

Dili xinxi xitong  
Yuanli yu yingyong



高等学校“十五”规划教材

# 地理信息系统原理与应用

郭达志 主编

中国矿业大学出版社

高等学校“十五”规划教材

# 地理信息系统 原理与应用

主 编 郭达志  
副主编 盛业华 杜培军 张 锦  
王宝山 崔先国 吴立新

中国矿业大学出版社

### 内容简介

本书是由中国矿业大学郭达志教授主编的普通高校“十五”规划教材之一,书中既介绍了传统的GIS基础知识,同时又结合了GIS的最新发展。主要内容包括:地球空间与空间数据基础;空间数据结构与数据库;空间数据采集与处理;空间分析;空间数据的可视化与自动制图;GIS工程与应用;GIS的发展与展望。本书可作为地质、测量、采矿、环境、建筑等相关专业或方向的本科生和研究生教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统原理与应用/郭达志主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2002.10

高校“十五”规划教材

ISBN 7-81070-586-5

I. 地… I. 郭… III. 地理信息系统—高等学校—教材 IV. P208

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第059752号

书 名 地理信息系统原理与应用

主 编 郭达志

责任编辑 宋党育

责任校对 崔永春

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×960 1/16 印张 24.5 字数 452 千字

版次印次 2002年10月第1版 2002年10月第1次印刷

印 数 1~3100 册

定 价 29.40 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

# 前 言

随着新世纪的到来,全球化、信息化、网络化和知识经济蓬勃发展。生活在 21 世纪“地球村”里的人们,每天都要和数字化的世界打交道。面对量化的“数字地球”、“数字城市”、“数字……”,人们不仅要善于掌握和运用海量的统计数据仓库,更要随时随地明确自己的生存空间和生存环境。

地理信息系统(Geographical Information System, GIS)是集计算机科学、信息科学、测绘遥感科学、地理科学、空间科学和管理科学等学科为一体的新兴的边缘科学。尽管它的诞生和发展只有三四十年时间,但已成为多学科集成并应用于众多领域的基础平台,成为地学空间、资源与环境信息分析决策的基本手段和工具,并且是地理信息科学(Geographical Information Science 或 Geoinformatics)的核心。它不仅已成为一门较成熟的科学技术,而且也是一门新兴的产业,在测绘、资源开发与管理、农林水利、城市规划与建设、海洋开发与利用、环境保护、区域开发规划、国防建设以及全球变化与地学研究等领域发挥着越来越重要的作用。

在我国,GIS 正迅猛地由实验室走向产业化及社会化,由设备引进、技术克隆迈上自主开发、科技创新与数据挖掘的新台阶。对地理信息系统的研究、教学也受到越来越广泛的重视。此外,随着我国加入世界贸易组织(WTO),在互联网服务领域(ISP)、信息服务领域(ICP)以及应用服务领域(ASP)等,也都需要大量地理信息系统以及它与其他学科相融合的人才。

因此,近十多年来,国内外众多学者写出了许多种 GIS 方面的教科书、专著和参考书,分别面向本科生、研究生或工程设计、开发人员。这些教材和著作的侧重点不同,各有特色,呈现出学科迅速发展和“百花齐放,百家争鸣”的繁荣景象。

本书是作者在原规划教材《地理信息系统基础与应用》(1997 年 5

月,煤炭工业出版社第一版)的基础上,通过近几年的教学和科研实践,并广泛参阅了国内外有关论著之后重新编写而成的。较之原教材,本书在章节编排、体系、内容及分量等方面都有较大的调整和充实,每一章之后还增加了小结和思考题,以便能更好地适应测绘工程、地理信息系统、土地资源管理、地质工程、资源环境与城乡规划、环境工程、环境科学等专业本科生或相关学科研究生教学的需要。

本书共包括八章,由郭达志任主编,盛业华、杜培军、张锦、王宝山、崔先国、吴立新任副主编。此外,阎志刚、赵晓虎、宋金铃、肖寒等参加了本教材的部分录入和编排工作。在此,向他们以及其他给予多方帮助的学者、同仁们表示诚挚的感谢。

由于作者水平有限,篇幅又不宜过长,加之地理信息系统科技及其应用的发展极其迅速,本书远不足以全面、及时地反映本学科的最新成就,挂一漏万之处,以及缺点、错误在所难免,恳请读者不吝指教。

编者

2002年6月于中国矿业大学

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	<b>1</b>
§ 1.1 地理信息系统的基本概念 .....	1
一、信息与信息技术 .....	1
二、地理数据与地理信息的基本特征 .....	2
三、信息系统的主要类型 .....	2
四、地理信息系统的定义和主要类型 .....	3
§ 1.2 地理信息系统的构成和功能 .....	4
一、地理信息系统的构成 .....	4
二、地理信息系统的主要功能 .....	8
§ 1.3 地理信息系统的研究内容 .....	13
一、基本理论研究 .....	13
二、技术系统研究 .....	13
三、应用方法研究 .....	14
§ 1.4 地理信息系统的相关学科和技术 .....	14
§ 1.5 地理信息系统的发展概况 .....	16
一、地理信息系统发展的科学技术背景 .....	16
二、地理信息系统的发展简史 .....	16
§ 1.6 地理信息系统的应用领域 .....	20
小结 .....	23
思考题 .....	23
<b>第 2 章 地球空间与空间数据基础</b> .....	<b>24</b>
§ 2.1 从数字地球到数字城市 .....	24
一、数字地球的概念 .....	24
二、数字地球的核心技术和系统框架 .....	25
三、中国数字地球计划和数字中国 .....	27
四、数字城市、数字小区与地理信息系统 .....	28
§ 2.2 地理现象与地理空间的数据表达 .....	31
一、地理空间现象与地理系统 .....	31

二、地理空间认知模型.....	32
三、地图对地理空间的描述.....	36
四、遥感影像对地理空间的表述.....	38
五、地理信息的数字化表述.....	40
§ 2.3 地理空间坐标系与地图投影.....	41
一、在椭球面上表示点位置的坐标系统.....	41
二、椭球的定位.....	44
三、地图投影的概念.....	45
四、地理信息系统中常用的地图投影.....	48
五、地图的分幅与编号.....	52
§ 2.4 空间数据特征和类型.....	55
一、GIS 空间数据的基本特征.....	55
二、空间数据的类型及其抽象表示.....	57
三、空间数据的拓扑关系.....	58
四、空间数据的不确定性.....	61
§ 2.5 空间数据获取与变换.....	62
一、主要空间数据源及其获取.....	62
二、空间数据的尺度.....	66
三、空间数据的变换(转换).....	67
§ 2.6 空间数据的元数据.....	68
一、元数据的概念及其重要性.....	68
二、空间数据元数据的概念和标准.....	72
三、空间数据元数据的获取与管理.....	74
四、空间数据元数据的应用.....	75
小结.....	77
思考题.....	78
<b>第 3 章 空间数据结构与数据库.....</b>	<b>79</b>
§ 3.1 概述.....	79
一、数据模型和数据结构的概念.....	79
二、数据管理与数据库.....	80
§ 3.2 从传统数据库到空间数据库.....	81
一、传统数据库及其数据模型.....	81
二、空间数据库的结构模式.....	85
三、面向对象的数据系统.....	87

§ 3.3 空间数据模型与数据组织 .....	98
一、空间数据模型发展现状 .....	98
二、对象模型与场(域)模型 .....	99
三、空间数据模型 .....	101
§ 3.4 空间数据结构与数据编码 .....	104
一、矢量数据结构及其编码 .....	105
二、栅格数据结构及其编码 .....	111
三、栅格—矢量一体化数据结构 .....	116
四、镶嵌数据结构 .....	128
五、四叉树和八叉树数据结构 .....	133
六、超图数据结构 .....	144
小结 .....	149
思考题 .....	150
<b>第4章 空间数据采集与处理 .....</b>	<b>151</b>
§ 4.1 空间数据的采集与组织 .....	151
一、图形数据的输入 .....	151
二、属性数据的输入 .....	155
三、GIS数据的检核与编辑 .....	155
四、拓扑关系的建立 .....	158
五、空间数据与属性数据的连接 .....	160
§ 4.2 空间数据的处理 .....	161
一、图幅数据几何纠正 .....	162
二、地图投影变换 .....	163
三、空间数据压缩处理 .....	165
四、图幅拼接 .....	167
五、区域分割 .....	170
六、空间数据格式转换 .....	173
七、数据更新 .....	176
§ 4.3 空间数据的索引 .....	177
一、实体范围索引 .....	178
二、格网索引 .....	179
三、四叉树空间索引 .....	179
四、R树与R+树空间索引 .....	180
五、CELL树空间索引 .....	182



§ 4.4 GPS、RS 和 GIS 技术的集成 .....	182
一、3S 技术集成的概念 .....	183
二、3S 技术集成中的理论和关键技术 .....	184
三、3S 技术的实用集成模式 .....	185
四、3S 的整体集成 .....	189
§ 4.5 空间数据质量分析与控制 .....	191
一、空间数据质量的概念和内容 .....	191
二、空间数据质量问题的来源 .....	193
三、常见的空间数据源的误差分析 .....	196
四、空间数据位置不确定性的评价模型 .....	199
五、空间数据处理中误差的传播 .....	201
六、空间数据质量的控制 .....	203
小结 .....	205
思考题 .....	205
<b>第 5 章 空间分析 .....</b>	<b>207</b>
§ 5.1 综合属性数据分析 .....	208
一、数学和逻辑运算 .....	208
二、单变量分级分析 .....	210
三、属性信息的统计分析 .....	210
四、空间信息分类 .....	211
§ 5.2 空间查询分析 .....	214
一、几何参数量算与查询 .....	214
二、空间定位查询 .....	216
三、空间关系查询 .....	216
四、基于属性特征的查询 .....	218
五、基于空间关系和属性特征的查询 .....	218
§ 5.3 缓冲区分析 .....	219
一、基本概念 .....	219
二、缓冲区的生成 .....	220
三、特殊情况下的缓冲区生成问题 .....	221
§ 5.4 空间叠置分析 .....	223
一、矢量数据的叠置分析 .....	224
二、栅格数据的叠置分析 .....	227
§ 5.5 网络分析 .....	229

一、基本概念 .....	229
二、网络的基本要素 .....	229
三、网络要素的属性表示 .....	231
四、路径分析 .....	233
五、资源分配 .....	234
六、网络分析应用实例 .....	235
§ 5.6 DTM 与三维地形分析 .....	236
一、DTM 的概念与作用 .....	236
二、DTM 数据源与采集方法 .....	237
三、DTM 的表达模型及其转换 .....	239
四、空间拟合和内插 .....	242
五、基于 DTM 的三维地形分析 .....	248
小结 .....	256
思考题 .....	257
<b>第 6 章 空间资料的可视化与自动制图 .....</b>	<b>258</b>
§ 6.1 概述 .....	258
§ 6.2 普通地图与影像地图制图 .....	259
一、地图符号及其分类 .....	259
二、GIS 中地图符号的实现 .....	260
三、地形要素的制图表示 .....	266
四、地图整饰 .....	266
五、影像地图的制图 .....	267
§ 6.3 专题地图制图 .....	268
一、专题地图的基本类型 .....	268
二、专题要素的表示方法 .....	269
三、GIS 中专题要素的符号化 .....	273
四、GIS 专题地图的实现 .....	274
§ 6.4 空间数据的多尺度特征与自动综合 .....	275
一、空间数据的多尺度特征 .....	275
二、空间资料的自动综合方法 .....	279
§ 6.5 三维动态显示与虚拟现实 .....	285
一、真实感地形的生成与显示 .....	285
二、地物的三维表示 .....	292
三、基于 OpenGL 的三维景观动态显示 .....	293

四、虚拟现实与空间数据可视化 .....	296
小结 .....	298
思考题 .....	298
<b>第7章 GIS 工程与应用 .....</b>	<b>299</b>
§ 7.1 GIS 工程建设与设计 .....	299
一、概述 .....	299
二、GIS 工程建设的原则与路线 .....	299
三、GIS 工程中的人员配置与管理 .....	301
四、GIS 硬件工程 .....	301
§ 7.2 GIS 软件开发 .....	304
一、开发路线和体系结构 .....	304
二、GIS 需求分析 .....	306
三、系统设计与实施 .....	307
四、用户界面设计与开发 .....	309
五、数据库设计 .....	309
六、功能设计与模块开发 .....	310
七、GIS 的二次开发 .....	311
八、GIS 产品的评价与测试 .....	311
§ 7.3 GIS 的应用模式与方法 .....	313
一、GIS 的应用模式 .....	313
二、GIS 应用的层次 .....	314
三、GIS 与专业模型的结合 .....	314
四、GIS 与决策支持 .....	317
§ 7.4 GIS 标准化 .....	318
一、GIS 标准化的意义和作用 .....	318
二、GIS 标准化的内容 .....	321
三、ISO/TC211 地理信息标准 .....	324
四、中国的地理信息系统标准化现状 .....	325
§ 7.5 GIS 应用实例 .....	327
一、在测绘与制图中的应用 .....	328
二、土地信息系统(LIS) .....	329
三、城市 GIS 与政府 GIS .....	331
四、矿区资源环境信息系统 .....	334
五、GIS 的其他应用领域综述 .....	336

小结.....	340
思考题.....	341
<b>第 8 章 GIS 的发展与展望 .....</b>	<b>343</b>
§ 8.1 GIS 的网络工程与 WebGIS .....	343
一、计算机网络系统及其实现 .....	343
二、Web GIS——网络技术与 GIS 的结合 .....	346
三、网络 GIS 设计和标准 .....	347
四、Web GIS 的实现技术 .....	348
五、Web GIS 的软件产品 .....	351
§ 8.2 GIS 互操作与开放式 GIS .....	352
一、GIS 的互操作 .....	352
二、开放的地理信息数据互操作规范——OGIS .....	355
三、开放式地理信息系统(OpenGIS)及其实现 .....	356
§ 8.3 组件式 GIS .....	358
一、组件与 COM 技术 .....	358
二、Com GIS 的概念与特点 .....	360
三、Com GIS 设计与开发 .....	360
四、主要 Com GIS 产品简介 .....	361
五、Com GIS 与 Web GIS .....	363
§ 8.4 三维和动态空间 GIS 的发展动态 .....	363
一、三维 GIS 的基本概念 .....	364
二、三维数据模型与数据结构 .....	365
三、时态 GIS .....	367
四、多维动态 GIS 的发展 .....	369
§ 8.5 关于第四代 GIS 的一些思考 .....	369
一、目前 GIS 软件的技术特点与不足 .....	369
二、第四代 GIS 软件技术 .....	371
三、第四代 GIS 与 GIS 的发展 .....	372
小结.....	374
思考题.....	375
<b>参考文献.....</b>	<b>376</b>

# 第1章 绪 论

## § 1.1 地理信息系统的基本概念

### 一、信息与信息技术

在席卷全球的新技术革命浪潮中,人类迎来了信息时代(社会)。当今,信息作为一种重要的社会资源和社会动力资源,引起了社会职能、结构、价值、产业及生活方式的变革,也给人们的观念和行为带来了一场革命。我国正处在社会主义市场经济迅速发展的新时期,信息和信息交换的重要性越来越显示出来,越来越被人们所认识和重视。

信息(Information)是用文字、数字、符号、语言、图像等介质来表示事件、事物、现象等的内容、数量或特征,从而向人们(或系统)提供关于现实世界新的事实和知识,作为生产、建设、经营管理、分析和决策的依据。信息具有客观性、适用性、可传输性和共享性等特征,它来源于数据(Data)。数据是一种未经加工的原始资料,数字、文字、符号、图像都是数据。数据是客观对象的表示,而信息则是数据内涵的意义,是数据的内容和解释。例如,从实地或社会调查数据中可获取到各种专门信息;从测量数据中可以抽取地面目标或物体的形状、大小和位置等信息;从遥感图像数据中可以提取出各种地物的图形大小和专题信息。

信息流是指在空间和时间上向同一方向运动过程中的一组信息,它也是物质流、能量流、价值流的外在形式。人类调控生产、经营活动是通过掌握物质流、能量流、价值流发出的信息流来实现的。信息流的特点之一是以物质流和能量流为载体,进行双向性传递,既有输入到输出的信息传递,也有从输出向输入的信息反馈。人们可以按照这些反馈信息来改变输入的内容或数量,以便对控制对象产生新的影响。信息流的畅通是保证各种生产、经营和社会活动正常运行的必要条件。因此,加强对信息的组织管理是提高经济建设和社会发展水平的重要保证。21世纪以来,世界劳动人口大量从物质生产领域向包括信息产业在内的服务性行业转移。今后,第四产业——信息产业在世界经济和社会发展中的作用将越来越显著。信息是未来的“核心”。信息技术是当今世界高技术群的代表,它可以帮助人们收集情报、揭示问题和预测未来,极大地扩大和增强人类适应自然的能力,为人类社会带来更大的益处。可见,信息具有这样一些特点:客观性,即任

何信息都是与客观事实紧密相关的;实用性,对人们的日常生活及各种决策十分有用;可传输性、共享性,信息与实物不同,它可以传输给多个用户,被他们所共享,而其本身并无损失。

## 二、地理数据与地理信息的基本特征

地理信息是有关地理实体空间分布、性质、特征和运动状态的信息,它是对表达地理特征和地理现象之间关系的地理及环境数据的解释。而地理数据则是各种地理特征和现象间关系的符号化表示,包括空间位置数据、属性(特征)数据和时域特征数据三大部分。空间位置数据既可以根据大地参照系定义,如大地经纬度坐标、直角坐标,也可以根据地物间的相对关系定义,如空间上的相邻、包含等。属性数据有时又称非空间数据,是对一定地物描述其特征的定性或定量指标。时域特征数据是指地理特征采集或地理现象发生的时刻或时段。空间位置数据、属性数据及时域(间)数据是地理空间实体和现象的三大基本要素。从地理实体到地理数据,再到地理信息的发展,反映了人类认识的一个巨大飞跃。

地理信息除了具有一般信息的特性之外,还具有以下特性:

(1) 空间分布性。地理信息具有空间定位的特点,一般总是先对其定位再定性,并且在区域上表现出分布式特点,其属性表现为多层次,因此地理数据库的分析或更新也应是分布式的。

(2) 数据量大。如上所述地理信息一般都包括空间、属性和时间及其变化的数据,且往往以图形图像形式表示,因此其数据量很大。尤其是随着全球空间对地观测计划和技术的不断发展,我们每天都能够获得上万亿兆的关于地球资源、环境特征的数据,从而给数据处理与分析带来很大压力。

(3) 信息载体的多样性。地理信息的第一载体是地理实体的物质和能量本身,此外,还有描述实体的文字、数字、地图和影像等符号信息载体,以及纸质、磁带、光盘等物理介质载体。各种图形图像和地图,不仅是信息的载体,也是信息的传播媒介。

## 三、信息系统的主要类型

为了有效地对信息流进行控制、组织管理,实现双向传递,需要通过某种信息系统,它能对数据和信息进行采集、存储、加工和再现,并能回答用户的一系列问题。信息系统有四大基本功能:数据采集、管理、分析和表达。从计算机技术在信息科学中的应用角度看,信息系统是由计算机硬件、软件、数据和用户四大要素组成的问答系统。智能化的信息系统还包括知识和经验。计算机硬件包括各类计算机处理机及终端和外部设备;软件是支撑数据和信息的采集、存储、加工、再现及回答问题的程序系统;数据是系统中的重要组成部分,包括定量和定性数据;用户是信息系统的服务对象或使用者,是系统的主人。有一般用户和从事系

统设计、建设、维护、管理和更新的高级用户。

根据信息系统所执行的任务,可分为事务处理系统(Transaction Processing System)和决策支持系统(Decision Support System)。前者强调的是数据的记录和操作,如财务、人事管理信息系统,民航订票系统等。后者是用以获得辅助决策方案的交互式计算机系统,它一般由语言系统、知识系统和问答处理系统共同组成。

#### 四、地理信息系统的定义和主要类型

地理信息系统(Geographical Information System 或 Geo-Information System, GIS),有时又称为“地学信息系统”或“资源环境信息系统”。它是一种特定的十分重要的空间信息系统(Spatial Information System),它是在计算机硬件、软件系统支持下,对整个或部分地球表层(包括大气层)空间中的地理分布数据进行采集、储存、管理、运算、模拟、分析、显示和描述的技术系统。这里地理信息系统的“地理”二字是广义地指地理坐标参照系统,也即按地理坐标来组织空间数据。地理信息系统(GIS)处理、管理的对象是多种地理空间实体数据及其关系,包括空间定位数据、图形数据、遥感图像数据、属性数据等,用于分析和处理在一定地理区域内分布的各种空间现象、环境特征和过程,解决复杂的规划、决策和管理问题。

综合上面关于信息系统和地理信息系统的论述,可将它们之间的关系用图 1-1 表示。依据地理信息系统应用领域的不同,可分为土地信息系统(LIS)、资源管理信息系统(Natural Resources Information System)、地学信息系统(Geoscience or Geological Information System)等;依据其服务对象的不同,可分为区域信息系统和专题信息系统,如农林信息系统、矿山信息系统、地籍管理信息系统等。

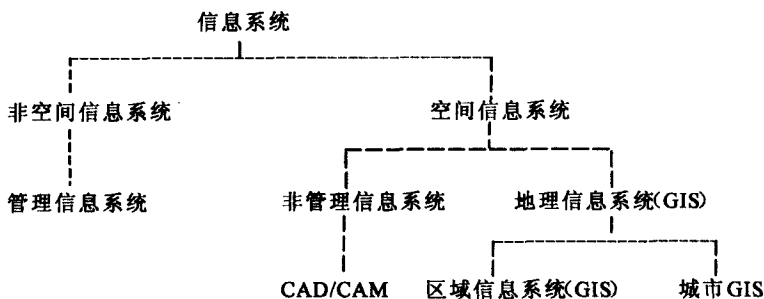


图 1-1 信息系统的分类

与一般的管理信息系统相比,地理信息系统具有以下特征:

(1) 地理信息系统在分析处理问题中使用了空间数据与属性数据,并通过

数据管理系统将两者联系在一起共同管理、分析和应用,从而提供了认识地理现象的一种新的思维方法;而管理信息系统则只有属性数据库的管理,即使存贮了图形,也往往以文件形式等机械形式存贮,不能进行有关空间数据的操作,如空间查询、检索、相邻分析等,更无法进行复杂的空间分析。

(2) 地理信息系统强调空间分析,通过利用空间解析式模型来分析空间数据,地理信息系统的成功应用依赖于空间分析模型的研究与设计。

(3) 地理信息系统的成功应用不仅取决于技术体系,而且依靠一定的组织体系(包括实施组成,系统管理员、技术操作员、系统开发设计者等)。

(4) 虽然信息技术对地理信息系统的发展起着重要的作用。但是,实践证明,人的因素在地理信息系统的发展过程中具有越来越重要的影响作用,地理信息系统许多的应用问题已经超出技术领域的范畴。

## § 1.2 地理信息系统的构成和功能

### 一、地理信息系统的构成

完整的 GIS 主要由四个部分构成,即硬件系统、软件系统、地理空间数据和系统管理操作人员。空间数据库反映了 GIS 的地理内容,而管理人员和用户则决定系统的工作方式和信息表达方式。地理信息系统的构成可综合表示为图 1-2。

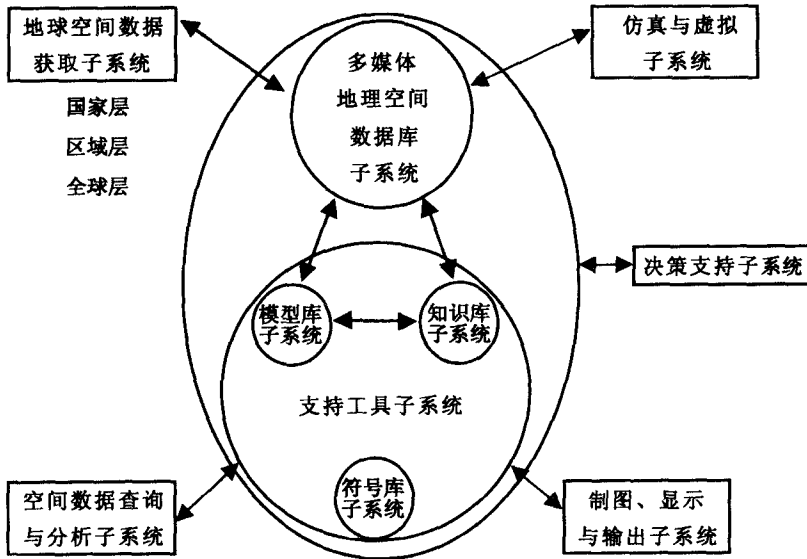


图 1-2 地理信息系统的构成



## 1. 硬件系统

计算机硬件是计算机系统中实际物理装置的总称,可以是电子的、电的、磁的、机械的、光的元件或装置,是 GIS 的物理外壳,系统的规模、精度、速度、功能、形式、使用方法甚至软件都与硬件有极大的关系,并受硬件指标的支持或制约。GIS 由于其任务的复杂性和特殊性,必须由计算机设备支持。GIS 硬件配置一般包括四部分(图 1-3):

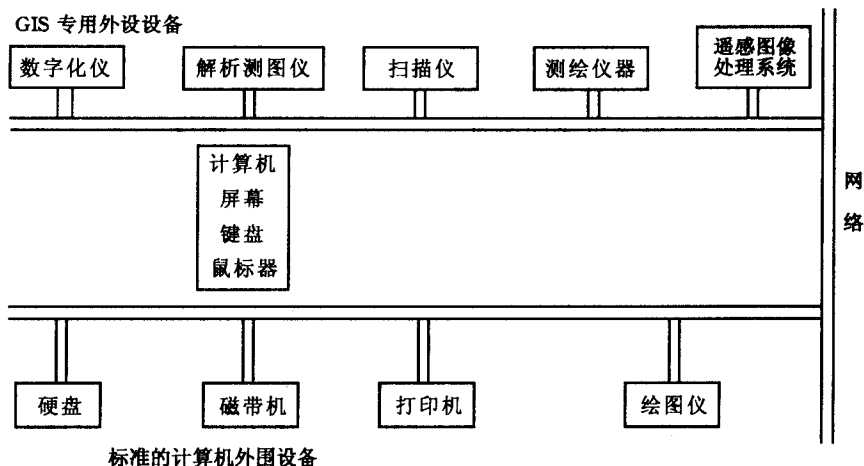


图 1-3 地理信息系统的硬件系统

- (1) 计算机主机;
- (2) 数据输入设备:数字化仪、图像扫描仪、手写笔、光笔、键盘、通讯端口等;
- (3) 数据存储设备:光盘刻录机、磁带机、光盘塔、活动硬盘、刻录阵列等;
- (4) 数据输出设备:笔式绘图仪、喷墨绘图仪(打印机)、激光打印机等。

## 2. 软件系统

软件系统是指 GIS 运行所必需的各种程序,通常包括计算机系统软件、地理信息系统软件和其他支撑软件、应用分析程序等(图 1-4):

### GIS 专用外设备

#### (1) 计算机系统软件

由计算机厂家提供的、为用户开发和使用计算机提供方便的程序系统,通常包括操作系统、汇编程序、编译程序、诊断程序、库程序以及各种维护使用手册、程序说明等,是 GIS 日常工作所必需的。

#### (2) 地理信息系统软件和其他支撑软件