

地理信息系统 基本原理及应用

朱光 季晓燕 戎兵 编著



测绘出版社

地理信息系统基本原理及应用

朱 光 季晓燕 戎 兵 编著

测绘出版社

·北 京·

内 容 提 要

本书较系统全面地介绍了集地学与计算机科学、信息科学和管理科学等多学科为一体的新兴学科——地理信息系统的基本原理、方法及其应用。全书共分六章,内容包括地理信息系统的基本概念,系统的构成、功能及运行环境,系统所具有的空间特征,数据的采集、组织与管理,数据结构和数据模型,系统的设计方法、原则、模式以及步骤,国内目前常用的地理信息系统基础工具软件及其应用等。

本书可作为高等院校地学类和信息科学类有关专业高年级本科生和研究生的教材或教学参考书,同时对从事地理信息系统应用、规划管理、地学分析等有关工作的技术人员和管理人员也是一本有价值的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统基本原理及应用/朱光等编著. -北京:测绘出版社, 1997. 6
ISBN 7-5030-0938-1

I. 地… II. 朱… III. 地理信息系统-概论 IV. P91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 02483 号

测绘出版社出版发行

(100045 北京市复外三里河路 50 号)

河北地质六队印刷厂印刷·新华书店总店北京发行所经销

1997 年 6 月第一版 1997 年 6 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16·印张: 10.25

字数: 236 千字·印数: 0001—2000 册

定价: 18.00 元

前 言

随着计算机技术的发展,新兴的信息产业越来越受到人们的重视。具有空间特征的地理信息系统就是一门近年来迅速发展起来的科学、技术和信息产业,并拥有着广阔的前景。地理信息系统是以采集、存储、管理、检索、分析和应用与地理空间分布有关的各种数据,以多种形式输出数据或图形产品,用于现代政府、企业、公司决策过程的计算机系统。它作为信息科学的重要分支——地理信息学的实现手段,研究计算机技术与空间地理数据的结合,通过一系列空间操作和分析方法,为地学、环境和工程设计提供对规划、管理和决策的辅助信息;为城市建设,交通运输与管理、环境保护及土地管理等提供必要的基础信息,并为政府机构提供宏观调控的现代化工具,在我国已经显示出巨大的潜在市场。

目前,我国已有许多大学、科研机构和应用部门正在从事地理信息系统方面的教学、研究和应用开发工作。近年来,愈来愈多的城市和有关部门迫切需要这一新技术人才。为迎接我国地理信息系统的高潮到来和适应社会的需求,培养能从事地理信息系统设计、开发和应用的专门人才,特编写本书。全书共六章,第一章至第五章由北京建筑工程学院朱光编写,第六章由国家基础地理信息中心季晓燕编写,富融科技有限公司戎兵修订了部分内容。全书由朱光完成统稿工作。

本书初稿是在北京建筑工程学院为高年级本科生讲授本门课程的基础上写成。经过两年的试用,广泛地听取了多方面的意见,又根据作者从事地理信息系统领域的工作实践,参考国内外最新的有关文献资料,进行了修订。最后请国家基础地理信息中心总工程师李莉审阅,再次进行修改定稿。本书的出版还得到测绘出版社的大力支持。在此,我们谨对给予本书定稿出版以帮助和支持的单位和个人表示衷心的感谢。

限于作者水平,书中难免有错误或不足之处,恳请读者批评指正。

作 者

1997年2月于北京

目 录

第一章 地理信息系统基本概念	(1)
§ 1-1 概述	(1)
§ 1-2 与信息有关的概念	(3)
§ 1-3 地理空间数据与地图	(5)
§ 1-4 地理信息系统 (GIS)	(8)
第二章 GIS 的基本构成及运行环境	(14)
§ 2-1 GIS 的硬件设备	(14)
§ 2-2 GIS 的软件模块	(17)
§ 2-3 GIS 地理空间数据和 GIS 组织管理人员	(19)
§ 2-4 系统运行环境	(25)
第三章 GIS 数据结构	(30)
§ 3-1 GIS 的数据	(30)
§ 3-2 矢量数据结构及其编码方式	(34)
§ 3-3 栅格数据结构及其编码方式	(41)
§ 3-4 矢量数据与栅格数据的转换	(51)
§ 3-5 GIS 数据模型	(60)
第四章 GIS 的基本功能	(66)
§ 4-1 数据输入功能	(66)
§ 4-2 图形与文本编辑功能	(70)
§ 4-3 数据存贮与管理功能	(73)
§ 4-4 空间查询与空间分析功能	(76)
§ 4-5 数据输出与表达功能	(85)
第五章 GIS 工程设计	(90)
§ 5-1 设计模式概述	(90)
§ 5-2 系统目标	(96)
§ 5-3 系统分析	(99)
§ 5-4 系统设计	(104)
§ 5-5 系统实施和系统评价	(114)
第六章 GIS 工具软件及其应用	(121)
§ 6-1 ARC/INFO 系统概述	(121)
§ 6-2 ARC/INFO 系统基本操作	(131)

§ 6-3 ARC/INFO 系统应用	(139)
§ 6-4 其它 GIS 工具软件简介	(147)
附录 国外八种主要 GIS 软件的基本情况与基本功能一览表	(152)
主要参考文献	(158)

第一章 地理信息系统基本概念

§ 1-1 概 述

随着信息产业的形成和发展并日益受到人们的重视,计算机技术和系统分析方法的广泛应用为现代科学技术的发展展现了广阔的前景。信息时代是以信息源的科学管理和充分利用为特性的。进入信息时代的地学,对地学信息的采集、管理、分析提出了更高的要求。可以说,信息时代地学的发展水平,取决于对有关地学信息以及其它与之有关各类信息的采集获取和分析技术水平。因此,地理信息系统(Geographic Information System,简称GIS)作为一门介于信息科学、计算机科学、现代地理学、测绘遥感学、空间科学、环境科学和管理科学之间的新兴边缘学科应运而生,并且迅速形成一门融上述各学科及其各类应用对象为一体的综合性高新技术。

地理信息系统是在计算机软硬件技术支持下采集、存储、管理、检索和综合分析各种地理空间信息,以多种形式输出数据或图形产品的计算机系统。它的外观表现是计算机软硬件系统,但是其内涵却是由一些计算机程序和各类地学信息数据组织而成的现实空间信息模型。通过这些模型,可以从视觉、计量和逻辑上对现实空间从功能上进行模拟;通过计算机程序的运行和各类数据的变换还可以对各类信息变化进行仿真。具有一定地学知识的用户可以在地理信息系统支持下提取现实空间模型各不同侧面、不同层次的空间和时间特征,快速地模拟自然过程的演变或思维过程的结果,取得预测或“实验”的结果,选择优化方案。而这种快速的信息模拟对于现有的GIS来说几乎是没有什么代价的,并且能够避免错误的决策带来的损失。因此可以说,GIS就是综合处理和分析空间数据的一种技术系统。

地球是一个客观存在。这一客观实体与人类存在着广泛的、密不可分的信息联系。人们所认识的地貌、地物、土壤、植被和城市、区域等等都是地理客观实体向人类发送的各种信息。人们正是通过对这些信息进行分类、评价、分析后得到用来指导决策规律性的信息或知识,从而可以完成诸如资源调查、区域规划、土地管理、环境保护等利用和改造客观世界的任务。所以可以说,没有信息就没有统一的世界,没有信息传递作为地理客观实体与人们感受到的现实信息世界之间相互作用的方式,人们就无法真正认识自然,更无法改造自然。基于此,地理信息系统就是要以地理信息世界模拟表达地理现实世界,通过信息联系反映出客观实体之间的联系,对客观世界中各种具有空间特征的事物、关系和过程进行描述、分析和仿真。因而,GIS不仅在地球科学,而且在社会经济和规划管理等社会科学领域里也得到了越来越广泛的应用,受到越来越明显的关注。

这方面的例子有很多,例如:在城市规划过程中,对城市中救护车、救火车的分布位置以及行车路线和控制的规划;如何安排多通路警车交通路线,以保证在紧急时刻,在任

意地方应至少能有一辆警车在事发后最短时间内赶到出事地点；在环境保护方面，对水土流失导致土地资源的破坏进行评价；在区域环境质量现状评价工作中，对整个区域的环境质量进行客观地、全面地评价，以反映出区域中受污染的程度以及空间分布状况；在国土整治与管理规划中，建立国土资源信息系统，作为 GIS 的一个分支，用现代化科学技术服务于国土规划和国土资源综合开发研究；在灾害预测和防治方面，应用 GIS 支持下的空间模拟分析技术，可以模拟受灾范围，估算受灾损失，评估抗灾方案实施的先验效益等；应用网络分析方法可以对灾民撤退路线，救灾物资的合理调配进行安排，选择最佳通道，并可模拟险情发生时人员撤退方案的实施；在城市公用设施的规划与管理方面，应用 GIS 技术可以处理大量复杂的地下管线数据和各种地形图、竣工图数据以及与之相应的大量属性数据和各种市政与测绘资料数据；还可建立全球人口数据库以及与之配套的空间分析模型等等。总而言之，人们在对各种自然资源进行开发、规划、分析和管理的过程中，使用以 GIS 现代化手段建立起的管理模式对总体规划、合理布局、综合平衡、协调发展和科学决策等都起着十分重要的作用。

60 年代中后期，一些世界先进国家开始研究和开发 GIS。随着计算机技术的发展和数字空间数据使用价值的提高，GIS 的研究和建设得到了飞速发展。在发达国家中，GIS 经过从 60 年代中期到 80 年代中期，约 20 年左右的时间的发展过程，已经进入专业化应用与商品化生产阶段。例如，美国白宫、日本东京市政府和英国首相府等早在 80 年代中期就建立了基于 GIS 的高层宏观决策系统，为政府部门提供了有效的决策服务。可以预计，到本世纪末这一阶段将不断丰富成熟，大量 GIS 产品将涌入商品市场。GIS 技术在不久的将来将进入全面推广实用阶段。

当前，西方各发达国家的政府和私人企业都在投入大量人力、物力资源以发展各自的 GIS 系统，致力于建立国家规模的、地区性的以至全球性的 GIS 系统。GIS 将成为一个更广泛应用的综合产业化结构体系，并将拥有一个稳定的需求市场。

我国 GIS 的发展是从 80 年代初研究资源与环境信息系统开始的。虽然和世界先进国家相比起步晚了 20 年，但在短短的 10 多年里，特别是近 5 年里有了令人瞩目的长进。在我国，目前已经相继成立了一些专门的 GIS 研究实体，形成了具有一定规模的专业队伍，并且已建立或正在建设一批全国性、地方性综合或专题空间型信息系统。例如，自 1984 年开始由国家测绘局测绘科学研究所研究和建立的国土基础信息系统就是起步较早、投资规模较大、发展较快的一个。它将全国 1:100 万比例尺地形图存入其中，建立起全国范围内的 1:100 万比例尺数字地面模型、地形要素数据库和地名数据库，可做多种空间分析。另外还建有全国土地信息系统；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，并且还开发了黄土高原信息系统以及洪水灾害预报与分析系统等专题地理信息系统。目前，这些系统已在多个领域中，如防洪实时监测洪水、快速灾情分析、水土保持、国土管理等方面都发挥了作用。除上述全国性的信息系统外，近年来我国的许多大中城市也在纷纷开发和建立城市信息系统的工作。例如，上海市于 1995 年建成的综合地理信息系统，不仅为市政府领导进行宏观分析决策提供多要素、多层次、多时态的空间信息，同时也为办公管理提供了先进、科学的分析、预测、规划、决策等技术手段。该系统的建立和使用

在上海市人民政府办公决策服务方面发挥了重要作用。据不完全统计,我国目前已建立具有一定规模的城市信息系统的城市还有:海口、深圳、北京、天津、北海、常州、沙市、洛阳、厦门等;此外,另有一些沿海及内地城市,如青岛、福州、武汉、烟台、佛山、大庆等,也正在积极筹备建立自己的城市地理信息系统。

综上所述,地理信息系统作为一门新兴边缘学科正在世界范围内日益广泛地得到应用,并且正在或已经形成一个独特的行业而倍受用户的欢迎。可以说,GIS不仅是进行资源普查、区域开发规划、国土管理规划、环境保护、灾害预测与防治以及城市规划和调度决策管理的根本基础,也是政府、企业、公司进行现代化管理及预决策的强有力手段,因而具有广阔的应用前景。

§ 1-2 与信息有关的概念

了解有关信息的一些基本概念对地理信息系统的认识是很必要的。信息产业作为一种新兴产业越来越受到人们的重视,信息革命的浪潮正在冲击着人类社会。人们正是通过对各种信息进行分类、评价、分析后得到指导决策规律性的知识,从而完成认识、利用和改造客观世界的目的。

信息是近代科学的专门术语,现在已经广泛地应用于社会各个领域。关于信息有多种定义,简单地讲,人们在进行现实世界管理时,将客观事物在人们头脑中的反映称之为信息。从这一角度来看,信息就是现实世界状态的反映,是向人或机器提供关于现实世界新的事实的知识,是用数字、文字、符号、语言等介质来表示事件、事物、现象等的意义和内容。信息不随载体的物理设备形式的改变而改变,它具有客观性、适用性、可传输性和共享性等特征。

——客观性:任何信息都是与客观事实紧密相关的,这是信息的正确性与精确度的保证。

——适用性:信息对决策是十分重要的,信息系统将地理空间的巨大数据流收集和组织管理起来,经过处理、转换和分析变成对生产、管理和决策具有重要意义的有用信息,这是由建立信息系统的明确性所决定的。

——传输性:信息可在其发送者和接收者之间传输,既包括系统把有用信息送至终端设备(包括远程终端)和以一定的形式或格式提供给有关用户,也包括信息在系统内各个子系统之间的传输和交换。目前,已有很多系统采用了网络传输技术。

——共享性:信息与实物不同,信息可以传输给多个用户,为多个用户共享,而其本身并无损失。这为信息的并发应用提供了可能性。

信息与数据有密切联系。数据是指对某目标进行定性、定量描述的原始材料,包括数字、文字、符号、图形、影像等形式。它是用以载荷信息的物理符号,在计算机化信息系统中往往与计算机系统有关。由于计算机只能处理数据化信息(即只能用字母、数字或符号表示),所以也可以说数据就是信息的符号表示。

由上所述可知,信息是用与物理介质有关的数据来表达,而数据中包含的意义就是信

息，所以信息与数据是不可分离的。数据是未加工的原材料，是对现实世界中客观对象的表示，其具体形式是多种多样的，也可以由一种数据形式转换成其它数据形式，但其中包含的信息内容不改变。由此可知，数据是信息的载体，但并不等于信息，只有理解了数据的含义，对数据做出解释，才能得到数据中所包含的信息。例如从测量数据中可以抽取地物的形状、大小和位置等信息；从遥感图像数据中可抽取各种图形和专题信息；从实地调查数据中抽取各专题的属性信息等。再例如，数字“1”，可以离开地理信息系统而独立存在，也可以离开地理信息系统的各个组成和阶段而独立存在；即它既可以回避实体是什么，也可以回避它本身能做什么，而且在计算机化的地理信息系统中，数据的格式往往和具体的计算机系统有关，随载荷它的物理设备的形式而改变。而信息则是对数据的解释、运用和解算，即使是经过处理后的数据，也只有经过解释才有意义，才能成为信息。就本质而言，数据是客观对象的表示，信息则是数据内涵的意义，只有数据对实体行为产生影响时才成为信息。同样是数字“1”，当用来标识某一种实体的类别时，它就提供了特征码信息；当用来表示某一种实体在某个地域内存在与否时，它就提供了有无的信息（1表示有，0表示无）；当在绘图矩阵中表示绘线与不绘线时，它就提供了抬落笔的信息等等。可见，信息是用数字、文字、符号、语言等介质来表示事件、事物、现象等的的内容、数量或特征，以便向人们或系统提供关于信息世界新的事实的知识，作为生产、管理和决策的依据。

对数据进行处理，如采集、筛选、运算、排序、归并、转换、存储、编码、分类、检索、计算以及分析、模拟和预测等操作，就是为了得到数据中所包含的信息。这些操作的目的是：

- (1) 把数据转换成便于观察、分析、传输或进一步处理的形式；
- (2) 把数据加工成对正确管理和决策有用的数据；
- (3) 把数据编辑后存储起来，供以后不断使用。

数据处理是为了解释，而这种解释需要人的智慧、知识和经验作用到数据上才可以得到信息，获得信息量的多少，则与人的知识水平高低有关。对同一数据，每个人的解释可能不同，其对决策的影响也可能不同。而不同的解释则往往又来自不同的背景、目的和应用。

数据处理工作由来已久。随着计算机技术的发展，数据处理进入了电子数据处理系统时代。由于采用磁介质和半导体等存贮技术，数据管理主要是在提高数据独立性、降低数据冗余度、数据共享、提高数据的安全性和完整性等方面得到了迅速发展。对数据结构的研究就是对数据的组织形式的研究，通常可分为两种形式：数据在物理存贮设备上的组织称之为数据物理组织或物理结构，一般以文件形式进行组织，根据其特点可分为顺序文件、索引文件和随机文件等；数据在使用者面前所显现的组织方式称之为数据逻辑组织或逻辑结构。对于一种数据的逻辑结构可以用不同的物理结构来实现。所以数据的逻辑结构是从概念上对数据间的关系进行组织，具有普遍性；而数据的物理结构则是在硬件上对某一逻辑结构设计的一个具体实现，具有特殊性。

地理信息是指与所研究对象的空间地理分布有关的信息。它是表示地表物体及环境固有的数量、质量、分布特征、联系和规律等的数字、文字、图像和图形等的总称。从地理

实体到地理空间数据，再到地理信息的发展，反映了人类从认识物质、认识能量到认识信息的一个巨大飞跃。地理信息属于空间信息，地理空间数据所包含的意义中除了对实体特征的属性描述以外，还包括对其位置的识别，因此地理信息具有区域性并且具有多维结构特征，即在同一位置上具有多个专题和属性的信息结构。例如，在一个地面点位上，可以得到该点处的高程、土壤类型、污染、噪声、降雨量等多种信息。此外，地理信息还具有明显的时序特征，即随时间而变化的动态特征。这就要求及时采集和更新它们，并根据多时相的数据和信息来确定出随时间变化的分布规律。

系统是具有特定功能的相互有机联系的许多要素所构成的一个整体。如计算机系统就是为实现某些特定功能，由必要的人、机器、方法或程序按一定的相关关系联系起来进行工作的集合体；计算机系统内部要素之间的相互联系通过信息流（数据流）得以实现。

所谓信息系统是指具有对数据进行采集、存贮、管理、分析和再现功能并且可以回答用户一系列问题的系统。在辅助决策过程中，信息系统可提供有用的信息。从计算机科学角度看，信息系统是由计算机硬件、软件、数据和用户四个主要要素组成的。在计算机时代，大部分重要的信息系统都是部分或全部由计算机系统支持的，如目前流行的图书情报信息系统、经营信息系统、企业管理信息系统、财务管理信息系统、人事档案信息系统、空间信息系统和其它一些信息系统等。其中，空间信息系统是一种十分重要而又与其它类型信息系统有显著区别的信息系统，因为它所要采集、管理、处理和更新的是空间信息。因此，这类信息系统在结构上也比其它一般信息系统复杂得多，但功能上也较其它信息系统强得多。

§ 1-3 地理空间数据与地图

一、地理空间数据

空间数据是指以空间位置为参照的数据。地理空间数据是指人们通过观测地球上的某些位置上地物、地貌的空间数据。而地图是地理空间数据的一种表示形式，也可以说是地理信息载体和地理语言。

空间位置通常是用空间实体与某参考坐标系统之间的关系来表示。这种参考坐标系统可以是有限区域内的局部坐标系，也可以是纳入国家坐标网系统的坐标系或者是属于国际性投影的横轴椭圆柱正形投影坐标系。根据空间实体与参考坐标系之间的联系，通常采用绝对坐标或相对坐标来表示空间位置。各种地理实体空间位置的表示在形式上是多种多样的，但是通过分析研究，可以将其抽象为最基本的实体：点、线、面。从理论上讲，任何一种地理实体都是可以用点、线或面这三种基本实体再加上说明注记来表示的。这种方法可以表示：

(1) 用点实体表示不同尺度空间实体。如：一口油井，可以用一个点实体的坐标 (x, y) 和注记“油井”来表示。另外，如城镇、高程控制点、交通网络结点等也可以用点实体表示。

(2) 用线实体表示具有线性特征的地理实体。例如：河流、铁路、公路等，可以用

个具有起点坐标 (x_1, y_1) 和终点坐标 (x_2, y_2) 的线段以及有关注记来表示一段道路。

(3) 用面实体表示各种规则与不规则的多边形地理实体。例如：土壤分布、植被类型、空间影响范围等。

空间数据表示了各种空间现象之间的空间关系，如邻接、距离、重叠、包含等。空间现象的其它属性也可以用数据表示。地理空间数据可以用来描述地球上可更新的与不可更新的自然资源，人类赖以生存的自然环境，人文经济与劳动力资源的有关信息，包括：地形、地貌、土壤、岩石、矿藏、植被、水、土地利用、行政界线、交通网络、政治分区、公共设施位置、土地界线、土地价值、土地所有权、人口普查分区、人口分布、收入分配、经济区划、环境污染、疾病影响范围、自然灾害分布等等。

地理空间数据可以由位置组合变量的表格形式表示，也可以由相对位置在地图或图像上表示。目前最常用的就是以地图表示的地理空间数据。

地理空间数据是 GIS 中的重要组成部分，通常可以用数字化仪、扫描仪、键盘、磁带机或其它系统通讯输入 GIS。它们是系统程序作用的对象，是地理信息系统所表达的客观世界的经过抽象的实质性内容。一般应以下述三个方面内容构成其最基本的三维结构数据：

- (1) 由某个参考坐标系确定的位置；
- (2) 地理实体之间的空间拓扑关系；
- (3) 与几何位置无关的属性。

GIS 特殊的空间数据模型决定了它采用特殊的空间数据结构和编码方法，也决定了它具有特殊的空间数据管理方法和系统空间数据分析能力。

二、地图的发展

在人类社会的发展历史上，采集和获取地理空间数据一直是人类认识自然、改造自然活动的一个重要组成部分。长期以来，这项工作主要是由航海家、地理学家和测量学家来完成的，并且主要是以地图的形式来表示采集到的地理空间数据。

最早的地图是用于航海和领地测量。在古罗马时代，土地测量人员为帝国提供了丰富的地况地图资料，测量业在国家的支持下得到较大发展。罗马帝国衰败以后，测绘地图的发展趋于停顿。直到 18 世纪，随着欧洲文明的昌盛，地图生产才又开始复苏。此时，欧洲各国政府开始意识到系统地测绘出本国领土的重要性。因此，经典测量学在理论和实践上随之不断完善和发展直至今日。

随着人类对地球认识的不断丰富，需要进行测绘的内容也不再仅限于对地球表面的地物进行量测。从 19 世纪开始，地质学、地貌学、土壤科学、生态学以及土地管理等关于地球资源学科的出现，使得需要进行测量与绘图的内容大大增加了。一般的地形图所含的内容已不能再满足人类生产的特殊需要。为解决这一矛盾，所谓的专题地图由此应运而生。这些为特定目的而测绘的专题图应用于很多行业。例如，在土壤学中的土壤分布图、土地酸碱性分布图；在生态学研究，对某地区出现某种传染病的影响范围分布图；气象学上的气压变化分布图等。一般是在经某种简化的地形底图上，由不同用户添加上不同的专题信息而得到这些专题图。通常，采用等值线（或等高线）或晕线的方法绘制，这种方法不仅能对新采集的地理空间数据进行定性描述而且还可以进行定量分析。因此专题图的出现与

使用为人类在地球资源方面提供了十分有力的工具。进入 20 世纪,航空摄影测量的应用以及后来出现的遥感技术,使得人类采集地理空间数据的技术大大地提高,由此,人类可以在更大的范围内,以更高的精度获取更大量的地理空间数据。随着已获取的数据量不断增加,人们的注意力开始从简单地追求数据采集获取过程转到寻求更为合理有效的使用这些数据,以及如何从已有数据中提取更多的信息。

到了本世纪 60 年代初,随着电子计算机的广泛应用,在计算机图形学的基础上出现了计算机化的数字地图。计算机辅助制图和辅助专题地图分析技术的发展对地图进行综合分析和制图输出的系统日益增多,数据自动采集、存贮、分析和表示技术也得到极大的发展,地图作为被地学工作者普遍使用的一代地理语言在技术上开始具备向新一代地理语言——GIS 的转变。

三、地图的性质

地图包括表示地表形态和地表地物分布(水系、植被、土质、居民点、交通网、国界和行政区划等)的普通地理图和地形图,还包括详细客观地表示某种自然要素或社会要素的专题地图。严格地讲,地图应定义为:由数学所确定的经过概括并用形象符号表示的地理表面在平面上的图形及用其表示各种自然现象和社会现象的分布、状况和联系,根据其具体用途对所表示现象进行选择 and 概括而得到的图形。

这就是说,地图包括三个方面的内容:

1. 由数学决定的结构。即必须首先确定地球表面上点的地理坐标或其它坐标与这些点在地图平面上的坐标系统之间的严格的映射函数关系。确定了这些函数关系,就可以利用地图来研究它所表示的地物的空间关系。

2. 特定的符号系统。地图采用便于空间定位的形式表示各种现象及其性质和相互关系的专用图解符号,用于记录、转换和传递各种自然和社会现象的知识,从而在地图上构成客观实际的空间现象。

3. 现象表示的取舍和概括,或称地图综合。由于地图图幅比例的限制和图解符号表示能力的有限性造成对某些碎部地物的取舍和概括。有时,地图的用途也常需要对自然景观进行取舍和概括表示。

实际上,地图是一种图解图像,是由点、线、面组成的集合。这些对现实世界抽象化后的点、线、面实体相对于某一参考坐标系的空间位置以及它们的非空间属性,如注记、标志、符号等决定了该集合的性质。从地图上我们可以获得一个地区或整个地球表面的同一时间的空间表象,它们建立超地物形状、尺寸和相对位置的视觉形象,从而可以从地图上得出地表景象的空间尺度,即空间坐标、长度、面积、高度和体积。除表示地物的数量和质量方面的特征以外,地图还可表示出地物之间的空间联系和其它联系。如:邻近性、包含性、叠加性、相对距离、从属关系、经济和交通方面的联系等等。

对于能够理解地图符号的使用者来说,地图是自然界的一种模型,是制图人根据对自然世界的认识,用概括和简化的可视形式表示客观实际某些方面的结构,而地图用户则通过对地图符号的理解,建立起地图所表示的客观实际的空间模型。这是一种思维模型,它的建立依赖于制图人和用图人对地图符号的认识的一致性。因此可以说,地图是制图人与

地图用户之间交流自然空间信息的图像载体。

地图的表示范围也是相当广泛的。地图表达的对象可以是具体的（如居民地、植被、土壤等），也可以是抽象的（如人口密度、工农业产值、影响范围等）；可以是现实的（如道路、河流、城市、土地利用等），也可以是预期的（如规划的道路、规划的水利灌溉网、土地利用规划等）。此外，地图还可表示自然现象的发生发展过程，表达其空间上的变化和时间内的发展，如表示城市化过程的城市扩散图、土地利用变化图、土壤侵蚀速率图等等。由上所述，我们可以看到地图具有表达空间地理信息精确、简洁、丰富、灵活等特点。

但是，当地学科学进入信息时代以后，从传统的制图与用图角度看，将地图以及有关注记说明资料等作为表达地理空间数据的一种形式，实际上仅相当于一个地理空间数据库的作用。从成图过程中的数据采集、编码成图，直至应用阶段，传统的制图技术已不适合当今地理空间信息变化的要求，这可以从以下几点看出：

1. 在地图成图过程中，对地物进行取舍和概括，将不可避免地会忽略或删除某些局部碎部地物，从而使原始数据获取量减少。
2. 从传统地图的制图过程来看，从地图的数据采集、编辑直至印刷出版是一项耗资耗时的过程。
3. 绘到地图上的地理空间数据，因为难以实现直接对其进行空间查询和空间分析的功能，所以不易于其它空间信息数据结合使用。
4. 对于已印制好的地图来说，它仅是对所绘区域的一份过去时态的、静态、定性的地理文件，缺乏实时动态地反映现实地理空间数据变化的功能。

在当今人类获取地理空间数据的手段，如航测像片、GPS 卫星数据、遥感影像等大大地发展的时代，人类可以实时动态地、全面地、快速地、大量地采集获取数据，人们今天所面临的地理空间数据不仅在数量上远远大于过去，更为重要的是在数据结构上更为复杂多样，难以用单一的点线面结构形式完整描述；数据间联系紧密，相互关联，并且有涉及区域广泛、精度要求高、变化复杂、要素众多等特点。因此，为了使这些地理空间数据所表达出的地理信息模型能够贴切等价地反映出地理现实世界，并且能够真实、快速而又毫无损失地模拟各种自然的和思维的过程，地图作为被普遍使用的第二代地理语言将逐渐被 GIS 所取代。而地图本身作为一种图解图像，一种地理模型，一种现实世界空间信息的高效载体和一种地理思维工具，也成为 GIS 中最主要的数据源。

§ 1-4 地理信息系统 (GIS)

GIS 是一门属于高技术领域里的新兴的交叉学科。在 § 1-1 中，我们已经给出了 GIS 的定义，它是以地理空间数据库为基础，采用地理模型分析方法，适时提供多种空间的和动态的地理空间信息，用于管理和决策过程的计算机技术系统。本节将要讨论 GIS 的特征、类型及其研究体系和任务进行讨论。

一、GIS 的特征

随着计算机绘图和空间分析技术的发展，在很多相关专业领域里，尤其是地籍测量、地

形绘图、专题图制图、土木工程、地理、土壤科学、空间变量的数学研究、测量与摄影测量、城乡规划、公用设施网络以及遥感和影像分析等行业中，在诸如自动化数据采集获取、空间数据分析、数据输出显示等应用技术方面亦得到很大发展。GIS 的出现则是将这些在不同行业中对空间数据处理过程的不同应用有机地联系起来所形成的一种技术系统。GIS 的出现正在成为人类对客观世界中各种具有空间特征的事物、关系和过程进行描述、分析和模拟，进而根据所得规律指导人类利用和改造客观世界的强有力的工具。换言之，GIS 为人类由客观世界到信息世界的认识、抽象过程以及由信息世界返回客观世界的利用改造过程的发展和转化，创造了空前良好的条件和环境。

综上所述，地理信息系统具有如下特征：

1. 具有采集、管理、分析和以多种方式输出地理空间信息的能力，具有空间性和动态性，GIS 的数据必须具有空间分布特征，具有一个特定投影和比例的参考坐标系统，基于共同的地理基础，并且是多维结构的。

2. 为管理和决策服务，以地理模型方法为手段，具有区域空间分析、多要素综合分析和动态预测能力，产生决策支持信息及其它高层地理信息。

3. 由计算机系统支持进行地理空间数据管理，并由计算机程序模拟常规的或专门的地理分析方法，作用到空间数据之上产生有用信息，完成人类难以完成的任务。计算机系统的支持使得地理信息系统具有快速、精确并能综合地对复杂的地理系统进行空间和过程的动态分析。

所以，GIS 的功能决不仅仅限于对现实世界中地理空间数据的采集、编码、存储、查询和检索，而是现实世界的一个抽象模型，它比由地图表达的现实世界模型更为丰富和灵活，用户可以按应用的目的观察提取这个现实世界模型各方面的内容，也可以量测这个模型所表达的地理现象的各种空间尺度指标，更为重要的是可以将自然发生的或者思维规划的动态过程施加在这个模型之上，取得对人为和自然过程的分析 and 预测信息，从而有助于做出正确决策。同时又能有效避免和预防不良后果的发生。因此，也可以说 GIS 又是一个地理空间数据试验场，无需方案的实施和结果的发生，就可以快速、灵活又毫无损失地进行数字模拟实验，取得科学依据。

二、GIS 的类型

从 GIS 发展的历史上看，对 GIS 系统按其内容进行分类，在很大程度上是由用户不同的应用目标或任务要求所决定的。各种 GIS 应用系统的出现就是从相应专业或学科以及应用范围的角度出发，对现实世界进行深入分析研究，借助计算机系统软硬件的支持，经过对现实世界的认识和抽象完成从现实世界到地理信息模型的转化。可以说，各种 GIS 系统的应用均反映了人类对现实世界利用改造的能动作用。这同时也是 GIS 技术产生社会效益的关键所在。因此各种 GIS 应用系统的发展在 GIS 领域中都占据十分重要的地位。

GIS 按其内容可以分为三大类：

1. 专题信息系统——

具有有限目标和专业特点的地理信息系统，系统数据项的选择和操作功能设计是为特定的专门目的服务，如森林动态监测信息系统、水资源管理信息系统、矿产资源信息系统、

作物估产信息系统、草场资源管理信息系统、水土流失信息系统等等。

2. 区域信息系统——

主要以区域综合研究和全面的信息服务为目标，可以有不同的规模，如国家级的、地区或省级的、市级和县级等为各不同级别行政区服务的区域信息系统，也可以按自然分区或以流域为单位的区域信息系统。其特点是数据项较多，功能齐全，通常具备较强的开放性。如加拿大国家信息系统、美国 Oakridge 地区模式信息系统、我国黄河流域信息系统等。

3. 地理信息系统工具 (GIS-TOOL) ——

是专门为 GIS 的建立和开发而研制的通用软件系统，是一组高效率系统化的具有图形图像数字化、空间数据存储管理、查询检索、分析运算和多种输出等 GIS 基本功能的软件包，为用户提供基础的地理信息管理与分析功能。GIS-TOOL 可以是专门设计研制的，也可以是从实用地理信息系统中抽取掉具体区域或专题的地理空间数据后得到的。它具有对计算机硬件适应性强，数据管理和操作效率高、功能强，且具有普遍性并易于扩展、操作简便、容易掌握等特点。GIS-TOOL 作为 GIS 支撑软件以建立专题或区域性的通用型信息系统，也可作为教学软件。只要将其用于与特定任务相关联的地理空间数据，与相应的应用模型相结合，就可形成各种不同规模、不同专题的实用 GIS。目前国内较为流行的 GIS-TOOL 如美国环境系统研究所研制的 ARC/INFO 系统，美国耶鲁大学森林与环境研究学院的 MAP 系统等。

回顾 GIS 的发展历史，在 70 年代大多数 GIS 软件的开发都是针对某个应用任务的需要而进行的，如上述 1 和 2 类 GIS 系统。它们专用性强，但推广应用的范围有限。从上述对 GIS 的分类并根据已有的大量 GIS 应用系统来看，许多实际的 GIS 是介于上述 1 和 2 类之间的区域性专题信息系统。

进入 80 年代后，随着社会对 GIS 需求的日益广泛，GIS 工具的观念出现愈来愈受到人们的重视，而且在实际上也有了很大的发展。仅以美国 GIS World 公司 1990 年统计数字为例，美国就有近 90 个 GIS-TOOL 系统在市场上销售。这些工具的使用加速了 GIS 新兴产业的形成，产生了明显的社会效益。

当然，GIS-TOOL 的研制仍处于一个发展阶段，在很多方面还不是十分成熟的，在功能覆盖应用程序接口，硬件适应面和使用灵活性上还不能满足所有领域不同层次的需要。但随着社会对 GIS-TOOL 需求的不断扩大，人们对它的研制水平的进一步提高，GIS-TOOL 已成为加速 GIS 的发展和应用以及向商业化转变的关键。

三、GIS 的任务

1. GIS 的研究体系

GIS 的任务就是对地球表层人文经济和自然资源及环境多种信息进行综合管理与分析。从 GIS 的研究体系看，主要有三方面的任务：

(1) GIS 基本理论的发展。包括研究 GIS 的概念、定义和内涵；GIS 的信息理论研究；建立 GIS 理论系统；研究 GIS 的构成、功能、特点和任务；总结 GIS 发展历史；探讨 GIS 发展方向等理论问题。

(2) GIS 技术系统设计。侧重于计算机软硬件技术系统的逻辑设计和物理实现，包括

GIS 硬件设计与配置；地理空间数据结构及表示；输入输出系统；空间数据库管理系统；用户界面与用户工具设计；GIS 工具软件研制；微机地理信息系统的开发等。

(3) 地理信息系统应用方法研究。涉及有关地理信息系统应用问题的研究，包括应用系统设计和实现方法；数据采集与检验；GIS 空间分析函数与专题分析模型；GIS 与遥感技术结合方法；地学专家系统研究等。

GIS 技术是在各地学科学研究的实践需求中产生的，GIS 应用使技术系统不断完善，并逐渐发展了 GIS 理论；理论研究又指导着开发新一代高效的 GIS，并不断拓宽其应用领域，加深应用的深度；GIS 的应用又对理论研究和技術方法提出了更高的要求。因此，上述三个方面的工作是相互联系、相互促进的。这是由 GIS 的发展和自身的特点所决定的。

从上面对 GIS 整体研究体系的研究内容分析并结合人类对客观世界的认识、利用和改造过程来看，GIS 在实现从现实世界向观念世界转化中，需要通过人类对现实世界的认识和抽象，即通过各种专业研究和系统分析，产生和发展出 GIS 软件工具和应用系统所需要的概念模型，具体包括对现实世界实体特征描述，关系分析和过程模拟等内容，这些内容被抽象地影射为数据结构的定义、数据模型的建立以及专业模型的抽象等。它们构成了 GIS 基础研究的主要内容和任务。

2. GIS 的任务

从具体的 GIS 技术的角度分析，GIS 应完成以下几个方面的任务：

(1) 地理空间数据管理。数据管理是 GIS 的初级任务，即以多种方式录入地理数据，以有效的数据组织形式进行数据库管理、更新、维护，进行快速查询检索，以多种方式输出决策所需的地理空间信息。

地理信息系统数据管理的目的是提高决策的效率和科学性，其优点表现在：

- ① 信息量大，存储效率高，体积小，保存时间长，利于信息的共享和交流。
- ② 检索效率高，可即时输出辅助决策信息，省时、省力，降低管理费用。
- ③ 数据精度高，比例尺精确，便于不同图件之间的匹配。数据精度不随时间、温度和湿度变化而改变。

④ 输出灵活，利于根据不同的特殊任务选择不同内容、不同形式输出精确定义的空间信息。

⑤ 采用数字化存储，支持各种分析、统计和模拟实验。

⑥ 采用计算机辅助制图技术，支持非专业制图人员制图，并可快速更新、选择和合并地图，改进传统制图工艺。

空间数据管理是 GIS 的最基本的功能。只有在有效的数据管理基础上，才能对空间数据进行各种测量、分析和模拟实验，达到辅助决策的目的。

(2) 空间指标量算。GIS 是以定量的数字地图方式存储地理空间信息，便于灵活、快速、动态地对与地表有关的各种空间指标进行精确的量测，是对传统的地图量算方法的质的改进。

(3) 综合分析评价与模拟预测。GIS 不仅可以对地理空间数据进行编码、存储和提取，而且还是现实世界的模型，可以将对自然世界各个侧面的思维评价结果作用其上，得到综