



高职高专示范建设规划教材

GAOZHI GAOZHUAN SHIFAN JIANSHE GUIHUA JIAOCAI

数字测图实用教程

SHUZI CETU SHIYONG JIAOCHENG

主 编 ○ 熊秋荣
主 审 ○ 汪仁银



西南交通大学出版社

数字测图实用教程

主编 熊秋荣

主审 汪仁银

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

数字测图实用教程 / 熊秋荣主编. —成都: 西南
交通大学出版社, 2014.8
高职高专示范建设规划教材
ISBN 978-7-5643-3404-8

I. ①数… II. ①熊… III. ①数字化测图—高等职业
教育—教材 IV. ①P231.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 201103 号

高职高专示范建设规划教材

数字测图实用教程

主编 熊秋荣

责任编辑	曾荣兵
助理编辑	胡晗欣
特邀编辑	柳堰龙
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	成都市书林印刷厂
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	9.25
字 数	241 千字
版 次	2014 年 8 月第 1 版
印 次	2014 年 8 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-3404-8
定 价	27.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是四川水利职业技术学院测绘工程系根据四川省高职示范院校建设要求,以“项目导向、任务驱动、工学结合”的教学模式为出发点,以技能培养为主线,结合行业需求,按照《数字化测图》课程标准编制的“工程测量技术专业”示范教材。本书可以作为高等职业院校测绘类专业配套教材,也可供相关工程技术人员参考。

本书依据专业人才培养要求,结合测绘行业标准,根据在企业生产一线对数字测图员岗位职能及数字测图生产过程所进行调研的成果,结合编者在生产和教学过程中积累的经验,从职业技能与职业素养的全面培养出发,按照“学以致用、教学与生产有机融合、学校与企业无缝对接”的指导原则,将数字测图生产全过程进行解构,摒弃传统教材只注重知识传授的缺点,将理论和实践有机结合。全书以数字化测图及用图为主线,设置了4个学习情境,19个任务,将数字测图的基本理论、基本方法、操作流程有机融合在一起。教师可以“做中教”,学生可以“做中学”,“教”“学”“练”“做”一体化,培养和强化学生的职业能力,实现教学过程与工作过程的无缝对接。

全书由四川水利职业技术学院测绘工程系熊秋荣编写,四川水利职业技术学院测绘工程系汪仁银对全书进行了审阅;本书在编写过程中,四川水利水电勘测设计研究院测绘分院刘建、四川省建筑工程职业技术学院许辉熙等对本书的内容提出了许多中肯的修改意见,在此一并表示感谢。

由于编者水平所限,书中不妥之处在所难免,衷心希望读者在使用过程中提出宝贵意见,以便于今后的修正和完善。

编 者

2014年5月30日于都江堰

目 录

学习情境一	认识数字测图	1
任务一	数字测图相关概念	1
任务二	数字测图基本思路和基本原理	10
任务三	数字测图优越性	11
任务四	数字测图系统	13
任务五	数字测图过程	14
任务六	全野外数字测图常见作业模式	16
学习情境二	大比例尺数字地形图测绘	18
任务一	编制数字测图技术设计书	18
任务二	图根控制测量	24
任务三	野外数据采集	29
任务四	地形图编辑	65
任务五	地形图分幅整饰与输出	96
任务六	地形图质量检查与验收	99
任务七	编制技术总结	105
学习情境三	纸质地形图扫描屏幕数字化	107
任务一	地形图扫描及预处理	107
任务二	地形图矢量化	111
任务三	地形图屏幕数字化精度简析	120
学习情境四	数字地形图在工程中的应用	121
任务一	地形图常见几何要素获取及面积量算	122
任务二	断面图绘制	124
任务三	土石方量计算	133
附录	数字化测图专业技术设计书范文	136
参考文献		149

学习情境一 认识数字测图

【知识目标】

了解数字测图的基础知识、发展历程；了解数字测图的特点及系统构成；熟悉数字测图工作流程；掌握数字测图系统的工作模式；理解与数字测图相关的一些基本概念和数字测图的主要特点；了解数字测图的发展历程；能够陈述数字测图的主要硬件系统的构成、数字测图的主要软件及其系统的构成；能列举几种常见的作业模式。

【能力目标】

能够根据具体情况熟练选配数字测图的硬件和软件系统；能够根据不同条件选择合适的数字测图作业模式。

任务一 数字测图相关概念

任务描述：理解和掌握数字测图的相关概念。

一、地图、传统地图

1. 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、社会和人文的位置与空间特性信息的卓越工具。地图的起源很早，在人类社会发展的过程中，很早就开始利用图画或符号记载周围的地理环境；随着人类生产、生活范围和实际需要的扩大，地图也在不断变化。同时，地图随着人类对空间信息的认识、加工和利用水平的提高及科技的整体进步而不断发展。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，具有极大的重要性。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，现代地图是按照一定的数学法则，运用符号系统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。

地形图属于地图的一种，主要用于反映地表的地形和地貌，在没有特别说明的情况下，“地图”一词包括地形图。

2. 传统地图及其成图方法

传统地图通常指以经纬仪、大平板仪等大地测量仪器按图解方式测制的地图。

这种地图成图方式的特点,是利用经纬仪、大平板仪等大地测量仪器在野外完成角度、距离、高差的测量、记录等外业工作,以及在室内完成计算、处理,绘制地形图等内业工作。由于地形测量的主要成果——地形图是由测绘人员利用量角器、比例尺等工具模拟测量数据,按规定的图式符号展绘在白纸或聚酯薄膜上,所以又俗称白纸测图或模拟法测图。

传统地图有几个明显的缺点,如工序复杂、劳动强度大、精度损失严重、反映的信息有限、更新缓慢等。

随着科技的发展,传统成图方式已经明显不能适应社会发展的需要,必将为更先进的成图方式所取代。

二、数字测图发展与展望

(一) 数字测图发展历程

数字化测图是近些年随着计算机、地面测量仪器、数字化测图软件的应用而迅速发展起来的全新测图方式,其成果广泛用于测绘生产、水利水电工程、土地管理、城市规划、环境保护和军事工程等部门。

数字测图发端于国外,其发展过程可以从以下 3 方面进行考察。

1. 机助地图制图的发展

数字测图首先是由机助地图制图(也称自动化制图)开始的。机助地图制图技术萌芽于 20 世纪 50 年代。

1950 年,第一台能显示简单图形的图形显示器在美国麻省理工学院作为旋风 1 号计算机的附件问世。1958 年,美国 Calcomp 公司将联机的数字记录仪发展成滚筒式绘图机,而 Greber 公司则将数控机床发展为平台式绘图仪。

20 世纪 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代、第三代电子计算机,从而促进了机助制图的研究和发展,很快即形成了一种“从图上采集数据进行自动制图”的系统。同一时期,美国国防制图局开始研究制图自动化问题,即将地图资料转换成计算机可读的形式,并由计算机处理、存储,继而自动绘制地形图。这一研究同时也推动了制图自动化全套设备的研制,包括各种数字化仪、扫描仪、数控绘图仪以及各类计算机接口技术等。

1964 年,首次实现在数控绘图仪上绘出地图。

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。

20 世纪 70 年代,在新技术条件下,对机助制图的理论和应用问题,如图形的数学表示和数学描述、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(如美国、加拿大及欧洲各国)都建立了软硬件结合的交互式计算机自动地图制图系统,制图自动化逐渐形成规模生产,测绘部门都有自动制图技术的应用。当一幅地形图数字化完毕,由绘图仪在透明塑料片上回放出地图,与原始地图叠置,检查数字化过程中产生的错误并加以修正。制图技术的发展有力地推动了地理信息的发展。

20 世纪 70 年代,电子速测仪问世,大比例尺地面数字测图开始发展。

20 世纪 80 年代,全站型电子速测仪迅猛发展,并加速了数字测图的研究与应用,数字测图进入推广应用阶段,各种类型的地图数据库和地理信息系统相继建立起来,计算机地图制图得到了极大的发展和广泛的应用。

当时的自动制图主要包括数字化仪、扫描仪、计算机及显示系统 4 个部分,至 20 世纪 80 年代后期,国际上已有较优秀的用全站仪采集,电子手簿记录、成图的数字测图系统,但用数字化仪进行数字化成图是主要的自动成图方法。

2. 航空摄影测量的发展

作为数字化测图方法之一的航空摄影测量,起源于 20 世纪 50 年代末期,当时的航空摄影测量都是使用立体测图及机械联动坐标绘图仪,采用模拟法测图原理,利用航测像对制作出线划地形图。至 60 年代出现了解析测图仪,由精密立体坐标仪、电子计算机和数控绘图仪等三个部分组成,将模拟测图创新为解析测图,其成果依然是图解地图。

20 世纪 80 年代初,我国为了满足数字测图的需要,在生产和使用解析绘图仪的同时,把原有模拟立体量测仪和立体坐标量测仪逐渐改装成数字绘图仪,将量测的模拟信息经过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。

80 年代末、90 年代初又出现了全数字摄影测量系统。全数字摄影测量系统作业过程大致如下: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 DTM、自动生成正射影像等一系列量测软件,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,目前已基本取了解析摄影测量。

数字摄影测量的发展为数字测图提供了各种数字化产品,如数字地形图、专题图、数字地面模型等。

3. 大比例尺数字测图的发展

大比例尺数字测图,是 20 世纪 70 年代在轻小型、自动化、多功能的电子速测仪问世后,在机助制图系统的基础上发展起来的。20 世纪 80 年代全站型电子速测仪的迅速发展,加速了数字测图的研究和发展。如 20 世纪 80 年代后期,国际上已有较优秀的用全站仪采集,电子手簿记录、成图的数字测图系统。

1) 国内发展状况

我国从 20 世纪 80 年代初开始了数字测图技术的研究、开发、试用和完善,目前已涌现出一些较优秀的数字测图软件,如清华大学土木系和清华山维公司研究开发的 EPSW 电子平板测图系统、南方地形地籍成图系统 CASS 系列及武汉瑞得信息工程有限公司开发的数字化测图系统 RDMS 系列等,许多测绘部门已用它们形成数字图的规模生产。数字测图技术正趋于成熟,终将取代人工模拟测图,成为地形测绘的主流。

我国数字化测图的发展过程大体上可分为四个阶段。

第一阶段:1983—1987 年,为引进阶段。主要是引进国外大比例尺数字测图系统。

第二阶段:1988—1991 年,为开发及研究阶段。这一阶段研制成功了数十套大比例尺数字化测图系统,并都在生产中得到应用。

第三阶段:1991—1997 年,为总结、优化和应用推广阶段。这一阶段发展出了一些新的

数字化测图方法。

第四阶段：1997 年至今，为数字测图技术全面成熟阶段，数字测图系统成为 GIS（地理信息系统）的一个子系统。至此，我国测绘事业开始全面进入数字测图时代。

目前我国地面数字测图（全野外数字测图）主要采用全站仪和 GNSS-RTK 数字测记模式。

最初的全站仪测记阶段，主要利用全站仪采集数据并记录数据（也有利用电子手簿记录并处理数据的），同时人工绘制标注测点点号的草图或编制编码，在室内将测量数据直接由全站仪或记录器传输到计算机，在成图软件的环境下由人工按草图编辑图形文件，在计算机上实现半自动成图。

此外，也有采用“全站仪+便携机（笔记本电脑）”的电子平板模式，即利用笔记本电脑的屏幕模拟测板在野外直接观测，把全站仪测得的数据直接展绘在计算机屏幕上，利用软件的绘图功能边测边绘，经人机交互编辑修改，最终生成数字地形图，由绘图仪绘制地形图。

目前，野外测记模式仍在采用，但成图软件有了实质性的进展。一是开发了智能化的外业数据采集软件；二是计算机成图软件能直接对接收的地形信息数据进行处理。

2) 国外发展状况

20 世纪 90 年代，GNSS-RTK 实时动态定位技术（载波相位差分技术）出现并日趋成熟，GNSS-RTK 数字测记模式开始被广泛应用于数据采集。GNSS-RTK 数字测记模式采用 GNSS 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。它的出现提高了数字测图的效率，使 GNSS-RTK 数字测量系统在开阔地区逐渐成为地面数字测图的主要方法。而且，随着俄罗斯 GLONASS 卫星定位系统、欧盟的伽利略全球定位系统及我国的北斗导航卫星定位系统的建立和完善，必将出现更多联合利用多种全球定位系统的 GNSS-RTK，届时 GNSS-RTK 数字测图将在各种地形条件下（包括城镇环境）得到更为广泛的应用，发挥出更大的作用。

（二）数字测图发展前景

随着科学技术水平的不断提高和地理信息系统（GIS）的不断发展，全野外数字测图技术将在以下方面得到较快发展。

（1）无线传输技术（如蓝牙技术）的广泛应用，使得以镜站为中心的无点号、无编码的镜站遥控电子平板测图系统成为发展趋势。

无线数据传输技术应用于全野外数字测图作业中，将使作业效率和成图质量得到进一步提高。目前生产中采用的各种测图方法，所采集的碎部点数据要么储存在全站仪的内存中，要么通过电缆输入电子平板（笔记本电脑）或电子手簿。由于不能实现现场实时连线构图，必然影响作业效率和成图质量。即使采用电子平板（笔记本电脑）作业，也由于在测站上难以全面看清所测碎部点之间的关系，而降低效率和质量。为了很好地解决上述问题，可以引入无线数据传输技术，即实现电子手簿与测站分离，确保测点连线的实时完成，并保证连线的正确无误。具体方法如下：

在全站仪的数据端口安装无线数据发射装置，它能够将全站仪观测的数据实时地发射出去；开发适用于电子手簿的数字测图系统，并在电子手簿上安装无线数据接收装置。作业时，电子手簿操作者与立镜者同行（熟练操作员或简单地区，立镜者可同时操作电子手簿），每测

完一个点，全站仪的发射装置马上将观测数据发射出去，并被电子手簿所接收，测点的位置即会在电子手簿的屏幕上显示出来。操作者根据测点的关系完成现场连线构图，这样可避免由于辨不清测点之间的相互关系而产生的连线错误；不必绘制观测草图进行内业处理，从而实现效率和质量的双重提高。

目前已有一些较为成熟的测绘仪器，如徕卡 TPS1200 系列（目前该系列全站仪某些型号的仪器已经可以扩展为超站仪）全站仪已经实现了上述功能，如图 1.1、1.2 所示。

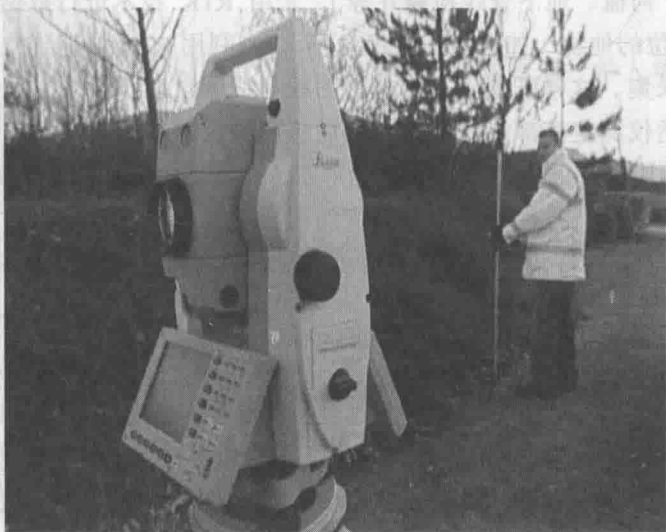


图 1.1 利用徕卡 TPS1200 系列全站仪进行镜站遥控电子平板测图 1（仪器自动跟踪目标）



图 1.2 利用徕卡 TPS1200 系列全站仪进行镜站遥控电子平板测图 2

（2）全站仪与 GNSS-RTK 技术相结合的测图模式将迅速发展，一种全新的仪器——“超站仪”将逐渐普及。

全野外数字测图技术的另一发展趋势是 GNSS-RTK 技术与全站仪相结合的作业模式。GNSS 具有定位精度高、作业效率高、不需点间通视等突出优点。实时动态定位技术 (RTK) 更使测定一个点的时间缩短为几秒钟, 而定位精度可达厘米级。作业效率与全站仪采集数据相比可提高 1 倍以上。但是在建筑物密集地区, 由于障碍物的遮挡, 容易造成卫星失锁现象, 使 RTK 作业模式失效, 此时可采用全站仪作为补充。

所谓 RTK 与全站仪联合作业模式, 是指测图作业时, 对于开阔地区以及便于 RTK 定位作业的地物 (如道路、河流、地下管线检修井等), 采用 RTK 技术进行数据采集; 对于隐蔽地区及不便于 RTK 定位的地物 (如电杆、楼房角等), 则利用 RTK 快速建立图根点, 用全站仪进行碎部点的数据采集。这样既免去了常规的图根导线测量工作, 同时也有效地控制了误差的积累, 提高了全站仪测定碎部点的精度。最后将两种仪器采集的数据整合, 形成完整的地形图数据文件, 在相应软件的支持下, 完成地形图 (地籍图、管线图等) 的编辑、整饰工作。

该作业模式的最大特点是在保证作业精度的前提下, 可以极大地提高作业效率。可以预见, 随着 GNSS 的普及、硬件价格的进一步降低和软件功能的不断完善, GNSS 与全站仪相结合的数字测图作业模式将会得到迅速发展。

此外, 目前还出现了一种全新的、集合全站仪测角功能、测距功能和 GNSS 定位功能, 不受时间和地域限制, 不依靠控制网, 无须设基准站, 没有作业半径限制, 单人单机即可完成全部测绘作业流程的一体化的测绘仪器——超站仪, 如图 1.3 所示。这种仪器主要由动态 PPP、测角测距系统集成。

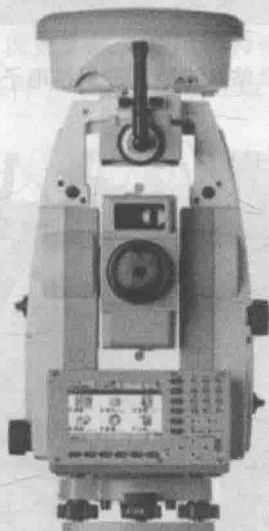


图 1.3 超站仪

其操作方法为: 在一点架站, 与基站连接, 测出该点的 WGS-84 坐标, 以另外的一个或多个已知点 (或在接下来测量中要测定的另外一个点) 定向, 超站仪会自动计算坐标方位角 (或在获得未知定向点坐标后再计算), 然后进行碎部点测量, 得出的图形可直接作为结果输出。

超站仪克服了目前国内外普通使用的全站仪、GNSS、RTK 技术的众多缺陷; 克服了顶空不通视对 GNSS 技术造成的困难; 克服了目前最集中体现现代测绘科技发展进步的 RTK 技术

和 RTK 网络技术必须设基准站且作业半径范围受限制的困难。这使测绘作业从此彻底摆脱了控制网的束缚,可以随时测定地球上任意一点在当地坐标系下的高斯平面坐标,而且精度均匀;可以极大地减轻目前测绘作业的劳动强度。而且具有独立性、准确性、易操作性等各种测量手段的优势集合。

自由超站仪是目前最新的一种集高精度动态单点定位系统、测角、测距系统一体化的新型测绘仪器。它开创了一种不受时间地域限制、不依靠测量控制网、无需设基准站、无作业半径限制,在全球任何地区测量精度一致,单人手持单机即可完成全部野外作业的测绘新模式。

其创新特点如下:

① 开创了不依靠控制网、无须设基准站、不受作业半径限制、单人单机即可完成全部野外作业的测绘新模式。

② 动态单点绝对定位精度优于 0.3 m,静态单点定位精度为 1 cm。

③ 动态 PPP、测角、测距三位一体化集成。

④ 动态 PPP 定位软件具有自动从网上搜索和下载 GIS 精密星历和钟差、进行非差精密定位解算等功能。

自由超站仪实现了无基站、高精度、动态 GNSS 单点定位。单台 GNSS 独立作业、完成绝对定位,快捷而简便。一般情况下,每个待定点上定位时间为 1~3 s,观测条件较差的情况下,也只需观测 1 min 即可,而单点动态绝对定位平面精度优于 0.3 m。

自由超站仪实现了高精度动态单点定位测图,使得测绘工作从此摆脱测量控制点的束缚,简化了测图工作程序,大大减轻了测绘作业劳动的强度。将 GNSS 和全站仪集成为自由超站仪系统,可以在植被、建筑物等覆盖的隐蔽地区一带作业,克服了 GNSS 要求顶空必须通视的缺点。在全球任何地点都可以测得高精度的坐标,从实际上统一了全国坐标系。

可以预见超站仪将在以下方面发挥越来越重要的作用:

① 地形测量、地籍测量、城乡土地规划测量。

② 江、河、湖、海水域地形测量。

③ 地质、物探、资源、灾害调查等测量。

④ 若采用传统静态定位作业模式,可用于各等级控制测量。

⑤ 交通、车辆、安全、旅游等与地理信息有关的管理系统工程等。

(3) 在未来的数字化测图中,将淡化比例尺的概念。

地图比例尺是指地图上某线段的长度与实地相对应线段的水平长度之比。它是地图上重要的数学要素之一,决定着实地的地理目标转变为地形图上的符号的形状及大小,标志着地图对地面的缩小程度,直接影响着地图内容表示的可能性,即选取化简和概括地图内容的细致程度。

由于一定幅面内地形符号的负载及表现能力的局限,传统平板测图不得不分为各种比例尺,而在各种比例尺的地图中,不光细致程度不同,精度也不同,相互间很难转换,需要不同比例尺的地形图时,就需要重复测绘。

数字化测图虽然也分比例尺,但它主要是用来定义地图输出时点状符号的大小及线状符号的间隔、宽窄等,即为输出传统的纸质地图定义的,而输出纸质地图并不是数字化测图的最终目的;数字化测图的使用主要是在计算机上进行的,比例尺的换算也是计算机自动完成

的,精度也因计算机具有无级缩放显示的功能,而不受图形缩放的影响。所以除点状字符及部分线状符号的大小定义不同外,不同比例尺的数字地图间的差异仅仅是取决于细致程度的不同,而与精度无关。这是数字测图有别于平板测图的一大优点。

而在具体的测绘工作中,由于立镜作业人员的行走路线相当,多测一部分碎部点,实际的工作量相差并不大,所以在进行数字化地形测绘中应一次性考虑到各种用途的需要,而按大比例尺的技术要求进行测绘。在输出时也因测图软件一般都具有比例尺的转换功能,能很容易地得到各种比例尺的地形图。随着经济建设的发展,地形、地貌的变化很快,地形图很快就失去了现势性,同时数字化地图又是采用不同的地物、地形类别进行分层存储的,具有无级缩放显示的功能;地图符号负载量限制相对较小,测量数据可反复利用,精度与比例尺无关,可以非常方便地对普通地图的内容进行任意形式的要素组合、拼接,形成新的地图;对数字地图进行任意比例尺、任意范围的绘图输出,缩短成图时间,方便与卫星影像、航空照片等其他信息源结合,生成新的图种,利用数字地图记录的信息,派生出新的数据,这些特性使得比例尺的概念可以淡化。用图单位只要根据实际的用途需要,提出具体的测绘内容即可,不必再刻意关注地形图比例尺的大小。而测绘单位也可不再根据测量规范严格按比例尺限定测绘内容,避免了测绘数量众多、存在周期短的问题。这对于提高作业效率、节省经费很有实际意义。

(4) 数字测图技术作为地理信息系统(GIS)前端数据采集的重要手段,将不断向自动化、智能化、集成化的方向发展和完善。

人类正迈向信息社会,作为信息产业重要组成部分的地理信息产业有了蓬勃发展。近几年,我国城市地理信息系统建设的势头迅猛,GIS的建立离不开空间数据和数据的更新。没有数据,GIS不可能建立;而有了数据,若不能及时地更新,GIS就会失去生命力。数字地(形)图的测绘及更新是建立GIS最基础、工作量最大的工作。

随着地理信息系统的不断发展,GIS的空间分析功能将不断增强和完善。作为GIS的前端数据采集重要手段之一的数字测图技术,必须更好地满足GIS对基础地理信息的要求。在GIS中,地形图已不再是简单的点、线、面的组合,而应是空间数据与属性数据的集合。野外数据采集时,不仅仅要采集空间数据,同时还必须采集相应的属性数据。

目前在生产中所用的各种数字测图系统,大多只是简单的地形、地籍成图软件,很难作为一种完善的GIS数据前端采集系统,这造成了前期数据采集与后期GIS系统构建工作的脱节,使GIS构建工作复杂化。因此,规范化的数字测图系统(包括科学的编码体系、标准的数据格式、统一的分层标准和完善的数据转换、交换功能)将会受到作业单位的普遍重视。

大比例尺数字测图的需求指引发展,测图系统及测绘仪器的集成是必然趋势。GNSS和全站仪相结合的新型全站仪(超站仪)已被用于多种测量工作。近几年,又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,使快速测绘数字景观图成为可能。视频全站仪是通过在全站仪上按照数字相机的方法,在对被测目标进行摄影的同时,调整相机的摄影姿态,再经过计算机对数字影像进行处理,得到数字地形图或数字景观图;利用三维激光扫描仪(如徕卡HDS系列三维激光扫描仪和Cyrax三维激光扫描测量系统),通过空中或地面激光扫描获取高精度地表及构筑物的三维坐标,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极有可能成为今后建立数

字城市、进行各种立体建模等工作的主要手段。届时测量工作只需携带一台新型全站仪和一个三脚架,而操作员也只需一人即可。

同时,在各类土木工程建设中,计算机辅助设计(CAD)技术也得到飞速发展。设计所使用的地形图显示于屏幕,在交互式计算机图形系统的支撑下,工程设计人员可直接在屏幕上进行设计、方案的比较和选择等。完整的土木工程CAD技术,离不开数字化的地形图。因此,传统的大比例尺测图方法,必然要经历一场不可避免的革命性变化,变革最基本的目标就是数字化、自动化(智能化)和集成化。

三、数字测图、广义的数字测图及狭义的数字测图

1. 数字测图(Digital Surveying and Mapping, DSM)

那么到底什么是数字测图呢?数字化测图是近些年随着电子技术、计算机技术、地面测量仪器、数字化测图软件的应用而迅速发展起来的一种全新的机助测图方式。它是以全站仪、RTK及其他电子数据终端构成的数据采集系统与计算机辅助制图系统相结合,形成的一套从野外数据采集到内业制图全过程数字化和自动化的测量制图系统和方法,其成果是数字地形图。通常把这种测图方式称为数字化测图,简称数字测图。

数字化测图实质上是一种全解析计算机辅助测图的方法,它使得地形测量成果不再仅仅是绘制在纸上的地形图,而是以计算机存储介质为载体的,可供计算机传输、处理、多用户共享的数字地形信息。数字地形信息以存储与传输方便、精度与比例尺无关、不存在变形及损耗,能方便、及时地进行局部修测更新,便于保持地形图现势性等巨大优势,极大地提高了地形测量资料的应用范围,在各经济建设部门中发挥出了重要作用。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的重要组成部分。另外,利用数字地图还可生成电子地图和数字地面模型(DTM),实现对客观世界的三维描述。可以说,数字化测图的出现,是地形测量理论与实践革命性进步的标志。

数字测图可从广义和狭义两方面来进行理解。

2. 广义的数字测图

广义地讲,凡是制作以数字形式表示地图的方法和过程就是数字测图,包括:全野外数字化测图(也叫地面数字测图)、地图数字化成图、数字摄影测量和遥感数字测图。

3. 狭义的数字测图

狭义的数字测图专指全野外数字化测图,一般意义上的数字测图指的就是狭义的数字测图。本书主要介绍全野外数字化测图。

四、数字地图及电子地图

1. 数字地图(Digital Map)

数字地图是数字测图的成果,是在磁盘、磁带、光盘等介质上以数字形式存贮全部地形信息的地图,是用数字形式描述地形要素的属性、定位和关系信息的数据集合。从本质上来说数字地图是存储在具有存取性能的介质上的关联数据文件。

数字地图是纸制地图的数字存在和数字表现形式,是在一定坐标系统内具有确定的坐标

和属性的地面要素和现象的离散数据,在计算机可识别的可存储介质上概括的、有序的集合;某种意义上也可以说,数字地图是以地图数据库为基础,以数字形式存储在计算机外储存器上,可以在电子屏幕上显示的地图。

2. 电子地图 (Electronic map)

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放大或缩小,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。

3. 数字地图与电子地图的关系

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”。可以说数字地图是电子地图的基础,而电子地图是数字地图的外在表象。

任务二 数字测图基本思路和基本原理

任务描述: 了解数字测图的基本思路和基本原理。

一、数字测图基本思路

白纸测图的实质是将测得的观测值(数据)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,即使是地形图的室内整饰,一般也要在观测区驻地完成,因此劳动强度较大。另外,在转化过程中还会使测得的数据的精度大幅度降低,当前,建设日新月异、信息量剧增,纸质图已难以承载诸多图形信息,而其修改、变更也极不方便,实在难以适应当前经济建设的需要。

数字测图则可以实现丰富的地形信息和地理信息数字化和作业过程的自动化或半自动化,极大地缩短野外测图时间,减轻野外劳动强度,将大部分作业内容安排到室内完成。与此同时,将大量手工作业(如记录、计算、展点及绘制等高线等)转化为计算机控制下的机助操作,不仅减轻了劳动强度,而且还可以保障测量的精度。

数字测图的基本思路就是将采集的各种有关的地理位置和地貌信息(模拟量)转化为数字形式,通过数据接口传输给计算机进行处理,从而得到内容丰富的数字地图,还可根据需由计算机的图形输出设备(如显示器、绘图仪)绘出地形图或各种专题地图。将模拟量转化为数字形式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、航片(卫片)数据采集、地图数字化法采集。

二、数字测图基本原理

数字测图的基本原理、过程如图 1.4 所示。

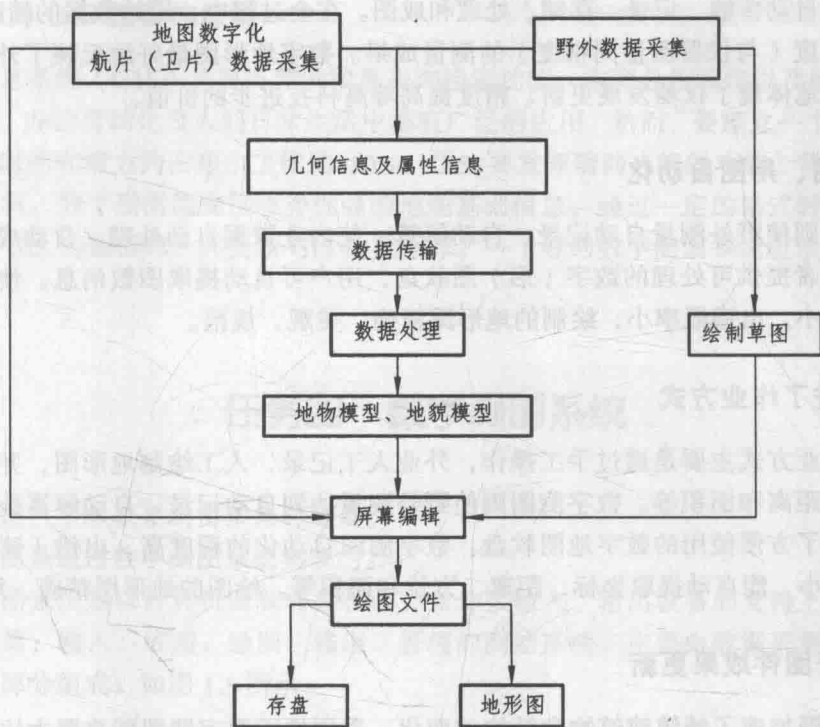


图 1.4 数字测图的基本原理及过程

任务三 数字测图优越性

任务描述：认识到数字测图之所以能取代传统的大比例尺白纸测图，是因为数字测图具有诸多纸质图所不具有的优点。

一、点位精度高

传统的经纬仪配合平板、量角器的图解测图方法，其地物点的平面位置误差主要受展绘误差和测定误差、测定地物点的视距误差和方向误差、地形图上地物点的刺点误差等影响。实际的图上误差可达 $\pm 0.47\text{ mm}$ 。经纬仪视距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 $\pm 0.06\text{ mm}$ ，而且随着倾斜角的增大高程测定误差会急剧增加。如在 $1:500$ 的地籍测量中测绘房屋，要用皮尺或钢尺量距，用坐标法展点。红外测距仪和电子速测仪普及之后，虽然测距和测角的精度大大提高，但是这在沿用白纸测图的方法绘制的地形图中却体现不出来。也就是说，只要图解地形图的精度变化不大，测图的精度是无法提高的。这就是白纸测图的致命弱点。而数字化测图则不同，测定地物点的误差在距离 450 m 内约为 $\pm 22\text{ mm}$ ，测定地形点的高程误差在 450 m 内约为 $\pm 21\text{ mm}$ 。若距离在 300 m 以内时测定地物点误差约为 $\pm 15\text{ mm}$ ，测定地形点高差约为 $\pm 18\text{ mm}$ 。电子速测仪的测量数据作为

电子信息可以自动传输、记录、存储、处理和成图。在全过程中，原始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。数字地形图最好地反映了外业测量的精度，也最好地体现了仪器发展更新、精度提高等高科技进步的价值。

二、测图、用图自动化

数字测图则使野外测量自动记录、自动解算，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（形）图软盘，用户可自动提取图数信息。使其作业效率高，劳动强度小，出错概率小，绘制的地形图精确、美观、规范。

三、改进了作业方式

传统的作业方式主要是通过手工操作，外业人工记录、人工绘制地形图，并且在图上人工量算坐标、距离和面积等。数字测图则使野外测量达到自动记录、自动解算处理、自动成图，并且提供了方便使用的数字地图软盘。数字测图自动化的程度高，出错（读错、记错、展错）的概率小，能自动提取坐标、距离、方位和面积等。绘图的地形图精确、规范、美观。

四、便于图件成果更新

城镇的发展加速了城镇建筑物和结构的变化，采用地面数字测图能克服大比例尺白纸测图连续更新的困难。数字测图的成果是以点的定位信息和绘图信息存入计算机，实地房屋的改建、扩建，变更地籍或房产时，只需输入变化信息的坐标、代码，经过数据处理就能方便地做到更新和修改，始终保持图面整体的可靠性和现实性，数字测图可谓“一劳永逸”。

五、避免因图纸伸缩带来误差

图纸上的地图信息随着时间的推移，会因图纸产生变形而产生误差。数字测图的成果以数字信息保存，能够使测图用图的精度保持一致，精度无一点损失，避免了对图纸的依赖性。

六、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。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。

七、便于成果深加工利用

数字测图分层存放，可使地面信息无限存放，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，开拓市场。比如 CASS 软件总共定义 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，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的用图和工程用图。