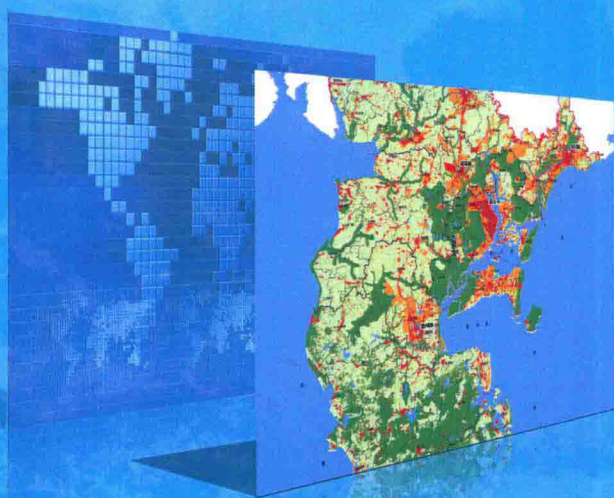


# 计算机地图制图： 原理与算法基础

(第二版)

闫浩文 刘 涛 张黎明 编著



# 计算机地图制图：原理与算法基础

(第二版)

闫浩文 刘 涛 张黎明 编著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

计算机辅助地图制图(computer-aided cartography, CAC)是地图学与地理信息系统学科的基础之一,旨在解决地理空间数据在媒介上的可视化问题。该学科基础的奠定及其发展与地图学、地理信息系统技术、计算机科学、几何学、图形学及图像处理技术等的发展密不可分。因此,为了系统地阐述CAC的基本原理和算法,本书分为如下8章:第1章为绪论,讨论CAC的源起、基本过程和硬件系统;第2章为CAC的理论基础,论述学习CAC必备的初等几何、图论、计算几何、图像处理及数字地面模型方面的知识;第3章讨论CAC的数据模型,包括矢量数据模型、栅格数据模型及矢量栅格的相互转换;第4章论述矢量数据处理算法,涵盖内容比较广泛;第5章为栅格数据处理算法,介绍常见的区域填充算法、距离变换图和骨架图生成算法及褶积滤波算法等;第6章为网络地图制图,阐述CAC在网络时代的发展;第7章为地图数据数字水印算法,论述CAC数据安全问题及相关算法;第8章为计算机地图制图的软件及发展趋势。对所用资料,书中尽力给予标注,便于读者查阅原始资料,对问题探根求源、深入理解。各章后的思考题是为了方便读者自我测试章节知识掌握水平而设计的。

本书可作为测绘学科、地理学科及其他相关学科本科生、硕士研究生的教学用书,也可供地质、地震、探矿等相关学科的科技工作者参阅。

### 图书在版编目(CIP)数据

计算机地图制图:原理与算法基础/闫浩文,刘涛,张黎明编著—2版.—北京:科学出版社,2017.6

ISBN 978-7-03-053625-9

I. ①计… II. ①闫… ②刘… ③张… III. ①地图制图自动化  
IV. ①P283.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第132598号

责任编辑:杨红 程雷星/责任校对:贾娜娜

责任印制:吴兆东/封面设计:迷底书装

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>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2007年1月第一版 开本:787×1092 1/16

2017年6月第二版 印张:17

2017年6月第三次印刷 字数:422 000

POD定价:49.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 第二版前言

计算机地图制图(computer-aided cartography, CAC)是地图学与地理信息系统最重要的基础之一,作为一门课程在我国大陆高校的地图学专业开设,至今有30多年的历史。在多年科研和教学的过程中,作者比较系统地收集和整理了大量的参考文献,曾于2007年编写出版了《计算机地图制图原理与算法基础》一书,在高校相关专业教学中得到广泛使用,反响良好。

在近10年的使用过程中,也陆续发现一些疏漏之处。同时,随着近年来计算机科学、图形学、图像处理技术及地图学与地理信息系统学科快速发展,本课程内容已有较大调整,因此急需编撰容纳最新研究进展和把握学科发展脉络的新教材。

与第一版教材相比,本书的体系结构变化不大,延续了第一版的编著要点。本次修订的主要内容为:①强调算法的重要性,认为算法是CAC更基础的内容,是实现CAC软件的“血肉”,因此本书用3章的篇幅专门论述算法;②加入了CAC的理论基础知识,包括初等几何、计算几何、图像处理、图论和数字地面模型等,这样使知识较为连贯和系统,授课过程易于展开;③近年来CAC研究的新成果被收录进来,如地图综合的新算法、CAC数据安全的新算法,CAC的新软件等。

本书编写分工如下:第3章、第5章、第6章和8.1节由刘涛撰写;第1章、第2章、第7章由张黎明撰写;第4章和8.2节由闫浩文撰写。全书由闫浩文负责统稿。

本书得到国家重点研发计划资助项目(2016YFC0803106)、国家自然科学基金(41671447,41201476)、地理空间信息工程国家测绘局重点实验室开放研究基金(201409)的联合资助。作者要感谢王文宁、邵达青、吕文清、张乾、马磊等研究生在本书资料收集和撰写过程中给予的无私帮助。书中引用、编录了陈军教授、郭仁忠教授、艾廷华教授、李志林教授、周培德教授、李成名研究员、闫国年教授、胡鹏教授、龚健雅教授、齐华博士、吴立新教授、胡友元教授、黄杏元教授、徐庆荣教授、Anne Ruas博士、Robert Weibel教授、Christophe Gold教授等的著作和论文的研究成果,在此一并致谢。

囿于作者的专业水平和学识,书中难免存在疏漏之处,恳请同行之先辈、同龄与后学不吝指教。

作者

2017年3月于兰州

## 第一版前言

计算机地图制图(computer-aided cartography, CAC)是地图学与地理信息系统最重要的基础之一。1990年前后,许多高校采用测绘出版社出版的《计算机地图制图》(胡友元等,1987)作为相关课程的教材,稍后开始选择武汉测绘科技大学出版社出版的《计算机地图制图原理》(徐庆荣等,1993)或科学出版社出版的《GIS和计算机制图》(梁启章,1995)作教材。这些教材在2000年前我国大学地图学与地理信息系统专业的教学中举足轻重。但是,由于计算机科学、图形学、图像处理技术及地图学与地理信息系统学科本身在近年来的快速发展,前述教材的部分章节已经不能适应教学的需要,编撰能够容纳最新研究进展和把握学科发展脉络的新教材已势在必行。为此,我们在近年科研和教学的过程中,比较系统地收集和整理了大量的参考文献,撰写了本书。与上述三本已出版的教材相比,本书的体系结构变化不大,不同之处体现在内容的更新上,要点可归纳为:①强调算法的重要性,认为算法是CAC更基础的内容,因此本书用两章的篇幅专门论述算法;②加入了CAC的理论基础知识,包括初等几何、计算几何、图像处理、图论和数字地面模型等,这样使知识较为连贯和系统,授课过程易于展开;③近年来CAC研究的新成果被收录进来,如CAC的新设备、新数据模型、地图综合的新算法、市场化的新软件等。

本书第1章、第6章和第4章的第1、2节由孙建国撰写;第2章由褚衍东撰写;第3章、第5章由杨树文撰写;第4章(第1、2节除外)由闫浩文撰写。全书由闫浩文和褚衍东负责统稿。

本书的出版得到国家自然科学基金(40301037)、地理空间信息工程国家测绘局重点实验室基金、兰州交通大学“青蓝”人才工程基金、兰州交通大学教材出版基金的联合资助。作者要感谢杨维芳女士、张彦丽女士、胡最先生、王润科先生在本书资料收集和撰写过程中给予的无私帮助。书中引用、编录了陈军教授、郭仁忠教授、艾廷华教授、李志林教授、周培德教授、李成名研究员、闫国年教授、胡鹏教授、龚健雅教授、齐华博士、吴立新教授、胡友元教授、黄杏元教授、徐庆荣教授、Anne Ruas 博士、Robert Weibel 教授、Christophe Gold 教授等的著作和论文的研究成果,在此一并致谢。

囿于作者的水平、学识,书中论述难免挂一漏万。本书权为抛砖引玉,文存疏漏,责在作者。谨此就教于同行之先辈、同龄与后学,望不吝指教。

作者

2006年10月于兰州

# 目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机地图制图技术探源	1
1.2 计算机地图制图的基本过程	5
1.3 计算机地图制图的硬件系统	8
1.4 计算机地图制图的相关学科	16
思考题	17
第 2 章 计算机地图制图的理论基础	18
2.1 初等几何学及其算法	18
2.2 图论	28
2.3 计算几何	32
2.4 图像处理的基本方法	40
2.5 数字地面模型	43
思考题	50
第 3 章 计算机地图制图数据模型	52
3.1 计算机地图制图的数据	52
3.2 矢量数据模型	57
3.3 栅格数据模型	70
3.4 矢量栅格格式转换	76
思考题	84
第 4 章 矢量数据处理算法	86
4.1 普通地图矢量符号(库)算法	86
4.2 专题地图矢量符号(库)算法	94
4.3 地图图形开窗算法	95
4.4 等值线引绘算法	101
4.5 拓扑多边形自动生成算法	107
4.6 曲线光滑算法	111
4.7 地图综合算法	132
4.8 地图自动注记算法	155
思考题	158
第 5 章 计算机地图制图栅格数据处理算法	159
5.1 区域填充算法	159

5.2 距离变换图和骨架图生成算法 .....	166
5.3 褶积滤波算法 .....	171
思考题 .....	173
<b>第 6 章 网络地图制图</b> .....	<b>174</b>
6.1 网络服务关键技术 .....	174
6.2 OpenGIS 网络服务框架和公共规范 .....	179
6.3 网络地图服务 .....	183
6.4 切片地图及网络地图切片服务 .....	187
6.5 志愿者地理信息 .....	200
思考题 .....	205
<b>第 7 章 地图数据数字水印算法</b> .....	<b>206</b>
7.1 数字水印技术概述 .....	206
7.2 栅格地图数据数字水印算法 .....	210
7.3 矢量地图数据数字水印算法 .....	221
7.4 DEM 数据数字水印算法 .....	240
思考题 .....	245
<b>第 8 章 计算机地图制图的软件及发展趋势</b> .....	<b>247</b>
8.1 计算机地图制图的软件系统 .....	247
8.2 计算机地图制图的发展趋势 .....	256
思考题 .....	257
<b>参考文献</b> .....	<b>258</b>

# 第1章 绪 论

地图学(cartography)自20世纪初成为一门独立的学科以来,学术界曾对其学科体系进行过争论。我国地图学家廖克等(1982)分析了国外学者的观点,根据地图学发展的特点和趋势,提出现代地图学包括理论地图学、地图制图学和应用地图学三个分支学科。计算机地图制图则属于地图制图学的范畴。

计算机地图制图又称为自动化制图或机助地图制图(CAC)。它是一门研究以传统的地图制图原理为基础,在计算机软、硬件的支持下,采用数据库技术和图形数字处理方法,实现地图信息的获取、变换、存储、处理、识别、分析、输出和应用的技术性学科(胡友元和黄杏元,1987;徐庆荣等,1993)。

计算机地图制图技术的应用,使传统的地图制图发生了变革。地图制图人员不再始终面对纸质地图,而主要面对电子数据,所有的制图资料必须变换为计算机可以接受的数据形式。制图过程实际上是对数据的获取、编辑处理、管理维护和可视化再现的过程,数据是各个制图环节之间的联结点。因此,从一定意义上来讲,计算机地图制图也可称为数字地图制图。

计算机地图制图的发展既依赖于常规制图理论,又在技术和理论上实现了新的飞跃。概括起来,支撑计算机地图制图的技术方法主要有计算机图形图像处理技术、数据库技术、制图综合技术、多媒体技术、虚拟现实技术等;指导计算机地图制图的基本理论除了图形学、离散数学等兄弟学科之外,还有地图信息论、地图感受论、地图符号论、地图模型论、地图认知理论和制图综合理论等。

## 1.1 计算机地图制图技术探源

### 1.1.1 计算机地图制图的历史

#### 1. 国际发展

计算机地图制图技术的发展大致可划分为以下3个阶段。

(1)初期阶段。计算机地图制图技术酝酿于20世纪50年代,经历了10余年的实验与探索。当时的计算机大致处于第二代,制图的硬、软件研制成为这个阶段的主要课题。1950年,能显示简单图形的图形显示器作为美国麻省理工学院“旋风1号”计算机的附件而问世。1958年,美国Gerber公司和Calcomp公司分别研制了平台式绘图仪和滚筒式绘图仪,为初期的机助制图系统创造了基本条件。1964年,第一次在数控绘图仪上绘出了地图。随后英国牛津大学和和美国哈佛大学研制的自动地图制图系统开始运行,用模拟手工的方法绘制了一些地图。这两个系统的诞生为计算机地图制图技术的发展做出了开创性的贡献,并引起国际制图界的极大兴趣和广泛关注。

(2)发展阶段。20世纪60年代后期至80年代后期,计算机地图制图以空前的速度和规模发展。这一阶段,已出现第三、第四代计算机,性价比大幅度提高,计算机的应用日趋广泛。制图学家对地图图形的数字表示和数学描述、地图资料的数字化、地图数据处理、地图数据库、



地图综合和图形输出等方面的问题进行了深入的研究,在制图硬件的速度、交互性和制图软件的算法上都有很大的突破。在此基础上,许多国家相继建立了软硬件相结合的交互式计算机地图制图系统,也推动了各种类型的地图数据库和地理信息系统的建设,为军事、规划、设计和管理等部门提供了方便的地理信息服务。例如,为处理加拿大土地调查获得的大量数据而研制的加拿大地理信息系统于1971年投入运行;美国1982年建成1:200万国家地图数据库,1983年开始建设更大比例尺的国家地图数据库。

(3)飞跃阶段。从20世纪80年代末期至今,计算机制图技术有了新的飞跃。各种制图软件和硬件得到进一步完善,计算机地图制图技术基本代替了传统地图制图方法,地图制图自动化程度达到了一定高度,地图和地理信息的应用走向全面和深入。20多年来,随着数据库技术、面向对象技术、图形图像处理技术、动画技术、多媒体技术和网络技术的发展,出现了“网络地图”“动态地图”“立体地图”“多媒体地图”“影像地图”“全息地图”等全新的地图表现和应用形式。遥感技术系统、全球定位系统和地理信息系统的进一步发展和集成,为计算机地图制图技术的发展和应用展现了更为广阔的前景,制图领域迅速扩大,呈现出多层次、多时态、多方位、多品种的态势。

## 2. 国内发展

我国计算机地图制图起步稍晚,但发展速度很快。从20世纪60年代末70年代初开始设备研制和软件设计。硬件方面,采用引进、消化、改造和研制的方法,先后生产了多种系列和型号的计算机、手扶跟踪数字化仪、自动扫描仪、滚筒式和平台式绘图仪、地图汉字数控自动注记系统等;软件方面,地图制图科技工作者本着自力更生、引进改造的原则,研制了大量的基本绘图程序和应用绘图程序。到20世纪80年代后期,我国开始建立完善的计算机地图制图系统和地理信息系统,赶上了国际步伐。普通地图的计算机制图已包括了地图投影的机助设计和自动展绘、地理要素的自动绘制、图廓及图外整饰、基本符号库的建立、数字地图的自动接边和合幅等功能;专题地图制图系统也开始应用于电子地图集的生产。具有自主知识产权的国产地理信息系统基础平台(如SuperMap、MapGIS等)被研制开发并渐趋成熟,在国内普及应用的基础上,开始走向国外市场。同时,有关专家对地图自动综合和专家系统的研究给予了高度重视,如原武汉测绘科技大学研制的“地图设计生产智能化系统”(MAPKEY)、原郑州测绘学院研制的“专题地图设计专家系统”(TMDDES)等取得了良好的应用效果。20世纪90年代中期以来,全国的数字化测绘生产技术体系逐步建立,实用性地理信息系统和地理信息基础数据库的建设与发展非常活跃,它们有力地推动了计算机地图制图技术的进一步发展成熟。

## 3. 计算机地图制图的特点

计算机地图制图之所以发展快、应用广,除了受相关学科发展、技术进步的推动和强烈的地图信息社会需求等影响之外,还在于计算机地图制图相对于传统手工地图制图具备如下几个方面的优越性。

(1)数字地图易于存储、复制和远程传输。

(2)计算机地图制图的成图周期短,地图数据的编辑、更新、改编方便,提高和改善了地图的适应性、现势性和用户的广泛性。

(3)计算机地图制图提高了地图制作与使用的精度,增大了地图信息容量。

(4)计算机地图制图技术使地图投影变换和比例尺变换等过程更容易实现。

(5)计算机地图制图技术减轻了制图人员的劳动强度,减少了主观随意性,这为地图制图

的进一步标准化、规范化奠定了基础。

(6) 计算机地图制图技术使地图品种增多, 拓展了服务范围(如可以方便地制作三维立体图、地面切割密度图、坡度坡向图等)。

(7) 计算机地图制图技术简化了地图生产的工艺流程, 地图制作者与使用者之间的界限开始模糊。

需要指出: 计算机地图制图系统的应用虽然实现了地图的数字化编辑和印刷出版, 但仍有不少人工干预的成分。要真正解决地图生产的智能化问题, 可能需要将人工智能、专家系统的概念和技术全面应用于地图设计、地图数据处理过程中, 使计算机系统具有模拟地图制作者的思维和推理能力, 并正确运用地图专家的知识和经验, 实现真正意义上的地图制图与生产的自动化和智能化, 最终建立地图制图专家系统。在用户给定了若干初始条件之后, 系统能够完成包括确定地图的数学基础、地图内容及其表示方法、地图自动综合和地图内容的符号化、地图注记和图例配置等一系列工作。就目前的发展水平来看, 已有地图制图专家系统尚不成熟, 距离推广使用还有很长的路程。

## 1.1.2 计算机地图制图与 CAD、GIS

### 1. 计算机地图制图概述

计算机地图制图的核心问题是如何使用计算机处理地图信息以满足用户的需要, 即解决地图信息如何以数字的形式表示、获取、存储、处理和输出, 其实质是从图形(连续)转换为数字(离散), 经过一定的处理, 再由数字转换为图形的过程。

计算机技术之所以能够应用于地图制图, 是因为地图本身是按照一定的数学法则, 经过科学概括, 应用特有的符号系统将地球表面上的景物显示在平面上的一种“图形-数学模型”。面对二维的地图, 无论其内容多么千变万化, 表示方法多么千差万变, 图形结构多么复杂多样, 总是可以按照几何特征将地图图形划分为三种基本类型图形元素, 即点状图形、线状图形和面状图形(图 1-1)。

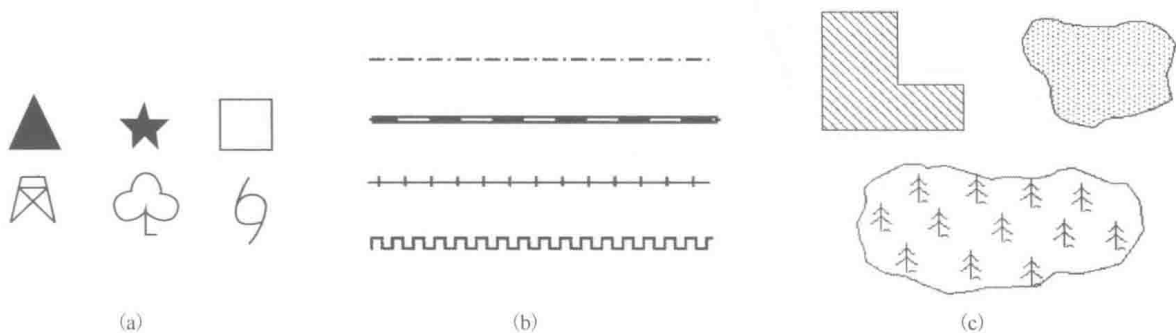


图 1-1 地图图形元素示例

其中, 点状图形[图 1-1 (a)]可以用平面上的一个点  $(x, y)$  表示它在图上的位置; 线状图形[图 1-1 (b)]则可以用中心定位轴线(有序点串)表示线状要素在图上的位置和延伸走向; 面状图形[图 1-1 (c)]则可以用外围轮廓(闭合的有序点串)表示面状要素在图上的位置和分布范围。点是最基本的图形元素, 地图上的一切要素都可以看成点或点的集合——图形信息。图形元素的各种视觉变量(如形状、大小、色相等)和注记则反映事物和现象的数量与质量特征——属性信息。用上述图形和属性两类信息则可将地图上连续的图形(或图像)变换成离散的数字信息。这种把

连续图形离散化的过程(模一数)在计算机地图制图中称为数字化。在将地图图形数据离散为数字地图时,地图数据通常有矢量数据和栅格数据两种基本形式(图 1-2),矢量数据和栅格数据可相互转换,但转换时往往存在一定程度的数据精度损失。



图 1-2 地图图形的数据表示形式

矢量数据是代表地图图形的各离散点平面坐标 $(x,y)$ 的有序集合,数据量取决于表达的区域范围、地图比例尺、采样点的密度、图形目标本身的分布特征等,一幅矢量地形图的数据量可多达 100 万~300 万个坐标对;栅格数据就是地图图形栅格单元(又称像元或像素)按矩阵形式的集合,一幅地形图的栅格数据量的大小取决于图幅及栅格的大小等。地图图形是用矢量数据表示还是用栅格数据表示,取决于使用的设备、制图目的、精度要求、处理方法等。

离散的目的是便于利用计算机进行数据的存储、管理和处理。地图数据处理就是在地图设计与编制的具体要求下,按照一定数学模式对图形和属性信息进行加工与处理,形成满足用户需求的数据产品。处理后的离散数据,又要在一定的图解显示转换设备(如显示器、绘图仪和激光胶片输出机等)支持下,恢复为视觉可以感受的连续图形,这个过程称为数一模转换。

由上可知,计算机地图制图的处理对象是图形(地图),这无疑反映出它与计算机辅助设计/制造、地理信息系统等研究图形处理的学科有着紧密的联系。下面就此问题进行详细阐述。

## 2. 计算机地图制图与 CAD

计算机辅助设计(computer-aided design, CAD)系统是计算机技术用于机械、建筑、工程和产品设计的系统,它主要用于范围广泛的各种产品和工程的图形设计,大至飞机,小至微芯片等。CAD 主要用来代替或辅助工程师们进行各种设计工作,也可以与计算机辅助制造(computer-aided manufacture, CAM)系统共同用于产品加工中作实时控制。

CAD 与计算机地图制图都以计算机图形学为数据处理和算法设计的基础,均有空间坐标系,能把目标和参考系统联系起来,也都能在一定程度上处理非图形属性数据。不同之处在于:CAD 一般采用几何坐标系,处理的多为规则几何图形及其组合,图形功能尤其是三维图形功能极强,属性数据处理功能相对较弱。而计算机地图制图一般采用大地坐标系,处理的多为地理空间的自然目标(如海岸线、地形等高线等)和人工目标(如城市、运河等),图形关系更为复杂,因而图形处理的难度更大,且制图数据来源广、输入方式多样。特别是专题地图的自动绘制,需要丰富的地图符号库和属性数据库支持。因此,一个功能强大的 CAD 系统,并不完全适合于完成计算机地图制图的任务。

## 3. 计算机地图制图与 GIS

GIS 是地理信息系统(geographic information system)的简称。从学科角度讲,GIS 是一门介

于地球科学与信息科学之间的新兴交叉学科,研究地理空间信息的描述、存储、分析和输出的理论与方法。从技术系统角度讲, GIS 是以地理空间数据库为基础,采用基本空间分析和应用模型分析方法,为资源、环境、区域规划、管理决策、灾害防治等提供信息服务的计算机系统。

计算机地图制图与 GIS 的关系非常密切。GIS 是信息时代计算机地图制图的延伸和发展。计算机地图制图技术的发展对 GIS 的产生起了有力的促进作用, GIS 的出现进一步为地图制图提供了现代化的先进技术手段,它必将引起地图制图过程的深刻变化,成为现代地图制图的主要手段。

计算机地图制图是 GIS 的重要组成部分。计算机地图制图侧重于地物的显示和处理,讨论地形、地物和各种专题要素在地图上的表示,并且以数字形式对它们进行存储、管理,最后通过图形输出设备输出地图。GIS 既注重实体的空间分布,又强调它们的可视化效果;既注重实体的空间特征,又强调它们的非空间(属性)特征及其操作,具备强大的空间分析和决策支持能力。现代 GIS 都具有计算机地图制图的成分,具备良好的地图制图功能,但并非所有计算机地图制图系统都含有 GIS 的全部功能。

## 1.2 计算机地图制图的基本过程

地图图形的数字化表示,为地图数据的计算机处理提供了基本依据。为使这种处理更加有效,必须深入研究地图数据的存储和组织方法(地图数据结构和地图数据库),研究地图数据的各种处理算法和可视化表达与分析,研究反映地图各要素的类别、等级、数量、质量特征的编码系统。相关内容参见后面章节,这里主要介绍计算机地图制图的一般过程。

传统的地图制图过程相当复杂,并取决于地图资料、地图类型、地图比例尺、地图用途和主题等诸多因素,大体上分为地图设计、原图编绘、制印准备和地图印刷四个阶段。虽然,计算机地图制图仍以传统的地图制图理论为基础,但它在数学要素表达、制图要素编辑处理和地图制印等方面都发生了质的变化。目前,无论是制作普通地图还是类型繁多的专题地图,计算机地图制图一般来说都必须包含以下 3 个阶段:数据获取、数据输出和数据输出(图 1-3)。

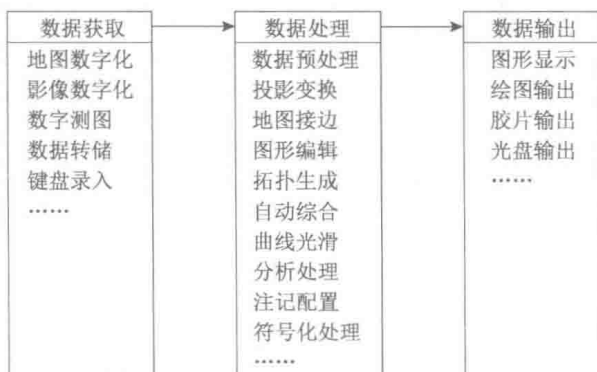


图 1-3 计算机地图制图的一般过程

### 1.2.1 数据获取

地图数据获取是按照地图设计要求采集、输入各种所需的地图制图信息,将其转换成数字信息,以便计算机存储、识别和处理。它是硬件、软件和工艺方法相结合的一种技术手段,是计算机地图制图的基础环节。

计算机地图制图的信息源多种多样。从类型上可分为地图、航天航空遥感影像、统计资料、各种测量数据和地理调查资料等；从表现形式上可分为非数字数据和数字数据。数字数据可以直接使用或经一定的计算机处理之后使用，但要特别注意数据格式的转换和数据精度、可信度等问题。非数字数据的数字化输入是计算机地图制图过程中数据获取的常见任务，其中统计文字类资料可用键盘输入；图形和图像资料要通过模—数转换设备转换成计算机能够识别和处理的数据。

图像资料多采用扫描仪将其离散成数字栅格数据，并进行几何纠正、辐射校正等处理使其符合制图要求。一般情况下还需要进一步得到矢量数据，可在遥感影像处理类软件的支持下，通过屏幕跟踪、监督和非监督分类、矢栅转换等方法实现。

这里针对地图的数字化，叙述图形数据和属性数据的获取。

### 1. 图形数据获取

地图图形的数字化有手扶跟踪数字化和扫描数字化两种手段。

(1) 手扶跟踪数字化。通过手扶跟踪数字化仪及相应软件的支持，分层采集地图要素形成矢量地图数据。一般采用联机方式工作。这种方法实用、方便、可靠，可按照制图要求有选择地数字化底图要素，获取的矢量数据容易被计算机所处理，便于实时编辑、修改数字化过程中产生的错误，但是该方法存在速度慢、作业员工作量大(数字化一幅地图几乎和手工绘制一幅地图的时间相当)等缺点。

(2) 扫描数字化。扫描仪一般都是栅格数字化设备。地图资料采用扫描仪进行扫描获取栅格数据存入计算机，经几何纠正和地理配准等处理后还可以进行矢量化。可以采用计算机屏幕手工采集，这与在手扶跟踪数字化仪上数字化类似，只是工作方式轻松一些；也可以在计算机屏幕半自动化采集(模式识别技术)，显然这种半自动化方式的速度相对快一些。目前，地图全要素的自动模式识别仍有一定的困难，单版要素的自动识别(如等高线要素)技术已广泛应用。这种方法采集数据速度快，不足之处在于扫描底图数据量较大，相应软件的自动化程度不高、可靠性和稳定性较差(王家耀，2001)。

### 2. 属性数据获取

地图数据无论是采用手扶跟踪数字化仪数字化还是扫描数字化，除了获取图形(几何)数据外，还需要获取反映地图要素质量和数量特征的相应属性数据。目标的属性数据同图形(几何)数据可以一起存储，也可分开存储，分开存储时使用图形标识码(OID)建立两者的联系。属性数据中用来描述要素类别、级别等分类特征和其他质量特征的数据一般要进行编码，这种编码称为特征码。采用手扶跟踪数字化仪数字化时，特征码的输入方式有多种，其中以人机交互式的键码法和清单法为代表。键码法是使用设在数字化仪上的数字、字母键盘或标示器上的数字按钮编码；清单法是用设在数字化平台上的一个专门清单编码区上的清单进行编码。采用屏幕跟踪数字化方式时，可以在矢量数字化的同时或之后，从键盘手工输入目标对应的特征码。

特征码表的编制应根据原图内容和新编图的要求设计并遵循国家和行业已颁布的有关规范和标准。目前，较为常用的编码方法有层次分类编码法与多源分类编码法两种基本类型。

需要指出的是：近年来，全站型速测仪、GPS接收机、全数字摄影测量工作站等设备获取和处理的数据越来越成为计算机地图制图直接而重要的数据源。

地图制图数据获取之后，要按一定的数据结构进行组织存储，建立标准的数据文件，便于计算机处理应用或经处理后建成地图数据库统一存储管理。

## 1.2.2 数据处理

实际上,计算机地图制图的全过程都是在进行数据处理,但这里所讲的地图数据处理是指在数据获取以后到图形输出之前对地图数据进行的各种处理。地图数据处理阶段是对地图数据进行加工的全过程,它是计算机地图制图的中心环节。地图数据因制图的要求、种类、数据组织形式、设备特性等不同而有不同的处理内容。在相应硬件的支持下,可采用人机交互、批处理和实时处理等多种方式进行。

### 1. 地图数据的预处理

直接数字化获取的数据通常存在格式非标准化、误差,甚至错误等许多问题,一般不能直接应用于实际生产。因此,在进行各种应用之前,首先要进行预处理而得到“净化”的数据。预处理的内容随系统硬件设备、资料来源、数字化具体方法及数据结构与格式等的不同而有所差别。预处理的内容大致包括:图形编辑、误差纠正、坐标系变换、投影变换、编码系统转换、数据格式转换、拓扑关系生成、数据的裁剪与拼接、数据压缩等。

### 2. 地图数据处理

地图数据处理主要包括数据的选取和概括(地图综合)、空间插值与曲线光滑、空间分析与模型处理、地图数据符号化、地图数学要素的建立、注记及图例配置处理等。

就目前的研究水平看,计算机地图制图环境下的地图综合(自动综合)是根据编图要求,采用地图综合软件并结合人机交互编辑软件,完成地图数据的选取、图形概括和移位关系等处理的。

地图数据的空间插值是根据一组已知的离散数据或分区数据,按照某种数学关系推求出其他未知点或未知区域数据的数学过程。计算机地图制图在很多情况下都需要进行空间插值,如采样密度不够或采样点分布不合理、等值线的自动绘制、数字高程模型的建立、曲线光滑处理等。

空间分析是GIS的灵魂(郭仁忠,1997)。GIS环境下的地图制图可以利用其灵活强大的基本空间分析(如缓冲区分析、叠置分析)与空间模型二次开发功能,发掘与输出丰富多样的地图信息。

矢量地图数据是以定位数据(结合与其关联的属性数据)来描述各种地图要素的。要将这些地图数据恢复成图形形式,必须根据地图要素的表示方法和图式符号对地图数据进行加工处理,将地图数据处理成相应的符号图形数据(此过程即为符号化),并转换为绘图仪等图形输出设备可以接受的数据格式。

地图数学基础的建立、注记及图例配置等处理也是计算机地图制图数据输出前必不可少的步骤。普通地图,尤其是国家基本比例尺地形图的数学要素、注记、图名、图例等辅助要素的处理要严格按照国家有关图式标准进行。

## 1.2.3 数据输出

数据输出阶段的任务是将计算机处理后的数据转换成图形或图像的过程,即将地图数据转变为图形输出装置可识别的指令,以驱动图形输出装置产生模拟的地图图形。它是计算机地图制图的最后环节。

图形的输出方式,可以根据数据的不同格式、不同的图形特点和使用要求,分别采用矢量绘图仪、栅格绘图仪、激光胶片输出机、高分辨率的图形显示器等绘制或显示地图图形;如果以产生出版原图为目的,可用带有光学绘图头或刻针(刀)的平台式矢量绘图仪或高分辨率的栅

格绘图仪，它们可以产生线划、符号、文字等高质量的地图图形。图形的屏幕显示既可以是地图的一种表现形式(电子地图)，也可以用于数据获取、数据处理和数据输出前图形检查的交互界面。

以上介绍的是把计算机地图制图分为3个主要阶段，也有人将其分为编辑准备、数据获取、存储和组织、数据处理和图形输出等5个阶段。另外，随着计算机软硬件技术的进步，计算机地图制图的过程还在不断演化。

### 1.3 计算机地图制图的硬件系统

一个计算机地图制图系统应具备地图数据输入、处理和输出功能，能根据不同的要求生产相应的数字地图或模拟地图产品。这样的系统由硬件系统和软件系统两大部分组成。

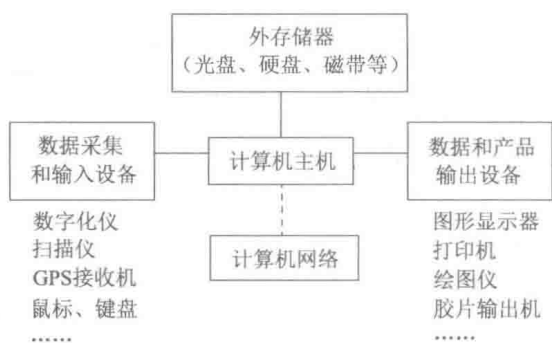


图 1-4 计算机地图制图硬件设备

硬件系统主要包括计算机及其网络、图形输入设备、图形输出设备等(图 1-4)，软件系统包括系统软件、通用软件和地图制图专用软件三部分。系统硬件在一定程度上决定着整个系统的性能和功效，对地图产品的质量起着决定性的作用。软件的使用贯穿于计算机地图制图的全过程，影响系统的实用性和生产效率。本节介绍计算机地图制图的硬件设备，软件及其应用将在第 6 章详细讨论。

#### 1.3.1 计算机及其网络设备

##### 1. 计算机

电子计算机的出现，使人类社会进入了信息时代。计算机的广泛应用从各个方面改变着社会的面貌，有力地推动了各门学科的发展和进步。计算机地图制图的概念及有关内容的形成和发展都是随着计算机技术在地图学中的应用而逐步成熟和完善起来的。计算机不但是计算机地图制图系统的核心，而且带动其发展，决定其水平。

计算机硬件包括中央处理器、存储器、输入输出设备和总线等几部分。中央处理器(central processing unit, CPU)由运算器和控制器组成，是计算机的核心部件，负责解释、存储、调度和执行计算机操作指令，使计算机完成相应的工作。存储器是计算机存放数据和各种程序的部件，可分为高速缓冲存储器、内存储器 and 辅助存储器三级。输入输出设备是计算机的外部设备，包括键盘、鼠标、显示器、扫描仪、数字化仪、绘图仪、磁带机等外围设备，负责信息的输入和输出。总线是计算机多个部件之间共用的信息通道，负责把计算机的各个部分连接在一起，有地址总线、数据总线和控制总线。衡量计算机性能高低的主要技术指标有系统结构、运算速度、存储空间、图形显示速度和外设配置情况等。目前对计算机的分类主要是从它的性能、规模和档次上来考虑，一般分为大中型计算机、小型计算机、图形工作站和微型计算机四类。

在计算机地图制图系统和地理信息系统中，计算机担负着设备控制、数据处理及数据库管理等方面繁重的工作。大中型计算机具有速度快、容量大、综合处理能力强等特点，但价格昂贵、维护和管理复杂，所以只有国家重点部门或科研、生产基地才会选用它作为系统的

主机。小型计算机因具有分时操作系统和通用的数据库管理系统,以及多种高级语言编译系统等优势,一度是建立计算机地图制图系统和地理信息系统的主要设备。目前,它已被图形工作站和高档微机逐步取代。图形工作站是一种图形处理功能很强,并且大多供个人使用的一种小型计算机系统,内外存储空间大,具有专用的图形加速处理单元和高档次的图形显示器,带有多个输入/输出端口,目前越来越多地被用作计算机制图系统的主机。微型计算机近年来发展飞速,不但具有速度快、精度高、容量大、价格低廉等特点,而且其图形、图像、音频、视频等多媒体数据集成与处理能力逐渐增强,具有很好的兼容性和可扩展性,这些从硬件上为计算机地图制图提供了强有力的保证,因而在计算机地图制图和地理信息系统中有着广泛的应用。

## 2. 网络设备

从地图学发展的角度来看,21世纪是网络地图时代,网络地图将成为地图产品的主流。网络环境为用户提供了一种新型的制图平台,使用者将可以借助计算机网络,查询自己需要的空间信息和相关信息,并制作地图以解决自己的实际问题(张安定和仲少云,2004)。计算机网络品种繁多、性能各异,而且发展很快,这里仅介绍一些基本概念和设备,详细内容请参阅计算机网络相关书籍。

计算机网络的功能在于信息交换、资源共享和分布式处理。网络的拓扑结构有星形、总线形、环形、树形、网形等。按地理覆盖范围可将网络分为局域网(local area network, LAN)、城域网(metropolitan area network, MAN)、广域网(wide area network, WAN)。Internet是当今世界上规模最大、用户最多、影响最广泛的计算机互联网络,连接着大大小小成千上万个不同拓扑结构的局域网、城域网和广域网。正在发展中的下一代互联网(Internet2)将更大、更快、更安全。

计算机网络由硬件、软件和规程三部分组成。规程涉及网络中的各种协议,而这些协议也以软件形式表现出来。计算机网络的硬件包括主体设备、连接设备和传输介质。主体设备指中心站(服务器,提供共享资源)和工作站(客户机,用户入网操作的节点);连接设备包括网络适配器(网卡)、集线器(HUB)、网络互联设备(中继器、网桥、路由器、交换机、网关等);传输介质有双绞线、同轴电缆、光缆和无线介质(无线电波、微波、卫星等)。计算机网络的软件包括网络操作系统(如NetWare、WindowsNT、UNIX)和应用软件。目前,流行的数据传输协议有NetBEUI、IPX/SPX、TCP/IP。其中,TCP/IP协议被称为互联网上的“交通规则”,实际上包括了100多个不同功能的协议,与网络的物理特性无关,任何网络软件或设备都能在该协议下运行。现在的网络操作系统都已包含了该协议,成为标准配置。

当计算机连接Internet时,它并不直接连接到Internet,而是采用某种方式与Internet服务提供商(Internet service provider, ISP)提供的某一台服务器连接起来,通过它再接入Internet。从通信介质角度看,有专线接入和拨号接入;从组网架构角度看,有单机直接连接和局域网连接。国内现有6大骨干网(中国电信、中国联通、中国移动、中国教育和科研计算机网、中国科技网、中国国际经济贸易互联网)从事高速长距离回路的接入服务。

### 1.3.2 图形输入设备

在计算机地图制图中,数据输入设备主要指图形输入设备,是一些将地图图形、影像和文字转换成计算机能够识别和处理的地图数据的外部设备。这些设备随着计算机技术和地图制图技术的发展而变化,主要包括数字化仪、扫描仪、鼠标、键盘,广义地讲,还包括解析测图仪、全站型速测仪、GPS接收机、全数字摄影测量工作站等。



### 1. 数字化仪

#### 1) 数字化仪的结构组成

数字化仪是一种图形定位设备，通常见到的是手扶跟踪数字化仪。它一般由电磁感应板、标示器两大部分及其支架、接口装置组成(图 1-5)。

电磁感应板(又称操作平台)是一个坚固的绝缘平面图板，厚约 2cm，平板之中嵌入了一组规则的“格网状”导线，构成一个高分解度的矩阵，也就是一个精细的坐标系。作业时，在它上面的有效区域内放置数字化底图，由标示器按操作规程读取所需要的点位坐标。

标示器(又称游标)用来获取图形的位置和属性等信息。常用的有 2、4 或 16 键，每个键都可以赋予特定的功能。标示器内部有一个中心嵌着十字丝的线圈，称为十字定准线(图 1-6)。

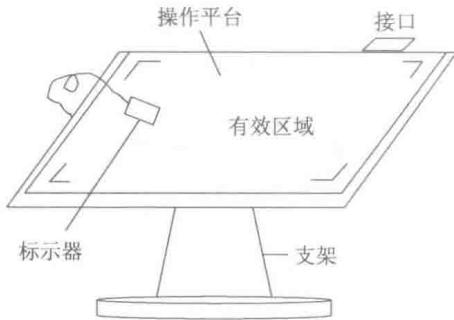


图 1-5 手扶跟踪数字化仪

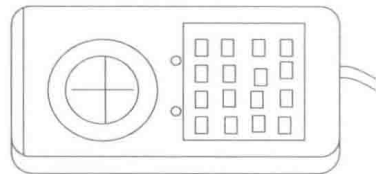


图 1-6 标示器

衡量数字化仪的技术指标有幅面、分辨率、精度、标示器键数及通信速度等。幅面按电磁感应板的有效范围计算，有以下几种规格：A00[44in(1in=2.54cm) × 60in, 112cm × 152.4cm]; A0(36in × 48in, 91.4cm × 122cm); A1(24in × 36in, 61cm × 91.4cm); A2(18in × 24in, 45.7cm × 61cm)。分辨率有以下几种：40 线/mm、80 线/mm、100 线/mm、200 线/mm 和 400 线/mm，它们分别相当于 1016 线/in、2032 线/in、2540 线/in、5080 线/in 和 10160 线/in。数字化仪同计算机的连接一般采用 RS-232C 接口方式，实行串行异步通信。

#### 2) 数字化仪的工作原理

当标示器在电磁感应板上移动时，它能向计算机发送标示器十字丝中心的坐标数据。它的工作原理如图 1-7 所示。

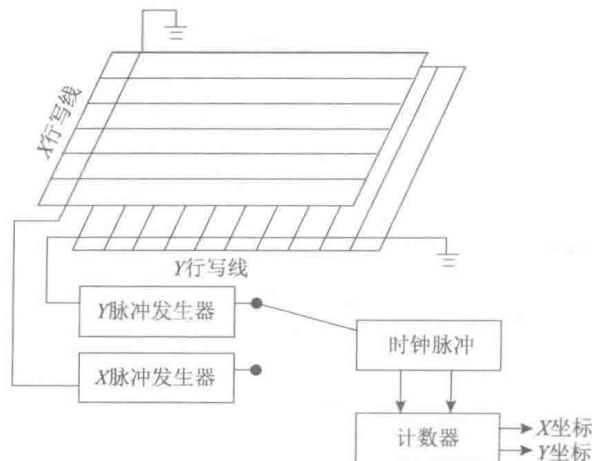


图 1-7 数字化仪工作原理