

❖ 现代测绘科技丛书

# 数字测图原理与应用

宋伟东 张永彬 金继读 赵波 编著



教育科学出版社

# 数字测图原理与应用

宋伟东 张永彬 编著  
金继续 赵 波

教育科学出版社  
2000年5月

责任编辑:徐长发

封面设计:安广军

**图书在版编目(CIP)数据**

现代测绘科技丛书/武文波 主编

数字测图原理与应用/宋伟东 张永彬 金继读 赵 波 编著

北京·教育科学出版社,2000.05

ISBN 7-5014-1648-6

I. ①现…②武…

II. ①数…②宋…③张…④金…⑤赵…

III. 数字测图—原理—应用

IV. P.211

中国版本图书馆 CIP 数据核字(20)第 01469 号

**数字测图原理与应用**

编著 宋伟东 张永彬 金继读 赵 波

教育科学出版社出版

(北京海淀区北三环中路 46 号)

通州印刷厂印刷

2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月北京第 1 次印刷

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:14

字数:340 千字 印数:1000 册

ISBN 7-5014-1648-6/P.208-4(课)

定价:25.00 元

## 《现代测绘科技丛书》编著说明

辽宁工程技术大学测量工程系具有近五十年的办学历史,具有雄厚的师资力量、较先进的教学设备及丰富的办学经验。“大地测量学与测量工程”学科为辽宁省重点学科,“测量工程实验室”为国家煤炭工业重点实验室。现有“大地测量学与测量工程”、“地图制图学与地理信息工程”、“摄影测量与遥感”三个硕士授权点。近年来在科研和教学上均取得了可观的成果和经验,在东北地区、煤炭工业系统乃至全国都有一定的影响。

随着计算机技术、微电子技术、空间技术、通讯技术和信息技术的不断进步,测绘仪器设备不断更新换代,测绘技术领域也发生了深刻的变化。从数据的采集、处理和管理,到数据的存储、输出,不断向自动化、数字化、集成化、科学化的方向迈进。GPS技术、RS技术、GIS技术、数字化测绘技术开始广泛地应用于国民经济建设的各个领域。为了适应测绘科学技术的迅猛发展,满足科教兴国战略方针的需要,从1995年开始,我们进行了面向二十一世纪的课程体系和教学内容的改革,已取得显著成果,并按新的教学体系和教学内容组织编著了这套《现代测绘科技丛书》。该科技丛书是按新科学体系经过优化组合后编著而成,其特点是面向未来、面向现代化,删除陈旧内容,纳入新理论和新技术。每部书既注意基本原理、基础知识的阐述,又大量的融入高新技术,并具有大量的实际操作内容。这些都是全体科技人员的科研成果、生产实践和教学经验的科学总结。该科技丛书密切结合教学实践妥善处理了传统技术与新技术之间的关系,各书之间既相互衔接,又自成体系。

在本科技丛书的编著中,徐州师范大学、东北大学、河北理工学院、黑龙江工程学院、鞍山钢铁学院、长春建筑高等专科学校、本溪冶金高等专科学校等院校的有关专家参加了编著工作,并提出了宝贵意见,对本科技丛书的完成给予了有益的帮助。

本科技丛书是经过多年教学试用后重新组织编著的。编著者都是具有丰富教学、科研和生产实践经验的教授和副教授,同时组织了专家审阅和修改,现决定正式出版。该科技丛书适用对象为测绘生产及科研工作者的参考和自学用书,亦可作为“测绘工程”、“地理信息系统”、“城市规划”、“土地管理”及相关专业本、专科生教学用书。

《现代测绘科技丛书》编著委员会成员:

主任:武文波

副主任:宋伟东、金继读、刘谊、马洪滨、王仲锋、包永德、王晏民

**编委**(以姓氏笔画为序):马洪滨、马明栋、马振利、马俊海、王家贵、王仲锋、王国君、王晏民、石金锋、包永德、宋伟东、刘立忱、刘谊、乔仰文、朱伟刚、邢贵和、任秀、杜维甲、杜明义、李勇、李正中、金继读、武文波、张永彬、徐爱功、施群德、赵长胜、赵波、景海涛、谢宏全

**秘书**:马振利、朱伟刚

《现代测绘科技丛书》(第一部分)名称、编著者:

- |                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| 1、数据库原理及在测量中应用        | 武文波、马洪滨、景海涛、王崇倡 |
| 2、面向对象的测量程序设计         | 马明栋、赵长胜、施群德、杜维甲 |
| 3、计算机绘图原理及应用          | 杜明义、包永德、朱伟刚、李巍  |
| 4、数字化测图原理及应用          | 宋伟东、张永彬、金继读、赵波  |
| 5、GPS 卫星定位原理及其在测绘中的应用 | 乔仰文、赵长胜、谢宏全、徐爱功 |
| 6、测量平差                | 赵长胜、石金锋、王仲锋、李勇  |
| 7、测绘学基础               | 王家贵、金继读、刘立忱、马俊海 |
| 8、地理信息系统原理            | 马明栋、武文波、申立群、宋伟东 |
| 9、遥感技术基础              | 徐爱功、杜明义、刘谊、武文波  |
| 10、现代路线工程测量           | 李正中、任秀、周涌波、武文波  |
| 11、测量学(非测绘专业用)        | 刘谊、邢贵和、马振利、王国君  |

《现代测绘科技丛书》编著委员会

辽宁工程技术大学测量工程系

2000年1月20日

## 前 言

伴随着计算机技术的飞速发展,古老的测绘科学正发生着翻天覆地的变化,地图这一传统的测绘产品正逐步被数字地图所取代,传统的地形图手工测绘手段正被数字化测图技术所取代,使得测图技术步入了数字化、自动化、高精度、高效率的新时期。

近年来,我国的地理信息产业蓬勃发展,各大中城市、各个行业或部门都在建设自己的专题地理信息系统,地理信息系统的建设离不开空间数据的采集和更新,而数字化测图作为其主要数据采集和更新手段越业越受到广泛的重视。此外,计算机辅助设计(CAD)技术的发展,许多工程设计都是在软件的支持下,在计算机上进行的,而数字化的地形图往往是设计不可缺少的底层图形数据。这一切都说明数字化测图技术具有广阔的发展前景,并随着技术的日趋成熟,必将彻底取代传统的手工白纸测图。

本书正是为了适应信息时代测绘技术的变革,在多年来从事数字化测图领域教学、科研实践的基础上,参阅了大量有关文献精心编著而成。全书共分八章,首先介绍了数字化测图技术的历史发展和前景展望;紧接着介绍了数字测图的主要仪器—全站仪的结构和原理,并针对尼康 DTM310 型全站仪详细介绍了数据采集的操作过程;接下来用了 4 章的篇幅重点讲述了数字化测图的野外数据采集原理和方法、数据的处理与图形的编绘方法、已有地图的数字化方法、数字地面模型的建立和应用,并附的许多在 Auto CAD 下开发的图形处理源程序,使本书有很强的针对性和可操作性;最后介绍了目前国内测绘市场较成熟的、有代表性的测图软件的特点、主要功能、操作方法等。

本书由宋伟东、张永彬、金继读、赵波共同编著,宋伟东任主编,负责全书的统稿和定稿。参加编著的还有王佩贤(第三章)、王崇倡(第七章),栾乔林、张继超参与了绘图和校对工作,在此表示衷心感谢!

数字测图是测绘技术的前沿,其理论、方法还在不断完善,加之作者水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

宋伟东 (song\_wd@21cn.com)

2000 年 5 月

# 目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 数字地球与全数字测绘生产体系	(1)
第二节 数字地图与纸质地图	(3)
第三节 数字地图的获取	(4)
第四节 数字测图系统	(6)
第五节 数字测图技术发展展望	(8)
第二章 数字测图系统的组成	(13)
第一节 概述	(13)
第二节 计算机硬件	(13)
第三节 计算机软件	(23)
第三章 全站仪及其应用	(25)
第一节 概述	(25)
第二节 电子经纬仪测角原理	(30)
第三节 竖轴倾斜自动补偿器的工作原理	(37)
第四节 全站仪的检测	(39)
第五节 全站仪的使用注意事项与电池保养	(48)
第六节 尼康 DTM310、DTM430E 型全站仪简介	(53)
第四章 野外地形数据采集与数据处理	(62)
第一节 野外数据采集原理	(62)
第二节 数字测图野外作业新方法	(70)
第三节 外业数据文件的传输与格式	(82)
第五章 地形图的生成与编绘	(91)
第一节 概述	(91)
第二节 坐标计算的自动批处理	(92)
第三节 图形信息的组织与处理	(92)
第四节 图式符号库的设计	(101)
第五节 基于 Auto CAD 建立图式符号库的基本方法	(103)
第六节 EPSW 的图式符号库	(114)
第七节 地形图分幅	(118)
第八节 图廓的自动绘制	(121)

第九节	地形图的绘制	(129)
第十节	图形应用接口	(131)
<b>第六章</b>	<b>地形图的数字化</b>	<b>(132)</b>
第一节	数字化仪的工作性能	(132)
第二节	图纸定位	(133)
第三节	台板菜单及功能键定义	(137)
第四节	数据采集	(138)
第五节	Auto CAD 下的地形图数字化方法	(140)
第六节	扫描屏幕数字化	(142)
第七节	Auto CAD 下的屏幕数字化方法	(143)
第八节	图幅接边	(145)
第九节	数字化精度	(146)
<b>第七章</b>	<b>DTM 的原理与应用</b>	<b>(147)</b>
第一节	DTM 的概念	(147)
第二节	数据获取	(148)
第三节	DTM 数据结构	(150)
第四节	DTM 的建立	(152)
第五节	高程插值算法	(162)
第六节	DTM 应用	(166)
<b>第八章</b>	<b>数字测图软件简介</b>	<b>(186)</b>
第一节	EPSW 电子平板测绘系统	(186)
第二节	瑞得数字测图系统 RDMS	(197)
第三节	CASS3.0 地形地籍成图软件	(207)



# 第一章 绪论

## 第一节 数字地球与全数字测绘生产体系

知识经济需要信息的支持,而在信息时代,大量信息以空前的流量涌入我们的生活,有自然的,也有社会的。尽管信息之丰富几乎超出人们的想象,但如何有效地获取信息,处理信息和利用信息仍是一个十分棘手的问题。

一方面,某机构所渴望的珍贵信息,而另一机构则可能视为冗余信息,使其寂寞地沉睡在局部信息库内;另一方面,由于大量信息混杂在一起,即使人们所需的信息隐含在其中,也很难有效地获取和处理。正确利用信息,则更是一项高度智能化的工作,这不仅需要对信息进行有效提取、处理,而且要依其背景做出有效的、实时的决策。所以信息从存在到发挥效益要经过搜索→提取→处理→分析→决策的过程。而这一过程没有相应的技术和相应的基础设施的支持是十分困难的。为了实现上述信息走向的全过程,美国副总统戈尔提出了“数字地球”概念。

“数字地球”或称数字化的地球,是一个多分辨率的、3维表示的行星体,在该数字地球上,我们可以嵌入大量的以地球要素为参考的(georeferenced)数据。从戈尔对“数字地球”的这一概念描述不难发现,“数字地球”是基于地理参考框架或国家空间信息基础框架而建立的。当然,正如前面所述,“数字地球”不仅为我们提供以地理参考框架为基准的数据信息,而且要为这些信息的存放、流动、处理、使用和更新提供载体和技术。于是“数字地球”的概念是一个建立在信息论、系统论和控制论基础上的新概念。在技术上,它又是基于超大容量的存贮仓(信息存贮)、宽带网络(信息流通)、空间信息基础设施(信息参考框架)等发展起来的综合技术。

目前,我国正在进行“全数字测绘信息生产体系”的建设,所谓“全数字测绘信息生产”实际上是“测绘信息网络工程”,也可称为“全数字测绘信息一体化工程”。它包括信息采集(陆地、海洋、航空、航天采集)、信息处理、信息管理、信息传输和信息服务的全过程。而贯穿这一过程的支撑技术仍然是高精度、高分辨率、快速的数据采集技术、计算机科学、大容量存贮仓库、宽带网络等。测绘信息网络工程的这些支撑技术本身又与“数字地球”的基础设施,常称为国家空间数据基础设施(NSDI)。该基础设施的建设将为“数字地球”提供一个多分辨率的、高精度的空间信息基础框架。

这一空间地理信息框架是一种全球范围的、精确的、现势性好的、有共同空间参考基准的地球信息系统。它以其内部有序组合的大地控制测量、地形测量、航空、航天遥感、测图、可视化、监测、模拟、地形评价和空间推理等功能。美国国会和国防部于1982年就已指示美国国防制图局开始从事全数字测绘生产系统计划。在10年内估计耗资20亿美元。其目标是,单位测绘产品的生产时间减少75%,生产成本降低50%。

与“数字地球”建设构想不谋而合,我国测绘部门也早已着手建立中国的“空间数据基础设施”,我们称为“测绘数字信息网络工程”。该工程的主要建设目标是利用高精度的测量遥

感设备、先进的作业手段、严密的信息处理模型和方法、高集成的数据库系统、科学的管理方式和现代化的通讯技术,实现各种测绘信息的快速采集、精确处理、科学管理与提供应用的“一体化”,逐步建立全数字测绘生产体系,建成和完善全国乃至全球的测绘信息数据库和网络体系,为“数字地球”建设提供空间数据基础框架。

测绘信息网络工程的主要建设内容是测绘数据信息、测绘数据库、数字测绘保障和标准化建设等工程项目,以形成统一、有机的整体。

测绘信息网络工程分四个专项工程:即大地测量信息网络工程、摄影测量数字化工程、数字制图工程以及网络、标准和管理系统工程。而网络、标准及管理系统工程是贯穿于前三项专项工程的基础工程。

大地测量信息网络工程建设的目标是,以空间大地测量与地面大地测量相结合为技术途径,利用严密的、高效的数据处理模型和计算方法,以及宽带通讯网络为传输手段,快速生成统一基准、统一格式的大地测量控制点坐标及地球重力场信息,建立大地测量数据库系统。

摄影测量数字化工程的建设目标是,建立系列化和综合化的摄影测量数字化生产体系,使其实现从原始数据采集(航空、地面、卫星摄影、双介质摄影、CCD图像、合成孔径雷达(SSAR)图像以及野外数字地形测量)、影像修测、摄影测量处理以生成数字地形图、数字高程模型(DEM)、数字正射影像图、数字3维影像图、专题数字图等。建立摄影测量数据库及全数字摄影测量的一体化。

数字制图工程的建设目标是,加速地图生产的数字化进程,加速数字地图生产和地图数据库建设,建成基本比例尺矢量数字地图数据库、像素数字地图数据库、地面高程数据库和地名数据库等。不断开展数字地图新品种及应用系统的研究与开发,建立各种专题地理信息系统,提高基础地理信息的应用水平。

网络、标准及管理系统工程的建设目标是,实现大地测量、摄影测量、数字制图工程的生产、加工、管理及应用的网络化、标准化和规范化。在传统测绘数字生产过程中,数据采集、加工、存贮、应用的各环节严重脱节,而且测绘信息从采集到提供服务一般采用纸质媒介传送,严重影响了测绘信息产品应用的可靠性和效率。为了加快测绘信息的采集、加工、处理及提供服务的速度和效率,必须加强测绘信息网络建设,使其实现测绘生产的一体化。

由此可见,“数字地球”与“数字测绘体系”的关系表现在:

1. 测绘数字信息基于“数字地球”具有双重价值。一方面测绘信息本身可作为“数字地球”诸多商品信息和服务信息的一部分,成为用户获取、收集、应用的信息;另一方面,测绘信息又是“数字地球”建设的空间基础框架,或“数字地球”信息的公共地理空间背景。所以“数字地球”建设必须以测绘信息为基础,且必须有测绘信息的支持和补充。

2. 我国目前正在从事的各类测绘数据库的建设,测绘信息网络工程的建设不仅从概念上与“数字地球”建设概念一致,而且在建设内容和建设基础设施也十分相近。

3. 测绘信息各专项工程建设均对“数字地球”产生重要作用,它们互相联系又各具特色。它们不仅是测绘生产体系的部分,也是“数字地球”建设的重要组成部分。

4. 现行测绘信息生产体系尚不适应“数字地球”建设的要求。为适应“数字地球”建设的需要,测绘信息生产必须从装备体制、生产模式、软件标准、数据库建设、质量控制及网络通讯等诸方面入手,加强全面建设。

5.“数字地球”建设概念的提出向测绘信息生产体系提出了新要求、新挑战,同时也为测绘事业的全面发展提供了新的机遇。

总之,“数字地球”需要测绘事业,测绘事业也需要“数字地球”。



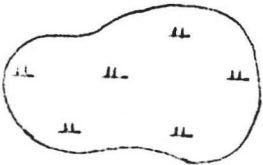
## 第二节 数字地图与纸质地图

在上一节,我们探讨了数字测绘体系和“数字地球”的关系,数字测绘体系的最终成果之一是数字地图,那么什么是数字地图?它和传统的地图有怎样的区别和联系呢?

传统的地图是把地理元素按图式符号展绘到白纸(绘图纸或聚酯薄膜)上,我们称它为“纸质地图”,数字地图是以数字的形式表达和描述地理元素特征的集合形态,二者的区别可从以下几个方面看出:

1.从载体上看,纸质地图载体是图纸,而数字地图的载体是磁盘等计算机存储介质。

2.从表现形式上看,纸质地图是通过绘制在图纸上的符号、线条、文字等形式来模拟表现地理元素的位置、形状、大小和属性的,而数字地图则通过数据来加以描述的,我们以以下几种典型的地图元素为例,列表加以说明。

地理元素	纸质地图	数字地图
独立符号 (路灯)		$(3521, x, y)$ 3521—为路灯的代码 $x, y$ 地理元素的空间坐标
线状地物 (铁路)		$\{4110, (x_1, y_1), (x_2, y_2) \dots (x_n, y_n)\}$ $(x_i, y_j)$ 为各特征点坐标 4110—为铁路的代码
面状地物 (旱田)		$\{9220, (x_1, y_1), (x_2, y_2) \dots (x_n, y_n), (x_1, y_1)\}$ $(x_i, y_j)$ 为各特征点坐标 9220—为旱田的代码
文字注记	直接书写	(文字, $x, y$ , 高度, 角度)

当然,数字地图中的数据文件格式的定义在不同的软件系统中会有所不同,但基本思路是一致的),这些描述地理元素的数据,会在软件的支持下用图式符号的形式表现出来(显示或绘制),形成电子地图,但是以上数据才是其根本。

3.管理和维护。纸质地图对应于手工的管理模式,大量的图纸保存在专门设计的柜、架中,查询困难,加上由于图纸不同程度均存在着变形,长期保存和使用必然必然导致图纸的破损和变形加大,而数字地图则从根本上解决了图纸破损、变形问题,存储在计算机中的数字地图永不变形。上千张的地图数字化后可存储在一张普通的光盘(650MB)中,通过文件名任意调用和拼接,方便、快捷。另外为保持地图的现势性,需要对地图经常修测、补测,对于纸质地图的更新需要在原图上重新手工修改、绘制,跟踪不及时,更新周期长,对于数字地图来讲,在计算机上增加或删除一地物是非常简单的操作,所以数字地图易于管理和更新。

4.从应用来看,由于地形图是一个地区的最基础的图件资料,用户涉及到城建、规划、土地、铁路、电力、电信等许多部门,这些部门需要地形图,但对地形图的内容要求不一样,如交

通设计部门关心的是地形图中道路及附属设施部分,而规划部门则关心道路交通、建筑物、地下管线等内容。传统的纸质地图只能给用户 提供原图的蓝晒图,对图纸的内容、比例尺、用途区域用户无法选择。而数字地图则不然,由于数字地图中地图元素是按编分类存储和管理,空间位置数据均为地物的实际坐标值,因此可以为用户提供任意内容、任意比例尺的地图,如把相邻四幅 1:500 地形图中的涉及到道路、建筑、水系内容的图形拼接在一起,按 1:1000 地形图输出(当然,严格意义上的变换比例尺输出存在着制图综合问题,在此不加讨论),并且用户可任意指定绘图区域(可以是任意多边形)。所以数字地图真正作到了多用途服务,可提供各种专题地图。此外,数字地图还可以为直接为用户提供数据文件服务功能,可以为地理信息系统提供基础地理数据。

### 第三节 数字地图的获取

数字地图有纸质地图所无法比拟的优越性,可以通过如下手段和方法来获取数字地图:

#### 一、野外数字化测图

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。

#### 二、原图(底图)数字化

在已进行过测绘工作的测区,有存档的纸质(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:

##### (一)手扶跟踪数字化

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(称手扶跟踪数字化),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,在我国利用数字化仪手扶跟踪数字化仍是建立 GIS 的主数字化方法。

##### (二)扫描矢量化

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

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 1-1(a)),扫描后得到的数据为栅格(格网)数据结构(图 1-(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。

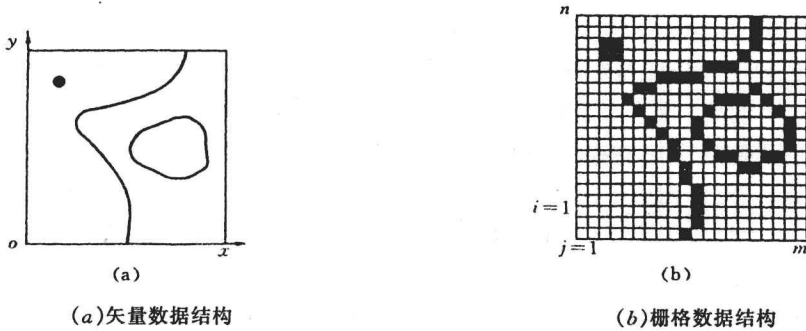


图 1-1

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 and 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,而至今栅格数据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,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。随着扫描矢量化软件的不断完善,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。

### 三、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 1:2000~1:500 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。

## 第四节 数字测图系统

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,以及微型计算机软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,所以数字测图是地形测绘发展的技术前沿。

### 一、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 1-2)。

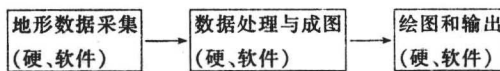


图 1-2 数字测图系统概念框图

广义地理解数字测图系统如图 1-3 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。

在实际工作中,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、手扶跟踪数字化、扫描矢量化等。

### 二、数字测图是地形测绘技术发展的新阶段

#### (一)数字测图使地形测图走向自动化

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)机率小,绘得的地形图精确、美观、规范。

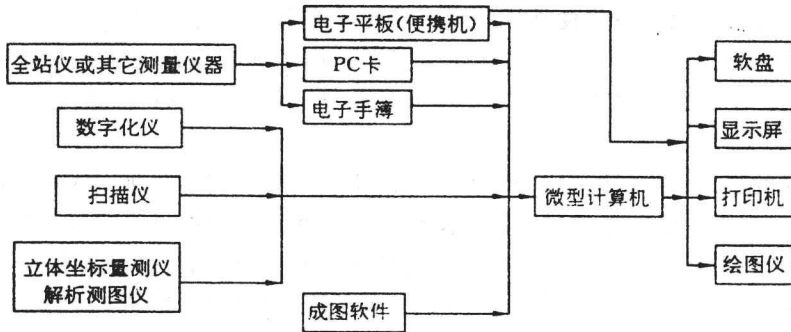


图 1-3 广义数字测图系统框图

## (二) 数字测图使地形测图走向数字化

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。

## (三) 数字测图使地形测图实现了高精度

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有多高,测量方法多精确,都无济于事。例如 1:1000 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 1:1000 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,而白纸测图的结果——模拟图或或称图解地形图,却体现不出测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。

#### (四) 数字测图使地形测图进入了新时期

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,如图根控制和碎部测量的一步测量法、自由设站法等等。

目前数字测图正处于蓬勃发展的时期,还需不断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。

### 第五节 数字测图技术发展展望

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。

数字地形图研究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,利用数字化仪的手扶跟踪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,利用航摄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。

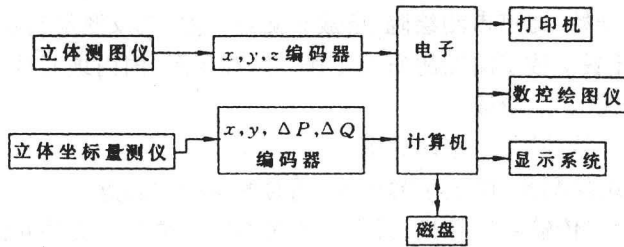


图 1-4 改装模拟测图仪原理框图

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)DEM(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