



地理信息系统理论与应用丛书

地理空间数据可视化

● 王明孝 张志华 杨维芳 编著



地理信息系统理论与应用丛书

地理空间数据可视化

王明孝 张志华 杨维芳 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

可视化是包括地学在内的众多学科领域的重要研究手段,可视化可为地学研究提供直观而高效的显示结果,已成为研究地理空间数据表示、数据处理、决策分析的主要方法。本书全面、系统地收集和整理了当前有关空间地理数据可视化领域的相关资料,以可视化为主线,内容涉及色彩学、平面构成、心理学、地图学、自动制图理论、地理空间数据的二维和三维可视化方法、可视化程序设计(OpenGL、VRML)、地理空间数据可视化分析的具体实现过程及应用。

本书可作为GIS、计算机相关专业的本科生和研究生教材,也可作为GIS领域科研、教学、研发人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

地理空间数据可视化 / 王明孝, 张志华, 杨维芳编著. —北京: 科学出版社, 2012. 12

(地理信息系统理论与应用丛书)

ISBN 978-7-03-036665-8

I. ①地… II. ①王…②张…③杨… III. ①地理信息系统—可视化仿真
IV. ①P208

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第026787号

责任编辑: 朱海燕 陈婷婷 / 责任校对: 鲁 素

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>

骏杰印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年12月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2012年12月第一次印刷 印张: 19 1/4

字数: 453 000

定价: 79.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

可视化 (visualization) 是将数据转换成图形或图像, 在一定介质上直观地显示出来, 以便人们形象化理解的一门技术。可视化技术最早运用于计算机科学中, 并在其应用中形成了一个重要分支——科学计算可视化 (visualization in scientific computing)。科学计算可视化能够把科学数据, 包括测量获得的数值、图像, 或是计算中涉及、产生的数字信息, 变为直观的、以图形图像信息表示的、随时间和空间变化的物理现象或物理量呈现在研究者面前, 使他们能够被观察、模拟和计算。

地理空间数据可视化最主要的表达形式是地图。地图自其诞生之日起就是可视化的产品, 并在发展过程中逐步形成了一系列的理论与方法, 如地图符号理论、地图感受理论、地图编绘理论及近年发展起来的三维地理空间可视化理论、电子地图技术、虚拟现实理论等, 这些都自然地成为地理空间数据可视化技术的基础。地图学因可视化方法的提出而获得了新的动力, GIS 也因可视化的支持而为研究者提供了促使逻辑思维与形象思维相结合的认知工具。

王明孝博士及其研究团队近些年来在承担军队、地方科研和生产项目的过程中, 对空间数据可视化的理论与方法进行了系统的研究。研制的可视化软件系统得到了许多部门的认可和应用, 并发表了多篇相关论文, 其成果获得了军队和地方多项科研奖励。该书是他们长期科研成果的结晶, 涵盖了传统空间数据可视化的理论与方法, 如色彩学、平面构成、地图符号学、地图符号生成方法、Gestalt 心理学、地图编绘理论和地图感受理论等, 也包括空间数据可视化的最新研究进展, 有三维地图符号生成方法、高维空间数据可视化理论、地理空间仿真技术、虚拟现实技术、可视化软件开发方法及空间数据可视化技术在战场模拟和矿山仿真中的应用。

“江山代有才人出, 各领风骚数百年。”非常欣慰王明孝博士等在空间数据处理方面取得的成就, 也乐见他们撰写的著作早日面世。相信这本凝聚了多位青年学者汗水的新作, 在惠及地理学和测绘学同仁之时, 也会为其他进行科学可视化科技人员提供良好的精神食粮。最后, 祝愿王明孝博士及其团队在科学研究的道路上继续努力, 勇攀高峰。

中国工程院院士 

2012年9月于郑州

前 言

“科学计算可视化”的概念自 1987 年提出以来，已历经 20 多个春秋。随着计算机科学技术和地理信息技术的发展与普及，可视化技术在各工程和计算机领域得到了广泛的应用和发展。各行各业的人们开始利用可视化技术来解决生产和社会实践中的问题。

本书旨在对地理空间数据的可视化做一较为全面而系统的介绍。可视化技术使人能够在三维图形世界中对具有形体的信息进行操作，与计算机交流。这种技术已经把人和机器的力量以一种直觉而自然的方式加以统一，这无疑将极大地提高人们的工作效率。可视化技术赋予人们一种仿真的、三维的并且具有实时交互的能力。这样，人们可以在三维图形世界中，以难以想象的手段获取信息或发挥自己的创造性思维。例如，机械工程师可以从二维平面图中直接进入三维世界，从而很快得到自己设计的三维机械零件模型；医生可以从病人的三维扫描图像分析病人的病灶；军事指挥员可以面对用三维图形技术生成的战场地形，指挥具有真实感的三维飞机、军舰、坦克向目标开进，并分析战斗方案的效果。此外，可视化的表现形式——虚拟现实技术，使人们进入一个三维的、多媒体的虚拟世界，人们可以游历远古时代的城堡，也可以遨游浩瀚的太空。所有这些都依赖于计算机图形学、计算机可视化技术的发展。

人们对计算机可视化技术的研究已经历了一段漫长的历程，并且形成了许多可视化工具。其中，SGI 公司推出的 GL 三维图形库表现突出，易于使用而且功能强大。利用 GL 开发出来的三维应用软件颇受许多专业技术人员的喜爱，这些三维应用软件已涉及建筑、产品设计、医学、地球科学、流体力学等领域。随着计算机技术的继续发展，GL 已经进一步发展成为 OpenGL，OpenGL 已被认为是高性能图形和交互式视景处理的标准。目前，包括 ATT 公司 UNIX 软件实验室、IBM 公司、DEC 公司、SUN 公司、HP 公司、Microsoft 公司和 SGI 公司在内的几家在计算机市场占领导地位的大公司都采用了 OpenGL 图形标准。

地理空间数据可视化与各个学科都有密切的联系。例如 GIS、计算机图形学、测绘科学、遥感、地理学、离散数学等。它是地理信息科学及其他关联学科的重要研究手段，一旦掌握了可视化原理与技术，便可成为当之无愧的技术人才。本书将更多地从可视化的原理入手，来阐述地理空间数据可视化的原理与方法。

本书的前言、第 6 章至第 8 章由王明孝博士撰写，第 4 章和第 5 章由张志华博士撰写，第 1 章至第 3 章由杨维芳博士撰写。赵兴全、何福艳、陈海涛、朱彦涛、李靖涵、刘

晓勇、张建华帮助整理了书中的插图和图表。最终，由王明孝博士、张志华博士统稿，王明孝博士定稿。

本书的出版得到兰州军区信息工程科技创新工作站、国家自然科学基金（40972204、40871208）、“863”计划重大项目（2009AA121404）、教育部创新团队资助计划（IRT0966）等的支持。

本书的内容引用了很多前人的工作成果，在此谨向他们表示诚挚的敬意。同时由于作者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

序

前言

第 1 章 导论	1
1.1 可视化的概念	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 GIS 空间数据可视化原理	2
1.1.3 时空数据的可视化	2
1.1.4 可视化的方法	3
1.1.5 应用领域与发展	3
1.2 地理空间数据可视化的学科体系	4
1.3 地理空间数据可视化的类型	6
1.3.1 可视化技术组成	6
1.3.2 可视化技术分类	7
1.3.3 可视化分类方法	8
1.4 地理空间数据可视化的特点	9
参考文献	10
第 2 章 空间数据可视化的理论基础	11
2.1 色彩学	11
2.1.1 色彩学基本原理	11
2.1.2 色彩地理学	17
2.2 平面构成	18
2.2.1 基础含义	18
2.2.2 平面构成的形象要素	22
2.3 心理学	26
2.3.1 心理学中的图形-背景分离原则	26
2.3.2 地理空间数据可视化的心理感知	27
2.4 地图学	28
2.4.1 研究对象	28
2.4.2 研究内容	29

2.4.3	应用	29
2.4.4	现代地图学理论	29
2.5	自动制图理论	30
2.5.1	制图综合的概念及影响因素	30
2.5.2	空间数据自动综合理论与方法研究	31
2.5.3	自动制图综合的特点及分类	31
	参考文献	34
第3章	二维空间数据可视化	36
3.1	普通地图符号	38
3.1.1	地图符号视觉形态分类研究现状	38
3.1.2	地图符号视觉形态分类探讨	39
3.2	专题地图符号	41
3.2.1	专题地图符号类型	42
3.2.2	专题图符号的构成	43
3.2.3	专题图符号表示方法	43
3.2.4	专题地图符号的设计	45
3.2.5	专题地图符号的可视化模块设计	47
3.2.6	三维专题地图制图符号的发展	49
3.3	二维符号的自动实现方法	52
3.3.1	符号结构组织	52
3.3.2	符号化	54
3.3.3	符号可视化的实现	54
3.4	二维地图制图	57
3.4.1	地图信息的传输过程	57
3.4.2	地图数据的二维制图表示	59
	参考文献	80
第4章	三维空间数据可视化	82
4.1	高维空间数据可视化	82
4.1.1	高维数据可视化基本概念	82
4.1.2	高维数据的可视化方法	83
4.1.3	高维数据可视化作用	85
4.2	三维地图符号	87
4.2.1	三维地图符号的基础理论	87
4.2.2	三维地图符号的分类及其视觉变量研究	89
4.2.3	三维地图符号的设计原则	95
4.2.4	三维地图符号的应用	100

4.3 地理空间仿真	106
4.3.1 仿真的基本理论	106
4.3.2 建模与仿真的关键技术	109
4.3.3 建模/仿真技术的地学模型分析	112
4.3.4 建模与仿真技术的应用	118
4.4 虚拟现实	121
4.4.1 虚拟现实的基本理论	121
4.4.2 虚拟现实技术的研究意义	125
4.4.3 虚拟现实技术在地理科学中的应用	128
4.4.4 虚拟现实技术应用现状分析	135
参考文献	136
第5章 可视化程序设计	142
5.1 OpenGL 简介	142
5.1.1 OpenGL 的特点	142
5.1.2 OpenGL 的工作原理	142
5.1.3 OpenGL 的工作方式	143
5.1.4 OpenGL 状态机	144
5.1.5 OpenGL 的组成	145
5.1.6 OpenGL 应用举例	146
5.2 VRML 简介	149
5.2.1 VRML 的由来及其发展	149
5.2.2 GeoVRML 的功能概述	156
5.2.3 Java 对 VRML 控制方式概述	157
5.2.4 访问 VRML 场景	158
5.3 三维地理空间数据可视化程序设计实现与方法	161
5.3.1 OpenGL 程序设计	161
5.3.2 VRML 程序设计	169
参考文献	175
第6章 地理空间数据可视化应用	177
6.1 二维地图制图	177
6.1.1 数据符号化	177
6.1.2 矢量数据符号化	179
6.1.3 栅格数据符号化	189
6.1.4 专题地图编制	193
6.1.5 制图数据操作	198
6.1.6 地图整饰	209

6.1.7 地图输出	225
6.2 空间分析结果的表达	226
6.2.1 缓冲区分析	226
6.2.2 叠置分析	233
6.2.3 网络分析	245
6.3 空间信息可视化查询	270
6.3.1 空间可视化查询的基本概念	270
6.3.2 属性查询	271
6.3.3 空间量算	272
6.3.4 空间关系查询	274
6.3.5 结构化查询语言 (SQL) 及其在 GIS 中的扩展	277
6.4 矿山巷道仿真——以某矿山为例	279
参考文献	280
第 7 章 虚拟战场	281
7.1 虚拟战场概述	281
7.1.1 虚拟战场的背景与意义	281
7.1.2 虚拟战场国外研究进展	281
7.1.3 虚拟战场国内研究进展	283
7.2 虚拟空间中战场环境表现	284
7.3 虚拟战场可视化	286
7.3.1 地形模拟	286
7.3.2 虚拟战场实体建模	287
7.3.3 特殊效果的生成——云、烟、雾等战地场景可视化	288
7.4 战场环境声音仿真	293
7.5 实时调度与控制	295
参考文献	295
第 8 章 结论	297
8.1 本书总结	297
8.2 地理空间数据可视化未来的研究方向	297

第1章 导 论

1.1 可视化的概念

1.1.1 基本概念

可视化的定义：可视化（visualization）是利用计算机图形学和图像处理技术，将数据转换成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、计算机视觉、计算机辅助设计等多个领域，成为研究数据表示、数据处理、决策分析等一系列问题的综合技术。

可视化技术可以从复杂的多维数据中产生图形展示客观事物及其内在的联系，能激发人的形象思维，允许人类对大量抽象的数据进行分析，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。

信息可视化是这样一个过程，它将数据信息和知识转化为一种视觉形式，充分利用了人们对可视模式快速识别的自然能力。信息可视化将人脑和现代计算机这两个最强大的信息处理系统联系在一起，通过有效的可视界面使我们能够观察、操纵、研究、浏览、探索、过滤、发现、理解大规模的数据，并与之交互，从而可以极其有效地发现隐藏在信息内部的特征和规律。

可视化，也称作“科学计算可视化”（visualization in scientific computing），其定义为：“可视化是一种计算方法，它将符号或数据转换为直观的几何图形，便于研究人员观察、模拟和计算的过程。可视化包括了图像综合，这就是说，可视化是用来解释输入到计算机中的图像数据，并从复杂的多维数据中生成图像的一种工具（McCormick et al., 1987）。”

地理空间信息要被计算机所接受处理就必须转换为数字信息存入计算机中。这些数字信息对于计算机来说是可识别的，但对于人的肉眼来说是不可识别的，必须将这些数字信息转换为人可识别的地图图形才具有实用的价值。这一转换过程即为地理信息的可视化过程，其内容表现在如下几个方面：

（1）地图数据的可视化表示最基本的含义是地图数据的屏幕显示。我们可以根据数字地图数据分类、分级特点，选择相应的视觉变量（如形状、尺寸、颜色等），制作全要素或分要素表示的可阅读的地图，如屏幕地图、纸质地图或印刷胶片等。

（2）地理信息的可视化表示是利用各种数学模型，把各类统计数据、实验数据、观察数据、地理调查资料等进行分级处理，然后选择适当的视觉变量以专题地图的形式表示出来，如分级统计图、分区统计图、直方图等。这种类型的可视化体现了科学计算可视化的

初始含义。

(3) 空间分析结果的可视化表示。地理信息系统 (GIS) 的一个很重要的功能就是空间分析, 包括网络分析、缓冲区分析、叠加分析等, 分析的结果往往以专题地图的形式来描述。

对于地理空间信息的可视化, 目前已经得到了广泛的研究和应用。地理空间信息可视化通过强大的、有效的地理信息系统将复杂的空间和属性数据以地理的形式展现出来, 从而挖掘数据之间的关联性和发展趋势。但是 GIS 中的空间数据模型没有考虑空间数据随时间变化的因素, 它只是现实世界某一时刻的反映, 不能合理地、动态地反映变化着的现实世界, 更无法对研究对象的全过程 (产生、发展、灭亡) 进行描述。因此随着应用的深入, 时间维必须作为与空间维等量的因素加入到 GIS 中来。而对于时空信息的可视化, 其关键在于如何高效地管理空间、属性和时间三维一体化数据, 即建立一种合适的时空数据模型, 以便更为有效地组织管理及表达时态地理数据、空间、属性和时态语义关系。目前, 由于一方面缺乏有效的描述模型, 另一方面在增加时间维之后, 信息量急剧增加, 现有计算机技术难以处理与管理, 因此时空信息可视化方面的研究尚有待深入。

1.1.2 GIS 空间数据可视化原理

在 GIS 应用系统中的基础数据库一般包含地理空间数据库、地理属性数据库、符号资源库、显示控制信息库四部分内容。在 GIS 中, 空间实体可抽象概括为点、线、面等要素, 并且它们具有空间几何特性和属性特征。地理空间数据库存储的就是这些点、线、面要素, 如路灯、柱子等点状地物, 通信线、煤气管道等线状地物, 建筑物、宗地等面状实体。地理属性数据库存储的是地物相关的属性特征数据, 如宗地基本属性、土地的权属、界址点坐标等。符号资源库由点状符号库、线状符号库和面状符号库构成。显示控制信息则总是与具体的地理对象紧密联系, 一类控制信息可以控制单个地理对象 (如点状符号的显示角度), 也可以控制一类地理对象 (如控制点符号的大小、土地利用图斑的填充颜色等)。显示控制信息可以作为地理对象属性的一部分存储, 也可以通过关联对照表存储, 还可以由用户直接定义。在 GIS 及其应用系统中, 运用符号或线型对每个地理空间要素进行符号化表达, 并通过控制信息控制其显示风格来实现地理数据的可视化, 如图 1.1 所示。

1.1.3 时空数据的可视化

时空数据的可视化, 即以时间为线索的空间信息的可视化, 是以图形的形式显示随着时间不断变化的空间数据。目前, 国内外针对时空数据可视化已进行了许多研究, Kraak (2003) 从可视化的角度回顾了时空立方体方法、并结合地理信息可视化总结了时空立方体方法的功能和应用。Kapler 等 (2005) 通过跟踪运动目标轨迹, 对运动目标的关联事件进行了时空结合的可视化表现。单国慧等 (2007) 对运动目标轨迹数据管理的关键技术进行了研究, 重点讨论了适用于运动目标轨迹数据的时空数据模型和可视化技术。黄培之和 Lai (2004) 针对土地利用变化的可视化应用实例, 对时间序列空间数据可视化的图形关

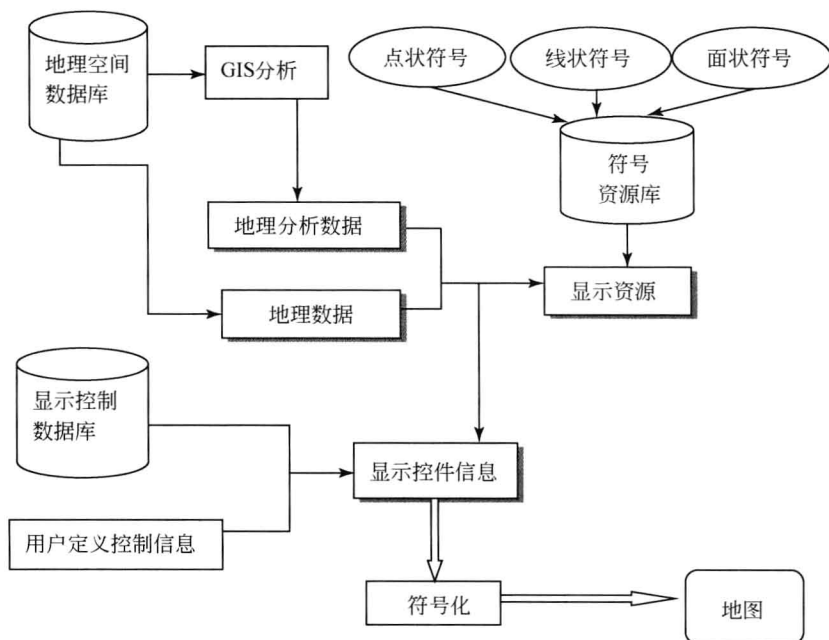


图 1.1 基于 GIS 技术的地理数据可视化

系分析和图形内插问题进行了研究。

1.1.4 可视化的方法

人类的认知系统可以识别空间三维物体，对于抽象的物体或像素的识别很困难。空间的可视性最多能够达到四维（例如第四维为时间维）。目前，对于构成可视化的主要方法，有以下几个方面：

(1) 空间三维图形：不同图形元素的组合变换映射为不同的数据维解释。把一个可视化空间结构和一条数据信息对应起来。通过图形的密度和颜色的分布，大致能够了解数据的分布、数据之间的相似性和数据之间的关系。

(2) 颜色图：分为彩色图和灰度图。彩色图的每一种颜色，对应着不同的属性维。灰度图可以利用颜色的深浅来标记数据量的属性值的大小，颜色越深，数值越大或者用它来强调某种特别的信息，它通常预先需要很好的映射定义。

(3) 亮度：对于特定的区域，用不同的亮度来辅助人眼对视点的观察。

(4) 数学的方法：利用数学中统计的方法，先对数据关系进行分析，得到数据的大体分布信息，然后再结合其他的可视化方法来进行细节数据分析。或者利用数学中统计的方法对数据中的关系进行映射，映射成为图形图像关系来帮助分析。

1.1.5 应用领域与发展

可视化技术最早运用于计算科学中，并形成了可视化技术的一个重要分支——科学计

算可视化。科学计算可视化能够把科学数据（包括测量获得的数值、图像或是计算中涉及、产生的数字信息）变为直观的、以图形图像信息表示的、随时间和空间变化的物理现象或物理量呈现在研究者面前，以便于它们能够观察、模拟和计算。

“科学计算可视化”概念自 1987 年提出以来，在各工程和计算领域得到了广泛的应用和发展。

最近几年，计算机图形学的发展使得三维表现技术得以形成，这些三维表现技术使我们能够再现三维世界中的物体，能够用三维形体来表示复杂的信息，这种技术就是可视化（visualization）技术。可视化技术使人能够在三维图形世界中直接对具有形体的信息进行操作和计算机直接交流。这种技术已经把人和机器的力量以一种直接而自然的方式加以统一，这种革命性的变化无疑将极大地提高人们的工作效率。可视化技术赋予人们一种仿真的、三维的并且具有实时交互的能力，这样人们可以在三维图形世界中用以前不可想象的手段来获取信息或发挥自己创造性的思维。机械工程师可以从二维平面图中得以直接进入三维世界，从而很快得到自己设计的三维机械零件模型；医生可以从病人的三维扫描图像中分析病人的病症；军事指挥员可以面对用三维图形技术生成的战场地形，指挥具有真实感的三维飞机、军舰、坦克向目标开进并分析战斗方案的效果。

更令人惊奇的是，目前正在发展的虚拟现实技术，它能使人们进入一个三维的虚拟世界，人们可以游历远古时代的城堡，也可以遨游浩瀚的太空。所有这些都依赖于计算机图形学、计算机可视化技术的发展。人们对计算机可视化技术的研究已经经历了一个很长的历程，而且形成了许多可视化工具，其中 SGI 公司推出的 GL 三维图形库表现突出，易于使用而且功能强大。利用 GL 开发出来的三维应用软件颇受许多专业技术人员的喜爱，这些三维应用软件已涉及建筑、产品设计、医学、地球科学、流体力学等领域。随着计算机技术的继续发展，GL 已经进一步发展成为 OpenGL，OpenGL 已被认为是高性能图形和交互式视景处理的标准，目前包括 ATT 公司 UNIX 软件实验室、IBM 公司、DEC 公司、SUN 公司、HP 公司、Microsoft 公司和 SGI 公司在内的几家在计算机市场占领导地位的大公司都采用了 OpenGL 图形标准。

值得一提的是，由于 Microsoft 公司在 Windows NT 中提供 OpenGL 图形标准，OpenGL 将在微机中广泛应用，尤其是 OpenGL 三维图形加速卡和微机图形工作站的推出，使人们可以在微机上实现三维图形应用（如 CAD 设计、仿真模拟、三维游戏等），从而更有机会、更方便地使用 OpenGL 及其应用软件来建立自己的三维图形世界。

总的说来，可视化技术几乎可以应用到各行各业之中。

1.2 地理空间数据可视化的学科体系

地理空间可视化是一门综合性很强的交叉学科，源于地理信息系统，属于地理技术类学科，在从地理学吸收精华的同时，还是测绘学、遥感、计算机科学、数学、心理学、美学、色彩学、地图学等多学科的实现工具，还可以结合各应用领域，建立基于地图可视化的地理空间信息分析与决策系统。

与空间数据可视化研究内容接近的学科较多，包括地图学、地图制图学、地理信息科

学、空间信息科学以及地球信息科学等，地理空间数据可视化的理论基础是地理科学与测绘科学，它的技术支撑是计算机技术，它的应用领域是地理、规划与管理等诸多行业。总之，地理空间数据可视化是结合地理学、地图学、计算机科学以及数学等多个学科，运用遥感、GPS、计算机等现代技术手段，对地理空间数据进行采集、存储、显示、管理、分析与挖掘，并从中获取信息与知识的一门交叉性、综合性学科。

如图 1.2 所示，与地理空间数据可视化相关的学科很多，目前学者们分别从各自的角度对其进行研究，主要有基于地理学、应用学科、数学、计算机科学、测绘学科以及与地理学相关的学科的研究，有侧重于理论研究、工程应用、地学建模、空间分析以及三维显示等。

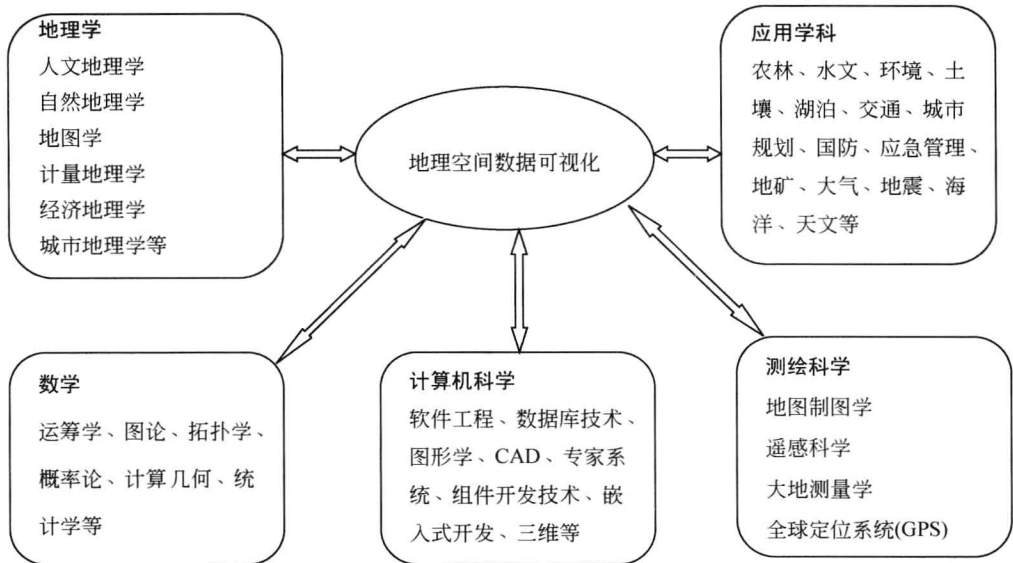
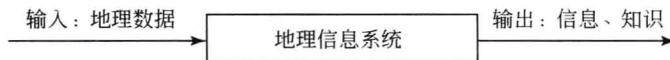


图 1.2 空间数据可视化的学科体系

地理空间数据可视化的架构是以地理数据为中心的。从原始的数据采集到最终的信息可视化与决策，地理数据贯穿始终。

由图 1.3 可知，地理空间数据可视化借助地理信息系统，将地理数据转换为人类所需的信息与知识。数据的存在方式就是地理数据在地理信息系统中所处于的阶段及被系统使用的方式：从数据采集，数据预处理，数据存储，直至数据可视化。



地理数据是 GIS 中的“血液”，也是 GIS 系统的灵魂和生命，数据组织和处理是 GIS 应用系统建设中的关键环节。将这些数据进行可视化，是另一个重中之重，只有通过数据集的可视化，我们才能将这些地理数据真正应用到实际当中，才能更好地体现地理数据的价值。

1.3 地理空间数据可视化的类型

1.3.1 可视化技术组成

1. 基础场模型

用户实验或计算的模型。从爱因斯坦到霍金，世界是连续的还是离散的一直是一个争论。但是连续和离散作为人们认识世界的两种方式，在地理空间研究中起着基础性的作用。建立在连续观点上的场模型和建立在离散观点上的要素模型构成了整个地理信息科学研究的两大基本模型。3S技术的产生、发展和成熟为空间刻画提供了一种定量描述的方法，可以弥补定性描述的简略、片面和不足，为准确、全面地刻画空间特征奠定了基础。然而作为一种观念，必须在要刻画对象的空间分布特征是连续还是离散之间做出一种选择，才能判断是使用场模型还是要素模型。有些地理事物是很容易判断的，如温度的空间分布明显是连续的，行政区的空间分布明显是离散的。

2. 输入数据模型

可视化软件或可视化专家所面临的数据场是软件输入口的数据，重构用户的要求，即按照用户的要求重新构造数据，以满足软件的数据输入格式。

3. 构造经验模型

经验模型是被重构的基础场，每一种可视化算法都依赖于经验模型中的重构方法。经验模型建立一种函数映射关系。例如： (x, y, d) 分别代表球面数据集的三个变量，其中， x （经度）和 y （纬度）描述了具体位置，显示该数据集的合适方法是什么呢？第一种情况，若 d 代表海拔高度，则可用插值方法来重构原结果数据场；第二种情况，如果 (x, y) 说明的是全球自然保护区的位置，而 d 是其中的种类数，则插值函数就没有实际意义，因为在别的地方 d 为 0，所有插值重构的方法不合适。因此，在研究具体的可视化时，不但要知道数据，还要研究（建立）数据重构的方法，即经验模型。

4. 抽象可视化模型

抽象可视化模型存在于图形系统中，属于图形参考模型中的对象模型，用于形成可视化图像。具体的经验模型的构建步骤如下：

第一步，构造经验模型。

根据基础场模型和输入数据模型构造描述该数据集的经验模型，也就是从所提供的数据集中构造物理实体的内部模型，从而确定模型中的独立变量和相关变量。从数据集中建立起相应的经验模型是可视化技术的基础，也是进行可视化技术分类的依据，其关键是如何表示被重构的基础场。

这一步骤包含许多数学内容，如采样理论提供从一组样本重构一个连续信号的条件：

采样频率 $\geq 2w_s$ ；数值分析提供各种插值算法，用于从采样数据中构造连续的函数。

第二步，选择表示该经验模型的抽象可视化模型。

即把经验模型表示成某种抽象的可视化对象，是一种研究方法，也是可视化的科学阶段。目的是为了详细了解所研究的物理现象，考虑用哪种显示方法能最好地反映出经验模型。比如，是颜色还是灰度，是等高线还是曲面视图等。

第三步，绘制可视化模型。

这是可视化的工程阶段，它在图形显示平面上构造用户能看到的视图，即通过传统的图形学与图像处理技术来合成可显示的图标。

1.3.2 可视化技术分类

在数学上，可以把数据场当做多变量函数对待。根据数据集中独立变量的个数和依赖变量的类型建立函数相关性。由此对可视化技术进行分类。假定任一数据可表示的函数关系为

$$Y=F(X)$$

式中， $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 是独立变量集，也称为该数据集的定义域； n 为定义域的维数； $Y=(y_1, y_2, \dots, y_m)$ 是依赖变量集，其类型可以是标量、矢量、张量； $F=(f_1, f_2, \dots, f_m)$ 是每一个依赖变量的函数关系。

建立经验模型后，任一依赖变量与独立变量集之间就建立起了一种函数映射关系。对于被定义在 n 维定义域上的 t 类型的数据集，可以标记为 E_n^t ，也可标记为 $E(t, n)$ 。式中， n 是定义域的维数； t 是函数类型，可以是标量 S 、矢量 V 、张量 T 。

1. E_n^t 的定义举例

(1) CT扫描三维医学数据场，标记为 E_3^s 。

X ：三维点 (x, y, z) 。

Y_1 ：密度，记为 $y_1=f_1(X)$ 。

(2) 三维流场，记为 E_3^v 。

X ：三维点 (x, y, z) 。

Y_1 ：流速，记为 $y_1=f_1(X)$ 。

(3) 海拔高度，记为 E_2^s 。

X ：精度和纬度 (α, β) 。

Y_1 ：海拔高度，记为 $y_1=f_1(X)$ 。

2. E_n^t 的定义说明

(1) 一个独立变量应包含以下信息：

数据类型：常见的由二维点、三维点、整数、实数、时间、枚举集所构成。

范围：变量取值范围。

采样：数据场的采样方式。