



教育部高职高专测绘类专业教学指导委员会“十二五”推荐教材

数字测图技术

SHUZI CETU JISHU

主 编 谢爱萍 王福增
主 审 赵文亮



武汉理工大学出版社

教育部高职高专测绘类专业教学指导委员会“十二五”推荐教材

数字测图技术

主 编 谢爱萍 王福增
副主编 周 波 杨会玲
参 编 孟继红 齐海龙
主 审 赵文亮

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

数字测图技术/谢爱萍,王福增主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2012.8
ISBN 978-7-5629-3742-5

I. ① 数… II. ① 谢… ② 王… III. ① 数字化制图-高等职业教育-教材 IV. ① P283.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 205435 号

项目负责人:汪浪涛

责任编辑:汪浪涛

责任校对:张明华

装帧设计:语新文化设计工作室

出版发行:武汉理工大学出版社

地址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮编:430070

网址:<http://www.techbook.com.cn>

经销者:各地新华书店

印刷者:荆州鸿盛印务有限公司

开本:787×1092 1/16

印张:13.75

字数:345 千字

版次:2012 年 8 月第 1 版

印次:2012 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册

定价:26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有,盗版必究 ·

高职高专测绘类专业新编系列教材

编审委员会

顾 问:赵文亮 黄声享

主 任:李生平 陈传胜 田 高

副主任:(以姓氏笔画为序)

牛志宏	王晓春	冯大福	刘仁钊	吴 迪
李 泽	李风贤	李井永	李占宏	李孟山
李聚方	张晓东	张福荣	邹晓军	杨旭江
杨晓平	高 见	高小六	唐保华	鲁有柱
董钧祥	蔡德民			

委 员:(以姓氏笔画为序)

王 云	王 芳	孔令惠	牛志宏	王晓春
王朝林	王新鹏	王福增	左美蓉	冯大福
孙 垚	孙茂存	刘 飞	刘仁钊	刘海涛
江新清	吴 迪	李 泽	李井永	李风贤
李占宏	李泽球	李聚方	张玉堂	张晓东
张桂蓉	张福荣	张慧慧	陈 琳	邹娟茹
杨木生	杨旭江	杨晓平	周 波	赵凤阳
赵淑湘	胡良柏	高 见	高小六	翁丰惠
唐保华	董钧祥	谢爱萍		

秘书长:汪浪涛

出版说明

教材建设是教育教学工作的重要组成部分,高质量的教材是培养高质量人才的基本保证。高职高专教材作为体现高职教育特色的知识载体和教学的基本条件,是教学的基本依据,是学校课程最具体的形式,直接关系到高职教育能否为一线岗位培养符合要求的高技术应用型人才。

伴随着国家建设的大力推进,高职高专测绘类专业近几年呈现出旺盛的发展势头,开办学校越来越多,毕业生就业率也在高职高专各专业中名列前茅。然而,由于测绘类专业是近些年才发展壮大的,也由于开办这个专业需要很多的人力和设备资金投入,因此很多学校的办学实力和办学条件尚需提高,专业的教材建设问题尤为突出,主要表现在:缺少符合高职特色的“对口”教材;教材内容存在不足;教材内容陈旧,不适应知识经济和现代高新技术发展需要;教学新形式、新技术、新方法研究运用不够;专业教材配套的实践教材严重不足;各门课程所使用的教材自成体系,缺乏沟通与衔接;教材内容与职业资格证书制度缺乏衔接等。

武汉理工大学出版社在教育部高职高专测绘类专业教学指导委员会的指导和帮助下,对全国三十多所开办测绘类专业的高职院校和多个测绘类企事业单位进行了调研,组织了近二十所开办测绘类专业的高职院校的骨干教师对高职测绘类专业的教材体系进行了深入系统的研究,编写出了这一套既符合现代测绘专业发展方向,又适应高职教育能力目标培养的专业教材,以满足高职应用型高级技术人才的培养需求。

这套测绘类教材既是我社“十二五”重点规划教材,也是高职高专测绘类专业教学指导委员会“十二五”推荐教材,希望本套教材的出版能对该类专业的发展作出一点贡献。

武汉理工大学出版社

2012.2

前 言

随着现代测绘技术的发展,测绘学科在理论上、方法上和技术体系上经历了巨大的变革。这种变革不仅波及测绘学科的科学研究和生产实践,同时还不可避免地影响到测绘学科专业的教学改革。为了配合高职高专教育教学改革,探索开发出与“工学结合”人才培养模式相适应的高职高专教育测绘类专业课程体系,根据全国高职高专测绘类专业教学指导委员对测绘类专业基础教材的要求,全国多所高职高专院校的骨干教师和生产单位的专家共同编写了本教材。

“数字测图技术”是在传统测量学课程基础上开设的一门应用现代测量技术的课程,具有很强的实践性。由于数字测图是以数字形式表达地形特征的集合,具有自动化、数字化、低强度、高效率、高精度和应用方便等特点,目前它已经成为大比例尺地形图测绘的主要方法。所以“数字测图技术”也就成为了高职高专工程测量技术及相关专业必修的一门专业技术课。

本教材在内容上突出了高职高专职业技术教育的特色,重点突出了实践应用能力和操作技能的培养;弱化了“数字测图技术”课程原有的数字测图的基本原理、计算机绘图基础理论、全站仪和 GPS-RTK 的工作原理等内容;强化了具有可操作性强、生产中常用的测量技术,如全站仪和 GPS-RTK 操作应用、CASS 成图系统、MapGIS 系统应用等方面的内容;删除了在生产中已经淘汰的技术方法,重点强调目前在生产中主要使用的方法;同时将测绘行业规范标准相关内容纳入到教材建设中,更加增强了教材的实用性。

本书由谢爱萍(甘肃林业职业技术学院)、王福增(河北地质职工大学)担任主编,周波(杨凌职业技术学院)、杨会玲(郑州工业安全职业学院)担任副主编,孟继红高级工程师(甘肃省地矿局第一勘察院)和齐海龙(河北地质职工大学)参与编写。全书共分 8 章,编写人员及分工如下:第 1 章和第 7 章由周波编写,第 2 章和第 8 章由谢爱萍编写,第 3、4 章由王福增编写,第 5 章由孟继红、杨会玲编写,第 6 章由齐海龙编写。全书由谢爱萍负责统稿工作。赵文亮教授(昆明冶金高等专科学校)主审了本教材前期大纲并最终定稿。

本书在编写过程中得到了教育部高职高专测绘类专业教学指导委员会主任委员赵文亮教授、委员张晓东教授的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,参阅了大量文献(包括电子版),引用了同类书刊中的一些资料;引用了南方测绘、中地、莱卡、拓普康公司产品使用手册和说明书的部分内容。在此,谨向有关作者和单位表示感谢,同时对武汉理工大学出版社为本书出版所做的辛勤工作表示感谢!

由于作者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2012 年 6 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 数字测图概述	(1)
1.1.1 数字地图的概念	(1)
1.1.2 数字测图的概念	(2)
1.1.3 数字测图与白纸测图的区别	(2)
1.1.4 数字测图的特点	(2)
1.1.5 数字测图的发展与展望	(5)
1.2 数字测图的基本原理	(6)
1.2.1 数字测图的基本思想	(6)
1.2.2 数字测图的图形描述	(7)
1.2.3 数字测图的数据格式	(7)
1.2.4 数字测图解决的问题	(8)
1.3 数字测图的基本过程	(8)
1.3.1 数据采集	(8)
1.3.2 数据处理	(9)
1.3.3 成果输出	(9)
1.4 数字测图作业模式	(9)
1.4.1 地面数字测图的作业模式	(9)
1.4.2 地图数字化	(11)
1.4.3 数字摄影测量	(11)
思考与练习	(11)
2 数字测图系统	(12)
2.1 数字测图系统概述	(12)
2.2.1 数字测图系统的概念	(12)
2.2.2 数字测图系统的组成	(12)
2.2 全站型电子速测仪	(14)
2.2.1 全站仪的结构	(14)
2.2.2 全站仪的测量原理	(15)
2.2.3 全站仪的基本测量功能(以拓普康 GPT-3100 为例)	(22)
2.3 GPS-RTK 测量系统	(26)
2.3.1 GPS-RTK 测量系统简介	(26)
2.3.2 GPS-RTK 测量系统的基本使用	(30)
2.3 数字测图系统的其他硬件设备	(33)

2.3.1	数字化仪	(33)
2.3.2	扫描仪	(34)
2.3.3	绘图仪	(35)
2.4	数字测图软件系统	(36)
2.4.1	数字测图软件系统简介	(36)
2.4.2	数字测图软件系统的基本功能	(37)
	思考与练习	(37)
3	图根控制测量	(38)
3.1	全站仪图根导线测量	(38)
3.1.1	导线布设	(38)
3.1.2	观测方法	(39)
3.1.3	平差计算	(39)
3.2	GPS-RTK 图根控制测量	(51)
3.2.1	双频 RTK 快速静态测量	(51)
3.2.2	RTK 实时动态测量	(57)
3.3	图根点的加密	(61)
3.3.1	图根点密度	(61)
3.3.2	图根点加密的方法	(62)
	思考与练习	(67)
4	数字测图外业	(68)
4.1	碎部点数据采集	(68)
4.1.1	碎部点的选择	(68)
4.1.2	碎部点坐标测算法	(69)
4.2	全站仪数据采集	(72)
4.2.1	全站仪坐标数据采集的基本原理	(72)
4.2.2	全站仪坐标数据采集的方法步骤	(73)
4.2.3	测记法	(78)
4.2.4	电子平板法	(81)
4.3	RTK 坐标数据采集	(84)
4.3.1	安置仪器	(84)
4.3.2	测站校正	(86)
4.3.3	数据采集	(89)
4.4	数据传输	(89)
4.4.1	全站仪数据传输	(89)
4.4.2	GPS-RTK 数据传输	(91)
	思考与练习	(92)
5	大比例尺数字地形图成图方法	(93)
5.1	南方 CASS9.0 成图系统简介	(93)

5.1.1	CASS9.0 的功能与特点	(93)
5.1.2	CASS9.0 主界面介绍	(93)
5.1.3	CASS9.0 系统常用快捷命令	(95)
5.1.4	CASS9.0 系统的常用文件格式	(95)
5.1.5	其他文件管理	(97)
5.2	平面图绘制的基本方法	(97)
5.2.1	屏幕坐标定位成图法	(97)
5.2.2	屏幕点号定位成图法	(102)
5.2.3	引导文件自动成图法	(106)
5.2.4	简编码自动成图法	(107)
5.3	等高线的绘制	(109)
5.3.1	CASS9.0 数字地面模型(DTM)的建立	(110)
5.3.2	数字地面模型(DTM)的修改	(111)
5.3.3	绘制等高线	(113)
5.3.4	等高线的修饰	(114)
5.3.5	三维模型的绘制	(117)
5.4	地形图的编辑与注记	(118)
5.4.1	工具	(118)
5.4.2	地物编辑	(124)
5.4.3	文字注记与文字编辑	(127)
5.4.4	实体属性的编辑	(131)
5.5	数字地形图的输出	(138)
5.5.1	地形图分幅	(138)
5.5.2	打印输出	(141)
	思考与练习	(143)
6	数字测图技术设计和质量检验	(144)
6.1	数字测图技术设计	(144)
6.1.1	数字测图技术设计概述	(144)
6.1.2	技术设计书的编写	(145)
6.2	数字测图产品质量检验	(148)
6.2.1	数字测图产品的质量	(148)
6.2.2	数字测图产品的验收	(150)
6.2.3	数字测图成果质量评定	(153)
6.3	数字测图技术总结编写	(154)
6.3.1	概述	(155)
6.3.2	已有资料及其应用	(155)
6.3.3	作业依据、设备和软件	(155)
6.3.4	坐标、高程系统	(155)

6.3.5	控制测量	(155)
6.3.6	地形图测绘	(155)
6.3.7	测绘成果质量说明和评价	(155)
6.3.8	安全环保措施	(156)
6.3.9	提交成果	(156)
6.3.10	其他需要说明的问题	(156)
	思考与练习	(156)
7	数字地形图的应用	(157)
7.1	数字地面模型及其应用	(157)
7.1.1	数字地面模型的内容	(157)
7.1.2	数字地面模型的建立	(159)
7.1.3	数字地面模型的应用	(163)
7.2	数字地形图在工程建设中的应用	(164)
7.2.1	基本几何要素的量测	(164)
7.2.2	土方量计算	(166)
7.2.3	断面图绘制	(177)
7.2.4	坐标变换	(181)
7.3	数据交换	(181)
7.3.1	CASS9.0 数据与 GIS 软件的接口	(181)
7.3.2	系统交换文本文件之间的转换	(182)
	思考与练习	(183)
8	数字测绘与 GIS 技术	(184)
8.1	GIS 技术与数字测绘技术	(184)
8.1.1	GIS 技术	(184)
8.1.2	GIS 技术与数字测绘技术的关系	(184)
8.2	MapGIS6.7 地理信息系统软件简介	(185)
8.2.1	MapGIS6.7 主要模块	(185)
8.2.2	MapGIS6.7 数字测图模块	(190)
8.3	数字测绘成果与 GIS 数据库	(198)
8.3.1	图形应用接口	(198)
8.3.2	入库检查	(201)
8.3.3	空间数据库和 MapGIS 地图入库	(201)
8.3.4	系统库的维护	(205)
	思考与练习	(206)
	参考文献	(207)

1 绪 论

随着科学技术的进步和电子技术的迅猛发展,全站仪、GPS、电子数据终端及计算机等在测绘领域的广泛应用,形成了从野外数据采集到内业成图的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形数字测图(简称数字测图)。这种测图方法由于有着自动化程度高、测图精度高和应用方便等特点,大大地提高了地面测图的工作效率,节约了测量工程项目的人力、物力,有效地降低了工程成本,所以已迅速成为当前主要的测图方法和手段。用数字测图手段产生的测绘产品主要是数字地图,由于数字地图在计算机上可以进行方便精准的查询和分析,在设计系统中方便应用,所以数字地图成为现代设计人员非常重要的参考资料。本书主要介绍地面数字测图的原理、技术和方法及其应用。

1.1 数字测图概述

1.1.1 数字地图的概念

1.1.1.1 地图的表达方法

地图是一种古老而有效并一直沿用至今,能够精确表达地表现象,记录和传达关于自然界、社会和人文位置与空间特性等信息最卓越的工具,它对人类社会的发展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律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,现代地图则是按照一定的数学法则,运用符号系统概括地将地面上的各种自然现象表示在平面上,这使得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、直观性和一览性。现代地图的主要要素有数学要素、地形要素、注记要素和整饰要素。

1.1.1.2 数字地图的概念

将绘制的地形图的全部信息存储在计算机中,经绘图软件处理后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。电子地图的优点是可以直接在屏幕上阅读,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,因而地形图也称为数字地图,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,“数字地图”被可视化后就成为“电子地图”,通过打印机或者绘图仪可视化,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。

1.1.2 数字测图的概念

应用电子速测仪、RTK、数字摄影、电子数据终端等构成野外数据采集系统,将其与内外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、数字化和自动化的测量制图系统,人们通常将其称为数字化测图(简称数字测图)。这种方法将实现丰富的地形信息、地理信息数字化以及作业过程的自动化,缩短了野外测图时间,减轻了野外劳动强度,将大部分作业内容安排到室内去完成,将大量手工作业转化为计算机控制下的自动操作,并且不会损失观测值精度。所以数字测图已成为各测绘单位的主要测图方法和手段。

人们对数字测图的认识有广义和狭义之分。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)、地图数字化成图、摄影测量和遥感数字测图。狭义的数字测图就是地面数字测图,是指通过应用全站仪和 RTK 等野外仪器进行实地野外数据采集,并借助计算机对数据进行处理,从而形成数字地图的测图方法。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到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。

1.1.3 数字测图与白纸测图的区别

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、人工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,特别是在当今信息时代,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。数字测图实现了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。和传统测图方式比较,数字测图主要有测图过程自动化程度高和测点位精度高等优点,此外,他的成果图形是数字化的,方便查询和分析,能以各种形式输出,便于共享和更新,方便深加工利用,同时可作为 GIS 的重要信息源以形成强大的 GIS 系统,为设计者提供丰富的基础资源,为决策者提供空间分析功能及辅助决策功能,因而在国民经济、办公自动化及人们的日常生活中得到广泛应用。

1.1.4 数字测图的特点

数字测图虽是在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。

1.1.4.1 数字测图过程的自动化

传统测图方式主要是手工作业,外业测量需人工记录、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,用户可自动提取图形信息,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、规范等优点。

1.1.4.2 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。数字地图主要具有以下优点:

(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,操作又十分方便。

(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。

(3) 便于数据输出

计算机与显示器、打印机联机时,可以显示或打印出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) 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与检索功能、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基础地理信息,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,改变了地形图的使用方式。

1.1.4.3 数字测图成果的高精度

众所周知,经纬仪配合小平板仪、大平板仪等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和方向误差、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在图上为 $\pm 0.5\text{ mm}$ (1:1000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 1:1000 的图采用视距测量,视距精度就是 20~30 cm,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。而对大比例尺如 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,而白纸测图的结果——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,从而可以获得高精度(与仪器测量同精度)的测量成果。数字地形图很好地(无损地)体现了外业测量的高精度,也就是很好地体现了仪器发展更新、精度提高的价值。它不仅满足当今科技发展的需要,也满足了现代社会科学管理的需要,如地籍测量、房产测量等,还可以满足建立各专业管理信息系统的需要。

1.1.4.4 数字测图的作业过程更加高效

(1) 传统测图经过坐标格网绘制、控制点手工展绘、碎部点手工刺绘等工序,距离通常用视距法测取;而地面数字测图直接利用碎部点坐标在计算机上自动展点成图,距离用电磁波测距法测取。因此,与传统测图相比,地面数字测图具有较高的测图速度和精度。

(2) 传统测图在野外完成基本地形原图的绘制,在获得碎部点的平面坐标和高程后,还需手工绘制地形图,而地面数字测图外业测量工作可以自动记录、自动解算处理、自动成图,因此,地面数字测图具有较高的自动化程度。

(3) 传统测图先完成图根控制测量,经计算获得图根控制点坐标,并展绘到图板上,而后进行碎部测图。地面数字测图的图根控制测量与碎部测量可同时进行,即在进行图根控制测量的同时,可在图根控制点上同步测量本站的碎部点,再根据图根控制点的平差后坐标,对碎部点坐标重新进行计算,以提高碎部点坐标的精度,而后利用计算机进行处理并自动生成图形(这种方法被称为“一步测图法”)。

(4) 地面数字测图主要采用极坐标法测量碎部点,根据红外测距仪的精度,在几百米范围内误差均在1 cm左右,因此在通视良好、定向边较长的情况下,碎部点到测站点的距离与传统测图相比,可以放得更长一些。

(5) 传统测图是以一幅图为单元组织施测,这种规则的划分测图单元给图幅边缘测图造成困难,并带来图幅接边问题。地面数字测图在测区内可不受图幅的限制,作业小组的任务可按河流、道路等自然分界线划分,以便于碎部测图,也减少了图幅接边问题。

(6) 传统测图中,测图员可对照实地用简单的几何作图法测绘规则的地物轮廓,用目测法绘制细小地物和地貌形态。而地面数字测图必须有足够的特征点坐标才能绘制地物符号,有足够而又分布合理的地形特征点才能绘制等高线,因此,地面数字测图中直接测量的碎部点的数目比传统测图有所增加,且碎部点(尤其是地形特征点)的位置选择尤为重要。

1.1.4.5 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理论,数字地形图内外业一体化测绘理论,数字地图应用理论,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,如图根控制和碎步一次测量的一步法、自然地界分组作业法等。

目前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。它正处于蓬勃发展的时期,还需人们不断地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。

1.1.5 数字测图的发展与展望

1.1.5.1 数字测图技术的发展

(1) 计算机制图技术的发展

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。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,很快就形成了一种“从图上采集数据进行自动制图”的系统。1964 年人们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,人们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,对机助制图的理论和应用问题,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相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。20 世纪 80 年代计算机制图技术进入推广应用阶段,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。20 世纪 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。

(2) 数字摄影测量系统的发展

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 20 世纪 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三个主要部分组成,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)公司生产的 BC2、BC3,Opton 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。20 世纪 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)使测量过程自动化。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。

(3) 地面数字测图的发展

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。20 世纪 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 20 世纪 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。

1.1.5.2 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的任务,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仪。利用自动跟踪全站仪,可以实现测站的无人操作,测量的数据由测站无线自动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。虽然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,从这个意义上讲数字测图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方向主要是改进野外数据采集手段,通过对其改进从而不断提高野外数字测图的作业效率。

1.2 数字测图的基本原理

1.2.1 数字测图的基本思想

数字测图的基本思想是将地面上的地形要素和地理要素(或称模拟量)转换为数字,然后用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。目前的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,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,并用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、光盘或硬盘等储存介质保存电子地图。数字测图生产的产品虽然仍是以提供图解地形图为主,但是它是数字形式保存着地形模型及地理信息。

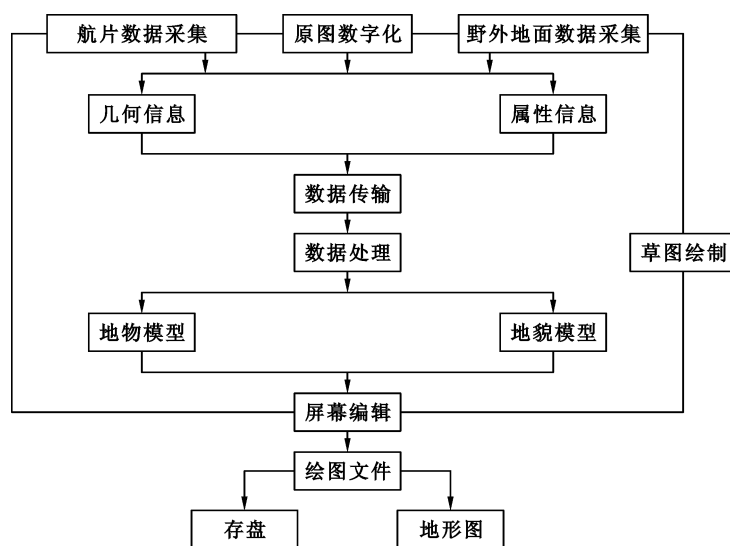


图 1.1 数字测图的基本思想

1.2.2 数字测图的图形描述

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,等高线由高程值表示其意义。就这样一点一点地测绘,一幅地形图也就形成了。

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,一般用数字来表示。

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。

1.2.3 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