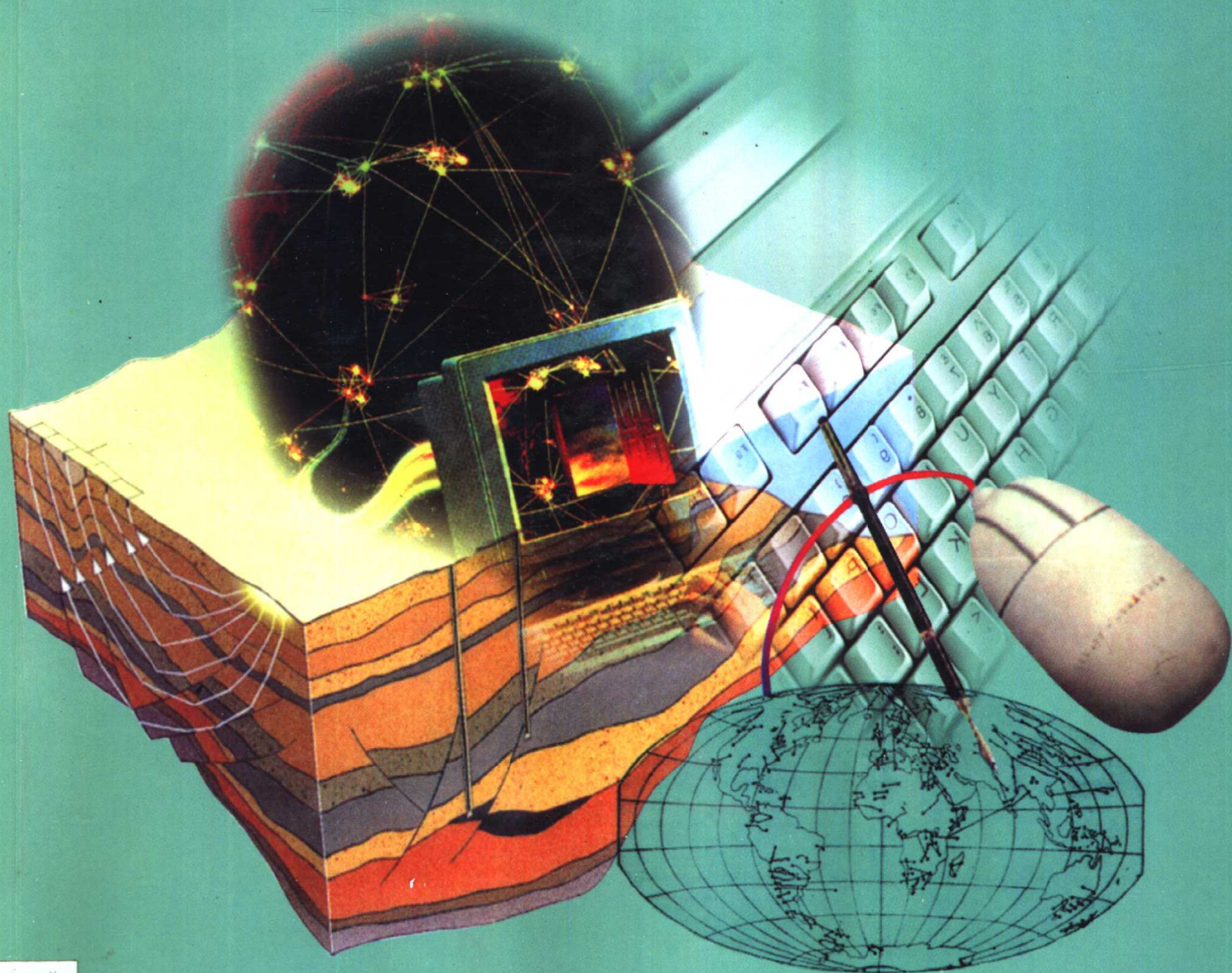


国家自然科学基金资助项目

中国大陆岩石圈地学断面 地理信息系统的设计与实现

许惠平 孙运生 周云轩 等 编著
刘万崧 陈圣波 王磊 刘葵



地质出版社

国家自然科学基金资助项目

中国大陆岩石圈地学断面 地理信息系统的设计与实现

许惠平 孙运生 周云轩 等 编著
刘万崧 陈圣波 王磊 刘葵

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书系统介绍了地理信息系统的产生、发展、基本概念、组成及功能；比较和介绍了几种常用的地理信息系统软件；阐述了地图投影与变换的基本理论和地理信息系统的数据库结构及编码方法，以及二维和三维数据库的特点。根据全球及中国大陆岩石圈地质学断面计划，在介绍中国大陆岩石圈地理信息系统开发平台选择的基础上，重点讨论了二维和三维中国大陆岩石圈地质学断面地理信息系统（GeoTrans GIS）的设计思路和设计过程，包括三维可视化的设计，中国大陆岩石圈地质学断面地理信息系统的主题划分、分层和编码技术等，全面介绍了GeoTrans GIS的实现过程。

本书适合于地理信息系统专业的本科生、研究生和从事地理信息系统设计、应用开发的科技工作者阅读。

图书在版编目（CIP）数据

中国大陆岩石圈地质学断面地理信息系统的设计与实现/许惠平等编著.-北京：地质出版社，2000.12
ISBN 7-116-03360-2

I. 中... I. 许... II. 大陆-岩石圈-断面-地理信息系统-中国 N. P58

中国版本图书馆CIP数据核字（2000）第86699号

地质出版社出版发行

（100083 北京海淀区学院路29号）

责任编辑：叶丹 刘学琼

责任校对：曲丽莉

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092 1/16 印张：13 字数：300000

2000年12月北京第一版·2000年12月北京第一次印刷

印数：1—800册 定价：20.00元

ISBN 7-116-03360-2

P·2176

（凡购买地质出版社的图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社发行处负责调换）

前 言

地理信息系统是一门融地理学、地图学、测量学、遥感技术、空间科学、管理科学、计算机图形学、计算机网络等计算机软硬件技术于一体的现代化综合性学科。它具有数据采集、输入、编辑、存储、管理、空间分析、查询、输出和显示功能，为用户进行预测、监测、规划管理和决策提供科学依据。

地理信息系统作为空间数据管理、空间信息分析处理的计算机系统，经过近 40 年的发展已取得巨大成就，并广泛应用于地图制图、区域地质调查、矿产资源评价、环境评价和保护、城市规划、灾害监测、公安侦破、交通运输、军事应用、土地调查、地籍管理、市政设施管理等方面。

把地理信息系统应用于中国大陆岩石圈的研究工作是地理信息系统同地球科学结合的结果，也是中国大陆岩石圈研究的必然要求。

岩石圈及全球变化是当前全球研究的两大课题。岩石圈研究主要通过地质、大地构造学、地球物理、地球化学与空间大地测量等的综合研究，建立全球岩石圈的结构、成因和演化的模型，建立油气、矿产资源、地质灾害和地质环境评价与预测模型。根据国际岩石圈地学断面委员会的要求，我国于 1986 年发起并制定了中国岩石圈地学大断面计划，设计了 11 条覆盖中国大陆及海域，穿越不同时代板块缝合带、重要的造山带、金属成矿带、油气盆地和地震活动带的地学断面网，除天山—塔里木断面外都已完成，其研究成果在国际地学界引起了强烈反响，使我国的岩石圈研究在世界地学界占有一席之地。地学大断面研究积累的丰富的综合性资料，为深入研究中国大陆岩石圈构造的基本格架奠定了良好的基础。因此，有必要在对我国的地学大断面成果进行系统总结、分析、对比的基础上，建立我国大陆岩石圈的三维结构。另一方面，为了便于信息的交流、利用和管理，并且同国际地学研究接轨，迫切需要建立中国大陆岩石圈地学断面的地理信息系统。

中国大陆岩石圈地理信息系统的完成将有助于推动和指导全国地学领域的相关研究，并将对今后中国岩石圈-生物圈-大气圈相关研究产生重要影响。另外，大陆岩石圈地理信息系统的建立将推动地学中真三维地理信息系统相关理论和应用的研究。

本书是在参考了大量有关方面书籍、杂志和国内外网络相关站点的基础上，在国家自然科学基金资助项目“中国大陆岩石圈地学断面信息系统及三维结构研究”（49774227）完成后编写的一本地理信息系统应用开发的著作。

全书共分十一章，其中第一章绪论，重点介绍地理信息系统的产生、发展过程以及地理信息系统的研究发展趋势；第二章地理信息系统的基本概念，主要给出地理信息系统的常见定义、分类、软硬件组成和功能，并比较和介绍了几种常用的地理信息系统软件；第三章地图投影与变换，阐述了地图投影与变换的基本理论和我国常用的地图投影与变化方法，同时给出了地理信息系统中地图投影与变换的配置原则；第四章地理信息系统空间数据结构，详细介绍了地理信息系统的栅格、矢量数据结构及编码方法；第五章二维、三维

地理信息系统数据库,主要阐述了二维和三维数据库理论和地理信息系统数据库的特点;第六章全球及中国大陆岩石圈地学断面计划,介绍了地学断面计划的产生和内容以及中国大陆岩石圈地学断面的完成情况;第七章中国大陆岩石圈地学信息系统开发平台的选择,在介绍中国大陆岩石圈地学断面地理信息系统开发平台选择的基础上,详细介绍了 Titan GIS 软件平台;第八章中国大陆岩石圈地学断面地理信息系统设计,重点阐述了二维和三维中国大陆岩石圈地学断面地理信息系统(GeoTrans GIS)的设计思路和设计过程,包括三维可视化的设计;第九章中国大陆岩石圈地学断面地理信息系统的编码技术,根据各项标准,设计了中国大陆岩石圈地学断面地理信息系统的主题划分、分层、编码标准;第十章中国大陆岩石圈地学断面地理信息系统的软件设计及实现,全面介绍了 GeoTrans GIS 的实现过程;第十一章中国大陆岩石圈地学断面地理信息系统的建立,介绍了地学断面地理信息系统建立的步骤和过程。

本书是吉林大学地学信息系统研究所孙运生教授为主的研究集体在多年研究的基础上共同创作完成的。参加各章节撰写的人员有:孙运生、周云轩、许惠平、刘万崧、陈圣波、王磊、刘葵、卢焱、牛雪峰、姜小轶等同志。此外,还有陈广庆、朱迎波、李健等研究生也参与了大量的工作。

作者

2000年8月

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
第一节 地理信息系统的产生与发展过程	(1)
第二节 地理信息系统的发展趋势	(7)
第二章 地理信息系统的基本概念	(12)
第一节 地理信息系统的定义	(12)
第二节 地理信息系统的分类、组成与功能	(13)
一、地理信息系统的分类	(13)
二、地理信息系统的基本组成与功能	(14)
第三节 几种常见的地理信息系统软件	(18)
一、ESRI 的 Arc/Info	(18)
二、Intergraph 公司的 MGE	(19)
三、武汉中地信息工程有限公司的 MapGIS	(23)
四、MapInfo Professional 5.0	(24)
五、几种国外地理信息系统的功能比较	(26)
第三章 地图投影与变换	(33)
第一节 地图投影及投影转换的基本理论	(33)
第二节 地图投影的分类	(35)
一、按投影变形性质分类	(35)
二、按标准网经纬线形状分类	(36)
第三节 地图投影的变形	(38)
一、变形的概念	(38)
二、变形椭圆	(39)
第四节 常用的地图投影	(39)
第五节 等角横切圆柱投影(高斯-克吕格投影)	(41)
一、控制测量对地图投影的要求	(41)
二、高斯-克吕格投影的基本概念	(41)
三、高斯投影的正反算公式	(43)
四、高斯-克吕格投影的变形分析及应用	(43)
五、高斯投影的邻带换算	(44)
第六节 通用横轴墨卡托投影公式	(47)
第七节 地理信息系统中地图投影的配置原则	(48)
第四章 地理信息系统空间数据结构	(50)
第一节 栅格数据结构	(52)

第二节	矢量数据结构	(58)
一、	点实体	(58)
二、	线实体	(58)
三、	面实体	(58)
四、	矢量编码方法	(59)
第三节	栅格和矢量数据结构的选择及其相互转换算法	(63)
一、	栅格和矢量数据结构的选择	(63)
二、	栅格和矢量数据结构相互转换算法	(64)
第五章	二维、三维地理信息系统数据库	(66)
第一节	二维地理信息系统数据库	(66)
一、	数据管理技术的发展过程	(67)
二、	属性数据库	(72)
三、	GIS 空间数据库	(76)
第二节	三维地理信息系统数据库	(81)
一、	三维地理信息系统概述	(81)
二、	三维实体模型	(83)
三、	面向对象数据库	(87)
第六章	全球及中国大陆岩石圈地学断面计划	(108)
第七章	中国大陆岩石圈地学信息系统开发平台的选择	(111)
第一节	2D GIS 开发平台的选用	(111)
第二节	Titan GIS 简介	(112)
一、	Titan 面向最终用户的产品模块	(112)
二、	Titan 面向 GIS 二次开发的产品模块	(114)
第三节	Titan GIS 主要功能	(114)
一、	地图窗口 (Mapview)	(114)
二、	数据表窗口: 显示操作属性表	(118)
三、	地图符号	(119)
四、	项目文件	(120)
五、	文件浏览器	(120)
六、	数据的转入/输出	(121)
七、	其他数据处理功能	(121)
第四节	Titan GIS 的数据组织	(122)
一、	空间关系模型	(122)
二、	地理图形数据的组织	(122)
三、	属性数据	(123)
四、	矢量专题	(123)
五、	栅格和 TIN 专题	(124)
第八章	中国大陆岩石圈地学断面地理信息系统 (GeoTrans GIS) 的设计	(126)
第一节	GeoTrans GIS 的总体设计	(126)

第二节	GeoTrans GIS 的设计	(127)
一、	GeoTrans GIS 系统整体设计思路	(127)
二、	2D GIS 二次开发的结构设计	(129)
三、	3D GIS 数据库的设计和实现	(134)
第三节	GeoTrans GIS 三维可视化与查询模块的设计	(140)
一、	可视化及地质目标的特征	(141)
二、	GIS 的可视化	(142)
三、	地质目标的特征与物理-地质模型	(142)
四、	三维可视与查询模块的设计	(143)
第九章	中国大陆岩石圈地学断面地理信息系统的编码技术	(145)
第一节	技术标准与规范	(145)
	信息系统标准明细表	(145)
第二节	主题划分、分层及层名称编码	(149)
一、	层的命名和实体编码规则	(150)
二、	应用实例	(151)
第十章	中国大陆岩石圈地学断面地理信息系统的软件设计及实现	(155)
第一节	开发环境的选择及相关技术	(155)
一、	软件开发环境的选择原则	(155)
二、	选择 Visual C++5.0 作为软件开发平台	(155)
三、	ODBC 技术	(157)
第二节	GeoTrans GIS 中 2D GIS 二次开发的实现	(158)
一、	Titan GIS 本身的结构原理	(158)
二、	2D GIS 的整体开发结构	(159)
三、	与 SAE 的链接方式	(160)
四、	2D GIS 开发的编程实现	(160)
第三节	GeoTrans GIS 中 3D GIS 模块的实现	(172)
一、	三维实体模型的实现	(172)
二、	3D GIS 面向对象数据库的实现	(176)
三、	三维可视与查询模块的实现	(179)
第十一章	中国大陆岩石圈地学断面地理信息系统的建立	(184)
第一节	二维地理信息系统的建立	(184)
一、	建立地学断面二维信息系统的步骤	(184)
二、	实例：格尔木—额济纳旗地学断面二维 GIS 的建立	(185)
第二节	地学断面三维地理信息系统的建立	(189)
主要参考文献	(194)

第一章 绪 论

地理信息系统 (GIS) 是一种采集、存储、管理、分析、显示与应用地理信息的计算机系统, 是分析和处理海量地理数据的通用技术, 是为实现应用目标而有机结合的人员、数据、模型、工作流程以及计算机软硬件设备的整体。它在最近的 30 多年内取得了迅猛的发展, 并广泛地应用于资源调查、环境评估、区域发展规划、公共设施管理、交通安全等领域, 成为一个跨学科、多方向的研究领域。

作为一种通用技术, 地理信息系统按一种新的方式去组织和使用地理信息, 以便更有效地分析和产生新的地理信息; 同时, 地理信息系统的应用也改变了地理信息分发和交换的方式。因此, 地理信息系统提供了一种认识和理解地理信息的新方式, 从而使地理信息系统进一步发展成为一门处理空间数据的学科。

第一节 地理信息系统的产生与发展过程

国外许多人认为, 19 世纪以来应用的地图和专题图是一种模拟式的地理信息系统。实际上, 我国的地理信息系统的产生更加源远流长。苏州文庙保存下的宋代地理图碑是宋代的中国地图。它刻绘了山脉、长江、黄河、长城以及全国各级行政机构——路、府、州的位置。这种碑刻图表现了不同比例尺、不同区域空间内各种地理要素之间的空间位置, 隐含地表示了这些要素之间的拓扑关系。并以平面和立体结合的绘画方法将空间地理要素进行复合及分解为多维显示。

1. 地理信息系统产生的背景

现代地理信息系统产生和发展的历史背景和原因可归纳为 3 条:

(1) 信息大爆炸。人类社会由农业经济经过工业革命进入工业经济后, 正步入信息社会。正如 John Naisbett 所说, “我们已被信息所淹没, 但是却正在忍受缺乏知识的煎熬”。当人类逐渐步入知识爆炸的信息时代时, 如何从浩如烟海的数据、信息中获取各自需要的东西? 这无疑是生活在现代社会里的人们时刻面临的难题。同时, 如何对海量数据进行整合、集成以及选取合适的参数进行数学建模? 如何能适时地检验模型? 如何对全世界成千上万的地学实验室、科研机构、大专院校的科学研究和获取的宝贵数据进行共享与交换? 这些问题均有待解决。

(2) 由于交叉科学的发展, 规划、决策和管理部门的工作方式正在迅速改变。

(3) 由于社会的进步, 人类对自然资源的开发利用, 已逐步由掠夺性、毁灭性的开发, 转向可持续性的利用, 把开发和保护相结合, 采用科学的管理, 进行定量分析和预测。

2. 世界地理信息系统的发展

20 世纪初, 一些简单的专题地图往往只局限于贵族、官僚、探险者和少数学者手中, 其应用也只是简单笼统的定位。

30年代和40年代期间,首次发展了描述空间变化的一些实用的数学方法,但这些方法的发展终因运算工具缺乏而被迫停止。

真正地理信息系统雏形的形成,要追溯到50年代。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,随后各国的土地测绘和管理部门都逐步发展土地信息系统用于地籍管理。

在计算机应用于制图与信息管理以前,各类地图都以点、线、面的形式记录地理信息,再用各种显示技巧(符号、颜色和文字编码)加以表示并用图例说明,更为详细的信息则记载于附件中。这就造成了一些麻烦,首先,原始数据必须压缩或分类,才能使地图易于理解和表示,因而损失掉许多细部特征;其次,在比例尺一定时,大区域需用多幅地图,而有些人们感兴趣的信息恰恰落在多幅地图的接边地带;另外,一旦数据表示于地图后,要从中恢复某些数据以便与其他空间数据组合分析时显得很困难;特别是一幅地图印刷出版后,不可能不修改,有时,在地图还没有出版时就已经过时了,例如天气图等,因数据每天甚至每小时都在变化,要及时更新数据库的数据并立即绘出新的地图,传统的手工制图是绝对办不到的。这样,许多科学工作者就希望寻找其他解决办法。地理信息系统正是在这种环境下产生和发展起来的。

60年代为地理信息系统开拓期,注重于空间数据的地理学处理。例如,处理人口统计数据(如美国人口调查局建立的DIME)、资源普查数据(如加拿大统计局的GRDSR)等。许多大学研制了一些基于栅格系统的软件包,如马里兰大学的MANS等。初期地理信息系统发展的动力主要来自于诸如学术探讨、新技术的应用、大量空间数据处理的生产需求等。最值得一提的是加拿大的Roger F. Tomlinson和美国的Duane F. Marble在不同地方、从不同角度提出了地理信息系统这一术语。1962年, Tomlinson提出利用数字计算机处理和分析大量的土地利用地图数据,并建议加拿大土地调查局建立加拿大地理信息系统(CGIS),以实现专题地图的叠加、面积量算等。加拿大国家土地调查局于60年代中期开始建立地理信息系统CGIS。与此同时, Duane F. Marble在美国西北大学研究利用数字计算机研制数据处理软件系统,以支持大规模城市交通研究,并提出建立地理信息系统软件系统的思想。同期,计算机辅助制图系统的研究开始发展起来,并对地理信息系统发展有着深刻的影响。来自美国西北大学技术研究所的Howard Fisher教授在福特基金会的资助下,建立了哈佛计算机图形与空间分析实验室,开发了SYMAP、ODYSSEY软件包。SYMAP是通用的制图软件包,由于当时计算机技术水平不高,存贮量小,磁带存取速度慢,使得GIS带有更多的机助制图色彩,地学分析功能极为简单。当时的系统能实现手扶跟踪数字化地图,进行简单的地图数据的编辑,分幅数据的拼接。它基于栅格操作方法的发展对当今栅格地理信息系统有着一定影响。ODYSSEY则被认为是当代矢量地理信息系统的原型。另外,还有其他国家也相继开展了地理信息系统或相关技术的研究,如英国的David P. Bickmore在英国自然环境研究会(NERC)资助下,成立了实验制图部,从事计算机制图与研究。

60年代地理信息系统发展的另一显著特点是许多与地理信息系统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年又建立起州信息系统全国协会(NAI)。国际地理联合会(IGU)在1968年成立了地理数据收集和处埋委员会(CGDSP),对组织地理信息系统的国际讨论,传播地理信息系统的知识和发展GIS技术,促进这一领域的发展起了重要作用。此外,专业化人材不断增加,许多大学开始

提供地理信息系统培训，一些商业性的咨询服务公司开始从事地理信息系统工作，如美国环境系统研究所（ESRI）成立于1969年。

进入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——磁盘的使用，为空间数据的录入、存储、检索和输出提供了强有力的手段。用户屏幕和图形、图像卡的发展增强了人机对话和高质量图形显示功能，数据处理速度加快，内存容量增大，超小型、多用户系统的出现，尤其是计算机硬件价格下降，使得政府部门、学校以及科研机构、私营公司也能够配置计算机系统。在软件方面，第一套利用关系数据库管理系统的软件问世，促使GIS朝实用方向迅速发展。这个时期为地理信息系统的巩固发展期。不同专题、不同规模、不同类型的各具特色的地理信息系统在世界各地纷纷研制，美国、加拿大、英国、西德、瑞典和日本等国对地理信息系统的研究均投入了大量的人力、物力、财力。1972年，加拿大的CGIS全面投入运行与使用，成为世界上第一个运行型的地理信息系统。CGIS在技术上取得了重大突破，如地图数据的扫描输入、栅格矢量数据转换。在系统设计上，提出空间分块、专题分层的数据结构、空间数据与属性数据相连接等思想。这对后来地理信息系统的发展有重要的影响。从1970年至1976年，美国地质调查局就建成50多个信息系统，作为地理、地质和水资源等领域分析、处理空间信息的工具。其他如加拿大、联邦德国、瑞典和日本等国也相继发展了自己的GIS。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、航空相片信息、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、区域和城市三级建立了许多信息系统，如土地测量信息系统、斯德哥尔摩地理信息系统、城市规划信息系统等。与此同时，一些商业公司开始活跃起来，软件在市场上受到欢迎。据统计，在20世纪70年代大约有300多个系统投入使用。出现了一些性能较好的软件，如美国环境系统研究所（ESRI）开发的ARC/INFO地理信息系统。

在这一阶段，国际地理联合会召开了几次地理信息系统会议，并于1972年出版了地理信息系统方面的第一本专著《地理数据处理》。人员培训受到重视，许多大学培养GIS人才，创建了地理信息系统实验室。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60年代技术基础之上，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。

80年代是GIS普及和推广应用的阶段，高档图形工作站及微型计算机的性能价格比大为提高，使得地理信息系统在软硬件上的投资成本大大降低。计算机网络的建立，使地理信息的传输时效得到极大的提高。GIS系统软件和应用软件的发展，使得它的应用从简单走向复杂，从解决基础设施的规划（如道路、输电线）转向更复杂的区域开发，例如土地的农业利用，城市化的发展，人口规划与安置等。地理因素成为投资决策中不可缺少的依据，在许多工业国家，GIS作为有关部门的必备工具，投入日常运转。与卫星遥感技术相结合，GIS开始用于全球性问题，例如全球沙漠化，全球可居住区的评价，厄尔尼诺现象及酸雨、核扩散及核废料，以及全球变化与全球监测。80年代，GIS软件的研制和开发也取得了很大成绩。

这个时期GIS发展的最大特点是先从应用开始，在应用中不断地开展理论研究，以完善GIS。1980年美国地质调查局出版的《空间数据处理计算机软件》报告，总结了1979年

以前世界各国空间信息系统的发展概况。Marble 等在 1984 年拟订了处理空间数据的计算机软件说明的标准格式,指出地理信息系统今后的发展应着重研究空间数据的算法,数据结构与模型以及数据库管理系统等 3 个方面。80 年代为地理信息系统技术大发展时期,注重于空间决策支持分析。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,涉及到了许多的学科与领域,如古人类学、森林管理、土木工程以及计算机科学等。许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。许多大学和研究机构开始重视 GIS 软件设计及应用的研究。例如,美国纽约州立大学布法罗校区创建了 GIS 实验室,后来在 1988 年发展成为包括加州大学和缅因州大学在内的由美国国家科学基金会支持的国家地理信息和分析中心(NCGIA)。又如中国于 1985 年成立了资源与环境信息系统国家重点实验室,英国于 1987 年成立了地理信息协会。因此,GIS 这一技术受到政府部门、商业公司和大学的普遍重视,成为一个引人注目的领域。同时,商业性的咨询公司、软件制造商大量涌现,并提供系列专业化服务。这个时期地理信息系统发展最显著的特点是商业化实用系统进入市场。

进入 90 年代,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,GIS 将深入到各行各业乃至千家万户,成为人们生产、生活、学习和工作中不可缺少的工具和助手。到 1995 年,市场上有报价的软件已达上千种,并且涌现出一些有代表性的 GIS 软件。在这个时期,地理信息系统成为确定的产业,投入使用的地理信息系统每 2~3 年就翻一番,地理信息系统市场增长率接近 40%,主要厂家的年销售量增长幅度都在 100%以上。地理信息系统已渗透到各行各业中。各行业地理信息系统的国际性会议、刊物、学科、研究中心遍及全球并有蔓延的趋势。

特别是 1998 年 1 月美国副总统戈尔在加州 Losangeles 科学中心作的“数字化地球——了解我们 21 世纪的地球”的报告后,数字化在全球全面展开。数字化地球是地理信息系统发展的必然结果,是空间技术、信息技术、网络技术、通讯技术等应用发展的产物,是可持续发展的必然要求。走可持续发展道路的根本问题是要求资源分配公平,它既包括不同时代间的公平分配,又包括不同地域和人群间的公平分配。不能为了一代人的生活需要耗尽资源和破坏人类世代生存的环境。在人类社会的发展过程中,随着人口增加和提高生活质量的需要,特别是进入工业化社会以来,人们有意和无意地超量采矿、采水、伐木、开荒、围垦,排放超过自然界净化能力的废水、废气、废物,造成环境污染、水资源短缺、植被破坏、水土流失、灾害频繁;人口占世界 1/4 的发达国家消耗的能源占世界能源总消耗量的 3/4,木材的 85%,钢材的 72%。过去 20 年,世界能源消耗增长了 50%;海洋渔业资源目前已减少了 1/4 以上;80 年代初期全世界 32.57 亿 hm^2 生产用旱地已有 61%受到荒漠化的影响。大量使用化肥、农药,不仅已使土壤和地下水受污染,而且使土地生产力下降,人们赖以生存的粮食和其他农产品也受到了污染的威胁。据美国矿产局估计,按 1990 年的生产速度,现已探明储量的矿产资源中,世界黄金储备只够用 24 年,水银为 40 年,锡为 28 年,锌为 40 年,钢为 65 年,铝为 35 年,石油和天然气分别为 44 年和 63 年,不可再生资源日渐减少。数字地球可以把关于人类星球的原始数据转换成可理解的信息,这种信息不仅包括地球的高分辨率卫星图像、数字地图,也包括经济、社会和人口的信息。而且要建立高速网络与数字地球连接,并通过互联网进行更高层次的访问。如果数字地球实

现，科学家可方便地获得地形、土壤类型、气候、植被、土地利用变化数据，亦可获得不同区域矿产、石油、森林等资源信息，应用空间分析与虚拟现实技术，模拟人类活动对生产和环境的影响，制定可持续发展对策。数字地球本质上是一个信息系统，它除了是一个超巨大信息系统之外，还具有以下七个方面的特点。

第一，数字地球具有空间性、数字性和整体性。这三者的融合统一，形成了它与其他信息系统的根本区别。

第二，数字地球的数据具有无边无缝的分布式数据层结构，包括多源、多比例尺、多分辨率的、历史和现时的、矢量格式和栅格格式的数据。

第三，数字地球具有迅速充实、联网的地理数据库。

第四，数字地球以图像、图形、图表、文本报告等形式提供服务。其中信息是最重要的任务。

第五，数字地球采用开放平台、构件技术、动态互操作等最先进的技术方案。

第六，数字地球的用户可以以多种方式从中获取信息；任何一个用户都可以实时调用，无论生产者是谁，也无论数据在什么地方；国际互联网上的用户可以根据自己的权限查询数字地球中的信息；运用具有传感器功能的特制数据手套，还可以对数字地球进行各类可视化操作。

第七、数字地球的服务对象覆盖整个社会层面，无论政府机关还是私人公司，无论科教部门还是生产单位，无论专业技术人员还是普通老百姓，都可以找到自己所需要的信息。

地理信息系统是数字地球的核心和支撑技术之一。

90年代为地理信息系统的用户时代。一方面，地理信息系统已成为许多机构必备的工作系统，尤其是政府决策部门在一定程度上由于受地理信息系统影响而改变了现有机构的运行方式、设置与工作计划等；另一方面，社会对地理信息系统认识普遍提高，需求大幅度增加，从而导致地理信息系统应用的扩大与深化。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，例如地理信息系统已列入美国政府制定的“信息高速公路”计划；我国的“21世纪议程”、“三金工程”和“数字国土”也包括地理信息系统。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。

3. 中国地理信息系统的发展

地理信息系统的研制与应用在我国起步较晚，从20世纪70年代开始。中国地理信息系统发展的技术基础是计算机地图制图技术、计算机技术、计量地理和遥感技术。

中国地理信息系统的发展也可分为几个阶段。第一阶段从1978年到1980年为准备和起步阶段，主要进行舆论准备，正式提出倡议，开始组建队伍，组织个别实验研究。主要特征是机助制图和遥感应用。而地理信息系统方面的工作自80年代初才真正开始，以1980年中国科学院遥感应用研究所成立全国第一个地理信息系统研究室为标志，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。

第二阶段从1981年到1985年为试验阶段。这一阶段主要是对地理信息系统进行理论探索和区域性实验研究。并在此基础上制定国家地理信息系统规范。1981年在四川渡口二滩进行试验，以航空遥感资料为基础，进行信息采集和数据库模型设计。从1984年开始，

国家测绘局测绘科学研究所着手组建中国国土基础信息系统。1985年国家资源与环境信息系统实验室成立，这是一个新型的开放性研究实验室。在典型试验中主要研究规范和标准、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，水资源估算，土地资源清查，环境质量评价与人口趋势分析等。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1:100万国土基础信息系统和全国土地信息系统、1:400万全国资源与环境信息系统及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 and 规划部门获得认可。

第三阶段从1986年到90年代中期为初步发展阶段。地理信息系统的研究被列入我国“七五”攻关课题，并且作为一个全国性的研究领域，已逐步和国民经济建设相结合，并取得了重要进展和实际应用效益。开始了有计划、有组织、有目标的科学研究、应用实验和工程建设工作。许多部门同时开展了地理信息系统研究与开发工作。如全国性地理信息系统（或数据库）实体建设、区域地理信息系统研究和建设、城市地理信息系统、地理信息系统基础软件或专题应用软件的研制和地理信息系统教育培训。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。

这个阶段全国形成了一个比较系统的研究计划：一方面，以研究资源与环境信息系统的国家规范和标准、省、市、县级的规范和区域性的规范为主体，解决信息共享和系统兼容的问题；另一方面，开展全国性的自然资源与环境、国土和水土保持信息系统的建立和应用模式研究，开展结合水土保持、洪水预警和救灾对策、防护林生态和城市环境等方面区域信息系统研究；第三方面是研制和发展软件系统和专家系统，从技术上支持上述研究领域的开拓与发展。在这个阶段，全国建成了一批数据库，如林业部研制的全国森林资源数据库；开发了一系列空间信息处理和制图软件，如南京大学的微机制图系统及地图绘制软件包、中国科学院地理研究所的地理网络法软件系统；建立了一些具有分析和应用深度的地理模型和基础性的专家系统，如北京大学的地理专家系统、中国科学院综考会的资源开发模型工具库系统、武汉测绘学院的基于GIS的专题地图设计专家系统、华东师范大学的地理应用程序软件包等；完成了一批综合性、区域性和专题性的信息系统，如中国科学院的中国国土基础信息系统、黄土高原水土流失信息系统、黄河下游洪水险情预警信息系统、黄河三角洲区域信息系统、洞庭湖堤境区域信息系统、三北、京津唐地区生态信息系统，高校遥感联合中心的三川河流域区域治理与开发信息系统，北京师范大学的区域土地适宜性评价信息系统、小流域地理信息系统，国家地震局的地震预测预报信息系统，北京师范大学的遥感地理信息系统，华东师范大学的县级地理信息系统，南京大学的省、市、县区域规划与管理信息系统等；开始出版有关地理信息系统理论、技术和应用等方面的著作，并积极开展国际合作，参与全球性地理信息系统的讨论和实验。现已在全国范围内形成了地理信息系统的科研队伍，逐步建立了不同层次、不同规模的研究中心和实验室。

20世纪80年代末到90年代以来，中国的GIS随着社会主义市场经济的发展走上了全面发展阶段。国家测绘局正在全国范围内建立数字化测绘信息产业，遥感应用从典型试验逐步走向运行系统，这样就可保证向GIS源源不断地提供地形和专题信息。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。与国家各级在“七五”期间建立的统计、企业管理、交通运输数据库相结合，各种形式的专题 GIS 已在“八五”期间建立和运转起来。其中包括用于农作物估产和灾害监测的遥感与 GIS 运行系统，以及在大、中、小城市建立的城市信息系统或土地信息系统。

自 90 年代中期起，地理信息系统步入快速发展阶段。人们将地理信息系统和遥感技术相结合，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、用户需求更为迫切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和应用；建立数字化测绘技术体系；国家基础地理信息系统建设和应用；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。我国经济信息化的基础设施和重大信息工程已纳入国家计划，并正在开发众所周知的“金桥”、“金卡”、“金地”等全国性的重大信息工程。在我国，一批国家级和地方级的地理信息系统相继建立，并投入运行和应用；一批涉及数字化地理信息技术的标准和规范已经公布执行；一批专业遥感基地已经建立，并进入产业化运行；一批具有产业规模的测绘生产单位已经得到技术改造；初步建成了具有相当规模的数字化测绘基地；一批数字化地图数据已经采集入库；一批综合运用“3S”技术的重点项目已经实施，并在自然灾害监测和国土资源调查中发挥效益；国内一批适用于数据采集、处理和输出的硬件设备已研制成功，并进入了市场；一批地理信息系统软件已研制开发，并提供用户使用；一批高等院校已设立了一些与地理信息学科和工程相关的新的专业，专门培养相应科技人才；一批专门从事地理信息产业活动的高科技企业相继成立，并活跃在市场中。此外，还专门成立了“中国 GIS 协会”和“中国 GPS 技术应用协会”等等。这些情况标志着我国地理信息产业已经进入了一个新的发展阶段。

当前，中国地理信息系统科学随着数字地球的提出而进入规划、设计和建设数字国土时代，数字农业、生态省建设也进入试验实施阶段。总之，中国地理信息系统事业经过几十年的发展，也取得了重大的进展。地理信息系统的研究和应用已形成行业，并在各行各业中发挥巨大的作用。

第二节 地理信息系统的发展趋势

目前地理信息系统主要有以下几个方面的发展趋势。

1) 空间数据结构与数据管理研究

传统的栅格和矢量结构各有特点，目前倾向于两种结构并存。为满足建立大规模实用系统的需要，图形空间数据压缩技术也在空间数据库系统研制范围之内，包括逻辑结构的设计和适合于地理实体表示的物理存储结构方面正在从理论走向实用；一种面向对象的数

据模型由于更适合定义复杂的地理实体和直接操作而被接受,实用的语言界面正在开发。新的空间数据结构,如“真三维”、“时空四维”等结构也正在探索中。表示空间数据不确定性的有效工具,尤其是包括声、像方法的可视化技术也正在研制中。

2) 空间数据获取与集成

完善获取和集成空间数据资源的理论和技术,包括直接数据采集、遥感数据采集、间接数据采集、大地水准面和坐标系统或投影系统、定位精度、测量抽样理论、分类体系、元数据、地址匹配及保密问题等。

3) GIS 与遥感的进一步结合

GIS 与遥感结合主要采用两种方式,一种是通过软件接口完成数据结构的相互转换,将图像处理的结果输入 GIS,或将 GIS 专题信息传入遥感图像处理系统进行信息复合及辅助信息分类;另一种是将 GIS 与遥感处理系统组成一个统一的软件系统,以信息复合、交互查询、自动分类、更新等为其主要功能。这是 GIS 与遥感图像结合的高级形式。国内外已开发了一些具有 GIS 与遥感叠加交互查询等功能的系统。

4) GIS 的智能化

以专家经验式知识为基础的 GIS,具有更强的分析和表达复杂地学问题的能力,引起了人们的普遍重视。美国加州大学巴巴拉分校研制的以专家知识为基础的 KBGIS- I 就是其中之一。这些系统并不十分完善,主要是由于 GIS 所面临问题的复杂性,以及地理专家知识还没有计算机化,智能化的 GIS 代表着一个令人鼓舞的重要发展方向。

5) GIS 应用模型开发

应用模型不足,是阻碍 GIS 实用化的原因之一,目前应用模型的开发研究已受到较大的重视,比较引人注目的是:①引进空间化的数理统计和系统分析方法;②研究建立专业模型,如水土流失、森林火灾预报、土地评价、地貌分析、旅游资源评价。专业研究深入程度决定了所建模型的质量与效果。事实上正是地理模型把 GIS 应用系统和常规专业研究紧密地结合在一起了。因此,应用模型是今后研究的重点和发展的主要方向之一。

6) 超媒体网络 GIS 技术 (WebGIS)

WebGIS 是由很多主机、很多数据库与无数终端,并由 Internet/Intranet 相连接所组成的。实际上 WebGIS 是通过 Internet 连接无数个分布在不同地点、不同部门的独立的 GIS 系统构成的。WebGIS 具有客户/服务器 (Client/Server, 简称 C/S) 结构。

WebGIS 由 4 个部分组成: WebGIS 浏览器 (Browser) 可以从服务器连通到任何距离的另一个服务器上读取各种多媒体信息。WebGIS 信息代理 (Information Agent) 是空间信息网络化的关键部分,主体是信息代理机制和信息代理协议,提供直接访问数据库的功能。WebGIS 服务器能解释中间代理请求及操作数据库服务器和实现 Browser 和 Server 的动态交互。WebGIS 编辑器 (Editor) 具有可视化、交互式、多窗口的功能与形成 GIS 对象、模型和数据结构的编辑及显示环境。

WebGIS 具有分布式计算、分布式处理、分布式数据库和分布式应用的功能和跨平台、跨程序、全球化、大众化的特征。目前, WebGIS 产品有: MapInfo 公司的 MapInfo Proserver, Intergraph 公司的 Geomedia WebMap, Autodesk 公司的 Map Guide, ESRI 公司的 Internet Map Server (IMS)。

面向对象的超媒体网络 GIS (Object-oriented WebGIS) 是 1997 年 6 月才出现的一种

面向分布式对象的 Web 方案。基于面向对象的超媒体网络规范的 WebGIS 是 Object-oriented WebGIS 发展的新方向,它避免通用网络接口形成的瓶颈,允许客户机直接调用服务器,这样方便了操作,加快了速度。目前的 WebGIS 简单的交互方式虽然可以实现网络环境中 GIS 简单的通信,但无法满足频繁交互、复杂分析和动态变化的应用要求,而 Object WebGIS 可满足这种要求。其关键将分布式对象和对象代理方法引入 WebGIS 解决 WebGIS 的地学应用问题,提高了 WebGIS 的功能。分布式对象方式正在成为分布式应用系统研究、开发的指导思想。

7) 构件式 GIS (ComGIS)

ComGIS 是指基于组件对象平台的、一组具有某种标准通信接口的、允许跨语言应用的、由软件构件组成的、新一代的 WebGIS,是 WebGIS 的发展方向。它具有很强的可配置性、可扩展性、开放性,及使用更灵活和二次开发更方便等特征。ComGIS 具有以下特点:

(1) 构件对象的抽象性:抽象是指对象的数据是隐含的,对象的使用者不可以直接存取对象的数据,必须通过对象的接口。

(2) 构件对象的多态性:多态是指一个客户可以同样的方式访问或处理若干不同的对象,而这些对象可以有正常的表现。

(3) 构件对象的继续性:对象按分类体系划分为:类、亚类、子类……具有层次关系和树形结构,上层对象所具有的属性和特征可以延续到下层对象所继承,从而免除了信息的冗余。

(4) 构件对象的接口:构件对象间的交互是通过支持对象的接口,交互使用对象的功能,每个构件支持一个或多个接口,而每个接口可以支持实现若干方法。接口是指不同对象间的通信手段。每个接口都有自己惟一的标识符,一个接口可以继承另一个或多个接口。

(5) 构件对象的隐蔽性,即构件对象是封装的。

8) 虚拟地理信息系统 (VR-GIS) 技术

VR-GIS 技术是指虚拟现实技术与地理信息系统技术相结合的技术,包括与网络地理信息系统 (WebGIS、ComGIS) 相结合的技术。VR-GIS 技术是指一种专门用于研究地球科学或以地球系统为对象的虚拟现实技术,是 20 世纪 90 年代才开始发展的。

目前 VR-GIS 技术还不用数字化头盔、手套和衣服,它运用虚拟现实建模语言 (VRML) 技术,可以在 PC 机上进行操作,使费用大幅度降低,所以它具有易被广大用户接受的特点。但实际上它只能称为仿真。它虽然具有三维立体、动态、声响,即具有视觉、听觉、运动感觉(假的)的特点,却没有触觉,更没有嗅觉等特点,只是通过人的大脑的联想,产生一定程度的身临其境的感觉,因此还不是真正的虚拟,而是一种准虚拟或不完善的虚拟,应称为半虚拟技术。

VR-GIS 有什么特点呢? Fause (1993) 提出理想的 VR-GIS 应有以下特征:

- ①对现实地理区域的非常真实的表达;
- ②用户在所选择的地理带(地理范围)内外自由移动;
- ③有 3D (立体) 数据库的标准 GIS 功能(查询、选择和空间分析等);
- ④可视化功能必须是用户接口的自然的整体部分。

Berger (1996) 等人指出, GIS 和 VR 两个技术的连接,主要是通过虚拟现实构模语言 (VRML) 转换文件格式,把 GIS 信息转到 VR 中表示。WLGIS 方法是基于一个耦合的系