

地图学 Cartography Visualization of Spatial Data

空间数据可视化

(荷) Menno-Jan Kraak Ferjan Ormeling 著
张锦明 王丽娜 游 雄 译



科学出版社

地图学：空间数据可视化

[荷] Menno-Jan Kraak Ferjan Ormeling 著

张锦明 王丽娜 游 雄 译

科学出版社

北 京

图字：01-2012-9225 号

内 容 简 介

本书系统讲述网络时代来临之后，给地图学和地理信息科学带来的革命性变革，介绍地理空间数据的可视化表达和分析，展示地理空间信息发布和可视化发生的背景。全书划分为三个部分。第一部分讲述地图的背景和基础知识；第二部分描述地理空间数据的位置、属性和时间三要素；第三部分讨论地图的应用，阐述地图如何帮助我们解决相关问题和决策支持。

本书可作为地图制图学与地理信息工程、地图学与地理信息系统、环境工程学等专业本科生和研究生教材，也可作为高等学校测绘科学与技术、地理学、作战环境学、地质资源与地质工程等相关领域的专家、学者、科研人员的参考书。

Original edition, entitled CARTOGRAPHY: VISUALIZATION OF SPATIAL DATA, 3E, 978027372793 by Meno-Jan Kraak and Ferjan Ormeling, published by Pearson Education Limited, Copyright © 2013.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and CHINA SCIENCE PUBLISHING & MEDIA LTD. (SCIENCE PRESS) Copyright © 2014.

图书在版编目(CIP)数据

地图学：空间数据可视化/(荷)克拉克(Kraak, M.)，(荷)奥美林(Ormeling, F.)著；张锦明，王丽娜，游雄译. —北京：科学出版社，2014. 11

书名原文：Cartography: Visualization of Spatial Data

ISBN 978-7-03-042360-3

I. ①地… II. ①克…②奥…③张…④王…⑤游… III. ①空间信息系统-应用-地图学 IV. ①P283.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 254995 号

责任编辑：彭胜潮 朱海燕 白 丹/责任校对：郑金红

责任印制：赵德静/封面设计：铭轩堂

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

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年11月第一版 开本：787×1092 1/16

2014年11月第一次印刷 印张：16 1/2 插页：16

字数：371 000

定价：88.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

译者序

2011年10月,我正处于博士研究生学习的关键时刻。为了更好地完成博士论文,经常会到相关网站上搜索各种图书和论文,以期能够找到对博士论文有所帮助的资料。一天,无意间在亚马逊网站上发现了 *Cartography: Visualization of Spatial Data* 一书,由于我一直从事空间数据可视化等方面的教学工作,而且 visualization 和 spatial data 也足够吸引眼球,因此几乎没有任何犹豫就下单购买了这本书。但是由于紧张的博士论文撰写,草草浏览目录之后就将其放到书架上珍藏了起来。

时间就这样过去了将近八个月,2012年6月,经过七年的艰苦奋斗,终于完成了博士论文《DEM插值算法适应性研究》的撰写,顺利通过了博士论文答辩。再次阅读 *Cartography: Visualization of Spatial Data* 一书,已是2012年7月底的事情。仔细阅读之后,感觉受益匪浅,回想起高俊院士在《地理空间数据的可视化》一文提出的“在一定意义上,地理空间数据可视化可以被看作是数字时代的地图学”的观点。M. J. Karrk 教授和 F. Ormeling 教授的著作恰好印证了这一点,因此从空间数据可视化的角度论述地图学顺理成章。这里,借用高院士论文中的一些语句再次描述这一观点。

随着计算机技术的发展,图像生成技术已经可以将一些科学现象、自然景观、甚至是十分抽象的概念图形化,并逐渐形成了科学计算可视化这一新领域。

1987年,美国国家科学基金会在一份关于优先支持科学计算可视化的报告中,将可视化定义为“是一种将抽象符号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”。同时指出可视化包括图像的理解和综合,也就是说,可视化是一个工具,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么协调一致地接收、使用和交流视觉信息。这一概念引起了各个学科领域的科学家和产业界的注意,地图学家也行动起来,把可视化作为地图学的理论基础,提出了地图学理论框架的新模式。对于数字时代的地图学而言,地图学家面对的是海量空间数据以及空间数据处理方法,显然,已经习惯于依靠视觉感知在纸质地图上制作规划,或者拟制作战方案的人员适应不了把这种决策性工作在“看不见”的状态下交给计算机去做,自己只能等结果的被动局面。空间数据可视化的提出正好解决了这个新问题,人在计算机辅助的条件下仍然扮演主角。

对于制图人员而言,在传统地图学的实践中所培养的如图形理解、心象构成、地图分析、地图设计等能力,在可视化的条件下仍然有用武之地,地图工作者创造性的形象思维,在新的水平上再次受到重视。

对于数字地图而言,可视化大大扩充了地图的家族,出现了电子地图、动态地图、赛博地图等新的地图式样,空前扩大了地图的功能。数字地图的可视化技术也促进了地图表示法的深化,在描述环境、解释客观规律上较之传统地

图有重大的突破，可视化还密切了地理信息系统与地图学的关系，因为地理信息可视化的基本形式就是地图。正因如此，在一定意义上，地理空间数据可视化可以被看作是数字时代的地图学。

随着数字时代的来临，地图学的研究对象已经由传统地图学的模拟地图转变为数字地图，由此带动了地图理论、地图制作方法与技术和地图应用的发展。*Cartography: Visualization of Spatial Data* 一书解释了可视化及分析地理空间数据的方法，展示了发布和可视化地理空间信息的背景；并且认为网络既是空间数据的来源，又是空间信息可视化结果的发布渠道。而且随着互联网的发展，越来越多的人已经参与到制图活动当中，地图制图不再局限于专业人员，在这种情况下，这本书更加侧重于网络时代地图学的研究，为能够使用万维网的人提供足够多的与地图学/地理可视化概念和技术相关的知识，使其能够有效生成和使用地理空间可视化。

回想自己 14 年的本科、硕士研究生、博士研究生的专业学习，在日常的工作中，可能太过于重视工程技术的开发研究，反而忽视了地图学以及空间数据可视化基础理论的学习，使自己的路子越走越窄，以至于对于书中提及的有些概念是一知半解。再回想起自己从事的空间数据可视化教学工作，遂萌生翻译这本书，用作本专业教材或辅助教材的想法。

打定主意之后，便立刻着手准备开始翻译工程：联系版权、联系出版社、翻译工作。

版权的联系，一波三折！由于是第一次做翻译工作，完全凭着一股傻劲。首先想到的是联系作者本人。于是，给 M. J. Kraak 教授发邮件表达自己的意愿。Kraak 教授很快回了邮件并表示支持，同时提供了英国培生教育集团负责西欧和北美版权销售的专员 Caroline Paskins。但是由于培生教育集团实行的是全球分区的版权管理，因此发给 Caroline Paskins 的邮件又辗转送到了培生教育集团北京办事处李乐强先生的手上。到此为止，所有的努力总算没有白费。

出版社的联系，相对来说就容易了许多。培生教育集团一般只与出版社合作，不与个人合作。也就是说，培生教育集团先把版权给出版社，出版社再委托译者翻译。李乐强先生于是向我推荐了科学出版社。与出版社相关人员联系后，便是和出版社相关的一系列流程：样稿翻译、样稿质量评审、选题评估、出版社评审、合同签订，等等。2012 年 10 月 15 日，翻译工程正式进入最为艰难的翻译工作阶段。

翻译工作，这是最难的！凭心而论，英文不太好，中文不太好，更是难上加难！再加上出版单位是科学出版社，对于质量的要求更高。因此，为了保证翻译质量，我们制定了一系列翻译原则。首先为了保持原本意，我们尽量不做过多的修饰性的发挥，以免破坏句子本身的含义；所以，有些句子读起来可能会比较拗口，但是，静下心来仔细阅读，便可以理解作者的真实含义。其次对于专业术语或经典语句的翻译，我们尽量找寻与地图学、地理信息系统、科学可视化相关的各种书籍和论文，查看其中是否出现了相应的术语，然后再决定其准确的翻译。如果相关资料中出现同一术语的两种不同翻译，则选择更适合中国人语境的翻译；如果没有在任何资料中出现，则在理解句子的基础上选择恰当的词语。对于经典语句同样如此，例如书中提到的牛津大辞典给出的时间定义：“The indefinite continued progress of existence and events in the past, present,

and future regarded as a whole”，经过多次斟酌，我们将其译为“物质和事件在过去、现在和未来无限持续的整个过程”。在这种翻译原则的指导下，我们以逐词、逐句、逐段、逐章的方式完成了全书的翻译工作。

翻译国外教材是一项工作量巨大的工程，期间得到了老师、同学、朋友、家人的无私帮助和谅解；正是在这些帮助和谅解之下，翻译工作得以有条不紊地进行。首先感谢原书作者 M. J. Karrak 教授和 F. Ormeling 教授。由于他们的辛勤劳动，撰写了欧美最为畅销的地图学书籍，也使我们有幸能够从中学到更多的知识；特别需要感谢 M. J. Kraak 教授，当我就书中一些问题向他请教时，他不厌其烦地一一给予详细的解释。其次感谢我的两位合作者：王丽娜老师和游雄教授，王丽娜老师完成了本书第 7、8、9、11 章的翻译工作，游雄教授认真审阅了全书并提出了许多宝贵的意见；如果没有他们的辛勤工作和无私奉献，我们难以完成这项工作。感谢培生教育集团的李乐培老师。感谢信息工程大学地理空间信息学院的李响老师、陈卓老师，感谢他们无私的帮助。最后需要感谢的是我的爱人和儿子，几乎每天到凌晨一点多的加班，导致爱人和儿子都养成了晚睡的习惯，但是他们仍然一如既往地支持我，他们的无私包容和理解，是本书成型的重要保障。

时光匆匆如白驹过隙，一晃六百多个日夜转眼过去了。现在回想起来，如果再次选择是否翻译这本书时，我依然会坚定地选择：是！因为在这个过程中，我得到的收获最多，得到的锻炼最大。

由于本书内容广泛，涉及许多国际上最新的专业词汇和学术用语；尽管在翻译过程中，我们试图通过各种途径保证翻译内容的准确性、规范性，但是由于专业知识水平的限制，仍然不可避免地存在不足甚至错漏之处。最后，希望大家以包容的心态阅读本书，如有对译著的任何有益的意见和建议，欢迎发送邮件至 mapviewer@163.com，在此致以深深地感谢！

本书的出版得到了国家自然科学基金项目(41371383)的资助。

张锦明

2014 年 7 月 20 日

前 言

1. 内容提要 and 目的

本书解释了可视化及分析地理空间数据的方法，展示了发布和可视化地理空间信息的背景。并且认为网络既是空间数据的来源，又是空间信息可视化结果的发布渠道。因此，为了反映信息技术的发展，本书的内容在不断更新：在 2002 年初第二版的前言中，我们预示万维网将成为地理信息的主要来源和传播媒介。因此，我们改变了第二版的重点。在网络地位日益加强以及网络自身不断稳固的情况下，这个改变被证明是明智之举。这也促使我们运用更加完整的方法解决与地理信息(地理信息科学)相关的问题。另外，网络的发展也促进了空间数据基础设施的应用，在“一次采集，多次使用”(collect once, use many times)理念的倡导下，它能帮助专业及公众人士分享国家和全球地理数据。但是，自 2002 年本书的第二版面市以来，最大的影响可能是类似 Google Earth/Google Maps 和 Microsoft Virtual Earth 等在线制图系统的出现，其数据覆盖全球、非常详细，并且还允许用户添加自己的数据。这是此类产品成功的关键因素，而且正是这些因素吸引着众多的人参与到制图过程当中。

本书第一版(1996)的目标是为地理信息系统用户提供足够的地图学相关知识，使其能够有效生成和使用地理空间可视化。1996 年以来，互联网的进一步发展提高了开展交互活动和对地图背后数据库进行查询的可能性。通过网络可以获取的数据库数量急剧增加，人们在线交互操作(查询、处理等)的能力也有了很大提高。在这个新型的网络空间地理信息发布环境中，地图获得了重要的交互功能。如果基于 GIS 的制图工作主要涉及地理专业人才，那么万维网能够让每个人都有机会使用该新媒介创建地图。

第二版的重点转变为向能够使用万维网的人提供足够多的与地图学/地理可视化概念和技术相关的知识，使其能够有效生成和使用地理空间可视化。万维网具有高度交互性，并且允许人们集成数据文件、链接分布式数据库。这使地图成为探索数据库的合适工具。在第三版中，我们重新调整了相关内容，以便从一开始就反映网络的新地位。在本书主要的理论章节部分尤其如此。

2. 历史和致谢

本书提倡的大多数设计过程仍然归功于 Jacques Bertin 的《图形符号学》(*Semiology of Graphics*)(1983)一书提供的灵感。他在 1967 年完成了该书的法文原版，目的是改进他在媒介中碰到印刷地图。现在，媒介已经发生了变化，网络已成为我们的新媒介，但是基本的制图设计规则仍然适用于以万维网为基础的地理空间数据的新型交互可视化。

本书的第一版(1996)是根据荷兰制图系学生的教材《地图学：设计、出版和地图应用》(*Cartography: Design, Production and Use of Maps*)改编而来的，该教材由代尔夫特理工大学出版社于 1993 年出版。此后，分别出版了波兰语版(1998)和荷兰语第二

版(1999)。这些版本都影响着后续其他语言的版本；2005年出版了俄译本，随后2007年出版了印度尼西亚语译本，数字日译本也在计划之中。在东南亚市场，价位较低的英文版已经进行了第二次印刷。书中的插图都是由来自代尔夫特和乌得勒支大学(Delft and Utrecht Universities)具有实际工作经验的制图者完成；目前版本中的插图都以他们的工作成果为基础，但是已经由荷兰恩斯赫德(Enschede)地球信息科学与地球观测国际学院(ITC)的Wim Feringa进行了重新处理和更新。

虽然本书援引了很多欧盟之外的发展实例，但是大部分的图例都是关于马斯特里赫特市(Maastricht)的(1992年《马斯特里赫特条约》在这里签署，欧盟诞生)。彩色插图更具国际视野。为了不过多破坏书中文字连续性，部分彩色插图也以黑白形式在文中合适的位置重新呈现。

3. 全书结构

本书分为三部分。第一部分为前五章，讲述地图的背景和基础知识。第二部分的三章(第6、7、8章)分别描述地理空间数据的三个不同要素：位置、属性和时间。第三部分为最后三章，描述地图的应用，并阐述地图如何帮助我们解决问题和进行决策。这三部分的内容如下：第1章讨论地图和制图在地理信息环境(GIS、地理信息科学和地理空间数据基础设施，其中万维网逐渐成为其越来越重要的组成部分)中的地位；第2章讨论采集数据的方法；第3章和第4章介绍制图和地理信息科学中有效的相关概念；第5章阐述地理空间数据在可视化之前需要进行的必要分析，并描述制图的一些基本知识；第6章重点关注地理空间数据的位置要素，及其所涉及地理底图的特点(参考系统、投影、地貌绘制和综合)；第7章展示属性数据(专题数据类型)的可视化选项；第8章讨论地理空间数据的时间要素。随后几章的主题越来越新：第9章涉及地图和地图集；第10章分析高度交互地理可视化环境中的地图；第11章论述地图在更大范围内的决策作用。

4. 更新和访问

正如文中提到的，为了适应新一代的网络浏览器，我们也使用网络更新本书的内容。此外，每一章都提供了可供延伸阅读的内容，而所有的参考文献都统一印制在本书的结尾部分。

社会在不断发展。以前，我们习惯于使用免费的纸质地图，而现在我们已习惯于在万维网上免费访问地理空间数据和地图。每个人都可以处理和可视化表达可以在网络上获取的地理空间数据，并且把最终制作的地图再次上传到万维网上——在被使用之前，没有检查材料的质量标准，但这是可以接受的，因为网络的影响就源于其自由性。但是地理专业人士，包括制图者，有责任在可视化表达地理空间数据的过程中尽可能地专业和负责，以辅助空间决策过程；这是所有控制论过程中很大的一部分。数据和可视化的水平决定了基于它们所做出的决策的好坏。

Menno-Jan Kraak

Ferjan Ormeling

2009年9月

致 谢

感谢下列受版权保护作品复制的许可。

图

图 1.2 改编自 *Visualization in Modern Cartography: Setting the Agenda*, Pergamon(MacEachren, A. and Taylor, D. R. F. (eds), 1994), 版权所有 © Elsevier Limited, 1994。

图 1.9 据 GIS Cartography: visual decision support for spatio-temporal data handling, *International Journal of Geographic Information Systems*, 9(6): 637-645 (Kraak, M. J., Muller, J. C. and Ormeling, F. J., 1995), 版权所有 © Taylor & Francis, <http://www.informaworld.com>。

图 2.2 据 Designing interactive cartographic systems using the concepts of real and virtual maps, *Proceedings of the Sixth International Symposium on Automated Cartography*, Auto-Carto 6 paper. Vol II, pp. 53-64(Moellering, H., 1983), 版权所有 © Auto Carto Six Organising Committee 和 Fraser Taylor 教授, 加拿大安大略省, 渥太华卡尔顿大学。

图 2.4 来源于图 2 British Isles 和编号为 2675 的 English Channel 海图。UKHO (A00)[英国水文局(United Kingdom Hydrographic Office)]与海洋学和海洋海道测量服务(Service Hydrographique et Océanographique de la Marine), 版权所有 © British Crown copyright, 重新生产得到了皇家出版局(Her Majesty's Stationery Office)主管, 英国水文局(www.ukho.gov.uk)和海洋学和海洋海道测量服务(不用于导航)的许可。

图 2.15 和图 2.17 据 KIwaliteitsinformatie ter ondersteuning van de integratie van ruimtelijke gegevens, 荷兰地理信息 (*Geo-Informatie Nederland*) (正式的制图杂志 (*Kartografische Tijdschrift*)), 18(2):49-55 (Hootsmans, R. M. and van der Wel, F. J. M., 1992), 荷兰制图协会(Dutch Cartographic Society, NVK)。

图 5.7 改编自 *Semiology of Graphics*(Bertin, Jacques), 版权所有 © 1983 威斯康星大学系统校董, 转载得到了威斯康星大学出版社(University of Wisconsin Press)的许可。

图 6.25 据 Muller, J. C., Rybaczuk, K. 和 Blakemore, M. (eds), 1991, 第 15 届国际地图制图会议论文集, 伯恩茅斯(Bournemouth), 国际地图制图学协会, *Building knowledge tanks for rule-based generalization*, pp. 257-266, 版权所有 © 国际地图制图学协会。

图 7.13 来自于 Een model voor de keuze van vlaksymbolen, I, 荷兰地理信息(*Geo-Informatie Nederland*)[正式的制图杂志(*Kartografische Tijdschrift*)], 13(4): 22-27 (Geels, J. H., 1987), 荷兰制图协会(Dutch Cartographic Society, NVK)。

图 7.16 来自于《国际地图制图年鉴》(*International Yearbook of Cartography*), Towards the improvement of the dot map, 国际地图制图学协会 (Dahlberg, R. E., 1967)157-167, VII, 版权所有 © 国际地图制图学协会。

图 7.21 据《地图和图表》(*Maps and Diagrams*), Methuen (Monkhouse, F. J. and Wilkinson, H. R., 1971), 版权所有 © Taylor and Francis Books UK 1971。

图 7.25 来自于制图地貌表达 (*Cartographic Relief Representation*), W. de Gruyter (Imhof, E., 1982), 版权所有 © Walter de Gruyter GmbH & Co. KG with K. G. Saur Verlag 和 Max Niemeyer Verlag。

图 9.5 改编自 GIS cartography: visual decision support for spatio-temporal data handling, *International Journal of Geographic Information Systems*. 9(6): 637-645 (Kraak, M. J., Muller, J. C. and Ormeling, F. J., 1995), 版权所有 © Taylor and Francis, <http://www.informaworld.com>。

地图

图 1.13 来自于 Topografische Dienst Nederland, 版权所有 © Kadaster, Apeldoorn。

图 4.11 来自于 *People in Britain: A Census Atlas* (1980) HMSO, 在单击使用许可条款下获得皇家版权作品授权转载。

图 6.18b 来自于 *Alexander Weltatlas*, Ernst Klett Verlag (1964)。

图 7.3 改编自 *Statistisches Jahrbuch 2007*, 德国联邦统计办公室, 2007 年德意志联邦共和国统计年鉴, 版权所有 © 联邦统计局, 威斯巴登 (德国)。

图 9.3b 改编自《荷兰国家地图集》(第二版), Vol. I, 荷兰地图制图学协会 (NVK)。

截图

截图 4.8 来自于 *Computer-assisted Cartography for Monitoring Spatio Temporal Aspects of Urban Air Pollution*, Delft: Delft University Press (Koussoulakou, A., 1990), 版权所有 © ISO Press, 1990。

在某些情况下, 我们无法追溯到版权作品的实际拥有者, 在此, 对于您(们)允许引用相关的资料, 我们不胜感激!

目 录

译者序

前言

致谢

第 1 章 地理信息科学与地图	1
1.1 地图：通往地理空间数据之路	1
1.2 地理空间数据	4
1.3 地理信息系统	9
1.4 地理空间分析操作.....	13
1.5 空间数据基础设施和地图.....	19
延伸阅读	22
第 2 章 数据采集	23
2.1 了解采集方法的必要性.....	23
2.2 矢量数据文件的特点.....	26
2.3 栅格数据文件特点.....	28
2.4 已有地图的派生数据.....	30
2.5 使用数字化数据.....	34
2.6 控制与精度.....	41
延伸阅读	45
第 3 章 地图特征	46
3.1 唯一的地图.....	46
3.2 地图学的定义.....	48
3.3 地图传输过程.....	53
3.4 地图功能和地图种类.....	57
延伸阅读	59
第 4 章 GIS 应用：使用哪种地图	60
4.1 地图和 GIS 应用的本质	60
4.2 大比例尺地图应用：地籍和公用事业	60
4.3 小比例尺地图应用：地理分析	64
4.4 地理空间、时间和专题的比较	67
延伸阅读	74
第 5 章 地图设计与出版	75
5.1 前言.....	75
5.2 用符号表达点、线、面、体数据	76

5.3	视觉变量	78
5.4	地图注记的概念及其设计原则	84
5.5	GIS 软件包中制图组件的需求	88
5.6	地图的设计和出版	90
5.7	网络地图设计	96
5.8	网络地图和多媒体	100
	延伸阅读	102
第 6 章	地形测量	103
6.1	地理参考	103
6.2	地图投影	108
6.3	几何变换	113
6.4	综合	116
6.5	地貌	126
6.6	地形数据：制图机构	134
6.7	地名	139
	延伸阅读	142
第 7 章	统计制图	143
7.1	统计调查	143
7.2	数据分析	147
7.3	数据的分类分级	153
7.4	制图数据分析	162
7.5	制图方法	165
	延伸阅读	185
第 8 章	时间制图	186
8.1	引言	186
8.2	变化制图	188
8.3	动画	189
8.4	动态视觉变量	192
	延伸阅读	193
第 9 章	地图应用：地理空间数据在地图和地图集中的表达和应用	194
9.1	引言	194
9.2	纸质地图集	195
9.3	电子地图集	196
9.4	地图应用：地图应用的功能	200
9.5	(基于网络的)电子地图集的应用	204
	延伸阅读	206
第 10 章	地图应用：分析和地理可视化	207
10.1	引言	207

10.2 地理可视分析·····	212
延伸阅读·····	213
第 11 章 地图学应用：地图作为决策工具 ·····	215
11.1 缘何又是地图·····	215
11.2 空间信息的管理和文档化·····	215
11.3 过时的数据：世界数字地图的应用·····	217
11.4 可达性：地图学、GIS 和地理空间信息政策·····	221
11.5 版权和责任·····	222
11.6 地图应用和可用性·····	229
11.7 重新审视地图和地理信息科学·····	230
延伸阅读·····	232
参考文献 ·····	233
术语 ·····	237
彩图	

第 1 章 地理信息科学与地图

1.1 地图：通往地理空间数据之路

地图常用于地理空间数据的可视化表达，地理空间数据是指位于地球上的对象或现象的位置或属性信息。地图可以帮助用户更好地理解地理空间关系。通过地图，用户可以获取距离、方向和面积等信息，揭示空间分布规律，理解并量化空间关系。20 世纪 80 年代以后，地理空间数据数字处理的手段和方法获得了长足发展。对大多数用户而言，地图的使用环境也随之发生了很大的变化。例如，随着计算机的发展而出现的“屏幕地图”(on-screen map)。用户通过屏幕地图，查询地图生成背后的数据库信息，并且可以通过菜单或者图标实现部分基础分析功能。在 20 世纪 80 年代，这些支持地理空间数据查询和分析的软件包被称为地理信息系统(geographical information system, GIS)。随着 GIS 功能的成熟，它们的应用遍及所有与地理空间数据相关的学科领域。GIS 用于集成不同来源的地理空间数据，它提供了操作、分析和可视化这些集成数据的能力。GIS 用户可以将基于应用的模型和系统中的数据关联起来，进而尝试回答诸如“在何处修建一个新的连锁超市分店最为合适”或者“该方案或者备选方案将会对周边地区产生什么样的影响”之类的问题。

地图不再是唯一的终端产品。纸质地图的作用和功能是作为存储和展现地理数据的媒介。屏幕地图和与之相应数据库的产生导致该功能出现了分离。对于制图者而言，数据库技术和计算机图形技术的发展促成了新的、可替代的表达方式的出现，如三维地图和动画地图等。地理空间分析始于地图，并且地图支持中间分析结果的判断，以及最终结果的表达。换言之，地图在地理空间数据分析过程中发挥了重要作用。

互联网的兴起带来了制图领域的又一次革命。交互式地图的用户不再局限于专业人员。Google Maps/Google Earth 等产品甚至允许人们在地图上添加自己的数据，轻点鼠标就能够实现与他人的分享。IT 相关技术的发展促成了应用地理信息的不同学科的融合。而随着 GIS 集成到与地理问题相关的工作流中，不同学科的相关研究方法和技术的融合就逐渐形成了地理信息科学(Geographical Information Science, GIScience)。地理信息科学领域的科学家专注于 GIS 研究(如 GIS 理论研究)与 GIS 应用[如 GIS 如何应用于科学领域中(Goodchild, 1992)]。

上述发展也带动了“空间数据基础设施”(spatial data infrastructures, SDI)的发展，进而出现了“地理空间数据基础设施”(geospatial data infrastructures, GDI)，它包括了地理信息访问、集成和应用的一系列协议和约定。为了访问已创建的地理空间数据文件和监测现代社会中人口、资源和环境等方面的空间信息，这些访问地理空间数据的新型基础设施已经在全世界范围内广泛发展并得到持续的维护。当用户使用地图按照某一区域或者主题精确定位所需的数据时，原本复杂的查询过程便大大简化了(图 1.1)。

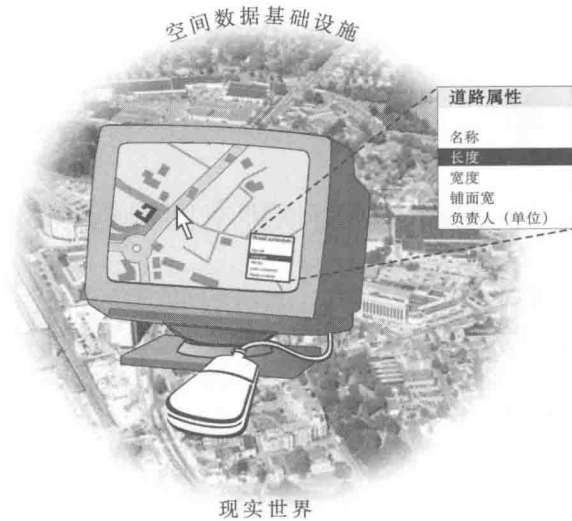


图 1.1 在空间数据设施中地图扮演用户界面的角色
图中系统查询了单击对象的长度

在地理信息科学中，可视化应用表现在四个不同方面。

第一，可视化可用于未知数据的探索(exploration)。在许多应用中，如处理遥感数据，有丰富的(时段)数据，但是在实际应用地理空间分析操作之前，必须回答“是什么性质的数据集”或“哪一部分数据集能揭示当前研究问题的规律”等类似问题。

第二，可视化可用于已知数据的分析(analysis)。在环境规划中，类似于地下水图层和新道路可能的位置，这样两个相互独立的数据集的性质是能够完全理解的。但是它们之间的关系却不好理解。地理空间分析操作(如叠置)能够集成两个数据集，以确定两者之间可能存在的地理空间关系。并且根据需要，叠置操作的结果可以应用于环境规划中。

第三，地图经常用于分析结果的综合(synthesis)。

第四，可视化可用于表达(presentation)或传输新的地理空间知识。地理空间分析操作的结果可以显示在精心设计的地图上，从而很容易被广大读者理解。制图科学提供了用于地图制作的设计准则。作为可视化的第四个目标，我们已经提及可视化更容易访问地图背后的数据文件。

考虑到地理信息科学中可视化的四个不同领域(探索、分析、综合和表达)，需要注意的是表达工具的研究属于最高层次的内容(Robinson et al., 1995)。当制作地图用于传输地理空间信息时，基于数据性质和传输目标的制图规则和方针[统称为“制图语法”(cartographic grammar)]可以使地图更加有效。然而由于这些制图规则并不是制图软件的一部分，它(制图软件)允许用户在不知道制图语法的前提下制作属于自己的地图。换句话说，在这种情况下，显然无法保证用户能够制作出有效的地图。这些制图规则同样可以应用在分析阶段，但是分析者的意愿并非十分强烈。当制图者和分析者讨论这个问题(即使用制图规则的问题)时，分析者总是认为“只要能够理解自己的地图，谁会关心制图规则呢”，这是因为分析者都了解自己的数据并可以很好地理解自己的地图；但是，当向其他人展现他们的地图时，传输的问题就出现了。在数据探索阶段，用户可能不了

解数据的准确性质，因而可能无法应用相关的制图规则。

这里需要引入“个体视觉思维”(private visual thinking)和“公众视觉传输”(public visual communication)的概念(DiBiase, 1990)。“个体视觉思维”指用户探索和分析自身数据的情形，“公众视觉传输”指用户以地图的形式向广大读者呈现分析结果的情形。前者描述探索环境，后者描述表达环境。分析在两者连线中间的某个位置。当我们将个体地图应用和公众地图应用放置在一个称为“地图应用立方体”(map use cube)(MacEachren, 1994a)的其中一轴上时，这种规律愈发明显。该立方体另外两轴分别表示的是探索未知和表达已知，以及人图交互作用的高低，如图 1.2 所示。

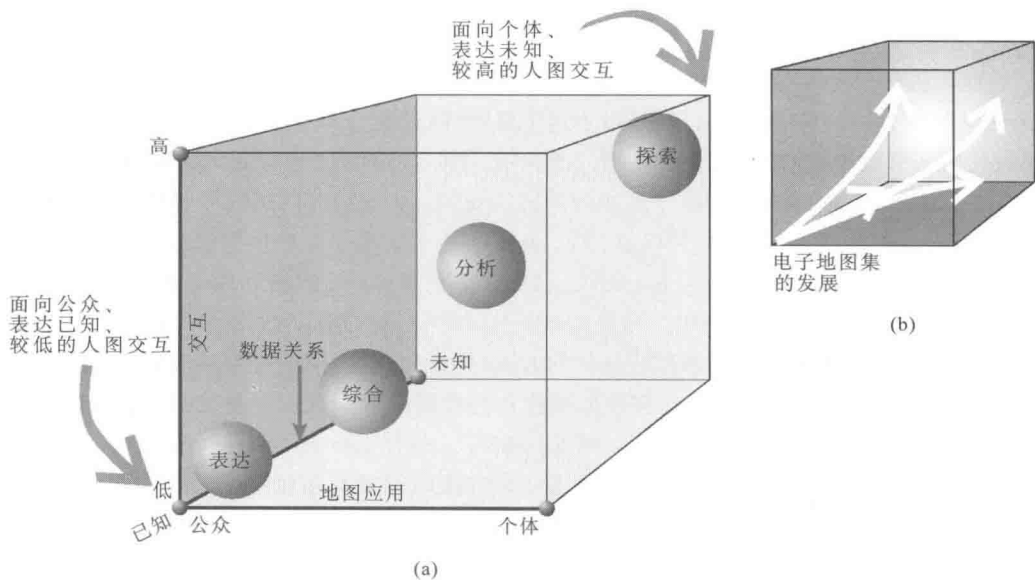


图 1.2 地图应用立方体(引自 MacEachren and Taylor, 1994)

(a) 为在 GIS 中数据可视化的四种主要情况：①表达，②综合，③分析，④探索；

(b) 为在地图应用立方体中绘制的自 1987 年以来电子地图集的演进过程

本书大部分章节都侧重于描述地图的地理空间信息传输功能(立方体的前方左下角)。但是，地图学与与地理空间数据相关学科的最新发展表明，它们不单需要新的发展路线，而且也需要创建一个新的发展路线。地图应用立方体中的对角线恰好图解说明了电子地图集发展的演进过程，即从“面向公众、表达已知、较低的人图交互”到“面向个体、呈现未知、较高的人图交互”[图 1.2(b)]。互联网的出现促进了人图交互的发展，以及展现隐藏在地图背后的数据库查询潜力。实际上，早期的电子地图集类似于连续放映的幻灯片(即没有交互能力)，但是今天的电子地图集具有高度交互的多媒体制图能力，并且允许用户组合自己的数据和地图集的数据。如图 1.2 所示的立方体中的每一类地图应用都要求适合各自的可视化方法。而每一种新的可视化方法需要相应的制图工具和规则，它们可能既不像传统制图规则那样有严格的限制，也不可能像允许使用的技术那样自由。

科学和信息可视化、多媒体、虚拟现实和探索性数据分析的发展，进一步促进了表

达复杂地理空间信息的需求。从技术角度来看，每一外部技术的发展都深刻地影响着地理信息科学和地图，并且扫清了其发展道路上的障碍。现在用户虽然可以在一个屏幕上显示多个窗口，如文本、地图，甚至是带有声音的视频图像，但是主要的问题依然存在，我们是否可以管理我们接触到的所有信息？什么因素将影响地图的发展？包括探索、分析、表达地理空间数据的功能。本书尝试描述今天乃至不久的将来，地图在地理空间数据处理领域中的作用。在互联网上，存在海量的、有益于地理空间研究的数据，它们等待着被利用，等待着通过地图可视化的方法实现对数据的访问和结构化组织。

1.2 地理空间数据

地理信息有别于其他信息的重要特征在于，它主要描述现实世界中具有特定位置的对象或现象，即它们都具有空间位置。正是由于这个重要特征，对象或现象的位置才能够可视化，而可视化的结果就是地图，这是进一步研究的关键。图 1.3 显示了具有空间位置的对象(如房子、道路、田地、山脉)是如何根据一些预先确定的规则，从现实世界抽象形成数字景观模型(digital landscape model, DLM)，并以点、线、面或体的形式存储在地理信息系统中，最后转换为数字制图模型(digital cartographic model, DCM)，利用点符、线符和面符表现在地图上，并最终融入到人们的空间思维当中。当地理空间数据存储到数据库时，通常可以分为位置数据、属性数据和时间数据。位置数据指从几何方面(位置和维度)描述对象或现象的(几何)信息；属性数据从非几何方面描述；时间数据描述几何和属性数据在何时有效的信息。这三个方面与对象的三个基本问题相关，即：在哪儿(where)、是什么(what)、何时(when)，并且定义了对象的性质[图 1.4(b)]。一个对象的位置、属性或时间具有多重特征，如不同的坐标系、多种(属性)变量，甚至是不同类型的时间。除了这三个问题，您可能还会问为什么(why)或如何做(how)。回答后面两个问题需要对数据做进一步的分析。可能需要从数据组成方面给予更多的关注，即从另外一个角度分析什么可以称为位置空间、属性空间或时间空间。本书第 6、7、8 章分别讨论与这三个空间相关的问题。

某一特定研究区域存储的地理空间数据称为 DLM。当然，DLM 是经过抽象的模型：所选择的特征点在经度量或者评估后，才被纳入到 DLM 中。DLM 一旦被确认适合用于信息传输，则必须以硬拷贝的形式进行生产；此时 DLM 将转换为 DCM，DCM 包含一系列适用于打印机或屏幕的指令，用以生成不同尺寸、颜色的点符、线符或面符等。最后，具有制图知识的用户阅读生成的地图，并形成各自的认知地图(cognitive map)，而心象空间的建立是他们决策的基础。

对于认定为“几何数据”或“地理参考数据”的数据而言，位置信息是必不可少的。这些信息可以是地理的或参考格网的坐标、统计区域的编号、拓扑项(如 A 在 B 和 C 之间)、名称项(如街道地址、邮政编码)。对象的地理空间性质可以通过它们的形状表达，它是真实世界的再现。形状存在一个基本的分类，如点、线、面或体等形状的对象(图 1.5)。甚至可以进一步细分，如细长的、三角的、不规则的或凸包形状的对象。但是从某种意义上来说，这与比例尺或分辨率相关，如在国家尺度，居民地用点表示；但是在城市尺度，一个居民地则用面表示。