

数字化成图原理与实践

谢刚生 邹时林 编著



西安地图出版社

p283-1

X-262

数字化成图原理与实践

谢刚生 邹时林 编著

西安地图出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字化成图原理与实践/谢刚生,邹时林编著,一西安:西安地图出版社,2000.5

ISBN 7 80545 887 1

I. 数… I. ①谢…②邹… II. 数字化制图
IV. P283.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 28885 号

数字化成图原理与实践

谢刚生 邹时林 编著

西安地图出版社出版发行

(西安市友谊东路 124 号 邮政编码 710054)

新华书店经销 西安地图出版社印刷厂印刷

850×1168 毫米 1/32 开本 9.25 印张 230 千字

2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月第 1 次印刷

印数 1—2000

ISBN 7-80545-887-1/P·37

定价:18.60 元

前 言

数字化成图技术是现代测绘技术与计算机技术和信息技术相结合的产物，也是地图制图学研究的重要方向之一。90年代以来，随着计算机技术和电子测绘仪器的发展和日益普及，数字化成图技术的研究获得了迅速的发展，数字化成图技术在测绘生产与实践中也得到了越来越多的应用。

本书是在作者多年从事数字化成图教学与科研实践的基础上编著而成的。全书比较系统地介绍了数字成图技术的原因与实际工作。全书共分七章，第一、二、三、七章由谢刚生编写，第四、五、六章由邹时林编写，最后由谢刚生负责全书的统稿与文字整理工作。

本书可作为本、专科测绘工程及相关专业数字化成图或相关课程的教材或教学参考书，也可作为从事数字化成图工作的技术人员及数字化成图系统的开发人员的参考读物。

本书的编写与出版得到了华东地质学院周文斌副院长、管太阳处长，南方测绘仪器公司倪晓东高级工程师，西安地图出版社毛腊梅编辑的热情帮助与支持，作者对此表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中肯定存在不足之处，敬请读者谅解并提出宝贵意见。

作者

2000年4月于江西临川

参 考 文 献

- [1] A. H 罗宾逊等著, 李道义等译. 地图学原理 (第五版). 测绘出版社, 1989 年 12 月第 1 版
- [2] 向传壁主编. 地形图应用学. 高等教育出版社, 1992 年 5 月第 1 版
- [3] 李河著. 得乐园失乐园. 中国人民大学出版社, 1997 年 12 月第 1 版
- [4] 刘光远、韩丽斌. 电子地图技术与应用. 测绘出版社, 1996 年 11 月第 1 版
- [5] 中国科学院地理研究所译. 地图制图自动化译文专辑 (第一集). 测绘出版社, 1981 年第 1 版
- [6] 中国科学院地理研究所译. 地图制图自动化译文专辑 (第二集). 测绘出版社, 1981 年第 1 版
- [7] 胡友元、黄杏元等编著. 计算机地图制图. 测绘出版社, 1987 年 12 月第 1 版, 1991 年 10 月第 2 次印刷
- [8] 刘 岳、梁启章. 专题地图制图自动化. 测绘出版社, 1981 年 3 月第 1 版
- [9] 潘正风、杨德麟等编著. 大比例尺数字测图. 测绘出版社, 1996 年 9 月第 1 版
- [10] 郭仁忠著. 空间分析. 武汉测绘科技大学出版社, 1997 年 1 月第 1 版
- [11] 孙家广、杨长贵编著. 计算机图形学 (新版). 清华大学出版社, 1995 年 5 月第 2 版, 1996 年 7 月第 4 次印刷
- [12] 金廷赞著. 计算机图形学. 浙江大学出版社, 1988 年 2 月第 1 版, 1996 年 3 月第 6 次印刷
- [13] 唐泽圣、周嘉玉、李新友编著. 计算机图形学基础. 清华大学出版社, 1995 年 12 月第 1 版, 1996 年 7 月第 2 次印刷
- [14] 谢刚生、倪晓东等编. CASS 3.0 地形地籍成图软件使用说

明书

[15]李德仁、龚健雅等编著. 地理信息系统导论. 测绘出版社, 1993 年 9 月第 1 版

[16]陈永奇等编著. 高等应用测量. 测绘出版社, 1996 年 11 月第 1 版

[17]冯仲科主编. 测量学通用教程. 测绘出版社, 1996 年 8 月第 1 版

[18]刘友光、黄桂兰、徐业明、黄金森编. 工程中数字地面模型的建立与应用及大比例数字测图. 武汉测绘科技大学出版社, 1997 年 3 月第 1 版

[19]中华人民共和国国家标准, GB 14804-93, 1:500 1:1000 1:2000 地形图要素分类与代码, 中国标准出版社, 1994 年 6 月第 1 版

[20] 中华人民共和国国家标准, GB /T 15660-1995 , 1:5000 1:10000 1:25000 1:50000 1:100000 地形图要素分类与代码, 中国标准出版社, 1996 年 2 月第 1 版

[21]王来生、鞠时光、郭铁雄等编著. 大比例尺地形图机助绘图算法及程序. 测绘出版社, 1993 年 8 月第 1 版

[22]边馥苓主编. 地理信息系统原理和方法. 测绘出版社, 1996 年 8 月第 1 版

[23]地形图图式

[24]程朋根等. GIS 中符号设计系统的研究与开发. 中国地理信息系统协会 1999 年年会论文集 (上)

[25]孙庆辉等. GIS 中地图输出对符号库建立的影响. 中国地理信息系统协会 1999 年年会论文集 (上)

[26]崔洪斌等编著. AutoCAD R14 实用教程. 人民邮电出版社, 1998 年 1 月第 1 版

[27]廖果等编. AutoCAD 13 从入门到精通 (Windows 版). 成都出版社, 1996 年 2 月第 1 版

[28]Joseph Smith Rusty Gesner 著，沈翔等译，AutoCAD 12.0 定制大全，学苑出版社，1994 年 10 月第 1 版

[29]刘学军，三角网法数字地形模型的建立与应用研究，清华大学硕士学位论文

[30]Ron White 著，郭飞译，软件半月通 (How Software Works)，电子工业出版社，1994 年 3 月第 1 版

[31]张海藩，软件工程导论 (修订版)，清华大学出版社，1992 年 6 月第 2 版，1997 年 10 月第 14 次印刷

目 录

第一章 绪论	1
1.1 图、地图、数字地图	1
1.2 数字化成图技术的概念及研究内容	4
1.3 数字化成图系统的构成	6
1.4 数字化成图技术的发展历史与现状	14
1.5 数字化成图的工作过程与作业模式	17
1.6 数字化成图技术与传统成图技术的比较	21
第二章 数字化成图技术的若干理论基础	
2.1 坐标系与坐标变换	24
2.2 图形裁剪	33
2.3 曲线光滑	41
2.4 数字地图的数据类型与编码	54
2.5 空间数据的结构与组织方法	58
2.6 地理实体的符号化处理	74
2.7 规则地物的几何纠正	83
2.8 数字地面模型	86
第三章 数字化成图软件的开发	
3.1 软件开发基础知识	101
3.2 数字化成图软件的特点、功能与结构	106
3.3 数字化成图软件开发的常用工具	112
3.4 外业采集软件的开发	125

3. 5 数据通讯软件的开发.....	126
3. 6 图形数据处理软件的开发.....	130
3. 7 图形生成软件的开发.....	138
3. 8 图形编辑软件的开发.....	160
3. 9 等高线生成软件的开发.....	170
3. 10 数字化录入软件的开发.....	182

第四章 数字化成图的外业

4. 1 外业工作的主要内容与特点	186
4. 2 全站仪及其使用	188
4. 3 电子手簿及其使用	194
4. 4 GPS及其使用	200
4. 5 图根控制测量及其数据处理	204
4. 6 碎部测量方法	206
4. 7 内外业一体化模式的作业过程	209
4. 8 电子平板作业模式的作业过程	212

第五章 数字化成图的内业

5. 1 内业工作的主要内容与工作方法	213
5. 2 数字化仪及其使用方法	218
5. 3 绘图仪及其使用方法	221
5. 4 扫描仪及其使用方法	226
5. 5 跟踪数字化的作业过程	228
5. 6 扫描矢量化的作业过程	229

第六章 数字化测图软件的使用方法

6. 1 概述.....	231
6. 2 CASS 3.0的编码方案.....	233
6. 3 利用CASS 3.0作一幅地形图.....	239
6. 4 CASS 3.0的其它应用功能简介.....	263

第七章 数字地图的管理与质量评价

7. 1 数字地图的管理.....	272
7. 2 衡量数字化地图产品质量的指标体系.....	279
7. 3 数字化地图产品质量评价中的若干问题.....	281
7. 4 数字化地图产品质量的评价方法.....	282

第一章 绪论

1.1 图、地图、数字地图

众所周知，图是科学技术与工程应用领域内的一种共同语言，是人类信息最有效载体之一。人们在现代化生产与生活的各个领域都需要或者习惯于用各种各样的图（纸）来达到表达设计方案、描述制图对象的状态、交流经验以及指导生产活动的目的。

地图是制图对象（或称为地图实体、地图要素等）的空间形态和空间关系的图解表象^[1]。现代地图学认为^[2]，地图是以地图学理论为指导，按一定的数学法则，将空间事物（地球及其宇宙环境）经制图综合后形成的空间信息，运用地图语言存贮于平面上的图形——数学模型，用以传输它们的数量和质量在时空上的发展变化。与一般的图相比，地图特别强调空间的概念，地图使用者可以解读到制图对象本身的空间位置（如用 X 、 Y 、 Z 表示的大地坐标）和对象之间的空间关系（距离、方位等）。

一般认为^[1]，现代地图具有三个基本特性：数学基础、制图综合和地图符号。数学基础确定了地图实体与制图对象之间的数学关系，如投影方式、坐标系统、比例尺等。制图综合是为了突出地图的应用主题而对错综复杂的客观世界进行的取舍和化简。地图符号则是用以描述制图对象的一种“语言”。

地图种类几乎是无限多的，然而还是有一些公认的分类方法对地图进行分类，以便研究它们的共性。常用的分类依据有：地图比例尺和地图用途。地图比例尺是地图上的尺寸与实地尺寸之比。以比例尺为依据可以将地图分为大、中、小比例尺三种。当然，大、中、小只是相对概念，目前尚无统一的划分界

限。在普通地图中，可按比例尺分为^[3]。

大比例尺地图：1：10 万及更大比例尺的地图；

中比例尺地图：1：10 万到 1：100 万比例尺之间的地图；

小比例尺地图：1：100 万及更小比例尺的地图。

不同比例尺的地图在坐标投影、图幅划分、精度要求、取舍方法、地图符号等方面都存在较大的差别。

以用途为依据可以将地图划分为：通用（普通）地图和专用地图。通用地图强调其通用性，要求它能适用广泛的领域和广大的读者，例如大比例尺地形图和国家各比例尺的基本地图。专题地图则着重反映某一种（或几种）自然和社会经济要素的分布或强调表示这些现象的某一方面特征，例如旅游图、交通图、地质图等。

地图的分类还以其包含的制图区域、使用方式、外形特征、感受方式等进行。这些分类方法都可以在有关地图学的专业书籍中找到。

地图上展绘的内容称为地图要素。一般通用地图的要素主要有三类：数学要素、地理要素和辅助要素。数学要素主要有：比例尺、地图分幅与编号、坐标格网或经纬网、内外图廓及测量控制点。地理要素是地图展绘的主要内容，它包括描述各种地理实体（制图对象，如地形图中的地物与地形）的符号。辅助对象包括文字注记和说明资料，如图号与图名、坐标系及高程基准等。

20 世纪是人类科学技术大发展的世纪，特别是 20 世纪的后半叶，随着电子技术、计算机技术、通讯技术的飞速发展，导致了人类生存与生活方式的改变，而且也越来越清晰地向人类预示着一个新时代——信息时代的到来。

信息时代的特征就是数字化，也可以反过来说，数字化技术是信息时代的基础平台。数字化是实现信息采集、存贮、处理、传输和再现的关键。数字化技术对测绘学科也产生了深刻

的影响，特别是在地图制图学领域，数字化技术改变了人们对传统地图的定义和认识以及地图的生产工艺，从而产生了地图产品的一个全新品种——“数字地图”。简单地说，数字地图就是用数字形式（而不是在纸上或其它介质上以图解形式）存贮全部地图信息的“地图”，它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，是存贮在具有直接存取性能的介质上的关联数据文件^[4]。

与数字地图有着密切关系的另一个地图品种是“电子地图”。电子地图是数字地图符号化处理后的数据集合，所以电子地图与数字地图的根本区别之一是地图要素的符号化处理与否^[4]。数字地图是电子地图的基础。严格地讲，数字地图是不可视的，而电子地图是可视的。但是，在很多场合，人们经常不去严格区分数字地图与电子地图，因为数字地图是电子地图的基础，电子地图是数字地图的一种最常见的输出或表现形式，二者很难独立完成应有的地图功能。除特殊需要而加以申明外，本书一般不对二者作严格区分。

数字地图与常规地图的差异主要体现在如下几个方面：

（一）数字地图的载体不是纸张而是适合于计算机存取的磁带、磁盘和光盘。

（二）数字地图不像传统地图那样以线划、颜色、符号、注记来表示地物类别和地形，而是以一定的计算机可识别的数字代码系统来反映地表各类地理属性特征。

（三）数字地图所记录的地表地理信息虽往往能满足一定的地图投影关系，并经过一定的制图综合处理，但并没有比例尺的限定。

（四）数字地图的使用必须借助于计算机及其配套的外部设备。

1.2 数字化成图技术的概念与研究内容

所谓数字化成图，顾名思义，就是用数字化方法制作地图。在不同文献^{[15]、[16]、[17]、[18]、[19]}中，数字化成图有多种不同的提法，如自动化成图、计算机地图制图、数字测图等。也许在不同的时代、不同应用领域的专家有各自习惯的叫法，但本书统一用数字化成图。作者认为：“自动化”是一种还远未实现的理想，“计算机”只是所有“工具”的一部分，“测图”又过于局限，惟有“数字化”才是真正的本质。数字化成图的直接成果是数字地图（或电子地图），间接成果可以是各种形式的普通地图或专题地图。

数字化成图技术是现代测绘科学与技术和计算机科学与技术，特别是计算机图形与技术相结合的产物。它的主要研究对象是制图对象信息的获取（采集）、加工（处理）、传输、系统分析、图形显示与存贮的技术手段和方法，主要研究内容包括：

一、数字化成图系统的构成

随着电子技术、仪器制造技术和计算机技术的飞速发展，测绘仪器和计算机设备的性能得到了空前的提高。测绘仪器正在朝着自动化、数字化、高效率、全天候等方向发展。电子经纬仪、全站仪、GPS 接收机则是其中的典型代表。数字化成图技术首先要从原理上研究如何利用这些现代化测绘仪器和计算机设备构成一个完整的数字化成图系统，这里当然包括为了连接这些设备而进行了一些软、硬件开发工作，如电子手簿的开发。其次要从方法上研究与数字化成图系统相适应的工作模式和工作方法。

二、数字地图的数据采集设备与方法

数字地图与传统地图最本质的区别在于地理属性特征的表达方法。前者是数字形式的，后者是图解形式的。这种差别直接影响到数据采集的设备与方法。因此有必要研究、开发、选

择相应的采集设备和采集方法。数字地图的数据采集设备应该能直接得到数字化结果，如电子经纬仪、全站仪等，即使不能在野外得到数字化结果，也必须在进入数字化成图系统前加以转换，如用数字化仪或扫描仪进行数字化处理。

三、数字地图的表示方法和存贮结构

数字地图是以数字形式来表示和存贮地理属性特征的。这就要求研究地理属性特征的数字化表示方法。在数字化成图的存贮结构（数字地图，又称为地图数据库）中，制图实体的属性是以代码来表示的，而在可视化输出（如屏幕显示和绘图仪输出纸质地图）时，又必须采用与传统地图类似的符号来表示。这就既要研究科学的代码体系又要研究地图符号的生成方法。数字化成图技术还要研究如何合理地组织一个区域（例如一个图幅）内各类地图实体的数字化信息，这就是存贮结构。

四、数字地图的计算机处理和图形编辑

野外或室内采集的地图实体的数字化信息必须经过适当的处理（例如图幅的裁剪与拼接、采集误差的处理及必要的代码和文件格式转换等），才能满足数字化成图的要求。采集的数据也可能存在差错与遗漏，有必要对其进行编辑修改。因此，数字化成图技术必须研究数字地图的计算机处理方法和图形编辑的界面与方法。

五、数字地图的编出设备与方法

这主要是指输出设备的选择及接口软件的开发。另外，为了实现数字地图产品的共享，还应该考虑输出到共享文件（又称为接口文件）的方法及共享文件的结构。

六、数字地图的质量评价

数字地图有着与传统地图不同的表示方法，其应用领域也更为广泛，人们对数字地图的要求也不同于传统地图。因此，在数字化成图技术中必须研究数字地图的质量评价问题，包括衡量数字地图的质量的指标体系、质量评价方法及质量控制方

法。

七. 数字化成图软件的开发

软件是数字化成图系统的灵魂。数字化成图软件是一种规模较大的综合性应用软件,它具有数据量大、算法复杂、涉及的外部设备繁多等特点。因此,数字化成图软件的开发既是数字化成图技术的关键,也是其难点。必须将当代软件工程的最新技术手段与数字化成图系统的特点结合起来,选用合适的开发平台进行数字化成图软件的开发。

八. 数字地图的管理与应用

数字化成图的目的是按照一定的规范要求生产便于管理与应用的数字地图或其它各种形式的地图产品。因此,数字化成图技术必须研究数字地图的管理与应用问题,以便更好地适应人们对数字地图产品的要求。另外,数字化成图系统(软件)本身也涉及数字地图的管理与应用问题,例如图幅管理与简单几何量的求解。

九. 数字化成图与地理信息系统的关系

地理信息系统(Geographic Information System, GIS)的发展历史已经清楚地告诉人们,地理信息系统起源于数字化成图^[10]。空间信息的处理与表达仍然是GIS领域的一个重要研究内容。人们目前比较一致的认识是:数字地图是GIS理想的数据源。因此,为了使数字地图更好地满足GIS的要求,必须进一步研究数字化成图与GIS的关系,主要包括GIS对数字地图的要求及数字化成图的成果如何顺利地导入GIS之中等问题。

1. 3 数字化成图系统的构成

1. 3.1 概述

数字化成图系统是指实现数字化成图功能的所有因素的集合。广义地讲,数字化成图系统是硬件、软件、人员和数据的

总和。

数字化成图系统的硬件主要有两大类：测绘类硬件和计算机类硬件。前者主要指用于外业数据采集的各种测绘仪器；后者包括用于内业处理的计算机及其标准外设（如显示器、打印机等）和图形外设（如用于录入已有图形的数字化仪和用于输出纸基地图的绘图仪）。另外，实现外业记录和内、外业数据传输的电子手簿则既可能是测绘仪器（如全站仪）的一个部分，也可能是用某种袖珍机（如 PC-E500）或掌上机（如 HP-200LX）开发出的独立产品。

从一般意义上讲，数字化成图系统的软件包括为完成数字化成图工作用到的所有软件，即各种系统软件（如操作系统：Windows）、支撑软件（如计算机辅助设计软件：AutoCAD 和数据库管理系统：FoxPro）和应用软件。但是，本书不是一本关于计算机软件的包罗万象的全书，它的重点只能局限在与数字化成图工作有着紧密关系的内容。因此，本书一般只涉及实现数字化成图功能的应用软件或者叫专用软件（如南方测绘仪器公司的 CASS）。

数字化成图系统的人员是指参与完成数字化成图任务的所有工作与管理人員。数字化成图对人员提出了较高的技术要求，他们应该是既掌握了现代测绘技术又具有一定的计算机操作和维护经验的综合性人才。

数字化成图系统中的数据主要指系统运行过程中的数据流，它包括：采集（原始）数据、处理（过渡）数据和数字地图（产品）数据。采集数据可能是野外测量与调查结果（如控制点、碎部点坐标、地物属性等），也可能是内业直接从已有地图或图像数字化或矢量化得到的结果（如地图数字化数据和扫描矢量化数据等）。处理数据主要是指系统运行中的一些过渡性数据文件。数字地图数据是指生成的数字地图数据文件，一般包括空间数据和非空间数据两大部分，有时也考虑时间数