

SHUZICITU JISHU YINGYONG JIAOCHENG

21 世纪测绘学科高职高专精品规划教材



数字测图技术 应用教程

主编 纪勇



黄河水利出版社

21 世纪测绘学科高职高专精品规划教材

数字测图技术应用教程

主 编 纪 勇

副主编 郝亚东 彭维吉

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是按照高等职业技术学院的教学要求,以培养学生技术应用能力为主线,侧重基本理论和基本方法的阐述,加强学生动手能力的培养,以“必需、够用”为度,贴近生产实际,通过与生产科研单位的专家合作而编写的一本内容全面、技术先进、符合高等职业技术教育改革方向的专业基础课教材。全书共分8章,以大比例尺地面数字测图和地图数字化为主线,介绍了数字测图系统、计算机地图制图基础、地形图数字化、数字地形图应用以及以全站仪、GPS-RTK进行野外数据采集为主要手段的数字测图原理和方法,同时简要介绍了多种数字测图软件的应用。

本书可作为高职高专院校测绘工程、水利水电工程、道路与桥梁工程、水文水资源、工业与民用建筑等专业的数字测图学习教材,也可作为上述专业的函授大专生及自学者学习教材,同时亦可供从事测绘工作的技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字测图技术应用教程/纪勇主编. —郑州:黄河水利出版社,2008.1
21世纪测绘学科高职高专精品规划教材
ISBN 978-7-80734-330-1

I. 数… II. 纪… III. 数字化制图-高等学校:技术学校-教材 IV. P283.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第012481号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路11号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:16

字数:369千字

印数:1—4 100

版次:2008年1月第1版

印次:2008年1月第1次印刷

定价:26.00元

前 言

根据高等职业技术学院的教学要求,以培养技术应用能力为主线,设计学生的知识、能力、素质结构和培养方案,并根据测绘学科的发展状况,对本书的编写原则、选材的范围及深度和广度、学时要求等问题进行了深入探讨,在广泛调研和征求各参编人员意见的基础上,本着科学、实用、先进的编写指导思想,注重高等职业技术教育的特色,侧重基本理论和基本方法的阐述,加强动手能力培养等,制定了《数字测图技术应用教程》的编写大纲。大纲要求理论教学以“必需、够用”为度,专业知识教学加强针对性和实用性,教材内容力求做到简明扼要、深入浅出,贴近生产实际,因此编者主动与生产科研单位的专家郝亚东、彭维吉等合作,力争编写出一本内容全面、技术先进、符合高等职业技术教育改革方向的专业基础课教材。《数字测图技术应用教程》在新知识、新技术、新设备、新规范的应用方面特色更加明显,力求将案例、技术规范和教材融合。其主要特点有:

(1)与生产科研单位的专家合作编写教材。这里的合作不是简单的协商、挂名,而是从专业计划制定,到课程大纲编写,最后到教材内容整合,甚至参编人员的确定、编写章节的分工等环节都进行了讨论,并有专家把关。在整个教材编写出版过程中充分体现了主编承担主要内容编写、严把教材质量关的特点。

(2)突出新知识、新技术、新设备、新规范的应用。在教材内容选材方面,打破传统的知识结构,贯彻理论知识以“必需、够用”为原则,重点突出新知识、新技术、新设备、新规范的应用,突出了高职高专以能力培养为主线的特色。

(3)教材的编写是以阐述基本原理、基本方法和培养学生动手能力,突出实际应用为宗旨;教材内容以大比例尺地面数字测图内外业一体化的应用为主线,优化重组了知识结构。在反映新知识的基础上,突出了能力培养和技能训练的职业教育特点。学生通过本课程的学习,能完成数字测图的实际工作,并能解决在工作中出现的实际技术问题。

本书每章后都附有思考题与习题,这样既便于教师组织教学,又便于学生自学。

本书由纪勇、郝亚东、彭维吉、朱曙光、师军良、张丹和李孝雁共同编写。其中第一章、第八章第一节由纪勇编写;第二章由张丹编写;第三章、第六章、第五章第六、七节和第八章第三节由彭维吉编写;第四章由师军良编写;第五章第一、二、三、四、五节由朱曙光编写;第七章由郝亚东编写;第八章第二、四节由李孝雁编写。全书由纪勇、郝亚东、彭维吉共同统稿。

作者在编写过程中,参阅了大量的文献,引用了同类书刊的部分资料,在此,谨向有关作者表示谢意!同时对黄河水利出版社为本书的出版所做的辛勤工作和劳动表示衷心感谢!

由于作者水平有限,在本书编写过程中,虽然做了很大努力,但书中仍会有错漏及不妥之处,诚请广大读者批评指正(交流方式 E-mail:jiyong126@126.com)。

编 者

2007 年 9 月

目 录

前 言

第一章 数字测图概述	(1)
第一节 基本概念	(1)
第二节 数字测图的基本特点	(7)
第三节 数字测图的发展与展望	(9)
第四节 本课程的学习要求	(12)
思考题与习题	(13)
第二章 数字测图系统及作业模式	(14)
第一节 数字测图系统介绍	(14)
第二节 数字测图的作业模式	(35)
思考题与习题	(41)
第三章 数字测图的准备工作	(42)
第一节 外业工作前的准备	(42)
第二节 大比例尺测图技术设计书的编写	(49)
思考题与习题	(55)
第四章 数字测图外业	(56)
第一节 图根控制	(56)
第二节 导线平差计算	(61)
第三节 碎部点数据采集	(65)
第四节 全站仪坐标数据采集	(74)
第五节 RTK 坐标数据采集	(77)
第六节 野外数据编码方法	(81)
思考题与习题	(85)
第五章 数字测图内业	(86)
第一节 数据传输	(86)
第二节 数据处理	(89)
第三节 扫描矢量化数据采集	(93)
第四节 数字地形图绘制	(100)
第五节 数字地籍图的绘制	(114)
第六节 数字地图与 GIS	(130)
第七节 数字地图产品的输出	(134)
思考题与习题	(138)

第六章 数字测图成果的检查验收	(139)
第一节 数字测图检查验收	(139)
第二节 数字测图产品质量评定	(153)
第三节 技术总结及提交资料	(155)
思考题与习题	(156)
第七章 数字地形图的应用	(158)
第一节 数字地形图在工程建设中的应用	(158)
第二节 数字地面模型及其应用	(173)
思考题与习题	(185)
第八章 其他数字测图应用软件介绍	(186)
第一节 清华山维测图软件	(186)
第二节 中翰数字成图软件 ZHMap	(203)
第三节 MicroStation 简介	(222)
第四节 MAPGIS 数字成图技术	(236)
思考题与习题	(246)
参考文献	(247)

第一章 数字测图概述

随着电子技术和计算机技术日新月异的发展及其在测绘领域的广泛应用,20 世纪 80 年代产生了电子速测仪、电子数据终端,并逐步地构成了野外数据采集系统,将其与内业机助制图系统结合,形成了一套从野外数据采集到内业制图全过程的、实现数字化和自动化的测量制图系统,人们通常称作数字化测图(简称数字测图)。广义的数字测图主要包括全野外数字测图(或称地面数字测图、内外一体化测图)、地图数字化成图、摄影测量和遥感数字测图。狭义的数字测图指全野外数字测图。本书主要介绍全野外数字测图技术。

第一节 基本概念

1 数字地形表达

1.1 地形表达的方法

人们在地球上生活并与地球有紧密的联系,很早以前人类就开始想方设法来了解我们生存的地球。地质学家研究地表结构;地质生态学家分析地表形态和地物形成的过程;建筑师在地表设计、构筑楼房;测绘工作者则对地形起伏进行各种测量,并用各种方式如地图和正射影像图等描述地形情况。尽管专业领域不同,研究的侧重点各异,但所有的工作者都希望能用一种既方便又准确的方法来表达实际地表现象。

绘图作为最古老的一种描述地表现象的方式,通过它能粗略地反映人们所见到的地形景观,但这些信息反映的主要是对象的形态和色彩特征,定量方面的描述则非常有限。另一种古老而有效并一直沿用至今的精确表达地表现象的方式是地图。地图是记录和传达关于自然界、社会和人文的位置与空间特性信息最卓越的工具之一。它对人类社会发展的作用如同语言和文字对社会发展的作用一样,具有不言而喻的重要性。与早期用半符号、半写景的方法来表示和描述地形的地图相比,现代地图实现了在各种二维介质平面上对实际的三维地形表面的表示和描述。由于现代地图是按照一定的数学法则,运用符号概括地将地面上各种自然和社会现象表示在平面上,因此现代地图具有早期地图无法比拟的优点,即现代地图具有可量测性。并且在各种地图中,常见的用来反映地貌形态的是地形图。在有等高线的地形图上,所有的地形信息都正交地投影在水平面上,用线划或符号表示成比例缩小后的地物,而地物高度和地形起伏的信息则有选择地用等高线进行表达。

与各种线划图形相比,影像无疑具有更大的优点,如细节丰富、成像快速、直观逼真等。航空摄影利用多张具有一定重叠度的像片,能重建实际地形的立体模型,并可以进行精确三维定位等,因而被广泛采用。20 世纪 60 年代初,遥感技术随着空间科学的发展而

兴起。70 年代美国地球资源卫星上天后,遥感技术获得了极为广泛的应用。在遥感技术中除了使用对可见光摄影的框幅式黑白摄影机外,还使用彩色或彩红外摄影机、全景摄影机、红外线扫描仪、雷达、CCD 推扫式扫描仪和矩阵数字摄影机等,它们能提供比原先黑白像片更丰富的影像信息。

20 世纪中叶后,伴随着计算机科学、现代数学和计算机图形学等的发展,各种数字的地形表达方式也得到迅猛的发展。电子计算机为自然科学的发展提供了进行严密计算和快速演绎的工具。计算机和计算机技术的广泛使用是当今信息时代的一个重要标志,其在测绘方面的应用使得测绘学科逐步向数字化与自动化、实时处理与多用途的方向发展。计算机技术在很大程度上改变了地图制图的生产方式,同时也改变着地图产品的样式和用图概念。借助于数字地形表达,现实世界的三维特征得到充分而真实的再现。

归纳起来数字地形表达的方式可以分为两大类,即数学描述和图像描述。使用傅立叶级数和多项式来描述地形是常用的数学描述方法。规则格网、不规则格网、等高线等则是图像描述的常用方式。

1.2 数字地面模型

模型是用来表现其他事物的一个对象或概念,是按比例缩减并转变到我们能够理解的形式的事物本体。一般说来,模型可以分为三种不同的层次,即概念模型、物质模型、数学模型。概念模型是基于个人的经验与知识在大脑中形成的关于状况或对象的模型,概念模型往往也形成了模拟的初级阶段。然而,如果事物非常复杂难以描述,则模拟也许只能停留在概念的形式上。物质模型通常是一个模拟的模型,如用橡胶、塑料或泥土制成的地形模型等。数学模型一般是基于数字系统的定量模型,根据问题的确定性和随机性数学模型又有函数模型和随机模型之分。

采用数学模型具有以下明显的优点:提供了理解现实世界和发现自然规律的工具;提供了考虑所有可能性、评价选择性和排除不可能的机会;帮助在其他领域推广或应用解决问题的结果;帮助明了思路,集中精力关注问题的重要方面;使问题的主要成分能被更好地观察,同时确保交流、减少模糊,并提供关于问题一致看法的机会。

测绘学从地形测绘的角度来研究数字地面模型,一般仅把基本地形图中的地形要素,特别是高程信息,作为数字地面模型的内容。测绘学家心目中的数字地面模型是新一代的地形图,地貌和地物不再用直观的等高线和图例符号在纸上表达,而是通过储存在磁性介质中的大量密集的地面点的空间坐标和地形属性编码,以数字的形式描述。其他非测绘应用的课题,通常根据各自的具体需要,将某些地形的特性信息与地形信息结合在一起,构成数字地面模型。

2 数字测图概念

2.1 数字测图的基本思想

传统的地形测图(白纸测图)实质上是将测得的观测值(数值)用图解的方法转化为图形。这一转化过程几乎都是在野外实现的,即使是原图的室内整饰一般也要在测区驻地完成,因此劳动强度较大;再则,这个转化过程将使测得的数据所达到的精度大幅度降低。特别是在当今信息量剧增,一纸之图已难以包含诸多图形信息;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或半自动化。它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在室内去完成。与此同时,将大量手工作业转化为计算机控制下的机械操作,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。将模拟量转换为数字这一过程通常称为数据采集。目前数据采集方法主要有野外地面数据采集法、航片数据采集法、原图数字化法等。数字测图的基本思想与过程如图 1-1 所示。数字测图就是通过采集有关的绘图信息并及时记录在数据终端(或直接传输给便携机),然后在室内通过数据接口将采集的数据传输给计算机,并由计算机对数据进行处理,再经过人机交互的屏幕编辑形成绘图数据文件,最后由计算机控制绘图仪自动绘制所需的地形图,最终由磁盘、光盘和硬盘等储存介质保存电子地图。数字测图生产成品虽然仍然以提供图解地形图为主,但是它以数字形式保存着地形模型及地理信息。

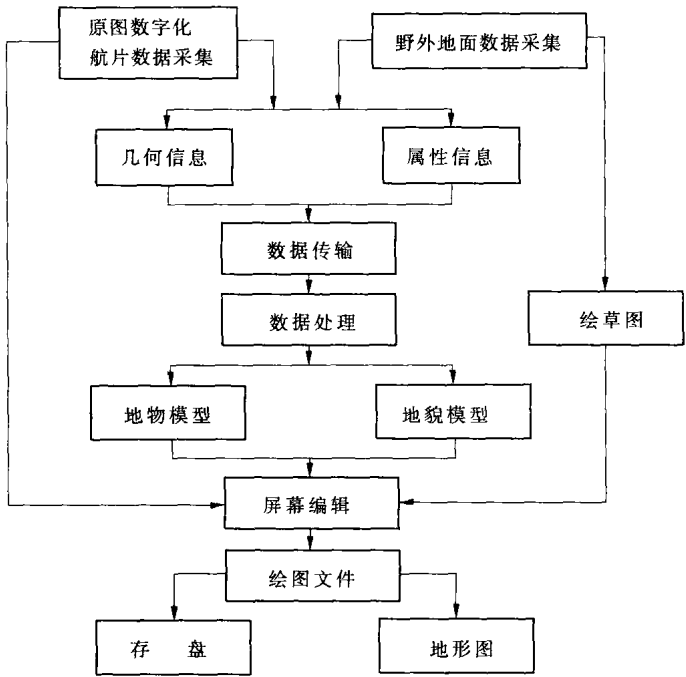


图 1-1 数字测图的基本思想与过程

2.2 地图图形的描述

测量的基本工作是测定点位。传统方法是用仪器测得点的三维坐标,或者通过测量水平角、竖直角及距离来确定点位,然后绘图员按坐标(或角度与距离)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哪个点(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描绘出来。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。就这样一点一点地测和绘,一幅地形图也就生成了。

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,数字测图时必须采集绘图信息,它包括点的定位信息、连接信息和属性信息。

定位信息亦称点位信息,是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。上述两种信息合称为图形信息,又称为几何信息。以此可以绘制房屋、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。

进行数字测图时不仅要测定地形点的位置(坐标),还要知道是什么点,是道路还是房屋,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。

2.3 地图图形的数据格式

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。矢量数据是图形的离散点坐标(X, Y)的有序集合;栅格数据是图形像元值按矩阵形式的集合。由野外测量仪器采集的数据、由解析测图仪获得的数据和手扶跟踪数字化仪采集的数据是矢量数据;由扫描仪和遥感获得的数据是栅格数据。矢量数据量与比例尺、地物密度有关。据估计,一幅1:1 000的一般密度的平面图只有几千个点的坐标对。而一幅地形图(50cm × 50cm)的栅格数据,随栅格单元(像元)的边长(一般 $\leq 0.02\text{mm}$)而不同,通常达上亿个像元点。故一幅地图图形的栅格数据量一般情况下比矢量数据量大得多。矢量数据结构是人们最熟悉的图形表达形式,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设计用图,都是利用矢量数据。计算机辅助设计(CAD)、图形处理及网络分析,也都是利用矢量数据和矢量算法。因此,数字测图通常采用矢量数据结构和画矢量图。若采集的数据是栅格数据,必须将其转换为矢量数据。由计算机控制输出的矢量图形不仅美观,而且更新方便,应用非常广泛。

3 数字测图系统概念

数字测图系统是以计算机为核心,在外连输入、输出设备硬件和软件的支持下,对地形空间数据进行采集、输入、成图、处理、绘图、输出、管理的测绘系统。数字测图系统主要由数据采集、数据处理和数据输出三部分组成,如图1-2所示。

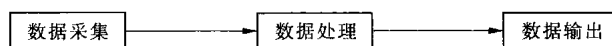


图1-2 数字测图系统的概念框图

3.1 数据采集

数据采集工作是数字测图的基础,它是通过全站仪测定地形特征点的平面位置和高程,将这些点位信息自动记录和存储在电子手簿中,再传输到计算机中,或直接将其记录到与全站仪相连的便携式计算机中。每一个地形特征点都有记录,包括点号、平面坐标、高程、属性编码和与其他点之间的连接关系等。属性编码指示了该点的性质,应根据规定的属性编码表在电子手簿或便携机上输入,因为计算机在进行数据处理时就是根据这些编码来区分不同的地图要素的;点与点之间的连接关系,标明了哪些点按何种连接顺序构成了一个有意义的实体,通常采用绘草图或在便携机上采用边测边绘的方式来确定。

在利用全站仪进行野外数据采集的过程中,既可以像常规测图那样,先进行图根控制测量,再进行碎部测量,也可以采取图根控制测量和碎部测量同时进行的方法,充分体现了数字测图数据采集过程的灵活性。由于全站仪具有很高的测量精度,一般在几百米的范围内测量误差均在 1cm 左右。因此,在通视良好、定向边较长的情况下,一个测站的测图范围可以比常规测图时大。野外数据采集的碎部测量方法仍以极坐标法为主,同时在有关软件的支持下,也可以灵活采用其他方法,如方向直线交会法、单交会法、正交内插法、导线法、对称点法和填充法等。

对于已有纸质地形图的情况,其数据采集可在室内通过数字化仪和扫描仪在相应地图数字化软件的支持下进行。数据采集的内容同样包括各地图要素的属性编码、各地形特征点的平面坐标和高程以及各地形特征点间的连接关系。需要指出的是,从图上进行数据采集时,各地物要素通常只须采集其平面位置,而不必采集其高程值,即使在需要获取高程值时,高程值也只作为属性数据进行输入。与野外数据采集方法不同,从图上进行数据采集时,点与点之间的连接关系非常明确,很容易进行采集和记录,通常只须按顺序记录构成各地图要素的特征点即可。

3.2 数据处理

数据处理是数字测图过程的中心环节,它直接影响最后输出地形图的质量和数字地图在数据库中的管理。数据处理是通过相应的计算机软件来完成的,主要包括地图符号库、地物要素绘制、等高线绘制、文字注记、图形编辑、图形显示、图形裁剪、图幅接边和地图整饰等功能。通过计算机软件进行数据处理,生成可进行绘图输出的图形文件。

3.3 绘图输出

绘图输出是数字测图的最后阶段,可在计算机控制下通过数控绘图仪绘制完整的纸质地形图。除此之外,还可根据需要绘制不同规格和不同形式的图件,如开窗输出、分层输出和变比例输出等。

围绕这三部分,由于硬件配置、工作方式、数据输入方法、输出成果内容的不同,可产生多种数字测图系统。目前,根据数据来源和采集方法的不同,数字测图系统主要分为以下三种。

3.3.1 野外数字测图系统

野外数字测图系统是利用全站式电子速测仪或 GPS 接收机在野外直接采集有关地形信息并将其传输到便携式计算机中,经过测图软件进行数据处理形成绘图数据文件,最后由数控绘图仪输出地形图。其基本构成如图 1-3 所示。

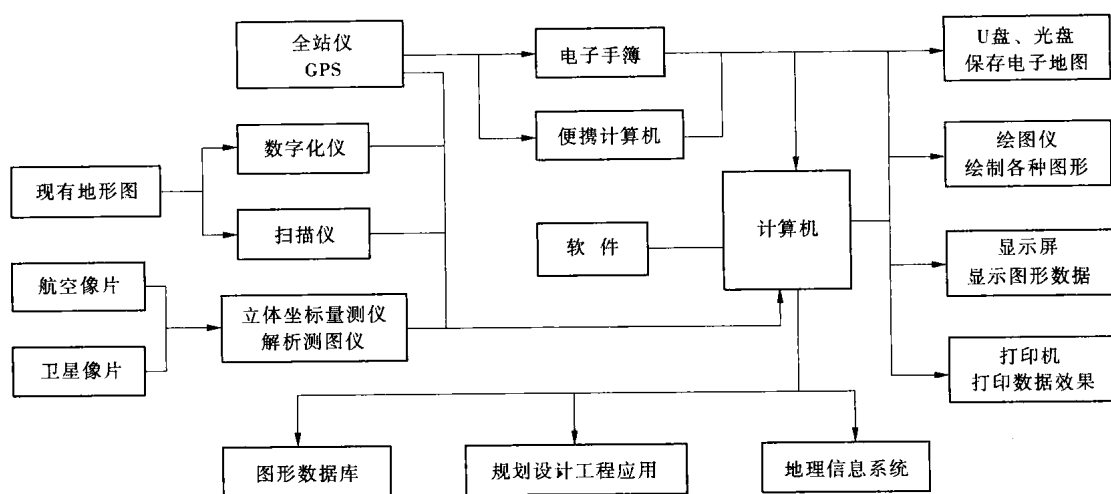


图 1-3 数字测图系统基本构成

这种数字测图方法是从野外实地采集数据的,又称地面数字测图。由于这种测图方法和过程与传统平板仪测图相类似,人们习惯上也称这种数字测图系统为电子平板。由于全站式电子速测仪具有较高的测量精度,这种测图方式又具方便灵活的特点,故一般适用于小范围、大比例尺测图的场合。目前我国 1:1 000 和 1:500 比例尺的数字测图主要采用这种方法,它普遍应用于城市地籍图的测绘工作中。随着我国国民经济的发展和城市化进程的加快,许多城市都在建立城市测绘信息系统和土地信息系统,在此过程中,一般都采用野外数字测图的方法作为地理信息的获取和更新手段,发挥了野外数字测图机动灵活的特点,局部测量、局部更新,始终保持地形图的现势性。

3.3.2 基于现有地形图的数字测图系统

我国目前已拥有大量各种比例尺的纸质地形图,这是十分宝贵的地理信息资源,通过地图数字化的方法可以将其转换成数字地图。地图数字化的方法主要有两种:一种是手扶跟踪数字化,即在数字化仪上对原图上各种地图要素的特征,通过手扶跟踪的方法逐点进行采集,将采集结果自动传输到计算机中,并由相应的成图软件处理成数字地图。另一种是扫描数字化,即首先通过扫描仪将原图扫描成数字图像,再在计算机屏幕上进行逐点采集或半自动跟踪,也可直接对各种地图要素进行自动识别与提取,最后由相应的成图软件处理成数字地图。基于现有地形图的数字测图系统的基本构成如图 1-3 所示。

通过将现有纸质地形图数字化生成数字地图的方法不受比例尺限制,适用于各种比例尺地形图。就两种地图数字化方法而言,手扶跟踪数字化具有精度低、速度慢、劳动强度大和自动化程度低等特点,尽管在地图数字化技术发展的初期曾是地图数字化的主要方法,但目前已不适宜大批量现有地形图的数字化工作,一般只用于小批量或比较简单的地形图的数字化。而地图扫描数字化方法则可充分利用数字图像处理、计算机视觉、模式识别和人工智能等领域的先进技术,提供了从逐点采集、半自动跟踪到自动识别与提取的多种互为补充的采集手段,具有精度高、速度快和自动化程度高等优点,随着有关技术的不断发展和完善,它已经成为地图数字化的主要方法,适宜于各种比例尺地形图的数

字化。

3.3.3 基于影像的数字测图系统

这种数字测图系统是以航空像片或卫星像片作为数据来源,即利用摄影测量与遥感的方法获得测区的影像并构成立体像对,在解析测图仪上采集地形特征点并自动传输到计算机中或直接用数字摄影测量方法进行数据采集,经过软件进行数据处理,自动生成数字地形图,并由数控绘图仪进行绘图输出,其基本系统构成如图 1-3 所示。利用摄影测量与遥感技术进行数字测图的方法一般适用于中、小比例尺测图的场合,对于大面积 1:2 000 比例尺测图也多采用这种方法。

第二节 数字测图的基本特点

数字测图虽然是从平板仪或经纬仪的白纸测图方法的基础上发展起来的,但它与传统的白纸测图有着许多本质的区别,其实质是一种全解析、全数字的测图方法,有着传统白纸测图无可比拟的诸多优点。

1 数字测图过程的自动化

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,在图上人工量算所需要的坐标、距离和面积等。数字测图则是野外测量自动记录,自动解算处理,自动成图、绘图,并向用图者提供可处理的数字地(形)图,用户可自动提取图数信息,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)几率小,以及绘得的地形图精确、美观、规范等特点。

2 数字测图产品的数字化

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。

2.1 便于成果使用和更新

数字测图成果是以点的定位信息和属性信息存入计算机的,图中存储了具有特定含义的数字、文字、符号等各类信息,可方便地传输、处理和供多用户共享。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后的图,从而可以确保地面的可靠性和现势性。数字地图可以自动提取点位坐标、两点距离、方位以及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。数字地图的管理,既节省空间,又操作十分方便。

2.2 方便成果的深加工

数字测图分层存放,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。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,通过不同图层的叠加来提取相关信息,可以十分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。

2.3 便于数据输出

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。

2.4 便于建立地图数据库和地理信息系统

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。

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。

3 数字测图成果的高精度

众所周知,经纬仪配合小平板、半圆仪白纸测图是模拟测图方法,地物点平面位置的误差主要受解析图根的测定误差和展绘误差,测定地物点的视距误差、方向误差,地形图上的地物点的刺点误差等影响,综合影响使地物点平面位置的测定误差图上为 $\pm 0.5\text{mm}$ (1:1 000比例尺),主要误差源为视距误差和刺点误差。从总体上讲,白纸测图还是适应当时的仪器发展和测量科技水平的,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。

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,也适应了现代社会科学管理的需要,如地籍测量、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。

4 数字测图理论的先进性

随着信息时代的到来,电子测绘仪器和计算机的迅猛发展和广泛应用,突破了传统的测绘技术和方法,数字测图应运而生。数字地形测量的理论和实践不断得到发展,诸如大比例尺数字地面模型的建模理论,等高线的插值和拟合理论,数据结构与计算机图形学,数字地形图内外业一体化测绘的理论,数字地图应用的理论,电子测绘仪器(含计算机)的原理、检核与使用方法,测绘软件系统的设计理论与实施,以及一些新的作业方法的建

立,如图根控制和碎部一次测量的一步法、自然地界分组作业法等。

目前数字测图正处于蓬勃发展的时期,还需不断深入地研究它的理论和方法,使之在广泛的实践中得到创新和完善。数字测图已经成为地形测绘的主流,代替了白纸测图,形成了自身的新的学科体系。

第三节 数字测图的发展与展望

1 数字测图技术的发展过程

数字测图首先是由机助地图制图开始的。机助地图制图技术酝酿于 20 世纪 50 年代。1950 年第一台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 号计算机的附件问世。50 年代末,数控绘图仪首先在美国出现,与此同时出现了第二、第三代电子计算机,从而促进了机助制图的研究和发展,很快就形成了一种“从图上采集数据进行自动制图”的系统。1964 年第一次在数控绘图仪上绘出了地图。1965~1970 年第一批计算机地图制图系统开始运行,用模拟手工制图的方法绘制了一些地图产品。1970~1980 年,在新技术条件下,对机助制图的理论 and 应用问题,如地图图形的数字表示和数学描述、地图资料的数字化和数据处理方法、地图数据库、制图综合和图形输出等方面的问题进行了深入的研究,许多国家建立了硬软件结合的交互式计算机地图制图系统,进一步推动了地理信息的发展。80 年代进入推广应用阶段,各种类型的地图数据库和地理信息系统相继建立起来,计算机地图制图,尤其是机助专题地图制图得到了极大的发展和广泛的应用。70 年代末 80 年代初自动制图主要包括数字化仪、扫描仪、计算机及显示系统四个部分,数字化仪数字化成图成为主要的自动成图方法。

20 世纪 50 年代末,航空摄影测量都是使用立体测图仪及机械连动坐标绘图仪,采用模拟法测图原理,利用航测像对测绘出线划地形图。到 60 年代就有了解析测图仪,它由精密立体坐标仪、电子计算机和数控绘图仪 3 个主要部分组成,将模拟测图创新为解析测图,其成果依然是图解地形图。威特(Wild)公司生成的 BC2、BC3,OPtion 公司生产的 P3 等均属于解析测图仪,我国也研制和生产了解析测图仪。后来在解析测图仪直接量测并自动解算测图点坐标的基础上,再键入相关信息,经过人机交互的编辑工作,由计算机处理,便可生成数字地形图。为了满足数字测图的需要,我国在生产、使用解析测图仪的同时,把原有模拟立体测图仪和立体坐标量测仪逐渐地改装成数字测图仪。量测的模拟信息经编码器转换为数字信息,由计算机接收并处理,最终输出数字地形图。90 年代初,又出现了全数字摄影测量系统。武汉大学(原武汉测绘科技大学)张祖勋教授主持研制出了具有世界先进水平的全数字摄影测量系统。全数字摄影测量系统大致作业过程如下:将影像扫描数字化,利用立体观测系统观测立体模型(计算机视觉),利用系统提供的一系列进行量测的软件——扫描数据处理、测量数据管理、数字走向、立体显示、地物采集、自动提取(或交互采集)DTM(数字地面模型)、自动生成正射影像等软件(其中利用了影像相关技术、核线影像匹配技术)使量测过程自动化。全数字摄影测量系统在我国迅速推广和普及,目前已基本上取了解析摄影测量。

大比例尺地面数字测图是在 20 世纪 70 年代轻小型、自动化、多功能的电子速测仪问世后发展起来的。80 年代全站型电子速测仪(电子速测仪 + 电子记录器,简称全站仪)的迅猛发展,加速了数字测图的研究与应用。如 80 年代后期国际上有较优秀的用全站仪采集及电子手簿记录、成图的测图系统,国内一些单位也引进了 Geocomp 软件试用。

我国从 1983 年开始,北京市测绘院、解放军测绘学院、武汉测绘科技大学和清华大学等数十个单位相继都开展了数字测图的研究工作。综观国际、国内野外数字测图技术,其发展的过程大体可分为两个阶段。

1.1 内外业独立作业阶段

在 20 世纪 70 年代末 80 年代初,数字测图技术尚处于起步阶段,限于当时全站仪的普及程度和计算机技术的发展水平,数字测图采取内外业独立作业的模式。先用全站仪实地测定地形数据,并用电子手簿进行记录,同时配合以人工绘制的草图用来记录点号、点与点之间的相关位置和点与点之间的连接关系,再到室内将测量数据由电子手簿传输到计算机,并由人工按草图输入和编辑生成图形文件,经计算机进行数据处理后,生成数字地图,最后由绘图仪绘图输出地形图。在这一时期,由于全站仪的价格昂贵,应用还很不普及,有些研究单位甚至还采用了由光学经纬仪、测距仪和 PC - 1500 袖珍计算机作为野外采集数据的设备。野外采集的数据虽可自动记录,但仍模仿手工测图的单点记录方式,对草图绘制的准确性也有较高要求,同时还须人工输入和编辑图形文件,整体工作量甚至比手工测图还大,工序也更为复杂和烦琐。尽管如此,但毕竟野外直接测制数字地形图同时绘制纸质地形图的目标还是达到了,实践也证明了野外数字测图的技术途径是可行的,由此人们看到了数字测图的美好前景。到了 80 年代中、后期,随着计算机软硬件技术的发展,数字测图的软件在性能上得到了明显提高。利用野外数据采集软件,不仅可以对单点点位进行自动记录,还可记录绘图所需的其他信息,并且一些记录项可由软件自动缺省记录,使必须由作业人员输入的数据大为减少。电子手簿中的测量数据传输到计算机后,可由计算机自动生成图形文件,人工绘制草图的必要性和对草图准确性的要求也降低了。另外,为了在野外及时发现和纠正错测及漏测现象,有些单位还在野外数据采集设备中配置了袖珍绘图仪,由 PC - 1500 袖珍计算机控制在测站上实时绘制具有一定精度的地形图。应该说,这些方法和措施使得数字测图技术有了实质性的进展。这一时期具有代表性的内外业独立作业模式的数字测图软件主要有美国的 Geomap、英国的 Penmap 以及我国北京市测绘院研制的大比例尺机助测图系统(DJHT)和解放军测绘学院研制的数字地形测量系统等。

1.2 内外业一体化阶段

20 世纪 90 年代,便携式计算机的应用逐步得到普及,这给数字测图技术提供了发展机遇,国内外数字测图技术的研究人员敏锐地抓住了这一机遇,将便携机及时地应用到数字测图中,形成了由全站仪、便携机和测图软件组成的数字测图系统,为数字测图内外业一体化创造了条件。内外业一体化的数字测图模式有效地克服了前一阶段内外业独立作业模式的缺点,实现了现场实时成图,地形要素误测和漏测现象得以有效避免,从而保证了测量成果的正确性。由于这一数字测图模式在自动成图的基础上,同时也体现了传统平板仪测图现场成图的特点,人们习惯上将这种数字测图系统称为电子平板。电子平板

测图软件既有与全站仪通信和数据记录的功能,又在测量方法、数据处理和图形实时编辑方面有了突破性的进展,完全取代了图板、图纸、铅笔、橡皮、三角板和复比例尺等平板仪测图绘图工具。高分辨率的显示屏可清晰准确地显示图形,实现了所显即所测。数字测图的成果质量和作业效率全面超过了传统手工测图,使数字测图技术走向了实用化,数字测图系统实现了商品化。1993年以后,内外业一体化的数字测图系统相继问世。具有代表性的产品主要有清华大学的 EPSW 系统和南方测绘仪器公司 CASS 系统等。同一时期,瑞士徕卡、日本杰科等公司也都推出了类似的数字测图系统,电子平板已成为数字测图系统发展的主流。

在数字测图系统发展的过程中,日本杰科公司和我国广州开思公司还对野外测图方式进行了改进,把便携机放在棱镜站,通过在测站与棱镜站之间建立无线数据传输的方法,将全站仪的测量数据传输到便携机中。这种方法突破了便携机随全站仪放在测站的固有模式,由作图人员亲自判定所测点的属性和点与点之间的连接关系,大大减少了漏测、错测以及漏绘、错绘的可能性。

2 数字测图技术的展望

数字测图技术的发展主要取决于数据采集和与之相应的数据处理方法的发展。今后数字测图系统的发展趋势主要体现在以下三个方面:

(1)全站仪自动跟踪测量模式。普通的全站仪在进行点位测量时,测站上仍要依靠作业员来完成寻找目标和照准,随着科学技术的发展,瑞士捷创力(Geotronic)、日本拓普康(Topocon)等公司推出了自动跟踪全站仪,瑞士徕卡(Leica)公司推出了遥控测量。利用自动跟踪全站仪,可以实现测站的无人操作,测量的数据由测站自动无线传输到位于棱镜站的便携机中,这样就可减少野外数字测图人员的数量。从理论上讲,按照这种全站仪自动跟踪测量方法,可以实现单人数字测图。尽管目前这种仪器价格昂贵,还仅适用于特定的应用场合,但随着科学技术的不断发展,它必将在数字测图中得到广泛应用。

(2)GPS 测量模式。利用全站仪来进行点位测量必须要求测站和待测点之间通视,从这个意义上讲其在测量方式上与传统方法并没有本质区别,这在很大程度上影响了野外数据采集的作业效率。随着 GPS 技术的发展,利用 RTK 实时动态定位技术能够实时提供待测点的三维坐标,在测程几十千米以内可达厘米级的测量精度。目前,高精度、轻小型的 GPS 接收机将对野外数字测图系统的发展起到积极的推动作用。可以预见,利用 GPS 作为数据采集手段的数字测图系统将会得到进一步发展,并以其较高的作业效率受到广大用户的青睐。

(3)野外数字摄影测量模式。利用全站仪进行数据采集时,每次只能测定一个点,而利用摄影测量的方法则可同时测定多个点,这是摄影测量方法的最大优点。随着技术的进步,充分利用野外测量的灵活性和摄影测量快速高效特点的测量方式成为野外测图的又一发展趋势。

总之,野外数字测图系统未来的发展主要在改进野外数据采集手段方面,通过对其改进从而不断提高野外数字测图的作业效率。