第3卷 第3期
1999年8月

遥 感 学 报
JOURNAL OF REMOTE SENSING

Vol. 3, No. 3
Aug., 1999

地学可视化探讨*

龚建华 林 珲
(香港中文大学地理系和地球信息科学联合实验室)

肖乐斌 谢传节
(中国科学院地理研究所 北京 100101)

摘 要 提出了关于地学可视化的研究框架。地学可视化包括地图可视化、地理信息系统(GIS)可视化及其在专业应用领域的可视化。地图可视化与GIS可视化是地学可视化理论和技术的2个基础部分。地学多维图解是从非可视化角度提出的,关于图的地学知识表达、获取及其图的地学问题解的求证原理和方法,是地学可视化的高一级发展阶段。地图可视化中的信息表达交流模型和地理视觉认知决策模型的研究,将从理论上促进地学多维图解模型的进一步发展。基于虚拟现实技术和计算机网络技术的虚拟地理环境是地学可视化、地学多维图解理论和技术发展的最后集成系统。

关键词 地图可视化,地理信息系统可视化,地学多维图解,虚拟地理环境

1 引 言

可视化(Visualization)是指在人脑中形成对某物(某人)的图像,是一个心智处理过程,促进对事物的观察力及建立概念等[1,2]。在西方地图学文献中,可视化这个词的使用可追朔到至少40年以前[3]。但是,1987年美国国家科学基金会报告中的科学计算可视化,却具有新的含义[4]。科学计算可视化是通过研制计算机工具、技术和系统,把实验或数值计算获得的大量抽象数据转换为人的视觉可以直接感受的计算机图形图像,从而可进行数据探索和分析[4,5]。把地学数据转换成可视的图形这一工作对地学专家而言并不新鲜。测绘学家的地形图测绘编制,地理学家、地质学家使用的图解[6,7],地图学家专题、综合制图等,都是用图形(地图)来表达对地理世界现象与规律的认识和理解。科学计算可视化与上述经典常规工作的最大区别是科学计算可视化是基于计算机开发的工具、技术和系统,而过去地学中的可视表达和分析是手工或机助的(计算机辅助制图),并把纸质材料作为地图信息存储传输的媒介。

科学计算可视化,自从80年代末提出以后,得到了迅速的发展并成为一个新兴的学科,其理论和技术对地学信息可视表达、分析的研究与实践产生了很大的影响。国际地图学会(ICA)在1995年成立了一个新的可视化委员会,并在1996年6月与计算机器图形协会(ACM SIGGRAPH)合作,开始一个名为"Carto-Project"的研究项目,其目的是探索计算机图形学的技术与方法如何更有效地应用在地图学与空间数据分析方面,促进科学计算可视化与地图可视化的连接和交流[1)]。地学专家对可视化在地学中的地位和作用,已进行了比较深入的讨论,从不同的角度提出了与可视化密切相关的地图可视化、地理可视化、GIS可视化、探析地图学(Exploratory Cartography)、地学多维图解、虚拟地理环境等概念[8—11,2)],但有不同的理解,对其相互关系的认识也不明确。

本文首先讨论地学可视化中的3个概念,即地图可视化、地理可视化和GIS的可视化,以及它们之间的相互关系。然后,探讨与地学可视化密切相关的地学多维图解和虚拟地学环境。最后,试求建立一个关于地学可视化的研究框架。

* 国家自然科学基金项目:"地学多维图解—原理、方法及其应用"(编号:49371051),香港特区政府和香港中文大学研究基金项目(编号:CUHK 150/96H和CUHK RAC 4720401). 在论文写作过程中,得到陈述彭先生的指导和帮助,作者致以衷心地感谢.

1) MacEachren, Alan M. ICA Commission on Visualization Annual Report. 1997.

2)龚建华. 地学可视化:理论、技术及其应用. 中国科学院地理研究所博士后出站报告. 1997.

收稿日期:1998-06-03;收到修改稿日期:1998-10-13

2　地学可视化

地学可视化是科学计算可视化与地球科学结合而形成的概念，是关于地学数据的视觉表达与分析，下面探讨该领域中的 3 个概念：地图可视化、地理可视化和 GIS 的可视化，及其相互关系。

2.1　地图可视化

Taylor 认为可视化是现代地图学的核心，有可能导致地图学与地理学新的综合。他用一个包括认知、交流和标准化的三角形图表达现代地图学的概念基础[8]（图 1）。在三角形图中，具有交互和动态特征的可视化位于图中心。作为现代地图学一个要素，标准化是指计算机技术应用到地图制作时应符合地图标准专业规则。新的计算机技术如计算机图形学、信息高速公路、多媒体技术、虚拟现实技术等都是可视化的技术基础。可视化包含交流与认知分析，并认为交流虽然仍是主要的，但非视觉交流如声音、触觉等交流方式也不可忽视。地图可视化和多媒体技术将对传统的地图学交流传输理论模型产生重要的影响。地图可视化的认知涉及人的空间模式识别和图形形象思维的能力，而地图可视化中的分析则被认为是比交流更加具有意义的因素，因为原先的地图学家总被认为是地图设计专家，而较少涉及地图的使用和地学分析[9]。

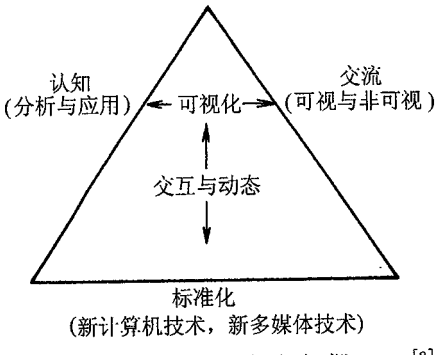

图 1　现代地图学的概念基础，据 Taylor[8]

Fig. 1　Conceptual basis for modern cartography, after Taylor[8]

MacEachren 则设计了一个立方体，即［地图学］3 表达地图应用空间以及可视化和交流传输在立方体空间中不同的位置和作用[10]（图 2）。MacEachren 强调可视化与交流传输是处于不同的地位，发挥不同的作用，并且交流传输具有表达已知、面对大众、人与地图相互作用较低的特点；而可视化则具有呈现未知、面对个人、人与地图相互作用较高的特点。

从上述两位著名的地图学家关于地图可视化的

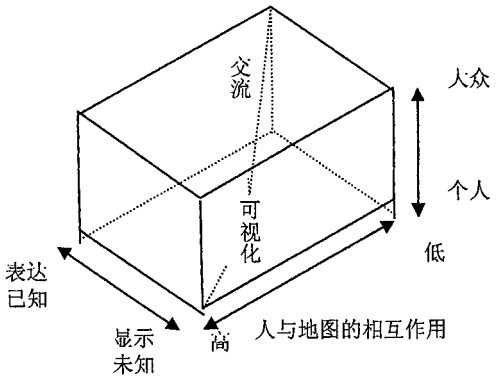

图 2　［地图学］3：地图应用空间表达，据 MacEachren[10]

Fig. 2　［Cartography］3：A representation of the "space" of map use, after MacEachren[10]

讨论可知，可视化对现代地图学的发展有着极其重要的作用，虽然对其理解还有着一定的分歧。Taylor 强调了计算机技术基础支持下的地图可视化，并认为可视化包括交流与认知分析。MacEachren 则强调交流与可视化在地图学中的应用，而不是地图的技术制作，并把可视化与交流作为并列的两个要素。

作者认为，在可视化的过程中，信息交流传输以及认知分析的界限并不需要很清楚的划分。事实上，它们一直融合在一起，并具有共同作用的特点。由于可视化的两个特点，即交流与认知分析，从而对现代地图学的理论和方法产生影响。作者根据计算机技术的发展以及地图学的特点，建立了一个地图可视化的理论技术概念框架（图 3）。

由于可视化具有交流与认知分析的 2 个特点，从而使信息表达交流模型与地理视觉认知决策模型构成了地图可视化的理论，而这 2 个模型将应用于计算机技术支持的虚拟地图、动态地图、交互交融地图、超地图的制作和应用。

虚拟地图指计算机屏幕上产生的地图，或者利用双眼观看有一定重叠度的二幅相关地图，从而在人脑中构建的三维立体图像。虚拟地图具有暂时性，实物地图具有静态永久性。虚拟地图和人的心智图像相互联系与作用的原理和过程，同传统的实物地图是不一样的，需要建立新的理论和方法。

动态地图是由于地学数据存贮于计算机内存，可以动态地显示关于地学数据的不同角度的观察，不同方法（如不同颜色、符号等）的表达结果，或者地学现象随时间演变的过程等等。由于地图的动态性，地学现象的表达在时间维上展开。所以，传统的关于纸质静态地图的符号制作、符号注记等制作理论和方法在动态时不再完全适合。另外，人又是如

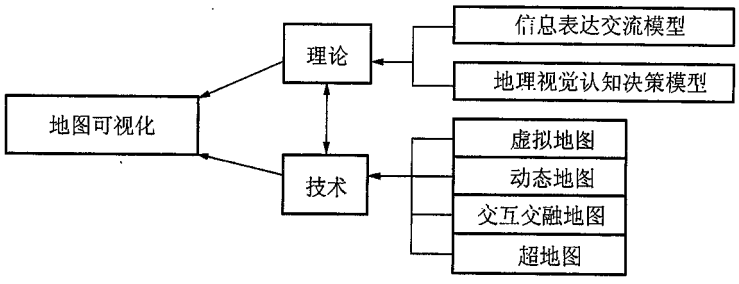

图3 地图可视化理论技术概念框架

Fig. 3 Concept framework of Cartographic Visualization

何认知分析动态的信息流等需要进一步的探讨和深入研究。

交互交融地图是指人与地图可进行相互作用和信息交流。交互地图是人可以通过一定的途径,例如选择观察数据的角度、修改显示参数等来改变地图的显示行为。在这个过程中,屏幕地图(或双眼视觉立体地图)即虚拟地图,与应用人员人脑中相关地学知识以及直觉等形成的心智图像一直处于相互作用、相互比较、相互修改完善的信息联系和反馈状态。交融地图,是人与地图的融合程度,也就是人在虚拟地图中的投入感和沉浸感(Immersion)。地图的交互和交融性的区别可以举这样的一个例子。如你到图书馆借书,交互性表示你借书要通过图书馆的服务员,首先填写条子,然后服务员去找书,最后再给你。而交融性是你可以直接进入书库进行搜寻,并发现你要借的书。虚拟现实技术是交互交融地图的发展基础[12]。

超地图(Hyper-maps)是基于万维网(WWW)的与地学相关的多媒体,可以让用户通过主题和空间进行多媒体数据的导航[11]。这与超文本的概念相对应,但超文本不是基于空间图形,它是提供一组节点(文本或图形的抽象),由链相连结,提供非顺序的对数据的访问。超地图提出了万维网上如何组织空间数据并与其它超数据(如文本、图像、声音、动画等)相联系的问题。超地图对于地图的广泛传输与使用,即对公众生活、社会决策、科学研究等产生巨大的作用,具有重要的意义。

作者为了说明问题,根据特点区分了4种地图,在实际中是不可分的。现代地图具有虚拟、动态、交互交融和网络性的特征。现代地图学应该研究由地图的可视化而带来的新的生长点,需要建立和完善关于信息表达交流模型和地理视觉认知决策模型的理论,从而指导对虚拟地图、动态地图、交互交融地图、超地图的制作原理和方法的建立,从而使可视化在信息交流传输、呈现未知、公众决策等得到广泛的运用。

2.2 地理可视化

地理可视化是地学可视化中另一个被使用的概念。MacEachren开始时采用地图可视化,但他认为地理可视化要大于地图可视化的研究范围,如遥感图像、图表、摄影影像等中的可视化在地图可视化中并不作为重点研究的对象。所以,目前他倾向于采用地理可视化,认为它包含了所有空间显示工具,而这些所有空间显示的集合就是现代地图学中所指的可视化。

Didase(1990)针对科学可视化、数据探索分析以及地理科学的应用,提出了地理可视化的作用框架,强调了地理研究过程中地图的作用,它包括数据探索,假设形成并确证,综合合成,到最后的结果表达

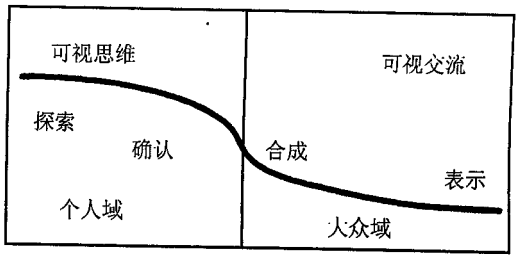

图4 可视化作为地理研究工具的框架描述,据Didase[13]

Fig. 4 Description of visualization as a tool of geographical research, after Didase[13]

与呈现[13](图4)。Didase认为,可视化在研究过程的早期侧重于个人特征的视觉思维,后期侧重于研究结果的公众交流与传输,而这个特征会重新建立地图学和地理学的联系,因为在过去的二三十年中,地图学家把大部分的精力放在视觉交流传输,而地理学家(地理制图学家)在本世纪的前50年则把研究放在视觉思维与视觉分析上[10,13]。

作者认为,地图学与地理学作为二门经典学科,

其研究对象均为区域地理系统，但前者侧重于地理空间信息的地图表达与应用，后者则把地图作为一种重要的研究工具来解决地理问题，而可视化具有的视觉交流传输和视觉分析特征，则可作为桥梁把地图学与地理学紧密地联结在一起。所以，虽然地理可视化可认为来自于可视化与地理学的结合，地图可视化来自于可视化与地图学的结合，但是由于可视化具有连结和融合地理学和地图学的特点，自然而然，地图可视化与地理可视化是应属于本质同一的两个概念，只是常规学科领域的划分以及研究团体的不同，导致在研究内容及范围的认识上有所侧重。所以 MacEachren 采用地理可视化，而不倾向于地图可视化的原因，仍然是从地理学与地图学领域的经典研究特征出发，而不是着眼于可视化的新技术特征，从而反映出学科领域划分对问题认识所带来的深刻影响。

2.3 GIS 可视化

本世纪 60 年代发展起来的基于计算机的地理信息系统开始形成时，就利用计算机图形软硬件技术，把地理空间数据的图形显示与分析作为基本的不可缺少的功能，GIS 可视化要早于科学计算可视化的提出。GIS 可视化早期受限于计算机二维图形软硬件显示技术的发展，大量的研究放在图形显示的算法上，如画线、颜色设计、选择符号填充、图形打印等。继二维可视化研究后，进一步发展为对地学等值面（如数字高程模型）的三维图形显示技术的研究，它是通过三维到二维的坐标转换、隐藏线、面消除、阴影处理、光照模型等技术，把三维空间数据投影显示在二维屏幕上。由于对地学数据场的表达是二维的，而不是真三维实体空间关系的描述，因此属于 2.5 维可视化。但现实世界是真三维空间的，二维 GIS 无法表达诸如地质体、矿山、海洋、大气等地学真三维数据场[14,15] 1)，所以，从 80 年代末以来，真三维 GIS 及其体可视化成为 GIS 的研究热点。随着全球变化，区域可持续发展，环境科学等的发展，时间维越来越被重视。而计算机科学的发展，如处理速度加快，处理与存贮数据的容量加大，数据库理论的发展等使得动态地处理具有复杂空间关系的大数据量成为可能，从而使得时态 GIS、时空数据模型、图形实时动态显示与反馈等的研究方兴未艾[16—18]。所以，从 GIS 及其可视化的发展看，GIS 可视化着重于技术层次上，例如数据模型（空间数据模型，时空数据模型）的设计，二维、三维图形的显示，实时动态处理等，目标是用图形呈现地学处理和分析的结果。

2.4 关系分析

依据可视化具有交流与认知分析的双重特点，具有连接和融合地图学与地理学的作用，作者认为，地图可视化和地理可视化是具有相同本质的两个概念。但是，考虑到学科的经典划分和相应的研究团体，以及概念使用上的标准统一性，作者建议采用国际地图学会目前关于地图可视化的概念。

地图可视化和 GIS 可视化作为地学可视化研究的两个重要部分，可反映在最近出版的两本书中，即《现代地图学中的可视化》和《GIS 中的可视化》[19,20]。作者认为，地图可视化的研究侧重于地学信息视觉表达、交流和地学视觉认知决策机理，即可视化新技术带来的现代地图表达地学现象与规律的新特征，如虚拟性、动态性、交互交融性、网络性等，以及可视化新技术用于地学数据探索，获取新的地学规律，即偏向于理论与应用层次；GIS 可视化的研究则侧重于地学数据模型与结构设计，地学数据内插加密，多分辨率数据表达，三维、多维数据显示[21]，矢量、张量数据显示，实时动态处理，并行技术，交互反馈技术，人文、经济数据可视化等，即偏向于技术层次。

作者应该指出，本文对地图可视化，GIS 可视化的讨论，是试求找出地学可视化的研究特征和趋势。事实上，具有紧密联系的地图可视化和 GIS 可视化，一直相互作用、相互渗透，它们之间的差别会逐渐减少，并将最终消失且融合成地学可视化。

3 地学多维图解

在地理信息系统界，从事可视化的研究人员，大部分精力集中于地学数据场的计算机数据组织与表达以及数据的二维、三维图形显示算法上，虽然 GIS 在空间数据的图形和图像表达技术上发展得很快，但 GIS 在能够提供给地学专家的有关地学问题的分析能力方面还是不能令人满意的。事实上，目前 GIS

1）李青元．三维矢量结构拓扑关系研究．中国矿业大学博士论文．1996．

的可视化,尤其2.5维、真三维可视化只是把地学数据转换成图形而已,除了一定程度上的交流作用(如用于成果表达、课题汇报等),并没有更广更深的应用,其中原因之一是缺乏对地图(图形,图像)表达和呈现地学知识的深刻研究。

陈述彭先生以其多年的地图、地理工作的理论和实践经验积累,从非可视化角度(并远早于GIS可视化和科学计算可视化的出现),提出地学多维图解模式[6,7]。

地学多维图解具有丰富的内涵。作者认为现代图解包含解释和解读两方面的特征。解释,是用图表达和传输关于某地学问题的已有认识和知识;解读,是经过数据探索、视觉认知、地理空间认知、地学知识合成、分类、排序与匹配等交互反馈多次循环后,获取图中包含的关于某地学问题的新关系,是得到新知识的过程,所以,也可以定义为求证图的地学问题的解,或者定义为用图的方式解答地学问题。而地学多维,则可理解为地学问题具有多维特征,即包括时间维、空间维和众多的地理属性维;也可理解为对一个地学问题的观察与分析需要不同的时间、时间尺度,不同的空间、空间尺度,不同的观察角度,不同部分聚焦、选择等多维综合探索与处理,才能揭示出新的关系,获取新知识。

产生于现代计算机技术的可视化与地学多维图解有着密切的相互关系。地学可视化研究中的地学视觉认知决策分析,即如何利用视觉技术、交互动态反馈技术,获取存在于复杂地学数据中的新的空间关系、地学规律与地学多维图解中的解读极其相似。但是,它们又互相区别,各有侧重(图5)。图中现代图定义为基于计算机的用于表达地学现象与规律的图;经典图则定义为基于纸质等媒介材料的非计算机形式的表达地学现象与规律的图。地学可视化,是依托于现代的计算机技术,针对某一地学问题,通过如颜色、符号设计,交互交融技术,动态技术等手段的应用,从而揭示隐藏于地学数据的地学规律,它涉及计算机图形图像,信息表达,视觉思维,地理视觉认知等理论和方法。所以,地学可视化是以地球系统的应用作为背景,偏向于计算机图形技术及其人的地理视觉认知。而地学多维图解研究的一个重要内容是试着根据类型不一的上千幅地学图解名作,总结与探讨图解规则,并建立规则知识库。它以地学专家在地貌、地质、海洋、大气、环境工程等长期的实践中积累的图解经验和知识,以及结合现代计算机地图的基础上,试求建立地学多维图解的理论和方法。初步的研究表明,地学多维图解研究涉及地理空间认知,地学图形思维,地学知识表达及推理等理论和方法。所以,地学多维图解是兼顾现代图和历史积累的经典图,并以解决地球系统问题,求证图的地学解为直接目标。如果仍从经典的学科和研究团体划分出发,那么地学可视化则为现代地图学家所重视;地学多维图解则为现代地理学家(地质学家等)所重视。所以,可以认为地学多维图解更偏向于地学应用,是地学可视化的高一级发展阶段。但是,地学可视化和地学多维图解又互为基础,互相影响,互相发展。地学多维图解的计算机表现,就是以地学可视化为基础。

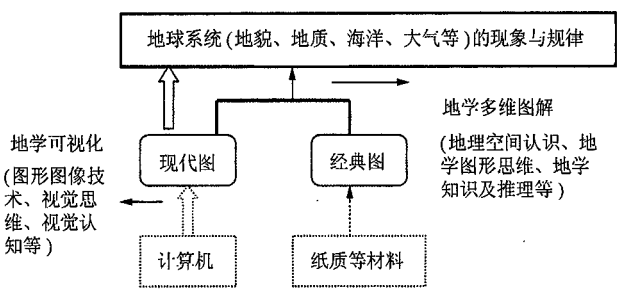

图5 地学可视化与地学多维图解的相互关系

Fig. 5 Relationship of Geo-Visualization and Multi-Dimensional Geo-Graphical Interpretation

我们举一个例子加以说明。中国科学院遥感应用研究所运用GIS和统计资料制作了1993年的国家级贫困县分布图[22]。该图颜色配置合理,图很漂亮,另外还有一个表列出了各省市的贫困县个数。到这一步,是完成了数据的可视化过程。但是,该图反映了什麽样的贫困县分布规律呢?这就属于地学多维图解的研究范畴。陈述彭先生根据多年的地学经验,再依据贫困县的空间分布图,经过解读,认为"我国贫困县主要分布在中部地区,特别集中在大兴安岭、燕山、黄土高原、豫西、鄂西山区和西南云、桂、

黔三省喀斯特山区，即季风降雨变率最大的生态脆弱带和农牧交错地带。而东部则仅见于沂蒙、大别、赣南和海南等革命老根据地”，这些分布规律对2000年实现脱贫致富的工作重点和难点有重要的指导意义。至于如何获取这些规律，正是地学多维图解需研究的内容。

4　虚拟地理环境

地学可视化的数据探索和地学多维图解的实现需要高效的人与地学数据、地学问题形成的图形场景的相互信息交流，也就是计算机系统能提供某种信息交流与反馈机制，可以让地学专家充分发挥其图形图像思维能力和想象力，可以让地学专家设想某种假设，并立即得到该假设导致的结果。虚拟现实技术可让人完全沉浸于某种计算机三维场景中，让地学专家把注意力集中于地学问题上[23]，而其充分高效的多感觉交互能力为地学的数据探索和地学多维图解的技术实现，提供了可能。

虚拟现实（Virtual Reality）又称灵境技术，是指通过头盔式的三维立体显示器、数据手套、三维鼠标、数据衣（Data Suit）、立体声耳机等使人能完全沉浸计算机生成创造的一种特殊三维图形环境，并且人可以操作控制三维图形环境，实现特殊的目的[24,25]。多感知性（视觉、听觉、力觉、触觉、运动等），投入感（Immersion），交互性（Interaction），自主感（Autonomy）是虚拟现实技术的4个重要特征。其中自主感是指虚拟环境中物体依据物理定律动作的程度，如物体从桌面落到地面等。

虚拟现实技术、计算机网络技术与地学相结合，可产生虚拟地理环境VGE（Virtual Geographical Environment）。虚拟地理环境是基于地学分析模型、地学工程等的虚拟现实，它是地学工作者根据观测实验、理论假设等建立起来的表达和描述地理系统的空间分布以及过程现象的虚拟信息地理世界，一个关于地理系统的虚拟实验室，它允许地学工作者按照个人的知识、假设和意愿去设计修改地学空间关系模型、地学分析模型、地学工程模型等，并直接观测交互后的结果，通过多次的循环反馈，最后获取地学规律。

虚拟地理环境特点之一是地学工作者可以进入地学数据中，有身临其境之感；另一特点是具有网络性，从而为处于不同地理位置的地学专家开展同时性的合作研究、交流与讨论提供了可能。

虚拟地理环境与地学可视化有着紧密的关系。虚拟地理环境中关于从复杂地学数据、地学模型等映射成三维图形环境的理论和技术，需要地学可视化的支持；而地学可视化的交流传输与认知分析在具有沉浸投入感的虚拟地理环境中，则更易于实现。地学可视化将集成于虚拟地理环境中。

虚拟地理环境的发展与完善，除了依赖于计算机的虚拟现实技术外，还与地学信息获取处理技术（如遥感、遥测等），地学分析模型构建水平，地学可视化，地学专家系统，地学空间认知理论等的发展密切相关。虚拟地理环境对地学发展有重要的意义。虚拟地理学的提出就表达了虚拟地理环境对地理学未来发展的作用和影响[26]。另外，一般认为地理科学发展缓慢的一个原因是无法进行室内试验，从而使地学假设理论无法得到实践的检验。虚拟地理环境为地学工作者提供了可重复的信息模拟实验的可能，任何一个地学分析模型均可以由其他人在虚拟地理环境中运行模拟，受到检验，从而加速地学理论的成熟和发展。

5　关于地学可视化研究框架

可视化来源于科学计算可视化，带有浓厚的计算机技术特征。可视化与传统的地图学相互作用并融合，从而扩展了可视化本身的涵义。地学可视化除了技术特征外，还应建立起其理论范式。本节通过上述的分析后，试着理清关于地学可视化的研究脉络与趋势，并建立相应的框架，确立地图可视化、地理可视化、GIS可视化、地学多维图解、虚拟地理环境等在框架中的位置，以及它们之间的相互关系（图6）。以计算机科学为基础的地学可视化与科学可视化学科有较大程度的叠合与交叉，但并不能互相替代，两者之间的相互联系、相互交流会促进两学科的共同发展。

地学可视化包括地图可视化、地理信息系统（GIS）可视化及其它们在专业应用领域的可视化如海洋可视化、大气可视化、地质可视化、社会经济可视化等。地学可视化可从地图可视化和GIS可视化两方面进行理论和技术的研究。地图可视化的研究包括信息表达交流模型和地理视觉认知决策模型的构建，以及在上述模型指导下的虚拟地图、动态地图、交互交融地图、超地图的设计、制作和应用。GIS可视化的研究包括地学体三维、时空多维数据内插加密，可视化数据模型设计，三维、多维数据显示与

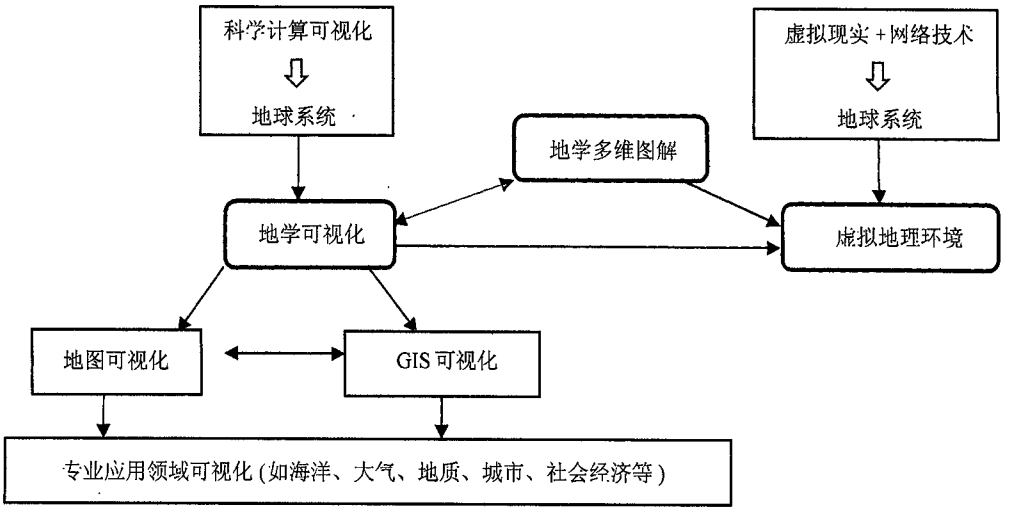

图6 关于地学可视化研究框架

Fig. 6 Research framework in the context of Geo-Visualization

分析[21],矢量、张量和不确定数据显示与分析,人文、经济数据可视化,实时动态交互处理,并行技术,基于网络和万维网的地学可视化,多用户合作可视化等。

地学多维图解是从非可视化角度,提出的关于图的地学知识表达、获取及其图的地学问题解求证的理论方法模式,它与地学可视化有着密切的联系,是地学可视化研究的高一级发展阶段。基于计算机的地学多维图解以地学可视化为基础,结合地学专家知识库、推理机,高效的人机交互方式等来帮助地学专家获取对某一问题的科学认识。地学多维图解的研究涉及地学图形思维,地理空间认知,图解规则获取,地学知识表达及推理,与地学可视化技术和系统的融合等。

如果把地学可视化、地学多维图解中的高效人机交互方式发展为虚拟现实技术中的融入沉浸方式以及多感觉交互方式,再加上网络连接技术等,那么就产生虚拟地理环境(VGE)。VGE是地学可视化、地学多维图解等发展的最后集成系统,作为一个基于计算机的地学虚拟实验室,它对地学的发展有着非常重要的意义。虚拟地理环境的研究内容包括GIS数据模型、数据库及地学模型与虚拟现实世界模型的结合,三维、时空多维大数据量的实时动态交互,网络虚拟现实构模语言(VRML)及其他网络开发工具如Java, ActiveX等的运用等等。

6 结 论

地学可视化是现代地图学中的核心[1)]。作为一个新的研究领域,地学可视化中的地图可视化、地理可视化和GIS可视化的概念、定义及其相互关系,还存在不同的理解和争论。本文试求理清并建立它们间的相互关系。

与地学可视化密切相关的地学多维图解,表达了地学可视化的理论应用研究发展方向;与地学可视化密切相关的虚拟地理环境,表达了地学可视化的技术发展方向。

通过地学可视化内部与外部关系的讨论,本文试着建立关于地学可视化的研究框架。

参 考 文 献 (References)

1 Wood M., K. Brodlie. Visc AND GIS: Some Fundamental Considerations. Visualization in Geographical Information System. edited by Hilary M. Hearnshaw & David J. Urwin. 1994, 3—8.

2 Visvalingam, M. Visualization in GIS, Cartography and Vics. Visualization in Geographical Information System. edited by Hilary M. Hearnshaw & David J. Urwin. 1994, 18—25.

3 Philbrick, A. K. Toward a unity of cartographic forms and geographical content. *Professional Geographer*, 1953, **5**(5): 11—15.

4 McCormick B. H, Defanti M. D., Brown M. D. Visualization in Scientific Computing. *Special Issue ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 1987. **21**(6).

1) MacEachren, Alan M. Visualization-Cartography for the 21th century. ICA Working Paper. 1998.

5 Tang Weiqing, Li Shenquan, Yu Shenming *et al*. Visualization on Scientific Computing. *Software World*, 1995, (5): 74—77. (In Chinese) [唐卫清,李慎权,余盛明等. 科学计算可视化. 软件世界, 1995, (5): 74—77.]

6 Chen Shupeng. Landform Map of Karst Cave of Qixinyan in Guilin. Geo-exploration: The First Volume: Geography. Beijing: Science Press, 1992, 159—117. (In Chinese) [陈述彭. 桂林七星岩喀斯特洞穴地貌图. 地学的探索——第1卷: 地理学. 北京: 科学出版社,1992, 159—117.]

7 Chen Shupeng. Information Flow and Cartography. Geo-exploration: The Fourth Volume: Geographical Information Systems. Beijing: Science Press, 1991, 191—202. (In Chinese) [陈述彭. 信息流与地图学. 地学的探索——第4卷: 地理信息系统. 北京: 科学出版社,1991,191—202.]

8 Taylor D. R. F. Cartography for knowledge, action and development: retrospective and prospective. *The Cartographic Journal*, 1994, (31): 52—55.

9 Taylor, D. R. F. Perspectives on Visualization and Modern Cartography. Visualization in Modern Cartography. London: Pergamon Press, 1995, 333—341.

10 MacEachren Alan M. Visualization in Modern Cartography: Setting the Agenda. Visualization in Modern Cartography. London: Pergamon Press, 1995, 1—12.

11 Kraak, M. J., Van Driel, R. Principles of hypermaps. *Computers & Geosciences*, 1997, **23**(4): 457—464.

12 Fairbarin, D., Parsley, S. The use of VRML for cartographic presentation. *Computers & Geosciences, special issue on Exploratory Cartographic Visualization*, 1997, **23**(4): 475—482.

13 DiBiase, D. Visualization in the earth sciences. *Earth and Mineral Sciences, Bulletin of the College of Earth and Mineral Sciences, Penn State University*, 1990, **59**(2): 13—18.

14 Gong Jianhua. Three-Dimensional Geo-Referenced Visualization. *Geoinformatics*, 1996, (2): 34—37. (In Chinese) [龚建华. 地学三维可视化. 地球信息, 1996, (2): 34—37.]

15 Turner, A. Keith. Three-Dimensional Modeling with Geo-Scientific Information Systems. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1992.

16 Acevedo, W., Masuoka, P. Time-series animation techniques for visualizing urban growth. *Computers & Geosciences*. 1997, **23**(4): 423—436.

17 Lin Hui, Shu Keungchoi. 3-D Visualization of Spatiotemporal Intersection (STIN) Operation: An Approach to Test Spatiotemporal Correlation. *Cartography*, 1994, **23**(2): 13—20.

18 Lin Hui. STIN Operation: A Study on Searching for Spatiotemporal Measures. *Cartography*, 1997, **26**(1): 27—36.

19 MacEachren, Alan M., D. R. F. Taylor editors. Visualization in Modern Cartography. London: Pergamon Press, 1994.

20 Hearnshaw, Hilary M., David J. Urwin Editors. Visualization in Geographical Information System. London, John Wiley & Sons, 1994.

21 Lin Hui, Shu Keungchoi. A Multi-Window Approach for 4-D Spatio-Temporal Information Visualization. *GeoMatica*, 1996, **50**(3): 261—267.

22 Institute of Remote Sensing Applications of CAS. Atlas of Agricultural Status of China. Beijing: The Xinqiu Publisher, 1997. (In Chinese) [中国科学院遥感应用研究所. 中国农业状况图集. 北京: 星球地图出版社,1997.]

23 Butterfield, B. P. Scientific Visualization for Environmental Modeling: Interactive and Proactive Graphics. GIS and Environmental Modeling. 1994, 463—467.

24 Zeng Jianchao, Yu Zhihe. Virtual Reality Technology and Applications. Tsinghua University Publisher, 1996, 9—39. (In Chinese) [曾建超, 余志和. 虚拟现实的技术及其应用. 北京: 清华大学出版社, 1996, 9—39.]

25 Fairchild, Kim Michael. Information Management Using Virtual Reality-Based Visualizations. Virtual Reality Application and Explorations. Academic Press Professional, 1993, 45—74.

26 Batty, Michael. Virtual Geography. *Futures*, 1997, **29**(4,5): 337—352.

作 者 简 介

龚建华,男,生于1965年11月,1987年毕业于西南交通大学测量工程系,获学士学位。1987—1989年在林业部华东林业调查规划设计院从事林业遥感。1992年获北京大学信息科学中心硕士学位,1995年获北京大学遥感与地理信息系统研究所博士学位。1995—1997年在中国科学院地理研究所资源与环境信息系统国家重点实验室做博士后研究。1997年至今在香港中文大学地理系做博士后研究。研究方向包括地学可视化,地学多维图解,真三维地理信息系统,虚拟地理环境,区域可持续发展等。

Perspective on Geo-Visualization

GONG Jian-Hua　LIN-Hui

(*Department of Geography & Joint Laboratory for Geoinformation Science The Chinese University of Hong Kong*)

XIAO Le-Bin　XIE Chuan-Jie

(*LREIS, Institute of Geography, CAS, Beijing* 100101)

Abstract　This paper explores the research status and future trends of geo-referenced visualization, and aims to establish

a research framework via the discussion of geo-visualization, multi-dimensional geo-graphical interpretation and virtual geographical environment.

In terms of geo-visualization, three concepts including cartographic visualization, geographical visualization, and GIS-visualization are scrutinized, and their relationship is established. Cartographic visualization emphasizes visual thinking, spatial cognition and analysis, and graphic information communication. GIS-visualization focuses on data structure and model, realistic 3-D graphics rendering, dynamic interaction, real-time processing, etc. In this paper, cartographic visualization and geographical visualization are regarded as the same in nature.

Multi-dimensional geo-graphical interpretation is proposed from non-visualization, whose goal is to establish methodology and rules for graphics-based unknowns-seeking upon around a thousand past and present geo-referenced maps/graphics/images. Only from one special case or a kind of map and supported by computer-based visualization, geo-visualization, especially cartographic visualization, facilitates users to explore data for revealing unknowns. But with the same goal of graphics-based unknowns-seeking, geo-visualization and multi-dimensional geo-graphical interpretation should be integrated to further the study on visual thinking, spatial cognition, and graphics-based data exploration, based upon both long human accumulated experiences and knowledge and the modern computer-based visualization technology.

Resulting from the integration of virtual reality technology, Internet and regional geographical systems, virtual geographical environment (VGE) will be taken as the advanced system which will eventually contain all theories and techniques associated with geo-visualization and multi-dimensional geo-graphical interpretation and so on. VGE is very important for the development and practice of Geography, which permits users to go into geo-referenced data, interact directly with geo-referenced objects rather than 3-D graphics of objects, and generate hypotheses or valid others' geo-models. VGE is a virtual laboratory for geographers. But the establishment of VGE depends upon not only virtual reality technology, but as well as the development of geo-visualization, multi-dimensional geo-graphical interpretation, acquisition and processing technique of geo-referenced information, etc..

Key words Cartographic Visualization, Visualization in GIS, Multi-Dimensional Geo-Graphical Interpretation, Virtual Geographical Environment

庆祝中华人民共和国成立五十周年！
庆祝澳门回归祖国！
庆祝中国科学院建院五十周年！
庆祝中国地理学会成立九十周年！
庆祝中国科学院遥感应用研究所建所二十周年！

中国科学院科学出版基金资助出版

遥感学报

Yaogan Xuebao

第3卷　第4期　1999年11月

目　　次

数字地球论坛

“数字地球”战略及其制高点 …… 陈述彭 (247)

“数字地球”的体系结构 …… 李　琦　杨超伟　易善桢 (254)

理论与技术

NOAA AVHRR 数据的高精度导航定位 …… 张　斌　朱正中　葛成辉　吴佑寿 (259)

用蒙特-卡罗方法计算大气点扩散函数 …… 徐希孺　王平荣 (268)

考虑开放度的树冠层辐射传输模型及实验验证 …… 王锦地　项月琴　李小文 (279)

利用数字摄影测量探测橡树草原变化 …… 宫　鹏　梅雪良　G. S. Biging　张祖勋 (285)

PHI 成像光谱图像反射率转换 …… 刘建贵　吴长山　张　兵　郑兰芬　童庆禧 (290)

图像处理

利用掩膜和多因子逐步正交变换区分遥感数据中的岩性信息 …… 刘素红　马建文　蔺启忠 (295)

遥感监测

ERS 散射计全球海面风场数据处理与 El Nino 海面风场异常观测 …… 王　超 (300)

卫星高度计反演海面风速——模式函数与应用实例 …… 陈　戈 (305)

地理信息系统及多技术集成

车辆导航与监控中 GPS/GIS 实时定位配准误差分析 …… 陆　锋　崔伟宏 (312)

GPS 技术在县级土地利用动态监测中的应用 …… 王晓栋　崔伟宏 (318)

遥感学报第3卷（1999年）总目次 …… (324)

JOURNAL OF REMOTE SENSING

(Vol. 3, No. 4, 1999)

CONTENTS

Forum on "Digital Earth"

The "Digital Earth" as a Global Strategy and Its Master Point ..... *CHEN Shu-Peng* (253)

Architecture of "Digital Earth" ..... *LI Qi YANG Chao-Wei YI Shan-Zhen* (258)

Theory and Technique

High Precision Navigation of NOAA AVHRR Data .....
..... *ZHANG Bin ZHU Zheng-Zhong GE Cheng-Hui WU You-Shou* (267)

Computing Atmospheric Point Spread Function by Monte-Carlo Method ..... *XU Xi-Ru WANG Ping-Rong* (278)

Modeling the Openness Distribution and Radiative Transmission within Tree Crown Canopy, Measurement and Validation
..... *WANG Jin-Di XIANG Yue-Qin LI Xiao-Wen* (284)

Monitoring Oak Woodland Change Using Digital Photogrammetry .....
..... *GONG Peng MEI Xue-Liang Gregory S. Biging ZHANG Zu-Xun* (289)

Spectral Reflectance Retrival of Image Data by Imaging Spectrometer PHI .....
..... *LIU Jian-Gui WU Chang-Shan ZHANG Bing ZHENG Lan-Fen TONG Qing-Xi* (294)

Image processing

Separation of Rock Information from Remote Sensing Data Using Masking Technique and Step-wise Orthogonal Transformation Algorithm ..... *LIU Su-Hong MA Jian-Wen LIN Qi-Zhong* (299)

Remote Sensing Monitoring

ERS Wind Scatterometer Data Processing and Observation of Ocean Wind Field Abnormal of El Nino .....
..... *WANG Chao* (304)

On Retrieving Sea Surface Wind Speed from Satellite Altimeters: Model Functions and an Application Case .....
..... *CHEN Ge* (311)

Integration of GIS and Multiple Techniques

Matching Error Analysis of GPS Positioning and Digital Maps in Vehicle Guidance and Monitoring .....
..... *LU Feng CUI Wei-Hong* (317)

Application of GPS in Dynamic Monitoring of Landuse at County Level ..... *WANG Xiao-Dong CUI Wei-Hong* (323)

Journal of Remote Sensing Contents (Vol. 3, 1999) ..... (326)