

GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE

高等学校地图学与地理信息系统系列教材

# 地理信息系统基础与 地质应用

The GIS Foundation and Geologic Applications

主 编 贺金鑫  
副主编 赵庆英 路来君 王明常



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校地图学与地理信息系统系列教材

# 地理信息系统基础与 地质应用

The GIS Foundation and Geologic Applications

主 编 贺金鑫

副主编 赵庆英 路来君 王明常

参 编 刘世翔 张天宇 梦 华 梁晓军



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统基础与地质应用/贺金鑫主编. —武汉:武汉大学出版社,  
2015. 7

高等学校地图学与地理信息系统系列教材

ISBN 978-7-307-15818-4

I. 地… II. 贺… III. 地理信息系统—应用—地质学—高等学校—教材 IV. P53-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 103143 号

责任编辑:鲍 玲      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:湖北恒泰印务有限公司

开本:787×1092 1/16      印张:16      字数:380千字

版次:2015年7月第1版      2015年7月第1次印刷

ISBN 978-7-307-15818-4      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 Systems, GIS) 是在计算机硬、软件系统及网络环境支持下, 对整个或部分地球表层 (包括大气层) 空间中的有关地理分布数据进行采集、存储、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统。GIS 现已被广泛应用到测绘制图、地质矿产、环境保护、灾害救援、经济决策等社会生活中的诸多领域中。

以地质行业为例, 近年来 GIS 在数字地质填图、矿产资源潜力评价、地质灾害监测预警等许多方面均发挥了十分重要的作用。与此同时, 与 GIS 相关专业的本科生及研究生课程也逐渐被地质专业师生所重视。

因此, 为真正满足地质专业师生的实际需要, 本教材主要涵盖了“基础篇”、“应用篇”两大部分内容, 并将 GIS 在地质中的具体应用作为重点。其中, 基础篇包括 GIS 概述、地理空间数学基础、矢量数据处理与分析、栅格数据处理与分析、空间数据库、GIS 高级话题等 GIS 基本原理、方法方面的内容; 应用篇包括 MapGIS 上机实践、数字地质填图工作方法、ArcGIS 上机实践、GIS 工程设计与开发等一些在实际的地质工作中, 与 GIS 软件操作相关的内容。

本教材的基础篇, 尤其是关于空间数据结构、空间数据库、空间分析等部分内容, 主要借鉴了汤国安教授、黄杏元教授、邬伦教授等国内 GIS 领域权威专家学者的经典著作, 在此向以上老师致以崇高的敬意! 此外, 本教材的应用篇综合了 MapGIS、ArcGIS 等软件的官方帮助文档、中国地质调查局发展研究中心李超岭研究员等编制的数字地质填图工作指南及沈阳瑞拓科贸有限公司韩易彬经理提供的资料等。在此一并表示感谢!

鉴于本书作者水平有限, 该教材难免存在不足之处, 恳请广大读者批评指正。

贺金鑫

2015年3月于长春

# 目 录

## 基础篇

<b>第一章 GIS 概述</b> .....	3
第一节 GIS 的应用领域 .....	3
第二节 GIS 的基本概念 .....	7
第三节 GIS 的发展历程 .....	10
第四节 GIS 的构成 .....	13
第五节 GIS 数据的组织 .....	15
第六节 常用 GIS 软件简介 .....	19
本章思考题 .....	22
<b>第二章 地理空间数学基础</b> .....	23
第一节 地球形状 .....	23
第二节 地球空间参考 .....	26
第三节 地图比例尺 .....	31
第四节 地图定向与导航 .....	34
第五节 空间数据投影 .....	36
第六节 空间坐标转换 .....	43
第七节 地理格网 .....	45
本章思考题 .....	51
<b>第三章 矢量数据处理与分析</b> .....	52
第一节 矢量数据的输入与输出 .....	52
第二节 矢量数据编码 .....	53
第三节 矢量数据分析的基本方法 .....	60
本章思考题 .....	69
<b>第四章 栅格数据处理与分析</b> .....	70
第一节 栅格数据的输入与输出 .....	70
第二节 栅格数据的基本特征 .....	72
第三节 栅格数据的压缩编码方式 .....	75

第四节	栅格数据分析的基本方法 .....	80
第五节	栅格与矢量数据的对比 .....	86
本章思考题	.....	86
<b>第五章</b>	<b>空间数据库</b> .....	<b>87</b>
第一节	数据库概述 .....	87
第二节	传统数据模型 .....	91
第三节	空间数据库的组织方式 .....	95
第四节	空间数据的集合分析与查询 .....	98
第五节	国家基础地理信息系统数据库 .....	98
第六节	空间数据库的前沿技术 .....	102
本章思考题	.....	104
<b>第六章</b>	<b>GIS 的高级话题</b> .....	<b>105</b>
第一节	GIS 的五个现代化 .....	105
第二节	3S 集成 .....	110
第三节	“数字地球”与“智慧地球” .....	119
本章思考题	.....	122
<b>应用篇</b>		
<b>第七章</b>	<b>MapGIS 上机实践</b> .....	<b>125</b>
第一节	图形输入与编辑 .....	125
第二节	栅格图像配准及矢量图形校正 .....	129
第三节	投影变换 .....	132
第四节	建立拓扑关系 .....	136
第五节	矢量数据空间分析 .....	138
第六节	建立空间数据库 .....	142
<b>第八章</b>	<b>数字地质填图工作方法</b> .....	<b>145</b>
第一节	数字地质填图简介 .....	145
第二节	前期准备 .....	148
第三节	野外地质数据采集 .....	151
第四节	资料整理 .....	159
第五节	成果提交 .....	170
<b>第九章</b>	<b>ArcGIS 上机实践</b> .....	<b>182</b>
第一节	数据组织 .....	182

---

第二节	符号管理	186
第三节	按类别制作专题图	193
第四节	制图表达创建及规则定义	195
第五节	制图表达编辑	198
第六节	标注及管理	203
第七节	布局及输出	206
<b>第十章</b>	<b>GIS 工程设计与开发</b>	<b>220</b>
第一节	软件工程简介	220
第二节	基于 GIS 的油气资源评价系统设计与开发	226
<b>参考文献</b>		<b>245</b>

# 基础篇

---





# 第一章 GIS 概述

本章主要介绍有关地理信息系统的应用领域、基本概念、发展历史、组成结构等入门内容。

## 第一节 GIS 的应用领域

在国民经济建设和社会发展以及人们日常生活所接触和利用的现实世界数据中，约有 80% 与地理位置和属性及其时空分布有关；而地理信息系统（Geographic Information Systems, GIS）的产生和发展，正在深刻改变着人类社会的生产和生活方式。GIS 的主要应用领域包括：测绘与地图制图、环境保护、资源管理、城乡规划、灾害监测预报、国防军事、社会宏观决策支持等。

### 一、测绘与地图制图

GIS 起源于计算机辅助制图（Computer Aided Design, CAD），GIS 与遥感（Remote Sensing, RS）、全球定位系统（Global Positioning System, GPS）等技术手段在测绘领域的广泛应用，为测绘与地图制图带来了一场革命性的变化：地图数据获取与成图的技术流程发生了根本性改变；地图的成图周期极大缩短；地图成图精度大幅度提高；地图的品种更加丰富。如图 1.1 所示，以谷歌地图（Google Map）为代表的数字地图、电子地图、网络地图等一批崭新的地图形式为广大用户带来了巨大的应用便利，标志着测绘与地图制图领域进入了一个全新的时代。



图 1.1 谷歌地图航拍图  
(图片来源: <http://image.baidu.com>)

## 二、环境保护

基于 GIS 建立区域空气、水、土壤等环境指标的监测、分析及预报信息系统，为实现环境监测与管理的科学化、自动化提供最基本的条件；在区域环境质量现状评价过程中，利用 GIS 技术，能够实现对整个区域的环境质量进行客观、全面的评价，以反映出区域中受污染的程度以及空间、时间分布状态等信息。图 1.2 为 NASA（National Aeronautics and Space Administration，美国国家航空航天局）绘制的我国 2008—2010 年 PM<sub>2.5</sub> 分布图。

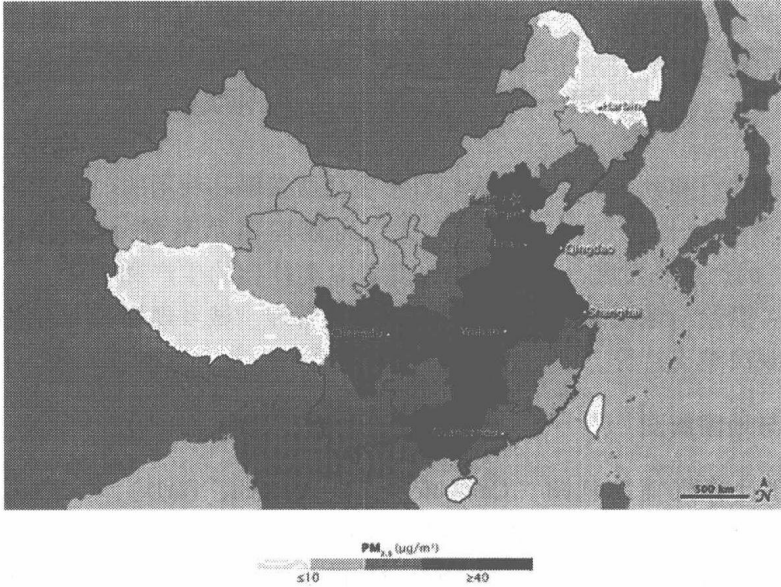


图 1.2 NASA 绘制的我国 PM<sub>2.5</sub> 分布图（2008—2010）  
（图片来源：<http://image.baidu.com>）

## 三、资源管理

资源清查是 GIS 最基本的职能之一，这时系统的主要任务是将各种来源的数据汇集在一起，并通过系统的统计和分析功能，按多种边界和属性条件，提供区域多种条件组合形式的资源统计和原始数据的快速再现。如图 1.3 所示，矿产资源评价 GIS 是在矿产预测工作中，借助 GIS 的数据获取、管理、分析、模拟和展示空间相关的计算机系统功能，进行地质、矿产、物探、化探、遥感等信息的综合分析和自动化的矿产预测工作。另外，以土地利用 GIS 为例，可以输出不同土地利用类型的分布和面积，按不同高程带划分的土地利用类型，不同坡度区内的土地利用现状，以及不同时期的土地利用变化等，为资源的合理利用、开发和科学管理提供依据。

## 四、城乡规划

城市与区域规划中要处理许多不同性质和不同特点的问题，它涉及资源、环境、人

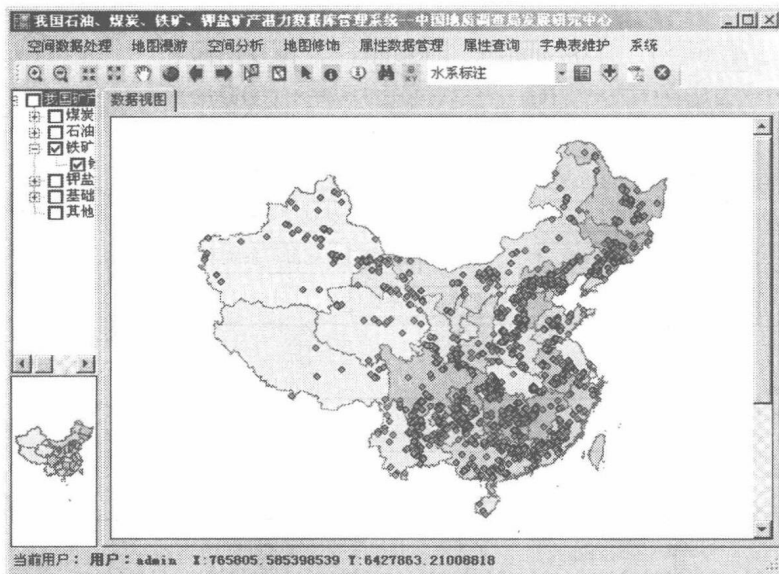


图 1.3 基于 GIS 的矿产资源潜力评价系统 (王永志, 2008)

口、交通、经济、教育、文化和金融等多个地理变量和海量数据。GIS 的数据库管理有利于将这些数据信息归并到统一系统中, 然后进行城市与区域多目标的开发和规划, 包括城镇总体规划、城市建设用地适宜性评价、环境质量评价、道路交通规划、公共设施配置以及城市环境的动态监测等。这些规划功能的实现, 有 GIS 的空间搜索方法、多种信息的叠加处理和一系列分析软件予以保证。我国大城市数量居世界前列, 根据加快中心城市的规划建设和加强城市建设决策科学化的要求, 利用 GIS 作为城市规划、管理和分析的工具, 具有十分重要的意义。如图 1.4 所示, 以城市大比例尺地形图为基础图形数据, 在此基础上综合叠加地下及地面的 8 大类管线 (包括上水、污水、电力、通信、燃气、工程管线等) 以及测量控制网、规划路等基础测绘信息, 形成一个基于测绘数据的城市地下管线 GIS 系统。从而实现了地下管线信息的全面、现代化管理, 为城市规划设计与管理部、市政工程设计与管理部、城市交通部门与道路建设部门等提供地下管线的查询服务。

## 五、灾害监测预报

利用 GIS 并借助遥感遥测的数据, 可以有效进行地震、泥石流、山体滑坡、森林火灾、农田受旱、洪水等多种灾情的监测和预警, 能够为救灾抢险提供及时准确的信息。如图 1.5 所示, 当 2008 年“5·12”汶川大地震、2010 年墨西哥湾漏油事件、2012 年北京暴雨内涝等发生后, GIS 技术在抢险救灾工作中均发挥了重要作用。

## 六、国防军事

现代战争的一个基本特点就是 3S 技术被广泛运用到从战略构思到战术安排的各个环节。它往往在一定程度上决定了战争的成败。如在海湾战争期间, 美国国防制图局为了战

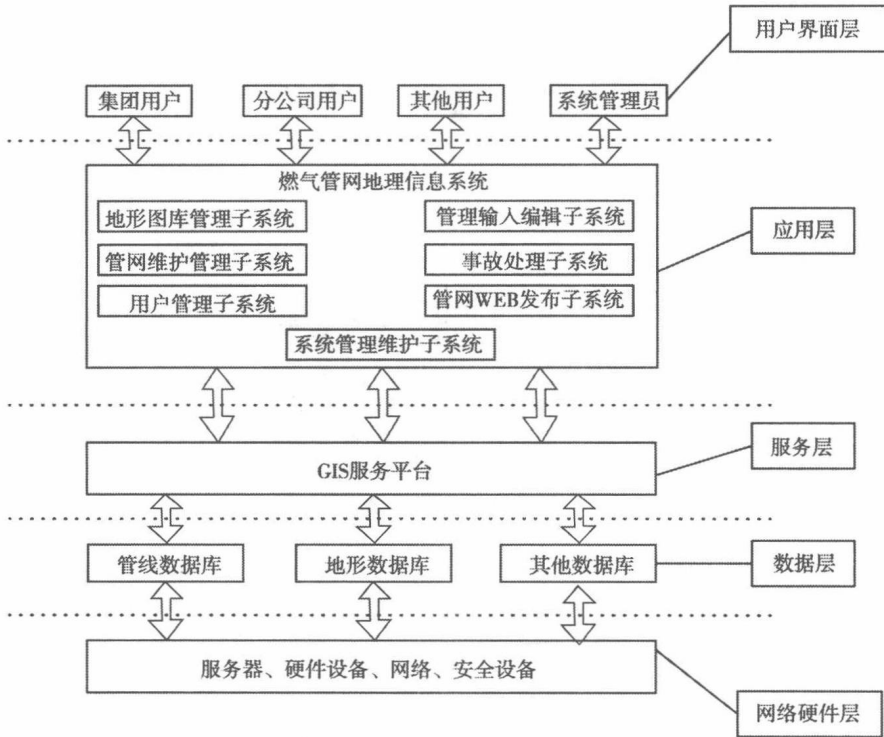


图 1.4 城市管网 GIS  
(图片来源: <http://image.baidu.com>)

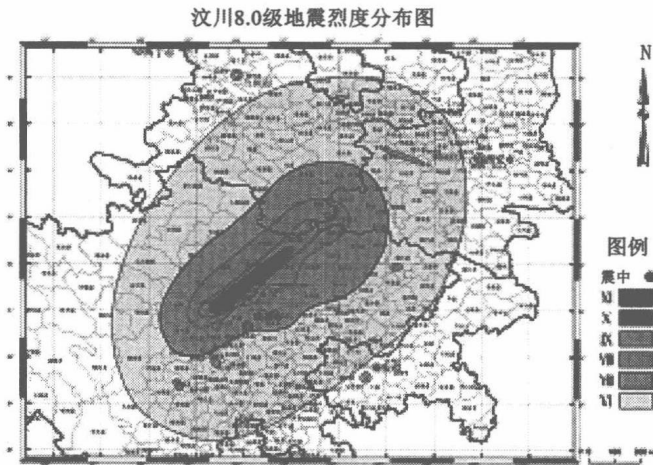


图 1.5 2008 年汶川 8.0 级地震烈度分布图  
(图片来源: <http://image.baidu.com>)

争需要在工作站上建立了 GIS 与遥感的集成系统, 它能利用自动影像匹配和自动目标识别技术, 处理卫星和高空侦察机实时获取的战场数字影像, 并及时地将反映战场现状的正射影像叠加到数字地图上, 直接传送到海湾前线指挥部和五角大楼, 为军事决策提供 24h 的

实时服务。

## 七、社会宏观决策支持

GIS 利用数据库技术, 通过一系列决策模型的构建和比较分析, 为国家宏观决策提供依据。例如, 系统支持下的土地承载力的研究, 可以解决土地资源与人口容量的规划。在对三峡地区的研究中, 通过利用 GIS 等技术方法建立环境监测系统, 为三峡工程宏观决策提供了建库前后环境变化速度和演变趋势等可靠的数据。

总之, GIS 正逐渐成为国民经济各相关领域中必不可少的应用工具, 它的不断成熟和完善必将为社会的进步与发展作出更大的贡献。

## 第二节 GIS 的基本概念

### 一、数据、信息、知识、智慧

数据 (Data) 是一种未经加工的原始资料, 如数字、文字、符号、图像、视频、音频等。

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。

信息来源于数据, 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各种专门信息; 从测量数据中可以抽出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等。

知识 (Knowledge) 是理解信息的模式, 是对信息加工、吸收、提取、评价的结果, 即有用的信息。

智慧 (Wisdom) 是高等生物所具有的基于神经器官 (物质基础) 的一种高级的知识综合运用能力。

数据、信息、知识、智慧的区别与联系如图 1.6 所示。

### 二、地理数据、地理信息

地理数据 (Geographic Data) 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、属性特征 (简称属性) 及时域特征 3 部分: 空间位置数据描述地物所在位置, 这种位置既可以根据大地参照系定义, 如大地经纬度坐标, 也可以定义为地物间的相对位置关系, 如空间上的相邻、包含等; 属性数据亦被称为非空间数据, 是属于一定地物、描述其特征的定性或定量指标; 时域特征是指地理数据采集或地理现象发生的时刻/时段, 时间数据对于环境模拟分析、灾害监测预警等领域十分重要, 正受到地理信息科学界越来越多的重视。空间位置、属性及时间是地理空间分析的 3 个基本要素。

地理信息 (Geographic Information) 是有关地理实体的性质、特征和运动状态的表征

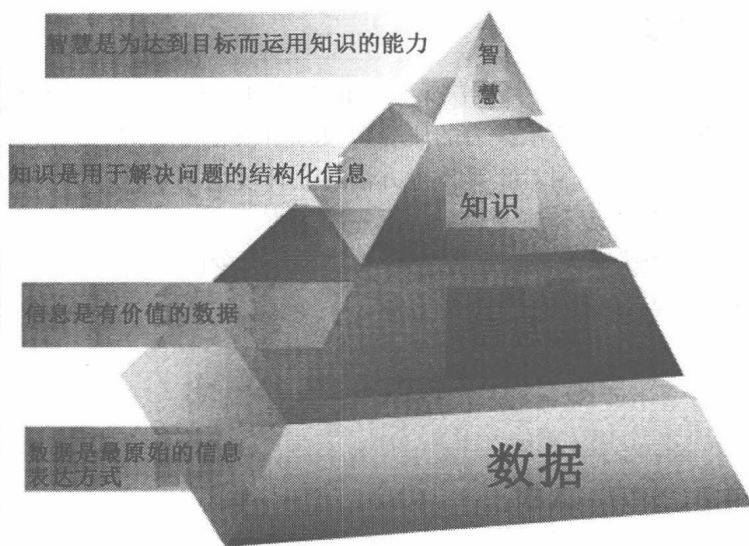


图 1.6 “数据”、“信息”、“知识”、“智慧”的区别与联系  
(图片来源: 百度图库)

和一切有用的知识, 它是对表达地理特征与地理现象之间关系的地理数据的解释。地理信息除了具有信息的一般特性, 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, 先定位后定性, 并在区域上表现出分布式特点, 其属性表现为多层次, 因此, 地理数据库的分布或更新也应为分布式。

②数据海量性。地理信息既有空间特征, 又有属性特征, 另外, 地理信息还随着时间的变化而变化, 具有时间特征, 因此其数据量十分巨大。尤其是随着全球对地观测计划不断发展, 我们每天都可以获得上万亿兆关于地球资源、环境特征的“大数据”(Big Data); 这必然对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, 除此之外, 还有描述地理实体的文字、数字、地图和影像等符号信息载体以及纸质、磁盘、光盘、U 盘等物理介质载体。对于地图而言, 它不仅是信息的载体, 同时也是信息的传播媒介。

### 三、信息系统

#### 1. 信息系统的基本组成

信息系统 (Information System) 是具有采集、管理、分析和表达数据能力的系统。在计算机时代, 信息系统部分或全部由计算机系统支持, 并由计算机硬件、软件、数据和用户 4 大要素组成: 计算机硬件包括各类计算机处理及终端设备; 软件是支持数据信息的采集、存储加工、再现和回答用户问题的计算机程序系统; 数据则是系统分析与处理的对象, 构成系统的应用基础; 用户是信息系统所服务的对象。另外, 智能化的信息系统还应包括知识。

## 2. 信息系统的类型

根据系统所执行的任务, 信息系统可分为事务处理系统 (Transaction Process System) 和决策支持系统 (Decision Support System): 事务处理系统强调的是数据的记录和操作, 如铁路订票系统是其典型示例之一; 决策支持系统是用以获得辅助决策方案的交互式计算机系统, 一般由语言系统、知识系统和问题处理系统共同构成, 如矿产资源潜力评价系统等。

## 四、地理信息系统

地理信息系统 (GIS) 是在计算机硬、软件系统及网络环境的支持下, 对整个或部分地球表层 (包括大气层) 空间中的有关地理分布数据进行采集、存储、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统。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、时态数据等, 用于分析和处理在一定地理区域范围内分布的各种现象和过程, 解决复杂的规划、决策和管理问题。

通过上述的分析和定义, 本文提出的 GIS 基本概念如下:

①GIS 的物理外壳是计算机化的技术系统, 它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、图像处理子系统、数据产品输出子系统等, 这些子系统的结构、优劣将直接影响 GIS 的硬件平台、功能、效率、数据处理的方式和产品输出的类型。

②GIS 的操作对象是空间数据, 即点、线、面、体这类具有二维、三维, 甚至是四维要素的地理实体。空间数据的最基本特征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、定性和定量的描述, 这是 GIS 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。

③GIS 的技术优势在于它的数据综合、模拟与分析评价能力, 可以得到常规方法或普通信息系统难以得到的重要信息, 实现地理空间过程演化的模拟和预测。

④GIS 与测绘学和地理学有着密切的联系。大地测量、工程测量、矿山测量、地籍测量、航空摄影测量和遥感技术为 GIS 中的空间实体提供了各种不同比例尺和精度的定位数据; 电子测速仪、GPS 全球定位技术、解析或数字摄影测量工作站、遥感图像处理系统等现代测绘技术的使用, 可直接、快速并自动地获取空间目标的数字信息产品, 为 GIS 提供丰富和更为实时的数据源, 并促使 GIS 向更高层次发展。地理学是 GIS 的理论依托, 有学者断言, “地理信息系统和信息地理学是地理科学第二次革命的主要工具和手段。如果说 GIS 的兴起和发展是地理科学信息革命的一把钥匙, 那么, 信息地理学的兴起和发展将是打开地理科学信息革命的一扇大门, 必将为地理科学的发展和提高开辟一个崭新的天地”。GIS 也被誉为地学的第三代语言——用数字形式来描述空间实体。

GIS 按研究的范围大小可分为全球性的、区域性的和局部性的; 按研究内容的不同可分为综合性的与专题性的。同级的各种专业应用系统集中起来, 可以构成相应地域同级的区域综合系统。在规划、建立应用系统时应统一规划这两种系统的发展, 以减小重复浪费, 提高数据的共享程度和实用性。



### 第三节 GIS 的发展历程

#### 一、国际发展概况

综观 GIS 发展,可将 GIS 的发展历程分为以下几个阶段:

##### 1. GIS 的开拓期 (20 世纪 60 年代)

计算机在 20 世纪 50 年代末和 60 年代初获得广泛应用之后,迅速被应用于地理空间数据的存储和处理,使计算机成为地图信息存储和计算处理的装置,将很多地图转换为能被计算机利用的数字形式,出现了 GIS 的早期雏形。1963 年,加拿大测量学家 R. F. Tomlinson 首先提出了 GIS 这一术语,并建立了世界上第一个实用的 GIS——加拿大地理信息系统 (CGIS),用于自然资源的管理和规划。这时 GIS 的特征是和计算机技术的发展水平联系在一起,表现在计算机存储能力小,磁带存取速度慢。机助制图能力较强,地学分析功能比较简单,实现了手扶跟踪的数字化方法,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,发展了许多面向格网的系统。例如,美国哈佛大学的 SYMAP (Synteny Mapping and Analysis Program) 是最著名的一例,另外还有 GRID、MLMIS 等系统。所有这些处理空间数据的主要技术,奠定了 GIS 发展的基础。这一时期 GIS 发展的另一显著标志,是许多有关的组织和机构纷纷建立,例如,美国在 1966 年成立了城市和区域信息系统协会 (URISA),1969 年又建立了州信息系统全国协会 (NASIS);国际地理联合会 (IGU) 于 1968 年设立了地理数据收集和处理委员会 (CGDSP)。这些组织和机构的建立,对于传播 GIS 的知识和发展 GIS 的技术,起到了重要的指导作用。

##### 2. GIS 的巩固发展期 (20 世纪 70 年代)

在 20 世纪 70 年代,计算机发展到第三代,随着计算机技术迅速发展,数据处理速度加快,内存容量增大,而且输入、输出设备比较齐全,推出了大容量直接存取设备——磁盘,为地理数据的录入、存储、检索、输出提供了强有力的手段,特别是人机对话和随机操作的应用,可以通过屏幕直接监视数字化的操作,而且制图分析的结果能很快得到,并可以进行实时编辑。这时,由于计算机技术及其在自然资源和环境数据处理中的应用,促使 GIS 迅速发展。例如,从 1970 年至 1976 年,美国地质调查局 (USGS) 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。其他如加拿大、联邦德国、瑞典和日本等国也先后发展了自己的 GIS。GIS 的发展,使一些商业公司开始活跃起来,GIS 软件在市场上开始受到欢迎。在此期间,曾先后召开了一系列有关 GIS 的国际讨论会,国际地理联合会先后于 1972 年和 1979 年两次召开关于 GIS 的学术讨论会,1978 年 FIG 规定第三委员会的主要任务是研究 GIS,同年在联邦德国达姆斯塔特工业大学召开了第一次 GIS 讨论会等。这期间,许多大学 (如美国纽约州立大学布法罗校区等) 开始注重培养 GIS 方面的人才,并创建了 GIS 实验室。一些商业性的咨询服务公司开始从事 GIS 工作。总之,GIS 在这时受到了政府部门、商业公司和大学的普遍重视。这个时期 GIS 发展的总体特点是:GIS 在继承了 20 世纪 60 年代技术的基础之上,充分利用了新的计算机技术,但系统的数据分析能力仍然很弱;在 GIS 技术方面未有新的突破;系统的应