



遥感与地理信息科学

● 张加龙 刘畅 李素敏 洪亮 陆驰 等 编著



科学出版社

西南林业大学林学一级学科

西南地区生物多样性保育国家林业局重点实验室

云南省普通高等学校“十二五”规划教材

遥感与地理信息科学

张加龙 刘 畅 李素敏 洪 亮 陆 驰 等 编著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本教材是作者在总结多年的教学与实践、国际合作与研究的基础上编写完成的,全书共分两部分,上篇包括地理信息科学的形成与发展、地理信息基础、空间数据结构和数据库、空间数据的采集和处理、地理信息数据的查询和分析、地理信息数据的可视化与制图、地理信息科学研究的热点技术与发展趋势;下篇包括遥感科学的现状与发展、遥感科学基础、遥感传感器与遥感平台、遥感数字图像处理、专题遥感、遥感科学研究热点。教材在归纳遥感与地理信息科学基本理论的基础上,收集和整理了前沿的科研文献案例及国土、林业、农业、海洋、交通、经济等领域的实践,尝试将地理信息科学和遥感科学两部分知识与素材有效地结合,从而提高读者的认知水平和学习兴趣。

本教材可供地理信息、遥感、地理学、测绘学、环境学、城市规划学、计算机科学、林学、农学等相关专业人员使用,也可为科学研究、工程设计与管理等部门的人员提供参考,同时启迪人们对地学科学的研究与实践。

图书在版编目(CIP)数据

遥感与地理信息科学/张加龙等编著. —北京: 科学出版社, 2016.6
ISBN 978-7-03-048310-2

I. ①遥… II. ①张… III. ①遥感技术—高等学校—教材 ②地理信息系统—高等学校—教材 IV. ①TP7 ②P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 108712 号

责任编辑: 苗李莉 朱海燕 / 责任校对: 何艳萍
责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 王 浩

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 6 月第一次印刷 印张: 19 3/4 插页: 2

字数: 462 000

定价: 79.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

作者名单

主 编：张加龙

副主编：刘 畅 李素敏 洪 亮 陆 驰

编 委：曾丽波 张 悦 曹 影

前言

遥感科学是人类通过不同的平台回望地球,从而获取所居住环境参数和信息的一门新兴学科;地理信息科学是面向地理空间数据处理的信息科学分支,是为地理信息的收集、加工、存储、传输和利用的科学。随着 3S (GIS、GPS、RS) 技术的不断集成和广泛应用,遥感与地理信息系统两门技术或科学也逐渐融合,迫切需要相关专业人员不仅能进行遥感图像的认识、获取与利用,而且能对遥感作为一种信息源的空间数据进行采集、存储、管理、分析和应用,从而广泛地应用到国土、林业、农业、环境、交通、城市规划、海洋、国防、卫生、人口、金融等领域的调查、规划、监测、保护中,同时能够加强空间信息的分析、处理及科学探索与实践的能力。随着国内外遥感与地理信息技术与方法发展迅速,两者的结合及应用研究不断深入;我国“地理信息系统”本科专业已于 2013 年修改为“地理信息科学”,使得 RS 与 GIS 逐渐深入到科学研究领域。在多年的教学实践过程中,发现许多专业学生通过很长时间的學習才能掌握 GIS 及 RS,同时能综合应用两门科学技术仍然存在困难;非专业的学生对两门课程产生了极大的兴趣,且有着极大的理论与应用需求。

国内外大多数为单一的“地理信息系统”“遥感”方面的教材,近些年出现了如《地理信息科学导论》《地理信息科学基础理论》《现代遥感科学技术体系及其理论方法》*Geographic Information Systems and Science* 等和“科学”相关的少量教材,但基本和之前出版的教材变化不大,主要在少数章节加入了一些有关“遥感/地理信息”科学的解释,并没有很好地将这两方面的知识融合在一起,只是结合当今的发展趋势和要求,阐述其理论框架和科学实践。受“云南省普通高等学校‘十二五’规划教材”“西南地区生物多样性保育国家林业局重点实验室”及“西南林业大学云南省省级重点学科(林业)”资助,酝酿了几年之久的《遥感与地理信息科学》得以付梓。

本书将“地理信息科学”与“遥感科学”分为上篇、下篇,考虑到“地理信息科学”专业设置更为普遍,我们将“地理信息科学”作为上篇。上篇“地理信息科学”分为 7 个章节:第 1 章,地理信息科学绪论;第 2 章,地理信息基础;第 3 章,空间数据结构和数据库;第 4 章,空间数据的采集和处理;第 5 章,地理信息数据的查询和分析;第 6 章,地理信息数据的可视化与制图;第 7 章,地理信息科学研究的热点技术与发展趋势。下篇“遥感科学”共分为 5 个章节:第 1 章,遥感科学绪论;第 2 章,遥感科学基础;第 3 章,遥感传感器与遥感平台;第 4 章,遥感数字图像处理;第 5 章,专题遥感。

本教材具体编写分工如下:上篇第 1 章和下篇第 1、4 章由张加龙编写;上篇第 2、5 章由刘畅编写;上篇第 3 章由曾丽波编写;上篇第 4 章由张悦编写;上篇第 6 章由曾丽波、陆驰编写;上篇第 7 章、下篇第 5 章由陆驰编写;下篇第 2 章由洪亮编写;下篇第 3 章由李素敏编写;上篇第 3、4、6、7 章和下篇第 5 章由张加龙进行

了修改完善。曹影提供了一定的资料素材，张加龙对全书进行了统稿及修订工作，刘畅对文字内容进行了校对。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

张加龙

2016年3月

E-mail: jialongzhang@swfu.edu.cn

目 录

前言

上篇 地理信息科学

第 1 章 地理信息科学绪论	3
1.1 地理信息科学的形成与发展	3
1.2 地理信息系统与地理信息科学的基本概念	6
1.3 地理信息科学的发展趋势	12
1.4 地理信息科学相关学科及期刊介绍	16
参考题	20
参考文献	20
第 2 章 地理信息基础	21
2.1 地理信息	21
2.2 地理实体表达与分类	22
2.3 空间坐标系统及投影	27
2.4 地理实体的编码	40
参考题	43
参考文献	43
第 3 章 空间数据结构和数据库	45
3.1 空间数据结构	45
3.2 地理信息的数据模型	52
3.3 空间数据库	55
参考题	58
参考文献	59
第 4 章 空间数据的采集和处理	60
4.1 概述	60
4.2 空间数据的采集	62
4.3 空间数据的处理	69
4.4 空间数据的质量检核	87
参考题	93
参考文献	94
第 5 章 地理信息数据的查询和分析	95
5.1 地理信息数据的查询	95

5.2	地统计分析	96
5.3	叠置分析	98
5.4	缓冲区分析	100
5.5	网络分析	101
5.6	DEM 分析	103
5.7	空间分析模型	107
	参考题	108
	参考文献	109
第 6 章	地理信息数据的可视化与制图	110
6.1	地理信息的可视化	110
6.2	地理语言与符号库	112
6.3	地理数据的版面设计与制图	113
6.4	动态地图与虚拟现实	118
6.5	AcGIS 高级制图	120
	参考题	129
	参考文献	130
第 7 章	地理信息科学研究的热点技术与发展趋势	131
7.1	云 GIS	131
7.2	移动 GIS	137
7.3	三维 GIS	144
7.4	Web GIS	153
7.5	影像 GIS	158
	参考题	163
	参考文献	163

下篇 遥感科学

第 1 章	遥感科学绪论	167
1.1	遥感的基本概念	167
1.2	遥感基本内容	167
1.3	遥感数据获取的基本过程	168
1.4	遥感的分类	170
1.5	遥感技术与科学的发展历史	171
1.6	遥感技术与科学的发展趋势与研究热点	174
	参考题	180
	参考文献	180
第 2 章	遥感科学基础	181
2.1	几何光学基础	181
2.2	电磁波与电磁波谱	183

2.3 辐射传输基础.....	199
2.4 地物波谱特性的测定.....	204
参考题	207
参考文献	207
第3章 遥感传感器与遥感平台.....	209
3.1 传感器的类型及性能.....	209
3.2 摄影式成像传感器.....	211
3.3 扫描式成像传感器.....	214
3.4 雷达成像传感器.....	215
3.5 遥感平台	220
参考题	232
参考文献	232
第4章 遥感数字图像处理.....	233
4.1 遥感数字图像的表达.....	233
4.2 遥感图像的统计特征.....	235
4.3 遥感图像的预处理.....	237
4.4 图像的增强和变换.....	241
4.5 遥感图像融合.....	248
4.6 遥感图像的专题分类.....	251
参考题	265
参考文献	265
第5章 专题遥感	267
5.1 热红外遥感	267
5.2 微波遥感	270
5.3 植被遥感	277
5.4 农业遥感	284
5.5 海洋遥感	288
5.6 地质遥感	293
5.7 遥感考古	296
参考题	301
参考文献	301

彩图

上篇 地理信息科学

第 1 章 地理信息科学绪论

大约 35000 年前，克鲁马努人（Cro Magnon）在法国西南部多尔多涅地区的拉斯科洞窟中创造了大量旧石器时代的壁画，史称拉斯科洞窟壁画。这些精美的壁画记录了一些描述动物迁移路线和轨迹的线条和符号。这些古代早期记录符合地理信息系统（geographic information system, GIS）的二元结构：一个图形文件对应一个属性数据库，可以看作是 GIS 的萌芽。

18 世纪以后，现代测绘技术和仪器制造技术有了长足的发展，促进了地图制图技术的发展。19 世纪中叶，摄影技术发明以后，地图的复制和模拟生产发展迅速（张友静，2009）。20 世纪 60 年代早期，计算机硬件的发展导致计算机制图技术的诞生，地理学在这个变革时期也发生着巨大的变化，用计算机来收集、存储和处理各种与空间地理分布有关的图形和属性数据，并希望通过计算机对数据的分析来直接为管理和决策服务（崔铁军，2012），地理信息系统、服务与科学的出现指日可待。

1.1 地理信息科学的形成与发展

1.1.1 第一个地理信息系统——CGIS

1963 年，被称为 GIS 之父的 Roger Tomlinson 博士（图 1.1）首先提出地理信息系统这一术语（胡鹏等，2002）。1966 年，世界上第一个地理信息系统——加拿大地理信息系统（Canada geographic information system, CGIS）诞生，CGIS 被加拿大土地调查部门用于土地利用调查制图。CGIS 被用来存储、处理，以及分析加拿大土地利用数据，数据比例尺为 1：25 万，数据内容包括土壤、农业、休闲、野生动物、水鸟、林业和土地利用等各种信息，用以确定加拿大农村最佳土地利用方式，系统还增设了土地分等定级功能。Roger Tomlinson 在这之前就意识到对大片土地上的投资所做的手工地图分析将是非常昂贵的，认为应该将地图转化为数字形式的地图。但这样的系统直到 1971 年才投入运行，此后，该系统又改进可以存储 10000 幅数字地图（张友静，2009）。

1.1.2 早期的计算机辅助制图和 GIS

1963 年夏，McHarg 在哈佛大学开设了一个生态规划课程，以美国东海岸的 Acadia 国家公园规划为例，展示了大量的分析和规划成果。这次成果虽然也暴露了其在方法论上的缺陷和对水平生态过程分析方面的不足，但显示了 GIS 的强大功能。

1965 年，哈佛大学设计学院获得福特基金的赞助，与麻省理工学院联合成立计算机图形实验室，由 Howard Fisher 主持。实验室在很短的时间内研制出数字地图绘制方法和技术，主要是计算机图形的研究，尤其是在 Fisher 的 SYMAP 软件基础上进行计算机数字地图的研究，使其成为当时国际上广泛使用的软件。

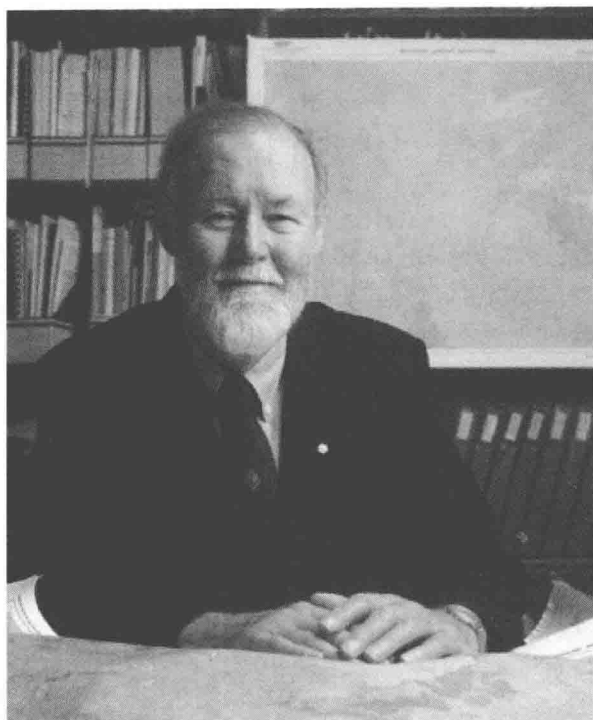


图 1.1 Roger Tomlinson 博士

Roger Tomlinson (1933 年 11 月 17 日~2014 年 2 月 9 日): 出生于英国剑桥, 1951~1952 年曾经在英国皇家空军任飞行员。退伍后他先后在英国 University of Nottingham 和加拿大 Acadia University 大学拿到了地理学和地质学两个学士学位, 在 McGill University 地理系获得硕士学位, University College London 获得博士学位

1966 年, Steninitz 在哈佛大学设计学院开设了一门区域尺度的规划课程, 并应用 SYMAP 在得拉维尔、马里兰和弗吉尼亚半岛开展景观规划研究。这被认为是大规模应用地理信息系统技术进行景观规划的一个实例。在这个 GIS 应用最早的尝试中, 已经包含了许多复杂的分析工作, 包括引力模型、地图叠加分析、加权评价, 分析土地单元对植被或农业种植的适宜性等。1967 年, Steninitz 的研究组开展了一系列基于 GIS 的评价与规划工作, 对 20 世纪 60 年代末和 70 年代初有关城市化进程的研究具有很大影响。从此期间直到 80 年代中期, 实验室研究出了一系列的 GIS 和计算机图像处理软件, 包括 SYMAP、CALFORM、SYMVU、POLYVRT、ODYSSEY、IMGRID、MacGIS 等。在研究和教学过程中培养了一批 GIS 的先驱和当代 GIS 及图像处理行业的重要人物。他们当中包括 Integrgraph 的 David Sinton, ESRI 和 ARC/INFO 的创办人 Jack Dangermond, ERDAS 的创办人 Lawrie Jordan 和 Broce Rado 等 (张友静, 2009)。

1970 年, 美国人口统计局设计出具有拓扑编辑功能的双重独立地图编辑技术 (DIME), 奠定了机助制图数据结构的拓扑学基础; 1972 年, 中国科学院地理研究所开始研制制图自动化系统, 实现了多种曲线光滑、绘制等值线图、统计图和趋势面分析等程序 (刘岳和梁启章, 1978); 1978 年, 解放军测绘学院刘光远 (1980) 实现了“地形图图廓整饰自动化”等; 从 1995 年开始, 计算机制图逐渐走上实用化和规模化阶段, 通过数字制图技术与桌面出版系统的结合, 形成了桌面地图出版系统, 通过激光照排系

统把地图编绘的成果输出成高精度的分色胶片，直接制版印刷，从而使地图生产实现批量化阶段，走上了全数字化生产的发展道路（刘海砚和孙群，1998）。

1.1.3 地理信息系统全面应用

随着技术的进步与社会的需求，GIS 呈现“星火燎原”之势在全世界迅速发展起来。

20 世纪 90 年代以来，随着地理信息产业的建立和地球数字化产品的普及应用，发展进入用户时代。这期间，社会对 GIS 的认识普遍提高，需求大幅度增加，已成为许多国家机构（特别是政府决策部门）必备的工作系统。国家级乃至全球级的地理信息系统已成为公众关注的问题，地理信息系统已被列入用户年代。开发和研究主要集中在下列一些效益评价：三维、四维；虚拟现实技术；空间信息分析的新模式和新方法；空间信息应用模型；空间数据结构和数据模型；人工智能和专家系统的引入；网络结合等。

随着地理信息系统的逐渐深入与应用发展，在积累了大量的数据并建立了相关的应用管理系统和数据应用模型后，人们开始思考如何有效利用数据，并且能对数据进行挖掘产生新的知识，并逐步过渡到科学研究的全球化阶段。

加拿大 Laval 大学（1986 年）和荷兰国际航空摄影与地学学院（ITC）（1989 年）相继成立以“地理信息科学”命名的系或专业（杨开忠和沈体雁，1999）。1992 年 Michael Frank Goodchild（图 1.2）提出了地理信息科学，他认为地理信息科学主要研究在应用计算机技术对信息进行处理、存储、提取，以及管理和分析过程中所提出的一系列基本理论问题和技术问题，如数据的获取和集成、分布式计算、地理信息的认知和表达、空间分析、地理信息基础设施建设、地理数据的不确定性及其对地理信息系统操作的影响、地理信息系统的社会实践等（Goodchild，1992；杨开忠和沈体雁，1999）。



图 1.2 Michael Frank Goodchild 教授

Michael Frank Goodchild 教授是美国科学院地理信息科学院士，现任加州大学圣巴巴拉分校地理系教授。1965 年获得剑桥大学（Cambridge University）物理学学士学位，1969 年获得麦克马斯特大学（McMaster University）地理学博士学位

我国武汉测绘科技大学在 1988 年创建了地理信息工程专业（杨开忠和沈体雁，1999），目前有超过 170 多所高校开设了 GIS 专业。2012 年，教育部高等学校地球科学教学指导委员会提出将“地理信息系统”专业更名为“地理信息科”（汤国安等，2013）。

1.2 地理信息系统与地理信息科学的基本概念

1.2.1 地理信息

1. 地理信息的概念

地理信息是地理数据所蕴含和表达的地理含义，是对有关地理环境中物质的数量、质量、分布特征、联系和规律等的数字、文字、图像和图形等的总称。随着现代科学技术的发展，特别是借助于近代数学、空间科学和计算机科学，人们已经有可能迅速地采集到地理环境中各种地理现象、地理过程的空间位置数据、特征属性数据和随时间变化的数据，并定期和实时地识别、转换、存储、分析、显示和应用这些数据中的信息，这已经成为现代地理科学研究与应用的重要技术方法（黄杏元和马劲松，2008）。

2. 地理信息的特点

1) 空间特征

地理信息是与确定的空间位置联系在一起的，这是地理信息区别于其他类型信息的一个最显著标志。地理信息的定位特征是按照经纬度或空间 X 、 Y 坐标来实现空间位置的，并可以按照指定的区域进行信息的合并或分割。

2) 属性特征

属性即对空间定位数据的补充特性描述信息，如在中国行政区划位置图中，对每一个行政区增加“名称”“面积”等描述性的信息，即在二维空间的定位基础上，按专题来表达多层次的属性信息。

3) 时序特征

地理信息具有时序特征，通常可以按照时间的尺度来区分地理信息，如短期的台风、森林火灾、江河洪水、作物长势等；中长期的土地利用、水土流失、城市扩张、地壳变形等。地理信息的这种动态变化的特征，要求在地理信息的应用中重视自然历史过程的动态变化，及时获取定期更新的地理数据，对过去进行正确的评估和科学的论证，对未来进行合理的预测和预报。

1.2.2 地理信息系统

1. 地理信息系统概念

地理信息系统，关于它确切的全称，多数人认为是 *geographical information system*，英国出版的季刊采用；也有人认为是 *geo-information system*，德国出版的季刊采用。

地理信息系统的概念从不同的人、不同的部门到不同的应用目的，对其认识也不尽

相同。在此，推荐美国联邦数字地图协调委员会（Federal Interagency Coordinating Committee on Digital Cartography, FICCDC）给出的地理信息系统概念，该定义认为“GIS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”。

2. 地理信系统构成

地理信息系统由硬件、软件、数据、人员和应用模型或方法组成。一个适用的地理信息系统，一般要支持空间数据的采集、管理、处理、分析、建模和显示等功能，是一个由多个部分组成的统一体，如图 1.3 所示。

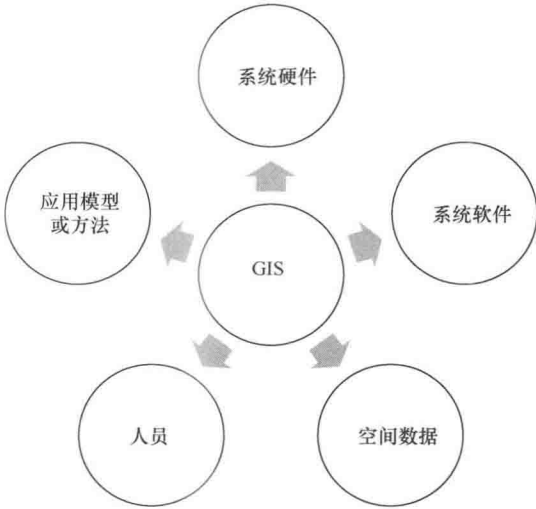


图 1.3 地理信息系统构成

1) 系统硬件

系统硬件包括数据输入设备、数据处理设备和数据输出设备三个部分，如图 1.4 所示。数据输入设备即数字化仪、扫描仪和数字测量设备等。数据处理设备作为系统硬件的核心，它包括从服务器到图形工作站、微机等各种形式的计算机，可用作数据的处理、管理与计算。数据输出设备有绘图仪、打印机和高分辨率显示装置等。

2) 系统软件

地理信息系统软件是整个系统的核心，用于执行地理信息功能的各种操作，包括数据输入、处理、数据库管理、空间分析和数据输出等。一个完整的地理信息系统软件按照功能可以分为地理信息系统功能软件、基础支撑软件和操作系统软件等。

GIS 功能软件常分为基础软件平台和 GIS 应用软件两大类。GIS 基础软件平台的代表性产品，国外的有 ESRI 公司的 ArcGIS(图 1.5)，Integrgraph 公司的 GeoMedia，MapInfo 公司的 MapInfo，Clark Lab 的 IDRISI，开放源代码 GIS 软件 GRASS 等；国产 GIS 软件平台有超图公司的 SuperMap，中地公司的 MapGIS 和吉奥公司的 GeoStar 等。GIS 应用软件是利用 GIS 基础平台上提供的 GIS 数据处理与分析功能开发的，如土地信息管理系

统、城市规划管理地理信息系统、交通地理信息系统等。

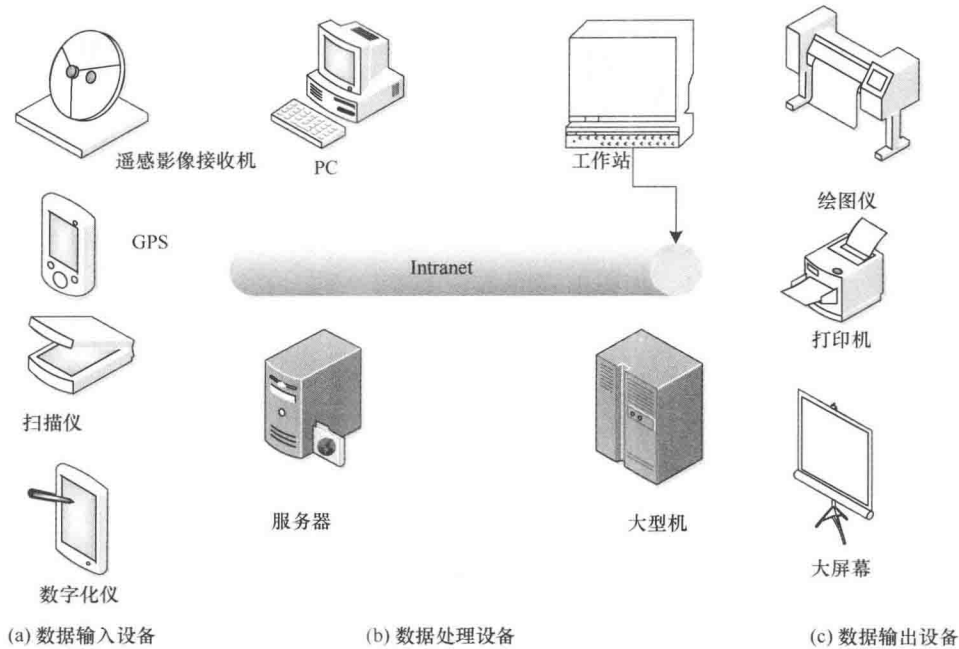


图 1.4 地理信息系统硬件配置 (黄杏元和马劲松, 2008)

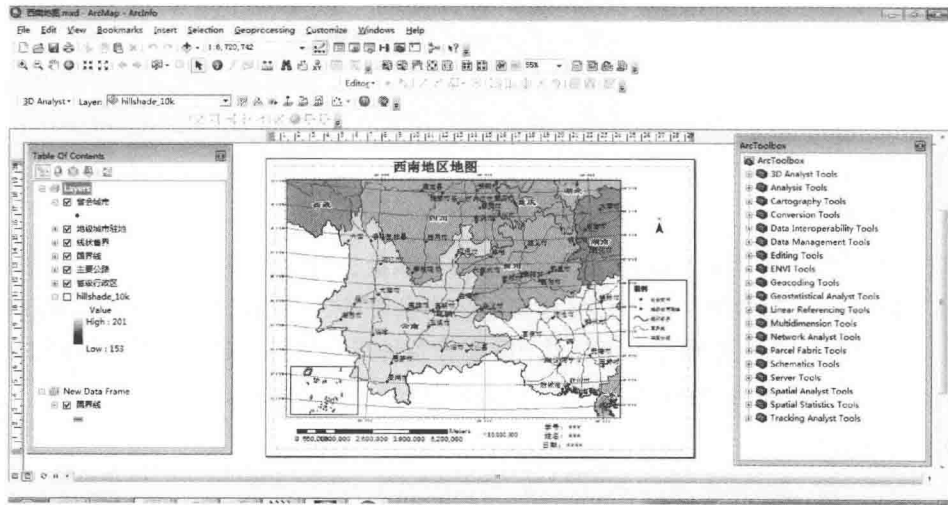


图 1.5 ArcGIS Desktop_ArcMap 用户界面

基础支撑软件包括系统库软件和数据库软件等。系统库软件提供基本的程序设计语言及数学函数库等用户可编程功能, 如 C++运行库和编译系统等。数据库软件提供复杂空间数据的存储和管理功能, 如 Oracle、Microsoft SQL Server、Sybase、MySQL、Microsoft Access、Informix 等。地理信息系统通常采用关系型数据系统中的存储空间数据, 如 ESRI 公司的 SDE (spatial database engine)。常见的操作系统有 Microsoft Windows 系统、UNIX/Linux 系统和 Apple Mac OS 系统。