

中国矿业大学研究生教育专项资金资助出版教材

地球信息学

谭海樵 奚砚涛 宋现锋 季景贤 编著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

中国矿业大学研究生教育专项资金资助出版教材

地球信息学

Geoinformatics

谭海樵 奚砚涛 宋现锋 季景贤 编著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书从地球系统科学的角度探讨了地球信息学的学术定位、科学内涵和支撑技术。地球信息学应以地球系统科学为指导,以不同尺度研究对象的时间、空间和特征要素为切入点,阐述地球信息的形成机理和运移流程,用多元地学信息集成的理念,多尺度、全方位地研究地球系统的复杂性、不确定性以及地球系统中个体与整体、局部与全局、历史、现状与未来的关系,进而以地球系统各类自然循环的重建和修复为突破口,力求用异构集成、数据挖掘、信息融合和数学建模等相关技术,为地球系统中人地关系的协调发展提供决策支持。

本书主要面向地球科学类各专业、各学科的研究生和本科生,也可供规划管理、资源勘察和环境保护等相关领域从事科学研究的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地球信息学/谭海樵等编著. —徐州:中国矿业大学出版社, 2008. 11

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0123 - 2

I. 地… II. 谭… III. 地理信息系统 IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 178736 号

书 名 地球信息学

编 著 者 谭海樵 奚砚涛 宋现锋 季景贤

责任编辑 潘俊成

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×960 1/16 印张 19.75 字数 376 千字

版次印次 2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷

定 价 32.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前言

随着经济全球化和信息化进程的加快,传统的地球科学正面临着前所未有的机遇和挑战。如何在地球系统科学的指导下充分利用和融合网络、信息以及计算机科学与技术,通过数据挖掘等技术手段,对已有的以及通过多种手段不断获取的多源、多维、异构、海量地球系统信息进行“深加工”,开拓出一条面向地球系统的多源信息整合研究之路,使地球科学真正能够为人地关系的协调统筹,为地球系统的可持续发展发挥其应有的作用,已成为地球科学界高度关注的问题。大量的文献表明,现代网络科学、信息科学以及计算机科学的发展,使得从不同侧面研究、剖析类似地球系统这样的复杂体的条件日趋成熟,挖掘针对同一地球系统的各相关学科的研究成果中潜在的关联性、发现隐含在海量信息中的各类专题知识已经成为可能。本书讨论的“地球信息学”正是传统地球科学与系统科学、网络科学、信息科学和计算机科学相结合的产物。

多年的教学与科研实践也一再表明,无论是传统的地球科学,还是以 3S 技术为标志的现代地球探测与信息技术,都必须跳出传统思维的桎梏,突破多源、多维、异构、海量地球系统信息综合应用的“瓶颈”。在这方面,“地球信息学”将以地球系统的时间、空间和特征要素的认知、度量为切入点,用多元地学信息集成的理念,多尺度、全方位地研究地球系统的整体性、复杂性、动态性以及地球系统中个体与整体、局部与全局、历史与现状的关系,力求用异构集成、数据挖掘、信息融合和数学建模等相关技术,实现地球信息的全面共享以及对地球系统发展前景的科学预测,从而为地球系统信息的采集、处理、存储、发布和共享奠定坚实的基础,为地球系统中人地关系的协调发展提供决策支持。

应指出的是,在全球暖化已威胁到人类生存的大背景下,地球科学只有在规范人地关系中的人类行为并实现地球系统信息全面共享的前提下,才能使得地球科学更好地服务于社会。鉴于此,本书从地球伦理学的角度将地球信息学(Geoinformatics)定位为研究人类活动参与下的地球系统内人地系统信息流的科学。它既不同于通常所说的地球空间信息学(Geomatics),也不同于传统意义上的 3S 或多 S 集成;既不是一般意义上的地球信息的数字化、可视化,也不是面向特定专业的信息管理系统或决策支持系统;而是针对地学问题、地学过程进行多源信息的深入分析、高度集成及全过程的动态模拟与成果共享。地球信息学

所涉及的基础数据并不局限于狭义的地球科学,它还涵盖了人口、资源、环境等自然科学和社会科学的广泛领域,其支撑技术包括了遥感、地理信息系统和全球定位系统,但又不局限于 3S。根据实际问题的需要,还包括地震、磁法、电法、重力等地球物理控制技术和与水、土、气相关的地球化学探测技术,以及现代信息技术中的网格技术、科学计算可视化技术、分布式异构数据解析技术、分布式数据库技术、数据仓库、数据挖掘和知识发现技术、虚拟现实技术、数据压缩技术和网络传输技术等。其主要研究手段是针对不同尺度的地学问题、地学过程进行的全程动态模拟以及地学可视化。

全书共分十一章,内容涉及地球系统的时间、空间、特征等信息要素的感知和度量、地球系统信息的集成、融合、数学建模以及地球系统信息的共享和用户化。书稿的第一章至第六章主要由谭海樵撰稿,其中与遥感技术相关的部分内容 by 季景贤撰写;第七章至第十一章主要由奚砚涛撰稿,其中与地球信息共享以及开源地理信息系统技术相关的内容由宋现锋撰写。最后由谭海樵负责对全书进行统稿。

本书原名“地球信息科学概论”,出版于 2005 年,已在研究生和本科生教学中使用。2006 年被中国矿业大学研究生院遴选为研究生教材。在本书的修编过程中,不仅根据研究生教学的需要修改了书名,而且补充了近年发表的与地球信息学相关的最新研究成果。此次修编得到了中国矿业大学王桂梁教授的鼓励、指导和帮助,中国矿业大学资源与地球科学学院地球信息研究所杨永国教授等对本书的完稿给予很大的支持,中国矿业大学出版社潘俊成同志为本书的审校和出版付出了辛勤努力,在此一并表示感谢。限于作者水平和时间,书中疏漏和不当之处,恳请读者批评指正。

作 者

2008 年 5 月

目 录

第一章 地球信息学的发展机遇	1
第一节 面向“行星地球”的地球科学	2
第二节 应对地球系统变化的地球信息学	4
第三节 地球信息学的发展机遇	7
第四节 地球信息学的学科定位	10
小结	13
思考题	13
参考文献	13
第二章 地球信息学的科学内涵	16
第一节 星际间信息流研究	17
第二节 圈层间信息流研究	20
第三节 人地系统之间信息流研究	23
第四节 信息时代地球系统科学的新思维	27
第五节 地球信息学的研究内容	31
小结	34
思考题	34
参考文献	34
第三章 地球系统的信息学特征	36
第一节 地球系统的信息场	38
第二节 地球系统的时空尺度	40
第三节 感知地球系统的三大要素	43
第四节 地球系统信息流的复杂性	49
第五节 地球系统信息的异构性	50
小结	52

思考题	52
参考文献	52
第四章 地球系统时间要素的感知和度量	54
第一节 时间的概念和单位	55
第二节 生物地层学和相对地质年代学	56
第三节 古地磁学和绝对地质年代学	67
第四节 绝对地质年代法	69
小结	71
思考题	72
参考文献	72
第五章 地球系统空间要素的感知和度量	73
第一节 地球系统空间要素的感知	74
第二节 地理参照系	75
第三节 地球系统空间定位要素的获取	86
第四节 基于全球定位系统的空间要素的测定	94
第五节 对地立体成像技术	96
小结	98
思考题	99
参考文献	99
第六章 地球系统特征要素的感知和度量	100
第一节 地球的表层系统	102
第二节 地球系统特征要素的感知和度量	109
第三节 遥感对地观测技术	122
小结	130
思考题	130
参考文献	131
第七章 地球系统信息的集成与融合	133
第一节 地球系统信息集成的定位	133
第二节 地球系统信息集成的尺度和层次	137
第三节 地球系统信息的融合	140

第四节 地球系统空间信息集成的专用语言——GML	145
第五节 地球系统信息应用服务	163
小结	165
思考题	165
参考文献	166
第八章 地球系统信息的数学建模	168
第一节 地球系统信息数学模型的构建	169
第二节 地球系统信息统计分析模型	174
第三节 地球系统信息分类模型	178
第四节 地球系统信息应用模型概述	187
第五节 基于 GML 的空间数据建模	195
小结	204
思考题	204
参考文献	204
第九章 元数据与地球系统信息的共享	206
第一节 共享的分类	206
第二节 共享的物理平台	208
第三节 共享的数据基础	210
第四节 元数据及其应用	215
第五节 基于 XML 的元数据标准与互操作	222
第六节 共享与信息安全	225
小结	226
思考题	227
参考文献	227
第十章 地球系统信息的用户化	229
第一节 数据压缩与传输	229
第二节 空间数据仓库	237
第三节 数据挖掘	244
第四节 地球系统信息的可视化	262
小结	271
思考题	271

参考文献	272
第十一章 基于开源技术的地球系统信息服务体系	274
第一节 开源技术概述	274
第二节 基于 MapServer 的地球系统信息服务体系结构	282
第三节 煤矿地测数据服务体系的基本架构	288
小结	300
思考题	300
参考文献	300

Questions	52
References	52
 Chapter 4 Perception and Measurement of Time Element of Earth	
System	54
Section 1 Concept and units of time	55
Section 2 Biostratigraphy and relative geochronology	56
Section 3 Paleomagnetism and absolute geochronology	67
Section 4 Geological dating	69
Summary	71
Questions	72
References	72
 Chapter 5 Perception and Measurement of Spatial Element of	
Earth System	73
Section 1 Perception of spatial elements of earth system	74
Section 2 Geo—reference systems	75
Section 3 Acquiring the spatial factors of earth system	86
Section 4 Measuring the spatial factors of earth system based on GPS	94
Section 5 Stereo imaging technology for earth observation	96
Summary	98
Questions	99
References	99
 Chapter 6 Perception and Measurement of Features of Earth System	
Section 1 Surface systems of the earth	102
Section 2 Perception and measurement of feature of earth system	109
Section 3 Remote sensing for global observations	122
Summary	130
Questions	130
References	131

Chapter 7	Integration and Fusion of Earth System Information	133
Section 1	Positioning of information integration	133
Section 2	Scales and levels of information integration	137
Section 3	Fusion of earth system information	140
Section 4	Specific language for spatial information integration—GML	145
Section 5	Application service of earth system information	163
Summary		165
Questions		165
References		166
Chapter 8	Mathematical Modeling of Earth System Information	168
Section 1	Construction of mathematical models for earth system information	169
Section 2	Statistic and analytic models for earth system information	174
Section 3	Classification models for earth system information	178
Section 4	Application models for earth system information	187
Section 5	Spatial data modelling based on GML	195
Summary		204
Questions		204
References		204
Chapter 9	Metadata and Earth System Information Sharing	206
Section 1	Classification of earth system information sharing	206
Section 2	Platform for earth system information sharing	208
Section 3	Data foundation for Earth System information sharing	210
Section 4	Metadata and its application	215
Section 5	Meta data standards and interoperation based on XML	222
Section 6	Geo—information sharing and information safety	225
Summary		226
Questions		227

References	227
Chapter 10 Customerization of Earth System Information	229
Section 1 Data compression and transfer	229
Section 2 Spatial data warehouse	237
Section 3 Data mining	244
Section 4 Visualization of earth system information	262
Summary	271
Questions	271
References	272
Chapter 11 Open Source based Service System of Earth System	
Information	274
Section 1 Introduction to open source technology	274
Section 2 MapServer based architecture for service system of earth system information	282
Section 3 Architecture for a data service system of earth system information in coal mines	288
Summary	300
Questions	300
References	300

第一章 地球信息学的发展机遇

在长达 45 亿~46 亿年的地球历史中,人类的出现只不过是最近数百万年的事。正是在与自然长达数百万年的不断磨合过程中,人类对其自身生存环境的认识不断得以深化,人脑的功能在不断增强。许多人类学家相信,250 万年前石器的出现与大脑的开始扩大是一致的(理查德·利基,1997)。在农耕时代,人类只是以看似笨拙的生产工具和相对原始的生产方式来维系最基本的生存条件,顺应自然,靠天吃饭,几乎是唯一的选择。一般认为,在人类实现了向较为稳定的农业生活方式过渡之后,进化的压力应该减少,而事实恰恰相反。最新的研究成果表明,40 000 年以来,人类进化以惊人的步伐一直在加快。在过去 5 000~10 000 年间,农业的普及已经足以支撑不断扩大的社会群体,而在此期间人类进化的速度却是农业普及之前的 100 倍。近期以来的人类基因变化已占到人类基因总数的 7%(J. Hawks 等, 2007)。有研究发现,在大量人口长时间集聚的社会里流行、传播的各种疾病,是后农业社会里人类的主要死因(W. McNeill, 1976)。从某种意义上讲,正是工业革命才使农耕时代看似笨拙生产工具得到彻底的改变,相对原始的生产方式得到改造,进而使人类的衣、食、住、行等基本生存条件得到改善,一度流行的各种疾病逐步得以控制。正是借助于工业革命带来的新一代工具,人类的眼睛可以看到过去看不到的显微世界和遥远星空;人类的耳朵可以分辨出过去听不到的各种声音;人类的手可以探测到地球的高空和深部;人类的脚可以比过去跑得更快、更远。人类甚至发明了各种军事武器,以延伸人类手臂的长度、扩大手臂的力度。如果说工业革命还只是使人类使用工具的功能得以延伸的话,那么建立在工业革命基础之上的信息革命将使人类发明、工具制造和使用大脑的功能得以延伸。有的学者甚至预言,人类在 21 世纪后半叶所能取得的技术进步将是上半叶的 32 倍。到 21 世纪 20 年代末,三维分子计算机将能够为具有人脑水平的强大的“人工智能”机提供硬件环境,也就是说,计算机将能够与人脑相媲美。R. Kurzweil 甚至认为,计算机正在迈向后人类世界(Post-human World)。无处不在的计算机将能够让人们进入一个与现实世界完全隔离的虚拟世界(R. Kurzweil, 2008)。

人类在回首其数百万年的演化进程时,特别是在享受到工业革命带来的巨大利益之后,面对温室气体效应以及全球变暖带来的巨变时,愈来愈深刻地感受

到人类自身对其赖以生存的地球系统的认识是何等的肤浅,认识到人类只不过是大自然的普通一员,认识到传统的发展模式实际上是在以前所未有的方式和力度改造乃至破坏着地球原有的生命支持系统。温室效应、气候变暖等已经直接威胁到地球上包括人类在内的所有生物的生存。1982年10月28日联合国大会通过的《世界自然宪章》确认,“人类是自然的一部分,生命有赖于自然系统的功能维持不坠。”从2003年一度影响全球的“非典”,到2004年底的印度洋大海啸,再到2008年初肆虐大半个中国的雪灾和5月12日的四川汶川大地震,这些不断发生的灾难一再告诫我们,在大自然不可抗拒的威力面前,号称掌握着现代科学技术的人类显得多么渺小。有的学者甚至严肃地指出,如不改变现行的发展模式,到2100年地球上将只剩下南极等几个少数适宜人类生存的地区(G. Lean, 2004)。现有发展模式问题的严重性远不止于此,2007年,美国学者A. Weisman在《没有人的世界》一书中为我们描绘了大自然如何才能逐渐适应一个没有人的世界。假如人都死光了,要用多久地球上才能出现一种新的微生物来消耗人类留下的塑料袋、汽车轮胎、化学污染?显然,传统的以认识自然、改造自然、利用自然为目的的科学技术观正面临着巨大的挑战,以地球为研究对象的地球科学无疑是重中之重。生活在“行星地球”上的人类所肩负的生态责任正在呼唤新型的教育、新型的技术、新型的团队、新型的经济(W. S. Fyfe, 2003)。随着可持续发展战略的提出和实施,人口、资源、环境协调发展的理念正在成为各行各业的行为规范(牛文元, 2002)。人们不禁要问,我们对人类赖以生存的行星地球究竟了解多少?我们究竟应该如何与行星地球和谐共生?我们何时才能真正学会可持续发展?正确回答上述问题的前提就是真正理解人类赖以生存的地球系统,特别是充分理解以人工系统和自然系统为主导的各类信息生成、传播和相互作用,这正是地球信息学的研究主题。

第一节 面向“行星地球”的地球科学

如果说起始于18世纪以蒸汽机的发明为标志的工业革命促进了地球科学发展的话,那在很大程度上是基于人类对地球中所赋存的煤、铁、油等各类可利用资源的需求。地质学作为现代意义上的科学研究领域正是起始于工业革命兴起的18世纪:1778年, J. A. Deluc曾用过地质学这一术语;到1779年, H. B. DE Sausure正式将地质学引入学术界(H. Murawski, 1983)。就词源而言,地质学的英语词Geology源于希腊语中的地球(Geo)和研究(Logia)。在地质学应有的研究内容中,固然包括了地球的结构、形成和演化,包括了对地球作为生命支持系统的理解。但在实际的工程应用中,地质学包括由其派生的相关学科,

更多的是服务于查明人类所需各类矿产资源的赋存情况,以利于人类的开采利用,而对于人类活动与地球系统之间的相互影响,特别是在交互过程中所产生的数据流、信息流,往往没能给予应有的关注。

2005年12月,也就是在举世瞩目的印度洋大海啸发生一年之后,第60届联合国大会一致通过决议,把2008年作为“联合国国际地球年”,正式启动了联合国成立以来第一次以地学为主导的国际年活动。该项计划的唯一目的就是要在世界范围内,增加公众和政界对地球科学的认识,明确地球科学在提高人类生活质量和保护行星地球方面所具有的巨大潜力。

事实上,早在1864年美国学者G. P. 马什(George Perkins Marsh, 1801—1882)就出版了《人与自然》(*Man and Nature*)一书,开始注意到技术、工业、人类活动对地理环境和自然的负面影响。如果把该书的出版看做是从整体上认识人类活动与行星地球关系的萌芽阶段的话,真正把地球整体作为一个生命支持系统来研究,那还是20世纪中、后期的事。那是在人类中的有识之士首先感受到人类生存环境所受到的威胁、感受到了由于来自人类日积月累的破坏作用,整个地球的生命支持系统已经摇摇欲坠的情况下被动开始的。1948年,威廉·福格特(William Vogt)在其《生存之路》(*Road to Survival*)一书中,第一次明确提出了“我们——全体男女老幼必须重新调整我们与环境的关系”。同年,被称为环境伦理学之父的奥尔多·利奥波德(Aldo Leopold)在题为《沙乡的沉思》(*A Sand County Almanac*)的一书中提出,“要从总体上尊重土地,不仅把它当做一个可使用的东西,而且把它当成一个有生命的东西。”比较而言,R. 卡逊(Rachel Carson)在1962年推出的《寂静的春天》(*Silent Spring*)一书中对地球环境的精辟分析更加深刻、更加引人注目。恰恰是始于工业革命的化学药物之类的工业产品给自然环境带来了灾难性的破坏。她在书中指出,人类对自然界已经进行了并正在进行着“不必要的大破坏”。事实上,作为宇宙间目前唯一的生命支持系统,地球已经并且正在遭受着日益严重的退化威胁。真的如卡逊在书中所说的那样,这一切“仅仅是由于人类的无知吗”? 人类建立在工业革命基础上的近代科学技术究竟对自然界做了些什么? 我们的地球科学到底对地球系统了解多少?

直到卡逊的《寂静的春天》出版10年之后的1972年,地球整体作为一个生命支持系统的认识才逐渐得到国际社会的公认。在联合国人类环境会议通过的一份非官方报告《只有一个地球》的前言中,报告主编者巴巴拉·沃德(Barbara Ward)和雷内·杜博斯(Rene Dubos)概括了所要表达的基本思想:“毫无疑问,当前大多数的环境问题,都是来自人类对生态的错误行动。我们通常认为人类不是地球上的寄居者,而是地球的主人。我们把征服客观世界看做人类的进步,

这就意味着常因我们的错误认识而破坏了自然界。尽管作为物种之一的人类,在破坏和污染了自然界之后仍能生存下去,但是在这样污秽的环境里,人类还能长期保持它的尊严吗?”无论是这份非官方报告,还是大会通过的《联合国人类环境会议宣言》,都特别强调了“地球的整体性”、“环境问题的相互依存性”以及“生物圈和技术圈的冲突”等涉及人类文明向何处去的重大问题。

在此后的 30 多年间,地球的整体性问题越来越受到人们的关注,从美国国家研究理事会 1993 年提交的“固体地球科学与社会”,到该理事会 2000 年完成的“地球科学基础研究的机遇”,地球科学面向“行星地球”的基本定位日趋明朗。无论是作为行星之一的地球,对作为人类赖以生存的地球,还是对人类与其他生物共享的地球,在破译地球的历史、认识其目前的行为并预测未来方面,我们所知道的毕竟太少了。特别是对人类参与下的地球演化过程、人类作为重要的地质营力之一(B. Wilkinson, 2002)在地球演化过程中所起的作用等方面了解太少! G. P. 马什在 1874 年再版的《人与自然》一书时,已经将书名更改为《人类活动改变了的地球:人与自然》。正如人类是地球演化过程中的产物一样,当今人类的各项活动,无论是有利于还是有害于整个环境的发展,都是地球演化过程中不可分割的一部分。诺贝尔化学奖获得者、德国马克斯普朗克化学研究所主任、著名环境科学家 P. J. Crutzen 教授自 2002 年以来,一直关注着工业革命以来的人类活动对地球系统的影响。在 2008 年 2 月出版的美国地质学会会刊上,有学者进一步明确提出“我们现在是否生活在人类世?”的问题(J. Zalasiewicz 等, 2008)。今天,一个没有人类的“行星地球”是无法想象的,而在这个“行星地球”上真正能够负起生态责任、主动协调人地关系、力求维系地球系统可持续发展的也只有人类。对于承担着整个“行星地球”生态责任的人类而言,包括地球信息学在内的地球科学,对包括人类在内的地球系统的未来无疑起着决定性的作用(W. S. Fyfe, 2000)。从这个意义上说,当代的地球科学面对的是作为行星的整个地球,是有人类参与其演化过程的地球系统(毕思文, 2003),而以行星地球上人类活动与地球系统间互动信息为研究主体的地球信息学就是理解这一系统的钥匙!

第二节 应对地球系统变化的地球信息学

现在,以数字化、信息化、网络化为代表的现代信息技术几乎已经渗透到了人们日常生活的方方面面,并正在悄悄地改变着人类的生产、生活乃至思维方式。美国麻省理工学院教授兼媒体实验室主任尼古拉·尼葛洛庞帝(Nicolas Negroponte)于 1995 年出版的《数字化生存》(*Being Digital*)一书,不仅生动地