

院校地理信息科学系列教材

# 地理信息系统概论

崔铁军 等 编著



科学出版社

普通高等院校地理信息科学系列教材

# 地理信息系统概论

崔铁军 等 编著

天津市品牌专业经费资助



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

地理信息系统是指由计算机系统所支撑的,对地理信息进行采集、处理、存储、检索、分析和显示的综合性的技术系统,是地理信息科学的核心内容之一。本书首先全面介绍了地理信息系统的概念、应用、发展及其与相关学科的关系。然后,分别研讨了地理信息系统开发的计算机技术基础、高性能计算环境、地理信息系统架构、地理信息系统功能、组件式地理信息系统、基础地理信息系统、网络地理信息系统、移动地理信息系统。最后,详细介绍了地理信息系统软件产品和地理信息系统软件开发。

本书条理清晰、叙述严谨、实例丰富,既适合作为地理信息科学专业或相关专业本科生、研究生教材,也可供从事信息化建设、信息系统开发等科技工作者参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统概论 / 崔铁军等编著. —北京:科学出版社,2018.6

普通高等院校地理信息科学系列教材

ISBN 978-7-03-057794-8

I. ①地… II. ①崔… III. ①地理信息系统-高等学校-教材 IV. ①P208.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第123619号

责任编辑:杨红 程雷星 / 责任校对:樊雅琼

责任印制:吴兆东 / 封面设计:陈敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018年6月第一次印刷 印张:21 1/2

字数:540 000

定价:69.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

1997年教育部在高等教育专业目录中增设了地理信息系统本科专业；2012年教育部将地理信息系统专业更名为地理信息科学专业。地理信息系统从研讨课、一门课程，发展到一个专业、一个学科。

随着地理信息系统应用的深入，人们开始越来越关注时空分布的地球表层（地理现象、社会发展及其外层空间整个环境）及其动态变化的过程在计算机中表达（如地理空间理解、地图结构表达和空间语言理解）的合理性、地理建模分析（如地理对象建模、空间尺度分析和空间决策过程）的科学性及地理信息系统技术（如人机交互界面、地理数据共享和地理信息系统互操作）的智能性等理论问题。地理信息系统运用各种测绘技术和工具获取有关客观世界的地理空间数据构建了现实世界的抽象化数字模型，以数据库技术存储和管理地理空间数据，以可视化为地理信息表达的主要手段，以定量分析描述地理现象的空间分布和相互关系，运用不同地理应用模型模拟和预测地理过程，以计算机编程为平台逐步完善了地理信息的获取、处理、存储、管理、提取、可视化和分析等技术体系。同时，面对艰巨而复杂的地理信息系统工程建设任务，应用工程化的方法，逐步完善形成了需求分析、系统设计、实施管理、质量评估和标准体系等地理信息工程技术体系。地理信息系统以应用为目的，以技术为引导，在为社会各行各业服务中逐步从地理学、测绘学和信息学中自然形成一门边缘学科——地理信息科学。学科内容涵盖了基础理论、技术体系、软件系统、工程质量标准和应用服务五个领域。

传统地理信息系统已经涵盖不了地理信息科学的知识体系，而是成为地理信息科学的重要组成部分。面对地理信息产业中地理空间数据产品生产、地理信息系统和地理信息服务应用开发三个方面的专业人才需求，作者对本校的地理信息科学专业课程体系进行了改革，重新梳理了地理信息科学专业的课程体系。地理信息系统成为地理信息科学专业的一门专业课，从信息系统和计算机视角重构了地理信息系统教学内容，侧重于计算机技术在地理信息系统构建中的作用。近几年出版的针对地理信息系统课程的教材，对地理信息科学专业的教学来讲，内容深度不够，不适合学生使用，这是作者编写本教材的主要初衷。

参加本书编写的还有天津师范大学地理信息科学专业的宋宜全、刘朋飞、王辉、连懿、张伟和陈磊等老师，其中，张伟负责第2章计算机技术基础和第3章高性能计算环境；刘朋飞负责第4章地理信息系统架构、第5章地理信息系统功能和第10章地理信息系统软件产品；王辉负责第6章组件式地理信息系统；宋宜全负责第7章基础地理信息系统；连懿负责第8章网络地理信息系统和第11章地理信息系统软件开发；陈磊负责第9章移动地理信息系统；第1章由崔铁军负责。全书由崔铁军最终定稿。本书撰写过程中，在读研究生协助完成了插图绘图和初稿校对等工作。对此，作者向他们表示衷心的感谢。

还需要说明的是，本书在编著过程中吸收了大量国内外有关论著的理论和技术成果，书中仅列出了部分参考文献，未公开出版的文献没有列在书后参考文献中，部分资料可能来自于某些网站，但未能够注明其出处，在此向被引用资料的作者表示感谢。

值此成书之际，感谢天津师范大学地理与环境科学学院领导和老师的支持；感谢历届博士生、硕士生在地信息科学研究方面所做出的不懈努力。本书的撰写得到科学出版社杨红编辑的热情指导和帮助，在此表示衷心的感谢。

作者

2018年2月1日于天津



# 目 录

前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 地理信息系统概念	1
1.2 地理信息系统应用	13
1.3 地理信息系统发展	18
1.4 地理信息系统与相关学科	22
1.5 阅读本书需要的相关知识	26
第 2 章 计算机技术基础	27
2.1 计算机科学与技术	27
2.2 计算机网络技术	30
2.3 数据库技术	38
2.4 可视化技术	45
2.5 信息安全技术	51
第 3 章 高性能计算环境	56
3.1 并行计算	56
3.2 分布式计算	63
3.3 云计算	69
第 4 章 地理信息系统架构	87
4.1 GIS 硬件架构	87
4.2 GIS 数据架构	100
4.3 GIS 软件架构	108
第 5 章 地理信息系统功能	116
5.1 系统基本功能	116
5.2 地理数据获取与处理	118
5.3 地理数据存储与管理	129
5.4 地理数据查询与分析	134
5.5 地理数据显示与制图	137
第 6 章 组件式地理信息系统	149
6.1 组件 GIS 概述	149
6.2 组件开发思想	152
6.3 组件实现技术	157
6.4 组件式 GIS 设计	168

<b>第 7 章 基础地理信息系统</b> .....	175
7.1 基础 GIS 概述 .....	175
7.2 基础 GIS 功能模块设计与实现 .....	179
7.3 基础 GIS 的二次开发环境 .....	208
<b>第 8 章 网络地理信息系统</b> .....	213
8.1 网络 GIS 概述 .....	213
8.2 网络通信协议 .....	215
8.3 网络传输语言 .....	222
8.4 网络软件体系结构 .....	228
8.5 网络地理信息开发 .....	244
<b>第 9 章 移动地理信息系统</b> .....	251
9.1 移动 GIS 概况 .....	251
9.2 嵌入式开发环境 .....	258
9.3 嵌入式 GIS 开发 .....	272
9.4 移动 GIS 开发 .....	277
<b>第 10 章 地理信息系统软件产品</b> .....	282
10.1 主流 GIS 软件 .....	282
10.2 开源 GIS 软件 .....	304
<b>第 11 章 地理信息系统软件开发</b> .....	311
11.1 自主 GIS 软件开发 .....	311
11.2 基于基础 GIS 二次开发 .....	321
11.3 基于 API 网络 GIS 软件开发 .....	328
<b>主要参考文献</b> .....	336

# 第1章 绪 论

地理信息系统 (geographical information system, GIS) 是采集、存储、描述、分析和应用与地理分布有关的数据的计算机系统。它以测绘学为基础, 以数据库储存和管理地理数据, 以可视化表达地理信息为主要手段, 以计算机编程为平台综合处理和分析地理空间数据, 分析地理要素空间分布和相互关系, 运用不同地理应用模型模拟、预测和调控地理过程, 解决实际地理问题, 满足不同应用需求的技术系统, 是地理、测绘、计算机和遥感等多种学科与技术交叉的产物。

## 1.1 地理信息系统概念

### 1.1.1 地理信息

#### 1. 地理

地理是指一定社会所处的地理位置及与此相联系的各种自然现象和人文现象的总和。地理学是研究地球表面的地理环境中各种自然现象和人文现象, 以及它们之间相互关系的学科。它是一种介于社会科学和自然科学之间的边缘学科。自然条件包括气候、土地、河流、湖泊、山脉、矿藏及动植物资源等, 人文泛指各种社会、政治、经济和文化现象。自然条件是人类赖以生存和发展的生活空间和物质基础, 是人类社会存在和发展的必要条件, 直接影响着人类的衣食住行。人文地理是以人地关系理论为基础, 探讨各种人文现象的地理分布、扩散和变化, 以及人类社会活动的地域结构的形成和发展规律的一门学科。自然地理是研究各自然地理成分的特征、结构、成因、动态和发展规律; 研究各自然地理成分之间的相互关系, 彼此之间的物质和能量的循环与转化的动态过程; 研究自然地理环境的地域分异规律; 研究各个区域的部门自然地理和综合自然地理特征, 并进行自然条件和自然资源的评价, 为区域开发提供科学依据; 研究受人类干扰、控制的人为环境的变化特点、发展趋势、存在的问题, 寻求合理利用的途径和整治措施。自然地理和人文地理是地理学的两个主要分支学科。人类社会和自然环境的关系, 是现代地理学研究的重要课题, 也是当今社会发展必须直面和探讨的问题, 还是人类认识世界的永恒命题。

#### 2. 信息

“信息就是信息, 既非物质, 也非能量。”狭义信息论将信息定义为“两次不定性之差”, 即指人们获得信息前后对事物认识的差别; 广义信息论认为, 信息是指主体 (人、生物或机器) 与外部客体 (环境、其他人、生物或机器) 之间相互联系的一种形式, 是主体与客体之间的一切有用的消息或知识。信息, 指音信、消息、通信系统传输和处理的对象, 泛指人类社会传播的一切内容。人通过获得、识别自然界和社会的不同信息来区别不同事物, 得以认识和改造世界。信息是物质运动规律总和, 是客观事物状态和运动特征的一种普遍形式, 客观世界中大量地存在、产生和传递着以这些方式表示出来的各种各样的信息。

世界是由物质组成的, 物质是运动变化的, 客观变化的事物不断地呈现出各种不同的信



息,人们是通过五种感觉器官时刻感受来自外界信息的。人们感受到各种各样的信息,对获得的信息进行加工处理,并加以利用。认知是指人认识外界事物的过程,或者说是作用于人的感觉器官的外界事物进行信息加工的过程。所以,信息是人类认知的结果。人们将承载信息内容的文字、图形、图像、声音、影视和动画等称为信息的载体,也称为信息的媒体。同一个信息可以借助不同的信息媒体表现出来。

在自然界和人类社会中,事物都是在不断发展和变化的。事物所表达出来的信息也是无时无刻变化的,无所不在。因此,信息也是普遍存在的。因为事物的发展和变化是不以人的主观意识为转移的,所以信息也是客观存在的。信息不是具体的事物,也不是某种物质,而是客观事物的一种属性。信息必须依附于某个客观事物(媒体)而存在。

信息技术就是能够扩展人的信息器官功能,能够完成信息的获取、传递、加工、再生和施用等功能的一类技术,包括感测、通信、计算机和智能、控制等技术。通信技术、计算机与智能技术处在整个信息技术的核心位置;感测技术和控制技术则是核心与外部世界之间的接口。

数据是信息的表现形式和载体。在计算机科学中,数据是指所有能输入计算机并被计算机程序处理的符号介质的总称,是用于输入电子计算机进行处理,具有一定意义的数字、字母、符号和模拟量等的通称。信息与数据既有区别,又有联系。信息与数据是不可分离的,信息来源于数据,数据是信息的载体。数据是客观对象的表示,而信息则是数据中包含的意义,是数据的内容和解释。对数据进行处理(运算、排序、编码、分类、增强等)就是为了得到数据中包含的信息。数据包含原始事实,信息是数据处理的结果,是把数据处理成有意义的和有用的形式。

### 3. 地理信息概念

客观世界是一个庞大的信息源,地理信息(geographic information)是指与空间地理分布有关的信息,它表示地表物体和环境固有的数量、质量、分布特征、联系和规律的数字、文字、图形、图像等的总称。地理信息包含自然要素、人文要素和环境要素三个部分。自然要素由一切非人类创造的直接和间接影响人类生活和生产环境的自然界中各个独立的、性质不同而又有总体演化规律的基本物质组成,包括水、大气、生物、阳光、土壤、岩石等。人文要素主要表示各种人文现象的地理分布、扩散和变化,以及人类社会活动的地域结构的形成和发展规律。环境要素是在自然与人文要素的基础上,表达人类与自然的相互关系。

地理信息除具备信息的一般特性外,还具备以下独特特性:空间性、尺度性、多态性、可视性、时序性、多样性和精度性。

(1) 空间性,是地理信息的最主要特征,主要表现为地理实体的形状、大小、方位、距离等空间位置、空间分布、空间组合和空间联系。空间性不但导致空间物体的位置和形态的分析处理,还会包含空间相互关系的分析处理。空间性是地理信息有别于其他信息的显著特征,因此地理信息研究过程中必须反映和遵从其地理空间特性,即按照特定的地理位置来实现空间位置的识别,并按照指定的区域进行信息的并或分。这是地表自然界最显著的特点之一。另外,也说明了地理信息在空间分布上的不均匀性。因此,对地理问题认识水平在很大程度上取决于对其地域分异了解的深度。

(2) 尺度性,尺度是地理信息的重要特征,凡是与地球参考位置有关的信息都具有空间尺度。在空间认知中,认知能力是有限的,人们对现实世界的感知是有限的,即人们的心理模型是一定的。因为“超过一定的详细程度,一个人能看到的越多,他对所看到的東西能描述的就越少”(人类接收信息能力有限)。所以,人们总是以一种有序的方式对思维对象进

行各种层次的抽象,以便使自己既看清了细节,又不被枝节问题扰乱了主干,往往经过采样、选取、概括等方法,利用不同地图比例尺和与其相应地图载负量表达地理信息内容。但在地理信息科学中尺度概念超出了“比例尺”的概念,更多的含义是“抽象程度”,从认知科学的观点看,它体现了人们对空间事物、空间现象认知的深度与广度。人们认知世界、研究地理环境时,往往从不同空间尺度(比例尺)上对地理现象进行观察、抽象、概括、描述、分析和表达,传递不同尺度的地理信息。空间尺度变化不仅引起地理实体的大小变化,也引起地理实体的形态变化。

(3) 多态性,主要表现为:一是同尺度下不同地理实体按轮廓形态特征可分为点状分布特征、线状形态特征、面状轮廓特征、立体三维外表形态特征;二是同一地理实体在不同尺度下表现为点、线、面、体四种形态。地理对象不同形态有不同的属性特征、形态特征、逻辑关系、行为控制机制等的描述方法,不同形态地理对象有不同的生成、消亡、分解、组合、转换、关联、运动、表达等的计算与操作方法。

(4) 可视性,地理信息的本质是传播,基于人类的视觉感知传播地理信息往往把地理信息抽象为图形形式表达。地图是地理信息的第一载体,也是地理信息的传播媒介。因此,地理信息可视化表达是地理信息的重要特征。

(5) 时序性,主要是指地理信息的动态变化特征,即时序特征。可以按照时间尺度将地球信息划分为超短期的(如台风、地震)、短期的(如江河洪水、秋季低温)、中期的(如土地利用、作物估产)、长期的(如城市化、水土流失)、超长期的(如地壳变动、气候变化)等多种特征,因此地理信息常根据时间尺度划分成不同时间段信息。这就要求及时采集和更新地理信息,并根据多时相、区域性特点得到指定区域的数据和信息来寻找时间分布规律,进而对未来做出预测和预报。

(6) 多样性,地球是一个非常复杂的系统,多样性指地理信息表达形式是多样的。多样性特征表现为同一个地理实体在几何形态上是一致的,在不同的应用中存在不同的属性。事物的属性特征有多个方面,地理信息只能从某一个(些)侧面或角度描述地理事物的属性特征。根据不同专业的需求,着重突出而尽可能完善、详尽地表示自然和社会经济现象中的某一种或几种要素,集中表现某种主题内容。多样性不仅仅表达内容取舍,同时还存在描述方式的选择,如用文字和数字描述事物或用图像来描述地理现象。

(7) 精度性,空间物体或现象的变化和模糊是自然界的两个固有属性。它们直接影响着人类对空间物体或现象的准确表达。另外,人们认知能力的局限性,地理信息的尺度直接影响地理信息的精确性。地理信息只能是客观实体的一种近似和抽象,在测量学中表达为误差和不确定度两个概念。

#### 4. 地理信息表达

地理世界是复杂的、多维的和非线性的。人们对地理现象的认识是一个从感性认识到理性认识的一个抽象过程。对于同一客观世界,不同社会部门或学科领域的人群,往往在所关心的问题、研究的对象等方面存在着差异,这就会产生不同的环境映象。人类对地理环境的认知主要通过两种途径:一种是实地考察,通过直接认知获得地理知识,但世界之大,人生有限,一个人在有限的生命里不可能阅历地球的方方面面。因此,人类对地球的认识主要通过第二种方式即阅读资料,获得地理知识。

##### 1) 地理语言

人类借助于外感官了解外面的地理现象,在认识过程中,把所感知的事物的共同本质特

点抽象出来,加以概括,就成为概念。在概念层次的世界充满了复杂的形状、样式、细节。人类在表达概念的过程中形成语言,包括自然语言、文字和图形。长期以来人们用语言、文字、地图等手段描述自然现象及人文社会文化的发生和演变的空间位置、形状、大小范围及其分布特征等方面的地理信息(图 1.1)。

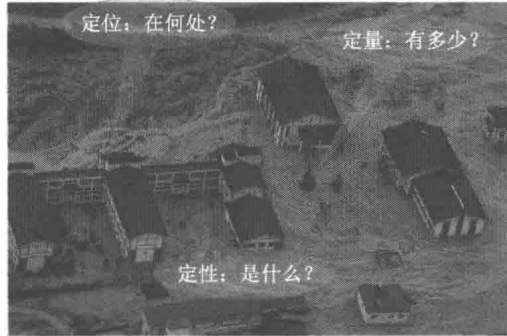


图 1.1 地理实体的描述

地理信息传递需要载体在人们之间交流和传递地理信息(即地理语言)。文字表达、语言交流或者地图,都是地理语言的一部分,通过真实的地理环境和人们所描述的地理环境结合,人类相互传递着所要表达的信息,从而更好地理解人类所生存的环境。

## 2) 地图表达

地图就是人类表达地理信息的图形语言,按照比例建立的客观存在的地理空间模型,也是空间信息的图形表达形式,是一种视觉语言,利用人类的视觉特征获取知识。严密的数学基础(投影理论)、科学地抽象概括地理和人文现象(地图综合理论)及系统化的表达方法(地图符号理论)是地图学的基础理论。结合地图概括原则,按照比例建立空间模型,运用符号系统和最佳感受效果表达人类对地理环境的科学认识,使地图成为“空间信息的载体”和“空间信息的传递通道”。为了使计算机能够识别、存储和处理地理实体,人们不得不用离散化的数字,表达以连续方式存在于地理空间的物体。空间物体离散化的基本任务就是将图形模拟的物体转化成计算机能够接受的数字形式。

现代地图不仅是描述和表达地理现象分布规律的信息载体,还是区域综合分析研究的成果,能综合分析自然与社会现象的空间分布、组合、联系、数量和质量特征及其在时间中的发展变化。人类具有独特的思维能力,即抽象和概括。地图是人类对地理世界抽象和概括表达的结晶。概括是对地理物体的化简和综合,以及对物体的取舍。地图概括性主要表现为:①空间概括性。根据空间数据比例尺或图像分辨率对地图内容按照一定的规律和法则,通过删除、夸大、合并、分割和位移等综合手法实现对图形的化简,用以反映地理空间对象的基本特征和典型特点及其内在联系的过程。②时间概括性,包括统计的周期和时间间隔的大小。③质量概括性,是通过扩大数量指标的间隔(或减少分类分级)和减少地理对象中的质量差异来体现的。④数量概括性,包括计量的单位、分级情况和使用量等信息。

基于地图思维的地理信息图形表达就是四维时空域的地理信息映射至二维平面的过程,它具有严格的数学基础、符号系统和文字注记,并能依据地图概括原则,运用符号系统和最佳感受效果表达人类对地理环境的认知。地图在抽象概括表达过程中基于两种观点描述现实世界:一是场的观点,地理现象借助物理学中场的概念进行表示,场表示一类具有共同属性值的地理实体或者地理目标的集合。根据应用的不同,场可以表现为二维或三维,如果包含

时间即为四维空间。基于场模型的地理现象任意给定的空间位置都对应唯一的属性值。根据这种属性分布的表示方法,场模型可分为图斑模型、等值线模型和选样模型。二是对象观点,采用面向实体的构模方法将地理现象抽象为点、线、面、体的基本单元,每个基本单元表示为一个实体对象,实体对象指自然界现象和社会经济事件中不能再被分割的单元。对象之间具有明确的边界,每个对象可用唯一的几何位置形态和一系列的属性进行表示。几何位置形态在地理空间中可以用经纬度或坐标来表达。属性则表示对象的质量和数量特征,说明其是什么,如对象的类别、等级、名称和数量等。

为了解决无限地理客观世界与人类接收信息能力有限的矛盾,满足人们地理认知不同层次的需求,往往需要描述从微观到宏观各个尺度范畴的地理信息,利用不同粒度的地理实体对现实世界进行抽象和描述。不同的空间尺度具有不同形态的地理实体,从微观到宏观的现实世界通常以多个比例尺系列构建地理对象的信息描述。每种比例尺所表达的地理实体是有限的,需要采用系列比例尺表达地理现象的分级层次结构。地图比例尺影响着空间信息表达的内容和相应的分析结果,不同比例尺的变化不仅引起比例大小的缩放,而且带来了空间结构的重组;不仅可以分解为更小的地理实体,也可以组成更大的地理实体。不同尺度所表达的地理信息存在很大的差异:①同一地物在不同尺度对地物的抽象和概括的程度不同,表现为不同的几何外形;②同一属性的地物在不同的尺度下出现聚类、合并或消失现象;③同一地物在不同尺度的表达中会表现出不同的属性。地图比例尺决定着地图所表示内容的详细程度和量测精度。

对于同一客观世界,不同社会部门和学科领域的研究人员通常在其所关心的问题 and 研究对象等方面存在差异,从而产生不同的环境映象。地理信息的获取、处理和存储是以应用为主导的,根据不同专业的需求,着重突出并尽可能完善、详尽地表示自然和社会经济现象中的某一种或几种要素,集中表现某种主题内容,称为专题地图。

地球上自然和人文现象是随时间发展变化的。地图只能表达地理现象某一时刻的状态,地理现象变化信息需要通过不同版本的地图出版来反映,时间因素也是评价地图质量的重要因素。地理实体变化也是一个很重要的特征,时间因素赋予地图要素动态性质。时间特征用资料说明和作业时间(地图出版版本)来反映,时间因素也是评价空间数据质量的重要因素。

### 3) 数字化表达

随着将计算机引入地图学,人们把地理实体数字化,将其表示成计算机能够接受的数字形式。人们用数据表达地理信息时,往往先用地图思维将地理现象抽象和概括为地图,再进行数字化转变,成为地理空间数据。地理空间数据是描述地球表面一定范围(地理圈和地理空间)内地理事物的(地理实体)位置、形态、数量、质量、分布特征、相互关系和变化规律的数据。地理空间数据代表现实世界地理实体或现象在信息世界的映射,是地理空间抽象的数字描述和离散表达。

(1) 地理信息的多模式表达。地理现象以连续的模拟方式存在于地理空间,为了能让计算机以数字方式对其进行描述,必须将其离散化,受地图思维的影响,用离散数据描述连续的地理客观世界也有两种模式:一是表达场分布的连续的地理现象;二是表达离散的地理对象。

离散对象的矢量数据表达也有两种方式:一是基于图形可视化的地图矢量数据。地图矢量数据是一种通过图形和样式表示地理实体特征的数据类型,其中图形指地理实体的几何信息及其相关样式(地图符号)。二是基于空间分析的地理矢量数据。地理矢量数据主要通过



矢量空间数据描述地理实体的形态和属性表数据描述地理实体的定性、数量、质量、时间及地理实体的空间关系。空间关系包括拓扑关系、顺序关系和度量关系。地图矢量数据和地理矢量数据是地理信息两种不同的表示方法，地图矢量数据强调数据可视化，采用“图形表现属性”方式，忽略了实体的空间关系；而地理矢量数据主要通过属性数据描述地理实体的数量和质量特征。地图矢量数据和地理矢量数据的共同特征是具有地理空间坐标，统称为地理空间数据。与其他数据相比，地理空间数据具有特殊的地球空间基准、非结构化数据结构和动态变化的时序特征。

连续分布地理现象的栅格数据表达有三种方式：一是利用光学摄影机获取的可见光图像数据（正射影像图），其包含了地物大量几何信息和物理信息；二是运用传感器/遥感器对物体的电磁波的辐射、反射特性的探测的数据（遥感影像图）；三是反映地形起伏变化的高程数据。

数字高程模型（digital elevation model, DEM）是用一组有序数值阵列形式表示地面高程的一种实体地面模型，是数字地形模型（digital terrain model, DTM）的一个分支，其他各种地形特征值均可由此派生。一般认为，DTM 是描述包括高程在内的各种地貌因子，如坡度、坡向、坡度变化率等因子在内的线性和非线性组合的空间分布，其中，DEM 是零阶单纯的单项数字地貌模型，其他如坡度、坡向及坡度变化率等地貌特性可在 DEM 的基础上派生。

数字表面模型（digital surface model, DSM）是指物体表面形态以数字表达的集合。DSM 采样点往往是不规则离散分布的地表的特征点（点云）。数字表面模型获取有两种：一种是倾斜摄影测量；另一种是激光雷达扫描。点云构建曲面一般用不规则三角形数据结构（triangulated irregular network, TIN），根据区域的有限个点云将区域划分为相等的三角面网络。

三维地物同二维一样，也存在栅格和矢量两种形式。地物三维表达是地物几何、纹理和属性信息的综合集成。三维模型内容可分为三个部分：侧重实体表面的三维模型、侧重于建筑属性的建筑信息模型（building information modeling, BIM）和侧重三维实体内部模型。侧重实体表面的三维模型是矢量数据和栅格数据的组合。地物三维的几何形态用矢量描述，地物三维的表面纹理用栅格数据表达。三维地物模型是描述建筑模型的“空壳”，只有几何模型与外表纹理，没有建筑室内信息，无法进行室内空间信息的查询和分析。BIM 是以建筑物的三维数字化为载体，以建筑物全生命周期（设计、施工建造、运营、拆除）为主线，将建筑生产各个环节所需要的信息关联起来，所形成的建筑信息集。三维实体内部构模方法归纳为栅格和矢量两种形式。矢量结构采用四面体格网（tetrahedral network, TEN），将地理实体用无缝但不重叠的不规则四面体形成的格网来表示，四面体的集合就是对原三维物体的逼近。栅格结构将地理实体的三维空间分成细小的单元，称为体元或体元素。为了提高效率，用八叉树来建立三维形体索引。三维实体模型常常以栅格结构的八叉树作为对象描述其空间的分布，变化剧烈的局部区域常常以矢量结构的不规则四面体精确地描述其细碎部分。

（2）地理信息的多尺度表达。尺度变化不仅引起地理实体的大小变化，通过不同比例尺之间的制图综合，还会引起地理实体的形态变化和空间位置关系（制图综合中位移）的变化。在不同尺度背景下，地理空间要素往往表现出不同的空间形态、结构和细节。实现对地理要素的多尺度表达，概括起来有三种基本方法：其一是单一比例尺，地理信息仅用一种比例尺的地理空间数据表达，其他比例尺的地理空间数据从中综合导出，缺点是当比例尺跨度较大时，实现综合导出难度大。其二是系列比例尺地理空间数据全部存储，问题是多种比例尺地

理空间数据更新维护困难。其三就是前两种方法的折中,维护少量基础比例尺地理空间数据,由此构建系列比例尺地理数据。

(3) 地理信息的多形态表达。地物形态决定了空间物体具有方向、距离、层次和地理位置等特征,是地球表面物体在地理空间场中的维度延伸。早期人们利用二维地图表达地理物体,无法真实体现三维地理空间。三维地物映射到平面而形成曲线和平面,只能将地理物体抽象为点状、线状和面状几何形态。人们用数据表达地理信息时,三维地理世界抽象成曲面和立体,形成了地物几何表面表达的三维模型和地物实体内部表达的模型。地理数据的多态特性主要表现为:①同尺度下不同地理实体按轮廓形态特征可分为点状分布特征、线状形态特征、面状轮廓特征、立体三维外表形态和三维内部分布特征。②同一地理实体在不同尺度下表现为点、线、面、体4种形态。地理信息多尺度的表达引发地理信息的多态性。地理对象不同形态有不同的属性特征、形态特征、逻辑关系和行为控制机制等的描述方法,不同形态地理对象有不同的生成、消亡、分解、组合、转换、关联、运动和表达等的计算与操作方法。

(4) 地理信息的多时态表达。空间分布、空间变化和类聚群分是地理实体和地理现象本身固有的三个基本特征。地理现象的分布规律包括时间上的分布规律和空间上的分布规律,地理多时态描绘了空间对象随着时间变化的迁移行为和状态变化。地理数据时态表达分为三类:一是时间作为附加的属性数据。这种方法以关系数据模型为实现基础。二是基于对象模型描述地物在时间上的变化,变化也通常被认为是事件的集合。三是基于位置的时空快照表达,地理数据记录的只是这个不断变化的世界的某一“瞬间”的影像。当地理现象随时间发生变化时,新数据又成为世界的另一个“瞬间”,犹如快照一般,如遥感图像。地理信息的多时态表达主要表现为:①地理物体随时间空间形态变化,空间形态变化主要表现为地理实体的形状、大小、方位和距离等空间位置、空间分布、空间组合和空间联系的变化。②地理物体随时间属性性质变化。③地理物体随时间形态和属性变化。④地理物体随时间灭亡或重组。

(5) 地理信息的多主题表达。地球是一个非常复杂的系统,为此地学研究又划分为许多学科,建立一个非常全面的描述多学科的地理空间数据库是非常困难的,与专题地图一样,一种地理数据只能从某一个专业、某(些)侧面或角度描述地理事物的属性特征。属性则表示空间数据所代表的空间对象的客观存在的性质。这些属性不仅存在表达内容的取舍,还存在描述方式的选择,如用文字和数字描述事物或用图像来描述地理现象。专题地理数据是根据应用主题的要求突出而完善地表示与主题相关的一种或几种要素,内容侧重于某种专业应用。地理信息的多主题表现为同一个地理实体在几何形态上是一致的,面对不同的应用存在不同的属性。

### 1.1.2 地理信息系统

客观世界极其复杂,运用各种测量手段和工具获取有关客观世界的地理空间数据构建了现实世界的抽象化数字模型。地理信息系统是以地理空间数据为基础,在计算机软硬件的支持下,运用系统工程和信息科学的理论,科学管理和综合分析具有空间内涵的地理数据,以提供管理、决策等所需信息的技术系统。

#### 1. 系统

英文中系统(system)一词来源于古代希腊文(systema),意为部分组成的整体。系统是由相互作用、相互依赖的若干组成部分结合而成的,具有特定功能的有机整体,而且这个有机整体又是它从属的更大系统的组成部分。定义如下。



如果对象集  $S$  满足下列两个条件：一是  $S$  中至少包含两个不同元素；二是  $S$  中的元素按一定方式相互联系，则称  $S$  为一个系统， $S$  的元素为系统的组分。

这个定义指出了系统的三个特性：一是多元性，系统是多样性的统一、差异性的统一；二是相关性，系统不存在孤立元素组分，所有元素或组分间相互依存、相互作用、相互制约；三是整体性，系统是所有元素构成的复合统一整体。这个定义强调元素间的相互作用及系统对元素的整合作用。

## 2. 信息系统

信息系统 (information system) 是由计算机硬件、网络和通信设备、计算机软件、信息资源、信息用户和规章制度组成的以处理信息流为目的的人机一体化系统。信息系统包括五个基本功能：输入、存储、处理、输出和控制。

(1) 输入功能：信息系统的输入功能取决于系统所要达到的目的及系统的能力和 Information 环境的许可。

(2) 存储功能：存储功能指的是系统存储各种信息资料和数据的能力。

(3) 处理功能：数据处理工具，基于数据仓库技术的联机分析处理 (on-line analytical processing, OLAP) 和数据挖掘 (data mining, DM) 技术。

(4) 输出功能：信息系统的各种功能都是为了保证最终实现最佳的输出功能。

(5) 控制功能：对构成系统的各种信息处理设备进行控制和管理，对整个信息加工、处理、传输、输出等环节通过各种程序进行控制。

从信息系统的发展和系统特点来看，可分为数据处理系统 (data processing system, DPS)、管理信息系统 (management information system, MIS)、决策支持系统 (decision sustainment system, DSS)、专家系统 (expert system, ES) 和虚拟办公室 (office automation, OA) 等五种类型。

## 3. 地理信息系统

地理信息系统是一个信息系统，与其他信息系统的区别是其处理的数据是经过地理编码的空间数据。它是在计算机软、硬件系统支持下，对整个或部分地表层空间中的有关地理分布数据进行采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统。从技术和应用的角度看，GIS 是解决空间问题的工具、方法和技术；从功能上讲，GIS 具有空间数据的获取、存储、显示、编辑、处理、分析、输出和应用等功能。从系统学的角度来说，GIS 是具有一定结构和功能 (获取、存储、编辑、处理、分析和显示地理数据) 的完整系统。

地理信息系统是一个集地理、测绘、信息、计算机、通信等学科技术为一体的新兴交叉学科，不同团体、机构和学者从不同角度给出不同定义：

1983 年美国咨询中心 (National Referral Center, NRC) 定义：“...any system of spatially referenced information or data. Spatially referenced information or data have a unifying characteristic-association with a specific place on the Earth's surface. A GIS is designed to gather, process, and provide a wide variety of geographically referenced information that may be relevant for research, management decisions, or administrative processes”。

英国教育部定义：GIS 是一种获取、存储、检索、操作、分析和显示地球空间数据的计算机系统。

美国国家地理信息与分析中心定义：GIS 是为了获取、存储、检索、分析和显示空间定位数据而建立的计算机化的数据库管理系统。

1990年美国环境系统研究所公司(Environmental Systems Research Institute, ESRI)定义:“An organised collection of computer hardware, software, geographic data, and personnel designed to efficiently capture, store, update, manipulate, analyse and display all forms of geographically referenced data”。

美国联邦数字地图协调委员会(Federal Interagency Coordinating Committee on Digital Cartography, FICCDC)定义:GIS是由计算机硬件、软件 and 不同方法组成的系统,该系统设计用来支持空间数据采集、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。

陈述彭等(1999)定义:GIS由计算机系统、地理数据和用户组成,通过对地理数据的集成、存储、检索、操作和分析,生成并输出各种地理信息,从而为土地利用、资源管理、环境监测、交通运输、经济建设、城市规划及政府部门行政管理提供新的知识,为工程设计和规划、管理决策服务。

吴信才(2014)定义:地理信息系统(GIS)是在计算机软硬件支持下,以采集、存储、管理、检索、分析和描述空间物体的地理分布数据及与之相关的属性,并回答用户问题等为主要任务的技术系统。

总之,本书定义地理信息系统是以地理空间数据为基础,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信息,为地理研究和地理决策服务的计算机技术系统,支持进行空间地理数据管理,并由计算机程序模拟常规的或专门的地理分析方法,作用于空间数据,产生有用信息,完成人类难以完成的任务。

地理信息系统兼具“工具”、“资源”和“学科”三大属性,其“工具”属性是指为人们采用数字形式表示和分析现实空间世界提供了一系列空间操作和分析方法;“资源”属性是指将单一分散的数据资源集成起来,成为研究和解决空间问题所需的综合信息资源;“学科”属性是指它有着相对独特的研究对象和技术体系,正在逐步地发展形成一门关于地理空间信息处理分析的科学与技术。地理信息系统从外部来看,表现为计算机软硬件系统;而其内涵是由计算机程序和地理数据组织而成的地理空间信息模型,是一个逻辑缩小的、高度信息化的地理系统。

#### 4. 地理信息系统组成

地理信息系统主要由四部分组成:计算机硬件系统、计算机软件系统、地理空间数据及系统的组织和使用维护人员(即用户)。硬件和软件为地理信息系统建设提供环境;地理空间数据反映了地理信息系统应用的信息内容,用户决定了系统的工作方式,如图1.2所示。

(1)计算机硬件系统是计算机系统中实际物理设备的总称,主要包括计算机主机和网络设备、输入设备、存储设备和输出设备。

(2)计算机软件系统是地理信息系统运行时所必需的各种程序,主要包括:①计算机系统软件,如操作系统、数据库系统、办公软件等。②地理信息系统软件及其支撑软件。包括地理信息系统工具或地理信息系统实用软件程序,以完成空间数据的输入、存储、转换、输出及其用户接口功能等。③应用程序。这是根据专题分析模型编制的特定应用任务的程序,是地理信息系统功能的扩充和延伸。

(3)地理空间数据是地理信息系统的重要组成部分,也是地理信息系统的灵魂和生命,是系统分析加工的对象,是地理信息系统表达现实世界并经过抽象的实质性内容。它一般包括三个方面的内容:空间位置数据、属性数据及地理实体之间的空间拓扑关系。通常,它们

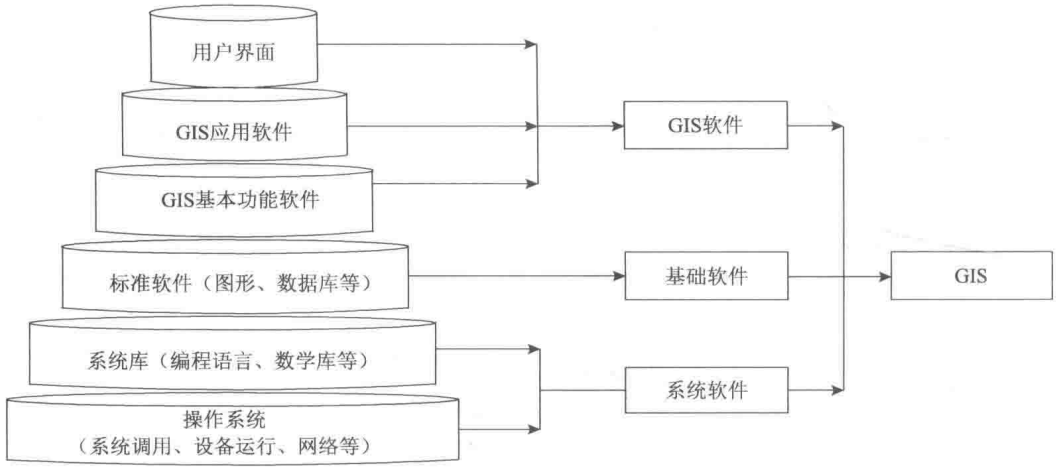


图 1.2 地理信息系统组成

以一定的逻辑结构存放在地理空间数据库中。地理空间数据来源比较复杂，研究对象不同，范围、类型多样，因而可采用不同的空间数据结构和编码方法，目的就是更好地管理和分析空间数据。数据组织和处理是地理信息系统建设中的关键环节。

地理信息系统是一个复杂的系统，仅依靠计算机硬件、软件及数据还不能构成一个完整的系统，必须要有系统的使用管理人员。包括具有地理信息系统专业知识的高级应用人才、具有计算机专业知识的软件应用人才及具有较强实际操作能力的软、硬件维护人才。

### 5. 地理信息系统功能

地理信息系统功能包括：①数据采集与编辑（手扶跟踪数字化）；②数据处理（矢栅转换、制图综合）；③数据存储与组织（矢量栅格模型）；④空间查询与分析（空间检索、空间拓扑叠加分析、空间模型分析）；⑤图形交互与显示（各种成果表现方式）。

(1) 数据采集与编辑主要用于获取数据，保证地理信息系统数据库中的数据在内容与空间上的完整性、数值逻辑一致性、时效性与正确性等。一般而言，数据采集和编辑即数据库建设占整个系统投资的 70%或更多，并且这种比例在近期不会有明显的改变。因此，信息共享与自动化数据输入成为数据采集编辑研究的重要内容。

(2) 对数据处理而言，初步的数据处理主要包括数据格式化、数据转换、地图概括。数据的格式化是指不同数据结构的数据间变换，是一种耗时、易错、需要做大量计算的工作，应尽可能避免；数据转换包括数据格式转化、数据变换等。在数据格式的转换方式上，矢量到栅格的转换要比其逆运算快速、简单。数据变换涉及数据投影变换、比例尺缩放、平移、旋转等方面，其中最为重要的是投影变换；地图概括（generalization）包括数据平滑、特征集结等，目前地理信息系统所提供的数据概括功能极弱，与地图综合的要求还有很大差距，需要进一步发展。

(3) 数据存储与组织是建立地理信息系统数据库的关键步骤，涉及空间数据和属性数据的表达及组织。栅格模型、矢量模型或栅格/矢量混合模型是常用的空间数据表达方法。空间数据结构的选择在一定程度上决定了系统所能执行的数据与分析的功能；在地理数据组织与管理中，最为关键的是如何将空间数据与属性数据融合为一体。经典的组织方法是将二者分开存储，通过公共项（一般定义为地物标识码）来进行关联。这种组织方式优点在于结构简单，对系统软件要求较低；缺点是数据的定义与数据操作相分离，无法有效记录地物在时间