

地球信息科学引论

秦耀辰 钱乐祥 等编著
千怀遂 马建华
孙九林 主 审



科学出版社

www.sciencep.com

地球信息科学引论

秦耀辰 钱乐祥 等编著
千怀遂 马建华
孙九林 主 审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书全面系统地阐述了地球信息科学的学科特点和研究内容,重点突出地球信息科学的基础理论、技术方法与工程应用。全书共分十五章:第一、二章重点介绍地球信息科学的产生与发展及其学科特点和研究内容;第三、四、五章阐述地球系统科学、信息科学及地球信息机理等内容和理论问题;第六至十章较为详细地介绍地球信息获取、地球信息分析与挖掘、地球信息管理、地球信息传输及地球信息图谱的有关内容和方法;第十一至十四章重点阐述地球信息工程、地球信息应用群体、地球信息应用模型、虚拟地理环境、地球信息的可视化理论及其实现问题;第十五章介绍地球信息科学前沿,展望地球信息科学的未来。

本书可作为地球科学、资源环境及信息类专业的高年级本科生教材,也可供相关专业研究生及从事地球资源和环境方面的科技工作者、信息资源开发等新兴领域的学者参考。

图书在版编目(CIP)数据

地球信息科学引论/秦耀辰等编著. —北京:科学出版社,2004.2

ISBN 7-03-012848-6

I. 地… II. 秦… III. 地理信息系统 IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 005790 号

策划编辑:赵 峰/文案编辑:李久进/责任校对:宋玲玲

排版制作:科学出版社编务公司/责任印制:刘 学

封面设计:木 子

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>

上海交大印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年2月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2004年2月第一次印刷 印张:35

印数:1~2 500 字数:809 000

定价:46.00 元

《地球信息科学引论》编著者名单

编著者 (以姓氏笔画为序)

丁圣彦	千怀遂	马建华	王喜
刘桂芳	李爽	李昊民	钱乐祥
秦奋	秦明周	秦耀辰	梁留科

主审 孙九林

序

人类进入 21 世纪,迎来了空间时代和信息社会。信息科学和技术在地球科学领域的广泛应用,引起了研究地球科学的方法论不断变革和完善,新的学科体系也在多学科交叉中产生和发展。地球信息科学就是在信息科学和地理科学相互渗透中诞生的。多年来有众多学者为探索地球信息科学的基本理论、研究方法、学科体系、技术体系和应用工程等,付出了艰辛的劳动,并不断将研究成果总结和凝练出来供社会共享,为地球信息科学的发展做出了重要贡献。

我十分赞赏河南大学环境与规划学院的青年教师们,他们思想敏锐、教学科研踏实认真,勇于接受新的学术思想和探索学科前沿,在 20 世纪 80 年代初就涉及与地球信息科学有关的学术问题,有意识的将其贯穿在教学和科研活动中,并建立了相应的研究机构,购买相关的软硬件设备,开设了计算机地图制图、资源信息系统、地理模型、地理系统工程、遥感原理和技术等有关课程,把地理信息科学一直作为重点发展学科进行建设,先后设立了地理信息系统专业、地图学与地理信息系统理学硕士专业、地图制图学与地理信息工程学硕士专业,区域信息系统和虚拟地理环境博士研究方向以及地理学一级学科博士及博士后的人才培养链。同时,实验室的建设也受到特别重视,先后成立了“中澳地理信息分析与应用研究中心”、“区域模拟实验室”、“GIS 专业实验室”,配备了较为完善的软、硬件设施,建立了区域模型和信息系统教学与试验平台。2003 年在国家财政部的支持下,又进一步组建了“数字区域与虚拟工程”重点实验室。与学科建设相配套,学院还先后组织出版多种教材和专著,如“区域系统模型及其应用”、“土地信息系统”、“计算机辅助地理教学理论与实践”、“地理信息系统原理与方法”、“GIS 分析与设计”、“系统科学在地理学中的应用”等。十多年来学院已经为社会培养了上百名地理信息系统方面的本科生、数十名研究生,在人才培养上做出了应有的贡献,为地球信息科学的研究培养了新生力量。本着教学和科研并重的原则,学院积极组织师生投入到大量的科研活动中,20 世纪 80 年代以来,师生们参加完成了多项国家攻关、自然科学基金、省杰出青年基金和人才基金等项目,取得了一批很有学术价值和应用前景的成果,为充实和完善地球信息科学的理论和学科体系,做出了积极贡献。“地球信息科学引论”正是河南大学环境与规划学院的老师们多年教学和科研实践的理论与经验的总结和提高,为地球信息科学的深入研究提供了一部较为完整和系统的参考文献。

我之所以乐意向广大读者推荐“地球信息科学引论”这本专著,除了是它的学术价值和可供参考的意义外,还受参加撰写本书老师们的创新与探索学科前沿的精神所感动。祝愿他们在科学探索的征途上戒骄戒躁,不断取得新的成果并及时让同仁们共享。

中国工程院院士

孙小林

2003 年 12 月 16 日于北京

前 言

地球信息科学是地球科学与现代信息技术交叉融合而形成的新兴学科。它以地球科学的基本理论为基础,以信息论、控制论、系统论为支撑,在现代高新科技发展的前提下,以空间技术、遥感技术、计算机应用、地球信息系统、多媒体与虚拟技术、网络通信技术作为手段,获取、处理、分析、存储、传输具有确定空间尺度和定位含义的地球信息,研究解决地球各因素的相互作用、地球信息的时空特征和变化规律。地球信息科学的主要研究对象是地球的大气圈、水圈、岩石圈(包括地貌)和生物圈(包括人类)等几个子系统和各子系统间界面的形成及变化。它以人与地球的关系为主题,以全球变化和区域可持续发展为目标,集成遥感、地球信息系统、全球定位系统、计算机成图、多媒体与虚拟技术以及互联网等为主的高速全息数字化技术,形成对人流、物流、能流进行时空分析与科学调控的战略技术系统。上述几项作为地球信息科学技术基础的高新技术,近年来发展迅猛,迫切要求理论的支持,形成新的学科领域。地球信息科学服务于以人口、资源、环境的协调发展和宏观调控为目标的全球变化研究和区域可持续发展。地球信息科学为地球科学研究及国民经济和社会发展的各个领域提供全新的技术支持和全方位的信息服务,促进以遥感、全球定位、地理信息系统、计算机及通信技术为核心的地球空间信息产业的形成和发展,并极大地影响人类的工作和生活方式。

地球信息科学是 20 世纪 90 年代初出现的新名词,在欧美学术界中使用得比较广泛,目前在世界范围内被接受。这一崭新的学科是应社会和生产发展的需求特别是建设信息社会的迫切需要而发展起来的。随着进入信息时代步伐的加快,地球系统科学、地理信息系统、遥感、全球定位系统和计算机通信网络等新技术都在迅速地发展,且相互之间的关系日益密切。技术发展到一定程度必须要上升为理论,寻求理论的支持,否则就会制约技术的发展。地球信息科学正是在这种背景下应运而生的。目前这一新学科的体系,尤其是理论体系还很不成熟。但许多国家包括中国的学术界正在全力推动这一学科的发展,因为它对社会经济的可持续发展有举足轻重的意义。

在以信息时代为标志之一的 21 世纪,信息资源是重要的战略资源,而地球信息是其中最重要的组成部分。地球信息科学的逐步形成和发展将大幅度地提高其应用水平。

作为一个现代的科学术语,地球信息科学的出现不过 10 余年,但它的产生与发展是当代地球科学发展的必然产物,它从许多方面改变或提高了人们观察地球的能力,如观察方法、准确性、全面性,为人们做出正确的判断和决策提供大量可靠的信息,必将成为信息科学的主流,并以超出人们想象的速度向前发展。

从实质上讲,地球信息科学是国际性的,它的发展是区域化和全球化趋向的结果,是区域层次和全球层次上合作网络建立的结果。各种不同类型的合作关系正在建立,并且地球信息科学的商业化趋向正在显现,在这一具体的历史性框架中,在地球信息科学发展和应用中从事研究的科学家、工程技术人员、管理者、规划及决策机构,在进入 21 世纪时,

将继续探索地球信息科学发展的方向,为具有更强的竞争力量而制定政策、战略及计划。

虽然地球信息科学占据着如此重要的地位,有着如此广泛的应用领域和前景,但与之形成鲜明对比的是:目前这一新学科的体系,尤其是理论体系还很不成熟。即使如此,但通过对本科生、研究生的教学感受,我们认为,有必要开设一门“地球信息科学引论”课程作为相关专业的入门,以此来帮助学生较为全面的了解地球信息科学的学科体系和主要研究内容。为此,我们根据多年教学和科研的体会及相关知识的积累,组织了多位教学和科研骨干来编写这本“地球信息科学引论”,目的是为教学和科研提供一本较为系统的参考文献。

本书内容章节的安排和分工是:全书共分为 15 章,第一、二章(千怀遂撰写),主要介绍了地球信息科学的产生、发展、学科特点和研究内容等。第三、四章(马建华撰写)、第五章(梁留科撰写),介绍了地球信息科学所牵涉的基础理论,从地球科学和信息科学两个方面,用信息科学的原理和方法分析地球科学内在关系,从而得出地球信息科学的理论、方法、技术、工程应用等学科体系。第六章(刘桂芳撰写)、第七章(钱乐祥撰写)、第八章(秦奋撰写)、第九章(李爽撰写)和第十章(钱乐祥撰写),全面介绍了地球信息获取、整理、保存、传递、开发应用、可视化等方面牵涉到的单项技术和方法。第十一章(秦明周撰写)、第十二章(秦耀辰、王喜撰写)、第十三章(秦奋撰写)和第十四章(丁圣彦、李昊民撰写),全面介绍了地球信息科学的应用领域及其具体信息技术体系。第十五章(千怀遂撰写),论述了目前国内外提出的地球信息科学的前沿领域以及未来的发展趋势。

本书从酝酿、大纲讨论、初稿形成到最后终稿的整个编写过程中,始终得到孙九林院士、科学出版社上海分社冯广平社长和赵峰编辑的大力支持和关怀,在此表示衷心的感谢。此外,本书在编写过程中,我们还参阅和摘引了许多先行者的学术论文,在此谨致谢意。

尽管我们十分努力,以求得本书在内容和体系上尽善尽美,但由于作者的水平有限,加之不同作者之间知识结构和理解的差异,同时为了教学急需,时间较仓促,书中存在一些错误和不足肯定在所难免,祈求广大读者和同行专家不吝赐教。

作 者

2003 年 9 月 20 日

目 录

序

前言

第一章 地球信息科学的产生与发展	1
一、地球信息科学的形成基础	1
(一) 学科基础	1
(二) 技术基础	3
(三) 社会需求基础	7
二、地球信息科学的形成和发展历程	9
(一) 学科萌芽阶段:从手工制图走向计算机辅助制图	9
(二) 形成阶段:从技术领域走向学科体系	10
(三) 发展阶段:从地理信息科学到地球信息科学	11
主要参考文献	12
第二章 地球信息科学的学科特点和研究内容	14
一、地球信息科学的基本概念	14
二、地球信息科学的研究对象	16
三、地球信息科学的学科特点	18
四、地球信息科学的研究内容与应用领域	19
(一) 地球信息哲学	20
(二) 地球信息机理	20
(三) 地球信息技术	20
(四) 地球信息工程	21
(五) 应用领域	22
主要参考文献	22
第三章 地球系统科学	24
一、地球系统科学的诞生及其在中国的传播	24
(一) 地球科学研究的历史回顾	24
(二) 建立地球系统科学的可行性分析	25
(三) 地球系统科学的诞生	28
(四) 地球系统科学在中国	29
二、地球系统及其环境	30
(一) 系统与环境概述	30
(二) 地球系统及其组成	37
(三) 地球系统的环境	44
三、地球系统科学研究的内容与方法	46

(一) 地球系统科学的研究目标	46
(二) 地球系统科学研究的主要科学问题	48
(三) 地球系统科学研究的方法	53
主要参考文献	56
第四章 信息理论基础	57
一、信息与信息论概述	57
(一) 信息的科学涵义与属性	57
(二) 信息的分类	58
(三) 信息传递模型	60
(四) 信息论的研究内容	62
(五) 信息论的形成和发展	63
二、信息的度量	64
(一) 离散信源的信息度量	65
(二) 连续信源的熵	73
三、信源和信道编码理论	77
(一) 信息传输率与信道容量	78
(二) 信源编码	80
(三) 信道编码	85
主要参考文献	93
第五章 地球信息机理	94
一、地球信息	95
(一) 地球信息的概念	96
(二) 地球信息的尺度与层次	100
(三) 地球信息的标准化及共享	102
二、地球信息科学的基础理论	115
(一) 地球信息的流场理论	116
(二) 地球信息的形成机理	118
(三) 地球信息机理	119
三、地球信息科学的技术性理论	131
(一) 地球信息技术的体系	131
(二) 3S 集成理论	135
(三) 空间分析理论	142
(四) 信息集成与融合理论	144
(五) 数据挖掘与知识发现理论	146
四、地球信息科学的应用性理论	149
主要参考文献	150
第六章 地球信息获取	151
一、遥感技术的基本概念	151
(一) 遥感与遥感技术	151
(二) 遥感技术的特点	152

(三) 遥感技术的分类	153
(四) 遥感技术的应用	154
二、全球定位系统的基本概念	156
(一) 全球导航、定位系统	156
(二) 全球定位系统的组成	156
(三) 全球定位系统工作原理	157
(四) 全球定位系统的进展	163
三、对地观测技术系统	164
(一) 对地观测技术系统简介	164
(二) 对地观测技术系统组成	164
(三) 对地观测内容	168
(四) 国际对地观测计划	170
(五) 中国对地观测系统的发展	171
四、陆地和海洋定位监测技术	172
(一) 陆地与海洋定位监测的主要内容	173
(二) 陆地与海洋定位监测的主要技术	177
五、统计技术	179
(一) 统计数据的收集和处理	179
(二) 统计技术的数学基础	182
(三) 地理系统要素的统计分析	184
主要参考文献	187
第七章 地球信息分析与挖掘	188
一、地球信息及其与数据、知识的关系	188
二、基于地球空间模拟的空间分析的定义	190
(一) 定义的出发点	190
(二) 空间分析定义	190
(三) 定义的内涵	190
三、知识发现与数据挖掘	191
(一) DM 的主要技术	192
(二) 数据挖掘与需求分析	193
四、地球空间数据挖掘技术	194
(一) 关联规则的挖掘	194
(二) 特征规则挖掘	195
(三) 聚类规则挖掘	195
(四) 分类规则挖掘	196
五、空间数据挖掘与知识发现的理论和方法	197
(一) 概率论	197
(二) 证据理论	197
(三) 空间统计学	198
(四) 规则归纳	198

(五) 聚类分析	200
(六) 空间分析	201
(七) 模糊集	202
(八) 云理论	202
(九) 粗集	203
(十) 神经网络	204
(十一) 遗传算法	204
(十二) 可视化	205
(十三) 决策树	206
(十四) 空间在线数据挖掘	206
(十五) 空间数据挖掘和知识发现的理论和方法展望	207
六、地球信息空间分析与挖掘方法的应用	208
(一) 几何分析和属性数据库操作相组合进行土地适宜性分析	208
(二) 遥感数据和地形信息复合的方法	209
(三) 矢量数据分层叠加研究荒漠化动态变化的方法	210
(四) 混合光谱信息与亚像元信息挖掘	211
七、智能计算——空间分析的新方法	212
(一) 空间分析的发展趋势	213
(二) 地球信息的定量空间分析	215
主要参考文献	216
第八章 地球信息管理	218
一、地球信息的分类和标准	219
(一) 地球信息的分类原则	219
(二) 地球信息的分类方法与类型	221
(三) 地球信息编码	221
(四) 地球信息标准的内容与层次	224
(五) 地球信息标准化管理意义	228
二、地球信息的元数据标准	228
(一) 元数据的定义	228
(二) 元数据的作用	229
(三) 数据管理及元数据标准的现状	232
(四) 元数据标准与 XML	235
(五) 元数据管理模型解决方案	240
三、数据库技术	242
(一) 数据库技术的概念	242
(二) 时态数据库技术	255
(三) 分布式数据库技术	258
(四) 基于 XML 的数据库技术及其应用	266
(五) 数据库技术的发展趋势	267
四、地球信息管理系统	269
(一) 地球信息管理系统的结构	269

(二) 地球信息管理系统的功能	271
主要参考文献	272
第九章 地球信息压缩与传输	274
一、地球信息压缩的本质和核心内容	274
(一) 地球信息压缩的必要性和可行性	274
(二) 地球信息冗余的类型	274
二、香农信息论原理与地球信息压缩算法	277
(一) 信息的度量问题	277
(二) 香农信息论基本原理	277
(三) 基于香农信息论的地球信息压缩算法	279
(四) 香农信息论对地球信息压缩的指导意义	281
三、分形学原理及其在地球信息压缩的应用	281
(一) 分形学原理	281
(二) 基于分形学原理的地球信息压缩算法	282
四、小波分析原理及其在地球信息压缩的应用	284
(一) 小波分析原理	284
(二) 基于小波分析的地球信息压缩算法	285
五、数据压缩技术的主要分析指标	286
六、地球信息传输网络	287
(一) 通信网基础	288
(二) 地球信息传输网络	297
主要参考文献	298
第十章 地球信息图谱	300
一、地球信息图谱产生和发展的基础	300
二、地球信息图谱的定义和内涵	301
(一) 地球信息图谱的定义	301
(二) 地球信息图谱与地学图谱的区别	302
(三) 地球信息图谱建立的基本过程与步骤	304
(四) 地球信息图谱的分类与展望	306
三、地球信息图谱的建立与传输理论	307
(一) 地球信息图谱模型	308
(二) 地球信息图谱发展历程	311
四、地球信息图谱应用	312
(一) 数字地球与地球信息图谱的研究	312
(二) 地球信息图谱的应用领域	313
(三) 县土地利用演化信息图谱的建立	314
主要参考文献	321
第十一章 地球信息工程	323
一、基本概念与分类	323
(一) 概念	323

(二) 分类	323
二、地球信息工程的技术体系	333
(一) 空间定位技术	333
(二) 遥感技术	336
(三) 地理信息系统技术	343
(四) 数据通信技术	346
(五) 3S 及与通信技术的集成	348
三、地球信息科学技术体系	349
(一) 信息平台	349
(二) 数据采集	350
(三) 数据的处理	350
(四) 数据挖掘	351
(五) 信息安全	354
(六) 信息标准化	359
主要参考文献	361
第十二章 地球信息应用模型	362
一、概述	362
(一) 地球信息应用模型的基本概念	362
(二) 地球信息模型与相关学科的关系	363
(三) 地球信息模型的建立	363
(四) 人的思维与地球信息模型的建立	366
二、地球信息统计分析模型	367
(一) 相关分析	367
(二) 回归分析	371
(三) 聚类分析	377
(四) 主成分分析	389
三、空间分析与系统结构模型	391
(一) 空间分析的定义及其内涵	391
(二) 空间扩散与相互作用分析模型	393
(三) 网络分析模型	396
(四) 系统动力学模型	403
(五) 细胞自动机模型	409
(六) 投入产出模型	412
(七) 数字地面模型	426
四、规划与决策模型	430
(一) 最优规划模型	430
(二) 最优区位模型	435
(三) 预测模型	440
(四) 战略决策模型	447
(五) 决策支持系统	452
主要参考文献	457

第十三章 虚拟地理环境	459
一、虚拟现实技术及应用	459
(一) 虚拟现实的基本概念	459
(二) 虚拟现实的基本特征	459
(三) 虚拟现实的分类	460
(四) 虚拟现实的构成	462
(五) 虚拟现实的实现技术	464
(六) 虚拟现实的应用	467
二、虚拟地理环境的概念与特征	471
(一) 虚拟界与虚拟地理环境	471
(二) 虚拟地理环境的类型	473
(三) 虚拟地理环境技术的结构层面分类与特征	474
(四) 虚拟地理环境演化	477
三、虚拟地理环境构建和应用	480
(一) 非完全投入式虚拟地理环境构建	480
(二) 分布式地学虚拟环境构建	483
(三) 虚拟地理环境的应用	490
主要参考文献	501
第十四章 地球信息与数据的可视化	502
一、可视化技术概论	502
(一) 可视化技术的概念	502
(二) 科学计算可视化的理论基础、研究现状和热点问题	503
(三) 可视化软件的开发	505
二、基于不同平台的可视化图形软件包	506
(一) 基于 UNIX 和 Linux 平台的可视化图形软件包	506
(二) 基于 Windows 平台的可视化图形软件包	510
三、其他可视化相关方法	515
(一) 分形与分形实体的可视化	515
(二) 粒子系统与动态模糊实体的可视化	518
四、可视化技术与地学的结合	521
(一) 3S 技术与可视化	521
(二) 虚拟现实技术与可视化	524
(三) 数字地球与可视化	526
主要参考文献	527
第十五章 地球信息科学的前沿与展望	529
一、地球信息科学的前沿	529
(一) 地球信息哲学的前沿	529
(二) 地球信息机理的前沿	531
(三) 地球信息技术的前沿	533
(四) 地球信息工程的前沿	537

二、地球信息科学的发展趋势	539
(一) 学科的理论化和工程化以及学科交叉的泛化	539
(二) 地球信息及其技术标准化	540
(三) 信息表达多维化	541
(四) 地球信息技术集成化	541
(五) 地球信息平台网络化	541
(六) 地球信息技术智能化和虚拟化	542
(七) 地球信息及其技术应用社会化	542
主要参考文献	543
附录(一) 常用 3D 建模软件资源	544
附录(二) 可视化软件资源链接入口	545

第一章 地球信息科学的产生与发展

当前,人类社会已经进入信息时代(information era),信息或知识、信息技术成为社会进步和经济发展的主要动力,信息技术和信息科学得到了快速的发展。自20世纪90年代初期以来,在遥感(remote sensing, RS)、全球定位系统(global positioning system, GPS)、地理信息系统(geographical information system, GIS)和信息网络系统(information network system)等一系列现代信息技术的快速发展和高度集成的推动下,在系统科学、信息科学与地球科学的交叉领域迅速发展起来一门新兴学科——地球信息科学(geo-information science)。虽然其理论与方法还处于初步发展阶段,学科体系也很不完善,但由于社会的迫切需要而受到国内外科技界的普遍关注。

一、地球信息科学的形成基础

地球信息科学是在信息时代的召唤下,经过许多学科的交叉、渗透和融合以及现代技术的高度集成而形成的,它具有坚实的学科基础和技术基础以及鲜明的时代背景。

(一) 学 科 基 础

地球信息科学是地球科学的一个分支学科,它脱胎于地图学,形成于众多学科的交叉边缘领域,许多学科对地球信息科学的形成和发展都有不可磨灭的贡献,其中地图学、地球科学、信息科学和系统科学的贡献最大。

地图学是一门古老的学科,它主要研究用图像或符号的形式表示地球空间信息的方法和技术以及这种信息的传播和转换的规律,其研究对象和内容与地球信息科学相似。地图是地球科学的第二语言,它具有公式化、抽象化、符号化等基本性质和形象直观性、地理方位性、几何精确性等基本特点以及信息传输、信息载负、地图模拟与地图认知等基本功能,这些特点和功能也与地球信息科学的主要技术——地理信息系统中的部分特点和功能相一致。随着现代计算机技术、空间技术和通信技术的快速发展与广泛应用,地图学实现了地图测绘与地图编制由传统手工方式向全数字化计算机制图与自动制版一体化的根本变革,地球信息获取技术逐渐由大地测量走向自动遥感遥测技术体系,地球信息处理也逐渐由图形显示向信息储存、分析、模拟、预测和共享等方向扩展,并出现数字地图、电子地图等新的形式,一批地图进入 Internet,开始地图信息的全球共享。总之,地球信息科学是在地图学的现代化过程中逐渐形成的,并显示出强劲的发展势头。

地球科学是一个庞杂的学科体系,地图学是其中的一个技术性学科分支,由此衍生出来的地球信息科学也从其他分支学科中汲取了丰富的营养。首先,地球信息科学和其他一些分支学科都是研究地球系统的科学,即其研究对象同构,其他分支学科已经形成

的思维模式和研究范式可以为地球信息科学所用,其中地理科学的作用最重要,它的研究对象包括自然地理系统和人类社会系统,是一个复杂的巨系统,具有区域性和综合性,其思维模式是空间形象思维和逻辑思维相结合的空间思维模式,它对区域或综合体的描述需要定性研究方法,对系统物质和能量流的研究需要基于空间和过程的定量研究方法,从而形成了从定性到定量研究的现代地理学研究范式,这种空间思维模式和研究范式一方面可以直接应用于地球信息科学的理论研究,另一方面也为地理信息系统的构建提供了一种“思维平台”及信息组织和表达模式;其次,地球信息科学主要研究地球系统中的空间信息结构和信息流,任何信息结构和流动都与系统中的物质、能量结构和流动相联系,因此关于地球系统物质、能量结构和流动的理论和研究方法也是地球信息科学学科基础的重要组成部分,尤其是20世纪60年代地理学计量革命以来发展起来的定量研究方法和技术对地球信息科学中的地球信息空间分析提供了强有力的支持;最后,近几十年来,在全球性环境问题和资源问题的驱使下,关于全球变化和可持续发展的研究取得了长足的进步,地球科学的发展因此而出现了明显的集成化趋势,学科的集成建立了地球各物质圈层之间的联系,使地球科学的综合性和复杂性更加突出,推动了数据的集成、知识的集成、方法和技术的集成,为地球系统科学和地球信息科学的产生和发展奠定了坚实的基础。

系统科学以系统为对象,主要研究系统的类型、结构、性质和运动规律,包括系统观、系统论、系统技术和系统工程。系统科学理论和方法的引入和应用极大地推动了地球科学的发展,首先,系统思想和系统方法的应用使地球科学的思维模式和研究范式发生了明显的变化,并通过不断完善而形成现代地球科学思维模式和研究范式;其次,由于系统科学的影响,许多地球科学分支学科都把研究对象看做一个系统,如气候系统、地理系统、水循环系统、生态系统、人类生态系统等,应用系统科学的理论和方法进行研究,使学科发展明显加快,而且各个系统的组成日趋一致,地球科学出现了综合化的趋势,并于20世纪80年代形成了一门综合性分支学科——地球系统科学,它的研究对象是由大气圈、水圈、陆圈(岩石圈、地幔、地核)和生物圈(包括人类)组成的复杂巨系统,主要研究组成地球系统的这些子系统之间相互联系、相互作用的机制以及地球系统变化的规律和控制这些变化的机制,从而为全球环境变化预测建立科学基础,并为地球系统的科学管理提供依据,系统科学思想和方法的应用使复杂问题的解决成为可能;再次,地球系统科学用系统科学的观点和方法探讨地球系统中各层次子系统之间的相互联系及各种过程之间的耦合,极大的扩展了地球系统信息流的研究领域,加快了地球信息研究的发展步伐;最后,系统工程为地球信息工程的设计和建设提供了最优化的运作程序和实施方案。

信息科学是研究信息及其运动规律的科学,其研究内容主要包括五个方面:①信息的基本概念和本质。②信息的数值度量方法。③信息提取、识别、变换、传递、存储、检索、处理、再生、表示、施效(控制)等过程的一般规律。④利用信息流描述系统和优化系统的方法和原理。⑤人类学习知识,处理知识,利用知识的机制以及智能的一般规律。虽然早期学科体系中也有涉及信息的研究领域,但现代信息科学是在美国数学家香农(C.E.Shannon)于20世纪40年代末提出的信息论的基础上发展起来的。由于社会的迫切需要,信息科学的发展非常快,近几十年在信息测度理论、信息传递理论、信