

地理信息系统基础

主编 吴风华



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

地理信息系统基础

主 编 吴风华

副主编 杨久东 王 政 闫顺玺 田桂娥



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统基础/吴风华主编. —武汉:武汉大学出版社, 2014. 12
ISBN 978-7-307-14906-9

I. 地… II. 吴… 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(2014)第 275320 号



责任编辑:黄汉平 方慧娜

责任校对:汪欣怡

版式设计:马 佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷:湖北省荆州市今印印务有限公司

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 16 字数: 371 千字

版次: 2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-14906-9 定价: 30.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购买我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 是一种基于计算机的工具, 它可以对在地球上存在的物体和发生的事件进行成图和分析。GIS 技术把地图这种独特的视觉效果和地理分析功能与一般的数据库操作 (例如查询和统计分析等) 集成在一起。这种能力使 GIS 与其他信息系统相区别, 从而使其在广泛的公众和企事业单位中解释事件、预测结果、规划战略等中具有实用价值。它问世于 20 世纪 60 年代, 70 年代形成多学科交叉的局面, 目前 GIS 已形成极具前途的新兴产业, 并在全世界的中学、大学里讲授。各领域的专家不断地意识到按地理的观点来思考和工作所带来的优越性。为了更好地研究这一技术的发展, 加速我国地理信息产业的开发和应用, 培养地理信息系统专业人才, 特编写本教材。

本教材由河北联合大学吴风华主编, 河北联合大学的杨久东、王政、闫顺玺和田桂娥担任副主编。本书共分为 11 章, 主要介绍地理信息系统的基本理论和方法。编写分工是: 第 1、9 章由王政编写, 第 2 章由田桂娥编写, 第 5、8、10 章由杨久东编写, 第 7 章由闫顺玺编写, 第 3、4、6、11 章由吴风华编写。本教材在编写和修改过程中, 得到了河北联合大学许多老师和同学的帮助, 在此特别感谢贾雪珊、张亚宁和李卓三位同学。另外还要感谢四川省成都市规划管理局的黄力同志在教材编写过程中给予的鼓励。

由于编者教学和业务水平有限, 加上时间仓促, 错误和不妥之处, 恳请读者批评指正。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 GIS 相关的概念	1
1.2 GIS 构成	5
1.3 GIS 的功能	7
1.4 GIS 类型	7
1.5 GIS 的技术基础	8
1.6 GIS 发展史	10
第2章 坐标系统与地图投影	14
2.1 地球椭球体基本要素	14
2.2 坐标系	16
2.3 地图投影	18
2.4 高斯-克吕格投影	24
2.5 地形图分幅与编号	27
第3章 地理信息系统的空间数据结构	29
3.1 GIS 空间数据概述	29
3.2 空间数据结构	33
第4章 地理信息系统数据库	54
4.1 数据的层次与文件组织	54
4.2 GIS 数据库的形成与发展	58
4.3 GIS 数据库概述	60
4.4 GIS 数据库的设计与实现	72
4.5 GIS 数据库的建立与维护	75
第5章 空间数据的采集和处理	76
5.1 GIS 数据源	76
5.2 地理数据的分类和编码	78
5.3 GIS 数据采集和输入	81
5.4 GIS 数据处理	84

5.5 数据质量和质量控制	92
第6章 空间查询与空间分析	101
6.1 GIS 空间查询与统计	101
6.2 空间数据的叠置分析	106
6.3 空间数据的缓冲区分析	110
6.4 空间数据的网络分析	112
6.5 数字地形模型分析	117
6.6 泰森多边形分析	124
第7章 空间信息的可视化	127
7.1 地理信息的可视化	127
7.2 地理信息可视化技术	136
7.3 动态现象可视化	139
7.4 GIS 输出	145
第8章 地理信息系统的应用模型	148
8.1 GIS 应用模型概述	148
8.2 适宜性分析模型	150
8.3 发展预测模型	154
8.4 选址模型	155
8.5 专家系统	159
8.6 三维虚拟模型	161
8.7 控件决策支持	167
第9章 地理信息系统的开发	171
9.1 地理信息系统的开发过程	171
9.2 地理信息系统的开发方法	175
9.3 地理信息系统的标准化	177
9.4 国内外地理信息系统开发软件简介	181
9.5 GIS 开发实例	198
第10章 3S 集成技术与数字地球	218
10.1 3S 集成技术	218
10.2 数字地球简介	222
10.3 国家信息基础设施与国家空间数据基础设施	227

第 11 章 地理信息系统的发展趋势	230
11.1 三维 GIS	230
11.2 时态 GIS	232
11.3 网络 GIS	236
参考文献	246

第1章 绪 论

地理信息系统(Geographic Information System, GIS)通过电子地图等方式表达地球上的物体和事件,是20世纪60年代提出并快速发展起来的一门集多学科于一体的交叉学科。目前,地理信息系统已经深入各行各业,广泛应用于土地利用、资源管理、环境监测、交通运输、城市规划、经济建设以及金融机构、企事业单位、政府各职能部门等行业和领域。GIS已经走进千家万户,获得了极其广阔的发展空间,为了普及GIS常识,本章详细介绍地理信息系统基础知识。

1.1 GIS 相关的概念

首先介绍一个地理信息系统应用实例,之后给出信息与数据、地理信息与地学信息、信息系统与地理信息系统等基本概念,最后阐述地理信息系统与其他信息系统的关系和区别。

一、公园选址辅助决策

某市新建一所郊游公园,郊游公园具体位置的选择需要满足一定的要求:

- (1)依山傍水,地形有一定起伏,必须靠近天然的小河流;
- (2)交通方便,但周围环境较安静,公园距公路的距离最远不得超过1.25km,最近不得小于0.25km;
- (3)空气新鲜,有一定的植被覆盖率。

类似公园选址这样的空间决策问题涉及各方面影响因素,需要将大量的多种空间信息进行综合分析、利用。

地理信息系统首先从现实世界中采集、获取与上述要求有关的地形信息、水系信息、道路信息和植被信息等各类信息,以一定的结构存储起来,即建立空间数据库,并提供各类空间数据处理和综合分析手段,如用户针对此问题提供一套条件,系统将返回一套方案,一个问题,考虑问题的角度不同,往往会有多个可选方案。如用户更改条件,系统将快速返回与之对应的另一套方案。而最后方案的确定还涉及许多非量化的复杂因素,需要规划专家的智能选择。地理信息系统是解决空间问题的有效的辅助决策支持工具。目前,地理信息系统还不能完全代替最终决策者。

二、数据与信息

1. 信息

信息是现实世界在人们头脑中的反映。它以文字、数据、符号、声音、图像等形式记录下来,进行传递和处理,为人们的生产、建设、管理等提供依据。

信息具有客观性、适用性、传输性和共享性等特征。

(1)客观性:任何信息都是与客观事实相联系的,这是信息的正确性和精确度的保证。

(2)适用性:问题不同,影响因素不同,需要的信息种类是不同的。如股市信息,对于不会炒股的人来说,毫无用处,而股民们会根据它进行股票的购进或抛出,以达到股票增值的目的。

(3)传输性:信息在发送者和接收者之间进行传输的网络,被形象地称为“信息高速公路”。

(4)共享性:信息与实物不同,信息可传输给多个用户,为用户共享,而其本身并无损失,这为信息的并发应用提供可能性。

2. 数据

数据指输入到计算机并能被计算机进行处理的数字、文字、符号、声音、图像等符号。数据是对客观现象的表示,数据本身并没有意义。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。

3. 两者关系

数据是信息的表达、载体,信息是数据的内涵,是形与质的关系。只有数据对实体行为产生影响才成为信息,数据只有经过解释才有意义,成为信息。人的知识和经验作用到数据上可得到信息,而获得信息量的多少与人的知识水平有关。

三、地理信息与地学信息

1. 地理信息

地理信息是有关地理实体和地理现象的性质、特征和运动状态的表征和一切有用的知识,是对表达地理实体与地理现象之间关系的地理数据的解释。地理信息具有地域性、多维结构特性和动态变化的时序特征。

地域性通过地理坐标来实现空间位置的标识,是地理信息区别于其他类型信息的最显著标志。多维结构特征指在同一位置上可有多种专题的信息结构,即在二维空间的基础上可以实现多专题的第三维结构。时序特征即时空的动态变化引起地理信息的属性数据或空间数据的变化,地理信息具有现势性,需要及时更新数据。例如1998年武汉龙王庙特大洪水险情正是武汉勘测设计院利用先进的遥感、GPS技术测得实时数据为抗洪决策提供了可靠依据。显然,如果用过时的数据,这将造成多大的损失!这就是地理信息的时序特征。

2. 地学信息

与人类居住的地球有关的信息都是地学信息,具有无限性、多样性、灵活性等特点。地学信息是人们深入认识地球系统、合理开发资源、净化能源、保护环境的前提和保证。

地理信息与地学信息的区别主要在于信息源的范围不同,地理信息的信息源是地球表面的岩石圈、水圈、大气圈和人类活动等;地学信息所表示的信息范围更广泛,不仅来自地表,还包括地下、大气层甚至宇宙空间。

四、信息系统与地理信息系统

1. 信息系统(Information System, IS)

系统是具有特定功能的、相互作用和相互依赖的若干要素结合而成，完成特定功能的有机整体。为了有效对信息流进行控制、组织管理，实现双向传递，需要通过某种信息系统来实现。信息系统能回答用户一系列问题，具有采集、管理、分析和表达数据的能力。由计算机硬件、软件、数据和用户四大要素组成。

从适用于不同管理层次的角度出发，信息系统分为事务处理系统、管理信息系统、决策支持系统和专家系统等。

2. 地理信息系统

随着人们对地理信息系统的需求发生变化，GIS 出现了多种不同定义方式。如维基百科把地理信息系统定义为“用于输入、存储、查询、分析和显示地理数据的计算机系统”。美国联邦数字地图协调委员会(FICCDC)关于 GIS 的定义及概念框架(图 1-1)认为“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”。

对地理信息系统的定义可以用地理信息系统的三个组成部分来简单描述，组成+功能+应用领域。GIS 是一种计算机系统，具有系统的基本功能即数据采集、管理、分析和表达，每个 GIS 系统都由若干具有上述功能的模块组成。GIS 的处理对象是有关的地理分布数据，也就是空间数据，为了能对这些空间数据进行定位、定性和定量的描述，决定了 GIS 要对空间数据按统一地理坐标进行编码，这是 GIS 与其他信息系统不同的根本所在。

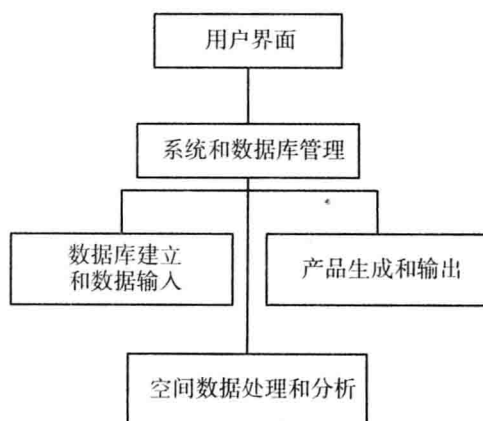


图 1-1 GIS 概念框架和构成

3. 地理信息系统与其他信息系统的区别和联系

地理信息系统是空间数据和属性数据的联合体(图 1-2)构成的信息系统。GIS 是一种空间信息系统，它在信息系统中的地位如图 1-3 所示。

(1) GIS 与一般 MIS: GIS 离不开数据库技术。数据库中的一些基本技术，如数据模型、数据存储、数据检索等都是 GIS 广泛使用的核心技术。GIS 对空间数据和属性数据共同管理、分析和应用，而一般 MIS(数据库系统)侧重于非图形数据(属性数据)的优化存



图 1-2 数据联合体(据张超《地理信息系统教程》)

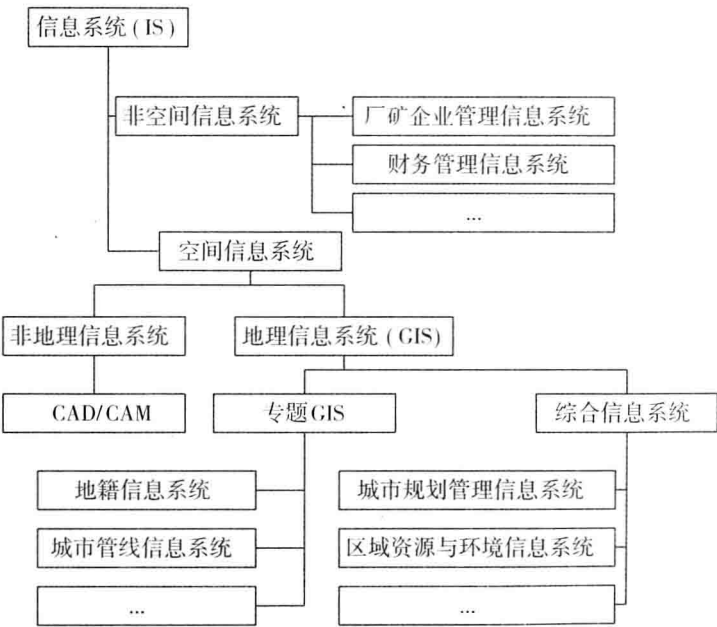


图 1-3 信息系统分类

储与查询，即使存储了图形，也是以文件的形式存储，不能对空间数据进行查询、检索、分析，没有拓扑关系，其图形显示功能也很有限。如电话查号台是一个一般 MIS，只能回答用户询问的电话号码，而通信信息系统除了可查询电话号码外，还提供用户的地理分布、空间密度、最近的邮局等空间关系信息。

(2)GIS 与 CAD/CAM: GIS 与 CAD/CAM 都可以用来管理图形数据和非空间属性数据。它们的相同和不同点分别如图 1-4 和图 1-5 所示。

GIS 与 CAM 共同点	GIS 与 CAM 不同点	
都有空间坐标系统	CAD 研究对象为人造对象—规则几何图形及组合	GIS 处理的数据大多来自于现实世界，较之人造对象更复杂，数据量更大；数据采集的方式多样化
都能将目标和参考系联系起来	图形功能特别是三维图形功能强，属性库功能相对较弱	GIS 的属性库结构复杂，功能强大
都能描述图形数据的拓扑关系	CAD 中的拓扑关系较为简单	强调对空间数据的分析，图形属性交互使用频繁
都能处理属性和空间数据	一般采用几何坐标系	GIS 采用地理坐标系

图 1-4 GIS 与 CAD 的异同

GIS 与 CAM 共同点	GIS 与 CAM 不同点	
都有地图输出、空间查询、分析和检索功能	CAM 侧重于数据查询、分类及自动符号化，具有地图辅助设计和产生高质量矢量地图的输出机制 它强调数据显示而不是数据分析，地理数据往往缺乏拓扑关系 它与数据库的联系通常是一些简单的查询	CAM 是 GIS 的重要组成部分 综合图形和属性数据进行深层次的空间分析，提供辅助决策信息

图 1-5 GIS 与 CAM 的异同

1.2 GIS 构成

从计算机的角度看，GIS 是由软件、硬件、数据、用户和模型组成，如图 1-6 所示。

GIS 核心部分是计算机系统，包括硬件、软件。系统硬件指各种硬件设备，是系统功能实现的物质基础。系统软件是支持数据采集、存储、加工、回答用户问题的计算机程序系统。空间数据反映 GIS 的地理内容，是系统分析与处理的对象，构成系统的应用基础。应用人员是 GIS 服务的对象，决定系统的工作方式和信息表达方式，分为一般用户和从事建立、维护、管理和更新的高级用户。应用模型

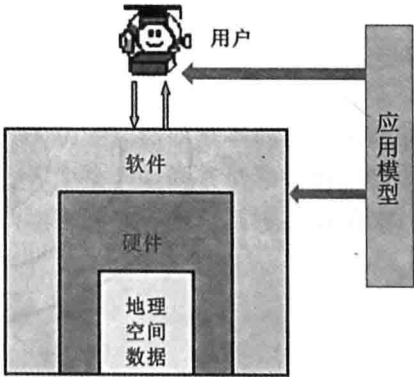


图 1-6 GIS 的组成

用来解决某一专门应用的应用，是 GIS 技术产生社会效益的关键所在。

由于计算机的飞速发展和地理信息的时序特征，硬件寿命 3 ~ 5 年，软件寿命 5 ~ 15 年，数据时效性 1 ~ 2 年、5 ~ 70 年不等，GIS 需要不断维护、更新，GIS 用户要不断进行知识更新。

一、硬件配置

上文提到 GIS 作为技术系统具备数据的采集、管理、分析、表达和显示功能，功能的实现依靠一定的硬件，GIS 的硬件配置如图 1-7 所示。

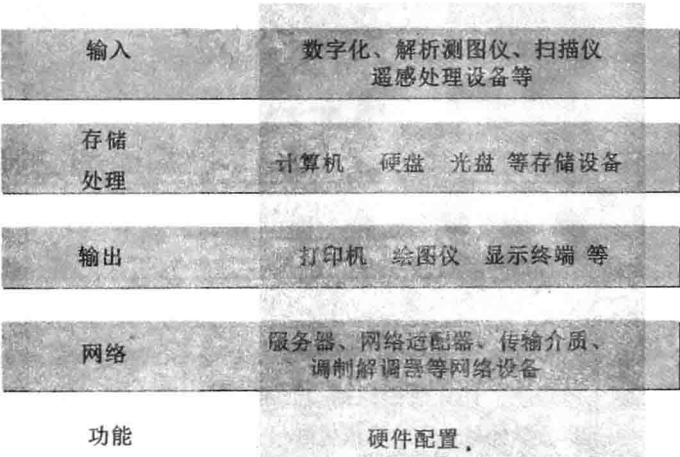


图 1-7 GIS 的硬件配置

二、软件配置

1. GIS 软件层次

有了计算机硬件，需要在硬件上安装操作系统（如 DOS/Windows/UNIX 等）、GIS 专业平台软件以及 GIS 应用软件，逻辑结构如图 1-8 所示。GIS 应用软件在 GIS 软件层次的外层，外层以内层软件为基础，共同完成用户指定的任务。

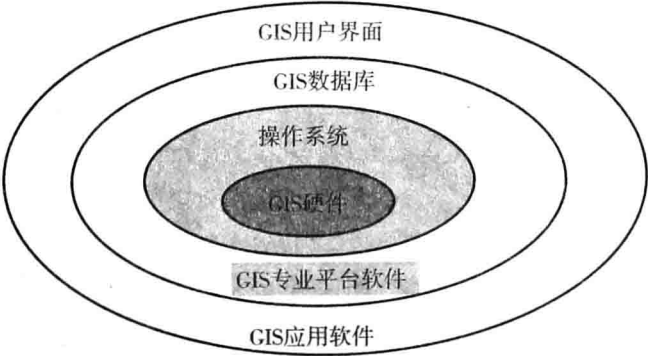


图 1-8 GIS 软件层次结构

2. GIS 基础软件主要模块

GIS 基础软件需要满足以下功能，空间数据输入与转换、空间数据管理、图形及属性编辑、空间查询与空间分析、制图与输出等。GIS 基础软件模块间的关系如图 1-9 所示。

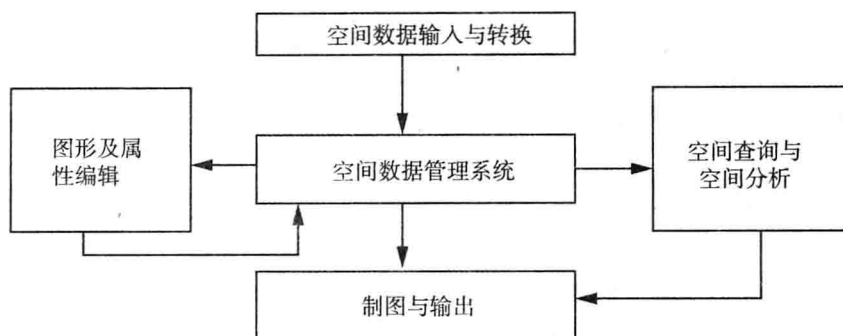


图 1-9 GIS 基础软件主要模块

1.3 GIS 的功能

地理信息系统用来解决地理空间问题，这些核心问题可以归纳为五个方面的内容：位置、条件、趋势、模式、模拟。

位置，即某个具体地方有什么的问题。位置可表示为企事业单位等地点名、地方名、邮政编码、地理坐标等。

条件，即符合某些条件的实体在哪里的的问题。上文公园选址的例子中，公园距公路的距离最远不得超过 1.25km，最近不得小于 0.25km 的区域。

趋势，即变化趋势，某个地方发生的某个事件及其随时间的变化过程。该类问题需要综合现有数据，识别已经发生了或者正在发生变化的地理现象。

模式，即某个地方存在的空间实体分布模式的问题。模式分析揭示了地理实体之间的空间关系。例如，机动车事故常常符合特定模式，该事故发生在何处，地点与时间有没有关系，是不是在某个特定的交叉路口，这些交叉路口具备什么特征。

模拟，即假设某个地方具有某种条件会发生什么的问题。地理信息系统的模拟是基于模型的分析，这类问题需建立新的数据关系以产生解决方案。

为了解决上述核心问题，地理信息系统需要提供不同的功能。然而基本的功能包括以下五部分：数据采集与编辑、数据存储与管理、数据处理和变换、空间查询和分析、数据显示、输出功能。在分析功能中把空间分析和模型分析功能称为地理信息系统高级功能。

1.4 GIS 类型

地理信息系统按照其内容可分为三大类：专题地理信息系统、区域地理信息系统、地理信息系统工具。

专题地理信息系统是具有有限目标和专业特点的地理信息系统，为特定的行业服务，例如交通地理信息系统、矿业地理信息系统、电信资源管理信息系统等。

区域地理信息系统主要以区域综合研究和全面的信息服务为目标，根据区域的大小不同区域地理信息系统有不同的规模，如唐山市地理信息系统、河北省地理信息系统、加拿大国家信息系统。也可以根据自然分区流域划分区域地理信息系统，如中国黄河流域信息系统等。实际应用中，许多地理信息系统收集介于专题和区域地理信息系统之间的区域专题地理信息系统，如北京市水土流失信息系统、海南岛土地评价信息系统、河南省冬小麦估产信息系统等。

地理信息系统工具，有人也称为地理信息外壳，是一组具有图形图像数字化、存储管理、查询检索、分析运算和多种输出等地理信息系统基本功能的软件包。

GIS 的类型还可以根据 GIS 的功能、作用等进行划分(图 1-10)。

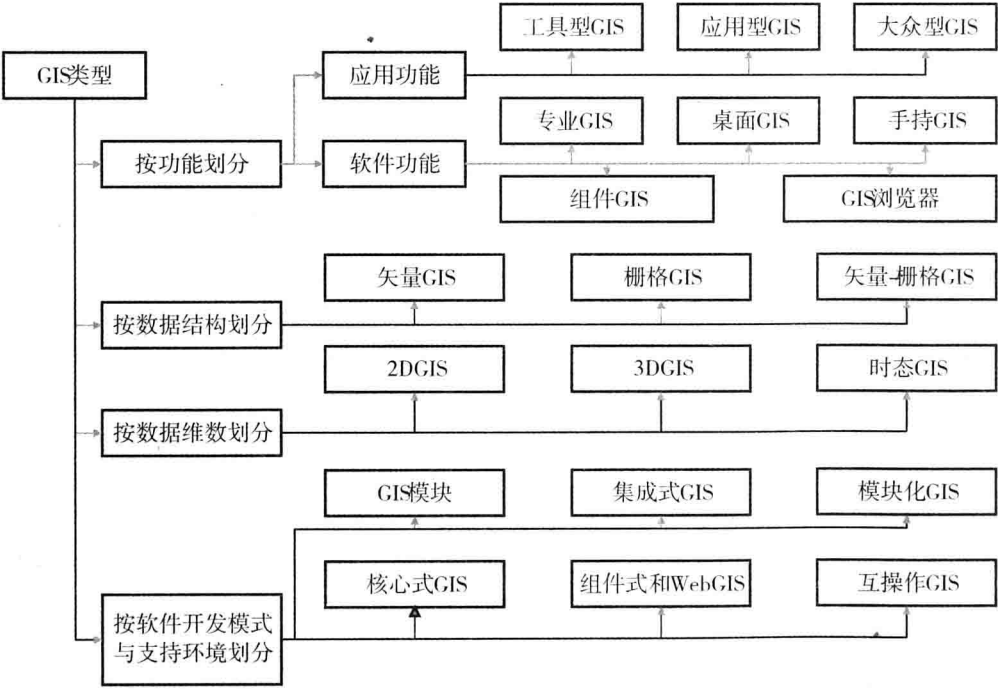


图 1-10 GIS 的类型

1.5 GIS 的技术基础

地理信息系统是 20 世纪 60 年代开始迅速发展起来的新技术，是多种学科交叉的产物，是传统科学与现代技术相结合的产物。为了更好地掌握并深刻理解 GIS，有必要分析 GIS 与其他相关学科的联系。

地理学是一门研究人类生活空间的学科，地理学研究空间分析的传统历史悠久，它为 GIS 提供了一些空间分析的方法与观点，成为 GIS 部分理论的依托。地理学的许多分支学

科,如地图学、大地测量学等都与 GIS 有着密切的相依关系。另一方面, GIS 也以一种新的思想和新的技术手段解决地理学的问题,使地理学研究的数学传统得到充分发挥。GIS 被誉为地学的第三代语言——用数字形式来描述空间实体。GIS 相关学科如图 1-11 所示。

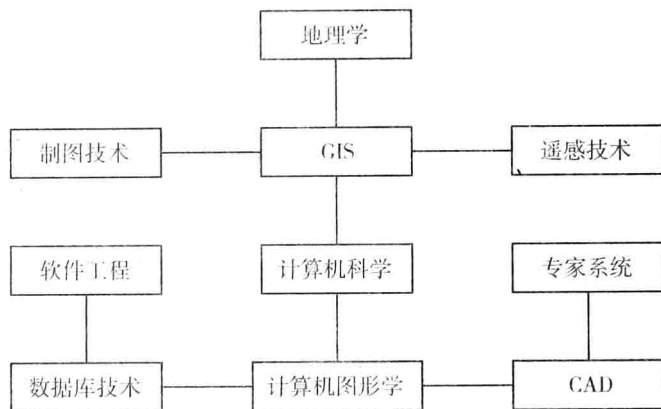


图 1-11 GIS 相关学科

我们可以把地理信息系统与其他学科的关系用一棵树来表示,如图 1-12 所示。树根表示 GIS 技术基础,如测量学、计算机科学、数学等;树枝表示 GIS 的应用,如资产管



图 1-12 GIS 学科树

理、环境科学、社会科学等,应用的结果与需求返回到树根;雨滴则是每个应用中的数据来源,如地形测量数据、环境测量数据、社会-经济测量数据等数据,并为它的发展提供了有效手段,而 GIS 的应用主要是在环境科学、地理学和社会科学等领域。

1.6 GIS 发展史

地理信息系统脱胎于地图,通用地图可追溯到几个世纪前,而 20 世纪 60 年代地理信息系统概念才正式提出。纵观地理信息系统的发展,可将其划分为若干阶段。

一、国际 GIS 发展状况

地理信息系统在国际上发展的四个阶段:探索时期、发展时期、成熟阶段和全面应用阶段。

20 世纪 60 年代是地理信息系统的探索时期,也称开拓期。该时期地理信息系统刚起步,主要关注空间数据的地学处理。该阶段计算机硬件系统功能还很弱,计算机存储能力很小,数据存取速度很慢,限制了地理信息系统功能和技术。地理信息系统软件研制主要是针对具体的 GIS 应用。

20 世纪 70 年代是地理信息系统的发展期,也是 GIS 的巩固阶段。该阶段主要关注空间地理信息的管理。该阶段计算机软硬件技术得到迅速发展,数据处理速度加快,内存容量增大,输入输出设备比较齐全;图形、图像技术增强,为人机对话和图形显示提供了良好的基础。软硬件和技术设备的快速发展为地理信息系统发展提供了强力支撑。地理信息系统软件分析能力还较弱,但人机图形交互技术取得了很大发展。

20 世纪 80 年代地理信息系统获得了大发展,地理信息系统趋于成熟,称为地理信息系统的成熟期。这一时期计算机价格大幅下降,功能较强的微型计算机系统普及,图形输入输出和存储设备快速发展,大大推动了地理信息软件的发展,研制了大量的微机 GIS 软件系统。地理信息系统的应用领域迅速扩大,从资源管理、环境规划到应急反应,从商业服务区域划分到政治选举分区等,涉及更多的学科与领域,如古人类学、景观生态规划、森林管理、土木工程以及计算机科学等。

这一时期主要有三个特点。第一,栅格—矢量转换技术、自动拓扑编码以及多边形中拓扑误差检测等方法得以发展,开辟了处理图形和属性数据的途径。第二,具有属性数据的图幅可以与其他图幅进行图形自动拼接,从而构成一幅更大的图件,使小型计算机能够分块处理较大空间范围的数据文件。第三,空间数据库管理系统建立,采用命令语言实现属性再分类、分解线段、合并多边形、改变比例尺、测量面积、产生图 and 新的多边形、按属性搜索、输出表格和报告以及多边的叠加处理等。

20 世纪 90 年代以来地理信息系统进入全面应用普及阶段。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,地理信息系统已经深入到各行各业,成为人们生产、生活、学习和工作中不可缺少的工具和助手,成为许多机构必备的工作系统。该时期的 GIS 具有明显特点,多源数据信息共享、数据实现跨平台操作、平衡计算负载和网络流量负载、操作及管理简单化、应用普及化大众化。这个时期出现了一些社会影响力很大的标志性技术,比如智慧城市、网络 GIS、虚拟现实、移动 GIS 等。