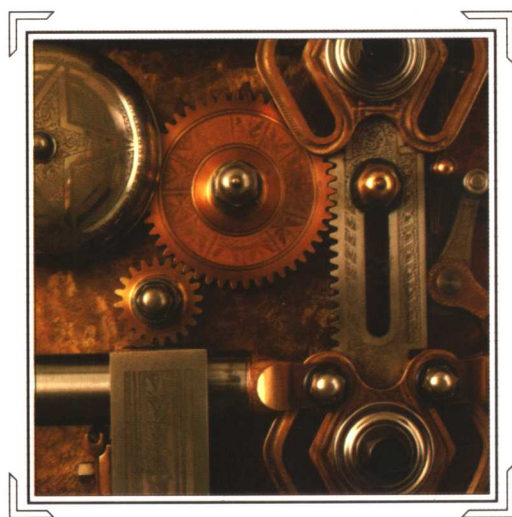


21世纪高等学校规划教材

数字化测图技术及应用



蒋辉 潘庆林 刘三枝 编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

21 世纪高等学校规划教材

数字化测图技术及应用

蒋辉 潘庆林 刘三枝 编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书系统地介绍了数字化测图的基本原理、地形图数据采集技术、数字化地形图成图和应用方法,内容包括:绪论、控制测量、数字化成图的野外数据采集、地形图数字化、数字化成图软件的使用方法、数字地形图的应用等。

本书可作为高等学校测绘工程专业及相关专业的教材,也可供从事测绘工作的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字化测图技术及应用 / 蒋辉等编. —北京:国防工业出版社,2006.1

21世纪高等学校规划教材

ISBN 7-118-04294-3

I. 数... II. 蒋... III. 数字化制图—高等学校—教材 IV. P283.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 156677 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 14 326 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:22.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前言

随着电子技术、计算机技术、通信技术的飞速发展,人类进入了信息时代。信息时代的特征就是数字化,而数字化技术是信息时代的基础平台。数字化是实现信息采集、存储、处理、传输和再现的关键。数字化技术对测绘学科也产生了深刻的影响,特别是全站仪和 GPS 的广泛应用以及计算机图形技术的迅速发展和普及,使测量的数据采集和绘图方法发生了重大的变化,促进了地形图测绘的自动化,地形测量从白纸测图变革为数字测图,测量的成果不仅是绘制在纸上的地形图,更重要的是提交可供传输、处理、共享的数字地形信息,这将成为信息时代不可缺少的地理信息系统的重要组成部分。

目前,数字化测图技术已越来越多地用于测绘生产中,数字地形图也在地理信息、城市规划设计等部门得到广泛应用。本书结合编者多年来的教学研究与工程实践编写而成。书中系统地介绍了数字化测图的基本原理、控制测量、地形图数据采集技术、数字化成图软件的使用方法和地形图成图过程,以及数字地形图的应用方法。本书较多地融入了当前最新的测绘技术和仪器以及数字化成图的实用方法。

本书由南京工业大学蒋辉、潘庆林、刘三枝编写。全书共分 6 章,其中第 1、3(3.1 节~3.5 节)、4、5、6 章由蒋辉编写,第 2 章(2.1 节~2.5 节)由潘庆林编写、第 2 章(2.6)、第 3 章(3.6 节)由刘三枝编写,最后由蒋辉对书稿做了统校工作。

本书由南京工业大学李明峰教授主审。

由于作者水平有限,书中难免存在不少缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者

2005 年 9 月于南京

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数字化测图概述	1
1.2 数字测图系统的构成	5
1.3 数字化测图的工作过程与作业模式	8
1.4 数字化测图技术的理论基础	11
1.5 数字化测图技术的发展历史与展望	22
第 2 章 控制测量	26
2.1 控制测量概述	26
2.2 全站仪及其使用	26
2.3 导线测量	36
2.4 交会测量	41
2.5 高程测量	45
2.6 RTK 图根控制测量	45
第 3 章 数字地形图的测绘	49
3.1 野外数据采集模式	49
3.2 地形要素分类编码和野外采集数据的记录格式	51
3.3 全站仪采集碎部点的测量方法	55
3.4 测图精灵及其使用方法	62
3.5 EPSW 电子平板测图系统	93
3.6 RTK 野外数据采集	123
第 4 章 地形图数字化	130
4.1 地形图定位	130
4.2 手扶跟踪数字化	134
4.3 地形图的扫描数字化	137
4.4 EPSCAN 扫描矢量化软件的使用	141
第 5 章 数字化成图软件的使用方法	156
5.1 软件的安装与启动	156
5.2 CASS5.1 的使用方法	158
5.3 用 CASS5.1 绘制地形图	175
第 6 章 数字地形图的应用	199
6.1 概述	199
6.2 数字地形图基本几何要素的查询	200
6.3 土方量的计算	204
6.4 断面图的绘制	211
附录 CASS5.1 的野外操作码	215
参考文献	220

第1章 绪论

1.1 数字化测图概述

1.1.1 地形图与数字化地形图

地形图是利用测量仪器将地球表面局部区域内各种地物、地貌的空间位置和几何形状，按一定的比例尺，用规定的图示符号绘制成的正射投影图。所谓地物是指地面天然或人工形成的各种固定物体，如河流、森林、房屋、道路、农田等，在地形图中是用图式符号加注记表示的；而地貌是指地表面的高低起伏形态，如高山、丘陵、平原、洼地等，在地形图中一般是用等高线表示的。地形是地物和地貌的总称。地形图是各种地形信息的载体，也是工程建设不可缺少的基础性资料。

传统的地形测量是以图解形式按图式符号和比例尺将地形测绘到白纸（绘图纸或聚酯薄膜）上，所以又称白纸测图或模拟法测图。

电子技术、计算机技术、通信技术的飞速发展，导致了人类生存与生活方式的改变，而且也越来越清晰地向人类预示着一个新时代——信息时代的到来。信息时代的特征就是数字化，反言之，数字化技术是信息时代的基础平台。数字化是实现信息采集、存储、处理、传输和再现的关键。数字化技术对测绘学科也产生了深刻的影响，特别是全站仪和GPS的广泛应用以及计算机图形技术的迅速发展和普及，测量的数据采集和绘图方法发生了重大的变化，促进了地形图测绘的自动化，地形测量从白纸测图变革为数字测图，测量的成果不仅是绘制在纸上的地形图，更重要的是提交可供传输、处理、共享的数字地形信息，即以计算机磁盘为载体的数字地形图，这将成为信息时代不可缺少的地理信息的重要组成部分。

数字地形图是用数字形式存储全部地形图信息的地图，是用数字形式描述地形图要素的属性、定位和关系信息的数据集合，是存储在具有直接存取性能的介质（磁盘、硬盘和光盘等）上的关联数据文件。数字地形图在计算机屏幕上是以“电子地图”的形式显示的。电子地图是数字地形图符号化处理后的数据集合，是显示在屏幕上的地形图，也称屏幕地图。数字地形图是电子地图的基础。本教材以后所述的数字地形图包含数字地形图和电子地图概念，二者一般不作严格区分。

数字地形图与传统地形图的差异主要体现在以下几个方面：

(1) 数字地形图的载体不是纸张而是适合于计算机存取的软盘、硬盘和光盘等。

(2) 数字地形图不像传统地形图那样以线划、颜色、符号、注记来表示地物类别和地形，而是以一定的计算机可识别的数字代码系统来反映地表各类地理属性特征。

(3) 数字地形图是以数字形式储存的 1:1 的数字地形图，没有比例尺的限定和固定的图幅大小。

(4) 数字地形图的使用必须借助于计算机及其配套的外部设备。

数字地形图以数字形式表示地形图的内容。地形图的内容由地形图图形和文字注记两部分组成，地形图图形可以分解为点、线、面三种图形元素，而点是最基本的图形元素。数字地形图以数字坐标表示地物和地貌的空间位置，以数字代码表示地形符号、说明注记和地理名称注记。数字地形图要求精确地、真实地反映地表包含的全部人工和自然的地形要素。在城市复杂地区，如果把地表的全部地形要素绘在一幅地形图上，那就很不清晰，因此往往按不同用途分成几种数字地形图，例如城市地形图、地籍图和地下管线图等。数字地形图的内容要满足多用户的需要，进行分层储存，例如将地物分为控制点、建筑物、行政边界和地籍边界、道路、管线、水系以及植被等，而地貌则以数字地面模型表示，即以规则网点的平面位置和高程表示。数字地形图可以包含地表的全部空间位置信息，还可以将与空间位置有关的非图形信息一起在信息系统中进行管理。

地形图必须保持其现势性。城市的发展加速了城市建筑物和城市结构的变化，城镇地籍中地界也经常发生变化，这都需要对地形图进行连续的更新。这种更新测量利用传统的方法和摄影测量的方法都是很麻烦的。采用地面数字测量方法能够克服地形图连续更新的困难，只要将地形图变更的部分输入计算机，通过数据处理即可对原有的数字图和有关的信息作相应的更新，使地形图有良好的现势性。

数字地形图并不是依某一固定比例尺和固定的图幅大小来储存一幅地形图，它是以数字形式储存的 1:1 的数字地形图。根据用户的需要，在一定比例尺范围内可以输出不同比例尺和不同图幅大小的地形图，输出各种分层叠合的专用地图。例如，以地籍边界和建筑物、土地利用分类为主的地籍图；以地下管线以及两侧建筑物为主的地下管线图等。

传统的图解地形图的精度，根据城市测量规范规定，图上地物点相对于邻近图根点的点位中误差为图上 0.5mm，在 1:500 比例尺地形图上相当于地面距离为 25cm。即使提高碎部测量的精度，但手工绘图的精度也很难高于图上 0.2mm，在 1:500 比例尺地形图上则相当于实地距离为 10cm。随着现代城市的发展，在大比例尺城市测图中，有必要提高重要建筑物和界址点的测量精度。地面数字测图，在野外采用全站仪测量，具有较高的位置测量精度，按目前的测量技术，地物点相对于邻近控制点的位置，精度达到 5cm 是不困难的。用自动绘图仪依据数字地形图绘制图解地形图，其位置精度均匀。自动绘图仪的精度一般高于手工绘制的精度。

地形图是为满足城市和工程建设的需要而施测的。随着经济的发展，城市的复杂性日益增长，城市人口的密集带来住宅、交通和各种管线的迅速增加。城市各管理部门迫切要求有城市环境的综合信息系统，也就是需要建立城市地理信息系统。而城市测绘工作所提供的地形图和其它测量成果资料是城市地理信息系统的基础。为适应建立城市地理信息系统的需要，从事城市测量的测绘部门应该提供数字形式的地形图。

在工程建设中。计算机辅助设计已经广泛应用，这种情况下为工程设计提供的地形图也必须是以数字形式表示，能用计算机进行存取和处理。

1.1.2 数字化测图技术的研究内容

数字化测图技术是现代测绘科学与技术和计算机科学与技术，特别是计算机图形与技术相结合的产物。它的主要研究对象是制图对象信息的获取(采集)、加工(处理)、传输、系统分析、图形显示与存储的技术手段和方法，主要研究内容包括：

1. 数字测图系统的构成

随着电子技术、仪器制造技术和计算机技术的飞速发展，测绘仪器和计算机设备的性能得到了空前的提高。测绘仪器正在朝着自动化、数字化、高效率、全天候等方向发展。电子经纬仪、全站仪、GPS接收机则是其中的典型代表。数字化测图技术首先要从原理上研究如何利用这些现代化测绘仪器和计算机设备构成一个完整的数字测图系统，包括为了连接这些设备而进行的软、硬件开发工作以及从方法上研究与数字测图系统相适应的工作模式和工作方法。

2. 数字地形图的数据采集设备与方法

数字地形图与传统地形图最本质的区别在于地理属性特征的表达方法。前者是数字形式的，后者是图解形式的。这种差别直接影响到数据采集的设备与方法，因此有必要研究、开发、选择相应的采集设备和采集方法。数字地形图的数据采集设备应该能直接得到数字化结果，如电子经纬仪、全站仪等，即使不能在野外得到数字化结果，也必须在进入数字测图系统前加以转换，如用数字化仪或扫描仪进行数字化处理。

3. 数字地形图的表示方法和存储结构

数字地形图是以数字形式来表示和存储地理属性特征的，这就要求研究地理属性特征的数字化表示方法。在数字化成图的存储结构（地形图数据库）中，制图实体的属性是以代码来表示的，而在可视化输出（如屏幕显示和绘图仪输出纸质地形图）时，又必须采用与传统地形图相同的符号来表示。这就既要研究科学的代码体系又要研究地形图符号的生成方法。数字化测图技术还要研究如何合理地组织一个区域（例如一个图幅）内各类地形图实体的数字化信息，这就是存储结构。

4. 数字地形图的计算机处理和图形编辑

野外或室内采集的地形图实体的数字化信息必须经过适当的处理（例如图幅的裁剪与拼接、采集误差的处理及必要的代码和文件格式转换等），才能满足数字化成图的要求。采集的数据也可能存在差错与遗漏，有必要对其进行编辑修改。因此，数字化测图技术必须研究数字地形图的计算机处理方法和图形编辑的界面与方法。

5. 数字地形图的输出设备与方法

主要是指输出设备的选择及接口软件的开发。另外，为了实现数字地形图产品的共享，还应该考虑输出到共享文件（又称为接口文件）的方法及共享文件的结构。

6. 数字地形图的质量评价

数字地形图有着与传统地形图不同的表示方法，其应用领域也更为广泛，人们对数字地形图的要求也不同于传统地形图。因此，在数字化测图技术中必须研究数字地形图的质量评价问题，包括衡量数字地形图的质量的指标体系、质量评价方法及质量控制方法。

7. 数字化成图软件的开发

软件是数字测图系统的灵魂。数字化成图软件是一种规模较大的综合性应用软件，

它具有数据量大、算法复杂、涉及的外部设备繁多等特点。因此，数字化成图软件的开发既是数字化测图技术的关键，也是其难点。必须将当代软件工程学的最新技术手段与数字测图系统的特点结合起来，选用合适的开发平台进行数字化成图软件的开发。

8. 数字地形图的管理与应用

数字化测图的目的是按照一定的规范要求生产便于管理与应用的数字地形图或其它各种形式的地形图产品。因此，数字化测图技术必须研究数字地形图的管理与应用问题，以便更好地适应人们对数字地形图产品的要求。另外，数字测图系统本身也涉及数字地形图的管理与应用问题，例如图幅管理与简单几何量的求解。

9. 数字化成图与地理信息系统的关系

地理信息系统（GIS，Geographil Information System）的发展历史已经清楚地告诉人们，地理信息系统起源于数字化成图。空间信息的处理与表达仍然是 GIS 领域的一个重要研究内容。人们目前比较一致的认识是：数字地形图是 GIS 理想的数据源。因此，为了使数字地形图更好地满足 GIS 的要求，必须进一步研究数字化成图与 GIS 的关系，主要包括 GIS 对数字地形图的要求及数字化成图的成果如何顺利地导入 GIS 之中等问题。

1.1.3 数字化测图技术的特点

数字化测图技术的发展改变了人们对地形图本质、地形图功能、成图方法以及成图工艺等诸多方面的认识，为地形图制图领域带来了新的生机。从应用角度来看，数字化测图技术与传统测图技术相比较，在以下几个方面具有明显的优势。

1. 精度高

传统的测图技术以光学仪器和视距测量方法为基础，且控制测量采用从整体到局部、逐级布设的原则，等级过多造成精度损失，手工绘图的精度很难高于图上 0.2mm，这些都在不同程度上限制了地形图的精度。数字化测图技术则不然，当采用草图法数字测记模式作业时，全部碎部点均用全站仪测量，控制层次也相对减少，其成图精度比传统成图方法要高许多。另外，由于数字地形图产品不存在图纸变形，用绘图仪输出的纸基地形图图面精度也高于传统成图方法得到的地形图产品。

2. 自动化程度高、劳动强度较小

在传统测图技术中，地形原图必须在野外手工绘制。数字化测图技术将成图这一繁琐的工作转到室内，在计算机上以人机交互的方式绘制地形图，部分工作可由计算机自动完成。当采用全站仪观测碎部点时，测距的精度较高，碎部点观测可以在很大范围内进行，从而减少了搬站工作。另外，电子测量仪器用内存或电子记录手册储存测量数据，可以省却测站记录工作。所有这些都不同程度上减轻了测绘工作者的劳动强度。

3. 更新方便、快捷

数字化测图工作得到的是数字地形图——以某种格式存放的地形图数据文件。其调用、显示都十分方便。一般数字化成图软件都具有“图形编辑”功能，例如“增加”、“删除”、“修改”等，这些功能都能充分满足地形图修测和补测的要求。利用这些功能进行原有数字化地形图的修、补测是十分方便的。

4. 便于保存与管理

数字地形图产品以数字形式存储于计算机的存储介质上，仅占很少的空间。一般情

况下，一片 1.4MB 的软盘能存放 2 幅~4 幅地形图，一片 650MB 的光盘能存放 1 000 多幅。这与传统成图技术得到的纸质地形图相比是极其优越的。另外，数字地形图产品也没有纸质地形图产品保存过程中的霉烂、变形等问题。数字地形图产品易于复制，这也给保存的安全性提供了可靠的保证。

数字地形图产品不仅便于保存，而且管理也十分方便。目前，已有不少专用软件实现了数字地形图的计算机管理，将数字化成图与数字地形图的管理功能集成在一起，使用极其方便。

5. 便于应用

地形图测绘是测绘工作的一项基础性工作，它的主要目的是为工程设计、规划或各级国土信息管理部门提供基础信息。目前，随着计算机应用的日益普及，工程设计与规划部门大都采用了计算机辅助设计系统，这些系统都要求采用数字化地形图作为规划设计的工作底图。目前在各个行业与地理有关的信息管理，正在迅速发展和使用 GIS 技术，数字地形图产品可以是 GIS 的一种理想的数据源。

数字地形图的出现改变了传统地形图应用的概念，传统的地形图应用一般以图面图解或目视为基础，得到的只能是“粗糙”的结果，对于数字地形图产品，由于包含了详细和精确的地理信息，利用它得到的应用结果可以是十分精确的。

6. 易于发布和实现远程传输

对于传统地形图来说，实时发布和远程传输是难以实现的。然而，对于数字地形图产品，随着网络技术和通信技术的不断发展以及网上地形图发布系统的逐步完善，通过计算机网络实现地形图产品的实时发布和远程传输已经成为可能。

以上较详细地介绍了数字化测图技术所带来的优越性，然而，任何事物都是一分为二的，数字化测图技术在带来优越性的同时，也不可避免地存在一些缺陷，主要是费用、人员和系统可靠性等方面的问题。在费用方面，一个不容争议的事实是数字化测图比传统测图的费用高，这主要体现在设备（包括软件）费用和人力成本两个方面。数字化测图技术对人员的素质提出了新的要求，最起码要求具有操作计算机的能力。另外，如同运行在计算机上的其它系统一样，数字测图系统的可靠性也受到诸多因素的限制，问题的关键还在于数字测图系统中的一些相对微小的毛病也可能需要训练有素的专家才能解决。这些问题和缺陷都是目前数字化测图实践中难以回避的。当然，随着数字化测图技术与设备的不断完善和测绘人员技术素质的不断提高，这些问题肯定会逐步得到解决。

1.2 数字测图系统的构成

数字测图系统是指实现数字化测图功能的所有因素的集合。广义地讲，数字测图系统是硬件、软件、人员和数据的总和。

1.2.1 数字测图系统的硬件

数字测图系统的硬件主要有两大类：测绘类硬件和计算机类硬件。前者主要指用于外业数据采集的各种测绘仪器，如全站仪；后者包括用于内业处理的计算机及其标准外设，如显示器、打印机等，以及图形外设，如用于录入已有图形的数字化仪、扫描仪和

用于输出纸基地形图的绘图仪。另外,实现外业记录和内、外业数据传输的电子手簿则既可能是测绘仪器的一个部分,也可能是用某种掌上电脑开发出的独立产品。下面简单介绍它们的功能以及在数字测图系统中的地位和作用。

1. 计算机

计算机是数字测图系统中不可替代的主体设备。它的主要作用是运行数字化成图软件,连接数字测图系统中的各种输入输出设备。按照其体积的大小,计算机一般可以分为台式机、笔记本电脑和掌上电脑。就目前的情况来看,笔记本电脑与台式机在功能上已没有太大的差别。它们的特点分别是:台式机价格相对较低、图形显示效果较好;笔记本电脑体积小,便于携带。因此,在数字测图系统中,室内处理工作一般用台式机完成;只有在野外需要计算机时才用笔记本电脑,例如采用“电子平板”作业模式在野外同时完成采集与成图两项工作时。但是,笔记本电脑对于野外工作环境的适应性问题还有待解决。掌上电脑(PDA)是新发展起来的一种性能优越的随身电脑,如图 1-1 所示,它的便携性、长时间待机、笔式输入、图形显示等特点,有效地解决了困扰数字化成图野外数据采集中的诸多问题。

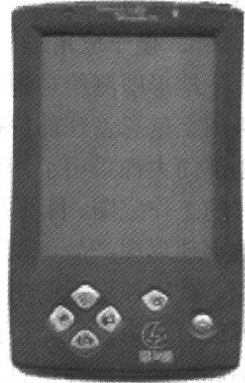


图 1-1 掌上通 2000

2. 全站仪

全站仪是由测距仪、电子经纬仪和微处理器组成的一个智能性测量仪器。全站仪的基本功能是在仪器照准目标后,通过微处理器的控制自动地完成距离、水平方向和天顶距的观测、显示与存储。除这些基本功能外,不同类型的全站仪一般还具有各自独特的功能,如平距、高差和目标点坐标的计算等。

3. 数字化仪

数字化仪是数字测图系统中的一种图形录入设备。它的主要功能是将图形转化为数据,所以,有时它又被称为图数转换设备。在数字化成图工作中,对于已经用传统方法施测过地形图的地区,只要已有地形图的精度和比例尺能满足要求,就可以利用数字化仪将已有的地形图输入到计算机中,经编辑、修补后生成相应的数字地形图。

4. 扫描仪

扫描仪是以“栅格方式”实现图数转换的设备。所谓栅格方式就是以—个虚拟的格网对图形进行划分,然后对每个格网内的图形按一定的规则进行量化。每一个格网叫做一个“像元”或“像素”。所以,栅格方式数字化实际上就是先将图形分解为像元,然后对像元进行量化。栅格方式的数字化结果的基本形式是以栅格矩阵的形式出现的。图 1-2(a)所示的图形对应的栅格矩阵如图 1-2(b)所示。

实际应用时,扫描仪得到的是栅格矩阵的压缩格式,扫描仪一般都支持多种压缩格式(如 BMP、TIF、PCX 等),用户可根据自己的需要进行选择。数字测图系统中对栅格数据的处理主要有两种方式:一种是利用矢量化软件将栅格形式的数据转换为矢量形式,再供给数字化成图软件使用。另一种是在数字测图系统软件中直接支持栅格形式的数据。目前,国内的数字测图系统还未见有直接支持栅格数据的,因此实际工作中基本上都采用前一种处理方式。

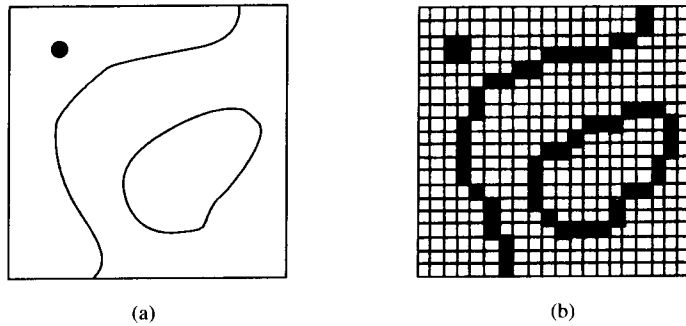


图 1-2 图形与栅格矩阵的对应关系

(a) 图形; (b) 栅格矩阵。

5. 绘图仪

绘图仪是数字测图系统中一种重要的图形输出设备——输出“纸质地形图”，又称“可视地形图”或数字地形图的“硬拷贝”。在数字测图系统中，尽管能得到数字地形图，且数字地形图具有很多优良的特性，但纸质地形图仍然是不可替代的。这一方面是人们的习惯，另一方面则是在很多情况下纸质地形图使用更加方便。另外，利用数字地形图得到的回放图也是数字地形图质量检查的一个基本依据。因此，在数字地形图编辑好以后，一般都要在绘图仪上输出纸质地形图。

6. GPS 接收机

GPS 是全球定位系统(Global Position System)的英文缩写。该系统是美国国防部自 20 世纪 70 年代开始研制的新一代导航和定位系统。到 1994 年 24 颗分布在 6 个倾角为 55° 的近似圆形轨道上的在轨卫星组成了实用运行系统。该系统能连续向地面发射信号，供地面或海陆空各种固定或移动接收机(天线)接收，从而实现任何地方和任何时刻的自动定位。

7. 电子手簿

电子手簿是数字测图系统中连接外业工作和内业工作的一道桥梁，它的主要作用是：在外业与全站仪连接，记录观测数据并作必要的处理，在内业与计算机连接，将记录数据传入计算机，供进一步处理。电子手簿的功能直接影响到数字化成图的作业效率。

数字测图使用的电子手簿可以是全站仪原配套的电子手簿或内存，也可以是用 PC-E500 等袖珍机开发的与数字化成图软件相配套的电子手簿。目前，由于全站仪的内存容量和数据的存取功能已经能够满足数字测图的需要，实际作业一般直接利用全站仪内存作为记录手簿。

1.2.2 数字测图系统的软件

从一般意义上讲，数字测图系统的软件包括为完成数字化成图工作用到的所有软件，即各种系统软件（如操作系统：Windows）、支撑软件（如计算机辅助设计软件 AutoCAD）和实现数字化成图功能的应用软件或者叫专用软件（如南方测绘仪器公司的 CASS 成图软件）。

数字化成图软件是数字测图系统中一个极其重要的组成部分，软件的优劣直接影响数字测图系统的效率、可靠性、成图精度和操作的难易程度。选择一种成熟的、技术先进的数字测图软件是进行数字化测图工作必不可少的关键问题。

目前，市场上比较成熟的数字化成图软件主要有如下几种：

- (1) 南方测绘仪器有限公司的“数字化地形地籍成图系统 CASS”。
- (2) 清华山维新技术开发公司的“GIS 数据采集处理与管理系列软件”。
- (3) 武汉瑞得测绘自动化公司的“数字测图系统 RDMS”。
- (4) 北京威远图公司的“CitoMap 地理信息数据采集”。
- (5) 广州开思测绘软件公司的“SCS GIS2000”。

1.2.3 数字测图系统的人员与数据

数字测图系统的人员是指参与完成数字化成图任务的所有工作与管理人员。数字化测图对人员提出了较高的技术要求，他们应该是既掌握了现代测绘技术又具有一定的计算机操作和维护经验的综合性人才。

数字测图系统中的数据主要指系统运行过程中的数据流，它包括：采集（原始）数据、处理（过渡）数据和数字地形图（产品）数据。采集数据可能是野外测量与调查结果（如控制点、碎部点坐标、地物属性等），也可能是内业直接从已有的纸质地形图或图像数字化或矢量化得到的结果（如地形图数字化数据和扫描矢量化数据等）。处理数据主要是指系统运行中的一些过渡性数据文件。数字地形图数据是指生成的数字地形图数据文件，一般包括空间数据和非空间数据两大部分，有时也考虑时间数据。数字测图系统中数据的主要特点是结构复杂、数据量庞大，这也是开发数字测图系统时必须考虑的重点和难点之一。

1.3 数字化测图的工作过程与作业模式

1.3.1 数字化测图的工作过程

数字化测图的工作过程主要有：数据采集、数据处理、图形编辑和图形输出。一般经过数据采集、数据编码和计算机处理、自动绘制两个阶段。数据采集和编码是计算机绘图的基础，这一工作主要在外业期间完成。内业进行数据的图形处理，在人机交互方式下进行图形编辑，生成绘图文件，由绘图仪绘制地形图。图 1-3 是数字测图系统的工作过程框图，图 1-4 是数字测图系统的流程示意图。

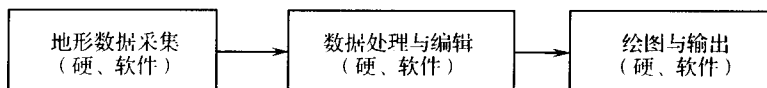


图 1-3 数字测图系统工作过程框图

1. 数据采集

数据采集的目的是获取数字化成图所必需的数据信息，包括描述地形图实体的空间

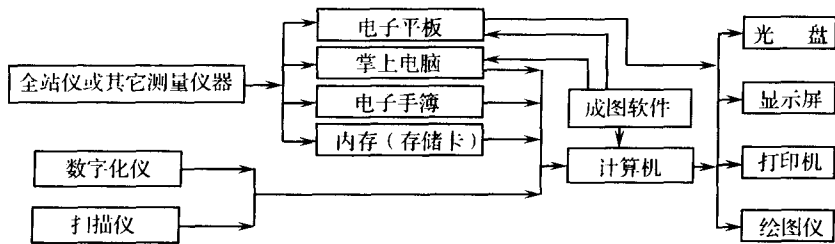


图 1-4 数字测图系统流程示意

位置和形状所必需的点的坐标和连接方式，以及地形图实体的地理属性。数据采集主要有两大类方法：外业采集和内业采集。

外业采集就是在野外完成地形图的数据采集工作。外业采集主要用测量仪器进行(全站仪、GPS 等)，借助于电子手簿、全站仪存储器或掌上电脑的帮助，将测量数据(一般为测点坐标)传入计算机供进一步处理。当用外业采集方法时，测点的连接关系及地形实体的地理属性一般也在工作现场采集和记录，目前有三种不同的采集和记录方法：

(1) 用约定的编码表示地形实体的地理属性和测点的连接关系，野外测量时，将对应的编码输入到电子手簿或全站仪的存储器，最后与测量数据一起传入计算机自动成图。

(2) 用草图来描述测点的连接关系和实体的地理属性，野外测量时绘制相应的草图(不输入到电子手簿或全站仪存储器)，在内业工作中，再将草图上的信息与电子手簿传出的测量数据进行联合处理。

(3) 利用笔记本电脑或掌上电脑和测图软件中的图形符号直接测绘地形图，在野外直接将全站仪与笔记本电脑或掌上电脑连接在一起，测量数据实时传入笔记本电脑或掌上电脑，不需要记忆和输入编码，现场加入地理属性和连接关系后直接成图。在室内只需对数据文件经过少量编辑处理即可生成最终的数字地形图。

外业采集的另一个基础性的工作是控制测量，包括等级控制与图根控制。

内业采集主要是指对已有地形图的数字化。内业采集主要用数字化仪或扫描仪完成。

2. 数据处理

数据处理是指将采集数据处理成成图所需数据的过程，包括数据格式或结构的转换、投影变换、图幅处理、误差检验等内容。图形编辑是对已经处理的数据所生成的图形(和地理属性进行编辑、修改的过程。图形编辑必须在图形界面下进行。图形输出则是将已经编辑好的图形输出到所需介质上的过程，一般在绘图仪或打印机上完成。目前，图形输出也包括以某种(指定的或标准的)格式输出数据文件。由于实际工作数据处理、图形编辑、图形输出都是在室内完成的，沿用传统的测量术语，一般将它们与内业数据采集一起统称为数字化成图的内业，而将外业数据采集称为数字化成图的外业。

数据处理是数字化成图的一个重要环节，它直接影响最后输出的图解图的图面质量和数字地形图在数据库中的管理。外业记录的原始数据经计算机数据处理，生成图块文件，在计算机屏幕上显示图形。然后在人机交互方式下进行地形图的编辑，生成数字化地形图的图形文件。

数据处理分数据预处理、地物点的图形处理和地貌点的等高线处理。数据预处理是

对原始记录数据作检查。删除已作废除标记的记录和删去与图形生成无关的记录，补充碎部点的坐标计算和修改有错误的信息码。数据预处理后生成点文件。点文件以点为记录单元，记录内容是点号、符号码、点之间的连接关系码和点的坐标。

根据点文件形成图块文件，将与地物有关的点记录生成地物图块文件，与等高线有关的点记录生成等高线图块文件。地物图块文件的每一条记录以绘制地物符号为单元，其记录内容是地物符号代码，按连接顺序排列的地物点点号或者是点的 x 、 y 坐标值，以及点之间的连接线型（直线、圆弧和曲线）码。等高线处理是将表示地貌的离散点在考虑在性线、断裂线的条件下自动连接成三角形网，三角形顶点是通过测量的地形点。在三角形边上用线性内插法计算等高线通过点的平面位置，然后搜索同一条等高线上的点，依连接顺序排列起来，用曲线连接，形成一条等高线的图块记录。

3. 图形编辑

图块文件生成后可进行人机交互方式下的地形图编辑。将图块文件以图形方式显示到计算机屏幕上，这就需要将地物点的测量坐标转换为屏幕坐标。屏幕显示区域只是某一限定的范围，例如一幅地形图或地形图的一部分。为此必须计算有关图形和屏幕视区（窗口）边界的交点，以显示在窗口内的图形。这种处理在计算机图形中称为图形的裁剪。利用计算机程序设计语言中的图形显示语句和地形图符号库，可将图块文件以地形图符号的图形在屏幕上显示。计算机程序设计语言中，只有基本的图形语句，例如在 BASIC 和 C 语言中有直线段、折线、圆弧和圆等图形语句。因此对于复杂的地形图符号通过程序设计，将其分解为基本图形的组合。例如曲线可以分成许多连续的短直线段，虚线可分成规则间隔的直线段。

在计算机屏幕上显示一幅完整的地形图图形受到屏幕幅面大小的限制而只能缩小表示。因此需要进行局部图形的放大，将编辑的某一部分图形放大显示在屏幕上，分块进行编辑。

在人机交互方式下的地形图编辑，主要包括删除错误的图形和不需要表示的图形，修正不合理的符号表示，增添植被、土壤等配置符号以及进行地形图注记。编辑过程中，在屏幕上的“图形修改”会对相应的图块做出修改，形成新的图块文件。人机交互编辑必须根据测量的地形点和草图进行修改。在编辑中发现的问题应按地形测量规范合理解决，必要时要通过外业复查后修改。

4. 图形输出

图块文件经过人机交互编辑生成数字地形图的图形文件。图形文件根据数字地形图的用途不同有不同的要求。为满足计算机制图的数字地形图文件，就是编辑后新的图块文件，这种图形文件按一幅图为单元储存，用于绘制某一规定比例尺的地形图。而满足数字地形图数据库的图形文件还需要在上述图形文件的基础上作进一步处理。例如，地物分层处理、闭合图块处理、图形属性处理以及数字地面模型的处理等。进入数字地形图数据库的图形文件和图块文件有很大的差别，它是按地形图数据库的要求来建立的。

1.3.2 数字化测图的作业模式

作业模式是数字化测图内、外业作业方法、接口方式和流程的总称。然而，由于数

数字化测图的不同作业方法的特点主要体现在数据采集阶段，所以其作业模式主要根据数据采集的方法进行划分。目前，数字化测图在实际工作中主要有如下几种不同的作业模式：数字测记模式、电子平板测绘模式和内业数字化。

数字测记模式是一种野外数据采集、室内成图的作业方法，根据是用编码还是用草图来描述记录连接关系和地形图实体的地理属性，又可进一步分为有码作业和无码作业。这种作业模式的特点是精度高、内外业分工明确，便于人员分配，从而具有较高的成图效率。

电子平板是一种基本上将所有工作放在外业完成的数字化成图方法，它用笔记本电脑模拟测图平板，将其与全站仪连接在一起，实现数据采集、数据处理、图形编辑现场同步完成。这种作业模式的特点是精度高、现场成图实现了“所见即所测”，从而具有较高的可靠性。

目前利用掌上电脑开发的野外采集成图软件，充分发挥了电子平板与传统电子手簿的优点，加入了实用的图形绘制与编辑功能，具有完整的图式符号库，独立地物、线状地物、面状地物都可以在屏幕上绘出，是一种介于使用存储卡或电子手簿的草图法和电子平板之间的作业方法。

内业数字化是指用数字化仪或扫描仪在室内采集数据。这种作业模式的特点是工作较简单、效率较高，但精度较低，且必须有较完整的满足要求的纸基地形图可供利用。当采用扫描仪数字化时，还必须进行矢量化处理。假如用户暂时还难以从“平板测图”的传统中摆脱出来或者测区内已有了精度合适的地形原图，就可以采用内业数字化作业模式。这种模式的优点是将外业测图和内业计算机处理较明显地分开，便于人员配置，放宽了大部分作业人员的技术要求。

1.4 数字化测图技术的理论基础

1.4.1 坐标变换

在数字测图系统中，需要用到图形显示设备(显示器)、图形输出设备(绘图仪、打印机)和图形录入设备(数字化仪、扫描仪)等，这些设备都具有定位(点)功能，都涉及坐标系的概念。但是，这些通用设备由于不是专门为测绘行业设计的，因而都使用与测量坐标系(一般称为用户坐标系)不同的设备坐标系，这就导致在利用这些设备录入、显示或输出图形时需要进行不同坐标系之间的变换。另外，在利用不同坐标系或不同比例尺的已有资料进行地形图编绘过程中，也需要将不同坐标系中的数据变换到新的统一的坐标系中来。这就说明，坐标变换问题是数字化测图技术中的一个基本问题。

坐标变换问题的实质是分析、求解不同坐标系之间的关系，建立坐标变换的数学模型。

1. 坐标系的概念

1) 测量坐标系

大比例尺数字化成图中的测量坐标系一般采用高斯-克吕格坐标系，即大地坐标系或独立坐标系，它们与数学中的笛卡儿坐标系基本相同，只是以 x 轴为纵轴表示南北方向，

以 y 轴为横轴表示东西方向(如图 1-5 所示)。测量和绘制地形图时使用测量坐标系。

2) 设备坐标系

数字测图系统中的计算机显示器和绘图仪,使用的是相应的图形设备上的绘图坐标系即屏幕坐标系(如图 1-6 所示)和绘图仪坐标系(如图 1-7 所示),成图软件也有自己的坐标系,一般采用数学中的笛卡儿坐标系,如图 1-8 所示。

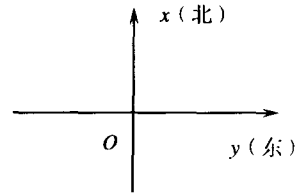


图 1-5 测量坐标系

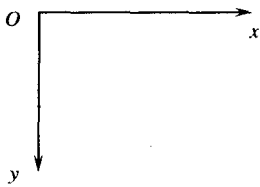


图 1-6 屏幕坐标系

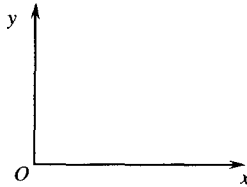


图 1-7 绘图仪坐标系

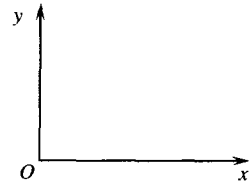


图 1-8 成图软件坐标系

测量坐标和成图软件坐标的不同之处除了空间与平面的区别之外,还表现在坐标的数值范围不同。测量坐标可以根据不同地区的参考点确定,坐标数值可以在很大范围内变化。而绘图坐标都是以绘图设备的某一固定参考点为原点(如显示屏以左上角点为原点,绘图仪则以左下角点为原点),坐标数值一般都限制在 0 至最大绘图范围之内。理论上讲测量坐标数值可以是任意实数,单位可以是 m、km 或其它长度单位,而绘图(设备)坐标一般只能是正整数,坐标单位是绘图(显示)设备的最小分辨率单位(如像素、绘图笔移动的步长)。例如对于分辨率是 1024×768 的图形显示器,其 x 轴(水平方向)的范围是 $0 \sim 1023$, y 轴(垂直方向)的取值范围是 $0 \sim 767$,单位是像素。滚筒绘图仪的绘图坐标的 x 轴(绘图滚筒的轴向)坐标范围由其滚筒长度决定,而 y 轴(走纸方向)的坐标则可以很大。利用滚筒仪的这一特性,可以不必分割区域而连续绘制出狭长地带完整的地形图。

2. 测量坐标系到屏幕坐标系的变换

设 T 点在测量坐标系的坐标值为 (x_T, y_T) ,如图 1-9 所示,该坐标系的图幅范围为 $(x_T, y_T)_{\min}$ 、 $(x_T, y_T)_{\max}$ 的矩形区。 T 点变换到屏幕坐标系后为 P 点,如图 1-10 所示, (x_P, y_P) 为 P 点在该坐标系的坐标值,显示范围可由 $(x_P, y_P)_{\min}$ 、 $(x_P, y_P)_{\max}$ 表示。由图 1-9 和图 1-10 可知,测量坐标转换为屏幕坐标的转换公式为

$$\begin{cases} x_P = x_{P_{\min}} + K(y_T - y_{T_{\min}}) \\ y_P = y_{P_{\max}} - [y_{P_{\min}} + K(x_T - x_{T_{\min}})] \end{cases} \quad (1-1)$$

式中: $K = \min(K_x, K_y)$ 为测量坐标转屏幕坐标的转换系数,即

$$\begin{cases} K_x = (x_{P_{\max}} - x_{P_{\min}}) / (y_{T_{\max}} - y_{T_{\min}}) \\ K_y = (y_{P_{\max}} - y_{P_{\min}}) / (x_{T_{\max}} - x_{T_{\min}}) \end{cases} \quad (1-2)$$

由于 K_x 与 K_y 的值不相同,在显示屏上显示时取 K_x 和 K_y 中的较小者作为变换系数。