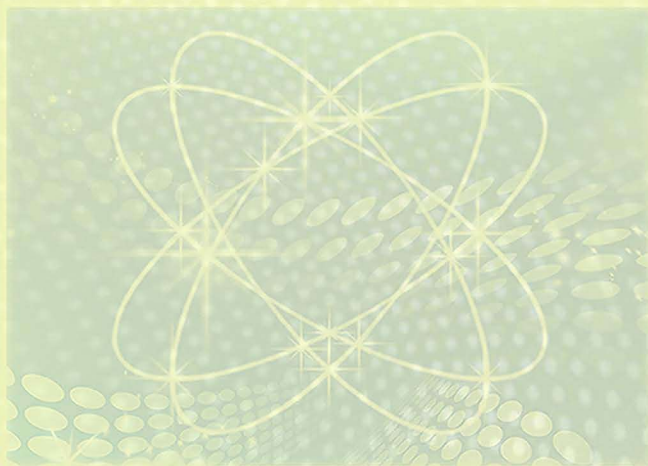


数字测图

主编 明东权



武汉大学出版社

高职高专测绘类专业“十二五”规划教材·规范版
教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会组编材

数 字 测 图

主 编 明东权
副主编 成晓芳 师军良

武 汉 大 学 出 版 社

序

武汉大学出版社根据高职高专测绘类专业人才培养工作的需要,于2011年和教育部高等教育高职高专测绘类专业教学指导委员会合作,组织了一批富有测绘教学经验的骨干教师,结合目前教育部高职高专测绘类专业教学指导委员会研制的“高职测绘类专业规范”对人才培养的要求及课程设置,编写了一套《高职高专测绘类专业“十二五”规划教材·规范版》。该套教材的出版,顺应了全国测绘类高职高专人才培养工作迅速发展的要求,更好地满足了测绘类高职高专人才培养的需求,支持了测绘类专业教学建设和改革。

当今时代,社会信息化的不断进步和发展,人们对地球空间位置及其属性信息的需求不断增加,社会经济、政治、文化、环境及军事等众多方面,要求提供精度满足需要,实时性更好、范围更大、形式更多、质量更好的测绘产品。而测绘技术、计算机信息技术和现代通信技术等多种技术集成,对地理空间位置及其属性信息的采集、处理、管理、更新、共享和应用等方面提供了更系统的技术,形成了现代信息化测绘技术。测绘科学技术的迅速发展,促使测绘生产流程发生了革命性的变化,多样化测绘成果和产品正不断努力满足多方面需求。特别是在保持传统成果和产品的特性的同时,伴随信息技术的发展,已经出现并逐步展开应用的虚拟可视化成果和产品又极好地扩大了应用面。提供对信息化测绘技术支持的测绘科学已逐渐发展成为地球空间信息学。

伴随着测绘科技的发展进步,测绘生产单位从内部管理机构、生产部门及岗位设置,进而相关的职责也发生着深刻变化。测绘从向专业部门的服务逐渐扩大到面对社会公众的服务,特别是个人社会测绘服务的需求使对测绘成果和产品的需求成为海量需求。面对这样的形势,需要培养数量充足,有足够的理论支持,系统掌握测绘生产、经营和管理能力的应用性高职人才。在这样的需求背景推动下,高等职业教育测绘类专业人才培养得到了蓬勃发展,成为了占据高等教育半壁江山的高等职业教育中一道亮丽的风景。

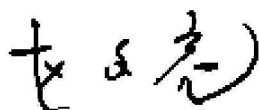
高职高专测绘类专业的广大教师积极努力,在高职高专测绘类人才培养探索中,不断推进专业教学改革和建设,办学规模和专业点的分布也得到了长足的发展。在人才培养过程中,结合测绘工程项目实际,加强测绘技能训练,突出测绘工作过程系统化,强化系统化测绘职业能力的构建,取得很多测绘类高职人才培养的经验。

测绘类专业人才培养的外在规模和内涵发展,要求提供更多更好的教学基础资源,教材是教学中的最基本的需要。因此面对“十二五”期间及今后一段时间的测绘类高职人才培养的需求,武汉大学出版社将继续组织好系列教材的编写和出版。教材编写中要不断将测绘新科技和高职人才培养的新成果融入教材,既要体现高职高专人才培养的类型层次特征,也要体现测绘类专业的特征,注意整体性和系统性,贯穿系统化知识,构建较好满足现实要求的系统化职业能力及发展为目标;体现测绘学科和测绘技术的新发展、测绘管理

与生产组织及相关岗位的新要求；体现职业性，突出系统工作过程，注意测绘项目工程和生产中与相关学科技术之间的交叉与融合；体现最新的教学思想和高职人才培养的特色，在传统的教材基础上勇于创新，按照课程改革建设的教学要求，让教材适应于按照“项目教学”及实训的教学组织，突出过程和能力培养，具有较好的创新意识。要让教材适合高职高专测绘类专业教学使用，也可提供给相关专业技术人员学习参考，在培养高端技能应用性测绘职业人才等方面发挥积极作用，为进一步推动高职高专测绘类专业的教学资源建设，作出新贡献。

按照教育部的统一部署，教育部高等教育高职高专测绘类专业教学指导委员会已经完成使命，停止工作，但测绘地理信息职业教育教学指导委员会将继续支持教材编写、出版和使用。

教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会副主任委员



二〇一三年一月十七日

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成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，已成为信息时代不可缺少的地理信息系统的重要组成部分。

为了提高高职高专工程测量技术专业学生的动手能力，满足测绘行业对生产一线高技能人才的需要，根据多年来的教学研究与工程实践经验，我们采用“项目导向”和“基于工作过程”的思路模式，编写了这本融理论教学和实践技能训练于一体的教材。

本书由江西应用技术职业学院明东权主编。全书共 5 章，第 1 章由江西应用技术职业学院明东权编写，第 2 章中的野外数据采集和数据传输由黄河水利职业技术学院师军良编写，第 2 章中的内业数字成图由武汉电力职业技术学院成晓芳编写，第 3 章由黄河水利职业技术学院张丹编写，第 4 章由江西环境工程职业学院王炎与赣州赣南测绘院邹绍良合作编写，第 5 章由江西应用技术职业学院金国钢、明东权与赣州市城市规划勘测设计研究院陈元增合作编写。

本书由教育部测绘地理信息职业教育教学指导委员会组织编写并审定大纲，我们对参加审定的专家表示感谢。

本书在编写过程中，参阅了大量文献，并引用了其中的一些资料，在此谨向有关作者及单位表示感谢！

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

2013 年 4 月

目 录

第 1 章 数字测图概述	1
1.1 数字测图概念	1
1.2 数字测图系统	3
1.3 数字测图特点	6
1.4 数字测图的作业过程	8
1.5 数字测图的作业模式	10
1.6 数字测图的发展应用	12
习题和思考题	14
第 2 章 数字地形图测绘	15
2.1 野外数据采集	15
2.2 数据传输	36
2.3 内业数字成图	42
习题和思考题	79
实训 1 全站仪的操作及野外数据采集	79
实训 2 GPS-RTK 的操作及野外数据采集	81
实训 3 ×××城镇 1: 500 数字地形图测绘内业成图	82
实训 4 ×××工业园 1: 1000 数字地形图测绘内业成图	82
第 3 章 其他数字测图方法	84
3.1 地形图扫描数字化	84
3.2 航空摄影测量数字成图	106
3.3 遥感数字成图	110
习题和思考题	114
实训 5 ×××矿区 1: 1 万地形图扫描数字化	114
第 4 章 数字图的工程应用	115
4.1 基本几何要素的查询	115
4.2 土方工程量的计算	117

4.3 工程断面图的绘制	133
4.4 其他工程应用	136
习题和思考题.....	144
实训6 XXX工程土方工程量计算	144
 第5章 数字测图项目工程与综合实训.....	146
5.1 数字测图项目工程	146
5.2 数字测图综合实训	175
 参考文献.....	177

第 1 章 数字测图概述

【教学目标】

通过本章学习，要求掌握数字测图概念和数字测图系统，掌握数字测图的特点、作业过程和作业模式，了解数字测图的发展应用。

1.1 数字测图概念

1.1.1 数字测图的定义

电子技术、计算机技术、通信技术的迅猛发展，使人类进入了一个全新的时代——信息时代。数字技术作为信息时代的平台，是实现信息采集、存储、处理、传输和再现的关键。数字技术也对测绘科学产生了深刻的影响，改变了传统的地形测图方法，使测图领域发生了革命性的变化，从而产生了一种全新的地形测图技术——数字测图。

利用全站仪、GPS-RTK 接收机等测量仪器进行野外数据采集，或利用纸质图扫描数字化及利用航测像片、遥感影像数字化进行室内数据采集，并把采集到的地形数据传输到计算机，由数字成图软件进行数据处理，形成数字地形图的过程，称为数字测图。

广义的数字测图包括全野外数字测图、地形图扫描数字化、航空摄影测量数字成图和遥感数字成图。狭义的数字测图指全野外数字测图。

1.1.2 数字测图的基本思想

传统的地形测图实质上是将用光学测量仪器获得的观测值用图解的方法转化为图形。这一转化过程主要在野外实现，即使原图的室内整饰也要求在测区驻地完成，因此劳动强度较大；同时这个转化过程将使测得的数据所达到的精度大幅度降低。特别是在信息剧增、建设日新月异的今天，一纸之图已难以承载诸多图形信息，变更、修改也极不方便，实在难以适应当前经济建设的需要。

数字测图就是要实现丰富的地形信息和地理信息数字化及作业过程的自动化，尽可能缩短野外测图时间，减轻野外劳动强度，而将大部分作业内容安排到室内去完成。与此同时，将大量手工作业转化为电子计算机控制下的机助操作，这样不仅能减轻劳动强度，而且不会降低观测精度。

数字测图的基本思想是将地面上的地形和地理要素(或称模拟量)转换为数字量，然后由电子计算机对其进行处理，得到内容丰富的电子地图，需要时由图形输出设备(如显示器、绘图仪)输出地形图或各种专题图图形。

1.1.3 数字测图的采集信息

一切地图图形都可以分解为点、线、面三种图形要素。点是最基本的图形要素，这是因为一组有序的点可连成线，而线可以构成面。但要准确地表示地图图形上点、线、面的具体内容，还要借助于一些特殊符号、注记来表示。独立地物可以由定位点及其符号表示，线状地物、面状地物由各种线划、符号或注记表示，等高线由高程值表达其意义。

测量的基本工作是测定点位。传统方法是用仪器测量水平角、竖直角及距离来确定点位，然后绘图员按照角度与距离将点展绘到图纸上。跑尺员根据实际地形向绘图员报告测的是什么点(如房角点)，这个(房角)点应该与哪个(房角)点连接等，绘图员则当场依据展绘的点位按图式符号将地物(房屋)描绘出来。通过这样一点一点地测与绘，一幅地形图就生成了。

数字测图是经过计算机软件自动处理(自动计算、自动识别、自动连接、自动调用图式符号等)，自动绘出所测的地形图。因此，数字测图必须采集绘图信息。

数字测图采集的绘图信息包括点的定位信息、连接信息和属性信息。

定位信息也称点位信息，是利用仪器在外业测量中测得的，最终以 X 、 Y 、 $Z(H)$ 表示的三维坐标。点号在测图系统中是唯一的，根据它可以提取点位坐标。连接信息是指测点的连接关系，它包括连接点号和连接线型，据此可将相关的点连接成一个地物。上述两种信息皆称为图形信息，又称为几何信息。利用这些几何信息可以绘制房屋、道路、河流、地类界、等高线等图形。

属性信息又称为非几何信息，包括定性信息和定量信息。属性的定性信息用来描述地图图形要素的分类或对地图图形要素进行标名，一般用拟定的特征码(或称地形编码)和文字表示。有了特征码就知道它是什么点，对应的图式是什么。属性的定量信息是说明地图要素的性质、特征或强度的，例如面积、楼层、人口、产量、流速等，一般用数字表示。

野外测量时，知道测的是什麼，是房屋还是道路等，当场记下该测点的编码和连接信息。显示成图时，利用测图系统中的图式符号库，只要知道编码，就可以从库中调出与该编码对应的图式符号成图。也就是说，如果测得点位，又知道该测点应与哪个测点相连，还知道它们对应的图式符号，那么就可以将所测的地形图绘出来了。这一少而精、简而明的测绘系统工作原理，正是由系统编码、图式符号连接信息一一对应的设计原则所实现的。

1.1.4 数字测图的数据格式

地图图形要素按照数据获取和成图方法的不同，可区分为矢量数据和栅格数据两种数据格式。矢量数据采用定位信息(x , y)的有序集合来描述点、线、面三种基本类型的图形元素，并结合属性信息实现地形元素的表述；栅格数据是将整个绘图区域划分成一系列大小一致的栅格，形成栅格数据矩阵，按照地理实体是否通过或包含某个栅格，使其以不同的灰度值表示，从而形成不同的图像。由野外直接采集、解析测图仪或数字化仪采集的数据是矢量数据，由扫描仪扫描或遥感所获影像的数据是栅格数据。

矢量数据结构是人们最熟悉的图形数据结构，从测定地形特征点位置到线划地形图中各类地物的表示以及各类数字图的工程应用基本上都使用矢量格式数字图，而栅格格式的数字图，存在不能编辑修改、不便于工程量算、放大输出时图形不美观等问题，而且一般情况下，同样大小的区域，栅格格式成果质量难以保证，因此数字测图通常采用矢量数据格式。若采集的是数据是栅格数据，必须将其轮换为矢量数据；而且，由计算机输出的矢量图形不仅美观，而且更新方便，应用非常广泛。

1.2 数字测图系统

1.2.1 数字测图系统的定义

数字测图是通过数字测图系统来实现的。数字测图系统是以计算机为核心，在输入、输出设备硬件和软件的支持下，对地形空间数据进行采集、处理、绘图和管理的测绘系统。

1.2.2 数字测图系统的组成

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

1. 数字测图系统的硬件

数字测图系统的硬件主要有两大类：测绘仪器硬件和计算机硬件。前者指用于外业数据采集的各种测绘仪器，如全站仪、GPS-RTK 接收机等；后者包括用于内业处理的计算机及其外设，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质地形图的绘图仪。另外，实现外业记录和内、外业数据传输的电子手簿则可能是测绘仪器的一个部分，也可能是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及其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。

计算机硬件由中央处理器(CPU)、内存储器、输入设备、输出设备、总线等几部分组成，每一部件分别按要求执行特定的基本功能。

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。掌上电脑(PDA)是新发展起来的一种性能优越的随身电脑，它的便携带、长待机、笔式输入、图形显示等特点，有效解决了数字测图野外数据采集中的诸多问题。

2) 全站仪

全站仪是全站型电子速测仪的简称，是随着电子技术、光电测距技术以及计算机技术的发展而产生的智能测量仪器，它由光电测距仪、电子经纬仪和微处理器组成。

全站仪能同时进行角度测量和距离测量。角度测量能同时观测水平角和竖直角，距离测量能同时观测斜距、平距和高差。角度测量采用电子测角原理，距离测量采用光电测量技术。全站仪同时具备自检与改正、大容量内存、双向传输功能等特性，并在内存中存储了一些测量计算程序，可实时完成有关计算和实施一些常用或特殊的测量工作。

全站仪的详细介绍和操作使用在后续内容中讲述。

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，就是以一個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，栅格方式的数字化结果的基本形式是以栅格矩阵的形式出现的。

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。

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，尽管能得到的数字地形图，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(Global Positioning System) 即全球定位系统，是由美国建立的一个卫星导航定位系统。利用该系统，用户可以在全球范围内全天候、连续、实时地三维导航定位和测速，可以进行高精度的时间传递和高精度的精密定位。GPS 主要由空间部分(GPS 卫星星座)、地面控制部分(地面监控系统)、用户设备部分(GPS 信号接收机) 三部分组成。

GPS 卫星发射测距信号和导航电文，导航电文中含有卫星的位置信息。用户用 GPS 接收机在某一时刻同时接收 3 颗以上的 GPS 卫星信号，测量出测站点(GPS 接收机天线中心) 到 GPS 卫星的距离并解算出该时刻 GPS 卫星的空间坐标，据此利用距离交会法解算出地面点的三维坐标。

实时动态(RTK) 测量技术，是以载波相位测量为根据的实时差分测量技术，是 GPS

测量技术发展中的一个新突破。它是将一台 GPS 接收机安置在基准站上,对所有可见的 GPS 卫星进行连续观测,并将其观测数据通过无线电传输设备,实时地发送给用户观测站。用户接收机在进行 GPS 观测的同时,实时地计算并显示用户站的三维坐标及其精度。RTK 测量系统为 GPS 测量工作的可靠性和高效率提供了保障,使 GPS 在测绘行业的应用更加广阔。

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,记录观测数据并做必要处理,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。

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,也可以是用掌上电脑(PDA)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。

2. 数字测图系统的软件

从一般意义上讲,数字测图系统中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 XP)、支撑软件(如计算机辅助设计 AutoCAD)和实现数字化成图功能的应用软件(如南方测绘的 CASS 成图软件)。

数字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成图软件主要有如下几种:

- (1) 广州南方测绘公司的“南方 CASS 数字化地形地籍成图系统”。
- (2) 北京清华山维公司的“EpsW 全息测绘系统”。
- (3) 武汉瑞得信息工程公司的“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”。

3. 数字测图系统的人员与数据

数字测图系统人员是指参与完成数字测图任务的所有工作与管理人员。数字测图对人员提出了较高的技术要求,他们应该是既掌握现代测绘技术又具有一定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,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。

1.3 数字测图特点

从应用角度来看,数字测图技术与传统测图技术相比较,具有以下几个方面的特点:

1.3.1 过程的自动化

传统测图方式主要是手工作业,外业测量人工记录,人工绘制地形图,为用图人员提供晒蓝图纸。数字测图则是野外测量自动记录、自动计算处理、自动成图、自动绘图,并向用图者提供可处理的数字地图,实现了测图过程的自动化。数字测图具有效率高,劳动强度小,错误(读错、记错、展错)概率小,所绘地形图精确、美观、规范等特点。地面数字测图的外业工作和白纸测图工作相比,具有以下一些特点:

(1) 白纸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。地面数字测图在野外完成观测,记录观测值是点的坐标和信息码。不需要手工绘制地形图,这是地形测量的自动化程度得到明显的提高。

(2) 白纸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 1 cm 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可以放长。

(4) 白纸测图是以图板,即一幅图为单元组织施测。这种规则地划分测图单元的方法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,也减少了很多白纸测图的接边问题。

(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。在白纸测图中,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是直接通过测量计算的坐标点来完成的,因此数字测图的立尺位置选择更为重要。

(6) 数字测图突破了“图”的概念,而突出“数”的概念。在数字化测图过程中,不受平板仪测量中某些传统观念的约束。例如,方格网在平板仪测量时是一切点位的基础,而在数字测图中,任何点位都是与方格网无关的,可以根本不需展绘方格网,展绘了也只是一般的符号,仅供使用者使用。又如测定碎部点时,有些方法(如对称点法和导线法)在图解测图时是不能引用的,但在数字化测图中却可广泛使用而提高工作效率。另外,由于

数字测图系统中提供了很强的图形编辑功能,在测绘一些规划规则的住宅小区时,虽然多栋房屋采用了同一设计图纸,白纸测图时也需要逐栋详细测绘,而利用数字测图时,只需详细测绘其中一栋房屋,其他房屋只需精确测定 1~2 个定位点,在编辑成图时将详细测绘的房屋拷贝到各栋房屋的定位点上即可。

1.3.2 产品的数字化

传统白纸测图的主要产品是纸质地形图,而数字测图的主要产品是数字地图。数字地图具有以下主要优点:

(1) 便于成果更新。数字测图的成果是以点的定位信息和属性信息存入计算机,当实地有变化时,只需输入变化信息的坐标、代码,经过编辑处理,很快便可以得到更新的图,从而可以确保地面的可靠性和现势性,数字测图可谓“一劳永逸”。

(2) 避免因图纸伸缩产生的各种误差。表示在图纸上的地图信息随着时间的推移,会因图纸的变形而产生误差。数字测图的成果以数字信息保存,避免了对图纸的依赖性。

(3) 便于传输和处理,并可供多个用户同时使用。计算机与显示器、打印机联机时,可以显示或打印各种需要的资料信息,如用打印机可打印数据表格,当对绘图精度要求不高时,可用打印机打印图形。计算机与绘图仪联机,可以绘制出各种比例尺的地形图、专题图,以满足不同用户的需要。

(4) 方便成果的深加工利用。数字测图分层存放,可使地面信息无限存放(这是模拟图无法比拟的优点),不受图面负载量的限制,从而便于成果的深加工利用,拓宽测绘工作的服务面,开拓市场。比如 CASS 软件中共定义 26 个层(用户还可根据需求定义新层),房屋、电力线、铁路、植被、道路、水系、地貌等均存于不同的层中,通过关闭层、打开层等操作来提取相关信息,便可方便地得到所需的测区内各类专题图、综合图,如路网图、电网图、管线图、地形图等。又如在数字地籍图的基础上,可以综合相关内容,补充加工成不同用户所需要的城市规划用图、城市建设用图、房地产图以及各种管理用图和工程用图。

(5) 便于建立地图数据库和地理信息系统(GIS)。地理信息系统(GIS)具有方便的空间信息查询检索功能、空间分析功能以及辅助决策功能,这些功能在国民经济、办公自动化及人们日常生活中都有着广泛的应用。然而,要建立一个 GIS,花在数据采集上的时间和精力约占整个工作的 80%。GIS 要发挥辅助决策的功能,需要现势性强的地理信息资料。数字测图能提供现势性强的地理基础信息,经过一定的格式转换,其成果即可直接进入 GIS 的数据库,并更新 GIS 的数据库。一个好的数字测图系统应该是 GIS 的一个子系统。

(6) 便于成果的使用。数字测图成果可以方便地传输到 AutoCAD 等软件设计系统中,能自动提取点位坐标、线段长度、直线方位和地块面积等有关信息,以便工程设计部门进行计算机辅助设计。

总之,数字地图从本质上打破了纸质地形图的种种局限,赋予地形图以新的生命力,提高了地形图的自身价值,扩大了地形图的应用范围,改变了地形图使用的方式。

1.3.3 成果的高精度

众所周知,白纸测图是模拟测图方法,其比例尺精度决定了图的最高精度,无论所采用的测量仪器精度多高,测量方法多精确,都无济于事。例如 1: 1 000 的地形图,比例尺精度以图上 0.1mm 计,则最好的精度也只能达到 10cm,图经过蓝晒、搁置,到用户手里,用图的误差就更大了。若再考虑测量方法的误差,一般也可达到图上 0.3mm 左右。总体上讲,白纸测图还适应当时的仪器发展和测量科技水平,如对 1: 1 000 的图采用视距测量,视距精度就是 20 ~ 30cm,与比例尺精度大致匹配。如测图比例尺再小,则视距读数的精度还可以放宽。而对 1: 500 的图,在精度要求较高的地方,如房屋建筑等,视距的精度就不够,要用钢尺或皮尺量距,用坐标展点。普及红外测距仪以后,测距精度大大提高,为厘米级精度,而白纸测图的成果——模拟图或称图解地形图,却体现不出仪器测量精度的提高,而是被图解地形图的比例尺精度限制住了;若采用全站仪(全站型电子速测仪)测量,仍使用白纸测图方式测图,则更是极大的浪费。

数字测图则不然,全站仪测量的数据作为电子信息,可自动传输、记录、存储、处理、成图、绘图。在这全过程中,原始测量数据的精度毫无损失,从而获得高精度(与仪器测量同精度)的测量成果。数字地形图最好地(无损地)体现了外业测量的高精度,也就是最好地体现了仪器发展更新、精度提高的高科技进步的价值。它不仅适应当今科技发展的需要,也适应现代社会科学管理的需要,如地籍测量、管网测量、房产测量等,既保证了高精度,又提供了数字化信息,可以满足建立各专业管理信息系统的需要。

1.4 数字测图的作业过程

数字测图的作业过程与使用的设备和软件、数据源及图形输出的目的有关。但不论是测绘地形图,还是制作种类繁多的专题图、行业管理用图,只要是测绘数字图,都必须包括数据采集、数据处理和成果输出三个基本阶段。数字测图的作业过程如图 1.1 所示。

1.4.1 数据采集

地形图、航测像片、遥感影像、图形数据、野外测量数据及地理调查资料等,都可以作为数字测图的信息源。数据资料可以通过键盘或转储的方法输入计算机;图形和图像资料一定要通过图数转换装置转换成计算机能够识别和处理的数据。

数字测图数据采集可通过全站仪数据采集、GPS-RTK 接收机数据采集、原图数字化、航测像片数据采集、遥感影像数据采集等方法实现。

1.4.2 数据处理

实际上,数字测图的全过程都是在进行数据处理,但这里讲的数据处理阶段是指在数据采集以后到图形输出之前对图形数据的各种处理。数据处理主要包括数据传输、数据预处理、数据转换、数据计算、图形生成、图形编辑与整饰、图形信息的管理与应用等。数据预处理包括坐标变换、各种数据资料的匹配、图形比例尺的统一、不同结构数据的转换

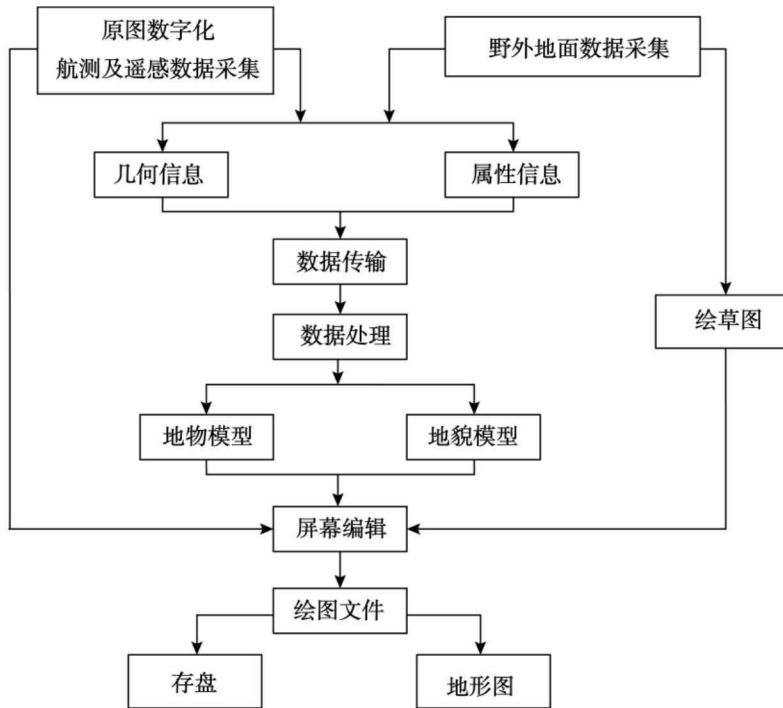


图 1.1 数字测图的作业过程

等。数据转换内容很多，如将野外采集到的带简码的数据文件或无码数据文件转换为带绘图编码的数据文件，供自动绘图使用；将 AutoCAD 的图形数据文件转换为 GIS 的交换文件。数据计算主要是针对地貌关系的。当数据输入到计算机后，为建立数字地面模型绘制等高线，需要进行插值模型建立、插值计算、等高线光滑处理三个过程的工作。在计算过程中，需要给计算机输入必要的参数，如插值等高距、光滑的拟合步距等。必要时需对插值模型进行修改，其余的工作都由计算机自动完成。数据计算还包括对房屋类呈直角拐弯的地物进行误差调整，消除非直角化误差等。

经过数据处理后，可产生平面图形数据文件和数字地面模型文件。要想得到一幅规范的地形图，还要对数据处理后生成的“原始”图形进行修改、编辑、整理；还需要加上汉字注记、高程注记，并填充各种面状地物符号；还要进行测区图形拼接、图形分幅和图廓整饰等。数据处理还包括对图形信息的全息保存、管理与使用等。

数据处理是数字测图的关键阶段。在数据处理时，既有对图形数据进行交互处理，也有批处理。数字测图系统的优劣取决于数据处理的功能。

1.4.3 成果输出

经过数据处理以后，即可得到数字地图，也就是形成一个图形文件，由磁盘或磁带做永久性保存。也可以将数字地图转换成地理信息系统所需要的图形格式，用于建立和更新 GIS 图形数据库。输出图形是数字测图的主要目的，通过对层的控制，可以编制和输出各

种专题地图(包括平面图、地籍图、地形图、管网图、带状图、规划图等),以满足不同用户的需要。可采用矢量绘图仪、栅格绘图仪、图形显示器、缩微系统等绘制或显示地形图图形。为了使用方便,往往需要用绘图仪或打印机将图形或数据资料输出。在用绘图仪输出图形时,还可按层来控制线划的粗细或颜色,绘制美观、实用的图形。如果以生产出版原图为目的,可采用带有光学绘图头或刻针(刀)的平台矢量绘图仪,它们可以产生带有线划、符号和文字等高质量的地图图形。

1.5 数字测图的作业模式

由于使用的硬件设备不同、软件设计者的思路不同,数字测图有不同的作业模式。就目前数字测图而言,可区分为五种不同的作业模式:数字测记模式(简称测记式)、电子平板测绘模式(简称电子平板)、原图数字化模式、航测像片数字化模式和遥感影像数字化模式。

1.5.1 数字测记模式

数字测记模式是一种野外数据采集、室内成图的作业方法。根据野外数据采集硬件设备的不同,可将其进一步分为全站仪数字测记模式和 GPS-RTK 数字测记模式。

全站仪数字测记模式是目前最常见的测记式数字测图作业模式,为大多数软件所支持。该模式是用全站仪实地测定地形点的三维坐标,并用内存储器(或电子手簿)自动记录观测数据,然后将采集的数据传输给计算机,由人工编辑成图或自动成图。采用全站仪时,由于测站和镜站的距离可能较远(1km 以上),测站上很难看到所测点的属性和与其他点的连接关系,通常使用对讲机保持测站与镜站之间的联系,以保证测点编码(简码)输入的正确性,或者在镜站手工绘制草图,并记录测点属性、点号及其连接关系,供内业绘图使用。

GPS-RTK 数字测记模式是采用 GPS 实时动态定位技术,实地测定地形点的三维坐标,并自动记录定位信息。采集数据的同时,在移动站输入编码、绘制草图或记录绘图信息,供内业绘图使用。目前,移动站的设备已高度集成,接收机、天线、电池与对中杆集于一体,重量仅几千克,使用和携带很方便。使用 GPS-RTK 采集数据的最大优势是不需要测站和碎部点之间通视,只要接收机与空中 GPS 卫星通视即可,且移动站与基准站的距离在 20km 以内可达厘米级的精度(如果采用网络传输数据则不受距离的限制)。实践证明,在非居民区、地表植被较矮小或稀疏区域的地形测量中,用 GPS-RTK 比全站仪采集数据效率更高。

1.5.2 电子平板测绘模式

电子平板测绘模式就是“全站仪+便携机+相应测绘软件”实施的外业测图模式。这种模式用便携机(笔记本电脑)的屏幕模拟测板在野外直接测图,即把全站仪测定的碎部点实时地展绘在便携机屏幕上,用软件的绘图功能边测边绘。这种模式在现场就可以完成绝大多数测图工作,实现数据采集、数据处理、图形编辑现场同步完成,外业即测即所