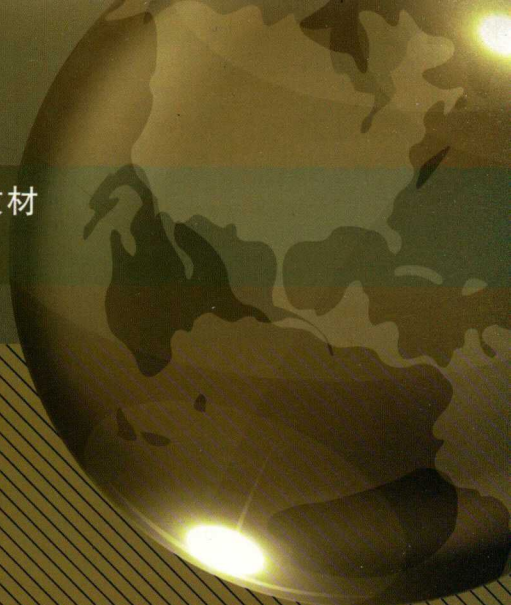
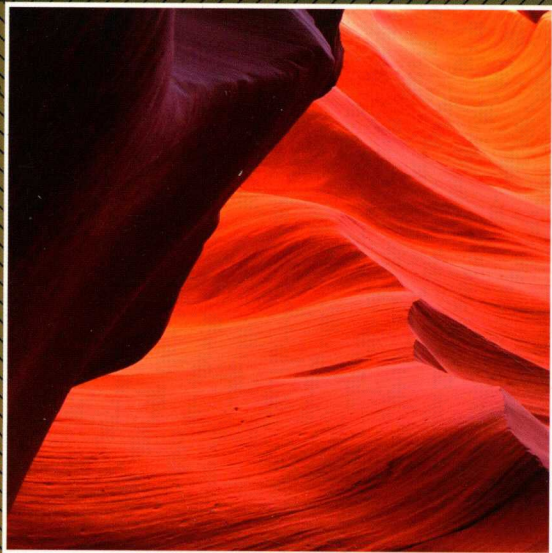




普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等学校教材



地理信息系统 原理与方法 (第四版)

*Principles and Methods of Geographical
Information Systems, Fourth Edition*

◎ 吴信才 主 编

◎ 吴 亮 万 波 副主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等学校教材

地理信息系统原理与方法

(第四版)

Principles and Methods of Geographical
Information Systems, Fourth Edition

吴信才 主编

吴亮 万波 副主编



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，详细介绍了地理信息系统（GIS）的原理与方法。本书分13章，重点介绍了GIS相关概念、空间数据结构、GIS的地理数学基础、GIS数据输入、空间数据处理、空间数据管理、空间分析、GIS数据可视化与制图、数字高程模型、网络GIS、三维GIS、GIS工程与标准、GIS发展趋势等内容。本书免费提供电子课件，可以登录司马云（www.smaryun.com）或华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）注册后下载。

本书内容全面、针对性强，可作为地理信息系统、遥感、软件工程、测绘等专业本科生和研究生的教材，也可以作为城市规划、国土管理、环境科学及相关领域研究和开发人员的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

地理信息系统原理与方法 / 吴信才主编. —4版. —北京：电子工业出版社，2019.8
ISBN 978-7-121-36658-1

I. ①地… II. ①吴… 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（2019）第100422号

策划编辑：冉 哲

责任编辑：底 波

印 刷：三河市鑫金马印装有限公司

装 订：三河市鑫金马印装有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：23.5 字数：601.6千字

版 次：2002年3月第1版

2019年8月第4版

印 次：2019年8月第1次印刷

定 价：68.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：ran@phei.com.cn。

前 言

随着信息技术的迅猛发展,以地理信息系统(GIS)为代表的空间信息技术水平迅速提高,应用领域不断扩大。人们对空间信息的要求在广泛性、精确性及综合性等方面也越来越高。伴随着计算机技术、信息技术、空间技术的发展,GIS正逐步建立起独立的理论体系和完整的技术系统,在国民经济建设和社会生活的各个方面发挥着越来越重要的作用。

经过近40年的发展,我国的GIS无论是在理论、技术方面,还是在应用方面都有了很大的发展,在某些方面已经处于国际先进水平。

中国地质大学(武汉)地理与信息工程学院,从20世纪80年代开始涉足GIS的研究,先后承担了原地质矿产部“八五”科技攻关项目、“九五”国家重中之重科技攻关项目、“十五”国家863项目、“十一五”国家863重点项目,以及“十五”“十一五”“十二五”国家支撑计划、国家自然科学基金项目等。经过20多年的不懈努力,积累了丰富的科研实践经验,创建了一套GIS技术方法及先进的GIS软件开发体系,培养了一支强大的科研技术队伍,建立了一个先进的教学科研基地(地理信息系统软件及其应用教育部工程研究中心/国家地理信息系统工程技术研究中心),研制了具有国际先进水平的GIS基础平台软件MapGIS。该软件先后荣获地质矿产部科技成果一等奖,国家科技进步二等奖,在国家科学技术部组织的国产GIS软件测评中连续十年名列榜首,成为国家科学技术部向全国推荐的首选GIS软件平台。该软件应用范围涉及地质、地理、石油、煤炭、有色、冶金、测绘、土地、城建、建材、旅游、交通、铁路、水利、林业、农业、矿山、出版、教育、公安、军事等20多个领域的专业与管理部门。

但是,GIS在理论和技术上仍然面临着许多新的课题需要研究和探讨,如三维GIS、网络GIS、移动GIS、云GIS、物联网GIS等;GIS还必须和其他应用技术,如遥感(RS)、全球导航卫星系统(GNSS)、人工智能(AI)及多媒体技术等相结合,才有可能得到更大的发展,才能更好地满足社会对信息的需要。而怎样将这些技术结合在一起,也正成为人们研究的方向。

本书是在2014年第三版的基础上修编而成的。本书针对近年来GIS的发展,新增了“智能GIS”“物联网GIS”“地理空间信息服务生态环境建设”等内容,比较充分地反映了当前GIS的最新理论、技术、方法及发展趋势,可以满足广大GIS学习者、从业者和研究者的需要。

本书由吴信才任主编,吴亮、万波任副主编,参与本书编写的人员还有胡茂胜、陶留锋、陈占龙、何占军、王润、杨林、叶亚琴、李圣文、江宝得、周林、郭明强、左泽均、尹培培等,这些同志长期从事GIS的研究和应用开发,具有丰富的实践经验。书中融入了科研集体在近年内取得的科研成果。

由于水平有限,再加上很多内容正处在研究、探索之中,书中错误在所难免,欢迎同行专家和读者批评指正。

本书免费提供电子课件,请登录司马云(www.smaryun.com)或华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)注册后下载。

吴信才

目 录

第 1 章 绪论	1	2.1.1 空间认知过程概述	24
1.1 GIS 基本概念	1	2.1.2 空间认知三层模型	24
1.1.1 信息与数据	1	2.2 空间数据概念模型	26
1.1.2 空间数据与地图	2	2.2.1 离散实体模型	26
1.1.3 地理信息与地学信息	2	2.2.2 连续场模型	27
1.1.4 信息系统和 GIS	3	2.3 矢量数据模型	27
1.2 GIS 的发展过程	3	2.3.1 矢量数据的基本概念	27
1.2.1 GIS 在国外的的发展	3	2.3.2 实体数据结构	27
1.2.2 GIS 在我国的发展	5	2.3.3 拓扑数据结构	30
1.3 地球信息科学与 GIS 软件及类型	6	2.4 栅格数据模型	33
1.3.1 地球信息科学	6	2.4.1 栅格数据的基本概念	33
1.3.2 GIS 软件	7	2.4.2 栅格数据层的概念	34
1.3.3 GIS 类型	8	2.4.3 栅格数据模型的表示	34
1.4 GIS 与其他相关学科的关系	9	2.4.4 栅格数据的组织方法	36
1.4.1 GIS 与测绘学	9	2.4.5 栅格数据取值方法	36
1.4.2 GIS 与地理学	10	2.4.6 栅格数据存储的压缩编码	37
1.4.3 GIS 与地图学	10	2.5 矢量数据模型与栅格数据模型	42
1.4.4 GIS 与一般事务数据库	11	2.5.1 矢量数据与栅格数据结构的比较	42
1.4.5 GIS 与计算机地图制图	11	2.5.2 矢量、栅格一体化	43
1.4.6 GIS 与 CAD	11	2.5.3 矢量和栅格数据结构的选择	43
1.5 GIS 组成	12	2.6 MapGIS 空间数据模型概述	44
1.5.1 计算机硬件系统	12	习题 2	49
1.5.2 计算机软件系统	14	第 3 章 GIS 的地理数学基础	51
1.5.3 地理空间数据	16	3.1 几何空间	51
1.5.4 应用分析模型	17	3.1.1 距离空间	51
1.5.5 系统开发管理和使用人员	17	3.1.2 欧氏空间	52
1.6 GIS 功能和应用	17	3.1.3 基于集合的几何空间	55
1.6.1 GIS 功能	17	3.1.4 拓扑空间	59
1.6.2 GIS 应用	19	3.2 地球椭球体与大地控制	61
习题 1	23	3.2.1 地球椭球体	61
第 2 章 空间数据结构	24	3.2.2 大地控制	62
2.1 空间认知模型	24	3.3 地图投影	66

3.3.1	地图投影的概念	66	5.4	空间数据的压缩与光滑	114
3.3.2	地图投影的变形	66	5.4.1	数据压缩	114
3.3.3	地图投影的分类	67	5.4.2	曲线光滑	115
3.3.4	GIS 中的地图投影	70	5.5	栅格数据与矢量数据的互相转换	115
3.4	空间坐标转换	75	5.5.1	矢量数据转换成栅格数据	115
3.4.1	坐标系转换	75	5.5.2	栅格数据转换成矢量数据	118
3.4.2	投影转换	80	习题 5		118
习题 3		83	第 6 章 空间数据管理		120
第 4 章 GIS 数据输入		84	6.1	概述	120
4.1	GIS 数据来源	84	6.1.1	空间数据管理方式	120
4.1.1	矢量数据来源	84	6.1.2	数据库管理系统	121
4.1.2	栅格数据来源	84	6.1.3	空间数据库系统	121
4.1.3	属性数据来源	85	6.2	空间数据模型	122
4.2	数据输入	85	6.2.1	传统数据模型	122
4.2.1	野外数据采集	85	6.2.2	面向对象模型	124
4.2.2	地图数字化	86	6.3	空间数据组织	128
4.2.3	数字摄影测量	89	6.3.1	地图数据的基本组成	128
4.2.4	遥感影像处理	90	6.3.2	图形数据模型	129
4.2.5	现有数据转换	90	6.3.3	专题属性数据模型	130
4.3	数据输入质量控制	91	6.3.4	图形数据与专题属性数据的 连接	130
4.3.1	数据质量问题	91	6.3.5	地理实体信息框架	131
4.3.2	误差来源	93	6.4	空间索引和空间查询	132
4.3.3	数据质量控制主要方法	94	6.4.1	空间索引	132
习题 4		95	6.4.2	空间查询	137
第 5 章 空间数据处理		96	6.4.3	空间查询处理	140
5.1	空间数据的显示基础	96	6.4.4	查询优化	142
5.1.1	二维观察变换	96	6.5	空间数据引擎	143
5.1.2	投影变换	97	6.5.1	空间数据引擎的概念	143
5.1.3	几何变换	99	6.5.2	空间数据引擎的工作原理	144
5.1.4	窗口裁剪技术	102	6.5.3	空间数据引擎实例	146
5.2	空间数据的编辑方法	103	6.6	空间元数据	147
5.2.1	图形数据编辑	103	6.6.1	空间元数据的定义及其作用	147
5.2.2	属性数据编辑	106	6.6.2	空间元数据的分类	148
5.2.3	拓扑关系的构建与编辑	107	6.6.3	空间元数据的内容	149
5.2.4	图幅拼接处理	109	6.7	空间数据库设计	151
5.3	空间数据的误差分析和校正	110	6.7.1	空间数据库概念结构设计	151
5.3.1	空间数据的误差分析	110	6.7.2	空间数据库逻辑结构设计	155
5.3.2	空间数据的误差校正	113	6.7.3	空间数据库物理结构设计	162

习题 6	163	8.2.3 符号化信息的内容	206
第 7 章 空间分析	164	8.2.4 符号化信息编辑	207
7.1 空间分析的内容与步骤	164	8.2.5 要素、符号化信息的关联方式	208
7.2 空间度量基础算法	166	8.3 GIS 地图制图	208
7.2.1 长度量算	166	8.3.1 GIS 制图的关键技术	208
7.2.2 角度量算	170	8.3.2 GIS 制图工艺流程	210
7.2.3 任意多边形面积量算	170	8.3.3 GIS 制图的特征	210
7.2.4 分布中心的计算	171	8.3.4 GIS 制图的三个层次	211
7.3 数据检索分析	172	8.4 GIS 制图表达	212
7.3.1 属性统计分析	172	8.4.1 地图符号间的关系	212
7.3.2 布尔逻辑查询分析	173	8.4.2 地图符号冲突	213
7.4 叠置分析	173	8.4.3 符号冲突的处理原则	215
7.4.1 栅格叠置分析	173	8.4.4 常见的符号冲突处理方法	216
7.4.2 矢量叠置分析	177	8.5 GIS 地图输出	219
7.5 缓冲区分析	181	习题 8	220
7.5.1 缓冲区分析的概念	181	第 9 章 数字高程模型	221
7.5.2 建立缓冲区的算法	182	9.1 基本概念	221
7.6 网络分析	182	9.1.1 DEM 的概念	221
7.6.1 网络数据模型——几个基本概念	182	9.1.2 DEM 的类型	221
7.6.2 常规的网络分析功能	183	9.1.3 DEM 的特点	223
7.7 空间统计分析	188	9.1.4 DEM 的用途	223
7.7.1 空间自相关	188	9.2 DEM 数据源	224
7.7.2 空间聚类分析	190	9.2.1 DEM 数据特征	224
7.7.3 空间关联分析	192	9.2.2 DEM 数据获取	224
习题 7	196	9.3 DEM 的构建	225
第 8 章 GIS 数据可视化与制图	197	9.3.1 数学方法	225
8.1 地图符号与符号库	197	9.3.2 TIN 的生成方法	230
8.1.1 地图符号的定义与分类	197	9.3.3 Grid 的生成	234
8.1.2 地图符号的基本结构	198	9.4 DEM 的应用	240
8.1.3 点状符号的构造	199	9.4.1 三维方块图	240
8.1.4 线状符号的构造	200	9.4.2 视线图	241
8.1.5 面状符号的构造	201	9.4.3 等高线图	241
8.1.6 地图符号的设计要求	202	9.4.4 地形特征的数字表示	242
8.1.7 地图符号库	203	9.4.5 地貌晕渲图	244
8.2 GIS 符号化	204	9.4.6 DEM 数据自动形成地形轮廓线	245
8.2.1 符号化的两种方式	204	9.4.7 剖面分析	246
8.2.2 符号化的基本元素	205	9.5 DEM 分析的误差与精度	246

9.5.1	DEM 的误差研究概况	246	11.2	三维空间数据模型及其索引方法	283
9.5.2	DEM 的误差来源	246	11.2.1	三维空间数据模型	283
9.5.3	DEM 的误差分析	247	11.2.2	三维空间数据索引	291
9.5.4	DEM 的精度评价模型	248	11.3	三维城市模型数据获取方法	294
习题 9		249	11.4	常用三维建模软件与建模方法	295
第 10 章	网络 GIS	250	11.4.1	基于二维 GIS 数据的三维建模	295
10.1	概述	250	11.4.2	基于遥感影像的三维建模	295
10.1.1	网络 GIS 的基本概念	250	11.4.3	基于激光扫描系统的三维建模	296
10.1.2	网络 GIS 的功能特征	252	11.4.4	基于 CAD 模型的三维建模	296
10.1.3	网络 GIS 的应用	253	11.5	三维 GIS 可视化	297
10.2	网络 GIS 体系结构	256	11.5.1	三维空间数据可视化的基本流程	298
10.2.1	传统 WebGIS 体系结构阶段	256	11.5.2	三维场景管理与可视化策略	298
10.2.2	面向服务的 WebGIS 体系结构	257	11.5.3	基于体素地理数据的可视化	299
10.2.3	GIS 服务器独立的 WebGIS 体系结构	258	11.5.4	虚拟现实展示技术	301
10.2.4	集群环境下的 WebGIS 体系结构	259	11.6	三维 GIS 空间分析方法	302
10.3	网络 GIS 数据组织与管理	260	11.6.1	空间量算	302
10.3.1	网络 GIS 数据组织概述	260	11.6.2	地形分析	303
10.3.2	基础数据组织	261	11.6.3	交互分析	304
10.3.3	专题数据组织	267	习题 11		304
10.3.4	共享服务数据	268	第 12 章	GIS 工程与标准	305
10.3.5	元数据管理	268	12.1	GIS 工程的概念	305
10.3.6	网络 GIS 数据管理	269	12.2	GIS 工程建设过程	306
10.4	网络 GIS 关键技术	270	12.2.1	GIS 工程建设模式	306
10.4.1	海量空间数据网络服务	270	12.2.2	应用型 GIS 设计步骤和方法	307
10.4.2	任务并行处理与负载均衡	272	12.2.3	需求分析	308
10.4.3	功能与服务动态自定义扩展	273	12.2.4	系统设计	310
10.4.4	服务不间断运行	277	12.2.5	系统开发与实施	313
习题 10		277	12.2.6	系统的评价和维护	315
第 11 章	三维 GIS	278	12.3	GIS 工程开发模式	316
11.1	三维 GIS 概述	278	12.3.1	搭建式开发模式	316
11.1.1	三维 GIS 的定义、特点及功能	279	12.3.2	纵生式开发模式	318
11.1.2	三维 GIS 发展面临的机遇与挑战	281	12.4	GIS 工程建设标准	321
11.1.3	三维 GIS 研发的问题分析	282	12.4.1	GIS 工程标准概述	322
			12.4.2	GIS 工程标准作用	324
			12.4.3	国际 GIS 标准化组织	324
			12.4.4	常用国际 GIS 标准	326

12.4.5 国内 GIS 标准及其组织	327	13.4.2 网格 GIS 体系结构	348
习题 12	328	13.4.3 网格 GIS 实现技术	349
第 13 章 GIS 发展趋势	330	13.5 云 GIS	351
13.1 互操作 GIS	330	13.5.1 云 GIS 概述	351
13.1.1 传统 GIS 在数据标准化上的 缺陷和面临的新课题	330	13.5.2 云 GIS 的应用模式	352
13.1.2 GIS 互操作的概念	331	13.6 智能 GIS	353
13.1.3 OGIS 及其特点	332	13.6.1 智能 GIS 的概念	353
13.1.4 OGIS 的组成部分	333	13.6.2 智能 GIS 的结合方式	354
13.1.5 OGIS 的实现技术	335	13.6.3 智能 GIS 的应用场景	354
13.2 集成化 GIS	336	13.7 三维 GIS	355
13.2.1 GPS、RS 与 GIS 的集成	336	13.8 物联网 GIS	356
13.2.2 GIS 多源空间数据集成	339	13.9 地理空间信息服务生态环境建设	357
13.2.3 GIS 与多媒体技术集成	341	13.9.1 地理空间信息服务生态环境 发展背景	357
13.2.4 GIS 与 VR 技术集成	342	13.9.2 地理空间信息服务生态环境 模型	358
13.3 移动 GIS	345	13.9.3 地理空间信息服务生态环境 实现	359
13.3.1 移动 GIS 概述	345	习题 13	360
13.3.2 移动 GIS 的关键技术	346	参考文献	361
13.3.3 移动 GIS 的应用	346		
13.4 网格 GIS	347		
13.4.1 网格 GIS 概念	347		

来描述, 当一个人的情况发生变化时, 如年龄变化、工资改变等, 均应及时地对反映他的信息进行更新。由此可知, 信息是客观事物的存在及演变情况的反映。

信息具有 4 个方面的特点。① 客观性: 信息是客观存在物, 任何信息都是与客观事物紧密联系的, 但同一信息对不同的部门来说会有完全不同的重要性。② 适用性: 信息对决策是十分重要的, 它可作为生产、管理、经营、分析和决策的数据, 因此它具有广泛适用性。③ 传输性: 信息可以在信息发送者和接收者之间传输, 现代信息系统把有用信息送至终端设备(包括远程终端)和以一定形式提供给有关用户, 也包括信息在系统内各子系统之间的传输和交换, 信息在传输、使用、交换时其原始意义不会被改变。④ 共享性: 在现代信息社会中, 信息共享是最基本的特性, 共享可使信息被多用户使用。随着科技进步和社会发展, 信息已与能源、材料一样重要, 各个领域对信息应用的要求越来越高, 信息就是成功和胜利的保证, 谁掌握了信息的脉搏, 谁就是未来竞争的胜利者。

由于需要对信息进行加工、处理、管理和使用, 所以就要把信息记录下来, 记录信息的手段有数字、文字、符号、声音、图像等。对于计算机而言, 数据是指输入计算机并能被计算机进行处理的一切现象(数字、文字、符号、声音、图像等)。在计算机环境中, 数据是描述实体或对象的唯一工具。数据是用以载荷信息的物理符号, 没有任何实际意义, 只是一种数学符号的集合, 只有在其中加上某种特定的含义, 它才代表某一实体或现象, 这时数据才变成信息。GIS 的建立首先需要收集数据, 然后对数据进行处理。成熟的 GIS 必须保证数据的正确表达和无误差传播。在不同阶段, 数据在 GIS 处理框架中的赋存形态是不同的, 同一

第1章 绪论

信息技术发展突飞猛进,信息产业获得空前发展,信息资源得到爆炸式扩张。多尺度、多类型、多时态的地理信息是人类研究和解决土地、环境、人口、灾害、规划、建设等重大问题时所必需的重要信息资源。信息时代人类对信息资源采集、管理、分析提出了很高的要求。系统论、信息论、控制论的形成,计算机技术、通信技术、人造卫星遥感等空间技术、自动化技术的应用,为信息资源的科学管理展示更加广阔的前景。地理信息系统(Geographic Information System, GIS)是在上述学科不断发展的历史背景下产生的,它是一门集计算机科学、信息科学、现代地理学、测绘遥感学、环境科学、城市科学、空间科学和管理科学为一体的新兴边缘学科。GIS的迅速发展不仅为地理信息现代化管理提供契机,而且有利于其他高新技术产业的发展,可为人类提供规划、管理、决策的有用信息。

1.1 GIS 基本概念

1.1.1 信息与数据

信息是现实世界在人们头脑中的反映。人们用数字、文字、符号、语言、图形、影像、声音等把它记录下来,进行交流、传递或处理。信息向人们提供关于现实世界各种事实的知识。例如,一个人的存在,可以从姓名、性别、年龄、籍贯、社会关系、职称、工资等方面来描述,当一个人的情况发生变化时,如年龄变化、工资改变等,均应及时地对反映他的信息进行更新。由此可知,信息是客观事物的存在及演变情况的反映。

信息具有4个方面的特点。① 客观性:信息是客观存在的,任何信息都是与客观事物紧密联系的,但同一信息对不同的部门来说会有完全不同的重要性。② 适用性:信息对决策是十分重要的,它可作为生产、管理、经营、分析和决策的依据,因此它具有广泛适用性。③ 传输性:信息可以在信息发送者和接收者之间传输,既包括系统把有用信息送至终端设备(包括远程终端)和以一定形式提供给有关用户,也包括信息在系统内各子系统之间的传输和交换。信息在传输、使用、交换时其原始意义不会被改变。④ 共享性:在现代信息社会中,信息共享是最基本的特点,共享可使信息被多用户使用。随着科技进步和社会发展,信息已经与能源、材料一样重要。各个领域对信息应用的要求越来越高,信息就是成功和胜利的保证。谁掌握了信息的脉搏,谁就是未来竞争的胜利者。

由于需要对信息进行加工、处理、管理和使用,所以就要把信息记录下来,记录信息的手段有数字、文字、符号、声音、图像等。对于计算机而言,数据是指输入计算机并能被计算机进行处理的一切现象(数字、文字、符号、声音、图像等)。在计算机环境中,数据是描述实体或对象的唯一工具。数据是用以载荷信息的物理符号,没有任何实际意义,只是一种数学符号的集合,只有在其中加上某种特定的含义,它才代表某一实体或现象,这时数据才变成信息。GIS的建立首先需要收集数据,然后对数据进行处理。成熟的GIS必须保证数据的正确表达和无误差传播。在不同阶段,数据在GIS处理框架中的赋存形态是不同的,同一

实体在不同的 GIS 数据结构中，其描述数据的表现形式是不同的，甚至其数据的值也是不同的。同一数据由不同的人解释，其结果可能不同，必须保障数据的语义信息能够得到正确表达，并使其在应用中能被正确理解，以保证用户间数据畅通。

信息与数据是不可分离的，信息是数据的内涵，是数据的内容和对数据的解释，而数据是信息的表达。也就是说，数据是信息的载体，只有理解了数据的含义，对数据进行解释，才能得到数据中所包含的信息。GIS 的建立过程就是信息（或数据）按一定方式流动的过程。通常，对信息和数据无须进行严格区分，在不引起误解的情况下可以通用，如“数据处理”与“信息处理”在一般情况下有相同的含义。

1.1.2 空间数据与地图

研究自然总是从搜集个别的自然现象、物体的空间特征开始。空间特征又称空间信息，空间信息可以从 3 个方面来描述：位置信息、属性信息和时间信息。位置信息与非位置信息彼此独立地随时间发生变化。空间数据是以点、线、面等方式，采用编码技术对空间物体进行特征描述，以及在物体间建立相互联系的数据集。位置信息用定位数据（也称几何数据）来记录，它反映自然现象的地理分布，具有定位的性质；非位置信息用属性数据来记录，它描述自然现象、物体的质量和数量特征。例如，地面上的山峰，可以从其所在的经度和纬度得知其具体的位置，而相应地理位置上的峰顶高程数据就是属性数据。一个井泉，可以从地形图上确定它的地理坐标（几何数据），而井泉的地面高度、性质、涌水量等参数则是该井泉的一系列属性信息。地质学家研究断裂构造，一方面要搜集断层通过的确切地点（几何数据），另一方面要记录该断层在不同地点的产状、性质和它的断距（属性数据）。时间是空间物体存在的形式之一，空间和时间相互联系而不能分割，时间信息反映空间物体的时序变化及发展过程与规律，无论是几何数据还是属性数据，都是在某一时刻采集的空间信息，时间信息也可隐含在属性数据中。

空间数据的表示方法有很多，空间数据的载体可以是以数字形式记录在磁盘上的信息，也可以是以记录在纸上的地图，最常用的也是人们最习惯的方法是以地图形式来表示空间数据。地图是表达客观事物的地理分布及其相互联系的空间模型，是反映地理实体的图形，是对地理实体的简化和再现。它不仅能反映客观事物的瞬时存在，而且能反映自然界的动态变化；它不仅能反映某事物独立存在的属性，而且能反映诸事物的空间分布、组合和相互联系及其在时间中的变化。地图由点、线、面组成，它们被称为地图元素。例如，地图上的点可以是矿点、采样点、高程点、地物点和城镇等；地图上的线可以是地质界线、铁路、公路、河流等；地图上的面可以是土壤类型、水体、岩石类型等。地图元素由空间参考坐标系中的位置和非空间属性加以定义，地图通常是地理数据的二维表示，但也不排除多维表示，只是三维以上的表示难以在平面上描绘出来。地图的图例起着说明作用，是空间实体与非空间属性联系的关键。非空间属性可以用颜色、符号、数字、文字表示，使其明显易读，图例则对它们进行注释。

1.1.3 地理信息与地学信息

地理信息是表征地理系统诸要素的数量、质量、分布特征、相互联系和变化规律的数字、文字、图像及图形等的总称。从地理数据到地理信息的发展，是人类认识地理事物的一次飞跃。地球表面的岩石圈、水圈、大气圈和人类活动等是最大的地理信息源。地理科学的一个重要任务就是迅速采集地理空间的几何信息、物理信息和人为信息，并实时地识别、转换、

存储、传输、再生成、显示、控制和应用这些信息。

地理信息属于空间信息,它通过经纬网或公里网建立的地理坐标来实现空间位置的识别,这种定位特征是地理信息区别于其他类型信息的最显著的标志。地理信息还具有多维结构的特征,即在二维空间的基础上实现多专题的第三维结构,而各个专题型、实体型之间的联系是通过属性码进行的,这就为地理系统各圈层之间的综合研究提供了可能,也为地理系统多层次的分析和信息的传输与筛选提供了方便。

地学信息所表示的信息范围更广,它不仅来自地表,还包括地下、大气层,甚至宇宙空间。凡是与人类居住的地球有关的信息都是地学信息。地学信息具有无限性、多样性、灵活性、共享性等特点。同地球上的自然资源、能源本身不同,地学信息不但没有限度,而且会爆炸式地增长。随着人类社会的发展,地学信息是人们深入认识地球系统、适度开发资源、净化能源、保护环境的前提和保证。人类将从地学信息中赢得预测、预报的时间,获得调控人流、物质和能量的科学依据及有效途径。

1.1.4 信息系统和 GIS

信息系统是能对数据和信息进行采集、存储、加工和再现,并能回答用户一系列问题的系统。信息系统的四大功能是数据采集、管理、分析和表达。信息系统是基于数据库的问答系统。在辅助决策过程中,信息系统可提供有用的信息。从计算机科学角度看,信息系统由硬件、软件、数据和用户 4 个主要部分组成。在计算机时代,大部分重要的信息系统都是部分或全部由计算机系统支持的,如目前流行的图书情报信息系统、经营信息系统、企业管理信息系统、金融管理信息系统、人事档案信息系统、空间信息系统和其他一些信息系统等。

GIS 有许多定义,不同的应用领域,不同的专业,对它的理解是不一样的,有人认为 GIS 是管理和分析空间数据的计算机系统,在计算机软硬件支持下对空间数据按地理坐标或空间位置进行各种处理,完成数据输入、存储、处理、管理、分析、输出等功能,对数据进行有效管理,研究各种空间实体及其相互关系,通过对多因素信息的综合分析可以快速地获取满足应用需要的信息,并能以图形、数据、文字等形式表示处理结果。还有人认为 GIS 是一种特定而又十分重要的空间信息系统,它是采集、存储、管理、分析和描述整个或部分地球(包括大气层在内)空间和地理分布有关的数据的空间信息系统。又有人认为 GIS 就是数字制图技术和数据库技术的结合。有人按研究专业领域不同给予 GIS 不同的名称,如地籍信息系统、土地信息系统、环保信息系统、管网信息系统和资源信息系统等。1987 年,英国教育部(DOE)下的定义:“GIS 是一种获取、存储、检查、操作、分析和显示地球空间数据的计算机系统。”1988 年,美国国家地理信息与分析中心(NCGIA)下的定义:“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。”应该说,上述定义均比较科学地阐明了 GIS 的对象、功能和特点。实际上,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定位分布及与之相关的属性数据,并回答用户问题等为主要任务的计算机系统。

1.2 GIS 的发展过程

1.2.1 GIS 在国外的发展

GIS 起源于北美,是 20 世纪 60 年代逐渐发展起来的一门新兴技术。GIS 在国外的发展,

可分为以下几个阶段。

1. 起步阶段

20 世纪 60 年代初, 计算机应用普及以后, 很快就被应用于空间数据的存储和处理中。将原有的地图转换为能被计算机识别的数字形式, 并利用计算机对地图信息进行存储和处理, 这就是 GIS 的早期雏形。世界上第一个 GIS 是 1963 年由加拿大测量学家 R.F.Tomlinson 提出并建立的, 称为加拿大地理信息系统 (CGIS), 主要用于自然资源的管理和规划。不久, 美国哈佛大学研究生部主任 Howard T.Fisher 设计和建立了 SYMAP 系统软件, 由于当时计算机技术水平的限制, 使得 GIS 带有更多的机助制图色彩。这一阶段很多 GIS 研究组织和机构纷纷成立, 1966 年美国成立了城市和区域信息系统协会 (URISA), 1968 年国际地理联合会 (IGU) 设立了地理数据收集委员会 (CGDSP)。这些组织和机构的建立对传播 GIS 知识和发展 GIS 技术起着重要的指导作用。

2. 发展阶段

20 世纪 70 年代, 由于计算机硬件和软件技术的飞速发展, 尤其是大容量存储设备的使用, 促进了 GIS 向实用的方向发展, 不同专题、不同规模、不同类型的各具特色的 GIS 在世界各地纷纷研制出来, 美国、加拿大、英国、瑞典和日本等国对 GIS 的研究均投入了大量的人力、物力、财力。从 1970 年到 1976 年, 美国地质调查局发展了 50 多个 GIS, 用于获取和处理地质、地理、地形和水资源等信息; 1974 年, 日本国土地理院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; 瑞典在中央、区域和城市分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 GIS、城市规划信息系统等。这一阶段 GIS 受到政府、商业和学校的普遍重视, 一些商业公司开始活跃起来, 相关软件在市场上受到欢迎, 据统计大约有 300 多个系统投入使用, 许多大学和机构开始重视 GIS 软件设计及应用研究, 如纽约州立大学布法罗校区创建了 GIS 实验室, 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。

3. 应用阶段

20 世纪 80 年代, 由于计算机迅速发展, GIS 逐步走向成熟, 并在全世界范围内全面推广应用, 应用领域不断扩大, GIS 与卫星遥感技术结合, 开始用于全球性的问题, 如全球变化和全球监测、全球沙漠化、全球可居住区评价、厄尔尼诺现象、酸雨、核扩散及核废料等。例如, 美国地质调查局应用 GIS 对美国三里岛核泄漏事件在 24 小时内就做出了反应, 并迅速地对核扩散进行了影响评价。20 世纪 80 年代是 GIS 发展具有突破性的年代, 仅 1989 年市场上有报价的相关软件就有 70 多个, 并涌现出一些有代表性的 GIS 软件, 如 ARC/INFO、GenaMap、SPANS、MapInfo、ERDAS、Microstation、SICAD、IGDS/MRS 等。其中, ARC/INFO 已经越来越多地为世界各国地质调查部门所采用, 并在区域地质调查、区域矿产资源与环境评价、矿产资源与矿权管理中发挥着越来越重要的作用。

4. 普及阶段

20 世纪 90 年代至今, 随着地理信息产品的建立和数字化信息产品在全世界的普及, GIS 已成为确定性的产业, 每 2—3 年投入使用的 GIS 数量就翻一番, GIS 市场销售的年增长率为 35% 以上, 从事 GIS 的厂家已超过 1000 家。GIS 已渗透到各行各业, 涉及千家万户, 成为人

们生产、生活、学习和工作中不可缺少的工具和助手。目前,随着计算机软硬件技术、数据库技术、网络技术、多媒体技术等计算机技术的迅速发展,GIS 的应用领域也进一步扩大。GIS 与虚拟环境技术相结合的虚拟 GIS,GIS 与 Internet 相结合的 WebGIS,GIS 与专家系统、神经网络技术相结合的智能 GIS,在网络支持下及分布式环境下实现跨地域的空间数据和地理信息处理资源共享的开放式 GIS 都得到了长足的发展,并将广泛应用于云计算、物联网、下一代互联网、泛在网、计算机、智能芯片等领域。另外,GIS 与各种应用模型(如环境模型、降雨模型)的结合,GIS 与 GNSS(Global Navigation Satellite System,全球导航卫星系统)、RS(Remote Sensing,遥感)的进一步集成,并行处理技术在 GIS 中的应用等都有了一定的发展。作为信息化社会的基础设施之一,GIS 已经成为许多机构日常工作中必不可少的工具,并将融入人类社会的各个方面,包括社区服务、车辆服务、手机位置服务、社交、娱乐、健康、医疗、教育等,大众化 GIS 已成为必然趋势。

1.2.2 GIS 在我国的发展

GIS 的研制与应用在我国起步较晚,虽然历史较短,但发展势头迅猛。GIS 在我国的发展可分为以下 4 个阶段。

1. 准备阶段

20 世纪 70 年代初期,我国开始尝试将计算机应用于地图绘图和遥感领域。1972 年,我国开始研制绘图自动化工具;1974 年引进美国地球资源卫星图像并开展了卫星图像的处理和分析工作;1976 年召开了第一次遥感技术规划会议,并开展了部分遥感实验;1977 年开展了对数字地形模型基本数据的特征参数及其提取的试验,与此同时,我国第一张由计算机输出的全要素图诞生;1978 年召开了第一次数据库学术讨论会。这个时期开展的学术探讨和试验研究为我国 GIS 研制和开发积累了一定的经验,奠定了技术基础。

2. 起步阶段

20 世纪 80 年代初期,随着计算机技术的发展,GIS 在我国全面进入试验阶段。1981 年,在渡口滩进行了遥感和 GIS 的典型试验,研究了多源数据采集的方法;成都计算机应用研究所围绕区域数据模型的建立,开展了大量的试验;与此同时,国内许多研究机构也开展了部分专题试验,设计了一些通用的软件。这个时期,我国在人才培养和机构建设方面也有很大发展,1985 年建立了我国第一个资源与环境系统实验室;1987 年在北京举行了国际地理信息系统学术讨论会;同时,相关高校也开设了 GIS 课程。这些都为我国 GIS 的发展奠定了良好的应用基础。

3. 发展阶段

20 世纪 80 年代中期到 20 世纪 90 年代中期,我国 GIS 的研究和应用进入有组织、有计划、有目标的发展阶段,逐步建立了不同层次、不同规模的组织机构、研究中心和实验室。中国科学院于 1985 年开始筹建国家资源与环境系统实验室,这是一个新型的开放性研究实验室。1994 年,中国 GIS 协会在北京成立。GIS 研究逐步与国民经济建设和社会生活需求相结合,并取得了重要进展和实际应用效益,主要表现在 4 个方面:① 制定了国家 GIS 规范,解决了信息共享和系统兼容问题,为全国 GIS 的建立做准备;② 应用型 GIS 发展迅速;③ 在引进的基础上扩充和研制了一批相关软件;④ 开始出版有关 GIS 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 GIS 的讨论和实验。1992 年 10 月,联合国经济与发展部(UNDESD)在北京召开了城市 GIS 学术讨论会,对指导、协调和推动我国 GIS 发展起着重要的作用。

4. 推广阶段

20 世纪 90 年代中期至今,我国 GIS 技术在技术研究、成果应用、人才培养、软件开发等方面进展迅速,并力图将 GIS 从初步发展时期的研究实验、局部应用推向实用化、集成化、工程化,为国民经济发展提供辅助分析和决策依据。GIS 在研究和应用过程中走向产业化,成为国民经济建设普遍使用的工具,并在各行各业发挥重大作用。另外,在应用方面,GIS 在资源开发、环境保护、城市规划建设、土地管理、交通、能源、通信、地图测绘、林业、房地产开发、自然灾害的监测与评估、金融、保险、石油与天然气、军事、犯罪分析、运输与导航、110 报警系统、公共汽车调度等方面都得到了具体应用。近年来,GIS 通过网络的形式不断影响人们的生活。互联网地图、手机地图等所提供的 GIS 服务,给人们的日常生活带来了极大的便利。未来,GIS 将逐步渗透到各行各业,随时随地地影响人们的生活。

1.3 地球信息科学与 GIS 软件及类型

1.3.1 地球信息科学

地球信息科学是研究地球表层信息流,以及地球表层资源与环境、经济与社会的信息流的科学。就地球信息科学的技术特征而言,它是记录、测量、处理、分析和表达地球参考数据及地球空间数据学科领域的科学。它属于边缘学科、交叉学科及综合学科,是以信息流作为研究的主题,即研究地球表层的资源、环境和社会经济等一切现象的信息流过程,以及以信息作为纽带的物质流、能量流等。

“信息流”这一概念是陈述彭院士在 1992 年针对地图学在信息时代面临的挑战而提出的。他认为,地图学的第一难关是解决地球信息源的问题。在 16 世纪以前,人类获取地图信息源主要通过艰苦的探险、组织庞大的队伍,采用当时认为是最先进的技术装备来解决这个问题;到了 16~19 世纪,地图信息源主要来自大地测量及建立在三角测量基础上的地形测图;20 世纪前半叶,地图信息源主要来自航空摄影和多学科综合考察;20 世纪后半叶,地图信息源主要来自卫星遥感、航空遥感和全球导航卫星系统。可以预见,21 世纪,地图信息源将主要来自自由卫星群、高空航空遥感、低空航空遥感、地面遥感平台,并由多光谱、高光谱、微波及激光扫描系统、定位定向系统(Position and Orientation System, POS)、数字成像系统等共同组成的星、机、地一体化、立体的对地观测系统。它可基于多平台、多谱段、全天候、多分辨率、多时相对全球进行观测和监测,极大地提高了信息获取的手段和能力。但是,无论是何种信息源,其信息流程都表现为:① 信息的获取;② 存储检索;③ 分析加工;④ 最终输出产品。

GIS 与遥感、全球导航卫星系统等高新技术是进行研究地球信息科学的主要技术手段,即地球信息科学的研究手段是通过由 GIS、RS 和 GNSS 所构成的“3S”技术对地面进行立体观测的系统。该系统运作特点是在空间上是整体的,而不是局部的;在时间上是长期的,而不是短暂的;在时序上是连续的,而不是间断的;在时相上是同步的、协调的,而不是异相的;在技术上是由 GIS、RS 和 GNSS 这 3 种技术集成的,而不是孤立的。

1.3.2 GIS 软件

目前国外研发出比较流行的 GIS 软件有美国 Esri 公司的 ArcGIS、美国 Intergraph 公司的 MGE、美国 MapInfo 公司的 MapInfo、加拿大阿波罗科技集团的 Titan GIS 等。国内开发的比较流行的 GIS 软件有武汉中地数码公司的 MapGIS、北京超图公司的 SuperMap、北京大学的 Citystar、武汉大学吉奥公司的 GeoStar、北京灵图公司的 VRMap、中国林业科学研究所的 VIEWGIS 等，这些国产 GIS 软件的出现打破了国外 GIS 软件对我国市场的垄断，开创了用计算机编制地学图件的新时代，对推动我国的国民经济、提高综合国力起到了积极的促进作用。这些国产的 GIS 软件也相继推出了自己的组件化产品。

GIS 软件工业不可避免地受到计算机应用软件发展趋势的影响，由于微机的普及，Windows 系列的操作系统成为主流，许多传统的基于 UNIX 操作系统的应用软件已移植到 Windows 操作平台上，GIS 软件也不例外。面向对象的理论和方法逐渐成熟并被广泛地应用到软件的设计和生产中来，基于 CORBA (Common Object Request Broker Architecture, 公共对象请求代理体系结构) 和 DCOM (分布式组件对象模型) 的系统软件已经进入操作系统，组件化的软件设计方法已经成为新的趋势。传统的 GIS 软件被分解为灵活的、按需组装的、可定制的 GIS “元件”。

1. GIS 软件平台的转移

最初的 GIS 软件多基于 UNIX 操作系统，但随着微软公司的 Windows 系列操作系统的迅速发展，大多数的微机使用了 Windows 系列操作系统，图形工作站也都支持 Windows NT，所以初期以 UNIX 为主流平台的 GIS 大型软件，都更换或扩展到了 Windows NT 平台。另外，由于微机的普及，各 GIS 软件厂商都开发了基于 Windows 操作系统的桌面 GIS 软件。

进入 21 世纪后，互联网技术的迅速普及使 GIS 发生了质的变化，Internet 已成为 GIS 新的操作平台。Internet 和 GIS 的结合即 WebGIS，它改变了地理信息的获取、传输、发布、共享和应用的方式。近年来，随着移动互联网和智能手机的发展及应用，出现了以移动互联网为支撑，以智能手机或平板电脑为终端，结合 GNSS 或基站为定位手段的 GIS，这是继桌面 GIS、WebGIS 之后又一新的技术热点，即移动 GIS。

2. 控件化 GIS 与搭建式 GIS

前些年，针对偏重于设施管理和地图显示功能，而对空间分析要求不高的应用需求，软件厂商顺应计算机技术的发展，开发了 OCX 或 ActiveX 控件化 GIS 软件，用户可以综合利用 GIS 控件及其他控件，开发出中、小规模 GIS 应用系统。用户可以使用流行的 VC、.NET 或 Delphi 等开发工具开发自己的应用系统。一些大型的 GIS 软件商都向用户提供控件，如美国 Esri 公司的 MapObjects、美国 MapInfo 公司的 MapX 等。

近年来，搭建式 GIS 软件是一种新的趋势，采用搭建式、向导式和插件式等 3 种开发方式，在尽可能零编程、少编程的情况下，通过拖放式开发就可实现特定功能的 GIS。搭建式开发方式大大缩短了开发时间，节约了 80% 以上的开发成本，提高了 60% 以上的工作效率，对开发人员的要求大大降低。凡有一定的计算机应用基础的开发人员，在通过相当短时间的培训，就能掌握搭建系统的使用方法，让用户从关心技术和细节功能，转向关心业务。这是 GIS 开发模式的重大变革，也是一场技术革命。

1.3.3 GIS 类型

1. WebGIS

随着计算机技术、网络技术、数据库技术等的发展及应用的不断深化, GIS 技术的发展呈现出新的特点和趋势, 基于互联网的 WebGIS 就是其中之一。WebGIS 除应用于传统的国土、资源、环境等政府管理领域外, 也正在促进与老百姓生活息息相关的车载导航、移动位置服务、智能交通、抢险救灾、城市设施管理、现代物流等产业的迅速发展。GIS 经历了单机环境应用向网络环境应用发展的过程, 网络环境 GIS 应用从局域网内客户/服务器 (Client/Server, C/S) 结构的应用向 Internet 环境下浏览器/服务器 (Browser/Server, B/S) 结构的 WebGIS 应用发展。随着 Internet 的发展, WebGIS 开始逐步成为 GIS 应用的主流。WebGIS 相对于 C/S 结构而言, 具有部署方便、使用简单、对网络带宽要求低的特点, 为地理信息服务的发展奠定了基础。

早期的 WebGIS 功能较弱, 主要应用于电子地图的发布和简单的空间分析与数据编辑, 难以实现较为复杂的图形交互应用和复杂的空间分析, 也无法取代传统的 C/S 结构的 GIS 应用, 因此出现了 B/S 结构与 C/S 结构并存的局面, 而 C/S 结构涉及客户端与服务器端之间的大量数据传输, 无法在互联网平台上实现复杂的、大规模的地理信息服务。

近些年来, 国内外许多 GIS 软件厂商相继推出了 WebGIS 软件产品, 如美国 Esri 公司的 ArcGIS for Server 和 MapObjects IMS、美国 MapInfo 公司的 MapXtreme、美国 Intergraph 公司的 GeoMedia Web Map 和 GeoMedia Web Enterprise, 以及国内的武汉中地数码公司的 MapGIS IGServer 和北京超图公司的 SuperMap IServer 等。同时, 随着电子政务和企业信息化的发展, 构建由多个 GIS 构成的信息系统体系, 跨越传统的单个 GIS 边界, 实现多个 GIS 之间的资源 (包括数据、软件、硬件和网络) 共享、互操作和协同计算, 构建空间信息网格 (Spatial Information Grid), 已成为 GIS 应用发展亟待解决的关键技术问题。这要求将 GIS 的数据分析与处理的功能移到服务器端, 通过多种类型的客户端上 Web Browser 或桌面软件调用服务器端的功能, 来实现传统 C/S 结构 GIS 所具有的功能, 最终使 B/S 结构取代 C/S 结构的应用, 通过 GIS 应用服务器之间的互操作和协同计算, 构建空间信息网格。

2. 三维 GIS

随着 GIS 研究与应用的不断深入, 人们越来越多地要求从真正的三维空间的角度来处理问题。在应用要求较为强烈的部门如采矿、地质、石油等领域已率先应用了专用的具有部分功能的三维 GIS。因此, 许多学者开始了对三维 GIS 的研究, 并针对地质、矿山等特殊应用领域, 建立了栅格化的数据模型及开展了一些特殊的空间分析, 但其功能较为单一。随着计算机技术的发展, 人们已不满足于一些简单的三维显示、查询等功能。于是, 许多模拟系统开始集成传统的 GIS 技术和三维可视化技术, 以数据库为基础, 研究海量数据的存取和可视化。同样, 三维 GIS 也有转向 Web 的趋势。荷兰的 ITC 对三维 WebGIS 进行了比较深入的研究及实现, 在 Web 上实现了数字城市应用, 并建立了一些具有初步功能的实验系统。

一些商用 GIS 也推出了三维 GIS 模块, 如 ArcView 3D Analyst、Titan 3D、ERDAS IMAGINE 等。这些三维 GIS 模块通过处理遥感图像数据和三维地形数据, 能在实时三维环境下, 提供地形分析和实时三维飞行浏览。但这些三维 GIS 模块的技术主要集中于二维表面地形的分析, 仅将数据在三维环境中进行显示, 在空间查询等方面功能比较简单, 还不是真