

多尺度数字地球模型及其在地球科学研究中的应用

李伯衡

(国土资源部, 北京 100034)

[摘要] 论述了虚拟地球五个特征和建立数字地球模型的关键技术; 在数字地球建设、研究和开发中, 应密切从我国经济建设的需要出发, 抓准、抓住制约我国经济建设的四个重大问题; 并论述了数字高程模型应用的七大工程和研究领域。

[关键词] 数字地球模型; 虚拟地球; 信息

从工业经济到知识经济, 从工业社会到信息社会, 信息技术正在发挥越来越大的作用。特别是国际互联网的推出和应用, 把信息社会的发展推向一个新阶段。以电子商务为例, 通过国际互联网进行商贸交易的越来越多, 按权威部门预测, 2000年电子商务交易额将突破1万亿美元。

近年来, 伴随着我国网络技术迅速发展, 科技信息界对数字地球展开了广泛而热烈的讨论, 较20世纪70年代末至80年代初, 我国遥感技术起步阶段研讨和制订规划的热烈形势更为深刻和喜人。我国政府十分关注国际互联网的发展, 为不失时机迎头赶上世界信息技术的发展步伐, 制定并实施了“三金工程”。在国际互联网迅速发展的大好形势下, 1998年1月31日, 美国副总统戈尔提出“数字地球”(Digital Earth)概念, 使信息技术领域进一步拓展。信息高速公路为全球信息开辟了宽广的渠道, 数字地球这一科学目标将不断为信息高速公路提供海量信息源。信息流和信息源的结合, 必然推动信息技术再上一个新台阶。

1 从二维陶片地图到多维虚拟地球

地球是人类生活的家园, 人类在地球上为了取得良好的生活空间, 为了不断提高物质文化生活水

平, 需要不停地加深对地球的认识。人类对地球的认识从局部向外扩展和延伸, 并将对地球的认识记录在不同的载体上。人类从地面认识地球, 到建立虚拟地球大致经历四个阶段:

第一阶段是从地面看地球, 从人类诞生到公元16世纪, 由于科学技术十分落后, 长期停留在从地面看地球, 视野十分狭窄, 仅能达到数公里, 根本无法认识地球的真面貌, 更无从研究地球各圈层的客观存在和相互制约关系。历史上人类把对地球的认识记录在不同载体上, 目前所发现世界最古老的地图, 是公元前21世纪苏美尔人把用来表示地物的象形符号刻绘在陶片上的城市图。在人类发展的进程中, 为了适应生产、生活以及军事和科技的需要, 制作了多种地图, 例如畜牧图、农业图、水利图、航海图、军事图等。这一时期的发展是十分慢长的。

第二阶段是从低空看地球, 大致经历200多年。人类为了扩大自己观察地球视野, 有不少开拓者, 希望像鸟一样飞向天空, 为了实现从空中观测地球的美好理想, 经过无数次失败, 1783年法国载人热气球升空, 开拓了人类从空中看地球的历史。1858年法国从系留气球上拍摄了人类历史第一张航空相片, 开创了航空摄影测量制图的先河,

将地面野外考察和平板仪测量上升为航空摄影立体测量,把全野外信息获取转移到室内,提高了地球信息获取精度,缩短了周期,实现了从空中研究地球的第一次飞越。第二次世界大战后,广泛采用航空摄影获取最新的地面信息,完全改变了地图信息的获取、处理、传输、再现、贮存等体系,为人类生产出了多种地图产品,不断满足人们生活和经济发展的需要,进一步推动了经济建设的发展。

第三阶段从太空看地球——遥感技术的诞生。在火箭技术、空间技术、信息技术迅速发展的推动下,1957年10月原苏联成功发射了世界第一颗人造地球卫星,开创了人类从太空观测地球的新纪元。1959年8月美国探险者6号卫星从1.8万km高空成功拍摄了第一张地球的卫星相片,揭开了空间遥感技术、全球定位技术和地理信息系统的新时代。由于卫星遥感技术所获取的图像宏观性强、内容丰富、信息量大、动态变化清晰,半个世纪以来,卫星遥感技术取得迅速发展,在经济建设方面,凡与地球科学有关的各领域均取得了极其丰富的应用成果。近50年来,世界各国发射的人造卫星达2000余颗,专用遥感卫星也超过500颗,光谱分辨率达到纳米级,尤其雷达遥感的应用,实现了全天候对地观测。社会商品化的遥感图像,地面分辨率达到米级,为人类观测地球提供了丰富的信息源。

第四阶段从计算机或网络看虚拟地球。美国副总统戈尔提出的数字地球概念,是一种可嵌入海量地理数据的、多分辨率的和三维地球表示。他明确指出数字地球与遥感技术、地理信息系统、计算机技术、网络技术、多维虚拟现实技术等高新技术和可持续发展决策、农业、灾害、资源、全球变化、教育、军事等方面的社会需要密切相关。按照戈尔提出的时间表,数字地球的基本实现预计在2020年,而数字地球的初步实现设定在2005年前后。由于空间技术、信息技术、计算机技术和地球科学的综合发展,数字地球的研究和应用必将推动世界经济的迅速发展。

2 虚拟地球特征

地球是一个巨系统,地球各圈层——岩石圈、大气圈、水圈、生物圈相互作用、互相依存,在太阳能量和地球能量多相耦合及太阳系和地球高速运动的条件下,实现能量动态平衡,这一极其复杂的

作用过程正在被人们所揭示。人类在认识地球的过程中,建立起一个高质量的虚拟地球,对人类进一步揭示地球各圈层能量转换规律、保护地球环境、研究经济发展的方向、制定人类可持续发展目标将发挥重要作用。虚拟地球主要具有下列特征。

1) 多尺度地球信息。根据不同的需求主要包括微观、中观、宏观三种尺度的地球信息,在电子导航技术的精确支持下,在一定的区间内可进行随机缩放,为不同用户提供全方位高效信息服务。

2) 地球综合信息。包括自然科学和社会、经济科学信息,是单一和专题信息的综合体,既可以进行单要素分析,又可以选取不同数量的专题信息,进行双相或多相组合分析,既可以进行局部研究又可以进行大面积宏观研究,具有高度灵活性。

3) 地球时空信息。包括地球椭球体平面位置、高程、属性、时间变量等。地球时空信息的一体描述可以科学地显示出不同自然要素、社会经济信息的差异性,对不同要素可以同时进行时空分析。在时空数据非常丰富条件下,还可以进行时空变量历史规律性分析,为揭示不同物质从量变到质变的全过程提供科学依据。

4) 空间数据基础设施的统一性和差异性。为了实现虚拟地球建设,对地球空间信息需有计划、有步骤组织采集、处理、加工,进而完成贮存、更新、维护、管理和分发,从而形成地球信息高效利用机制。为了提高地球空间信息的利用效益,实现地球信息充分利用和共享,地球空间基础设施的建设需要有机协调,尽可能减少任意性。首先每个国家应实现高度统一,按照统一要求进行规划,制定数据标准和技术标准,规划、设计、生产、汇总多尺度、多类型、不同分辨率的地球信息,在实现国家空间技术基础设施的基础上,加快区域和全球空间数据基础的建设。由于各个国家和区域文化基础、历史背景、区域范围和管理体制的差异,不同国家地球空间数据基础的建设也不尽相同,为了实现信息相互转换,必须设计技术保证体系。

5) 地球空间信息标准化是虚拟地球建设和应用的科学问题和技术关键。据作者了解,20世纪80年代中期以来我国先后建成了1:100万和1:25万地图数据库、数字高程模型及地名数据库,均是按照国际百万分之一地图分幅标准进行的,为实现区域和全球空间信息的交换和汇总打下了坚实的基础,为进行地球自然和社会经济信息的嵌入,多要

素、多尺度、多时空信息的定位分析提供标准框架,为实现多维信息共享打下基础。

3 数字地球模型

3.1 数字地球模型及构成

建立虚拟地球的科学问题主要有两个方面,一方面是建立精密的数字地球模型,另一方面是高效开发和利用数字地球模型的信息。数字地球模型由数字地球框架模型、数字高程模型和数字地元模型三部分构成。建立数字地球模型的关键是首先建立统一标准的地球框架模型,在此基础上建立多尺度数字高程模型和数字地元模型,其中包括地球系统各子系统的信息获取与更新系统、数字分析和数据标准系统、数字框架与数字存贮体系、数据处理体系以及数据库系统和管理体系。地球框架模型是按国际百万分之一地图分幅,按经差6度、纬差4度的统一标准建立的全球数字框架。

3.2 数字高程模型及建立

数字高程模型是由一组规则有序的正负实数点阵精确表示地球表面高程实体的数字模型。多尺度数字高程模型根据不同需求,其比例尺、高程精度和点阵密度可分为三类:一是大比例尺1:500~1:5万,高程精度为20 cm~10 m;二是中比例尺,数字高程模型比例尺为1:10万~1:50万,高程精度为10~100 m;三是小比例尺,数字高程模型比例尺小于1:100万,高程精度为100~1 000 m。

建立数字高程模型的方法有三类。一是全野外测量,利用精密水准仪、经纬仪、全站仪或GPS等,按照规划设计沿公里网或经纬线格网全部野外测绘平面坐标和高程。此种方法可获取高精度的数字高程模型,其高程和平面精度均可达厘米级以上。二是利用多尺度航空或航天遥感图像,利用精密立体摄影测量仪进行遥感相对的自动相关或人机对话相关,获取矢量高程数据,通过软件转化为格网数据,此种方法速度快,效益高,而数字高程模型的精度取决于遥感图像的比例尺和精密测量仪器的自身精度。三是从已经收集到的最新测绘的地形图上采集,如使用手扶数字化仪对等高线手扶跟踪数字化,或使用等高线图扫描数字化自动获取矢量数据,再把矢量数据通过软件转化为栅格数字,或者从等高线图上直接读取格网点高程输入计算机自动生成数字高程模型。20世纪80年代中期作者在研究并建立全国1:100万国土地基础信息系统过程

中,利用全国新测1:5万和1:10万地形图两万多幅,直接读取格网高程点,建立了我国第一个1:100万数字高程模型,在经济建设中获得广泛应用,并取得了显著的经济效益,如广电部利用该模型设计全国电视转播网,减少90%以上工作量。

3.3 数字地元模型

建立数字地球模型的目的在于应用,其应用效益的优劣,在优先保证数字地球框架和数字高程模型质量的同时,更重要的在于数字地元模型内容的科学性。地元信息是地球构成基本单元的属性信息,建立数字地元模型首先要对地球系统各子系统的不同要素进行科学组织和分类。地球表层及其上层空间的不同物质构成涵盖了水圈、岩石圈、气圈、生物圈的各种信息。在地球框架信息和数字高程模型信息的基础上,嵌入第四纪地质、土壤、气候、日照、气温、降雨、风、土地利用、土地覆盖、动植物以及社会经济信息等。数字地元模型的建立和数字地元信息的组织及分类是制约数字地球高效利用的关键,其主要作用一是挖掘地球系统的空间信息资源,对地球系统和各子系统的空间构成进行严格分类组织和协调,保证系统的标准化和统一性,便于广大用户识别、访问和应用。二是通过对地元信息研究加深理解地球信息特征,深入进行各分类要素的时空分析和信息转换,深化对地球生存及运行规律的认识。

4 数字高程模型应用分析

数字高程模型在经济建设中的应用是十分广泛的,研究过程中涉及多方面内容。

4.1 国土表面积精确量算

我国国土总面积为960万 km^2 。50年来我国政府的各种文献报告及规划报表均沿用这一权威数据。这一数据是1949年9月21日毛泽东主席在中国人民政治协商会议第一次全体会议上宣布的,是当时总参作战科成普等三同志统计计算出来的,据笔者深入考证该数据的原始数据实际是曾世英先生于1932年在1:75万小比例尺全国地图上组织量算出来的,这一数据是地球在平面上的投影面积,不是国土表面积。20世纪80年代初作者在研究建立我国1:100万数字高程模型过程中,提出利用数字高程模型计算国土表面积方案,为此专程拜访了华罗庚教授,此方案得到华教授的认定和支持,华教授认为:利用数字高程模型和数学方法相结合可以

精确计算山体表面积，希望在完成全国 1:100 万数字高程模型后可以参加指导完成国土表面积计算。国土表面积量算的实质是对每一个山体多个球面三角形的积分。球面三角形构成是由每个独立山体的山脊线、山谷线和典型地貌特征线所构成。我国是个多山国家，山区有广泛的利用和发展前景，为了充分并科学利用山地资源，精确计算出山地表面积，对山区种植业和养殖业合理布局，计算产草量、载畜量以及科学规划退田还林，退田还牧，治理水土流失和小流域综合改造利用，均有重要意义。

4.2 流域上游区降水产流量精确计算

我国是世界上洪水灾害多发、灾情严重的国家之一。七大流域的上游区都是丘陵山区，每一个流域均由独立的四至六级汇水盆地构成，每个汇水盆地的表面积、坡度、坡向、分水线、合水线、土地利用类型和土地覆盖类型及第四纪地质各不相同，在掌握降雨量的基础上，可以根据数字高程模型和数字地元模型，建立各汇水盆地产流量模型，通过产流量仿真可以精确计算出不同流域的产流量。

4.3 对流域中下游进行洪水预测预报

每一个流域系统是一个独立封闭的整体。上游散流汇积成细流，然后进入各级支流，再汇入主河道。暴雨形成大面积散流，散流量太大时方形成洪水，洪水流量有多大？能否对中下游成灾？需要根据不同汇水盆地降雨量、产流量和河道的坡度、长度、河道形状和构成，比较准确地计算出各支流河道中的水量和主河道中洪水量、形成位置、形成时间以及洪水的流速、流量。而后再根据流域中下游沿岸的地形地物分布，在数字高程模型和数字地元模型支持下，对中下游进行洪水预测预报。

4.4 对流域中下游进行减灾救灾仿真和灾情评估

七大流域的中下游地区经济发达，人口稠密，同时又是洪涝多发区，对洪涝多发、易发区可建立高精度数字高程模型和数字地元模型，尤其是洪涝多发区可建立高程精度为 20 cm 的数字高程模型及最新的社会经济信息和人口数据库，建立各种减灾仿真模型，为减灾、救灾预报和灾情评估打下坚实基础。

4.5 全球通讯转播站科学规划与布设

近五年来我国全球通讯伴随着经济建设迅速发展。目前全球通讯均以城市为中心向外发展，由于

地物种类和建筑物高度等原因，致使在远离城市的周边地区、城市与城市之间、甚至城市中的部分地区，因转播台的数量和位置布局不尽合理，全球通讯的接收效果不佳，严重制约了全球通讯的发展和效益。目前名曰“全球通”、“通全球”，而实际是“局部通”，不少地区失灵。为了满足全球通讯转播台的设计，需要在建立精确数字高程模型的基础上（在城市中要输入每个建筑物的高程）嵌入土地利用、土地覆盖信息，从而规划设计出全球通讯转播台的最佳布局方案，保证真正实现“全球通”、“通全球”。

4.6 交通网和南水北调选线工程设计

为促进市场经济的发展，需要修建铁路网、公路网。为了解决北方干旱问题要进行南水北调。能否把我国大西南丰富水资源引向华北、西北，引入黄河，已被世人关注。采用常规模拟分析选线不能满足要求。在建立精确数字高程模型和数字地元模型的基础上，根据选线要求，在专用软件和电子导航技术支持下，可以进行多种选线方案的优化对比，从中选出以自流为主的南水北调最佳方案。

4.7 为地球科学研究提供虚拟地球环境

人类在利用改造地球环境的进程中，对地球系统的构成和圈层间的相互作用不断加深认识，然而地球系统的构成和圈层间的相互作用是十分复杂的，还有许多重大疑难问题需要我们去认识、去探索，如大陆板块运动、青藏高原抬升、全球荒漠化成因、灾害气候形成机理、地震成因等。为了深入研究重大地学难题，在建立数字高程模型和数字地元模型基础上嵌入科学家所需要的各种信息，建立多尺度的地球虚拟环境，可以进行多专题、多变量的分析研究，对提高科学质量，加快研究进度，将发挥重要作用。

信息时代的道路宽广而光明，机遇难得，在数字地球的建设 and 研究中，我们应密切从我国经济建设的需要出发，抓准、抓住制约我国经济建设的重大问题，如环境污染、耕地数量减少、自然灾害连年发生、东西部地区发展不平衡、国土园田化和西部大开发等突出问题，承担起我们自身的任务，为迎头赶上世界信息技术的先进水平，不断取得较高水平的成果，为推进我国市场经济的持续发展，发挥更大作用。

（下转第 47 页）

采用栅格化方法的突出优点是易于实现遥感与GIS的结合, 近期需要努力的是在栅格形式下进一步提高自动化水平, 将来随着地图技术标准的改革, 还有可能发展成把遥感影像自动分类所形成的可靠性很高的成果(例如水面、房屋、道路)直接表达在栅格地图中。

参考文献

- [1] 黄培之. 实现彩色地图扫描数据自动分层的途径与方法[J]. 测绘学报, 1998, 27(4): 318~324
- [2] 贾永红. 基于像元的遥感影像融合方法比较[J]. 测绘信息工程, 1997, (4): 29~31
- [3] 林宗坚. “4D”技术及其应用[J]. 测绘工程, 1997, 6(3): 1~5
- [4] Woodsfoot P A. Spatial database update a key to effective automation [J]. ISPRS, 1996, XXXI (B4): 955~961

Map Update in Raster Mode by Means of Aerial and Space Images

Lin Zongjian

(Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100039, China)

[Abstract] To meet the urgent needs of updating 1:10 000 scale and 1:50 000 scale topographic map for the whole territory of China, an integrated technique for key elements revision is proposed, in which the topographic map is updated in raster mode through overlaying the precisely geo-rectified aerial or satellite image on the digitized map. The following issues are specially presented: 1) The scanning resolution of topographic map digitization in raster mode, which is not the same as the one in vector mode. 2) The concept of image array and graphic control point, instead of traditional pinpoint control point. 3) A local registration and adjustment method for rectifying aerial and space image using DRG without DEM. 4) Quantitative image interpretation by the guide of qualitative analysis. 5) The semi-automatic method for extraction of structural information from remote sensing image. Finally, a software developed on the basis of the proposed technique and its function are described, at the same time, an experiment result of 600 scenes of 1:50 000 scale topographic maps revision using the developed software is presented.

[Key words] surveying and mapping; remote sensing; map updating; digital raster graphic (DRG)

(cont. from p. 15)

Digital Earth Model of Multiple Scales and Its Application in Virtualizing Earth

Li Boheng

(Ministry of Land & Resources, Beijing 100034, China)

[Abstract] The digital earth model is composed of three parts: digital frame model, digital elevation model, and digital earth-unit model. The question of building virtual earth in science mainly includes two sections: building the digital earth model and applying and developing modeling information effectively. The five characteristics of virtual earth and the key technologies for building digital earth model are introduced. This paper also discusses the seven engineering fields in which the digital terrain model is widely used. In the process of constructing, researching, and developing the digital earth model, attention should be paid to environment pollution, plough land decrease, waterlogging and east-west regional variances, which have influence on China's national economic construction.

[Key words] digital earth; virtual earth; information