

建筑工程计算机应用系列教材

大比例尺数字测图的 原理、方法与应用

杨德麟 等 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 提 要

本书较全面、系统地阐述了大比例尺数字测图的原理、方法与应用。主要内容包括:数字测图计算机系统的基本知识、全站仪及其应用、计算机绘图的基本方法、数字测图的数据采集、建模和成图、EPSW 电子平板测图系统、控制测量的数据处理、地籍测量、综合地下管网测量等。

本书是在作者近十年对大比例尺数字测图技术研究的基础上编著的。理论、技术先进,内容丰富,资料翔实,可供广大测绘专业技术人员、研究人员学习、参考,并可作为测绘专业大专院校本科生、研究生的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大比例尺数字测图的原理 方法与应用/杨德麟编著.北京:清华大学出版社,1997

ISBN 7-302-02800-1

. 大... . 杨... . 区域-地质调查,比例尺-数字测量法 . P623.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 00040 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

因特网地址: www.tup.tsinghua.edu.cn

印刷者:北京市昌平区环球印刷厂

发行者:新华书店总店北京科技发行所

开 本: 787× 1092 1/16 印张: 15.75 字数: 370 千字

版 次: 1998 年 2 月第 1 版 1998 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-02800-1/TU · 129

印 数: 0001 ~ 5000

定 价: 15.00 元

序

随着计算机技术、空间技术、通讯技术和信息技术的不断进步,工业化社会将向信息化社会过渡。在信息革命浪潮推动下,数字化测绘技术与空间定位技术、航空航天遥感技术以及地理信息系统/土地信息系统技术相结合,正在形成面向 21 世纪的地理信息产业。

由于地面测量仪器的电子化和数字化,地面测量仪器可以通过电子手簿和便携式计算机,与各种全站仪或测距仪、电子经纬仪联结成一体化地面数字测图系统。利用 CCD 摄像技术,可以进一步提高自动化水平。数字式地面测图系统,由于它具有高精度、低成本、灵活、方便等特点,与 GPS 定位和航空航天遥感测图形成了极好的互补关系。

为了顺应地理信息产业的发展 and 我国各行各业对大比例数字测图的需要,由清华大学杨德麟教授主持,以近十年数字测图的研究、开发和应用为基础,编著了《大比例尺数字测图原理、方法与应用》一书。该书共分 14 章,内容丰富而精练。从叙述数字测图的历史发展和相应的电子计算机基础知识入手,接着介绍数字测图的主要仪器——全站型电子速测仪原理与应用、计算机绘图方法和野外数据的数字化采集原理与方法。针对大比例尺数字测图的需要,用 4 章的篇幅讨论地形图的数字化、图形数据的组织、处理与输出、图式符号库的设计、建立 DTM 的原理和方法等高线的生成。书中还以清华大学研制的 EPSW 电子平板测绘系统为实例,进一步阐明大比例尺数字测图原理与应用,并说明如何用这类数字测图系统来进行数字地籍测量和综合地下管线测量的方法和作业过程。为使读者更全面地掌握数字地面测绘技术,文中还介绍了控制测量的数据处理和 GPS 测量原理。

本书内容充分体现了测绘技术从模拟方法向数字方法进步的特点,理论性和实用性很强,具有广泛的应用和参考价值,是数字测绘技术园中的一朵盛开的鲜花。杨德麟教授具有四十余年教学与科研经验,年过六旬,依然充满活力与朝气,活跃在大比例尺数字测图的教学、科研和应用领域,其精神值得大家学习。我深信本书的出版和发行,将会推动我国大比例尺数字测图事业的发展!

于武昌珞珈山下
1997 年 7 月 1 日

前 言

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(UGIS)建设的势头亦很迅猛,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;有了数据,若不能随大地日新月异的变化及时地更新,GIS就会失去生命力。数字地(形)图及其更新是建立GIS最基础、工作量也最大的工作。

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)。

我国从20世纪80年代初开始了数字测图技术的研究、开发、试用和不断完善,已涌现出一些比较好的和优秀的数字测图软件,清华大学土木系和清华山维公司研究开发的EPSW电子平板测图系统就是其中比较优秀的一个,在许多测绘部门已用它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。它是反映测绘技术现代化水平的标志之一。

为适应信息时代测绘技术的变革,为大比例尺数字测图技术发展的需要,作者在十余年从事大比例尺数字测图技术研究、软件开发和测图生产实践的基础上编著了此书。力图以清晰的思路、简明的语言、翔实的内容贯穿全书。理论分析与实际应用并重。

全书共分14章,较全面、系统地阐述了大比例尺数字化测图的原理、方法与应用。为适应各类技术人员的阅读参考,对数字测图计算机系统的基本知识、全站型电子速测仪及其应用等,也给予了一定篇幅的介绍。

本书由杨德麟教授主持编著,参加编写的人员有:杨德麟(第1,3,5~8,11,14章及附录,并参与了其它各章的编写和全书的统稿定稿)、林铸(第2,4,9,10章)、楼宇(第12章)、王孟和(第13章及12.7节)、孙俊(第14章)。参加本书编写的还有:陈辉、徐卫东、白立舜、张远智、张新宇等。梁文英、井兆骥参加了绘图,鞠占玲、王孟和、梁桂容等进行了初排版工作;清华山维新技术开发公司提供了有关技术资料。

华彬文编审、王侬教授、黄志文教授级高工提出了宝贵意见,在此表示衷心感谢!

数字测图是高新技术,其理论、方法还在不断完善。作者水平有限,书中难免有不当之处,恳请读者批评指正。

杨德麟

1997年2月于北京清华园

目 录

1	绪论	1
1.1	数字测图发展概述	1
1.2	大比例尺数字测图系统	3
1.3	数字测图的发展与展望	5
2	数字测图计算机系统的基本知识.....	10
2.1	概述.....	10
2.2	计算机硬件.....	11
2.3	计算机软件.....	20
3	全站型电子速测仪及其应用.....	22
3.1	全站型电子速测仪发展概述.....	22
3.2	电子经纬仪工作原理.....	24
3.3	竖轴倾斜自动补偿器工作原理.....	33
3.4	电子经纬仪轴系误差的检验、改正与补偿	34
3.5	全站仪数据通信.....	41
3.6	全站仪的特性及其使用要点.....	47
4	计算机绘图的基本方法.....	50
4.1	坐标变换.....	50
4.2	绘制直线.....	53
4.3	绘制圆和圆弧.....	57
4.4	绘制任意曲线.....	59
4.5	二维图形的剪裁.....	59
4.6	图形显示的分层处理.....	65
5	数字测图的野外作业.....	67
5.1	野外数据采集原理.....	67
5.2	野外作业的方法与步骤.....	73
5.3	外业数据记录与数据文件格式.....	82
6	地形图的数字化.....	88
6.1	数字化仪的工作性能.....	88

6.2	图纸定位.....	89
6.3	台板菜单及功能键定义模块.....	93
6.4	数据采集.....	94
6.5	图幅接边.....	96
6.6	数字化精度.....	97
6.7	扫描屏幕数字化.....	97
7	地形图的绘制	100
7.1	概述	100
7.2	坐标计算的批处理	104
7.3	图形信息的组织与处理	104
7.4	分幅与接边	109
7.5	图廓	115
7.6	层	117
7.7	地形图的绘制	118
8	图式符号库的设计	121
8.1	建立图式符号库的一般原则	121
8.2	图式符号库的设计原理	122
8.3	基于 AutoCAD 建立图式符号库的基本方法	123
8.4	EPSW 的图式符号库	127
8.5	图形应用接口	131
9	建立 DTM 的原理和方法	133
9.1	概述	133
9.2	数据的获取、转换及预处理.....	134
9.3	DTM 的数据结构	135
9.4	TIN 的建立	137
9.5	矩形格网的建立	142
9.6	高程插值算法	143
10	等高线的追踪与平滑处理.....	147
10.1	矩形格网的等高线追踪.....	147
10.2	TIN 等高线的追踪	148
10.3	DTM 区域内部等高线的断开处理	151
10.4	等高线的平滑处理.....	152
11	EPSW 电子平板测绘系统.....	156

11.1	EPSW 的测图功能	156
11.2	面向 GIS 的前端系统	166
11.3	EPSW 测绘图形基础平台	167
11.4	EPSW 空间数据库	168
11.5	EPSW 的符号扩充功能	178
12	控制测量的数据处理	180
12.1	概述	180
12.2	坐标概算	180
12.3	控制网的数据结构与闭合差计算	182
12.4	粗差定位和剔除	187
12.5	控制网平差	191
12.6	GPS 控制网的建立及其数据处理	193
13	数字地籍测量	203
13.1	地籍测量概述	203
13.2	数字地籍测量的基本概念和原理	205
13.3	数字地籍测绘系统	213
14	综合地下管网测绘系统	219
14.1	概述	219
14.2	地下管线探测概述	220
14.3	地下管线地形图的绘制	223
14.4	EPSP 管网测绘系统目标	226
14.5	EPSP 的结构体系	228
14.6	作业步骤	231
附录	GPS 测量的基本知识及其应用概述	234
1	GPS 定位系统	234
2	GPS 定位原理	236
3	伪距测量和载波相位测量	237
4	GPS 定位方法	238
参考文献	241

1 绪 论

1.1 数字测图发展概述

地形测量是利用测量仪器对地球表面局部区域内各种地物、地貌(统称地形)的空间位置和几何形状进行测定,并按一定的比例尺缩小,绘制成地形图。

传统的地形测量是用仪器在野外测量角度、距离、高差,作记录(称外业),在室内作计算、处理,绘制地形图(称内业)等。由于地形测量的主要成果——地形图是由测绘人员利用分度器、比例尺等工具模拟测量数据,按图式符号展绘到白纸(绘图纸或聚酯薄膜)上,所以又俗称白纸测图或模拟法测图。

科学技术的进步,信息化测量仪器——全站型电子速测仪的广泛应用,以及微型计算机硬件和软件技术的迅猛发展与渗透,促进了地形测绘的自动化,并成为大比例尺地形测量全面革新的最积极、最有活力的因素和最可靠的技术保障,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,即以计算机磁盘为载体的数字地形图,这将成为信息时代不可缺少的地理信息的重要组成部分。

数字地图是以数字的形式表达地形特征点的集合形态,数字测图实质是一种全解析、机助测图的方法。与模拟测图相比,具有显而易见的优势和广阔的发展前景,是地形测绘发展的技术前沿。

1.1.1 数字测图使大比例尺测图走向自动化

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;为用图人员提供蓝晒图纸,在图上人工量、算所需要的坐标、尺寸和面积等等。数字测图则使野外测量自动记录,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图软盘。数字测图自动化的效率高,劳动强度小,错误(读错、记错、展错)几率小,绘得的地形图精确、美观、规范。

1.1.2 数字测图使大比例尺测图走向数字化

用软盘提供的数字地(形)图,存储了图的具有特定含义的数字、文字、符号等各类数据信息,同时可以传输、处理和多用户共享;可以自动提取点位坐标、两点距离、方位以及地块面积等等;通过接口,可以将数字图传输给工程CAD(计算机辅助设计)使用;可供GIS(地理信息系统)建库使用;可依软件的性能,方便地进行各种处理(如分层处理),从而可绘出各类专题图(如房屋图、道路图、水系图等);还可进行局部更新,如对改扩建的房屋建筑、变更了的地籍或房产等都可以方便地做到局部修测、局部更新,始终保持数字地

图整体的现势性。

总之, 地图的数字化信息赋予图以巨大的生命力, 大大提高了地形图的自身价值, 扩大了地形图的服务范围, 将在政府、业务管理、经济建设各部门发挥重要的作用。

1.1.3 数字测图使大比例尺测图实现了高精度

众所周知, 模拟测图方法的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 20cm ~ 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, 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, 也适应了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。

1.1.4 数字测图使大比例尺测图进入了新时期

百余年来测绘技术的发展使地形测量有了比较成熟的理论和方法, 人们很少再去探索, 而将白纸测图归结为只掌握一些作业方法和经验。电子测绘仪器的发展和应用, 也一直被淹没在白纸测图的汪洋大海之中, 发挥不出应有的水平, 因而地形测量的理论与实践也就长期得不到应有的发展。

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。数字测图必将成为地形测绘的主流, 并逐步代替白纸测图, 最后形成自身的新的学科体系。可以说, 数字测图标志着大比例尺测图的科学技术理论与实践的革命性进步, 标志着地形测绘科技发展的新阶段、新里程、新时期。

1.2 大比例尺数字测图系统

1.2.1 数字测图系统的概念

数字测图(digital surveying and mapping, 简称 DSM)系统是以计算机为核心, 在外连输入输出设备硬、软件的支持下, 对地形空间数据进行采集、输入、成图、绘图、输出、管理的测绘系统(图 1-1)。

图 1-1 数字测图系统概念框图

广义地理解数字测图系统如图 1-2 所示。采集地形数据输入计算机, 由机内的成图软件进行处理、成图、显示, 经过编辑修改, 生成符合国标的地形图, 并控制数控绘图仪出图(以后各章将作详细论述)。

在实际工作中, 大比例尺数字测图(或数字地形测图)一般是指地面数字测图, 也称全野外数字测图。传统的地形测量也是指地面测量(野外实地测量), 而其它的方法都有它自身的名称, 如航测数字测图、数字化仪数字化图或扫描数字化图等。

图 1-2 广义数字测图系统框图

1.2.2 地形数据的采集

数字测图系统, 由于空间数据的来源不同, 采集的仪器和方法也不同, 目前有如下几种方法:

(1) 野外数据采集

用全站仪(或半站仪)进行实地测量, 将野外采集的数据自动传输到电子手簿、磁卡或便携机内记录, 并在现场绘制地形(草)图, 到室内将数据自动传输到计算机, 人机交互编辑后, 由计算机自动生成数字地图, 并控制绘图仪自动绘制地形图。这种方法是从野外实

地采集数据的,又称地面数字测图。由于测绘仪器测量精度高,而电子记录又如实地记录和处理,所以地面数字测图是几种数字测图方法中精度最高的一种,也是城市地区的大比例尺(尤其是 1:500 的)测图中最主要的测图方法。

现在,各类建设使城市面貌日新月异,在已建(或将建)的城市测绘信息系统中,多采用野外数字测图作为测量与更新系统,发挥地面数字测图机动、灵活、易于修改的特点,局部测量,局部更新,始终保持地形图的现势性。

(2) 原图(底图)数据采集

在已进行过测绘工作的测区,有存档的纸介质(或聚酯薄膜)地形图,即原图,也称底图。为了图的计算机存档和修测,为了建立该区的 GIS 或进行工程 CAD,就必须将原图数字化,才能将图输入计算机。数字化的方法有两种:

数字化仪数字化

通称的数字化仪实质是图形数字化仪,是一种将图示坐标转换为数字信息的设备。数字化的过程,即用数字化仪对原图的地形特征点逐点进行采集(称手扶数字化),将数据自动传输到计算机,处理成数字地图的过程。数字化的图还可通过绘图仪绘制图解地形图(即白纸上的可视地形图)。

数字化图的精度一般低于原图的精度,尤其当作业员疲劳时,精度更易受影响。目前,在我国数字化仪数字化仍是建立 GIS 的主要数字化方法。

扫描仪数字化

扫描仪实质是图像(含图形)数字化仪,仪器沿 x 方向扫描,沿 y 方向走纸,图在扫描仪上走一遍,即完成图的扫描数字化,将数据输入计算机,存储、处理并可再回放成图。扫描数字化速度较快,但此时获得的仅为栅格数据。

数字化仪采集的数据为矢量数据结构(图 1-3(a)),扫描仪数字化的数据为栅格(格网)数据结构(图 1-3(b))。矢量数据是以 x, y 坐标来精确地表示点位,能精确地定义位置、长度、大小等。栅格数据结构实际是像元阵列结构(网格的最小单元称像元或像素),每一像元的位置由行号和列号确定,其精度取决于像元的大小。

(a) 矢量数据结构

(b) 栅格数据结构

图 1-3

矢量数据结构是人们最熟悉的图形表达形式。人工绘图使用矢量数据是现实可行的,也是最方便的。地形测量,从原理到方法,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, 或计算机辅助设计(CAD)等, 都是利用矢量数据和矢量算法, 数字测图也仍采用矢量法原理、矢量数据结构和画矢量图。矢量数据还具有一些优点, 如精确度高, 数据结构严密, 数据量小, 显示、输出的图形精确美观。此外, 相互连接的线形网络和多边形网络的生成和处理, 只有矢量数据结构模式才能进行, 有利于网络(如交通运输网络, 上水、下水管网等)的分析等。

栅格数据结构比矢量数据结构简单, 但图形数据量大; 其空间数据的叠置和组合十分简便, 一些空间分析也易于进行; 图像表现比较真切, 易于与遥感数据匹配应用和分析, 因此在 GIS 中, 它与矢量数据结构并用。在数字测图中, 对原图(矢量图)扫描数字化, 获得栅格图形数据后, 还必须将栅格数据转换为矢量数据, 而至今转换成矢量图的效率还较低, 一些技术问题的解决尚不尽人意, 因此扫描数字化的方法在大比例尺数字测图中应用尚少。由于扫描数据进入计算机后, 还要通过屏幕人机交互, 做矢量转换及屏幕数字化的工作, 所以又称为扫描屏幕数字化。尽管扫描屏幕数字化目前尚未完全成熟, 但它意味着高速高效及劳动强度较轻, 所以它还是原图数字化的发展方向。随着扫描屏幕数字化软件的不断完善, 扫描屏幕数字化的方法将因优于手扶数字化而得到广泛的应用。

(3) 航片数据采集

这种方法是以前航空摄影获取的航空像片作数据源, 即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, 自动传输到计算机内, 经过软件处理, 自动生成数字地形图, 并控制绘图仪绘制地形图。

一般城市大面积 1:2 000 比例尺测图多采用航测方法。由于传统的测绘工作只注重出地形图底图, 所以过去的航测也不出数字图。在一些城市建立 GIS 的工作中, 只能将原图数字化来获取数字图。今后, 再进行航空摄影测量时, 一定要有数字化的成果, 可直接进入 GIS, 而且能保证精度, 这是城市 GIS 数据获取的主要方法。

在我国目前条件下, 航测适于较大面积几年一次的测量工作, 在城市利用新的航测数据建立 GIS 以后, 只要用野外数字测图系统作为 GIS 地形数据的更新系统, 用地面测绘的数字图作局部更新, 即可保证 GIS 地形数据的现势性。

1.3 数字测图的发展与展望

无论是地形图的测绘, 还是小比例尺地图的编绘, 传统的作业方式都是手工作业和模拟法成图。计算机技术的迅速发展和信息革命浪潮的冲击, 测绘必然由模拟法向自动化、数字化、信息化方向发展。

数字化图首先是由制图自动化开始的。

20 世纪 50 年代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(磁带或磁盘), 继而能自动绘制地形图。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(手扶数字化仪及半自动跟踪数字化仪等)、扫描仪、数控绘图仪以及各类计算机接口技术等。随着计算机及其外围设备的不断发展、完善与生产, 70 年代初制图自动化形成了规模生产, 美国、加拿大及欧洲各国, 在相关的重要部门都建立了自动制图系统, 测绘部门都有自动制图技术的应用。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。当一幅地形图数字化完毕后,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。

目前,数字化仪数字化已发展成极为普遍的数字化和自动成图的方法。

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,它是由精密立体坐标仪、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。但在解析测图仪直接量测并自动解算测点坐标的基础上,再键入相关信息,由计算机处理,便可生成数字地形图。威特(Wild)公司生产的 BC2, BC3、欧波同(OPTON)公司的 P2, P3 等都是后来生产的先进的解析测图仪,我国也研制和生产了解析测图仪,已投入使用。

为满足当前数字测图的需要,在生产、使用解析测图仪的同时,对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。其原理框图,如图 1-4 所示。

图 1-4 改装模拟测图仪原理框图

由图可见,量测的模拟信息经编码器转换为数字信息,由计算机接受并处理,最终可输出数字地形图(以磁盘为信息载体或传输给计算机直接使用)和图解地形图(纸或聚酯薄膜图)。

科学技术总是不断地向前发展。80 年代末、90 年代初,又出现了数字摄影测量工作站(硬件)所支持的全数字化测图系统。徕卡(Leica)公司、Intergraph 公司等已有成熟的硬件及软件系统出售,但价格较贵。武汉测绘科技大学张祖勋教授主持,也研制出一套高水平的全数字化测图软件。摄影测量工作站(全数字化测图)是利用通用的计算机工作站为载体,建立数字立体影像进行测量的一种解析立体测图装置。计算机工作站在性能/价格上的优势,以及计算机迅猛发展和应用普及的势头,使得数字摄影测量工作站将不断完善并得到广泛应用,它是航测数字测图的发展方向。

实现数字摄影测量工作站的方法新颖,技术高新,其过程大致包括:

首先,利用高精度(几何精度为 $\pm 2 \mu\text{m}$)平台式数字扫描仪(photoscan),将航片立体像对扫描数字化,输入计算机工作站,像束可达 $7.5 \mu\text{m}$ 或 $15 \mu\text{m}$,生成扫描数字化影像。

其次,利用立体观测系统观测立体模型,即在计算机工作站上安装特定的观测系统,以构成立体观测。它是采用 120Hz 的交替方式立体显示器和一对优质的有源液晶快门透镜(眼镜,戴在人眼上)、一个红外发射器(安装在工作站上)组合起来实现的。

交替方式立体显示器以 120Hz 的频率交替显示左影像奇数线和右影像偶数线。有源液晶快门眼镜由红外发射器控制,以 120Hz 频率暴光,当左眼液晶快门打开 $1/120\text{s}$ (右眼关闭)时,显示屏上显示左影像,而另 $1/120\text{s}$,右眼液晶快门打开(左眼关闭)时,显示屏上显示右影像。也就是说显示屏以 120Hz 的频率变换显示的影像,而眼睛却看不出它在闪烁变化。这样变换的效果则是左眼始终观测左影像,而右眼却始终观测右影像,从而建立起立体观测模型,进行人机交互的量测与处理。

第三,利用系统提供的一系列软件进行量测,如扫描数据处理、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。

数字摄影测量工作站技术的不断成熟和价格的下降以及微机化,将促进全数字测图应用的普及,航测也将得到更广泛的应用。

大比例尺地面数字测图,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、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、国内地面数字测图技术,其发展的进程大体是“两模式”、“三阶段”。

(1) 数字测记模式:野外测记,室内成图。

第一阶段:用全站仪测量,电子手簿记录,同时配画标注测点点号的人工草图,到室内将测量数据直接由记录器传输到计算机,再由人工按草图编辑图形文件,并键入计算机自动成图,经人机交互编辑修改,最终生成数字图,由绘图仪绘制地形图。

使用的电子手簿可以是全站仪原配套的电子手簿(如 GRE3/4, FC5, ...),也可以是 PC-1500 或 PC-E500 改装的电子手簿。因后两者价格低廉,汉字菜单,操作简便,更符合国情,所以国内主要使用这类记录器。

这虽是数字测图发展的初级阶段,但达到了由野外测量直接测制数字地形图和绘制图解地形图的目标,人们看到了数字测图自动成图的美好前景。

初级阶段外业电子记录仍模拟白纸测图的单点测量记录;要求野外人工绘草图的技术高,又很费事;要人工编辑图形文件,人工键入,整体工作量比白纸测图还要大,再加上事后返工就更难办了,因此还必须向实用化改进。

第二阶段:测记的模式不变,但成图软件有实质性的进展。

开发了智能化的外业采集软件,它不仅作单点点位记录,而且记录成图所需的全部信息,并且有一些记录项可由软件自动默认,使作业人员键入的数据最少。

电子手簿的测量数据被传输到计算机后,由计算机自动检索编辑图形文件,也就无需人工键入图形文件了。从理论上讲,也不需要画草图,但实际上,对一些地形复杂的地方,还需画草图,以便参考。

为了减免人工画草图工作,外业采集软件(电子手簿内置的)也具备自动检索图形文件的功能,并可实时计算出点位坐标。如果为采集系统配置一个袖珍绘图仪(如 pp40c)

或 A3/A4 小型绘图仪,现场就可按坐标实时展点绘草图。此草图与人工描画的草图是不同的,展点草图是按计算的测点坐标展绘,且具有一定的精度,从而可以检查测量数据的正确性,即可在现场及时发现和纠正错测、漏测之处。

较完善的测记法测图软件使数字测图走向实用化。数字测记法具有电子手簿携带轻、操作方便的优点。

(2) 电子平板测绘模式:内外业一体化,所显即所测,实时成图。

在第一节中阐述了数字测图的优点,反之它也就是模拟法测图的缺点。但白纸测图也有优点,即现场成图。即使采用经纬仪测记法,多数也要带图板,在仪器旁随测随展点,发现错误,及时修正,从而保证测量成果的正确性。

要使数字测图任务(尤其在复杂地区)进行得顺畅,外业也需要有成图这一步。仅有电子手簿记录是远远不够的,用户比喻记录器为黑匣子,不知记录的对或不对,等到室内计算机处理成图后,才发现错误,再去返工就麻烦了。数字测记法的外业虽然可以配 A3/A4 绘图仪,但携带和操作还是比较麻烦,电源问题也不易解决。所以数字测记法更适合于地形较简单的地区使用。

便携机的出现给发展数字测图提供了机遇。1993 年底清华大学及清华山维新技术开发公司在杨德麟教授主持下首创了电子平板测绘模式——全站仪+便携机+相应测图软件,实施外业测图的模式,并将安装了平板测图软件的便携机命名为电子平板。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、解算建模、现场实时成图和图形编辑、修正等方面超越了传统平板测图的功能,从硬件意义上讲,完全替代了图板、图纸、铅笔、橡皮、三角板、比例尺等绘图工具。高分辨率的显示屏作图面,面上所显即所测。数字测图真正实现了内外业一体化,外业工作完成,图也出来了。测量出现的错误,现场可以方便、及时地纠正,从而使数字测图的质量与效率全面超过了白纸测图。它直接提供的高精度数字地形空间信息,则是传统测图方法所不及的,是理想的数字测图模式。

1995 年英国的 Pen map、瑞士的徕卡、日本的杰科都推出了类似的地面数字测图系统,看来电子平板已成为数字测图发展的国际潮流。

随着便携机价格的下降,电子平板将发展成为地面数字测图的主流。由于便携机需用于野外作业,所以应选用保证质量的正牌产品。便携机除内置电池外,应配外接电池备用。最好选用黑白显示器的便携机,因为天越亮,黑白显示越分明,其价格也较便宜。

日本杰科还推出了在测站(全站仪)和棱镜站(便携机随棱镜站)之间建立无线数据传输的功能,可将测站(全站仪)的测量数据传输到棱镜站的便携机接收、记录、成图。这种方法的优点在于便携机在棱镜站(以下简称镜站),由作图的人亲自识别测点的地物属性(类别),比较方便,不易出错;但

价格高。系统两端要配置数据链,即小型无线数据传输设备,使系统硬件价格更高。

测量速度受限制。野外作业熟练后,尤其测区地形较复杂时,为了提高作业速度,往往有两人或三人跑镜,便携机只能随一个跑镜员,其它测量仍然需要靠跑镜员报告地物名称,而且在测站、电子平板、跑镜员三者相互联系上也易出错。司电子平板的人又要记录两三把测尺的数据绘图,还要跑镜,太辛苦,更易出错。这种具有无线数字通信功能的电子

平板,若配合自动跟踪式全站仪使用才更有效。或者利用无线数字通信,使电子平板可以在测站附近的树阴、屋檐下作业,也比较方便。在镜站和电子平板间有无线报话机联系的情况下,地物属性出错的可能性也不大。

展望未来,随着科技的进一步发展,新产品价格的不断下降,可以采取更自动化的模式:

1) 全站仪自动跟踪测量模式。测站为自动跟踪式全站仪,可以无人操作;棱镜站有跑镜员和电子平板操作员(甚至平板操作员兼任司镜员)。全站仪自动跟踪照准立在测点上的棱镜,测量的数据由测站自动传输给棱镜站的电子平板记录、成图。瑞典捷创力(Geotronic)、日本拓普康(Topcon)等推出的自动跟踪全站仪的单人测量系统,再加上电子平板即可实现此模式。1997年徕卡(Leica)推出的TCA全站仪+RCS 1000控制器(遥控器),实现了遥控测量(remote control surveying, RCS),使自动跟踪测量模式更趋于现实。测站无人操作,而在镜站遥控开机测量,全站仪自动跟踪,自动照准,自动记录,及时获取观测成果,还可在镜站遥控进行检查与编码。TCA遥控测量系统与电子平板连接,则可实现自动跟踪模式的电子平板数字测图。目前此种模式价格昂贵,适用于特定的应用场合。

2) GPS测量模式。GPS(global positioning system)是全球定位系统的简称。它是美国国防部于1973年组织研制的军用导航定位系统,80年代商品化并推广到民用,引起各界广泛的注意。GPS定位方法精度高,方便灵活。GPS定位技术在测绘中的应用和普及,是测绘科技的一个重大的突破性进展。随着GPS接收站的全面建成和发展,GPS技术在普通测量与工程测量中的应用将成为现实。

近二三年推出的载波相位差分技术,又称RTK(real time kinematic)实时动态定位技术,能够实时提供测点(用户站)在指定坐标系的三维坐标成果,在测程20km以内可达厘米级精度。

RTK模式下,参考站(基准站)的GPS接收机,通过数据链将其观测值及站坐标信息一起发给流动站的GPS接收机(用户站),流动站不仅接收来自参考站的数据,还直接接收GPS卫星发射的数据,观测数据组成相位差分观测值,进行实时处理,实时给出厘米级的定位结果。

RTK作业模式测程(基准点与流动站的距离)可以达到10km~20km,若与电子平板测图系统连接,就可现场实时成图,避免了测后返工问题。实时差分观测时间短,并能实时给出点位坐标,实现一步数字测图,这将显著地提高开阔区域野外测图的可靠性和劳动生产率。

测图时基准站可置于测区的高点,通信流畅,对无人值守的自动化作业也比较安全。

随着RTK技术的不断发展和系列化产品的不断出现,待生产出更轻小型(移动的GPS接收机要背在身上,必须轻、小)和价格低廉的RTK模式的GPS接收机时,GPS数字测图系统将成为地面数字测图新的里程碑,标志地面数字测图技术的新篇章、新时期,并将会在开阔地区取代全站仪数字测图。

有关GPS全球定位系统的基本知识请参阅本书附录。

2 数字测图计算机系统的基本知识

2.1 概述

数字测图系统是以计算机系统为核心组成的,它包括硬件和软件两部分。

硬件由全站仪、数据记录器(电子手簿)、计算机主机(便携机或台式机)、绘图仪、打印机、数字化仪及其它输入输出设备组成,其框图见图 2-1。

图 2-1 数字测图硬件系统框图

全站仪测得的野外数据通过数据记录器(电子手簿、PC 卡)输入到计算机。功能较全的全站仪可以直接与计算机进行数据传送。计算机包括台式、便携式(笔记本式)PC 机等。若是便携机作电子平板,则可将其带到现场,直接与全站仪通信,记录数据,实时成图。

绘图仪和打印机是机助成图系统不可缺少的输出设备。数字化仪常用于现有地图的数字化工作。其它输入输出设备还有图像/文字扫描仪、磁带机等。计算机与外接输入输出设备的连接,可通过自身的串行接口、并行接口及计算机网络接口实现。

数字测图系统的软件是系统的关键。一个完整的数字测图系统软件,应具有数据采集、输入、数据处理、成图、图形编辑与修改及绘图等功能。处理后的结果可以列表方式、文件方式或以地形图方式输出,绘制出符合国家标准图式的图纸。

数字测图软件的计算处理应采用运算速度快、处理数据量大的算法,同时要满足计算的精度要求。软件必须通用性强,稳定性好,数据的表示和编辑直观、简洁,使用时应该给用户尽可能提供方便,采用菜单驱动方式和鼠标工作方式。

由于提供外接设备的厂家很多,各厂家的产品系列中又有多种型号,因此在数字测图系统软件中,还应包括适用于常见的各种外部设备的驱动程序。随着计算机网络技术的发展,分布式处理方式将以其综合处理数据的高效率进入机助成图及其应用系统。

对于国内使用的系统,图形输出时的中文注记及制图规范必须符合国家标准,因此,软件系统对汉字的支持也是不可缺少的。