

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

地理信息系统原理及应用

刘贵明 主 编

毛政利 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书全面系统地阐述了地理信息系统的基础理论和应用方法,同时注意反映地理信息系统领域的最新研究成果,并将其与应用相结合。

本书共分两篇:第一篇介绍地理信息系统的基础理论,主要内容包括地理信息系统相关的基本概念,地理信息系统的组成,空间数据结构与空间数据库,空间分析模型以及应用型地理信息系统的设计、开发、评价等;第二篇介绍地理信息系统的应用,主要内容包括应用模型的构建,GIS与GPS、RS的集成开发,并通过实例详细介绍地理信息系统的应用与开发,地图矢量化,GIS数据模型与数据库,GIS空间分析与数字高程模型的建立,GIS的设计与实现等。

本书可作为普通高等院校测绘、地理、地质、城市规划、市政管理、土地资源管理、环境科学等专业的本科生以及高职高专学生的教材或参考书,也可供从事地理信息系统、资源与环境管理信息系统、土地利用信息和地籍管理信息系统、城市管理和各种专业信息系统的科技人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统原理及应用/刘贵明主编. —北京:科学出版社,2008
(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 978-7-03-021661-8

I. 地… II. 刘… III. 地理信息系统-高等学校-教材 IV. P208
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 052717 号

责任编辑:何舒民 张雪梅 / 责任校对:刘彦妮
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

※

2008年5月第一版 开本:787×1092 1/16

2008年5月第一次印刷 印张:20 1/4

印数:1—3 000 字数:470 000

定价:32.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137154(VT03)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

地理信息系统 (geographical information system) 是集计算机科学、地理科学、测绘学、遥感学、环境科学、空间科学、信息科学、管理科学等为一体的新兴边缘学科。它的概念层出不穷, 技术日新月异。它的理论、方法和技术不仅吸引了广大地学、信息工作者的研究和关注, 而且受到了更广泛的经济、文化、社会工作者及学生的青睐。特别是随着计算机网络技术的应用与发展, 网络 GIS 已构成了当今社会的热点。GIS 在快速发展成为地理信息科学新的高峰的同时, 也快速地走向社会, 融入社会。

本书是作者在参阅了大量的国内外有关地理信息系统的教材、专著、学术论文以及相关网络资源的基础上, 结合地理信息系统教学和应用研究的实践编写而成的。本书采用基础理论与实际应用相结合的方式编写, 前半部分简明阐述地理信息系统的基础知识、基本原理和基本方法, 不仅精练地介绍了地理信息系统的基本内容, 而且把与本学科有关的最新概念、最新成果和动态, 如 3S 集成技术, 作了全面、系统的介绍; 后半部分则着重培养学生的实际应用能力, 通过一些实习和实验及在相关专业的应用实例, 详细介绍地理信息系统在测绘专业、土地管理及相关专业上的应用, 从而提高学生应用地理信息系统原理、方法解决实际问题的能力。

全书共分两篇十四章, 其中第一、三、四章由郑州师范高等专科学校曹奇刚编写, 第二、六章由南阳师范学院蒋国富编写, 第五、九、十四章由平顶山工学院刘贵明编写, 第七、十一、十二章由平顶山工学院毛政利编写, 第八、十、十三章由平顶山工学院李军杰编写。

由于作者水平所限, 书中不成熟、不完善之处在所难免, 敬请读者批评指正。

目 录

第一篇 地理信息系统原理

第一章 绪论	3
1.1 地理信息系统的产生与发展	3
1.1.1 地理信息系统在国际的发展状况	3
1.1.2 地理信息系统在我国的发展状况	5
1.1.3 当代 GIS 的发展趋势	6
1.2 地理信息系统的定义	7
1.2.1 数据与信息	7
1.2.2 地理信息	8
1.2.3 信息系统	8
1.2.4 地理信息系统	10
1.3 地理信息系统的基本内容与构成	10
1.3.1 地理信息系统的基本内容	10
1.3.2 地理信息系统的构成	11
1.4 地理系统的功能	12
1.5 地理信息系统与相关学科的关系	15
1.6 地理信息系统的基本特征	17
思考题	18
第二章 地理空间和地图投影	19
2.1 地球椭球体要素	19
2.2 坐标系	20
2.2.1 大地坐标系	21
2.2.2 天文坐标系	21
2.2.3 空间直角坐标系	21
2.2.4 平面坐标系	21
2.3 地理空间及其表达	24
2.4 地图投影的基本问题	25
2.4.1 地图投影的概念	25
2.4.2 地图投影的变形	25
2.4.3 地图投影的分类	26



2.4.4 地图投影的选择	29
2.5 高斯-克吕格投影	29
2.6 地形图的分幅和编号	31
2.6.1 地形图的分幅	31
2.6.2 分幅编号	32
思考题	34
第三章 空间数据的获取	35
3.1 概述	35
3.2 空间数据及其特征	36
3.2.1 空间数据	36
3.2.2 空间数据的基本特征	36
3.3 空间数据获取方式	37
3.3.1 属性数据的采集	37
3.3.2 几何数据的采集	38
3.4 空间数据转换	39
3.5 空间数据模型	41
3.6 空间数据质量控制	44
3.7 空间数据标准	48
思考题	49
第四章 空间数据表达	50
4.1 空间对象及其定义	50
4.2 空间对象关系	51
4.3 空间数据的计算机表示	53
4.4 空间数据结构的类型	54
4.5 空间数据结构的建立	54
4.6 空间对象的矢量表达	55
4.6.1 矢量数据结构编码的基本内容	55
4.6.2 矢量编码方法	56
4.7 空间对象的栅格表达	57
4.7.1 栅格数据的基本概念	57
4.7.2 栅格数据层的概念	58
4.7.3 栅格数据结构的表示	59
思考题	60
第五章 空间数据处理	61
5.1 空间数据的坐标变换	61
5.1.1 几何纠正	61



5.1.2 投影变换·····	62
5.2 空间数据结构转换·····	64
5.2.1 矢量格式向栅格格式的转换·····	64
5.2.2 栅格格式向矢量格式的转换·····	67
5.3 矢量数据的图形编辑·····	68
5.4 拓扑关系的建立·····	74
5.4.1 多边形拓扑关系的建立·····	74
5.4.2 网络拓扑关系的建立·····	76
5.5 图形的裁剪与拼接·····	76
5.6 空间数据压缩·····	77
5.6.1 矢量数据的压缩·····	77
5.6.2 栅格数据的压缩·····	79
5.7 空间数据插值·····	82
5.7.1 空间数据插值方法·····	82
5.7.2 数字高程模型的生成·····	85
5.8 数字图像处理·····	94
5.8.1 图像增强·····	94
5.8.2 二值图像处理·····	99
思考题·····	104
第六章 空间数据库·····	105
6.1 数据库系统概述·····	105
6.1.1 数据、数据库、数据库管理系统、数据库系统的概念·····	105
6.1.2 数据管理的发展·····	106
6.1.3 数据库系统·····	108
6.2 数据库系统结构·····	109
6.2.1 数据库系统的模式结构·····	109
6.2.2 数据库系统的体系结构·····	111
6.3 空间数据管理·····	113
6.3.1 地理信息系统与一般管理信息系统的比较·····	114
6.3.2 GIS空间数据管理·····	115
6.4 空间数据库的设计·····	116
6.4.1 数据组织的分级·····	117
6.4.2 空间数据库的设计·····	118
6.5 空间数据库的建立和维护·····	120
6.5.1 空间数据库的建立·····	120
6.5.2 空间数据库的维护·····	121



6.6 空间数据的更新	122
6.6.1 利用遥感更新空间数据	122
6.6.2 利用全球定位系统更新空间数据	126
思考题	130
第七章 空间数据分析	131
7.1 空间索引	131
7.1.1 索引概念	131
7.1.2 索引类型	131
7.2 空间信息查询	134
7.2.1 基于属性特征查询	134
7.2.2 基于空间关系和属性特征的查询	135
7.2.3 一种空间扩展查询语言——GeoSQL	135
7.3 空间量算	136
7.3.1 几何量算	136
7.3.2 形状量算	137
7.3.3 质质量算	137
7.3.4 距离量算	138
7.4 空间数据统计分析	139
7.4.1 主成分分析	139
7.4.2 层次分析法	140
7.4.3 系统聚类分析	140
7.4.4 最优分割分级法	143
7.4.5 判别分析	144
7.4.6 趋势面分析	144
7.5 缓冲区分析	146
7.6 叠加分析	150
7.6.1 视觉信息叠加	150
7.6.2 点与多边形叠加	150
7.6.3 线与多边形叠加	151
7.6.4 多边形叠加	151
7.6.5 栅格图层叠加	152
7.7 数字高程模型分析	154
7.8 空间数据的网络分析	157
7.8.1 网络图论基础	157
7.8.2 最短路径分析	159
7.8.3 服务点的最优区位问题	161



7.8.4 最小生成树	163
7.9 空间分析模型与空间决策支持	164
7.9.1 空间分析过程及其模型	164
7.9.2 空间决策支持模型	168
7.10 GIS 空间分析与空间动态建模	176
7.10.1 GIS 与空间动态模型的结合方式	177
7.10.2 元胞自动机简介	177
7.10.3 元胞自动机模拟林火蔓延模型	178
7.10.4 元胞自动机与 GIS 集成应用中的局限性	180
思考题	181
第八章 地理信息系统的开发与评价	182
8.1 软件工程简介	182
8.1.1 基本概念	182
8.1.2 软件工程活动	183
8.1.3 结构化方法和面向对象方法	185
8.1.4 开发过程模型	186
8.2 地理信息系统的开发过程	187
8.2.1 现行系统调查	188
8.2.2 系统分析	190
8.2.3 系统设计	192
8.2.4 系统的开发与实施	196
8.2.5 系统的维护	197
8.3 地理信息系统的评价	198
8.3.1 GIS 评价的目的	198
8.3.2 系统评价指标	199
8.3.3 系统评价报告	201
思考题	202

第二篇 地理信息系统应用

第九章 地理信息系统的应用实例	205
9.1 GIS 应用概述	205
9.1.1 GIS 应用模式	205
9.1.2 GIS 应用系统的开发方式	207
9.1.3 GIS 应用项目	208
9.2 GIS 应用实例	209
9.2.1 城市规划、建设管理	209



9.2.2 农业气候区划	211
9.2.3 大气污染监测管理	214
9.2.4 道路交通管理	216
9.2.5 地震灾害和损失估计	219
9.2.6 矿产资源勘查	222
9.2.7 城市应急预案	226
9.2.8 旅游	230
9.2.9 长江上游水情信息系统建设	235
9.2.10 医疗卫生	237
9.2.11 军事	239

第十章 3S 集成技术	243
--------------------------	------------

10.1 概述	243
10.2 遥感简介	243
10.3 遥感应用	248
10.4 GIS 与 RS 的集成	248
10.5 GPS 简介	250
10.6 GPS 应用	251
10.7 GIS 与 GPS 的集成	252
10.8 3S 集成的意义	253
思考题	254

第十一章 GIS 常用软件认识实验	255
--------------------------------	------------

11.1 熟悉 ArcView 软件	255
11.1.1 实验目的	255
11.1.2 实验准备	255
11.1.3 实验内容	255
11.2 MapInfo 基本功能与基本操作	260
11.2.1 实验目的	260
11.2.2 实验准备	260
11.2.3 实验内容及步骤	260
11.3 初步应用 ArcView	265
11.3.1 实验目的	265
11.3.2 实验准备	266
11.3.3 实验内容	266

第十二章 空间数据录入实验（地理信息系统空间数据录入）	272
--	------------

第十三章 空间分析实验	275
--------------------------	------------

13.1 缓冲区分析	275
------------------	-----



13.1.1	实验目的	275
13.1.2	实验准备	275
13.1.3	实验内容	275
13.2	多层面叠合分析	280
13.2.1	实验目的	280
13.2.2	实验准备	281
13.2.3	实验内容	281
13.3	网络分析	286
13.3.1	实验目的	286
13.3.2	实验准备	286
13.3.3	实验内容	287
第十四章	三维空间分析实验	294
14.1	DEM 建立与应用	294
14.1.1	实验目的	294
14.1.2	实验准备	294
14.1.3	实验内容	294
14.2	三维建模	306
14.2.1	实验目的	306
14.2.2	实验准备	306
14.2.3	实验内容	306
	主要参考文献	311

第一篇

地理信息系统原理

第一章 绪 论

1.1 地理信息系统的产生与发展

地理信息系统萌芽于北美。20 世纪 60 年代初，加拿大的 Roger F. Tomlinson 和美国的 Duane F. Marble 在不同的地方、从不同角度提出了地理信息系统的构想。为便于用计算机处理、分析和管理地理数据，1960 年测量学家 Tomlinson 博士提出，要把传统的纸质线划地图转变成数字形式的地图。1963 年，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。当时，极少有人能预见到计算机在“地理信息系统”这个新的领域中的应用前景。之后，在信息技术快速发展和人们频繁处理大规模动态地理信息的愿望推动下，Roger F. Tomlinson 博士的思想经过短短 40 余年的发展，已成为一个新兴的产业和学科——地理信息产业和地理信息学，从而为土地利用、资源评价与管理、环境监测、交通运输、经济建设、城市规划、行政管理、工程设计和规划、管理决策等行业和部门提供了分析问题的全新方法和崭新的知识视野，它的深刻影响正在进一步深入到我们的日常工作和生活。

下面简单回顾地理信息系统在国际国内的发展历程。

1.1.1 地理信息系统在国际的发展状况

20 世纪 50 年代末和 60 年代初，计算机技术开始用于地图量算、分析和制作，机助制图迅速发展起来。20 世纪 60 年代中期，由于自然资源 and 环境的规划管理及应用的需要，需要对大量的空间环境数据进行存储、分析和显示，因此出现了地理信息系统的早期雏形。1963 年，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）。此时，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。与此同时，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，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处理委员会（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。这一阶段为地理信息系统的开拓期。

进入 20 世纪 70 年代以后，计算机硬件和软件技术飞速发展，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。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,促使地理信息系统朝着使用方向迅速发展。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。如从 1970 年至 1976 年,美国地质调查所就建成 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地理信息系统;同时,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能性、接口问题以及遥感支持的信息系统的结构和构成等问题,美国喷气推动实验室(JPL)在 1976 年研制成功兼具影像数据处理和地理信息系统功能的影像信息系统(image based information system, IBIS),可以处理 Landsat 影像多光谱数据。在此期间,国际地理联合会先后于 1972 年和 1979 年召开关于地理信息系统的学术讨论会;1978 年,FIG 规定第三委员会的主要任务是研究地理信息系统,同年,在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等。期间,许多大学(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。一些商业性的咨询服务公司开始从事地理信息系统工作。总之,地理信息系统在继承 20 世纪 60 年代技术的基础上,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。这一时期为地理信息系统的巩固发展期。

20 世纪 80 年代,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。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,大量的微机地理信息系统软件系统被研制出来。地理信息系统软件技术在以下几个方面有了很大的突破:在栅格扫描输入的数据处理方面,尽管扫描数据的处理要花费很长的机时(与扫描时间相比为 10:1),但是仍可大大提高数据输入的效率;在数据存储和运算方面,随着硬件技术的发展,地理信息系统软件处理的数据量和复杂程度大大提高,许多软件技术固化到专用的处理器中,而且遥感影像的自动校正、实体识别、影像增强和专家系统分析软件也明显增加;在数据输出方面,与硬件技术相配合,地理信息系统软件可支持多种形式的地图输出;在地理信息管理方面,除了 DBMS 技术已发展到支持大型地图数据库的水平外,专门研制的适合地理信息系统空间关系表达和分析的空间数据库管理系统也有了很大的发展。这一时期为地理信息系统技术的大发展时期。这一时期的地理信息系统的发展有如下特点:

1) 在 20 世纪 70 年代技术开发的基础上,地理信息系统技术全面推向应用。

2) 开展工作的国家和地区更为广泛,国际合作日益加强,地理信息系统由发达国家推向发展中国家,如中国。

3) 地理信息系统技术进入多种学科领域,从比较简单的、单一功能的、分散的系统发展到多功能的、共享的综合性信息系统,并向智能化发展,新型的地理信息系统将运用专家系统知识进行分析、预报和决策。



4) 微机地理信息系统蓬勃发展, 并得到广泛应用。在地理信息系统理论指导下研制的地理信息系统工具具有更高的效率和更强的独立性和通用性, 更少依赖于应用领域和计算机硬件环境, 为地理信息系统的建立和应用开辟了新的途径。

20 世纪 90 年代是地理信息系统的应用普及时代。由于计算机的软硬件均得到飞速的发展, 因此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, 在一定程度上受地理信息系统的影响而改变了现有机构的运行方式、设置与工作计划等。另外, 社会对地理信息系统的认识普遍提高, 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, 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, 美国前副总统戈尔提出的“数字地球”战略也包括地理信息系统。

进入 20 世纪 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, 地理信息系统将深入到各行各业乃至家家户户, 成为人们生产、生活、学习和工作中不可缺少的工具。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。

1.1.2 地理信息系统在我国的发展状况

在我国, 地理信息系统的研究、开发与应用始于 20 世纪 70 年代末, 虽然历史较短, 但是发展很快。地理信息系统在中国亦称为资源与环境信息系统。中国地理信息系统的发展也可分为三个阶段。

第一阶段从 1978 年到 1980 年, 为准备阶段, 主要进行舆论准备, 正式提出倡议, 开始建队伍, 组织个别实验研究, 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。

第二阶段从 1981 年到 1985 年, 为起步阶段, 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。

第三阶段从 1986 年至今, 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, 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。这个阶段, 全国形成了一个比较系统的研究计划: 首先, 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; 其次, 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的研究; 另外, 研制和发展软件系统和专家系统, 从技术上支撑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、武汉大学的基于 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。现在全国约有 100 多所高校开设了地理信息系统专业，在全国范围内建立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。

1.1.3 当代 GIS 的发展趋势

当今地理信息系统的应用已不仅限于测绘、地矿、制图、资源与环境管理等传统领域，其在设施管理、交通管理、工程建设、城市规划、灾害防治、灾害评估、文物考古等领域中也愈来愈扮演着重要的角色。此外，地理信息系统还进入了军事战略分析、商业策划和文化教育等更为广泛的领域，甚至还和其他科学技术结合，进入了普通人的生活，其目前的发展趋势主要集中在以下几点。

1. 面向大型的应用和面向公众的应用均加速发展

在大型工程方面，如美国内务部土地管理局的自动土地与矿产资源系统（ALMRS）和森林局“615”工程，仅硬件和软件的耗资就高达 12 亿多美元；美国海军的海图计划，建库的费用也有数亿美元。另一方面，一些面向公众的应用，如城市交通咨询、旅游景点咨询等也通过计算机网络将各种空间信息传送到千家万户，如美国已有城市试验通过电视有线网向公众发布城市交通、市政设施等空间信息，香港地政署与香港旅游协会（TA）也正着手建立香港旅游信息系统。该系统的基础数据直接来源于地政处的大型数据库，旅游信息则由旅游部门提供，计划首先在尖沙咀等旅游热点安装触摸屏，游客可以通过触摸屏直接了解香港的地理和旅游信息。

2. GIS 应用的微机化

随着计算机硬件技术的飞速发展，原来主要运行于图形工作站上的地理信息系统大都转而面向个人电脑和微型计算机系统。这一变化的实践意义远远超过了它在技术上的进步。由于微机、个人电脑的数量之多、分布之广远非任何计算机系统可比，这实际上也就使得 GIS 这一新颖的技术可以迅速地普及到千家万户和社会的各个领域，成为“寻常百姓”可以共享的技术，这无疑极大地拓宽了 GIS 的市场，同时也刺激了 GIS 技术的快速发展。

3. GIS 的网络化和 Web GIS

随着计算机网络技术的发展和普及，基于网络的分布式地理信息系统已成为



大、中型地理信息工程的必然选择。特别是基于政府的或基于大、中行业的信息系统要求能实时、快速地连接各行政组织和基层单位快速变化着的各种信息，以便及时调整方案或做出决策，这就必须建立全组织的基于网络的地理信息系统；而有的地理信息系统，如城市交通管理信息系统、铁路运输调度系统等，其环境则必须是基于网络的。

另一方面，因特网的快速普及也极大地改变了人们的工作和生活，基于 Internet Browser/Server 的应用形式已成为一种工业标准，被广泛地应用于信息的发布、检验等诸多领域，成为世界上最大的信息网。因而在 Internet 上发布和传输地理信息，使人们也能像在地理信息系统中一样用浏览器浏览和查询地理信息，甚至进行简单的地理分析，也成为众所向往的一种趋势。

4. GIS 与遥感及 GPS 的结合

遥感实时、快速和大范围获得地面变化着的各种地理信息的能力使得遥感和 GIS 相结合的系统在许多关乎国民经济、人民生命财产安全和国家中、长期战略规划的应用中表现出了无可比拟的优越性。如在农作物估产、水土资源利用规划、交通能源规划、环境监测、森林火灾预警、干旱洪涝灾害防治等领域，地理信息系统和遥感数据采集系统相互配合、互为补充，就能及时、准确地将遥感实时观测数据与 GIS 中的基础地理数据、DEM、地名数据、社会经济统计数据相综合，并通过 GIS 各种预设的空间分析模型的计算分析，获得各种需要的分析结果和决策信息。

全球定位系统（global position system, GPS）也是一种快速、高精度的获得地面定位信息的新技术，GIS 和 GPS 相结合的系统在城市交通管理、智能化交通指导系统中显示了强大的功能，如通过车载 GPS 系统，出租车公司就可以对全公司的车辆进行动态管理，并可以在车内进行路线选择；GPS 用于野外调查，可以大大提高野外调查的工作效率等。GIS 与 GPS 的结合，也是 GIS 当前应用领域发展的重要方向之一。

5. GIS 的智能化

GIS 的智能化，也就是 GIS 与专家系统的结合。随当前地理信息系统应用的广泛和深入，大型应用中要求处理或要求决策的问题愈来愈复杂，其中相当一部分问题是数学模型或其他模型难以胜任的，这就要求地理信息系统与专家系统相结合，以借助于专家们的知识和经验，模拟专家们的决策方法，从而使复杂的决策问题简化。

1.2 地理信息系统的定义

1.2.1 数据与信息

在地理信息系统和地图学领域中，经常会遇到数据（data）与信息（information）



两个关系密切的术语。数据是客观对象的表示形式，信息是数据内涵的意义。换句话说，信息是由数据表达的，数据是信息的载体，数据中所包含的意义或内容就是信息。数据具有多种多样的形式，如数字、文字、符号、图形、图像等，它可以由一种形式转换为其他形式。信息具有客观性、传输性和共享性等特点，它不随载负它的数据形式的改变而改变。对数据进行收集、筛选、排序、计算、分析等处理，可以得到数据中包含的信息，也就是说，信息来自于数据。例如，从测量数据中可以抽取出目标和物体的形状、大小和位置等信息，从遥感卫星图像数据中可以抽取出各种图形和专题信息，从实地调查数据中则可抽取出各专题的属性信息。当不特别强调事物的意义或信息载体的形式时，数据与信息可以混用。

1.2.2 地理信息

人类生活在地球上，80%以上的信息与地球上的空间位置有关。地理信息是指与所研究对象的空间地理分布有关的信息（又常称为空间信息），它表示地表物体及环境固有的数量、质量、分布特征、联系和规律。从地理实体到地理数据，再到地理信息的发展，反映了人类认识的巨大飞跃。地理信息属于空间信息，其位置的识别是与数据联系在一起的，它具有区域性。地理信息又具有多维结构的特征，即在同一位置上具有多个专题和属性的信息结构。例如在一个地面点位上，可取得高度、噪声、污染、交通等多种信息。而且，地理信息有明显的时序特征，即动态变化的特征，这就要求及时采集和更新它们，并根据多时相的数据和信息来寻找随时间变化的分布规律，进而对未来作出预测或预报。

1.2.3 信息系统

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称为信息系统（图 1.1）。

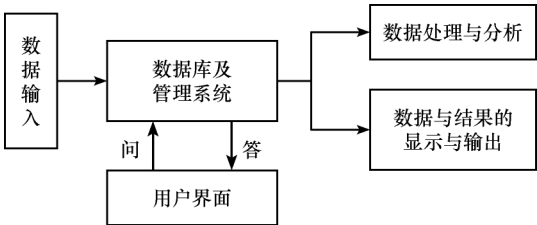


图 1.1 信息系统

信息系统的四大功能为数据采集、管理、分析和表达。更简单地说，信息系统是基于数据库的问答系统（图 1.2）。

从计算机科学角度看，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问答系统，智能化的系统还包括知识（图 1.3）。硬件包括各类计算机处理机及其终



端设备，软件是支持数据与信息的采集、存储、加工、再现和回答用户问题的计算机程序系统，数据则包括定量和定性数据。用户是信息系统所服务的对象，是信息系统的主人。用户分一般用户和从事系统建立、维护、管理和更新的高级用户。

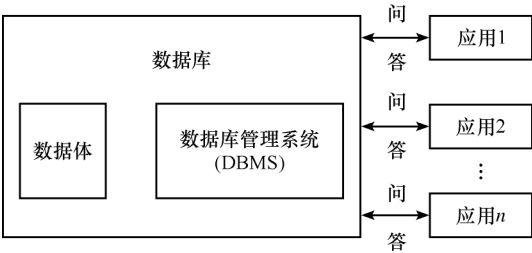


图 1.2 作为问答系统的信息系统

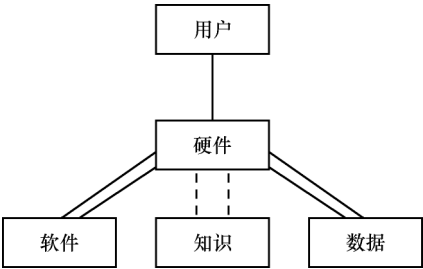


图 1.3 计算机科学意义上的信息系统

信息系统通常包括事物处理系统、管理信息系统、决策支持系统、人工智能和专家系统。

1. 事务处理系统

它主要用以支持操作层人员的日常活动。它主要负责处理日常事务。

2. 管理信息系统

它需要包含组织中的事务处理系统，并提供了内部综合形式的数据，以及外部组织的一般范围和大范围的数据。许多战术层提供的信息能按照该层管理者希望的那样以熟悉的和喜欢的形式提供，但是为战术层管理者提供的另外一部分信息和大多数为战略层管理者提供的信息是不可能事先确定的。这些不确定性对管理信息系统的设计者来说是个很大的挑战。

3. 决策支持系统

它能从管理信息系统中获得信息，帮助管理者制定好的决策。该系统是一组处理数据和进行推测的分析程序，用以支持管理者制定决策。它是基于计算机的交互式的信息系统，由分析决策模型、管理信息系统中的信息、决策者的推测三者相组合达到好的决策效果。

4. 人工智能和专家系统

它是能模仿人工决策处理过程的基于计算机的信息系统。专家系统扩大了计算机的应用范围，使其从传统的资料处理领域发展到智能推理上来。管理信息系统能提供信息帮助制定决策，决策支持系统能帮助改善决策的质量，只有专家系统能应用智能推理制作决策并解释决策理由。



1.2.4 地理信息系统

地理信息系统 (geographic information system/geo-information system, GIS) 又称地学信息系统、资源与环境信息系统。它是在计算机硬件、软件系统的支持下, 对整个或部分地球表层 (包括大气层在内) 空间中的有关地理分布数据进行采集、存储、管理、运算、分析、显示和描述以及辅助决策的技术系统。另一方面, 地理信息系统又是一门学科, 是描述、存储、分析和输出空间信息的理论和方法的一门新兴的交叉学科。

GIS 处理、分析、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、属性数据等, 用于分析和处理在一定地理区域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。由于地球是人们赖以生存的基础, 所以 GIS 是与人类的生存发展和进步密切关联的一门信息科学与技术, 受到人们愈来愈广泛的重视。

地理信息系统按其范围大小可以分为全球的地理信息系统、区域的地理信息系统和局部的地理信息系统三种。通常 GIS 主要研究地球表层的若干个要素的空间分布, 属于 2~2.5 维 GIS。布满整个三维空间建立的 GIS, 才是真三维 GIS。一般也常常将数字位置模型 (2 维) 和数字高程模型 (1 维) 的结合称为 2+1 维或 3 维, 加上时间坐标的 GIS 称为 4 维 GIS 或时态 GIS。

从学科角度定义, GIS 属于技术学科, 它主要涉及地理学、测量学、制图学、摄影测量与遥感、计算机科学, 特别是计算机制图、数据库管理、计算机辅助设计、遥感和计量地理学形成了 GIS 的理论和技術基础。计算机辅助设计偏重于图形处理与设计, 数据库管理系统主要实现对图形和非图形数据的优化存储、管理和检索, 遥感技术是对遥感图像进行处理和分析以提取专题信息的技术。

1.3 地理信息系统的基本内容与构成

1.3.1 地理信息系统的基本内容

地理信息系统是在地理学研究和生产实践的需求中产生的, 地理信息系统的应用使技术系统不断完善, 并逐渐发展了地理信息系统的理论; 理论研究又指导开发新一代高效地理信息系统, 并不断拓宽其应用领域, 加深应用的深度; 地理信息系统的应用, 又对理论研究和技术方法提出了更高的要求。这三个方面的研究内容是相互联系相互促进的 (图 1.4)。

具体来讲, GIS 的内容基本包括: ①有关的计算机软、硬件; ②空间数据的获取; ③空间数据的表达及数据结构; ④空间数据的处理; ⑤空间数据的管理; ⑥空间数据分析; ⑦空间数据的显示与可视化; ⑧GIS 的应用; ⑨GIS 的项目管理、开发、质量保证与标准化; ⑩GIS 机构设置与人员培训等。

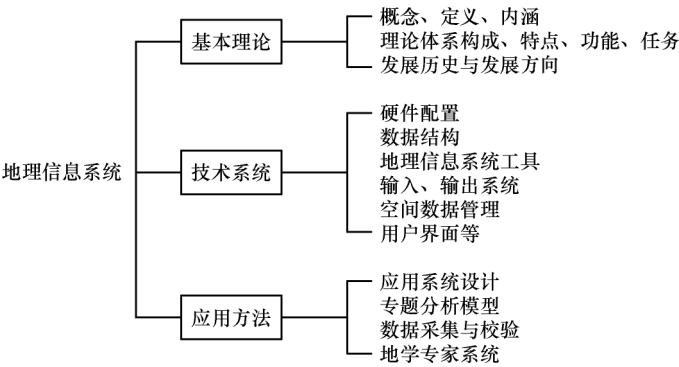


图 1.4 地理信息系统内容体系

1.3.2 地理信息系统的构成

完整的 GIS 主要由四个部分构成，即计算机硬件系统、计算机软件系统、地理空间数据和系统管理操作人员。

1. 计算机硬件系统

计算机硬件是计算机系统在实际物理装置的总称，是 GIS 的物理外壳。根据硬件配置规模的不同可分为简单型、基本型、网络型。基本型 GIS 硬件系统的基本组件包括：①计算机主机：中央处理单元、存储器（包括主存储器、辅助存储器）等；②数据输入设备：数字化仪、图像扫描仪、手写笔、光笔、键盘、通信端口等；③数据存储设备：光盘刻录机、磁带机、光盘塔、活动硬盘、磁盘阵列等；④数据输出设备：笔式绘图仪、喷墨绘图仪（打印机）、激光打印机等。

2. 计算机软件系统

它指 GIS 运行所必需的各种程序，通常包括如下几部分：

1) 计算机系统软件：指由计算机厂家提供的为用户开发和使用计算机提供方便的程序系统，通常包括操作系统、汇编程序、编译程序、诊断程序、库程序以及各种维护使用手册、程序说明等，是 GIS 日常工作所必需的。

2) 地理信息系统软件和其他支撑软件：可以是通用的 GIS 软件，也可包括数据库管理软件、计算机图形软件包、CAD、图像处理软件等。

3) 应用分析程序：是系统开发人员或用户根据地理专题或区域分析模型编制的用于某种特定应用任务的程序，是系统功能的扩充与延伸。在优秀的 GIS 工具支持下，应用程序的开发应是透明的和动态的，与系统的物理存储结构无关，而随着系统应用水平的不断优化和扩充，应用程序作用于地理专题数据或区域数据，构成 GIS 的具体内容，这是用户最为关心的真正用于地理分析的部分，也是从空间数据中提取地理信息的



关键。用户进行系统开发的大部分工作是开发应用程序，而应用程序的水平在很大程度上决定系统的实用性、优劣和成败。

3. 地理空间数据

地理空间数据是指以地球表面空间位置为参照的自然、社会和人文景观数据，可以是图形、图像、文字、表格和数字等，由系统的建立者通过数字化仪、扫描仪、键盘、磁带机或其他通信系统输入 GIS，是系统程序作用的对象，是 GIS 所表达的现实世界经过模型抽象的实质性内容（图 1.5）。

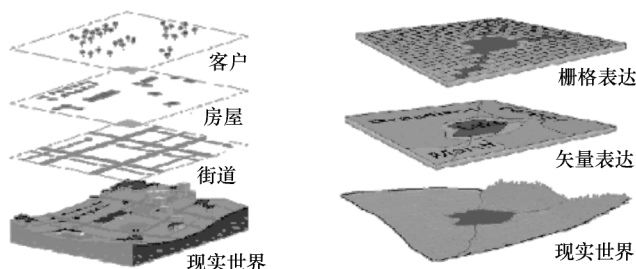


图 1.5 GIS 对现实世界的信息表达与分层

一个 GIS 应用系统必须建立在准确合理的地理数据基础上。数据包括空间数据和属性数据，空间数据的表达可以采用栅格和矢量两种形式。空间数据表现了地理空间实体的位置、大小、形状、方向以及几何拓扑关系。

4. 系统开发、管理和使用人员

人是 GIS 中的重要构成因素。GIS 不同于一幅地图，而是一个动态的地理模型。地理信息系统从其设计、建立、运行到维护的整个生命周期，处处都离不开人的作用。仅有系统软、硬件和数据还构不成完整的地理信息系统，还需要人进行系统地组织、管理、维护和数据更新、系统扩充完善、应用程序开发，并灵活采用地理分析模型提取多种信息，为研究和决策服务。

另外，空间信息的综合分析必须使用一定的专业分析方法，即常说的应用模型。它是在对专业领域的具体对象与过程进行大量研究的基础上总结出的规律的表示。GIS 应用就是利用这些模型对大量空间数据进行分析综合来解决实际问题的。如基于 GIS 的矿产资源评价模型、灾害评价模型等。

1.4 地理信息系统的功能

一个 GIS 软件系统应具备五项基本功能，即数据输入、数据处理与编辑、数据存储与管理、空间查询与空间分析、可视化表达与输出。图 1.6 是一个典型的 GIS 功能框图。

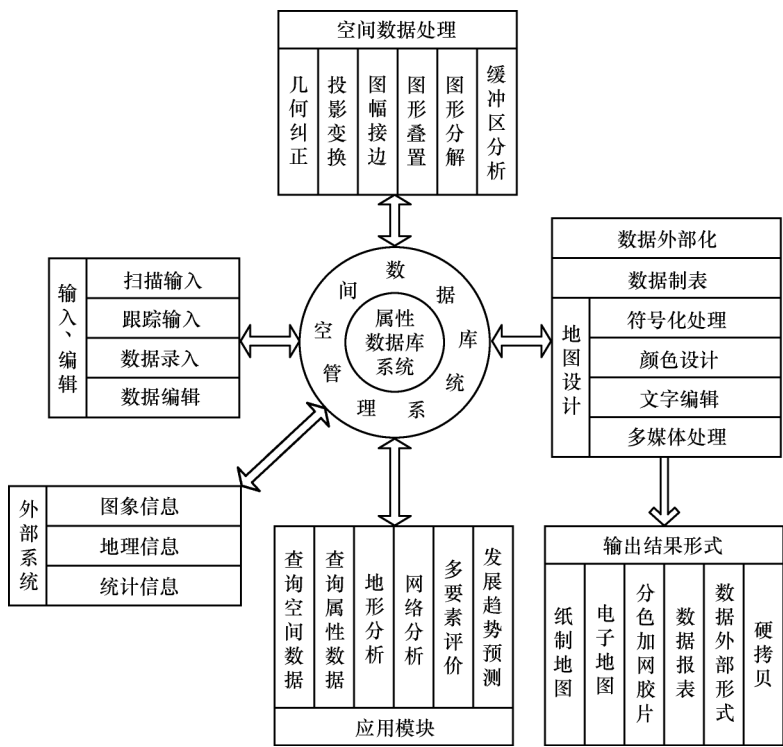


图 1.6 GIS 功能框图

1. 数据输入

数据输入是建立地理数据库必需的过程。获取地理数据，以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、数值逻辑一致性与正确性等。数据输入功能指将地图数据、物化遥感数据、统计数据 and 文字报告等输入、转换成计算机可处理的数字形式的各种功能。对多种形式、多种来源的信息，可实现多种方式的数据输入，如图形数据输入、栅格数据输入、GPS 测量数据输入、属性数据输入等。用于地理信息系统空间数据采集的主要技术有两类，即使用数字化仪的手扶跟踪数字化技术和使用扫描仪的扫描技术。手扶跟踪数字化曾在相当长的时间内是空间数据采集的主要方式。扫描数据的自动化编辑与处理是空间数据采集技术研究的重点，随着扫描仪技术性能的提高及扫描处理软件的完善，扫描数字化技术的使用越来越普遍。一般而论，地理信息系统数据库的建设占整个系统建设投资的 70%或更多，并且这种比例在近期内不会有明显的改变。因此，信息共享与自动化数据输入成为地理信息系统研究的重要内容。

2. 数据处理与编辑

初步的数据处理主要包括数据格式化、转换、概括。数据的格式化是指不同数据结



构的数据间的变换；数据转换包括数据格式转化、数据比例尺的变化等；制图综合（generalization）包括数据平滑、特征集结等。数据编辑主要包括图形编辑和属性编辑。属性编辑主要与数据库管理结合在一起完成，图形编辑主要包括拓扑关系建立、图形编辑、图形整饰、图幅拼接、图形变换、投影变换、误差校正等功能。

3. 数据的存储与管理

数据的有效组织与管理是 GIS 系统应用成功与否的关键，主要提供空间与非空间数据的存储、查询检索、修改和更新的能力。矢量数据结构、光栅数据结构、矢栅一体化数据结构是存储 GIS 的主要数据结构。数据结构的选择在相当程度上决定了系统所能执行的功能。数据结构确定后，在空间数据的存储与管理中，关键是确定应用系统空间与属性数据库的结构以及空间与属性数据的连接。目前广泛使用的 GIS 软件大多数采用空间分区、专题分层的数据组织方法，用 GIS 管理空间数据，用关系数据库管理属性数据。图 1.7 是一个典型的地学数据分层管理概念模型，其中展示了空间图层及其属性的连接。

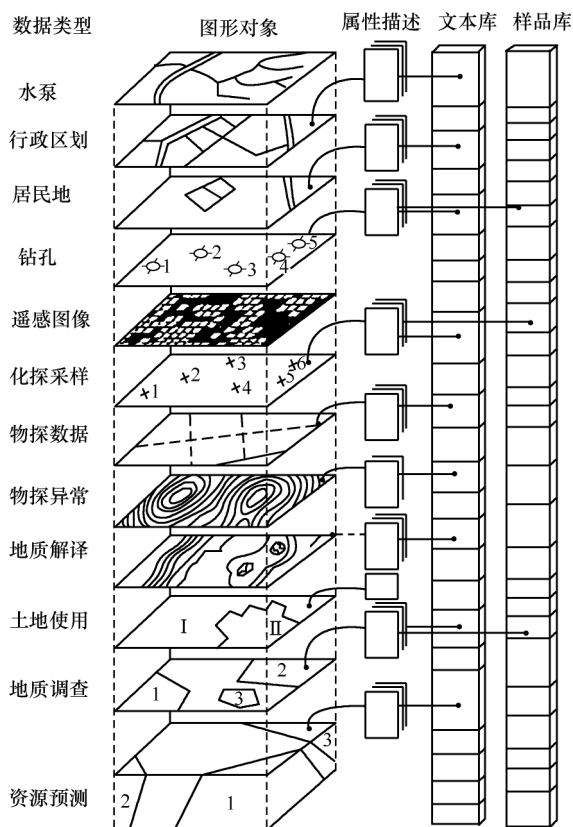


图 1.7 地学数据分层管理概念模型



4. 空间查询与分析

空间查询与分析是 GIS 的核心,是 GIS 最重要的和最具有魅力的功能,也是 GIS 有别于其他信息系统的本质特征。地理信息系统的空间分析可分为三个层次的内容:

1) 空间检索:包括从空间位置检索空间物体及其属性和从属性条件集检索空间物体。空间索引是空间检索的关键技术,如何有效地从大型的地理信息系统数据库中检索出所需信息,将影响地理信息系统的分析能力。另一方面,空间物体的图形表达也是空间检索的重要部分。

2) 空间数据计算、分析:通过地理信息系统的计算功能,实现空间特征(点、线、面或图像)的相交、相减、合并等,以及特征属性在空间上的连接。过去要用手工来解决的这些问题现在可以很方便地完成。

3) 空间模型分析:是在地理信息系统的支持下,分析和解决现实世界中与空间相关的问题。它是地理信息系统应用深化的重要标志,是地理信息系统区别于其他计算机系统的重要标志。地理信息系统通过地理模型分析从空间数据中提取有用信息,达到地理分析和辅助决策的目的,如数字地形高程分析、BUFFER 分析、网络分析、图像分析、三维模型分析、多要素综合分析及面向专业应用的各种特殊模型分析等。

5. 可视化表达与输出

中间处理过程和最终结果的可视化表达是 GIS 的重要功能之一。通常以人机交互方式来选择显示的对象与形式,对于图形数据,根据要素的信息密集程度,可选择放大或缩小显示。GIS 不仅可以输出全要素地图,也可以根据用户需要分层输出各种专题图、各类统计图、图表及数据等。

除上述五大功能外,还有用户接口模块,用于接收用户的指令、程序或数据,是用户和系统交互的工具,主要包括用户界面、程序接口与数据接口。由于地理信息系统功能复杂,且用户又往往为非计算机专业人员,用户界面是地理信息系统应用的重要组成部分,使地理信息系统成为人机交互的开放式系统。

1.5 地理信息系统与相关学科的关系

GIS 是现代科学技术发展和社会需求的产物,是包括自然科学、工程技术、社会科学等多种学科交叉的产物。它将传统科学与现代技术相结合,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

地理学是以地域单元研究人类居住的地球及其部分区域,研究人类环境的结构、功



能、演化以及人地关系。在地理学研究中，空间分析的理论和方法为地理信息系统提供了引导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。

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 提供了解决地理问题的全新的技术手段，即以地理信息世界表达地理现实世界，这样可以真实、快速地模拟各种自然的和思维的过程，对地理研究和预测具有十分重要的作用。如果说地图是地理学的第二代语言，那么地理信息系统就是地理学的第三代语言。

2. 测绘学

GIS 与测绘学有着密切的关系。现代测绘学是研究地球有关的基础空间信息采集、处理、显示、管理、利用的科学与技术，测绘学科的应用范围和对象应从单纯的控制、测图扩大到国家经济、国防建设以及社会可持续发展中与地理空间信息有关的各个领域。测绘学及其分支学科，如大地测量学、摄影测量与遥感、地图制图、地图投影等不但为 GIS 提供了高精度、快速、可靠、多时相和廉价的基础地理空间数据，而且其误差理论、地图投影与变换理论、图形学理论等许多相关的算法可直接用于 GIS 空间数据的变换处理，并促使 GIS 向更高层次发展。

3. 遥感

遥感是一种不通过直接接触目标物而获得其信息的一种新型的探测技术。GIS 主要用于数据处理、操作和分析，遥感则作为一种空间数据采集手段成为地理信息系统的主要信息源与数据更新途径。此外，GIS 还可用于基于知识的遥感影像分析。图像处理系统包括若干复杂的解析函数，并有许多方法用于信息的增强与分类。大地测量为地理信息系统提供了精确定位的控制信息，尤其是全球定位系统（GPS）可快速、廉价地获取地表特征的数字位置信息。航空像片及其精确测量方法的应用使得摄影测量成为地理信息系统主要的地形数据来源。总之，遥感是地理信息系统的主要数据源与更新手段，同时，地理信息系统的应用又进一步支持遥感信息的综合开发与利用，从而使遥感和地理信息系统的结合在“全数字”的环境下进入新的阶段。

4. 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。地理信息系统与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有着密切的联系。计算机图形学是 GIS 图形算法设计的基础。数据库管理系统是各种类型信息系统包括 GIS 的核心，数据库的一些基本技术，如数据模型、数据存储、数据检索等，都在 GIS 中被广泛采用。



5. 数学

数学的许多分支,尤其是几何学、图论、拓扑学、统计学、决策优化方法等被广泛应用于 GIS 空间数据的分析。

6. 管理学

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有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。

其他学科如系统论、信息论等都对 GIS 学科的发展具有重要意义。

1.6 地理信息系统的基本特征

地理信息系统从外部来看,表现为计算机软硬件系统,而其内涵却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,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。与一般的信息系统相比,地理信息系统具有以下特征:

1) 地理信息系统具有采集、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) 地理信息系统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。

3) 地理信息系统以地理研究和地理决策为目的,以地理模型方法为手段,具有空间分析、多要素综合分析和动态预测的能力,并能产生高层次的地理信息。

4) 地理信息系统在分析处理问题中使用了空间数据与属性数据,并通过数据库管理系统将两者联系在一起共同管理、分析和应用,从而提供了认识地理现象的一种新的思维方法;而管理信息系统则只有属性数据库的管理,即使存储了图形,也往往以文件等机械形式存储,不能进行有关空间数据的操作,如空间查询、检索、相邻分析等,更无法进行复杂的空间分析。

地理信息是有关地理实体的性质、特征、运动状态的表征和一切有用的知识,而地理数据则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)、及时域特征三部分。空间位置数据描述地物或现象所在位置;属性数据有时又称作非空间数据,是属于一定地物或现象、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或时段。

5) 地理信息系统强调空间分析, 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。空间分析是地理信息系统的主要特征, 也是评价一个地理信息系统功能的主要指标之一。

思 考 题

1. 简述目前 GIS 的发展状况与发展趋势。
2. 什么是 GIS? 它具有什么特点? GIS 与其他信息系统有什么区别?
3. 简述 GIS 的基本内容与构成。
4. 简述 GIS 的功能。
5. 简述 GIS 与其相关学科的关系。
6. 地理信息系统的基本特征有哪些?

第二章 地理空间和地图投影

地理信息系统是处理与地理空间分布有关的信息的理论技术。地理信息系统中的空间概念常用“地理空间 (geo-spatial)”来表述。为了深入研究地理空间，必须建立地球表面的几何模型，表达或确定地球表面的位置，并把地球表面的位置投影到平面上，这种理论和方法是地理信息系统学科或技术的共同基础。它为各种地理信息的输入、输出以及匹配处理提供一个统一的定位框架，从而使各种地理信息和数据能够具有共同的地理基础。

2.1 地球椭球体要素

地球的自然表面是包括海洋底部、高山高原在内的固体表面。固体地球表面的形态是由多种成分的内、外地貌应力在漫长的地质年代里综合作用的结果，所以非常复杂，难以用一个简洁的数学表达式描述出来，所以不适于数学建模，也无法进行运算。

由于地球的自然表面不能作为测量与制图的基准面。因此，应该寻求一种与地球自然表面非常接近的规则曲面，来代替这种不规则的曲面。地球表面的 72% 被流体状态的海水所覆盖，可以假设一个当海水处于完全静止的平衡状态时，从海平面延伸到所有大陆下部，而与地球重力方向处处正交的一个连续、闭合的水准面，这就是地球的物理表面——大地水准面（如图 2.1 所示）。由于海水温度、盐度差异、盛行风等原因，同时雷达卫星高程测量事实也证明，大地水准面仍然不是一个规则的曲面，因此它也不能用一个简单的几何形状和数学公式来表达。

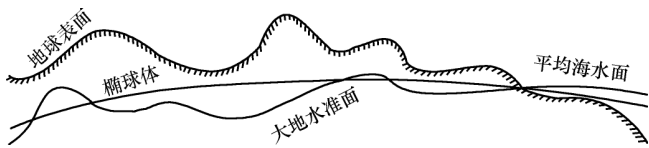


图 2.1 大地水准面

虽然大地水准面的形状十分复杂，但从整体来看，其起伏是微小的，它是一个很接近于绕自转轴（短轴）旋转的椭球体，所以在测量和制图中，就用旋转椭球来代替大地体（大地水准面包围的形体称大地体），这个旋转球体通常称地球椭球体，简称椭球体。地球椭球体表面是个可以用数学模型定义和表达的曲面，这就是所称的地球数学表面（图 2.2）。

地球椭球体表面是一个规则的数学表面。椭球体的大

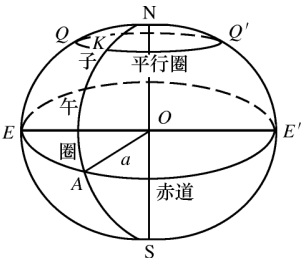


图 2.2 地球椭球



小，通常用两个半径（长半径 a 和短半径 b ）或由一个半径和扁率来决定。扁率 α 表示椭球的扁平程度。扁率的计算公式为： $\alpha=(a-b)/a$ 。这些地球椭球体的基本元素 a 、 b 、 α 等，由于推求它的年代、使用的方法以及测定的地区不同，其结果并不一致，故地球椭球体的参数值有很多种。我国在 1952 年以前采用海福特（Hayford）椭球体，从 1953~1980 年建立的北京 54 坐标系采用了克拉索夫斯基椭球体。随着人造地球卫星的发射，有了更精密的测算地球形体的条件。1975 年第 16 届国际大地测量及地球物理联合会上通过国际大地测量协会第一号决议中公布的地球椭球体，称为 GRS（1975）。我国自 1980 年开始采用全球定位系统（GRS）（1975）新参考椭球体系，建立了 1980 年国家大地坐标系。GPS 所用的 WGS-84 椭球参数为 GRS（1980）椭球参数。由于地球椭球长半径与短半径的差值很小，所以当制作小比例尺地图时，往往把它当作球体看待，这个球体的半径为 6371km。

由于采用不同的资料推算，椭球体的元素值是不同的。现将世界各国常用的地球椭球体的数据列于表 2.1 中。

表 2.1 各种地球椭球体模型

椭球体名称	年 份	长半轴/m	短半轴/m	扁 率
白塞尔（Bessel）	1841	6 377 397	6 356 079	1 : 299.15
克拉克（Clarke）	1880	6 378 249	6 356 515	1 : 293.5
克拉克（Clarke）	1866	6 378 206	6 356 584	1 : 295.0
海福特	1910	6 378 388	6 356 912	1 : 297.0
克拉索夫斯基（Krasovsky）	1940	6 378 245	6 356 863	1 : 298.3
GRS（1967）	1967	6 378 160	6 356 775	1 : 298.25
GRS（1975）	1975	6 378 140	6 356 755.288	1 : 298.257
GRS（1980）	1980	6 378 137	6 356 752.314	1 : 298.257 22

地面点到大地水准面的高程，称为绝对高程。如图 2.3 所示， $P_0 P_0'$ 为大地水准面，地面点 A 和 B 到 $P_0 P_0'$ 的垂直距离 H_A 和 H_B 为 A 、 B 两点的绝对高程。地面点到任一水准面的高程，称为相对高程。图 2.3 中， A 、 B 两点至任一水准面 $P_1 P_1'$ 的垂直距离 H'_A 和 H'_B 为 A 、 B 两点的相对高程。

我国高程的起算面是黄海平均海水面，1956 年在青岛设立了水准原点，其他各控制点的绝对高程都是根据青岛水准原点推算的，称此为 1956 年黄海高程系。1987 年国家测绘局公布：中国的高程基准面启用《1985 年国家高程基准》取代国务院 1959 年批准启用的《黄海平均海水面》。《1985 年国家高程基准》比《黄海平均海水面》上升 29mm。

2.2 坐 标 系

为了表示空间点的坐标，必须建立相应的坐标系。建立坐标系，通常包含两方面的



内容：一是选择适当的椭球，把大地水准面上的测量成果化算到椭球体面上；二是确定椭球体与大地体的位置关系（椭球定位），并把椭球面上的几何元素投影到平面上，得到平面坐标系。因此，选定了一个一定大小的椭球体，并确定了它与大地水准面的相关位置，就确定了一个坐标系。

2.2.1 大地坐标系

P 点的子午面 NPS 与起始子午面 NGS 所构成的二面角 L 叫做 P 点的大地经度， P 点的法线 Pn 与赤道面的夹角 B 叫做 P 点的大地纬度， P 点的位置用 (B, L) 表示（见图 2.4）。

若 P 点不在椭球面上，还要附加另一参数，即大地高 H （从 P 点沿法线到椭球面的距离），它与正常高及正高的关系为

$$H = H_{\text{正常}} + \zeta (\text{高程异常})$$

$$H = H_{\text{正}} + N (\text{大地水准面差距})$$

若点在椭球面上， $H=0$ 。

大地坐标系是大地测量的基本坐标系，其优点为：

- 1) 它是整个椭球体上统一的坐标系，是全世界公用的最方便的坐标系。
- 2) 它与同一点的天文坐标（天文经纬度）比较，可以确定该点的垂线偏差的大小。

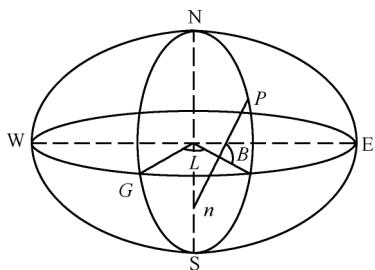


图 2.4 大地坐标系

2.2.2 天文坐标系

在图 2.4 中，若过 P 点作铅垂线（一般不落在过 P 点的子午面内），则其与赤道面的交角称为 P 点的天文纬度，通常以字母 φ 表示； P 点的天文子午面与起始子午面的夹角称为 P 点的天文经度，通常以字母 λ 表示，这样建立起来的坐标系称为天文坐标系。通常将大地坐标系和天文坐标系称为地理坐标系。

2.2.3 空间直角坐标系

以椭球中心 O 为原点，起始子午面与赤道面交线为 X 轴，在赤道面上与 X 轴正交的方向为 Y 轴，椭球体的旋转轴为 Z 轴，构成右手坐标系 $O-XYZ$ 。在该坐标系中， P 点的位置用 X 、 Y 、 Z 表示（见图 2.5）。

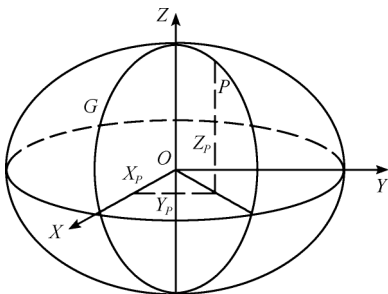


图 2.5 空间直角坐标系

2.2.4 平面坐标系

由于椭球面是不可展开的曲面，其上的各点不能直接表示在平面上，因此必须运用地图投影的方法，建立地球表面和平面上点的函数关系，使地球表面上