

第三篇

地图编绘技术应用 与规范管理

第一章 概述

第一节 地图和地形图

一、地图的定义

在日常生活中，大家都见到过一些地图，什么是地图，一般认为：地图是根据一定的法则，按选择的缩小比例，把地球表面的物体和现象表示在平面上的图件。地图与地面写景图或地面照片不同，它具有严格的数学基础，科学的符号系统，完善的文字注记规则，并采用制图综合原则科学地反映出自然和社会经济现象的分布特征及其相互联系。上述定义确切地说明了地图不同于地面写景图或地面照片的特性，所以地图在国防建设、经济建设和人民生活中，都具有重要的作用。

我们知道，地球椭球面是不可展面，测绘地图时，首先必须将地球表面化算到极近似于该面的旋转椭球面上，然后再将旋转椭球表面描写到平面上，这个过程是用数学公式来表示和解决的；它是构成地图的基础（经纬线、坐标网），这就是地图的数学法则，亦称数学基础。

地图的数学基础，还表现在各种地物的位置、形状和大小，都是根据精确测算决定的；这就使地图具有足够的精度，来满足各方面使用地图的要求。

测绘或编制地图时，要根据相应的图式，按规定的符号来表示地球表面的一切物体和现象。用符号的好处很多，它不但把地面上有形的地物、地貌根据需要清楚地表现出来，使地图内容主次分明清晰易读，而且能把无形的东西如地磁、流速、高程、地名等反映在地图上。这是航摄照片所办不到的，因为航摄照片不能反映出地表面上的无形现象，同时在内容上也主次难分，没有用符号显示地图内容那样清楚。

地图的另一特性是内容的综合。综合包括取舍和概括两种意思。随着地图比例尺的缩小，表示在地图上的各种要素的容量也要随之而减少，这是取舍和概括地图内容的主要原因。一般说来，比例尺较小的地图，内容要简略一些，因为地图的负载量有一定的限度；当然，地图的用途和地区的情况对内容也有决定性的作用。因此综合的体现，就是地图的内容要根据一定的要求，经过选择舍去次要的突出主要的，同时概括出景观的基本特征。

二、地图的类型

随着生产力的发展和人们认识世界的深入，地图的选题范围越来越广，编制和应用地图也越来越普遍，地图的品种和数量也在日益增多。为了编图更有针对性，以及管理和使用的方便，有必要对地图加以分类。

地图分类的标志很多，主要有地图的内容、比例尺、制图区域范围、地图用途、使用方式及其他多种标志。

（一）按分类标志划分地图类型

1. 地图按内容分类

地图按其所表示的内容分为普通地图和专题地图两大类。

2. 地图按比例尺分类

地图按比例尺通常分为大比例尺地图、中比例尺地图和小比例尺地图三类。

由于地图比例尺并不能直接决定地图特点，它只能是在其他类型之下的二级分类标志，所以其大、中、小也是相对的。1:1万、1:2.5万在国家地形图系列中是大比例尺，在城市规划和建设中则是小比例尺。

3. 地图按制图区域分类

地图按其包含的区域范围分类时，可以根据自然区划、政治行政区划、经济区划等标志划分。

（1）地图按自然区划分为世界地图、大洲地图、自然区域（如青藏高原）地图等。

（2）地图按政治行政区划分为国家地图、省（区）地图、市图、县图等。

（3）地图还可以按经济区划及其他区划标志分类。

4. 地图按用途分类

地图按用途可分为通用地图和专用地图两类。

通用地图是没有设定专门用图对象的地图，适用于广大读者作一般参考或科学参考，如中华人民共和国挂图、省挂图等。

专用地图是针对专门用途制作的，如教学地图、旅游地图、航空图、航海图等。

也可以按用途分为军用地图、民用地图等。

5. 地图按使用方式分类

地图按其使用方式分：

（1）桌面用图：在明视距离内能详细阅读的地图，如地形图，普通地理图。

（2）挂图：挂在墙上使用的地图，又分为近距离（在1.5米距离内能详细阅读）的和远距离（5米以外能阅读）的教学地图。

（3）野外用图：在野外条件下或行进中阅读的地图，如旅游地图。它们应当能在不稳定的状态下阅读且便于折叠和携带。

（4）屏幕地图：在计算机屏幕上显示和阅读的地图。

6. 地图按其他标志分类

(1) 地图按其外形特征分为地球仪、立体地图和平面地图。

(2) 地图按其介质特征分为纸质地图、塑料地图、丝绸地图、沙盘地图、缩微地图及磁(光)盘地图等。

(3) 地图按其感受方式分为视觉地图和触觉地图等。

(4) 地图按其结构分为单幅地图、多幅地图、系列地图、地图集等。

(5) 地图按其存在形式分为“实”地图(具有固定形式的实体)和“虚”地图(储存在脑中的瞬变的地图影像)。“实”地图和“虚”地图可以相互转换。

地图分类标志很多,角度各异。它们可能又相互交叉,一种地图既可以按这种标志划分,也可以按另一种标志划分。

(二) 普通地图的分类

普通地图,是以相对平衡的详细程度表示地球表面各种自然和人文现象中最基本的要素(如水系、地貌、土质植被、居民地、交通网、境界及其他人文标志)的地图。随着比例尺的缩小,其详细程度也不断缩减。

普通地图按其表达形式和详细程度分为地形图和普通地理图。

1. 地形图

尽可能详细表示基本地理要素的地图,又分为:

(1) 大比例尺地形图:1:10万及更大比例尺的地形图。

(2) 中比例尺地形图:介于1:10万与1:100万之间的地形图,通常指1:20万、1:25万、1:50万比例尺的地形图。

(3) 小比例尺地形图:1:100万比例尺地形图。

我国把1:5000、1:1万、1:2.5万、1:5万、1:10万、1:25万、1:50万、1:100万这8种比例尺的地形图称为国家基本比例尺地形图。

2. 普通地理图

较概略表示普通地理要素的地图。例如,用变距高度表来表示地貌,主要以圈形符号表示居民地,仅表示主要道路和植被类型,以较概括的图形表示水系等。

(三) 专题地图的分类

专题地图是突出反映一种或几种主题要素的地图。地图的主题要素是根据专门用途的需要确定的,它们应表达得很详细,其他的地理要素则根据表达主题的需要作为地理基础选绘。作为主题的专题内容,可以是普通地图上固有的要素,例如作为行政区划图主题的境界线和行政中心,作为地势图主题的地貌等;但更多的是普通地图上没有的,属于专业部门需要的内容,例如工业经济图上的企业生产能力和各种经济指标,地质图上的地层界线、岩性和岩相标志等。

专题地图按内容分为:

1. 自然地图

反映自然现象的地图。又可以分为：

(1) 地质图：以显示岩层分布、岩石性质、岩相及构造为主题的地图。

(2) 地球物理图：以显示地磁、重力、固体潮等地球物理现象的分布、发生和发展过程为主题的地图。

(3) 地势图：以显示区域地形起伏形态为主题，以水系、地貌要素为主要内容的地图。

(4) 地貌图：以显示地表外部特征、类型、区划、形成、发展及其地理分布为主题的地图。

(5) 气象图：以显示各种气象要素，如日照、降雨、温度、气压、风、灾害天气等为主题的地图。

(6) 水文图：以显示海洋和陆地水文现象，如潮汐、洋流，海水温度、密度、盐分，江河湖泊的水位、水质，地表和地下径流，地下水的存在形式、贮量、水质等与水有关的现象为主题的地图。

(7) 土壤图：以显示地表土壤的类型和分布为主题的地图。

(8) 植被图：以显示地表植物类型及其分布为主题的地图。

(9) 动物地理图：以显示动物种类和分布为主题的地图。

(10) 综合自然地理图：以显示区域内各种自然景观要素（地貌、水文、土壤、气候、生物等）综合发展规律，揭示其相互联系及制约关系为主题的地图。

2. 人文地图

表示制图区域内各种人文现象的地图。可分为：

(1) 政区地图：以显示国家之间的政治关系、国内行政区划及政治、行政中心为主题的地图。

(2) 人口地图：显示人为主题的地图。包括人口分布、人口密度、民族分布、人口迁移、人口自然变动、人口的性别、文化程度、职业、年龄及其他标志的构成等。

(3) 经济地图：以经济现象为主题的地图。包括表现自然资源（森林、矿产等）、工业、农业、交通运输、通讯、电力、商业、财贸等各部门的资源、企业职工人数、各种经济指标的地图。

(4) 文化地图：以表现文化教育、医疗卫生等机构、设施的分布、规模、功能及各种构成指标为主题的地图。

(5) 历史地图：以历史题材为主题的地图，例如历代的国家分布、疆域划分、民族分布、农民起义、商业交往、政治斗争等各种历史现象，都可以用历史地图的形式表现出来。

3. 其他专题地图

指不能归属于上述类型的各种专题地图。例如，适用于特殊用途的航海图、航空图、城市地图、环境地图等，或者是内容包括自然和人文要素的综合性地图等。

此外，专题地图还可按其内容的概括程度划分为：解析型（或称分析型）、组合型（或称合成型）、综合型（或称复合型）三类。

(四) 系列地图的分类

系列地图指按照统一的设计要求,反映同一地区多种要素或不同时相的一组地图的集合。它们通常用相同的比例尺和地图投影,各图幅内容之间具有相关性、协调性、互补性及对比性等。

用系列地图反映制图区域的特征比单幅地图具有明显优势,它可以更加全面、深刻地描述地理环境多方面的特征且阅读方便。在计算机制图的条件下,地图内容的存取和叠加分析就更显其优越性。

系列地图可按区域、部门、时空等不同标志划分。

1. 按区域划分的系列地图

按区域划分时,系列地图可分为全国性的和地区性的两种。

(1) 全国性的系列地图:系统反映全国基本自然环境或社会发展的一组地图。例如,前苏联就在全国自然资源调查的基础上,编制了全国性的基本自然条件系列地图,其内容包括地理、地质、大地构造、地貌、土壤、植被、森林、动物等地图。墨西哥利用航空像片为基础编制了包括地形、地质、水文、土壤、土地利用等内容的1:5万比例尺的系列地图。日本则编制了1:2.5万比例尺的全国土地资源系列地图等。

(2) 地区性系列地图:指反映地区的自然条件或社会发展状态的系列地图。例如云南腾冲遥感系列地图。地图集中的序图或总图,通常也构成区域性的系列地图。

2. 按部门划分的系列地图

指反映某专业部门的基本专业内容的地图。例如,由普通地质图、矿产图、水文地质图、地貌图、工程地质图等组成的地质系列地图;由地势、水系、水利、气候、土地利用、作物分布、农业区划等组成的农业系列地图等。

3. 按时空划分的地图

系指反映某一地区不同时期状况的系列地图。通常由历史图、现状图和规划图等所构成。

系列地图的编制近年来有了很大的发展。过去多采用按地理要素分别调查、制图的方法来制作,现在则多运用综合考察成图的方法来编制。特别是航空和航天遥感的发展,为编制系列地图提供了科学而有效的途径,确保了图幅之间内容的相关协调。

(五) 地图集的分类

地图集是按照统一的设计和要求编制的多幅地图的汇集。一部地图集,特别是综合性地图集,能综合反映制图区域的地理环境、自然资源、生产布局、社会经济、政治、文化、历史等多方面的现象,向读者提供大量的信息和丰富的科学知识。

地图集的分类标志很多,通常可采用按制图区域、内容特征和用途分类。

1. 按制图区域分类

根据地图集反映的区域性质,区分为世界地图集、国家地图集、区域地图集、城市地图集等。制图区域可以按政治行政区划来划分,也可以按自然区划来划分,如青藏高

原地图集、黄河流域地图集等。

2. 按地图集的内容分类

按地图集的内容分为：

(1) 普通地图集：以普通地图为主体的地图集，供读者了解区域的一般地理概况。这类地图集一般由序图、基本地图、文字说明、统计图表、地名索引等部分组成。序图通常为—组专题地图，使读者建立起制图区域的总体概念；基本地图是地图集的主体，是分区域（例如省的地图集分县）的普通地图；统计图表、照片、文字说明等用来对地图作补充；地名索引包含地图集中所有出现的地名，是查阅地名的工具，按—定的规则编制并附在最后。

(2) 专题地图集：以反映某类专题地图为主体的地图集。专题地图集可区分为自然地图集和人文地图集两大类，进而再区分出更多的类别（图 3-1-1）。

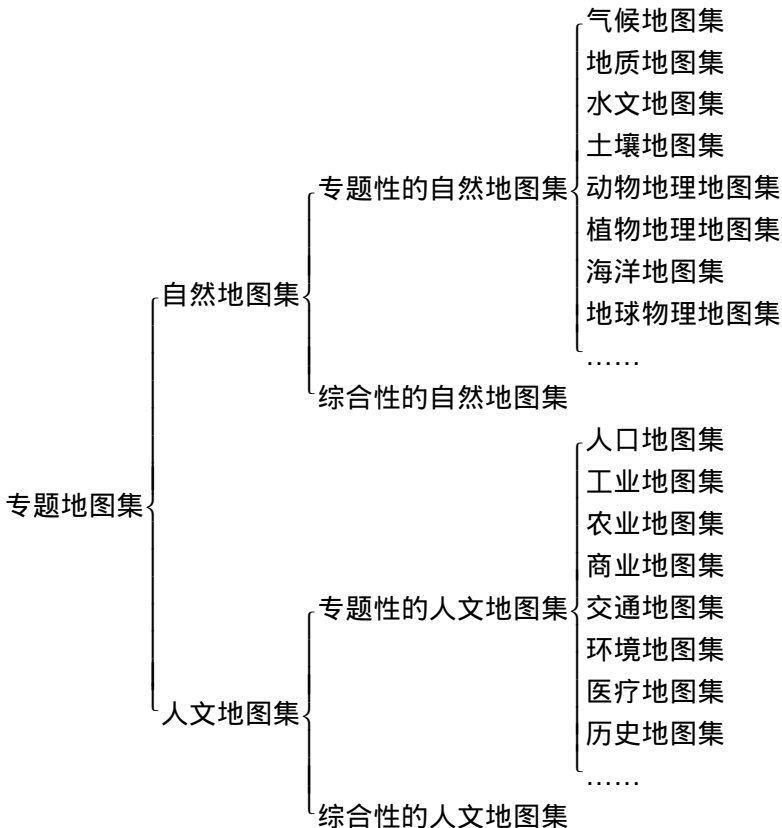


图 3-1-1 专题地图集分类

(3) 综合性地图集：指包括普通地图、自然地图和人文地图的内容，且从多方面反映制图区域的综合面貌的地图集，一般来说它具有内容全面、图种复杂、综合性强的特点。

3. 按地图集的用途分类

按地图集的用途可分为：

(1) 参考地图集：为读者的工作、生活 科学研究等提供参考资料使用的地图集。又分为一般参考地图集和科学研究参考地图集，前者为读者提供制图区域一般的地势、交通、行政区划、地名及其空间位置等一般地理信息，后者则提供丰富的专业知识和有关的地理环境信息，通常指专业性很强的专题地图集。

(2) 教学地图集：配合教科书使用的地图集。如我国出版的中、小学用的地图集。

(3) 旅游地图集：为旅游者或旅游管理编制的地图集，这类图集突出旅游点、旅游路线以及交通、食宿、娱乐、购物的需要。

(4) 军事地图集：供军人学习政治、军事知识和国防建设、作战部署使用的地图集，它要从军事的角度选择和描述地理内容。

第二节 编绘地形图的基本知识

一、地图比例尺

地图比例尺是地图上主要的数学要素之一，它决定着实地的轮廓转变为制图表象的缩小程度。

地图上微小线段的长度 l 与实地相应线段 L 的水平长度之比，称为地图比例尺 ($\frac{1}{M}$)，用式 (3-1-1) 表示：

$$\frac{1}{M} = \frac{l}{L} \quad (3-1-1)$$

例如，图上长 $l = 1\text{cm}$ ，实地长 $L = 1\text{km}$ ，其比例尺为 $\frac{1\text{cm}}{1\text{km}} = \frac{1}{100\,000}$

(一) 地图上标注的地图比例尺的形式

1. 地图上表示的比例尺有以下几种形式

(1) 数字式：用阿拉伯数字表示。例如：1:100000 (或简写作 1:10 万)，或 $\frac{1}{100000}$ 表示。

(2) 文字式：用文字注解的方法表示。例如“百万分之一” (或简称百万分之一)，“图上 1cm 相当于实地 10km”等。

表达比例尺的长度单位，在地图上通常以 cm 计，在实地上以 m 或 km 计。例如，常常用“图上 1cm 相当于实地 $\times \times \text{m}$ (或 km)”来表示比例尺，涉及到航海方面的地图，实地距离则常常以海里 (n mile) 计。

(3) 图解式：用图形加注记的形式表示的比例尺。例如，地形图上的直线比例尺

(图 3-1-2)。

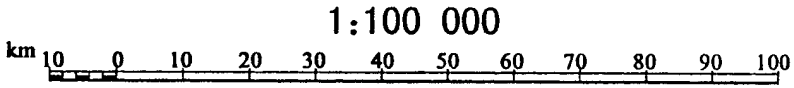


图 3-1-2 地形图上的图解比例尺

小比例尺地图上，由于投影变形比较复杂，往往根据不同经纬度的不同变形，绘制一种复式比例尺，又称经纬线比例尺或诺谟图，用于不同地区长度的量算。图 3-1-3 是变形随纬度不同而变化的纬线比例尺。

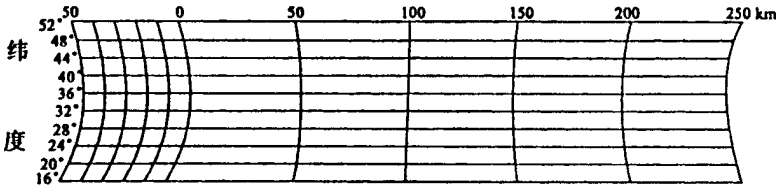


图 3-1-3 双标准纬线等角圆锥投影的纬线比例尺

地图上通常采用几种形式配合来表示比例尺，最常见的是数字式和图解式的配合使用。

2. 地图比例尺的转换

(1) 例如数字比例尺为 1:75000 时，则其文字比例尺为：

米制 (图上) 1 厘米代表 (实地) 75000 厘米；

$$1 \text{ 公里} / 0.75 \text{ 公里} = 1.333;$$

因此，1.333 厘米代表 1 公里。

英制 (图上) 1 英寸代表 (实地) 75000 英寸；

$$1 / 75000 = x / 163360;$$

$$x = 0.845;$$

因此，0.845 英寸代表 1 英里。

(2) 若数字比例尺为 1:75000 时，则其图解比例尺为：

米制 1:333 厘米 : 1.0 公里 = x 厘米 : 10 公里；

$$x = 13.33;$$

1.33 厘米代表 10 公里。很容易绘出图解比例尺并细分。

英制 0.845 英寸 : 1.0 英里 = x 英寸 : 10 英里；

$$x = 8.45 \text{ 英寸};$$

8.45 英寸代表 10 英里。很容易绘出图解比例尺并细分。

(3) 若图解比例尺表明 1 厘米代表 50 公里，则其数字比例尺为：

1 厘米代表 50×100000 厘米，或

1 厘米比 5000000 厘米

因此，数字比例尺为 1:5000000。

(4) 若图解比例尺表明 1 英寸代表 75 英里，则其数字比例尺为：

1 英寸代表 75×63360 ，或

1 英寸比 4752000 英寸，

因此，数字比例尺为 1:4752000。

(二) 地图的比例尺系统

各个国家的地图比例尺系统是不完全相同的，特别是有的国家采用英制，换成米制较麻烦。

我国采用十进位的米制长度单位。规定 8 种比例尺为国家基本地形图的比例尺系列(表 3-1-1)。

表 3-1-1 国家地形图基本比例尺系列

数字比例尺	文字比例尺 (地图名称)	图上 1cm 相当于实 地的 km 数	实地 1km 相当于图 上 cm 数
1:5000	五千分之一	0.05	20
1:10000	一万分之一	0.1	10
1:25000	二万五千分之一	0.25	4
1:50000	五万分之一	0.5	2
1:100000	十万分之一	1	1
1:250000	二十五万分之一	2.5	0.4
1:500000	五十万分之一	5	0.2
1:1000000	百万分之一	10	0.1

小比例尺地图没有固定的比例尺系统。根据地图的用途、制图区域的大小和形状、纸张和印刷机的规格等条件，在设计地图时确定其比例尺。但是，在长期的制图实践中，小比例尺地图也逐渐形成约定的比例尺系列。例如，从已出版的大量地图来看，多出现下列较为完整的数字比例尺：1:100 万、1:150 万、1:200 万、1:250 万、1:300 万、1:400 万、1:500 万、1:600 万、1:750 万、1:1000 万等。

二、地形图的分幅和编号

为了不重复、不遗漏地测绘各地区的地形图；为了能科学地管理和便于使用大量的各种比例尺地形图，必须将不同比例尺的地形图分别按照国家统一规定进行分幅和编号。

所谓分幅、编号，就是以经纬线（或坐标网线）按规定的大小和分法，将地面划分成整齐的、大小一致的、一系列梯形（或正方形或矩形）的图块，每一图块叫做一个图幅，并给以统一的编号。

在阐述分幅、编号方法前，首先要介绍一下有关的概念。

（一）地理坐标

表示地面点在参考椭球面上投影位置的经度和纬度，叫做地理坐标。它是一种球面坐标，坐标值都是角值。地理坐标系统是利用地球上可被统一认定的点、线、面来建立的，所以应先了解这些点、线、面的概念。

地轴和两极 地球的数学形体是旋转椭球。地球的自转轴也就是旋转椭球的短轴，叫做地轴。地轴和椭球面相交的两点 N 、 S ，叫做极点，即北极和南极。如图 3-1-4 所示。

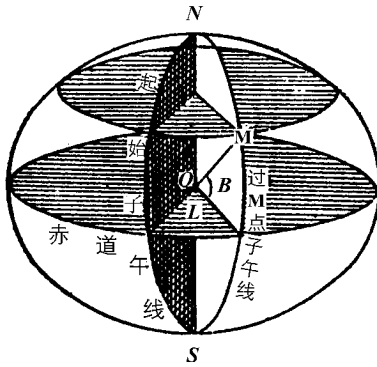


图 3-1-4 地理坐标

子午面和子午线 过地面点 M 和两极的平面，叫做过 M 点的子午面。子午面与椭球面的交线叫做子午线（又叫做经线）。国际上公认：通过英国格林威治天文台的子午面和子午线为起始（首）子午面和起始（首）子午线。起始子午面将地球分为东西两个半球。所有子午线都是大小相同的椭圆。

赤道和纬线 过地轴中点（地心）且垂直于地轴的平面，叫做赤道面。赤道面与椭球面的交线叫赤道。赤道面将地球分为南北两半球。平行于赤道面的平面与椭球面的交线，叫做平行圈（又叫做纬线）。所有平行圈都是大小不同的圆，其中最大的就是赤道。

地理坐标系就是以起始子午面和赤道面作为起算面的。

点的经度 过 M 点的子午面与起始子午面之间的二面角 L ，叫做 M 点的经度。经度由起始子午面向东或向西度量。向东度量的，叫东经，向西度量的，叫西经。其角值各从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。同一子午线上所有点的经度都相同。

点的纬度 M 点的法线（即垂直于过 M 点切平面的直线）与赤道面的交角 B ，叫做 M 点的纬度。纬度由赤道面向北或向南度量，向北度量的，叫北纬，向南度量的，

叫南纬。角值各从 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。同一纬线所有点的纬度都相同。

地面上一点的地理坐标 (L 、 B) 确定了该点在椭圆面上的位置。

上述的经纬度, 又叫大地经纬度。另外还有天文经纬度 (通常以 λ 、 φ 表示) 和地心经纬度之分, 这里不作叙述了。

(二) 梯形图幅的分幅和编号

我国现行规范规定, 采用梯形图幅的地形图的比例尺序列为: $1/100$ 万、 $1/50$ 万、 $1/25$ 万、 $1/10$ 万、 $1/5$ 万、 $1/2$ 万 5 千、 $1/1$ 万、 $1/5$ 千、 $1/2$ 千。

各种比例尺图幅的划分, 都是从起始子午线和赤道开始, 按不同的经差 (两经度之差) 和纬差 (两纬度之差) 来确定的, 并将各图幅按一定规律编号。这样做就能使各个图幅在地球上的位置与其编号一一对应。因此, 只要知道某地区的经纬度, 就可求得该地区相应图幅的编号。有了编号, 就能迅速地找到需要地形图。反之, 根据地形图编号, 就能确定该图幅在地球上的位置。

下面分别介绍各种比例尺分幅、编号的规定。

1:100 万地形图的分幅和编号

$1:100$ 万地形图的分幅和编号是国际统一的。它也是 $1:50$ 万、 $1:25$ 万、 $1:10$ 万地形图分幅和编号的基础。如图 3-1-5 所示, 从赤道起向北或向南至纬度 88° 止, 按纬差每 4° 划作一横列。每横列依次用大写拉丁字母 A、B、C……V 表示。从经度 180° 起自西向东按经差每 6° 划作一纵行, 全球共划分为 60 纵行。每行依次用阿拉伯数字 1、2、3…… 6^0 表示。这样, 每幅 $1:100$ 万地形图就是由纬差 4° 和经差 6° 的经纬线所划分成的梯形图幅。显然幅图的编号是由该图幅所在的横列字母与纵行号数所组成。例如位于 I 列 (纬度 $32^{\circ} \sim 36^{\circ}$)、第 50 行 (经度 $114^{\circ} \sim 120^{\circ}$) 的 $1/100$ 万图幅, 其编号就用 I-50 表示。

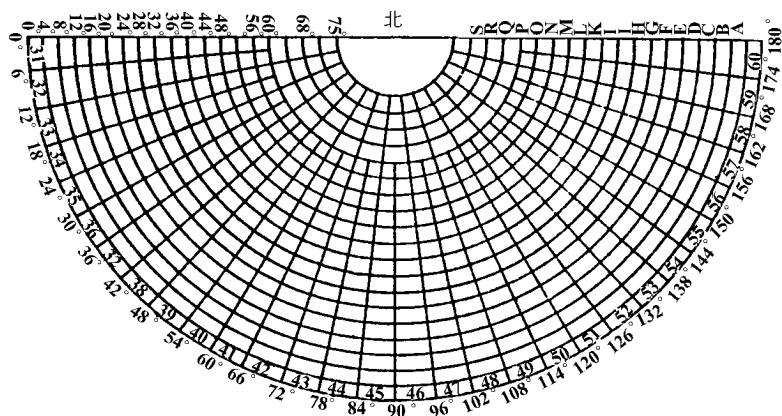


图 3-1-5 1:100 万地形图的分幅和编号

2:150 万、1:25 万、1:10 万地形图的分幅和编号

这三种比例尺地形图的分幅和编号，都是以 1:100 万地形图的分幅和编号为基础的，并各自与所在 1:100 万地形图图幅直接联系，如图 3-1-6 所示。

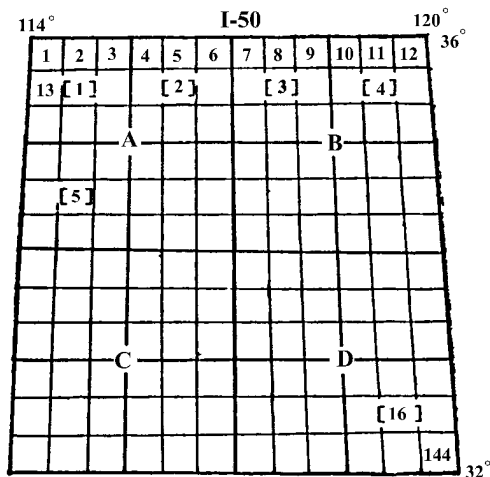


图 3-1-6 1:50 万、1:25 万、1:10 万地形图与 1:100 万地形图的关系

将一幅 1:100 万地形图图幅按纬差 2°、经差 3°划分为四个 1:50 万地形图图幅，并分别以字母 A、B、C、D 表示（也曾用过其他字母和文字）。若将该字母加在所在 1:100 万地形图编号后面，便组成 1:50 万地形图的图幅编号。如图 3-1-7 (a)，画有斜线的 1:50 万地形图图幅编号为 I-50-D。

同理若将一幅 1:100 万地形图图幅范围按纬差 1°、经差 1°30'划分为 16 个 1:25 万地形图图幅，并分别以带有方括号的阿拉伯数字 [1]、[2]……[16]，加在 1:100 万图幅编号后面，便组成 1:25 万图幅编号。如图 3-1-7 (b) 中带斜线的图幅号为 I-50-[15]。

再如将一幅 1:100 万图幅按纬差 20'、经差 30'划分为 144 个 1:10 万图幅，并自左至右、自上而下分别以 1、2、3……144 数字表示，将此数字加在 1:100 万图幅编号后面及组成 1:10 万图幅编号。如图 3-1-7 (c) 中带斜线的图幅号为 I-50-142。

需要说明的是，我国在 1985 年以前规定的地图比例尺序列中没有 1:25 万，而是 1:20 万。其图幅大小为纬差 40'、经差 1°。一幅 1:100 万图幅可划分成 36 幅 1:20 万的图幅，其编号代号开始规定为 I、II、XXXVI，以后又改为 (1)、(2)……(36)。

3.1:5 万、1:2 万 5 千、1:1 万地形图的分幅和编号

要注意：这三种比例尺地形图的分幅、编号是在 1:10 万地形图分幅编号的基础上进行的。

将一幅 1:10 万图幅按纬差 10'、经差 15'划分成 4 个 1:5 万图幅，以 A、B、C、D 字母表示，并将其加在 1:10 万图幅编号后面便组成 1:5 万图幅的编号，如图 3-1-8 (a)

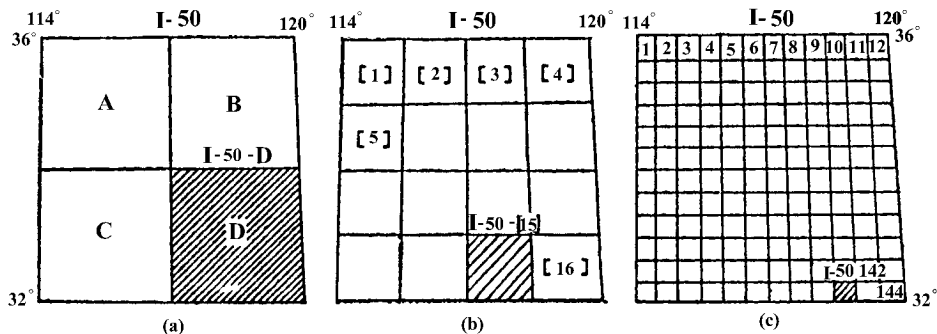


图 3-1-7 1:50 万、1:25 万、1:10 万地形图的分幅和编号

中，东南角 1:5 万图幅的编号为 I-50-142-D。如再将每幅 1:5 万图幅划分成 4 个 1:2 万 5 千图幅并以 1、2、3、4 数号表示，将其加在 1:5 万图幅编号后面便组成 1:2 万 5 千图幅的编号。如图 3-1-8 (a) 中画有斜线的 1:2 万 5 千图幅的编号为 I-50-142-D-3。

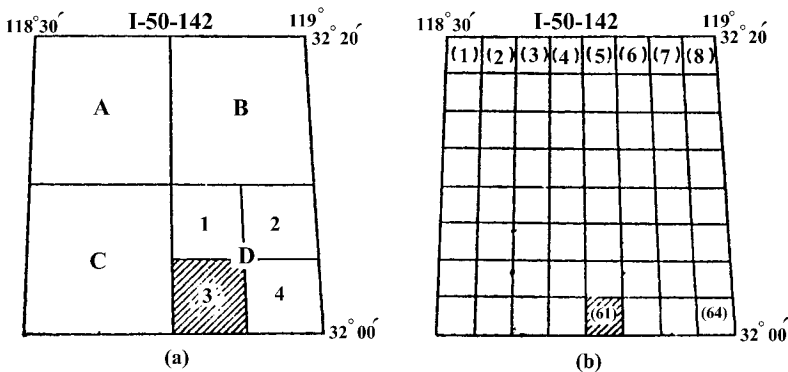


图 3-1-8 1:5 万、1:2.5 万、1:1 万地形图的分幅和编号

进一步将一幅 1:10 万图幅按纬差 2'30"、经差 3'45"划分成 64 个 1:1 万图幅，并以 (1) (2) (3) (64) 数号表示，将其加在 1:10 万图幅编号后面，便组成 1:1 万图幅的编号。如图 3-1-8 (b) 中的 I-50-142-(61)。

4.1:5 千、1:2 千地形图的分幅和编号

这两种比例尺地形图则是在 1:1 万图幅基础上进行分幅和编号的。

将一幅 1:1 万图幅划分成 4 幅 1:5 千图幅。每幅 1:5 千图幅再划分成 9 幅 1:2 千图幅。其编号如图 3-1-9 所示。图中画有斜线的 1:5 千图幅编号为 I-50-142-(61)-c。1:2 千的图幅编号为 I-50-142-(61)-b-9。

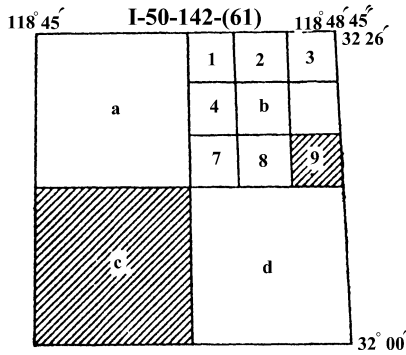


图 3-1-9 1:5 千、1:2 千地形图的分幅和编号

综上所述，现将 1:100 万 ~ 1:5 千地形图图幅大小、不同比例尺图幅间的数量关系、图幅编号（均以上述各例为例）等，归纳成表 3-1-2，以便于学习与查用。

例 1 已知我国某地的地理坐标为： $L = 118^{\circ}54'$ ， $B = 32^{\circ}07'$ ，求该地所在 1:100 万、1:25 万、1:10 万比例尺地形图的编号。

表 3-1-2

比例尺		1:100 万	1:50 万	1:25 万	1:10 万	1:5 万	1:2.5 万	1:1 万	1:5 千
图幅大小	纬差	4°	2°	1°	20'	10'	5'	2'30"	1'15"
	经差	6°	3°	1°30'	30'	15'	7'30"	3'45"	1'52.5"
图幅数量关系		1	4	16	144	576	2304	9216	36864
			1	4	36	144	576	2304	9216
				1	9	36	144	576	2304
					1	4	16	64	256
						1	4	16	64
代号字母或数字		A.B C.D	{1} {2} .....{16}	1, 2, 3, ... ...144	A.B.C.D	1, 2, 3, 4	(1) (2) .....(64)	a.b.c.d	
图幅编号	I-50	I-50-D	I-50-{15}	I-50-142	I-50-142-D	I-50-142-D-3	I-50-142-(61)	I-50-142-(61)-c	

解：先求该地所在 1:100 万比例尺地形图的编号。因为 $\frac{B}{4^{\circ}} = \frac{32^{\circ}07'}{4^{\circ}} = 8.02$ ，所以所求 1:100 万图幅位于第 9 横列，其相应代号为 I。又 $\frac{L}{6^{\circ}} = \frac{118^{\circ}54'}{6^{\circ}} = 19.8$ ，即位于第 20 纵行。由于行号是从经度 180°起，自西向东计算的，所以该图幅的行号为 20 + 30 = 50。故该地

所在 1:100 万地形图的编号为 I-50。

再求该地所在 1:25 万和 1:10 万地形图的编号。

在求得 1:100 万图幅编号后,再依 1:25 万和 1:10 万图幅的大小,通过计算同理可得相应编号。也可以应用图解法求解,即:绘出如图 3-1-7(b)(c) 两张草图,并注明其经纬度,然后按某地已知的经纬度,即能迅速地分别从这两张草图上找出该地所在的 1:25 万图幅的编号为 I-50-[15];1:10 万图幅的编号为 I-50-142。

例 2 已知某图幅的编号为 I-50-142-D,求该图幅的经纬度。

由图幅编号 I-50-142-D 可知该图幅的比例尺为 1:5 万。然后根据编号 I-50 可求得该图幅所在 1:100 万比例尺地形图的经纬度,即经度为 $114^{\circ} \sim 120^{\circ}$, 纬度为 $32^{\circ} \sim 36^{\circ}$ 。再参照图 3-1-7(c) 和图 3-1-8(a) 绘出草图,便可求得编号为 I-50-142-D 图幅的经纬度为 $L: 118^{\circ}54' \sim 119^{\circ}00'$, $B: 32^{\circ}00' \sim 32^{\circ}10'$ 。

(三) 正方形或矩形图幅的分幅和编号

为了适应各种工程设计和施工的需要,对于 1:5000、1:2000、1:1000 比例尺地形图,一般可采用正方形或矩形按纵横坐标网线整齐行列分幅。这几种比例尺地形图的正方形分幅是,一幅 1:5000 图幅范围分为 9 幅 1:2000 地形图。一幅 1:2000 图幅范围分为 4 幅 1:1000 地形图。正方形和矩形图幅的大小,如表 3-1-3 所列。

表 3-1-3

比例尺	正方形分幅		矩形分幅	
	图幅大小, cm^2	实地面积, km^2	图幅大小, cm^2	实地面积, km^2
1:5000	40 × 40 或 50 × 50	4 或 6.25	50 × 40	5
1:2000	50 × 50	1	50 × 40	0.8
1:1000	50 × 50	0.25	50 × 40	0.2

在大面积测图时,正方形(或矩形)图幅的编号一般采用坐标编号法。即由图幅的西南角点的、以千米为单位的纵坐标 x (在前)和横坐标 y (在后)组成编号。1:500 比例尺地形图编号的坐标值取至 0.01km,1:1000、1:2000 则取至 0.1km。例如:某图幅的编号为 4425.5 + 48.5;1:1000,则表示该图幅西南角点和坐标为 $x = 4425.5\text{km}$, $y = +48.5\text{km}$,该图幅的比例尺为 1:1000。

小范围测图,特别是独立测区,正方形(或矩形)图幅编号往往采用比较简便的流水编号法或行列编号法。前者是将整个测区各图幅从左至右、自上而下用阿拉伯数字顺序编号。后者则是从上到下顺序给横列编号,从左到右给纵行编号,先列号后行号地组合成图幅编号。例如 A-1、A-2……B-1、B-2 等。

三、地形图图外注记

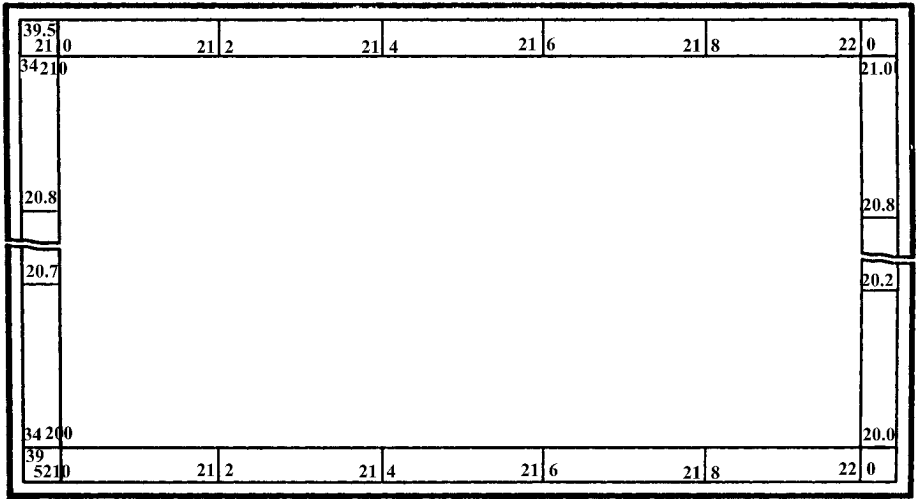
(一) 图名与图号

图名是指本图幅名称，一般以本图幅内最著名的地名，或主要的单位名称命名，注记在本图廓外上方中央，如图 3-1-10 中“大王庄”。

图号，即图的分幅编号，注在图名下方。

李家畷	张家洼	汪岭
丁家墩		灵山坳
丁家大院	钱家	黄家冲

大王庄
3420.0-521.0



本图采用

年北京坐标系
年黄海高程系

1:2 千

测量员
绘图员
检查员

图 3-1-10 地形图图外注记

(二) 图廓及其标注

图廓是地形图的边界，通常有内、外图廓之分。如图 3-1-10 所示，在地形图中，内图廓为坐标格网线，外图廓为本图幅制图主体内容的外界装饰线，通常以较粗的实线描绘。外图廓与内图廓之间的短线用来标记坐标值。如图 3-1-10 所示，左下角的 3420.0，表示纵坐标为 3420.0 公里，其余横线上的 34 可省去不写。同理，横坐标 39521 公里，前两位数字 39 为 3°投影带编号，521 为该纵线的横坐标值。

(三) 接图表及图廓外的文字说明

为便于查找、使用地形图，在各分幅地图上的左上角都布局附有相应的图幅接图表，用于说明本图幅与相邻八个方向图幅位置的相邻关系，具体如图 3-1-10 所示。

文字说明是了解图件来源及成图方法的重要的资料。如图 3-1-10 所示，文字说明通常布局于图廓外下方或左、右两侧，通常包括测绘单位；成图方法与测绘年月；测量员、绘图员和检查员；坐标系与高程系；图式版本等。在图的右上角标注图纸的密级。

(四) 三北关系及坡度尺

中、小比例尺地形图的南图廓线右下方，还绘有真子午线、磁子午线和坐标纵轴（即中央子午线）方向线之间的角度关系，如图 3-1-11 所示，该图称为三北方向图。利用三北方向图，可对图上任一方向的真方位角、磁方位角和坐标方位角进行相互换算。

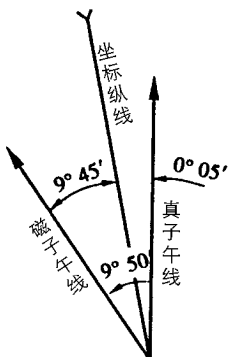


图 3-1-11 三北方向图

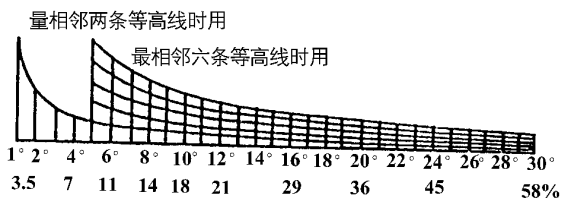


图 3-1-12 坡度尺

为了便于在地形图上量测坡度，中、小比例尺地形图南图廓外还绘有图解坡度尺，如图 3-1-12 所示。坡度尺水平底线下边注有两行数字，上行是用角度表示的坡度，下行是对应的倾斜百分率表示的坡度。

四、地形图符号

地球表面的形状是非常复杂的，既有高山、溪流，又有森林、房屋等等。但总的来说，可将其分为地物和地貌两大类。所谓地形，就是地物和地貌的总称。地物指的是地球表面各种自然物体和人工建（构）筑物，如森林、河流、街道、房屋、桥梁等；地貌是指地球表面高低起伏的形态，如高山、丘陵、平原、洼地等。地形测量工作者的任务，就是把错综复杂的地形测量出来，并用最简单、明显的符号表示在图纸上，最后完成一张与实地相似的地形图，上述符号称为地形图符号，只要我们熟悉了这些符号，就可以看懂地形图。

地形图符号可分为：地物符号、地貌符号和注记符号三大类。地形图符号的大小和形状，均视测图比例尺的大小不同而异。各种比例尺地形图的符号、图廓形式、图上和图边注记字体的位置与排列等，都有一定的格式，总称为图式。为了统一全国所采用的图式以及用图的方便起见，国家测绘总局制定了几种比例尺地形图图式，以供全国各测绘单位使用。表 3-1-4 是 1987 年制定的 1:500、1:1000、1:2000 地形图图式中的部分地形图符号（符号上所注尺寸，均以毫米为单位）。现将地物符号、地貌符号和注记符号分别说明如下：

（一）地物符号

地物符号一般分为比例符号、非比例符号和线状符号三种。

1. 比例符号

将地面上实物的轮廓，按测图比例尺缩小，然后绘制在图上的符号称为比例符号，又称轮廓符号，如房屋、果园、树林、江河等。这些符号与地面上实际地物的形状相似。

2. 非比例符号

当地物的轮廓很小，以致于不能按照测图比例尺缩小，但这些地物又很重要，不能舍掉时，则需按统一规定的符号描绘在图上，这种符号称为非比例符号，如测量控制点、钻孔、矿井和烟囱等。有些比例符号和非比例符号，随着测量比例尺的不同是可以互相转化的。

非比例符号在地形图上的位置，必须与实物位置一致，这样才能在图上准确地反映实物的位置。为此，应该规定符号的定位点，这些定位点在地形图图式上规定如下：


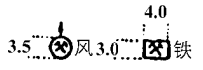
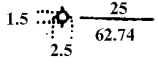
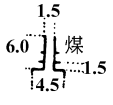
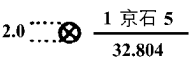
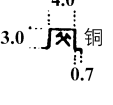
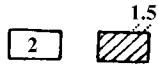
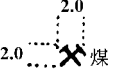




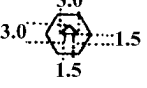

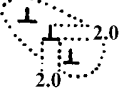

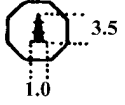

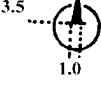

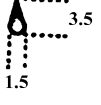
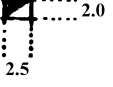

（1）几何图形符号（圆形、矩形、三角形等），在其几何图形中心；

（2）宽度符号（蒙古包、烟囱、水塔等），在底线上；


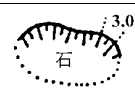
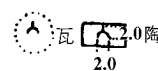
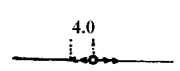
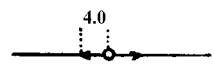


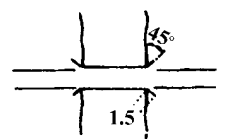
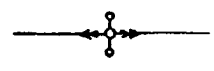

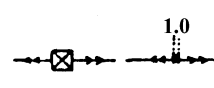

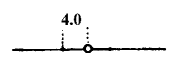
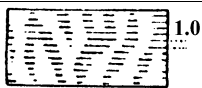
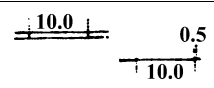
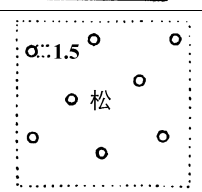
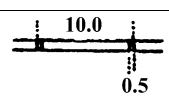



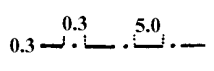
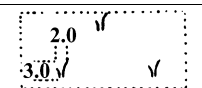
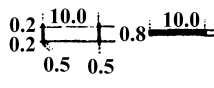

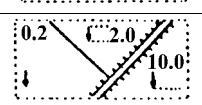
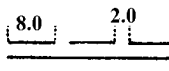
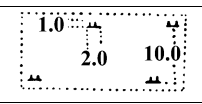
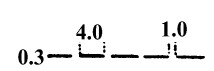
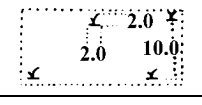
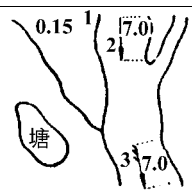
（3）底部为直角形的符号（风车、路标等），在直角的顶点；

（4）几种几何图形组成的符号（气象站、无线电杆等），在其下方图形的中心点或交叉点；

表 3-1-4

编号	符号名称	1:500 1:1000 1:2000	编号	符号名称	1:500 1:1000 1:2000
1	三角点		14	一、开采的矿井	
2	不埋石的图根点			1. 竖井	
3	水准点			2. 斜井	
4	普通房屋			3. 平硐	
5	学校			4. 小矿井	
6	庙宇			二、废弃的矿井	
7	亭			1. 竖井	
8	坟地			2. 斜井	
9	宝塔、经塔			3. 平硐	
10	烟囱			4. 小矿井	
11	盐井			15 钻孔	
			16 浅探井		
			17 探槽		

第三篇 地图编绘技术应用与规范管理

编号	符号名称	1:500 1:1000 1:2000	编号	符号名称	1:500 1:1000 1:2000
12	石油井、天然气井	2.5  油	18	露天矿、采掘场	 3.0 石
13	窑	 瓦 陶	19	电力线 1. 高压线	 4.0
19	2. 纸压线	 4.0	29	有沟壑的沟渠	 4.0
20	1. 电杆	1.0  1.0	30	车行桥	 1.5 45°
20	2. 电线架	 1.0	31	水井	2.5  1.5
20	3. 铁塔	 1.0	32	泉	1.5  79.39
21	通讯线	 4.0	33	能通行的沼泽	 1.0
22	砖、石及混凝土墙	 10.0 0.5	34	树林	 1.5
23	土墙	 10.0 0.5	35	独立树 1. 阔叶 2. 针叶 3. 果树	1.5 3.0  3.0  3.0  0.7 0.7 0.7
24	县、自治县、旗、市界	0.3  0.3 5.0	36	大面积的竹林	 2.0 3.0
25	铁路	0.2  10.0 0.8  10.0 0.2 0.5 0.5	37	耕地 1. 水稻田 2. 旱地	0.2  2.0 10.0
26	大车路	 8.0 2.0	37	2. 旱地	 1.0 2.0 10.0
27	小路	0.3  4.0 1.0	38	菜地	 2.0 10.0
28	河流、池塘 1. 水涯线 2. 一般河流的流向 3. 有潮汐河流的流向	 0.15 7.0 塘			

(5) 下方没有底线的符号(窑、亭、山洞等),在其下方两端点间的中心点。

3. 线状符号

凡是长度能依比例,而宽度不能缩绘的狭长地物符号,称为线状符号或半比例符号。这种符号的长度依真实情况测定,而其宽度和符号样式有专门规定。因此,根据这类符号可以在图上量测地物的长度,但不能量测其宽度,如铁路、高压电线和围墙等。

(二) 地貌符号

最常用的地貌符号是等高线,关于等高线的原理及其种类,将在后面作详细介绍。

(三) 注记符号

注记符号是地物符号和地貌符号的补充说明,如城镇、铁路等的名称,河流的流向及流速。注记符号可用文字、数字或线段表示。

五、地貌与等高线

(一) 等高线原理

等高线,就是地面上高程相等的各相邻点所连成的闭合曲线,也就是水平面(严格来说应是水准面)与地面相截所形成的闭合曲线。我们日常见到的池塘或蓄水库的水面与岸边的交线,就是一条等高线。

我们设想有一个山头被水淹了(图3-1-13),如该水平面的高程为80m,这时水平面和山头相交所形成的闭合曲线,就是一条高程为80m的等高线,即在这条曲线上的各点高程都是80m。如水位上涨了10m,则该水平面的高程为90m,这时水平面又和山头相交又形成一条高程为90m的等高线。以此类推,可以得出一系列不同高程的等高线,这些等高线的形状,代表了山头各部位的形状。把这些等高线都垂直投影在同一个水平面上,并按测图比例尺缩小绘在图纸上,就得到用等高线表示的山头的地形图。

用等高线表示地貌,不但能简单而正确地显示地貌的形状,而且还能根据它较精确地求出图上任意点的高程。因此,工程上用的地形图,都用等高线表示地貌。

(二) 等高距和等高线平距

相邻等高线间的高差,称为等高距(或称等高线间隔),如图3-1-13中的 h 。相邻等高线在水平面上的垂直距离,称为等高线平距,如图3-1-13中的 d 。为了使用方便,《规范》规定,在一个测区内只能采用一种等高距。

用等高线表示地貌时,对于等高距的选择,具有重要意义。若选择的等高距过大,则不能精确地表示地貌的形状;如等高距过小,虽能较精确地表示地貌,但这不仅会增大工作量,而且还会影响图的清晰度,给使用地形图带来不便。因此,在选择等高距时,应结合图的用途、比例尺以及测区地形坡度的大小等多种因素综合考虑。表3-1-5所列为大比例尺地形测量规范中关于等高距的规定。

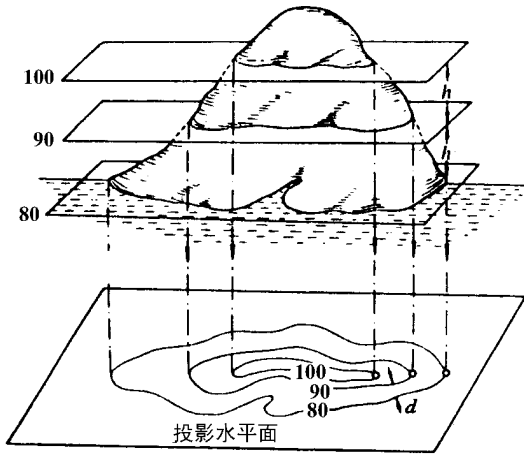


图 3-1-13

表 3-1-5

比例尺	等高距/m	地形类别		
		平地	丘陵地	山地和高山地
1:1000		0.5	1	1
1:2000		0.5	1	2
1:5000		1	2	5

(三) 典型地貌的等高线

将地面起伏如形态特征分解观察,不难发现它是由一些地貌组合而成的。会用等高线表示各种典型地貌,才能够用等高线表示综合地貌。

凡是凸出而且高于四周的高地称为山地,高大的称为山峰,矮小的称为山丘。比周围地面低,而且经常无水的地势较低的地方称为凹地,大范围低地称为盆地,小范围低地称为洼地。图 3-1-14(a) 是山丘断面图及其等高线图;图 3-1-14(b) 是盆地的断面图及其等高线图。

山脊是从山顶到山脚的凸起部分,山脊最高点间的连线称为山脊线。以等高线表示的山脊是等高线凸向低处,雨水以山脊为界流向两侧坡面,故山脊线又称为分水线。山脊及其等高线如图 3-1-15(a) 所示,图中虚线为山脊线。

山谷是沿着一个方向延伸下降的洼地。山谷中最低点连成的谷底线称为山谷线或集水线。如图 3-1-15(b) 所示,图中的虚线为山谷线。

介于相邻两个山头之间、形似马鞍的低凹部分,称为鞍部,它是两条山脊线和两条

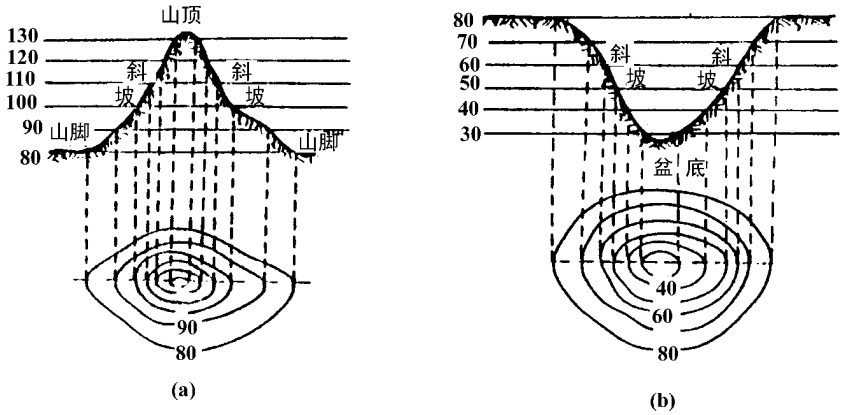


图 3-1-14

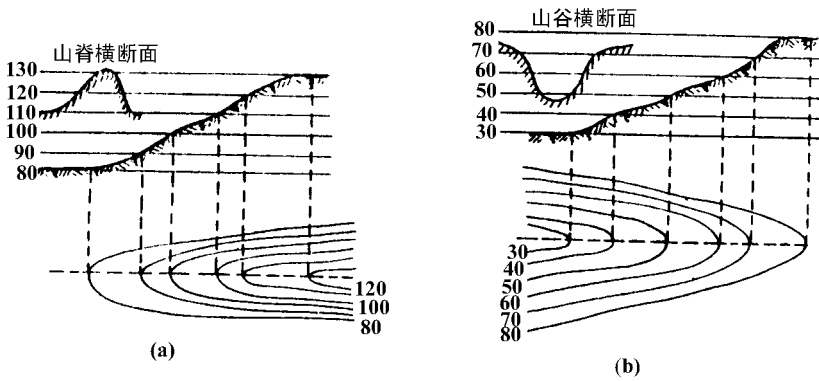


图 3-1-15

山谷线相交之处。图 3-1-16 中用虚线表示的部分即为鞍部。

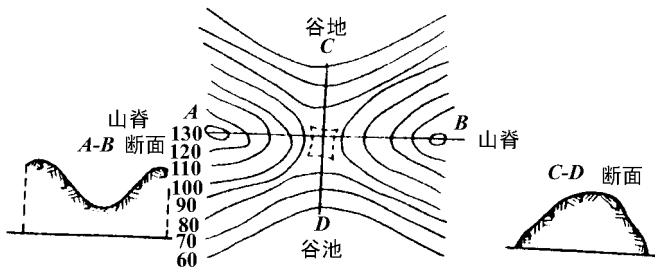


图 3-1-16

从上述几种典型地貌的等高线可以看出：山丘和盆地的等高线都是闭合曲线，两者形状很相似。为了区别起见，必须在等高线上注记高程或画出示坡线。示坡线是垂直于等高线而指向下坡的短线，如图 3-1-14 中的短线。

山脊和山谷的等高线，都是朝着一个方向凸出的曲线，两者的形状也很相似。但是，山脊的等高线是向着山脊线降低的方向凸出，山谷的等高线则是向着山谷线升高的方向凸出。山脊和山谷，同样可以根据等高线上的高程注记或画示坡线来加以区别。

有些特殊地貌，如悬崖、峭壁、冲沟、雨裂等，不能用等高线表示，而要用地形图图式中规定的特殊符号来表示，请参阅地形图图式。

（四）等高线的特性

根据前述用等高线表示地貌的情况，可以归纳等高线的特性如下：

（1）在同一条等高线上的各点，其高程相等；

（2）等高线必定是一条闭合曲线，不会中断，由于一幅图所示的范围有限，如在本图幅内不闭合，则在相邻图幅内仍最终自成闭合；

（3）一条等高线不能分叉为两条；不同高程的等高线，不能相交或者合并成一条；在悬崖处的等高线虽然相交，但必须有两个交点；

（4）等高线愈密则表示坡度愈陡，等高线愈稀则表示坡度愈缓，等高线之间平距相等则表示坡度相等；

（5）经过河流的等高线不能直接跨越而过，应该在接近河岸时，渐渐折向上游，直到与河底等高处才能越过河流，然后再折向下游渐渐离开河岸；

（6）等高线通过山脊线时，与山脊线成正交，并凸向低处；等高线通过山谷线时，则应与山谷线成正交，并凸向高处。

（五）等高线的种类

1. 首曲线

按规定的基本等高距测绘的等高线称为首曲线（或基本等高线），如图 3-1-17 中的 88, 90, 92...102 等，其基本等高距为 2m。

2. 计曲线

为了用图方便，每隔四级首曲线描绘一根较粗的等高线，称为计曲线（或加粗等高线）。如图 3-1-17 中高程为 90m、100m 的等高线，就是计曲线。地形图上只有计曲线注记高程，首曲线上不注记高程。

3. 间曲线

当首曲线不能详细表示地貌特征时，则需在首曲线间加绘间曲线。其等高距为基本等高距的 1/2，故也称半距等高线，一般用长虚线表示，如图 3-1-17 中高程为 93m 和 97m 的等高线。

4. 助曲线

如采用了间曲线仍不能表示较小的地貌特征时，则应当在首曲线和间曲线间加绘助

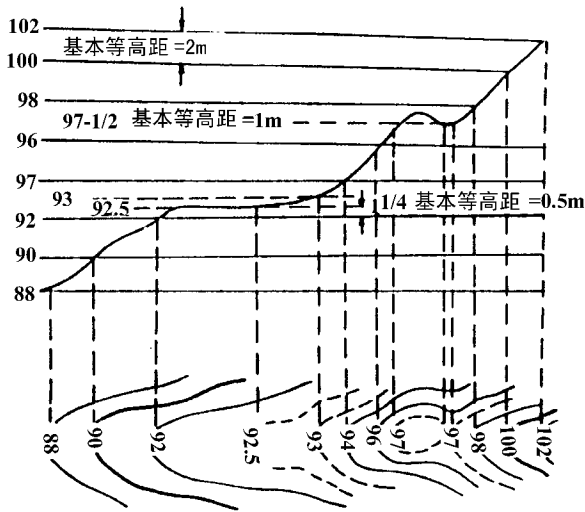


图 3-1-17

曲线。其等高距为基本等高距的 $1/4$ ，一般用短虚线表示。如图 3-1-17 中高程为 92.5m 的等高线，即为助曲线。

(六) 等高线的描绘方法

用等高线表示地貌的程序是先测定后绘图。测定对象是地貌的特征点。所谓地貌特征点是指山顶、鞍部、山脊线与山谷线上的坡度变换点和山脚点、山脚坡度变换点和山坡面倾斜变换点等。将测定的地貌特征点的平面位置按比例尺以垂直投影方法缩绘到图纸上，并在其旁注记该点高程（高程注记按图式规定），上述工作完成后便可进行等高线描绘。

1. 连接地性线

山顶、鞍部、山脚点与地性线，这些地貌因素决定着山脉的大小、形状和走向。自山顶至山脚用细实线连接山脊线上各变坡点，用细虚线将山谷线上各变坡点连结。通常地貌形态是山脊与山谷间隔排列，即两条分水线夹一条合水线，两条山谷线夹一条山脊线。

2. 求等高线通过点

地性线上各点均为坡度变换点，即相邻两点之间为同一坡度。通常变坡点高程不等于基本等高线高程，需要先求出等高线通过点，再求出基本等高线的位置。在两个变坡点之间的等高线通过点的高程可按比例内插求得。

如图 3-1-18，A、B 为两个相邻变坡点， $H_A = 40.8\text{m}$ ， $H_B = 36.2\text{m}$ ， $AB = 9.2\text{mm}$ ，基本等高距为 1m。求各等高线通过点。

先求 37m 与 40m 等高线通过点。

第二章 绘图的基础知识

第一节 绘图材料

一、绘图纸

绘图纸是供绘制各种图件的高级纸张。图纸的选择应根据所进行的制图工作的性质来决定。例如绘制地形原图需采用优质的白绘图纸，映绘图则采用透明纸，绘踏勘草图、控制点布设略图或纵横断面图可采用毫米方格纸等。

优质的绘图纸应具有下述条件和性能：结实坚韧，纸质细密，伸缩性小；颜色洁白，在日光的作用下不变黄色；用橡皮擦不起毛，用墨水试绘，线划不变粗、不渗散。凡纸质松软，纸面易起毛，伸缩性过大，曾经受潮变色或有皱纹的纸，均不宜采用。

野外地形测图、编绘和清绘地形图时，一般应采用卷筒绘图纸，这种纸能达到上述要求。通常以每平方米有多少克重做为纸的级别。纸的密度和厚度越大就越重，重量大表示纸的质量较好。用于绘制精度要求不甚高的图件或晒兰图、印刷图等，常使用 100 ~ 160 克组织紧密的海图纸或胶版纸。无论那种绘图纸，都不可避免有一定的伸缩性。绘制粗度要求较高的图件时，必须对所选择的绘图纸进行防止变形处理。通常是将绘图纸裱糊在胶合板或锌、铝板上，以减少图纸的伸缩。

绘图纸一般有正反面之分，以向内卷曲的一面为正面，如有水印文字图案的，可在阳光下透视观察，图案文字为正形的一面为正面。单张纸则以纸面呈现布纹状的一面为反面，反面容易起毛，正面平滑耐磨呈条纹状，绘图应在纸的正面上进行。

（一）透明纸

是用于映绘各种图件的一种乳白色半透明纸，又称映绘纸或描图纸。因其具有透明性能，可用来晒制兰图，应用较广。但这种纸伸缩率大且变化无规则，受水和潮湿后易起皱纹，纸质脆弱容易破损，耐磨力较差，所以不适宜用于描绘精度较高的地形图。

（二）聚酯薄膜

是一种透明的塑料片基，用于绘图的薄膜有厚度为 0.05 ~ 0.12mm 的多种类型。因

薄膜表面光滑，用笔画线困难，需经打毛或涂一层化学涂料，使其表面形成能吸附墨汁的毛面。由于涂料薄膜成本高，目前多采用打毛的薄膜代替绘图纸。这种经打毛后的聚酯薄膜，其优点是：伸缩性小，具有韧性（抗拉耐折），化学性能稳定，不怕潮湿，便于携带和保存。由于聚酯薄膜具有上述优点，可直接用于测绘地形原图，经清绘、整饰或映绘后，即可提供晒图。

二、铅笔

铅笔是野外测绘地形原图和绘制各种底图的重要材料，根据铅笔铅心硬度的不同，分为软铅和硬铅两种。通常以“B”表示软铅，以“H”表示硬铅，“B”越多铅心越软，“H”越多铅心就越硬，“HB”则表示不软不硬或软硬适中。好的铅笔，沿心细密纯净，不含沙粒杂质，不易折断，画线色泽均匀且易于用橡皮擦去。硬铅中 H、2H 适宜于书写手簿和计算，绘图多使用 2H 或 3H 铅笔，展绘控制点和图廓用 4H、5H 或 6H 铅笔。

铅笔的修磨对绘图划线质量有直接影响。视绘图内容不同，铅笔应修成不同的形状（图 3-2-1）。若用铅笔刺点、绘短直线、绘曲线、画小符号或写字时，应将铅笔尖在细砂纸上磨成圆锥形；若沿直尺绘画精细的长线，应磨成扁平形状。修削部分的长度约为 25~30mm，露出铅心约 8~10mm 长为宜。削好的铅笔，用毕要套上笔套保护铅心。

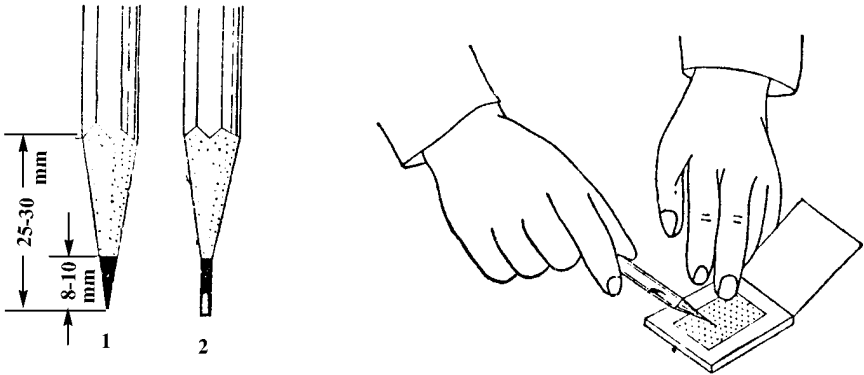


图 3-2-1

三、橡皮、擦线片

橡皮有软、硬及沙质之分。绘图时多采用软硬两用的橡皮。沙质橡皮主要用于擦拭映绘图纸（即透明纸、聚酯薄膜）上的墨迹；硬橡皮主要用于擦拭局部的墨迹或污迹；软橡皮主要用于擦拭铅笔线及清洁图面。绘图用的软橡皮应色白而富有弹性，并易于擦去线划而不损伤图纸。不能用有色橡皮擦图纸，它会留下底色。较重的墨迹，必须先用修图刀刮去一层墨迹后再用橡皮擦。

使用橡皮时用力宜轻，顺着线条方向擦拭，才不致使纸面起毛。当线条多图形复杂时，为避免擦去不应该擦的线条，可采用探线片（图 3-2-2）。使用时将欲擦的线条露在孔内，不需要擦的线条则被擦线片盖着。

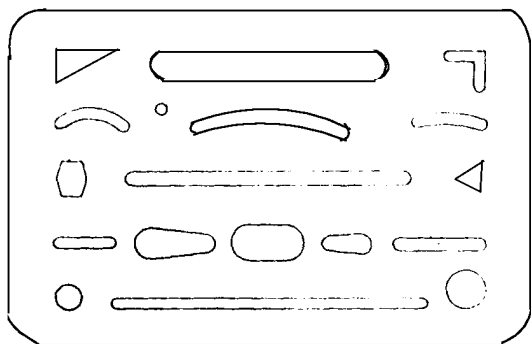


图 3-2-2

四、墨

野外测绘的铅笔原图需着墨清绘。清绘所用之墨有墨块、墨膏和绘图墨汁三种。绘制地图通常采用优质的墨块，因为墨块能研磨成所需要的浓度，而且下墨流畅，能画出精细、光滑、黑实的线条。我国生产的优质松烟墨，在国际上享有盛名。好的墨颜色浓黑，发光、颗粒细、有香味；不好的墨，色呈灰黄、无光泽、颗粒粗。

研墨时，无论采用人工还是机械的方法（电动磨墨机），首先在洗干净的砚台中注入适量冷水，然后使墨块垂直于砚台底面轻徐作圆周运动地研磨，要向着一个方向转，且不能用力过大，研磨时间的长短，要以墨色浓黑而不过分稠粘为度。磨好的墨汁，应装在瓶子内，一般情况下，可连续使用一个星期左右。

若天气干燥，在研磨时可加入 1~2 滴甘油，以延缓干燥时间，但要注意不能多放，否则画线不干会污染图纸。如果加入数滴滴甘油，以延缓干燥时间，但要注意不能多放，否则画线不干会污染图纸。如果加入数滴重铬酸铵溶液，则绘成的线条水洗不掉，并能使线条光滑不至渗散。

磨墨比较费时，而且目前市场上较理想的松烟墨短缺。所以，近年来多选用市场上供应的优质墨汁或墨膏，经配制加工，作为绘图墨。绘图时应根据不同情况选用相应的绘图墨水。例如，用墨水笔绘图就要用碳素墨水；在聚酯薄膜上绘图，就要采用能附着在片基上的聚酯薄膜绘图墨水。现成的一般绘图墨汁，其缺点是：胶性大、流动缓慢、干的快，对精细的绘图不适用。

五、水盂、海绵和擦笔布

绘图作业中，各种绘图器具下墨不流畅，需要换墨时，可将绘图器具在盛有海绵的水盂里擦洗干净，用擦笔布擦干，重新上墨再绘。

海绵应采用天然的，因其质软，擦洗时对仪器无影响。擦布应采用绒布或绸布，揩擦仪器的笔头时，用力宜轻以免损伤笔尖。

除上述器材外，绘图中还需备有油石、毛刷等。油石是供修磨各种绘图器具用，天然油石硬度大、颗粒细、磨削力强，比较适用；毛刷供清除图面上的灰尘或橡皮沫时使用。

第二节 绘图工具

一、直尺

直尺是描绘直线和量测长度的工具，直尺有金属尺和有机玻璃尺。绘制地形图一般都使用专门制造的金属尺——坐标格网尺。该尺能量测长度，也能绘坐标网。绘制地形图所用的直尺，尺身必须平直，刻划必须精确。检查尺底是否平直的方法，是将直尺平放在图板或玻璃板上，如能与板面密合，即说明已满足尺底平直的条件。若检查尺边是否平直，可沿尺边画一条直线 AB，然后回转尺身 180° ，过 A、B 再画一直线，若两线重合（图 3-2-3 即 (a)），证明尺边是直的，如不重合（图 3-2-3b），说明不直。尺边不直的尺子，不能供绘图使用。

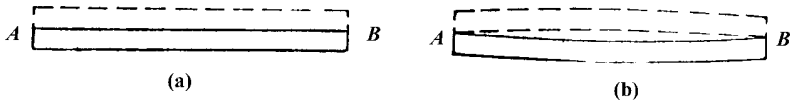


图 3-2-3

二、三角板

三角板用于绘画直线，两块三角板配合使用（图 3-2-4 (a)），可以推画平行线、引画垂直线和作各种特别角，与直尺配合还可以等分线段。三角板的表面要平，边缘应平直，各个角度应准确。前两项要求的检查方法与直尺的检查相同。角度的检查，主要是对直角的检查，其方法是：将三角板底边紧靠在已校正过的直尺边缘上，用铅笔沿直角边画一条垂线，再以直角顶点 C 为准，翻转三角板过 C 点再画一垂线，若为直角两次画的垂线必定重合，否则不为直角（图 3-2-4 (b)）。边不直或角不准的三角板不

宜使用，但可用细木砂纸放在平整的板面上修磨，修磨正确后再使用。应注意，不能用检查合格的三角板裁切纸张，以免损伤尺边。

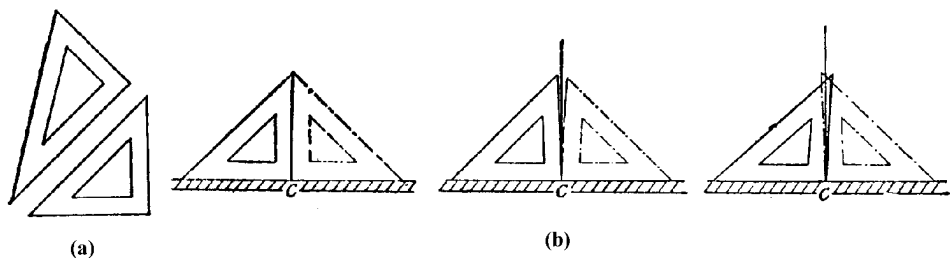


图 3-2-4

三、三棱尺

三棱尺又称比例尺，是在地形图上以一定比例尺量取长度的专用尺。多为竹或木制，刻划较精细，一般尺长 30cm (图 3-2-5)，尺面上有六种不同的比例尺刻划，故量取不同比例尺的长度比较方便。绘图时，三棱尺的主要用途是设置和量测线段，一般不用于引画铅笔线或墨线。设置线段时，应以铅笔或类针紧靠着尺缘量长刺点，用卡规在尺面上量移尺寸时，注意不要损伤漆面。

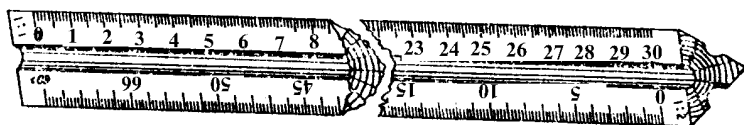


图 3-2-5

四、曲线板

曲线板是用来在图上依托描绘各种曲线的模板。曲线板的边缘具有各种各样的曲线形状 (图 3-2-6)，依附它可画出各种不同曲率的曲线，在绘制道路、铁路弯道部分时常常用到它。描绘曲线时，可徒手先将各点用铅笔以圆滑曲线轻轻地连结起来，这对于选择曲线板的曲率将有很大的帮助。用曲线板将曲线上的各点一次描接或分段描接，这要看所绘曲线曲率半径的变化和曲线板的弯曲情况来决定。前一种情况，应使曲线上全部点子都落在选定的曲线板的边缘上；后一种情况则只需曲线上彼此相邻的一部分点子，落在选定的边缘上就够了。分段描绘时，绘过了第一段曲线之后，应使第二段从第一段的最后第二点开始，即应使相邻的两段曲线的连接处有两点是重复描绘的 (图 3-2-7)。这样曲线才能从一段匀滑地过渡到另一段，使绘出的曲线平滑逼真。

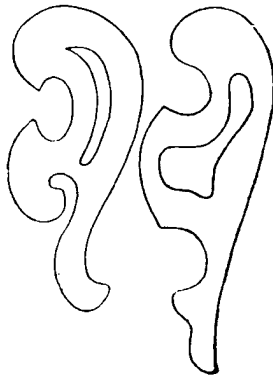


图 3-2-6

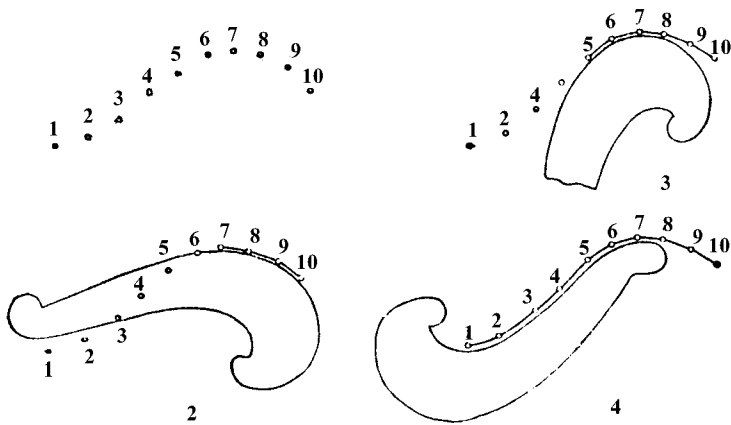


图 3-2-7

在制图作业中，有时要绘曲率半径很大的曲线（如经纬线、铁路、公路曲线等），这时应选用另外一种曲线板（铁路曲线板），如图 3-2-8。这种曲线板是成套的，每套 50 或 100 块，每一块曲线板的中央，都刻有曲率半径的尺寸。

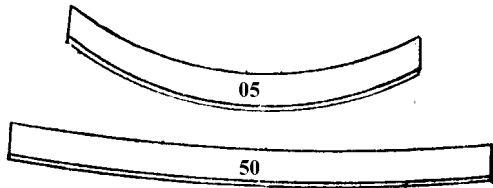


图 3-2-8

依附曲线板上墨时，可用曲线笔或直线笔进行描绘，但必须使乌嘴头叶片沿曲线板

边缘的方向回转，并要特别小心，避免沾污纸面。

五、绘图小钢笔

绘图小钢笔，又称小钢笔或小笔尖，由笔杆和笔尖组成。它不同于一般的钢笔和自来水笔，它的笔头较小，钢片薄，笔端尖锐，可绘纤细的线条。

小钢笔是绘制地形图的主要工具之一，凡是不能用绘图仪器或其它方法（如剪贴）来绘出的线划、符号及文字数字等，都需要使用小钢笔进行描绘。使用小钢笔时，用右手拇指、食指、中指执住笔杆下部，无名指及小指依次与中指靠拢，掌心宜空，勿紧捏成拳，执笔处与笔头尖端相距约 35 ~ 40mm。画线时，笔杆方向应略向线划方向倾斜，以指力和腕力带动笔杆使笔尖沿着线划方向移动。笔尖的凹面应朝着画线方向，即使两钢片同时与纸面接触，这种画线方法称为正锋（图 3-2-9）。使用正锋时，下墨流畅，线条均匀光滑。如果笔尖两钢片不同时接触纸面，使用偏锋时则线条粗细不均，时断时续也不光滑。

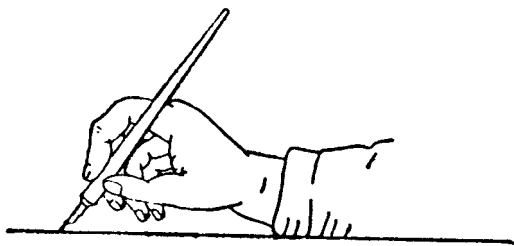


图 3-2-9

笔尖上墨不宜过多，一般应不超过笔尖的小孔，画线时要经常用湿润海绵和绸布拭擦笔法上的干墨，保持下墨流畅。

六、绘图笔

绘图笔又名墨水笔或针管笔，是带有吸水、储水结构的制图工具（图 3-2-10）。其外形构造及吸水方法与一般暗尖自来水笔相同，可直接用来绘 0.2, 0.3.....0.9mm 的等粗线划，一般多用炭素墨水，适用于工程制图。但对要求不高的地形制图使用亦很方便，可用来画直线、曲线、写字或靠特制模片写数字和画符号等。亦可借助圆规来将笔固定在圆规脚上画各种大小的圆。经常使用的绘图笔，每隔 3—5 天用温开水清洗一次，如暂时不用，应清洗后保管，以免墨水结块堵塞笔头。

图外绘图笔笔芯粗细最小规格为 0.1mm，并有特制的各种不同颜色的墨水，能满足绘制地形图的需要，这种笔可以代替小钢笔、直线笔和曲线笔。



图 3-2-10

七、玻璃棒

玻璃棒是用绘图小钢笔画线、画符号和书写各种注记时的依附工具，亦可推画目测各种间隔的平行线。以直径约 7mm、长 15~18cm 的较为适用。必须粗细一致，平直而圆滑。玻璃棒的两端最好用胶布或纸条缠裹（宽约 1cm，厚度约 0.3~0.5mm）。这样做的好处是：可使玻璃棒不直接接触图面，以避免玻璃棒上有墨污时染污图纸，而且还可以防止玻璃棒任意滚动（图 3-2-11）。玻璃棒上如发现墨污，应即时清除，用毕将玻璃棒放在文具盒里，以免落地摔断。



图 3-2-11

八、修图刀

修图刀是用于清除图面上被沾污或画错部分墨迹的工具，修图用的刀有角刀和刀片两种（图 3-2-12）。角刀适用于清除脏点、多余线划等小范围的墨迹，刀片适用于清除较大面积的墨迹，清除墨迹时一般采用刮、切和铲三种方法进行。当图面上有脏点时（图 3-2-13（a）），可使刀刃与图面垂直，轻轻刮去脏点。若图上出现画错的多余线划（图 3-2-13（b））和多余墨迹（图 3-2-13（c））时，为保持正确线划不被修掉，可先沿正确部位轻轻切一刀，使被清除部分与保留部分整齐的分开，再刮或铲去多余的墨迹，方能保持图形和线划整齐合规格，如果图面上有较大面积的脏污墨迹（图 3-2-13（d）），最好用刀片铲除。方法是以拇指和中指捏紧刀片两端，食指下压使刀片呈下凹形，用刀片下凹部刀刃轻轻地铲除墨迹。经整修后的部位，可盖上一层透明纸，用指甲或圆滑刀柄在纸上将刮铲处磨光压平，以保持图面光亮平滑。

对于薄膜绘图，修改图面错误时，可先用刀片轻轻刮去墨迹，然后用砂橡皮擦毛；或用特制的擦墨灵笔擦去墨迹，擦时，必须上、下、左、右交替擦，恢复其毛面。

九、点绘器

点绘器是点绘图上矩形、三角形和圆形等实心符号的工具，可用医用注射针头自制

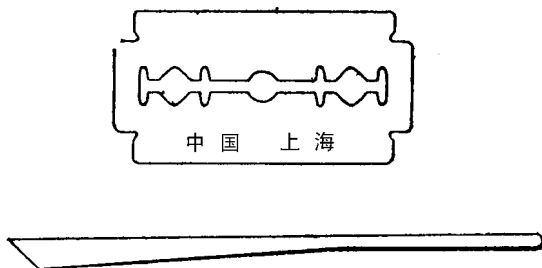


图 3-2-12

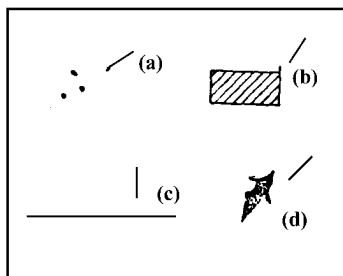


图 3-2-13

而成。根据符号图形尺寸的大小，选择不同规格的注射针头进行加工。制作点绘圆点的针头，首先截去针头的斜面部分，然后在油石上把底部磨平，再把边缘磨到厚薄适当，即可点绘出整齐的圆点。对于制作点绘矩形或三角形的针头时，在截去针尖磨平后，可用事先预制好的矩形和三角形通条插入针孔内，用小锤轻轻锤打，直至针孔的形状与通条的截面吻合为止。再将底线边缘磨薄，且各边均匀一致。磨好后，用刻刀尖挑修各角，使其方正棱角明显（图 3-2-14）。

使用点绘器时，将墨汁灌在针斗内，拇指、食指握针头上部，以垂直纸面方向逐个点绘。如下墨量太大，可在斗里塞一小块海绵。当针管被干墨堵塞时，可用一细钢丝将其通开。用毕，要泡在水里，然后用注射器吸水，将其内部冲洗干净，以备再用。

十、绘图模片

模片是在胶片上制成各种镂空的符号和图形。将它对准需要画符号的位置，用铅笔竖直地沿镂空图形勾绘，就能很快绘出符号图形。这个方法可以保证图形的大小一致、整齐美观并能提高工效。模片可用手工雕刻或用腐蚀的方法制成镂空的铜片，或用冲压的方法制成透明塑料模片。绘制地形图常用的模片有如下几种：

字格模片。供地形图上注记时使用。图上注记的大小都有一定规格，为了统一须在

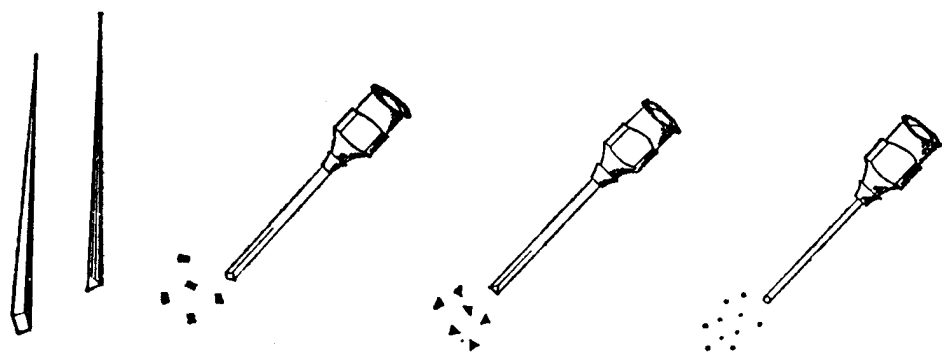


图 3-2-14

进行注记前作出字格来控制，作字格的最简单方法是利用字格膜片。膜片一般都是自制的，即在透明胶片（0.2~0.3mm 厚）上刻制成不同宽度的孔洞，并在孔洞旁边标出其宽度尺寸（图 3-2-15）。使用时，将膜片上相应的宽度安置在需要写字的地方，用铅笔轻轻地画出上下（或左右）二道边线，这就是写字的字格。

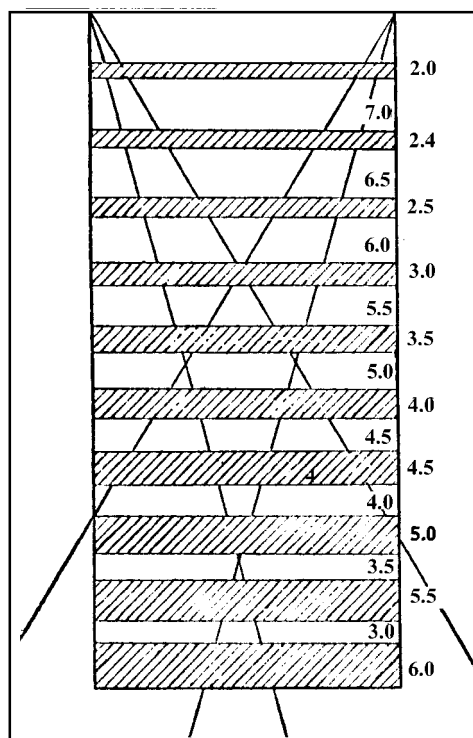


图 3-2-15

独立符号膜片。使用膜片时，先将膜片上符号的主点对准图上实物的点位，再使符号图形成直立的方向，然后用铅笔沿孔刺点或画线，即可得到所需要符号（图 3-2-16），最后再用小钢笔上墨。



图 3-2-16

整列式符号膜片。采用透明胶片刻制成各种规格的膜片，可省去先绘辅助网格的手续，从而提高了工作效率（图 3-2-17）。使用时将膜片（如草地、稻田）复盖在图上该植被的轮廓范围内，用铅笔沿膜片刻孔画出符号，然后按铅笔线上墨。

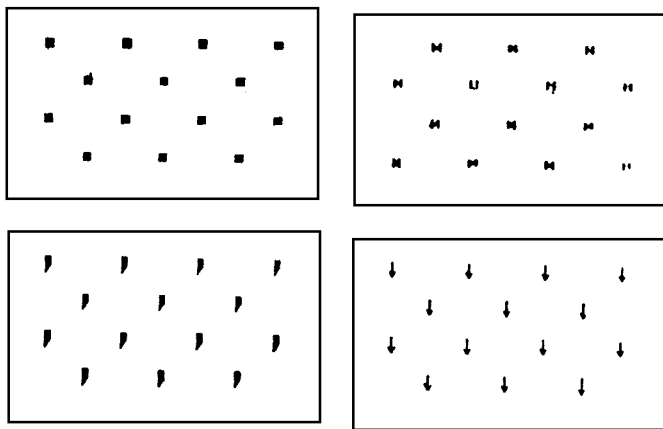


图 3-2-17

用聚酯薄膜透绘地形图时，图上的符号和文字，可用相应的膜片垫在透明片基底上，直接用钢笔或其它绘图工具绘出。这种膜片的图形是用翻版复制的方法翻在膜片上的。

十一、点线符号标准表

点线符号标准表（图 3-2-18）又称线号表。通常制在透明胶片上，制图作业中用它量测点、线、圆等规格是否标准。

在正式绘画各种符号之前，都应在试笔纸上试画，用“点线符号标准表”对照比

较，确认符合要求后，才能绘在图纸上。

点线符号标准表

(单位以毫米计)

.....	————	0.08	————	————
.....	————	0.10	————	————
.....	————	0.12	————	————
.....	————	0.15	- - - -	————
.....	————	0.20	————	————
.....	————	0.25	————	————
.....	————	0.30	————	————
.....	————	0.35	————	————
• • • •	————	0.40	————	.....
• • • •	————	0.45	————	————
• • • •	————	0.50	————	————
• • • •	————	0.60	————	————
• • • •	————	0.70	————	————
• ○ • •	————	0.80	————	————
• ○ • •	————	0.90	————	————
○ ○ • •	————	1.00	————	□ △ X I • •
○ ○ • •	————	1.10	————	.....
○ ○ • •	————	1.20	————	.....
○ ○ • •	————	1.30	————	.....
○ ○ • •	————	1.40	————	.....
○ ○ • •	————	1.50	————	.....
○ ○ • •	————	1.60	————	.....
○ ○ • •	————	1.70	————	.....
○ ○ • •	————	1.80	————	.....
○ ○ • •	————	1.90	————	.....
○ ○ • •	————	2.00	————	.....

图 3-2-18

第三节 绘图仪器

一、直线笔

直线笔又名鸭嘴笔或乌嘴笔，是绘画直线的主要工具。直线笔是由笔杆、笔头和调节螺丝三部分组成（图 3-2-19）。笔头的前钢片固定且富有弹性，后钢片有固定的和可以旋开的两种类型。

使用直线笔前，将墨液以胶片或硬纸片注入两钢片之间，笔头含墨量以高不超过

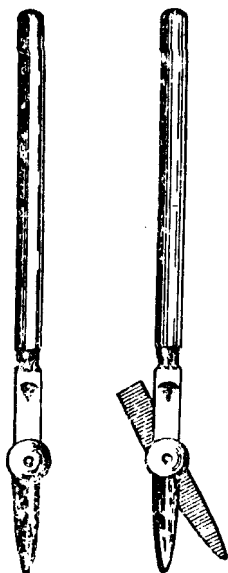


图 3-2-19

5mm 为宜，并使钢片外侧干净，以免弄脏图纸。然后按线条需绘的粗度调整螺丝，在试笔纸上试画，所绘线条符合要求后，再在绘图纸上描绘。

绘画时，用右手的拇、食、中三指夹住笔杆与乌嘴笔头上部连接处，无名指和小指紧靠中指自然弯曲。使调节螺丝朝外，轻靠尺边，笔杆向画线方向与纸面构成约 75° 倾角（图 3-2-20），使两钢片同时接触纸面。左手按牢直尺或三角板，然后由左向右，速度均匀、用力一致、一笔画完。画线过程中，直线笔不能前后左右摇晃。笔杆的移动平面应垂直于纸面，乌口片平面应平行于画线方向。如运笔的位置不当或上墨过多过少，就会发生画线不光、掉墨或脱墨等现象。

由于使用直线笔不当，画直线时产生的缺点如图 3-2-21 所示：(a) 为笔杆偏向绘图者，使所绘线条外边不光或不下墨；(b) 为笔杆偏向外侧，使线条里边不光或者墨汁沿尺边流下；(c) 为上墨过多，画线时墨汁从线条两边溢出；(d) 为墨汁不足，后半段成空心；(e) 为正确的情况下，所绘线条应该是光滑、均匀、粗细一致。直线笔用完后，应将笔头螺丝松开，擦拭干净放入仪器盒内。

二、曲线笔

曲线笔是绘画各种曲线的良好工具，因笔头能自由回转又称回转笔。曲线笔可分为单曲线和双曲线笔两种。使用曲线笔绘曲线，其主要优点是：线粗一致，光滑自然，作业速度快，质量好，比用小钢笔绘曲线效果好得多。

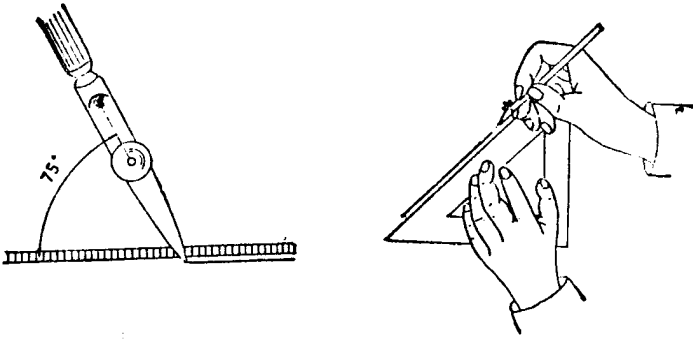


图 3-2-20

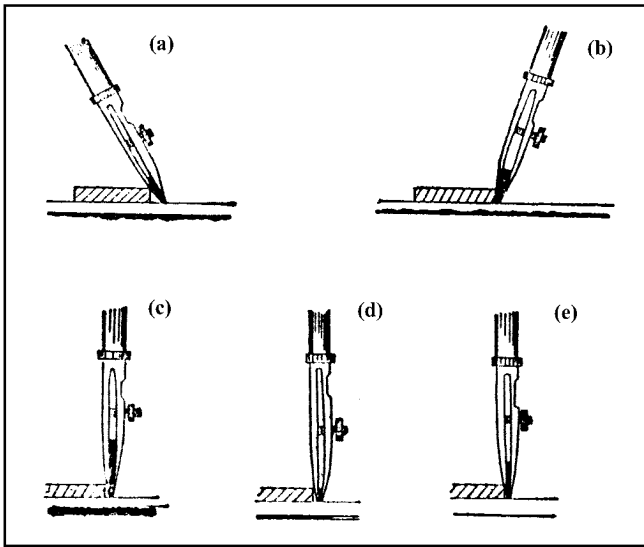


图 3-2-21

(一) 单曲线笔

单曲线笔是由带轴笔头，套管和两组螺丝所组成（图 3-2-22 (a)）。笔轴在套管内可灵活旋转。轴杆顶上的一组螺丝，可调节套管与笔头间间隔，放松时，轴杆可以带动笔头旋转；旋紧时，轴杆固定，笔头不能转动。弧形笔头上的调节螺丝用来调节两钢片间距离，控制线划粗细。

用单曲线笔绘曲线，握笔姿势的正确与否，直接影响画线质量。正确的姿势是：用拇指、食指和中指捏住笔杆的下部，掌心宜空，无名指和小指弯曲着依附于中指，小指尖可轻触纸面作支点，笔杆要垂直（图 3-2-23）。运笔时，腕部离开纸面，肘部与纸面或桌面接触，用手腕旋转笔杆带动笔头移动。画线过程中，用力要均匀，并随时保持

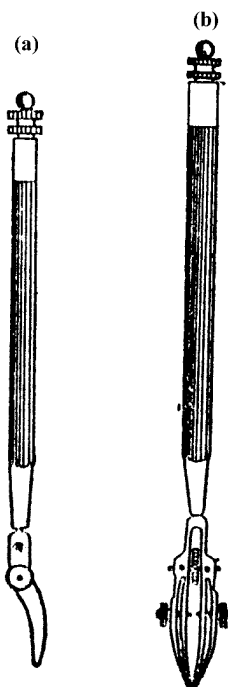


图 3-2-22

笔头两乌嘴片扁平方向与曲线方向一致。此外，坐姿也很重要，坐姿要正，胸部要略高桌边，将图纸放于正前方，头部稍偏，眼睛注视运笔前方，距离以 25cm 左右为适宜。

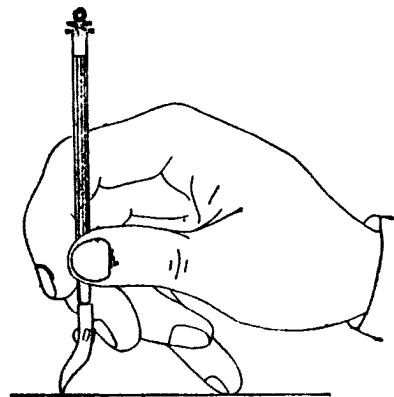


图 3-2-23

(二) 双曲线笔

双曲线笔的构造基本上与单曲线笔相同，但它具有两个弯曲的乌嘴笔头，两笔头中

间横装一微动螺丝，用以调节两笔头间距离（图 3-2-22（b））。双曲线笔是绘画不同间隔或不同粗细的平行曲线的主要工具。其操作方法基本上与单曲线笔同，但较难掌握。运笔时用力应平衡，使两笔尖同时接触纸面，在转弯处要特别注意，应使在内圈的笔头转动较慢，外圈笔头转动较快，才能使所画平行曲线光滑和精细一致。

三、旋转小圆规

旋转小圆规是绘制地形图上小圆符号的工具。旋转小圆规（图 3-2-24）是由一个带螺丝帽的轴针，套在轴针外的套管，固定在套管上的弹簧片，以及连接在弹簧片下端的笔头组成。套管可沿着轴针上下移动，并带动笔头绕轴针旋转。弹簧片与笔头连接处的微动螺丝，可以调节笔头与轴针的间距，使其绘出一定半径的小圆。

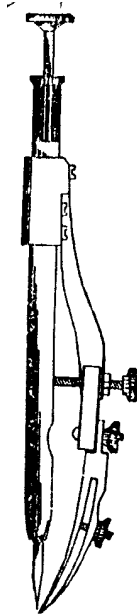


图 3-2-24

使用旋转小圆规时，用右手食指按住中心轴针上端的螺丝帽，以拇指和中指捏住套管顶部的螺丝。画圆前，先将笔头提起，使轴针轻轻地插在圆心上，再使中心轴针与纸面垂直，然后轻轻放下套管使笔头与纸面接触。画圆时，用中指（拨）和拇指（推），按顺时针方向旋转套管上方螺丝并带动笔头旋转一周，即可画出小圆（图 3-2-25）。画完圆后，应先提起套管再提中心轴针。

画圆前的注墨方法及含墨量与直线笔相同，画圆时不可用力猛转或多次旋转，以免损伤仪器或使画线过粗和不光。用毕，应将残墨擦洗干净，放入盒中。

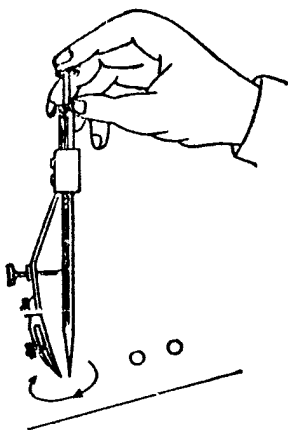


图 3-2-25

四、分规

分规是量取两点间距离、截取线段以及等分线段的主要工具。有普通分规和精密分规两种。

普通分规（图 3-2-26）是由上端带螺纹杆的转轴和两脚组成。两脚可以转轴为轴张开和靠拢，当分规两脚靠拢时，两脚上的钢针尖端应等长并能合成一点。用分规在比例尺上截取线段时，用大拇指及食指持于两脚外侧，中指及无名指位于两脚中间，靠手指移动两脚间距，在尺上截取所需长度。等分线段时，如图 3-2-27，应先使分规张度等于已知长度，然后将分规一脚的针尖置于需等分线段的起点 0 上，沿着直线再放下另一脚刺点，确定 0—1；再以第二个脚的针尖为支点，转动分规的第一个脚，针尖在线上确定第二个线段 1—2，依次更换移转分规针尖，直到将线段全部等分完为止。

无论用分规量取长度还是等分线段，两脚张度不得大于 70° ，刺点时应使刺点的一支脚保持垂直，并刺于线上，刺点不宜过大，这样才能保证线段精度。

精密分规。精密分规的两脚较短，顶部的活动关节为一弹簧圈，两脚中间有一微动螺丝（图 3-2-28），借它来调整两针尖间的距离。当需要分规截取较短而精确的线段，或需要分规截取的线段欲保持较长的时间时，使用精密分规就比较方便。

五、组合绘图仪

许多单件仪器配成套放在一个盒子里，称为组合仪器。件数多的仪器，同一部件又细分成大、中、小三件，小盒仪器则只有两三件最必要的，供作简单绘图之用。但件数多少，不是衡量绘图效果的唯一条件，重要的是质量，因为用件数不多而质量好的仪器绘图，也能收到良好效果。如北京市绘图仪器厂出品的组合绘图仪（方圆牌），盒内有：

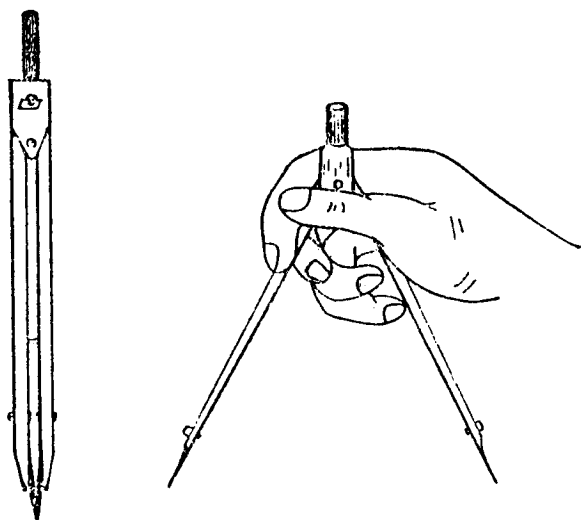


图 3-2-26

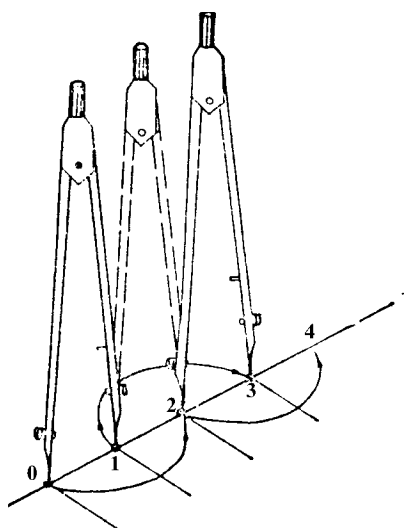


图 3-2-27

直线笔、单曲线笔（两支）、双曲线笔、旋转小圆规、分规共 8 件，这套仪器绘制地形图比较方便适用。

第四节 地图制作过程

地图分为实测地图和派生地图。实测地图是使用测量的方法制作的地图，目前有用经纬仪、平版仪测制地图的白纸测图；有用野外成图一体化设备（如全站仪）完成的数

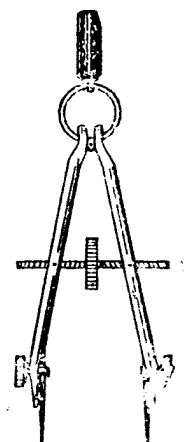


图 3-2-28

数字化测图，再用计算机及相应设备输出模拟地图；有用摄影测量方法完成的地图，它可以用传统的航测方法制作模拟地图，也可以用数字摄影测量方法制作数字地图。派生地图是使用各种资料用编绘的方法制作地图，这是地图学研究的对象，本节将研究用各种资料编制地图的过程。

一、用传统技术编制地图

用传统技术编制地图分为四个阶段：地图设计，原图编绘，出版准备，地图印刷。

（一）地图设计阶段

编制地图的工作是从地图设计开始的，它的基本内容包括：确定地图的用途和地图的使用对象，收集并分析评价制图资料，研究制图区域的地理特征，选择地图内容、地图投影和比例尺，确定表示方法、制图综合原则并选择制图工艺，最后编写地图的设计文件。对于国家基本比例尺地图，由于有国家颁发的“编绘规范和图式”标准文件作为依据，其设计工作相对简单一些，对于其他地图，其设计工作要复杂、困难得多。

（二）原图编绘阶段

这一阶段的工作包括：建立数字基础，转绘地图内容，在编绘用底图上实施制图综合和图形描绘，最终获得编绘原图。当然，这些工作都是在地图设计书的指导下进行的。

1. 建立地图的数字基础

地图数学基础的建立，以地形图较为复杂，我们以地形图为对象加以说明。

（1）数据准备

常规制图用直角坐标展点仪来展绘地图的数学基础，展点的内容包括：图廓点和控

制点（一定数量的三角点）。

①图廓点的数量：由于高斯－克吕格投影的经线和纬线都是曲线。在我国的 1:50 万及更大比例尺地形图上，经线的曲率很小，其矢距都在 0.15mm 以下，都可以用直线代替，故我国地形图的东西图廓都是直线。南北图廓上曲率较大，只有在 1:5 万及更大比例尺的地形图上才可看成直线，1:10 万、1:25 万及 1:50 万地形图的南北图廓要增加图廓点的数量，并用折线来代替弧线。同样，为了绘出纬线图形，在图内也要增加展点的数量。图廓展点数如表 3-2-1。

表 3-2-1 1:10 万、1:25 万、1:50 万地图南北图廓展点数

地图比例尺	1:10 万	1:25 万	1:50 万
南、北图廓上图廓点数量	3	5	7

②数据获取：为了获取图廓点的坐标值，可以有两基本途径，即从《高斯－克吕格投影坐标表》或由此表衍生出的《图廓坐标表》上直接查取，或通过计算机用高斯－克吕格投影公式及相应程序直接计算获得。

《高斯－克吕格投影坐标表》是按一定的经纬网密度经事先计算获得的经纬线交点的投影坐标值。使用该表时还需将其投影坐标转换成称轴后的常用坐标并加图廓边长改正。《图廓坐标表》是加以上改正后用图解方式标注的各图廓点的相应坐标，查用起来较为方便。

使用计算机直接计算图廓坐标只需输入经纬度或图幅的编号，即可获得所需要的坐标。输入图幅编号时还需要由专门的程序由图幅编号反算出图廓的经纬度。

三角点的坐标值需要从大地控制点成果表中抄录。

为了使用直角坐标仪展绘图廓以及正确选择三北方向图，还需要获取子午线收敛角的值。它可以在查取或计算图廓点坐标时一并获得。

(2) 用直角坐标展点仪展绘地图的数字基础

①直角坐标展点仪

直角坐标展点仪是传统地图生产中展绘地图数字基础的主要设备。它的类型很多，其结构其本相同（图 3-2-29），都具有严格按直角连接的两个坐标轴，一个作为 X 轴，另一个为 Y 轴，其中一个固定在仪器台上，另一个在其上滑动，其滑动距离可精确计量。刺点装置沿可移动的那条坐标轴移动，也可以精确计量距离，这样就可以精确确定所刺点位的坐标了。

由于电子制图设备的大量出现和数字制图技术的日趋成熟，直角坐标展点仪已很少使用。

②展点

展点前需要整置仪器，使其达到同展绘比例尺相适应的待工作状态；安置图版，由于有子午线收敛角的存在，为使图廓同版的周边大致平行，需要将图版在仪器平台上朝

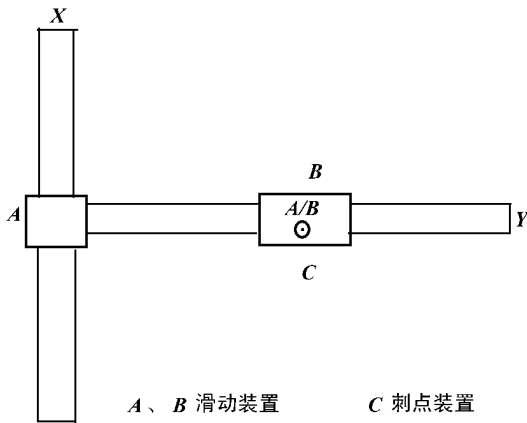


图 3-2-29 直角坐标展点仪基本结构

中央经线方向扭一个相当于子午线收敛角的角度。此后就可以按方里网、图廓点、控制点的顺序依次将各种点展在图版上。

所有展在图版上的点都需要经过检查，其检查方法主要是使用一级线纹米尺通过点间的距离判定。

地形图以外的其他地图，通常都没有方里网和控制点，只需展绘图廓点和经纬线网即可。

2. 转绘地图内容

转绘地图内容的任务是将制图资料按投影网格嵌贴在展绘好数学基础的图版上，从而完成不同地图投影之间的转换并获得供编绘用的底图。

转绘地图内容主要使用照相转绘法，即通过照相将制图资料地图缩制成预定的比例尺，晒蓝图拼贴到数学基础的网格中，获得供编绘用的底图（具体做法将在制图工艺中研究）。

其他的转绘方法还有网格转绘法和目测转绘法。即根据图上已有的对应的点构成网格，在网格内用目测或不构网格直接用目测同其他目标的相互关系进行转绘。这种方法只适用于局部的补充资料上相关内容的转绘。

3. 制作编绘原图

在编绘用的底图上对各要素进行制图综合并描绘出综合后的图形，进行必要的整饰就成了地图的编绘原图。

（三）地图的出版准备

由于地图的编绘原图是多色手工描绘的，描绘时强调的是图形的科学质量，并不着意于线划质量，这种原图不适合直接用于出版印刷，为此需要根据编绘原图制作出线划水平高，适于照相、晒版用的出版原图及相应的分色参考图。这个介于原图编绘与地图印刷之间的阶段，由于其工作是为地图的出版印刷作准备，故称为出版准备阶段。

(四) 地图印刷

地图印刷的目的是通过印刷的方法向地图读者提供大量复制的印刷地图。

在常规制图条件下，印刷厂在接到出版原图后，需根据其类型制订制印工艺方案，这包括照相、翻版、分色、制版、打样、修版到印刷等工序。地图印刷使用单色或多色平版印刷机来完成。

综上所述，在常规制图条件下，地图的成图过程如图 3-2-30 所示。在这四个阶段中，地图设计和原图编绘阶段凝聚制图者大量的创造性思维及由此得到的有特性的成果，这时地图作者应享有地图的著作权。出版准备和地图印刷阶段的工作都是纯技术性的，通常都只应享有署名权，而不享有著作权。

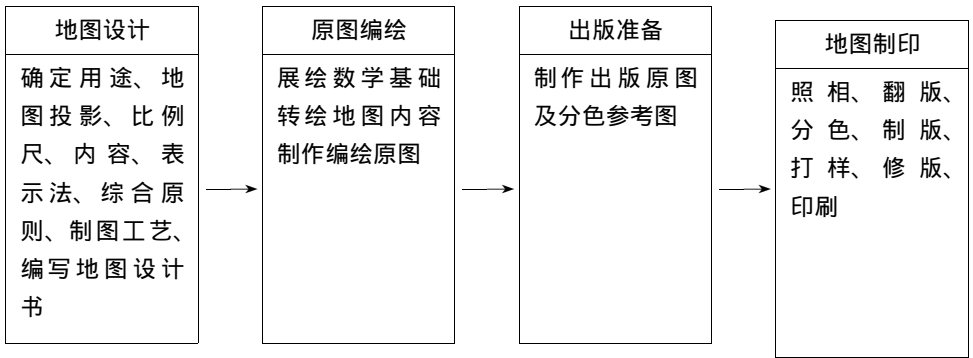


图 3-2-30 基于常规技术的地图生产过程

二、计算机地图制图的基本过程

利用计算机及由计算机控制的输入、输出设备作为主要的制图工具，通过数据技术和数字处理方法实现的地图制图称为计算机地图制图。

计算机地图制图仍以传统的制图原理为基础。例如制图资料的选择，地图比例尺和地图投影的确定，地图内容和表示法，地图内容的制图综合等，都同传统制图没有实质性的区别。从地图学的角度看，计算机制图只是一种技术手段的变化，从而对制图工艺产生重大影响。

用计算机制作地图的过程，随着软硬件的进步还在不断地演化，目前分为以下四个阶段（图 3-2-31）：

地图设计。根据地图的用途确定地图的制图资料、地图投影和比例尺、地图内容和表示方法等。资料选择除考虑其内容外，还要顾及数字化的方法，并进行数字化的准备工作，例如确定要素的分层、分色；根据地图的用途和特点，选定制图软件及需要进一步研究开发的内容，最后仍然是写出地图的设计书。

数据输入。这是获取数据的阶段，要将资料的图形图像转换为数字，以便由计算机

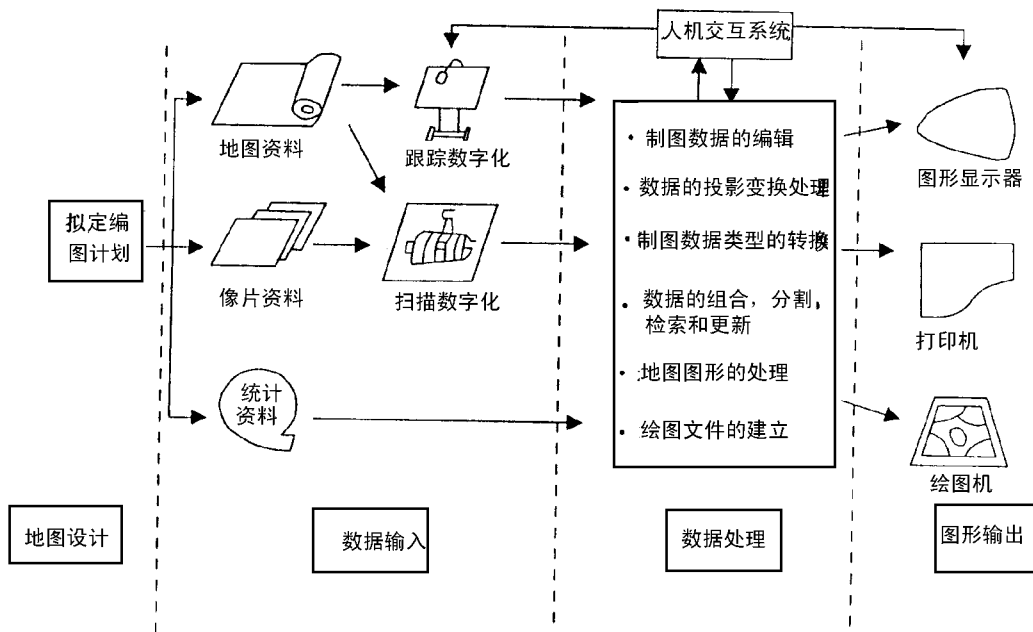


图 3-2-31 计算机制图的一般过程

存储、识别和处理。当前使用的数字化方法基本上是两种，第一是以联机方式用手扶跟踪的方法进行数字化；第二是自动扫描的方法。两种方式各有其优缺点。由于两种输入方式获得的数据可以相互转换，扫描方式正越来越多地受到注意。制图用的统计数据可直接用键盘输入计算机。制图资料经过数字化以后，建立数据库，供计算机处理和应

用。

数据处理。计算机制图的过程先是由图形变成数字（数字化），在数据库的控制下，要对数据进行处理（按制图要求对图形进行改变），再把数字转换为图形（图形输出）。数据处理是在输入与输出之间的这个阶段，包括数据的检索、更新、选取、变换等，这些工作都是制图人员调用程序来实现的。

图形输出。制图数据经过计算机处理以后，变成了绘图机可认识的信息，以驱动绘图机输出图形。图形输出首先是屏幕显示，用于在正式绘图前进行图形检查。输出图形的方式有矢量和栅格绘图两大类，它们可以是绘图、用光学系统输出胶片等形式。

第三章 大比例尺地形图的测绘

地形测图是在已知控制点上设站，用测量仪器及工具测定控制点周围地形特征点的平面位置和高程，并按图式规定的符号将各种地物、地貌依比例缩小描绘成地形图的工作。根据测图使用的仪器及工具的不同，地形测图的方法有：大平板仪测图、小平板仪与经纬仪联合测图、经纬仪测图、全站仪数字化测图以及航空摄影测量成图等。前3种方法为传统的测图方法，其测图原理是一样的。全站仪数字化测图是在20世纪80年代，随着全站型电子速测仪的迅猛发展，而加速研究与应用的。数字化测图无论精度上还是工作效率上都优于传统的测图方法，它是当今大比例尺地形测图方法的发展方向。

第一节 测图前的准备工作

传统的地形测图方法在测图前应做好以下几项准备工作：

一、图纸准备

大比例尺地形图测绘一般都选用聚脂薄膜作为测制地形图的底图。聚脂薄膜具有透明度好、伸缩变形小、坚韧耐潮、不蛀不霉、污染后可水洗、并能直接在铅笔原图上着墨或刻板制图等优点。加工过的聚脂薄膜一面为毛面，另一面为光面。其中毛面为正面，光面为底面，根据厚度不同有0.07mm和0.1mm两种规格。作为蓝晒底图可选购0.07mm或0.1mm厚的图纸，作为刻板底图时应选购0.1mm厚为宜。

二、绘制坐标格网

为了能准确地将控制点展绘到图纸上，展点前应精确地绘出坐标格网，坐标方格一般采用边长为10cm的正方形。根据绘图所用的工具不同，绘制坐标格网的方法有：对角线法、格网尺法以及绘图仪绘制等，下面仅介绍对角线法和格网尺法。

（一）对角线法

如图3-3-1所示，绘制坐标格网时，先用直尺和铅笔在图纸上轻画出两条对角线，设对角线的交点为O。过O点向各对角线截取相同的长度得a、b、c、d4点，连接

a、b、c、d4点即得一矩形。再分别由 a、b、d3点起，沿 ab、ad、bc、dc 线每隔 10cm 截取等长的诸点，连接相应各点即成坐标格网。

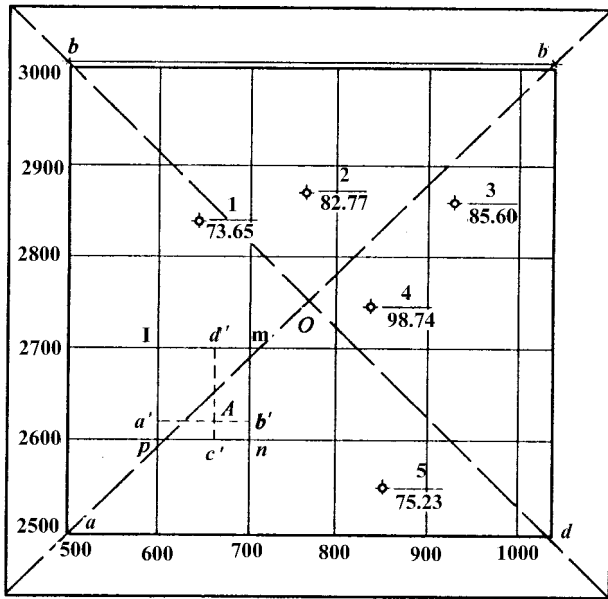


图 3-3-1 对角线法绘制坐标格网

(二) 格网尺法

坐标格网尺是一根带有方眼的金属直尺（如图 3-3-2），尺上有间隔 10cm 的 6 个孔，每孔有一个斜边，起孔斜边是直线，其上刻有一细线表示该尺长度的起点，称为零点，其他各孔及末端的斜边是以零点为圆心，以 10cm、20cm、...、50cm 及 70.711cm 为半径的弧线。长度 70.711cm 即是 50cm×50cm 正方形对角线的理论长度。

图 3-3-3 为用坐标格网尺绘制坐标格网的步骤。

(1) 图 3-3-3 (a)，在图纸下方适当的位置绘一直线，在左端截取一点 A，尺子零点对准 A，并使尺上各孔的斜边中心通过直线，再沿各孔斜边画短弧线，与直线相交得 1、2、3、4、B 等 5 点。

(2) 图 3-3-3 (b)，将尺子零点对准 B，并使尺子大致垂直于直线 AB，再沿各孔的斜边绘 5 个圆弧短线。

(3) 图 3-3-3 (c)，将尺子零点精确对准 A，并使尺子末端与右边最上的短线相交得 C 点，连接 BC 即得格网右边各点。

(4) 图 3-3-3 (d)，尺子零点对准 A，并使尺子大致垂直于 AB 直线，沿各孔斜边画短弧线。

(5) 图 3-3-3 (e) 将尺子零点精确对准 C，并且估使尺子平行于直线 AB，再沿

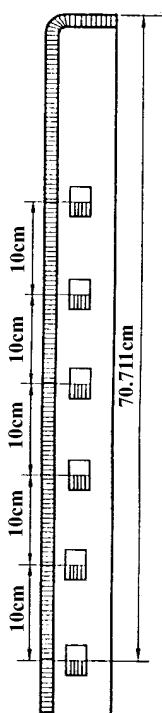


图 3-3-2 格网尺

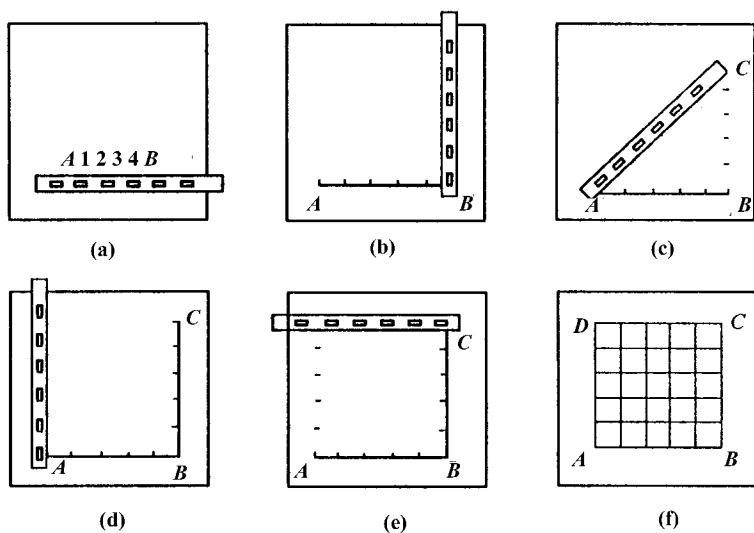


图 3-3-3 格网尺法绘制坐标格网

各孔斜边画短弧线，第 5 根短弧线与左边最上的短弧线相交得 D 点，连接 AD、BD 即得 $50\text{cm} \times 50\text{cm}$ 的正方形。

(6) 图 3-3-3 (f)，将上、下和左、右相应的各点连接即成 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 的坐标格网。

方格网绘制的正确性直接影响到控制点的展绘精度。因此，坐标格网绘好后应立即进行检查。方法是：将直尺边缘沿方格网的对角线放置，各方格顶点应在一直线上，偏离值不得大于 0.2mm ；其次方格网对角线长度，与理论长 70.711 之差不得超过 0.3mm ；再检查小方格边长与对角线长度，与理论长 10cm 和 14.4cm 之差不得超过 0.2mm 。如超过规定应重新绘制，全部合格后方能用于展点。

三、控制点展绘

控制点展绘就根据控制点的坐标值，按测图比例尺将其展绘到图上，作为碎部测量展点的依据。控制点展绘的好坏，直接影响到地形测图的质量，因此，务必仔细和认真进行，并要做必要的校核。

如图 3-3-1 所示，展点前应从测区分幅总图上查找出所展图幅的西南角点的坐标值和抄录落在该图幅内各控制点的坐标和高程，根据给定的图幅西南角点坐标值以及测图比例尺在方格网左边由下而上标出格网线的纵坐标值，在格网的下边由左向右标出格网线的横坐标值。展点时，先根据待展点的坐标值判定点位落在哪一方格，将这一点的坐标减去该方格的西南点坐标即得展绘值。例如，控制点 A 的坐标为： $X_A = 2615.40\text{m}$ ， $Y_A = 686.72\text{m}$ ，由 A 坐标值及方格网线的坐标可知，A 点应落在 $p_1 m_1$ 方格内，因为： $X_A - X_p = 15.40\text{m}$ ， $Y_A - Y_p = 86.72\text{m}$ ，所以应从 p 点和 n 点起用比例尺向上截取 15.4m 得 a'、b' 两点，再从 p_1 、 l_1 两点起向右截取 86.72m 得 c'、d' 两点。连接 a'b'，c'd' 两直线，其交点即为 A 点在图上的位置。同法，将落在本图幅内的所有控制点展绘到图上。控制点展完后，应按图式的规定绘出相应的控制点符号，并在符号右侧绘一横线，横线上方注记控制点点名，下方注记该控制点的高程。

控制点展绘要做到及时检核。当相邻点展出后，用比例尺量取它们的长度，与这两点用坐标反算出的长度（或实测的长度）之差不得超过图上 $\pm 0.3\text{mm}$ ，若超限应检查原因并重新展绘。

第二节 经纬仪测绘法

测图准备工作完毕后，即可开始进行碎部测量。

经纬仪测绘法是将经纬仪安置在测图控制点上（测站），测出另一个控制点方向和碎部点方向间水平角，并用视距法测定测站与碎部点之间的水平距离和高差。根据测得的角度和距离用量角器与比例尺按极坐标法将碎部点缩绘在图纸上。然后，对照实地，

依据地物特征点，按规定的图式符号勾绘地物；依据地貌特征点的高程勾绘出等高线。经纬仪测绘法适用于各类地区的地形图测绘。

经纬仪测绘法的具体做法如下：

将经纬仪安置在控制点 A 上（图 3-3-4），对中、整平后，以盘左位置用望远镜照准相邻控制点 B，水平度盘读数对准 $0^{\circ}00'$ ，AB 方向即为起始方向。然后量取仪器高，记入手簿。在测站旁合适位置安放图板作绘图之用。

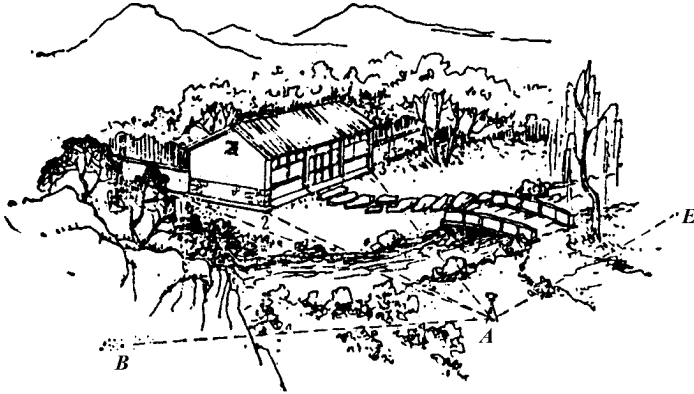


图 3-3-4

观测时以起始方向作为零方向，转动望远镜，依次照准所选的碎部点上的标尺，如图 3-3-1 中的 1、2、3...等。读取下、上、中三丝读数；使竖盘指标水准管气泡居中，读竖盘读数，再读水平度盘读数；并记录在手簿的相应栏内（表 3-3-1）。

表 3-3-1 视距记录手簿

测站 A		$H_A = 47.36\text{m}$		后视方向		B 点				
仪器高 $i = 1.34\text{m}$		$k = 100$ 心		$c = 0$						
点号	水平角	下丝读数	中丝读数	竖盘读数	竖直角	高差 h (m)	水平距离 D (m)	点的高程 H (m)	附注	点号
		上丝读数	尺间隔	v							(正)
1	$26^{\circ}54'$	1.678 1.322 0.356	1.500	$0^{\circ}00'$	$0^{\circ}00'$	-0.16	35.6	47.20	房角	1
2	$34^{\circ}24'$	1.598 1.402 0.196		$0^{\circ}00'$	$0^{\circ}00'$		19.6		房角	2

测站 A			$H_A = 47.36\text{m}$	后视方向			B 点			
仪器高 $i = 1.34\text{m}$				$k = 100$ 心			$c = 0$			
3	$49^\circ 54'$	1.619 1.381 0.238		$0^\circ 00'$	$0^\circ 00'$		23.8		房角	3
11	$66^\circ 54'$	1.573 1.100 0.473	1.34	$2^\circ 01'$	$+ 2^\circ 01'$	1.66	47.2	48.02	地形点	11
12	$77^\circ 30'$	1.537 1.150 0.387	1.34	$2^\circ 21'$	$+ 2^\circ 21'$	1.59	38.6	48.95	地形点	12
13	$86^\circ 20'$	1.437 0.750 0.687	1.10	$357^\circ 49'$	$- 2^\circ 11'$	- 2.62	68.6	44.98	地形点	13

用经纬仪测绘法测图时，绘图人员根据测得的水平角和算得的水平距离、高程，用量角器和比例尺把已测得的地形点展绘到图纸上，点的右测注上高程，或者以点位当作小数点来注记高程数字。同法，测出其余碎部点的平面位置和高程，绘于图上，并随测随绘等高线和地物。在测站上每观测 20~30 个碎部点后，应检查起始方向有无变动。

为了防止错误，及时检查测图质量，仪器搬到下一测站时，首先要观测前站所测的某些明显的地物点，以检查由两站测得该点的平面位置和高程是否相符。如相差较大，则应查明原因，纠正错误后再继续进行测绘。

第三节 平板测图法

如图 3-3-5，设地面上有 A、B、C 三点。在 A 点上安置一块平板，平板上铺张图

纸，在图纸上画出 a 点，使 a 点和 A 点在同一铅垂线上。然后通过 AB 和 AC 两方向作出两个竖面，与图板的交线 ab 和 ac 就给出了 $\angle ABC$ 的水平投影 $\angle bac$ 。若测量得 AB 和 AC 的水平距离，并按一定的比例尺画出 b 、 c 两点，则图上 a 、 b 、 c 三点组成的图形，完全与地面上 A 、 B 、 C 三点的图形相似。这就是平板测图原理。平板仪测绘法适用于平坦地区或地势起伏不大而又开阔的丘陵地区。

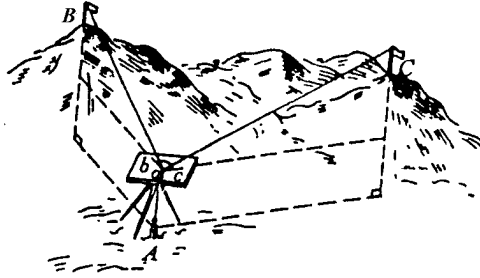


图 3-3-5

一、大平板仪测图

(一) 大平板仪的构造

大平板仪主要由平板和照准仪两部分组成。

(1) 平板部分包括测图板、基座和三脚架。

测图板是由风干、不易变形的木料制成，一般为 $60\text{cm} \times 60\text{cm} \times 3\text{cm}$ 的方形木板。

基座和经纬仪基座的作用相似，上部为一个金属圆盘，圆盘边缘有三个固定螺旋用以使基座和测图板连结，圆盘下面有一个轴，插在轴座内，并可在其中作旋转运动。为了控制和调节测图板的转动，还装有制动螺旋和微动螺旋。基座下部的三个脚螺旋是用以整平图板的。使用时，利用金属圆盘三个固定螺旋将测图板连结在基座上，再用中心螺旋使基座与三脚架相连，如图 3-3-6。

(2) 照准仪是用来瞄准目标、画方向线、测定距离和高差。它主要由望远镜、竖盘、支柱和直尺所组成，如图 3-3-7。可以用视距测量方法同时测定水平距离和高差。

(3) 平板仪除了平板和照准仪外，还有附件，即对点器、水准器、长盒罗盘，供图板对中、整平定向之用，如图 3-3-8。

(二) 平板仪的安置

平板仪在一个测站上的安置包括对中、整平、定向三项工作。

对中就是使图纸上的测站点和地面上的相应点位处于同一铅垂线上。作业时可利用对点器上方的尖端对准图板上的测站点，然后移动或转动图板，使垂球尖对准地面上的

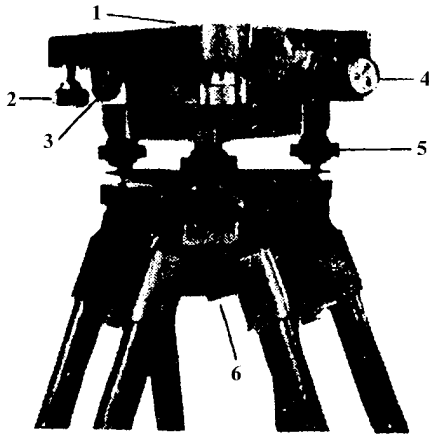


图 3-3-6

1. 金属圆盘 2. 固定螺旋 3. 制动螺旋
4. 微动螺旋 5. 脚螺旋 6. 中心螺旋

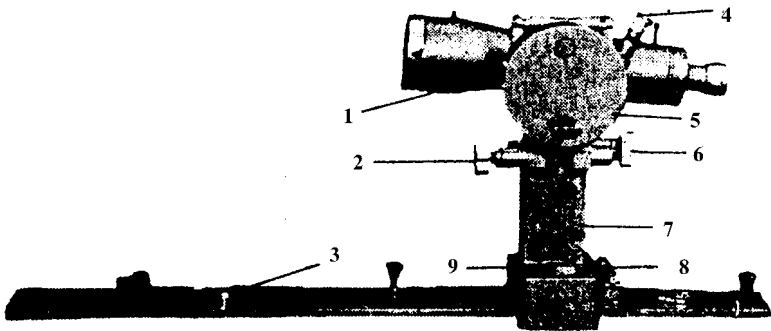


图 3-3-7

1. 望远镜 2. 竖盘游标水准管微动螺旋 3. 直尺
4. 竖盘读数显微镜 5. 竖直度盘 6. 望远镜微动螺旋
7. 支柱 8. 横向水准管 9. 横向微倾螺旋

相应点位。对中的精度要求，视测图比例尺而定。一般要求对中容许误差不超过比例尺精度的一半。例如：测图比例尺 1:1000，对中容许误差为 5cm；测图比例尺 1:2000，对中容许误差为 10cm，测图比例尺 1:5000，对中容许误差为 25cm。

整平就是利用圆水准器或直尺上的管形水准器和基座上的脚螺旋，使图板水平。整平方法与经纬仪相似。

定向就是使图纸上的直线与相应的地面直线一致。定向的方法有磁针定向和已知直线定向两种。

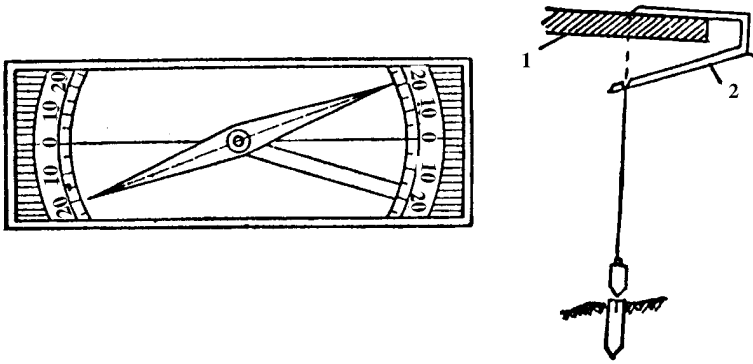


图 3-3-8

磁针定向：将长盒罗盘的长边与图纸上磁南北线重合。转动图板，使磁针北端指零。然后固定图板。此时，图上的南北方向即与实地的南北方向一致。用磁针定向的精度较低，一般在图上没有已知直线方向的情况下，才用磁针定向。

用已知直线定向：如图 3-3-9 所示，图板上 a、b 两点对应于地面 A、B 两点。定向时，若测站为 A 点，可将照准仪的直尺边贴靠在图板上已知方向线 ab 上。转动图板，用照准仪照准地面上另一已知点 B，然后固定图板。此时，图板上直线的方向即与实地一致，定向工作即告完成。

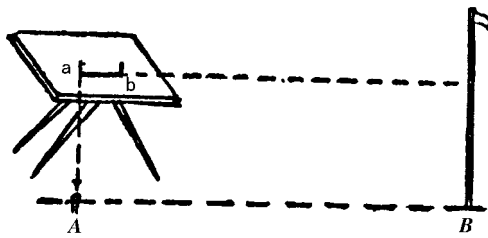


图 3-3-9

在平板仪的安置中，对中、整平和定向三项工作是相互影响的，不可能一次把平板仪安置好，可分两步进行。首先目估使图板大致定向和大致水平，并移动图板大致进行对中，然后再以相反的程序进行精确地对中、整平和定向。在三项工作中，对中只要在容许误差范围以内即可；而后二者，尤其是定向工作因它对测绘其他方向的影响较大，所以必须精确地进行。

（三）大平板仪测绘法

平板仪测绘法是平板仪安置在测站上，用照准仪照准碎部点并用直尺划出方向线，用视距法测出水平距离和高差；用照准仪的直尺在方向线上截出碎步点的位置，并注以高程。

平板仪测图方法如图 3-3-10 所示。

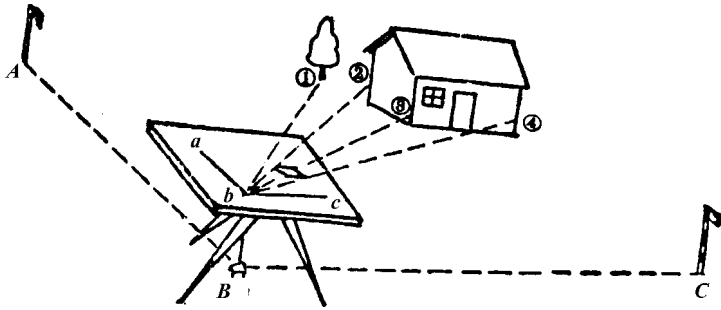


图 3-3-10

使用大平板仪测图时要注意以下几点：

(1) 平板仪对中偏差不应大于图上 0.05mm。

(2) 平板仪定向要以较远一点标定方向，每测 20~30 个碎部点后，应重新瞄准起始方向检查其变化情况，检核偏差不应大于图上 0.3mm。

(3) 当测图比例尺较大且对某些地物点要求较高时，距离可用钢尺直接丈量，高程用水准测量方法观测。

二、电子平板测图

若在平板上放置如图 3-3-11 所示的配有滑动直尺的超小型红外测距仪测图，则称为电子平板测图。红外测距仪左测带有一角度传感器，用以自动测量竖直角，通过各按键可自动测得斜距、水平距和高差。带有刻度的滑动比例尺，可在图上平行移动照准方向，使直尺边缘贴靠在测站点上，用测得的水平距离，在图上定出碎部点位置，测程可达 500m，精度（5mm + 5ppm）远远优于普通的大平板仪。

第四节 碎部点的选择与立尺线路

一、碎部点的选择

碎部点系指地物点和地貌点的统称。恰当地选择碎部点，将地物、地貌正确地缩绘在图上，即不出现废点，又不漏测，是保证成图质量和提高测图效率的关键之一。

(一) 地物点的选择

地物可大致分为点状地物、线状地物和面状地物三种。点状地物系指不能在图上表

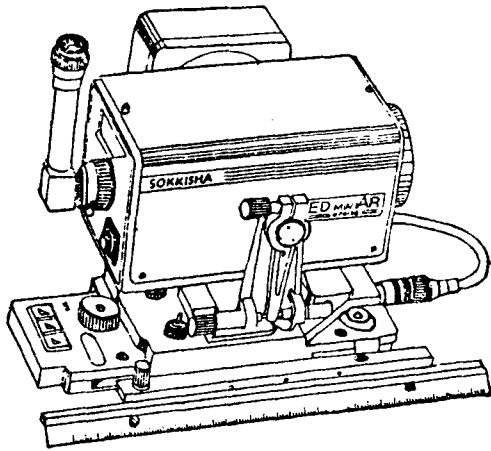


图 3-3-11

示其轮廓或按常规无法测定其轮廓的地物，如水井、电线杆、独立树等。点状地物的中心点位置即为其特征点。线状地物是指宽度很小，不能在图上表示，仅能用线状表示其长度和位置的地物，如小路、小溪等。对成直线的线状地物，起、止点即为其特征点，如果起、止点相距较远，注意选中间点作核校；对成折线和曲线的线状地物，其特征点除起、止点外，还包括转折点和弯曲点，曲线地物要注意隔适当距离选点，使连成的物体不致失真。面状地物指能够在图上以完整轮廓表示的地物，如房屋、田地、果园、池塘等。轮廓的转折点、弯曲点即为面状地物的特征点。

在测量上一般规定：线状地物和面状地物其转折点或弯曲点，表示在图上最大偏离小于 0.4mm 的可用直线连接。

图 3-3-12 表示选择地物点的情况，凡是竖有黑杆之处就是测定水塔、水井（点状地物）、河流、公路（线状地物）、果园、池塘、地块（面装地物）时选定的特征点，即测量时竖立视距尺的地方。

（二）地貌特征点的选择

由前所述，地貌通常用等高线表示，但在实际地面上等高线并不像地物轮廓那样明显可见，再加上地面起伏，形貌千差万别，所以地貌点的选择比较困难。从几何观点来分析，复杂的地貌可看成是由许多不同方向和不同坡度的面所组成的多面体。相邻面的相交棱线构成地貌的骨架线，测量上称为地性线，如山脊线、山谷线和山脚线就是最明显的例子。地性线的起、止点及其转折点（方向和坡度变换点）即为地貌特征点。如果将这些特征点的平面位置和高程测定了，这些地性线就测绘出来了，由这些地性线所形成的面随之确定，从而地貌也就显示出来了。

图 3-3-13 表示测绘地形图时选择地貌点的情况。图中 1、8 两点为山脊线的起、止点，2、3、4、5、6、7 点为山脊线上的坡度变换点，9、11 两点为山谷线的起、止

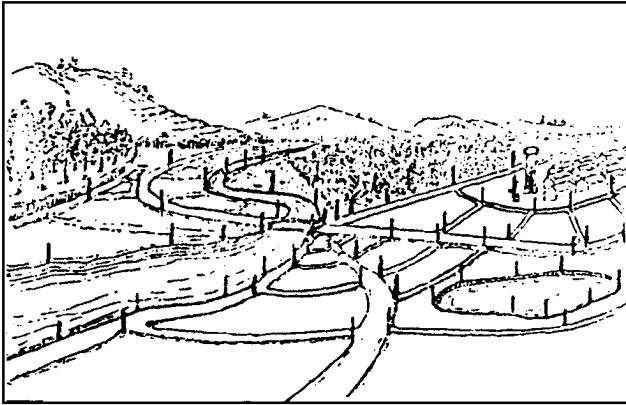


图 3-3-12

点, 11 点又称谷口点, 10 点为山谷线上的坡度变换点, 8、12、13、14、15、16、1 点为山脚线上的方向变换点, 17、18、19 点为局部倾斜变化线上的坡度变换点, 20、21、22、23 为最大间距的加密点。

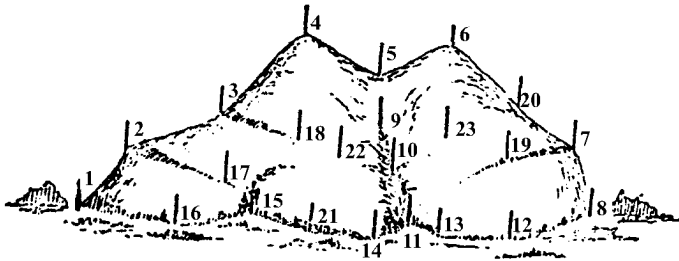


图 3-3-13

另外, 在地形图测绘工作中, 还有地物、地貌的综合取舍, 应根据各种比例尺的不同要求, 以满足用图需要和反映地形特征为出发点, 把错综复杂的地物、地貌恰当地反映在地形图上, 达到清晰易读、位置正确、主次分明的程度。如当地物密集或地貌变化复杂时, 可选测对用图需要影响比较大的固定、明显、永久性的地物、地貌; 对次要的、临时性的建筑物可以舍去。

二、立尺线路

在掌握碎部点选择的基础上, 如何根据测站位置、地形情况和立尺范围安排好立尺线路, 是配合测图的一项重要工作。安排线路要做到: 立尺有顺序、不重不漏、线路短、效率高。安排原则是: 立尺先由近到远, 然后由远而近, 最后到测站附近收尺; 立尺线路应是逆时针旋转, 以避免仪器直尺压盖图上的点位, 不易做到随测随连线; 立尺时要考虑测

图员在图上连线方便，尽量不留单点，如一幢房屋不要只立了一个房角就转到另一地物去立尺，否则单点留的过多很容易造成连线错误。下面介绍几种立尺线路供参考。

(一) 环形线路法和迂回线路法

适用于地物稀少、地形简单的平地 and 开阔地区，如图 3-3-14 (a) 和 (b)。

(二) 梅花线路法

适用于地形较复杂的地区，如图 3-3-14 (c)。

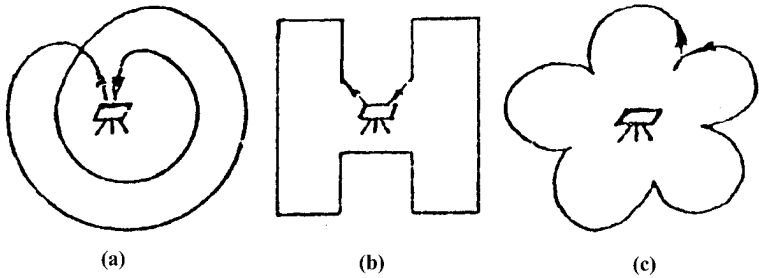


图 3-3-14

(三) 山地沿等高线立尺法

如图 3-3-15 所示，立尺员主要是沿等高线前进，避免忽上忽下，可减少体力消耗。此种线路考虑了山地地貌变化较大、高差悬殊、跑尺困难的特点。

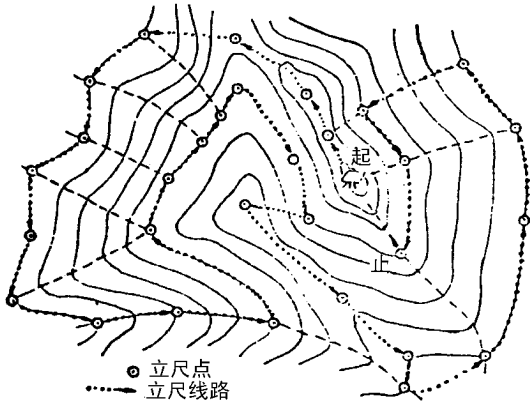


图 3-3-15

(四) 山地沿地性线立尺法

如图 3-3-16 所示，它突出了对地性线这一主要环节的掌握，沿地性线上的地性

变换点顺序立足，立尺员容易选取立尺位置，也便于测图员方便准确地连接地性线。

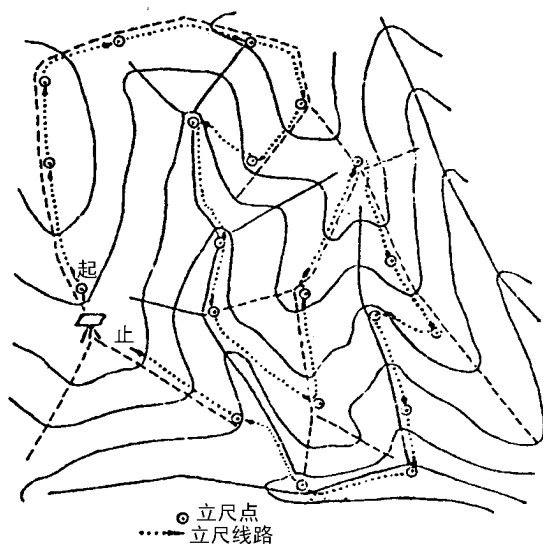


图 3-3-16

第五节 地物和地貌的勾绘

当图板上测绘出若干碎部点之后，应随即勾绘铅笔原图。

一、地物的勾绘

地物的勾绘比较简单，如能按比例大小表示的地物，应随测随绘，即把相邻点连接起来；对道路、河流的弯曲部分则逐点连成光滑曲线；如水井、地下管道检修井等地物，可在图上先绘出其中心位置，在整饰图面时再用规定的符号准确地描绘出来。

二、地貌的勾绘

地貌勾绘时要连结有关的地貌特征点，在图纸上轻轻地用铅笔勾出一些地性线，实线表示山脊线，虚线表示山谷线（图 3-3-17），然后在两相邻点间按地貌特征点高程内插等高线（图 3-3-18）。

（一）内插法勾绘等高线的原理

由于地貌特征点是选在地面坡度变化处，所以相邻两地貌点可认为在同一坡度上。根据同一坡度上高差与平距成正比关系，可求出等高线在两地貌点间应通过的位置。如

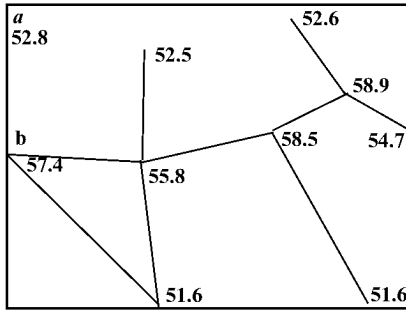


图 3-3-17

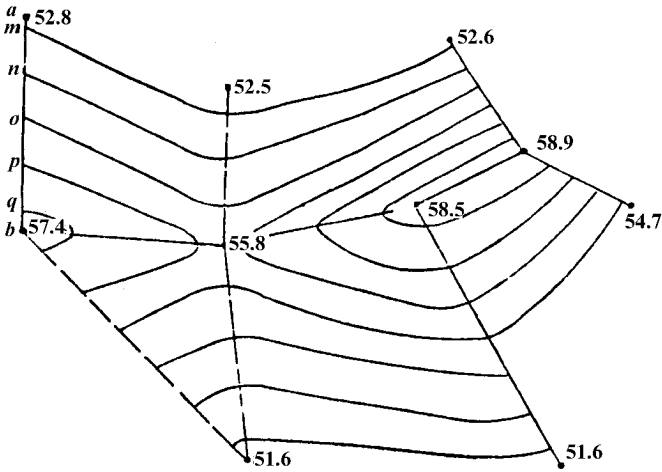


图 3-3-18

图 3-3-19 所示, A、B 为所测同坡度上的两个地貌点, C、D 为所求等高线通过点; h 为 AB 之高差, h_1 为 AC 之高差, h_2 为 BD 之高差; d 为 AB 在图上之平距, d_1 为 AC 在图上之平距, d_2 为 BD 在图上之平距, 则:

$$\frac{d_1}{d} = \frac{h_1}{h}, d_1 = \frac{h_1}{h}d$$

$$\frac{d_2}{d} = \frac{h_2}{h}, d_2 = \frac{h_2}{h}d$$

求出 d_1 、 d_2 后, 即可找出等高线经过的点 c、d。若将相邻山脊线上和山谷线上同坡度的地貌点一一连接起来, 照上述方法分别求出等高线通过点, 然后把高程相同的点逐点相连, 就可勾绘出等高线来。

(二) 内插等高线的方法步骤

以图 3-3-18 中 a、b 两点为例, 其高程分别为 52.8m 和 57.4m。设等高距为 1m,

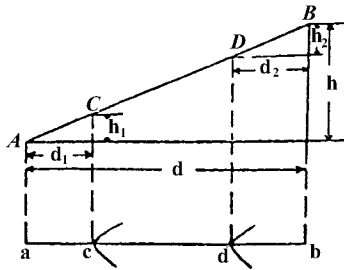


图 3-3-19

则在 a、b 两点间必然有高程为 53.54、55、56、57m 的五条等高线，现在要确定它们通过 ab 线的位置。由于地貌特征点选在地面坡度变换处，因而可认为 a、b 两点间的地面坡度相同。内插时，先计算出等高距为 1m 时的相应图上的平距为：

$$d = \frac{ab}{57.4 - 52.8} = \frac{ab}{4.6}$$

式中 ab 为地面 AB 两点在图纸上平距，可用比例尺量得。

现在，53m 等高线比 a 点高 0.2m，57m 等高线比 b 点低 0.4m，则 53m 等高线与 a 点的平距 am 和 57m 等高线与 b 点的平距 qb 各为：

$$am = 0.2 \times \frac{ab}{4.6} = 0.044ab$$

$$qb = 0.4 \times \frac{ab}{4.6} = 0.087ab$$

其他如 53、54、55、56、57 整米等高线间的平距（图 3-3-18）为：

$$mn = no = op = pq = d = 0.22ab$$

同法求其他相邻两地貌特征点间等高线应通过的位置。

计算内插等高线的位置，虽然比较准确，但操作繁琐。在实际工作中，往往采用目估法勾绘等高线。如图 3-3-18，先按比例关系估计出 1m 等高距的平距，然后估计出 53m 与 57m 等高线在图纸上的位置，见图中 m、q，然后四等分求得 n、o、p 的位置，即 54、55、56m 等高线的位置。同理依次在相邻的高程点间确定出整米的高程点。最后根据实际地貌情况，把同高的相邻点用圆滑曲线连结起来，勾绘成等高线图。在插绘等高线时应注意保留地貌特征点的高程。

第六节 地形图的拼接、检查与整饰

一、地形图的拼接

当测区面积较大，整个测区分为若干图幅施测时，各图幅测绘完后，与之相邻的图

幅要进行拼接。测图大都选用聚脂薄膜，而聚脂薄膜是透明的，所以接图十分方便，只要将相邻图幅的坐标格网线重叠即可。如图 3-3-20 所示，左边是图幅 A，右边是图幅 B，两幅图坐标格网线重叠后，接边处的道路、河流、房屋以及等高线等都可能不完全吻合，这是由于测图工作存在误差的缘故。测量规范规定，接边误差不得超过表 3-3-2 中规定的地物点位中误差的 $2\sqrt{2}$ 倍，如在容许范围则取平均值对相邻接边进行改正，使接边处完全吻合；若超限应分析原因并到实地测量更正。

表 3-3-2 地形点点位中误差

地区类别	地物点位中误差/mm 图上	相邻地物点间距中误差/mm 图上	等高线高程中误差（等高距）			
			平地	丘陵	山地	高山地
山地、高山地	0.75	0.6	1/3			1
城镇建筑区、平地、丘陵地	0.5	0.4			1	1

二、地形图的检查

为了保证地形图的成果的质量，地形图测绘完毕后，必须对所完成的成图资料进行全面严格的检查。通常是先进行自查，再组织专人检查。

（一）自查

自查是保证成图质量的重要环节。测绘人员在野外测量过程中，应随时检查自己所测地物、地貌是否正确合理。此外当一幅图测完后，应用一定的时间进行全面的图面审核，如发现有错漏和表示不合理的现象，要及时更正，必要时应野外补测更正，确认为正确无误后再提供专职检查。

（二）专职检查

专职检查包括室内检查、野外巡视检查和野外设站检查等工作。

室内检查首先全面检查地形控制测量资料，包括观测和计算手簿中的记载是否齐全、清楚和正确，各限差是否符合规范和设计要求，核对展点所抄录的图根点坐标和高程是否与原始成果表中一致；其次检查坐标格网绘制与坐标展点是否符合精度要求，查看图上控制点数和埋石点数是否满足测图的技术要求；最后查看地物、地貌是否清晰易读，各种注记符号是否正确，地物的综合取舍是否合理，地形点的数量及分布能否满足等高线勾绘的需要，等高线与地形点的高程是否有矛盾和可疑之处，图边是否接合等。对发现的错误和疑点加以记载，并以此为依据决定野外巡视检查的路线。

野外巡视检查是根据室内检查的疑点按预定的路线进行。检查时将原图与实地对

照，查看地物、地貌各要素测绘是否齐全，取舍是否恰当，符号运用和名称注记是否正确等。

设站检查是在室内检查和巡视检查的基础上进行的，对检验中发现的错误和遗漏进行实测更正，对发现的疑点也要进行仪器检查。设站检查一般采用散点法，即在测站上安置仪器，选择一些地物点和地貌点立尺，测定其平面位置和高程，若各误差不超过表 3-3-2 规定的中误差的 $2\sqrt{2}$ 倍，视为符合要求，否则要予以更正。仪器检查量一般不少于 10%。

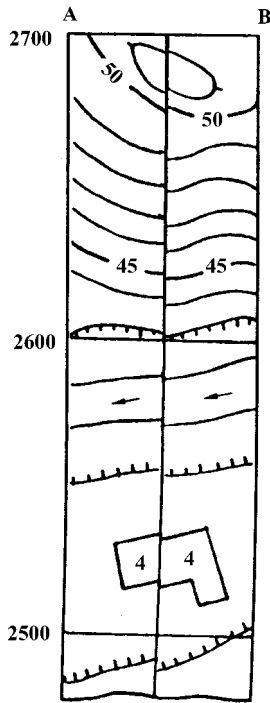


图 3-3-20 地形图拼接

三、地形图整饰

地形图整饰就是将野外测绘的铅笔原图，按原来线划符号位置以图式规定的符号要求用铅笔加以修整，使图面更加合理、清晰、美观。为此，首先要将原图上不必要的线划、符号和数字擦掉，然后按先图内后图外、先地物后地貌、先注记后符号的顺序进行修饰。图上的文字注记除等高线高程注记字头朝向高处及道路、河流名注记应按朝向变化方向外，其他所有注记一律字头朝北。图内整饰完后要按图式的要求书写图名、图号，绘制接图表和比例尺，注记坐标系、高程系、测绘单位和测绘者、测绘年月和成图方法等。

第七节 电子全站仪与数字化测图

一、电子全站仪概述

电子全站仪（速测仪）是集自动测角、测距、测高于一体，实现对测量数据进行自动获取、显示、存储、传输、误别、处理计算的三维测量系统。电子全站仪现已广泛应用于控制测量、工程放样、安装测量、形变监测、地形测绘和地籍测量等领域，成为实现测量工程内外业一体化、自动化、智能化的关键硬件系统。

电子全站仪由电子经纬仪、电磁波测距仪、微处理器、电源装置和反射棱镜等组成。按仪器结构，分为整体式和组合式两种。整体式全站仪是由电子经纬仪和电磁波测距仪安装在一起，共用一个望远镜的全站型仪器；组合式全站仪是在电子经纬仪的结合器上安装电磁波测距仪，再通过标准接口与电子手簿连接的全站型仪器。

二、TC2000 电子全站仪简介

TC2000 电子全站仪是瑞士 WILD 厂生产的，由于企业对产品的更新，其电子经纬仪和电磁波测距仪的型号及性能有所不同，见表 3-3-3。

表 3-3-3 TC2000 电子全站仪的型号与性能

内装仪器		型号与性能	
电子经纬仪		T2000, T2000S, T2002	
电磁波测距仪		DI4, DI4L, DI5, DI5S, DI1000	
测距仪 性能	最大测程	4km	5km
	精 度	3mm ± 2ppm	2mm ± 2ppm

图 3-3-21 是 TC2000 的外形。TC2000 电子全站仪的测距性能相当于 DI4L、DI5 等电磁波测距仪的水平，测角的性能有如下特点：

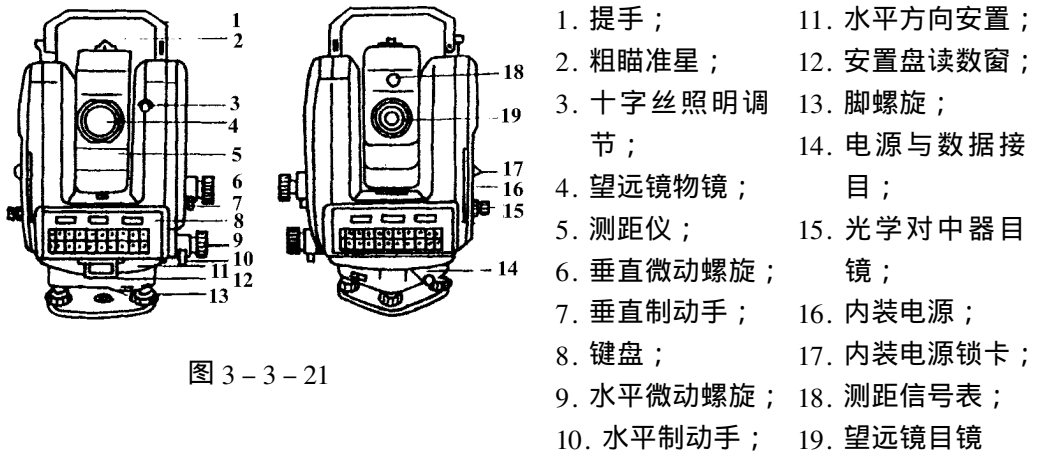


图 3-3-21

(1) 测角时对径获得的观测值是从大量分布在整个圆周上的各个观测成果中得到。这种方法以测角时度盘高速旋转为特征，消除了度盘的分划误差和偏心差的影响。观测值最小读数为 $0.1''$ ，一测回观测中误差为 $\pm 0.5''$ ，水平方向、天顶距同时测量的时间为 $0.9s_0$ 。

(2) 具有硅油液体水平自动补偿器，机内电子系统可检测、校正“三轴误差”，并能对观测值进行改正；

(3) 备有数据存储、传输的接口，便于与外部设备连接，进行更有效地数据处理和自动化测图。

TC2000 的键盘上方为显示窗，一区显示键入或输出的项目，二区和三区显示由一区指定的键入或输出数据。键盘下方有 18 个键，分为单功能、双功能和多功能三种类型，分别执行相应的指令。单功能键有五个，包括开机 (ON)、关机 (OFF)、记录数据、参数到存储器中 (REC)、测角、测距并记录数据、参数 (ALL)、键入数据或执行某种功能的回车键 (RUN)；双功能键有一个，执行暂停或清除功能的 (STOP/CE)；多功能键有 12 个，每个键分为白色、绿色和橙色三个色区。白色，表示测量准备与启动功能，如按 (HZ) 键启动仪器进行水平方向测量，按 (REP) 和 (HZ) 组合键，启动仪器进行水平方向重复测量；绿色，表示显示项目选择功能，这组功能键以 (DSP) 键和其他绿色键组合，实现规定的六种相应功能；橙色，表示命令安置功能。TC2000 命令安置功能包括三种，均以 (SET) 键打头与其他橙色键及回车键组合，实现规定的单参数命令、双参数命令和初始值设置功能。具体操作可查阅 TC2000 操作手册。

三、应用电子全站仪进行数字化测量

(一) 实时交会测量

使用电子全站仪按极坐标法测定目标点的三维坐标，需要在目标点上安放反射棱

镜，但是，有时环境条件不允许在观测目标上安置反射棱镜，这种情况下可利用电子全站仪进行实时交会测定。

把两台全站仪与电子计算机连接，把观测的水平方向值和竖直角值直接输入计算机。为测得两测站间的距离，先在待测点附近放置一把长度已知的尺子（如因瓦水准尺），交会这把尺子的两个端点，即可反求出两测站间的距离。在目标点上可以利用细小的特征点（如螺帽中心）作为照准目标，也可粘贴标志，或用激光器投点在物体上确定照准目标。

若经常使用这套系统，测站可以固定不变时，应建造观测墩；若测站不允许固定，应事先在被测方设置一些固定标志，并精确测量标志的三维坐标。使用时按自由设站法测量测站点坐标，再对目标物进行交会测量。由于观测系统直接与计算机连接，目标点坐标可随时读取。这种方法可应用于大型部件组装、精密工程测量、高能加速器、大坝等重要工程进行自动化观测。

（二）自由设站定位

如图 3-3-22 所示，在有两个以上已知点 A, B, \dots, I, \dots, N 的范围内，任选一点 P 架设全站仪，先以 P 为假定坐标原点，仪器视线高为零，即 $X'_p = 0, Y'_p = 0, H'_p = 0$ ，水平度盘零读数方向为 X' 轴方向；在假定坐标系下，测出 P 至各已知点的斜距、水平方向及高度角，然后利用实测值计算各已知点的假定坐标 (X'_i, Y'_i, H'_i) ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)；再把这些已知点的假定坐标与已知的坐标进行最小二乘拟合，求得假定坐标系与已知坐标系的换算参数：假定坐标系原点 P 在已知坐标系中的坐标 X_p, Y_p ；假定坐标系 X' 轴在已知坐标系中的方位角 α_0 以及仪器的视线高 H_p 。根据两坐标系的换算参数，采用极坐标法观测目标点 M ，就可以计算出 M 点在已知坐标系中的三维坐标。

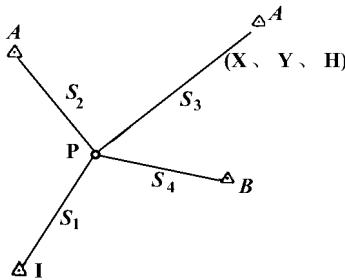


图 3-3-22

第四章 数字化地图测绘技术

第一节 数字化测图方法

一、概述

(一) 数字化测绘的概念

数字化测图 (digital surveying mapping, 简称 DSM) 是近 20 年发展起来的一种全新的测绘地形图方法。从广义上说, 数字化测图应包括: 利用电子全站仪或其他测量仪器进行野外数字化测图; 利用手扶数字化仪或扫描数字化仪对传统方法测绘的原图的数字化; 以及借助解析测图仪或立体坐标量测仪对航空摄影、遥感像片进行数字化测图等技术。利用上述技术将采集到的地形数据传输到计算机, 并由功能齐全的成图软件进行数据处理、成图显示, 再经过编辑、修改, 生成符合国标的地形图。最后将地形数据和地形图分类建立数据库, 并用数控绘图仪或打印机完成地形图和相关数据的输出。

上述以电子计算机为核心, 在外连输入、输出硬件设备和软件的支持下, 对地形空间数据进行采集、传输、处理编辑、入库管理和成图输出的整个系统, 称之为自动化数字测绘系统。其主要系统配置见图 3-4-1。

数字化测绘不仅仅是利用计算机辅助绘图, 减轻测绘人员的劳动强度, 保证地形图绘制质量, 提高绘图效率, 更具有深远意义的是, 由计算机进行数据处理, 并可以直接建立数字地面模型和电子地图, 为建立地理信息系统提供了可靠的原始数据, 以供国家、城市和行业部门的现代化管理, 以及工程设计人员进行计算机辅助设计 (CAD) 使用。提供地图数字图像等信息资料已成为一些政府管理部门和工程设计、建设单位必不可少的工作, 正越来越受到各行各业的普遍重视。

广义数字化测绘系统的数据流程见图 3-4-2。通常, 将利用电子全站仪在野外进行数字化地形数据采集, 并机助绘制大比例尺地形图的工作, 简称为数字测图。本节主要介绍这种数字测图技术。

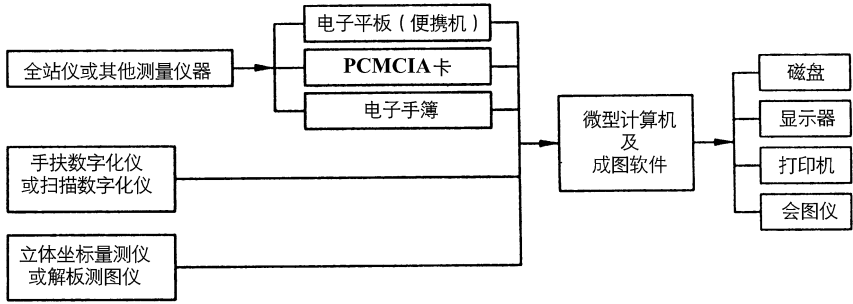


图 3-4-1 自动化数字测绘系统

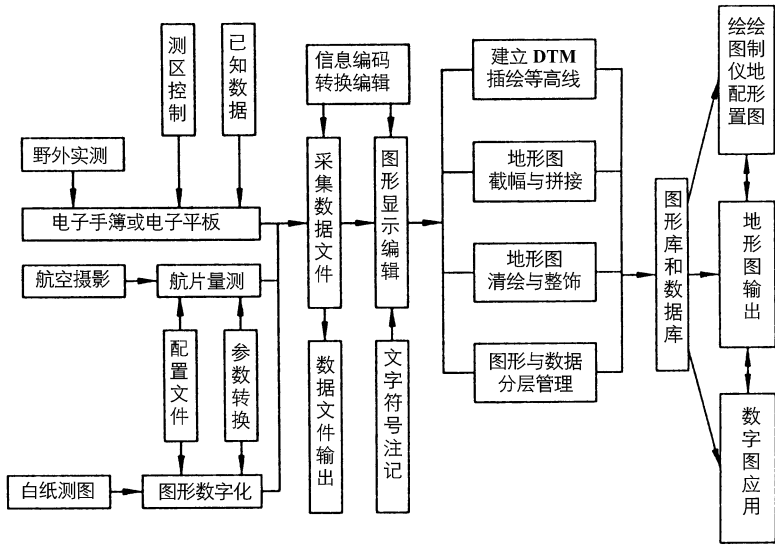


图 3-4-2 广义数字化测绘系统的数据流程

(二) 数字测图的发展过程和主要特点

我国从 1983 年对大比例尺地形图的野外数字化测图方法开始研究，并逐步在全国测绘行业推广使用。其发展过程大致可分为以下两个阶段：

第一阶段主要利用电子全站仪在野外测量，采集到的地形数据通过电子手簿（全站仪配套的电子手簿或用 PC—1500、PC—E500 等袖珍计算机改装的电子手簿）记录并传输给计算机，在室内根据野外详细绘制的标注测点号的草图，在计算机屏幕上进行人机交互编辑修改，最后生成图形文件或数字地图，由绘图仪自动绘制地形图。

第二阶段所使用的测量方法仍然是采用野外数字测记模式、但成图软件有了实质性的进展。主要表现在两个方面：一是开发了智能化外业数据采集软件；二是计算机自动成图软件能直接针对电子手簿记录的地形信息数据进行处理。

有的采用电子平板测绘模式 (electronics plate surveying and mapping system)。即利用电子全站仪在野外采集地形数据,并直接传输给便携式计算机 (notebook),便携式计算机不仅具备电子手簿的全部功能,同时能在野外实时进行数据处理和图形编辑、显示。

数字化测图技术在野外数据采集工作的实质是解析法测定地形点的三维坐标,是一种先进的地形图测绘方法,与图解法传统地形测绘方法相比,其优点非常明显,主要表现在以下几个方面。

1. 自动化程度高

由于采用全站式电子速测仪在野外采集数据,自动记录存储,并可直接传输给计算机进行数据处理、绘图,不但提高了工作效率,而且减少了测量错误的发生,使得绘制的地形图精确、美观、规范。同时由计算机处理地形信息,建立数据和图形数据库,并能生成数字地图和电子地图,有利于后续的成果应用和信息管理工作。

2. 精度高

数字化测图的精度主要取决于对地物和地貌点的野外数据采集的精度,而其他因素的影响,如微机数据处理、自动绘图等,其误差对地形图成果的影响都很小,而全站仪的解析法数据采集精度则远远高于图解法平板绘图的精度。

3. 使用方便

数字化测图采用解析法测定点位坐标依据的是测量控制点。测量成果的精度均匀一致,并且与绘图比例尺无关,利用分层管理的野外实测数据,可以方便地绘制不同比例尺的地形图或不同用途的专题地图,实现了一测多用,同时便于地形图的检查、修测和更新。

数字化地形测绘也有些缺点和需要不断完善的地方:一是一次性投资较大,成本高;其次是野外采集时各类信息编码复杂;第三是在城镇地物十分密集而又复杂的地区,数字测图往往遇到很多障碍而难以实施。但是,数字化测图作为一种先进的地形测量方法,其自动化程度和测量精度均是其他方法难以达到的。从长远的观点看,数字化测量应成为我国大比例尺地形图测绘工作的发展方向,特别是在全国城市的地形测量和数字地图应用方面,应进一步加大提倡和推广应用的力度。

二、野外数字化数据采集方法

(一) 数据采集的作业模式

数字化测图的野外数据采集作业模式主要有野外测量记录,室内计算机成图的数字测记模式;和野外数字采集,便携式计算机实时成图的电子平板测绘模式。

图 3-4-3 为利用电子全站仪在野外进行数字地形测量数据采集的示意图,也可采用普通测量仪器施测,手工键入实测数据。从图中可看出,其数据采集的原理与普通测量方法类似,所不同的是全站仪不但可测出碎部点至已知点间的距离和角度,而且还可直接测算出碎部点的坐标,并自动记录。

由于地形图不是在现场测绘，而是依据电子手簿中存储的数据，由计算机软件自动处理（自动识别、检索、连接、自动调用图式符号等），并控制数控绘图仪自动完成地形图的绘制。这就存在着野外采集的数据与实地或图形之间的对应关系问题。为使绘图人员或计算机能够识别所采集的数据，便于对其进行处理和加工，必须对仪器实测的每一个碎部点给予一个确定的地形信息编码。

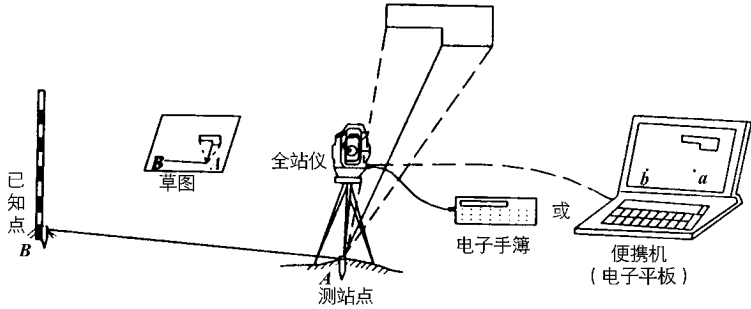


图 3-4-3 用全站仪野外测图

（二）地形信息的编码

1. 地形信息编码的原则

由于数字化测图采集的数据信息量大，内容多，涉及面广，数据和图形应一一对应，构成一个有机的整体，它才具有广泛的使用价值。因此，必须对其进行科学的编码。编码的方法是多种多样的，但不管采用何种编码方式，应遵循的一般原则基本相同：

（1）一致性。即非二义性，要求野外采集的数据或测算的碎部点坐标数据，在绘图时能惟一地确定一个点，并在绘图时符合图式规范。

（2）灵活性。要求编码结构充分灵活，适应多用途数字测绘的需要，在地理信息管理和规划、建筑设计等后续工作中，为地形数据信息编码的进一步扩展提供方便。

（3）简易实用性。尊重传统方法，容易为野外作业和图形编辑人员理解、接受和记忆，并能正确、方便地使用。

（4）高效性。能以尽量少的数据量容载尽可能多的外业地形信息。

（5）可识别性。编码一般由字符、数字或字符与数字组合而成，设计的编码不仅要求能够被人识别，还要求能被计算机用较少的机时加以识别，并能有效地对其管理。

2. 编码方法的举例

在遵循编码原则的前提下，应根据数据采集使用的仪器、作业模式及数据的用途统一设计地形信息编码。目前，国内数字化测图系统的软件品种较多，所采用的地形信息编码的方法也很多，实际工作中可参阅有关测图软件说明书。在此介绍一种目前国内应用较广的编码方法，该方案总的编码形式由三部分组成，无论编码方法怎样不同，但总的形式不变，码长为 8 位，见表 3-4-1。

表 3-4-1

1	2	3	4	5	6	7	8
地形要素码 (3 位)			信息 I (4 位连接码)				信息 II (1 位线型码)

(1) 地形要素码。地形要素码用于标识碎部点的属性。该码基本上根据《地形图图式》中各符号的名称和顺序来设计,用三位表示,位于 8 位编码的前部,其表示形式可分为两种:三位数字型和三位字符型。

三位数字型编码是计算机能够识别并能有效迅速处理的地形编码形式,又称内码。其基本编码思路是将整个地形信息要素进行分类、分元设计。首先将所有地形要素分为 10 大类,每个信息类中又按地形元素分为若干个信息元,百位码为信息类代码(0~9),十位和个位码为信息元代码,则 3 位数字型地形要素码由(1 位类码)+(2 位元码)组成。如:

- 0 类 地貌特征点
- 1 类 测量控制点
- 2 类 居民地、工矿企业建筑物和公共设施
- 3 类 独立地物
- 4 类 道路及附属设施
- 5 类 管线和垣栅
- 6 类 水系和附属设施
- 7 类 境界
- 8 类 地貌及土质
- 9 类 植被

每一类中的信息元编码基本上取图式符号中的顺序号码。如第 1 类测量控制点,包含有三角点(101)、小三角点(102)、导线点(105)、埋石图根点(106)、水准点(108)等等;第 3 类独立地物,如纪念碑(301)、塑像(303)、水塔(321)、路灯(327)等;又如第 0 类地貌特征点中,包含有一般地形点(001)、山脊点(002)、山谷点(003)、山顶点(004)以及鞍部点(005)等。

三位字符型编码是根据图式中各符号名称的汉语拼音(缩写成 3 倍,不足 3 位时在后用“.”补齐)或 1 位信息类编码加信息元汉语拼音的前两位缩写字母的数字符号混合方式来编码。例如:山脊点(SJD)、导线点(DXD)、水准点(SZD);台阶(TJ.)、水塔(ST.)、塔(T.);埋石图根点(MTG)、一般房屋(YBF)、特种房屋(TZF)、活树篱笆(SLB);鞍部点(OAB)、水准点(1SZ)、简单房屋(2JF)、公路(4GL)、门(2M.)等等。这种编码形式比较直观,易记忆,便于野外操作,又称为外码。

在实际工作中,三位地形要素码的输入形式可根据操作员的爱好和习惯,灵活使用或交叉使用,并能通过数字化采集软件的处理,使野外作业简化成只操作 1~2 位字符键,或在便携机屏幕上直接点取相应菜单即可。计算机在数据处理、生成数据库和图形

显示时，能够将字符型代码自动转化为相应的数字型地形要素码，以便二者最终得到统一。

(2) 信息 I 编码。由 4 位数字组成信息 I 编码，其功能是控制地形要素的绘图动作，描述某测点与另一测点之间的相对关系，又称为连接码。编码的具体设计有两种不同的方式：第一是设计成注记连接点号或断点号，以提供某两点之间相连或断开的信息。这种编码形式可以简化现场绘制草图的工作。第二种是在该信息码中注记分区号（或各类单一实地，如房屋、道路的顺序号）以及相应的测点号。分区号和测点号各占两位，共计四位。采用该编码形式要求在现场详细绘制地形草图，各分区和测点编号应与信息 I 编码中相应的编号完全一致，不能遗漏，以保证在现场绘制的草图真正成为计算机处理、屏幕编辑和绘图仪绘图的重要依据。

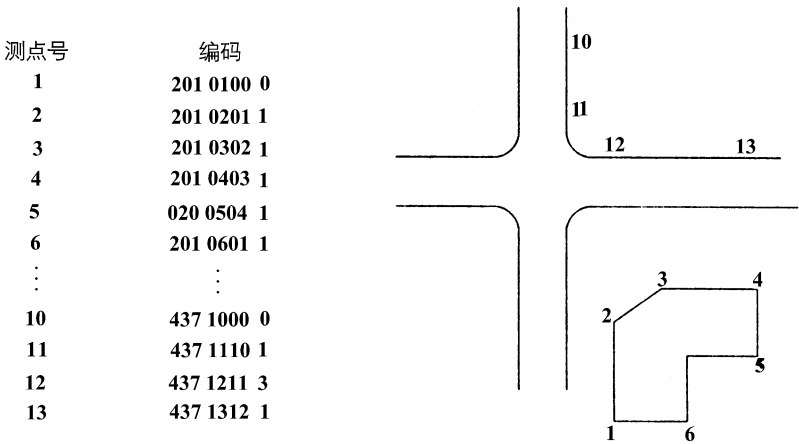


图 3-4-4 地形测图信息的编码

(3) 信息 II 编码。信息 II 编码仅用 1 位数字表示，它是对绘图指令的进一步描述。常用不同的数字区分连线的形式，例如 0 表示非连线，1 表示直线连接，2 表示曲线连接，3 表示圆弧等，故信息 II 编码又称为线型码。

在实际工作时，可以输入点号及连接码、线型码等，若使用便携机亦可用屏幕光标指示被连接的点及线型菜单。连接信息码和线型码可由软件自动搜索生成，毋须人工输入。

现举一例，说明该编码方案的具体应用。如图 3-4-4 所示，假设某建筑物要素码为 201，道路为 437，信息 I 编码 4 位数字中的前两位表示测点号，后两位表示连接点号，其中 00 表示断点，最后一位是信息 II 编码，含义同前所述。

(三) 碎部测量的步骤

1. 测图准备工作

野外数字化测图前，必须按规范检验所使用的测量仪器，如电子全站仪的轴系关系

是否满足要求；水平角、竖直角和距离测量的精度是否小于限差；光学对中器及各种螺旋是否正常；反射棱镜常数的测定和设置等。还需要安装、调试好所使用的电子手簿（或便携机）及数字化测图软件，并通过数据接口传输或按菜单提示键盘输入图根控制点的点号、平面坐标（ x 、 y ）和高程（ H ）。

2. 测站设置与检核

将电子全站仪安置在测站点上，经对中、整平后量取仪器高；连接电子手簿或便携式计算机，启动野外数据采集软件，按菜单提示键盘输入测站信息。如测站点号、后视点号、检核点点号及测站仪器高等。根据所输入的点号即可提取相应控制点的坐标，并反算出后视方向的坐标方位角，以此角值设定全站仪的水平度盘起始读数。然后用全站仪瞄准检核点反光镜，测量水平角、竖直角及距离，输入反光镜高度，即可自动算出检核点的三维坐标，并与该点已知信息进行比较，若检核不通过则不能继续进行碎部测量。

3. 碎部点的信息采集

数字化测图野外数据采集的方式可根据实测条件和测区具体情况来选择，主要有下列四种：极坐标法、勘丈支距法、距离交会法和方向交会法。

（1）极坐标法。极坐标法即传统测图方法中的经纬仪单点测绘法，特别适用于大范围开阔地区的碎部点测定工作。在实际野外作业时，完成好测站设置和检核后，即可用全站仪瞄准选定的碎部点反光镜，使全站仪处于测量状态；同时按照电子手簿或便携机的菜单提示输入碎部点信息，如镜站高度 v （多数可设置成默认值）和前述碎部点地形信息编码等，并控制全站仪自动测量其水平角（实测角值即为测站点至待测碎部点间的坐标方位角）、竖直角和距离。经过测图软件的自动处理，即可迅速算出待测点的三维坐标，以数据文件的形式存储或在便携机屏幕上显示点位。其原理如图 3-4-5 所示，测站点 A ，后视点 B ，待测碎部点为 P ，实测坐标方位角 α_{AP} 、竖直角 α 、水平距离 D ，仪器高 i ，目标高 v ，则算得 P 点的三维坐标为 (x_p, y_p, h_p) 。

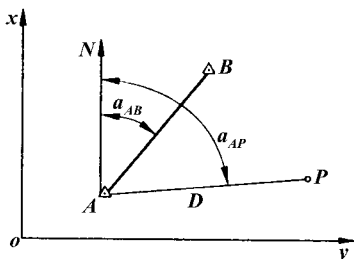


图 3-4-5 极坐标测量

$$\left. \begin{aligned} x_p &= x_A + D \cos \alpha_{AP} \\ y_p &= y_A + D \sin \alpha_{AP} \\ H_p &= H_A + D \operatorname{tg} \alpha + i - v \end{aligned} \right\} \quad (3-4-1)$$

(2) 勘丈支距法。勘丈支距法主要用于隐蔽狭小的街坊等城市建筑区的碎部测量工作。数字测图软件的设计,考虑到待测点的多样性,可采用在已知或已测直线的基础上用勘丈距离值垂直支距(即直角坐标法);或给出角度、水平距离进行支距定点;亦可在已测直线上实现内外分点,再用勘丈数据支距定点。

勘丈支距法的点位测算原理见图(3-4-6),假设测点 A 、 B 的坐标已知,距离为 D_{AB} ,野外勘丈 A 点至待定点 P 的水平距离为 D_{AP} ,若 P 点在 AB 直线的反向延长线上,即图中 P' 点,应取 D_{AP} 为负值。

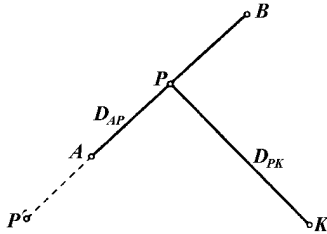


图 3-4-6 勘丈支距法定点原理

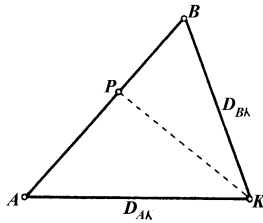


图 3-4-7 距离交会法定点原理

P 点的坐标为

$$\left. \begin{aligned} x_p &= x_A + \frac{D_{AP}(x_B - x_A)}{D_{AB}} \\ y_p &= y_A + \frac{D_{AP}(y_B - y_A)}{D_{AB}} \end{aligned} \right\} \quad (3-4-2)$$

若在 P 点基础上,勘丈了至 K 点的平距 D_{PK} ,且 PK 直线与 AB 直线垂直, K 点在 AB 直线的右侧,见图 3-4-6,即可用直角坐标法求出 K 点坐标:

$$\left. \begin{aligned} x_K &= x_P + \frac{D_{PK}(y_B - y_A)}{D_{AB}} \\ y_K &= y_P + \frac{D_{PK}(x_B - x_A)}{D_{AB}} \end{aligned} \right\} \quad (3-4-3)$$

如果 K 点在 AB 直线的左侧,则取 D_{PK} 为负值。

(3) 距离交会法。距离交会法也是数字化地形测量中测定碎部点位置的常用方法之一。如图 3-4-7 所示, A 、 B 为已知点,两点距离为 D_{AB} ; K 为待测点,勘丈距离为 D_{AK} 和 D_{BK} ,可交出 K 点。计算时,过 K 点作 AB 直线的垂线,垂足为 P 点,即可算得:

$$D_{AP} = \frac{D_{AK}^2 + D_{AB}^2 - D_{BK}^2}{2D_{AB}} \quad (3-4-4)$$

$$D_{PK} = \sqrt{D_{AK}^2 - D_{AP}^2} \quad (3-4-5)$$

求出 D_{AP} 和 D_{PK} ，若 K 点在 AB 直线左侧，应取 D_{PK} 为负值。然后代入 (3-4-2) 式和 (3-4-3) 式，由直角坐标法求出待测点 K 的坐标，即

$$\left. \begin{aligned} x_K &= x_A + \frac{D_{AK}(x_B - x_A)}{D_{AB}} - \frac{D_{PK}(y_B - y_A)}{D_{AB}} \\ y_K &= y_A + \frac{D_{AK}(y_B - y_A)}{D_{AB}} - \frac{D_{PK}(x_B - x_A)}{D_{AB}} \end{aligned} \right\} \quad (3-4-6)$$

(4) 方向交会法。方向交会法的原理与前方交会法类似，如图 3-4-8 所示。若已知点至待定点 P 的距离无法直接测定时，可利用 A, B, C, D 四个已知坐标点（或仅有 A, B 两点亦可），在 A, B 两点上安置仪器，分别以 C, D 为起始方向（或 A, B 互为起始方向），瞄准 P 点，测出 β_A 和 β_B 两个水平角，则两条方向线即可交出 P 点位置。 P 点坐标计算公式如下：

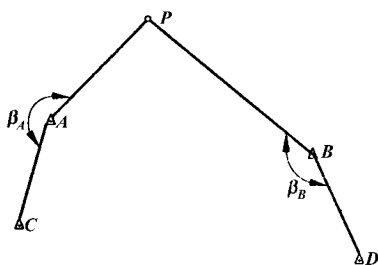


图 3-4-8 方向交会法定点原理

$$\left. \begin{aligned} x_P &= \frac{y_B - y_A + x_A \operatorname{tg} \alpha_{AP} - x_B \operatorname{tg} \alpha_{BP}}{\operatorname{tg} \alpha_{AP} - \operatorname{tg} \alpha_{BP}} \\ y_P &= y_A + (x_P - x_A) \operatorname{tg} \alpha_{AP} \end{aligned} \right\} \quad (3-4-7)$$

式中两条交会方向线的坐标方位角为

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AC} + \beta_A$$

$$\alpha_{BP} = \alpha_{BD} + \beta_B$$

当 $\alpha_{AP} = 90^\circ$ 时，则用式 (3-4-8) 计算：

$$\left. \begin{aligned} x_P &= x_A \\ y_P &= y_B + (x_A - x_B) \operatorname{tg} \alpha_{BP} \end{aligned} \right\} \quad (3-4-8)$$

当 $\alpha_{BP} = 270^\circ$ 时，用式 (3-4-9) 计算：

$$\left. \begin{aligned} x_P &= x_B \\ y_P &= y_A + (x_B - x_A) \operatorname{tg} \alpha_{AP} \end{aligned} \right\} \quad (3-4-9)$$

野外实际测量时，勒丈支距法、距离交会法和方向交会法所定的点位，一般均无法

求算其高程。但其点位信息可在测图软件的汉字菜单或屏幕光标控制下方便地输入，所确定的碎部点同样可由软件自动进行数据处理，计算出平面坐标，存入数据文件或显示在屏幕上。

三、数字地面模型的建立

数字地面模型 (DTM, digital terrain model) 作为对地形特征点空间分布及关联信息的一种数字表达方式, 最初由美国麻省理工学院的 C.L.Miller 和 R.A.Lafamme 于 1958 年提出, 现已广泛应用于测绘、地质、水利、工程规划设计、水文气象等众多学科领域。在测绘领域, 由于 DTM 能依据野外测定的离散地形点三维坐标 (x, y, H) , 组成地面模型, 以数字的形式表述地面高低起伏的形态, 并能利用 DTM 提取等高线, 形成等高线数据文件和跟踪绘制等高线, 这就使得地形图测绘真正实现数字化成为可能。

建立数字地面模型的方法是将实地采集的地物和地貌特征点的三维坐标, 经过检索处理后, 由计算机识别碎部点的地形信息编码, 将相应地物特征点自动连成地物轮廓线, 将地貌特征点连成地性线, 并组成规则方格网或非规则三角网等建模型式的地面高程模型, 以便根据任一点的平面坐标来内插求得该点的高程, 从而绘制等高线, 绘制断面图, 或直接提供给道路、管线等工程的设计和城镇建筑规划设计使用。

(一) DTM 的建模方式

根据碎部点三维地形数据采集方式的不同, 可分别采用不同的数字地面模型的建模方法。常用的有密集正方形格网法和不规则三角形格网法两种。

1. 密集正方形格网法

密集正方形格网法是将一系列高程采样点按一定格网形式有规则地排列。它的优点是数据结构简单, 格网顶点的平面坐标 (x, y) 可由方格起始原点及设计的格网边长推算求得, 而毋须记录。地表高低起伏的形态, 只须用规则排列的格网结点序号 (i, j) 按二维数组 (矩阵) 的形式存储其相应结点高程 $H_{i,j}$ 即可, 因而存储量少, 便于数据的检索、处理和应用, 见式 3-4-10:

$$\begin{bmatrix} H_{0,0} & H_{0,1} & \cdots & H_{0,n-1} & H_{0,n} \\ H_{1,0} & H_{1,1} & \cdots & H_{1,n-1} & H_{1,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ H_{m,0} & H_{m,1} & \cdots & H_{m,n-1} & H_{m,n} \end{bmatrix} \quad (3-4-10)$$

该方法主要适用于大范围的水准测量, 或碎部观测点呈规则分布、且点间距或网格边长较短的情况, 此时能较逼真地反映地形的起伏状态。若碎部点的原始数据呈不规则分布时, 则用曲面拟合法或高程插值法求出各方格顶点的第三维坐标, 即方格顶点的高程数据。然后, 按格网结点的三维坐标插绘等高线。由于结点高程基本上均是插值数据, 而非实测碎部点, 故等高线在某些地段会与原始数据点发生矛盾, 其数字地面模型

显然会歪曲某些地段的地形结构特征。在大比例尺地形图野外数字化测绘系统中、由于碎部点的离散性和不规则性,为了保证数字地面模型的精度,一般不采用这种建模方法。在航测数字化成图系统中,由于是在室内航测仪器生成的地面立体模型上采集碎部点地形信息,所以均采用规则格网法直接采集格网结点的三维标准,并建立数字地面模型,图 3-4-9 为其立体透视图。

2. 不规则三角形格网法

不规则三角形格网 TIN (triangle irregular network) 是直接利用测区内野外实测的所有离散地形特征点,构造出邻接三角形组成的格网形结构。这种建模方式的关键是不规则三角形的组成。构造 TIN 的原理和方法有很多,但其基本思路大致相同:首先对野外根据实际地形随机采集的、呈不规则分布的碎部点进行检索,判断出最临近的三个离散碎部点,并将其连接成最贴近地球表面的初始三角形;以这个三角形的每一条边为基础,连接临近地形点组成新的三角形;再以新三角形的每条边作为连接其他碎部点的基础,不断组成新的三角形;如此继续,那么所有地形碎部点构造的邻接三角形就组成了 TIN。

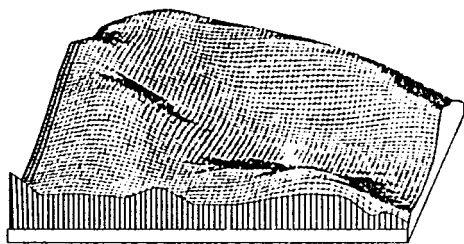


图 3-4-9 用规则网法建立 DTM 透视图



图 3-4-10 用三角形格网法建立 DTM 透视图

以此建立的数字地面模型,其优点是:三角形格网的顶点全为实测碎部点,地形特征数据得到了充分利用;完全依据碎部高程点的原始数据插绘等高线,几何精度高,且算法简单:等高线和碎部点的位置关系与原始数据完全相符,减少了模型中错误的发生。

图 3-4-10 为三角形格网法的透视图,依据 TIN 生成 DTM 的具体算法,可参阅有关专业书籍,这里不再详述。

为了保证数字地面模型的精度，避免地形错误的发生，在构造 TIN 插绘等高线时，应注意以下两点：

(1) 充分考虑地性线的骨架作用。通常根据地形信息编码对所测地形点进行检索，自动提取出脊线、山谷线，将这些地性线作为控制线，通过软件处理和人机交互编辑，让其成为三角形的一条边，并向两侧扩展三角形格网，这样可保证三角形格网数字地面模型与实际地形相符，如图 3-4-11Z 所示，图 3-4-12 是具错误构网。

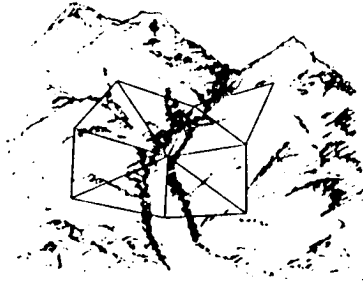


图 3-4-11 正确构网

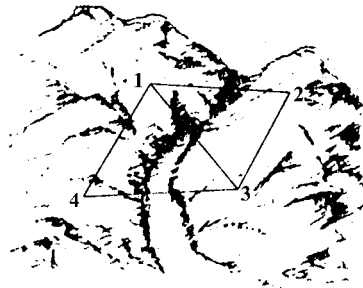


图 3-4-12 错误构网

(2) 注意对地形断裂线和地物的处理。对于地面坡度变化陡峭的地形，如悬崖、陡坎、河岸、路基等，其坡度变化不连续的地形边线称为地形断裂线。由于等高线通过这些地形断裂线或者房屋、道路等较大地物时，必须断开，因此，在构造 TIN 时，必须包含断裂线和地物轮廓线的特征信息，才能使 DTM 最大限度地正确反映出实际地形。

对于房屋、道路、江河等大型地物，可以在地形数据预处理时，自动提取其边界线，形成闭合区域，以地物边界为三角形的边线，再向两侧或四周扩展三角形格网。对于地形断裂线同样是根据其信息编码，自动提取并扩展成一条很窄的闭合区域，再以由折线连成的边界为三角形的边，向其两侧扩展三角形格网。如图 3-4-13(a) 所示，1~点为陡坎上沿的实测点位，1'~7'点为测图系统软件自动生成的坎下点，其高程由野外实测的坎高计算求得。陡坎上、下沿各点依次相连合并成一条闭合折线，并分别向两侧扩连三角形。陡坎上、下沿之间则由计算机自动提取陡坎的图式符号绘制出图形，如

图 3-4-13 (b)。计算机在跟踪插绘等高线时, 遇到上述地物和地形断裂线的闭合区域边界线, 测图系统软件能够使计算机自动识别并断开绘制。

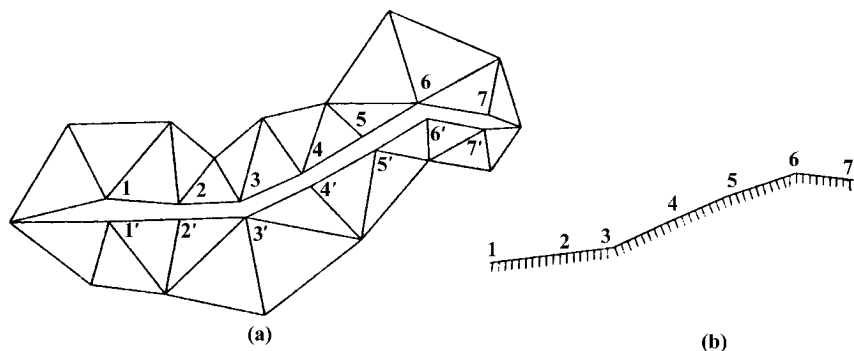


图 3-4-13 地形断裂线的处理

(二) 追踪插绘等高线

DTM 最直观的应用是能自动追踪插绘等高线。现以不规则三角形格网的建模方式为例, 介绍等高线追踪插绘的原理。

首先检索绘图范围内离散点的最高值与最低值, 通过输入的等高距, 计算出最高一条等高线的高程值 H_m 。从形成的三角形格网数据文件中顺序查找当前要追踪的高点, 对任一三角形: 当三个顶点高程的最大值 $\geq H_m$, 且高程最小值 $\leq H_m$ 时, H_m 高程的等高线必须通过此三角形。确定有等高线通过的距离, 并分别计算插值点的平面坐标, 其公式为

$$\left. \begin{aligned} x_i &= x_1 + \frac{x_1 - x_2}{H_1 - H_2} (H_m - H_1) \\ y_i &= y_1 + \frac{y_1 - y_2}{H_1 - H_2} (H_m - H_1) \end{aligned} \right\} \quad (3-4-11)$$

式中: x_i, y_i —— H_m 高程等高线与某三角边交点的平面坐标, 即所求等高点的平面坐标;

(x_1, y_1, H_1) 和 (x_2, y_2, H_2) ——该三角边两端点的三维坐标。

从此三角形中具有 H_m 等值点的那条三角边进入相邻三角形, 再看新三角形的另两条边上是否有 H_m 等高点, 若有, 则算出该点的平面坐标, 再由该点所在边进入其相邻的三角形, 继续追踪。当等高线为闭曲线时, 追踪将返回到起始三角形, 对该条等高线的内插追踪结束; 当等高线为开曲线时, 则追踪到测区的边缘, 然后自动调头从等高线另一端开始, 继续追踪该条等高线的另半段。

如此循环重复追踪, 直至全图的等高线被自动绘制结束, 同时将等高点依次排列, 生成等高线数据文件。如前所述, 当等高线追踪绘制遇到地形断裂线或地物闭合区域的边界线时, 将自动断开。

(三) 建立 DTM 绘制等高线的程序流程

根据上述建立数字地面模型，追踪绘制等高线的原理，一般在数字化测图软件中均以模块形式编制程序，操作人员只需选取相应菜单项，计算机将自动执行程序并辅以简单的人工编辑（包括等高线的平滑处理），即可完成上述功能。其程序流程见图 3-4-14。

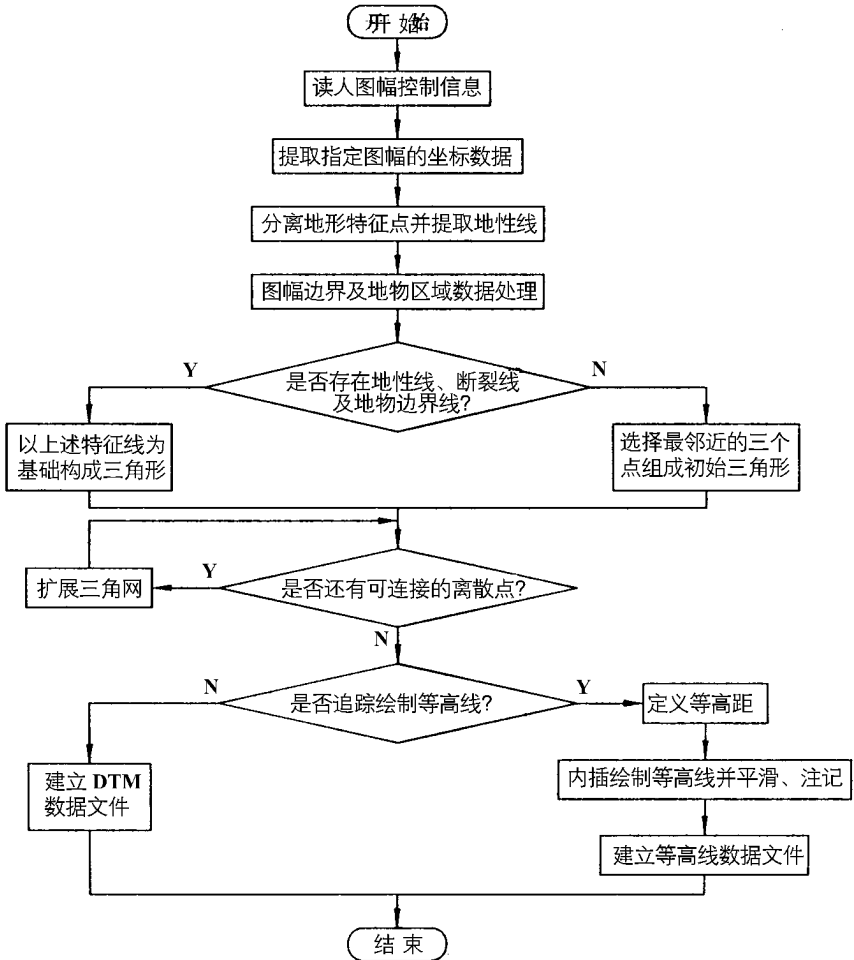


图 3-4-14 自动绘制等高线流程

四、地形图的处理与输出

绘制出清晰、准确、符合标准的地形图是大比例尺数字化地形测量工作的主要目的之一，因此对图形的处理和输出也就成为数字化测图系统中不可缺少的重要组成部分。

野外采集的地物和地貌特征点信息，经过数据处理之后形成了图形数据文件。其数据是以高斯直角坐标的形式存放的，而图形输出无论是在显示器上显示图形，还是在绘图仪上自动绘图，都存在一个坐标转换的问题。另外，还有图形的截幅、绘图比例尺的确定、图式符号注记及图廓整饰等内容，都是计算机绘图不可缺少的内容。

（一）图形截幅

因为在数字化地形测量中野外数据采集时，采用全站仪等设备自动记录或手工键入实测数据、信息等，并未在现场成图，因此，对所采集的数据范围应按照标准图幅的大小或用户确定的图幅尺寸，进行截取。对自动成图来说，这项工作就称为图形截幅。

图形截幅的基本思路是，首先根据四个图廓点的高斯平面直角坐标，确定图幅范围；然后，对数据的坐标项进行判断，将属于图幅矩形框内的数据，以及由其组成的线段或图形等，组成该图幅相应的图形数据文件，而将图幅以外的数据以及由其组成的线段或图形，仍保留在原数据文件中，以供相邻图幅提取。图形截幅的原理和软件设计的方法很多，常用的有四位码判断截幅、二位码判断截幅和一位码判断截幅等方法，详见有关书籍。

（二）图形的显示与编辑

要实现图形屏幕显示，首先要将用高斯平面直角坐标形式存放的图形定位，并将这些数据转换成计算机屏幕坐标。高斯平面直角坐标系 x 轴向北为正， y 轴向东为正；对于一幅地形图来说，向上为 x 轴正方向，向右为 y 轴正方向。而计算机显示器则以屏幕左上角为坐标系原点 $(0, 0)$ ， x 轴向右为正， y 轴向下为正， (x, y) 坐标值的范围则以屏幕的显示方式决定。因此，只需将高斯坐标系的原点平移至图幅左上角，再按顺时针方向旋转 90° ，并考虑两种坐标系的变换比例，即可实现由高斯直角坐标向屏幕坐标的转换。有了图形定位点的屏幕坐标，就可充分利用计算机语言中各种基本绘图命令及其有机的组合，编制程序，自动显示图形。

对在屏幕上显示的图形，可根据野外实测草图或记录的信息进行检查，若发现问题，用程序可对其进行屏幕编辑和修改，同时按成图比例尺完成各类文字注记、图式符号以及图名图号、图廓等成图要素的编辑。经检查和编辑修改成为准确无误的图形，软件能自动将其图形定位点的屏幕坐标再转换成高斯坐标，连同相应的信息编码保存在图形数据文件中（原有误的图形数据自动被新的数据所取代）或组成新的图形数据文件，供自动绘图时调用。

（三）绘图仪自动绘图

前已叙及，野外采集的地形信息经数据处理、图形截幅、屏幕编辑后，形成了绘图数据文件。利用这些绘图数据，即可由计算机软件控制绘图仪自动输出地形图。

绘图仪作为计算机输出图形的重要设备，其基本功能是将计算机中以数字形式表示的图形描绘到图纸上，实现数 $(x, y$ 坐标串) 一模 (矢量) 的转换。绘图仪有矢量绘

图仪和扫描绘图仪两大类。当用扫描数字化仪采集的栅格数据绘制地形图时，常使用扫描绘图仪。矢量绘图仪依据的是矢量数据或称待绘点的平面 (x, y) 坐标，常使用绘图笔画线，故矢量绘图仪常称为笔式绘图仪。

矢量绘图仪一般可分为平台式绘图仪和滚筒式绘图仪两种。平台式绘图仪因其具有性能良好的 x 导轨和 y 导轨、固定光滑的绘图面板，以及高度自动化和高精度的绘图质量，故在数字化地形图测绘系统中应用最为普及，但绘图速度较慢。滚筒式绘图仪的图纸装在滚筒上，前后滚动作为 x 方向，电机驱动笔架作为 y 方向，因此图纸幅面在 x 方向不受限制，绘图速度快，但绘图精度相对较低。

对于常用的平台式矢量绘图仪，其绘图的基本动作只有三个：抬笔、落笔和走笔。地形图上各种复杂的图形和字符的绘制，均由这三个基本动作根据程序的指令组合而成。要高质量地精确绘制出任意方向的光滑线段，关键是走笔，包括走向和步长。步长越小分辨率越高，通常步长为 $0.1\text{mm} \sim 0.01\text{mm}$ 。

利用绘图仪绘制地形图，同样存在坐标系的转换问题，一般绘图仪坐标系的原点在图板中央、横轴为 x 轴，纵轴为 y 轴。当绘图仪通过 RS—232C 标准串行口与微机连通后，用驱动程序启动绘图仪，再经初始化命令设置，其坐标原点和坐标单位将被确定。绘图仪一个坐标单位 = 0.025mm ，即 $1\text{mm} = 40$ 个绘图单位。

实际绘图操作时，用户通过软件可自行定义并设置坐标原点和坐标单位，以实现高斯坐标系向绘图坐标系的转换，称为定比例。通过定比例操作，用户可根据实际需要来缩小或者扩大绘图坐标单位，以实现不同比例尺和不同大小图幅的自动输出。确定绘图坐标系原点和坐标单位，即执行定比例操作可按以下原理来设计程序：

绘图坐标系原点 (x_0, y_0) 为

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= (\sum x_{0i})/4 \\ y_0 &= (\sum y_{0i})/4 \end{aligned} \right\} \quad (3-4-12)$$

式中： x_{0i}, y_{0i} ——四个图廓点的高斯坐标，单位为 m_0 。

采用绘图坐标单位的各数据点绘图坐标 (X_i, Y_i) 为

$$\left. \begin{aligned} x_i &= (y_i - y_0) \times 1\,000 \times 40/M \\ y_i &= (x_i - x_0) \times 1\,000 \times 40/M \end{aligned} \right\} \quad (3-4-13)$$

式中： x_i, y_i ——图形定位点数据的高斯坐标，单位为 m ；

M ——绘图比例尺分母。

前已叙及，要使绘图仪自动完成地形图的输出，必须要编制既能自动提取图形数据，又能驱动绘图仪，控制其抬笔、落笔和走笔等动作的绘图软件。具体绘图软件可在 AutoCAD 环境下用 AutoLISP 语言编写，亦可用其他计算机语言编写，如 C 语言、FORTRAN 语言和 BASIC 语言等，这里不再详述。

关于绘图仪的详细使用方法，请参阅仪器使用说明书和其他有关书籍。

第二节 普通地形图的数字化

从现有地形图上采集数据，将现有地形图数字化，实现图—数转换并存入计算机，经补测和修测地形图所需的要素后，由计算机综合处理，再通过绘图仪绘制地形图。这种从地形图上采集地形数据的方法称为普通地形图的数字化。它可以充分利用原有测绘成果的资料，发挥已有普通测绘仪器的作用，达到数字化测图的目的，除图的精度有所损失外，比较经济、实用。在现阶段的我国数字化测图及其应用领域中，普通地形图的数字化同样是一种较常用的、行之有效的方法。

将图形信息转换成数字信息并输入计算机的设备称为数字化仪 (digitizer)，又称为图数转换仪。根据其工作原理，数字化仪分为手扶跟踪数字化仪和扫描数字化仪两大类。在大比例尺地形图数字化工作中，应用较普遍的是手扶式跟踪数字化仪。

一、手扶跟踪数字化仪及其应用

(一) 手扶跟踪数字化仪的原理

如图 3-4-15 所示，手扶式跟踪数字化仪主要由鼠标器、数字化板和微处理器组成。

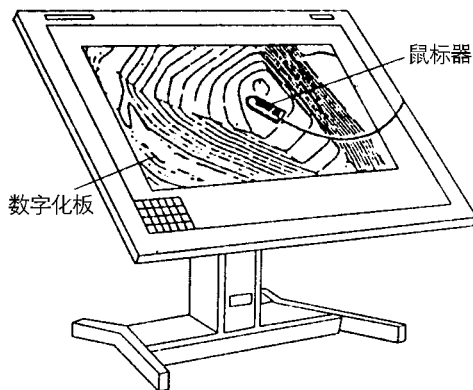


图 3-4-15 手扶跟踪数字化仪

鼠标器实际上是一个数据采集器，其表面有若干个按键用于控制鼠标器的操作，底面有一个十字丝，用于精确对准底图上的待测点。数字化板由 x 导线栅格阵列和 y 导线栅格阵列组成，当鼠标器受到 3kHz 正弦信号激励，而发射一个低频正弦交流信号时，利用电磁耦合的作用，把鼠标器在数字化板上的位移量转换成 x 、 y 坐标，实现了模

(矢量) 一数 (x 、 y 坐标串) 的转换。

因此, 若将地形图贴放在数字化板上的有效部位, 用鼠标器的十字丝精确地对准地形图上的待测点, 按鼠标器上的有关键钮, 并逐点操作直至完成全图的数据采集, 从而实现图形向数字的转换。而采集的数据, 则通过 RS—232C 标准串行接口传输到微型计算机内, 供后期处理和成图时调用。

目前常用的手扶式跟踪数字化仪, 其采点方式有五种, 即点式、开关流式、连续式、步进式和增量式。详见有关操作手册。

手扶跟踪数字化仪的主要技术指标是分辨率和精确度。分辨率是能区分相邻两点的最小间隔, 一般为 $0.01\text{mm} \sim 0.1\text{mm}$; 精确度是指量测坐标值与原图坐标值的符合精度, 通常可达到 $0.1\text{mm} \sim 0.2\text{mm}$ 。影响图形数字化采集精度的主要因素有仪器本身的硬件误差、人为的采样误差、图纸伸缩变形及定位误差等。

(二) 数字化仪的驱动

驱动数字化仪就是将数字化仪与微机连通, 使微机能够向数字化仪传输命令, 也使数字化仪通过鼠标器按键发出的命令和采集的数据信息能传输到计算机中, 同时将数字化仪初始化, 使它进入工作状态。

数字化仪与微机通过 RS—232C 串行接口连接。数字化仪为智能型外部设备, 可以接收 ASCII 码字符流 (二进制码流) 控制序列, 返回经编码的 x 、 y 坐标值。因此, 数字化仪的驱动程序, 属设备控制部分, 实际上是对 RS—232C 串行口的编程问题, 一般使用计算机汇编语言或 C 语言编写最为适宜, 亦可用 BASIC 语言编程。下面的一段 BASIC 程序可用来测度数字化仪与微机的连通状况:

```
10 OPEN "COM1:9600,N,7,2,CS,DS" AS #1
20 LINE INPUT #1, A$
30 PRINT A$
40 GOTO 20
```

运行以上程序段时, 用数字化仪的鼠标每采一点, 则该点的 x 、 y 坐标就成对地显示在计算机显示器上, 说明数字化仪驱动成功。

(三) 图形数字化

利用数字化仪对地形图进行数字化数据采集, 均是在微机控制下, 按数字化采集应用软件的要求执行各项操作。为了保证图形数字化工作的顺利进行, 在数字化具体实施之前必须做好一些准备工作。

(1) 检查原图, 避免各图形要素的遗漏和重复, 保证原图满足数字化成图的要求。

(2) 拟定编码方案, 图形和数据的关系应一一对应, 因此必须按一定的信息编码原则, 拟定编码方案, 保证在数字化时输入的各图形要素特征码准确无误。

(3) 定位, 即坐标系的选择, 通常以数字化板有效范围的左下角或原图内图廓的左

下角为坐标原点，有利于数据的处理和与实际高斯坐标系统的转换。

(4) 确定数字化方式。数字化时，通常只取图形的特征点（如起点、终点、拐点、极值点和独立地物的中心点），因此以选择点方式最为常见，这对于提高采集数据的质量，压缩数据的数量均有益处。

做好上述工作之后，即可进行图形数字化的实施，具体步骤如下：

①将原图放在数字化板的中央部位，并置平，用透明胶纸贴紧，尽量使原图图廓线与数字化板上的标志线平行。若底图图幅大于数字化仪板面的有效范围，可将原图分块数字化，分块幅面的接边和所采集的坐标值应统一，这些均有系统软件处理。

②检查鼠标器和数字化板、数字化板和微机的接口，然后打开数字化仪电源开关，使数字化仪在微机及软件的控制之下，初始化并进入运行准备状态。

③首先对图幅的四个图廓点进行数字化，一般按照左下、右下、右上、左上的顺序，即从左下角开始逆时针方向依次采集四个图廓点，并将坐标以文件的形式单独存盘。

④按图形地形要素的类别依次采集特征点。例如要数字化某种要素时（如道路、水域、建筑物等），首先要输入该要素的特征码，然后再依次采集该要素中的各个特征点。在数字化另一地形要素时，同样要先输特征码后采点。

⑤全图数字化结束后，应再次数字化四个图廓点，以检核数字化成果的质量。

需要注意的问题是，利用原图数字化采集的数据，应考虑图纸的伸缩变形和平面坐标的变换。平面坐标的变换是根据数字化四个图廓点的坐标和键盘输入的相应点的高斯平面直角坐标的对应关系，求出坐标系的平移和旋转参数，最后使两坐标系统一。对图纸的伸缩变形，则可应用式 3-4-14 编程，求解出改正系数，对每个采样点实施纠正。

$$\left. \begin{aligned} Q_x &= (L_{x_0} + L_x) / L_{x_0} \\ Q_y &= (L_{y_0} + L_y) / L_{y_0} \end{aligned} \right\} \quad (3-4-14)$$

式中： L_{x_0} ， L_{y_0} ——图廓线 x ， y 方向上的理论长度，在数字化时，利用输入的图廓点坐标值可求得；

L_x ， L_y ——图廓线数字化时算得的实际长度；

Q_x ， Q_y ——图纸在 x 、 y 方向上的伸缩改正系数。

在软件处理时，一般规定当图廓实际尺寸与理论尺寸相差 $\pm 0.3\text{mm}$ 以上时，则需进行图纸伸缩变形的计算与纠正。

由上述操作步骤可知，要保证利用数字化仪精确地对原图实施数字化，必须编制功能完善、使用方便的图形数字化软件。在数字化程序软件中主要应包含以下几方面的内容：确定数字化仪输入的工作方式，输出数据，规定原点和分辨率，规定输出格式，定义鼠标器按键功能，地形信息编码的输入，坐标变换和图纸伸缩变形的纠正，采点精度的检核，屏幕图形显示以及数据的存储等。具体数据采集的程序流程见框图 3-4-16。

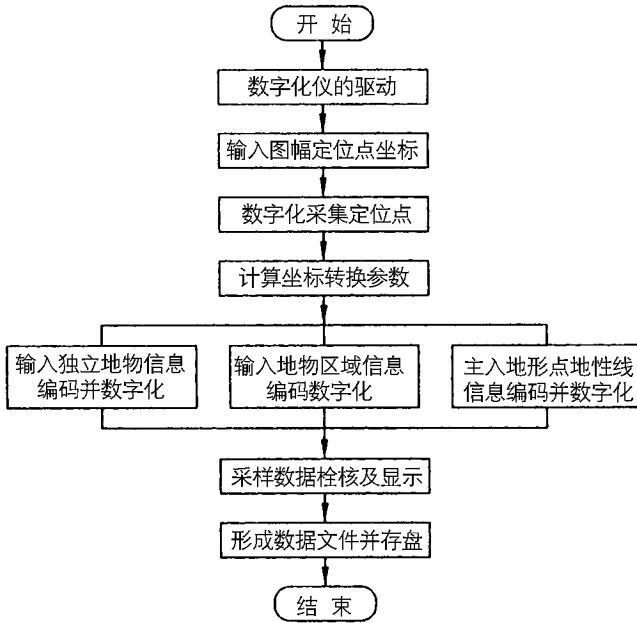


图 3-4-16 数据采集流程图

二、扫描数字化仪及其使用

扫描数字化仪简称扫描仪 (scanner)。它可以将图形、图像 (如线划地形图、黑白或彩色的遥感和航测像片等), 快速、高精度地扫描数字化后输入计算机, 经图像处理软件分析和人机交互编辑后, 生成可供使用的图形数据。相对于手扶数字化仪来说, 扫描仪的优势在于数字化自动化程度高, 操作人员的劳动强度小, 在同等图纸条件下数字化的精度高。可以预见, 随着社会对数字地图的需求量越来越小, 地形图扫描软件更加成熟, 扫描数字化仪必将逐步取代手扶数字化仪, 而成为大比例尺地形图数字化的主流。

(一) 扫描仪简介

目前应用的扫描仪多数为电荷耦合器件 (CCD) 阵列构成的光电式扫描仪。基本工作原理是用低功率激光光源经过光学系统照射原图, 使光线反射到 CCD 感光阵列, CCD 阵列产生的时序电子信号 (影像) 经过处理, 将其分解成离散的像元, 得到原图的数字化信息, 传送给控制其运行的计算机, 作进一步数据处理或直接应用。

扫描仪的种类有很多。按照色彩辐射分辨率划分, 有黑白扫描仪和彩色扫描仪; 按照仪器的结构划分, 可分为滚筒式和平台式扫描仪。

扫描数字化仪的分辨率通常用像元大小（一般为 $10\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ ）或每英寸（in）的点数（dpi）来表示。一般扫描仪的分辨率均在 $300\text{dpi}/\text{in}$ 以上。扫描仪执行扫描任务时，通常均与计算机相连，受计算机扫描软件控制。操作者仅需安放好原件，接通电源，按动几个按钮，即可完成扫描操作。扫描仪自动将扫描数据传输到计算机并在屏幕上显示原件图像，详见有关扫描仪使用说明书。

对于文字、图形或图像，通过扫描仪获取的数据形式是相同的，都是扫描区域内每个像素的灰度或色彩值，属于栅格数据。对这些数据的解释（如区别特定的物体和背景、识别文字等）需要专门的算法和相应的处理程序。在大比例尺地形图数字化中，需将扫描数字化仪获得的栅格数据自动转换成矢量数据，将图形特征点的影像转换成测量坐标。

由此可见，通过扫描仪生成的数字化地形图要能精确地由绘图仪输出，方便地提供给规划设计、工程 CAD 和 GIS 使用，关键问题是必须具有功能完善、方便实用的地形图扫描矢量化软件，方能快捷地完成扫描栅格数据向图形矢量数据的转换。

（二）扫描栅格数据及其矢量化

利用扫描仪得到的地形图信息（或图像、文字等信息）是按栅格（raster）数据结构的形式存储的，相当于将扫描范围的地面划分为均匀的网格，每个网格作为一个像元，像元的位置由所在的行列号确定，像元的值即扫描得到的该点色彩灰度的等级（或该点的属性类型代码），称为像素（pixel）。图 3-4-17 是扫描栅格数据表示点、线、面实体的示意图。图中代码 4 为点信息（如独立地物等），代码 1, 2 可形成线信息（如 1 代表公路轴线，2 代表河流中线等），3 为 1, 2 线体的交点，代码 8 则代表某面状信息（例如是绿地等）。

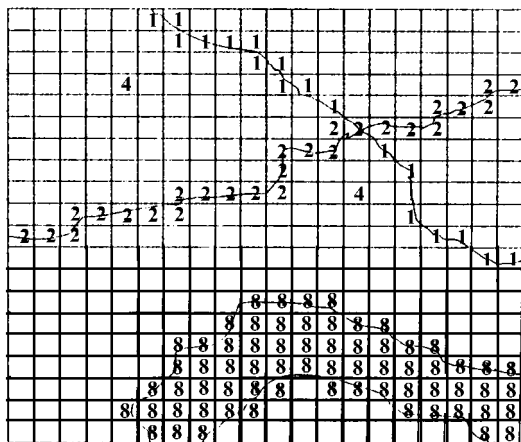


图 3-4-17 扫描栅格数据表示点、线、面的方法

一幅地形图的像素排列形同一个矩阵，便于计算机识别和显示，是一种最直观、较为简单的空间数据结构，特别适用于同摄影测量和遥感像片数字化数据的结合。

但作为扫描底图的大比例尺地形图，均为黑白两色线划图，进行数字化的主要目的是能方便地提取地物地貌特征点的三维坐标，及各类地形实体的空间位置、长度、面积等信息，以供使用，或用计算机控制绘图仪自动绘图。因此，大比例尺地形图数字化最简单、最实用的数据形式是通过记录坐标的方式，用点、线、面等基本信息要素来精确表示各类地形实体，这种数据结构称为矢量数据结构。如前所述，手扶跟踪数字化仪采集的数据形式就是矢量数据结构。如图 3-4-18 (a) 所示，一条曲线是通过一系列带有 x, y 坐标的采集点给出的，点位越密，表示的曲线越精确，计算机绘图时可以通过软件自动计算并拟合，平滑绘制出该曲线。

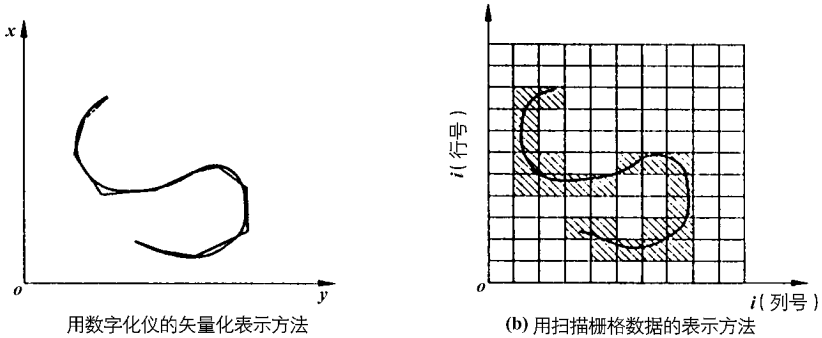


图 3-4-18 一条曲线的两种表示方法

图 3-4-18 (b) 是同一条曲线的扫描栅格数据的表示方法（阴影表示像元）。由图中可看出，要想在计算机屏幕上显示、绘图仪自动绘制该曲线，或求算曲线上某点的坐标、曲线的长度等信息，必须首先通过对扫描栅格数据的细化处理，提取图形的构图骨架（即中心线，图中为曲线实体）。再经过计算机软件计算，跟踪处理，将栅格图像数据（中心线）转换成用一系列坐标表示其图形要素的矢量数据。这一转换过程就称为扫描图形的矢量化。如果扫描底图存在污点，线条不光滑，图面不清晰，再受到扫描系统分辨率的限制，就有可能给扫描出来的图形带来多余的斑点、孔洞、毛刺和断点等噪声（误差或缺陷）。所以一般在细化和矢量化之前，应利用专门的计算机算法对栅格数据进行噪声和边缘的平滑处理，除去这些噪声，以防矢量化的误差和失真。这项工作称为数据的预处理。

由于大比例尺地形图的线划分布比较复杂，地物繁多，相互交叉，且有众多的文字符号、注记等地形要素，一般扫描数字化软件难以做到全自动跟踪矢量化。通常均采用自动跟踪和人机交互编辑相结合的方法完成地形图的矢量化，这一过程是在图形扫描数据经预处理、细化后显示在计算机屏幕上，利用鼠标器效仿手扶跟踪地图数字化的方法，将图形特征点的坐标转换成测量坐标，故称为扫描屏幕数字化。由于在屏幕上可以对图形局部开窗放大，因此可获得较高的数字化坐标精度。采用这种方法进行地形图数

字化，其作业效率比手扶跟踪地图数字化要高 2 至 3 倍。图 3-4-19 是地形图扫描数字化的原理框图，因其软件设计的具体方法，涉及到较深的数学、数据结构和计算机知识，在此不再详述，可参阅有关专业书籍。

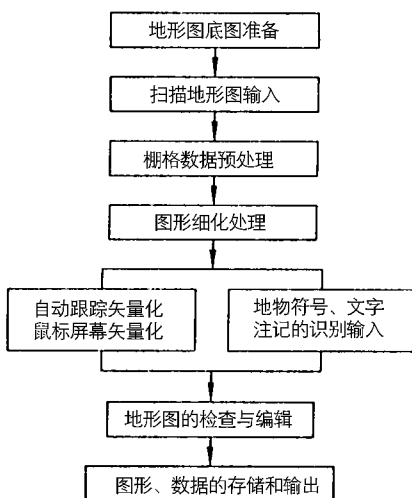


图 3-4-19 地形图扫描数字化工作流程

第五章 地形图的应用

地形图详细、真实地反映了地面上各种地物的分布和地形的起伏状态，因此它是国家各个部门、各项工程建设中必需的资料。在进行国土整治、资源勘查、土地利用、环境保护、矿藏采掘、军事指挥等各项工程时，均需要从地形图上获取信息，作为决策和实施的依据。在园林规划设计和园林施工中经常应用大比例尺地形图，从图上了解地面的地物和地貌的分布、特征等情况比实地更全面，对整体情况的了解更加直观，而且方便。同时可以从图上进行距离、高程、坡度、面积、土方等计算，取得可靠的数据，以便因地制宜地进行合理的规划和设计。

第一节 地形图的识读

为了正确地应用地形图，首先要读懂地形图，将地形图上的各种符号和注记，变成人们面前的实地立体模型。地形图识读的步骤一般为：(1) 图廓外要素的阅读；(2) 图廓内要素的阅读。

一、图廓外要素的阅读

图廓外要素是指内图廓之外的要素，图廓外要素是对地形图及地形图所表示的地物、地貌的必要说明。

首先要了解测图时间和测绘单位，以判断地形图的新旧和适用程度；然后要了解地形图的比例尺、坐标系统、高程系统和基本等高距以及图幅范围和接图表。园林工作中经常使用大比例地形图，所以磁北方向的判定也很重要。

二、图廓内要素的判读

图廓内要素主要是指地物符号和地貌符号，对地物、地貌的判读主要依靠符号和注记。地形图图式，作为地物、地貌的符号集，在地形图阅读时，可以作为判读的工具。

在地物判读时，特别要注意依比例符号和非比例符号的不同表示；其次，要注意地物符号的主次让位的问题，例如铁路和公路并行，地形图上是以铁路中心位置绘铁路符号，而公路符号让位，掌握符号之间不准重叠，低级给高级让位的原则。

在地貌判读时，分清等高线所表达的地貌要素及地性线，便可找出地貌的规律：由山脊线即可看出山脉连绵；由山谷线便可看出水系的分布；由山峰鞍部、洼地和特殊地貌，则可看出地貌的变化。另外，地貌判读，还需对等高线的性质有清楚的认识，对各种典型地貌要熟悉如何用等高线表示，也是非常重要的。

图廓内要素的另一方面是指社会经济要素，社会经济要素的内容有：居民地、交通网、水路运输、行政界线及通讯线、高压电线、输油管线等重要管线等等。通过对社会经济要素的判读，可以了解图幅范围内地区的社会经济发展情况。

第二节 野外使用地形图

地形图是野外实地调查的重要工具，野外使用地形图的方法步骤包括：准备工作、地形图的定向、在地形图上确定站立点位置、地形图和实地对照以及野外填图等。

一、准备工作

（一）收集地形图

野外调查之前，应先根据调查地区的范围和调查目的，选择、收集需要的地形图。如为了进行规划或图上作业时，应选择大比例尺地形图。

（二）了解地形图

当得到地形图后，应进行地形图的阅读和质量分析，评价它对使用目的的符号程度。

（三）地图的拼贴和折迭

当使用的地图幅数较多，为了野外使用方便，可拼贴、折迭。

拼贴方法是，根据接图表注记相邻图幅的图名和图号，将各幅地图按其关系位置排列好；按左压右、上压下的顺序，沿内图廓线裁去东图边和南图边，但最右一行不裁东图边，最下一列不裁南图边，以保持拼贴后的地形图有完整的图边。

外业使用地形图时常将地形图加以折迭。折迭的方法是，按外业背包或图夹的大小迭成手风琴形式，将不用的部分折向背面；同时要注意折棱齐整，尽量避免在拼接线上折迭。

（四）标图

为了便利阅读和研究问题，可以用彩色铅笔突出标绘与工作有关的个别要素。

二、地形图的定向

在野外使用地形图时，首先要使地形图的方向与实地方向一致。常用的方法有以下二种：

(一) 利用罗盘定向

可按磁子午线，也可按真子午线或坐标纵线。

按磁子午线（即图上南、北内图廓中 P 、 P' 点的连线）定向时，先将罗盘刻度盘上的北字指向北图廓，并使刻度盘上的南北线与磁子午线重合，然后转动地形图，使磁针北端与北字一致，则地图的方向与实地一致，如图 3-5-1。

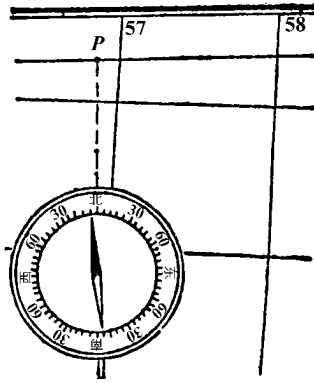


图 3-5-1

按真子午线或坐标纵线定向时，应将罗盘刻度盘的北字指向北图廓，并使刻度盘上的南北线与东（或西）内图廓重合，如图 3-5-2 (a)，或者与任一坐标纵线重合，如图 3-5-2 (b)，然后转动地形图，分别按磁偏角或方向改正角的数值（东偏或西偏），使磁针北端指向相应的分划。

(二) 根据地物定向

这种方法是，首先在地形图上找到与实地相应的地物，如道路、河流、山顶、突出树、道路交叉点、小桥和一些方位物等，然后在站立点转动地形图，使图上地物与实地地物一致，如图 3-5-3。

三、在地形图上确定站立点的位置

地图定向后，首先在图上确定本人站立的位置，才能展开工作。确定图上站立点的

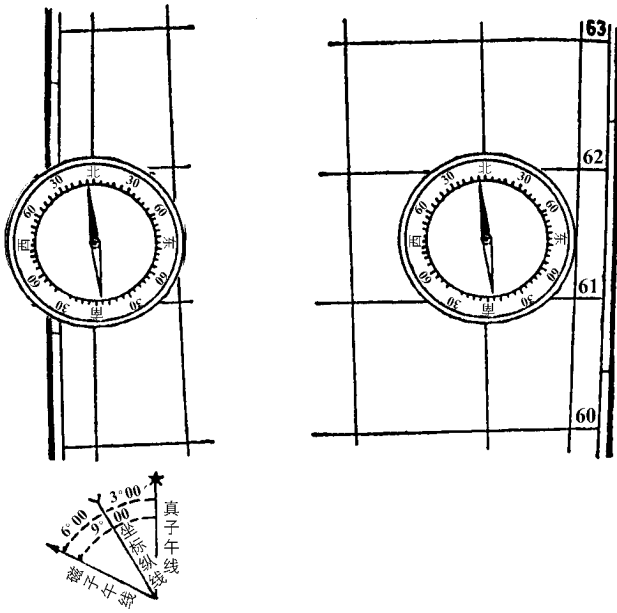


图 3-5-2

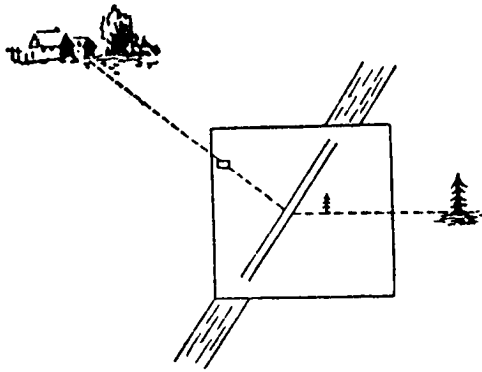


图 3-5-3

位置，常用方法有以下两种：

(一) 根据明显地貌和地物判定

当站立点附近有明显地貌和地物时，可利用它与实地对照，迅速确定站立点在图上的位置。图 3-5-4 所示站立点的位置是根据道路和河流的交叉，以及房屋和桥梁作为标志确定的。图 3-5-5 所示站立点的位置是在沟谷间的平缓山脊上。

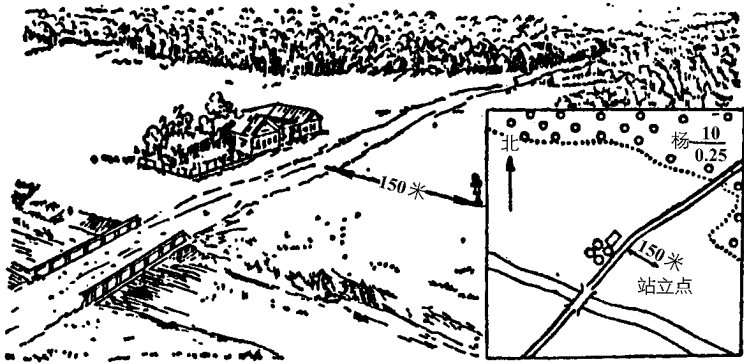


图 3-5-4

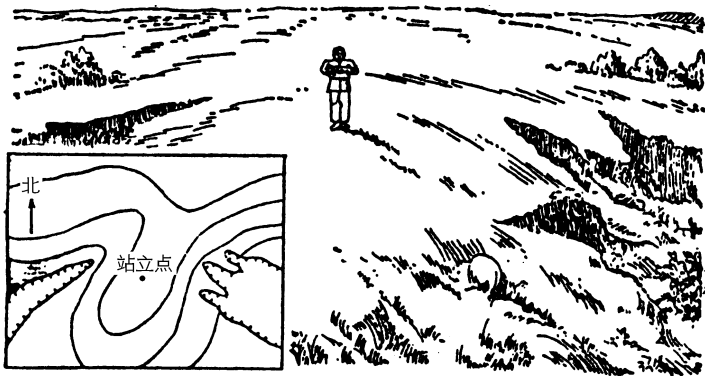


图 3-5-5

(二) 后方交会法

当站立点附近没有明显地形、地物时，多采用交会方法确定站立点在图上的位置。

四、地图与实地对照

确定了地形图的方向和地形图上站立点的位置以后，就可以根据图上站立点周围地貌和地物的符号，找出与实地相应的地貌和地物，或者观察了实地地貌和地物来识别其在地图上所表示的位置（图 3-5-4）。进行地图和实地对照，一般采用目估法，由右至左，由近至远，先识别主要而明显的地貌、地物，再按关系位置识别其他地貌、地物。如因地形复杂不易确定某些地貌、地物时，可用直尺确定站立点和地物符号（如山顶等），再向前照准，依方向和距离确定该地物的实地位置。通过地形图和实地对照，了解和熟悉周围地貌、地物情况，研究调查地区地形特点，比较出地形图上内容与实地相应地形所发生的变化。

五、野外填图

野外填图调查是野外填图的重要组成部分之一，其目的在于根据填图的任务，如土壤普查、土地利用调查、调绘地形图现势资料等，正确、明显地把填图对象填绘于图上。在进行野外填图之前，根据填图任务收集和阅读调查地区的资料，初步确定填图对象的主要类型，并按类型拟定图例。同时，根据地形图选择调查与填图路线。

在进行野外填图时，应注意以下几点：

(1) 经常注意沿途的具有方位意义的地物，随时确定本人在图上站立点的位置。

(2) 站立点要选择和控制范围较大的制高点上，便于观察较大范围的填图对象，确定其范围界线。

(3) 用罗盘或目估确定填图对象的方向，用目估或步测确定其距离。

(4) 将所测得的数据按地形图比例尺和所拟定的图例，正确地填绘于地形图上的相应位置。

第三节 根据等高线确定高程和斜坡坡度

一、根据等高线确定高程

根据地形图上的等高线，可确定任一地面点的高程。如果地面点恰好位于某一等高线上，只要根据注有高程的等高线及基本等高距，便可确定该点的高程。如图 3-5-6 中，已知基本等高距为 2m 时，则 a 点的高程为 56m。

确定位于相邻两等高线之间的地面点 b 或 c 的高程，可如图 3-5-6 所示，应先过 b 和 c 点，作垂直于两相邻等高线的线段 mn 或 st，再依高差和平距成比例的关系求解。

例如，求 b 点高程时，可先确定线段 nb 或 mb 与线段 mn 的比例： $\frac{nb}{mn} = 0.7$ 或 $\frac{mb}{mn} = 0.3$ ，则 b 点高程为：

$$50 + (2 \times 0.7) = 51.4m \text{ 或 } 52 - (2 \times 0.3) = 51.4m$$

如果要确定两点间的高差，则可如上述确定两点的高程后，相减即得。

二、根据等高线确定斜坡坡度

从等高线的特性可知，当等高距为一定时，等高线平距愈小，则地面坡度愈大。反之，则地面坡度愈小。通常所说的地面坡度，总是以该地面的最大倾斜线为准的。

如图 3-5-7，若将局部的自然地表面以倾斜平面 ABCD 来代替。在斜面的水平线

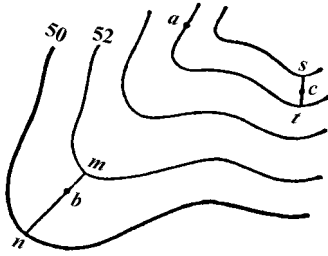


图 3-5-6 根据等高线确定地面点的高程

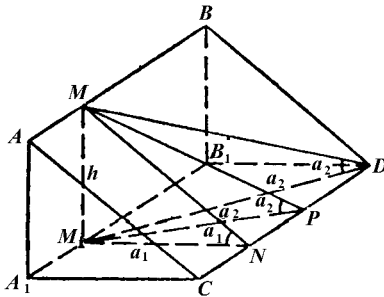


图 3-5-7 坡度和平距的关系

AB 上的 M 点可向不同的方向作直线，与另一水平线 CD 分别相交于 N、P、D 点，使得倾斜直线 MN、MP 和 MD。若将 M 点投影于水平面 A_1B_1CD 上，可得 M_1 点。各倾斜直线的水平投影 M_1N 、 M_1P 和 M_1D 即为各倾斜直线的相应平距，分别以 α_1 、 α_2 和 α_3 表示。若再以 α_1 、 α_2 和 α_3 表示倾斜直线 MN、MP 和 MP 的倾斜角，以 h 表 MM_1 的高差（等高距），即有 $\alpha_i = h \cdot \text{ctg}\alpha_i$ 。由式可知平距 a_i 愈大，则倾斜直线的倾斜角 α_i 愈小；反之，就愈大。显然，其中平距为 a_1 而垂直于水平线 CD 的倾斜直线 MN 具有最大的倾斜角 α_1 ，亦即垂直于等高线方向的直线 MN 具有最大的倾斜角 α_1 。因而该直线 MN 就叫做最大倾斜线（或坡度线）。

通常以最大倾斜线的方向代表该地面的倾斜方向。最大倾斜线的倾斜角，也就代表该地面的倾斜角。

在直角三角形 MM_1N 中，有关系式：

$$i = \text{tg}\alpha_i = \frac{h}{a_i} \quad (3-5-1)$$

式中： i ——直线的坡度，通常以百分率（%）或千分率（‰）表示。

当根据地形图上的等高线来确定斜坡的坡度时，为了避免计算工作，可按式（3-5-1）制成坡度尺来量测坡度（或倾斜角）。

坡度尺的作法是：先按公式 $a_i = h \text{ctg}\alpha_i$ ，求得当 $\alpha = 30'$ 、 1° 、 2° …… 20° 时，其相应的平距 a_1 、 a_2 …… a_{20} 。例如，当基本等高距为 2m，倾斜角为 $30'$ 时，则平距 $a = 2 \times 114.59 = 229.18\text{m}$ 。同法可算得不同倾斜角的相应平距。

表 3-5-1 即按等高距 2m 所算出的不同坡度时的相应平距。

表 3-5-1

倾斜角 α , ($^{\circ}$)	30'	1 $^{\circ}$	2 $^{\circ}$	3 $^{\circ}$	4 $^{\circ}$	5 $^{\circ}$	10 $^{\circ}$	12 $^{\circ}$	15 $^{\circ}$	17 $^{\circ}$	20 $^{\circ}$
等高线平距 a	229.18	114.58	57.3	38.2	28.6	22.9	11.3	9.4	7.5	6.5	5.5

然后在纸上画一直线。以适当长度将直线从左至右等分为若干段，并依次在各分点上注写出倾斜角（或坡度）30′、1°、2°……20°等。再过各分点作垂线，按地形图比例尺在各垂线上自各分点开始分别截取相应 a_i 值的线段，并以圆滑曲线连接各线段顶端，此即量测相邻两等高线间坡度的坡度尺，如图 3-5-8 所示。若再以相邻六根等高线之间的高差为准，自倾斜角 5°起，按公式算出不同倾斜角（或坡度）相应的平距。然后在各垂线上依次截取其 a 值，将各垂线顶端连接成圆滑曲线，便得到量测相邻两加粗等高线间的坡度的坡度尺，如图 3-5-8 中所示的右端部分。

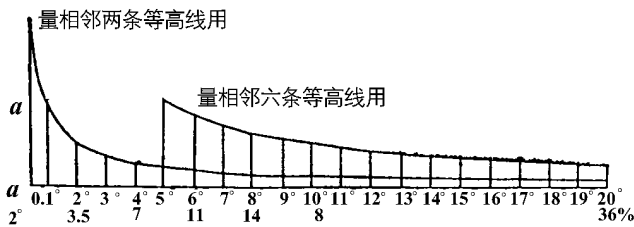


图 3-5-8 坡度尺

使用坡度尺时，先用两脚规在地形图上量出相邻两等高线（或六根等高线）间的长度。然后将两脚规的一脚尖立在坡度尺的底线上，再沿底线平行移动两脚规直至另一脚尖落于曲线上为止。即可在坡度尺上读出倾斜角（ α ）或坡度（ i ）。

三、设计规定坡度的线路

对管线、渠道、道路等工程进行初步设计时，一般要先在地形图上选线。按照技术要求选定一条合理的线路，应考虑的因素很多。这里只说明根据地形图等高线，按规定的坡度选定其最短线路的方法。

如图 3-5-9，设需的该图上选出由点 A 至 B （在该线路的任何地方，其倾斜角都不超 3°）的最短线路。此时，通常可首先按公式 $a = \frac{h}{i}$ 计算出相邻两等高线间相应的平距，或以两脚规在坡度尺上截取相当于倾斜角为 3°时的相邻两等高线的平距；然后，将两脚规的一脚尖立在图中的 A 点上，而另一脚则与相邻等高线交于 m 点；接着，将两脚规的一脚尖立在 m 点上，另一脚尖又与相邻等高线交于 n 点。如此继续逐段进行直到 B 点。这样，由 Am 、 mn 、 no 、 op ……等线段连接成的 AB 线路，就是所选定的、其倾斜角都不超过 3°的最短线路。

从图上可以看出：由 r 至 B 点这段距离上由于任何方向的倾斜角均小于 3°，所以应

按最短距离来确定。在选定线路时，各线段不应是笔直的，而应当大约相似于等高线的形状。这样，该线路的方向变化处便不会成为急转的折线，而是平缓的圆滑曲线。

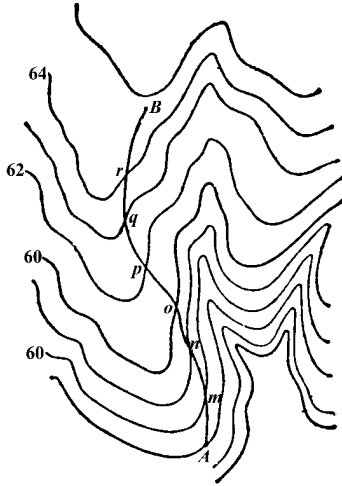


图 3-5-9 根据等高线确定同坡度线路

第四节 根据地形图绘制断面图

一、绘制图上某一线路的断面图

过某一线路的铅垂面与地面的交线，在铅垂面上按比例缩小后的地面起伏图形，就是该线路所经地面的断面图（或称剖面图）。在输电线路、渠道、铁路、公路等线路工程中，根据其断面图可以了解沿线地表面的起伏情况和斜坡坡度。在断面图上可以得到有关数据，并可以进行线路设计。

精确的断面图应在实地直接测定。如果要求不高，则可根据地形图绘制。

绘制断面图时，首先要确定断面图的水平比例尺和垂直比例尺。通常采用与所用地形图比例尺相同的水平比例尺；而垂直比例尺则应比水平比例尺大 10 倍或更大倍数，以便突出地显示地形起伏情况。

如图 3-5-10 为在等高距为 5m 的 1:10 000 比例尺地形图上，沿 AB 方向绘制的断面图。它先在地形图上过 A、B 两点画出断面线 mn。mn 与各等高线的交点为 a、b、c……r、s。其次，在一张白纸（或透明毫米方格纸）上绘一直线 PQ，并作平行于 PQ、且间隔相等的若干平行线，此即一组水平线，如图 3-5-10 (b) 所示。相邻两水平线的间隔为一个等高距，间隔的大小可依等高距和垂直比例尺而定，至于平行线的根数则依断面线上最高点与最低点的高差而定。水平线的高程注记数，其最小和最大值应分别略低和略高于断面线上的最低点、最高点的高程。如例中为 170m 和 205m。

画好水平线并注记相应高程后，再在 PQ 线上依 ma 、 mb 、…… ms 的长度逐一定出断面线上 a 、 b …… s 的相应点 a_1 、 b_1 …… s_1 。如果采用透明毫米方格纸时，则可将透明纸盖在图上并使 PQ 线与断面线 mn 重合，直接将 a 、 b …… s 各点转绘于 PQ 线上。过 PQ 线上 a_1 、 b_1 …… s_1 各点作垂直线，各垂线与相应于各点高程的水平线的交点即断面点 a' 、 b' …… s' 。然后以平滑曲线连结各断面点，即得沿 AB 方向的地面断面图。

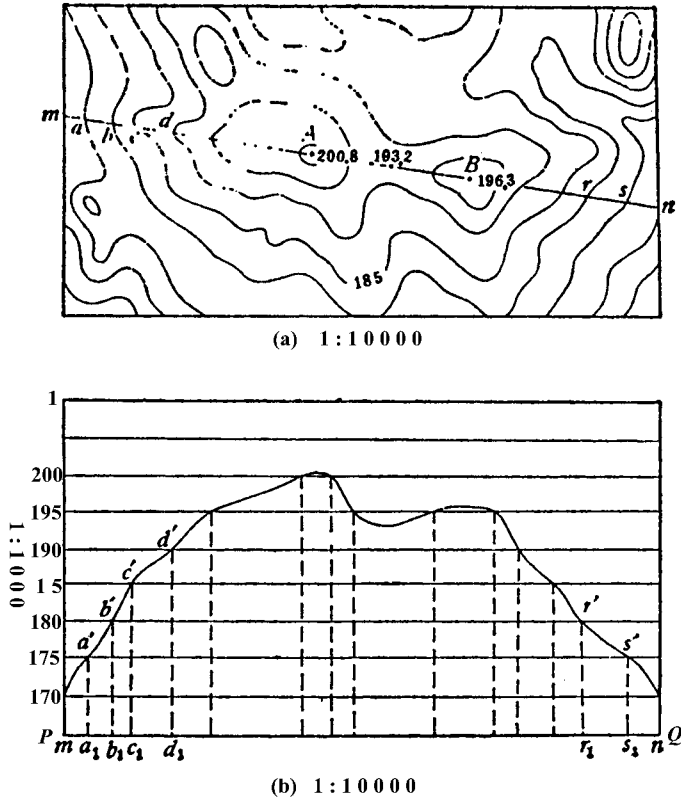


图 3-5-10 断面图的绘制

上述绘制方法同样可用于绘制非直线形线路的断面图。例如要绘制图 3-5-11 (a) 中 A 到 F 的道路断面图，则可选择道路上有代表性的特征点，如桥梁、路标、交叉路口、里程碑等，将该道路分成若干直线段 AB 、 BC ……，并依其在断面图底线 (PQ) 上截取得 a_1 、 b_1 ……各点。然后按各段点高程，可得断面点 a' 、 b' ……。以平滑曲线连结各断面点，即为该道路的断面图，并在下方用箭头标明各点处道路的转弯方向，如图 3-5-11 (b) 所示。

断面图上还需有其他说明注记，不同专业各有其相应的具体规定，不再细述。

二、确定两地面点间是否通视

要根据地形图来确定是否通视，这在两点间的地形起伏比较简明时，很容易通过观

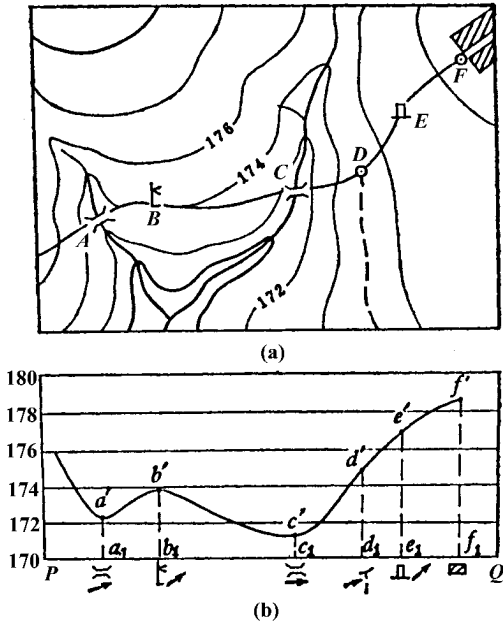


图 3-5-11 道路的断面图

察分析予以判断。但在两点间起伏变化较复杂的情况下，往往难于靠直接观察来判断，而需借助于绘制简略断面图或用构成三角形法来确定其是否通视。下面介绍构成三角形法。

如图 3-5-12 所示，为了判定 A、B 两点（由图和 A 点的高程小于 B 点）是否通视，可在地形图上用直线连接 A、B 两点。然后观察 AB 线上的地形起伏情况，分析可能影响通视的障碍点，设为在 AB 线上的 C 点，并标明其点位于图中。再自点 B 和 C 分别作 AB 的垂线，并按图求得的 B、C 点对 A 点的高差 h_{AB} 、 h_{AC} ，用同一比例缩小在两垂线上截取相应长的线段 BD、CE。最后，连接 A、D 两点，则直线 AD 相当于 A、B 两点地上的倾斜线。由此可见：若 AD 与垂线 CE 相交，则 A、B 两点不通视；若不相交则通视。本例为不通视情况。很明显：应用此法时，准确地判明障碍点所在位置是至关重要的。

第五节 场地平整中地形图的应用

在各项工程建设中，除考虑合理的平面布局外，还应结合原有地形，对地形进行必要的改造，使改造后的地形适合于修建各类建筑，满足交通运输和埋设各类管线的要求。对各项土建工程，在开工之前，首先必须进行工程量大小的预计，其中主要是利用地形图进行填、挖土石方量的概算，比较不同的方案，从中选出既经济又合理的最佳方案。下面主要介绍方格网法，对等高线法和断面法只作简要的介绍。

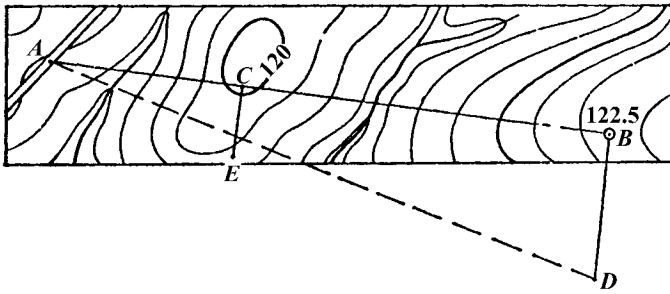


图 3-5-12 用构成三角形来确定通视

一、方格网法

此法适用于大面积的土石方估算情况。

(一) 整理成某一高程的水平面

当地面坡度较小，并顾及已有建筑和拟建建筑物或构筑物的布置情况及特点，将地面整理成某一高程的水平面。水平面的高程可以事先指定，也可以自行拟定。

1. 预先指定水平面的高程

如图 3-5-13 所示，假定要求将原地形整理成高程为 53m 的水平面。

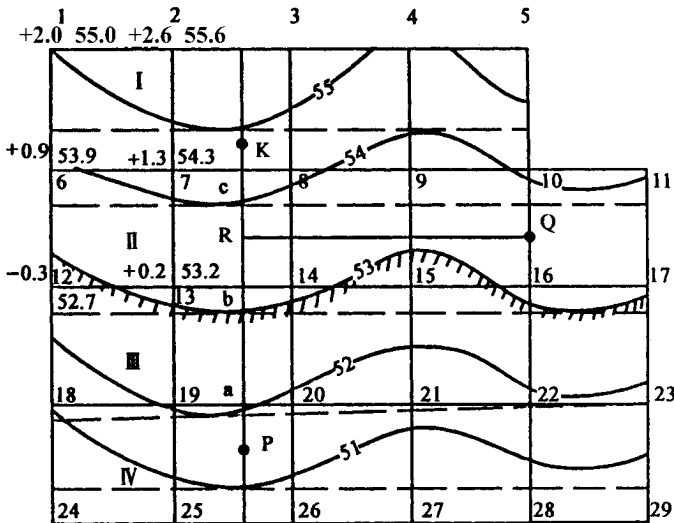


图 3-5-13 方格网法算土石方

(1) 确定填、挖边界线。根据设计高程 $H_{\text{设}}$ ，在图 3-5-13 上绘出高程为 $H_{\text{设}}$ 的一

条同高程线，在此线上所有的点既不填又不挖，如图 3-5-13 中的 53m 等高线即为填、挖边界线，亦称零等高线。

(2) 绘制方格网。方格的边长取决于地形的复杂程度和土石方量估算的精度要求，一般取 10m, 20m, 50m, 根据地形图的比例尺，在图上绘出方格网，并进行编号。为了计算的方便，在同一范围内，方格的边长一般取得相同，但在特殊地形处，也可采用不同的边长。

(3) 求各方格网点的高程。根据图上等高线和其他地形点的高程，采用目估内插法求出各方格网点的地面高程 $H_{地}$ ，并标注于相应顶点的右上方，如图 3-5-13 所示。

(4) 计算各方格网点的填、挖高度。将各方格网点的地面高程减去设计高程，即得各网点的填、挖高度 ($h = H_{地} - H_{设}$)，并注于相应顶点的左上方，正号表示挖，负号表示填。

(5) 计算各方格的填、挖土石方量。当整个方格都是填方 (或挖方) 时，如图 3-5-13 中的方格 I，土石方量可用下式计算：

$$V_{挖(或填)} = \frac{1}{4}(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \cdot A_{挖(或填)} \quad (3-5-2)$$

式中： $h_1 \sim h_4$ ——某一方格 4 个角点挖 (或填) 的高度 (m)；

$A_{挖(或填)}$ ——对应方格的实地面积 (m^2)。

当某一方格既有挖方又有填方时，如图 3-5-13 中的方格 II 应分别计算挖、填土石方量的大小。

$$V_{挖(或填)} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^{n-2} h_i + 0 + 0 \right) \cdot A_{挖(或填)} \quad (3-5-3)$$

式中： n ——挖 (或填) 部分对应的多边形边数；

h_i ——顶点挖 (或填) 的高度 (m)；

$A_{挖(或填)}$ ——对应多边形的实地面积 (m^2)。

(6) 计算总的填、挖土石方量。

$$\left. \begin{aligned} V_{挖总} &= \sum V_{挖} \\ V_{填总} &= \sum V_{填} \end{aligned} \right\} \quad (3-5-4)$$

2. 自行拟定水平面的高程

在保持填、挖方基本平衡的条件下，自行计算水平面的设计高程，并分别计算填、挖土石方量的大小。如图 3-5-14 所示，要求将原地形整理成填、挖基本平衡的水平面 (高程并不一定为 53m)，其填、挖土石方量的计算方法与前面基本相同。

(1) 绘制方格网。

(2) 确定各方格网的高程，标注于相应顶点的右上方。

(3) 确定设计高程。先分别计算每一方格 4 个顶点高程的平均值，再把各方格的平均高程加起来除以方格数，即得设计高程。经分析可知，在计算设计高程时，方格网外围角点高程用一次，如图 3-5-13 中的 1、5、11、23、29 点；边点高程用两次，如 2、

3、4、6、...；拐点高程用三次，如10；中点高程用4次，如7、8、9、...。则设计高程的计算公式可写成：

$$H_{\text{设}} = \frac{\sum H_{\text{角}} \times 1 + \sum H_{\text{边}} \times 2 + \sum H_{\text{拐}} \times 3 + \sum H_{\text{中}} \times 4}{4n} \quad (3-5-5)$$

式中： n ——方格的个数；

$\sum H_{\text{角}}$ 、 $\sum H_{\text{边}}$ 、 $\sum H_{\text{拐}}$ 、 $\sum H_{\text{中}}$ ——各角点、边点、拐点和中点的高程之和/ m 。

(4) 确定填、挖边界线。根据计算的设计高程 $H_{\text{设}}$ ，在图上标出填、挖边界线（零等高线）。

(5) 计算各方格网点的填、挖高度，标注于相应顶点的左上方。

(6) 计算各方格的填、挖方量的大小和总的填、挖土石方量，方法向前。

填、挖土石方量的计算也可按式（3-5-6）分别进行。

$$\left. \begin{aligned} \text{角点: } V_{\text{填(或挖)}} &= \sum h_{\text{填(或挖)}} \times \frac{1}{4} \text{ 方格面积} \\ \text{边点: } V_{\text{填(或挖)}} &= \sum h_{\text{填(或挖)}} \times \frac{2}{4} \text{ 方格面积} \\ \text{拐点: } V_{\text{填(或挖)}} &= \sum h_{\text{填(或挖)}} \times \frac{3}{4} \text{ 方格面积} \\ \text{中点: } V_{\text{填(或挖)}} &= \sum h_{\text{填(或挖)}} \times \frac{4}{4} \text{ 方格面积} \end{aligned} \right\} \quad (3-5-6)$$

最后分别计算总的填方量和总的挖方量，计算的结果填、挖土石方量应基本相等。

（二）整理成一定坡度的倾斜面

当地面坡度较大时，可结合原地形并根据设计要求，按填、挖土石方量基本平衡的原则，将原地形整理成某一坡度的倾斜面。但在时要求的设计的倾斜面必须包含某些固定的点位，如城市规划中已修筑的主、次道路中线点，永久性大型建筑物或构筑物的外墙地坪高程点等，此时应将这些固定点作为设计倾斜面的控制高程点，然后再根据控制高程点的高程，确定设计等高线的平距和方向。

1. 整理成规定坡度的倾斜面

如图3-5-13若最大设计坡度为 i_0 ，最大坡度方向为正南北方向，坡底线设计高程 H_0 ，欲估算土石方量的大小，具体步骤如下：

(1) 绘制方格网。方格的一边应与最大坡度方向一致，另一边应垂直于最大坡度方向。

(2) 确定各方格网点的地面高程。

(3) 计算各方格网点的设计高程。

$$H_{\text{设}} = H_0 + i_0 \cdot D \quad (3-5-7)$$

式中： D ——方格网点至坡底线的垂直距离/ m 。

由（3-5-7）式可得，同一行上各方格网点的设计高程相同，如图9.6中的23、25、26、...等；同一列上各相邻方格网点间的高差相同，如2与2、2与13、13与19等。

(4) 计算各方格网点的填、挖高度。

(5) 计算各方格填、挖方量的大小和总的填、挖土石方量。

2. 整理成通过特定点的倾斜面

如图 3-5-13 的示, 若 K 、 P 、 Q 为 3 个控制高程点, 其地面高程分别为 54.7m、51.4m、53.6m, 欲将原地形改造成通地 K 、 P 、 Q 3 点的倾斜面。

(1) 确定倾斜面的坡度。根据 P 、 K 两点的高程计算 P 、 K 间的平均坡度。

$$i_{PK} = \frac{h_{PK}}{D_{PK}}$$

(2) 确定设计等高线方向。首先在 PK 直线上内插出高程为 H_Q 的 R 点, 然后过等高线与 PK 直线的交点 a 、 b 、 c 、... 作平行于 RQ 的直线, 即为设计等高线方向。

(3) 绘制方格网。方格网的方向应与 PK 的方向一致。

(4) 确定各方格网点的地面高程。

(5) 确定各方格网点的设计高程, 根据设计等高线用内插法求得。

(6) 计算各方格网点的填、挖高度。

(7) 计算各方格填、挖方量的大小和总的填、挖土石方量。

二、等高线法

当场地地面起伏较大, 且仅计算挖方时, 可采用等高线法。这种方法是从场地设计高程的等高线开始, 算出各等高线所包围的面积, 分别将相邻两条等高线所围面积的平均值乘以等高距, 就是该两条等高线平面间的土石方量, 再求和即得总的挖方量。

如图 3-5-14 所示, 地形图等高距为 2m, 要求平整场地后的设计高程为 55m。先在图中内插设计高程 55m 的等高线 (图 3-5-14 中虚线), 再分别求出 55m、56m、58m、60m、62m 5 条等高线所围成的面积 A_{55} 、 A_{56} 、 A_{58} 、 A_{60} 、 A_{62} , 即可算出每层土石方量为:

$$V_1 = \frac{1}{2}(A_{55} + A_{56}) \times 1$$

$$V_2 = \frac{1}{2}(A_{56} + A_{58}) \times 2$$

$$V_5 = \frac{1}{3}A_{62} \times 0.8$$

V_5 是 62m 等高线以上山头顶部的土石方量。总挖方量为:

$$\sum V_{挖} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$$

三、断面法

在道路和管线建设 (或坡地的平整) 中, 沿中线 (或挖、填边线) 至两侧一定范围

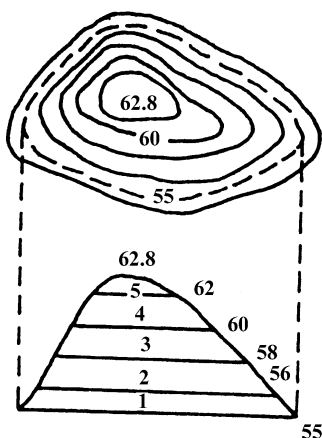


图 3-5-14 等高线法算土石方

内线状地形的土石方计算常用此法。这种方法是在施工场地范围内，利用地形图以一定间距绘出断面图，分别求出各断面由设计高程线与断面曲线（地面高程线）围成的填方面积和挖方面积，然后计算每相邻断面间的填（挖）方量，分别求和即为总填（挖）方量。

如图 3-5-15 所示，若地形图比例尺为 1:1 000，矩形范围欲修建一段道路，其设计高程为 47m。为了获得土石方量，先在地形图上绘出相互平行、间隔为 d （一般实地距离为 20~40m）的断面方向线，如 1-1、2-2、...、5-5；按一定比例尺绘出各断面图（纵、横轴比例尺应一致，常用的比例尺为 1:100 或 1:200），并将设计高程线展绘在断面图上（见图 3-5-15 中 1-1、2-2 断面）；然后在断面图上分别求出各断面设计高程线与断面图所包围的填土面积 $A_{\text{填}i}$ 和挖土面积 $A_{\text{挖}i}$ （ i 表示断面编号），最后计算两

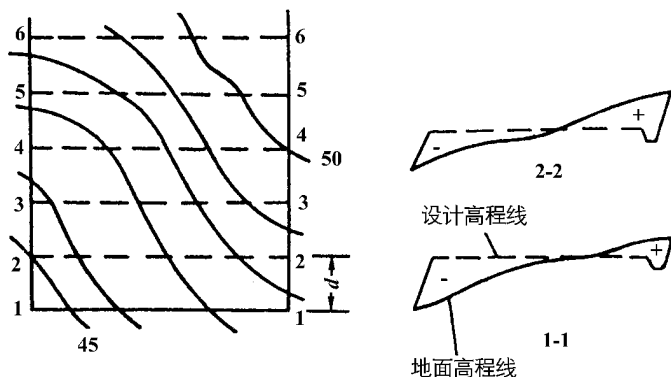


图 3-5-15 断面法算土石方

断面间土石方量。例如，1-1 和 2-2 两断面间的土石方量为：

$$V_{\text{填}(1-2)} = \frac{1}{2}(A_{\text{填}1} + A_{\text{填}2}) \cdot d$$

$$V_{\text{挖}(1-2)} = \frac{1}{2}(A_{\text{挖}1} + A_{\text{挖}2}) \cdot d$$

同法依次计算出每两相邻断面间的土石方量，最后将填方量和挖方量分别累加，即得总的土石方量。

上述3种土石方估算方法各有特点，应根据场地地形条件和工程要求选择合适的方法。当实际工程土石方估算精度要求较高时，往往要到现场实测方格网图（方格点高程）、断面图或地形图。

随着计算机的普及使用，土石方量的计算可采用计算机编程完成，也可利用现有的专业软件，根据实地测定的地面点坐标和设计高程，快速、准确地计算指定范围内的填、挖土石方量，并给出填挖边界线。

第六节 地形图上求面积

在规划设计中，常需在地形图上量算一定轮廓范围内的面积。下面介绍几种常用的方法。

一、图解法

图解法是使用绘有单元图形的透明模片蒙在待测图形上，统计落在待测图形轮廓线以内的单元图形个数来量测面积。单元图形的形状可以是方格、矩形、同心圆、圆形、菱形、六角形等等。此法优点是设备简单，仅用一张透明模片，主要缺点是劳动量大，但在不少场合，仍有它的实用价值。下面介绍常用的两种方法。

（一）方格网模片

在透明模片上绘有标准的2mm见方的小方格网，为便于计数整厘米数起见，每隔五根纵横线加粗一根，如图3-5-16所示。量测图上面积时，将透明模片固定在图上，先数出完整小方格数，不完整的小方格目估合并成整方格。

（二）平行线透明模片

方格网模片的缺点是边缘方格的拼整太多，为克服此缺点，可以使用图3-5-17所示的平行线模片。平行线间隔 H 可采用2mm。使用时，使被测图形被平行线切成许多等高的梯形。图中平行虚线是梯形的中线，量测各梯形的中线，则图形面积： $P = H(ab + cd + ef + gh + \dots + yz) = HL$ ，也就是量测各梯形中线长度，求其和 L 乘上平行线间隔 H ，即为被测图形面积。

当缩小平行线间隔时，误差也有所缩小，但工作量将相应增加。

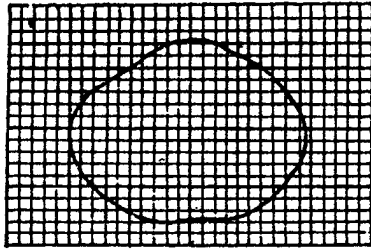


图 3-5-16

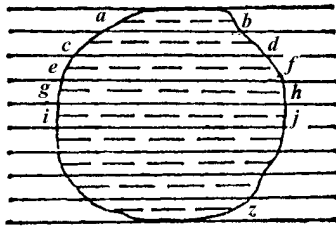


图 3-5-17

二、解析法

如果图形为任意多边形，且各顶点的坐标已在图上量出或已在实地测定，可利用各点坐标以解析法计算面积。

如图 3-5-18 所示，为一任意四边形 $ABCD$ ，各顶点编号顺时针编为 1、2、3、4。可以看出，面积 $ABCD$ (P) 等于面积 $C'DD'$ (P_1) 加面积 $D'DAA'$ (P_2) 再减去面积 $C'CBB'$ (P_3) 和面积 $B'BAA'$ (P_4)。

即
$$P = P_1 + P_2 - P_3 - P_4$$

这里， P 代表该四边形的面积。

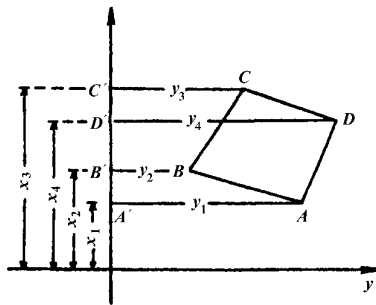


图 3-5-18

设 A 、 B 、 C 、 D 各顶点的坐标为 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) 、 (x_4, y_4) ，

则：

$$\begin{aligned} 2P &= (y_3 + y_4)(x_3 - x_4) + (y_4 + y_1)(x_4 - x_1) \\ &\quad - (y_3 + y_2)(x_3 - x_2) - (y_2 + y_1)(x_2 - x_1) \\ &= -y_3x_4 + y_4x_3 - y_4x_1 + y_1x_4 + y_3x_2 - y_2x_3 + y_2x_1 - y_1x_2 \\ &= x_1(y_2 - y_4) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_4 - y_2) + x_4(y_1 - y_3) \end{aligned}$$

若图形有 n 个顶点，则上式可扩展为：

$$2P = x_1(y_2 - y_n) + x_2(y_3 - y_1) + \dots + x_n(y_1 - y_{n-1})$$

即

$$P = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}) \quad (3-5-8)$$

注意，当 $i=1$ 时， y_{i-1} 用 y_n 。上式是将各顶点投影于 x 轴算得的。若将各顶点投影于 y 轴，同法可推出

$$P = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n y_i (x_{i+1} - x_{i-1}) \quad (3-5-9)$$

注意，当 $i=1$ 时，式中 x_{i-1} 用 x_n 。

(3-5-8) 式和 (3-5-9) 式可以互为计算检核。

三、求积仪

求积仪是一种测定图形面积的仪器。它的优点是能用来测定任意形状的图形面积，故得到广泛应用。

(一) 求积仪的构造

求积仪由极臂和航臂组成，如图 3-5-19。在极臂的一端有一重锤，重锤的下面有一短针，使用时短针借重锤的重量刺入图纸固定不动，短针端点称为求积仪的极点。极臂的另一端有一圆头的短柄，短柄可以插在接合套的圆洞内，接合套又套在航臂上，把极臂和航臂连接起来。在航臂一端有一航针，航针旁有一支撑航针的小圆柱和一手柄，用制动螺旋和微动螺旋把接合套和航臂连接在一起。航臂长是指航针尖端至短柄旋转轴的距离。极臂长是指极点至短柄旋转轴的距离。

求积仪最重要的部件是接合套处的计算器件。它包括计数小轮 W 、游标 V 和计数圆盘 D 。当航臂移动时，计数小轮随着转动。当计数小轮转动一周时，计数圆盘转动一格。计数圆盘共分十格，由 0~9 注有数字。计数小轮分为 10 等分，每一等分又分成 10 个小格。在计数小轮旁附有游标，可直接读出计数小轮上一小格的 $\frac{1}{10}$ 。因此，根据这个计数器件，可读出四位数字，首先从计数圆盘上读得千位数，然后在计数小轮上读取百位数和十位数，最后按游标读取个位数。如图 3-5-20 的读数为 3708。

(二) 求积仪使用

如图 3-5-21(a) 所示，要在比例尺为 $1:M$ 的地形图上求图形 P 的面积。这时，

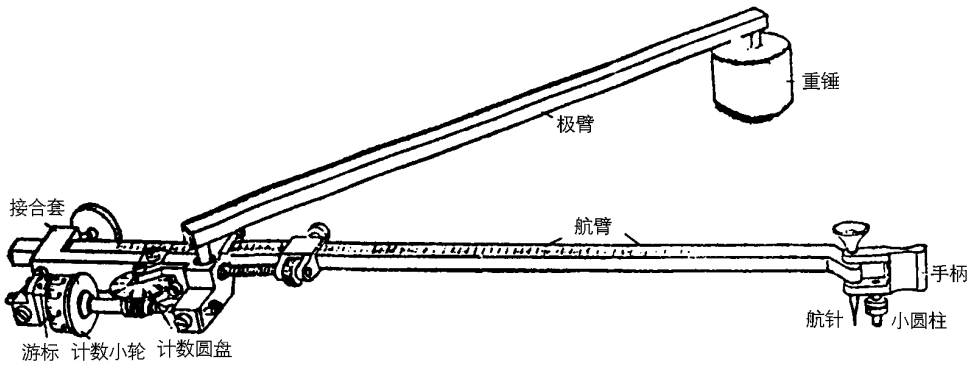


图 3-5-19

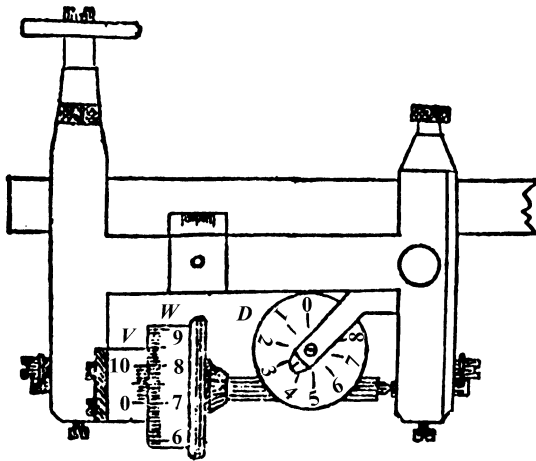


图 3-5-20

先把航臂长度固定在某一位置上（利用结合套的制动和微动螺旋），并把求积仪的极点固定在图形 P 以外，再把尖针对准图形轮廓线上的一点（要作记号）作为起点，并把读数记下，如为 n_1 ，然后以均匀的速度使航针沿图形轮廓线绕行，直至又回到起点位置，再把读数记下，如为 n_2 。如果用 C 表示游标读数一个单位所代表的面积，则总面积 P 为：

$$P = C(n_1 - n_2)$$

对于特定的求积仪来说，分划值 C 是航臂长的函数。仪器说明书中通常给出相应航臂长的 C 值，将 C 代入上式计算得 P ，然后将 P 乘以比例尺分母 M 的平方，即得实地面积。

为保证量测面积的精度和可靠性，必须注意下列各点：

(1) 图纸应平整、无折皱，固定在平整的图板或桌面上。

(2) 根据待测图形的大小，决定航臂长度，当图形很小时，航臂的长度应缩短。

(3) 极点应选在待测图形的对称轴上，且使航针绕行整个图形时，航臂和极臂的夹角尽可能在 $30^\circ \sim 150^\circ$ 之间。

(4) 航针绕行的起点应选在读数轮转动缓慢的地方，绕行时速度要均匀。

(5) 为抵消仪器误差以及校核测量结果，要求航臂、极臂位于图形对称轴右边再测一次，如图 3-5-21 (b) 所示，比较两边测得的读数差，当仪器满足要求的几何条件以及小心操作时，其差数应在 2~3 个分划值以内，并取平均值作为量测结果。

分划值 C 是求积仪的一个重要参数，必须进行检验和测定。可以用求积仪量测已知面积，按式 $C = \frac{P}{n_2 - n_1}$ 求出。可使用求积仪所附的检验尺为半径作圆，也可精细画 10cm 见方的图形作为已知面积。

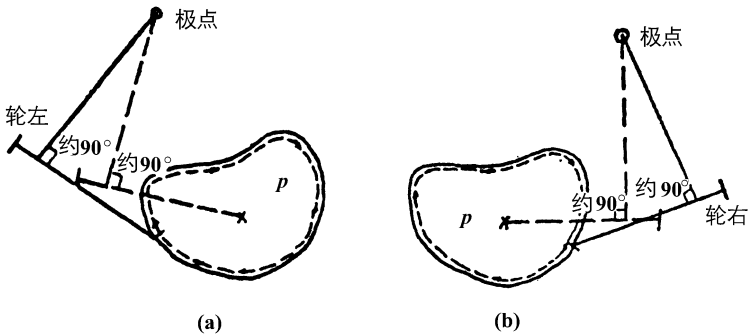


图 3-5-21

(三) 大面积的测量方法

当需要测量的面积较大，求积仪航臂长度不足于使航针绕图形轮廓线行走全周时，可采取下列方法：

(1) 将大面积划分为若干块小面积，用极点在图形外安置的求积仪分别求这些小面积，最后把量测结果加起来。

(2) 在待测的大面积内划出一个或若干个规则图形（四边形、三角形、圆等等），用解析法求算面积，剩下的边、角小块面积用求积仪求。

(四) 求积仪测面积的精度

用求积仪测面积，其精度和图纸、图板的平整度、求积仪的质量和校正情况、作业时的细心程度、被测图形的形状等等因素有关。实验指出，一般用如上所述的定极求积仪测面积的误差为 $0.03 \sqrt{P}$ ， P 为图上被测图形面积，以平方厘米为单位。若 $P = 150\text{cm}^2$ ，则误差为 0.37cm^2 ，相对误差为 $\frac{1}{400}$ 。

(五) 新型求积仪和电子求积仪

近年来，仍然基于求积仪的积分求面积原理，研制出不少型号的新型求积仪和电子求积仪。我国生产的某些新型求积仪分别具有下列特点：

(1) 极臂和航臂用球关节相连接，极臂可从航臂上自由地插上、拔下，当极点安置在航臂的两侧来测定图形面积时，各种机械误差得到补偿。

(2) 读数轮不直接和图纸表面接触，这样就适用于有微小褶皱、质地太脆、表面粗糙的图纸，在结构上采用摩擦传动，消除了由于间隙等引起的误差。

(3) 加装可在极臂下自由通过的托架，允许托架在航臂的两侧，可将极点放在托架两侧来分别测量，取平均值以补偿机械误差。

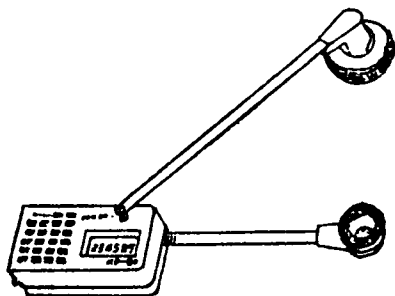


图 3-5-22

有些厂家在生产机械求积仪的同时，推出电子求积仪，图 3-5-22 为日本测机舍生产的 KP80 电子求积仪。其作业程序大致与机械求积仪相似：用航臂上代替航针的放大镜中心绕图形一周来求面积。其不同点在于读数设备用了电子装置，可以选择比例尺和使用单位，能以 8 位数字自动显示量测结果，能储存测得数据，有取平均数和累积测量平均数的功能。

第七节 确定汇水面积

在修建涵洞、桥梁或水坝等工程建设中，需要知道有多大面积汇水到桥涵和水库的水量，为此在地形图上应首先给出汇水面积、边界线。

如图 3-5-23 所示，某一公路 ab 经过一山谷，欲在 m 处建造涵洞， md 为一山谷线，注入该山谷的雨水是由山脊线（分水线） bc 、 cd 、 de 、 ef 、 fg 、 ga 及公路 ab 所围成的区域，区域汇水面积可通过面积量测方法得出。另外，根据等高线的特性可知，山脊线处处与等高线相垂直，且经过一系列的山头和鞍部。

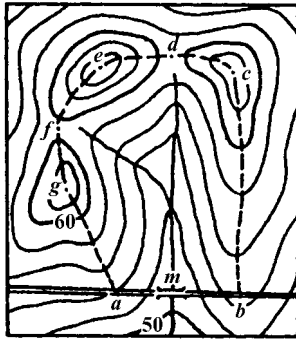


图 3-5-23 汇水面积确定

第八节 规划设计时的用地分析

在对城市进行规划设计时，首先要按城市各项建设对地形的要求并结合实地的地形进行分析，以便充分合理地利用和改造原有地形。规划设计所用的地形图，根据城市用地范围的大小，在总体规划阶段，常选用 1:10 000 或 1:5 000 比例尺的地形图；在详细规划阶段，为了满足房屋建筑和各项市政工程初步设计的需要，常选用 1:2 000、1:1 000 或 1:500 比例尺的地形图。规划设计的用地分析，主要需考虑以下几个方面的问题。

一、地面坡度

在地形图上进行用地分析时，首先要将用地的区域划分为各种不同坡度的地段，具体划分时是根据图上等高线平距的大小来划分，并用不同的颜色或不同的符号来表示不同坡度的地段。城市建设有些项目对地面的坡度有严格的要求，表 3-5-2 列出了城市各项建设的适用坡度。

表 3-5-2

建筑项目	适用坡度	建设项目	适用坡度
工业水平运输	0.5% ~ 2%	铁路站场	0% ~ 0.25%
居住建筑	0.3% ~ 10%	对外主要公路	0.4% ~ 3%
主要公路	0.3% ~ 6%	机场用地	0.5% ~ 1%
次要公路	0.3% ~ 8%	绿化区	任意坡度

二、建筑通风

山区或丘陵地带的建筑通风，除了季风的影响外，还受建筑用地处因地貌及温差而产生的局部地方风的影响，有时这种地方小气候对建筑通风起着主要作用，因此在山区或丘陵地带作规划设计时，风向与地形的关系是一个不容忽视的问题。

如图 3-524 所示，当风吹向山丘时，由于地形的影响，在山丘周围会产生不同的风向变化。图中将整个山丘分成了以下六个风区，即：

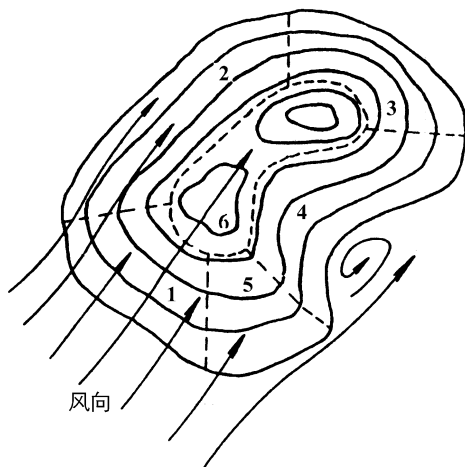


图 3-5-24

(1) 迎风坡区。风向垂直于等高线，如果将建筑物布置成平行于等高线或与等高线斜交，则通风最好。

(2) 顺风坡区。风向平行于等高线，为了争取良好的通风，宜将建筑物布置成垂直或斜交于等高线。

(3) 背风坡区。风吹不到的地方，可布置一些通风要求不高或不需通风的建筑。

(4) 涡风区。风向呈旋涡状的地方，亦只宜布置一些通风要求不高的建筑。

(5) 高压风区。迎风区与涡风区相遇的地方。该地区不宜布置高层建筑，以免背面涡风区产生更大的涡流。

(6) 越山风区。山顶部分，无论风向朝何方，山顶部分都会有风掠过，因此宜建亭阁。

三、建筑日照

山区或丘陵地带建筑日照的间距受其坡向影响比较明显。我国处于北半球，一年四季太阳都处于南天空，如图 3-5-25 (a) 所示，在南坡（向阳坡），当建筑物平行于等

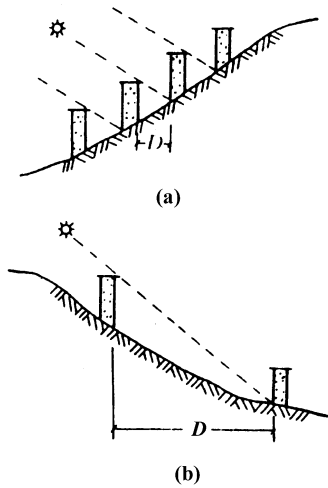


图 3-5-25

高线布置时，如果其地面坡度越大，则日照间距 D 就可越小，因此，可以在坡度较大的向阳坡增加建筑密度或布置高层建筑，以充分利用建筑用地。反之，在北坡（背阳坡）布置建筑物时，如图 3-5-25 (b) 所示，如果其坡度越大，则所需日照间距 D 也越大，因此在北坡用地布置建筑很不经济，但可规划一些绿化、运动、停车等公共设施场地。

四、交通及工程量

上述进行用地分析时，除要考虑建筑通风和建筑日照等因素外，还要考虑建筑的交通是否便利，填挖工作量是否较小等问题，尤其在山区进行建筑群体布置时，既要适应地形变化争取绝大产分的建筑有良好的朝向，提高日照、通风的效果外，又要使施工时的填挖工作量较小，居民的交通方便。例如，图 3-5-26 (a) 所示的设计方案，将建筑群体布置成规则的行列式，显然既未很好地考虑地形和气候条件，同时也存在施工的工程量较大、用地不经济等缺点。如果按图 (b) 所示的结合地形自由式或点式的布置方案，在建筑面积与 (a) 相同的情况下，由于改进了平面布置，既减少了挖方工程量，又增加了房屋间距，交通也便利，同时也提高了日照、通风等效果。

对于服务性建筑的布置，还要结合地形考虑服务半径的大小，使服务区内的居民均感方便。一般顺等高线方向交通便利，其服务半径可以大一些。而垂直于等高线的方向，则坡道或阶梯较多，需要上下，交通不便，其服务半径则应小一些。另外，服务性建筑的布置，不仅要考虑服务半径，还要考虑服务高差。如图 3-5-27 所示，宜将服务性建筑设在高差中心处，以减小上下坡的高度。

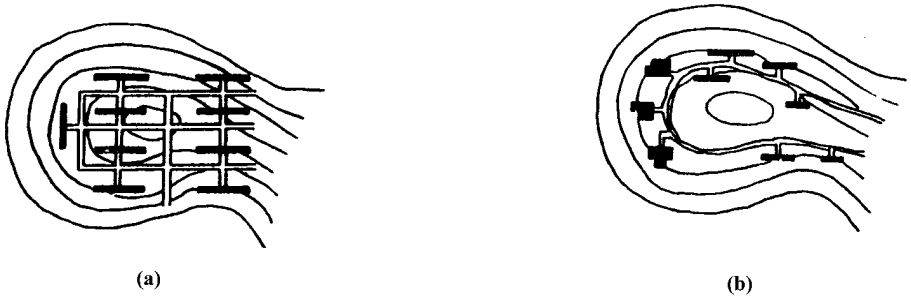


图 3-5-26

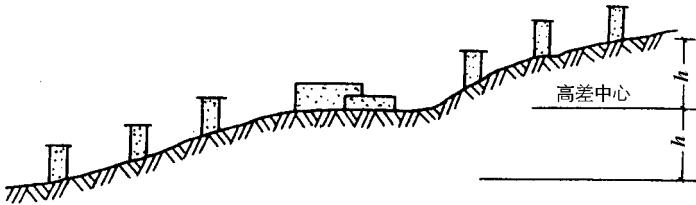


图 3-5-27

五、特殊地段

特殊地段指的是冲沟、坎地、沼泽地等地质条件不太好的地段。这样的地段是否可作为建设用地，必须作进一步的调查，即结合地质勘探资料进行分析来确定其性质和用途。因此，对于地貌较复杂或具有特殊要求的地区，在进行用地分析时，一般除了绘制地形分析图外，还要根据该地区的地质、气候等自然条件进行综合分析，以便经济合理地选择城市用地和规划城市功能区。