

地球信息科学概论

谭海樵 奚砚涛 季景贤 编著

中国矿业大学出版社

P208
T-388

地球信息科学概论

Outline of Geoinformatics

谭海樵 奚砚涛 季景贤 编著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书从地球伦理学的角度探讨了地球信息科学的学术定位、科学内涵和支撑技术。提出地球信息科学的研究目标是维系地球生命支持系统功能不坠和整个“地球村”的可持续发展。强调所有地学实体都是地球系统的一个子集。地球信息科学应以地球系统科学为指导,以地学实体为研究对象,以地学实体的时间、空间和特征要素的研究为切入点,阐述地球信息的形成机理和运移流程,以地球系统自然循环的重建和修复为突破口,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和整体、局部和全局、历史、现状与未来的关系。力求用异构集成、数据挖掘、信息融合、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、各学科的本科生和研究生,也可用作在规划管理、资源勘察、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

地球信息科学概论/谭海樵,奚砚涛,季景贤编著.

—徐州:中国矿业大学出版社,2005.7

ISBN 7 - 81070 - 981 - X

I. 地… II. ①谭…②奚…③季 III. 地理信息系
—高等学校—教材 IV. P208

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第074938号

- 书 名 地球信息科学概论
编 著 谭海樵 奚砚涛 季景贤
责任编辑 朱明华
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 中国矿业大学印刷厂
经 销 新华书店
开 本 787×960 1/16 印张 17.25 字数 320千字
版次印次 2005年7月第1版 2005年7月第1次印刷
定 价 30.00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,充分利用和融合信息科学与技术、计算机科学与技术等,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、海量地学实体信息进行“深加工”,开拓出一条面向地学实体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“地球村”的可持续发展发挥其应有的作用,已成为地学界人士普遍关注的问题。大量的文献表明,现代信息科学、计算机科学的发展,使得从不同侧面研究、剖析类似地学实体这样的复杂系统的条件日趋成熟,挖掘针对同一地学实体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“地球信息科学”正是传统地球科学与系统科学、信息科学和计算机科学相结合的产物。

笔者多年的教学、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技术,都必须跳出传统思维的桎梏,突破多源、多维、海量地学实体信息综合应用的“瓶颈”。在这方面,“地球信息科学”将所有地学实体都视为地球系统的一个子集,以地学实体的时间、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复杂性、不确定性以及地球系统中个体和整体、局部和全局、历史、现状与未来的关系,力求用异构集成、数据挖掘、信息融合、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,从而为地学实体信息的采集、处理、存储、发布和共享奠定坚实的基础。

应当指出的是,本书从地球伦理学的角度将地球信息科学(Geoinformatics)定位为研究人类活动参与下的地球系统内信息流的科学。这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学信息的数字化、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、地学过程的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。地球信息科学所涉及的基础数据并不局限于地球科学,而是涵盖了人口、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,但又不仅仅局限于 3S,根

据实际问题的需要,还可能包括地震、磁法、电法、重力等地球物理和与水、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、数据压缩和网络传输技术等等。其主要研究手段是针对不同尺度地学实体、地学问题、地学过程的全程动态模拟和地学可视化。

全书共分十章,内容涉及地学实体的时间、空间、特征等信息要素的感知和度量、地学实体信息的集成、融合、数学建模以及地学实体信息共享和用户化。书稿的第一章至第六章由谭海樵撰稿,季景贤承担了本书第五章、第六章部分内容的撰稿工作。第七章至第十章以及两个附录中的回归分析和数据压缩算法由奚砚涛撰稿,最后由谭海樵负责对全书各章节进行统稿。在成书过程中,得到中国矿业大学王桂梁教授的鼓励、指导和帮助,资源学院地理系的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朱明华同志为本书的审校和出版付出了辛勤的努力,在此一并表示感谢。

限于作者水平和时间,书中的疏漏不当之处,在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2005年5月

于中国矿业大学文昌校区

目 录

第一章 地球信息科学的发展机遇	1
第一节 面向“地球村”的地球科学.....	2
第二节 应对人类生态责任的信息技术.....	4
第三节 地球信息科学的发展需求.....	6
第四节 地球信息科学的学术定位和市场定位.....	9
本章小结	12
思考题	12
参考文献	12
第二章 地球信息科学的科学内涵	14
第一节 人类活动改造下的地球系统	14
第二节 地球系统的基本架构	16
第三节 信息时代的地球科学新思维	22
第四节 地球信息科学的研究内容	24
本章小结	26
思考题	27
参考文献	27
第三章 地学实体的信息学特征	29
第一节 地学实体的信息场	31
第二节 地学实体的时空尺度	33
第三节 感知地学实体的三大要素	36
第四节 地学实体的不确定性	41
第五节 地学实体数据的异构性	43
本章小结	45
思考题	45
参考文献	45

第四章 地学实体时间要素的度量	47
第一节 时间的概念和单位	48
第二节 生物地层学和相对地质年代学	49
第三节 古地磁学和绝对地质年代学	58
第四节 绝对地质年代法	60
本章小结	62
思考题	63
参考文献	63
第五章 地学实体空间定位要素的度量	64
第一节 地学参照系	64
第二节 地学实体空间定位要素的获取	75
第三节 基于全球定位系统地学实体空间定位要素的测定	83
第四节 对地立体成像技术	85
本章小结	87
思考题	87
参考文献	87
第六章 地学实体特征要素的感知和度量	89
第一节 地球的表层系统	91
第二节 地学实体特征要素的直接感知和度量	97
第三节 遥感对地观测技术	110
本章小结	116
思考题	116
参考文献	117
第七章 地学实体信息的集成与融合	118
第一节 地学实体信息集成的定位	118
第二节 地学实体信息集成的尺度和层次	122
第三节 地学实体信息的融合	126
第四节 地学实体信息应用服务	130
第五节 地理标记语言——GML	132
本章小结	145

思考题·····	145
参考文献·····	146
第八章 地学实体信息的数学建模·····	148
第一节 地学实体信息数学模型的构建·····	149
第二节 地学实体信息统计分析模型·····	154
第三节 地学实体信息分类模型·····	156
第四节 地学实体信息应用模型概述·····	165
本章小结·····	174
思考题·····	174
参考文献·····	175
第九章 元数据与地学实体信息的共享·····	176
第一节 共享的分类·····	176
第二节 共享的物理平台·····	178
第三节 共享的数据基础·····	179
第四节 元数据及其应用·····	184
第五节 基于 XML 的元数据标准与互操作·····	191
第六节 共享与信息安全·····	194
本章小结·····	195
思考题·····	195
参考文献·····	196
第十章 地学实体信息的用户化·····	198
第一节 数据压缩与传输·····	198
第二节 数据仓库与数据挖掘·····	206
第三节 地学实体信息的可视化·····	227
本章小结·····	235
思考题·····	236
参考文献·····	236
附录 1 回归分析·····	239
附录 2 数据压缩算法·····	255

Table of Contents

Chapter 1 An Opportunity for Geoinformatics	1
Section 1 “Earth village”-oriented geoinformatics	2
Section 2 Information technology for human’s ecological responsibility	4
Section 3 Opportunities for geoinformatics	6
Section 4 Academic and market position of geoinformatics	9
Summary	12
Questions	12
References	12
Chapter 2 Scientific Objectives of Geoinformatics	14
Section 1 Earth System modified by Human Activities	14
Section 2 Spatial Framework of Earth System	16
Section 3 New thoughts about earth science	22
Section 4 Research objects of geoinformatics	24
Summary	26
Questions	27
References	27
Chapter 3 Informatics Characteristics of Geo-entities	29
Section 1 Information fields of Geo-entities	31
Section 2 Spatial and temporal dimensions of geointities	33
Section 3 Three basic elements for sensing geo-entities	36
Section 4 Uncertainty of geointities	41
Section 5 Heterogeneity of geointities’ records	43
Summary	45
Questions	45
References	45

Chapter 4	Measuring the Time Factors of Geoentities	47
Section 1	Concept and unit of time	48
Section 2	Biostratigraphy and Geochronology	49
Section 3	Paleomagnetism and Geochronology	58
Section 4	Absolute Geological Dating	60
Summary	.....	62
Questions	.....	63
References	.....	63
Chapter 5	Measuring the Positioning Factors of Geo-entities	64
Section 1	Geo-references	64
Section 2	Acquiring the spatial factors of geo-entities	75
Section 3	Measuring the spatial factors of geo-entities based on GPS	83
Section 4	Stereo imaging technology for Earth observation	85
Summary	.....	87
Questions	.....	87
References	.....	87
Chapter 6	Sensing and Measuring the Features of Geo-entities	89
Section 1	Surface systems of the Earth	91
Section 2	Sensing and measuring features of geo-entities	97
Section 3	Remote sensing for Earth observations	110
Summary	.....	116
Questions	.....	116
References	.....	117
Chapter 7	Integration and Fusion of Geo-entities Information	118
Section 1	Positioning of the geo-entities' information integration	118
Section 2	Dimension and Level of geo-entities' information integration	122
Section 3	Fusion of geo-entities' Information	126
Section 4	Application service of geo-entities' information	130
Section 5	Geographic Markup Language——GML	132
Summary	.....	145

Questions	145
References	146
Chapter 8 Mathematical Modeling of Geo-entities Information	148
Section 1 Establishment of mathematical model for geo-entities' information	149
Section 2 Statistical analysis models for geo-entities' information	154
Section 3 Classification models for geo-entities' information	156
Section 4 Application models for geo-entities' information	165
Summary	174
Questions	174
References	175
Chapter 9 Metadata and Geo-Information sharing	176
Section 1 Classification of information sharing	176
Section 2 Platform for Information sharing	178
Section 3 Data foundation for information sharing	179
Section 4 Metadata and its application	184
Section 5 Metadata standards based on XML and interoperation	191
Section 6 Information sharing and its security	194
Summary	195
Questions	195
References	196
Chapter 10 Customerization of Geo-entities Information	198
Section 1 Data compression and transfer	198
Section 2 Data Warehouse and data mining	206
Section 3 Visualization of geo-entities' information	227
Summary	235
Questions	236
References	236
Appendix A: Regression analysis	239
Appendix B: Algorithms for data compression	255

第一章 地球信息科学的发展机遇

在长达 45~46 亿年之久的地球历史中,人类的“球籍”只不过数百万年。正是在人类与自然长达数百万年的不断磨合过程中,人的大脑的功能在不断增强,人类对其自身生存环境的认识不断得以深化。许多人类学家相信,250 万年前石器的出现与脑子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,几乎是惟一的选择。从某种意义上讲,工业革命的意义就在于使得农耕时代看似笨拙的生产工具得到彻底的改变,使得相对原始的生产方式得到改造,进而使得人类的衣、食、住、行等基本生存条件得到前所未有的改善。正是借助于工业革命带来的新一代的工具,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得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得人类发明、指挥工具制造和使用的大脑的功能得以延伸。换句话说,工业革命实现了人类的五官和四肢功能的延伸;信息革命将实现人类大脑功能的延伸。

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,愈来愈深刻地感受到人类自身对大自然的认识的肤浅,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包括地球上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”。2003 年一度影响全球的“非典”告诫我们,即便是在科技如此发达的今天,曾号称能“征服自然”的人类面对一种新的病毒却表现得如此的束手无策,在自然的威力面前,人类显得如此渺小。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才能适宜人类的生存(Lean, G., 2004)。显然,以传统的认识自然、改造自然、利用自然为目的的科学技术观正在面临着巨大的挑战,以地球为研究对象的地球科学无疑首当其冲。作

为“地球村”成员之一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 (Fyfe, W. S., 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地球究竟了解多少? 我们究竟应该如何生存? 我们何时才能真正学会生存? 正确回答上述问题的前提就是真正了解人类赖以生存的地球,而要全面了解人类赖以生存的地球,就离不开地球信息科学。

第一节 面向“地球村”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,促进了地球科学的发展的话,那在很大程度上是基于对地球中所赋存的煤、铁、油等各类可利用资源的渴望。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. DE LUC 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 (Murawski, H., 1983)。就词源学而言,地质学的英语词 Geology 就是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,而对于人类活动对地球系统可能带来的种种影响,往往不太关注。

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),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作是从整体上认识人类与自然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、感受到由于来自人类的日积月累的破坏作用,整个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“我们——全体男女老幼必须重新调整我们与环境的关系”(福格特, 1981)。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) 一书中提出,“要从总体上尊重土地,不仅把它当作一个可使用的东西,而且把它当成一个有生命的东西”(Leopold, A., 1995)。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 (卡逊, 1979),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,作为宇宙间目前惟一的生命支持系统,地球已经并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·杜波斯(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作人类的进步,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?(巴巴拉·沃德等,1976)”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”等涉及到人类文明向何处去的重大问题。

在此后的三十多年间,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“地球科学基础研究的机遇”,地球科学面向“地球村”的基本定位日趋明朗。无论是对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(Wilkinson, B., 2002; Committee on Status and Research Objectives in the Solid—Earth and Society, 1993)在地球演化过程中所起的作用等了解太少! G. P. 马什在 1874 年再版其《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》(Marsh, G. P., 1965)。正如人类是地球演化过程中的产物一样,当今人类的各种活动,无论是有利于整个环境的发展,还是有害于整个环境的发展,都应该看作是地球演化过程不可分割的一部分。有的学者(Crutzen, P. J. 2000)将工业革命以来的地球历史时期定为人类世是有充分理由的。今天,一个没有人类的“地球村”,是无法想像的;而在这个“地球村”里真正能够负起生态责任、维系生命支持系统可持续发展的也只有人类。对于承担着整个“地球村”的生态责任的人类而言,地球科学的研究对地球的未来无疑起着决

定性的作用(Fyfe, W. S., 2000)。从这个意义上说,当代的地球科学面对的是整个地球,是有人类参与其演化过程的地球系统(毕思文, 2003)!

第二节 应对人类生态责任的信息技术

现在,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人们的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年发表的《数字化生存》(*Being Digital*)一书,不仅生动地刻画了数字化生活的方方面面,而且为我们描述了数字化生活的未来(尼葛洛庞帝, 1997)。不过就全书的结构和内容而言,将该书的中文书名译为“数字化生活”更为贴切,因为全书对人类生存所面临的全球性环境问题几乎未置一词。真正意义上的数字化生存应该是人类的一种全新生存模式。人类只有自觉地担负起全球的生态责任,主动构建协调发展的人地关系,才能使地球上现有的、也是宇宙间惟一的生命支持系统得以维系不坠。就像在工业革命时代,人类借助于“延伸了的”五官和四肢大大拓展了农业革命的成果一样,当今信息革命也将借助于突飞猛进的信息技术,逐渐实现人类大脑功能的“延伸”,把工业革命时代未能实现的人地协调发展付诸实施,从而在地球上建设一个具有时代标志的信息社会。人类自觉地承担起生态责任、在确保“自然系统的功能维持不坠”的前提下,构建全球性的人口、资源、环境协调发展的和谐系统,并使之能够正常运转,这才是真正意义上的信息社会。显然,一个成熟的信息社会,实际上就是一个在“地球村”中能够承担起全球生态责任的人工系统,其关键标志就是:人类社会经济的发展不再依赖于自然资源,而是依托于信息资源,使人类和“地球村”的其他村民能够共享地球的未来。

构建全球性的信息社会绝不是一朝一夕能够实现的。通常,我们可以基于多项指标判断一个国家或地区的信息化程度。比如在经济领域信息化程度的主要标志有:① 劳动力结构出现根本性的变化,从事信息职业的人数与其他部门职业的人数相比占绝对优势;② 在国民生产总值中,信息经济所创产值与其他经济部门所创产值相比占绝对优势;③ 能源消耗少,污染得以控制;④ 知识成为社会发展的巨大资源。在社会文化领域有:① 社会生活的计算机化、自动化;② 拥有覆盖面极广的远程快速通讯网络系统以及各类远程存取快捷、方便的数据中心;③ 生活模式、文化模式的多样化、个性化的加强;④ 可供个人自由支配的时间和活动的空间都有较大幅度的增加。而在社会观念领域,则主要体现在:① 尊重知识的价值观念成为社会风尚;② 社会中人具有更积极地创造未来的

意识倾向。

据世界经济论坛 2003 年 2 月 18 日在日内瓦发布的 2002 至 2003 年度全球信息技术报告,芬兰已取代美国,成为全球信息化程度综合指数排名第一的国家。芬兰的有线电话网已实现 100% 数字化,数字光纤网也已覆盖全国;在芬兰的机关、企业等机构里,使用电脑的人达到 90% 以上;家用电脑迅速普及:平均每百名芬兰人拥有 36 台电脑。芬兰的移动电话数量已超过固定电话,平均每百名芬兰公民拥有 75 部移动电话,人均移动电话拥有量名列世界前茅。平均每百名芬兰人中有互联网用户 25 个。这一普及率仅次于美国,居世界第二位。在芬兰,90% 的企业和公共部门已在互联网上建立了网站。人们已习惯于利用互联网获取信息,企业则通过互联网从事电子贸易、银行支付、产品广告和企业形象宣传等工作。芬兰还拥有世界最先进的电子银行系统。在芬兰,通过银行计算机网络付款或在线购物已是人们习以为常的事情。芬兰政府制定和修订了电信法、数据法、商务电子通信法、电子签名法和信息社会保护法等一系列法律,完全开放了电信市场,在信息和通信基础设施建设方面投入了巨资,为信息与通信产业的发展创造了有利环境。教育是建设信息化社会的基础。在芬兰这个仅有 520 万人口的国家里,就有 21 所大学和众多的高等技术学院、国际研究机构。在建设信息化社会的过程中,芬兰政府始终重视培养企业急需的信息、电子等领域的高科技人才。政府努力为每一位芬兰公民提供培训机会,使其掌握必要的技能以便获得信息服务。教育的普及与提高使得芬兰的劳动力成为世界上受教育程度最高的群体之一。

过去 10 年,芬兰在大力发展信息与通信产业的同时,利用以信息技术为主的高新技术对传统工业进行了改造。这不仅提高了芬兰工业的生产能力和企业的生产效率,而且加速了产业结构的升级。世界最大的移动电话生产商诺基亚的巨大成功,推动了芬兰社会信息化、网络化水平的提高。在诺基亚的带动下,数以千计的信息和通信企业如雨后春笋般出现,芬兰的软件业也随之迅速发展起来。同时,芬兰还利用信息技术重点改造传统的森林工业、金属及机械制造业。20 世纪 90 年代以来,芬兰国家技术开发中心先后协调、资助相关企业和研究机构实施了智能系统应用计划、芬兰中小企业信息化等规划。通过信息技术改造,芬兰森林工业、金属及机械制造业的技术密集程度得到了加强,生产效率明显提高,形成了信息技术、人工智能技术和自动化技术综合体。目前,以信息技术为主的高新技术已经成为推动芬兰经济增长的主要动力,传统的森林工业、金属工业、信息与通信技术产业,已成为芬兰国民经济中并驾齐驱的三大支柱产业。

作为全球信息化程度综合指数排名第一的国家,芬兰给我们带来的最主要启示就是,环境和发展的完全可以并行不悖,人和自然的协调发展不仅是必须的,

而且是可行的。其基本前提条件就是现代信息技术。现代信息技术给当今社会带来的挑战可以说无所不在。概括地讲,主要表现在以下 10 个方面:

(1) 通信方式:据报道,中国的网民数在 2003 年已达 7 800 万人,在 2005 年底中国将建设成世界上最大的下一代互联网 IPv6 网络;

(2) 信息处理:环境网络化、软件部件化、处理个性化、发布比特化,数据挖掘、信息增值和知识发现将逐渐成为信息处理的主流;

(3) 学习方式:环境在线、内容自选、教材定制、学习终身;

(4) 商业运作:电子商务、物流管理、商业秘密、金融流通、安全保障;

(5) 工作方式:移动办公、家庭办公、信息获取、决策支持;

(6) 医疗保健:远程诊断、信号传输、信息挖掘、综合诊断、隐私保护;

(7) 设计制造:交互控制、计算导引、数据挖掘、在线需求分析;

(8) 科研方式:虚拟试验、数值模拟、资源共享、高效检索;

(9) 环境保护:数学建模、实时监测、动态模拟、预测预报、决策支持;

(10) 政务工作:信息管理、应急处置、三维动态、评估决策。

正是人类在信息社会中应当承担的全球生态责任和现代信息技术为地球信息科学的发展提供了前所未有的机遇。

第三节 地球信息科学的发展需求

美国国家研究理事会在 2001 年发表的题为《地球科学基础研究的机遇》的研究报告中明确提出 (CGER, 2001), 未来 10 年国家急需的基础研究的议题是:

(1) 发现、利用和保护自然资源;

(2) 表征和减轻自然灾害;

(3) 为商业和基础设施建设提供沿途工程支持;

(4) 环境管理;

(5) 用于全球安全和国防的地球监测。

中国科学院地学部在 2003 年完成《关于地球科学国家中长期发展规划战略研究咨询报告》初稿中,初步提出了未来 15 年到 20 年地球科学发展的 6 个重大战略研究方向:

(1) 行星地球的物理、化学与生物过程及其协同演化;

(2) 海洋的物理和生物地球化学过程及其资源环境效应;

(3) 陆面过程、资源环境灾害、人类活动与可持续发展;

(4) 气候系统和空间天气的变化与趋势预测;