

全国高等院校测绘专业规划教材

免费赠送
PPT电子课件
及习题答案

地理信息系统原理

主 编 刘茂华
副主编 成 遣 白海丽 王 岩

吸纳同类教材精华，内容全面
配备各类精选习题，易学易用
应用全新规范标准，推陈出新



清华大学出版社

全国高等院校测绘专业规划教材

地理信息系统原理

主 编 刘茂华

副主编 成 遣 白海丽 王 岩

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了地理信息系统的相关基础知识,阐述了空间数据库技术,论述了数据获取及处理的方法,重点介绍了地理信息系统的空间查询和空间分析功能以及地理信息系统常用的设计方法及评价等;最后以“天地图·辽宁”为例,阐述了其设计方法及部分功能模块,使读者能够形象、生动地理解地理信息系统实际体现形式及用途。

本书可作为工科院校测绘类、规划类、环境类、农林水利类、遥感类、地学类等本、专科及高等职业教育的教学用书。在实际教学实践中,任课老师可以根据具体情况,对本书内容进行选择教学。

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/刘茂华主编. —北京:清华大学出版社, 2015

(全国高等院校测绘专业规划教材)

ISBN 978-7-302-41757-6

I. ①地… II. ①刘… 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(2015)第 243691 号

责任编辑:张丽娜

装帧设计:杨玉兰

责任校对:周剑云

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 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

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印刷者:三河市君旺印务有限公司

装订者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:17.5 字 数:424千字

版 次:2015年12月第1版 印 次:2015年12月第1次印刷

印 数:1~1500

定 价:34.00元

产品编号:057939-01

前 言

随着科学技术的发展,地理信息系统越来越为人们所熟悉,也越来越多地出现在人们的视野当中。地理信息系统是利用计算机技术,对空间数据进行采集、处理、存储、查询与分析等操作,从而获得人们日常生活和专题性需要的一门综合学科。地理信息系统目前得到了社会各界的认可,并且由于其本身的学科特点,使其能够与多学科融合,例如计算机、测绘、地理学、林学、遥感学、农学、地学等。对于测绘等专业本科生,也是一门重要的专业课。

本书特点是在介绍了地理信息系统的理论知识的基础上,以实际开发的案例为参考,全面阐述地理信息系统的原理与应用。本书全面地介绍了地理信息系统的基本理论,阐述了空间数据库技术和空间数据获取及处理方法,论述了地理信息系统的设计和评价,并介绍了“天地图·辽宁”的设计方法和部分应用。具体章节设置为:第1章绪论、第2章空间数据组织、第3章空间数据获取与处理、第4章空间数据库、第5章空间查询与空间分析、第6章GIS专题应用、第7章GIS产品输出与地图制图、第8章GIS的设计与评价、第9章GIS案例。

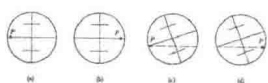
本书刘茂华任主编,成遣、白海丽、王岩任副主编,具体分工如下:沈阳建筑大学刘茂华编写第1、6章;沈阳农业大学成遣编写第2、3章;河北工业大学白海丽编写第4、5章,辽宁省有色地质局勘查总院孙秀波参与编写第4章;沈阳建筑大学王岩、孙立双编写第7章;大连金源勘测技术有限公司于树良、张爱华编写第8章;辽宁省基础地理信息中心王峰、易智瑞(中国)信息技术有限公司沈阳分公司艾中天、梅小迪编写第9章;最后由刘茂华、王岩统稿。感谢易智瑞(中国)信息技术有限公司沈阳分公司王彬、石姣及季晓光对本书编写给予的大力支持。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请各位专家和读者不吝赐教。

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1	2.4 地理信息的空间数据结构	38
1.1 地理信息系统的基本概念	1	2.4.1 矢量数据结构及编码	38
1.1.1 地理信息系统的相关概念	1	2.4.2 栅格数据结构及编码	47
1.1.2 GIS 含义	3	2.4.3 矢、栅结构的比较与相互转换	56
1.2 GIS 的发展	4	习题	68
1.2.1 国外 GIS 的发展概况	4	第 3 章 空间数据获取与处理	69
1.2.2 我国 GIS 的发展概况	6	3.1 数据源的种类	69
1.2.3 当代 GIS 的发展概述	7	3.2 空间数据的采集	71
1.3 GIS 的组成	10	3.2.1 空间数据的分类与编码	72
1.3.1 系统硬件	11	3.2.2 属性数据的采集	73
1.3.2 GIS 软件	14	3.2.3 空间数据的采集	76
1.3.3 GIS 的数据	15	3.3 空间数据编辑与处理	83
1.3.4 应用人员	17	3.3.1 误差或错误的检查与编辑	83
1.3.5 应用模型	17	3.3.2 数学基础变换	85
1.4 GIS 的功能	18	3.3.3 数据格式转换	88
1.4.1 GIS 的基本功能	18	3.3.4 坐标变化	89
1.4.2 GIS 的应用功能与范围	20	3.3.5 图像解译	91
习题	22	3.3.6 图幅拼接	92
第 2 章 空间数据组织	23	3.4 空间数据编辑算法	94
2.1 地理空间及其表达	23	3.4.1 点的捕捉算法	94
2.1.1 地理空间信息	23	3.4.2 线的捕捉算法	94
2.1.2 地理空间信息的描述	23	3.4.3 面的捕捉算法	96
2.1.3 地图对空间实体的描述	29	3.5 数据质量评价与控制	97
2.1.4 影像对空间实体的描述	31	3.5.1 空间数据质量的相关概念	97
2.1.5 GIS 对空间实体的表达	31	3.5.2 空间数据质量评价	98
2.2 地理空间数据及其特征	32	3.5.3 空间数据的误差源及误差传播	99
2.2.1 空间数据基本特征	32	3.5.4 误差类型分析	100
2.2.2 空间数据分类	33	3.5.5 空间数据质量的控制	100
2.3 地理信息的空间关系	35	习题	102
2.3.1 地理空间数据的拓扑关系	35	第 4 章 空间数据库	103
2.3.2 地理空间数据的方向关系	36	4.1 数据库概述	103
2.3.3 地理空间数据的度量关系	37	4.1.1 传统数据库	103



4.1.2 空间数据库	104	5.6 数字地形模型与地形分析	156
4.2 数据模型	105	5.6.1 DTM 与 DEM	157
4.2.1 传统数据模型	105	5.6.2 DEM 的主数据模型	157
4.2.2 面向对象数据模型	108	5.6.3 DEM 模型的相互转化	158
4.2.3 空间数据模型	113	5.6.4 数字地形分析	159
4.2.4 三维空间数据模型	119	5.7 空间数据的其他分析	166
4.3 空间数据索引	119	5.7.1 空间信息分类	166
4.3.1 简单网格空间索引	120	5.7.2 空间统计分析	170
4.3.2 二叉树索引	120	5.7.3 空间插值	174
4.3.3 R 树索引和 R ⁺ 树索引	121	习题	182
4.3.4 CELL 索引	122	第 6 章 GIS 的专题应用	183
4.3.5 四叉树索引	123	6.1 GIS 应用概述	183
4.4 空间数据库设计	124	6.1.1 概况	183
4.4.1 需求分析	124	6.1.2 农业	183
4.4.2 概念设计	125	6.1.3 林业	184
4.4.3 逻辑设计	126	6.1.4 土地管理	185
4.4.4 物理设计	127	6.1.5 环境资源管理	185
4.4.5 数据库的实现	127	6.1.6 宏观预测、辅助决策	186
4.4.6 数据库的运行与维护	128	6.2 GIS 在资源管理、区域规划及 辅助决策方面的应用	186
习题	128	6.2.1 资源管理	186
第 5 章 空间查询与空间分析	129	6.2.2 区域规划	187
5.1 空间分析建模	129	6.2.3 辅助决策	188
5.1.1 空间分析模型	129	6.3 3S 集成	189
5.1.2 空间分析建模	130	6.3.1 3S 集成概述	189
5.2 空间查询与量算	131	6.3.2 GIS 与 RS 集成	190
5.2.1 空间数据的查询	131	6.3.3 GIS 与 GNSS 的集成	191
5.2.2 空间数据的量算	133	6.3.4 RS 与 GNSS 集成	193
5.3 缓冲区分析	138	6.3.5 3S 集成的意义	194
5.3.1 缓冲区分析基本概念	138	6.4 组件式 GIS	194
5.3.2 矢量数据缓冲区的生成	139	6.4.1 ComGIS 概述	194
5.3.3 栅格数据的缓冲区	142	6.4.2 COM 技术	195
5.4 叠置分析	142	6.5 WebGIS	197
5.4.1 矢量数据的叠置分析	143	6.5.1 Web 原理	198
5.4.2 栅格数据的叠置分析	145	6.5.2 WebGIS 特点	198
5.5 网络分析	149	6.5.3 分布式 WebGIS	199
5.5.1 图论基本概念	149	6.6 虚拟现实技术	201
5.5.2 网络数据结构	151	6.6.1 虚拟现实技术概述	201
5.5.3 网络分析功能	153		

6.6.2 VR 分类	202	习题	243
6.6.3 VR 组成及关键技术	203	第 8 章 GIS 的设计与评价	244
6.7 移动 GIS	204	8.1 GIS 的设计方法	244
6.7.1 移动 GIS 概述	204	8.1.1 GIS 设计概述	244
6.7.2 移动 GIS 特点	205	8.1.2 结构化设计模式	245
6.7.3 移动 GIS 组成	205	8.2 GIS 设计与开发的步骤	248
6.8 数字地球	209	8.2.1 可行性研究	249
6.8.1 数字地球的概念	209	8.2.2 系统设计	250
6.8.2 DE 涵盖的技术学科	210	8.2.3 建立系统的实施计划	250
6.8.3 DE 的意义	211	8.2.4 系统实验	251
6.8.4 智慧地球	211	8.2.5 系统运行	251
习题	212	8.2.6 系统设计案例	252
第 7 章 GIS 产品输出与地图制图	213	8.3 GIS 评价	253
7.1 地图定义及分类	213	习题	254
7.1.1 纸质地图	214	第 9 章 GIS 案例	255
7.1.2 数字地图	217	9.1 “天地图·辽宁”的意义	255
7.1.3 动态地图	219	9.2 “天地图·辽宁”的建设原则及 依据	256
7.2 地图的色彩	219	9.2.1 建设原则	256
7.2.1 色彩的基本属性	220	9.2.2 编制依据	256
7.2.2 三原色	220	9.2.3 建设技术标准与规范	256
7.2.3 色彩的混合和色彩的感觉	221	9.3 “天地图”省、市级节点建设 技术要求	257
7.2.4 地图色彩的设计	223	9.3.1 技术规范与管理办法	257
7.3 地图符号	225	9.3.2 在线服务数据集	257
7.3.1 地图符号的实质	225	9.3.3 在线服务软件系统	258
7.3.2 地图符号的分类	226	9.3.4 运行支持环境	260
7.3.3 地图符号的视觉变量	227	9.3.5 日常运行管理	261
7.4 地图的注记	230	9.4 “天地图·辽宁”功能简介	261
7.4.1 地图注记的功能	230	9.4.1 系统使用环境	261
7.4.2 地图注记的种类	231	9.4.2 功能模块	262
7.4.3 地图注记的构成	232	习题	270
7.4.4 地名	234	参考文献	271
7.5 制图综合	237		
7.5.1 制图综合的概念	237		
7.5.2 制图综合的基本方法	238		
7.5.3 影响制图综合的基本要素	240		
7.6 地图图面设计	241		

第 1 章 绪 论

进入 21 世纪以来,人类社会从工业经济时代发展到信息时代,作为信息时代浪潮中重要的组成部分,地理信息系统也逐渐被人们认识和接受,并引起政府、企业、科技等相关业界越来越广泛的关注。计算机网络、移动服务等技术为地理信息系统的多元化发展和应用提供了新的平台。电子商务、电子政务、LBS 服务等应用,使地理信息系统又有了新的展示空间,同样也为其进一步的发展提出了更高要求。空间查询、空间分析是地理信息系统的主要功能,相关服务亦基于此,在论述之前,先介绍地理信息系统的一些基本概念。

学习重点:

- GIS 定义及含义
- GIS 组成及功能
- GIS 的发展

1.1 地理信息系统的基本概念

1.1.1 地理信息系统的相关概念

关于地理信息系统(Geographical Information System, GIS)的定义,国际上有很多不同的看法,美国联邦数字地图协调委员会认为“地理信息系统是由计算机硬件、软件和不同的方法组成的系统,该系统设计用来支持空间数据的采集、管理、处理、分析、建模和显示,以便解决复杂的规划和管理问题”,并给出了基本概念框架,如图 1-1 所示。

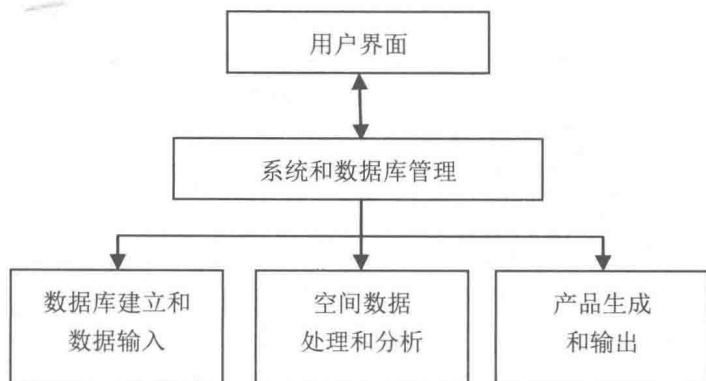
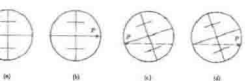


图 1-1 GIS 的基本概念框架

由地理信息系统的名称可得出一些基本的概念,例如信息、系统、地理信息、信息系统等。



1. 信息与数据

信息与数据是 GIS 中常用的两个术语。从科学的角度讲,数据是信息的载体,而信息是数据的内容。信息是关于客观事实的可通信的知识。信息是指有新内容、新知识的消息,是经过加工以后、对客观世界产生影响的数据,具有事实性、时效性、不相关性、等级性。数据是记录客观事物的、可鉴别的符号。数据本身无意义,具有客观性。信息与数据既有联系,又有区别,主要表现在以下三方面。

(1) 信息是加工后的数据。信息是一种经过选摘、分析、综合的数据,它可以使用户更清楚地了解正在发生什么事。所以,数据是原材料,信息是产品,信息是数据的含义。

(2) 数据和信息是相对的。表现在,一些数据对某些人来说是信息,而对另外一些人而言则可能只是数据。例如,在运输管理中,运输单对司机来说是信息,这是因为司机可以从该运输单上知道什么时候要为什么客户运输什么物品;而对负责经营的管理者来说,运输单只是数据,因为从单张运输单中,他无法知道本月的经营情况,并不能掌握现有可用的司机、运输工具等。

(3) 信息是观念上的。因为信息是加工了的数据,所以采用什么模型(或公式)、多长的信息间隔时间来加工数据,以获得信息,是受人对客观事物变化规律的认识制约,由人确定的。因此,信息是揭示数据内在的含义,是观念上的。

2. 系统

系统是相互联系、相互作用的诸多元素的综合体。系统有三个特性:一是多元性,系统是多样性的统一,差异性的统一;二是相关性,系统不存在孤立元素组分,所有元素或组分间相互依存、相互作用、相互制约;三是整体性,系统是所有元素构成的复合统一整体。系统的含义包括以下几点。

(1) 系统是一个动态和复杂的整体,相互作用结构和功能的单位。

(2) 系统是能量、物质、信息流不同要素所构成的。

(3) 系统往往由寻求平衡的实体构成,并显示出震荡、混沌或指数行为。

(4) 一个整体系统是由任何相互依存的集或群暂时的互动部分。

3. 地理信息

地理信息(Geographical Information)是指与空间地理分布有关的信息,它表示地表物体和环境固有的数量、质量、分布特征,联系和规律的数字、文字、图形、图像等的总称。地理信息属于空间信息。

地理信息除具备信息的一般特性外,还具备以下独特的特性。

(1) 区域性。地理信息属于空间信息,是通过数据进行标识的,这是地理信息系统区别于其他类型信息最显著的标志,是地理信息的定位特征。区域性是指按照特定的经纬网或公里网建立的地理坐标来实现空间位置的识别,并可以按照指定的区域进行信息的并或分。

(2) 多维性。多维性具体是指在二维空间的基础上,实现多个专题的三维结构,即在一个坐标位置上具有多个专题和属性信息。例如,在一个地面点上,可取得高程、污染、交通等多种信息。

(3) 动态性。动态性主要是指地理信息的动态变化特征,即时序特征。可以按照时间尺度将地球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,从而使地理信息常以时间尺度划分成不同时间段信息。这就要求及时采集和更新地理信息,并根据多时相区域性指定特定的区域得到的数据和信息来寻找时间分布规律,进而对未来做出预测和预报。

4. 信息系统

信息系统是一种对各种输入的数据进行加工、处理,产生针对解决某些方面问题的数据和信息。其主要内容是为产生决策信息而按照一定要求设计的一套有组织的应用程序系统。

信息系统一般分为管理信息系统(Management Information System, MIS)和决策支持系统(Decision Support System, DSS)。

MIS 使信息资源推动社会进步,获得良好的社会与经济效益,必须研制开发一套软件系统,以支持对信息的收集、加工、传递、存取、提供、应用等各环节的事务处理,提高工作效率和业务管理水平。DSS 在收集、存储、提供大量信息资料的基础上,建立能综合分析、预测发展、判断事态变化的模型,根据大量的原始数据信息,自动做出符合实际的决策方案。

GIS 属于信息系统中的空间信息管理系统范畴。

1.1.2 GIS 含义

由 GIS 的定义,可以得出以下基本含义。

(1) GIS 的物理表达是计算机系统。该系统由若干个子系统组成,例如数据处理、数据分析、功能输出等,并且以计算机硬件和软件为依托,实现这些子系统功能。

(2) GIS 的研究对象是地理实体。GIS 操作的是地理实体数据,即空间数据。所谓的地理实体,是指在现实世界中再也不能划分为同类现象的现象。地理实体的集合构成了 GIS 中的地理数据库,地理实体通常分为点状实体、线状实体、面状实体和体状实体,复杂的地理实体由这些类型的实体构成。地理实体数据通过(X、Y)坐标串构成的矢量数据结构或者像元系列组成的栅格数据结构的形式存储,为 GIS 的功能实现提供数据支持。

(3) GIS 的优势在于它的空间分析功能。地理数据库中存储地理实体的空间数据、属性数据及时间数据,混合存储的数据结构和集成表达,使其具有独特的空间分析功能、快速的空间查询功能以及强大的图形表达方式,以及地理过程的演化模拟和空间决策支持功能。这正是 GIS 与其他 MIS 的最大区别之处,也是 GIS 研究和应用的核心部分。

(4) GIS 与地学等相关科学关系密切。GIS 的核心内容是它的空间数据部分,而空间数据的来源离不开测绘学;GIS 反映的是空间地理实体,所以与地理学关系十分密切;当然还包括地质学、林学、农学等。测绘学为 GIS 提供了高精度和不同空间尺度的数据,而且测绘理论直接可以应用到空间数据的变换和转换处理。地理学是一门研究人—地相互关系的科学,研究自然界里的生物、物理、化学过程以及探求人类活动与资源环境间相互协调的规律,这为 GIS 提供了有关空间分析的基本观点与方法,成为 GIS 的基础理论依托。

GIS 根据其研究范围,可分为全球性信息系统和区域性信息系统;根据其研究内容,可分为专题信息系统和综合信息系统;根据其使用的数据结构,可分为矢量信息系统、栅格信息系统和混合型信息系统,如图 1-2 所示。

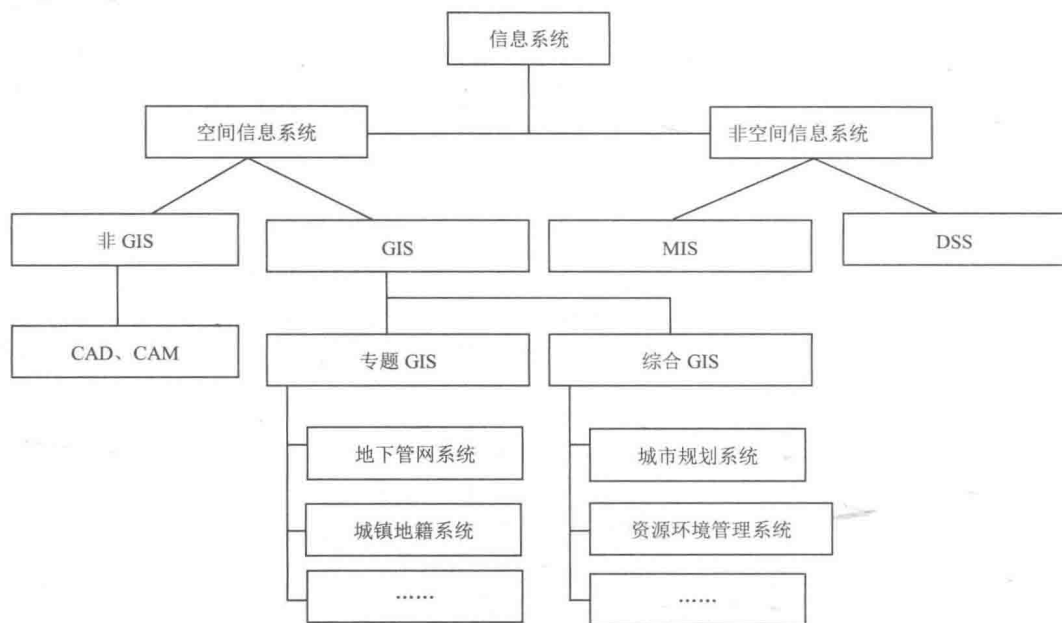
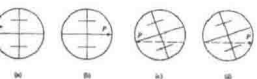


图 1-2 信息系统分类

测绘工程及其他专业学习《地理信息系统原理与应用》后,要求通过对 GIS 的基本知识和基本理论的学习,利用相关的 GIS 软件,能够熟练地应用于本专业的相关数据处理和数据分析,并能够独立完成简单的 GIS 程序设计与开发。

1.2 GIS 的发展

1.2.1 国外 GIS 的发展概况

大约 35 000 年前,在拉斯考克(Lascaux)附近的洞穴墙壁上,法国的 Cro Magnon 猎人画下了他们捕猎动物的图案。与这些动物图案相关的是一些描述迁移路线的轨迹线条和符号。这些早期记录符合了现代地理资讯系统的二元素结构:一个图形文件对应一个属性数据库。

18 世纪,地形图绘制的现代勘测技术得以实现,同时还出现了专题绘图的早期版本,例如:科学方面或人口普查资料。约翰·斯诺在 1854 年用点来代表个例,描绘了伦敦的霍乱疫情,这可能是最早使用地理方法的位置。他对霍乱分布的研究指向了疾病的来源——位于霍乱中心区域百老汇街的一个被污染的公共水泵。约翰·斯诺将泵断开,最终终止了疫情。

20 世纪初期,将图片分成层的“照片石印术”得以发展。它允许地图被分成各图层,例如一层表示植被,另一层表示水。该技术特别适用于印刷轮廓,这是一个劳力集中的任务,但它们有一个单独的图层,意味着它们可以不被其他图层上的工作混淆。这项工作最初在玻璃板上绘制,后来,塑料薄膜被引入,具有更轻、使用较少的存储空间、柔韧等优势。当所有的图层完成后,再由一个巨型处理摄像机结合成一个图像。彩色印刷技术引进后,层的概

念也被用于创建每种颜色单独的印版。尽管后来层的使用成为当代 GIS 的主要典型特征之一，前面所描述的摄影过程本身并不被认为是一个 GIS，因为这个地图只有图像而没有附加的属性数据库。

20 世纪 60 年代早期，在核武器研究的推动下，计算机硬件的发展使通用计算机“绘图”的应用得到发展。

1967 年，世界上第一个真正投入应用的 GIS 由联邦林业和农村发展部在加拿大安大略省的渥太华研发。罗杰·汤姆林森(Roger Tomlinson, 见图 1-3)博士开发的这个系统被称为加拿大 GIS(CGIS)，用于存储、分析和利用加拿大土地统计局(CLI, 使用的 1:50 000 比例尺，利用关于土壤、农业、野生动物、水禽、林业和土地利用的地理信息，以确定加拿大农村的土地能力)收集的数据，并增设了等级分类因素来进行分析。

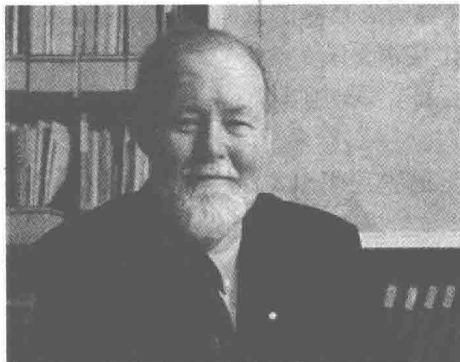
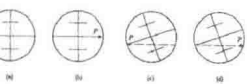


图 1-3 GIS 之父：罗杰·汤姆林森

CGIS 是“计算机制图”应用的改进版，它提供了、资料数字化/扫描功能。它支持一个横跨大陆的国家坐标系统，将线编码为具有真实的嵌入拓扑结构的“弧”，并在单独的文件中存储属性和区位信息。由于这一结果，汤姆林森被称为“GIS 之父”。

20 世纪 70 年代是 GIS 的发展时期。在这一期间，计算机发展到第三代，内存容量大增，运算速度达到 10^6 秒级，特别是大容量直接存取设备——磁盘的使用，为地理数据的录入、储存、检索、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 GIS 朝着实用化方向发展。例如，从 1970—1976 年，美国地质调查所就建成了 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。其他一些发达国家，如加拿大、联邦德国、瑞典等国，也先后发展了自己的 GIS。同时，一些商业公司开始活跃，GIS 软件在市场上受到欢迎，同时管理问题也开始受到重视。据 IGU 统计，在 20 世纪 70 年代，约有 300 个 GIS 系统投入使用，其中较完整的系统软件就有 80 个之多。1980 年，美国地质调查局出版了《空间数据处理计算机软件》的报告，基本总结了 1979 年以前世界各国 GIS 的发展概况。此外，马布尔(D. F. Marble)等拟订了处理空间数据的计算机软件登录的标准格式，对全部软件做了系统的分类，提出 GIS 发展研究的重点是空间数据处理的算法、数据结构和数据库管理三方面。同时，许多大学(如美国纽约州立大学等)开始注意培养 GIS 方面的人才，创建了 GIS 实验室。因此，GIS 这一技术受到了政府部门、商业公司和大学的普遍重视，成为引人注目的领域。

20 世纪 80 年代是 GIS 普及和推广应用的阶段。由于计算机硬件技术，GIS 系统软件和



应用软件的发展,使得它的应用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。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。在 20 世纪 80 年代中, GIS 软件的研制和开发也取得了很大成绩,仅 1989 年市场上有报价的软件就达 70 多个,并且涌现出一批有代表性的 GIS 软件,如 Arc/Info、IGDX/MRS、Tigris、Microstation、SICAD、GenaMap、System 9 等。它们可在工作站或微机上运行。可以说,20 世纪 80 年代是国际上 GIS 发展具有突破性的年代。

进入 20 世纪 90 年代, GIS 技术的应用大大提高了人类处理和分析大量有关地球资源、环境、社会与经济数据的能力,而 GIS 技术及其应用的进一步发展则必须以地球信息机理理论为基础。世纪之交,由于 GIS 的应用日益广泛,加上航空和航天遥感、全球定位系统(GPS)、数字网络(Internet)和 GIS 等现代信息技术的发展及其相互间的渗透和整合,逐渐形成了以 GIS 为核心的地球空间信息集成化技术系统,为解决区域范围更广、复杂性更高的现代地学问题提供了新的分析方法和技术保证;同时,随着“数字地球”的提出,这些现代信息技术的综合发展及其应用的日益深广,掀起了全球变化研究与对地观测计划的新高潮,促使一门新兴的交叉学科“地理信息科学”的脱颖而出。这个时期, GIS 已经渐变地含有地理信息科学的含义和意思。

1.2.2 我国 GIS 的发展概况

我国 GIS 的起步稍晚,但发展势头相当迅猛,大致可分为以下三个阶段。

(1) 起步阶段。20 世纪 70 年代初期,我国开始推广电子计算机在测量、制图和遥感领域中的应用。随着国际遥感技术的发展,我国在 1974 年开始引进美国地球资源卫星图像,开展了遥感图像处理和解译工作。1976 年召开了第一次遥感技术规划会议,形成了遥感技术试验和应用蓬勃发展的新局面,先后开展了京津唐地区红外遥感试验、新疆哈密地区航空遥感试验、天津渤海湾地区的环境遥感研究、天津地区的农业土地资源遥感清查工作。长期以来,国家测绘局系统地开展了一系列航空摄影测量和地形测图,为建立 GIS 数据库打下了坚实的基础。解析和数字测图、机助制图、数字高程模型的研究和使用也同步进行。1977 年诞生了第一张由计算机输出的全要素地图。1978 年,国家计委在黄山召开了全国第一届数据库学术讨论会。所有这些都为 GIS 的研制和应用做了技术上的准备。

(2) 试验阶段。进入 20 世纪 80 年代之后,我国执行“六五”“七五”计划,国民经济全面发展,很快对“信息革命”做出热烈响应。在大力开展遥感应用的同时, GIS 也全面进入试验阶段。在典型试验中,主要研究数据规范和标准、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多项专题的试验研究。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,建成了全国 1:100 万地图数据库系统和全国土地信息系统、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和规划部门也获得了认可。在国内召开了多次关于 GIS 的国际学术讨论会。1985 年,中国科学院建立了“资源与环境信息系统国家级重点开放实验室”,

1988年和1990年武汉测绘科技大学先后建立了“信息工程专业”和“测绘遥感信息工程国家级重点开放实验室”。我国许多大学开设了GIS方面的课程和不同层次的讲习班，培养出了一大批从事GIS研究与应用的硕士和博士。

(3) GIS全面发展及产业化阶段。20世纪80年代末到90年代以来，我国的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。1:100万地图数据库已公开发售，1:25万地图数据库也已完成建库，并开始了全国1:10万地图数据库生产与建库工作，各省测绘局正在抓紧建立省级1:1万基础地理信息系统。数字摄影测量和遥感应用从典型试验逐步走向运行系统，这样就保证向GIS源源不断地提供地形和专题信息。进入20世纪90年代，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，有力地促进了城市GIS的发展。用于城市规划、土地管理、交通、电力及各种基础设施管理的城市信息系统在我国许多城市相继建立。在基础研究和软件开发方面，科技部在“九五”科技攻关计划中，将“遥感、GIS和GPS的综合应用”列入国家“九五”重中之重科技攻关项目。在该项目中投入了相当大的研究经费，支持武汉测绘科技大学、北京大学、中国地质大学、中国林业科学研究院和中国科学院地理研究所等单位开发我国自主知识产权的GIS基础软件。教育部批准地图学与GIS一级学科，一些高校也开设了GIS本科专业。经过几年的努力，中国GIS基础软件与国外的差距迅速缩小，涌现出若干能参与市场竞争的GIS软件，如GeoStar、MapGIS、CityStar、ViewGIS、SuperMap等。在遥感方面，在该项目的支持下，已建立全国基于IK4遥感影像土地分类结果的土地动态监测信息系统。国家这一重大项目的实施，有力地促进了中国遥感和GIS的发展。

1.2.3 当代GIS的发展概述

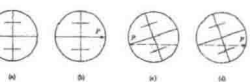
进入21世纪，信息时代瞬息万变，计算机技术飞速发展，网络技术、移动互联技术、空间探测技术逐渐成熟，GIS作为计算机科学、地理学、测量学、地图学等多门学科综合的一种边缘性学科，其发展与其他学科的发展特别是计算机技术的发展密切相关。

近年来GIS技术发展迅速，其主要的原动力来自日益广泛的应用领域对GIS不断提高的要求。另一方面，计算机科学及网络技术的飞速发展为GIS提供了先进的工具和手段，许多计算机领域的新技术，如Internet技术、面向对象的数据库技术、三维技术、图像处理和人工智能技术都可直接应用到GIS中，“地理信息科学”呈现多元化发展的态势，主要发展方向如图1-4所示。

1. GIS与Internet/Intranet的结合与应用

Internet改变了我们的世界。当前，Internet/Intranet正以惊人的速度膨胀和发展，大数据时代需求、云计算等使得Internet已不仅仅是一种单纯的技术手段，它已演变成一种经济方式——网络经济，电子商务的爆炸式发展就是一个佐证。阿里巴巴旗下电商网站2013年“双十一”共计350亿元的交易额，证明了现代人们的生活当中已离不开Internet。大量的应用正由传统的C/S方式(客户机/服务器)向B/S方式(浏览器/服务器)转移，GIS技术也是如此。GIS技术和Internet技术的融合，形成了一种新的技术，即WebGIS。WebGIS有如下优点。

(1) 更广泛的访问范围。客户可以同时访问多个位于不同地方的服务器上的最新数据，



Internet/Intranet 所特有的优势大大地方便了 GIS 的数据管理,使分布式的多数据源的数据管理和合成更易实现。

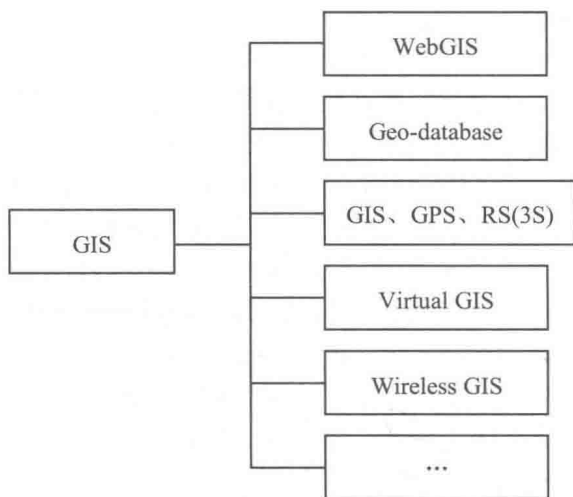


图 1-4 当代 GIS 的主要发展方向

(2) 平台独立性。无论 WebGIS 服务器端使用何种软件,由于使用了通用的 Web 浏览器,用户就可以透明地访问 WebGIS 数据,在本机或某个服务器上分布式部件的动态组合和空间数据的协同处理与分析,实现远程异构数据的共享。

(3) 降低系统成本。普通 GIS 在每个客户端都要配备昂贵的专业 GIS 软件,而用户经常的使用只是一些最基本的功能,这实际上造成了极大的浪费。WebGIS 在客户端通常只需使用 Web 浏览器(有时还要加一些插件),其软件成本与全套专业 GIS 相比明显要节省得多。另外,由于客户端的简单性而节省的维护费用也很可观。

(4) 更简单的操作。要广泛推广应用 GIS,使 GIS 系统为广大的普通用户所接受,而不仅仅局限于少数受过专门培训的专业用户,就要降低对系统操作的要求。通用的 Web 浏览器无疑是降低操作难度的最好选择。

目前,WebGIS 在 Internet/Intranet 上的应用为典型的三层结构。三层结构包括客户机/应用服务器、Web 服务器、数据库服务器。这种方式又称瘦客户机系统。瘦客户机系统是指在客户机端没有或者有很少的应用代码。在以往的终端和主机的体系结构中。所有系统都是瘦客户机系统。现在随着 Internet 技术以及 Java、ActiveX 技术的出现,瘦客户机系统又重新出现。客户机负责数据结果的显示,用户请求的提交。地图应用服务器和 Web 服务器负责响应和处理用户的请求,而数据库服务器负责数据的管理工作。所有的地图数据和应用程序都放在服务器端,客户端只是提出请求,所有的响应都在服务器端完成,只需在服务器端进行系统维护即可,客户端无须任何维护,大大降低了系统的工作量。

现在,WebGIS 得到越来越广泛的应用。应用方向分为两大类,一类为基于 Internet 的公共信息在线服务,为公众提供交通、旅游、餐饮娱乐、房地产、购物等与空间信息有关的信息服务。在国内外的站点上已有了成功的应用,提供了大量的与空间位置有关的各种信息服务。例如,查一下离你所在位置最近的有哪些酒店、餐馆、公交车站等,甚至还能告诉你酒店的价格是多少,餐馆里有什么特色菜;或告诉你从中关村到天安门的公交路线怎么走,需

要坐哪些车，而这些车站在哪里。这些服务看似简单，但与我们的日常生活息息相关，不可缺少。WebGIS 的另外一类应用为基于 Intranet 的企业内部业务管理，如帮助企业进行设备管理、线路管理以及安全监控管理等。随着企业 Intranet 应用的深入和发展，基于 Intranet 的 WebGIS 应用会有越来越多的市场，也是未来的发展方向。

2. 基于数据库技术的海量空间数据管理与更新

GIS 技术的瓶颈之一就是如何解决海量空间数据管理与更新的问题。对于一个城市级的 GIS 系统，其数据量极其巨大，一般达到 GB 的数据量级。和传统的基于文件的管理方式相比，利用面向对象的大型数据库技术能够有效地解决数据管理问题。

在面向对象的空间数据库中，海量地图数据的使用变得更加简单：只需建立单一图层，不必再进行分幅处理。如果用户原来的数据源是分幅的，可将其全部存储到一个图层中，数据库将自动对其进行拼接和索引处理，可形成一个完整的图层。应用时，在客户端只需极少量的编程(实际上只是指定数据源)，就可实现对数据库里数据的动态显示。数据库会根据当前地图客户端的显示视野，自动将此范围内的图形检索出来，送到客户端显示。因此，即使在服务器端的数据是 GB 级的，在客户端的数据量却仅为几十到上百 K 的数量级，大大减轻了客户端系统的配置需求，并减少了网络流量，可通过一般的网络(甚至远程)客户端进行访问。

利用数据库，可建立一种真正的 Client/Server 结构的空间信息系统，不仅解决了海量数据的存储和管理等问题，也解决了多用户编辑、数据完整性和数据安全机制等许多问题，给 GIS 的应用带来更广阔的前景。

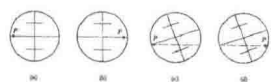
数据更新是世界性难题。很多学者在研究利用相关方法实现数据库动态增量更新，其中时空数据库理论也被应用进来。2009 年，中国测绘科学研究院成立的“国家基础地理信息动态数据库技术”项目成功地研发了我国第一套基础地理信息时空数据库管理系统软件。该软件包括时空数据编辑处理系统(STDBMaker)和时空数据库管理平台(STDBInfo)，获得了多项知识产权登记和专利申请。该项目同时解决了地理空间信息历史数据与现势数据整合和管理的技术难题，形成了时空数据一体化管理解决方案，在土地资源管理、基础地理信息动态管理等方面开展了实际应用，取得了非常好的效果。

3. 高分辨率遥感影像、GIS、GNSS 的结合

现在，高分辨率的遥感(Remote Sensing, RS)影像已逐渐应用到了商业领域中，美国 Quick Bird 遥感影像空间分辨率高达 0.61 m。高分辨率遥感影像意味着人们在数据采集和数据更新上的一场革命。在传统的地图数据采集过程中，人们是采用手工作业方式，这要耗费大量的人力和物力，而且数据更新的时间很长。但是，利用卫星拍摄的高分辨率的遥感影像，人们可以迅速得到几个月前甚至几天前的最新更新数据，成本要降低十几倍，数据更加真实准确。高分辨率的遥感影像在商业领域有很多应用，如国土资源统计、灾害评估、自然环境监测、城建规划等各个领域。

遥感是实时获取和动态处理空间信息，对地观测和分析的先进技术系统，是为 GIS 提供准确可靠信息源和实时更新数据的重要保证。

全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)主要是为遥感实时数据定位提供空间坐标，以建立事实数据库，故可作为数据的空间坐标定位，并能进行数据实时更新。



以 GIS 为核心的 3S(RS、GIS、GNSS)集成,使得人们能够实时地采集数据、处理信息、更新数据以及分析数据。GIS 已发展成为具有多媒体网络、虚拟现实技术以及数据可视化的强大空间数据综合处理技术系统。

上述系统各自独立,又可平行运行。它们之间的集成不仅实现了互补,而且产生了强大的边缘效应,将极大地增强以 GIS 为核心的综合体系的功能。

4. 三维仿真与虚拟现实

三维 GIS 是许多应用领域的基本要求。三维和二维相比,能够帮助人们更加准确真实地认识我们的客观世界。以前的三维显示只能应用在大型的主机和图形工作站上,在极少数的部门如地震预测、石油勘探、航空视景模拟器中得到应用,成本很高。随着计算机技术的发展,硬件成本不断降低,一台普通的 PC 就可以很轻松地进行真三维显示和分析。以前的 GIS 大多提供一些较为简单的三维显示和操作功能,但这与真三维表示和分析还有很大差距。现在三维 GIS 可以支持真三维的矢量和栅格数据模型,以及以此为基础的三维空间数据库,解决了三维空间操作和分析问题。一些网络运营商也重点投入到了三维仿真和虚拟现实,如谷歌、百度、腾讯等都拥有了自己的街景平台,不断为用户提供更好、更完善的体验式服务。

5. 无线移动通信与 GIS 的结合

无线移动通信技术改变了人们的生活和工作方式。随着移动通信技术的发展,特别是 Web 技术的应用,使移动通信技术与 GIS 技术以及 Internet 技术的结合成为可能,形成一种新的技术——无线定位技术(WireLess Location Technology)。因此也衍生一种新的服务,即无线定位服务(WireLess Location Service)。无线定位技术的应用很广泛。利用这种技术,人们用手机就可以查询到自己所在的位置,再利用 GIS 的空间查询分析功能,查到自己所关心的信息。目前,通过手机无线上网、无线资料传输已经成为新的热潮。GIS 与无线通信的结合,使得 GIS 借助于无线通信等技术手段更加深入地融入到了我们的日常生活当中,为我们提供了前所未有的市场与机遇。

GIS 的应用日趋广泛,已成为城市规划、设施管理和工程建设的重要工具,同时还进入了军事战略分析、地学领域、移动通信、文化教育乃至人们的日常生活当中,其社会地位发生了明显地变化。2011 年原国家测绘局更名为国家测绘地理信息局,全国各省市测绘主管部门也相继更名;《地理信息产业“十二五”规划》指出,到 2015 年地理信息产业规模要达到 5000 亿元,2020 年达到万亿,未来年均增长 20%。地理信息产业已经逐渐深入到社会经济和人们日常生活中。

1.3 GIS 的组成

由 GIS 的定义可知,支持数据的采集、存储、管理、处理、分析、建模及显示等功能是 GIS 的最大优势。一般认为 GIS 的组成包括系统硬件、系统软件、数据、应用人员和应用模型,它们的关系如图 1-5 所示。