

GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE

● 高等学校测绘工程系列教材

地理信息系统原理

The Principle of Geographic Information System

李建松 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校测绘工程系列教材

地理信息系统原理

Principles of Geographic Information System

李建松 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

地理信息系统原理/李建松编著. —武汉:武汉大学出版社,2006.8
(高等学校测绘工程系列教材)
ISBN 7-307-05104-4

I.地… II.李… 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(2006)第 061340 号

责任编辑:王金龙 责任校对:王 建 版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)
(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)
印刷:武汉中远印务有限公司
开本:787×1092 1/16 印张:20.625 字数:496千字
版次:2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷
ISBN 7-307-05104-4/P·118 定价:29.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

地理信息系统(Geographic Information System, GIS)技术和应用的发展超乎了人们的想象,其知识和技术方法的更新,每时每刻都没有停止过。笔者近 20 年在这个领域的教学、科研和设计开发历程,见证了它发展最快的时期。我曾经多次对我的学生讲到,学习 GIS 是最苦的,因为你们一刻也不能停止学习,哪怕是一觉醒来,就可能是“仙间才一日,世上一百年”。GIS 发展的动力是巨大的,各种先进信息技术的发展成为它前进的牵引力,应用领域的不断扩展和应用的不断深入成为它前进的推动力,这两种力量的合力,就像安置在列车前后的两部永不停止运行的动力机车,使它一刻也不可能停留下来。

GIS 的许多技术和方法都是从实践应用中得以研究利用的,具有很强的实践性。旧的東西不断地被丢弃,新的东西不断地被吸纳进来。本书的编写内容反映了这些变化的特点。如本书中没有再讲授那些实践中已不常用或应用实践中不十分成熟的内容。有些内容只是作为技术历史发展必不可少的链条才介绍的,它们已不是当前的实用技术,如三种传统的数据模型和一些数据结构。有些内容虽然还处在发展中,还处在概念阶段,并没有实用化,但它们或多或少代表了一种技术发展方向,如第七部分的 GIS 高级技术中介绍的多数技术和方法,显然它们不是当前的全部研究和应用内容,或许只是众多研究应用中的一个例子而已。介绍这部分内容,只是给学习者一些前瞻性知识,详细的内容将在后续的《地理信息系统高级教程》一书中介绍。

编写本书的基本出发点是为学习地理信息系统系列知识的学生提供基本的概念、基本的理论和基本的方法。本书的内容编排也让作者费尽思量。根据作者多年讲授这门课程的实践经验,曾尝试过多种编排顺序,但学生在知识理解上总有不尽如人意的地方。这本书的内容编排,经过了四次以上的教学实验,从中也征求过不少学生的意见。从集中的意见和教学效果来看,胜过以往。该书在内容和结构上分为七个部分。第一部分主要介绍 GIS 的学科环境、理论环境和密切相关的技术基础,同时通过概论的方式,给 GIS 的总貌绘制了一幅素描图,为后续深入学习 GIS 的相关内容奠定基础 and 建立总体印象。这是因为 GIS 的相关理论、技术和方法,总体来讲非常零碎和繁杂,通过这幅素描图,学生在学习时可以按图所系。第二部分以介绍空间数据的组织与管理为主题内容,重点介绍了空间信息基础、空间数据模型、空间数据结构、空间数据库等内容,是本书的重点之重点。通过该部分内容的学习,使学生了解地图投影、坐标转换、空间数据的定义、空间关系的定义、空间数据的结构以及空间数据管理等基本概念、理论和方法。第三部分主要介绍空间数据的技术处理方法,包括数据的获取、图形和属性编辑、拓扑关系编辑、数据格式转换和数据质量的控制及评价等方法。它们都是完成 GIS 空间数据库建库必须掌握的基本技术和技能。第四部分主要介绍空间分析方面的基本功能和原理、方法。这部分内容是学习 GIS 简单分析应用的入门知识,同时也是创建 GIS 复杂分析的基础。这部分内容与以往的教学内容相比,更新较多,一方面是当前商业化的 GIS 软件增强了这部分功能,另一方面,也是因为 GIS 应用开始由管理型向分析决策支持型转变。第五部分介绍 GIS 的

输出和地学可视化的内容。GIS 应用分析的结果表达是重要的,这是因为合适的结果表达方式,不仅丰富了 GIS 的数据表现能力,更重要的是可以加深人们对地理信息产品的正确的、清楚的理解。第六部分简要地介绍 GIS 应用工程的设计内容、要求和过程,以及 GIS 标准化的内容。它们可以不作为本课程讲授的重点内容,但作为对相关知识的理解,却是重要的。第七部分的内容是高级的、综合的 GIS 应用技术。它们或者仅是一些概念,或者仅是一些科技工作者的观点、研究个案,但它们都或多或少地代表了当今 GIS 应用发展的总的趋势。通过对这部分内容的学习了解,希望学生能树立面向未来的眼光和信心。

本书的编写广泛参阅了当今国内外同类优秀教科书的内容、该领域学者的研究成果以及作者近 20 年来的教学科研实践经验。特别是龚建雅教授编写的《地理信息系统基础》一书出版以来,一直作为测绘类专业的优秀教科书。由陈建飞教授等编译、美国 Kang-tsung Chang 著述的《地理信息系统导论》,由唐中实教授等编译、由世界四位 GIS 权威学者,Paul A. Longley、Michael F. Goodchild、David J. Maguire、David W. Rhind 编写的《地理信息系统——原理与技术(上卷)》、《地理信息系统——管理和应用(下卷)》,以及由南京大学黄杏元教授等编著的《地理信息系统导论》、中国科学院陈述彭院士编著的《地理信息系统导论》、汤国安教授等编著的《地理信息系统》、邬伦教授等编著的《地理信息系统——原理、方法和应用》等曾是我教学中爱不释手的参考书。这几年,GIS 的相关书籍的出版真是一波胜过一波,它们成了我最有价值的教学工具书收藏品。还有难以计数的科技文献和论文,每当阅读起来,总能让人眼前一亮。所有这一切,恕不能在这里一一道来。这些都是本书编写的知识海洋。在此一并感谢这些先贤们,他们的辛勤劳动成果,将惠及本书的每一个读者。

此外,我还要由衷地感谢武汉大学出版社的责任编辑王金龙及文字编辑史文、张敏同志,他们的辛勤劳动使本书增色不少。

本书的编写过程历经两年多时间,虽几经修改,错误和不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2006. 3. 12

目 录

第一部分 地理信息系统的科学和技术基础	1
第一章 地理信息系统的科学基础	3
第一节 地球系统科学	3
第二节 地球信息科学	4
第三节 地理信息科学	6
第四节 地球空间信息科学	7
第五节 地理信息系统	8
练习与思考题	8
第二章 地理信息系统的基础理论	9
第一节 地理系统理论	9
第二节 地理信息理论	11
第三节 地理(地球)空间认知理论	13
练习与思考题	14
第三章 地理信息系统概论	15
第一节 地理信息系统的基本概念	15
第二节 地理信息系统的构成	18
第三节 地理信息系统的功能	25
第四节 地理信息系统与相关学科的关系	26
第五节 地理信息系统发展简史	26
练习与思考题	28
第四章 地理信息系统的技术基础	30
第一节 数据采集技术	30
第二节 计算机网络工程技术	37
第三节 现代通信技术	39
第四节 软件工程技术	41
第五节 信息安全技术	45
第六节 网络空间信息传输技术	51
第七节 虚拟现实与仿真技术	54
练习与思考题	57
第一部分综合实习	58
第二部分 地理空间数据组织与管理	59
第五章 地理空间信息基础	61

第一节	地理空间信息的描述方法	61
第二节	矢量数据的属性描述	77
第三节	矢量数据的类型和空间关系	78
第四节	元数据	82
	练习与思考题	85
第六章	地理空间数据模型	87
第一节	地理空间数据模型的概念	87
第二节	地理空间数据的基本特征和描述内容	90
第三节	空间数据的分类编码和数据分层	91
第四节	空间数据的空间索引	95
第五节	空间数据模型	100
	练习与思考题	114
第七章	地理空间数据结构	116
第一节	无拓扑矢量数据结构	116
第二节	拓扑数据结构	117
第三节	栅格数据结构	120
第四节	数字高程模型数据结构	121
第五节	四叉树和八叉树数据结构	122
第六节	其它数据结构	124
	练习与思考题	126
第八章	地理空间数据库	127
第一节	数据库的概念	127
第二节	数据库的系统结构	127
第三节	数据库管理系统的功能与组成	128
第四节	空间数据库管理系统的管理模式	129
第五节	地理数据库中的时间维	131
	练习与思考题	134
	第二部分综合实习	135
第三部分	地理空间数据的获取与处理	137
第九章	地理空间数据获取	139
第一节	数据源的种类	139
第二节	数据采集的方法	140
	练习与思考题	143
第十章	空间数据的编辑	144
第一节	图形数据的编辑	144
第二节	图形数据的几何纠正	144
第三节	图幅的拼接	146
第四节	网络特征元素的编辑	146
第五节	文本数据的编辑	150

练习与思考题	151
第十一章 空间数据的处理方法	152
第一节 图形屏幕编辑的基本操作算法	152
第二节 空间数据的拓扑关系自动生成	155
第三节 空间数据的压缩编码方法	159
第四节 空间数据的格式转换	164
第五节 矢量数据和栅格数据的转换	166
练习与思考题	172
第十二章 地理空间数据的质量	174
第一节 GIS 数据质量的概念	174
第二节 GIS 数据质量的研究方法	176
第三节 空间数据的不确定性	181
练习与思考题	182
第三部分综合实习	182
 第四部分 空间分析基本原理和方法	 185
第十三章 空间数据分析的计算模型	187
第一节 关于分析计算模型的一般知识	187
第二节 GIS 的空间计算模型	189
练习与思考题	190
第十四章 空间查询与统计方法	191
第一节 GIS 常用的空间统计分析模型	191
第二节 空间数据的查询	195
第三节 属性数据的查询统计	197
练习与思考题	199
第十五章 空间分析方法	200
第一节 栅格数据分析的基本模式	200
第二节 矢量数据分析的基本方法	202
第三节 网络分析应用	208
第四节 基于地形的空间分析	211
练习与思考题	215
第四部分综合实习	216
 第五部分 地理信息系统产品输出及可视化	 217
第十六章 地理信息系统产品输出	219
第一节 地理信息系统产品的输出系统	219
第二节 地理信息系统产品的类型	219
练习与思考题	226
第十七章 空间信息可视化技术方法	227
第一节 可视化的概念	227

第二节	可视化的技术方法	229
第三节	三维虚拟 GIS(VR-GIS) 的应用	230
	练习与思考题	234
	第五部分综合实习	234
第六部分	地理信息系统工程设计与标准化	235
第十八章	地理信息系统工程设计	237
第一节	地理信息工程的设计模式与程序评价模式	237
第二节	地理信息工程设计的内容与过程	238
第三节	地理信息工程的系统分析	240
第四节	地理信息工程的系统设计	242
第五节	地理信息工程的实施设计	243
第六节	地理信息工程的运行维护设计	243
	练习与思考题	244
第十九章	地理信息系统的标准化	245
第一节	地理信息系统标准化的作用	245
第二节	地理信息系统标准化的内容	246
	练习与思考题	248
第七部分	地理信息系统的高级技术	249
第二十章	分布式地理信息系统	251
第一节	GIS 计算环境发展回顾	251
第二节	分布式地理信息系统的概念	252
第三节	分布式地理信息系统的体系结构	254
第四节	分布式地理信息系统的计算模式	255
第五节	分布式地理信息系统的计算技术	257
	练习与思考题	266
第二十一章	空间信息基础设施与数字工程	267
第一节	空间数据基础设施	267
第二节	“数字地球”的概念与框架	270
第三节	“数字城市”的概念、框架和建设技术	274
第四节	“数字流域”的概念和框架	281
	练习与思考题	286
第二十二章	空间信息网格	287
第一节	空间信息网格的概念	287
第二节	空间信息网格的计算	290
第三节	空间信息网格技术与 GIS	291
第四节	网格 GIS 的体系结构	293
	练习与思考题	294
第二十三章	空间数据的互操作	295

第一节	空间数据互操作的概念	295
第二节	互操作的实现技术	299
	练习与思考题	302
第二十四章	地理信息系统的集成	303
第一节	地理信息系统集成的概念	303
第二节	“3S”技术集成	304
第三节	多源数据的集成	307
第四节	GIS与专家系统的集成	311
第五节	GIS与应用分析模型的集成	313
	练习与思考题	315
主要参考资料		316

第一部分

地理信息系统的科学和技术基础

第一章 地理信息系统的科学基础

在人类认识自然、改造自然的过程中,人与自然的协调发展是人类社会可持续发展的最基本条件。从历史发展的角度看,人类活动对地球生态的影响总体上是向着变坏的方向发展,人口、资源、环境和灾害是当今人类社会可持续发展所面临的四大问题。人类活动产生的这种变化和问题,日益成为人们关注的焦点。地球科学的研究为人类监测全球变化和区域可持续发展提供了科学依据和手段。地球系统科学、地球信息科学、地理信息科学、地球空间信息科学是地球科学体系中的重要组成部分,它们是地理信息系统发展的科学基础、根源。地理信息系统是这些大学科的交叉学科、边缘学科,反过来,又促进和影响了这些学科的发展。

第一节 地球系统科学

地球系统科学(Earth System Science)是研究地球系统的科学。地球系统,是指由大气圈、水圈、土壤岩石圈和生物圈(包括人类自身)等四大圈层组成的作为整体的地球(图 1-1)。

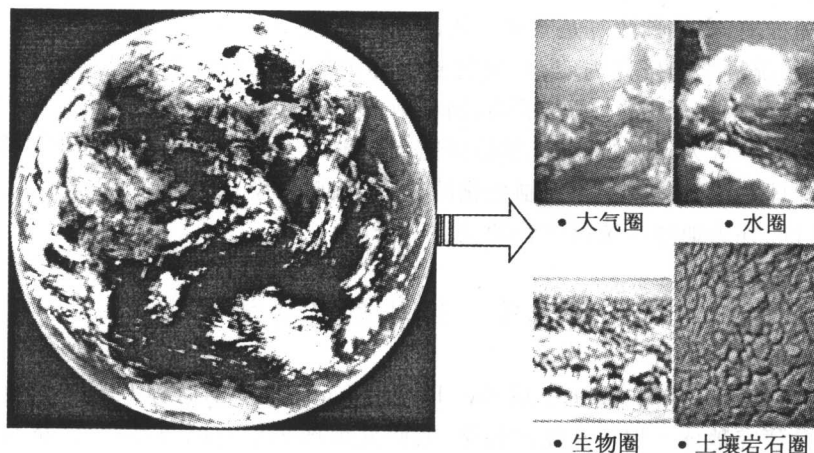


图 1-1 地球的四大圈层

地球系统包括了自地心到地球的外层空间的十分广阔的范围,是一个复杂的非线性系统。在它们之间存在着地球系统各组成部分之间的相互作用,物理、化学和生物三大基本过程之间的相互作用,及人与地球系统之间的相互作用。地球系统科学作为一门新的综合性学科,将构成地球整体的四大圈层作为一个相互作用的系统,研究其构成、运动、变化、过程、规律等,并与人类生活和活动结合起来,借以了解现在和过去,预测未来。地球科学作为一个完整的、综合性的观点,它的产生和发展是人类为解决所面临的全球性变化和可持续发展问题的需要,也是

科学技术向深度和广度发展的必然结果。

就解决人类当前面临的人与自然的问题而言,如气候变暖、臭氧洞的形成和扩大、沙漠化、水资源短缺、植被破坏和物种大量消失等,已不再是局部或区域性问题。就学科内容而言,它已远远超出了单一学科的范畴,而涉及大气、海洋、土壤、生物等各类环境因子,又与物理、化学和生物过程密切相关。因此,只有从地球系统的整体着手,才有可能弄清这些问题产生的原因,并寻找到解决这些问题的办法。从科学技术的发展来看,对地观测技术的发展,特别是由全球定位系统(Globe Positioning System, GPS)、遥感(Remote Sensing, RS)、地理信息系统(Geographic Information System, GIS)组成的对地观测与分析系统,提供了对整个地球进行长期的、立体监测能力,为收集、处理和分析地球系统变化的海量数据,建立复杂的地球系统的虚拟模型或数字模型提供了科学工具。

由于地球系统科学面对的是综合性问题,应该采用多种科学思维方法,这就是大科学思维方法,包括系统方法、分析与综合方法、模型方法。

系统方法,是地球系统科学的主要科学思维方法。这是因为地球系统科学本身就是将地球作为整体系统来研究的。这一方法体现了在系统观点指导下的系统分析和在系统分析基础上的系统综合的科学认识的过程。

分析与综合的方法,从地球系统科学的概念和所要解决的问题来看,也是地球系统科学的科学思维方法。包括从分析到综合的思维方法和从综合到分析的思维方法,实质上是系统方法的扩展和具体化。

模型方法,针对地球系统科学所要解决的问题及其特点,建立正确的数学模型,或地球的虚拟模型、数字模型,是地球系统科学的主要科学思维方法之一。这对研究地球系统的构成内容的描述、过程推演、变化预测等是至关重要的。

关于地球系统科学的研究内容,目前得到国际公认的主要包括气象和水系、生物化学过程、生态系统、地球系统的历史、人类活动、固体地球、太阳影响等。

综上所述,可以认为,地球系统科学是研究组成地球系统的各个圈层之间的相互关系、相互作用机制、地球系统变化规律和控制变化的机理,从而为全球变化预测,解决人类面临的问题建立科学基础,并为地球系统科学管理提供依据。

第二节 地球信息科学

地球信息科学(Geo-Informatics, 或 Geo Information Science, 简称 GISci)是地球系统科学的组成部分,是研究地球表层信息流的科学,或研究地球表层资源与环境、经济与社会的综合信息流的科学。就地球信息科学的技术特征而言,它是记录、测量、处理、分析和表达地球参考数据或地球空间数据学科领域的科学。

“信息流”这一概念是陈述彭院士在 1992 年针对地图学在信息时代面临的挑战而提出的。他认为,地图学的第一难关是解决地球信息源的问题。在 16 世纪以前,人类主要是通过艰苦的探险、组织庞大的队伍和采用当时认为是最先进的技术装备来解决这个问题;到了 16 ~ 19 世纪,地图信息源主要来自大地测量及建立在三角测量基础上的地形测图;20 世纪前半叶,地图信息源主要来自航空摄影和多学科综合考察;20 世纪后半叶,地图信息源主要来自卫星遥感、航空遥感和全球定位系统(GPS)。可以预见,21 世纪,地图信息源将主要来自自由卫星群、高空航空遥感、低空航空遥感、地面遥感平台,并由多光谱、高光谱、微波以及激光扫描系

统、定位定向系统(POS)、数字成像成图系统等共同组成的星、机、地一体化立体对地观测系统。它可基于多平台、多谱段、全天候、多分辨率、多时相对全球进行观测和监测,极大地提高信息获取的手段和能力。但明显的事实是,无论信息源是什么,其信息流程都明显表示为:信息获取→存储检索→分析加工→最终视觉产品。在信息化、网络化时代,信息更不是静止的,而是动态的,还应表现为信息获取→存储检索→分析加工→最终视觉产品→信息服务的完整过程。

地球信息科学属于边缘学科、交叉学科或综合学科。它的基础理论是地球科学理论、信息科学理论、系统理论和非线性科学理论的综合,是以信息流作为研究的主题,即研究地球表层的资源、环境和社会经济等一切现象的信息流过程,或以信息作为纽带的物质流、能量流,包括人流、物流、资金流等的过程。这些都被认为是由信息流所引起的。

国内外的许多著名专家都认为,地球信息科学的主要技术手段包括遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)等高新技术,即所谓的“3S”技术。或者说,地球信息科学的研究手段,就是由RS、GIS和GPS构成的立体对地观测系统。其运作特点是,在空间上是整体的,而不是局部的;在时间上是长期的,而不是短暂的;在时序上是连续的,而不是间断的;在时相上是同步的、协调的,而不是异相的、分属于不同历元的;在技术上不是孤立的,而是由RS、GIS和GPS三种技术集成的。它们共同组成对地观测系统的核心技术,如图1-2所示。

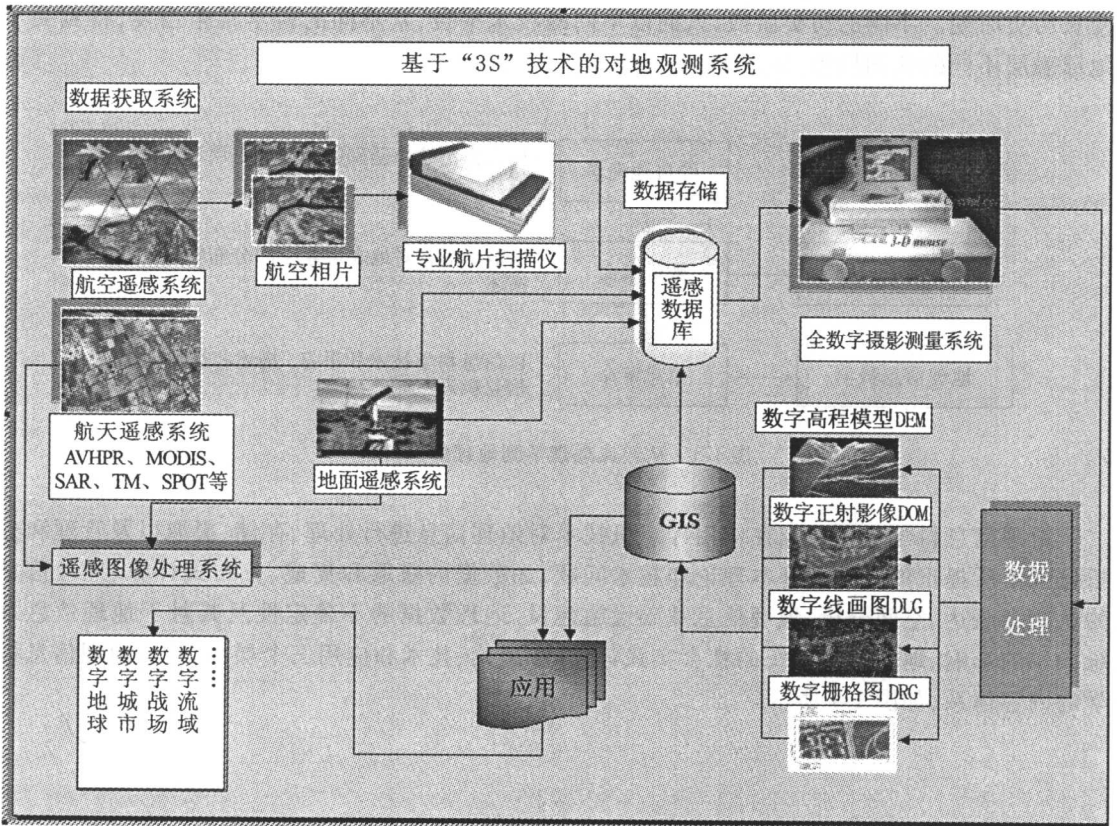


图1-2 对地观测系统

在对地观测系统中,遥感技术为地球空间信息的快速获取、更新提供了先进的手段,并通过遥感图像处理软件、数字摄影测量软件等提供影像的解译信息和地学编码信息。地理信息系统则对这些信息加以存储、处理、分析和应用,而全球定位系统则在瞬间提供对应的三维定位信息,作为遥感数据处理和形成具有定位定向功能的数据采集系统、具有导航功能的地理信息系统的依据。

第三节 地理信息科学

地理信息科学(Geographic Information Science)是信息时代的地理学,是地理学信息革命和范式演变的结果。它是关于地理信息的本质特征与运动规律的一门科学,它研究的对象是地理信息,是地球信息科学的重要组成部分。

地理信息科学的提出和理论创建,来自于两个方面:一是技术与应用的驱动,这是一条从实践到认识,从感性到理论的思想路线;二是科学融合与地理综合思潮的逻辑扩展,这是一条理论演绎的思想路线。在地理信息科学的发展过程中,两者相互交织,相互促动,共同推进地理学思想发展、范式演变和地理科学的产生和发展。地理信息科学本质上是在两者的推动下地理学思想演变的结果,是新的技术平台、观察视点和认识模式下的地理学的新范式,是信息时代的地理学。人类认识地球表层系统,经历了从经典地理学、计量地理学和地理信息科学的漫长历史时期。不同的历史阶段,人们以不同的技术平台,从不同的科学视角出发,得到关于地球表层不同的认知模型,如图 1-3 所示。

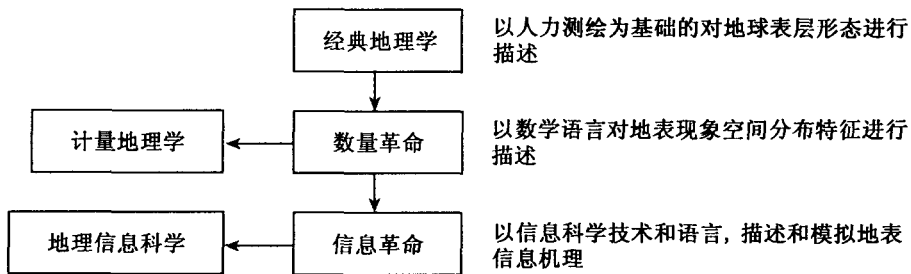


图 1-3 从经典地理学到地理信息科学

地理信息科学主要研究在应用计算机技术对地理信息进行处理、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于地理信息系统操作的影响、地理信息系统的社会实践等,并在理论、技术和应用三个层次,构成地理信息科学的内容体系,如图 1-4 所示。

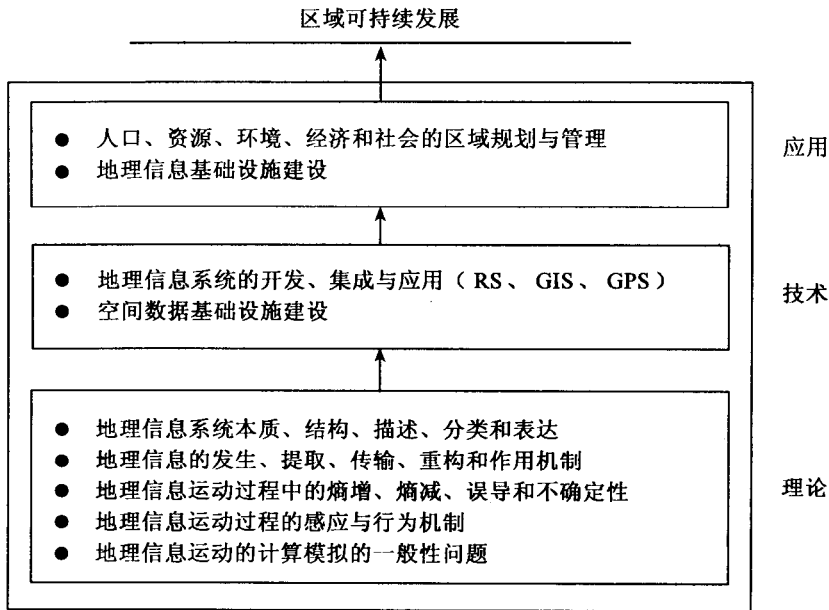


图 1-4 地理信息科学的内容体系

第四节 地球空间信息科学

地球空间信息科学 (Geo-Spatial Information Science, 也称 Geomatics) 是以全球定位系统 (GPS)、地理信息系统 (GIS)、遥感 (RS) 为主要内容, 并以计算机和通信技术为主要技术支撑, 用于采集、量测、分析、存储、管理、显示、传播和应用与地球和空间分布有关数据的一门综合和集成的信息科学和技术。地球空间信息科学是地球科学的一个前沿领域, 是地球信息科学的一个重要组成部分, 是以“3S”技术为代表, 包括通信技术、计算机技术的新兴学科。其理论与方法还处于初步发展阶段, 完整的地球空间信息科学理论体系有待建立, 一系列基于“3S”技术及其集成的地球空间信息采集、存储、处理、表示、传播的技术方法有待进一步的发展。

地球空间信息科学作为一个现代的科学术语, 是 20 世纪 80 年代末 90 年代初才出现的。而作为一门新兴的交叉学科, 由于人们对它的认识各不相同, 出现了许多相互类似, 但又不完全一致的科学名词, 如: 地球信息机理 (Geo-Informatics)、图像测量学 (Iconometry)、图像信息学 (Iconic Informatics)、地理信息科学 (Geographic Information Science)、地球信息科学 (Geo Information Science) 等。这些新的科学名词的出现, 无一不与现代信息技术, 如遥感、数字通信、互连网络、地理信息系统的发展密切相关。

地球空间信息科学与地理信息科学在学科定义和内涵上存在重叠。甚至人们认为是对同一个学科内容, 从不同角度给出的科学名词。从测绘的角度理解, 地球信息科学是地球科学与测绘科学、信息科学的交叉学科。从地理科学的角度理解, 地球空间信息科学是地理科学与信息科学的交叉学科, 即被称为地理信息科学。但地球空间信息科学的概念要比地理信息科学广, 它不仅包含了现代测绘科学的全部内容, 也包含了地理信息科学的主要内容, 而且体现了