

高等学校统编教材



数字测图 原理与技术

Theory and Technology of Digital Mapping

杨晓明 余代俊 董斌 唐诗华 陈刚 编著

(第二版)



测绘出版社

高等学校统编教材

数字测图原理与技术

Theory and Technology of Digital Mapping

(第二版)

杨晓明 余代俊 董斌 唐诗华 陈刚 编著

· 北京 ·

©杨晓明 余代俊 董斌 唐诗华 陈刚 2014

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内容简介

本书系统地介绍了数字测图的理论、技术与方法。主要内容包括数字测图概论、数字测图的数学基础、数字测图系统的硬件设备、图根控制测量、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、数字地下管线图测绘。本书不仅对数字测图所涉及的硬件(全站仪、GNSS接收机、扫描仪、绘图仪、三维激光扫描仪等)、软件(CASS、SCAN等)及数据采集和地形、地籍、地下管线测绘方法进行了较详细的介绍,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。

本书为普通高等学校测绘工程专业、地理信息科学专业本科教材,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工作的技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字测图原理与技术 / 杨晓明等编著. — 2版. — 北京: 测绘出版社, 2014. 10

ISBN 978-7-5030-3550-0

I. ①数… II. ①杨… III. ①数字化测图 IV. ①P231.5



中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 230061 号

责任编辑	贾晓林	封面设计	李伟	责任印制	喻迅
出版发行	测绘出版社	电	话	010-83543956(发行部)	
社址	北京市西城区三里河路 50 号			010-68531609(门市部)	
邮政编码	100045			010-68531363(编辑部)	
电子信箱	smp@sinomaps.com	网	址	www.chinasmp.com	
印刷	三河市世纪兴源印刷有限公司	经	销	新华书店	
成品规格	184mm×260mm				
印张	15	字	数	370 千字	
版次	2014 年 10 月第 2 版 2009 年 2 月第 1 版	印	次	2014 年 10 月第 5 次印刷	
印数	11501-14000	定	价	34.00 元	

书号 ISBN 978-7-5030-3550-0/P·745

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

第二版前言

《数字测图》自 2009 年出版以来,先后有二十余所高校的测绘工程和地理信息科学专业使用该教材,同时也受到生产单位工程技术人员的欢迎,发行量逐年递增。也说明将“测量学”(或“测绘学基础”)与“数字测图”分开教学这一课程改革方案,逐渐受到一些高校的认可。由于数字测图软硬件快速更新,为了更好地适应社会发展的需要,在征求使用者意见的基础上,对原教材的内容进行了更新、调整和增删,并更名为《数字测图原理与技术》。

本次改版主要修改内容为:增加图根控制测量、数字地下管线图测绘两章;增加数字测图的发展趋势、三维激光扫描仪、基于 AutoCAD 的地形图符号库的建立、数字地图检查入库、iData 数据工厂简介等节;将第二章与第三章的内容对调;对数字测图系统的硬件设备、野外数据采集、数字测图内业、数字测图的质量控制等章进行了更新;删除 EPSW 电子平板、数字化仪及手扶跟踪数字化等内容。本教材基本教学学时建议为 48 学时,第十一章数字地籍测绘和第十二章数字地下管线图测绘可作为自学内容。

本次改版由华北水利水电大学杨晓明教授主持编写,桂林理工大学唐诗华教授主审。编写大纲(细目)由杨晓明教授、余代俊教授(成都理工大学)、董斌教授(安徽农业大学)、唐诗华教授和陈刚教授(中国地质大学)反复讨论商定。具体编写分工如下:第一章由杨晓明编写;第二章由杨晓明、唐诗华编写;第三章由董斌、田劲松(安徽农业大学)编写;第四章由余代俊、杨晓明编写;第五章由杨晓明、董斌编写;第六章由陈刚、唐诗华编写;第七章主要由董斌、田劲松编写(其中 § 7.7、§ 7.8 由陈刚、唐诗华编写);第八章由余代俊编写;第九章由余代俊、杨晓明编写;第十章由唐诗华、陈刚编写;第十一章由唐诗华、杨晓明编写;第十二章由曹先革(黑龙江工程学院)、陈刚编写。各章初稿完成后,对于新增和大幅度改写的内容都安排大家反复讨论修改,最后由杨晓明、唐诗华统稿定稿。

在该教材的改版过程中,得到了测绘出版社和南方测绘仪器公司的大力支持,得到了第一版作者特别是周文国教授的关心和支持,在此深表感谢!

由于测绘技术发展很快,要编写一部令人满意的专业教材有一定难度。尽管我们在编写过程中反复讨论修改,力求精品,但还可能有不妥和不足之处,恳请使用本教材的教师和读者提出宝贵意见,以便再版时修改(请发送到 yxmhsy@ncwu.edu.cn 邮箱)。

编 者

2014 年 4 月

第一版前言

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。

编者

2008年11月

目 录

第 1 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	4
1.3 数字测图的优点	6
1.4 数字测图的作业模式	8
1.5 数字测图的发展趋势	10
习题与思考题	11
第 2 章 数字测图的数学基础	12
2.1 常用测量坐标系及其转换	12
2.2 图形裁剪	20
2.3 规则图形的正形化处理	23
2.4 曲线的光滑	26
2.5 数据编码	31
习题与思考题	35
第 3 章 数字测图系统的硬件设备	36
3.1 全站仪的结构及其测量原理	36
3.2 全站仪的使用	42
3.3 GNSS RTK 系统简介	46
3.4 扫描仪	50
3.5 工程绘图仪	53
3.6 三维激光扫描仪	55
习题与思考题	57
第 4 章 图根控制测量	59
4.1 控制测量概述	59
4.2 RTK 图根控制测量	62
4.3 全站仪图根控制测量	64
4.4 全站仪三角高程测量	68
习题与思考题	72
第 5 章 野外数据采集	73
5.1 野外数据采集的准备工作	73

5.2	碎部点测算原理与方法	74
5.3	测记式数据采集	80
5.4	电子平板野外数据采集	85
5.5	数据通信	92
	习题与思考题	96
第6章	计算机绘图原理	97
6.1	基本图形的绘制	97
6.2	地图符号的自动绘制	100
6.3	等高线的自动生成	106
6.4	图形显示的分层处理	111
6.5	基于 AutoCAD 地形图符号库的建立	113
	习题与思考题	122
第7章	数字测图内业	123
7.1	CASS 数字测图系统操作界面	123
7.2	绘图参数设置	127
7.3	平面图绘制	129
7.4	编辑、注记与数据处理	134
7.5	等高线绘制与编辑	142
7.6	数字地形图的整饰与输出	145
7.7	数字地图检查入库	146
7.8	iData 数据工厂简介	150
	习题与思考题	153
第8章	地图数字化	155
8.1	地图数字化概述	155
8.2	栅格数据运算与矢量化原理	157
8.3	地图扫描屏幕矢量化方法	163
8.4	地图扫描矢量化方法的精度分析	167
	习题与思考题	169
第9章	数字测图的质量控制	170
9.1	数字测图的技术设计	170
9.2	数字测图过程的质量控制	174
9.3	数字测图成果的检查验收	176
9.4	技术总结的编写	182
	习题与思考题	184

第 10 章 数字测图成果的应用	185
10.1 数字地形图的基本应用.....	185
10.2 数字地形图在线路设计中的应用.....	198
10.3 数字地面模型的应用.....	202
10.4 图数转换.....	205
习题与思考题.....	207
第 11 章 数字地籍测绘	208
11.1 数字地籍测绘概述.....	208
11.2 数字地籍图绘制.....	210
11.3 宗地图和地籍表格绘制.....	215
习题与思考题.....	219
第 12 章 数字地下管线图测绘	220
12.1 地下管线探测.....	220
12.2 地下管线物理探查.....	222
12.3 数字地下管线图测绘.....	225
习题与思考题.....	230
参考文献.....	231

第1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年代出现了全站仪及电子数据终端,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绘图系统,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、航空摄影数字化测图等。狭义的数字测图指地面数字测图,本书侧重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

1.1.1 数字地图与数字测图

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。

20世纪90年代以前地图主要以纸张或聚酯薄膜为载体,其测图方法是图解法测图。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取代了传统的图解法测图,其产品为数字地图。数字地图是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。数字地图以数字形式存储全部地形、地理信息,且地图要素分层显示,图形信息量大,是各类地理信息系统(geographic information system, GIS)的基础地理信息。

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。

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,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(或直接传输给计算机),然后在室

内通过数据接口或者存储介质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。在数字测图系统的控制下使用打印机或绘图仪,可以输出纸介质地图。

1.1.2 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 $1:1000$ 一般密度的平面图只有几千个点的坐标对,一幅 $1:10000$ 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得到。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等间隔的格网,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。

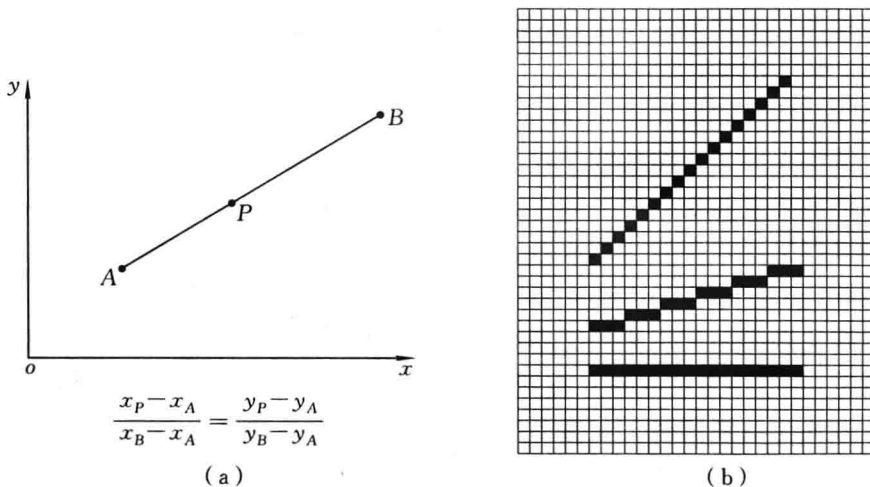


图 1.1 矢量图形与栅格图形的表示

矢量图形的特点是图形上的每点均是用坐标表示,这样就便于用函数来计算,对图形做放大、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)所示,空白用“0”表示,黑色用“1”表示)即可。但是要使图形做放大、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进行相互转换,以便于在图形处理中发挥各自的长处。

矢量图形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工程设计用图,都是利用矢量图形。计算机辅助设计(computer aided design, CAD)、图形处理及网络分析,也主要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绘制矢量图形,若采集的数据是栅格数据,通常将其转换为矢量数据。再则,由计算机控制输出的矢量图形不仅美观,而且更新方便。

1.1.3 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,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,测得的是什么点(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(房屋)描绘出来,这样一个点一个点地测和绘,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。

1.1.4 数字测图系统

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来组成。用于野外数据采集的硬件设备有全站仪或全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)接收机等;用于室内输入的设备有数字化仪、扫描仪、摄影测量解析测图仪等;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;计算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。根据数据采集方法的不同,数字测图系统主要分为三种。

1. 基于纸质地形图的数字成图系统

利用已有的纸质地形图,使用数字化仪通过手扶跟踪获取绘图信息,或使用扫描仪得到的

数字图像,在屏幕上通过矢量化获取绘图信息,经计算机图形处理获取数字地形图的成图系统。

2. 基于航测影像的数字测图系统

以航空像片或卫星影像作为数据来源,利用摄影测量方法建立测区的立体模型,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,经过相应的测图软件进行数据处理和图形编辑,生成数字地形图。

3. 地面数字测图系统

利用全站仪或 GNSS RTK^① 接收机在野外直接采集有关绘图信息并将其传输到计算机中,经过相应的测图软件进行数据处理生成数字地形图。

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 1.2 所示。

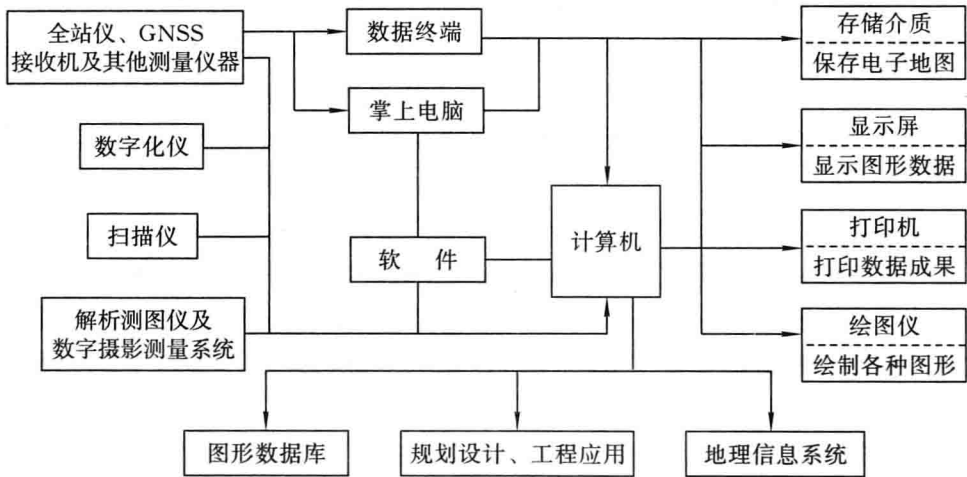


图 1.2 数字测图综合系统

数字测图软件是数字测图系统的关键,一个功能完善的数字测图系统软件,应集数据采集、数据处理、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,主要有广州南方测绘仪器公司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的数字化测图系统 RDMS 系列软件、北京威远图公司的地形地籍测绘系统 SV300、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的 SCS G200× 系列。

1.2 数字测图的基本过程

数字测图的作业过程根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,只要是测绘数字地图,都必须包括数据采集、数据处理和图形输出三个基本阶段。

① RTK:实时动态,real-time kinematic。

1.2.1 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;纸质图形和图像资料需通过图数转换装置转换成计算机能够识别和处理的数据。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) GNSS法。即通过GNSS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)航测数字化法。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GNSS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的存储器或电子手簿中,再传输到计算机中(若野外使用计算机,可直接将点位信息存储到计算机中)。每一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、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GNSS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,通常采用绘草图或输入顺序码或在计算机上边测边绘来确定。

对于已有纸质地形图的地区,如果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,且作业效率低,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(一幅图只需要几分钟),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。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。

航测数字化法是以航空像片或遥感影像作为数据源,利用摄影测量原理,在解析测图仪建立的与实地完全相似的立体模型上采集地形信息。地形特征点三维坐标和各类点、线、面的性质,存储在数据文件中。20世纪90年代中期以来,解析测图仪测图逐渐被计算机全数字摄影测量所取代。全数字摄影测量由计算机视觉代替人眼的立体量测与识别,完成影像几何与物理信息的自动(或半自动)提取,从而大大提高了摄影测量的自动化功能。此外,近年来,低空无人机航拍技术正在日益得到普及。

1.2.2 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、数据计算等。数据处理通常通过计算机软件来实现,最后生成可视化的图形文件。

地图符号库中的地图符号可以分为三类,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、等高线光滑处理三个过程的工作。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。要得到一幅符合规范要求的地形图,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编辑、整理,加上文字注记、高程注记,并填充各种面状地物符号等,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。图形裁剪是保留给定区域内的图形而除掉区域外的图形的一种处理方法,主要用于图形分幅。

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。

1.2.3 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,可用相应存储介质进行永久性保存。对数字地图的应用,可以将该数字地图转换成 GIS 的图形数据,建立和更新 GIS 图形数据库;以数字地图为基础,可以编制各种专题地图(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

数字测图虽然是从白纸模拟测图的基础上发展起来的,但它与传统的测图方法有着许多本质的区别。地面数字测图取代白纸测图,主要是因为它具有以下诸多优点。

1.3.1 测图过程自动化

传统测图方法主要是手工作业,外业测量人工记录,人工绘制地形图。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。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,且绘制的地形图精确、美观、规范。

1.3.2 图形数字化

用存储介质保存的数字地图,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 等相关

计算机辅助设计软件系统中去,以便工程设计部门进行相应设计。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。

1.3.3 点位精度高

在传统测图中,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,以及测定地物点的视距误差、方向误差和地物点的刺点误差等因素影响,综合影响使地物点平面位置的测定误差图上约为 ± 0.5 mm(1:1000 比例尺),甚至更大。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 ± 0.06 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,在 450 m 距离内,测定碎部点的平面误差约为 ± 22 mm,高程误差约为 ± 21 mm,若距离在 300 m 以内,则平面误差约为 ± 15 mm,高程误差约为 ± 18 mm。在数字测图中野外采集的数据的精度毫无损失,并与测图比例尺无关。

1.3.4 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,当地地有变化时,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”。数字地图可以很方便地与卫星影像、航空像片等其他信息源结合,生成新的地图品种。

1.3.5 能以多种形式输出成果

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任意范围的地形图、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。

1.3.6 方便成果的深加工利用

数字测图是分层存放地图信息的,故可使地图信息无限存放(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。例如 CASS 软件中共定义 28 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。通过关闭层、打开层等操作来提取相关信息,可方便地得到所需测区内各类专题图、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。

1.3.7 可作为 GIS 的重要信息源

数字地球、数字城市、数字政府、数字商务、数字化可视管理等必须建立相关的 GIS 系统。而 GIS 首先要解决的问题是地图信息的获取即数字地图的生产问题。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

数字测图的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,测制数字地形图有不同的作业模式。目前,数字测图可分为四种作业模式,即数字测记模式(简称“测记式”)、电子平板测绘模式(简称“电子平板”)、地图数字化成图模式(简称“地图数字化”)和航空摄影数字化测图模式(简称“航测数字化测图”)。

1.4.1 数字测记模式

数字测记模式是一种野外采集数据、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测记式和 RTK 测记式。

全站仪测记式是目前外业最常用的数字测图作业模式,为绝大多数软件所支持。该模式是用全站仪实地测定碎部点三维坐标,并用电子手簿(或内存储器)自动记录观测数据,到室内将采集数据传输给计算机,由人工室内编辑成图或自动绘图。由于全站仪的采用,测站和镜站的距离可能相隔较远,测站上就很难看到所测点的属性和与其他点的连接关系,通常使用对讲机等语音通信设备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;或者在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。内业使用测图软件(如 CASS 软件),采用编码自动成图或人机交互成图。该模式适合城镇居民区、树木密集区测图和小范围工程测图,是作业单位常使用的较经济的作业模式。

RTK 测记式采用 GNSS RTK 定位技术,实地测定碎部点三维坐标,并自动记录定位信息。用 RTK 采集数据的最大优点是不需要测站(控制点)与碎部点(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,重量仅几千克,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。内业使用的测图软件及数据处理方法与全站仪测记式相同。RTK 采集数据由于受高大建筑和树木遮挡卫星信号的影响,在城镇居民区、树木密集区测图会受到一定限制。但在非居民区、地表植被较矮小或稀疏区域的测图中,用 RTK 比全站仪采集数据效率更高。

1.4.2 电子平板模式

电子平板模式就是“全站仪+计算机+测图软件”的外业测图模式。这种模式用计算机(笔记本电脑或掌上电脑 PDA)的屏幕模拟绘图板(测板)在野外直接测图,即把全站仪测定的碎部点通过蓝牙或者串口线传输后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。这种模式现场可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。电子平板模式可以及时发现并纠正测量错误,图形的数学精度高。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。但该法对设备要求较高,普通的计算机一般不适应野外作业环境(如供电时间短,在阳光下液晶屏幕亮度不够导致看不清,怕灰尘、风沙)是其主要缺陷,而适合户外作业的计算机如军用笔记本价格较为昂贵,因此该作业方法目前主要用于房屋密集的城镇地区的测图工作。

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,其使用的操作系统之一 Windows CE 是 Windows 家族中最小、最快、最可靠的版本。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 取代计算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。

电子平板按照计算机所处位置,区分为测站电子平板和镜站电子平板。测站电子平板是将装有测图软件的计算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。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。改进的办法是将计算机放在镜站。作业时,电子平板操作者与立镜者同行(熟练的操作员或在简单地区,立镜者可同时操作电子平板),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,并被电子平板接收,测点的位置即会在电子平板的屏幕上显示出来,操作者根据测点的关系完成现场连线构图。这样就不会因为辨不清测点之间的相互关系而产生连线错误,也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。镜站电子平板从根本上改变了传统的测图作业概念。如果使用测量机器人(带伺服马达且具备自动目标识别、自动照准、自动目标跟踪的全站仪)自动跟踪单杆棱镜采集数据,可形成单人测图系统:测量机器人安置在测站后,只要一名测绘员立单杆棱镜(或头戴反光镜),携带镜站电子平板,遥控测站上的测量机器人瞄准反光镜采集数据,并将测站上测得的三维坐标无线传输到电子平板,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上描述(表示)出来。镜站遥控电子平板需无线通信设备及测量机器人,设备较贵,但该测图模式是未来的发展方向。

1.4.3 地图数字化模式

地图数字化是指用数字化仪或扫描仪在原有纸质地形图基础上进行数据采集的成图模式。由于大多数城市都有精度较高、现势性较好的地形图,如果需要制作多功能的数字地图,这些地形图是很好的数据源。用数字化仪可对现势性好的地形图的地形特征逐点进行数据采集,对曲线采用手扶跟踪数字化。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。20世纪90年代中后期,我国先后推出多套实用的矢量化软件,使扫描矢量化的效率得以大大提高,随后扫描仪逐渐取代数字化仪进行原图(旧图)的数字化工作。扫描数字化即先用扫描仪对原图进行扫描后得到栅格图形,再用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。亦可采取先利用测区的旧图进行扫描矢量化,再在此基础上进行外业修测,是一种经济的数字成图方法。此法得到的数字地图的精度与原图精度基本相当。

1.4.4 航测数字化测图模式

航测数字化测图是指以航空摄影像片、低空无人机数码照片、遥感影像作为数据源进行数字测图的作业模式。20世纪90年代以前是利用航测的立体像对在解析测图仪上恢复摄影光束,建立与实地完全相似的立体模型,在立体模型上采集地形信息,把各类点、线、面以符号和线型记录其性质,以三维坐标记录其空间位置,存储在数据文件中,然后在数据地图编辑工作站上进行数据处理和图形编辑,生成数字地图。通常的作业方法是先由模型判读的数据文件