

普通高等院校地理信息科学系列教材

# 地理空间数据可视化原理

崔铁军 等 编著



科学出版社

普通高等  教材

# 地理空间数据可视化原理

崔铁军 等 编著

天津市品牌专业经费资助

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

地理空间数据可视化是地理信息科学理论和技术的重要内容之一,是把地理空间数据转化为可视的表示形式,以提升人类地理空间认知能力。这是一个心智过程,成为近年来地理信息科学与技术研究的热点。本书全面介绍了概论、地理空间数据可视化基础理论、计算机可视化环境、图形可视化基本算法、图形映射变换和图形开窗与裁剪,论述了点状地物、线状地物、面状地物数据可视化和专题地理数据可视化的方法,详细讨论了三维地理空间数据可视化和地理时空数据动态可视化,最后介绍了图形交互技术与用户界面和地理空间数据可视化设计。

本书条理清晰、图文并茂、实例丰富,既适合作为地理信息科学专业或相关专业本科生、研究生教材,又可供从事信息化建设、信息系统开发等有关科研、企事业单位的科技工作者参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

地理空间数据可视化原理 / 崔铁军等编著. —北京: 科学出版社, 2017.2  
普通高等院校地理信息科学系列教材

ISBN 978-7-03-051778-4

I. ①地… II. ①崔… III. ①地理信息系统-可视化仿真-高等学校-教材  
IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 028903 号

责任编辑: 杨 红 程雷星/责任校对: 彭珍珍

责任印制: 张 伟/封面设计: 陈 敬

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>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2017 年 2 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017 年 2 月第一次印刷 印张: 22 1/2

字数: 564 000 \*

定价: 69.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 前 言

眼睛是人类的重要感觉器官。人眼通过观测和阅读可以感知外界丰富的图形信息。由此，人类创造了文字、图形、图像、地图、电影和电视等可视作品，这些可视作品成为人类获取信息的主要来源。可视化的基本含义是将科学计算中产生的大量非直观的、抽象的或者不可见的信息，借助计算机图形学和图像处理等技术，以图形图像信息的形式，直观、形象地表达出来，并进行交互处理，转化为视觉所能感知的图形形式。

地理信息是指与地理事物、现象空间分布、相互联系和动态过程有关的信息，它表示地表物体和现象固有的数量、质量、分布特征，联系和规律的数字、文字、图形、图像等。地图是地理信息最主要和最常用的表现形式，并在发展过程中形成了一系列的理论与方法。地理信息可视化是运用地图制图学、计算机图形学和图像处理等技术，将地理信息输入、处理、查询、分析及预测的结果和数据以图形符号、图标、文字、表格、视频等可视化形式显示并进行交互的理论、方法和技术。地理空间数据可视化是交叉性学科。

地理空间数据是地理信息的重要载体之一。地理空间数据可视化是将地理空间数据转换为人们容易理解的图形图像方式。随着计算机图形、图像技术的飞速发展，人们现在已经可以用丰富的色彩、动画技术、三维立体显示及仿真等手段，形象地表现各种地形特征。地理空间数据可视化从表现内容上来分，有地图（图形）、多媒体、虚拟现实等；从空间维数上来分，有二维可视化、三维可视化、多维动态可视化等。地理空间数据可视化是地理信息系统的重要功能之一，伴随着地理信息系统孕育、发展和成熟，成为人们获取地理信息的主要渠道。为此，地理空间数据可视化技术成为地理信息科学专业主修课程之一。国内外许多学者从不同的视角阐述了地理空间数据可视化核心内容，出版了不同版本的地理空间数据可视化书籍。各个版本的专著在内容上缺乏教材的系统性，在教学过程中选择一本适合学生阅读的教材并不易。这是编写本教材的初衷。

参加本书写作的有天津师范大学地理信息科学专业老师宋宜全、霍红元、陈磊、张伟、张虎、梁玉斌、毛健等，其中，张伟负责第三章计算机可视化环境和第四章图形可视化基本算法；毛健负责第五章图形映射变换；张虎负责第六章图形开窗与裁剪；霍红元负责第七~九章地图符号可视化方法；陈磊负责第十章专题地理数据可视化；宋宜全负责第十一章三维地理空间数据可视化和第十二章地理时空数据动态可视化；梁玉斌负责第十三章图形交互技术与用户界面；其他章节由崔铁军负责。全书由崔铁军最终定稿。在本书撰写过程中，陈磊协助完成了插图绘图和初稿校对等工作。对此，作者向他们表示衷心的感谢。还需要说明的是，本书在编著过程中吸收了大量国内外有关论著的理论和技术成果，书中仅列出了部分参考文献，未公开出版的文献没有列在书后参考文献中，尽量在正文当页下方作了脚注，部分资料可能来自于某些网站，但未能够注明其出处，请引用资料的作者谅解。

值此成书之际，感谢天津师范大学城市与环境科学学院领导和老师的支持；感谢历届博

士生、硕士生在地理信息科学研究方面所做出的不懈努力。由于本人水平有限，再加上地理空间数据可视化理论与技术还处在不断发展和完善的阶段，书中疏漏之处在所难免，希望相关专家学者及读者给予批评指正。

作 者

2016年12月1日于天津

# 目 录

## 前言

<b>第一章 概论</b> .....	1
1.1 地理空间数据可视化概述 .....	1
1.2 可视化在学科中的地位与作用 .....	26
1.3 研究内容与发展趋势 .....	29
1.4 与其他学科的关系 .....	34
1.5 学习指南 .....	36
<b>第二章 地理空间数据可视化基础理论</b> .....	38
2.1 视觉与感受 .....	38
2.2 心理学与心理物理学 .....	47
2.3 透视原理与平面构图 .....	57
2.4 符号与地图符号 .....	68
2.5 视觉变量与感受理论 .....	71
<b>第三章 计算机可视化环境</b> .....	78
3.1 计算机可视化环境的构成及功能 .....	78
3.2 图形输入设备 .....	81
3.3 图形输出设备 .....	86
3.4 图形软件系统 .....	93
<b>第四章 图形可视化基本算法</b> .....	102
4.1 直线的生成算法 .....	102
4.2 圆与椭圆的生成算法 .....	107
4.3 区域填充算法 .....	117
<b>第五章 图形映射变换</b> .....	127
5.1 图形变换基础 .....	127
5.2 二维图形变换 .....	132
5.3 三维图形变换 .....	136
5.4 投影变换 .....	142
<b>第六章 图形开窗与裁剪</b> .....	150
6.1 图形开窗与裁剪概述 .....	150
6.2 直线段的裁剪 .....	151
6.3 平面多边形的裁剪 .....	155
6.4 其他图形的裁剪 .....	158

第七章 点状地物数据可视化	160
7.1 点状符号概述	160
7.2 点状符号化方法	163
7.3 点状符号库建立与管理	174
7.4 点状地理数据可视化系统	177
第八章 线状地物数据可视化	185
8.1 线状符号概述	185
8.2 线状地物数据符号化方法	190
8.3 曲线光滑插值	200
8.4 线状地物数据可视化系统	208
第九章 面状地物数据可视化	212
9.1 面状符号概述	212
9.2 面状符号填充配置算法	216
9.3 面状地物数据可视化系统	220
第十章 专题地理数据可视化	224
10.1 专题地图与专题地理数据	224
10.2 专题要素表示方法	229
10.3 专题数据分类分级处理	242
10.4 专题地理数据可视化系统	251
第十一章 三维地理空间数据可视化	263
11.1 三维地理空间可视化概述	263
11.2 地物表层可视化基本技术	270
11.3 三维地理空间多尺度表达	281
11.4 地理空间数据的三维可视化	295
第十二章 地理时空数据动态可视化	299
12.1 地理时空过程可视化概述	299
12.2 动态视觉变量	301
12.3 地理空间数据动态表示方法	304
12.4 地理空间数据动态可视化技术	307
第十三章 图形交互技术与用户界面	311
13.1 人机交互概述	311
13.2 图形输入控制方式	315
13.3 交互式绘图技术	318
13.4 三维交互技术	323
13.5 图形用户界面设计	325
第十四章 地理空间数据可视化设计	328
14.1 可视化设计概述	328

---

14.2 可视化内容取舍与概括·····	333
14.3 多尺度可视化设计·····	336
14.4 可视化符号设计·····	341
14.5 图面视觉效果的设计·····	348
主要参考文献·····	351



# 第一章 概 论

可视化 (visualization), 《牛津英语词典》解释为“构成头脑情境的能力或过程, 或不可直接觉察的某种东西的视觉”, 是指在人脑中形成对某物 (某人) 的图像, 促进对事物的观察力及建立概念等, 这是一个心智处理过程。此术语也指本来不可见的东西成为可见图像的过程。地理信息是人类对地球认知的结果, 用图形表示地理世界就有了地图。地图用简单的、抽象的地图符号描述复杂的地理现象。计算机图形学的应用与发展, 使地理空间数据成为表达地理信息的重要载体。地理空间数据可视化是把地理空间数据转换成为便于人们理解的图形、图像, 动态、形象、多视角、全方位、多层面地描述地理事物与现象, 不仅能反映地理现象空间分布、相互联系和动态过程信息, 还弥补了人类自然语言对地理现象描述的不足, 提高了人们对地理空间的认知能力。

## 1.1 地理空间数据可视化概述

人类是视觉动物, 因此图形、图像比文字更易于人们理解事物的结构。“人脑的神经细胞有一半以上用于处理和理解视觉输入”。因此, “为了在对付大量的数字数据的科学能力上达到最佳, 人必须最大限度地利用其极为重要的视觉器官”。可视化是为了适应人脑的形象思维功能而产生的。人类利用形象思维获取视觉符号中所蕴含的信息并发现规律, 进而获得科学发现。对科学数据进行可视化表达, 使得枯燥抽象的数据变得直观、生动, 增强人们对其的理解。同时, 提供一系列工具, 使人们可以通过交互操作, 对大量数据之间的关系进行分析。地理空间数据是指运用计算机图形图像处理技术, 将复杂的地理科学现象、自然景观、人类社会经济活动等抽象的概念图形化, 以便帮助人们理解地理现象、发现地理学规律和传播地理知识。

### 1.1.1 地理空间数据与可视化

人们在认识自然和改造自然活动中, 长期以来用语言、文字、地图等手段描述自然现象、人文社会发生和演变的空间位置、形状、大小范围及其分布特征等方面的地理信息。随着计算机技术和信息科学的引入, 为了使计算机能够识别、存储和处理地理实体, 人们不得不将以连续的模拟方式存在于地理空间的物体数字化、离散化, 将以图形模拟的空间物体表示成为计算机能够接受的数字形式, 用数据描述地球表面地理信息。由此, 产生了地理空间数据, 用来表示地理空间实体的位置、形状、大小及其分布特征等诸多方面信息。它具有定位、定性、时间和空间关系等特性。

#### 1. 地理世界表达

##### 1) 地理现实世界

地理是研究地球表面的地理环境中各种自然现象和人文现象, 以及它们之间相互关系的学科。地理学就是研究地球表层自然和人类社会诸事物的空间存在循序秩序, 探讨地球表面

众多现象、过程、特征及人类和自然环境的相互关系在空间及时间上的分布,如地表自然的地带性、非地带性规律,生物、气候、地形、水文的区域分布、结构、组织,以及空间演化规律。地理现实世界是复杂多样的,正确地认识、掌握与应用这种广泛而复杂的现象,需要进行去粗取精、去伪存真的加工,这就要求对地理环境进行科学的认识。对复杂对象的认识是一个从感性认识到理性认识的抽象过程。对于同一客观世界,不同社会部门或学科领域的人群,往往在所关心的问题、研究的对象等方面存在着差异,这就会产生不同的环境映象。对于现实世界的认识,首先要认识到现实世界是由空间实体构成的,然后要理解空间实体的定位方式,最后理解空间实体的描述及其表达。

## 2) 地理世界的地图表达

人类借助于外感官了解外面的地理现象,在认识过程中,把所感知的事物的共同本质特点抽象出来,加以概括,成为概念。在概念层次的世界充满了复杂的形状、样式、细节。人类在表达概念的过程中形成语言,包括自然语言、文字和图形。地图就是人类表达地理知识的图形语言,是客观存在的地理环境的概念模型。它具有严格的数学基础、符号系统、文字注记,并能用地图概括原则,按照比例建立空间模型,运用符号系统和最佳感受效果表达人类对地理环境的科学认识,是“空间信息的载体”和“空间信息的传递通道”。现代地图不仅是描述和表达地理现象分布规律的信息载体,还是区域综合分析研究的成果,能综合分析自然与社会现象的空间分布、组合、联系、数量和质量特征及其在时间中的发展变化。地图在抽象概括表达过程中有两种观点描述现实世界。

(1) 场的观点。地理现象在空间上是连续的充满地球表层空间的。地球表面的任何一点都处于三维空间,如果包含时间,就是四维空间离散世界,如大气污染、大气降水、地表温度、土壤湿度,以及空气与水的流动速度和方向等。场的思想是把地理空间的事物和现象作为连续的变量来看待,借助物理学中场的概念表示一类具有共同属性值的地理实体或者地理目标的集合,根据应用的不同,场可以表现为二维或三维。一个二维场就是在二维空间中任何已知的点上,都有一个表现这一现象的值;而一个三维场就是在三维空间中对于任何位置来说都有一个值,一些现象,如空气污染物在空间中本质上是三维的。基于场模型在地理空间上任意给定的空间位置都对应一个唯一的属性值。根据这种属性分布的表示方法,场模型可分为图斑模型、等值线模型和选样模型。

(2) 对象观点。地球表层空间被散布的各种对象(地理实体)所填充,地理对象指自然界现象和社会经济事件中不能再被分割的单元,它是一个具有概括性、复杂性、相对意义的概念。对象之间具有明确的边界,每一个对象都有一系列的属性。对象的思想是采用面向实体的构模方法,将地球表面的现实世界抽象为点、线、面、体的基本单元,每个基本单元表示为一个实体对象。每个对象由唯一的几何位置形态来表示,并用属性表表示对象的质量和数量特征。几何位置形态用来描述实体的位置、形状、大小的信息,在地理空间中可以用经纬度、坐标表达。属性是描述空间对象的质量和数量特性,表明其“是什么”,是对地理要素的语义定义,它包括各个地理单元中社会、经济或其他专题数据,是对地理单元(实体)专题内容的广泛、深刻的描述,如对象的类别、等级、名称、数量等。

地理实体变化也是一个很重要的特征,时间因素赋予了地图要素动态性质。时间特征用资料说明和作业时间(地图出版版本)来反映,时间因素也是评价空间数据质量的重要因素。

### 3) 地理世界数字化表达

计算机的引进使地图学进入信息时代,为了使计算机能够识别、存储和处理地理现象,人们把地理实体数字化,表示成计算机能够接受的数字形式。用数据描述地理世界有两种形式:①基于图形可视化的地图数据。地图数据是一种通过图形和样式表示地理实体特征的数据类型,其中图形是指地理实体的几何信息,样式与地图符号相关。②基于空间分析的地理数据。这种数据主要通过属性数据描述地理实体的定性特征、数量特征、质量特征、时间特征和地理实体的空间关系(拓扑关系)。

(1) 地图数据。早期的计算机制图(地图制图自动化)只是把计算机作为工具来完成地图制图的任务。计算机辅助制图的迅速发展,从试验阶段过渡到了应用阶段,它利用软件系统解决了地图投影变换、比例尺缩放和地图地理要素的选取与概括,实现了地图编辑的自动化。许多国家陆续建立了地图数据库。地图在抽象概括表达过程中通常以场和对象两种观点来描述现实世界。地图数据描述地图要素也有两种形式:①基于对象观点,表达地理离散现象的矢量数据;②基于场的观点,表达连续现象的栅格数据。

地图要素矢量数据表示。矢量数据就是在直角坐标系中,用  $X$ 、 $Y$  坐标表示地图图形或地理实体的位置和形状的数据。通过记录实体坐标及其关系,尽可能精确地表现点、线、多边形等地理实体,其坐标空间设为连续,允许任意位置、长度和面积的精确定义。地理实体在矢量数据中是一种在现实世界中不能再划分为同类现象的现象。地理实体的表示方法随比例尺、目的等情况的变化而变化。地理实体通常抽象为点状实体、线状实体、面状实体和体状实体,复杂的地理实体由这些类型的实体构成。

点状实体。点状实体是指只有特定的位置,而没有长度的实体。点可以具有实际意义,如水准点、井、道路交叉点、小比例尺地图上的居民地等,也可以无实际意义。点由一对坐标对  $(x, y)$  来定义,记作为  $P\{x, y\}$ , 没有长度和面积。

线状实体。线状物体的几何特征用直线段来逼近,把每个直线段串接起来为链。链以结点为起止点,中间点用一串有序坐标对  $(x, y)$  表达,用直线段连接这些坐标对,近似地逼近了一条线状地物及其形状。链可以看做点的集合,记为  $L\{x, y\}n$ ,  $n$  表示点的个数。特殊情况下,线状地物用以  $L\{x, y\}n$  作为已知点所建立的函数来逼近。链可以是道路、河流、各种边界线等线状要素。

面状实体。一个面状要素是一个封闭的图形,其界线包围一个同类型区域。因此,面状物体界线的几何特征用直线段来逼近,即用首尾连接的闭合链来表示,记作  $F\{L\}$ 。面状地理要素以单个封闭的  $F\{L\}$  作为一个实体,由面边界的  $(x, y)$  坐标对集合及说明信息组成,是最简单的一种多边形矢量编码。

体状实体。体状实体用于描述三维空间中的现象与物体,它具有长度、宽度及高度等属性,通常有如下空间特征:①体积;②岛或洞;③表面积。

矢量数据结构是利用欧几里得几何学中的点、线、面及其组合体来表示地理实体空间分布的一种数据组织方式。这种数据组织方式能最好地逼近地理实体的空间分布特征,数据剪度高,存储的冗余度低。

地理实体栅格数据表示。栅格结构是以规则的像元阵列来表示空间地物或现象分布的数据结构,其阵列中的每个数据表示地物或现象的属性特征。换句话说,栅格数据就是按栅格阵列单元的行和列排列的有不同“值”的数据集。栅格结构是以大小相等、分布均匀、紧密

相连的像元（网格单元）阵列来表示空间地物或现象分布的数据组织，是最简单、最直观的空间数据结构。它将地球表面划分为大小、均匀、紧密相邻的网格阵列。每一个单元（像素）的位置由它的行列号定义，所表示的实体位置隐含在栅格行列位置中，数据组织中的每个数据表示地物或现象的非几何属性或指向其属性的指针。点实体由一个栅格像元来表示；线实体由一定方向上连接成串的相邻栅格像元表示；面实体（区域）由具有相同属性的相邻栅格像元的块集合来表示。

地图数据的特点。地图数据的主要来源是普通地图，早期地图数字化的主要驱动力是地图制图。因此，地图数据有以下几个特点。

地图比例尺影响。地图数据是某一特定比例尺的地图经数字化而产生的。地理物体表示的详细程度，不可避免地受地图综合的影响。经过人为制图综合，地理物体的几何精度（形状）和质量特征已经不是现实世界中的真实反映，只能是现实世界的近似表达。为了满足地图应用的需要，对不同比例尺地图建立不同地理数据库，如 1:5 万数据库、1:25 万数据库和 1:100 万数据库等。

强调数据可视化，忽略了实体的空间关系。地图数据主要是为地图生产服务的，强调数据的可视化特征，主要采用“图形表现属性”的方式。地图上地理物体的数量特征和质量特征用大量的辅助符号表示，包括线型、粗细、颜色、纹理、文字注记、大小等数十种。地图数据以相应的图式、规范为标准，依然保留着地图的各项特征。数据中不表示各种地理现象之间的空间位置关系，如道路两旁的植被或农田、与之相邻的居民地等，各种地理现象之间的关系是通过读图者的形象思维从地图上获取的。地理物体，如道路、居民地和河流在空间上是相互联系的有机整体，但在地图数据表示中是相互孤立的。因此，地图数据不强调实体的关系表示。

按地图印刷色彩分层管理。为满足地图印刷的需求，依据地图制图覆盖理论，对地图数据按色彩分层管理，而不是按照地理物体的自然属性进行分类分级。这种分层不仅割裂了地理物体之间的有机联系，还导致了同一地物在不同层内的重复存储，如河流两岸的加固陡坎隐含着河流的水涯线信息，道路与绿化带平行接壤使道路边沿线隐含着绿化带的边沿，河流、道路和铁路等线状地物可能隐含着区划界限。

地图图幅限制了数据范围。受印刷机械、纸张和制图设备的限制，传统的地图用图幅限制地图的大小，地图数据用图幅来组织和管理。地图图幅割裂了大区域地理物体的完整性和连续性，如一条境界线因为地图的分幅而断作几条记录存储在不同的图幅内。

（2）地理数据。随着信息科学技术和地图数据应用的深入，地图数据仅仅把各种空间实体简单地抽象成点、线和面，这远远不能满足实际需要，地图数据已不再局限于地图生产，而广泛应用于环境监测、社会管理、公共服务、交通物流、资源考察和军事侦察等。地图数据与其他专题地理信息结合产生各种地理数据，包括资源、环境、经济和社会等领域的一切带有地理坐标的数据，用于解决各种地理问题，由此产生了反映自然和社会现象的分布、组合、联系及其时空发展和变化的地理数据。地理数据利用计算机地理数据科学、真实地描述、表达和模拟现实世界中地理实体或现象、相互关系及分布特征。空间关系是通过一定的数据结构来描述与表达具有一定位置、属性和形态的空间实体之间的相互关系，如图 1.1 所示。

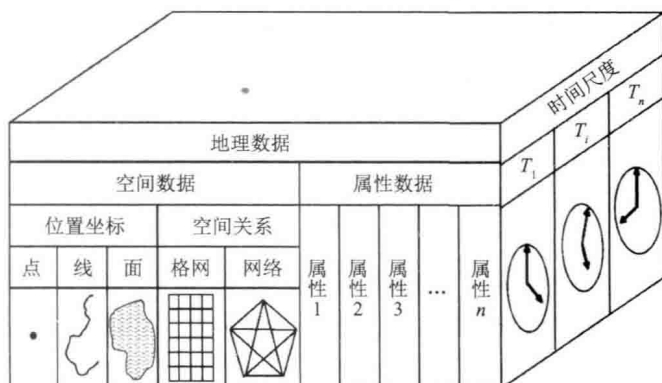


图 1.1 地理数据的多维结构示意图

地理数据是一类具有多维特征，即时间维、空间维及众多的属性维的数据。其空间维决定了空间数据具有方向、距离、层次和地理位置等空间属性；属性维则表示空间数据所代表的空间对象的客观存在的性质和属性特征；时间维则描绘了空间对象随着时间的迁移行为和状态的变化。

地理世界矢量数据表达。矢量数据通常从如下方面对地理实体进行描述：①编码。用于区别不同的实体，有时同一个实体在不同的时间具有不同的编码，如上行和下行的火车。编码通常包括分类码和识别码。分类码标识实体所属的类别，识别码对每个实体进行标识，是唯一的，用于区别不同的实体。②位置。通常用坐标值的形式（或其他方式）给出实体的空间位置。③类型。指明该地理实体属于哪一种实体类型，或由哪些实体类型组成。④行为。指明该地理实体可以具有哪些行为和功能。⑤属性。指明该地理实体所对应的非空间信息，如道路的宽度、路面质量、车流量、交通规则等。⑥说明。用于说明实体数据的来源、质量等相关的信息。⑦关系。与其他实体的关系信息。⑧时间维的描述。

地理世界属性数据表达。属性数据指的是实体质量和数量特征的数据，描述或修饰自然资源要素属性，包括定性数据、定量数据和文本数据。定性数据用来描述自然资源要素的分类、归属等，一般都用拟定的特征码表示，如土地资源分类码、权属代码。定量数据说明自然资源要素的性质、特征或强度等，如耕地面积、产草量、蓄积、河流的宽度、长度等。文本数据进一步描述自然资源要素特征、性质、依据等，主要包括各种文件、法律法规条例、各种证明文件等。一般通过调查、收集和整理资料等方式获取属性数据。属性数据是自然资源评价分析的基础数据。

地理世界关系数据表达。拓扑关系反映了地理实体之间的逻辑关系，可以确定一种地理实体相对于另一种地理实体的空间位置关系，它不需要坐标、距离信息，不受比例尺限制，也不随投影关系变化。空间拓扑关系描述的是基本的空间目标点、线、面之间的邻接、关联和包含关系。基于矢量数据结构的结点-弧段-多边形，用于描述地理实体之间的连通性、邻接性和区域性。这种拓扑关系难以直接描述空间上相邻但并不相连的离散地物之间的空间关系。

地理世界时序数据表达。时间问题是人类认知领域的一个最基本、最重要的问题，也是一个永恒的主题。在地理学中，时间、空间和属性是地理实体和地理现象本身固有的三个基本特征，是反映地理实体的状态和演变过程的重要组成部分。地理数据是地理区域的一个快

照,没有对时态数据做专门的处理,因而是静态的,它只能反映事物的当前状态,无法反映对象的历史状态,更无法预测未来发展趋势。而客观事物的存在都与时间紧密相连,因此,在地理数据中增加对时间维的表达,是时空地理研究的一个独特优势。时空数据是指具有时间元素并随时间变化而变化的空间数据,是地球环境中地物要素信息的一种表达方式。狭义上讲,时空数据就是该地物对象的变化历程集合。时空数据即为描述地理实体对象空间和属性状态信息随时间的变化信息。

(3) 地理数据与地图数据差异。地理数据是面向计算机系统的分析型数据,而地图数据是面向人类视觉的可视化数据。归纳起来,两者的差异主要表现在:

地理数据能够真实反映客观世界,而地图数据在形成过程中有可能改变原有的空间信息,导致部分地图数据不能真实映射实际的地理实体。例如,在制图综合过程中,为了避免一些地物的互相压盖,在编辑过程中必须位移相应的地理要素,这将改变原有制图对象的空间位置,使地理空间数据与地图数据产生一定的偏差。

地理数据将客观世界看成一个整体,表达的是实体的“本质”,要求保证地理要素完整的地理意义。为了符合读者视觉的要求,地图数据无须考虑地理实体的完整性,它强调的是实体“形式”。在表达一个独立的地理要素时,地理数据一般采用一个目标表示,以保证其目标的完整性,而地图数据可能习惯性地采用多个目标表示,如道路通过居民地和桥梁时应断开。

地理数据可以没有分幅和比例尺的概念。地理数据中的要素应该是完整、不间断的,例如对于一条道路,不会因为地图的分幅而被分割成几条记录。理论上,通过地理数据可以产生任意分幅的地图数据。虽然在实际应用中将地理数据划分为不同的比例尺进行管理,但地理数据本身没有比例尺的含义。比例尺是人类认知局限产生的结果,它含有人类模拟客观世界的主观因素。在可视表达实体时,每个实体的地图信息都对应于某一特定的比例尺,同种要素在不同比例尺下展现的细节不同。

两者表达属性信息的方式不同。地图数据强调的是“图形表现属性”,包括符号、线型、粗细、颜色、文字和大小等,所表达的属性内容有限。在地理数据中,可以用属性表的形式表示任何属性信息。属性信息描述了地理要素的属性特征,也称非几何信息,它说明了要素的名称、类型、等级和状态等信息。

地理数据不包含地图符号。地理数据是对地理世界的抽象表达,它考虑的重点是便于计算机识别和处理。地理数据可视化是为了满足人眼的视觉识别要求,计算机不需要在可视化的基础上进行空间分析,也很难根据这些可视化后产生的地图信息进行分析。因此,地图数据必须包含地理实体的符号信息才能完成制图显示。另外,要素的符号化将会改变要素几何形态,例如,对于一个线状空间目标的位置坐标,在地理数据中表现为一串有序的几何特征点,而在地图数据中则可能表现为单线、双线、虚线等不同的形式。

两者的数据分层方式不同。为了便于计算机识别、处理和查询,地理数据通常以要素分类为依据对地理要素进行分层存储和管理,也叫地理分层方式。由于地图数据考虑更多的是图形效果,分层的主要依据是要素压盖关系、颜色压印等影响图形显示效果的因素,因此这种方式称为地图分层方式。

为了进行有效的空间分析,地理数据中还必须包含拓扑关系。依据拓扑关系提高地理数据的拓扑查询效率,也是地理数据网络分析的基础,而地图数据并不包含拓扑关系。

(4) 地理空间数据。地图数据和地理数据都是带有地理坐标的数据,是地理空间信息两种不同的表示方法,地图数据强调数据可视化,采用“图形表现属性”的方式,忽略了实体的空间关系,而地理信息数据主要通过属性数据描述地理实体的数量和质量特征。地图数据和地理信息数据所具有的共同特征就是地理空间坐标,统称为地理空间数据。与其他数据相比,地理空间数据具有特殊的数学基础、非结构化数据结构和动态变化的时间特征。

地理空间数据代表了现实世界地理实体或现象在信息世界的映射,是地理空间抽象的数字描述和离散表达。地理空间数据是描述地球表面一定范围(地理圈、地理空间)内地理事物的(地理实体)位置、形态、数量、质量、分布特征、相互关系和变化规律的数据,是地理空间物体的数字描述和离散表达。地理空间数据作为数据的一类除了具有空间特征、属性特征和时间特征三个基本特征外,还具备抽样性、时序性、详细性与概括性、专题性与选择性、多态性、不确定性、可靠性与完备性等特点。这些特点构成了地理空间数据与其他数据的差别。

## 2. 地理空间数据可视化

可视化是一种将抽象地理实体转化为几何图形的计算方法,以便研究者能够观察其模拟和计算的过程和结果。可视化用来解释输入计算机中的图像数据和根据复杂的多维数据生成图像。它主要研究人和计算机怎样协调一致地接受、使用和交流视觉信息。地理空间数据可视化表达运行可以帮助用户发现蕴含于地理空间数据中的难以直接发掘的规律,可以将“想象力”与“信息”结合起来。地理空间信息要被计算机所接受和处理就必须转换为数字信息存入计算机中。这些地理空间数据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,必须将这些地理空间数据转换为人眼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空间数据的可视化。

地理数据符号化是地理空间数据可视化的一个重要方面,它采用规范的地图符号表现地理数据,如图 1.2 所示。

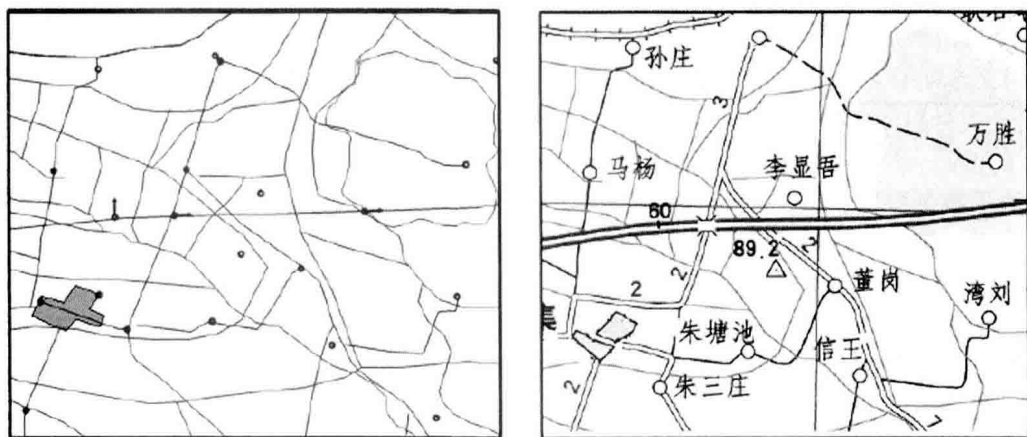


图 1.2 地理空间数据符号化(徐立, 2013)

地理空间数据符号化处理过程如图 1.3 所示。

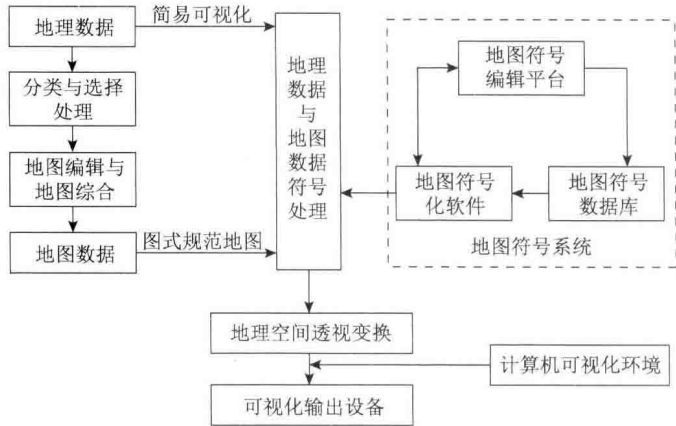


图 1.3 地理空间数据符号化处理过程

地理空间数据分为地理数据和地图数据。地理数据是面向地理学的，侧重于地理空间分析，建立地理数据主要是为地理分析服务，而不是满足地图制图的需要。地理数据中的属性数据决定了地图符号配置，地理数据简易可视化（简单的直接符号化）难以获取高质量的可视化效果（图 1.4），一些地方不符合人们地图符号表达习惯。地图数据是面向地图制图的，侧重于地理信息按图式规范符号化表达（图 1.5）。

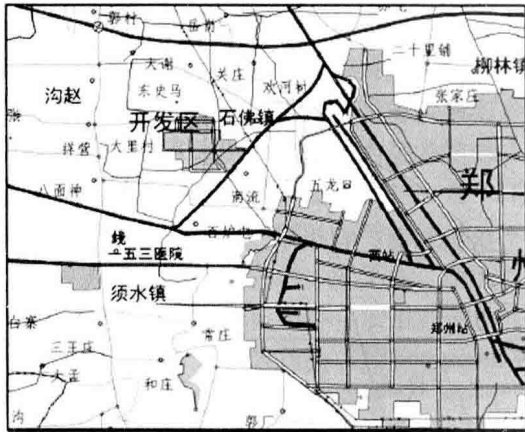


图 1.4 地理数据简易符号化（徐立，2013）



图 1.5 地图数据图式规范符号化（徐立，2013）

地理数据难以直接转换成地图数据，其根源在于地理数据与地图数据的应用目的不同，两者难以在统一的数据模型中表示。由于地理空间分析与地图符号化之间存在矛盾，地理数据还不能自动地转换成地图数据，在地理数据转换成地图数据（地图制图）的过程中人工干预仍然占有很大比例，修改后地理数据的内容成为地图数据，地图数据由地图要素组成，并且每个地图要素有对应的地图符号，这样才能满足地图制图的需求。以至于在很多实际应用中，不得不采用地理数据和地图数据两套数据分别存储，这样不仅增加了劳动成本，还对两种数据的一致性维护带来困难。

地图数据中的几何数据与地理数据中的几何数据相关，地理数据与地图数据可以通过制图综合和符号化处理的方式产生联系。地图数据栅格化后形成像素（pixel）地图，可以直接用于屏幕显示和打印输出。



### 1) 地理空间到地图数据

从地理空间数据到地图数据,制图综合影响着地理数据符号化过程的各个环节,地理数据的选取、地图符号配置及图形效果处理等都离不开制图综合的指导。形式化的制图综合可以表达地图设计者的思想及制图规范、标准,制图综合技术的发展,最终以自动或半自动的方式作用于地理数据符号化过程,既能减轻制图人员的工作强度,也提高了地图的生产处理效率。

地理空间数据的分类和选取主要解决地理空间数据表达丰富与人类视觉感受及分辨能力有限之间的矛盾。分类和选取是地理空间数据可视化的主要手段,就是采取简明扼要的手法,从地理空间信息中提取主要的、本质的数据,删弃次要的细部,用简单的图形进行表达。

### 2) 地图符号化系统

地图符号化一般用符号化程序根据符号库中存放的符号信息实现。在符号化之前对所绘制的符号进行编码,形成符号信息块,建立符号库。地图符号库是利用计算机存储表示地图的各种符号的数据信息、编码及相关软件的集合。常用的符号库有矢量数据符号库和栅格数据符号库。栅格数据符号库一般采用信息块方式,主要用于图形变化太多、也过于复杂、采用程序块方法计算量大、难以满足快速显示的需求等情况。矢量数据的符号库分为符号数据块方式和程序块方式两种。专题要素的符号库,如定点符号、线状符号、质别底色、等值线、定位图表等,涉及专题要素量或量及单个或多个专题变量的描述,一般用专用的处理程序实现。

程序块是采用某种程序设计语言描述一个符号的具体绘制过程。例如,想要绘制圆形和方形就必须用程序语言分别编写各自的绘图符号程序,线状符号和面状符号的绘制也是如此,一种符号的绘制对应着一个绘制程序。这种方法的缺点是难以适应新符号的设计和制作,给绘制程序模块的设计和使用带来很大的困难和不便。随着社会的发展及新事物的出现,每当一个新符号产生时就需要为其设计一个绘制程序,程序设计量太大。特别是如果某个系统中要绘制多种符号,则绘制模块必将包含多个绘制符号的小模块,给系统的设计和使用带来极大的不便。

数据块方法是把符号的制作和符号的绘制完全独立分开,一方面专门制作符号数据,即建立符号库;另一方面采用很少的程序绘制各种各样的符号。数据块中只存储符号图形的几何参数(如图形的长、宽、间隔、半径、夹角等),其余数据都由计算机相应绘图程序的算法解算出来。数据库型符号库中,符号库将符号信息以一种类数据库的形式存储于文件中,并实现其符号数据的管理和维护功能。它将整个符号库的符号制作和符号绘制模块完全分开,由一个程序专门制作符号数据,相应的采用另一个程序来绘制成千上万的符号,而它们之间的联系就是符合某种格式的数据文件。数据块方法的优点是:数据具有高度独立性,符号化软件具有高度的通用性。符号库中的符号数据是具有统一结构的标准化数据,便于符号动态扩充和修改;符号化软件不像采用参数加过程模拟的方法那样对每个符号分别设计一个程序,而是用一个程序绘制一类符号。例如所有点状符号用一个程序绘制,所有线状符号用另一个程序绘制,不需要为每一个符号都设计一个绘制程序,每种具体符号是通过给定一个符号码来确定的,每种符号在符号库中有一确定的符号码标识。

地图矢量符号库是利用计算机存储表示地图的各种符号的数据信息、编码、绘制参数及相关软件的集合。地图符号库就是将地图符号分类整理,并以数据库的形式存储到计算机中,实现对地图符号的管理功能,常用的地图符号库操作,主要是对地图符号进行修改、定义、存储、检索和重组。