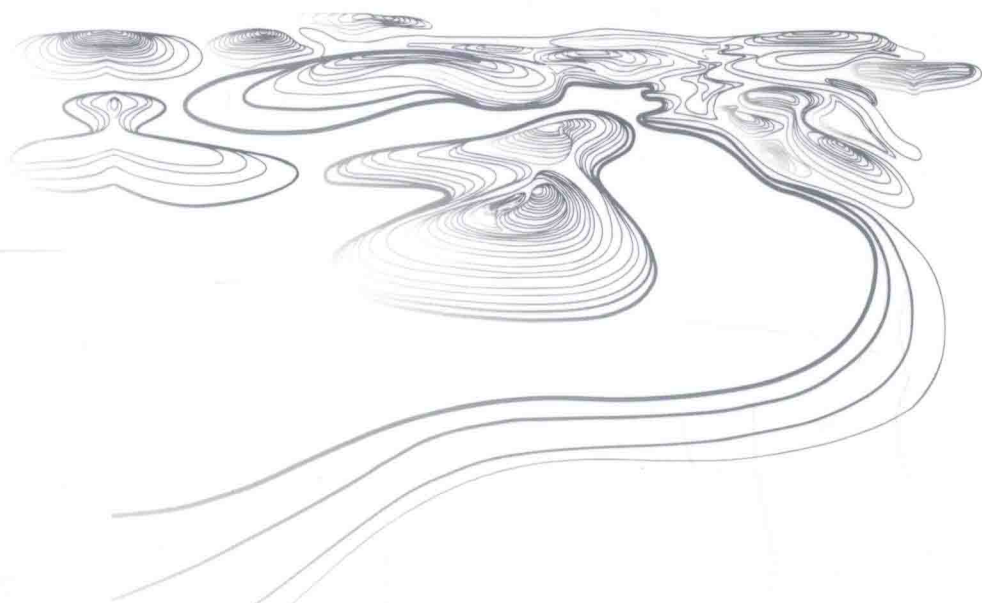




地学空间信息 建模与可视化

芮小平 于雪涛 著

MODELING AND
VISUALIZATION
OF GEOSPATIAL
INFORMATION



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

地学空间信息建模与可视化

芮小平 于雪涛 著

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

地学空间信息的建模与可视化有助于帮助用户直观地了解地学信息空间分布, 是进行空间信息辅助决策的重要手段。本书系统阐述了地学领域大规模地形、水面及河流、真三维层状地质体和规则体三维场、地球物理勘探数据、天气雷达数据以及地理多维属性信息建模和可视化的理论和方法。本书作者在地学空间信息可视化领域从事过十多年研究工作, 本书内容是作者近些年来主持国家自然科学基金、国家科技重大专项、国家深部探测专项、科技部科技支撑项目等多个国家及企业项目的研究成果, 抓住了地学空间信息建模与可视化的难点和要点, 具有很好的前瞻性和实用性。本书适用于地质学、地球物理学、气象学、地理信息系统及其他与地学相关专业本科生和研究生的教学参考书, 也可作为地学领域相关研究人员的参考书。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

地学空间信息建模与可视化/芮小平, 于雪涛著. —北京: 电子工业出版社, 2016.7
ISBN 978-7-121-29262-0

I. ①地… II. ①芮… ②于… III. ①空间信息技术—研究 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 150571 号

策划编辑: 徐蔷薇

责任编辑: 徐蔷薇 特约编辑: 劳嫦娟

印 刷: 北京京科印刷有限公司

装 订: 北京京科印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 16.75 字数: 440 千字

版 次: 2016 年 7 月第 1 版

印 次: 2016 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 59.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: xuqw@phei.com.cn

随着 3S 技术的融合和空间信息处理技术的发展与广泛应用,空间数据的可视化及基于可视化技术的空间分析、空间数据挖掘和知识发现已经发展成为空间信息处理的重要手段和关键技术。可视化技术的使用可以帮助我们更加全面和准确地了解空间信息、分析空间规律,甚至可以为空间信息领域的生产及宏观规划进行辅助决策。本书笔者在地学可视化领域研究多年,将地形可视化、水面可视化、真三维层状地质体和规则体三维场可视化、地球物理勘探数据可视化、天气雷达数据可视化以及具有多个专题维的多维信息可视化的研究成果整理成书,系统阐述了地学可视化的算法,供从事相关研究的人员参考。

全文共 9 章。第 1 章为引言,论述了本书研究的背景、目的和意义,介绍了空间信息可视化相关的概念以及国内外研究现状,并给出了本书的总体框架。

第 2 章介绍空间数据的处理方法。首先,论述了一种适合非网格化样品点研究区域的插值方法——多重二次曲面函数插值法,阐述了多重二次曲面函数插值方法的数学原理和实现过程。其次,提出了一种基于超曲面样条函数进行三维空间插值的新方法,该方法将二维的曲面样条函数插值法进一步拓展到三维空间。同时给出了超曲面样条函数的构造方法以及使用该方法进行三维空间插值的数值实现过程。

第 3 章在详细介绍地形可视化国内外研究现状的基础上,对基于 DEM 数据的地形可视化算法进行了深入研究,主要内容包括:①基于 Perlin 算法生成三维随机地形;②根据 Morton 码编码思想实现地形 DEM 数据无损压缩,在此基础上进一步建立 LOD 模型,提出一种基于不完全四叉树的实时连续 LOD 技术;③对 ROAM 算法进行改进,提出“先分块后构模”的思想,并采用非等腰直角三角形作为地表模型的基本单元,采用数组的方式存储二叉树节点信息,运用计算机位移运算提高二叉树的访问速度;④对大尺度地形数据采用球面索引的方式进行构建,采用一种视点相关的全球地形 LOD 模型 SROAM 建立基于球体的三维场景承载平台;⑤阐述了在 DEM 数据上叠加点、弧段、多边形等矢量数据的方法,介绍了在三维地球上叠加三维模型的算法。



第4章主要介绍了湖面(海面)和河流水面的三维可视化方法。模拟湖面时,在兼顾真实感和效率的前提下,采用中心差分方法建立了理想水体的运动方程,进而提出了一种模拟水面三维运动效果的方法。该方法首先将水体网格化,使用布朗分形运动的形态构建整个水面。接着利用简化的流体力学方程作为水体运动的驱动因子控制各个网格处的水体高度,再通过中心差分法平滑水柱之间的高度差,从而得到连续波动的水波模型。在此基础上,从纹理映射与LOD层次模型构建两个方面讨论了较大水域运动水面的仿真方法。河流模拟方面,提出了一种基于河流速度场的河道自适应流动水体的可视化方法。该方法应用流体力学原理,实时计算稳定水流的速度,构建河流的速度场,然后运用速度场驱动并约束满足泊松分布的精灵纹理在河道内移动,通过对精灵纹理进行混合与渲染,使重构的水面沿着河道真实、自然地流动。

第5章在详细介绍真三维空间实体可视化研究现状的基础上,对真三维的层状体和规则体数据可视化进行了研究。对于层状体数据,根据不同的用户需求,笔者将其可视化类型分为两种:一种类型只显示层状体的外表面,用户看不到层状体的内部结构;另一种类型用户不仅能够看到三维实体的外部形态,而且能够看到实体的内部结构。针对第一种情况,提出用规则网格和两层之间的三角网构建封闭的层状体。针对第二种情况,笔者采用三棱柱作为构建层状体的基本体元实现层状体的可视化。该方法首先将原始的数据经过预处理形成各个层上下对应的网格高程数据,然后连接相邻层上下对应的网格形成四棱柱,将四棱柱沿网格对角线分开,形成三棱柱基本体元。提出了一种通用的三棱柱数据结构,以该结构为基础把三棱柱剖分的情况分为完全剖分、特殊剖分和伪剖分三大类,并给出了三类剖分的特点以及各自包含的三棱柱剖分和重组方法。对于规则体数据,笔者采用介于直接体绘制和面绘制之间的切片法来实现其可视化,用双线性插值的方法获取切割面上的属性值,并用颜色编码来表示属性值。本章最后分别探讨了八叉树结构和小波算法在规则体可视化中的应用,给出了用八叉树结构和三维小波算法压缩规则体数据的一般方法。

第6章介绍了常见物探数据的可视化方法,主要针对CSAMT电法数据、SGY地震数据和重磁数据给出了可视化绘制的方法,同时也针对勘探区综合运用多种地球物理方法进行探测的情况及各类地球物理数据空间分布特点,采用一种改进的四叉树结构,建立对综合地球物理数据的空间索引,利用该数据结构实现综合地球物理数据快速空间查询,并在此基础上,实现大规模综合地球物理数据精细尺度下的物探数据高效三维可视化。

第 7 章主要介绍了我国气象行业常用的天气雷达数据可视化的方法。首先简要介绍了目前我国主要装备的天气雷达,包括 713 型数字化天气雷达和新一代天气雷达,即多普勒天气雷达。然后对 713 型雷达数据的格式、判读及显示优化的方法做了详细探讨和研究。由于新一代天气雷达数据包括多个型号,且数据类型包括雷达基数据和雷达导出产品,笔者先以新一代天气雷达中的 CINRAD/CB 型雷达的基数据为例,重点研究探讨了雷达反射率可视化方法以及回波区域的提取方法。然后以雷达导出产品中的 19 号基本反射率产品为例,研究探讨了径向结构的基本反射率产品反演为矢量 shp 类型和栅格 img 类型回波图像的可视化步骤和方法,并对两类可视化方法的优缺点做了简单的对比分析。

第 8 章首先介绍了多维空间信息可视化的研究现状,然后详细介绍了 SOM 和弹性网络图理论在多维空间信息可视化中的应用。SOM 是一种非线性的多维数据可视化方法,它能够很好地保持数据之间的邻居关系,而不是保持数据项之间的距离关系。SOM 的原型矢量可以看成样本数据的代表,也就是说通过降维以后,SOM 原型矢量获得的可视化信息与原始数据是保持一致的;此外,我们也可以将 SOM 看成数据的模型,可以将数据与这个模型进行比较,也可以根据模型反演各种样本数据。构造弹性网络图的原理与 SOM 很类似,它用网络图上的节点近似表示原始的多维数据点,而网络图上的节点由一个能量最小的光滑曲面决定。网络图的基本单元可以取多种形状。弹性网络图的构造是自适应的,可以实时根据新加入的数据对网络图进行调整。原始数据通过在弹性网内部坐标上的投影实现可视化。

第 9 章论述了可视化数据挖掘的基本概念和常用方法,探讨了可视化技术在空间信息挖掘方面的应用前景。

本书由国家科技重大专项课题“煤层气田网络化管理技术及应用软件”(2011ZX05039-004)、国家科技支撑计划项目课题“密闭式生活垃圾与餐厨废弃物收运装备与智能调控系统开发”(2012BAC25B01)、河北省自然科学基金“京津冀地区强对流天气下多场因子驱动的风暴体外推方法研究”(D2016210008)和河北省社会科学基金“京津冀地区强对流天气预警及应对策略研究”(HB15SH015)资助出版。

第 1 章 引言	1
1.1 可视化技术的产生	3
1.2 数据可视化	4
1.3 信息可视化	9
1.4 地理空间信息的可视化	14
1.5 本书主要内容及其框架	16
参考文献	17
第 2 章 空间数据的处理	19
2.1 多重二次曲面函数插值法	21
2.1.1 多重二次曲面函数插值法的数学原理	22
2.1.2 多重二次曲面函数插值的数值求解过程	22
2.1.3 多重二次曲面函数插值的实现方法	23
2.2 基于超曲面样条函数的真三维数据插值法	23
2.2.1 曲面样条函数简介	24
2.2.2 超曲面样条函数原理	25
2.2.3 超曲面样条函数插值算法的实例验证	26
2.3 本章小结	28
参考文献	28
第 3 章 大规模地形可视化	31
3.1 地形可视化研究现状	33
3.1.1 基于分形技术的地形可视化	33
3.1.2 基于真实地形数据的地形可视化	34
3.2 一种基于 Perlin 噪声函数的地形生成方法	37
3.2.1 Perlin 噪声函数简介	37
3.2.2 二维 Perlin 噪声函数的构造	38
3.2.3 具有多层细节的地形生成方法	39
3.2.4 用 Perlin 噪声函数绘制地形的实例	40
3.3 基于 Morton 码的地形简化方法	40
3.3.1 Morton 码的基本概念	40



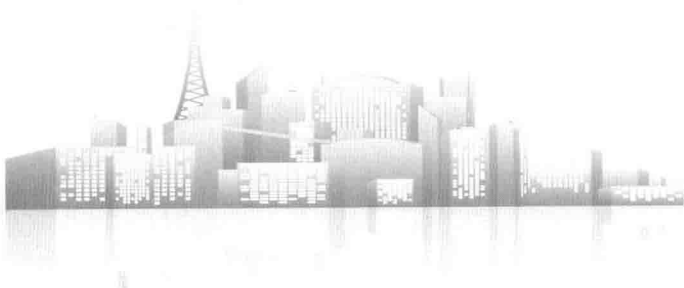
3.3.2	基于 Morton 码的地形简化算法	41
3.3.3	用 Morton 码进行地形简化的应用实例	42
3.3.4	基于 Morton 码的地形简化算法优缺点讨论	43
3.4	基于不完全四叉树的 LOD 方法	43
3.4.1	实时连续 LOD 的特征	44
3.4.2	基于不完全四叉树 LOD 技术的基本原理	45
3.4.3	四叉树节点的快速访问	49
3.4.4	基于不完全四叉树 LOD 技术的研究实例	52
3.4.5	算法讨论	54
3.5	一种改进的 ROAM 算法	54
3.5.1	ROAM 算法简介	54
3.5.2	改进的 ROAM 算法	56
3.5.3	应用实例	59
3.5.4	算法讨论	60
3.6	基于球面索引的三维地形可视化	61
3.6.1	连续球面地形 LOD 算法——Spherical ROAM	61
3.6.2	海量地形分页渲染技术	64
3.7	在地形上的叠加数据	66
3.7.1	在 DEM 上叠加纹理图像	66
3.7.2	在 DEM 上叠加矢量数据	67
3.7.3	数据叠加的应用实例	69
3.8	在地形上叠加三维模型	70
3.9	本章小结	71
	参考文献	71
第 4 章	水面的可视化	75
4.1	基于中心差分法的理想水面可视化	77
4.1.1	三维水体模拟研究简介	77
4.1.2	方法原理	78
4.1.3	应用实例	82
4.2	流动河流的三维可视化算法	84
4.2.1	河道边界的提取	84
4.2.2	基于速度场的自适应河流模拟	86
4.3	本章小结	94
	参考文献	95
第 5 章	真三维空间信息可视化	97
5.1	真三维可视化的国内外研究现状	99
5.1.1	基于面模型的构模	100

5.1.2	基于体模型的构模	101
5.1.3	混合建模	104
5.2	基于 VRML 的三维地质体可视化方法	105
5.2.1	原始数据的组织	105
5.2.2	地质体三维可视化的实现过程	106
5.2.3	在 VRML 环境下实现地质体三维可视化	107
5.2.4	应用实例及结论	108
5.3	基于三棱柱的层状体可视化	108
5.3.1	数据处理与体元描述	109
5.3.2	切割点的求解	110
5.3.3	三棱柱的剖分	110
5.3.4	应用实例	112
5.4	基于切片法的规则体可视化	114
5.4.1	用切片法实现规则体体视化的基本原理	114
5.4.2	用切片法实现规则体体视化的过程	115
5.5	基于八叉树结构的数据简化技术	116
5.5.1	八叉树结构的定义	117
5.5.2	八叉树节点的快速访问	118
5.5.3	八叉树的优点	119
5.6	基于小波的三维数据可视化	120
5.6.1	小波变换及其基本概念	120
5.6.2	多分辨分析与 Mallat 算法	122
5.6.3	三维小波及其在三维数据可视化中的应用	126
5.7	本章小结	129
	参考文献	129
第 6 章	地球物理勘探数据可视化	133
6.1	CSAMT 电法数据三维可视化	135
6.1.1	CSAMT 数据格式与组织	135
6.1.2	CSAMT 数据的插值方法	137
6.1.3	构建 CSAMT 场数据与虚拟切片滑动控制器	138
6.1.4	测线模型的实例	139
6.2	SGY 地震数据三维可视化算法	141
6.2.1	读取地震勘探数据	143
6.2.2	建立纹理	143
6.2.3	纹理空间映射	144
6.3	重磁数据的三维可视化	145
6.3.1	读取重力(磁法)勘探数据	146
6.3.2	建立顶点缓存	146



6.3.3	计算索引缓存	147
6.3.4	进行空间变换	147
6.3.5	顶点着色	148
6.4	综合地球物理资料索引结构的快速建立	149
6.4.1	综合地球物理资料空间索引的分割方法	149
6.4.2	综合地球物理资料数据结构的递归生成	150
6.4.3	快速空间查询算法	153
6.4.4	快速异常范围值空间定位算法	154
6.4.5	查询结果的快速排序算法	154
6.4.6	地球物理资料的添加与删除算法	155
	参考文献	156
第 7 章	天气雷达数据可视化	157
7.1	天气雷达简介	159
7.2	713 型天气雷达数据可视化	159
7.2.1	数据及格式说明	159
7.2.2	数据的判读	160
7.2.3	数据的显示	160
7.2.4	结论	163
7.3	新一代天气雷达数据可视化	163
7.3.1	雷达基数据的可视化	164
7.3.2	雷达导出产品的可视化	170
	参考文献	176
第 8 章	多维信息可视化	179
8.1	多维信息可视化研究综述	181
8.1.1	多维信息可视化技术的分类	181
8.1.2	空间多维信息可视化技术研究现状	182
8.2	基于 SOM 的多维信息可视化	186
8.2.1	SOM 基本原理	186
8.2.2	SOM 的训练算法	187
8.2.3	SOM 的质量评估	188
8.2.4	原型矢量的初始化方法	189
8.2.5	矢量投影	189
8.2.6	用 SOM 实现多维信息可视化	190
8.2.7	SOM 的多维信息可视化的应用实例	194
8.3	基于弹性网络图的多维信息可视化	197
8.3.1	弹性网络图	197
8.3.2	自适应弹性网络图	200

8.3.3	弹性网的自动学习过程	201
8.3.4	构建弹性网络图	202
8.3.5	用弹性网络图实现多维信息可视化	203
8.3.6	弹性网络图可视化的应用实例	203
8.4	流形学习的空间高维数据降维研究	207
8.4.1	流形学习算法介绍	207
8.4.2	等距映射	207
8.4.3	局部线性嵌入	209
8.5	LLE-SOFM 耦合模型的多维数据可视化算法	210
8.5.1	方法原理	210
8.5.2	LLE-SOFM 的应用实例	213
8.6	基于空间自相关的支持向量机空间聚类	214
8.6.1	方法原理简介	215
8.6.2	基于 Moran 的样本集选择	216
8.7	本章小结	217
	参考文献	217
第 9 章	可视化空间信息挖掘	221
9.1	数据挖掘理论简介	223
9.2	可视化数据挖掘技术	224
9.2.1	Keim 提出的分类体系	224
9.2.2	Card 提出的分类体系	226
9.3	可视化技术在空间信息挖掘中的应用	227
9.4	本章小结	229
	参考文献	229
附录 A	Oracle Spatial 的空间数据组织方案	231
附录 B	基于 ArcSDE C API 函数的客户端设计方法	241
附录 C	三维场景交互性设计	249



第 1 章

引 言

- 1.1 可视化技术的产生
- 1.2 数据可视化
- 1.3 信息可视化
- 1.4 地理空间信息的可视化
- 1.5 本书主要内容及其框架

1.1 可视化技术的产生

经过数十年的努力,人类在空间科学技术、遥感、地理信息系统、全球定位系统等领域取得了巨大成就。特别是随着全球范围内对地观测系统、国家信息高速公路、国家空间数据基础设施等重大计划的实施,人类对地球不同层面、不同现象的综合观测能力以及信息的处理、传输和应用能力达到了空前的水平。人类已经在建设数字地球所涉及的政策、机构、机制、标准、技术、数据和人力资源等诸多要素方面做了大量工作,在此基础上,1998年1月美国前副总统戈尔顺应历史发展潮流,提出了数字地球的创意¹。前国家主席江泽民在1998年6月1日,纵论世界社会、经济、科学技术发展趋势时,论及了数字地球。数字地球引起了各国政要和科技界的高度关注^[1]。数字地球是一个全局性的长远的战略思维,其核心在于:①用数字化手段统一性地处理地球问题;②最大限度地利用信息资源。

20世纪50年代以后,随着科学技术的不断发展,人类社会逐渐从工业时代进入信息时代。信息时代的到来,不仅导致经济、科技与生活方式的转变,更重要的是人们的思想观念、认识、观察、分析和处理问题的方式都发生了根本的变化。科学技术的发展,特别是计算机技术的迅猛发展,使人类产生与获取数据的能力呈数量级地增加。面对这浩如烟海的数据,想通过传统的信息处理方法(如手工绘图、制表等)分析这些数据从而得以深刻理解并进一步形成正确的概念和看法几乎是不可能的了,人们需要有新的技术来帮助理解这些数量巨大的数据。

20世纪80年代以后,计算机已经发展成为各行业获取和管理信息的主要工具和手段,然而,计算机的用户却只能是受过培训的专业人员,普通的用户仍然无法轻松地使用计算机处理各种信息。专家认为,要使计算机真正成为一种大众化的工具,关键问题不在于硬件设备的提高,而在于应用软件的大众化。从用户的角度来说,对软件的最基本要求就是易学易用,直观方便。因而,如何以丰富多彩、生动活泼的形式表现现实世界,如何使信息的存取和浏览方式更符合人类的日常行为和接近人的思维习惯就成为人们关注的焦点^[2,3]。经科学家对人的感官的研究表明,相对于数据和文字,人对图形图像有更强的信息获取能力,人在日常生活中所接受的信息75%以上来自视觉,而承载信息量最大的视觉材料是图像和图形。大量研究表明,人脑对图像和图形采用“并行”机制来处理,可以更充分地发挥视觉系统的潜力。而对于诸如数字、文字和表格之类的视觉材料,其承载的信息呈线状通过人眼而进入大脑,限制了视觉系统认知能力的发挥^[4]。因此,如何将现实世界的各种信息转化为图形图像的形式,从而更加有效地发挥人的视觉作用,对于海量信息的分析和处理将起到举足轻重的作用。

可视化(Visualization)技术就是在这样的要求下产生并发展起来的一门新兴的边缘学科,它可以使人们在三维图形世界中,直接对具有形体特征的信息进行操作,并同计算机进行交流。实际上,它通过将科学计算过程及计算结果所产生的枯燥的数据转换成直观的图形和图

1 戈尔认为:数字地球是一个可以嵌入海量地理数据的、多分辨率的、真实地球的三维表示。数字地球涉及以下技术:以建模与数字模拟为特征的计算机科学、海量储存技术、高分辨率的卫星图像技术、每秒传送一百万兆比特数据的宽带网络、操作规范、元数据标准以及卫星图像的自动解译、多源数据的融合和智能代理等。



像信息,来仿真人脑映像的构造过程,帮助人们洞察数据所蕴含的关系和规律,以支持用户的判断和理解。通过交互式的图形、图像系统,人们就能便捷地获得关于数据的直观、形象、深刻和全面的理解^[5]。可视化技术把人和机器以一种直觉而自然的方式统一起来,这无疑使人们在三维世界中,用以前不可想象的手段来获取信息和发挥自己的创造性。正是由于可视化技术在信息处理与分析方面具有不可比拟的优越性,使其成为信息爆炸时代人们分析和驾驭信息的有力工具^[6,7]。

在西方地图学文献中,可视化这个词的使用至少可追溯到 20 世纪 40 年代以前,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。科学计算可视化(Visualization in Scientific Computing)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。对于科学工作者来说,可视化是计算机图形学、计算机成像技术和计算科学结合的产物,其核心是将不可见的或抽象的过程和结果转化为形象的、可见的符号或图形,以利于人们分析、理解和把握所研究对象的总体状态和变化趋势,从而在更深层次上认识事物^[8]。科学计算可视化是计算机图形学的一个重要领域,它的核心是将三维数据转换为图像,它涉及标量、矢量、张量的可视化,流场的可视化,数值模拟及计算的交互控制,海量数据的存储、处理及传输,图形及图像处理的向量及并行算法等。可视化的研究涉及许多不同的领域,如计算机图形学、图像处理、计算机视觉、信息处理、计算机辅助设计及交互技术等。自 1987 年可视化作为一门学科确立以来,已经得到了长足的发展,并已广泛地应用于计算流体力学^[9]、有限元分析^[10]、医学图像处理^[11,12]、数学^[13]、物理^[14]、地学^[15]、气象预报^[16]、生命科学^[17]等研究领域。

科学计算可视化提出以后,迅速地发展成为一个新兴的学科,其理论和技术对地学信息的表达和分析产生了很大影响,这种影响可以归纳为两个方面:一方面是从技术层次上,可视化技术与 GIS 技术的结合,促进 GIS 地学数据的图形表达;另一方面是在理论上,因为可视化不仅仅是通过计算机图形显示来表达数据,本质上是人们建立某种事物(或某人)在脑海中的意象,是人们对地学信息认知和交流的过程,通过这个过程可以帮助人们获取地学知识,认识地学规律^[18]。地学系统是一个复杂的研究领域,涉及多门学科及多种技术,涵盖的内容相当丰富。与其他领域的信息相比,地学信息具有信息量大、情况复杂等特点。可视化技术的使用可以帮助我们更加全面和准确地了解地学信息,分析地学规律,甚至可以对地学领域的生产及宏观规划进行辅助决策。可以说,地学信息可视化技术的发展必将推动整个地球信息科学的发展。

1.2 数据可视化

数据可视化(Data Visualization)技术指的是运用计算机图形学和图像处理技术,将数据变换为图形或图像在屏幕上显示出来,并进行交互处理的理论、方法和技术。它涉及计算机图形学、图像处理、计算机辅助设计、计算机视觉及人机交互技术等多个领域。数据可视化概念首先来自科学计算可视化,科学家们不仅需要通过图形图像来分析由计算机算出的数据,

而且需要了解在计算过程中数据的变化^[19]。随着计算机技术的发展,数据可视化概念已大大扩展,它不仅包括科学计算数据的可视化,而且包括工程数据和测量数据的可视化。怎样分析大量、复杂和多维的数据呢?答案是要提供像人眼一样的直觉的、交互的和反应灵敏的可视化环境。因此,数据可视化技术的主要特点是:

(1) 交互性。用户可以方便地以交互的方式管理和开发数据。

(2) 多维性。可以看到表示对象或事件的数据的多个属性或变量,而数据可以按其每一维的值,将其分类、排序、组合和显示。

(3) 可视性。数据可以用图像、曲线、二维图形、三维体和动画来显示,并可对其模式和相互关系进行可视化分析。人的创造性不仅取决于人的逻辑思维,而且取决于人的形象思维。海量的数据只有通过可视化技术才能激发人的形象思维,使人们能够从表面上看来杂乱无章的海量数据中,寻找隐藏的规律,为科学发现、工程开发、医疗诊断和业务决策等提供依据。

数据可视化可以大大加快数据的处理速度,使时刻都在产生的海量数据得到有效利用;可以在人与数据、人与人之间实现图像通信,从而使人们能够观察到数据中隐含的现象,为发现和理解科学规律提供有力工具;可以实现对计算和编程过程的引导和控制,通过交互手段改变过程所依据的条件,并观察其影响^[20]。

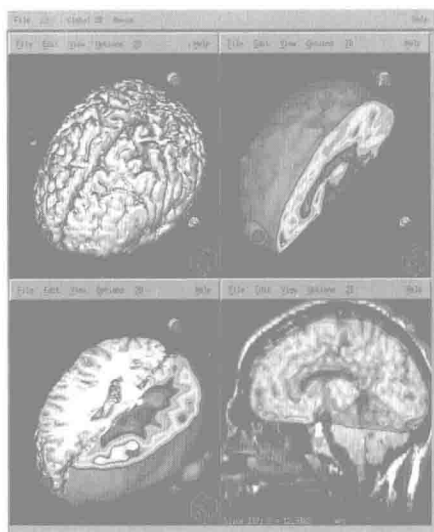
数据可视化的应用十分广泛,几乎可以应用于自然科学、工程技术、金融、通信和商业等各种领域。下面举例说明几个数据可视化成功应用的领域。

1. 医学

医学数据的可视化,已成为数据可视化领域中最为活跃的研究领域之一。随着近代非侵入诊断技术,如CT、MRI和正电子放射断层扫描(PET)的发展,医生已经可以很容易地获得病人有关部位的一组二维断层图像。CT打破了传统的胶片感光成像模式,通过计算机重构人体器官或组织的图像,使医学图像从二维走向三维,使人们从人体外部可以看到内部。PET把核技术与计算机技术结合起来,经核素标记的示踪剂注入人体后,核素衰变过程中产生的正电子湮灭通过电子检测和计算机重构成像,使我们得到人体代谢或功能图像。在此基础上,利用可视化软件,对上述多种模态的图像进行图像融合,可以准确地确定病变体的空间位置、大小、几何形状以及它与周围生物组织之间的空间关系,从而及时、高效地诊断疾病。美国加州的ADAC实验室、约翰·霍普金斯大学、焦点图形公司、集成医学图像处理系统公司以及德国柏林大学等都采用可视化软件系统,获得二维断层图像,重构有关器官和组织的三维图像(见图1-1)。他们开发出的软件已在许多医院得到应用。另外,美国华盛顿大学利用可视化软件系统和心脏超声诊断技术,可以获得心脏的三维图像,并用于监控心脏的形状、大小和运动,为综合诊断提供依据。电子束CT(EBCT)由电子束扫描替代了X线管与检测器的机械扫描,因而扫描速度提高近百倍,通过检查运动的器官(如心脏大血管)可得到清晰的图像,实现了电影CT,是CT技术的一次革命。

由于EBCT血管造影图像时间分辨率高,消除了呼吸及运动伪影,可以明确诊断各种主动脉病变和显示冠状动脉搭桥血管解剖结构,且三维重建图像有利于整体直观地显示病变,帮助明确诊断并指导手术,从而在主动脉病变的诊断和冠状动脉搭桥术后的血管显示方面,

可望取代有创的常规血管造影。



► 图 1-1 ADAC 实验室给出的多种模态的融合图像

2. 油气勘探

多年前，人们就已经找到了许多大型油气田。目前石油工业面临的一个严峻问题是：如何寻找规模小而埋藏深的油气田。除了寻找新油气田之外，新技术的出现还允许我们通过改善分析和回收方法，使现存油气田处于最佳状态，并延长很多油气田的产油产气寿命。科学家和工程技术人员必须先对大量的地震勘探数据进行精确的解释，然后才能确定油气田是否存在，并确定对地下资源的开采管理方案。油气勘探的主要方式，是通过天然地震波或人工爆炸产生的声波在地质构造中的传播，来重构大范围内的地质构造，并通过测井数据了解局部区域的地层结构，探明油藏气藏位置及其分布，估计蕴藏量及其勘探价值。由于地震数据及测井数据的数据量极其庞大，而且分布不均匀，因而无法根据纸面上的数据做出分析。利用可视化技术可以从大量的地质勘探数据或测井数据中，构造出感兴趣的等值面、等值线，并显示其范围及走向，并用不同颜色显示出多种参数及其相互关系，从而使专业人员能对原始数据做出正确解释，得到矿藏是否存在、矿藏位置及储量大小等重要信息。这不仅可以指导打井作业、减少无效井位、节约资金，而且必将大大提高寻找油藏气藏的效率，具有重大的经济效益及社会效益。英国的 PGS Tigrress 有限公司开发了数据的可视化软件，已在全世界许多油气田和天然气开发中得到广泛的应用（见图 1-2）。利用这种软件，可以进行地震数据处理、测井多井评估、模拟油气的储存和生产过程。利用它不仅能确定油气储存的位置，而且可以跟踪油气的运动，从而确定开采油气的最优路径。我国大庆勘探开发研究院开发了地质数据可视化系统，可以全方位、方便灵活地对三维数据体中的断层、剖面、层面及其内部所包含的数据类别、地质属性进行立体显示，具有面向对象的开发环境，能满足用户的各种数据可视化要求。