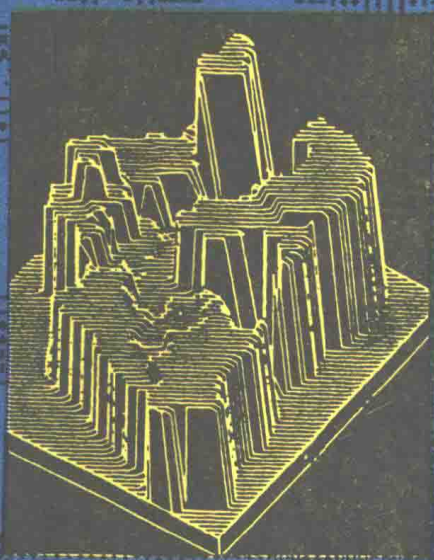




机助地图制图

原理与展望

[美] M. S. 蒙莫尼尔 著

胡毓钜 黄伟 等译

测绘出版社

机 助 地 图 制 图

——原理与展望

〔美〕 M. S. 蒙莫尼尔著
胡毓钜 黄 伟等译

测 绘 出 版 社

内 容 简 介

本书是近年美国出版的一本较好、较全面的计算机地图制图教科书。它的特点是对机助制图各方面都作了论述,并主要着重于一般原理和基本概念的介绍而不是具体技术细节的罗列。适用于测绘、地理及其它专业从事计算机辅助地图制图的人员学习参考,也适宜于大专院校师生做为教学参考材料。

Mark S. Monmonier

COMPUTER-ASSISTED CARTOGRAPHY PRINCIPLES AND PROSPECTS

Prentice-Hall, Inc., 1982

机助地图制图——原理与展望

〔美〕M.S.蒙莫尼尔著

胡毓钜 黄伟等译

测绘出版社出版

北京市彩虹印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 787×1092 1/16·印张10.5·字数 232 千字

1986年10月第一版·1986年10月第一次印刷

印数0.001—1500册·定价 2.20 元

统一书号: 15089·新 439

翻译说明

参加本书翻译者为胡毓钺、黄伟、蒋景瞳、胡孝沁、张爱宁。由胡毓钺、胡孝沁做了初校，费立凡做了复校。译校完成后由胡毓钺、黄伟进行了全文的修饰。术语汇编是由杜道生译出的。

前 言

本书专论计算机与地图制图：计算机现在怎样进行制作地图，将来又会怎样最终改变地图制图的性质和地图的外貌。电子数据处理和信息传输设备对金融、制造、战争和娱乐活动的影响是巨大而深远的，而它对地图和地图集的影响也将会如此。计算机的一种特殊应用就是使用数字计算机作为地图绘制的过程控制装置和地理信息的会计机，这种应用最近才结束了开发阶段而进入到比较成熟的“微调”阶段。

在考察这一工艺革新时，本书仅仅简略地谈到了用于获取和显示地图数据的硬件，以避免使读者面临过多的细节，而把重点放在对原理的理解上。根据这些原理，现在的和将来的自动化系统能储存、检索、分析和显示地理数据。第一、二两章介绍了数据结构的机助获取和显示，解释了计算机、程序和数据文件怎样对大量的地图信息进行分档储存并且在数秒钟之内就能编绘出预定的地图。第三、四、五、六这四章探讨了地图符号、自动化地图分析和两种基本类型的数字地图数据——栅格与矢量这三者之间的关系。尽管本书列举了大量的例子，从介绍计算机怎样绘制圆圈到怎样根据随机散布的高程点绘制圆滑的等高线，但它并不是一本讲解计算机程序设计的教科书。第七章论述了组织数据文件以达到各项地图制图目的的重要性。最后一章提供了一些例子，阐述计算机如何协助地图设计者在编绘之前对数据和一系列的制图可能性进行彻底的分析。

为了努力避免一种“手册入门方式”难以避免的“老化”，为制作地图而设计的计算机程序在本书中也只略为提及。现存的程序、终端显示装置和计算系统的极其多样化大大地降低了给学生提供足够的基础知识的可能性。专业学生和一般读者都应认识到，基本原则的应用是长久的，具体细节的作用是短暂的，所以前者更为重要。本书比较详细论述的两个地图制图程序——CMAP和SYMAP，传播广泛而且有益教学，这就足以弥补它们在这一学科中已相当落后这一不足。

本书专为地理工作者、地图制图工作者和专题地图制图的低年级学生而编写的，但作者同时也希望本书会有助于地质工作者、林业工作者、土地规划者、园林风景建筑师、环境科学家、人口统计工作者和其它机制地图用户的工作。书中也为对地图制图和计算机所知有限的读者提供了这两个领域的一些普通地图制图与计算机术语的解释。高中代数和三角的知识对阅读本书也是有益的。尽管采用了一种着重基础的和非技术性的论述手法，本书对计算机科学家、土木工程师和土地测量工作者来说也有一定的趣味性和知识性。

许多同事都曾对本书提出建议，对本人给予鼓励，对此我深表感谢。

M.S. 蒙莫尼尔
(Mark.S.Monmonier)
于纽约州锡拉丘斯大学

目 录

第一章 绪论

用于图形显示的计算机硬件	(2)
历史回顾	(12)
实施与规划	(14)

第二章 计算机与算法

内存和逻辑线路	(18)
计算机及其能产生的行为	(22)
算法和程序设计	(24)
程序设计语言	(24)
FORTRAN语言应用一例	(26)
在行式打印机上制图	(28)
进一步的发展	(32)

第三章 栅格符号与面状制图

栅格符号的应用和局限性	(34)
栅格模式面状制图	(37)
SYMAP程序	(38)
趋势面地图	(38)
包	(42)
SYMAP的任选项	(42)
格网内插	(44)
制图的任务和决策	(49)

第四章 栅格模式的量测和分析

覆盖分析	(51)
多边形到格网的转换	(51)
区域的聚合	(54)
集合论和土地分析	(55)
局部运算	(57)
图形显示	(59)
晕渲	(59)
格网到矢量的转换	(61)
卫星图象分析	(62)

按光谱辐射进行分类	(62)
几何纠正	(64)
彩色合成地图	(65)
人机对话系统	(66)

第五章 矢量符号

数学基础	(68)
点的变换	(68)
矩阵计算	(69)
开窗与剪辑	(72)
符号的产生	(74)
铁路符号	(74)
圆	(75)
加晕线的圆	(77)
加晕线的多边形	(79)
等高线引绘	(81)
地名注记的配置	(83)

第六章 地图量算与地图投影

地图量算	(85)
偏角	(85)
面积	(86)
中心点	(87)
多边形内点的匹配	(88)
覆盖分析	(89)
投影与变换	(90)
常规投影	(91)
统计地图图形	(92)
为清晰而重新投影	(93)
立体图	(94)
斜视图	(97)
斜投影	(98)
隐藏线的消除	(100)

第七章 地图制图数据结构

基本概念	(102)
寻址与存储	(102)
制图数据的处理	(104)
一个例子	(106)
通讯网的建立与信息的显示	(109)

拓扑理论的应用·····	(110)
双重独立地图编码 (DIME) 要素·····	(110)
地形数据·····	(113)
第八章 机助地图设计	
地理内容·····	(118)
有意义的区域集合体·····	(118)
数据压缩·····	(119)
地图集设计·····	(119)
地图设计·····	(121)
规划彩色地图·····	(123)
分级与制图模式·····	(125)
制图综合·····	(127)
要素选取·····	(128)
线划形状概括·····	(129)
要素移位·····	(131)
综合与知识·····	(132)
术语汇编 ·····	(134)

第一章 绪 论

计算机能提高地图做为决策工具的价值。地图在许多方面为重大决策提供重要的信息。各个家庭使用地图来计划度假,军队使用地图来组织军事进攻,人们使用地图来找寻新朋友家宅的位置,各个公司使用地图来为新工厂选定厂址,环境保护和规划人员使用地图来评价设想中的商业区、填土和电站可能带来的有害影响。根据过时的或错误的信息作出的决策会导致个人或社会纠纷,然而由于编制和编辑新图或修编旧图需要时间和费用,许多地图偏偏是陈旧过时的了。计算机迅速而又精密,在地图生产中能大显身手。

无论你对使用机制地图来解决问题或产生设想的兴趣如何浓厚,你可能对计算机及它们对人类生活的并非完全积极的影响有一些笼统的保留。公众已对私人生活可能受到的侵犯表示了关注,因为计算机已经能够大规模地收集易于检索的个人数据。“计算机错误”这一借口也被滥用来把不合格管理和不称职雇员的责任转嫁给无知而正直的电子机械组件。计算机的确能加重弊病和疏漏,但无论担忧还是怀疑都不能提出有说服力的论据来反对使用计算机制作地图和给我们提供更多有用的环境信息。

制图与计算机的结合确实使得一些计算机用户对低成本大规模生产地图的有效性产生了怀疑,这些怀疑是合理的,这些用户并无恶意,而是对地图制图的基本原理所知甚少。对于选择最佳制图策略来解决某一个特定问题来说,以常识作为指导并不完全可靠,而且常规智力或良好直觉都不能防止一张不合时宜的地图的产生。最低限度你应该了解你可能要用到的所有制图程序的作用和局限性。如果你计划自编一些计算机制图程序的话,你应当通过正规训练、个人探讨或得到足够的指导来取得相当水平的制图原理的知识,如果该程序也将被别人使用的话,情况尤其如此。总之,你不要和别人一起把“计算机错误”当作一块挡箭牌。

当然,自动化地图制图决不仅仅是复杂的处理控制设备与五十年代传统制图方法的简单联合。数字计算机对地图已经产生了一种巨大的影响,这种影响将等于甚或超过由印刷机的发明和摄影技术的产生所引起的地图制图的种种变化。机助制图方法过去曾被认为效率不高或太令人乏味,但现在无论是费用、是时间还是那些以传统方式训练的地图制图技术人员可能表达的强烈不满,都已经不再能构成反对使用这些方法的正当理由了。许多早期机制地图呆板的外貌反映了计算机地图制图艺术的初始状态而不是它的固有局限性。再者,现在用地图进行交际,传送信息,不仅给人以视觉美感,而且更加能针对每个人:一项技术可用广告塞满约翰·史密斯家的信箱,声称如果他们订阅一份杂志就保证满足“史密斯全家”的愿望,这项技术也能同时生产并分发一本有用的《史密斯家缅甸州夏季旅游》地图集。

计算机不仅改变了制图过程,而且也改变了地图的概念,忽视计算机潜力的地图制图人员,同忽视地图制图理论的制图程序设计人员或程序使用人员一样,都是幼稚无知和误入歧

途的。计算机革命产生了轨道卫星，由此把地面制图扩大到全球，并且改进了遥感系统，这些系统能扩大地图制图人员的视野，使之远远超出电磁波谱中人类肉眼可见的那一小部分。从卫星图象所得的地图可能类似于象片、电视图象或常规地图。人机对话制图系统阴极射线管上出现的短时间的地图，有透视、符号以及甚至能随操作人员指令而迅速变化的主题，已经大大地改变了某些地图的物理形态，也改变了地图使用的实质。而且，地图不再是仅仅为人类而设计的，计算机能从特制的机器可读的地图上摘录地理信息（这种地图叫做数字化地理数据库），甚至能分析这种信息来对各种问题提出解法。事实上，计算机也是一个地图用户。

本章首先通过了解用于图形显示的机控机器来介绍机助地图制图学这一主题。用计算机制作地图的最初推动力主要来自计算机科学家和计算机器的制造商。新的和更灵活的显示装置的继续发展预示着地图内容和外貌发生巨大变化的前景。本章的第二部分简要地回顾了早期技术革命对地图制图学产生影响的历史。由计算机引起的一个显著变化就是：为了地理数据库和显示系统有次序高效率的工作，极为需要仔细规划。本章最后一部分讨论若干实际工作中的基本问题，这些都是要想用计算机制作地图的人员或机构肯定将面临的问题。

用于图形显示的计算机硬件

一篇关于计算机地图制图的文章自然以讨论用于显示地图的机电装置为出发点。机助地图制图学得以产生的早期推动力来源于这样一种认识：如果计算结果能以粗略的地理形式来显示的话，能够精确地进行成千上万次这种与地图投影和土地测量有关的单调、重复计算的机器也许会更有用一些。五十年代的最初机绘地图是在一些电动打字机上生产的，产品原始而粗糙，那些电动打字机当时是早期电子计算机与它的操作人员之间的主要传输工具。

当高速行式打印机在很大程度上解除了计算结果的产生明显快于显示这一失调现象之后，打印地图的基本格式还一直持续了很长时间。行式打印地图包含着位于以横行纵列形式排列的数组单元中的字母与数字，这种数组单元通常被垂直延长。分解力并不高，但几乎每一台计算机都配有一台行式打印机，而且每一个程序设计人员都能够编写和试验带有图形显示的程序，就象他编写和试验仅有表格显示的程序一样方便。在行式打印机上生产的地图很少出版，仅仅在称誉自动制图益处的报告中用作插图。行式打印地图仍然在研究工作中使用，在产生设想和非正式检验等重要但不太显眼的阶段应用较多而作为令人信服和较正式的解释图形则应用较少。图形硬件（显示地图的机器）和地图制图软件（用于产生地图的程序和数据文件），两者的研制进展已经远远超过了某些人必然的想法，即：如果迅速而又方便的话，在打字机上制图可能确实有用*。

打印机制图仍然不仅存在于研究人员的有效但是粗制的行式打印地图中，而且存在于用于许多具有远为精细的分解力的显示装置的基本数据结构中。对电视屏幕地图制图潜

* 图形显示硬件非常复杂，而且不同的制造商使用的设计极为多样，这就使得在本章中面面俱到的介绍不切实际。后面的讨论集中在地图制图工作者特别感兴趣的一些突出的特点和探讨应用范围的一些尝试上，而不是精细地论述数据如何显示和获取。这些基本原理的生命力也许比重要但易变的显示硬件技术的生命力要更强一些。

力的早期认识就象对行式打印机的认识一样是被注定了的，控制打印机托架并为电动打字机选择字符的计算机逻辑能被修改来控制一条冲击电视显象管内面荧光涂层的电子束的位置和强度（图1-1）。由此电子束（或叫阴极射线）扫描的水平线型式叫做栅格。以栅格方式组成的地图制图信息可以在标准纸张上用墨水记录成地图图象，也可以用加热或电流记录在经过敏化的纸张上，也可以由激光束的相干光记录在照相胶片上。栅格方式显示装

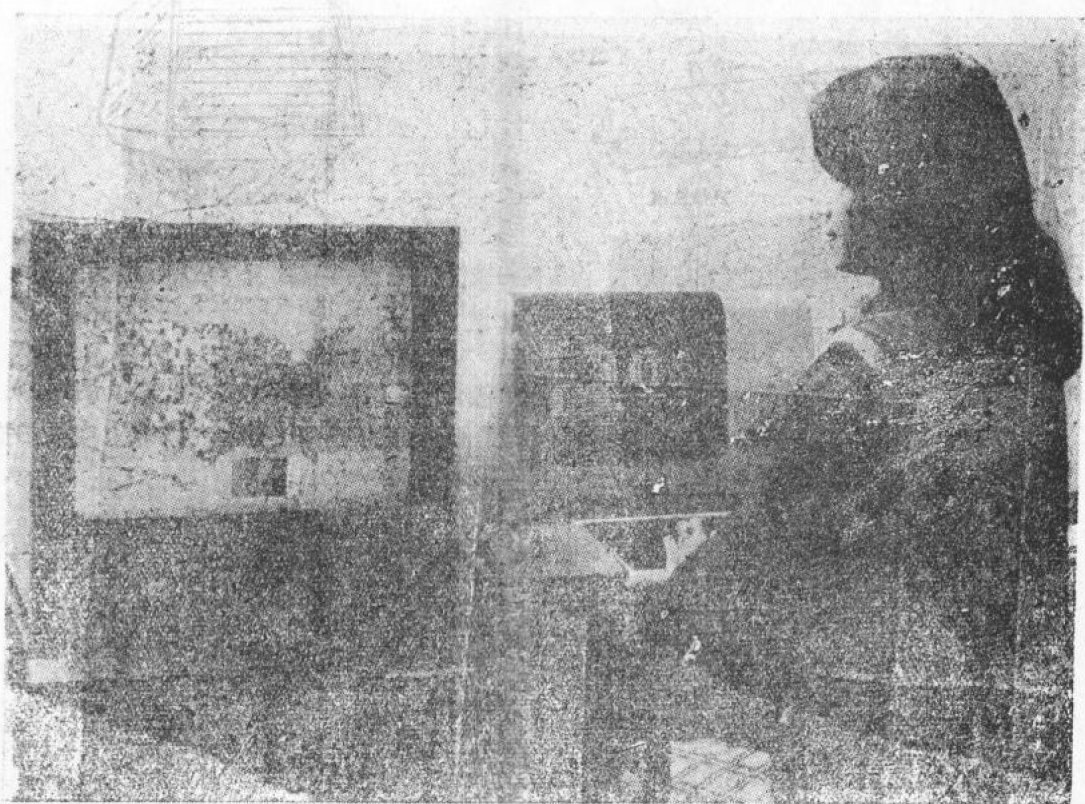


图 1-1 由美国国家航空和航天局（NASA）发展的用于决策信息显示系统（DIDS）的栅格方式彩色显示终端，具有一个单独的用于显示字母数字信息的阴极射线管（CRT），（右）和一个用于在彩色CRT（左）上参考定位的操纵杆（中）

置从图形顶部开始显示并向下伸展，因此地图可以用一系列的明细规定来描绘，这些规定指明下行线有多少（如果有的话），还指明电子束在改变它的强度之前超过最后一条线多远。这种一线接一线的组织是同存储在磁带上的数据一致的，本质上是一条长而窄的有序存储，划分为各个记录，这些记录可以排列得与栅格显示的扫描线相对应（图1-2）。

对于用滚筒扫描仪从现存的地图上扫描得来的地图数据，或对于用轨道卫星或高空勘测飞机上的扫描仪扫描地面得来的地图数据，栅格数据是特别有用的。一幅印刷的地图可以被安装在旋转得很快的滚筒上，其上有一个光学传感器，它沿着滚筒缓慢地作纵向移动。图象被分成许多扫描线，扫描线再被划分为象元，即离散的图形元素。传感器对每一个象元量测反射光的强度并把该模拟强度转化为一个数字对应值，对应值可以是分级的，例

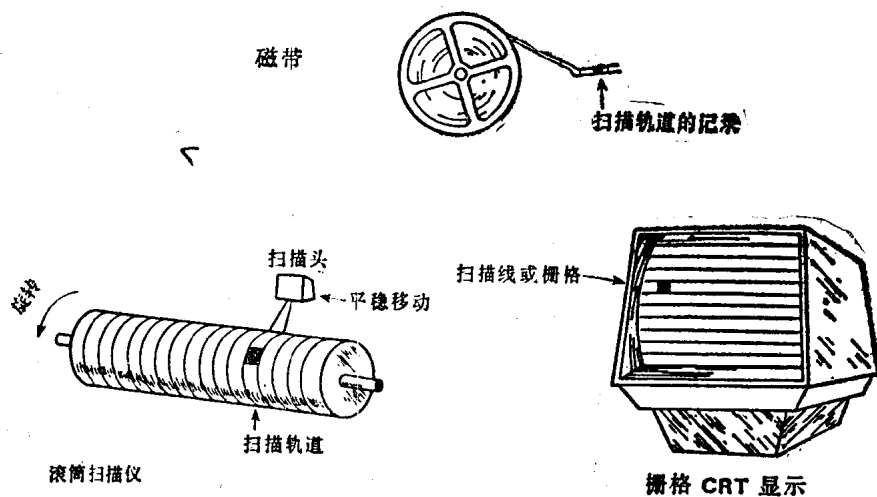


图 1-2 地图的连续扫描轨道、由滚筒扫描仪转换成数字化数据（左），作为连续的记录被存储到一盘磁带上（中），在栅格方式的CRT上以扫描线或栅格连续显示出来（右）

如1代表很亮，128代表很暗。数字化的强度值被记录到磁带上以供进一步处理（图1-2）。

从空间卫星扫描地球只是比例尺的不同而不是概念上的不同，卫星在地球上空沿扫描

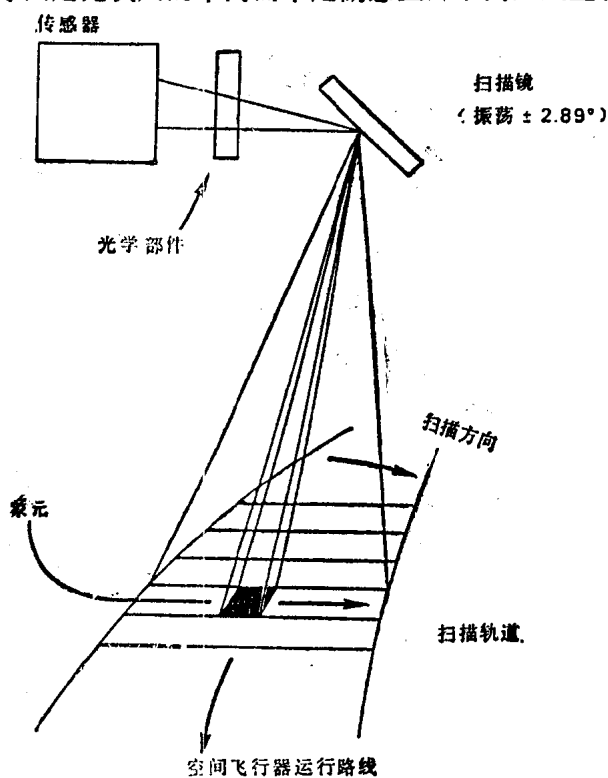


图 1-3 轨道卫星中的扫描仪类似于滚筒扫描仪：扫描镜的振荡器以扫描一条扫描线上所有象元的方式而极类似于滚筒的旋转，而空间飞行器对地面的航行路线类似于扫描头沿滚筒轴线从一个扫描线到下一个的移动

轨道移动,沿轨道划分出与轨道方向垂直的一些相互平行的扫描线(图1-3)。一个小的振荡镜把从扫描线反射来的辐射线引导到传感器头,传感器头对由扫描线分成的象元实施模拟→数字,即光→数字的转换。数字化的对应值再传送到地面记录站并存储在磁带上。

地图信息也可以用矢量数据来存储,对线状要素(如河流)记录为连接短直线段的轴线点的(X、Y)坐标对。各要素就这样被编成点坐标的有序表,并附有所需的补充说明代码。地理区域,如人口调查区、县等可以用面积多边形表示,就是围绕行政区域的闭合的直线段链。电动机械的**数字化仪**,是以矢量方式获取数据的主要工具,操作人员用它来跟踪线条和轮廓并在规定的间隔处记录下点坐标或记下值得注意的轴线点(图1-4)。也可以使用自动跟踪线状物体的数字化仪,它以伺服机械感知线状要素并沿着它行进,但是要素相交所产生的不明确情况常常要由一名操作人员来解决。

矢量方式中的分解力常常是以点坐标可能被量测和记录的精密度来决定的。一台最多只能记录半毫米的数字化仪不可能探测到象一台最多能记录十分之一毫米的数字化仪能探测到的精细的碎部。对于栅格数据,分解力可以用象元的尺寸或每单位长度的象元数来量度,而对于矢量数据来说,碎部的尺寸依赖于能够被显示或记录的最短线段以及方向上微小变化能够被表示出来的程度。因为地图上的线条有一定的宽度,如果光滑、绷紧的曲线能以细窄线描绘出来,一台高精度显示装置的视觉上的益处才会是明显的。

平台绘图机适宜于利用矢量数

据绘图,这种绘图机把相邻点X与Y方向上的差值转化成托架与游标的同步移动(图1-5)。绘图头上的电磁装置能在几分之一秒钟内提高和降低几支笔中的一支,而当描绘一条长的直线时,绘图头能以比每秒一米更高的速度来移动。圆珠笔和纤维头笔能保持比液体墨水笔更高的绘图速度,但与墨水笔相连的气泵能通过维持足量的墨水流而以相当高的绘图速度产生实在而明锐的线条。除了在纸上用墨水绘图或在涂膜的胶片上机械地刻绘线条外,有些平台绘图机有一个光学绘图头,当在光敏胶片上移动并开启光源时它能使一条线曝光。绘制点状分布的地图时,关闭光源,移动光学绘图头至所需之点,在绘图头站定时闪光得一点。

滚筒式绘图机比平台式绘图机更为普通而方便。因为在“固定”的托架下滚动的圆筒上的纸张连续移动,它在每绘一图之后毋需换纸而能连续绘制几幅地图(图1-6)。与滚动的



图 1-4 X、Y坐标用数字化仪通过手工把标示器上十字丝交点放在需测定点上并按记录钮而被记录下来。标示器上的数字键提供描述要素的分类代码,例如交费公路或未铺装公路

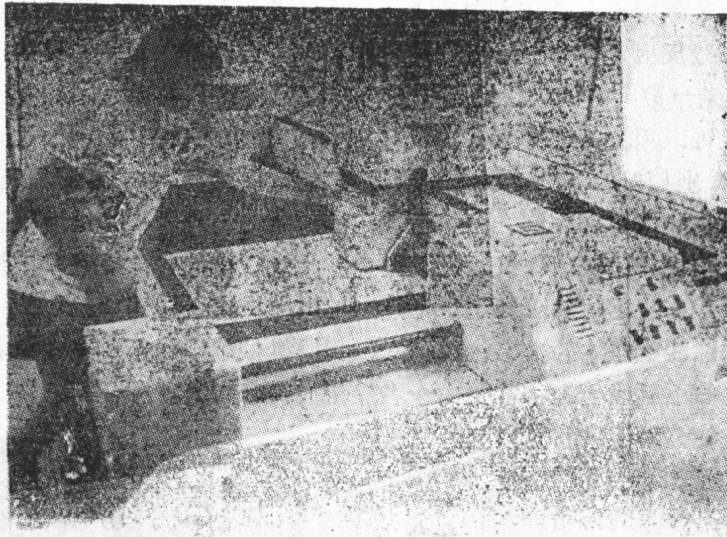


图 1-5 通过沿着精密平台式绘图机X、Y轴移位量的坐标串而行动的绘图头能用圆珠笔、液体墨水笔绘制线条、在刻图胶片上刻绘或在摄影胶片上曝光而绘制线条。带有字符盘的光学绘图头能在胶片上绘制具有图形美术质量的地名注记和点状符号

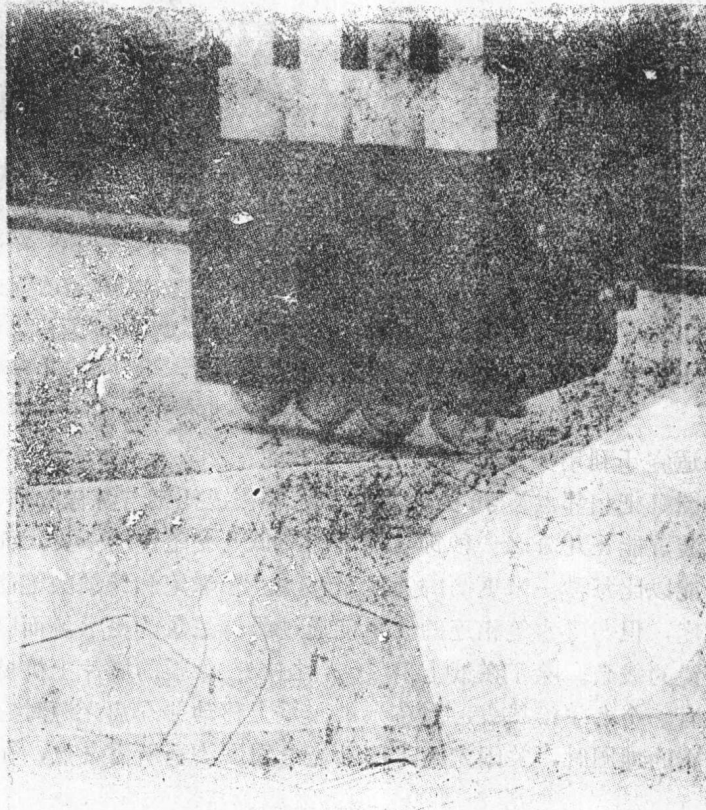


图 1-6 带有四笔绘图头的滚筒式绘图机能绘制不同颜色或宽度的线条。滚筒在绘图头下旋转以提供X方向的移动，而绘图头沿平行于滚筒的轨道移动而产生Y方向的移动

圆筒相协调的“供给”和“提取”这两个转轴保证了迅速绘图所需的纸的张力。使用平台绘图机时，如果绘图头有几支笔的话可以绘出不同颜色和宽度的线条。在机助地图制图学中，矢量数据是重要的，因为笔式绘图机能提供一个相对普通而又廉价的工具以生产可供出版的、绘制良好的地图。

矢量存储比栅格存储更为经济，因为只有同地图主题或数据库相应的要素才需要存储和处理。栅格存储通常对一个必须表明一个区域里的全部土地的土地利用数据库是合适的。而矢量存储可能有时更为经济。例如，当只要记录电力线路时，实质上，对带有特别要素代码的要素矢量数据更易于寻找，而对具体地区的一切现有信息，栅格数据更易于寻找。再者，如果利用一个巨大的地理基础文件来制图的信息比这个文件内容的直接绘图更加复杂，则仅存储点坐标与要素代码的经济性会迅速丧失。例如，假设要为一个120平方公里的小面积而制作一幅矩形地图，在覆盖120,000平方公里的矢量数据库中的每一要素都需加以考察。完全位于此有关区域内的要素可以毋需任何附加处理而被绘出，但是对于仅部分地位于此区域内的要素却需要进一步的寻找它们与区域边界的交接点。使用栅格方式存储，这种叫做开窗的检索方式，则要简单得多。

显示装置通常与单一的一种数据结构连系，但阴极射线管（CRT）既能显示栅格数据又能显示矢量数据。因为用CRT能快速显示和改变地图以及为了进一步观察而再次显示地图，所以它在矢量文件的编辑中特别有用。存储管的电子束能自由地指向屏幕上任何一点，而不是象用于栅格显示的再生管上的系统扫描那样从顶到底每秒扫描30到60次。图象要素能被聚集在屏幕上以便地图制图人员不但能预先观看其外貌而且能编绘地图内容（图1-7）。预观地图可以视为一张软拷贝，作为在用笔式绘图机或其它较慢的显示装置生产一张较美观的硬拷贝之前察看之用。

再生式栅格方式CRT显示管特别适用于动态显示而且甚至已被用于绘制一些栩栩如生的地图，如三维地表并能连续改变视线方位在屏幕上旋转的斜视图。动态地图也能描绘诸如居民地边缘的发展或城市全天交通车流变化这类空间短暂分布的现象。CRT通常较适合于字母数字显示而不适宜于地图制图数据显示，因前者不要求良好的分解力和数据传导的高速度。地图制图显示比典型的机助工程设计应用要求更高，后者的绘图通常较简单，而且包含的线段也比大多数地图所要求的要少一些、长一些。对于某些应用，简化的地理数据库对有效的人机对话制图是有用的，而其它一些应用则需要昂贵和专门设计的高分解力的显示系统。

缩微胶片记录仪（有时叫做激光绘图机或COM装置——计算机缩微胶片输出装置），是CRT的自然延续并且对自动制作硬拷贝地图很有用。一支激光束能用来自35毫米或更宽一些的胶片上使很细的线条曝光，这是因为构成光束的光学器件控制着光点的直径，这个光点可以用小型计算机控制的偏转角或折射棱镜，并将其定位在胶片平面的任何部分。激光的相干光与具有许多不同波长的白光相比在反射和折射中不易发生变形，因此明锐、高分解力的图象能被放大很多。机控激光束能以大于每秒5米的速度描绘线条，而书写光束能被聚焦成20微米（ 10^{-6} 米）或更小的直径。至于胶印用的印刷版（如果图象尺寸小），可以从COM产生的图片用摄影放大获得，或者，如果记录图形足够小，可以直接

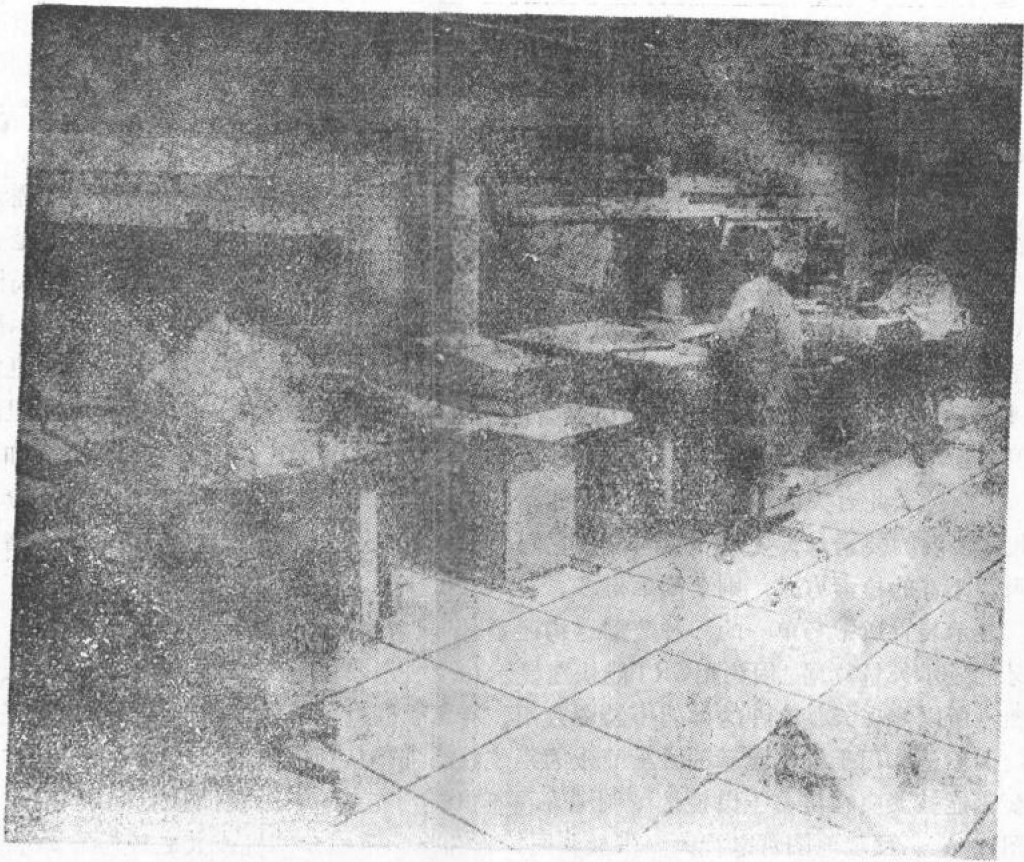


图 1-7 美国地质调查所使用的带有一台数字化仪和两个CRT显示器的数字化资料输入台，用来记录和编辑以现有印刷图和修测小图为依据的“数字化线划图”。数字化仪上的标示器也用来从特征码清单上选择编辑功能，而左侧的静电复印机提供CRT图象的硬拷贝

从已显影的图象获得。

激光束绘图机已经被发展来绘制地图，这些地图再放大到 107×190 厘米（ 42×75 英寸），这个尺寸比标准地形图要大得多。

以栅格方式操作的胶片记录仪能用来制作彩色分版负片，这些负片再被用来制作彩色地图的印刷版。例如，有一幅标准的五个等级的等值区域线地图使用带颜色的面积普染符号来描绘各州人口变化速度的差别。用蓝色表示的一个等级，可能包括居民减少的那些州，而用淡红到深红的面积普染表示的四个等级可能显示人口增长的不同程度。于是需要三块印刷版：一块蓝版用于表示人口的减少，一块红版用于表示人口的增长，加一块黑版用于表示州界、标题、图式和图廓线。对底图和每种颜色可分色制图。对于每一等级，可采用适当的点子尺寸和间距绘出精细的点子，以获得所要求的红或蓝普染色；增大点子的尺寸或缩小间隔将产生较鲜明的颜色。点子排列成行，且易于以栅格方式转移到胶片上。在用不同色油墨印到同一幅图纸上之前，图象是分版保持的。通过在地图图纸上相同部分印制两种或更多种经过网屏的原色就能产生复色（图1-8）。各种点子甚至可能是随机布置的

以避免莫阿效应（如果点式网屏的轴排成几乎相同的方式，莫阿效应可能出现），如果绘图分解力非常精细，点子可以用随机选定的网格来绘制。

机控伺服机械把COM绘图原理不仅用于显示数据，也用来获取数据。从原理上说，一台激光束矢量绘图机可以转变为激光束线性跟踪数字化仪，方法是用已显影的负片来取代

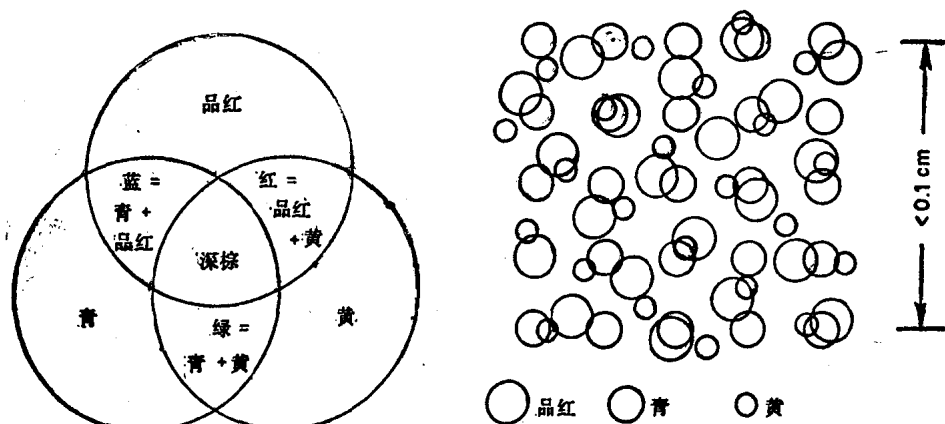


图 1-8 减色法原色（品红、青、黄）可以混合来产生蓝、绿、红及其它颜色（左）。这些原色的细密编结的点状图案能被叠印来产生各种混合色调，淡的和暗的、发光的和无光泽的（右）。当每个图案在一厘米有30或更多点，肉眼便看成颜色而不是编结物。

未曝光的胶片并在该负片后安装一个光电放大器。该飞点扫描仪的光探测头可以通过反复试验而跟踪一条线条：在光探测头发现胶片的一个黑暗部分，因而光电放大器感受的光强度减弱时，光探测头必须退回并尝试从另一方向跟踪该线。只有“成功”的才需记录下来。沿着一种要素的点坐标能根据使光探测头指向胶片平面的镜子偏转角而计算得出。这一数据获取和数据显示的反转并不是COM概念所独有的：带有手工操作的沿着可动尺架记录X、Y坐标的游标的电动机械数字化仪在机械上与平台绘图机相似。当然，通过使用滚筒扫描仪扫描整张负片和允许软件来跟踪线状要素，机械惯性与设备失灵的缺点是可以避免的。

线条一经绘在地图上，在任何单一时间里仅考察图形有限部分的扫描数字化仪既不能在超过中断处和交叉处跟踪线状要素时完全可以依赖，也不总是能够区别重要与非重要要素。从几何上讲，无关的信息，例如活字，可以预先去除以把“洁净”的地图图象提供给扫描仪。不过，通常还是需要操作员的帮助来沟通中断状况，处理趋向不可靠的交叉处的不明确状态，并添加识别个别要素所需要的编码。这种人为的干涉需在“实时”提供，也就是在矢量方式线跟踪数字化之时，或者，当使用栅格方式扫描数字化之后。

带有光笔的CRT是用于监视、编辑和注释地理基础文件的有效显示终端。光笔是一种光敏装置，它能探测出CRT的栅格扫描电子束通过由操作人员指定的屏幕位置的精确时间。精确的出发时间和电子束进行速度是已知的，而自扫描开始时的逝去的时间能被转变为