

**GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE**

● 高等学校地图学与地理信息系统专业教材

# GIS空间分析 理论与方法

**The Theories and Methods  
of Spatial Analysis in GIS**

张成才 秦 昆 卢 艳 孙喜梅 编著



全国优秀出版社  
武汉大学出版社

高等学校地图学与地理信息系统专业教材

# GIS 空间分析理论与方法

The Theories and Methods  
of Spatial Analysis in GIS

张成才 秦昆 卢艳 孙喜梅 编著



全国优秀出版社  
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

GIS 空间分析理论与方法/张成才等编著. —武汉: 武汉大学出版社,  
2004. 10

高等学校地图学与地理信息系统专业教材

ISBN 7-307-04334-3

I. G… I. 张…[等] II. 地理信息系统 N. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 084767 号

责任编辑: 任 翔      责任校对: 黄添生      版式设计: 支 笛

---

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: wdp4@whu.edu.cn 网址: www.wdp.whu.edu.cn)

印刷: 武汉大学出版社印刷总厂

开本: 787×1092 1/16      印张: 10.5      字数: 245 千字

版次: 2004 年 10 月第 1 版      2004 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 7-307-04334-3/P·80      定价: 16.00 元

---

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请与当地图书销售门联系调换。

## 前 言

地理信息系统 (GIS) 从 20 世纪 60 年代出现至今, 只有短短 40 多年的时间, 但是它的发展非常迅猛, 已经成为多学科集成并应用于许多领域的基础平台, 成为地学空间信息处理的重要手段和工具。

地理信息系统具有空间数据的输入、存储、管理、分析和输出等功能, 地理信息系统的主要目的是为了分析空间数据, 以提供空间决策支持信息, 因此, 空间分析是地理信息系统的主要功能, 是核心, 是灵魂。空间分析是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。

空间分析建立在对空间数据有效的管理之上, 它的研究一直滞后于空间数据结构、空间数据库以及地图数字化和自动绘图技术。在地理信息系统领域, 关于图形自动绘制、空间数据结构和数据库的研究论文、学术专著很多, 标志着这些分支的发展与成熟, 特别是在进入 20 世纪 90 年代以后, 基于数据库技术和因特网技术的支持并行处理和分布式计算的地理信息系统商业化软件平台的出现, 标志着空间数据管理理论和技术的跨越式发展, 但空间分析的理论和技术没有根本的突破, 有关空间分析的专门著作仍不多。

空间分析内容繁杂, 要在一本书中将空间分析的各种分析方法与分析模型作系统全面的阐述是不可能的。作者仅就目前常用的空间分析方法和空间决策模型以及与 DEM 有关的空间分析理论和方法作了论述。

在国家自然科学基金和黄河联合研究基金项目 (50379048) 以及武汉大学教务部资助下, 完成了本书的编写和出版。本书共分九章, 第一章介绍地理信息系统的基本概念、发展历史以及和其他学科之间的关系。第二章介绍地理信息系统空间分析和数据模型, 重点介绍了空间数据模型, 是空间分析的基本理论知识。第三章介绍栅格数据空间分析的基本方法, 包括栅格数据的聚类、聚合分析, 栅格数据的信息复合分析, 栅格数据的追踪分析, 栅格数据的窗口分析, 是 GIS 栅格数据常用的空间分析方法。第四章介绍矢量数据空间分析的基本方法, 包括包含分析, 矢量数据的缓冲区分析, 矢量数据的叠置分析, 矢量数据的网络分析, 是 GIS 矢量数据常用的空间分析方法。第五章讨论空间数据的量算及统计分析方法, 包括空间数据的量算, 空间数据的内插, 空间信息分类, 空间统计分析等内容。第六章介绍数字高程模型及其应用, 首先介绍了 DTM 与 DEM 的基本概念, 然后介绍 DTM 的数据采集与表示, DTM 的空间内插方法, DEM 数据质量控制, 重点讨论不规则三角网, 最后介绍了 DEM 在地图制图与地学分析中的应用。第七章讨论三维空间分析的方法, 主要介绍了表面积、体积、坡度、坡向、剖面的计算方法, 可视性分析以及基于 DEM 的水文分析方法, 最后列举了三维空间分析的例子。第八章介绍空间决策支持系统的理论。第九章介绍 GIS 空间分析的几个示例, 主要是作者近几年在课题研究中应用空间分析的一些成果。

本书由张成才确定整体结构，编写人员有秦昆、卢艳、孙喜梅。各章主笔分工为：第一章至第六章由张成才编写；第七章至第九章由秦昆完成草稿，卢艳、孙喜梅进行修改，其中第七章由孙喜梅修改，第八章和第九章由卢艳修改。最后由张成才统稿和定稿。

本书的完成得到武汉大学遥感信息工程学院的万幼川教授、孟令奎教授、李建松博士等大力支持和帮助。武汉大学出版社为本书的出版做了许多细致的工作，特向他们表示诚挚的谢意。

由于各方面的原因，书中定有不妥或错误之处，欢迎读者批评指正。

作者

2004年5月

# 目 录

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| <b>第一章 绪 论</b> .....            | 1  |
| 1.1 GIS的基本概念 .....              | 1  |
| 1.2 GIS的发展概况 .....              | 2  |
| 1.3 GIS与相关学科及技术的关系 .....        | 6  |
| 1.4 空间分析与地理信息系统 .....           | 11 |
| 1.5 地理信息系统的发展展望 .....           | 11 |
| <b>第二章 GIS空间分析的数据模型</b> .....   | 17 |
| 2.1 地学模型概述 .....                | 17 |
| 2.2 地理信息系统模型化的一般方法 .....        | 18 |
| 2.3 空间数据及其表示 .....              | 19 |
| 2.4 场模型 .....                   | 23 |
| 2.5 要素模型 .....                  | 25 |
| 2.6 基于要素的空间关系分析 .....           | 28 |
| 2.7 网络结构模型 .....                | 33 |
| 2.8 时空模型 .....                  | 36 |
| 2.9 三维模型 .....                  | 38 |
| <b>第三章 栅格数据分析的基本模式</b> .....    | 42 |
| 3.1 栅格数据的聚类、聚合分析 .....          | 42 |
| 3.2 栅格数据的信息复合分析 .....           | 43 |
| 3.3 栅格数据的追踪分析 .....             | 45 |
| 3.4 栅格数据的窗口分析 .....             | 46 |
| <b>第四章 矢量数据分析的基本方法</b> .....    | 48 |
| 4.1 包含分析 .....                  | 48 |
| 4.2 矢量数据的缓冲区分析 .....            | 49 |
| 4.3 矢量数据的叠置分析 .....             | 51 |
| 4.4 矢量数据的网络分析 .....             | 53 |
| <b>第五章 空间数据的量算及统计分析方法</b> ..... | 58 |

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| 5.1 空间数据的量算             | 58         |
| 5.2 空间数据的内插             | 60         |
| 5.3 空间信息分类              | 68         |
| 5.4 空间统计分析              | 71         |
| <b>第六章 数字高程模型及其应用</b>   | <b>73</b>  |
| 6.1 DTM 与 DEM 的概念       | 73         |
| 6.2 DTM 的数据采集与表示        | 75         |
| 6.3 不规则三角形构网            | 79         |
| 6.4 DTM 的空间内插方法         | 81         |
| 6.5 DEM 数据质量控制          | 86         |
| 6.6 DEM 在地图制图学与地学分析中的应用 | 87         |
| <b>第七章 三维空间分析</b>       | <b>90</b>  |
| 7.1 表面积计算               | 90         |
| 7.2 体积计算                | 93         |
| 7.3 坡度计算                | 94         |
| 7.4 坡向计算                | 96         |
| 7.5 剖面分析                | 98         |
| 7.6 可视性分析               | 100        |
| 7.7 谷脊特征分析              | 104        |
| 7.8 水文分析                | 104        |
| 7.9 三维空间分析示例            | 108        |
| <b>第八章 空间决策支持</b>       | <b>112</b> |
| 8.1 空间分析与空间决策支持         | 112        |
| 8.2 空间决策支持系统            | 116        |
| 8.3 空间决策支持系统的相关技术       | 123        |
| <b>第九章 GIS 空间分析的应用</b>  | <b>146</b> |
| 9.1 空间分析在城市规划中的应用       | 146        |
| 9.2 空间分析在地震灾害和损失估计中的应用  | 147        |
| 9.3 空间分析在水污染监测中的应用      | 148        |
| 9.4 空间分析在矿产资源评价中的应用     | 151        |
| 9.5 空间分析在输电网的建设和管理中的应用  | 152        |
| 9.6 GIS 在洪水灾害评估中的应用     | 154        |
| <b>参考文献</b>             | <b>158</b> |

# 第一章 绪 论

## 1.1 GIS 的基本概念

### 1.1.1 地理信息系统及其特征

自 20 世纪 60 年代初“地理信息系统”(GIS)一词出现至今,这门学科已发展了 40 多年。40 多年来,各个国家、各个相关领域和学者为它添砖加瓦,逐渐形成了这门学科的理论与技术体系。今天,虽然这门学科还在日新月异地发展,但是一些基本概念、基本理论、基本算法已基本形成。近几年来,GIS 无论是在理论上还是应用上都处在一个飞速发展的阶段。GIS 被应用于多个领域的建模和决策支持,如城市管理、区划、环境整治等,地理信息成为信息时代重要的组成部分之一。“数字地球”概念的提出,更进一步推动了作为其技术支撑的 GIS 的发展。

#### 1. 地理信息系统的定义

(1)历史定义: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,对空间相关数据进行采集、管理、操作、模拟、分析和显示,并采用地理模型分析方法,适时提供多种空间和动态的地理信息,为地理研究和地理决策服务而建立起来的计算机技术系统。

从外部看,地理信息系统表现为计算机软硬件系统。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,从视觉、计量和逻辑上对地理系统在功能方面进行模拟,信息的流动及信息流动的结果完全由计算机程序的运行和数据的交换来仿真,地理学家可以在 GIS 的支持下,提取地理系统的不同侧面、不同层次的空间和时间特征信息,也可以快速模拟自然过程的演变和思维过程,取得地理预测和实验的结果,选择优化方案,避免错误的决策。

(2)现代定义:地理信息系统是空间数据的管理系统。

#### 2. 地理信息系统的特征

地理信息系统具有以下三个方面的特征:

(1)具有采集、管理、分析和输出多种地理信息的能力,具有空间性和动态性。

(2)由计算机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。

(3)计算机系统的支持是地理信息系统的重要特征,因此,地理信息系统能快速、精确、综合地对复杂的地理系统进行空间定位和过程动态分析。

#### 3. 地理信息系统内容体系

GIS 所涉及内容非常广,可用图 1.1 来概括。



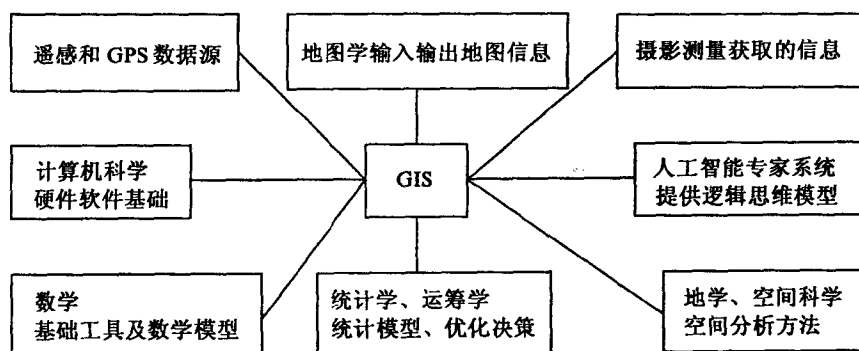


图 1.1 地理信息系统内容体系

## 1.2 GIS 的发展概况

地理信息系统脱胎于地图,它们都是地理信息的载体,具有获得、存储、编辑、处理、分析与显示地理数据的功能。地图是地理学的第二代语言,而地理信息系统将成为地理学的第三代语言。

### 1.2.1 国际上地理信息系统的发展

自人类社会形成以来,人们在生产活动和社会活动中总在进行着信息的获取、交换和使用。从古代文明到现代社会,地理工作者、测绘工作者、航海家都致力于空间数据的收集整理,制图工作者则以地图的形式表示这些数据。地图作为空间数据的载体长期为航海、军事以及现代经济建设服务。

#### 1. 20 世纪 50 年代的萌芽状态

20 世纪 50 年代由于计算机技术的发展,测绘工作者和地理工作者逐渐利用计算机汇总各种来源的数据,借助计算机处理和分析这些数据,最后通过计算机输出一系列结果,作为决策过程的有用信息。1956 年,奥地利测绘部门首先利用电子计算机建立了地籍数据库,以后许多国家的土地测绘部门都相继发展了土地信息系统。60 年代末,加拿大建立了世界上第一个地理信息系统——加拿大地理信息系统(CGIS)。稍后,美国哈佛大学研制出 SYMAP 系统软件。尽管当时的计算机水平不高,但 GIS 机助制图能力较强,它能够实现地图的手扶跟踪数字化以及地图数据的拓扑编辑和分幅数据拼接等功能。早期的 GIS 大多数是基于网格系统,因而发展了许多基于栅格的操作方法。

#### 2. 20 世纪 60 年代开拓发展阶段

20 世纪 60 年代,计算机开始用于地图量算、分析和制作,由于机助制图具有快速、廉价、灵活多样、易于更新、操作简便、质量可靠、便于存储、量算、分类、合并和覆盖分析等优点而迅速发展起来。1963 年,加拿大测量学家 R. F. Tomlinson 首先提出了“地理信息系统”这一术语,并建立了世界上第一个实用的地理信息系统——加拿大地理信息系统(CGIS),用

于自然资源的管理和规划。该系统由加拿大政府组织于1963年开始研制实施,到1971年投入正式运行,被认为是国际上最早建立的、较为完善的大型实用的地理信息系统。60年代中期,由于对自然资源 and 环境的规划管理 with 应用加速增长的需要,对大量空间环境数据存储、分析和显示技术方法改进的要求,以及计算机技术及其在自然资源和环境数据处理中应用的迅速发展,促使对地图进行综合分析和输出的系统日益增多。这时地理信息系统的特征是和计算机技术的发展水平联系在一起的,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。例如哈佛大学的 SYMAP 是最著名的一例,另外还有 GRID、ML-MIS 等系统。所有这些处理空间数据的主要技术,奠定了地理信息系统发展的基础。60年代中后期,地理信息系统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1966年美国成立城市和区域信息系统协会(URISA),1969年又建立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處理委员会(CGDSP)。这些组织和机构的建立,对于传播地理信息系统的知识和发展地理信息系统的技术起了重要的指导作用。

### 3. 20世纪70年代巩固阶段

进入20世纪70年代以后,由于计算机硬件和软件技术的飞速发展,尤其是大容量存取设备(硬盘)的使用,为空间数据的录入、存储、检索和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看到,并可以进行实时编辑,促使GIS朝着实用方向迅速发展。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,促使地理信息系统迅速发展。

一些发达国家先后建立了许多不同专题、不同规模、不同类型的各具特色的地理信息系统。如美国森林调查局发展了全国林业统一使用的资源信息显示系统;美国地质调查所发展了多个地理信息系统,用于获取和处理地质、地理、地形和水资源信息,较典型的有GIRAS;日本国土地理院从1974年开始建立数字国土信息系统,存储、处理和检索测量数据、航空像片信息、行政区划、土地利用、地形地质等信息,为国家和地区土地规划服务;瑞典在中央、区域和市三级上建立了许多信息系统,比较典型的如区域统计数据库、道路数据库、土地测量信息系统、城市规划信息系统等;法国建立了地理数据库GITAN系统和深部地球物理信息系统等。地理信息系统的发展,使一些商业公司开始活跃起来,软件在市场上受到欢迎。

此外,探讨以遥感数据为基础的地理信息系统逐渐受到重视,如将遥感纳入地理信息系统的可行性、接口问题以及遥感支持的信息系统的结构和构成问题;美国喷气推动实验室在1976年研制成功兼有影像数据处理和地理信息系统功能的影像信息系统,可以处理LANDSAT影像多光谱数据;NASA的地球资源实验室在1979年至1980年发展了一个名为ELAS的地理信息系统,该系统可以接受LANDSAT MSS影像数据、数字化地图数据、机载热红外波段扫描仪以及海洋卫星合成孔径雷达的数据等,产生地面覆盖专题图。

这一时期地图数字化输入技术有了一定的进展,采用人机交互方式,易于编辑修改,提高了工作效率,扫描输入技术系统出现。当时软件最重要的进展是人机图形交互技术的发展。

在此期间,曾先后召开了一系列地理信息系统的国际讨论会,国际地理联合会先后于

1972 年和 1979 年两次召开关于地理信息系统的学术讨论会,1978 年在原联邦德国达姆斯塔特工业大学召开了第一次地理信息系统讨论会。这期间,许多大学(例如美国纽约州立大学布法罗校区等)开始注意培养地理信息系统方面的人才,创建了地理信息系统实验室。总之,地理信息系统在这时受到了政府部门、商业公司和大学的普遍重视。这个时期地理信息系统发展的总体特点是:地理信息系统在继承 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;在地理信息系统技术方面未有新的突破;系统的应用与开发多限于某个机构;专家个人的影响削弱,而政府影响增强。

#### 4. 20 世纪 80 年代突破阶段

由于计算机的发展,推出了图形工作站和个人计算机等性能价格比大为提高的新一代计算机,计算机和空间信息系统在许多部门广泛应用。随着计算机软、硬件技术的发展和普及,地理信息系统也逐渐走向成熟。这一时期是地理信息系统发展的重要时期。计算机价格的大幅度下降,功能较强的微型计算机系统的普及和图形输入、输出和存储设备的快速发展,大大推动了地理信息系统软件的发展,并研制了大量的微机 GIS 软件系统。

GIS 基础软件和应用软件的发展,使得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,涉及了许多的学科与领域,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。许多工业化国家把土地信息系统作为有关部门的必备工具,投入日常运转。这一时期,很多国家制定了本国的地理信息系统发展规划,启动了若干科研项目,建立了一些政府性、学术性机构,如美国于 1987 年成立了国家地理信息与分析中心(NCGIA),英国于 1987 年成立了地理信息协会。与卫星遥感技术相结合,GIS 开始用于解决全球性问题,例如:全球沙漠化、全球可居住区的评价、厄尔尼诺现象与酸雨、核扩散与核废料以及全球气候与环境的变化监测。

20 世纪 80 年代中期,GIS 软件的研制与开发也取得了很大成绩,仅 1989 年市场上有报价的软件达 70 多个,并且涌现出一些有代表性的 GIS 软件,如 ARC/INFO, MGE, GENAMAP, SYSTEM9 等,它们可在工作站或微机上运行。

#### 5. 20 世纪 90 年代社会化阶段

进入 20 世纪 90 年代,随着计算机和 WINDOWS 的迅速发展,以及图形工作站性能价格比的进一步提高,计算机在全世界迅速普及。一些基于 WINDOWS 和 WINDOWS NT 的桌面 GIS,如 MAPINFO、ARCVIEW、GEOMEDIA 等软件以其界面友好、易学好用的独特风格,使 GIS 在很多行业得到了很好的应用。特别是 90 年代互联网的发展,为地理信息系统在互联网上运行提供了必要的技术条件,各软件厂商争相研究出基于万维网的地理信息系统软件。比较典型的软件有: AUTODESK 公司的 MAP GUIDE, ESRI 公司的 MAPOBJECT IMS, INTERGRAPH 公司的 GeoMedia Web Map, MapInfo 公司的 MapInfo Proserver。

尽管 GIS 有着广泛的应用潜力,但是它的应用仅仅在少数领域比较成熟,如地图制图与数据发行、自然资源管理与评价、地籍管理、城市与区域规划以及美国、加拿大等国的人口普查。GIS 在许多其他领域的应用才刚刚起步,包括商务应用、市政设施设备管理、公共卫生及安全、油气与其他矿产资源的勘测、交通管理、房产开发与销售等。多数应用是在各级政府部门实现的,根据美国联邦数字制图多部门协调委员会的一份调查,早在 1990 年美国联邦政府已有 62 个机构使用 GIS,其中 18 个已用于常规作业。

国家级乃至全球性的地理信息系统已成为公众关注的问题,许多国家都制定了“信息高

速公路”计划,并提出了“数字地球”战略,而地理信息系统是其中的关键技术之一。毫无疑问,地理信息系统将发展成为现代社会最基本的服务系统。

### 1.2.2 我国地理信息系统的发展概况

我国地理信息系统的起步稍晚,但发展势头相当迅猛,大致分为以下三个阶段:

#### 1. 20世纪70年代的起步阶段

20世纪70年代初期,我国开始推广电子计算机在测量、制图和遥感领域中的应用。随着国际遥感技术的发展,我国在1974年开始引进美国地球资源卫星图像,开展了遥感图像处理和解译工作。1976年召开了第一次遥感技术规划会议,形成了遥感技术试验和应用蓬勃发展的新局面,先后开展了京津唐地区红外遥感试验、新疆哈密地区航空遥感试验、天津渤海湾地区的环境遥感研究、天津地区的农业土地资源遥感清查工作。长期以来,国家测绘局系统开展了一系列航空摄影测量和地形测图,为建立地理信息系统数据库打下了坚实的基础。解析和数字测图、机助制图、数字高程模型的研究和使用也同步进行。1977年诞生了第一张由计算机输出的全要素地图。所有这些都为GIS的研制和应用作了技术上的准备。

#### 2. 80年代的试验阶段

进入80年代之后,我国执行“六五”、“七五”计划,国民经济全面发展,很快对“信息革命”做出热烈响应。在大力开展遥感应用的同时,GIS也全面进入试验阶段。在典型试验中主要研究数据规范和标准、空间数据库建设、数据处理和分析算法及应用软件的开发等。以农业为对象,研究有关质量评价和动态分析预报的模式与软件,并用于水库淹没损失、水资源清查、环境质量评价与人口趋势分析等多项专题的试验研究。在专题试验和应用方面,在全国大地测量和数字地面模型建立的基础上,建成了全国1:100万地图数据库系统和全国土地利用信息系统、1:400万全国资源和环境信息系统及1:250万水土保持信息系统,并开展了黄土高原信息系统以及洪水灾情预报与分析系统等专题研究试验。用于辅助城市规划的各种小型信息系统在城市建设和规划部门也获得了认可。

在几年的起步发展阶段中,我国地理信息系统在理论探索、硬件配制、软件研制、规范制订、区域试验研究、局部系统建立、初步应用试验和技术队伍培养等方面都取得了进步,积累了经验,为在全国范围内展开地理信息系统的研究和应用奠定了基础。

在学术交流上和人才培养方面得到发展。在国内召开了多次关于GIS的国际学术讨论会。1985年,中国科学院建立了“资源与环境信息系统国家级重点实验室”,1988年和1990年原武汉测绘科技大学(现武汉大学)先后建立了“信息工程专业”和“测绘遥感信息工程国家重点实验室”。我国许多大学中开设了GIS方面的课程和不同层次的讲习班,已培养出了一大批从事GIS研究与应用的博士和硕士。

通过近五年的努力,在地理信息系统技术上的应用开创了新的局面,并在全国性应用、区域管理、规划和决策中取得了实际的效益。

#### 3. 90年代的全面发展阶段

80年代末到90年代以来,随着社会主义市场经济的全面发展,我国的GIS步入快速发展阶段。执行地理信息系统和遥感联合科技攻关计划,强调地理信息系统的实用化、集成化和工程化,力图使地理信息系统从初步发展时期的研究实验、局部应用走向实用化和生产化,为国民经济重大问题提供分析和决策依据,努力实现基础环境数据库的建设,推进国产

软件系统的实用化、遥感和地理信息系统技术一体化。在地理信息系统的区域工作重心上,出现了“东移”和“进城”的趋向,促进了地理信息系统在经济相对发达、技术力量比较雄厚、用户需求更为急迫的地区和城市首先实用化。这期间开展的主要研究及今后尚需进一步发展的领域有:重大自然灾害监测与评估系统的建设和应用;重点产粮区主要农作物估产;城市地理信息系统的建设与应用;建立数字化测绘技术体系;国家基础地理信息系统建设与应用;专业信息系统与数据库的建设和应用;基础通用软件系统的研制与建立;地理信息系统规范化与标准化;基于地理信息系统的数据库产品研制与生产。同时,经营地理信息系统业务的公司逐渐增多。

国家测绘局正在全国范围内建立数字化测绘信息产业。1:100 万地图数据库已公开发售,1:25 万地图数据库已经完成建库,并开始了全国 1:5 万地图数据库生产与建库工作,各省测绘局正在抓紧建立省级 1:1 万基础地理信息系统。数字摄影测量和遥感应用从典型试验逐步走向运行系统,因而可保证向 GIS 源源不断地提供地形和专题信息。进入 90 年代以来,沿海、沿江经济开发区的发展,土地的有偿使用和外资的引进,急需 GIS 为之服务,有力地促进了城市地理信息系统的发展。用于城市规划、土地管理、交通、电力及各种基础设施管理的城市信息系统在我国许多城市相继建立。

在基础研究和软件开发方面,科技部在“九五”科技攻关计划中,将“遥感、地理信息系统和全球定位系统的综合应用”列入国家“九五”重中之重科技攻关项目,在该项目中投入相当大的研究经费支持原武汉测绘科技大学、北京大学、中国地质大学、中国林业科学研究院和中国科学院地理研究所等单位开发我国具有自主知识产权的地理信息系统基础软件。经过几年的努力,中国 GIS 基础软件与国外的差距迅速缩小,涌现出若干能参与市场竞争的地理信息系统软件,如 GEOSTAR, MAPGIS, CITYSTAR, VIEWGIS 等。在遥感方面,在该项目的支持下,已建立全国基于 TM 遥感影像土地分类结果的土地动态监测信息系统。国家这一重大项目的实施,有力地促进了中国遥感和地理信息系统的发展。

总之,中国地理信息系统事业经过十几年的发展,取得了重大的进展。地理信息系统的研究和应用正逐步形成行业,具备了走向产业化的条件。

### 1.3 GIS 与相关学科及技术的关系

#### 1.3.1 信息系统与地理信息系统

信息系统(Information System)是具有采集、处理、管理和分析数据能力的系统,它能为单一的或有组织的决策过程提供各种有用信息。

从计算机的角度讲,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系统,用户包括一般用户和从事系统建立、维护、管理和更新的高级用户。

由于计算机技术的飞速发展和计算机应用的普及,不同领域的各种信息系统相继出现,从系统结构及处理方法看,主要分为以下几种:

(1)管理信息系统(Management Information System, MIS)是一种基于数据库的回答系统,它往往停留在数据级上支持管理者,如人事管理信息系统、财务管理信息系统、产品销售信息系统等。

(2)决策支持系统(Decision Support System, DSS)是在 MIS 基础上发展起来的一种信息系统,它不仅为管理者提供数据支持,还提供方法和模型的可能支持,并对问题进行仿真和模拟,从而辅助决策者进行决策。

(3)智能决策支持系统(Intelligent Decision Support System, IDSS)是在决策支持系统中进一步引入人工智能(Artificial Intelligence, AI)技术。如专家系统(Expert System, ES)解决非结构化问题,提高系统决策自动化程度。

(4)空间信息系统(Spatial Information System, SIS)是对空间数据进行采集、处理、管理和分析的信息系统。由于空间数据的特殊性,使空间信息系统的组织结构及处理方法有别于一般信息系统。

地理信息系统是一种特定而又十分重要的空间信息系统。是在计算机硬件和软件支持下,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,以提供对规划、管理、决策和研究所需信息的空间信息系统。

地理信息系统是一门多技术交叉的空间信息科学,它依赖于地理学、测绘学、管理学等基础性学科,又取决于计算机硬件和软件技术、航天技术、遥感技术和人工智能与专家系统的进步与成就。此外,地理信息系统又是一门以应用为目的的信息产业,它的应用已深入各行各业。

### 1.3.2 地理信息系统的相关学科

作为传统科学与现代技术相结合的产物,地理信息系统为各种涉及空间数据分析的学科提供了新的方法,而这些学科的发展都不同程度地提供了一些构成地理信息系统的技术与方法。为了更好地掌握并深刻地理解地理信息系统,有必要认识和理解与地理信息系统相关的学科。

#### 1. 地理学

地理学是一门研究人类赖以生存的地理空间的科学。在地理学研究中,空间分析的理论和方法具有悠久的历史,它为地理信息系统提供了有关空间分析的基本观点与方法,成为地理信息系统的基础理论依托。而地理信息系统的发展也为地理问题的解决提供了全新的技术手段,并使地理学研究的数学方法得到了充分地发挥。

地理系统的内部及其外界,不仅存在着物质和能量的交流,也存在着信息流。这种信息流使得系统许多看似不相关的形态各异的要素联系起来,共同作用于地理系统。而地理信息系统体现着一种信息联系,由系统建立者输入,而由机器存储的各种影像、地图和图表都包括了丰富的地理空间信息的数据,通过指针或索引等组织信息相关联;系统软件对空间数据编码和处理;用户对 GIS 发出指令,GIS 按约定的方式做出解释后,获得用户指令信息,调用系统内的数据提取相应的信息,从而对用户做出反应,这是信息按一定方式流动的过程。

由此可见,地理信息系统不仅要以系统的形式表达自然界实体之间物质与能量的流动,更为重要的是以最直接的方式反映了自然界的信息联系,并可以快速模拟这种联系发展的结果,达到地理预测的目的。

总之,自然界与人类存在着深刻的信息联系,地理学家所面对的是一个形体的,即自然的地理世界,而感受到的却是一个地理信息世界。地理研究实际上是基于这个与真实世界并存而且在信息意义上等价的信息世界。GIS 以地理信息世界表达地理现实世界,可以真

实、快速地模拟各种自然的过程和思维的过程,对地理研究和预测具有十分重要的作用。

## 2. 地图学

地图是记录地理信息的一种图形语言形式。从历史发展的角度来看,地理信息系统脱胎于地图,地图学理论与方法对地理信息系统的发展有着重要的影响。GIS是地图信息的又一种新的载体形式,它具有存储、分析、显示和传输空间信息的功能,尤其是计算机制图为地图特征的数字表达、操作和显示提供了一系列方法,为地理信息系统的图形输出设计提供了技术支持;同时,地图仍是目前地理信息系统的重要数据来源之一。但二者又有本质的区别:地图强调的是数据分析、符号化与显示,而地理信息系统更侧重于信息分析。

地图是认识和分析以及研究客观世界的常用手段,尽管地图的表现形式发生了种种变化,但是依然可以认为构成地图的主要因素有三:地图图形、数学要素和辅助要素。地图图形是用地图符号所表示的制图区域内,各种自然和社会经济现象的分布、联系以及时间变化等的內容部分(又称地理要素),如江河山地、平原、土质植被、居民点、道路、行政界线或其他专题内容等,这是地图构成要素中的主体部分。数学要素是决定图形分布位置和几何精度的数学基础,是地图的“骨架”。其中包括地图投影及坐标网、比例尺、大地控制点等。地图投影是用数学方法将地球椭球面上的图形转绘到平面上;坐标网是各种地图的数学基础,是地图上不可少的要素;比例尺表示坐标网和地图图形的缩小程度;大地控制点是保证将地球的自然表面转绘到椭球面上,再转绘到平面直角坐标网内时,具有精确的地理位置。辅助要素是为了便于读图与用图而设置的。例如,图例就是显示地图内容的各种符号的说明。还有图名、地图编制和出版单位、编图资料的情况、出版年月等。有的地图上还有补充资料,用以补充和丰富地图的内容。如在图边或图廓内空白处,绘制一些补充地图或剖面图、统计图等。有时还有一些表格或某一方面的重点文字说明。

从地理信息系统的发展过程可以看出,地理信息系统的产生、发展与制图系统存在着密切的联系,两者的相同之处是基于空间数据库的表达、显示和处理。从系统构成与功能上看,一个地理信息系统具有机助制图系统的所有组成和功能,并且地理信息系统还有数据处理的功能。地图是一种图解图像,是根据地理思想对现实世界进行科学抽象和符号表示的一种地理模型,是地理思维的产物,也是实体世界地理信息的高效载体。地图可以从不同方面、不同专题,系统地记录和传输实体世界历史的、现实的和规划预测的地理景观信息。

## 3. 计算机科学

地理信息系统技术的创立和发展是与地理空间信息的表达、处理、分析和应用手段的不断发展分不开的。20世纪60年代,在计算机图形学的基础上出现了计算机化的数字地图。计算机的数据库技术、计算机辅助设计、计算机辅助制图和计算机图形学等与地理信息系统有着密切的联系,但是它们却无法取代地理信息系统的作用。

数据库管理系统是操作和管理数据库的软件系统,提供可被多个应用程序和用户调用的软件系统,支持可被多个应用程序和用户调用的数据库的建立、更新、查询和维护功能,GIS在数据管理上借鉴数据库管理系统的理论和方法,非几何属性数据有时也采用通用的数据库管理系统或在开发的软件系统管理。对于空间地理数据的管理,通用的数据库管理系统有两个明显的弱点:第一,缺乏空间实体定义能力。目前流行的网状结构、层次结构、关系结构等,都难以对空间结构进行全面、灵活、高效地描述。第二,缺乏空间关系查询能力。通用的数据库管理系统的查询主要是针对实体的查询,而GIS中则要求对实体的空间关系

进行查询,如关于方位、距离、包容、相邻、相交和空间覆盖关系等。显然,通用数据库管理系统难以实现对地理数据空间查询和空间分析。数据是信息的载体,对数据进行解释可提取信息,通用数据库和地理数据库都是针对数据本身进行管理,而 GIS 则在数据管理基础上,通过地理模型运算,产生有用的地理信息,取得信息的多少和质量,与地理模型的水平密切相关。

计算机图形学是利用计算机处理图形信息以及借助图形信息进行人-机通信处理的技术,是 GIS 算法设计的基础。GIS 是随着计算机图形学技术的发展而不断发展完善的,但是计算机图形学所处理的图形数据是不包含地理属性的纯几何图形,是地理空间数据的几何抽象,可以实现 GIS 低层的图形操作,但不能完成数据的地理模型分析和许多具有地理意义的数据处理,不能构成完整的 GIS。

计算机辅助设计是通过计算机辅助设计人员进行设计,以提高设计的自动化程度,节省人力和时间;专门用于制图的计算机辅助制图,采用计算机进行几何图形的编辑和绘制。GIS 与 CAD 和 CAM 的区别在于:第一,CAD 不能建立地理坐标系和完成地理坐标变换。第二,GIS 的数据量比 CAD、CAM 大得多,结构更为复杂,数据间联系紧密。这是因为 GIS 涉及的区域广泛,精度要求高,变化复杂,要素众多,相互关联,单一结构难以完整描述;第三,CAD 和 CAM 不具有 GIS 所具有的地理意义的空间查询和分析功能。

#### 4. 遥感技术

遥感是一种不通过直接接触目标物而获得信息的一种新型的探测技术。它通常是指获取和处理地球表面的信息,尤其是自然资源与人文环境方面的信息,并最后反映在像片或数字影像上的技术。影像通常需要进一步处理方可使用,用于该目的的技术称为图像处理。图像处理包括各种可以对像片或数字影像进行处理的操作,这些操作包括影像压缩、影像存储、影像增强、影像处理以及量化影像模式识别等。目前,遥感已经成为环境研究中极有价值的工具,不同学科的专业人员不断地发现航空遥感不同数据在各领域内的潜在应用。遥感和图像处理技术被用于获取和处理地球表面有关的信息;GIS 的发展则源于对土地属性信息与相应几何表达的集成及空间分析的需求。这两项技术在过去是相互独立发展的,尽管它们实际上是互补的。

从地理信息系统本身的角度出发,随着应用领域的开拓和深入,它首先要求存储大量的有关数据,通过不断的积累和延伸,从而具备反映自然历史过程和人为影响的趋势的能力,揭示事物发展的内在规律。但是地理信息系统数据库几乎只是通过地图数字化建立起来的,用户不能接触到原始资料及其有关信息,而地理信息系统中的原始数据却是有效地模拟和控制误差传播的基础。其次,地理信息系统为了保持系统的动态性和现实性,它还要求及时地更新系统中的数据,目前地理信息系统中存储的信息只是现实世界的一个静态模型,需要定时或及时的更新。遥感作为一种获取和更新空间数据的强有力手段,能及时地提供准确、综合和大范围内进行动态监测的各种资源与环境数据,因此遥感信息就成为地理信息系统十分重要的信息源。另一方面,GIS 中的数据可以作为遥感影像分析的一种辅助数据。在两者集成过程中,GIS 主要用于数据处理、操作和分析;而遥感则作为一种数据获取、维护与更新 GIS 中的数据的手段;此外,GIS 可用于基于知识的遥感影像分析。

地理信息系统和遥感是两个相互独立发展起来的技术领域,随着其应用领域的不断开拓和自身的不断发展,目前正逐步发展为由定性到定量、由静态到动态、由现状描述到预测



预报。

### 5. 管理科学

传统意义上的管理信息系统是以管理为目的,在计算机硬件和软件支持下具有的存储、处理、管理和分析数据能力的信息系统,如人才管理信息系统、财务管理信息系统、服务业管理信息系统等。这类信息系统的最大特征是它处理的数据没有或者不包括空间特征。

另一类管理信息系统是以具有空间分析功能的地理信息系统为支持、以管理为目标的信息系统。它利用地理信息系统的各种功能,实现对具体空间特征的要素进行处理分析,以达到管理区域系统的目的,如城市交通管理信息系统、城市供水管理信息系统、节水农业管理信息系统等。

### 1.3.3 地理信息系统与其他相关技术的区别

#### 1. 地理信息系统与计算机辅助设计的区别

CAD 主要是利用计算机代替或辅助工程设计人员进行各种设计。它处理的对象是规则的几何图形及其组合。因此,CAD 的图形处理功能极强,属性功能很弱。

地理信息系统处理的对象是自然目标(如某一区域的土地类型、地形等高线等),因此图形处理难度大,属性功能十分重要,图形和属性之间关系密切,有丰富的属性库和符号库,强调空间数据的分析功能,数据源和数据输入方法种类繁多,数据结构复杂。

一个功能很强的 CAD 软件,不能代替地理信息系统工作,反之亦然。但由于 CAD 软件有很强的图形数据采集和编辑功能,有些地理信息系统将 CAD 作为数据采集的辅助工具。例如国际上流行的 AUTOCAD 软件,与很多地理信息系统之间有接口,以把 AUTOCAD 输入的图形数据传送给地理信息系统。美国的 ESRI 公司和 AUTODESK 公司合作推出的 ARC-CAD,可以同 AUTOCAD 一起在微机上实现地理信息系统功能,并同地理信息系统软件 ARC/INFO 有机结合起来。

#### 2. 地理信息系统与数字地图制图的区别

数字地图是模拟地图在计算机中的表示形式。它主要考虑地形、地貌和其他专题要素在图上的表示,以数字形式将地图存储、管理和在绘图仪上输出。数字地图制图系统强调的是图上的表示,通常只对图形数据进行管理,缺少对非图形数据的管理能力。

地理信息系统是按数据库管理系统,将图形数据和属性数据统一进行存储、处理和分析。它强调的是空间数据结构和分析,因此,它不仅有图形数据库,还有非图形数据库,并把二者结合起来进行深层次分析。

尽管利用数字地图的集合,可以建立一个数字地图库,并用数据库管理技术对其实现查询和检索功能,但它不可能像地理信息系统那样提供规划和决策方案,因为地理信息系统中可以根据不同专业的要求集成相应的分析模型,因此 GIS 具有很强的处理和分析能力。

实际上,数字地图与制图应该是地理信息系统的重要组成部分。首先,数字地图是地理信息系统重要的数据源,数字地图制图系统中存储和管理的信息往往是地理信息系统所需要的。其次,地理信息系统中处理分析结果常以数字地图形式显示和输出。例如,对某区域进行土地利用规划后输出土地利用规划图,该输出功能包括数字地图的制图。

#### 3. 地理信息系统与事务处理系统的区别

地理信息系统与一般事务处理系统及信息系统的主要区别在于:地理信息系统处理的