

高等学校统编教材

数字测图

杨晓明 沙从术 郑崇启 董斌 编著



DIGITAL MAPPING

测绘出版社

高等学校统编教材

数 字 测 图

Digital Mapping

杨晓明 沙从术 编著
郑崇启 董 斌

测绘出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书系统地介绍了数字测图的理论、技术和方法。内容包括:数字测图的有关概念、数字测图的基本过程、数字测图系统的硬件设备、数字测图的数学基础、野外数据采集、计算机绘图原理、数字测图内业、地图数字化、数字测图质量控制、数字测图成果的应用、数字地籍测绘。本书不仅对数字测图所涉及的硬件(全站仪、RTK GPS 接收机、扫描仪、绘图仪等)、软件(CASS、SCAN 等)及数据采集和数据处理的方法进行了详细介绍,而且对数字测图的技术设计、质量检查、技术总结及数字地形图的应用也进行了介绍。每章都附有习题与思考题,以方便学生复习参考。

本书为普通高等学校测绘工程专业和地理信息系统专业的本科教材,也可作为应用现代测绘技术较多的有关专业(如土地管理、交通工程、资源与环境管理等)的本科教材,亦可供从事测绘工程工作及相关的技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字测图/杨晓明等编著. —北京:测绘出版社,
2009.2

高等学校统编教材

ISBN 978-7-5030-1894-7

I. 数… II. 杨… 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(2009)第 015118 号

责任编辑 贾晓林

封面设计 李 伟

出版发行 **测绘出版社**

社 址 北京西城区复外三里河 50 号

邮政编码 100045

电 话 010-68512386 68531558

网 址 www.sinomaps.com

印 刷 北京冶金大业印刷有限公司

经 销 新华书店

成品规格 184mm×260mm

印 张 13

字 数 320 千字

版 次 2009 年 2 月第 1 版

印 次 2009 年 2 月第 1 次印刷印

印 数 0001—3000 册

定 价 25.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-1894-7

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

前 言

计算机技术、空间技术、通信技术和信息技术的迅速发展,使得传统的测绘技术发生了巨大变革,出现了以全球定位系统(GPS)、遥感技术(RS)、地理信息系统(GIS)为代表的“3S”测绘新技术。“3S”技术极大地改变了测绘行业的面貌和作业方式,促使测绘仪器、理论和技术迅速发展。目前,以电子化的地面测量仪器和计算机应用软件为主体的野外数字测图(即GIS前端,简称数字测图)技术已广泛应用于测绘生产,并已取代传统的白纸测图技术。数字测图目前已成为应用最广泛、技术最普及、大多数测绘工作人员必须掌握的现代测绘新技术。

此前的多数本科教材将“数字测图”与“测量学”内容融合在一起,教学实践表明,这样不仅增加了专业基础课的负担,而且不易使学生全面系统地掌握数字测图的相关理论知识和相应技术。近几年,部分高等学校进行了课程改革,单独开设“数字测图”课程,但都苦于没有合适的教材可以使用。测绘出版社为满足这一教学急需,于2008年4月组织九所长期从事数字测图教学的高校教师,集聚郑州,商讨统一编写出版《数字测图》教材事宜。与会老师在杨晓明、周建业编写的“数字测图”讲义的基础上,结合各自多年来数字测图教学经验,仔细地讨论了《数字测图》教材的框架结构和内容细节,最后制定了“数字测图编写大纲”。

本教材编写工作由杨晓明(华北水利水电学院)主持,集体讨论,分工负责。参加编写的作者及分工情况如下:第一章由杨晓明、宋利杰(河北理工大学)编写;第二章由沙从术(河南工程学院)、郑崇启(平顶山工学院)编写;第三章由周文国(华北科技学院)、杨晓明编写;第四章由沙从术、董斌(安徽农业大学)编写;第五章由陈红华(南京林业大学)、周文国编写;第六章由董斌、过家春(安徽农业大学)编写;第七章由余代俊(成都理工大学)、周建业(华北水利水电学院)编写;第八章由郑崇启编写;第九章由唐诗华(桂林理工大学)编写;第十章由杨晓明、周建业编写。各章编写完后,由杨晓明、唐诗华对一些章节予以补充、修改,并负责统稿定稿。最后由唐诗华、周文国两位教授分别统审全书。

《数字测图》教材严格按照会议形成的“数字测图编写大纲”编写。介绍了数字测图的有关概念,系统地阐述了数字测图的数学基础与计算机绘图原理,较全面地介绍了数字测图系统的硬件与软件,详细地介绍了野外数字测图内外业,以及数字测图的质量控制,简述了地图数字化、数字测图成果的应用和数字地籍测绘。该教材主要作为测绘工程专业和地理信息系统专业及相关专业本科教材,建议以48授课学时外加2周实习为基本教学学时。

在本书的编写过程中,得到了中国石油大学万剑华、广西大学陈伟清、淮海工学院谢宏全、青岛理工大学郭宗河、平顶山工学院何保喜、南京林业大学郑加柱、河北理工大学张永彬、合肥工业大学李晓莉、河南工程学院刘绍堂等老师的鼓励和支持,并对本书的编写提出了指导性意见,在此深表感谢!

数字测图的理论、技术和方法处在不断的发展之中。尽管通过我们九所院校的精诚合作,力求精品,但由于编者水平有限,教材中难免会有不妥和不足之处,有待进一步完善和提高,敬请读者批评指正(发送至 yxmhbbsy@yahoo.com.cn)。

编 者

2008年11月

目 录

第一章 概 论	(1)
§ 1.1 数字测图的有关概念	(1)
§ 1.2 数字测图的基本过程	(5)
§ 1.3 数字测图的优点	(8)
§ 1.4 数字测图的作业模式	(9)
第二章 数字测图系统的硬件设备	(12)
§ 2.1 全站仪的结构及其测量原理	(12)
§ 2.2 全站仪的使用	(18)
§ 2.3 RTK GPS 系统简介	(24)
§ 2.4 数字化仪与扫描仪	(28)
§ 2.5 工程绘图仪	(32)
第三章 数字测图的数学基础	(36)
§ 3.1 常用坐标系及其转换	(36)
§ 3.2 图形裁剪	(44)
§ 3.3 规则图形的正形化处理	(46)
§ 3.4 曲线的光滑	(49)
第四章 野外数据采集	(55)
§ 4.1 数据编码	(55)
§ 4.2 测图前的准备工作	(59)
§ 4.3 碎部点测算原理与方法	(60)
§ 4.4 测记法野外数据采集	(66)
§ 4.5 电子平板法野外数据采集	(74)
§ 4.6 数据通讯	(85)
第五章 计算机绘图原理	(91)
§ 5.1 基本图形的绘制	(91)
§ 5.2 地图符号的自动绘制	(94)
§ 5.3 等高线的自动生成	(100)
§ 5.4 图形显示的分层处理	(105)
第六章 数字测图内业	(108)
§ 6.1 CASS 数字测图系统操作主界面及其内容简介	(108)
§ 6.2 数据传输与参数设置	(111)
§ 6.3 平面图绘制	(114)
§ 6.4 编辑、注记与数据处理	(120)
§ 6.5 等高线绘制与编辑	(130)

§ 6.6 数字地形图的整饰与输出	(133)
第七章 地图数字化	(135)
§ 7.1 地图数字化概述	(135)
§ 7.2 栅格数据运算与矢量化原理	(139)
§ 7.3 地图扫描屏幕矢量化方法	(144)
§ 7.4 地图扫描矢量化方法的精度分析	(149)
第八章 数字测图的质量控制	(151)
§ 8.1 大比例尺数字地形图的质量要求	(151)
§ 8.2 数字测图的技术设计	(153)
§ 8.3 数字测图过程的质量控制	(158)
§ 8.4 数字测图成果的检查	(160)
§ 8.5 技术总结的编写	(165)
第九章 数字测图成果的应用	(167)
§ 9.1 数字地形图的基本应用	(167)
§ 9.2 数字地形图在线路勘察设计中的应用	(179)
§ 9.3 数字地面模型的应用	(183)
§ 9.4 图数转换	(188)
第十章 数字地籍测绘	(191)
§ 10.1 数字地籍测绘概述	(191)
§ 10.2 数字地籍图绘制	(193)
§ 10.3 宗地图和地籍表格绘制	(197)
参考文献	(202)

第一章 概 论

随着科学技术的进步和计算机技术的迅猛发展及其在测绘领域的广泛应用,20 世纪 80 年代产生了全站仪、GPS 及电子数据终端,并逐步地构成了野外数据采集系统。20 世纪 90 年代初,测绘科技人员将其与内业机助制图系统相结合,形成了从野外数据采集到内业成图全过程数字化和自动化的测量制图系统,人们通常将这种测图方式称为野外数字测图或地面数字测图(简称数字测图)。广义地讲,制作以数字形式表示的地图的方法和过程就是数字测图,主要包括:地面数字测图、地图数字化成图、数字摄影测量与遥感数字测图等。狭义的数字测图指地面数字测图,本书主要介绍地面数字测图的理论、技术和方法。

§ 1.1 数字测图的有关概念

一、数字地图

地图是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,是记录和传达关于自然世界、社会和人文位置与空间特性信息最卓越的工具,它对人类社会发展的作用如同语言和文字一样,具有不言而喻的重要性。从本质上讲,地图是对客观存在的特征和变化规则的一种科学的概括和抽象。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,现代地图按照一定数学法则,运用符号系统概括地将地面上各种自然现象表示在平面上,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。

传统的图解法测图是利用测量仪器对地球表面局部区域内的各种地物、地貌特征点的空间位置进行测定,并以一定的比例尺按图式符号将其绘制在图纸上。通常称这种在图纸上直接绘图的工作方式为白纸测图。在测图过程中,观测数据的精度由于刺点、绘图及图纸伸缩变形等因素的影响会有较大的降低,而且工序多、劳动强度大、质量管理难,特别在当今的信息时代,纸质地形图已难以承载更多的图形信息,图纸更新也极为不便,难以适应信息时代经济建设的需要。

随着计算机技术和测绘仪器的发展,一种全解析机助测图方法以高自动化、全数字化、高精度的显著优势取代了传统的手工图解测图法。数字测图就是要实现丰富的地形信息、地理信息数字化和作业过程的自动化或半自动化,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计算机控制下的自动操作,这样不仅减轻劳动强度,而且不会损失观测值精度。地面数字测图的基本过程是:首先采集有关的绘图信息并及时记录在相应存储器中(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,再经过人机交互屏幕编辑,最后形成数字图形文件。由上述过程可以看出,数字测图的地形信息的载体是计算机的存储介质(磁盘或光盘),其提交的成果是可供计算机处理、远程传输、多方共享的数字地形图数据

文件,如果使用打印机或绘图仪,可以在印刷介质上输出相应的地形图。

将绘制地形图的全部信息存储在设计好的数据库中,经绘图软件处理可在屏幕上将需要的地形图显示出来,用这种方式来阅读的地图称为电子地图。电子地图的优点是直接在屏幕上阅读,利用计算机技术可将地形图做放大或缩小变化,用漫游功能可阅读任意区域的内容,且不受图幅边界的限制。由于地形图全部信息的存储是用数字方式实现的,因而称为数字地图,即数字地图是用数字形式存储全部地形信息的地图,是用数字形式描述地图要素的属性、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(软盘、硬盘、光盘等)上的关联数据文件。在电子绘图系统的支持下,将“数字地图”视觉化后就成为“电子地图”,通过打印机或者绘图仪视觉化,则“电子地图”就成为传统的“模拟地图”。利用数字地图可以生成电子地图和数字地面模型(Digital Terrain Model, DTM),以数学描述和图像描述的数字地形表达方式,可实现对客观世界的三维描述,更具深远意义的是,数字地形信息作为地理空间数据的基本信息之一,已成为地理信息系统(Geographic Information System, GIS)的重要组成部分。

二、数字图形的表示

计算机中图形数据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。对应的图形通常称为矢量图形和栅格图形。

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。由野外采集的数据、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。据估计,一幅 $1:1\,000$ 一般密度的平面图只有几千个点的坐标对,一幅 $1:10\,000$ 地形图矢量数据多则可达几十万甚至上百万个点的坐标对,矢量数据量与比例尺、地物密度有关。而一幅地形图($50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$)的栅格数据,随栅格单元(像元)边长的不同(一般小于 0.02 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。

矢量图形是指用直角坐标 (x, y) 值绘出的图形。例如一条直线段,已知线段两端点 $A(x_A, y_A)$, $B(x_B, y_B)$ 时即可绘出,且线段中间有任意一点 P , x_P 在 x_A, x_B 之间,则 y_P 可由直线方程式计算而得。可见,由 A 至 B (或由 B 至 A)的一串构成直线的连续点的坐标均可求得,如图1-1(a)所示。

栅格图形是指用格网点绘出的图形,因称格网为栅格,故而得名。形成图形的方法是在平面上先设定一个格网,每个小格可以由不同的颜色填充,称为一个像元(或像素),由于每个像元的不同颜色而使此平面显示出某种图形。图1-1(b)是像元中用黑色表示的几条不同方向的直线栅格图形。

矢量图形的特点是图形上的每个点均是用坐标表示,这样就便于用函数来计算,对于图形的放大、缩小、旋转等变化都不会使图形产生变形。栅格图形的特点是对图形的存储较为简单,只需按行、列顺序记下各像元的值(如图1-1(b),空白用“0”,黑色用“1”)即可。但是要使图形作放大、缩小、旋转等变化则较为复杂。由图1-1也可以看出,如果将图1-1(b)的栅格看成是坐标格网,那么栅格图形的黑色像元亦可以用坐标来表示;同样,如果将图1-1(a)的坐标线看成是栅格格网,那么矢量图形亦可用栅格图形来表示,这就是说,栅格图形和矢量图形的数据可以通过某种方法(编程)进行相互转换,以便于在图形处理中发挥各自的长处。

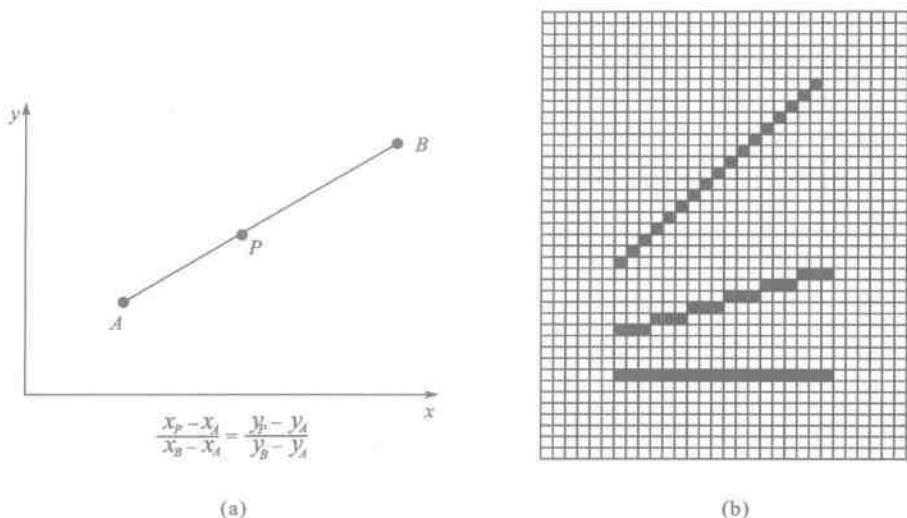


图 1-1 矢量图形与栅格图形的表示

三、绘图信息

传统的测图方法是用仪器测量水平角、竖直角和距离来确定点位,然后绘图员按计算所得坐标(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,测的是什么点(如房角点),这个(房角)点应该与哪个(房角)点连接等等,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,这样一个点一个点的测和绘,一幅地形图也就生成了。

数字测图是利用计算机软件通过人机交互或自动处理(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,是最终以 $x, y, z(H)$ 表示的三维坐标。点号在一个数据采集文件中是唯一的,根据它可以提取点位坐标,因此点号也属于定位信息。连接信息是指测点之间的连接关系,它包括连接点号和连接线型,据此可将相关的点连接起来。上述两种信息合称为几何信息,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,是用来描述地形点的特征和地物属性的信息,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;用文字可以注明地理名称和单位名称(权属主)等。另外,用来说明地图要素的数量或强度的,也是属性信息,例如温度、楼层、人口、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,是道路还是房屋等,当场记下该测点的编码和连接信息。计算机成图时,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。

四、数字测图系统及其配置

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,在外连输入、输出的硬件和软件设备的支持下,对地形空间数据进行采集、输入、处理、绘图、存储、输出和管理的测绘系统。数字测图系统需要有一系列硬件和软件组成。用于野外数据采集的硬件设备

有全站仪或 GPS 接收机等;用于室内输入的设备有数字化仪、扫描仪、解析测图仪等;用于室内输出的设备主要有磁盘、显示器、打印机和数控绘图仪等;便携机或微机是数字测图系统的硬件控制设备,既用于数据处理,又用于数据采集和成果输出。目前,根据数据采集方法的不同,数字测图系统主要区分为 3 种。

1. 基于现有地形图的数字成图系统

已有的纸质地形图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化成数字地形图。从图上获取数据的过程称为图数转换或模数转换,也称数字化。实现这种转换的仪器称为数字化仪。从纸质地形图进行数据采集,是当前数字化测图获取数据的一个重要手段,它可加速实现测图、管图、用图的数字化、自动化。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点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。其基本系统构成如图 1-2 所示。



图 1-2 基于现有地形图的数字成图系统

地图数字化的两种方法中,手扶跟踪数字化精度低、速度慢、劳动强度大、自动化程度低,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。而地图扫描数字化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,现已经成为地图数字化的主要方法。

2. 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。

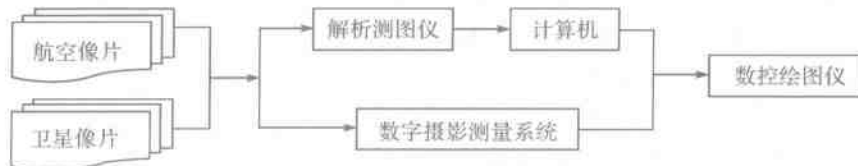


图 1-3 基于影像的数字测图系统

3. 地面数字测图系统

地面数字测图(亦称野外数字测图)系统是利用全站仪或 RTK GPS(实时差分 GPS)接收机在野外直接采集有关绘图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。其基本系统构成如图 1-4 所示。

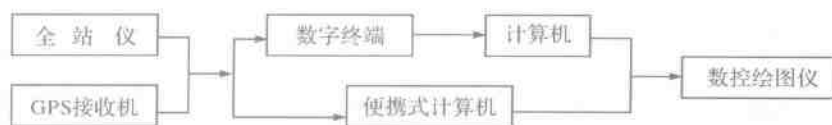


图 1-4 地面数字测图系统

由于全站仪或 RTK GPS 接收机具有较高的测量精度,这种测图方式又具有方便灵活的特点,故在城镇大比例尺测图和小范围大比例尺工程测图中有广泛的应用。随着我国国民经济的发展和城市化的进程,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。

目前,大多数数字化测图系统具有多种数据采集方法,具有多种功能和多种应用范围,能输出多种图形和数据资料,如图 1-5 所示。

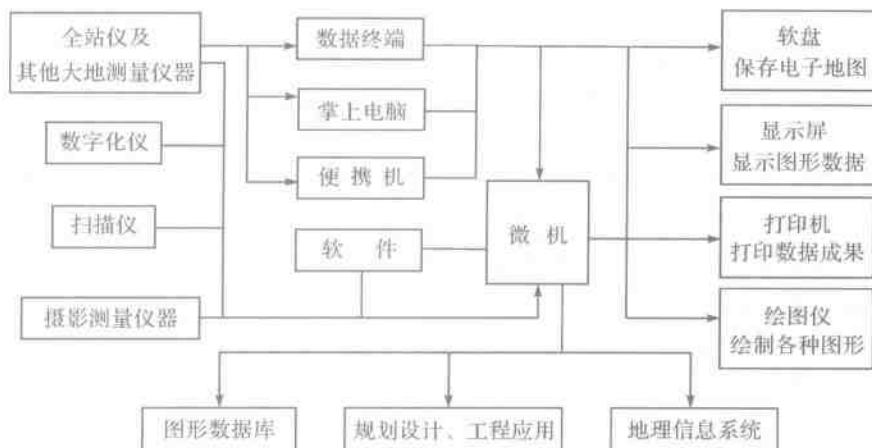


图 1-5 数字测图综合系统

数字测图的软件是数字测图系统的关键,一个功能比较完善的数字测图系统软件,应集数据采集、数据处理(包括图形数据的处理、属性数据及其他数据格式的处理)、图形编辑与修改、成果输出与管理于一身,且通用性强,稳定性好,并提供与其他软件进行数据转换的接口。目前,国内测绘行业使用的数字测图软件较多,使用比较集中的主要有:广州南方测绘仪器公司开发的地形地籍成图系统 CASS 系列软件,北京清华山维新技术开发有限公司开发的电子平板全息测绘系统 EPSW 系列软件,武汉瑞得信息工程有限公司开发的数字化测图系统 RDMS 系列软件,北京威远图公司开发的地形地籍测绘系统 SV300 R2002,广州开思测绘软件有限公司的多用途数字测绘与管理系统 SCSG 200X。另外,还有多个用于数字地图的矢量化软件和用于野外数据采集的掌上平板。

§ 1.2 数字测图的基本过程

数字测图的作业过程依据使用的设备和软件、数据源及图形输出目的的不同而不同,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、数据处理和图形输出 3 个基本阶段。

一、数据采集

地形图、航空航天遥感像片、图形数据或影像数据、统计资料、野外测量数据或地理调查资料等,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。在数字测图中,各式各样的信息源数据在采集过程中主要使用以下几种方法:

(1) GPS 法。即通过 RTK GPS 接收机采集野外碎部点的绘图信息数据。

(2) 大地测量仪器法。即通过全站仪、测距仪、经纬仪等大地测量仪器实现碎部点野外数据采集。

(3) 图形数字化法。即通过数字化仪或扫描仪在已有地图上采集数据。

(4) 航测法。即通过航空摄影测量或遥感手段获取地表影像,从影像上采集地形点的绘图信息数据。

前两者是野外采集数据,后两者是室内采集数据。

野外采集数据是通过全站仪或 RTK GPS 接收机实地测定地形特征点的平面位置和高程,将这些点位信息自动存储在仪器内存储器或电子手簿中,再传输到计算机中(若野外使用便携机,可直接将点位信息存储到便携机中)。每个地形特征点的记录内容包括点号、平面坐标、高程、属性编码和与其他点之间的连接关系等。点号通常是按测量顺序自动生成的;平面坐标和高程是全站仪(或 RTK GPS 接收机)自动解算的;属性编码指示了该点的性质,野外通常只输入简编码或不输编码,用草图等形式形象记录碎部点的特征信息,内业可用多种手段输入属性编码;点与点之间的连接关系表明按何种连接顺序构成一个有意义的实体,通常采用绘草图或在便携机上边测边绘来确定。由于目前测量仪器的测量精度高,很容易达到亚厘米级的定位精度,所以地面数字测图是数字测图中精度最高的一种,是城镇大比例尺(尤其是 1:500)测图中主要的测图方法。

对于已有纸质地形图的地区,如纸质地形图现势性较好,图面表示清楚、正确,图纸变形较小,则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。用数字化仪可对原图的地形特征逐点进行数据采集(与野外测图类似),对曲线采用手扶跟踪数字化。用数字化仪数字化得到的数字化图的精度一般低于原图,加上作业效率低,这种数字化法逐渐被扫描仪数字化所取代。扫描仪可快速获取原图的数字图像(一幅图不超过几分钟),但获得的是栅格数据,随后要通过矢量化软件处理才能得到地形图的绘图信息。20 世纪 90 年代中后期,我国先后推出几套实用的矢量化软件,使扫描矢量化的效率大大提高。从图上采集数据时,各地物要素通常只需采集其平面位置,而不必采集其高程值,高程值通常作为属性数据进行输入。

航测法是一种工作量大、速度快的数据采集方法,是我国测绘基本比例尺地形图的主要方法。该法以航空摄影获取的航空像片作为数据源,利用测区的航空摄影测量获得的立体像对,在解析测图仪上或在经过改装的立体量测仪上采集地形特征点并自动转换成数字信息。由于精度原因,航测法在大比例尺(如 1:500)测图中受到一定限制,目前该法已逐渐被全数字摄影测量系统所取代。现在国内外已有 20 多家厂商推出数字摄影测量系统,如原武汉测绘科技大学推出的 VirtuoZo,中国测绘科学研究院推出的 JX-4A DPW,美国鹰图公司推出的

ImageStation,瑞士徕卡公司推出的 Helava 数字摄影测量系统等。基于影像数字化仪、计算机、数字摄影测量软件和输出设备构成的数字摄影测量工作站是摄影测量、计算机立体视觉影像理解和图像识别等学科的综合成果,计算机不但能完成大多数摄影测量工作,而且借助模式识别理论,实现自动或半自动识别,从而大大提高了摄影测量的自动化功能。全数字摄影测量系统大致作业过程为: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量测功能——扫描数据处理、测量数据管理、数字定向、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功能,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,目前已基本上取代了解析摄影测量。有关数字摄影测量的内容将在以后的专门课程中详细介绍。

二、数据处理

数字测图的全过程都是在进行数据处理,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。数据处理主要包括建立地图符号库、数据预处理、数据转换、数据计算、图形生成及文字注记、图形编辑与整饰、图形裁剪、图幅接边、图形信息的管理与应用等。数据处理通常通过计算机软件来实现,最后生成可进行绘图输出的图形文件。

地图符号库中的地图符号可以分为 3 类,即点状符号、线状符号和面状符号。目前建立地图符号库的方法主要有两种:一种是利用 C 语言等计算机语言开发,另一种是在如 AutoCAD 等开发平台上进行二次开发。地图符号库是数字测图系统中较为稳定的组成部分,一旦建立就可长期使用。

数据预处理包括坐标变换、各种数据资料的匹配、比例尺的统一、不同结构数据的转换等。

数据转换内容很多,如将碎部点记录数据(距离、水平角、竖直角等)文件转换为坐标数据文件,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等。

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 3 个过程的工作。数据计算还包括对房屋等呈直角拐弯的地物进行误差调整,消除非直角化误差等。

图形生成是在地图符号的支持下利用所采集的地形数据生成图形数据文件的过程。

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,利用数字测图系统提供的各种编辑功能进行修改、编辑、整理,还需要加上文字注记、高程注记等,并填充各种面状地物符号,这些都属于图形处理。图形处理还包括:测区图形拼接、图廓整饰、图形裁剪、图形信息管理与应用等。

数据处理是数字测图的关键阶段,数字测图系统的优劣取决于数据处理功能的强弱。

三、图形输出

经过图形处理以后,即可得到数字地图,也就是形成一个图形文件,存储在磁盘或磁带上,可永久保存。可以将该数字地图转换成地理信息系统的图形数据,建立和更新 GIS 图形数据库;也可将数字地图绘图输出。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数字地图。

§ 1.3 数字测图的优点

地面数字测图虽然是从白纸测图的基础上发展起来的,但它与传统的平板仪白纸测图有着许多本质的区别。地面数字测图取代白纸测图,主要是因为它具有如下诸多优点。

1. 测图过程自动化

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。数字测图则使野外测量自动解算、自动记录,使内业数据自动处理、自动成图、自动绘图,并向用图者提供可处理的数字地图,用户可自动提取图数信息。数字测图具有效率高,劳动强度低,错误(读错、记错、展错)几率小的优点,且绘得的地形图精确、美观、规范。

2. 图形数字化

用磁盘保存的数字地图,存储了图中具有特定含义的数字、文字、符号等各类数据信息,可方便地传输、处理和供多用户共享。数字地图不仅可以自动提取点位坐标、两点间距离、方位,自动计算面积、土方,自动绘制纵横断面图,还可以方便地将其传输到 AutoCAD 等软件设计系统中,以便工程设计部门进行计算机辅助设计。数字测图成果以数字信息保存,避免了图纸变形(伸缩)带来的各种误差。数字地图的管理既节省空间,操作又十分方便。

3. 点位精度高

传统的平板仪白纸测图,地物点平面位置的误差主要受解析图根点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约为 $\pm 0.5\text{ mm}$ (1:1000 比例尺)。经纬仪视距高程法测定地形点高程时,即使在较平坦地区($0^\circ \sim 6^\circ$),视距为150 m,地形点高程测定误差也达 $\pm 0.06\text{ m}$,而且随着倾斜角的增大,高程测定误差会急剧增加。

用全站仪采集数据,测定地物点距离在450 m内的误差约为 $\pm 22\text{ mm}$,测定地形点的高程误差约为 $\pm 21\text{ mm}$;若距离在300 m以内,则测定地物点误差约为 $\pm 15\text{ mm}$,测定地形点的高程误差约为 $\pm 18\text{ mm}$ 。在数字测图中野外采集的数据精度毫无损失,并与测图比例尺无关。数字测图的高精度为地籍测量、管网测量、房产测量、工程规划设计等工作提供了保障。

4. 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、编码,经过编辑处理,很快便可以得到更新的地图,从而确保地图的可靠性与现势性,可谓“一劳永逸”。

5. 能以各种形式输出成果

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。可以从显示器上观看不同视角的立体图,可以输出立体景观图等。

6. 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),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(用户还可根据需要定义新层),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,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的城市规划用图、城市建设用图、房地产图及各种管理用图和工程用图等。

7. 可作为 GIS 的重要信息源

GIS 以空间信息查询检索功能、空间分析功能及辅助决策功能,在国民经济、办公自动化及人们日常生活中广泛应用。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量的 80%。因为 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 数据库并更新 GIS 数据库。一个好的数字测图系统应该是 GIS 的一个子系统。

§ 1.4 数字测图的作业模式

作业模式是数字化测图内、外业作业方法、作业流程的总称。由于软件设计者思路不同,使用的设备不同,测制数字地形图就有不同的作业模式。就目前地面数字测图而言,可区分为 3 种: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)和地图数字化模式。

一、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 RTK GPS 数字测记模式。

全站仪数字测记模式是目前最常用的测记式数字测图作业模式,为绝大多数软件所支持。该模式是用全站仪实地测定地形点三维坐标,并用电子手簿(或内存存储器)自动记录观测数据,到室内将采集数据传输给计算机,由室内人工编辑成图或自动绘图。该法野外采集数据速度快、效率高。采用全站仪,由于测站和镜站的距离可能拉得较远(1 km 以上),测站上就很难看到所测点的属性 and 与其他点的连接关系,通常使用对讲机加强测站与立镜点之间的联系,以保证测点编码(简码)输入的正确性;或者到镜站手工绘制草图或记录测点属性、点号及其连接关系,供内业绘图使用。该模式是作业单位使用最多的作业模式。

RTK GPS 数字测记模式采用 GPS 实时动态定位技术,实地测定地形点三维坐标,并自动记录定位信息。用 RTK GPS 采集数据的最大优点是不需要测站(控制点)和碎部点(待测点)之间通视,且移动站(用于采集碎部点)与基准站(控制点)的距离在 15 km 以内可达厘米级测量精度。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,质量仅几千克,野外采集数据很方便。采集数据时,在移动站绘制草图或记录绘图信息,供内业绘图使用。在非居民区、地表植被较矮小或稀疏区域的地形测图中,用 RTK GPS 比全站仪采集数据效率更高。

二、电子平板测绘模式

电子平板测绘模式就是“全站仪+便携机+相应测图软件”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

展绘在计算机屏幕(模拟测板)上,用软件的绘图功能边测边绘。这种模式现场完成绝大部分测图工作,实现数据采集、数据处理、图形编辑现场同步完成,外业工作完成,图也就出来了,实现了内外业一体化。另外,在测图时,观念上也不需大的改变,很容易被老作业员接受。但该方法对设备要求较高,便携机不适应野外作业环境(如供电时间短,液晶屏幕看不清,怕灰尘、风沙)是主要的缺陷。目前主要用于房屋密集的城镇地区的测图工作。

电子平板测绘模式按照便携机所处位置,区分为测站电子平板和镜站遥控电子平板。测站电子平板是将装有测图软件的便携机直接与全站仪相连,在测站上实时地展点,观察测站周围的地形,用软件的绘图功能边测边绘。电子平板可以及时发现并纠正测量错误,图形的数学精度高。但测站电子平板受视野所限,对碎部点的属性和碎部点间的关系不易判断准确。改进的办法是将便携机放在镜站,使手持便携机的作业员在跑点现场指挥立镜员跑点,并发出指令遥控驱动全站仪观测(自动跟踪或人工照准),观测结果通过无线传输到便携机,并在屏幕上自动展点。电子平板在镜站能够“走到、看到、绘到”,不易漏测,便于提高成图质量。这种作业模式将现代化通讯手段与电子平板结合起来,从根本上改变了传统的测图作业概念。镜站遥控电子平板作业模式可形成单人测图系统,只要一名测绘员在镜站立对中杆,遥控测站上带伺服马达的全站仪瞄准镜站反光镜,并将测站上测得的三维坐标用无线电传输到电子平板仪,自动展点和注记高程,绘图员迅速实时地把展点的空间关系在电子平板仪上描述(表示)出来。但该测图模式需数据无线通讯设备及带伺服马达的全站仪,尽管目前设备较贵,但该方法是目前的发展方向。

在基于 Windows CE 的 PDA(掌上电脑)出现之后,许多测绘工作者将其视为更加理想的外业数据采集工具。PDA 体积小、重量轻、待机时间长。针对 PDA 的优势及目前电子平板测图模式的不足,许多公司采用 PDA 取代便携机开发了掌上电子平板测图系统,使电子平板作业模式更加方便、实用。

三、地图数字化模式

地图数字化作业模式是指用数字化仪或扫描仪在测区原有纸质地形图基础上进行数据采集的模式。这种作业模式是我国早期(20 世纪 80 年代末和 90 年代初)数字成图的主要作业模式。由于大多数城市都有精度较高、现势性较好的地形图,要制作多功能的数字地图,这些地形图是很好的数据源。1987 年至 1997 年主要用手扶跟踪数字化仪数字化旧图,后来随着扫描矢量化软件的成熟,扫描仪逐渐取代数字化仪数字化旧图。扫描数字化即先用扫描仪扫描得到栅格图形,再用扫描矢量化软件将栅格图形转换成矢量图形。这一扫描矢量化作业模式,不仅速度快、劳动强度小,而且精度几乎没有损失。先利用测区的旧图内业数字化成图,再在此基础上进行外业修测,是一种经济的数字成图方法,但得到的数字图的精度与模拟图是一致的。

以上 3 种作业模式各有特点,在实际作业过程中,应针对测区实况合理选择适用的作业方法,合理安排,使成果、成图符合技术标准及用户要求,以获得最大的经济和社会效益。

近几年出现了视频全站仪和三维激光扫描仪等快速数据采集设备,快速测绘数字景观图成为可能。通过在全站仪上安装数字相机(视频全站仪)的方法,可在对被测目标进行摄影的同时,测定相机的摄影姿态,经过计算机对数字影像处理,得到数字地形图或数字景观图;利用三维激光扫描仪,通过空中或地面激光扫描获取高精度地表及构筑物三维坐标,经过计算机实

时或事后对三维坐标及几何关系的处理,得到数字地形图或数字景观图。这种快速测绘数字景观的成图模式可能成为今后建立数字城市的主要手段。

习题与思考题

1. 什么是数字测图?
2. 简述数字测图的基本成图过程。
3. 什么是矢量图形? 什么是栅格图形? 一般情况下,同一幅地形图是矢量数据量大还是栅格数据量大?
4. 数据采集的绘图信息有哪些?
5. 数字测图系统可分哪几种? 简述其基本测图思想。
6. 数字测图的硬件设备有哪些? 各自的作用是什么?
7. 数字测图有哪些优点?
8. 数字测图大致有哪几种作业模式?