 的面向对象的数据结构中，通常可以把空间数据抽象为点、线、面三种简单的地物类型，作为三种简单对象：

点状地物——如塔、车站等。具有标识号、编码、定位点坐标等数据项，并且有显示、增加、删除、修改等操作。当点状地物是有向地物时，需要两对定位点坐标。

线状地物——如道路、河流等。线状地物由一条或多条弧段组成，弧段还涉及两端的结点。具有标识号、编码、组成线状地物的弧段等数据项，具有显示、增加、删除、修改、计算长度等操作。

面状地物——如湖泊、街区等。由一条或多条弧段构成。除了具有标识号、编码、弧段串等数据项外，还常常含有面的内点坐标、面的面积，甚至面状地物的外接矩形的坐标等。除了具有增加、删除、修改、显示等操作外，还应具有计算面积的操作。

点、线、面这三种简单地物类型涉及到了孤立点、节点、结点、弧段等数据类型，并且还应该与注记有紧密的联系。

一个地理实体可以由这三种简单对象之一构成，复杂的地理实体可以由多种简单对象构成，甚至可以由其它复杂对象构成。每个地理实体都可以通过其标识

号和其属性数据联系起来。若干个地理实体可以作为一个图层，若干个图层可以组成一个工作区。在 GIS 中可以开设多个工作区。

在 GIS 中建立面向对象的数据模型时，对象的确定还没有统一的标准，但是，对象的建立应符合人们对客观世界的理解，并且要完整地表达各种地理对象，及它们之间的相互关系。

4、面向对象的数据系统：

(1) 面向对象数据库系统的概念

关于“什么是面向对象数据库系统 (OODBS-Object Oriented Data Base System) ?” Francois Bancilho 把 OODB 定义为：“一个面向对象的数据库系统应该满足两条准则：它应该是一个数据库管理系统，而且还是一个面向对象的系统。第一条准则是说它应该具备六个特征：永久性、外存管理、数据共享(并发)、数据可靠性(事务管理和恢复)、即席查询工具和模式修改。第二条准则是说它应具备八个特征：类/类型、封装性/数据抽象、继承性、多态性/滞后联编、计算完备性、对象标识、复杂对象和可扩充性。”

Rainer Unland 在 Francois Bancilho 的基础上作了进一步的补充，他指出：“OODBS 除了须满足以上所定义的准则外，还必须满足非传统应用领域所提出的一些需求/特征，例如版本管理和可扩充的事务模型等等。”

Wan Kim 对 OODBS 的定义与他们的定义基本类似，他认为“一个数据库系统可以称为面向对象数据库系统，必须满足以下两个条件：支持核心的面向对象数据模型；借助扩充/修改传统数据库的语义，使之与核心的面向对象数据模型的语义一致，以支持传统数据库系统中所有的数据库特征。”并指出：“面向对象数据库系统是一个面向对象数据库的永久、共享存贮器和管理程序；面向对象数据库是由面向对象数据模型定义的对象集合，该集合中的对象反映了面向对象程序设计所支持的对象语义。”

从 OODBS 具有面向对象特性的角度出发，OODBS 应该提供创建类的设施，用以组织对象、创建对象、把类组织成一个继承层次，使得子类能从超类中继承属性和方法，以及调用方法来访问特定的对象。

从 OODBS 是一个数据库系统的角度考虑，它必须提供当今关系数据库系统 (RDB) 提供的那些标准数据库设施，包括检索对象的非过程性查询设施、自动查询优化和处理、动态模式改变(改变类定义和继承结构)、存取方法(如 B⁺ 树索引、可扩充散列、排序等)的自动管理以提高查询处理性能、自动事务管理、并发控制、从系统故障中恢复、安全和授权。

(2) 面向对象数据库系统的特征

1989年12月，在第一届演绎、面向对象数据库国际会议上，以 Malcolm Atkinson, Francois Bancilhon, David Dewitt 等人为代表的一批 OODB 专家发表了著名的“面向对象的数据库系统宣言”，提出了 OODBs 应该具备的主要性质和特征。这些特征分为三组：必备的（被称作面向对象的数据库系统所必须满足的特性）、可选的（为了使系统更完善可添加的而非必备的特性）和开放的（设计人员可以选择的特性）。其中必备的特征包括：

(1) 复杂对象：对简单对象运用各种构造符即可得到复杂对象。

(2) 对象标识：在带对象标识的模型中，对象独立于它的值而存在，由此就有了两个对象等价的概念：两个对象可能相同（它们是同一个对象），也可能相等（它们有同样的值）。

(3) 封装性：封装性的概念来自两个方面，一是需要明确区分操作的说明和实现；二是模块化的需要。封装提供了一种逻辑数据独立性的形式，能够在不改变使用类型的程序的情况下改变类型的实现。让操作可见而将数据和操作的实现隐藏在对象中，就可以获得适当的封装。

(4) 类型和类：对应了两大类面向对象的系统：支持类概念的系统和支持类型概念的系统。类型和类具有相同的说明方式，类型的实例是静态说明的，而类的说明是动态产生的，它们都对应了抽象数据类型。

(5) 类和类型的层次结构：类和类型的层次结构可以导致类和类型的继承机制，在面向对象的系统中，至少存在有四种继承：替代继承、包含继承、限制继承和特化继承。

(6) 复载、过载和滞后联编：按照类型的不同重新定义每个类型的操作的实现叫做复载 (Overriding)，用同一个名字来表示不同的实现叫做过载 (Overloading)，它们都是由于多态性 (Polymorphism) 导致了同一方法名对应不同的对象而产生的调用不同的程序体的现象。为了实现这种功能，系统不能在编译时就把操作名联编到程序上，而要等到运行时才进行解释，这个推迟的转换叫做滞后联编 (Late Binding) 或动态联编 (Dynamic Binding)。

(7) 计算完备性：就是能够用数据库系统的数据操纵语言 (DML) 表达任何可计算的功能。一般情况下，计算完备性可以通过与现有程序设计语言的合理连接来实现。

(8) 可扩充性：是指用户在数据库系统带有的一组预先定义类型的基础上所具有的可定义新类型的手段，并且系统定义的类型和用户定义的类型在使用上没有区别。

(9) 持久性：持久性是指程序员保证他的数据在进程的执行中存在的的能力。

(10) 辅存管理：辅存管理是数据库管理系统的一个经典特征。它通常有一组方法支持，包括索引管理、数据聚集、数据缓冲、存取路径选择及查询优化。

(11) 并发性: 并发性是指数据库中的对象可被多个用户共享而不影响其一致性和完整性, 并发性保证了同时在数据库上工作的多个用户之间的和谐共存。

(12) 恢复: 恢复是指在硬件和软件发生故障时, 数据库具有的能够使它返回到数据的某种相关状态的能力。

(13) 即席查询功能: 就是数据库提供的一种高级的(即简明地表示重要的查询)、有效的(即查询的形式应该是进行过查询优化的)和与应用无关的(即它是独立于用户的特殊应用的)查询功能。

可选的特性有: 多重继承性、类型检查和类型推理、分布、设计事务处理和版本等五个方面。

开放的特性是程序设计范例、表示系统、类型系统和一致性。

(3) 面向对象数据库系统所具有的优势

与传统的数据库相比, OODB 在下列方面具有一定的优势:

(1) 缩小了语义差距

传统数据库设计往往是在问题空间采用某种语义模型(例如 E-R 模型), 而在求解空间采用关系模型, 于是就必须在这两个空间的表示之间作一个转换, 这样往往会丢失语义。OODB 的优势在于在这两个空间中采用了相同/近似的模型, 从而使它们之间的语义差距缩小了。

(2) 减轻了“阻抗失配”问题

传统数据库应用往往表现为把数据库语句嵌入某种具有计算完备性的程序设计语言中, 由于数据库语言和程序设计语言的类型系统和计算模型往往不同, 所以这种结合是不自然的, 这个现象被称为“阻抗失配”。在 OODB 中, 把需要程序设计语言编写的操作都封装在对象的内部, 从本质上讲, OODB 的问题求解过程只需要表现为一个消息表达式的集合。

(3) 适应非传统应用的需要

众所周知, OODB 研究的目的是为了适应诸如 CAD、CAM、CASE、GIS 等非传统领域的需要。OODB 中, 这种适应性主要表现在能够定义和操纵复杂对象, 具备引用共享和并发共享机制以及灵活的事务模型(例如长事务模型、嵌套事务模型、切分事务模型), 支持大量对象的存储和获取等等。

六、时空数据模型

§ 2.5 空间数据库的设计

一、 空间数据的管理模式

1、数据管理概述

数据管理指的是对数据的分类、组织、编码、储存、检索和维护。数据管理在 30 多年来经历了三个阶段：人工管理阶段、文件系统阶段、数据库系统阶段。

(1)、人工管理阶段（50 年代中期以前）

背景：计算机主要用于科学计算；从硬件看，外存只有磁带、卡片、纸带；从软件看，没有操作系统。

特点：数据不保存；没有软件系统对数据进行管理；基本上没有文件概念，数据的组织方式由程序员自行设计；一组数据对应一个程序，数据是面向应用的。

(2)、文件系统阶段（50 年代后期到 60 年代中期）

背景：计算机除了科学计算外，还大量用于管理；从硬件看，外存有了磁盘、磁鼓等直接存取的存储设备；从软件看，操作系统已经有了专门的管理数据软件，即文件系统。

特点：计算机大量用于数据处理，数据需要长期保存；有软件进行数据管理；文件已经多样化；数据的存取基本上以记录为单位。数据冗余度大，数据和程序缺乏独立性。

(3)、数据库系统阶段：（从 60 年代后期开始）

背景：计算机用于管理的规模更为庞大，共享的需要日益增强；有了大容量的磁盘；联机实时处理要求增多，并开始考虑分布处理；软件价格上升，硬件价格下降。

特点：面向全组织的复杂的数据结构；数据冗余度小，易扩充；具有较高的数据和程序独立性；（•物理独立性：数据的存储结构（物理结构）改变时，数据的逻辑结构不变；•逻辑独立性：数据的总体逻辑结构改变时，数据的局部逻辑结构可以不变。）统一的数据控制功能；（•数据的安全（Security）性控制；•数据的完整（Integrity）性控制；•并发控制）数据的最小存取单位是数据项。

二、空间数据库的设计、建立与维护

1、空间数据库的设计

数据库因不同的应用要求会有各种各样的组织形式。数据库设计就是根据不同的应用目的和用户要求，在一个给定的应用环境中，确定最优的数据模型、处理模式、存贮结构、存取方法，建立能反映现实世界的地理实体间信息之间的联系，满足用户要求，又能被一定的 DBMS 接受，同时能实现系统目标并有效地存

取、管理数据的数据库。简言之，数据库设计就是把现实世界中一定范围内存在着的应用数据抽象成一个数据库的具体结构的过程。

空间数据库的设计是指在现在数据库管理系统的基础上建立空间数据库的整个过程。主要包括需求分析、结构设计和数据层设计三部分。

(1) 需求分析

需求分析是整个空间数据库设计与建立的基础，主要进行以下工作：

1°、调查用户需求：了解用户特点和要求，取得设计者与用户对需求的一致看法。

2°、需求数据的收集和分析：包括信息需求(信息内容、特征、需要存储的数据)、信息加工处理要求(如响应时间)、完整性与安全性要求等。

3°、编制用户需求说明书：包括需求分析的目标、任务、具体需求说明、系统功能与性能、运行环境等，是需求分析的最终成果。

需求分析是一项技术性很强的工作，应该由有经验的技术人员完成，同时用户的积极参与也是十分重要的。

(2) 结构设计

指空间数据结构设计，结果是得到一个合理的空间数据模型，是空间数据库设计的关键。空间数据模型越能反映现实世界，在此基础上生成的应用系统就越能较好地满足用户对数据处理的要求。主要任务是：

1°、概念设计

对需求分析阶段所收集的信息和数据进行分析、整理，确定地理实体、属性及它们之间的联系，将各用户的局部视图合并成一个总的全局视图，形成独立于计算机的反映用户观点的概念模式。概念模式与具体的 DBMS 无关，结构稳定，能较好地反映用户的信息需求。

表示概念模型最有力的工具是 E—R 模型，即实体—联系模型，包括实体、联系和属性三个基本成分。用它来描述现实地理世界，不必考虑信息的存储结构、存取路径及存取效率等与计算机有关的问题，比一般的数据模型更接近于现实地理世界，具有直观、自然、语义较丰富等特点，在地理数据库设计中得到了广泛应用。

例如在城市地理数据库系统设计中，我们将城市市区要素抽象为空间实体(街道边线、路段、街道、街区、节点等实体)、空间实体属性(节点实体属性——立交桥、警亭及所连通街道的性质等；边线实体属性——属于哪一路段、街道、街区及其长度等；街道路段和街道实体属性——走向、路面质量、宽度、等级、车道数、结构等；街区实体属性——面积、用地类型等)、空间实体关系。

近几年来，E—R 模型得到了扩充，增加了子类的概念，即增加了语义表达能力，使之能更好地模拟现实地理世界。

2°、逻辑设计

在概念设计的基础上，按照不同的转换规则将概念模型转换为具体 DBMS 支持的数据模型的过程，即导出具体 DBMS 可处理的地理数据库的逻辑结构(或外模式)，包括确定数据项、记录及记录间的联系、安全性、完整性和一致性约束等。导出的逻辑结构是否与概念模式一致，能否满足用户要求，还要对其功能和性能进行评价，并予以优化。

从 E—R 模型向关系模型转换的主要过程为：

- ①确定各实体的主关键字；
- ②确定并写出实体内部属性之间的数据关系表达式，即某一数据项决定另外的数据项；
- ③把经过消冗处理的数据关系表达式中的实体作为相应的主关键字；
- ④根据②、③形成新的关系。
- ⑤完成转换后，进行分析、评价和优化。

(3) 物理设计

物理设计是指有效地将空间数据库的逻辑结构在物理存储器上实现，确定数据在介质上的物理存储结构，其结果是导出地理数据库的存储模式(内模式)。主要内容包括确定记录存储格式，选择文件存储结构，决定存取路径，分配存储空间。物理设计的好坏将对地理数据库的性能影响很大，一个好的物理存储结构必须满足两个条件：一是地理数据占有较小的存储空间；二是对数据库的操作具有尽可能高的处理速度。在完成物理设计后，要进行性能分析和测试。

数据的物理表示分两类：数值数据和字符数据。数值数据可用十进制或二进制形式表示。通常二进制形式所占用的存贮空间较少。字符数据可以用字符串的方式表示，有时也可利用代码值的存贮代替字符串的存储。为了节约存贮空间，常常采用数据压缩技术。

物理设计在很大程度上与选用的数据库管理系统有关。设计中应根据需要，选用系统所提供的功能。

(4) 数据层设计

大多数 GIS 都将数据按逻辑类型分成不同的数据层进行组织。数据层是 GIS 中的一个重要概念。GIS 的数据可以按照空间数据的逻辑关系或专业属性分为各种逻辑数据层或专业数据层，原理上类似于图片的叠置。例如，地形图数据可分

为地貌、水系、道路、植被、控制点、居民地等诸层分别存贮。将各层叠加起来就合成了地形图的数据。在进行空间分析、数据处理、图形显示时，往往只需要若干相应图层的数据。

数据层的设计一般是按照数据的专业内容和类型进行的。数据的专业内容的类型通常是数据分层的主要依据，同时也要考虑数据之间的关系。如需考虑两类物体共享边界(道路与行政边界重合、河流与地块边界的重合)等，这些数据间的关系在数据分层设计时应体现出来。

不同类型的数据由于其应用功能相同，在分析和应用时往往会同时用到，因此在设计时应反映出这样的需求，即可将这些数据作为一层。例如，多边形的湖泊、水库，线状的河流、沟渠，点状的井、泉等，在 GIS 的运用中往往同时用到，因此，可作为一个数据层。

2、空间数据库的建立与维护

(1) 空间数据库的建立

在完成空间数据库的设计之后，就可以建立空间数据库。建立空间数据库包括三项工作，即建立数据库结构、装入数据和试运行。

1°、建立空间数据库结构

利用 DBMS 提供的数据库描述语言描述逻辑设计和物理设计的结果，得到概念模式和外模式，编写功能软件，经编译、运行后形成目标模式，建立起实际的空间数据库结构。

2°、数据装入

一般由编写的数据装入程序或 DBMS 提供的应用程序来完成。在装入数据之前要做许多准备工作，如对数据进行整理、分类、编码及格式转换(如专题数据库装入数据时，采用多关系异构数据库的模式转换、查询转换和数据转换)等。装入的数据要确保其准确性和一致性。最好是把数据装入和调试运行结合起来，先装入少量数据，待调试运行基本稳定了，再大批量装入数据。

3°、调试运行

装入数据后，要对地理数据库的实际应用程序进行运行，执行各功能模块的操作，对地理数据库系统的功能和性能进行全面测试，包括需要完成的各功能模块的功能、系统运行的稳定性、系统的响应时间、系统的安全性与完整性等。经调试运行，若基本满足要求，则可投入实际运行。

由以上不难看出，建立一个实际的空间数据库是一项十分复杂的系统工程。

(2) 空间数据库的维护

建立一个空间数据库是一项耗费大量人力、物力和财力的工作，都希望能应用得好，生命周期长。而要做到这一点，就必须不断地对它进行维护，即进行调整、修改和扩充。空间数据库的重组、重构造和系统的安全性与完整性控制等，就是重要的维护方法。

1° 、空间数据库的重组

指在不改变空间数据库原来的逻辑结构和物理结构的前提下，改变数据的存储位置，将数据予以重新组织和存放。因为一个空间数据库在长期的运行过程中，经常需要对数据记录进行插入、修改和删除操作，这就会降低存储效率，浪费存储空间，从而影响空间数据库系统的性能。所以，在空间数据库运行过程中，要定期地对数据库中的数据重新进行组织。DBMS 一般都提供了数据库重组的应用程序。由于空间数据库重组要占用系统资源，故重组工作不能频繁进行。

2° 、空间数据库的重构造

指局部改变空间数据库的逻辑结构和物理结构。这是因为系统的应用环境和用户需求的改变，需要对原来的系统进行修正和扩充，有必要部分地改变原来空间数据库的逻辑结构和物理结构，从而满足新的需要。数据库重构通过改写其概念模式(逻辑模式)的内模式(存储模式)进行。具体地说，对于关系型空间数据库系统，通过重新定义或修改表结构，或定义视图来完成重构；对非关系型空间数据库系统，改写后的逻辑模式和存储模式需重新编译，形成新的目标模式，原有数据要重新装入。空间数据库的重构，对延长应用系统的使用寿命非常重要，但只能对其逻辑结构和物理结构进行局部修改和扩充，如果修改和扩充的内容太多，那就要考虑开发新的应用系统。

3° 、空间数据库的完整性、安全性控制

空间数据库的完整性，指数据的正确性、有效性和一致性，主要由后映象日志来完成，它是一个备份程序，当发生系统或介质故障时，利用它对数据库进行恢复。安全性指对数据的保护，主要通过权限授予、审计跟踪，以及数据的卸出和装入来实现。

典型问题

I。 关于 GIS 中的地图投影：

在 GIS 中，地理数据的显示往往可以根据用户的需要，指定各种投影。但当所显示的地图与国家基本地图系列的比例尺一致时，往往

采用与国家基本系列地图所用的投影。我国常用的地图投影的情况为：

(1)、我国基本比例尺地形图(1: 100 万、1: 50 万、1: 25 万、1: 10 万、1: 5 万、1: 2.5、1: 1 万、1: 5000)除 1: 100 万外均采用高斯—克吕格投影为地理基础；

(2)、我国 1: 100 万地形图采用了 Lambert 投影，其分幅原则与国际地理学会规定的全球统一使用的国际百万分之一地图投影保持一致。

(3)、我国大部分省区图以及大多数这一比例尺的地图也多采用 Lambert 投影和属于同一投影系统的 Albers 投影(正轴等面积割圆锥投影)；

(4)、Lambert 投影中，地球表面上两点间的最短距离(即大圆航线)表现为近于直线，这有利于地理信息系统中和空间分析量度的正确实施。

2. 关于 GIS 中数据质量的基本内容

GIS 数据质量包含如下五个方面：

1°、位置精度：如数学基础、平面精度、高程精度等，用以描述几何数据的质量。

2°、属性精度：如要素分类的正确性、属性编码的正确性、注记的正确性等，用以反映属性数据的质量。

3°、逻辑一致性：如多边形的闭合精度、结点匹配精度、拓扑关系的正确性等。

4°、完备性：如数据分类的完备性、实体类型的完备性、属性数据的完备性、注记的完整性等。

5°、现势性：如数据的采集时间、数据的更新时间等。

第二章练习题

1. GIS 的对象是什么？地理实体有什么特点？
2. 地理实体数据的特征是什么？请列举出某些类型的空间数据。
3. 空间数据的结构与其它非空间数据的结构有什么特殊之处？试给出几种空间数据的结构描述。
4. 矢量数据与栅格数据的区别是什么？它们有什么共同点吗？
5. 矢量数据在结构表达方面有什么特色？
6. 矢量和栅格数据的结构都有通用标准吗？请说明。
7. 栅格数据的运算具有什么特点？
8. 栅格与矢量运算相比较各有什么特征？

- 9. 矢量与栅格一体化的数据结构有什么好处？
- 10. 请说明八叉树表示三维数据的原理。
- 11. 三维空间的边界如何表示？你还能给出其它方法吗？
- 12. 什么是数据库？它有什么特点？
- 13. 数据库主要有哪几个主要的结构成分？
- 14. 数据库是如何组织数据的？
- 15. DBMS 的作用是什么？
- 16. 地理实体如何存放在数据库里？
- 17. 请简要说明层次模型、网状模型、和关系模型的结构特点。
- 18. 对象数据模型有什么特点？
- 19. 时间在地理信息系统内有什么意义？如何保存时间信息？
- 20. 如何设计空间数据库？
- 20. 对空间数据库进行维护有什么意义？

第三章 空间数据的采集和质量控制

[§ 3.1 概述](#)

[§ 3.2 空间数据的地理参照系和控制基础](#)

[§ 3.3 地理实体数据的编码](#)

[§ 3.4 空间数据的采集](#)

[§ 3.5 GIS 的数据质量](#)

[§ 3.6 空间数据标准](#)

第三章 基本概念

地图数据	实测数据	坐标系	投影变形
遥感数据	多媒体数据	地理坐标系	投影的分类
文本资料	已有系统的数据	平面坐标系	高斯—克吕格投影
统计资料	GIS 的数据质量	高程系	正等角圆锥投影
地理实体	源误差	间接评价法	Monte Carlo 实验仿真
属性数据	处理误差	非定量描述法	空间滤波
地图跟踪数字化	GIS 中的误差传播	敏感度分析法	数字高程模型 (DEM) 的精度
地图扫描数字化	直接评价法	尺度不变空间分析法	矢量数据栅格化的误差

多边形叠置产生的误差		
空间数据分类		
标准		
空间数据交换		
标准		
空间元数据的定义		
OpenGIS 规范		

空间数据的采集和质量控制

本章说明

研究 GIS 数据质量对于评定 GIS 的算法、减少 GIS 设计与开发的盲目性都具有重要意义。因此，本章在简要介绍了 GIS 的数据源以及空间数据采集的任务等基础知识后，以两个常用的投影：高斯-克吕格投影和正等角圆锥投影为例，详细讲解了空间数据的地理参照系和控制基础；并对空间数据的分类和编码进行了简要的介绍和实例分析。其次本章针对不同的空间数据类型：几何数据和属性数据，分别介绍了它们各自的采集和检核。最后本章节详尽介绍了 GIS 中的数据

质量的内容和类型、研究 GIS 数据质量的方法；介绍了数据采集中和数据处理中数据质量的评价，如：地图固有误差、数字化的误差、矢量数据栅格化的误差、多边形叠置产生的误差等。除此之外，本章还对空间数据的分类标准、交换标准，以及我国空间数据交换格式进行了翔实的介绍。?

第一节内容 GIS 数据源，空间数据采集的任务，研究数据质量的意义。

第二节 空间数据的地理参照系和控制基础,地图投影

第三节 地理实体的几种分类方法和编码方法 属性数据的分类分级方法

第四节内容 几何数据和属性数据的采集方法，和几种常用空间数据检核方法。

地图跟踪数字化和扫描数字化方法，常见的空间数据输入误差和检核方法。

第五节内容 GIS 数据质量内容和类型，研究数据质量的方法和数据质量的评价方法

GIS 数据质量内容和类型和常用数据质量的评价方法。

第六节内容 空间数据标准的内容和空间元数据

空间数据交换标准，元数据作用和内容。

§ 3.1 概述

§ 3.1.1、GIS 的数据源

GIS 的数据源，是指建立 GIS 的地理数据库所需的各种数据的来源，主要包括地图、遥感图像、文本资料、统计资料、实测数据、多媒体数据、已有系统的数据等。

一、地图数据

地图是 GIS 的主要数据源，因为地图包含着丰富的内容，不仅含有实体的类别和属性，而且含有实体间的空间关系。地图数据主要通过对地图的跟踪数字化和扫描数字化获取。地图数据不仅可以作宏观的分析(用小比例尺地图数据)，而

且可以作微观的分析(用大比例尺地图数据)。在使用地图数据时,应考虑到地图投影所引起的变形,在必要时进行投影变换,或转换成地理坐标。

地图数据通常用点、线、面及注记来表示地理实体及实体间的关系,如:

点——居民点、采样点、高程点、控制点等。

线——河流、道路、构造线等。

面——湖泊、海洋、植被等。

注记——地名注记、高程注记等。

二、遥感数据

遥感数据是 GIS 的重要数据源。遥感数据含有丰富的资源与环境信息,在 GIS 支持下,可以与地质、地球物理、地球化学、地球生物、军事应用等方面的信息进行信息复合和综合分析。遥感数据是一种大面积的、动态的、近实时的数据源,遥感技术是 GIS 数据更新的重要手段。

三、文本资料

文本资料是指各行业、各部门的有关法律文档、行业规范、技术标准、条文条例等,如边界条约等。这些也属于 GIS 的数据。

四、统计资料

国家和军队的许多部门和机构都拥有不同领域(如人口、基础设施建设、兵要地志等)的大量统计资料,这些都是 GIS 的数据源,尤其是 GIS 属性数据的重要来源。

五、实测数据

野外试验、实地测量等获取的数据可以通过转换直接进入 GIS 的地理数据库,以便于进行实时的分析和进一步的应用。GPS(全球定位系统)所获取的数据也是 GIS 的重要数据源。

六、多媒体数据

多媒体数据(包括声音、录像等)通常可通过通讯口传入 GIS 的地理数据库中,目前其主要功能是辅助 GIS 的分析和查询。

七、已有系统的数据

GIS 还可以从其它已建成的信息系统和数据库中获取相应的数据。由于规范化、标准化的推广，不同系统间的数据共享和可交换性越来越强。这样就拓展了数据的可用性，增加了数据的潜在价值。

§ 3.1.2、空间数据采集的任务

空间数据采集的任务是将现有的地图、外业观测成果、航空像片、遥感图像、文本资料等转换成 GIS 可以处理与接收的数字形式，通常要经过验证、修改、编辑等处理。

不同数据输入需要用到不同的设备。例如，对于文本数据通常用交互的方式通过键盘录入，也可用扫描仪扫描后用字符识别软件自动录入；对于矢量地图数据，可用平板数字化仪，采用手扶跟踪的方法输入，也可用扫描仪扫描成图像后，用栅格数据矢量的方法自动追踪输入；等等。

GIS 软件的这一部分还应具有数据转换装载的功能，即能把其它 GIS 或专题数据库中的数据通过转换装载到当前的 GIS 系统中。

这一部分 GIS 软件的数据处理工作主要是几何纠正、图形和文本数据的编辑、图幅的拼接、拓扑关系的生成等，即完成 GIS 的空间数据在装入 GIS 的地理数据库前的各种工作。

§ 3.1.3 研究 GIS 数据质量的目的和意义

一、什么是 GIS 的数据质量

GIS 的数据质量是指 GIS 中空间数据(几何数据和属性数据)的可靠性，通常用空间数据的误差来度量。

误差是指数据与真值的偏离。

二、GIS 数据质量研究的目的

GIS 数据质量研究的目的是建立一套空间数据的分析和处理的体系，包括误差源的确定、误差的鉴别和度量方法、误差传播的模型、控制和削弱误差的方法等，使未来的 GIS 在提供产品的同时，附带提供产品的质量指标，即建立 GIS 产品的合格证制度。

从应用的角度，可把 GIS 数据质量的研究分为两大问题。当 GIS 录入数据的误差和各种操作中引入的误差已知时，计算 GIS 最终生成产品的误差大小的过程称为正演问题。而根据用户对 GIS 产品所提出的误差限值要求，确定 GIS 录入数据的质量称为反演问题。显然，误差传播机制是解决正反演问题的关键。

三、研究 GIS 数据质量的意义

研究 GIS 数据质量对于评定 GIS 的算法、减少 GIS 设计与开发的盲目性都具有重要意义。如果不考虑 GIS 的数据质量，那么当用户发现 GIS 的结论与实际的地理状况相差较大时，GIS 会失去信誉。

§ 3.2 空间数据的地理参照系和控制基础

目前，世界各国、各地区已建立了各种规模和类型的 GIS，这些系统为经济、国防等各个领域的科学决策提供了依据，发挥了重要的作用。但是不论每个应用型的 GIS 的服务目的是什么，每个 GIS 自身的数据必须是在统一的地理参照系下的数据，也就是说要有统一的坐标系和高程系。

§ 3.2.1、空间数据的地理参照系

一、地球的形状

地球近似球体，其表面高低不平，极其复杂。

假想将静止的平均海水面延伸到大陆内部，可以形成一个连续不断的、与地球比较接近的形体。把该形体视为地球的形体，其表面就称之为大地水准面。

但是，由于地球内部物质分布不均匀和地面高低起伏不平，使各处的重力方向发生局部变异，处处与重力方向垂直的大地水准面显然不可能是一个十分规则的表面，且不能用简单的数学公式来表达，因此，大地水准面不能作为测量成果的计算面。

为了测量成果计算的需要，选用一个同大地体相近的、可以用数学方法来表达的旋转椭球来代替地球，且这个旋转椭球是由一个椭圆绕其短轴旋转而成的。

凡是与局部地区(一个或几个国家)的大地水准面符合得最好的旋转椭球，称为参考椭球。经过长期的观测、分析和计算，世界上许多学者和机构算出了参考椭球的长短半径的数值。

我国 1952 年前采用的海福特椭球，1953 年起改用克拉索夫斯基椭球，1978 年后开始采用 1975 年国际椭球，并以此建立了我国新的、独立的大地坐标系。

二、坐标系

坐标系——确定地面点或空间目标位置所采用的参考系。与测量相关的主要有地理坐标系和平面坐标系。

(1)、地理坐标系

地理坐标系——用经纬度来表示地面点的位置。地面上任一点 M 的位置可由经度 λ 和纬度 ϕ 来决定，记为 $M(\lambda, \phi)$ 。

经纬度具有深刻的地理意义，它标示物体在地面上的位置，显示其地理方位（经线与南北相应，纬线与东西相应），表示时差，此外，经纬线还标示许多地理现象所处的地理带，如气候、土壤等部门都要利用经纬度来推断地理规律。

经纬度的测定方法主要有两种，即天文测量和大地测量。

以大地水准面和铅垂线为依据，用天文测量的方法，可获得地面点的天文经纬度。测有天文经纬度坐标 (λ, φ) 的地面点，称为天文点。

以旋转椭球和法线为基准，用大地测量的方法，根据大地原点和大地基准数据，由大地控制网逐点推算各控制点的坐标 (L, B) ，称为大地经纬度。

解放前，我国实际上没有统一的大地坐标系。解放初期从原苏联 1942 年坐标系经联测和平差计算引伸到我国，建立了 1954 年北京坐标系。该坐标系的椭球面与我国大地水准面不能很好地符合，产生的误差较大，不能满足我国空间技术、国防尖端技术、经济建设的要求。

我国在积累了 30 年测绘资料的基础上，通过全国天文大地网整体平差建立了我国的大地坐标系。该坐标系采用 1975 年国际椭球参数，国家大地原点设在陕西省。该系统坐标统一、精度优良，可直接满足 1:5000 甚至更大比例尺测图的需要。我国已开始用该 80 年坐标系，取代了 1954 年北京坐标系。

(2)、平面坐标系

将椭球面上的点通过投影的方法投影到平面上时，通常使用平面坐标系。平面坐标系分为平面极坐标系和平面直角坐标系。

平面极坐标系采用极坐标法，即用某点至极点的距离和方向来表示该点的位置的方法，来表示地面点的坐标。主要用于地图投影理论的研究。

平面直角坐标采用直角坐标(笛卡尔坐标)来确定地面点的平面位置。可以通过投影将地理坐标转换成平面坐标。

三、高程系

高程——由高程基准面起算的地面点的高度。

而高程基准面是根据多年观测的平均海水面来确定的。也就是说，高程(也称海拔高程、绝对高程)是指地面点至平均海水平的垂直高度。

地面点之间的高程差，称为相对高程，简称高差。

由于不同地点的验潮站所得的平均海平面之间存在着差异，所以，选用不同的基准面就有不同的高程系统。

一个国家一般只能采用一个平均海水面作为统一的高程基准面。我国的高程基准原来采用“1956年黄海高程系”，由于观测数据的积累，黄海平均海水面发生了微小的变化，因此启用了新的高程系，即“1985年国家高程基准”。

在采用新的高程基准后，对已有地图的等高线高程的影响可忽略不计。

§ 3.2.2、地图投影

一、地图投影的实质

不规则的地球表面可以用地球椭球面来替代，地球椭球面是不可展曲面，而地图是一个平面，将地球椭球面上的点映射到平面上来的方法，称为地图投影。

对于较小区域范围，可以视地表为平面，这样就可以认为投影没有变形。但对于大区域范围，甚至是半球、全球，这种投影方法就不太适合了。这时，可以考虑另外的投影方法，例如，可以假设地球按比例尺缩小成一个透明的地球仪那样的球体，在其球心、球面或球外安放一个发光点，将地球仪上经纬线(连同控制点及地形、地物图形)投影到球外的一个平面上，即成为地图。图3—1是将地球表面投影在平面上的透视投影示意图。

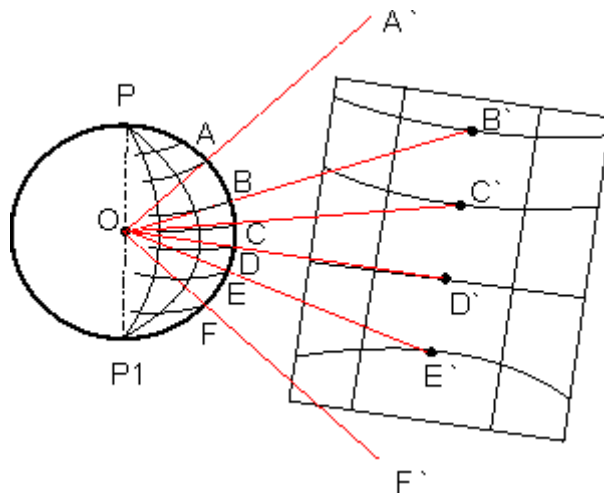


图3—1 透视投影示意图

实际上这种直观的透视投影方法亦有很大的局限性，例如，只能对一局部地区进行投影，且变形有时较大，同时往往不能将全球投影下来，多数情况下不可能用这种几何作图的方法来实现。科学的投影方法是建立地球椭球面上的经纬线网与平面上相应的经纬线网相对应的基础上的，其实质就是建立地球椭球面上点的坐标 (λ, ϕ) 与平面上对应的坐标 (x, y) 之间的函数关系，用数学表达式表示为：

$$x = f_1(\lambda, \varphi)$$

$$y = f_2(\lambda, \varphi)$$

这是地图投影的一般方程式。当给定不同的具体条件时，就可得到不同种类的投影公式。

二、投影变形

由于要将不可展的地球椭球面展开成平面，且不能有断裂，那么图形必将在某些地方被拉伸，某些地方被压缩，因而投影变形是不可避免的。

投影变形通常包括三种，即长度变形、角度变形和面积变形。

长度变形(v_μ)是长度比与 1 之差值，即

$$v_\mu = \mu - 1$$

而长度比(μ)则是指地面上微分线段投影后长度 ds' 与其固有长度 ds 之比。即

$$\mu = \frac{ds'}{ds}$$

长度比是一个变量，不仅随点位不同而变化，而且在同一点上随方向不同也有大小的差异。

角度变形是指实际地面上的角度(α)和投影后角度(α')的差值，即

$$\alpha - \alpha'$$

角度变形可以在许多地图中均可清晰地看到。本来经纬线在实地上是成直角相交的，但经过投影之后，很多情况下经纬线变成了非直角相交的图形。

面积变形(v_p)系指面积比 P 与 1 之差，即

$$v_p = P - 1$$

上式中 P 是面积比，是地球表面上微分面积投影后的大小 dF' 与其固有面积 dF 之比值，即

$$P=dF'/dF$$

面积比也是一个变量，它随点位不同而变化，因此，面积变形亦在许多投影中经常出现。

三、投影的分类

(1)、按投影变形性质分类

根据地图投影中可能引入的变形的性质，可以分为等角投影、等面积投影和任意投影三种。

等角投影保证了投影后任意点的由任意两条微分线段构成的角度不产生变形，这种投影可以使得投影前后的形状保持不变，因而也称之为正形投影。

等面积投影保证了投影前后面积保持不变，对微分面积如此，对整个区域的较大面积亦如此。

任意投影在投影后既不保持角度不变，又不保持面积不变，它同时存在着长度、角度和面积的变形。在任意投影中，如果存在某一方向上长度不变时，我们将之称为等距离投影。

等角与等面积是相互抵触的，也就是说等角是以牺牲等面积为代价的；同样等面积也是以牺牲等角为前提的；任意投影虽然存在着各种变形，但各种变形比较均衡。

(2)、根据投影面及其位置分类

在地图投影中，我们首先将不可展的地球椭球面投影到一个可展曲面上，然后将该曲面展开成为一个平面，得到我们所需要的投影。通常采用的这个可展曲面有圆锥面、圆柱面、平面(曲率为零的曲面)，相应地可以得到圆锥投影、圆柱投影、方位投影。同时我们还可以由投影面与地球轴向的相对位置区分为正轴投影(投影面的中心轴与地轴重合)、斜轴投影(投影面的中心轴与地轴斜向相交)、横轴投影(投影面中心轴与地轴相互垂直)。各种投影都具有一定的局限性，一般地说，距投影面越近，变形就越小。为了控制投影的变形分布，我们可以调整投影面与椭球体面的相交位置，根据这个相交位置，又可以进一步得到各种投影相应的切投影(投影面与椭球体相切)和割投影(投影面与椭球体相割)。对这一体系的分类可以用图 3—2 给出，其中 1、5、9 表示的是 3 种割投影。

此外，尚有的方位、伪圆锥、伪圆柱等许多类型的投影，此处从略。



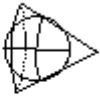

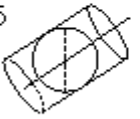
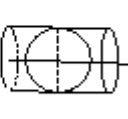
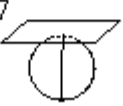
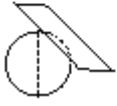

	正 轴	斜 轴	横 轴
圆 锥	1 	2 	3 
圆 柱	4 	5 	6 
方 位	7 	8 	9 

图 3-2 常用投影示意图

四、GIS 中的地图投影

GIS 所存贮记录、管理分析、显示应用的内容是地理信息，而地理信息的描述必须要有指定的地理参照系，且地理位置应以地理坐标或平面坐标的方式表示出来。

地图不仅是 GIS 的重要数据源，而且是表示地理信息的最佳媒介。也就是说，在 GIS 中，地理信息基本上都是以地图的方式显示给用户的，用户也是在地图上进行空间信息的查询的，GIS 空间分析的结果也是以地图的形式显示出来的，GIS 输出的成果中大部分是地图，等等。

由于 GIS 大多是以地图的方式来显示地理信息的，而地图是平面，地理信息则是在地球椭球面上的，因此，地图投影在 GIS 中是不可缺少的。

例如，当 GIS 的地理数据库中的地理数据是以地理坐标(即经纬度)来存贮时，对于输入的以地图为数据源的空间数据必须通过投影变换来转换成地理坐标，然后才能装入到 GIS 的地理数据库中，而当需要显示或输出地图时，则必须将地理数据库中的地理坐标表示的空间数据通过投影变换成指定投影的平面坐标。

在 GIS 中，地理数据的显示往往可以根据用户的需要，指定各种投影。但当所显示的地图与国家基本地图系列的比例尺一致时，往往采用与国家基本系列地图所用的投影。我国常用的地图投影的情况为：

(1)、我国基本比例尺地形图(1: 100 万、1: 50 万、1: 25 万、1: 10 万、1: 5 万、1: 2.5 万、1: 1 万、1: 5000)除 1: 100 万外均采用高斯—克吕格投影为地理基础；

(2)、我国 1: 100 万地形图采用了 Lambert 投影，其分幅原则与国际地理学会规定的全球统一使用的国际百万分之一地图投影保持一致。

(3)、我国大部分省区图以及大多数这一比例尺的地图也多采用 Lambert 投影和属于同一投影系统的 Albers 投影(正轴等面积割圆锥投影)；

(4)、Lambert 投影中，地球表面上两点间的最短距离(即大圆航线)表现为近于直线，这有利于地理信息系统中空间分析量度的正确实施。

因此，下面把这两种常用的投影作一简要介绍。

五、高斯—克吕格投影

高斯—克吕格投影是一种横轴等角切椭圆柱投影。它是将一椭圆柱横切于地球椭球体上，该椭圆柱面与椭球体表面的切线为一经线，投影中将其称为中央经线，然后根据一定的约束条件即投影条件，将中央经线两侧规定范围内的点投影到椭圆柱面上，从而得到点的高斯投影(图 3—3)。

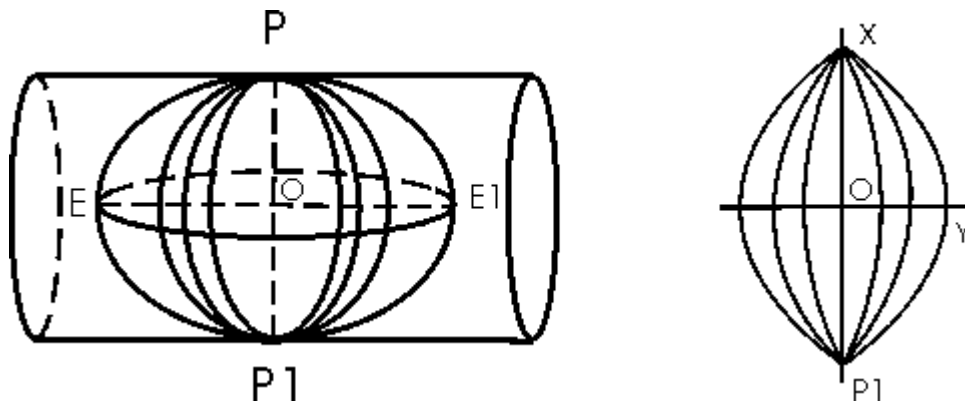


图 3—3 高斯投影

高斯投影的条件为：

- (1)中央经线和地球赤道投影成为直线且为投影的对称轴；
- (2)等角投影；
- (3)中央经线上没有长度变形。

根据高斯投影的条件推导出的高斯—克吕格投影的计算公式为：

$$\begin{cases} X = S + \frac{\lambda^2 N}{2} \sin \varphi \cos \varphi + \frac{\lambda^2 N}{24} \sin \varphi \cos^3 \varphi (5 - \operatorname{tg}^2 \varphi + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \dots \\ Y = \lambda N \cos \varphi + \frac{\lambda^3 N}{6} \cos^3 \varphi (1 - \operatorname{tg}^2 \varphi + \eta^2) + \frac{\lambda^5 N}{120} \cos^5 \varphi (5 - 18\operatorname{tg}^2 \varphi + \operatorname{tg}^4 \varphi) + \dots \end{cases}$$

式中：X、Y 为点的平面直角坐标系的纵、横坐标；

ϕ 、 λ 为点的地理坐标，以弧度计， λ 从中央经线起算；

S 为由赤道至纬度 ϕ 处的子午线弧长；

N 为纬度 ϕ 处的卯酉圈曲率半径；

其中 η 为地球的第二偏心率，a、b 则分别为地球椭球体的长短半轴。

$$\eta^2 = e'^2 \cos^2 \phi$$

$$e'^2 = (a^2 - b^2) / b^2$$

高斯投影由于是等角投影，故没有角度变形，其沿任意方向的长度比都相等，其面积变形是长度的两倍。对高斯—克吕格投影长度变形的研究可以依下述长度比表达式进行：

$$\mu = 1 + \frac{1}{2} \cos^2 \phi (1 + \eta^2) \lambda^2 + \frac{1}{6} \cos^4 \phi (2 - \operatorname{tg}^2 \phi) \lambda^4 - \frac{1}{8} \cos^4 \phi \lambda^4 + \dots$$

由该长度比公式可以分析出高斯投影变形具有以下特点：

- (1) 中央经线上无变形；
- (2) 同一条纬线上，离中央经线越远，变形越大；
- (3) 同一条经线上，纬度越低，变形越大；

由此可见，高斯投影的最大变形处为各投影带在赤道边缘处，为了控制变形，我国地形图采用分带方法，即将地球按一定间隔的经差 (6° 或 3°) 划分为若干相互不重叠的投影带，各带分别投影。1: 2.5 万至 1: 50 万的地形图均采用 6° 分带方案，即从格林尼治零度经线起算，每 6° 为一个投影带，全球共分为 60 个投影带。我国领土位于东经 72° 到 136° 之间，共包括 11 个投影带 (13 带~22 带)。1: 1 万及更大比例尺地形图采用 3° 分带方案，全球共分为 120 个投影带。图 3—4 给出了高斯投影的 6° 带和 3° 带分带方案。

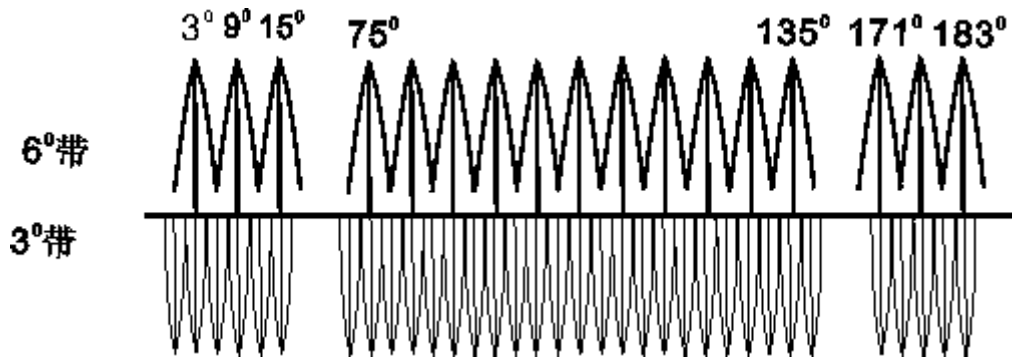


图 3—4 高斯—克吕格投影 3°带与 6°大分带示意图

为了制作地图和使用地图的方便，通常在地图上都绘有一种或两种坐标网，即经纬线网和方里网。

经纬线网——即指由经线和纬线所构成的坐标网，又称地理坐标网。

在 1: 1 万——1: 20 万比例尺的地形图上，经纬线只以图廓线的形式直接表现出来，并在图角处注出相应度数。为了在用图时加密成网，在内外图廓间还绘有加密经纬网的加密分划短线(图式中称“分度带”)，必要时对应短线相连就可以构成加密的经纬线网。1: 25 万地形图上，除内图廓上绘有经纬网的加密分划外，图内还有加密用的十字线。

我国的 1: 50 万——1: 100 万地形图，在图面上直接绘出经纬线网，内图廓上也有供加密经纬线网的加密分划短线。

方里网——是由平行于投影坐标轴的两组平行线所构成的方格网。因为是每隔整公里绘出坐标纵线和坐标横线，所以称之为方里网，由于方里线同时又是平行于直角坐标轴的坐标网线，故又称直角坐标网。

直角坐标网的坐标系以中央经线投影后的直线为 X 轴，以赤道投影后的直线为 Y 轴，它们的交点为坐标原点。这样，坐标系中就出现了四个象限。纵坐标从赤道算起向北为正、向南为负；横坐标从中央经线算起，向东为正、向西为负。

我国位于北半球，全部 X 值都是正值。在每个投影带中则有一半的 Y 坐标值为负。为了避免 Y 坐标出现负值，规定纵坐标轴向西平移 500km(半个投影带的最大宽度不超过 500km)。这样，全部坐标值都表现为正值了。

六、正等角圆锥投影

这种投影，是假想圆锥轴和地球椭球体旋转轴重合并套在椭球体上，圆锥面与地球椭球面相割，将经纬网投影于圆锥面上展开而成。其经线表现为辐射的直线束，纬线投影成同心圆弧(图 3—5)。

圆锥面与椭球面相割的两条纬线圈，称之为标准纬线(ϕ_1, ϕ_2)。采用双标准纬线的相割比采用单标准纬线的相切，其投影变形小而均匀。

投影变形的分布规律是：

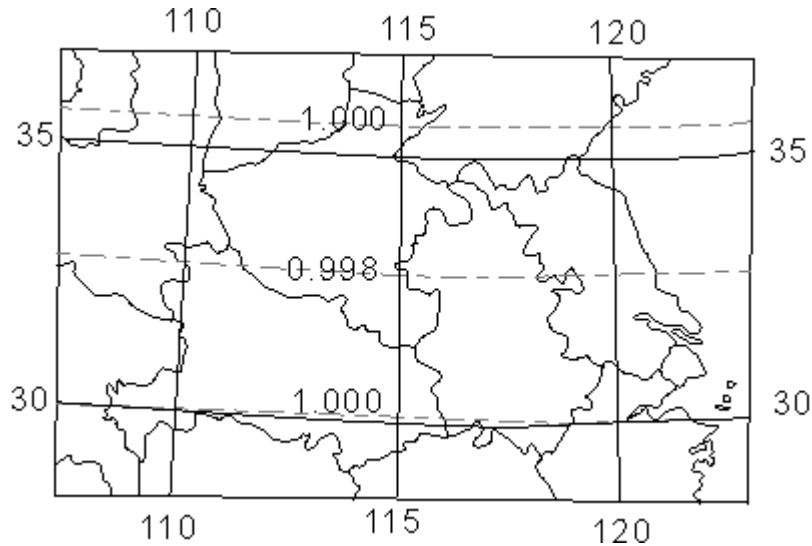


图 3—5 正等角割圆锥投影及其经纬线图形

- (1) 角度没有变形，即投影前后对应的微分面保持图形相似，故亦可称为正形投影；
- (2) 等变形线和纬线一致，同一条纬线上的变形处处相等；
- (3) 两条标准纬线上没有任何变形；
- (4) 在同一经线上，两标准纬线外侧为正变形(长度比大于 1)，而两标准纬线之间为负变形(长度比小于 1)，因此，变形比较均匀，绝对值也较小；
- (5) 同一纬线上等经差的线段长度相等，两条纬线间的经线线段长度处处相等

§ 3.3 地理实体数据的编码

§ 3.3.1、地理实体的分类

一、 地理实体与地理目标的类型

(1)、地理实体

GIS 的地理数据库是地理实体的集合，是一种与现实的地理世界保持一定相似性的实体模型。

地理实体——地理数据库中的实体，是一种在现实世界中不能再划分为同类现象的现象。例如城市可看成一个地理实体，并可划分成若干部分，但这些部分不叫城市，只能称为区、街道之类。

地理目标——实体在地理数据库中的表示。地理目标的表示方法随比例尺、目的等情况的变化而变化，例如，对于城市这个地理实体，在小比例尺上可作为一个点目标，而在大比例尺上将作为一个面目标。地理目标在地图上是以地图符号的形式来表示的。

(2)、地理实体的类型

以相同的方式表示和存储的一组类似的地理实体，可以作为地理实体的一种类型。

地理实体通常分为点状实体、线状实体、面状实体和体状实体，复杂的地理实体由这些类型的实体构成。

1°、点状实体

点状实体是指只有特定的位置，而没有长度的实体。如：

- 实体点——用于代表一个实体；
- 注记点——用于定位注记；
- 内点——用于负载相应多边形的属性；
- 结点——表示线的终点和起点；
- 节点——线或弧段的内部点。

2°、线状实体

线状实体是指有长度的实体，如线段、边界、链、网络等，并且有如下特性：

- 长度——从起点到终点的总长；
- 曲率——用于表示线状实体的弯曲程度，如道路拐弯处；
- 方向——如水流的方向等。

3°、面状实体

面状实体也称多边形、区域等，是对湖泊、岛屿、地块等一类现象的描述，通常有如下空间特征：

- 面积——面状实体所占有的范围的大小；
- 周长——面状实体所占有区域的周长；
- 独立或相邻——是独立存在，还是与其它面状实体相邻；
- 岛或洞——面状实体中是否有岛或洞；
- 重叠——面状实体之间是否有重叠。

4°、体状实体

体状实体用于描述三维空间中的现象与物体，它具有长度、宽度及高度等属性，通常有如下空间特征：

- 体积
- 岛或洞
- 表面积

(3)、地理目标的类型

地理目标是地理实体在计算机系统内的表示，它需要选择合适的类型，而地理目标的类型可按空间维来定义。

0 维——有位置无长度的目标，如点。

1 维——有长度的目标，一般由两个或多个 0 维目标组成，如线。

2 维——有长和宽的目标，如多边形。

3 维——有长、宽和高的目标，如三维立体。

因此，地理实体可以根据地理目标的类型分为点、线、面、体 4 种类型。

(4)、地理实体的描述

通常需要从如下方面对地理实体进行描述：

编码——用于区别不同的实体，有时同一个实体在不同的时间具有不同的编码，如上行和下行的火车。编码通常包括分类码和识别码。分类码标识实体所属的类别，识别码对每个实体进行标识，是唯一的，用于区别不同的实体。

位置——通常用坐标值的形式(或其它方式)给出实体的空间位置。

类型——指明该地理实体属于哪一种实体类型，或由哪些实体类型组成。

行为——指明该地理实体可以具有哪些行为和功能。

属性——指明该地理实体所对应的非空间信息，如道路的宽度、路面质量、车流量、交通规则等。

说明——用于说明实体数据的来源、质量等相关的信息。

关系——与其它实体的关系信息。

(5)、地理实体时间维的描述

如果只是地理实体的属性数据在变化，那么，可以把不同时间的属性数据均记录下来，作为该地理实体的属性数据。例如在处理统计区域的人口数时，区域的空间位置不变，只要把新的人口数及对应的时间加入到属性数据表中即可。

当地理实体的空间位置随时间变化时，如政区界线的变化、地块的合并与重新划分等，这时必须把地理实体的空间特征的变化也记录下来，如记录实体的增加、删除、改变、移动、合并等，同时对实体进行时间标记。

二、几何数据的分类

在 GIS 中，人们通常把地理实体分为矢量数据和栅格数据两种类型。这实际上是根据几何数据在计算机中存储、管理、处理的逻辑结构，即数据结构来分类的。所以，严格地讲，应该是说，几何数据可以分为矢量数据和栅格数据两种类型。由于 GIS 中几何数据是空间数据的主导因素，空间数据又是整个地理数据的主导因素，前者的数据类型、形式往往决定了后者的类型和形式。例如：矢量数据用 X, Y 坐标对表示，拓扑关系必须用显式的拓扑数据码来表示，而属性数据则用多元组数据表示；栅格数据则是一规则像元阵列，阵列中每个数据表示实体属性及位置，拓扑关系一般毋须表示已全蕴含在几何数据之中，属性数据若复杂用多元组，若简单就是像元值或码。因此，几何数据的类型决定了地理数据的结构类型，也决定了一系列相应存储、管理、处理、分析等方法类型。

三、地理目标的分层

地理目标可按某种属性特征形成一个数据层，通常称为图层。图层是描述某一地理区域的某一（有时也可以是多个）属性特征的数据集。因此，某一区域的地理目标可以看成是若干图层的集合。

原则上讲图层的数量是无限制的，但实际上要受 GIS 数据结构、计算机存储空间等的限制。通常按以下方法对地理目标进行分层：

(1)、按专题分层

每个图层对应一个专题，包含某一种或某一类数据。如地貌层、水系层、道路层、居民地层等。对于不同的研究目的，地理目标可以根据不同的专题分成不同的数据层。

(2)、按时间序列分层

即把不同时间或不同时期的数据分别构成各个数据层。

地理目标分层的目的是为了便于空间数据的管理、查询、显示、分析等。当地理目标分为若干数据层后，对所有地理目标的管理就简化为对各数据层的管理，而一个数据层的数据结构往往比较单一，数据量也相对较小，管理起来就相对简单；而对分层的地理目标数据进行查询时，不需要对所有数据进行查询，只需要对某一层数据进行查询即可，因而可加快查询速度；分层后的数据由于任意选择需要显示的图层，因而增加了图形显示的灵活性；对不同数据层进行叠加，可进行各种目的的空间分析。

§ 3.3.2、地理实体的编码

在这里，地理实体数据的编码指的是地理实体中属性数据的编码。

一、属性数据的含义

属性数据是描述实体数据的属性特征的数据。例如，道路可以数字化为栅格表示的一组连续的象元或矢量表示的线，而道路的属性数据是指道路的宽度、等级、表面类型、建筑方法、建筑日期、特殊的交通规则、车流量等等。这些数据可以存储在数据库中，通过唯一的标识符与相应的几何数据联系起来。

当属性数据的数据量较大时，通常与几何数据分开输入。首先将属性数据输入到一个文件，经编辑、检查无误后存入数据库。

在属性数据中，有一部分是与几何数据的表示密切有关的，例如，道路的等级、类型等，决定着道路符号的形状、色彩、尺寸等。在GIS中，通常把这部分属性数据用编码的形式表示，并与几何数据一起管理起来。编码的过程是将信息转换成数据的过程，前提是首先要对需表示的信息进行分类分级。

二、属性数据的分类分级

(1) 分类的基本原则

分类是将具有共同的属性或特征的事物或现象归并在一起，而把不同属性或特征的事物或现象分开的过程。

分类是人类思维所固有的一种活动，是认识事物的一种方法。分类的基本原则是：

- 1°、科学性：选择事物或现象最稳定的属性和特征作为分类的依据。
- 2°、系统性：应形成一个分类体系，低级的类应能归并到高级的类中。
- 3°、可扩性：应能容纳新增加的事物和现象，而不致于打乱已建立的分类系统。
- 4°、实用性：应考虑对信息分类所依据的属性或特征的获取方式和获取能力。
- 5°、兼容性：应与有关的标准协调一致。

(2) 分类的基本方法

1°、线分类法

线分类法又称层级分类法。它是将初始的分类对象按所选定的若干个属性或特征依次分成若干个层级目录，并编排成一个有层次的、逐级展开的分类体系。其中同层级类目之间存在并列关系，不同层级类目之间存在隶属关系，同层类目互不重复、互不交叉。

线分类法的优点是容量较大，层次性好，使用方便；缺点是分类结构一经确定，不易改动，当分类层次较多时，代码位数较长。

2°、面分类法

面分类法是将给定的分类对象按选定的若干个属性或特征分成彼此互不依赖、互不相干的若干方面(简称面)，每个面中又可分成许多彼此独立的若干个类目。使用时，可根据需要将这些面中的类目组合在一起，形成复合类目。

面分类法的优点是具有较大的弹性，一个面内类目的改变，不会影响其它面，且适应性强，易于添加和修改类目；缺点是不能充分利用容量。

(3) 分级的基本原则

分级是对事物或现象的数量或特征进行等级的划分，主要包括确定分级数和分级界线。

1°、确定分级数的基本原则

- 分级数应符合数值估计精度的要求。分级数多，数值估计的精度就高。
- 分级数应顾及可视化的效果。等级的划分在 GIS 中要以图形的方式表示出来，根据人对符号等级的感受，分级数应在 4~7 级。
- 分级数应符合数据的分布特征。对于呈明显聚群分布的数据，应以数据的聚群数作为分级数。

- 在满足精度的前提下，应尽可能选择较少的分级数。

2°、确定分级界线的基本原则

- 保持数据的分布特征。使级内差异尽可能小，各级代表值之间的差异应尽可能大。
- 在任何一个等级内都必须有数据，任何数据都必须落在某一个等级内。
- 尽可能采用有规则变化的分级界线。
- 分级界线应当凑整。

(4) 分级的基本方法

在分级时大多采用数学方法，如数列分级、最优分割分级等。对于有统一的标准分级方法时，应采用标准的分级方法，如按人口数把城市分为特大城市、大城市、中等城市、小城市等。也可以定性地分级，如国家、省、市、县、镇等。

三、属性数据的编码

属性数据的编码是指确定属性数据的代码的方法和过程。代码是一个或一组有序的易于被计算机或人识别与处理的符号，是计算机鉴别和查找信息的主要依据和手段。编码的直接产物就是代码，而分类分级则是编码的基础。

(1) 代码的功能

- 1°、鉴别——代码代表对象的名称，是鉴别对象的唯一标识。
- 2°、分类——当按对象的属性分类，并分别赋予不同的类别代码时，代码又可作为区分分类对象类别的标识。
- 3°、排序——当按对象产生的时间、所占的空间或其它方面的顺序关系排列，并分别赋予不同的代码时，代码又可作为区别对象排序的标识。

(2) 编码的基本原则

- 1°、唯一性——一个代码只唯一地表示一类对象。
- 2°、合理性——代码结构要与分类体系相适应。
- 3°、可扩性——必须留有足够的备用代码，以适应扩充的需要。
- 4°、简单性——结构应尽量简单，长度应尽量短。
- 5°、适用性——代码应尽可能反映对象的特点，以助记忆。

6°、规范性——代码的结构、类型、编写格式必须统一。

(3) 代码的类型

代码的类型是指代码符号的表示形式，有数字型、字母型、数字和字母混合型三类。

数字型代码——用一个或若干个阿拉伯数字表示对象的代码。特点是结构简单、使用方便、易于排序，但对对象的特征描述不直观。

字母型代码——用一个或若干个字母表示对象的代码。特点是比同样位数的数字型代码容量大，还可提供便于识别的信息，易于记忆，但比同样位数的数字型代码占用更多的计算机空间。

数字、字母混合型代码——是由数字、字母、专用符组成的代码。兼有数字型和字母型的优点，结构严密，直观性好，但组成形式复杂，处理麻烦。

(4) GIS 中代码的种类

GIS 中的代码可以分为两种，一种是分类码，另一种是标识码。

分类码——是根据地理信息分类体系设计出的各专业信息的分类代码，用以标识不同类别的数据，根据它可以从数据中查询出所需类别的全部数据。

标识码(亦称识别码)——是在分类码的基础上，对每类数据设计出其全部或主要实体的识别代码，用以对某一类数据中的某个实体，如一个居民地、一条河流、一条道路等进行个体查询检索，从而弥补分类码不能进行个体分离的缺陷。标识码是联系实体的几何信息和属性信息的关键字。

(5) 编码方法举例

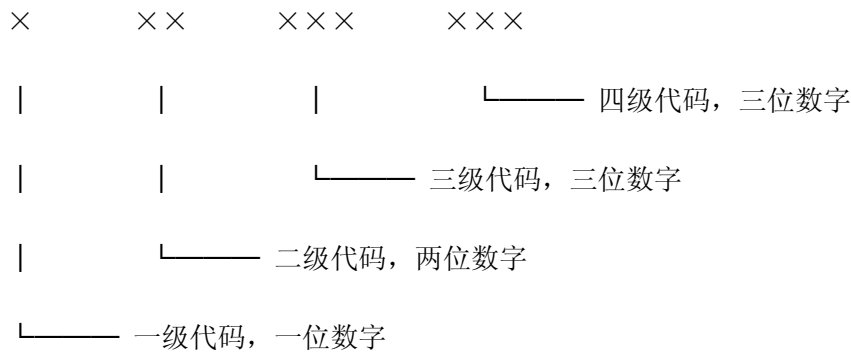
1°、行政区划代码(GB—2260—91)

这是一种识别码，用 6 位数字代码按层次分别表示省(自治区、直辖市)、地区(市、州、盟)、县(区、市、旗)的名称。其第一、二位表示省(自治区、直辖市)；第三、四位表示省直辖市(地区、州、盟)，其中 01~20, 51~70 表示省直辖市，21~50 表示地区、州、盟；第五、六位表示县(市辖市、地辖市、县级市、旗)，其中 01~18 表示市辖区或地辖市，21~80 表示县、旗，81~99 表示县级市。

例如、郑州市的代码为 410100

2°、加拿大数字地形要素分类编码系统

这是一种分类码，且是一种数字字母混合型代码。采用树型结构将地形要素分为四级，其代码结构为：



§ 3.4 空间数据的采集

GIS 的核心是地理数据库，所以，建立 GIS 的第一步就是将空间实体的几何数据和属性数据输入到地理数据库中，这就是 GIS 的数据采集。

GIS 需要输入两方面的数据，即几何数据与属性数据至于拓扑数据一般在已有的几何数据基础上，可按需要“挖掘”而成。为此需进行三方面的工作，即

- (1)几何数据的采集
- (2)属性数据的采集
- (3)几何数据与属性数据的连接

§ 3.4.1、几何数据的采集

在 GIS 的几何数据采集，如果几何数据已存在于其它的 GIS 或专题数据库中，那么只要经过转换装载即可；对于由测量仪器获取的几何数据，只要把测量仪器的数据传输进入数据库即可，测量仪器如何获取数据的方法和过程通常是与 GIS 无关的。

对于栅格数据的获取，GIS 主要涉及使用扫描仪等设备对图件的扫描数字化，这部分的功能也较简单。因为通过扫描获取的数据是标准格式的图像文件，大多可直接进入 GIS 的地理数据库。

从遥感影像上直接提取专题信息，需要使用几何纠正、光谱纠正、影像增强、图像变换、结构信息提取、影像分类等技术，主要属于遥感图像处理的内容。

因此，以下主要介绍 GIS 中矢量数据的采集。GIS 中矢量数据的采集主要包括地图跟踪数字化与地图扫描数字化。

一、地图跟踪数字化

跟踪数字化是目前应用最广泛的一种地图数字化方式，是通过记录数字化板上点的平面坐标来获取矢量数据的。其基本过程是：将需数字化的图件(地图、航片等)固定在数字化板上，然后设定数字化范围、输入有关参数、设置特征码清单、选择数字化方式(点方式和流方式等)，就可以按地图要素的类别分别实施图形数字化了。

由于跟踪数字化本身几乎不需要 GIS 的其它计算功能，所以跟踪数字化软件往往可以与整个 GIS 系统脱离开，因而可单独使用。

地图跟踪数字化时数据的可靠性主要取决于操作员的技术熟练程度，操作员的情绪会严重影响数据的质量。操作员的经验和技能主要表现在能选择最佳点位来数字化地图上的点、线、面要素，判断十字丝与目标重合的程度等能力。为了保持一致的精度，每天的数字化工作时间最好不要超过 6 小时。

GIS 中的地图跟踪数字化软件为了获取矢量数据应具有下列基本功能：

1°、图幅信息录入和管理功能

即对所需数字化的地图的比例尺、图幅号、成图时间、坐标系统、投影等信息进行录入和管理。这是所采集的矢量数据的数据质量的基本依据。

2°、特征码清单设置

特征码清单是指安放在数字化仪台面或屏幕上的由图例符号构成的格网状清单，每种类型的符号占居清单中的一格。在数字化时只要点中特征码清单区的符号所在的网格，就可知道所数字化要素的编码，以方便属性码的输入。地图跟踪数字化软件应能使用户方便地按自己的意愿设置和定义特征码清单。

3°、数字化键值设置

即设置数字化标识器上各按键的功能，以符合用户的习惯。

4°、数字化参数定义

主要是指系统应能选定不同类型的数字化仪，并确定数字化仪与主机的通讯接口。

5°、数字化方式的选择

主要是指选择点方式还是流方式等进行数字化。

6°、控制点输入功能

应能提示用户输入控制点坐标，以便于进行随后的几何纠正。

二、地图扫描数字化

扫描数字化是目前较为先进的地图数字化方式，也是今后的发展方向，但要实现完全自动化还要做大量艰巨的努力，目前所能提供的扫描数字化软件是半自动化的，还需做相当的人机交互工作。地图扫描数字化的基本思想是：首先通过扫描将地图转换为栅格数据，然后采用栅格数据矢量化技术追踪出线的面，采用模式识别技术识别出点和注记，并根据地图内容和地图符号的关系，自动给矢量数据赋属性值。

根据目前的技术水平，首先要对所扫描的彩色地图进行分版处理，通常分为黑版要素、水系版要素、植被要素和地貌要素，也可以直接对分版图进行扫描，然后由软件进行二值化，去噪音等处理，经常需要进行一些编辑，以保证自动跟踪和识别的进行；在软件自动进行跟踪和识别时，仍需要进行部分的人机交互，如处理断线、确定属性值等，有时甚至要人工在屏幕上进行数字化。

与地图跟踪数字化相比，地图扫描数字化具有速度快、精度高、自动化程度高等优点，正在成为 GIS 中最主要的地图数字化方式。

地图扫描数字化的自动化程度高，但必须具有一些对扫描后的地图数据的预处理能力，同时，由于其最后结果同地图跟踪数字化的结果是相同的，因而还必须具有地图跟踪数字化所具有的一些功能。因此，其基本功能可描述为：

1°、地图扫描输入功能

即能使用各种扫描仪把地图扫描数字化为栅格数据。

2°、图像格式转换和图像编辑功能

能接受不同格式的栅格数据，并具有基本的图像编辑功能。

3°、彩色地图图像数据的分版功能

能够将所扫描的彩色地图图像分成不同要素版的图像数据，以便于跟踪和识别。

4°、线状要素的矢量化功能

能够对线状要素进行细化、断线修复、跟踪，也即具有自动提取线状要素中心线的功能。由于目前的自动化程度还不够高，经常需要进行人机交互，诸如在多条线的交叉点找到粘连及断开处，原实体连续担图形中断处（桥下河，桥中路……），需人机交互指明继续追踪的方向。

5°、点状符号和注记的自动识别功能

应该能对点状符号和注记字进行自动识别，但完全自动化目前仍有困难，因此，有时需要人工在屏幕上进行数字化。

6°、属性编码的自动赋值

应能对已数字化的要素自动根据其符号特征赋以相应的编码(包括等高线的高程)。这方面目前还需要较多的人机交互。

7°、图幅信息录入与管理功能

同地图跟踪数字化一样,地图扫描数字化也需要录入图幅信息,以便于管理和质量控制。

8°、要素编码设置功能

为了能进行属性编码的自动赋值,以及人机交互地进行属性编码赋值,都必须针对不同的要求进行地图要素的编码设置。

9°、控制点输入功能

为了进行数字化后的数据纠正,必须具有控制点输入功能。

§ 3.4.2、属性数据的采集

属性数据在 GIS 中是空间数据的组成部分。例如,道路可以数字化为一组连续的象素或矢量表示的线实体,并可用一定的颜色、符号把 GIS 的空间数据表示出来,这样,道路的类型就可用相应的符号来表示。而道路的属性数据则是指用户还希望知道的道路宽度、表面类型、建筑方法、建筑日期、入口覆盖、水管、电线、特殊交通规则、每小时的车流量等。这些数据都与道路这一空间实体相关。这些属性数据可以通过给予一个公共标识符与空间实体联系起来。

属性数据的录入主要采用键盘输入的方法,有时也可以辅助于字符识别软件。

当属性数据的数据量较小时,可以在输入几何数据的同时,用键盘输入;但当数据量较大时,一般与几何数据分别输入,并检查无误后转入到数据库中。

为了把空间实体的几何数据与属性数据联系起来,必须在几何数据与属性数据之间有一公共标识符,标识符可以在输入几何数据或属性数据时手工输入,也可以由系统自动生成(如用顺序号代表标识符)。只有当几何数据与属性数据有一共同的数据项时,才能将几何数据与属性数据自动地连接起来;当几何数据或属性数据没有公共标识码时,只有通过人机交互的方法,如选取一个空间实体,再指定其对应的属性数据表来确定两者之间的关系,同时自动生成公共标识码。

当空间实体的几何数据与属性数据连接起来之后,就可进行各种 GIS 的操作与运算了。当然,不论是在几何数据与属性数据连接之前或之后,GIS 都应提供灵活而方便的手段以对属性数据进行增加、删除、修改等操作。

§ 3.4.3、空间数据的检核

一、空间数据输入的误差

空间数据输入的误差通常可归结为以下几类：

- 1° 、几何数据的不完整或重复。
- 2° 、几何数据的位置不正确。
- 3° 、比例尺不正确。
- 4° 、变形。
- 5° 、几何数据与属性数据的连接有误。
- 6° 、属性数据错误。

二、空间数据的检查

无论是地图跟踪数字化还是地图扫描数字化，都不可能完全正确，因此，必须进行空间数据的检查。常用的空间数据检查方法为：

- 1° 、通过图形实体与其属性的联合显示，发现数字化中的遗漏、重复、不匹配等错误；
- 2° 、在屏幕上用地图要素对应的符号显示数字化的结果，对照原图检查错误；
- 3° 、把数字化的结果绘图输出在透明材料上，然后与原图叠加以发现错漏；
- 4° 、对等高线，通过确定最低和最高等高线的高程及等高距，编制软件来检查高程的赋值是否正确；
- 5° 、对于面状要素，可在建立拓扑关系时，根据多边形是否闭合来检查，或根据多边形与多边形内点的匹配来检查等；
- 6° 、对于属性数据，通常是在屏幕上逐表、逐行检查，也可打印出来检查；
- 7° 、对于属性数据还可编写检核程序，如有无字符代替了数字，数字是否超出了范围，等等；
- 8° 、对于图纸变形引起的误差，应使用几何纠正来进行处理。

三、图形显示和数据处理

为了对 GIS 所输入的数据进行显示和检查，GIS 应提供下列功能：

- 1° 、符号设计与符号库建立功能。为了能以不同符号表示不同类型的矢量数据，必须

具有符号设计与符号库建立功能。如新符号的创建、旧符号的修改等等。

2°、符号设置功能。即为每一类空间数据指定选用的符号，包括符号的形状、色彩、尺寸、图案等。

3°、注记配置功能。注记是地图上不可缺少的重要信息，也是数据检查的重要内容和参照信息。注记应确定其字体、大小、间隔、色彩、排列、旋转等，最重要的确定其定位点。

4°、图形显示功能。应能将所采集的矢量数据，以符号化的方式显示在屏幕上，并能进行放大、缩小、漫游、分层显示等操作。

5°、查询功能。通过查询来发现问题，可以由几何数据查询其属性信息，也可由属性信息查询其空间数据。

6°、绘图输出功能。即通过绘图机把所数字化的地图再以符号化的形式输出，这是数据检查的基本方法。

由数据输入软件获取的图形数据在进入地理数据库之前还需进行一些图形处理，主要包括：

1°、几何纠正。这是为了纠正由纸张变形所引起的数字化数据的误差，直接关系到 GIS 数据的质量。几何纠正要以控制点的理论坐标和数字化坐标为依据来进行，最后应显示平差结果。

2°、投影变换。为了 GIS 地理数据库中空间数据的一致性，须将原图投影下的矢量数据转换为地理坐标或指定投影下的数据。

3°、图形接边。在相邻地图的接合处可能会产生裂隙。包括几何裂隙和属性裂隙。在自动接边无法处理时，需要人机交互进行。

4°、图形编辑功能。矢量数据错漏的纠正很大程度上依赖于强大的图形编辑功能。图形编辑功能应能对点、线、面进行增加、删除、移动、修改(如线的连接、截断、属性编码的修改)等，并应具有良好的人机界面和较快的响应速度。

5°、自动拓扑功能。拓扑关系是强大的查询与分析功能的基础。自动拓扑是在已矢量化的数据的基础上，自动建立起点、线、面的拓扑关系。

§ 3.5 GIS 的数据质量

§ 3.5.1、GIS 的数据质量的内容和类型

一、GIS 数据质量的基本内容

GIS 数据质量包含如下五个方面：

1° 、位置精度：如数学基础、平面精度、高程精度等，用以描述几何数据的质量。

2° 、属性精度：如要素分类的正确性、属性编码的正确性、注记的正确性等，用以反映属性数据的质量。

3° 、逻辑一致性：如多边形的闭合精度、结点匹配精度、拓扑关系的正确性等。

4° 、完备性：如数据分类的完备性、实体类型的完备性、属性数据的完备性、注记的完整性等。

5° 、现势性：如数据的采集时间、数据的更新时间等。

二、空间数据的误差类型

GIS 空间数据的误差可分为源误差和处理误差。

(1) 源误差

源误差是指数据采集和录入中产生的误差，包括：

1° 、遥感数据：摄影平台、传感器的结构及稳定性、分辨率等。

2° 、测量数据：人差(对中误差、读数误差等)、仪差(仪器不完善、缺乏校验、未作改正等)、环境(气候、信号干扰等)。

3° 、属性数据：数据的录入、数据库的操作等。

4° 、GPS 数据：信号的精度、接收机精度、定位方法、处理算法等。

5° 、地图：控制点精度，编绘、清绘、制图综合等的精度。

6° 、地图数字化精度：纸张变形、数字化仪精度、操作员的技能等。

(2) 处理误差

处理误差是指 GIS 对空间数据进行处理时产生的误差，例如在下列处理中产生的误差就是处理误差。

1° 、几何纠正；

2° 、坐标变换；

3° 、几何数据的编辑；

- 4° 、属性数据的编辑;
- 5° 、空间分析(如多边形叠置等);
- 6° 、图形化简(如数据压缩);
- 7° 、数据格式转换;
- 8° 、计算机截断误差;
- 9° 、空间内插;
- 10° 、矢量栅格数据的相互转换。

3、GIS 中的误差传播

误差传播是指对有误差的数据,经过处理生成的 GIS 产品也存在着误差。误差传播在 GIS 中可归结为三种方式。

- 1° 、代数关系下的误差传播: 这是指对有误差的数据进行代数运算后, 所得结果的误差。
- 2° 、逻辑关系下的误差传播: 即指在 GIS 中对数据进行逻辑交、并等运算所引起的误差传播, 如叠置分析时的误差传播。
- 3° 、推理关系下的误差传播: 这是指不精确推理所造成的误差。

§ 3.5.2、研究 GIS 数据质量的方法

一、 GIS 数据质量的评价方法

(1)、直接评价法

1° 用计算机程序自动检测

某些类型的错误可以用计算机软件自动发现, 数据中不符合要求的数据项的百分率或平均质量等级也可由计算机软件算出。例如, 可以检测文件格式是否符合规范、编码是否正确、数据是否超出范围等。

2° 随机抽样检测

在确定抽样方案时, 应考虑数据的空间相关性。

(2)、间接评价法

所谓间接评价法是指通过外部知识或信息进行推理来确定空间数据的质量的方法。用于推理的外部知识或信息如用途、数据历史记录、数据源的质量、数据生产的方法、误差传递模型等。

(3) 非定量描述法

非定量描述法是指通过对数据质量的各组成部分的评价结果进行的综合分析来确定数据的总体质量的方法。

二、研究 GIS 数据质量的常用方法

(1)、敏感度分析法

一般而言，精确确定 GIS 数据的实际误差非常困难。为了从理论上了解输出结果如何随输入数据的变化而变化，可以通过人为地在输入数据中加上扰动值来检验输出结果对这些扰动值的敏感程度。然后根据适合度分析，由置信域来衡量由输入数据的误差所引起的输出数据的变化。

为了确定置信域，需要进行地理敏感度测试，以便发现由输入数据的变化引起输出数据变化的程度，即敏感度。这种研究方法得到的并不是输出结果的真实误差，而是输出结果的变化范围。对于某些难以确定实际误差的情况，这种方法是行之有效的。

在 GIS 中，敏感度检验一般有以下几种：地理敏感度、属性敏感度、面积敏感度、多边形敏感度、增删图层敏感度等。敏感度分析法是一种间接测定 GIS 产品可靠性的方法。

(2)、尺度不变空间分析法

地理数据的分析结果应与所采用的空间坐标系统无关，即为尺度不变空间分析，包括比例不变和平移不变。尺度不变是数理统计中常用的一个准则，一方面在能保证用不同的方法能得到一致的结果，另一方面又可在同一尺度下合理地衡量估值的精度。

也就是说，尺度不变空间分析法使 GIS 的空间分析结果与空间位置的参考系无关，以防止由基准问题而引起分析结果的变化。

(3)、Monte Carlo 实验仿真

由于 GIS 的数据来源繁多，种类复杂，既有描述空间拓扑关系的几何数据，又有描述空间物体内涵的属性数据。对于属性数据的精度往往只能用打分或不肯定度来表示。对于不同的用户，由于专业领域的限制和需要，数据可靠性的评价标准并不相同。因此，想用一个简单的、固定不变的统计模型来描述 GIS 的误差规律似乎是不可能的。在对所研究问题的背景不十分了解的情况下，Monte Carlo 实验仿真是一种有效的方法。

Monte Carlo 实验仿真首先根据经验对数据误差的种类和分布模式进行假设，然后利用计算机进行模拟试验，将所得结果与实际结果进行比较，找出与实际结果最接近的模型。对于某些无法用数学公式描述的过程，用这种方法可以得到实用公式，也可检验理论研究的正确性。

(4)、空间滤波

获取空间数据的方法可能是不同的，既可以采用连续方式采集，也可采用离散方式采集。这些数据采集的过程可以看成是随机采样，其中包含倾向性部分和随机性部分。前者代表所采集物体的实际信息，而后者是由观测噪声引起的。

空间滤波可分为高通滤波和低通滤波。高通滤波是从含有噪声的数据中分离出噪声信息；低通滤波是从含有噪声的数据中提取信号。例如经高通滤波后可得到一随机噪声场，然后用随机过程理论等方法求得数据的误差。

对 GIS 数据质量的研究，传统的概率论和数理统计是其最基本的理论基础，同时还需要信息论、模糊逻辑、人工智能、数学规划、随机过程、分形几何等理论与方法的支持。

§ 3.5.3、数据采集中数据质量的评价

GIS 中数据采集的方法通常可分为直接方法和间接方法两种。直接方法是指直接从野外采集，以获取观测数据、图像等，间接方法是指从已有的图件上进行采集。

直接方法获取的数据受人差、仪差、环境等的影响，但已有传统的方法可以解决。间接方法获取的数据中，除了含有直接方法中的误差外，还有展绘控制点的误差、编绘的误差、制图综合的误差，数字化的误差等。

地图数字化是获取矢量数据的主要方法之一，也是 GIS 中的重要误差源，是 GIS 数据质量研究的重点之一。在地图数字化中，原图固有误差和数字化过程中引入的误差是两个主要的误差源。下面对地图数字化的数据误差作一分析。

一、地图固有误差的来源和类型

在地图的固有误差中，除了含有控制点和碎部点引入的误差外，至少存在下列误差：

(1) 控制点展绘误差

展绘控制点是成图的第一步。当对地图的精度要求不高时，该项误差可不考虑。

(2) 编绘误差

通常点状特征的编绘精度优于线状特征的编绘精度，即使都是线状特征，如果分辨率或宽度不同，编绘精度也不同。

(3) 绘图误差

绘图误差是在绘图过程中产生的，其误差范围为 0.06—0.18mm.。

(4) 综合误差

综合误差的大小取决于特征的类型和复杂程度，又取决于采用的制图综合方法，如取舍、移位、夸大等，因此，综合误差极难量化。

(5) 地图复制误差和分版套合误差

这些都是地图印刷中产生的误差，如地图复制误差的均方差为 0.1—0.2mm。

(6) 绘图材料的变形误差

地图一般印在纸上，随着温度和湿度的变化，纸张的尺寸也会变化。由于纸张在印刷时温度升高，纸张长度会伸长 1.5%，宽度会伸长 2.5%；而当纸张干燥和冷却后，其长度和宽度又分别收缩 0.5%和 0.75%。因此，在地图印刷完成后，图纸在长、宽方向上的净伸长分别为 0.99%和 1.73%。

(7) 特征的定义

自然界中的许多特征并无明确的界限。例如，海岸线的位置、森林的边界等，但在地图上却有明确的位置。

二、数字化的误差

目前的地图数字化方式主要有跟踪数字化和扫描数字化两种。数字化的精度主要受数字化仪的精度、数字化方式、操作员的水平、数字化软件的算法等的影响，常采用下列方法进行评价。

1°、自动回归法

在对线划进行跟踪数字化的过程中，每隔一定时间和距离就记录一次坐标值，因此可以认为这些数据是序列相关的。即某一点误差的大小，除受该点本身的影响外，还受前一点误差的影响。

由于跟踪数字化不仅是一个随机序列，而且是一个时间序列，因此可用数理统计中的时间序列分析法来确定数字化的误差。

2°、 ε -Band 法

ϵ -Band 法又称误差带方法，即在一条数字化线的两侧，各定义宽为 ϵ 的范围，作为该数字化线的误差带，也就是用 ϵ 的值来说明误差的范围，以及处理多边形叠置等的误差。该方法适用于任何类型的 GIS 数据，关键是如何给出合理的 ϵ 值。

3°、对比法

把数字化后的数据，用绘图机绘出，与原图叠合，选择明显地物点进行量测，以确定误差。除了几何精度外，属性精度、完整性、逻辑一致性等也可用对比法进行对照检查。

§ 3.5.4、数据处理中数据质量的评价

在 GIS 的数据处理中，几何纠正、坐标变换、格式转换等的计算，除了计算机字长的影响外，在理论上可以认为是无误差的，因此，数据处理过程中的主要误差集中在与应用直接相关的处理中，下面举几个例子说明。

一、数字高程模型 (DEM) 的精度

数字高程模型 (DEM) 的数据来源是多种多样的，建立 DEM 的技术也不一样。常用的方法是利用解析立体测图仪从立体航空像对上测得高程，或者是利用数字化的地图等高线进行内插获得。此外，地面测量、声纳测量、雷达测量等数据也可作为 DEM 的数据源。

DEM 的精度主要受原始资料的精度 (采样密度、测量误差、地形类别、控制点等) 和内插的精度 (内插方法、地形类型、原始数据的密度等) 的影响。在研究 DEM 的精度时，一般都假定已排除了粗差的影响，因为 DEM 的粗差难以探测。

对 DEM 内插精度的估算方法有多种，但结论是相同的，即 DEM 的内插精度主要受原始采样点的采样密度的影响，与不同的插值方法的关系不很大。但在 DEM 精度评定的标准方面、地貌逼真度方面、DEM 的粗差探测等方面仍没有得到圆满的解决。

二、矢量数据栅格化的误差

矢量数据栅格化的误差可分为属性误差和几何误差两种。

在矢量数据转换为栅格数据后，栅格数据中的每个象元只含有一个属性数据值，它是象元内多种属性的一种概括。例如，在陆地卫星图像上，每个象元对应的地面面积为 $80\text{m} \times 80\text{m}$ ，象元的属性值是象元内各地物发射量的平均值。如果象元内有一部分物体的反射率很高，即使占象元的面积比例很小，对象元属性值的影响也很大，从而导致分类错误，且损失一些其它有用信息。因此，象元越大，属性误差越大。

几何误差是指在矢量数据转换成栅格数据后所引起的位置的误差，以及由位置误差引起的长度、面积、拓扑匹配等的误差。几何误差的大小与象元的大小成

正比。其中矢量数据表示的多边形网用象元逼近时会产生较严重的拓扑匹配问题。

关于拓扑匹配误差问题，Frolov 和 Maling(1969)提出的最早的估算方法是考虑一个象元被一条实际边界线二等分时引起的误差问题。尔后，Goodchild(1980)重新研究了这个问题。

如果假设边界线为一条随机穿过象元的直线，则对每个由边界线切割的象元 i ，把其切除部分的平均面积定义为误差方差，其估算公式为：

$$\sigma_i^2 = aS^4$$

其中， S 是正正方形象元的边长， a 为常数。Frolov 和 Maling 计算的 a 为 0.0452，后来 Goodchild 建议改为 0.0619。

多边形面积误差的估算是按全部多边形边界象元的误差和来计算的。如果一个多边形的边界象元有 m 个，则其误差方差为：

$$\sigma^2 = maS^4$$

边界象元的个数 m 可按多边形的边长来计算，且可简单地按下式计算：

$$m = \sqrt{N}$$

其中 N 为多边形的总象元数目。

Switzer(1975)提出了估计矢量数据栅格化的精度的另一种方法。其分析的前提是：假设误差仅仅是由栅格化引起的，不考虑观测误差。该方法的基本思想是，假设存在一幅理想的矢量地图，图上不同属性的制图单元由很细的线分开；对理想地图进行观测采样得到一幅具有规则格网的栅格地图，把这两幅图进行叠置比较。虽然理想地图是根本不存在的，但在这一假设下，可以提供一种仅利用栅格地图本身来估算矢量数据栅格化的精度的方法。该方法的具体计算过程从略。

三、多边形叠置产生的误差

多边形叠置是 GIS 中常用的空间分析方法，但却会产生拓扑匹配误差、几何误差和属性误差。

多边形叠置误差计算的思路是，先计算单幅图或单层图的误差，再计算叠置图的误差。因此，下面仅简要讨论单数据层的叠置问题。

多边形叠置往往是不同类型的地图、不同的图层，甚至是不同比例尺的地图进行叠置，因此，同一条边界线往往是不同的数据，这样在叠置时必然会出现一系列无意义的多边形。所叠置的多边形的边界越精确，越容易产生无意义的多边形。这就是拓扑匹配误差。

多边形叠置所形成的多边形的数量与原多边形边界的复杂程度有关。将两个分别含有 V_1 和 V_2 个顶点的多边形叠置后将产生至少 3 个，至多 V_1+V_2+1 个多边形。如果多边形之间具有统计独立性时，产生中等数量的多边形；如果是高度相关的，则产生大量无意义的多边形。

多层叠置产生的无意义多边形实际上相当于矢量多边形栅格化引起的面积匹配误差。面积匹配误差因数字化精度的提高而减少，虽然无意义多边形的个数增多。

不管是用人机交互的方法把无意义的多边形合并到大多边形中，还是根据无意义多边形的临界值，自动合并到大多边形中，以及用拟合后的新边界进行叠置，都会产生几何误差，既新边界可能会偏离已制图的边界位置（或真实位置）。为了保证人们习惯上认为重要的边界线的精度，如境界、河流、主要道路等，处理时应应对这些边界上的点加权使他们能尽可能地不被移动。

除了几何误差，实际上每个进行叠置的多边形本身的属性就是有误差的，因为属性值是分类的结果（如把植被分为不同的类别），而分类就会产生误差。多幅图的叠置会使误差急剧增加，以至使叠置出的结果不可信。

§ 3.6 空间数据标准

从技术的角度看，空间数据标准是指空间数据的名称、代码、分类编码、数据类型、精度、单位、格式等的标准形式。每个地理信息系统都必须具有相应的空间数据标准。空间数据标准涉及到复杂的科学理论和技术方法问题。如果只针对某一地理信息系统设计空间数据标准，并不困难；如果所建立的空间数据标准能为大家所承认，为大多数系统所接受和使用，就比较复杂和困难。空间数据标准的制定对于地理信息系统的发展具有重要意义，但目前空间数据标准的研究仍然落后于地理信息系统的发展。

目前我国已有一些与 GIS 有关的国家标准，内容涉及数据编码、数据格式、地理格网、数据采集技术规范、数据记录格式等。

§ 3.6.1、空间数据分类标准

在地理信息系统中，空间数据必须按统一的标准进行分类。通常应遵循以下原则：

- (1) 遵循已有的国家标准，以利于全国范围内的数据共享。

- (2) 遵循国务院有关部委以及军队正在使用的数据标准。
- (3) 遵循各领域中普遍使用和认同的数据标准。
- (4) 当各种数据标准相互矛盾时，应遵循由上而下的原则进行处理。
- (5) 制定新的数据标准时，应尽可能参考同类标准。

目前我国已有的与 GIS 有关的关于空间数据分类的国家标准如：

GB2260-95 《中华人民共和国行政区划代码》

GB13923-92 《国土基础信息数据分类与代码》

GB11708-89 《公路桥梁命名和编码规则》

GB14804-93 《1: 500、1: 1000、1: 2000 地形要素分类与代码》

等等。

空间数据的分类体系是设计数据标准的前提，而分类体系应考虑专业领域专家的意见，并根据地理信息系统的要求来制定，尽可能反映分类的合理性。

§ 3.6.2、空间数据交换标准

随着地理信息系统的发展，数据共享已越来越重要。由于空间数据模型的不同，空间数据的定义、表达和存储方式也不同，因而数据交换就不那么简单。空间数据交换的主要方式有：

- (1) 外部数据交换标准。

这类标准通常是 ASCII 码文件，用户可以通过阅读说明书来直接读写这种外部数据格式。GIS 的外部数据交换格式通常包括矢量数据交换格式、栅格数据交换格式和数字高程模型交换格式。

- (2) 空间数据互操作协议。

制定一套各方都能接受的标准空间数据操纵函数，通过调用这些函数以互相操作对方的数据。

- (3) 空间数据共享平台。

采用客户机/服务器体系结构，各种 GIS 通过一个公共的平台在服务器存取所有数据，以避免数据的不一致性。

(4) 统一数据库接口。

在对空间数据模型有共同理解的基础上，各系统开发专门的双向转换程序，将本系统的内部数据结构转换成统一数据库的接口。

随着软硬件的发展，人们逐渐感受到了外部数据交换格式的不足，如自动化程度不高，速度较慢等，但它毕竟解决了不同 GIS 之间的数据转换问题。

虽然空间数据互操作协议比外部数据交换标准方便，但由于各种软件存储和处理空间数据的方式不同，空间数据的互操作函数又不可能很庞大，因此往往不能解决所有问题。

空间数据共享平台虽然是一个较好的思路，但现有的 GIS 软件各有自己的底层，因此目前难以实现。

统一数据库接口，首先要求对现实世界进行统一的面向对象的数据理解，这也是不易实现的。

因此，目前外部数据交换标准仍然是实现数据共享的主流方式。

§ 3.6.3、我国空间数据交换格式

空间数据共享存在着多种形式，欧美等发达国家致力于制定空间数据交换格式，前几年起到了较好效果。为促进地理信息产业发展，结合我国实际，应尽快完善我国空间数据交换（标准）格式。为此必须参照成功的先行经验和教训，科学简明可持续发展地制定这一标准是特别重要的。附录 1 给出了一征求意见稿以供参考。

§ 3.6.4、GIS 空间元数据

随着地理信息系统在社会各方面的发展，越来越多的地理学科和信息技术学科之外的个人、组织和机构也涉入到这一领域，开始生产、处理和修改数字地理信息。但是这些机构从各自的角度出发来发展空间数据，使得人们不知道存在什么样的数据、已有数据的质量如何、以及怎样访问和使用这些数据成果。因此，迫切需要采取一定的办法来避免数据的重复性建设，同时协调不同数据部门之间的资源共享，这样随着地理空间数据集的数量、复杂性和多样性的增加，一个适应数据集共享的标准化规范——空间元数据，也就应运而生。

对空间元数据标准内容的研究，国际上主要有美国联邦数据委员会（FGDC）、国

际标准化组织地理信息/地球信息技术委员会（ISO/TC211）和开放的 GIS 联盟（OGC）进行，它们从不同侧面对地理空间元数据进行了描述。国内近几年来已经提出了几个元数据标准，如《中国可持续发展信息共享 Metadata 标准》、《中国生态系统研究网络元数据标准》和《科学数据库元数据标准》等。

1. 空间元数据的定义及其作用

元数据（Metadata）：数据的数据，是关于数据和信息资源的描述性信息。图书馆的图书卡片就是关于所有书籍的简单的元数据，它记录了每本书的编号、题目、作者、关键字和出版日期等属性。

空间元数据（Geospatial Metadata）：地理的数据和信息资源的描述性信息。它通过对地理空间数据的内容、质量、条件和其他特征进行描述与说明，以便人们有效地定位、评价、比较、获取和使用与地理相关的数据。空间元数据是一个由若干复杂或简单的元数据项组成的集合。如果说地理空间数据是对地理空间实体的一个抽象映射，那么可以认为，空间元数据是对地理空间数据的一个抽象映射。空间元数据和地理空间数据是对地理空间实体不同层次的描述，是对地理信息的不同深度的表达。

综合起来，空间元数据主要有以下几个方面的作用：

（1）用来组织和管理空间信息，并挖掘空间信息资源，这正是数字地球的特点和优点所在。通过它可以在 Intranet 或 Internet 上准确地识别、定位和访问空间信息。

（2）帮助数据使用者查询所需空间信息。比如，它可以按照不同的地理区间、指定的语言以及具体的时间段来查找空间信息资源。

（3）组织和维护一个机构对数据的投资。通过空间元数据内容，可以充分描述数据集的详细情况，便于数据使用者得到数据的可靠性保证。同时，当使用数据引起矛盾时，数据提供单位也可以利用空间元数据维护其利益。

（4）用来建立空间信息的数据目录和数据交换中心。通常由一个组织产生的数据可能对其他组织也有用，而通过数据目录、数据代理机、数据交换中心等提供的空间元数据内容，用户便可以很容易地使用它们，达到空间信息的共享。

（5）提供数据转换方面的信息。通过空间元数据，人们便可以接受并理解数据集，并可以与自己的空间信息集成在一起，进行不同方面的分析决策，使地理空间信息实现真正意义上的共享，发挥其最大的潜力。

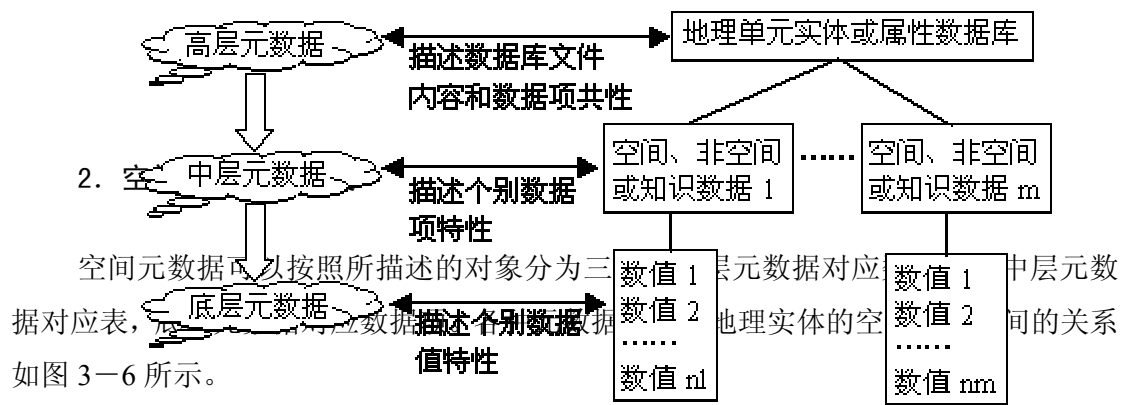


图 3-6 空间元数据层次

(1) 高层元数据（数据集系列 Metadata）。高层元数据是指一系列拥有共同主题、日期、分辨率以及方法等特征的空间数据系列或集合，它是用户用于概括性查询数据集的主要内容。在软件实现上，如果拥有数据集系列 Metadata 模块，则既可以使数据集生产者方便地描述宏观数据集，而且也可以使用户很容易地查询到数据集的相关内容，实现空间信息资源的共享。当然，要获取数据集的详细信息，还需要通过中层元数据来实现。

(2) 中层元数据（数据集 Metadata）。数据集 Metadata 模块是整个 Metadata 标准软件的核心，它既可以作为数据集系列 Metadata 的组成部分，也可以作为后面数据集属性以及要素等内容的父 Metadata 数据集系列。在 Metadata 软件标准设计的初级阶段，通过该模块便可以全面反映数据集的内容。然而随着数据集的变化，为了避免重复记录元数据内容以及保持元数据的实时性，需要通过继承关系更新变化了的信息，这时元数据的层次性便显得异常重要。

(3) 底层元数据（要素、属性的类型和实例 Metadata）。要素类型是指由一系列几何对象组成的具有相似特征的集合，比如数据集中的道路层、植被层等便是具体的要素类型；要素实例是具体的要素实体，它用于描述数据集中的典型要素。属性类型是用于描述空间要素某一相似特征的参数，如桥梁的跨度是一个属性类型；属性实例则是要素实例的属性，如某一桥梁穿越某一道路的跨度。该 Metadata 模块是元数据体系中详细描述现实世界的重要部分，也是未来数字地球中走向多级分辨率查询的依据。因此，我们通过数据集系列、数据集、要素类型等层次步骤，便可以逐级对地理世界进行描述，用户也可以按照这一步骤，能够沿网络获取详细的数据集内容信息。

在具体实现时，可以用面向对象的技术实现以地理单元为主线的层次结构元数据管理树，树的叶结点连接空间数据物理存储的“层”，面向地理单元的空间操作通过元数据管理树作用于图层。

3. 空间元数据的内容

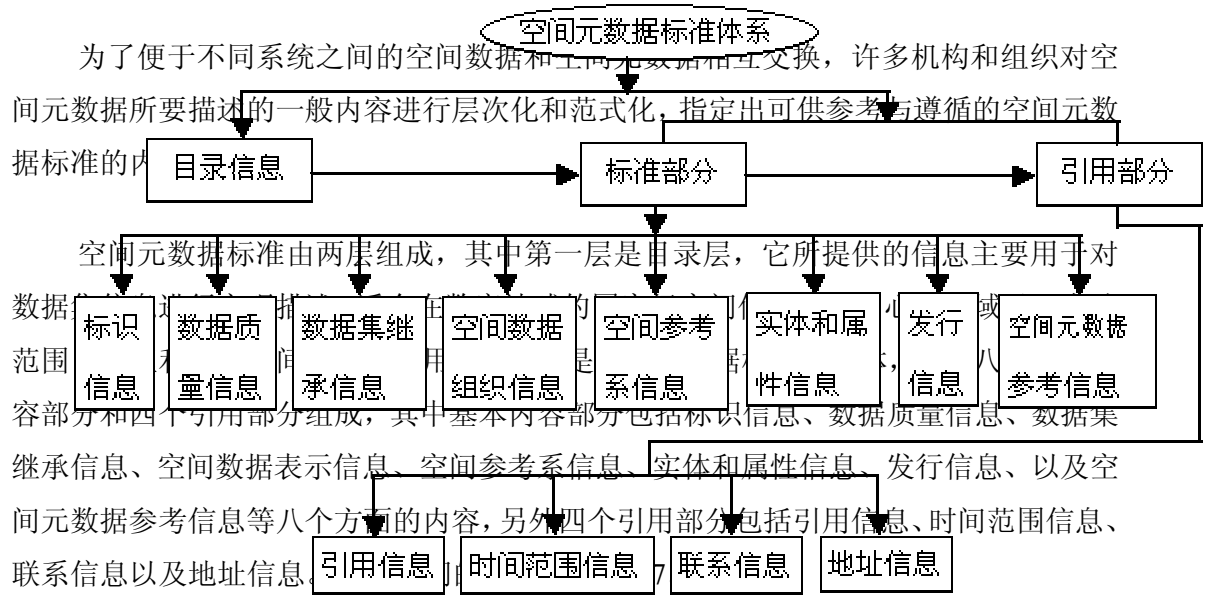


图 3-7 空间元数据内容的标准的组织框

(1) 标识信息。是关于地理空间数据集的基本信息。通过标识信息，数据生产者可以对有关数据集的基本信息进行详细的描述，诸如数据集的名称、作者信息、所采用的语言、数据集环境、专题分类、访问限制等，同时用户也可以根据这些内容对数据集有一个总体了解。

(2) 数据质量信息。是对空间数据集质量进行总体评价的信息。通过这部分内容用户可以获得有关数据集的几何精度和属性精度等方面的信息，也可以知道数据集在逻辑上是否一致以及它的完备性，这是用户对数据集进行判断以及决定数据集是否满足需要的主要判断依据。数据生产者也可以通过这部分内容对数据集质量评价的方法和过程进行详细的描述。

(3) 数据集继承信息。是建立该数据集时所涉及的有关事件、参数、数据源等的信息，以及负责这些数据集的组织机构信息。通过这部分信息便可以对建立数据集的中间过程有一个详细的描述，比如当一幅数字专题地图的建立经过了航片判读、清绘、扫描、数字地图编辑以及验收等过程时，应对每一过程有一个简要描述，使用户对数据集的建立过程比较清晰，也使数据集每一过程的责任比较清楚。

(4) 空间数据表示信息。是数据集中用来表示空间信息的方式的描述，如空间数据类型、空间数据结构、矢量对象描述、栅格对象描述等内容，它是决定数据转换以及数据能否在用户计算机平台上运行的必须信息。利用空间数据表示信息，用户便可以在获取该数据集后对它进行各种处理或分析了。

(5) 空间参考系信息。是关于空间数据集地理参考系统与编码规则的描述，它是反映现实世界与地理数字世界之间关系的通道，诸如地理标识码参照系统、水平坐标系、垂直坐标系以及大地模型等。通过空间参考系中的各元素，可以知道地理实体转换成数字对象的过程以及各相关的计算参数，使数字信息成为可以度量和决策的依据。

(6) 实体和属性信息。是关于数据集信息内容的信息，包括实体类型及其属性、属性值、域值等方面的信息。通过该部分内容，数据集生产者可以详细地描述数据集中各实体的名称、标识码以及含义等内容，也可以使用户知道各地理要素属性码的名称、含义等。

(7) 发行信息。是关于数据集发行及其获取方法的信息，包括发行部门、数据资源描述、发行部门责任、订购程序、用户订购过程以及使用数据集的技术要求等内容。通过发行信息，用户可以了解到数据集在何处，怎样获取、获取介质以及获取费用等信息。

(8) 空间元数据参考信息。是关于空间元数据的标准、版本、现时性与安全性等方面的信息，它是当前数据集进行空间元数据描述的依据。通过该空间元数据描述，用户便可以了解到所使用的描述方法的实时性等信息，加深了对数据集内容的理解。

(9) 引用信息。是引用或参考该数据集时所需的简要信息，它自己不单独使用，而是被基本内容部分的有关元素引用。它主要由标题、作者信息、参考时间、版本等信息组成。

(10) 时间范围信息。是关于有关事件的日期和时间的信息，该部分是基本内容部分的有关元素引用时要用到的信息，它自己不单独使用。

(11) 联系信息。是同与数据集有关的个人和组织联系时所需的信息，包括联系人的姓名、性别、所属单位等信息。该部分是基本内容部分的有关元素引用时要用到的信息，它自己不单独使用。

(12) 地址信息。是同组织或个人通讯的地址信息，包括邮政地址、电子邮件地址、电话等信息。该部分是描述有关地址元素的引用信息，它自己不单独使用。

空间元数据是基于 Internet 的 GIS（即网络地理信息系统）必不可少的一部分，通过它可以了解 GIS 系统所提供地理空间数据的情况，如：有什么数据？数据质量如何？数据有哪些格式？以什么方式在哪儿可以得到数据？等等和数据有关的信息。通过这些信息可以实现地理空间数据的不同部门、不同专业领域的网络共享，避免因地理空间数

据的重复收集、录入和处理导致的大量时间、人力和物力的浪费。

§ 3.6.5、空间数据的互操作和 OpenGIS 规范

空间数据的互操作是 UCGIS (The University Consortium for Geographic Information Science, 美国大学地理信息联盟) 的优先研究领域之一。互操作不仅有理论性和前瞻性, 而在当前的 GIS 系统中有其实用性。目前 GIS 界已经制定了 OpenGIS 互操作规范, 并且还在继续完善之中。

1. 空间数据的互操作

(1) 概述。当前 GIS 虽然得到了广泛的应用, 其使用范围涉及多学科和多部门, 在资源管理、环境治理、预防灾害、区域规划、城市管理、科研、教育和国防等领域得到重要应用, 但是 GIS 应用系统被认为是信息孤岛。应用部门在开发地理信息系统时通常依据本部门的空间数据格式, 对地理数据的组织有很大的差异, 使得在不同 GIS 软件上开发的系统间的数据交换存在困难, 采用数据转换标准也只能部分解决问题。另外, 不同的应用部门对地理现象有不同的理解, 对地理信息有不同的定义, 这使得领域间在共同协作中进行信息共享和交流存在障碍。这些问题归结为地理信息系统间的互操作问题。互操作是系统集成的基础。

各部门对 GIS 互操作有迫切的需要。首先是解决对基础数据的共享问题。各部门对建立的 GIS 应用系统, 在有限的经济条件下, 更着眼于本部门专业信息及模型的开发, 而对基础数据及其他专业数据通过有偿共享而获得。其次, GIS 的应用部门对综合和集成有较强的要求, 特别是社会发展、经济发展走向一体化, 以及可持续发展的要求, 需要多学科、多部门的协作。第三, GIS 正走向社会化, 融于主流的信息技术, 成为信息社会和信息基础设施的重要组成部分。如果 GIS 缺乏互操作性, 这些就不可能实现。

互操作应包括哪些内容? 以下是 GIS 互操作的几个定义。

“互操作地理信息处理”(Interoperable geoprocessing) 是指数字系统的这些能力: ①自由地交换所有关于地球的信息, 即所有关于地表上的、空中的、地球表面以下的对象和现象的信息; ②通过网络协作运行能够操作这些信息的软件。概括为自由交换地理空间信息以及协作运行空间信息处理的软件。

所谓互操作, 就是指异构环境下两个或两个以上的实体, 尽管它们实现的语言、执行的环境和基于的模型不同, 但它们可以相互通信和协作, 以完成某一特定任务。这

些实体包括程序、对象、系统运行环境等。

互操作在软件工业中意味着界面的开放。内部数据结构的公开发表允许 GIS 用户从不同的开发者那里集成软件构件，允许新的软件厂商用可竞争的产品进入市场，并可与已存在的构件互换。互操作也意味着系统间的自由数据交换，交换标准如空间数据转换标准（SDTS）对系统间的数据转换有重要的作用。

互操作方面的进步将由易用性来度量，由完成某一任务所需要的培训来表示。

（2）GIS 互操作现状。

——GIS 互操作实现的方法之一：OpenGIS 规范。为了发展地理信息的互操作技术，一方面要面向未来，着眼于新技术的应用和新型信息的处理，例如地理空间技术与多媒体技术的复合；另一方面也要照顾到传统 GIS 的技术积累。这就要求作为异构 GIS 系统之间互操作标准的规程不但应成为互操作的桥梁，而且还应构成 GIS 传统技术与未来技术之间沟通的桥梁。OGC 制定的 OpenGIS 规范就是为了满足 GIS 互操作需要而制定的。

通过这种规范的制定，OGC 为软件开发者提供了一个统一的设计和开发软件工具的框架，它使得用户能在分布式计算平台的网络环境下获取地理数据，由于采用了开放式技术来开发地理数据处理和服务工具，从而使得用户和不同的信息群在 Internet 和 Intranet 中能灵活地进行地理数据及处理的互操作。这种思路和方法给地理空间技术带来一个全新的变化，用数据、系统和机构之间的具有互操作的地学处理代替了传统的孤立的地理信息技术，使得可以在数据库转换中保持数据的语义或尽可能地减少数据语义的丢失。

——可行的实现 GIS 互操作的方法。在选择互操作的实现方法时，所要掌握的一个原则是所有涉及地理数据和处理的机构必须能持久地维护和更新它们各自所拥有的 GIS 技术，并能使这些技术不断增值。这意味着在选择实现方法时必须对下列问题做出评估：

- 地理数据的可用性和兼容性；
- 所使用的地学处理系统的功能和可互操作性；
- 承担地学服务的机构的灵活性和创新性。

很显然，传统的孤立的地理学处理系统不但费用昂贵，而且它们使用各自所独有的

接口界面，以致于很难通用。由于这种不灵活性和不兼容性的接口使得互操作在实现时非常艰难。

因而，构件技术用于实现互操作是当前可行的方法。用新的互操作构件代替部分传统的 GIS。通过这种方法，新的构件以逐渐替代旧的孤立的系统，并改进新的客户端、新的服务体系结构和新的服务器功能。经过一步一步统一的过程，OpenGIS 规范将被实现，从而能设计出关于开放式地学处理系统的综合软件体系结构。

2. OpenGIS 规范

(2) OpenGIS 规范的作用。我们即将面临一个分布式的网络计算时代。在这个时代，我们可以用一个统一的地理处理获取规范接口，即 OpenGIS 规范，使全球的地理信息连接在一起。通过把分布式计算、对象技术、中间件软件以及组件软件等引入地理处理世界，可以使任何计算环境或计算任务与空间数据联系在一起。同时我们看到，随着卫星传感器、GPS 技术的发展以及参与地理信息研究、生产、获取和使用的人员的增加，地理数据的增长速度在明显地加快。OpenGIS 规范的作用如图 3—8 所示，通过 OpenGIS 规范把商业部门、集成部门、用户、研究人员、数据提供商等连接到一起，通过必要的软件工具和通信技术，为各种用户提供对地理信息的共享和互操作。

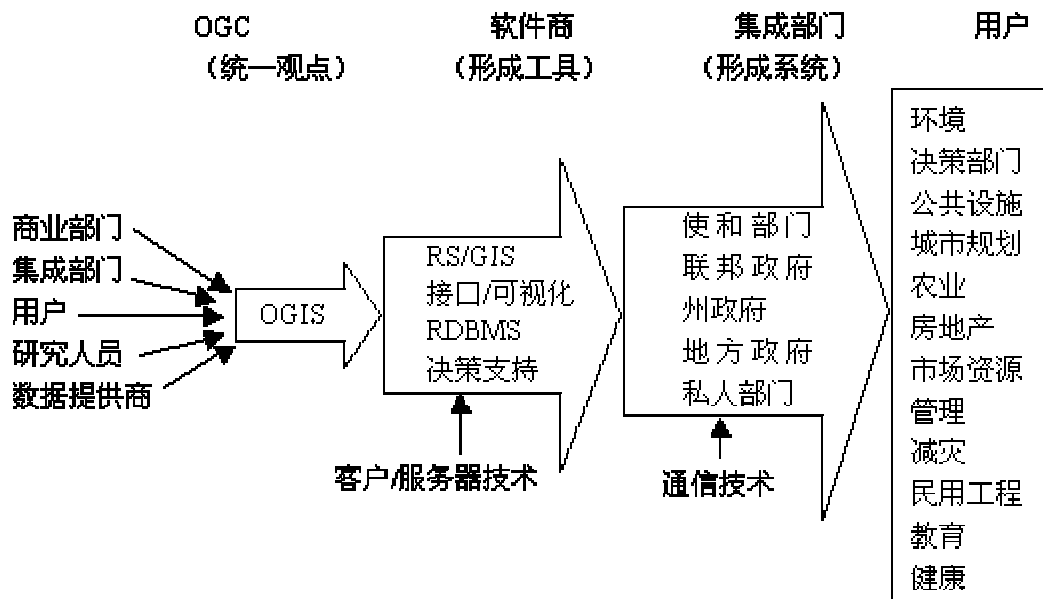


图 3—8 OpenGIS 规范的作用

(3) 互操作地理处理的工作方式。非互操作起源于不同的软件厂商在定义地理对象的基本几何特征时使用了各自的内部结构，同时，当用户在使用每一商业 GIS 时，又作了不同目的的二次开发，这一切使得信息共享困难重重。地理信息团体中数百个分支

机构中的每一个部门都有自己独特的模式模型，它们贯穿在信息表示技术的每一阶段，诸如数据字典、对象模式、几何规则、分类模式等等。

当今的对象建模技术已经被用在多种分布式计算平台上，如何实现 OpenGIS 规范，OpenGIS 规范并没有提出一个具体的标准的实施模式。OpenGIS 规范的开放地理数据模型（OGM）包含一个众所周知的类型和结构集合。通过这一集合，OGC 技术委员会便可以表示任何地理模型，比如具体类型的集合构成一个地理模型（“类型”代表简单或复杂的数据结构，它们可以在特定数据集中以一种具体“事例”或“结构”的方式重复多次，比如，一个字节便是最简单的一个类型，它可以对应一个具体的 ASCII 字符）。这些类型和结构被确定为接口的方式。一种实用的方法便是用这些众所周知的类型和结构表示信息，低层（软件引擎）和高层（信息群体）的模式模型可以用 OGM 的构件来表示。

对于信息团体有两种定义或观点。一种观点认为它是描述共享一个对象定义和语义的人类团体，特别在地理信息团体中，人们为更好地实现他们的软件，便通过一些“行话”来满足他们的专业需求，产生了一个公共的模式模型。对“信息团体”一词的另一观点是指 OpenGIS 规范中描述的机制，该机制给出了地理信息在人类信息群体中的组织方式，并能通过网络进行异构地理数据和地理处理资源进行查询、集成、分类、交换等。

不同应用部门的信息团体对地理实体几何特征的描述方法也不一样，比如，在一个群体中“公路”是线，而在另一个中则是多边形。它们的属性也不尽相同，在一个群体中，小路的数量是关键要素；而在另一个中，路面类型则是考虑的主要因素。OGM 提供了一种描述几何特征和属性的唯一可行的统一的方法（在全球地理处理软件开发商之间达成了一致），这种方法是实现不同系统间通信接口的关键。

另外，依赖于 OGM 和 OpenGIS 规范中的 OpenGIS 服务体系，已集成了信息团体机制，确定了一种可以发行和查询这些定义及其所描述的数据类型的唯一可行和统一的方法。

典型问题

I。 关于 GIS 中的地图投影：

在 GIS 中，地理数据的显示往往可以根据用户的需要，指定各种投影。但当所显示的地图与国家基本地图系列的比例尺一致时，往往采用与国家基本系列地图所用的投影。我国常用的地图投影的情况为：

(1)、我国基本比例尺地形图(1: 100 万、1: 50 万、1: 25 万、1: 10 万、1: 5 万、1: 2.5、1: 1 万、1: 5000)除 1: 100 万外均采用高斯—克吕格投影为地理基础；

(2)、我国 1: 100 万地形图采用了 Lambert 投影，其分幅原则与国际地理学会规定的全球统一使用的国际百万分之一地图投影保持一致。

(3)、我国大部分省区图以及大多数这一比例尺的地图也多采用 Lambert 投影和属于同一投影系统的 Albers 投影(正轴等面积割圆锥投影)；

(4)、Lambert 投影中，地球表面上两点间的最短距离(即大圆航线)表现为近于直线，这有利于地理信息系统中空间分析量度的正确实施。

2. 关于 GIS 中数据质量的基本内容

GIS 数据质量包含如下五个方面：

1°、位置精度：如数学基础、平面精度、高程精度等，用以描述几何数据的质量。

2°、属性精度：如要素分类的正确性、属性编码的正确性、注记的正确性等，用以反映属性数据的质量。

3°、逻辑一致性：如多边形的闭合精度、结点匹配精度、拓扑关系的正确性等。

4°、完备性：如数据分类的完备性、实体类型的完备性、属性数据的完备性、注记的完整性等。

5°、现势性：如数据的采集时间、数据的更新时间等。

第三章练习题

1. GIS 的数据源有哪些？
2. 请举例说明 GIS 对数据的质量要求。
3. 各种来源的空间数据是如何准确匹配在一起的？
4. 地图投影在 GIS 中有什么作用？
5. 空间数据中的几何数据是什么？请说明它与属性数据的关系。
6. 请说明分类分级对于属性数据的意义。
7. 属性数据的编码是必须的吗？

- 8. 纸张上的地图如何进入计算机系统?
- 9. 从地图上能得到 GIS 需要的所有数据吗? 请举例说明。
- 10. 如何发现进入 GIS 中的数据有错误?
- 11. 空间数据的质量问题分哪几类?
- 12. 空间数据中的错误是如何造成的? 怎样控制它们?
- 13. 空间数据交换标准的意义是什么?
- 14. 空间数据的元数据 METADATA 意义是什么?
- 15. 数据共享有哪些主要途径? 最基层的是什么, 最理想的又是什么? 困难在何处?

空间数据的处理

本章说明

空间数据来源广泛, 输入方法多样。因此, 为了得到纯净统一的数据, 必须进行空间数据的处理。本章正是以此为出发点, 多方面、多角度、多层次, 详尽

地介绍了空间数据的各种处理过程。内容涵盖广泛，既讲解了矢量数据的图形编辑、拓扑关系的自动建立，还介绍了诸如：图像增强、图像特征提取和分析等图像数据的处理方法；既讲解了几何纠正、投影变换等空间数据的坐标变换，又介绍了矢量结构与栅格结构数据之间的相互转换；既讲解了多种矢量栅格空间数据的压缩处理方法，又详细介绍了 DEM 空间数据的插值处理；此外，本章还详尽介绍了当前利用 RS、GPS 技术进行 GIS 中空间数据的更新处理。讲解形式多样，既有详细的文字介绍，又配有直观的图形示例；既有精确的计算公式，又配有简洁明了的注释说明；使学习者能够较全面、较准确、较深刻地理解空间数据的处理。

第一节 矢量拓扑的自动建立

重点讲授 链的组织，结点匹配和建立多边形

第二节 矢量数据的图形编辑

重点讲授 点、线、面的捕捉和图形编辑的数据组织

第三节 空间数据坐标转换

重点讲授 几何纠正和投影变换方法

第四节 空间数据的压缩处理和数据结构转换

重点讲授 矢量和栅格数据压缩方法

第五节 空间数据的插值方法

重点讲授 DEM 内插

第六节 图像数据处理

重点讲授 图像增强、二值图像处理、图像的特征提取和分析的基本方法

第七节 空间数据的更新处理

重点讲授 3S 集成和应用

基本概念

链的组织	线的捕捉	二次变换	数值变换法
结点匹配	面的捕捉	仿射变换	数值解析变换法
岛的判断	几何纠正	投影变换	道格拉斯——普克法 (Douglas—Peucker)
点的捕捉	高次变换	解析变换法	垂距法
光栏法	线的栅格化方法	扫描法	细化
直接栅格编码	DDA 法(数字微分分 析法)	边填充算法	追踪
游程长度(行程) 编码	Bresenham 算法	二值化	拓扑化
四叉树编码	内部点扩散法	二值图像的预处理	空间数据的插值
边界内插	线性多项式内插	拟合法	灰度级校正
趋势面分析	双三次多项式(样 条函数)内插	等值线	灰度变换
局部内插	移动平均法	格网 DEM	线性灰度变换
线性内插	数字高程模型	不规则三角网 DEM(TIN)	非线性灰度变换

灰度分层切片	空域处理	阈值平均法	尖锐化
直方图变换	平滑	K—近邻平均法	微分法
直方图均衡化	邻域平均法	低通滤波法	高通滤波法
直方图正态化	简单平均法	中值滤波法	频域处理
频域中的平滑	滤波方法	可变阈值法	去除独立污点
频域中的锐化	图像的二值化	二值图像的平滑去噪	二值图像的细化
同态滤波	状态法	去毛刺	点特征提取
伪彩色增强	微分直方图法	线划平滑与孔洞填补	线特征提取
区域分割	遥感数据		
遥感	图像校正	GPS 定位的基本原理	
航空遥感技术	图像变换	GPS 的测距方法	
航天遥感技术	全球定位系统 (GPS)	GPS 的卫星星历	

第一讲：矢量数据拓扑关系的自动建立

介绍矢量数据拓扑关系建立的基本步骤和要点。

第二讲：矢量数据的图形编辑

介绍纠正数据采集错误的重要手段——图形编辑的基本功能、要求。

[第三讲：空间数据的坐标变换](#)

介绍几何纠正和投影变换。

[第四讲：空间数据的压缩处理](#)

介绍矢量数据和栅格数据的压缩处理。

[第五讲：空间数据的结构变换](#)

介绍矢量——栅格转换和栅格——矢量转换。

[第六讲：空间数据的插值方法](#)

介绍由已知点的数据推算未知点数据的方法。

[第七讲：图像数据的处理方法](#)

介绍图像增强、二值图像处理图像的特征提取和分析。

[第八讲：空间数据的更新处理](#)

主要介绍遥感与 GIS 的结合以更新数据。

§ 4.1 矢量数据拓扑关系的自动建立

矢量数据拓扑关系在空间数据的查询与分析中非常重要，矢量数据拓扑关系自动建立的算法是 GIS 中的关键算法之一，下面介绍其实现的基本步骤和要点。矢量数据自动拓扑的步骤可分为以下几步：

[4.1.1、链的组织](#)

[4.1.2、结点匹配](#)

[4.1.3、检查多边形是否闭合](#)

[4.1.4、建立多边形](#)

- 一、概念
- 二、建立多边形的基本过程

[4.1.5、岛的判断](#)

[4.1.6、确定多边形的属性](#)

§ 4.1 矢量数据拓扑关系的自动建立

矢量数据拓扑关系在空间数据的查询与分析中非常重要，矢量数据拓扑关系自动建立的算法是 GIS 中的关键算法之一，下面介绍其实现的基本步骤和要点。矢量数据自动拓扑的步骤可分为以下几步：

[4.1.1、链的组织](#)

找出在链的中间相交，而不是在端点相交的情况，自动切成新链；把链按一定顺序存储，然后把链按顺序编号。

[4.1.2、结点匹配](#)

结点匹配是指把一定限差内的链的端点作为一个结点，其坐标值取多个端点的平均值，然后，对结点顺序编号。

结点匹配

[4.1.3、检查多边形是否闭合](#)

检查多边形是否闭合可以通过判断一条链的端点是否有与之匹配的端点来进行。多边形不闭合的原因可能是由于结点匹配限差的问题，造成应匹配的端点未匹配，或由于数字化误差较大，或数字化错误，这些可以通过图形编辑或重新

确定匹配限差来确定。另外，还可能这条链本身就是悬挂链，不需参加多边形拓扑，这种情况下可以作一标记，使之不参加下一阶段拓扑建立多边形的工作。

4.1.4、建立多边形

建立多边形是矢量数据自动拓扑中最关键的部分，由于其算法比较复杂，所以，先介绍几个基本概念，然后介绍其实现的过程。

一、概念

1°、顺时针方向构多边形

所谓顺时针方向构多边形是指多边形是在链的右侧。

2°、最靠右边的链

最靠右边的链是指从链的一个端点出发，在这条链的方向上最右边的第一条链。找最靠右边的链可通过计算链的方向和夹角实现。

3°、多边形面积的计算

设构成多边形的坐标串为 (x_i, y_i) , $i=1, 2, \dots, n$, 则多边形的面积 A 可用如下公式求出：

$$\begin{cases} S_{AP} = [(X_P - X_A)^2 + (Y_P - Y_A)^2 + (Z_P - Z_A)^2]^{1/2} \\ S_{BP} = [(X_P - X_B)^2 + (Y_P - Y_B)^2 + (Z_P - Z_B)^2]^{1/2} \\ S_{CP} = [(X_P - X_C)^2 + (Y_P - Y_C)^2 + (Z_P - Z_C)^2]^{1/2} \end{cases}$$

其中，当 $i=n$ 时， $y_{n+1}=y_1$, $x_{n+1}=x_1$ 当 $i=1$ 时， $y_0=y_n$ 。

二、建立多边形的基本过程

1°、顺序取一个结点为起始结点，取完为止；取过该结点的任一条链作为起始链。

2°、取这条链的另一结点，找这个结点上，靠这条链最右边的链，作为下一条链。

3°、是否回到起点：是，已形成一多边形，记录之，并转 4°；否，转 2°。

4°、取起始点上开始的，刚才所形成多边形的最后一条边作为新的起始链，转 2°；若这条链已用过两次，即已成为两个多边形的边，则转 1°。

4.1.5、岛的判断

岛的判断即指找出多边形互相包含的情况，也即寻找多边形的连通边界。

根据上述追踪多边形的方法，单多边形(即由单条链或由多条链顺序构成的，不与其它多边形相交的多边形)被追踪了两次，因为每条链必须使用两次，所以，多边形的一个面积是为正的，另一个是为负的。如果一个多边形包含另一多边形，则必然是面积正的多边形包含面积负的多边形。所以，解决多边形包含问题的步骤为：

1°、计算所有多边形的面积。

2°、分别对面积为正的多边形和面积为负的多边形排序。

3°、从面积为正的多边形中，顺序取每个多边形，取完为止。若负面积多边形个数为 0，则结束。

4°、找出该多边形所包含的所有面积为负的多边形，并把这些面积为负的多边形加入到包含它们的多边形中，转 3°。

注意，由于一个面积为负的多边形只能被一个多边形包含，所以，当面积为负的多边形被包含后，应去掉该多边形，或作一标志。所以，当没有面积为负的多边形时，也应停止判断。

在该算法中，找出正面积多边形包含的负面积多边形是关键，其基本过程可描述为：

1°、找出所有比该正面积多边形面积小的负面积多边形。

2°、用外接矩形法去掉不可能包含的多边形。即负面积多边形的外接矩形不 和该正面积多边形的外接矩形相交或被包含时，则不可能为该正面积多边形包 含。

3°、取负面积多边形上的一点，看是否在正面积多边形内，若在内，则被包 含；若在外，则不被包含。

4.1.6、确定多边形的属性

在追踪出每个多边形的坐标后，经常需确定该多边形的属性。如果在原始矢量数据中，每个多边形有内点，则可以把内点与多边形匹配后，把内点的属性赋予多边形。由于内点的个数必然与多边形的个数一致，所以，还可用来检查拓扑的正确性。如果没有内点，则必须通过人机交互，对每个多边形赋属性。

矢量数据拓扑关系的自动建立

矢量数据拓扑关系在空间数据的查询与分析中非常重要，矢量数据拓扑关系自动建立的算法是 GIS 中的关键算法之一，下面介绍其实现的基本步骤和要点。矢量数据自动拓扑的步骤可分为以下几步：

4.1.1 链的组织

找出在链的中间相交(图 4—1(1))，而不是在端点相交(图 4—1(2))的情况，自动切成新链；把链按一定顺序存储，如按最大或最小的 x 或 y 坐标的顺序，这样查找和检索都比较方便，然后把链按顺序编号。



图 4—1

4.1.2 结点匹配

结点匹配是指把一定限差内的链的端点作为一个结点，其坐标值取多个端点的平均值，如图 4—2。然后，对结点顺序编号。

结点匹配

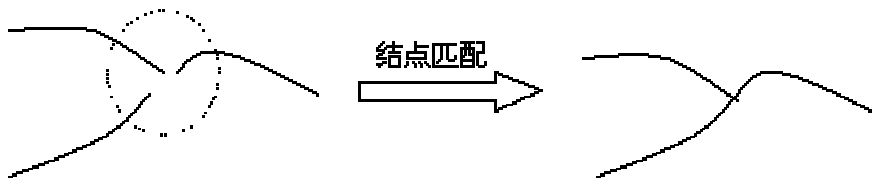


图 4—2

4.1.3、检查多边形是否闭合

检查多边形是否闭合可以通过判断一条链的端点是否有与之匹配的端点来进行。如图 4—3，弧 a 的端点 P 没有与之匹配的端点，因此无法用该条链与其它链组成闭合多边形。多边形不闭合的原因可能是由于结点匹配限差的问题，造成应匹配的端点未匹配，或由于数字化误差较大，或数字化错误，这些可以通过图形编辑或重新确定匹配限差来确定。另外，还可能这条链本身就是悬挂链，不

需参加多边形拓扑，这种情况下可以作一标记，使之不参加下一阶段拓扑建立多边形的工作。

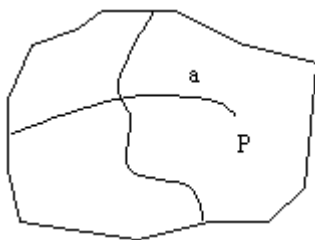


图 4—3

建立多边形

建立多边形是矢量数据自动拓扑中最关键的部分，由于其算法比较复杂，所以，先介绍几个基本概念，然后介绍其实现的过程。

一、概念

1°、顺时针方向构多边形



图 4—4

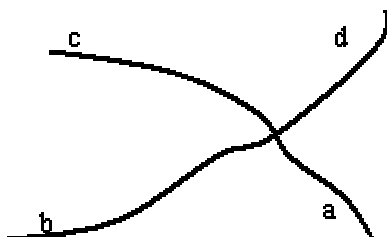


图 4—5

所谓顺时针方向构多边形是指多边形是在链的右侧。如图 4—4(1)，多边形在闭合曲线内；图 4—4(2)，多边形在闭合曲线外。

2°、最靠右边的链

最靠右边的链是指从链的一个端点出发，在这条链的方向上最右边的第一条链，实质上它也是左边最近链。如图 4—5，a 的最右边的链为 d。找最靠右边的链可通过计算链的方向和夹角实现。

3°、多边形面积的计算

设构成多边形的坐标串为 (x_i, y_i) , $i=1, 2, \dots, n$, 则多边形的面积 A 可用如下公式求出：

$$SA = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^n (y_{i+1} + y_i) * (x_{i+1} - x_i) \right|$$

其中，当 $i=n$ 时， $y_{n+1}=y_1$, $x_{n+1}=x_1$ 当 $i=1$ 时， $y_0=y_n$ 。根据该公式，当多边形由顺时针方向构成时，面积为正；反之，面积为负(图 4—6)。

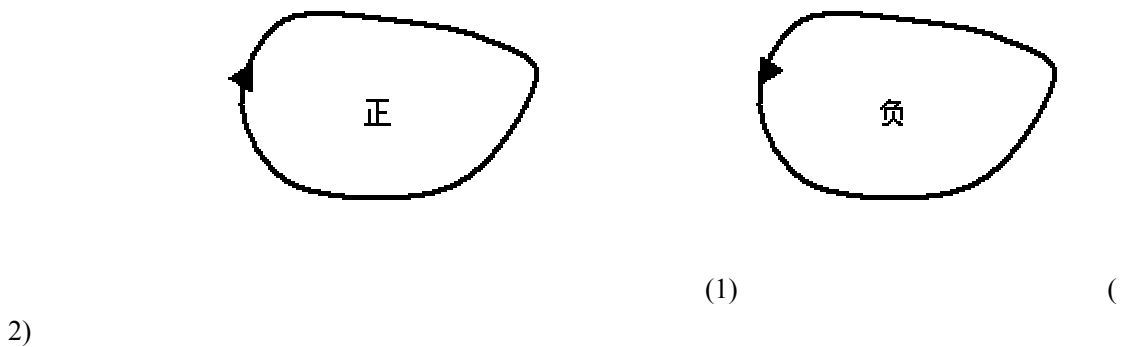


图 4—6

二、建立多边形的基本过程

1°、顺序取一个结点为起始结点，取完为止；取过该结点的任一条链作为起始链。

2°、取这条链的另一结点，找这个结点上，靠这条链最右边的链，作为下一条链。

3°、是否回到起点：是，已形成一多边形，记录之，并转 4°；否，转 2°。

4°、取起始点上开始的，刚才所形成多边形的最后一条边作为新的起始链，转 2°；若这条链已用过两次，即已成为两个多边形的边，则转 1°。

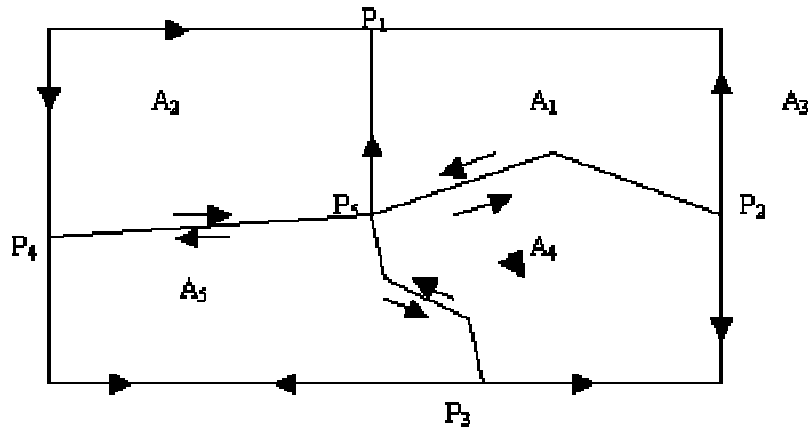


图 4—7

例如，对图 4—7，建立多边形的过程为：

1°、从 P_1 结点开始，起始链定为 P_1P_2 ；从 P_2 点算起， P_1P_2 最右边的链为 P_2P_5 ；从 P_5 算起， P_2P_5 最右边 的链为 P_5P_1 。所以，形成的多边形为 $P_1P_2P_5P_1$ 。

2°、从 P_1 结点开始，以 P_1P_5 为起始链，形成的多边形为 $P_1P_5P_4P_1$ 。

3°、从 P_1 开始，以 P_1P_4 为起始链形成的多边形为 $P_1P_4P_3P_2P_1$ 。

4°、这时 P_1 为结点的所有链均被使用了两次，因而转向下一个结点 P_2 ，继续进行多边形追踪，直至所有的结点取完。共可追踪出五个多边形，即 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_5 。

岛的判断

岛的判断即指找出多边形互相包含的情况，也即寻找多边形的连通边界。

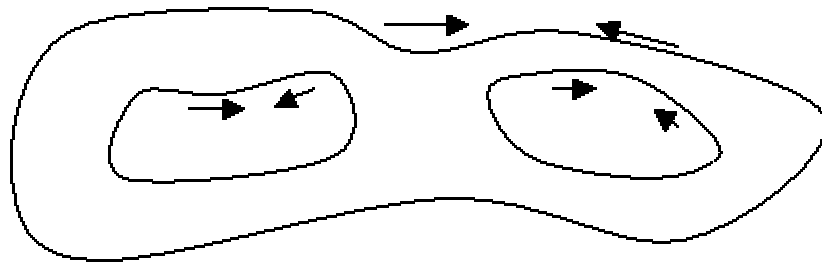


图 4—8 根据上述追踪多边形的方法，单多边形(即由单条链或由多条链顺序构成的，不与其它多边形相交的多边形，如图 4—8)被追踪了两次，因为

每条链必须使用两次，所以，多边形的一个面积是为正的，另一个是为负的。如果一个多边形包含另一多边形，则必然是面积正的多边形包含面积负的多边形。

所以，解决多边形包含问题的步骤为：

1°、计算所有多边形的面积。

2°、分别对面积为正的多边形和面积为负的多边形排序。

3°、从面积为正的多边形中，顺序取每个多边形，取完为止。若负面积多边形个数为 0，则结束。

4°、找出该多边形所包含的所有面积为负的多边形，并把这些面积为负的多边形加入到包含它们的多边形中，转 3°。

注意，由于一个面积为负的多边形只能被一个多边形包含，所以，当面积为负的多边形被包含后，应去掉该多边形，或作一标志。所以，当没有面积为负的多边形时，也应停止判断。

在该算法中，找出正面积多边形包含的负面积多边形是关键，其基本过程可描述为：

1°、找出所有比该正面积多边形面积小的负面积多边形。

2°、用外接矩形法去掉不可能包含的多边形。即负面积多边形的外接矩形不 和该正面积多边形的外接矩形相交或被包含时，则不可能为该正面积多边形包 含。

3°、取负面积多边形上的一点，看是否在正面积多边形内，若在内，则被包 含；若在外，则不被包含。

4.1.6、确定多边形的属性

在追踪出每个多边形的坐标后，经常需确定该多边形的属性。如果在原始矢量数 据中，每个多边形有内点，则可以把内点与多边形匹配后，把内点的属性赋予多 边形。由于内点的个数必然与多边形的个数一致，所以，还可用来检查拓扑的正 确性。如果没有内点，则必须通过人机交互，对每个多边形赋属性。

矢量数据的图形编辑

图形编辑是纠正数据采集错误的重要手段，其基本的功能要求是：具有友好 的人机界面，即操作灵活、易于理解、响应迅速等；具有对几何数据和属性编码 的修改功能，如点、线、面的增加、删除、修改等；具有分层显示和窗口功能， 便于用户的使用。图形编辑的关键是点、线、面的捕捉，即如何根据光标的位置

找到需要编辑的要素，以及图形编辑的数据组织。下面分别作简要介绍。

一、点的捕捉

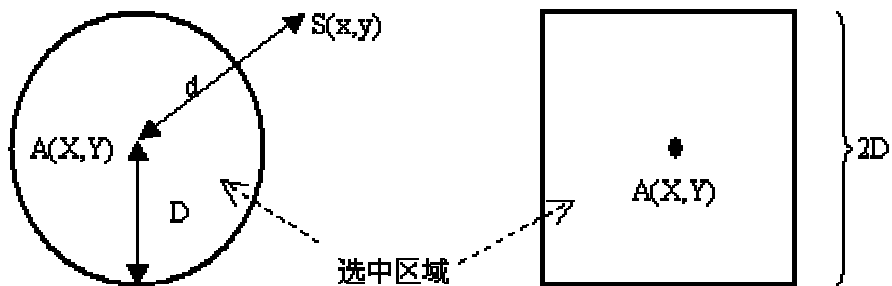


图 4 — 9

图 4—10

图形编辑是在计算机屏幕上进行的，因此首先应把图幅的坐标转换为当前屏幕状态的坐标系和比例尺。设光标点为 $S(x, y)$ ，图幅上(图 4—9)某一点状要素的坐标为 $A(X, Y)$ ，则可设一捕捉半径 D (通常为 3~5 个象素，这主要由屏幕的分辨率和屏幕的尺寸决定)。若 S 和 A 的距离 d 小于 D 则认为捕捉成功，即认为找到的点是 A ，否则失败，继续搜索其它点。 d 可由下式计算：

$$d = \sqrt{(X-x)^2 + (Y-y)^2}$$

但是由于在计算 d 时需进行乘方运算，所以影响了搜索的速度，因此，把距离 d 的计算改为：

$$d = \max(|X - x|, |Y - y|)$$

即把捕捉范围由圆改为矩形，这可大大加快搜索速度，如图 4—10 所示。

二、线的捕捉

设光标点坐标为 $S(x, y)$ ， D 为捕捉半径，线的坐标为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 。通过计算 S 到该线的每个直线段的距离 d_i (如图 4—11 所示)，若 $\min(d_1, d_2, \dots, d_{n-1}) < D$ ，则认为光标 S 捕捉到了该条线，否则为未捕捉到。在实际的捕捉中，可每计算一个距离 d_i 就进行一次比较，若 $d_i < D$ ，则捕捉成功，不需再进行下面直线段到点 S 的距离计算了。

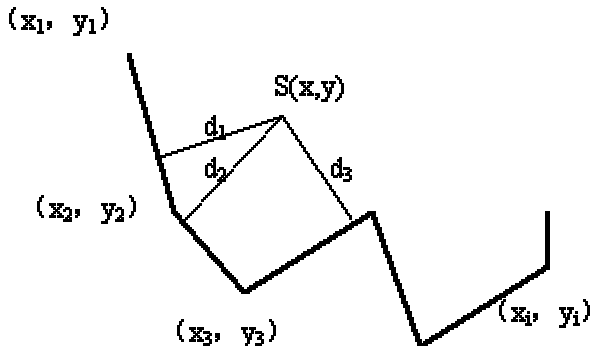


图 4—11

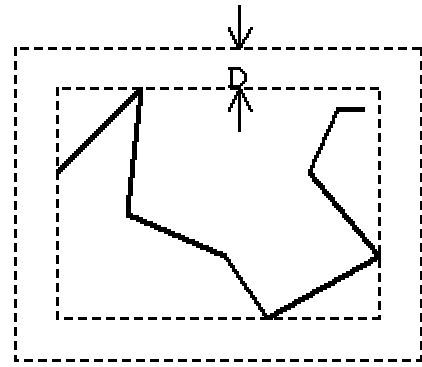


图 4—12

为了加快线捕捉的速度,可以把不可能被光标捕捉到的线以简单算法去除。如图 4—12,对一条线可求出其最大最小坐标值 Xmin, Ymin, Xmax, Ymax, 对由此构成的矩形再向外扩 D 的距离, 若光标点 S 落在该矩形内, 才可能捕捉到该条线, 因而通过简单的比较运算就可去除大量的不可能捕捉到的情况。

对于线段与光标点也应该采用类似的方法处理。即在对一个线段进行捕捉时, 应先检查光标点是否可能捕捉到该线段。即对由线段两端点组成的矩形再往外扩 D 的距离, 构成新的矩形, 若 S 落在该矩形内, 才计算点到该直线段的距离, 否则应放弃该直线段, 而取下一直线段继续搜索。

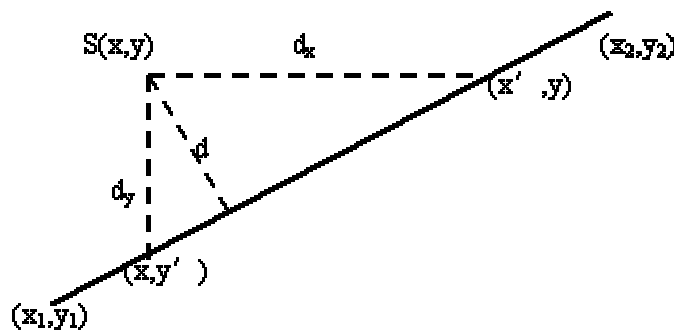


图 4—13

如图 4—13 所示, 点 S(x, y) 到直线段 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 的距离 d 的计算公式为:

$$d = \frac{|(x - x_1)(y_2 - y_1) - (y - y_1)(x_2 - x_1)|}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}$$

可以看出计算量较大, 速度较慢, 因此可按如下方法计算。即从 S(x, y) 向线段 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 作水平和垂直方向的射线, 取 dx, dy 的最小值作为 S 点到该线段的近似距离。由此可大大减小运算量, 提高搜索速度。计算方法为:

$$x' = \frac{(x_2 - x_1)(y - y_1)}{y_2 - y_1} + x_1$$

$$y' = \frac{(y_2 - y_1)(x - x_1)}{x_2 - x_1} + y_1$$

$$dx = |x' - x|$$

$$dy = |y' - y|$$

$$d = \min(dx, dy)$$

面的捕捉

面的捕捉实际上就是判断光标点 $S(x, y)$ 是否在多边形内，若在多边形内则说明捕捉到。判断点是否在多边形内的算法主要有垂线法或转角法，这里介绍垂线法。

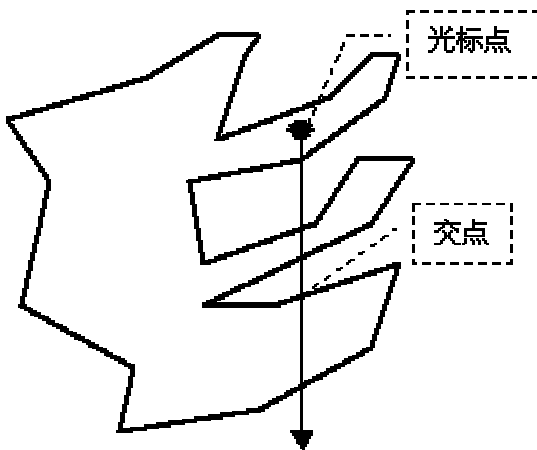


图 4—14

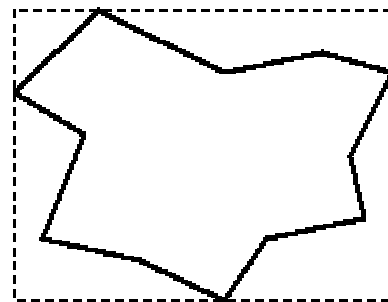


图 4—15

垂线法的基本思想是从光标点引垂线(实际上可以是任意方向的射线)，计算与多边形的交点个数。若交点个数为奇数则说明该点在内；若交点个数为偶数，则该点在外(图 4—14)。

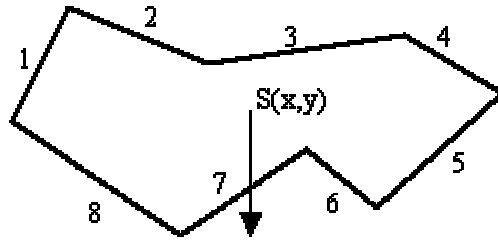


图 4—16

为了加速搜索速度，可先找出该多边形的外接矩形，即由该多边形的最大最小坐标值构成的矩形，如图 4—15。若光标点落在该矩形中，才有可能捕捉到该面，否则放弃对该多边形的进一步计算和判断，即不需进行作垂线并求交点个数的复杂运算。通过这一步骤，可去除大量不可能捕捉的情况，大大减少了运算量，提高了系统的响应速度。

在计算垂线与多边形的交点个数时，并不需要每次都对每一线段进行交点坐标的具体计算。对不可能有交点的线段应通过简单的坐标比较迅速去除。对图 4—16 所示的情况，多边形的边分别为 1~8，而其中只有第 3、7 条边可能与 S 所引的垂直方向的射线相交。即若直线段为 $(x_1, y_1) (x_2, y_2)$ 时，若 $x_1 \leq x \leq x_2$ ，或 $x_2 \leq x \leq x_1$ 时才有可能与垂线相交，这样就可对 1, 2, 4, 5, 6, 8 边进行继续的交点判断了。

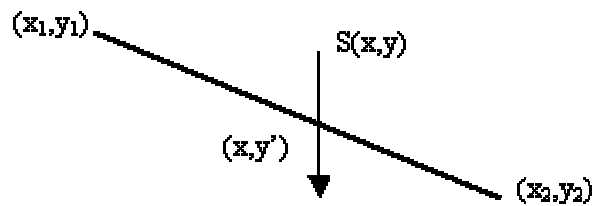


图 4—17

对于 3、7 边的情况，若 $y > y_1$ 且 $y > y_2$ 时，必然与 S 点所作的垂线相交(如边 7)；若 $y < y_1$ 且 $y < y_2$ 时，必然不与 S 点所作的垂线相交。这样就可不必进行交点坐标的计算就能判断出是否有交点了。

对于 $y_1 \leq y \leq y_2$ 或 $y_2 \leq y \leq y_1$ ，且 $x_1 \leq x \leq x_2$ 或 $x_2 \leq x \leq x_1$ 时，如图 4—17。这时可求出铅垂线与直线段的交点 (x, y') ，若 $y' < y$ 则是交点；若 $y' > y$ ，则不是交点；若 $y' = y$ 则交点在线上，即光标在多边形的边上。

以上都是一些提高面捕捉算法的常用技术。

4.2.4、图形编辑的数据组织

GIS 中的空间数据通常是分层存储的，通常可分为控制点、独立地物、居民地、境界、水系、地貌、植被等。在进行图形编辑时，需确定在什么数据层(或哪几个数据层)进行操作，以便对选定数据层的数据进行编辑。

无论空间数据库是用数据库管理还是用文件管理，都必须要为图形编辑的实现提供空间数据的读取、存储等基本功能。

由于 GIS 空间数据所涉及的地理区域较大，空间数据量是海量，因而每次编辑都针对全部空间数据进行是不现实的，因为这样的查询和编辑操作所需的时间是不能忍受的，所以，都需要采用建索引的方法，索引通常是分层建立的，主要方法有四叉树索引和格网索引。

建立了索引文件后的图形编辑，不仅要修改原始的空间数据，而且要修改相关的索引文件。

在对空间数据进行删除操作时，通常不直接删除空间数据库中的相关数据，而只是在相应的索引文件中作一标志，只有在重新整理数据库时，才进行真正的删除。

在对建立了拓扑关系的矢量数据进行图形编辑时，往往会破坏原有的拓扑关系，这时需要拓扑重构。也可以先对图形编辑所涉及的局部区域进行拓扑重构，然后与原区域进行相关处理，以获取全图的拓扑关系数据。

空间数据的坐标变换

4.3.1、几何纠正

在图形编辑中，只能消除数字化产生的明显误差，而图纸变形产生的误差难以改正，因此要进行几何纠正。几何纠正常用的有高次变换、二次变换和仿射变换。

一、高次变换

$$\begin{cases} x' = a_0 + a_1x + a_2y + a_{11}x^2 + a_{12}xy + a_{22}y^2 + A \\ y' = b_0 + b_1x + b_2y + b_{11}x^2 + b_{12}xy + b_{22}y^2 + B \end{cases}$$

其中 A、B 代表二次以上高次项之和。上式是高次变换方程，符合上式的变换称为高次变换。在进行高次变换时，需要有 6 对以上控制点的坐标和理论值，才能求出待定系数。

二、二次变换

当不考虑高次变换方程中的 A 和 B 时，则变成二次变换方程，称为二次变换。二次变换适用于原图有非线性变形的情况，至少需要 5 对控制点的坐标及其理论值，才能求出待定系数。

三、仿射变换

$$\begin{cases} x' = a_1x + a_2y + a_3 \\ y' = b_1x + b_2y + b_3 \end{cases}$$

仿射变换是使用最多的一种几何纠正方式，只考虑到 x 和 y 方向上的变形，仿射变换的特性是：

- 直线变换后仍为直线；
- 平行线变换后仍为平行线；
- 不同方向上的长度比发生变化。

对于仿射变换，只需知道不在同一直线上的三对控制点的坐标及其理论值，就可求得待定系数。但在实际使用时，往往利用 4 个以上的点进行纠正，利用最小二乘法处理，以提高变换的精度。

误差方程为：

$$\begin{cases} Q_x = X - (a_1x + a_2y + a_3) \\ Q_y = Y - (b_1x + b_2y + b_3) \end{cases}$$

其中：X、Y 为已知的理论坐标。

由 Q_x^2 最小和 Q_y^2 最小的条件可得到两组法方程：

$$\begin{cases} a_1 \sum x + a_2 \sum y + a_3 n = \sum X \\ a_1 \sum x^2 + a_2 \sum xy + a_3 \sum x = \sum xX \\ a_1 \sum xy + a_2 \sum y^2 + a_3 \sum y = \sum yX \end{cases}$$
$$\begin{cases} b_1 \sum x + b_2 \sum y + b_3 n = \sum Y \\ b_1 \sum x^2 + b_2 \sum xy + b_3 \sum x = \sum xY \\ b_1 \sum xy + b_2 \sum y^2 + b_3 \sum y = \sum yY \end{cases}$$

其中 n 为控制点个数, x, y 为控制点坐标, X, Y 为控制点的理论值, $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ 为待定系数。

通过上述法方程就可求得仿射变换的待定系数。

投影变换

当系统所使用的数据是来自不同地图投影的图幅时, 需要将一种投影的几何数据转换成所需投影的几何数据, 这就需要进行地图投影变换。

地图投影变换的实质是建立两平面场之间点的一一对应关系。假定原图点的坐标为 x, y (称为旧坐标), 新图点的坐标为 X, Y (称为新坐标), 则由旧坐标变换为新坐标的基本方程式为:

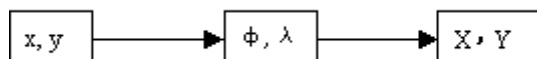
$$\begin{aligned} X &= f_1(x, y) \\ Y &= f_2(x, y) \end{aligned}$$

实现由一种地图投影点的坐标变换为另一种地图投影点的坐标就是要找出上述关系式, 其方法通常分为三类:

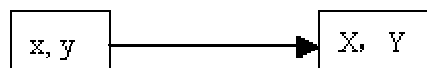
一、解析变换法

这类方法是找出两投影间坐标变换的解析计算公式。由于所采用的计算方法不同又可分为反解变换法和正解变换法。

反解变换法(又称间接变换法)。这是一种中间过渡的方法, 即先解出原地图投影点的地理 λ , 对于 x, y 的解析关系式, 将其代入新图的投影公式中求得其坐标。即:



正解变换法(又称直接变换法)。这种方法不需要反解出原地图投影点的地理坐标的解析公式, 而是直接求出两种投影点的直角坐标关系式。即:



二、数值变换法

如果原投影点的坐标解析式不知道，或不易求出两投影之间坐标的直接关系，可以采用多项式逼近的方法，即用数值变换法来建立两投影间的变换关系式。例如，可采用二元三次多项式进行变换。二元三次多项式为：

$$\begin{cases} X = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 + a_{30}x^3 + a_{21}x^2y + a_{12}xy^2 + a_{03}y^3 \\ Y = b_{00} + b_{10}x + b_{01}y + b_{20}x^2 + b_{11}xy + b_{02}y^2 + b_{30}x^3 + b_{21}x^2y + b_{12}xy^2 + b_{03}y^3 \end{cases}$$

通过选择 10 个以上的两种投影之间的共同点，并组成最小二乘法的条件式，即：

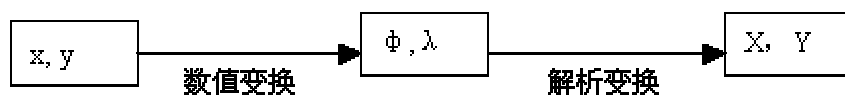
$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (X_i - X_i')^2 &= \min \\ \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_i')^2 &= \min \end{aligned}$$

其中：n 为点数， X_i, Y_i 为新投影的实际变换值， X_i', Y_i' 为新投影的理论值。根据求极值原理，可得到两组线性方程，即可求得各系数的值。

必须明确，实际中所碰到的变换，决定于区域大小，已知点密度，数据精度，所需变换精度及投影间的差异大小，理论和时间上决不是二元三次多项式所能概括的。

三、数值解析变换法

当已知新投影的公式，但不知原投影的公式时，可先通过数值变换求出原投影点的地理坐标 ϕ, λ ，然后代入新投影公式中，求出新投影点的坐标。即：



空间数据的压缩处理

4.4.1 矢量数据的压缩

矢量数据压缩的目的是删除冗余数据，减少数据的存贮量，节省存贮空间，加快后继处理的速度。下面介绍几种常用的矢量数据的压缩算法，以及它们之间的异同点。

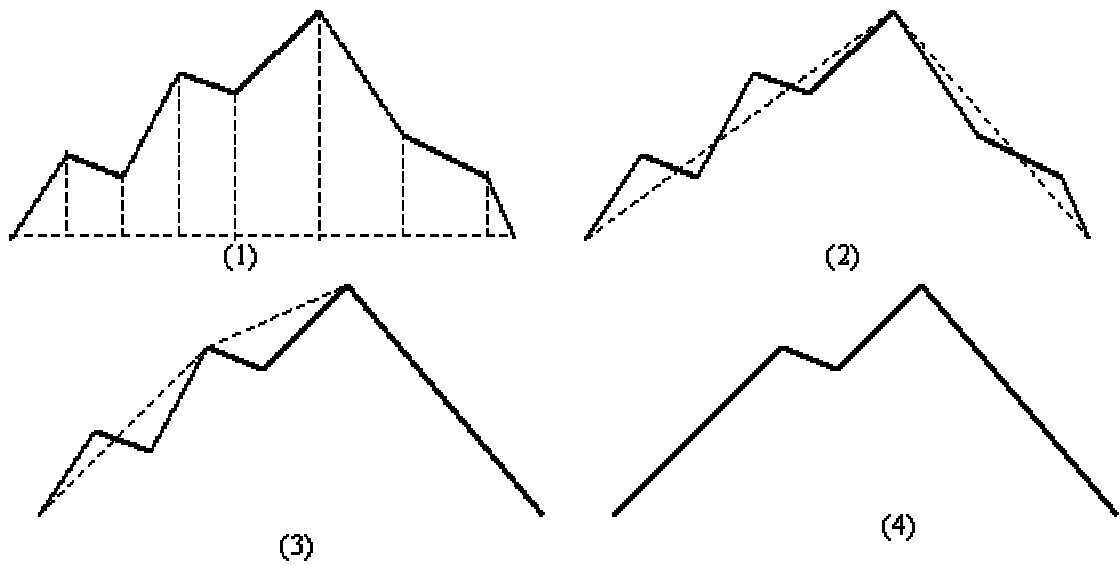


图 4—18 道格拉斯——普克法示意图

一、道格拉斯——普克法(Douglas—Peucker)

基本思路是(图 4—18)：对每一条曲线的首末点虚连一条直线，求所有点与直线的距离，并找出最大距离值 d_{max} ，用 d_{max} 与限差 D 相比：

若 $d_{max} < D$ ，这条曲线上的中间点全部舍去；

若 $d_{max} \geq D$ ，保留 d_{max} 对应的坐标点，并以该点为界，把曲线分为两部分，对这两部分重复使用该方法。

二、垂距法

垂距法的基本思路是(图 4—19)：每次顺序取曲线上的三个点，计算中间点与其它两点连线的垂线距离 d ，并与限差 D 比较。若 $d < D$ ，则中间点去掉；若 $d \geq D$ ，则中间点保留。然后顺序取下三个点继续处理，直到这条线结束。

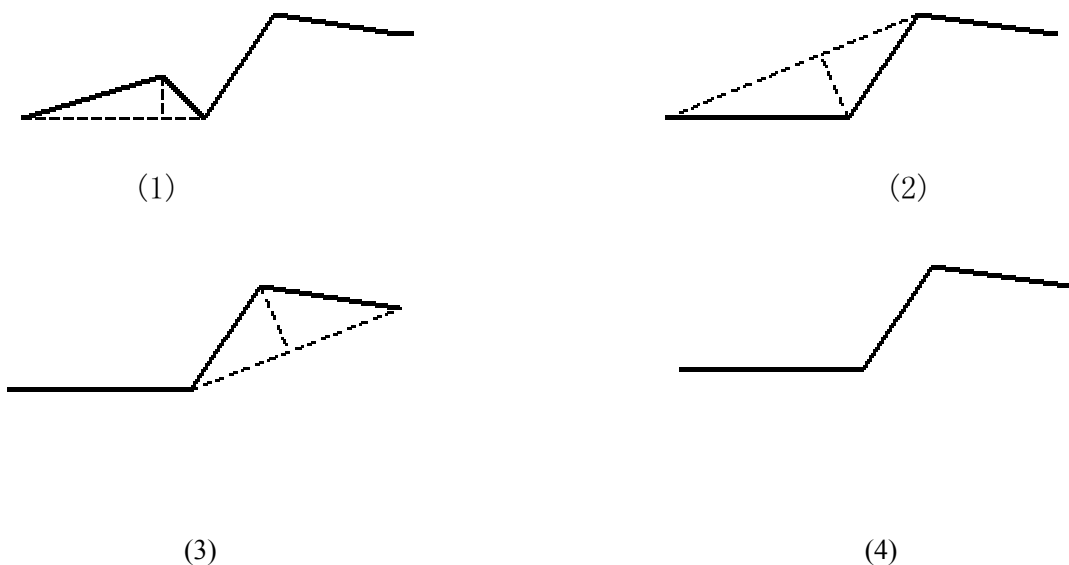


图 4—19 垂距法示意图

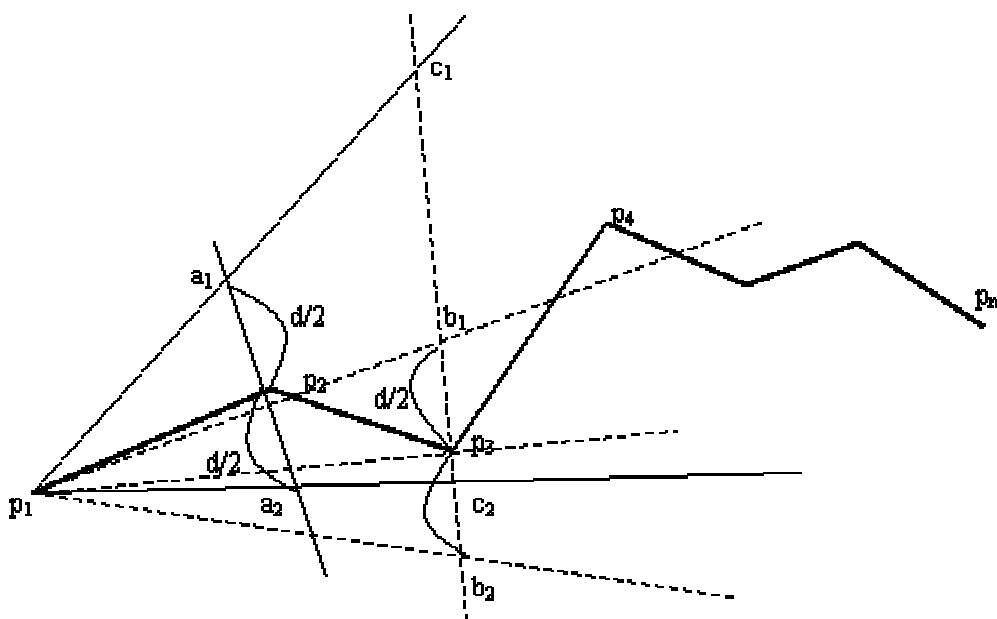


图 4—20 光栏法原理图示

三、 光栏法

光栏法的基本思想是(图 4—20): 定义一个扇形区域, 通过判断曲线上的点在扇形外还是在扇形内, 确定保留还是舍去。设曲线上的点列为 $\{p_i\}$, $i=1, 2, \dots, n$, 光栏口径为 d , 可根据压缩量的大小自己定义, 则光栏法的实施步骤可描述为:

1°、连接 p_1 和 p_2 点, 过 p_2 点作一条垂直于 p_1p_2 的直线, 在该垂线上取两点 a_1 和 a_2 , 使 $a_1p_2 = a_2p_2 = d/2$, 此时 a_1 和 a_2 为“光栏”边界点, p_1 与 a_1 、 p_1 与 a_2 的连线为以 p_1 为顶点的扇形的两条边, 这就定义了一个扇形(这个扇形的口朝向曲线的前进方向, 边长是任意的)。通过 p_1 并在扇形内的所有直线都具有这种性质, 即 p_1p_2 上各点到这些直线的垂距都不大于 $d/2$ 。

2°、若 p_3 点在扇形内, 则舍去 p_2 点。然后连接 p_1 和 p_3 , 过 p_3 作 p_1p_2 的垂线, 该垂线与前面定义的扇形边交于 c_1 和 c_2 。在垂线上找到 b_1 和 b_2 点, 使 $p_3b_1 = p_3b_2 = d/2$, 若 b_1 或 b_2 点(图 3—37 中为 b_2 点)落在原扇形外面, 则用 c_1 或 c_2 取代(图 3—37 中由 c_2 取代 b_2)。此时用 p_1b_1 和 p_1c_2 定义一个新的扇形, 这当然是口径(b_1c_2)缩小了的“光栏”。

3°、检查下一节点, 若该点在新扇形内, 则重复第(2)步; 直到发现有一个节点在最新定义的扇形外为止。

4°、当发现在扇形外的节点, 如图 3—37 中的 p_4 , 此时保留 p_3 点, 以 p_3 作为新起点, 重复 1° ~ 3°。如此继续下去, 直到整个点列检测完为止。所有被保留的节点(含首、末点), 顺序地构成了简化后的新点列。

四、几种方法的比较

如果某种矢量数据的压缩算法既能精确地表示数据，又能最大限度地淘汰不必要的点，那就是一种好的算法。具体可以依据简化后曲线的总长度、总面积、坐标平均值等与原始曲线的相应数据的对比来判别。

通过分析可以发现，大多数情况下道格拉斯——普克法的压缩算法较好，但必须在对整条曲线数字化完成后才能进行，且计算量较大；光栏法的压缩算法也很好，并且可在数字化时实时处理，每次判断下一个数字化的点，且计算量较小；垂距法算法简单，速度快，但有时会将曲线的弯曲极值点 p 值去掉而失真。

栅格数据的压缩

一、直接栅格编码

将栅格数据看作一个数据矩阵，逐行(或逐列)记录代码，可以每行都从左到右记录，也可以奇数行从左到右，偶数行从右到左。如图 4—21 的栅格数据可存储记录为：AAAAABBBBAABBAABB。

A	A	A	A
A	B	B	B
A	A	B	B
A	A	B	B

图 4—21

这种记录栅格数据的文件常称为栅格文件，且常在文件头中存有该栅格数据的长和宽，即行数和列数和两方向的密度。这样，具体的象元值就可连续存储了。其特点是处理方便，但没有压缩。

二、游程长度(行程)编码

地理数据往往有较强的相关性，也就是说相邻象元的值往往是相同的。

游程长度编码的基本思想是：按行扫描，将相邻等值的象元合并，并记录代码的重复个数。

对于图 4—21，其编码为 A4 A1 B3 A2 B2 A2 B2。若行与行之间不间断地连续编码，则为 A5 B3 A2 B2 A2 B2。

对于游程长度编码，区域越大，数据的相关性越强，则压缩越大。其特点是，压缩效率较高，叠加、合并等运算简单，编码和解码运算快。

三、四叉树编码

四叉树编码是最有效的栅格数据压缩编码方法之一，在 GIS 中有广泛的应用。其基本思路为：将 $2^n \times 2^n$ 象元组成的图像(不足的用背景补上)所构成的二维平面按四个象限进行递归分割，直到子象限的数值单调为止，最后得到一颗四分叉的倒向树，该树最高为 n 级。对于图 4—21 所构成的图像，可用四叉树编码法得到如下图所示的四叉树(图 4—22)。

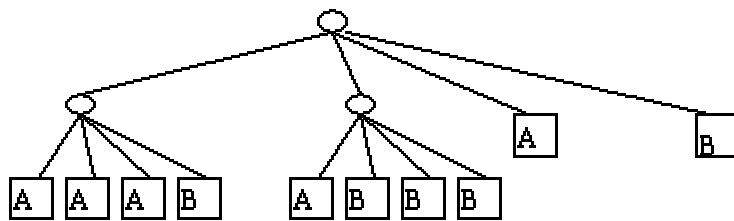


图 4—22

常规四叉树除了要记录叶结点外，还要记录中间结点，结点之间的联系靠指针。因此，为了记录常规四叉树，通常每个结点需要 6 个变量，即父结点指针、四个子结点的指针和本结点的属性值。

结点所代表的图像块的大小可由结点所在的层次决定，层次数由从父结点移到根结点的次数来确定。结点所代表的图像块的位置需要从根节点开始逐步推算下来。因而常规四叉树是比较复杂的。为了解决四叉树的推算问题，提出了一些不同的编码。下面介绍最常用的线性四叉树编码。

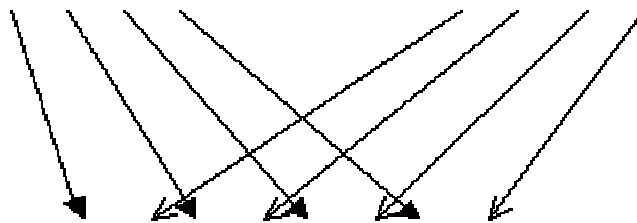
线性四叉树编码的基本思想是：不需记录中间结点和使用指针，仅记录叶结点，并用地址码表示叶结点的位置。

线性四叉树有四进制和十进制两种，下面介绍的是通常使用的十进制四叉树编码。十进制四叉树的地址码又称 Morton 码。

为了得到线性四叉树的地址码，首先将二维栅格数据的行列号转化为二进制数，然后交叉放入 Morton 码中，即为线性四叉树的地址码。

例如，对于第 5 行、第 7 列的 Morton 码为：

行数 = 5 (0 1 0 1) ; 列数 = 7 (0 1 1 1)



$$\text{Morton} = 00110111 = 55$$

这样，在一个 $2^n \times 2^n$ 的图像中，每个像元点都给出一个 Morton 码，当 $n=3$ 时即为(图 4—23)：

列 \ 行	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	1	4	5	16	17	20	21
1	2	3	6	7	18	19	22	23
2	8	9	12	13	24	25	28	29
3	10	11	14	15	26	27	30	31
4	32	33	36	37	48	49	52	53
5	34	35	38	39	50	51	54	55
6	40	41	44	45	56	57	60	61
7	42	43	46	47	58	59	62	63

图 4—23

这样就可将用行列表示的二维图像，用 Morton 码写成一维数据，通过 Morton 码就可知道象元的位置。

把一幅 $2^n \times 2^n$ 的图像压缩成线性四叉树的过程为：

- 1°、按 Morton 码把图象读入一维数组。
- 2°、相邻的四个象元比较，一致的合并，只记录第一个象元的 Morton 码。
- 3°、比较所形成的大块，相同的再合并，直到不能合并为止。

对用上述线性四叉树的编码方法所形成的数据还可进一步用游程长度编码压缩。压缩时只记录第一个象元的 Morton 码。

对于图 4—21 所示图像的 Morton 为：

$$A_0 \quad A_1 \quad A_4 \quad A_5$$

$$A_2 \quad B_3 \quad B_6 \quad B_7$$

A ₈	A ₉	B ₁₂	B ₁₃
A ₁₀	A ₁₁	B ₁₄	B ₁₅

该图中象元值的右下脚标为 Morton 码，则压缩处理过程为：

1°、按 Morton 码读入一维数组。

Morton 码: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

象元值: A A A B A B B B A A A A B B B B

2°、四相邻象元合并，只记录第一个象元的 Morton 码。

0 1 2 3 4 5 6 7 8 12

A A A B A A B B A B

3°、由于不能进一步合并，则用游程长度编码压缩。

0 3 4 6 8 12

A B A B A B

解码时，根据 Morton 码就可知道象元在图像中的位置(左上角)，本 Morton 码和下一个 Morton 码之差即为象元个数。知道了象元的个数和象元的位置就可恢复出图像了。

线性四叉树编码的优点是：压缩效率高，压缩和解压缩比较方便，阵列各部分的分辨率可不同，既可精确地表示图形结构，又可减少存贮量，易于进行大部分图形操作和运算。缺点是：不利于形状分析和模式识别，即具有图形编码的不定性，如同一种形状和大小多边形可得出完全不同的四叉树结构。

空间数据的结构转换

4.5.1 矢量—栅格转换

由于矢量数据的点到栅格数据的点只是简单的坐标变换，所以，这里主要介绍线和面(多边形)的矢量数据向栅格数据的转换。

一、线的栅格化方法

线是由多个直线段组成的，因此，线的栅格化的核心就是直线段如何由矢量数据转换为栅格数据。

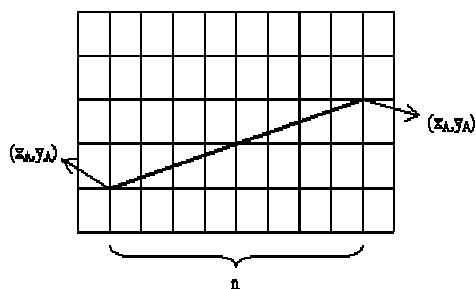


图 4—24

设直线段的两端点坐标转换到栅格数据的坐标系后为 (x_A, y_A) , (x_B, y_B) 。则栅格化的两种常用方法为 DDA 法(数字微分分析法)和 Bresenham 法。

1° 、DDA 法(数字微分分析法)

如图 4—24 所示，设 (x_A, y_A) , (x_B, y_B) 与栅格网的交点为 (x_i, y_i) ，则：

$$\begin{cases} x_{i+1} = x_i + \frac{x_B - x_A}{n} = x_i + \Delta x \\ y_{i+1} = y_i + \frac{y_B - y_A}{n} = y_i + \Delta y \end{cases}$$

其中：

$$\begin{aligned} n &= \max(|x_B - x_A|, |y_B - y_A|); \\ \Delta x &= \frac{x_B - x_A}{n}; \quad \Delta y = \frac{y_B - y_A}{n}; \\ x_0 &= x_A; \quad y_0 = y_A; \quad x_n = x_B; \quad y_n = y_B. \end{aligned}$$

这样从 $i=0$ 计算到 $i=n-1$ ，即可得直线与格网的 n 个交点坐标，对其取整就是该点的栅格数据了。

该方法的基本依据是直线的微分方程，即 $dy/dx = \text{常数}$ 。其本质是用数值方法解微分方程，通过同时对 x 和 y 各增加一个小增量来计算下一步的 x, y 值，即这是一种增量算法。

在该算法中，必须以浮点数表示坐标，且每次都要舍入取整，因此，尽管算法正确，但速度不够快。

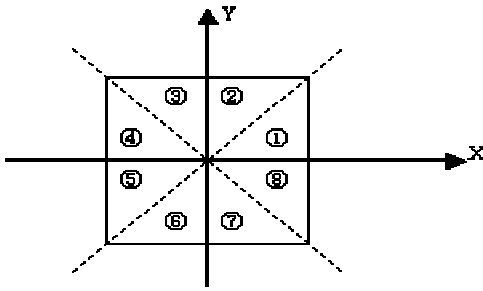


图 4—25

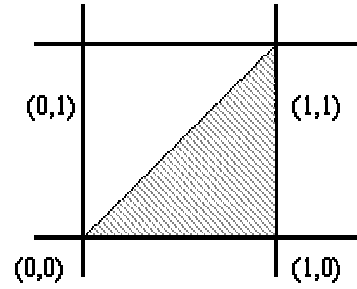


图 4—26

2° 、Bresenham 算法

该算法原来是为绘图机设计的，但同样适合于栅格化。该算法构思巧妙，只需根据由直线斜率构成的误差项的符号，就可确定下一列坐标的递增值。

根据直线的斜率，把直线分为 8 个卦限(如图 4—25)。下面举斜率在第一卦限的情况为例，其余卦限的情况类似。

该算法的基本思路可描述为：如图 4—26，若直线的斜率为 $1/2 \leq \Delta y / \Delta x \leq 1$ ，则下一点取(1, 1)点，若 $0 \leq \Delta y / \Delta x < 1/2$ ，则下一点取(1, 0)点。

在算法实现时，令起始的误差项为 $e = -1/2$ ，然后在推断出下一点后，令 $e = e + \Delta y / \Delta x [SX]$ ，若 $e \geq 0$ 时， $e = e - 1$ 。这样只要根据 e 的符号就可确定下一点的增量，即：

若 $e \geq 0$ ，取(1, 1)点

若 $e < 0$ ，取(1, 0)点

为避免浮点运算，可令初值 $e' = e \times 2 \times \Delta x = 2 \times \Delta y - \Delta x$ (当 $\Delta x \geq 0$ 时，与 e 同号)。

当 $e' > 0$ 时，y 方向获增量 1，即令 $e' = e' - 2 \times \Delta x$ ；

一般情况下 $e' = e' + 2\Delta y$

例如，一直线的斜率为 $1/3$ (如图 4—27)。

起始点： $e = -1/2$ ， 即 $e' = -3$ ， 取点①

第 2 点： $e = -1/2 + 1/3 = -1/6$ ， $e' = -3 + 2\Delta y = -1$ 取点②

第 3 点： $e = -1/6 + 1/3 = 1/6$ ， 即 $e' = -1 + 2 = 1$ ， 取点③且 $e = -5/6, e' = -3$ ；

第4点: $e=1/6 + 1/3 = 1/2 > 0$, 即 $e' = -5+2=-3$, 取点④

因 $e \geq 1/2$, 所以, $e=1/2-1=-1/2$ 。

依次进行, 直到到达直线的另一端点。

这种算法不仅速度快、效果好, 而且可以理论上证明它是目前同类各种算法中最优的。

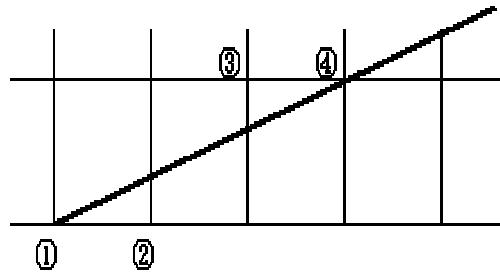


图 4-27

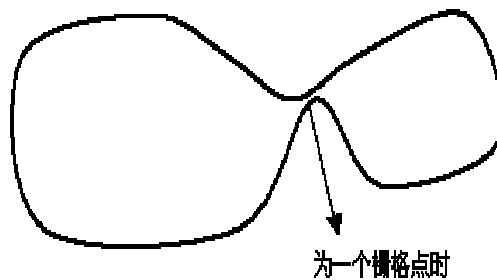


图 4—28

二、面(多边形)的栅格化方法

1°、内部点扩散法

由一个内部的种子点, 向其4个方向的邻点扩散。判断新加入的点是否是多边形边界上, 如果是, 不作为种子点, 否则当作新的种子点, 直到区域填满, 无种子点为止。

该算法比较复杂, 而且可能造成阻塞而造成扩散不能完成(如图 4—28), 此外若多边形不完全闭合时, 会扩散出去。

2°、扫描法

如图 4—29, 按扫描线的顺序, 计算多边形与扫描线的相交区间, 再用相应的属性值填充这些区间, 即完成了多边形的栅格化。

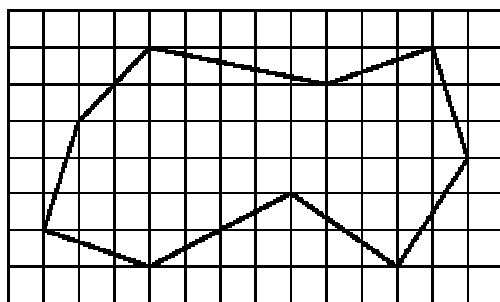


图 4—29

这种算法的缺点是计算量较大。

3°、边填充算法

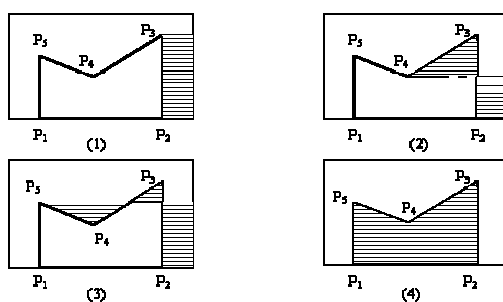


图 4—30

其基本思想是：对于每一条扫描线和每条多边形边上的交点，将该扫描线上交点右方的所有象素取原属性值之补。对多边形的每条边作此处理，多边形的方向任意。图 4—30 是一个简单的例子。

本算法的优点是算法简单，缺点是对于复杂图形，每一象素可能被访问多次，增加了运算量。为了减少边填充算法访问象素的次数，可引入栅栏。

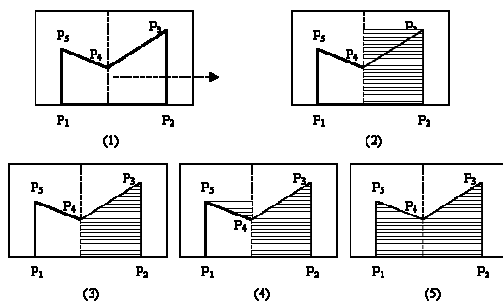


图 431

所谓栅栏指的是一条与扫描线垂直的直线，栅栏位置通常取多边形的顶点，且把多边形分为左右两半。栅栏填充算法的基本思路是：对于每个扫描线与多边形的交点，将交点与栅栏之间的象素用多边形的属性值取补。若交点位于栅栏左边，则将交点右边，栅栏左边的所有象素取补；若交点位于栅栏的右边，则将栅栏右边，交点左边的象素取补。图 4—31 是该算法的示意图。

栅格—矢量转换

栅格数据到矢量数据转换的一般过程可描述为：

一、二值化

由于扫描后的图像是以不同灰度级存储的，为了进行栅格数据矢量化转换，需压缩为两级(0 和 1)，这就称为二值化。

二值化的关键是在灰度级的最大和最小值之间选取一个阈值，当灰度级小于阈值时，取值为 0，当灰度级大于阈值时，取值为 1。阈值可根据经验进行人工设定，虽然人工设定的值往往不是最佳阈值，但在扫描图比较清晰时，是行之有效的。当扫描图不清晰时，需由灰度级直方图来确定阈值，其方法为：

设 M 为灰度级数， P_k 为第 k 级的灰度的概率， n_k 为某一灰度级的出现次数， n 为象元总数，则有：

$$P_k = n_k / n \quad k=1, \dots, M$$

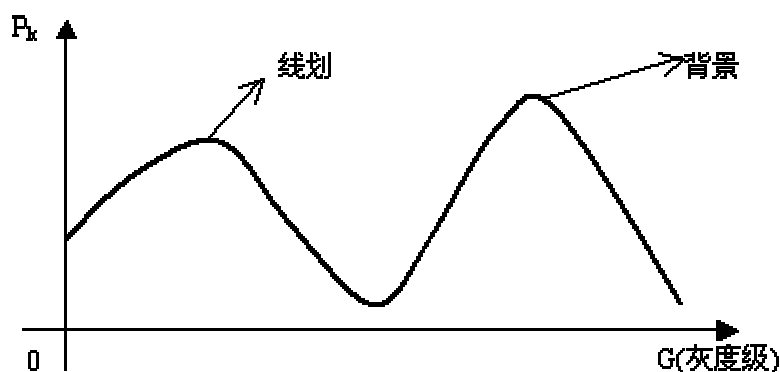


图 4—32

对于地图，通常在灰度级直方图上出现两个峰值(见图 4—22)，这时，取波谷处的灰度级为阈值，二值化的效果较好。

二、二值图像的预处理

对于扫描输入的图幅，由于原稿不干净等原因，总是会出现一些飞白、污点、线划边缘凹凸不平等。除了依靠图像编辑功能进行人机交互处理外，还可以通过一些算法来进行处理。

例如用 3×3 的象素矩阵，规定各种情况的处理原则，图 4—23 是两个简单的例子：

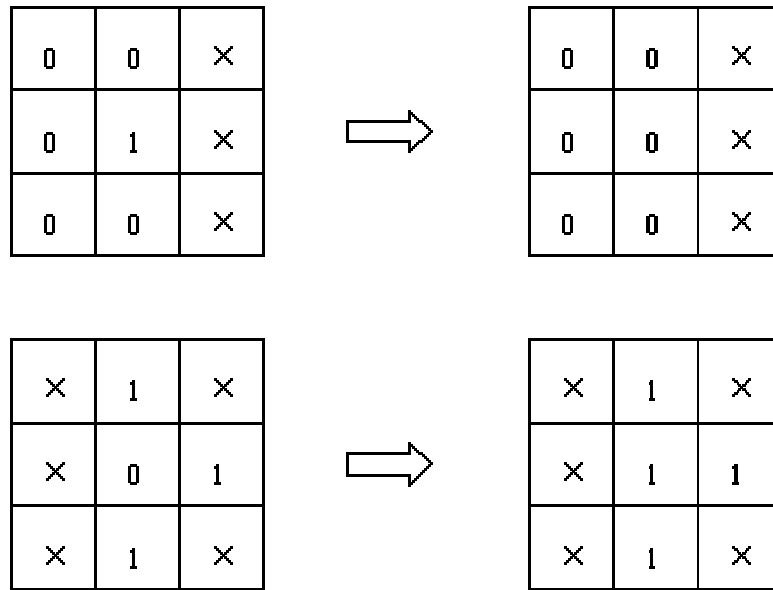


图 4—33

其中“×”表示任何象素值。

除了上述方法外，还可用其它许多方法。例如，对于飞白和污点，给定其最小尺寸，不足的消除；对于断线，采取先加粗后减细的方法进行断线相连；用低通型滤波进行破碎地物的合并，用高通滤波提取区域范围等等。

三、细化

所谓细化就是将二值图像象元阵列逐步剥除轮廓边缘的点，使之成为线划宽度只有一个象元的骨架图形。细化后的图形骨架既保留了原图形的绝大部分特征，又便于下一步的跟踪处理。

细化的基本过程是：(1) 确定需细化的象元集合；(2) 移去不是骨架的象元；(3) 重复，直到仅剩骨架象元。

细化的算法很多，各有优缺点。经典的细化算法是通过 3×3 的象元组来确定如何细化的。其基本原理是，在 3×3 的象元组中，凡是去掉后不会影响原栅格影像拓扑连通性的像元都应该去掉，反之，则应保留。 3×3 的象元共有 2^8 即

256 种情况，但经过旋转，去除相同情况，共有 51 种情况，其中只有一部分是可以将中心点剥去的，如图 4—24(1)、(2)是可剥去的，而(3)、(4)的中心点是不可剥去的。通过对每个象元点经过如此反复处理，最后可得到应保留的骨架象元。

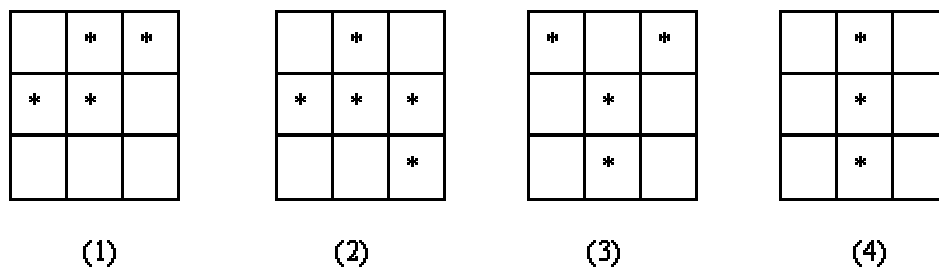


图 4—34

如果是对扫描后的地图图像进行细化处理，应符合下列基本要求：

- 1°、保持原线划的连续性；
- 2°、线宽只为一个象元；
- 3°、细划后的骨架应是原线划的中心线；
- 4°、保持图形的原有特征。

四、追踪

细化后的二值图像形成了骨架图，追踪就是把骨架转换为矢量图形的坐标序列。其基本步骤为：

- 1°、从左向右，从上向下搜索线划起始点，并记下坐标。
- 2°、朝该点的 8 个方向追踪点，若没有，则本条线的追踪结束，转(1)进行下一条线的追踪；否则记下坐标。
- 3°、把搜索点移到新取的点上，转 2°。

注意的是，已追踪点应作标记，防止重复追踪。

五、拓扑化

为了进行拓扑化，需找出线的端点和结点，以及孤立点。

- 1°、孤立点：8 邻域中没有为 1 的象元。如图 4—25(1)。
- 2°、端点：8 邻域中只有一个为 1 的象元。如图 4—25(2)。

3°、结点：8邻域中有三个或三个以上为1的象元。如图4—25(3)。

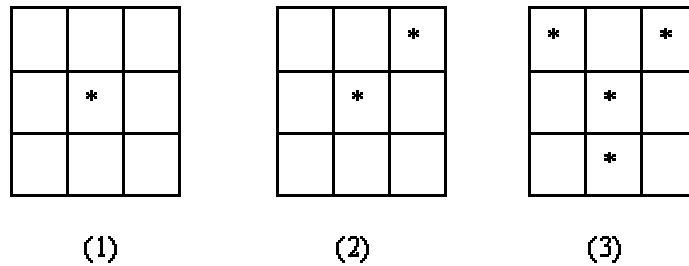


图4—35

在追踪时加上这些信息后，就可形成结点和孤段，就可用矢量数据的自动拓扑方法进行拓扑化了。

空间数据的插值方法

4.6.1 空间数据的插值

用各种方法采集的空间数据往往是按用户自己的要求获取的采样观测值，亦既数据集合是由感兴趣的区域内的随机点或规则网点上的观测值组成的。但有时用户却需要获取未观测点上的数据，而已观测点上的数据的空间分布使我们有可能从已知点的数据推算出未知点的数据值。

在已观测点的区域内估算未观测点的数据的过程称为内插；在已观测点的区域外估算未观测点的数据的过程称为外推。

空间数据的内插和外推在GIS中使用十分普遍。一般情况下，空间位置越靠近的点越有可能获得与实际值相似的数据，而空间位置越远的点则获得与实际值相似的数据的可能性越小。下面介绍一些常用的内插方法。

一、边界内插

使用边界内插法时，首先要假定任何重要的变化都发生在区域的边界上，边界内的变化则是均匀的、同质的。

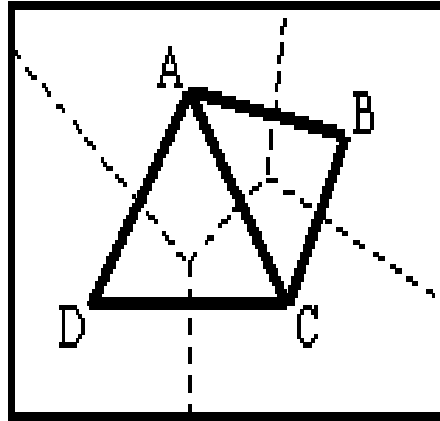


图 4—36

边界内插的方法之一是泰森多边形法。泰森多边形法的基本原理是，未知点的最佳值由最邻近的观测值产生。如图 4—26 所示。

泰森多边形的生成算法见 § 5.7。

二、 趋势面分析

趋势面分析是一种多项式回归分析技术。多项式回归的基本思想是用多项式表示线或面，按最小二乘法原理对数据点进行拟合，拟合时假定数据点的空间坐标 X 、 Y 为独立变量，而表示特征值的 Z 坐标为因变量。

当数据为一维时，可用回归线近似表示为：

$$Z = a_0 + a_1 X$$

其中， a_0 、 a_1 为多项式的系数。当 n 个采样点方差和为最小时，则认为线性回归方程与被拟合曲线达到了最佳配准，如图 4—37 所示，即：

$$\sum_{i=1}^n (\hat{Z}_i - Z_i)^2 = \min$$

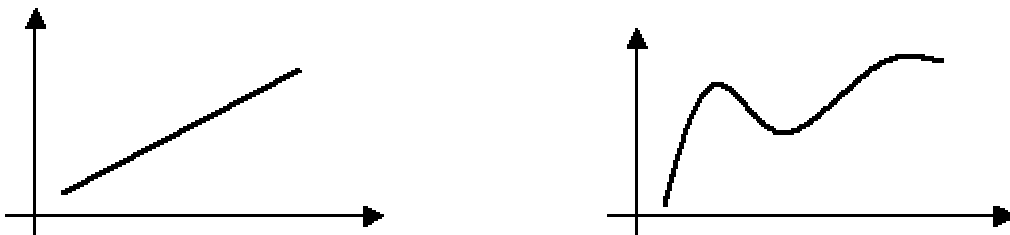


图 4—37

图 4—38

当数据以更为复杂的方式变化时，如图 4—38 所示。在这种情况下，需要用到二次或高次多项式：

$$Z = a_0 + a_1X + a_2X^2 \quad (\text{二次曲线})$$

在 GIS 中，数据往往是二维的，在这种情况下，需要用到二元二次或高次多项式：

$$Z = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3X^2 + a_4XY + a_5Y^2 \quad (\text{二次曲面})$$

多项式的次数并非越高越好，超过 3 次的多元多项式往往会导致奇异解，因此，通常使用二次多项式。

趋势面是一种平滑函数，难以正好通过原始数据点，除非数据点数和多项式的系数的个数正好相同。这就是说，多重回归中的残差属正常分布的独立误差，而且趋势面拟合产生的偏差几乎都具有一定程度的空间非相关性。

三、 局部内插

在 GIS 中，实际的连续空间表面很难用一种数学多项式来描述，因此，往往使用局部内插技术，即利用局部范围内的已知采样点的数据内插出未知点的数据。常用的有线性内插、双线性多项式内插、双三次多项式（样条函数）内插。

(1)、线性内插

线性内插的多项式函数为：

$$Z = a_0 + a_1X + a_2Y$$

只要将内插点周围的 3 个数据点的数据值带入多项式，即可解算出系数 a_0 、 a_1 、 a_2 。

(2)、双线性多项式内插

双线性多项式内插的多项式函数为：

$$Z = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3XY$$

只要将内插点周围的 4 个数据点的数据值带入多项式，即可解算出系数 a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 。

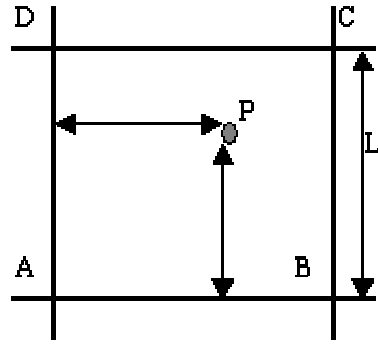


图 4—39

如果数据是按正方形格网点布置的（如图 4—39），则可用简单的公式即可计算出内存点的数据值。

设正方形的四个角点为 A、B、C、D，其相应的特征值为 Z_A 、 Z_B 、 Z_C 、 Z_D ，P 点相对于 A 点的坐标为 dX 、 dY ，则插值点的特征值 Z 为：

$$Z = \left(1 - \frac{dX}{L}\right) \cdot \left(1 - \frac{dY}{L}\right) \cdot Z_A + \left(1 - \frac{dY}{L}\right) \cdot \frac{dX}{L} \cdot Z_B + \frac{dX}{L} \cdot \frac{dY}{L} \cdot Z_C + \left(1 - \frac{dX}{L}\right) \cdot \frac{dY}{L} \cdot Z_D$$

(3)、双三次多项式（样条函数）内插

双三次多项式是一种样条函数。样条函数是一种分段函数，对于 n 次多项式，在边界处其 $n-1$ 阶导数连续。因此，样条函数每次只用少量的数据点，故内插速度很快；样条函数通过所有的数据点，故可用于精确的内插，可以保留微地貌特征；样条函数的 $n-1$ 阶导数连续，故可用于平滑处理。

双三次多项式内插的多项式函数为：

$$Z = a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 X^2 + a_4 XY + a_5 Y^2 + a_6 X^3 + a_7 XY^2 + a_8 X^2 Y^2 + a_9 X^2 Y + a_{10} Y^3 + a_{11} XY^3 + a_{12} X^3 Y + a_{13} X^2 Y^3 + a_{14} X^3 Y^2 + a_{15} X^3 Y^3$$

将内插点周围的 16 个点的数据带入多项式，可计算出所有的系数。

四、 移动平均法

在未知点 X 处内插变量 Z 的值时，最常用的方法之一是在局部范围（或称窗口）内计算个数据点的平均值。既：

$$\bar{Z}(X) = \frac{1}{n} \sum_i^n Z(X_i)$$

对于二维平面的移动平均法也可用相同的公式，但位置 X_i 应被坐标矢量 X_i 代替。

窗口的大小对内插的结果有决定性的影响。小窗口将增强近距离数据的影响；大窗口将增强远距离数据的影响，减小近距离数据的影响。

当观测点的相互位置越近，其数据的相似性越强；当观测点的相互位置越远，其数据的相似性越低。因此，在应用移动平均法时，根据采样点到内插点的距离加权计算是很自然的。这就是加权移动平均法，即：

$$\hat{Z}(X) = \frac{1}{n} \sum_i^n \lambda_i Z(X_i)$$

其中， λ_i 是采样点 i 对应的权值，常取的形式有：

$$\lambda_i = \frac{1}{d_i^2}$$
$$\lambda_i = \frac{R - d_i^2}{d_i}$$
$$\lambda_i = e^{-d_i^2 / R^2}$$

加权平均内插的结果随使用的函数及其参数、采样点的分布、窗口的大小等的不同而变化。通常使用的采样点数为 6—8 点。对于不规则分布的采样点需要不断地改变窗口的大小、形状和方向，以获取一定数量的采样点。

数字高程模型(DEM)的生成

一、数字高程模型 (DEM) 的概念

数字高程模型 (DEM)，也称数字地形模型 (DTM)，是一种对空间起伏变化的连续表示方法。由于 DTM 隐含有地形景观的意思，所以，常用 DEM，以单纯表示高程。

尽管 DEM 是为了模拟地面起伏而开始发展起来的，但也可以用于模拟其它二维表面的连续高度变化，如气温、降水量等。对于一些不具有三维空间连续分布特征的地理现象，如人口密度等，从宏观上讲，也可以用 DEM 来表示、分析和计算。

DEM 有许多用途，例如：在民用和军用的工程项目(如道路设计)中计算挖填土石方量；为武器精确制导进行地形匹配；为军事目的显示地形景观；进行越野通视情况分析；道路设计的路线选择、地址选择；不同地形的比较和统计分析；计算坡度和坡向，绘制坡度图、晕渲图等；用于地貌分析，计算侵蚀和径流等；与专题数据，如土壤等，进行组合分析；当用其它特征(如气温等)代替高程后，还可进行人口、地下水位等的分析。

二、DEM 的表示方法

(1) 拟合法

拟合法是指用数学方法对表面进行拟合，主要利用连续的三维函数(如富立叶级数、高次多项式等)。但对于复杂的表面，进行整体的拟合是不可行的，所以，通常采用局部拟合法。

局部拟合法将复杂表面分成正方形的小块，或面积大致相等的不规则形状的小块，用三维数学函数对每一小块进行拟合，由于在小块的边缘，表面的坡度不一定是连续变化的，所以应使用加权函数来保证小块接边处的匹配。

用拟合法表示 DEM 虽然在地形分析中用的不多，但在其它类型的机助设计系统(如飞机、汽车等的辅助设计)中应用广泛。

(2) 等值线

等值线是地图上表示 DEM 的最常用方法，但并不适用于坡度计算等地形分析工作，也不适用于制作晕渲图、立体图等。

(3) 格网 DEM

格网 DEM 是 DEM 的最常用的形式，其数据的组织类似于图像栅格数据，只是每个象元的值是高程值。即格网 DEM 是一种高程矩阵(如图 4—1)。其高程数据可直接由解析立体测图仪获取，也可由规则或不规则的离散数据内插产生。

格网 DEM 的优点是：数据结构简单，便于管理；有利于地形分析，以及制作立体图。其缺点是：格网点高程的内插会损失精度；格网过大会损失地形的关键特征，如山峰、洼坑、山脊等；如不改变格网的大小，不能适用于起伏程度不同的地区；地形简单地区存在大量冗余数据。

100	110	120	140	110	105	90
120	115	130	135	120	110	100
135	120	120	130	130	120	110
145	130	115	120	120	115	118

150	140	135	130	135	120	110
145	135	150	140	138	125	120

图 4—41

(4) 不规则三角网 DEM(TIN)

不规则三角网 DEM 直接利用原始采样点进行地形表面的重建，由连续的相互联接的三角面组成(如图 4—4)，三角面的形状和大小取决于不规则分布的观测点的密度和位置。不规则三角网 DEM 的优点是：能充分利用地貌的特征点、线，较好地表示复杂地形；可根据不同地形，选取合适的采样点数；进行地形分析和绘制立体图也很方便。其缺点是：由于数据结构复杂，因而不便于规范化管理，难以与矢量和栅格数据进行联合分析。

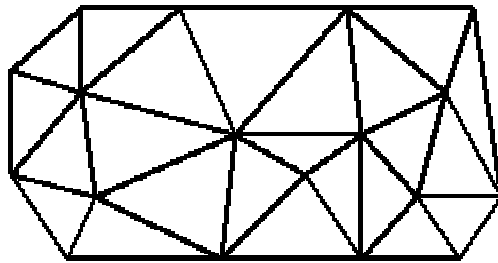


图 4—42

通常所说的 DEM 即指格网 DEM 和不规则三角网 DEM，地形分析也基于此。

三、格网 DEM 的建立

格网 DEM 的数据可直接从解析测图仪获取，下面介绍的是如何由离散点来构建格网 DEM 的方法。

离散点构格网 DEM 是在原始数据呈离散分布，或原有的格网 DEM 密度不够时需使用的方法。其基本思路是：选择一合理的数学模型，利用已知点上的信息求出函数的待定系数，然后求算规则格网点上的高程值。

离散点构格网 DEM 所采用的是内插算法，插值的方法很多，如按距离加权法、多项式内插法、样条函数内插法、多面函数法等等。大量的实验证明，由于实际地形的非平稳性，不同的内插方法对 DEM 的精度并无显著影响，主要取决于原始采样点的密度和分布。简单而常用的为线性内插法和双线性多项式内插法。

线性内插的数学模型为：

$$Z = a_0 + a_1x + a_2y$$

双线性多项式内插的数学模型为:

$$Z = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy$$

其中, x, y 为平面坐标, Z 为高程, a_1, a_2, a_3, a_4 为待定系数。

只要将与插值点距离最近的三个点(对线性内插)或四个点(对双线性多项式内插)的坐标值和高程值代入方程, 即可解出全部系数, 然后用插值点的坐标带入方程, 即可计算出该点的高程值。

距离加权法的数学模型为:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

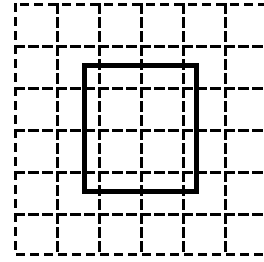
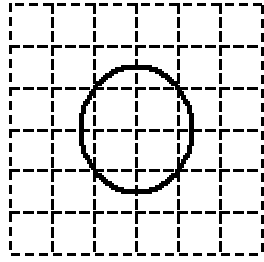
为了计算点 (x, y) 的高程 Z , 可取该点周围的 n 个点 ($i=1, \dots, n$), 按上述公式计算。 Z_i 为第 i 点的高程, P_i 为第 i 点的权值, 计算公式为:

$$P_i = \frac{1}{d_i^u} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

其中 u 是一个大于 0 的正数, 通常取 1 或 2, 是 i 点 (x_i, y_i) 到格网点 (x, y) 的距离, 即:

$$d_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

在构建格网 DEM 的内插方法中, 经常需要选取与插值点距离最近的若干个点。如图 4—43(1), 如果通过计算各离散点与待插值点的距离, 然后选取距离最短的若干个点的的方法来选取, 尽管方法正确, 但计算量大, 影响插值的速度。因此, 可以在插值点上建立一正方形的选取框, 如图 4—43(2), 这样通过简单的坐标值比较就可找出落入框内的数据点。当落入框内的数据点较多时, 可缩小框的尺寸; 反之, 增大框的尺寸。选取框尺寸的初始值可根据图幅中原始数据点的密度来确定。设图幅的面积为 A , 共有 N 个数据点, 则每点的平均面积 A_0 为:



$$A_0 = A / N$$

(1)

(2)

图 4—43

若需要选取插值点附近的 K 个点，则选取框的面积应为： $A_1 = K \cdot A_0$ 。

$A_1^{1/2}$ 就是该选取框的边长。在实际运算时，边长可再大一些，以尽量保证落入选取框中的数据点数大于或等于 K ，这样在缩小选取框时，只要对原框内数据点再判断即可。

四、 不规则三角网 DEM 的建立

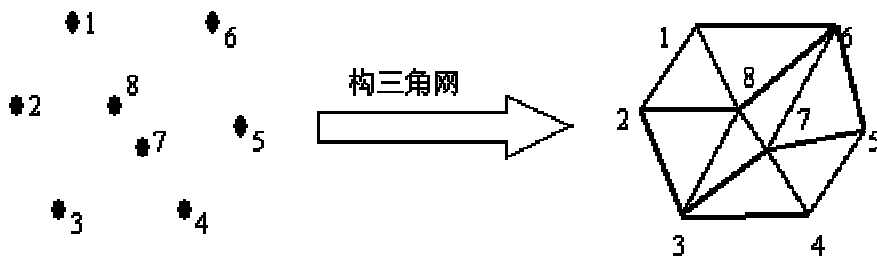


图 4—44

所谓建立不规则三角网 DEM，就是由离散数据点构建三角网，如图 4—3，即确定哪三个数据点构成一个三角形，也称为自动联接三角网。即对于平面上 n 个离散点，其平面坐标为 (x_i, y_i) ， $i=1, 2, \dots, n$ ，将其中相近的三点构成最佳三角形，使每个离散点都成为三角形的顶点。自动联接三角网的结果为所有三角形的三个顶点的标号，如：

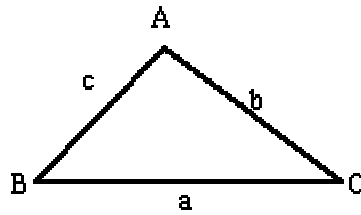
1, 2, 8

2, 8, 3

3, 8, 7

⋮

为了获得最佳三角形，在构三角网时，应尽可能使三角形的三内角均成锐角。其基本依据是三角形余弦定理(图 4—45)：



$$\cos C = (a^2 + b^2 - c^2) / 2ab$$

图 4—45

在已知 A、B 点，即已知 c 边时，要选取另一个三角形顶点 C 时，若 C 角最大，则要扩展的三角形的顶点 C 离扩展边 c 的距离最短。这样可保证由相邻最近的三点构成三角形，并且保证不让某个离散点在组成三角网时被漏掉。在自动连接三角网的软件设计时，要设 L 和 K 两个变量，L 记录已形成的三角形数，K 记录已扩展的三角形数。为了记录结果可设三个数组 $t_1[]$ 、 $t_2[]$ 、 $t_3[]$ ，分别存放所构成的每个三角形的顶点编号。

构建三角网的第一步是形成第一个三角形。可选择离散点中最相近的两个点作为第一个三角形的两个顶点，并置 $L=1$ ，把这两点的编号记录在 $t_1[L]$ 和 $t_2[L]$ 中。三角形的第三个顶点可按余弦定理，分别检查各个离散点，取与 $t_1[L]$ 和 $t_2[L]$ 连线最近的点，并把编号记录到 $t_3[L]$ 中。

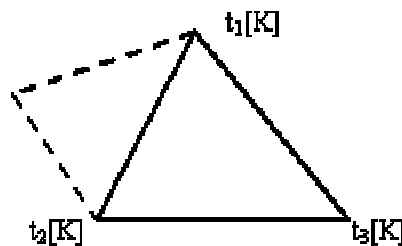


图 4—46

第一个三角形形成后，置 $K=1$ ，并以该三角形的三边向外扩展三角形。所谓扩展三角形是指从三角形的每条边向外再形成三角形。

例如，如图 4—45，对于 $t_1[K]$ 、 $t_2[K]$ 、 $t_3[K]$ 构成的三角形，需对每一边向外扩展形成新的三角形。当从 $t_1[K]$ 和 $t_2[K]$ 组成的边向外扩展时，显然位于 $t_3[K]$ 同侧的离散点应被排除在外。这可用直线判别正负区的原理来实现。直线方程的判别式为：

$$F(x, y) = y - Ax - B$$

其中： $A = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$
 $B = (y_1 x_2 - y_2 x_1) / (x_2 - x_1)$
 $F(x, y) > 0$ ，点位于正区
 $F(x, y) = 0$ ，点位于线上
 $F(x, y) < 0$ ，点位于负区

把 $t_3[K]$ 的坐标代入判别式计算，记录下判别式的正负，则只有当离散点的判别式的值与 $t_3[K]$ 的判别式的值符号相反时，才有可能成为被扩展的点。

在这些可能被扩展的点中，找出对扩展边张角最大的点，就是要扩展的点。

为了避免重复与交叉，还要进行一次检查判断，即要判断新的三角形的三条边是否已被形成的三角形用过两次。若有一条边被用过两次，则此次扩展无效；否则此次扩展有效，且 L 加 1。

对三角形的第二条边和第三条边采用相同的方法扩展。三角形的三条边都扩展完后，令 K 加 1，并继续扩展下一个三角形。

当 $K=L$ ，且第 K 个三角形已扩展完毕时，表明对所有已形成的三角形都已进行了扩展，则构建三角网完成。

图像数据的处理方法

4.7.1 图像增强

一幅图像经过生成、复制、扫描、传输、变换后，由于多种因素的影响，图像的质量不能满足要求，这时就需要进行图像增强处理。图像增强的目的是改善图像的效果，以更适应人眼的观察或计算机的处理。

但是，对图像质量的评价并没有统一的标准，图像增强的方法往往带有一定的针对性。下面介绍一些基本的图像增强方法。

一、灰度级的修整

直接修改图像像素点灰度级是一种简单而有效的图像增强方法，主要有两种形式：一种是灰度级校正，通过修改像素点的灰度级来补偿记录图像时的不均匀曝光；另一种是灰度级变换，用统一的方法改变图像的灰度，以提高图像的质量。

(1)、灰度级校正

图像记录系统应将物体的亮度单调地映射成图像的灰度级。在理想情况下，上述映射关系不随像素点的位置而变化，然而，实际上却随像素点的位置而变化，即是不均匀曝光。

假定均匀曝光下图像的灰度级为 $f(x, y)$ ，而实际上非均匀曝光下图像的灰度级为：

$$g(x, y) = e(x, y) \cdot f(x, y)$$

其中 $e(x, y)$ 描述了曝光的非均匀性。

为了确定 $e(x, y)$ ，可使用一个已知亮度的均匀场面的图像来核准图像记录系统。设这个均匀场面经过均匀曝光后的灰度级为常数 C ，而这个均匀场面经过非均匀曝光后的图像为 $g_c(x, y)$ ，则：

$$e(x, y) = g_c(x, y) / C$$

这样根据 $e(x, y)$ 就能校正该系统得到的任何图像。

(2)、灰度变换

当图像成像时曝光不足或过度，图像记录设备的范围太窄等因素，都会产生对比不足的问题，使图像的细节分辨不清。为此需对每一像素的灰度级进行变换，扩大图像灰度的范围，达到图像增强的目的。

设原图像中像素点 (x, y) 处的灰度级为 $f(x, y)$ ，通过映射函数 T ，生成的图像的灰度级为 $g(x, y)$ ，即：

$$g(x, y) = T[f(x, y)]$$

1° 线性灰度变换

将对比度较差的图像的灰度线性扩展，常能显著改善图像的质量。

假定原图像 $f(x, y)$ 的灰度范围为 $[a, b]$ ，变换后的图像 $g(x, y)$ 的灰度范围为 $[c, d]$ ，则有：

$$g(x, y) = \frac{(d - c)[f(x, y) - a]}{b - a} + c$$

2° 非线性灰度变换

当用某些非线性函数，如对数、指数函数作为映射函数时，可实现图像灰度的非线性变换。对数变换的一般公式为：

$$g(x, y) = a + \frac{\ln[f(x, y) + 1] / b}{\ln c}$$

a、b、c 为可调参数。当希望对图像的低灰度区有较大的扩展，而对高灰度区进行压缩时，可采用此变换。

指数变换的形式为：

$$g(x, y) = b^{[f(x, y) - a]} - 1$$

这种变换能对图像的高灰度区以较大的扩展。

3° 灰度分层切片

$$g(x, y) = \begin{cases} MAX & a < f(x, y) < b \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

此变换将图像中的某一段灰度范围抽取出来，转换成最大的灰度值。

(3)、直方图变换

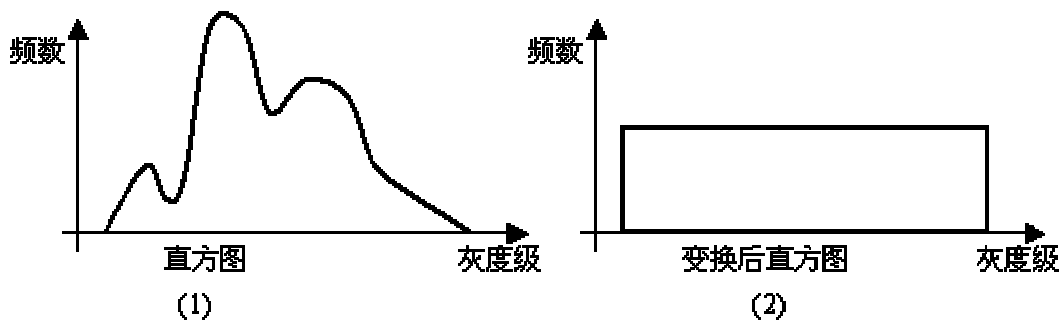


图 4—47

直方图表示数字图像中每一灰度级与其出现的频数（具有该灰度级的像素的数目）间的统计关系，横坐标表示灰度级，纵坐标表示频数（或相对频数=频数/总像素数）。直方图能给出图像的概貌性描述，如图像的灰度范围、灰度级的大致分布情况等。

1° 直方图均衡化

如图 4—47 (1)、(2)，把原图像的直方图变换为各灰度值频率固定的直方图称为直方图均衡化。

2° 直方图正态化

如果灰度的频率分布接近正态分布的形状，通常认为适合于人眼观察，如图 4—48 (1)、(2) 所示。但如果把与正态分布形状相差较大的图像勉强进行直方图正态化时，往往会产生问题。如当原图像的某一灰度的频率很高，而正态分布所对应的该灰度值的频率变得较低，就会造成这部分信息被压缩和丢失的情况。因此，直方图正态化对于卫星图像那种原图像的动态范围窄，且不够鲜明的图像是非常有效的。

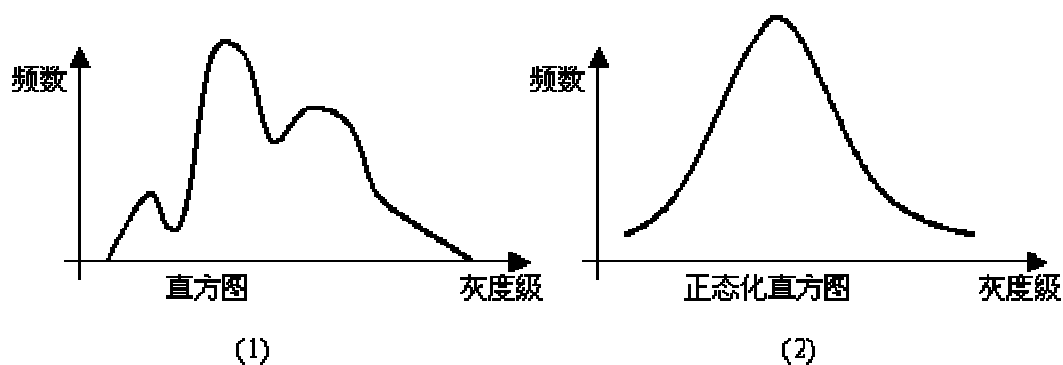


图 4—48

二、空域处理

(1)、平滑

图像在生成和传输过程中会受到各种噪声源的干扰和影响，使图像质量变差。反映在图像上，噪声使原本均匀和连续变化的灰度突然变大或变小，形成一些虚假的物体边缘或轮廓。抑制或消除这些噪声而改善图像质量的过程称为图像的平滑。

1° 邻域平均法

在邻域平均法中，假定图像是由许多灰度恒定的小块组成，相邻像素间有很强的空间相关性，而噪声是统计独立地加到图像上的。因此，可用像素邻域内个像素灰度值的平均来代表原来的灰度值。根据求平均方式的不同，主要有以下几种形式：

① 简单平均法

设图像中某像素的灰度值为 $f(x, y)$ ，它的邻域 S 为 $M \times N$ 的矩形窗口，则平滑后该点的灰度值为：

$$f'(x, y) = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{(u, v) \in S} f(u, v)$$

② 阈值平均法

设图像中某像素的灰度值为 $f(x, y)$ ，它的邻域为 $M \times N$ 的矩形窗口，则平滑后该点的灰度值为：

$$g(x, y) = \begin{cases} f'(x, y) & \text{若 } |f(x, y) - f'(x, y)| > T \\ f(x, y) & \text{其它} \end{cases}$$

T 为给定的阈值。 $f'(x, y)$ 的计算方法同简单平均法。

③ K—近邻平均法

在一个 $M \times N$ 的窗口中，属于同一个物体的像素的灰度值会高度相关。因此，窗口中心像素的灰度值可用窗口内与中心点灰度最接近的 K 个邻点的平均灰度来代替。一般而言， K 值越小，则噪声方差降低越小，但细节保持较好；而较大的 K 值平滑噪声效果好，但也会使图像模糊。

2° 低通滤波法

从频谱上看，噪声特别是随机噪声是一种具有较高频率分量的信号。平滑的目的就是通过一定的手段滤去这类信号。一个很自然的想法就是使图像经过一个二维的低通数字滤波器，让高频信号得到较大的衰减。在空间域上进行的这种滤波实际上就是对图像和滤波器的冲击响应函数进行卷积。

设图像为 $f(x, y)$ ，滤波器的冲击响应函数为 $H(x, y)$ ，则卷积表达式为：

$$g(u, v) = \sum_x \sum_y f(x, y) H(u - x + 1, v - y + 1)$$

3° 中值滤波法

中值滤波的思想是对一个窗口内的所有像素的灰度值进行排序，取排序结果的中间值作为原窗口中心点处像素的灰度值。这种平滑方法对脉冲干扰和椒盐类干扰噪声的效果较好。

中值滤波的关键在于选择合适的窗口大小和形状。但一般很难事先确定窗口的尺寸，通常是从小到大进行多次尝试。窗口的形状可选为正方形，也可选为十字形。

(2)、尖锐化

在图像判断和识别中，需要有边缘鲜明的图像。图像尖锐化技术常用来对图像的边缘进行增强。

1° 微分法

在图像的判断和识别中，边缘是由不同灰度级的相邻像素点构成的。因此，若想增强边缘，就应该突出相邻点间的灰度级变化。微分运算可用来求信号的变化率，具有加强高频分量的作用。如果将其应用在图像上，可使图像的轮廓清晰。由于常常无法事先确定轮廓的取向，因而在挑选用于轮廓增强的微分算子时，必须选择那些不具备空间方向性和具有旋转不变性的线性微分算子。

2° 高通滤波法

由于边缘是由灰度级跳变点构成的，因此，具有较高的空间频率。所以可用高通滤波法让高频分量顺利通过，使低频分量得到抑制。通过增强高频分量，使图像的边缘变得清晰，实现图像的尖锐化。

这一思想反应在空间域的处理中就是让图像和高通滤波器的冲击响应函数进行卷积。所用的表达式与低通滤波法中所用的相同，只是冲击响应函数不同。

三 、 频域处理

频域处理是指根据一定的图像模型，对图像的傅立叶频谱的各个频段进行不同程度的修改的技术。通常总是假设：

- ▲ 引起图像质量下降的噪声在图像的傅立叶频谱中占据的是高频段；
- ▲ 图像的边缘在傅立叶频谱中占据的也是高频段；
- ▲ 图像的主体或图像中灰度变化较缓的区域在频谱中占据的是低频段。

(1)、频域中的平滑

平滑的目的是滤去噪声，即保留低频段，使高频段受到大的抑制。最常用的方法是低通滤波，其数学表达式为：

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v)$$

其中， $F(u, v)$ 是图像的傅立叶频谱， $H(u, v)$ 是低通滤波的转移函数（即频谱响应）。对低通滤波而言， $H(u, v)$ 应使高频抑制，而使低频通过。常用的 $H(u, v)$ 函数如：理想低通滤波器、Butterworth 滤波器、指数性滤波器、梯形滤波器等，具体的数学表达式请参阅有关图像处理书籍。

本处理与前述低通滤波有联系，但前者在空域中，后者在频域中，主要使用傅氏分析。

(2)、频域中的锐化

锐化的目的是突出边缘，即保留高频段，而使低频段受到大的抑制。最常用的方法是高通滤波，其数学表达式为：

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v)$$

其中， $F(u, v)$ 是图像的傅立叶频谱， $H(u, v)$ 是高通滤波的转移函数（即频谱响应）。对高通滤波而言， $H(u, v)$ 应使低频抑制，而使高频通过。常用的 $H(u, v)$ 函数如：理想高通滤波器、Butterworth 滤波器、指数性滤波器、梯形滤波器等，具体的数学表达式请参阅有关图像处理书籍。。

(3)、同态滤波

同态滤波的目的是通过对图像作非线性变换，使构成图像的非可加性因素成为可加性的，从而容易进行滤波处理。下面举一例子加以说明。

设图像 $f(x, y)$ 由照射分量 $I(x, y)$ 和反射分量 $r(x, y)$ 的乘积构成，即：

$$f(x, y) = I(x, y) \cdot r(x, y)$$

因而有：

$$\ln[f(x, y)] = \ln[I(x, y)] + \ln[r(x, y)]$$

$I(x, y)$ 描述的是照射源的特性，一般假设是缓变的；而 $r(x, y)$ 描述的是景物的特性，随物体的细节在空间上作快速变化。

如果对 $\ln[f(x, y)]$ 作傅立叶变换，则其一部分是低频段的 $\ln[I(x, y)]$ 频谱，另一部分是高频段的 $\ln[r(x, y)]$ 频谱。可以用同一个滤波器进行滤波处理，而达到图像增强的目的。

设滤波器的频谱响应为 $H(u, v)$ ，其低频特性可根据对 $\ln[I(x, y)]$ 的增强确定，其高频特性可根据对 $\ln[r(x, y)]$ 的增强确定。经过滤波处理后，再将 $\ln[f(x, y)]$ 进行反变换，就可得到增强后的 $f(x, y)$ 。

四、伪彩色增强

人眼对灰度级是极不敏感的，通常可分辨十几到二十几个灰度级，但却可以分辨出数千种的彩色。因此，可以用彩色来增强灰度图像。

伪彩色技术不是观察物体的真正的颜色，而是根据图像的灰度级通过一种关系来指定相应的颜色，和物体本身的颜色毫无关系。

(1)、灰度级到彩色的处理

根据图像像素的灰度级，建立三个独立的变换关系，将灰度级变换为红、绿、蓝色调。其数学表达式为：

$$(r, g, b) = (R[f(x, y)], G[f(x, y)], B[f(x, y)])$$

(2)、滤波方法

这种彩色处理的技术的目的是根据频率的成分对一幅图像的各个区域进行彩色编码。具体步骤是：先利用三种不同的滤波器分别得到三个频率范围内的频率分量；然后对上述三种频率分量分别作傅立叶变换，得到变换后的三幅图像；再将这三幅图像分别作为显示系统的红色、绿色、兰色的输入端。有时在送入输入端之前，还进行一些附加处理，如直方图均衡化。

通常使用低通、带通、高通滤波获得三个范围的频率分量。带通滤波使在一定范围内的频率通过，而使在范围外的频率得到抑制或衰减。

二值图象处理

在数字图像中，二值图像占有非常重要的地位。在对地图、文字的扫描数字化和识别时，通常都是当作二值图像来处理的。在二值图像中，通常 1 表示图形，0 表示背景。

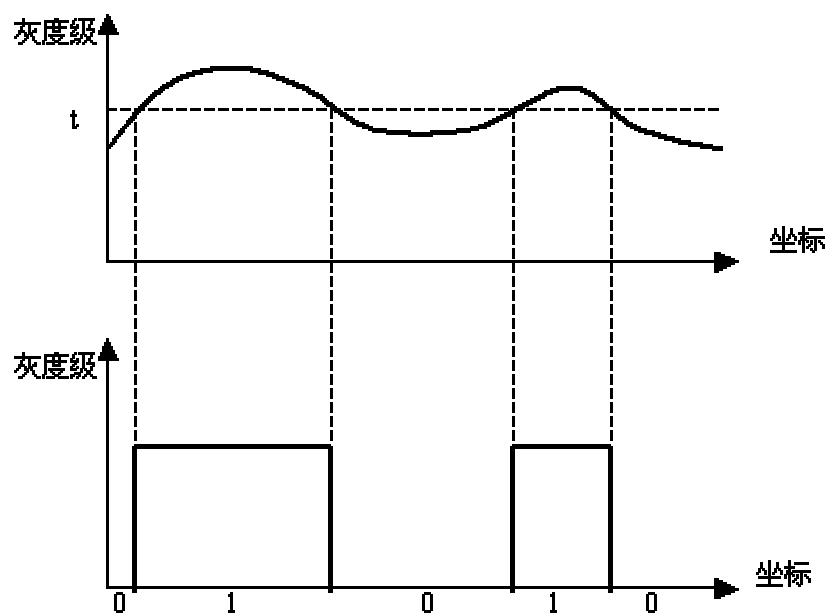


图 4—49 阈值处理

一、图像的二值化

二值化是为了从图像中分离出对象物，即把图形和背景作为二值图像对待。图像二值化可以可用下列阈值处理方法进行。

$$f_t(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{当 } f(i, j) \geq t \text{ 时} \\ 0 & \text{当 } f(i, j) < t \text{ 时} \end{cases}$$

这里的问题是阈值 t 的确定方法。下面介绍主要的方法。

(1)、状态法

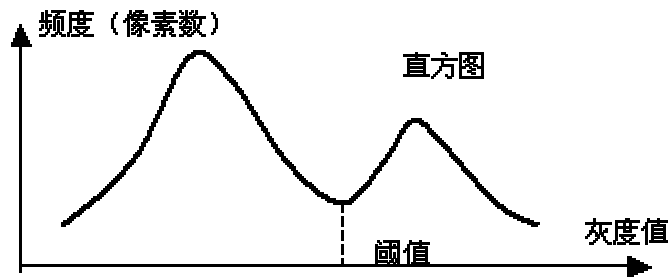


图 4—50

求出给定图像的灰度值直方图，在具有两个峰值（对应于图形和背景）的情况下，可以在峰之间的谷底确定 t 值。如图 4—50。

(2)、微分直方图法

这是设想图像的对象图形和背景的边界处的灰度值急剧变化。这样就可不直接利用图像的灰度值，而是利用微分值（灰度的变化率）来确定阈值。

设图像中某一像素的为 S ，计算这个像素的微分值，如取邻域各像素与该像素灰度值之差的最大值，或取各个灰度值之差的绝对值之和；求出图像中具有灰度值 S 的所有像素的微分值之和。对所有的灰度值作同样的处理，即得到微分直方图。

如果选择微分直方图中最高值的灰度值，就可认为这一灰度值对应于灰度变化率最高的部分。

这一方法在图形的边界处于一定的灰度值范围时，是比较有效的。但往往边界附近灰度值的变化常常比较复杂，这时就并不很有效。

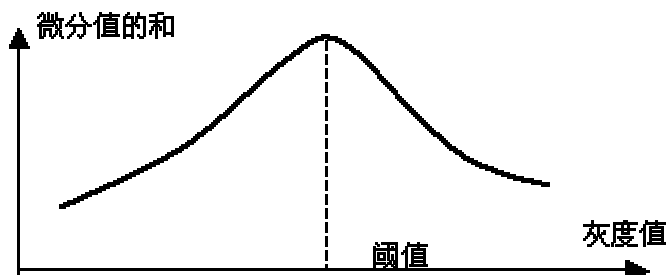


图 4—51

(3)、可变阈值法

当由于图像位置不同而平均灰度值不同时，用单一的阈值不能有效地对整个图像进行二值化。这时，可让阈值随着图像的不同部分而变化，从而对整个图像进行有效处理。

二、二值图像的平滑去噪

对于扫描输入或经过二值化的地图图像，由于原稿不干净或图像质量较差，总是伴随着毛刺、污点、线划边缘凸凹不平等，通过二值图像的平滑去噪，可以去掉孤立的毛刺、黑斑，平滑线划的边缘，填补面状目标内的小孔等，提高图像的质量。

一般的平滑处理方法是，采用 $n \times n$ 的辅助矩阵（ n 一般为 3~5）为模板，逐行、逐列与二值图像匹配，根据辅助矩阵中 0、1 象元的分布，使处于矩阵中心的象元从“0”变成“1”，或从“1”变为“0”。

(1)、去毛刺

0	0	0
0	1	0
×	×	×

图 4—52

通常采用图 4—52 所示的 3×3 的矩阵，包括其 3 次 90° 旋转形成的矩阵。当矩阵模板在二值图像上移动时，只要二值图像与模板匹配，则把模板中心的“1”变为“0”。

(2)、线划平滑与孔洞填补

×	1	×
1	0	1
×	×	×

图 4—53

通常采用图 4—53 所示的 3×3 的矩阵，包括其 3 次 90° 旋转形成的矩阵。当矩阵模板在二值图像上移动时，只要二值图像与模板匹配，则把模板中心的“0”变为“1”。

(3)、去除独立污点

独立污点（小黑斑）是指其周围的像素都为“0”，而其本身的大小又可被一个 $n \times n$ 的矩阵所覆盖。则建立 $n \times n$ 的矩阵，使其在图像上移动。移动时计算矩阵周边像素值的和，若其和为 0，则将矩阵中心 $n-2 \times n-2$ 区域的像素值赋为“0”。

二值图像的边缘特征提取

二值图像的边缘特征提取是 GIS 图像处理中常用的技术，例如可以用于对地图扫描数字化后的数据进行面状要素的提取。二值图像边缘特征提取的过程实际上是寻找像素灰度值急剧变化的位置的过程，并在这些位置上将像素值置为“1”，其余位置上的像素值置为“0”，从而求出目标的边界线。

二值图像的边缘特征提取是用数学算子实现的，如 Sobel、Prewitt、Kirsch、拉普拉斯等多种算子。这些算子都是以一个 3×3 的模板与图像中 3×3 的区域相乘，得到的结果作为图像中这个区域中心位置的边缘强度。在计算出图像中每一个像素的边缘强度后，将边缘强度大于一定值的点提取出来，并赋以像素值“1”，其余赋以像素值“0”。

设 $f(i, j)$ 是 (i, j) 处的像素值， (i, j) 位置处的边缘强度通常用差分值或其函数来表示。简单的差分算法有：

$$x \text{ 方向差分值: } \Delta_x f(i, j) = f(i, j) - f(i, j-1)$$

$$y \text{ 方向差分值: } \Delta_y f(i, j) = f(i, j) - f(i-1, j)$$

$$\begin{aligned} \text{边缘强度} &= |\Delta_x f(i, j)| + |\Delta_y f(i, j)| \text{ 或} \\ &= \Delta_x^2 f(i, j) + \Delta_y^2 f(i, j), \text{ 等等。} \end{aligned}$$

各种算子的区别实际上只是计算差分的方法不同。现将几种常用的算子介绍如下：

(1)、Prewitt 算子

1	0	-1
1	0	-1
1	0	-1

(1)

1	1	1
0	0	0
-1	-1	-1

(2)

图 4—54

计算 Δxf 的模板为图 4—54 (1)，计算 Δyf 的模板为图 4—54 (2)。其特点是：对称于中心位置处各像素的权值相同。

Δxf 、 Δyf 分别等于相应模板与图像中对应区域元素相乘之和。即：

$$\Delta xf = [f(i-1, j-1) - f(i-1, j+1)] + [f(i, j-1) - f(i, j+1)] + [f(i+1, j-1) - f(i+1, j+1)]$$

$$\Delta yf = [f(i-1, j-1) - f(i+1, j-1)] + [f(i-1, j) - f(i+1, j)] + [f(i-1, j+1) - f(i+1, j+1)]$$

边缘强度 = $|\Delta xf| + |\Delta yf|$ 或 $= \max(|\Delta xf|, |\Delta yf|)$ 。

(2)、Sobel 算子

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

(1)

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

(2)

图 4—55

计算 Δxf 的模板为图 4—55 (1)，计算 Δyf 的模板为图 4—55 (2)。其特点是：对称于中心位置处，左右或上下方向上与对角线方向上各像素的权值不一样。

(3)、拉普拉斯算子

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

图 4--56

计算 $\Delta_x f$ 和 $\Delta_y f$ 的模板为图 4—56。边缘强度 $\Delta^2 f$ =等于模板与图像中对应区域元素相乘之和，是一个二次差分，具有各相同性，即不依赖于边缘线的方向。

(4)、Kirsch 算子

这是一种最佳适配的边缘检测法。具有如图 4—57 所示的 0° 、 45° 、 90° 、 135° 、 180° 、 225° 、 270° 、 315° 八个方向上的模板。用 $M_0 \sim M_7$ 分别与图像的各对应元素相乘，取计算结果的最大值作为中央像素的边缘强度。

<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>-3</td><td>0</td><td>-3</td></tr> <tr><td>-3</td><td>-3</td><td>-3</td></tr> </table>	5	5	5	-3	0	-3	-3	-3	-3	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>5</td><td>5</td><td>-3</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>-3</td></tr> <tr><td>-3</td><td>-3</td><td>-3</td></tr> </table>	5	5	-3	5	0	-3	-3	-3	-3	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>5</td><td>-3</td><td>-3</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>-3</td></tr> <tr><td>5</td><td>-3</td><td>-3</td></tr> </table>	5	-3	-3	5	0	-3	5	-3	-3	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>-3</td><td>-3</td><td>-3</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>-3</td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td><td>-3</td></tr> </table>	-3	-3	-3	5	0	-3	5	5	-3
5	5	5																																					
-3	0	-3																																					
-3	-3	-3																																					
5	5	-3																																					
5	0	-3																																					
-3	-3	-3																																					
5	-3	-3																																					
5	0	-3																																					
5	-3	-3																																					
-3	-3	-3																																					
5	0	-3																																					
5	5	-3																																					
M_0	M_1	M_2	M_3																																				
<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>-3</td><td>-3</td><td>-3</td></tr> <tr><td>-3</td><td>0</td><td>-3</td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr> </table>	-3	-3	-3	-3	0	-3	5	5	5	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>-3</td><td>-3</td><td>-3</td></tr> <tr><td>-3</td><td>0</td><td>5</td></tr> <tr><td>-3</td><td>5</td><td>5</td></tr> </table>	-3	-3	-3	-3	0	5	-3	5	5	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>-3</td><td>-3</td><td>5</td></tr> <tr><td>-3</td><td>0</td><td>5</td></tr> <tr><td>-3</td><td>-3</td><td>5</td></tr> </table>	-3	-3	5	-3	0	5	-3	-3	5	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>-3</td><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>-3</td><td>0</td><td>5</td></tr> <tr><td>-3</td><td>-3</td><td>-3</td></tr> </table>	-3	5	5	-3	0	5	-3	-3	-3
-3	-3	-3																																					
-3	0	-3																																					
5	5	5																																					
-3	-3	-3																																					
-3	0	5																																					
-3	5	5																																					
-3	-3	5																																					
-3	0	5																																					
-3	-3	5																																					
-3	5	5																																					
-3	0	5																																					
-3	-3	-3																																					
M_4	M_5	M_6	M_7																																				

图 4--57

四、二值图像的细化

为了从二值图像中提取线状目标的坐标信息，需要将粗线转换成单一象元连接而成的细线，即进行二值图像的细化，二值图像的细化在图像处理中有着广泛的应用。

通常细化后的图形应具有如下性质：

- ① 线宽为 1 个象元。
- ② 细化后的线应尽量在原图形的中心。
- ③ 应保持图形的连通性，不能因细化而断开。
- ④ 细化后的线的缩小必须有一定的限度。
- ⑤ 不因边界上的小凸凹而产生毛刺。
- ⑥ 图像旋转后再处理，中心线的形状变化不大。
- ⑦ 图形交叉部分中心线不畸变。

细化算法有多种多样，但对算法的评价却需要根据面对的具体问题来分析。有的算法速度快，但易产生断线；有的速度慢，不易产生断线，但却会产生毛刺；等等，上节已有阐述。这里只补充一种算法。该算法基于模板匹配思想，即用模板逐行逐列与图像配准。若与模板配准，则为骨架像素（粗线目标的中心线像素），否则为轮廓像素（粗线目标的边缘像素）。

该算法有两个 3×3 模板，对于中心点 P，其模板如图 4—58 所示。

A	A	A
0	P	0
B	B	B

模板 1

A	A	A
A	P	0
A	0	S

模板 2

图 4—58

模板 1 还包括一次旋转 90° 后的模板；模板 2 还包括一次、两次、三次旋转 90° 后的模板。在模板中，A 或 B 中至少有一个象元为非 0 时，P 即为骨架像素，S 为已判定的骨架像素。

图像的特征提取行分析

一幅数字遥感影像所蕴涵的信息是十分庞杂的，利用这些信息中前，往往需要进行图像的特征提取和分析。由于景物的物理与几何特性差异，在影像中表现为局部区域的灰度产生明显变化，形成影像特征。图像特征提取就是提取构成目标影像的特征，主要有点特征提取和线特征提取。而图像分析是在特征提取得基础上，通过对目标特征的分析 and 匹配来识别目标。图像分析的主要手段有纹理分析、多维信息分析、匹配和分类、和区域分割等。

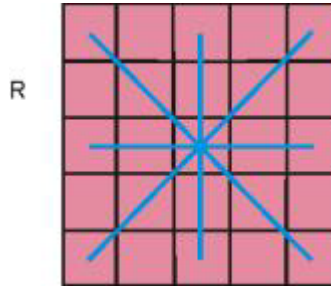
一、点特征提取

点特征主要指图像中的明显点，如房屋角点、圆点等，在图像匹配遥感影像定位中很有用。用于点特征提取的算子称为有利算子或兴趣算子。自七十年代以来出现一系列各不相同、各有特色的兴趣算子，叫知名的有 Moravec 算子、Hannah 算子与 Foistner 等。

下面以 Moravec 算子为例说明点特征提取：

Moravec 算子的基本思想是，以像元的四个主要方向上最小灰度方差表示该像元与邻近像元的灰度变化情况，即像元的兴趣值，然后在图像的局部选择具有最大的兴趣值得点（灰度变化明显点）作为特征点，具体算法如下：

(1) 计算各像元的兴趣值 IV(interest value)，例如计算像元 (c, r) 的兴趣值，先在以像元 (c, r) 为中心的 $n \times n$ 的影像窗口中（如图 5—59 所示的 5×5 的窗口），计算四个主要方向相邻像元灰度差的平方和：



$$V_1 = \sum_{i=-k}^{k-1} (g_{c+i,r} - g_{c+i+1,r})^2, \quad V_2 = \sum_{i=-k}^{k-1} (g_{c+i,r+i} - g_{c+i+1,r+i+1})^2$$

$$V_3 = \sum_{i=-k}^{k-1} (g_{c,r+i} - g_{c,r+i+1})^2, \quad V_4 = \sum_{i=-k}^{k-1} (g_{c+i,r-i} - g_{c+i+1,r-i+1})^2$$

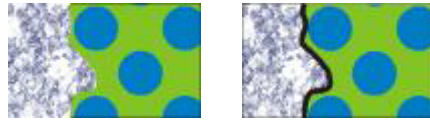
其中 $k = \text{INT}(n/2)$ 。取其中最小者为像元 (c, r) 的兴趣值：

$$IV_{c,r} = \min \{V_1, V_2, V_3, V_4\}$$

(2) 根据给定的阈值，选择兴趣值大于改阈值的点作为特征点的候选点。阈值得选择应以候选点中包括需要的特征点，而又不含过多的非特征点。

(3) 在候选点中选取局部极大值点作为需要的特征点。在一定大小的窗口内（可不同于兴趣值计算窗口），去掉所有不是最大兴趣值的候选点，只留下兴趣值最大者，该像素即为一个特征点。

二、线特征提取



图像中线特征特别引人注目，它是视觉感知的重要线索，因此，提取线特征对于描述目标或解释目标非常重要。线特征包括影像的“边缘”与“线”。

“边缘”通常定义为影像局部特征不相同的那些区域间的分界线，表现为局部影像的不连续，例如呈现出灰度级的突变，纹理结构突变等。而“线”则可以认为是具有很小宽度的，其中间区域具有相同的影像特征的边缘对，也就是距离很小的一对边缘构成一条线。（图 4—59b）

(1) 边缘检测

边缘检测抽取边缘轮廓信息并用于区域分割，边缘检测和区域分割具有互补性。在边缘检测中提取不连续部分的特征，根据闭合的边缘求区域：在区域中把图像分割成特征相同的连续区域，将区域间的边界定义为边缘。

边缘检测同样是用算子实现的，各种边缘检测算子的定义在前面二值图像的边缘特征提取中已作介绍，在这儿不再赘述。

(1) 线检测

在去除噪声影响的情况下，一幅图像中所有灰度或纹理特性发生突变得位置都有可能是边缘所在位置。所以在进行边缘检测时，需要利用算子对每一个检测点进行独立计算，计算结果与以前检测点的检测结果无关。与边缘检测不同的是，线检测在处理图像点时需要利用前面的处理结果，因而也成为序贯检测或跟踪检测。在检测过程中不必对每一个点进行相同精度的计算，只需先对图像上的每一个点进行简单计算，以便测出可能符合条件的边缘或曲线上的点，然后使用更复杂的计算来延伸此边缘或曲线。即只需在已检测到的点和正在跟踪的点上作这种复杂计算。用于线检测的算法有多种，如光栅跟踪、全向跟踪和 hough 变换等。不同算法有其各自的适用场合。光栅跟踪用于一般曲线的检测，全向跟踪主要用于对工程图纸中的标准曲线的检测。

下面以全向跟踪为例介绍线检测算法。

1° 光栅扫描方式对图像进行扫描，寻找满足检测准则的点，若找到一个这样的点，则称为流动点（按被检测曲线流动）。

2° 应用一个合适的准则对流动点进行跟踪。在跟踪过程中可能发生的情况为：

(a) 碰到水系之类的结点

这类网络具有多个分支，多级结点，分支部闭合的特点。

跟踪从高级结点至低级结点逐级推进。以结点为中心，对邻域作全方位环形扫描，将

扫描发现分支按顺序编号，然后令流动电进入起始号分支，对该分支跟踪完毕后，返回当前分支的出发点，再开始跟踪第二条分支，重复上述操作，直到所有分支被跟踪完为止。

(b) 碰到公路网之类的结点

这类网络的特点是路径有的封闭，有的不封闭，结点难于分级。对此刻分两步进行，先跟踪全部外围的飞闭合支路，后跟踪其他支路。用“瞎子”如入平面迷宫的规则解决跟踪路径问题。



将图 4—60 中的公路网看成是平面迷宫的通道，“瞎子”用“左手摸着墙走”的规则由入口 M 点进入通道，经 ab 到 b'，跟踪程序发现 b' 是末端，“瞎子”由 b' bc 到 c'，并发现 b 是结点，由 c' 退回后经 cd 到 d'，发现 c 是结点，这样可以依次发现结点 d、f、g、h、a，但漏掉了结点 e 和路径 ad、he、ge，再以发现的结点 a、b、c、d、f、g、h 为中心，分别对其邻域作全向扫描就可寻出路径 ad、he、ge。物体的轮廓线为不相交封闭曲线，若曲线不封闭，这必终止于图幅边界。此类曲线属于无分支的全向跟踪。

三、区域分割

把图像分割成特征相同的互不重叠的连续区域叫做区域分割。图像的二值化处理还是区域分割的最常用方法，此外，还有一些利用邻域信息的方法，如区域扩张法、统计法、群聚法等。其中统计法是根据小区内灰度分布的相似性进行区域合并。群聚法的基本思想是根据象素某些特征的相似性进行合并形成小区。

至于纹理分析、图像匹配分类可参考有关文献。

空间数据的更新处理

利用遥感 (RS) 更新空间数据

一、遥感 (RS) 的基本原理与技术

(1) 遥感的基本概念

遥感是一种远离目标，通过非直接接触而判定、测量并分析目标性质的技术。

对目标进行信息采集主要是利用了目标反射或辐射的电磁波。此外重力和磁也作为信息采集对象而加以利用，这些都包含在广义的遥感之中。

接收从目标中反射或辐射的电磁波的装置叫作遥感器(remote sensor)，照相机及扫描仪等即属于此类。此外，搭载这些遥感器的移动体叫做遥感平台(platform)，如现在使用的飞机及人造卫星等。遥感这一词汇是 60 年代在美国创造的技术用语，它是用来综合以前所使用的摄影测量、像片判读、地质摄影而提出的。特别是 1972 年，随着第一颗地球观测卫星 Landsat 的发射成功而迅速得到普及。

利用遥感技术，通过观测电磁波，从而判读和分析地表的目标及现象，是利用了物体的电磁波特性，即“一切物体，由于其种类及环境条件不同，因而具有反射或辐射不同波长的电磁波的特性”。所以遥感也可以说是一种利用物体反射或辐射电磁波的固有特性，通过观测电磁波达到识别物体存在的环境条件的技术。

根据可利用的电磁波的光谱段，遥感可分为可见光与反射红外遥感、热红外遥感、微波遥感三种类型。

在可见光与反射红外遥感中，所观测的电磁波的辐射源是太阳。这种遥感的数据对地表目标物的反射率有很大的依赖性，即根据反射率的差异可获得有关目标物的信息。这里，激光雷达是个例外，它的辐射源是其装置本身。

在热红外遥感中，所观测的电磁波的辐射源是目标物。

在微波遥感中，所观测的电磁波的辐射源有目标物(被动)和雷达(主动)两种。在被动微波遥感中，是观测目标物的微波辐射，在主动微波遥感中，是观测目标对雷达发射的微波信号的散射强度。

(2) 航空遥感技术

航空遥感是以飞机或气球作为工作平台进行成像或扫描的一种遥感方式。在工作平台上装有各种传感器，并对测区地物的电磁波信息进行收集、处理，最后获得图像或数据，并用于各种目的，这样的过程即称为航空遥感。

由于航空遥感具有成像比例尺大、分辨率高、几何纠正准确等优点，因此是重要的遥感手段，在 GIS 中也有重要的应用。

航空遥感的平台不仅包括飞机、气球，而且还包括有人驾驶和无人驾驶的遥控飞机。其传感器的类型种类繁多，不仅有光学摄影的航摄影，还有多波段扫描仪、红外扫描仪以及侧视雷达等。成像的种类也多种多样，从可见光的黑白全色摄影、彩色摄影，到紫外、红外、微波等波段，从而可以收集不同宽度波段和特定波长的电磁波信息。

现在的航空遥感，除以感光胶片作为传统记录外，还可进行磁带记录，把获取的紫外、红外、微波等信息，转换成图像和数字信息，以便于计算机对遥感信息的进一步处理。

(3) 航天遥感技术

从航空遥感发展到航天遥感，是遥感技术的重大突破。人造卫星给多种传感器提供了离地面更高的工作平台，使传感器具有更广阔的视野，居高临下，俯视一切。卫星遥感还可不受国界和地形的限制，可对全球作连续的观测。

遥感卫星根据其轨道及搭载的遥感器不同而有不同的特征。从赤道上空约 3600Km 的静止轨道长期观测是以气象观测为主要目的的，从高度约 700Km 的极轨道观测地球表面的 Landsat 卫星是以陆地观测为主要目的的；从高度约 850Km 的极轨道观测云及水陆的各种现象的气象卫星 NOAA 是以气象及海洋观测为主要目的的；但也应用于了解全球性陆地植被的分布等。

遥感卫星的主要功能有，记录准确的遥感器的位置，可靠地获取数据以及将获取的数据传送到地面站。所以，利用卫星上的姿态控制系统测量位置，进行观测仪器的监视(包括地面跟踪、记录的控制)和数据传送是非常重要的。

二、遥感数据的计算机处理

(1) 遥感数据

象普通像片那样，灰度和颜色连续变化的图像叫模拟图像；而把模拟图像分割成同样形状的小单元，以各小单元的平均亮度值或中心部分的亮度值作为该单元的亮度值进行数字化的图像叫做数字图像。把前一部分的空间离散化处理叫做采样，而后一部分的亮度值的离散化处理叫量化，两个过程合起来叫做图像的数字化的。

遥感数据是用遥感器探测来自地表的电磁波，通过采样及量化后获得的数字化数据。

遥感中所采用的电磁波的波长范围是从紫外线到微波。用遥感器接收的电磁波是按每个特定的波长段进行数字化的。通过这一过程可以得到把具有连续波长分布的电磁波分解为若干个波长段(称通道或波段)的数据。这种由多个波长段构成的数据叫多通道数据或多波段数据或多光谱数据。

在多波段数据中，各波段的电磁波是用不同的探测元件探测的。因为从地表到达受光面上排列的各探测元件的路径有微小的不同，所以各探测元件捕捉到的地表位置存在着细小的差异。校正这种差异，把各通道的数据重合起来的过程叫通道间的配准。

多波段图像具有位置和光谱信息，其数据格式根据二维空间的像元配置中如何存贮各种波段的信息而分成三类：

①BSQ 方式——各波段的二维图像数据按波段顺序排列。即 { [(像元号顺序), 行号顺序], 波段顺序}

②BIL 方式——每一行代表一个波段的光谱值, 然后按波段顺序排列行, 最后对各行进行重复。即 { [(像元号顺序), 波段顺序], 行号顺序}

③BIP 方式——在一行中, 每个像元按光谱波段次序进行排列, 对该行的全部像元进行这种波段次序排列, 最后对各行进行重复。即 [(波段顺序, 像元号顺序), 行号顺序]。

在遥感数据中, 除图像信息以外, 还附带有各种注记信息。这是提供数据的机构在进行数据分发时, 用注记的形式来提供说明。

遥感卫星的观测数据通常可以通过运行该卫星的机构或世界各地的接收站、数据分发中心等有偿或无偿地获得。

(2) 图像校正

由于大气层的存在, 也由于传感器内检测器性能的差异等情况, 使进入传感器的辐射值发生畸变, 引起图形模糊, 对比度下降等。另一方面, 由于卫星飞行时的姿态变化及地球形状、地表形态等因素的影响, 图像中地物目标的几何位置也会发生畸变。

图像校正就是指从具有畸变的图像中消除畸变的处理过程。图像校正分为辐射量校正和几何校正。

利用遥感器观测目标物的辐射或反射的电磁能量时, 从遥感器得到的测量值与目标物的光谱反射率或光谱辐射亮度等物理量是不一致的。这是因为测量值中包含太阳位置及角度条件、薄雾及霭等大气条件所引起的失真。为了正确评价目标物的反射特性及辐射特性, 必须消除这些失真。消除图像数据中依附在辐射亮度中的各种失真的过程叫辐射量校正。辐射量校正包括由遥感器的灵敏度特性为起因的畸变校正, 由太阳高度及地形等为起因的畸变校正、大气校正等。

图像中所包含的几何畸变可以表示为图像上各像元的位置坐标与地图坐标系中的目标地物坐标的差异。几何畸变的原因可大致分为 4 类:

①遥感器的内部畸变: 由遥感器结构引起的畸变。

②遥感器的外部畸变: 由图像投影方式的几何学引起的畸变。它可以进一步分为平台引起的畸变和目标物(地球的自转等)引起的畸变。

③图像投影面的选取法引起的畸变: 由于图像投影面的选取法(图像坐标系的定义方式)不同, 几何畸变的表现也不同。

④由地图投影引起的畸变: 根据采用的地图投影的不同, 几何畸变的表现也不同。

图像的几何校正是指从具有几何畸变的图像中消除畸变的过程。也可以说是定量地确定图像上的像元坐标(图像坐标)与目标物的地理坐标(坐标等)的对应关系(坐标变换式)。

图像的几何校正步骤大致如下:

①确定校正方法: 考虑到图像中所含的几何畸变的性质及可应用于校正的数据确定校正的方法。如系统性校正、非系统性校正、复合校正等。

②确定校正式: 确定校正式(图像坐标和地图坐标的变换式等)的结构, 根据控制点数据等求出校正式的参数。

③验证校正方法、校正式的有效性: 检查几何畸变能否充分得到校正, 探讨校正式的有效性。当判断为无效时, 则对新的校正式(校正方法)进行探讨, 或对校正中所用的数据进行修改。

④重采样、内插: 为了使校正后的输出图像的配置与输入图像相对应, 利用②中所采用的校正式, 对输入图像的图像数据重新排列。在重采样中, 由于所计算的对应位置的坐标不是整数, 所以必须通过对周围的像元值进行内插来求出新的像元值。

在几何校正的最后阶段, 必须根据几何畸变的校正式对输入图像进行重采样, 以便输出无畸变的图像。重采样的方法有以下两种:

①对输入图像的各个像元在变换后的输出图像坐标系上的相应位置进行计算, 把各个像元的数据投影到该位置上。

②对输出图像的各个像元在图像坐标系的相应位置进行逆运算, 求出该位置上的像元数据。该方法是通常采用的方法。

在通常的几何校正过程中, 是在校正后的输出地图坐标系上设定正方形格, 求出格点上对应的图像数据。可是, 在该输出图像坐标系的格点上所对应的输入图像坐标通常不是整数, 所以必须用输入图像上周围点的像元值对所求点的像元值进行内插来求出。用于几何校正的主要内插方法有以下 3 种:

①最邻近内插法。以距内插点最近的观测点的像元值为所求的像元值, 该方法最大可产生 $1/2$ 像元的位置误差, 但优点是, 不破坏原来的像元值, 处理速度快。

②双线性内插法。使用内插点周围的 4 个观测点的像元值, 对所求的像元值进行线性内插。该方法的缺点是破坏了原来的数据, 但具有平均化的滤波效果。

③3 次卷积内插法。使用内插点周围的 16 个观测点的像元值, 用 3 次卷积函数对所求像元值进行内插。该方法的缺点是破坏了原来的数据, 但具有图像的均衡化和清晰化的效果, 可得到较高的图像质量。

(3) 图像变换

当分析图像数据时，为了使分析者能容易确切地识别图像内容，必须按照分析目的对图像数据进行加工，这一处理过程叫图像增强。典型的图像增强有灰度变换、彩色合成、色彩空间变换等。

另一方面，为了进行图像判读及分析处理，需要从图像数据中求出有益于分析的判读标志及统计量等各种参数。把图像所具有的性质进行定量化的处理过程叫特征提取。实际上，图像增强和特征提取多用于同一处理中，前者是以人工判读为前提，重点放在显示技术上，后者的特征则是处理的定量性。

① 灰度变换

灰度变换是指通过对图像的灰度信息进行变换处理，而达到增强图像的目的的方法。它是通过把原图的灰度值 x 用函数 f 变换为值 y 而进行的。即：

$$y=f(x)$$

典型的灰度变换方法有：线性变换、分段线性变换、三角波变换、连续函数变换、局部灰度变换等。

② 直方图变换

直方图变换是使输入图像的灰度值的频率分布(直方图)与所希望的直方图形状一致而变换灰度值的方法。

典型的直方图变换分为直方图均衡化和直方图正态化。直方图均衡是指把原图像的直方图变换为各灰度值频率固定的直方图；直方图正态化是指将图像的直方图变换成正态分布的形状。

③ 图像的彩色显示

遥感数据是直接从遥感器得到的数字数据的罗列。为了使其内容直观易懂，常需进行彩色显示。彩色显示有两种方法，一是把多个波段的图像分别赋予一种原色而进行显色的合成法；另一种是对黑白图像的灰阶赋予颜色的假彩色显示法。

④ 图像间运算

在以同一区域为目标的不同图像间进行运算的处理过程称为图像间运算。包括多光谱图像的波段间运算和不同时期观测的图像间运算等。运算的结果生成新的图像数据。

图像间的运算分为算术运算(加减乘除及其组合)和逻辑运算(逻辑和、逻辑积等)。

⑤主成份分析

主成份分析着眼于变量之间的相互关系，在尽量不丢失信息的前提下，用几个综合性指标对多个测量值进行描述。在多光谱图像中，由于各波段的数据间存在相关的情况很多，通过主成份分析可以把图像中所含的大部分信息用假想的少数波段表示出来。这意味着信息几乎不丢失，但数据量可以减少。

⑥空间滤波

空间滤波是指对图像应用若干滤波函数而获得改进的输出图像的技术。其效果有噪声的消除，边缘及线的增强，图像的清晰化等。

滤波函数有低通滤波、高通滤波、带通滤波等。低通滤波用于仅让低频的空间频率成分通过而消除高频成份的场合，由于图像的噪声成份多数包含在高频成份中，所以可以用于噪声的消除。高通滤波仅让高频成份通过，可应用于目标轮廓等的增强。高通滤波由于仅保留一定的频率成份，所以可以用于提取，消除每隔一定间隔出现的干涉条纹的噪声。

⑦纹理分析

纹理也称结构，是指存在于图像某一范围内的有规律排列的图案。在图像判读中使用纹理表示图像的均匀、细致、粗糙等现象。根据构成图案的要素的形状、密度、方向等纹理进行图像特征提取的处理叫做纹理分析。

(4) 图像分类

将图像中所含的多个目标物区分开就是图像的分类。

首先根据应用的目的和图像的特性确定分类类别；然后找出这些类别的特征量；为了得到分类的基准，需要提取出各个类别的训练数据；为了测定总体特征，需对图像中不同的部分进行采样或对特征相似的像元进行归类；然后使用指定的分类基准对各像元进行分类；最后要把已知的训练数据及分类类别与分类结果进行比较，以确定分类的精度和可靠性。

分类的常用方法是：多级切割分类法、决策树分类法、最小距离分类法、最大似然比分类法、模糊分类法、专家系统分类法、神经网络分类法等。

三、RS 用于 GIS 空间数据的更新

RS 与 GIS 的结合具有重要意义。GIS 的生命力将最终取决于其空间数据库的现势性，且这一问题随着 GIS 技术的成熟而显得更加突出。遥感数据是 GIS 的重要信息源和数据更新的手段。可以从遥感图像中快速而可靠地提取地面目标的空间和属性信息。我国卫星遥感地面站的实际工作经验证明，大约每 1-2 年 TM 图像可复盖我国国土一次，其数据的现势性比常规的地图资料要好。因此利用遥感图像实施 GIS 空间数据的更新具有重要意义和价值。

同时, RS 与 GIS 的结合可以有效地改善遥感分析。从遥感技术的发展看, 随着高分辨率和多种传感器遥感图像的问世, 正面临越来越高的应用要求, 而 GIS 为达到这个要求提供了良好的技术环境。目前在如何利用 GIS 中的信息提高遥感图像的分类精度、引导对图像中的目标进行空间搜索和提取等方面都已有了深入的研究。

利用 GIS 的空间数据可以提高遥感数据的分类精度。在利用遥感数据识别地物目标时, 主要通过其光谱特性来间接反映出各种地物的差异。这样, 常常发生“同物异谱”和“异物同谱”的现象, 影响了分类的精度。而 GIS 中存贮的空间数据可以作为遥感数据处理的辅助信息源, 以提高遥感图像分类的可信度。由于分类可信度的提高, 又推动了 GIS 中数据快速更新的实现。

GIS 中的高程、坡度、坡向、土壤、植被、地质、土地利用等信息对遥感数据分类的影响很大, 是遥感分类经常要用到的数据。例如, 森林覆盖的分类受高程和坡度的影响大。同样是森林, 高度不同, 生长的树种不同, 阳坡、阴坡也不同。这种关系仅用遥感资料是不能解决的, 必须把高程和坡向的数据在地理位置上和遥感图像中的像元一一对应起来综合分析。

具体方法为, 将遥感数据与这两种数据配准, 然后将高程和坡向分级。例如: 小于 1000m、1000m~1500m、大于 1500m 三级高程, 东南坡、西北坡、南坡等按方位角分为多种。根据实际情况将两个条件组合。例如, 小于 1000m 的东南坡等。显然, 不同高程与不同坡向的森林覆盖类别不同, 如山上是针叶林为主, 山下以阔叶林为主。这样就可解决由于光谱类似而造成的类别混淆, 改善了分类效果。

总之, 现有的基于光谱特征的多波段分类技术, 仅利用了遥感数据所提供的最直接的信息, 而未顾及到目标的空间分布及相互联系, 而 GIS 的空间数据部分地隐含了这种空间关系, 所以可在图像分类中作为潜在的知识源, 以提高遥感数据分类的精确性和可靠性。

另外, RS 与 GIS 的结合可以进一步加强 GIS 的空间分析功能。一方面现代遥感技术的多平台、多波段、多时相、周期性的适时采集可以获取直观的地表景观信息, 不仅真实地反映了区域的地理环境信息, 而且能动态地反映社会经济环境情况。另一方面, 随着遥感技术的发展, 遥感信息自动识别水平大大提高, 为我们利用遥感信息进行空间分析提供了先进手段, 也保证了 GIS 空间分析的现势性。因此, 可以利用信息复合处理技术, 与 GIS 中的空间信息和属性信息结合起来进行空间分析, 可以获得更可靠和更广泛的分析结果。

(1) RS 与 GIS 的结合方式

RS 与 GIS 的结合方式通常有三种:

①分开但是平等的结合。各系统有不同的用户界面, 不同的工具库和不同的数据库。RS 与 GIS 之间只传送数据, 如图 4—62。

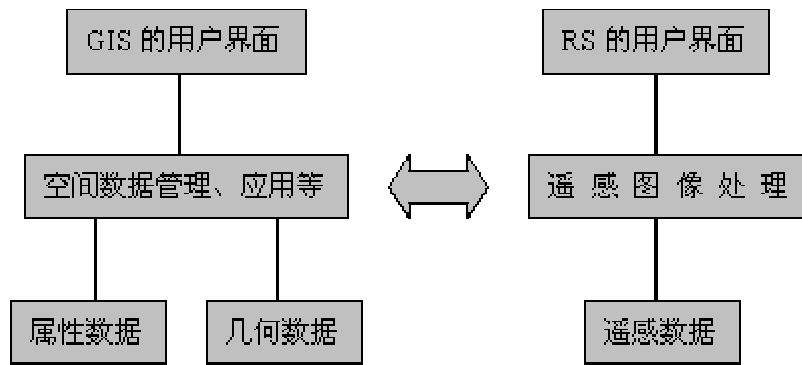


图 4—62

②表面无缝的结合。有统一的用户界面，不同的工具库和数据库。如图 4—63。

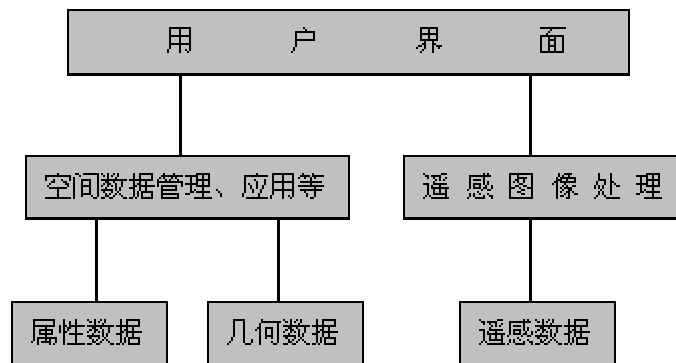


图 4—63

③整体的结合。同一个用户界面、工具库和数据库，这是未来应采用的理想模式，如



图 4—64

(2) RS 用于 GIS 地理数据库的快速更新

利用遥感图像处理技术实现数据快速更新的方法步骤如图 4—65 所示。

图象预处理的主要目的是根据资料及所需要的专题信息设法提高遥感图象的可分性。其技术方法有反差增强、边界增强、均衡化、比值组合处理(产生比值影像、差值影像)、色度空间转换等。通过图象预处理,便于提取其中一些可分性高的波段和目标。

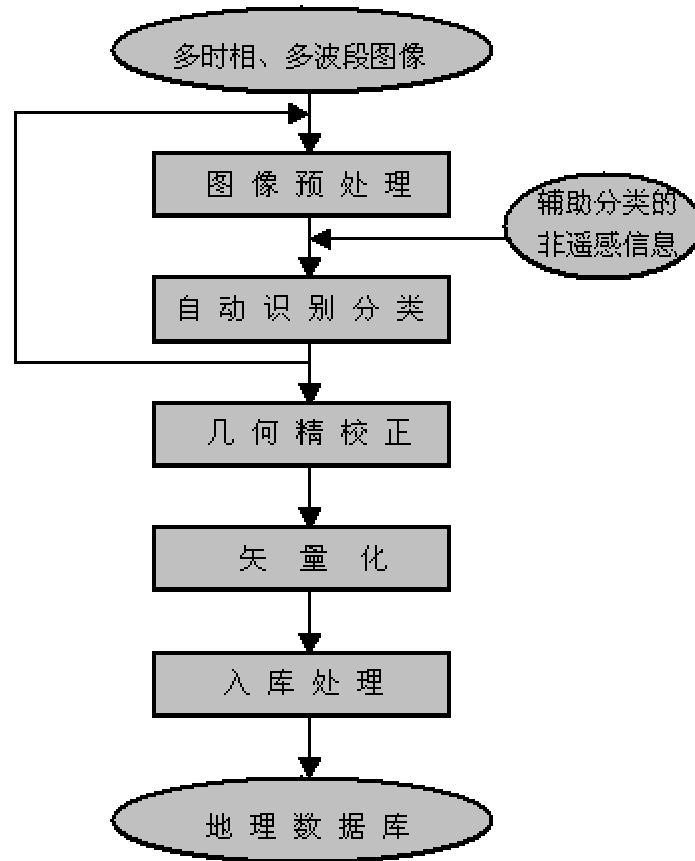


图 4—65

自动识别分类处理是对预处理后的图象进行模糊分类、领域分类和纹理分类等,然后选择分类结果最好的一种。

实现数据快速自动更新的关键在于提高分类精度。如果分类结果不令人满意,还要重新选择波段和分类方法。另外,可采用人机交互判读、利用专题信息引入编译分类等方法来完成。目前,虽然以人工智能为特点的遥感图象判读专家系统有广阔的发展前景,但尚属试验阶段。而人机交互判读是当前在保证实用的前提下,提高遥感数据分类精度的一条切实可行和十分有效的途径。它可以很好地发挥人脑和电脑的优势。完成图像的局部放大、手动勾画或修改界线、标注或属性等任务。

几何精校正处理是为了与地图数据配准,取得投影方式一致,比例尺一致,便于入库存贮而进行的,也就是用与传统的图象同名控制点相对应的方法来实现的。

通过遥感影像的正射纠正、投影转换、坐标变换等，遥感影像应与 GIS 的空间数据在同一数据基底上配准。配准精度应满足基底数据精度，对 1:25 万数据而言，配准误差不应大于图上 0.2 毫米。

为了更新 GIS 的矢量数据库，需要将遥感图像与 GIS 空间数据对应的图形以透明方式迭加，并发现和确定需要更新的内容。然后将栅格数据进行矢量化处理，同时进行一些入库前的预处理。如处理数据更新区域新数据与旧数据的关系，建立拓扑关系等。然后数据就可以按 GIS 指定的数据结构入库了。

航空摄影像片影像分辨率高，几何精度高，仍是更新 1:5 千、1:1 万、1:2.5 万、1:5 万、1:10 万比例尺地图的主要资料。随着航天遥感技术的发展，航天遥感图像的分辨率、几何精度、光谱分辨率的提高，航天遥感图像不仅可以用于 1:5 万比例尺地图的更新，还可用于 1:1 万、1:2.5 万比例尺地形图的更新。

用卫星影像获取各种地面要素的矢量信息，可选用美国陆地卫星的 TM 多光谱图像或法国的 SPOT 卫星图像。SPOT 卫星图像的产品有全色、多光谱和立体图像三种。全色图像地面分辨率为 10 米，可用于比例尺小于 1:5 万地图数据的更新。陆地卫星 TM 多光谱图像地面分辨率为 30 米，适用于比例尺小于 1:25 万地图数据的更新。针对不同物体各自的光谱特性，即物体不同，其吸收、反射和辐射电磁波的性能各不相同，当同时使用几个不同的光谱段获取影像时，不同物体就在不同光谱段的图像上被突出的表现出来，则可以根据地物要素的光谱特性和利用卫星的光谱段，可以直接在卫星图像上判读各种地物要素。例如，植被在红外波段反射率最大，而水体在近红外波段辐射强烈吸收，因而在多光谱彩色图像上会呈现截然不同的颜色，有利于图像判读。

水系要素的更新：由于水体对近红外辐射强烈吸收，因而水体在 TM4 波段影像上明显地显示出来。利用纠正后的 TM4 波段影像，通过目视判读，确定兴趣区域，再利用常规自动化图像分割方法或选定种子点进行区域分割的半自动方法提取网状和面状水体的轮廓。轮廓确定之后，可在迭加的基础上，实施自动更新或采用对照提取结果手工编辑原始数据的方法进行更新。

道路要素的更新：新修的道路在 TM2 波段影像上反射强烈，目视判读容易，具有一定的形状特征，且辐射特性与邻域目标反差较大。可利用边缘提取算子、线状地物中心骨架确定方法、自动边缘检测方法确定道路的边缘或中心骨架，同样在与矢量信息迭加的基础上实施自动或手工半自动要素更新。

居民地要素的更新：面状居民地在 TM2 波段影像上比较明显，因此面状居民地可利用 TM2 波段提取或采用数字化方法进行更新，轮廓提取的方法近似于水系要素轮廓的确定方法；居民地要素需要与道路要素进行迭加，并对道路与居民地的相对关系加以判断。

植被要素的更新：1:25 万比例尺的植被层变化较大，可利用植被在红外波段反射率最大的特性，直接在 TM2, 3, 4 三波段彩色合成影像上目视判读植被的边

界并在屏幕上半自动确定分割边界，或采用多波段合成影像进行分类，最后获得植被要素的矢量数据。

其他要素的数据更新，同样需要根据地物的反射或辐射特性选择相应的遥感影像，并与要素的矢量数据配准迭加，更新方法同样可采用自动与半自动两种方式。

由遥感影像支持的 GIS 数据库的更新可以有两种途径：

(1) 对 GIS 总体数据库的直接更新。这里存在访问权限问题，只能由高级用户或系统管理人员负责实施。对一种地物要素的数据进行的变化处理，需要同时更改与之联系的所有地物数据及其相关关系。

(2) 处理结果的独立存贮。从遥感影像上提取的有关地物的相关信息，采用与总体数据库相同的数据结构加以存贮，作为一种新的数据源辅助 GIS 数据库的建立、维护与更新。

利用全球定位系统 (GPS) 更新空间数据

一、全球定位系统 (GPS) 概述

(1)、GPS 定位的基本原理

长期以来人类一直在为精确确定运动目标在地球上以及近地空间中的位置而进行不懈的努力。早期解决这一问题的主要方法是进行天文定位：测定太阳或其它天体的高度角和方位角并记录观测时间。以确定用户在该时刻的经纬度以及到某一目标的方位角。这种方法的定位精度通常不是很好，而且观测还要受气候条件的限制。

20 世纪初随着无线电技术的发展，各种无线电导航定位系统相继出现，如欧米伽(Omega)系统、罗兰 C(Loran-C)系统，台卡(Tacan)系统和微波着陆系统(MLS)等。无线电导航定位的基本原理与测量学中测定点位的方法十分相似，现以距离交会系统为例加以说明。设 A 和 B 为两个地面无线电信号发射台，其坐标已精确测定。用户 P 在某一时刻 t_i 采用无线电测距的方法分别测得了从 P 点至 A, B 两点的距离 S_{AP} 和 S_{BP} ，那么我们只需以 A 点和 B 点为圆心，以 S_{AP} 和 S_{BP} 为半径作出两个定位圆，即可交出 P 点的平面位置。当然两圆相交一般会有两个交点，但用户根据其概略位置通常是不难加以判断和取舍的。况且为了提高定位的精度和可靠性，已知的无线电台站数量实际上往往不止两个，此时就不再存在两个解的问题了。根据用户至已知点的间距以及所需的精度，上述解算工作可以近似地在平面上进行，也可以在椭球面上进行。

与天文定位相比，无线电定位无论是在定位的速度还是在自动化程度方面都有了长足的进步，定位精度也有所改善，而且定位已基本不受气候条件的限制。然而地面无线电导航定位系统的作用距离(覆盖面)和定位精度之间会产生矛盾。低频

率的无线电电波可以沿着地球表面传播，因而只要具有足够大的发射功率，信号就能传播到很远的地方。但长波信号的观测精度较差，而且信号的传播路径又难以准确确定，再加上信号需要在稠密的大气层中长距离传播，而用户又无法测定信号传播路径上的气象元素，因而难以进行准确的气象改正等，所以一些覆盖面很大的地面无线电导航定位系统的定位精度通常都较低。反之，使用高频率的信号时虽然可以获得较高的精度，但这些信号是沿着直线传播的，所以覆盖面很小。于是各个部门和单位为了满足各自的要求，相继建立了各种不同类型的地面无线电导航定位系统。

20 世纪 60 年代，随着空间技术的发展，各种人造卫星相继升空。于是人们很自然地想到，如果把无线电信号发射机从地面站搬到卫星上，组成一个卫星导航定位系统，就能较好地解决覆盖面与定位精度之间的矛盾。全球定位系统就是一种采用距离交会法的卫星导航定位系统。如果用户 P 在某一时刻 t_i 用 GPS 接收机同时测得了从接收机至视场中的三颗 GPS 卫星 (A、B、C) 的距离 S_{AP} 、 S_{BP} 、 S_{CP} ，而且该时刻这些卫星在空间的位置也是已知的的话，那么我们就用距离交会的方法求解 P 点的三维坐标 (X_P, Y_P, Z_P) 。其观测方程为：

$$\begin{cases} S_{AP} = [(X_P - X_A)^2 + (Y_P - Y_A)^2 + (Z_P - Z_A)^2]^{1/2} \\ S_{BP} = [(X_P - X_B)^2 + (Y_P - Y_B)^2 + (Z_P - Z_B)^2]^{1/2} \\ S_{CP} = [(X_P - X_C)^2 + (Y_P - Y_C)^2 + (Z_P - Z_C)^2]^{1/2} \end{cases}$$

式中 (X_A, Y_A, Z_A) ， (X_B, Y_B, Z_B) 和 (X_C, Y_C, Z_C) 分别为卫星 A、B、C 在时刻 t_i 的空间直角坐标。

由此可见 GPS 定位与通常的距离交会法从原理上讲并无差别，只是在一般的距离交会中，已知点 A、B、C 通常为固定点，其坐标一经确定后便能长期使用，而在 GPS 定位中三个已知点 A、B、C 是高速运动的卫星，其位置将随时间而迅速变化。此外在一般的距离交会中待定点至已知点的距离通常是用测距仪或钢尺丈量的，而在 GPS 定位中则采用了不同的方法。

GPS 由空间部分、控制部分和用户设备三部分组成。

1° 空间卫星：它们是由载有原子钟的 21 颗工作卫星及 3 颗热备份的卫星组成。分别在 6 个倾角为 55° 的几乎为圆形的轨道上，每个轨道上有 3 颗卫星，每隔一条轨道平面配 1 颗热备份卫星。卫星轨道呈圆形，高 19650km，周期为 12 个恒星时。这种配置可实现 24 小时全球覆盖，地球上任何地点的用户在任何时候至少能看到 4 颗卫星。每个卫星都向地面连续发射 L1 和 L2 的载波频率分别为 1575.42MHz 和 1227.60MHz，L1 是扩频调制采用非平衡式 QPSK，1 信道扩频码是长度为 1023CHIP 的 GOLD 码，CHIP 速率为 1.023Mbps，码周期为 1.0ms。

2° 控制部分

控制部分由一个主控站和分布在地球上不同地点的多个监测站组成，负责卫星的定位、监测和数据的加载。各个监测站跟踪其视野中的所有卫星，并将收集到的卫星距离、时钟数据送往主站。主站将这些数据与前一次测得到卫星天文数据、时钟漂移数据等进行比较，并根据比较结果校正导航数据，再通过一个地球站将导航数据加载到卫星上，供用户使用。

3° 用户设备

用户设备上一部科在地球上如何地点利用“导航星”信号，确定位置和时间、指示运动方向、速度和目的地方位等等接收机。接收机有并行、串行两种方式。并行方式上接收机具有多个信道，每信道分别跟踪一颗卫星信号；可连续不断地监测，并同时解调各个信道的信号；串行方式上接收机只有单个信道，利用切换来选择卫星信号，并逐个解调来处理至少 4 颗卫星的信号。两种接收机都是首先同步并跟踪 C/A 码，在 C/A 码建立同步后，载波恢复电路可以相位锁定于 C/A 载波，然后进行数据解调。P 码同步是利用从数据报文或以前得到的数据获得信息完成的。

(2)、GPS 的测距方法

1° 、概述

我们知道测距通常可采用几何测距和物理测距这两种方法。几何测距是通过将待测距离与标准长度(如钢线尺、钢卷尺等)进行几何对比来实现的。这种方法显然不能用于测定用户与 GPS 卫星间的距离。物理测距则是通过测定测距信号的传播时间来间接测定距离的。在物理测距中信号的传播速度通常被认为是已知的(信号传播过程中介质对传播速度的影响通常是通过专项改正来加以消除的)。物理测距又可分为下列两种方式：

①主动式测距

用户发出测距信号，该信号传播至测线另一端时被反射回来。用户用仪器及时钟(直接或间接地)测定测距信号往返传播的时间 Δt 后即可用下式求出距离 S ：

$$S = \frac{1}{2} \Delta t \cdot V + \sum \delta_i$$

式中 V 为信号的传播速度， δ_i 为各项改正数。用激光测距仪来测定至卫星的距离，用雷达测高仪来测定卫星至瞬时海面的高度(卫星测高)，用声纳仪来测定水深以及地面测量时所用的各类测距仪都采用这一测距方式。采用主动式测距方式时，信号离开仪器及重新返回仪器的时间都是由用户钟来测定的，因此用户通常只需采用短期稳定度良好的石英钟就能获得精确结果。

主动式测距的缺点是用户需发出测距信号，因此在战争的环境中难以隐蔽自己，此外要同时测定至几个目标的距离也较为困难，而且用户还必须同时配备发射设备和接收设备。

②被动式测距

位于测线另一端的无线电信号发射机(置于卫星或地面台站中)按照预定的方式在预定的时刻发射测距信号,用户则用自己的钟来测定信号到达的时间,求出信号的单程传播时间 Δt 后用下式计算距离:

$$S = \Delta t \cdot V + \sum \delta_i$$

采用被动式测距方式时信号是按照无线电发射台中的钟来发射的,而信号到达时间却是用用户钟来测定的。因此按(3)式求得的距离 S 中必定会包含这两台钟不同步的影响,所以用这种方式测得的距离被称为伪距。采用被动式测距方式时用户只需接收信号,易于隐蔽自己。因而这种方式乐于被军事用户所采用。然而无线电信号是以每秒 30 万公里的速度传播的,所以采用这种方式测距时必然会对两台钟的同步误差提出极高的要求。例如如果我们要求同步误差对测距的影响不大于 30cm,那么这两台钟就应该同步至 1ns (10^{-9} 秒)以内。假设这两台钟每 3 小时可精确比对一次且不计比对误差的话,那么我们就需对这两台钟提出如下要求:在 3 小时内它们的钟差不得超过 1ns。因而每台钟的稳定度至少应优于 10^{-13} 。只有性能极好的高质量原子钟才能达到这种精度。每个 GPS 工作卫星上都配备了 4 台原子钟,然而在数以万计的 GPS 接收机上都配备原子钟是不现实的,因为这将使接收机的体积重量和价格大幅度增加。为解决这一问题,在用户接收机中一般仍配备石英钟,但需把观测瞬间用户钟的钟差 $V - T$ 也当作一个未知参数,通过平差计算来求得它。这样在 GPS 定位中就至少有了 4 个待定参数,因此在 GPS 定位中用户通常同时测定 4 个 GPS 卫星的距离才有可能解得这些参数。其数学模型为:

$$\begin{cases} S_{AP} = [(X_P - X_A)^2 + (Y_P - Y_A)^2 + (Z_P - Z_A)^2]^{1/2} + (V_{tA} - V_T) \cdot C \\ S_{BP} = [(X_P - X_B)^2 + (Y_P - Y_B)^2 + (Z_P - Z_B)^2]^{1/2} + (V_{tB} - V_T) \cdot C \\ S_{CP} = [(X_P - X_C)^2 + (Y_P - Y_C)^2 + (Z_P - Z_C)^2]^{1/2} + (V_{tC} - V_T) \cdot C \\ S_{DP} = [(X_P - X_D)^2 + (Y_P - Y_D)^2 + (Z_P - Z_D)^2]^{1/2} + (V_{tD} - V_T) \cdot C \end{cases}$$

式中 V_{tA} 、 V_{tB} 、 V_{tC} 、 V_{tD} 分别为观测瞬间 4 个卫星的卫星钟的钟差,可以从卫星星历中求得。 S_{AP} 、 S_{BP} 、 S_{CP} 、 S_{DP} 中已加入了电离层延迟改正、对流层延迟改正等各种改正项。GPS 卫星星座可以保证任一时刻地球上任何地方的用户至少能同时看到 4 颗 GPS 卫星。

2°、测距码

全球定位系统是利用测距码来测定距离的。测距码是一种周期性的按照某种特定规律编排起来的二进制代码。这是一种从某一特定结构的线性反馈移位寄存器中产生并经过移位、复合、截短等处理后形成的一种伪随机噪声码。如果用户接收机也能产生结构完全相同的测距码(称为复制码或本地码),那么就能用它来测定从接收机至卫星间的距离。其具体做法如下:

卫星和用户接收机在各自时钟的控制下产生出结构相同的测距码和本地码。卫星发出的测距码经过 Δt 的传播后到达接收机被接收机接收，并与通过时延器延迟后的本地码进行比对。不断调整延迟时间，使来自卫星的测距码与延迟后的本地码“对齐”，此时本地码的延迟时间 τ 即为卫星信号的传播时间 Δt 。而伪距测量实质上就是测定信号的传播时间。在 GPS 测量中测距码和本地码是否已对齐是根据这两组信号的相关系数 $R(t)$ 的大小来判断的。 t 时刻的相关系数 $R(t)$ 的定义如下：

$$R(t) = \frac{1}{T} \int_T U(t - \Delta t) - U'(t - \tau) dt$$

式中 U 为卫星发出的测距码， U' 为接收机发出的本地码。它们都是用幅度为 1 的正负矩形波来表示的，正波形(+1)代表二进制码“0”，负波形(-1)代表二进制码“1”。也就是说将接收到的来自卫星的测距码 $U(t - \Delta t)$ 和延迟后的本地码 $U'(t - \tau)$ 相乘，并在时间段 T 内进行积分，其积分平均值即为相关系数 $R(t)$ 。由于测距码和本地码的结构相同，因此当 $\tau = \Delta t$ 时相关系数 $R(t)$ 将达到最大值 1，当 $\tau \neq \Delta t$ 时相关系数 $R(t) < 1$ 。伪随机噪声具有良好的相关特性，当时延 τ 略偏离 Δt 时相关 $R(t)$ 便会迅速减小。采用伪随机噪声码作为测距码有助于精确测定距离。GPS 接收机能自动调整延迟时间使相关系数始终保持最大(相关系数最大时其理论值应为“1”，然而由于钟误差的影响以及信号传播过程中的畸变等原因，所以在进行相关处理时两种码并不完全相同，相关系数也无法达到 1，这样用户就能很方便地求得任一时刻从接收机至卫星的伪距。

GPS 卫星的测距码分为两种，一种是粗码/捕获码(C/A 码)；另一种是精码(P 码或 Y 码)。粗码的码元长度(每个码所持续的时间与光速 C 的乘积)为 293m，精码的码元长度为 29.3m。相关处理的精度大约为码元长度的 1/100 左右。因此用精码来测距可以获得更高的精度。全球定位系统投入正式工作后，美国将对精码进行加密，控制其使用范围。

利用测距码进行测距的优点如下：

①GPS 卫星的发射功率约为 20W，卫星离用户的距离却超过 2 万公里。而一般无线电台的发射功率约为 1000W，距用户的距离通常只有几十至几百公里。因此 GPS 卫星的信号是非常微弱的，被深深掩埋在各种干扰信号中。其信号强度通常要比噪声的强度低 3~4 个数量级。用测距码来进行测距并将其调制在载波上发射出来(即采用所谓的扩频技术)后，我们才有可能从噪声的汪洋大海中将 GPS 信号提出来。

②采用相关法测距时，我们并不是根据某一码(如脉冲法那样)来测定距离的，而是在相关系数最大，也就是说从总体上讲整个积分区间内所有的码都对得最齐的情况下测定距离的。从某种意义上讲，相关法所测定的距离可以看作是用积分区间中的每个码所测定的距离的平均值，所以具有较高的精度。

③系统的研制管理机构可以通过公开码结构或对码结构进行保密的办法来对用户使用该系统进行控制。例如公开 C/A 码的结构，允许全球所有用户利用 C/A

码来进行测距和定位；对 Y 码进行保密，只允许美国及其盟国的军方用户以及经美国政府批准的用户使用 Y 码来进行测距和定位。

④便于对不同 GPS 卫星的信号进行识别和处理。GPS 接收机只需用一个全向型的天线就可接收视场中所有 GPS 卫星的信号。由于每个 GPS 卫星所用的测距码的结构都互不相同，而且均相互正交(不同卫星的测距码相乘并进行积分后，无论这两个码的相对位置如何，其相关系数总是趋于零)，因此凡是和本地码结构不同的卫星信号都将被自动清除，只有与本地码结构相同的卫星信号才能与之进行相关处理。因此如果视场中有 6 颗卫星，那么接收机只要拿出 6 个通道来让每个通道观测一个卫星信号(即每个通道中都产生与它所观测的卫星的测距码结构相同的本地码)，就能同时测得至 6 个卫星的距离，彼此互不干扰。

3°、载波相位测量

利用测距码进行伪距测量是全球定位系统的基本测距方法，然而由于测距码的码元长度较大，对于一些高精度应用来讲其测距精度还显得过低，无法满足需要。加之美国政府还将对 P 码进行加密以控制其使用范围，使上述矛盾变得更为突出。载波相位测量技术就是在这种背景下产生的。在无线电通讯中载波只是一种运载信号的工具。而在全局定位系统中载波不仅被用来运载测距码和卫星电文，而且本身又被当作一种测距信号。为了消除电离层延迟误差，GPS 卫星同时使用了两种频率不同的载波：频率为 1575.42MHz 的 L1 载波和频率为 1227.60MHz 的 L2 载波。L1 载波的波长约为 19.0cm，L2 载波的波长约为 24.4cm。载波相位测量的精度可以达到毫米级至亚毫米级。然而载波的波长只是一些无任何标记的余弦波，因而进行载波相位测量时会产生整周模糊度的问题。也就是说，对某一卫星进行首次载波相位测量时我们能测定的仅仅是不足一整周的部分，而此时从接收机至卫星间究竟包含了多少个整周是无法测定的。在随后进行的各次载波相位测量中，虽可记录下整周数的变化量(称为整周计数)，但由于各种因素的影响，记录下来的整周计数常常会产生跳变，使后面的整周计数都产生偏差。因此处理载波相位测量的观测值之前，通常需化费不少时间和精力首先对整周跳变进行探测——找出何处发生了整周跳变，然后进行修复——确定跳变的周数并对随后的整周计数逐一进行修正。由于载波相位测量中存在着整周跳变和整周模糊度的问题，因此数据处理通常要比用测距码测距时复杂得多，困难得多。这是为了获得高精度所需付出的代价。用户可以根据不同的精度要求采用不同的测距方法。

在全球定位系统的设计阶段，一些大地测量学家曾建议在 GPS 卫星中设置 10 种不同的频率。这样用户就能用 10 种不同波长的尺子来测量距离，每种波长依次相差一个数量级。采用上述方法后能精确测定从接收机至卫星的距离，而不会产生整周模糊度和整周跳变的问题。遗憾的是上述建议并未被采纳。因为全球定位系统的主要目的并不是为了满足精密大地测量的需要，而是为了满足军事用户导航定位的需要。此外对用户使用该系统的的能力进行控制也是系统设计中必须加以考虑的重要因素。

4°、载波相位测量

GPS 定位中，存在着三部分误差：一是多台接收机公有的误差，如：卫星钟误差、星历误差、电离层误差、对流层误差；二是传播延迟误差，如：内部噪声，多路径效应等。采用差分定位，可完全消除第一部分误差。也可消除大部分第二部分误差。

所谓差分定位技术是指：将一台 GPS 接收机安置在基准站上进行观测，此基准站精密坐标已知，将此坐标与接收机得到的观察坐标相减得改正数，有基准站实时将这一改正数发送出去，用户接收机在进行观测的同时，也接收到改正数，并对总体结果进行改正。

差分 GPS 可分为单基准站差分，具有多个基准站的局部区域差分 and 广域差分三种类型，这儿主要讨论单站 GPS 差分技术。

单站 GPS 差分 (SRDGPS)

它可按基准站发送到信息形式分为位置差分、伪距差分和载波相位差分三种，它们的工作原理基本相同。

①位置差分原理

若基准站已知精密坐标 (X_0, Y_0, Z_0) ，在基准站上可用 GPS 接收机测出具有各种误差的该点坐标为 (X, Y, Z) ，则可按下式计算出坐标改正数为

$$\Delta X = X_0 - X$$

$$\Delta Y = Y_0 - Y$$

$$\Delta Z = Z_0 - Z$$

基准站发送出的这些数据的改正数，用户对于各实际测点 P 上加入，即

$$\Delta X_p = X_p' + \Delta X$$

$$\Delta Y_p = Y_p' + \Delta Y$$

$$\Delta Z_p = Z_p' + \Delta Z$$

其中 X'_p, Y'_p, Z'_p 为测站点的 GPS 观测坐标， X_p, Y_p, Z_p 为改正后坐标。

顾及接收机在各测点的各时刻变化，更进一步有

$$X_p = X_p' + \Delta X + d(\Delta X)/dt(t - t_0)$$

$$Y_p = Y_p' + \Delta Y + d(\Delta Y)/dt(t - t_0)$$

$$Z_p = Z_p' + \Delta Z + d(\Delta Z)/dt(t - t_0)$$

这样经过改正后的坐标,就消去了基准站和用户测站的共同误差。此方法优点是:计算简单,适用于各种型号的 GPS 接收机,缺点是:基准站与测站必须观测同一组卫星,一般只是用于 100KM 之内。

伪距差分原理

它是在基准站上,观测所有卫星,根据基准站已知坐标 (X_0, Y_0, Z_0) 和测出的各卫星准确的地心坐标 (X_j, Y_j, Z_j) , 求每颗卫星,每一时刻到基准站的真距离 R_j :

$$R_j = \left[(X_j - X_0)^2 + (Y_j - Y_0)^2 + (Z_j - Z_0)^2 \right]^{1/2}$$

所谓伪距乃是 GPS 接收机测出的卫星到测站点的距离,这时,对基准站的伪距 ρ_{0j} , 改正数为

$$\Delta \rho_j = R_j - \rho_{0j}$$

变化率为

$$d \rho_j = \Delta \rho_j / \Delta t$$

基准站将 $\Delta \rho_j$ 与 $d \rho_j$ 发送给用户,用户对在各测点 P 的伪距 ρ_j , 加以改正,即改正后伪距为

$$\rho_{pj}(t) = \rho_j(t) + \Delta \rho_j(t) + d \rho_j(t - t_0)$$

这样即可按下式计算坐标 X, Y, Z

$$\rho_{pj} = \left[(X_j - X_p)^2 + (Y_j - Y_p)^2 + (Z_j - Z_p)^2 \right]^{1/2} + c * \delta t + V_i$$

其中 δt 为钟差(接收机时钟时刻于准确的卫星时钟时刻之差), V_i 为接收机噪声。

此方法优点是:基准站提供所有卫星的改正数,用户观测任意 4 颗卫星,即可完成定位,缺点是:定位精度随至基准站距离增加而降低。

截波相位差分原理

截波相位差分技又称为 RTK (Real Time Kinematic) 技术,它是实时处理两个测站截波相位观测量的差分方法。

利用测距码进行伪距测量是全球定位系统的基本测距方法，然而由于测距码的码元长度较大，因而精度较低。显然，若观测精度取至测距码波长的百分之一，则伪距测量对 C/A 码而言为 3 米，对 P 码为 30 厘米，如果把载波作为测距信号，那要 20 厘米左右波长的载波量测精度就可达 1—2mm，由于载波是一种周期性的正弦波，而相位测量这是测量其不足一个波长的部分。这样采用载波相位测量就可获得很高精度，相应技术也就较为复杂。它一般可使实时定位精度达到厘米级。可应用于海上精密定位、地形测图、地籍测绘等广阔领域。

单站差分 GPS 系统结构和算法简单，技术上较为成熟，可用于离基准站 100—120km 的差分定位。对于较大区域，宜采用局部区域差分技术，对于国家等大范围区则应采用广域差分 GPS 技术。

(3)、GPS 的卫星星历

1°、地面控制系统

如前所述，进行 GPS 定位的一个先决条件是用户必须知道观测瞬间 GPS 卫星在空间的位置。由于不同的用户将在不同的时间对不同的卫星进行观测，所以我们实际上是要求知道所有的 GPS 卫星在任一时刻的位置。上述要求是在全球定位系统的地面控制部分的支持下得以满足的。全球定位系统的地面控制部分是由一个主控站(位于美国科罗拉多州)，三个注入站(分别位于太平洋的卡瓦加兰岛，印度洋的狄哥·伽西亚和大西洋的阿松森岛上)，5 个监测站(除位于上述四地外，再加上夏威夷群岛)，以及通讯辅助系统组成的。

监测站是无人值守的 GPS 卫星跟踪站，其站坐标已精确测定。每个监测站内均配备有双频 GPS 接收机，气象传感器，原子钟和微机。以原子钟作为频率标准的 GPS 接收机在微机控制下对视场中的所有 GPS 卫星进行伪距测量。为了对观测值进行对流层延迟改正，气象元素传感器还可自动采集当地的温度、气压和相对湿度。在微机控制下监测站能对伪距观测值进行各项改正，并对观测资料进行编辑、平滑和压缩，并通过通讯系统将资料送往主控站。主控站对各监测站送来的观测资料进行处理，以计算每个卫星的运行轨道以及卫星钟的改正参数，并外推出未来 26 小时的卫星轨道和卫星钟参数。然后按规定格式编制成卫星导航电文送往注入站。再通过各注入站将它们送往每个卫星，寄存在卫星的内存中。卫星则将导航电文调制在测距码的载波上按时播发给用户。用户用相关法进行伪距测量时，可同时获得卫星星历，经简单计算后即可求得该时刻卫星在空间的位置。

2°、广播星历和精密星历

由于上述卫星星历是通过 GPS 卫星“广播”给用户的，所以称为广播星历。广播星历的精度较低，这是由于：

①广播星历是一种外推星历或者说预估星历，由于我们对影响卫星运动的各种因素的变化规律了解得还不是十分透彻，预估的情况往往会和实际情况有所出入，从而影响星历的精度。

②美国政府实施 SA 技术，有意在星历中加入误差，使广播星历的精度大幅度下降。

鉴于卫星星历在 GPS 定位中的重要作用，而广播星历的精度又低这一实际情况，目前有不少国家和地区正在考虑(或已经)建立自己的 GPS 卫星跟踪网，开展独立定轨工作以获得较为精确的 GPS 卫星星历。这些星历被称为精密星历，它们主要用于 GPS 观测资料的事后处理。

(4)、美国政府的 GPS 政策

由于全球定位系统在军事上具有重要的作用，因此美国政府已决定采用 SA 技术 (Selective Availability) 和 AS 技术 (Anti-Spoofing) 把未经美国政府特许的广大用户的实时定位精度降低到它所允许的水平： $\pm 100\text{m}(2\text{drms})$ ，以免美国的国家利益受到损害。

1°、SA 技术

SA 技术主要包括下列两个内容：

①有意识地在广播星历中加入误差，人为降低星历的精度。

②有意识地在卫星钟频信号中加入误差，使钟频产生快速变化(即所谓钟频抖动)，据报道，这种钟频变化可达 $\pm 2\text{Hz}$ (标称频率为 10.25MHz)，变化周期约为 10 分钟左右。

采取第①项措施是为了降低 GPS 定位中已知点的坐标的精度。采取第②项措施则是为了降低测距的精度。当然在实施 SA 技术时需保证美国及其盟国的军方用户以及经美国政府批准的少数用户定位精度不受影响，也就是必须让这些内部用户知道究竟加入了多少误差以便加以修正。为此主控站又将上述数据编入只调制在保密的精码上的卫星星历中，供上述内部用户使用。

2°、AS 技术

所谓 AS 技术指的是对精码的码结构进行保密，以防敌对方进行电子干扰和电子欺骗的技术。其具体措施是将 P 码与保密的 W 码相加以形成 Y 码。Y 码的码结构是严格保密的，只有美国及盟国的军方用户及经美国政府批准的内部用户才能使用它。

3°、影响及对策

综上所述，美国政府的 GPS 政策从实质上讲就是想把用户分为一般用户和内部用户两类，做到内外有别。内部用户可以使用精码以及未降低精度的卫星星历来进行定位，以获得尽可能高的定位精度，这就是所谓的精密定位服务 (PPS)。而其余的用户则只能用 C/A 码以及已被人为降低了精度的卫星星历来进行定位，获得

美国政府所允许的定位精度，这就是所谓的标准定位服务 (SPS)。目前 PPS 的定位精度为 16m(SEP)，SPS 的定位精度为 100m(2drms)。

SA 技术的实施也会对进行事后处理的测量用户产生一些消极影响。建立 GPS 卫星跟踪网，独立确定 GPS 卫星的精确轨道可以从根本上消除上述消极影响。我国目前也正在着手建立自己的 GPS 卫星跟踪网。

GPS 用于 GIS 空间数据的更新

全球卫星定位系统 (GPS) 作为一种新型的定位数据的采集和更新手段，具有高精度、高效益、全天候、低成本、高灵活性、实时性等特有的优势，因而在 GIS 中具有重要的应用价值。

GPS 在 GIS 中的应用常常分为两种情况，一是直接用 GPS 技术对 GIS 的空间数据作实时更新和采集；二是把 GPS 接收机的实时差分定位技术与 GIS 的电子地图相结合，组合成各种电子导航系统。另外，GPS 还可以为 GIS 中空间数据的采集提供辅助的定位数据，可大大提高成果数据的精度和应用范围，例如在航空摄影测量和遥感中应用 GPS 技术。下面把 GPS 在 GIS 的有关应用举例说明。

① GIS 空间基础数据的采集

这种数据一般包括应用 GPS 技术所建立的大地测量控制网和水准模型等数据。这些数据所体现的大地模型是地理信息系统所有空间数据赖以存在的空间基准，它一经建立就会保持相当长时间的稳定，可保持几十年甚至上百年。目前，应用 GPS 系统的静态或快速静态观测模式，可建立各种等级的测量控制网。由于 GPS 技术的应用，使得各等级的测量控制网的布设在精度、速度和成本等方面得到了极大的改善。

② 地形数据的局部修测

地形数据是 GIS 数据的基础部分，这些数据在总体上是比较稳定的，整体数据的更新时间比较长，但局部的修测和补充往往比较频繁，否则数据的现势性和应用价值就会降低。利用 GPS 来进行这方面的工作，具有明显的优越性。传统的地形测量方法，必须遵循先逐级布设控制，然后再进行碎部测量的操作程序。并且，要按照所布设的图根点逐一设站，每站测量的地形范围都是有限的，所以工作效率和成图精度都受到了很大的限制。而利用 GPS 的 RTK 定位技术进行野外作业时，流动站 (工作站) 与参考站之间的距离可达 10~20 公里，所以，流动站可在参考站周围 10~20 公里的范围内机动灵活地采集数据，不受视距长度和地形条件的限制，大大提高了工作效率。RTK 定位技术本身的精度可达到厘米级，由于没有其他的中间环节，所以成图的精度也是很高的，碎部点点位数据信息的采集精度将优于 0.1 米。

③ 公路数据的采集与更新

在地理信息系统中,有关公路尤其是高等级公路的数据包括公路横断面和纵断面以及中心线等数据。GPS 技术非常适合于公路信息的采集工作。横断面数据的采集以利用 GPS 的准动态观测模式为宜。横断面测量一般每隔一定的间隔采集一个数据面。公路纵断面数据信息的采集,可利用动态 GPS 定位技术。采集公路纵断面数据信息时,一般沿公路的左边线、右边线和中心线连续地采集断面点的坐标信息。如果应用传统的采集方法,需沿着公路断面线每隔 20 米采测一个点,与之相比,动态 GPS 定位技术的一个明显的优势是它能以更高的采样密度采集断面点的平面坐标和高程信息,从而可以获得更为逼真的公路断面图。加拿大的测量工作者在一次试验性的公路断面测量工程中,通过精度的检核说明,在 99%的置信水平下,应用动态 GPS 定位技术采集断面点的点位信息在水平和垂直两个方向的精度都优于 ± 5 厘米,高程精度 68%优于 ± 16 毫米,95%优于 ± 32 毫米。由此可见其精度足以满足实际要求。

由于大量的公路建设和改造,有许多新公路的数据信息需要进入地理信息系统,因此有时要进行大面积的公路网数据信息的普查工作。这项工作的主要任务是采集公路中心线的位置。这种数据信息采集工作的精度要求一般并不很高,如果是与 1:5 万或 1:10 万等中小比例尺地形数据相结合,能达到米级的采样精度就能满足要求,这时可利用 GPS 伪距动态差分定位技术。观测时,参考站可放在一个比较方便的地方,流动站可安置于汽车的车顶,沿着公路的中心线行驶,这样每天可测量上百公里的线路。如果是为 1:1 万以上的中、大比例尺地形数据相结合,则要求成果精度优于 1.0 米,为此,可应用载波相位差分动态测量技术,相位差分动态测量要求流动站和参考站之间的距离小于 20 公里,这时为了提高工作效率,可沿路每隔 30 公里左右连续布设几个参考站,只设置一个车载流动站,这样,一次就能连续测量近百公里左右的线路。所以,利用车载 GPS 动态测量,能以极快的速度完成这类线路普查生产任务。

④边界数据的采集与更新

在各种境界测量中,GPS 定位技术同样能显示其优越性。如在县界测量中,边界点有很多都位于很偏僻地区,距离已知的控制点很远,但是,边界点的分布都比较密集呈线状分布,此时根据边长的长短情况,可灵活运用 GPS 的静态和快速静态观测模式。一般先沿着边界的走向,利用静态观测模式每 20 公里左右布设一个控制点,然后,以这些控制点为参考站,利用快速静态模式,对其周围方圆 20 公里范围内的边界点逐一测量,可极大地提高边界测量的精度和工作效率。

⑤周期性数据的采集

周期性数据主要是指在地震和变形监测等领域采集的周期性数据,这些数据的特点是更新速度快而且新旧数据间要相互比较。用于地震监测和预报的控制网中,因为基线都比较长,所以在实际测量中采用静态观测模式,在这个领域里,GPS 技术有着其它技术无法替代的优势,它能极大地提高地震监测的精度、缩短检测周期,在关键时期可以将观测周期缩短到一天甚至几个小时,从而提高了监测可靠性。

在普通的形变监测中，因为基线长度比较短，所以，一般采用快速静态观测模式。普通的快速静态测量的精度为 $\pm 5\sim 10$ 毫米，这还不能满足形变监测的要求，为了满足形变监测 $\pm 1\sim 2$ 毫米的测量精度，必须采取一些特殊的措施，如强制归心、传感器定向和选择多卫星状态等等。由于 GPS 测量具有全天候的特点，使其在某些形变监测中发挥了重要的作用。例如，在大型水坝的形变监测中，一旦汛期来临，监测的频率必然提高，但是，由于汛期的雨水不断，传统的光电测量难以进行，如果采用 GPS 技术，只要不是雷雨，采取一些简单的防雨措施就可以全天 24 小时频繁地工作。

⑥ GPS 为 GIS 提供实时定位信息

由于 GPS 可以提供实时的定位信息，因此，当把 GPS 与 GIS 连接起来后，用户可以很快地在 GIS 的电子地图上找到自己的位置。因此在旅游、探险、航行、军事等领域均有广泛的应用，如用于车、船的定位和自动驾驶等。GPS 与 GIS 的结合方式如：

- GPS 单机定位+栅格电子地图。该系统可实时地显示移动物体(如车、船、飞机等)的所在位置，从而进行辅助导航。优点是价格便宜，缺点是精度不高，功能简单。

- GPS 单机定位+矢量电子地图。该系统可以根据目标位置(工作时输入)和车船现在的位置(由 GPS 测定)，自动计算机和显示最佳路径，还可以用多媒体方式向用户提示。但矢量数据库的建立需花费较大成本，同时 GPS 的测量误差应设法加以补偿和改正。

- GPS 差分定位+矢量/栅格电子地图。该系统通过固定站与移动车船之间两台 GPS，并使用伪距差分技术，可使定位精度达到 $1\sim 3\text{m}$ 。这种情况需有通讯联系，可以是单向的或双向的。即 GIS 可放在固定站上，构成车船现状监视系统；也可以放在车船上，构成自导航系统；双方均有 GIS 加通讯，则可构成交通指挥、导航、监测网络。

典型问题

I。 关于 GIS 中的地图投影：

在 GIS 中，地理数据的显示往往可以根据用户的需要，指定各种投影。但当所显示的地图与国家基本地图系列的比例尺一致时，往往

采用与国家基本系列地图所用的投影。我国常用的地图投影的情况为：

(1)、我国基本比例尺地形图(1: 100 万、1: 50 万、1: 25 万、1: 10 万、1: 5 万、1: 2.5、1: 1 万、1: 5000)除 1: 100 万外均采用高斯—克吕格投影为地理基础；

(2)、我国 1: 100 万地形图采用了 Lambert 投影，其分幅原则与国际地理学会规定的全球统一使用的国际百万分之一地图投影保持一致。

(3)、我国大部分省区图以及大多数这一比例尺的地图也多采用 Lambert 投影和属于同一投影系统的 Albers 投影(正轴等面积割圆锥投影)；

(4)、Lambert 投影中，地球表面上两点间的最短距离(即大圆航线)表现为近于直线，这有利于地理信息系统中和空间分析量度的正确实施。

2. 关于 GIS 中数据质量的基本内容

GIS 数据质量包含如下五个方面：

1°、位置精度：如数学基础、平面精度、高程精度等，用以描述几何数据的质量。

2°、属性精度：如要素分类的正确性、属性编码的正确性、注记的正确性等，用以反映属性数据的质量。

3°、逻辑一致性：如多边形的闭合精度、结点匹配精度、拓扑关系的正确性等。

4°、完备性：如数据分类的完备性、实体类型的完备性、属性数据的完备性、注记的完整性等。

5°、现势性：如数据的采集时间、数据的更新时间等。

第四章练习题

1. 请说明如何建立道路的拓扑的关系
2. 一般从扫描仪上直接得到的地图有什么问题？如何改正？
3. 如果两个作业小组各自从数字化仪上得到两张相邻图幅的地图数据在 GIS 中不能准确对接该怎么办？
4. 如果你拿到东经 120 度东西两侧的地图，在数字化工作之后得到了两张地图的数据，这时能直接交给用户使用吗？
5. 假设一条矢量等高线上的点太过于密集了，如何减少占用系统的存储空间？你能给出多少方法？各有什么适用

范围？

- 6. 栅格地图数据如何减少硬盘存贮空间？
- 7. 请简要说明通过扫描仪得到矢量地图数据的原理和过程。
- 8. 空间数据的插值算法有什么用途？请举例说明。有几种方法？
- 9. DEM 有什么用途？如何建立？
- 10. DEM 的误差存在什么不当之处？应如何改进？
- 11. 对于扫描仪输出的结果一般需要做哪些处理？
- 12. 二值图像的处理对于 GIS 有什么意义？常用哪些方法？
- 13. 如何用 GIS 技术提取航空相片上的地理信息？
- 14. RS 与 GPS 的原理各是什么？与 GIS 有什么关系？

第五章 空间查询与空间分析

地理信息系统集成了多学科的最新技术，如关系数据库管理、高效图形算法、插值、区划和网络分析，为空间分析提供了强大的工具，使得过去复杂困难的高级空间分析任务变得简单易行。

第一讲 空间数据的查询

介绍空间数据查询的含义及几种主要的查询方式。

[第二讲 空间数据的统计分析](#)

讲述空间数据统计分析中基本统计量的计算和常用统计数据的分类分级算法。

[第三讲 数字高程模型分析](#)

讲述基于数字高程模型的信息提取和通视性分析。

[第四讲 空间数据的叠置分析](#)

空间叠置分析是 GIS 提取空间隐含信息的重要手段之一，本课介绍基于栅格和基于矢量数据结构的叠置分析方法。

[第五讲 空间数据的缓冲区分析](#)

缓冲区分析是解决空间实体邻接度问题的有效方法，本课介绍基于栅格和基于矢量数据结构的缓冲区生成算法。

[第六讲 泰森多边形分析](#)

介绍泰森多边形的定义、特性及生成算法。

[第七讲 空间数据的网络分析](#)

网络是以图论为工具模拟现实信息流通的通道，并解决路径优化、资源配给等运筹问题，网络分析具有重要的实际意义。本课讲述网络图论基础、路径分析及网络定位及分配模型。

[第八讲 空间距离的量算](#)

空间距离量算是许多空间分析的基础，在此介绍点、线、面实体之间的距离量算

[第九讲 空间分析模型](#)

讲述空间分析模型的概念、GIS 常用的空间统计分析模型及模型库。

空间数据的查询

查询和定位空间对象，直接提取信息，是地理信息系统进行高层次空间分析的基础。

5.1.1 空间数据查询的含义

查询属于数据库的范畴，一般定义为作用在库体上的函数，它返回满足条件的内容。查询是用户与数据库交流的途径。

查询是 GIS 用户最经常使用的功能，GIS 用户提出的很大一部分问题都可以以查询的方式解决，查询的方法和查询的范围在很大程度上决定了 GIS 的应用程度和应用水平。

目前 GIS 的空间查询主要有下列 4 种方式：

[5.1.2 扩展关系数据库的查询语言（SQL）](#)

[5.1.3 可视化空间查询](#)

[5.1.4 超文本查询](#)

扩展关系数据库的查询语言 (SQL)

目前 GIS 的地理数据库大多是以传统的关系数据库为基础的,但 GIS 中的地理数据库是一种特殊的数据库,其最大的不同是具有“空间”概念。而 SQL 语句通常是由关系运算组合而成的,非常适合于关系表的查询与操作,但并不支持空间运算,因此,不能进行空间数据的查询。

目前的空间数据查询语言是通过扩展标准 SQL 来形成的,即在数据库查询语言上加入空间关系查询。为此需要增加空间数据类型(如点、线、面等)和空间操作算子(如求长度、面积、叠加等)。在给定查询条件时也需含有空间概念,如距离、邻近、叠加等。例如,“显示与价值超过 60000 的地块相交的土壤图”,可表示为:

```
SELECT SOIL.MAP  
  
FROM SOIL, PARCELS  
  
WHERE VALUATION > 60000 AND OVERLAY (SOILS, PARCELS)
```

通过对标准 SQL 的扩展来实现空间数据的查询**主要优点是**:保留 SQL 风格,便于熟悉 SQL 的用户掌握,通用性较好,易于与关系数据库连接。

但 Egenhofer (1992)在分析了扩展 SQL 作为空间数据查询语言的特点和局限后认为,对 SQL 扩展并不是空间数据查询的适当方案,其主要原因是:

1. SQL 结构很难描述复杂的空间关系查询。
2. 简单的表格形式不能作为空间数据的表现形式。

对于空间数据查询语言,最关键的是对空间概念的描述。理想的情况是空间数据查询语言能完全表示人所理解的空间概念,但目前的空间数据查询语言所能理解和表达的空间概念还很有限。在这方面还需要作进一步的研究。

可视化空间查询

可视化查询是指将查询语言的元素,特别是空间关系,用直观的图形或符号表示。因为对于某些空间概念用二维图形表示比用一维文字语言描述更清晰、更本质和更易理解。

可视化查询主要使用图形、图像、图标、符号来表达概念，具有简单、直观、易于使用的特点。例如某些空间操作可用图 5—1 所示的图符表示 (Y.C.Lee & F.L.Chin, 1995)。

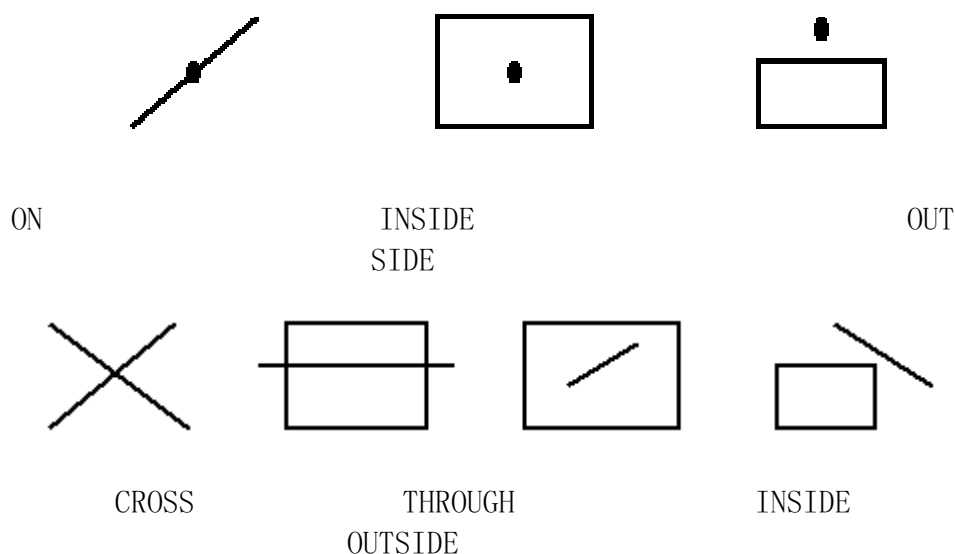


图 5—1

可视化空间查询的主要优点是：自然、直观、易操作，用不同的图符可以组成比较复杂的查询。但也存在一些缺点，如：当空间约束条件复杂时，很难用图符描述；用二维图符表示图形之间的关系时，可能会出现歧义；难以表示“非”关系；不易进行范围（圆、矩形、多边形等）约束；无法进行屏幕定位查询等。

可视化空间查询是为方便用户输入查询条件而设计的，在 GIS 中仍然要翻译成形式化的 SQL 语言。目前可视化空间查询所设计的图符以及所表示的操作缺乏规范性，不能表达所有的空间查询，但其简单、直观的特点值得其它空间查询方法借鉴。

超文本查询

超文本查询把图形、图像、字符等皆当作文本，并设置一些“热点”(HotSpot)，“热点”可以是文本、键等。用鼠标点击“热点”后，可以弹出说明信息、播放声音、完成某项工作等。但超文本查询只能预先设置好，用户不能实时构建自己要求的各种查询。

自然语言空间查询

在空间数据查询中引入自然语言可以使查询更轻松自如。在 GIS 中很多地理方面的概念是模糊的，例如地理区域的划分实际上并没有象境界一样明确的界线。而空间数据查询语言中使用的概念往往都是精确的。

为了在空间查询中使用自然语言，必须将自然语言中的模糊概念量化为确定的数据值或数据范围。例如查询高气温的城市时，引入自然语言时可表示为：

```
SELECT name  
  
FROM Cities  
  
WHERE temperature is high
```

如果通过统计分析和计算，以及用模糊数学的方法处理，认为当城市气温大于或等于 33.75° C 时是高气温。则对上述用自然语言描述的查询操作转换为：

```
SELECT name  
  
FROM Cities  
  
WHERE temperature >= 33.75
```

在对自然语言中的模糊概念量化时，必须考虑当时的语义环境。例如，对于不同的地区，城市为“高气温”时的温度是不同的；气温的“高 (**high**)”和人身材的“高 (**high**)”也是不同的；等等。因此，引入自然语言的空间数据查询只能适用于某个专业领域的地理信息系统，而不能作为地理信息系统中的通用数据库查询语言。

查询结果显示

GIS 空间数据查询不仅能给出查询到的数据，还应以最有效的方式将空间数据显示给用户。例如对于查询到的地理现象的属性数据，能以表格、统计图表的形式显示，或根据用户的要求来确定。

空间数据的最佳表示方式是地图，因而，空间数据查询的结果最好以专题地图的形式表示出来。但目前把查询的结果制作成专题地图还需要一个比较复杂的过程。为了方便查询结果的显示，Max（1991，1994）在基于扩展 SQL 的查询语言中增加了图形表示语言，作为对查询结果显示的表示。具有 6 种显示环境的参数可选定：

1、显示方式（the display mode）

有 5 种显示方式用语多次查询结果的运算：刷新、覆盖、清除、相交和强调。

2、图形表示（the graphical presentation）

用于选定符号、图案、色彩等。

3、绘图比例尺（the scale of the drawing）

确定地图显示的比例尺（内容和符号不随比例尺变化）。

4、显示窗口（the window to be shown）

确定屏幕上显示窗口的尺寸。

5、相关的空间要素（the spatial context）

显示相关的空间数据，使查询结果更容易理解。

6、查询内容的检查（the examination of the content）

检查多次查询后的结果。

通过选择这些环境参数可以把查询结果以用户选择的不同的形式显示出来，但离把查询结果以丰富多彩的专题地图显示出来的目标还相差很远。

属性数据的集中特征数

反映属性数据集中特性的参数有：

频数和频率、平均数、数学期望、中数及众数。

一、 频数和频率

将变量 x_i ($i=1, 2, \dots, n$) 按大小顺序排列, 并按一定的间距分组。变量在各组出现或发生的次数称为频数, 一般用 f_i 表示。各组频数与总频数之比叫做频率, 按如下公式计算:

$$\begin{cases} \omega^-(i, j) = -a(i, j) \\ \Delta^-(i, j) = f(i, j) \end{cases}$$

根据大数定理, 当 n 相当大时, 频率可近似地表示事件的概率。

计算出各组的频率后, 就可作出频率分布图。若以纵轴表示频率, 横轴表示分组, 就可作出频率直方图。用以表示事件发生的频率和分布状况。

二、平均数

平均数反映了数据取值的集中位置, 常以 \bar{X} 表示。对于数据 X_i ($i=1, 2, \dots, n$) 通常有简单算术平均数和加权算术平均数。

简单算术平均数的计算公式为:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

加权算术平均数的计算公式为:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

其中 P_i 为数据 x_i 的权值。

三、数学期望

以概率为权值的加权平均数称为数学期望, 用于反映数据分布的集中趋势。计算公式为:

$$E_x = \sum_{i=1}^n P_i x_i$$

其中 P_i 为事件发生的概率。

四、中数

对于有序数据集 X，如果有一个数 x，能同时满足以下两式：

$$\begin{cases} P(X \geq x) \geq \frac{1}{2} \\ P(X \leq x) \geq \frac{1}{2} \end{cases}$$

则称 x 为数据集 X 的中数，记为 M_e 。

若 X 的总项数为奇数，则中数为：

$$M_e = X_{\frac{1}{2}(n-1)}$$

若 X 的总项数为偶数，则中数为：

$$M_e = \frac{1}{2} (X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n-1}{2}})$$

(5) 众数

众数是具有最大可能出现的数值。如果数据 X 是离散的，则称 X 中出现最大可能性的值 x 为众数；如果 X 是连续的，则以 X 分布的概率密度 $P(x)$ 取最大值的 x 为 X 的众数。显然，众数可能不是唯一的。

属性数据的离散特征数

在分析 GIS 的属性数据时，不仅要找出数据的集中位置，而且还要查明这些数据的离散程度，即它们相对于中心位置的程度，同时，还要分析它的变化范围。对于两组数据，可能它们的平均数是一样的，但它们分布在平均数附近的疏密程度却可能不同，即它们的离散程度可能不一样。从统计规律的角度讲，离散程度较小的区域，其平均数的代表性较好；反之则较差。很明显，前述的平均数、数学期望、中数和众数是不可能反映数据的离散程度的，因此需要引入刻画离散程度差异的统计特征数，即极差、离差、方差、标准差、变差系数。

一、极差

极差是一组数据中最大值与最小值之差，即

$$R = \max\{x_1, x_2, \dots, x_n\} - \min\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

二、离差、平均离差与离差平方和

一组数据中的各数据值与平均数之差称为离差，即

$$d = x_i - \bar{x}$$

若把离差求平方和，即得离差平方和，记为

$$d^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

若将离差取绝对值，然后求和，再取平均数，得平均离差，记为

$$md = \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}| / n$$

平均离差和离差平方和是表示各数值相对于平均数的离散程度的重要统计量。

三、方差与标准差

方差是均方差的简称，是以离差平方和除以变量个数求得的，记为 σ^2 ，即：

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n$$

标准差是方差的平方根，记为：

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n}$$

四、变差系数

变差系数用来衡量数据在时间和空间上的相对变化的程度，它是无量纲的量，记为 C_v ：

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\%$$

其中， σ 为标准差， \bar{X} 为平均数。

统计数据分类分级

为了把 GIS 地理数据中的统计数据用专题地图的形式表示出来,通常需要对统计数据进行分类和分级。分类和分级的方法很多,下面介绍两种在统计数据处理中经常用到的算法:系统聚类法和最优分割分级法。

一、系统聚类法

系统聚类法是分类数据处理中用得最多的一种方法。

1°、系统聚类法的基本思想

其基本思想是:首先是 n 个样本各自成一类,然后规定类与类之间的距离,选择距离最小的两类合并成一个新类,计算新类与其它类的距离,再将距离最小的两类进行合并,这样每次减少一类,直到达到所需的分类数或所有的样本都归为一类为止。

2°、统计数据的标准化

每个样本单元有多种变量的原始数据,各种变量的量纲和数量大小是很不一致的,变化的幅度也不一样。假如直接用原始数据进行计算,就会突出绝对值大的变量的作用,而压低绝对小的变量的作用。为了给每种变量以统一量度,在进行模型的统计计算前,往往需要对原始数据进行标准化变换。通常使用标准差标准化的方法。(例子)

3°、距离系数

对样本进行分类时,个体之间的相似性程度往往用“距离”来度量。它是将每个样本看成是高维空间的一个点,点与点之间用某种法则规定距离,距离近的点归为一类。(例子)

4°、最短距离法系统聚类

类与类之间的距离有许多种定义方法,这里介绍最常用的最短距离法。在最短距离法中,定义两类之间的距离用两类间最近样本的距离来表示。用 d_{ij} 表示样本 i 和 j 的距离,用 G_1, G_2, \dots 表示类,用 D_{pq} 表示类 G_p 和类 G_q 的距离,则有:

$$D_{pq} = \min_{i \in G_p, j \in G_q} d_{ij}$$

([最短距离法聚类的步骤](#))

5°、系统聚类法类间距离计算的统一公式

除了最短距离法外，还有其它计算类与类之间的距离的方法，它们除了计算类与类之间距离的公式不同外，其并类的步骤是完全相同的。而这些距离计算方法可以用一个统一的公式表示，而只是系数不同。这个统一的公式为：

$$D_{kr}^2 = \alpha_p D_{kp}^2 + \alpha_q D_{kq}^2 + \beta D_{pq}^2 + \delta |D_{kp}^2 - D_{kq}^2|$$

式中系数 α_p 、 α_q 、 β 、 δ 对不同的方法取不同的值，上表列出了八种方法的参数值。统一的公式为编写程序提供了很大的方便。

二、最优分割分级法

1°、最优分割分级法的基本原理

最优分割分级是在有序样本不被破坏的前提下，使其分割的级内离差平方和为最小而级间离差平方和为极大的一种分级方法。它可以用来对有序样本或可变为有序(排序)的样本进行分级。([例子](#))

2°、最优分割的计算

首先必须把数据按从小到大的顺序进行排序，然后逐步进行分割(分级)。具体分割方法包括[最优二分](#)、[最优三分](#)和[最优K分](#)。

按最优分割分级法计算出的分级结果在用于地图制图前，必须把分级界线的零碎值转换成凑整值。凑整时分级界线的起点和终点分别向较小和较大的数凑整。

统计数据的标准化的例子

如果有 n 个样本，每个样本有 m 个数据，则每个变量可记为 $X_{i,j}$ 其中 $i=1, 2, \dots, n$; $j=1, 2, \dots, m$ 。

标准化后的变量为 $X'_{i,j}$ ，则：

$$X'_{i,j} = \frac{X_{i,j} - \bar{X}_j}{S_j}$$

式中： \bar{X}_j 为第 j 个变量的平均数； S_j 为第 j 个变量的标准差。

在制图数据处理中，常用 S 代表标准差。当用样本标准差对总体标准差进行估算时，则采用无偏估计值，即：

$$S = \left[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n - 1) \right]^{\frac{1}{2}}$$

经过标准差标准化后，每种变量的平均值为 0，方差为 1。

为了避免计算标准差，并把变量变换到 0 和 1 的范围内，也可采用极差标准化。这时可采用下面公式：

$$X'_{i,j} = \frac{X_{i,j} - \bar{X}_j}{X_{j \max} - X_{j \min}}$$

式中： $X_{j \max}$ 和 $X_{j \min}$ 为第 j 组变量的最大和最小值。用此公式标准化后的变量范围在 ±1 之间。

距离系数例子

设有 n 个样本，每个样本测得 m 项指标，则每个变量记为 X_{ij} ， $i=1, 2, \dots, n$ ； $j=1, 2, \dots, m$ 。这里只介绍在标准化变量互不相关时采用的欧氏距离。两样本 i 和 j 的距离记为 d_{ij} ，则：

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (X_{ik} - X_{jk})^2}$$

最短距离法聚类的步骤：

①、计算每两个样本的距离。由于样本 i 和样本 j 的距离 d_{ij} 与样本 j 和样本 i 的距离 d_{ji} 是相等的，所以只要计算一个。开始时每个样本自成一类，则类之间的距离 D_{pq} 就等于样本之间的距离 d_{pq} 。

②、找出最小的类间距，设为 D_{pq} ，则把 G_p 的 G_q 合并为一个新类，记为 G_r 。

③、计算新类与其它类的距离。新类 G_r 和某一类 G_k 的距离为 D_{rk} ，则 D_{rk} 可用下面公式计算出：

$$D_{rk} = \min \{D_{pk} \cdot D_{qk}\}$$

④、重复第②、③步，直到所有元素都成为一类或达到设定的分类数。

方法 \ 系数	α_p	α_q	β	δ
最短距离法	1/2	1/2	0	-1/2
最长距离法	1/2	1/2	0	1/2
中间距离法	1/2	1/2	$-1/4 \leq \beta \leq 0$	0
重心法	n_p/n_r	n_q/n_r	$-\alpha_p \cdot \alpha_q$	0
类平均法	n_p/n_r	n_q/n_r	0	0
可变类平均法	$(1-\beta) n_p/n_r$	$(1-\beta) n_q/n_r$	< 1	0
可变法	$(1-\beta)/2$	$(1-\beta)/2$	< 1	0
离差平方和法	$(n_k+n_p)/(n_k+n_r)$	$(n_k+n_q)/(n_k+n_r)$	$-n_k/(n_k+n_r)$	0

最优分割分级法例子

n 个数据按大小顺序排列后，有 $(n-1)$ 个“空隙”，如分成 k 个等级，则需 $(k-1)$ 个分级界线。因此， n 个数据分成 k 级的可能分法有 $(\lfloor \text{JB} \rfloor n-1k-1 \lfloor \text{JB} \rfloor)$ 种。对于每种分级，我们可按误差函数公式来计算分级误差的大小，以择其优。为了使级内离差平方和最小且级间离差平方和最大，实际上只需要满足级内离差平方和最小即可。因此误差函数公式定义为各级内数据的离差平方和之和。

设对于按大小顺序排列的 n 个数据分成 k 级，其分法可表示为如下形式：

$$\{ i_1=1, i_1+1, \dots, i_2-1 \} \{ i_2, i_2+1, \dots, i_3-1 \}, \dots \{ i_k, i_k+1, \dots, n \}$$

式中 $i_1=1 < i_2 < i_3 \dots < i_k < n$ ，这里为了简单起见，将 X 省去了，即 X_{i_1} 记为 i_1 。

则误差函数为：

$$E(n, k) = \sum_{j=1}^k D(i_j, i_{j+1} - 1)$$

式中 $D(i_j, i_{j+1}-1)$ 为第 j 级数据 (即从 i_j 到 $i_{j+1}-1$) 的离差平方和。

当 K 较大时, 直接求最优分割的计算量很大。而通常使用推导出的误差函数递推公式来求最优分割。递推公式为:

$$E(n, k) = \min \{ E(j-1, k-1) + D(j, n), k \leq j \leq n \}$$

当 $K=2$ 时, 上式为:

$$E(n, k) = \min \{ D(1, j-1) + D(j, n), 2 \leq j \leq n \}$$

最优二分割的计算

根据递推公式, 对 m 个数据进行最优二分割 (即分为二级) 的误差 (记为 $S_m(2, j)$, j 为分级点) 为:

$$S_m(2, j) = D(1, j) + D(j+1, m), \quad j=1, 2, \dots, m-1$$

挑出其最小误差, 则 j 即为分割点, 记为 $\alpha_1(m)$ 。当 $m=n$ 时, 可得 n 个样本的最优二分割为

$$\{ X_1, X_2, \dots, X_j \}, \{ X_{j+1}, \dots, X_n \}。$$

为了进行最优三分割, 需计算 $m=n, n-1, \dots, 2$ 的最优二分割, 记为: $S_j(2, \alpha_1(j))$, 其中, $j=n, n-1, \dots, 2$ 。 $\alpha_1(j)$ 为相应的分割点。

返回

最优三分割

根据递推公式, 在已知 $S_j(2, \alpha_1(j))$ 时, m 个数据的最优三分割误差 (记为 $S_m(3, \alpha_1(j), j)$)。 j 为最优三分割的第二个分割点, $\alpha_1(j)$ 是第一个分割点为:

$$S_m(3, \alpha_1(i, j)) = S_j(2, \alpha_1(j)) + D(j+1, n), \quad j=2, 3, \dots, m-1$$

式中 $S_j(2, \alpha_1(j))$ 在最优二分割时已全部计算出, 现只要计算 $D(j+1, n)$ 即可得不同分割点时最优三分割点的第二个分割点, 相应的 $\alpha_1(j)$ 则为第一个分割点。

当 $m=n$ 时, 就是对 n 个样本数据的最优三分割 (分三级)。

为了进一步的分级, 需计算 $m=n, n-1, \dots, 3$ 时数据的最优三分割, 记为 $S_j[3, \alpha_1(j), \alpha_2(j)]$, 其中 $j=n, n-1, \dots, 3$ 。 $\alpha_1(j)$ 和 $\alpha_2(j)$ 为相应的分割点。

最优 K 分割

在已完成(K-1)的分割的基础上，用相似的方法可求出最优 K 分割。

基于 DEM 的信息提取

一、坡度的计算

地表单元的坡度就是其切平面的法线方向 \vec{n} 与 Z 轴的夹角。若需求格网点上的坡度时，可取 3×3 的格网单元进行计算。也可求出该格网点八个方向上的坡度，再取其平均值。（[例子](#)）

在计算出各地表单元的坡度后，可对不同的坡度设定不同的灰度级，或绘出等值线，即可得到坡度图。

二、坡向的计算

坡向是地表单元的法向量在 OXY 平面上的投影与 X 轴之间的夹角。（[例子](#)）

在计算出每个地表单元的坡向后，可制作坡向图，通常把坡向分为东、南、西、北、东。

坡度的计算

地表单元的坡度就是其切平面的法线方向 \vec{n} 与 Z 轴的夹角，如图 5—2 所示。坡度 G 的计算公式为：

$$\text{tg}G = \sqrt{(\Delta Z/\Delta x)^2 + (\Delta Z/\Delta y)^2}$$

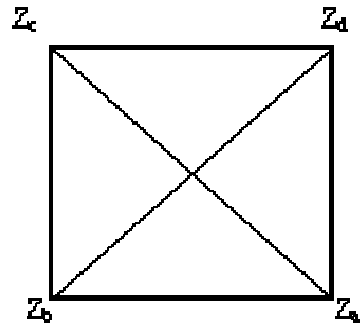
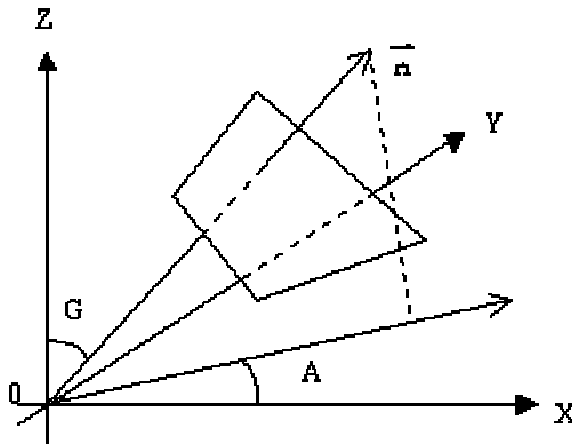


图 5—2

图 5--3

例如，对于格网 DEM，如图 5—3，若 Z_a 、 Z_b 、 Z_c 、 Z_d 是一个格网上的四个格网点的高程， ds 为格网的边长，则格网的坡度可由下式计算：

$$G = \arctg \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$u = \frac{\sqrt{2}(Z_c - Z_b)}{2ds}$$

$$v = \frac{\sqrt{2}(Z_c - Z_d)}{2ds}$$

若需求格网点上的坡度时，可取 3×3 的格网单元进行类似的计算。也可求出该格网点八个方向上的坡度，再取其平均值。

坡向的计算

坡向是地表面单元的法向量在 OXY 平面上的投影与 X 轴之间的夹角，如图 5—2。坡向通常要换算成正北方向起算的角度。其计算公式为：

$$\text{tg}A = \frac{\Delta Z / \Delta y}{\Delta Z / \Delta x}$$

$$(-\pi < A < \pi)$$

对于格网 DEM，如图 5—3，则坡度的计算公式为：

$$A = \arctg\left(-\frac{V}{U}\right), \quad \text{其中} \quad u = \frac{\sqrt{2}(Z_a - Z_b)}{2ds},$$

$$v = \frac{\sqrt{2}(Z_c - Z_d)}{2ds}$$

基于 DEM 的可视化

一、剖面分析

研究地形剖面，常常可以以线代面，研究区域的地貌形态、轮廓形状、地势变化、地质构造、斜坡特征、地表切割强度等等。如果在地形剖面上叠加上其它地理变量，例如坡度、土壤、植被、土地利用现状等，可以提供土地利用规划、工程选线和选址等的决策依据。

坡度图的绘制应在格网 DEM 或三角网 DEM 上进行。已知两点的坐标 $A(x_1, y_1)$ ， $B(x_2, y_2)$ ，则可求出两点连线与格网或三角网的交点，以及各交点之间的距离。然后按选定的垂直比例尺和水平比例尺，按距离和高程绘出剖面图。

([例图 5-4](#))

在格网或三角网交点的高程通常可采用简单的线性内插算出，且剖面图不一定必须沿直线绘制，也可沿一条曲线绘制，但其绘制方法仍然是相同的。

二、通视分析

通视分析是指以某一点为观察点，研究某一区域通视情况的地形分析。通视分析的核心是通视图的绘制。

绘制通视图的基本思路是：以 O 为观察点，对格网 DEM 或三角网 DEM 上的每个点判断通视与否，通视赋值为 1，不通视赋值为 0。由此可形成属性值为 0 和 1 的格网或三角网。对此以 0.5 为值追踪等值线，即得到以 O 为观察点的通视图。因此，判断格网或三角网上的某一点是否通视成为关键。([如图 5-6](#))

另一种利用 DEM 绘制通视图的方法是，以观察点 O 为轴，以一定的方位角间隔算出 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的所有方位线上的通视情况。对于每条方位线，通视的地方绘线，不通视的地方断开，或相反。这样可得出射线状的通视图。其判断通视与否的方法与前述类似。

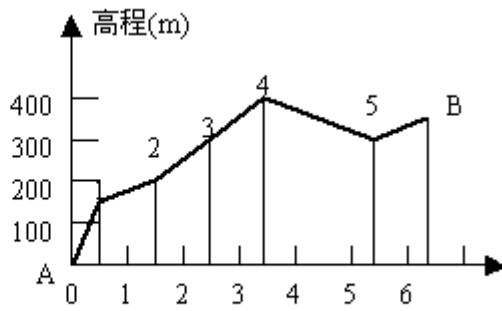
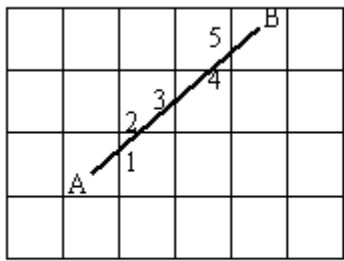


图 5—4

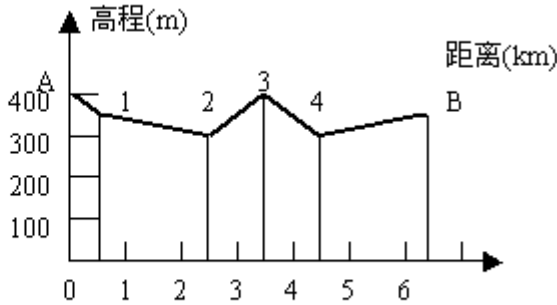
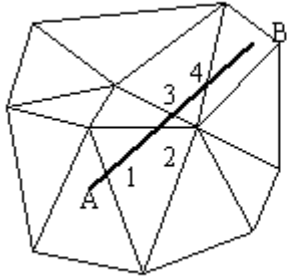


图 5—4

在绘制剖面图时，需进行高程的插值。对于起始点和终止点 A 和 B 的高程，对于格网 DEM 可通过其周围的 4 个格网点内插出，对于三角网 DEM 可通过该点所在的三角形的三个顶点进行内插。内插的方法可任选。例如可选择距离加权法。则

内插点的高程为：

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i / d_i^2)}{\sum_{i=1}^n (1/d_i^2)}$$

其中，对格网 DEM，取 $n=4$ ，对三角网 DEM，取 $n=3$ ； Z_i 为数据点的高程； d_i 为数据点到内插点的距离。

在格网或三角网交点的高程通常可采用简单的线性内插算出。如图 5—5，格网两点或三角形一条边上的两点为 $A(x_1, y_1, z_1)$ 、 $B(x_2, y_2, z_2)$ ，交点 C 的坐标为 $C(x_0, y_0, z_0)$ ，则可计算出 AC 的距离 S_1 ，AB 的距离 S_2 ，则 C 点的高程 z_0 为：

$$z_0 = \frac{z_2 - z_1}{S_2} \cdot S_1$$

剖面图不一定必须沿直线绘制，也可沿一条曲线绘制。但其绘制方法仍然是相同的。

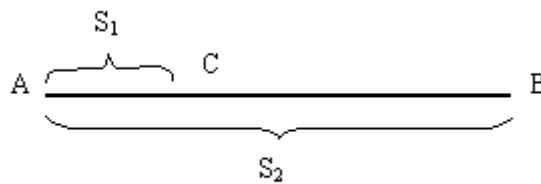


图 5—5

绘制通视图例图

以格网 DEM 为例，如图 5—6， $O(x_o, y_o, z_o)$ 为观察点， $P(x_p, y_p, z_p)$ 为某一格网点， OP 与格网的交点为 A 、 B 、 C ，则可绘出 OP 的剖面图，

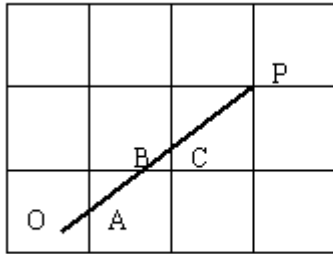


图 5—6

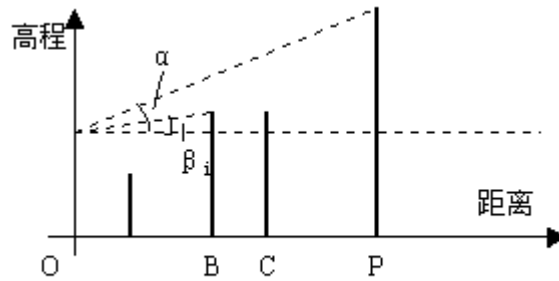


图 5—7

如图 5—7。

OP 的倾角 α 可由下式计算出：

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{z_p - z_o}{\sqrt{(x_p - x_o)^2 + (y_p - y_o)^2}}$$

观察点与各交点的倾角 β_i ($i=A, B, C$) 可由下式计算出：

$$\operatorname{tg}\beta_i = \frac{z_i - z_o}{\sqrt{(x_i - x_o)^2 + (y_i - y_o)^2}} \quad i = A, B, C$$

若 $\operatorname{tg}\alpha > \max(\operatorname{tg}\beta_i, i=A, B, C)$ ，则 OP 通视，否则不通视。

三角网 DEM (TIN) 中各离散点的通视判断与上述方法类似，也需要通过剖面图来判断。

基于矢量数据的叠置分析

叠置分析是将同一地区的两组或两组以上的要素进行叠置，产生新的特征的分析方法。叠置的直观概念就是将两幅或多幅地图重迭在一起，产生新多边形和新多边形范围内的属性。（例图 5-8）

一、矢量数据叠置的内容

① 点与多边形的叠置

点与多边形的叠置是确定一幅图(或数据层)上的点落在另一幅图(或数据层)的哪个多边形中,这样就给相应的点增加新的属性内容。例如,一幅图表示水井的位置,另一幅图表示城市功能分区。两幅图叠置后可得出每个城市功能区(如居住区)有多少水井,也可知道每口水井是位于城市的什么功能区。

点与多边形叠置的算法就是判断点是否在多边形内,可用垂线法或转角法实现。

② 线与多边形的叠置

线与多边形的叠置是把一幅图(或一个数据层)中的多边形的特征加到另一幅图(或另一个数据层)的线上。例如,道路图与境界图叠置,可得到每个政区中各种等级道路的里程。线与多边形叠置的算法就是线的多边形裁剪。算法的具体实现可参考有关计算机图形学的书籍。

③ 多边形与多边形的叠置

多边形与多边形的叠置是指不同图幅或不同图层多边形要素之间的叠置,通常分为[合成叠置](#)和[统计叠置](#)。

([多边形与多边形叠置算法](#))

二、多边形叠置的位置误差

进行多边形叠置的往往是不同类型的地图,甚至是不同比例尺的地图,因此,同一条边界的数据往往不同,这时在叠置时就会产生一系列无意义的多边形。而且边界位置越精确,越容易产生无意义多边形([图 5-10](#))。手工方法叠置时可用制图综合来处理无意义的多边形,而计算机处理时则比较复杂,常用如下三种方法:

- 1° 在屏幕上显示多边形叠加的情况,人机交互地把小多边形合并到大多边形中。
- 2° 确定无意义多边形的面积临界值,把小于临界值的多边形合并到相邻的大多边形中。

边界 1

边界 2

无意义多边形

- 3° 先拟合出一条新的边界线,然后进行叠置操作。

无论采用哪种方法来处理无意义多边形,都会产生误差。

例题 5-8

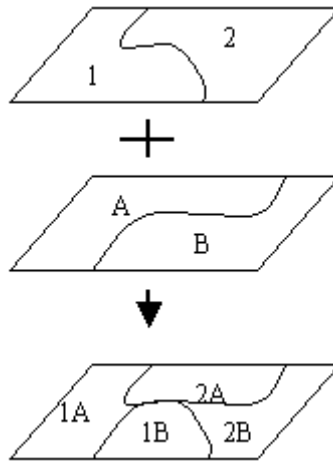


图 5--8

合成叠置

合成叠置是指通过叠置形成新的多边形，使新多边形具有多重属性，即需进行不同多边形的属性合并。属性合并的方法可以是简单的加、减、乘、除，也可以取平均值、最大最小值，或取逻辑运算的结果等。

统计叠置

统计叠置是指确定一个多边形中含有其它多边形的属性类型的面积等，即把其它图上的多边形的属性信息提取到本多边形中来。

例如，土壤类型图与城市功能分区图叠置，可得出商业区中具有不稳定土壤结构的地区有哪些。

多边形与多边形叠置算法

多边形与多边形叠置算法的核心是多边形对多边形的裁剪。多边形裁剪比较复杂，因为多边形裁剪后仍然是多边形，而且可能是多个多边形。多边形裁剪的

基本思想是一条边一条边地裁剪。

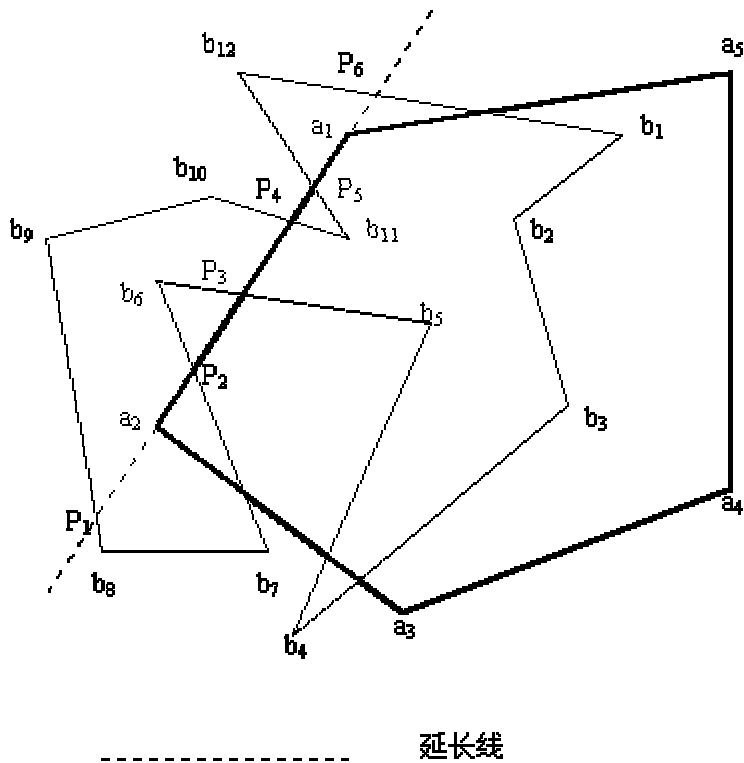
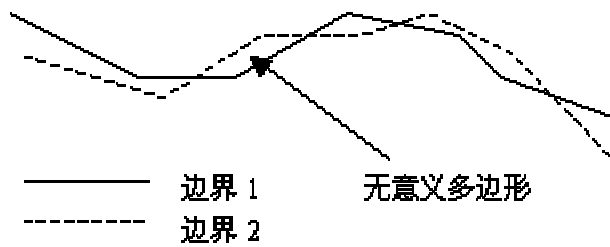


图 5—9

如图 5—9，多边形 A $\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$ 对多边形 B $\{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}\}$ 裁剪。则可先用 a_1a_2 及其延长线对多边形 B 裁剪，在 a_1a_2 及其延长线上得到交点 $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ ，则多边形 B 被多边形 A 的 a_1a_2 裁剪后为 $\{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, P_3, P_2, b_7, b_8, P_1, P_4, b_{11}, P_5, P_6\}$ 。当用多边形 A 的每一边顺序对 B 进行裁剪后，就得到了 B 被 A 裁剪后的结果。

但这样构成的被裁剪后的多边形，实际上是一个多边形。因而当一个多边形被裁剪分为几个多边形时，用这种方法就会形成一个在边界有重叠的多边形。虽然对多边形的填充算法没有影响，但有时仍然要把它分成各自独立的多边形。为此，要对被裁剪的多边形定义方向，在计算出每个多边形之间的交点时，都要判断它是出点还是入点，即是从裁剪多边形中出去还是由外边进来，并建立起出入点的索引表。然后根据被裁剪后多边形的点的顺序，从一个出点出发，找与之最近的入点，再从这个入点开始，找出从此点开始的内部线，到一个出点结束，并判断多边形是否闭合。若闭合，则已形成一个多边形，继续进行即可；若不闭合，再找与之最近的入点。直到所有的内部线都使用过一次。多边形裁剪的具体细节请参阅计算机图形学的有关部分。

图 5—10



基于栅格数据的叠置分析

一、单层栅格数据的分析

① 布尔逻辑运算

栅格数据可以按其属性数据的布尔逻辑运算来检索，即这是一个逻辑选择的过程。布尔逻辑为 AND、OR、XOR、NOT。（[例图 5-11](#)）

布尔逻辑运算可以组合更多的属性作为检索条件，例如加上面积和形状等条件，以进行更复杂的逻辑选择运算。

② 重分类

重分类是将属性数据的类别合并或转换成新类。即对原来数据中的多种属性类型，按照一定的原则进行重新分类，以利于分析。在多数情况下，重分类都是将复杂的类型合并成简单的类型。（[重分类例图 5-12](#)）

③ 滤波运算

对栅格数据的滤波运算是指通过一移动的窗口(如 3×3 的象元)，对整个栅格数据进行过滤处理，使窗口最中央的象元的新值定义为窗口中象元值的加权平均值。

栅格数据的滤波运算可以将破碎的地物合并和光滑化，以显示总的状态和趋势，也可以通过边缘增强和提取，获取区域的边界。

④ 特征参数计算

对栅格数据可计算区域的周长、面积、重心等，以及线的长度、点的坐标等。在栅数数据上量算面积有其独特的方便之处，只要对栅格进行计数，再乘以栅格的单位面积即可。（[特征参数计算例图](#)）

⑤ 相似运算

相似运算是指按某种相似性度量来搜索与给定物体相似的其它物体的运算。

二、多层栅格数据的叠置分析

叠置分析是指将不同图幅或不同数据层的栅格数据叠置在一起，在叠置地图的相应位置上产生新的属性的分析方法。新属性值的计算可由下式表示：

$U=f(A, B, C, \dots)$ 其中，A, B, C 等表示第一、二、三等各层上的确定的属性值，f 函数取决于叠置的要求。

多幅图叠置后的新属性可由原属性值的简单的加、减、乘、除、乘方等计算出，也可以取原属性值的平均值、最大值、最小值、或原属性值之间逻辑运算的结果等，甚至可以由更复杂的方法计算出，如新属性的值不仅与对应的原属性值相关，而且与原属性值所在的区域的长度、面积、形状等特性相关。

(栅格叠置的作用)

在进行栅格叠置的具体运算时，可以直接在未压缩的栅格矩阵上进行，也可在压缩编码(如游程编码、四叉树编码)后的栅格数据上进行。它们之间的差别主要在于算法的复杂性、算法的速度、所占用的计算机内存等。

布尔逻辑 AND、OR、XOR、NOT 的例图

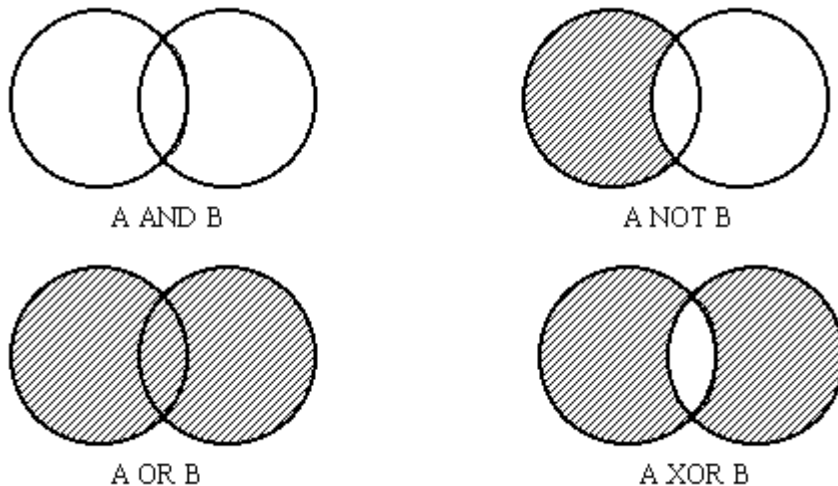


图 5—11 例如可以用条件：(A AND B) OR C 进行检索。其中 A 为土壤是粘性的，B 为 PH 值 > 7.0 的，C 为排水不良的。这样就可把栅格数据中土壤结构为粘性的、土壤 PH 值大于 7.0 的、或者排水不良的区域检索出来。

重分类例图

如图 5-12，可将各种土壤类型重分类为水面和陆地两种类型。

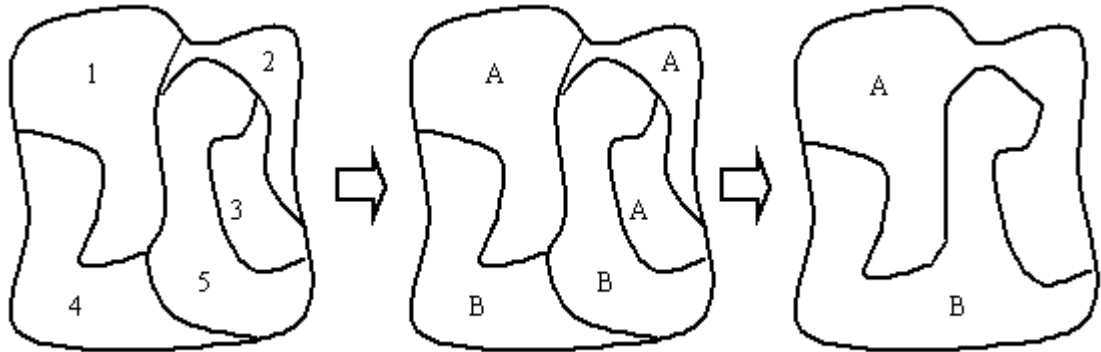


图 5—12

重分类时必须保证多个相邻接的同一类别的图形单元应获得一个相同的名称，并且这些图形单元之间的边应该去掉，从而形成新的图形单元。如图 5—12 所示。

特征参数计算例图

在栅格数据中计算距离时，距离有四方向距离、八方向距离、欧几里德距离等多种意义。四方向距离是通过水平或垂直的相邻像元来定义路径的；八方向距离是根据每个像元的八个相邻像元来定义的；在计算欧几里德距离时，需将连续的栅格线离散化，再用欧几里德距离公式计算。

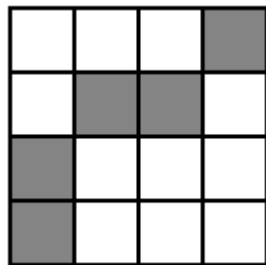


图 5—13

对图 5—13 中的线，用四方向距离计算的距离为 6，用八方向计算的距离为 $2+2*\sqrt{2}$ 。

栅格叠置的作用

① 类型叠置

即通过叠置获取新的类型。如土壤图与植被图叠置，以分析土壤与植被的关系。

② 数量统计

即计算某一区域内的类型和面积。如行政区划图和土壤类型图叠图，可计算出某行政区划中的土壤类型数，以及各种类型土壤的面积。

③ 动态分析

即通过对同一地区、相同属性、不同时间的栅格数据的叠置，分析由时间引起的变化。

④ 成本分析

即通过对属性和空间的分析，计算成本、价值等。

⑤ 几何提取

即通过与所需提取的范围的叠置运算，快速地进行范围内信息的提取。

基于矢量数据的缓冲区分析

一、缓冲区及其作用

在这里，缓冲区的概念与计算机技术中的缓冲区概念无关，而是指在点、线、面实体的周围，自动建立的一定宽度的多边形。如图 5—14。



(1) 点的缓冲区

(2) 线的缓冲区

(3) 面的缓冲区

图 5—14

缓冲区分析是 GIS 的基本空间操作功能之一。例如，某地区有危险品仓库，要分析一旦仓库爆炸所涉及的范围，这就需要进行点缓冲区分析；如果要分析因道路拓宽而需拆除的建筑物和需搬迁的居民，则需进行线缓冲区分析；而在对野生动物栖息地的评价中，动物的活动区域往往是在距它们生存所需的水源或栖息地一定距离的范围内，为此可用面缓冲区进行分析，等等。

在建立缓冲区时，缓冲区的宽度并不一定是相同的，可以根据要素的不同属性特征，规定不同的缓冲区宽度，以形成可变宽度的缓冲区。例如，沿河流绘出的环境敏感区的宽度应根据河流的类型而定。这样就可根据河流属性表，确定不同类型的河流所对应的缓冲区宽度，以产生所需的缓冲区。

二、缓冲区的建立

点的缓冲区建立时，只需要给定半径绘圆即可。面的缓冲区只朝一个方向，而线的缓冲区需在线的左右配置。下面简介线的缓冲区的建立思路。

在建立线缓冲区时，通常首先要对线进行化简，以加快缓冲区建立的速度。这种对线的化简称为线的重采样。具体的算法设计可采用线的矢量数据压缩算法，如 § 7.4 中介绍的方法。

建立线缓冲区就是生成缓冲区多边形。只需在线的两边按一定的距离（缓冲距）绘平行线，并在线的端点处绘半圆，就可连成缓冲区多边形。

对一条线所建的缓冲区有可能重叠，如图 5—15。这时需把重叠的部分去除。基本思路是，对缓冲区边界求交，并判断每个交点是出点还是入点，以决定交点之间的线段保留或删除。这样就可得到岛状的缓冲区。

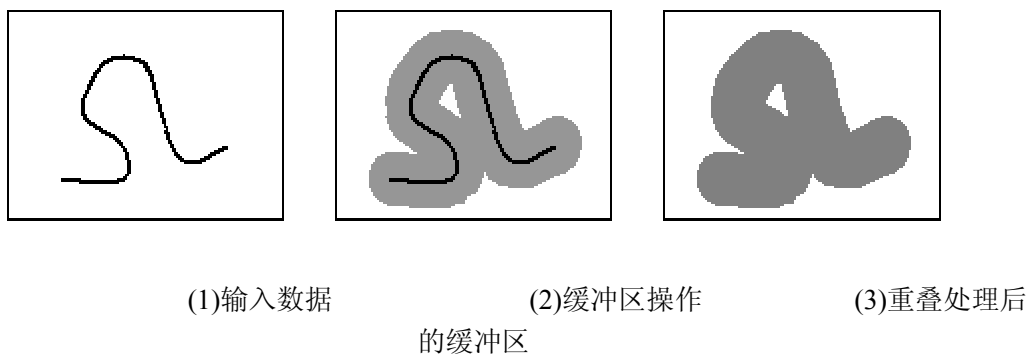


图 5—15



图 5—16

在对多条线建立缓冲区时，可能会出现缓冲区之间的重叠。这时需把缓冲区内部的线段删除，以合并成连通的缓冲区(图 5—16)。

5.5.2 基于栅格数据的缓冲区分析

缓冲区分析在 GIS 中用得较多，但对矢量数据的缓冲区操作比较复杂，而在栅格数据中可看作是对空间实体向外进行一定距离的扩展，因而算法比较简单。

泰森多边形及其特性

荷兰气候学家 A·H·Thiessen 提出了一种根据离散分布的气象站的降雨量来计算平均降雨量的方法，即将所有相邻气象站连成三角形，作这些三角形各边的垂直平分线，于是每个气象站周围的若干垂直平分线便围成一个多边形。用这个多边形内所包含的一个唯一气象站的降雨强度来表示这个多边形区域内的降雨强度，并称这个多边形为泰森多边形。如图 5—17，其中虚线构成的多边形就是泰森多边形。泰森多边形每个顶点是每个三角形的外接圆圆心。泰森多边形也称为 Voronoi 图，或 dirichlet 图。

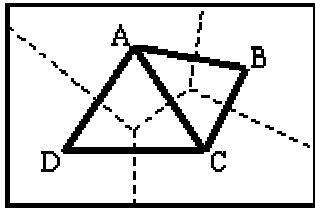


图 5—17

泰森多边形的特性是：

- 1° 、每个泰森多边形内仅含有一个离散点数据；
- 2° 、泰森多边形内的点到相应离散点的距离最近；
- 3° 、位于泰森多边形边上的点到其两边的离散点的距离相等。

泰森多边形可用于定性分析、统计分析、邻近分析等。例如，可以用离散点的性质来描述泰森多边形区域的性质；可用离散点的数据来计算泰森多边形区域的数据；判断一个离散点与其它哪些离散点相邻时，可根据泰森多边形直接得出，且若泰森多边形是 n 边形，则就与 n 个离散点相邻；当某一数据点落入某一泰森多边形中时，它与相应的离散点最邻近，无需计算距离。

在泰森多边形的构建中，首先要将离散点构成三角网。这种三角网称为 Delaunay 三角网。

Delaunay 三角形的构建

Delaunay 三角网的构建也称为不规则三角网的构建，就是由离散数据点构建三角网，如图 5—18，即确定哪三个数据点构成一个三角形，也称为自动联接三角网。即对于平面上 n 个离散点，其平面坐标为 (x_i, y_i) , $i=1, 2, \dots, n$ ，将其中相近的三点构成最佳三角形，使每个离散点都成为三角形的顶点。

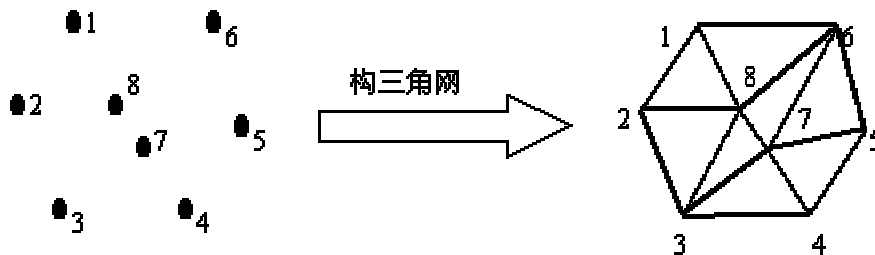


图 5—18

自动联接三角网的结果为所有三角形的三个顶点的标号，如：

1, 2, 8
2, 8, 3
3, 8, 7
⋮

为了获得最佳三角形，在构三角网时，应尽可能使三角形的三内角均成锐角，即符合 Delaunay 三角形产生的准则：

- 1) 任何一个 Delaunay 三角形的外接圆内不能包含任何其它离散点。
- 2) 相邻两个 Delaunay 三角形构成凸四边形，在交换凸四边形的对角线之后，六个内角的最小者不再增大。该性质即为最小角最大准则。

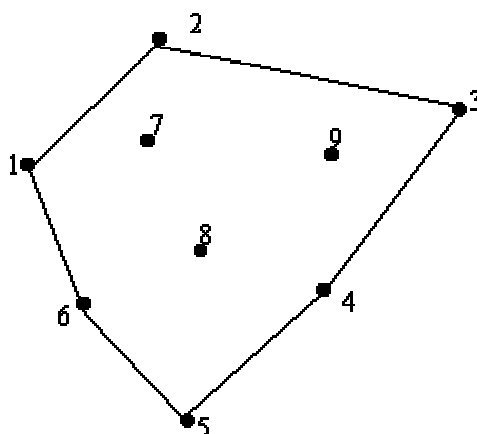


图 5--19

下面介绍 Tsai (1993) 提出的在 n 维欧拉空间中构造 Delaunay 三角形的通用算法——凸包插值算法。

一、凸包生成

- 1) 求出点集中满足 $\min(x-y)$ 、 $\min(x+y)$ 、 $\max(x-y)$ 、 $\max(x+y)$ 的四个点，并按逆时针方向组成一个点的链表。这 4 个点为离散点中与包含离散点的外接矩形的 4 个角点最近的点。这 4 个点构成的多边形作为初始凸包。
- 2) 对于每个凸包上的点 I ，设它的后续点为 J ，计算矢量线段 IJ 右侧的所有点到 IJ 的距离，求出距离最大的点 K 。

- 3) 将 K 插入 I、J 之间，并将 K 赋给 J。
- 4) 重复 2)、3) 步，直到点集中没有在线段 IJ 右侧的点为止。
- 5) 将 J 赋给 I，J 取其后续点，重复 2)、3)、4) 步。
- 6) 当凸包中任意相邻两点连线的右侧不存在离散点时，结束点集凸包求取过程。

完成这一步后，形成了包含所有离散点的多边形（凸包），如图 5—19 所示。

二、环切边界法凸包三角剖分

在凸包链表中每次寻找一个由相邻两条凸包边组成的三角形，在该三角形的内部和边界上都不包含凸包上的任何其它点。将这个点去掉后得到新的凸包链表。重复这个过程，直到凸包链表中只剩三个离散点为止。将凸包链表中的最后三个离散点构成一个三角形，结束凸包三角剖分过程。

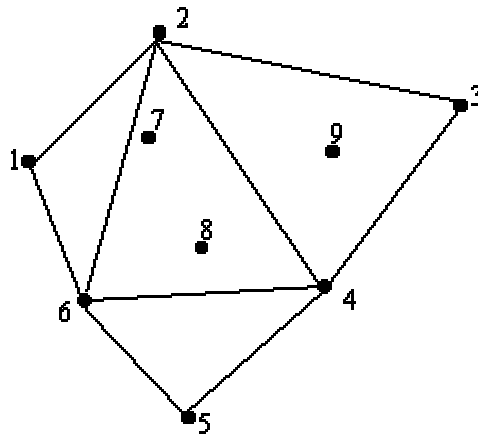


图 5—20

完成这一步后，将凸包中的点构成了若干 Delaunay 三角形，如图 5—20 所示。

三、离散点内插

在对凸包进行三角剖分之后，不在凸包上的其余离散点，可采用逐点内插的方法进行剖分。基本过程为：

- 1) 找出外接圆包含待插入点的所有三角形，构成插入区域。
- 2) 删除插入区域内的三角形公共边，形成由影响三角形顶点构成的多边形。

- 3) 将插入点与多边形所有顶点相连，构成新的 Delaunay 三角形。
- 4) 重复 1)、2)、3)，直到所有非凸壳离散点都插入完为止。完成这一步后，就完成了 Delaunay 三角网的构建，如图 5—21 所示。

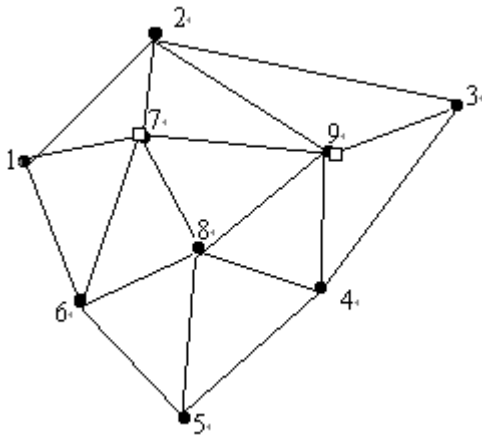


图 5—21

泰森多边形的建立

建立泰森多边形算法的关键是对离散数据点合理地连成三角网，即构建 Delaunay 三角网。建立泰森多边形的步骤为：

- 1°、离散点自动构建三角网，即构建 Delaunay 三角网。对离散点和形成的三角形编号，记录每个三角形是由哪三个离散点构成的。
- 2°、找出与每个离散点相邻的所有三角形的编号，并记录下来。这只要在已构建的三角网中找具有一个相同顶点的所有三角形即可。

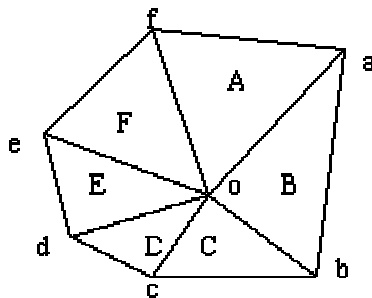


图 5—22

3°、对与每个离散点相邻的三角形按顺时针或逆时针方向排序，以便下一步连接生成泰森多边形。排序的方法可如图 5—22 所示。设离散点为 o 。找出以 o 为顶点的一个三角形，设为 A ；取三角形 A 除 o 以外的另一顶点，设为 a ，则另一个顶点也可找出，即为 f ；则下一个三角形必然是以 of 为边的，即为三角形 F ；三角形 F 的另一顶点为 e ，则下一三角形是以 oe 为边的；如此重复进行，直到回到 oa 边。

4°、计算每个三角形的外接圆圆心，并记录之。

5°、根据每个离散点的相邻三角形，连接这些相邻三角形的外接圆圆心，即得到泰森多边形。对于三角网边缘的泰森多边形，可作垂直平分线与图廓相交，与图廓一起构成泰森多边形。

网络图论基础

网络分析是 GIS 空间分析的重要组成部分。在网络分析中用到的网络模型是数学模型中离散模型的一部分。分析和解决网络模型的有力工具是图论。

图论中的“图”并不是通常意义下的几何图形或物体的形状图，而是一个以抽象的形式来表达确定的事物，以及事物之间具备或不具备某种特定关系的数学系统。

由点集合 V 和点与点之间的连线的集合 E 所组成的集合对 (V, E) 称为图，用 $G(V, E)$ 来表示。 V 中的元素称为节点， E 中的元素称为边。节点集 V 与边集 E 均为有限的图称为有限图。本章只讨论有限图。

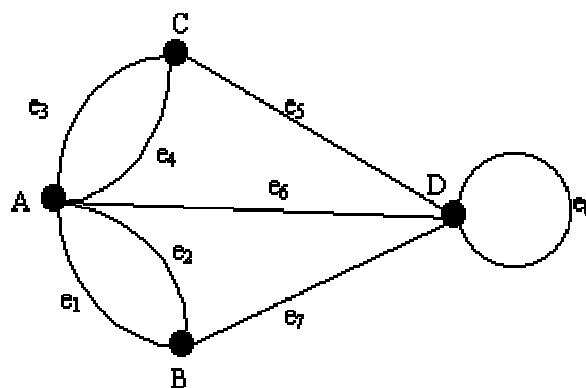


图 5—23

在图 5—23 中，节点集合 $V = \{A, B, C, D\}$ ，边集合为 $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8\}$ 。连接两个节点间的边可能不止一条，如 e_1, e_2 都连接 A 和 B 。连接同一节点的边称为自圈，如 e_8 。如不特别声明，本章不讨论具有自圈和多重边的图。

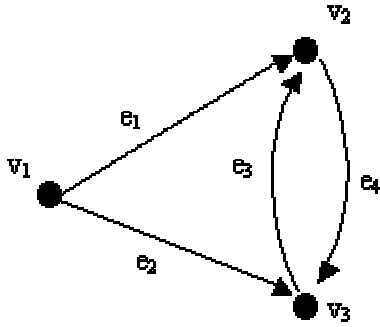


图 5—24

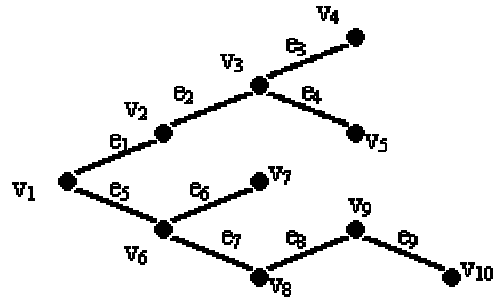


图 5—25

如果图中的边是有向的，则称为有向图，如图 5—24 所示。在无向图中，首位相接的一串边的集合称为路。在有向图中，顺向的首尾相接的一串有向边的集合称为有向路。通常用顺次的节点或边来表示路或有向路。如图 5—25 中， $\{e_1, e_2, e_4\}$ 为一条路，该路也可用 $\{v_1, v_2, v_3, v_5\}$ 来表示。

起点和终点为同一节点的路称为回路（或圈）。如果一个图中，任意两个节点之间都存在一条路，称这种图为连通图。若一个连通图中不存在任何回路，则称为树，如图 5—25。由树的定义，直接得出下列性质：

- 1) 树中任意两节点之间至多只有一条边。
- 2) 树中边数比节点数少 1。
- 3) 树中任意去掉一条边，就变成不连通图。
- 4) 树中任意添一条边，就会构成一个回路。

任意一个连通图，或者是树，或者去掉一些边后形成树，这种树称为这个连通图的生成树。一般来说，一个连通图的生成树可能不止一个。

如果图中任一边 (i, j) 都赋一个数 $\omega(i, j)$ ，称这种数为该边的权数。赋以权数的图成为赋权图。有向图的各边赋以权数后，成为有向赋权图。赋权图在实际问题中非常有用。根据不同的实际情况，权数的含义可以各不相同。例如，可用权数代表两地之间的实际距离或行车时间，也可用权数代表某工序所需的加工时间等。

路径分析

一、最短路径分析

在最短路径选择中，两点之间的距离可以定义为实际的距离，也可定义为两点间的时间、运费、流量等，换句话说，可定义为使用这条边所需付出的代价。因此，可以对不同的专题内容进行最短路径分析。下面介绍的最短路径搜索的算法是狄克斯特拉（Dijkstra）在 1959 年提出的，被公认为是最好的算法之一。它的基本思想是：把图的一页顶点分为 S, T 两类，若起始点 u 到某顶点 x 的最短通路已求出，则将 x 归入 S，其余归入 T，开始时 S 中只有 u，随着程序运行, T 的元素逐个转入 S，直到目标顶点 v 转入后结束。

① 距离矩阵的计算

GIS 中的网络可以看作是图，可以是有向图，也可以是无向图。对于无向图，可当作有向图来处理。

为了求出最短路径，需先计算两点间的距离，并形成距离矩阵。若两点间没有路，则距离为 ∞ 。图 5—26 为网络图及其距离矩阵。

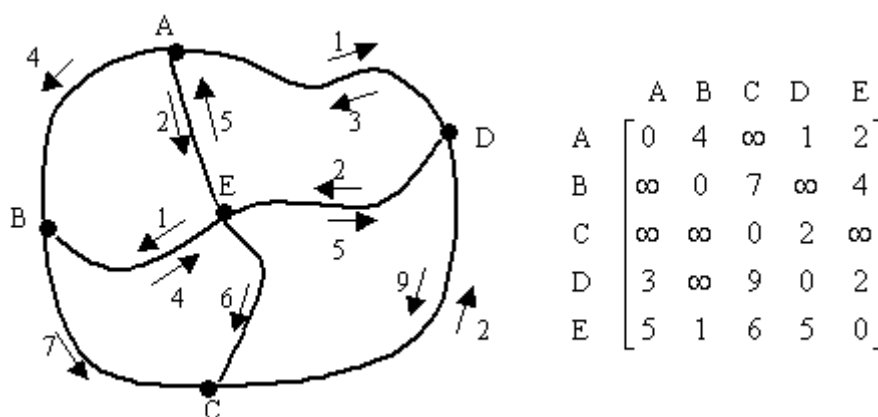


图 5—26

② 最短路径搜索的依据

网络图中的最短路径应该是一条简单路径，即是一条不与自身相交的路径。

最短路径搜索的基本依据是，若从点 S 到点 T 有一条最短路径，则该路径上的任何点到 S 的距离都是最短的。证明从略。

为了进行最短路径搜索，令 $d(X, Y)$ 表示点 X 到 Y 的距离， $D(X)$ 表示 X 到起始点 S 的最短距离。在下列搜索算法中，还需假定两点之间的距离不为负。

③ 最短路径搜索的步骤

1°、对起始点 S 作标记，且对所有顶点令 $D(X) = \infty, Y = S$ 。

2°、对所有未作标记的点按以下公式计算距离，

$$D(X) = \min \{D(X), d(Y, X) + D(Y)\}$$

其中 Y 是已确定作标记的点。

取具有最小值的 $D(X)$ ，并对 X 作标记，令 $Y=X$ 。

若最小值的 $D(X)$ 为 ∞ ，则说明 S 到所有未标记的点都没有路，算法终止；否则继续。

3°、如果 Y 等于 T ，则已找到 S 到 T 的最短路径，算法终止；否则转 2°。

([最短路径搜索例子](#))

二、最小生成树

生成树是图的极小连通子图。一个连通的赋权图 G 可能有很多的生成树。设 T 为图 G 的一个生成树，若把 T 中各边的权数相加，则这个和数称为生成树 T 的权数。在 G 的所有生成树中，权数最小的生成树称为 G 的最小生成树。

在实际应用中，常有类似在 n 个城市间建立通信线路这样的问题。这可用图来表示，图的顶点表示城市，边表示两城市间的线路，边上所赋的权值表示代价。对 n 个顶点的图可以建立许多生成树，每一棵树可以是一个通信网。若要使通信网的造价最低，就需要构造图的最小生成树。

构造最小生成树的依据有两条：

- 1°、在网中选择 $n-1$ 条边连接网的 n 个顶点；
- 2°、尽可能选取权值为最小的边。

下面介绍构造最小生成树的克罗斯克尔 (Kruskal) 算法。该算法是 1956 年提出的，俗称“避圈”法。设图 G 是由 m 个节点构成的连通赋权图，则构造最小生成树的步骤如下：

- (1) 先把图 G 中的各边按权数从小到大重新排列，并取权数最小的一条边为 T 中的边。
- (2) 在剩下的边中，按顺序取下一条边。若该边与 T 中已有的边构成回路，则舍去该边，否则选进 T 中。
- (3) 重复 (2)，直到有 $m-1$ 条边被选进 T 中，这 $m-1$ 条边就是 G 的最小生成树。

([最小生成树例子](#))

最短路径搜索例子

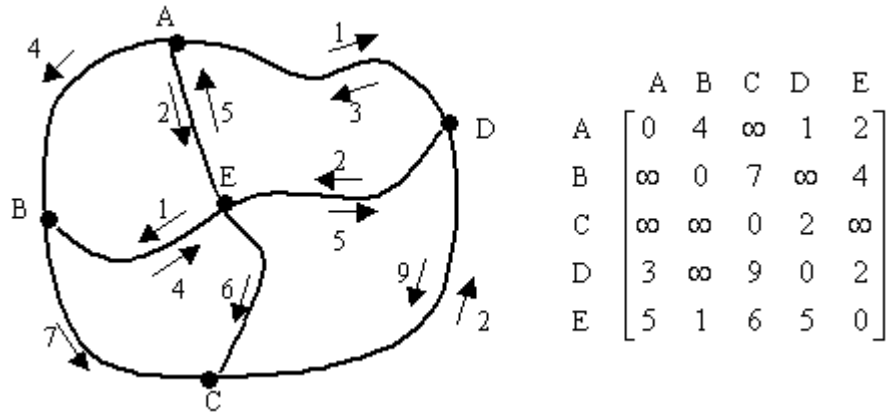


图 5—26

例如，对图 8—26，需搜索 A 到 C 的最短路径，则：

1°、对 A 作标记，按公式计算所有标记点的距离。

结果为 $D(B) = 4$ ， $D(C) = \infty$ ， $D(D) = 1$ ， $D(E) = 2$ 。

最小值为 $D(D) = 1$ 。

2°、对 D 作标记，按公式算 $D(B)$ 、 $D(C)$ 、 $D(E)$ 。

$$D(B) = \min \{D(B), d(D, B) + D(D)\}$$

$$= \min \{4, \infty + 1\} = 4$$

$$D(C) = \min \{D(C), d(D, C) + D(D)\}$$

$$= \min \{\infty, 9 + 1\} = 10$$

$$D(E) = \min \{D(E), d(D, E) + D(D)\}$$

$$= \min \{2, 2 + 1\} = 2$$

3°、对 E 作标记，计算 $D(B)$ ， $D(C)$ 。

$$D(B) = \min \{D(B), d(E, B) + D(E)\}$$

$$= \min \{4, 1 + 2\} = 3$$

$$D(C) = \min \{D(C), d(E, C) + D(E)\}$$

$$= \min \{10, 6 + 2\} = 8$$

最小值为 $D(B) = 3$ 。

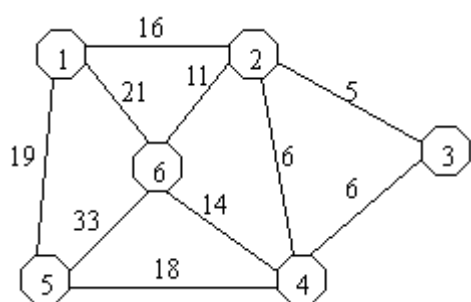
4°、对 B 作标记，计算 $D(C)$

$$D(C) = \min \{D(C), d(B, C) + D(B)\}$$

$$= \min \{8, 7+3\} = 8$$

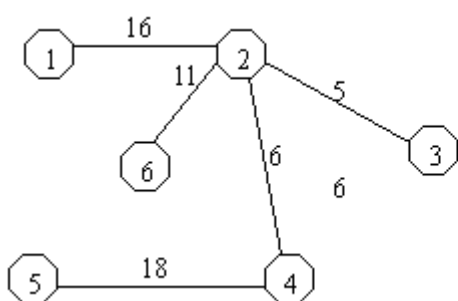
5°、根据顺序记录的标记点，以及最小值的取值情况，可得到最短路径为 $A \rightarrow E \rightarrow C$ ，最短距离为 8。

最小生成树例子

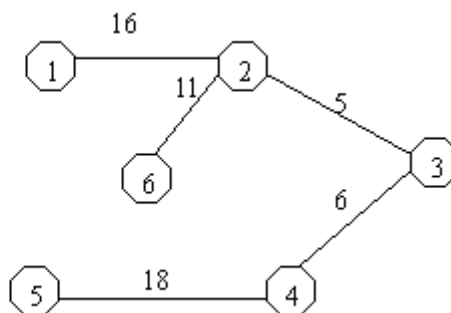


(1) 赋权图

最小生成树原图 最小生成树



(1) 最小生成数之一



(2) 最小生成树之二

图 5—27

设有如图 5—27(1)所示的图，图的每条边上标有权数。为了使权数的总和为最小，应该从权数最小的边选起。在此，选边(2, 3)；去掉该边后，在图中取权数最小的边，此时，可选(2, 4)或(3, 4)，设取(2, 4)；去掉(2, 4)边，下一条权数最小的边为(3, 4)，但使用边(3, 4)后会出现回路，故不可取，应去掉边(3, 4)；下一条权数最小的边为(2, 6)；依上述方法重复，可形成图 8—27(2)所示的最小生成树。如果前面不取(2, 4)，而取(3, 4)，则形成图 5—27(3)所示的最小生成树。

最小费用最大流

在地理网络中进行着物质和能量的流动，形成各种各样的流。

设有一个水管网络，只有一个进水口和一个出水口。每个管道用其截面积作为权数，用于反映单位时间内可能通过的最大流量(称为容量)。有稳定水流注入进水口，经过网络从出水口流出。这样的一个稳定的流动称为“流”，具有如下性质：

- 1) 流是有向的。
- 2) 管道的流量不可能超过最大流量。
- 3) 每个内部节点处流入和流出节点的流量相等。
- 4) 进水口的流量等于出水口的流量。

网络流的基本问题为：设一个有向赋权图 $G(V, E)$ ， $V = \{s, a, b, c, \dots, s'\}$ ，其中有两个特殊的节点 s 和 s' 。 s 称为发点， s' 称为收点。图中各边的方向和权数表示允许的流向和最大可能的流量(容量)。问在这个网络图中从发点流出到收点汇集，最大可通过的实际流量为多少？流向的分布情况为怎样？

最大流问题讨论的是，在一个地理网络中怎样安排网上的流，使从发点到收点的流量最大。在实际应用中，不仅要考虑使网络上的流量最大，而且要使运送流的费用或代价最小。这就是最小费用最大流量问题。

设有一个网络图 $G(V, E)$ ， $V = \{s, a, b, c, \dots, s'\}$ ， E 中的每条边 (i, j) 对应一个容量 $c(i, j)$ 与输送单位流量所需费用 $a(i, j)$ 。如有一个运输方案(可行流)，流量为 $f(i, j)$ ，则最小费用最大流问题就是这样一个求极值问题：

$$\min_{f \in F} a(f) = \min_{f \in F} \sum_{(i,j) \in E} a(i,j) f(i,j)$$

其中 F 为 G 的最大流的集合，即在最大流中寻找一个费用最小的最大流。

确定最小费最大流的过程实际上是一个多次迭代的过程。基本思想是：从零流为初始可行流开始，在每次迭代过程中对每条边赋予与 $c(i, j)$ (容量)、 $a(i, j)$ (单位流量运输费用)、 $f(i, j)$ (现有流的流量) 有关的权数 $\omega(i, j)$ ，形成一个有向赋权图。再用求最短距离路径的方法确定由发点 s 至收点 s' 的费用最小的非饱和路，沿着该路增加流量，得到相应的新流。经过多次迭代，直至达到最大流为止。

构造权数的方法如下：

对任意边 (i, j) ，根据现有的流 f ，该边上的流量可能增加，也可能减少。因此，每条边赋予向前费用权 $\omega^+(i, j)$ 与向后费用权 $\omega^-(i, j)$ ：

$$\omega^+(i, j) = \begin{cases} a(i, j), & \text{若 } f(i, j) < c(i, j) \\ +\infty, & \text{若 } f(i, j) = c(i, j) \end{cases}$$

$$\omega^-(i, j) = \begin{cases} -a(i, j), & \text{若 } f(i, j) > 0 \\ +\infty, & \text{若 } f(i, j) = 0 \end{cases}$$

对于赋权后的有向图，如把权 $\omega(i, j)$ 看作长度，即可确定 s 到 s' 的费用最小的非饱和路，等价于从 s 到 s' 的最短路。确定了非饱和路后，就可确定该路的最大可增流量。因此需对每一条边确定一个向前可增流量 $\Delta^+(i, j)$ 与向后可增流量 $\Delta^-(i, j)$ ：

$$\Delta^+(i, j) = \begin{cases} c(i, j) - f(i, j), & \text{若 } f(i, j) < c(i, j) \\ 0, & \text{若 } f(i, j) = c(i, j) \end{cases}$$

$$\Delta^-(i, j) = \begin{cases} f(i, j), & \text{若 } f(i, j) > 0 \\ 0, & \text{若 } f(i, j) = 0 \end{cases}$$

因此，确定最小费用最大流的具体算法如下：

(1) 从零流开始，令 $f \equiv 0$ 。

(2) 赋权

$$\text{当 } f(i, j) < c(i, j), \quad \begin{cases} \omega^+(i, j) = a(i, j) \\ \Delta^+(i, j) = c(i, j) - f(i, j) \end{cases}$$

$$\text{当 } f(i, j) = c(i, j), \quad \begin{cases} \omega^+(i, j) = +\infty \\ \Delta^+(i, j) = 0 \end{cases}$$

$$\text{当 } f(i, j) > 0, \quad \begin{cases} \omega^-(i, j) = -a(i, j) \\ \Delta^-(i, j) = f(i, j) \end{cases}$$

$$\text{当 } f(i, j) = 0, \quad \begin{cases} \omega^-(i, j) = -\infty \\ \Delta^-(i, j) = 0 \end{cases}$$

(3) 确定一条从 s 到 s' 的最短路

$$R(s, s') = \{(s, i_1), (i_1, i_2), \dots, (i_k, s')\}$$

若 $R(s, s')$ 的长度为 $+\infty$, 表明已得到最小费用最大流, 则停止; 否则转向(4)。

(4) 确定沿着该路 $R(s, s')$ 的最大可增流量

$$\alpha = \min \{ \Delta(s, i_1), \Delta(i_1, i_2), \dots, \Delta(i_k, s') \}$$

其中根据边的取向决定取 Δ^+ 或 Δ^- 。

(5) 生成新的流

$$f(i, j) = \begin{cases} f(i, j) + \alpha, & (i, j) \text{ 为向前边} \\ f(i, j) - \alpha, & (i, j) \text{ 为向后边} \end{cases}$$

若 $f(i, j)$ 已为最小费用最大流, 则停止; 否则转向(2)。

网络上的定位与分配模型的启发式算法

定位与分配模型是根据需求点的空间分布, 在一些候选点中选择给定数量的供应点以使预定的目标方程达到最佳结果。不同的目标方程就可以求得不同的结果。在运筹学的理论中, 定位与分配模型常可用线性规划求得全局性的最佳结果。由于其计算量以及内存需求巨大, 所以在实际应用中常用一些启发式算法 (heuristic algorithms) 来逼近或求得最佳结果。

一、Teitz-Bart 算法

1、算法思想

在众多的启发式算法中, 交换式算法 (Interchange) 用得最多, 其中著名的有 Teitz-Bart 算法。这一算法主要用来解决 [P-中心的定位分配问题](#)。

2、[Teitz-Bart 算法具体步骤](#)

3、Teitz-Bart 算法分析

Teitz-Bart 算法主要的计算是在将需求点分配到其最邻近的供应点, 并求总的加权距离。在这多层次的循环计算中, 不可能临时求解点间的最小距离, 这些数据必须预先求得, 随时取用, 以提高算法的效率。这些最小距离正是用最短路径算法求得的。采用类似动态数据结构——供应点数据串和需求点数据串。数据串的长度常常可用实际应用中服务距离的最大值来限制, 可以大大减少计算时间和内存。从供应点的数据串中, 可以非常容易找到哪些需求点是在该点的服务范

围，而从需求点数据串中可以找出其相邻的供应点。这在定位与分配的启发式算法中起到了关键的作用。

[\(详细分算法析\)](#)

Teitz-Bart 算法其计算量很大，因为在其多层次循环取代的计算有很大的计算量，尽管有相应的数据结构支持，对大的网络的计算仍需要相当长的时间。P. Densham 和 G. Rushton 在对 Teitz-Bart 算法的修改中，引入了一个新的全局和区域性算法(Global and Regional). Densham-Rushton 的这一新的算法充分利用候选点和需求点数据的信息，在计算取代中大大减少了计算量。

二、Densham-Rushton 算法

可以叙述如下：

①先选 P 个候选点作为起始供应点集，并将所有需求点分配到最近的供应点，计算其目标方程值，即总的加权距离。

②作全局性调查

(a) 检验所有的选择的供应点，选定一个供应点准备删去，它的删去仅引起最小的目标方程值的增加。

(b) 从未选入的候选点中，寻找一个候选点来代替(a)中选择的供应点，其可以最大限度地减少目标方程值。

(c) 如果(b)中选择的点所减少的目标方程值大于(a)中选择的点所增加的目标方程的值，用(b)中点代替(a)中点，并更新目标方程值，并到(a)步重复检验。否则的话，转入③步。

③对每一供应点依次作出区域性调整：

(a) 如果不是固定的供应点，用它的邻近的候选点来代替检验。

(b) 如果这一代替可以最大程度地减少目标方程值，则进行这一替换，直到 P-1 个供应点都被检验，并无新的替换为止。

④重复第②步和第③步直到两步都无新的替换为止。

这样最后的供应点集即是最终结果。这一算法运用空间邻近相关性的特性，有目的地对部分相邻或

相关的候选点进行比较检验和取代，避免了很多不必要的计算，大大改善了算法的处理速度，这对大数据量的运算是非常重要的。根据 **Densham** 和 **Rushtom** 的试验，与 **Teitz-Bart** 算法相比，新的算法仅需要 **30%~50%** 的处理时间。

P-中心的定位分配问题

题

这一问题是要在 m 个候选点中选择 P 个供应点为 n 个需求点服务，使得为这几个需求点服务的总距离(或时间或费用)为最少。假设 ω_i 记为需求点 i 的需求量。 D_{ij} 记为从候选点 j 到需求点 i 的距离，则 P 中心问题可叙为：

$$\min\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} \cdot \omega_i \cdot d_{ij}\right)$$

并满足：

$$\sum_{j=1}^m \alpha_{ij} = 1, \quad i=1, \dots, n \quad \text{和} \quad \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n \alpha_{ij}\right) = p, \quad p < m \leq n$$

其中， α_{ij} 是分配的指数。如果需求点 i 受供应点 j 的服务，则其值为 1，否则为 0。

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ 由 } j \text{ 服务} \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

上述两个约束条件是为了保证每个需求点仅受一个供应点服务，并且只有 p 个供应点。

Teitz-Bart 算法具体步骤

- ①先选 p 个候选点作为起始供应点集 $P_1: C_1, C_2, \dots, C_p$ 。
- ②将所有的需求点归为它们最邻近的供应点服务以使其距离为最短。计算总的加权距离为 B_1 。
- ③从未选入的候选点集中选一候选点 C_b, C_b 不在 P_1 之中。
- ④对 P_1 中的每一供应点 C_j , 用 C_b 来代替, 并计算其总加权距离的变化 Δb_j 。
- ⑤从 P_1 中找出一个供应点 C_k , 其被 C_b 取代可以使总加权距离减少最多, 即

$$\Delta b_k < 0 \quad \text{且} \quad \Delta b_k = \min \Delta b_j \quad (j=1, \dots, p)$$

这一 C_b 取代 C_k , 必须使总加权距离减少。不然就不存在取代。

- ⑥如果在第⑤)中找到 C_k , 则 C_b 取代 P_1 中的 C_k , 并改名 P_1 为 P_2 。重新计算总的加权距离, 记为 B_2 。如果在第⑤中没有找到为这样的 C_k , 转到第⑦步, 保留 P_1 。
- ⑦选另一个未试过的候选点, 既不在 P_1 中也不在 P_2 中。重复第④到⑥步。
- ⑧当所有不在 P_1 中的候选点都试过后, 其结果记为 P_t , 取代 P_1 。并重复第②到⑦步的循环。
- ⑨每完成一个循环②到⑧, 如果没有任何取代能减少总的加权距离, 则停止。其最后的结果 P_t 则是所求的 P 个中心的供应点。

Teitz-Bart 算法详细分析

Teitz-Bart 算法主要的计算是在将需求点分配到其最邻近的供应点, 并求总的加权距离。在这多层次的循环计算中, 不可能临时求解点间的最小距离, 这些数据必须预先求得, 随时取用, 以提高算法的效率。这些最小距离正是用最短路径算法求得的。采用类似动态数据结构——供应点数据串和需求点数据串。数据串的长度常常可用实际应用中服务距离的最大值来限制, 可以大大减少计算时间和内存。从供应点的数据串中, 可以非常容易找到哪些需求点是在该点的服务范围, 而从需求点数据串中可以找出其相邻的供应点。这在定位与分配的启发式算法中起到了关键的作用。

实际应用中, 在选择这样的供应点时, 并不只是要使总的加权距离为最小, 有时需要使总的服务范围为最大, 有时又限定服务的最大距离不能超过一定的值, 例如在城市各街道区建立图书馆、医院等公共设施, 希望各居民住家能到这些设施的路途最短, 而在建立消防站、救护车站时, 不仅需要路途最短, 而且常常规定到最远的住宅, 其路途必须在 2—3 分钟以内到达, 增加了新的约束条件。而在设计有线电视中转站或电话的中心交换站时, 不仅要节省电缆或电话线, 而

且还要使服务的范围最大，这样可以增加用户，提高收入，因此仅仅是 P 中心模型不足以解决更多的实际问题。

在 GIS 系统设计中，常常也不可能对某一问题设计一个专用的算法。因此对常用算法的扩充与推广，意义更为重大。对上述 P 中心模型的目标方程作如下修改，就可以引伸求解其它类型的问题：

$$\Delta b_j = \sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^m \alpha_{iv} \cdot E_{iv}$$

其中 $E_{ij} = \omega_i \cdot d_{ij}$

在 P 中心问题中，如果希望所有的需求点在一给定的理想的服务距离 S 内，则仅需对 E_{ij} 作出如下修改：

$$E_{iv} = \begin{cases} \omega_i \cdot d_{iv}, & d_{iv} \leq S \\ \text{Penalty} d_{iv}, & d_{iv} > S \end{cases}$$

其中，Penalty 是一个很大的值。

而对最大服务范围问题 (Maximal Covering)，并希望需求点是在一给定的服务范围 S 内，则对 E_{ij} 作出如下修改：

$$E_{iv} = \begin{cases} 0, & d_{iv} \leq S \\ \omega_i, & d_{iv} > S \end{cases}$$

从目标方程可以看出，对给定的服务距离内 S 的需求点的服务，并不会增加总的加权距离，这样这一算法尽可能选择供应点以增加服务量，而对距离 S 之外的需求点的服务也不受距离的直接影响。

如果需要限定服务范围在一给定的最远距离 T，则可以设置如下：

$$E_{iv} = \begin{cases} 0, & d_{iv} \leq S \\ \omega_i, & S < d_{iv} \leq T \\ \text{Penalty} & d_{iv} > T \end{cases}$$

其中 Penalty 是一个很大的值。这样会逼使需求点尽可能地被服务于 T 距离以内。

通过类似的更改，我们可以用相同的算法有效地解决不同的问题。

现在问题又回到原来的算法上，Teitz-Bart 算法其计算量仍然很大，因为在多层次循环取代的计算有很大的计算量，尽管有相应的数据结构支持，对大的网络的计算仍需要相当长的时间。那么，我们是否可以利用空间域的特性，来进一步改进或引入新的算法呢？考虑计算量繁重的第 4 和第 5 步，在用来选入点试验替代已选入 A 点的过程中，是否应该考虑所有点。事实上，利用空间邻近的相关性，这样的取代计算并不需要对所有点进行，而其受影响的点应是其附近的点，这样可以大大减少计算时间。P. Densham 和 G. Rushton 正是利用空间上的这一特性，在其对 Teitz-Bart 算法的修改中，引入了一个新的全局和区域性算法 (Global and Regional). Densham-Rushton 的这一新的算法充分利用候选点和需求点数据的信息，在计算取代中大大减少了计算量。

点/点距离计算

一、平面距离与角度

设有平面上的两点 $P_1(x_1, y_1)$ 与 $P_2(x_2, y_2)$ ，则两点之间的平面距离为：

$$|P_1P_2| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

矢量 P_2 到 P_1 之间的夹角为：

$$\sin\theta = (x_2 - x_1) / |P_1P_2|, \cos\theta = (y_2 - y_1) / |P_1P_2|$$

二、空间直线距离

设空间两点为 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 与 $P_2(x_2, y_2, z_2)$ ，则两点之间的空间直线距离为：

$$|P_1P_2| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

三、球面距离

在航空与航海等情况中，作业范围较大，大圆线则是球面上两点之间的最短距离。给定球面两点 $A(\psi_1, \lambda_1)$ 和 $B(\psi_2, \lambda_2)$ ，如图 5—28 所示，圆弧长为：

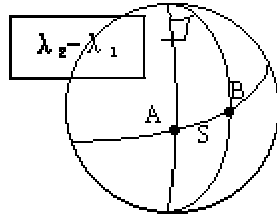


图 5--28 球面距离计算

$$\cos(S) = \sin \psi_1 \cdot \sin \psi_2 + \cos \psi_1 \cdot \cos \psi_2 \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1)$$

$$S = \arccos(\sin \psi_1 \cdot \sin \psi_2 + \cos \psi_1 \cdot \cos \psi_2 \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1))$$

两点之间的球面距离为：

$$L = R \cdot S \cdot \pi / 180^\circ$$

点/线距离计算

一、点/线段最短距离

如图 5--29 所示，设线段 P_1P_2 位于横坐标轴，端点为 P_1 和 P_2 。要计算点 p 到线段 P_1P_2 的距离。

通过两 endpoint P_1 和 P_2 ，与线段 P_1P_2 垂直的直线将平面区域划分为 A_1 、 A_2 、 A_3 。则点 p 到线段 l 的最短距离的计算方法为：

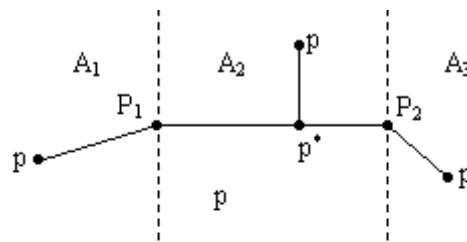


图 5--29 点/线段最短距离计算

$$d_{min} = \begin{cases} d(p, P_1) & p \in A_1 \\ d(p, p^*) & p \in A_2 \\ d(p, P_2) & p \in A_3 \end{cases}$$

二、点/线段垂直距离

设有 A、B 两点组成的直线 l 为 $ax+by+c=0$, 则点 P (X, Y) 到直线 l 的距离计算式为:

$$\text{distance}(P, l) = |aX+bY+c| / \sqrt{a^2+b^2}$$

三、点/线段平均距离

点/线段平均距离 $d(p, l)$ 等于点 p 与直线段两个端点 p_a 和 p_b 的距离值的平均值。
即:

$$d(p, l) = (d(p, p_a) + d(p, p_b)) / 2$$

四、点/线段最大距离

点/线段最大距离 $d_{\max}(p, l)$ 等于点 p 与直线段两个端点 p_a 和 p_b 的距离中的最大者。
即:

$$d_{\max}(p, l) = \max(d(p, p_a), d(p, p_b))$$

点/面距离计算

一、点/面最短距离

点 p 到面 A_n 的最短距离肯定在面的边界上, 因此点面最短距离为:

$$d_{\min}(p, A_n) = \min\{d_{\min}(p, l_i), i=1, \dots, n\}$$

其中 l_i 为组成面的边界线段。

二、点/面最大距离

点/面最大距离为:

$$d_{\max}(p, A_n) = \max\{d_{\max}(p, l_i), i=1, \dots, n\}$$

三、点/面平均距离计算

点到面的平均距离计算比较复杂, Atsuyuki Okabe, Harvey H. Miller (1996) 将多边形划分为三角形, 按照下式计算点到面的平均距离。

$$d_{\text{avg}}(p, A_n) = \sum_{i=1}^{n-2} \frac{|T_i|}{|A_n|} d_{\text{avg}}(p, T_i)$$

其中， $|T_i|$ 表示三角形的面积。 $d_{avg}(p, T_i)$ 表示点 p 到 T_i 的平均距离。

该方法在时间复杂度上非常大，首先必须将多边形剖分为三角形，按照积分的方法计算点到每个三角形的平均距离，然后才能得出点到面的平均距离。为了高效求取点到平面的平均距离，必须在面目标内寻找一点，转换为点/点距离的计算。传统方法将点/面距离近似表示为点到质心的距离。但对于凹多边形，可在多边形内求取一内点，将点到面的距离近似表示为点到该内点的距离。

线/线距离计算

一、线/线最短、最大距离

相交线之间的最短距离为零，否则，设有两线段 l_1 和 l_2 ，端点分别为 (p_{1s}, p_{1e}) 与 (p_{2s}, p_{2e}) 。则线/线之间的最短距离和最大距离为 (Atsuyuki Okabe, Harvey H. Miller, 1996)：

$$d_{\min}(l_1, l_2) = \min\{d_{\min}(p_{1s}, l_2), d_{\min}(p_{1e}, l_2), d_{\min}(p_{2s}, l_1), d_{\min}(p_{2e}, l_1)\}$$

$$d_{\max}(l_1, l_2) = \max\{d_{\max}(p_{1s}, l_2), d_{\max}(p_{1e}, l_2), d_{\max}(p_{2s}, l_1), d_{\max}(p_{2e}, l_1)\}$$

二、线/线平均距离计算

假设线段 l_1 位于 X 轴， $\{(x,0)|a \leq x \leq b\}$ 。 l_2 位于直线 $Y=kX$ 上， $\{(X,Y)|c \leq X \leq d, kc \leq Y \leq kd\}$ 。对于 l_2 上的任意一点 $P(X, Y)$ ， P 到 l_1 的平均距离

$$d_{avg}(p, l_1) = \frac{1}{b-a} \int_a^b f(x) dx, \text{ 其中 } f(x) = \sqrt{(X-x)^2 + (kX)^2}$$

在 l_2 上，每间隔 dX 取点，则取样点总数 $n=(d-c)/dX$ 。从而线段 l_2 到 l_1 的平均距离为：

$$d_{avg}(l_2, l_1) = (d_{avg}(p_1, l_1) + d_{avg}(p_2, l_1) + \dots + d_{avg}(p_n, l_1)) / n$$

模型的概念和模型的生成

一、模型(Model)的概念与特点

模型是客观世界的一个表征和体现，同时又是客观事物的抽象和概括。

人们认识和研究客观世界一般有三种方法：*逻辑推理法*，*实验法和模型法*。模型法是我们了解和探索客观世界的最有力、最方便、最有效的方法。客观世界的实际系统是极其复杂的，它的属性也是多方面的。但是，建立模型决不能企图

将所有这些因素和属性都包括进去，只能根据系统的目的和要求，抓住本质属性和因素，准确地描述系统。

[\(模型具有的特点\)](#)

二、模型的表示方法

模型的表示方法有两种表示形式：一阶谓词逻辑表示形式与关系表示形式。一般采用容易为用户接受的关系表示方法。它将模型看成一个虚关系，它的项由模型的输入项和输出项组成。这个虚关系是模型输入项与输出项的笛卡尔乘积的子集。这样，在创建模型时，就象创建关系数据库中的关系一样。此外，还需定义关系中各项的域值，以及输入项和输出项之间的关系。

[\(关系表示形式对某个模型的具体描述\)](#)

三、模型的分类

模型可以分为两类，即形象模型和抽象模型。前者包括[直观模型](#)、[物理模型](#)等，后者包括[思维模型](#)、[符号模型](#)、[数学模型](#)和[仿真模型](#)等。但这些模型之间是互相联系的，一个系统中往往需要多种类型的模型。

四、模型生成过程的特点

模型生成是指在系统内形成一组能反映实体运动形态的模型。一般具有以下几个特点：

- (1)模型在系统内的主要存储方式可以是程序式或非程序式的。基于数据的模型表示和基于知识的模型表示都可以作为模型的基本形态。
- (2)在生成模型的过程中，采用定量建模和推理分析相结合的技术。其中定量建模用于确定模型的数学形态和有关参数。
- (3)模型生成在人机交互中完成。在传统建模过程中，人的作用和机器的作用是界限分明的，而在模型生成技术中这种分界线是模糊的。
- (4)模型生成应该是一个动态过程。模型的生成环境发生变化时，所生成的模型也不会完全相同。

五、模型生成的一般步骤

模型的描述方式和模型的生成关系密切。不同的描述方式有不同的建模步骤，下面介绍模型生成的一般步骤。

1°、建模准备：了解所分析的问题的实际背景，弄清建立模型的目的，掌握所分析的对象的各种信息。

2°、模型假设：对所研究的问题进行必要的简化，并用明确的语言对模型作出假设，即用语言对模型予以描述。

3°、模型建立：利用适当的数学工具建立各种量之间的关系，给出具体的数学结构。

4°、模型求解：求解数学方程参数，绘制图形，证明定理，进行逻辑运算等，一般利用计算机完成。

5°、模型分析：对上述结果进行数学上的分析，给出预测或给出最优决策或控制。

6°、模型检验：用实际现象、数据等检验模型的合理性和适用性。

7°、模型应用：如果检验结果符合要求，就可实际应用；若检验结果不符合实际情况，还需对模型进行修改、补充、假设、重新建模。

六、模型的动态生成

传统的建模方法，在实际应用中取得的效果并不理想。（[主要表现](#)）

根据系统的内因和外因变化修改模型，使之跟踪系统运动形态的过程称为模型的动态生成。

模型的动态生成建立在模型生成的基础上，如果系统内还没有描述实体的模型，那么首先要生成一个模型。一般模型的动态生成包括[仿真环境跟踪](#)、[模型参数更新](#)、[模型重构](#)和[调整推理](#)等方面的内容。

模型具有的特点

(1) 模型比现实世界容易操作，尤其一些参数值的改变在模型中操作比在实际问题中操作更容易。

(2) 有些不能做实验的实际问题，可以通过建立模型来进行描述。

(3) 有些变量在现实中需要很长时间才能观察出它的变化情况，但用模型研究则能很快看出变化规律，从而能最迅速地抓住本质特征。

(4) 用模型研究变量之间的关系，可以节约时间，降低费用。

(5) 可以通过模型进行灵敏度分析，以便看出哪些因素对系统影响更大。

关系表示形式对某个模型的具体描述

- a. 模型标识(例如模型名、模型编号)
- b. 输入项
- c. 输出项
- d. 输入项限制(任选项)
- e. 依赖关系(任选项, 即输入项和输出项之间的关系)
- f. 模型类型
- g. 模型描述

模型的分类

- (1) **直观模型** 只供展览用的实物模型以及玩具、照片等。通常是把原型的尺寸放大或缩小。
- (2) **物理模型** 主要是直观模型的进一步改进, 它不仅可以显示原形的外形和特征, 而且可以用来进行模拟实验, 间接地研究原形的外形的某些规律。
- (3) **思维模型** 指通过人们对原型的反复认识, 将获取的知识以经验形式直接存储于大脑中, 从而可以根据思维或直觉作出相应的决策。专家系统中的专家知识就是一种思维模型。
- (4) **符号模型** 是在一些约定或假设下借助于专门的符号、线条等, 按一定形式组合起来描述原型。地图就是一种典型的符号模型。
- (5) **仿真模型** 这是通过计算机上运行的程序表达的模型。物理模型和数学模型一般可以转化为仿真模型, 常见的有三维仿真模型。
- (6) **数学模型** 是用的最多、最广的一种模型。它是用字母、数字和其它数学符号构成的等式或不等式, 或用图表、图象、框图、数理逻辑来描述事物的, 它是真实系统的一种抽象, 是研究和掌握系统运动规律的有利工具, 是分析、设计、预报、控制实际系统的基础。

传统的建模方法在实际应用中效果不理想

的主要表现

(1) 建模时没有考虑环境、参数及一些外因的变化，造成所建立的模型通用性差，一般只能使用一次。

(2) 模型和数据的接口没有设计好，往往一种模型只能用固定的一组数据。

(3) 模型和模型之间的数据传输的接口没有设计好，只能单个模型辅助决策，模型组合能力差。

(4) 传统的建模方法没有使建模者和利用模型决策者进行充分的交互。用户只能在已建好的模型中选择使用。

一般模型的动态生成内容

(1) 仿真环境跟踪 (Tracing Simulation Environment)

改变系统仿真环境是动态生成模型的基础工作。仿真环境发生变化，模型一般情况下总要发生变化。有时模型对环境变化的反应不够敏感，环境变化不大时模型的分析精度仍可以使用户满意，那就没有必要对模型进行修改。

(2) 模型参数更新

当系统的内因和外因发生变化时，模型的结构不发生变化，仅变化模型的参数就可以了。一般的，用人机交互的方式来修改模型的参数。

(3) 模型重构 (Model Restructure)

系统的环境变化和内部因素的变化都会引起模型结构的变化，这就涉及到模型重构的问题。模型的重构主要指在模型中增删一些影响因素。一般当模型参数更新的方法不能提高模型对于系统的解释能力时，应该考虑模型重构的问题。

模型重构是一个相当复杂的问题，不同的模型生成原理对应着不同的模型重构方法。重构的内容主要涉及到模型的维数、阶数、约束条件等。如果发生了多重共线问题，那么重构就要重新选择模型的基底

(4) 调整推理 (Reasoning Adjustment)

系统的内因和外因的变化不仅影响模型的计算结果，而且还影响模型的推理分析。因此模型中的推理机制也应该适时地作调整，这种调整推理对模型重构起着重要的指导作用。但是，调整的方向、调整到什么部位、调整多大幅度都有一定的难度。

GIS 的空间分析模型

一、GIS 空间分析模型的概念与特点

空间分析模型是指用于 GIS 空间分析的数学模型。

GIS 空间分析模型是在 GIS 空间数据基础上建立起来的模型，它是对现实世界科学体系问题域抽象的空间概念模型，和广义的模型概念既有区别，又相互联系，表现在：

(1) 空间定位是空间分析模型特有的特性，构成空间分析模型的空间目标(点、弧段、网络、面域、复杂地物等)的多样性决定了空间分析模型建立的复杂性。

(2) 空间关系也是空间分析模型的一个重要特征，空间层次关系、相邻关系以及空间目标的拓扑关系也决定了空间分析模型建立的特殊性。

(3) 包括坐标、高程、属性以及时序特征的空间数据极其庞大，大量的空间数据通常用图形的方式来表示，这样，由空间数据构成的空间分析模型也具有了可视化的图形特征。

(4) 空间分析模型不是一个独立的模型实体，它和广义模型中抽象模型的定义是交叉的。GIS 要求完全精确地表达地理环境间复杂的空间关系，因而常使用数学模型，此外，仿真模型和符号模型也在 GIS 中得到了很好的应用。

([空间分析模型的概念和意义的理解](#))

二、空间分析模型的类型

GIS 中空间分析模型分类问题，目前研究的很少。这里，把空间分析模型分为以下几种类型：

1°、空间分布分析模型

用于研究地理对象的空间分布特征。主要包括：空间分布参数的描述，如分布密度和均值、分布中心、离散度等；空间分布检验，以确定分布类型；空间聚类分析，反映分布的多中心特征并确定这些中心；趋势面分析，反映现象的空间分布趋势；空间聚合与分解，反映空间对比与趋势。

2°、空间关系分析模型

用于研究基于地理对象的位置和属性特征的空间物体之间的关系。包括距离、方向、连通和拓扑等四种空间关系。其中，拓扑关系是研究得较多的关系；距离是内容最丰富的一种关系；连通用于描述基于视线的空间物体之间的通视性；方向反映物体的方位。

3°、空间相关分析模型

用于研究物体位置和属性集成下的关系，尤其是物体群(类)之间的关系。在这方面，目前研究得最多的是空间统计学范畴的问题。统计上的空间相关、覆盖分析就是考虑物体类之间相关关系的分析。

4°、预测、评价与决策模型

用于研究地理对象的动态发展，根据过去和现在推断未来，根据已知推测未知，运用科学知识和手段来估计地理对象的未来发展趋势，并作出判断与评价，形成决策方案，用以指导行动，以获得尽可能好的实践效果。

空间分析模型概念和意义的理解

- 1) 空间分析模型是联系 GIS 应用系统与专业领域的纽带，必须以广泛、深入的专业研究为基础；
- 2) 空间分析模型是综合利用 GIS 中大量数据的工具，数据的综合分析和应用主要通过模型来实现；
- 3) 空间分析模型是分析型和辅助决策型 GIS 区别于管理型 GIS 的一个重要特征，是解决空间分析和辅助决策问题的核心。

GIS 中常用的空间统计分析模型

一、相关分析模型

GIS 地理数据库中存储的各种自然和人文地理要素(现象)的数据并不是孤立的，它们相互影响、相互制约，彼此之间存在着一定的联系。相关分析模型就是用来分析研究各种地理要素数据之间相互关系的一种有效手段。

地理数据库中各种地理要素数据之间的相关关系，通常可以分为参数相关和非参数相关两大类。其中，参数相关又可分为简单(两要素)线性相关，多要素间的相关模型，非参数相关可以分为顺序(等级)相关和二元分类相关。

二、趋势面分析模型

在 GIS 的空间分析中，经常要研究某种现象的空间分布特征与变化规律。许多现象在空间都具有复杂的分布特征，它们常常呈现为不规则的曲面。欲研究这些现象的空间分布趋势，就要用适当的数学方法将现象的空间分布及其区域变化趋势模拟出来，这就是趋势面分析方法。

趋势面分析，是用一个多项式对地理现象的空间分布特征进行分析，用该多项式所代表的曲面来逼近(或拟合)现象分布特征的趋势变化，也就是用数学方法把观测值分解为两个部分：趋势部分和偏差部分。趋势部分反映区域性的总的变

化，受大范围的系统性因素的控制；偏差部分反映局部范围的变化特点，受局部因素和随机因素的控制。

- ① [基本原理](#)
- ② [多项式趋势面的数学模型](#)
- ③ [多项式趋势面数学模型的解算](#)
- ④ [趋势面拟合程度的检验](#)

三、预测模型

GIS 地理数据库的数据除了反映各种自然和人文要素(现象)的空间分布特征和相互关系外，还能反映地理要素的动态发展规律，并用于预测分析。这种预测分析是建立在现象间因果关系的基础上的，即某些现象作为原因，另一种现象作为结果，原因与结果的关系可以用确定的函数来描述，函数中的参数能说明这种因果关系的本质。预测模型常用于判断结果随原因的变化而变化的方向和程度，用于推断随时间发生变化的大小。

所谓回归模型方法，就是从一组地理要素(现象)的数据出发，确定这些要素数据之间的定量表述形式，即建立回归模型。通过回归模型，根据一个或几个地理要素数据来预测另一个要素的值。这种回归模型就是一种预测模型。

- ① [一元回归模型](#)
- ② [多元线性回归模型](#)

四、聚类模型

聚类分析是根据多种地学要素对地理实体进行划分类别的方法，对不同的要素划分类别往往反映不同目标的等级序列，如土地分等定级、水土流失强度分级等。

聚类分析的步骤一般是根据实体间的相似程度，逐步合并若干类别，其相似程度由距离或相似系数定义。进行类别合并的准则是使得类间差异最大，而类内差异最小。

- ① [最短距离聚类模型](#)
- ② [模糊聚类模型](#)
- ③ [模糊多元统计分析模型](#)

简单线性相关模型

在一般情况下，当两种要素之间为线性相关时，就要研究它们之间的相关程度和相关方向。所谓相关程度，指它们之间的相关关系是否密切；所谓相关方向，就是两种要素之间相关的正负。相关程度和相关方向，可以用相关系数来衡量。

设 X 和 Y 为两种地理要素(现象)， X_j 和 Y_j 分别为它们的样本统计值 ($j=1, 2, \dots, n$)，则它们之间的相关系数模型为：

$$r = \frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})(Y_j - \bar{Y})}{\sqrt{\left[\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2 \cdot \sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2 \right]}} = \frac{\sigma_{xy}}{\sqrt{\sigma_x^2 \cdot \sigma_y^2}}$$

式中：

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_j, \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_j,$$

$$\sigma_x^2 = \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2,$$

$$\sigma_y^2 = \sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2,$$

$$\sigma_{xy} = \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})(Y_j - \bar{Y})$$

相关系数的取值范围为 $-1 \leq r \leq +1$ 。当相关系数为正时，表示两种要素之间为正相关；反之，为负相关。相关系数的绝对值 $|r|$ 越大，表示两种要素之间的相关程度越密切， $r = +1$ 为完全正相关， $r = -1$ 为完全负相关， $r = 0$ 为完全线性无关。

多要素相关模型

1°、任意两种要素间的相关系数模型

设有一组地理要素变量 X_1, X_2, \dots, X_m ，统计 n 个样本，则 n 个样本 m 个指标可构成一个 $n \times m$ 阶的原始数据矩阵。此时，任意两种要素间的相关系数模型为：

$$r_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)(X_{ij} - \bar{X}_k)}{\sqrt{\left[\sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 \cdot \sum_{j=1}^n (X_{kj} - \bar{X}_k)^2 \right]}} = \frac{\sigma_{ik}}{\sqrt{\sigma_i^2 \cdot \sigma_k^2}}$$

式中 σ_{ik} , σ_k^2 , σ_i^2 分别为样本的协方差和方差。

2°、偏相关系数模型

当研究某一种要素对另一种要素的影响或相关程度，而把其它要素的影响完全排除在外，单独研究那两种要素之间的相关系数时，就要使用偏相关分析方法，偏相关程度用偏相关系数来衡量。

若 i, j, k 代表变量 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 中任意三种不同的变量，则所有一阶偏相关系数模型如下：

$$r_{ij \cdot k} = \frac{r_{ij} - r_{jk} \cdot r_{ik}}{\sqrt{(1 - r_{jk}^2)(1 - r_{ik}^2)}}$$

式中： r_{ij} 、 r_{ik} 、 r_{jk} 为单相关系数。

逐次使用递归公式

$$r_{ij \cdot ck} = \frac{r_{ij \cdot c} - r_{jk \cdot c} \cdot r_{ik \cdot c}}{\sqrt{(1 - r_{jk \cdot c}^2)(1 - r_{ik \cdot c}^2)}}$$

就可以得到任意阶的偏相关系数。其中， c 是其余变量的任意子集合。

3°、复相关系数模型

以上都是在把其它要素的影响完全排除在外的情况下研究两种要素之间的相关关系。但是实际上，GIS 的空间分析中，一种要素的变化往往要受到多种要素的综合影响，这时就需要采用复相关分析方法。所谓复相关，就是研究几种地理要素同时与某一种要素之间的相关关系，度量复相关程度的指标是复相关系数。

设因变量为 Y ，自变量为 X_1, X_2, \dots, X_k ，则 Y 与 X_1, X_2, \dots, X_k 的复相关系数

计算公式为：

$$R_{Y \cdot 1, 2, \dots, k} = \sqrt{1 - (1 - r_{Y \cdot 1}^2)(1 - r_{Y \cdot 2, 1}^2) \cdots (1 - r_{Y \cdot k, 1, 2, \dots, k-1}^2)}$$

作为特例，三个变量(Y, X_1, X_2)之间的复相关系数的计算公式为：

$$R_{Y \cdot 1,2} = \sqrt{\frac{\gamma_{Y1}^2 + \gamma_{Y2}^2 - 2\gamma_{Y1}\gamma_{12}\gamma_{Y2}}{1 - \gamma_{12}^2}}$$

趋势面分析模型的基本原理

设 $Z_j(x_j, y_j)$ 表示所分析现象的特征值，即观测值。趋势面分析就是把观测值 Z 的变

化分解成两个部分，即：

$$Z_j(x_j, y_j) = f(x_j, y_j) + \sigma_j$$

式中： $f(x_j, y_j)$ 为趋势值， σ_j 为剩余值。

我们可以用回归方法求得趋势值和剩余值，即根据已知数据 Z 的一个回归方程 $f(x, y)$ ，使得

$$Q = \sum_{j=1}^n [Z_j - f(x_j, y_j)]^2$$

达到极小。这实际上是在最小二乘法意义下的曲面拟合问题，即根据观测值 $Z_j(x_j, y_j)$ 用回归分析方法求得一个回归曲面

$$\hat{Z} = f(x, y)$$

而以对应于回归曲面的值 $\hat{Z}_j = f(x_j, y_j)$ 作为趋势值，以残差 $Z_j - \hat{Z}_j$ 作为剩余值。

多项式趋势面的数学模型

在趋势面分析中，我们通常选择多项式作为回归方程，因为任何一个函数在一个适当的范围内总是可以用多项式来逼近，而且调整多项式的次数可以使求得的回归方程适合问题的需要。

当某一地理现象的特征值在空间的分布为平面、二次曲面即抛物曲面、三次曲面、四次曲面、五次曲面或六次曲面时，可分别用一次多项式、二次多项式、三次多项式、四次多项式、五次多项式或六次多项式来拟合。多项式数学模型中各项的排列顺序有一定规律，便于编程计算。

多项式趋势面数学模型的解算

实际上是求多项式系数的最佳无偏估值问题。最小二乘法可以给出多项式系数的最佳线性无偏估值，这些估值使残差平方和达到最小。所以求回归方程也就是要求根据观测值 $Z_j(x_j, y_j)$ ($j=1, 2, \dots, n$)，确定多项式的系数 a_0, a_1, \dots ，以使残差平方和最小，即：

$$Q = \sum_{j=1}^n (Z_j - \hat{Z}_j)^2 = \min$$

我们记 $x = x_1, y = x_2, x_2 = x_3, xy = x_4, y^2 = x_5, \dots$ ，则多项式可以写为：

$$\hat{Z} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_px_p$$

这样，多项式回归问题就可以转化为多元线性回归问题来解决。现在，残差就是：

$$Q = \sum_{j=1}^n [Z_j - (a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_px_p)]^2$$

根据最小二乘法原理，我们要选择这样的系数 a_0, a_1, \dots, a_p ($p < n$)，以使 Q 达到极小。为此，求 Q 对 a_0, a_1, \dots, a_p 的偏导数，并令其等于零，则得正规方程组。解此正规方程组，即得 $p+1$ 个系数 a_0, a_1, \dots, a_p 。

在原始数据量很大的情况下，用矩阵方法求解在计算机上实现是困难的，因为占据存储空间太大。所以，一般采用高斯主元消去法或正交变换法求解正规方程组。

趋势面拟合程度的检验

趋势面的拟合程度就是趋势面对原始数据面的逼近度。这里介绍两种检验方法：

1° 、F—分布检验

检验统计量为：

$$F = \frac{U/P}{Q/(n-P-1)}$$

式中：U 为回归平方和，Q 为剩余平方和，P 为多项式的项数(不含常数项)，n 为观测点数。在给定置信水平 α 的条件下，若 $F > F_\alpha$ ，则趋势面拟合效果显著，否则不显著。

2° 、拟合指数公式检验

拟合指数公式为：

$$C = \left[1 - \frac{\sum (Z_j - \hat{Z}_j)^2}{\sum (Z_j - \bar{Z})^2} \right] \times 100\%$$

式中：C 为拟合指数， Z_j 为第 j 点的观测值， \hat{Z}_j 为第 j 点的趋势值， \bar{Z} 为全部观测值的平均值。当 $C = 100\%$ 时，表明趋势值在所有观测点上都与实际值吻合，但这种情况是很少的。当 $C = 75\%$ 以上时，拟合误差均在 10% 以下，这时可以认为趋势面的拟合效果良好。

一元回归模型

一元回归模型表示一种地理要素(现象)与另一种地理要素之间的依存关系，另一种要素作为它的分布与发展的最重要的原因。模拟一元回归模型时，必要条件是具有两相应的变量系列，其中同一系列的每个元素完全相应于另一序列的元素，这时可以实现内插和外推两个任务。

我们用多项式方程作为一元回归的基本模型：

$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 + \cdots + a_nX^n + \varepsilon$$

式中：Y 为因变量，X 为自变量， a_0, a_1, \cdots, a_n 为回归系数， ε 为剩余误差。

上式中多项式的次数由地理要素之间的关系确定。通常是采用函数逼近的方法来确定多项式的次数，首先从一次多项式开始，直至多项式的剩余误差平方和小于某个给定的任意小数为止。

利用多项式进行预测，最主要的问题是求解方程式的系数 a_0, a_1, \dots, a_m 。通常采用最小二乘法求解。求得系数后，就可以用这些系数来解决内插和外推的问题。

回归模型的精度，通常可通过求 ε 来确定。根据多项式有：

$$\varepsilon_j = Y_j - (a_0 + a_1 x_j + \dots + a_m x_j^m) = Y_j - \hat{Y}_j$$

式中： \hat{Y}_j 为计算值。

根据最小二乘法原理， ε_j 的平方和为最小是最好的，一般是采用回归方程的剩余标准差来估计，即

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{j=1}^n (Y_j - \hat{Y}_j)^2}$$

S 的大小反映回归模型的效果。

关于回归效果的显著性检验，可以证明它是一个具有自由度(1, m-2)的 F 变量，即

$$F_{(1, m-2)} = \frac{r^2}{1-r^2} (m-2)$$

式中： r 为相关系数。

可见，一元回归时，回归效果的好坏可以通过相关系数的检验来鉴别。

多元线性回归模型

多元线性回归模型表示一种地理现象与另外多种地理现象的依存关系，这时另外多种地理现象共同对一种地理现象产生影响，作为影响其分布与发展的重要因素。

设变量 Y 与变量 X_1, X_2, \dots, X_m 存在着线性回归关系, 它的 n 个样本观测值为 $Y_j, X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jm}$ ($j=1, 2, \dots, n$), 于是多元线性回归的数学模型可以写为:

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \dots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1m} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \dots \\ \beta_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \dots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

可采用最小二乘法对上式中的待估回归系数 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$ 进行估计, 求得 β 值后, 即可利用多元线性回归模型进行预测了。

计算了多元线性回归方程之后, 为了将它用于解决实际预测问题, 还必须进行数学检验。多元线性回归分析的数学检验, 包括回归方程和回归系数的显著性检验。

回归方程的显著性检验, 采用统计量:

$$F = \frac{U/m}{Q/(n-m-1)}$$

式中: $U = \sum_{j=1}^n (\hat{Y}_j - \bar{Y})^2$, 为回归平方和, 其自由度为 m ; $Q = \sum_{j=1}^n (Y_j - \hat{Y}_j)^2$, 为剩余平方和, 其自由度为 $(n-m-1)$ 。

利用上式计算出 F 值后, 再利用 F 分布表进行检验。给定显著性水平 α , 在 F 分布表中查出自由度为 m 和 $(n-m-1)$ 的值 F_α , 如果 $F \geq F_\alpha$, 则说明 Y 与 X_1, X_2, \dots, X_m 的线性相关密切; 反之, 则说明两者线性关系不密切。

回归系数的显著性检验, 采用统计量:

$$F = \frac{(b_i - \beta_i)^2 / C_{ii}}{Q/(n-m-1)}$$

式中, C_{ii} 为相关矩阵 $C=A^{-1}$ 的对角线上的元素。

对于给定的置信水平 α , 查 F 分布表得 $F_\alpha(n-m-1)$, 若计算值 $F_i \geq F_\alpha$, 则拒绝原假设, 即认为 X_i 是重要变量, 反之, 则认为 X_i 变量可以剔除。

多元线性回归模型的精度, 可以利用剩余标准差

$$S = \sqrt{Q/(n-m-1)}$$

来衡量。S 越小，则用回归方程预测 Y 越精确；反之亦然。

最短距离聚类模型

最短距离聚类模型中，定义两类之间的距离用两类间最近样本的距离来表示。用 d_{ij} 表示样本和样本之间的距离，用 G_1, G_2, \dots 表示类，类 G_p 和类 G_q 的距离用 D_{pq} 表示，则有：

$$D_{pq} = \min_{i \in G_p, j \in G_q} d_{ij}$$

具体步骤如下：

1°、规定样本间的距离，计算样本两两距离的对称表，记作 D_0 ，由于每一个样本自成一类，显然 $D_{pq} = d_{pq}$ 。

2°、选择 D_0 中的最小元素，设为 D_{pq} ，则 G_p 与 G_q 合并成一个新类，记为

$$G_v = \{G_p, G_q\}。$$

3°、计算新类与其它类的距离

$$\begin{aligned} D_{rk} &= \min_{i \in G_r, j \in G_k} d_{ij} \\ &= \min \left\{ \min_{i \in G_p, j \in G_k} d_{ij}, \min_{i \in G_q, j \in G_k} d_{ij} \right\} \\ &= \min \{D_{pk}, D_{qk}\} \end{aligned}$$

将 D_0 中的 p、q 行和 p、q 列删去，加上第 v 行、v 列，得到的矩阵记作 $D_{(1)}$ 。

4°、对 $D_{(1)}$ 重复 $D_{(0)}$ 的两步得 $D_{(2)}$ ，如此继续下去，直到所有元素成为一类为止。

如果某一步 $D_{(k)}$ 中的最小元素不止一个，则对应这些最小元素的类可以同时合并。

模糊聚类模型

设有 m 个变量，每个变量有 n 个样本，其数据矩阵为：

$$X = (X_{ij})_{n \times m}$$

对 n 个样本进行模糊聚类的步骤如下：

1°、统计指标的数据标准化

可采用标准差标准化公式，也可采用极差标准化公式。若采用前者，则计算结果尚需压缩到 $[0, 1]$ 区间；若采用后者，则计算结果已压缩到 $[0, 1]$ 区间。

2°、标定

计算出衡量样本(被分类对象)间相似性程度的统计量 γ_{ij} ，建立论域 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 上的相关关系 \tilde{R} ， $\mu_R = (u_i, u_j)$ 表示 u_i 与 u_j 按分类特性的相似性程度， \tilde{R} 可用相似矩阵 R 表示。 γ_{ij} 可以计算得出，也可采取专家评分的方式给出。

3°、将模糊关系矩阵改造成模糊等价关系矩阵 $\tilde{R} \rightarrow R^*$

采用求传递背包的平方法：

$$R \rightarrow R^2 \rightarrow R^4 \rightarrow \dots \rightarrow R^{2^k} = R^*$$

$$2^{k-1} < n \leq 2^k$$

即

$$k-1 < \log 2^n \leq k$$

4° 、聚类

模糊等价关系矩阵 R^* 的元素表示被分类对象彼此之间的相似程度，把 R^* 的元素从大到小排列作为规定的 λ 水平值 ($0 \leq \lambda \leq 1$)，使

$$CR_\lambda(i, j) = \begin{cases} 0, & \text{若 } R^*(i, j) \geq \lambda \\ 1, & \text{若 } R^*(i, j) < \lambda \end{cases}$$

利用求得的模糊等价关系的 λ 水平截集进行分类，分类由粗到细。选 R^* 元素的最小值为 λ 值，则分为一类；选第二个最小值为 λ 值分为两类；选第 K 个最小值为 λ 值就分为 K 类；……。若 $\lambda = 1$ ，则各个样本自成一类。

模糊多元统计分析模型

设研究对象为 Y ，与 Y 有关的 m 个自变量为 $X_j = (X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj})$ ， $j=1, 2, \dots$ ， n ， n 为样本数。其线性模型为：

$$Y_j = b_0 X_0 + b_1 X_{1j} + \dots + b_m X_{mj} + e_j, \quad X_0 \text{ 恒取 } 1$$

写成矩阵形式为：

$$Y = XB + E$$

对上式求 B 的最小二乘估计，得：

$$\hat{B} = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

将 \hat{B} 代入上述线性模型的矩阵形式，得 Y 的估计值 $\hat{Y} = X \hat{B}$ 。于是构成多维隶属函数：

线性型：
$$\mu_y = a + c(\hat{b}_0 + \sum_{i=1}^m \hat{b}_i X_i)$$

Logistic 型:
$$\mu_y = \frac{1}{1 + \exp\left[\alpha(\hat{b}_0 + \sum_{i=1}^m \hat{b}_i X_i)\right]}$$

式中的 a, c , 在使 $\mu_y \in [0, 1]$ 的前提下经验地确定。给定阈限水平 λ_1 。如果分三类, 则给定 λ_1, λ_2 :

第一类满足: $\{Y / \mu_y \geq \lambda_1\}$

第二类满足: $\{Y / \lambda_1 > \mu_y \geq \lambda_2\}$

第三类满足: $\{Y / \mu_y < \lambda_2\}$

从而实现对自变量的分类。

具体算法如下:

- (1) 选定自变量和因变量, 获取原始数据;
- (2) 对原始数据进行标准化处理(采用极差标准化公式或标准差标准化公式);
- (3) 求解线性模型系数的最小二乘估计, 得线性回归方程;
- (4) 构造多元隶属函数;
- (5) 分类, 即给定阈限水平 λ_1 , 得到所需分类。

模型库及其管理

一、模型库的基本概念和表示形式

① 模型库的基本概念

随着 GIS 中空间分析特别是空间决策支持技术的进步, 基于模型的决策支持已经由单模型辅助决策发展到多模型辅助决策, 模型的组织形式也由模型软件包(简称模型包)发展到模型库。

模型库是在计算机中按一定的组织结构形式存储多个模型的集合体, 在模型库管理系统下得到有效的管理。同地理数据库与地理数据库管理系统相结合构成

地理数据库系统一样，模型库与模型库管理系统相结合构成模型库系统。当然，模型库与数据库在本质上是有很大的差别的。

[\(模型库与模型包区别\)](#)

② 模型库的表示形式

数学模型的一般表示形式是方程式，它反映了模型中变量之间的关系、约束条件及其目标。方程形式不适合计算机求解，在计算机中一般是将求解方程的算法编为程序形式，包括源程序(用算法语言描述)和目标程序(经过编译形成机器语言程序)。所以，在计算机中，模型是以程序形式表示的。

二、模型库的组织 and 存储

模型库由模型字典库和模型文件库组成。

① 模型字典库

模型字典库的内容包括模型的编号、名称与模型文件等的说明。

[\(模型字典详细解释\)](#)

② 模型文件库

模型文件是模型的主体，一个模型至少有 2~4 个模型文件，其中源程序文件和目标程序文件是主要的模型文件，此外还有模型的说明文件和数据描述文件。

[\(模型文件详细解释\)](#)

三、模型库管理系统

模型库管理技术是适应 GIS 的空间分析和空间决策支持的需要而发展起来的，经历了[程序文件](#)、[模型软件包](#)和[模型库管理系统](#)三个发展阶段。

模型库管理系统的主要功能包括模型的存储管理、运行管理和建模技术等三个方面。

① 模型的存储管理功能

包括[模型的表示](#)、[模型的存储组织结构](#)和[模型的查询与维护](#)。

② 模型的运行管理功能

包括模型[程序的输入和编译](#)、[模型的运行控制](#)、[模型的查询与维护](#)、[模型对数据的存取](#)。

③ 模型的组合功能

计算机建模，是 GIS 的发展方向，技术还不成熟。但模型库管理系统必须具有模型的组合功能，而且相对而言也比较容易实现。

模型组合包括模型间的组合及模型间数据的共享和传递两个方面的问题。

1.模型间的组合:

模型间的组合通过程序设计中的顺序结构、选择结构和循环结构等三种组织结构方式来实现。这三种组织结构方式可以嵌套使用。

2.模型间数据的共享和传递:

模型间数据的共享和传递是与模型组合相适应的，在 GIS 中模型库与地理数据库互相独立，在所有数据都存储在地理数据库中的情况下，只要解决好模型存取地理数据库数据的接口问题，就能实现模型间数据的共享和传递

模型库与模型包区别

模型库不同于模型包。模型包虽然也含有多个模型，但各模型之间没有任何联系，也没有任何约束，即不是通过一定组织结构的存储形式把模型组织起来的。在模型库中，模型是按照一定的组织形式存储起来的，这种组织结构形式有利于对模型进行有效管理和使用，提高了多模型的组合能力，有利于提高模型组合的辅助决策作用。

模型字典详细解释

模型字典是模型文件的索引，便于模型与模型文件的联系，便于对模型进行分类(即对模型字典进行分类)，便于对模型和模型文件的查询和修改(对模型的算法、参数以及有关模型说明的修改)，包括增加、删除和更新。

模型字典库一般以采用数据库形式的组织结构为宜，即按照关系数据库的组织形式存放模型字典的内容。按照模型分类可分别建立各类模型字典库，一个库存放一类模型，每个模型是一个记录，每个记录由模型的编号、名称、文件名等数据项组成。这种组织存储形式便于模型的分类、查询和修改。

模型文件详细解释

模型文件以建立子目录的方法存储，即把模型文件都建立在子目录下。子目录的建立可采用两种形式：一是按模型分类建立子目录，每类模型建立一个子目录，该类中模型的所有模型文件都存储在此子目录下，模型文件库和模型字典库

一一对应；二是按模型文件的类别建立子目录，建立 2~4 个子目录，分别存放各类模型文件，即所有模型的源程序文件存放在一个子目录下，所有模型的目标程序文件存放在另一个子目录下。

模型文件特别是目标程序文件的调用即模型的运行，与模型文件的存储方式有直接关系。一般是通过模型字典库，沿着模型文件的存储路径，找到具体的模型文件，然后利用运行某模型文件的命令启动运行。

模型库管理技术发展的三个阶段

1、程序文件阶段：

在程序文件阶段，模型算法以程序文件形式存放在计算机的存储器中，由操作系统的文件管理系统统一管理；

2、模型软件包阶段：

在模型软件包阶段，预先编制好的模型程序统一挂在交互菜单下，模型之间相对独立，在人机交互菜单的驱动下调用所需模型；

3、模型库管理系统阶段：

在模型库管理系统阶段，模型不是挂在菜单下，而是在管理系统下，有效地对模型进行存储、修改、查询、调用，模型之间不仅相互独立，而且可以互相组合。

模型的存储管理功能

一、模型表示：

数学模型在计算机中都是以程序形式表示的，调用数据后，执行程序就能得到结果。程序在计算机中是以文件形式存储的，称为程序文件。

二、模型的存储组织结构：

由两部分构成：

1.模型字典库：

一部分是模型字典库，它类似于数据库的组织结构形式，但存储的不是数据字典，而是模型字典；

2.模型文件库:

另一部分是模型文件库,它是模型的主体,具有文件形式,按文件存储方式存储。在模型字典库中应指明模型文件的存储路径,便于查找。

三、模型的查询与维护:

模型的查询与维护是模型库管理系统的重要功能。

1、查询过程:

根据模型的存储组织结构形式,要查询模型,首先要查询模型字典库,找到需要的模型目录,再沿着模型文件的存取路径查到相应的模型文件。所以,模型的查询过程包括两部分内容:

一个是模型字典库的查询,类似于数据库的查询;

另一个是模型文件的查询,类似于操作系统的文件查询。

2、模型的维护:

模型的维护类似于数据库的维护,包括对模型进行增加、插入、删除、修改等操作,这些操作要按模型的存储组织结构形式进行。当增加、插入、删除模型时,首先要在模型字典库中增加、插入、删除模型目录,然后沿着模型存取路径在模型文件库中增加、插入、删除模型文件。当要对模型进行修改时,不修改模型目录,只需修改模型文件。

模型的运行管理功能

包括模型程序的输入和编译、模型的运行控制、模型对数据的存取。

1.模型程序的输入和编译:

通过编辑系统来实现。编辑系统具有输入、修改、插入模型程序的功能。用户输入的模型程序是源程序,必须通过相应语言的编译系统将其编译成目标程序,计算机才能运行。

2.模型程序的运行:

模型程序在计算机中是这样运行的:按照模型的组织存储结构,首先在模型字典库中找到该模型目录。再按模型文件的存取路径找到模型的目标程序文件。目标程序可以在操作命令系统下独立运行,也可以在主控程序中运行。

3.模型对数据的存取:

模型运行是需要数据的。在 GIS 中，模型库和地理数据库是相互独立的，从模型程序中存取地理数据库中的数据要通过模型库和地理数据库的接口来实现。

基本概念

扩展关系数据库的查询语言 (SQL) 可视化空间查询 超文本查询 自然语言空间查询	频数 频率 平均数 数学期望	中数 众数 极差 离差	方差 标准差 变差系数 系统聚类法
最优分割分级法 坡度的计算 坡向的计算 剖面分析	通视分析 点与多边形的叠置 线与多边形的叠置 多边形与多边形的叠置	多边形叠置的位置误差 布尔逻辑运算 重分类 滤波运算	特征参数计算 相似运算 多层栅格数据的叠置分析 类型叠置
数量统计 动态分析 益本分析 几何提取	缓冲区 泰森多边形的定义 Delaunay 三角形 凸包插值算法	凸包生成 环切边界法凸包三角剖分 离散点内插图	有向图 回路 连通图 树
性质 赋权图 最短路径分析	流 Teitz-Bart 算法 Densham-Rushton 算法	球面距离 点/线段最短距离 点/线段垂直距离	点/面最短距离 点/面最大距离 点/面平均距离计算

最小生成树	空间直线距离	点/线段平均距离	线/线最短、最大距离
点/线段最大距离	模型分类	GIS 空间分析模型	预测模型
线/线平均距离计算	模型生成过程的特征点	空间分析模型的类型	聚类模型
模型(Model)的概念与特点	模型生成的一般步骤	相关分析模型	模型库
模型表示方法	模型的动态生成	趋势面分析模型	模型库的组织 and 存储
			模型库管理系统

扩展关系数据库的查询语言 (SQL)

目前 GIS 的地理数据库大多是以传统的关系数据库为基础的，但 GIS 中的地理数据库是一种特殊的数据库，其最大的不同是具有“空间”概念。而 SQL 语句通常是由关系运算组合而成的，非常适合于关系表的查询与操作，但并不支持空间运算，因此，不能进行空间数据的查询。

目前的空间数据查询语言是通过对标准 SQL 的扩展来形成的，即在数据库查询语言上加入空间关系查询。为此需要增加空间数据类型（如点、线、面等）和空间操作算子（如求长度、面积、叠加等）。在给定查询条件时也需含有空间概念，如距离、邻近、叠加等。例如，“显示与价值超过 60000 的地块相交的土壤图”，可表示为：

```
SELECT SOIL.MAP
FROM SOIL, PARCELS
WHERE VALUATION > 60000 AND OVERLAY (SOILS, PARCELS)
```

通过对标准 SQL 的扩展来实现空间数据的查询**主要优点是**：保留 SQL 风格，便于熟悉 SQL 的用户掌握，通用性较好，易于与关系数据库连接。

但 Egenhofer (1992) 在分析了扩展 SQL 作为空间数据查询语言的特点和局限后认为，对 SQL 扩展并不是空间数据查询的适当方案，其主要原因是：

1. SQL 结构很难描述复杂的空间关系查询。
2. 简单的表格形式不能作为空间数据的表现形式。

对于空间数据查询语言，最关键的是对空间概念的描述。理想的情况是空间数据查询语言能完全表示人所理解的空间概念，但目前的空间数据查询语言所能理解和表达的空间概念还很有限。在这方面还需要作进一步的研究。

典型问题

I。关于多边形叠置的位置误差：

进行多边形叠置的往往是不同类型的地图，甚至是不同比例尺的地图，因此，同一条边界的数据往往不同，这时在叠置时就会产生一系列无意义的多边形。而且边界位置越精确，越容易产生无意义多边形(图 5-10)。手工方法叠置时可用制图综合来处理无意义的多边形，而计算机处理时则比较复杂，常用如下三种方法：

1° 在屏幕上显示多边形叠加的情况，人机交互地把小多边形合并到大多边形中。

2° 确定无意义多边形的面积临界值，把小于临界值的多边形合并到相邻的大多边形中。

边界 1

边界 2

无意义多边形

3° 拟合出一条新的边界线，然后，进行叠置操作。无论采用哪种方法来处理无意义多边形，都会产生误差。

2. 关于最短路径分析：

在最短路径选择中，两点之间的距离，可以定义为实际的距离，也可定义为两点间的时间、运费、流量等，换句话说，可定义为使用这条边所需付出的代价。因此，可以对不同的专题内容进行最短路径分析。狄克斯特拉（Dijkstra）在1959年提出的最短路径搜索的算法，被公认为是最好的算法之一。它的基本思想是：把图的一页顶点分为S、T两类，若起始点u到某顶点x的最短通路已求出，则将x归入S，其余归入T，开始时S中只有u，随着程序运行，T的元素逐个转入S，直到目标顶点v转入后结束。

第五章练习题

1. 什么是空间数据的查询？
2. SQL对GIS有什么作用？
3. 对空间数据的查询有哪些形式和手段？
4. 如何表达查询得到的结果？
5. 对空间数据进行统计分析的意义是什么？
6. 通过什么方法可以对空间数据进行类别划分？

- 7. 矢量数据的叠加有什么作用？
- 8. 栅格数据的叠加与矢量数据的叠加有什么不同？
- 9. 什么是缓冲区分析？请举例说明它有什么用途。
- 10. 泰森多边形有什么特点？如何建立？
- 11. 图论与 GIS 有什么关系？
- 12. 常用的网络的分析有什么？对 GIS 应用有何价值？请举几个例子说明。
- 13. GIS 常用的空间分析模型有哪些？
- 14. DEM 有哪几种常用的生成方法，它的主要优缺点是什么？
- 15. 地形分析有哪些主要内容及其运算模型？
- 16. GIS 空间分析的准确度是怎样评价的？
- 17. 空间分析的模型库有什么作用？
- 18. 空间分析与尺度空间有什么关系？
- 19. 邻近关系属于什么空间关系？
- 20. GIS 中应有哪些空间关系？

第六章 空间信息的可视化

本章概述：地理空间中的信息具有广阔的范畴，丰富的内容和复杂的结构。为了系统而又本质地表述、传输和使用地理空间信息，必须把握住它们的基本特征，可视化能够全面且本质地把握住地理空间信息的基本特征，便于最迅速、形象地传递和接收它们，因此空间信息从来离不开可视化；而可视化技术成为空间信息阅读、理解进而交互作用最重要的工具手段。

第一讲：空间信息与可视化

讲述空间信息的基本特征；信息可视化的意义及应用领域；空间信息可视化的形式。

第二讲：地图语言与符号库

讲述地图语言的特征；地图符号的功能与分类、分级；地图符号的设计以及矢量栅格地图符号库的建立。

第三讲：空间数据的可视化

讲述从地图数据库中获取数据，经过预处理后的符号化和输出。

第四讲：电子地图

讲述电子地图（集）的基本特征与设计目标，电子地图系统的结构和开发技术。

第五讲：动态地图

讲述动态地图的特征、作用、表示方法及设计。

第六讲：虚拟现实技术的空间

讲述 VR 技术的系统结构、意义及应用。

第一讲 空间信息与可视化

空间信息是指地理空间的信息，可视化是将符号或数据转化为直观的图形、图像的技术，它的过程是一种转换，它的目的是将原始数据转化为可显示的图形、图像，为人们视觉感知。

<本讲提纲>

一、空间信息基本特征

- 属性特征
- 时间特征
- 空间特征
- 多媒体特征

二、可视化

- [视觉在信息世界中的特殊地位](#)
- [科学计算可视化](#)
- [空间信息的可视化](#)

三、[空间信息可视化的形式](#)

一、空间信息基本特征

任何地理空间信息都有其主体，它们是地理的事物或现象，也即是地理实体或若干实体的集合，如前述，其空间信息一般均具有其下列基本特征：

空间信息的属性特征：属性是指质量和数量特征。例如对于土地信息而言，土地名称、类型、分级编码、土地的宜林、宜农性质或者更具体地对于某一农作物适宜性的程度，其肥力状况、土壤的性质等均可视为质量特征，而相应的，面积、长度、坡度、坡向、沟谷密度、地表粗糙度等均可视为数量特征。

不同的信息均具有各自的属性特征系列，也有如名称，分类分级编码和面积、长度等是共同的。人们对于地理信息的了解、认识和使用，往往是从用途开始的，总是不可避免地与属性相关连，没有无属性的地理信息。

空间信息的时间特征：地理空间是一个随时间变化的空间，任何空间信息均各自具有长短不一的生命周期，例如蝗虫灾害、沙害、冰河期地貌等，城市地理景观信息是这方面最典型的事例，城市随着建设的发展而日新月异，城市信息的时间特征十分明确，抓住两个时间段的信息，就能迅速反映在这两个时段差的时间内，城市信息的动态变化、发展，各种要素的迁移方向、速度及其它特征。

空间信息的空间特征：空间特征是区别地理信息与其它一段信息的根本标志。实际上，空间特征与时间特征一样，是任何事物与现象的固有特征，只是一般信息中，空间特征并不起特别重要的作用，例如一个中、小企业的人员信息低值易耗器材信息、产品生产信息等均是一些不具有地理信息空间特征的一般信息。可以认为，一般信息增添空间特征时，问题也就骤然复杂起来，一般信息系统也须扩展为地理信息系统。

空间特征主要可分为几何特征、拓扑特征和其它特征。

几何特征：是空间特征量方面的表现，诸如位置（也即坐标数值）、形状、大小、方向、远近以及内部的几何结构；特征点分布、纹理、图案、花纹等。这些性质均是多维特性，而且数据量巨大。

拓扑特征：它是空间特征质方面的表现，诸如几何分量点、线、面的数目以及它们之间的关系（欧拉公式），空间图形的连通性、包含性，以及相互之间的毗邻关系，均是拓扑特征。空间中实体本身数据量大，十分复杂，相对而言，空间中实体的相互关系就更加复杂得多，描述它们的数据量也大得多。

以二维空间为例，二维空间中的点、线、面以及相互之间的“位”“邻”“近”“势”关系，与属性数据是有差别的，不是一些简单的数据或字符所能全面概括和本质地表示的。

更进一步，空间的图形和图像的阅读、判别和理解，是属于约束性不充分问题，不同的人根据本身的知识 and 经验，往往有不同的理解。世界上事物的多样性，事物各种特征的多样性，使得采用最适宜的方法表示各种特性，达到全面而本质地表示空间信息，进而如何正确而又本质地获取这些信息，最后又如何采取合适的途径与它们交互，研究如何掌握和影响它们成为地理信息中一个极为重要而又内容丰富的问題，这就是空间信息的可视化问题。

空间信息的多媒体特征：上述属性特征、时间特征及空间特征都是空间信息某一方面的表现、抽象，当一幅图形、图像、动画、电视、声音生动而又形象地表示出地理客体“活”的特征时，它在很大程度上补充了其它特征所不能表现的事物的全面生动的一面，这儿图形、图像、动画、电视、声音等多种形式媒体，称之为多媒体。

二、 可视化

可视化本意即是变成可被视觉所感知。计算机图形、图像的概念已出现了几十年，而图形、地图等的出现可以追溯到人类起源的远古时代，为什么近来“可视化”的概念最频繁地出现在计算机科学和地理信息科学之中，为什么近来“可视化编程”“可视化构件”“科学计算可视化”等新概念又屡出不穷？显然，可视化目前已成为一种汹涌的技术潮流，这是有其深刻的原因和背景的。

1、视觉在信息世界中的特殊地位

人类是信息科学的主体。信息是由人来感知、处理和利用的。客观的事物及其运动通过人的视、听、嗅、味、触的感官被感知，同样的人类及实践活动的结果，其实验、资料、成果、经验等也只能被上述各种感官所感知，从而由人脑进行推理、分析、判断和决策。据估计，人类信息 70%以上是通过视觉来获取的。很明显，视觉在信息世界中有一定的特殊地位：

①首先是视觉有雄厚的生物生理基础，在人脑的 150 亿个神经元中，有 78%以上与人的视神经活动有关，视觉是人类神经活动中高度进化和发展了的生物生理能力；

②视觉的信息传输及接收是平行的，显然，人们一睁眼就可接收视野内的三维世界，而不象听觉仅是一维串行来传输；

③视觉的信息传输、接收速率很高，它是以光速传递到人视网膜上，再由人的视神经反应速度来接收的；

④视觉的信息传输与接收又是分层次的，人们对一视图，首先可以感受到其上最突出的、最鲜艳的特征，以后是一般特征，最后可以感受到细微的、局限性的、次要的特征。这样可以根据视觉传输信息的特点把需要突出的信息放在第一层次，次要的放在第二层次；

⑤三维的视窗，其信息密度可以非常大。视觉这些信息传输和接收上的特点，特别适合于空间信息。适合于空间信息多维特性，数据量大而复杂特点。俗话说“千言万语抵不上图的一角”，正是确切表达了串行的一维的语言对二维空间信息传输能力远远比不上图的这一事实。

2、科学计算可视化

① **概念** 科学计算可视化是指运用计算机图形学和图像处理技术，将科学计算过程中产生的数据及计算结果转换为图形和图像显示出来，并进行交互处理的理论、方法和技术。它不仅包括科学计算数据的可视化，而且包括工程计算数据的可视化，它的主要功能是从复杂的多维数据中产生图形，也可以分析和理解存入计算机的图像数据。它涉及到计算机图形学、图像处理、计算机辅助设计、计算机视觉及人机交互技术等多个领域。它主要基于计算机科学的应用目的提出的，它侧重于复杂数据的计算机图形。

② **意义** 实现科学计算可视化将极大地提高科学计算的速度和质量，实现科学计算工具和环境的进一步现代化；由于它可将计算中过程和结果用图形和图像直观、形象、整体地表达出来，从而使许多抽象的、难于理解的原理、规律和过程变得更容易理解，枯燥而冗繁的数据或过程变得生动有趣，更人性化；同时，通过交互手段改变计算的环境和所依据的条件，观察其影响，实现对计算过程的引导和控制。

③ **应用领域** 科学计算可视化的应用领域十分宽广，几乎可包括自然科学和工程计算所包括的一切领域，也自然包括空间信息领域。

地质勘探：寻找矿藏其主要方式是通过地质勘探了解大范围内的地质结构，发现可能的矿藏构造，并且通过测井数据了解局部区域的地层结构，探明矿藏位置及其分布，估计蕴藏量及开采价值。由于地质数据及测井数据的数量极大且不均匀，无法依据纸面上数据进行分析，利用可视化技术可以从大量的地质勘探及测井数据中构造出感兴趣的等值面，等值线，显示其范围及走向，并用不同色彩、符号及图纹显示出多种参数及其相关关系，从而使专业人员能对原始数据作出正确解释，得到矿藏存在、位置及储量大小等重要信息。它可以指导打井作业、节约资金，大大提高寻找矿藏效率。

气象预报：气象直接影响国家经济，各种工程建设以及亿万人民的生活。气象预报的准确性依赖于对大量数据的计算和计算结果的分析。科学计算可视化一方面可将大量的数据转化为图像，显示某个时刻的等压面、等温面、风力大小与方向、云层的位置及运动、暴雨区的位置与强度等，使预报人员对天气作出准确分析和预报；另一方面根据全球的气象监测数据和计算结果，可将不同时期全球的气温分布、气压分布、雨量分布及风力风向等以图像形式表示出来，从而对全球的气象情况及变化趋势进行研究和预测。

计算流体力学：汽车、船舶、收音机等的外形设计都必须考虑在气体、流体高速运动的环境中能否正常工作。过去必须将所设计的机体模型放入大型风洞中做流体力学的物理模拟实验，然后根据实验结果修改设计，再实验修改，直至完成，这种做法设计周期长，资金耗费大。现在已可在计算机系统上建立机体几何模型，并进行风洞流体力学的模拟计算。为理解和分析流体流动的模拟计算结果，必须利用可视化技术尽快将结果数据动态地显示出来，并将各时刻数据（不管是全局的、局部的）精确显示及分析，将是机体设计关键性的步骤。

分子模型构造：分子模型构造是生物工程，化学工程中先进的最有创造的发展技术，今天科学计算可视化已经是学术界和工业界研究分子结构并与其相互作用的有力武器，它使分子模型构造技术发生了革命性的变化，过去的复杂和昂贵的方法，已经变成了可控性强、操作简易可靠的有效工具。例如在遗传工程的药物设计中，使用彩色三维立体显示来改进已有药物的分子结构或设计新的药物，以及构造蛋白质和 DNA 等高度复杂的分子结构。其它在医学上，在其它各方面均有广泛的运用。显然科学计算可视化在学科的广泛程度上包括了空间信息的可视化，这是因为从复杂的多维数据中产生图形是空间信息可视化的基本内容，不管是空间数据的显示，空间分析结果的表示，空间数据的时空迁移，以及每一空间数据处理的过程无一不是这一基本内容。然而空间信息的可视化与科学计算可视化毕竟存在一些不同，显著的一点即是图形符号化的概念。因此必须讨论一下空间信息的可视化。

3、空间信息的可视化

可视化在信息世界中具有特殊地位。在人机交互中，视觉是信息传输和接收的主要渠道，尤其对于多维信息，可视化具有独特优点而空间信息正是多维的，前面所述地质勘探、气象预报也是空间信息可视化若干典型事例，但分子模型构造显然不是，因此这两个科学概念的异同必须讨论清楚。粗略而言，科学计算可视化的学科概念更广泛一些，它从分子、原子、汽车、建筑到地球、宇宙，其可视化内容也不仅是空间信息，而且还包括频率、强度等科学研究的各项指标，其可视化的要求更加专业、单一，以其形象、逼真为最高境界；而空间信息可视化其学科范围是地学环境，其研究对象的大小颗粒是与地理相匹配的，其可视化的内容是地学环境空间中的具有环境特性的事物，与之相适应的，其可视化的要求还有对研究对象的综合抽象，有数字化和符号化的特征过程。这样，从本质上讲两个概念具有不少共同之处和紧密的联系，但应用范畴和可视化要求是有差别的，因而，在实现方法技术上也有一些显著的差别。

空间信息可视化是一个全新的概念，在这里，我们初步给出其定义：空间信息可视化是指运用地图学、计算机图形学和图像处理技术，将地学信息输入、处理、查询、分析以及预测的数据及结果采用图形符号、图形、图像，并结合图表、文字、表格、视频等可视化形式显示并进行交互处理的理论、方法和技术。采用声音及触觉、嗅、味等多种媒体方式可以使空间信息的传递、接收更为形象、具体和逼真，但是暂时看来，有的对地理空间信息意义并不大，如嗅、味、触媒体渠道，而声音、音频媒体方式也主要起辅助作用，因而有的学者把可听、可嗅、可味、可触也归入可视化，狭义的理解上应不属可视化范畴。目前，我们把它列入可视化范畴。在上述含义下，空间信息的可视化与科学计算可视化的紧密联系和主要差别也一目了然。也可以说，空间信息可视化是科学计算可视化在地学领域的特定发展。

三、空间信息可视化的形式

地图是空间信息可视化的最主要的形式，也是最古老的形式。在计算机上，将空间信息用图形和文本表示，是在计算机图形学出现的同时也就出现了。这是空间信息可视化的较为简单而常用的形式，可以说是一维形式，多媒体技术的产生和发展，使空间信息可视化进入一个崭新的时期。可视化的形式也五彩缤纷，呈现多维化的局面，并正在发展，现将空间信息可视化主要形式介绍于下：

1、地图：它有两种形式：纸质或其它介质地图及屏幕上的电子地图。由于计算机技术的发展，这两种形式仅是计算机上数字地图的硬、软拷贝的差别。硬拷贝的是纸质地图，软拷贝——屏幕上的电子地图比前者具有更多的优点：其制作灵活，形式极其多样，修改制作方便，周期短，色彩丰富，动态性强，查询方便、快捷。从而使人们能从不同的高度、不同的方式、不同的角度和不同的详细程度来观察空间客体信息；

2、多媒体地学信息：综合、形象地表现空间信息的使用文本、表格、声音、图像、图形、动画、音频、视频各种形式逻辑地联接并集成为一个整体概念，是空间信息可视化的重要形式。各种多媒体形式能够形象、真实地表示空间信息某些特定方面，作为全面地表示空间信息的不可缺少的手段。

3、三维仿真地图 三维仿真地图是基于三维仿真和计算机三维真实图形技术而产生的三维地图，经具有仿真的形状、光照、纹理……，也可以进行各种三维的量测和分析。

4、虚拟现实 虚拟现实是空间信息可视化进一步研究和发展的新方式。它是由计算机和其它设备如头盔、数据手套等组成的高级人一机交互系统，以视觉为主，也结合听、触、嗅甚至味觉来感知的环境，使人们有如进入真实的地理空间环境之中并与之交互作用。

第二讲 地图语言与符号库

空间信息可视化对于地学信息而言有多种形式，而其中最重要的一种形式便是地图，它是地学信息的图形符号模型。地图所反应的是地学领域的事物和现象、地学实体，它的空间尺度相对于人类的一般活动是宏观的或相当的。它虽然反映的是环境空间中地学实体的集合，但它本身是观念的产物，是对客观的一种模拟，即是模型。它不是数学模型，也非物理模型，这种模型是对地学客体集合的时、空、质、数量客观特性的全面抽象，而非单一抽象。例如"井"，单纯的空间抽象只是数学空间的点或面，单纯的质量抽象只是供人、畜饮用的点状水源，而地图上的"井"，则把空间、时间、质量和数量都统一表达了。抽象程度由人们的认识水平和可视化的主题而定。抽象可以是逐次的、渐进的。正确而适度的抽象这是地图的科学水平。地图还具有形象、生动的特点，这是由于它采用了彩色图形符号，这是人们传递信息的信号或工具。统一、协调、美观的符号系统，这是地图的艺术水平。地图是环境空间中地学客体集合的质、数、时、空特征全面抽象后的图形符号模型。也可以说地图是图形符号的空间集合，图形符号是地图的语言。

本讲共分4节

第一节：[地图语言与地图色彩](#)

第二节：[地图符号](#)

第三节：地图符号库

第四节：汉字库与色彩库

第一节：地图语言与地图色彩

一、地图语言的概述

地图，是一种信息的传输工具。它实现了从制图的地理环境到用图者认识的地理环境之间的信息传递。其间，地图语言就是地图作为信息传输工具不可缺少的媒介。在地图语言中，最重要的是地图符号及其系统，被称之为图解语言。同文字语言相比，图解语言更形象直观，一目了然，即可显示出制图对象的空间结构，又能表示在空间和时间中的变化。地图注记亦是地图语言的组成部分，它借用自然语言和文字形式来加强地图语言的表现效果，完成空间信息的传递。它实质上也是符号，它与地图符号配合使用，以弥补地图符号之不足。地图色彩是地图语言的一个重要内容。它除了有充当地图符号的一个重要角色之外，还有装饰美化地图的功能。另外，地图上可能出现的"影像"和"装饰图案"，它们虽不属于地图符号的范畴，但也是地图语言中不可缺少的内容。地图的"影像"，它是空间信息特征的空间框架；"装饰图案"多用于地图的图边装饰。它可以增加地图的美感，并且可以烘托地图的主题。

二、地图的色彩

色彩是地图语言的重要内容。地图上运用色彩可增强地图各要素分类、分级的概念，反映制图对象的质量与数量的多种变化；利用色彩与自然地物景色的象征性，可增强地图的感受力；运用色彩还可简化地图符号的图形差别和减少符号的数量（例如，用黑、棕、蓝三色实线表示道路、等高级和水涯线）；运用色彩又可使地图内容相互重叠而区分为几个“层面”，提高了地图的表现力和科学性。

色彩的三属性及其利用

自然界的一切色彩可分为两大类，即：一类是黑、白及各种灰色；另一类是除了黑、白、灰以外的各种颜色，称为彩色。自然界的色彩灿烂绚丽，种类繁多，但都具有共同的三个属性，即：色相、亮度、纯度。色相又称色别，是指色彩的相貌，即色彩的类别。如品红、黄、青、绿、橙、紫等。在地图上，多用不同的色相来表示不同类别的对象。例如，多用蓝色表示水系，绿色表示植被，棕色表示地貌。在专题地图上，多用不同的色相来区别不同对象的质量特征，其分类概念特别明显。亮度又称明度，是指色彩本身的明暗程度。在地图上，多用不同的亮度来表现对象的数量差异，特别是同一色相的不同亮度更能明显地表达数量的增减。例如，用蓝色的深浅表示海部的深度变化。纯度又称色度或饱和度，是指色彩接近标准色的纯净程度。色彩的纯度越高，色彩就越鲜艳；反之，纯度越低，色彩就越暗淡。例如，地图上用许多颜色组合表示对象的分布范围时，一般小面积、少量分布的对象多使用纯度较高的色彩，以求明显突出；大面积范畴设色时，通常应使其纯度偏弱，以免过分明显而刺眼。

色彩的感觉与象征意义的不同

色彩在地图上的运用，对现代地图来说具有举足轻重的意义。为了充分发挥色彩的表现力，使地图内容表达得更科学，外表形式更完美，就必须利用色彩的感觉。

1. 色彩的感觉 色彩能给人以不同的感觉，而其中有些感觉是趋于一致的。例如，颜色的冷暖、兴奋与沉静、远与近等感觉。色彩的冷暖感是指人们对自然现象色彩的联想所产生的感觉。通常将色彩分为暖色、冷色和中性色。红、橙、黄等色称之为暖色；蓝、蓝绿、蓝紫色等被称之为冷色；黑、白、灰、金、银等色，被称之为中性色。色彩的冷暖感在地图上运用得很广泛。例如，在气候图上总是把降水、冰冻、1月份平均气温等现象用蓝、绿、紫等冷色来表现；日照，7月份平均气温等常用红、橙等色来表现，等等。颜色的兴奋与沉静感 强暖色往往给人以兴奋的感觉，强冷色往往给人以沉静的感觉，而介于两者之间的弱感色（如绿、黄绿等），色彩柔和，可让人久视不易疲劳，给人以宁静、平和之感。颜色的远近感 人眼观察地图时，处于同一平面上的各种颜色，却给人以不同远近的感觉。例如，暖色似乎较近，有凸起之感觉，常称之为前进色；冷色似有远离而具凹下之感觉，常被称之为后退色。在地图设计中，常利用颜色的远近感来区分内容的主次，将地图内容表现在几个层面上。通常，用浓艳的暖色将主要内容置于第一层面，而将次要内容用浅淡的冷色或灰色，将其置于第二或第三层面上。

2. 色彩的配合 通常，一幅地图有点、线、面三类符号相互配合而成。面状符号常具有背景之意义，宜使用饱和度较小的色彩；点状符号和线状符号（包括注记）则常使用饱和度大的色彩，使其构成较强烈的刺激，而易为人们所感知。在这个原则基础上，再结合色相、亮度和饱和度的变化，表现各种对象的质、量

和分布范围等。色彩的配合形式很多，也很复杂。例如，有调和色的配合、对比色的配合等。调和色的配合主要是同种色的配合和类似色的配合，其特点是朴素雅致，容易获得协调的图面效果，常用于表示现象的数量差异；对比色的配合主要是原色的配合、补色的配合和差别较大的颜色之配合，其特点是给人的视觉刺激量大，产生对比强烈的感觉。因此，常将其用于进行分类和表示质的区别。如果将这些对比强烈的颜色变淡和变暗，可适当减少对比程度而增强其协调效果。计算机上，使用好的编辑软件进行色彩配置是很方便的，配得不好可方便地重配，直至配好。

第二节：地图符号

本节提纲

- 1、[地图符号的功能与本质](#)
- 2、[地图符号的分类](#)
- 3、[地图符号系统和分类分级编码](#)
- 4、[地图符号的设计](#)

1、地图符号的功能与本质

地图符号是在地图上用以表示各种空间对象的图形记号，或者还包括与之配合使用的注记。地图符号对表达地图内容具有重要的作用。它是地图区别于其他表示地理环境之图像的一个重要特征。高质量的地图符号是丰富地图内容、增强地图的易读性和便于地图编绘的必要前提。使用地图符号不仅能反映制图对象的个体存在、类别及其数量和质量特征，而且通过它们的联系和组合，还能反映出制图对象的空间分布和结构以及动态变化。

地图符号是一种专用的图解符号，它采用便于空间定位的形式来表示各种物体与现象的性质和相互关系。地图符号用于记录、转换和传递各种自然和社会现象的知识，在地图上形成客观实际的空间形象。因此，地图符号可以用来表示实际的和抽象的目标信息，它具有客观的和思维的意义，并与被表示的对象有一定的关系。地图符号有两个基本功能，首先是它能指出目标种类及其数量和质量特征；其次是它能确定对象的空间位置和现象的分布。

地图符号的本质可以从地图符号的约定性和等价性以及地图符号的“内涵与外延”等方面来分析。制图者为了传递思想和概念，采用一些图形来代替一些概

念,这就是地图符号与所代表概念之间的约定过程,从而使地图符号具有约定性。任何符号都是在社会上被一定的社会集团或科学团体所承认和共同遵守的,在某种程度上具有“法定”的意义。地图符号,尤其是普通地图的符号,大多都经过长时间的考验,由约定而达俗成的程度。既然地图符号与概念之间存在的是约定关系,那么就可以选择不同符号来指代某个概念。这些不同符号之间又存在着怎样的关系,这就需要研究地图符号的等价性问题。由于指代某一抽象概念的具体物质对象不是一个元素所组成的单集,而是二种多元素的集合。因此,在地图符号指代概念的约定过程中,地图符号之间存在着一种等价关系,即存在这样一个符号集合,集合中的每个符号都代替同一个概念。对地图符号的约定性和等价性的分析,可以将符号自身的特性和符号的实际应用,以及地图符号设计中的内部和外部作用规律区别开来。

由此可见,地图符号是符号的子集,它具有可视性。是用一种物质的对象来代替一个抽象的概念,以一种易为心灵了解和便于记忆的形式,将制图对象的抽象概念呈现在地图上,从而使人们对所表示的地理环境产生深刻的印象。

2、地图符号的分类

科学的进步,过去的地图符号分类已经显得片面和不完备了。例如,以往常把地图符号局限于人们可以目视可见的景物,据其视点位置将地图符号分为侧视符号和正视符号;根据符号的外形特征将其区分为几何符号、线状符号、透视符号、象形符号、艺术符号等;依据符号所表示的对象将其分为水系符号、居民地符号、独立地物符号、道路符号、管线垣栅符号、境界符号、地貌符号和土质与植被符号等;从地图符号的大小与所表示的对象之间的比例关系而将其分为依比例尺符号、不依比例尺符号和半依比例尺符号等。

现在根据约定性原理,采用演绎的方法可将地图符号区分为:点状符号、线状符号和面状符号。

符号类别	形状	尺寸	方向	密度	亮度
点状符号	☆ △ □ ○	● ○ △ ▲	/ -	● ○ ●	● ○ ●
线状符号	~ ~ ~	— — —	~ ~ ~	— — —	— — —
面状符号	▨ ▨ ▨	▨ ▨ ▨	▨ ▨ ▨	▨ ▨ ▨	▨ ▨ ▨

图6-1 地图符号的类别利用形状变量的作用效果

点状符号

当地图符号所指代的概念在抽象意义下可认为是定位于几何上的点时,称为点状符号。这时,符号的大小与地图比例尺无关,且具有定位和方向的特征。例如,控制点、居民点、独立地物、矿产地等符号。

线状符号

当地图符号所指代的概念在抽象意义下可认为是定位于几何上的线时，称为线状符号。这时，符号沿着某个方向延伸，且宽度与地图比例尺可以没有关系，而长度与地图比例尺发生关系。例如，河流、渠道、岸线、道路、航线、等高线、等深线等均为线状符号。但应注意，有一些等值线符号（如人口密度线）尽管几何特征是呈线状的，但并不是线状符号。

面状符号

当地图符号所指代的概念在抽象意义下可认为是定位于几何上的面时，称为面状符号。这时，符号所指代的范围与地图比例尺有关，且不论这种范围是明显的还是隐喻的，是精确的还是模糊的。用面状符号表示的有水部的范围、森林的范围、土地利用分类范畴、各种区域范围、动植物和矿藏资源分布范围等。色彩用于面状符号，对于表示制图对象的面状分布有着极大的实用意义。图 6-1 地图符号分类及图形变量的作用 地图上使用的象形图案与透视图案，往往被称为艺术符号，这是一种感觉效果更好的符号。这是因为这两种图案与其所表达的实体在结构上相似性，这种相似性就决定了它们的关系是明喻的、毋须约定或认为是一种特殊的自动约定形式。

3、地图符号系统和分类分级编码

空间的事物是错综复杂的，在地图上不可能逐一地表示出它们的个性。通常是先对各种制图对象进行概括（分类、分级）和抽象，然后用抽象的、具有共性的符号表示某类事物。这种具有共性的、进行了分类与分级和抽象的地图符号之集合，构成了某种地图符号系统。而与之相配合的分类分级，把它编码，就是对对象的分类分级编码，它与前述数据输入时的分类分级编码相一致。利用地图符号系统，不仅解决了逐一描绘个体的困难，而且也能反映群体特征和本质规律。单个地图符号只具备有限的功能，而由符号的集合构成的地图符号系统还能表达制图对象的空间组合和联系，即能给出单个符号所不能提供的信息。

地图符号系统明显地反映了所表达现象的层次关系，即顾及到了现象按类、亚类、种、属划分的可能性。很显然，子系统的数量和每一个子系统中地图符号的数量将取决于人们对地球（和其他天球）认识的水平、洞察地理现象的实质的程度、科学的发展和国民经济各部分的划分等。

例如，作为地理内容之一的森林，可以依次被划分为几个层次：第一层次是森林的品种（如针叶、阔叶等）；第二层次是森林的树种，即对每个品种又细分成的若干树种（如将针叶林再分为枞、松、杉等）；第三层次反映森林的年龄，即对每个树种再细分为幼林和成林等。将这些层次依次用相互联系而又相互区别的地图符号表示，则构成了森林符号系列。

地图符号的逻辑性还可体现在由单个符号及其构成的地图符号系列。例如，用单个竹林符号表示小面积竹林，而由单个竹林符号排列成带状，以表示竹林带，由单个竹林符号散列成面状，以表示大面积竹林。于是，小面积竹林、竹林带、大面积竹林就构成了竹林符号系列。

4、地图符号的设计

地图主要是通过图形符号来传递信息的。因此，地图符号的设计质量将直接影响地图信息的传递效果。设计地图符号，除优先考虑地图内容各要素的分类、分级的要求外，还应着重顾及构成地图符号的6个图形变量，即：形状、尺寸、方向、亮度、密度和色彩，如图6-1所示。其中，尤以图形的形状、尺寸和色彩最为重要，被传统的地图符号理论称之为地图符号的三个基本要素。下面分别从这三个方面讨论地图符号设计的基本内容，同样，它们也是制作符号库的设计原理。

符号的形状

从图形角度出发，应使设计的符号图案化和系统化，并充分考虑到制图工艺和屏幕可视化的技术要求。所谓符号图案化，就是要使设计的符号图形，或类似于物体本身的实际形态，或具有象征会意的作用，以便使读图者看到符号就能联想出被描绘的物体或现象。符号图案化的过程，是一个概括抽象和艺术美化的过程。在此过程中，要舍去复杂的物体图形中的细部，突出其重要特征，然后运用艺术的手法，设计出规则、美观的符号图形。图案化的符号图形应具有形象、简单、明显和便于准确定位等特点。设计地图符号图形，应避免孤立、片面地进行单个符号设计，而应顾及彼此之间的联系并考虑到符号图形与符号含义内在的、有机的联系。也就是说，应使地图内容的分类与分级、主次和大小的变化也相应地反映为符号图形上的变化。

符号的尺寸

设计符号尺寸时，必须注意它与地图用途、比例尺、制图区域特点和读图条件，屏幕分辨大小等方面的联系。此外，设计符号的尺寸，要充分注意与分辨能力、绘图和复制技术能力相适应。可以说，在清楚显示符号结构情况下，尺寸尽量小。一般讲，分辨率大，符号尺寸可大一些，结构可复杂些；反之，尺寸不能大，结构也应简单为好。

符号的色彩

在地图符号设计上使用色彩可以简化地图符号的图形差别、减少符号的数量，加强地图各要素分类分级的概念，有利于提高地图的表现力。

在地图符号的色彩设计中，要注意以下原则。

- ① 正确利用色彩的象征意义 在地图符号设计时正确利用色彩的象征意义，将有利于加强地图的显示效果，丰富地图内容。例如，在自然地理图上，可用绿色符号或衬底表示植被要素，以反映植被的自然色彩；以蓝色符号并辅以白色以表示雪山地貌，等等。
- ② 符合地图上的主题或主要要素之符号，应施以鲜明、饱和的色彩，而对于基础和次要要素之符号，则宜用浅淡的色彩。通过色彩对比，起到突出主题或主要要素的作用。不同用途的地图符号，其色调亦应有所差别。
- ③ 顾及印刷和经济效果 地图上使用彩色符号，虽能收到良好的效果，但并非色数愈多愈好。色数过多，不仅会使读者感到眼花缭乱，降低读图效果，而且还会提高地图的成本，延长成图时间和增大套印误差。为此，可在地图上运用网点、网线的疏密和粗细变化来调整色调。这样既可减少色数，又可使地图色彩丰富，

收到省工、省时、节约成本和提高地图表现力的效果。一般讲来，一个符号采用单纯的颜色，而不采用多色来表现单个符号。

第三节：地图符号库

地图图形符号是在地图上表示各种空间对象的图形记号，它又是在有限大小空间中定义了定位基准的有一定结构的特征图形。为便于操作，往往把"有限空间大小"定义为"符号空间"，并根据可视化要求。（显示分辨率大小，符号精细程度要求）统一规范其尺寸。符号库即是符号的有序集合。

本节提纲

- 一、[地图符号库设计的原则](#)
- 二、[矢量符号库](#)
 - 1. [信息块方法](#)
 - 2. [程序块的方法](#)
 - 3. [综合法](#)
- 三、[栅格符号库](#)
 - 1. [点状符号](#)
 - 2. [线状符号](#)
 - 3. [面状符号](#)

在此定义下，可根据点、线、面不同符号类型，以及矢量和栅格两种不同显示方式制作符号库。

一、地图符号库设计的原则

- 1. 对于国家基本比例尺地图，图形符号颜色、图形、符号含义与匹配比例尺，应尽可能符合国家规定图式；
- 2. 专题地图部分，尽可能采用国家及整个符号部门标准，有益于标准化、规范化；
- 3. 新设计符号应遵循图案化及整个符号系统逻辑性、统一性、准确性、对比性，色彩象征性，制图和印刷可能性等一般原则。

二、矢量符号库

大多数点、线、面符号都比较容易用矢量形式的坐标来表示，由符号空间平面内这些点的坐标、线宽及绘（或不绘）指令编码的有序集合称为矢量符号数据。

可以采用三种方法来绘制矢量符号，下节将介绍绘制方法，这儿先讨论信息块、程序块及综合方法构造符号库。

1. 信息块方法

该方法是用人工或程序将要绘制的符号离散成数字信息。通常，一个符号构成一个信息块，绘图时读取并处理该符号的信息块，完成该符号的绘制。下面按点、线、面三类阐述符号库制作问题。

(1) 点状符号信息块 在点状符号信息块中纪录符号的颜色码、笔粗、定位点坐标 X_0 、 Y_0 ，图形，图形特征点坐标及其联系（一般用表示绘或不绘的拾落笔码表示）。它的结构如图 6-2 所示。

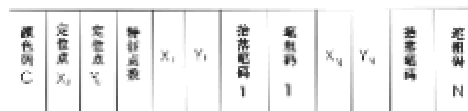


图6-2 点符号信息块结构

由于任意曲线都可由若干折线逼近到任意程度，因而只要选择适当分辨率的空间大小，任意点状符号均可采用上述信息块构成。把一个信息块组成一行纪录，有序地组织它们为一个文件，即是矢量点状符号库。使用时，读入该符号相应行记录的信息块，按图上描述位置和方向，将信息块中坐标数据先平移至中心，必要时进行缩放，再进行旋转，即可连续调用两点绘线语句予以绘出。不难看出，各种点符均可用统一规范的程序绘制。这种绘图称之为代数法绘图。显然，这儿矢量点状符号库定义为：符号空间内定义了定位基准的线段集。

(2) 线状符号信息块 地图上各类线状符号往往是由沿线状要素中轴线延伸重复的串接的符号单元而成，如图 6-3 所示，其中 L 为符号单元长。



图6-3 线状符号与符号单元

每一单元由线符部分和点符部分组成，线符中的点符部分只是部分线符才有，它仅是在一定部位，并以线符延伸方向为 X 轴（曲线的 X 长轴），没有什么变形，按单元距离 L ，重复配置；而线符部分，以线符中心线为配置轴线，单元长一样，只是弯曲部位，凹向压缩，有一定变形，象一根理想的橡皮条一样，这

一现象，数学上称为伦移变换。这时，符号信息块由两部分组成：线—线信息块和线—点信息块，见图 6-4。

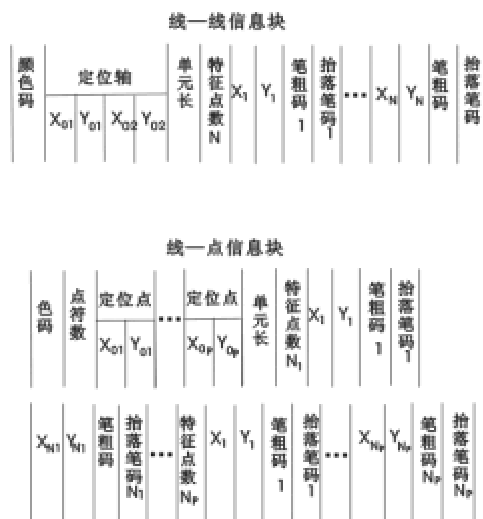


图6-4 线—线与线—点信息块

一般来讲，线符中的点符部分绝大多数不超过两个。没有点符时，点符数为 0。把上述两个信息块分别作为一行记录，以同样的记录号，放入线—线符号库和线—点符号库。绘制该线状符号时，分别取两库中同一记录号的两信息块，采用不同的绘制方法重复绘制两个信息块，将可高质量地完成线状符号绘制（后面将会讨论）。

(3) 面状符号信息块 面状符号由填充符号在面域内按一定方式配置组合而成。一般情况下，填充符号按一定方向，一定行距在面域内逐行配置。参见图 6-5。

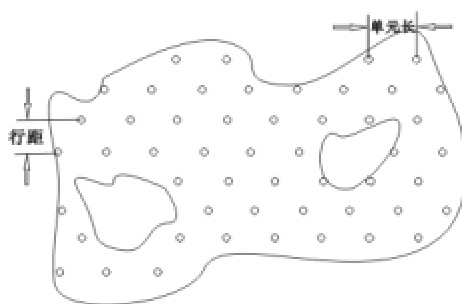


图6-5 面符的配置

面状符号信息块中存贮的是填充符号的单元信息，它的结构类似于线状符号中线—线符号信息块，但需增加三种信息：行距、行向倾角、排列方式。行向倾角指晕线方向与 X 轴夹角，地图中有时有两组相交晕线，故有可能有两种行倾角，一般只有一种；排列方式一般“井”型，交错和散列三种，如图 6-6 中 a、b 及 c、

d、e 所示，在信息块中用不同代码表示。散列式中有图单元长度可变，行距与单元长均可变以及倾角、单元长、行距三者可变三种，如图 6-6 c、d、e 所示。

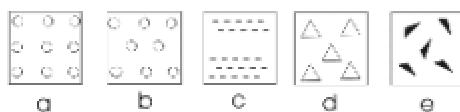


图6-6#型 交错型及散列式排列

面状符号信息块如下图所示：



图6-7 面状符号信息块

面符信息块中填充符号比线状符号中配置情况简单得多，由于它毋须顾及弯曲时的配置，只考虑直线轴时的配置，因此信息块中，点、线部分可以合并，比较面状和线状符号信息块可发现采用信息块的方法，能够使符号数据同绘图程序相对独立，动态增添更新和精化符号库特别方便，符号库是开放式的，适应广泛的空间信息显示需要。实践表明， 128×128 的点状符号空间， 256×48 的线状符号和面状符号空间是能够较好满足地形图精度所需。其符号精度将不低于 2%。而且较为节省存储。

2. 程序块的方法

此方法对每一类地图符号编一个绘图子程序，并把这些子程序组成符号的程序库，绘图时按符号的编号调用库中相应程序，输入相应参数，该程序根据参数及已知数据计算绘图矢量，从而完成地图符号的绘制。这种方法的成功取决于对绘图要素全面而又精心的分类，准确地用数学表达式描述各类符号及编程，并且选择合适的参数。下面分别简单介绍点状，线状及面状符号编程方法的绘制。

(1) 点状符号 点状符号通常都可以直线段配合圆弧组合而成，绘制直线段就不赘述了，现以圆弧绘制说明其算法。如图 6-8，

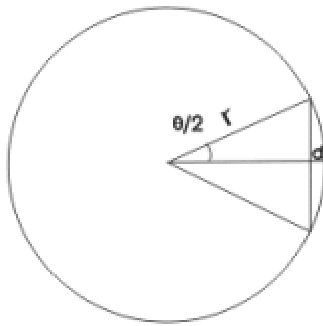


图6—8 图的几何图解

任何圆都可用正多边形来逼近, 适当选取 θ , 使 θ 相对应的正多边形与圆弧之间拱高小于一限差 d , 这样圆心角 θ 与圆半径 r 之间关系为

$$d=r(1-\cos \theta / 2) \quad (6-1)$$

则

$$\theta = 2 \cos^{-1}(1-d / r) \approx 2.8 \sqrt{d / r} \quad (6-2)$$

$$n=[2 \pi / \theta] \quad (6-3)$$

式中 $[]$ 是指对括号内数据取整 (以下均采用此定义), 因此, 只要给定了限差 d (一般取 $0.05 \sim 0.1 \text{mm}$) 和可能最大圆的半径 r 就可算出 n 和 θ 。也即半径为 r 的圆可用正 n 边形取代, 可采用角增量 θ , 按逆时针连续旋转计算出各点坐标并顺次连接而成。即各点按下式计算。

$$x_i=r \cos(i \cdot \theta)+x_c$$

$$y_i=r \sin(i \cdot \theta)+y_c \quad (6-4)$$

$$(i=0,1,2,\dots,n)$$

式中 x_c 、 y_c 为圆心坐标, 画圆从 $(x_0$ 、 $y_0)$ 开始, 顺序连至 $(x_n$ 、 $y_n)$, 继续连至 $(x_0$ 、 $y_0)$, 使圆周闭合。当绘制一段圆弧时, 只须精心设计起始 θ 角, 终止 θ 角, 即可绘制一任意圆弧。相类似, 也可仿照之, 进行椭圆的绘制。按上述算法, 编制程序, 调试无误后, 再配合以绘制某些直线段的功能, 即可方便地编制出各种绘制点状符号的子程序。

(2) 线状符号 线状符号的配置绘图，其已知条件是中心轴线及需配置线状符号结构尺寸，以图 6-9 所示土堤符号为例，绘制要解决 a，何处绘短横线？即中轴线上位置；b，绘横线到何处止？即短横线两端点位。

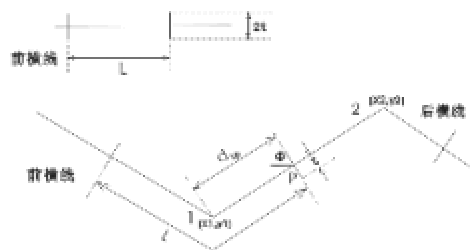


图6-9 土堤符号绘制原理

设中心轴线是从指定起点开始按顺序排列的直线段衔接而成的折线，任取其中一直线段，称它与前一线段连接点为第一节点，坐标为 (x_1, y_1) 与后一线段连接点称为第二节点 (x_2, y_2) ，则该直线段长为

$$d_{12} = [(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2]^{1/2} \quad (6-5)$$

显然，离第一节点距离为 d_{1p} 的短横线位置 (x_p, y_p) 可由下式计算：

$$x_p = x_1 + (x_2 - x_1) \cdot d_{1p} / d_{12}$$

$$y_p = y_1 + (y_2 - y_1) \cdot d_{1p} / d_{12} \quad (6-6)$$

设此直线段方向角余角为 ϕ ，则

$$\sin \phi = (y_2 - y_1) / d_{12}$$

$$\cos \phi = (x_2 - x_1) / d_{12} \quad (6-7)$$

有横短线两端点坐标

$$x_t = x_p \pm t \cdot \sin \phi$$

$$y_t = y_p \pm t \cdot \cos \phi \quad (6-8)$$

这时可算下一横短线，离 1 点距离

$$d'_{1p} = d_{1p} + L \quad (6-9)$$

若

$$d'_{1p} \leq d_{12} \quad (6-10)$$

则令 d'_{1p} 为新的 d_{1p} ，按 (6-6)、(6-7)、(6-8) 式算下一短横线在折线 l_2 上位置，和新的短横线端点坐标，继续进行 (6-9)、(6-10) 步骤。否则，说明 d_{12} 上已安排不下一个短横线，这时应使 $d'_{1p}=d_{1p}-d_{12}$ ，并把 2 点作为 1 点，且把下一个节点作为 2 点，按 (6-5) 式计算 d_{12} ，再进行 (6-10) 式比较后决定运算流向。如此，直至用完所有节点，即可把中心轴线都绘上了横短线，再把中心轴线均绘上土堤中心线，这就完成了土堤的绘制。这其中有两点要注意：①是如果 P 点在节点 2 上，或接近 2 点，当此节点是最后一点时，短横线照常绘制，否则应绘在过 2 点的角平分线上；②为图形美观，可适当把 L 调整，使中心轴线长为短横线间隔整倍数。此算法可被扩展为获得离中心轴线等距离的两条平行实线（或虚线），如双线公路、街道等，同样还可产生长城、陡坎、境界线、大车路、地类界等一类沿中心轴线保持一定规律配置的点和短线。

(3) 面状符号 最普通的面域是由若干封闭多边形组成的。面状符号的共同特点就是在面域内填绘不同方向、不同间隔、不同粗细的“晕线”，或规则分布的个体符号、花纹或颜色。其中“晕线”是较为一般的且基础性的。所谓“晕线”，即是一组平行的等间距的平行线，设晕线与 X 轴倾角为 θ ，并设间距为 d 。在多边形内填绘晕线已知条件是该多边形的封闭轮廓线，其算法步骤如下，参见图 6-10：

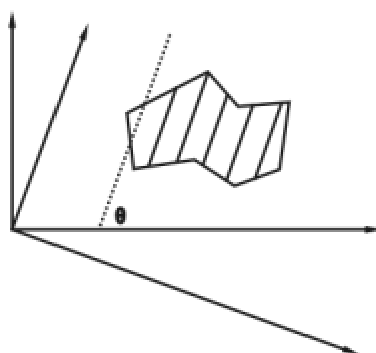


图6-10 按晕线倾角旋转后坐标系与原坐标系的关系

- ①顺时针旋转坐标系 $90^\circ - \theta$ 角，使新坐标轴 Y 与晕线平行，这时任一封闭多边形上所有轮廓线，也即相应节点坐标都变换为 $x' o' y'$ 下，设之分别为 (x'_1, y'_1) $(x'_2, y'_2) \cdots (x'_n, y'_n)$ (x'_{n+1}, y'_{n+1}) ， \cdots ，其中 $x'_{n+1}=x'_1$ ， $y'_{n+1}=y'_1$ ，是外轮廓线上首末点。这里若有多条轮廓线，每条线之首末点总相同，
- ②在 $y' o' x'$ 下计算第一条晕线位置。对已知多边形轮廓各节点，求坐标系 $x' o' y'$ 下的，X' 横坐标最小值 x'_{\min} 和 x'_{\max} ，这时第一条晕线的 X' 值为

$$a = x'_{\min} = [x'_{\min}(N+d)] \quad (6-11)$$

当 $a > x'_{\max}$ 停止运算，否则进行下步 求晕线与各轮廓线各边交点，其晕线与任一边有交，判别式如下：

若

$$(a - x'_j) (a - x'_{j+1}) < 0 \quad (6-12)$$

则交点为

$$\left(a, y'_j + (y'_{j+1} - y'_j) \times (a - x'_j) / (x'_{j+1} - x'_j) \right) \quad (6-13)$$

否则若 $(a - x'_j) = 0$ 且

↵

$$(a - x'_{j+1}) (a - x'_{j-1}) < 0 \quad (6-14)$$

↵

则交点为 (x'_j, y'_j) (6-15)

↵

④将交点，按 Y' 值排队，并顺序记录排队后的各点坐标；

⑤将交点坐标，进行坐标系反旋 $90^\circ - \theta$ 的变换，其序不变。配对绘线，即连 1-2, 3-4, ……

⑥计算新的晕线位置 $a = a + d$ (6-16) 当 $a > x'_{\max}$ 停止运算 否则继续③、④、⑤、

⑥ 可增加平行或垂直的另一组晕线，也可适当改进⑥中配对绘线程序为点、实线、虚线组合，进行面状符号各种灵活绘制。采用程序块的方法，可以绘制大量的各种符号，但必须首先能用数学表达式精确描述它们，因而其绘制类型相对而言，尚不够广泛，同时也较难予以动态变更。

3. 综合法

综合法实质上是把信息块与程序法结合在一起，绘制组合式符号。它把符号分解为“折线、圆、矩形、正三角形……”等各种图素，各种图素的使用采用信息块量参数，程序是由图素绘制程序所组合而成，其综合使用形成了组合符号，功能更强，但结构复杂。例如，折线信息块库就如同前述，对于圆绘制，其参数为圆心 X ，圆心 Y ，半径 r ，对于圆弧则加二个参数 θ_1 、 θ_2 ，可把五元组，组成一信息块；同样绘矩形有定位点 x 、 y ，高、宽方向五参数，又可组成五元组的信息块；如果采用这叁种信息块，则符号将由各种折线、各种圆弧，各种矩形所组成。这种方法作为特例通用性更广一些，以上述两种方法如果采用各种特定方法，把空间数据库质量、数量、时间等数据量化，动态变更图素的信息块，那末各种专题图符号绘制也相当方便。

三、栅格符号库

栅格制图技术途径有两个重要的技术前提。一是分辨率，它相应于栅格象元的大小，也决定了栅格处理一系列基本特性，它的决定是需要与可能综合平衡的结果，由于计算机软硬件的发展，目前按要求来决定分辨率已没有太大困难；另一个即是栅格坐标系统，过去传统的 Y 轴方向与人们习惯的空间坐标系方向相

反, 实质一样, 但还是不方便, 现使之统一于空间坐标系也即 Y 轴方向向上, 这时, 矢、栅系统仅存在实数坐标和整数坐标概念差别, 便于矢、栅统一。栅格符号库由于栅格绘图特点, 一般不采用符号程序块的方法, 大都仅采用符号信息块的方法。

下面介绍点状、线状、面状栅格符号制作方法。

1. 点状符号: 定义: 符号空间内定义了定位点的特征点集。符号空间定义为能够足够表达最精细符号和实用中最大符号的尺寸空间, 设为 $n \times n$ 栅格空间, 其定位基准为: 定位点及其定位轴, 后者以定位象元及过此象元的水平轴线来表示, 设其为 x_{01}, y_{01} 以及射线 $(x_{01}, y_{01}) \rightarrow (x_{01}+5000, y_{01})$ 。特征点集: $\{x_{I, j}, y_{I, j}, c_{ij}\} I, j=0, 1, \dots, n-1$ c_{ij} 为符号空间中 i 列, j 行颜色码, 显然, 它们相对于定位点, 其坐标为 $(x_{ij}-x_{01}, y_{ij}-y_{01})$ 当符号为单色时, c_{ij} 为 0 或 1, 当符号为 16 色混杂时, c_{ij} 为 0 或 1 或 \dots 或 15, 也可为 256 色混杂, c_{ij} 则为 0, 或 \dots 或 255。一般采用纯色符号。可采用 128×128 矩阵, 每个矩阵元素用 1 个比特 (bit) 表示, 有两种元素值 0 (表象元黑)、1 (表象元白), 如下图:

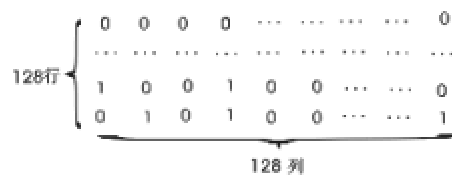


图6-11 点符号信息块构造示意

点符号信息块共长 $2+2048$ 个字节= 2052 字节, 结构如下图 $x_{01} y_{01}$ 第 0 行, 第 1 行, \dots , 第 128 行 1 1 16 16 \dots 16 字节 依次组织各符号为上述 2052 个字节的不同序号的一条记录, 即成栅格符号库。也可把上述点符信息块, 直接组成为数图合一的单色位图 (BitMap), 供人机交互时调用, 颜色使用时再选定。图 6-12 为部分点状符号库的图形。

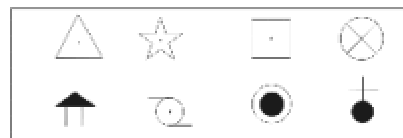


图6-12 栅格点状符号库部分图形

2. 线状符号 线状符号定义和点状符号一样, 仅是符号空间与点状符号是不一样的, 它在符号延伸方向的轴线上尺寸大, 信息丰富, 而在横向, 尺寸小、信息少。另外由于图中元素配置方法不同, 可把线符信息为线——线符号块及线一点符号块两部分。例可把线——线符号空间定义为 256×48 , 线一点符号空间定义为 96×48 。类同点状符号信息块一样, 每一线状符号由线——线符号信息

块 1540 字节和线—点符号信息块 580 个字节组成。下面表示了线符信息块的构造方法。

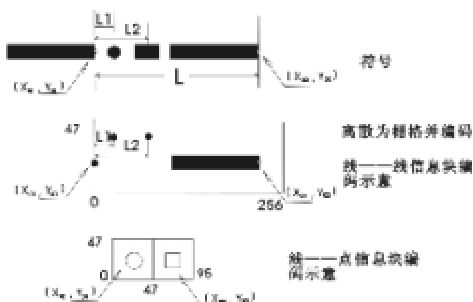


图6-13 线状符号信息块的构造示意图

上述线—线符号信息块为 x01 y01 x02 y02 第 0 行, 第 1 行, ……., 第 47 行 1 1 1 1 32 32 …… 32 共 1540 字节 线—点符号信息块为 x01 y01 x02 y02 第 0 行, 第 1 行, ……., 第 47 行 1 1 1 1 12 12 …… 12 共 580 字节 由上述结构, 可以看到, 对于各种宽度、虚实结构、点符、线符结合, 对称与不对称定位, 对称与不对称符号结构、线符信息块都予以包容, 这种符号库结构是十分全面的。这样, 类似点状符号库, 可同样组织各线状符号为一线状符号库。

3. 面状符号 面状符号定义同点状符号。它的信息块的制作决定于确定独立的完整的填充点阵单元, 其图 6-14 表示了这一过程。必须顾及连续填充点阵单元后的总体结构, 做好固定点阵大小的信息块组织。其信息块的组织方式也同点状符号。上述点阵面状栅格符号信息块及成库, 可采用人机图形交互, 程序自动处理、组织而成, 设计能力强, 准确、方便, 规范且动态性强。可兼并常规的各种点、线、面符号库的制作, 它与下一节介绍的相应通用绘图程序的结合, 形成了理论严密, 通用且规范的代数法符号化系统。

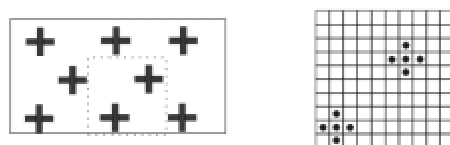


图6-14 面状符号填充点阵单元及信息块形成示意

第四节：汉字库与色彩库

本节提纲

一、汉字库

1、[矢量汉字库及栅格汉字库](#)

2、[True Type 字库介绍](#)

二、色彩库

一、汉字库

在空间信息的可视化过程中，除了用图形符号外，还须要各种包括汉字、外文字母、数字等信息的注记库，或简称汉字库。这些注记信息实质上同点状符号是一样的，也分为矢量库和栅格点阵库。其使用也与点状符号库一样。随着计算机的硬软件发展，尤其是 Windows 系列中文操作系统的推出与使用。除传统的矢量库和栅格库外，又推出了质量优越，使用方便，规模宏大的 True Type 字库。使字库技术达到一个新的水平。

1、矢量汉字库及栅格汉字库

通常矢量汉字库适合于矢量绘图仪输出，而栅格汉字库用于屏幕显示和打印机输出。从原理上看，汉字库与点状符号库没有本质差别。国家标准 GB2312-80《信息交换用汉字编码字符集》中对 7000 多个汉字符规定了统一的机内码。因此，尽管有多种不同的汉字系统，其输入码和汉字信息块的存贮组织和地址码分配可能有多种方案，但每个字的机内码是统一的、规范的，为汉字的检索提供了统一标准，方便了使用。

汉字的检索方法 不管什么汉字系统，在建立字库时，都需要建立一个汉字机内码和地址码的映射表，也要建立一个输入码与内码的映射表，图 6-15 显示了拼音输入码、机内码及地址码之映射关系表。

拼音输入码	汉字机内码	地址码
	0 0 0 0 0	
	0 0 0 0 1	
	
WO	1 0 0 6 6	902 “我”
	
	1 6 3 8 3	

图6-15 输入码、机内码与信息地址码映射表

信息的读取 有了地址码后，就可读取该记录，取得所属的矢量信息块或栅格信息块，并依照信息块形成时的编码方法（参见前述点符信息块的构造），逆向取得矢量信息和栅格信息。一般讲，矢量汉字一般都已商品化，可直接购买使用，栅格汉字库更为普遍，操作系统及其扩充均已包含。也可使用软件方法，把栅格点阵字进行矢量跟踪，形成矢量数据并形成矢量字库，以备使用。上述使用方式，字符分辨率不是很高，用于一般场合。

2、True Type 字库介绍

True Type 字库是 WINDOWS 3.1 推出时提供的，但它当时只能使用于西文字体，随着 Windows 中文操作系统的发展，推动和促进了国内汉字系统，True Type 字库已包括中文。其字体种类也日趋完善，被称为 CTure Type 字库。今天 Windiws-Xp 已包含了各种所需字符/体、字数达 64000 多个汉字。

1. True Type 字库优点

True Type 解决了两个重要问题：与设备无关的无变形输出各种字体以及在所有设备上以所有尺寸提供高质量字体。具体而言：

(1) 所见即所得 (WYSIWYG) 应用程序可将 True Type 字任意放大或旋转，都能得到高质量字体，并且屏幕上和打印机上一样；

(2) 打印机可移植性：它可在不同的打印机上工作。由于应用程序可得到字体的规格细节。因此应用程序能以设备无关的方式控制文字；

(3) 文件可移植性 应用程序可在文件中加入 True Type 字体，并可在不同平台上工作，应用程序可通过使用字体的量度细节以便在平台无关的方式下控制文件。

(4) 简单性 显然 Ture Type 是汉字可视化技术上一次大的进步，一个新的台阶。

2. True Type 使用

Windows 下所有图形、图像软件中凡能够人机交互处理图形或图像的，都可以以交互方式方便地使用 True Type 字体，进行汉字和各种字符的交互编辑。这种交互使用达到可视化中“所见即所得”的高境界。在应用程序中采用中文 WIN95 下的编程，也可以批处理方式和设定交互编辑环境使用 CTrue Type 字体和矢量、栅格字体。它一般可通过以下逻辑步骤[2]：① 使用库存字体；② 列表可用字体；③ 列举设备能力；④ 创建逻辑字体，设定字体、字样、大小等；⑤ 检查并显示逻辑字体信息；⑥ 检取实际字体信息 ⑦ 设置排列方式、使用颜色、旋转、一行中使用那些字体、怎样使用，在指定位置绘制字体字符。此外，人们还可利用 CTrue Type 一些有用的附加功能，例如其极高精度的字体轮廓，创建自定义字体等。

二、色彩库

色彩是表示和传递信息的有力工具，为优化色彩的表现手段，便于再生及批量复制，必须把色彩进行数字表达并建立色彩数据库。它管理和记录两类数据：

(1) 现有专题地图色谱中叠色系统和连续色表的色度数据；(2) 设计颜色的色度数据和处理数据记录。一般色彩库可采用多媒体数据库管理，直接在库中加

入色样。并按各种数据域及组合进行索引，便于查阅、参考。表 6-1 便是色彩库的一个示例。

颜色地址	复制数据								CJW 色度数据						颜色的分类和命名				颜色的心理感										
	叠色原色及网点百分数				印刷原色密度值 (只在基本色库中出现)				三刺激值			色度坐标		匀色空间坐标			主波长	光谱纯度	色相分区		色彩的感觉								
	1 色	2 色	3 色	4 色																									
专题地图色谱	色块号	原色名	原色名	原色名	原色名	原色名	原色名	原色名	DR	DG	DB	DW	X	Y	Z	X	Y	L'	a'	b'	λ	Pe	色相名	编号	颜色鲜艳与灰暗度分区编号	颜色深度分区编号	色系及编号	干、中、湿，冷、中、暖，兴奋、沉静感编号	明快、中、忧郁感编号
页码																													

第三讲 空间数据的可视化

本讲共分 3 节：

第一节：[图形数据的检索及预处理](#)

第二节：[符号化](#)

第三节：[地图的输出](#)

第一节：图形数据的检索及预处理

本节提纲

一、从地理数据库中检索图形数据

二、预处理

1、投影变换

2、数据压缩

3、数据转换

4、几何数据的光滑

空间数据图形显示的数据流的流程如下图所示：

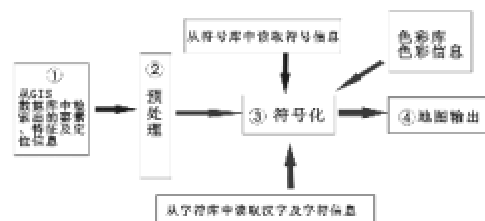


图6-16 GIS图形表示流程

下面分步讨论

一、从地理数据库中检索图形数据

空间数据可视化是GIS中从数据输入到数据处理到数据输出全过程都不可缺乏的技术工具。也是地理分析和决策成果展示的必需手段。在这个过程中，数据流是错综复杂的，其中空间数据库是处在核心位置，它统一管理初始数据，基本数据及结果数据。可视化的数据流统一来源于空间数据库，其手段即是通过空间数据库的检索。并且可以认为空间数据库的数据是“洁净的”，具有一定的完整性。也即结点是匹配的，数据均完成了接边、齐边处理，也具有必须的拓扑数据。或者说，其数据不存在“特别的毛病”。

1、空间数据按可视化的目的检索数据 可视化总是对一定区域，一定属性组合的地理对象进行的，可视化目的一经确定，其相应区域及要素内容也随之确定。相应的必须组织属性检索、区域检索、拓扑检索和各种特定检索、组合检索得到全部应表达的地理对象。这种检索最好能在可视化界面下进行，使观察全面，易于查错、编辑及修改。

2、根据可视化目的，进行检索出对象的质量和数量分级分类的调正、变更和合并，这是对可视化要素的质量和数量上进行概括。当然，当可视化目的所要求的分级分类与空间数据库完全一致情况下，并不需要此工作。但是由于 GIS 用途十分广泛，总是完全一致是不可能的，这一步不可缺少。

3、根据变更后的分类分级编码，确定、切换或建立相应符号库，并建立与新的分类分级编码 1-1 对应的映射表，如图 6-17 所示。

数据库内分类分级特征码	符号库内分类的源库入口	符号库的信息库地址
Hd11	SUB1	Sb1
Hd12	SUB2	Sb2
.....
Hd _n	SUB _n	Sb _n

图6-17 分类特征码与符号程序块、符号信息块1-1映射的接口表

二、 预处理

从空间数据库出来的数据流，到符号化之前的阶段，均为数据预处理阶段，它主要解决大量的空间数据的投影变换，数据压缩、光滑及格式转换问题。

1、 投影变换

当可视化目的的地图投影与空间数据库不同时，就必须进行地图投影变换，把数据具有的空间数据库地图投影转换为目的投影。设空间数据库的地图投影为

$$X_1=f_1(\phi, \lambda) \quad (6-17)$$

$$Y_1=f_2(\phi, \lambda)$$

而目的地图投影为

$$X_2=F_1(\phi, \lambda) \quad (6-18)$$

$$Y_2=F_2(\phi, \lambda)$$

可通过解析法或数值法，求得

$$X_2=F_3(X_1, Y_1) \quad (6-19)$$

$$Y_2=F_4(X_1, Y_1)$$

变换空间数据库的全部空间数据。

解析法 由于空间数据入库时必须进行较严格的几何校正，因而空间数据库空间数据具有较严格的精度，与其所标称的地图投影相匹配。这些地图投影，一

般讲，都是有反演函数，如此高斯投影、墨卡托投影、兰勃脱投影以及 UTM 投影……，即对应于 (6-17) 式均存在

$$\phi = \phi_1 (X_1, Y_1) \quad (6-20)$$

$$\lambda = \lambda_1 (X_1, Y_1)$$

代入 (6-18) 式，即

$$X_2 = F_1 (\phi_1 (X_1, Y_1), \lambda_1 (X_1, Y_1)) \quad (6-21)$$

$$Y_2 = F_2 (\phi_1 (X_1, Y_1), \lambda_1 (X_1, Y_1))$$

将空间数据库空间数据，按 (6-20) 及 (6-21) 式进行变换，即可完成投影变换。

数值法 当空间数据库中数据包括了一定密度的经纬线网交点时，可按 (6-18) 式计算出目的地图投影坐标。以它们为节点、经纬线为格网，可形成如下相应格网块，见图 (6-18)

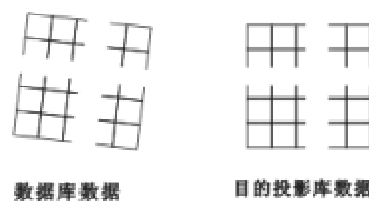


图6-18 数值法投影变换示意

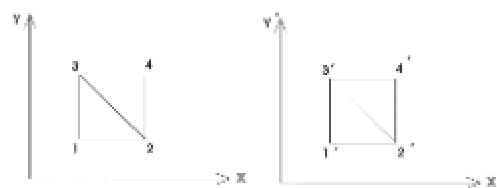


图6-19 双仿射变换示意图

这时对每一小格网可采取双仿射变换方法 [3]，见图 (6-19)， $\triangle 123$ 与 $\triangle 1' 2' 3'$ 仿射对应，其数学模型为：

$$x' = a_1 x + a_2 y + a_3 \quad (6-22)$$

$$y' = b_1 x + b_2 y + b_3$$

代入已知三对点坐标，当 $\triangle 123$ 面积不为 0，可得到唯一解， $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2,$

b3, $\triangle 123$ 上所有数据库内数据均可按 (6-22) 式完成投影变换, 同样 $\triangle 234$ 与 $\triangle 2'3'4'$ 也类此完成。在此两个变换中, (1) 边界 23 线上任意点变换仅受其位置及 23, 2'3' 影响, 其象是同一的; (2) 12, 13, 24, 34 直边均变为直边, 在四边形上均是 1-1 变换; (3) 变换的最大误差限决定于其变换函数在该区域对线性函数的最大偏离。这四边形结构可拓广到整个可视化区域, 其类同传统地图学中的“格网转绘法”, 不同处是采用数字方法来完成。其可靠性、通用性均好, 误差能满足要求, 效率也较高。当投影差异和区域不是很大时, 此方法十分方便。必须说明, 绘图比例尺的改变, 从理论上是相似变换, 因而也在这一步所完成。

2、数据压缩

空间数据库内几何数据是匹配于数据库比例尺的数据密度, 当所需可视比例尺变化, 尤其是缩小后, 数据冗余很大, 必须压缩。解决此问题方法很多, 可使用间隔取点法, 垂距和偏角法, 但这些方法具有舍去特征点的严重缺点, 而道格拉斯-普克 (Douglas-peucker) 法能够保证各级特征点的保留, 因而得到广泛使用。其原理可由图 6-20 所示。该方法是按一个线目标为组织单元对数据进行压缩的, 其逻辑步骤为: (1) 连接曲线首、末点为直线, 直线所涵盖点序称全程; (2) 由全程各点对该直线作垂线; (3) 求各点到垂足的垂距, 取垂距最大且大于给定限差的点; (4) 连接首点与所取点直线, 及末点到所取点直线; 对此两线分别递归进行 (2)、(3)、(4) 进程, 直至再取不到点。



图6-20 道格拉斯-普克法压缩数据

此方法中限差由人根据可视化目的给出, 为 0 则无压缩, 大则压缩量大。分析此方法可知, 每次均找出全程上最大特征点一个, 整个线目标最后由各程最大特征点组成, 且这些点具有足够大的特征偏差。

3、数据转换

由于目前 GIS 空间数据库政出多门, 不够统一规范, 因而一个可视化系统很难即时适应众多空间数据库。因此必须进行必要的数据类型及格式的转换, 可完成矢量转换, 关系转换和栅格转换, 它是由一系列特定的转换模块组成的, 它们须根据实际的空间数据率和绘图系统设计而成。

4、几何数据的光滑

线状实体呈折线方式和光滑曲线方式两种方式延伸, 空间数据库内几何数据一般以中心轴线上特征点离散方式存储, 为正确表达呈光滑曲线延伸的要素, 必须依据空间数据库内该曲线的离散数据进行光滑, 使符号化后线状符合要求。一般讲, 此工作与符号化同时进行, 但是其概念和数学模型上是属于预处理。曲

线光滑的基本要求是：曲线中轴线通过已知序列特征点，且线上各点是有连续的一阶导数。这方面已有大量方法，如正轴抛物线加权平均法，斜轴抛物线法，五点求导分段三次多项式插值，三点求导分段三次多项式插值、张力样条等法，它们各有特点。顾及 GIS 空间数据库内数据密度及计算的方便易行，采用五点分段三次多项式插值为宜，介绍如下： 五点求导法其核心思想：①曲线在各点上的切线方向由图 6-21 所示五点的下列关系所界定；②两节点之间为三次曲线；③该三次曲线满足在两节点上的坐标值，及切线方向值。这样在 P3P4 间得到的曲线段具有比较匀称的形态。设该曲线离散点序列为 (x_1, y_1) ， (x_2, y_2) …… (x_n, y_n) ，并对开曲线按以下方式补点：

$$\frac{AC}{BC} = \frac{EF}{EH}$$

$$x_0 = 3x_1 - 3x_2 + x_3; \quad y_0 = 3y_1 - 3y_2 + y_3$$

$$x_1 = 3x_0 - 3x_1 + x_2; \quad y_1 = 3y_0 - 3y_1 + y_2$$

$$x_{n+1} = 3x_n - 3x_{n-1} + x_{n-2}; \quad y_{n+1} = 3y_n - 3y_{n-1} + y_{n-2}$$

$$x_{n+2} = 3x_{n+1} - 3x_n + x_{n-1}; \quad y_{n+2} = 3y_{n+1} - 3y_n + y_{n-1}$$

(6-23)

闭曲线则分别以点 $n, n-1$ 代替 $0, -1$ 点，以 $1, 2$ 点代替 $n+1, n+2$ 点，其任一点设为第三点，其上切线方向由上面关系确定，见图 6-21。则相邻两点 (x_i, y_i) 与 (x_{i+1}, y_{i+1}) ($i=1, 2, \dots, n-1$) 之间的三次曲线方程为：

$$x = p_0 + p_1z + p_2z^2 + p_3z^3$$

$$y = q_0 + q_1z + q_2z^2 + q_3z^3$$

(6-24)

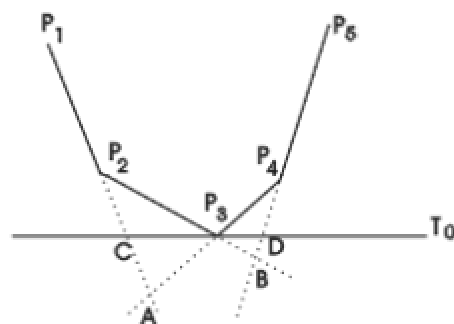


图6-21 五点求导示意

式中 $p_i, q_i, (i=0, 1, 2, 3)$ 为常数, z 为参数, 当曲线从 (x_i, y_i) 点变到 $(x_{i+1}, y_{i+1},)$ 时, z 从 0 变到 1。确定 $(p_i, q_i,)$ 八个常数可依据下列条件(6-25)、(6-26) 式所示, 其中 Q 为切线方向角

$$z=0, \quad x=x_i, \quad y=y_i; \quad \frac{dx}{dz}=r \cos Q_i, \quad \frac{dy}{dz}=r \sin Q_i \quad (6-25)$$

$$z=1, \quad x=x_{i+1}, \quad y=y_{i+1}; \quad \frac{dx}{dz}=r \cos Q_{i+1}, \quad \frac{dy}{dz}=r \sin Q_{i+1}$$

其中, $r=[(x_{i+1}-x_i)^2+(y_{i+1}-y_i)^2]^{1/2}$ 为已知,

$$a_j = x_{j+1} - x_j, \quad b_j = y_{j+1} - y_j \quad (j=i-2, i-1, i, i+1)$$

$$w_2 = |a_i b_{i+1} - a_{i+1} b_i| \quad w_3 = |a_{i-2} b_{i-1} - a_{i-1} b_{i-2}|$$

$$\text{当 } w_2 = w_3 = 0 \text{ 时, 令 } w_2 = w_3 = 1$$

$$a_0 = w_2 a_{i-1} + w_3 a_i, \quad b_0 = w_2 b_{i-1} + w_3 b_i$$

$$\sin Q_i = b_0 / (a_0^2 + b_0^2)^{1/2}, \quad \cos Q_i = a_0 / (a_0^2 + b_0^2)^{1/2} \quad (6-26)$$

$$w_4 = |a_{i+1}, b_{i+2} - a_{i+2} b_{i+1}| \quad w_5 = |a_{i-1} b_i - a_i b_{i-1}|$$

$$\text{当 } w_4 = w_5 = 0 \text{ 时, 令 } w_4 = w_5 = 1$$

$$a_{01} = w_4 a_i + w_5 a_{i+1}, \quad b_{01} = w_4 b_i + w_5 b_{i+1}$$

$$\sin Q_{i+1} = b_{01} / (a_{01}^2 + b_{01}^2)^{1/2}, \quad \cos Q_{i+1} = a_{01} / (a_{01}^2 + b_{01}^2)^{1/2} \quad (6-27a)$$

式(6-24) 解为

$$p_0 = x_i, \quad p_1 = r \cdot \cos Q_i, \quad p_2 = 3(x_{i+1} - x_i) - r(\cos Q_{i+1} + 2\cos Q_i)$$

$$p_3 = -2(x_{i+1} - x_i) + r \cdot (\cos Q_{i+1} + \cos Q_i) \quad (6-27b)$$

$$q_0 = y_i, \quad q_1 = r \cdot \sin Q_i, \quad q_2 = 3(y_{i+1} - y_i) - r(\sin Q_{i+1} + 2\sin Q_i)$$

$$q_3 = -2(y_{i+1} - y_i) + r \cdot (\sin Q_{i+1} + \sin Q_i)$$

令 $i=1, 2, \dots, n-1$, 依次按 (6-28) 算出系数代入 (6-24), 算出各节点间三次曲线, 这时应根据整个绘图的分辩率, 给出绘图机最小步长 t , 令 $z_k=kt$ ($k=1, 2, \dots$)

算出相应于 z_k 的所有 (x_k, y_k) , 连接相邻 $(x_{k-1}, y_{k-1})--(x_k, y_k)$ ($k=1, 2, \dots$), 即可得到已知点 i 与 $i+1$ 点之间的光滑曲线, 若是对其它区间, 仅注意使用相应一组 P 、 Q 系数试五, Bezier 曲线 Bezier 曲线是法国雷诺汽车公司 1962 年创造的。它是由一组被称之为 Bezier 特征多边形的折线集所定义, 曲线的始、终点与该多边形始、终点重合, 且多边形始、终边为曲线的始、终点的切线方向, 曲线形状趋于特征多边形的形状。当给定空间 $N+1$ 个点的位置矢量 P_i , 则 Bezier 曲线上各点坐标的插值公式是

$$C(t) = \sum P_i B_{i,n}(t) \quad 0 \leq t \leq 1 \quad (6-28)$$

P_i 构成该曲线的特征多边形, $B_{i,n}(t)$ 是 Bernstein 基函数, 也是曲线上各点位置的调和函数。且

$$B_{i,n}(t) = \frac{n! t^i (1-t)^{n-i}}{i!(n-i)!} = C_n^i t^i (1-t)^{n-i}$$

$$i=0, 1, \dots, n-1$$

Bezier 曲线的上述定义和特性特别适合于制图中曲线符号的绘制和曲线段的光滑衔接, 因此几乎所有的著名绘图和电子制版软件都采用它作为基本绘图元素, EPS 格式描述(见本节后部) 也以它为基础。

第二节：符号化

所谓符号化, 即是利用空间数据库得到的分级分类编码及相应符号和实体抽象后得到的定位中心轴线坐标数据, 以形成有限可见空间内的图形符号模型的过程。这可见空间, 我们定义它为地图空间, 这样符号化定义为: 由目标的质、数、时、空数据决定的, 将符号从符号空间到地图空间的一个变换。数字化是将实体或相应图形符号抽象为空间数据库的质、数、时、空数据, 而符号化即是它的逆过程, 将空间数据库内质、数、时、空数据化为图形符号模型。符号化根据绘图方式的不同分为矢量符号化和栅格符号化, 又按符号库的构造型式分为信息块方法和程序块方法。它们和分类特征码之间的 1-1 对应接口关系如前面

所述，并可由图（6-17）所说明。由于可视化空间是一幅面的绘图机或屏幕形式出现，因而还要进行地图空间到视见空间的转换。

本节提纲

1、[矢量符号化](#)

(1) [符号信息块的方式](#)

(2) [程序块方式](#)

2、[栅格符号化](#)

(1) [栅格符号的缩放与旋转](#)

(2) [点状符号的绘制](#)

(3) [线状符号的绘制](#)

(4) [面符的绘制](#)

3、[色彩设计](#)

(1) [色彩的屏幕仿真设计](#)

(2) [色彩实现](#)

1、矢量符号化

矢量符号化基本绘图元素是有向线段。按使用符号库方式的不同分为信息块方式和程序块方式。由于综合法也同样可分解为这两种形式，在此扼要介绍这两种方式。

(1) 符号信息块的方式

点状符号信息块绘制

对于点状符号符号化，符号化软件读取空间数据库，并经过预处理模块处理后得到分类特征码数据及点符空间定位数据，包括符号定位点坐标、点符旋转角、符号缩放率等。根据分类特征码读取相应记录的点状符号信息块，然后对信息块

中取出的数据，顺次进行：①中心化坐标平移；即把符号信息块中特征点坐标值减去信息块中符号中定位点坐标值，由于不同点状符号，定位点位置各异，为节省存储，如前面 6.2.4 所述在符号线划数据最前面，放置一定位点坐标数据。故经上述相减处理后，该符号所有线划坐标数据即归化为以定位点为坐标原点的数据；② 旋转所需点符旋转角；③ 按所需符号比例把①、②处理后的数据缩放；④把上述③得到数据平移到点符所需位置定点，这时符号全部几何数据已化为地图空间下，而拓扑数据，拾落笔数据不变，进行点状符号各线段显示和绘制。⑤定位；⑥绘制。

线状符号信息块绘制

由上节矢量线状符号信息块构造，我们已知线—线符号信息块是由沿符号定位轴线轴向伸展的和具有相应横向位移的线段组成，线状符号的绘制或把符号从符号空间转换到地图空间的思想是：以空间数据库中该目标定位点序串作为 x 轴，它是一曲线 x 轴或折线 x 轴，而相应垂直于 x 方向的则是 y 轴，符号信息块中各线段集端点坐标都以它来定位，只是由起点开始绘制的第 n 个线符单元其 x 值应是前 $(n-1)$ 个单元线符绘完后的终点 x 约为 $(n-1) \times L$ 处，以下讨论线符绘制过程：假设 1：不管其中 x 轴是曲线或是折线，折线是一般情况；假设 2：为使符号绘制美观，信息块中各线段起终点，应座落在符号的直线部分。如图 (6-22) 所示，而不应在衔接区（用来处理转弯区域）。并设线状符号中落在衔接区的部分最大相对于中心轴线的偏移为 $d_1/2$ ，这时对称符号的最大宽度为 d_1 。

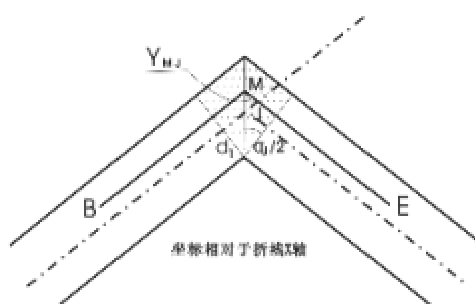


图6-22 线符中实线列配置示意

则参见图 6-22 绘法为 (1) 线段端点 x 坐标变更：由当符号中一线段的起、终点（累积）的 x 坐标。

当 $x < x_j - d_1 \tan(\alpha_j/2)$ 时，则 x 不变；

+

若 $x_j - d_1 \tan(\alpha_j/2) < x \leq x_j$ 时，则 $x = x_j - d_1 \tan(\alpha_j/2)$ ； (6-29)

+

若 $x_j < x \leq x_j + d_1 \tan(\alpha_j/2)$ 时，则 $x = x_j + d_1 \tan(\alpha_j/2)$ ；

其中 j 是实体数字化时各特征点序，依次为 2, 3, ……直至实体图形结束点。

(2) 增加中转点 M 当一线段起点 $x_B \leq x_j - d_1 \tan(\alpha_j/2)$ ，而终点 x_E 满足 $x_j \leq x_k + d_1 \tan(\alpha_k/2) \leq x_E \leq x_{k+1}$ 时，其中 k 可顺次为 $j+0, j+1, \dots$ ，则需增加中

转点 M_k

$$y_{Mk} = y_B + (x_k - x_B) \cdot (y_E - y_B) / (x_E - x_B) \quad (6-30)$$

$$x_{Mk} = x_k + y_{Mk} \cdot \operatorname{tg}(\alpha_j / 2)$$

也即此线段跨越几个特征点, 即有此若干中转点, 符号单元中线段 BE, 在绘制此一单元符号时, 化为线段, $BM_j, M_jM_{j+1}, \dots, M_kE$ 。不失一般性, 线—线符号信息块中一符号单元中全部线段, 全都可以以 BE 形式绘制出一个单元符号, 再类此依次进行其后所有各单元符号的绘制。其中须要注意二点: 一点是其中 d_1 , 当线符右转时使用线—线部分中整个符号中轴线下部最宽度的绝对值; 相应的, 线符左转时应采用中轴线上部最宽度的绝对值。另外 α_j 是各特征点处线符方向变更的角度, 在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 之间。第二点是坐标 y 有正、负之分、中轴线前进方向右为负, 左为正。线—点符号信息块的绘制是在配置完一个单元的线—线符号后紧接进行, 与线—线符号采用一样的符号单元长 L 及起始点。其绘制原理同前述点状符号, 仅仅是点符定位坐标采用折线 x 轴坐标系, 其定位轴线为 x 轴坐标系, 其定位轴线为 x 轴向, 而当点符定位在特征点上时, 其定位轴方向采用原方向与新方向夹角的角平分线方向。由于在线状符号绘制过程中, 每一符号的 y 无变化, 仅是 x 值的起终点 (也即一个单元符号的起终点) 可能有 $1 \sim 2$ 个 $d_1 \operatorname{tg}(\alpha_j / 2)$ 长度的变化, 由于 d_1 相对于 L 是微量, α_j 也不会很大, 一般也不会超过 90° 或 135° , 故对于点符定位的 x 值 (参见 6.2.4 中表) 可予以适当修正, 实际情况下也可不予修正。采用上述方法, 点符结构完整性、线符结构与联接性得以完整保留。通过线符单元的灵活设计, 可绘制出众多结构的线状符号。面状符号信息块的绘制:

面状符号绘制同样步骤①读数据, 读信息块; ②计算晕线端点, 逐行配置线符点符, 由于没有弯曲处理, 机械地位移即可绘出, 但要注意排列方式。采用信息块绘图或显示, 使众多点、线、面符号绘制只分别用点、线、面三个程序, 程序通用, 数据复杂, 它是代数方法绘图。也可以说是开放式的绘图。

(2) 程序块方式

此方法通过读取空间数据库选出准备显示并绘图的数据后, 经预处理, 调入分类特征码对应的符号绘制程序块, 并把点符或线符、面符的定位数据输入, 给出所要求的比例系数, 旋转、行距、列距等参数, 即可完成绘图工作。但是这种绘图是很难动态扩展及变更, 使用人员必须是对软件设计训练有素的绘图人员。3. 专题地图符号设计与绘制: GIS 中地理信息和地理分析的表达, 除了要使用普通地图的可视化技术外, 还需甚至是更多地使用专题地图的表示技术和方法。专题地图符号设计方法, 主要是点状符号设计方法与普通地图符号设计方法相似, 类似 (1) 中设计点符信息块, 仅仅此时信息块的主要元素不再是单一的线段, 而是若干基本图元: 线段、矩形、椭圆、等腰三角形、扇环、立方体、园柱体, 其信息块中存储的是该基本图元的基本自由度参数; 例如矩形、给出长、宽及定位中心位置。在具体绘制时, 则采用类似程序块的方法, 对绘制该图元程序给出该图元的安置参数, 例如对矩形给出定位点, x 轴向、 y 轴向缩放率, 旋转角, 颜色码等, 就可通用地绘制各种矩形或其它各类图元的图形。通过各类

图元的组合绘制以及上述线符、面符绘制就可构造出绘制出灵活多样的专题地图符号。可以说，专题地图的绘制采用的是结合信息块和程序块的综合法。

2、栅格符号化

栅格符号化一般采用信息块方式，很少有采用程序块方式的，一方面由于它是近年来发展起来的方法，采取了开放式绘图方式；另一方面由于采用程序块方法，栅格图形变化太多，也过于复杂，程序很难编制。对于栅格符号化，一般涉及下述几个问题。

(1) 栅格符号的缩放与旋转 栅格符号一个很大缺点就是难以缩放。实际上缩放技术方法并不复杂，只是限于栅格须用整数表示象素，这样，一般情况下，缩放的各部分相对变形就较大。这是无法根本解决的。尽管如此，不少情况下仍需对栅格符号进行缩放。可采用重采样方法解决此问题：设原符号为 $n_1 \times n_2$ ，有图像时象元值为 0，无为 1，用 C 变量加行列作下标表示。须缩放为 $n_3 \times n_4$ ，这时缩放象上任一象元 i_3, i_4 ，对应原象位置为 i_1, i_2 ，这时变换象 (i_3, i_4) 可由原象 (i_1, i_2) 变来

$$i_1 = n_1/n_3 \cdot (i_3 + 0.5), \quad i_2 = n_2/n_4 \cdot (i_4 + 0.5) \quad (6-31)$$

这时 i_3, i_4 象元值可采用 C_{i_1, i_2} ，或者采用相应 3×3 象元域均值，即用下式：

$$C_{i_3, i_4} = 1/9 \cdot [C_{[i_1-1, i_2]-1} + C_{[i_1-1, i_2]} + C_{[i_1-1, i_2]+1} + C_{[i_1, i_2]-1} + C_{[i_1, i_2]} + C_{[i_1, i_2]+1} + C_{[i_1+1, i_2]-1} + C_{[i_1+1, i_2]} + C_{[i_1+1, i_2]+1}] \quad (6-32)$$

若 $(i_3, i_4) > 0.5$ 则令 $C_{i_3, i_4} = 1$

否则 $C_{i_3, i_4} = 0$ 使 $i_3 = 0, 1, \dots, n_3$ ，时 $i_4 = 0, 1, \dots, n_4$ ，取得相应 (i_3, i_4) 则完成了整个栅格字符的缩放。其定位中心则应采用正变换，得到 即

$$i_{3\#} = \left[\frac{i_{1\#}}{n_1} \times n_3 \right] \quad (6-33)$$

$$i_{4\#} = \left[\frac{i_{2\#}}{n_2} \times n_4 \right]$$

栅格符号旋转，一般应在缩放完成后，找到其中心，把所有栅格坐标归化到中心后，按一般的坐标旋转公式进行。这两种变换是对符号本身进行的，其结果仍可认为是符号空间中的符号。

(2) 点状符号的绘制 将分类特征码所对应的栅格符号信息块调入后，进行所需的缩放，定位轴线旋转后，把符号平移，使符号中心点平移到与所须符号定位处相符，即完成了点符绘制。其实质是从符号空间取点符号平移至所须位置。

(3) 线状符号的绘制 栅格线状符号绘制类同矢量线状符号信息块方法，仅仅基本绘图元素为点象元，如图 6-23 中虚线所示为线状符号转弯区，转弯区的开始截面与结束截面，实际是线符号的同一截面，在转弯区内，除点符可照常配

置外，对线符任一具实象元的横截面都不起作用(也即具有绘图像元的列；而空白列则照常配置，受影响。)都仅是简单重复开始截面，显然转弯区是由转的方向以及符号转弯时的宽度决定的，即 $x=x_3 \pm d_1 \text{tg}(d_3/2)$ 。同时应当明确，线符号绘制时的方向改变在栅格条件下只有三种角度，即 45° ， 90° 和 135° ，以及右、左转弯两种状态。

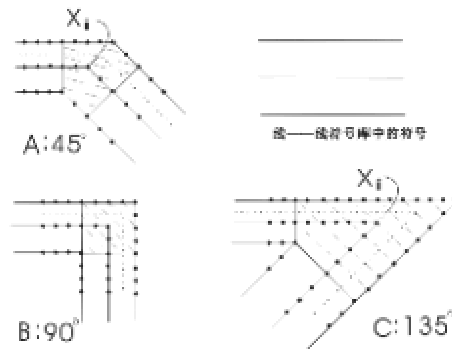


图6-23 线状符号配置示意

因此(参见图 6-23)对于线状符号中线—线符号采用下列绘法：设符号空间坐标为 X, Y ，地图空间内，线状符号中心轴线为折线组成，由它组成绘制该线状符号的 x 轴，单位采用栅格单元“棋盘”距离，也即一象元到周围八个单元的距离均视为 1。并设线—线符号单元长为 L 个象元，此外定义“进配”为实象元往线符原前进方向移动重复定位到指定步位，“退配”为实象元在后退方向重复原列象元到指定步位。“进配”“退配”实际分界线为折线转角的角平分线。)绘制方法为：①从左至右取线—线符号单元第一列象元，其中轴线与 x 轴重合，配在 $x=0$ 的地图上起始列上。依次配符号的第二列，……到 L 列，即一个单元配完，对于无绘图像元的列照常配。再从第一列开始，依次配；②一旦进入特征点 x_j 的转弯区，即 $x > x_j - d_1 \text{tg}(\alpha_j/2)$ 时起，则不再取符号单元中新的列，始终用原取符号列(设为 X_c)的各象元重复配置象元，进行转弯处理。视左转还是右转，现假设是右转，分三种情况：a, 45° ，则该列 Y 象元按原方向进配到 $x_j + Y$ 处，也即中转轴中 $Y=0$ 的象元一直配到 x_j 处， $Y=2$ 的象元，除在前配置处，在 x_j 处，原方向上 x_{j+1} 处， x_{j+2} 处均配置，而 $Y=-2$ 的象元则从转弯区开始的 x 处起一直配到 x_{j-2} 处，而在实际符号转弯方向上 x_{j+1} 处，开始用①的方式取符号单元新的一列，即 X_{c+1} 列来进行配置符号一列；b, 90° 时 (X_c, Y) 象元在原方向进配到 $x_j + Y$ 处，新方向由 $x_j + d_1$ 处开始退配到 $x_j - Y + 1$ 处， $Y < 0$ 的象元不作退配；c, 135° 时， (X_c, Y) 象元在原方向进配到 $x_j + 3 \times Y$ 处，新方向由不小于 $x_j + d_1 \text{tg}(\alpha_j/2)$ 的一个整数处开始，退配到 $x_j - Y \times 3 + 1$ 处， $Y < 0$ 的象元不进行退配。③如果是左转弯，则类似有：a, 45° 时， (X_c, Y) 象元在原方向进配到 $x_j - Y$ 处，在新方向由 x_{j+1} 起正常配；b, 90° 时，原方向则进配到 $x_j - Y$ 处，新方向由 $x_j + d_1$ 处。退配到 $x_j + Y + 1$ 处， $Y > 0$ 的象元不退配；c, 135° 时，类似地进配到 $x_j - 3 \times Y$ ，退配到 $x_j + 3 \times Y + 1$ 处， $Y > 0$ 的象元不退配。④继续进行线—线符号下一列配置；⑤反复进行①~④，直至 X 轴列长度用完。对于线—点符号，由于配置线—线符号时已记下 x 数值，在 x 轴上相应列上匹配线—点符号相应定位中心的 Y 值，以及该点 x 轴向，配上点符即可。这儿要注意：由于栅格排列、方向、数字凑整等

因素，原来致密的图形会产生一些空穴，采用“上、下、左、右象元为黑，中间一定为黑”原则，予以填实。图 6-24 即是线符绘制的实例放大图，通用而又严密地实现了拓扑学中对线符的伦移原理。

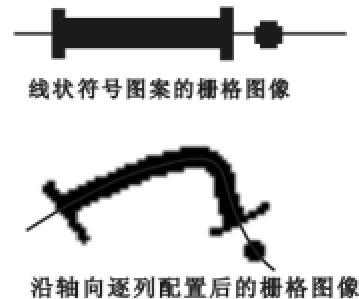


图6-24 线状符号“伦移”配置的原理

(4) 面符的绘制 由于面符是一 $n_1 \times n_2$ 矩阵，因而首先把面区域填实，取出面内点阵，分块与 $n_1 \times n_2$ 面符矩阵做“与”运算完成面符绘图。当然也可再进行后续的底色及前景色彩设计。

3、色彩设计

空间信息图形表示中，色彩是一个重要的信息表达手段，由图 6-16 可知，此阶段是符号化中的一部分，同时也涉及到最终地图图形的输出。色彩设计是一种很困难的，也是很专门的艺术工作。由于 GIS 建立在计算机上，因此色彩的设计已完全改变了传统用手工在纸面上设计的旧习，采用色彩数据库及计算机设色在很大程度上改善了这一工作，但是色彩的最终结果，仍要由人的视见感受来决定。这一过程可分为：色彩的屏幕仿真设计，色彩的实现。

(1) 色彩的屏幕仿真设计：

在空间数据符号化的过程中，对于点、线、面各类符号，必须选定最适宜的表达色彩，以提高可视化的效果。① 色彩设计的若干规律与规则：符号化的色彩设计及选定不能随心所欲应当遵循下列几点： a. 国家及部门图式中有规定的要素符号，必须采用图式用色 b. 约定俗成原则：这包括不同类型图的设色习惯及表示法。例如：等值与分级统计图用连续色阶，行政区制图用四色法设色，类型图用多个连续色阶。 c. 需要印刷出版的地图色彩设计，应符合印刷制版的要求、限定 ⑤ 屏幕色彩设计：有两种方法进行色彩设计 a. 对有规定的符号，采用从色彩数据库中选定色彩后，绘制图形符号，并予以记录； b. 对于需要灵活设计之色彩，采用屏幕设色的软件系统设定所需颜色，给出图形符号，并予以记录，若色彩库中无匹配色，则还应记录入色彩数据库。这儿屏幕设色系统一般是采用红、绿、兰 (R、G、B) 加色法原理，通过增加或减少 R、G、B 中

任一颜色的色度，来调制所设计色为理想色彩。其中，色度一般只为 0-255 共 256 级。

(2) 色彩实现

色彩实现有两种情况：一种是色彩化仅在屏幕上进行，不需印刷制版，那末，屏幕仿真设色即不需往下进行；另一种情况需要印刷制版，由于印刷制版与屏幕设色的色彩机制不同，采用的是黄、品（红）、青（Y、M、C）减色法，因此，需要

① 色彩由 RGB 到 CEI 表色系统的转换 CEI 表色系统是国际照明协会规定用三刺激值 x, y, z 表达任一颜色匹配的系统，它给出了描述颜色标准的和精确白了的方法。一般讲，采用色彩数据库中色彩都已有相应的 CIE 系统的三刺激值，而在状态各异的屏幕上用 R、G、B 设计颜色可采用下式予以转换标准的 CEI 数据。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_x & G_x & B_x \\ R_y & G_y & B_y \\ R_z & G_z & B_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (6-34a)$$

其中系数矩阵是通过大量实验和理论计算测定的。文献[1]采用了如下系数矩阵

$$\begin{bmatrix} 0.60 & 0.26 & 0.08 \\ 0.33 & 0.61 & -0.03 \\ 0 & 0.12 & 0.98 \end{bmatrix}$$

它仅提供有限范围内的参考数值，实际使用中，应根据具体情况，综合评判后决定。

② 由 CIE 到屏幕色彩库的转换 由上述，当屏幕色彩用理论和经验公式转换为 CIE 之刺激值后，可采用以下色差较小的系数矩阵转换为与印刷色彩数据库一一对应颜色的数据。

$$\begin{bmatrix} 1-C \\ 1-M \\ 1-Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_r & Y_r & Z_r \\ X_g & Y_g & Z_g \\ X_b & Y_b & Z_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.1486 & -0.8759 & -0.2022 \\ -1.1556 & 2.1005 & 0.1585 \\ 0.1415 & -0.2572 & 1.0010 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (6-34b)$$

式中 C、M、Y 表示印刷中所用减色法色彩青、品红、黄数据。上述过程，是通过各种基础的实验与测定相应适宜转换矩阵，以及确立与颜色数据库相一一对应的印刷色彩数据库为基础的。也可通过上述理论模型和实验系数，进一步结合实际的屏幕设色系统和印刷色彩，予以实验修正后实施。

第三节：地图输出

空间信息图形符号化后,其结果一般是绘图数据的文件,除必须的屏幕绘图及绘图仪绘出检查外,往往必须进行适当的编辑修改,必须明确,这种修改是对图形符号进行的。目前栅格一般形式的编辑修改比较成熟,而矢量形式一般必须通过修改符号化前洁净了的数字化数据方才适当。其方法在前面已述。空间图形符号化后的地图输出有两种形式,一种是屏幕显示方式,一种是绘图机绘图。目前计算机图形技术的发展,已把这两种方式融合在一起,变成一种适应众多图形输出设备的与设备无关的输出方式。

1、屏幕显示

由于计算机屏幕是有限分辨率的,有限尺寸的。例如 VGA 显示器为 640×480 , 而 SVGA 为 1024×768 , 它们是屏幕显示器的可视空间, 而图形符号化又是在一定比例尺空间内进行的, 为使显示的地图能够被全面显示和操作, 必须把地图从地图空间变换到可视空间, 这个变换称为视见变换。设可视空间(显示屏关系) $M1 \times M2$ 上地图大小范围为 $(X_{min}, Y_{min}, x_{max}, y_{max})$, 则任意图形点 (X, Y) , 变为屏幕坐标点 (C, R) , (这儿需注意, 现在屏幕坐标系方向与数学上是一致的), 则

$$C = \left[\frac{(X - X_{MIN})}{x_{max} - x_{MIN}} \times M_1 \right] \quad (6-36)$$

$$R = \left[\frac{(Y - Y_{MIN})}{y_{max} - y_{MIN}} \times M_2 \right]$$

这时采用的屏幕绘图语句和命令, 原属针对 (x, y) 的, 应改变为针对 (C, R) 进行操作, 地图图形即可在屏幕上显示。当屏幕上显示不能满足视见要求时, 可采用开窗方法放大显示所需部位。这时窗口所对应地图空间范围形成的新的 $(XMIN, YMIN, XMAX, YMAX)$, 同样采用 (6-36) 式进行视见交换。依照此例, 可进行 2 次、3 次……开窗, 处理也类同。

2、绘图机显示及融合方式

1. 绘图机显示同样也有视见变换, 这时屏幕尺寸 $M1 \times M2$, 应变为绘图机尺寸 $M1 \times M2$, 同样采用 (6-36) 进行地图空间到绘图空间的转换。

2. 这时绘图语句要采用绘图设备的绘图语句，一般因设备而异。

3. 而为解决绘图语句的设备无关性，可以有以下几种方式。

① 采用图形核心系统 (GKS) 绘图软件 GKS (Graphics Kernel System) 是德国标准化协会所开发的图形系统，并被全美国国家标准协会所采纳，同时也作为国际标准使用，它提供了一套二维图形基本单元子程序库(以后又发展到 GKS-3D 三维图形)，可通过 FORTRAN 77 语言调用。

② EPS 格式 EPS (Encapsulated PostScript) 这是经封装的 PostScript 的简称，它是一种电子排版、印刷中通用的图形矢量格式标准。它主要是采用 Bezier 曲线描述全部图形要素，非常适宜连续缩放、位移、修改等各种编辑操作，图形要素平滑、美观、规范，在此 EPS 基础上，现代印刷制版业对之采用硬件或软件快速栅格化 RAP (Raster Image Processing) 技术把 EPS 格式数据规范地变成所需分辨率的栅格进行制版。现今通用的绘图制版软件，如 CORELDRAW、FREEHAND、PAGEMAKER 等均采用 EPS 格式，国内 MAPCAD、智绘等绘图系统以及万像编绘一体化软件也均全面地支持 EPS 格式，建立了电子制版的通畅道路。因此采用了 EPS 格式的绘图方式，不仅图形质量好，具有较好的设备无关性，可以不加修饰采用众多型号绘图仪、激光打印机、喷墨绘图仪设备，而且直通后续的出版印刷。

③ 计算机图形接口 (CGI) CGI (Computer Graphics Interface) 是国际标准化协会 ISO TC97 组提出的图形设备接口标准，它的目的是提供控制图形硬件的一种与设备无关的方法。CGI 在用户程序和虚拟设备间，以独立于设备的方式提供图形信息的描述和通讯。它所提供的功能集包括控制功能集，独立于设备的图形图像输出功能集，图段功能集，输入和答功能集以及修改、检索和显示以像素数据形式存储的光栅功能等。

④ 计算机图形元文件 (CGM) CGM (Computer Graphic Metafile) 也是国际标准化协会 87 年的标准。它是一套与设备无关的语义语法定义的图形文件格式，它主要由两部分组成：第一部分是功能规格说明，以抽象的语法描述了相应的文件格式；第二部分则描述了文件词法的三种形式的编码。

⑤ 程序员层次交互式图形系统 (PHIGS) PHIGS (Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System) 是国际标准化协会 1986 年公布的计算机图形系统标准。它包含了下述三个方面的内容：其一是向程序员提供的控制图形设备的图形系统接口；其二，它的图形数据按层次结构组织，使多层次的应用模型能方便地应用 PHIGS 进行描述；其三是提供了动态修改和绘制显示图形数据的手段。PHIGS 是具有高度动态性、交互性的三维图形软件工具库，其最主要的特点是能够在系统中高效率地描述应用模型，迅速修改图形的模型数据并予以绘制；它在图形设备之间提供了一种功能接口；在图形数据组织上，它建立了独立于设备的中心结构存储区和图形档案管理文件；在图形操作上，它建立了适应网状的图形结构模式的各种操作；在图素设置上，它即考虑三维、三维的结合又考虑了矢量和栅格图形的结合。

⑥窗口系统 窗口系统是 20 世纪 80 年代以来，不管是大型、中型计算机还是工作站、个人计算机都广泛配备了的图形化的用户接口环境，它是目前用户量最为广泛，影响最为广泛图形用户接口环境，其中最具代表性的当数 X-Window，以及 MS-Windows 系列，前者在工作站和大型、中型计算机上 Unix 及网络环境下，后者是在个人计算机和网络环境下。它们均是事实上的工业标准，具有如下特点：定义简洁；界面清晰：窗口系统通常向用户提供应用界面、编程界面和窗口管理界面；目标明确：它实现了以下的主要目标。如窗口系统与显示设备的独立性；应用程序和程序员的独立性；系统的网络透明性；支持并发显示多个应用程序；支持实现不同风格的用户界面；支持多层可变大小的窗口；支持高性能和高质量的图形和正文，尤其是中文多字体的大字符集；系统的可扩充性。实现紧凑；功能齐全：由于它实际上已成为工业标准，众多设备厂商争相为它开发自己设备的接口软件，因而它不仅成为控制光栅设备和输入设备的系统软件，而且成为绝大多数计算机外围设备标准使用的宽畅大道。使用方便：统一而一致的图形窗口界面；是与设备无关的图形接口。上述特点使窗口系统成为一个主流图形环境，并具有持续发展的前景。

第四讲 电子地图

随着信息系统、计算机硬、软件技术的发展，一种新型地图--电子地图以它卓越性能发展为地理信息科学中的新领域。

地图是地理信息的图形符号模型，也是各种 GIS 最主要的数据源。地图与 GIS 之间的桥梁则是数字地图，它是以数字形式表示的地图，是地图的数字形态。

电子地图是数字地图与 GIS 软件工具结合后的产物，它是一种处于运动状态的数字地图，这种运动状态或是输入、输出，或是显示、检索分析。它以电磁材料为存储介质，并依托于空间信息可视化系统再现。在较新的技术基础上，它使用几乎一切 GIS 技术工具，并且可以提供传统 GIS 的大范围、多要素的综合分析技术手段。这些，在电子地图集中得到更为集中的反映。

电子地图集是为了一定用途，采用统一、互补的制作方法系统汇集的若干电子地图，这些地图具有内在的统一性，互相联系，互相补充，互相加强。

本讲提纲

- 一、[电子地图（集）的基本特征](#)
- 二、[电子地图（集）的设计目标](#)
 - 1、[一般用户](#)
 - 2、[行政及科研部门](#)
 - 3、[其它专业用户](#)
- 三、[电子地图集系统的结构和开发技术](#)
 - 1、[电子地图集系统的结构](#)
 - 2、[万像电子地图集系统若干开发技术](#)

一、电子地图（集）的基本特征

1. 能够全面继承并发展了地图科学中对地学信息进行多层次智能综合加工、提炼的优点；
2. 很强的空间信息可视化性能；系统而严密的教学基础，科学而系统的符号系统，强有力的可视化界面，支持地图的动态显示，并可采用闪烁、变色等手段增强读图手段和提高效果；
3. 支持空间信息的多种查询、检索和阅读；
4. 支持基本的统计、计算和分析；
5. 大多数电子地图支持“所见即所得”地编辑和输出硬拷贝，支持电子出版；
6. 大多数电子地图支持多媒体信息技术。

总之，电子地图（集）极大地保留了传统地图的优点，大大地扩展了传统地图的作用范围，并包含了GIS的主要功能，其中较完善的空间信息可视化功能和地图量算功能是一般GIS所欠缺的。但是相对而言，一些电子地图（集）难予使其可视子空间均具有统一的空间数学基础，因而空间分析相对GIS薄弱，这也是两者的分水岭。

概略地说，电子地图（集）是一种新型的、内容广泛的GIS产品，而电子地图（集）系统则是一些内容广泛、功能各异的新型GIS系统。

二、电子地图（集）的设计目标

电子地图可适应广泛的用户阶层，因而应根据用户的要求，发展相应的电子地图（集）。用户一般可分为三类：一般用户、行政及科研单位，其它专业用户，它们的要求各不相同，具有相当大的差异，可以说具有三个层次：

1、一般用户

这类用户一般只需要阅读、浏览和简单查询地图，其要求一般只限于常规地图的范畴，例如中小學生用电子地图（集）作为课本的补充来学习地理、历史、经济、环境、人文等，针对这类用户的电子地图（集）应具以下功能：

1. 地图内容一般是普通地图的要素；
2. 能够方便的翻阅、浏览地图内容，因而要求图形符号清晰，图面能够迅速翻页，漫游，缩、放功能；
3. 必要的检索功能：用户能够查询地图上主要要素的数据和说明；
4. 定位检索和开窗放大：即通过定位选择某一区域，可以快速弹出该区域放大图或更大比例尺图，满足人们对感兴趣地区进一步浏览；
5. 一般的量测：角度、面积、长度等指标能够很方便地量测。
6. 多媒体信息浏览功能。

2、行政及科研部门

一般把电子地图（集）作为组织，管理和显示信息、提供辅助决策的工具。因而这类用户除上述用户要求外，还需提供常用的分析模型，能适时对定位于地图（集）上的要素进行分析，在地图的内容上除具有基本的全要素均衡的普通地图外，能够方便地加入一些专业地图种类的内容，因而在上述功能基础上还需增加以下功能：

1. 比较功能，能同时展现多图、多表、多种数据，进行在时空序列上的比较；
2. 制作综合性地图，利用原来的基础底图生成新的评价图、规划图；
3. 动态模拟，提供专业性的动态变化图，展现现象的发展与变化。
4. 提供常用的分析模型，如动态序列地图模型、统计分析、定位分析、网络分析，一些专业预测模型、规划模型；
5. 必要的数据传输及通讯支持，为了真正发挥作用，数据的现时性十分重要，内容广泛而又现时性强的数据只有专业部门才能收集、更新和提供，因此这一功能对于综合部门至关重要。

3、其它专业用户

其它专业用户一般包括军事、测绘、城市管理专业，水、气、电各专业工作部门，它们的专业要求更为具体、专业性强，要求非常广泛，除上述功能外，还须要一些专业特定功能及分析：

1. 数据提取功能；
2. 专题图设计制作功能，具有专门的符号库、色彩库，建立数学基础，符

号化、设色、调色、图文编辑；

3. 专业分析功能：比如各种管道的“爆管处理及分析”，三维分析、显示功能、行军分析、“围歼”分析等。

4. 彩色电子出版功能。

上述三类用户对电子地图（集）的要求实际上是对电子地图（集）的三个不同层次的需要，是系统设计电子地图（集）主要依据和评判标准。

三、电子地图集系统的结构和开发技术

电子地图（集）是规格不一、内容广泛的 GIS 产品，电子地图（集）系统相应地也就性能不一，结构相差甚大，为形象说明其结构和开发技术，这儿结合“万象”电子地图集系统为例，进行阐述。

1、电子地图集系统的结构

电子地图集是一种新型的 GIS 产品，因此它一出现就采用了先进的科学概念和技术方法，其中最重要的就是模拟信息产品的优势利用和矢、栅结合的技术平台。地图是一种优秀的模拟信息产品，它的可视性强，一览性好，通俗易懂好用是一般数据产品赶不上的，也具有传统的习惯上的优势，电子地图采用了矢、栅一体的技术，尽量发挥地图的传统优势。电子地图集系统由电子地图集数据库、专业数据库、系统软件、系统硬件和用户组成，用户是系统的操作员和系统数据流的向导，结构如下图所示：

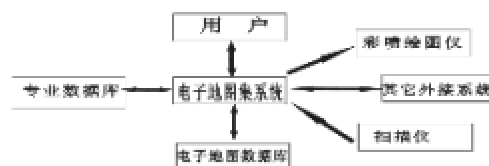


图6-25 电子地图集系统结构框架

2、万象电子地图集系统若干开发技术

万象电子地图集系统是武汉测绘科技大学在国家和部门支持下开发的一个电子地图集系统。它具有一般电子地图系统的特点，也有自己特色的结构和开发技术。图 6-26 万象电子地图集数据库层次结构

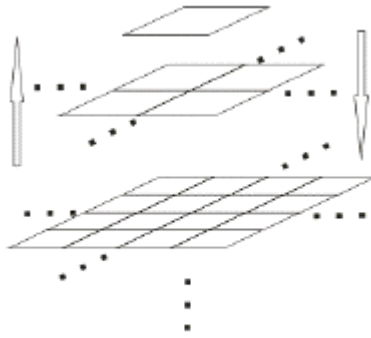


图6-26 万像电子地图集数据库层次结构

1. 其电子地图数据库是一个严密的统一的多尺度的空间定位框架，在理论上，把系统空间上升作为 GIS 的重要对象，而不再是一种虚幻的、绝对的尺度空间；

2. ，专业数据库是类同于一般 GIS 的矢量结构的空间数据库，与整个电子地图集数据库空间上严密、准确地一体化叠加，实际上其空间是由电子地图数据库统一定义的；

①矢栅一体在屏幕上共存、互补，图中的嵌象，象中嵌图；

②迅速互相转换；

③模拟数据产品和数字产品浑然一体；

④矢量数据具有集成质量、数量、时间、空间和多媒体的全面特征；

3. 电子地图集数据库在每个尺度空间上，采用无缝无叠技术系统，使每一个尺度上，不管有多少图幅，均可连续漫游，也即均是一个完整而连续的平面，使 GIS 的数据输入管理、使用和输出均十分简单，出现了新的概念，根除了“拼图”“接边”的需要；

4. 矢、栅结合的空间分析技术 理论分析表明：栅格数据本身已内蕴了全面的空间关系数据，与矢量型式的目标管理优点相结合，空间分析具有全面、规范、严密、高效的优点。很明显，在此种结构下，“位”、“邻”、“近”、“势”四种空间概念得到全面的体现，相应的空间分析的难点，如动态最优路径分析，高效、优质 DEM 生成技术，大区域多边形多重叠置等问题迎刃而解。

5. 采用在上层小比例尺层次上“开窗”及下层大比例尺图上同位“开窗”加漫游技术全面代替了在同一层次上开窗的技术方法。

第五讲 动态地图

伴随着电子地图的发展，集中而又形象地表示空间信息的时空变化状态和过程的地图也正迅速地发展起来，发挥出越来越重要的作用，这就是动态地图。动态地图的产生和发展是时空 GIS 的发展的必要基础和前提。

一、动态地图的特征和作用

目前动态地图基本上是以电子地图形式出现的,其主要特征是逼真而又形象地表现出地理信息时空变化的状态、特点和过程,也即是运动中的特点。

动态地图可以直观而又逼真地显示地理实体运动变化的规律和特点。具体而言,它可以用于:

1、*动态模拟*,使重要事物变迁过程再现;如地壳演变,冰河地貌的形成及模拟。流水地貌的形成,人口增长与变化等,在这些复杂的动态过程中,动态地图是一个有力的武器,它可以通过增加或减低变化速度,暂停变化以仔细观察某一时间断面,改变观察地点和视角,获取运动过程中的各种信息;

2、*运动模拟*,对于运动的地理实体:人、车、船、机、星、弹,运行状态测定和调正,以及环境测定和调正,都是由动态地图来帮助完成的。

3、*实时跟踪*,这方面在运动物体上安装全球定位系统 GPS 是一个明显的例子,它能够显示运动特体各时刻的运动轨迹,使空中管制、交通状况监控、疏导,战役和战术的合围、围堵,均具有可靠的时空信息保证。

二、动态地图表示方法

表示地理实体的运动状态和特点,可采用各种方法及组合。

1. 利用传统的地图符号和颜色等表示方法,例如采用传统的视觉变量——大小、色相、方位、形状、位置、纹理和密度,组成动态符号,结合定位图表,分区统计图表法以及动线法来表示之。图 6-27 就是采动线法表示气流运动一例。这方面军事上事例更多,行军、战斗、战役等动态过程都需要并能够采用传统方法予以表示。

2. 采用定义了动态视觉变量的动态符号来表示

基于动态视觉变量:视觉变量的变化时长、速率、次序及节奏,可设计相应一组动态符号,并加上相应电子地图手段:闪烁、跳跃、色度、亮度变化反应运动中物的矢量、数量、空间和时间变化特征。

3. 采用连续快照方法作多幅或一组地图。这是采用一系列状态对应的地图来表现时空变化的状态,这一方法在状态表现方面是较为全面的;但对变化表达不够明确,同时数据冗余量较大。

4. 地图动画

其制作方法与上一方法是一样的,仅仅是它适当地在空间差异中内插了足够密度的快照,使状态差异由突变变为渐变。这一方法弥补了上一方法中变化表达不够明确,时间维上拓朴关系模糊的缺点,是动态地图表现较为丰富的形式,缺点是数据量大。

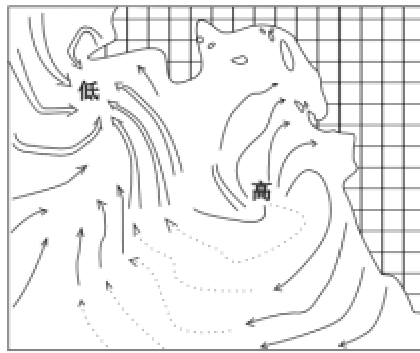


图6—27 动线法示例

三、动态地图的设计

动态地图的设计是与电子地图密不可分的，在电子地图的设计要求和方法总的框架下，就动态部分的设计过程，应着重考虑以下几点：

1. 明确了解动态地图的要求，了解它所表示的时、空变化是全面性的还是局部性的要素；它所关注的变化是变化后的状态，还是变化的过程。

2. 分析动态地图要求，拟定表达方法和设计动态符号。

一般讲，对于局部性要求，采用变化的动态符号法和分区统计图表法，动线法就能够妥善解决问题；对于全局性的状态性要求用连续快照法；而对于相当多数的侧重于表现变化过程的动态现象则要综合采用计算机地图动画、动态符号、闪烁、漫游和其它方法，并结合电子地图等各种技术方法和分区统计图表、动线方法等。

3. 精心制作动画地图 动画地图在表达动态的地理要素上具有全面、形象、明确的特点，但是其制作及使用特别耗工、耗时，耗资源，尽管其制作已有相当多的商品化软件，较为方便，质量也有保证。必须精心设计，精心制作。做到少而精，画龙点睛，服务总体。

动态地图是空间信息可视化中一个蓬勃发展的分支，它和4维GIS，或者说时空GIS有着极为密切的联系。地理信息时空变化的抽象、夸大、取舍、化简等与动态地图的设计和制作直接相关，也是亟待研究的问题。

第六讲 虚拟现实技术的空间

font>

本讲提纲

一、虚拟现实技术简介

- 1、VR 硬件
- 2、VR 的硬件级别
- 3、软件系统
- 4、VR 的分类

二、VR 的意义

三、VR 技术的应用

一、虚拟现实技术简介

虚拟现实技术是计算机硬件、软件、传感、人工智能、心理学及地理科学发展的结晶。它是通过计算机生成一个逼真的环境世界，人可以与此虚拟的现实环境进行交互的技术。

从本质上讲，虚拟现实技术（VR）是一种崭新的人机交互界面，是物理现实的仿真。它的出现彻底改变了用户和系统的交互方式，创造了一种完全的、令人信服的幻想式环境，人们不但可以进入计算机所产生的虚拟世界，而且可以通过视觉、听觉、触觉，甚至嗅觉和味觉多维地与该世界沟通。这是一种具有巨大意义和潜力的技术，正在迅速的发展之中。

1、VR 硬件：

VR 的硬件目前并不定形，主要有以下几种

(1) 图像生成器，它的作用是快速进行图形运算；

(2) 操纵和控制设备:

- ① 实现位置跟踪和控制的鼠标器, 跟踪球和游戏杆;
- ② 数据手套, 其手指部分装有传感器;
- ③ 数据紧身衣;
- ④ 最新的操纵是通过眼睛和思维操纵, 这是通过测定神经系统的微小电流来操作的;

(3) 位置跟踪装置:

- ① 机械盔甲: 提供快速准确的跟踪;
- ② 超声波传感器;
- ③ 光学位置跟踪器;
- ④ 惯性跟踪器;

(4) 立体视见装置:

采用偏光眼镜或屏幕分割或立体镜产生图像的左右视差等手段来产生立体。

(5) 头盔: 产生立体图像或二维地图。

2、VR 的硬件级别

1. 初级 VR 是以 PC 机或低档工作站为硬件基础;
2. 基本 VR 是在初级 VR 上, 增加立体观察器, 3D 或 6D 鼠标或游戏杆和数据手套等;
3. 高级 3D 是在上述基础上增加图像加速器, 帧缓存等, 对于 PC 机则是必须增加 3D 加速卡和 3D 音卡;

4. 沉浸式 VR，其中必须增加沉浸显示装置，如多个大型投影式显示器，还可以增加触觉、力感和接触反馈等交互设备。
5. 驾驶舱仿真器：这是一个封闭式的虚拟环境，设备个人化并较为昂贵；
6. DIVE (Distributed Interactive Virtual Environment) 分布式交互虚拟环境，这是一个 Internet 上开发基于多个网络用户的虚拟环境、其用户界面及地域广阔，用户众多，分布式交互，共享性高；基于共享式或 3D 综合环境等应用系统上的实验平台，这完全称得上是一个小型的世界；
7. SIMNET 和作战仿真互联网 (Defense Simulation Internet) 是目前世界上最大的 VR 项目，目的是使不同的仿真器可在网络上互联，用于部队的联合训练和演习，即位于德国的坦克仿真器可与位于美国的坦克仿真器一起联合进行军事演习。

上述 7 种 VR，硬件部分一级比一级复杂、投入也高得多。

3、软件系统

共分两类：一类是工具包，即程序库，往往需要程序员根据具体需要进行编程；另一类是创作工具，后者不需要复杂的编程，有较多不同层次的商品软件：

1. 免费 VR：这些是 VR 系列的入门级产品，代表产品为 Rend386、Maltiverse。一般可从国际互联网上免费下载。
2. 低价 VR 程序：代表产品为 Dimension International 的 Virtual Reality Stud10 (VRS)。
3. 中档 VR 软件包：它们一般可称是优秀的专业软件包，而且仅要求计算机作为基本硬件，这类代表产品有 Vitus 的 Virtus Walkthrough, Quick Time Vr 以及

Sense 8 的 World Toolkit For Windows。

4. 高价 VR 软件：是高档的精彩的 VR 产品，需要多种硬件支持。代表产品有 Straylight 公司的 MotoVB, Dimension, International 的 Superscape VRTB 等。

4、VR 的分类

VR 的类型是根据它的交互性质来分的，也即是根据它能实现人的视感、听感、触感、嗅感和传感器的程度和质量来区分。根据目前所见资料，可分下列几种：

1. 世界之窗 (*WOW: Window on World System*) 它仅用显示器和音卡来显示虚拟世界，它的衡量标准是"看起来真实，听着真实，物体的行为真实"；
2. 视频映射 它在上述 WOW 基础上把用户的轮廓剪影作为视频输入与屏幕二维图形合成，屏幕上显示用户身体和虚拟世界的交互过程；
3. 沉浸式系统 完全的 VR 系统把用户的视点和其它感觉，完全沉浸到虚拟世界中，它可以是头盔加其它交互硬件，也可以是多个大型投影仪产生的一个洞穴；
4. 遥视、遥控 遥视把用户的感觉和真实世界中的远程传感器、遥测仪连接起来，并用机器人，机器手进行远程操作。实际上，阿波曼登月计划和网络会诊，网络手术已显现了这方面的实际进展；
5. 混合现实 遥视和虚拟现实的结合产生了混合现实和无缝仿真，例如脑外科手术时，脑外科医生看到的是由真实场景，预先得到的扫描图像和实时超声图像组合而成的场景；领航员则在它的头盔或显示屏上既看到电子地图和数据，又看到真实景象。

二、VR 的意义

由上已完全可以见 VR 具有极大深远的意义。它将组成人们的环境--一个极其广阔的世界级环境，它本身是共享的，协同的，分布的。这个环境是虚拟的现实，必须是真实世界的仿真，因而地理信息的可视化将是第一位的。

世界是不能试验的，大的环境工程也不能试验。甚至小到一个雕塑、一个零件，进而一栋房屋，一项工程，大而言之一场战争，其实际运作需要很多时间和经费，而且大型的过程无法重新进行，现在可能以在虚拟现实中进行模拟和实验，找出最佳方案。VR 技术使用前景是无可估量的，其意义是极其巨大的，它是影响整个 21 世纪及未来的信息技术。

要制造好一个虚拟现实，就必须加深理解我们的现实世界，尤其是地学环境，这是不可缺的。途径几千年历史长河的地学科学，它对地学环境的描写，对浩瀚信息的综合概括，层次化图形符号的模型化表达是正在迅速发展 VR 的基石和向导。相对而言 VR 技术的发展，对地理信息的可视化将提出更高、更复杂的要求。

三、 VR 技术的应用

VR 技术最先进的应用领域就是军事国防。

飞行模拟：飞行员的飞行训练是一件十分昂贵、危险和困难的事，由于飞行费用昂贵，飞行均在高速中进行，天空中对飞行员的保护又很有限，对飞机的保护几近于零。一个细小的疏忽，就会造成机毁人亡的严重事故。因此，世界上 VR 的应用均首先从飞行模拟开始。飞行员戴上头盔，坐在 VR 装备的飞行座舱内，由 VR 制作的飞行"气氛"和电子地图及飞行仪表的显示，以及驾驶员进行操作，机械和仪表的相应运作及反馈，使飞行员在虚拟的飞行状态中进行各种训练。

大大提高了飞行员训练密度、强度和数量以及降低了训练的费用。

战斗模拟：VR 应用不仅用于飞机，而且还用于舰艇、坦克通讯及步兵演习。随着网络 VR 技术的出现，美军得以在被其称为"防御模拟互联网"的全球范围内实施 Simnet 坦克战斗计划。最先广泛应用的场合是海湾战争，Simnet 几乎可以使每场战斗或战役之前在 VR 中进行模拟训练。海湾战场已变成大规模的电子沙盘实景，用于其中的地形环境仿真。

实际上，今后的 VR 技术在利用电子地图技术制作大型电子沙盘实景，给出战斗、战役的地形地貌环境，使每场战斗之前能够进行模拟实习，将大大提高战争艺术，减少伤亡，争取胜利是十分有利的。

制作虚拟现实环境与利用地理信息，制作数字地图，三维电子地图，具有直接的联系，在 VR 技术中，存放在"世界数据库"中的 VR 环境数据是不可缺少的部分。VR 是一个正在迅速发展的技术领域，其前景无可限量。

[前一讲](#) [回页首](#) [回本章总目录](#)

基本概念

属性特征	科学计算可视化	地图语言与地图色彩	地图符号的功能与本质
时间特征	空间信息的可视化	地图符号	地图符号的分类
空间特征	几何数据的光滑	地图符号库	地图符号系统和分类分级编码
多媒体特征	电子地图（集）	汉字库与色彩库	地图符号的设计
	电子地图集系统的结构		

地图符号库设计的原则 信息块方法 程序块的方法 综合法	点状符号 线状符号 面状符号 汉字库	True Type 字库 色彩库 符号化 地图的输出	预处理 投影变换 数据压缩 数据转换 虚拟现实技术

典型问题

1。 关于代数法绘图：

用人工和程序将要绘制的符号离散成数字信息，并将其作为一个信息块，把一个信息块组成一行纪录，有序地组织它们为一个文件，即是矢量点状符号库。使用时，读入符号相应行记录的信息块，按图上描述位置和方向，将信息块中坐标数据先平移至中心，必要时进行缩放，再进行旋转，即可连续调用两点绘线语句予以绘出。这样，各种符号均可用统一规范的程序绘制。这种绘图称之为代数法绘图。

2。 关于栅格符号化中栅格符号的缩放和旋转：

栅格符号一个很大缺点就是难以缩放。实际上缩放技术方法并不复杂，只是限于栅格须用整数表示象素，这样，一般情况下，缩放的各部

分相对变形就较大。这是无法根本解决的。尽管如此，不少情况下仍需对栅格符号进行缩放。可采用重采样方法解决此问题。

栅格符号旋转，一般应在缩放完成后，找到其中心，把所有栅格坐标归化到中心后，按一般的坐标旋转公式进行。这两种变换是对符号本身进行的，其结果仍可认为是符号空间中的符号。

第六章练习题

1. 什么是空间信息的可视化？
2. 科学计算可视化的意义是什么？
3. 地图语言有哪些内容？
4. GIS 中数据符号化的作用是什么？
5. 矢量点，线符号库应如何制作？
6. 矢量点，线，面符号是怎样绘制的？
7. 栅格点，线符号库应如何制作？
8. 栅格点，线，面符号是怎样绘制的？
9. 一个矢量的带填充线的多边形如何在栅格图上画出？请说明原理。

- 10. 试比较矢量与栅格绘制线状符号方法。
- 11. 绘图中是怎样解决可视化的颜色问题?
- 12. 请说明电子地图与 GIS 的关系? 它们的联系和主要差别是什么?
- 13. 如何开发一个电子地图集? 它应该有哪些主要功能?
- 14. 地图动画在 GIS 中的意义是什么?
- 15. 动态地图是如何实现的?
- 16. VR 是什么? 与 GIS 有什么关系?
- 17. VR 有哪几种主要类型和主要功能??

地理信息系统的应用

本章说明

GIS 是以应用为龙头、市场为导向、软件为核心的产业。是应用促进了 GIS 的发展,也是应用校正了 GIS 蓬勃发展的方向,促进了 GIS 软件发展的市场形成。本章首先概要介绍了 GIS 应用的领域;然后以详细的文字解说,简明的图表、典型的应用实例依次介绍了 GIS 在诸多领域的应用。内容丰富,涵盖广泛:如 GIS

与 RS、GPS 的集成、GIS 与人工智能的结合、GIS 的管理应用、GIS 的规划应用、GIS 的决策应用。讲解形式灵活多样，直观的图表和典型的成功应用实例，能够更好的理解 GIS 的应用。

第一节 3S 应用

内容 GIS 应用领域和 3S 应用实例

重点讲授 3S 应用实例

第二节 Web GIS

内容 Web GIS 原理和特点、意义

重点讲授 Web GIS 基本原理

第七章 地理信息系统的应用

第一讲：GIS 的应用概述

概括介绍 GIS 的应用领域。

第二讲：地理信息系统与遥感的结合

论述 GIS 与遥感的结合是技术上的必须。

第三讲：地理信息系统与全球定位系统的结合

讲述全球定位系统 GPS 与 GIS 结合的形式和实例。

第四讲：地理信息系统与人工智能的结合

讲述人工智能的重要概念和 GIS 与之结合的实例。

第五讲：地理信息系统的管理应用

讲述信息管理系统（MIS）的不足，介绍万像电子地图集系统对供水信息的解决方案。

第六讲：地理信息系统的规划应用

讲述 GIS 用于规划工作的优势、原则、实例。

第七讲：地理信息系统的决策应用

3S 集成是 GIS 发展的趋势，本课讲述了 GIS 应用于决策的实例——常州市发展预测及相应住宅规划

第八讲：Web GIS

介绍 Web GIS 原理与特点

第七章 地理信息系统的应用

§ 7. 1 GIS 的应用概述

地理环境信息是人类生存、生产、生活、发展的基础信息，随着信息时代的到来，信息的社会化的潮流，这比人们所设想的迅猛得多，信息产生的物化力量已被越来越多的人所认识，地理信息作为一个事业已经形成，并正在发展壮大，据统计 1991 年世界范围内 GIS 的收入为 70 亿美元，其中软硬件为 24 亿美元，并且以 15%~40% 的年增长率高速增长。预计到 2000 年，年产值至少 500 亿美元，成为信息产业中市场前景十分广阔，又相对独立的新兴产业。

GIS 是以应用为龙头，市场为导向，软件为核心的产业。是应用促进了 GIS 的发展，也是应用校正了 GIS 蓬勃发展的方向和促进 GIS 软件市场的形成。

早期 GIS 主要应用于自动制图，设施管理 (AM: Automated Mapping/FM: Facilities Management) 和土地信息系统 (LIS)，后来逐步扩展到军事、资源和环境管理，森林、草原调查，城市规划、市政管理、监测和预估等众多领域，随着 GPS 技术的成熟及与相关学科的结合，GIS 已经进入政治分析、决策，经济规划，农业耕作，公安监察，交通运输、卫生防疫、金融决策、电力、供水等所有涉及空间信息的行业和部门；从应用水平上，也从简单的机助制图，提供简单数据表格，发展到分析和解决问题办法，解决问题范围也由过去的几个图幅上升到几十、几百甚至几千幅图的范围。现介绍若干主要应用领域。

7.1.1 资源调查与管理

资源调查与管理包括土地、森林、草原、矿产，动植物资源的调查，管理及保护。GIS 系统将各种现有和调查数据信息有机汇集组织，科学地分类与管理，并通过系统的统计，叠置分析，地形地质分析等系统功能，并按照区域条件，也是状况和属性条件，提供多种条件组合形式的资源统计和状况分析，为资源的保护、合理的开发利用以及科学管理提供可靠依据。

7.1.2 土地及房地产管理

土地信息系统 (LIS) 是 GIS 在土地方面的专业使用，也是 GIS 最早从事的工作。由于土地、房产进入市场，土地和房产的信息管理也就提高到一个新的水平。它涉及的属性和空间数据相当广泛和复杂，诸如土地位置、形状、边界、名称、地籍、面积、类型、等级、权属、质量、地价、税收、地理要素使用状况有关设施等内容。使用 GIS 可进行地籍数据的管理，进行土地使用审批手续，开展房地产质量评价和地价评估，输入地籍图件，进行土地的科学管理和合理使用。GIS 实践工作表明，近年来，土地方面工作压力很大，土地数据量又特别繁重，不采用 GIS 进行管理甚至难以进行正常的工作，因而土地及房地产管理成了城市 GIS 工作的重点。

7.1.3 环境保护和评价

环境与可持续发展是一个世界性问题、也是 GIS 技术应用的主要方面。其内容包括：环境监测、预报和数据系统收集，建立环境基础数据库和环境动态数据库，建立环境污染的有关模型，提供环境保护规划及建议，提供环境管理的统计数据 and 报告输出，环境作用分析和环境质量评价、环境信息的传播及制图。

7.1.4 宏观预测、辅助决策

大区域、长周期，复杂的环境现象和变化是很难在短时间看清楚它的发展、变化及效果，为此通过建立环境数据库，并使用一系列模拟和决策模型进行分析研究，可为国家大区域的宏观决策提供可靠的科学依据。例如，在我国三峡大型工程规划和决策过程中，利用 GIS 建立环境监测系统为这项工程提供了工程前后环境变迁的范围、速度、演变趋势、可能后果等可靠数据，展现三峡工程的各个方面，为三峡工程的宏观决策，起了重要的科学保障。

§ 7. 2 地理信息系统与遥感的结合

GIS 是管理和分析空间数据的有力工具，而遥感 (RS) 是一种快速进行大区域空间数据采集和分类的有效手段，两者操作对象都是空间实体，相互之间联系支持、补充关系，两者的结合，是技术上的必须。

(1) 遥感是 GIS 重要的数据源，有效地数据更新手段。GIS 之所以有效，是因为它数据是新鲜的、有效的。遥感手段能够迅速、准确、综合性地大范围地采集环境和资料数据，同时，遥感数据具有多光谱和的动态多时相特点，它为 GIS 数据更新提供了全方位的手段和动态数据源。

(2) GIS 也可为遥感分析提供有用的辅助信息和手段。GIS 中确定的实体位置以及 DEM 可以显著提高遥感的定位精度及分类精度，从而提高整个遥感的应用水平。

可见，两者的结合，将是两者使用水平上的重大飞跃。

7.2.1 遥感与 GIS 结合的途径

1. 矢栅一体的 GIS：它能够溶入遥感图象的栅格数据，这相应要求 GIS 能够①进行图象处理，增强分类；②进行图象的目视和矢量化；③矢、栅共存，时时处处准确叠合。

2. 通过国际标准的空间数据交换格式作中间媒介、相互转换，这方面统一目前尚有一些困难；

3. 通过 GIS 与遥感系统间建立接口，实际格式转换与数据传送。

7.2.2 遥感与 GIS 结合在城市分析中应用实例

以遥感图像与原始数据，应用 GIS 提供的分析功能，对深圳市城市用地空间分布进行了定量的描述和分析，给出了它的形态、结构，找出了深圳市用地扩展规律性。

深圳市自 1980 年设立特区后，在以市场经济为主导的经济模式下，经济发展速度的空间表现为城市用地的扩张，它的形态、结构、变化规律对于探索城市化进程以及城市用地变化都有典型意义。

研究采用 citystar 基础地理信息系统，遥感数据采用 1996 年 3 月 3 日深圳的 TM 图象，提取城市新、旧建成区区块用地，并进行几何校正，配准到 1: 75000 地图上。针对城镇和交通线地域进行了点、线的缓冲区分析；

分析之一：点缓冲分析——城市用地的外向分布和扩展

在深圳市宝安区，共有福永、沙井、松岗、公明、石岩、观澜、龙华、平湖、布吉等九个乡镇级居民点，以这些居民点为中心原点，进行点缓冲分析，即可以得到城市用地外向扩展的状况。

在研究过程中，采用了 500 米，1000 米，1500 米，2000 米，2500 米等五个缓冲半径数值对上述九个镇级中心进行缓冲区分析，得到不同缓冲距离范围内的建成区用地（包括原有建成区区块和新建建成区区块）的分布。选用 2500 米作为最大的缓冲半径，是因为在郊区，2500 米的缓冲区半径是一个较为合适的的作用距离，可以认为，在该范围以内的城市用地，都是以位于几何中心的生长原点进行分布和扩展的。对九个城镇进行点缓冲运算的结果如表 7-1 和图 7-1 所示，表 7-1 描述了在不同的缓冲带内城市建成区用地的面积比例；图 7-1 描述了在不同的缓冲带内新的建成区区块用地，旧的建成区区块用地以及新旧城区加和的面积比例。

表 7-1：深圳市九个镇级居民点的城市用地扩展状况

	500 米	1000 米	1500 米	2000 米	2500 米
福永	80.4%	58.1%	53.1%	40.9%	37.6%
沙井	82.0%	62.5%	48.1%	42.6%	32.9%
松岗	79.6%	70.8%	64.8%	46.6%	34.6%
公明	85.1%	65.4%	39.9%	33.5%	31.9%
石岩	88.1%	66.8%	48.2%	27.4%	21.4%
观澜	83.6%	52.0%	49.7%	42.1%	34.7%
龙华	65.4%	67.9%	64.7%	63.0%	58.5%
平湖	87.8%	78.4%	60.2%	42.4%	29.7%
布吉	76.2%	76.0%	69.8%	48.2%	41.0%
平均	80.9%	66.5%	55.4%	43.0%	35.7%

从图 7-1 中可以看出，城市总用地所占总用地的比重随着到城镇中心的距离

的增加而急剧减少，而新的城市用地则反而有缓慢的增加，其增加的峰值点在1500-2000米的缓冲带上。尽管靠近城市中心的区域城市用地比重也较低，但由于地形，环境，地价等因素，土地开发商宁肯选择离城镇稍远一些的区域，这表明其城市用地的开发是以外延式的开发，而非内涵式的开发为主。1500米-2500米是最佳的开发半径，实际上是受到前述的缓冲区范围的影响。

分析之二：线缓冲分析——城市用地沿交通线的轴向分布和扩展

从城市向延伸的交通线（包括铁路，公路，高速公路，乃至水路）呈放射状分布，沿交通分布的带状区域，成为城市用地扩展的最佳区位。

在深圳市的研究中，利用1994年出版的1:75000地图，选取主要公路进行线的缓冲分析，由于深圳市西部城区已经基本连成一片，难以区分道路的影响，因而只选择了公明—石岩—龙华—布吉之间的公路进行缓冲分析。

在实际的建立模型中，确定缓冲距离为300米，600米，900米，1200米以及500米。在计算缓冲区的同时得到每一缓冲带内的新的建成区区块和老的建成区区块的分布及其面积。

从表7-2的统计结果来看，旧城用地的分布面积随着到交通线的距离有明显的减少，而新城区的分布面积随着到交通线的距离则变化不大。

表 7-2：五个缓冲带的新旧城区的面积统计

缓冲带距离 (米)	面积总计(平 方公里)	旧城		新城	
		面积	百分比	面积	百分比
300	747.00	323.25	43.4%	190.47	25.5%
600	761.58	214.08	28.1%	167.49	22.0%
900	776.43	162.72	20.9%	169.65	21.9%
1200	791.28	135.81	17.2%	170.67	21.5%
1500	805.95	125.43	15.5%	170.85	21.2%

实际上正是城市用地动态扩展的结果。

由于交通线是连接两个城镇的，因而城市用地沿交通线轴向分布的状况除了受交通线的影响之外，还受到其两端的两个城镇的影响，换言之，在交通线两端离城镇较近的区域，具有较好的区位，城市发展较早，发展速度也快；而在交通线中间的区域，发展较晚。这就造成在交通线两端发展较早的区域，离城镇较近的地方，土地利用类型已经转化为旧城区，新扩展的城市用地主要分布在离城镇较远的地方，从前面的分析来看，其分界在1500-2000米之间；而在中间区域，城市用地以交通线为基点，向两侧扩展，土地刚刚开发，新城用地分布较多（如图7-2所示）。

从上述的空间分析结果来看，在城市边缘区内部，旧的城市用地，新的城市用地以及未建设用地交错分布，受距离衰减规律的影响，城市用地轴向和外向扩展的过程较为明显，两个过程相结合，形成了城市用地沿交通线相向扩展，其空间形态呈“哑铃型”分布的结果。

从这种哑铃型的分布，可以看到在离交通线不同距离的缓冲带内，旧城区的分布随缓冲距离的增加而减少，新建区在不同缓冲带内的总面积则变化不大。”哑铃”型的城市用地分布形态也说明了道路两端的城镇相互吸引，城市用地相向扩展的形态。因为从一个区域的角度来看城市周围最具有发展优势的区位应该是同外部联系最方便的区位，也就是说，它是城市的门户位置。

由上例可见，遥感与 GIS 结合，对于大范围空间实体的动态变化是十分有效和方便的。

由于遥感手段发展变化日新月异，分辨率、清晰度越来越高，多光谱、多时相以及全天候的图象也得到全面应用，采用遥感和 GIS 结合的方式，动态更新基础地理信息产品地图的工程研究也已正在实施之中，可以预见，其前途是辉煌的。

§ 7. 3 地理信息系统与全球定位系统的结合

全球定位系统 GPS (Global Position System) 是以卫星为基础的无线电测时定位导航系统，可为航空、航天、洼地、海洋等方面的用户提供不同精度的在线或离线的空间定位数据，对于运动物体（车、船、机、星、弹）的全球准确定位被用于监控、救援、排险、导航等十分重要场合。

7.3.1 GPS 与 GIS 结合的形式

GPS 与 GIS 结合的形式一般有两种：1. 单台移动式；2. 集中监控式。

1. 单台移动式，即是在用户设备上直接配备 GIS 工具软件，把接收机天线接收的定位数字信号直接馈入 GIS 系统，由 GIS 系统对接收机定位信息进行处理并与其数字地图匹配，这样即可全世界实时显示接收机天线位置；这种情况对于接收机是独立运作时可采用。定位精度要求不高。

2. 集中监控式

当定位精度要求高，移动区域广，需要集中显示流动目标的运行状况时，便需要采取本方式。它的组成往往有多台接收机，控制中心和基站组成：

①控制中心。由大屏幕计算机、无线电台、通讯适配器、电源和天线系统组成，并配备 GIS。

②基站。由电台、通讯适配器、电源和天线系统组成。

③移动站（即车载系统）。由电台、天线、通讯适配器和 GPS 接收机组成。

其工作流程为各接收站把接收到的本机位置信号、通过电台发送给基站，基站接收信号后无线发送给控制中心，中心把收到的定位信号通过处理并与 GIS 的电子地图相匹配，显示该接收机位置。其中基站是作为中继站，视活动覆盖区大小及电台发送信号功率大小，可多可少，当接收机上电台功率大，或活动范围不大，可不要基站。监控中心在了解移动器的运动后还可通过电台发出接收机动作指令，指挥接收机的运行。

7.3.2 GPS 与 GIS 结合实例——黄冈地区运金车 GPS 实时监控系统介绍

1994 年初，人民银行湖北省黄冈支行结合黄冈地区的实际情况，建设了运钞车卫星定位监控系统，这是一个 GPS 与 GIS 结合的系统。

由于黄冈地区地理位置特殊，从无线通信技术角度讲，有三大不利因素：①大山遮挡、通信死角多；②与三省交界，频率协调难；③跨区范围大，通信质量难以保证。

为解决以上问题，在硬件和软件技术上要妥善解决：①移动数据通信的抗多径衰落、抗多普勒频移、抗阴影衰落能力（空间分集、时间分集、优良的调制方式、纠错编码等多种技术的综合采用）；②常规电台的高速数据传输，速率为 16kbps；③常规电台收发转换时间控制在 5ms 以下；④多基站系统的网络结构设计；⑤移动站的自动漫游及自动越区；⑥无线多址技术及效率。

“运钞车卫星定位监控系统”采用多基站集中监控方式的系统（4 个基站），覆盖范围除黄冈地区 9 个县市外，武汉、鄂州、黄石也在视野之内。

GPS 是空间实体快速、精密定位的现代化工具，GIS 是空间信息集成分析、处理的有力武器，RS 是空间信息复盖面最大最迅速的采集手段，三者的结合简称 3S 集成。

GPS 在迅速发展，继美国 GPS 取得巨大成功，俄罗斯又建设了自己的 GPS-GLONASS 系统，国际民航组织和欧洲联盟也都公布了其 GPS 计划 GNSS。可以预见，全球动态实时定位可以全面进行航天、航海、航空；全球监控的时代已经开始。这必将推动 GPS 结合全球移动通信，结合 GIS，结合信息的快速采集手段 RS 工具，全球全面信息化必将出现新的面貌。

§ 7. 4 地理信息系统与人工智能的结合

7.4.1 人工智能

人工智能简称 AI。一般用计算机模拟人的智能行为就属人工智能范畴。

例如知识表示、推理技术、搜索技术、机器学习、人工智能语言都是人工智能的核心内容。目前，人工智能主要研究：专家系统、知识库系统、决策支持系统、模式识别、自动程序设计、智能机器人等。

现介绍若干重要概念。

一、知识概念：一般可分为描述性知识、判断性知识、过程性知识。

事实性知识：表示对象及概念的特征及其相互关系的知识，以及问题求解状况的知识，也称描述性知识。

判断性知识：表示相关问题求解的知识如推理规则，也称启发性知识。

过程性知识：表示问题求解的控制策略，也即如何应用判断性知识进行推理的知识。

根据知识作用于不同的层次，知识还可分为两类：

对象级知识 直接描述有关领域对象的知识，也称为领域相关的知识。

元级知识 描述对象级知识的知识，如关于领域知识的内容、特征、应用范围、可信度以及如何运用的知识。

二, 知识的表示方法

常用的知识表示方法有逻辑语义网络、框架和产生式系统。

1. 逻辑表示法

指采用一阶谓词逻辑来表达知识。它通过描述客观事物的状态、属性值及相互间关系来表达。例“地图是地理信息产品”，“不是所有的数据都能被人利用”这样的事实描述，可以采用如下接边词“与 (\wedge)”、“或 (\vee)”、“非 (\neg)”、“蕴含 (\rightarrow)”和“存在量词 (\exists)”、“全称量词 (\forall)”组合来表达。

$X[\text{地图}(x)] \wedge [\text{地理信息产品}]$;

$X[\text{数据}(x) \wedge \text{利用}(\text{人}, x)]$;

2. 语义网络

采用有向图来表示知识的方法。其结点表示客体，客体性质、概念、事件和行为等，而有向边则表示客体间联系。它类似于面向对象数据模型，可以用分类、概括、聚集和联合。

3. 框架

一个框架等同于一个“聚集型语义网络”结构，其框架名即是语义聚集结点，而框架的块名即是聚集元素结点，如图 7-5 所示框架结构相对应于图 7-4 中相应部分语义网络。

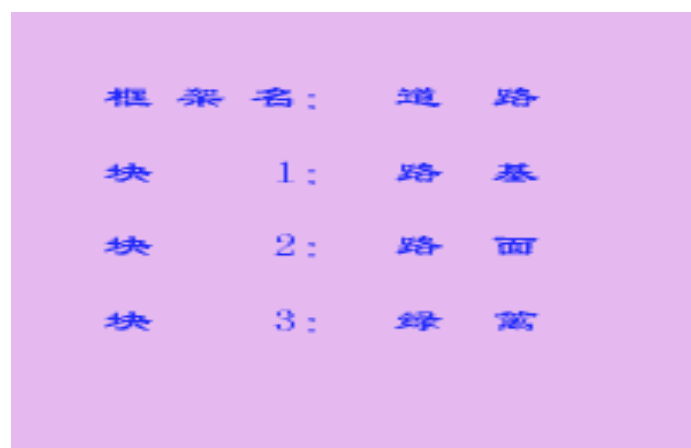
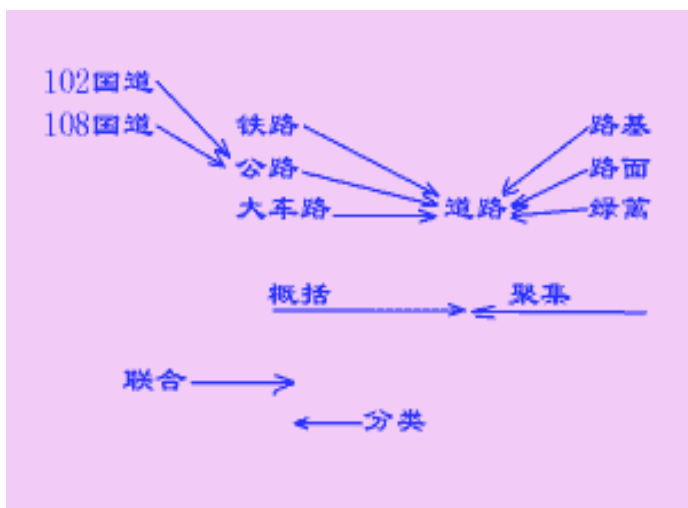


图 7-5 道路框架

图 7-4 道路部分知识到语义结构

4. 产生式系统

产生式系统包括综合数据库，产生式规则和控制三个基本要素。

综合数据库是用来存储描述问题状态数据的数据库。

控制系统则是根据综合数据库新的状态数据选择一条规则作用于它，即通过识

别，产生动作，不断循环，直至综合数据库结束或无可用规则为止。产生式规则的作用是对综合数据库进行操作，使之恢复发生变化，其一般的形式如下：

如果〈前提〉那么 〈动作∨结论〉

例如下列知识与其相应产生式规则表示。

规则：

“没有地震前兆，不会有地震”“动物异常是一种地震前兆”。

如果 〈没有地震前兆〉 那么 〈没有地震〉

如果 〈动物异常〉 那么 〈有地震前兆〉

三，知识推理

知识推理就是运用知识探求解决。根据上面知识表示方法，可将知识推理分为“图搜索”和“逻辑论证”两种方法。基于图的知识表示，推理就用图搜索法，其基本的方法有广度优先和深度优先搜索两种；当知识基于逻辑方法时，推理就采用逻辑论证法。常用的逻辑推理方式可分为：演绎、归纳、外展、非单调及不精确推理五种。

四，知识获取

知识获取是将解决专门问题的专业知识由知识源传递和转换为计算机上知识库中知识的过程。它有三种方式：

1. 人工移植：由人来编制程序进行移植；
2. 机器学习：由机器通过运行过程自学习，获取知识，对原知识库进行增、删、改；
3. 机器感知：由机器通过计算机视觉、听觉、触觉，直接感知外部世界，获取知识。

五，专家系统 (ES: Expert System)

专家系统是具备知识库且具有学习能力，能对知识库动态修改以增进能力，采用一定策略的推理机制，能够解决适度规模专家级问题的计算机软件系统。

ES 中最重要的是知识库及推理机制。其基本结构如图 7-6 所示。

其中解释模块负责解释知识推理结果及回答用户问题，中间数据库作为工作单元，存储系统各种中间结果，结果输出是推理机的各种结论及可信度，供用户决策。

应当指出，由于人的智能机制十分复杂，以及计算机硬、软件的发展水平所限，它所能解决的仅是人的智能的很小一部分。专家系统在“望文生义”上表现很好，在“望形生义”上表现很差。但这是具有巨大意义的一部分。是一个宏大的重要目标一个有意义的开端。

7.4.2 GIS 与人工智能相结合实例——地震预报智能决策支持系统

一，实际意义

地震是众多自然灾害中对经济发展和社会稳定造成危害最为严重的一种灾害。至今，地震预报仍然是一个世界性难题。目前进行地震预报的主要依据还是

各种地震前兆，专家们根据发生的各种现象及自己的经验进行地震预报。如果将他们的日常工作由计算机来代替，由计算机进行数据的自动采集、异常的自动判别，然后再根据知识库中的知识进行地震预报的综合决策，不仅节省了专家们重复劳动的时间，而且还有如下优越性：

(1) 客观性。因为地震预报一般还没过关，所以人们在进行预报时将受到周围环境的影响，如情况比较紧急时，或者某些专家已经发表了一些预报意见时，都会对其他人产生一定的影响。因此，如果每个人都把自己的判别指标（经验）全面地、系统地存入计算机的知识库中，由计算机进行推理和综合决策，可能会更客观一些。当然，地震预报专家们可以随时修改自己在计算机中存储的知识。

(2) 全面性。因为参加地震会商的专家一般都比较多，但某些专家往往由于种种原因不能参加，这样会商意见就不全面。如果一些主要专家不能参加，那么严重影响会商的结果。另外，因地震前的现象很多，规律也很复杂，会商时间往往比较仓促，很有可能考虑不周到。如果把他们的经验存入计算机的知识库中，由计算机进行智能决策，那么就能避免上述缺陷。

(3) 便于总结提高。人的经验往往不自觉地有很多不严格或矛盾的地方，在计算机存储知识的过程中，首先对人的经验进行形式化和系统化。是知识库中存放的知识往往不是一个专家的经验，而是几个专家的共同经验。在共同讨论的过程中能够发现个别专家经验的片面性和局限性，并使知识（经验）更加完善。同时，由于知识库的日常使用和不断检验，便于发现问题，不断地进行修改和补充，使经验更加完善。

二、系统结构

地震是重要的地理现象。“地震预报智能决策支持系统”[17]的总体结构如下图所示。它主要由信息库和各种处理子系统组成，图中所示的每个组成部分的主要功能及相互之间的关系如下：

1. 综合前兆观测数据库



为了进行地震预报，在全国设立了各种地震前兆观测台站，如地磁、地电、地形变、地应力、地下水位及地下水化学成份等等，将这些日夜不停记录的观测数据及有关台站和仪器参数按统一的格式存入数据库中。另外，将其它与地震有关的数据，如地热及天文观测数据等，经整理后也存入该数据库中。

2. 参数库

对于各种观测数据，经数据处理后可以得到各种物理量，这些物理量对于地震异常的定义是各不相同的。参数库中存放每一个具体观测项目的每一个物理量的异常定义，其中包括观测项目、物理量名称、处理方法、异常类型、异常阈值及异常持续时间等。

3. 地震数据库

该数据库存放每次地震的有关参数，如地震发生的地点、时间、震级大小等，每次地震发生后该数据库就增加一条记录。

4. 证据库

证据库存放各种地震异常信息，它包括异常类型、始末时间、异常值、可信度、来源等，它可以由证据获取子系统自动形成，或者通过数据库管理子系统将那些无法由证据获取子系统获取的地震异常信息输入到证据库中。

5. 知识库

知识库存放地震预报专家们的经验，目前我们采用“规则”或“规则/框架”的方法来表示知识，其格式如下：

如果：〈有序的各种异常现象〉的出现

那么：某地区、某段时间内将发生某一强度的地震，其信度为 $\times\times\%$ 。

所谓有序的异常现象是指满足时间先后顺序的一系列地震前兆。这样的规则往往不是一条，而是有几十条或几百条，它们的结论在空间、时间及强度上相互交叉在一起。同时，这些规则之间并不是相互独立的，而是相互关联，因此还必须根据专家经验，确定规则之间的相关系数，在合成时根据相关系数进行消除。

6. 预报意见库

存放推理结果，它可以通过推理了系统自动形成，也可以把某些地震预报专家的书面意见，通过数据库管理子系统存入本库。其中存储的内容包括预报的地区、时间、震级大小、预报人（或某预报系统）及预报时间等，同时还包括推理结果中的各种分布图。

7. 证据获取子系统

它对观测数据进行各种处理，然后根据参数库提供的信息对处理结果进行判别，确定是否有异常，如果发现异常，那么把异常有关信息（证据）存入证据库。但异常自动识别是一项非常困难的工作，它涉及到各种数据处理方法及模糊判别和模糊决策等技术问题，关于异常自动识别方法和技术也是地震预报工作者们正在探索和研究的课题。

8. 学习子系统

学习子系统根据证据库中的异常信息及地震数据库中的地震记录寻找二者之间的关系。目前主要采用三种方法：模糊联想记忆 FAM (Fuzzy Associative Memory) 的学习方法；BP 神经网络学习算法（即反向传播算法）；由专家指定特定的有序前兆现象，然后统计其与地震的对应概率，将概率高的规律作为知识存放在知识库中。

9. 推理子系统

推理子系统根据知识库中每条经验所需的条件，到证据库中去寻找，也就是将知识库与证据库进行匹配，如果匹配成功，那么发生地震的结论就成立。在匹配中要判定时间顺序。前面提到，地震预报的经验不是一条，而是几十条甚至几百条，因此对于同时匹配成功的结论，必须进行空间、时间和强度三维空间的合成。在每一维空间中，将它们分成若干个小单元，然后把发震信度平均分配到每一小单元中。对于每一单元，如果有多条结论重叠，那么用 MYCIN 不精确推理的算法将其合成。对这些经验之间的相关性问题的，可根据相关系数进行校正。

10. 数据库管理子系统

本子系统对所用到的各种数据进行统一的管理，如数据记录的录入、删除、修改、转储及报表打印等。

三, 使用情况

上述系统将人的经验形式化后存入知识库中, 同时把有关的数据或异常信息存入数据库中, 然后进行推理, 它所得出的结论基本上与人的综合结果是一致的, 但它更直观、更定量化一些。如 1994 年底利用“地震预报智能决策支持系统”对 1995 年地震趋势进行了预报, 结果 1995 年在全国发生的 5 级以上地震有 80% 落在该系统所预报的范围内, 比人综合的效果更好一些。因此可以说, 这些系统在日常的预报工作中发挥了一定的作用。

地震预报仍然是一个世界性难题, 本例用人工智能方法研究地震矛盾更是一项探索性的工作, 需要不断地摸索和研究, 在实践中不断丰富、完善并创新。

§ 7. 5 地理信息系统的管理应用

7.5.1 对信息全面管理是现阶段社会的迫切需要

现代社会的管理是通过对信息的管理实现的。目前从政府机关到为企事业单位, 各种信息管理系统 (MIS Management Information System) 数以万计地发展起来, 他们在初步感受到信息管理优点同时, 又同时深深感到, 仅从属性、数据上进行管理是一种静态的管理, 没有空间信息的管理是残缺的管理。以城市管理为例, 负担大、中、小城市数万至数百万居民每天的食、住、行的市政公用企事业单位如水、电、气、公安、消防、交通、电话等经受着越来越大的压力: 政府和居民对他们的要求越来越高; 设备总量、种类、型号、各种复杂情况越来越多, 服务年限也久远, 其资料堆积如山, 不采取信息管理上的有力措施, 必将遭受不可估量的损失。而这些管理无一不与空间信息有关。

对信息的全面管理, 对于广大的企事业单位而言, 首当其冲的就是自动制图和设施管理的 GIS, 即 AM/FM (Automatic Mapping/Facilities Management) 类型的 GIS。

对于城市的生命线水、电而言, 生产和管理上的矛盾主要有下列 3 个:

1. 用纸质图册管理供水、供电网设备有关资料的传统方法, 使资料更新、保存及信息的查找、分析都极为不便, 并且易丢失损坏及存储开销增大, 资料也不易发挥作用。

2. 线网改造工作量大, 资料图纸更改频繁, 更新周期长, 资料、图纸滞后实际, 使用、维护脱节。

3. 各生产部门为解决资料滞后的问题, 不得不自行收集、保管所需相关资料, 数据一致性、完整性无法保证, 增加查验工作量, 也造成一定的危险和矛盾。类似问题, 其它部门企事业也普遍存在。

7.5.2 万像电子地图集系统对供水信息的解决方案

一, 武汉供水信息概况

武汉市是人口近 600 万的大型城市, 其日供水达 300~600 万吨, 全城面积跨 9 个 1: 5 万图幅, 36 个 1: 1 万图幅, 3200 多幅 1: 500 图幅, 供水管线达

2000 多公里，有大型阀门数万个，水表几十万个以及庞大数量的消防栓及其它附属设备。其最老的管线已近 90 年，年代久远，其供水系统在全国规模仅次于上海。其历史资料堆积如山。面对如此巨大的数据群，多年来，武汉市自来水公司建立了众多数据库，但是它们是残缺的、静态的，不能适应需要。

二，“万像”系统解决方案

95 年底，他们采用了 WIN95 及 WIN/NT 4.0 下的“万象”电子地图集系统解决以上问题，进行了：

①扫描建立电子图集。对于复盖城区 1: 25 万、1: 5 万、1: 1 万、1: 2000、1: 500 各基础图集，采用扫描建库，并加以必须的图象处理和适当编辑修描，效率高、质量好，历时不到 4 个月，即完成 3300 幅基础图的集成。

②建立以图形为索引的供水设备台帐数据库。对查核、修改后的设备卡片图纸都进行，这一转换工作也是以扫描方式完成的，设备图以设备编号（关键字）独立存储。这一工作与原单位已建设备（数字）数据库各设备 1-1 对应，并建立联系。

③在电子地图集上标绘入各设备的空间位置，并使之进入专业数据库，这是与一般矢量 GIS 作用与功能相当的空间数据库，并与设备台账数据库建立联系。

④在上述数据的基础上，“万象”系统自动建立设备之间的拓朴关系。在这基础上，一个包含 3300 幅基础底图范围的供水信息系统，已在 98 年元月武汉市汉阳水管所投入运行，是一个实用化系统。

三、功能

它有以下主要功能：

(1) 面向对象的图形建模工具：用来建立包含对象属性、图形符号、参数表格及其下属多媒体对象的应用模板。

(2) 网络拓朴重建。

(1) 超文本的多向交叉查询、综合查询、拓朴查询。

(4) 三维分析、缓冲区分析、连通分析、最优路径分析。

(5) 多层次、无缝图幅的矢栅连续漫游实现网络沿线追踪漫游。

(6) 任意地区、任意层次、任意位置的“所见即所得”图形操作。

7) 一些专业分析及处理：如爆管分析及处理，设台账的查询、分析、动态修改模块等。

实践表明，“万象”系统“初始化”时间比同类系统高 1 个数量级以上，由于矢量数据量相对最大限度地减小，运行效率高一个数量级，性能价格比高 1 个数量级。这对于任意地区有大量地图及图件的企、事业单位管理十分有效，企业化的管理可借助它很快走上轨道。其相应缺陷是：采用扫描集成空间“底图”，若不经处理，图面美观程度略差。

7.5.3 供电企业 MIS 的根基——雅都 EFGIS 平台

供电企业配网资料管理中也存在着前述问题。由于供电网络是一些不封闭的网络，信息管理的动态性、实时性要求更为强烈。雅都 EFGIS 主要是一个 Unix 下的 AM/FM/GIS 平台，目前也已扩展到 Windows 环境下，它成功地应用在不少供电企业，取得良好社会和经济效果。

一, 解决方案

首先使用空间数据信息管理工具将传统的供电网图册资料管理起来, 将其以电子图形的方式存放于计算机中, 即“数据转换”工作。这主要有两项内容(不包括原始资料整理工作):

(1) 建立基于合适比例尺电子地图的“电子化”电网图形资料库, 或称为将原始资料中的电力设施图件“数字化”。

(2) 建立以图形为索引的电力设备参数数据库(设备台账数据库)。

由于供电部门的供电网设施资料经过多年积累而成, 数据转换的工作量将是相当可观的。而这些资料又在不断变化之中, 因此, 最初的数据转换工作必须在尽可能短的限定时间(初始化时间)内完成, 国内外的经验证明, 数据转换所需的初始化时间的长短将直接关系到系统建设的成败。

要想缩短初始化时间, 必须同时投入大量人力进行协同作业, 以完成数据转换。显然, 这就要求所采用的空间数据信息管理工具能提供协同化操作环境(简称“协同操作环境”), 以支持不同的操作人员能同时输入电网图形数据。

事实上, 要满足上述要求, 一般的地学领域大型 GIS 或商用领域桌面型 GIS 是难以胜任的, 而 AM/FM/GIS 则正是在此类应用需求的驱动下发展起来的一种专用技术。

在 AM/FM/GIS 系统的协同操作环境支持下, 在计算机系统的核心资料库中建立一个能够反映实际供电网络设备情况的电网模型, 使各工作部门(如设计、运行、维护、调度等)的操作人员能够在自己的岗位上和生产作业过程中, 通过协同操作环境, 高效率地对各自负责的数据进行更新及维护操作, 最终使数据转换工作在较短的时间内得以完成。

二, EFGIS 特点

(1) EFGIS 的分布式协同作业控制机制是高效率的供电协同操作环境, 不同的部门可以在不同的地点、按照各自的工作习惯完成本部门负责的供电网资料的更新、录入工作, 其它部门可在各自的计算机中看到这些数据。由于 EFGIS 可同时支持数十个用户的协同操作, 所以能够在很短的初始化时间内完成数据转换工作。

(2) 在 EFGIS 系统中, 全信息电网模型充当了对实际供电网仿真模拟的角色。在该模型中, 电网的全部设备、设施的台账资料及联接关系都被完备地描述出来, 供电网络的网络拓扑关系也被同一模型所描述。另外, EFGIS 还提供了一系列基于网络模型的拓扑分析工作。

(3) 作为显示手段, EFGIS 将全信息电网模型中的设备及设施, 按其空间地理位置显示于电子地图之上, 并可打印生成有关的工程图纸。尤其是 EFGIS 的实时图形显示速度对海量图形数据的显示是至关重要的。

(4) EFGIS 中的实时并发 I/O 控制机制基于实时操作系统及专用通信协议, 完成与实时系统(供电网 SCADA)的数据通信操作, 以保证系统的 I/O 能力能够满足具有实时特点的生产操作的要求。

目前, EFGIS 已成功地应用于广州中区供电局、北京城区供电所等部门, 获得了用户的好评。另外还有若干个供电局采用的 EFGIS 系统正在建设之中。EFGIS 的初步成功说明了国产 AM/FM/GIS 软件不仅在适应国情、满足实际应用需求、技术支持等方面超过国外大型 GIS 系统, 并且已经在软件系统构造技术、软件系统功能方面具备了与国外大型 GIS 系统正面竞争的實力。目前, 它的主要缺点是更新和输入数据工作量仍显较大, Windows 环境下, 功能仍很受限制。

实践表明，管理是 GIS 最重要应用领域之一，GIS 作为质、数、时、空信息的统一管理者能够使用于各行各业、深入到千家万户。

§ 7. 6 地理信息系统的规划应用

城市是一个区域经济和文化的中心，在国民经济和社会发展中起着重要作用，城市化及城市环境、住宅、交通、社区等都已成为人们关注的“热点”。2000年，世界上已有一半以上的人生活在城市，另一半人也与城市关系更加密切。因此，城市规划在国家经济和社会发展中处于重要地位。

规划是对一地区未来的整体建设作发展的计划，它综合经济、政治、社会、文化、交通、卫生、安全、生态环境等因素来制定城市建设的准则，科学系统地进行规划工作是一件非常困难的工作。GIS 在这一工作中是一个有力的工具。

7.6.1 GIS 用于规划工作的优势

采用 GIS 进行规划具有几个主要的优势：

1. 收集资料的全面性、详尽性；
2. 分析上的全面性、客观性、有效性；
3. 规划资料、分析信息、最后结果的可视化及制图的质、量优势及便利性；
4. 规划资料管理及实施上的便利和有效。

应该明确，城市系统是一个非常复杂的大系统，GIS 在城市规划上的使用只是提供了一个辅助的工具，目前为止，一个完善的、全面的用于规划的 GIS 还不多见，下面所介绍的淄博市规划方面的例子也正说明了在这方面的一个实验工作。

7.6.2 城市规划系统建立的若干原则

系统建设强调下面三个原则：

合法性：严格遵循国家的地方对规划工作一系列政策、法规，并以之来安排各种相应指标。

实用性：确立以应用为主要目标的思路，从实际出发，以解决实际应用问题为主。

先进性：在技术方法、系统配置以及运行管理方面应具有一定先进性。

重点突破：企图解决所有的规划问题是不现实的，只能重点突破，取得成效，才是正确的发展途径，规划工作是牵涉面很广，且有多种因素相互复杂影响的工作，一个系统一次要解决系统在明确的目标定位基础上，重点解决突出矛盾和主要问题。

7.6.3 GIS 规划应用实例————淄博市规划咨询信息

系统的研制及实践

一, 系统建立的目标和原则

《淄博市规划咨询信息系统》是采用 GIS 技术, 结合淄博市规划建设技术咨询中心业务, 在 Intergraph 的 MGE 平台上建立的以规划管理工作咨询为目的的系统。

二, 系统的功能与结构设计

包括二个子系统: 详细规划咨询子系统和建筑工程规划子系统。具备功能如下:

(1) 用户咨询申请管理, 系统可以对所有申请成果进行随时的查询、修改和输出;

(2) 各类图形随意、灵活的调用、浏览, 按任意图层, 任意范围叠加显示和输出; 三维景观。

(3) 图形数据多种方式查询、统计、显示和输出。

(4) 建立多种规划模型, 实现各种规划技术指标的自动计算。

(5) 根据输入的申请条件, 查询、分析各种数据信息, 自动产生申请结果。

(6) 为增加系统的安全性, 两个子系统分别建立系统用户管理功能。

(7) 建立形式新颖、美观的各种方便、灵活的小工具, 使系统的操作更加容易、流畅。

在建筑工程规划设计过程中, 需要考虑许多条件, 如: 退用地红线距离、退建筑红线距离、建筑限高、建筑间距等, 而这些条件需要考虑到许多复杂的情况。如建筑间距: 分南北建筑间距、东西建筑间距两种情况, 在计算建筑间距, 还要考虑到建筑的类别、高度、宽度、两建筑夹角等因素, 若用人工查询、计算这些条件, 非常费时、费力。为此系统建立了各种技术指标的计算工具, 从而简化人员的计算工作。

系统由 8 个功能模块组成: 咨询申请管理、图种图层显示管理、图形属性查询统计、规划技术指标计算、规划设计条件生成、图形编辑更新输出、报表产生编辑输出和系统操作用户管理。

三, 系统功能结构见图 7-8。

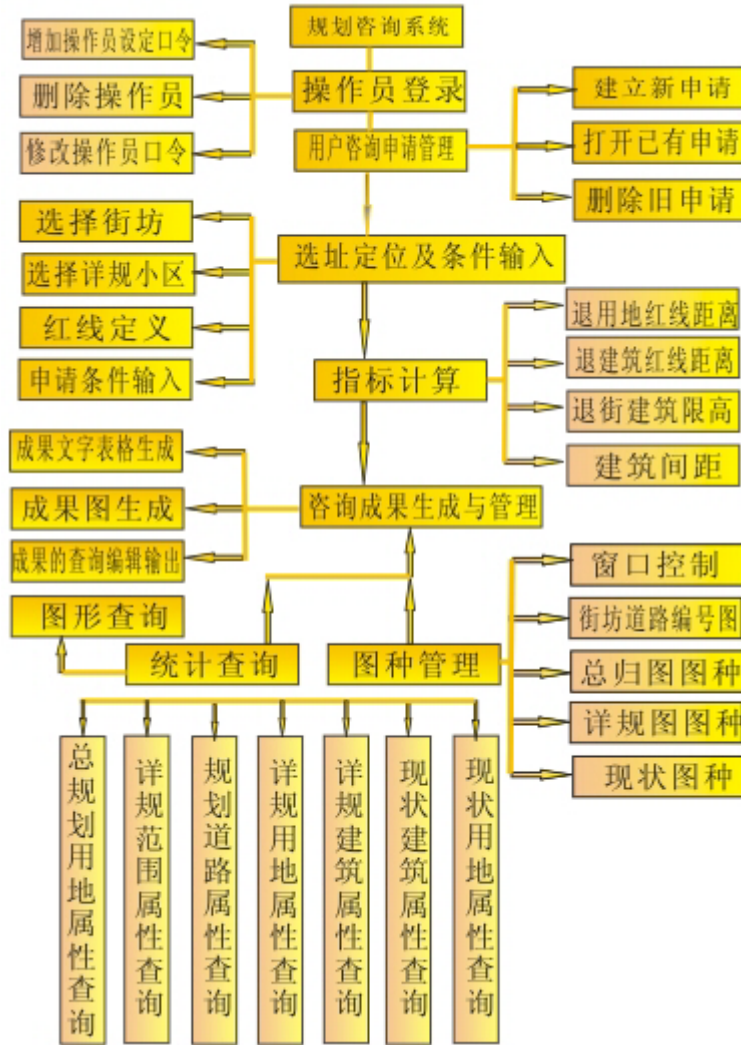


图 7—8 系统功能结构图

四, 系统软硬件配置



图 7—9 软硬件配置

系统软件结构如：[图 7-9](#)。

系统硬件配置采用服务器多台微机连网的工作模式。服务器上运行 ORACLE，管理系统的属性数据。GIS 软件服务于系统的数据维护并直接服务于规划工作。微机与服务器连成 PC 级网络，一部分微机主要负责系统图形数据的录入和更新处理工作，另一部分微机直接服务于规划咨询自动化工作。

五, 空间信息数据库的建立

1) 全要素地形图数据库

地形要素的分类编码方法为：

地形信息共分为九类，并依次划分为小类、一级和二级。分类代码由四位数据组成，其结构为：

X X X X

大类码 小类码 一级代码 二级代码

九大类信息为：

第一类：测量控制点 第二类：居民地、垣栅等

第三类：工农建筑及其设施 第四类：交通及附属设施

第五类：管线及附属设施 第六类：水系及附属设施

第七类：境界 第八类：地貌和土质

第九类：植被

在地形数据采集过程中，根据编码把地形要素设置为不同的层、色，并把它设置为唯一的分离信息，这样有利于图形的分类显示和提取。

2) 专题图数据库的建立

专题数据库包括各类现状数据（如现状道路，现状建筑，现状用地）和各类规划数据（如总体规划，规划道路，规划用地等）。现状信息可从基础地形数据库中提取，建立各种现状图库；各种规划专题图由数字化仪或扫描仪输入图形元素。这些图形元素只表示出元素的空间位置。

建立各种图形库后，对于具有属性数据的元素，完成属性结构定义后，建立属性与图形元素关联。进行属性数据录入。

六、系统特点

① 在系统建设模式与思路上

目标定位明确、合理、准确。系统强调了辅助决策尤其是在城市规划管理中比较关键的城市规划条件提取等方面的内容，取得了明显的社会效益和经济效益。

系统采用中文 Windows NT 操作系统，以优秀的模块化 GIS 软件 Intergraph MGE 和 MicroStation 为开发平台，用 Oracle 数据库系统管理属性信息，采用网络化运行方式。

基于微机平台

② 系统功能与开发上

采用模块化的管理运行方式，便于系统的集成和分解，有利于系统的功能扩充。

对系统中大量的基础地形图、专题图、背景图等进行合理地组织和控制，使各图种的调用、显示灵活方便，运行流畅。

对图形数据、属性数据进行任意地交互式查询、显示和输出。

对用户咨询申请进行严格地管理，保存每个申请的查询结果和工作环境，简化了操作员的工作。

完成各种规划指标的计算和输出。

三维景观模型的初步建立。

符合城市规划法要求，满足各种规范要求。

§ 7. 7 地理信息系统的决策应用

7.7.1 决策应用的特点

地理信息系统是资源和环境科学的先进工具，它主要研究人和自然。随着人口的快速增长，人类社会和经济活动的广度和深度空前加剧，对资源的大量消耗，人和自然的关系趋于紧张，人和自然这样的统一体经常失衡。所谓宏观决策其最终的谋求人与自然的协调，谋求发展与资源环境的协调，是持续发展的道路。因此它的特点从空间上讲就是一个大的区域，从时间上讲为大的区段，从范畴而言就是社会、经济自然多领域，多因素，从状态而言就是动态性，从目的而言就是目标最优化。

7.7.2 对决策应用的GIS的要求

当前科学技术新的水平与发展趋势，要求决策应用的GIS能够

一，具有“3S”集成的空间技术：全球定位系统（GPS）是在整个地球环境中准确的信息空间定位的技术，遥感（RS）是资源和环境领域大范围、高效率，收集现时空间信息的有效手段，而GIS是对大量空间信息进行整理加工，分析的有力武器，只有把收集、定位，综合分析各部分集成起来，空间信息才具有广泛性，完整性、现时性，才能显示充分的物化力量。

二，网络技术的支持，尤其是分布式网络。

地理信息从空间角度看，它是按照区域不同来出现，从特性角度看，它是分属于不同专业，不同性质特点的；从采集、组织、更新保存及使用而言总是条、块分割。

这些特点就是分布的特点，它永远存在。因而网络的支持，尤其分布或网络的支持是至关重要的。

三，智能化决策支持，要将专家群体、区位数据结合起来，将社会和自然各种环境和模型结合起来，必须采用人工智能，在空间数据库和知识库的基础，进行规范性而又创造性的科学思维和动态模拟的深加工。

（四）广泛的多媒体技术，使复杂的决策全过程更是人性化，更形象、具体、逼真、亲切、而又更方便。

7.7.3 宏观决策实例——常州市发展预测及相应住宅规划

一，研究简介

应用新的技术和手段进行城市形态变化研究，为未来的城市发展规划提供依据是非常有意义的一项工作。此例应用一个以GIS为主体的城市模拟系统，把预测城市人口增长的数学模型和地价评估系统与GIS的空间数据处理与分析功能密切结合进来，并以此为基础，系统地模拟和分析城市不同的发展政策因素对城市未来形态的影响。

整个模拟系统有四部分组成（模拟系统的基本逻辑结构见图7-10）：第一部分是人口预测。运用数学模型预测出城市居住人口。第二部分是地理数据库。贮存住宅与用地单元。第三部分可开发住宅单元开发次序的确定。通过对影响可开发

住宅单元地价和建造成本各因素的空间相关分析,计算出各可供住宅单元的开发住宅的收益,确定可开发住宅单元的先后顺序。第四部分预测是把居住人口分配到可开发住宅单元,并引起城市边界变化。按计算出的可开发住宅单元的收益大小先后把需要住宅的居住人口分配到可开发住宅单元上去,新增加的居住用地单元改变了现有城市的边界。

二,常州市城市形态变化研究

1. 人口发展预测

人口发展规模预测是城市规划的重要组成部分,影响着城市的建设用地规模、布局形式和基础设施建设,将直接影响城市规划的合理性和经济性。

按以下二种方法进行预测

(1)用综合平衡法预测城市人口规模公式为:

$$Y_n = Y_0(1+K+Z)^n$$

自然增长率的选定:

根据国家计划生育政策,结合常州近几年的自然增长率及近、远期人口的年龄构成,选择人口的自然增长率近期为 K1 为 5‰,远期 3‰。

机械增长(迁移增长)率的规定:参照历年;增长率和今后经济发展,选择:

近期机械增长率 Z1=18‰

远期机械增长率 Z2=14‰

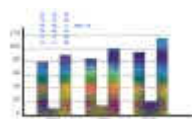


图 7-9 常州市人口预测



图 7-10 模拟系统的基本逻辑结构

	A	B	C
	1994	2000	2010
城市常住人口	80	85	95

(万)			
城市暂住人口 (万)	10	15	20
城市人口规模 (万)	90	100	115

图 7-9 附表

1995 年基期人口为 $Y_0=90$ 万（1994 年基期人口为 82 万人，其中暂住人口 11 万人，1995 年原武进划入四个镇有人口列入计算后为 90 万人）。

近期（2000）人口规模 $Y_{2000}=90 \text{ 万} \times (1+5\%+18\%)^5=100$ 万人

远期（2010）人口规模 $Y_{2010}=Y_{2000} \times (1+3\%+14\%)^{10}=121.3$ 万人。

用平衡法预测常州市区城市人口规模的近期为 100 万人，远期为 121 万人。

(2) 趋势外推法：

公式为： $Y_n=Y_0+C(n+1)$

其中 C 年均人口净增值数

年均人口净增数 C 值的确定：

$C_1=1995\sim 2000$ 年年均人口净增参考近十年人口净增长数和发展, 近期年净增人口为 1.6 万人。

$C_1=$ 远期（2001-2010）年均人口净增长为 1.4 万人，按公式推算如下：

近期： $Y_{2000}=90 \text{ 万}+1.6(5+1)=90 \text{ 万人}+9.6=99.6$ 万人

$Y_{2010}=90 \text{ 万}+1.4(10+1)=99.6 \text{ 万人}+15.2=114.8$ 万人

由此，按趋势外推法，近期人口规模为 99.6 万，远期为 114.8 万人。根据趋势外推法和综合平衡法，以及环境容量等因素，综合确定近期、远期城市人口规模

如 [图 7-11](#)。

2. 地理空间数据库

它的基本功能是用 GIS 来储存与居住地的供给有关的数据, 它的内容包括：

表 7-3

数据层	数据叠加形式
常州市规划区界线图(略)	多边形
常州市用地现状图(略)	多边形
常州市主要道路分布图(略)	线 buffer
常州市河流分布图(略)	线 buffer

常州市大气污染源分布图(略)	点 buffer
常州市工程地质分区图(略)	多边形
常州市历史文化古迹分布图(略)	点 buffer

把这些地图层作叠加,就相当对整个城市地理空间用多个变量进行划分。其结果就是整个常州市市区被分成大大小小的多边形。这些多边形被称为“可开发住宅单元”它是模拟人口空间分布的基本分析单元。

文物保护,批准公布的 48 处,省级 13 处按点 buffer 半径 6 米设置(规划要求本体周围 20 米保护区),市级 35 处 BUFFERER 半径按 3.5 米设置(规划要求本体周围 10 米保护区)

表 7-4

道路类型 TYPE	道路红线宽度 (M)	建筑后退红线距离(M)	STREE-ID	DIST (M)
快速路	50	20	81	35
交通性主干道	40	15	82	25
生活性主干道	36	10	83	22
次干路	24	8	84	16
一般道路	15	5	85	10

LOOK UP.TABLE (查询表)

大气污染源点 BUFFER 按污染程度半径分别设置为 40, 30 和 20 米。

3. 可开发住宅单元收益计算

单位土地面积住宅开发收益是通过下面方程式计算:

$$M=R-\Sigma C \quad (1)$$

M 每单位土地的开发收益

R 是每土地上所建造住宅的售价

ΣC 是每单位土地上所建造的住宅的造价:地价、基础配套费、税金、建造费等。其中地价的影响因素较多(见图 7-12),也是确定开发收益的关键。为此,系统采用特尔菲法,设计了专家对上述因素权重打分调查表,然后分别采用加权和法确定商服中心范围、商服中心级别、商服中心功能分、商服中心服务半径、道路通达度与影响半径、公交便捷度对外交通便利度、生活设施完善度等因素影响作用总分值。然后按各单元的总分值的分布排列和实际情况,确定单元地价。然后确定可开发住宅单元收益。



图 7-11 确定可开发住宅单元地价因素

§ 7.8 Web GIS

自从 60 年代 GIS 诞生以来，GIS 以“星火燎原”之势在世界各地迅速发展。九十年代以后，地理信息系统在研究、开发和市场化方面取得了很大的进展。

90 年代 IT 技术最引人注目的进展就是 Internet 的普及发展。它推开了网络时代的大门，为社会带来了巨大的发展空间。同时，它使应用系统的计算体系结构更容易走向分布化，使得 GIS 的认识论和方法论都发生了一些改变。随着用户对网络地理信息的需求日益增长，互联网络上的地理信息系统应运而生，产生了很多相应的网络 GIS 技术产品。目前突出的一个就是 Web GIS。

7.8.1 Web GIS 原理

Web GIS 是建立在 Web 技术上的一种特殊环境下的地理信息系统。其本质与一般的地理信息系统没有区别。但是由于早先的 GIS 一般在网络功能上比较差，因此建立在网络环境下的 Web GIS 一出现就受到了很大重视。

Web GIS 也称为 Web-based GIS，是建立在 Web 技术之上的一种特定领域的应用。Web 的全称为 World Wide Web，一般简称为 WWW 或 Web。它是目前 Internet 上最重要的应用技术之一。Internet 从 1969 年美国国防部国防高级研究计划署资助建立的 ARPANET（“阿帕网”）开始，发展到今天，诞生了很多软件技术和产品，如 TCP/IP、FTP、EMAIL、BBS、网络新闻组等。但是最流行的应用技术还是 Web。目前在网站建设、电子商务和大型应用系统的建设中都离不开 Web 技术的应用。

一、Web 原理

在讲解 Web GIS 之前，首先需要简单解释一下 Web 的原理。

Web 技术是一种特殊形式的客户/服务器体系结构，由 W3C (WorldWideWeb Consortium) 这个国际组织来维护相关的标准。其中，在客户和服务器之间通过超文本传输协议 HTTP(HyperText Transfer Protocol)交流信息。HTTP 是建立在 TCP/IP 基础上的一种高层网络应用协议。服务器一般采用 WWW Server，也称为 HTTPd (HTTP daemon)。客户端一般采用流行的通用浏览器 (Browser)，如 IE、Netscape 等。简单地说，Web 的原理就是用浏览器下载服务器管理的文件并显示出来。浏览器通过统一资源定位符 URL (universal resource locator) 来访问服务器并请求取得文档。

URL 分三部分：一是通讯协议；二是网络主机名（或 IP 地址）和端口号，默认端口号一般省略不写；三是文件在主机上的绝对路径名称。绝对 URL 地址包括完整的三个部分，相对 URL 地址只包括文件在主机上的相对路径名称。

例如 `http://java.sun.com/index.html` 和 `http://www.wtusm.edu.cn:8080/maps/gis.gif` 是绝对 URL 地址，只写 `index.html` 和 `gis.gif` 就是相对 URL 地址，`http` 是通讯协议，`java.sun.com` 和 `www.wtusm.edu.cn:8080` 是主机名和端口号。

浏览器通过指出网络文件的 URL 地址就可以直接获取服务器上存储的文件。这些文件名称中带有不同的后缀。浏览器根据这种后缀的类别对文件内容进行识别和解释。这种后缀类别经过 W3C 标准化后形成了统一标准，被称为 MIME

(Multipurpose Internet Mail Extensions, 多用途 Internet 邮件扩展映射)。*.HTML、*.GIF、*.WAV 等都是常见的 MIME 格式。其中最重要的是超文本标记语言 HTML (Hypertext Markup Language) 文档，对应的 MIME 文件名为 *.html 和 *.htm。HTML 文档是对一种增强版本的 ASCII 文本。它在文件中加入各种以 “<...>” 形式标记的标签，进行各种字体、图形、表格等要素的显示控制和说明。

一个 HTML 文件习惯上称为一个页面。一般在页面内实现点击后跳转到其它页面时，大多使用相对 URL 地址。但是 HTML 过于简单，随着 Web 内容的形式多样化，越来越显得不适应，于是出现了很多新的改进方法。

以下是一个 HTML 文件的例子，浏览器效果见图 7-13。

浏览器的软件内部包含了 MIME 文档的解释器。当接收到服务器通过 HTTP 传来的文档时，浏览器通过 MIME 来识别文档的类型，并调用相应的解释器来解释服务器发来的内容。例如收到 *.GIF 文件就会按图像来解释，收到 *.HTM 或 *.HTML 就按标记语言的语法解释出内容。这种 MIME 解释器随着浏览器开发商的不同而有很大变化。例如 Netscape 对 MIME 的解释基本上都依赖浏览器自身的功能，而微软的 IE 则捆绑了自己操作系统的功能来解释。因此同一个页面文件在不同的浏览器上显示出的外观会有些差别。

Web 技术原本是一种通过网络直接访问和浏览以文件形式存储的数据的技术。早期只能访问静态的文本和图像文件，后来该技术思想得到广泛的传播、发展和利用，目前已经实现了对多媒体数据、动态数据、实时数据和数据库等数据的访问。

二, WebGIS 的实现

Web GIS 也是利用上述原理，通过浏览器访问服务器上的地理信息文件。不过，一方面浏览器需要增加解释和显示 GIS 数据的功能，另一方面，服务器需要具备动态产生 GIS 数据文件的功能。随着 Web 技术的发展，具体的过程越来越复杂。

由于 MIME 没有 GIS 数据格式，因此在 Web GIS 发展的早期，需要在 WWW Server 端事先把 GIS 信息转换为 GIF 或 JPEG 图像和文字信息，组织在 HTML 文件内。当用户通过浏览器访问这些页面文件时，地理信息以图像和文字的方式传输给客户端，达到用浏览器访问地理信息的目的。开始只能预先在服务器上存储静态的地图图像文件，很快出现了动态生成栅格地图文件的技术。但这种方式受制于 HTML 语言的限制，用户对交互操作的能力很弱，而且纯图像方式也不太适合一些 GIS 的深入使用。后来随着 WWW 技术的发展，Web GIS 实现了矢量地图文

件的传输显示，目前已经可以实现把传统 GIS 的全部功能搬到 Web GIS 上。

Web GIS 的发展依靠了 WWW 技术的快速发展进步，其实现技术的重点是加强浏览器显示操作地理数据的功能，同时加强服务器读取 GIS 数据库的功能。

第一种 Web GIS 的实现原理是利用客户端浏览器的扩展技术。

首先是利用浏览器厂家开放的数据解释功能。各浏览器厂家除了在浏览器软件中内置了 MIME 解释器以外，还为第三方软件开发商提供了开发 MIME 解释器的预留开发接口。这为 Web GIS 开发浏览器接收解释专用 GIS 数据格式和执行特定功能提供了机会。很多浏览器支持 Plug-in 技术，也称插件，这是最早向第三方软件开发商开放的浏览器功能扩展接口。针对解释特定 GIS 数据格式的 Plug-in 程序被编译后，放入浏览器指定的位置，浏览器启动时自动加载入内存。当浏览器接收到指定类型的 GIS 文档时就交给这些插件处理，完成 GIS 数据的解译。例如，Autodesk 公司首先利用 Plug-in 实现了浏览器对 AutoCAD 的矢量数据的访问，后来又开发了 Web GIS 产品 Mapguide。浏览器先自动下载一个 GIS 控制信息文件 mwf，由浏览器本地的 Plug-in 解释，根据其中的控制需要再分别下载实际的 GIS 矢量、栅格、属性等数据。这种方式需要提前在浏览器端安装插件程序。

当 Java 语言兴起以后，又出现了一种灵活的浏览器功能扩展方法。现在很多浏览器内置了 Java 语言的解释器，可以解释服务器传来的 Java 代码。Java 的这种代码叫 Applet，预先编写的程序以 *.class 的文档方式存储在服务器上，当用户下载的 HTML 文件中包含了这种 Applet 程序的引用标记时，浏览器自动向服务器申请下载这个程序。于是 Applet 程序从服务器移动到浏览器端，被 Java 语言解释器解释执行。这种技术路线已经被很多 Web GIS 所利用。一般在 *.class 中都首先包含了一个 GIS 交互操作界面，供用户操作、激发和下载其它 GIS 功能和数据。例如在 <http://www.rcgis.wtusm.edu.cn/wwwgis/Geo11/default.htm> 文件内包含这样一个语句：<APPLET CODE="wwwgis.class" WIDTH=610 HEIGHT=360></APPLET>，就可以让 GIS 程序动态下载到客户端执行。

另外一种方式是在微软环境下，利用 ActiveX 技术来实现，其原理与 Java/Applet 的程序下载执行原理一样，ActiveX 程序编写好后存储于服务器上，跟随 HTML 下载到用户端。例如在 HTML 内加入 <object ID="MBWebGis" WIDTH="100%" HEIGHT="100%" align="center" CLASSID="clsid:C892ADFB-7E50-11D3-9B16-D85D20115343" CODEBASE="mbWebGis.cab #version=1,0,0,4"></object>，可以下载 ActiveX 程序。不同的是 ActiveX 程序会在用户端自动与操作系统的功能融合在一起，具有操作本地文件的能力。而 Applet 不能读写用户端的文件，也不能在用户端长久保留，每次调用 HTML 页面都要重新下载。微软的产品（IE 浏览器和 IIS WWW 服务器软件）由于有微软强大的操作系统支持，很容易实现这种方式。

由于 HTML 缺乏适合 GIS 的数据描述，所以在目前 Web GIS 技术中，扩展浏览器的功能成为加强用户端交互能力和 GIS 数据格式多样化的重要实现方式，可以使浏览器提供与普通程序一样丰富的人机交互界面。

第二种 Web GIS 的实现方式是利用 WWW 服务器端的功能。

Web Server 的产品很多，主要功能是负责接收用户端浏览器发来的请求，然后调用相应的服务功能，最后返回结果。早期的 WWW Server 功能很简单，只是直接调用预先静态存储的 HTML 文件返回给用户。后来 WWW Server 的功能越来越复杂，逐渐演变成为浏览器访问站点内部的相应服务器群的共同关口，WWW

Server 联合其它的专用服务器来回答浏览器的请求，既分担了负载，又扩展了服务的内容，增加了动态性和灵活性。目前最常见的是数据库服务器与 WWW Server 的配合使用。由于 WWW Server 功能的独特性，目前它在与其它服务器的连接上存在一些效率问题，人们正在积极解决和改进。

由于 WWW Server 最主要的功能在于应对单位时间内大量客户对页面文件的快速访问和及时反馈，因此一般其它的服务都交给专业服务软件来配合完成，以减轻 WWW Server 软件的负担。GIS 软件也是属于这种专业服务软件之一。

WWW Server 一般都采用成熟的商业产品，目前还很少有定做的。因此在 WWW Server 和专业服务软件之间一定要存在一个中件，这个中件承担着 WWW Server 和专业服务软件之间的通讯桥梁的作用。

早期技术上，这个中件多使用 CGI 方式(通用网关接口, Common Gateway Interface)。CGI 是一种独立存储可执行的程序，加上执行参数后放在 HTML 页面的标记内，通过浏览器端的点击操作，激活 WWW Server 端的 CGI 程序。

例如，在用户看到的页面内的放大按钮下放置这样一句链接标记：`Zoom Out`，就可以获取远程指定范围的地图。

CGI 一般通过操作系统的输入输出管道建立 WWW Server 与 GIS 服务软件之间的联系。后来还发展了很多中件技术，如 WWW 服务器专用的 API(如 ISAPI、NSAPI 等)，可以较高效率地解决 WWW Server 与 GIS 服务软件的信息传递和功能调用。现在由于 WWW Server 和专业服务软件越来越专业化和多样化，这种中件技术也越来越与双方的服务软件甚至与操作系统紧密结合，中件的效率越来越高，出现了很多新的实现方式。

无论中件如何解决效率和通讯问题，复杂的 Web GIS 都需要一个 GIS 服务软件来管理对 GIS 数据的访问。早期的 Web GIS，在服务器端主要使用一个画图服务软件。当它收到中件传来的参数后，迅速从 GIS 图库内查找和切割数据，把结果画在一张 GIF 上，嵌入一个 HTML 页面，交给 WWW Server 返回给用户。用户看到的 GIS 数据都是以图像方式传来的信息，在可操作的图形和按钮等处隐藏一些 CGI 请求和参数。后来浏览器使用前边讲的技术扩大了数据接收的形式，很多交互功能放在浏览器端进行，WWW Server 后台的 GIS 服务软件集中于反馈更多的专业信息以方便浏览器独立操作。于是 GIS 服务软件向提供更复杂的功能方向发展，如提供地图投影、统计、分析、编辑、录入等各种功能。

几乎所有大的 GIS 商业软件都在向 Web GIS 上靠拢，目前商业 Web GIS 产品一般都实现了地图的提取显示、简单的检索、放大缩小、漫游等各种功能，但分析功能还很少，多处于信息抓取(retrieval)的阶段。从原理上讲，Web GIS 的服务软件可以实现任何常规的 GIS 功能，主要的障碍在于多用户的并发访问、对服务器系统资源的消耗和响应的速度等方面。

在实际中，经常把第一种和第二种方式结合起来应用，从客户和服务器两方面着手提高 Web GIS 的实用性。

当 WWW 服务器与 GIS 软件或 GIS 数据建立联系后，能对浏览器做出应答，把 GIS 数据以某种浏览器能识别的形式反馈回去，实现浏览器对远程地理信息的访问时，这就构成了基本的 Web-GIS 框架。

7.8.2 特点和意义

由于发展速度很快，出现的时间很短，Web GIS 本身实际上还处于发展和变动之中。Web GIS 具体的概念和内涵都存在很多不同的理解目前，Web GIS 一般都是指利用通用浏览器访问一个 WWW 服务站点，激活后台的 GIS 服务软件，获取 GIS 信息。而常说的 Internet GIS 或网络 GIS 应该范围更宽一些，是泛指 GIS 在一种网络环境下的应用，不一定使用通用浏览器操作 GIS 数据。

因此，综合来看，目前 Web-GIS 具备以下这样一些基本特点：

1) 建立首次远程访问的传输协议采用 HTTP，建立联系以后也可用其它协议传输信息。

2) 远程地理信息的首次访问或服务启动，需要利用 WWW 服务器上的 HTML 文档。

3) 用户端一般使用能解释 HTML 的通用浏览器。

4) 远程服务器端提供地理信息服务时，把 WWW 服务器作为信息进出的重要关口。

5) WWW 使用的通用标记语言在浏览器与服务器之间的 GIS 信息通讯中占有重要地位，即使使用其它数据格式或者将来 HTML 被其它标记语言所取代，大概这一点不会改变。

目前，受技术限制和市场需求的影响，Web GIS 的主要应用功能还处于发布和浏览地理信息数据的阶段。各种 Web GIS 的具体实现方式都有其优缺点，在具体使用中要综合考虑。下面表对目前常用的一些技术方法给出一个评价。

表 7-5: Web GIS 性能和技术方法

表 7-5: Web GIS 性能和技术方法

		纯基于 CGI	纯基于 API	Plug-in	Java / Applet	ActiveX
性能	客户端要求	无要求	无	一般	一般	高
	服务器要求	高	高	无要求	一般	一般
	网络负载	重	重	轻	轻	轻
	信息传递	图像	图像	矢量多	矢量多	矢量多
交互性	整体	良		优	优	优
	用户界面	不方便		优	中	优
	功能支持	良		良	良	优
	本地数据操作	不能		可以	不能	可
移植性		好		中,与浏览器相关	好	差,仅 Windows
安全性		优秀		良	优	中
平台限制		一般无,只要 WWWServer 支持		有	无	有
代码移动		无		无	可以	可
安装				需要		自

		不要			不要	
用户群		普通大众		专业技术人员	普通	微软
并行性		取决于服务端硬件投资和 GIS 服务软件		取决于 GIS 服务软件	取决于 WWWServer 和 GIS 服务软件	取决于 WWW 和 GIS 软件

由于 Web 技术的使用特点，决定了 Web GIS 必须考虑大数量用户的并发操作问题。传统上 GIS 以文件的方式管理 GIS 数据的模式肯定不能适应这种需求。因此，需要以数据库的方式来管理 GIS 数据，为服务器上的 GIS 服务软件提供并发访问的保障。因此 GIS 厂家出现了向全数据库方式管理地理信息的趋势，不是自己开发，就是收购其它厂商的技术。数据库发展也为这种 GIS 的技术转移提供了一定条件。如商业数据库可以实现一些复杂类型数据的管理，出现了对象化关系数据库、纯对象数据库等新技术。但总体水平上讲，要满足 GIS 的矢量栅格属性数据在数据库方式下的存储检索和分析，还有很长的路要走。

从本质上看，Web GIS 的兴起，反映了网络时代的 GIS 要求，反映了信息的静态存储与动态迁移的需要。无论是 GIS 的数据，还是 GIS 的功能，都存在这种静态存储、动态迁移的需要。在便于管理、更新的服务端，可以提供 GIS 信息的管理和存储，提供高效率的功能服务单元代码的存储，而用户端不需要存储任何数据和功能，却能通过 Web GIS 让 GIS 数据和功能单元迁移到本地后自动执行。

这是一种思想的进步，也是技术文明的进步。

由于技术发展很快，HTML 已经逐步被 XML 等新的描述语言所取代，还出现了很多更灵活、更智能和更专业的信息传递语言，如 VRML、XUL、KQML 等，浏览器的功能越来越专业化和复杂化，服务器端的 WWW Server 和 GIS 服务软件变化也很快，Web GIS 的具体实现方式将越来越复杂和多样化，以满足不同层次的要求。从长远看，Web GIS 的更多意义在于为 GIS 远程服务提供了一种便捷的方式，与大众化的 WWW 应用结合在一起共同使用，成为第三代高速网络的一种重要的应用。随着网络时代的到来，信息在现代生活和工作中扮演的角色越来越举足轻重，Internet 构成了庞大的信息资源，Web GIS 将作为其中一种重要的大众化的使用地理信息的方式而得以普及推广。

典型问题

I. GIS 应用的发展阶段：

1. 早期 GIS 主要应用于自动制图，设施管理和土地信息系统。
2. 后来逐步扩展到军事、资源和环境管理，森林、草原调查，城市规划、市政管理、监测和预估等众多领域。
3. 随着 GPS 技术的成熟及与相关学科的结合，GIS 已经进入政治分析、决策，经济规划，农业耕作，公安监察，交通运输、卫生防疫、金融决策、电力、供电等所有涉及空间信息的行业和部门；从应用水平上，也从简单的机助制图，提供简单数据表格，发展到分析和解决问题办法，解决问题范围也由过去的几个图幅上升到几十、几百甚至几千幅图的范围。

2. 3S 集成的意义：

GPS 是空间实体快速、精密定位的现代化工具，GIS 是空间信息集成分析、处理的有力武器，RS 是空间信息复盖面最大最迅速的采集手段，三者的结合简称 3S 集成。GPS 在迅速发展，继美国 GPS 取得巨大成功，俄罗斯又建设了自己的 GPS-GLONASS 系统，国际民航组织和欧洲联盟也都公布了其 GPS 计划 GNSS。可以预见，全球动态实时定位可以全面进行航天、航海、航空；全球监控的时代已经开始。这必将推动 GPS 结合全球移动通信，结合 GIS，结合信息的快速采集手段 RS 工具，全球全面信息化必将出现新的面貌。

第七章练习题

- 1. GIS 发展运用有几个阶段？它们各有什么特点？
- 2. GIS 与 RS 怎样结合起来？请举例说明。
- 3. GPS 得到的信息有哪些？请举例说明 GPS 与 GIS 的结合使用方式。
- 4. 你认为什么是 3S 集成？请给出例子。
- 5. 人工智能对于 GIS 有什么意义？
- 6. 城市发展规划中应用 GIS 的意义有哪些？
- 7. 城市公用事业管理中应用 GIS 的迫切性有哪些？
- 8. 你认为地理信息系统在社会中最重要的几个应用领域是什么？给出一些项目例子。
- 9. 你认为地理信息系统与自己的生活有关系吗？请举例说明。
- 10. 你认为地理信息系统在政府决策中应该起什么作用？GIS 应该具备什么条件？
- 11. 地籍 GIS 有些什么特点？GIS 功能应如何扩展？
- 12. VR 的实际应用应在哪些领域重点推广？

第八章 地理信息系统的开发与评价

本章概述：地理信息系统，与许多其它系统一样，也是一个大型的系统工程，因此，其开发有其它系统共有的特性，更有其自身的特色，本章将讲述地理信息系统的开发方法、开发过程，并介绍 GIS 系统的评价方法和指标。

第一讲：地理信息系统的开发方法

讲述地理信息系统开发常用的五种方法，并在此基础上建议通用的原则。

第二讲：地理信息系统的开发过程

地理信息系统的开发是一个系统工程，其开发周期较长，涉及多个学术领域，包含内容十分广泛，如图 8-1，它分为系统调查分析、系统设计和系统实施、系统运行和维护四个大阶段，其中又分为若干小阶段。它们相互衔接而又互相影响，整个过程形成螺旋式上升的循环过程。

第三讲：地理信息系统的评价

系统评价是指对一个 GIS 系统从系统性能和经济效益两方面进行评价。

新系统的全面评价一般应在新系统稳定运行一段时间后才进行，以达公正、客观。

系统评价的结果是写出评价报告和改进效益措施的实施。

地理信息系统的开发与评价

本章说明

地理信息系统功能强大，应用广泛，它的开发是一个大型的系统工程。本章主要借鉴了管理信息系统和软件工程的开发思想，基于生命周期法、原型法、自底向上法，面向对象法以及新兴的演示和讨论方法，论述了 GIS 的开发过程。从系统调查分析，系统设计到系统实施，系统运行和维护，都有详细的讲解，并配有简洁的流程图表。

第一节 GIS 开发方法

内容 各种常见的软件工程施工方法

重点讲授 结构化周期法

第二节 GIS 开发过程

内容 GIS 开发过程的主要四个阶段：系统调查分析，系统设计和系统实施、系统运行和维护

重点讲授 GIS 开发的各阶段内容和任务

第三节 GIS 评价

内容 GIS 评价的目的和系统评价指标

重点讲授 系统评价指标

第一讲：地理信息系统的开发方法

本讲提纲

本讲将介绍地理信息系统开发的五种常用方法。

- 一、[结构化生命周期法](#)
- 二、[由底而上法](#)
- 三、[快速原型方法](#)
- 四、[面向对象的软件开发方法](#)
- 五、[“演示和讨论”方法](#)
- 六、[小结](#)

地理信息系统开发概述：地理信息系统具有很强的功能，具有很多方面的应用，它的开发是一个大型的系统工程，它的实践也是不断地应用实践——提高——再实践——再提高的螺旋式迂迴上升过程。一般讲来，它的开发过程分 4 个大的阶段，各阶段中间又有各种小的过程（见图 8-1）。

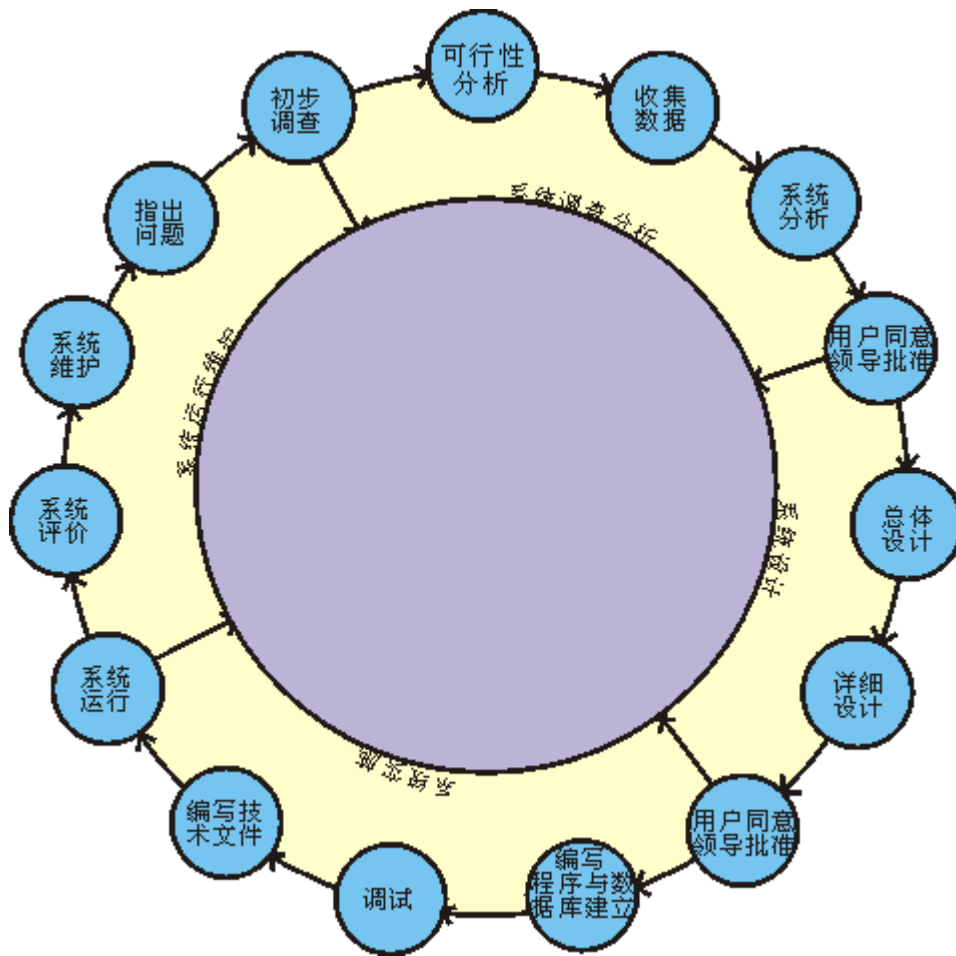


图 8-1 地理信息系统研制过程

总体上看,地理信息系统目前尚没有从自己学科总结和完善的开发方法,而基本上引入和借鉴了管理信息系统和软件工程的生命周期法、原型法、自底向上法及面向对象法,现分别予以介绍,并且也介绍近年来对开发方法新的研究“演示和讨论方法”。

小结:

上述多种开发方法,实际上都是在开发各种 GIS 系统和软件使用过的,都有其相应优点和缺点。GIS 开发是一周期较长,内容广泛,情况

复杂的大型系统过程。因此，根据实际情况，扬长避短，灵活使用最适合的方法是一个根本原则。

显然，上述各种方法都不是一成不变的，其中“演示和讨论”方法，实际上还不能算一种独立的GIS开发方法，只是一种沟通和交流的方式，各方法都能用。因此，目前建议采用方法是：

1. 树立以系统结构化开发的总观念；
2. 尽量采用最接近用户要求的现有自主产权 GIS 系统作为原型系统，可视性好、功能强的各种类型的电子地图集系统也可作为一个普通的可选的原型；
或者采用选择其它的原型，采用 OOP 组件技术进行扩充；
3. 当没有原型系统时，采用结构化生命周期结构制原型；
4. 采用快速原型方法进行实际工作，运用“演示和讨论”的可视化工作方式，尽量采用组件技术进行扩充。

以上方法总括而言就是：树立结构化分析思想，充分运用“演示和讨论”方式，尽量采用组件技术进行扩充，按照快速原型方法工作。

第二讲 地理信息系统的开发过程

本讲提纲

地理信息系统开发涉及的学科领域多、开发周期长、包含的内容复杂，本讲讲信息介绍地理信息系统开发的过程，它分为系统调查分析、系统

设计和系统实施、系统运行和维护四个大阶段，其中又分为若干小阶段。它们相互衔接而又互相影响，整个过程形成螺旋式上升的循环过程。它是由用户需求调查开始的：

一、系统的调查分析

- 1、需求调查与分析
- 2、可行性分析
- 3、系统分析

二、系统的设计

- 1、系统的总体设计
- 2、系统的详细设计

三、系统的实施

四、系统的运行和维护

需求调查与分析

需求调查与分析，是对用户及相应的用户群的要求和对用户及其群体的情况进行调查分析。用户需求调查的好坏在很大程度上决定了一个地理信息系统的成败。要集中力量，多次进行，调查层面广泛，全面调查，并留下文字资料，作为开发工作的重要档案。调查的主要内容概括如下：

1. 调查用户的性质、规模、结构、职责

应当了解用户单位工作性质，机构设置的职责，工作任务的目的、规模，以及他们系统支持的强度，并调查哪些部门，哪些人员的职责同欲建 GIS 有直接、间接关系。

2. 调查传统的处理方法

要详细了解传统方法的作业流程及存在主要问题，以便全面衡量工作广度、深度及要突破的关键技术。

3. 调查要求新系统产生的结果和可获得资料、数据的程度。

4. 调查用户对应用界面和程序接口的要求。

用户对新系统的要求必须明确、具体，有些是直接的，有些是长期的，理想性的，都要分门别类，了解透彻。对于资料应了解这些资料、数据能否足够支持新系统，及时提供程度。

5. 潜在用户和地理信息系统的潜力

在调查过程中，由于用户不一定了解地理信息系统，往往只能回答一般性的问题，提出笼统的要求。因此，未来系统究竟具备那些功能和潜力，能为那些行业服务、服务到什么水平，取得什么样的社会和经济效果，取决于设计者如何把握潜在用户的要求，在满足当前用户要求的前提下，归纳、抽象推广到更广的用户的需求。这些只有在完全调查清楚用户需求基础上才能办到。

地理信息系统从根本上是由技术市场决定的，用户需求调查即是市场调查中主要内容。

可行性分析

可行性分析是对建立系统的必要性和实现目标的可能性，从社会、技术、经济三个方面进行分析，以确定用户实力，系统环境、资料、数据、数据流量，硬件能力，软件系统、经费预算以及时间分析和效益分析。其中主要是 8 个方面：

1. 新系统的社会、经济效益分析

阐明用户部门、社会对系统需要，技术市场的状况，经济上的意义、学术上的意义。

2. 该任务的人员，质和量方面是否足以完成该任务。

3. 技术上的关键问题及难点何在？是否都能予以适当解决？解决计划如何？

4. 资料和数据总量，可获取的资料、数据清单。

逐一评估它们的现时性状况，可更新程度。

逐一评估精度等级和可利用程度，获取困难的资料、数据清单及可能清单获取的渠道。

资料、数据类型及加工方法，输入技术以及与未来系统中数据的关系。

5. 软件系统和开发能力能否切实并留有余地地完成该系统的各项要求。
6. 所能够拥有的硬件的能力能否充分保证系统的各项指标。
7. 所提供的经费是否能略有余地地保证任务完成及新系统产生效益估计。
8. 任务的时间计划表是否合理并有适度余量。

以上可行性分析的 8 个主要方面，其它具体方面必须妥善分析，可行性分析涉及大量的人力、物力、财力的去向及能否取得相应的社会效益的回报的大事。涉及方面很多，都尽量要做到全面妥善地考虑解决。

必须注意的是，对于地理信息系统这类大型工程，一般情况下制作一个关键问题的可行性实验系统是一个好的办法，也是可行性分析中一个重要组成部分。

系统分析

系统分析是系统调查分析阶段的最后一环，在用户需求调查分析，可行性分析的基础上，深入分析，明确新建系统的目标，建立新建系统逻辑模型。

这儿的逻辑模型指的是对具体模型的地理信息上的抽象，即去掉一些具体的非本质的东西，保留突出本质的东西及其联系。这儿的本质指地理信息专业概念表达。

主要进行 4 个工作：

1. 分析传统的工作流程，导出逻辑模型；
2. 把用户需求分析的集中描述，概括为系统明确目标；
3. 分析描绘新系统流程，列出逻辑模型；
4. 对系统调查分析的总结成文。

系统设计的任务是将系统分析阶段提出的逻辑模型化为相应的实际的物理模型，这是整个研制工作的核心。不仅要完成，而且要优化，即要始终考虑高效性、安全性，具有容错能力的强壮性和方便性。也即按照逻辑功能的要求，考虑各种具体实际条件和具体应用领域，进行具体设计，来完成这些要求。这一阶段，主要分为如下二个部分：

总体设计

总体设计又称功能设计或概念设计。它的主要任务是：

1. 系统目的、目标及属性确定

系统目的即是系统预期要达到的水平。

系统目标指实现目的过程中若干努力指标，属性指指标的量度。

通常目标是一个多层次的树。

2. 根据系统研制的目标来规划系统的规模和确定系统的组成与功能。

3. 模块或系统的相互关系描述及接口设计规定。

4. 硬、软件配置的环境设计。

5. 数据源评估，数据库方案及建库方法。

6. 人才培养：这包括开发人员“演示与讨论”等方式地交流与协调，更重要的是新系统正常运转与生产所需的人才培训。

7. 系统建立计划和经费预算：系统建立计划要有充足的具体条件保证，经费预算要合理。

8. 成本及收益分析：这儿成本指建设和运行新系统的资金投入，收益指新系统运行的产出。

系统详细设计

详细设计是在总体设计基础上进一步细化、具体化、物理化，主要内容有：

1. 模块设计

按照功能独立、规模适当的模块化设计方法，对总体设计中各大模块进一步分细，成为各功能小模块，并绘出它们之间的联系及各模块内容及功能，它们的算法及流程。

2. 数据分级分类及编码设计

这方面，有标准的一定尽量采用国家标准及部门标准；没标准的，要尽量靠拢相近标准，遵循统一性、系统逻辑性、准确性的原则。

3. 数据库设计：其中包括：

*a. 数据获取方案设计：*这是最基本的设计，也叫数字化方案设计，它包括，内容选取及分类，数字化中要素关系的处理原则，相应专题内容的数字化方案，作业步骤和数字化质量保证措施；

*b. 数据存储设计：*它主要指数据存储介质的选择，数据逻辑关系的设计和数据存储结构的设计；

c. 数据检索设计：数据主流的需要，设计那些方式满足对数据的需要，它们一般是属性检索、空间检索、拓朴检索、组合检索以及其它检索。

4. 输入、输出方式及界面设计。

5. 安全性设计：操作权限分级，用户分级口令的设置病毒防治。

6. 实施的计划方案：把任务分解，落实到人，提出进度要求，数据加密和考核标准，给出经费预算。数据备份等。

系统设计的主要成果是总体设计说明书及详细设计说明书。

系统实施

此阶段是把系统设计的成果付诸实施，实现能够使用的实际系统。它的主要工作如图 8-3 所示：

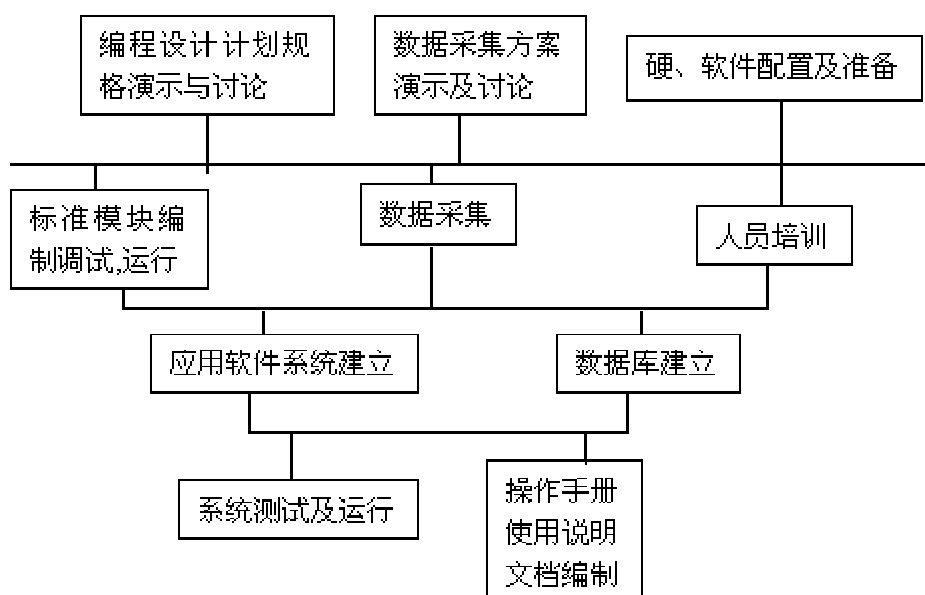


图 8-3 系统实施框图

1. 硬、软件配置及准备

根据系统设计，配置、安置，调试相应的硬件设备及所需基础及其它软件，是系统实施的物质基础。必须注意，系统设计时拟定的硬件方案往往落后于硬件的发展，此时不应拘泥于原方案，应在同等的价格基础上，灵活选用性能指标优越的硬件。

2. 人员培训

人员培训包括技术、管理、使用培训，人员培训工作其内容按系统实际进展而分阶段展开。一般首先是数字化工作的培训→使用→管理顺序。这些工作应当密切配合和服务于系统实施进行。

3. 数据采集和数据库建立

数据采集实际上是整个系统中工作量最大的一项工作。

①数字化应严格按照系统设计中的数字化方案进行，这个数字化方案必须是严格设计而又经实际考核了的；

②数据的分类分级及编码也应有严格遵守系统设计中规定，未经考虑的类别及情况应依据系统化、规范化的原则慎重研究所统一补充；

③数字化以质量为主，经验表明：不能把速度放在第一位，要好中求快，熟练后速度自然能够提高。

4、模块程序的编制、调试与运行

对这一步要求是尽量标准化和通用，并具有相应的容错性和坚固性。

①为此，采用演示和讨论，统一设计思想、规格。

②调试运行采用二套数据，一套是模拟数据，另一套是实际数据。

③所编程序按照统一格式编写程序说明，内容为：

名称

功能

使用算法

方法概要

硬件要求

使用语言

使用的外部数据

源程序语句数

设计人

使用说明

5. 系统测试

在系统实施其它部分完成以后，系统实施最后阶段进行系统测试。这个测试与模块程序调试中的测试是不一样的，它除了要测试各模块实际性能外，主要测试模块间的联系及综合起来的功能。因此测试数据要有系统性、全面性。除了要有一套模拟数据外，还要一套实际业务中数据。此外：

①要订测试计划，提供测试标准；

②要有用户技术负责人、系统设计员、程序设计员，以及运行操作员共同进行；

③测试中的各种问题要迅速组织力量，予以解决，再次进行测试，这个过程一般可能进行多次，直到用户满意为止。

6、系统文档材料的建立：

它是系统实践过程的文字总结，包括用户手册、使用参考手册、系统测试说明、程序设计说明、测试报告等。

7、系统验收：

一般在文档建好和系统测试阶段完成后，各项功能、各项指标均达到设计标准，应召集用户方领导和技术负责人、系统设计员、程序员等，对系统测试各项逐一进行，完成后由用户技术负责人签字验收。这一工作是系统正确实施的必然后果，是水到渠成，应不急于求成。

运行和维护

系统验收是系统实施的终结，运行阶段的开始，系统验收完成后，系统的运行是由用户为主来进行的。这时使用者变化了，运行数据完全是使用实际数据，而且数量一般较大，也即运行环境也有变化。

系统维护是指在运行过程中，为适应环境和其它因素的各种变化，保证系统正常工作而采取的一切活动。包括系统功能的改进和解决的问题和错误。

一般在系统验收后运行的初期，有一段试运行阶段，这时由于环境突出变化，问题出现比较频繁，维护工作量特别大，应以用户方为主系统设计方为辅，紧密结合进行维护。

系统维护有以下的主要内容：

1. 纠错。

2. 完善和适应性维护:

这是指软件功能扩充,性能提高,以及由于操作系统升能,硬件变换,业务变化,数据形式变化所引起的相应修改及维护。

3. 硬件设备的维护。

4. 数据更新:

对于地理信息系统是一种耗时长、耗资很大的工作。由于地理世界实体变化多、更新速率高,相应地理信息数据库也必须迅速更新,由于数字化工作量大、效率低、成本高,这一问题随着地理信息系统的尺度(比例尺)越大,矛盾越加突出。存在着瓶颈现象。

比如:1:5万比例尺地形图,国家要求5年更新一次。也即数据库更新每年达1/5。由于地理信息子系统中一般硬件、软件、系统三者价值比为1:10:100,假设一个1:5万的地理信息系统耗资110万元,那么运行中每年仅数据更新费用将需20万元,这与一般的观念差距将相当大,GIS工程技术人员必须正视这一问题,改进维护阶段资金耗费观念。

数据更新的耗费及困难,也是目前GIS存在的主要问题。

第三讲 地理信息系统的评价

本讲提纲

系统评价是指对一个GIS系统从系统性能和经济效益两方面进行评

价。新系统的全面评价一般应在新系统稳定运行一段时间后才进行，以达公正、客观。系统评价的结果是写出评价报告和改进效益措施的实施。

一、GIS 评价的目的

- 1、开发的 GIS 系统是否达到了预期目标
- 2、系统中各项资源的利用效率如何
- 3、根据分析和评价结果，找出系统存在的问题，并提出改进的方法

二、系统评价指标

- 1、一般系统的性能指标
- 2、专业性能指标
- 3、经济效益指标

三、系统评价报告

GIS 评价的目的

开展 GIS 系统评价的目的表现在如下 几个方面：

一、开发的 GIS 系统是否达到了预期目标。

这主要通过书面的和实际的比较分析后得出。其实际内容主要是三项：系统功能，各项指标及用户满意程度。

前两项一般在系统开发各阶段都明确定书面要求。在用户需求调

查、需求分析、系统总体设计、详细设计、合同协议等文件中对功能及指标均有相应规定，在罗列及对比后，应予必须的分析。

用户的满意程度在系统评价中往往是一个争议较多的问题，只有在开发方和用户方共同实事求是，平等协商下才能取得较好的解决。

作为 GIS 系统的建设者的开发方应主动地担负重要的责任，明确 GIS 是理论和实践相结合的产物，是一个只有在应用中才能体现价值的应用系统，用户至上是一切产品和信息系统的开发原则；而另一方面，对用户而言，又必须明确 GIS 是一个尚待理论和实践不断完善和补充的高技术系统，它发展很快，一劳永逸是不可能的，有限目标的应用才是现实的。

二、系统中各项资源的利用效率如何。

资源指人员、资金、计算机软件、硬件以及数据等等使用情况。通常数据资源往往被忽略，实际上是 GIS 系统中最主要的资源，具有最大的价值。

数据共享涉及广泛的经济效益、社会权益和安全监督权益问题，必须在法规允许范围内进行，并做出相应评价。

人员、资金、计算机软件、硬件等方面的利用效率一般均有相应的计算指标，实事求是地给出和分析效率的高、低状况及原因是系统评价的主要目标。

三、根据分析和评价结果，找出系统存在的问题，并提出改进的方法。

分析和评价的结果，一般会找出三类存在的问题，并提出改进的方法。

1.系统本身的目标及技术问题。

例如目标过大或过小，以及技术上的各种问题，这些可通过实事求是的分析，分期计划，逐个予以解决，这是一个技术系统逐步求精过程，对于客户和开发者都是同样十分重要的。

2.系统管理、使用和维护方面的问题。

信息系统的使用对大多数用户而言，是一个新鲜事物，是一种先进生产力的代表，这里面既存在思想观念上的改革，也有大量的生产规程工艺、管理工作上的更新。这些均相应于一系列变化和困难，这其中，关键问题在于用户单位的领导层面地理信息系统的认识和态度，必须提高认识，正视信息系统使用的管理、使用和维护问题，提高相应管理的科学化水平。

3.体制和政策方面的问题。

宏观上，地理信息系统的开发和使用属于新的生产力范畴，生产力的进展必然也涉及相应的上层建筑部分。比如数据的共享和生产数据的费用支出矛盾，信息共享和信息加密、保密的矛盾，信息系统的新规范与老的规定、规范不相一致等问题，这些矛盾涉及面广，时效长，情况复杂，处理的原则是执行现行体制、规范和政策，同时积极向有关方面

反映相应矛盾和建议。

针对上述三个不同层面的问题应采取不同的处理方式。

系统评价指标

系统评价指标是客观评价 GIS 的依据。系统评价指标一般分为性能指标和经济效益指标两大类。

必须明确 GIS 与一般的信息系统是有差别的。GIS 一般是宏观的，它的对象是一个较大的地理区域，一般它又是探索和研究这个宏观区域上地理现象的未知关系和规律为目的的，它一般不仅是已有生产方式的再组织和再生产。因而它除了有信息系统的一般特性指标外，还有自己特有的专业特性。并且目前正在迅速发展，尚无统一的阐述。然而从 GIS 的目标及应用，基本方面阐述如下：

一、一般系统的性能指标：

它由以下几个方面组成：

- 1、GIS 稳定性和平均无故障时间；
- 2、GIS 联机响应时间、处理速度和吞吐量；
- 3、GIS 的利用率；
- 4、系统的操作灵活性、方便性、容错性；

5、安全性和保密性；

6、加工数据的准确性；

7、系统的可扩充性；

8、系统的可维护性；

二、专业性能指标：

主要可考虑以下三个方面：

1、数据的包容性：

GIS 系统的性能由其所能容纳数据的系统、类型、形式所先天决定，只有容纳广大的数据，才能解决众多类型的问题。这其中可包含：

①数据的规范化和标准化；

②对众多主流 GIS 系统数据的兼容性；

③ 空间数学基础的标准性及地图投影变换能力的强弱；

④系统数据库的容量与性能；

⑤系统多分辨率数据的兼容性；

⑥矢、栅集成能力；

⑦无缝数据地理能力；

- ⑧二维、三维数据集成能力；
- ⑨扫描数字化和扫描矢量化能力；
- ⑩数据更新能力及交互处理性能。

2、空间分析的准确性及区域性

- ①区域的量度准确性及区域范围；
- ②三维分析的准确性及区域范围；
- ③叠置分析的颗粒度及区域范围；
- ④缓冲区及类似分析的准确度及区域；
- ⑤大区域乃至全球准确量度分析能力；
- ⑥网络分析的功能，精度及范围；
- ⑦其它专业空间分析功能和能力；

3、可视化功能和性能：

- ①符号美观、色彩鲜艳，制作方便、动态性；
- ②图形、图像及多媒体信息的显示功能及交互性能；
- ③二维、三维信息的结合显示及性能；

- ④虚拟实景能力；
- ⑤地图的在线编绘能力交互编绘的能力；
- ⑥图面配置的艺术性、智能性；
- ⑦输出 EPS 格式的功能与性能；

三、经济效益指标

系统的经济效益由两部分构成。第一部分为成本费用，指系统在开发、运行和维护时产生的各项费用支出；第二部分是系统效益，指系统投入运行后所产生的直接经济效益和间接经济效益。

- ①成本费用。成本费用主要由下列几部分组成：

设备购置费 C1。它包括购置 GIS 的软件，硬件的开支费用。

设施费用 C2。它由安装、调试和运行系统所需建立的支撑环境而开支的费用。

开发费用 C3。指开发一个 GIS 所需要的费用，它包括 GIS 中耗时最多，价值最大的巨量数据录入及生产费用。

运行维护费用 C4。它是指系统在运行维护过程中所需要的各项费用，包括数据更新费用，一般按年度标。

以上 C1, C2, C3, C4 又可细分为多个子项。

②直接经济效益。它是指系统运行后所产生的可以直接测算的收益。一般由 4 个大项组成，各项下又可分若干子项。

减少资金占用 B;

减少物资及资源损耗 B;

减少人工费用;

增加利润收入;

信息系统经济效益计算，一般采用“动态回收期法”。动态回收期是在考虑资金时间因素的情况下，偿还全部投资所需的时间。其计算公式为：

$$T_b = -\lg(1 - C \cdot i / B) / \lg(1 + i)$$

(8-1)

其中

$$C = \sum_{j,k} C_{jk}, \quad j=1, 2, 3, 4.$$

$$k=1, 2, 3, \dots, m; (m > 0).$$

$$B = \sum_{l,k} B_{lk}, \quad l=1, 2, 3, 4.$$

$k=1, 2, 3, \dots, p; (p>0)$ 。

$$B_s = B - \sum_n C_{kn}, \quad n=1, 2, 3, \dots, q; (q>0).$$

T_D 投资回收期（年）；

C 成本费用（万元）；

B 年收益总额（万元）；

i 银行利率（%）；

B_s 年实际收益（万元）

显然 T_D 越小，表明一个信息系统的经济效益越好。

也可采用“年利润增长额”“复利算法”和“大于/小于成本法”予以计算直接经济效益。

随着 GIS 的发展，GIS 将按项目级 GIS，部门级 GIS，企业级 GIS 和社会级 GIS 发展梯级进行，上述直接经济效益计算将越来越具有更大的意义。

③ 间接经济效益。间接经济效益也称管理效益和社会效益。作为项目级 GIS 和部门级 GIS 的效益侧重点基本上在此。其他类型的 GIS 也有很大一部分表现为社会效益，它主要表现在如下几个方面：

系统的科学价值：例如 GIS 对于全球变化和区域可持续发展的意义，对厄尔尼诺和其他生态环境现象的精密标定和精密分析；网络分析中的货郎担问题的精确分析和解决，都是具有创新的科学意义和潜在的巨大经济价值；

系统的政治、军事意义：例如 200 海里专属经济区界线的精密显示及绘制，长距离航线、航迹的定位和导航功能的 GIS 的政治、经济。军事的巨大潜在价值；

增强了决策、应变能力和竞争实力；

改善了区域或企业的内、外部环境；

提高和重视了信息的导向作用，增强信息意识，从信息中取效益；

促进了管理层观念的转变和素质的提高及规划和决策的科学性；

提高了管理工作的效率和质量；

促进了管理体制和和组织机构的改革。

上述效益往往只具有定性的分析而难以定量描述。社会效益的阐述应该实事求是，切忌生拉硬套。

系统评价报告

系统评价的结果理应形成正式的书面文件并辅以必要的用户证明、

性能评测和鉴定意见等。它一般应包括如下主要内容：

- 1、新系统的设计目标、结构、功能和主要性能指标；
- 2、系统研制的文档资料；
- 3、系统性能评价和证明材料、鉴定资料；
- 4、系统经济效益评价和测算依据；
- 5、系统综合评价和用户意见；
- 6、结论。

系统评价报告一方面是对已成系统开发工作的验收总结，另一方面也是将来进一步系统维护和改进的依据和规则，再一方面将是新系统开发工作一个新的起点，必须认真对待。

典型问题

I。关于 GIS 开发方法的选择：

GIS 的多种开发方法，实际上都已经在开发各种 GIS 系统和软件中使用过，都有其相应优点和缺点。GIS 开发是一周期较长，内容广泛，情况复杂的大型系统过程。因此，根据实际情况，扬长避短，灵活使用最适合的方法是一个根本原则。因此，各种开发方法都不是一成不变的，

其中“演示和讨论”方法，实际上还不能算一种独立的 GIS 开发方法，只是一种沟通和交流的方式，各方法都能用。因此，目前建议采用方法是：

1. 树立以系统结构化开发的总观念；
2. 尽量采用最接近用户要求的现有自主产权 GIS 系统作为原型系统，可视性好、功能强的各种类型的电子地图集系统，也可作为一个普通的可选的原型；或者采用选择其它的原型，采用 OOP 组件技术进行扩充；
3. 当没有原型系统时，采用结构化生命周期结构制原型；
4. 采用快速原型方法进行实际工作，运用“演示和讨论”的可视化工方式，尽量采用?组件技术进行扩充。

以上方法总括而言就是：树立结构化分析思想，充分运用“演示和讨论”方式，尽量采用组件技术进行扩充，按照快速原型方法工作。

2. 关于 GIS 的发展瓶颈

由于地理世界实体变化多、更新速率高，相应地，地理信息数据库也必须迅速更新，因此，数据更新对于地理信息系统是一种耗时长、耗资很大的工作。由于数字化工作量大、效率低、成本高，这一问题随着地理信息系统的尺度（比例尺）越大，矛盾越加突出。存在着瓶颈现象。比如：1：5 万比例尺地形图，国家要求 5 年更新一次。也即数据库更新每年达 1/5。由于地理信息子系统中一般硬件、软件、系统三者价值比为 1：10：100，假设一个 1：5 万的地理信息系统耗资 110 万元，那么

运行中每年仅数据更新费用将需 20 万元，这与一般的观念差距将相当大，GIS 工程技术人员必须正视这一问题，改进维护阶段资金耗费的观念。数据更新的耗费及困难，也是目前 GIS 存在的主要问题。近年来，3S 技术的集成趋势，使得 RS、GPS 成为 GIS 数据更新的快速而有效的主要手段。

第八章练习题

- 1. 一般地理信息系统的开发过程有哪些阶段？
- 2. 其中各阶段主要内容是什么？
- 3. GIS 有哪些开发方法？它们各有什么特点？
- 4. 从软件工程的角度，你如何理解开发一个地理信息系统的工作？哪些环节你认为比较重要？
- 5. GIS 评价的目的是什么？
- 6. GIS 评价有哪些主要性能指标？
- 7. GIS 评价书应包含哪此主要内容？
- 8. GIS 的发展瓶颈是什么？改进途径有哪些？
- 9. GIS 有哪些发展阶段，它们各自的主要特点是什么？

- 10. 简述企业 GIS 意义。
- 11. 简述社会 GIS 目前的意义。
- 12. 列出 GIS 开发和评价的主要文本及内容提要。

基本概念

结构化生命周期法	需求调查与分析	系统评价指标
由底而上法	可行性分析	一般系统的性能指标
快速原型方法	系统分析	专业性能指标
面向对象的软件开发方法	系统的总体设计	经济效益指标
“演示和讨论”方法	系统的详细设计	