

现代测绘科技丛书

大比例尺数字测图

潘正风 杨德麟 编著
黄全义 罗年学



XIAN DAI
CE HUI KE JI
CONG SHU

测绘出版社

现代测绘科技丛书

大比例尺数字测图

潘正风 杨德麟 编著
黄全义 罗年学

内 容 提 要

本书系统地介绍了大比例尺数字测图的基本原理和方法。全书分为六章,主要内容包括:大比例尺数字地图概述,野外数据采集,计算机辅助地图制图数学基础,手持跟踪地图数字化,大比例尺数字测图软件(DJHT)系统,以及采用便携式计算机作为野外记录与绘图载体的 EPSW 电子平板测图系统。

本书可供从事大比例尺测图的工程技术人员和研究人员学习、参考,也可作为高等院校测量工程专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大比例尺数字测图/潘正风等编著. —北京:测绘出版社,1996
(现代测绘科技丛书)

ISBN 7-5030-0846-6

I. 大… II. 潘… III. 地形图测绘-数字测图法, 大比例尺
IV. P231.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 07382 号

测绘出版社出版发行

(100045 北京市复外三里河路 50 号 (010) 68512182)

北京市怀柔新华印刷厂印刷·新华书店总店北京发行所经销

1996 年 9 月第一版·1996 年 9 月第一次印刷

开本: 850×1168 1/32·印张: 6

字数: 151 千字·印数: 0001—3000 册

定价: 12.00 元

《现代测绘科技丛书》

编委会委员名单

主任委员：陈俊勇

副主任委员：宁津生 高俊 张祖勋

楚良才 陈永奇 华彬文

委员：（以姓氏笔划为序）

于来法 方恒 田应中

朱华统 李德仁 陈绍光

张清浦 林宗坚 陶本藻

钱曾波 黄杏元 梁宜希

喻永昌 廖克 潘正风

出版说明

《现代测绘科技丛书》是经国家测绘局批准列入我社“八五”重点出书规划的选题之一。其编写宗旨是对80年代以来测绘科技领域在新理论、新技术、新工艺等方面所取得的成果进行总结，整理成册，以期对改造传统测绘生产技术，提高劳动生产率和产品质量，形成我国现代测绘技术体系，发挥科技图书应有的作用；同时也为反映我国测绘科学研究水平，丰富我国测绘学术专著宝库服务。出版本套丛书也是为适应加速测绘科技成果转化为实现生产力的需要。

本套丛书按专题成册，包括40余个选题。专题有两种类型：一类偏重学术性，主要反映我国测绘各专业近十年来在理论研究方面所取得的、能代表我国先进水平的新成就和某些老专家毕生研究成果的专著，以及测绘前沿填补国内空白的著作；另一类偏重应用技术，是本丛书的主体，其内容是在理论指导下以新技术、新工艺、新材料、新产品研究成果的推广应用为主，个别的配有实用软件。

由于GPS（全球定位系统）涉及测量界多方面的应用，内容较多，丛书中将分册配套编写。有关各册主题明确，内容相辅相成，组合起来GPS测量内容就显得比较完整，又发挥了各作者的专长。

丛书编委会于1992年1月成立，全体编委对丛书出版意图、读者对象，乃至每个选题及其内容都作了充分研究和讨论，在全国测绘界选择了有代表性的专家参加各个分册的撰写和审稿工作。按照计划，这套丛书的各分册将根据撰写完成情况先后定稿出版，陆续与读者见面。

前 言

大比例尺地形图是城市和工程建设进行规划设计、施工的重要依据，它的应用正在进一步拓宽。

随着计算机制图的发展以及电子速测仪在测图中的广泛使用，形成了数字测图方法。这种方法不仅改变了以手工描绘为主的平板仪测图方法，更重要的是能满足基本大比例尺地图的信息系统的建立和计算机进行工程规划设计的要求。本书大部分内容是科研成果的总结。我们希望借此交流经验，促进大比例尺数字测图的发展。

本书由潘正风（武汉测绘科技大学）主持编著。作者分工如下：潘正风第一、二章；罗年学（武汉测绘科技大学）第三章；黄全义（武汉测绘科技大学）第四、五章；杨德麟（清华大学）第六章。

由于我们水平有限，书中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

作 者

1995 年 7 月

目 录

第一章 大比例尺数字测图概述	(1)
§ 1.1 大比例尺数字地图	(1)
§ 1.2 大比例尺地面数字测图的基本作业过程	(6)
§ 1.3 手扶跟踪数字化仪	(12)
§ 1.4 数控绘图仪	(17)
第二章 野外数据采集	(22)
§ 2.1 电子速测仪和电子手簿	(22)
§ 2.2 图根控制	(29)
§ 2.3 碎部测量	(33)
§ 2.4 野外采集数据的记录格式和信息编码	(40)
第三章 计算机地图制图的数学基础	(46)
§ 3.1 坐标变换	(46)
§ 3.2 二维图形裁剪	(49)
§ 3.3 地图符号的自动绘制	(56)
§ 3.4 抛物线加权平均法曲线光滑处理	(68)
§ 3.5 张力样条函数插值法	(77)
§ 3.6 网格法绘制等高线	(81)
§ 3.7 三角网法绘制等高线	(91)
第四章 手扶跟踪地图数字化	(105)
§ 4.1 地图定位	(105)
§ 4.2 地图数字化方法	(109)
§ 4.3 面积计算	(114)
§ 4.4 平面矢量数据结构	(118)
第五章 大比例尺数字测图软件(DJHT)系统	(126)

§ 5.1	图形文件生成	(126)
§ 5.2	交互式计算机图形编辑	(134)
§ 5.3	地籍图和地形图的绘制	(150)
第六章	EPSW 电子平板测图系统	(157)
§ 6.1	概述	(157)
§ 6.2	EPSW 的主要功能与特点	(159)
§ 6.3	EPSW 点数据的野外采集方法	(161)
§ 6.4	EPSW 数字测图的作业步骤	(166)
§ 6.5	数字地面模型的建立与等高线的绘制	(173)
§ 6.6	EPSW 系统数据处理流程	(176)
	参考文献	(180)

第一章 大比例尺数字测图概述

§ 1.1 大比例尺数字地图

随着计算机制图的发展，城镇数字地籍测量的进行和城市信息系统的建立，大比例尺数字测图已成为测绘技术变革的一个重要问题。各种数据采集和处理方法的实现为大比例尺数字测图提供了条件，例如由电子速测仪和电子记录手簿组成野外数据采集系统，记录的数据可直接传输给计算机，在相应的程序系统下进行人机交互处理，形成大比例尺地图图形数据。这种图形数据可以贮存在数据载体上，也可以用自动绘图仪绘图。贮存在数据载体上的数字形式的大比例尺地图就是大比例尺数字地图。

一、大比例尺数字地图的特点

大比例尺数字地图以数字形式表示地图的内容。地图的内容由地图图形和文字注记两部分组成，地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。数字地图以数字坐标表示地物和地貌点的空间位置，以数字代码表示地形符号、说明注记和地理名称注记。大比例尺地图要求精确地、真实地反映地表包含的全部人工和自然的碎部要素。在城市复杂地区，如果把地表的全部碎部要素绘在一幅地图上，那就很不清晰，因此往往按不同用途分成几种地图，例如城市地形图、地籍图和地下管线图等。大比例尺数字地图的内容满足多用户的需要，进行分层贮存，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，即以规则格网点的平面位置和高程表示。数字地图可以包含地表的

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，这都需要对地图进行连续的更新。这种更新测量利用常规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大比例尺地图连续更新的困难，只要将地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地图和有关的信息作相应的更新，使大比例尺地图有良好的现势性。

数字地图并不是依某一固定比例尺和固定的图幅大小来贮存一幅地图，它是以数字形式贮存的 1:1 的数字地图。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。

常规的图解地图的精度，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 比例尺地图上则相当于实地距离为 10cm。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。大比例尺地面数字测图，在野外采用电子速测仪测量，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图绘制图解地图，其位置精度均匀。自动绘图仪的精度一般高于手工绘制精度。

城市建设的发展，有更多的部门需要利用大比例尺地图。大比例尺数字地图为与空间位置有关的信息系统提供基础数据，这些数据能够用电子数据处理系统进行管理和处理，使更多的用户

共享地图数据资源，使大比例尺地图得到新的应用。

尽管大比例尺数字地图具有很多优点，但一个地区大比例尺数字地图的建立需要很大的费用和较长的时间才能完成。对于城市、工矿企业而言，大比例尺数字地图是一种基本地图，一次成图应满足各方面用户的需要，避免各部门为各自的目的生产专用的数字地图，因为这是相当不经济的。而为工程设计目的进行的大比例尺数字地图，也应在统一的坐标系中进行，以便在工程竣工后能利用这些测量资料。

大比例尺数字地图以数字形式贮存，因此，不仅测绘生产部门需要有建立数字地图的软件系统，而使用大比例尺地图的部门同样要有应用数字地图的软件，才能对大比例尺数字地图的数据进行存取和处理，所以软件的选择要作周密的考虑。

用自动绘图仪依据数字地图可快速地绘制出图解地图，但数字地图不能完全取代图解地图。采用大比例尺数字测图技术，可以使生产纸质地图的周期缩短，提供更多的地图品种。

二、大比例尺数字地图的作业方法

大比例尺数字地图的建立分为三个阶段：数据采集、数据处理和地图数据的输出。数据采集是在野外和室内利用电子测量与记录仪器获取数据，这些数据要按照计算机能够接受的和应用程序所规定的格式记录。从采集的数据转化为地图数据，需要借助于计算机程序在人机交互方式下进行复杂的处理，如坐标变换、地图符号的生成和注记的配置等，这就是数据处理阶段。地图数据的输出以图解和数字方式进行。图解方式是用自动绘图仪绘图，数字方式是数据的贮存，建立数据库。

大比例尺数字地图的建立数据采集阶段可采用摄影测量方法、地图数字化方法和野外地面测量方法。这里简单介绍与后两种数据采集方法有关的大比例尺数字地图的建立方法。

1. 地图数字化方法

图解地图的内容可以通过数字化方法转换成数字地图。采用数字化仪将地图的图解位置转换成统一坐标系中的解析坐标，并应用数字化地图符号菜单或计算机键盘输入地图符号和注记的代码。这样建立的数字化地图的精度不会高于用于数字化底图的精度，不能满足对数字地图某些用途的要求。因此，应用单纯的地图数字化方法建立大比例尺数字地图只是一种应急措施，例如为了在计算机上进行工程设计而将平板仪或经纬仪测量的地图进行数字化。

2. 用一部分实测的精确坐标代替数字化坐标的地图数字化方法

在已有大比例尺地图的地区，进行更新测量或地籍测量、地下管线测量时，可以在野外采用电子速测仪和电子记录手簿进行碎部测量，得到一些建筑物点的精确坐标。在地图数字化作业中，用这些点的精确坐标代替相应点的数字化方法得到的坐标。当然这种代替会影响没有精确坐标的邻近点之间的相互关系，为了消除这种矛盾，可以采用一种“均匀化”的方法，使地物点之间的相互位置关系得到调整。这种方法既利用了现有大比例尺地图资料，又在一定程度上提高了原有图解地图的精度。随着地图不断更新，具有精确坐标的地物点将逐步增加，地图的精度也相应得到提高。这种方法是已有大比例尺地图地区建立数字地图通常采用的方法。

3. 地面数字测图方法

在没有合乎要求的大比例尺地图的地区，例如新开发的建成区，或者是工程设计需要大比例尺数字地图，可直接采用地面数字测图方法，这种方法也称为内外业一体化数字测图方法。在野外对地图上所有需要表示的地形点进行测量和计算它们的精确坐标，并用代码给出点的连接关系和地图符号信息，通过计算机程序处理，建立数字地图。采用内外业一体化数字测图建立大比例

尺数字地图的特点是精度高，重要的地物点相对于邻近控制点的位置精度在 5cm 以内。

建立大比例尺数字地图需要耗费很大的人力、物力和财力，因此要周密计划，按照各用户对大比例尺数字地图的要求，确定数字地图的内容、基本比例尺和精度要求，有计划地组织实施。

三、大比例尺地图数据库

大比例尺数字地图的本质是大比例尺地图数据库。建立大比例尺地图数据库的目的是充分地利用测量数据进行各种大比例尺地图的更新、自动编制以及提供与地图信息有关的检索服务。大比例尺地图数据库是一种空间位置关系的基础数据库，它可为许多用户共享，为建立各种与空间位置有关的专业数据库服务。对于城市来说，建立大比例尺地图数据库是必要的，它有助于整个城市的各部门完成城市的管理、经济、规划和工程技术等任务。因此在建立城市地理信息系统时，应该首先建立大比例尺地图数据库。

大比例尺地图数据库不是简单地将地图数字化作计算机的存取，而是将地图形成一定的标准格式的数字信息贮存在计算机能接受的数据载体上。为满足建立大比例尺地图数据库的数字地图，其数据格式不仅是图形的显示和绘制，而需要按建立地图数据库的目的和用途来设计。例如在数字地形图中表示建筑物材料和质量，表示植被的种类；在数字地籍图中表示宗地边界、面积和土地利用分类，则要求形成闭合图形的数据结构。

大比例尺地图数据库应是一种与空间位置有关的基础数据库，不应涉及过多的各种专业内容，否则将会造成大比例尺地图数据库建立和管理的困难。一些与空间位置关系有关的专业数据库可以在大比例尺地图数据库的基础上分别建立。这项工作由各专业部门负责进行，也可由测量部门和各专业部门合作进行。

四、大比例尺数字地图的用途

大比例尺地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大比例尺数字地图。

城镇的发展,建设用地大量增加,土地权属关系和土地利用类别也将随之变化。为保持地籍资料的不断更新,城镇地籍测量的成果应能用计算机进行管理。为此应进行数字地籍图的测绘和建立数字地籍数据库。

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大比例尺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。

社会进步推动测绘工作的发展。在大比例尺测图工作中将应用电子测量仪器、计算机和自动绘图机使常规的大比例尺测图由手工作业转变成自动化。实现大比例尺数字测图和建立大比例尺地图数据库,测绘工作将能更好地为城市和工程建设服务,使城市和工程的现代化管理得到保障。

§ 1.2 大比例尺地面数字测图的基本作业过程

大比例尺地面数字测图经过数据采集、数据编码和计算机处理、自动绘制地图两个阶段。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,在人机交互方式进行图形编辑,生成绘图文件,由绘图仪绘制大

比例尺地图。

图 1-1 是大比例尺地面数字测图的流程示意图。

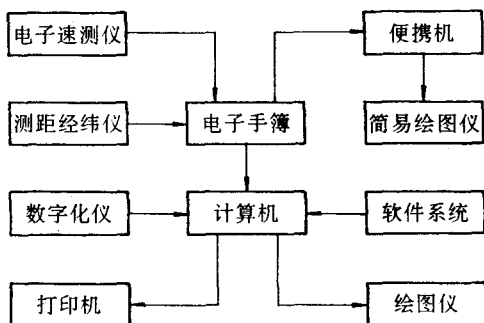


图 1-1

地面数字测图系统的基本硬件为：

电子速测仪或测距经纬仪；电子记录手簿；便携式计算机；简易 A3 或 A4 幅面绘图仪；386 或 486 微型计算机；打印机；A1 或 A0 幅面数字化仪；A1 或 A0 幅面绘图仪。

软件系统功能为：

碎部测量数据的图形处理；在交互方式下的图形编辑；等高线自动生成；地图数字化；地图绘制。

一、外业工作

平板仪测图和经纬仪测图的地形原图基本在外业完成，而地面数字测图的外业工作仅完成地图数据的采集和编码。测量工作包括图根控制测量、测站点的增补和地形碎部点的测量工作。采用电子速测仪或者是测距经纬仪进行观测，用电子手簿记录观测数据或经计算后的测点坐标。每一个碎部点的记录，通常有点号、观测值或坐标，除此以外还有与地图符号有关的符号码以及点之间的连接关系码。这些信息码以规定的数字代码表示。输入这些

信息码极为重要，因为地面数字测图在计算机制图中自动绘制地图符号就是通过识别测量点的信息码执行相应的程序来完成的。信息码的输入可在地形碎部测量的同时进行，即观测每一碎部点后随即输入该点的信息码，或者是在碎部测量时绘制草图，随后按草图输入碎部点的信息码。地图上的地理名称及其它各种注记，除一部分根据信息码由计算机自动处理外，不能自动注记的需要草图上注明，在内业通过人机交互编辑进行注记。

常规的地形测图工作要求对照实地绘制，而数字测图记录的数字，很难在实地进行巡视检查。为克服数字测图记录的不直观性，在观测数据编码后，可用便携机显示图形，对照草图检查。更好的办法是用简易绘图仪绘制工作图，用以外业巡视检查，是否有漏测，地物符号和地貌表示是否与实地一致。特别在作业地点远离内业地点的情况下，必须有一定的措施对记录数据和编码进行检查，以保证内业工作的顺利进行。

大比例尺地面数字测图的外业工作和常规测图工作相比，具有以下一些特点：

1. 常规测图在外业基本完成地形原图的绘制，地形测图的主要成果是以一定比例尺绘制在图纸或薄膜上的地形图。地形图的质量除点位精度外，往往和地形图的手工绘制有关。地面数字测图在外业完成观测，记录观测值或者是坐标和输入信息码，不需要手工绘制地形图，这使地形测量的自动化程度得到明显的提高。

2. 常规测图先完成图根加密，按坐标将控制点和图根点展绘在图纸上，然后进行地形测图。地面数字测图工作的地形测图和图根加密可同时进行，即使在记录观测点坐标的情况下也可在未知坐标的测站点上设站，利用电子手簿测站点的坐标计算功能，观测计算测站点的坐标后，即可进行碎部测量。例如采用自由设站方法，通过对几个已知点进行方向和距离的观测，即可计算测站点的精确坐标。

3. 地面数字测图主要采用极坐标法测量地形点，根据红外测

距仪的观测精度，在几百米距离范围内误差均在 1cm 左右，因此在通视良好、定向边较长的情况下，地形点到测站点的距离比常规测图可以放长。

4. 常规测图是以图板，即一幅图为单元组织施测。这种规则的划分测图单元往往给图边测图造成困难。地面数字测图在测区内部不受图幅的限制，作业小组的任务可按照河流、道路的自然分界来划分，以便于地形测图的施测，也减少了很多常规测图的接边问题。

5. 数字测图按点的坐标绘制地图符号，要绘制地物轮廓就必须有轮廓特征点的全部坐标。虽然一部分规则轮廓点的坐标可以用简单的距离测量间接计算出来，地面数字测图直接测量地形点的数目仍然比常规测图有所增加。在常规测图中，作业员可以对照实地用简单的几何作图绘制一些规则的地物轮廓，用目测绘制细小的地物和地貌形状。而地面数字测图对需要表示的细部也必须立尺测量。地面数字测图地物位置的绘制直接通过测量计算的坐标点，因此数字测图的立尺位置选择更为重要。

二、数据处理和图形文件生成

数据处理是大比例尺数字测图的一个重要环节，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图的编辑，生成数字地图的图形文件。

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。