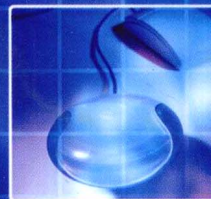




高等学校**应用型特色**规划教材

地理信息系统

原理与实践



李瑞改 吴秀芹 主 编
董贵华 副主编

赠送
电子教案

清华大学出版社

高等学校应用型特色规划教材

地理信息系统原理与实践

吴秀芹 主 编

李瑞改 董贵华 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

作为一门具有广泛而深入应用背景的新兴交叉学科,地理信息系统在国土资源管理、生态监测、宏观决策、灾害预警与防灾减灾、公共卫生、数字林业、精准农业等多方面发挥着越来越重要的作用。同时,鉴于地理信息系统学科具有较强的应用性,在地理信息系统教学工作中凸显其应用就显得更加珍贵。

地理信息系统的基本功能包括空间校正、数据采集、数据编辑、数据管理、空间分析、空间数据展示等方面。本书将理论与实践进行有机融合,在介绍地理信息系统基础理论和基本知识的前提下,结合项目案例,重点突出案例分析和技术实现,帮助初学者掌握地理信息系统的基本原理,熟悉应用项目的分析、组织与实施。

本书可作为高等院校地理、环境、生态、林业等专业的本科生和研究生教材,也可供从事国土资源管理、城市规划、生态监测等部门的科技工作者阅读参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统原理与实践/吴秀芹主编;李瑞改,董贵华副主编. —北京:清华大学出版社,2011.11
(高等学校应用型特色规划教材)

ISBN 978-7-302-26238-1

I. ①地… II. ①吴… ②李… ③董… III. ①地理信息系统—高等学校—教材 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 130933 号

责任编辑:刘天飞 桑任松

装帧设计:杨玉兰

责任校对:周剑云

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:25.25 字 数:605 千字

版 次:2011 年 11 月第 1 版 印 次:2011 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:43.00 元

前 言

地理信息系统(Geographic Information System, GIS)为信息的展示与管理提供了一种新的方法,就是在计算机硬件、软件系统支持下,形成了对研究现实世界(资源与环境)的现状和变迁的各类空间数据以及描述这些空间数据特性的属性进行采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统。自 20 世纪 60 年代以来,地理信息系统(GIS)作为集计算机科学、地理学、测绘遥感学、环境科学、城市科学、空间科学、信息科学和管理科学为一体的新兴边缘学科迅速兴起和发展起来。目前, GIS 已成为地理学等多种学科不可缺少的重要组成部分,广泛用于国民经济的许多部门及领域,比如城市规划与城市设计、生态监测、地质勘探与测量、自然灾害评估、公共安全以及智能交通等。随着人类对空间信息认识的逐步加深,数字城市和数字行业的发展, GIS 应用将越来越深入,越来越宽广,成为国民经济中不可或缺的技术工具。

针对当前同类教材多偏重于理论介绍,学生很难将理论与实际相结合的现实,编者根据多年的教学和实践经验,在前人成果的基础上编写了本书。本书在介绍 GIS 基本理论的同时,更加注重其在实践中的应用。本书紧紧围绕一个典型的项目案例,以理论与实践相结合的方式详细讲解 GIS 的各项功能,寓实践于理论学习的过程中。

全书共 11 章,各章主要内容简述如下:第 1 章为 GIS 概述,与之对应的案例部分将介绍项目案例的数据基础及设计思路;第 2 章介绍 GIS 中的数据及其表达方法,案例部分将帮助读者初识不同类型的空间数据;第 3 章介绍空间参照系统和地图投影,案例部分将帮助读者完成数据搜集、空间校正和不同投影类型之间的转换等问题;第 4 章介绍空间数据的获取与处理,案例部分将帮助读者实现项目中所需数据的采集与处理;第 5 章介绍空间数据的组织与管理,案例部分将介绍如何完成不同数据格式的转换与统一;第 6 章介绍空间分析,案例部分将引导读者实现缓冲区分析、叠加分析和地理分析等项目中需要完成的空间数据分析任务;第 7 章介绍数字地形模型与地形分析;第 8 章介绍空间数据的表现与产品输出,案例部分将介绍如何实现分析结果的显示与输出任务,至此项目的所有任务圆满完成;第 9 章介绍 GIS 标准化;第 10 章介绍 GIS 的行业应用;第 11 章介绍 GIS 最新技术及数字地球。

本书结构经吴秀芹与李瑞改、董贵华多次协商而定,其中前言、第 1 章、第 2 章和第 4 章由东北林业大学李瑞改和北京林业大学吴秀芹完成,第 3 章、第 7 章由中国环境监测总站董贵华和北京林业大学吴秀芹完成,第 5 章和第 11 章由李瑞改、方舟、于鸣完成;第 8 章由佳木斯勘察测绘研究院黄昌胜完成,第 6 章、第 9 章、第 10 章由国防专利局刘欣完成。案例由李瑞改和吴秀芹设计、制作完成。全书由吴秀芹统稿并定稿。程伟和王曼曼参与了校稿。

本书内容丰富,结构紧凑,可作为大学相关专业的本科生和研究生教材,亦可作为大专院校教师以及从事 GIS 研究及应用技术人员的技术参考书。

由于作者水平有限,书中疏漏和错误之处在所难免,恳请广大读者批评、指正。

目 录

第 1 章 地理信息系统概论	1
1.1 地理信息系统的基本概念	1
1.2 地理信息系统的组成	4
1.3 地理信息系统的主要功能	5
1.4 地理信息系统的学科体系	7
1.4.1 地理信息系统的学科定义	7
1.4.2 地理信息系统的学科特点	8
1.4.3 地理信息系统的相关学科 与技术	8
1.5 地理信息系统的发展	10
1.5.1 地理信息系统发展简史	10
1.5.2 我国 GIS 的发展	12
1.5.3 地理信息系统理论研究的前 沿领域	13
1.6 本书案例	16
1.7 ArcGIS 软件介绍	17
1.7.1 ArcGIS 的结构体系	17
1.7.2 ArcGIS Desktop 应用环境	20
第 2 章 GIS 中的数据及其表达 方法	30
2.1 数据含义与数据类型	30
2.1.1 现实世界中的空间要素	30
2.1.2 空间数据特征	32
2.1.3 空间数据的类型	33
2.1.4 空间数据的拓扑关系	34
2.2 空间数据模型	35
2.2.1 空间数据模型的基本概念	35
2.2.2 空间数据模型的类型	36
2.2.3 GIS 空间数据模型的学术 前沿	38
2.3 数据的测量尺度	41
2.4 地理信息系统的数据质量	43
2.4.1 数据质量的基本概念	43
2.4.2 空间数据质量评价	44
2.4.3 空间数据质量问题的来源	45
2.4.4 常见空间数据的误差分析	47
2.4.5 空间数据问题的检查方法	49
2.5 空间数据的元数据	50
2.5.1 元数据的概念及类型	51
2.5.2 空间数据元数据的应用	53
2.5.3 在地理信息系统中使用 元数据的原因	54
案例 初识数据	55
第 3 章 空间参照系统和地图投影	71
3.1 地球的形状和大小	71
3.1.1 地球的形状	71
3.1.2 地球的大小	72
3.2 地球椭球体基本要素	72
3.2.1 地球椭球体	72
3.2.2 地图比例尺	73
3.2.3 高程	73
3.3 坐标系	74
3.3.1 地理坐标系	74
3.3.2 平面坐标系	75
3.3.3 直角坐标系的平移和旋转	75
3.4 地图投影的基本问题	77
3.4.1 地图投影的概念	77
3.4.2 地图投影的变形	77
3.4.3 地图投影的分类	78
3.4.4 地图投影的选择	80
3.4.5 世界地图的投影	81
3.4.6 半球地图的投影	85
3.4.7 分洲、分国地图常用投影	86
3.4.8 各大洲地图投影	88
3.4.9 中国各种地图投影	89
3.5 我国常用的地图投影选择	89
3.5.1 高斯-克吕格投影	89
3.5.2 亚尔勃斯投影	93

3.5.3 正轴等角割圆锥投影.....	93	第 6 章 空间分析	167
3.6 面向数字地球的投影问题.....	94	6.1 空间数据查询及量算.....	167
案例 空间数据配准.....	94	6.1.1 空间查询.....	167
第 4 章 空间数据的获取与处理.....	108	6.1.2 空间量算.....	169
4.1 数据源种类.....	108	6.1.3 空间插值.....	173
4.2 地理信息系统的数据采集.....	111	6.2 栅格数据分析的基本方法.....	184
4.2.1 图形数据的采集.....	111	6.2.1 聚类、聚合分析.....	184
4.2.2 属性数据的采集.....	116	6.2.2 复合分析.....	185
4.2.3 空间数据和非空间数据的 连接.....	120	6.2.3 追踪分析.....	188
4.3 空间数据的编辑与录入后处理.....	121	6.2.4 窗口分析.....	189
4.3.1 误差或错误的检查与编辑.....	121	6.3 矢量数据分析的基本方法.....	190
4.3.2 投影转换.....	123	6.3.1 包含分析.....	190
4.3.3 数据格式的转换.....	124	6.3.2 缓冲区分析.....	191
4.3.4 图幅拼接.....	124	6.3.3 叠置分析.....	195
4.3.5 拓扑生成.....	125	6.3.4 网络分析.....	198
案例 空间数据采集与获取.....	128	6.4 空间统计分类分析.....	202
第 5 章 空间数据的组织与管理.....	143	6.4.1 主成分分析.....	203
5.1 空间区域框架及图层结构.....	143	6.4.2 层次分析.....	205
5.2 GIS 内部数据结构——矢量结构和 栅格结构.....	144	6.4.3 系统聚类分析.....	208
5.2.1 地理数据的显式和隐式 表示.....	144	6.4.4 判别分析.....	212
5.2.2 地理实体的矢量数据结构及 其编码.....	146	案例 空间分析.....	214
5.2.3 规则格网空间数据模型的栅 格数据结构及其编码.....	153	第 7 章 数字地形模型与地形分析 ...	226
5.3 空间数据库.....	158	7.1 概述.....	226
5.3.1 地理信息系统与一般管理 信息系统的比较.....	158	7.1.1 DTM 和 DEM.....	226
5.3.2 空间数据库.....	159	7.1.2 DEM 的表示法.....	226
5.3.3 GIS 中空间数据库的组织 方式.....	160	7.2 DEM 的主要表示模型.....	227
5.3.4 常见的商业空间数据库管理 系统.....	162	7.2.1 规则格网模型.....	227
5.3.5 常见的开源空间数据库管理 系统.....	163	7.2.2 等高线模型.....	228
案例 空间格式转换.....	165	7.2.3 不规则三角网模型.....	230
		7.2.4 层次模型.....	231
		7.3 DEM 模型之间的相互转换.....	231
		7.3.1 不规则点集成生成 TIN.....	231
		7.3.2 格网 DEM 转成 TIN.....	233
		7.3.3 等高线转成格网 DEM.....	234
		7.3.4 利用格网 DEM 提取 等高线.....	235
		7.3.5 TIN 转成格网 DEM.....	236
		7.4 DEM 的建立.....	236

7.4.1 DEM 数据采集方法.....	236	案例 地理信息系统的数据输出.....	290
7.4.2 数字摄影测量获取 DEM.....	237	第 9 章 地理信息系统标准化	316
7.4.3 DEM 数据质量控制.....	238	9.1 地理信息系统标准化简介.....	316
7.5 基于 DEM 的三维空间分析.....	239	9.1.1 地理信息系统标准化的	
7.5.1 表面积计算.....	239	内容.....	316
7.5.2 体积计算.....	241	9.1.2 地理信息系统标准化的意义	
7.5.3 坡度计算.....	242	和作用.....	319
7.5.4 坡向计算.....	244	9.2 ISO/TC211 地理信息标准.....	322
7.5.5 剖面分析.....	245	9.2.1 已完成的地理信息标准.....	322
7.5.6 可视性分析.....	247	9.2.2 正在制订的地理信息标准.....	330
7.5.7 谷脊特征分析.....	249	9.3 开放式地理数据互操作规范——	
7.5.8 水文分析.....	250	OpenGIS.....	332
7.6 DEM 应用分析实例.....	253	9.3.1 开放式地理数据模型.....	332
7.6.1 格网 DEM 应用.....	253	9.3.2 OpenGIS 服务.....	333
7.6.2 三角网 DEM 分析应用.....	258	9.3.3 信息团体模型.....	334
案例 利用 DEM 数据进行地形分析.....	260	9.4 国内外地理信息系统标准化组织.....	337
第 8 章 空间数据的表现与产		第 10 章 地理信息系统的行业	
品输出	261	应用	339
8.1 专题地图设计.....	261	10.1 城市规划、建设管理.....	339
8.1.1 专题地图的基本要素.....	261	10.2 农业气候区划.....	342
8.1.2 制图区域范围的确定.....	262	10.3 大气污染监测管理.....	345
8.1.3 图幅基本轮廓的设计.....	263	10.4 道路交通管理.....	348
8.1.4 专题信息表现.....	263	10.5 地震灾害和损失估计.....	352
8.1.5 地图符号的设计与制作.....	264	10.6 林业领域应用.....	354
8.2 制图综合.....	271	10.7 社会公共安全与应急服务.....	357
8.2.1 制图综合的概念.....	272	10.8 医疗公共卫生.....	360
8.2.2 影响制图综合的主要因素.....	272	10.9 军事.....	363
8.2.3 制图综合的基本方法.....	274	第 11 章 GIS 最新技术及数字	
8.3 地理信息的可视化.....	278	地球	367
8.3.1 基本概念.....	278	11.1 组件式 GIS.....	367
8.3.2 地理信息的二维可视化.....	280	11.1.1 组件式 GIS 的概念.....	367
8.3.3 地理信息的三维可视化.....	281	11.1.2 组件式 GIS 的特点.....	368
8.3.4 虚拟地理环境.....	282	11.1.3 组件式 GIS 的设计与	
8.4 地理信息系统产品输出.....	283	开发.....	369
8.4.1 地理信息输出系统.....	283	11.1.4 组件式 GIS 的发展.....	369
8.4.2 地理信息系统输出产品		11.2 WebGIS.....	370
类型.....	284	11.2.1 分布式地理信息系统.....	370
8.4.3 电子地图系统简介.....	286		

11.2.2	WebGIS.....	375	11.3.6	3S 集成综述.....	384
11.3	3S 集成.....	380	11.4	数字地球简介.....	385
11.3.1	遥感简介.....	380	11.4.1	数字地球的产生背景及其 概念.....	385
11.3.2	GPS 简介.....	381	11.4.2	数字地球的基本框架.....	385
11.3.3	GIS 与遥感的集成及具体 技术.....	382	11.4.3	数字地球的技术基础.....	386
11.3.4	RS 与 GPS 的集成.....	383	11.4.4	数字地球的应用.....	388
11.3.5	GIS 与 GPS 的集成及具体 技术.....	383	参考文献.....		390

第 1 章 地理信息系统概论

任何一门学科的发展都与人类生产活动中的技术进步有着千丝万缕的联系，地理学也不例外。信息时代对地理信息的采集、组织、管理、集成分析以及显示输出提出了更高的要求，而地理学的传统研究方法在当今社会的强大需求面前表现出一定的苍白无力，因此需要在研究方法上进行变革，由此出现了地理信息系统(GIS)。一经出现，地理信息系统就以其强大的信息表现与整合能力吸引了业内外用户。它能够在很大程度上提高地理决策的准确性和科学性，完善信息的展示方式，展示出更加广阔的前景。本章将介绍地理信息系统的基本概念、研究内容和学科发展。

1.1 地理信息系统的基本概念

1. 信息和数据

信息(Information)作为信息论的基本概念，同时也是近代科学的专门术语，它被广泛应用于社会的各个领域。但是，要准确给出它的定义并不是一件简单的事情。狭义信息论将信息定义为“两次不定性之差”，即指人们获得信息前后对事物认识的差别；广义信息论则认为，信息是指主体(人、生物或机器)与外部客体(环境、其他人、生物或机器)之间相互联系的一种形式，是主体和客体之间的一切有用的消息或知识，是表征事物特征的一种普遍形式。本书采用的定义为：信息是向人或机器提供关于现实世界新的事实的知识，是数据、消息中所包含的意义，它不随载体和物理设备形式的改变而改变。

信息通常用数据进行描述和表达，以便进行交流、传递和共享。数据并不单单指数字，准确地说，数据是指某一目标定性、定量描述的原始资料，包括数字、文字、符号、图形、图像以及它们被转换成的数据等形式。数据是用以载荷信息的物理符号，数据本身并没有任何意义，而且将数据还原为信息的过程也因人而异，不同的人由于知识背景、文化背景的不同，对数据的解读往往并不完全一致。

信息描述的是事实，只要能被人类或计算机理解，就可以以任何形式出现。例如，让 4 个人在一个十字路口记录来往的车辆，将获得 4 组手写的通过车辆的数目记录。也可以在路口设置自动检测设备，由其自动记录所通过车辆的数目记录。虽然数据采集方式不同，信息的表达方式也不同，但是都可以为人们所理解和应用。

数据是用来描述信息的，这种信息被收集、排序并格式化，可以直接由计算机软件使用。信息(笔记本上潦草的手写记录或符号、人的声音、手势等)是无法供软件直接使用的，人们必须处理这些信息，把它们转换为数据。现在有很多技术能够实现这一过程，而且随着研究的深入，信息采集与处理的水平也在不断提高。

信息与数据是不可分离的。信息由与物理介质有关的数据表达，数据中所包含的意义就是信息。数据是记录下来的某种可以识别的符号，具有多种多样的形式，也可以由一种数据形式转换为其他数据形式，但其中包含信息的内容不会改变。数据是信息的载体，但

不是信息。只有理解了数据的含义,对数据做出解释,才能提取数据所包含的信息。对数据进行处理(运算、排序、编码、分类和增强等)就是为了得到数据中包含的信息。虽然在日常生活中对数据和信息的概念分得不是很清楚的,但它们有着本质的区别。可以把数据比作原材料,而信息是对原材料处理的结果。信息可以离开信息系统而独立存在,也可以离开信息系统的各个组成和阶段而独立存在;而数据的格式往往与计算机系统有关,并随载体的形式而改变。

2. 地理信息和地理数据

地理信息是有关地理实体的性质、特征和运动状态的表征以及一切有用的知识,是地理数据中所隐含的实质内容,是对地理数据的解释。地理数据是指表征地理圈或地理环境固有要素或物质的数量、质量、分布特征、联系和规律的数字、文字、符号、图像和图形等的总称。在地理信息中,各实体和要素的空间位置是通过数据(坐标)来进行标识的,这是地理信息区别于其他类型信息最显著的标志。

1) 地理数据的特征

总体说来,地理数据包括三部分特征。

(1) 空间特征(定位数据)。

空间特征表示对象的空间位置或现在所处的地理位置。空间特征又称为几何特征或定位特征,既可以根据大地参照系定义(比如大地经纬度坐标),也可以定义为物体间的相对位置关系(比如空间上的距离、邻接、重叠、包含等),它是地理数据的独有特征。例如,哈尔滨位于长春北部,包含七区十二县;黑龙江省与吉林省邻接等信息都属于空间特征;台湾省的几何外形酷似一只香蕉等,都是描述地理实体的地理位置或空间特征。

(2) 属性特征(非定位数据)。

属性特征表示实际现象或特征,例如变量、级别、数量特征和名称等。可以根据属性的范围、表达方式和研究尺度进行表述,比如城市名称需要用名称来表述,而城市人口则需要用数字来表述。对全国城市的大气状况进行描述时,最好用级别来表述,以便进行分类管理。

(3) 时间特征(时间尺度)。

时间特征指对象或物体随时间的变化,其变化的周期千差万别,与地理要素的实质息息相关,有超短期的、短期的、中期的和长期的等。可以按时间尺度将地理信息划分为超短期的(如台风、地震)、短期的(如江河洪水、秋季低温)、中期的(如土地利用、作物估产)、长期的(如城市化、水土流失)、超长期的(如地壳变动、气候变化)等。不同的研究内容对于时间特征的把握是不同的,它严重影响信息的采集周期,对于地壳变动数据,其数据采集周期可以很长;对于土地利用变化情况,其数据采集周期则需要短一些。研究目的、研究地点也会影响信息的采集周期。例如采集土地利用变化,对于敏感地区(如特殊军事作战区)则需要每天对数据进行采集,土地局需要每年对数据进行一次或多次采集,以便进行详细而切实的土地管理;而环境规划部门则可以每五年对数据进行一次采集。时态数据对环境模拟分析非常重要,越来越受到地理信息系统学界的重视,而时态数据的表达与管理则比较困难,有待进行进一步的研究。

2) 地理信息的特征

通俗地讲, 地理信息是与空间位置相关的信息。据不完全统计, 当前 70% 的信息与空间位置有关, 所以地理信息与地理数据在当前信息社会具有非常重要的作用。地理信息除了具有普通信息的一般特性外, 还具有如下的独特特性。

(1) 空间分布性。地理信息具有空间定位的特点, 这是地理信息最主要的特点, 也是区别于其他信息最主要的特点。地理信息表现在先定位后定性, 离开了其空间分布性, 地理信息也就丢失了其本质性的内容。同时, 它在区域上还表现出分布式的特点, 其属性表现为多层次, 因此地理数据库的分布或更新也应是分布式的。

(2) 数据量大。地理信息既有空间特征, 又有属性特征, 信息的表达可以通过矢量模型或栅格模型来完成。不管采用哪种模型, 都需要同时记录其空间特征和属性特征, 所以数据量相对普通信息的数据表达要繁杂一些。地理现象具有时间特征, 导致地理数据根据时间的不同而具有不同的版本, 从而增加了其数据量。最重要的是, 随着当今遥感和全球定位系统的不断发展, 海量、多时相、多分辨率的遥感数据应运而生, 为地理信息系统的发展和应用奠定了良好的基础。

(3) 信息载体多样性。地理信息的第一载体是物质和能量, 除此之外, 还有描述地理实体的文字、数字、地图和影像等符号信息载体, 以及纸质、磁带、光盘、硬盘和闪存 U 盘等物理介质载体。对于地图, 它不仅是信息的载体, 也是信息的传播媒介。

3. 地理信息系统

地理信息系统(Geographic Information System, GIS), 有时也称为“地理资讯系统”和“资源与环境信息系统”, 它是在计算机硬件、软件系统支持下, 对研究现实世界(资源与环境)的现状和变迁的各类空间数据以及描述这些空间数据特性的属性进行采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统, 并作为集计算机科学、地理学、测绘遥感学、环境科学、城市科学、空间科学、信息科学和管理科学为一体的新兴边缘学科迅速发展起来。

目前, 地理信息系统的发展如火如荼, 以其强大的功能得到了各行各业的喜爱, 为信息的展示与管理提供了一种新的方法。采用地理信息系统将现实世界中的地理实体根据其特性抽象为不同的层, 其中每一层表现一类实体, 例如道路、居民点等。其中的实体用点、线、面、体等具有准确空间信息的实体来表示, 然后对多个图层的数据进行集成分析, 再借助地理信息系统强大的数据集成与分析能力, 可以得到传统方法或常规信息系统难以得到的重要信息, 从而实现地理现象发展与演化的模拟和预测。地理信息系统的发展给传统的地理学带来了研究方法的变革, 如果说地图学是地理学的第二代语言, 它用图形和符号来描述空间实体, 那么地理信息系统就是地理学的第三代语言, 它用数字来描述空间实体。

GIS 重视对拓扑结构的管理, 重视拓扑关系的自动生成, 强调与空间相关的查询统计、空间分析以及三维模型分析。地理信息系统中的“地理”概念并非指地理学, 而是广义地指地理坐标参照系统中的坐标数据、属性数据以及以此为基础演绎出来的知识。

地理信息系统具有以下 4 个方面的特征。

(1) 具有采集、管理、分析和输出多种地理空间信息的能力。

(2) 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。

(3) 具有公共的地理定位基础,所有的地理要素都要按经纬度或者特有的坐标系统进行严格的空定位,才能使具有时序性、多维性、区域性特征的空间要素进行复合和分解,使其中隐含的信息得以显示和表达,形成空间和时间上连续分布的综合信息,从而支持空间问题的处理与决策。

(4) 由计算机系统空间地理数据管理,并由计算机程序模拟常规或专门的地理分析方法,处理空间数据,产生有用信息,从而完成人类难以完成的任务。

从外部来看,地理信息系统表现为计算机软硬件系统,其内涵却是由计算机程序和地理数据组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交换来仿真。

1.2 地理信息系统的组成

地理信息系统主要由四部分组成:计算机硬件系统、计算机软件系统、空间数据以及系统的组织和维护人员(用户)。其核心是计算机硬件和软件,空间数据反映了应用地理信息系统的信息内容,用户决定了系统的工作方式。

1. 计算机硬件系统

计算机硬件系统是计算机系统中实际物理设备的总称,操作 GIS 所需的一切计算机资源都可以包含进去,这是开发、应用地理信息系统的基础。目前的 GIS 软件可以在很多类型的硬件上运行,从中央计算机服务器到桌面计算机,从单机到网络环境。一个典型的 GIS 硬件系统除了计算机外,还包括数字化仪、扫描仪、绘图仪、打印机、磁带机等外部设备。根据硬件配置规模的不同可分为简单型、基本型和网络型。GIS 系统的规模、精度、速度、功能、形式、使用方法甚至软件,都与硬件有极大的关系,受硬件指标的支持或制约。GIS 由于其任务的复杂性和特殊性,必须由计算机设备支持。

2. 计算机软件系统

计算机软件系统是指必需的各种程序,例如支持信息的采集、处理、存储管理和可视化输出的计算机程序系统。对于 GIS 应用而言,通常包括计算机系统软件、地理信息系统软件和其他支持软件、应用分析程序等。地理信息系统软件提供存储、分析和显示地理信息的功能和工具。主要的软件部件有:输入和处理地理信息的工具,数据库管理系统工具,支持地理查询、分析和可视化显示的工具以及使用这些工具的图形用户界面等。

3. 空间数据

数据是 GIS 应用系统最为基础也是最主要的组成部分。空间数据是 GIS 的操作对象,是由现实世界经过模型抽象的实质性内容确定。一个 GIS 应用系统必须建立在准确合理的地理数据基础上。数据来源包括室内数字化和野外采集,以及从其他数据的转换。数据包括空间数据和属性数据,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。空间数据库不仅包括几何(图形)数据和属性数据库,还包括图形和非图形数据、定性和定量数据、影像数据以及多媒体数据等。几何和属性数据库也可以合二为一,即属性数据存在于几何数据中。数据库管理系统是地理信息系统的核心,通过数据库管理系统,

可以完成对地理数据的输入、处理、管理、分析和输出。数据库管理系统的精度与质量直接决定了地理信息系统的用途及质量。

4. 系统组织和维护人员(用户)

人员是 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。仅有系统硬件和数据还不能构成完整的地理信息系统, 需要用户进行系统组织、管理和维护, 以便进行数据更新, 系统扩充完善以及应用程序开发, 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。对于合格的系统设计、运行和使用来说, 地理信息系统专业人员是地理信息系统应用的关键, 而强有力的组织则是系统运行的保障。这些人员既包括从事设计、开发和维护 GIS 系统的技术专家, 也包括那些使用该系统并解决专业领域任务的领域专家。一个 GIS 系统的运行班子应由项目负责人、信息技术专家、应用专业领域技术专家以及若干程序员和操作员组成。

5. 方法

这里的方法主要是指空间信息的综合分析方法, 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来的。GIS 应用就是利用这些模型对大量空间数据进行分析、综合, 以解决实际问题。例如基于 GIS 的生态系统健康模型、林业资源评价模型、灾害损失评估模型等, 这是地理信息系统能够满足各行业应用的关键部分, 也是地理信息系统中的重要组成部分。

从数据处理的角度出发, 地理信息系统又分为数据输入子系统、数据存储与检索子系统、数据分析和处理子系统以及数据输出子系统。

(1) 数据输入子系统: 负责数据的采集、预处理和转换。

(2) 数据存储与检索子系统: 负责组织和管理数据库中的数据, 便于数据查询、更新与编辑处理。

(3) 数据分析与处理子系统: 负责对数据库中的数据进行计算和分析、处理, 例如面积计算、储量计算、体积计算、缓冲区分析、空间叠置分析等。

(4) 数据输出子系统: 以表格、图形和图像方式将数据库中的内容和计算、分析结果输出到显示器、绘图纸或透明胶片上。

1.3 地理信息系统的主要功能

当今, 地理信息系统应用的范围不断广大, 与地理信息系统的庞大功能是分不开的。地理信息系统在资源管理、城镇规划、灾害管理等方面具有无与伦比的优势, 为信息的提取、问题的解决提供了很好的解决途径。下面介绍地理信息系统的主要功能。

1. 数据采集、检验与编辑

该功能主要用于获取数据, 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、数据值逻辑上的一致性。通常, 地理信息系统数据库的建设投资占整个系统投资的 70% 以上, 因此信息共享与自动化数据录入成为地理信息系统研究的主要内容。目前, 可用于地理信息系统数据采集的方法与技术很多, 而自动化扫描输入与遥感数据的集成最为人

们所关注,扫描数据的自动化编辑与处理仍是地理信息系统研究的关键技术。

2. 数据处理

初步的数据处理主要包括数据格式化、转换和概括。数据格式化是指不同数据结构之间的转化;数据转换包括数据格式转化、数据比例尺的变换。在数据格式的转换方式上,矢量到栅格的转换要比其逆运算快速、简单。数据比例尺的变换涉及数据比例尺缩放、平移和旋转等方面,其中最为重要的是投影变换;数据概括包括数据平滑、特征集结等。目前,地理信息系统所提供的数据概化功能极弱,与地图综合的要求还有一定的差距。

3. 数据的存储与组织

这是一个数据集成的过程,也是建立地理信息系统数据库的关键步骤,涉及空间数据和属性数据的组织。栅格模型、矢量模型或栅格与矢量混合模型是常用的空间数据组织方法。空间数据结构的选择在一定程度上决定了系统所能执行的数据与分析的功能。混合型数据结构利用了矢量与栅格数据结构的优点,为许多成功的地理信息系统软件所采用。目前,属性数据的组织方式有层次结构、网络结构和关系数据库系统等,其中关系数据库系统是应用最为广泛的数据库系统。

在地理数据组织与管理中,最为关键的是如何将空间数据与属性数据融为一体。目前大多数系统都是将二者分开存储,通过公用项来连接。这种组织方式的缺点是,数据定义与数据操作相分离,无法有效地记录地物在时间域上的变化。目前,时域地理信息系统和面向对象数据库的设计都在努力解决这个根本问题。

4. 查询、检索功能

查询、检索是地理信息系统以及许多其他自动化地理数据处理系统应具备的最基本的分析功能。GIS 的查询功能可以概括为 4 种类型:属性查询、图形查询、关系查询和逻辑查询。

(1) 属性查询。GIS 允许用户在图形环境下,借助鼠标单击屏幕上的图形要素,以检索相关的属性要素;也可以在屏幕上指定一个矩形或多边形范围,检索该区域内所有图形的相关属性。GIS 还允许用户在属性环境下,按照一定的逻辑条件查询属性数据。对检索得到的数据,可以在屏幕上显示,也可以生成报表输出。

(2) 图形查询。在 GIS 图形环境下,用户可以根据分层编码检索图形数据,也可以根据属性特征值查询相应的图形数据,还可以按照一定的区域范围查询图形数据,或者按照一定的逻辑条件查询相应的图形数据。

(3) 关系查询。空间目标的拓扑关系有两类:一种是几何元素的结构关系,比如点、线、面之间的组成关系,可用于描述和表达几何元素的形态;另一种是空间目标之间的位置关系,可以描述和表达几何元素之间的分布特征,比如邻接关系、包含关系等。GIS 的空间关系查询就是检索与指定目标位置相关的空间目标,通常包括:面—面关系查询、线—线关系查询、点—点关系查询、线—面关系查询、点—线关系查询以及点—面关系查询 6 种。

(4) 逻辑查询。逻辑查询是指用数据项与运算符组成的逻辑表达式,检索相应的图形或属性,其中数据项可以是数据库中的任意项,运算符可以是所有逻辑运算符和算术运算符。

5. 空间分析功能

空间分析是基于地理对象的位置和形态特征的一种空间数据分析技术，其目的是提取和传输空间信息。通过空间分析可以揭示数据库中数据所包含的更深刻、内在的规律和特征。因此，空间分析是地理信息系统的核心功能，也是地理信息系统与其他计算机系统的根本区别。

(1) 叠置分析。叠置分析是将同一地区、同一比例尺的两个或两个以上的数据层进行叠置，生成一个新的数据层，让新数据层的各个目标具有各叠置层目标的多重属性或各叠置层目标属性的统计特征。前者称为合成叠置，后者称为统计叠置。

(2) 缓冲区分析。缓冲区分析是根据数据库的点、线、面实体，自动建立其周围一定范围内的缓冲区多边形，这是 GIS 重要的和基本的空间分析功能之一。

(3) 泰森多边形分析。泰森多边形可用于定性分析、统计分析、邻近分析等。例如可用离散点的性质来描述泰森多边形区域的性质，用离散点的数据来计算泰森多边形的数据。判断一个离散点与其他离散点相邻时，可根据泰森多边形直接得出。

(4) 地形分析。地性分析的主要是利用 DEM 和 DTM 模型来描述地表起伏状况，用于提取各种地形参数，比如坡度、坡向、粗糙度等，并进行通视分析、地表曲面拟合、地形自动分割等分析。

(5) 网络分析。网络关系是自然界和人类社会的客观存在，比如水系网、交通网、通讯网等。GIS 的网络分析就是针对客观的网络关系和人类社会的需要，进行诸如最佳路径分析、最佳流量配置、服务网点布设、洪水汇流过程分析等。

(6) 显示与输出功能。地理信息系统为用户提供了许多用于显示地理数据的工具，其表达形式既可以是计算机屏幕显示，也可以是报告、表格、地图等硬拷贝图件，尤其要强调的是地理信息系统的地图输出功能。一个好的地理信息系统应能够提供一种良好的交互式的制图环境，供用户设计、制作出具有高品质的地图产品。

1.4 地理信息系统的学科体系

1.4.1 地理信息系统的学科定义

地理信息系统是在计算机硬件、软件系统支持下，对研究现实世界(资源与环境)的现状和变迁的各类空间数据以及描述这些空间数据特性的属性进行采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统，并作为集计算机科学、地理学、测绘遥感学、环境科学、城市科学、空间科学、信息科学和管理科学为一体的新兴边缘学科迅速发展起来。

GIS 重视对拓扑结构的管理，重视拓扑关系的自动生成，强调与空间相关的查询统计、空间分析和三维模型分析。

地理信息系统中“地理”的概念并非指地理学，而是广义地指地理坐标参照系统中的坐标数据、属性数据以及以此为基础演绎出来的知识。

1.4.2 地理信息系统的学科特点

GIS 是计算机科学、地理学、测量学、地图学等多门学科综合的交叉学科。同时, GIS 也是一门多学科综合的边缘学科, 但其核心是计算机科学, 基本技术是数据库、地图可视化及空间分析。

1. 多学科集成、渗透性较强

地理信息系统是多学科、多技术交叉的空间信息系统。理论上依托于地理学、测绘学、数学等基础学科, 技术上取决于计算机软硬件技术、航空航天技术、遥感与雷达技术等的发展, 应用上则依赖于具体应用学科(比如交通、城市规划、资源管理等)理论和技术的发展。

2. 学科与技术的统一体

GIS 是一门学科, 用以描述一切与地理(广义的地理概念)相关的内容, GIS 集空间数据采集、存储、管理和分析于一体, 是由计算机科学、测绘科学、遥感技术、信息科学、管理科学和应用学科组成的新兴交叉边缘学科。同时 GIS 又是一个技术系统, 即以空间数据为处理对象, 以空间数据组织和处理为基础, 采用地学模型和地学分析方法, 及时提供多种空间地理信息和动态地理信息, 为研究环境过程、分析发展趋势、预估规划决策等服务的计算机技术系统。学科发展促成 GIS 理论体系的形成, 而技术系统发展则加强了 GIS 的应用范围。

3. 发展与内容更新的快速性

短短四五十年发展历史, GIS 却经历了以空间数据地学处理为主的开拓发展期, 注重地理信息管理的巩固发展期, 以空间决策与支持分析为特点的理论和技术突破阶段以及广泛应用的社会化阶段。其技术发展、内容更新之快, 非其他学科可比, 特别是 20 世纪 90 年代以来, 随着计算机技术的快速发展, 地理信息系统表现得异常活跃, 在内容上从地理信息到地理信息科学再到地球信息科学的形成, 技术上则从地理信息系统到组件式地理信息系统再到开放式地理信息系统、网络地理信息系统等。目前 GIS 正朝着以系统为中心向以数据为中心转变, 从面向地图处理向面向客观空间实体与关系处理的转变, 由单纯的二维处理向多维处理的转变以及从管理型向分析决策型转变的方向发展。

4. 空间抽象性

地理信息系统中的数据, 无论是可见的还是不可见的, 都是自然环境的一种表现形式, 是数字化的现实世界, 并且建立在对自然环境的抽象和描述基础上。由于计算机的数字化特征, 空间对象须离散化地表达, 即把空间对象抽象表达为点、线、面、体等具有位置和属性特征的地理实体。

1.4.3 地理信息系统的相关学科与技术

地理信息系统 20 世纪 60 年代开始迅速发展起来的地理学研究新技术, 是多种学科交叉的产物, 也是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, 而这些学科的发展反过来不同程度地影响地理信息系统技术与

方法的革新。为了更好地掌握并深刻理解地理信息系统，有必要认识和理解与地理信息系统相关的学科。

地理学是一门研究人类生活空间的学科，地理学研究空间分析的历史悠久，它为 GIS 提供了一些空间分析的方法与观点，成为 GIS 部分理论的依托。地理学的许多分支学科，比如地图学、大地测量学等都与 GIS 有着密切的关系。另外，地理信息系统也以一种新的思想和新的技术手段解决地理学的问题，使地理学研究的数学传统得到充分发挥。地理信息系统的相关学科如图 1-1 所示。

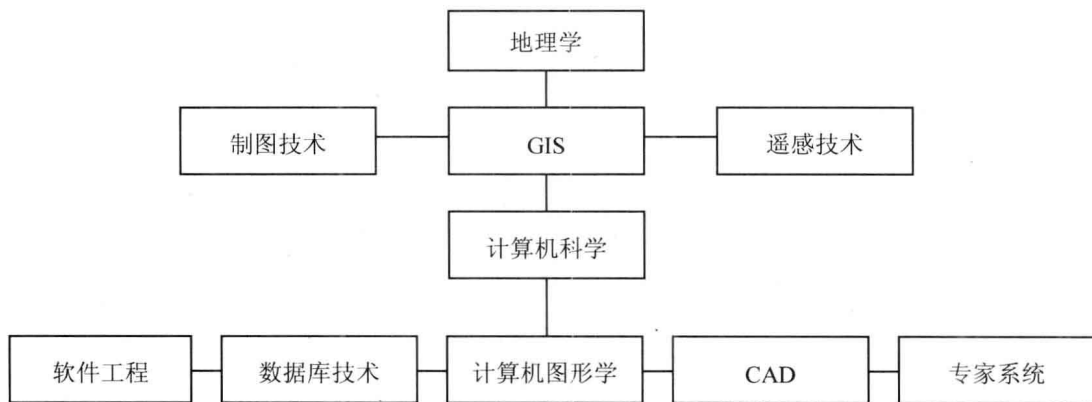


图 1-1 地理信息系统相关学科

1. 地理学

地理学是一门以人地关系为研究对象的科学。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据。地理信息系统的发展则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传统得到了充分发挥。

地理系统的内部及其外界，不仅存在着物质和能量的流动，还存在着信息流，这种信息流使得系统中许多似乎无关的要素被联系起来，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、地图和图表都包含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并使其关联；系统软件对空间数据编码、解码和处理；用户对 GIS 发出指令，GIS 按约定方式做出解释后，获得用户指令信息，调用系统内的数据并提取相应的信息，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信息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。

2. 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 年代初，在计算机图形学的基础上出现了计算机化的数字地图。地理信息系统与计算机的数据库技术(Database Technology)、计算机辅助设计(CAD)、