

地球信息科学基础丛书

多维动态 地学信息可视化

王英杰 袁勘省 余卓渊 编著



科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

地学信息可视化系统技术是近年来发展起来的一门新兴科学技术。以往传统地图或电子地图主要表现二维的地学信息,三维以上的多维动态(时间)地学信息表达与处理系统尚未出现。本书作者尝试从多维动态地学信息可视化处理角度,在国内外学者大量已有研究文献的基础上,依据地球系统科学和地球信息科学理论,结合传统地图学和二维地理信息系统技术原理,试图建立当代地图学的理论、技术与应用的学科体系。

本书可供地质地理、资源环境、气象预报、国土整治、地震监测、地图测绘、遥感遥测、农林水保、海洋渔业、交通运输、邮电通信、城市规划、工程设计、图形图像、信息管理、科技教育等方面的科技人员参考,也可作为相关专业研究生和高年级本科生的教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

多维动态地学信息可视化/王英杰等编著. —北京:科学出版社,2003
(地球信息科学基础丛书)

ISBN 7-03-012048-5

I.多… II.王… III.地理信息系统 IV.P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 070490 号

责任编辑:彭胜潮 吴三保/责任校对:柏连海

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年10月第一版 开本:787×1092 1/16

2003年10月第一次印刷 印张:18 3/4

印数:1—3 000

字数:422 000

定价:38.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

序

人们认识和描述自己居住的星球，是逐步走向多维的。——踏出家门，沿着河流和山脉，披星戴月，去旅游、考察、勘探、测绘地图，是以二维为主的活动；利用航空摄影和卫星定位、遥感观测地球，则属三维的活动。长时间的监测气象、气候周期变化，土地利用/土地覆盖的时空变化，研究城市扩张和人口迁移的规律，则是多维的时间与空间的综合动态分析的案例。

形象思维不仅是美学家、艺术家的“绝活”，也是科学家的特长。地质学家用古地理图来描述地质历史时期的海陆变迁和沉积建造；地貌学家用立体图解来阐述区域地貌的发育过程；他们按时序编制系列地图，用简明、朴素的形象语言，阐明复杂的自然历史过程，他们的经典著作给我们留下了深刻印象，成为我们地学的科学财富。

地学信息的获取方法日新月异，信息资源极大丰富。人们不仅只是通过“走马看花”的观光旅游和路线考察去认识大自然；还有遍布全球的定位观测台站网络，夜以继日的遥感卫星；还有自动记录的、快速传输的地球物理、地球化学、生态环境和社会经济统计数据，日积月累，建成许多海量数据库。无论是有形的自然景观变化，还是无形的文化、社会、经济变革，都为人们重新认知、分析这些现象的发生、发展过程提供了空前的、极大丰富的信息资源。

在地球科学信息极大丰富、虚拟和动画、多媒体技术高度发达的今天，地学信息的可视化，不仅有着强烈的社会需求和巨大的服务市场，而且在技术上有着充分的可操作性。戈尔（Al Gore, 1999）在提出“数字地球”战略的概念时，就曾非常生动、具体地谈到这方面的前景。人们不仅通过数字化和可视化来描述地球的现状，更重要的贡献是用来反演过去，或者预测未来。

王英杰、袁勘省、余卓渊三位教授在他们通力合作的这部专著中，系统地总结了国内外有关多维动态地学信息可视化的最新研究成果，探讨了许多地学信息的概念、理论、模型和技术问题的最新进展，特别是他们长期在地图科学教学和科研实践中的宝贵经验和深刻体会，指出尚待进一步研究的“真实三维信息体”等难题，更是非常难能可贵的。对于需要学习和应用地球信息科学知识和技能的读者们，本书是一部内容十分丰富、很有实用价值的参考读物。千万不要为专著中提到的那些比较生疏的名词和术语而却步，

循序渐进，柳暗花明，很快就会引人入胜、深入殿堂的。有幸先睹为快，欣然为读者解题和导读，是为序。

陈述彭
2003年9月18日

前 言

计算机科学与技术的发展和计算机在地图学应用领域的日益拓展,使地图学已从传统的纸质地图逐步发展到“屏幕地图”(screen map),特别是科学计算可视化在地理学领域的应用,使地图学正向多维动态、交互与虚拟的方向发展。多维动态地理信息可视化研究正是近些年来发展起来的地图学新兴方向之一,其目标是通过地理现象研究的多维动态地图的实验,构建多维动态地图模型。多维动态地图模型是对时空数据结构、三维动态景观建立、多维地理要素叠加、动态地图可视化表达和交互探索以及用户界面设计等进行概念的抽象,并在计算机软硬件环境中加以实现。

多维动态地图模型是以人类空间信息认知为基础,采用多媒体制图、遥感和虚拟现实技术,多视角地表达三维地理空间实体的多重属性及其随时间演变的动态过程。当前,人类对地理环境信息的获取、处理和表达的高新技术获得了空前发展,使地图学突破了传统的二维静态限制,向多维、动态、交互和虚拟方向发展,其功能也由信息传输扩展到了人机交互探索,改变了用户与地图之间的相互关系。多维动态地图的表达形式大大提高和增强了人类空间认知的能力,且日益得到地图学家的重视。因此多维动态地图的研究已成为现代地图学的发展方向,也是地图学领域中具有重大意义的创新。

地理现象的本质也具有多维动态变化的性质,分布于三维地球表面的各类地理要素的时空特征一直是地理学分析研究的基础,对于区域社会发展也具有重大的科学参考价值。反映地理环境时空变化的多维动态地图的实现,为地理学分析研究提供了强有力的手段。由于人类对地球环境信息获取达到了实时、序列化程度,海量数据的积累速度不断增长,客观上更需要有处理这些数据的能力和手段,以促进人类的发展。当前,对于空间信息处理分析的重要方法是在数据库技术、计算机制图、遥感和虚拟现实技术等手段帮助下,进行可视化表达。多维动态地图的构建实质上是对地理环境时空特征的图形模拟,减少传统地图学复杂抽象的符号,以更直观形象的地图表达方式建立区域地理虚拟环境,实现用户与地图模拟系统的交互操作,缩短信息传输距离,可极大地提高人类信息认知能力和空间分析研究的深度。

近年来,分析实现多维动态地图逐渐成为国际地图学科的研究前沿。1995年国际地图协会(ICA)成立的地图可视化委员会的研究目标,就提出了“发展概念模型和相关工具来描述时空过程”、“加强动态地图与时态GIS之间的联系”以及“研究三维(或多维)表达工具的潜力及其在科学表达中的意义”。对三维动态地图研究也已出现一些有益的探索和成功的实例。如Gerd Buziek等构建了交互式地图虚拟环境系统,具有三维定向和航行、智能化三维信息查询与集成、三维地形高程与面积测算等功能;Mark Harrower的时间交互动画系统,表达了陆地温度、海洋温度和云层变化分布状况,用户可选择“时间筛选”和“聚焦”功能,对不同时间的数据进行探索;MacEachren采用“时间图例”动态地表达大陆漂移学说;Lubos Mitas的时间地图动画描述降雨随时间的空间变化,以及反映人口分布趋势的动态地图等。

本书总结了国内外多维动态地学信息可视化的研究成果，特别是部分反映了中国科学院地理科学与资源研究所空间信息可视化创新研究方向有关研究人员和博士与硕士研究生的有关研究成果，在此基础上，对国内外多维动态地图模型研究成果的进行了系统汇编和总结，包括国内外研究现状、发展趋势；多维动态地学可视化的有关理论、技术与应用的框架体系；地学信息的多维动态特性认知；多维动态地学信息可视化的理论基础；多维动态地学可视化系统设计；地学信息的时空语义及其模型；面向对象的时空数据模型与数据组织；多维动态地学信息的可视化表达与交互；多维动态地学信息可视化技术，特别是对构建多维动态地学信息可视化核心的时空数据模型和地学信息的三维数字景观的表达技术和动态地图视觉变量的应用研究进行了总结归纳。

全书共分为七章。第一章介绍了地学信息的科学概念、多维动态特性、可视化的科学概念与地学信息可视化和地学信息可视化的有关形式和方法。第二章介绍了多维动态地学信息可视化的理论基础，包括有关地学信息可视化的基础理论和多维动态地学信息可视化的智能化理论，其中包括模糊集合、空间统计的时空动态模拟、元胞自动机的微观动态模拟、数据挖掘与知识发现、地学图解与信息图谱和虚拟现实理论等。第三章阐述了多维动态地学可视化系统设计原理与系统结构构成，包括用户模型、交互界面、地图数据的组织形式与系统导航、多维动态地学可视化系统设计的概念模式等。第四章对地学信息的时空语义与时空模型进行了总结归纳，包括地学信息的时间语义、时空语义、时空数据模型、时空数据库、时空地理参照系与时空建模、面向对象的时空数据设计等。第五章介绍了面向对象的时空模型与数据组织，包括概念模型、数据模型与组织等。第六章重点介绍了多维动态地学信息的可视化表达与交互探索，包括符号、颜色、声音等变量以及多媒体动化与时间比例尺在多维动态地图可视化中的应用等。第七章介绍了与多维动态地学信息可视化相关的技术。

地学过程的动态模拟与可视化是一个十分复杂和困难的研究课题，国内外虽然提出了不少模型建设，但真正实现起来都有一定的难度。中国科学院地理科学与资源研究所空间信息可视化创新研究方向有关研究人员，在所创新前沿项目“多维动态地图模型与虚拟地理环境建造研究”的支持下，对多维动态地图模型的理论及其应用实践进行探讨，初步完成了时空数据模型的试验设计研究，包括基于位置与特征的时空数据模型和基于时间系列的数据模型等，提出了应用时空模型，特别是利用基于事件的时空模型来集成和重建多源地理信息与地理过程数据。建立了不同时期统计信息空间分析的时空数据管理模型、历史政区变化动态可视模型、历史城市变迁动态可视模型等。初步完成了多维动态地图模型可视化的系统设计和初步实现了二维和三维多维动态地图可视化原型，基本上实现了数据的三维显示、相对数据距的表达编辑、多方位多视觉漫游、自定义路线漫游、动态过程可视化等功能。并提出了自适应多维动态地图模型可视化系统设计的概念和理论，其部分成果已初步应用于中国区域发展数据库分析系统应用系统、网络信息安全与网络事件可视化系统、基于 Grid 的统计信息空间可视化系统中的时空数据管理与分析的设计与实践中，这些成果因限于时间和正在不断地完善中，没有反映在本书中，我们将编写《多维动态地学信息模型的应用与实践》一书，作为本书的下篇，希望在不久能与同行见面，以求教于方家。

本书各章编写人员如下：第一章，袁勘省、王英杰；第二章，王英杰、袁勘省、余

卓渊；第三章，袁勘省、王英杰；第四章，王英杰、袁勘省、余卓渊；第五章，余卓渊、王英杰；第六章，袁勘省、余卓渊；第七章，余卓渊、袁勘省。全书最后由袁勘省、王英杰统稿、审校与定稿。

由于我们对多维动态地学信息可视化研究处于探索与学习阶段，认识水平有待进一步提高，在总结与归纳国内外专家的研究成果中，难免会有不周的地方，会出现这样或那样的错误，敬请原谅和指正。

最后衷心地感谢刘岳教授在编写过程中给予的支持和指导，感谢苏莹、袁建、王峥在文字与图形处理中给予的大力帮助，感谢科学出版社的大力支持和在稿件审查中提出的宝贵修改意见。特别感谢中国科学院地理科学与资源研究所创新前沿项目“多维动态地图模型研究与地理环境虚拟研究”（CX10G-D00-03）对本书的出版资助。

目 录

序	陈述彭	i
前 言		iii
第一章 绪 论		1
第一节 地学信息的科学概念及多维动态特性		1
一、地学信息的科学概念		1
二、地学信息的多维动态特性		2
第二节 可视化的科学概念与地学信息可视化		3
一、可视化的科学概念		3
二、地学信息可视化		4
三、地学信息可视化的研究特征与框架		6
第三节 地学数据的特点与可视化的形式和方法		7
一、地学数据的特点及其对可视化的要求		7
二、地学数据的可视化表现形式		8
三、地学数据的可视化表示方法		9
第四节 可视化技术方法与多维动态可视化的研究内容		10
一、可视化技术的基本方法		10
二、多维动态可视化研究的主要过程与内容		13
第二章 多维动态地学信息可视化的理论基础		16
第一节 专业基本与基础理论		16
一、地图可视化理论		16
二、地图(学)信息传输理论		18
三、空间认知科学理论		25
第二节 专业技术基础理论		33
一、模糊集合理论		33
二、空间统计的宏观时空动态模拟理论		35
三、元胞自动机的微观动态模拟理论		41
第三节 专业应用基础理论		49
一、数据挖掘和知识发现理论		49
二、地学图解/图谱理论		54
三、虚拟现实理论		64
第三章 多维动态地学可视化系统设计		73
第一节 用户视觉感受		73
一、地图视觉感受		73

二、地图视觉感受的应用·····	75
第二节 交互界面·····	76
一、交互界面设计框架·····	76
二、多模式界面·····	77
三、用户模型化·····	79
第三节 超地图的信息组织形式·····	81
一、超地图概念、功能和数据结构·····	81
二、系统导航·····	84
第四节 多维网络化信息虚拟空间的认知与构造·····	85
一、现实空间与网络虚拟空间的认知·····	86
二、网络虚拟空间的构造与模型化·····	88
第五节 智能化系统设计的概念模式·····	89
一、系统的一般过程与概念模型·····	90
二、系统的智能化设计概念模式·····	90
第四章 地学信息的时空语义及其模型化·····	93
第一节 地学信息的三域结构与数据建模·····	93
一、地学信息的三域结构·····	93
二、地学信息的数学表示与建模·····	94
第二节 地学信息的空间语义·····	95
一、基本的空间对象几何类型·····	96
二、基本的空间关系·····	97
三、空间拓扑关系的描述·····	97
第三节 地学信息的时间语义·····	99
一、时间域·····	100
二、时态关系·····	103
三、时态数据库·····	107
第四节 地学信息的时空语义·····	110
一、时空域·····	110
二、时空变化的分类·····	111
三、时空关系·····	114
第五节 时空数据模型·····	116
一、时空数据建模概念框架·····	117
二、时空数据模型设计的基本指导思想·····	118
三、现有时空数据模型分析·····	119
第六节 时空数据库·····	124
一、扩展关系型时空数据库·····	124
二、面向对象的时空数据库·····	127
第七节 时空地理参照系及认知论对时空数据建模的启示·····	128
一、时空地理参照系·····	128

二、空间认知对时空数据建模的启示	132
第五章 面向对象的时空数据模型与数据组织	134
第一节 面向对象的时空数据概念模型	134
一、面向对象设计思想的引入	134
二、面向对象时空数据概念模型与开发阶段	138
第二节 面向对象时空数据模型的形式化定义	140
一、时态对象结构的代数模型	140
二、对象基本结构的形式化定义	141
三、对象基本操作的形式化定义	143
四、时空关系的形式化定义	146
第三节 基于时间维的面向对象时空数据模型	147
一、TOOSTDM 系统结构描述	147
二、TOOSTDM 物理功能的实现	160
第四节 面向对象虚拟 GIS 数据模型与数据组织	166
一、虚拟 GIS 及其数据构模	166
二、面向对象虚拟 GIS 数据模型及其基本结构与对象成分	168
三、面向对象数据库的实现与虚拟 GIS 示例	171
第六章 多维动态地学信息的可视化表达与交互探索	175
第一节 多维动态地图符号	176
一、多维地图符号的基本概念	176
二、地图符号的放置	181
第二节 色彩模型及其变量与应用	183
一、色彩模型与多维数据表达	183
二、色彩变量与应用方案	184
第三节 三维数字景观表达与视觉变量	187
一、三维空间数据模型	187
二、三维数字景观表达	190
三、三维视觉变量	193
第四节 地图动画及动态变量与交互表达	195
一、地图动画概念和历史	195
二、地图动态变量	196
三、地图动画中的数据表达和交互探索方法	198
第五节 声音及其变量与应用	200
一、声音在可视化中的应用	200
二、声音变量及其应用	200
第六节 时间图例与时间比例尺	202
一、时间图例	202
二、时间比例尺	204
第七节 多维数据平行坐标表达法	205

一、平行坐标方法的原理	205
二、平行坐标方法的优点	206
第八节 多维动态地学可视化表达的概念模型	207
一、可视化表达的对象	207
二、可视化的概念化表达	208
第七章 多维动态地学信息可视化技术	211
第一节 多维图形显示原理与技术	211
一、多维图形显示原理	211
二、多维图形显示技术	213
第二节 地图动画制作与交互技术	221
一、计算机动画制作技术	221
二、地图动画制作与交互技术	222
第三节 空间数据插值技术	225
一、双线性插值技术	226
二、趋势面插值技术	226
三、样条函数插值技术	228
四、克里金插值技术	231
第四节 数字地形显示与简化技术	232
一、数字地形的显示与简化	233
二、细节分层 (LOD) 技术	234
三、小波简化技术	235
四、三维显示技术在非地形数据表达中的应用	237
第五节 分形技术及其在自然景观模拟中的应用	238
一、分形技术概述	238
二、分形树木绘制技术	241
三、分形地形模拟技术	242
第六节 三维图形实现技术	242
一、OpenGL 技术	243
二、Direct3D 技术	247
三、Java3D 技术	249
四、VRML 技术	252
第七节 多媒体技术	257
一、多媒体技术及其发展简况	257
二、多媒体与地学信息可视化	258
三、地学信息可视化中的媒体及其关系的描述与表达	260
第八节 空间数据挖掘技术	267
一、技术基本概念	267
二、数据挖掘的技术方法	268
三、空间数据挖掘的发展方向	272

第九节 虚拟现实技术.....	273
一、虚拟现实技术概述	273
二、虚拟现实技术与 GIS 和可视化技术的结合	277
参考文献	279

第一章 绪 论

第一节 地学信息的科学概念及多维动态特性

一、地学信息的科学概念

1. 信息与地学信息

当前人类社会已迈入信息时代 (information era), 信息时代的人类社会称为信息社会 (information society)。在信息社会中, 信息、知识和技术将成为社会发展的动力和经济发展的基础。那么什么是信息? 信息的概念十分广泛, 说法也各种各样。如信息就是知识, 信息就是数据, 信息是作用于人类感觉器官的东西, 信息是加工知识的素材, 信息是被反映物质的属性, 等等。

这里, 我们引用我国信息学领域专家钟义信教授对信息的理解, 他认为可从两个方面来理解信息: 一是从最高层次, 即本体论层次看, 认为信息的存在是不以主体存在的条件为转移, 即使根本不存在主体, 信息也仍然存在 (钟义信, 1996)。本体论层次信息的定义是: 某事物的本体论层次信息就是该事物运动的状态和 (状态改变的) 方式。任何事物都具有一定的内部结构和外部联系, 因此, 本体论层次的信息也就是事物内部结构和外部联系的状态和方式。另一方面是引入约束条件主体 (如人、生物或机器系统等) 后对信息的理解, 此时, 必须从主体的立场出发来定义信息, 本体论层次的信息定义就转化为认识论层次的信息定义: 某主体关于某事物的认识论层次的信息就是该主体所感知的或所表述的相应事物的运动状态及其变化方式, 包括状态及变化方式的形式、含义和效用。其中所感知的部分是外部世界向主体输入的信息; 所表述的部分是主体向外部世界 (包括向其他主体) 输出的信息。

从信息的定义出发, 关于地学信息的含义, 我们认为也可以从以下两方面来理解: 一是从本体论层次理解, 认为地学信息就是地学事物本身所固有的信息, 如某地学实体位于空间某一地点, 具有多大的体积, 有哪些属性等等; 另一方面从主体“人”介入后的认识论层次上理解, 地学信息可看成是人在对这一地学实体认识和了解之后所形成的信息, 或人在头脑中形成的对该实体的评价 (如认为某城市区位条件“好”还是“差”等)。从这两个层次对地学信息进行理解, 对于我们认识地学信息的特性以及在地理信息系统 (geographic information system, 简称 GIS) 中分析这些特性是很有帮助的。

地学信息又叫地球信息 (geo-information)。地球信息科学家陈述彭院士指出: 地球信息就是地球系统内部物质流、能量流和人流的运动状态和方式。它包括两部分: 一部分是有关物质流、能量流和人流的运动状态, 即对于它们在地球空间上所表现出来的区位特征, 包括位置、形状和属性特征的描述; 另一部分是有关物质流、能量流和人流的

运动方式，即对于它们的区位特征在时间上所呈现的运动过程和变化规律的解释。因此，地球信息实质上反映了人类对于地球系统运动规律的认识，它是人类保育地球系统的基础。地球信息所覆盖的空间范围上至电离层，下至莫霍面，其中在地球表层上的地理信息（geographical information，简称 GI）是地球信息的基础信息。正是地理信息的空间定位和空间关联性起到了连接地质信息、海洋信息和大气信息的作用，使得地质信息、海洋信息和大气信息得以通过地理信息而组合成为地球信息（陈述彭等，2000）。

2. 信息科学与地球信息科学

信息科学（information science）是以信息作为研究对象，以信息的运动规律作为主要研究内容，以信息科学的研究方法作为主要的研究方法，以扩展人的认知功能（特别是智力功能）作为主要研究目标的一门科学。地球信息科学（geo-informatics），也有称地理信息科学（geographical information science）、空间信息科学（spatial information science），则都是以地学空间（或称地球空间）/地学信息（或称地球信息、地理信息）作为研究对象，借助于地球空间信息的获取、存储以及处理技术，研究地球空间信息的形成机理、传输模式以及人类对地球空间信息认知的规律，以寻求地球空间信息的运动变化规律，从而达到利用这些信息为人类服务的目的。

二、地学信息的多维动态特性

既然地学信息是地球物质存在和运动形式的描述，是客观世界地学现象在人脑中的反映，当人观察某一地学对象和现象时，总是将它们置于一定的时间和空间中来描述其特性，获取感兴趣的信息，并用特定的数字、字母和符号等来表达。从科学意义上讲，时间和空间是物质存在的固有性质，而属性是将一种地学实体和其他实体区别开来的标志。所以我们可称地学信息是由地学对象属性、时间和空间三个元素构成的信息元组，可用 (x, y, z, t, a) 的数字形式来表示。其中 (x, y, z) 代表空间维， t 代表时间维， a 表示对象的属性维（属性不一定只有一个 a_1 ，还可能有 a_2, a_3, \dots, a_n 等多个属性），这样对于一个地学实体来说，对其完整的表示，就有空间、时间和属性，而且三者是不能分割的。因为空间维是三维的，属性维是多维的，时间维本质上虽是一维的，但可进行多维综合分析，如有事件发生时间、数据库时间和数据显示时间等；而且时间维又是动态的，主要表示现象随时间变化的特征。所以，对于具有这样多维的、动态的和综合特性的信息我们也可称其为多维动态信息，这就是地学信息的多维动态特性。过去的传统地图都是二维的。传统地理信息系统也都是二维的，最多为 2.5 维。本书重点讨论三维或三维以上即多维地学信息可视化的有关问题，加之顾及时间维并采取动态手段（如地图动画等）研究问题，所以为主题醒目起见，特用“多维动态地学信息可视化”的书名。

第二节 可视化的科学概念与地学信息可视化

一、可视化的科学概念

“可视化”又叫视觉化 (visualization), 就字面意义讲, 可理解为将不可见的东西转变成人的视觉可见的东西。但这里所说的“可视化”已被科学家赋予了一定的科学含义, 成了“科学计算可视化”(visualization in scientific computing) 的简称。不仅指计算结果的可视化, 还指计算过程的可视化; 不仅包括科学计算可视化即数据可视化, 还引申为对信息的可视化。

1. 科学计算可视化

科学计算可视化 (visualization in scientific computing, 缩写为 ViSC) 这一术语是 1987 年由美国 McCormick 等人提出的。1986 年 10 月美国自然科学基金会发起组织了一个专家特别会议, 会议召集了一批著名的科学家、软件工程师、艺术家、硬软件制造商来共同讨论科学计算可视化的技术发展与研究战略。专家们一致认为, 应该把发展可视化工具包括适于图形、图像处理技术的硬软件和视觉界面工具放在首要的位置。专家会议还建议由自然科学基金会建立一门“科学计算可视化”的交叉学科……(McCormick *et al.*, 1987)。自此, 科学计算可视化作为一个新名词频繁出现在各类学术刊物文献中, 科学计算可视化研究便在一系列传统和新兴学科中引起重视, 如在计算数学、分析化学、物理学、医学、生物学、地学、建筑学、信息学、计算机科学等领域得到广泛应用。

在与会专家提交的报告中, 将科学计算可视化定义为“是一种计算方法, 它将符号转化成几何图形, 便于研究人员观察其模拟和计算……, 科学计算可视化包括了图像理解与图像综合。这就是说, 可视化是一个工具, 用来解译输入到计算机中的图像数据和从复杂的多维数据中生成图像。它主要研究人和计算机怎样协调一致地感受、使用和传输视觉信息”。这一定义主要是从计算机科学的角度拟定的, 侧重于复杂数据的图形图像处理与表示的计算机技术方面, 同时将人和计算机对视觉信息的感知行为作为研究内容(江斌等, 1995)。

在此之前, 由于图形信息一目了然, 几乎所有科学和工程技术领域都利用计算机图形来加强信息的传递和理解, 计算机图像处理技术和计算机视觉也成功地用来处理各类医学图像和地面卫星图像, 以帮助人们理解和利用这类图像数据。因而也可认为科学计算可视化是一门把计算机图形学与图像处理和计算机视觉综合应用于计算科学的学科。计算科学是指应用计算机从事计算的科学与工程学科。因此也可以直接将科学计算可视化解理解为一种同时满足图像理解和综合的工具, 即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, 从而可以进行数据关系特征探索和分析, 以获取新的理解和知识(唐卫清等, 1995)。所以, 科学计算可视化又称科学可视化、计算机可视化或电脑可视化。

科学计算可视化把人脑和电脑这两个强有力的信息处理系统连接在一起, 可视化系

统的可视交互界面可以让用户快速并有效地观察、查询、探索、理解大容量数据，从而发现数据里面隐藏的对象关系、形态和结构。

2. 信息可视化

科学计算可视化研究的应用领域现象大都具有物理空间特征，其数据来自科学实验或者模型模拟，但近些年来对快速增长的因特网和万维网空间内的海量信息，数字化带来的大量商业信息，以及庞大的数据仓库内的信息，在可视化研究领域出现了一个新的分支，即信息可视化。信息可视化是把抽象的、大多不具有物理空间本质特征的信息转化成空间分布形式的图形图像，从而帮助用户理解或者发现其中隐藏的事物本质关系与形态和结构 (Cershon and Eick, Rohrer and Swing, 1997)。

二、地学信息可视化

地学信息可视化，也就是地球信息科学中的可视化 (visualization in geo-informatics)，可简称为地学可视化 (geo-visc 或 Gvis)。

地学可视化是科学计算可视化与地球科学相结合而形成的概念，是关于地学数据的视觉表达与可视分析。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与编制，地理学家和地质学家使用的地学图解或图谱，地图学家的专题制图与综合制图等，都是用图形 (地图) 表达对地学世界现象与规律的认识和理解 (陈述彭, 1957; 1991)。因而我们认为地学信息可视化包括了地图可视化、地理可视化、GIS 可视化及专业应用领域可视化 (龚建华等, 2000)。

1. 地图可视化

地图可视化 (visualization in cartography) 即地图学中的可视化或地图信息的可视化。地图信息实际上就是地学信息。过去和现在，地图本身一直就是地学信息的载体。过去地学信息被地图学家制成可视的纸质地图，向用图者传输地学信息，因而它本身也是一种可视化产品。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科学计算可视化提出地学多维图解模式，试图应用地图这个可视化工具为手段来解决特定的地学问题，获取对地学现象新的理解和认知。后来计算机科学技术发展，地图学家把计算机引进地图学，计算机制作地图是先由地图学家把地学信息生成数字地图，然后通过符号化变成可视的屏幕电子地图提供用户使用，所以地图信息可视化就是把不可视的数字地图或人脑中形成的心像地图变成可视化电子地图的过程。由于这一新型电子地图的生成过程是对原始地学信息的图解处理过程得到的，所以又可称其为“地学信息图解”。地图学家 Taylor 在 1994 年提出“可视化是现代地图学的核心” (Taylor, 1994)，他并倡议在 1995 年国际制图学会 (ICA) 上成立了一个新的专门委员会，并在 1996 年 6 月与计算机图形协会 ACM SICCRAPH (the Association for Computing Machinery's Special Interest Group on Graphics) 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，以促进科学计算可视化与地图可视化的连接和交流。结论普

遍认为, 地图可视化实质上是视觉交流传输和认知分析两个方面。陈述彭先生 1998 年又在地学信息多维图解和科学计算可视化的基础上, 提出了“地学信息图谱”的概念(陈述彭, 1998)。笔者认为, “地学信息图谱”就是现代地学信息图解和地图科学计算可视化的结果、产品或形式, 就好像纸质地图是传统地学图解和手工制图的结果、产品或形式一样; 或者好像电子地图(含交互交融地图、动态地图、虚拟地图、多媒体地图或超媒体地图等)是现代地学信息图解和计算机多维动态制图的结果、产品或形式一样, 即地学信息图谱是一种综合地学信息图解的图形图像可视化表达与分析应用的工具、形式与手段(陈述彭, 2001)。

所以, 地图可视化是地图/地理学家把可视化引入地图学而形成的概念, 它是研究可视化在地图学中的作用、理论和方法的科学。

2. 地理可视化

地理可视化(visualization in geography)是地理信息科学可视化的简称, 是地学可视化中另一个被使用的概念。地理可视化是地图/地理学家把可视化引入地理科学而形成的概念, 它是研究可视化在地理科学中的作用、理论和方法的科学。

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、摄影影像等现象中的可视化在地图可视化中并不作为重点研究的对象, 而是属遥感数字图像处理的遥感地学信息分析计算可视化。所以, 目前他倾向于采用地理可视化, 认为地理可视化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。

龚建华等认为, 地图学与地理学作为两门经典学科, 其研究对象均为地球表层系统中的地理环境, 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认知分析特征, 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接和融合地理学与地图学的特点, 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是多么严重。

3. GIS 可视化

GIS 可视化(visualization in GIS)是研究地理信息系统中关于可视化的理论、方法和技术的科学(龚建华, 2000)。

20 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, 因而 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