

DAXUEYANJIUXING
KECHENGZHUANYEJIAOCAI

大学研究型课程专业教材

地理与海洋科学类

数字地球导论

吴国平 李 闽 著



南京大学出版社

大学研究型课程专业教材

地理与海洋科学类

数字地球导论

吴国平 李 闽 著



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字地球导论 / 吴国平, 李闽著. —南京: 南京大学出版社, 2018.8

大学研究型课程专业教材. 地理与海洋科学类

ISBN 978-7-305-20552-1

I. ①数… II. ①吴…②李… III. ①数字地球—高等学校—教材 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 163745 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号

邮 编 210093

出 版 人 金鑫荣

书 名 数字地球导论

著 者 吴国平 李 闽

责任编辑 陈 露 吴 汀 编辑热线 025-83593947

照 排 南京紫藤制版印务中心

印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司

开 本 787×960 1/16 印张 19.75 字数 308 千

版 次 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-20552-1

定 价 68.00 元

网 址: <http://www.njupco.com>

官方微博: <http://weibo.com/njupco>

官方微信: njupress

销售咨询热线: (025)83594756

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

总 序

研究生是高校学术研究的主力军。他们的独特优势在于热情一旦被激发,巨大的能量将在瞬间释放,足以化解众多科学难题。纵观科学发展历史,多数学者后来取得的重要成果和学术声誉的基础,是在研究生阶段奠定的。当然,优势不会凭空转化为胜势,还需要一些基本的条件。

首先,研究生要有过硬的写作功夫。学术写作的要点是清晰表述事实、阐明逻辑关系。刻画事实如同画家给人画像,准确、逼真、神似是应追求的标准。各种事实之间、事实与理论之间、不同理论之间隐含着严密的逻辑,揭示这些逻辑关系要通过论说来实现,一篇论文的水平在很大程度上就是论说的水平,具体而言就是解释、比较、讨论的水平。平时多写短文,每年完成从一定数量的学术论文,这是提高写作水平的有效途径。

其次,研究生要有攻克科学难题的勇气。科学发展的历史就是不断克服困难的历史;如今,人类虽然获得了许多知识,但尚未攻克的难题更多。研究生是有能力应对其中部分难题的,他们不应该由于学校的考核标准压力而忽视了自身的潜力,限制了自身的发展。如果能够找到合适的研究切入点,从相对容易的论题入手,取得初步成果,然后逐步深入,以少积多,最终将能完成一项原本难以想象的任务。研究切入点的确定要靠研究生的主观努力,阅读文献、参加学术会议、与指导老师和同学进行讨论,这些活动都能引发许多有价值的论题,经过进一步消化、吸收和凝练,可转化为自己的研究内容。

最后,研究生应在发展新技术、新方法上有所作为。有了科学问题,下一步的任务就是明确要做哪几项工作、如何完成,也就是明确研究方案。研究工作涉及数据和样品采集、实验室分析和数据处理,因而需要掌握一定的操作技能,但要做

出更具创新性的成果这还不够。有哪些前人没有采集过的数据、是否需要设计新的仪器来采集和分析数据、能否建立更新更有效的计算和模拟方法？研究生要经常思考这些问题，有意识地朝着研制新仪器、发展新方法的方向去努力。

我们出版这套“导引”系列教程的目的就是要帮助研究生们提高研究能力。与通常的教材不同，这套教程的重点不是专业知识的系统介绍，而是要在发现科学问题、寻找研究切入点、发展方法技术上提供线索。我们期待研究生能从中获益，促进他们早期学术生涯的发展。

南京大学地理与海洋科学学院

2013年5月20日

目 录

1 绪论	1
1.1 数字地球概念	1
1.2 数字地球背景	4
1.3 数字地球的基本框架	9
1.4 数字地球的研究内容	12
1.5 数字地球中的 GIS、GPS 和 RS 的本质及其集成	13
1.6 数字地球应用综述	15
1.7 数字地球的作用与意义	17
1.8 数字地球前景展望	18
2 数字地球技术系统	21
2.1 数字地球的基础设施	21
2.2 数字地球技术系统的基本框架	25
2.3 数字地球核心技术	31
2.4 数字地球关键技术	33
2.5 数字地球无级比例尺数据管理技术	39
2.6 数字地球的虚拟与仿真技术	43
3 数字国土	49
3.1 数字国土	49
3.2 数字国土的技术系统	51
3.3 数字国土的应用体系	56
3.4 我国“数字国土工程”	57

- 3.5 国土资源信息化“十三五”规划 59
 - 3.6 国土资源信息系统 66
- 4 数字城市 68
 - 4.1 数字城市概念 68
 - 4.2 数字城市基本内容 71
 - 4.3 数字城市的支撑技术 74
 - 4.4 数字城市面临的问题 77
 - 4.5 数字城市的应用 79
 - 4.6 数字城市应用实例 79
- 5 数字政府 83
 - 5.1 数字政府概念 83
 - 5.2 数字政府应用 86
 - 5.3 数字政府进程 89
 - 5.4 中国数字政府建设 94
 - 5.5 数字政府工程实施方案总体设想 100
- 6 电子商务..... 107
 - 6.1 电子商务概述 107
 - 6.2 电子商务模式 111
 - 6.3 电子商务技术基础 116
 - 6.4 电子商务法律 122
 - 6.5 电子商务与服务业 128
- 7 数字通信..... 133
 - 7.1 数字通信概念 133
 - 7.2 数字通信基本架构 136
 - 7.3 构建数据通信网 138
 - 7.4 移动通信 141
 - 7.5 W - CDMA 143
 - 7.6 移动 Internet 144

7.7	移动地理信息系统	148
7.8	移动数字地球	153
8	智能交通	155
8.1	智能交通系统	155
8.2	中国的智能交通系统	159
8.3	GPS 在智能交通系统中的应用	161
8.4	无人驾驶	164
8.5	中国智能交通系统发展回顾	168
8.6	中国智能交通系统发展趋势	176
8.7	互联网+交通	179
9	精细农业	183
9.1	精细农业的概念	183
9.2	精细农业的技术基础	188
9.3	精细农业支持技术	193
9.4	精细农业关键技术	197
9.5	中国精细农业	198
9.6	精细农业应用前景	201
9.7	人工智能与精细农业	206
10	数字水利	208
10.1	水资源	208
10.2	数字水利的框架结构	214
10.3	数字地球与数字水利	216
10.4	数字水利的内容	219
10.5	数字水利的实用系统	221
10.6	治水之道	225
11	数字地球与现代军事	228
11.1	数字化战争	228
11.2	虚拟战争与网络战争	233

11.3	数字地球在现代军事中的作用	237
11.4	武器装备发展的体系化趋势	241
11.5	中国的现代军事	247
12	网络学校	250
12.1	网络学校概述	250
12.2	网络学校功能和模块	255
12.3	网上教学支持平台	257
12.4	网络学校的优势	266
12.5	网络学校的发展	267
13	绿色数字地球	271
13.1	全球环境信息系统	271
13.2	“数字地球”与环境保护	272
13.3	构建“绿色数字地球”	275
14	数字海洋	280
14.1	数字海洋	280
14.2	数字海洋内容	287
14.3	数字海洋关键技术	289
14.4	数字海洋的不足	294
14.5	海洋科学数据共享平台	297
附 录		301
附录一	数字地球——认识 21 世纪我们这颗星球	301
附录二	数字地球北京宣言	306

1 绪 论

数字地球(Digital Earth)作为一个完整的名词,最初于 1997 年下半年出现在科技界。但世界范围内有影响力的国家领导人的几次重要讲话,使它具有了超出一般科技名词的权威性和重要性。数字地球既是科技发展的战略目标,也是全新的学科领域。

1.1 数字地球概念

1.1.1 数字地球概念的提出

1.1.1.1 数字地球概念的提出

1998 年 1 月 31 日,美国副总统戈尔在美国加利福尼亚科学中心发表题为“数字地球:21 世纪认识地球的方式”的演讲。

1.1.1.2 数字地球概念的推广

1998 年 3 月 13 日,美国副总统戈尔在美国麻省理工学院的一次演讲中建议实施一项卫星计划,用于在电视和因特网上实时反映台风、森林火灾、云图以及其他地球现象。这可以说是数字地球设想的一项具体措施。

1998 年 6 月 1 日,江泽民总书记在接见出席中国科学院第九次院士大会和中国工程院第四次院士大会的部分院士与外籍院士时的讲话。

1998 年 6 月 23 日,美国国家航空航天局和地质调查局等联合举行为期两天

的首次数字地球研讨会。与此同时,中国科学院遥感所向中国科学院提交数字地球项目书面建议。

1998年8月31日,中国学者提交数字地球的技术集成框架和原型研究的课题申请书。

1998年9月22日,美国国家航空航天局和地质调查局等联合举行为期两天的第二次数字地球研讨会。

1998年10月16日,中国科学院有关专家举行小型数字地球研讨会。

1998年10月24日,中国北京大学举行数字地球研讨会。

1998年10月29日,中国“863”计划召开有60多位专家、学者参加的数字地球研讨会。

1998年11月1日,中国科学院地学部召开“资源环境信息与数字化地球”院士和专家研讨会。

1998年8月到12月,中国《文汇报》《中国科学报》《地球信息》《人民日报》《科技日报》等先后发表以数字地球为专题的文章。

1999年2月1日,在美国地质调查局召开由美国联邦地理数据委员会举办的美国第四次数字地球研讨会。

1.1.1.3 数字地球北京宣言

来自20个国家的500多位政府官员、科学家、工程师、教育家、管理专家以及企业家会聚历史名城北京,于1999年11月29日至12月2日参加了由中国科学院主办、19个部门和组织共办的首届“数字地球国际会议”。这次会议显示了中国在数字地球理论研究和应用发展方面的巨大贡献。

1.1.2 数字地球概念

1.1.2.1 数字地球

与数字地球相似的概念有数字世界(Digital World)、地球建模或建模地球(Modeling Earth),以及地球信息圈层(Infosphere of Earth)等,都与地球的数字化或信息化相关,但最能被大家接受的还是数字地球。

Al Gore在其1998年的报告中指出:“数字地球是指一个以地理坐标(经纬网)为依据的、具有多分辨率海量数据的、立体显示地球的技术系统。”

陈述彭院士指出：“从科学的角度讲，数字地球通俗易懂，是一个面向社会的号召；实质地说，数字地球就是要求地球上的信息全部实现数字化。”

数字地球是继国家信息基础设施(NII, 俗称信息高速公路)和国家空间数据基础设施(NSDI, 俗称地学信息高速公路)之后的又一个意义更加深远的国家信息基础设施。它是以地球作为研究对象的高新技术系统, 是很多技术, 尤其是信息技术的综合, 是 21 世纪的重大技术工程。

数字地球是以遥感技术、遥测技术、数据库与地理信息系统技术、高速计算机网络技术和虚拟技术为核心的信息技术系统。数字地球是地球科学与信息科学技术的综合, 是一门综合性的科学技术。

1.1.2.2 数字地球基本概念

数字地球的基本概念, 可以归纳为以下三个方面:

(1) 数字地球是指数字化的三维显示的虚拟地球, 或指信息化的地球, 包括数字化、网络化、智能化与可视化的地球技术系统。

(2) 实施数字地球计划, 需要政府、企业和学术界共同协力参加。实施数字地球计划是社会的行为, 需全社会来关心和支持。

(3) 数字地球是一次新的技术革命, 将改变人类的生产和生活方式, 进一步促进科学技术的发展和推动社会经济的进步。

1.1.2.3 数字地球的英文概念

按照因特网上介绍的美国国家航空航天局和地质调查局等联合举行的数字地球研讨会, 数字地球的英文概念是这样表述的:

“The Digital Earth is a virtual representation of our planet that enables a person to experience and use the vast amounts of natural, cultural, and historical data being gathered about the Earth, the Digital Earth comprises data interfaces and standards enabling access to geo-referenced data from remote sensing, cartographic, demographic, medical, and other sources, based on the interests of the user.”

1.1.3 数字地球的两个层次

所谓数字地球, 就是指在全球范围内建立一个以空间位置为主线, 将信息组

织起来的复杂系统,即按照地理坐标整理并构造一个全球的信息模型,描述地球上每一点的全部信息,按地理位置组织、存储起来,并提供有效、方便、直观的检索手段和显示手段,使每一个人都可以快速、准确、充分和完整地了解及利用地球各方面的信息。在这个意义上,数字地球就是一个全球范围的以地理位置及其相互关系为基础的信息框架,并在该框架内嵌入我们所能获得的信息的总称。

因此,我们应该清楚地认识到数字地球并不是只针对地球系统科学层面上的地球而言,而必须从两个层次上来正确理解广义上的数字地球。

一个层次是将地球表面每一点上的固有信息(即与空间位置直接有关的相对固定的信息,如地形、地貌、植被、建筑、水文等)数字化,按地理坐标组织一个三维的数字地球,全面、详尽地刻画我们居住的这个星球,亦即我们通常所指的数字地球。

另一个层次是在狭义的数字地球的基础上再嵌入所有与人类生活息息相关的各方面的信息(即与空间位置间接有关的相对变动的信息,如人文、经济、政治、军事、科学技术乃至历史等),组成一个意义更加广泛的多维的广义数字地球,为各种应用目的服务。

显然,人类认识世界和改造世界的过程是无止境的,建造数字地球的进程也永远不会终结。

1.2 数字地球背景

数字地球的提出不是偶然的,有其深刻的时代背景、经济背景和技术背景。

经过几十年的努力,计算机的处理速度和处理能力得到了爆炸性的发展。据统计,微处理器芯片处理能力上升一倍,价格则下降一半,每百万次处理能力的价格从几百美元下降到仅仅几美元。计算机应用已经深入社会生活的各个方面,世界开始进入信息时代。

最近十几年来,世界经济和技术呈现出高速发展的局面。中国政通人和,重视知识,发展经济,创造了连续 20 年经济高速发展的奇迹,为世界所瞩目;美国经

济连续多年增长,其经济增长持续时间是近年来最长的一次,由于重视了科技对提高经济竞争力所产生的巨大影响,美国已经从日本手中夺回了经济、技术的竞争优势。世界其他国家的经济情况也不错。虽然发生了东南亚经济危机,但若干年来世界经济的发展情况仍然是良好的。

知识不断创新,高新技术迅速产业化。在数字地球概念提出的 20 世纪 90 年代,美国经济生产力增长的 50%得益于科技创新,其中,IT 行业在经济中所占的比重越来越大。1996 年,全世界 IT 行业的产值达到了 6000 亿美元,发展势头迅猛。IT 行业在美国国民经济中所占的比重从 1977 年的 4.2%上升到 1998 年的 8.2%,对整体经济净增长的贡献超过 30%。在中国,IT 制造业每年以 27%、软件产业每年以 37%、计算机生产每年以 47%的速度激增。

21 世纪以来,世界 IT 行业产值已达数十万亿美元,利用因特网所创造的商业产值也达到了数万亿美元。

遥感(RS)技术的迅速发展,使高分辨率的遥感影像已经进入民用领域,GPS 技术的应用也日益普及。这一切极大地增强了人类对地球的认知能力。全球信息高速公路、3S 集成技术、多媒体技术、GIS 技术的发展不断地丰富着人类处理地球信息的能力。人类需要更深入、更系统、更全面地了解我们生活的这个地球,科学技术的发展也为人类达到这一目的提供了越来越丰富的手段。所有这一切,就是数字地球被提出的背景。

数字地球的热潮会不会只是名人效应或政治口号?不少人有此顾虑。

数字地球与科技兴国、知识经济和知识创新等提法有什么关系?

经过许多专家学者的研究探讨,可以说国际和国内都基本认同数字地球有超越名人效应或政治口号的更深层含义和作用。

1.2.1 社会背景

1.2.1.1 全球化与地球村

信息时代产生了信息社会、数字生存与数字经济(Digital Economy)或知识经济(Knowledge Economy)。在全球化与“地球村”的背景下,社会对于全球信息的需求更加迫切。因此,一系列的全球性的研究在有计划、有步骤地开展。如人与生物圈计划(MAB)、世界气候研究计划(WCRP)、国际水文研究计划(IHRP)、国

际地圈与生物圈计划(WEHARP)、世界数据中心(WDC),国际科学联合会理事会(ICSU)的国际数据中心(IDC),还有全球海洋观测计划(GOOS)、全球变化研究计划等。

社会对全球信息的迫切需求,对“数字地球”的诞生起到了催化作用。

1.2.1.2 社会背景

陈述彭院士指出:“‘数字地球’并非是一个孤立的科技项目或技术目标,而是一个整体性的、导向性的战略思想。美国提出‘数字地球’这一战略思想,绝非偶然,有着深远的政治意义和经济背景。”其主要有三方面因素:

(1) 为美国经济复苏,刺激国内经济发展。美国近七八年来经济持续增长、失业率下降,得益于信息技术及产业的发展,美国政府要通过“数字地球”继续把持信息技术和信息产业的制高点,推动经济发展。

(2) 信息“爆炸”是美国“信息高速公路”和国家空间数据基础设施的自然延伸。美国前总统克林顿曾在1993年签署法令,建设全美的“信息高速公路”,将信息技术推进到人们的日常生活中;1994年又签署了“建立国家空间数据基础设施”的行政命令,为开拓“信息高速公路”提供了地理空间数据。在空间数据基础设施上发展的“数字地球”将为“信息高速公路”提供内容丰富、形式多样的“信息货物”,是未来信息社会的重要信息资源。

(3) 美国全球战略的延续和发展。“冷战”结束后,能源、全球环境等问题成为世界政治和外交斗争的焦点。涉及跨国公司、区域重组等全球经济事务的美国,重视发展能覆盖全球热点地区和战略要点的“三维数字地图”,曾在调解波黑三方边界争端和中东海湾战争等方面起到了重要作用。“数字地球”的发展将进一步增强美国对全球事务的快速反应能力,掌握对国际热点问题的发言权。

1.2.2 科学背景

以地球科学的发展史为例,从定性的认识、逐渐细分的学科、半定量的描述和分析,到多学科共同协作、各种技术的综合运用,来对地球科学的重大事件如白垩纪地球之谜、地震预报、资源分布、环境与生态进行定量和综合研究。数字地球即代表这种发展趋势,同时,数字地球的含义已远超出地球科学的范畴。

1.2.2.1 地理信息科学的战略领域

美国国家地理信息与分析中心(National Center for Geographic Information and Analysis, NCGIA)与大学地理信息科学研究会(University Consortium for Geographic Information Science, UCGIS)于1995年提出了“数字世界(Digital World)”的概念,并对研究内容作了阐明。

美国国家地理信息与分析中心给美国自然科学基金委员会(NSFC)提出建议并发表《高级地理信息科学》(Advancing Geographic Information Science, 1995)报告,提出地理信息科学的战略领域有三:

- (1) 地理空间的认知模型(Cognitive Models of Geographic Space);
- (2) 地理概念的计算机实现(Computational Implementations of Geographic Concepts);
- (3) 信息社会的地理学(Geographies of Information Society)。

此外,报告中还重点讨论了数字时代的地理概念(Geographic Concepts in the Digital Era)等。

1.2.2.2 重点研究课题

美国大学地理信息科学研究会发表的总结报告《地理信息科学的优先研究领域》(Research Priorities for Geographic Information Science, 1996)中,提出了以下重点研究课题:

- (1) 分布式计算(Distributed Computing);
- (2) 地理信息的认知(Cognition of Geographic Information);
- (3) 地理信息的互操作(Interoperability of Geographic Information);
- (4) 比例尺(Scale);
- (5) 空间信息基础设施的未来(the Future of the Spatial Information Infrastructure);
- (6) 地理数据的不确定性和基于分析的 GIS(Uncertainty in Geographic Data and GIS-Based Analysis);
- (7) GIS 与社会(GIS and Society);
- (8) 地理信息系统(GIS)环境中的空间分析(Spatial Analysis in a GIS Environment);
- (9) 空间数据的获取与集成(Spatial Data Acquisition and Integration)。

报告中还讨论了地球表层的复杂性,地理信息是丰富的和海量的,对地球表面的描述总是近似的。地理信息技术已经达到较高的水平,将对人类社会产生很大的冲击。

1.2.3 技术背景

下面我们从技术发展的层面看看数字地球的背景。

1.2.3.1 信息时代的到来

计算机技术、数字化技术和信息网络技术是人类社会进入信息时代的主要标志。

20 世纪 70—80 年代,信息高速公路 (Information Superhighway) 是一个很前卫的概念。今天,因特网、内联网与外联网 (Internet, intranet, extranet) 作为技术和产业,高速发展,日新月异。数字地球就是几十年来计算机技术、数字化技术和信息网络技术促进多学科发展的产物,是 21 世纪信息时代的一个侧面,是科学与技术结合、发展的制高点。

1.2.3.2 高新技术

遥感(RS)、遥测技术(TM)、全球定位系统(GPS)及地理信息系统(GIS)等空间信息科学技术,已经成为研究地球的重要手段。气象卫星系列(NOAA, GOES, UARS 等)、海洋卫星系列(N-ROSS, ADEOS, Seastar, PRI RODA, IRS-IC, TOPEX/POSEIDON 等)、陆地卫星系列(Landsat, SPOT, ERS, Radarsat 等)、测地卫星系列(TOPEX 等)、地球物理卫星系列(重力测量卫星等)以及小卫星系统计划等组成了对地球的全面监测系统;空间分辨率可以从 4000 米到厘米级;波段覆盖从紫外线到超长波的多达 240 个波段;时间分辨率可以从每隔十多天一次到每天数次;对地下的探测深度从若干米到 10000 米。遥测技术和全球定位系统技术也已达到了较高的水平,以 GPS 来说,一般误差只有 2~3 米,利用差分分析方法等,误差可以减小到若干厘米。影像处理技术包括校正、增强、特征提取、模式识别技术、数据库技术与地理信息系统技术,不仅能对已有数据进行有效的管理,而且也有一定的分析能力,已经成为地球数据研究的重要科学手段。

1.2.3.3 NSDI

自 1993 年开始,信息传输技术,尤其是国家信息基础设施(National Information