

地理信息系统原理

朱选 刘素霞* 编著

与技术

D I L I X I N X I X I T o n g Y u a n L I Y u J i S h u

华东师范大学出版社

地理信息系统 原理与技术



朱 选 刘素霞 编著
华东师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统原理与技术/朱选,刘素霞编著. —上海:华东师范大学出版社,2006.5

ISBN 7-5617-4724-1

I. 地... II. ①朱... ②刘... III. 地理信息系统
IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 057161 号

华东师范大学教材出版基金资助出版

地理信息系统原理与技术

编 著 朱 选 刘素霞
项目编辑 孔繁荣
文字编辑 周志凤
责任校对 邱红穗
封面设计 卢晓红
版式设计 蒋 克

出版发行 华东师范大学出版社
社 址 上海市中山北路 3663 号 邮编 200062
电 话 021-62450163 转各部 行政传真 021-62572105
网 址 www.ecnupress.com.cn www.hdsdbook.com.cn
市 场 部 传真 021-62860410 021-62602316
邮购零售 电话 021-62869887 021-54340188

印 刷 者 华东师范大学印刷厂
开 本 787×1092 16 开
印 张 16.25
字 数 363 千字
版 次 2006 年 7 月第一版
印 次 2006 年 7 月第一次
印 数 3100
书 号 ISBN 7-5617-4724-1/K·268
定 价 25.00 元

出 版 人 朱杰人

(如发现本版图书有印订质量问题,请寄回本社市场部调换或电话 021-62865537 联系)

前 言

地理信息系统(Geographical Information Systems,简称 GIS)经历了四十多年的发展,其理论与技术日趋成熟,应用领域不断扩大,已成为科学研究、资源与环境管理、城市与区域规划、市场分析、公共事业管理、工矿企业选址、交通运输规划等领域中分析问题、解决问题和辅助决策的重要工具。地理信息系统在国民经济的各个领域有着广泛的应用前景,要将它真正有效地应用于实践,就必须熟悉和理解地理信息系统所涉及到的有关地理空间数据处理的概念和技术。本书旨在详细介绍这些概念,帮助读者全面地理解和掌握地理信息系统中地理空间数据的输入、存储、管理、处理、分析、输出和应用的基本原理与技术。

本书共分九章。第一章回顾了地理信息系统的发展历史,概括地介绍了地理信息系统的概念、组成结构和主要应用领域。第二章介绍了地理数据的基本特性,包括地理数据的概括性和地表定位的数学基础,也讨论了地理数据的主要来源。第三章较为详细地论述了在计算机中表示地理数据的几种主要方法,包括栅格、矢量和面向对象表示法。第四章讨论了地理数据库的基本概念,详细介绍了地理关系数据库、地理对象关系数据库和地理数据库设计的原理。第五章讨论了地理数据输入、编辑和处理的基本方法和技术,包括地理数据分类与编码的基本原理。第六、七章分别介绍了栅格数据和矢量数据分析的基本原理、方法和技术。第八章讨论了地理信息系统数据输出的设计,重点介绍了地理信息系统地图设计的基本概念和原理。第九章介绍了将地理信息系统和计算机辅助空间模拟与决策分析技术相结合建立空间决策支持系统的基本原理,以应用实例展示了各类空间决策支持系统的特点和功能。

本书是作者多年来在英国、爱尔兰、澳大利亚和新加坡从事地理信息系统教学和科研工作的基础上编写而成的,力求做到内容丰富、取材新颖、语言简练、图文并茂,并运用实例解释概念、说明原理、展示技术。本书既可作大学本科生地理信息系统课程教材和实际应用部门工作人员地理信息系统培训或自学教材,也可用作各类地理信息系统专业和应用人员的参考文献。内容由浅入深、循序渐进,读者无需事先具备地理信息系统、数学和计算机算法方面的知识。书中介绍的基本原理和技术具有普遍性,不依赖于某一特殊的地理信息系统软件。然而,地理信息系统技能只有通过使用一定的地理信息系统软件进行实践才能掌握和提高。本书可与任一地理信息系统软件结合起来使用,读者可运用书中介绍的方法和技术,使用选择的地理信息系统软件进行地理空间数据的分析、处理和模拟,以获取地理信息系统运作的实际经验,提高和加深对地理信息系统原理和技术的理解。

作 者

2006年2月

目 录

1	前 言
1	第一章 绪论
1	1.1 地理信息科学与技术
4	1.2 地理信息系统概念
7	1.3 地理信息系统组成
10	1.4 地理信息系统应用
17	思考题
19	第二章 地理数据的特性
19	2.1 地理数据的概括性
20	2.1.1 地图比例尺对地理数据的影响
21	2.1.2 地理实体的基本类型及其表示方法
23	2.1.3 地理实体的选取和概括
24	2.2 地表定位参照系统
24	2.2.1 地球形状和地理坐标
26	2.2.2 地图投影
28	2.2.3 地图投影在 GIS 中的意义
30	2.3 拓扑特性数据和属性数据
30	2.3.1 拓扑特性数据
31	2.3.2 属性数据
33	2.4 遥感影像、野外测量和 GPS 数据
33	2.4.1 航空相片
34	2.4.2 卫星影像
36	2.4.3 野外测量和 GPS 数据
36	思考题
38	第三章 地理数据在计算机中的表示
38	3.1 栅格表示法
38	3.1.1 栅格数据模型
40	3.1.2 栅格数据结构
43	3.2 矢量表示法

43	3.2.1 矢量数据模型
44	3.2.2 矢量数据结构
50	3.2.3 网络数据模型与数据结构
52	3.3 栅格和矢量数据的图层表示法
53	3.4 面向对象表示法
58	思考题
59	第四章 地理数据库
59	4.1 数据库系统概述
59	4.1.1 数据库的基本概念
61	4.1.2 数据库管理系统(DBMS)
63	4.1.3 数据库系统的数据模型
66	4.2 地理关系数据库
66	4.2.1 关系数据库
70	4.2.2 关系数据库标准查询语言
75	4.2.3 地理关系数据库
80	4.3 地理对象关系数据库
81	4.3.1 对象关系数据库系统的基本特点
81	4.3.2 SQL 在地理数据类型上的扩充
85	4.3.3 地理对象关系数据库系统的主要产品
86	4.4 地理数据库设计
86	4.4.1 概念结构设计
88	4.4.2 逻辑结构设计
88	4.4.3 物理设计
92	思考题
93	第五章 地理数据的输入、编辑与处理
93	5.1 地理数据的分类与编码
93	5.1.1 地理数据的分类
96	5.1.2 地理数据的编码
97	5.2 地理数据的输入
97	5.2.1 手工数字化

100	5.2.2 自动数字化
101	5.2.3 键盘输入
102	5.2.4 数据交换
104	5.3 地理数据的编辑
104	5.3.1 矢量数据的编辑
109	5.3.2 栅格数据的编辑
109	5.3.3 属性数据的编辑
112	5.4 地理数据的处理
112	5.4.1 地图投影和坐标系统的转换
115	5.4.2 地理数据结构转换
118	5.4.3 地理数据的综合概括
119	5.4.4 图幅边缘匹配
120	思考题
121	第六章 栅格数据分析
121	6.1 逐点运算
121	6.1.1 重新分类
124	6.1.2 数值计算
124	6.1.3 逐点叠置分析
128	6.2 邻域运算
129	6.2.1 空间聚集
130	6.2.2 过滤
132	6.2.3 坡度和坡向
135	6.3 区域运算
136	6.3.1 区域单元识别
136	6.3.2 分区叠置分析
138	6.3.3 几何量测
138	6.4 广域运算
138	6.4.1 距离计算
143	6.4.2 通视情况分析
144	6.5 地图模拟
148	思考题

149	第七章 矢量数据分析
150	7.1 地理查询
150	7.1.1 数据库查询
153	7.1.2 几何量测
154	7.1.3 重新分类
154	7.2 缓冲带分析
157	7.3 叠置分析
157	7.3.1 点包含分析
158	7.3.2 线包含分析
159	7.3.3 多边形叠置分析
162	7.4 网络分析
162	7.4.1 最短路径分析
166	7.4.2 服务范围分析
167	7.5 地形分析
167	7.5.1 坡度和坡向的计算
168	7.5.2 等高线和地形剖面的绘制
169	7.5.3 通视情况分析
170	7.6 空间插值
170	7.6.1 趋势面分析
171	7.6.2 按距离加权法
174	7.6.3 样条函数法
175	7.6.4 克里格法
178	7.6.5 密度估算
180	思考题
181	第八章 地理数据的输出
181	8.1 地图要素与地图表示方法
188	8.2 地图设计
188	8.2.1 地图内容的选取
188	8.2.2 数据的分类分级
195	8.2.3 地图符号的选择和设计
201	8.2.4 图面配置

203	8.3 图表输出
205	8.4 地图与多媒体信息
207	思考题
209	第九章 空间决策支持系统
209	9.1 空间决策支持系统概述
212	9.2 基于空间过程模型的空间决策支持系统
218	9.3 多准则分析空间决策支持系统
219	9.3.1 AHP
223	9.3.2 SMARTER
224	9.3.3 Decision Analyst
229	9.4 多目标优化空间决策支持系统
229	9.4.1 遗传算法
232	9.4.2 遗传算法在土地利用布局中的应用
233	9.4.3 农业土地利用布局决策支持系统
234	9.5 基于知识的空间决策支持系统
234	9.5.1 专家系统
236	9.5.2 ILUDSS——基于知识的土地利用决策支持系统
242	思考题
243	参考文献

第一章 绪 论

地理信息系统是一门新兴的地理信息科学技术。自 20 世纪 60 年代问世以来,地理信息系统已由早期的计算机辅助地图制图技术发展成为一门涉及到地理学、地图学、测量学、地球科学、计算机科学等领域的交叉学科,并已逐步走向产业化和社会化,广泛应用于人口、资源与环境的规划、管理和决策,成为现代社会信息基础设施建设中的重要组成部分。本章将简要地回顾地理信息系统的发展,对地理信息系统的基本功能和系统结构作一个总体概述,并以实例介绍地理信息系统的主要应用。

1.1 地理信息科学与技术

社会的发展,科技的进步以及人口的增长使得地球表面成为日趋繁荣、错综复杂的社会经济实体,也使得人类对地球资源(如土地、大气、水、原材料等)的需求急剧增加。现今已达六十多亿人口的地球,承受着支持人类生存的巨大压力。在当今人类以先进的科学技术加速发展经济的同时,要维护和优化人类生存空间,就必须对人口、经济、资源和环境作全面协调,以实现社会与经济的合理、有序和可持续发展。要实现这一目标,就需要了解资源的时空分布以及变化规律,了解资源利用及其与生态环境的状况,了解人类活动与地表自然环境的关系,还需了解人口过程及其空间意义。因此,采集、分析和应用表达地球表面特定地点或特定区域内社会、经济、资源与环境特征的地理数据在人口、资源和环境的研究、规划、管理和决策中有着极其重要的意义。

简单地讲,地理数据是对与地球表面位置相关联的人文和自然现象的客观表示,并可用来描述与刻画资源与环境要素的时空分布。比如,一个城市的土地利用布局,一个地区植被的分布,全球人口密度的分布等,表达这些信息的数据都为地理数据。在许多地理信息系统文献中,地理数据又称为空间数据(spatial data)。这里的空间是指人类生活的周围世界,也就是常说的地理空间。地图是传统的表达和存储地理数据的主要工具。从早期的古代文明起,人类就开始采集地理数据,并以地图的形式来描述和记录地理数据。早期地图以图画的形式来描述一些重要的地理要素的分布。中国出土的长沙马王堆西汉地图(公元前 168 年之前绘制的)是世界上现存的最早的具有一定测绘精度的地图。到了 17 世纪,地图投影原理的发明为地图坐标系统的建立奠定了数学基础,并为精确地描述地表现象的地理位置和测量地理要素的几何特性(如长度、面积和方位)提供了标准,这对航海、土地测量、路径的选取和军事战略的制定有着深远的意义。到了 18 世纪,许多欧洲国家都认识到了地图的价值,把地图制图作为国防以及记录和规划土地利用的工具。18 世纪开始于英国的工业革命推动了测量仪器的进步,大地测量学和地图学都得到了相应的发展。一些政府开始设立地图测绘部门(如英国的 Ordnance Survey),制作详细的覆盖全国范围的普通地形图。中国清朝政府也于 1708 年起实

施全国经纬度和三角测量,并于 1718 年完成了包括东北各省、蒙古、关内各省、台湾以及哈密以东地区的《皇輿全览图》。随着 19 世纪地球科学研究的深入以及对自然资源的开发与利用,专题地图应运而生。专题地图用于描述某一或某几种人文或自然现象,如地质构造、地貌类型、土地利用、土壤类型、植被、人口、交通路线等等。进入 20 世纪 20 和 30 年代,航空摄影测量学得到了发展,两次世界大战更加快了它的发展步伐。第二次世界大战以后,航空相片已广泛地应用于 1:500 到 1:50 000 地图的制作,成为地理数据的一个重要来源。

地图学、大地测量学和航空摄影测量学为精确地获取和表述地表自然和人文现象的地理位置和特征提供了强有力的理论基础和技术。尤其是航空相片的使用缩短了地图成图的过程,使得以地图为主的地理数据产品大量涌现。地图是以点状、线状和面状符号根据一定的地表定位坐标系统和地图要素综合的原则来表示某一区域内资源和环境要素特征的分布。通过地图的目视解译或阅读,我们可以定性地分析地图要素的分布规律以及各种要素之间的相互关系。然而,地图的定量分析主要局限于用比例尺量测距离和用求积仪量测面积。除此以外,地图还有如下几个方面的局限性。第一,地图是地理数据的图形表达,一旦印刷成图,它所包含的地理数据和信息就很难与其他的地理数据相接合。第二,当今的资源与环境问题错综复杂,要对这些问题有充分的认识,寻找到切实可行的解决方法,就必须综合考虑和分析多种要素之间的相互联系和相互作用。例如,环境影响的评估需要对土壤、植被、土地利用、人口等多种不同的专题数据进行综合分析。使用地图数据进行综合分析的传统方法是地图叠置。地图叠置首先是将用于分析的各幅专题地图分别转绘到透明片上,然后将它们根据同一坐标系统叠加到透明桌上,目视分析各要素特性值的不同组合,将这些组合进行分类,然后再将每类的边界勾绘在另一张透明片上制成一份新的地图表示分析结果。地图叠置分析的方法已被应用于环境质量的评价、土地适宜性的评价等综合评价中。然而,上述地图叠置过程很费时,而且当涉及的要素增加到一定的数目,这种方法就不能有效地执行了。第三,地图包含的地理数据反映了某一自然或人文现象在特定时刻或特定期内的分布状况,从这种意义上讲,一幅印刷地图是一个静态文件,它所表达的信息是静态信息。地图的制作从数据的采集、编辑、描绘到印刷出版是一个费用高、时间长的过程。许多资源与环境的分析和研究需要反映地表动态变化的最新数据。例如天气预报,地震活动的监测,大气质量的监测,森林火灾的监控,等等。有时数据需要每天甚至每小时更新一次。显然,传统的地图制图技术不能满足这样的需求。

20 世纪 60 年代电子计算机的出现,开辟了地理数据与信息处理的新纪元。1964 年世界上第一个地理信息系统 CGIS(Canada Geographical Information Systems),在加拿大问世。地理信息系统是用于地理数据采集、存储、管理、分析和显示的计算机系统,它将地图数字化,将地图数据的采集、交换、分析和制作过程计算机化。数字地图的出现,为利用计算机的数据存储和计算能力,快速、有效地进行地理数据的定量分析开辟了广阔的前景。加拿大地理信息系统问世后不久,美国建立了纽约州土地利用和自然资源清查系统(Land Use and Natural Resources Inventory Systems in New York,简称 LUNR),以及明尼苏达土地管理信息系统(Minnesota Land Management Information Systems,简称 MLMIS)。这些早期的地理信息系统以计算机地图制图功能为核心,LUNR 和 MLMIS 系统都是在哈佛大学开发的 GRID 计算机地图制图软件包的基础上建立起来的。

在 20 世纪 60 年代末和 70 年代初,哈佛大学计算机图形学和空间分析实验室(Laboratory

for Computer Graphics and Spatial Analysis)开发了一系列计算机地图制图和地理信息系统软件。其中最有影响的地理信息系统软件是 Odyssey。这套软件开创了一套用于描述和存储地理数据的矢量数据结构,并设计了一系列地图分析(如地图叠置)的计算机算法。尽管这些系统功能简单,它们从理论和技术上推动了地理信息系统的发展,为后来的地理信息系统技术的开发和使用提供了宝贵的经验。到了 20 世纪 80 年代,地理信息系统技术趋于成熟。微型计算机的问世,计算机数据存储设备成本的降低和计算能力的大幅度提高,以及图形用户界面的使用,显著提高了地理信息系统的功能,降低了地理信息系统使用的难度,开拓了许多地理信息系统应用的新领域。

地理信息系统在中国的研究起步于 20 世纪 70 年代中期,1977 年诞生了我国第一张由计算机输出的全要素地图。到了 80 年代,GIS 进入广泛试验阶段,在此期间,以研究为主导,进行了若干专题试验,包括数据规范和标准的研究、数据处理和分析算法的设计、应用软件的开发、数据库和信息系统的建立等等。在应用软件方面,开发了水资源估算、水库淹没损失估算、土地适宜性评价、环境质量评价、人口趋势预测软件等。在数据库和信息系统方面,建立了 1:100 万全国土地信息系统、1:400 万全国资源和环境信息系统、1:250 万水土保持信息系统、黄土高原信息系统、洪水灾情预报与分析系统等等。90 年代以来,GIS 在中国得到了全面发展,由试验阶段逐渐步入成熟、实用阶段,大量的、不同规模的 GIS 运行系统相继建立,广泛应用于城市规划、资源管理、环境监测等领域。同时,不同比例尺的地形和专题地理数据库相继建成,为 GIS 应用提供了丰富的地理数据。例如,在全国大地测量和数字高程模型建立的基础上,国家测绘局于 1994 年和 1998 年分别建成了 1:100 万和 1:25 万全国地形数据库,各省测绘局也正陆续建立省级 1:1 万地形数据库。中国科学院和其他部门建立了 1:50 万、1:100 万和 1:400 万自然资源和环境数据库,提供有关土壤、植被、土地利用、地质、矿产、地震等方面的数据。近几年来,GIS 趋于产业化,中国的 GIS 产业也得到了蓬勃发展。

与地理信息系统技术并行发展的还有其他两项与地理数据采集和信息处理密切相关的重要技术:卫星遥感(Satellite Remote Sensing)和全球定位系统(Global Positioning System,简称 GPS)。卫星遥感技术始于 20 世纪 60 年代。地球卫星的发射以及数字影像处理技术的发展,使得从高空连续摄取地球表面资源影像成为可能。卫星遥感主要是利用安装于地球卫星上的感应器,接收特定波段范围内地表物体反射或发射的电磁波,然后将其转换成电信号传输到卫星地面接收站,再经计算机数字影像处理系统加工处理制成图像。世界上第一个非军事用途的、用于采集地球资源信息的卫星是美国的地球资源技术卫星 ERTS 1 号,该卫星于 1972 年发射升空,后改名为 Landsat 1 号。迄今为止,美国已发射了七颗 Landsat 系列卫星。其他的地球资源卫星包括法国的 SPOT,加拿大的 RADARSAT,美国的 GOES。中国自 1975 年开始卫星遥感技术的研究,1981 年国家科委成立了国家遥感中心。1988 年发射了风云 1 号和风云 2 号气象卫星。1999 年发射了由中国和巴西联合研制的资源 1 号卫星。2000 年发射了由中国独立研制的资源 2 号卫星。资源 1 号和 2 号卫星专用于获取地球资源影像,2004 年 4 月,中国突破了小卫星研制技术,成功地发射了两颗小卫星:试验卫星 1 号和纳星 1 号。试验卫星 1 号是中国第一颗传输型立体测绘小卫星,主要用于国土资源摄影测量、地理环境监测和测绘科学试验。纳星 1 号是一颗用于高新技术探索试验的纳型卫星,主要用于光学成像观测和环境、资源、水文、地理勘查及气象观测、科学实验等。近年来,卫星遥感技术发展迅速,为

资源和环境研究以及地表现象动态变化的监测提供了丰富的、高精度的地理数据源。

GPS是一个中距离圆形轨道卫星定位系统,可为地球表面绝大部分地区提供准确的定位和高精度的时间基准。GPS于1973年开始投入使用,它由24颗环绕地球的卫星、地面控制系统和地面接收器组成,能在全天候的情况下一天24小时提供精确的地表位置、速率和时间数据。当GPS地面接收器启动后,它寻找最近的卫星,接收发自这些卫星记载着时间信息的讯号,通过这些时间讯号计算它与这些卫星的距离,根据距离数据和发射讯号的卫星所处的轨道位置,接收器计算出它所处的三维空间位置,即经度、纬度和高程。GPS地面接收器通常要利用四颗卫星来确定位置、计算高程和时间。GPS在海、陆、空的定位与导航中有着广泛的应用,也已成为地理数据精确定位和野外数据采集的重要工具。许多便携式GPS地面接收器已具备地图显示功能,并能将GPS数据直接下载到地理信息系统中用于处理、分析、显示或与其他地理数据合并。

地理信息系统、卫星遥感和全球定位系统已成为现代地理信息处理、分析与应用的三大支柱。中国在最近几年内将这三大技术相结合,形成了所谓的“3S”系统,在这一领域的研究与开发已达到了世界先进水平。这三大技术在环境保护、资源开发以及区域的可持续性发展中正起着积极的作用。本书将重点介绍地理信息系统的基本概念、基本原理和技术。

1.2 地理信息系统概念

自20世纪60年代GIS问世以来,许多学者根据GIS的现状和他们自己的认识给地理信息系统下了多种不同的定义,归纳起来主要有三个方面的观点。

第一种观点把地理信息系统描述为一个工具箱,其中包含有一套用于采集、存储、管理、处理、分析和显示地理数据的计算机软件工具。例如,Burrough(1986)把GIS定义为“一套采集、存储、随意提取、转换和显示来自现实世界的空间数据的强有力工具”。Parker(1988)将GIS解释为“存储、分析、显示空间和非空间数据的信息技术”。Clarke(1995)则将GIS定义为“采集、存储、提取、分析和显示空间数据的自动化系统”。这些可谓是功能性定义,它们定义了地理信息系统从地理数据的输入、分析、处理到输出的主要功能。

第二种观点认为地理信息系统是信息系统的特例。除了处理地理数据的特殊性以外,地理信息系统具备一般信息系统的共同特点,包括数据库管理,数据访问(如数据检索、插入、删除和修改等)和数据分析。Smith等(1987)就把GIS定义为“存储空间数据的数据库系统,以及一套用于检索数据库中有关空间实体的数据的程序”。Dueker(1979)认为GIS是“一种特殊的信息系统,其数据库包含着有关分布于空间上的,可以点、线和面表达的现象、活动或事件的观察数据。地理信息系统对这些关于点、线、面空间现象的数据进行操作,为特定的查询和分析提供数据”。这类观点认为GIS采用了计算机科学中的数据库管理技术,它具备一个信息系统应有的功能。不过,GIS处理的数据对象是能在空间上表达为点、线或面的地表现象、事件或活动。换句话说,GIS处理的是反映空间分布现象的地理数据。

第三种观点则强调地理信息系统的社会作用,认为GIS从根本上改变了一个组织或部门(如政府规划部门)运作的方式。一个部门建立GIS的目的,是要提高工作效率、改进数据管理和分析的手段,从而更有效地处理和解决问题。然而,GIS的建立往往要求组织结构的变

化、人员的培训以及工作流程的改进。Chrisman(1999)就把 GIS 定义为“人们在与社会结构相互作用的同时,测量、描述地理现象,再将这些描述转换成其他形式的有组织的活动”。这类观点是在探讨 GIS 如何对社会产生影响,以及 GIS 如何在应用于辅助决策的研究过程中产生的。此外,这类观点还认为,对 GIS 功能与应用起决定作用的是人的因素而非技术因素。因为 GIS 不是孤立存在的,它必须由人来规划、管理和操作,并由人来决定它的应用以及解译 GIS 输出的结果。例如,一个 GIS 包含有一个地区的土地利用现状、地籍、交通网以及人口分布数据,土地利用规划部门可利用它控制土地的使用,决定建筑活动的许可,而交通部门则可利用它评价交通线路的合理性,预测交通流量。同一个 GIS 可为不同的部门和人员使用,但其使用的目的和方法可能会大大的不同。GIS 的成功与否取决于一个组织的资源、结构、人员的素质以及应用的程度。

尽管上述定义和解释概括性地从不同角度描述了什么是地理信息系统,它们都包括了地理信息系统区别于其他信息系统和信息技术的四大特点。首先,GIS 具备处理地理数据的能力。地理数据表示地球表面在特定时刻或时间内某一地区人文或自然现象的分布特征。因此,地理数据包含三个基本的要素:① 地理位置(常以经、纬度或公里网表示)以及现象之间在地球表面分布上的相互关系;② 专题属性,如土壤的 pH 值,土地利用的类型,人口的密度等等;③ 时间,即数据采集或记录的时间。其中地理位置特别重要,因为这是能够以地图形式表示、存储和分析地理数据的关键。表 1.1 列出的中国从 1990 年到 1999 年营造林情况为非地理数据,而表 1.2 列出的 2003 年全球 6.5 级以上地震的数据为地理数据,可以在地图上精确定位和表示(见图 1.1)。

表 1.1 1990—1999 年中国营造林情况

年份 year	造林总面积 total reforestation area	林地更新面积 reforested area	育苗面积 seeding raising area	成林抚育实际面积 tending area for mature plantation	幼林抚育实际面积 tending area for young stands
1990	5 208.47	671.50	213.50	4 089.90	8 462.20
1991	5 594.47	664.10	228.30	4 434.70	9 071.50
1992	6 030.40	673.60	250.20	4 508.30	9 677.80
1993	5 903.40	739.20	261.60	4 878.20	10 020.60
1994	5 992.66	722.70	240.80	5 287.60	9 738.40
1995	5 214.61	750.96	214.10	6 665.70	9 979.10
1996	4 919.38	794.75	206.60	7 586.60	12 391.70
1997	4 354.93	798.38	199.40	6 750.32	8 539.39
1998	4 811.05	806.30	212.89	7 093.85	7 811.24
1999	4 900.71	1 042.83	220.20	8 489.20	7 269.60

资料来源:中国国家林业局。

表 1.2 2003 年全球 6.5 级以上地震

日期 date	时间 UTC	纬度 latitude	经度 longitude	深度 depth	震级 scale
1/10/2003	13:11:57.0	-5.311	153.701	71.9	6.6
1/20/2003	08:43:06	-10.491	160.77	33	6.7
1/22/2003	02:06:35.0	18.77	-104.104	24	6.5
2/19/2003	08:32:36.0	53.645	-164.643	19	6.6
3/12/2003	23:41:33.0	26.556	-110.587	10	6.5
3/17/2003	16:36:17.0	51.272	177.978	33	6.7
5/14/2003	06:03:36.0	18.266	-58.633	41.5	6.5
5/21/2003	18:44:20.0	36.964	3.634	12	6.5
5/26/2003	09:24:33.0	38.849	141.568	68	6.7
5/26/2003	19:23:28.0	2.354	128.855	31	6.5
7/15/2003	18:46:38.0	-3.828	152.174	33	6.5
7/27/2003	02:04:12.0	-21.08	-176.585	212.9	6.6
12/5/2003	21:26:09.0	55.5	165.763	10	6.5
12/10/2003	04:38:12.0	23.055	121.33	10	6.7
12/26/2003	01:56:52.0	29.002	58.325	10	6.8
12/26/2003	21:26:04.0	-22.319	169.295	10	6.8
12/27/2003	16:00:59.0	-22.033	169.65	10	7.1
12/27/2003	22:38:02.0	-21.774	169.78	10	6.8

资料来源：中国地震信息网络中心。

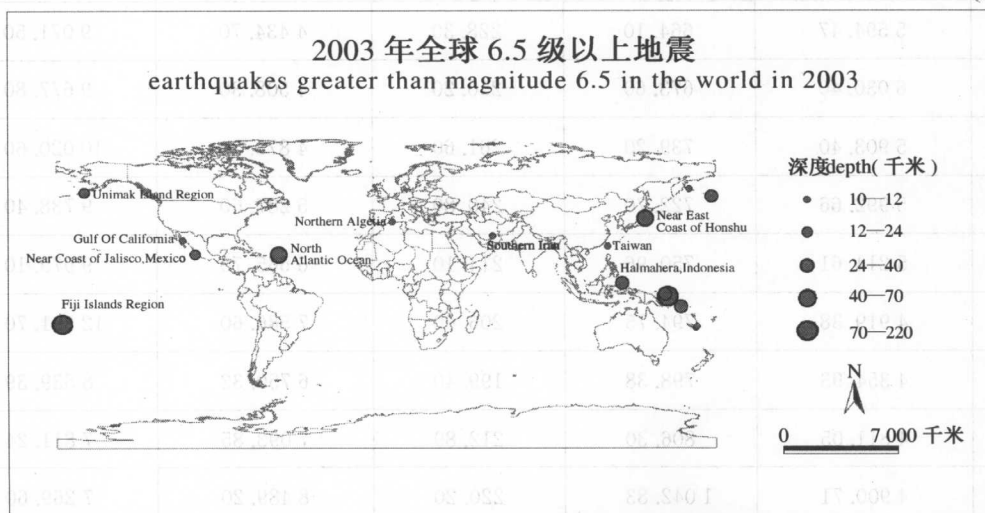


图 1.1 2003 年全球 6.5 级以上地震分布图

其二, GIS 是在统一的地表定位坐标系统下, 以特定的数据模型输入、组织、存储和管理 (包括更新) 地理数据, 并允许用户根据地理空间位置访问数据, 或根据专题属性访问数据, 以地图的形式表示地理数据。

其三, GIS 拥有一套特殊的用于处理和分析地理数据的基本工具, 这些工具可用于地理数据转换 (如坐标系统的转换), 地理数据的分类与组合, 地图的测量、比较与分析 (如地图叠置分析), 空间插值等等。根据一定的目的, 使用一定的程序, GIS 允许用户运用这些基本工具比较、分析地表现象的空间分布规律与相互间的联系, 了解数据的空间特性, 模拟地理过程以及评价决策方案。GIS 的这些工具大大提高了人们使用和分析地理数据的能力。在 GIS 中, 一幅表示某一专题的地图以数字形式存在, 大量的相关主题的数字地图可以被随意地组合、叠置和自动地分析, 为解决问题、制定决策提供有用信息。GIS 改变了人们应用地图采集、编辑和使用地理数据的方法, 使得以传统地图和地图分析手段所不能解决的问题得以有效的解决。

最后, GIS 具有很强的地理数据的输出功能, 可以地图、统计图表、多媒体 (如动画、影像) 等多种形式显示 GIS 所存储的数据或分析结果, 以帮助用户有效地解译数据, 满足用户的需求。

1.3 地理信息系统组成

地理信息系统主要由四个部分组成: 硬件、软件、数据和应用环境 (见图 1.2)。

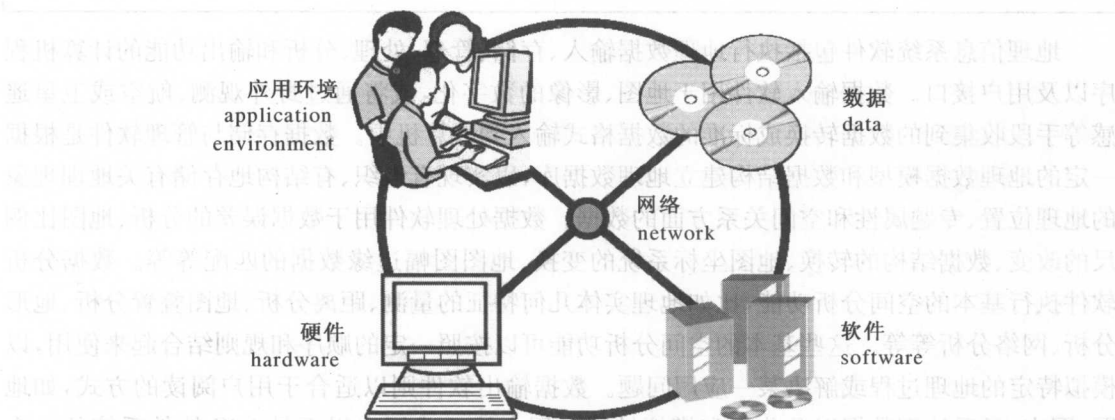


图 1.2 地理信息系统组成

地理信息系统硬件包括计算机、输入与输出设备以及计算机网络通讯设备。用于运行地理信息系统的计算机可以是小型个人计算机 (如台式或笔记本式), 也可以是大型的多用户超级计算机。由于地理信息系统通常涉及到复杂的数据处理, 且数据量很大 (见表 1.3), 运行地理信息系统的计算机一般需要具有较强运算能力的处理器, 以及较大的内存容量。GIS 的主要输入设备包括数字化仪、扫描仪、键盘和鼠标器。数字化仪和扫描仪用于将描绘在地图上的地理实体转换成以数字形式表达并将其输入到计算机中。输出设备包括计算机屏幕、绘图仪和打印机。磁盘、光盘等外部存储媒介既可用于输入, 也可用于输出。计算机网络是利用通信

设备和线路将位于不同地点的、功能独立的多个计算机系统连接起来。通过计算机网络,不同计算机之间可实现数据的共享与交换。1993 年美国的 Xerox PARC 中心在万维网(World Wide Web)上出版了第一幅互动式地图(<http://mapweb.parc.xerox.com/map>),从那以后,万维网成为 GIS 广泛应用的平台。通过万维网我们不仅可以为用户提供地理数据,还允许用户在万维网上运行另一台或数台计算机上的 GIS 软件,分析与处理地理数据,解决用户所关心的问题。英国爱丁堡大学地理系编辑了一套广泛的有关 GIS 的网址(<http://www.geo.ed.ac.uk/home/giswww.html>),其中一些还提供了 GIS 在万维网上成功应用的实例。

表 1.3 几例地理数据及其大致的数据量

地 理 数 据 geographical dataset	数 据 量 data volume
澳大利亚 Noosa 郡土地利用分布 (约 734 平方公里,包含 235 个土地单元)	6.1×10^5 字节 (610 KB)
新加坡全国道路网 (约含 18 000 个路段)	4.5×10^6 字节 (4.5 MB)
中国人口密度分布 (以县级行政区为统计单位)	10^7 字节 (10 MB)
全球地表高程点数据 (30 米间距)	10^{12} 字节 (10^3 GB)

地理信息系统软件包括执行地理数据输入、存储、管理、处理、分析和输出功能的计算机程序以及用户接口。数据输入软件用于地图、影像的数字化,或将通过野外观测、航空或卫星遥感等手段收集到的数据转换成标准的数据格式输入到计算机中。数据存储与管理软件是根据一定的地理数据模型和数据结构建立地理数据库,以实现有组织、有结构地存储有关地理现象的地理位置、专题属性和空间关系方面的数据。数据处理软件用于数据误差的分析、地图比例尺的改变、数据结构的转换、地图坐标系统的变换、地图图幅边缘数据的匹配等等。数据分析软件执行基本的空间分析功能,比如地理实体几何特征的量测、距离分析、地图叠置分析、地形分析、网络分析等等。这些基本的空间分析功能可以按照一定的顺序和规则结合起来使用,以模拟特定的地理过程或解决某一应用问题。数据输出软件则以适合于用户阅读的方式,如地图、图表,显示地理数据以及分析和模拟结果。用户接口或用户界面是 GIS 软件系统的一个部分,用户通过用户界面执行上述的地理信息系统软件功能。目前,几乎所有的 GIS 软件系统都以图形用户界面为主,用户通过选择用户界面上的菜单项目或指令去实现所希望的功能。一些 GIS 软件还提供应用程序接口,允许用户以系统提供的宏语言(macro language)、文本语言(script language)或高级程序设计语言(如 Visual Basic、C、C++)编写用于特殊应用的计算机程序以扩充系统的功能。

图 1.3 显示了典型的 GIS 软件系统结构,通常称为三层次软件结构(three-tier software architecture)。图形用户界面和应用程序接口形成界面层,数据输入与输出以及数据处理与分析软件构成工具层,数据存储和管理则称为数据管理层。对于单一用户使用的地理信息系