

21世纪普通高等院校规划教材

测绘专业

DABILICHI
SHUZHUA CETU JISHU

大比例尺数字化

测图技术

第2版

李玉宝 曹智翔 余代俊
刘星 周波 等编著

21世纪普通高等院校规划教材——测绘专业

大比例尺数字化测图技术

第2版

李玉宝 曹智翔 余代俊

刘星 周波 等 编著

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第03251号

21世纪普通高等院校规划教材——测绘专业

大比例尺数字化测图技术

第二版

李玉宝 曹智翔 余代俊 刘星 周波 等 编著

(004)

(二第版)

2009年9月第1版

2009年3月第2版 2009年3月第2次印刷

ISBN 978-7-264-03258-3

定价：38.00元

西南交通大学出版社

成都 电话：028-87609253

内 容 简 介

本书遵循理论上系统全面、内容上贴近生产实际的原则,较为系统地阐述了大比例尺数字化测图的理论、方法与应用技术。全书分7章,分别为第1章数字化测图概述,第2章计算机绘图基础,第3章地图数字化,第4章数字化测绘外业作业,第5章CASS 8.0地形地籍成图软件概述,第6章CASS 8.0数字地形图编辑及工程应用,第7章土地调查与CASS数字化地籍图编辑。

本书是作者在多年从事数字化测绘理论与实践教学、研究的基础上编著的,注重理论与应用并重,实用性强。因此,本书除作为测绘工程、地理信息系统等专业学生,在掌握了测量学基础理论后学习“数字化测图”专业课程的教材外,也可供从事数字化测绘工作的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大比例尺数字化测图技术 / 李玉宝等编著. —2版. 成都:西南交通大学出版社,2009.3

21世纪普通高等院校规划教材. 测绘专业
ISBN 978-7-5643-0228-3

I. 大… II. 李… III. 数字化制图—高等学校—教材
IV. P283.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第033221号

21世纪普通高等院校规划教材——测绘专业

大比例尺数字化测图技术

第2版

李玉宝 曹智翔 余代俊 刘星 周波 等编著

*

责任编辑 孟苏成

封面设计 墨创设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码:610031 发行部电话:028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸:185 mm×260 mm 印张:21.875

字数:546千字 印数:3 001—6 000册

2006年9月第1版

2009年3月第2版 2009年3月第2次印刷

ISBN 978-7-5643-0228-3

定价:38.00元

图书如有印装问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话:028-87600562

第2版前言

《大比例尺数字化测图技术》第1版于2006年9月出版,两年多来,被多所高校测绘工程专业选做数字化测图课程教材,或用做职工技术培训教材。使用者在肯定其内容系统完整、贴近工程实际的同时,也指出了其中的许多错误和不足,我们对此表示衷心地感谢。另外,随着数字化测绘技术的飞速发展,书中的部分内容已显落后,需要更新和补充。基于以上两点,我们编写了本书第2版。

第2版对全书内容系统、全面地做了修正、增补,纠正了一些文字错误。在绘图软件系统介绍方面,更新原CASS 7.0为最新版的CASS 8.0。在结构上,增加第3章“地图数字化”(成都理工大学余代俊编写),将原第3章改为第4章。原第4章、第5章顺延为第5章、第6章。增加第7章“土地调查与CASS数字化地籍图编辑”(重庆大学刘星编写),将原第3章中3.2“数字化测量仪器的使用”剥离,列为附录二“数字化测图野外数据采集设备使用简介”(西南科技大学周波编写),原第5章中附录“地形图编辑时的常见问题”改列为附录一。

陈德富(南方测绘公司成都分公司)、范东明(西南交通大学)、刘福臻(西南石油大学)、熊德安(四川旭普信息产业发展有限公司)、谢征海(重庆市勘测院)、张孝成(重庆市土地勘测院)、樊正林(四川建筑职业技术学院)参加了全书的审定和校核工作,陈德富为本书提供了宝贵的资料。重庆交通大学研究生蒋陈纯、杨鹏参与了第6章的部分编写工作,重庆大学研究生郑鑫杰、周二众参与了第7章的部分编写工作。

本书第2版在编写过程中,参阅了众多文献,并引用了其中部分资料,参考文献中可能未能全部列出,在此谨向有关作者表示衷心感谢。西南交通大学出版社组织了本书第2版的出版,其编辑人员的专业水平和敬业精神令人敬佩,在此深表敬意。

尽管我们针对第1版存在的错误和不足做了全面地订正,但受专业水平局限,错误仍然不可避免,在此恳请读者不吝指正。

编著者

2009年3月15日

寄 书

日 25 月 8 年 2009

前言

20世纪80年代以来,人造卫星、计算机、电磁波测距、遥感等高新技术的迅速发展及在测绘领域的应用,使得测绘科技获得了前所未有的发展速度,一跃而成为了现代信息科学的重要组成部分之一。在大比例尺地形测量方面,全数字化测绘方法以其巨大的经济技术优势,已经基本上淘汰了传统的白纸测图方法,标志着大比例尺地形测量理论与实践取得了革命性进步。相对于传统方法,数字化测图涉及数字地面模型建立、计算机图形学、数字化数据采集设备原理及应用等一系列技术理论与方法,代表着一种全新的技术方法。鉴于目前系统而详尽地介绍大比例尺数字化测图理论与方法,并侧重具体应用的著作较少,遵循理论上系统全面、内容上贴近生产实际的原则,本书综合了编著者多年来从事大比例尺数字化测图理论与实践教学、研究的成果,在简明扼要地介绍测绘基本理论的基础上,着重阐述大比例尺数字化测绘成图的理论与技术方法。本书内容深入而具体,不仅可满足测绘工程、地理信息工程“数字化测图”课程专业教学的需要,对于从事数字化测绘工程实践的专业技术人员,也有一定的参考价值。

本书由李玉宝主持编著并完成全书的统稿工作,具体分工为曹智翔(重庆交通大学)第5章,余代俊(成都理工大学)第4章,李玉宝(西南科技大学)第1章、第2章、第3章(3.1、3.3、3.4、3.5、3.6),周波(西南科技大学)第3章(3.2)。此外,刘星(重庆大学)、刘福臻(西南石油大学)、樊正林(四川建筑职业技术学院)、陈德富(南方测绘公司成都分公司)、熊德安(成都科地数字信息技术有限公司)参与了本书大纲的制定及书稿审核工作,并提出了宝贵的修改意见。

本书在编著过程中,参阅了大量的文献,并引用了其中的一些资料,在此谨向有关作者表示衷心的感谢!此外,西南交通大学出版社为本书的出版做了大量的工作,其专业水平及敬业精神令人印象深刻,在此深表谢意!

尽管本书作者在编著本书的过程中,倾注了极大的热情,付出了艰辛的劳动,但是受专业水平局限,错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

作者

2006年8月22日

目 录

第 1 章	数字化测图概述	1
1.1	数字化测图概念	1
1.2	数字化测图系统的组成	3
1.3	数字测图的优势	4
1.4	全野外数字测图的现状与展望	5
第 2 章	计算机绘图基础	7
2.1	窗口、视图及其坐标变换	7
2.2	绘制直线段	9
2.3	绘制圆和圆弧	9
2.4	绘制任意曲线	9
2.5	二维图形的剪裁	11
2.6	图形符号的自动绘制	16
2.7	计算机生成等高线的算法	19
2.8	地形、地物符号编码	22
2.9	高程点内插算法	23
2.10	规则图形的几何纠正	25
2.11	二维图形几何变换	26
2.12	面积及体积计算	29
第 3 章	地图数字化	33
3.1	地图数字化概述	33
3.2	栅格数据运算与矢量化原理	37
3.3	地图扫描屏幕矢量化方法	41
3.4	地图扫描矢量化方法的精度分析	44
第 4 章	数字化测绘外业工作	47
4.1	数字化野外测量设备	47
4.2	数字化测图技术设计	56
4.3	数字化测图控制测量	57
4.4	数字化测图数据采集	62
4.5	测绘成果检查与验收	67
第 5 章	CASS 8.0 地形地籍成图软件概述	69
5.1	CASS 8.0 系统简介	69
5.2	CASS 8.0 的安装	69
5.3	CASS 8.0 主界面介绍	70
5.4	文件 (F)	71

5.5	工具 (T)	86
5.6	编辑 (E)	98
5.7	显示 (V)	107
5.8	数据 (D)	111
5.9	绘图处理 (W)	120
5.10	地籍 (J)	126
5.11	土地利用 (L)	138
5.12	地物编辑 (A)	148
5.13	检查入库 (G)	157
5.14	其他应用 (M)	164
5.15	CASS 8.0 右侧屏幕菜单	172
5.16	CASS 8.0 工具条	182
第 6 章	CASS 8.0 数字地形图编辑及工程应用	186
6.1	数字地形图编辑概述	186
6.2	测量数据的录入	188
6.3	CASS 8.0 编辑成图方式	191
6.4	图形编辑处理基本方法	198
6.5	数字地形图绘制方法	206
6.6	数字地形图的分幅、整饰	217
6.7	数字地形图的工程应用	218
6.8	CASS 在道路工程测量中的应用	231
6.9	CASS 8.0 栅格图矢量化	255
6.10	CASS 8.0 的编码	262
第 7 章	土地调查与 CASS 数字化地籍图编辑	269
7.1	概 述	269
7.2	土地调查	269
7.3	数字化地籍图的绘制	277
附录一	地形图编辑时的常见问题	295
附录二	数字化测图野外数据采集设备使用简介	298
一、	数字化测量仪器使用的注意事项	298
二、	南方 NTS 660 系列全站仪数据采集功能的使用	298
三、	拓普康 GTS-330N 系列全站仪数据采集功能的使用	312
四、	索佳 SET*10 系列全站仪数据采集功能的使用	322
五、	徕卡 TC (R) 403/405/407 系列全站仪数据采集功能的使用	329
六、	南方北极星 9600GPS 接收机数据采集	336
七、	南方灵锐 S86RTK GPS 系统及其应用	339
参考文献		343

第 1 章 数字化测图概述

1.1 数字化测图概念

1.1.1 数字化测图是地形测量技术的革命性进步

地形测量是指测量地球表面局部区域内各种地形、地物在确定参照系统中的位置和几何形状,以一定的比例尺缩小,并按特定的符号绘制成平面图形的工作。传统的大比例尺地形测量是测量地形、地物特征点到测站的距离及其相对某一参考方向的角度,使用量角器、比例尺等绘图工具,直接在绘图纸上定点,并按规定的绘图符号手工绘制地形图。这种测图方法,因为直接在绘图纸上绘图,被称为白纸测图或模拟法测图。模拟法测图作业时,观测员要反复进行照准、读数等操作过程,而绘图员则一方面要根据观测员的报数,紧张地完成量角、按比例尺将实际距离换算成图面距离、图面定点等工作;另一方面,还要观察测点位置及相邻特征点间的关系,按地形图符号将测点连接成图。因此,不仅劳动强度大、作业效率低,并且由于读数、记数、量角、距离换算、展点、绘图等众多环节出错几率大,使得地形图成果质量难以保证。此外,以图纸为载体的地形图,由于受图面负载能力局限,测绘工作只能按一种比例尺作业,数据利用率低,受人眼分辨能力的局限,即使采用高精度测量仪器测量,图上点位误差也不会小于图面 0.1 mm 所代表的实际距离。加之还存在成图周期长、不便于更新维护、图纸伸缩变形、不能用于计算机处理等固有缺陷,所以,模拟测图已经难以适应数字化时代经济建设对测绘的要求。

20 世纪 70 年代起,随着光电测距和计算机技术在测绘领域的广泛应用,产生了全站型电子速测仪及计算机辅助制图系统,两者结合逐步形成一套从野外数据采集到内业制图,实现了全过程数字化的大比例尺地形测图方法,即所谓野外数字测图技术,简称为数字化测图。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。数字地形信息以其存储与传输方便、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的巨大优势,极大地拓展了地形测量资料的应用范围,使其能在经济建设各部门发挥出更大的作用。所以,数字化测图技术的出现,标志着大比例尺测图技术理论与实践的革命性进步。

1.1.2 数字化测图的基本原理

数字化测图的基本原理是采集地面上的地形、地物要素的三维坐标以及描述其性质与相互关系的信息,然后录入计算机,借助于计算机绘图系统处理,显示、输出与传统地形图表现形式相同的地形图。其中,将地形、地物要素转换为数字信息这一过程称为数据采集。计算机绘图系统是用专业的数字化地形图编辑成图软件,通过人机交互的方式编辑地形图,或

录入计算机能识别的信息,自动将野外采集的数据绘制成地形图。由于计算机软件通过计算、展点、识别、连接、加注记符号等步骤处理采集的数据,绘出所测地形图的过程,通常是在数据采集完成后进行的,要使计算机软件能识别所采集的数据,并据此绘出传统意义上的地形图。野外测绘时除点位的三维坐标外,还必须采集点位的连接信息和描述其性质的属性信息。点位的三维坐标是定位信息亦称点位信息,使用数字化测绘设备采集并自动计算存储在设备内存或电子手簿中,各个点之间以点号区别;连接信息是指测点的关联关系,它包括相邻连接点号和连接线型,绘图系统据此方可将相关的点连接成一个地形、地物符号。点位信息和连接信息合称为图形信息,又称为几何信息,据此可以绘制房屋、道路、河流、地类界、等高线、陡坎等地形图元素。

与空间位置有关,但又与地图图形无关的信息称为属性信息。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,一般用拟定的符号和文字表示,如植被类型、地名、河流名等。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,一般用数字表示。

连接信息与属性信息只能靠观测员实地观察确定,没有准确、完整的连接与属性信息,点位信息作为孤立的点,是没有意义的。所以,对于大比例尺数字化测图而言,观察、记录连接与属性信息,是非常细致、复杂的工作,需要观测员具有良好的地形表现能力和专业素质。

1.1.3 数字地形信息的表述

作为面向人的数字地形信息,其输出形式仍是可视的传统地形图。但不同于纸质地形图的本质区别是,数字地形图是以数字形式储存在计算机存储介质中的,将其“还原”显示为人们熟悉的点、线、面元素的地形图,必须要借助于一种“解读系统”,即专业的数字化成图系统。因此,数字地形信息要经过计算机绘图系统处理,并借助于显示屏或绘图仪,才能显现为传统形式的地形图。和纸质地形图一样,在数字地形图中点是最基本的图形要素。这是因为,线是由一组有序的点连接而成,而面则是以线为其边界。不同的地形、地物符号和注记用来区分地图图形上点、线、面代表的具体内容,其中独立地物可以由定位点及其符号表示;线状、面状地形、地物以不同的线划符号或注记表示;连续起伏的地形表面可由等高线表示,并用高程注记值表达等高线代表的具体高程值等。计算机绘图系统显示出的一切都和传统地形图一样,所不同的是,显示屏或绘图仪输出的仅仅是数字地图信息的一种表现形式,而不像传统的纸质地形图,所看到的即是它的全部。

1.1.4 数字地形图的数据格式

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格式。矢量数据采用定位信息(x, y)的有序集合,描述点、线、面等三种基本类型的图形元素,并结合属性信息实现地形元素的表述;栅格数据结构是将整个绘图区域划分成一系列大小一致的栅格,形成栅格数据矩阵,按照地理实体是否通过或包含某个栅格,使其以不同的灰度值表示,从而形成不同的图像。一般情况下同样大小的区域,栅格格式的地形图数据量比矢量数据量大得多。由野外直接采集、解析测图仪获得或手扶跟踪数字化仪采集的数据

是矢量数据；由扫描仪和遥感方法获得的数据是栅格数据。矢量数据结构是人们最熟悉的图形数据结构，各类数字图的工程应用基本上都使用矢量格式数字图，而栅格格式的数字图存在不能编辑修改、不便于工程量算、放大输出时图形不美观等问题。所以，对于栅格格式的地形图，常常要将其转换为矢量数据格式的数字图，这项工作称之为矢量化。

矢量化数字图采用的具体数据格式因绘图系统而异，但鉴于目前用户单位普遍使用基于 AutoCAD 的计算机辅助设计软件，所以数字化图数据格式一般是 CAD 格式或与 CAD 格式兼容。

1.2 数字化测图系统的组成

数字化测图系统是以计算机为核心，在外连输入、输出设备硬件和软件的支持下，对空间数据及相关属性信息进行采集、输入、处理、绘图、输出、管理的测绘系统。数字化测图系统可分为数据输入、数据处理和图形输出三部分，其工作流程为：

——→ 地形数据采集 ——→ 数据处理与成图 ——→ 成果与图形输出

数字化测图系统主要由地形数据采集系统、数据处理与成图系统、图形输出设备三部分组成。

1.2.1 地形数据采集系统

1. 野外地形数据采集设备

地面测量仪器是大比例尺数字化测图获取定位信息的基本设备，目前主要有全站仪和双频动态 GPS 接收机 (RTK)。全站仪数据采集作业原理与传统的经纬仪类似，需要测站与测点之间通视。不同之处仅在于全站仪测距、测角一体化，通过内置数据处理程序，可直接得到所测点的三维坐标。早期出厂的全站仪没有内存，采集的数据要通过连接电缆输入电子手簿存储。近几年出厂的全站仪均内置丰富的测量程序，能储存数万个定位点信息，不再需要电子手簿，并且具有中文菜单，操作非常简便。双频动态 GPS 接收机 (RTK) 只需要测点天空开阔，与基准站无线电通讯畅通，即可在数秒至数分钟内获得厘米级精度的测点坐标。由于无需与测站通视，所以在适合其作业的区域，数据采集效率比全站仪更高。

2. 图形数字化输入设备

将已有的纸质地形图转换为数字地形信息的专用设备称为图形数字化输入设备，常用的有数字化仪和扫描仪。

数字化仪通常是指手扶跟踪式直角坐标数字化仪，其工作原理是：把要数字化的地形图固定在能感应数字化仪定标器电磁信号的数字化板上，然后将作为信号发射器的定标器（专用鼠标）的十字丝中心对准纸质地形图上的已知点（控制点或坐标方格角点），按输入键发出电磁信号，使数字化板记录下该点的数字化板坐标。采集到数字化板坐标后，再键入该点的测量坐标，这样与数字化仪相连接的计算机系统即取得已知点的两套坐标。理论上，只要处理 2 个以上的已知点，就可确定由数字化板坐标到测量坐标的转换关系。但一般而言，对于精度要求较高的情况，应至少输入 4 个已知点。建立图面数字化板坐标系坐标与测量坐标转换关系的工作，称为图纸定位。图纸定位完成后，用定标器十字丝中心对准地形图图形元素，进行跟踪数据采集，计算机系统会根据坐标转换参数，自动地将数字化板感应获得的数字化

板坐标转换为测量坐标。手扶跟踪数字化仪具有操作简单、价格相对较低、数字化后可直接得到矢量数据格式的数字地形图、图形输入精度高的优势,在我国曾经被广泛使用。但由于其采用定标器十字丝逐点、逐线跟踪数字化的作业方法,劳动强度大,作业效率低,作业人员易疲劳,因而难以保证质量,所以目前已基本被淘汰。

扫描仪是通过光电扫描将纸质地形图转换为光栅图像数据文件的设备。扫描数字化具有速度快、方便简捷、劳动强度低、作业效率高的优势,目前已经成为现有纸质图形数字化的首选技术方法。通过扫描仪所得到的数字图是栅格格式的,而栅格图有不能编辑修改、工程应用不方便等缺陷,所以,通常还要通过专业的矢量化软件处理,将其转化为矢量格式的地形图。

1.2.2 数据处理与成图系统

数据处理与成图系统是指对野外直接采集到的点位信息和属性信息进行编辑处理,生成数字地形图的计算机软件系统。在这个系统中,电子计算机是进行数据采集、储存、处理的基本设备,而专业的数字化成图软件则是系统的核心,其功能大体上可以分为数据输入、编辑处理、成图输出三大块,其中主要部分是各类地形图元素编辑处理工具。在我国,由于测量规范、文字注记、图示符号与国外存在一定差异,因此占据市场的测绘成图软件均是国产软件。我国大规模开展数字化测图工作已经超过 10 年,经过生产厂家的不断完善,各类数字化测图系统已经较为成熟,不仅图形编辑功能强大,还具有多种数字图的工程应用功能(如土石方计算、断面图生成等),并能输出多种图形和数据资料,功能正日臻完善。其中有代表性的有南方测绘仪器公司基于 AutoCAD 的 CASS 系统及清华山维自主开发的 EPSW 系统等。

1.2.3 图形输出设备

图形输出设备指绘图仪、图形显示器、投影仪等数字化地形图显示、打印输出设备。

1.3 数字测图的优势

大比例尺数字测图较之传统的平板仪或经纬仪白纸测图方法,具有显著的经济技术优势。

1.3.1 测图劳动强度低、效率高

传统测图方式是手工作业,外业测量人工读数、记录、计算、绘图,劳动强度大、作业效率低。数字测图时,观测员采用全站仪观测,只需照准目标按键确定,观测数据记录、解算、存储即自动完成,作业轻松快捷;绘图员则跟随棱镜记录定位点的几何信息及属性信息,不再像传统方法那样需要远距离观察绘图,简单而不易出错。若使用 RTK 测绘,由于不需要与观测站通视,单机作业采集定位信息自由灵活,优势更加明显。内业工作方面,测量数据自动传输、展绘,并且电脑编辑成图,较之传统的手工绘图,劳动强度显著降低而作业效率更高。因此,综合起来,在内、外业两方面,数字化测图作业效率高、劳动强度低是显而易见的。

1.3.2 成果能满足数字化、信息化时代的需求

以矢量格式保存的数字地形图,包含的信息量大,并具有编辑修改、储存、处理、传输

方便和能供多用户共享的优势,不仅可以方便快捷地通过计算机应用系统实现提取点位坐标、两点距离、方位、地块面积、土石方量等信息供工程设计使用,同时也是 GIS(地理信息系统)建库必备的基础资源,满足了信息化时代对数字地理信息的需求。

1.3.3 点位精度高,精度与比例尺无关

传统的白纸测图,定位点平面位置的精度受到定点测量误差、测点展绘误差两方面因素影响,并且随着测点到测站距离的加大,误差增长迅速。而在数字测图中,测距、测角精度很高,测点精度与测点距离关系不大,计算机自动展点完全没有误差,因而精度远高于传统方法。此外,虽然数字化测图也分比例尺,也要借助于绘图仪输出传统形式的纸质图,但是各种几何元素的量算并非在纸面上进行,而是在计算机系统中进行。因此,点位精度不受图纸变形和人的感官辨识能力的影响,从这个意义上讲,精度与测图比例尺无关。

1.3.4 成果便于保存与更新

数字测图的成果是以数据文件的形式存入计算机存储介质的,因而便于保存、复制和传输,不像纸质地图会因为纸张变形而影响精度。当地形、地物发生变化时,只需根据局部修测数据编辑处理,很快便可以得到更新的图。其速度快、费用低的优势是传统纸质地形图无法比拟的,从而可以确保地形图的可靠性和现势性。

1.3.5 数据利用率高

传统地形图在地形复杂、地物众多的地方,会产生图幅内地形、地物符号过多而无法容纳的问题,即图形元素超出了负载量。为此,解决的方法是对该测图范围加大图幅幅面(扩大测图比例尺),或者测绘时省略部分次要地形、地物(按小比例尺标准测绘)。因为一次地形测绘成果只能实现单一的目的,所以资料利用率较低。数字地形图能在计算机输出设备上无级缩放阅览,并且将不同属性地图元素分别存放在不同的文件或同一文件的不同单元中,用户可根据不同的用途,选择不同的方式按属性进行组合显示,使得地形图主题清晰。所以从这个意义上讲,数字地形图的信息存量不再存在负载量的问题,测量工作采集数据时可根据需要进行,不必考虑比例尺因素。

由于数字化测图碎部点精度与比例尺无关,所以,除了可用于各种比例尺地形图、地籍图编辑成图外,还可用于制作各类专题图,如路网图、电网图、管线图等。例如 CASS 软件中共定义有 26 个层,按地形、地物属性特征划分,房屋、管线、植被、道路、水系、地貌、境界等均存于不同的层中,不仅可以方便地通过关闭、打开、转换层等操作来提取相关信息,形成各类专题地图,还可以按图层统一地做修改字体、改变文字及符号大小、图层颜色等编辑操作,使得地形图的修改与编辑更加方便,因而数据利用率极高。

1.4 全野外数字测图的现状与展望

近年来,随着数字化测图技术的日趋成熟和野外数字化测绘设备价格的大幅度下降,国内各测绘单位都普遍采用野外直接数字化测图的作业方法。数字化测图以其精度高、作业效率高、经济效益高的巨大经济技术优势,已经彻底淘汰了传统方法,广泛地应用于大比例尺

第 2 章 计算机绘图基础

任何复杂的图形都是由基本图形元素（如点、直线、曲线等）组成的。为了能在图形输出设备上生成地形图，计算机绘图程序要能识别或者确定图形元素的定位信息，并按照正确的过点顺序及描述线型的参数确定的线型，按图元逐个地绘制完成一幅地形图。计算机绘图软件都具备各种绘图工具，这些绘图工具调用多种类型的函数库，用以产生点、直线和曲线及更复杂的图形。由于计算机图形输出设备在二维空间（平面上）生成图形，所以其绘图程序的主要数学方法是平面解析几何和数值分析。本章仅就计算机绘制地形图基本图元的算法作简要的介绍。

2.1 窗口、视图及其坐标变换

2.1.1 基本概念

(1) 用户域：用户域是定义图形范围的实数域，如用 $R \times \omega$ 表示该实数域的集合，则用户域 $WD = R \times \omega$ 。用户域是一个与设备无关的概念，理论上讲是连续无限的区域，但就测量工作而言，可以简单地理解为平面坐标表述的测图区域范围。

(2) 窗口区：任意的区域小于或等于 WD 的区域 W （即 $W \subset R \times \omega$ ）均可定义为窗口，称之为窗口区（域）。显然，窗口区也是与设备无关的概念，作为用户域的子域，窗口区内的图形是用户图形的一部分，通过封闭图形边界在用户域中截取。窗口区通常是矩形域，通过左下角和右上角坐标或左下角坐标加矩形长宽来表示，也可用圆或多边形作为窗口区的边界。

(3) 屏幕域：屏幕域是设备输出图形的最大区域，是有限的整数域。例如，屏幕坐标系中以屏幕点阵为坐标单位，其取值范围只能是整数，对于一个分辨率设置为 1024×768 的显示器而言，屏幕域定义 $SD \in [0 : 1023] \times [0 : 767]$ 。屏幕域是与设备有关的概念，图形输出设备显示图像的指令均是在屏幕域上定义的。在用户域上定义的图形只有转换为屏幕域上的定义后，才能在输出设备上输出。

(4) 视图区：任何小于或等于屏幕域，在屏幕域上定义的区域都称为视图区。视图区相对于屏幕域类似于窗口区相对于用户域。作为屏幕域的子域，视图区内的图形通过封闭图形边界在屏幕域中截取。同样地，视图区通常是矩形域，也可用圆或多边形作为窗口区的边界。

(5) 设备坐标系：数字地形图使用的是测量坐标系，而绘图软件用于计算机图形显示和绘图仪时，使用的是与图形输出设备有关的绘图坐标系，又称之为设备坐标系，即定义屏幕域所使用的坐标系统。设备坐标系因设备不同而不同，例如，计算机屏幕坐标系的坐标原点在屏幕的左上角，向右为 X 方向，向下为 Y 方向，坐标系中的单位是屏幕的最小分辨率单位，取值范围只能为整数，具体的取值范围与屏幕的分辨率有关。对于分辨率设为 1024×768 的显示器而言，坐标取值为 $[0 \sim 1023]$ 与 $[0 \sim 767]$ 之间。绘图仪的坐标系轴向与数学上的笛

卡片坐标系相同, 向上为 Y 轴, 向右为 X 轴。但原点或位于绘图幅面的左下角, 或位于中间。坐标单位是绘图仪脉冲当量, 多数绘图仪的一个脉冲当量等于 0.025 mm。

2.1.2 窗口区和视图区的坐标转换

外业测量采集的坐标数据经过计算机处理后需以图形方式输出时, 要进行坐标变换。只有把测量坐标转换为设备坐标, 才能在各种图形输出设备中输出, 因此坐标变换是数字绘图软件中常用的算法。

若窗口区的内容要在图形显示设备上全屏输出, 其坐标转换关系, 即将测量坐标系坐标转换为设备坐标系坐标的关系式为:

1. 测量坐标系到笛卡儿坐标系

测量坐标系以 X 轴为纵轴, 表示南北方向; Y 轴为横轴, 表示东西方向。而笛卡儿坐标系以水平线为横轴 x , 正向由左到右; 竖直方向为纵轴 y , 正向由下而上。在两坐标系单位一致的前提下, 可得到矩形窗口内两者之间的转换关系为:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + (Y - W_{YL}) \\ y &= y_0 + (X - W_{XB}) \end{aligned} \quad (2-1)$$

式中, X 、 Y 是窗口中一点的测量坐标系坐标; W_{XB} 、 W_{YL} 是窗口左下角在测量坐标系下的坐标; x_0 、 y_0 是其在笛卡儿坐标系中的对应坐标。

2. 笛卡儿坐标系到计算机屏幕坐标系

屏幕坐标系与笛卡儿坐标系 x 轴方向一致, 但 y 轴方向相反, 而且两者长度单位不同。因此, 矩形窗口内图形在视图区内全屏显示的坐标转换关系为:

$$\begin{aligned} x_v &= x_j + (x - w_{xl}) \times S_x \\ y_v &= y_j + (w_{yr} - y) \times S_y \end{aligned} \quad (2-2)$$

其中

$$S_x = \frac{V_{wid}}{(w_{xr} - w_{xl})}, \quad S_y = \frac{V_{hei}}{(w_{yr} - w_{yb})} \quad (2-2)$$

式中, x 、 y 是窗口中一点的笛卡儿坐标; w_{xl} 、 w_{yb} 是窗口左下角笛卡儿坐标; x_j 、 y_j 是左上角屏幕坐标系坐标; w_{xr} 、 w_{yr} 是窗口右上角笛卡儿坐标; V_{wid} 、 V_{hei} 是计算机显示屏宽度和高度; S_x 、 S_y 分别是 x 、 y 方向坐标转换的缩放系数, 实践中为了使图形不致变形, 两坐标轴方向应取同样的比例系数, 即取 S_x 、 S_y 中较小者作为统一的比例系数。

3. 笛卡儿坐标系到绘图仪坐标系

绘图仪坐标系的轴向与笛卡儿坐标系相同, 两者差异仅仅在单位不同。此外, 绘图仪坐标系的原点位置对于不同的绘图仪型号不尽相同, 因此, 笛卡儿坐标系与绘图仪坐标系间的转换关系为:

$$\begin{aligned} x_p &= x_{p0} + (x - w_{xl}) \times n \\ y_p &= y_{p0} + (y - w_{yb}) \times n \end{aligned} \quad (2-3)$$

式中, w_{xl} 、 w_{yb} 是矩形窗口左下角坐标; x_{p0} 、 y_{p0} 是相应的绘图仪坐标系坐标; x 、 y 是窗口内任一点的笛卡儿坐标; n 为绘图仪每毫米的脉冲当量。

2.2 绘制直线段

平面直线可以由两个端点唯一地确定，因此绘图软件采用自定义的函数来绘制直线。绘制直线函数的一般形式为：

$\text{Line}(x_1, y_1, x_2, y_2, \text{<属性参数>})$

其中， (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 分别是直线段两个端点的平面坐标，属性参数是决定直线的颜色、宽度、线型等特征参数。计算机系统图形输出设备硬件可以按照程序中绘制直线的指令，在图形显示器屏幕或绘图仪上绘出相应的直线段。

2.3 绘制圆和圆弧

在平面上可以用不同的参数确定圆和圆弧的形状和位置，计算机图形软件开发工具中提供的绘制圆和圆弧的函数形式也不相同。按照确定位置的参数类型，圆和圆弧函数有以下几种主要形式：

(1) 用圆心和半径确定圆周，这是绘圆周函数最常用的也是最简单的一种，其一般表示形式为 $\text{Circle}(x, y, r)$ ，其中 (x, y) 为圆心坐标， r 为圆的半径。

(2) 用圆周上的三点确定圆， $\text{Circle}(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3)$ ，其中参数是位于圆周上的 3 个不同点的坐标。

(3) 以圆弧的圆心、起始点和圆心角确定圆弧， $\text{Arc}(x_1, y_1, x_2, y_2, \alpha)$ ，其中 (x_1, y_1) 是圆弧的圆心、 (x_2, y_2) 是圆弧的起点、 α 是圆弧的圆心角。

(4) 三个点确定圆弧， $\text{Arc}(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3)$ 。

平面上的三点可以唯一地确定圆弧的位置，其中 (x_1, y_1) 、 (x_3, y_3) 分别是圆弧的起点和终点， (x_2, y_2) 是位于圆弧上的另一点。

对于 (1)、(3) 两种情况，设圆心坐标为 (x_c, y_c) ，半径为 r ，则圆周上点的坐标为：

$$\begin{cases} x = x_c + r \cos \theta \\ y = y_c + r \sin \theta \end{cases} \quad (2-4)$$

将圆心角 θ 从起点到终点，按一定的增量 $d\theta$ 做递增时，求出圆周上均匀分布的坐标值，将其连接就绘出圆弧。对于 (2)、(4) 两种情况，半径 r 与圆心坐标 x_c, y_c 未知，设圆方程： $(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2 = r^2$ ，圆周上的点应满足此方程，所以将已知的 3 个圆周点坐标 $(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3)$ 分别代入圆方程，就可以求得圆半径 r 与圆心坐标 x_c, y_c ，从而按极坐标方法计算出圆周上的点位坐标。

2.4 绘制任意曲线

计算机控制图形输出设备绘制线段时，是按指定的顺序将线段经过的点用直线连接起来。因此，只有当相连的点间距足够接近，并且分布符合光滑曲线的轨迹时，连接而成的线段看起来才是一条光滑曲线。一般而言，实际采集的曲线图形上的点只是些有序的离散特征点，

为了从图形输出设备上输出光滑的曲线,必须对曲线通过点进行加密,使相邻点之间的距离足够近,以致短直线形成的折线看起来是光滑曲线。加密曲线通过点的方法是,采用一定的数学方法建立曲线方程,从而按需要的密度进行插值计算。由于自然的曲线(如等高线)并不是数学曲线,因而曲线方程描述的曲线一般不能严格通过特征点,只是尽可能地反映出采集的曲线特征点描述的趋势,这种方法称为曲线拟合或函数逼近。由于曲线方程所描述的曲线轨迹有其自身的规律,所以,为了更好地反映实际的曲线形态,往往只能采用分段拟合的处理方法。

拟合曲线的常用算法有:高次多项式插值、张力样条函数插值法等。其中应用较多的是张力样条函数插值法,它描绘的曲线是由多段三次多项式曲线连接而成的,在连接处不仅函数连续,其一、二阶导数也连续,所以张力样条函数具有非常好的光滑性。下面就张力样条函数插值法做一简要介绍。

2.4.1 样条函数的概念

所谓样条(spline)本是工程设计中使用的一种绘图工具,它是富有弹性的细木条或者细金属条,绘图员利用它把一些确定的点连接成一条光滑的曲线,称为样条曲线。数学上将具有一定光滑性的分段多项式称为样条函数,具体地讲,在给定区间 $[a, b]$ 的一个分划 $\Delta: a = x_0 < x_1 < \dots < x_{n-1} < x_n = b$,如果函数 $f(x)$ 满足:

(1) 在每个小区间 $[x_i, x_{i+1}]$ ($i=0, 1, \dots, n-1$)上 $f(x)$ 是 m 次多项式。

(2) $f(x)$ 在 $[a, b]$ 上具有 $m-1$ 阶连续导数。

则称 $f(x)$ 为关于分划 Δ 的 m 次样条函数,其图形为 m 次样条曲线。显然,折线是一次样条函数,绘图员用“样条”绘出来的曲线为三次样条曲线,而三次样条函数是曲线拟合最常用的函数形式。

2.4.2 张力样条函数插值法

张力样条函数是在三次样条函数中加入张力系数 σ ,当 $\sigma \rightarrow 0$ 时,张力样条函数是三次样条函数;当 $\sigma \rightarrow \infty$ 时,它就成为分段线性函数。 σ 取值的变化可以控制张力样条曲线的弯曲程度,使曲线不仅光滑美观,也更接近实际情况。

张力样条函数由平面上一组离散数据点定义,设 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 \dots 、 (x_n, y_n) 是一组已知的数据点,并且有 $x_1 < x_2 < \dots < x_{n-1} < x_n$,则张力样条函数是一个具有二阶连续导数的单值函数 $y = f(x)$,它满足:

$$y_i = f(x_i) \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (2-5)$$

同时要求 $f''(x) - \sigma^2 f(x)$ 是连续函数,在每个区间 $[x_i, x_{i+1}]$ ($i=1, 2, \dots, n-1$)呈线性变化,即有:

$$f''(x) - \sigma^2 f(x) = [f''(x_i) - \sigma^2 y_i] \frac{x_{i+1} - x}{h_i} + [f''(x_{i+1}) - \sigma^2 y_{i+1}] \frac{x - x_i}{h_i} \quad (2-6)$$

式中, σ 是一不等于0的常数,称为张力系数,而 $h_i = x_{i+1} - x_i$ ($x_i < x < x_{i+1}$)。

若采用累加的弦长 s 作为参数,则参数方程形式的张力样条函数可以表示为: